

灌水时期和灌水量对甘肃河西玉米制种产量和水分利用的影响

樊廷录¹, 杨 珍², 王建华³, 王淑英¹

(1. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 武威市农业科学院, 甘肃 武威 733000; 3. 中国农业大学, 北京 100081)

摘 要:以玉米杂交种吉祥 1 号为材料,在甘肃武威凉州区连续两年研究了灌水时期和灌水量对制种产量和水分利用的影响。结果表明:在 2012 年和 2013 年玉米生育期降水 128.2 mm 和 98.1 mm 条件下,灌水量由 480 mm 下降到 210 mm 减少 56.2%,两年平均种子产量降低 41.6%,每增加 1 mm 灌水种子产量增加 14.05 kg·hm⁻²,同 480 mm 高水分处理相比,360、330 mm 的中等水分处理减产 0.47%~8.26%、8.66%~24.90%。不同时期的灌水效应差异很大,母本吐丝期、大喇叭口期、灌浆中后期少灌水的减产效应大小为:三个时期减少灌水>两个时期减少灌水>一个时期减少灌水,一次 60 mm 灌水在母本吐丝期要比大喇叭口期、灌浆中期减产 6.5%、7.2%,一次 30 mm 灌水相应减产 11.2%、8.5%。无论试验年份如何,玉米水分利用效率(WUE)随灌水量、耗水量增加而提高,但较高 WUE 并未在高水分产量最高的处理,而在中等水分处理。不同灌水量和灌水时期 WUE 和灌水效率(IWUE)变化与产量变化相一致,灌水减少若发生在母本吐丝期均降低了 WUE 和 IWUE,发生在灌浆中期、大喇叭口期却相反。综合考虑产量和水分效率,生育期灌水量减少 25%~30%并不降低制种玉米种子产量,母本吐丝期对灌水最敏感,节水应在母本吐丝以前或灌浆中后期进行,以达到节水增产目标。

关键词:玉米;制种产量;灌水;水分利用

中图分类号: S274 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)05-0001-06

Effects of irrigation stage and amount on hybrid seed yield of maize and water use of maize in Hexi Corridor of Gansu

FAN Ting-lu¹, YANG Zheng², WANG Jian-hua³, WANG Shu-ying¹

(1. Dryland Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Water-Saving Agriculture Institute, Wuwei Academy of Agriculture Sciences, Wuwei, Gansu 733000, China;

3. College of Agriculture & Biotechnology, Chinese Agriculture University, Beijing 100081)

Abstract: A two-year field experiment with hybrid maize variety No.1 Jixiang was conducted to examine the effects of irrigation amount and stage on seed yield and water use efficiency(WUE)at Liangzhou, Wuwei, Gansu, China. Results indicated that, with rainfall of 128.2 mm in 2012 and 98.1 mm in 2013 during growing season of maize, average seed yield decreased by 41.6% as irrigation amount reduced by 56.2% ranged from 480 mm to 210 mm, and seed yield increased 14.05 kg·hm⁻² when 1 mm additional irrigation water was supplied. Compared with high irrigation treatment of 480 mm, the yield decreased by 0.47%~8.26% and 8.66%~24.90% in moderate irrigation treatments of 360 mm and 330 mm. There were great differences in effects of irrigation applied at maternal silking and tasselling and middle filling stages, and for yield reduced effects due to irrigation amount decrease were followed by three stages decrease of irrigation at the same time > two stages alternating irrigation decrease > a stage decrease of irrigation. Seed yield reduction was 6.5% and 7.2% with 60 mm irrigation at silking stage in contrasting to tasselling and middle grain filling stages, and 11.2% and 8.5% with 30 mm irrigation at the same stage, respectively. No matter how the year, water use efficiency (WUE) increased with the increase of irrigation amount and evapotranspiration (ET), and high WUE value was obtained at moderate irrigation treatment but not at high irrigation treatment with high yield. Changes of WUE and I-

收稿日期:2013-10-05

基金项目:国家公益类行业专项“主要农作物高活力种子生产关键技术研究与示范”(201303002);国家玉米产业体系(CARS-02-66);国家科技支撑计划“西北旱作区突发性灾害防控技术与示范”(2012BAD20B04-4)

