

岳海旺, 陈淑萍, 彭海成, 等. 玉米籽粒灌浆特性品种间比较[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(5): 1043-1048.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.05.014

玉米籽粒灌浆特性品种间比较

岳海旺, 陈淑萍, 彭海成, 宋聪敏, 谢俊良, 李洁, 郭安强, 魏建伟, 卜俊周
(河北省农林科学院旱作农业研究所/河北省农作物抗旱研究重点实验室, 河北 衡水 053000)

摘要: 为明确黄淮海北部不同玉米品种籽粒灌浆特性的差异, 为玉米籽粒熟期选择提供理论依据, 以衡早 8 号玉米杂交种为材料, 华美 1 号和郑单 958 为对照品种, 研究灌浆过程中不同品种籽粒体积、水分含量、籽粒干质量以及灌浆特性的变化, 并对产量构成因素进行了分析。结果显示, 授粉后 20 d 是 3 个玉米品种籽粒体积快速增速期, 在授粉后 45 d 左右 3 个玉米品种籽粒体积达到最大, 衡早 8 号籽粒体积最大, 郑单 958 最小。授粉 15 d 内 3 个玉米品种籽粒干质量增长较为缓慢, 授粉 15~55 d 是籽粒干质量增长快速期, 衡早 8 号籽粒干质量增长速度最快, 郑单 958 最慢, 授粉 55 d 后籽粒干质量增长速度开始放缓。3 个玉米品种灌浆速率均呈单峰曲线, 灌浆峰值衡早 8 号最高, 郑单 958 最低。相关分析结果表明籽粒体积与含水量呈正相关, 与含水率呈负相关, 灌浆速率与含水量呈正相关。通过回归分析得出籽粒含水率在 57% 左右时 3 个玉米品种达到各自灌浆最高峰值。运用 Logistic 模拟方程拟合不同玉米品种的籽粒质量增加过程, 衡早 8 号最大灌浆速率(G_{max})、平均灌浆速率(G_{mean})均高于其他 2 个品种; 衡早 8 号活跃灌浆期、籽粒质量渐增期、快增期和缓增期均低于其他 2 个品种。3 个玉米品种产量差异显著, 千粒质量是产量差异的主要原因。衡早 8 号平均灌浆速率和最大灌浆速率均高于其他 2 个品种, 活跃灌浆期则短于其他 2 个品种, 有利于早熟高产。

关键词: 玉米; 灌浆特性; 产量

中图分类号: S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)05-1043-06

Grain filling characteristics in maize materials

YUE Hai-wang, CHEN Shu-ping, PENG Hai-cheng, SONG Cong-min, XIE Jun-liang, LI Jie, GUO An-qiang, WEI Jian-wei, BU Jun-zhou

(Dryland Farming Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences/Hebei Provincial Key Laboratory of Crops Drought Resistance Research, Hengshui 053000, China)

Abstract: A field experiment was conducted to illustrate the grain filling difference in maize materials in the North of Huanghuaihai region, aiming to provide a theoretical basis for the selection of maturity. The new maize hybrid Hengzao 8 was selected as the experimental material, and varieties Huamei 1 and Zhengdan 958 were selected as CK. The changes of grain size, water content, dry weight and grain filling characteristics during grain filling were studied, and the yield components were analyzed. The grain sizes of three maize materials were enlarged rapidly at 20 d post-pollination and maximized at 45 d post-pollination. Hengzao 8 had the biggest grain and Zhengdan 958 showed the smallest. Three maize materials showed fast growth speeds of dry matter at 15-55 days of pollination, Hengzao 8 being the fastest and Zhengdan 958 being

收稿日期: 2016-03-05

基金项目: 国家玉米产业技术体系项目(nycyt-02); 河北省科技支撑计划项目(16226323D-X); 河北省农林科学院青年基金项目(A2015040101)

作者简介: 岳海旺(1982-), 男, 河北晋州人, 硕士, 助理研究员, 主要从事玉米育种研究。(E-mail) yanjiu1982@163.com

通讯作者: 卜俊周, (E-mail) bujunzhou@126.com

the slowest. The growth speed of grain dry matter dropped afterwards. The grain-filling rate of three materials fit the unimodal distribution; Hengzao 8 presented the highest peak value, and Zhengdan 958, the lowest. Grain size was positively correlated with water content and negatively correlated with the percentage of grain water, and the grain filling rate was positively correlated with water content. Regression analysis revealed that when the percentage of grain water of 3 materials

reached 57%, their grain filling rates peaked. The Logistic model showed that the maximum grain filling rate (G_{max}) and the mean filling rate (G_{mean}) were higher in Hengzao 8 whose active grain filling stage, early stage (T_1), middle stage (T_2) and late stage (T_3) were shorter. The difference in 1 000-grain weight of three materials were responsible for the difference in the yields. The grain filling characteristics of Hengzao 8 is decisive for achieving early maturing and high yield.

