

不同灌溉量对春玉米生长、干物质积累及转运的影响

杨乔乔^{1,2}, 康建宏^{1*}, 王佳¹, 王天佑¹, 刘伟¹, 张月荷¹, 王晓苹¹

(1. 宁夏大学农学院, 银川 750021; 2. 石嘴山市平罗县农业农村局, 宁夏 石嘴山 753400)

摘要:为探究宁夏地区滴灌水肥一体化条件下春玉米的适宜灌水量,本研究在2019年和2020年开展灌水量对春玉米生长状况、干物质积累量、转运效率及产量影响的研究。以迪卡517为供试春玉米品种,共设置3个灌水量处理,分别为:CK(100%, 3 300 m³/hm²)、T₁(70%, 2 310 m³/hm²)、T₂(85%, 2 805 m³/hm²)。结果表明,2019年70%灌水量条件下的株高、茎粗和SPAD值最高,85%灌水量条件下次之,100%灌水量条件下的最低;2020年灌水量对株高、茎粗和SPAD值的影响为:T₁>T₂>CK;2019年和2020年均以T₁处理的春玉米叶面积指数最大,有利于叶绿素的保持。2019年和2020年干物质积累的总量均随生育期的推进逐渐上升,T₂处理的干物质转运效率最大;在产量构成因素中,2019年穗粒数、百粒重与产量关系密切,2020年穗长、秃尖长、穗粒数、百粒重是影响产量的重要因素;两年中均以T₁处理有更好的穗部特征,其产量较T₂处理和CK分别高5.17%、32.07%和3.52%、26.88%;对于该试验地区,70%滴灌量可推荐作为当地滴灌水肥一体化灌水量的参考指标。

关键词:滴灌水肥一体化;春玉米;灌水量;干物质;产量

中图分类号:S513

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2024)05-0006-08

Effects of Drip Irrigation Amounts with Water and Fertilizer on Growth, Dry Matter Accumulation and Operation of Spring Maize

YANG Qiaoqiao^{1,2}, KANG Jianhong^{1*}, WANG Jia¹, WANG Tianyou¹, LIU Wei¹, ZHANG Yuehe¹, WANG Xiaoping¹

(1. College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021; 2. Shizuishan Pingluo County Agriculture and Rural Bureau, Shizuishan 753400, China)

Abstract: In order to explore the suitable irrigation amount for maize planting under the condition of integrated drip irrigation and water fertilizer in Ningxia, this study conducted a study on the effects of irrigation amount on spring maize growth, dry matter accumulation, transport and yield in 2019 and 2020. Taking Dika517 as the test variety, using the method of field experiment, three irrigation water levels were set up: CK(100%, 3,300 m³/ha), T₁(70%, 2,310 m³/ha), T₂(85%, 2,805 m³/ha). In 2019, plant height, stem diameter and SPAD values were the highest under T₁, the next is T₂, and the lowest is CK. In 2019 and 2020, the leaf area index (LAI) of spring maize under T₁ was larger, which was beneficial to the maintenance of chlorophyll. In 2019 and 2020, the total dry matter accumulation increased gradually with the advance of the growth period, and the dry matter transport efficiency was the highest under T₂. Among the yield components, grain weight per ear and weight of 100 grains are closely related to yield. Grain length per ear, bald tip length, grain weight per ear and weight of 100 grains in 2020 are all important factors affecting yield. In both two years, the grain yield under T₁ was 5.17%, 32.07% and 3.52%, 26.88% higher than that under T₂ and CK, respectively. For this test area, 70% drip irrigation can be recommended as the reference index of the local drip irrigation water and fertilizer integrated irrigation amount.

Key words: Drip irrigation, water and fertilizer integration; Spring maize; Irrigation amount; Dry matter; Yield

收稿日期:2023-12-28

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划项目(2018BBF02018、2019BBF02003)

作者简介:杨乔乔(1997-),女,助理农艺师,硕士,主要从事作物高产高效优质栽培研究。

通信作者:康建宏,男,教授,E-mail: kangjianhong@qq.com

水资源不足已成为我国农业长期可持续发展的“结症”,为缓解我国水资源短缺的问题,关键在于农业生产节水、高 eff 用水^[1-2]。玉米作为世界第一大粮食作物,其种植面积和产量位居世界第一^[3-4],是需水较多的作物。宁夏引黄灌区是玉米种植的优势区域,种植面积占灌区作物种植面积

的70%,并且还在持续增长^[5]。该区域位于黄河上游,地处西北内陆,降水量少,蒸发量大^[6],农业用水占当地用水总量的90%左右。因此,水分是制约当地玉米产量的主要因素^[7]。而目前该区域存在黄河来水量和分配水量减幅较大及水资源和肥料利用效率低的现状^[8]。此外,由于当地传统的灌溉方式仍为大水漫灌,用水量大,也造成肥料浪费、水分利用率低。因此,寻求新的节水灌溉方式及适宜本地玉米生产的灌溉量是大势所趋。

滴灌水肥一体化具有节省劳动力、改善土壤、提高作物品质和产量以及提高水肥利用效率等优势^[9],许多学者做了相关研究。戚迎龙等^[10]研究表明,滴灌可将水分和养分缓慢、均匀地输送到植株根部,实现了水肥一体化同步供给,提高了农业水肥资源利用率。王雯等^[11]研究指出,在相同滴灌量及施肥量条件下,滴灌较大水漫灌产量增加10.5%。邹海洋等^[12]研究认为,灌水量 $90\%ET_c \sim 100\%ET_c$ 、施肥 $180-90-90(N-P_2O_5-K_2O) \text{ kg/hm}^2$ 是春玉米最佳滴灌施肥策略。适宜的滴灌灌水量能够提高作物水分利用率、增加产量^[13-14]。徐杰等^[15]研究表明,滴灌使玉米显著增产,增幅可达9.5%~20.1%。另外,在玉米播种之后按照每亩每次 30 m^3 ,全生育期进行8次滴灌,节省了春季补墒灌溉

