

春季灌水对晋南晚播冬小麦产量和水分利用的影响

杨娜^{1,2} 席吉龙² 王珂² 席天元² 张建诚² 姚景珍² 王健²

(¹有机旱作山西省重点实验室/山西省农业科学院旱地农业研究中心, 030031, 山西太原;

²山西省农业科学院棉花研究所, 044000, 山西运城)

摘要 为明确灌水模式对运城盆地晚播冬小麦产量和水分利用的影响, 以济麦 22 为供试材料, 以传统播期灌水 2 水为对照 (CK), 在晚播增密条件下, 设置全生育期不灌水、返青起身期 1 水、拔节期 1 水、返青起身期+开花期 2 水、拔节期+开花期 2 水共 5 个灌水处理, 分别记为 W1、W2、W3、W4 和 W5。结果表明, 与 CK 相比, W1、W2 和 W3 处理产量降低; 干旱年 W4 和 W5 处理冬小麦产量显著高于 CK, 平水年冬小麦产量则以 CK 最高。晚播增密灌水 2 水条件下, 2 个试验年度均以 W5 处理产量最高, W4 处理次之, 但 2 个处理产量差异不显著, W4 处理冬小麦的成穗数、成穗率、花前营养器官干物质运转量、运转率以及对籽粒的贡献率均高于 W5 处理。水分利用效率以 W2 和 W3 处理最高; W4 和 W5 处理的水分利用效率相当。综合产量、抗寒性和水分利用等方面表现, 晋南冬小麦适度晚播增密未浇冬水条件下, 返青起身期+开花期 2 水能够维持产量稳定, 同时延缓冬小麦穗分化进程, 提高春季抗霜冻能力。

关键词 冬小麦; 晚播; 灌水; 产量; 水分利用

晋南是山西省粮食主产区和国家小麦优势区, 2019 年山西运城小麦种植面积 28.69 万 hm^2 ^[1], 其中水地小麦面积约占小麦种植总面积的 50%以上^[2]。因此, 提高灌溉水利用效率是确保小麦高产的关键。近年来, 运城盆地地下水超采严重, 已形成严重的漏斗现象, 截止到 2013 年, 运城市漏斗面积达 2100 km^2 (330m 水位等值线圈), 超过了全国 94.27%的城市。除水分因素对小麦产量影响较大外, 极端低温也会对其造成较大影响^[3]。随着全球气候变暖, 运城市气温主要表现为冬春季节气温升高^[4], 冬季、春季气温分别以 0.33 和 0.35 $^{\circ}\text{C}/10$ 年的速度上升^[5], 使冬小麦冬春生长快, 拔节期提前, 幼穗抗霜能力降低^[6]。春季霜冻害极易造成小麦冻害^[7], 特别是幼穗在药隔分化期对低温最敏感^[8], 而运城盆地传统播种多在 10 月上旬至 10 月 15 日, 冬小麦的幼穗药隔分化期正处于晚霜冻害的高发期, 不仅春季冻害风险加大, 还会造成水肥资源的浪费。研究^[9-10]表明, 冬小麦适度晚播可免浇冬水, 实现节水灌溉, 同时冬小麦也能够安全越冬。前人^[11-13]在运城盆地冬小麦水分利用特性和产量的研究多针对传统播期进行, 而对当地晚播冬小麦耗水特性及免浇冬水条件下春季灌水模式则少见

报道。因此, 了解晚播冬小麦水分利用特性, 并采取合理有效的栽培措施, 对实现当地晚播冬小麦稳产、高产具有重要意义。基于节水、高产、抗逆的要求, 本研究针对传统播种小麦存在的旺苗、春季霜冻害风险加大等问题, 通过研究适时晚播与不同灌水模式对冬小麦水分利用特性和籽粒产量的影响, 探寻适合晋南晚播冬小麦产量和水分利用效率的共同提高、同时降低春季冻害风险的灌水模式, 为该区晚播冬小麦高产高效栽培提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2018 年 10 月至 2020 年 6 月在山西省农业科学院棉花研究所牛家凹试验农场 (111.09 $^{\circ}\text{E}$, 35.19 $^{\circ}\text{N}$) 进行。试验区属温带季风气候, 年均温 13.5 $^{\circ}\text{C}$, 年均降水量 529.5mm。生育期月降水如图 1 所示 (10 月数据为晚播日期至 10 月 31 日降水), 小麦生育期 2018 年 10 月 27 日至 2019 年 6 月上旬的降水量为 89.5mm, 较多年年均降水量 (185.6mm) 低 96.1mm, 属于干旱年; 2019 年 10 月 28 日至 2020 年 6 月上旬的降水量为 174.1mm, 较多年平