Key words: maize; grain filling characteristic; yield

黄淮海北部地区玉米日照时数少,灌浆后期气温低,该区域属于冬小麦夏玉米种植模式,由于下茬作物种植引起的生长期限制,晚熟品种一般不能达到完熟收获,造成严重减产^[1]。因此,选择适宜熟期玉米品种是黄淮海北部地区实现玉米产量不断提高的关键要素之一。灌浆特性是玉米生长后期影响产量的主要因素,玉米籽粒产量与籽粒灌浆特性关系密切。研究籽粒灌浆特性既有助于针对灌浆关键过程采取有效调控措施,从而达到作物高产,又可为适宜熟期玉米育种提供依据。灌浆速率的高低以及灌浆持续期的长短影响玉米灌浆时期的干物质积累从而最终影响籽粒产量^[2-3]。灌浆持续期易受种植密度、基因型和温度等因素影响,灌浆速率对产量的影响强于灌浆持续期^[4]。高产品种具有籽粒体积大、后期灌浆强度大、灌浆速率高等特点^[5]。灌浆速率峰值出现时间较晚,最大灌浆速率较低以及灌浆历时时间较长可能是后期籽粒含水率下降较慢的原因^[6]。以往研究多偏向于不同品种、密度和播期、施肥量以及不同生态条件下灌浆速率特性的变化^[7-9],而对黄淮海北部地区不同品种之间的籽粒灌浆特性研究相对薄弱。黄淮海北部夏播区由于其独特的地理位置,玉米生长后期光热资源比较紧张,导致晚熟品种往往不能正常成熟而收获。针对该区域不同玉米品种灌浆特性研究较少,选育和种植哪种熟期的品种更容易获得高产,目前未见相关报道。衡早 8 号是河北省农林科学院旱作农业研究所近年来培育的一个早熟、耐密、宜机收玉米新品种,为了进一步研究衡早 8 号玉米籽粒灌浆特性,本研究以当地主栽品种郑单 958 和华美 1 号为对照,探明黄淮海北部地区不同玉米品种籽粒灌浆差异,了解和掌握其规律,为选育熟期适中、收获时籽粒含水率低的玉米品种提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试材料衡早 8 号由河北省农林科学院旱作农

业研究所提供,对照品种为郑单 958 和华美 1 号。

1.2 试验设计

试验于 2015 年 6 月 10 日在河北省农业科学院旱作农业研究所试验站种植,前茬未种植任何作物,土壤类型为黏壤土,地势平坦,地力均匀,土壤肥力中等偏上,有水浇条件。

试验采用完全随机区组排列,3 次重复。小区面积 60 m²,10 行区,行长 10.0 m,等行距种植,行距 0.6 m,株距 22.0 cm,留苗密度为 1 hm² 75 000 株,区组两边各设 5 行保护行。整个生育期内进行常规管理。基肥施用安徽六国复合肥(N、P₂O₅、K₂O 含量分别为 22%、12%、14%) 490 kg/hm²。为了有效防治地下害虫,播种前撒施毒土。出苗后到三叶期间苗,五叶期定苗,大喇叭口期追施尿素(纯氮 140 kg/hm²)。在生育期间按照试验要求进行植株性状调查及产量性状调查。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 籽粒灌浆过程测定 玉米吐丝前选择同时吐丝、生长健壮、长势一致的植株套袋,统一人工授粉,在吐丝授粉后第 7 d 开始取样,每 5 d 取样 1 次,直至种子成熟,每小区取 3 个果穗的中部籽粒 100 粒,称其鲜质量和干质量,用排水法测鲜籽粒体积。

