

网络出版时间:2025-05-13

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1359.S.20250513.0946.002

耐迟播小麦品种扬麦 25 的苗期群体生长及产量形成特性

王慧¹, 刘大同¹, 徐莎莎², 高德荣¹, 王君婵¹, 江伟¹, 李东升¹, 高致富¹, 朱冬梅¹

(1. 江苏里下河地区农业科学研究所/农业部长江中下游小麦生物学与遗传育种重点实验室, 江苏扬州 225007;

2. 扬州市气象局, 江苏扬州 225009)

摘要: 扬麦 25 在生产实践中表现出耐迟播高产特性。为明确其耐迟播机制, 于 2019—2020 和 2020—2021 年度在江苏里下河地区农科所万福基地进行试验, 以宁麦 13、扬麦 20 为对照, 设置 4 个播期(11 月 5 日、11 月 15 日、11 月 25 日和 12 月 5 日, 分别记为 I、II、III、IV), 对应基本苗分别为 225 万、300 万、375 万和 450 万株·hm⁻², 分析了迟播条件下扬麦 25 与该地区其他小麦主栽品种在越冬期个体分蘖发生和群体结构、结实特性及产量构成的差异, 探寻扬麦 25 迟播高产的原因。结果表明, 播期推迟后, 扬麦 25 越冬期单株分蘖数均高于宁麦 13 和扬麦 20, 苗期繁茂性好, 群体生物量大。与适播(I)相比, 迟播后扬麦 25 结实粒数和千粒重的下降幅度在 3 个品种中均最小, 其中 II、III、IV 播期结实粒数分别下降 1.80%、7.62% 和 10.11%, 而宁麦 13 分别下降 3.79%、11.63% 和 16.18%, 扬麦 20 分别下降 5.14%、12.36% 和 20.45%。4 个播期下扬麦 25 的千粒重和产量均高于扬麦 20 和宁麦 13, 迟播的减产幅度最小, 稳产性好。综上所述, 迟播条件下, 扬麦 25 越冬期单株分蘖性好, 个体发育健壮, 群体结构协调, 为后期产量形成奠定基础; 结实粒数下降幅度最小, 千粒重较为稳定, 有利于实现迟播稳产高产。

关键词: 小麦; 迟播; 幼苗生长; 产量及其构成

中图分类号: S512.1; S311

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2025)09-1235-10

Seedling Growth and Yield Formation Characteristics of Yangmai 25 under Late Sowing

WANG Hui¹, LIU Datong¹, XU Shasha², GAO Derong¹, WANG Junchan¹,
JIANG Wei¹, LI Dongsheng¹, GAO Zhifu¹, ZHU Dongmei¹

(1. Lixiahe Institute of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Wheat Biology and Genetic Breeding in the Middle and Lower Yangtze River, Ministry of Agriculture, Yangzhou, Jiangsu 225007, China; 2. Yangzhou Meteorological Bureau, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: Yangmai 25 has the potential of late sowing resistance and high yield in production. This experiment aimed to clarify its mechanism of late sowing resistance. The experiment was conducted in Wanfu Base of Lixiahe Institute of Agricultural Science, Jiangsu Province during 2019—2020 and 2020—2021, with Ningmai 13, Yangmai 20, and Yangmai 25 as materials. Four sowing dates were set up(November 5, November 15, November 25, and December 5, marked as I, II, III, IV, respectively), with different planting density(2.25×10^6 plants·hm⁻², 3.00×10^6 plants·hm⁻², 3.75×10^6 plants·hm⁻², and 4.50×10^6 plants·hm⁻²). The differences of individual tiller occurrence at overwintering stage, population structure, grain setting characteristics and yield components were studied, to analyze the growth and development mechanism of Yangmai 25 achieving high yield under late sowing conditions. The results showed that when the sowing date was delayed, Yangmai 25 showed

收稿日期: 2024-08-27 修回日期: 2024-12-17

基金项目: 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-3-56); 农业生物育种国家科技重大专项(2023ZD040230503); 江苏里下河地区农业科学研究所科研发展基金项目[SJ(22)106]

第一作者 E-mail: wh@wheat.org.cn(王慧)

通讯作者 E-mail: zdm@wheat.org.cn(朱冬梅)

higher tiller number per plant compared with Ningmai 13 and Yangmai 20 at over-wintering stage, which had large population biomass at seedling stage. The grain number per spike and 1 000-grain weight of Yangmai25 showed a lowest decreasing trend under late sowing conditions. Compared with sowing date I, Yangmai 25 showed the smallest decrease in grain number and thousand grain weight among the II、III、IV sowing dates, with a decrease rate of 1.80%, 7.62%, and 10.11% in grain number, while that of Ningmai 13 decreased by 3.79%, 11.63%, and 16.18%, and Yangmai 20 decreased by 5.14%, 12.36%, and 20.45%, respectively. Under four sowing periods, the 1 000-grain weight and yield of Yangmai 25 were higher than those of Yangmai 20 and Ningmai 13, with the smallest reduction in yield and good stability. In Summary, under the late sowing conditions, Yangmai 25 maintained high tiller ability per plant and individual developmental at over-wintering stage, and coordinated population structure, which could lay a foundation for high yield. Yangmai 25 had lowest decrease in grain number and stable 1 000-grain yield, which was conducive to realizing stable and high yield under late sowing.

Keywords: Wheat; Late sowing; Seedling growth; Yield component

播期是影响小麦产量的重要因素,适期播种有助于小麦高产,对保障国家粮食安全具有重要意义。长江中下游麦区以稻麦两熟制为主,复种指数高,茬口紧。近年来由于粳稻面积逐年扩大和偏迟熟粳稻品种北移,以及部分农民有“养老稻”迟收习惯等,水稻收获期不断推迟,加之气候异常,导致小麦迟播面积逐年增加。据统计,自2012年以来,江苏省迟播小麦的面积比例均在40%以上,其中2022年扬州市适期播种小麦的面积仅占25.7%,迟播小麦面积占比高达3/4。近三年,江苏稻茬迟播小麦的面积比例为50%左右^[1]。迟播加大了小麦后期高温胁迫、穗发芽和赤霉病危害的风险,不利于高产稳产^[2],影响小麦品质和种植效益,制约小麦增产增效。因此,生产上迫切需要解决小麦迟播所产生的问题。选育和种植耐迟播小麦品种是解决问题的主要途径之一,而解析耐迟播小麦品种生长发育机制,是选育耐迟播小麦品种的前提。适期播种条件下小麦可充分利用温光资源,促进植株分蘖,在越冬前形成壮苗^[3]。而迟播条件下小麦冬前积温少,分蘖时间短,植株抗逆能力弱,营养物质积累不足,冬前单株分蘖少,难以形成壮苗^[4];高位蘖的发生发育不充分,群体茎蘖数下降,穗数显著减少^[5-7];穗分化时间变短,退化小穗增多,导致穗粒数减少^[8-9];开花期推迟使得灌浆期缩短和灌浆充实度不足,降低千粒重^[10-11]。推迟播期影响小麦个体生长,进而影响群体建成,限制迟播小麦产量的原因主要是产量构成因素未能协调发展^[12]。前人对迟播小麦产量构成因素的影响开展了诸多研究。有

