



宽幅播种旱作冬小麦幅间距与基因型对产量和水分利用效率的影响

赵刚¹, 樊廷录², 李兴茂¹, 张建军¹, 党翼¹, 李尚中¹, 王磊¹, 王淑英¹, 程万莉¹, 倪胜利¹

(¹甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 兰州 730070; ²甘肃省农业科学院科研管理处, 兰州 730070)

摘要:【目的】明确旱作小麦宽幅条播方式与品种的交互作用, 进一步提升产量和水分利用效率。【方法】在黄土高原旱作区, 选取 2 个不同基因型品种, 采用 5 个不同播种幅间距, 二因素交互处理, 在冬小麦不同生育期测定土壤水分、干物质积累量、透光率和产量, 经过连续 3 年连续数据积累, 分析不同幅间距的宽幅播种方式和不同株型品种互作对产量和水分利用的影响。【结果】冬小麦灌浆期品种间旗叶和底部透光率均差异不显著, 长 6359 秸秆+颖壳干物质运转量、运转率和贡献率均高于高秆品种陇鉴 117; 播种方式方面, 幅间距缩小至 18 cm 时, 旗叶部位透光率和干物质运转均高于普通条播; 品种间全生育期耗水量差异不大, 缩小幅间距至 18 cm 的宽幅播种, 耗水量降低 10.8 mm, 水分利用效率提高 8.91%; 不同基因型冬小麦产量差异不显著, 长 6359 和陇鉴 117 分别通过扩大库容和提高单位面积穗数达到增产目的, 品种和幅间距二因素互作对产量影响差异不显著, 宽幅播种调节幅间距均能适应不同基因型冬小麦品种, 幅间距缩小至 18 cm 时产量增加 139.2 kg·hm⁻²。【结论】旱作冬小麦采用宽幅播种, 幅间距为 18 cm 时, 配套不同基因型冬小麦, 产量和水分利用效率均可提高, 耗水量无显著增加, 为区域冬小麦宽幅播种技术配套新品种提供理论依据。

关键词: 旱作区; 幅间距; 冬小麦; 产量; 水分利用效率

Effects of Wide-Range Distance and Genotype on Yield and Water Use Efficiency of Winter Wheat

ZHAO Gang¹, FAN TingLu², LI XingMao¹, ZHANG JianJun¹, DANG Yi¹, LI ShangZhong¹, WANG Lei¹, WANG ShuYing¹, CHENG WanLi¹, NI ShengLi¹

(¹Institute of Dryland, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070; ²Scientific Management Department, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070)

Abstract: 【Objective】This study was carried out to clarify the interaction between wide range strip sowing and wheat cultivar, so as to improve the yield and water use efficiency. 【Method】In this study, two different genotypes were selected in the dry farming area of the Loess Plateau. Five different sowing spacing and two factor interaction were used to measure the soil moisture, dry matter accumulation, light transmittance and yield of winter wheat. After three consecutive years of data accumulation, the effects of different spacing of wide sowing and different plant type interaction on yield and water use were analyzed. 【Result】There was no significant difference in light transmittance at flag leaf position and bottom of canopy between cultivars at filling stage. The transport capacity and contribution rate of straw and glume dry matter were higher in C6359 than that in Longjian 117, which was a tall wheat cultivar. Compared with conventional drilling sowing, the wide range sowing had high light transmittance at flag leaf position and dry matter transport when ranges spacing was 18 cm. There was no difference in water consumption during the

收稿日期: 2019-09-23; 接受日期: 2019-12-17

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0200400503, 2016YFD0300110)、国家科技支撑计划(2015BAD22B02-02)

联系方式: 赵刚, E-mail: 7635423@163.com. 通信作者樊廷录, E-mail: fantinglu3394@163.com

whole growth stage between cultivars. When the width spacing was 18 cm, the water consumption decreased by 10.8 mm and water use efficiency increased by 8.91% compared with conventional drilling sowing. There was no significantly different in grain yield between wheat cultivars. The grain yield was increased by expanding the sink capacity in C6359 and by increasing the number of spikes per unit area in Longjian 117, respectively. The interaction of cultivar and width spacing had no significant effect on grain yield. The wide range strip sowing could adapted to different genotypes of winter wheat cultivars by adjust the range spacing. When the range spacing was 18 cm, the yield increases by $139.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ compared with conventional drilling sowing. 【Conclusion】 When the width range spacing was 18 cm, the yield and water use efficiency were increased in different genotypes of wheat winter cultivars. However, the water consumption was not significant increase. These results provided a theoretical basis for the winter wheat high-yield cultivation technology with new cultivars in loess dry plateau area

Key words: dry farming region; wide-range distance; winter wheat; yield; WUE

0 引言

【研究意义】冬小麦为旱作区主要粮食作物之一,小麦种植区分布较广,但大部分冬小麦种植区域为典型的雨养农业区,降水资源限制了冬小麦产业发展,产量高低是遗传和环境因素共同作用的结果^[1],抗旱品种选育和栽培技术改进是提高小麦单产水平最经济有效的途径。宽幅精量播种技术是近年来提出的一项栽培技术^[2],通过改变群体结构提高产量,然而品种特性影响群体结构的变化,因此,研究旱作区不同品种配套不同幅间距对小麦产量和水分利用的影响具有重要意义。【前人研究进展】前人相关研究表明,种植行距是调整作物空间布局的重要措施^[3],行距配置对冬小麦生长、冠层结构及微环境均有影响,合理的株行距配置不仅能够调节作物生长微环境,还有节水降耗作用^[4-5]。传统耕作方式为密集条播、籽粒拥挤一条线的播种方式,宽幅精量播种是以扩播幅、增行距、促匀播为核心,有利于小麦出苗^[6],实现了苗齐、苗均、苗壮,构建了合理的群体结构,增产效应显著^[7-9]。冬小麦不同基因决定了冠层特征,其中株高影响着小麦倒伏、品质,与产量关系密切。高秆品种生物量大,单株所占空间较大,互相之间遮阴小、通透性好,但是易倒伏;矮秆品种生物量小,叶片簇拥通风性差,从而限制产量提升。小麦群体大小与分蘖能力有着密切的关系,宽幅精量播种通过改变播种幅宽,优化群体结构达到高产,不同基因型冬小麦个体特征明显,对不同栽培措施要求不同。【本研究切入点】宽幅精量播种增产效应显著,前人在冬小麦冠层特征^[2]、产量构成^[3]、光合特性^[6]及肥料利用^[7]方面做了大量研究,但是幅间距和不同品种互作条件下冬小麦生长发育和土壤水分的研究报道较少。

