

史晓芳, 张伟, 逯腊虎, 等. 播期播量对尧麦 31 群体结构、干物质积累及产量的影响[J]. 山西农业科学, 2026, 54(2):62-71.
SHI X F, ZHANG W, LU L H, et al. Effects of sowing date and sowing amount on the population structure, dry matter accumulation and yield of Yaomai 31[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2026, 54(2):62-71.

doi:10.26942/j.cnki.issn.1002-2481.2026.02.08

播期播量对尧麦 31 群体结构、干物质积累及产量的影响

史晓芳¹, 张伟¹, 逯腊虎¹, 袁凯¹, 张婷¹, 雷梦林²

(1. 山西农业大学 小麦研究所, 山西 临汾 041000; 2. 山西农业大学 农业基因资源研究中心, 山西 太原 030031)

摘要:为探究播期播量对冬小麦新品种尧麦 31 群体结构和产量的调控效应, 研究通过大田裂区试验, 设置播期和播量各 4 个水平, 分析尧麦 31 群体动态、主茎叶龄、叶面积指数(LAI)、干物质积累、灌浆速率、农艺性状、产量及其构成因素在不同处理间的差异。结果表明, 播期和播量不同使群体性状发生改变, 各生育期的群体茎数随播期推迟和播量减小而减少, 以 10 月 2 日播种的群体茎数最多。推迟播期, 各生育期的主茎叶龄减少。同一播期不同播量之间主茎叶片数没有明显的差异。不同播期播量的 LAI 随生育期的推进而增加, 同一播量下, 孕穗期达到最大值, 开花期到成熟期逐渐缩小; 同一播期下, 干物质积累量随播量增加而增大, 同一播量下随播期推迟干物质积累量逐渐减少, 以 10 月 14 日播种的小麦花后干物质积累量最高。同一播期随播量增加, 灌浆率先增加后降低; 播期推迟, 同一播量灌浆速率降低。同一播期下随播量增加株高增高, 穗长变短, 小穗数减少; 同一播量下随播期推迟株高逐渐降低, 穗长和小穗数先增加后降低。播期相同随播量增加, 经济系数逐渐降低, 播量间差异显著。播期播量对产量及产量构成因素的影响达显著水平, 且播量对产量、成穗数和千粒质量的影响大于播期。该试验条件下, 尧麦 31 适宜播期为 10 月 8—14 日, 适宜播量为 150~180 kg/hm²。

关键词:尧麦 31; 播期; 播量; 群体动态; 干物质积累; 籽粒产量

中图分类号: S512.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-2481(2026)02-0062-10

Effects of Sowing Date and Sowing Amount on the Population Structure, Dry Matter Accumulation and Yield of Yaomai 31

SHI Xiaofang¹, ZHANG Wei¹, LU Lahu¹, YUAN Kai¹, ZHANG Ting¹, LEI Menglin²

(1. Institute of Wheat Research, Shanxi Agricultural University, Linfen 041000, China;

2. Center for Agricultural Genetic Resources Research, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China)

Abstract: To investigate the regulatory effects of sowing date and sowing amount on the population structure and yield of a new winter wheat variety Yaomai 31, in this study, through a field split-plot experiment with four levels of sowing date and sowing amount. The differences in population dynamics, main stem leaf age, leaf area index(LAI), dry matter accumulation, grain filling rate, agronomic traits, yield and its components under different treatments were analyzed. The results showed that the difference in sowing date and sowing amount changed population traits. The number of stems in the population in each growth period decreased with the delay of sowing date and the decrease of sowing amount, and the number of stems in the population sown on October 2nd was the most. With the delay of sowing date, the main stem leaf age in each growth period decreased gradually. There was no significant difference in the number of leaves on the main stem among different sowing amounts at the same sowing date. LAI increased with the advancement of the growth period for different sowing dates and sowing amounts, reached the maximum value at the booting stage, gradually decreased from the flowering stage to the maturity stage. The dry matter accumulation of the same sowing date increased with the increase of sowing amount, and the dry matter accumulation of the same sowing amount decreased with the delay of sowing date, and the wheat sown on October 14th had the highest dry matter accumulation after flowering. With the increase of sowing amount, the grain-filling rate increased first and

收稿日期: 2025-03-19

基金项目: 中央引导地方科技发展资金-科技成果转化(YDZJSX20231C011); 山西省重点研发计划项目(201903D211004-2)

作者简介: 史晓芳, 助理研究员, 硕士, 主要从事小麦遗传育种研究, E-mail: woshishi256@163.com

通信作者: 逯腊虎, 研究员, 博士, 主要从事小麦遗传育种研究, E-mail: lulh75@163.com

then decreased, and the grain-filling rate decreased with the delay of sowing date at the same sowing amount. At the same sowing date, as the sowing amount increased, the plant height increased, the spike length became shorter, and the spikelet number decreased. At the same sowing amount, as the sowing date delayed, the plant height gradually decreased, and the spike length and spikelet number increased first and then decreased. With the increase of sowing amount at the same sowing date, the economic coefficient gradually decreased, and the difference among sowing amounts was significant. Sowing date and sowing amount had a significant effect on yield and the three elements of yield structure, and the effect of sowing amount on yield, spike number, and 1000-grain weight was greater than that of sowing date. Under the conditions of this trial, the suitable sowing date for Yaomai 31 was from October 8th to October 14th and the appropriate sowing amount was 150 kg/ha to 180 kg/ha.

Keywords: Yaomai 31; sowing date; sowing amount; population dynamics; dry matter accumulation; grain yield

小麦是我国的主要粮食作物,生产追求高产稳产,小麦籽粒产量的高低与小麦播期的早晚和播量的多少密不可分^[1]。过早播种使小麦冬前幼穗分化发育进程加快,遭受冻害的可能性变大;过晚播种,冬前苗弱,分蘖数减少,小麦生育后期发育速度加快,不易形成大穗大粒;适期播种可以使小麦冬季生长形成壮苗,适宜播量可以构建小麦合理群体结构,使产量构成要素协调发展,进而提高小麦籽粒产量^[2-4]。前人研究表明,随播期推迟,小麦各生育时期群体总茎数减少,株高降低,叶面积指数和干物质积累量减少。随播量增加,小麦各生育时期群体总茎数增加,株高增高,叶面积指数和干物质积累量增加^[5-7]。马尚宇等^[8]研究发现,适期播种更有利于小麦的生长发育和产量的形成。陈洁等^[9]研究认为,宁麦 13 在盐城地区需在 10 月 25 日至 11 月 18 日播种,可以达到高产稳产。苏玉环等^[10]研究表明,在邯郸地区,邯麦 16 号的适宜播期为 10 月 8—13 日,适宜种植密度为 300 万株/hm²。朱金英等^[11]研究认为,在不同地区济麦 44 适宜播期不同。曹燕燕等^[12]研究表明,小麦新品种潞麦 163 播期间差异不显著,播量间差异达极显著水平。张福彦等^[13]研究表明,小麦新品种航宇 19 播期播量及互作对其产量及构成要素均具有显著影响,播期效应大于播量。易媛等^[14]研究发现,多穗型品种徐麦 40 比大穗型品种徐麦 41 具有较强的茎蘖成穗能力和较高的成穗率,不同穗型小麦品种的适宜播量存在差异,徐麦 40 适宜播量为 120 kg/hm²,而徐麦 41 适宜播量为 150 kg/hm²,大穗型品种的播量高于多穗型品种^[15]。由此可见,播期和播量的确定要因生态环境、管理水平和品种的特性而定^[16-17]。