步骤,有效节约20%左右的肥料,基本实现增产目标^[16]。但在滴灌水肥一体化实践中发现每亩灌溉总量 $150 \sim 300 \text{ m}^3$ 都可获得较高产量,适宜灌溉量不确定。因此,本试验在前人研究的基础上,针对宁夏的春玉米种植模式、水土资源现状,通过2019年和2020年两年的大田试验,研究滴灌水肥一体化条件下不同灌水量对玉米生长、干物质积累量及转运效率的影响,以选取适宜本地区的滴灌水量,以期拟为构建科学的滴灌水肥一体化制度提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地位于宁夏农林科学院作物研究所望洪基地,在宁夏回族自治区银川市永宁县望洪镇农声村,北纬 $38^\circ 13' 12''$,东经 $106^\circ 13' 48''$,平均海拔 1110 m ;平均降雨量 $189 \sim 210 \text{ mm}$,平均温度 $16.86 \text{ }^\circ\text{C}$ (详见图1),宜采取滴灌,以节水增效;全年 $\geq 10 \text{ }^\circ\text{C}$ 积温 $3210 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{d}$,无霜期 $150 \sim 170 \text{ d}$,年均日照时数 2897.5 h 。2019年试验地前茬为小麦后复种白菜,2020年试验地前茬为玉米,土壤类型为淡灰钙土,耕层土壤(0~20 cm)理化性质见表1。

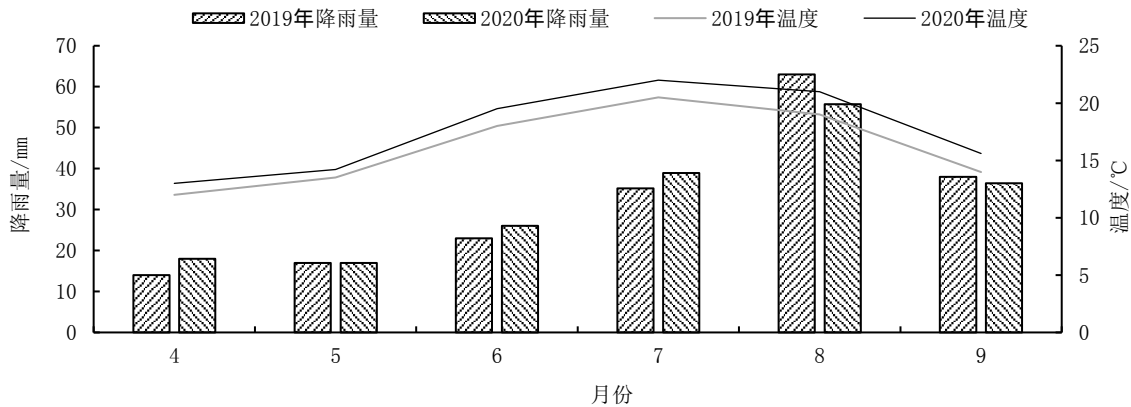


图1 2019年和2020年春玉米生长季降雨量和温度

表1 土壤理化性质

年份	pH值	有机质 /g·kg ⁻¹	碱解氮 /mg·kg ⁻¹	全氮 /g·kg ⁻¹	速效磷 /mg·kg ⁻¹	速效钾 /mg·kg ⁻¹
2019	8.37	16.36	70.54	1.08	42.79	173.23
2020	8.48	17.08	72.72	1.15	43.85	175.44

1.2 试验设计

以迪卡517为供试春玉米品种,采用地表滴灌,设置了3个灌水量处理,分别为常规滴灌量CK(100%, $3300 \text{ m}^3/\text{hm}^2$)、70%常规滴灌量 T_1 (70%, $2310 \text{ m}^3/\text{hm}^2$)、85%常规滴灌量 T_2 (85%,

$2805 \text{ m}^3/\text{hm}^2$),具体灌水时间及灌水量见表2。每个处理设3次重复,共9个小区,随机排列。每个小区长 10 m ,宽 4.4 m ,小区面积 44 m^2 。玉米种植采用宽窄行种植,宽行 70 cm ,窄行 40 cm ,玉米株距 18 cm ,四周设保护区,区组(重复)间设 1 m 过道,铺设支管道的过道 1.5 m ,3次重复小区为一个滴灌单元。每2行铺设一根滴灌带,滴灌带铺设在宽窄行内,春玉米生育期内化肥施用总量一致, $N 292 \text{ kg/hm}^2$ 、 $P_2O_5 100 \text{ kg/hm}^2$ 、 $K_2O 216 \text{ kg/hm}^2$,试验不施基肥,养分全部追施,随滴灌时施入。种植密度控制在 9 万株/hm^2 ,分别于2019年4月25日和

