

网络出版时间:2018-09-06 17:30

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2019.03.004

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180906.1723.008.html>

北方地区玉米骨干自交系灌浆特性研究

周 婷, 谢 宇, 郜 悦, 李艳华, 王彦飞, 杨伟光

(吉林农业大学 农学院, 吉林 长春 130118)

【摘 要】【目的】研究北方地区玉米主产区骨干自交系籽粒干物质积累的过程(即籽粒灌浆过程),为优良自交系的选育提供依据。【方法】选用北方地区 10 个玉米骨干自交系(中早熟自交系 A187,中熟自交系郑 58、PH4CV、J9D207、KWCB1、KWMM31、HM12111,中晚熟自交系 PH6WC,晚熟自交系昌 7-2、M5972),研究骨干自交系百粒质量及灌浆速率的差异;应用 Logistic 模型对骨干自交系的籽粒灌浆过程进行拟合,比较不同自交系的灌浆参数;然后采用通径分析,研究百粒质量与灌浆活跃期和灌浆速率的关系。【结果】玉米自交系干物质积累随着授粉后时间推移而增加,呈“慢-快-慢”趋势。郑 58 的百粒质量在授粉后 65 d 最大、其次为 HM12111、A187。10 个骨干自交系灌浆速率差异显著,授粉后 20~35 d 的灌浆速率均值明显高于其他时间。Logistic 模型较好地拟合了籽粒灌浆过程,确定了各骨干自交系的灌浆渐增期、快增期和缓增期。玉米骨干自交系百粒质量受灌浆速率和灌浆时间的影响,其中灌浆速率起决定作用。各骨干自交系百粒质量主要在灌浆快增期增加。灌浆活跃期及不同时期灌浆速率均对百粒质量有正向效应,其中灌浆快增期平均速率对百粒质量的正向效应最大。【结论】10 个骨干自交系的平均灌浆速率以郑 58、HM12111 和 A187 较大,可在杂交种组配时充分地加以利用;通过提高灌浆快增期和渐增期平均速率,确保灌浆活跃期,相对延长快增期持续时间,可达到提高产量的目的。

【关键词】 玉米自交系;灌浆特性;干物质积累

【中图分类号】 S513

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2019)03-0021-07

Grouting characteristics of maize backbone inbred lines in north China

ZHOU Ting, XIE Yu, GAO Yue, LI Yanhua,

WANG Yanfei, YANG Weiguang

(College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China)

Abstract:【Objective】This research studied the process of grain dry matter accumulation (i. e. the grain filling process) in the backbone inbred lines in the main corn producing areas in the northern region of China to provide basis for the breeding of excellent inbred lines. 【Method】Ten maize inbred lines (early-maturing inbred line A187, middle-maturing inbred lines Zheng 58, PH4CV, J9D207, KWCB1, KWMM31 and HM12111, late-maturing inbred line PH6WC, and late-maturing inbred lines Chang 7-2 and M5972) from northern China were selected to study the differences in 100-seed quality and filling rates. Logistic model was used to fit the grain filling process of the backbone inbred lines, and different filling parameters were compared. The path analysis was also used to study the relationship between the quality of 100 grains and the active period of grouting and the filling rate. 【Result】Dry matter accumulation of maize inbred lines increased with time after pollination, showing a trend of “slow-fast-slow”. The differences in filling

【收稿日期】 2017-12-15

【基金项目】 国家重点研发计划项目(2017YFD0101102-3);吉林省科技计划项目(20160204001NY, 20170307009NY)

【作者简介】 周 婷(1992—),女,吉林吉林人,硕士,主要从事玉米遗传育种研究。E-mail:815821071@qq.com

【通信作者】 杨伟光(1960—),男,吉林梨树人,教授,博士生导师,主要从事玉米遗传育种研究。E-mail:ywg789@126.com

rates of the 10 backbone inbred lines were significant, and the filling rate 20 to 35 days after pollination was significantly higher than other times. Zheng 58 had the highest quality of 100 seeds 65 days after pollination, followed by HM12111 and A187. Logistic model well fit the grain filling process, and the grain filling early stage, middle stage and late stage were determined in all the inbred lines. The 100 grain mass of maize backbone inbred lines was affected by grain filling rate and grain filling time, and grain filling rate played a decisive role. The quality of 100 grains of each backbone inbred line mainly increased during the period of fast grain filling. The active period of grain filling and filling rate in different periods all had a positive effect on the quality of 100 grains, of which the mean grain-filling rate of middle stage had the greatest effect on the quality of 100 grains. 【Conclusion】 The filling rate of 10 backbone inbred lines was larger than that of Zheng 58, HM12111 and A187, and could be fully and reasonably utilized when the hybrids were assembled. By increasing the mean grain-filling rate of middle stage and early stage ensuring the active period of grain filling and relatively prolonging the duration of middle stage can achieve the purpose of increasing production.