【拟解决的关键问题】本研究在旱作区大田条件下,采用不同幅间距的宽幅播种和不同基因型的冬小麦

新品种,比较分析幅间距和品种对冬小麦群体结构、产量和水分利用效率的影响,旨在为不同基因型冬小麦品种配套不同幅间距提供理论依据与配套技术措施。

1 材料与方法

1.1 试验地点

镇原试验站位于甘肃省镇原县,属于半湿润偏旱区,常年平均降水量 540 mm,年蒸发量 1 500 mm,干燥度 1.5,属稳定单向缺水农业区。依托农业部西北旱作区作物营养与施肥科学观测实验站和国家糜子改良中心甘肃分中心,试验于 2016—2018 年连续 3 年在镇原县上肖乡 ($35^{\circ}30' \text{N}$, $107^{\circ}29' \text{E}$) 进行,土壤为黑垆土,耕层土壤有机质含量 $10.62 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮 $0.94 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮 $89 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $231 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,肥力中等。据测定,该地降水量的 10%—15% 形成径流流失,60%—65% 为无效蒸发,仅有 25%—30% 被作物利用,60% 的降水多集中在 7—9 月,年平均日照时数为 2 300—2 500 h,日照百分率达 50%—55%,年辐射量为 $525\text{—}567 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-2}$, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温为 $3\ 400\text{—}3\ 800^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 $2\ 700\text{—}3\ 200^{\circ}\text{C}$ 。

3 季冬小麦生育期降水情况如表 1 所示,冬小麦生育期为当年 9 月底播种至次年 7 月初收获,因此生育期降水为当年 10 月至次年 6 月,2015—2016、2016—2017、2017—2018 年度生育期降水分别为 272、334.6 和 382.7 mm,试验区域冬小麦生育期多年降水为 250 mm,因此,第 1 年为平水年,后 2 年为丰水年。从降水分布来看,2016—2017 和 2017—2018 年度 5 月和 6 月降水分别占全生育期降水 49.0% 和 42.0%,越冬前 9 月和 10 月降水分别占全生育期的 22.6% 和 32.2%,冬小麦生长旺季降水不足 30.0%,因此,冬小麦关键生育期降水来看,2016—2017 和 2017—2018 年度为欠水年。

表 1 冬小麦生育期降水情况

Table 1 Precipitation during growth stage of winter wheat (mm)

年份	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Otc.	Nov.	Dec.
2015	—	—	—	—	—	—	—	—	12.3	39.7	55.1	0.0
2016	0.0	0.0	13.6	31.0	44.8	75.5	105.2	48.0	28.8	46.7	0.0	9.6
2017	0.0	14.2	51.7	19.5	62.1	102	63.6	211.3	13.3	109.9	0.0	10.5
2018	15.0	8.0	15.5	49.7	80.2	80.6	—	—	—	—	—	—

近 60 个生产年（7 月至翌年的 6 月）的平均降水量为 532.5 mm，小麦生育期的平均降水量为 250 mm。按生产年的平均降水量来划分降水年型，增减 10%以内为“平水”，减少 10%以上为“干旱”，增加 10%以上为“丰水”
The average annual precipitation (from July to next June) over the 10 years was 532.5 mm and the average precipitation during wheat growth was 250 mm. Normal, dry and wet years were classified according to the percentage over the average total precipitation, i.e., precipitation variation within 10% for normal year, less than 10% for dry year, and more than 10% for wet year

1.2 试验设计

试验采取裂区设计，主处理为不同株高冬小麦品种，分别选取陇鉴 117 (LJ117) 和长 6359 (C6359)，陇鉴 117 品种分蘖力强、株高高、小穗数多，长 6359 品种分蘖力弱、株高低、千粒重大；副处理为不同幅间距处理，分别为宽幅条播 1（幅间距 25 cm，M25），宽幅条播 2（幅间距 30 cm，M30），宽幅条播 3（幅间距 18 cm，M18），均匀播种（无行距株距，M0）普通条播（行距 20 cm，幅宽 2—3 cm，CK）。试验小区面积为 14 m²（长 5 m，宽 2.8 m），3 次重复。试验统一定苗为 375 万株/hm²，施纯 N 180 kg·hm⁻²，P₂O₅ 为 105 kg·hm⁻²，氮、磷肥全部基施，其他管理同农户大田。

1.3 测定方法

1.3.1 产量 在冬小麦成熟后，采用实收记产，收获后自然风干，考种后脱粒记产（按 14%含水量折合产量）。

1.3.2 土壤水分和冬小麦水分利用效率（WUE）播种前、返青期、拔节期、开花期、灌浆期和收获后分别用土钻法测定每个小区 2 m 土层（每 20 cm 为一层）的土壤含水量，转化为播前和收获时的土壤贮水量（mm）。生育期降雨量通过 MM-950 自动气象站获得。试验地在旱塬地带，降雨不产生径流，所以在本研究地表径流可忽略不计，利用土壤水分平衡方程计算作物耗水量（土壤水分蒸发与作物蒸腾量，ET）。各指标计算公式如下：

土壤贮水量（mm）=土壤含水量×土壤容重；

冬小麦耗水量（ET，mm）=生育前一次土壤贮水量-生育后一次土壤贮水量+生育期降水量；

冬小麦水分利用效率（WUE，kg·hm⁻²·mm⁻¹）=籽粒产量/生育期耗水量。

1.3.3 干物质质量 在小麦不同生育期（开花期和成熟期）选择小区长势一致植株，每次取 20 株，然后 105℃杀青 10 min，80℃下烘干至恒重后称重。

干物质转运量=开花期营养器官干重-成熟期营养器官干重；

干物质转运率=花前干物质转运量/开花期营养器官干重×100%；

光合同化量=成熟期籽粒干重-花前干物质转运量；

干物质转运量对籽粒的贡献率=花前干物质转运量/成熟期籽粒干重×100%。

1.3.4 透光率 2018 年 5 月 15 日至 20 日，采用 ZDS-10 型照度计测定光强，选取冬小麦灌浆前期穗顶部、旗叶部和底部分别测定，每区连续读取 20 个光强数据，计算透光率。

透光率=（测定部位光强/穗顶部光强）×100%

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 软件处理数据和制图，采用 SPSS Statiostics17.0 进行方差分析。

2 结果

2.1 品种播种方式对透光率的影响

小麦灌浆期旗叶和底部透光率如图 1 所示，旗叶部位和底部透光率分别为 65%—79%和 2.6%—3.6%，高秆品种为 72.0%和 2.8%，矮秆品种为 74.0%和 3.1%，品种间差异不显著；播种方式来看，2 个品种 18 cm 幅间距旗叶部位均高于其他播种方式，底部差异不大。旗叶部位透光率受果穗影响，不论哪种基因型冬小麦品种，18 cm 幅间距穗部遮光较小，有利于旗叶及以下部位叶片接收光照。

