

文章编号: 100226819(2001)0620044205

# 旱地棉田渗灌补水效应研究

牛西午<sup>1</sup>, 冯永平<sup>2</sup>, 李永山<sup>2</sup>, 张 强<sup>3</sup>

(1. 山西省农业科学院; 2 山西省农业科学院棉花研究所; 3 山西省农业科学院土壤肥料研究所)

**摘 要:** 该文着重研究了渗灌不同补水量和渗水管道埋深对旱地土壤含水率和棉花生长发育的影响。试验结果表明, 在棉花关键需水期进行渗灌补水, 增产增收效果显著。丰水年每次渗水 225~ 300 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 皮棉产量可提高 19.6%~ 31.0%, 增产率为 17.3%~ 27.3%; 干旱年份, 每次渗水 225~ 300 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 比对照增产 24.35%~ 42.55%。与大水漫灌相比, 渗灌补水既避免了表层蒸发, 又没有形成重力水下渗, 大幅度提高了水分利用率。渗水管道埋深在 13~ 20 cm 较为合适。

**关键词:** 渗灌; 旱地棉花; 补水

**中图分类号:** S275.4      **文献标识码:** A

晋南黄土高原旱塬属于典型的半干旱雨养农业区, 地下水位深, 水资源奇缺, 十年九旱, 年降雨量少且分布不均, 年际间变幅大, 农作物常受干旱胁迫, 产量低而不稳, 甚至绝产。在棉花播种期常遇春旱, 使棉花不能正常播种和出苗, 难保全苗。棉花开花成铃期间是需水高峰期, 又正值高温伏旱期, 蒸腾加剧致使蕾铃大量脱落, 造成产量低而不稳。近年来, 渗灌技术和有限补水研究促使旱地农作物产量大幅度提高, 成为农业增产增效的一条新途径<sup>[1-3]</sup>。但在晋南旱塬棉花栽培技术中深入研究甚少, 本文通过两年对旱地棉花不同渗水量和渗水管道埋深的确定及棉花生长发育的影响进行了探讨, 旨在为半干旱地区棉花高产稳产高效提供科学依据。

## 1 材料和方法

试验于 1996~ 1997 年在山西省南部的万荣县汉薛镇西景村进行, 土壤为黄土状碳酸盐褐土, 土壤质地为中壤, 土壤肥力中等, 0~ 20 cm 耕层土壤容重为 1.18 g/cm<sup>3</sup>。不同层次土壤水分特性见表 1。

### 1.1 渗水塑料管道制作和埋设

塑料管由河北省邯郸塑料厂生产, 直径 22 mm、内径 20 mm、管壁厚 1 mm。

收稿日期: 2001205210 修订日期: 2001210215

基金项目: 山西省科委“九五”推广项目“果园渗灌补水加秸秆覆盖技术”(961003)部分内容

作者简介: 牛西午, 研究员, 院长, 从事干旱区生态建设及资源开发利用研究, 山西省太原市长风街 2 号 山西省农业科学院, 030006

表 1 不同深度土壤水分特性

土壤深度 δcm	稳定凋萎含水量 δ%	田间持水量 δ%	毛管持水量 δ%
0~ 20	5.86	21.60	34.70
20~ 50	-	19.42	27.65
50~ 100	-	20.25	29.87
100~ 150	-	20.67	29.74

渗水的孔距设计: 将总管长分 3 段, 距渗水管入水口处 1/3 长度内, 孔距 500 mm; 距渗水管入水口处 2/3 长度内, 孔距 400 mm; 渗水管最末一段, 孔距 300 mm。

本试验塑管长度按小区长度 8.3 m 设计, 从渗水管入水口处前 2.8 m 孔距为 500 mm, 2.8~ 5.4 m 内孔距为 400 mm, 最后一段 2.9 m 内孔距为 300 mm。

打孔方位: 将塑料细管摆平, 在塑料管两侧交错人工打孔, 按照设计的孔距左边一孔, 右边一孔, 孔径 1.0 mm。

棉花播种前在施肥整地基础上, 按棉花窄行种植要求(0.6 m × 0.4 m), 在窄行内开沟埋塑料细管(埋管深度据设计要求放置), 埋管后塑料管两头用管盖盖严, 以防管内进土, 然后播种棉花, 随即覆盖地膜。生育期渗水时再将管盖打开, 安装在预先焊接好的“三通横杆”上, 水表安装在总水管上, 按设计渗水量供水渗灌。棉花窄行由于地膜覆盖, 全生育期不进行耕作, 在棉花宽行内进行耕作施肥。棉花收获后, 取出塑料管, 以备下年再用, 一般塑料管寿命为 3 年。