尧麦 31^[18]是山西农业大学小麦研究所培育的高产稳产型小麦品种,2022 年通过山西省审定,当前鲜有尧麦 31 适宜播期播量研究的相关报道。为了加速尧麦 31 的推广,本研究通过设置更多的播

期和播量处理,对不同生育时期小麦品种的群体结构、主茎叶龄、叶面积指数(LAI)、干物质积累量、灌浆速率、产量及产量构成因素进行分析,探讨播期、播量以及互作对尧麦 31 产量的影响,以期厘清适宜播期和播量的最佳组合,为加快尧麦 31 在生产中的应用,实现高产稳产提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于 2022—2024 年在山西省临汾市刘村镇刘北村试验田(36°05′18.45″N, 111°30′28.13″E)实施,小麦生育期气候特征是冬季寒冷,降雪稀少,春季倒春寒,夏季高温多干热风。试验土壤为壤土,前茬作物为玉米,土壤肥力中等。

1.2 试验材料

供试小麦品种为尧麦 31,由山西农业大学小麦研究所供种。

1.3 试验方法

采用 2 因素裂区试验设计。主区播期设 4 个处理,即 S1(10 月 2 日播种),S2(10 月 8 日播种),S3(10 月 14 日播种)和 S4(10 月 20 日播种);副区播量设 4 个处理,即 D1(120 kg/hm²),D2(150 kg/hm²),D3(180 kg/hm²),D4(210 kg/hm²)。随机排列,3 次重复。小区面积 25 m²(10.0 m×2.5 m)。翻地前基施有机肥 30 000 kg/hm²,小麦专用三元复合肥 750 kg/hm²,旋耕耙耱后人工开沟播种小麦,行距 23 cm,播种深度为 4 cm 左右。春天随浇返青水追施 46% 尿素 150 kg/hm²。生育期间浇越冬水、返青水和孕穗水。小麦灌浆初期将吡虫啉分散剂(德国拜耳公司)和腐殖酸≥30%、N+P₂O₅+K₂O≥200 g/L 的亨坤麦黄金水溶肥料(河南省双惠农业科技开发有限公司)药肥混合喷施 1 次。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 茎穗动态及叶龄 小麦出苗后(三叶期),

每个小区固定 1 m 双行调查基本苗,分别于越冬、返青、起身、拔节、抽穗、成熟期调查茎穗动态;在小麦各生育时期每个小区选择 10 株,调查主茎叶龄,调查方法参照文献[19]进行。根据调查结果计算成穗率。

$$\text{成穗率} = \text{成熟期总茎数} / \text{起身期总茎数} \times 100\% \quad (1)$$

1.4.2 干物质积累 每个处理分别在小麦各生育时期取样 30 个单茎,于 105 °C 下杀青 30 min 后降至 70 °C 烘干至恒质量,称量干物质量。

$$\text{干物质积累量} = \text{单茎干物质量} \times \text{同一时期每公顷的总茎数} \quad (2)$$

$$\text{花后干物质积累量} = \text{成熟期干物质积累量} - \text{开花期干物质积累量} \quad (3)$$

1.4.3 叶面积指数 在越冬、返青、起身、拔节、抽穗、成熟期测定。每小区取 30 个单茎,测定绿叶的叶面积,计算叶面积指数(LAI)。

$$\text{LAI} = (0.75 \times Y \times N) / (30 \times 10\,000) \quad (4)$$

式中, Y 为 30 个单茎上所有叶片的总面积; N 为每公顷的总茎数。

1.4.4 籽粒灌浆速率 在小麦开花期,对各处理选择同一日开花的麦穗挂牌标记 60 个单穗,在小麦开始灌浆后的第 10、15、20、25、30、35 天分别取 10 个单穗,剥粒后烘干称质量,计算单籽粒质量。

$$\text{籽粒灌浆速率} = (\text{本次取样单籽粒干质量} - \text{上次取样单籽粒干质量}) / 5 \quad (5)$$

1.4.5 产量及其构成因素 收获前每个处理选取 10 株,调查株高、穗长和穗粒数。全区收获后进行实收计产,考种计算千粒质量。

1.5 数据处理

采用 Excel 2019 进行数据处理和作图;使用 IBM SPSS Statistics 24.0 统计分析软件进行处理间方差和相关性分析,运用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 尧麦 31 的群体动态分析

由表 1 可知,不同播期播量小麦的群体茎穗数在整个生育期均表现为先增加后下降,在起身期达到最大值,拔节后减少。同一播期下,各生育时期的总茎数均随播量增大而增加,大小表现为 D4 > D3 > D2 > D1,成穗率随播量增加而降低。同一播量不同播期下,各生育时期总茎数表现为播期越早茎穗数越多,大小表现为 S1 > S2 > S3 > S4。S2D4 成穗数较多,S3D1 成穗率较高。方差分析表明,播期播量间在越冬期、返青期、起身期和拔节期的总茎数差异显著。本试验所设的条件下,播期在 S2 和 S3,播量在 D2 和 D3,即播期在 10 月 8—14 日,播量在 150~180 kg/hm² 有利于实现较多成穗数。

表 1 不同播期播量下尧麦 31 各生育期的茎穗数

Tab.1 The number of stem spikes in each growth period of Yaomai 31 at different sowing dates and sowing amounts

处理 Treatment	出苗期/ (万穗/hm ²) Seedlings	越冬期/ (万穗/hm ²) Overwintering	返青期/ (万穗/hm ²) Reviving	起身期/ (万穗/hm ²) Getting up	拔节期/ (万穗/hm ²) Jointing	孕穗期/ (万穗/hm ²) Booting	开花期/ (万穗/hm ²) Flowering	成熟期/ (万穗/hm ²) Maturity	成穗率/% Spike rate
S1D1	266.47± 18.62d	1 526.67± 123.24d	1 587.25± 125.26d	1 657.25± 158.26d	816.25± 132.47d	725.65± 62.47c	706.25± 54.36b	699.25± 18.26d	42.19± 1.25a
S1D2	342.54± 19.63c	2 058.00± 126.52c	2 097.65± 129.34c	2 168.25± 163.57c	968.65± 138.52c	785.65± 68.34b	756.25± 57.24b	719.25± 16.36c	33.17± 1.32b
S1D3	401.33± 19.84b	2 383.25± 132.45b	2 395.32± 135.62b	2 451.03± 171.25b	1 095.25± 140.26b	868.25± 71.26a	806.25± 59.62a	725.65± 17.68b	32.87± 1.33c
S1D4	467.26± 21.02a	2 715.00± 138.24a	2 790.35± 137.45a	2 820.25± 176.32a	1 168.25± 145.23a	886.65± 74.68a	842.65± 63.24a	756.25± 16.25a	29.30± 1.34d
S2D1	265.96± 16.34d	1 456.38± 124.26d	1 506.26± 126.25d	1 562.25± 134.68d	858.25± 101.25d	725.25± 68.24b	709.65± 51.25b	701.25± 18.02b	44.89± 1.30a
S2D2	340.45± 17.86c	1 803.67± 126.38c	1 896.25± 132.47c	1 904.36± 132.59c	925.65± 103.25c	763.65± 62.35b	742.65± 53.46b	710.25± 17.68b	37.61± 1.32b
S2D3	399.56± 19.26b	2 118.38± 128.62b	2 186.35± 135.65b	2 202.67± 136.24b	1 065.25± 106.48b	898.25± 69.68a	846.25± 56.29a	753.65± 18.26a	36.94± 1.34c
S2D4	466.35± 20.24a	2 453.23± 130.24a	2 484.25± 142.36a	2 495.25± 146.32a	1 215.25± 108.26a	928.65± 71.25a	855.65± 62.02a	758.25± 17.24a	33.51± 1.36d
S3D1	266.85± 15.29d	1 189.65± 120.26d	1 219.25± 146.34d	1 256.65± 147.26d	836.25± 110.24d	725.65± 74.24c	715.25± 54.23c	692.65± 17.64c	55.12± 1.32a