作者简介:樊廷录(1965—),甘肃临洮人,研究员,主要从事节水农业研究。E-mail:Fantinglu3394@163.com。

WUE (irrigation water use efficiency) values were same to seed yield changes, and the decreased amount of irrigation at maternal silking stage resulted in WUE and IWUE reduction, but did not at tasselling and middle grain filling stages. It concluded that considering of hybrid seed yield and water use changes, reduction of 25% ~ 30% in irrigation amount did not decrease seed yield, and maternal silking stage of maize was most sensitive to irrigation, suggesting reasonable irrigation would be at pre-silking and middle-late grain filling stages to achieving water-saving and yield-increasing.

Keywords: maize; hybrid seed yield; irrigation; water use

甘肃河西走廊日照充足,昼夜温差大,依靠其特殊的地理及气候条件,已成为全国重要的杂交玉米制种基地。但这一地区水资源匮乏,农业用水矛盾日益突出,通过确定灌水时间和灌水量来不断优化水分调控模式是高效用水的关键技术^[1-2]。作物不同生育阶段对缺水的反映差异很大^[3],生育期的适度水分亏缺具有一定的节水增产功效^[4]。玉米拔节至抽穗期缺水抑制叶面积扩展,使植株矮小,产量降低;抽穗至灌浆期水分胁迫影响种子库容建立,籽粒小、千粒重减小;玉米灌浆期是生长最旺盛、耗水量最大的时期,水分胁迫将减少光合产物的转移,对种子质量和产量及水分利用影响很大,但灌浆至成熟期缺水可在不明显降低产量的基础上提高水分利用效率^[5]。关于节水灌溉对绿洲灌区大田玉米产量—水分关系的研究报道很多^[6-9],有些研究开展了垄膜沟灌栽培对制种玉米产量和水分利用效率 *WUE* (Water use efficiency)的影响^[10],但灌水时间和数量对玉米种子产量和水分利用的研究仍然不够充分。本试验在甘肃武威全膜覆盖条件下,进一步探讨不同灌溉对制种玉米产量和 *WUE* 的影响,为国家玉米制种基地种子节水高效生产提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于 2012 年 4 月—2013 年 10 月在甘肃武威凉州区进行,海拔 1 450 m,年均气温 7.7℃,年均降水 100 mm,年蒸发量 2 020 mm,无霜期 150 d,日照时数 2 873.4 h。试验地土壤为灌漠土,沙壤,机井灌溉,耕层土壤容重 1.46 g·cm⁻³,pH 8.4。试验用玉米杂交种为吉祥 1 号,其父本为武 9085,母本为昌 7-2,4 月 10 日覆膜,田间地膜带宽 120 cm,4 月 20 日播种。父本与母本种植比例为 1:4,即 1 行父本与 4 行母本交替种植,行距 33 cm,株距 24 ~ 28 cm,人工点播,播种后及时浇水,保证出全苗。2013 年每 666.7 m² 共种植父母本 8 375 株,其中母本 6 700 株、父本 1 675 株,2012 年父母本 7 213 株,其中母本 5 770 株、父本 1 443 株。在母本雄穗快抽出时,按时摸包抽雄(7 月 14 日),防止母本自交,提高种子纯

度。散粉结束后,将父本砍去(8 月 5 日),以利母本通风透光。

试验按灌水时期(A)和灌水量(B)两因素随机区组设计进行。全生育期灌水量分 3 个水平,480 mm 为高水分处理,330 ~ 360 mm 为中等水分处理(相当于高水分处理的 68.8% ~ 75.0%),210 ~ 300 mm 为低水分处理(相当于高水处理的 43.8% ~ 62.5%)(表 1);灌水时期 3 个水平,大喇叭口期、母本吐丝期和灌浆中后期。每次灌水用水表控制。试验共设 15 个处理(表 2),重复 3 次,小区面积 17.5 m²。覆膜前每 hm⁻²基施 375 kg 磷二铵、15 kg 硫酸锌、150 kg 硫酸钾、150 kg 尿素,在大喇叭口期灌水时再追施尿素 600 kg。