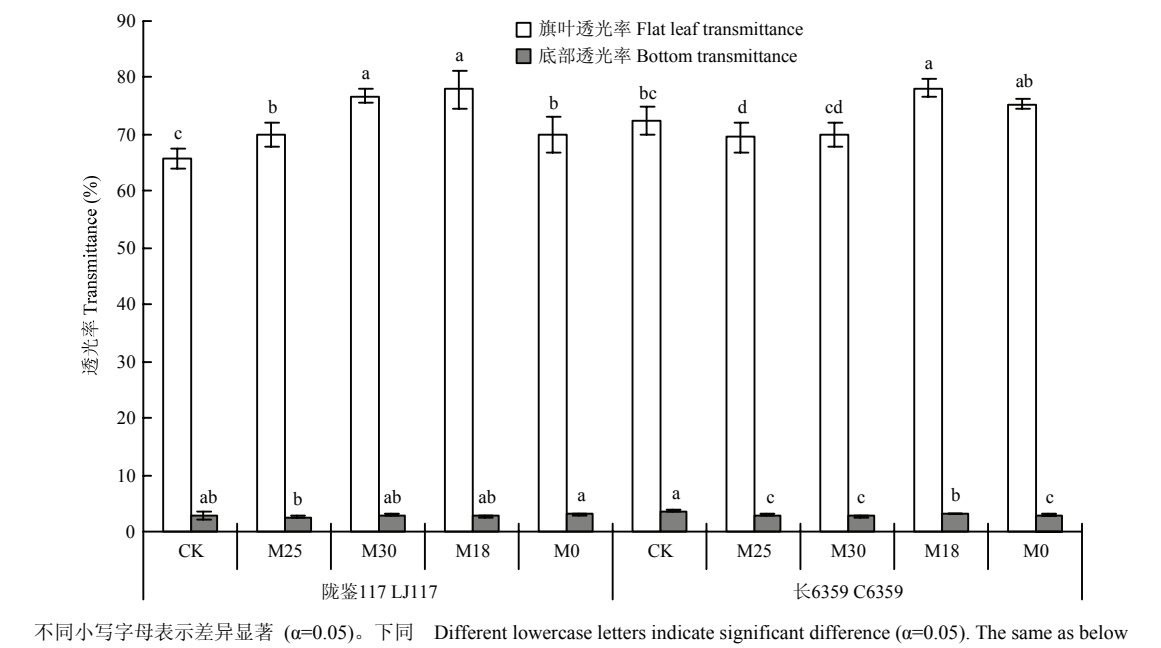


图 1 不同品种不同播种方式对透光率的影响

Fig. 1 Effects of different varieties and sowing ways on transparence

2.2 不同生育阶段的干物质积累量变化

干物质积累量随生育期推移逐渐增加（图 2），陇鉴 117 分蘖能力强，苗期和拔节期干物质较长 6359 分别增加 12.66%和 5.04%，孕穗期和灌浆期长 6359

较陇鉴 117 分别增加 5.43%和 5.29%，成熟期 2 个品种干物质积累量基本一致，说明陇鉴 117 孕穗期以前干物质积累量大，到后期增速逐渐减慢，呈“快-慢”的趋势，而长 6359 与之相反，呈“慢-快”趋势。幅间

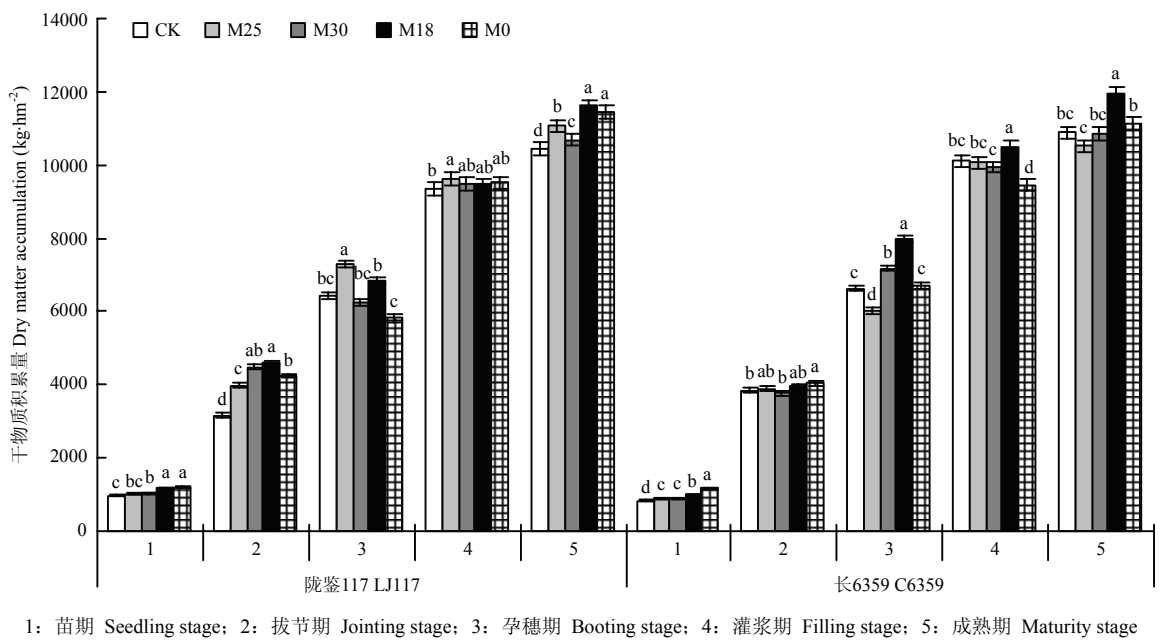


图 2 不同处理冬小麦不同生育阶段耗水量变化

Fig. 2 Water consumption change of winter wheat at different growth stages under different treatments

距调整各生育期干物质积累差异显著，陇鉴 117 和长 6359 分别在灌浆期和拔节期差异相对较小，其他各生育期均差异较大；幅间距为 18 cm 时各生育期均显著高于对照，增幅为 2.63%—24.30%，灌浆期差异最小，拔节期差异最大，成熟期干物质积累量较对照平均增加 10.45%。

2.3 幅间距和株高对花后植株干物质运转的影响

不同播种方式和品种显著影响了冬小麦花后

干物质运转（表 2），长 6359 的秸秆+颖壳干物质运转量、运转率和贡献率较陇鉴 117 高 15.9%、7.7% 和 7.8%；不同播种方式干物质运转量由低到高依次为 M0<M25<CK<M18<M30，运转率为 M0<M25<M18<CK<M30，贡献率为 M0<M25<CK<M18<M30；不同处理颖壳平均运转率和贡献率分别为 19.4%和 6.4%，秸秆分别为 33.4%和 44.76%。

表 2 品种和播种方式对冬小麦干物质运转的影响

Table 2 Amount of translocation of winter wheat in different variety and sowing method

品种 Variety	幅间距 Wide-range distance	运转量 Amount of translocation (g/plant)			运转率 Translocation rate (%)			贡献率 Contribution ratio (%)		
		颖壳 Glume	秸秆 Stem	秸秆+颖壳 Stem+Glume	颖壳 Glume	秸秆 Stem	秸秆+颖壳 Stem+Glume	颖壳 Glume	秸秆 Stem	秸秆+颖壳 Stem+Glume
陇鉴 117	CK	0.08b	0.49a	0.57a	24.84b	36.69a	34.32a	8.51b	50.32a	58.83a
LJ117	M25	0.12a	0.37b	0.49b	38.94a	29.46c	31.31bc	11.88a	37.24c	49.12c
	M30	0.08b	0.46a	0.54a	24.28b	34.69b	32.58b	7.95c	44.66b	52.61b
	M18	0.05c	0.47a	0.52ab	16.30c	33.68bc	30.38c	5.09d	44.76b	49.85c
	M0	0.04c	0.33b	0.36c	12.64d	26.60d	24.03d	3.39e	31.66d	35.05d
长 6359	CK	0.06b	0.54b	0.60b	15.33b	35.53b	31.30c	5.25b	45.98b	51.23c
C6359	M25	0.09a	0.37c	0.46c	21.55a	26.18d	25.12d	7.97a	32.74c	40.72e
	M30	0.06b	0.67a	0.73a	15.58b	42.22a	37.14a	5.17b	59.41a	64.58a
	M18	0.05bc	0.60a	0.65b	13.95c	36.59b	32.19bc	5.15b	56.1a	61.26b
	M0	0.04c	0.48b	0.51c	10.27d	32.64c	28.06d	3.62c	44.75b	48.37cd

