

文章编号: 1005-0906(2014)03-0098-05

播期和密度对不同玉米品种淀粉糊化特性和子粒品质的影响

孔令平¹, 张海艳^{1,2}, 赵延明^{1,2}

(1. 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, 旱地作物水分高效利用创新团队, 山东 青岛 266109;

2. 小麦玉米周年高产高效生产协同创新中心, 山东 泰安 271018)

摘要: 以农大 108 和青农 105 为材料, 设置 3 个播期和 6 个密度处理, 研究播期和密度对两个玉米品种淀粉糊化特性和子粒品质的影响。结果表明, 品种间比较, 淀粉峰值黏度、谷值黏度、崩解值、回复值、峰值时间、糊化温度差异显著; 播期对糊化特征值及子粒淀粉、蛋白质含量的影响较大, 密度的影响较小。晚播条件下, 峰值黏度和谷值黏度显著升高, 糊化温度显著降低; 中播条件下, 淀粉含量最低, 蛋白质含量最高。因此, 试验播期范围内, 晚播有利于改良淀粉糊化特性, 适期播种有利于改良子粒品质。

关键词: 玉米; 淀粉糊化特性; 子粒品质; 播期; 密度

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

Effects of Sowing Date and Planting Density on Starch RVA Properties and Kernel Quality of Two Maize Varieties

KONG Ling-ping¹, ZHANG Hai-yan^{1,2}, ZHAO Yan-ming^{1,2}

(1. College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University /

Shandong Key Laboratory of Dry Farming Technique,

Dry-Farming and Water-Saving Innovation Team, Qingdao 266109;

2. Cooperative Innovation Center of Efficient Production with High Annual Yield of

Wheat and Corn, Tai'an 271018, China)

Abstract: Nongda 108 and Qingnong 105 were planted in three sowing dates and six planting densities to determine the effects of sowing date and density on starch RVA properties and kernel quality of two maize varieties. The results indicated that peak viscosity, trough viscosity, breakdown, setback, peak time and pasting temperature of two varieties were significantly different. Sowing date had a great effect on RVA properties and starch content and protein content, but planting density had a little effect. In the late sowing date, peak viscosity and trough viscosity increased significantly, pasting temperature decreased significantly. In the middle sowing date, starch and protein content were the lowest and the highest, respectively. In this study, late sowing can improve starch RVA properties and middle sowing can improve kernel quality.

Key words: Maize; Starch RVA properties; Kernel quality; Sowing date; Density

收稿日期: 2013-07-24

基金项目: 国家自然科学基金(31101100)、青岛市科技计划[11-2-4-5-(8)-jch]、作物生物学国家重点实验室开放课题(2013KF05)、山东省泰山学者建设工程项目

作者简介: 孔令平(1987-), 女, 山东临沂人, 硕士, 主要从事玉米淀粉品质方面的研究。E-mail: kongyue327@126.com

张海艳为本文通讯作者。E-mail: hyzhang608@126.com

淀粉是广泛存在于自然界的多糖类碳水化合物。1978 年我国淀粉产量为 0.28×10^6 t, 2008 年提高到 17.1×10^6 t, 增加了 60 倍, 预计到 2020 年将达到 25.47×10^6 t。淀粉工业已成为我国改革开放以来发展最快的工业之一^[1]。淀粉糊化特征是反映淀粉品质的重要指标, 对淀粉的应用及其加工品质有重要影响。玉米是我国淀粉生产的主要原料, 约占我国淀粉总产量的 92.0%。玉米淀粉糊化特性与基因型

密切相关。张凯等和陆大雷等^[2~4]研究表明,普通玉米和糯玉米不同品种的糊化特性存在显著差异。除受基因型影响外,玉米淀粉糊化特性也与生长环境及栽培因素有关^[5]。陆大雷等研究认为,收获期对糊化温度和峰值时间的影响较小,对峰值黏度、谷值黏度、崩解值、终值黏度和回复值的影响较大;秋季糯玉米淀粉比春季糯玉米淀粉有更高的峰值黏度、谷值黏度、终值黏度和崩解值及更低的回复值;生长季节对糯玉米淀粉糊化特性的影响大于基因型和拔节期追氮处理^[6]。

