

网络出版时间:2025-01-15

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1359.s.20250114.1512.008

## 塔额盆地包蛋冬小麦干物质积累、 产量和水分利用效率对滴灌量的响应

杨浩<sup>1</sup>,李盈奎<sup>3</sup>,薛丽华<sup>2</sup>,章建新<sup>1</sup>,孙诗仁<sup>2</sup>,刘斌<sup>1</sup>,蒋鹏程<sup>1</sup>,邢俊刚<sup>1</sup>

(1.新疆农业大学农学院,新疆乌鲁木齐 830052; 2.新疆农业科学院粮食作物研究所,新疆乌鲁木齐 830091;

3.额敏县气象局,新疆塔城 834600)

**摘要:**为探明包蛋冬小麦干物质积累、产量和水分利用效率对滴灌量的响应规律,以小麦品种新冬18号为供试材料,于2021-2023年通过田间随机区组试验,设置1800 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>(W<sub>1</sub>)、2250 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>(W<sub>2</sub>)、2700 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>(W<sub>3</sub>)、3150 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>(W<sub>4</sub>)和3600 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>(W<sub>5</sub>)五个滴灌量处理,系统分析了不同滴灌量下包蛋冬小麦土壤含水量、叶面积指数(LAI)、干物质积累量、水分利用效率及产量的差异。结果表明,增加滴灌量主要增加0~40 cm土层含水量,减少40~100 cm土壤贮水消耗量,增加田间总耗水量,降低土壤耗水量及降水占总耗水量的比率,同时增加包蛋冬小麦LAI、总光合势和干物质积累量、花后干物质积累量及其对产量的贡献率,最终提高产量和水分利用效率,大幅度降低灌水利用效率。W<sub>5</sub>处理的最大LAI、总光合势、干物质总积累量、花后干物质积累量及产量分别比W<sub>1</sub>处理平均增加18.65%、55.2%、28.6%、27.2%、51.6%。这说明增加滴灌量的增产作用主要归因于促进包蛋冬小麦光合物质生产和积累,尤其是花后光合物质积累,提高穗数和千粒重。两年均以滴灌量W<sub>4</sub>和W<sub>5</sub>处理的产量和水分利用效率较高。综合考虑产量和水分利用效率,塔额盆地包蛋冬小麦适宜滴灌量为2700~3150 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>。

**关键词:**滴灌量;包蛋冬小麦;水分利用效率;产量;干物质积累

中图分类号:S512.1;S311

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2025)06-0790-09

## Response of Dry Matter Accumulation, Yield, and Water Use Efficiency of Ultra-Late-Sowing Winter Wheat in the Ta'e Basin to Drip Irrigation Amount

YANG Hao<sup>1</sup>, LI Yingkui<sup>3</sup>, XUE Lihua<sup>2</sup>, ZHANG Jianxin<sup>1</sup>, SUN Shiren<sup>2</sup>,  
LIU bin<sup>1</sup>, JIANG Pengcheng<sup>1</sup>, XING Jungang<sup>1</sup>

(1. College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China; 2. Institute of Grain Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091, China; 3. Meteorological Bureau of Emin County, Tacheng, Xinjiang 834600, China)

**Abstract:** To explore the response patterns of dry matter accumulation, yield, and water use efficiency of ultra-late-sowing winter wheat Xindong 18 to drip irrigation amount, from 2021 to 2023, a randomized block design was employed in the field to study the differences of soil moisture content, leaf area index (LAI), dry matter accumulation, water use efficiency, and yield of ultra-late-sowing winter wheat under the five drip irrigation treatments of W<sub>1</sub> (1800 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>), W<sub>2</sub> (2250 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>), W<sub>3</sub> (2700 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>), W<sub>4</sub> (3150 m<sup>3</sup>·h m<sup>-2</sup>), and W<sub>5</sub> (3600 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>). The results showed that increasing drip irrigation mainly enhanced soil moisture content in the 0-40 cm soil layer, decreased soil water consumption in the 40-100 cm soil layer, reduced soil water consumption, increased total field water consumption, and decreased the ratio of soil water consumption and precipitation to total water consumption. Increasing drip irrigation enhanced the LAI, total photosynthetic capacity, dry

收稿日期:2024-05-05

修回日期:2024-08-06

基金项目:国家自然科学基金项目(32060433);新疆农业科学院自主培育专项项目(xjnkzyzp-2022001)

第一作者 E-mail: yanghao99892023@163.com(杨浩)

通讯作者 E-mail: zjxin401@126.com(章建新); xuelihua521@126.com(薛丽华)

matter accumulation, post-flowering dry matter accumulation, contribution to yield, and water use efficiency, while reduced irrigation water use efficiency. Compared to  $W_1$ ,  $W_5$  exhibited increases in maximum LAI, total photosynthetic capacity, dry matter accumulation, post-flowering dry matter accumulation, and yield by 18.65%, 55.2%, 28.6%, 27.2%, and 51.6%, respectively. The yield and water use efficiency were higher under the treatments with drip irrigation amounts of 3 150 and 3 600  $m^3 \cdot hm^{-2}$  over the two years. Considering both yield and water use efficiency, the suitable drip irrigation amount for ultra-late-sowing winter wheat Xindong 18 is 2700–3 150  $m^3 \cdot hm^{-2}$  in the Ta'er Basin.