Key words: maize lines; grain filling; dry matter

玉米籽粒产量是由单位面积穗数、穗粒数与百粒质量 3 个因素组成,其中百粒质量为比较稳定的性状,主要由遗传因素控制,受环境因素影响较小^[1],因此通过提高百粒质量来提高玉米籽粒产量更加稳定。由于籽粒灌浆过程就是玉米籽粒形成的过程^[2-3],所以研究籽粒灌浆过程对提高百粒质量是十分必要的,并且灌浆特性由遗传决定^[4-6],即亲本自交系灌浆特性影响杂交种灌浆特性,因此研究玉米自交系灌浆特性对于提高玉米杂交种产量有重要意义。

相关研究表明,粒质量主要与有效灌浆期的籽粒生长速率密切联系^[7],且玉米籽粒干物质的积累决定于灌浆时期和灌浆速度^[8-9],从而影响产量。籽粒质量的高低主要由灌浆速率的大小决定,而不是灌浆持续时间的长短^[10],因此产量的主要限制因子为籽粒灌浆速率^[11]。因为玉米品种间的籽粒灌浆速率存在差异,选择有效并可遗传^[12-14],所以通过玉米籽粒灌浆速率的表现来选择适合的玉米自交系,将其应用于玉米育种过程中,从而达到玉米增产的目的。品种内粒质量差异是由灌浆速率决定的,品种间粒质量差异是由灌浆持续期长短造成的^[15]。应用关系模型拟合籽粒灌浆过程,在水稻方面较多,研究表明,在保持籽粒最终生长量和结实率稳定的条件下,提高水稻籽粒灌浆速率,对提高籽粒质量具有重要意义^[16-20]。目前关系模型在玉米灌浆特性研究方面应用较少。本研究应用 Logistic 关系模型对北方地区 10 个骨干自交系籽粒灌浆过程进行拟合,分析和探讨不同自交系间灌浆特性的差异,以期选育出具有优良灌浆特性的基础材料,为组配高产杂

交种提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选用北方玉米主产区骨干自交系 10 份,分别是中早熟自交系 A187,中熟自交系郑 58、PH4CV、J9D207、KWCB1、KWMM31、HM12111,中晚熟自交系 PH6WC,晚熟自交系昌 7-2、M5972。

1.2 田间试验

试验采用随机区组设计。10 个自交系的种植密度为 7 万株/hm²,2 次重复。行长 3 m,4 行区,每行种植 15 株,株距 0.22 m,行距 0.65 m,小区面积为 7.8 m²,于 2016 年 5 月 1 日在吉林长春种植,田间管理同大田。

1.3 取样方法

每小区选取行内生长一致的单株,在果穗吐丝前统一套袋,自交授粉。同一自交系在相同时间进行饱和授粉,以保证果穗结实率基本一致。记录各自交系的授粉日期,以便于确定取样时间。去除行首和行尾植株,不做取样处理。授粉后 15 d 开始取样,每隔 5 d 取样 1 次,每次取样 2 穗,共取样 11 次。

取样于上午 07:00—08:00 进行,将样品迅速脱粒后取果穗中部 100 粒,转入 105 ℃烘箱,杀青 30 min,于 80 ℃烘至恒质量,称其干质量。

1.4 分析项目及方法

采用 Logistic 模型^[21-22]拟合玉米籽粒灌浆过程,计算相应的灌浆参数,分析各自交系籽粒灌浆规律。

Logistic 方程为: $W=A/(1+Be^{-Ct})^{-1}$ 。
式中: W 为授粉后百粒质量(授粉日百粒质量 $W_0=0$); A 为理论最大百粒质量; B 、 C 为灌浆参数, 通过方程的一阶导数和二阶导数求得; t 为授粉后时间(授粉日计为 $t_0=0$)。

灌浆高峰开始日期 $t_1=(\ln B-1.317)/C$, 对应的百粒质量 $W_1=A/(1+Be^{-Ct_1})^{-1}$;

灌浆高峰结束日期 $t_2=(\ln B+1.317)/C$, 对应的百粒质量 $W_2=A/(1+Be^{-Ct_2})^{-1}$;

有效灌浆期 $t_3=(\ln B+4.595\ 12)/C$, 对应的百粒质量 $W_3=A$;

灌浆渐增期平均速率 $v_1=w_1/T_1$, 其中渐增期持续时间 $T_1=t_1-t_0$, 渐增期百粒质量增量 $w_1=W_1-W_0$;

灌浆快增期平均速率 $v_2=w_2/T_2$, 其中快增期持续时间 $T_2=t_2-t_1$, 快增期百粒质量增量 $w_2=W_2-W_1$;

灌浆缓增期平均速率 $v_3=w_3/T_3$, 其中缓增期持续时间 $T_3=t_3-t_2$, 缓增期百粒质量增量 $w_3=W_3-W_2$;

平均灌浆速率 $V_{\text{mean}}=W_3/t_3$;

最大灌浆速率时间 $T_{\text{max}}=\ln B/C$;