干质量的测定方法是:将样品在烘箱内 105 ℃ 条件下杀青 30 min,然后在 80 ℃ 条件下烘干至恒质量,称质量后供分析测定。

含水量(g) = 100 粒鲜质量 - 100 粒干质量; 含水率 = (含水量/鲜质量) × 100%; 灌浆速率(g/d) = [后一次百粒干质量(g) - 前一次百粒干质量(g)] / 2 次取样间隔天数(d)。

玉米收获前,按小区中间未取样的 3 行的实际产量计产,考种。

1.3.2 群体籽粒灌浆特性分析方法 群体籽粒灌浆进程用 Logistic 曲线模拟,曲线方程为 $W = A / (1 + Be^{-kt})$ 。式中 W 为单位面积籽粒干质量, A 为理论单位面积粒质量最大值, B 、 k 为待定参数, t 为吐丝后天数。对 Logistic 方程求一阶导数,可得群体籽粒灌浆

速率(G)的方程,即 $G = AkBe^{-kt}/(1+Be^{-kt})^2$ 。应用时还可以导出以下次级参数,用于描述灌浆特征:

(1)群体籽粒最大灌浆速率(G_{max})和到达最大灌浆速率的时间(T_{max}), $T_{max} = \ln B/k$,将 T_{max} 代入灌浆速率方程即得 G_{max} 。(2)群体籽粒平均灌浆速率(G_{mean})和活跃灌浆期(D) (群体籽粒增质量较快的时期), $G_{mean} = Ak/6$, $D = A/G_{mean}$ 。

(3)采用柯福来等^[10]的方法划分灌浆过程的前期、中期、后期,灌浆前期(籽粒质量渐增期) $T_1 = t_1$;灌浆中期(籽粒质量快增期) $T_2 = t_2 - t_1$;灌浆后期(籽粒质量缓增期) $T_3 = t_3 - t_2$;前期、中期、后期的群体籽粒平均灌浆速率为 p_1 、 p_2 、 p_3 ,设 t_1 、 t_2 、 t_3 对应的籽粒干质量为 W_1 、 W_2 、 W_3 ,则 $p_1 = W_1/T_1$, $p_2 = (W_2 - W_1)/T_2$, $p_3 = (W_3 - W_2)/T_3$ 。

1.4 数据统计分析

利用 Microsoft Excel 2003、DPS7.05 软件进行数据处理和统计分析,用 Curve Expert1.4 软件模拟各品种授粉后籽粒灌浆过程。

2 结果与分析

2.1 不同玉米品种籽粒水分含量的变化

籽粒水分对于研究灌浆期籽粒发育进程来说无疑是一个重要方面^[11]。由图 1 可见,3 个品种籽粒含水量均呈现出由低到高,再从高到低的变化过程。衡早 8 号和华美 1 号籽粒含水量在授粉 15 d 内增长较快,郑单 958 则是在授粉 20 d 内增长较快。3 个品种到达最大含水量时间有所不同,衡早 8 号和华美 1 号在授粉后 30 d 左右达到最高峰,郑单 958 在授粉后 25 d 左右达到最高峰。衡早 8 号和华美 1 号最大籽粒含水量(每粒)分别是 212.11 mg、195.42 mg,郑单 958 最大籽粒含水量(每粒)是 175.91 mg。3 个品种在授粉 30 d 后籽粒含水量下降速度较快,衡早 8 号和华美 1 号下降速度大于郑单 958。

授粉后玉米籽粒含水率不断下降,表现为随着生育进程而降低(图 2)。衡早 8 号籽粒含水率下降幅度要大于郑单 958 和华美 1 号,在收获时(授粉后 65 d),衡早 8 号籽粒含水率最低为 28.48%,华美 1 号和郑单 958 籽粒含水率最低分别为 29.96% 和 30.61%。