**Keywords:** Drip irrigation amount; Ultra-late-sowing winter wheat; Water use efficiency; Yield; Dry matter accumulation

塔额盆地处新疆西北部中温带地区,气候冬季寒冷,降雪量大,积雪稳定;春季气候冷凉多风;夏季高温干旱,降水稀少<sup>[1]</sup>;农业生产完全依靠额敏河等河水和地下水灌溉。塔额盆地是北疆小麦的主产区,也属于小麦高产优质区<sup>[2]</sup>。该地区水土矛盾突出,地下水长期超采导致灌溉水资源日益匮乏<sup>[3]</sup>。因此,节水灌溉是小麦生产的必然选择。近年,由于前茬玉米等作物晚收、土壤墒情(连续降雨土壤过湿或不能灌溉墒不足)等因素制约,冬小麦不能适期播种<sup>[4]</sup>。在生产上普遍晚播冬小麦<sup>[5]</sup>。目前在临冻前播种的包蛋冬小麦面积不断扩大,该类小麦已成为塔额盆地小麦生产的重要组成部分。与传统适期播种冬小麦(9月中、下旬)<sup>[6]</sup>相比,由于在临冻前播种,包蛋冬小麦种子以萌动(或发芽、休眠)状态在积雪覆盖的土中越冬,早春再恢复生长出苗<sup>[7]</sup>。与常规的晚播冬小麦相比,包蛋冬小麦的突出优点在于对播期要求不严格,可节省出苗水和越冬水。包蛋冬小麦的产量与晚播冬小麦相近,显著高于春小麦,节水效果显著<sup>[8]</sup>,受到国内北方小麦产区同行重视<sup>[9]</sup>。包蛋冬小麦的生育特性有别于适播和晚播冬小麦,无冬前生长期,与春小麦相似,但比春小麦早熟、高产<sup>[7]</sup>。有关播期<sup>[10]</sup>、品种<sup>[4,11]</sup>和水氮运筹<sup>[4,12]</sup>等对包蛋春小麦的产量、水分利用效率影响的研究较多,包蛋春小麦的水氮利用效率高于晚播冬小麦和春播小麦<sup>[12]</sup>,产量与包蛋冬小麦无显著差异<sup>[13]</sup>。目前,塔额盆地包蛋冬小麦的需水规律不清楚,生产上虽然采用滴灌技术,但灌水存在盲目性、滴灌定额普遍偏高、水分利用效率不高等突出问题。适宜的灌溉量是提高小麦产量和水分利用效率的重要栽培技术措施<sup>[14-16]</sup>。本研究系统分析了滴灌量对包蛋冬小麦土壤含水量、叶面积指数与光合势、干物质积累与分配、产量和水分

利用效率的影响,以期为塔额盆地包蛋冬小麦节水高产栽培提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试点概况

试验于2021—2023年在塔城地区额敏县阔什比克良种场新疆农业科学院小麦育种家基地进行。该基地位于东经83°42',北纬46°33',属温带大陆性气候区,年平均温度7.86℃,全年盛行东北风,大风天数多,蒸发量大。试验田土质为壤土,前茬作物为大豆。2021—2023年播前0~20 cm土层土壤养分含量见表1。试验期间小麦整个生长季降水量和平均气温见表2。

### 1.2 试验设计

供试冬小麦品种为新冬18号。试验采用随机区组设计,设置1 800  $m^3 \cdot hm^{-2}$  ( $W_1$ )、2 250  $m^3 \cdot hm^{-2}$  ( $W_2$ )、2 700  $m^3 \cdot hm^{-2}$  ( $W_3$ )、3 150  $m^3 \cdot hm^{-2}$  ( $W_4$ )和3 600  $m^3 \cdot hm^{-2}$  ( $W_5$ )共5个滴灌量处理,小区面积为24  $m^2$  (8 m × 3 m),3次重复。前茬作物收获后,翻地前基施磷酸二铵300  $kg \cdot hm^{-2}$ ,翻地后进行旋耕,播种前1 d进行耙地。两年包蛋冬小麦播种时间分别为2021年10月31日和2022年11月2日。采用机械播种(播幅1.8 m),行距20 cm,播种量为 $1.0 \times 10^7$ 粒· $hm^{-2}$ ,播种深度为4 cm左右。采用滴灌,毛管采用1管3行配置,毛管间距60 cm。为防止小区间渗水,处理间设置1.5 m宽隔离带,冬前不灌水。具体滴灌量及滴灌时间见表3,各小区滴灌量用水表控制。第二年,小麦拔节期随水滴施尿素150  $kg \cdot hm^{-2}$ ,孕穗期随水滴施尿素225  $kg \cdot hm^{-2}$ 、硫酸二氢钾45  $kg \cdot hm^{-2}$ 和硫酸锌15  $kg \cdot hm^{-2}$ 。收获时间为2022年7月19日和2023年7月15日。其他管理同一般大田管理。

表 1 0~20 cm 土层土壤养分  
Table 1 Nutrients in the 0—20 cm soil layer

年份 Year	有机质 Organic matter/ (g · kg <sup>-1</sup> )	碱解氮 Hydrolyzable nitrogen/(mg · kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available phosphorus/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available potassium/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total nitrogen/ (g · kg <sup>-1</sup> )	pH
2021—2022	16.48	51.1	8.1	62.5	0.78	8.10
2022—2023	18.85	48.5	9.3	71.5	0.89	7.83

表 2 包蛋冬小麦生长季降水量和平均气温  
Table 2 Precipitation and average temperature during the ultra-late-sowing winter wheat growing season

年份 Year	指标 Index	月份 Month										总和 Total
		11	12	1	2	3	4	5	6	7		
2021—2022	降水量 Precipitation/mm	41.2	23.3	2.0	8.6	48.6	32.5	13.7	12.2	24.0	206.1	
	平均气温 Average temperature/°C	-2.4	-5.0	-6.8	-6.9	2.4	13.4	32.5	23.9	24.1		
2022—2023	降水量 Precipitation/mm	58.0	9.7	23.6	11.2	46.6	29.9	5.8	3.8	5.7	194.3	
	平均气温 Average temperature/°C	-1.5	-12.2	-12.6	-5.8	4.2	9.6	15.6	24.0	25.6		