表 1 制种玉米生育期灌水量		
Table 1 Irrigation amounts during growth periods in maize seed production		
灌水处理 Irrigated treatments	生育期灌水/mm Irrigation in growth periods	对应小区 Blocks
高水分 High	480	1
中等水分 Moderate	330 ~ 360	2、3、4、5、6、7、8、10、12
低水分 Low	210 ~ 300	9、11、13、14、15

1.2 测定指标及方法

1.2.1 土壤水分 选择每个处理中的 1 个重复,在播前和成熟期用土钻取 0 ~ 200 cm 土层土样,分层取土,20 cm 为一层,置于铝盒中,采用烘干法测定土壤含水量,其公式为:土壤含水量 = (土壤鲜重 - 土壤干重)/土壤干重 × 100%。

1.2.2 耗水量(*ET*, mm) $ET = \text{生育期灌水} + (\text{收获时土壤贮水} - \text{播种前土壤贮水}) + \text{生育期降水量}$ 。

1.2.3 水分利用效率和灌水效率(kg·hm⁻²·mm⁻¹)
水分利用效率 $WUE = Y/ET$,灌水效率 $IWUE = \Delta Y/\Delta I$ 。 Y 为籽粒产量(kg·hm⁻²), ΔI 为灌水增量(mm)(相对于 210 mm 最低灌水处理), ΔY 为灌水增量对应的增产量(kg·hm⁻²)。

2 结果与分析

2.1 杂交玉米制种产量对灌溉的响应

2012 年生育期降水量 128.2 mm,较 2013 年增加

表 2 试验处理方案/mm
Table 2 Irrigation schedule of field experiment

小区 Blocks	灌水量 Irrigation	灌水方案(M - d) Irrigation schedule			
		播种后(04 - 20) After-sowing	大喇叭口(06 - 25) Tasselling stage	母本吐丝(07 - 20) Silking stage	灌浆中期(08 - 10) Middle filling stage
1	480	120	120	120	120
2	360	120	60	90	90
4	360	120	90	60	90
6	360	120	90	90	60
3	330	120	30	90	90
5	330	120	90	30	90
7	330	120	90	90	30
8	330	120	60	60	90
10	330	120	90	60	60
12	330	120	60	90	60
14	300	120	60	60	60
9	270	120	30	30	90
11	270	120	90	30	30
13	270	120	30	90	30
15	210	120	30	30	30

30.1 mm,15 个处理平均种子产量 9 468.0 kg·hm⁻²,增加 93.5%,主要原因是 2012 年降水量多、分布均匀,2013 年正值玉米授粉灌浆的 8 月初集中降雨 38.3 mm,母本花丝没有得到充分的花粉,多数果穗顶部授粉不好,影响了产量。但不论试验年份如何,灌水量对种子产量影响很大(表 3)。总体来看,随着灌水量的减少,产量降低,灌水量从 480 mm 减少到 210 mm,减少 56.2%,2012 年产量从 9 237.0 kg·hm⁻²下降到 7 624.5 kg·hm⁻²,减产 17.5%,2013 年从 7 045.5 kg·hm⁻²下降到 1 876.5 kg·hm⁻²,减产 73.4%(图 1)。同 480 mm 的高灌水量相比,灌水减少 68.8%~75.0%的中等灌水量处理平均减产幅度 0.47%~24.9%,2012 年减产 2.4%~4.8%,2013 年减产 13.2%~24.9%,灌水减少 43.8%~62.5%的低灌水量处理,产量依次降低 21.1%~9.8%、127.5%~94.1%。因此,适度减少灌水量可不降低制种产量,达到节水增产目标。

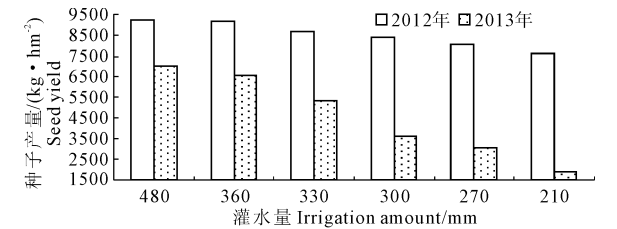


图 1 灌水量对甘肃河西玉米杂交种种子产量的影响

Fig.1 Effects of irrigation amount on hybrid seed yield of maize in Hexi Corridor of Gansu

