

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[J]. 江苏农业科学,2018,46(3):48-52.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.03.011

播期、密度对小麦物质转运和籽粒灌浆的影响

丁位华,王 丹,李婷婷,杨艳艳,茹振钢

(河南科技学院生命科技学院/河南省现代生物育种协同创新中心/河南省高等学校作物分子育种重点开放实验室,河南新乡 453003)

摘要:以百农 418 为材料,采用裂区试验设计,探讨播期(A1:10-09;A2:10-14;A3:10-19;A4:10-24;A5:10-29)、密度(B1:270×10⁴/hm²;B2:315×10⁴/hm²;B3:360×10⁴/hm²;B4:405×10⁴/hm²;B5:450×10⁴/hm²)对其物质转运和籽粒灌浆的影响。结果表明,播期和密度对转运量的影响大小为 A(播期) > B(密度),通过最长距离法 A1B4、A3B4、A1B1 和 A1B5 聚为一类,其转运量(4 348.8、4 099.8、3 585.4、4 379.2 g/hm²)、转运率(29.35%、32.52%、29.47%、32.46%)、贡献率(44.42%、41.20%、43.03%、52.71%)和籽粒千粒质量(51.61、58.03、53.30、53.68 g)较高;播期对灌浆持续期(T、T₁、T₂、T₃)、籽粒积累量(W、W₁、W₂、W₃)、灌浆整个过程平均速率(R)和渐增期平均速率(R₁)影响更大,密度对灌浆快增期的平均速率(R₂)影响更大,渐增期和缓增期的平均速率(R₁、R₃)随着播期的推迟逐渐降低;成熟期生物量、开花期生物量和转运量同产量呈极显著正相关,且影响大小为成熟期生物量(0.95) > 开花期生物量(0.77) > 转运量(0.68);从试验结果和节约成本 2 个方面综合考虑,百农 418 最适宜的播期和密度为 A1B1。

关键词:播期;密度;物质转运;籽粒灌浆;聚类分析

中图分类号: S512.104 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)03-0048-05

干物质积累是小麦产量与品质形成的主要物质基础^[1-3];籽粒灌浆是影响小麦产量和品质的另一个重要生物学过程^[4-6]。关于小麦物质转运和籽粒灌浆,前人进行了很多研究。杨铁钢等研究了施氮水平对不同小麦物质积累和转运的影响^[7-8];董剑等研究了水氮调控对不同小麦干物质积累与转运的影响^[9];王瑞霞等研究了不同生态环境对小麦籽粒灌浆速率及千粒质量 QTL 分析^[4];通过生长曲线模拟籽粒灌浆的过程,由其推导出的特征参数可以准确地反映籽粒灌

浆特性^[10-12]。前人关于播期和密度对小麦干物质积累、转运和籽粒灌浆特性方面的研究并不多,播期、密度影响小麦的干物质积累与灌浆速度,进而影响小麦产量和品质^[13-15]。基于此,本研究以百农 418 为材料,探讨播期、密度对其物质转运和籽粒灌浆的影响,以期对黄淮麦区小麦高产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计与方法

试验于 2015—2016 年在河南科技学院千亩试验基地(新乡)进行。试验田土质为中壤,地势平坦,灌排条件良好。采用裂区试验设计,主区为播期处理,副区为密度处理,均设置 5 个水平,3 次重复,播期和密度设置的水平见表 1,共设 75 个小区,小区面积为 24 m²(长 8 m×宽 1.7 m),土壤有机质含量 12 g/kg,全氮含量 0.9 g/kg、速效磷含量 9.8 g/kg、速效钾含量 100 g/kg。水分处理:共浇越冬水、拔节水、开花水、灌浆水 4 次。肥料处理:底施金正大复合肥 900 kg/hm²,全生育期施纯氮 180 kg/hm²,按基追比 5:5 进行,追肥在拔节初期

收稿日期:2017-09-20

基金项目:国家自然科学基金(编号:31371525);河南省农业科技攻关项目(编号:172102110163);河南省高等学校重点科研项目(编号:16A210020);河南科技学院高层次人才培养项目(编号:201010612006);作物学科特色学科(编号:201020216001/001)。

作者简介:丁位华(1979—),男,河南鹿邑人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事小麦高产栽培生理研究。E-mail: dwh636@163.com。

通信作者:茹振钢,教授,硕士生导师,主要从事小麦遗传育种研究。E-mail: rzgh58@sohu.com。

[12] Boot H J, ter Huurne A A, Hoekman A J, et al. Exchange of the C-terminal part of VP3 from very virulent infectious bursal disease virus results in an attenuated virus with a unique antigenic structure[J]. Journal of Virology, 2002, 76(20): 10346-10355.