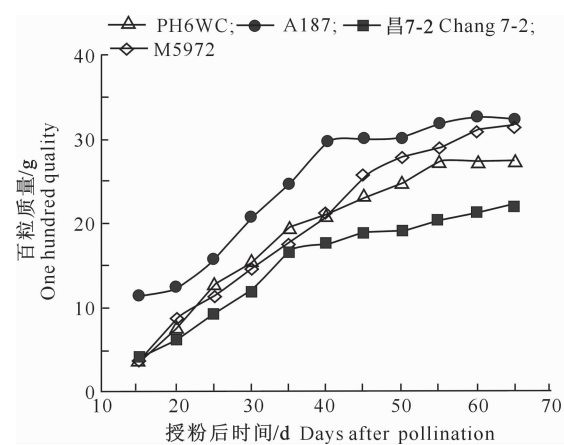


图1 中早熟、中晚熟、晚熟玉米自交系授粉后百粒质量的变化

Fig. 1 Changes in the one hundred quality of mid-early maturity, mid-latematurity and late maturity maize inbred lines after pollination

2.2 不同玉米自交系及授粉后不同时间灌浆速率的差异

由表1可知, 郑58籽粒灌浆速率均值最大, 为0.607 6 g/d, 与其他自交系差异显著; KWMM31的灌浆速率均值最小, 为0.330 5 g/d。HM12111与M5972、A187, 昌7-2与KWMM31灌浆速率无显著

最大灌浆速率生长量 $W_{\text{max}}=A/2$;

最大灌浆速率 $R_{\text{max}}=(CW_{\text{max}})(1-W_{\text{max}}/A)$;

积累起始势 $R_0=C$;

灌浆活跃期(总积累量约达到90%的时间) $P=6/C$ 。

1.5 数据统计与分析

采用 Microsoft Excel 2010 和 DPS 15.10 进行数据计算与分析, 采用 Curve Expert 1.4 软件拟合方程。

2 结果与分析

2.1 授粉后不同玉米骨干自交系百粒质量的变化

授粉后不同时期10个玉米骨干自交系百粒质量的变化如图1和图2所示。由图1和图2可知, 不同玉米骨干自交系的百粒质量随着授粉后时间推移而逐渐增加, 表现为授粉后15~20 d干物质积累速度逐渐增加, 授粉后20~40 d干物质积累明显加快, 授粉后40~65 d干物质增加缓慢, 玉米骨干自交系干物质积累的过程符合“慢-快-慢”趋势, 呈“S”型曲线, 与刘克礼等^[23]的研究结果相符。授粉后65 d, 郑58百粒质量最大, 其次是HM12111、A187, 昌7-2百粒质量最小。

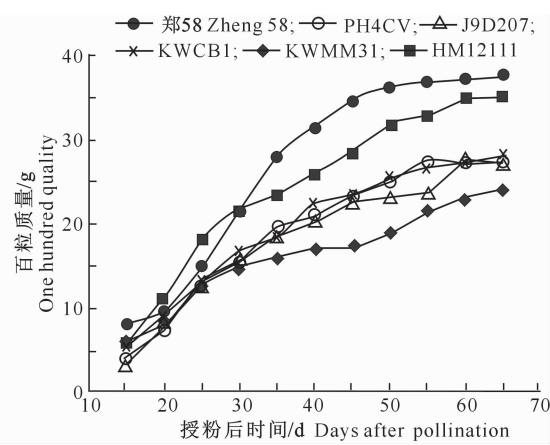


图2 中熟玉米自交系授粉后百粒质量的变化

Fig. 2 Changes of the hundred quality of medium maturity maize inbred lines pollination

差异。

由表2可知, 授粉后25~30与30~35, 20~25 d玉米的灌浆速率无显著差异, 但极显著高于其他时间段。授粉后55~60与60~65 d的灌浆速率无显著差异。授粉后20~35 d灌浆速率均值最大, 因此10个自交系的灌浆高峰多集中在授粉后20~35

d;授粉后 35~40 d 之后,随着时间的推移,灌浆速率下降,籽粒干物质增加平缓。
率均值下降,表明授粉后 35~40 d 灌浆速率开始下

表 1 不同玉米骨干自交系灌浆速率的比较

Table 1 Comparison of filling rates of different maize backbone inbred lines

自交系 Inbred line	灌浆速率均值/(g·d ⁻¹) Average filling rate	自交系 Inbred line	灌浆速率均值/(g·d ⁻¹) Average filling rate	自交系 Inbred line	灌浆速率均值/(g·d ⁻¹) Average filling rate
郑 58 Zheng 58	0.607 6 aA	PH6WC	0.432 8 cdBCD	昌 7-2 Chang 7-2	0.334 3 eD
HM12111	0.525 7 bAB	PH4CV	0.432 8 cdBCD		
M5972	0.509 1 bcABC	KWCB1	0.422 6 dBCD	KWMM31	0.330 5 eD
A187	0.483 5 bcdBC	J9D207	0.405 1 deCD		

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。下同。
Note:Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$), while different capital letters indicate extremely significant difference ($P<0.01$). The same below.

