

文章编号: 1007-4929(2020)10-0015-05

前期灌溉延迟对河套灌区地膜春小麦生长的影响

罗 东¹, 白岗栓², 苗庆丰³, 边利强⁴

(1. 陕西怡安建设工程有限公司, 西安 710021; 2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;
3. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010020; 4. 磴口县水利局, 内蒙古 磴口 015200)

摘 要: 为了减少地膜春小麦生长前期的冗长生长量, 提高地膜春小麦的千粒重及产量, 试验以河套灌区地膜春小麦的常规灌溉时期为对照, 将地膜春小麦生长前期的灌溉, 即分蘖期和孕穗初期的灌溉分别延迟 10、15 和 20 d, 监测前期灌溉延迟对扬花期、灌浆期和成熟期的土壤水分及地膜春小麦生长的影响。结果表明前期灌溉延迟提高了扬花期、灌浆期和成熟期的土壤水分, 且延迟越晚, 土壤水分越高; 前期灌溉延迟降低了地膜春小麦的分蘖力, 提高了分蘖成穗力, 减少了不孕小穗数, 提高了穗粒数、千粒重及籽粒产量, 提高了土壤水分利用效率和水分生产率, 其中分蘖期和孕穗初期的灌溉分别延迟 15 d 的效果最佳。河套灌区地膜春小麦生长前期的灌溉应在地膜春小麦拔节孕穗期和孕穗抽穗期, 即比当地地膜春小麦的灌溉延迟 15 d 左右。

关键词: 地膜春小麦; 生长前期; 灌溉延迟; 土壤水分; 产量

中图分类号: S512.1; S274.1 文献标识码: A

Effect of Prophase Irrigation Postponed on the Growth of Film Mulching Spring Wheat in Hetao Irrigated Area

LUO Dong¹, BAI Gang-shuan², MIAO Qing-feng³, BIAN Li-qiang⁴

(1. Shaanxi Yian Construction Engineering Co. LTD, Xi'an 710021, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, Shaanxi Province, China;

3. Water Conservancy and Civil Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010020, China;

4. Dengkou Water Resources Bureau, Dengkou 015200, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: In order to reduce the verbosity growth at prophase and increase the 1000-grain weight and yield of film mulching spring wheat in Hetao irrigation area, the experiment took conventional irrigation stage as the control, the irrigation time of prophase growth period, i.e. tillering stage irrigation (the first irrigation) and booting stage irrigation (the second irrigation) was postponed by 10, 15 and 20 d respectively, and the effects of prophase irrigation postponed on the soil moisture and the growth of film mulching spring wheat were monitored in Hetao irrigation area. The results showed that postponed prophase irrigation increased the soil moisture at flowering, filling and maturing stage; the later the prophase irrigation stage, the higher the soil moisture; the postponed prophase irrigation reduced the tillering ability, improved the ability of spike formation, reduced the number of infertility spikelet, improved grain numbers per spike, improved 1 000-grain weight and yield, and improved the soil water use efficiency and soil water production efficiency of film mulching spring wheat; among the different treatments, irrigation delay of 15 days at tillering stage and early booting stage had the best effect. The first and the second irrigation stage of film mulching spring wheat in Hetao irrigation area should be postponed at the joint-boot stage and the boot-head stage, i.e., about 15 days later than the conventional irrigation stage.

Key words: film mulching spring wheat; prophase growth stage; irrigation postponed; soil moisture; yield

收稿日期: 2020-06-22

基金项目: 国家重点研发计划“黄土高原生态修复模式的格局-结构-功能关系”(2016YFC0501602)。

作者简介: 罗 东(1990-) 男, 助理工程师, 主要从事生态环境建设方面的工作。E-mail: luodong1112@163.com。
通讯作者: 白岗栓(1965-) 男, 研究员, 主要从事农田生态与果树栽培方面的研究。E-mail: gshb@nwsuaf.edu.cn。

河套灌区地处干旱、半干旱、半荒漠草原区,灌溉是河套灌区春小麦获得高产稳产的最关键技术^[1]。河套灌区露地春小麦往往在分蘖期、孕穗初期、扬花期和灌浆期灌溉,其中分蘖期灌溉的主要目的是以水压盐、洗盐,降低土壤盐分带来的不利影响^[2]。地膜覆盖有效抑制了土壤水分蒸发,改善了土壤水、热及盐的分布^[3-5],降低土壤盐分表聚^[3],提高土壤水分利用效率^[5],促进春小麦提早出苗^[6]并积累较多的干物质^[4],利于春小麦早期的穗分化及产量形成,可显著提高春小麦产量^[7,8],地膜春小麦在河套灌区已逐渐推广^[9]。河套灌区每年秋末冬初对农田进行“秋浇”,“秋浇”的水分大多冻结在0~100 cm土层土壤中,翌年春季土壤解冻消融,可使土壤水分维持在较高的水平^[3]。河套灌区地膜春小麦的灌溉时期与露地春小麦的基本一致。受上年“秋浇”及生长前期灌溉等的影响,河套灌区地膜春小麦生长前期生长旺盛,分蘖强烈,往往造成拔节期至灌浆期^[8]或扬花期至灌浆期耗水量增多^[5,6],导致生长后期土壤水分不足^[10,11],且地膜春小麦的分蘖力强,分蘖成穗比例高,个体间竞争加剧,进一步降低了千粒重及产量^[7,8]。如何利用有限的灌溉水资源,减少地膜春小麦的前期冗长生长量,提高生长后期的土壤水分,提高千粒重及产量,成为河套灌区地膜春小麦生产中亟需解决的问题。为了合理利用灌溉水资源,本试验将河套灌区地膜春小麦生长前期的2次灌溉适当延迟,以控制生长前期的冗长生长量,弥补生长后期的土壤水分,为地膜春小麦生产提供指导。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验地位于内蒙古河套灌区磴口县,东经107°02'19",北纬40°24'32",海拔1 048.6 m,年均气温7.1℃,日照时数3 187.3