播期和密度是影响作物生长的主要栽培措施。因此,开展播期和密度对玉米淀粉糊化特性和子粒品质影响的研究具有重要意义。农大 108 和青农 105 是目前山东省春玉米品种试验的对照品种,其稳产性和综合抗性好,品质优良,具有典型性,能充分代表本区域内的玉米生产和品种利用现状。本研究以农大 108 和青农 105 为材料,进行不同播期和密度试验,研究播期和密度对不同玉米品种淀粉糊化特性及子粒品质的影响,为玉米的优质栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验设计

供试材料为农大 108 和青农 105, 试验于 2011 年在青岛农业大学胶州试验基地进行。供试土壤为砂壤土, 0~20 cm 土层含全氮 0.85 g/kg, 碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为 75.4%、22.8%和 49.7%。设 3 个播期和 6 个密度处理, 随机区组设计。3 个播期处理分别为 5 月 10 日、5 月 25 日和 6 月 9 日播种, 6 个密度处理分别为 4.50 万、5.25 万、6.00 万、6.75 万、

7.50 万和 8.25 万株/hm²。小区面积 24 m², 2 次重复。播种前基施纯 N 80 kg/hm²、P₂O₅ 和 K₂O 各 150 kg/hm², 大喇叭口期追施纯 N 80 kg/hm², 按高产田进行田间管理。3 个播期的果穗分别于 8 月 30 日、9 月 10 日、9 月 15 日完熟收获, 晒干脱粒。

1.2 淀粉提取

参考陆大雷等^[7]的方法。

1.3 糊化特性测定

采用澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司生产的 RVA(Rapid visco analyzer)进行测定, 用 TCW(Thermal cycle for Windows)配套软件分析。量取 17.0 g 蒸馏水, 加 3.0 g 淀粉, 配制成浓度为 15% 的淀粉糊。根据 AACCC 操作规程(199561-02), 用标准程序 1 进行测定。RVA 谱特征值包括峰值黏度(Peak viscosity, PV)、谷值黏度(Trough viscosity, TV)、崩解值(Break-down, BD)、终值黏度(Final viscosity, FV)、回复值(Set-back, SB)、峰值时间(Peak time, PT)和糊化温度(Pasting temperature, Ptemp)。峰值时间单位为 min, 糊化温度单位为℃, 其他特征参数单位为 RVU(Rapid Visco Units)。

1.4 品质测定

采用 Infratec TM 1241 谷物近红外品质分析仪测定子粒淀粉含量、蛋白质含量和脂肪含量(水分含量为 14%)。

1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 3.01 软件进行统计、*T* 测验和方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对玉米淀粉糊化特性的影响

表 1 品种间玉米淀粉糊化特性的比较
Table 1 Starch RVA properties of two maize varieties

品 种 Variety	峰值黏度 (RVU) Peak viscosity	谷值黏度 (RVU) Trough viscosity	崩解值 (RVU) Breakdown	终值黏度 (RVU) Final viscosity	回复值 (RVU) Setback	峰值时间 (min) Peak time	糊化温度(℃) Pasting temperature
青农 105 Qingnong 105	263.2 a	137.7 b	125.5 a	232.3 a	94.6 a	3.96 b	75.4 b
农大 108 Nongda 108	251.8 b	148.7 a	103.1 b	235.8 a	87.1 b	4.12 a	76.3 a
<i>T</i> 值 <i>T</i> value	2.901(<i>P</i> =0.007)	2.420(<i>P</i> =0.021)	5.190(<i>P</i> =0.000)	0.588(<i>P</i> =0.561)	2.954(<i>P</i> =0.006)	5.485(<i>P</i> =0.000)	3.183(<i>P</i> =0.003)

注: 不同字母表示各指标的平均值在 0.05 水平上差异显著。下表同。
Note: The different letters indicated differences significant at 0.05 level. The same below.