[13] Jagadish M N, Azad A A. Localization of a VP3 epitope of infectious bursal disease virus[J]. Virology, 1991, 184(2): 805-807.

[14] Mahardika G N, Becht H. Mapping of cross-reacting and serotype-specific epitopes on the VP3 structural protein of the infectious bursal disease virus (IBDV)[J]. Archives of Virology, 1995, 140(4): 765-774.

[15] Studier F W, Moffatt B A. Use of bacteriophage T7 RNA polymerase to direct selective high-level expression of cloned genes[J].

Journal of Molecular Biology, 1986, 189(1): 113-130.

[16] Studier F W, Rosenberg A H, Dunn J J, et al. Use of T7 RNA polymerase to direct expression of cloned genes[J]. Methods in Enzymology, 1990, 185: 60-89.

[17] 张改平,席俊,王选年,等. IBDV VP3 结构蛋白在大肠杆菌中的表达与鉴定[J]. 河南农业科学, 2005(8): 88-91.

[18] 赵坤,郑玉姝,赵德明,等. 鸡传染性法氏囊病病毒 VP3 蛋白的原核表达及其 B 细胞抗原表位鉴定[J]. 中国预防兽医学报, 2009, 31(12): 958-962.

[19] Deng X, Gao Y, Gao H, et al. Antigenic structure analysis of VP3 of infectious bursal disease virus[J]. Virus Research, 2007, 129(1): 35-42.

表 1 试验设计

因素水平	A:播期 (月-日)	B:密度 (×10 ⁴ /hm ²)
1	10-09	270
2	10-14	315
3	10-19	360
4	10-24	405
5	10-29	450

结合灌水进行,其他田间管理措施参照冬小麦高产栽培技术。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 群体营养器官干物质的物质转运 于小麦抽穗期选择抽穗生长整齐一致的主茎进行标记,开花期和成熟期在各试验小区取样,每个小区取 10 株小麦带回实验室进行干物质测定。105℃杀青 30 min 后,80℃烘干至恒质量,称量。

参考张黛静等的计算方法^[14]:营养器官开花前贮藏物质转运量(kg/hm²)=开花期干质量-成熟期干质量;营养器官开花前贮藏物质转运率(%)=(开花期干质量-成熟期干质量)/开花期干质量×100;对籽粒产量的贡献率(%)=营养器官开花前贮藏物质转运量/成熟期籽粒干质量×100。

1.2.2 籽粒灌浆特性 于小麦抽穗期选择抽穗生长整齐一致的主茎进行标记,从开花后第 3 天开始取样,每隔 3 d 取 1 次,直到收获。每个品种每次取样 10 穗带回室内脱粒,称取鲜质量。在 105℃下杀青 30 min 后,于 80℃烘干至恒质量,称量。以开花后天数为自变量,每次的千粒质量为因变量,用 Logistic 方程进行拟合。

用 Logistic 方程对籽粒灌浆过程进行拟合,通过计算特征参数,对籽粒灌浆和干物质动态积累进行分析。Logistic 方程 $W=A/(1+Be^{-Ct})$ 中, t 为自变量, W 为因变量; A 为理论最大自变量值, B 、 C 为形状参数,由方程一阶导数和二阶导数导出特征参数,参照冯素伟等的计算方法^[6,16]。

高峰开始日期 $t_1=(\ln B-1.317)/C$,对应此时 $w_1=A/(1+Be^{-Ct_1})$;高峰结束日期 $t_2=(\ln B+1.317)/C$,对应此时 $w_2=A/(1+Be^{-Ct_2})$;有效时期 $t_3=(\ln B+4.595\ 12)/C$,对应此过程 w_3 。渐增期持续时间 $T_1=t_1-t_0$,渐增期增量 $W_1=w_1-w_0$,其中 t_0 是开花日, w_0 为开花日千粒质量,渐增期平均速率 $R_1=W_1/T_1$;快增期持续时间 $T_2=t_2-t_1$,快增期增量 $W_2=w_2-w_1$,快增期平均速率 $R_2=W_2/T_2$;缓增期持续时间 $T_3=t_3-t_2$,缓增期增量 $W_3=w_3-w_2$,缓增期平均速率 $R_3=W_3/T_3$;灌浆速率达到最大值的时间 $T_{\max}=\ln B/C$,灌浆速率达到最大值时的生长量为 $W_{\max}=A/2$,最大灌浆速率为 $R_{\max}=CW_{\max}(1-W_{\max}/A)$ 。