h,降水量142.1 mm,无霜期178 d。试验地土壤为灌淤土,土层厚度1.8~2.0 m,耕层土壤有机质9.81 g/kg,速效氮63.25 mg/kg,速效磷12.7 mg/kg,速效钾171.5 mg/kg,田间持水量23.23%,萎蔫系数7.48%,含盐量1.50 g/kg左右,pH值8.8。0~100 cm土层土壤容重平均为1.48 g/cm³,地下水埋深2.0 m左右。试验地长60.0 m,宽40.0 m。灌溉水为过境黄河水,矿化度0.32 g/L左右,pH值8.1左右。

1.2 试验材料与设计

供试春小麦品种为永良4号,2018年3月15日穴播,行距15 cm,穴距12 cm,每穴12粒,密度55.556穴/m²^[3,6]。覆盖的地膜宽110 cm,厚0.008 mm,长12.2 m,每幅地膜种植7行,每行100穴。每个试验小区由两幅地膜组成。每幅地膜两侧覆厚6.0 cm、宽7.0 cm土,以防被风吹毁。

试验以当地地膜春小麦的常规灌溉时期,即分蘖期、孕穗初期、扬花期和灌浆期灌溉(小型潜水泵抽水灌溉,每个小区每次灌水2.42 m³,相当于每次灌溉90 mm,根据水表流量来控制)为对照,将地膜春小麦生长前期,即分蘖期、孕穗初期的灌溉各延迟10、15和20 d;生长后期,即扬花期和灌浆期的灌溉时期则与常规灌溉保持一致(表1),且每次的灌水量及全生育期的灌溉量与对照保持一致。试验重复3次,共12个小区,随机排列。不同小区之间相距100 cm,小区边缘修高25 cm、宽30 cm的土埂,以防灌溉水乱串。

不同处理均在覆膜前施K₂O 21.5 kg/hm²,N 172.5 kg/hm²,P₂O₅ 67.5 kg/hm²,第2次灌溉时随水追施N 69.0 kg/hm²。受上年“秋浇”及播种期冻土层消融的影响,播种前0~100 cm土层土壤贮水量高达449.21 mm(4 492.1 m³/hm²)。春小麦生长期降水29.0 mm(290.0 m³/hm²),主要集中在播种后至出苗期和扬花期至成熟期,与往年的降水状况基本相同^[12]。不同

表1 不同处理的灌溉时期

Tab.1 Irrigation stage of different treatments

处理	生长前期		生长后期	
	第1次灌溉	第2次灌溉	第3次灌溉	第4次灌溉
常规灌溉	分蘖期(4月20日)	孕穗初期(5月10日)	扬花期(6月12日)	灌浆期(7月5日)
延迟10 d	拔节后期(4月30日)	孕穗期(5月20日)	扬花期(6月12日)	灌浆期(7月5日)
延迟15 d	拔节孕穗期(5月5日)	孕穗抽穗期(5月30日)	扬花期(6月12日)	灌浆期(7月5日)
延迟20 d	孕穗初期(5月10日)	抽穗期(6月4日)	扬花期(6月12日)	灌浆期(7月5日)

处理的施肥、播种、除草等管理措施相同。

1.3 监测项目

(1) 土壤水分。春小麦扬花期(6月11日)和灌浆期灌水前(7月4日)及成熟期收获前(7月15日),以10 cm土层为一层,在每幅地膜中部春小麦行之间,用土钻分层采集0~100 cm土层土壤,每小区采集3次,烘干法测定土壤水分(%),然后根据土壤水分、土层厚度和土壤容重,换算成土壤贮水量(mm或m³/hm²)^[2,13]。

土壤含水量(质量%) =

$$(\text{原土质量} - \text{烘干土质量}) / \text{烘干土质量} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{土壤贮水量}(\text{mm}) = \frac{\text{土壤含水量}(\text{质量}\%) \times \text{土壤容重}(\text{g}/\text{cm}^3) \times \text{土层厚度}(\text{cm}) \times 10}{1000} \quad (2)$$

$$\text{土壤贮水量}(\text{m}^3/\text{hm}^2) = \frac{\text{土壤贮水量}(\text{mm}) \times 100(\text{m}) \times 100(\text{m})}{1000} \quad (3)$$