表2 2019年和2020年春玉米灌水情况

m³/hm²

年份	处理	各灌水日期的灌水量									灌溉定额
		4月29日	5月20日	6月15日	6月30日	7月24日	8月9日	8月25日	9月6日	9月18日	
2019	CK	495	396	198	198	198	693	297	297	594	3 300
	T ₁	347	277	139	139	139	485	208	208	416	2 310
	T ₂	421	337	168	168	168	589	252	252	505	2 805
2020	CK	495	396	198	198	198	693	297	297	594	3 300
	T ₁	347	277	139	139	139	485	208	208	416	2 310
	T ₂	421	337	168	168	168	589	252	252	505	2 805

2020年4月22日人工精量播种,9月24日收获。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生长指标的测定

在苗期随机选择非破坏性小区玉米10株,插牌定株编号,在玉米生育各时期测定自然株高;用游标卡尺测量每株茎粗并记录;利用长×宽×系数法(0.75),测定每株玉米全展叶片面积,计算叶面积指数;利用SPAD-502叶绿素仪测定叶绿素相对含量(SPAD值)。

1.3.2 玉米干物质积累量的测定

于玉米苗期至成熟期5个时期各取样一次,随机选择3株长势一致的玉米全株,在试验室按照茎、叶片、籽粒三部分装袋放入烘箱内,105℃杀青30min,85℃烘干至恒重,称干重。干物质转运量、干物质转运效率和干物质转运对籽粒贡献率等参照邹海洋等^[12]的方法进行计算分析。

干物质转运量(g·株⁻¹)=吐丝期干物质积累量-完熟期干物质积累量

干物质转运效率=(干物质转运量/吐丝期干物质积累量)×100%

干物质转运量对籽粒的贡献率=(干物质转运量/粒重)×100%

1.3.3 产量及产量构成因素测定

于春玉米成熟期,取每试验小区中间4行测定玉米穗数、鲜穗质量及含水量,于田间测定出籽率;取20穗玉米风干后在室内考种,记录其穗粗、穗长、秃尖长、穗行数、行粒数、百粒重,得出平均每穗穗粒数与平均百粒重,测定玉米籽粒实际含水量后折合14%含水量计算单位面积产量。

1.3.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2010软件进行数据整理和作图,使用SPSS 23.0软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 灌水量对春玉米生长的影响

由图2可以看出,各处理株高在苗期-大口期

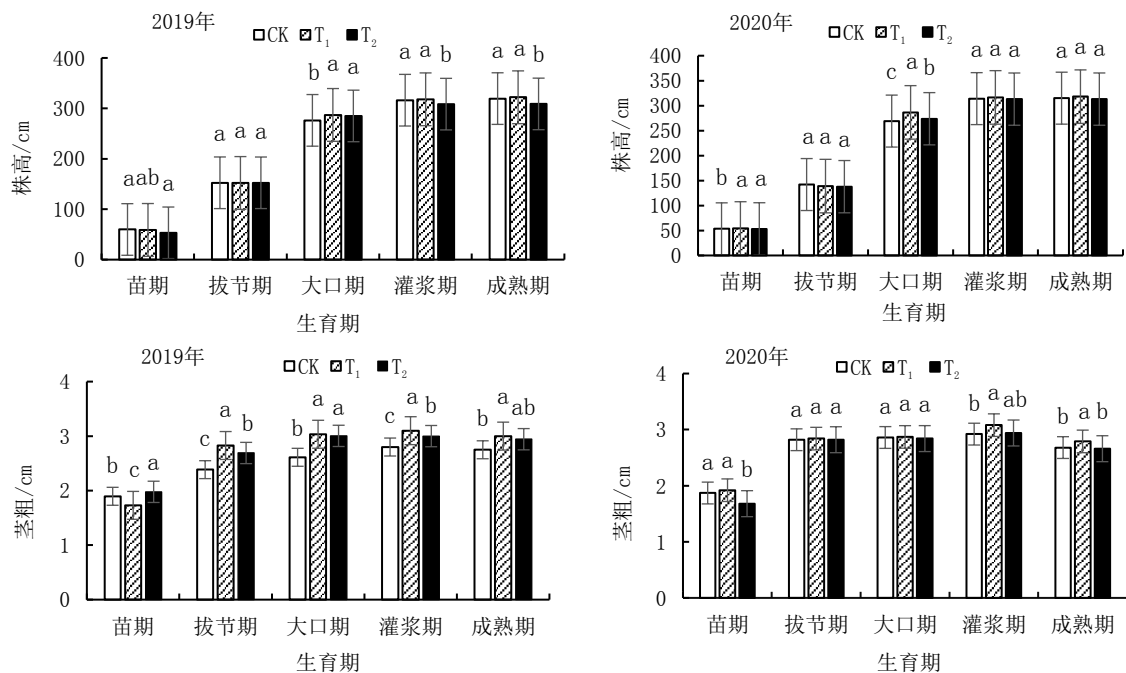


图2 春玉米的生长特征

快速增长,灌浆后基本稳定;年际间相比,2019年的株高在各时期均高于2020年,两年中从大口期开始, T_1 的株高均最高, T_1 在2019年成熟期分别比CK和 T_2 高1.01%和3.04%,2020年分别比CK和 T_2 高1.01%和1.05%。两年中玉米茎粗的变化呈现先迅速增加后缓慢降低的趋势,且两年均在灌浆期最大,2019年茎粗除苗期外,四个时期均表现 $T_1 > CK$;2020年茎粗,灌浆期和成熟期表现为 $T_1 > CK$;年际间相比,2019年的玉米茎粗在各时期均高于2020年;2019年和2020年全年生育期 T_1 的平均茎粗分别比CK和 T_2 大22.6.1%、9.1%和12.6%、4.3%。