研究认为,稻茬小麦迟播后穗数受影响较大,穗粒数和千粒重受影响较小^[13];同一播期下增大播种密度能够显著增加穗数,降低穗粒数,但对千粒重影响规律不明显^[14-15]。也有学者提出,一定的范围内推迟播期可以提高小麦粒重,当推迟到临界期时,粒重表现出下降趋势^[16]。生产上在迟播条件下不同小麦品种的生长差异较大。扬麦25由江苏里下河地区农业科学研究所选育,已成为江苏淮南推广面积第一大小麦品种,在生产实践中表现出耐迟播高产的特性,但其耐迟播机制尚不明确。此外,前人关于播期对小麦穗部结实特性的影响鲜见报道。本研究分析了迟播条件下扬麦25与长江中下游麦区部分主栽品种苗期群体结构、结实特性和产量方面的差异,以期对长江中下游麦区选育小麦耐迟播高产品种提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2019—2020和2020—2021年度在江苏里下河地区农科所万福基地(33°09'E, 119°98'N)进行。该地属于亚热带季风气候区,历年日均温13.2~16.0℃,全年≥0℃以上积温为2 000~2 200℃,年日照时数2 000~2 600 h,无霜期220~240 d,年平均降水量为800~1 200 mm,雨热同季。试验年度内2020年播后气温显著高于2021年,冬前及越冬期气温显著低于2021年,属寒冬,而后返青期气温上升,显著高于2021年(图1)。试验地前茬为水稻,土质为砂壤土,播前基础养分见表1。

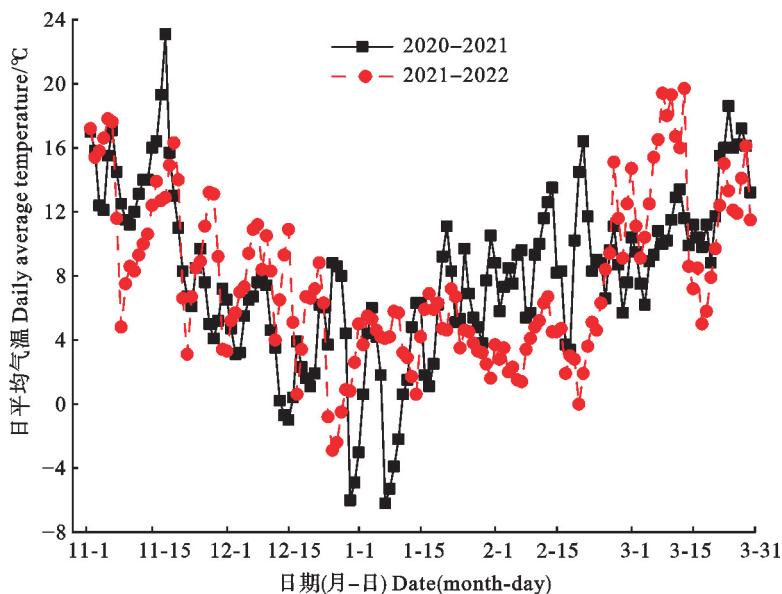


图 1 2019—2020 和 2020—2021 年度 11 月至 3 月日平均气温

Fig. 1 Daily average temperature from November to March in 2019—2020 and 2020—2021

表 1 土壤基础养分条件

Table 1 Nutrient conditions of soil

年份 Year	有机质 Organicmatter/ (g · kg ⁻¹)	全氮含量 Nitrogen/ (g · kg ⁻¹)	碱解氮 Alkali-hydrolyzable nitrogen/(mg · kg ⁻¹)	有效磷 Available phosphorus/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium/ (mg · kg ⁻¹)	pH
2020	16.36	1.08	102.52	32.36	74.36	7.26
2021	15.72	1.06	98.84	34.88	67.04	6.48

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,供试小麦品种为扬麦 25(分蘖力强的多穗型)、宁麦 13(大面积推广品种)和扬麦 20(长江中下游麦区区试对照品种,大穗型)。长江中下游麦区适播期为 10 月 25 日—11 月 5 日。试验设置 11 月 5 日、11 月 15 日、11 月 25 日和 12 月 5 日(分别为 I、II、III、IV 期,下同)4 个播期,对应基本苗分别为 225 万、300 万、375 万和 450 万株 · hm⁻²。

试验田统一施纯氮 210 kg · hm⁻²,氮肥运筹比例为基肥:壮蘖肥:拔节肥=5:1:4,基肥于播种前一天施用,壮蘖肥于 4 叶期施用,拔节肥于叶龄余数 2.5 叶期施用;N:P₂O₅:K₂O 施用比例为 1:0.5:0.5,磷、钾肥全部基施。小麦机械条播,行距 27 cm,小区面积 6.67 m²,重复 3 次。3 叶期进行人工定苗。其他栽培措施同大田生产。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 茎蘖动态调查

播种后调查小麦出苗时间,以全田 50%幼苗出土并达到 2 cm 左右为记录标准。于 3 叶期开始进行田间标记,每小区标记 10 株,从冬前(12

月 20 日)开始,每隔 10 d 调查标记样的分蘖数量,观察分蘖发生动态,直至返青前。并于越冬期(1 月 20 日)统一调查各处理群体茎蘖数。

1.3.2 叶面积指数(LAI)、干物重测定

越冬期(1 月 20 日)每个小区取样 20 株,采用烘干法测定叶面积,计算叶面积指数;样品在 105 °C 杀青 60 min 后 80 °C 烘干至恒重,测定干物重。

1.3.3 结实特性调查

成熟期每个小区选取 20 穗,调查穗长、结实小穗数、不孕小穗数及总结实粒数,烘干后称重测定单穗重。

1.3.4 产量及其构成因素测定

成熟期各小区选取 1 m 双行调查穗数(穗粒数大于 5 为有效穗数);取 20 穗,调查穗粒数,重复 2 次;测定水分后,按 13% 水分折算千粒重。每小区机械收割,自然晾晒后测定产量。