(2) 分蘖成穗力。三叶期每个小区随机抽查5穴并标记,常规方法测定基本苗数,孕穗初期测定茎蘖数并计算分蘖力,成熟期测定有效穗数并计算分蘖成穗力^[6]。

(3) 生长状况。孕穗后期(5月25日)、扬花期(6月11日)、灌浆期(7月4日)及成熟期(7月15日)每个小区随机抽取5穴,测定单穴茎数、株高,近地面剪截后测定地上部茎秆、叶片和叶鞘、穗的生物量(105℃烘烤30 min,80℃烘烤至恒重)。

(4) 经济性状。成熟期以1.0 m²为单位(55.556穴),近地面收割,每个小区随机采集3处,测定春小麦的穗长、穗粒数、

籽粒产量和千粒重等。根据籽粒产量与生物量计算经济系数,根据耗水量、生物量和籽粒产量计算水分利用效率和水分生产率^[2,13]。

$$\text{经济系数} = \text{籽粒产量}(\text{kg}/\text{hm}^2) / \text{生物量}(\text{kg}/\text{hm}^2) \quad (4)$$

$$\text{水分利用效率}(\text{kg}/\text{m}^3) = \text{生物量}(\text{kg}/\text{hm}^2) / \text{耗水量}(\text{m}^3/\text{hm}^2) \quad (5)$$

$$\text{水分生产率}(\text{kg}/\text{m}^3) = \text{籽粒产量}(\text{kg}/\text{hm}^2) / \text{耗水量}(\text{m}^3/\text{hm}^2) \quad (6)$$

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 2010 制作图表,SPSS 19.0 软件进行方差分析;若差异显著,则采用邓肯氏新复极差检验法进行多重比较,检验不同处理之间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同处理的土壤贮水量

扬花期灌溉前延迟 10 d、15 d、20 d 和常规灌 0~100 cm 土

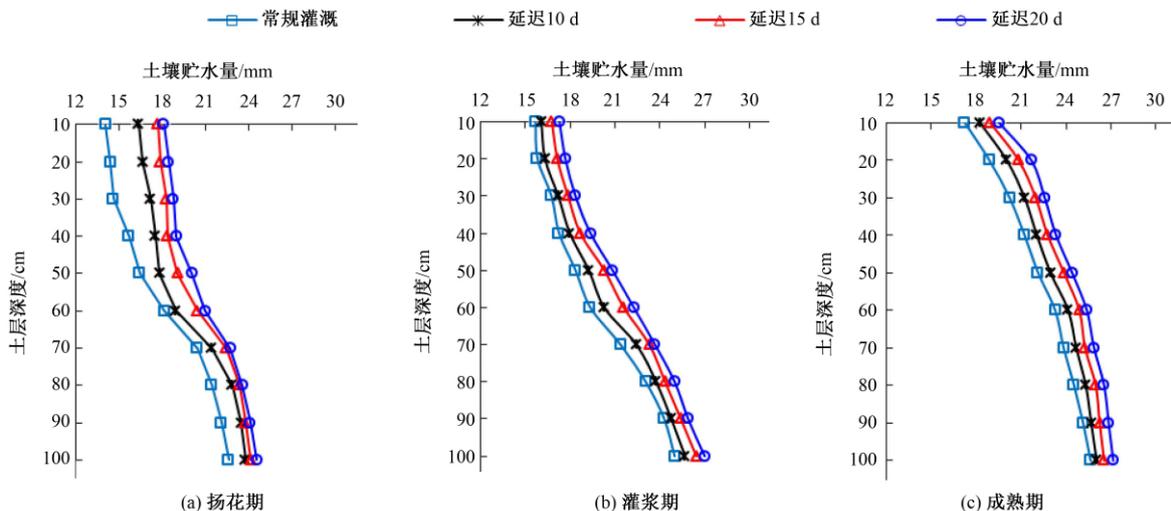


图 1 不同处理不同生长期的土壤贮水量

Fig.1 Soil moisture of different treatments at different growth stage

表 2 不同处理单穴春小麦的分蘖力及分蘖成穗力
Tab.2 Tillering ability and the ability of spike formation from stem and tiller of single-hole spring wheat with different treatments

处理	基本苗数	茎蘖数	分蘖力	有效穗数	分蘖成穗力
常规灌溉	11.36 aA	15.22 aA	1.34 aA	12.63 aA	0.83 cB
延迟 10 d	11.35 aA	13.39 bB	1.18 bB	12.98 aA	0.97 abA
延迟 15 d	11.36 aA	13.40 bB	1.18 bB	13.26 aA	0.99 aA
延迟 20 d	11.37 aA	13.42 bB	1.18 bB	12.61 aA	0.94 bA