2.2 不同玉米品种籽粒体积的变化

授粉后玉米籽粒体积变化如图 3 所示,授粉后

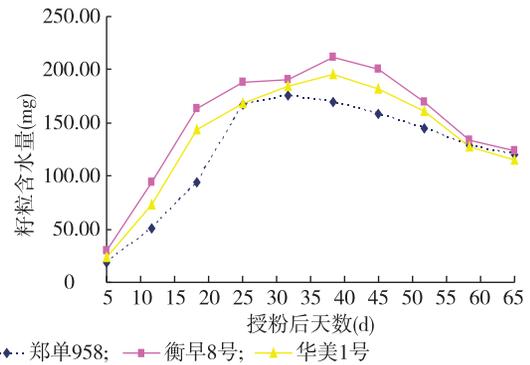


图 1 授粉后不同玉米品种籽粒含水量变化

Fig.1 Variation of grain water content of three maize materials

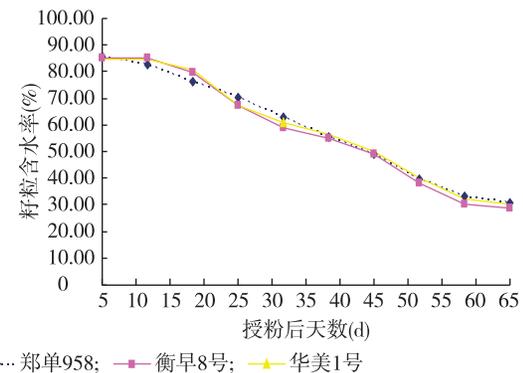


图 2 授粉后不同玉米品种籽粒含水率变化

Fig.2 Variation of percentage of grain water of three maize materials

20 d 是 3 个品种籽粒体积快速增大期,到授粉后 35 d 左右籽粒体积达到其最大体积的 85% 以上(衡早 8 号籽粒体积达到其最大体积的 85%,华美 1 号和郑单 958 达到其最大体积的 86% 和 90%)。3 个品种籽粒体积最大均在授粉后 45 d 左右,衡早 8 号籽粒体积最大值要高于华美 1 号和郑单 958,每 100 粒籽粒体积分别为 42.4 ml、38.8 ml 和 32.7 ml。

2.3 不同玉米品种籽粒干质量变化

由图 4 可见,3 个品种籽粒干质量在授粉后 15 d 内增长相对缓慢,这个时期正处于籽粒水分快速增长阶段。授粉后 15~55 d 各品种籽粒干质量迅速增加,此期为籽粒干物质积累的重要时期,这一时期郑单 958 的单粒干质量增长速率为 6.63 mg/d,较华美 1 号和衡早 8 号单粒干质量增长速率低 6.0% 和 14.9%。授粉后 55~65 d 衡早 8 号籽粒干质量每粒仅增加 2.51 mg,远低于华美 1 号的每粒 11.10 mg 和郑单 958 的每粒 10.17 mg。从整个灌

