

文章编号: 1005-0906(2014)03-0091-07

种植方式和密度对夏玉米子粒灌浆特征的影响

张倩, 宋希云, 姜雯

(青岛农业大学农学与植物保护学院 / 山东省旱作农业技术重点实验室, 山东 青岛 266109)

摘要: 以郑单 958 为材料, 在 67 500 株 hm^2 和 82 500 株 hm^2 两个种植密度水平下, 以常规等行距种植方式为对照, 设置 3 种不同缩行宽带种植方式(3 行一带、4 行一带、5 行一带), 进行连续两年比较研究。结果表明, 缩行宽带种植方式增产显著, 其中, 3 行一带种植方式高密度水平下产量最高。通过 Logistic 方程拟合, 缩行宽带各种种植方式中, 高密度下灌浆时间持续期均值较对照等行距方式增加 1.2~10.2 d。无论是高密度还是中等密度条件下, 3 行一带种植方式平均灌浆速率(R)、最大灌浆速率(R_{max})、最终百粒重及渐增期灌浆速率(R_1)均较高。因此, 3 行一带缩行宽带种植方式子粒灌浆特性较优。

关键词: 玉米; 密度; 缩行宽带方式; 产量

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

Effect of Different Planting Patterns and Densities on Kernel Filling Characteristics of Summer Maize

ZHANG Qian, SONG Xi-yun, JIANG Wen

(Qingdao Agricultural University/Shandong Key Laboratory of Dryland Farming Technology, Qingdao 266109, China)

Abstract: A field experiments involving four planting patterns [three-row strip, four-row strip, five-row strip and a conventional uniform row spacing pattern(the control)] under two plant densities(67 500 plants/ha and 82 500 plants/ha) with cultivar named Zhengdan958 were conducted in 2011 and 2012. The results showed that the grain yield was significantly increased by strip planting patterns in both years. Based on the Logistic equation fitting, the duration of grain filling increased by 1.2~10.2 days in strip planting patterns, compared with control, and the average filling rate(R), maximum filling rate(R_{max}), the filling rate at gradual increasing(R_1), 100-grain weight were all highest under the three-row strip planting pattern under both densities. Therefore, three-row strip planting pattern could be suggested for enhancing grain yield of summer maize in the local area.

Key words: Maize; Density; Strip planting pattern; Yield

产量的形成是子粒灌浆的过程, 品种特性及栽培模式产生的效应都通过灌浆过程体现, 玉米子粒

灌浆最终决定子粒的重量和产量^[1,2]。子粒灌浆除了主要受自身遗传效应影响外, 在一定程度上还受环境因素的影响, 包括种植方式、密度、施肥方式、耕作方式等栽培措施以及光温水热等自然条件^[3]。

近年来, 极端气候频发, 黄淮海地区玉米开花灌浆期常遭遇阴雨寡照、大风等灾害天气^[4-6], 从而严重影响玉米授粉及子粒灌浆的完成, 造成减产。目前, 通过调整玉米株行距, 改进种植方式增加玉米抗逆性、实现高产稳产越来越受到关注。研究表明, 合理株行距可改善群体结构内小气候环境, 减少株间竞争, 促进个体生长发育, 进而影响最终产量^[7-9]。前

收稿日期: 2013-07-10

基金项目: 粮食丰产科技工程(2011BAD16B09, 2012BAD04B05)、青岛市民生计划项目(13-1-3-101-nsh)、山东省“泰山学者建设工程”专项

作者简介: 张倩(1989-), 女, 山东德州人, 硕士, 主要从事玉米高产生理研究。E-mail: zhq5003@163.com

姜雯为本文通讯作者。Tel: 0532-88030431

E-mail: wenjiang@qau.edu.cn

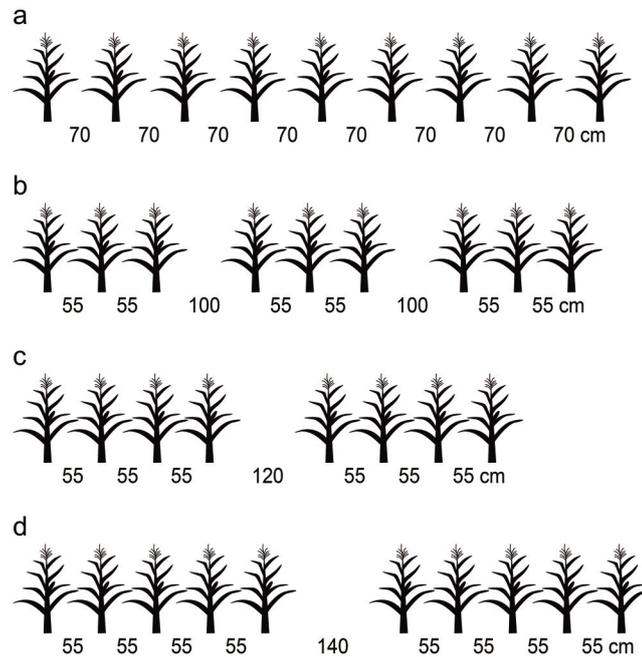
人对不同密度、播期等因素对玉米子粒灌浆速率已有较多研究^[10~15],在不同种植方式与密度互作方面对玉米子粒灌浆速率的影响研究较少。因此,本研究连续两年以玉米缩行宽带种植方式及其与密度互作为研究对象进行大田试验,通过 Logistic 方程拟合子粒灌浆过程,探讨种植方式对玉米子粒灌浆特性的影响,为玉米高产高效栽培生理提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2011~2012 年在青岛农业大学胶州试验站(35.53°N, 119.58°E)进行。2011 和 2012 年胶州

