

不同灌溉方式下制种玉米叶面积指数、 干物质累积与产量研究

王增丽¹, 栾元利¹, 温广贵², 董平国¹

(1. 甘肃省武威市中心灌溉试验站, 甘肃 武威 733000;
2. 武威职业学院机械工程系, 甘肃 武威 733000)

摘要: 通过田间试验,研究了畦灌、常规沟灌、隔沟交替灌 3 种灌溉方式对制种玉米叶面积指数(LAI)、干物质累积及产量的影响。结果表明:不同灌溉方式下制种玉米苗期 LAI 与产量呈显著正相关关系,抽穗后期 LAI 与产量呈显著负相关关系,表明在生殖生长后期,应适当采取控水、控肥措施降低植株的生长冗余。隔沟交替灌方式使作物根区土壤保持湿润和干燥区域交替出现,能诱导作物的补偿生长效应。隔沟交替灌(AFI)方式下制种玉米进入干物质快速累积期的时间早于传统沟灌(CFI)与小畦灌(SBI)。制种玉米抽穗期干物质累积量与产量呈显著正相关关系($R^2 = 0.77$)。隔沟交替灌溉方式下,制种玉米全生育期灌水 8 次,灌溉定额为 $2\,250\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 的灌溉制度能稳定提高经济产量,具有较好的灌水效果,但在抽穗期~灌浆期应考虑适当增加灌水频率或灌水定额。

关键词: 灌溉方式;制种玉米;叶面积指数;干物质累积;产量
中图分类号: S512.1; S275.3 **文献标志码:** A

Research on the leaf area index, dry matter accumulation with yield of seed maize under different irrigation methods

WANG Zeng-li¹, LUAN Yuan-li¹, WEN Guang-gui², DONG Ping-guo¹

(1. State Key Experimental Station for Efficient Irrigation Water Use of Wuwei City, Wuwei, Gansu 733000, China;
2. Department of Mechanical Engineering, Wuwei Occupational College, Wuwei, Gansu 733000, China)

Abstract: Through field experiment, the effect of three irrigation methods as small border irrigation (SBI), conventional furrow irrigation (CFI) and alternate furrow irrigation (AFI) on LAI, dry matter accumulation and yield of seed maize were researched. The result showed that: Under different irrigaton methods, the LAI in seeding stage to yield of seed maize assumed a significantly positive correlation, the LAI in heading stage to yield of seed maize assumed a significantly negative correlation. It indicated that appropriate water control and fertilizer control measures should be taken properly for avoiding the growth redundancy in late reproductive stage. Using the AFI method can let crop root zone moist and dry areas appear alternately, it can be induced the effect of compensatory growth, also entering rapid accumulation of dry matter period will be sooner than CFI and SBI. The dry matter accumulation in heading stage to yield assumed significantly positive correlation ($R^2 = 0.77$). Under the alternative furrow irrigation method, the irrigation schedule, as the irrigation times was 8 and irrigation norm was $2\,250\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ which can be steadily increased the economic output, exhibited a higher better WUE, but in the heading stage to filling stage it was desirable to increase irrigation frequency or irrigation quota.

Keywords: irrigation methods; seed maize; LAI; dry matter accumulation; yield

自 20 世纪 90 年代以来,西北地区逐渐成为我国 60 多个玉米高产品种的制种基地。河西走廊地区由于具有良好的天然隔离条件,日照长、昼夜温差大、干燥多风的高产气候条件,以及病虫害轻、产品品质高等特点具有发展制种玉米的产业优势。目前已形成以武威市、张掖市为主产区的河西走廊制种

基地^[1]。然而该区属典型的大陆性温带干旱气候区,降水稀少、气候干燥、蒸发强烈,农业生产完全依赖灌溉,是一个典型的“非灌不殖,以水定丰欠”的农业生产基地。因此,对该流域主要农作物进行产量及节水效益研究具有重要的现实意义^[2-3]。