作者简介: 杨娜, 主要从事抗逆减灾与作物栽培技术研究, E-mail: yn1629@163.com

张建诚为通信作者, 主要从事小麦抗逆栽培与遗传育种及有机旱作研究, E-mail: zhangjc@126.com

基金项目: 有机旱作山西省重点实验室开放基金 (201805D111015-5); 国家重点研发计划 (2017YFD0300203-3); 山西省重点研发计划 (201903D221062)

收稿日期: 2020-12-23; 修回日期: 2021-07-08; 网络出版日期: 2021-10-29

均值低 11.5mm，减少 6.2%，属于平水年^[14]。

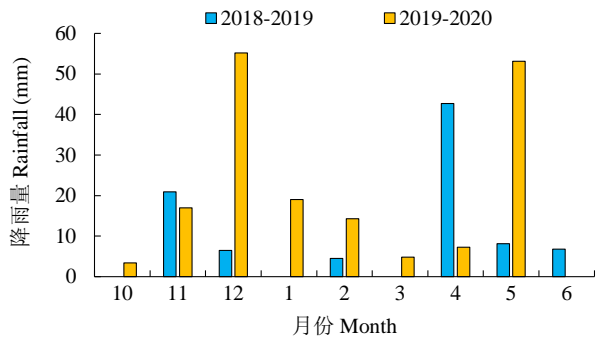


图 1 2018-2020 年冬小麦生育期降水
Fig.1 Precipitation during winter wheat growth period in 2018-2020

1.2 试验设计

运城盆地冬小麦传统播期在 10 月 5 日至 15 日，通过对近年研究成果和前人对冬小麦冬前积温等方面的研究^[15]进行总结，明确运城盆地适度晚播时间以 10 月 16 日至 30 日为宜，同时增加密度提高成穗数^[16-17]，实现冬小麦稳产、增产。由于受播前降雨、土壤墒情等不可抗因素影响，实际播种时间在年际间略有差异。

以传统播期（返青起身期+开花期 2 水）为对照（CK），设置晚播灌水处理 5 个，分别为 W1（生育期不灌水）、W2（返青起身期 1 水）、W3（拔节期 1 水）、W4（返青起身期+开花期 2 水）和 W5（拔节期+开花期 2 水）。3 次重复，小区面积 15m²（2.5m×6.0m），每小区周围设 1m 隔离区。每次灌水量约 90mm，用水表控制灌水量。供试小麦品种为济麦 22。2018-2019 年度传统播期为 2018 年 10 月 8 日，基本苗 255 万/hm²，晚播日期 2018 年 10 月 27 日，基本苗 420 万/hm²，收获日期 2019 年 6 月 7 日；2019-2020 年度受降雨影响，传统播期为 2019 年 10 月 13 日，基本苗 270 万/hm²，晚播日期 2019 年 10 月 28 日，基本苗 420 万/hm²，收获日期 2020 年 6 月 7 日。施肥量为纯氮 225kg/hm²、P₂O₅ 180kg/hm²，均作底肥一次性施入。氮肥为尿素（N 46%），磷肥为重过磷酸钙（P₂O₅ 46%）。播前 0~2m 土壤储水量、灌水日期如表 1 所示。其他管理措施与大田一致。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 小麦群体动态 每个处理在小麦 3 叶期前选取固定点调查基本苗数，在春季调查最高总茎数，在成熟期调查成穗数。

表 1 灌水时间
Table 1 Time of irrigation

年份 Year	播前 0~2m 土壤储水量 Soil water storage of 0~2m deep before sowing (mm)	灌水时间（月-日） Time of irrigation (month-day)		
		返青起身期 Returning green stage	拔节期 Jointing stage	开花期 Anthesis
2018-2019	421.8	03-03	03-28	05-01
2019-2020	468.7	03-02	03-24	04-29

成穗率（%）=成熟期单位面积穗数/起身期单位面积最高总茎数×100。

1.3.2 小麦耗水量和水分利用效率 在小麦各关键生育期用中子水分仪 CNC203B 测定 0~2m 土壤水分，每 10cm 为一个土层，计算土壤含水量。小麦生育期耗水量 ET=P+U-R-F+ΔW+I^[18]，式中，P 为生育期内降雨量，U 为地下水上移补充给作物的水量，R 为地表径流量，F 为补给地下水量，ΔW 为土壤贮水消耗量，I 为灌水量。试验地块地势平坦，地下水深度超过 5m，降水入渗深度不超过 2m，故 U、R 和 F 均为 0。