表 2 玉米骨干自交系授粉后不同时间灌浆速率的比较

Table 2 Comparison of filling rates at different time after pollination of maize backbone inbred lines

时间/d Time	灌浆速率均值/(g·d ⁻¹) Average filling rate	时间/d Time	灌浆速率均值/(g·d ⁻¹) Average filling rate	时间/d Time	灌浆速率均值/(g·d ⁻¹) Average filling rate
25~30	0.785 0 aA	15~20	0.586 9 bB	50~55	0.190 2 eEF
30~35	0.732 1 aA	40~45	0.435 8 cC	55~60	0.118 9 efFG
20~25	0.726 5 aA	0~15	0.392 6 cCD	60~65	0.072 9 fG
35~40	0.596 1 bB	45~50	0.295 2 dDE		

2.3 不同骨干自交系灌浆特征参数的比较 (W)为依变数,用 Logistic 方程对籽粒灌浆过程进
以授粉后时间(t)为自变数,授粉后百粒质量 行拟合,结果见表 3。

表 3 10 个玉米骨干自交系的灌浆参数

Table 3 Grouting parameters of 10 maize backbone inbred lines

自交系 Inbred line	A/g	B	C	r	R_0	$\frac{R_{\max}}{(g \cdot d^{-1})}$	$T_{\max}/d$	$W_{\max}/g$	$\frac{V_{\text{mean}}}{(g \cdot d^{-1})}$	P/d	t_3/d
A187	32.81	13.90	0.11	0.998 3	0.11	0.88	24.48	16.40	0.48	55.80	67.21
郑 58 Zheng 58	37.74	36.85	0.13	0.997 3	0.13	1.23	27.76	18.87	0.59	46.18	63.12
PH4CV	27.42	26.64	0.12	0.996 4	0.12	0.80	28.14	13.71	0.40	51.44	67.54
J9D207	26.30	19.95	0.11	0.996 0	0.11	0.72	27.47	13.15	0.37	55.08	69.66
KWCB1	27.74	17.75	0.11	0.996 0	0.11	0.74	27.07	13.87	0.39	56.46	70.31
KWMM31	23.31	9.42	0.08	0.995 7	0.08	0.49	26.73	11.65	0.28	71.48	81.47
HM12111	34.74	16.41	0.10	0.992 3	0.10	0.89	27.30	17.37	0.48	58.55	72.14
PH6WC	30.03	16.86	0.11	0.990 8	0.11	0.81	26.07	15.01	0.43	55.36	68.46
昌 7-2 Chang 7-2	21.23	27.22	0.12	0.988 4	0.12	0.65	27.05	10.62	0.32	49.12	64.67
M5972	32.78	23.23	0.10	0.982 0	0.10	0.79	32.74	16.39	0.40	62.46	80.58

注:A.理论最大百粒质量;B、C.灌浆参数; r .相关系数; R_0 .积累起始势; $R_{\max}$.最大灌浆速率; $T_{\max}$.最大灌浆速率时间; $W_{\max}$.最大灌浆速率生长量; V_{mean} .平均灌浆速率; P .灌浆活跃期; t_3 .有效灌浆期。
Note:A. The theory of the maximum hundred quality;B、C. Grouting parameters; r . Coefficient of correlation; R_0 . Initial grain-filling potential; $R_{\max}$. Maximum grain-filling rate; $T_{\max}$. Time to reach the maximum filling rate; $W_{\max}$. Grain weight at the time of maximum grain-filling rate; V_{mean} . Mean grain-filling rate; P . Active grain-filling period; t_3 . Effective grain-filling time.

由表 3 可知,10 个玉米骨干自交系灌浆过程方程拟合的线性相关系数(r)在 0.982 0~0.998 3,当自由度是 9 时, $|r|>r_{0.01}=0.735$,达极显著水平,表明 Logistic 方程能较好地拟合玉米籽粒灌浆过程。各骨干自交系灌浆特征参数分析表明,郑 58 的理论最大百粒质量(A)最大为 37.74 g,积累起始势(R_0)最大为 0.13,最大灌浆速率($R_{\max}$)最大为1.23 g/d,最大灌浆速率生长量($W_{\max}$)最大为 18.87 g,平均灌浆速度(V_{mean})最大为 0.59 g/d,灌浆活跃期(P)、有效灌浆期(t_3)均最短,分别为 46.18 和63.12

d。KWMM31 的理论最大百粒质量(A)为 23.31 g, 积累起始势(R_0)最小为 0.08,最大灌浆速率($R_{\max}$) 最小为 0.49 g/d,平均灌浆速率(V_{mean})最小为 0.28 g/d,其灌浆活跃期(P)和有效灌浆期(t_3)均最长, 分别为 71.48 和 81.47 d。昌 7-2 的理论最大百粒质量最小,为 21.23 g。A187 的最大灌浆速率时间 ($T_{\max}$)最早,为授粉后 24.48 d;M5972 最大灌浆速率时间($T_{\max}$)最晚,为授粉后 32.74 d。