叶面积指数(leaf area index,简称 LAI)是群体结构的重要量化指标。适当增大作物 LAI 是提高作物产量的主要途径之一,适宜的 LAI 有利于提高作物产量^[4-6]。干物质是作物产量形成的物质基础,它的积累及分配状况直接影响着作物产量。关于制种玉米产量方面的研究很多,但这些研究是对相同灌溉方式进行了横向比较^[7-8],而对不同灌溉方式进行的纵向比较研究较少。基于此,本试验通过不同灌溉方式下制种玉米叶面积和干物质累积动态的研究,探讨制种玉米叶面积与干物质累积量和产量的关系,旨在为本地区制种玉米节水灌溉技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2014 年 4—10 月在甘肃省武威市中心灌溉试验站进行,试验站位于东经 102°50′50″,北纬 37°52′20″,海拔 1 580 m,多年平均降水量为 164.4 mm,多年平均蒸发量为 2 000 mm,地下水埋深为 48 m,平均土壤密度为 1.54 g·cm⁻³,土壤质地为灰钙质粉质壤土,田间持水率为 30%(体积含水率)。

供试制种玉米品种为富农 963,于 2014 年 4 月 22 日种植,9 月 21 日收获,生育期共 153 d。父母本种植比例 1:5。垄沟设计标准为垄高 20 cm,垄顶宽 50 cm,垄底宽 80 cm,沟底宽 20 cm。每垄种 2 行玉米,株距 20 cm,行距 50 cm。基肥量:尿素 262.5 kg·

hm⁻²,磷酸二氢铵 525 kg·hm⁻²。小区面积为 100 m² (5 m×20 m),3 次重复。灌水方式设置小畦灌(SBI)、常规沟灌(CFI)、隔沟交替灌(AFI)3 种,灌溉水源为地下水,灌溉水量采用水表计量。各种农艺措施参照当地经验。灌溉方式设置方法见表 1。

1.2 测定项目及计算方法

(1) 在制种玉米拔节期、抽穗期、灌浆期和成熟期采用直尺法测定叶面积,采用烘干称重法测定地上部干物质累积量,采用 Logistic 方程^[9]对制种玉米干物质累积进行回归分析,Logistic 生长方程如下:

$$Y = Y_m/[1 + \exp(a + bt)] \quad (1)$$

式中, Y 为玉米某一时期的干物质累积量(g); t 为某一时期干物质质量累积天数(d); Y_m, a, b 为方程待定系数,具有特定的生物学意义,其中 Y_m 为干物质累积理论最大值。

设 t_0 为生长速度最大的时间; t_1, t_2 分别为植株进入、结束旺盛累积的时间。当 $t_0 = -a/b$ 时,有 $d^2y/d^2t = 0$,此时干物质累积量为最大值($v_{\max}$),即 $v_{\max} = dy/dt = -bY_m/4, t_0$ 时的干物质累积速率 $v_{\max}$ 亦称为“累积速度特征值”。当 $t_1 = [\ln(2 + 1.732) - a]/b, t_2 = [\ln(2 - 1.732) - a]/b$ 时,有 $d^3y/d^3t = 0$,即 t_1 时刻 d^2y/d^2t 达到最大值, t_2 时刻 d^2y/d^2t 达到最小值。

t_1, t_2 将 Logistic 函数“S”型曲线轨迹分为 3 个累积阶段:即在 $0 \sim t_1$ 时段内,干物质累积率呈缓慢增长趋势;在 $t_1 \sim t_2$ 时段内,干物质累积率加快,几乎呈直线增加趋势; t_2 时刻后,干物质累积率逐渐缓慢。 $\Delta t = t_2 - t_1$ 一般被称为植株的“时间特征值”,表示干物质快速累积期时间的长短。

