

榆林沙区不同灌溉方式对春玉米生长及产量的影响

王雯, 张雄

(榆林学院 生命科学学院, 陕西 榆林 719000)

摘要: [目的] 揭示膜下滴灌(MG)、露地滴灌(DG)、沟灌(GA)、交替隔沟灌(JG)、漫灌(CK)5种灌溉方式对春玉米生长和产量的影响,筛选出适合榆林沙区的最有效的节水灌溉方式,为农业高效节水灌溉技术发展提供理论支持。[方法] 基于2014年田间试验数据,运用统计分析和水分生产率计算方法。[结果] (1) MG处理的春玉米植株生长发育状况优于其他灌溉方式。在各生育期, MG处理的春玉米株高、茎粗和叶片SPAD值(叶绿素相对含量)均高于DG、GA和JG,且显著高于CK($p < 0.05$); (2) 在整个生育期, MG处理的春玉米叶片光合速率、气孔导度和水分利用效率均高于其他灌溉方式,且显著高于CK($p < 0.05$); (3) MG处理的春玉米增产节水效果显著,其产量和水分生产率均显著高于其他处理($p < 0.05$)。[结论] 同其他4种灌溉方式相比,膜下滴灌是榆林沙区玉米生产中最有效的一种节水灌溉方式。

关键词: 灌溉方式; 春玉米; 生长; 产量; 榆林沙区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)04-0213-05

中图分类号: S274.1

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.20150921.001

Effects of Different Irrigation Methods on Growth and Yield of Spring Maize in Sandy Area of Yulin City

WANG Wen, ZHANG Xiong

(College of Life Science, Yulin University, Yulin, Shanxi 719000, China)

Abstract: [Objective] Through revealing the effects of drip irrigation under mulch(MG), drip irrigation without mulch(DG), furrow irrigation(GA), alternate furrow irrigation(JG) and flood irrigation(CK) on the growth and yield of spring maize, we aimed to find out the most effective irrigation method which was suitable for the sandy area of Yulin City in order to provide theoretical support for the development of agricultural water-saving irrigation technology. [Methods] Based on the field experiment data in 2014, statistical analysis and calculation method of water productivity were used. [Results] (1) Under the treatment of MG, the growth and development of spring maize were better than that in other irrigation methods. During whole growth period, plant height, stem diameter and leaf SPAD value in the treatment of MG were higher than that in the treatment of DG, GA and JG, and were significantly higher than that in CK($p < 0.05$); (2) Under the treatment of MG, the photosynthetic rate, stomatal conductance and water use efficiency of spring maize leaf were greater than the corresponding values in other irrigation methods during whole growth period, and were significantly higher than that in the treatment of CK($p < 0.05$); (3) Drip irrigation under mulch had significant effects on yield and water use efficiency, the two items were significantly higher than that in other treatments($p < 0.05$). [Conclusion] Compared with other irrigation methods, the drip irrigation under mulch is the most effective irrigation method for maize in sandy area of Yulin City.

Keywords: irrigation method; spring maize; growth; yield; sandy area of Yulin City

榆林沙区属我国典型的北方沙区,其面积占榆林市总面积的56.8%,占陕西省总面积的11.9%,占毛乌素沙地总面积的48.6%。该地区气候干燥,蒸发强烈,降水较少,多年平均水资源总量为 $9.81 \times 10^8 \text{ m}^3$,

现有可利用水资源量为 $3.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,按耕地面积计算,只有 $2.5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,仅为全国平均水平的1/8,水资源短缺已成为制约该地区经济社会发展的主要瓶颈。并且在水资源开发利用过程中,工农业生产、生活、生

收稿日期:2015-03-16

修回日期:2015-04-20

资助项目:陕西省重点科技创新团队建设计划项目“陕北农业节水综合研究—创新团队”(2013KCT-29)

第一作者:王雯(1982—),女(汉族),甘肃省酒泉市人,博士,讲师,主要从事旱区农业高效节水技术方面的研究。E-mail: wangwen200806@aliyun.com。