2.2 灌溉量对春玉米叶面积指数(LAI)和SPAD值的影响

由图3可以看出,2019年和2020年的叶面积指数(LAI)均表现为先增加后减小的变化趋势,

整个生育期的平均叶面积指数表现为 $T_1 > T_2 > CK$ 。2019年和2020年SPAD值均表现为先增加后减小的变化趋势,年际间相比,2019年各时期各处理SPAD值均比2020年的大,2019年SPAD值在大口期最大,2020年SPAD值在灌浆期最大,且在生育后期,2019年较2020年下降缓慢,说明生育后期2019年较2020年光合作用持续时间长,不易引起早衰;苗期-拔节期,2019年各处理表现为 $T_1 > CK > T_2$,2020年表现为 $T_2 > CK > T_1$;大口期,2019年和2020年 T_1 处理的SPAD值均显著高于CK和 T_2 处理($P < 0.05$);灌浆期,2019年各处理表现为 $T_1 > T_2 > CK$,2020年表现为 $T_2 > T_1 > CK$;在成熟期,2019年和2020年的SPAD值均表现为 T_1 处理最大。

2.3 灌溉量对春玉米干物质积累量的影响

由表3可知,2019年和2020年干物质积累的总量(茎+叶+籽粒)均随生育期的推进逐渐增加,

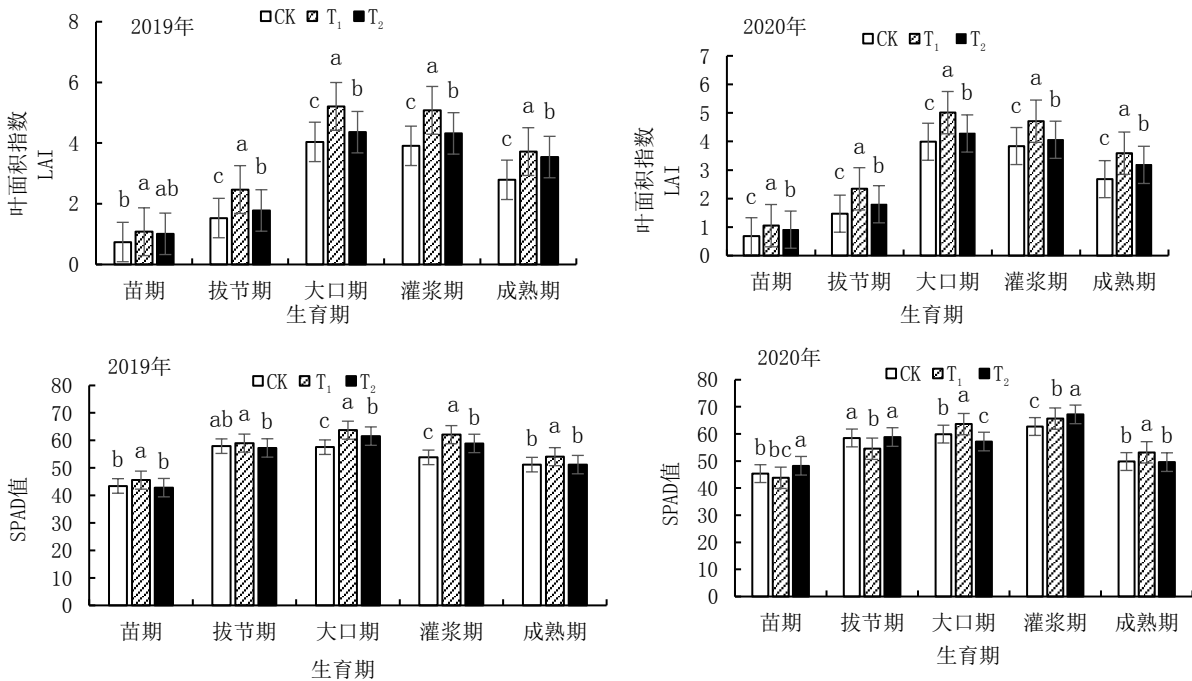


图3 灌溉量对春玉米LAI和SPAD值的影响

年际间相比,2020年的干物质积累总量大于2019年的干物质积累总量。2019年在拔节期干物质积累总量表现为 $T_2 > T_1 > CK$,在大口期, T_2 处理的干物质积累总量显著高于CK和 T_1 处理;2020年在拔节期,干物质积累总量从大到小依次为 $T_2 > CK > T_1$;2019年和2020年灌浆期的干物质积累总量迅速增大;成熟期两年的干物质积累总量均表现为 T_1 处理显著高于 T_2 处理和CK,2019年 T_1 处理比 T_2 处理和CK分别高7.61%和21.56%,2020年 T_1 处理比 T_2 处理和CK分别高16.7%和21.83%。

2019年和2020年茎、叶干物质积累量随生育

期推进大致呈现先上升后下降的趋势,CK和 T_2 处理均在大口期达到最大值。苗期2019年和2020年的茎、叶干物质积累量均表现为 T_1 、 T_2 处理大于CK;拔节期2019年的茎、叶干物质积累量均为 $T_2 > T_1 > CK$,2020年均表现为 $T_2 > CK > T_1$;大口期2019年和2020年茎干物质积累量均表现为 T_2 处理显著高于 T_1 处理和CK,分别比 T_1 处理和CK高30.34%、37.44%(2019年)和27.75%、34.72%(2020年),2019年和2020年叶干物质积累量从大到小均依次为 $T_2 > CK > T_1$;灌浆期2019年和2020年籽粒干物质积累量均表现为 $T_2 > T_1 > CK$;成熟期2019年

