

# 调亏对膜下滴灌制种玉米产量 及水分利用效率的影响

张芮, 成自勇

(甘肃农业大学工学院, 甘肃兰州 730070)

**摘要:**采用大田膜下调亏滴灌试验,在苗期至拔节、拔节至抽穗、抽穗至灌浆和灌浆至成熟期进行水分胁迫处理。结果表明,拔节至抽穗期缺水抑制叶面积的扩展,造成植株矮小,产量降低;抽穗至灌浆期胁迫影响制种玉米库容建立,籽粒小、千粒质量低;持续或交替水分胁迫严重抑制叶龄进程,显著降低产量;灌浆至成熟期缺水可在不明显降低产量的基础上提高制种玉米水分利用效率。据此提出了在拔节至灌浆期充分供水,成熟期减小供水、保持适度的水分亏缺的制种玉米节水高产水分调控模式。

**关键词:**制种玉米;产量;膜下调亏滴灌;水分利用效率

中图分类号:S275.6

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2009)04-0098-04

## Effect of Regulated Deficit Drip Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Plastic Film Mulched Corn for Seed

ZHANG Rui, CHENG Zi-yong

(College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** The method of the field culture of drip irrigation with plastic film mulched was adopted in this experiment in seedling to jointing stage, jointing to tasseling stage, tasseling to filling stage and filling to maturing stage of corn. The results showed that drought stress reduced leaf area, plant height and the yield of corn in jointing to tasseling stage; Owing to water stress on corn, the grains per panicle, mass of 1000-grain and yield of corn was decreased in tasseling to filling stage; The water use efficiency (WUE) of corn for seed was increased while the yield was not evidently reduced in filling to maturing stage. The soil moisture-controlling mode of drip irrigation corn was proposed to achieve water-saving and high-yielding, which means to supply enough water in jointing to filling stage, decrease water supply and maintain appropriate water deficit in filling to maturing stage.

**Key words:** corn for seed; yield; regulated deficit drip irrigation; water use efficiency

膜下滴灌将覆膜种植和滴灌技术相结合,可以看作是一项新的灌溉技术,也可以说是塑膜栽培技术的延伸和深化<sup>[1]</sup>。目前,国内外对覆膜、滴灌、调亏灌溉等单项技术的研究和应用已很普遍<sup>[3-9]</sup>,但膜下调亏滴灌综合技术在大田作物的应用和研究相对不足,蔡焕杰等<sup>[10]</sup>对棉花膜下滴灌与调亏灌溉相结合

进行了初步研究。制种玉米是一种对水分供给时间、供给数量要求很高的作物,在母本抽雄、砍除父本等阶段水分的调控直接影响到最终产量。因此,深入探讨膜下滴灌条件下各生育阶段缺水对制种玉米生长发育、产量和水分利用效率的影响具有重要理论和实践意义。

收稿日期:2008-09-27

作者简介:张芮(1980—)男,助教,硕士;通讯作者:成自勇(1956—)男,教授,E-mail:chengzy@gsau.edu.cn

基金项目:863计划“北方干旱内陆河灌区节水农业综合技术体系集成与示范”(2002AA2Z4191)

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

试验于2006年4—10月在甘肃省张掖市国家重点灌溉试验站内进行,东经 $100^{\circ}26'$ ,北纬 $38^{\circ}56'$ ,海拔1482.7 m. 该区属于典型的大陆性干旱气候地带,多年平均降水量125 mm,多年平均蒸发量2047.9 mm,2006年4—10月(玉米生育期内)实测降水量为98.1 mm. 供试土质基本性质:中壤土,pH8.4,土壤容重为 $1.46\text{ g/cm}^3$ ,田间持水量为22.8%, $w_{\text{有机物}}$ 1.365%,碱解氮61.8 mg/kg,速效磷13.4 mg/kg,速效钾190.4 mg/kg.