## 1.2 渗灌补水量试验

设置不同渗水量,每次每公顷 75、150、225、300  $\text{m}^3$  与不渗水(对照)5个处理,随机区组排列,3(1997年)~4(1996年)次重复,每个小区长 8.3 m,宽 3.2 m,面积为 26.56  $\text{m}^2$ 。棉花品种为山西省农业科学院棉花研究所转基因抗虫棉 A 系。

1996年、1997年播种时,土壤墒情差,分别开沟渗水 90  $\text{m}^3/\text{hm}^2$  和 15  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ,保证适期播种和出苗。1996年7月28日、8月19日按设计渗水2次。1997年分别于6月11日、17日、7月7日按设计渗水3次。埋塑料细管于窄行内,深度为 20 cm,埋管后播种棉花,随即覆盖塑料薄膜。

## 1.3 渗水管埋深不同层次试验

1996年设置实施了地膜下地表铺管道,以及下埋 7、13、20 cm 3个深度处理,大区对比,未设重复。每个大区面积为 93.3  $\text{m}^2$ 。7月28日、8月19日进行渗灌,各处理每次用水量均为 300  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ 。

1996年全年降水量为 555.1 mm,其中生育期间降水 448.7 mm,为丰水年型;1997年全年降水为 212.2 mm,其中生育期间降水 87.4 mm,为历史上罕见的干旱年份,为极度干旱年型。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同渗水量对土壤含水率和棉花生长发育的影响

#### 2.1.1 不同渗水量对土壤含水率的影响

试验结果表明,随着渗水量的增加各层土壤含

水率随之提高,且明显高于对照。据 1996年7月28日渗灌后 10 d 测定(8月8日),0~20 cm 土层各处理土壤平均含水率均比对照(CK)高 0.97~1.19 个百分点;20~50 cm 土层分别比对照高 1.39、3.54、3.13、3.52 个百分点;50~100 cm 土层比对照高 0.12~3.24 个百分点;100~150 cm 土层各处理与对照基本接近(表 2)。可见渗水 75  $\text{m}^3/\text{hm}^2$  的处理垂直渗幅可达到 50 cm,而其它 3 个处理均可渗到 100 cm 深处。

在 1997年特殊干旱条件下,6月17日渗后两天测定,渗水各处理渗水垂直深度依次为 30、40、50、60 cm。0~20 cm 土层渗水处理比不渗水的土壤含水率提高 0.9~1.45 个百分点;20~50 cm 土层比对照提高 0.43~1.52 个百分点;50~100 cm 土层,除 300  $\text{m}^3/\text{hm}^2$  处理比对照高 0.3 个百分点外,其它处理与对照接近;100~150 cm 土层含水率基本无变化(表 2)。由土壤不同深度含水率可以看出,渗水后各层次土壤含水率介于土壤稳定凋萎含水率与田间持水量之间,这样既避免了表层土壤水的大量蒸发,又没有形成重力水下渗,土壤水分主要集中在 20~50 cm 土层内,可为棉花根系最大限度地吸收利用。通常棉田大水漫灌一次,每公顷需水 900~1200  $\text{m}^3$ ,而且漫灌后水分蒸发消耗 40%~50%。渗灌每次按 300  $\text{m}^3/\text{hm}^2$  计,比漫灌节水 600~900  $\text{m}^3$ 。雨养农业区水资源有限,在棉花关键需水期通过次生水源的调配,如渗灌给予经济补水量,可大幅度提高旱作农业区的经济效益。

表 2 不同渗水量对土壤含水率的影响

Table 2 Effect of different water infiltration quotas on soil moisture content

渗水量 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$	土壤含水率/%							
	0~20 cm		20~50 cm		50~100 cm		100~150 cm	
	1996	1997	1996	1997	1996	1997	1996	1997
75	18.00	10.75	10.56	11.93	11.19	10.91	11.60	9.85
150	18.47	10.94	17.71	12.51	14.31	10.88	11.70	9.89
225	18.96	11.02	17.30	12.70	14.16	10.96	11.39	9.90
300	18.17	11.30	17.69	13.02	14.25	11.20	11.60	9.89
0(CK)	17.03	9.85	14.17	11.50	11.07	10.90	11.13	9.88