表 1 制种玉米不同灌溉方式设置表

Table 1 The different irrigation methods for seed maize

处理 Treatment	灌溉方式 Irrigation method	灌溉定额 Irrigation norm /(m ³ ·hm ⁻²)	苗期	拔节期		抽穗期		灌浆期				成熟期		
			Seeding	Jointing		Heading		Filing				Mature		
			06-04	06-12	06-26	07-08	07-15	08-08	08-15	08-21	08-23	08-26	08-31	09-05
CK	SBI	4500	675.0	—	675.0	—	675.0	900.0	—	—	900.0	—	675.0	—
T1	CFI 1	3250	487.5	—	487.5	—	487.5	650.0	—	—	650.0	—	487.5	—
T2	CFI 2	2250	337.5	—	337.5	—	337.5	450.0	—	—	450.0	—	337.5	—
T3	AFI 1	2250	337.5	337.5	337.5	450.0	—	450.0	—	337.5	—	—	—	—
T4	AFI 2	2250	337.5	337.5	337.5	450.0	—	—	450.0	—	—	—	337.5	—
T5	AFI 3	2250	337.5	225.0	225.0	337.5	—	337.5		337.5	—	—	225.0	225.0
T6	AFI 4	2250	337.5	225.0	225.0	337.5	—	—	337.5	—	—	337.5	225.0	225.0

注:表中“—”表示为该时段无灌水措施。 Note:“—”in the table means no irrigation during this period.

(2) 采用农田土壤水量平衡公式进行耗水量计算。灌水量采用水表进行计量。由于该试验田地下水埋深在 40 m 以下,视地下水补给量为 0,降水入渗深度不超过 1 m,视深层渗漏为 0。作物生长所需水分主要由灌溉水和降雨供应。因此,水量平衡方程可简化为:

$$ET_c = P + I + \Delta W$$

(2)

式中, ET_c 为作物生育期耗水量(mm); P 为生育期降水量(mm); I 为生育期内灌溉量(mm); ΔW 为作物生育期土壤蓄水变化量(mm)。

(3) 收获后,测产采取小区单打单收方法测定。并按照下列公式计算出籽率、 WUE 。

$$R_s = W_g / W_e \times 100\%$$

(3)

$$WUE = Y / ET_c$$

(4)

式中, R_s 为出籽率(%); W_g 为籽粒重(g); W_e 为穗重(g); WUE 为水分利用效率($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$); Y 为经济产量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

制种玉米各性状数据取平均值,采用 SPSS16.0 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉方式下制种玉米 LAI 变化

各处理制种玉米 LAI 消长动态见图 1。由图可知,随着叶片陆续出现和营养体增大,各处理制种玉米 LAI 均逐渐增大,在播后 87 d 左右到达峰值,之后开始下降。在苗期各处理 LAI 变化曲线交叉重叠,表明在苗期,作物对水分要求较低,灌水定额对 LAI 的影响基本一致。在播后 52 d,作物进入拔节后期,处理间 LAI 差异明显,其中,T1 处理 LAI 较 T2 处理、CK 分别增加 22.73% 和 20.45%,分析原因为 T1 较 T2 具有较高的灌水定额,作物根系未受水分胁迫。与 CK 相比较,沟灌方式较畦灌过水面积小,对作物供水较为集中,有利于水分的深层入渗、贮存。播后 87 d 以后,各处理 LAI 开始下降,但下降

幅度不同。在播后 95 d,CK、T1、T2、T3、T4、T5、T6 处理较其峰值分别降低 5.80%、5.60%、5.02%、5.52%、4.13%、5.15% 和 4.93%。结果表明,畦灌、沟灌方式较隔沟交替降幅较高,分析原因可能为隔沟交替方式下,制种玉米根部湿润与干燥区域的交替出现诱导了作物的补偿生长效应,较大地刺激了根系生长,LAI 表现为生长衰老进程减缓^[10-11]。

