

# 不同播期和播种量对冬小麦生长特征和产量的影响

王欣<sup>1</sup> 王才<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>驻马店市农业经营管理指导站, 463000, 河南驻马店; <sup>2</sup>河南省驻马店农业学校, 463000, 河南驻马店)

**摘要** 为研究播期和播种量对冬小麦生长和产量的影响, 设置 3 个播期和 3 个播种量, 研究小麦干物质积累转运、叶面积和群体光能截获以及产量的变化特征。结果表明, 随播期的推迟, 干物质积累量降低, 每推迟 1 个播期, 干物质积累降低 0.13~0.37t/hm<sup>2</sup>, 花前干物质转运量随播期的推迟呈降低趋势, 随播种量增加而增加。花后光合同化物积累量则随播期的推迟呈先升高后降低的趋势, 随播种量的增加逐渐降低。光能利用率随播期推迟和播种量增加均呈先增加后减小的趋势。在 10 月 4 日播种, 播种量 160kg/hm<sup>2</sup> 时, 花后干物质同化物较多, 光能利用率达到最大值, 2 年平均产量达到最大值, 为 8257.84kg/hm<sup>2</sup>, 是适合当地的播期和播种量种植组合。

**关键词** 小麦; 播期; 播种量; 产量

小麦作为中国最重要的粮食作物之一, 在粮食生产中起着重要作用, 河南省是我国最大的小麦生产省, 小麦产量占全国总产量的 28% 以上, 为我国粮食安全做出了巨大的贡献<sup>[1]</sup>。然而, 近年来, 随着全球极端天气的频发, 冬前积温明显增加, 暖冬现象频发, 过早播种导致小麦越冬前生长过快, 容易遭受低温冻害等胁迫, 而过晚播种又会使小麦个体偏弱, 群体质量差, 影响产量和品质<sup>[2]</sup>。实践证明, 播期和密度等条件都是影响小麦抗性 & 产量的重要因素<sup>[3]</sup>。适宜的播期和播种量能够使小麦充分利用光、热、水、气等自然资源, 创建优良小麦群体, 有利于穗数、穗粒数和粒重的协调发展以获得高产<sup>[4]</sup>。适期播种能够在冬前形成壮苗, 有利于分蘖的发生及干物质的积累, 使小麦安全越冬, 为其中后期稳定生长发育奠定基础。播种密度也是影响小麦产量形成的重要因素, 通过影响小麦不同生育时期的群体结构, 决定小麦群体对光能利用水平、干物质生产与转运能力, 从而影响最终产量<sup>[5]</sup>。有研究<sup>[6]</sup>认为, 播期和密度存在密切的联系, 推迟播期使得小麦分蘖能力减弱, 单位面积穗数减少, 穗数、穗粒数、千粒重不能协调发展, 导致产量降低, 因此当播期推迟, 可通过增加密度来弥补分蘖数的不足, 以获得较高产量。衣政伟等<sup>[7]</sup>研究表明, 在苏中地区, 小麦于 11 月上旬播种, 播种量为 450kg/hm<sup>2</sup> 时产量较好。汪娟梅等<sup>[8]</sup>研究认为, 关

中部灌区小麦于 10 月 14 日左右播种, 播种量为 130~207kg/hm<sup>2</sup> 最适宜。本试验连续 2 个年度于河南省驻马店市研究不同播期和播种量对小麦干物质积累与转运特征、产量及其构成因素变化特征的影响, 明确小麦最佳群体结构, 优化栽培技术, 为小麦增产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2017~2019 年在河南省驻马店市西平县二郎乡张尧村进行, 该地地处黄淮海平原南部, 年均气温 14.8℃, 年均降雨量 852mm, 无霜期 221d, 种植制度为冬小麦—夏玉米一年两熟制, 供试土壤为砂姜黑土, 耕层土壤有机质 11.87g/kg、全氮 1.23g/kg、有效磷 22.49mg/kg、速效钾 115.27mg/kg。

### 1.2 试验材料

供试小麦品种百农 207 属半冬性中晚熟品种, 分蘖力较强, 成穗率中等, 株型松紧适中, 茎秆粗壮, 抗倒性强, 穗粒数 35.6, 千粒重 41.7g。试验肥料分别为尿素 (N 46%)、过磷酸钙 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%) 和氯化钾 (K<sub>2</sub>O 60%)。

### 1.3 试验设计

试验采用双因素完全随机设计, 设置 3 个播期, 分别为 9 月 24 日 (S1)、10 月 4 日 (S2) 和 10 月 14 日 (S3), 设置 3 个播种量, 分别为 120 (D1)、

作者简介: 王欣, 研究方向为农业技术与推广, E-mail: mta2418@163.com

王才为通信作者, 研究方向为农业职业教育, E-mail: jjuwhe@163.com

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0200100)