1.2.3 数据处理 用 Curve Expert 1.4 软件对数据进行拟合,SAS(8.01 版)进行数据统计和分析,Excel 2007 制作图表。

2 结果与分析

2.1 不同播期、密度下百农 418 物质转运量、转运率和贡献率的差异

通过表 2 可知,不同处理下小麦的转运量、转运率和贡献率的差异较大,表明播期和密度互作效应对百农 418 转运量、转运率和贡献率的影响比较明显。A1B5、A1B4、A3B4 的转

运量较高,显著高于其他处理,分别为 4 379.2、4 348.8、4 099.8 kg/hm²,其对应的转运率、贡献率也是最高的,转运率分别为 32.46%、29.35%、32.51%,贡献率分别为 52.71%、44.42%、41.20%;A5B5 的转运量除与 A2B5 差异不显著外,显著低于其他处理,A5B5、A2B5 对应的转运率和贡献率也最低,分别为 11.19%、10.12% 和 11.82%、12.62%;转运量处于中间部分的处理有 20 个,这部分处理转运量仍然分为差异显著的多个等级,转运量分布在 1 600 ~ 3 600 kg/hm²,通过后面的聚类法简化分析量。

表 2 不同处理对小麦物质转运量、转运率和贡献率的影响

处理	转运量 (kg/hm ²)	转运率 (%)	贡献率 (%)
A1B1	3 585.4b	29.47	43.03
A1B2	1 742.4ik	14.49	19.08
A1B3	2 696.7df	23.49	30.57
A1B4	4 348.8a	29.35	44.42
A1B5	4 379.2a	32.46	52.71
A2B1	2 114.3igfh	19.80	24.65
A2B2	2 525.6dgfh	21.84	27.21
A2B3	2 655.5dgf	21.75	27.58
A2B4	3 005.2dc	25.85	36.50
A2B5	1 266.5lk	10.12	12.62
A3B1	1 913.2ih	20.64	26.49
A3B2	2 514.8dgfh	23.99	30.11
A3B3	2 928.2dc	28.50	39.03
A3B4	4 099.8a	32.51	41.20
A3B5	3 532.5b	25.29	32.92
A4B1	2 354.5igfh	21.11	27.99
A4B2	1 605.9k	17.26	21.63
A4B3	3 360.9bc	27.65	39.05
A4B4	2 442.8dgfh	24.14	35.27
A4B5	1 809.2ik	22.19	29.35
A5B1	1 736.3ik	21.20	25.16
A5B2	1 610.4k	15.87	19.12
A5B3	2 046.6igh	20.31	25.66
A5B4	1 817.7ik	17.14	18.42
A5B5	1 019.1l	11.19	11.82

注:同列数据后不同小写字母表示同一因素不同处理间差异显著($P<0.05$)。下表同。

由表 3 可知,A1 播期下百农 418 的转运量显著高于其他 4 个播期,A3 播期显著高于另外 3 个处理,A2 和 A4 播期下百农 418 的转运量差异不显著,A5 播期显著低于其他 4 个播期;B4 密度下百农 418 的转运量显著高于其他 4 个密度,B3 密度次之,B1 和 B5 密度下转运量不存在显著性差异,B2 密度下百农 418 转运量最低;主效因素播期下转运量极差为

表 3 主效因素对转运量的影响

因素水平	主效因素 (kg/hm ²)	因素水平	主效因素 (kg/hm ²)
A1	3 350.5a	B1	2 340.75c
A2	2 313.4c	B2	1 999.81d
A3	2 997.7b	B3	2 737.58b
A4	2 314.65c	B4	3 142.83a
A5	1 646.02d	B5	2 401.3c
极差	1 704.48	极差	1 143.02

1 704.48 kg/hm², 大于主效因素密度下的极差 (1 143.02 kg/hm²), 表明两者对于转运量影响表现为播期 > 密度。

2.2 不同播期、密度下小麦聚类分析结果

图 1 以转运量、转运率、贡献率这 3 个参数为指标, 对所有处理进行聚类分析, 在最长距离为 2.47 时可可将试验处理分为 3 组, 结果见图 1。第 1 组为高转运量、转运率、贡献率的 4 个处理, 分别为 A1B4、A3B4、A1B1、A1B5, 其转运量、转运率、