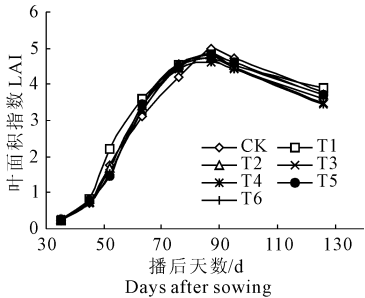


图 1 不同处理制种玉米叶面积指数动态
Fig.1 The dynamic of LAI of seed maize under different treatments

2.2 不同灌溉方式下制种玉米干物质累积变化

不同处理制种玉米干物质累积动态变化特征见表 2。由表可知,制种玉米干物质累积始于播后 77 ~ 87 d,止于播后 135 ~ 160 d。各处理进入干物质快速累积期(t_1)的时间隔沟交替灌(AFI)方式早于传统沟灌(CFI)方式,小畦灌(SBI)进入干物质快速累积期最晚。但快速生长周期持续时间(Δt)结果表明,小畦灌(SBI)方式高于隔沟交替灌(AFI),传统沟灌(CFI)方式快速生长周期最短。此外,由 AFI 灌溉的各处理(T3、T4、T5、T6 处理)测定结果可知,在抽穗期~灌浆期,增加灌水频率和灌水定额能明显增加制种玉米干物质的累积量,在成熟期进行灌溉,对干物质累积的促进作用不明显。由于灌水集中,根系受水均匀,传统沟灌制种玉米能较小畦灌、隔沟灌维持更高的生物量。采用隔沟交替灌溉方式,在抽穗期~灌浆期应增加灌水频率或灌水定额。

表 2 不同处理制种玉米干物质累积特征值

Table 2 The dry matter accumulation characteristic values of seed maize under different treatments								
处理 Treatment	拟合方程 Fitting equation	R^2	t_1/d	t_0/d	t_2/d	$\Delta t/\text{d}$	$v_{\max}/(\text{g} \cdot \text{d}^{-1})$	
CK	$Y = 283.366/[1 + \exp(4.426 - 0.036t)]$	0.965	86.36	122.94	159.52	73.16	2.55	
T1	$Y = 275.148/[1 + \exp(5.549 - 0.050t)]$	0.903	84.64	110.98	137.32	52.67	3.44	
T2	$Y = 287.973/[1 + \exp(4.717 - 0.041t)]$	0.915	82.93	115.05	147.17	64.24	2.95	
T3	$Y = 273.355/[1 + \exp(5.450 - 0.050t)]$	0.930	82.66	109.00	135.34	52.67	3.42	
T4	$Y = 295.902/[1 + \exp(4.443 - 0.039t)]$	0.961	80.16	113.92	147.67	67.53	2.89	
T5	$Y = 275.940/[1 + \exp(5.404 - 0.050t)]$	0.939	81.74	108.08	134.42	52.67	3.45	
T6	$Y = 252.898/[1 + \exp(4.064 - 0.036t)]$	0.954	76.31	112.89	149.47	73.16	2.28	

2.3 叶面积指数、干物质累积与产量的关系

不同灌溉方式制种玉米生育期叶面积指数与产量相关关系见表 3。由表可知,播后 35 d(苗期)制种玉米 LAI 与产量呈显著正相关关系,相关系数达 0.85,表明在作物营养生长期应充分供水、施肥以保证满足作物的营养生长需要。播后 87 d(抽穗后期)以后,制种玉米 LAI 与产量均呈负相关关系,相关系数分别为 0.95、0.96 和 0.90。其中,播后 87 d、95 d 制种玉米 LAI 与产量呈极显著负相关关系。结果表明,在制种玉米生殖生长后期,适当采取控水、控肥