表3 不同灌水量对春玉米干物质积累量的影响

kg/hm²

年份	生育期	处理	茎	叶	籽粒	茎+叶+籽粒	
2019	苗期	CK	152.10a	273.00a		425.10ab	
		T ₁	155.10a	279.90a		434.85a	
		T ₂	163.80a	281.85a		445.65a	
	拔节期	CK	3 371.55b	2 742.75b		6 114.30c	
		T ₁	3 538.35ab	2 792.40b		6 330.75b	
		T ₂	3 718.65a	3 126.89a		6 845.55a	
	大口期	CK	7 659.60c	4 710.30b		12 369.90b	
		T ₁	8 076.90b	3 925.35c		12 002.25c	
		T ₂	10 527.15a	5 451.32a		15 978.27a	
	灌浆期	CK	7 606.95c	4 148.71a	7 608.90c	19 364.56c	
		T ₁	8 858.85a	3 392.09c	10 223.85b	22 474.79b	
		T ₂	7 932.60b	3 786.91b	13 435.50a	25 155.01a	
	成熟期	CK	5 145.15c	3 515.85b	11 986.65c	20 647.65c	
		T ₁	5 726.25a	3 729.45a	16 442.41a	25 897.96a	
		T ₂	5 515.65b	3 501.30b	14 950.65b	23 967.45b	
	2020	苗期	CK	143.41b	358.80a		502.21b
			T ₁	148.19b	366.62a		514.81b
			T ₂	180.45a	363.75a		544.20a
拔节期		CK	3 853.21b	2 910.45b		6 763.66b	
		T ₁	3 699.15bc	2 744.70bc		6 443.85c	
		T ₂	4 075.51a	3 438.90a		7 514.41a	
大口期		CK	7 617.75c	4 479.15b		12 096.90b	
		T ₁	8 033.39b	3 855.14c		11 873.53bc	
		T ₂	10 262.85a	5 461.05a		15 723.90a	
灌浆期		CK	7 549.50c	4 288.05b	7 519.20c	19 356.75c	
		T ₁	8 125.65b	4 048.22c	8 030.10b	20 203.97b	
		T ₂	10 086.45a	5 339.10a	10 389.59a	25 815.14a	
成熟期		CK	5 413.23b	3 720.60ab	13 716.31c	22 850.14b	
		T ₁	5 915.40a	3 895.21a	17 175.60a	26 986.06a	
		T ₂	5 330.38b	3 619.21b	15 042.30b	23 991.89b	

注:小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),下同

和2020年籽粒干物质积累量均表现为 $T_1>T_2>CK$,且2019年 T_1 处理分别比 T_2 处理和CK高9.98%和37.17%,2020年 T_1 处理分别比 T_2 处理和CK高14.18%和25.22%。

2.4 灌水量对春玉米干物质转运的影响

由表4可知,2019年和2020年各处理春玉米茎、叶的干物质转运量(W_T)和干物质转运量对籽粒的贡献率(C_T)均表现为 $T_1>T_2>CK$ (2020年叶的

表4 不同灌水量对春玉米干物质转运的影响

年份	处理	茎			叶			茎+叶		
		W_T/g	$E_T/\%$	$C_T/\%$	W_T/g	$E_T/\%$	$C_T/\%$	W_T/g	$E_T/\%$	$C_T/\%$
2019	CK	25.79	22.83	12.90	12.25	25.36	6.13	38.04	58.19	19.03
	T ₁	29.24	31.71	14.62	17.66	31.59	8.83	46.90	67.35	23.45
	T ₂	26.27	27.08	13.14	14.35	35.64	7.18	40.62	58.67	20.32
2020	CK	22.61	28.94	11.31	12.78	16.94	3.89	10.39	45.88	15.20
	T ₁	29.57	35.10	14.79	17.42	28.67	6.21	41.99	66.51	21.00
	T ₂	24.59	23.36	12.30	16.06	21.41	8.03	40.65	52.03	20.33

C_T 为 $T_2>T_1>CK$, 除外)。2019年茎的干物质转运效率(E_T)表现为 $T_1>T_2>CK$, 叶的 E_T 表现为 $T_2>T_1>CK$; 2020年茎的 E_T 表现为 $T_1>CK>T_2$, 叶的 E_T 表现为 $T_1>T_2>CK$ 。两年各处理的 W_T 和 C_T 均表现为茎>叶。2019年和2020年 T_1 处理茎+叶的 W_T 分别比 T_2 处理和 CK 高 15.46%、23.29%, 和 3.30%、304.14%; 2019年和2020年 T_1 处理茎+叶的 E_T 分别比 T_2 处理、 CK 高 14.79%、15.74% 和 27.83%、44.97%; 2019年 T_1 处理的茎+叶 C_T 分别比 T_2 处理、 CK 高 15.40% 和 23.23%, 2020年 T_1 处理的茎+叶 C_T 分别比 T_2 处理、 CK 高 3.30% 和 38.16%, 说明两年中在生育后期均以 T_1 处理的光合生产能力最优。