水分利用效率（WUE）[kg/（hm²·mm）]=Y/ET，Y 为籽粒产量(kg/hm²),ET 为生育期耗水量(mm)。

1.3.3 干物质积累和转运 在开花期对长势一致的植株进行挂牌标记，在开花期和成熟期，每个处理分别取样 20 株，剪去根系，带回室内，按照茎、叶、穗分开，于 105℃杀青 30min，80℃烘干至恒重，称重，并计算干物质转运参数^[19]。

花前营养器官干物质转运量=开花期营养器官干重-成熟期营养器官干重；

营养器官花前贮藏干物质转运效率（%）=花前干物质转运量/开花期干重×100；

开花前贮藏干物质对籽粒产量的贡献率（%）=花前干物质转运量/成熟期籽粒干重×100。

1.3.4 产量及其构成因素 成熟后每小区随机取样 20 穗，调查穗粒数。小区整体收获风干后测产，并随机取 500 粒，3 次重复，计算千粒重。

1.4 数据处理

利用 Excel 和 SPSS 21.0 进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同灌水模式对冬小麦群体的影响

由表 2 可知，2018-2019 年，晚播增密各处理最高总茎数显著低于 CK；2019-2020 年，晚播增

密返青起身期灌水最高总茎数与传统播期差异不显著,说明晚播增密+合理的灌溉措施能够保证冬小麦的群体数量。2019 年冬季气温偏高,日均温低于 0℃的天数较少,小麦在冬季生长并未停止,2020 年春季降水充足,气温回升快,冬小麦返青时间早、生长快,返青起身期灌水促进了群体的分蘖,使其

最高总茎数与传统播期差异不显著。W4 处理最高总茎数显著高于其他晚播增密灌水处理,这是由于返青起身期灌水有效促进了春季分蘖和小蘖生长,而拔节期灌水最高总茎数调查处于灌水时间之前,故最高总茎数与不灌水处理差异不显著。由此说明,返青起身期灌水对小麦群体调控作用明显。

表 2 不同晚播灌水处理下冬小麦群体动态
Table 2 Population dynamics of different late sowing irrigation treatments of winter wheat

处理 Treatment	基本苗 Basic seedling ($\times 10^4/\text{hm}^2$)		最高总茎数 Maximum total tillers ($\times 10^4/\text{hm}^2$)		穗数 Spike number ($\times 10^4/\text{hm}^2$)		成穗率 Earbearing tiller rate (%)	
	2018-2019	2019-2020	2018-2019	2019-2020	2018-2019	2019-2020	2018-2019	2019-2020
CK	272.1 \pm 2.8b	285.2 \pm 30.4b	1604.8 \pm 48.1a	1815.9 \pm 12.7ab	552.3 \pm 63.8b	505.3 \pm 15.0a	34.41	27.82
W1	434.2 \pm 22.6a	423.2 \pm 5.2a	1044.5 \pm 56.6d	1705.8 \pm 26.9bc	423.6 \pm 19.2c	423.2 \pm 7.0b	29.65	24.81
W2	430.2 \pm 4.2a	434.9 \pm 33.4a	1428.7 \pm 56.6b	1723.8 \pm 24.1bc	532.2 \pm 7.6b	458.2 \pm 6.0b	42.09	26.58
W3	416.2 \pm 21.2a	430.2 \pm 12.2a	1264.6 \pm 22.6c	1677.9 \pm 38.2c	541.6 \pm 7.1b	493.2 \pm 41.0ab	39.93	29.39
W4	422.2 \pm 8.5a	428.2 \pm 13.9a	1356.6 \pm 17.0b	1847.9 \pm 58.0a	611.6 \pm 15.1a	495.2 \pm 35.0a	48.84	26.80
W5	420.2 \pm 19.8a	422.2 \pm 33.3a	1252.5 \pm 17.0c	1687.8 \pm 89.1c	593.6 \pm 21.7a	503.3 \pm 43.0a	44.41	29.82

同列数值后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著,下同

Data with different small letters within the same column indicate significant difference among treatments at 0.05 level, the same below

2.2 不同灌水模式对冬小麦产量及其构成因素的影响

由表 3 可知,2018-2019 年,W4 和 W5 处理冬小麦产量显著高于 CK,分别比 CK 高 2.98%和 7.11%,主要是由于穗数和穗粒数较高,穗数分别较 CK 高 10.74%和 7.48%;W2 和 W3 处理产量低于 CK;该年度为干旱年,适度晚播增密+合理的灌溉措施对小麦增产效果明显。2019-2020 年为底墒较