续表 1 不同播期播量下尧麦 31 各生育期的茎穗数

Tab.1(Continued) The number of stem spikes in each growth period of Yaomai 31 at different sowing dates and sowing amounts

处理 Treatment	出苗期/ (万穗/hm ²) Seedlings	越冬期/ (万穗/hm ²) Overwintering	返青期/ (万穗/hm ²) Reviving	起身期/ (万穗/hm ²) Getting up	拔节期/ (万穗/hm ²) Jointing	孕穗期/ (万穗/hm ²) Booting	开花期/ (万穗/hm ²) Flowering	成熟期/ (万穗/hm ²) Maturity	成穗率/% Spike rate
S3D2	335.65± 16.54c	1 496.25± 124.65c	1 528.65± 149.26c	1 565.25± 149.26c	925.35± 112.65c	825.65± 76.26b	798.25± 56.74b	706.25± 18.26c	48.95± 1.34b
S3D3	401.25± 16.87b	1 745.25± 126.75b	1 785.25± 154.27b	1 816.25± 148.56b	1 096.35± 113.24b	905.65± 77.23a	875.25± 58.47a	726.25± 17.28b	46.04± 1.35c
S3D4	467.35± 17.46a	2 015.25± 129.54a	2 036.25± 157.84a	2 096.65± 150.24a	1 106.25± 114.26a	935.25± 76.29a	886.65± 59.24a	742.15± 18.25a	40.17± 1.32d
S4D1	264.65± 17.98d	1 003.20± 126.34d	1 103.25± 128.25d	1 265.35± 132.48d	752.25± 96.24d	689.65± 70.26d	635.65± 54.87b	603.25± 17.24c	48.46± 1.32b
S4D2	332.56± 16.46c	1 160.65± 125.47c	1 234.65± 130.26c	1 363.25± 136.29c	868.65± 97.85c	715.25± 69.84c	698.65± 56.21b	665.25± 18.48b	48.35± 1.33b
S4D3	406.25± 18.26b	1 342.65± 128.49b	1 375.25± 136.24b	1 425.65± 132.26b	905.35± 96.84b	802.65± 70.26b	785.25± 57.26a	681.25± 17.46a	49.11± 1.34a
S4D4	468.45± 17.46a	1 578.45± 132.45a	1 605.26± 140.26a	1 665.25± 142.62a	1 089.65± 97.57a	865.25± 71.25a	796.65± 56.87a	698.25± 19.78a	45.53± 1.36c

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。表 2 同。

Note: Different lowercase letters following the same column indicated significant differences($P<0.05$). The same as Tab.2.

2.2 尧麦 31 的主茎叶龄分析

由图 1 可知,播期推迟,各生育时期主茎叶龄减少。相同播期不同播量间主茎叶片数没有明显的差异。不同播期在越冬期主茎叶龄相差 2.18~

3.46 片叶。越冬到返青叶片数增加了 0.99~1.26 片叶。从返青期到开花期主茎叶龄增长了 5.21~6.67 片叶,成熟期主茎总叶片数为 13.25~14.85 片叶。播期是引起叶片数差异的主要因素。

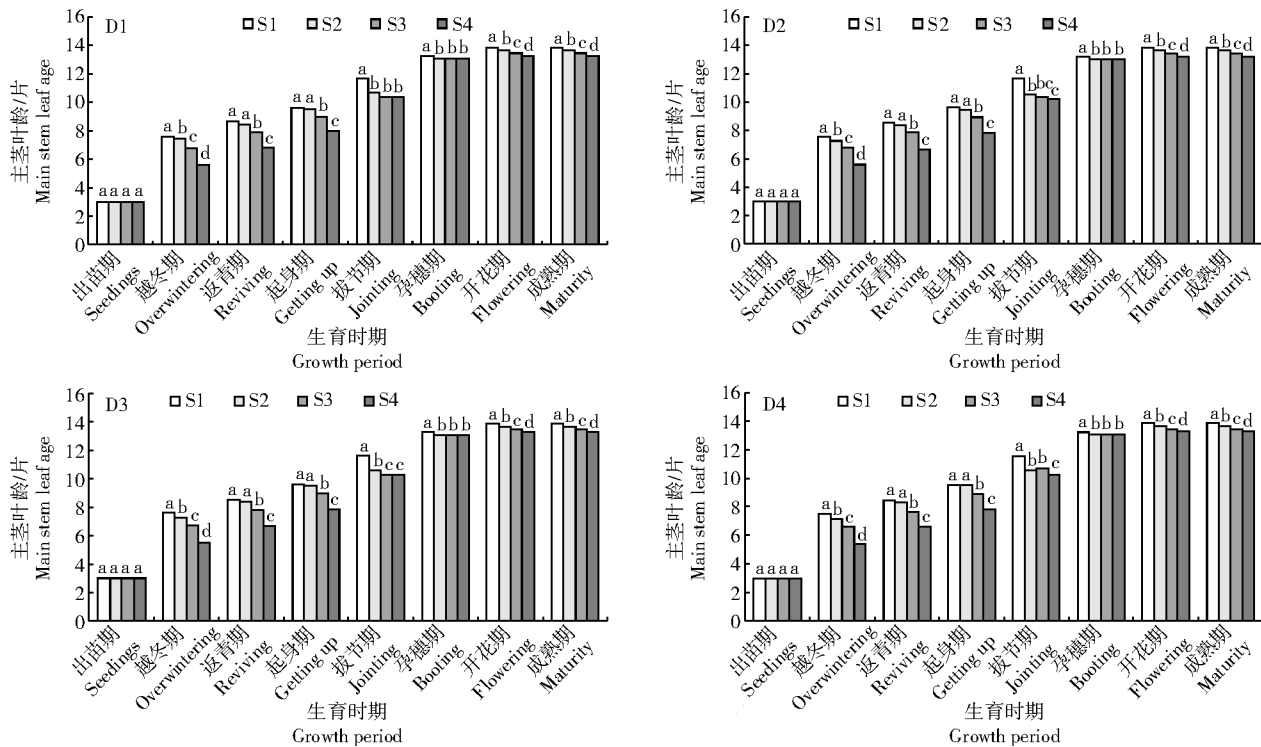


图 1 同播量不同播期下尧麦 31 各生育时期的主茎叶龄比较

Fig.1 Comparison of main stem leaf age in each growth period of Yaomai 31 at same sowing date and different sowing amounts