2.5 灌水量对春玉米产量及产量构成因素的影响

由表5可知, 2019年和2020年不同灌水量处理的产量均高于常规灌水量处理, 且各处理之间

的差异均达到了显著水平, 表现为 $T_1>T_2>CK$ 。年际间相比, 2020年各处理产量均高于2019年。2019年 T_1 处理的产量分别较 T_2 处理和 CK 增加了 5.17% 和 32.07%, 2020年 T_1 处理的产量分别较 T_2 处理和 CK 增加了 3.52% 和 26.88%。在玉米产量构成因素中, 年际间相比, 2020年各处理均优于2019年各处理; 2019年和2020年各处理穗长、穗粒数、百粒重表现为 $T_1>T_2>CK$; 2019年穗粗表现为 $T_2>T_1>CK$ 、秃尖长表现为 $T_2=CK>T_1$, 2020年穗粗表现为 $T_1>T_2>CK$, 秃尖长表现为 $CK>T_1>T_2$; 两年中各处理之间的穗粒数差异均达到了显著水平; 2019年 T_1 处理的百粒重较 T_2 处理和 CK 分别增加了 2.47% 和 5.16%, 2020年 T_1 处理的百粒重较 T_2 处理和 CK 分别增加了 3.51% 和 4.63%。

表5 不同灌水量对春玉米产量及产量构成因素的影响

年份	处理	穗粗/cm	穗长/cm	秃尖长/cm	穗粒数/粒	百粒重/g	产量/kg·hm ⁻²
2019	CK	4.93b	15.95b	1.31a	483.36c	34.33b	15781.26c
	T_1	5.05a	17.92a	0.80a	499.75a	36.10a	20842.85a
	T_2	5.06a	17.61a	1.31a	487.92b	35.23ab	19818.11b
2020	CK	5.18ab	18.33ab	0.91a	475.94c	36.94b	16673.40c
	T_1	5.22a	19.30a	0.67a	512.46a	38.65a	21155.71a
	T_2	5.20ab	19.22a	0.54a	497.03b	37.34ab	20436.57b

2.6 不同灌水量下春玉米产量与产量构成因素的相关性分析

由表6可知, 2019年穗粒数、百粒重与产量呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.980 和 0.605, 穗粗、穗长、秃尖长与产量相关关系不显著; 2020年穗长、百粒重与产量呈极显著正相关, 秃尖长与

产量呈极显著负相关, 穗粒数与产量呈显著正相关。2019年和2020年穗粗与穗长均呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.933 和 0.829; 2019年穗粒数与穗长相关关系不显著, 但2020年穗粒数与穗长呈极显著正相关, 相关系数为 0.644。2019年和2020年穗粒数与百粒重均呈显著正相关, 相关系数分别为 0.552 和 0.539。结果表明, 在产量构成因素中, 2019年穗粒数、百粒重与产量关系密切, 2020年除穗粗与产量关系不密切外, 穗长、秃尖长、穗粒数、百粒重均为影响产量的重要因素。

表6 不同灌水量下春玉米产量及产量构成因素的相关性分析

年份		产量	穗粗	穗长	秃尖长	穗粒数
2019	穗粗	0.459				
	穗长	0.322	0.933**			
	秃尖长	0.270	-0.206	-0.201		
	穗粒数	0.980**	0.509	0.345	-0.291	
	百粒重	0.605**	0.502	0.433	-0.107	0.552*
2020	穗粗	0.385				
	穗长	0.632**	0.829**			
	秃尖长	-0.731**	0.054	-0.32		
	穗粒数	0.781*	0.319	0.644**	-0.226	
	百粒重	0.643**	0.471	0.201	-0.161	0.539*

注: “**”表示极显著相关, “*”表示显著相关

3 讨论与结论

水分是影响玉米生长发育的关键因子^[17]。以往研究发现, 灌水量和施肥量对玉米株高、茎粗、叶面积指数都有显著或极显著的影响^[18]; 随灌水量增加, 作物的株高增加, 但茎粗相对减小, 易发生徒长^[19]; 也有研究表明, 随着灌水量的增大株高和茎粗也增大, 但低水量处理有利于叶片生长和叶绿素积累, 灌水量过大过小都可能使玉米提前衰老^[20-24], 较高的叶面积指数和叶绿素含量对玉米高产具有重要意义^[25]。本研究结果表明, 各灌

水量处理对2019年春玉米的株高、2020年春玉米株高和茎粗无明显影响,70%灌水量处理下2019年玉米茎粗有明显的增加;2019年和2020年70%灌水量处理下LAI明显增加,2019年70%灌水量处理下的SPAD值最大,2020年大口期和成熟期70%灌水量处理下SPAD值最大,说明70%灌水量处理有利于生育后期叶面积指数和叶绿素含量的提高,这与王卫杰等^[23]研究结果基本一致,与李佳佳等^[26]随灌溉量减少幅度的增大,叶面积指数显著下降的研究结果相反。

春玉米高产的保障之一是要有充足的干物质积累^[27-28]。灌水量过多会使作物提前衰老,适度的限量灌溉更有利于作物干物质的积累^[29-30]。解婷婷等^[31]研究表明,不同灌水量会影响作物的生长发育过程,进而影响作物干物质的累积量和产量形成。本试验中,苗期到灌浆期,2019年和2020年T₂处理的干物质积累总量均高于T₁处理和CK,即85%灌水量较100%和70%灌水量更有利于玉米生育前期干物质总量的积累,导致该结果的原因可能是灌水量较多,促进了植株营养生长,从而增加了干物质的积累。该结果与李媛媛等^[32]研究的灌溉定额较高的处理干物质总量的积累越高的结果基本一致。成熟期的干物质积累从大到小依次为T₁>T₂>CK,可能是70%灌水量处理为玉米干物质的积累创造了更有利的条件,100%灌水量下干物质积累最低的原因可能是灌水量过多,再加上8、9月份降雨频繁的原因,导致了茎、叶的干物质向籽粒中转移受阻,转运效率下降。本研究中,70%灌水量处理的W_T(茎+叶),C_T(茎+叶)明显大于85%灌水量处理和100%灌水量处理,这与周新国等^[33]研究低水分处理的籽粒分配率显著提高基本一致。可能是因为灌水量大虽然干物质积累量较多,但向籽粒中转移的干物质少;70%灌水量更有利于玉米光合产物向籽粒运移。