玉米种子产量不仅取决于灌水量大小,还与灌水时期有关。尽管从大喇叭口期至灌浆中期灌水时期、灌水量对产量的影响程度随年份不同而异,但在同等灌水 360 mm 或 330 mm 条件下,种子产量对母本吐丝期的水分减少最敏感。两年平均,360 mm 中等灌水量不变时,母本吐丝期灌水由 90 mm 减少到 60 mm 对产量的影响大于大喇叭口期(图 2),减产 9.4%;当灌水量降到 330 mm 时,母本吐丝期灌水由 90 mm 减少到 30 mm 引起的减产幅度高于大喇叭口期、灌浆中期。两次等量水分(60 mm)交替灌溉对产量影响的顺序为:大喇叭口期+母本吐丝期>大喇叭口期+灌浆中期>灌浆中期+吐丝期(图 3);当灌水由中等量减少到低水量(300 mm)时,在大喇叭口期、吐丝期、灌浆中期三个时期同时减少灌溉量

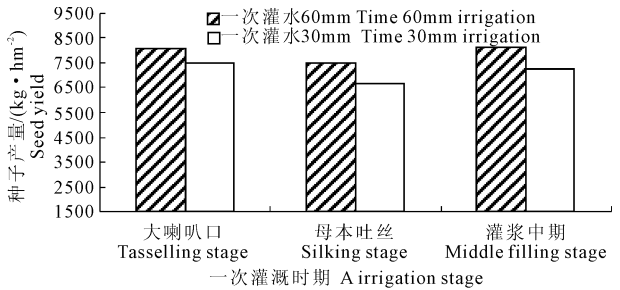


图 2 一次灌水 60 mm 和 30 mm 对甘肃河西玉米杂交种种子产量的影响

Fig.2 Effects of irrigation amount of 60 mm and 30 mm once on hybrid seed yield of maize in Hexi Corridor of Gansu

(每次灌水 60 mm)导致的减产明显高于一次、两次减少灌水的处理;当低灌水量继续减少到 270 mm 时,两次等量灌水(每次 30 mm)对产量影响的顺序为大喇叭口期 + 母本吐丝期 > 母本吐丝期 + 灌浆中期、

大喇叭口期 + 灌浆中期。因此,母本吐丝期对灌水减少反应最敏感、对种子产量影响最大,其次是大喇叭口期,最后是灌浆中期,生产中应尽量确保母本吐丝期的灌水,节水应在吐丝以前或灌浆中后期进行。

表 3 灌溉对玉米杂交种种子产量和水分利用的影响(2012—2013)
Table 3 Effect of irrigation on hybrid cron seed yield and WUE in the year of 2012—2013

灌水量 Irrigation /mm	2012 年 Year in 2012			2013 年 Year in 2013			灌水处理 Irrigated treatments
	耗水量 ET /mm	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	水分效率 WUE /(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)	耗水量 ET /mm	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	水分效率 WUE /(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)	
480	633.8	9237.0	14.58	632.3	7045.5	11.14	高水分 High
360	499.4	9468.0	18.96	482.3	6609.0	13.70	
360	491.1	8814.0	17.95	513.3	6225.0	12.13	
360	483.6	9331.5	19.30	498.3	6874.5	13.80	
330	461.1	9423.0	20.44	492.3	5562.0	11.30	中等水分 Moderate
330	460.2	8221.5	17.87	435.2	5083.5	11.68	
330	465.2	9270.0	19.93	480.3	5268.0	10.97	
330	486.3	8137.5	16.73	465.3	4890.0	10.51	
330	486.2	8922.0	18.35	431.3	5586.0	12.95	
330	474.6	8331.0	17.55	444.2	5484.0	12.35	
300	443.9	8413.5	18.96	405.2	3619.5	8.93	低水分 Low
270	425.3	8062.5	18.96	396.2	2698.5	6.81	
270	426.8	7923.0	18.57	382.2	3067.5	8.03	
270	411.6	8334.0	20.25	402.2	3484.5	8.66	
210	354.6	7624.5	21.50	330.2	1876.5	5.68	