2.3 尧麦 31 的干物质积累分析

由图 2 可知,小麦营养生长期干物质增长较慢,拔节后干物质增长较快,成熟时达到最大值。播期相同干物质积累量随播量增加而增加,播量相同干物质积累量随播期推迟而减少。各生育时期的干物质积累量均以 D4 播量最大,干物质积累量大小均表现为 D4>D3>D2>D1。方差分析表明,不同播量间各生育时期的干物质积累量差异显

著($P<0.05$)。在 S1 和 S2 播期下, D1 播量花后干物质积累量分别为 6 049.70、6 404.01 kg/hm²,开花期到成熟期干物质积累量大小表现为 D1>D2>D3>D4。在 S3 和 S4 播期下,花后干物质积累量大小均表现为 D2>D1>D3>D4。S2D4 在成熟期干物质积累量最高,为 22 145.92 kg/hm², S2D1 花后干物质积累量最多,为 6 404.01 kg/hm², S2 播期为适播期。

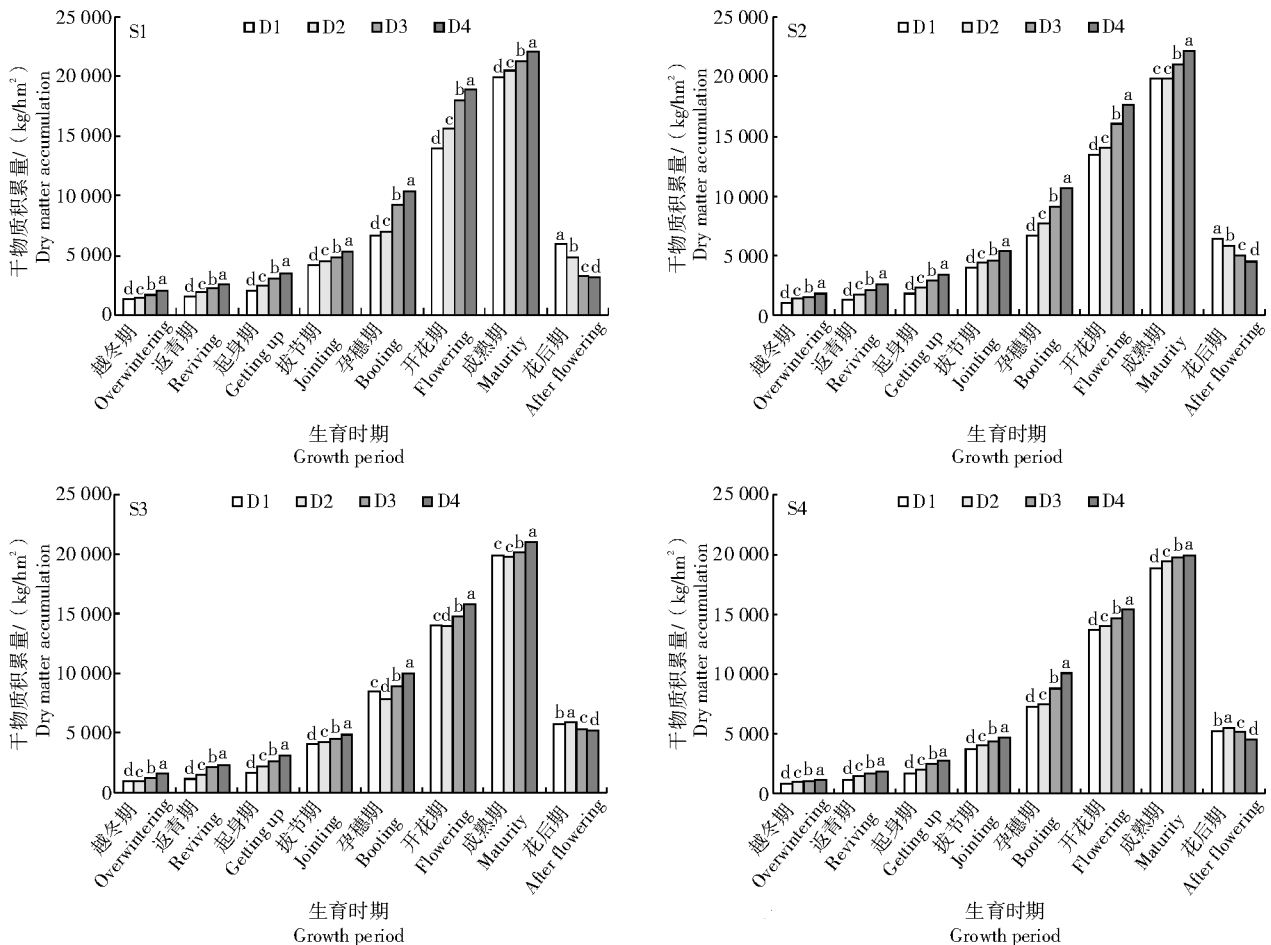


图 2 同播期不同播量下尧麦 31 各生育时期干物质积累量比较

Fig.2 Comparison of dry matter accumulation in each growth period of Yaomai 31 at same sowing date and different sowing amounts

2.4 尧麦 31 的叶面积指数分析

由图 3 可知,不同播期播量的叶面积指数(LAI)随小麦的生长逐渐增加,越冬期最小,孕穗期达到最大值,开花后开始降低。在 S1 播期下,不同播量的 LAI 在越冬期、返青期、起身期、拔节期大小均表现为 D4>D3>D2>D1,拔节后 D2、D3 的 LAI 增长加快,孕穗期 D2 和 D3 的 LAI 分别为 9.58 和 9.76,显著高于 D1($P<0.05$)。在 S2 播期下, D2、

D3 和 D4 播量的 LAI 在孕穗期均大于 9.5,开花期降到 5.61~6.21。在 S3 播期下,4 个播量的 LAI 在孕穗期差异较大, D3、D4 的 LAI 分别为 9.68 和 9.80,显著高于 D1($P<0.05$)。在 S4 播期下, D1 播量的 LAI 只有 8.65,在晚播条件下,播量较小群体的叶面积指数偏小。本试验中,尧麦 31 在 S1、S2 和 S3 播期下, D3 和 D4 播量处理的孕穗期叶面积指数达到 9.5 以上,孕穗后叶面积指数下降较慢。