通信作者:张雄(1970—),男(汉族),陕西省榆林市人,博士,教授,主要从事旱区农业节水研究。E-mail: yulinzhang2007@126.com。

态“三生”争水的矛盾日益突出,农业水资源供需缺口持续扩大。然而,榆林沙区农业灌溉仍为传统的大水漫灌形式,农业水资源浪费严重且利用效率低下^[1],导致该地区农业水资源短缺问题更为严峻。因此,改变传统灌溉方式,加强农业高效节水灌溉技术研究,对于提高榆林沙区农业水资源利用率,实现农业水资源的可持续利用,具有重要的理论和现实意义。

榆林沙区光照充足,排灌方便,是全国春玉米的优生区和高产区。该地区春玉米常年种植面积达 $1.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 左右,约占该区农作物总面积的20%,是该区农业生产的重要组成部分。因此,研究符合当地实际的玉米高效节水灌溉技术是解决榆林沙区农业水资源危机的重要途径。另一方面,北方沙区是我国春玉米的主要分布区之一,近年来,有关漫灌、沟灌、滴灌、膜下滴灌等不同灌溉方式对春玉米生长发育影响的研究主要集中在辽西北沙区^[2-4],新疆沙区^[5]、内蒙古沙区^[6-7],而有关陕北沙区特别是榆林沙区不同灌溉方式对春玉米生长发育影响的报道则较为鲜见。鉴于此,开展不同灌溉方式对春玉米生长和产量影响的研究,旨在筛选出适合本地区玉米生产的最有效的节水灌溉方式,进一步丰富北方沙区农业节水灌溉理论与模式,为农业高效节水灌溉技术的发展提供重要的理论和数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地地处榆林现代农业科技示范区,地处榆林市牛家梁镇榆卜界村(109°43'E,38°23'N),该区域属干旱半干旱大陆性季风气候,年平均降水量371 mm,蒸发量1900 mm,年日照时数2900 h,年总辐射 $6.07 \times 10^9 \text{ kJ/m}^2$,年均气温8.6℃,≥10℃积温3000~3300℃,无霜期167 d。该区域光照充沛,地势平坦,地下水位较高,便于灌溉,土壤为风沙土,肥

力水平中等。供试土壤pH值为8.1,有机质含量为7.85 g/kg,全氮含量为0.36 g/kg,碱解氮含量为48.90 mg/kg,有效磷含量为13.95 mg/kg,速效钾含量为87 mg/kg。

1.2 试验设计

试验设漫灌(CK)、沟灌(GA,每条灌水沟都灌水)、交替隔沟灌(JG,上次灌水沟下次不灌而邻沟灌)、露地滴灌(DG)和膜下滴灌(MG)5个处理。小区面积 $3 \text{ m} \times 7 \text{ m}$,随机区组排列,重复3次,为了避免不同处理的相互影响,各小区间都相隔1 m。MG种植模式为1膜1带1行,施底肥后起垄,垄底宽60 cm,垄顶宽40 cm,垄间距40 cm,垄高10 cm,春玉米行距为60+40 cm,株距30 cm,垄起好后,铺设滴灌带(采用内镶贴片式滴灌带,滴头间距30 cm,滴头流量1.38 L/h),用幅宽80 cm,厚度0.008 mm的地膜覆盖,覆膜后在地膜上打孔点播。DG种植模式为1带1行不覆膜,GA和JG种植模式为起垄覆膜不铺设滴灌带,CK种植模式为不起垄不覆膜不铺设滴灌带。DG,GA,JG和CK的株行距与MG相同。漫灌的灌溉量和灌溉次数按照当地农户传统灌溉方式确定。膜下滴灌、露地滴灌、交替隔沟灌和沟灌每次灌溉量分别为漫灌的25%,25%,45%和60%。每次灌溉时用水表测定各小区的容积灌溉量(m^3)。在整个生育期,各处理的灌溉量和灌溉次数详见表1。田间试验于2014年4月30日播种,供试品种为当地主栽品种陕单609,每穴种2~3粒,播种深度为3~5 cm,66750株/ hm^2 ,底肥施尿素75 kg/ hm^2 ,磷酸二铵300 kg/ hm^2 ,硫酸钾225 kg/ hm^2 ,混匀后在耕地时撒施地表,深翻入土壤。膜下滴灌和露地滴灌处理在大喇叭口期和抽雄吐丝期各随灌水追施尿素2次,每次75 kg/ hm^2 ,其他处理在大喇叭口期和抽雄吐丝期各随灌水追施尿素1次,每次225 kg/ hm^2 ,拔节前喷施2,4-D—丁酯900~1500 g/ hm^2 除草,10月2日收获。