贡献率分别在 3 550 ~ 4 400 kg/hm²、29.35% ~ 32.51%、41.20% ~ 52.71%, 占处理总数的 16%; 第 2 组为中等转运量、转运率、贡献率的 15 个处理, 其转运量、转运率、贡献率分别在 1 736.31 ~ 3 532 kg/hm²、19.8% ~ 28.85%、24.65% ~ 39.05%, 占处理总数的 64%; 第 3 组为低转运量、转运率、贡献率的 6 个处理, 其转运量、转运率、贡献率分别在 1 019.1 ~ 1 742.2 kg/hm²、10.12% ~ 17.26%、11.82% ~ 21.63%, 占处理总数的 20%。

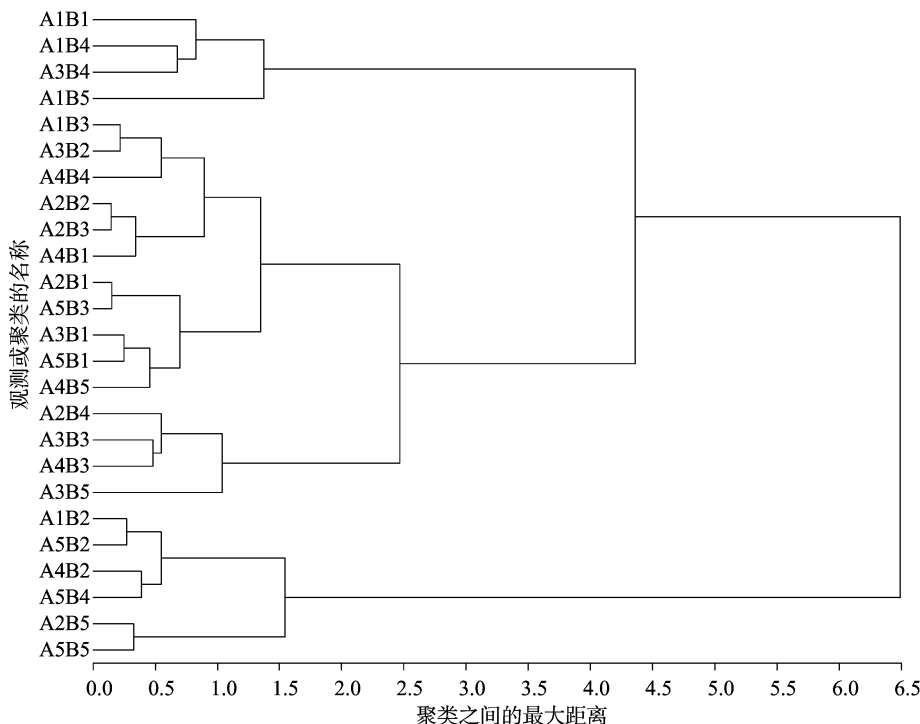


图1 不同处理的小麦转运量、转运率和贡献率聚类

2.3 不同播期和密度下灌浆速率特征参数的差异

通过表 4 可知, 渐增期天数为 5.67 ~ 11.04 d, 灌浆速率为 0.99 ~ 1.63 g/d, 籽粒干物质千粒质量增长量为 7.59 ~ 12.39 g; 快增期天数为 11.45 ~ 17.56 d, 灌浆速率为 1.63 ~ 2.29 g/d, 籽粒干物质千粒质量增长量为 20.74 ~ 33.84 g; 缓增期天数 14.25 ~ 21.85 d, 灌浆速率为 0.46 ~ 0.64 g/d, 籽粒干物质千粒质量增长量为 7.23 ~ 11.80 g; 整个灌浆期天数为 32.55 ~ 48.20 d, 灌浆平均速率为 0.98 ~ 1.40 g/d, 理论千粒质量为 35.57 ~ 58.03 g。渐增期持续时间最长的是 A4B3, 灌浆速率最大的是 A1B1, 籽粒干物质增长量最多的是 A3B4; 快增期持续时间最长的是 A1B2, 灌浆速率最大的是 A1B4, 籽粒干物质增长量最多的是 A3B4; 缓增期持续时间最长的是 A1B2, 灌浆速率最大的是 A1B4, 籽粒干物质增长量最多的是 A3B4; 整个灌浆过程持续时间最长的是 A1B2, 灌浆速率最大的是 A1B4, 籽粒干物质增长量最多的是 A3B4。无论是整个灌浆过程还是灌浆的 3 个阶段, 干物质积累量最大的组合并不是持续时间最长或者灌浆速率最大的组合, 表明籽粒质量是由灌浆持续期和灌浆速率共同决定的。

