

不同密度下 Reid 改良系的单株产量杂种优势及配合力*

董莹, 杨巍, 任雪娇, 李蓉, 王立萍, 徐新, 杨伟光**

吉林农业大学农学院, 长春 130118

摘要:以 6 个 Reid 改良自交系为母本, 5 个 Non-Reid、DOM 自交系为父本, 采用 NC II 设计, 设 6.0、7.5、9.0 万株/hm² 密度梯度, 对单株产量的 F₁ 杂种优势和配合力进行了研究。结果表明: 3 种密度下, 玉米单株产量杂种优势普遍存在, 低密度下单株产量杂种优势较高, 随密度增加, 杂种优势降低, 但改良系 J1959 在高密度下杂种优势却较高。杂交组合×密度的互作极显著存在, 组合 J2111×5AD 宜在 6.0 万株/hm²、J1959×5AD 宜在 9.0 万株/hm² 能充分发挥增产作用。配合力方面, 6.0 万株/hm² 密度下, 改良系 J2111 一般配合力效应最高, 为 7.09; 7.5 万株/hm² 和 9.0 万株/hm² 密度下, 改良系 J1959 一般配合力效应均最高, 分别为 7.18 和 13.48, 说明改良系 J1959 更适于密植环境; 组合 J1959×5AD 的特殊配合力效应随密度增高而增高, 分别为 -2.14、3.13、9.32, 组合 J2111×S122 的特殊配合力效应随密度增高而降低, 分别为 6.04、-2.19、-9.47, 表明前者适于高密度环境, 后者适于低密度环境。

关键词: 玉米; 密度; 杂种优势; 配合力

中图分类号: S513.032

文献标识码: A

文章编号: 1000-5684(2017)04-0386-06

DOI: 10.13327/j.jlau.2017.3150

引文格式: 董莹, 杨巍, 任雪娇, 等. 不同密度下 Reid 改良系单株产量的杂种优势及配合力[J]. 吉林农业大学学报, 2017, 39(4): 386-391.

Heterosis and Combining Ability of Yield per Plant in Reid Improved Lines of Maize under Different Densities

DONG Ying, YANG Wei, REN Xuejiao, LI Rong, WANG Liping, XU Xin, YANG Weiguang**

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

Abstract: Using six improved lines of Reid as female parents and five inbred lines of Non-Reid and DOM as male parents, adopting NC II design, setting 60 000, 75 000 and 90 000 plant/hm² density gradient, we studied heterosis and combining ability of yield per plant of F₁. The results showed that heterosis of yield per plant was ubiquitous under three densities, under low density, heterosis of yield per plant was higher, and with the increase of density, heterosis decreased, but the improved line J1959 had high heterosis under high density. The interaction of hybrid combination×density existed extremely significantly, the combination of J2111×5AD could give full play to increase production under 60 000 plants/hm² density, while the combination of J1959×5AD was under 90 000 plants/hm² density. As for combining ability, under 60 000 plants/hm² density, the improved line J2111 had the highest GCA effect (7.09); Under 75 000 plants/hm² and 90 000 plant/hm² density, the

* 基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAD01B01), 国家重点研发计划项目(2016YFD0101202-3), 吉林省科技发展计划项目(20160204001NY)

作者简介: 董莹, 女, 在读硕士, 研究方向: 作物品种改良与种子生物工程。

收稿日期: 2016-04-12

** 通信作者

improved line J1959 had the highest GCA effect (7.18 and 13.48, respectively), which illustrated that the improved line J1959 was more suitable for close planting; The SCA effect of combination J1959×5AD increased with the increase of density (-2.14, 3.13 and 9.32, respectively), and the SCA effect of combination J2111×S122 decreased with the increase of density (6.04, -2.19, -9.47, respectively), which indicated that the former was suitable for high density environment, while the latter was suitable for low density environment.

Key words: maize; density; heterosis; combining ability

玉米增产的主要因素来自新的优良品种培育与推广。随着育种工作不断进步与完善,大幅度提高玉米产量仅靠研究单株生产力已十分困难。研究表明,增加种植密度已成为玉米育种发展的必然趋势^[1-2]。美国 Reid 种质,株型好,茎秆坚硬,耐密植,果穗较长,穗行数多,子粒多为中间型或半马齿型,花粉量适中,制种产量高^[3],较适合机械化收获,是我国玉米种质改良的重要资源。我国育种工作者已育成铁 7922、掖 478、U8112、郑 58 等许多优良自交系,即 Reid 改良系,形成中国 Reid 群^[4]。目前,以 Reid 群×Non-Reid 群、Reid 群×DOM 群为吉林省主要杂种优势模式^[5]。因此,对 Reid 改良系进行杂种优势和配合力研究,

拓宽遗传基础,构建新的杂种优势模式,是提高玉米产量的重要途径^[6]。本试验,以 Reid 改良系为母本,Non-Reid、DOM 类群自交系为父本,研究不同密度下自交系杂种优势和配合力的表现,以期对玉米耐密植育种及评价 Reid 改良系应用价值提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料由吉林农业大学农学院种子科学与工程教研室提供,亲本自交系及其遗传基础见表 1。其中,T59、DA15、DA16 为同一基础材料选育的 DH 系。