充足的平水年,CK 处理冬小麦产量最高,W5 和 W4 处理次之,但 2 种模式间差异未达到显著水平;W1 处理产量最低。说明晚播增密冬小麦灌 2 水能够维持冬小麦产量的稳定,而返青起身期灌水亦不会造成大幅度减产。2 个试验年度晚播增密不灌水和灌 1 水的产量均低于传统播期和晚播灌 2 水处理的产量,说明运城盆地晚播增密冬小麦春季仅灌 1 水对产量影响较大,不能满足高产的需求。

表 3 不同灌溉模式对产量及其构成因素的影响
Table 3 Effects of different irrigation patterns on yield and its components

年份 Year	播期(月-日) Sowing date (month-day)	处理 Treatment	穗数 Spike number ($\times 10^4/\text{hm}^2$)	穗粒数 Grain number per spike	千粒重 1000-grain weight (g)	产量 Yield (kg/hm ²)
2018-2019	10-08	CK	552.3 \pm 63.8b	25.6 \pm 1.3bc	38.62 \pm 0.40c	7440.5 \pm 11.3b
		W1	423.6 \pm 19.2c	24.3 \pm 3.5c	42.06 \pm 0.23a	4588.4 \pm 24.6d
	10-27	W2	532.3 \pm 7.6b	27.2 \pm 1.1b	39.38 \pm 0.33bc	7006.0 \pm 225.9c
		W3	541.6 \pm 7.1b	32.9 \pm 1.7a	38.01 \pm 0.58c	6987.9 \pm 24.4c
		W4	611.6 \pm 15.1a	32.8 \pm 2.2a	35.03 \pm 0.61d	7662.3 \pm 151.8a
		W5	593.6 \pm 21.7ab	30.9 \pm 1.3ab	40.92 \pm 0.54ab	7969.6 \pm 61.9a
2019-2020	10-13	CK	505.3 \pm 15.0a	39.5 \pm 1.0a	49.25 \pm 0.98a	9187.9 \pm 196.6a
		W1	423.2 \pm 7.0b	34.0 \pm 0.0c	44.33 \pm 0.57d	5919.6 \pm 334.7d
	10-28	W2	458.2 \pm 6.0b	37.9 \pm 1.2b	45.53 \pm 0.84bc	7620.5 \pm 245.6c
		W3	493.2 \pm 41.0a	37.5 \pm 1.0bc	46.87 \pm 0.69bc	8020.7 \pm 109.3b
		W4	495.2 \pm 35.0a	34.3 \pm 1.1c	49.22 \pm 0.88a	8979.5 \pm 14.4a
		W5	503.3 \pm 43.0a	36.9 \pm 0.6bc	45.46 \pm 1.72b	9104.6 \pm 115.5a

2.3 不同灌水模式对冬小麦物质运转的影响

小麦籽粒产量的形成一部分来源于开花前物质运转。由表 4 可知,开花期 CK 处理冬小麦干物质积累显著高于其他处理。晚播增密条件下,冬小

麦干物质积累量随灌水次数增加而增加,相同灌水次数的处理间差异不显著,开花期晚播灌水处理中以 W4 处理干物质积累量最高。各处理间成熟期和花后干物质积累量与开花期干物质积累量趋势相

同，以 CK 最高，W1 最低。各处理对花前营养器官干物质运转量、运转率和花前干物质积累对籽粒贡献率有相同的效应，以 W4 处理最高，W3 处理最低。

表 4 不同灌水模式下物质积累与运转（2019-2020）
Table 4 Dry matter accumulation amount and translocation of different irrigation modes in 2019-2020

处理 Treatment	干物质积累量 Dry matter accumulation amount (kg/hm ²)			花前干物质积累 Dry matter accumulation before anthesis		
	开花期 Anthesis	成熟期 Maturity	开花—成熟 Anthesis-maturity	营养器官干物质运转量 Dry matter translocation amount of nutritorium (kg/hm ²)	干物质运转率 Dry matter translocation rate (%)	对籽粒贡献率 Contribution rate to grain (%)
CK	11856.13±958.34a	19820.96±471.45a	7964.84±486.89a	1223.09±392.66b	10.22±2.48c	13.31±4.27b
W1	8380.19±223.35c	12862.41±1139.71c	4482.22±1363.05b	1437.40±223.34b	17.12±2.21b	24.28±3.78a
W2	8927.66±144.42bc	15380.58±1012.97b	6452.92±868.55ab	1167.55±144.42b	13.07±1.41c	15.32±1.90c
W3	8805.20±128.84bc	16289.95±1443.06b	7473.70±1314.21ab	546.97±128.84c	6.19±1.37d	6.82±1.61c
W4	9535.77±480.66b	16093.72±560.22b	6557.95±1040.88ab	2421.53±56.39a	25.41±0.69a	26.97±0.63a
W5	9258.43±273.18bc	16202.68±431.62b	6944.26±704.79ab	2160.3±131.76a	23.32±0.74a	23.73±1.45a