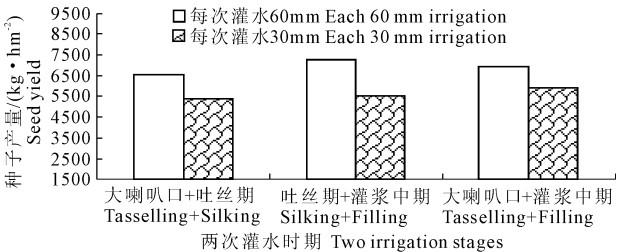


图 3 两次交替灌水 60 mm 和 30 mm 对甘肃河西玉米杂交种种子产量的影响

Fig.3 Effects of two stages alternating stress of 60 mm and 30 mm once on seed yield of maize in Hexi Corridor Gansu

2.2 制种玉米水分利用对灌溉的响应

2.2.1 田间耗水变化 灌溉是河西绿洲灌区玉米种子生长发育的主要水源,两年制种田玉米耗水量随灌溉量的增加而显著提高($R^2 = 0.937 \sim 0.966$)。试验各处理平均耗水量组成中,灌水、生育期降水分分别占 75% ~ 60%、15% ~ 36%,土壤耗水仅占 2% ~ 13%。两年平均,耗水量从低水分处理的 342.5 mm 增加到高灌水量的 633.0 mm,提高 91.9%,产量从 4 750.5 kg·hm⁻²增加到 8 141.3 kg·hm⁻²,提高 71.4%,即产量增加的幅度小于耗水增加的幅度。

两个年份之间各对应处理耗水量差异不大,但相同处理的产量差异很大,2013 年种子产量显著低于 2012 年,并且高灌水量与低灌水量之间产量增幅(275.5%)明显高于 2012 年(21.1%)。在生育期灌水量一定时,尽管灌浆期灌水量和灌水时期对产量影响较大,但对处理之间耗水量影响不大,即可以用同样的耗水实现最大的水分效率。

2.2.2 水分利用效率(WUE)变化 在甘肃河西绿洲灌区,减少灌水后制种玉米 WUE 变化与产量变化的趋势基本一致。2012 年和 2013 年两年平均,随着灌水量和耗水量的减少 WUE 趋势性下降,但高灌水量处理的产量最高, WUE (12.86 kg·hm⁻²·mm⁻¹)却不是最大,较高 WUE (15.08、15.95 kg·hm⁻²·mm⁻¹)出现在灌水 330、360 mm 的中等水分处理(耗水 451.7、494.6 mm)。随着灌水量减少,产量降低,但 WUE 不一定总是降低,较少的灌水也可以获得较高的 WUE。2012 年低灌水量处理(210 mm) WUE 最高(21.50 kg·hm⁻²·mm⁻¹),高灌水量处理(480 mm) WUE 最低(14.58 kg·hm⁻²·mm⁻¹);2013 年中等灌水量(360 mm) WUE 最高(13.80 kg·hm⁻²·mm⁻¹),低灌水量(210 mm)却最低(5.68 kg·hm⁻²·

mm⁻¹)。因此,协调耗水与种子产量之间的关系是提高水分利用效率的关键,灌浆期适度减少灌水可
同时提高产量与 WUE。

2.3 制种玉米水分—产量关系

提高玉米灌溉效率和水分利用效率、建立合理的产量与水分关系是灌区节水的核心。试验结果表明(图 4),玉米种子产量随耗水量的增加而提高,其产量增加的幅度在不同年份之间不一样,平均而言每增加 1 mm 灌水多生产种子 14.05 kg·hm⁻²,2012 年 6.41 kg、2013 年 19.60 kg,主要原因是 2012 年玉米未发生生物和非生物灾害胁迫,灌水的产量效应不如降水偏少和灌浆期授粉不良的 2013 年。灌水量和灌水时期对种子产量、WUE、灌水效率(IWUE)变化的影响基本一致,母本吐丝期减少灌水量同时降低了 WUE 和 IWUE,在灌浆中期、大喇叭口期减少同样的灌水量并不减少 WUE 和 IWEU(图 5)。综合考虑灌水效率和 WUE,应把有限水分用在关键期,全生育期 330~360 mm 的中等灌水量及非敏感期减少灌水是优化的节水高效灌溉方案。