表 1 试验材料

Table 1. Materials tested

母本		父本	
改良系	遗传基础	自交系	遗传基础
J2111	PH6WC×(PH6WC×郑 58)	5AD	PH41E×PH12C
J2209	PH6WC×郑 58	S122	(H201×丹 340)×丹 340
J2103	PH6WC×J50	T59	S122×PHBIM
J2024	PH6WC×32x	DA15	S122×PHBIM
J1409	PH6WC×J1146	DA16	S122×PHBIM
J1959	[(PH6WC×J1542)×PH6WC]×GJ4		

2013 年冬,在吉林农业大学海南育种基地,以 Reid 改良系 J2111, J2209, J2103, J2024, J1409, J1959 为母本,以 Non-Reid 自交系 5AD、DOM 自交系 S122, T59, DA15, DA16 为父本,按 NC II 遗传交配设计,组配 6×5 杂交组合,同时自交保留亲本。

1.2 试验设计

2014 年夏,在吉林农业大学育种基地,将 30 个杂交组合及其 11 个亲本,即增广 NC II 设计作随机区组处理。设置 6.0, 7.5, 9.0 万/hm² 3 个密度梯度。3 次重复,4 行区,5 m 行长。成熟后收取中间行 10 株果穗,自然风干后室内考种,记

录单株产量。管理方法同大田管理。

1.3 统计分析

杂种优势分析按平均优势法进行,杂交组合与密度互作值根据多因素试验结果进行统计分析计算,配合力分析参照刘来福等^[7-9]的公式计算。

2 结果与分析

2.1 不同密度下 Reid 改良系单株产量的杂种优势表现

单株产量 F₁ 杂种优势结果表明: 6.0 万株/hm² 密度下,单株产量 F₁ 优势平均值为 94.4%,优势值变异幅度为 55.3%~146.4%,变

异系数为 26.6%; 7.5 万株/hm² 密度下, 单株产量 F₁ 优势平均值为 94.1%, 优势值变异幅度为 37.0%~161.7%, 变异系数为 37.3%; 9.0 万株/hm² 密度下单株产量 F₁ 优势平均值为 73.0%, 优势值变异幅度为 34.9%~105.9%, 变异系数为 19.4% (表 2)。可见, 玉米单株产量 F₁ 优势在低密度下较高, 随密度增加而降低。但不同组合之

表 2 不同密度下单株产量的杂种优势值、平均值及变异系数

Table 2. Heterosis, average heterosis and CV of yield per plant in different densities

组合	密度/(万株·hm ⁻²)			组合	密度/(万株·hm ⁻²)		
	6.0	7.5	9.0		6.0	7.5	9.0
J2111×5AD	131.1	97.7	77.4	J2024×S122	84.2	106.7	87.6
J2111×S122	98.6	154.5	37.7	J2024×T59	135.6	59.7	53.1
J2111×T59	114.3	88.1	60.7	J2024×DA15	86.0	53.3	105.9
J2111×DA15	99.0	86.6	84.2	J2024×DA16	114.2	67.7	82.5
J2111×DA16	104.8	93.7	60.7	J1409×5AD	102.4	37.0	79.6
J2209×5AD	66.2	105.2	76.5	J1409×S122	74.5	143.9	56.6
J2209×S122	55.3	161.7	50.8	J1409×T59	146.4	84.7	53.9
J2209×T59	116.0	70.3	76.2	J1409×DA15	90.8	77.2	92.9
J2209×DA15	91.1	92.3	101.6	J1409×DA16	112.2	84.0	82.7
J2209×DA16	72.4	64.0	34.9	J1959×5AD	71.2	84.6	99.6
J2103×5AD	62.9	93.4	47.6	J1959×S122	67.5	152.6	83.0
J2103×S122	61.0	149.6	51.8	J1959×T59	130.3	81.7	89.2
J2103×T59	116.1	105.2	76.1	J1959×DA15	77.0	83.9	99.6
J2103×DA15	95.3	115.2	72.7	J1959×DA16	87.0	47.2	88.7
J2103×DA16	108.2	103.1	70.5	平均值	77.0	83.9	99.6
J2024×5AD	61.0	79.5	54.7	变异系数	26.6	34.0	19.4

2.2 不同密度下杂交组合的互作表现

杂交组合与密度二因素方差分析结果表明, 在 3 种密度下, 杂交组合间、密度间、杂交组合×密度间的差异都达到极显著水平, 表明不同杂交组合要求不同密度。

组合 J2111×5AD、J2111×S122、J2111×DA15、J2111×DA16、J2209×T59、J2209×DA15、J2209×DA16、J2103×S122、J2103×DA15、J2103×DA16、J2024×S122、J2024×T59、J2024×DA15、J2024×DA16、J1409×5AD、J1409×T59、J1409×DA15、J1409×DA16、J1959×T59、J1959×DA15、J1959×DA16 以 6.0 万株/hm² 密度为优, 与 7.5 万株/hm²、9.0 万株/hm² 密度有显著差异, 且随密度增加, 单株产量降低, 说明这些组合不适合密植。