1.4 统计分析

分别采用 Excel 2003、SPSS 19.0、Origin 2024b 建立数据库,进行数据计算、统计分析和图形制作。

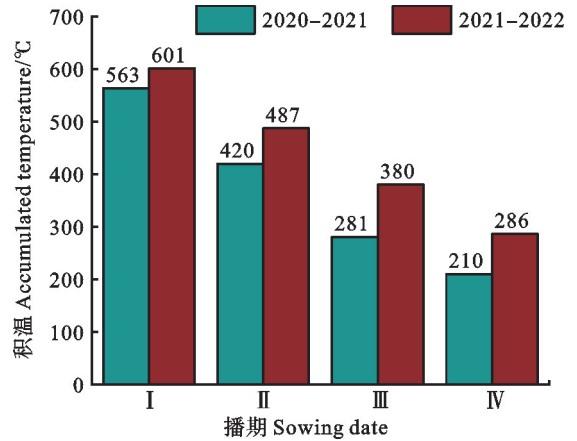
2 结果与分析

2.1 播期对小麦越冬期生长所需积温的影响及积温与越冬期个体分蘖的关系

播期推迟后小麦出苗至越冬期(1月20日) $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温呈下降趋势,2021—2022年度不同播期条件下积温均高于2020—2021年度(图2)。从出苗至越冬期,I、II、III、IV播期下两年度平均积温分别为581.8、446、330.3和247.8 $^{\circ}\text{C}$,播期每推迟10 d,积温平均下降111.3 $^{\circ}\text{C}$ 。随着播期的推迟,相邻播期间积温差呈缩小趋势。

3个品种的越冬期单株茎蘖数与积温均呈极显著正相关(图3)。随着 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温的增加,小麦越冬期单株分蘖数呈直线上升趋势。宁麦13、扬麦20和扬麦25越冬期生长一个分蘖所需平均积温在2020—2021年度分别为148.2、155.6和121 $^{\circ}\text{C}$,在2020—2021年度分别为101.7、104.6和96.5 $^{\circ}\text{C}$ 。扬麦25越冬期单株分蘖数在两个年度均高于宁麦13和扬麦20,在气温较低的情况下仍能缓慢进行分蘖。

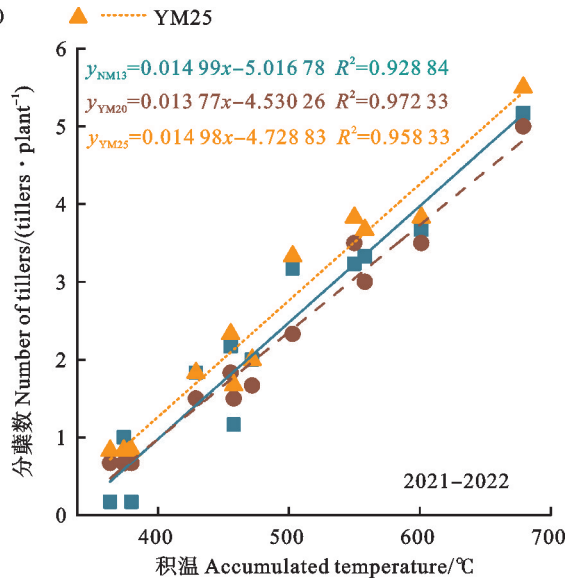
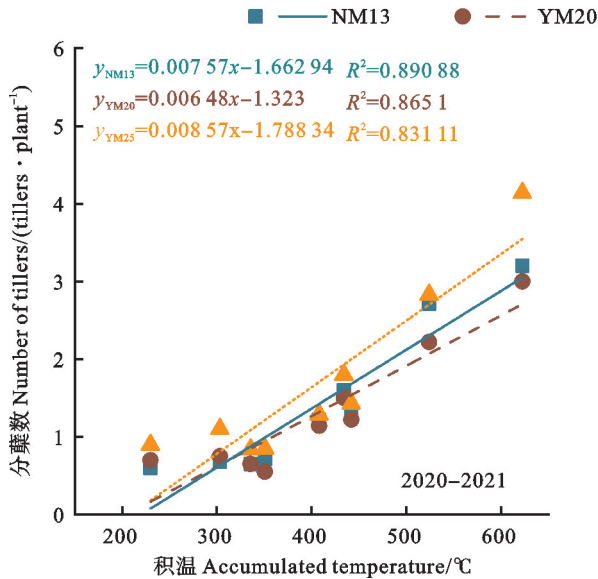
情况下仍能缓慢进行分蘖。



I、II、III、IV分别代表11月5日、11月15日、11月25日和12月5日4个播期。图4同。

I, II, III, and IV represent the four sowing dates of November 5, November 15, November 25, and December 5, respectively. The same in figures 4.

图2 不同播期下小麦出苗至越冬期的有效积温
Fig. 2 Accumulated temperature from seedling stage to overwintering stage under different sowing dates of wheat



NM13: 宁麦13; YM20: 扬麦20; YM25: 扬麦25。下图同。

NM13: Ningmai 13; YM20: Yangmai 20; YM25: Yangmai 25. The same in figure 4.

图3 小麦越冬期单株分蘖数与有效积温的关系

Fig. 3 Relationship between stem and tiller number and accumulated temperature at wheat overwintering stage

2.2 播期对小麦越冬期群体生长的影响

2.2.1 群体茎蘖数

从表2的数据看,在2020—2021年度,I播期下,宁麦13与扬麦25越冬期群体茎蘖数相当,均显著高于扬麦20;II播期下,扬麦25群体茎蘖数显著高于扬麦20和宁麦13;IV播期的小麦茎

蘖数多于III播期,主要是由于当年属于寒冬,群体生长量较小,这两个播期的小麦基本上均未有分蘖发生,但IV播期的基本苗有所增加。2021—2022年度在I、II、III播期下扬麦25群体茎蘖数均最多,I和II播期下与扬麦20差异均显著,III播期下与宁麦13差异显著,IV播期下3个品种基本上

均未有分蘖发生。

2.2.2 叶面积指数

由表3可以看出,两个年度I和II播期下越冬期叶面积指数均表现为扬麦20>扬麦25>宁麦13,且2020—2021年度扬麦20显著高于宁麦

13,2021—2022年度II播期下扬麦20和扬麦25均显著高于宁麦13;III和IV播期下越冬期叶面积指数表现为扬麦25>扬麦20>宁麦13,其中2021—2022年度III播期下扬麦25越冬期叶面积指数与宁麦13差异显著。