同列不同字母代表差异显著（ $P<0.05$ ）。下同
Different letters within the same column mean significant differences at 0.05 level. The same as below

2.4 品种和播种方式对不同生育阶段耗水量的影响

2017—2018 年度冬小麦不同生育期阶段耗水量如图 3 所示，本年度冬小麦生育期降水不均，但是冬小麦生育关键期均有降水，干旱胁迫不明显。耗水集中在灌浆前期，灌浆期—成熟期由于冬小麦叶片开始干枯，耗水减小，播种期—返青期、返青期—拔节期、拔节期—开花期、开花期—灌浆期、灌浆期—成熟期阶段耗水量分别占全生育期耗水量的 33.9%、24.7%、17.1%、22.5%、1.8%。陇鉴 117 耗水量比长 6359 平均高 3 mm，返青期—拔节期最高，达到了 9.7 mm；不同播种方式来看，18 cm 幅间距在拔节—开花期高于条播对照，其他时期均低于对照，全生育期较普通条播平均低 9.5 mm。

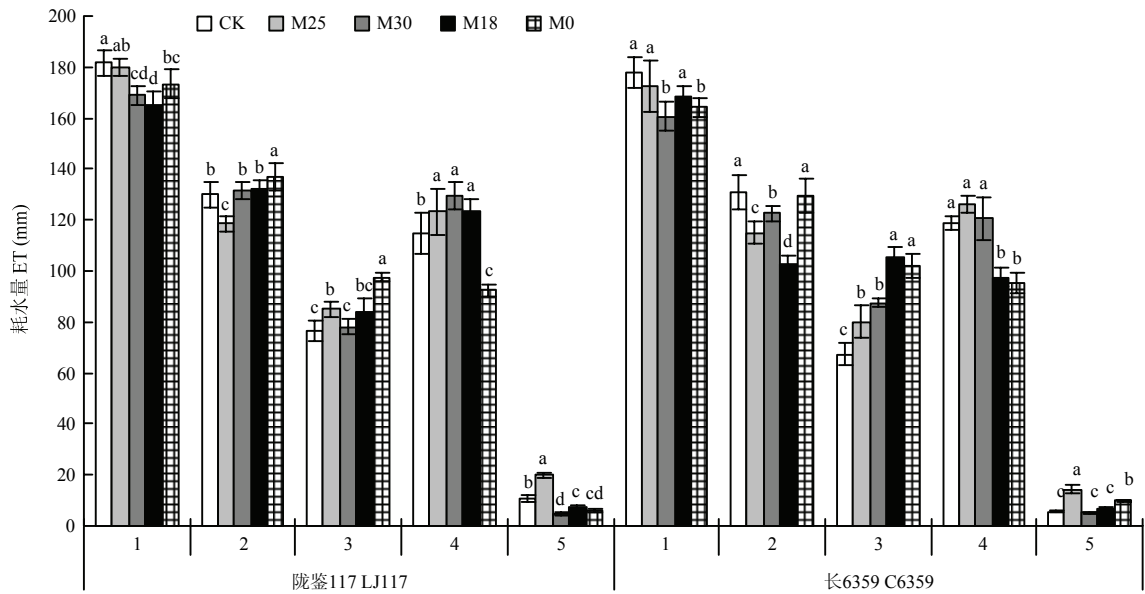
2.5 播种方式和品种对冬小麦收获期土壤贮水量与生育期耗水量的影响

冬小麦收获后 0—200 cm 土壤贮水量和土壤耗水

情况如表 3 所示，品种之间土壤贮水量和土壤耗水量差异均不显著，收获后土壤贮水量同一品种不同幅间距差异不显著，2016 和 2017 年差异不大，2018 年陇鉴 117 比长 6359 贮水量低 16.3 mm；不同幅间距土壤耗水差异显著（ $P<0.05$ ），品种之间差异不显著，土壤耗水量年份之间差异与土壤贮水量一致，其中 2018 年陇鉴 117 土壤耗水量比长 6359 高 16.3 mm。

2.6 品种和播种方式对冬小麦产量三因素的影响

不同品种对冬小麦产量三因素影响较大，方差分析结果显示（表 4），穗数、千粒重品种之间差异显著，其中每公顷成穗数陇鉴 117 比长 6359 高 13.1%，千粒重长 6359 比陇鉴 117 高 15.7%；品种、播种方式之间穗粒数和穗数差异显著，品种与播种方式互作穗粒数和穗数同样达到显著水平。不同降水年型来看，产量三因素差异均显著（ $P<0.01$ ），2016 年千粒重、穗数均高于其他年份，2018 年穗粒数最高，不论哪个



1: 播种期-返青期 Sowing stage -green stage; 2: 返青期-拔节期 Green stage -jointing stage; 3: 拔节期-开花期 Jointing stage -flowering stage; 4: 开花期-灌浆期 Flowering stage -filling stage; 5: 灌浆期-成熟期 Filling stage -maturity stage

图 3 不同处理冬小麦不同生育阶段耗水量变化

Fig. 3 Water consumption change of winter wheat at different growth stages under different treatments

表 3 品种和播种方式对冬小麦收获期土壤贮水量和生育期土壤耗水的影响

Table 3 Effects of different variety and sowing method components on soil water storage and soil water loss of winter wheat (mm)

品种	幅间距	收获土壤贮水量 (0—200 cm)			土壤耗水量		
		Soil water storage of harvest (0-200 cm)			Soil water loss		
Variety	Wide-range distance	2016	2017	2018	2016	2017	2018
陇鉴 117	CK	263.3a	301.5a	329.3a	72.5a	53.3b	123.9b
LJ117	M25	272.1a	287.5a	316.7a	63.6c	66.3a	136.4a
	M30	272.0a	304.3a	330.2a	63.7c	49.5b	122.9b
	M18	271.3a	297.4a	331.7a	64.4c	51.4b	121.5b
	M0	266.8a	292.3a	336.8a	68.9b	61.5a	116.4c
长 6359	CK	258.6a	304.0a	342.4a	77.1a	49.8c	110.8ab
C6359	M25	269.3a	304.5a	335.0a	66.4b	49.2c	118.2a
	M30	262.6a	296.5a	347.1a	73.2a	57.3b	106.1b
	M18	271.3a	297.8a	359.0a	64.4b	56.0b	94.2c
	M0	278.0a	281.2a	342.5a	57.8c	72.6a	110.7ab