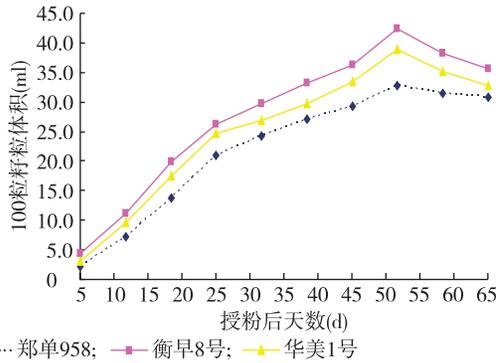


图3 授粉后不同玉米品种授粉后籽粒体积变化

Fig.3 Variation of grain size of three maize materials after pollination

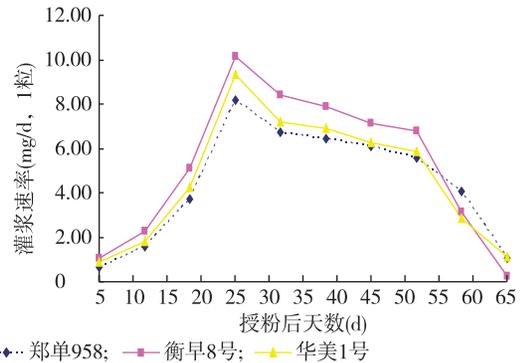


图5 授粉后不同玉米品种籽粒灌浆速率变化

Fig.5 Variation of grain filling rate of three maize materials after pollination

浆期来看,衡早8号较华美1号和郑单958表现出较强的干物质积累强度,3个品种的籽粒干质量增长速率表现为衡早8号>华美1号>郑单958。

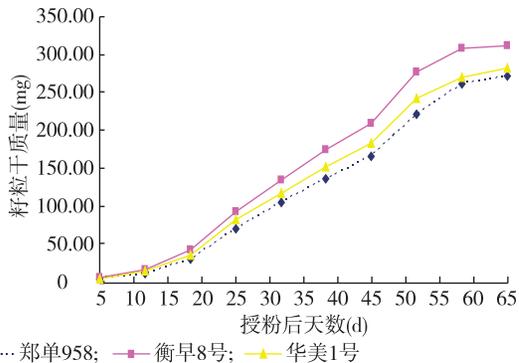


图4 授粉后不同玉米品种籽粒干质量变化

Fig.4 Variation of grain dry weight of three maize materials after pollination

2.4 不同玉米品种籽粒灌浆速率变化

各品种籽粒灌浆速率在整个籽粒发育过程中均呈单峰抛物线型变化(图5)。3个品种的最大灌浆速率均出现在授粉后20d左右,郑单958、华美1号和衡早8号最大灌浆速率分别为每粒8.16 mg/d、9.34 mg/d和10.12 mg/d。衡早8号最大灌浆速率较华美1号和郑单958高8.4%和24.0%,衡早8号和华美1号、郑单958的最大灌浆速率差异均达到了极显著水平($P < 0.01$)。

在授粉后45d内,衡早8号和华美1号灌浆速率始终高于郑单958,这与3个品种的籽粒干质量的累积动态一致。随生育进程推进,授粉45d后衡早8号和华美1号灌浆速率下降速度较郑单

958快。

2.5 玉米籽粒体积和籽粒水分状况的关系

研究表明,玉米籽粒体积的大小和含水量、含水率变化的数量关系比较稳定^[10-11]。相关分析结果表明含水量和籽粒体积关系极为密切,呈正相关。本研究中籽粒含水量和体积相关系数分别为 $r_{\text{郑单958}} = 0.8103^{**}$, $r_{\text{衡早8号}} = 0.6882^{*}$, $r_{\text{华美1号}} = 0.7467^{**}$ 。籽粒含水率和籽粒体积呈负相关,相关系数分别为 $r_{\text{郑单958}} = -0.9256^{**}$, $r_{\text{衡早8号}} = -0.9110^{**}$, $r_{\text{华美1号}} = -0.9034^{**}$ 。

2.6 玉米籽粒灌浆速率和籽粒水分状况的关系

籽粒灌浆速率和含水量关系密切,呈正相关。相关系数分别为 $r_{\text{郑单958}} = 0.8693^{**}$, $r_{\text{衡早8号}} = 0.8416^{**}$, $r_{\text{华美1号}} = 0.8344^{**}$ 。灌浆速率与籽粒含水率的关系也极为密切,含水率随着籽粒的灌浆进程下降。通过回归分析,灌浆速率(Y)与含水率(x)的数学模型。

$$Y_{\text{衡早8号}} = -21.0526 + 1.0437x - 0.0091x^2$$

$$Y_{\text{郑单958}} = -18.0689 + 0.8972x - 0.0079x^2$$

$$Y_{\text{华美1号}} = -20.0804 + 0.9674x - 0.0084x^2$$

据二次方程求解,3个品种籽粒含水率在57%左右时,衡早8号、华美1号和郑单958籽粒灌浆速率达到最大值,分别为每粒8.99 mg/d、7.89 mg/d和7.34 mg/d。籽粒含水率在57%以上时籽粒灌浆速率随籽粒含水率增加而递减,籽粒含水率在57%以下时,籽粒灌浆速率随含水率增加而递增。

2.7 籽粒灌浆模拟

以授粉后天数(t)为自变量,籽粒质量(Y)为因

变量,用 Logistic 方程 $Y = A / (1 + Be^{-kx})$ (式中 A、B、k 为参数, A 为生长终值量) 对籽粒灌浆过程进行模拟, 决定系数为 0.985 1~0.994 7。说明 Logistic 方程能很好地拟合玉米籽粒的灌浆过程。

由表 1 可知, 和郑单 958 的籽粒灌浆参数相比, 衡早 8 号和华美 1 号的活跃灌浆期短、最大灌浆速率出现时间早, 郑单 958 在最高灌浆速率和灌浆前期、中期、后期籽粒平均灌浆速率小于华美 1 号和衡

早 8 号。衡早 8 号灌浆速率最高, 郑单 958 最低。各品种最大灌浆速率出现时间在 28.30~30.56 d, 衡早 8 号和华美 1 号的最大灌浆速率出现时间较郑单 958 早 2 d 左右, 衡早 8 号活跃灌浆期较华美 1 号和郑单 958 少 1.15 d 和 4.27 d。衡早 8 号籽粒质量渐增期、快增期和缓增期持续期时间均最短, 郑单 958 最长, 华美 1 号居中。