2.4 灌浆特征参数在主效因素下的差异

为了便于分析将灌浆特征参数划分为灌浆时间、灌浆速率和各个灌浆阶段籽粒积累量 3 个类别, 通过表 5 可知二因

素对出现最大灌浆速率时的时间 (T_{\max}) 和各个阶段的灌浆时间 (T 、 T_1 、 T_2 、 T_3) 的影响大小为 $A > B$, 对各个灌浆阶段的籽粒积累量 (W 、 W_1 、 W_2 、 W_3) 的影响大小为 $A > B$, 对整个灌浆过程的平均速率 (R) 和渐增期的平均速率 (R_1) 的影响大小为 $A > B$; 二因素对于整个灌浆过程的最大灌浆速率 (R_{\max}) 和快增期的灌浆速率 (R_2) 的影响大小为 $B > A$; 对于缓增期的灌浆速率 (R_3) 的影响大小为 $A = B$ 。

通过表 5 可知, R_{\max} 、 R_1 、 R_3 随着播期的推迟逐渐降低, T_1 则是随着播期的推迟逐渐增加, T_{\max} 、 T 、 W 、 W_1 从第 2 播期 A2 开始随着播期的推迟逐渐增加, 从播期 A1 开始到 A4 结束 W_2 、 T_3 、 W_3 逐渐降低; 从密度 B2 开始到 B5 结束 T_2 、 T_3 之间降低。

2.5 百农 418 生物量、籽粒产量与灌浆参数的相关性

通过表 6 可知, 开花期生物量 BF 与籽粒产量 GY、灌浆过程的平均速率 R 、渐增期灌浆速率 R_1 呈极显著正相关; 与最大灌浆速率 R_{\max} 、快增期的灌浆速率 R_2 、缓增期的灌浆速率 R_3 呈显著正相关。成熟期生物量 BM 与籽粒产量 GY 呈极显著正相关; 与最终籽粒积累量 W 、整个灌浆过程的平均速率 R 、渐增期的籽粒积累量 W_1 、快增期的籽粒积累量 W_2 、缓增期的籽粒积累量 W_3 呈显著正相关。转运量 TA 与籽粒产量 GY、渐增期的平均速率 R_1 呈极显著正相关; 与籽粒最大灌

表 4 不同处理对百农 418 灌浆速率特征参数的影响

因素水平		R_{\max}	T	W	R	T_1	W_1	R_1	T_2	W_2	R_2	T_3	W_3	R_3
A1	B1	2.29	41.75	53.33	1.28	6.97	11.38	1.63	15.49	31.10	2.01	19.28	10.85	0.56
	B2	2.19	48.20	57.82	1.20	8.79	12.34	1.40	17.56	33.72	1.92	21.85	11.76	0.54
	B3	2.36	37.93	49.23	1.30	6.82	10.51	1.54	13.86	28.71	2.07	17.25	10.01	0.58
	B4	2.61	36.85	51.61	1.40	7.29	11.02	1.51	13.17	30.10	2.29	16.39	10.50	0.64
	B5	2.17	46.45	53.68	1.16	9.50	11.46	1.21	16.46	31.30	1.90	20.49	10.92	0.53
A2	B1	2.02	38.11	42.20	1.11	7.00	9.01	1.29	13.86	24.61	1.78	17.25	8.58	0.50
	B2	2.31	32.55	39.85	1.22	6.84	8.51	1.24	11.45	23.24	2.03	14.25	8.10	0.57
	B3	2.11	36.97	41.78	1.13	7.41	8.92	1.20	13.17	24.36	1.85	16.39	8.50	0.52
	B4	2.07	34.86	39.06	1.12	6.70	8.34	1.24	12.54	22.78	1.82	15.61	7.94	0.51
	B5	2.20	41.33	48.46	1.17	8.49	10.34	1.22	14.63	28.26	1.93	18.21	9.85	0.54
A3	B1	2.10	37.00	41.50	1.12	7.44	8.86	1.19	13.17	24.20	1.84	16.39	8.44	0.51
	B2	2.18	33.98	39.29	1.16	7.11	8.39	1.18	11.97	22.92	1.91	14.90	7.99	0.54
	B3	1.93	36.19	38.22	1.06	6.63	8.16	1.23	13.17	22.29	1.69	16.39	7.77	0.47
	B4	2.34	47.01	58.03	1.23	10.06	12.39	1.23	16.46	33.84	2.06	20.49	11.80	0.58
	B5	1.92	40.09	42.17	1.05	7.24	9.00	1.24	14.63	24.60	1.68	18.21	8.58	0.47
A4	B1	2.30	42.06	50.57	1.20	9.22	10.79	1.17	14.63	29.49	2.02	18.21	10.28	0.56
	B2	2.13	39.56	44.37	1.12	8.45	9.47	1.12	13.86	25.88	1.87	17.25	9.02	0.52
	B3	2.34	45.82	54.53	1.19	11.04	11.64	1.05	15.49	31.80	2.05	19.28	11.09	0.58
	B4	2.07	32.67	35.57	1.09	6.96	7.59	1.09	11.45	20.74	1.81	14.25	7.23	0.51
	B5	2.00	36.51	39.57	1.08	6.95	8.45	1.21	13.17	23.08	1.75	16.39	8.05	0.49
A5	B1	2.25	43.06	49.53	1.15	10.21	10.57	1.04	14.63	28.88	1.97	18.21	10.07	0.55
	B2	1.86	46.91	46.06	0.98	9.96	9.83	0.99	16.46	26.86	1.63	20.49	9.37	0.46
	B3	2.04	46.89	50.45	1.08	9.94	10.77	1.08	16.46	29.42	1.79	20.49	10.26	0.50
	B4	1.97	36.79	41.03	1.12	5.67	8.76	1.54	13.86	23.93	1.73	17.25	8.34	0.48
	B5	1.92	44.02	44.73	1.02	9.25	9.55	1.03	15.49	26.08	1.68	19.28	9.10	0.47