供试玉米母本为478,生育期为晚熟;父本为昌7-2,生育期为中熟. $d_{\text{地膜}}=0.005\text{ mm}$ 的透明聚氯乙烯塑料薄膜. 滴灌选用新疆天业公司紊流迷宫式滴灌带,壁厚0.2 mm,压力100 kPa,滴头设计流量1.5 L/h,滴头间距28 cm,滴灌带铺设方式为1条滴灌带控制2行玉米.

### 1.2 试验设计

制种玉米膜下调亏滴灌设3个灌水梯度,即占田间持水量的75%、60%和45%. 在玉米播种至拔节期、拔节期至抽穗期、抽穗期至灌浆期、灌浆期至成熟期4个生育期施加不同程度的水分亏缺,在此基础上选取8个较切合实际的灌溉处理(表1),重复3次,小区面积 $7.2\text{ m}\times 5.0\text{ m}$ ,保护行宽度为1 m. 试验区灌水定额拔节期前 $180\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,之后为 $225\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,当土壤含水率达到田间持水率的设计水平值时,即进行灌水,灌水次数不限.

表1 制种玉米调亏滴灌试验设计<sup>1)</sup>

Tab.1 The regulated deficit drip irrigation design of corn for seed %

处理	苗期至 拔节期	拔节期至 抽穗期	抽穗期至 灌浆期	灌浆期至 成熟期
Y <sub>1</sub>	45	75	75	75
Y <sub>2</sub>	75	45	75	75
Y <sub>3</sub>	75	75	45	75
Y <sub>4</sub>	75	75	75	45
Y <sub>5</sub>	45	75	75	60
Y <sub>6</sub>	45	60	75	60
Y <sub>7</sub>	60	75	75	60
CK	75	75	75	75

1)表中各数据为各生育阶段土壤水分下限(占田间持水量的百分数);CK为对照

### 1.3 田间管理

2006年4月20日播种母本,父本先后于4月28日和5月1日分2批播种. 母本采用大小行种植法,行距分别为40、60 cm,株距为28 cm;滴灌带铺设在两小行中间,小行内覆盖地膜,父本采取插花式点种,父本株距约为30 cm,播种深度6~7 cm,母本播种量为 $50\text{ kg/hm}^2$ .

底肥施 $300\text{ kg/hm}^2$ 磷二铵和 $450\text{ kg/hm}^2$ 玉米专用肥. 在拔节期追施 $45\text{ kg/hm}^2$ 磷二铵和 $225\text{ kg/hm}^2$ 尿素,灌浆期追施 $112.5\text{ kg/hm}^2$ 磷二铵和 $112.5\text{ kg/hm}^2$ 尿素. 2006年7月16日对母本去雄,8月8日砍除父本,9月24日收获.

### 1.4 测定方法

土壤含水率的测定:每隔10 d用烘干称重法测1次大田土壤水分,测深100 cm,灌水和降雨前后加测. 按照田间水分平衡方程 $E_i = P_i + I_i + \Delta W_i$ 计算制种玉米各生育期的耗水量,式中 $E_i$ 为第*i*阶段耗水量(mm), $P_i$ 为第*i*阶段的降水量(mm), $I_i$ 为该阶段灌溉量, $\Delta W_i$ 为该阶段土壤供水量.

按叶面积系数法计算叶面积,即叶面积( $\text{cm}^2$ ) = 叶长 $\times$ 叶宽 $\times 0.75$ ,叶面积指数(LAI) = 单位土地上的总叶面积/单位土地面积.

数据采用SPASS 10.0和EXCLE统计分析软件进行分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 膜下调亏滴灌对制种玉米生长发育的影响

