

节水灌溉技术在制种玉米上的应用研究

丁林, 孟彤彤, 王以兵

(甘肃省水利科学研究院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 通过 TDR 土壤水分测定仪结合作物指标常规测定方法研究了不同节水灌溉技术在制种玉米上的应用效果。从制种玉米生长发育动态, 土壤水分变化规律, 耗水规律, 产量及经济效益等方面比较了不同灌水技术的优越性。研究结果表明, 各项节水技术均具有明显的节水效果, 但综合考虑节水、增产效应后, 垄作沟灌、调亏灌溉和冬季免储水灌等节水灌溉技术在河西地区较适宜发展。垄作沟灌、调亏灌溉和冬季免储水灌技术较常规覆膜灌溉分别节水 18.3%, 5.6% 和 14.7%; 增产 4.2%, 9.0% 和 2.0%; 增收 13.6%, 7.3% 和 6.2%; 水分利用效率提高了 27.1%, 15.1% 和 19.3%。这些技术在不减少作物产量的同时可有效抑制土面无效蒸发, 降低灌溉定额, 提高水分利用率及经济效益, 是河西地区制种玉米产业发展和地区经济社会可持续发展急需推广的节水技术。

关键词: 节水灌溉技术; 制种玉米; 河西内陆区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)02-0160-05

中图分类号: S275.3

Application of Water Saving Irrigation Technology on Corn for Seed

DING Lin, MENG Tong-tong, WANG Yi-bing

(Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: A field experiment was conducted to determine the application effects of different water-saving irrigation technologies on corn for seed. Soil moisture was measured using TDR and for crop indexes were determined by conventional methods at the same time. Soil moisture variations, and growth and development dynamics, water consumption, yield and economic benefit of the plant were also determined. Total water saving, water use efficiency and yield effect were then calculated for each irrigation method. The results indicated that raised ridge, regulated deficit irrigation, free water storage irrigation techniques demonstrated desirable benefits in water saving and yield increasing. Comparing with the conventional irrigation with plastic mulch, the three new techniques saved 18.29%, 5.59% and 14.74% of the total water use; improved yield by 4.20%, 9.02% and 2.01%; increased income by 13.58%, 7.33% and 6.24%; and enhanced water use efficiency by 27.11%, 15.06% and 19.28%, respectively. These techniques can effectively reduce soil surface evaporation and then water needs, improve water use efficiency, improve economic efficiency but keep same level of yield at the same time. It is urgent to promote water-saving technology for industry development and regional sustainable development of economy and society in Hexi inland area.

Keywords: water saving irrigation technology; application research; corn for seed; Hexi inland

河西走廊地势平坦、光照充足、昼夜温差大, 杂交玉米种子生产面积已发展到 $1.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 产种量 $5.5 \times 10^8 \text{ kg}$, 占全国杂交玉米种子用量的近 60%^[1-2]。近 30 a 来, 由于河西地区社会经济快速发展, 对水资源的需求日益增长, 各流域中下游地下水资源的大量开发利用, 出现了严重的水资源供需矛盾和生态环境恶化等一系列问题。合理有效地利用有

限水资源, 提高水资源利用率, 发展节水农业不仅迫在眉睫, 而且潜力很大。对于在制种玉米上开展节水技术研究, 国内外已有专家、学者做了大量工作^[3-14], 但这些研究均集中在单项节水灌溉技术应用方面, 对不同节水灌溉技术间应用效果比较及适宜一定区域的制种玉米节水技术研究较少。因此, 在河西地区开展不同节水灌溉技术在制种玉米上的应用研究, 对于

收稿日期: 2012-02-18

修回日期: 2012-05-25

资助项目: 甘肃省技术研究与开发专项“河西内陆区制种玉米节水灌溉新技术研究”(1004TCYA037); 国家“十二五”科技支撑计划课题(2011BAD29B04); 水利部公益性行业科研专项(201101045; 201301082); 甘肃省科技支撑计划(1011NKCA061)

作者简介: 丁林(1978—), 男(汉族), 甘肃省武威市人, 硕士, 工程师, 主要从事节水灌溉方面的研究。E-mail: dl20709@yahoo.com.cn。