注: 同列不同小写字母表示不同处理之间存在显著差异,不同大写字母表示不同处理之间存在极显著差异。下表同。

2.3 不同处理春小麦的生长状况

孕穗后期常规灌溉的株高较高且显著高于 ($p < 0.05$) 延迟 15 d 和延迟 20 d 扬花期、灌浆期和成熟期不同处理之间则无显著差异。孕穗后期常规灌溉的茎秆较粗,扬花期、灌浆期和成熟期均以延迟 15 d 的较粗,不同处理之间存在显著差异。孕

层土壤贮水量分别为 196.07、205.43、210.25 和 180.01 mm,延迟 10 d 的显著高于 ($p < 0.05$) 常规灌溉,延迟 15 d 和延迟 20 d 的均极显著高于 ($p < 0.01$) 常规灌溉,延迟 20 d 的显著高于 ($p < 0.05$) 延迟 10 d 图 1 (a); 灌浆期灌溉前分别为 203.71、211.77、217.27 和 196.89 mm,延迟 15 d 和延迟 20 d 的显著高于 ($p < 0.05$) 常规灌溉,延迟 20 d 的显著高于 ($p < 0.05$) 延迟 10 d 图 1 (b); 成熟期收获前分别为 230.45、237.33、243.34 和 222.20 mm,延迟 15 d 和延迟 20 d 的显著高于 ($p < 0.05$) 常规灌溉,延迟 20 d 的显著高于 ($p < 0.05$) 延迟 10 d 图 1 (c)。

2.2 不同处理春小麦的分蘖力及分蘖成穗力

不同处理的基本苗数基本相同。分蘖期常规灌溉的土壤水分含量高,土壤盐分含量低^[3],春小麦分蘖旺盛,其茎蘖数及分蘖力均极显著高于 ($p < 0.01$) 延迟灌溉。成熟期延迟 15 d 的有效穗数略高,延迟 20 d 的略低,不同处理之间无显著差异。延迟灌溉的分蘖成穗力均极显著高于 ($p < 0.01$) 常规灌溉 (表 2)。

穗后期常规灌溉的单穴茎数显著多于 ($p < 0.05$) 延迟灌溉,扬花期、灌浆期和成熟期不同处理之间则无显著差异。孕穗后期常规灌溉的单穴生物量极显著高于 ($p < 0.01$) 延迟灌溉,扬花期、灌浆期和成熟期均以延迟 15 d 的较高,不同处理之间存在显著 ($p < 0.05$) 或极显著 ($p < 0.01$) 差异。孕穗后期常规灌溉的穗长极显著长于 ($p < 0.01$) 延迟灌溉,扬花期、灌浆期和成熟期不同处理之间则无显著差异 (表 3)。

孕穗后期常规灌溉的穗生物量极显著大于 ($p < 0.01$) 延迟灌溉,扬花期、灌浆期和成熟期均以延迟 15 d 的较高,不同处理之间存在显著 ($p < 0.05$) 或极显著 ($p < 0.01$) 差异。孕穗后期不同处理的茎秆生物量无显著差异,扬花期、灌浆期和成熟期均以延迟 15 d 的较高,不同处理之间存在显著 ($p < 0.05$) 或极显著 ($p < 0.01$) 差异。孕穗后期常规灌溉的叶片和叶鞘生物量显著大于 ($p < 0.05$) 延迟 15 d 和延迟 20 d; 扬花期延迟 10 d 的较高,灌浆期和成熟期延迟 15 d 的较高,不同处理之间存在显著 ($p < 0.05$) 或极显著 ($p < 0.01$) 差异。孕穗后期常规灌溉的总生

表3 不同处理不同生长期的春小麦生长状况
Tab.3 Growth status of spring wheat with different treatments at different growth stages