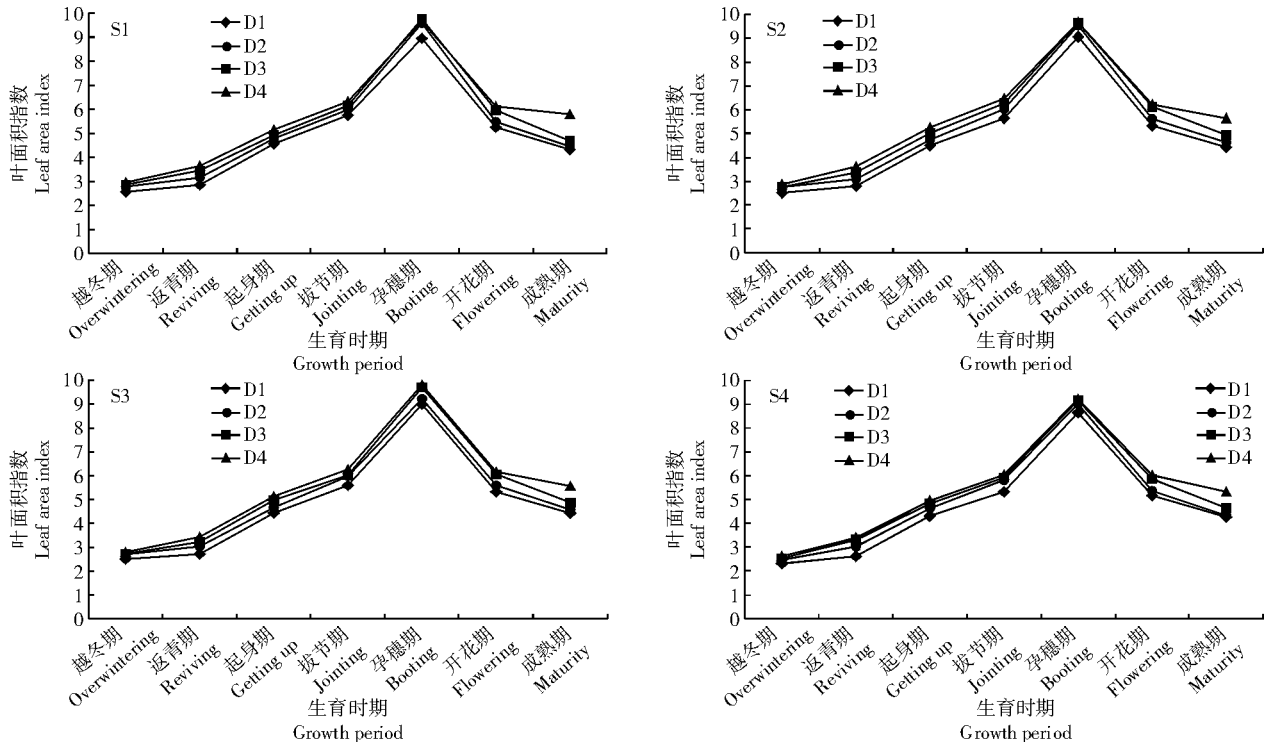


图3 同播期不同播量下尧麦 31 各生育阶段的叶面积指数比较

Fig.3 Comparison of leaf area index in each breeding stage of Yaomai 31 at same sowing date and different sowing amounts

2.5 尧麦 31 的籽粒灌浆速率分析

由图 4 可知, 1~15 d 是尧麦 31 籽粒灌浆的渐增期, 15~25 d 是尧麦 31 籽粒灌浆的快增期, 25~35 d 是籽粒灌浆的缓增期。在 25 d 籽粒灌浆速率达到最大值, S1D1 最大灌浆速率是 2.316 mg/(d·粒)、S1D2 最大灌浆速率是 2.386 mg/(d·粒)、S1D3 最

大灌浆速率是 2.463 mg/(d·粒)、S1D4 最大灌浆速率是 2.384 mg/(d·粒)。在 35 d 时灌浆速率较低, S2D1 在这时的灌浆速率是 0.527 mg/(d·粒)。在同一播期下, 随播量增加, 灌浆速率先增加后降低。随播期推迟, 同一播量灌浆速率降低。说明播期延迟, 不利于尧麦 31 籽粒灌浆速率的增加。

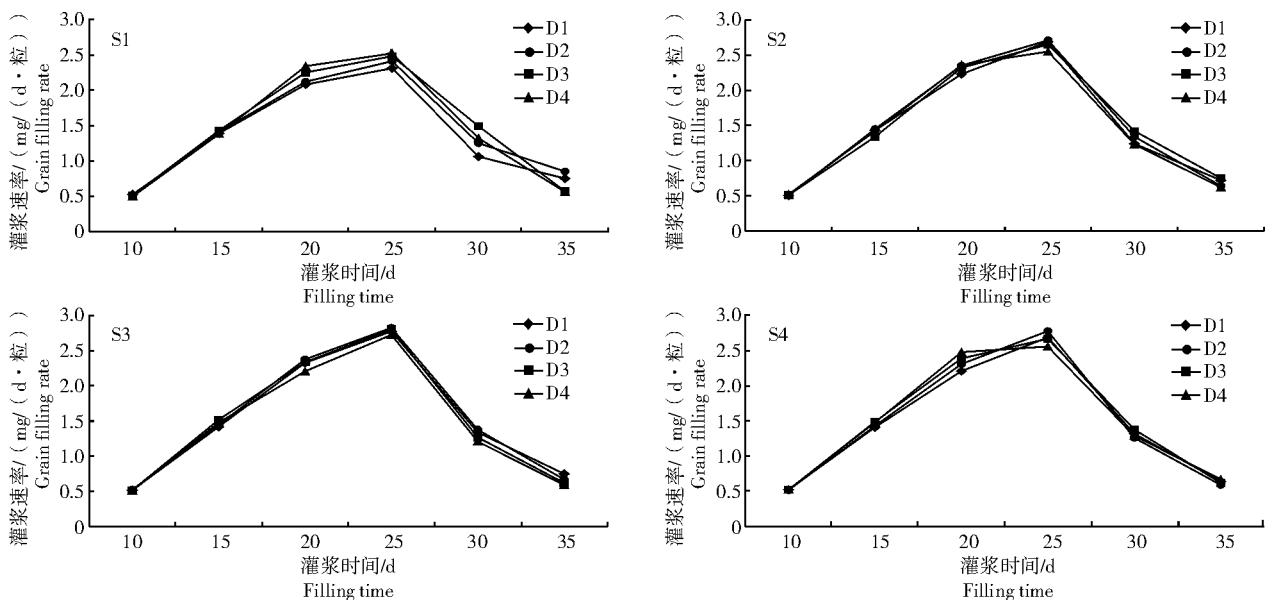


图 4 不同播期播量下尧麦 31 籽粒灌浆速率比较

Fig.4 Comparison of grain filling rate of Yaomai 31 at different sowing dates and sowing amounts

2.6 播期播量对尧麦 31 农艺性状、产量结构及籽粒产量的影响

2.6.1 尧麦 31 农艺性状 由表 2 可知,不同播期播量互作对尧麦 31 株高、穗长、小穗数的影响显著。S1 播期下,4 个播量的成穗数和株高由低到高的顺序是 D1、D2、D3、D4,穗粒数、穗长和小穗数由高到低的顺序是 D1、D2、D3、D4。播期相同,播量增加成穗数和株高增加,穗粒数、穗长和小穗数减少;播量相同,播期推迟成穗数和株高逐渐降

低,穗粒数、穗长和小穗数先增加后降低。播期播量互作下,S4D1 株高最低(76.23 cm),S2D4 株高最高(77.86 cm);S2D1 穗长最长(8.67 cm),S4D4 穗长最短(8.49 cm);S2D1 小穗数最多(19.38 个),S4D4 小穗数最少(18.21 个)。由此可见,播期提前和推迟均不利于穗长和结实小穗数的形成。方差分析表明,D1 和 D2 播量与 D3 和 D4 播量间株高、穗长和小穗数差异显著($P<0.05$)。

表 2 不同播期播量下尧麦 31 的农艺性状、籽粒产量及其构成因素表现

Tab.2 The agronomic traits, yield and its components of Yaomai 31 at different sowing dates and sowing amounts