表 3 滴灌时期及其滴灌量  
Table 3 Stage and its amount of drip irrigation

处理 Treatment	滴灌时期及滴灌量 Irrigation stage and amount/(m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> )					总滴灌量 Total irrigation amount /(m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> )
	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	开花期 Anthesis stage	花后 10 d 10 days after anthesis	花后 20 d 20 days after anthesis	
W <sub>1</sub>	450	450	300	300	300	1 800
W <sub>2</sub>	525	525	450	375	375	2 250
W <sub>3</sub>	600	525	600	525	450	2 700
W <sub>4</sub>	750	750	675	525	450	3 150
W <sub>5</sub>	750	750	750	750	600	3 600

1.3 测定指标与方法

1.3.1 土壤含水量测定

播种前测定 1 次土壤含水量,而后从拔节期开始每 15 d 测定 1 次 0~100 cm 土层的土壤含水量,直至成熟,每次在距毛管间距 1/2 处用土钻分层采集 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 土层土样,分别装入铝盒中,盖上盖子,重复 3 次,用烘干法测定土壤含水量,并在每次灌水前后 12 h 再加测 1 次。计算农田耗水量和水分利用效率:农田耗水量=土壤贮水消耗量+灌水量+降水量;土壤贮水消耗量=收获后土壤贮水量-播前土壤贮水量;水分利用效率=籽粒产量/总耗水量。

1.3.2 叶面积指数(LAI)和总干物质测定

分别在小麦拔节期、孕穗期、开花期、花后 10

d、花后 20 d 及成熟期,从各小区选取生长一致有代表性 1 m 长植株样段 2 行,重复 3 次,采用称重法测定绿叶面积,计算叶面积指数。将植株样品去除根部,洗净,放入烘箱中 105 °C 下杀青 30 min 后调至 80 °C 烘干至恒重,称取干重,计算干物质积累量。计算光合势:光合势 = 1/2 (L<sub>1</sub> + L<sub>2</sub>) × (t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub>),式中 L<sub>1</sub> 和 L<sub>2</sub> 为前后 2 次测定的叶面积指数,t<sub>1</sub> 和 t<sub>2</sub> 为前、后 2 次的取样时间。

1.3.3 干物质转运参数测定

每小区在小麦开花当天选取生长整齐一致有代表性植株 100 株做标记,在开花期和成熟期分别选取标记植株 30 株,去除根系,洗净,按叶片、茎、鞘、穗分开,分别装入纸袋中,105 °C 杀青 30 min 后调至 80 °C 烘干至恒重,用万分之一天平称重。计算干物质转运参数:花前同化物转运量 =

开花期干物重 - 成熟期营养器官干重; 花后同化物转运量 = 成熟期籽粒干重 - 花前同化物转运量; 花前同化物转运效率 = 花前同化物转运量 / 开花期营养器官干重  $\times 100\%$ ; 花前同化物对籽粒产量的贡献率 = 花前同化物转运量 / 成熟期籽粒干重  $\times 100\%$ ; 花后同化物对籽粒产量的贡献率 = 花后同化物转运量 / 成熟期籽粒干重  $\times 100\%$ 。

### 1.3.4 产量及其构成测定

成熟期各小区选取有代表性的 1 m 长样段, 考察产量构成因素, 重复 3 次。各小区去除边行, 收获 4 m<sup>2</sup> (2 m  $\times$  2 m) 样方, 自然风干后脱粒称重, 籽粒产量按 13% 含水量计算, 重复 3 次。

## 1.4 数据分析

用 Excel 2021 进行数据分析并制图, 用 SPSS 19.0 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 滴灌量对包蛋冬小麦田 0~100 cm 土壤含水量的影响

滴灌量对包蛋冬小麦田间土壤含水量影响两年均显著 (图 1)。两年中, 各土层含水量随滴灌量的增大而增加, 且各处理的 0~40 cm 土层含水量在滴灌前、后呈现“谷一峰一谷”的变化趋势, 40~100 cm 土层含水量趋于平缓; 增加滴灌量后 0~20 cm 土层含水量的增幅大于 20~40 cm 土层。这说明增加滴灌量主要影响 0~40 cm 土壤含水量, 尤其是 0~20 cm 土层, 而对 40~100 cm 土层影响较小。

### 2.2 滴灌量对包蛋冬小麦田耗水结构的影响

滴灌量显著影响土壤贮水消耗量和田间耗水量 (表 4)。两年中, 随滴灌量的增加, 田间耗水量及滴灌水占田间耗水量的百分比逐渐提高, 而土壤贮水消耗量和降水量及其所占百分比均逐渐减小, 且不同处理间差异显著。由此可见, 增大滴灌量会增加田间总耗水量, 同时降低土壤贮水消耗量和降水占总耗水量的比例, 从而改变小麦田间耗水结构。

### 2.3 滴灌量对包蛋冬小麦 LAI 及光合势的影响

滴灌量对包蛋冬小麦 LAI 两年均有显著影响 (图 2)。各滴灌处理 LAI 从拔节期开始均呈先升后降趋势, 以孕穗期最高。在同一时期 LAI 随滴灌量的增加均呈现上升趋势, 其中 W<sub>5</sub> 处理的最大 LAI 在 2022 和 2023 年较 W<sub>1</sub> 处理分别增加

16.9% 和 20.4%。

随着生育进程的推进, 包蛋冬小麦的光合势也呈先增后降趋势, 其中光合势峰值在 2022 年出现在 5 月 11 至 25 日, 2023 年出现在 5 月 15 至 22 日 (图 3)。在出苗一拔节期不同处理间光合势差异不显著, 其余时期不同处理间差异均显著。随滴灌量的增加, 不同时期的光合势两年均表现为 W<sub>5</sub> > W<sub>4</sub> (W<sub>3</sub>) > W<sub>2</sub> (W<sub>1</sub>); 总光合势在处理间差异显著, 且随滴灌量的增加而增大。这表明增加滴灌量提高了包蛋冬小麦拔节至成熟期间各生育阶段的光合势, 从而大幅度增加总光合势。