表 1 不同玉米品种灌浆特性

Table 1 The grain filling parameters of three maize materials

品种	T_{max} (d)	G_{max} [g/d, 100 粒]	G_{mean} [g/d, 100 粒]	活跃灌浆期 (d)	t_1 (d)	t_2 (d)	t_3 (d)	P_1 [g/d, 100 粒]	P_2 [g/d, 100 粒]	P_3 [g/d, 100 粒]
郑单 958	30.56	0.80	0.53	51.44	13.33	22.58	34.04	0.24	0.64	0.27
华美 1 号	28.77	0.87	0.58	48.32	12.58	21.21	31.98	0.26	0.70	0.30
衡早 8 号	28.30	1.00	0.66	47.17	12.49	20.71	31.22	0.30	0.81	0.34

T_{max} : 到达群体籽粒最大灌浆速率时的时间; G_{max} : 群体籽粒最大灌浆速率; G_{mean} : 群体籽粒平均灌浆速率; t_1 : 籽粒质量渐增期(灌浆前期); t_2 : 籽粒质量快增期(灌浆中期); t_3 : 籽粒质量缓增期(灌浆后期); P_1 : 灌浆前期平均灌浆速率; P_2 : 灌浆中期平均灌浆速率; P_3 : 灌浆后期平均灌浆速率。

2.8 不同玉米品种产量及其产量构成因素

表 2 表明, 衡早 8 号、华美 1 号和郑单 958 的产量分别为 10 102 kg/hm²、9 645 kg/hm² 和 9 304 kg/hm², 衡早 8 号产量较华美 1 号、郑单 958 分别高 4.7% 和 8.6%, 产量差异显著 ($P < 0.05$)。对产量构成因素的分析发现, 3 个玉米品种在穗数和穗粒数等方面差异不显著, 千粒质量差异达到显著性水平。

表 2 不同玉米品种产量及其构成因素

Table 2 Yield and yield components of three maize materials

品种	1 hm ² 穗数 (穗)	穗粒数 (粒)	千粒质量 (g)	产量 (kg/hm ²)
衡早 8 号	66 588a	501a	349a	10 102a
华美 1 号	66 514a	490a	333b	9 645ab
郑单 958	66 476a	481a	325c	9 304b

同一列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

3 讨论

玉米产量三要素是穗数、穗粒数和籽粒质量, 在前两者一定的条件下, 籽粒质量对产量有着至关重要的作用^[12-15]。本研究结果表明, 在相同栽培条件下, 衡早 8 号与华美 1 号、郑单 958 产量差异均达显著水平, 分析其产量构成因素, 千粒质量是产量差异

的主要原因。

灌浆过程中, 衡早 8 号籽粒体积、最大灌浆速率均大于华美 1 号和郑单 958, 后期籽粒含水率低于华美 1 号和郑单 958, 收获时衡早 8 号、华美 1 号和郑单 958 的籽粒含水率分别为 28.48%、29.96% 和 30.61%。申琳^[16] 研究籽粒含水量与灌浆速率的关系时发现, 不同熟期玉米品种籽粒含水量与灌浆速率关系较为稳定, 二者呈正相关变化趋势, 籽粒含水量在 55% 时灌浆速率达到最大值。本研究中 3 个玉米品种籽粒含水率和灌浆速率均呈正相关关系, 在籽粒含水率 57% 时达到各自灌浆速率高峰, 在栽培上籽粒水分含量达到 57% 左右这段时间, 加强田间的水肥管理, 有利于籽粒灌浆, 增加籽粒质量从而增加单产。这和申琳研究结果基本一致。

关于玉米品种灌浆过程对籽粒质量和产量的影响, 不同的研究者观点不同, 争论主要集中在籽粒质量的形成主要受灌浆速率高低的影响还是受灌浆时间长短的影响。有研究结果表明, 高产玉米籽粒质量乃至产量的差异主要决定因素是灌浆时间的长短^[17-18]; 而张海艳等^[19] 和刘明等^[20] 的研究结果表明, 玉米籽粒质量的形成取决于灌浆速率而非灌浆持续时间, 籽粒质量与平均灌浆速率和最大灌浆速率呈显著正相关, 与灌浆活跃期相关系数较小^[20]。