2.1.1 对株高的影响 水分亏缺抑制制种玉米株高的生长,抑制程度取决于水分亏缺时期和水分亏缺的程度(表2). 拔节期至抽穗期Y<sub>2</sub>处理株高最矮,水分胁迫结束时(抽穗期)株高与CK差距达31 cm,复水后生长较快,最终株高差缩小为20 cm,但达到最后株高的时间延后,改变了营养生长和生殖生长正常生育时期,最终破坏制种玉米正常发育规律而影响产量;苗期至拔节期水分胁迫对株高也有一定的影响,如Y<sub>1</sub>、Y<sub>5</sub>和Y<sub>7</sub>处理在水分胁迫结束时(拔节期)与CK株高差距在11~13 cm,最终差距缩小为5 cm左右;持续水分胁迫Y<sub>6</sub>在后续阶段的生长较慢,最终株高与CK差距达15 cm;抽穗至成熟期水分胁迫对株高几乎无影响. 进入成熟期后制种玉米顶部叶片开始出现枯萎,导致部分处理玉米株高出现较小幅度下降,尤其是成熟期水分亏缺处理Y<sub>4</sub>、Y<sub>5</sub>和Y<sub>7</sub>更为明显.

表2 水分亏缺对制种玉米株高、叶面积指数(LAI)和干物质积累的影响<sup>1)</sup>

Tab.2 Effects of water stress on plant height, LAI and dry matter of corn

处理	株高/cm				叶面积指数				干物质积累/(g·株 <sup>-1</sup> )			
	拔节期	抽穗期	灌浆期	成熟期	拔节期	抽穗期	灌浆期	成熟期	拔节期	抽穗期	灌浆期	成熟期
Y <sub>1</sub>	39 <sup>Bbcd</sup>	133 <sup>bcAB</sup>	158 <sup>aAB</sup>	155 <sup>abcAB</sup>	3.83 <sup>bB</sup>	33.25 <sup>abAB</sup>	37.10 <sup>aA</sup>	25.17 <sup>aA</sup>	6.03 <sup>cdBC</sup>	86.60 <sup>abA</sup>	116.07 <sup>bcAB</sup>	190.94 <sup>abA</sup>
Y <sub>2</sub>	46 <sup>Aabc</sup>	114 <sup>eC</sup>	138 <sup>cC</sup>	140 <sup>dC</sup>	5.13 <sup>aAB</sup>	29.47 <sup>bAB</sup>	33.96 <sup>aA</sup>	25.45 <sup>aA</sup>	19.76 <sup>aA</sup>	57.57 <sup>bA</sup>	81.99 <sup>cB</sup>	153.84 <sup>bA</sup>
Y <sub>3</sub>	48 <sup>aAB</sup>	146 <sup>aA</sup>	163 <sup>aA</sup>	163 <sup>aA</sup>	5.32 <sup>aAB</sup>	37.33 <sup>aAB</sup>	36.10 <sup>aA</sup>	28.01 <sup>aA</sup>	13.54 <sup>abcAB</sup>	64.78 <sup>abA</sup>	139.81 <sup>bcAB</sup>	205.51 <sup>aA</sup>
Y <sub>4</sub>	50 <sup>aA</sup>	145 <sup>abA</sup>	163 <sup>aA</sup>	161 <sup>aAB</sup>	6.10 <sup>aA</sup>	38.38 <sup>aA</sup>	38.61 <sup>aA</sup>	25.48 <sup>aA</sup>	9.57 <sup>bcdABC</sup>	84.60 <sup>abA</sup>	174.71 <sup>aA</sup>	192.70 <sup>abA</sup>
Y <sub>5</sub>	37 <sup>bCD</sup>	126 <sup>cdBC</sup>	151 <sup>abcABC</sup>	148 <sup>bcdABC</sup>	3.19 <sup>bBC</sup>	29.54 <sup>bAB</sup>	34.13 <sup>aA</sup>	24.88 <sup>aA</sup>	2.15 <sup>dC</sup>	69.79 <sup>abA</sup>	149.12 <sup>abcAB</sup>	174.65 <sup>abA</sup>
Y <sub>6</sub>	34 <sup>bD</sup>	117 <sup>deBC</sup>	143 <sup>bcBC</sup>	145 <sup>cdBC</sup>	3.03 <sup>bBC</sup>	28.67 <sup>bB</sup>	32.58 <sup>aA</sup>	25.04 <sup>aA</sup>	4.98 <sup>dBC</sup>	87.21 <sup>abA</sup>	165.74 <sup>abAB</sup>	190.04 <sup>abA</sup>
Y <sub>7</sub>	38 <sup>bCD</sup>	129 <sup>cdABC</sup>	156 <sup>abABC</sup>	154 <sup>abcAB</sup>	3.52 <sup>bB</sup>	31.76 <sup>abAB</sup>	34.52 <sup>aA</sup>	25.74 <sup>aA</sup>	7.94 <sup>bcdBC</sup>	87.27 <sup>abA</sup>	109.51 <sup>bcAB</sup>	189.93 <sup>abA</sup>
CK	50 <sup>aA</sup>	145 <sup>abA</sup>	160 <sup>aAB</sup>	160 <sup>abAB</sup>	6.21 <sup>aA</sup>	37.24 <sup>aAB</sup>	37.13 <sup>aA</sup>	23.94 <sup>aA</sup>	14.88 <sup>abAB</sup>	106.80 <sup>aA</sup>	185.98 <sup>aA</sup>	199.97 <sup>aA</sup>