年型不同播种方式之间千粒重差异均不显著。

仅 2017 年长 6359 穗数在不同播种方式下差异不显著，在 2016 年和 2018 年 2 个品种穗数均达到显著水平；2018 年长 6359 穗粒数在不同播种方式下差异显著，在 2016 年和 2017 年，2 个品种的穗粒数均不显著。

2018 年，长 6359 不同播种方式穗粒数之间差异显著，其他年份 2 个品种均不显著；单位面积穗数，2017 年，长 6359 不同播种方式之间差异不显著，其他年份均达到显著水平。不同处理来看，18 cm 幅间距增加了单位面积穗数，千粒重和穗粒数与普通条播均无差异，由此可见，产量之间的差异主要

来源于单位面积穗数，因此，播种方式保证单位面积穗数是关键。

2.7 品种和播种方式对产量及水分利用效率的影响

不同处理不同年份产量和水分利用效率结果如表 5 所示，产量品种之间差异不显著 ($P=0.661$)，幅间距和不同年份影响差异达到极显著 ($P<0.01$)，年份与品种、年份和播种方式互作差异极显著 ($P<0.01$)，品种与播种方式互作差异不显著， P 值为 0.2089。年份、播种方式单因素对水分利用效率影响差异极显著 ($P<0.01$)，品种影响差异不显著 ($P=0.1464$)。品种、年份与品种互作、品种与播种方式互作对耗水量影响差异不显著，年份、播种方式及其两因素互作差

异极显著 ($P<0.01$)。三因素互作对产量、水分利用效率、耗水量影响差异不显著。

不同年份产量差异较大，产量由高到低依次为 2016 年、2018 年和 2017 年，品种之间陇鉴 117 为 $3\,174.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，较长 6359 增产 2.8%，不同播种方式产量依次为 18 cm 幅间距>条播>25 cm 幅间距>均匀播种>30 cm 幅间距，其中 18 cm 幅间距较普通条播增产 4.20%，均匀播种和 30 cm 幅间距分别减产 10.3%和 12.8%。水分利用效率变化规律与产量基本一致，年际间差异明显，2016 年度显著高于其他 2 年，品种之间差异不大，播种方式对水分利用效率影响较大，其中 25 cm 幅间距达到了 $9.30\text{ kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，

表 4 品种和播种方式对冬小麦产量三因素的影响

Table 4 Effects of different variety and sowing method on yield components of winter wheat

品种 Variety	幅间距 Wide-range distance	穗粒数 Grains per spike				穗数 Spike number ($\times 10^4$ plants/hm ²)				千粒重 1000-grain weight (g)			
		2016	2017	2018	Mean	2016	2017	2018	Mean	2016	2017	2018	Mean
陇鉴 117 LJ117	CK	34.1b	31.6a	33.3a	33.0a	570.0b	435.0c	511.0a	505.3b	35.7a	28.7a	38.1a	34.2a
	M25	37.7a	31.3a	33.8a	34.3a	598.5ab	484.5a	509.0a	530.7a	36.9a	28.1a	37.0a	34.0a
	M30	33.1b	29.5b	32.4ab	31.7b	604.5ab	448.5bc	446.0b	499.7b	36.8a	27.0a	37.0a	33.6a
	M18	35.5ab	30.5ab	30.2b	32.1ab	636.0a	466.5ab	442.0b	514.8a	36.4a	27.8a	38.1a	34.1a
	M0	35.0ab	31.8a	30.5b	32.4ab	610.5ab	454.5bc	512.2a	525.7a	36.6a	28.0a	37.6a	34.1a
长 6359 C6359	CK	29.5b	28.9a	39.3a	32.6a	607.5a	294.0b	417.0b	439.5c	45.1a	33.5a	40.8a	39.8a
	M25	32.1a	29.3a	36.6b	32.7a	505.5c	436.5a	323.3d	421.8c	44.2a	32.3a	40.3a	38.9a
	M30	32.0a	27.8a	37.0ab	32.3a	561.0ab	436.5a	377.7c	458.4b	45.2a	31.9a	40.8a	39.3a
	M18	29.6b	29.7a	35.7b	31.7a	585.0ab	451.5a	438.4a	491.6a	44.6a	33.5a	39.5a	39.2a
	M0	31.9ab	28.4a	34.6b	31.6a	552.0bc	433.5a	414.4b	466.6b	43.5a	32.9a	41.7a	39.4a

表 5 品种和播种方式对产量和水分利用效率的影响

Table 5 Effects of varieties and sowing methods on yield and WUE in winter wheat

品种 Variety	幅间距 Wide-range distance	产量 Yield (kg·hm ⁻²)			耗水量 ET (mm)			水分利用效率 WUE (kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)		
		2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018
陇鉴 117 LJ117	CK	4705.3bc	1850.8a	3442.2a	341.3a	355.6ab	498.3ab	13.77bc	5.20a	6.90a
	M25	4757.0b	1742.9ab	2951.3b	332.8a	372.9a	516.5a	14.29b	4.67ab	5.72b
	M30	4457.1c	1590.1ab	2769.4b	332.1a	348.5b	495.3b	13.39c	4.47ab	5.59b
	M18	5302.7a	1749.4ab	3333.6a	333.6a	363.6ab	460.9c	15.89a	4.82b	7.23a
	M0	4547.4bc	1494.0b	2909.1b	338.2a	368.2a	496.4b	13.45c	4.06b	5.86b
长 6359 C6359	CK	4452.2bc	2024.6ab	3423.2a	346.2a	356.6b	490.1a	12.85c	5.68a	6.98a
	M25	4683.1b	1531.3c	2406.5d	335.9a	355.7b	497.2a	13.95b	4.30b	4.83c
	M30	4552.5bc	1750.8bc	2245.6d	342.5a	363.9b	486.3b	13.30bc	4.81ab	4.62c
	M18	5197.4a	2117.2a	3033.0b	333.6a	371.6b	463.6b	15.58a	5.78a	6.54a
	M0	4351.3c	1848.9abc	2691.3c	327.5a	391.6a	490.0a	13.31bc	4.88ab	5.49b

较普通条播增加 8.8%，均匀播种和 30 cm 幅间距分别为 $7.80 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $7.65 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

年份之间产量和水分利用效率差异显著，其中 2016 年 18 cm 幅间距的宽幅播种方式 (M18) 产量和水分利用效率较普通条播显著增加了 14.7% 和 18.2%；2017 年 18 cm 幅间距 (M18) 与普通条播产量差异不显著，但显著高于其他处理；2018 年陇鉴 117 比长 6359 显著增产，增产 10.0%，18 cm 幅间距显著增产。

降水年型对耗水量影响较大，2016—2108 年冬小麦生育期降水分别为 269.2、306.6、379.9 mm，耗水量分别为 336.4、364.8 和 489.5 mm，耗水量随着降水量的增加而增加；高秆品种和矮秆品种耗水量分别为 396.9 mm 和 396.8 mm，品种之间耗水量基本无差异；不同幅间距处理来看，均匀播种和 25 cm 幅间距宽幅播种耗水量均达到了 402 mm，18 cm 幅间距宽幅播种耗水量最低，为 387.8 mm，较普通条播减少了 10.2 mm。