市玉米生育期间温度、降雨量和光照时数如表 1。试验地前茬为小麦,供试材料为当地主栽夏玉米品种郑单 958。试验分别于 2011 年 6 月 29 日、2012 年 6 月 26 日播种,2011 年 10 月 12 日、2012 年 10 月 9 日收获。2011 年播前试验地 0~20 cm 土层有机质 6.75 g/kg、碱解氮 84.00 mg/kg、速效磷 69.25 mg/kg、速效钾 86.82 mg/kg, pH 值 6.88。试验设计为二因素裂区设计,主区为种植方式(图 1);副区为种植密度,中等密度 67 500 株/hm² 和高密度 82 500 株/hm²。3 次重复,小区面积 6.5 m×11.0 m。基施复合控释肥(22-8-12)750 kg/hm²,玉米生长期间不追肥。玉米整个生育期常规田间管理。



注:a 为常规等行距(CK),等行距 70 cm;b 为 3 行一带,2 个相等小行距 55 cm,加一带宽 100 cm;c 为 4 行一带,3 个相等小行距 55 cm,加一带宽 120 cm;d 为 5 行一带,4 个相等小行距 55 cm,加一带宽 140 cm。

Note: a, Conventional uniform row spacing planting pattern(control): equal row spacing(70 cm); b, Three-row strip planting pattern: two equal row spacing(55 cm) and a broadband(100 cm); c, Four-row strip planting pattern: three equal row spacing(55 cm) and a broadband(120 cm) d, Five-row strip planting pattern: four equal row spacing (55 cm) and a broadband (140 cm).

图 1 种植方式图示

Fig.1 Graphical representation of the planting patterns

1.2 测定方法

在玉米吐丝期选择吐丝一致植株挂牌标记,2011 年取样时间为花后 3、13、26、37、49 d;2012 年取样时间为花后 10、20、30、40、50 d。根据各种种植方式每条带行数(每行 1 株),等行距(选择每小区中连续 3 行),3 行一带、4 行一带、5 行一带种植方式分别选取连续植株 3、3、4、5 株穗进行脱粒,105℃下杀青 30 min,然后在 70℃~80℃烘至恒重,称重,数穗粒数,换算成百粒重。

子粒实际灌浆速率 $[g/(d \cdot 100 \text{ 粒})] = [\text{后 1 次百粒干重}(g) - \text{前 1 次百粒干重}(g)] / \text{两次取样间隔天数}^{[11]}$ 。

用 Logistic 方程拟合花后子粒干重变化规律, Logistic 方程的表达式为 $W = W_0 / [1 + \text{EXP}(A - Bt)]$, t 为花后天数(开花日计 $t=0$); W 为花后子粒干重; W_0 为理论百粒子粒最大干重; A 、 B 为参数,由方程的一阶导数和二阶导数推导出一系列灌浆参数^[16~19]。

灌浆高峰开始日期 $t_1 = [\ln A - \ln(2 + 3^{1/2})] / B$, 对应于此时的百粒子粒干重为 $W_{t_1} = W_0 / [1 + \text{EXP}(A - Bt_1)]$;

灌浆高峰结束日期 $t_2=[\ln A+\ln(2+3^{1/2})]/B$, 对应于此时的百粒子粒干重为 $W_{t_2}=W_0/[1+\text{EXP}(A-Bt_2)]$;

灌浆结束日期 $t_3=(\ln A+4.595\ 12)/B$, 对应于此时的百粒子粒干重为 $W_{t_3}=W_0/[1+\text{EXP}(A-Bt_3)]$;

最大灌浆速率出现日 $T_{\text{max}}=(\ln A)/B$, 最大灌浆速率 $R_{\text{max}}=W_0 \times B/4$;

灌浆渐增期持续时间(d) T_1 , 平均灌浆速率 $R_1=W_1/t_1$; 累积子粒重 $W_1=W_{t_1}$; 灌浆速增期持续时间(d) $T_2=t_2-t_1$, 平均灌浆速率 $R_2=(W_2-W_1)/(t_2-t_1)$; 累积子粒