收稿日期: 2021-05-14; 修回日期: 2021-08-23; 网络出版日期: 2021-10-22

160 (D2) 和 240kg/hm<sup>2</sup> (D3)。共 9 个处理, 分别为 S1D1、S1D2、S1D3、S2D1、S2D2、S2D3、S3D1、S3D2 和 S3D3。在小麦播种前将全部玉米秸秆粉碎后翻压还田, 播种前施入氮肥(N)90kg/hm<sup>2</sup>, 磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)120kg/hm<sup>2</sup>, 钾肥(K<sub>2</sub>O)120kg/hm<sup>2</sup>, 在拔节期追施氮肥(N)120kg/hm<sup>2</sup>。小区面积 45m<sup>2</sup> (15m×3m), 其他管理按照当地高产栽培田要求进行。

#### 1.4 测定项目与方法

1.4.1 群体干物质积累量 分别于拔节期、开花期和成熟期在每小区选择长势一致、生长健壮的植株 30 株带回室内, 将茎秆、叶片、穗、籽粒和颖壳分开处理, 105℃下杀青 30min, 80℃烘干至恒重, 进行称重, 测定干物质。

参考杨佳佳等<sup>[9]</sup>的方法计算干物质转运参数: 营养器官花前贮藏干物质转运量(t/hm<sup>2</sup>)=开花期干重-成熟期干重(不含籽粒); 营养器官花前贮藏干物质转运率(%)=(开花期干重-成熟期干重)/开花期干重×100; 花前贮藏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; 花后光合同化物积累量(t/hm<sup>2</sup>)=成熟期籽粒干重-营养器官花前贮藏物质运转量; 花后光合同化物贡献率(%)=花后光合同化物积累量/成熟期籽粒干重×100。

1.4.2 叶面积指数和冠层光合有效辐射 使用 LI-3000 (美国) 测定叶面积指数(leaf area index, LAI), 分别在开花 0d、花后 7d 和花后 14d 选择无云的晴朗天气进行测定。在小麦花后 7d 用作物冠层分析仪(Sunscan, 英国)测定冠层光合有效辐射(PAR)和近地面光合有效辐射(TPAR), 测定时光传感器跨越 4 行小麦, 与小麦种植行向呈 45°方向水平放置, 探头感光面向上; 外置探头水平放置于麦穗上方 50cm 处, 测定自然光照下的 PAR。

参考孔令英等<sup>[10]</sup>的方法计算冠层光合有效辐射截获量(IPAR)、截获率(CaR)、透射率(PeR)、光合有效辐射转化率(PCE)和光合有效辐射利用率(PUE)。公式如下, CaR(%)=(PAR-TPAR)/PAR×100; PeR(%)=TPAR/PAR×100; IPAR=R×CaR×0.5; PCE=(成熟期干物质质量-开花期干物质质量)/IPAR; PUE=IPAR/R×PCE。

式中, R 表示实际光合有效辐射总量, 数据来源于试验基地气象观测站。

1.4.3 产量及其构成因素 小麦成熟收获前, 从各小区选取 1m<sup>2</sup> 的样点调查穗数, 另取 30 株进行室内考种, 调查穗粒数, 籽粒晾干后, 数 500 粒, 称重。每小区收获保留完整的 4m<sup>2</sup>, 自然晾干后称重, 并折合为单位面积产量。

#### 1.5 数据处理

采用 Excel 2013 进行数据初步分析和图表制作, 采用 SPSS 19.0 统计软件进行方差分析, 采用新复极差多重比较法(Duncan)进行差异显著性检验(α=0.05)。