1) 同列数据后大、小写字母不同分别表示达 0.01、0.05 的显著水平(LSD 法)

2.1.2 对叶面积指数的影响 从表2可知,苗期至拔节期水分胁迫处理 Y<sub>1</sub>、Y<sub>5</sub>、Y<sub>6</sub> 和 Y<sub>7</sub> 叶面积指数(LAI)在胁迫时期与CK差异极显著( $P < 0.01$ ),说明苗期至拔节期干旱严重制约制种玉米叶面积的扩展;拔节期至抽穗期,缺水处理 Y<sub>2</sub> 的 LAI = 29.47,与CK差异显著( $P < 0.05$ ),而苗期至抽穗期连续水分胁迫处理 Y<sub>6</sub> 的 LAI 最小,仅为 28.67,说明连续水分胁迫严重影响叶面积指数的提高,对作物干物质积累极为不利;灌浆期水分胁迫对 LAI 影响甚微。

2.1.3 对干物质积累的影响 从表2可以看出,处理 Y<sub>1</sub>、Y<sub>5</sub>、Y<sub>6</sub> 和 Y<sub>7</sub> 在拔节期干物质积累量比充分供水的CK低,且 Y<sub>1</sub>、Y<sub>5</sub>、Y<sub>6</sub> 与CK存在显著差异( $P < 0.05$ ),表明苗期至拔节期水分亏缺显著抑制玉米干物质积累;抽穗期至成熟期处理 Y<sub>2</sub> 干物质积累量均为同期最小,且与CK差异显著( $P < 0.05$ ),拔节期至抽穗期水分亏缺不仅影响该阶段干物质积累,还会影响玉米后期干物质积累. Y<sub>3</sub> 在灌浆期干物质积累量为 139.81 g/株,与CK差异显著( $P < 0.05$ ),抽穗期至灌浆期施加水分胁迫对玉米干物质积累有一定影响. 成熟期缺水处理 Y<sub>4</sub> 的干物质积累量为 192.70 g/株,与CK差异不显著,说明在灌浆期至成熟期缺水对玉米干物质积累影响不明显。

膜下滴灌条件下制种玉米干物质积累随生育期推进总体呈现递增趋势(图1),播种后 22~48 d(苗期至拔节期)干物质积累速率很慢,平均每株每天干物质积累量仅为 0.37 g,水分亏缺处理的更小. 进入 48~83 d(拔节期至抽穗期)玉米干物质积累速率迅速增加,平均为 2.02 g·d<sup>-1</sup>·株<sup>-1</sup>. 播后 83~110 d(抽穗期至灌浆期)干物质积累速率达到最高值为 2.21 g·d<sup>-1</sup>·株<sup>-1</sup>,而CK更是高达 3.66 g·d<sup>-1</sup>·株<sup>-1</sup>,进入灌浆期至收获期干物质积累速率呈现下降趋势,平均为 1.12 g·d<sup>-1</sup>·株<sup>-1</sup>. 处理 Y<sub>2</sub> 干物质积累量在拔节后一直为最小,拔节期至抽穗期是制种玉