科学利用当地有限水资源、发展高效灌溉具有一定的指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于甘肃省水利科学研究院民勤试验站,地处民勤绿洲和腾格里沙漠交界地带的民勤县大滩乡,地理坐标东经 130°05′,北纬 38°37′,属典型的大陆性荒漠气候,气候干燥,降水稀少,蒸发量大,风沙多,自然灾害频繁。多年平均气温 7.8℃,极端最高气温 39.5℃,极端最低气温-27.3℃,平均湿度 45%,多年平均降水 110 mm,多年平均蒸发量 2 644 mm,年日照时数 3 028 h,≥0℃积温 3 550℃,≥10℃积温 3 145℃,无霜期 150 d,最大冻土深 115 cm。试验区土质 0—60 cm 为黏壤土,60 cm 以下逐渐由黏壤土变为沙壤土,土壤平均容重为 1.54 g/cm³。试验田土壤养分、盐分含量为有机质 0.527%,全氮

0.045%,全磷 0.115%,全钾 1.667%,pH 值 7.96,全盐 1.872 g/kg。

1.2 试验设计

试验选择垄作沟灌(LZGG)、隔沟交替灌(GGJT)、调亏灌溉(TKGG)、膜下滴灌(MXDG)、全膜覆盖膜孔灌溉(QMKG)、波涌灌溉(BYGG)、免冬灌(MDG)和常规覆膜灌溉灌溉(CKDM)8种节水灌溉技术,共设置 8 个处理(表 1),小区面积 3 m×12 m,各处理均设 3 个重复,小区周边设置保护行,每个处理随机布置 3 个测定土壤含水量的 TDR 测管;垄作处理垄面宽 50 cm,沟宽 40 cm,沟深 20 cm,沟底比降 1/2 000,覆膜后制种玉米母本按行距 40 cm,株距 20 cm 播种,父本按插花式播于垄面上;平作处理畦田地面坡度 1/2 000,按一膜 5 行播种,膜宽 1.45 m,其中 4 行母本,一行父本,按行距 25 cm,株距 20 cm 播种;所有处理父本的 2/3 迟于母本 5 d 播种,其余迟于母本 7 d 播种。

表 1 试验处理设计

处 理	编码	灌水 次数	灌水定额/(m ³ ·hm ⁻²)		耕作方式
			储水期	生育期	
垄作沟灌	LZGG	6	1 200	750	秋耕,翻耕深度 30 cm,起垄播种,播后灌水 750 m ³ /hm ² 。
隔沟交替灌	GGJT	7	1 200	375	秋耕,翻耕深度 30 cm,起垄播种,播后灌水 750 m ³ /hm ² 。
调亏灌溉	TKGG	5	1 200	900	秋耕,翻耕深度 30 cm,覆膜平种,播后灌水 900 m ³ /hm ² 。
膜下滴灌	MXDG	10	1 200	300	秋耕,翻耕深度 30 cm,覆膜平种,一膜 2 带,播后灌水 300 m ³ /hm ² 。
全膜覆盖膜孔灌	QMKG	6	1 200	750	秋耕,翻耕深度 30 cm,覆全膜平种,播后灌水 750 m ³ /hm ² 。
波涌灌	BYGG	6	1 200	750	秋耕,翻耕深度 30 cm,覆膜平种,播后灌水 750 m ³ /hm ² 。
免冬灌	MDG	6	0	900	秋耕,翻耕深度 30 cm,覆膜平种,播后灌水 900 m ³ /hm ² 。
常规覆膜灌溉	CKDM	6	1 200	900	秋耕,翻耕深度 30 cm,覆膜平种,播后灌水 900 m ³ /hm ² 。

1.3 试验方法

用 TRIME-PICO-IPH 土壤水分测量仪测定土壤含水量,深度为 120 cm,每 20 cm 为 1 层测定,生育期内每隔 10 d 测 1 次,降雨及灌水前后进行加测,所得数据换算成质量含水量后用于制图及计算耗水量;在播前、抽穗期、收获后分 0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm 用环刀法测定土壤干容重,播前测定田间持水量;生育期每隔 10 d 取固定 10 株测定 1 次株高,每隔 15 d 取 3 株测定叶面积及干物质;成熟期在每个小区中随机选取两点,每点取样 5 株进行考种,按各小区单打单收,分别计算各小区籽粒产量;采用管道输水灌溉,灌水量由水表量测,记录每次灌水时间、灌水量,并在生育期内利用 PC-2S 全自动气象站观测记载温度、降水,蒸发,风速等气象因素。试验数据用 Excel 进行原始数据处理和制图,由 DPS 6.05 软件进行相关统计分析。