由于郑 58 灌浆活跃期、有效灌浆期最短,其平均灌浆速率最大,导致郑 58 百粒质量最大。A187 与 HM12111、PH4CV 与 M5972 的平均灌浆速率相同,但 HM12111、M5972 的灌浆活跃期较大,因此 HM12111、M5972 的百粒质量较大。KWMM31 的平均灌浆速率小于昌 7-2,由于其灌浆活跃期和有效灌浆期长于昌 7-2,导致 KWMM31 的百粒质量大于昌 7-2。结果表明,玉米骨干自交系百粒质量主要受灌浆速率和灌浆时期影响,其中灌浆速率起到主要作用,当玉米自交系灌浆速率相同时,灌浆时期的长短决定百粒质量;当灌浆速率差异较大时,灌浆速率大的自交系百粒质量也较大。

2.4 玉米骨干自交系不同灌浆时期特性的比较

采用柯福来等^[24]的方法,将灌浆过程划分为渐增期、快增期和缓增期 3 个时期。由表 4 可知,在灌

浆渐增期,M5972 的持续时间(T_1)最长为 19.03 d, KWMM31 持续时间最短为 11.04 d;A187 灌浆平均速率(v_1)最大为 0.57 g/d,昌 7-2 的灌浆平均速率最小为 0.28 g/d;郑 58 的百粒质量增量(w_1)最大为 7.98 g,昌 7-2 百粒质量增量最小为 4.49 g。在灌浆快增期,KWMM31 持续时间(T_2)最长为 31.38 d;郑 58 持续时间最短为 20.27 d,但郑 58 平均速率(v_2)最大为 1.07 g,因此郑 58 百粒质量增量(w_2)最大(21.79 g)。在灌浆缓增期,亦有相同趋势,KWMM31 持续时间(T_3)最长为 39.06 d;郑 58 持续时间最短为 25.23 d,其平均速率(v_3)最大为 0.30 g,故郑 58 百粒质量增量(w_3)最大(7.60 g)。

供试 10 个骨干自交系灌浆各期持续时间均表现为缓增期>快增期>渐增期,百粒质量增量呈现为快增期>渐增期>缓增期,灌浆速率均呈现快增期> 渐增期> 缓增期。3 个时期百粒质量增量总体上均为郑 58> HM12111> A187> M5972> PH6WC > KWCB1 > PH4CV > J9D207 > KWMM31>昌 7-2。分析可知,骨干自交系百粒质量主要是在灌浆快增期增加,相对增加快增期持续时间,可提高快增期百粒质量增量,从而达到提高百粒质量目的。

表 4 玉米骨干自交系不同灌浆时期的特征参数

Table 4 Characteristic parameters of maize backbone inbred lines in different filling periods

自交系 Inbred lines	渐增期 Early stage			快增期 Middle stage			缓增期 Late stage		
	T_1/d	$v_1/(\text{g} \cdot \text{d}^{-1})$	w_1/g	T_2/d	$v_2/(\text{g} \cdot \text{d}^{-1})$	w_2/g	T_3/d	$v_3/(\text{g} \cdot \text{d}^{-1})$	w_3/g
A187	12.23	0.57	6.93	24.50	0.77	18.94	30.49	0.22	6.60
郑 58 Zheng 58	17.62	0.45	7.98	20.27	1.07	21.79	25.23	0.30	7.60
PH4CV	16.85	0.34	5.79	22.58	0.70	15.83	28.11	0.20	5.52
J9D207	15.39	0.36	5.56	24.18	0.63	15.18	30.09	0.18	5.29
KWCB1	14.68	0.40	5.86	24.79	0.65	16.02	30.85	0.18	5.59
KWMM31	11.04	0.45	4.92	31.38	0.43	13.46	39.06	0.12	4.69
HM12111	14.45	0.51	7.34	25.70	0.78	20.06	31.99	0.22	6.99
PH6WC	13.92	0.46	6.34	24.30	0.71	17.34	30.25	0.20	6.04
昌 7-2 Chang 7-2	16.27	0.28	4.49	21.57	0.57	12.26	26.84	0.16	4.27
M5972	19.03	0.36	6.93	27.42	0.69	18.92	34.12	0.19	6.60

注: T_1 . 灌浆渐增期持续时间; v_1 . 灌浆渐增期平均速率; w_1 . 灌浆渐增期百粒质量增量; T_2 . 灌浆快增期持续时间; v_2 . 灌浆快增期平均速率; w_2 . 灌浆快增期百粒质量增量; T_3 . 灌浆缓增期持续时间; v_3 . 灌浆缓增期平均速率; w_3 . 灌浆缓增期百粒质量增量。

Note: T_1 . Grain-filling duration of early stage; v_1 . Mean grain-filling rate of early stage; w_1 . Increased the quality of 100 grains of early stage; T_2 . Grain-filling duration of middle stage; v_2 . Mean grain-filling rate of middle stage; w_2 . Increased the quality of 100 grains of middle stage; T_3 . Grain-filling duration of late stage; v_3 . Mean grain-filling rate of late stage; w_3 . Increased the quality of 100 grains of late stage.