表2 不同播期下小麦品种群体茎蘖数的差异

Table 2 Differences of population stem number of the wheat cultivars under different sowing dates $\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$

年度 Year	品种 Cultivar	播期 Sowing date			
		I	II	III	IV
2020—2021	宁麦 13 Ningmai 13	834.75c	507.38d	360.0c	448.5a
	扬麦 20 Yangmai 20	700.35d	522.23d	370.5c	463.5a
	扬麦 25 Yangmai 25	827.28c	590.64c	364.5c	451.5a
2021—2022	宁麦 13 Ningmai 13	1 085.78a	913.5ab	550.7b	457.5a
	扬麦 20 Yangmai 20	938.25b	844.0b	658.8a	435.0a
	扬麦 25 Yangmai 25	1 166.45a	967.5a	689.0a	454.5a

I、II、III、IV分别代表11月5日、11月15日、11月25日和12月5日4个播期。同列数据后不同字母表示品种间差异在0.05水平上显著。下表同。

I, II, III, and IV represent the four sowing dates of November 5, November 15, November 25, and December 5, respectively. Different letters after the values within the same columns indicate significant differences among the varieties at 0.05 level. The same in tables 3—5.

表3 不同播期下小麦越冬期叶面积指数的差异

Table 3 Differences of leaf area index of the three wheat cultivars at over-wintering stage under different sowing dates

年度 Year	品种 Cultivar	播期 Sowing date			
		I	II	III	IV
2020—2021	宁麦 13 Ningmai 13	0.56d	0.41c	0.36c	0.15b
	扬麦 20 Yangmai 20	0.77bc	0.52b	0.39c	0.19ab
	扬麦 25 Yangmai 25	0.68c	0.48bc	0.42bc	0.20ab
2021—2022	宁麦 13 Ningmai 13	0.81ab	0.52b	0.43bc	0.19ab
	扬麦 20 Yangmai 20	0.88ab	0.68a	0.50ab	0.22a
	扬麦 25 Yangmai 25	0.84a	0.65a	0.53a	0.25a

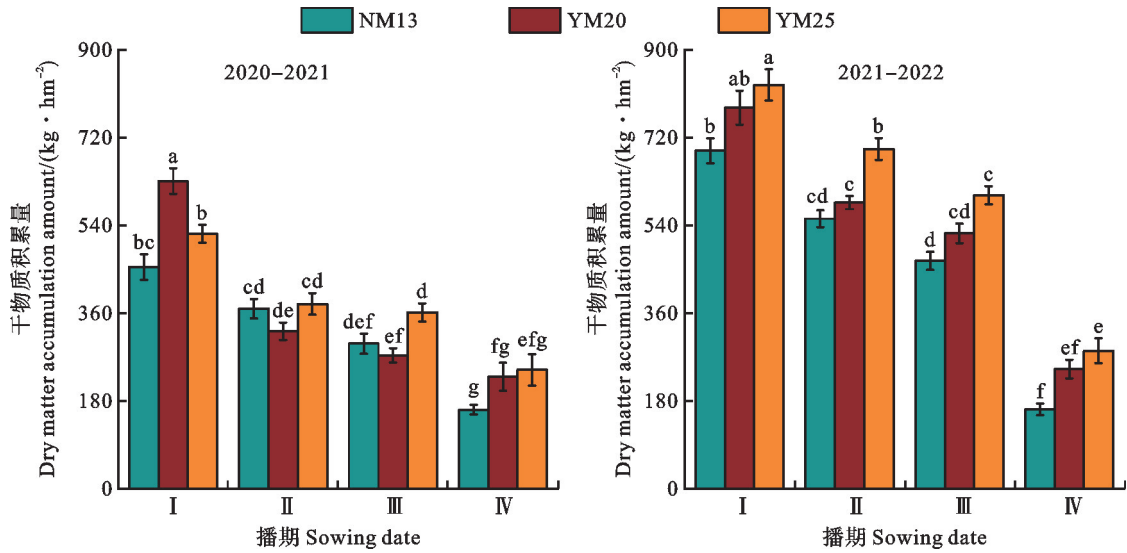
2.2.3 群体干物质积累

不同品种间越冬期干物质积累量在年度间存在差异(图4)。2020—2021年度I播期下干物质积累量表现为扬麦20>扬麦25>宁麦13,其余播期下均以扬麦25干物质积累量最高;2021—2022年4个播期下扬麦25干物质积累量均最高,与宁麦13差异均显著。这表明扬麦25在迟播条件下苗期繁茂性较好,生物量大。

2.3 播期对小麦穗部结实特性的影响

随着播期的推迟,不同小麦品种穗长均变短,穗变小(表4)。在4个播期下,宁麦13穗长均显著小于扬麦25和扬麦20;扬麦20在I和II播期下穗长最长,III和IV播期下显著变短;扬麦25穗长受播期影响小于宁麦13和扬麦20。随着播期的推迟,扬麦25的单穗重与扬麦20差距逐渐缩

小,III和IV播期下略高于扬麦20,且2021—2022年IV播期下显著高于宁麦13。不同小麦品种结实小穗数和不孕小穗数随播期推迟均呈下降趋势。在II、III、IV播期下宁麦13的两个年度平均总结实小穗数较I播期分别下降1.06%、6.15%和6.78%,扬麦20分别下降1.82%、4.58%和8.73%,扬麦25分别下降1.58%、4.61%和5.32%,其中扬麦25总结实小穗数两个年度在IV播期下均最高,且下降幅度最低。小穗结实率随播期推迟呈增加趋势,不同播期下总体表现为宁麦13>扬麦20>扬麦25,扬麦25的小穗结实率在III和IV播期下与扬麦20无显著差异。在II、III和IV播期下扬麦25结实粒数较I播期的降幅最低,分别为1.80%、7.62%和10.11%;扬麦20降幅最大,分别下降5.14%、12.36%和20.45%。



图柱上不同字母表示处理间差异在 0.05 水平上显著。

Different letters on the columns indicate significant differences among the treatments at 0.05 level.