2 结果与讨论

2.1 节水灌溉技术对制种玉米生长指标的影响

2.1.1 株高生长发育动态 从制种玉米不同处理株高在各生育期的变化曲线可以看出,各处理的株高均表现为前期缓慢增长,拔节后快速增长,抽穗后期基本稳定。在制种玉米生长过程中,各处理株高无明显差别,只有波涌灌溉和膜下滴灌处理略低于对照及其他处理。各处理生长速率在整个生育期呈现小一大一小的变化规律,苗期由于气温和有效积温均较低,生长缓慢,各处理的生长速率在 1.2~1.5 cm/d,其中 GGJT 最小,MDG 最大;拔节期一大喇叭口期是生长最快的时段,各处理生长速率平均达到 2.1~2.4 cm/d,由于处理 GGJT 在苗期生长速率较小,经灌溉后,此阶段生长速率明显增大。

2.1.2 叶面积指数分析 制种玉米叶面积指数随生育期的推进,呈现先增加、后稳定、最后又减小的趋势(图 1),在拔节—大喇叭期增长速度最快,平均日增长 0.05~0.06,大喇叭—灌浆期增长速度次之,平均日增长 0.01~0.02,灌浆—成熟期玉米叶面积指数出现明显的下降趋势。

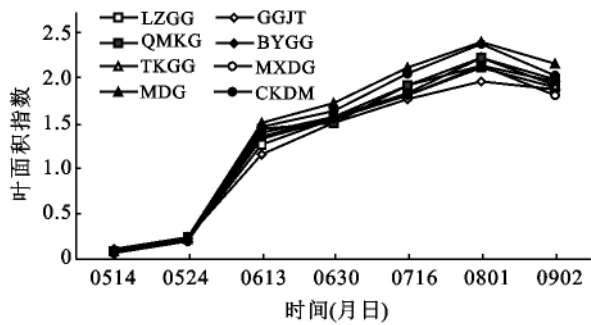


图 1 制种玉米叶面积指数全育期变化
注:各处理编码意义详见表 1。下同。

2.1.3 干物质积累分析 在出苗—拔节期,由于气温较低,制种玉米生长缓慢,干物质积累缓慢。从拔节—灌浆期间,干物质迅速积累,之后积累速率减缓甚至不再增加。从出苗—收获期干物质日增长量均呈现减少—增加—减少的变化规律,在拔节前干物质积累量很小,进入拔节期后积累速度很快,积累量也迅速增加,至成熟后期积累速度有所减缓。GGJT, MXDG 和 BYGG 处理在部分生育期单株干物质日增长量较对照有较大差异,导致整个生育期总干物质积累量下降。拔节期和抽穗期是叶干重变化过程的重要时期,拔节期前叶干重很小,进入拔节期后叶干重迅速增加,到抽穗期后叶干重基本不再增加;茎秆在抽穗期以前所有处理茎秆的干物质积累量占总生物量均为最大,在抽穗后持续减少,向营养器官转运,各处理在孕穗—灌浆期茎比重下降较慢,在灌浆—乳熟期茎比重迅速下降,主要是由于在此阶段玉米干物质向籽粒转运,而到乳熟—成熟期茎比重下降到最低(表 2—3)。

表 2 制种玉米干物质积累分析 g/m²

处 理	苗期—拔节	拔节—大喇叭	大喇叭—抽穗	抽穗—灌浆	灌浆—乳熟	全生育期	全生育期/对照
LZGG	47.8	179.6	305.9	306.7	409.3	1 429.3	—0.6
GGJT	52.5	178.1	236.9	276.5	442.5	1 186.5	—17.5
TKGG	55.6	187.1	328.5	292.8	575.5	1 439.5	0.1
MXDG	44.6	138.5	242.0	294.9	392.9	1 212.9	—15.7
QMKG	54.0	166.0	325.6	342.4	535.4	1 423.4	—1.0
BYGG	51.2	174.3	325.7	290.0	457.5	1 298.7	—9.7
MDG	52.1	212.3	343.0	320.6	555.4	1 483.4	3.1
CKDM	50.6	191.5	328.1	301.8	566.2	1 438.2	—