2.5 玉米百粒质量与灌浆活跃期和灌浆速率关系的通径分析

以理论最大百粒质量(A)为依变数(y),以灌浆

活跃期(P, x_1)、灌浆渐增期平均速率(v_1, x_2)、灌浆快增期平均速率(v_2, x_3)、灌浆缓增期平均速率(v_3, x_4)为自变数进行通径分析,通径分析参考明道

绪^[25]的方法进行,结果见表 5。由表 5 直接通径系数可知,灌浆活跃期及不同时期灌浆速率均对百粒质量有正向效应,效应强度由大到小依次为灌浆快增期平均速率(x_3)>灌浆活跃期(x_1)>灌浆渐增期平均速率(x_2)>灌浆缓增期平均速率(x_4)。因此,百粒质量主要受灌浆快增期平均速率的影响。

由表 5 可知, $P'_{(x_1 \rightarrow x_3 \rightarrow y)} = -0.752\ 6$,表明灌浆快增期平均速率对灌浆活跃期有负向效应,进而会影响百粒质量。 $P'_{(x_2 \rightarrow x_3 \rightarrow y)} = 0.411\ 5$,可知灌浆快增期平均速率对灌浆渐增期平均速率有正向效应。

表 5 玉米灌浆活跃期和灌浆速率对百粒质量影响的通径分析

Table 5 Path coefficients for active grain-filling period and filling rate at filling period to 100-grain dry weight

项目	通径系数(P') Path coefficients			
Item	$x_1 \rightarrow y$	$x_2 \rightarrow y$	$x_3 \rightarrow y$	$x_4 \rightarrow y$
$x_1 \rightarrow$	<u>0.528 8</u>	0.011 7	-0.752 6	-0.013
$x_2 \rightarrow$	0.127 4	<u>0.048 7</u>	0.411 5	0.007 2
$x_3 \rightarrow$	-0.338 6	0.017 1	<u>1.175 4</u>	0.019 9
$x_4 \rightarrow$	-0.345 4	0.017 6	1.173 7	<u>0.019 9</u>

注:y. 理论最大百粒质量(A); x_1 . 灌浆活跃期(P); x_2 . 灌浆渐增期平均速率(v_1); x_3 . 灌浆快增期平均速率(v_2); x_4 . 灌浆缓增期平均速率(v_3)。加下划线为直接通径系数,其余为间接通径系数。
Note:y. The theory of the maximum hundred quality(A); x_1 . Active grain-filling period(P); x_2 . Mean grain-filling rate of early stage(v_1);
 x_3 . Mean grain-filling rate of middle stage(v_2); x_4 . Mean grain-filling rate of late stage(v_3). Underline is the direct path coefficient,
and the rest are indirect path coefficients.

3 讨 论

优良的种质资源是玉米杂种优势利用的基础,亲本自交系的优劣与杂交种性状的表现密切相关,亲本自交系灌浆特性会影响杂交种灌浆特性。因此,研究自交系灌浆特性十分必要。

黄智鸿等^[26]研究认为,籽粒平均灌浆速率和最大灌浆速率是影响玉米品种内百粒质量的主要因素,而灌浆持续时间的长短是影响玉米品种间百粒质量的主要因素。本研究结果表明,10 个玉米骨干自交系灌浆速率存在差异,其中郑 58 最大灌浆速率和平均灌浆速率均高于其他品种,其灌浆活跃期最短,说明较高籽粒灌浆速率是籽粒质量增加的主要原因。吴春胜^[27]研究表明,超高产玉米品种籽粒灌浆速率持续时间显著高于对照组品种。本研究结果表明,灌浆快增期平均速率最大,灌浆快增期的百粒质量增量也最大,因此快增期持续时间长有利于提高籽粒干物质积累量。王晓慧等^[28]认为,通过延长灌浆活跃期、有效灌浆时间、快增期和缓增期持续时间,提高渐增期灌浆平均速率,有利于提高玉米产量。Daynard 等^[29]建议通过延长灌浆持续期达到增加百粒质量的目的。本研究结果表明,灌浆活跃期

$P'_{(x_3 \rightarrow x_1 \rightarrow y)} = -0.338\ 6$ 和 $P'_{(x_4 \rightarrow x_1 \rightarrow y)} = -0.345\ 4$,表明灌浆活跃期对灌浆快增期和缓增期平均速率有负向效应。 $P'_{(x_4 \rightarrow x_3 \rightarrow y)} = 1.173\ 7$,表明灌浆快增期平均速率对灌浆缓增期平均速率有正向效应。说明通过确保灌浆活跃期时长,提高灌浆快增期和渐增期平均速率可提高百粒质量。在玉米育种中,提高自交系灌浆快增期平均速率,有利于提高百粒质量;而延长自交系灌浆活跃期,则不利于百粒质量的增加。