图 4 不同播期下小麦越冬期干物质积累量

Fig. 4 Dry matter accumulation of wheat at over-wintering stage under different sowing dates

表 4 不同播期下三个小麦品种结实特性的差异

Table 4 Differences of spike traits of the three wheat cultivars under different sowing dates

年度 Year	品种 Cultivar	播期 Sowing date	穗长 Spike length/cm	单穗重 Single spike yield	结实小穗数 fertile spikelet number	不孕小穗数 Sterile spikelet Number	小穗结实率 Seed setting rate of spikelets	结实粒数 Grains
2020— 2021	扬麦 25 Yangmai 25	I	9.81a	1.83abc	17.32a	3.31a	83.96a	43.18bc
		II	9.38ab	1.84abc	17.24a	3.03ab	85.05a	42.40bc
		III	9.13bc	1.63cd	16.72a	2.53bc	86.86a	39.30de
		IV	8.90bc	1.47de	16.39a	1.94cd	89.42a	37.43ef
	扬麦 20 Yangmai 20	I	10.14a	1.89ab	17.25a	2.93ab	85.48a	47.82a
		II	9.56ab	1.84abc	16.79a	2.25bc	88.18a	45.10ab
		III	9.02bc	1.61cd	16.38a	2.25bc	87.92a	41.22cd
		IV	8.38cd	1.43de	16.01ab	1.75d	90.15a	37.77ef
	宁麦 13 Ningmai 13	I	9.16bc	1.76bcd	15.17b	2.18bc	87.44a	45.52ab
		II	8.55cd	1.71bcd	14.98b	1.91cd	88.69a	43.79bc
		III	7.94d	1.50de	14.11b	1.70e	89.25a	39.25de
		IV	7.74d	1.34e	13.99b	1.53d	90.14a	36.75ef
2021— 2022	扬麦 25 Yangmai 25	I	9.23ab	1.90ab	16.50a	3.65a	82.04b	39.45de
		II	8.90bc	1.82 abc	16.22a	2.90ab	84.83ab	38.75de
		III	8.84bc	1.67cd	15.71ab	2.26bc	87.42ab	37.00ef
		IV	8.72bc	1.64cd	15.79ab	1.50b	91.06a	36.77ef
	扬麦 20 Yangmai 20	I	9.31ab	2.09a	16.74a	3.05ab	84.43ab	45.93ab
		II	9.08bc	1.92ab	16.38a	2.80ab	85.40ab	43.50bc
		III	8.69bc	1.65cd	15.86ab	2.65ab	85.68ab	40.63cd
		IV	7.80d	1.50de	14.84b	2.00b	88.12ab	36.50f
	宁麦 13 Ningmai 13	I	7.77d	1.84abc	15.05b	2.05b	88.01ab	41.55cd
		II	7.55d	1.73bcd	14.92b	1.85b	88.97ab	39.95cde
		III	7.44d	1.57de	14.25b	1.30b	91.64a	37.55ef
		IV	7.41d	1.39e	14.18b	1.55b	90.15ab	36.05f

2.4 播期对小麦产量构成的影响

由两年数据可以看出,不同小麦品种的产量随播期推迟均呈下降趋势(表5)。与I播期相比,II、III和IV播期下小麦产量两年平均降幅分别为5.28%、13.08%和21.73%。在不同迟播(II、III和IV播期)条件下扬麦25的产量降幅均最低。4个播期下扬麦25的产量均最高,其中2020—2021年度I、II播期下与扬麦20差异显著,与宁麦13无显著差异,III、IV播期下与扬麦20和宁麦13差异均显著;2021—2022年度I、II播期下与扬麦20和宁麦13差异均不显著,但IV播期下与扬麦20和宁麦13差异均显著。

从产量构成来看,2020—2021年度,I播期下穗数以宁麦13最多,其次为扬麦25,其余播期下均以扬麦25穗数最多,品种间无显著差异;

2021—2022年度,不同播期下扬麦25穗数均最多,且II、III播期下显著高于扬麦20。不同小麦品种的穗粒数随播期推迟均呈持续下降趋势,II、III、IV播期的穗粒数较I播期两年平均降幅分别为3.59%、10.55%和15.60%;同一播期下以扬麦20穗粒数最多,在迟播条件下降幅也最大;扬麦25在适播(I)条件下虽然穗粒数最少,但在迟播条件下降幅最低,IV日播期下穗粒数与扬麦20相当。两年千粒重趋势略有不同,2020—2021年度千粒重随播期推迟呈先上升后下降的趋势,与I播期相比,II播期的千粒重平均增加2.38%,III、IV播期的千粒重平均分别下降1.37%和5.48%;2021—2022年度随播期推迟均表现下降趋势,不同播期下均以扬麦25千粒重最高,与扬麦20和宁麦13差异均显著。

表5 不同播期下三个小麦品种的产量及其构成因素差异

Table 5 Differences of grain yield and its components of the three wheat cultivars under different sowing dates

年度 Year	品种 Cultivar	播期 Sowing date	穗数 Spike number ($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	穗粒数 Grain number per spike	千粒重 1 000-grain weight/g	产量 Grain yield/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	较I期减产幅度 Decrease rate compared with sowing dated I/%
2020— 2021	扬麦25 Yangmai 25	I	476.3bc	43.18bc	42.48de	8 163.0cd	—
		II	468.8bc	42.40bc	43.42d	7 753.5de	5.02
		III	483.8bc	39.30de	41.35e	7 299.0ef	10.58
		IV	502.5ab	37.43ef	39.32f	6 781.6f	16.92
	扬麦20 Yangmai 20	I	455.6bc	47.82a	39.42f	7 641.0de	—
		II	431.3c	45.10ab	40.82e	7 204.5ef	5.71
		III	461.3bc	41.22cd	39.17f	6 790.5f	11.13
		IV	483.8bc	37.77ef	37.94g	6 246.0g	18.26
	宁麦13 Ningmai 13	I	493.1bc	45.52ab	38.58fg	7 852.5de	—
		II	457.5bc	43.79bc	39.11f	7 380.0ef	6.02
		III	472.5bc	39.25de	38.27fg	6 565.5f	16.39
		IV	495.0bc	36.75ef	36.56h	6 124.5g	22.01
2021— 2022	扬麦25 Yangmai 25	I	537.0a	39.45de	48.18a	9 442.5a	—
		II	521.3ab	38.75de	47.05ab	9 020.0ab	4.45
		III	528.8ab	37.00ef	45.27bc	8 335.1bc	11.70
		IV	511.9ab	36.77ef	44.52cd	7 462.5e	19.39
	扬麦20 Yangmai 20	I	489.1bc	45.93ab	45.53bc	9 112.5ab	—
		II	474.4bc	43.50bc	44.13cd	8 580.0bc	6.03
		III	476.3bc	40.63cd	43.08d	7 870.1de	13.66
		IV	481.9bc	36.50f	41.01e	6 760.1f	25.84
	宁麦13 Ningmai 13	I	519.3ab	41.55cd	44.18cd	8 875.1abc	—
		II	506.7ab	39.95cde	43.39d	8 467.5bc	4.59
		III	517.5ab	37.55ef	41.87e	7 545.0e	14.99
		IV	498.8bc	36.05f	38.57fg	6 530.0f	26.42