生长期	处理	株高/ cm	茎粗/ cm	单穴茎数/ (茎·穴 ⁻¹)	单穴生物量/ (g·穴 ⁻¹)	穗长/ cm	单茎生物量/(g·茎 ⁻¹)			
							穗	茎秆	叶片和叶鞘	小计
孕穗后期	常规灌溉	62.35 aA	0.36 aA	14.16 aA	10.507 aA	4.86 aA	0.108 aA	0.276 aA	0.358 aA	0.742 aA
	延迟 10 d	60.43 abA	0.35 abA	13.34 bA	9.378 bB	4.32 bB	0.094 bB	0.268 aA	0.341 abA	0.703 bA
	延迟 15 d	58.98 bA	0.34 bA	13.32 bA	9.284 bB	4.26 bB	0.092 bB	0.273 aA	0.332 bA	0.697 bA
	延迟 20 d	58.64 bA	0.34 bA	12.98 bA	8.969 bB	4.17 bB	0.091 bB	0.271 aA	0.329 bA	0.691 bA
扬花期	常规灌溉	80.34 aA	0.36 bA	12.78 aA	26.991 bAB	11.28 aA	0.789 bA	0.641 bA	0.682 bA	2.112 bA
	延迟 10 d	80.96 aA	0.37 abA	13.04 aA	28.871 aAB	11.25 aA	0.825 abA	0.652 bA	0.737 aA	2.214 abA
	延迟 15 d	82.46 aA	0.38 aA	13.29 aA	29.584 aA	11.25 aA	0.835 aA	0.687 aA	0.704 abA	2.226 aA
	延迟 20 d	80.84 aA	0.36 bA	12.65 aA	26.793 bB	11.23 aA	0.792 bA	0.645 bA	0.681 bA	2.118 abA
灌浆期	常规灌溉	80.22 aA	0.35 bA	12.64 aA	31.196 cB	11.23 aA	1.192 bB	0.649 cB	0.627 bB	2.468 cC
	延迟 10 d	80.78 aA	0.36 abA	12.99 aA	35.774 bAB	11.21 aA	1.342 aA	0.724 bA	0.688 aAB	2.754 aAB
	延迟 15 d	82.39 aA	0.37 aA	13.27 aA	38.165 aA	11.22 aA	1.402 aA	0.762 aA	0.712 aA	2.876 aA
	延迟 20 d	80.69 aA	0.35 bA	12.62 aA	32.585 cB	11.21 aA	1.204 bB	0.701 bAB	0.677 aAB	2.582 bcBC
成熟期	常规灌溉	80.13 aA	0.31 cA	12.63 aA	35.200 cB	11.02 aA	1.786 bB	0.508 bB	0.493 bA	2.787 cB
	延迟 10 d	80.32 aA	0.33 abA	12.98 aA	39.096 bAB	11.02 aA	1.974 aAB	0.529 bAB	0.509 bA	3.012 abAB
	延迟 15 d	82.21 aA	0.34 aA	13.26 aA	41.424 aA	11.03 aA	2.014 aA	0.568 aA	0.542 aA	3.124 aA
	延迟 20 d	80.28 aA	0.32 bcA	12.61 aA	36.102 cB	11.01 aA	1.819 bAB	0.532 bAB	0.512 bA	2.863 bcAB

物量显著大于($p<0.05$) 延迟灌溉, 扬花期、灌浆期和成熟期均以延迟 15 d 的较高, 不同处理之间存在显著($p<0.05$) 或极显著($p<0.01$) 差异(表 3)。

孕穗后期常规灌溉的总体生长状况较好, 且灌溉延迟得越晚, 地膜春小麦的生长状况越差; 扬花期、灌浆期和成熟期均以延迟 15 d 的生长状况较好, 常规灌溉的较差(表 3)。

2.4 不同处理春小麦的经济性状

延迟 10 d、延迟 15 d 和延迟 20 d 的地膜春小麦较常规灌溉分别晚成熟 1 d、3 d 和 2 d。常规灌溉的小穗数最多, 延迟 20

d 的最少, 常规灌溉显著多于($p<0.05$) 延迟 15 d 和延迟 20 d。常规灌溉的不孕小穗数最多, 延迟 15 d 的最少, 不同处理之间均存在极显著($p<0.01$) 差异。延迟 15 d 的穗粒数最多, 延迟 20 d 的最少, 延迟 15 d 和延迟 10 d 的显著多于($p<0.05$) 常规灌溉和延迟 20 d。延迟 15 d 的千粒重最重, 常规灌溉的最轻, 常规灌溉的显著低于($p<0.05$) 延迟灌溉。延迟 15 d 的籽粒产量最高, 常规灌溉的最低, 延迟 15 d 和延迟 10 d 的极显著高于($p<0.01$) 常规灌溉, 显著高于($p<0.05$) 延迟 20 d。延迟 15 d 的经济系数略高, 常规灌溉的略低, 不同处理之间无显著差异(表 4)。

表4 不同处理地膜春小麦的经济状况

Tab.4 Economic status of film mulching spring wheat with different treatments

处理	成熟期 (月-日)	小穗数	不孕小穗数	穗粒数	千粒重/ g	籽粒产量/ (g·茎 ⁻¹)	经济系数
常规灌溉	07-12	17.6 aA	2.4 aA	31.24 bA	35.95 bA	1.123 bB	0.403 aA
延迟 10 d	07-13	17.1 abA	1.8 bB	32.89 aA	37.94 aA	1.248 aA	0.414 aA
延迟 15 d	07-15	16.5 bA	1.3 dD	33.86 aA	38.48 aA	1.303 aA	0.417 aA
延迟 20 d	07-14	16.3 bA	1.6 cC	30.98 bA	38.12 aA	1.181 bAB	0.413 aA

2.5 不同处理的土壤水分利用效率

从播种至成熟期, 常规灌溉的土壤贮水量降低幅度显著大于($p<0.05$) 延迟 15 d 和延迟 20 d, 延迟 10 d 的显著大于($p<0.05$) 延迟 20 d, 但不同处理的土壤耗水量无显著差异。地膜覆盖较露地直播极大程度提高了河套灌区盐渍化土壤的生产力^[3,6]。不同处理的土壤水分利用效率和土壤水分生产率均以延迟 15 d 的最高, 常规灌溉的最低, 其中延迟 15 d 的极显著高于($p<0.01$) 常规灌溉和延迟 20 d, 延迟 10 d 的极显著高于($p<0.01$) 常规灌溉, 显著高于($p<0.05$) 延迟 20 d, 延迟 20 d 显著