### 2 结果与分析

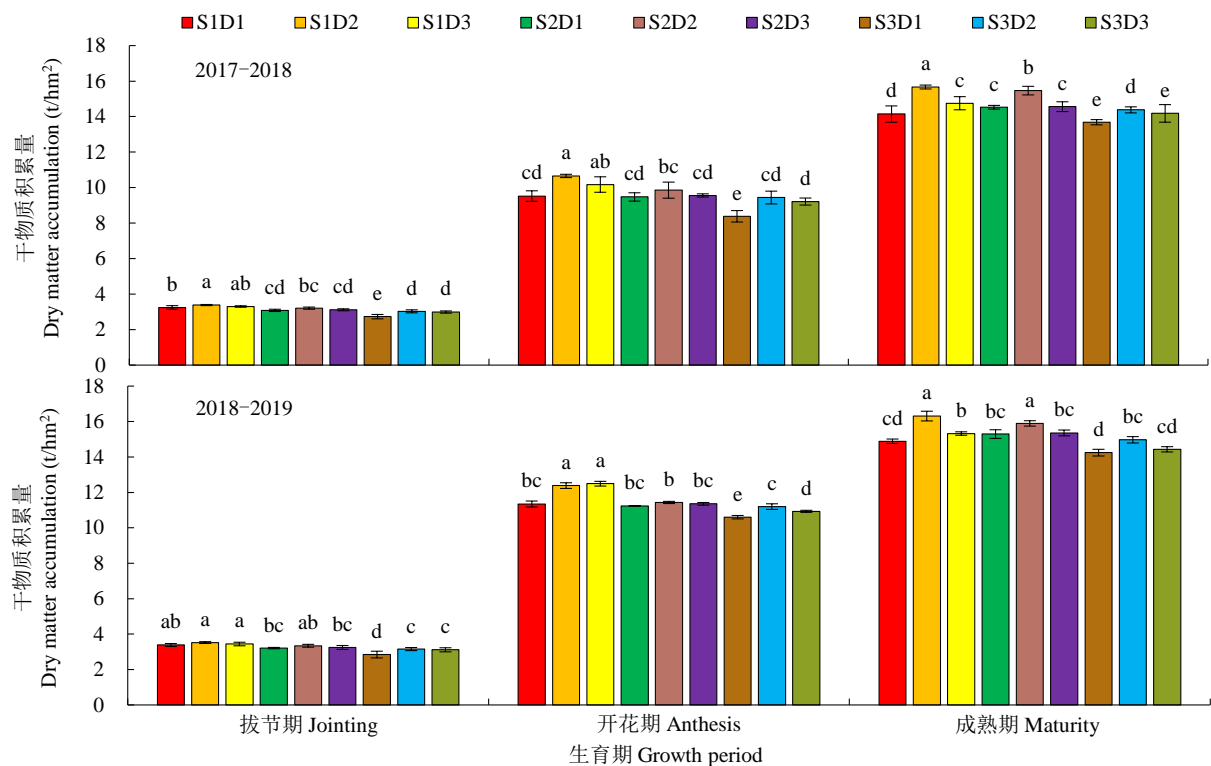
#### 2.1 不同播期和播种量对冬小麦干物质积累的影响

干物质积累是产量形成的基础。由图 1 可知, 随着生育进程的推进, 小麦干物质积累量逐渐增加。在 2017-2018 年拔节期, 随播期的推移, 干物质积累量降低, 每推迟 1 个播期, 干物质积累量降低 0.13~0.37t/hm<sup>2</sup>。随播种量的增加, 干物质积累量呈先增加后减小的趋势, S1D2 处理干物质积累量达到最大值, 与 S1D3 处理没有显著差异, 但显著高于其他处理。开花期的变化趋势与拔节期相似, 随播期的推移, 干物质积累量降低, 每推迟 1 个播期, 干物质积累降低 0.42~1.14t/hm<sup>2</sup>, 变化幅度较拔节期大。在成熟期, S1D2 处理干物质积累量最大, 显著高于其他处理。

2018-2019 年干物质积累量变化趋势和 2017-2018 年相似。在拔节期, S1D2 处理的干物质积累量最大, 与 S1D1、S1D3 和 S2D2 处理差异不显著; 在开花期, S1D3 处理的干物质积累量最大, 与 S1D2 差异不显著; 在成熟期, S1D2 处理的干物质积累量最大, 除了 S2D2 处理外, 与其他处理差异均达到显著水平。整体上, 2018-2019 年干物质积累量略高于 2017-2018 年。

#### 2.2 不同播期和播种量对冬小麦干物质转运的影响

由表 1 可知, 播期和播种量对冬小麦花前干物质和花后光合同化物的分配有显著影响。在 2017-2018 年, 花前干物质转运量 2.03~3.87t/hm<sup>2</sup>, S1D3 处理转运量最大, 其次是 S1D2 处理, 随播期的推迟, 花前干物质转运量呈降低趋势; 花前干物质转运率为 24.37%~37.95%, 在 S1 和 S3 播期下, 随播种量增加而增加, 在 S2 播期下, 随播种量增加而降低; 花前干物质贡献率在 32.27%~61.35%, 各处



不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同  
Different lowercase letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ ), the same below

图 1 不同播期和播种量对冬小麦干物质积累的影响  
Fig.1 The effects of different sowing dates and seeding rates on dry matter accumulation of winter wheat