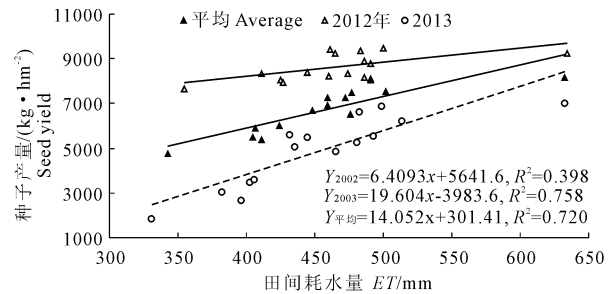


图 4 甘肃河西玉米种子产量与耗水量的关系
Fig.4 Relationship between maize seed yield and ET in the Hexi Gansu

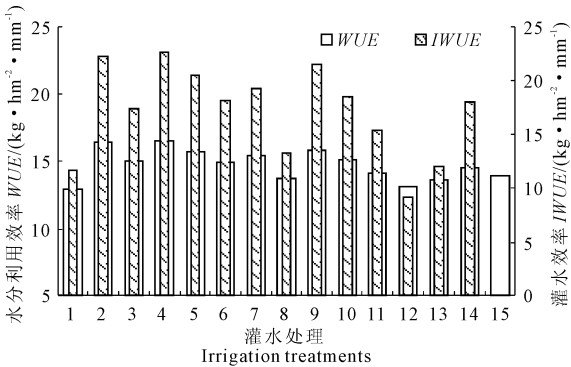


图 5 灌水处理对玉米种子水分利用效率 WUE 和灌水效率 IWUE 的影响

Fig.5 Effects of irrigation treatments on WUE and IWUE

2.4 制种玉米果穗穗部和产量相关性状对灌溉的响应

随着灌水量从 480 mm 到 210 mm 的减少,果穗穗粒数、行粒数相应减少,穗粒数的减少是灌水不足导致产量下降的主要原因(表 4)。母本吐丝期少灌水对穗粒数影响最大,穗粒数减少 23.6 粒,其次是大喇叭口期,穗粒数减少 21.9 粒,灌浆中期灌水减少对穗粒数无影响。灌水减少对果穗穗部性状的影响主要表现为穗长减少和穗粗变细,灌水从 360 mm 依次减少到 330、300 mm 时,穗长由 14.6 cm 下降到 13.7、12.5 cm,果穗粗相应由 4.2 cm 减少到 4.0、3.9 cm。另外,减少灌水有降低果穗穗位高度的趋势,与灌水 480 mm 相比,灌水 270、210 mm 穗位高度降低 12.8、7.2 cm,特别是大喇叭口期减少灌水量穗位高度下降明显,灌水量 360 mm 时大喇叭口期较母本吐丝期灌水不足穗位降低 4.1 cm,灌水 330 mm 时降低 5.4 cm。

表 4 灌溉对制种玉米果穗农艺性状的影响

Table 4 Effects of irrigation on agronomic traits of maternal maize

灌水/mm Irrigation	果穗长/cm Ear length	果穗粗/cm Ear diameter	穗位/cm Ear height	行粒数 Kernel seeds per row	穗粒数 Ear seeds
480	13.9	4.1	58.0	20.7	311.1
360	14.6	4.2	51.6	21.6	329.0
360	14.7	4.2	55.7	21.6	323.5
360	14.5	4.2	56.0	21.1	306.6
330	13.6	4.1	50.4	20.2	307.1
330	13.9	4.0	55.8	19.5	299.9
330	13.5	3.9	58.4	20.3	306.3
330	13.7	4.0	56.1	19.5	306.2
330	14.1	3.9	55.7	20.5	304.7
330	13.7	4.0	56.1	19.3	304.7
300	12.5	3.8	50.0	18.3	297.8
270	11.9	3.9	50.2	15.1	260.0
270	13.1	3.8	52.8	18.9	296.2
270	12.3	3.9	49.2	15.9	274.8
210	11.9	3.9	45.2	16.3	277.0