### 2.4 滴灌量对包蛋冬小麦干物质积累的影响

不同滴灌处理间包蛋冬小麦成熟期的干物质积累量差异均达显著水平, 两年均表现为 W<sub>5</sub> > W<sub>4</sub> > W<sub>3</sub> > W<sub>2</sub> > W<sub>1</sub> (图 4)。其中, W<sub>5</sub> 处理的成熟期干物质积累量在 2022 和 2023 年分别达到了 20 285.2 和 19 779.1 kg  $\cdot$  hm<sup>-2</sup>, 较其他处理分别提高 15.2%~36.0% 和 3.3%~21.2%。这表明增加滴灌量可促进包蛋冬小麦干物质积累。

### 2.5 滴灌量对包蛋冬小麦花前干物质转运和花后干物质积累的贡献率

滴灌量显著影响包蛋冬小麦花前营养器官贮存的干物质转运及花后光合产物积累 (表 5)。随滴灌量的增加, 花前营养器官贮存的同化物转运量、转运效率及对其籽粒产量的贡献率均总体上呈下降趋势, 而花后干物质积累量及其贡献率两年总体上表现为上升趋势, 且处理间差异显著。这说明增加滴灌量对包蛋冬小麦产量的增加效应主要是促进了花后干物质积累。

### 2.6 不同滴灌量处理对包蛋冬小麦产量、产量构成及水分利用效率的影响

滴灌量对包蛋冬小麦穗数、穗粒数、千粒重、产量及水分利用效率两年均有显著影响 (表 6)。穗数、千粒重及产量随着滴灌量的增加两年总体上呈增加趋势; 而穗粒数对滴灌量的反应在两年间不一致, 随着滴灌量的增加在 2022 年呈下降趋势, 2023 年呈先升后降趋势。这说明增加滴灌量对小麦的增产作用主要是穗数和千粒重的增加。随滴灌量的增加, 灌溉水利用率呈降低趋势, 水分利用效率呈先增后降趋势。其中, W<sub>4</sub> 和 W<sub>5</sub> 处理的产量和水分利用效率高于其他处理, 且这两个处理间两年差异均不显著。

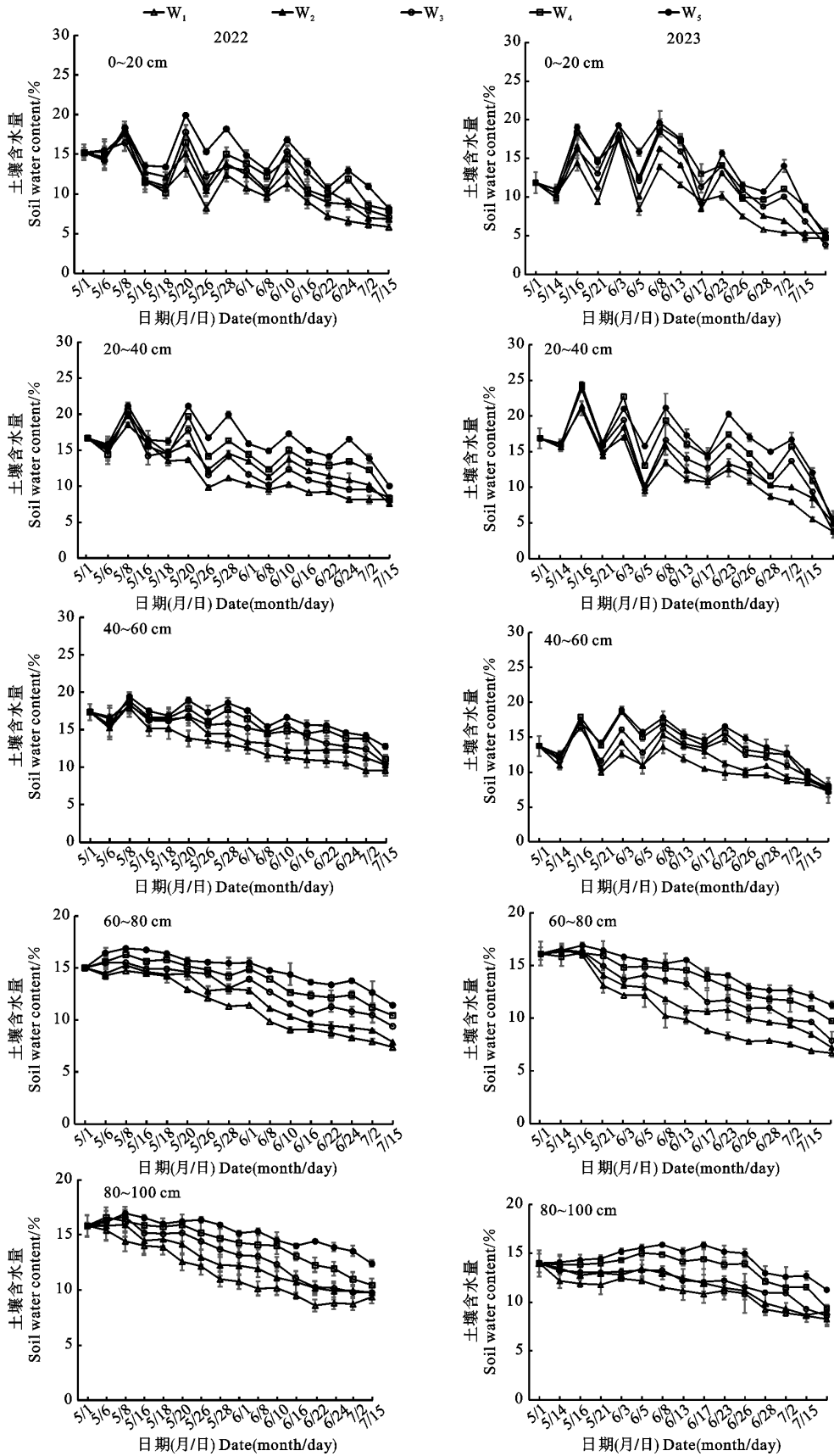


图 1 不同滴灌量下包蛋冬小麦 0~100 cm 土壤含水量的变化

Fig. 1 Variation of soil moisture content in the 0–100 cm layer of ultra-late-sowing winter wheat in response under different drip irrigation amounts