		花前干物质 Preanthesis dry matter			花后光合同化物 Photoassimilate after flowering	
年份 Year	处理 Treatment	转运量 Translocation amount (t/hm <sup>2</sup> )	转运率 Translocation rate (%)	贡献率 Contribution rate (%)	积累量 Accumulation (t/hm <sup>2</sup> )	贡献率 Contribution rate (%)
2017-2018	S1D1	3.21±0.38b	33.61±2.91bc	50.77±6.27bc	3.11±0.21c	49.23±3.27de
	S1D2	3.81±0.78a	35.71±0.53ab	55.54±1.28ab	3.05±0.10c	44.46±1.28ef
	S1D3	3.87±0.32a	37.95±1.67a	61.35±6.20a	2.44±0.25d	38.65±6.20f
	S2D1	2.94±0.15bc	31.01±1.77cd	45.02±3.76cde	3.60±0.28bc	54.98±3.76bcd
	S2D2	3.01±0.12bc	30.44±2.98cde	43.94±6.25cde	3.84±0.26ab	56.06±6.25bcd
	S2D3	2.62±0.23c	27.42±2.21ef	37.87±4.20ef	4.31±0.39a	62.13±4.20ab
	S3D1	2.03±0.22d	24.37±1.64f	32.27±2.88f	4.29±0.13a	67.73±2.88a
	S3D2	2.83±0.24bc	29.91±1.44de	42.72±2.96de	3.79±0.15ab	57.28±2.96bc
	S3D3	2.98±0.25bc	32.28±2.33bcd	47.78±5.00bcd	3.26±0.40bc	52.22±5.00cde
2018-2019	S1D1	3.17±0.65bc	27.93±0.16b	47.21±1.39b	3.54±0.14d	52.79±1.39b
	S1D2	3.35±0.31b	27.01±2.17bc	46.00±3.49b	3.93±0.25bc	54.00±3.49b
	S1D3	4.02±0.13a	32.20±0.68a	58.68±1.24a	2.83±0.60e	41.32±1.24c
	S2D1	2.55±0.64e	22.68±0.58d	38.65±1.59c	4.05±0.26b	61.35±1.59a
	S2D2	2.89±0.21cd	25.29±1.75c	39.27±1.34c	4.46±0.09a	60.73±1.34a
	S2D3	2.86±0.48d	25.21±0.30c	41.72±1.73c	4.00±0.24b	58.28±1.73a
	S3D1	3.30±0.19b	31.16±1.65a	47.55±2.55b	3.64±0.17cd	52.45±2.55b
	S3D2	3.41±0.17b	30.49±1.12a	47.50±1.03b	3.77±0.43bcd	52.50±1.03b
	S3D3	3.34±0.22b	30.68±1.91a	48.91±1.30b	3.50±0.15d	51.09±1.30b

同列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同  
Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ( $P < 0.05$ ), the same below

理间差异较大, 在 S1 和 S3 播期下随播种量增加而 增加, 在 S2 播期下随播种量增加而降低, 在 D1 和

D2 播种量下，随播期的推迟逐渐降低，在 D3 播种量下，随播期的推迟先降低后升高；花后光合同化物积累量在 2.44~4.31t/hm<sup>2</sup> 间，S2D3 处理的积累量最大；花后光合同化物贡献率为 38.65%~67.73%，随播期的推迟呈先升高后降低的趋势，在 S1 和 S3 播期时，随播种量的增加逐渐降低，在 S2 播期时，随播种量的增加逐渐增加。

在 2018–2019 年，大部分处理间存在明显差异，花前干物质贡献率在 38.65%~58.68%，随播期的推迟呈先降低后升高的趋势，在 S1 和 S3 处理下，随播种量的增加呈先降低后升高的趋势，在 S2 处理下，随播种量的增加呈逐渐升高的趋势，S1D3 处理最高；花后光合同化物贡献率为 41.32%~61.35%，

随播期的推迟呈先升高后降低的趋势，S2D1 处理花后光合同化物贡献率最大。

### 2.3 不同播期和播种量对冬小麦 LAI 的影响

叶片是植物进行光作用的重要器官，LAI 的大小反映光合群体的大小，是决定植被生产力的关键要素。由图 2 可知，随花后天数的延长，小麦 LAI 呈逐渐降低的变化趋势，LAI 随播期的推迟呈逐渐降低的趋势，随播种量的增加呈先升高后降低的变化趋势，在 2017–2018 年，各时期均是 S1D2 处理最大，并显著高于其他处理，在 2018–2019 年，各时期也是 S1D2 处理最大，与 S2D2 和 S1D3 处理没有显著差异，2 年变化趋势基本一致，2018–2019 年 LAI 略大于 2017–2018 年。