表1 不同灌溉方式的灌溉量和灌溉次数

处理	灌量灌次	苗期	拔节期	大喇叭口期	抽雄吐丝期	灌浆期	合计
MG	灌量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	381	762	571	762	762	3238
	灌次/次	2	4	3	4	4	17
DG	灌量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	381	762	571	762	762	3238
	灌次/次	2	4	3	4	4	17
GA	灌量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	857	857	429	1714	857	4714
	灌次/次	2	2	1	4	2	11
JG	灌量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	667	667	667	1333	667	4000
	灌次/次	2	2	2	4	2	12
CK	灌量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	714	1429	714	1429	1429	5714
	灌次/次	1	2	1	2	2	8

注:MG,DG,GA,JG,CK分别为膜下滴灌、露地滴灌、沟灌、交替隔沟灌、漫灌。下同。

1.3 测定项目及方法

试验测定指标包括土壤含水量、作物形态和生理指标、光合指标及产量指标等。土壤含水量用土钻取样,烘干法测定 20,40,60,80,100 cm 土层的土壤含水量。形态和生理指标株高和茎粗分别采用钢卷尺和游标卡尺,每小区选 3 株,每株重复测定 3 次,求平均值;叶绿素含量采用 SPAD-502 叶绿素仪测定叶绿素含量^[8-9],每小区选 3 株,结果取其平均值。光合指标光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)均通过 LI-6400 便携式光合测定仪观测并记录数据,每次在晴天 9:00—11:00 照充足且相对稳定的时间测定,每小区选 3 株,结果取其平均值。水分利用效率(WUE)的计算公式为: $WUE = P_n / T_r$ 。本研究中,形态和生理指标以及光合指标的测定时间为:2014 年 5 月 20 日,6 月 19 日,7 月 10 日,7 月 25 日,8 月 13 日,9 月 15 日。产量指标玉米成熟收获时,每小区收获 3 个 1 m² 玉米进行产量测定,将果穗带回室内考种,测定其穗长、穗粗、穗重、穗粒数、千粒重等指标。水分生产率水分生产率是指消耗单位水量所能生产的农作物的经济产量,其计算公式为:

$$WUE_c = Y / (M + P + D + \Delta W)$$

式中:WUE_c——春玉米水分生产率(kg/m³);Y——单位面积春玉米产量(kg/hm²);M——春玉米全生育期灌水量(m³/hm²);P——春玉米生育期内有效降水量(m³/hm²),本研究中,春玉米全生育期的降水量为 239.3 mm;D——春玉米生育期内地下水补给量(m³/hm²),由于在春玉米生育期内地下水埋深 3.5 m,其地下水补给量较小,可忽略不计; ΔW ——春玉米生育期始末土壤含水量的差值(m³/hm²)。单位换算参照汪志农^[10]的方法计算。

1.4 数据处理与统计分析

采用 SPSS 19.0 统计分析软件进行数据处理,多组数据的平均数比较采用单因素方差分析,并用 LSD 法进行多重比较($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉方式对春玉米生长发育的影响

株高、茎粗和叶片 SPAD 值是衡量作物生长状况的重要指标。由表 2 可知,在春玉米各生育期,MG 处理的株高均显著高于 CK ($p < 0.05$),且略高于 DG。抽雄吐丝期 MG 处理的株高比 CK 增加了 96.1%,增幅最大;MG 处理的茎粗均显著高于 CK ($p < 0.05$),且略高于 DG。拔节期 MG 处理的茎粗较