表 4 滴灌量对小麦田间耗水结构的影响

Table 4 Effect of drip irrigation amount on the field water consumption structure of winter wheat

年份 Year	处理 Treatment	滴灌水 Irrigation		土壤贮水 Soil water		降水 Precipitation		田间耗水量 Water consumption/ (m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> )
		数量 Amount/ (m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> )	百分比 Percentage/%	数量 Amount/ (m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> )	百分比 Percentage/%	数量 Amount/ (m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> )	百分比 Percentage/%	
2022	W <sub>1</sub>	1 800	38.30	839.0a	17.85	2061	43.85	4 700.0e
	W <sub>2</sub>	2 250	44.43	753.1b	14.87	2 061	40.70	5 064.1d
	W <sub>3</sub>	2 700	50.35	601.4c	11.22	2 061	38.43	5 362.4c
	W <sub>4</sub>	3 150	54.75	542.3d	9.43	2 061	35.82	5 753.3b
	W <sub>5</sub>	3 600	58.46	496.7e	8.07	2 061	33.47	6 157.7a
2023	W <sub>1</sub>	1 800	38.79	897.7a	19.34	1 943	41.87	4 640.7e
	W <sub>2</sub>	2 250	44.55	857.2ab	16.97	1 943	38.47	5 050.2d
	W <sub>3</sub>	2 700	49.72	787.1b	14.50	1 943	35.78	5 430.1c
	W <sub>4</sub>	3 150	55.10	623.9c	10.91	1 943	33.99	5 716.9b
	W <sub>5</sub>	3 600	59.05	553.6d	9.08	1 943	31.87	6 096.6a

同列数值后不同小写字母代表处理间在 0.05 水平差异显著。下表同。

Different lowercase letters after the values within the same columns indicate significant differences among treatments at 0.05 level. The same in the following tables.

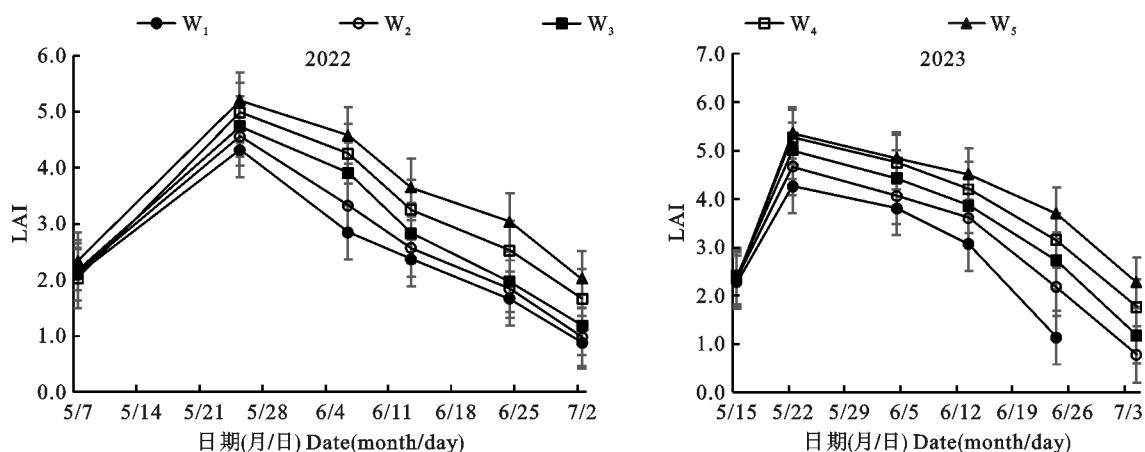
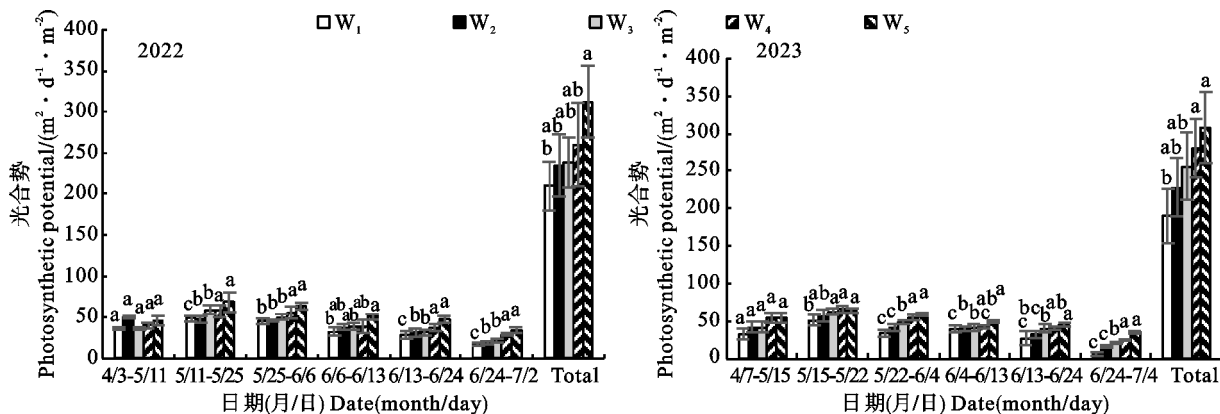


图 2 不同滴灌量下包蛋冬麦 LAI 的变化

Fig. 2 Changes of LAI of ultra-late-sowing winter wheat under different drip irrigation amoues



图柱上的不同字母表示同一时期不同处理间差异在 0.05 水平显著。

Different letters above the columns indicate significant differences among different treatments at the same stages at 0.05 level.