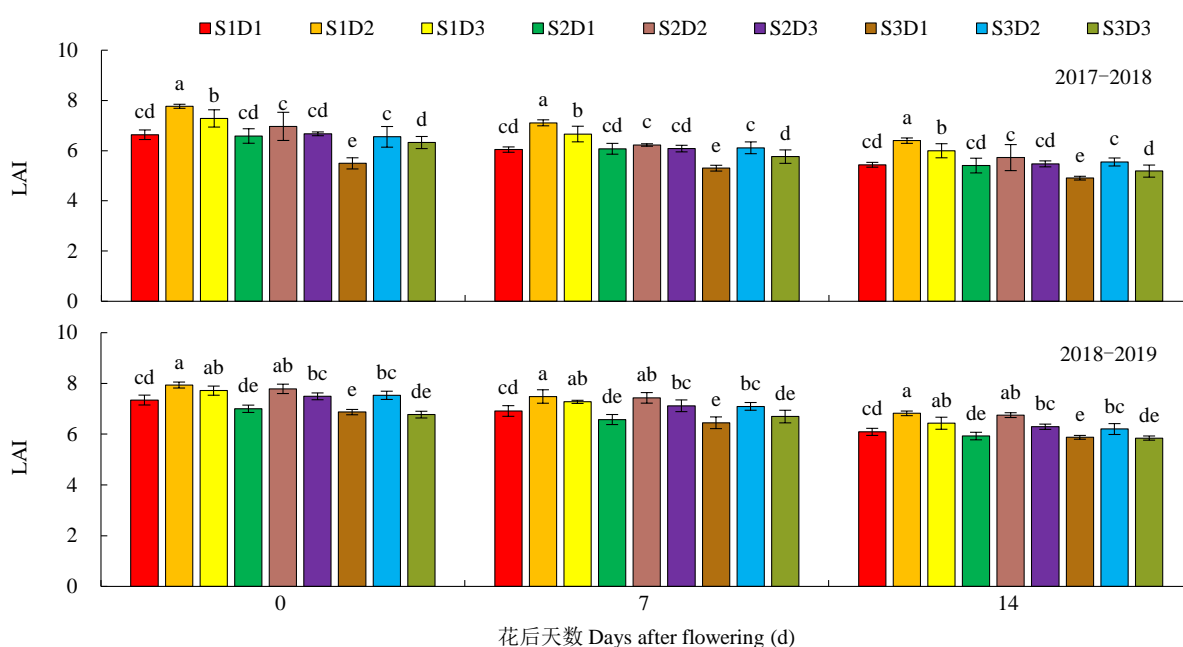


图 2 不同播期和播种量对冬小麦 LAI 的影响

Fig.2 The effects of different sowing dates and seeding rates on LAI of winter wheat

### 2.4 不同播期和播种量对冬小麦冠层光合有效辐射及光能利用率的影响

冠层光能截获及透射率是反映冠层结构的重要指标。由表 2 可知，播期和播种量对冠层的光能截获及利用率有显著影响。在 2017–2018 年，光能截获量随播期的推迟呈逐渐减小的趋势，同一播期处理下，随播种量的增加呈先增加后减小的趋势，S1D2 处理的光能截获量最大，除 S1D3 处理外，显著高于其他处理；光能截获率和截获量呈正相关，变化趋势一致，在 S1D2 处理时达到最大值；透射率与截获率变化趋势相反，在 S3D1 处理时达到最大值，S1D2 处理达到最小值，说明该处理漏光损

失较小。

在 2018–2019 年，光能截获量和截获率在 S2D2 处理达到最大值，透射率在 S3D1 处理最大，S2D2 处理最小，光能利用率随播期的推迟和播种量的增加均呈先升高后降低的趋势，在 S2D2 处理达到最大值，2 年变化趋势相似，2018–2019 年光能截获率大于 2017–2018 年，光能利用率小于 2017–2018 年。

### 2.5 不同播期和播种量对冬小麦产量及其构成因素的影响

由表 3 可知，不同播期和播种量对小麦产量及其构成因素有显著影响，在 2017–2018 年，穗数在 D1 和 D2 处理下随播期的推迟呈逐渐增加的趋势，

表 2 不同播期和播种量对冬小麦冠层光合有效辐射及光能利用率的影响  
Table 2 Effects of different sowing dates and seeding rates on photosynthetically active radiation and light use efficiency of winter wheat canopy

年份 Year	处理 Treatment	截获量 Interception (MJ/m <sup>2</sup> )	截获率 Capture ratio (%)	透射率 Penetration ratio (%)	光能利用率 Light use efficiency (g/MJ)
2017-2018	S1D1	8.72±0.03b	92.89±0.56b	7.11±0.56g	1.08±0.09bc
	S1D2	8.86±0.03a	94.54±0.12a	5.46±0.12h	1.21±0.04ab
	S1D3	8.84±0.02a	92.96±0.59b	7.04±0.59g	1.10±0.05bc
	S2D1	8.56±0.02d	89.73±0.09e	10.27±0.09d	1.14±0.07bc
	S2D2	8.62±0.03c	91.60±0.17c	8.40±0.17f	1.28±0.12a
	S2D3	8.46±0.02e	90.57±0.19d	9.43±0.19e	1.10±0.08bc
	S3D1	8.37±0.02f	86.03±0.62h	13.97±0.62a	1.14±0.09abc
	S3D2	8.44±0.02e	88.68±0.10f	11.32±0.10c	1.08±0.04bc
	S3D3	8.34±0.03f	87.41±0.67g	12.59±0.67b	1.06±0.11c
2018-2019	S1D1	8.61±0.09bc	90.85±0.01bc	9.15±0.01cd	0.86±0.03de
	S1D2	8.70±0.03a	92.51±0.48a	7.49±0.48e	0.97±0.06b
	S1D3	8.57±0.02c	91.26±0.87b	8.74±0.87d	0.78±0.01f
	S2D1	8.69±0.07ab	90.35±0.50c	9.65±0.50c	1.00±0.08b
	S2D2	8.71±0.06a	92.56±0.43a	7.44±0.43e	1.10±0.02a
	S2D3	8.48±0.02d	91.20±0.42b	8.80±0.42d	0.94±0.05bc
	S3D1	8.40±0.01ef	86.30±0.62e	13.70±0.62a	0.84±0.04de
	S3D2	8.47±0.02de	89.02±0.11d	11.04±0.10b	0.88±0.01cd
	S3D3	8.36±0.03f	88.96±0.10d	10.98±0.11b	0.80±0.03e