表 3 制种玉米各处理单株干物质日增长量

处 理	苗期—拔节		拔节—大喇叭		大喇叭—抽穗		抽穗—灌浆		灌浆—乳熟	
	增长量 (g/株)	与对照 相比/%	增长量 (g/株)	与对照 相比/%	增长量 (g/株)	与对照 相比/%	增长量 (g/株)	与对照 相比/%	增长量 (g/株)	与对照 相比/%
LZGG	0.2	—5.2	1.4	—6.5	1.6	—6.2	2.6	1.8	2.4	4.2
GGJT	0.2	4.2	1.4	—7.2	1.2	—27.3	2.3	—8.2	1.8	—21.8
TKGG	0.2	10.3	1.5	—2.5	1.7	0.6	2.4	—2.8	2.3	1.8
MXDG	0.2	—11.4	1.1	—27.9	1.3	—25.7	2.5	—2.1	2.0	—12.8
QMKG	0.2	7.1	1.3	—13.5	1.7	—0.2	2.9	13.7	2.2	—5.3
BYGG	0.2	1.6	1.4	—9.2	1.7	—0.2	2.4	—3.7	1.8	—19.1
MDG	0.2	3.3	1.7	10.6	1.8	5.0	2.7	6.5	2.2	—1.8
CKDM	0.2	—	1.5	—	1.7	—	2.5	—	2.3	—

2.2 节水灌溉技术对制种玉米土壤水分的影响

2.2.1 全生育期土壤含水量变化 在播种前除免冬灌处理含水量较小外,其他处理间含水量无明显差异。播后由于灌水补充,0—20 cm 土层土壤含水量均有所增加,且大小无差异。各处理含水量均呈现表

层高于深层,即随着土层深度的增加,土壤含水量表现为降低,随着每次灌水,各处理表层含水量均出现峰值,由于表层土壤蒸发量大,上层土壤含水量较深层降低较快。从整个生育期来看,MXDG,GGJT 和 LZGG 等处理由于灌溉定额较小,其 0—20 cm 土层

土壤含水量均小于其他处理,到成熟时各处理的表层土壤含水量均有所增加,这主要是因为制种玉米生育后期降水量较多,土壤水分有所增加(图 2)。20—80 cm 土层的土壤含水量在整个生育期内变化趋势与 0—20 cm 土层的相同,但其变化幅度较小(图略)。各处理土壤含水量变化幅度为 24.3%~42.2%,与 0—20 cm 的 31.9%~46.9% 差别较大,总体来说 MXDG 和 LZGG 处理的土壤含水量低于其他处理,且差异明显,以播种后 60 d 所测数据为例,MXDG 和 CKDM 的土壤平均含水量分别为 11.9%和 19.7%。在 80—120 cm,各处理在灌水后含水量有所上升,但上升幅度不大(图略)。

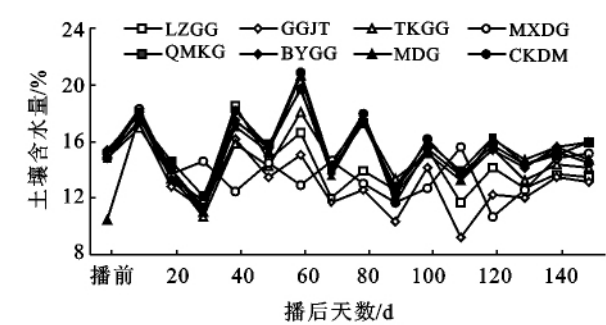


图 2 制种玉米全生育期 0—20 cm 土壤含水量变化

2.2.2 制种玉米耗水特性分析 通过田间土壤含水量的测定利用水量平衡方程计算各个阶段和全生育

期玉米的耗水量。各处理在全生育期以常规灌溉处理 CKDM 耗水量最大,为 607.4 mm,和其他处理达到极显著差异($p<0.01$),耗水量最小的是 MXDG,其耗水量为 387.3 mm。在各个生育期,第 1 阶段 MDG 处理耗水量最小,与其余处理有极显著差异,且最小与最大相差 67.5 mm;第 2 阶段以 CKDM 最大为 118.0 mm,GGJT 最小 84.3 mm;第 3 阶段以 CKDM 和 MDG 较大,耗水量分别为 146.8 和 144.0 mm,与其他处理存在极显著差异;第 4 阶段以 CKDM 和 LZGG 较大,耗水量分别为 155.4 和 151.1 mm,与其他处理存在极显著差异;第 5 阶段 GGJT 和 MXDG 处理较小,与其他处理存在显著差异(表 4)。