米干物质积累的关键时期,抽穗期至灌浆期是干物质积累速率最快的时期。

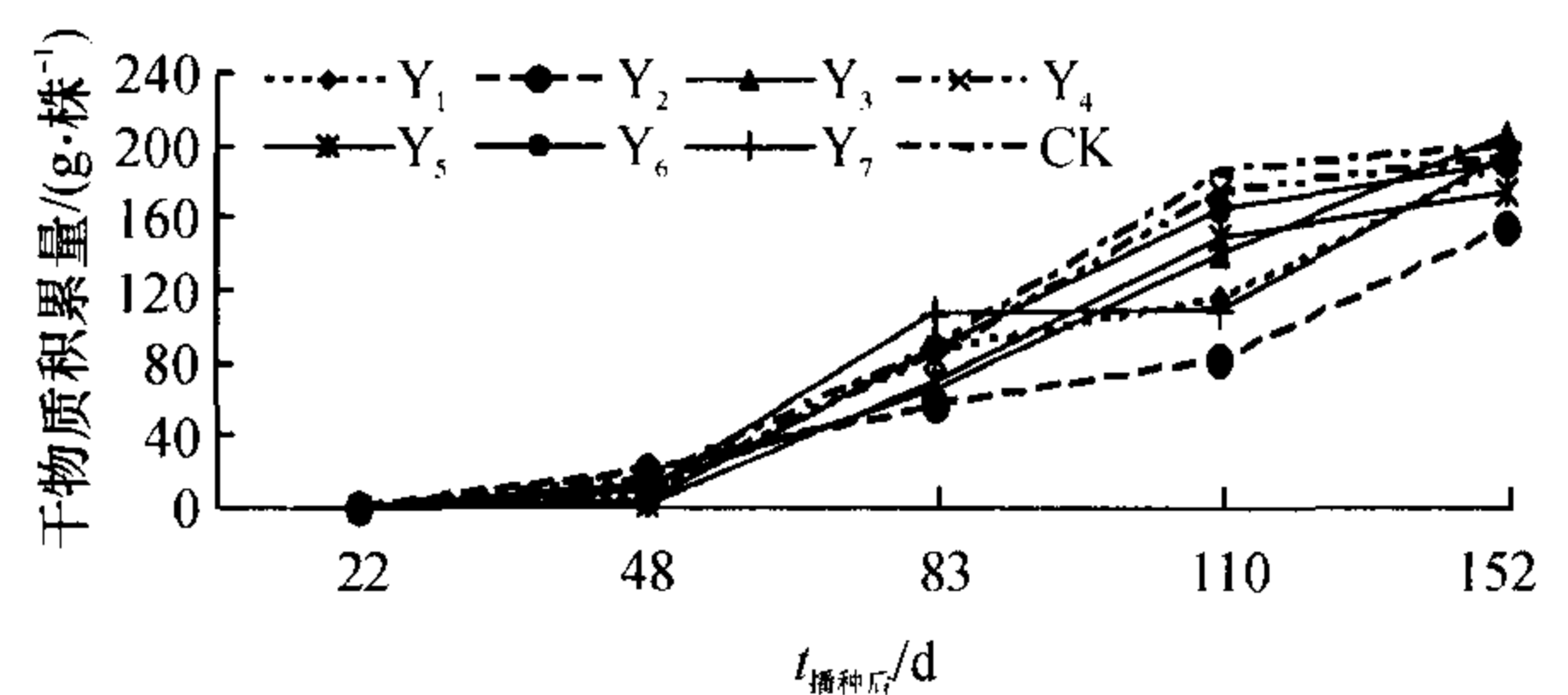


图1 玉米干物质积累与播后天数的关系

Fig.1 The relationship between dry matter and the days after sow

## 2.2 膜下调亏滴灌对制种玉米产量性状和产量的影响

### 2.2.1 膜下调亏滴灌对制种玉米产量性状的影响

从表3可见,拔节期至抽穗期水分胁迫严重制约制种玉米正常生长,导致处理 Y<sub>2</sub> 穗长变短、穗粗不足、穗粒数减少,且穗粒数与CK差异显著( $P < 0.05$ );苗期至灌浆期持续或交替水分胁迫处理 Y<sub>6</sub> 和 Y<sub>7</sub> 都不利于制种玉米穗体增大和穗粒数的增加;Y<sub>3</sub> 千粒质量最低,说明抽穗期至灌浆期水分胁迫影响制种玉米库容建立,籽粒小,千粒质量低;苗期和成熟期适度水分胁迫有利于千粒质量的提高,处理 Y<sub>7</sub> 千粒质量最高, Y<sub>3</sub> 最低,两者差异显著( $P < 0.05$ ).

### 2.2.2 膜下调亏滴灌对制种玉米产量的影响

调亏对制种玉米产量的影响较明显(表3). 拔节期至抽穗期水分胁迫处理 Y<sub>2</sub> 的产量最低,与CK差异极显著( $P < 0.01$ ),表明拔节期至抽穗期是制种玉米水分最敏感时期,缺水对产量影响最大;Y<sub>6</sub> 和 Y<sub>7</sub> 产量也较低,均与CK存在显著差异( $P < 0.05$ ),说明持续或交替水分胁迫都会显著降低制种玉米产量. Y<sub>1</sub> 和 Y<sub>4</sub> 产量虽低于CK,但差异并不显著,表明苗期至拔节期或灌浆期至成熟期水分胁迫并不明显减产。

2.2.3 膜下调亏滴灌对制种玉米水分利用效率的影响 调亏对制种玉米水分生产效率和灌溉水利用效率影响显著(表3). 处理 Y<sub>2</sub> 的水分生产效率和灌溉水利用率均为最低,分别为 1.32 和 1.87 kg/m<sup>3</sup>, 均与 CK 存在显著差异( $P < 0.05$ ), 拔节期至抽穗期

缺水不利于提高制种玉米水分生产效率和灌溉水利用效率. 处理 Y<sub>4</sub> 的水分生产效率和灌溉水利用率均为最高,分别达 2.28 和 3.77 kg/m<sup>3</sup>, 比 CK 提高 13.4% 和 28.7%, 灌浆期至成熟期水分亏缺可在确保高产的前提下显著提高制种玉米水分利用效率.

表3 水分亏缺对玉米产量和水分利用效率的影响<sup>1)</sup>

Tab.3 Effects of water stress on corn's yield and WUE

处理	穗长/ cm	穗粗/ cm	穗粒数	千粒质 量/g	产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	灌水量/ (m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> )	灌溉水利用效率/ (kg · m <sup>-3</sup> )	水分生产效率/ (kg · m <sup>-3</sup> )