在 D3 处理下随播期的推迟呈先增加后减少的趋势，S2D3 处理达到最大值；穗粒数随播期的推迟呈先增加后减少的趋势，随播种量的增加逐渐减少，S2D1 处理达到最大值，与 S1D1 处理差异不显著，但显著高于其他处理；千粒重变化趋势和穗粒

数相似，S3D1 处理达到最大值，与 S1D1 和 S2D1 处理差异不显著，显著高于其他处理；产量在 S2D3 处理达到最大值，其次是 S1D2 和 S2D2 处理。在 2018-2019 年，穗数在 S3 播期时随播种量的增加呈先升高后降低的趋势，在 S2D2 处理达到最大值，

表 3 不同播期和播种量对冬小麦产量及其构成因素的影响  
Table 3 The effects of different sowing dates and seeding rates on winter wheat yield and its components

年份 Year	处理 Treatment	穗数 Ear number (×10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> )	穗粒数 Grains per spike	千粒重 1000-grain weight (g)	产量 Yield (kg/hm <sup>2</sup> )
2017-2018	S1D1	461.16±4.08f	36.46±0.37ab	43.68±0.11ab	7345.65±104.83de
	S1D2	520.30±6.14d	35.18±0.46bc	43.53±0.23bc	7966.88±67.22ab
	S1D3	530.15±4.83bcd	33.09±0.49de	41.81±0.26f	7335.20±175.83de
	S2D1	465.59±6.04f	37.37±1.43a	43.69±0.54ab	7600.92±326.65cd
	S2D2	525.05±3.11cd	35.39±1.28bc	42.87±0.29de	7963.72±204.11ab
	S2D3	556.86±9.08a	34.29±0.64cd	41.91±0.21ef	8066.73±194.61a
	S3D1	480.52±7.27e	34.72±0.72c	44.18±0.48a	7368.15±134.54cde
	S3D2	542.10±9.61b	32.95±0.60de	43.05±0.49cd	7689.46±150.82bc
	S3D3	533.79±11.54bc	32.44±0.48e	41.89±0.30f	7253.29±220.74e
2018-2019	S1D1	477.35±3.93c	37.23±0.27a	43.91±0.81ab	7523.45±266.55d
	S1D2	530.95±3.04b	36.67±0.73abc	43.42±0.50abc	8456.05±302.60ab
	S1D3	538.51±2.92ab	35.21±0.43de	42.04±0.73c	8046.46±140.32cd
	S2D1	475.06±7.20c	36.51±0.18abc	44.25±1.11ab	7675.46±308.97d
	S2D2	549.08±6.44a	35.86±0.74cd	43.43±1.14abc	8551.96±353.58a
	S2D3	545.24±6.65ab	34.74±0.86e	42.15±0.69c	8364.67±149.08cd
	S3D1	490.05±7.19c	36.85±0.17ab	44.74±0.95a	7932.65±272.61bcd
	S3D2	535.17±8.12ab	36.07±0.33bcd	43.28±0.61bc	8355.70±234.30abc
	S3D3	536.84±21.11ab	35.24±0.39de	42.12±0.43c	8116.12±197.24cd

穗粒数变化趋势和 2017–2018 年一致，在 S1D1 处理时达到最大值；千粒重在 S3D1 处理达到最大值；产量在 S2D2 处理达到最大值，其次是 S1D2。2018–2019 年各处理产量均高于 2017–2018 年。

### 3 讨论

#### 3.1 不同播期和播种量对冬小麦干物质积累的影响

地上部植株干物质积累量反映群体的光合能力，与籽粒产量呈显著正相关<sup>[11]</sup>。适宜的播期和播种量可有效提高小麦干物质积累量，研究<sup>[12]</sup>表明，播期推迟、积温减少使植株生长延缓是导致干物质积累量减少的主要原因，小麦干物质积累量与播种量也紧密相关，随着种植密度的增加而增加，但超过一定密度时呈现下降趋势。本研究结果表明，随播期的推迟，干物质积累量降低，每推迟 1 个播期，干物质积累量降低 0.13~0.37t/hm<sup>2</sup>，干物质积累量随播种量的增加呈先增加后减小的趋势，各处理在 S1D2 处理达到最大值，其次是 S2D2 处理，主要是由于随播期的推迟，小麦分蘖减少引起群体数量下降，而播种量的增加提高了小麦的基本苗，但是播种量过高，群体间竞争加大，导致干物质积累量减小。