图 3 不同滴灌量下包蛋冬小麦光合势的变化

Fig. 3 Change of photosynthetic potential of ultra-late-sowing winter wheat under different drip irrigation amounts

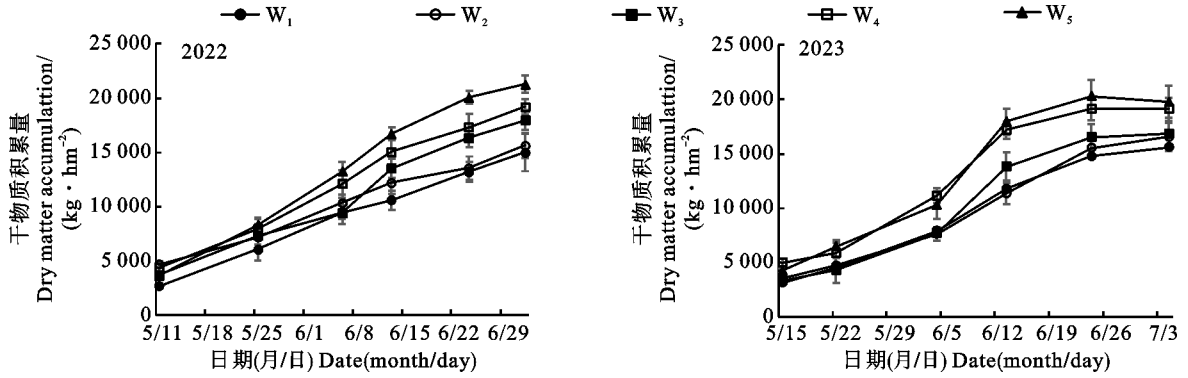


图 4 不同滴灌量下包蛋冬小麦干物质积累量的变化

Fig. 4 Change of dry matter accumulation of ultra-late-sowing winter wheat under different drip irrigation amounts

表 5 不同滴灌量下包蛋冬小麦的花前干物质转运量和花后干物质积累量及其对籽粒产量的贡献

Table 5 Pre-anthesis dry matter translocation, post-anthesis dry matter accumulation, and their contribution to grain yield of ultra-late-sowing winter wheat under different drip irrigation amounts

年份 Year	处理 Treatment	花前干物质 Pre-anthesis dry matter			花后干物质 Post-anthesis dry matter	
		转运量 Transportation/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	转运效率 Transport rate/%	贡献率 Contribution rate/%	积累量 Accumulation/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	贡献率 Contribution rate/%
2022	W <sub>1</sub>	1 071.4a	56.5a	54.9a	880.1d	45.1d
	W <sub>2</sub>	1 071.0a	51.4b	44.7b	1 325.0c	55.3c
	W <sub>3</sub>	926.2b	42.1c	34.8c	1 735.3bc	65.2b
	W <sub>4</sub>	928.5b	40.8c	31.6c	2 009.8b	68.4b
	W <sub>5</sub>	780.9c	30.8d	19.1d	3 307.6a	80.9a
2023	W <sub>1</sub>	1 562.7a	69.0a	42.5a	2 114.2c	57.5c
	W <sub>2</sub>	1 546.6a	47.1b	28.5c	3 880.1a	71.5b
	W <sub>3</sub>	1 476.9b	48.7b	31.7b	3 182.1b	68.3b
	W <sub>4</sub>	1 379.6c	41.6c	28.4c	3 478.1b	71.6b
	W <sub>5</sub>	1 201.1d	34.5d	23.9d	3 824.4ab	76.1a

表 6 不同滴灌量下包蛋冬小麦的产量、产量构成及水分利用效率

Table 7 Yield and yield components of ultra-late-sowing winter wheat under different drip irrigation amounts

年份 Year	处理 Treatment	穗数 Spikes/ (×10 <sup>4</sup> · hm <sup>-2</sup> )	穗粒数 Grains per spike	千粒重 1 000-grain weight/g	产量 Yield/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	灌溉水利用效率 Irrigation WUE/ (kg · m <sup>-3</sup> )	水分利用效率 WUE/(kg · m <sup>-3</sup> )
2022	W <sub>1</sub>	307.9e	52.1a	36.8c	5 892.3c	3.27a	1.25c
	W <sub>2</sub>	327.9d	52.0a	39.5b	6 729.5b	3.09b	1.33b
	W <sub>3</sub>	353.5c	51.4a	38.6bc	7 021.1b	2.75c	1.31b
	W <sub>4</sub>	385.7b	46.4b	42.1a	8 138.7ab	2.51d	1.41a
	W <sub>5</sub>	433.6a	45.8b	42.4a	8 599.1a	2.61d	1.40a
2023	W <sub>1</sub>	413.5c	35.5c	43.6b	6 421.6d	3.57a	1.38c
	W <sub>2</sub>	423.5c	42.2a	44.5ab	7 961.5c	3.53a	1.58b
	W <sub>3</sub>	471.3b	41.6a	43.9ab	8 623.8b	3.19b	1.59b
	W <sub>4</sub>	491.4b	43.0a	45.9a	9 809.9a	3.11b	1.72a
	W <sub>5</sub>	588.1a	38.0b	45.2ab	10 101.7a	2.84c	1.66a