注: T 为整个灌浆过程持续的时间, R 为整个灌浆过程的平均速率。下表同。

表 5 主效因素对灌浆速率特征参数的影响

因素水平	T_{\max}	R_{\max}	T	W	R	T_1	W_1
A1	14.60 ± 2.10c	2.28 ± 0.25a	40.73 ± 5.82b	51.09 ± 6.85a	1.26 ± 0.11a	7.11 ± 1.18d	10.91 ± 1.46a
A2	13.52 ± 1.43d	2.20 ± 0.12ab	35.71 ± 3.78c	42.04 ± 4.06d	1.18 ± 0.06b	7.17 ± 0.77d	8.97 ± 0.87d
A3	14.77 ± 1.72bc	2.11 ± 0.26c	39.01 ± 4.31b	43.88 ± 7.08c	1.12 ± 0.11cd	7.82 ± 1.23c	9.37 ± 1.51c
A4	15.22 ± 2.04b	2.17 ± 0.21cb	39.05 ± 4.14b	44.67 ± 6.90c	1.14 ± 0.08c	8.39 ± 1.56b	9.54 ± 1.47c
A5	17.63 ± 17.37a	2.08 ± 2.10c	45.01 ± 44.45a	48.72 ± 48.64b	1.09 ± 1.10d	9.79 ± 9.61a	10.40 ± 10.38b
极差	4.11	0.2	9.3	9.05	0.17	2.68	1.94
B1	15.3 ± 1.38ab	2.18 ± 0.19ab	40.41 ± 2.66ab	47.2 ± 4.88a	1.17 ± 0.09ab	8.11 ± 1.28b	10.08 ± 1.04a
B2	15.70 ± 2.51a	2.13 ± 0.18cb	41.06 ± 7.25a	46.29 ± 7.87a	1.13 ± 0.10cb	8.43 ± 1.25a	9.88 ± 1.68a
B3	15.25 ± 2.4ab	2.19 ± 0.23ab	40.12 ± 5.03ab	46.73 ± 5.78a	1.17 ± 0.10ab	8.13 ± 1.89b	9.97 ± 1.23a
B4	15.07 ± 2.77b	2.27 ± 0.28a	39.16 ± 7.13ab	47.10 ± 9.53a	1.20 ± 0.13a	8.16 ± 1.59ab	10.05 ± 2.03a
B5	14.42 ± 1.34c	2.06 ± 0.15c	38.76 ± 2.32b	43.08 ± 3.27b	1.11 ± 0.07c	7.45 ± 1.18c	9.91 ± 1.68a
极差	1.28	0.21	2.3	4.12	0.09	0.98	0.88
影响顺序	A > B	B > A	A > B	A > B	A > B	A > B	A > B
因素水平	R_1	T_2	W_2	R_2	T_3	W_3	R_3
A1	1.54 ± 0.10a	14.98 ± 2.20a	29.79 ± 4.00a	2.00 ± 0.22a	18.64 ± 2.73a	10.39 ± 1.39a	0.56 ± 0.06a
A2	1.26 ± 0.06b	12.72 ± 1.36c	24.52 ± 2.37d	1.93 ± 0.10ab	15.83 ± 1.69c	8.55 ± 0.82d	0.54 ± 0.03ab
A3	1.20 ± 0.07c	13.90 ± 1.64b	25.59 ± 4.13c	1.90 ± 0.18cb	17.00 ± 1.65b	8.92 ± 1.44c	0.53 ± 0.05cb
A4	1.14 ± 0.08d	13.66 ± 1.32b	26.05 ± 4.02c	1.85 ± 0.23c	17.29 ± 2.04b	9.08 ± 1.40c	0.52 ± 0.06c
A5	1.06 ± 1.09e	15.69 ± 15.52a	28.41 ± 28.36b	1.82 ± 1.84c	19.53 ± 19.32a	9.91 ± 0.89b	0.51 ± 0.51c
极差	0.48	2.97	5.27	0.18	3.7	1.84	0.05
B1	1.27 ± 0.21a	14.39 ± 1.04a	27.53 ± 2.84a	1.92 ± 0.17ab	17.91 ± 1.29a	9.60 ± 0.99a	0.54 ± 0.05ab
B2	1.18 ± 0.18b	14.54 ± 2.76a	27.00 ± 4.59a	1.87 ± 0.16cb	18.10 ± 3.43a	9.41 ± 1.60a	0.52 ± 0.04cb
B3	1.27 ± 0.23a	14.26 ± 1.75a	27.25 ± 3.37a	1.92 ± 0.20ab	17.74 ± 2.18a	9.50 ± 1.18a	0.54 ± 0.06ab
B4	1.23 ± 0.13a	13.81 ± 2.53a	27.47 ± 5.56a	1.99 ± 0.24a	17.36 ± 0.93a	9.58 ± 1.94a	0.56 ± 0.07a
B5	1.26 ± 0.16a	13.95 ± 0.75a	25.12 ± 1.91b	1.80 ± 0.13c	17.19 ± 3.15a	8.76 ± 0.67b	0.51 ± 0.04c
极差	0.09	0.73	2.41	0.19	0.91	0.84	0.05
影响顺序	A > B	A > B	A > B	B > A	A > B	A > B	A = B