#### 3.2 不同播期和播种量对冬小麦干物质转运的影响

产量与干物质积累有着密切的关系，干物质的转运能力和转运效率对产量形成起着决定性作用<sup>[13]</sup>。研究<sup>[14]</sup>表明，花前干物质积累量提高能有效促进花前干物质向籽粒的转运。籽粒产量与抽穗后干物质积累量显著相关。有研究<sup>[15]</sup>表明，花后光合同化物积累量对籽粒产量影响显著，花后光合同化物积累量对籽粒产量贡献率可达 65% 以上。干物质转运率受灌浆速率和持续时间的综合影响<sup>[16]</sup>，本研究表明，随播期的推迟，花前干物质转运量呈降低的趋势，而随播种量的增加而增加。花后光合同化物积累量则随播期的推迟呈先升高后降低的趋势，随播种量的增加逐渐降低，可能是由于播期推迟导致小麦库的转运时间推移，缩短了灌浆持续时间。

#### 3.3 不同播期和播种量对冬小麦 LAI 的影响

小麦 LAI 与光能截获率呈显著相关关系，调整播期和种植密度可调节 LAI，使光能截获率在适宜的条件达到最大值，促进群体对光能的利用<sup>[17]</sup>。有研究<sup>[18]</sup>表明，调整播期，可改变小麦冠层群体结构，增加种植密度能够减少小麦漏光损失，提高光

能截获量。本研究表明，光能截获率随播期的推迟呈逐渐减小的趋势，在同一播期处理下，随播种量的增加呈先增加后减小的趋势，而光能量利用率随播期和播种量均呈先增加后减小的趋势，在 10 月 4 日播种，播种量为 160kg/hm<sup>2</sup> 时达到最大值，说明适宜的播期和播种量可促进小麦对光能的有效利用，有利于构建合理群体结构和提高干物质积累量。

#### 3.4 不同播期和播种量对冬小麦产量及光能利用率的影响

建立合理的群体结构是实现目标产量的关键。研究<sup>[19]</sup>表明，不同播期和密度处理对小麦产量及其构成因素都有影响，播期推迟的减产效应可通过增加种植密度来改善，种植密度是调控群体结构的基础，对群体数量和产量构成起着决定性的作用。有研究<sup>[20]</sup>认为，小麦群体有效穗数随着种植密度的增加逐渐增加，而穗粒数和千粒重则呈下降趋势。本研究结果表明，在 D1 处理下，早播可形成较高的产量，而在 D3 处理下晚播有利于产量形成，主要是 D1 播种量早播有利于个体生长发育和有效分蘖形成，播期为 10 月 4 日、播种量 160kg/hm<sup>2</sup> 时产量最高，一方面是播种量的增加显著增加了有效穗数，协调了穗粒数和千粒重之间的关系，另一方面，播期和播种量引起小麦的出苗率、LAI、分蘖数等性状形成不同的群体，构建合理的冠层结构和光合群体，使生育期内积累的生物量和籽粒灌浆特性发生改变，促进积累的干物质从叶片向籽粒转运，物质转运得到合理分配，最终提高了小麦产量。

### 4 结论

随播期的推迟，干物质积累量降低，每推迟 1 个播期，干物质积累量降低 0.13~0.37t/hm<sup>2</sup>，播期为 10 月 4 日、播种量为 160kg/hm<sup>2</sup> 时，小麦花后干物质同化物较多，光能利用率达到最大值，群体优势得以充分发挥，2 年平均产量达到最大值，为 8257.84kg/hm<sup>2</sup>。因此，在河南驻马店地区，小麦 10 月 4 日播种，播种量 160kg/hm<sup>2</sup> 是适合当地的种植组合，能够改善小麦群体结构，发挥最大的群体优势，达到高产。

#### 参考文献

- [1] 王月福, 姜东, 于振文, 等. 氮素水平对小麦籽粒产量和蛋白质含量的影响及其生理基础. 中国农业科学, 2003, 36(5): 513-520.