由表 1 可知, 品种间比较, 青农 105 的峰值黏度、崩解值、回复值显著高于农大 108, 谷值黏度、峰值时间、糊化温度显著低于农大 108。由表 2 可知, 播期对淀粉的谷值黏度、糊化温度存在显著影响,

6 月 9 日和 5 月 25 日播期处理的谷值黏度显著高于 5 月 10 日播期, 6 月 9 日播期处理的糊化温度显著低于早播的两个时期, 播期对其他糊化特征值的影响不显著。由表 3 可知, 不同密度处理下淀粉糊化

特征值没有显著差异。除了终值黏度外,品种间糊化大,密度影响较小。
特征值存在显著差异。播期对糊化特征值的影响较

表 2 播期对玉米淀粉糊化特性的影响
Table 2 Effects of sowing date on starch RVA properties of maize

播 期 (月·日)	峰值黏度 (RVU)	谷值黏度 (RVU)	崩解值 (RVU)	终值黏度 (RVU)	回复值 (RVU)	峰值时间 (min)	糊化温度(℃) Pasting temperature
Sowing date	Peak viscosity	Trough viscosity	Breakdown	Final viscosity	Setback	Peak time	
5·10	254.7 b	134.3 b	120.4 a	225.0 b	90.8 a	4.02 a	76.0 a
5·25	254.3 b	147.5 a	106.8 a	240.5 a	93.0 a	4.06 a	76.4 a
6·09	263.6 a	147.8 a	115.7 a	236.6 ab	88.7 a	4.04 a	75.3 b
F 值 F value	2.071(P=0.142)	3.919(P=0.030)	2.087(P=0.140)	2.695(P=0.082)	0.755(P=0.478)	0.361(P=0.700)	5.081(P=0.012)

表 3 密度对玉米淀粉糊化特性的影响
Table 3 Effects of density on starch RVA properties of maize

密 度 (万株 /hm ²)	峰值黏度 (RVU)	谷值黏度 (RVU)	崩解值 (RVU)	终值黏度 (RVU)	回复值 (RVU)	峰值时间 (min)	糊化温度(℃) Pasting temperature
Density	Peak viscosity	Trough viscosity	Breakdown	Final viscosity	Setback	Peak time	
4.50	258.5 a	142.1 a	116.4 a	235.7 a	93.6 a	4.05 a	75.6 a
5.25	257.1 a	141.0 a	116.1 a	230.1 a	89.1 a	4.02 a	75.6 a
6.00	256.9 a	140.2 a	117.3 a	232.0 a	91.9 a	4.01 a	75.9 a
6.75	261.6 a	143.1 a	120.5 a	233.1 a	89.9 a	4.04 a	76.2 a
7.50	253.8 a	140.8 a	113.0 a	230.5 a	89.7 a	4.01 a	75.8 a
8.25	254.7 a	152.1 a	102.6 a	242.8 a	90.7 a	4.10 a	76.2 a
F 值 F value	0.390(P=0.852)	0.523(P=0.757)	0.763(P=0.583)	0.390(P=0.852)	0.206(P=0.958)	0.314(P=0.900)	0.381(P=0.856)

表 4 播期和密度对不同玉米品种淀粉糊化特性影响的方差分析(F 值)
Table 4 Variance analysis of sowing date and density on starch RVA properties of maize

品 种	变异来源	峰值黏度 (RVU)	谷值黏度 (RVU)	崩解值 (RVU)	终值黏度 (RVU)	回复值 (RVU)	峰值时间 (min)	糊化温度(℃) Pasting temperature
Variety	Variation source	Peak viscosity	Trough viscosity	Breakdown	Final viscosity	Setback	Peak time	
青农 105	播期 Sowing date	1.59	5.32*	2.77	3.97*	0.94	1.02	3.91*
Qingnong 105	密度 Density	0.56	0.49	0.92	0.36	0.29	0.71	0.43
农大 10	播期 Sowing date	1.80	0.86	4.03*	2.19	24.98*	0.52	12.96*
Nongda 108	密度 Density	1.36	0.46	2.31	0.47	0.21	1.49	0.49

注:★表示在 0.05 水平上显著。
Note: ★ indicated significance at the 0.05 level.