2.4 不同灌水模式对水分利用的影响

2.4.1 对冬小麦耗水特性的影响 由表 5 可知，2018-2019 年，晚播增密下各处理生育期耗水量低于 CK，W2 和 W3 处理比 CK 分别低 26.85%和 21.27%，W4 和 W5 处理耗水量比 CK 分别低 1.89%和 3.28%；而水分利用效率均高于 CK，W2 和 W3 处理比 CK 分别高 30.61% 和 21.05%，W4 和 W5 处理比 CK 分别高 6.50%和 12.37%，W1 处理比 CK 高 8.06%。与 CK 相比，2019-2020 年晚播耗水量和水分利用效率表现与上年度一致。由此可知，在干旱年和平水年，适度晚播增密+合理灌溉能够实现产量和水分利用效率的共同提高。晚播灌 2 水条件下，返青起身+开花 2 水模式产量略低于拔节+开花 2 水模式，水分利用效率相当。

表 5 不同灌水模式耗水组成分析
Table 5 Water consumption composition in different irrigation treatments

年份 Year	播期（月-日） Sowing date (month-day)	处理 Treatment	灌水量 Irrigation amount (mm)	土壤贮水消耗量 Consumption of soil water (mm)	降水量 Precipitation (mm)	耗水量 Total water consumption (mm)	WUE [kg/(hm ² ·mm)]
2018-2019	10-08 10-27	CK	180	195.3	89.5	458.0	16.01
		W1	0	175.7	89.5	265.2	17.30
		W2	90	155.5	89.5	335.0	20.91
		W3	90	181.1	89.5	360.6	19.38
		W4	180	179.8	89.5	449.3	17.05
		W5	180	173.5	89.5	443.0	17.99
2019-2020	10-13 10-28	CK	180	194.4	243.1	617.5	14.88
		W1	0	219.9	174.1	325.0	18.22
		W2	90	224.0	174.1	419.1	18.18
		W3	90	218.6	174.1	413.7	19.39
		W4	180	210.0	174.1	498.4	18.02
		W5	180	209.4	174.1	494.5	18.41

2.4.2 不同灌水模式土壤水分利用效应差异 由图 2 可知，不同年份传统播期和适度晚播冬小麦对各土层土壤贮水的利用不同。在干旱年（2018-2019）成熟期，CK 处理深层（130-200cm）各土层土壤含水量低于晚播各处理，30-100cm 各土层土壤含水量高于晚播各处理；平水年（2019-2020）成熟期，40-200cm CK 处理各土层土壤含水量高于晚播各处理。由此说明，干旱年 CK 处理对各土层土壤贮水的利用增加；而平水年由于降水相对充足，传统播期对土壤贮水的利用减少。晚播灌 1 水时，W2 处理 100~200cm 土层土壤含水量均低于 W3 处理，说明晚播冬小麦仅灌 1 水时，在返青起身期灌水有利于植株对深层水的利用，从而发挥深层水的补偿作用。晚播灌 2 水时，干旱年（2018-2019）W4 处理 50~200cm 土层土壤含水量低于 W5 处理；平水年（2019-2020）W4 处理 0~150cm 土层土壤

含水量低于 W5 处理,不同年份返青+开花期灌水对土壤各土层的水分利用略有不同,但对 50~150cm 土层土壤含水量的影响表现一致。由此可知,干旱年和平水年,晚播冬小麦灌 1 水或 2 水及返青起身期灌水有利于植株对土壤深层水的利用。