重 $W_2=W_{t_2}-W_{t_1}$; 灌浆缓增期持续时间(d) $T_3=t_3-t_2$, 平均灌浆速率 $R_3=(W_3-W_2)/(t_3-t_2)$, 累积子粒重 $W_3=W_{t_3}-W_{t_1}$;

灌浆总天数 T , 平均灌浆速率 $R=W_0/t_3$ 。

产量指标: 每个小区取中间 2 个带测定产量(每带长 5 m), 于收获前数空秆数, 换算空秆率, 收获后称所有鲜果穗重量。从所收获果穗中随机选取 20 穗, 风干, 考种, 用 GAC2100 谷物水分速测仪测定玉米子粒含水量, 最后计算实际产量。

表 1 2011 和 2012 年胶州市玉米生育期间温度、降雨量和光照时数

Table 1 Temperature, rainfall and sunshine hours among maize growth stage in 2011 and 2012

月份 Month	日期 Date	2011 年			2012 年			30 年平均 Average of 30 years		
		温度(°C) Mean temp.	降雨量(mm) Rainfall	光照时数(h) Sun-shine	温度(°C) Mean temp.	降雨量(mm) Rainfall	光照时数(h) Sun-shine	温度(°C) Mean temp.	降雨量(mm) Rainfall	光照时数(h) Sun-shine
6 月 June	20 ~ 30	22.3	59.3	38.0	23.5	20.6	48.9	22.9	81.4	74.0
7 月 July	1 ~ 31	24.9	204.1	151.1	26.1	155.8	182.8	25.1	153.7	205.8
8 月 Aug.	1 ~ 31	25.2	189.6	148.2	25.7	185.0	192.4	25.2	112.5	219.6
9 月 Sept.	1 ~ 30	20.7	108.8	184.3	21.3	91.1	209.8	20.8	63.3	221.1
10 月 Oct.	1 ~ 10	16.4	0.3	61.9	18.7	0.9	78.4	17.4	13.5	65.9
玉米生长季(7 ~ 10 月)		21.9	562.1	583.5	23.1	453.4	712.3	22.3	424.4	786.4

1.3 数据处理与分析

试验数据采用 SAS9.0(Duncan 新复极差法)数据处理系统进行数据处理与分析, 采用 CurveExpert 1.4 汉化版进行玉米灌浆速率拟合。

2 结果与分析

2.1 不同种植方式和密度下玉米产量及其构成因素

两年中各处理间产量及产量构成因素均差异显著(表 2)。无论高密度还是中等密度条件下, 与等行距种植方式(CK)相比, 3 行一带、4 行一带和 5 行一

带各缩行宽带种植方式下空秆率均有不同程度下降; 穗粒数不同程度增加, 除 2012 年高密度条件下 4 行一带与 5 行一带种植方式略下降。百粒重在各处理中表现差别较大, 2011 年等行距种植方式高于缩行宽带种植方式, 但差异不明显; 2012 年无论高密度还是中等密度条件下, 等行距种植方式百粒重最低, 与各缩行宽带种植方式差异达到显著。子粒产量不同密度下均为等行距种植方式最低, 所有处理中 3 行一带高密度处理下 2011 年和 2012 年子粒产量均最高, 比对照等行距中等密度和高密度处理分别高 25.0%、20.8% 和 25.1%、18.7%。

表 2 种植方式、密度对夏玉米产量及产量构成的影响

Table 2 Yield and yield components of summer maize at the maturity stage in different planting patterns and densities in 2011 and 2012 (mean \pm SD)

年份 Year	种植方式 Planting pattern	密度(株/hm ²) Density	空秆率(%) Percentage of barren stalk	穗粒数(粒) Grain number per row	百粒重(g) 100-grain weight	子粒产量(kg/hm ²) Yield
2011	等行距(CK)	67 500	12.97 \pm 0.02 abc	476.0 \pm 9.7 ab	29.89 \pm 0.43 a	6 926 \pm 753 b
		82 500	19.15 \pm 0.06 a	438.4 \pm 22.8 b	29.00 \pm 1.39 ab	7 166 \pm 157 b
	3 行一带	67 500	6.17 \pm 0.06 bc	507.9 \pm 20.5 a	28.91 \pm 0.25 ab	7 792 \pm 187 ab
		82 500	12.61 \pm 0.01 abc	495.4 \pm 25.0 a	28.08 \pm 0.38 ab	8 655 \pm 605 a
	4 行一带	67 500	5.52 \pm 0.08 c	494.5 \pm 20.7 a	28.14 \pm 0.17 ab	7 116 \pm 282 b
		82 500	15.18 \pm 0.03 ab	480.7 \pm 39.6 ab	27.96 \pm 1.13 b	7 831 \pm 492 ab
	5 行一带	67 500	6.13 \pm 0.05 bc	492.2 \pm 51.3 ab	28.55 \pm 1.40 ab	7 749 \pm 535 ab
		82 500	13.99 \pm 0.05 abc	481.2 \pm 12.0 ab	28.18 \pm 1.32 ab	7 854 \pm 1 169 ab