#### 2.1.2 不同渗水量对棉花生长发育及产量的影响

试验结果表明,在棉花需水关键时期进行渗灌补水,随着渗水量的增加,明显促进了棉花生长发育,增加了单株结铃数和铃重,棉花产量显著提高。1996年8月15日调查,渗水 75、150、225  $\text{m}^3/\text{hm}^2$  和

300  $\text{m}^3/\text{hm}^2$  的单株成大铃分别比对照多 0.4、0.4、1.85 和 1.9 个;吐絮期调查,渗水各处理单株成铃数比对照分别多 0.71、0.78、2.13 和 1.71 个,各渗水处理单株铃重比对照分别增加 0.22、0.25、0.27 和 0.35 g(表 3)。

表3 不同渗水量对棉花生育及成铃的影响(1996)

Table 3 Effects of different water infiltration quotas on growth and bolls of cotton in 1996

渗水量 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$	伏桃					吐絮期	
	大铃 个	小铃 个	蕾数 个	脱落 个	总生殖 数个	铃数 个	铃重 g
75	7.6	6.95	5.40	13.80	33.75	11.19	4.16
150	7.6	5.75	4.95	15.30	33.60	11.26	4.19
225	9.05	8.60	5.10	14.00	36.75	12.64	4.21
300	9.10	5.00	3.70	17.90	35.70	12.19	4.29
0	7.20	5.55	3.60	13.50	29.85	10.48	3.94

两年试验结果表明,随着渗水量增加,皮棉产量有增加趋势,而且比对照增产显著。在1996年丰水条件下,以 $225 \text{ m}^3 \text{öhm}^2$ 处理皮棉产量最高,达

$1447.7 \text{ kg} \text{öhm}^2$ ,比对照增产27.32%,差异达极显著水平;其次为 $300 \text{ m}^3 \text{öhm}^2$ 皮棉产量比对照增产17.3%,差异达极显著水平;150和 $75 \text{ m}^3 \text{öhm}^2$ 两处理皮棉产量比对照分别增产14.4%和9.27%,差异达极显著水平和显著水平。1996年为丰水年份,渗水量过大,后期棉花生长旺盛,脱落增多,导致结铃数减少,因此 $300 \text{ m}^3 \text{öhm}^2$ 比 $225 \text{ m}^3 \text{öhm}^2$ 产量低。在1997年极度干旱年份,渗水量 $300 \text{ m}^3 \text{öhm}^2$ 皮棉产量最高,为 $756.8 \text{ kg} \text{öhm}^2$ ,比对照增产42.55%,渗水量为225和 $150 \text{ m}^3 \text{öhm}^2$ 皮棉产量比对照分别增产24.35%和15.60%,三者处理与对照差异均达到极显著水平, $75 \text{ m}^3 \text{öhm}^2$ 处理仅比对照增产6%,差异不显著(表4)。

表4 不同渗水量对棉花产量的影响

Table 4 Effects of different water infiltration quotas on cotton yield in 1996, 1997

年份	渗水量 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$	小区籽棉产量 $\text{ökg}$					衣分 %	皮棉产量 $\text{ökg} \cdot \text{hm}^{-2}$	显著性 <sup>3</sup>
		1	2	3	4	合计			
1996	75	8.35	9.30	8.35	8.35	34.35	38.39	1242.5	c BC
	150	9.65	9.00	8.65	8.40	35.70	38.71	1300.8	bc B
	225	9.85	10.20	9.30	9.30	38.65	39.79	1447.7	a A
	300	9.30	10.00	8.40	8.55	36.25	39.10	1333.8	b AB
	0	8.10	8.15	7.20	8.20	33.65	38.14	1137.0	d C
1997	75	3.75	4.05	4.30		12.15	37.20	566.0	cd C
	150	4.20	4.40	4.35		12.95	37.80	613.7	bc BC
	225	4.15	4.90	4.80		13.85	38.00	660.2	b B
	300	4.65	5.35	5.75		15.75	38.30	756.8	a A
	0	3.65	3.90	3.90		11.45	37.00	530.9	d C

注:小写字母为0.05显著水平,大写字母为0.01显著水平。

## 2.2 埋管不同深度对棉花产量的影响

试验结果表明,随着埋管深度增加,棉花籽棉、皮棉产量亦增加,以埋深20cm的产量最高,每公顷皮棉产量为1344.6kg,比土表渗灌增产132.4kg,增产10.92%;埋管深度13cm和7cm比土表渗灌分别增产8.67%和4.31%,因此渗水管道埋深应在