2017 年和 2018 年耗水量差异显著，因为 2 年生育期降水量分别较冬小麦多年平均降水量增加了 25.6% 和 52.0%，属于生育期丰水年份，同年处理间耗水量差异显著，在 2016 年平水年耗水量差异不显著。3 年耗水量分别在 327.0—346.3、355.8—379.2 和 460.9—516.3 mm，平水年处理之间耗水量差异不显著，2 个丰水年差异显著。2016 年 18 cm 幅间距播种陇鉴 117 产量和水分利用效率分别增加 12.68% 和 15.2%，长 6359 分别增加 16.8% 和 20.9%，均匀播种陇鉴 117 分别降低了 3.4% 和 2.2%，长 6359 降低了 2.3% 和—3.5%，差异不显著。3 年综合来看，18 cm 幅宽较其他幅间距有显著增产作用，均匀播种较传统耕作减产。

3 讨论

3.1 幅间距和品种对冬小麦干物质积累的影响

农作物产量主要来自光合产物的积累，较高的干物质积累量是实现作物高产的基础，增加植株日照时数和受光面积是获取较高干物质积累的前提。品种和栽培措施在很大程度上决定了小麦群体发展动态，品种和株行距合理配置有利于冬小麦群体分布，宽幅播种通过适当增加播种幅宽，籽粒分散均匀，提高出苗率，促进个体发育，提高叶面积指数，改善光合性能，从而构建合理群体结构^[8-10]。合理的群体结构能够促进光合作用，加速干物质运转和积累。小麦干物质运转对籽粒贡献率既受基因型影响^[11-12]，又受到栽培措施的影响^[13-14]。本研究结果显示，宽幅播种均能显著

提高灌浆期旗叶部位透光率，不同品种之间差异不显著；幅间距之间差异显著，幅间距缩小至 18 cm 时，由于穗部不孕小穗数减少，穗粒数降低，旗叶部位透光率显著高于对照，增加叶片受光面积，有利于干物质的积累和运转。卢布^[15]研究认为行距增大冠层光截获减少，透光率增大，本研究结果显示幅间距缩小，旗叶部位透光率增加，底部透光率无差异，由于播种幅宽增加，密度一致时，穗部性状改变，穗粒数降低，增加旗叶透光率，改善了旗叶部位的通风透光情况。

陇鉴 117 分蘖能力强，前期生长速度快，干物质积累量呈“快-慢”增长趋势，而长 6359 拔节后生长速度增加，表现为拔节期前生长慢，拔节期后生长速度快，张小涛等^[16]认为多穗型品种各生育期干物质积累量均高于大穗型品种，但成熟期干物质积累量差异不显著。

由于本研究为宽幅精量播种，冬小麦返青后降水减少，陇鉴 117 分蘖返青后分蘖无法正常生长成穗；各生育期幅间距为 18 cm 时干物质积累量均高于对照；矮秆品种长 6359 营养器官干物质运转量、运转率和贡献率较陇鉴 117 均显著增加，长 6359 在透光率差异不大的情况下，干物质运转量和运转率较高，说明源汇发生变化，“汇”能力强；幅间距达到 30 cm 时，茎秆和颖壳干物质运转量、运转率和贡献率明显增加，然而缩距至 18 cm 时，干物质运转率和运转量表现不一，说明“流”在干物质积累中有一定作用，但“源”-“汇”起到了关键决定因素，干物质运转小麦品种间差异较大，这与前人研究一致^[17]。

3.2 幅间距和品种对冬小麦耗水量的影响

冬小麦对水分变化的响应表现在株高和叶面积，株高和叶面积除自身遗传基因影响外，同样受耕作措施的影响，冠层结构的变化不仅影响个体蒸腾耗水还影响了群体蒸发和蒸腾^[18-19]。本研究表明，2 个品种间耗水差异不显著，陇鉴 117 拔节期前耗水量比长 6359 高，后期 2 个品种耗水趋于一致，冬小麦株型不同，缩小幅间距播种方式耗水高峰期随之变化，群体构建过程中高耗水阶段不同；18 cm 幅间距播种方式在播种—返青期矮秆品种与对照差异不显著，但在拔节—开花期耗水量显著高于对照，其他生育期均低于对照；而陇鉴 117 品种播种—返青期显著低于对照，开花—灌浆期显著高于对照，2 个株型品种在全生育期耗水量和水分利用效率基本一致。

黄玲等^[20]研究认为冬小麦品种更替过程中总耗

水量差异不显著, 与本研究一致。播种方式来看, 全生育期耗水量 18 cm 宽幅播种比普通条播降低 10.8 mm, 水分利用效率增加 8.91%, 宽幅播种合理布局了群体结构, 降低了无效蒸发损失, 增加蒸腾作用, 提高了水分利用效率, 成为旱作区提高水分利用率的有有效栽培措施。

3.3 幅间距和品种对冬小麦产量及构成因素的影响

栽培技术发展为小麦单产提高贡献了 40.0%, 然而栽培措施改进占到了 34.1%^[21], 品种更替为小麦增产贡献了 33%—63%^[22], 新品种配套栽培技术能够实现小麦高产目标^[7, 23-24]。小麦产量由单位面积穗数、穗粒数和千粒重三因素相互协调, 才能实现小麦高产。不同基因型小麦品种对栽培方式适应性不同, 小麦群体由个体组成, 个体特征由基因型决定, 宽幅精量播种技术能够较好地协调群体和个体之间的关系^[25-26], 其通过提高单株与群体分蘖和单株成穗数来提高单位面积穗数, 实现增产^[27-28]。许多学者研究表明, 宽幅精量播种显著增加了单位面积穗数^[29-30], 本研究表明, 品种之间单位面积穗数和千粒重差异显著, 陇鉴 117 有效增加单位面积穗数, 长 6359 千粒重高于陇鉴 117; 幅间距缩小至 18 cm 时, 显著增加了单位面积穗数, 不论品种特性如何, 幅间距缩小有利于提高小麦群体分布均匀度, 解决了群体和个体矛盾, 提升个体发育能力, 构建合理群体长势, 提高单位产量; 对于陇鉴 117, 缩距宽幅播种增加了穗粒数, 而长 6359 穗粒数差异不显著。

不同基因型冬小麦产量差异不显著, 说明在同一环境下, 2 个品种产量潜力基本一致, 但是产量提高的方式不同, 长 6359 “库” 容大, 提高千粒重增加产量, 陇鉴 117 通过增加单位面积穗数提高产量; 播种方式来看, 宽幅播种幅间距缩小至 18 cm, 产量显著增加, 冯伟等^[31]研究发现带间距缩小时, 大穗型和多穗型小麦品种产量增加, 与本研究一致; 幅间距为 18 cm, 颖壳+秸秆干物质运转率低于普通条播, 但对籽粒贡献率高于对照, 而均匀播种和幅间距增加至 25 cm、30 cm, 产量均显著低于普通条播, 幅间距增加, 干物质运转率和运转量增加, 但是单位面积成穗数不足, 产量难以提升。