水是影响作物生物量和产量的重要因子之一。研究表明,播种时水分和土壤温度的差异显著影响成熟期籽粒产量^[34]。作物产量和水分利用效率随灌水量的增加呈先提高后下降的趋势,且中水量处理与高水量处理水分利用效率无显著差异^[35];田德龙等^[36]研究表明,随灌水量增加,中水量处理比低水量处理水分利用效率平均提高7.93%,高水量处理比中水量处理降低12.68%。本研究结果表明,70%灌水量条件下,玉米水分利用效率有明显提高,但在100%灌水量和85%灌水量处理下水分利用效率无显著差异。研究表

明,灌水量对产量、穗粒数、千粒重均有明显影响^[37]。低灌水量具有明显降低秃尖长,提高作物穗长、穗粒数、百粒重、出籽率、地上部生物产量和经济产量的优势^[23,38]。李佳佳等^[26]研究表明,不同玉米品种的产量随灌溉量的变化存在差异,常规灌溉量(6 000 m³/hm²)时,产量降低10%,5 400 m³/hm²灌溉量时,先玉335和KWS3564产量降低5.82%、7.25%,郑单958产量无明显变化。冯艳春等^[39]在探讨半干旱区不同补灌水量对玉米产量及水分利用效率的影响中发现,与沟灌50 mm相比,膜下滴灌40 mm玉米产量和水分利用效率显著提高。本研究结果表明,70%灌水量的穗粗、穗长、穗粒数、百粒重和产量均高于100%灌水量和85%灌水量处理,说明70%灌水量有利于果穗的生长,具有明显降低秃尖长,提高作物穗长、穗粒数、百粒重、出籽率、地上部分生物产量和经济产量的优势,该结果与杨小振^[22]、王卫杰^[23]等研究结果基本一致,但与李佳佳^[26]、Seidel^[40]、Tobiase^[41]等的研究结果不一致,可能是70%灌水量下有利于提高本试验地区的玉米产量,也可能是因为T₁处理的秃尖长相对较短,顶部籽粒发育良好,从而获得了较多的穗粒数。CK和T₂处理产量较低,可能由于水分过于充足,春玉米生育期推迟,籽粒没有完全成熟,穗长、穗粗的增加不足以弥补百粒重和穗粒数的降低,导致春玉米产量降低。

本研究结果表明,70%灌水量在节水的前提下有利于春玉米的生长,达到增产的效果。因此,结合当地气候条件,70%(2 310 m³/hm²)灌水量可推荐作为当地滴灌水肥一体化适宜灌水量的参考指标。本试验在自然条件下进行,虽无法准确控水,但考虑到试验年度生长季降水与历年同期平均降水量接近,所以试验所得结果对于指导试验地区玉米生产具有一定意义。本试验只对春玉米滴灌施肥的应用效果进行了初步验证,在以后的工作中,可以根据当地实际情况,将自然条件和防雨棚两者结合起来,以便更加全面分析滴灌水肥一体化技术对春玉米生产的影响,更好地指导春玉米生产实践。

参考文献:

- [1] 康绍忠,霍再林,李万红.旱区农业高效用水及生态环境效应研究现状与展望[J].中国科学基金,2016,30(3):208-212.
- [2] 汪顺生,刘东鑫,王康三,等.不同沟灌方式对夏玉米耗水特性及产量影响的模糊综合评判[J].农业工程学报,2015,31(24):89-94.
- [3] 胡凯.韩城市玉米生产现状及对策研究[D].杨凌:西北农林