表5 不同埋管深度对棉花产量的影响(1996)

Table 5 Effects of water pipe depth on cotton yield in 1996

埋管深度 $\text{öcm}$	小区籽棉产量 $\text{ökg}$	籽棉产量 $\text{ökg} \cdot \text{hm}^{-2}$	衣分 %	皮棉产量 $\text{ökg} \cdot \text{hm}^{-2}$
0	29.5	3160	38.36	1212.2
7	30.6	3279	38.56	1264.4
13	31.7	3396	38.79	1371.3
20	32.3	3460	38.86	1344.6

13~20cm范围内(表5)。

## 2.3 旱地棉田渗灌补水的经济效益

按照《农业工程手册》提供的经济效益静态分析方法对旱地棉田渗灌补水经济效益进行了分析。分析中水费按1.00元 $\text{m}^3$ 、皮棉按15.00元 $\text{ökg}$ 计算,塑料管的投资以 $454.5 \text{ kg} \text{öhm}^2 \times 6.30 \text{ 元} \text{ökg} = 2863.40 \text{ 元} \text{öhm}^2$ 计算,渗灌管按3年使用进行折旧,每年费用为 $955.00 \text{ 元} \text{öhm}^2$ ,拆装管道人工费用= $45 \text{ 个工} \text{öhm}^2 \times 10 \text{ 元} \text{ö个工} = 450 \text{ 元} \text{öhm}^2$ 。具体计算方法如下:

新增产值=处理产值-对照产值

新增投资=用水费用+塑料管投资费用+拆装管道人工费用。

新增投资收益率=新增产值 $\div$ 新增投资额

新增投资回收期= 新增投资÷新增产值。

试验结果表明,随着棉田渗水量增加,棉花产量也随着增加,单位面积的经济收入亦随之提高。在丰水年份的1996年,生育期间渗水2次,以 $225\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的产量最高,为 $1\,447.7\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,产值 $21\,715.50$ 元,比对照不渗水的增收 $4\,660.50$ 元,新增投资收益率为 $123.8\%$ ,投资回收期为 $0.81\text{ a}$ 。在极度干旱年份的1997年,渗灌补水的增产效果显著,但由于渗水棉花产量比丰水年份的产量低,渗水

次数增加,用水成本高,新增投资收益率比丰水年份低,其中以 $300\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的经济效益最高,每公顷比对照增收 $3\,388.50$ 元,新增投资收益率为 $80.4\%$ ,投资回收期为 $1.24\text{ a}$ ;其次为 $225\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,每公顷比对照增收 $1\,939.50$ 元,新增投资收益率为 $48.6\%$ ,投资回收期为 $2.06\text{ a}$ 。因此每公顷每次渗水量为 $225\sim 300\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,经济效益较好,新增投资效益率高,投资回收期短(表6)。

表6 旱地棉花渗灌补水经济效益分析

Table 6 Economic analysis of water infiltration quotas for rainfed cotton

年份	渗水量 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$	产量 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	产值 $\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$	比CK 新增产值 $\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$	用水投资 $\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$	新增投资 收益率%	新增投资 回收期a
1996	75	1 242.5	18 637.50	1 582.50	150.00	45.7	2.19
	150	1 300.8	19 512.00	2 457.00	300.00	68.0	1.47
	225	1 447.7	21 715.50	4 660.50	450.00	123.8	0.81
	300	1 333.8	20 007.00	2 952.00	600.00	75.4	1.33
	0(CK)	1 137.0	17 055.00	—	—	—	—
1997	75	566.0	8 490.00	526.50	225.00	14.9	6.72
	150	613.7	9 205.50	1 242.00	450.00	33.0	3.03
	225	660.2	9 903.00	1 939.50	675.00	48.6	2.06
	300	756.8	11 352.00	3 388.50	900.00	80.4	1.24
	0(CK)	530.9	7 963.50	—	—	—	—