续表 2 Continued 2

年份 Year	种植方式 Planting pattern	密度(株/ha) Density	空秆率(%) Percentage of barren stalk	穗粒数(粒) Grain number per row	百粒重(g) 100-grain weight	子粒产量(kg/ha) Yield
2012	等行距(CK)	67 500	3.76 ± 2.94 a	427.2 ± 6.6 c	28.03 ± 0.89 c	6 395 ± 328 d
		82 500	3.08 ± 1.33 ab	466.2 ± 13.7 ab	27.21 ± 1.47 c	6 745 ± 457 cd
	3 行一带	67 500	1.18 ± 0.41 b	498.1 ± 17.8 a	31.49 ± 1.10 a	7 394 ± 253 abc
		82 500	1.92 ± 1.12 ab	479.6 ± 36.1 ab	30.33 ± 1.62 ab	8 003 ± 435 a
	4 行一带	67 500	1.73 ± 0.60 ab	468.7 ± 27.8 ab	30.96 ± 1.12 ab	7 352 ± 304 abc
		82 500	1.56 ± 0.49 ab	446.3 ± 6.2 bc	30.87 ± 0.44 ab	7 373 ± 353 abc
	5 行一带	67 500	0.96 ± 0.63 b	479.2 ± 13.0 ab	30.63 ± 0.43 ab	7 494 ± 845 ab
		82 500	1.01 ± 0.67 b	450.2 ± 4.2 bc	29.01 ± 1.39 bc	7 036 ± 160 bcd

注:表中同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

Note: Different small letters in the same column meant significant difference at 0.05 levels respectively.

2.2 不同种植方式与密度下玉米子粒灌浆模拟方程

从表 3 可看出, Logistic 方程能很好地拟合玉米子粒的灌浆过程。2011 年夏玉米子粒灌浆决定系数在 0.995 5~0.999 6 之间, 其中 5 行一带中等密度处理决定系数最高, 等行距高密度处理决定系数最低。百粒重为 3 行一带高密度处理(28.208 g)下最高,

等行距高密度处理(23.071 g)下最低。2012 年夏玉米子粒灌浆决定系数在 0.995 8~0.997 1 之间, 较 2011 年相对集中, 分布均匀, 其中最大和最小决定系数分别出现在 4 行一带中等密度处理和 5 行一带高密度处理中。最终百粒重与 2011 年结果相似, 为 3 行一带高密度处理(29.925 g)最高, 等行距高密度处理(26.277 g)最低。

表 3 不同种植方式与密度下夏玉米子粒灌浆的 Logistic 模拟方程

Table 3 Logistic equation of kernel filling of summer maize in different planting patterns and densities in 2011 and 2012

年份 Year	种植方式 Planting pattern	密度(株/ha) Density	模拟方程 Simulated equation	最终百粒重(g) 100-grain weight	决定系数 R ²	
2011	等行距(CK)	67 500	W=27.050 / [1+EXP(38.35 - 0.13t)]	25.823	0.998 6	
		82 500	W=23.050 / [1+EXP(28.23 - 0.14t)]	23.071	0.995 5	
	3 行一带	67 500	W=30.618 / [1+EXP(30.09 - 0.11t)]	27.557	0.998 2	
		82 500	W=30.933 / [1+EXP(36.04 - 0.12t)]	28.208	0.998 4	
	4 行一带	67 500	W=31.342 / [1+EXP(28.89 - 0.11t)]	27.248	0.998 6	
		82 500	W=29.833 / [1+EXP(36.58 - 0.12t)]	27.080	0.998 7	
	5 行一带	67 500	W=26.681 / [1+EXP(40.27 - 0.13t)]	25.425	0.999 6	
		82 500	W=26.243 / [1+EXP(30.28 - 0.13t)]	25.570	0.997 0	
	2012	等行距(CK)	67 500	W=29.363 / [1+EXP(53.96 - 0.14t)]	28.792	0.996 0
			82 500	W=27.345 / [1+EXP(67.26 - 0.15t)]	26.277	0.997 0
3 行一带		67 500	W=31.469 / [1+EXP(52.14 - 0.14t)]	29.925	0.996 6	
		82 500	W=30.712 / [1+EXP(51.10 - 0.14t)]	29.741	0.996 6	
4 行一带		67 500	W=30.645 / [1+EXP(52.00 - 0.14t)]	29.064	0.997 1	
		82 500	W=28.945 / [1+EXP(51.38 - 0.14t)]	27.869	0.996 8	
5 行一带		67 500	W=30.531 / [1+EXP(51.26 - 0.14t)]	29.307	0.996 8	
		82 500	W=28.955 / [1+EXP(44.84 - 0.13t)]	27.570	0.995 8	