高于($p<0.05$) 常规灌溉(表 5)。

3 讨论

水分是限制作物生长与发育的重要因素^[13]。河套灌区每年秋末冬初进行“秋浇”压盐, 冬季冻土层中贮存了大量的水分, 为作物春季生长奠定了基础^[14]。河套灌区春小麦为顶凌播种, 播种至拔节期土壤处于冻融阶段, 由于深层土壤解冻晚, 浅层土壤解冻融化的水分不能下渗, 导致春小麦生长前期根际土壤的水分含量高^[2,14], 再加上分蘖期、孕穗初期的灌溉, 根际

表5 不同处理的土壤水分利用效率
Tab.5 Soil water use efficiency of different treatments

处理	播种至收获期的土壤 贮水量差值/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	土壤耗水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	生物量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	水分利用效率/ ($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1}$)	水分产出率/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
常规灌溉	2 270.1 aA	6 160.1 aA	19 555.71 cB	7 879.78 cC	3.17 dC	1.28 dC
延迟 10 d	2 187.6 abA	6 077.6 aA	21 720.17 bAB	8 999.54 bAB	3.57 bAB	1.48 bAB
延迟 15 d	2 118.8 bcA	6 008.8 aA	23 013.52 aA	9 598.84 aA	3.83 aA	1.60 aA
延迟 20 d	2 058.7 cA	5 948.7 aA	20 056.83 cB	8 273.63 cBC	3.37 cBC	1.39 cBC

土壤处于高湿高温的状态^[3,11],导致地膜春小麦生长前期快速生长及大量分蘖^[6],因而常规灌溉的茎蘖数、分蘖力及孕穗后期的生长状况优于延迟灌溉,不但小穗数较多,穗较长,茎秆较粗,而且地上部生物量较大。春小麦拔节期至灌浆期是生理需水关键期和临界期^[15],拔节至孕穗期的土壤水分对小穗分化、穗长等有显著影响^[16],孕穗期的土壤水分对穗粒数有显著影响^[16,17],且春小麦的籽粒产量约2/3来自扬花后积累的光合产物,1/3左右来自扬花前积累的光合产物,扬花期至成熟期是春小麦籽粒产量形成的关键时期^[18],扬花期至成熟期充足的土壤水分可显著提高叶片的光合速率^[19],促进叶片和植株的正常生长发育^[20],提高灌浆速率^[21],提高千粒重^[17,22]及产量^[23,24]。常规灌溉孕穗初期至扬花期的灌溉间隔期长且前期生长量大^[6],导致抽穗期以后的土壤水分供给不足^[3],因而常规灌溉从孕穗期以后的生长状况逐渐变差,不但株高相对降低,不孕小穗相对增多,而且生物量、千粒重及籽粒产量等也相对降低;延迟20 d的处理在抽穗期之前仅灌溉了1次,降低了春小麦的分蘖力及小穗分化能力,导致单穴茎数减少,小穗数减少,单穴有效穗数及穗粒数减少,虽然在生长后期土壤水分供给充足,千粒重较高,但由于单位面积的有效穗及穗粒数少,故单位面积的产量仍较低;延迟10 d和延迟15 d的处理在分蘖期没有灌溉,有效抑制了分蘖力,减少了生长前期的冗生长量,且延迟10 d和延迟15 d的第1次灌溉分别在地膜春小麦的拔节后期和拔节孕穗期,第2次灌溉分别在孕穗期和孕穗抽穗期,有效提高了地膜春小麦孕穗期至成熟期的土壤水分,特别是提高了抽穗期至灌浆期的土壤水分,为春小麦扬花授粉、灌浆及成熟等提供了良好的土壤水分环境,促进了穗下节的伸长^[16],延长了地膜春小麦的生长期,促进植株积累更多的光合产物^[19],因而延迟10 d和延迟15 d处理扬花期至成熟期的株高较高,不孕小穗数显著减少,千粒重显著提高,产量提高。延迟灌溉春小麦成熟期土壤水分高于常规灌溉,生长期的耗水量低于常规灌溉,而成熟期的生物量、籽粒产量高于常规灌溉,因而延迟灌溉的土壤水分利用效率、土壤水分产出率均高于常规灌溉。延迟15 d的增产作用高于延迟10 d,可能与延迟15 d在地膜春小麦扬花期和灌浆期的土壤水分较高密切相关。河套灌区地膜春小麦第1次灌溉和第2次灌溉应较当地常规灌溉延迟15 d,应在地膜春小麦孕穗初期进行第1次灌溉,孕穗抽穗期进行第2次灌溉,可有效提高春小麦的千粒重和产量。