4 结论

幅间距和品种对冬小麦透光率、产量和土壤耗水之间差异不显著, 长 6359 颖壳+秸秆干物质运转量、运转量和贡献率均高于陇鉴 117, 长 6359 千粒重显著

增加, 陇鉴 117 显著提升了单位面积成穗数。宽幅精量播种技术增产效果显著, 幅间距缩小至 18 cm 时, 由于穗粒数减少, 显著提高旗叶部位透光率, 扩大了叶片受光面积, 增加了光合产物, 提升了秸秆和颖壳运转量, 通过提高单位面积穗数, 冬小麦产量增加 139.2 kg·hm⁻², 全生育期耗水量降低 10.8 mm, 水分利用效率提高 8.91%。

References

- [1] 崔昊, 石祖梁, 蔡剑, 姜东, 曹卫星, 戴廷波. 大气 CO₂ 浓度和氮肥水平对小麦籽粒产量和品质的影响. 应用生态学报, 2011, 22(4): 978-984.
CUI H, SHI Z L, CAI J, JIANG D, CAO W X, DAI T B. Effects of atmospheric CO₂ concentration enhancement and nitrogen application rate on wheat grain yield and quality. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(4): 978-984. (in Chinese)
- [2] 李世莹, 冯伟, 王永华, 王晨阳, 郭天财. 宽幅播种带间距对冬小麦冠层特征及产量的影响. 植物生态学报, 2013, 37(8): 758-767.
LI S Y, FENG W, WANG Y H, WANG C Y, GUO T C. Effects of spacing interval of wide bed planting on canopy characteristics and yield in winter wheat. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2013, 37(8): 758-767. (in Chinese)
- [3] 殷复伟, 王文鑫, 谷淑波, 王东. 株行距配置对宽幅播种小麦产量形成的影响. 麦类作物学报, 2018, 38(6): 710-717.
YIN F W, WANG W X, GU S B, WANG D. Effect of planting distance configuration repression on wheat yield formation with wide planting. *Journal of Triticeae Crops*, 2018, 38(6): 710-717. (in Chinese)
- [4] 杨文平, 郭天财, 刘胜波, 王晨阳, 王永华, 马冬云. 行距配置对‘兰考矮早八’小麦后期群体冠层结构及其微环境的影响. 植物生态学报, 2008, 32(2): 485-490.
YANG W P, GUO T C, LIU S B, WANG C Y, WANG Y H, MA D Y. Effects of row spacing in winter wheat on canopy structure and microclimate in later growth stage. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(2): 485-490. (in Chinese)
- [5] 陈素英, 张喜英, 陈四龙, 裴冬, 张清涛. 种植行距对冬小麦田土壤蒸发与水分利用的影响. 中国生态农业学报, 2006, 14(3): 86-89.
CHEN S Y, ZHANG X Y, CHEN S L, PEI D, ZHANG Q T. Effects of different row spaces on the soil evaporation and water use in winter wheat field. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(3): 86-89. (in Chinese)
- [6] 王奎良, 赵海波, 胡乐奇, 曲日涛. 宽幅精播对冬小麦光合特性和产量影响的研究. 农业科技通讯, 2012(9): 60-62.

- WANG K L, ZHAO H B, HU L Q, QU R T. The effect of wide-range sowing on the winter wheat photosynthesis and yield. *Bulletin of Agricultural Science and Technology Communication*, 2012(9): 60-62. (in Chinese)
- [7] 初金鹏, 朱文美, 尹立俊, 石玉华, 邓淑珍, 张良, 何明荣, 代兴龙. 宽幅播种对冬小麦‘泰农 18’产量和氮素利用率的影响. *应用生态学报*, 2018, 29(8): 2517-2524.
- CHU J P, ZHU W M, YIN L J, SHI Y H, DENG S Z, ZHANG L, HE M R, DAI X L. Effects of wide-range planting on the yield and nitrogen use efficiency of winter wheat cultivar Tainong 18. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(8): 2517-2524. (in Chinese)
- [8] 李世莹, 王永华, 冯伟, 侯翠翠, 朱云集, 郭天财. 宽幅带播对大穗型冬小麦冠层特征及产量的影响. *麦类作物学报*, 2013, 33(2): 320-324.
- LI S Y, WANG Y H, FENG W, HOU C C, ZHU Y J, GUO T C. Effects of wide belt planting on canopy characteristics and yield of winter wheat with large-spike. *Journal of Triticeae Crops*, 2013, 33(2): 320-324. (in Chinese)
- [9] 冯荣成, 郭爱芳, 朱晓玲, 王春虎. 小麦宽幅精播不同播量对群体动态和产量的影响. *河南科技学院学报(自然科学版)*, 2013, 41(2): 6-8.
- FENG R C, GUO A F, ZHU X L, WANG C H. Effect of different sowing norm on the population dynamics and yield of wide precision seeding of wheat. *Journal of Henan Institute of Science and Technology*, 2013, 41(2): 6-8. (in Chinese)
- [10] 王晓红. 小麦宽幅精量播种技术试验示范报告. *陕西农业科学*, 2013(4): 139-140.
- WANG X H. The report of the wheat wide range sowing technology. *Shaanxi Agricultural Science*, 2013(4): 139-140. (in Chinese)
- [11] 李东方, 李世清, 张胜利. 不同基因型冬小麦干物质运移及其对氮的反应. *河南农业科学*, 2006, 35(8): 34-36.
- LI D F, LI S Q, ZHANG S L. Dry matter accumulation and transfer of different winter wheat genotypes and its response to N fertilizer. *Henan Agricultural Science*, 2006, 35(8): 34-36. (in Chinese)
- [12] 韩胜芳, 李淑文, 吴立强, 文宏达, 肖凯. 不同小麦品种氮效率与氮吸收对氮素供应的响应及生理机制. *应用生态学报*, 2007, 18(4): 807-812.
- HAN S F, LI S W, WU L Q, WEN H D, XIAO K. Responses and corresponding physiological mechanisms of different wheat varieties in their nitrogen supply. *Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(4): 807-812. (in Chinese)
- [13] 常磊, 韩凡香, 柴雨薇, 王仕娥, 杨德龙, 程宏波, 黄彩霞, 柴守玺. 秸秆带状覆盖下冬小麦干物质积累及氮磷钾素的吸收利用. *麦类作物学报*, 2019, 39(4): 487-494.
- CHANG L, HAN F X, CHAI Y W, WANG S E, YANG D L, CHENG H B, HUANG C X, CHAI S X. Dry matter accumulation and N, P and K absorption and utilization under bundled straw mulching. *Journal of Triticeae Crops*, 2019, 39(4): 487-494. (in Chinese)
- [14] 段剑钊, 李世莹, 郭彬彬, 张元帅, 冯伟, 王永华, 朱云集, 郭天财. 宽幅播种对冬小麦群体质量和产量的影响. *核农学报*, 2015, 29(10): 2013-2019.
- DUAN J Z, LI S Y, GUO B B, ZHANG Y S, FENG W, WANG Y H, ZHU Y J, GUO T C. Effects of wide belt planting on population quality and yield in winter wheat. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2015, 29(10): 2013-2019. (in Chinese)
- [15] 卢布. 高产冬小麦穗数和穗重的调控兼成穗机制的探讨[D]. 泰安: 山东农业大学, 1999: 1-2.
- LU B. High-yield winter wheat spike number and panicle weight control and sclerosis mechanism[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 1999: 1-2. (in Chinese)
- [16] 张小涛, 黄玉芳, 马晓晶, 叶优良. 播种量和施氮量对不同基因型冬小麦干物质累积、转运及产量的影响. *植物生理学报*, 2017, 53(6): 1067-1076.
- ZHANG X T, HUANG Y F, MA X J, YE Y L. Effects of seeding rate and nitrogen level on dry matter accumulation, translocation and grain yield in two genotypes of winter wheat (*Triticum aestivum*). *Plant Physiology Journal*, 2017, 53(6): 1067-1076. (in Chinese)
- [17] 李瑞珂, 汪洋, 安志超, 武庆慧, 王改革, 仝瑞芳, 叶优良. 不同产量类型冬小麦品种的干物质和氮素积累运转特征. *麦类作物学报*, 2018, 38(11): 1359-1364.
- LI R H, WANG Y, AN Z C, WU Q H, WANG G G, TONG R F, YE Y L. The transport characteristics of dry matter and nitrogen accumulation in different wheat cultivars. *Journal of Triticeae Crops*, 2018, 38(11): 1359-1364. (in Chinese)
- [18] CHEN S Y, ZHANG X Y, SUN H Y, REN T S, WANG Y M. Effects of winter wheat row spacing on evapotranspiration, grain yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(8): 1126-1132.
- [19] 吕丽华, 贾秀领, 梁双波, 王璞. 玉米不同冠层结构下产量及水氮利用效率分析. *华北农学报*, 2013, 28(2): 180-185.
- LÜ L H, JIA X L, LIANG S B, WANG P. Yield water and nitrogen use efficiency under different canopy structure. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2013, 28(2): 180-185. (in Chinese)
- [20] 黄玲, 高阳, 邱新强, 李新强, 申孝军, 孙景生, 巩文军, 段爱旺. 灌水量和时期对不同品种冬小麦产量和耗水特性的影响. *农业工程学报*, 2013, 29(14): 99-108.