处理 Treatment	产量/(kg/hm ²) Yield	成穗数/ (万穗/hm ²) Effective spikes	穗粒数/粒 Grain number per spike	千粒质量/g 1 000-grain weight	株高/cm Plant height	穗长/cm Spike length	小穗数/个 Spikelet numbe	经济系数 Economic co- efficient
S1D1	9 495.56±43.24a	699.25±18.26d	34.57±3.28a	42.87±0.86b	76.36±2.64b	8.65±0.82a	19.26±1.64a	0.475±0.041a
S1D2	9 328.49±43.02b	719.25±16.36c	33.79±3.02b	42.98±0.88a	76.85±2.63b	8.62±0.84a	19.21±1.62a	0.454±0.036b
S1D3	9 216.21±43.56c	725.65±17.68b	33.32±3.24c	42.57±0.87c	77.21±2.58a	8.56±0.85b	18.95±1.65b	0.432±0.032c
S1D4	9 125.85±42.87d	756.25±16.25a	33.08±3.06d	41.67±0.88d	77.34±2.62a	8.52±0.83b	18.84±1.64b	0.413±0.032d
S2D1	9 537.89±43.26b	701.25±18.02b	34.68±3.46a	42.52±0.78b	76.32±2.46b	8.67±0.84a	19.38±1.62a	0.480±0.032a
S2D2	9 696.58±44.62a	710.25±17.68b	34.56±3.25a	42.96±0.82a	76.58±2.45b	8.65±0.83a	19.26±1.63a	0.488±0.031b
S2D3	9 529.65±43.34b	753.65±18.26a	34.22±3.36b	42.13±0.83c	77.36±2.39a	8.58±0.84b	19.02±1.64b	0.453±0.032c
S2D4	9 432.58±42.86c	758.25±17.24a	33.46±3.24c	41.97±0.69d	77.86±2.45a	8.56±0.78b	18.97±1.45b	0.426±0.035d
S3D1	9 438.52±44.26c	692.65±17.64c	34.06±3.26b	42.83±0.82a	76.29±2.38b	8.64±0.74a	19.13±1.39a	0.475±0.029a
S3D2	9 669.62±43.61b	706.25±18.26c	34.53±3.25a	42.61±0.84b	76.32±2.42b	8.62±0.73a	19.06±1.41a	0.488±0.033b
S3D3	9 676.25±43.54a	726.25±17.28b	33.56±3.16c	42.37±0.84c	77.21±2.45a	8.56±0.75b	18.93±1.42b	0.481±0.032c
S3D4	9 412.42±42.84c	742.15±18.25a	33.03±3.08d	42.12±0.85d	77.36±2.46a	8.52±0.74b	18.86±1.41b	0.447±0.033d
S4D1	9 105.62±41.28d	603.25±17.24c	34.05±3.02a	42.70±0.86a	76.23±2.41b	8.56±0.71a	18.96±1.38a	0.483±0.031a
S4D2	9 232.62±41.86c	665.25±18.48b	33.52±3.22b	42.67±0.84a	76.28±2.43b	8.54±0.73a	18.83±1.37b	0.475±0.032b
S4D3	9 324.28±42.03b	681.25±17.46a	33.23±3.21c	42.35±0.83b	76.94±2.44a	8.51±0.74b	18.46±1.36c	0.472±0.033c
S4D4	9 395.42±42.42a	698.25±19.78a	33.04±3.14c	42.05±0.85c	77.02±2.46a	8.49±0.73b	18.21±1.35d	0.472±0.034d

2.6.2 尧麦 31 产量结构 从表 2、3 可以看出,播期播量间对成穗数影响极显著,对穗粒数影响显著。同一播期随播量增加,成穗数显著增加($P<0.05$)。S1 和 S4 播期随播量增加穗粒数逐渐减少,S2 和 S3 播期随播量增加穗粒数先增加后减少。

S1 和 S2 播期随播量增加千粒质量先增加后降低,S3 和 S4 播期随播量增加千粒质量逐渐降低。不同播期随播量增加经济系数逐渐降低,4 个播量间差异显著($P<0.05$)。

表 3 产量和产量构成因素的方差分析(F值)

Tab.3 Variance analysis of yield and its components(F values)

变量 Variable	产量 Yield	成穗数 Effective spikes	穗粒数 Grain number per spike	千粒质量 1 000-grain weight
区组 Sector	0.165	3.617	1.013	0.061
播期 Sowing date	60.124**	1 596.022**	1.806	21.191**
播量 Sowing amount	2.213	1 124.278**	12.214**	7.368*
播期×播量 Sowing date×Sowing amount	10.521*	51.357**	4.208*	2.248

注:*和**分别表示 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 。表 4 同。

Note: * meant significant difference at $P<0.05$, ** meant extremely significant difference at $P<0.01$. The same as Tab.4.

2.6.3 尧麦 31 的产量 从表 2 可以看出, S1 播期下产量依次为 D1>D2>D3>D4, S2 播期下产量依次为 D2>D1>D3>D4, S3 播期下产量大小依次为 D3>D2>D1>D4, S4 播期下产量大小依次为 D4>D3>D2>D1, 产量平均变幅为 9 105.62~9 696.58 kg/hm²。方差分析表明, 播期播量间产量差异显著。由表 3 可知, 播期和播量互作对产量影响显著。

2.7 产量与产量构成因素的相关性分析

从表 4 可以看出, 成穗数和穗粒数呈显著负相关, 成穗数和千粒质量呈负相关, 成穗数和产量呈极显著正相关; 穗粒数与千粒质量呈显著正相关, 穗粒数与产量呈负相关; 千粒质量与产量呈显著正相关。可以看出, 产量结构三要素间是制约的关系, 需要协调好, 才能获得较高的产量。

表 4 尧麦 31 产量和产量构成因素的相关性

Tab.4 Correlation between yield and its components of Yaomai 31

指标 Index	成穗数 Effective spikes	穗粒数 Grain number per spike	千粒质量 1000-grain weight	产量 Yield
成穗数 Effective spikes	1.000			
穗粒数 Grain number per spike	-0.372*	1.000		
千粒质量 1 000-grain weight	-0.281	0.316*	1.000	
产量 Yield	0.669**	-0.289	0.453*	1.000

注: *表示在 0.05 水平下显著相关; **表示在 0.01 水平下极显著相关。

Note: * indicated significant correlation at the 0.05 level; ** indicated extremely significant correlation at the 0.01 level.