CK 增加 52.8%,增幅最大;MG 处理的叶片 SPAD 值均显著高于 CK ($p < 0.05$),且在大喇叭口期、灌浆期和成熟期显著高于 DG ($p < 0.05$),MG 处理的 SPAD 值在成熟期比 CK 增加 33.0%,增幅最大。本研究中,春玉米整个生育期,膜下滴灌处理株高、茎粗以及叶片 SPAD 值显著高于漫灌和沟灌等传统灌溉方式,尽管露地滴灌的灌量、灌次和膜下滴灌相同,但是露地滴灌处理的春玉米株高、茎粗和 SPAD 值仍低于膜下滴灌。相关资料显示,膜下滴灌条件下春玉米^[11-13]和马铃薯^[14]的株高及茎粗均高于露地滴灌,这与本研究中的结果一致。已有研究表明,膜下滴灌与传统灌溉、喷灌等技术相比优势明显。一方面覆膜种植不仅可降低土壤水分蒸发,减少株间蒸发和养分损耗,还可使春玉米整个生育期有效积温增加 200~400 °C,其保墒、增温效果显著^[15];另一方面,滴灌能够按照作物生长和需水规律,实施适时适量的精确灌溉,使作物跟区土壤水分含量适宜、土壤物理结构良好,提供有利于作物根系生长的水、肥、气、热环境,因而春玉米植株长势稳健。

2.2 不同灌溉方式对春玉米光合作用和水分利用效率的影响

光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)和气孔导度(G_s)是衡量作物光合能力的重要指标。由表 3 可见,在整个生育期,各处理的 P_n 值和 G_s 值均表现为:MG > DG > JG > GA > CK,且 MG 处理均显著高于 CK ($p < 0.05$)。在抽雄—成熟期 MG 处理的 P_n 值比 CK 增加 48.0%~90.0%,增幅最大,在拔节期 MG 处理的 G_s 值较 CK 增加 81.8%,增幅最大。DG 处理的 T_r 值除苗期和成熟期略低于 MG,其他时期均高于 MG (表 3)。试验结果表明,相比漫灌和沟灌,膜下滴灌可使春玉米光合能力明显增强。值得注意的是,在苗期 GA 处理的 P_n 值较 DG 和 CK 增加了 35.4% 和 28.1%, G_s 值较 DG 和 CK 增加了 66.2% 和 77.0%,均呈显著差异($p < 0.05$)。这可能是由于在春玉米苗期,DG 和 CK 处理的 0—25 cm 土壤温度较 MG 和 GA 低 2.6~3.9 °C,而不同处理的土壤含水量适中(0—20 cm 平均土壤含水量为田间持水量的 55%~60%),在土壤墒情适宜的条件下,温度是影响苗期春玉米光合能力的主要因素。因此,苗期露地栽培条件下(DG 和 CK 处理)土壤温度较低,导致春玉米叶片酶活性降低,引起光合能力下降,而覆膜处理(MG 和 GA 处理)可使土壤温度增加 31.0%~46.4%,从而提高叶片酶活性、增强光合作用。