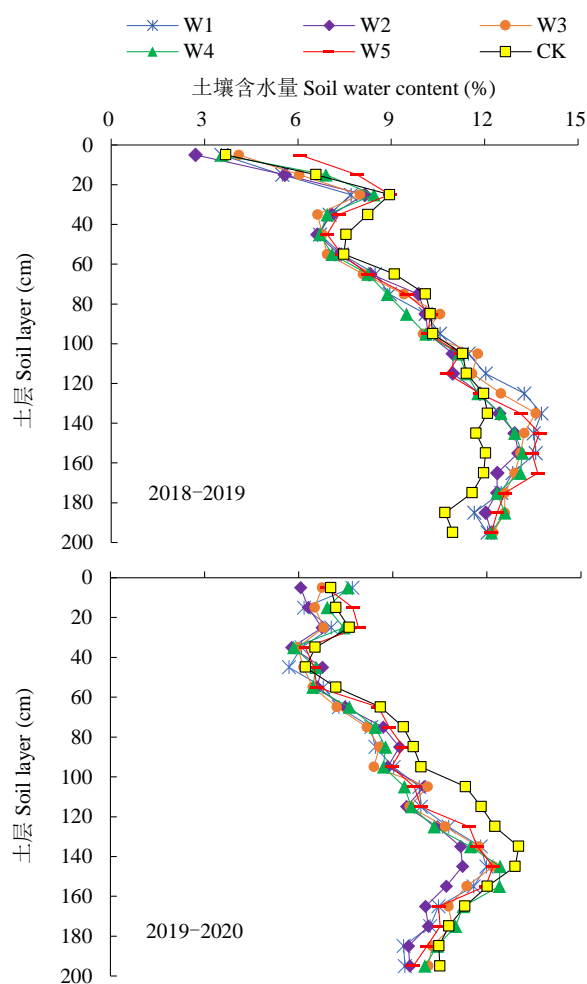


图2 冬小麦成熟期不同土层含水量
Fig.2 Water contents of different soil layers
at maturity stage of winter wheat

3 讨论

3.1 灌水时间对冬小麦水分利用的影响

晚播冬小麦冬前生育时间短,苗龄较小,抗寒性较强,有利于安全越冬,同时可以减少冬前无效耗水^[9];张胜全等^[20]研究认为,晚播(10月17日)免浇冬水条件下,春季第1水推迟至拔节期能够实现阶段节水。本研究结果表明,在干旱年和平水年免浇冬水条件下,适度晚播增密后冬小麦生育期耗水量显著低于传统播期,水分利用效率显著高于传统播期,这与前人的研究^[20]结论一致。在干旱年,

传统播期下冬小麦成熟期土壤含水量低于晚播,这是由于传统播期群体数量高于晚播,对水分的消耗增加,在灌水量和降水相同的条件下,对土壤贮水的消耗量增加;在平水年,传统播期下冬小麦成熟期土壤含水量高于晚播,这是由于冬小麦生长季需水量在 370~450mm^[21-22],2019-2020 年,传统播期生育期降水和灌溉水量已基本达到冬小麦生长所需,冬小麦对土壤贮水的消耗量少于晚播,因此成熟期深层土壤含水量高于晚播。研究^[23-24]表明,小麦产量和水分利用效率随总耗水量的增加先升高后降低。本研究中,平水年传统播期冬小麦产量最高,但产量与晚播灌 2 水处理差异未达到显著水平,且水分利用效率最低,有以下 2 点原因,传统播期与晚播 2 水灌水量相同,生育期总降水量 243.1mm 较晚播多 69mm(苗期),总耗水量增加,小麦对土壤贮水的利用减少;该年度冬季属于暖冬,冬小麦生长发育快,群体大,加之返青起身期灌水使无效分蘖增加,无效耗水增加^[25]。因此,传统播期灌水应结合生产中降水情况对灌水量酌情调整,以达到产量和水分利用效率的协同提高。提高土壤贮水的利用是实现节水栽培的重要途径之一^[26]。本研究表明,晚播条件下,返青起身期灌水对土壤贮水特别是深层贮水的利用高于拔节期灌水。适度水分亏缺条件下,冬小麦产量随总耗水量增加而增加^[26],本研究条件下,晚播返青起身期+开花期 2 水处理的总耗水量高于拔节期+开花期 2 水处理,说明晚播未浇冬水条件下,返青期+开花期 2 水模式仍具有一定的增产潜力。

3.2 灌水时间对冬小麦产量的影响

关于灌水时间对冬小麦产量的影响已有较多研究,刘志良等^[27]认为,春灌 1 水条件下冬小麦拔节中期灌水的产量效果优于其他时期;孙明清等^[28]认为,正常年份,石家庄地区冬小麦春灌 1 水条件下灌水时间以拔节前期为宜。本研究结果表明,不同年份晚播冬小麦产量形成的影响存在差异。干旱年,晚播冬小麦灌 2 水产量高于传统播期,这是由于传统播期最高总茎数虽显著高于晚播,但成穗率和穗粒数低于晚播灌水处理。而晚播冬小麦由于冬前苗龄小,减少了无效耗水,水分利用效率提高,产量增加。因此,干旱年,冬小麦适度晚播更具有增产优势。而降水较为充足的平水年,则是传统播期产量最高,晚播灌 2 水次之,但二者间差异未达

到显著水平,且传统播期冬小麦水分利用效率低于晚播增密处理。从产量构成因素来看,拔节期灌水对提高作物产量效果最好。晚播增密条件下,2个试验年度均以拔节期+开花期2水模式产量最高,该结果与前人研究^[20]结论基本一致;返青期+开花期2水产量略低于拔节期+开花期2水,但2种模式差异不显著。适度晚播增密+合理灌溉也能实现稳产或高产。