Y <sub>1</sub>	12.72 <sup>aA</sup>	3.85 <sup>aA</sup>	163 <sup>abA</sup>	356 <sup>abA</sup>	6 029 <sup>abAB</sup>	1 935	3.12 <sup>abAB</sup>	1.94 <sup>abAB</sup>
Y <sub>2</sub>	11.25 <sup>aA</sup>	3.53 <sup>aA</sup>	88 <sup>bA</sup>	353 <sup>abA</sup>	3 948 <sup>cB</sup>	2 115	1.87 <sup>cB</sup>	1.32 <sup>bB</sup>
Y <sub>3</sub>	12.24 <sup>aA</sup>	3.83 <sup>aA</sup>	162 <sup>abA</sup>	327 <sup>bA</sup>	5 463 <sup>abcAB</sup>	2 025	2.70 <sup>bcAB</sup>	1.80 <sup>abAB</sup>
Y <sub>4</sub>	11.82 <sup>aA</sup>	3.78 <sup>aA</sup>	152 <sup>abA</sup>	344 <sup>abA</sup>	6 275 <sup>abAB</sup>	1 665	3.77 <sup>aA</sup>	2.28 <sup>aA</sup>
Y <sub>5</sub>	12.35 <sup>aA</sup>	3.77 <sup>aA</sup>	162 <sup>abA</sup>	362 <sup>abA</sup>	5 483 <sup>abcAB</sup>	1 710	3.21 <sup>abAB</sup>	1.95 <sup>abAB</sup>
Y <sub>6</sub>	11.77 <sup>aA</sup>	3.68 <sup>aA</sup>	126 <sup>abA</sup>	343 <sup>abA</sup>	4 929 <sup>bcAB</sup>	1 710	2.88 <sup>abAB</sup>	1.82 <sup>abAB</sup>
Y <sub>7</sub>	11.51 <sup>aA</sup>	3.68 <sup>aA</sup>	140 <sup>abA</sup>	375 <sup>aA</sup>	5 164 <sup>bcAB</sup>	1 710	3.02 <sup>abAB</sup>	1.98 <sup>aAB</sup>
CK	13.00 <sup>aA</sup>	3.91 <sup>aA</sup>	196 <sup>aA</sup>	346 <sup>abA</sup>	7 257 <sup>aA</sup>	2 475	2.93 <sup>abAB</sup>	2.01 <sup>aAB</sup>