- [2] 邵运辉, 李俊红, 岳俊芹, 等. 旱作区双免耕覆盖下冬小麦旗叶光合特性、根系分布及产量研究. 麦类作物学报, 2020, 40(7): 843-849.
- [3] 张晶, 王姣爱, 党建友, 等. 播期对小麦主茎及分蘖农艺性状、产量和品质的影响. 农学学报, 2013, 3(8): 1-6.
- [4] 王志成, 李春艳, 张立强, 等. 不同播量、播期和肥力对小麦品种普冰 151 植株性状及产量的影响. 陕西农业科学, 2020, 66(9): 15-18, 47.
- [5] 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. 麦类作物学报, 2009, 29(3): 464-469.
- [6] 王慧, 朱冬梅, 高致富, 等. 播期与密度组合对不同小麦品种产量及抗倒性的影响. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2020, 41(6): 34-39.
- [7] 衣政伟, 胡中泽, 杨大柳, 等. 播量和播期对苏中地区小麦生长发育及产量的影响. 江苏农业科学, 2020, 48(11): 67-72.
- [8] 汪娟梅, 张睿, 田永平, 等. 播期播量对小麦中麦 895 产量和品质的影响. 麦类作物学报, 2020, 40(11): 1375-1381.
- [9] 杨佳佳, 程宏波, 柴守玺, 等. 不同覆盖栽培方式对冬小麦干物质分配与转运的影响. 麦类作物学报, 2021, 4(6): 1-7.
- [10] 孔令英, 赵俊晔, 于振文, 等. 宽幅播种条件下种植密度对小麦群体结构和光能利用率的影响. 麦类作物学报, 2020, 40(7): 850-856.
- [11] Fang Y, Xu B, Turner N C, et al. Grain yield, dry matter accumulation and remobilization, and root respiration in winter wheat as affected by seeding rate and root pruning. European Journal of Agronomy, 2010, 33(4): 257-266.
- [12] 杨桂霞, 赵广才, 许轲, 等. 播期和密度对冬小麦籽粒产量和营养品质及生理指标的影响. 麦类作物学报, 2010, 30(4): 687-692.
- [13] 丁位华, 王丹, 李婷婷, 等. 播期、密度对小麦物质转运和籽粒灌浆的影响. 江苏农业科学, 2018, 46(3): 48-52.
- [14] 武文明, 陈洪俭, 李金才, 等. 氮肥运筹对孕穗期受渍冬小麦旗叶绿素荧光与籽粒灌浆特性的影响. 作物学报, 2012, 38(6): 1088-1096.
- [15] 胡云平, 张静, 刘丹. 水肥耦合对春小麦叶片生态特性及产量的影响. 江苏农业科学, 2017, 45(12): 48-52.
- [16] 许育彬, 沈玉芳, 李世清. CO<sub>2</sub> 浓度升高和施氮对冬小麦花前贮存碳氮转运的影响. 作物学报, 2011, 37(8): 1465-1474.
- [17] 徐寿军, 包海柱, 张凤英, 等. 施肥水平对冬大麦干物质和氮素积累与转运的影响. 核农学报, 2012, 26(8): 1183-1189, 1203.
- [18] 郭丽果, 尹宝重, 郑佩佩, 等. 播前耕作方式对河北平原区节水冬小麦光合特性和籽粒产量的影响. 江苏农业科学, 2017, 45(1): 69-72.
- [19] 胡卫丽. 氮肥和密度对两种穗型冬小麦茎蘖发育与物质运转的调控效应. 郑州: 河南农业大学, 2014.
- [20] 陈素英, 张喜英, 毛任钊, 等. 播期和播量对冬小麦冠层光合有效辐射和产量的影响. 中国生态农业学报, 2009, 17(4): 681-685.

## Effects of Different Sowing Dates and Seeding Rates on the Growth Characteristics and Yield of Winter Wheat

Wang Xin<sup>1</sup>, Wang Cai<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Zhumadian Agricultural Operation and Management Guidance Station, Zhumadian 463000, Henan, China;

<sup>2</sup>Henan Zhumadian Agricultural School, Zhumadian 463000, Henan, China)

**Abstract** In order to study the effects of sowing date and seeding rate on the growth and yield of winter wheat, three sowing dates and three seeding rates were set up to study the characteristics of wheat dry matter accumulation and transportation, leaf area and population light energy interception, and yield changes. The results showed that the dry matter accumulation decreased with the passage of the sowing dates, and the dry matter accumulation decreased by 0.13-0.37t/ha for each delay of the sowing date. The dry matter transport amount before anthesis decreased with the delay of the sowing date, and increased with seeding rate increasing. After blooming, the accumulation of light-contracted compounds first increased and then decreased with the postponement of the sowing date, and gradually decreased with the increase of seeding rate. With the sowing date postponement and seeding rate increase, light energy utilization rate increased first and then decreased. The combination of sowing on October 4th and 160kg/ha seeding rate could achieve the maximum of photoassimilate after flowering, light energy interception and utilization, and the two years average yield (8257.84kg/ha), which was a better combination planting mode of sowing date and seeding rate.

**Key words** Wheat; Sowing date; Seeding rate; Yield