2.3 节水灌溉条件下制种玉米的产量效应

2.3.1 产量及水分利用效率分析 由表 5 可知,常规灌溉处理的产量并不是最高,而 TKGG 和 LZGG 处理的产量较高,其产量分别为 16 439.6 和 15 713.1 kg/hm²;处理 GGJT 的产量最低,为 13 868.1 kg/hm²;同样 TKGG 和 LZGG 的增产率也较明显,其增产率分别为 9.0%和 4.2%,而 GGJT, MXDG 和 BYGG 较对照表现为减产,其减产率分别为 8.0%,2.3%和 3.2%。MXDG 处理的节水率最高,其节水率达到 36.2%,TKGG 的节水率最低(5.6%)。由上所述采用节水灌溉措施较常规灌溉均有节水效应,其节水率均在 5%以上,说明采用节水灌溉技术均可提高作物水分利用效率。

表 4 制种玉米全生育期耗水量和耗水强度

处 理	播种—苗期		苗期—拔节期		拔节期—抽穗期		抽穗期—灌浆期		灌浆期—成熟期		全生育期	
	耗水量/ mm	耗水强度/ (mm·d ⁻¹)	耗水量/ mm	耗水强度/ (mm·d ⁻¹)	耗水量/ mm	耗水强度/ (mm·d ⁻¹)	耗水量/ mm	耗水强度/ (mm·d ⁻¹)	耗水量/ mm	耗水强度/ (mm·d ⁻¹)	耗水量/ mm	耗水强度/ (mm·d ⁻¹)
LZGG	74.9	2.5	92.4	2.3	86.1	4.3	151.1	5.0	91.9	2.6	496.3	3.2
GGJT	90.0	3.0	84.3	2.1	85.6	4.3	83.6	2.8	62.4	1.8	405.8	2.6
TKGG	85.1	2.8	107.3	2.7	140.9	7.1	141.1	4.7	99.0	2.8	573.4	3.7
MXDG	56.2	1.9	100.6	2.5	62.9	3.2	88.1	2.9	79.4	2.3	387.3	2.5
QMKG	78.4	2.6	98.8	2.5	108.4	5.4	108.5	3.6	101.7	2.9	495.8	3.2
BYGG	81.6	2.7	90.7	2.3	117.5	5.9	109.4	3.7	99.3	2.8	498.4	3.2
MDG	22.5	0.8	116.7	2.9	144.0	7.2	118.5	4.0	116.1	3.3	517.9	3.3
CKDM	71.6	2.4	118.0	3.0	146.8	7.3	155.4	5.2	115.7	3.3	607.4	3.9

2.3.2 经济效益分析 制种玉米在河西内陆区生长时间约为 160 d,通过本试验并根据灌区现状结合当地市场调查,对制种玉米的生产成本进行了估算详见表 6。

从表 6 可以看出,制种玉米各处理投入为 8 250~12 000 元/hm²,净增产值 21 487.7~26 722.9 元/hm²,投产比为 1:2.57~1:4.18。虽然部分节水灌溉条件下投入较大,但由于产量的提高,使得投产比较高;对照处理的投入最小,但产量和净产值低,

投产比小,实用但不经济,膜下滴灌处理由于一次性投入较高,虽然节水量最高,但不能增收,对大面积推广不利。处理 TKGG,MDG,LZGG 较 CKDM 在节水 5.6%,18.3%和 14.7%的情况下分别增收了 13.6%,7.3%和 6.2%,是制种玉米较为适宜的节水灌溉技术。因此,采用适当的节水灌溉技术不但节水,而且产量和净产值高,既经济效益也高,说明其具有明显的节水增产效果。

表 5 制种玉米各处理产量及水分利用效率

处 理	灌水量/ mm	耗水量/ mm	产量/ (kg · hm ⁻²)	增产率/ %	节水率/ %	水分利用效率/ (kg · m ⁻³)
LZGG	360.0	496.3	15 713.1	4.2	18.3	2.11
GGJT	255.0	405.8	13 868.1	-8.0	33.2	2.28
TKGG	510.0	573.4	16 439.6	9.0	5.6	1.91
MXDG	210.0	387.3	14 721.0	-2.4	36.2	2.53
QMKG	375.0	495.8	15 163.2	0.6	18.4	2.04
BYGG	375.0	498.4	14 594.1	-3.2	17.9	1.95
MDG	450.0	517.9	15 383.7	2.0	14.7	1.98
CKDM	450.0	607.4	15 079.9	0.0	0.0	1.66