表 2 不同灌溉方式对春玉米株高、茎粗及叶片 SPAD 值的影响

生理指标	处理	生育期					
		苗期	拔节期	大喇叭口期	抽雄吐丝期	灌浆期	成熟期
株高/cm	MG	7.99 ^a	29.26 ^a	38.91 ^a	199.78 ^a	239.78 ^a	282.60 ^a
	DG	7.33 ^{ab}	26.69 ^a	36.21 ^a	177.02 ^a	225.56 ^a	234.93 ^b
	GA	7.03 ^{ab}	25.47 ^{ab}	33.07 ^{ab}	116.58 ^b	172.67 ^b	231.20 ^b
	JG	6.92 ^{ab}	21.86 ^{bc}	33.09 ^{bc}	93.46 ^b	150.89 ^b	226.80 ^b
	CK	5.54 ^b	17.76 ^d	28.74 ^c	101.86 ^b	154.39 ^b	228.73 ^b
茎粗/mm	MG	7.64 ^a	22.29 ^a	26.74 ^{ab}	37.45 ^a	38.90 ^a	28.27 ^a
	DG	7.12 ^{ab}	19.98 ^{ab}	24.79 ^{bc}	36.39 ^a	35.87 ^b	25.96 ^{ab}
	GA	6.34 ^b	16.32 ^{bc}	24.24 ^b	31.48 ^{ab}	35.61 ^b	24.10 ^{ab}
	JG	5.43 ^c	16.59 ^{bc}	24.00 ^{bc}	28.64 ^b	31.15 ^c	21.93 ^b
	CK	5.19 ^c	14.59 ^c	21.67 ^c	28.95 ^b	30.81 ^c	22.71 ^b
SPAD	MG	42.92 ^a	51.19 ^a	47.90 ^a	56.39 ^a	55.32 ^a	39.92 ^a
	DG	41.48 ^{ab}	49.73 ^{ab}	45.72 ^b	54.13 ^{ab}	49.89 ^{bc}	35.67 ^{bc}
	GA	39.98 ^{bc}	48.24 ^{bc}	44.70 ^{bc}	50.18 ^{bc}	47.02 ^{cd}	33.29 ^c
	JG	38.91 ^c	47.17 ^c	42.76 ^c	47.97 ^c	44.37 ^d	30.29 ^d
	CK	39.10 ^c	47.37 ^c	44.19 ^{bc}	48.33 ^c	44.07 ^d	30.01 ^d

注:同列不同小写字母表示 $p < 0.05$ 水平差异显著。下同。

叶片水分利用效率(WUE)是评价作物生长适宜度的重要指标。由表 3 可知,在整个生育期 MG 处理的春玉米叶片 WUE 值均显著高于 JG,GA 和 CK ($p < 0.05$),且略高于 DG。在拔节期 MG 处理的 WUE 值较 CK 增加 34.5%,增幅最大。这表明,在榆林沙区,膜下滴灌技术可增强春玉米叶片的光合能力,增加光合同化物向生殖器官转运的比例,从而使水分利用效率显著提高。此外,JG 处理的 WUE 值与 CK 相

比差异不大(变化幅度为 2.5%~4.5%)。这可能是由于榆林沙区的风沙土壤水分垂直下渗能力强,而横向扩散能力弱,在春玉米生长旺盛期,交替隔沟灌溉处理的水分多在灌溉沟中垂直下渗,而未灌溉的沟中土壤含水量较低(0—40 cm 的平均土壤含水量为田间持水量的 35%~45%),导致植株蒸腾消耗的水分得不到及时补给,致使其光合速率的降幅超过蒸腾速率,叶片水分利用效率较低。