- 科技大学,2019.
- [4] 梁勇.2020年12月世界农产品供需形势预测简报[J].世界农业,2021(1):124-128.
- [5] 赵威,韦志刚,郑志远,等.1964-2013年中国北方农牧交错带温度和降水时空演变特性[J].高原气象,2016,35(4):979-988.
- [6] 刘学军,翟汝伟,李真朴,等.宁夏扬黄灌区玉米滴灌水肥一体化灌溉施肥制度试验研究[J].中国农村水利水电,2018(9):74-78.
- [7] 谭金莉.宁夏引黄灌区农业水资源确权模型及其制度研究[D].银川:宁夏大学,2016.
- [8] Pereira L S, Gonçalves J M, Dong B, et al. Assessing basin irrigation and scheduling strategies for saving irrigation water and controlling salinity in the upper Yellow River Basin, China[J]. *Agricultural Water Management*, 2007, 93(3):109-122.
- [9] 李小炜.宁夏农牧交错带玉米需水需肥规律及水肥一体化高效栽培技术研究[D].银川:宁夏大学,2016.
- [10] 戚迎龙,史海滨,李瑞平,等.滴灌水肥一体化条件下覆膜对玉米生长及土壤水肥热的影响[J].农业工程学报,2019,35(5):99-110.
- [11] 王雯,张雄.榆林沙区不同滴灌方式对春玉米生长及产量的影响[J].水土保持通报,2015,35(4):213-222.
- [12] 邹海洋,张富仓,张雨新,等.适宜滴灌施肥量促进河西春玉米根系生长提高产量[J].农业工程学报,2017,33(21):145-155.
- [13] 张国强,王克如,肖春华,等.滴灌量对新疆高产春玉米产量和水分利用效率的影响研究[J].玉米科学,2015,23(4):117-123.
- [14] 程先军,许迪,张昊.地下滴灌技术发展及应用现状综述[J].节水灌溉,1999(4):13-15,42.
- [15] 徐杰,李从锋,孟庆锋,等.苗期不同滴灌方式对东北春玉米产量和水分利用效率的影响[J].作物学报,2015,41(8):1279-1286.
- [16] 李维军.宁夏玉米滴灌水肥一体化灌溉施肥制度研究[J].农业工程技术,2019,39(23):48.
- [17] 邱美娟,王冬妮,王美玉,等.近35年吉林省玉米气候适宜度及其变化[J].东北农业科学,2019,44(1):70-78.
- [18] 郭占全,孙杨,张玉秋,等.施氮量对膜下滴灌玉米干物质积累及产量的影响[J].灌溉排水学报,2015,34(9):76-78.
- [19] 焦炳忠,孙兆军,韩磊,等.扬黄灌区浅埋式滴灌对地膜玉米生长及水分利用效率的影响[J].节水灌溉,2016(6):24-27,30.
- [20] 张琳琳,孙仕军,陈志君,等.不同颜色地膜与种植密度对春玉米干物质积累和产量的影响[J].应用生态学报,2018,29(1):113-124.
- [21] 张富仓,严富来,范兴科,等.滴灌施肥水平对宁夏春玉米产量和水肥利用效率的影响[J].农业工程学报,2018,34(22):111-120.
- [22] 杨小振,张显,马建祥,等.滴灌施肥对大棚西瓜生长、产量及品质的影响[J].农业工程学报,2014,30(7):109-118.
- [23] 王卫杰,张彦群,祁鸣笛,等.滴灌灌水量对玉米耗水及生长的影响[J].排灌机械工程学报,2020,38(10):1063-1068.
- [24] 张雨珊,杨恒山,葛选良,等.西辽河平原浅埋滴灌下水氮运筹对玉米产量和效益的影响[J].东北农业科学,2023,48(5):32-36,80.
- [25] 王佳,慕瑞瑞,杨乔乔,等.滴灌水肥一体化下施钾量对宁夏春玉米叶绿素荧光特性与产量的影响[J].浙江农业学报,2021,33(8):1347-1357.
- [26] 李佳佳,刘朝巍,王克如,等.灌溉量对新疆滴灌密植高产春玉米光合特性及产量的影响[J].玉米科学,2017,25(1):107-112.
- [27] 朱从桦,张嘉莉,王兴龙,等.硅磷配施对低磷土壤玉米干物质积累、分配及产量的影响[J].中国生态农业学报,2016,24(6):725-735.
- [28] 张磊,孔丽丽,侯云鹏,等.滴灌施氮对东北春玉米物质生产、转运及氮素利用效率的影响[J].东北农业科学,2020,45(6):68-73.
- [29] 崔红艳,胡发龙,方子森,等.不同水分处理对胡麻干物质积累与分配及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(5):34-40.
- [30] Zhang B, Li F M, Huang G, et al. Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid area [J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 79(1): 28-42.
- [31] 解婷婷,苏培玺.灌溉与施氮量对黑河中游边缘绿洲沙地青贮玉米产量及水氮利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):72-76.
- [32] 李媛媛,杨恒山,张瑞富,等.浅埋滴灌条件下不同灌水量对春玉米干物质积累与转运的影响[J].浙江农业学报,2017,29(8):1234-1242.
- [33] 周新国,李彩霞,强小嫚,等.喷灌条件下液膜覆盖对玉米干物质积累及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2010,26(11):43-48.
- [34] 王洪预,吕小飞,李文莹,等.基于大田土壤温度和水分变化的吉林省春玉米播期研究[J].东北农业科学,2021,46(1):1-5.
- [35] Chen W, Hou Z, Wu L, et al. Effects of salinity and nitrogen on cotton growth in arid environment[J]. *Plant Soil*, 2010, 326(S1-2):61-73.
- [36] 田德龙,侯晨丽,马鑫,等.膜下滴灌小麦—西兰花复种水肥利用效率[J].干旱地区农业研究,2020,38(4):122-127,135.
- [37] 徐泰森,孙扬,刘彦萱,等.膜下滴灌水肥耦合对半干旱区玉米生长发育及产量的影响[J].玉米科学,2016,24(5):118-122.
- [38] 黄鹏飞,尹光华,谷健,等.交替地下滴灌对春玉米产量和水分利用效率的影响[J].应用生态学报,2016,27(8):2507-2512.
- [39] 冯艳春,黄日,李雪花,等.半干旱区不同补灌水量对玉米产量及水分利用效率的影响[J].东北农业科学,2020,45(6):5-7.
- [40] Seidel S J, Schutze N, Fahle M, et al. Optimal irrigation seedling, irrigation control and drip line layout to increase water productivity and profit in sub surface drip irrigated agriculture[J]. *Irrigation and Drainage*, 2015, 64(4): 501-518.
- [41] Tobiase O, IsayaK, Aleksey Y S, et al. Evaluation of maize production under mobile drip irrigation[J]. *Agricultural Water Management*, 2018, 210(30): 11-21.

(责任编辑:范杰英)