注: T_{\max} 为灌浆速率达到最大值时的时间;下同。

表 6 开花期生物量、成熟期生物量、转运量、产量和籽粒灌浆特征参数的相关分析

试验因子	GY	R_{\max}	T	W	R	W_1	R_1	W_2	R_2	W_3	R_3
BF	0.77**	0.41*	-0.02	0.28	0.52**	0.28	0.59**	0.28	0.40*	0.28	0.40*
BM	0.95**	0.29	0.24	0.40*	0.40*	0.40*	0.32	0.40*	0.30	0.40*	0.29
TA	0.68**	0.40*	-0.22	0.10	0.48*	0.10	0.58**	0.10	0.40*	0.10	0.41*
GY	1	0.28	0.26	0.41*	0.33	0.41*	0.26	0.41*	0.28	0.41*	0.28

注：“*”表示相关性在 0.01 水平上显著，“**”表示相关性在 0.05 水平上显著。BF 为开花期生物量，BM 为成熟期生物量，TA 为转运量，GY 为产量。

浆速率 R_{\max} 、整个灌浆过程平均灌浆速率 R 、快增期的平均速率 R_2 、缓增期的平均速率 R_3 呈显著正相关。籽粒产量 GY 与灌浆搓成最终积累量 W 、3 个阶段籽粒积累量 (W_1 、 W_2 、 W_3) 呈显著正相关。根据各个参数与籽粒产量的相关系数,可知其对最终产量的权重为成熟期生物量 $BM >$ 开花期生物量 $BF >$ 转运量 $TA >$ 灌浆过程最终积累量 $W =$ 渐增期最终积累量 $W_1 =$ 快增期最终积累量 $W_2 =$ 缓增期最终积累量 W_3 。