3 讨论

3.1 耐迟播小麦品种苗期群体生长特性

小麦生长对温度的要求较严格,一般冬小麦从播种到出苗需要 ≥ 0 °C 积温 110~120 °C,出苗至越冬始期每长出 1 叶片需 ≥ 0 °C 积温约 70~80 °C^[17]。小麦有效分蘖形成的最适宜温度为 13~18 °C,6~13 °C 条件下分蘖生长减缓,最低分蘖生长温度为 2~4 °C,温度低于 2 °C 时分蘖一般停止发生^[18-19]。在实际生产中,小麦播期常常与积温相关联,迟播小麦冬前积温不足,幼苗生长缓慢,根系发育不良,冬前分蘖较少或无分蘖,在一定程度上影响产量稳定^[20]。本研究结果表明,不同品种的越冬期单株茎蘖数与积温呈极显著正相关,其中宁麦 13、扬麦 20 和扬麦 25 冬前生长一个分蘖两个年度所需平均积温分别为 142.95、130.10 和 108.75 °C;随着播期的推迟,小麦越冬期单株分蘖数随 ≥ 0 °C 有效积温的减少呈直线下下降趋势,本试验条件下扬麦 25 冬前分蘖生长所需积温相较于宁麦 13 和扬麦 20 最低,迟播对其冬前分蘖的生长影响较小。尚毅等^[21]、EHDAIE 等^[22] 研究认为,播期推迟后小麦冬前积温不足,日照时数减少,植株叶龄小,光合作用受阻,干物质积累量降低,难以形成壮苗。高德荣等^[23] 提出,在迟播条件下选择种植出苗快、生根快、分蘖发生早、分蘖能力强的小麦品种,在越冬前尽可能促进壮苗形成,有利于安全越冬。本研究结果证实,越冬期小麦群体总茎蘖数、叶面积指数及干物质积累量随播期推迟而逐渐降低,但不同品种间存在差异,相同积温条件下扬麦 25 越冬期单株分蘖性好,个体发育健壮,苗期干物质积累多,群体结构协调,可为后期产量形成奠定基础。

3.2 耐迟播小麦品种穗部结实特性及产量特性

穗长是小麦重要的穗部性状,与单位面积穗粒数密切相关^[24-25]。韩金玲等^[26] 认为,迟播条件下穗粒数下降的主要原因在于迟播小麦穗分化时间短,可育小穗数、小花数明显减少,导致结实小穗数显著减少,成熟期穗型变小。本研究中,扬麦 20 穗长在 11 月 5 日和 15 日播期下最大,11 月 25 日和 12 月 5 日播期下相对明显变小,扬麦 25 穗长受播期影响小,迟播条件下穗长降幅明显低于扬麦 20。受营养物质供应水平、遗传及环境因素等影响,小麦不同小穗位和不同粒位的结实及籽粒发育特性具有明显差异^[27]。有研究表明,大

穗型小麦品种比多穗型品种具有更多的可孕小花数及结实粒数^[28]。本研究结果显示,适播条件下,大穗型品种扬麦 20 较多穗型品种扬麦 25、宁麦 13 结实粒数多,随播期推迟,其结实粒数与结实小穗数均呈下降趋势,这与王婷等^[29] 的研究结果一致。不同品种的结实特性对播期推迟的响应存在差异,在迟播不同天数下扬麦 25 结实粒数与结实小穗数的降幅最低,其次为宁麦 13,大穗型品种扬麦 20 下降幅度最大,且总结实小穗数下降幅度大,最终导致结实粒数下降显著。因此,本研究认为迟播条件下宜选择种植多穗型小麦品种,可在一定程度上缓解由结实粒数下降导致的产量损失。扬麦 20 在 11 月 5 日和 15 日播期下穗长最大,11 月 25 日和 12 月 5 日播期下明显变短。潘洁等^[30] 报道减少基本苗使冬小麦主茎穗和分蘖穗的可孕小花数显著增加,促进小花结实,张艳艳等^[31] 认为施磷能够增加不同穗位的可孕小花数和结实粒数,关于迟播条件下如何通过栽培措施提高穗部结实特性还有待进一步研究。

小麦产量构成因素中,穗数的遗传力为 4.6%~7.0%,更易受栽培因素影响^[31],一般生产上可通过增加密度来提高迟播小麦成穗数^[32-33];本研究结果亦表明,不同播期下基本苗适度增加后小麦穗数无明显差异。千粒重遗传力最高且最稳定,受播期的影响一直没有一致的结论。刘万代等^[34] 研究认为,播期推迟后,小麦籽粒灌浆不足,千粒重下降,但不显著,而杜小娟等^[35] 的研究结果显示千粒重随播期的推迟呈逐渐增大趋势。本试验条件下随播期推迟,两年千粒重变化趋势不同,2020—2021 年度呈先上升后下降的趋势,2021—2022 年度表现为下降趋势;同一播期下扬麦 25 千粒重均显著高于扬麦 20 和宁麦 13,这可能与两年气候条件不同有关。一些研究得出,穗粒数的降低是影响迟播小麦产量的主要限制因素^[36-38],结实小穗数及穗粒数随播期推迟而减少。姜丽娜等^[39] 研究指出,迟播 15 d 条件下小麦穗粒数较适播下降 18.48%,且差异达显著水平。本试验中,在 11 月 15 日、25 日和 12 月 5 日播期下宁麦 13 的穗粒数较 11 月 5 日播期两个年度分别平均下降 3.79%、11.63% 和 16.18%,扬麦 20 分别下降 5.14%、12.36% 和 20.45%,而扬麦 25 分别下降 1.80%、7.62% 和 10.11%,扬麦 25 在不同迟播天数下穗粒数降幅均最小。整体而言,扬麦 25 在迟播条件下的产量降幅与穗粒数降幅