对灌浆快增期平均速率和灌浆缓增期平均速率具有负向效应,因此不建议通过延长灌浆持续期来提高百粒质量。授粉后 65 d,郑 58 的百粒质量最大,其次是 HM12111、A187;郑 58 灌浆快增期和缓增期平均速率均最大,其次 HM12111、A187,可知郑 58 和 HM12111、A187 可应用于玉米育种中,用作改良灌浆速率较低的基础材料。

综上所述,构建基础材料时,应选择成熟期内灌浆快增期平均速率大、快增期持续时间较长、渐增期灌浆速率较大且田间性状表现优良的玉米自交系,来提高其子代籽粒干物质积累量,从而达到玉米高产的目的。

4 结 论

本研究结果表明,10 个玉米骨干自交系中,郑 58 籽粒平均灌浆速率最大,其次是 A187 和 HM12111,建议在玉米育种过程中充分利用这 3 个材料,达到改良玉米灌浆速率,提高玉米籽粒干物质积累量的作用。自交系玉米籽粒干物质积累量主要受快增期灌浆速率影响,其次受灌浆活跃期的影响。可通过提高灌浆快增期和渐增期平均速率,以及相对延长其快增期持续时间的手段,选育出灌浆特性

优良的基础材料,并将其应用到玉米育种中,从而达到提高玉米产量的目的。

【参考文献】

- [1] 秦泰辰,李增禄. 玉米籽粒发育性状的遗传与产量性状关系的研究 [J]. 作物学报, 1991, 17(3): 185-191.
Qin T C, Li Z L. Inheritance of kernel development traits in maize and its relationship with yield traits [J]. Acta Agronomica Sinica, 1991, 17(3): 185-191.
- [2] Maddonni G A, Otegui M E, Bonhomme R. Grain yield components in maize [J]. Field Crops Res, 1998, 56: 247-256.
- [3] Paponov I A, Sambo P, Erley G S A, et al. Grain yield and kernel weight of two maize genotypes differing in nitrogen use efficiency at various levels of nitrogen and carbohydrate availability during flowering and grain filling [J]. Plant & Soil, 2005, 272(1/2): 111-123.
- [4] Zhang Z H, Liu Z H, Cui Z T, et al. Genetic analysis of grain filling rate using conditional QTL mapping in maize [J]. PLoS One, 2013, 8(2): e56344.
- [5] Cross H Z. Diallel analysis of duration and rate of grain filling of seven inbred lines of corn [J]. Crop Science, 1975, 15(4): 532-535.
- [6] 李从锋, 赵 明, 刘 鹏, 等. 中国不同年代玉米单交种及其亲本主要性状演变对密度的响应 [J]. 中国农业科学, 2013, 46(12): 2421-2429.
Li C F, Zhao M, Liu P, et al. Responses of main traits of maize hybrids and their parents to density in different eras of China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(12): 2421-2429.
- [7] Borrás L, Otegui M E. Maize kernel weight response to post-flower-ring source-sink ratio [J]. Crop Science, 2001, 49: 1816-1822.
- [8] 金 益, 王振华, 张永林, 等. 玉米灌浆后期百粒重变化的品种间差异分析 [J]. 东北农业大学学报, 1998, 29(1): 7-10.
Jin Y, Wang Z H, Zhang Y L, et al. Variety analysis of 100 grains varied in maize at late filling stage [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 1998, 29(1): 7-10.
- [9] 王 巍. 玉米自交系籽粒灌浆和脱水速率的配合力分析评价 [J]. 黑龙江农业科学, 2014(8): 1-5.
Wang W. Analysis on combining ability of grain filling and dehydration rate of maize inbred lines [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2014(8): 1-5.
- [10] 张海艳, 董树亭, 高荣岐. 不同类型玉米籽粒灌浆特性分析 [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.
- [11] Ottaviano E, Camussi A. Phenotypic and genetic relationships between yield components in maize [J]. Euphytica, 1981, 30(3): 601-609.
- [12] 任义忠, 王满富, 李 洪, 等. 玉米灌浆特性的遗传研究 [J]. 玉米科学, 1993, 1(4): 4-7.
Ren Y Z, Wang M F, Li H, et al. Genetic studies on grouting characteristics of maize [J]. Journal of Maize Sciences, 1993, 1(4): 4-7.
- [13] 章履孝, 颜 伟. 玉米粒重、灌浆持续期、灌浆速率的遗传特性及其关系研究 [J]. 江苏农业学报, 1997, 139(4): 211-214.
Zhang L X, Yan W. Genetic characteristics of grain weight, duration of filling, filling rate and their relationship [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 1997, 139(4): 211-214.
- [14] 蔡润深. 玉米籽粒水分动态 [J]. 园艺与种苗, 1995(3): 53-54.
Cai R S. Maize grain moisture dynamics [J]. Horticulture & Seed, 1995(3): 53-54.
- [15] 李绍长, 白 萍, 吕 新, 等. 不同生态区及播期对玉米籽粒灌浆的影响 [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.
- [16] 李 杰, 张洪程, 龚金龙, 等. 不同种植方式对超级稻籽粒灌浆特性的影响 [J]. 作物学报, 2011, 37(9): 1631-1641.
Li J, Zhang H C, Gong J L, et al. Influence of planting methods on grain-filling properties of super rice [J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(9): 1631-1641.
- [17] 李旭毅, 池志忠, 姜心禄, 等. 成都平原两熟区籼粳稻品种籽粒灌浆特性 [J]. 中国农业科学, 2012, 45(16): 3256-3264.
Li X Y, Chi Z Z, Jiang X L, et al. Analysis on grain filling characteristics of indica and japonica rice in rapeseed (wheat)-rice planting area in Chengdu basin [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(16): 3256-3264.
- [18] Ray S, Choudhuri M A. Effects of plant growth regulators on grain-filling and yield of rice [J]. Annals of Botany, 1981, 47(6): 755-758.
- [19] Yang J C, Zhang J H. Grain-filling problem in 'super' rice. [J]. Journal of Experimental Botany, 2010, 61(1): 1.
- [20] Morita S L. Grain growth and endosperm cell size under high night temperatures in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Annals of Botany, 2005, 95(4): 695.
- [21] 顾自奋, 封超年, 周美学, 等. 大麦籽粒增重过程的研究 [J]. 作物学报, 1983(3): 181-188.
Gu Z F, Feng C N, Zhou M X, et al. Study on the process of weight gain of barley [J]. Acta Agronomica Sinica, 1983(3): 181-188.
- [22] 马 冲, 邹仁峰. 不同熟期玉米籽粒灌浆特性的研究 [J]. 作物研究, 2000(4): 17-19.
Ma C, Zou R F. Studies on grain filling characteristics of hybrid corn with different growth durations [J]. Crop Research, 2000(4): 17-19.
- [23] 刘克礼, 张茉莉. 春玉米籽粒干物质积累的数量分析 [J]. 华北农学报, 1994, 9(4): 17-22.
Liu K L, Zhang M L. Quantitative analysis of dry matter accumulation in spring corn [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1994, 9(4): 17-22.