1) 同列数据后大、小写字母不同分别表示达 0.01、0.05 的显著水平(LSD 法)

### 3 结论

在膜下滴灌条件下实施水分亏缺灌溉是对节水灌溉理论的一项有益探索和补充. 河西内陆河灌区具有发展制种玉米产业的先天优势, 水资源的紧缺日益成为制种玉米大面积种植的瓶颈, 协调好土壤水分与叶面积指数、株高、干物质积累等生长指标之间关系对制种玉米高产及水分利用效率提高至关重要. 拔节期至抽穗期缺水严重影响制种玉米株高、叶面积指数和干物质积累的提高, 导致穗粒数和产量最低. 主要原因是拔节期水分胁迫强度大, 叶面积指数在营养生长阶段一直较小, 造成植株矮小, 干物质积累量少, 最终影响产量. 因此, 拔节至抽穗期是制种玉米水分最敏感期, 应实行充分供水, 否则无法保证后期高产. 抽穗期水分胁迫实粒数明显偏低, 秕粒数多, 影响千粒质量的增加, 是制种玉米节水栽培中必须注意的问题. 持续或交替水分胁迫都会影响制种玉米正常发育规律, 显著降低穗粒数和产量. 灌浆期至成熟期水分亏缺可在确保高产的前提下显著提高制种玉米水分生产效率和灌溉水利用效率.

#### 参考文献:

- [1] 张振华. 微源入渗特性规律与膜下滴灌作物需水量研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 2002.
- [2] 孟兆江, 贾大林, 刘安能, 等. 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, 19

(4): 66-69.

- [3] 李明思, 康绍忠, 杨海梅. 地膜覆盖对滴灌土壤湿润区及棉花耗水与生长的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 49-54.
- [4] 张海, 高鹏程, 牛秀峰, 等. 黄土退耕坡地膜下滴灌抗旱造林及减蚀效益研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 190-192.
- [5] 邵玺文, 刘红丹, 杜震宇, 等. 不同时期水分处理对水稻生长及产量的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(1): 193-196.
- [6] 万书勤, 康跃虎, 王丹, 等. 微咸水滴灌对黄瓜产量及灌溉水利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 30-35.
- [7] AHANNERS F, TADEES T. Effect of drip furrow irrigation and plant spacing on yield of tomato at dire Dawa, Ethiopia [J]. Agricultural Water Management, 1998, 35(3): 201-207.
- [8] 郑重, 马富裕, 慕自新, 等. 水肥因素对膜下滴灌棉花产量和棉株群体冠层结构的影响研究[J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(2): 42-47.
- [9] 王宁珍, 李宗奎, 黄斌, 等. 降水对陇东玉米叶面积和干物质积累及产量的影响[J]. 玉米科学, 2007, 15(1): 100-102.
- [10] 蔡焕杰, 邵光成, 张振华. 荒漠气候区膜下滴灌棉花需水量和灌溉制度的试验研究[J]. 水利学报, 2002, 33(11): 119-123.

【责任编辑 周志红】