2.3 不同种植方式与密度下玉米子粒灌浆参数分析

表 4 表明, 2011 年各处理灌浆持续期(T)为 49~64 d; 无论高密度还是中等密度处理, 缩行宽带种植方式除 5 行一带种植方式外灌浆持续期普遍高于等行距种植方式, 其中 4 行一带中等密度处理灌浆持

续期最长, 等行距高密度处理最短; 各种种植方式中高密度下 T 均值比较, 3 行一带、4 行一带、5 行一带处理分别比等行距种植方式 (CK) 增加 8.1、10.2 和 1.4 d(2011 年)和 1.2、1.4 和 2.2 d(2012 年)。最大灌浆速率 R_{max} 最大值和最小值分别出现在 3 行一带高密度处理和等行距高密度处理中, 平均灌浆速率 R 亦

然。2012 年各处理灌浆速率特征参数与 2011 年差异较大,其中最大灌浆速率 R_{\max} 、平均灌浆速率 R 均高于 2011 年,而灌浆持续期 T 相对稍短却集中,可能与玉米灌浆期间气候条件差异有关;在所有处理中最大灌浆速率 R_{\max} 和平均灌浆速率 R 最大值均

出现在 3 行一带中等密度处理中。无论在高密度还是中等密度条件下,3 行一带种植方式粒重渐增期灌浆速率(R_1)均最高,3 行一带种植方式在子粒线性灌浆期灌浆速率(R_2)除 2011 年中等密度处理外均高于其他种植方式。

表 4 不同种植方式与密度下夏玉米灌浆特征参数

Table 4 The parameters of kernel filling characteristics of summer maize in different planting patterns and densities in 2011 and 2012

年份 Year	种植方式 Planting pattern	密度(株/hm ²) Density	T	R_{\max}	T_{\max}	R	T_1	R_1	T_2	R_2	T_3	R_3	
2011	等行距(CK)	67 500	55.64	0.89	27.66	0.43	17.67	0.32	19.98	0.78	24.87	0.22	
		82 500	49.23	0.80	24.04	0.40	14.56	0.33	18.96	0.70	23.59	0.20	
	3 行一带	67 500	61.34	0.86	30.29	0.43	18.57	0.35	23.44	0.75	29.17	0.21	
		82 500	59.78	0.93	29.86	0.45	18.89	0.35	21.94	0.81	27.30	0.23	
	4 行一带	67 500	64.07	0.84	31.51	0.42	19.17	0.35	24.68	0.73	30.71	0.21	
		82 500	61.28	0.88	30.41	0.43	19.28	0.33	22.25	0.77	27.69	0.22	
	5 行一带	67 500	55.06	0.90	27.43	0.43	17.65	0.32	19.55	0.79	24.33	0.22	
		82 500	52.54	0.86	25.96	0.43	15.93	0.35	20.05	0.76	24.95	0.21	
	2012	等行距(CK)	67 500	54.71	1.05	27.91	0.49	18.69	0.33	18.43	0.92	22.94	0.26
			82 500	54.44	1.03	27.94	0.47	19.20	0.30	17.49	0.90	21.76	0.25
3 行一带		67 500	56.38	1.08	28.81	0.51	19.22	0.35	19.20	0.95	23.89	0.27	
		82 500	55.08	1.07	28.12	0.50	18.71	0.35	18.83	0.94	23.44	0.26	
4 行一带		67 500	57.30	1.04	29.17	0.49	19.45	0.33	19.44	0.91	24.20	0.26	
		82 500	54.60	1.03	27.75	0.48	18.48	0.33	18.56	0.90	23.10	0.25	
5 行一带		67 500	55.65	1.06	28.37	0.50	18.88	0.34	18.98	0.93	23.63	0.26	
		82 500	58.06	0.94	29.15	0.45	19.06	0.32	20.19	0.83	25.13	0.23	