### 3 结 语

干旱半干旱雨养农业地区,由于降水少且分布不均,使农作物在不同生长发育阶段遭受干旱威胁,作物减产甚至绝产。棉田渗灌补水技术,可根据棉花生长发育需水要求和天气情况,在棉花主要生长发育关键期如播种期、开花成铃期以及果实膨大期灵活多变地进行有效补水,使棉花正常生长发育,是干旱棉区稳产高产的可靠保证技术。渗灌补水是水分高效利用的一种途径。通常棉田大水漫灌一次,每公顷需水 $900\sim 1\,200\text{ m}^3$ ,渗灌每次按 $300\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 计,比漫灌节水 $600\sim 900\text{ m}^3$ 。漫灌后水分蒸发消耗 $40\%\sim 50\%$ ,而渗灌后水分积聚在棉花根区土体之内,既避免了表层水分蒸发,又没有形成重力水下渗,水分利用率比漫灌高。尤其雨养农业区水资源珍贵,发展渗灌补水,可以使有限水资源,在棉花需水关键时期得以大面积的有效利用,提高旱作农业区的经济效益。

试验结果表明,在试验条件下最佳经济渗水量为 $225\sim 300\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,新增投资收益率高,投资回收期短。渗水次数依天气干旱而定,渗水深度可达 $100\text{ cm}$ ,水平渗幅可达 $50\text{ cm}$ ,渗水后水分多集中在 $60\text{ cm}$ 作物根区。在丰水年型(年降水量大于 $500\text{ mm}$ ),可渗灌 $1\sim 2$ 次,每公顷每次渗水 $225\text{ m}^3$ 即可;在一般年型(降水量在 $400\sim 500\text{ mm}$ )可渗水 $2\sim 3$ 次,渗水量每次为 $225\sim 300\text{ m}^3$ ;在干旱年型(年降水量低于 $400\text{ mm}$ ),则需要增加渗水次数和渗水量。

试验结果表明,渗水管道埋深在 $13\sim 20\text{ cm}$ 范围内对棉花生长有很好的效果,埋管深度在 $20\text{ cm}$ 比土表渗水增产 $10.92\%$ ,埋管深度在 $13\text{ cm}$ 比对照增产 $8.67\%$ 。棉花根系大多数集中在 $10\sim 20\text{ cm}$ 土层,渗灌补水可被棉花直接快速利用,也可减少土表水分蒸发。由于塑料渗管的埋设与拆装较为费工,建议有关部门加强该方面机械的研制与开发,便于该技术的大面积推广。

## [参 考 文 献]

- [1] 牛西午, 周克义, 王俊兰等. 旱地果园渗灌补水技术加覆盖技术效应研究[A]. 梁志杰, 陈 阜等主编. 中国农作制度研究新进展. 北京: 中国农业科技出版社, 1997: 52~ 55
- [2] 李永山, 郭创业, 解晓红等. 旱地棉花有限补水效应研究[J]. 棉花学报, 1996, 8(5): 265~ 268
- [3] 高世铭, 朱润身. 旱地作物有限供水与覆盖保水效应研究[J]. 西北农业学报, 1995, 4(2): 59~ 63

## Effects of Permeable Irrigation on Cotton in Semiarid Region

Niu Xiwu<sup>1</sup>, Feng Yongping<sup>2</sup>, Li Yongshan<sup>2</sup>, Zhang Qiang<sup>3</sup>

(1. Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030006, China;

2. Cotton Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Yuncheng 044000, China;

3. Institute of Soil and Fertilizer, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China)

**Abstract:** The experiments were conducted from 1996 to 1997 to study the effects of different permeable irrigation quotas and water pipe depth on soil moisture content, and the growth and yield in semiarid region in Southern Shanxi Province. The results show that lint yield of cotton increased by 17.3% ~ 27.3% with 225 ~ 300 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> of permeable irrigation quota in high annual precipitation and increased by 24.35% ~ 42.55% in low annual precipitation. The depth of water pipe under soil surface were 13 cm to 20 cm, which lint yield of cotton increased by 8.67% ~ 10.92% compared with soil surface permeable irrigation.

**Key words:** permeable irrigation; cotton in semiarid area; economic water quota

## 《农业工程学报》编委会在海外华人农业、生物技术和食品工程师协会(AOC)成员中新聘4位编委

海外华人农业、生物技术和食品工程师协会(AOC)于7月31日在加州首府 Sacramento 市召开成立大会, 共有大陆学者代表13人参加, 会间本刊编委会主任汪懋华院士代表编委会宣布了新聘的4位海外华人学者编委: 张乃迁、张瑞红、张强、杨秀生, 并颁发了聘任证书, 转达了编委会常

务副主任、主编胡南强教授给新聘编委的信。汪懋华主任在AOC成立大会上发表祝贺演讲时, 希望他们协助组织海外学者积极向《农业工程学报》投稿, 在大家的共同支持和关心下, 《农业工程学报》一定能在促进我国农业工程技术的发展中发挥重要作用。