从表 4 可以看出,不同品种淀粉糊化特性受播期和密度的影响程度不同。青农 105 谷值黏度、终值黏度、糊化温度受播期的影响达到显著水平;农大 108 崩解值、回复值、糊化温度受播期的影响达到显著水平,两品种糊化特征值受密度的影响均未达显著水平,表明两个品种淀粉的糊化温度均易受播期因素的影响,糊化特征值不易受密度的影响。

2.2 不同处理对玉米子粒品质的影响

从表 5 可以看出,两个品种间淀粉、蛋白质和脂

肪含量的差异均不显著。由表 6 可知,播期显著影响淀粉和蛋白质含量,5 月 25 日播期条件下的淀粉含量显著低于 5 月 10 日和 6 月 9 日播期,蛋白质含量则表现为 5 月 25 日>5 月 10 日>6 月 9 日;不同播期下,脂肪含量未表现出显著差异。由表 7 可知,密度对 3 个品质指标的影响均未达显著水平。本试验中播期是影响淀粉和蛋白质含量的主要因素,玉米子粒品质受密度的影响较小。

表 5 品种间玉米子粒品质的比较
Table 5 Kernel quality of two maize varieties %

品 种 Variety	淀粉含量 Starch content	蛋白质含量 Protein content	脂肪含量 Fat content
青农 105 Qingnong 105	70.77 a	10.07 a	4.97 a
农大 108 Nongda 108	71.09 a	10.24 a	4.52 a
<i>T</i> 值	1.912	1.390	1.760
<i>T</i> value	(<i>P</i> =0.064)	(<i>P</i> =0.174)	(<i>P</i> =0.254)

表 6 播期对玉米子粒品质的影响
Table 6 Effects of sowing date on kernel quality of maize %

播期(月·日) Sowing date	淀粉含量 Starch content	蛋白质含量 Protein content	脂肪含量 Fat content
5·10	70.98 a	10.14 b	4.70 a
5·25	70.54 b	10.48 a	4.78 a
6·09	71.12 a	9.82 c	4.78 a
<i>F</i> 值	15.287	63.587	0.902
<i>F</i> value	(<i>P</i> =0.000)	(<i>P</i> =0.000)	(<i>P</i> =0.409)

表 8 播期和密度对不同玉米品种子粒品质影响的方差分析(*F* 值)
Table 8 Variation analysis of sowing date and density on starch RVA properties of different maize varieties

品 种 Variety	变异来源 Variation source	淀粉含量 Starch content	蛋白质含量 Protein content	脂肪含量 Fat content
青农 105 Qingnong 105	播期 Sowing date	9.751 0**	25.415 0**	2.239 0
农大 108 Nongda 108	密度 Density	0.403 0	0.089 0	2.482 0
	播期 Sowing date	7.708 0**	68.396 0**	3.279 0*
	密度 Density	1.373 0	0.211 0	1.178 0

注: * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著。
Note: * and ** indicated significance at the 0.05 and 0.01 level, respectively.

3 讨 论

淀粉的糊化特性与基因型有关,也受到栽培措施的调控。刘艳阳等和冯辉等^[8,9]选用不同筋型小麦品种研究播期对淀粉糊化特性的影响,结果表明,播期和品种对淀粉糊化特性有极显著影响,刘艳阳等发现品种对所有糊化参数的影响大于播期;冯辉等认为品种对糊化温度、峰值黏度、低谷黏度、最终黏度和稀懈值的影响大于播期效应,而对回复值的影响小于播期。陆大雷等选择 3 个糯玉米品种,研究了基因型和生长季节对糯玉米淀粉糊化特性的影响,发现生长环境对峰值黏度、崩解值和糊化温度的作用远高于基因型。本研究中,淀粉糊化特征值受品种基因型和播期的影响显著,且受品种的影响大于