2.4 不同种植方式与密度下玉米子粒实际灌浆速率曲线

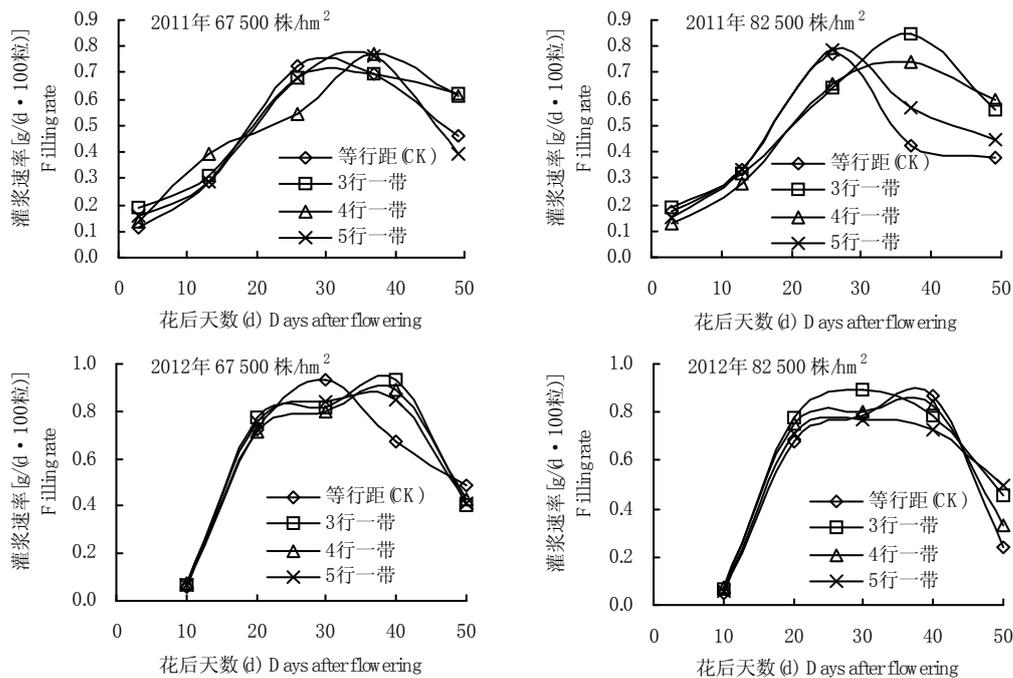


图 2 2011 和 2012 年不同种植方式与密度下夏玉米的实际灌浆速率曲线

Fig.2 The reality curves of kernel filling rate in different planting patterns and densities in 2011 and 2012

图2表明,子粒灌浆速率均呈单峰曲线变化,子粒灌浆速率达到最大值 R_{\max} 的时间基本一致,均为灌浆中后期(花后26~40 d),不同种植方式灌浆期内灌浆速率曲线差别很大。2011年在中等密度条件下,4行一带种植方式的灌浆速率最大,为 $0.77\text{ g}/(\text{d}\cdot 100\text{ 粒})$;高密度条件下为3行一带种植方式最大,为 $0.85\text{ g}/(\text{d}\cdot 100\text{ 粒})$;2012年中等密度、高密度条件下,等行距种植方式和3行一带种植方式最大,分别为 $0.94\text{ g}/(\text{d}\cdot 100\text{ 粒})$ 和 $0.89\text{ g}/(\text{d}\cdot 100\text{ 粒})$ 。两年中,高密度条件下最大灌浆速率值均出现在3行一带种植方式中。

3 结论与讨论

玉米子粒灌浆过程主要依赖于生育后期叶片的光合作用,合理的密度和种植方式可通过改善田间通风透光量,避免了生育后期叶片早衰,从而维持了生长中后期叶片的高光合能力,促进了夏玉米吐丝后干物质向子粒的分配积累,即改善了玉米群体灌浆过程^[20~23]。

本研究表明,不同玉米种植方式间产量差异显著,且产量构成因素中的空秆率、穗粒数和百粒重等产量构成要素在不同种植方式间也都存在着一定的差异。李绍长等^[24]研究表明,灌浆时间的长短和灌浆速率决定了玉米灌浆时期子粒干物质积累量。刘霞等^[25]则认为,灌浆持续期对粒重的直接影响效应非常小,其对粒重的影响主要是通过其他灌浆参数间接实现。本研究发现,玉米子粒最终百粒重的高低与灌浆速率 R 和灌浆持续时间 T 的相关系数分别为0.784、0.892(2011年)与0.832、0.173(2012年),即最终百粒重与灌浆速率间有显著的相关性,而与灌浆持续时间的相关系数年际间存在很大差异,这可能与取样时间(即花后开始取样时间及取样间隔时间)、子粒灌浆期间气象因素不同有关,2011年玉米灌浆期(8月下旬至收获)光照时数明显少于2012年,2012年所有处理的平均灌浆速率 R 也均高于2011年。各种种植方式中,3行一带种植方式平均灌浆速率、最大灌浆速率值及最终百粒重均为最高。

研究表明,粒重渐增期和线性灌浆期的群体子粒灌浆速率是影响产量的两个主要特征参数,以粒重渐增期群体子粒灌浆速率的影响更大。郑东泽^[26]等研究表明,渐增期灌浆速率与粒重是极显著正相关,而线性灌浆期灌浆速率与粒重呈负相关。本试验中最终百粒重与渐增期灌浆速率(R_1)和线性灌浆期灌浆速率(R_2)的相关系数为0.531、0.555(2011年)、