的研究 [J]. 安徽农业科学,1999,27(1):73-75.

Li W F,Zhang M N,Liu P N. Studies on the variations of leaf tissue structure in flue-curing process of flue-cured tobacco [J]. Journal of Anhui Agri,1999,27(1):73-75.

[21] 魏 硕,徐 宸,汪代斌,等. 烟叶叶脉水分迁移干燥特性分析 [J]. 南方农业学报,2017,48(7):1286-1290.

Wei S,Xu C,Wang D B,et al. Analysis of moisture migration and drying characteristics of flue-cured tobacco veins [J]. Journal of Southern Agriculture,2017,48(7):1286-1290.

[22] 宫长荣. 烟草调制学 [M]. 北京:中国农业出版社,2011.

Gong C R. Tobacco curing technology [M]. Beijing:Chinese Agricultural Press,2011.

[23] 宫长荣,周义和,杨焕文. 烤烟三段式烘烤导论 [M]. 北京:科学出版社,2006.

Gong C R,Zhou Y H,Yang H W. An introduction to the three stage flue curing of flue cured tobacco [M]. Beijing:Science Press,2006.

(上接第 27 页)

[24] 柯福来,马兴林,黄瑞冬,等. 种植密度对先玉 335 群体籽粒灌浆特征的影响 [J]. 玉米科学,2011,19(2):58-62.

Ke F L,Ma X L,Huang R D,et al. Effects of planting densities on population grain filling characteristics of maize hybrid Xianyu 335 [J]. Journal of Maize Sciences,2011,19(2):58-62.

[25] 明道绪. 通径分析的原理与方法 [J]. 农业科学导报,1986(4):40-45.

Ming D X. Principles and methods of path analysis [J]. Herald of Agricultural Sciences,1986(4):40-45.

[26] 黄智鸿,王思远,申 林,等. 超高产玉米籽粒的灌浆特性 [J]. 西北农业学报,2007(4):14-18.

Huang Z H,Wang S Y,Shen L,et al. Study on characteristics of grain filling of super high-yield maize [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica,2007(4):14-18.

[27] 吴春胜. 超高产玉米灌浆速率与干物质积累特性研究 [J]. 吉林农业大学学报,2008(4):382-385,400.

Wu C S. Studies on characteristics of grain filling and dry matter accumulation of super high-yield maize [J]. Journal of Jilin Agricultural University,2008(4):382-385,400.

[28] 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.

Wang X H,Zhang L,Liu S L,et al. Grain filling characteristics of maize hybrids differing in maturities [J]. Scientia Agricultura Sinica,2014,47(18):3557-3565.

[29] Daynard T B,Tanner J W,Duncan W G. Duration of the grain filling period and its relation to grain yield in corn, *Zea mays* L. [J]. Crop Science,1971,11(1):45-48.