表 3 不同灌溉方式对春玉米叶片光合作用和水分利用效率的影响

光合参数	处理	生育期					
		苗期	拔节期	大喇叭口期	抽雄吐丝期	灌浆期	成熟期
$P_n/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	MG	15.14 ^a	26.86 ^a	28.10 ^a	36.22 ^a	33.64 ^a	22.57 ^a
	DG	10.40 ^b	26.13 ^a	27.52 ^a	35.12 ^a	32.44 ^a	21.68 ^a
	GA	14.08 ^a	20.77 ^b	22.07 ^{bc}	26.90 ^c	23.76 ^{bc}	13.83 ^{bc}
	JG	12.37 ^a	21.56 ^b	22.94 ^b	29.06 ^b	25.76 ^b	15.71 ^b
	CK	10.99 ^b	19.26 ^c	21.13 ^c	24.47 ^d	21.59 ^c	11.88 ^c
$T_r/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	MG	2.73 ^{ab}	4.94 ^a	6.54 ^b	8.36 ^a	6.32 ^a	4.47 ^a
	DG	2.12 ^b	5.38 ^a	7.00 ^a	8.49 ^a	6.56 ^a	4.40 ^a
	GA	3.20 ^a	4.67 ^b	6.21 ^b	7.10 ^{bc}	5.10 ^c	3.74 ^b
	JG	2.94 ^a	4.90 ^a	6.33 ^b	7.56 ^b	5.82 ^b	3.84 ^b
	CK	2.67 ^{ab}	4.77 ^a	6.18 ^{ab}	6.62 ^c	4.67 ^c	2.83 ^c
$G_s/(\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	MG	0.12 ^a	0.20 ^a	0.22 ^a	0.24 ^a	0.22 ^a	0.13 ^a
	DG	0.07 ^b	0.19 ^a	0.21 ^b	0.23 ^a	0.21 ^a	0.12 ^a
	GA	0.12 ^a	0.12 ^{bc}	0.15 ^c	0.18 ^b	0.17 ^c	0.11 ^a
	JG	0.11 ^a	0.13 ^b	0.17 ^c	0.20 ^b	0.18 ^b	0.11 ^a
	CK	0.07 ^b	0.11 ^c	0.13 ^d	0.16 ^c	0.15 ^d	0.10 ^b
WUE/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1})$	MG	5.54 ^a	5.43 ^a	4.29 ^a	4.34 ^a	5.32 ^a	5.05 ^a
	DG	4.90 ^{ab}	4.86 ^b	3.93 ^b	4.14 ^{ab}	4.95 ^{ab}	4.93 ^a
	GA	4.40 ^b	4.45 ^{bc}	3.55 ^c	3.79 ^{bc}	4.66 ^{bc}	3.69 ^b
	JG	4.20 ^a	4.40 ^{bc}	3.62 ^c	3.85 ^{bc}	4.42 ^c	4.09 ^b
	CK	4.12 ^b	4.04 ^c	3.42 ^c	3.69 ^{bc}	4.63 ^{bc}	4.19 ^b

2.3 不同灌溉方式对春玉米产量及水分生产率的影响

膜下滴灌处理的春玉米产量和水分生产率均高于其他灌溉方式(表4—5)。在春玉米产量构成因素中,除穗粗外, MG处理的产量指标均高于其他处理,不同灌溉处理的单穗重、千粒重和产量均表现为: MG > DG > GA > CK > JG。MG处理的产量显著高于其他处理($p < 0.05$),其产量分别较CK, GA, JG和DG增加18.3%, 13.7%, 19.3%和7.1%,增产效果显著。而JG处理的产量最低,较CK减产0.8%。同时,在不同灌溉方式下,春玉米水分生产率也表现为: MG > DG > JG > GA > CK, MG处理的水分生产率显著高于其他处理($p < 0.05$),分别较DG, GA, JG和CK高7.5%, 45.5%和37.5%和73.2%(表5)。并

且, MG处理分别比GA和JG和CK节水31.3%和19.0%和43.3%(表1),节水效果明显。

此外,交替隔沟灌处理的水分生产率分别较漫灌和沟灌提高26.0%和5.8%(表5),但是交替隔沟灌分别较膜下滴灌和漫灌减产19.3%和0.8%(表4),其减产幅度较大,因此,交替隔沟灌在榆林沙区的适用性还有待进一步研究和论证。

值得注意的是,2014年7—9月该试验区的降水量(187.4 mm)较历年同期(1999—2010年)偏多1.4倍,因而春玉米全生育期漫灌和沟灌的灌溉量较往年减少约10%,在这种情况下,膜下滴灌仍有明显的增产节水效果,是榆林沙区玉米生产中最有效的一种节水灌溉方式。

表4 不同灌溉方式对春玉米产量的影响

处理	穗长/ cm	穗行数/ 行	行粒数/ 粒	穗粗/ mm	单穗重/ g	千粒重/ g	产量/ (kg·hm ⁻²)
MG	21.23 ^a	19.49 ^a	39.26 ^a	50.43 ^a	421.92 ^a	354.51 ^a	14 236.25 ^a
DG	20.53 ^a	17.98 ^b	37.80 ^{ab}	53.2 ^a	391.68 ^{ab}	336.80 ^a	13 293.05 ^b
GA	19.38 ^b	16.29 ^c	37.01 ^{bc}	51.91 ^a	347.11 ^{bc}	294.86 ^b	12 517.45 ^c
JG	19.05 ^b	14.50 ^d	36.53 ^{bc}	43.87 ^a	312.72 ^c	278.17 ^b	11 937.05 ^d
CK	18.70 ^b	16.75 ^c	34.97 ^c	45.29 ^a	339.43 ^c	282.71 ^b	12 034.22 ^d