黄智鸿等的研究表明,籽粒灌浆速率对籽粒质量和单株籽粒产量的作用大于有效灌浆期,通过延长籽粒灌浆期提高产量则往往受到当地生态条件和种植制度的限制^[21]。本研究结果表明,3个玉米品种籽粒灌浆特性存在差异。衡早8号最大灌浆速率和平均灌浆速率高于华美1号和郑单958,活跃灌浆期则短于其他2个品种,说明籽粒质量增加的主要原因是由于提高了籽粒灌浆速率。玉米籽粒质量渐增期、快增期和缓增期的灌浆持续期和各时期籽粒平均灌浆速率表现趋势正好相反,衡早8号灌浆各阶段的灌浆持续期小于其他2个品种,而灌浆各阶段的籽粒平均灌浆速率则高于其他2个品种。衡早8号籽粒质量快增期籽粒平均灌浆速率较华美1号和郑单958高15.71%和26.56%,说明籽粒快增期高灌浆速率利于提高籽粒质量,衡早8号通过高灌浆速率从而弥补了其活跃灌浆期比其他2个品种少的缺陷而取得较高产量。因此,提高籽粒快增期籽粒灌浆速率从而缩短快增期库容建成时间,利于籽粒快速灌浆。生产上,黄淮海北部地区应选择灌浆速率快、活跃灌浆期短的中早熟品种。

参考文献:

- [1] 陈建忠,肖荷霞,席国成.黑龙港流域气象生态因子对夏玉米粒重的影响[J].中国农业气象,1999,20(3):19-23.
- [2] PONELEIT C G, EGLI D B. Kernel growth rate and duration in maize as affected by plant density and genotype[J]. Crop Sci, 1979, 19(3): 385-388.
- [3] 王同朝,卫丽,马超,等.不同生态区夏玉米两类熟期品种籽粒灌浆动态和产量分析[J].玉米科学,2010,18(3):84-89.
- [4] 吕新,胡昌浩,董树亭,等.紧凑型玉米掖单22与SC704籽粒灌浆特性对比分析研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2005,36(1):70-74.
- [5] 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.
- [6] 张守林,王小星,晋佳路,等.玉米籽粒灌浆特性品种间差异分析[J].玉米科学,2012,20(4):105-109.
- [7] MUCHOW R C, SINCLAIR T R, BENNETT J M. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations[J]. Agronomy Journal, 1990, 82(2): 338-343.
- [8] UHART S A, ANDRADE F H. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios[J]. Crop Science, 1995, 35(1): 183-190.
- [9] 宋朝玉,兰进好,刘树堂,等.不同品种玉米籽粒发育与品质动态差异性[J].江苏农业科学,2015,43(6):100-102.
- [10] 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):58-62,66.
- [11] BORRÁS L, WESTGATE M E. Predicting maize kernel sink capacity early in development[J]. Field Crops Research, 2006, 95(95): 223-233.
- [12] 高学曾.玉米籽粒发育过程中几项性状的数量变化分析[J].作物学报,1987,13(3):257-260.
- [13] 王楷,王克如,王永宏,等.密度对玉米产量(>15 000 kg/hm²)及其产量构成因子的影响[J].中国农业科学,2012,45(16):3437-3445.
- [14] 吴秋平,郭新平,韩成卫,等.玉米高产品种籽粒灌浆特性研究[J].山东农业科学,2015,47(4):30-33.
- [15] 冯汉字,孙健,周顺利,等.2种熟型玉米籽粒灌浆特性及其与产量关系的比较研究[J].华北农学报,2007,22(增刊):135-139.
- [16] 申琳.夏玉米籽粒灌浆与子粒含水率的关系及籽粒发育过程的分期[J].北京农业科学,1998,16(5):6-9.
- [17] 金益,张永林,王振华,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.
- [18] 刘霞,李宗新,王庆成,等.种植密度对不同粒型玉米品种籽粒灌浆进程、产量及品质的影响[J].玉米科学,2007,15(6):75-78.
- [19] 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.
- [20] 刘明,齐华,张振平,等.深松与施氮方式对春玉米籽粒灌浆及产量和品质的影响[J].玉米科学,2013,21(3):115-119.
- [21] 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,2007,16(4):14-18.

(责任编辑:陈海霞)