趋势一致,均低于宁麦13和扬麦20,实际产量也明显高于宁麦13和扬麦20;播期推迟后扬麦25穗粒数变化较小,且千粒重较为稳定,有利于迟播条件下稳产高产。

4 结论

播期推迟可以通过增加基本苗弥补小麦穗数的不足。迟播导致产量下降的原因主要在于穗粒数的降低,其次为粒重下降。因此,在耐迟播品种选育上应考虑苗期繁茂性、生长量选择,苗期良好的生长性有利于形成足够穗数。同时应加强穗型的选择,选择穗型变化小、穗粒数下降幅度小、粒重较稳定的多穗型品种更易获得高产。

参考文献:

- [1]江苏省农业技术推广总站.江苏省夏粮生产技术总结(2021、2022和2023年)[DB/OL].<https://wenku.so.com/d/bef1619ba8a79a2413c89fc0b9c538db>. Jiangsu Provincial Agricultural Technology Extension Station. Summary of summer grain production technology at Jiangsu province in 2021, 2022 and 2023 [DB/OL]. <https://wenku.so.com/d/bef1619ba8a79a2413c89fc0b9c538db>.
- [2]高德荣,张 晓,康建鹏,等.长江中下游麦区小麦迟播的不利影响及育种对策[J].麦类作物学报,2014,34(2):279. GAO D R, ZHANG X, KANG J P, et al. Negative effects of late sowing on wheat production in middle and lower reaches of Yangtze River valley and breeding strategies [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2014, 34(2): 279.
- [3]KHICHAR M L, NIWAS R. Microclimatic profiles under different sowing environments in wheat [J]. *Journal of Agrometeorology*, 2006, 8(2): 201.
- [4]安 霞,张海军,蒋方山,等.播期播量对不同穗型冬小麦群体及子粒产量的影响[J].作物杂志,2018(5):132. AN X, ZHANG H J, JIANG F S, et al. Effects of different sowing dates and sowing densities on the population structure and yield of two spike type winter wheats [J]. *Crops*, 2018 (5): 132.
- [5]尚 毅,朱靖环,华 为,等.南方冬麦区小麦耐迟播高分蘖资源的鉴定与筛选[J].麦类作物学报,2015,35(4):494. SHANG Y, ZHU J H, HUA W, et al. Identification and selection of wheat germplasm with high tillering ability under late sowing for southern winter wheat zone [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2015, 35(4): 494.
- [6]EHDAIE B, WAINES J G. Sowing date and nitrogen rate effects on dry matter and nitrogen partitioning in bread and durum wheat [J]. *Field Crops Research*, 2001, 73(1): 47.
- [7]刘阿康,马瑞琦,王德梅,等.冬前积温对北部冬麦区小麦苗期生长的影响[J].应用生态学报,2023,34(3):679. LIU A K, MA R Q, WANG D M, et al. Effect of accumulated temperature before overwintering on wheat seedling growth status in north winter wheat area of China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2023, 34(3): 679.
- [8]王龙俊,陈维新,郭文善,等.晚茬小麦高产栽培技术途径[J].江苏农业研究,1999,20(2):44. WANG L J, CHEN W X, GUO W S, et al. High yielding cultivation approaches in late-sown wheat [J]. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*, 1999, 20(2): 44.
- [9]郇庆炉,薛 香,吴玉娥,等.暖冬条件下播期对不同类型小麦幼穗分化的影响[J].应用生态学报,2003,14(10):1627. GAO Q L, XUE X, WU Y E, et al. Effects of sowing times on the spike differentiation of different wheat varieties under the climate of warm winter [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(10): 1627.
- [10]苗永杰,阎 俊,赵德辉,等.黄淮麦区小麦主栽品种粒重与籽粒灌浆特性的关系[J].作物学报,2018,44(2):260. MIAO Y J, YAN J, ZHAO D H, et al. Relationship between grain filling parameters and grain weight in leading wheat cultivars in the yellow and Huai Rivers valley [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2018, 44(2): 260.
- [11]兰 涛,潘 洁,姜 东,等.生态环境和播期对小麦籽粒产量及品质性状间相关性的影响[J].麦类作物学报,2005,25(4):72. LAN T, PAN J, JIANG D, et al. Effects of eco-environments and sowing dates on the relationships between grain quality traits in winter wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2005, 25(4): 72.
- [12]欧行奇,郭丹钊,成立群,等.土壤质地和播期对强筋小麦藜城8901品质及产量的影响[J].麦类作物学报,2007,27(4):705. OU X Q, GUO D Z, CHENG L Q, et al. Effect of soil texture and seedtime on yield and quality of strong-gluten wheat Gaocheng 8901 [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2007, 27 (4): 705.
- [13]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[J].麦类作物学报,2011,31(3):529. YANG J, ZHANG B J, MAO J C, et al. Effects of sowing date and planting density on grain yield in winter wheat Xinong 9871 [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2011, 31(3): 529.
- [14]何井瑞,陈之政,张洪树,等.不同播期与基本苗对小麦生长发育及产量构成的影响[J].中国农学通报,2015,31(33):37. HE J R, CHEN Z Z, ZHANG H S, et al. Effect of different sowing dates and basic seedlings on growth and yield formation of wheat [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(33): 37.
- [15]王梦尧,马 泉,陶 源,等.稻茬过晚播扬麦25产量形成与氮素积累利用特征[J].麦类作物学报,2021,41(7):866. WANG M Y, MA Q, TAO Y, et al. Characteristics of yield components and nitrogen accumulation and utilization of extremely-late sowing wheat Yangmai 25 following rice [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2021, 41(7): 866.
- [16]李豪圣,宋健民,刘爱峰,等.播期和种植密度对超高产小麦‘济麦22’产量及其构成因素的影响[J].中国农学通报,2011,27(5):243. LI H S, SONG J M, LIU A F, et al. Effect of sowing time and planting density on yield and components of ‘Jimai 22’ with super-high yield [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(5): 243.
- [17]杨文钰,屠乃美,张洪程,等.作物栽培学各论:南方本[M].北京:中国农业出版社,2003. YANG W Y, TU N M, ZHANG H C, et al. Various theories of crop cultivation: southern book [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003.
- [18]于振文.现代小麦生产技术[M].北京:中国农业出版社,2007. YU ZW. Modern wheat production technology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.