3 结论与讨论

小麦籽粒产量受到花后光合器官同化产物与花前营养器官积累生物量的共同影响^[17-19],通过播期、密度可以改变小麦的出苗率、叶面积指数、分蘖数等性状来形成不同的群体,由此形成了不同的农田小气候,改变小麦的光合特性和生长发育,引起生育期内积累的生物量和籽粒灌浆特性的改变,最终造成产量的不同^[20-21]。本研究通过裂区试验设计,播期、密度各设定 5 个梯度,研究了不同播期、密度对小麦物质转运及籽粒灌浆特性的研究,结果表明,A1 播期、B4 密度下百农 418 的转运量最高,二因素对于转运量的影响大小表现为 A (播期) > B (密度),这与姜丽娜等的研究结果^[14]一致。主效因素是影响小麦性状的主要因素,但是不能忽略因素间互作对小麦性状的影响。通过转运量、转运率和贡献率将 A1B4、A3B4、A1B1、A1B5 聚到高转运量的一类中,其对应的籽粒千粒质量都在 50 g 以上,分别为 51.61、58.03、53.33、53.68 g,并且开花期生物量、成熟期生物量、转运量均与产量呈极显著正相关;本研究中无论是整个灌浆过程还是灌浆的 3 个阶段,干物质积累量最大的组合并不是持续时间最长或者灌浆速率最大的组合,这也说明了籽粒千粒质量由灌浆持续期和灌浆速率共同决定的,这与翟利剑的研究结果^[22]一致;为了加深了解播期和密度对灌浆过程的权重大小,本研究通过主效因素对灌浆特征参数的影响进行分析,结果表明播期对灌浆持续期、籽粒积累量、灌浆过程平均速率和渐增期平均速率影响更大,密度对灌浆快增期的平均速率影响更大,渐增期和缓增期的平均速率随着播期的推迟逐渐降低;从试验结果和节约成本 2 个方面综合考虑,百农 418 最适宜的播期和密度为 A1B1。

参考文献:

[1] 许育彬,沈玉芳,李世清. CO₂ 浓度升高和施氮对冬小麦花前贮存碳氮转运的影响[J]. 作物学报,2011,37(8):1465-1474.
[2] 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[J]. 核农学报,2012,26(8):1183-1189,1203.
[3] 郭天财,冯伟,夏百银,等. 不同穗型冬小麦品种籽粒灌浆与同化物供应关系的研究[J]. 华北农学报,2004,19(2):44-48.

[4] 王瑞霞,张秀英,伍玲,等. 不同生态环境条件下小麦籽粒灌浆速率及千粒重 QTL 分析[J]. 作物学报,2008,34(10):1750-1756.
[5] 吴晓丽,汤永禄,李朝苏,等. 不同生育时期渍水对冬小麦旗叶叶绿素荧光及籽粒灌浆特性的影响[J]. 中国生态农业学报,2015,23(3):309-318.
[6] 冯素伟,胡铁柱,李淦,等. 不同小麦品种籽粒灌浆特性分析[J]. 麦类作物学报,2009,29(4):643-646.
[7] 杨铁钢,戴廷波,曹卫星. 施氮水平对不同品质类型小麦花后碳氮同化和转运的影响[J]. 南京农业大学学报,2008,31(2):6-10.
[8] 王桂良,叶优良,李欢欢,等. 施氮量对不同基因型小麦产量和干物质累积的影响[J]. 麦类作物学报,2010,30(1):116-122.
[9] 董剑,赵万春,高翔,等. 水氮调控对小麦植株干物质积累、分配与转运的影响[J]. 华北农学报,2012,27(3):196-202.
[10] 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叶绿素荧光与籽粒灌浆特性的影响[J]. 作物学报,2012,38(6):1088-1096.
[11] 吴少辉,高海涛,张学品,等. 播期对不同习性小麦品种籽粒灌浆特性的影响[J]. 麦类作物学报,2004,24(4):105-107.
[12] 韩占江,郇庆炉,吴玉娥,等. 小麦籽粒灌浆参数变异及与粒重的相关性分析[J]. 种子,2008,27(6):27-30.
[13] 姜丽娜,赵艳岭,邵云,等. 播期播量对豫中小麦生长发育及产量的影响[J]. 河南农业科学,2011,40(5):42-46.
[14] 张黛静,王真,李雪梅,等. 不同群体下小麦花旗干物质转运和冠层光分布特性研究[J]. 河南农业科学,2015,44(10):24-28.
[15] 李文红,丁永辉,曹丹,等. 不同播种方式对小麦干物质积累和产量的影响[J]. 河南农业科学,2016,45(2):11-16.
[16] 王晓慧,张磊,刘双利,等. 不同熟期春玉米品种的籽粒灌浆特性[J]. 中国农业科学,2014,47(18):3557-3565.
[17] 陈思悫,李升峰,朱继业. 种植密度对小麦根际土壤特性及籽粒产量的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(4):132-137.
[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[J]. 江苏农业科学,2017,45(1):69-72.
[19] 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[J]. 江苏农业科学,2017,45(12):48-52.
[20] De Bruin J L, Pedersen P. Effect of row spacing and seeding rate on soybean yield[J]. Agronomy Journal,2008,100(3):704-710.
[21] Sangoi L, Gracietti M A, Rampazzo C, et al. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density[J]. Field Crops Research,2002,79(1):39-51.
[22] 翟利剑. 春小麦群体库的形成及其特性分析[J]. 麦类作物学报,2003,23(2):60-64.