0.958、0.672(2012年),说明最终百粒重与渐增期灌浆速率相关性较大。在所有处理中,无论在高密度还是中等密度条件下,3行一带种植方式粒重渐增期灌浆速率均最高,因此,3行一带种植方式灌浆特征表现最佳。

参考文献:

- [1] 张海艳,董树亭,高荣岐. 不同类型玉米子粒灌浆特性分析[J]. 玉米科学, 2007, 15(3): 67-70.
Zhang H Y, Dong S T, Gao R Q. Analysis on kernel filling characteristics for different maize types[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(3): 67-70. (in Chinese)
- [2] 冯汉字,孙健,周顺利,等. 2种熟型玉米子粒灌浆特性及其与产量关系的比较研究[J]. 华北农学报, 2007(S1): 135-139.
Feng H Y, Sun J, Zhou S L, et al. Comparative study of relationship between characteristics of grain filling and yield of two Types of maturity in maize[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2007(S1): 135-139. (in Chinese)
- [3] 刘宗华,张战辉. 玉米子粒灌浆速率研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(11): 148-153.
Liu Z H, Zhang Z H. Research progress on grain filling rate in maize[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(11): 148-153. (in Chinese)
- [4] 李奎亮,韩昆仑,郭春燕. 影响黄淮海南片夏玉米高产的限制因素及纠正措施[J]. 中国种业, 2008(3): 42.
Li K L, Han K L, Guo C Y. Influence Huanghuaihai southern summer maize yield limitations factors and corrective actions[J]. China Seed Industry, 2008(3): 42. (in Chinese)
- [5] 李挺,牛春丽,王淑惠. 播期对夏玉米阶段发育和产量性状的影响[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(7): 1156-1158.
Li T, Niu C L, Wang S H. The effect on stage growth and yield properties of summer maize[J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2005, 33(7): 1156-1158. (in Chinese)
- [6] 周进宝,杨国航,孙世贤,等. 黄淮海夏播玉米区玉米生产现状和发展趋势[J]. 作物杂志, 2008(2): 4-7.
Zhou J B, Yang G H, Sun S X, et al. Current situation and prospect of maize production in the Huanghuaihai summer maize region[J]. Crops, 2008(2): 4-7. (in Chinese)
- [7] Sharratt B S, McWilliams D A. Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row corn[J]. Agronomy Journal, 2005, 97: 1129-1135.
- [8] 武志海,张治安,徐克章. 大垄双行种植玉米群体冠层结构及光合特性的解析[J]. 玉米科学, 2005, 13(4): 62-65.
Wu Z H, Zhang Z A, Xu K Z. Researched on characteristics of canopy structure and photosynthetic characteristic of maize planting in double lines at one width ridge[J]. Journal of Maize Sciences, 2005, 13(4): 62-65. (in Chinese)
- [9] Yilmaz S, Erayman M, Gozubenli H, et al. Twin or narrow-row planting patterns versus conventional planting in forage maize production in the eastern mediterranean[J]. Cereal Res. Commun, 2008, 36: 189-199.
- [10] 柯福来,马兴林,黄瑞冬,等. 种植密度对先玉335群体子粒灌浆特征的影响[J]. 玉米科学, 2011, 19(2): 58-62, 66.