### 3 讨论

随着滴灌量的增加,冬小麦产量提高,水分利用效率呈现先增后降趋势<sup>[17-18]</sup>。研究表明,在未将冬前灌水计入总灌水量,的情况下,北疆冬小麦适宜灌量为 $3\ 900\sim 4\ 500\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ ,产量近 $9\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,水分利用效率为 $1.19\sim 1.26\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ <sup>[19,20]</sup>。雷钧杰等认为,北疆冬小麦全生育期的适宜滴灌量为 $4\ 650\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ ,产量可达到 $8\ 602.41\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ <sup>[21]</sup>。也有学者提出,北疆春小麦的适宜滴灌量为 $6\ 000\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ ,可获得 $7\ 800\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 产量<sup>[21]</sup>。本研究中,在塔额盆地,增加包蛋冬小麦的滴灌量后,0~40 cm 土层含水量增加,40~100 cm 土层水分变化平缓;增加滴灌量后,滴灌耗水量占麦田总耗水量的百分比增大,降水量和土壤贮水消耗量的比例均降低,说明增加滴灌量会改变包蛋冬小麦的水分消耗结构,导致对土壤贮水利用不充分。在 $2\ 750\sim 3\ 150\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 灌水量范围内,随滴灌量的增加,叶面积指数、光合势、干物质积累量、产量及水分利用效率逐渐增加并达到峰值,继续增加滴灌量后,上述指标均出现下降或变化不显著现象。这与欧阳雪莹等<sup>[22]</sup>在春小麦研究结果相一致。

前人研究发现,在一定灌水量的范围内,增加冬小麦生育期间的总灌水量后,穗数、穗粒数、千粒重、产量及水分利用效率呈增加趋势,若继续增加灌水量,小麦产量构成因素不再增加<sup>[23-24]</sup>。本研究结果也表明,包蛋冬小麦的穗数、穗粒数、千粒重、产量及水分利用效率先随滴灌量的增大而增加,当滴灌量超过 $3\ 150\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 后,产量和水分利用效率变化不显著,因此认为在本试验条件下,包蛋冬小麦的适宜滴灌量为 $2\ 700\sim 3\ 150\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 。综合以往研究,获得相近产量时,包蛋冬小麦的滴灌量较适期播种冬小麦和春小麦大幅降低,水分利用效率却大幅提高,其原因在于包蛋麦无需冬前灌出苗水和越冬水。这与王欢等<sup>[12]</sup>在北疆春麦冬播的研究结果一致。由此可见,包蛋麦是一种小麦节水高产栽培模式。与晚播冬小麦和春小麦相比,包蛋小麦充分利用了冬季积雪越冬和春融雪水出苗<sup>[8]</sup>。本研究的两年试验均未在苗期滴水,冬季积雪春融水可满足包蛋冬小麦苗期生长的水分需求。然而,有关包蛋冬麦的滴灌运筹模式目前研究较少,在滴灌运筹模式对根系生长及耗水的关系及其对产量形成和品

质的影响等方面也有待深入探讨,以便挖掘其增产和节水潜力。

### 4 结论

增加包蛋冬小麦滴灌量提高了0~40 cm 土层含水量,对40~100 cm 土层含水量影响较小。增大滴灌量增加了麦田总耗水量,减少土壤贮水消耗量;提高了包蛋冬小麦的叶面积指数、总光合势、成熟期干物质积累量、花后干物质积累量及其对产量的贡献率,最终实现增产和水分利用效率提高。其中, $W_4$ 和 $W_5$ 处理间产量和水分利用效率差异均不显著。在本试验条件下,塔额盆地包蛋冬小麦适宜的滴灌量为 $2\ 700\sim 3\ 150\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

#### 参考文献:

- [1]新疆维吾尔自治区统计局. 2021年新疆统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.  
Statistical Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Xinjiang statistical yearbook in 2021 [M]. Beijing: China Statistical Publishing House, 2021.
- [2]吴新元, 芦静, 张新忠, 等. 新疆小麦品质生态区划研究[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(8): 1373.  
WU X Y, LU J, ZHANG X Z, et al. Study of ecological division for wheat quality in Xinjiang [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2017, 54(8): 1373.
- [3]王新, 张胜东. 新疆水资源布置格局与优化配置建议[J]. 水利规划与设计, 2021(6): 34.  
WANG X, ZHANG S D. Water resources distribution pattern and suggestions for optimal allocation in Xinjiang [J]. *Water Resources Planning and Design*, 2021(6): 34.
- [4]苏文平, 王欢, 艾木拉姑丽·库尔班, 等. 北疆临冬播小麦品种间生育特性及产量比较[J]. 作物杂志, 2021(6): 108.  
SU W P, WANG H, AI MULAGULI · K E B, et al. Comparison of growth characteristics and yields of different wheat varieties planted in the approaching winter in northern Xinjiang [J]. *Crops*, 2021(6): 108.
- [5]王彬, 张萌, 陈景天, 等. 超晚播节水栽培冬小麦品种花后光合与灌浆特性[J]. 科技导报, 2017, 35(18): 86.  
WANG B, ZHANG M, CHEN J T, et al. Characteristics of photosynthesis and grain-filling of various winter wheat cultivars under extremely-late sown and water-saving cultivation conditions [J]. *Science & Technology Review*, 2017, 35(18): 86.
- [6]王荣栋, 尹经章. 作物栽培学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2015.  
WANG R D, YIN J Z. Crop cultivation science [M]. Beijing: Higher Education Press, 2015.
- [7]薛丽华, 王铜, 李磊, 等. 北疆超晚播小麦高产生育规律及干物质积累研究[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(6): 153.  
XUE L H, WANG T, LI L, et al. Study on the growth regularity of high yield and dry matter accumulation of the extremely-late winter sown wheat in Northern Xinjiang [J]. *Ag-*