措施可降低植株的生长冗余。

不同灌溉方式制种玉米干物质累积量与产量相关关系如表 4 所示。由表可知,制种玉米各生育期干物质累积量与产量均呈正相关关系。其中,拔节期(播后 69 d)、灌浆期(播后 125 d)和成熟期(152 d)干物质累积量与产量相关性不显著,抽穗期(播后 105 d)制种玉米干物质累积量与产量呈显著正相关关系,相关系数达 0.77。表明抽穗期的干物质累积对制种玉米产量形成起主要作用,增大抽穗期制种玉米干物质累积量可以明显提高制种玉米产量。

表 3 制种玉米不同播后天数叶面积指数与产量相关关系

Table 3 The correlation of LAI at different days after sowing with yield of seed maize

产量 Yield Y/(t·hm ⁻²)	播后天数 Days after sowing							
	35 d	45 d	52 d	63 d	76 d	87 d	95 d	126 d
	0.85*	0.27	-0.24	0.61	0.80	-0.95**	-0.96**	-0.90*

注:*,** 分别表示在 0.05 和 0.01 的显著水平。下同。
Note:*,** indicate significant correlation($P<0.05$) and extremety significant correlation($P<0.01$) respectively. The same as below.

表 4 制种玉米不同播后天数干物质累积与产量的相关关系

Table 4 The correlation of dry matter accumulation at different days after sowing with yield of seed maize

产量 Yield Y/(t·hm ⁻²)	播后天数 Days after sowing			
	69 d	105 d	125 d	152 d
	0.63	0.77*	0.45	0.45

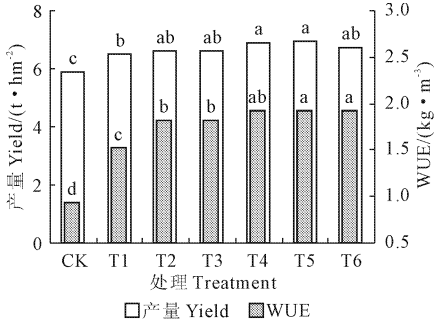


图 2 各处理制种玉米产量、WUE 关系分析
Fig.2 Relationship analysis of yield and WUE for each treatment

表 5 制种玉米产量及其构成因素通径系数分析

Table 5 The path coefficient analysis for yield of seed maize and constituent elements

因子 Factor	直接作用 Direct action	间接作用 Indirect action			
		$X_1 \rightarrow Y$	$X_2 \rightarrow Y$	$X_3 \rightarrow Y$	$X_4 \rightarrow Y$
X_1	0.0761		-0.0229	-0.0705	-0.0288
X_2	-0.1056	0.0165		-0.2746	-0.1749
X_3	0.6103	-0.0088	0.0475		0.3337
X_4	0.3560	-0.0062	0.0519	0.5721	

注:表中 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 分别为穗长、秃尖长、行粒数和出籽率;决定系数 $R^2=0.9998$,剩余通径系数 $P_e=0.0111$ 。

Note: X_1 , X_2 , X_3 and X_4 mean ear length, bald tip length, row grain numbers and kernel rate respectively, $R^2=0.9998$, $P_e=0.0111$.

2.4 制种玉米产量、耗水量与 WUE 分析

制种玉米生育期耗水量、产量及 WUE 关系分析结果见图 2。由图可知,各处理产量为 5.89~6.93 t·hm⁻²,T5 处理产量最高,CK 产量最低。传统沟灌(CFI)、隔沟交替灌(AFI)产量与小畦灌(SBI)差异达显著性水平。结合 WUE 分析结果可知,隔沟交替灌(AFI)较传统沟灌(CFI)和小畦灌(SBI)具有显著的节水效益,且差异显著。其中,CK 耗水量为 625 mm,WUE 为 0.94 kg·m⁻³,明显低于其它处理,表明小畦灌产量是以较大耗水量为代价换来的。T5 处理产量最高,对应灌水次数为 8 次,灌溉定额为 2 250 m³·hm⁻²,能满足制种玉米各生育阶段对水分的需求。灌水次数过少、过多都不利于制种玉米生长发育,供水过少,制种玉米植株遭受水分胁迫而不能正常生长,也会导致产量降低。结果表明,隔沟交替灌溉条件下,相同灌溉定额,低灌水定额、高灌水次数的灌溉效果较优;相同灌溉定额,在灌浆初期进行灌溉措施灌水效果较优。