- [19] 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[J]. 作物学报, 2016, 42(1): 149.
LÜ L H, LIANG S B, ZHANG L H, *et al.* Yield in response to accumulated temperature before winter in winter wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2016, 42(1): 149.
- [20] 刘阿康, 马瑞琦, 王德梅, 等. 覆膜和补施氮肥对晚播冬小麦冬前植株生长及群体质量的影响[J]. 作物学报, 2022, 48(7): 1771.
LIU A K, MA R Q, WANG D M, *et al.* Effects of filming and supplemental nitrogen fertilizer application on plant growth and population quality of late sowing winter wheat before winter [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2022, 48(7): 1771.
- [21] 尚毅, 朱靖环, 华为, 等. 南方冬麦区小麦耐迟播高分蘖资源的鉴定与筛选[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(4): 494.
SHANG Y, ZHU J H, HUA W, *et al.* Identification and selection of wheat germplasm with high tillering ability under late sowing for southern winter wheat zone [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2015, 35(4): 494.
- [22] EHDAIE B, WAINES J G. Sowing date and nitrogen rate effects on dry matter and nitrogen partitioning in bread and durum wheat [J]. *Field Crops Research*, 2001, 73(1): 47.
- [23] 高德荣, 张晓, 康建鹏, 等. 长江中下游麦区小麦迟播的不利影响及育种对策[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(2): 279.
GAO D R, ZHANG X, KANG J P, *et al.* Negative effects of late sowing on wheat production in middle and lower reaches of Yangtze River valley and breeding strategies [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2014, 34(2): 279.
- [24] JANTASURIYARAT C, VALES M I, WATSON C J W, *et al.* Identification and mapping of genetic loci affecting the free-threshing habit and spike compactness in wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2004, 108(2): 261.
- [25] KUMAR N, KULWAL P L, BALYAN H S, *et al.* QTL mapping for yield and yield contributing traits in two mapping populations of bread wheat [J]. *Molecular Breeding*, 2007, 19(2): 163.
- [26] 韩金玲, 杨晴, 王文娟, 等. 播期对冬小麦茎蘖幼穗分化及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(2): 303.
HAN J L, YANG Q, WANG W P, *et al.* Effects of sowing date on the caulis and tillers differentiation of young spike and yield in winter wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2011, 31(2): 303.
- [27] 裴雪霞, 王姣爱, 党建友, 等. 小麦结实粒数、粒重和品质的小穗位和粒位效应[J]. 中国农业科学, 2008, 41(2): 381.
PEI X X, WANG J A, DANG J Y, *et al.* Effects of spikelet and grain position on fertile spikelet number, grain weight and quality of wheat [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(2): 381.
- [28] 屈会娟, 李金才, 沈学善, 等. 种植密度和播期对冬小麦品种兰考矮早八干物质和氮素积累与转运的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(1): 124.
QU H J, LI J C, SHEN X S, *et al.* Effects of plant density and seeding date on accumulation and translocation of dry matter and nitrogen in winter wheat cultivar Lankao Aizao 8 [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(1): 124.
- [29] 王婷, 常旭虹, 王艳杰, 等. 冬小麦群体结构及产量对播期和追氮时期的响应[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(8): 1.
WANG T, CHANG X H, WANG Y J, *et al.* Population structure and yield response of winter wheat to sowing date and nitrogen topdressing stage [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2024, 44(8): 1.
- [30] 潘洁, 姜东, 曹卫星, 等. 小麦穗籽粒数、单粒重及单粒蛋白质含量的穗位和粒位效应[J]. 作物学报, 2005, 31(4): 431.
PAN J, JIANG D, CAO W X, *et al.* Effects of spikelet and grain positions on grain number, weight and protein content of wheat spike [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31(4): 431.
- [31] 张艳艳, 刘淋茹, 袁鑫茹, 等. 不同水分条件下施磷对冬小麦穗花结实及光合特性的影响[J]. 生态学报, 2024, 44(14): 6331.
ZHANG Y Y, LIU L R, YUAN X R, *et al.* Effects of phosphorus application on spike floret development into grain and photosynthetic characteristics of winter wheat under different water treatments [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(14): 6331.
- [32] 梅楠, 单玉珊, 侯庆福. 冬小麦晚播高产试验及其技术体系的理论探讨: 兼论小麦高产途径[J]. 北京农业大学学报, 1990, 16(3): 263.
MEI N, SHAN Y S, HOU Q F. Studies on the late sowing high yield experiment and technology system in winter wheat; With discussion on multi-paths of getting high yield in winter wheat [J]. *Journal of China Agricultural University*, 1990, 16(3): 263.
- [33] PHOTIADES I, HADJICHRISTODOULOU A. Sowing date, sowing depth, seed rate and row spacing of wheat and barley under dryland conditions [J]. *Field Crops Research*, 1984, 9: 151.
- [34] 刘万代, 陈现勇, 尹钧, 等. 播期和密度对冬小麦豫麦49-198群体性状和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(3): 464.
LIU W D, CHEN X Y, YIN J, *et al.* Effect of sowing date and planting density on population trait and grain yield of winter wheat cultivar Yumai 49-198 [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2009, 29(3): 464.
- [35] 杜小娟, 黄婷, 张睿, 等. 关中中部灌区播期播量对‘西农509’小麦产量和品质的效应[J]. 中国农学通报, 2018, 34(4): 16.
DU X J, HUANG T, ZHANG R, *et al.* The effect of sowing date and sowing rate on yield and quality of wheat ‘Xinong 509’ in central Guanzhong [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(4): 16.
- [36] 李素真, 周爱莲, 王霖, 等. 不同播期播量对不同类型超级小麦产量构成因子的影响[J]. 山东农业科学, 2005, 37(5): 12.
LI S Z, ZHOU A L, WANG L, *et al.* Effect of different sowing time and seed dosage on yield of different genotypes of super wheats [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2005, 37(5): 12.
- [37] 王鑫悦, 尚丽, 林祥, 等. 播种期对不同小麦品种植株表型和籽粒产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2022, 42(9): 1099.
WANG X Y, SHANG L, LIN X, *et al.* Effect of sowing date on phenotype and grain yield of different wheat cultivars [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2022, 42(9): 1099.
- [38] 高德荣, 王慧, 刘巧, 等. 迟播早熟高产小麦新品种的培育[J]. 中国农业科学, 2019, 52(14): 2379.
GAO D R, WANG H, LIU Q, *et al.* Breeding of new wheat varieties with early maturity and high yield under late sowing [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(14): 2379.
- [39] 姜丽娜, 张茜, 吴珊珊, 等. 晚播对豫北冬小麦叶片生理及产量性状的影响[J]. 河南农业科学, 2011, 40(6): 39.
JIANG L N, ZHANG H, WU S S, *et al.* Effects of late-sowing on physiology and yield characteristics of winter wheat leaves in northern Henan Province [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2011, 40(6): 39.