表5 不同灌溉方式对春玉米水分生产率的影响

处理	降水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	灌溉量/ (m ³ ·hm ⁻²)	ΔW/ (m ³ ·hm ⁻²)	实际需水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	产量/ (kg·hm ⁻²)	水分生产率/ (kg·m ⁻³)
MG	2 393	3 238	-58.16	5 572.84	14 236.25 ^a	2.55 ^a
DG	2 393	3 238	-37.79	5 593.21	13 293.05 ^b	2.38 ^b
GA	2 393	4 714	21.44	7 128.44	12 517.45 ^c	1.76 ^d
JG	2 393	4 000	32.96	6 425.96	11 937.05 ^d	1.86 ^c
CK	2 393	5 714	53.33	8 160.33	12 034.22 ^d	1.47 ^c

注:ΔW为春玉米生育期始末土壤含水量的差值。

3 结论

(1)膜下滴灌处理的春玉米植株生长发育状况优于其他灌溉方式。在春玉米各生育期,膜下滴灌处理的春玉米株高、茎粗和叶片SPAD值明显高于漫灌($p < 0.05$)。本研究结果表明,尽管灌量和灌次一致,露地滴灌处理下的株高、茎粗和叶片SPAD值仍低于膜下滴灌。

(2)膜下滴灌处理的春玉米光合能力和水分利用效率均高于其他灌溉方式。在整个生育期,膜下滴灌处理的春玉米 P_n 值、 G_s 值和WUE值均高于其他处理,且显著高于漫灌($p < 0.05$)。

(3)膜下滴灌处理的春玉米增产节水效果显著。膜下滴灌处理的产量和水分生产率显著高于其他处理($p < 0.05$)。膜下滴灌处理分别较DG, GA, JG和

CK增产7.1%, 13.7%, 19.3%和18.3%,其水分生产率分别较DG, GA, JG和CK提高了7.5%, 45.5%, 37.5%和73.2%,并且分别比GA, JG和CK节水31.3%, 19.0%和43.3%。总体上,与其他4种灌溉方式相比,膜下滴灌方式是榆林沙区玉米生产中最有效的一种节水灌溉方式。

[参考文献]

- [1] 王小瑞, 吴洁. 榆林市农业节水灌溉现状与发展对策探讨[J]. 水利与建筑工程学报, 2010, 8(6): 121-122.
- [2] 李铁男, 李美娟, 王大伟. 不同灌溉方式对玉米生物学效应影响研究[J]. 节水灌溉, 2011(10): 24-25.
- [3] 王建东, 龚时宏, 许迪, 等. 东北节水增粮玉米膜下滴灌研究需重点关注的几个方面[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(1): 1-4.

(下转第222页)