表 7 密度对玉米子粒品质的影响
Table 7 Effects of density on kernel quality of maize %

密 度 (万株 /hm ²) Density	淀粉含量 Starch content	蛋白质含量 Protein content	脂肪含量 Fat content
4.50	71.18 a	10.12 a	4.76 a
5.25	71.08 ab	10.25 a	4.63 a
6.00	70.91 ab	10.18 a	4.71 a
6.75	70.70 b	10.12 a	4.83 a
7.50	70.91 ab	10.13 a	4.78 a
8.25	70.87 ab	10.08 a	4.81 a
<i>F</i> 值	1.123	0.158	0.436
<i>F</i> -value	(<i>P</i> =0.369)	(<i>P</i> =0.976)	(<i>P</i> =0.820)

由表 8 可知,播期对两个品种淀粉和蛋白质含量的影响均达到极显著水平,播期对青农 105 脂肪含量的影响不显著,对农大 108 脂肪含量的影响达到显著水平;两个品种子粒品质受密度的影响均未达显著水平。本试验条件下,两个品种的子粒品质均容易受播期影响,不易受密度影响。

播期。这与小麦上的研究结果基本一致,但与陆大雷等在糯玉米上的研究结果不一致,这可能与其试验中春播和秋播条件下环境条件差异远远大于本试验 3 个播期间环境条件的差异有关。

本研究中,随着播期推迟,峰值黏度和谷值黏度升高,糊化温度降低,说明晚播条件下玉米淀粉糊化特性较优,稳定性较好。阎俊等^[10]研究表明,抽穗至成熟期间的降雨量与峰值黏度和崩解值负相关,日平均气温与其正相关。张勇等^[12]研究表明,播种至成熟期降雨量与低谷粘度和峰值时间显著负相关。张学林等^[13]研究表明,播种至成熟期总积温、总日照时数与峰值黏度、谷值黏度、崩解值、终值黏度、峰值时间均呈正相关,总降雨量与其均呈负相关。袁继超等^[14]认为,灌浆结实期温度和日照时数与峰值黏度、

崩解值正相关。邓飞等^[15]研究表明,随灌浆结实期日均温度和日照时数降低,峰值黏度、热浆黏度和冷胶黏度均显著降低。本研究认为早播处理玉米灌浆结实期遭遇高湿和阴雨寡照天气,晚播处理光温条件充足,可能是本试验晚播处理玉米淀粉糊化特性优良的原因。具体温度、光照、水分等环境因子对玉米淀粉糊化特性的影响程度及其相互作用如何,尚需进一步深入研究。

前人研究表明,玉米子粒蛋白质和脂肪含量随播期的推迟呈降低趋势,淀粉含量呈升高趋势^[16~19];种植密度对饲用玉米子粒蛋白质和脂肪含量的影响均不显著^[20,21]。本研究结果与之基本一致。马兴林等^[22]研究表明,种植密度对玉米子粒品质的影响因不同品种存在差异。因此,在玉米栽培过程中,还应考虑不同品种对栽培因素的敏感程度。

参考文献:

- [1] Wang X H. China corn processing industrial situation and outlook: starch and ethanol. In: Abstracts of the 58th starch convention 2007 in Detmold[J]. Starch, 2007, 59(9): 454-465.
- [2] 张 凯,李新华,赵前程,等. 不同品种玉米淀粉糊化特性比较[J]. 沈阳农业大学学报,2005,36(1): 107-109.
Zhang K, Li X H, Zhao Q C, et al. Study and comparison on gelatinization characteristics of starches from different maize varieties[J]. Acta Shenyang Agric. Uni., 2005, 36(1): 107-109. (in Chinese)
- [3] 陆大雷,王德成,赵久然,等. 生长季节对糯玉米淀粉晶体结构和糊化特性的影响[J]. 作物学报,2009,35(3): 499-505.
Lu D L, Wang D C, Zhao J R, et al. Crystalline structure and pasting properties of starch in eight waxy corn cultivars grown in spring and autumn[J]. Acta Agron. Sin., 2009, 35(3): 499-505. (in Chinese)
- [4] 陆大雷,王德成,赵久然,等. 收获期对秋播糯玉米不同品种产量与淀粉糊化(RVA)特性的影响[J]. 中国农业科学,2008,41(12): 4048-4054.
Lu D L, Wang D C, Zhao J R, et al. Yield and starch pasting characteristics (RVA) of autumn-sown waxy maize under different harvesting dates[J]. Sci. Agric. Sin., 2008, 41(12): 4048-4054. (in Chinese)
- [5] Geera B P, Nelson J E, Souza E, et al. Flour pasting properties of wild type and partial waxy soft wheats in relation to growing environment induced fluctuations in starch characteristics[J]. Cereal Chemistry, 2006, 83: 558-564.
- [6] 陆大雷,景立权,王德成,等. 拔节期追氮对不同季节糯玉米淀粉糊化特性的影响[J]. 生态学报,2010,30(2): 549-555.
Lu D L, Jing L Q, Wang D C, et al. The starch pasting properties in different nitrogen topdressing treatments under spring and autumn season of waxy maize varieties[J]. Acta Eco. Sin., 2010, 30(2): 549-555. (in Chinese)
- [7] 陆大雷,陆卫平,赵久然,等. 基肥配比和拔节期追氮对糯玉米淀粉糊化特性的影响[J]. 作物学报,2008,34(7): 1253-1258.
Lu D L, Lu W P, Zhao J R, et al. Effects of basic fertilizer treatments and nitrogen topdressing at jointing stage on starch RVA characteristics of waxy maize[J]. Acta Agron. Sin., 2008, 34(7): 1253-1258. (in Chinese)
- [8] 刘艳阳,张洪程,蒋 达,等. 播期对不同筋型小麦品种淀粉糊化特性的影响[J]. 华北农学报,2009,24(4): 169-173.
Liu Y Y, Zhang H C, Jiang D, et al. The influence of sowing date on different gluten wheat starch viscosity characteristics[J]. Acta Agric. Boreali-sin., 2009, 24(4): 169-173. (in Chinese)
- [9] 冯 辉,王晨阳,郭天财,等. 播期对不同筋力型小麦品种淀粉糊化特性的影响[J]. 麦类作物学报,2009,29(4): 647-651.