3.3 不同灌水模式对晚播冬小麦对春季低温响应的影响

冬小麦随春季气温回升而快速生长,生育进程加快,但幼穗对低温的敏感性增加^[29],承受霜冻害的能力降低^[30];进入拔节期后,冬小麦出现霜冻害的最低温呈上升趋势,即生育期越迟,冬小麦所能承受的最低温反而越高^[31]。本课题组通过对不同灌水时间冬小麦低温和穗分化的观测得知,返青起身期灌水能够延缓冬小麦的穗分化进程,提高冬小麦春季抗霜冻能力。因此,适度晚播增密+返青起身期灌水能够延缓穗分化进程,调控群体,提高抗霜冻能力,实现“平抑生育进程”。这对当前气候变暖情境下,缓解冬小麦春季发育提前、降低春季冻害风险具有重要作用。生产实践中,在对籽粒产量影响不大的前提下,灌水时间的确定除考虑苗情、降水等因素外,降低春季冻害风险也是确定灌水模式的重要因素。

4 结论

在干旱年,晚播(10月27日)灌2水时冬小麦增产优势明显。在平水年,传统播期(10月13日)处理产量最高。综合产量、抗霜冻、水分利用等方面因素,不灌冬水条件下,适度晚播增密+合理灌水不仅能够保证产量,还可以延缓穗分化进程,降低春季冻害对冬小麦的影响。实际生产中,具体实施过程还应依据田间情况做进一步确定。

参考文献

- [1] 山西省统计局. 山西统计年鉴. (2020-12-18) [2020-12-20]. <http://tjj.shanxi.gov.cn/tjsj/tjnj/nj2020/zk/indexch.html>.
- [2] 任文斌,谢三刚,王倩,等. 山西南部水地小麦区试品系农艺性状比较及通径分析. 农学学报, 2016, 6(2): 22-26.
- [3] 李茂松,王道龙,钟秀丽,等. 冬小麦霜冻害研究现状与展望. 自然灾害学报, 2005, 14(4): 72-78.
- [4] 苗爱梅,武捷,贾利冬. 1958-2008年山西气温变化的特征及趋势研究. 地球科学进展, 2010, 25(3): 364-272.
- [5] 武雪萍,廖允成,查燕等. 黄土高原东部平原区作物节水减肥栽培理论与技术. 北京: 中国农业出版社, 2019: 332-425.
- [6] 钟秀丽,王道龙,吉田久,等. 冬小麦品种抗霜冻力的影响因素分析. 作物学报, 2007, 33(11): 1810-1814.
- [7] 钟秀丽,王道龙,李茂松. 冬小麦品种抗霜力鉴定与霜冻害防御新对策. 自然灾害学报, 2006, 15(S1): 132-136.
- [8] 曾正兵,钟秀丽,王道龙,等. 冬小麦拔节后幼穗低温敏感期的鉴定. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 297-300.
- [9] 王志敏,王璞,李绪厚,等. 冬小麦节水省肥高产简化栽培理论与技术. 中国农业科技导报, 2006, 8(5): 38-44.
- [10] 李建民,王璞,周殿玺,等. 冬小麦水肥高效利用栽培技术原理. 北京: 中国农业大学出版社, 2000: 1-16.
- [11] 党建友,裴雪霞,王姣爱,等. 灌水时间对冬小麦生长发育及水肥利用效率的影响. 应用生态学报, 2012, 23(10): 2745-2750.
- [12] 宜丽宏,王丽,张孟妮,等. 不同灌溉方式对冬小麦生长发育及水分利用效率的影响. 灌溉排水学报, 2017, 36(10): 14-19.
- [13] 亢秀丽,马爱平,靖华,等. 晋南盆地灌水、秸秆还田对小麦产量及水分利用效率的影响. 农学学报, 2012, 2(12): 1-5.
- [14] 郝明德,王旭刚,党廷辉,等. 黄土高原旱地小麦多年定位施用化肥的产量效应分析. 作物学报, 2004, 30(11): 1108-1112.
- [15] 吕丽华,梁双波,张丽华,等. 不同小麦品种产量对冬前积温变化的响应. 作物学报, 2016, 42(1): 149-156.
- [16] 王东,于振文,贾效. 播期对优质强筋冬小麦籽粒产量和品质的影响. 山东农业科学, 2004(2): 25-26.
- [17] 杨健,张保军,毛建昌,等. 播期与密度对冬小麦西农 9871 籽粒产量的影响. 麦类作物学报, 2011, 31(3): 529-534.
- [18] 董志强,张丽华,吕丽华,等. 不同灌溉方式对冬小麦光合速率及产量的影响. 干旱地区农业研究, 2015, 33(6): 1-7.
- [19] 郑成岩,于振文,马兴华,等. 高产小麦耗水特性及干物质的积累与分配. 作物学报, 2008, 34(8): 1450-1458.
- [20] 张胜全,方保停,王志敏,等. 春灌模式对晚播冬小麦水分利用及产量形成的影响. 生态学报, 2009, 29(4): 2035-2044.
- [21] Liu C M, Zhang X Y, Zhang Y Q. Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and micro-lysimeter. Agricultural and Forest Meteorology, 2002, 111(2): 109-120.
- [22] 王淑芬,张喜英,裴冬. 不同供水条件对冬小麦根系分布、产量及水分利用效率的影响. 农业工程学报, 2006, 22(2): 27-32.
- [23] 居辉,兰霞,李建民,等. 不同灌溉制度下冬小麦产量效应与耗水特征研究. 中国农业大学学报, 2000, 5(5): 23-29.
- [24] 方保停,邵运辉,岳俊芹,等. 灌水次数对豫北小麦水分利用和产量的影响. 西南农业学报, 2017, 30(2): 280-284.
- [25] 李志宏,马俊永,高林森. 河北省未来农艺节水的途径与关键技术. 华北农学报, 2003, 18 (院庆专刊): 17-19.
- [26] 崔世明,于振文,王东,等. 灌水时期和数量对小麦耗水特性及产量的影响. 麦类作物学报, 2009, 29(3): 442-446.
- [27] 刘志良,曹彩云,潘胤霖,等. 不同时间春灌一水对冬小麦生长发育及产量的影响. 河北农业科学, 2020, 24(2): 35-39.
- [28] 孙明清,江彦军,张辉,等. 春灌1水条件下灌溉时间对冬小麦产量及产量构成的影响. 河北农业科学, 2019, 23(6): 27-30.
- [29] Mahfoozi S, Limin A E, Ahakpaz F, et al. Phenological development and expression of freezing resistance in spring and winter wheat under field conditions in northwest Iran. Field Crops Research, 2006, 97(2): 182-187.
- [30] 孟自力,陈昆,闫向泉,等. 气象因子变化及其对小麦生产的影响. 安徽农业科学, 2018, 46(7): 27-29.
- [31] 冯玉香,何维勋,孙忠富,等. 我国冬小麦霜冻害的气候分析. 作物学报, 1999, 25(3): 335-340.