- [3] 杜社妮,耿桂俊,白岗栓,等. 保水剂施用方式对土壤水分及向日葵生长的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(4): 139-143.
- [4] 王存兴,赵银河,祝钰,等. 土壤保水剂荒山造林应用技术研究[J]. 现代农业科技, 2012, (23): 167-168.
- [5] 姚建武,王艳红,唐明灯,等. 施用保水剂对旱地赤红壤持水能力及氮肥淋失的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(5): 191-194.
- [6] Zahra M, Davood Hi, Ahmad A, et al. Effects of super absorbent polymer and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of maize under drought stress and normal conditions[J]. African Journal of Agricultural Research, 2011, 6(19): 4471-4476.
- [7] 温晓霞,殷瑞敬,高茂盛,等. 不同覆盖模式下旱作苹果园土壤酶活性和微生物数量时空动态研究[J]. 西北农业学报, 2011, 20(11): 82-88.
- [8] Som B, Pao S, Ouk M, et al. Effects of straw mulch on mungbean yield in rice fields with strongly compacted soils[J]. Field Crops Research, 2011, 124(3): 295-301.
- [9] Moslem J, Jalil A, Pour H, et al. Mulching impact on plant growth and production of rainfed fig orchards under drought conditions[J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2012, 10(1): 428-433.
- [10] 陈素英,张喜英,裴冬,等. 秸秆覆盖对夏玉米田棵间土壤温度影响[J]. 排水学报, 2004, 23(4): 32-36.
- [11] 王中堂,彭福田,唐海霞,等. 不同有机物料覆盖对桃园土壤理化性质及桃幼树生长的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 142-166.
- [12] 杜森,高祥照. 土壤分析技术规范[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [13] 孙萌,张雪梅,牛宝清,等. 河北太行山干旱片麻岩山地土壤理化性质[J]. 林业科技开发, 2013, 27(6): 15-19.
- [14] 李明,崔世茂,王怀栋. 不同地表覆盖对温室黄瓜根际土壤微生物和养分变化的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 173-177.
- [15] 张锐,孟宪昌,赵小凤. 生物覆盖的历史和发展趋势[J]. 山西农业科学, 2007, 35(9): 15-18.
- [16] Nie Shengwei, Chen Yuanquan, Enejin A E, et al. Impacts of maize intercropping with ryegrass and alfalfa on environment in fields with nitrogen fertilizer over-dose[J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2012, 10(2): 896-901.
- [17] 谢文,潘木军,翟均平,等. 不同垄作覆盖栽培对土壤理化性状、耗水特性和玉米产量的影响[J]. 西南农业学报, 2007, 20(3): 365-369.
- [18] 张逸飞,钟文辉,李钟佩,等. 长期不同施肥处理对红壤水稻土壤酶活性及微生物群落功能多样性的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(4): 39-44.
- [19] 张桂玲. 秸秆和生草覆盖对桃园土壤养分含量、微生物数量及土壤酶活性的影响[J]. 植物生态学报, 2011, 35(12): 1236-1244.
- [20] 刘久俊,方升佐,谢宝东,等. 生物覆盖对杨树人工林根际土壤微生物、酶活性及林木生长的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(6): 1204-1210.

(上接第 217 页)

- [4] 赵玉宇,魏永华,魏永霞,等. 不同沟灌方式对玉米光合速率和蒸腾速率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(5): 110-113.
- [5] 唐光木,何红,杨金钰,等. 灌溉定额对膜下滴灌玉米生理性状及产量的影响[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3): 293-297.
- [6] 李维敏. 滴灌条件下不同覆膜方式对春玉米生理特性及土壤环境的影响[D]. 内蒙古 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [7] 范雅君,吕志远,田德龙,等. 河套灌区玉米膜下滴灌灌溉制度研究[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(1): 123-129.
- [8] 姜佰文,戴建军,王春宏,等. 氮素调控对寒地玉米氮素吸收与叶片 SPAD 值影响的初探[J]. 中国土壤与肥料, 2010(3): 41-44.
- [9] 郑捷,李光永,韩振中. 中美主要农作物灌溉水分生产率分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 46-50.
- [10] 汪志农. 灌溉排水工程学[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2013: 103-117.
- [11] 李漫. 不同密度及灌溉方式对春玉米生长发育及产量的影响[D]. 新疆 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2012.
- [12] 郭维. 黑龙江省西部玉米膜下滴灌试验研究[D]. 黑龙江 哈尔滨: 东北农业大学, 2010.
- [13] Grassini P, Thorburn J, Burr C, et al. High-yield irrigated maize in the Western US Corn Belt (I): On-farm yield, yield potential, and impact of agronomic practices[J]. Field Crops Research, 2011, 120(1): 142-150.
- [14] 秦永林. 不同灌溉模式下马铃薯的水肥效率及膜下滴灌的氮肥推荐[D]. 内蒙古 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- [15] 康静,黄兴法. 膜下滴灌的研究及发展[J]. 节水灌溉, 2013(9): 71-74.