3 结论与讨论

3.1 播期播量对尧麦 31 群体结构的影响

适宜的播期播量可以创建优良群体结构^[20]。尧麦 31 属多穗型品种^[18], 成穗多是该品种取得高产的前提。在本试验中, 各生育时期总茎数表现为播期越早茎穗数越多, 最终成穗数以适播期的最多。这表明, 早播和晚播不利于尧麦 31 发挥成穗优势。早播使得尧麦 31 分蘖过多, 而晚播不利于冬前分蘖, 很难形成合理的群体。播期在 10 月 8—14 日, 播量 150~180 kg/hm² 有利于实现较多成穗数。播期推迟, 各生育期主茎叶片数减少。播量之间主茎叶片数没有明显的差异。成熟期主茎总叶片数大约为 14 叶。叶片数不同主要是由播期和小麦植株个体间发育不同引起的。这与杨吉福等^[21] 研究结果一致。

小麦 LAI 是反映小麦群体光合性能的重要指标, 调整播期播量可调节 LAI, 促进群体对光能的利用^[22]。本研究发现, 适宜的播期播量下, 叶面积指数较高, 原因是构建了合理的群体结构, 体现为产量增加。播期在 10 月 8—14 日时, D3 和 D4 播量孕穗期叶面积指数均达到了 9.5 以上, 并且孕穗后可较长时间维持较高的叶面积指数。

3.2 播期播量对尧麦 31 干物质积累量的影响

植株干物质积累可以反映群体的光合能力,

在一定范围内产量与花后干物质积累量呈显著正相关^[23]。刘阿康等^[24] 研究发现, 播期推迟小麦生长期积温减少, 植株生长延缓, 导致干物质积累量减少。适宜的播期播量可有效提高小麦地上部干物质积累量, 本研究发现, 尧麦 31 在 10 月 14 日播种时, 花后干物质积累量最高, 10 月 2 日播种时花后干物质积累量较低, 适播和晚播的花后干物质积累量较多, 这表明适播和晚播有利于增加花后干物质积累。这与前人的研究结论基本一致^[25-27]。

3.3 播期播量对尧麦 31 籽粒灌浆进程的影响

籽粒灌浆进程是小麦籽粒产量形成的重要因素之一。安霞等^[15] 研究发现, 冬小麦播期延后、播量增大, 灌浆渐增期的时间延长, 灌浆速率加大; 灌浆快增期差异不大; 灌浆缓增期, 灌浆速率有所降低。刘红杰等^[28] 研究表明, 冬小麦播期和密度互作效应主要影响灌浆速率和渐增期持续时间。本研究中, 播期延后, 尧麦 31 灌浆持续时间延长; 播量增大, 最大灌浆速率和各阶段灌浆速率先增加后降低, 这说明播期延迟, 不利于尧麦 31 籽粒灌浆速率的提高。这与前人的研究结果一致^[29-30]。

3.4 播期播量对尧麦 31 的农艺性状、产量结构及籽粒产量的影响

本研究表明, 各播期内随着播量的增加株高增高, 穗长变短, 小穗数减少。相同播量随着播期的推迟株高降低, 穗长、小穗数先增加后降低。不

同播期播量对产量及产量结构的影响均达显著水平。成穗数是决定产量的关键因素。不同播期播量对成穗数影响极显著,对穗粒数影响显著。同一播期随播量增加,成穗数显著增加。各播期随播量增加,千粒质量先增加后降低。这与崔兆韵等^[22]和林坤等^[31]研究的结论一致。从产量结果看,尧麦 31 最佳播期在 10 月 8—14 日,播量在 150~180 kg/hm²时,产量达 9 529.65~9 696.58 kg/hm²。研究表明,适期播种对于小麦产量的提高更明显,这与前人的研究较为一致^[8,32]。

适期播种更有利于尧麦 31 生长发育,使小麦的成穗数、穗粒数、千粒质量显著增加。在山西临汾地区,尧麦 31 适宜播期为 10 月 8—14 日,播量在 150~180 kg/hm²,可以获得较高的产量。

参考文献:

- [1] 李鑫格,高杨,刘小军,等. 播期播量及施氮量对冬小麦生长及光谱指标的影响[J]. 作物学报,2022,48(4):975-987.
LI X G, GAO Y, LIU X J, et al. Effects of sowing dates, sowing rates, and nitrogen rates on growth and spectral indices in winter wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 2022, 48 (4): 975-987.
- [2] 王欣,王才. 不同播期和播种量对冬小麦生长特征和产量的影响[J]. 作物杂志,2021(6):182-188.
WANG X, WANG C. Effects of different sowing dates and seeding rates on the growth characteristics and yield of winter wheat[J]. Crops, 2021(6):182-188.
- [3] 白露,李乐,连延浩,等. 播期对不同基因型小麦生育期、产量和品质性状的影响[J]. 生态学杂志,2021,40(10):3135-3146.
BAI L, LI L, LIAN Y H, et al. Effects of sowing date on growth period, yield, and quality-related traits of different genotypic wheat varieties[J]. Chinese Journal of Ecology, 2021, 40 (10):3135-3146.
- [4] 张伟,史晓芳,逯腊虎,等. 播期和播量对小麦临农 4357 生长发育及产量的影响[J]. 山西农业科学,2024,52(6):20-28.
ZHANG W, SHI X F, LU L H, et al. Effects of sowing date and seeding density on the growth development and yield of a new wheat variety Linnong 4357[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2024, 52(6):20-28.
- [5] 孔令英,张振,赵俊晔,等. 种植密度对宽幅播种小麦开花后旗叶光合特性和干物质积累与转运的影响[J]. 麦类作物学报,2024,44(12):1573-1579.
KONG L Y, ZHANG Z, ZHAO J Y, et al. Effects of planting density on photosynthetic characteristics and dry matter accumulation and transport in flag leaves of wheat after anthesis under wide-sowing conditions[J]. Journal of Triticeae Crops, 2024, 44(12):1573-1579.
- [6] 任爱霞,任婕,仝锦. 播量对探墒沟播旱地小麦籽粒产量及品质的影响[J]. 山西农业科学,2020,48(11):1791-1795.
REN A X, REN J, TONG J. Effects of sowing rate on grain yield and grain quality of dryland wheat under furrow sowing [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2020, 48 (11): 1791-1795.
- [7] 赵光杰. 播期和密度对扬麦 25 产量及产量构成因子的影响[J]. 安徽农学通报,2024,30(12):5-8.
ZHAO G J. Influence of sowing time and density on the yield and yield components of Yangmai 25[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2024, 30(12):5-8.
- [8] 马尚宇,王艳艳,刘雅男,等. 播期、播量和施氮量对小麦干物质积累、转运和分配及产量的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文),2020,28(3):375-385.
MA S Y, WANG Y Y, LIU Y N, et al. Effect of sowing date, planting density, and nitrogen application on dry matter accumulation, transfer, distribution, and yield of wheat[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(3):375-385.
- [9] 陈洁,周星,王振,等. 播期播量对宁麦 13 产量及其构成因素的影响[J]. 浙江农业科学,2022,63(8):1646-1649.
CHEN J, ZHOU X, WANG Z, et al. Effect of sowing date and density on yield and its components of wheat variety Ningmai 13 [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2022, 63 (8): 1646-1649.
- [10] 苏玉环,刘庆芳,马永安,等. 播期和密度及其互作对小麦群体茎数及产量的影响[J]. 河北农业科学,2020,24(5):29-34.
SU Y H, LIU Q F, MA Y A, et al. Effects of sowing date, density and their interaction on stem number and yield of wheat[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2020, 24 (5):29-34.
- [11] 朱金英,魏龙雪,李华伟,等. 不同地区小麦穗部性状和产量对播期的响应[J]. 安徽农业科学,2023,51(7):33-35.
ZHU J Y, WEI L X, LI H W, et al. Response of ear traits and yield to sowing date of wheat in different regions[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2023, 51(7):33-35.
- [12] 曹燕燕,李雷雷,于蕾,等. 播期播量对小麦新品种漯麦 163 产量及其构成因素的影响[J]. 陕西农业科学,2021,67(10):98-102.
CAO Y Y, LI L L, YU L, et al. Effect of sowing date and amount on yield and components of new wheat variety 'Luomai 163'[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2021, 67 (10):98-102.
- [13] 张福彦,陈晓杰,李好海,等. 不同播期和密度对小麦新品种航宇 19 产量及其构成要素的影响[J]. 山东农业科学,2023,55(8):27-33.
ZHANG F Y, CHEN X J, LI H H, et al. Effects of different sowing dates and densities on yield and its components of new wheat variety Hangyu 19[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2023, 55(8):27-33.
- [14] 易媛,马红勃,王静,等. 播期和播量对不同穗型小麦品种群体性状和产量的影响[J]. 河南农业科学,2022,51(7):13-21.
YI Y, MA H B, WANG J, et al. Effects of sowing date and seeding rate on population characteristics and yield of wheat with different spike types[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2022, 51(7):13-21.
- [15] 安霞,张海军,蒋方山,等. 播期播量对不同穗型冬小麦群体及籽粒产量的影响[J]. 作物杂志,2018(5):132-136.
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): 132-136.
- [16] 张凡, 韩勇, 薛鑫, 等. 播期对不同类型小麦农艺性状及产量构成的影响[J]. *山西农业科学*, 2017, 45(9): 1441-1444.
ZHANG F, HAN Y, XUE X, et al. Effect of sowing date on the agronomic characters and yield components of different wheat varieties[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2017, 45(9): 1441-1444.
- [17] 张慎举, 张静, 郭振升, 等. 豫东平原‘郑麦 1860’不同播期播量试验的超高产效应[J]. *中国农学通报*, 2024, 40(17): 14-20.
ZHANG S J, ZHANG J, GUO Z S, et al. The super high yield effect of different sowing date and quantity experiments on ‘Zhengmai 1860’ in eastern Henan Plain[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2024, 40(17): 14-20.
- [18] 史晓芳, 逯腊虎, 张婷, 等. 高产稳产广适小麦新品种尧麦 31 的选育及栽培技术要点[J]. *农业科技通讯*, 2023(5): 190-192.
SHI X F, LU L H, ZHANG T, et al. Breeding and cultivation techniques of a new wheat variety Yaomai 31 with high and stable yield and wide adaptability[J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2023(5): 190-192.
- [19] 中华人民共和国农业农村部. 农作物品种试验信息化技术规程 小麦: NY/T 1301—2025[S]. 北京: 中国标准出版社, 2025.
The Ministry of Agriculture of the People’s Republic of China. Technical regulations for the information technology of crop variety trials wheat: NY/T 1301-2025[S]. Beijing: China Standards Press, 2025.
- [20] 陈巧艳, 李新华, 王紫娟, 等. 晚播和密度对百农 207 产量及相关农艺性状的影响[J]. *河南科技学院学报(自然科学版)*, 2021, 49(6): 1-7.
CHEN Q Y, LI X H, WANG Z J, et al. Effects of sowing date and density on yield and related agronomic characters of Bainong 207[J]. *Journal of Henan Institute of Science and Technology(Natural Sciences Edition)*, 2021, 49(6): 1-7.
- [21] 杨吉福, 刁立功, 赵海涛, 等. 播期播量对胶东小麦植株性状及产量的影响[J]. *作物杂志*, 2013(3): 93-95.
YANG J F, DIAO L G, ZHAO H T, et al. Influences of sowing time and density on plant characteristics and yield of wheat in Jiaodong Peninsula[J]. *Crops*, 2013(3): 93-95.
- [22] 崔兆韵, 邹俊丽, 徐祎, 等. 不同播期对小麦‘泰科麦 31’干物质积累转运及产量的影响[J]. *农学学报*, 2023, 13(8): 11-17.
CUI Z Y, ZOU J L, XU Y, et al. Effects of different sowing dates on dry matter accumulation and transport and yield of wheat ‘Taikemai 31’[J]. *Journal of Agriculture*, 2023, 13(8): 11-17.
- [23] 吕广德, 殷复伟, 王超, 等. 不同播种量对小麦泰科麦 33 干物质积累转运、旗叶光合特性及产量构成的影响[J]. *江苏农业学报*, 2021, 37(1): 16-28.
LÜ G D, YIN F W, WANG C, et al. Effects of sowing amounts on dry matter accumulation and distribution, photosynthetic characteristics of flag leaves and yield composition of wheat TKM 33[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 37(1): 16-28.
- [24] 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): 1771-1786.
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): 1771-1786.
- [25] 田文强, 王泓懿, 聂凌帆, 等. 播期和播量对超晚播小麦群体生长、干物质积累及产量的影响[J]. *作物杂志*, 2025(2): 115-122.
TIAN W Q, WANG H Y, NIE L F, et al. The effects of sowing date and sowing rate on the growth, dry matter accumulation and yield of extremely late-sown wheat population[J]. *Crops*, 2025(2): 115-122.
- [26] 姜丽娜, 张雅雯, 朱娅林, 等. 不同小麦品种籽粒灌浆特性及产量研究[J]. *华北农学报*, 2019, 34(3): 96-101.
JIANG L N, ZHANG Y W, ZHU Y L, et al. A study on grain filling characteristics and yield in different wheat varieties[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2019, 34(3): 96-101.
- [27] 赵立尚, 王香生, 高楠楠, 等. 2 种基因型小麦间作对籽粒灌浆特性及产量的影响[J]. *河南农业科学*, 2023, 52(8): 18-25.
ZHAO L S, WANG X S, GAO N N, et al. Effects of intercropping of two genotypes of wheat on grain filling characteristics and yield[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2023, 52(8): 18-25.
- [28] 刘红杰, 任德超, 倪永静, 等. 播期和密度对冬小麦开花后干物质转运及灌浆特征参数的影响[J]. *江苏农业学报*, 2022, 38(5): 1227-1237.
LIU H J, REN D C, NI Y J, et al. Effects of seeding date and density on dry matter transport and filling characteristic parameters of winter wheat after anthesis[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 38(5): 1227-1237.
- [29] 张霞, 夏清, 杨珍平, 等. 晚播条件下播期与播量对小麦籽粒灌浆特性的影响[J]. *山西农业科学*, 2019, 47(2): 173-179.
ZHANG X, XIA Q, YANG Z P, et al. Effects of sowing date and rate on grain filling characteristics of strong gluten wheat under late sowing conditions[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2019, 47(2): 173-179.
- [30] 陈猛, 梁雪齐, 李玲, 等. 种植密度对匀播冬小麦籽粒灌浆及产量的影响[J]. *新疆农业科学*, 2022, 59(6): 1338-1346.
CHEN M, LIANG X Q, LI L, et al. Effects of planting densities on grain filling and grain yield of uniformly sown winter wheat[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2022, 59(6): 1338-1346.
- [31] 林坤, 郭凤芝, 郭凌云, 等. 不同播期和密度对荷麦 28 产量及其构成因素的影响[J]. *山东农业科学*, 2021, 53(5): 157-161.
LIN K, GUO F Z, GUO L Y, et al. Effects of sowing date and planting density on yield and its components of Hemai 28[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2021, 53(5): 157-161.
- [32] 史晓芳, 逯腊虎, 张婷, 等. 播期和播量对冬小麦‘临远 8 号’产量形成的影响[J]. *中国农学通报*, 2020, 36(12): 10-17.
SHI X F, LU L H, ZHANG T, et al. Sowing date and amount affect yield formation of winter wheat ‘Linyuan8’[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(12): 10-17.