4 结论

(1) 河套灌区地膜春小麦生长前期第1次和第2次灌溉分

别延迟10、15和20 d,均可提高地膜春小麦扬花期、灌浆期和成熟期的土壤水分,且延迟越晚,生长后期的土壤水分越高。延迟灌溉降低了地膜春小麦的分蘖力,提高了地膜春小麦的分蘖成穗力。

(2) 生长前期第1次和第2次灌溉均延迟15 d的春小麦扬花期及扬花期以后的生长状况较好,不孕小穗数较少,穗粒数较多,千粒重及产量较高,水分利用效率及水分产出率较高。

(3) 河套灌区地膜春小麦生长前期第1次、第2次灌溉应在地膜春小麦孕穗初期和孕穗抽穗期,较当地常规灌溉晚15 d左右。

参考文献:

- [1] 董文娟,张永平,谢岷,等.河套灌区春小麦高产栽培水氮高效利用研究[J].干旱区资源与环境,2011,25(6):127-131.
- [2] 白岗栓,杜社妮,于健,等.激光平地改善土壤水盐分布并提高春小麦产量[J].农业工程学报,2013,29(8):125-134.
- [3] 白岗栓,苗庆丰,邹超煜,等.穴播条件下地膜覆盖及播种量对春小麦土壤水盐分布的影响[J].水土保持通报,2019,39(6):52-59.
- [4] 王俊,李凤民,宋秋华,等.地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响[J].应用生态学报,2003,14(2):205-510.
- [5] LI F M, GUO A H, WEI H. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat[J]. Field Crops Research, 1999, 63: 79-86.
- [6] 白岗栓,邹超煜,杜社妮,等.河套灌区地膜春小麦适宜播种量研究[J].中国农业大学学报,2019,24(7):18-27.
- [7] 李凤民,鄢珣,王俊,等.地膜覆盖导致春小麦产量下降的机理[J].中国农业科学,2001,34(3):330-333.
- [8] 潘晓云,王永芳,王根轩,等.覆膜栽培下春小麦种群的生长冗余与个体大小不整齐性的关系[J].植物生态学报,2002,26(2):177-184.
- [9] 李熙婷,田德龙,郭克贞,等.膜下滴灌对小麦根系分布特征的影响[J].排灌机械工程学报,2016,34(6):545-552.
- [10] CHAKRABORTY D, NAGARAJAN S, AGGARWAL P, et al. Effect of mulching on soil and plant water status, and the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semiarid environment[J]. Agricultural Water Management, 2008, 95(12):13-23.
- [11] 程宏波,牛建彪,柴守玺,等.不同覆盖材料和方式对旱地春小麦产量及土壤水盐环境的影响[J].草业学报,2016,25(2):47-57.
- [12] 肖彩虹,郝玉光,刘芳,等.近52年来磴口地区气候变化分析[J].干旱区资源与环境,2008,22(7):90-93.
- [13] 杜社妮,白岗栓,于健,等.沙封覆膜种植孔促进盐碱地油葵生长[J].农业工程学报,2014,30(5):82-90. (下转第25页)

水量保持 13.2%~14.3% 或 9.9%~11.0% 水平的水分灌溉方式 (即 T_6 和 T_{10} 处理) 能够在保证枸杞植株正常生长的前提下, 实现水分效益及果实产量最高收益, 达到节约资源兼顾优质高产的生产目的。

参考文献:

- [1] Scanlon B R, Jolly I, Sophocleous M, et al. Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: Quantity versus quality [J]. *Water Resources Research*, 2007, 43(3): 1-18.
- [2] WANG J, ZHU Y, SUN T, et al. Forty years of irrigation development and reform in China [J]. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2019, 64(1): 126-149.
- [3] 宋仰超, 陈小莉, 任小龙, 等. 调亏灌溉与减氮施肥对枸杞生长及产量的影响 [J]. *西北农业学报*, 2019, 28(10): 1666-1673.
- [4] 郑国保, 张彦红, 张源沛, 等. 不同灌水量对干旱区枸杞水分利用效率及产量和品质的影响 [J]. *新疆农业科学*, 2018, 55(12): 2212-2219.
- [5] 李鸿平, 陈昱辛, 崔宁博, 等. 水分亏缺对柑橘果实生长、产量和水分利用效率的影响 [J]. *节水灌溉*, 2019(12): 6-11.
- [6] Romero-Trigueros C, Parra M, Bayona J M, et al. Effect of deficit irrigation and reclaimed water on yield and quality of grapefruits at harvest and postharvest [J]. *Lwt Food Science & Technology*, 2017(volume 85, part B): 405-4011.
- [7] 艾鹏睿, 马英杰. 调亏灌溉对干旱区枣树生理特性和果实产量的影响 [J]. *灌溉排水学报*, 2018, 37(9): 9-15.
- [8] JIA Q, Kamran M, Ali S, et al. Deficit irrigation and fertilization strategies to improve soil quality and alfalfa yield in arid and semi-arid areas of northern China [J]. *PeerJ*, 2018, 6(2): e4410.
- [9] 张帅, 张芮, 张小艳, 等. 全生育期水分胁迫对设施葡萄果实品质的影响 [J]. *水利规划与设计*, 2019(6): 82-86.
- [10] 郝舒雪. 不同生育期水分胁迫及复水对番茄生理特性、品质及产量的影响 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [11] 许健, 张芮, 黄彩霞, 等. 设施葡萄不同生育期水分胁迫对产量和水分利用效率的影响 [J]. *中国农业大学学报*, 2019, 24(4): 43-51.
- [12] 李晶. 不同生育期水分亏缺对赤霞珠耗水及果实品质的影响 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [13] ZHUO L, Hoekstra A Y. The effect of different agricultural management practices on irrigation efficiency, water use efficiency and green and blue water footprint [J]. *Frontiers of Agricultural Science & Engineering*, 2017, 4(2): 185-194.
- [14] Zegbe J A, Alfonso Serna Pérez. Irrigation options to save water while enhancing export size fruit and storability of "Smooth Red" cactus pear [J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2018, 98(14): 5503-5508.
- [15] Kirda C, Topcu S, Kaman H, et al. Grain yield response and N-fertiliser recovery of maize under deficit irrigation [J]. *Field Crops Research*, 2005, 93(2-3): 0-141.
- [16] 陈瑛, 邵颖, 杨文, 等. 不同调亏处理对脐橙果实生长和品质的影响 [J]. *节水灌溉*, 2017(9): 38-42.
- [17] WANG Z, LIAO R, LIN H, et al. Effects of drip irrigation levels on soil water salinity and wheat growth in North China [J]. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2018, 11(1): 146-156.
- [18] 汪精海, 张芮, 李广, 等. 水分胁迫对河西荒漠绿洲区酿酒葡萄水分利用及产量的跨年度影响 [J]. *水土保持通报*, 2019, 39(3): 80-86, 92.
- [19] 强敏敏, 费良军, 刘扬. 调亏灌溉促进涌泉根灌枣树生长提高产量 [J]. *农业工程学报*, 2015, 31(19): 91-96.
- [20] 张芮, 成自勇, 王旺田, 等. 不同生育期水分胁迫对延后栽培葡萄产量与品质的影响 [J]. *农业工程学报*, 2014, 30(24): 105-113.
- [21] 武阳, 王伟, 雷廷武, 等. 调亏灌溉对滴灌成龄香梨果树生长及果实产量的影响 [J]. *农业工程学报*, 2012, 28(11): 118-124.
- [22] 胡宏远, 李双岑, 马丹阳, 等. 水分胁迫对赤霞珠葡萄果实品质的影响研究 [J]. *节水灌溉*, 2016(12): 36-41, 45.
- [23] 刘静霞. 不同生育期水分胁迫对酿酒葡萄产量及品质的影响研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [24] 王娟, 马英杰, 洪明, 等. 调亏灌溉对滴灌红枣生长与品质的影响 [J]. *灌溉排水学报*, 2014, 33(3): 126-129.
- [14] 白岗栓, 张蕊, 耿桂俊, 等. 保水剂对河套灌区土壤水分和春小麦生长的影响 [J]. *干旱区研究*, 2012, 29(3): 393-399.
- [15] 金善宝. 中国小麦生态 [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 345-346.
- [16] 魏虹, 林魁, 李凤民, 等. 补充供水对半干旱区旱地春小麦水分亏缺的补偿效应研究 [J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 1996, 32(3): 120-126.
- [17] 胡语妍, 万文亮, 王江丽, 等. 不同水氮处理对滴灌春小麦氮素积累转运及产量的影响 [J]. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2018, 36(4): 448-456.
- [18] 石元强, 张迪, 孙婷, 等. 氮肥运筹对滴灌春小麦干物质积累及产量特征的调控效应 [J]. *新疆农业科学*, 2019, 56(6): 1022-1031.
- [19] 马莉, 王全九. 不同灌溉定额下春小麦光合光响应特征研究 [J]. *农业机械学报*, 2018, 49(6): 271-277.
- [20] 张雨新, 张富仓, 邵海洋, 等. 生育期水分调控对河西地区滴灌春小麦生长和水分利用的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 2017, 35(1): 171-177.
- [21] 秦舒浩, 李玲玲. 集雨补灌春小麦花后干物质积累分配及灌浆特性 [J]. *水土保持学报*, 2005, 19(4): 173-176, 180.
- [22] 陈晓远, 罗远培. 开花期复水对受旱冬小麦的补偿效应研究 [J]. *作物学报*, 2001, 27(4): 512-516.
- [23] 高志红, 陈晓远, 刘晓英. 土壤水变动对冬小麦生长产量及水分利用效率的影响 [J]. *农业工程学报*, 2007, 23(8): 52-58.
- [24] BOONJUNG H, FUKA S. Effects of soil water deficit at different growth stages on rice growth and yield under upland condition-phenology, biomass production and yield [J]. *Field Crops Research*, 1996, 48: 37-45.

(上接第 19 页)