表 6 经济效益分析

处 理	节水效益/ (元 · hm ⁻²)	种子、化肥、劳力机械 投入/(元 · hm ⁻²)	产出/(元 · hm ⁻²)			净产值/ (元 · hm ⁻²)	增收/ (元 · hm ⁻²)	投产比
			籽粒产量	秸秆产量	总计			
LZGG	1 333.1	9 300	32 211.9	750.0	32 961.9	24 994.8	1 467.6	1 : 3.54
GGJT	2 418.9	9 300	28 429.7	712.2	29 141.9	22 260.8	-1 266.4	1 : 3.13
TKGG	407.7	8 250	33 701.1	864.2	34 565.3	26 722.9	3 195.7	1 : 4.18
MXDG	2 641.5	12 000	30 178.1	668.1	30 846.2	21 487.7	-2039.5	1 : 2.57
QMKG	1 339.2	8 475	31 084.5	794.4	31 878.9	24 743.3	1 216.1	1 : 3.76
BYGG	1 307.6	8 250	29 917.9	779.6	30 697.5	23 755.1	227.9	1 : 3.72
MDG	1 074.5	8 250	31 536.6	890.4	32 427.0	2 5251.5	1 724.3	1 : 3.93
CKDM	0	8 250	30 913.9	863.4	31 777.3	23 527.2	0	1 : 3.85

3 结 论

制种玉米采用节水灌溉技术可减少生育期的土壤蒸发量,有效减少生育期耗水量,提高水分利用效率。在综合考虑节水、增产、增收效应后,选择提出了垄作沟灌、调亏灌溉、冬季免储水灌等适宜河西地区制种玉米的节水灌溉技术,这些节水灌溉方式可取得较好的节水、增产、增收效益,是河西内陆区制种玉米产业发展和地区经济社会可持续发展急需推广的节水技术。在实际生产中可根据水源、基础设施、技术掌握难易程度、机械化程度等选择适宜制种玉米的节水技术,这样不仅可节约有限水资源,还可提高地温及水分利用效率,达到节水、增效的目的。

[参 考 文 献]

- [1] 苏海琴,张振军. 甘肃省农发行 36.3 亿支持玉米制种 [EB/OL]. (2011-10-11) [2012-02-02]. <http://gsjjb.gansudaily.com.cn/>.
- [2] 朱兴忠. 甘肃树制种品牌“黄金种子”成就“黄金产业” [EB/OL]. (2011-12-31) [2012-04-23]. <http://www.chinaseed114.com/>.
- [3] 张立勤,徐生明,连彩云. 制种玉米全地面地膜覆盖节水高效栽培技术研究[J]. 甘肃农业科技,2006(8):9-11.
- [4] 吴锦奎,丁永建,王根绪,等. 干旱区制种玉米农田蒸散研究[J]. 灌溉排水学报,2007,27(1):14-17.
- [5] 张芮. 制种玉米膜下调亏滴灌优化灌溉制度及土壤水热高效利用研究[D]. 甘肃 兰州:甘肃农业大学,2007:43-64.
- [6] 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,2007,16(4):83-86.
- [7] 刘自发,孔繁宇. 滴灌技术在制种玉米生产上的应用效果[J]. 石河子科技,2008(6):27.
- [8] 张芮,成自勇. 调亏对膜下滴灌制种玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 华南农业大学学报,2009,30(4):98-101.
- [9] 华和春. 垄作节水栽培技术对制种玉米的影响研究[J]. 中国种业,2009(4):43-44.
- [10] 张芮,成自勇,李有先. 水分亏缺对膜下滴灌制种玉米生长及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(2):125-128.
- [11] 郭松年,张芮. 膜下调亏滴灌对制种玉米耗水规律及产量的影响[J]. 灌溉排水学报,2009,29(3):31-34.
- [12] 王以兵,丁林,张新民. 免储水灌注水播种条件下保水剂使用对玉米生长发育的影响[J]. 水土保持通报,2010,30(4):152-156.
- [13] 王立俊,魏开军. 栽培方式对制种玉米产量及水效益的影响[J]. 甘肃农业科技,2011(8):23-24.
- [14] 何玉琴,成自勇,张芮,等. 制种玉米在不同灌溉条件下的水分利用效率和经济效益研究[J]. 湖南农业科学,2011(20):32-33.