3 讨论与结论

玉米种子生产是一种对水分供应时间、供应数量要求很高的作物,在母本雄穗快抽出、砍除父本等阶段水分调控直接影响到种子产量。许多研究认为玉米穗期是水分敏感期,若水分供应不足,生育后期自动调节和补偿供应能力较弱,导致产量降低^[1]。抽穗—灌浆期水分亏缺影响制种玉米库容建立,种子变小,千粒重降低;灌浆—成熟期水分亏缺可确保增产与提高水分利用效率同步^[2]。玉米吐丝期是影响产量的关键期^[4]。本试验中制种玉米母本吐丝期对减少灌水最敏感,该时期缺水减产 9.3% ~ 18.3%,大喇叭口期、灌浆中期水分不足对产量影响不大,两个时期减少灌水对产量和水分利用的影响顺序为大喇叭口期 + 吐丝期 > 吐丝期 + 灌浆中期 > 大喇叭口期 + 灌浆中期。减少灌水并不总是降低产量,适度缺水反而有利于某些作物经济产量的增加,作物 *WUE* 高值往往是中等供水条件下^[4-5],适度缺水在不减产或略有增产的前提下,耗水量大大减少,水分利用效率明显提高^[6]。玉米种子产量和水分效率最高值是在中等灌水量下获得的,灌水从 480 mm 减少到 360 mm 甚至 330 mm,种子产量和 *WUE*、*IWUE* 达到最高,灌水量减少 25% ~ 30% 可实现种子高产与节水同步,这与适当降低灌水可提高 *WUE*,作物产量最高消耗的水量并不是其 *WUE* 最高时所消耗水量等研究一致^[11]。

优化制种玉米节水灌溉方案对甘肃制种基地种子可持续生产具有重要的意义。在玉米全生育期灌水 210 ~ 480 mm 范围内,种子产量与耗水量、灌水量

成直线增加关系,但与灌水 480 mm 相比,再减少 120 mm 或 150 mm 的灌水可不减少种子产量,并使 *WUE*、*IWUE* 达到最大,依次为 15.7 ~ 16.5、22.4 ~ 22.9 kg·hm⁻²·mm⁻¹。制种玉米对水分敏感的时期为母本吐丝期 > 大喇叭口期 > 灌浆中期,节水措施应优先在灌浆中期或大喇叭口期进行。灌水量的减少和吐丝期灌水不足均使果穗长度变短,穗粒数减少,大喇叭口期缺水降低了穗位高度。

参 考 文 献:

- [1] 王密侠,康绍忠,蔡焕杰. 调亏对玉米生态特性及产量的影响[J]. 西北农业大学学报,2002,28(1):31-36.
- [2] 苏培玺,杜明武,赵爱芬. 荒漠绿洲主要作物及不同种植方式需水规律研究[J]. 干旱地区农业研究,2002,20(2):79-85.
- [3] 山 仑,徐 萌. 节水农业及其生态生理基础[J]. 应用生态学报,1991,2(1):70-76.
- [4] 孟兆将,贾大林,刘安能. 调亏灌溉对冬小麦生理机制及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报,2003,7(4):66-69.
- [5] 张 芮,成自勇,李有先. 调亏对膜下滴灌制种玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(2):125-128.
- [6] 张永玲,肖 让,成自勇. 膜上灌对河西绿洲灌区玉米水分利用效率和产量的影响[J]. 节水灌溉,2010,(5):13-15.
- [7] 张 鹏,张富仓,吴立峰,等. 不同灌水和施氮对河西绿洲春玉米生长、产量和水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究,2011,(4):143-149.
- [8] 连彩云,马忠明,曹诗瑜. 有限供水对河西绿洲灌区玉米耗水量及产量的影响[J]. 中国水利水电,2013,(1):55-57.
- [9] 钟龙魁. 河西走廊灌溉区玉米全膜垄作沟灌节水栽培技术[J]. 中国农技推广,2011,27(2):22-24.
- [10] 张立勤,马忠明,俄胜哲. 垄膜沟灌栽培对制种玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 西北农业学报,2007,(4):89-92.
- [11] Turner N C. Plant water relations and irrigation management[J]. Agri Water Management,1990,17:59-73.