- HUANG L, GAO Y, QIU X Q, LI X Q, SHEN X J, SUN J S, GONG W J, DUAN A W. Effects of irrigation amount and stage on yield and water consumption of different winter wheat cultivars. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(14): 99-108. (in Chinese)
- [21] 王振峰. 不同栽培管理模式对冬小麦氮素利用的影响及其综合效益评价[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013.
- WANG Z F. Effects of cultivation management models on nitrogen use in winter wheat and its comprehensive benefit evaluation[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [22] 庄巧生. 中国小麦品种改良及系谱分析. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- ZHANG Q S. *Chinese Wheat Improvement and Pedigree Analysis*. Beijing: China Agriculture Press, 2003. (in Chinese)
- [23] 石玉华, 初金鹏, 尹立俊, 何明荣, 邓淑珍, 张良, 孙晓乐, 田奇卓, 代兴龙. 宽幅播种提高不同播期小麦产量与氮素利用率. 农业工程学报, 2018, 34(17): 127-133.
- SHI Y H, CHU J P, YIN L J, HE M R, DENG S Z, ZHANG L, SUN X L, TIAN Q Z, DAI X L. Wide-range sowing improving yield and nitrogen use efficiency of wheat sown at different dates. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(17): 127-133. (in Chinese)
- [24] 韩惠芳, 赵丹丹, 沈加印, 朗坤, 刘泉汝, 李全起. 灌水量和时期对宽幅精播冬小麦籽粒产量及品质特性的影响. 农业工程学报, 2013, 29(14): 109-114.
- HAN H F, ZHAO D D, SHEN J Y, LANG K, LIU Q R, LI Q Q. Effect of irrigation amount and stage on yield and quality of winter wheat under wide-precision planting pattern. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(14): 109-114. (in Chinese)
- [25] 党伟, 马超, 赵强, 冯质会, 刘学谦. 宽幅精播对小麦产量及产量构成因素的影响. 河南农业科学, 2015, 19(2): 15-17.
- DANG W, MA C, ZHAO Q, FENG Z H, LIU X Q. Effect of wide precision seeding on the yield and yield components of wheat. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2015, 19(2): 15-17. (in Chinese)
- [26] 李栓良, 任长宏, 格桑曲珍, 赵宗财, 张宗卷, 胡希远. 宽幅硬茬播种对冬小麦生长、产量及品质的效应. 麦类作物学报, 2015, 35(1): 80-85.
- LI S L, REN C H, GESANG Q Z, ZHAO Z C, ZHANG Z J, HU X Y. Effect of no-tilled wide planting pattern on growth, yield and quality of winter wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 2015, 35(1): 80-85. (in Chinese)
- [27] 薛亚光, 魏亚凤, 李波, 汪波, 刘建. 播期和密度对宽幅带播小麦产量及其构成因素的影响. 农学学报, 2016, 6(1): 1-6.
- XUE Y G, WEI Y F, LI B, WANG B, LIU J. Effects of sowing date and planting density on grain yield and its components of wheat under wide belt planting. *Journal of Agriculture*, 2016, 6(1): 1-6. (in Chinese)
- [28] 吕丽华, 梁双波, 张丽华, 贾秀领, 董志强, 姚艳荣. 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.
- LÜ L H, LIANG S B, ZHANG L H, JIA X L, DONG Z Q, YAO Y R. Yield in response to accumulated temperature before winter in winter wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2016, 42(1): 149-156. (in Chinese)
- [29] 胡红, 李洪文, 李传友, 王庆杰, 何进, 李问盈, 张祥彩. 稻茬田小麦宽幅精量少耕播种机的设计与试验. 农业工程学报, 2016, 32(4): 24-32.
- HU H, LI H W, LI C Y, WANG Q J, HE J, LI W Y, ZHANG X C. Design and experiment of broad width and precision minimal tillage wheat planter in rice stubble field. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(4): 24-32. (in Chinese)
- [30] OZTURK A, CAGLAR O, BULUT S. Growth and yield response of facultative wheat to winter sowing, freezing sowing and spring sowing at different seeding rates. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2006, 192: 10-16.
- [31] 冯伟, 李世莹, 王永华, 康国章, 段剑钊, 郭天财. 宽幅播种下带间距对冬小麦衰老进程及产量的影响. 生态学报, 2015, 35(8): 2686-2694.
- FENG W, LI S Y, WANG Y H, KANG G Z, DUAN J Z, GUO T C. Effects of spacing intervals on the ageing process and grain yield in winter wheat under wide bed planting methods. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(8): 2686-2694. (in Chinese)

(责任编辑 杨鑫浩)