- ricultural Research in the Arid Areas*, 2019, 37(6): 153.
- [8] 赵鑫琳, 邢俊刚, 薛丽华, 等. 播种模式对新疆小麦干物质积累和产量及水分利用效率的影响[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(5): 639.  
ZHAO X L, XING J G, XUE L H, *et al.* Effects of sowing patterns on dry matter accumulation, yield, and water use efficiency of wheat in Xinjiang [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2024, 44(5): 639.
- [9] 董玉新, 韦炳奇, 吴强, 等. 内蒙古平原灌区“春麦冬播”种植效应及品种适应性[J]. 作物学报, 2021, 47(3): 481.  
DONG Y X, WEI B Q, WU Q, *et al.* Cropping effect and variety adaptability of winter-seeded spring wheat in Inner Mongolia Plain irrigation area [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2021, 47(3): 481.
- [10] 王铜, 李磊, 汪晓东, 等. 播期对冬播春麦品种生育进程及产量品质的影响[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(10): 28.  
WANG T, LI L, WANG X D, *et al.* Effect of sowing date on growth characteristics and yield and quality of spring wheat varieties sowing in winter [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(10): 28.
- [11] 李磊, 王铜, 汪晓东, 等. 北疆超晚播小麦品种生育特性及产量比较[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(7): 826.  
LI L, WANG T, WANG X D, *et al.* Comparison of growth characteristics and yield of wheat varieties under super late sowing in North Xinjiang [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2020, 40(7): 826.
- [12] 王欢, 苏文平, 赵鑫琳, 等. 不同水氮处理对冬播春小麦产量和水氮利用效率的影响[J]. 麦类作物学报, 2022, 42(11): 1381.  
WANG H, SU W P, ZHAO X L, *et al.* Effect of different irrigation and nitrogen application on yield, water and nitrogen use efficiency of spring wheat sown in winter [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2022, 42(11): 1381.
- [13] 周安定, 李磊, 孙诗仁, 等. 包蛋麦品种间干物质分配、籽粒灌浆特性比较[J]. 新疆农业科学, 2022, 59(2): 320.  
ZHOU A D, LI L, SUN S R, *et al.* Comparison of dry matter distribution and grain filling characteristics of different wheat varieties for overwinter seed cultivation [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2022, 59(2): 320.
- [14] 王振华, 郑旭荣, 姜国军. 不同灌水量对滴灌春小麦生长与生理指标的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(3): 538.  
WANG Z H, ZHENG X R, JIANG G J. Effects of irrigation amount on the growth and physiological indexes of drip irrigated spring wheat [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2015, 29(3): 538.
- [15] 蒋桂英, 魏建军, 刘萍, 等. 滴灌春小麦生长发育与水分利用效率的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(6): 50.  
JIANG G Y, WEI J J, LIU P, *et al.* Spring wheat growth and water use efficiency under drip irrigation [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2012, 30(6): 50.
- [16] 张伟, 李鲁华, 吕新. 不同施氮量对滴灌春小麦根系时空分布、氮素利用率及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2016, 25(2): 195.  
ZHANG W, LI L H, LÜ X. Effects of nitrogen fertilizer at different levels on spatial and temporal distribution of wheat roots, nitrogen use efficiency and yield in spring wheat under drip irrigation [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2016, 25(2): 195.
- [17] 聂紫瑾, 陈源泉, 张建设, 等. 黑龙江流域不同滴灌制度下的冬小麦产量和水分利用效率[J]. 作物学报, 2013, 39(9): 1687.  
NIE Z J, CHEN Y Q, ZHANG J S, *et al.* Effects of drip irrigation patterns on wheat yield and water use efficiency in Heilonggang region [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39(9): 1687.
- [18] 位国峰, 林琪, 商健, 等. 不同滴灌量对冬小麦水分利用及品质的影响[J]. 华北农学报, 2015, 30(4): 200.  
WEI G F, LIN Q, SHANG J, *et al.* Effects of different drip irrigation amount on water use efficiency and quality of winter wheat [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2015, 30(4): 200.
- [19] 薛丽华, 赵连佳, 陈兴武, 等. 不同水氮运筹对滴灌冬小麦根系生长、水分利用及产量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(9): 21.  
XUE L H, ZHAO L J, CHEN X W, *et al.* Effects of different water and nitrogen application patterns on the growth of root and yield of winter wheat [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(9): 21.
- [20] 赛力汗·赛, 张永强, 薛丽华, 等. 新疆滴灌冬小麦灌溉量对产量形成与水分利用的影响[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(8): 30.  
SAILihan · SAI, ZHANG Y Q, XUE L H, *et al.* Effects of different drip irrigation amount on yield formation and water use of winter wheat in Xinjiang [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23(8): 30.
- [21] 雷钧杰, 张永强, 张宏芝, 等. 不同滴灌量对冬小麦干物质积累、转运及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(4): 596.  
LEI J J, ZHANG Y Q, ZHANG H Z, *et al.* Effect of drip irrigation amount on dry matter accumulation, translocation and yield in winter wheat [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2016, 53(4): 596.
- [22] 欧阳雪莹, 蒋桂英, 冉辉, 等. 水氮运筹对新疆滴灌春小麦群体质量和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(5): 585.  
OUYANG X Y, JIANG G Y, RAN H, *et al.* Effect of water and nitrogen application on population quality and yield of spring wheat under drip irrigation in Xinjiang [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2020, 40(5): 585.
- [23] 章杰, 胡田田, 何琼, 等. 灌水量及减氮模式对冬小麦产量及水氮利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(1): 148.  
ZHANG J, HU T T, HE Q, *et al.* Effects of irrigation amount and nitrogen fertilizer-reduction pattern on yield and utilization of water and nitrogen of winter wheat [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2020, 38(1): 148.
- [24] 张钊, 黄超, 樊宜, 等. 滴灌量对北疆春小麦生长发育、产量及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2024, 43(4): 22.  
ZHANG Z, HUANG C, FAN Y, *et al.* Effect of drip irrigation amount on growth, yield and water use efficiency of spring wheat in northern Xinjiang [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2024, 43(4): 22.