Effects of Spring Irrigation on Yield and Water Utilization of Late-Sowing Winter Wheat in Southern Shanxi

Yang Na^{1,2}, Xi Jilong², Wang Ke², Xi Tianyuan², Zhang Jiancheng², Yao Jingzhen², Wang Jian²

(¹Shanxi Province Key Laboratory of Organic Dry Farming/Institute of Dryland Farming, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, Shanxi, China; ²Cotton Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Yuncheng 044000, Shanxi, China)

Abstract In order to clarify the effects of irrigation patterns on water utilization and yield of late-sowing winter wheat in the Yuncheng Basin, with Jimai 22 as the material, five irrigation treatments for late-sowing winter wheat, W1 (no irrigation), W2 (irrigation at returning green stage), W3 (irrigation at jointing stage), W4 (irrigation at returning green and anthesis stages), W5 (irrigation at jointing and anthesis stages), and CK (irrigation at returning green and anthesis stages for traditional sowing winter wheat) were applied. The results showed that, the yield of late-sowing winter wheat under W1, W2 and W3 treatments were lower than that of CK in two experimental years. In the drought year, the yields of winter wheat under W4 and W5 treatments were significantly higher than that of CK, while the yield of CK was the highest in the normal year. Under the condition of late-sowing winter wheat with two irrigations, W5 treatment had the highest yield among all irrigation patterns, closely followed by the yield of W4 treatment, but the difference did not reach a significant level between them, the spike number, earbearing tiller rate, dry matter translocation amount, translocation rate, and contribution rate to grain before anthesis of late-sowing winter wheat with two irrigations for greenrising and anthesis were higher than winter wheat with two irrigations for jointing and anthesis. The water use efficiency of W2 and W3 treatments were the highest. There was no significant difference in water use efficiency between the W4 and W5 treatments. The results showed in southern Shanxi province, under the condition of late-sowing without winter water, irrigation at returning green and anthesis stages could maintain the stable production, delay the process of spike differentiation, and improve the frost resistance in the spring.

Key words Winter wheat; Late-sowing; Irrigation; Yield; Water utilization