2.5 制种玉米产量及其构成因素通径分析

制种玉米产量与产量构成因素通径分析结果见表 5,由表可知,穗长、行粒数、出籽率 3 个自变量的通径系数均为正值,表明三者对产量的净效应均为正值,对产量表现为促进作用。秃尖长对产量的净

效应为负值,说明穗型过长,籽粒干瘪影响产量。行粒数、出籽率、穗长、秃尖长 4 因素的直接通径系数分别为 0.6103、0.3560、0.0761 和 -0.1056。在间接通径系数中,穗长通过其它因素对产量的影响为负效应,出籽率通过行粒数、秃尖长对产量的影响为正

效应($X_4 \rightarrow X_3 \rightarrow Y = 0.5721$, $X_4 \rightarrow X_2 \rightarrow Y = 0.0519$), 行粒数通过出籽率、秃尖长对产量产生正效应($X_3 \rightarrow X_4 \rightarrow Y = 0.3337$, $X_3 \rightarrow X_2 \rightarrow Y = 0.0475$)。结果表明,穗长、秃尖长对产量的影响虽然没有行粒数、出籽率明显,但各因素之间仍存在相互协调作用。

3 结论与讨论

土壤水分是影响作物生长发育、产量及水分利用效率的主要环境因子之一^[12],综合考虑土壤水分状况,避免土壤长期处于水分亏缺状态有利于实现作物可持续高产高效^[13]。

叶面积是植物截获光能的物质载体,叶面积指数(LAI)是反映作物群体光合能力的重要指标^[14]。适宜的叶面积指数能够保证光热资源的有效利用,提高光合效率,促进有机产物的合成与积累,进而获得作物高产^[15-16]。本研究结果表明,不同灌溉方式下,各处理制种玉米 LAI 消长动态曲线基本一致,呈先增大后降低的趋势,峰值出现在播后 87 d 左右。隔沟交替灌溉能提高作物对水分胁迫的适应性,延缓作物 LAI 的衰老进程。制种玉米苗期 LAI 与产量呈显著正相关关系($R^2 = 0.85$),抽穗期后,制种玉米 LAI 与产量呈负相关关系。

张立勤^[17]研究表明,在相同灌溉定额条件下,沟灌方式较小畦灌方式能增加作物穗粒数和千粒重,增加产量。在作物灌浆期进行适度的水分亏缺处理,能提高作物产量与品质。采用分根交替灌溉方式能明显改善作物品质,提高水分和氮肥利用效率^[18-20]。吴燕^[21]研究结果表明,在樱桃番茄结果期采用沟灌方式,可有效提高作物产量与品质,且节水效果明显。曾爱国^[22]研究结果表明,全膜垄作沟灌条件下,在作物抽穗中后期应考虑适当降低灌溉水量,这与本研究结果相一致。

干物质累积是作物产量形成的物质基础,较高的干物质累积是实现作物高产的必要保证^[23],本研究结果表明,制种玉米生育期总干物质快速累积期始于播后 77 ~ 87 d,止于播后 135 ~ 160 d。干物质累积速率与产量呈正相关,其中抽穗期干物质累积量对产量形成起主要作用,累积量越大,产量越高,这与刘伟^[24]的研究结果相一致。

不同灌溉方式下,隔沟交替灌水效果优于常规沟灌,常规沟灌又优于小畦灌。综合考虑产量、WUE 等因素,制种玉米采取隔沟交替灌溉方式,全生育期灌水 8 次,灌溉定额为 $2\,250\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 的灌溉制度节水与增产效益最优,但应适当考虑增加抽穗期 ~ 灌浆期的灌水频率或灌水定额。

参 考 文 献:

[1] 张立勤,马忠明,王智琦,等.不同栽培模式下制种玉米的产量

及水分生产效应[J].节水灌溉,2012(12):43-45,50.