- Ke F L, Ma X L, Huang R D, et al. Effects of planting densities on population grain filling characteristics of maize hybrid Xianyu335[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2011, 19(2): 58–62, 66. (in Chinese)
- [11] 王同朝, 卫 丽, 马 超, 等. 不同生态区夏玉米两类熟期品种子粒灌浆动态和产量分析[J]. *玉米科学*, 2010, 18(3): 84–89. Wang T C, Wei L, Ma C, et al. Dynamic process of grain-filling and yield factors analysis of late-matured and middle-matured varieties of summer maize after Flowering[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2010, 18(3): 84–89. (in Chinese)
- [12] 朱元刚, 董树亭, 张吉旺, 等. 种植方式对夏玉米光合生产特征和光温资源利用的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(6): 1417–1424. Zhu Y G, Dong S T, Zhang J W, et al. Effects of cropping patterns on photosynthesis characteristics of summer maize and its utilization of solar and heat resources[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(6): 1417–1424. (in Chinese)
- [13] 王晓燕, 张洪生, 盖伟玲, 等. 种植密度对不同玉米品种产量及子粒灌浆的影响[J]. *山东农业科学*, 2011(4): 36–38. Wang X Y, Zhang H S, Gai W L, et al. Effects of plant density on yield and kernel filling of different maize varieties[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2011(4): 36–38. (in Chinese)
- [14] 张 雯, 衣 莹, 侯立白. 辽西地区垄作保护性耕作方式对玉米产量效应的影响研究[J]. *玉米科学*, 2007, 15(5): 96–99. Zhang W, Yi Y, Hou L B. Influences of different cultivation patterns under ridge plowing on maize yield effect in western dryable area of Liaoning province[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2007, 15(5): 96–99, 103. (in Chinese)
- [15] 张文斌, 杨祁峰, 牛俊义, 等. 种植密度对全膜双垄沟播种玉米子粒灌浆及产量的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2010, 45(2): 74–78. Zhang W B, Yang Q F, Niu J Y, et al. Effect of planting density on the grain filling characteristics and yield of maize with whole covering on double ridges and planting in catchment furrows[J]. *Journal of Gansu Agriculture University*, 2010, 45(2): 74–78. (in Chinese)
- [16] 赵洪亮, 马瑞昆, 刘恩财. 不同冬小麦品种子粒灌浆特性参数对供水的反应[J]. *华北农学报*, 2008, 23(1): 75–80. Zhao H L, Ma R K, Liu E C. Responses of grain-filling parameters to water supply of different winter wheat cultivars[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23(1): 75–80. (in Chinese)
- [17] 冯 伟, 郭天财, 李 晓. 不同降雨年型下水分处理对大穗型小麦品种子粒灌浆及产量的影响[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(1): 192–195, 199. Feng W, Gou T C, Li X. Effects of irrigation on grain filling and yield of large-ear cultivar under different annual precipitation[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(1): 192–195, 199. (in Chinese)
- [18] 乔玉辉, 宇振荣, Driessen P M. 冬小麦干物质在各器官中的累积和分配规律研究[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(5): 543–546. Qiao Y H, Yu Z R, Driessen P M. Quantification of dry matter accumulation and distribution among different organs of winter wheat[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(5): 543–546. (in Chinese)
- [19] 张晓龙. 小麦品种子粒灌浆研究[J]. *作物学报*, 1982, 8(2): 87–94. Zhang X L. Study on the grain filling of wheat[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1982, 8(2): 87–93. (in Chinese)
- [20] 张超男, 赵会杰, 王俊忠, 等. 不同施肥方式对夏玉米碳水化合物代谢关键酶活性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(1): 54–58. Zhang C N, Zhao H J, Wang J Z, et al. Effect of different fertilization methods on activities of key enzymes in carbohydrate metabolism of summer maize[J]. *Plant Nutrition Fertilizer Science*, 2008, 14(1): 54–58. (in Chinese)
- [21] 殷立娟, 石德成. 东北碱化草地的主要盐分 Na_2CO_3 对羊草危害因素分析[J]. *草业学报*, 1993, 2(1): 1–5. Yin L J, Shi D C. An analysis of a main salt of alkalinizing meadow steppe Na_2CO_3 -harming factors to *Leymus Chinensis*[J]. *Acta Prata-culturae Sinica*, 1993, 2(1): 1–5. (in Chinese)
- [22] 王俊忠, 张超男, 赵会杰, 等. 不同施肥方式对超高产夏玉米叶绿素荧光特性及产量性状的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(3): 479–483. Wang J Z, Zhang C N, Zhao H J, et al. Effect of different fertilization methods on chlorophyll fluorescence parameters and yield of summer maize[J]. *Plant Nutrition Fertilizer Science*, 2008, 14(3): 479–483. (in Chinese)
- [23] 王俊秀, 高聚林, 王志刚, 等. 不同覆膜方式对春玉米超高产群体冠层垂直结构的影响[J]. *玉米科学*, 2009, 17(6): 63–67. Wang J X, Gao J L, Wang Z G, et al. Effects of different film mulching treatments on vertical canopy structures of super-high yield colony of spring maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2009, 17(6): 63–67. (in Chinese)
- [24] 李绍长, 白 萍, 吕 新, 等. 不同生态区及播期对玉米子粒灌浆的影响[J]. *作物学报*, 2003, 29(5): 775–778. Li S C, Bai P, Lü X, et al. Ecological and sowing date effects on maize grain filling[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2003, 29(5): 775–778. (in Chinese)
- [25] 刘 霞, 王庆成, 刘开昌, 等. 粒重对氮素的响应及其与子粒灌浆参数的相关与通径分析[J]. *玉米科学*, 2010, 18(1): 90–95. Liu X, Wang Q C, Liu K C, et al. Response of grain weight to nitrogen and correlation and path analysis on grain filling parameters[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2010, 18(1): 90–95. (in Chinese)
- [26] 郑东泽, 李 明, 杨 勇, 等. 气象因素对寒地玉米籽粒发育的影响[OL]. [201202–354]. 中国科技论文在线(<http://www.paper.edu.cn>).

(责任编辑: 高 阳)