Feng H, Wang C Y, Guo T C, et al. The influence of sowing date on different gluten wheat starch viscosity characteristics[J]. J. Triticeae Crops, 2009, 29(4): 647-651. (in Chinese)
- [10] Tester R F. Influence of growth conditions on barley starch properties[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 1997, 21: 37-45.
- [11] 阎 俊,张 勇,何中虎. 小麦品种糊化特性研究[J]. 中国农业科学,2001,34(1): 1-4.
Yan J, Zhang Y, He Z H. Investigation on paste property of Chinese wheat[J]. Sci. Agric. Sin., 2001, 34(1): 1-4. (in Chinese)
- [12] 张 勇,何中虎. 我国春播小麦淀粉糊化特性研究[J]. 中国农业科学,2002,35(5): 471-475.
Zhang Y, He Z H. Investigation on paste property of spring-sown Chinese wheat[J]. Sci. Agric. Sin., 2002, 35(5): 471-475. (in Chinese)
- [13] 张学林,郭天财,朱云集,等. 河南省不同纬度生态环境对 3 种筋型小麦淀粉糊化特性的影响[J]. 生态学报,2004,24(9): 2050-2055.
Zhang X L, Guo T C, Zhu Y J, et al. Environmental effects of different latitudes on starch paste property of three types of gluten wheat in He'nan province[J]. Acta Eco. Sin., 2004, 24(9): 2050-2055. (in Chinese)
- [14] 袁继超,丁志勇,蔡光泽,等. 攀西地区稻米淀粉 RVA 谱的影响因子及其垂直变化特点[J]. 作物学报,2005,31(12): 1611-1619.
Yuan J C, Ding Z Y, Cai G Z et al. The factors influencing RVA profile of rice starch and their changes with altitudes in Panxi region[J]. Acta Agron. Sin., 2005, 31(12): 1611-1619. (in Chinese)
- [15] 邓 飞,王 丽,刘 利,等. 不同生态条件下栽培方式对水稻干物质生产和产量的影响[J]. 作物学报,2012,38(4): 717-724.
Deng F, Wang L, Liu L, et al. Effects of ecological conditions and cultivation methods on rice starch RVA profile characteristics and protein content[J]. Acta Agron. Sin., 2012, 38(4): 717-724. (in Chinese)
- [16] 邢江会,郝建平,杜天庆,等. 播期对玉米品质的影响[J]. 山西农业科学,2013,41(4): 345-347.
Xing J H, Hao J P, Du T Q et al. Influence of sowing date on maize quality[J]. J. Shanxi Agric. Sin., 2013, 41(4): 345-347. (in Chinese)
- [17] 张泽民,任和平. 不同生态环境对玉米产量和穗粒性状的影响[J]. 华北农学报,1991,6(1): 28-34.
Zhang Z M, Ren H P. Different ecological environments effect on yield and ear-kernel characters of corn[J]. Acta Agric. Boreali-sin., 1991, 6(1): 28-34. (in Chinese)
- [18] Helm K S. Effect of plant density on grain yield of maize during season[J]. Madras Agricultural Journal, 1989, 76(5): 290-292.