[2] 张永明,殷雪梅,王嘉翔,等.石羊河流域行业取耗水总量控制指标研究[J].中国水利水电科学院学报,2014,12(3):282-286.

[3] 张晓琳,霍再林,佟 玲.石羊河流域主要作物节水灌溉效益评价[J].中国农村水利水电,2014,8:15-17.

[4] 权丽双,王振华,郑旭荣,等.水氮耦合对滴灌复播油菜生长及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(1):61-65.

[5] James E. Board soybean cultivar differences on light interception and leaf area index during seed filling[J]. Agron Journal, 2004,96(1):305-310.

[6] 王 强,虢 慧.不同播期下油菜叶面积指数及干物质累积与产量的关系[J].作物研究,2016,30(1):4-7.

[7] 董平国,王增丽,温广贵,等.不同灌溉制度对制种玉米产量和阶段耗水量的影响[J].排灌机械工程学报,2014,32(9):822-828.

[8] 韩万海,王增丽,张 萍.石羊河流域制种玉米全膜垄作沟灌水肥调控试验研究[J].灌溉排水学报,2014,33(4/5):107-111.

[9] 冉 辉,蒋桂英,徐红军,等.灌溉频率和施氮量对滴灌春小麦干物质积累及产量的影响[J].麦类作物学报,2015,35(3):379-386.

[10] 梁宗锁,康绍忠,邵明安,等.土壤干湿交替对玉米生长速度及其耗水量的影响[J].农业工程学报,2000,16(5):38-40.

[11] 郭相平,康绍忠.玉米调亏灌溉的后效性[J].农业工程学报,2000,16(4):58-60.

[12] 李昊儒,梅旭荣,郝卫平,等.不同灌溉施肥制度对土壤水分变化及夏玉米产量的影响[J].灌溉排水学报,2012,31(4):72-74,98.

[13] 刘中奇,朱清科,秦 伟,等.半干旱黄土区典型林地土壤水分消耗与补给动态研究[J].灌溉排水学报,2010,29(3):36-40.

[14] 张吉旺,王空军,胡昌浩,等.施氮时期对夏玉米饲用营养价值的影响[J].中国农业科学,2002,35(11):1337-1342.

[15] 毛庆文,吴桂丽,阎立波,等.不同密度下玉米郑单 958 叶面积及干物质积累的研究[J].安徽农业科学,2010,38(29):16171-16172,16174.

[16] 王晓梅,崔 坤,宋利润.不同密度与玉米生长发育及品质相关性的研究[J].吉林农业科学,2006,31(3):3-6.

[17] 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.

[18] Zhang J X, Cheng Z Y, Zhang R. Regulated deficit drip irrigation influences on seed maize growth and yield under film[J]. Procedia Engineering, 2012,28(2):464-468.

[19] Liang H L, Li F S, Nong M L. Effects of alternate partial root-zone irrigation on yield and water use of sticky maize with fertigation[J]. Agricultural Water Management, 2013,116(1):242-247.

[20] 李 瑞,牛晓丽,周振江.分根区交替灌溉条件下水肥供应对番茄可溶性糖含量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(3):124-132.

[21] 吴 燕,梁银丽,朱娟娟.灌溉方式对樱桃番茄产量和品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2009,37(8):177-181.

[22] 曾爱国.灌水量对全膜垄作沟灌玉米产量及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2017,35(2):207-212.

[23] 李向岭,赵 明,李从锋,等.播期和密度对玉米干物质积累动态的影响及其模型的建立[J].作物学报,2010,36(12):2143-2153.

[24] 刘 伟,张吉旺,吕 鹏,等.种植密度对高产夏玉米登海 661 产量及干物质积累与分配的影响[J].作物学报,2011,37(7):1301-1307.