(下转第 108 页)

- [2] 倪 珩, 史振声, 王志斌, 等. 沈爆 3 号在不同密度下的冠层结构和生理特征研究[J]. 玉米科学, 2011, 19(1): 83-86, 91.
Ni F, Shi Z S, Wang Z B, et al. Study on canopy structure and physiological characteristics of Shenbao No.3 in different densities[J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(1): 83-86, 91. (in Chinese)
- [3] 马 娟, 王铁固, 张怀胜, 等. 玉米叶夹角、叶向值主基因 + 多基因遗传模型分析[J]. 河南农业科学, 2012, 41(5): 15-19.
Ma J, Wang T G, Zhang H S, et al. The major genes plus polygenes genetic analysis on leaf angle and leaf orientation value in maize[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2012, 41(5): 15-19. (in Chinese)
- [4] Ku L X, Zhao W M, et al. Quantitative trait loci mapping of leaf angle and leaf orientation value in maize (*Zea mays* L.) [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2010, 121(5): 951-959.
- [5] 邹 琦. 植物生理学试验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [6] 何照范. 粮油子粒品质及其分析技术[M]. 北京: 农业出版社, 1985.
- [7] 权灵通, 王彦阳, 刘亚军, 等. FPM-I 型家用爆玉米花机与爆裂玉米膨爆品质试验研究[J]. 粮油加工, 2007(7): 115-117.
Quan L T, Wang Y Y, Liu Y J, et al. Experimental study on domestic expenses popcorn machine(FPM-I) and the expansion quality of popcorn[J]. Cereals and oils processing, 2007(7): 115-117. (in Chinese)
- [8] 董永彬, 李玉玲, 牛素贞, 等. 普 × 爆 F₃ 家系的膨爆特性及其与穗粒性状的相关分析[J]. 玉米科学, 2006, 14(3): 53-55.
Dong Y B, Li Y L, Niu S Z, et al. Popping characteristics of F₃ family lines derived from a normal Corn × Popcorn cross and their relationships with Ear-kernel Characters[J]. Journal of Maize Sciences, 2006, 14(3): 53-55. (in Chinese)
- [9] 李春奇, 郑慧敏, 李 芸, 等. 种植密度对夏玉米雌穗发育和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(12): 2435-2442.
Li C Q, Zheng H M, Li Y, et al. Effect of planting density on the yield and development of maize ear[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(12): 2435-2442. (in Chinese)
- [10] 胡 萌, 魏 湜, 杨 猛, 等. 密度对不同株型玉米光合特性及产量的影响[J]. 玉米科学, 2010, 18(1): 103-107.
Hu M, Wei T, Yang M, et al. Effects of plant density on photosynthetic characters and yield of different plant types corn[J]. Journal of Maize Sciences, 2010, 18(1): 103-107. (in Chinese)
- [11] Pepper G Z, Pearce R B, Mock J J. Leaf orientation and yield of maize [J]. Crop Science, 1977, 17(6): 883-886.
- [12] 徐庆章, 王庆成, 牛玉贞, 等. 玉米株型与群体光合作用的关系研究[J]. 作物学报, 1995, 21(4): 492-496.
Xu Q Z, Wang Q C, Niu Y Z, et al. Study on the relationship between the group of photosynthesis and plant type[J]. Acta Agronomica Sinica, 1995, 21(4): 492-496. (in Chinese)
- [13] 王 珍, 武志海, 徐克章, 等. 玉米群体冠层光合速率与叶面积指数关系的初步研究[J]. 吉林农业大学学报, 2001, 23(2): 9-12, 16.
Wang Z, Wu Z H, Xu K Z, et al. Relationship between leaf area index and photosynthetic rate of maize canopies[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2001, 23(2): 9-12, 16. (in Chinese)
- [14] 孙 骥, 史振声, 李荣华, 等. 不同肥料种类对沈爆 3 号玉米生长发育、品质及产量的影响[J]. 杂粮作物, 2006, 26(2): 88-90.
Sun J, Shi Z S, Li R H, et al. Effect of different fertilizer type on growth, quality and yield of maize variety Shenbao No.3[J]. Rain Fed Crops, 2006, 26(2): 88-90. (in Chinese)
- [15] 刘艳阳, 李玉玲, 余永亮, 等. 爆裂玉米膨爆机理的研究进展[J]. 玉米科学, 2007, 15(2): 58-60.
Liu Y Y, Li Y L, Yu Y L, et al. Researches advances of the expansion mechanism in popcorn[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(2): 58-60. (in Chinese)
- [16] 张海艳. 爆裂玉米子粒品质及淀粉粒形态分析[J]. 华北农学报, 2009, 24(增刊): 307-308.
Zhang H Y. Analysis on kernel characteristic and starch granule shape of popcorn[J]. Acta Agriculturae Borealis Sinica, 2009, 24(S): 307-308. (in Chinese)
- [17] 李玉玲, 姜鸿勋. 爆裂玉米的质量标准及膨爆机制[J]. 作物杂志, 2000(4): 30-32.
Li Y L, Jiang H X. Mechanism of quality standards and exploded on popcorn[J]. Crops, 2000(4): 30-32. (in Chinese)

(责任编辑: 朴红梅)

(上接第 102 页)

- [19] Jellum A G, Andrade F H. Sowing date and maize productivity[J]. Crop Science, 1994, 34: 1039-1043.
- [20] 杨耿斌, 谭福忠, 王新江, 等. 不同密度对青贮玉米产量与品质的影响[J]. 玉米科学, 2006, 14(5): 115-117.
Yang G B, Tan F Z, Wang X J, et al. Impacts of different densities on yield and quality of silage maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2006, 14(5): 115-117. (in Chinese)
- [21] 赵 勇. 密度和施氮量对粮饲兼用型玉米产量及饲用品质的影响[D]. 四川: 四川农业大学硕士学位论文, 2002.
- [22] 马兴林, 关义新, 逢焕成, 等. 种植密度对 3 个玉米杂交种产量及品质的影响[J]. 玉米科学, 2005, 13(3): 84-86.
Ma X L, Guan Y X, Pang H C, et al. Effects of plant population on the grain yield and quality of three maize hybrids[J]. Journal of Maize Sciences, 2005, 13(3): 84-86. (in Chinese)

(责任编辑: 高 阳)