组合 J2111×T59、J2209×5AD、J2209×S122、J2103×5AD、J2103×T59、J2024×5AD、J1409×S122、J1959×S122 以 7.5 万株/hm² 密度为优, 与 6.0 万株/hm²、9.0 万株/hm² 密度有显著差异, 且 6.0 万株/hm² 密度下, 单株产量高于

间的杂种优势存在较大差异, 同一组合在不同密度下的杂种优势也存在较大差异。组合 J1959×5AD、J1959×DA15 的 F₁ 杂种优势随密度增加而增加, 说明 Reid 类群与 Non-Reid、DOM 类群自交系杂交的 F₁ 单株产量杂种优势普遍存在; 改良系 J1959 与 5AD、DA15 杂交, 单株产量 F₁ 杂种优势在高密度下表现较好, 较耐密。

9.0 万株/hm² 密度, 说明这些组合可适当提高种植密度。

组合 J1959×5AD 以 9.0 万株/hm² 密度为优, 与 7.5 万株/hm²、6.0 万株/hm² 密度有显著差异, 且随密度增加, 单株产量提高, 说明该组合适于高密度条件。

这种不同情况就是品种和密度存在互作的反应, 所以组合 J2111×5AD、J2111×S122、J2111×DA15、J2111×DA16、J2209×T59、J2209×DA15、J2209×DA16、J2103×S122、J2103×DA15、J2103×DA16、J2024×S122、J2024×T59、J2024×DA15、J2024×DA16、J1409×5AD、J1409×T59、J1409×DA15、J1409×DA16、J1959×T59、J1959×DA15、J1959×DA16 应选 6.0 万株/hm² 密度; 组合 J2111×T59、J2209×5AD、J2209×S122、J2103×5AD、J2103×T59、J2024×5AD、J1409×S122、J1959×S122 应选 7.5 万株/hm² 密度; 组合 J1959×5AD 应选 9.0 万株/hm² 密度。

就杂交组合与密度互作效应, 以各组合在

3 种密度下,各 3 个小区的总单株产量(g)为基础,在 30 个组合中,选取产量较高的 J2111×5AD、J1959×5AD 组合,作组合与密度互作分析(表 3)。

表 3 杂交组合密度的互作值

Table 3. Interaction value of hybrid combination with density

密度/ (万株·hm ⁻²)	J2111×5AD	J1959×5AD	差值	互作值
6.0	922	731	191	
7.5	757	745	12	179
9.0	739	803	-64	255 76

组合 J2111 × 5AD 比 J1959 × 5AD 在 6.0 万株/hm²密度下比 7.5 万株/hm²密度下多增产 179 g;比 9.0 万株/hm²密度下多增产 255 g;7.5 万株/hm²密度下比 9.0 万株/hm²密度下多增产 76 g。故组合 J2111×5AD 宜在 6.0 万株/hm²密度,J1959×5AD 宜在 9.0 万株/hm²密度能充分发挥增产作用。

2.3 配合力分析

配合力方差分析结果表明,30 个组合单株产量在 3 种密度下,母本间、父本间、母×父均达到极显著水平(表 4),表明遗传差异真实存在,可进行配合力分析。

2.3.1 不同密度下 Reid 种质改良系一般配合力表现 一般配合力(GCA)分析结果表明,6.0 万株/hm²密度下,6 个改良系单株产量 GCA 效应值 J2111(7.09)最高,J1409(2.18)次之,J2209(-5.67)最低;7.5 万株/hm²密度下,J1959(7.18)最高,J1409(-3.09)最低;9.0 万株/hm²密度下,J1959(13.48)最高,J2111(4.62)次之,J2209(-6.86)最低(表 5)。

表 5 不同密度下单株产量的一般配合力效应

Table 5. GCA for yield per plant in different densities

父本	密度/(万株·hm ⁻²)			母本	密度/(万株·hm ⁻²)		
	6.0	7.5	9.0		6.0	7.5	9.0
5AD	-4.71	-1.00	4.01	J2111	7.09	2.85	4.62
S122	-1.34	2.11	-5.03	J2209	-5.67	-4.35	-6.86
T59	1.92	2.67	-0.68	J2103	-0.01	0.98	-5.92
DA15	2.18	1.72	3.41	J2024	-5.07	-3.57	-4.17
DA16	1.95	-5.49	-1.71	J1409	2.18	-3.09	-1.15
				J1959	1.49	7.18	13.48

2.3.2 不同密度下 Reid 种质改良系单株产量的特殊配合力表现 特殊配合力(SCA)分析结果表

(1)不同密度下母本自交系单株产量的一般配合力表现。由表 5 可知,J2111 适于低密度条件,低密度下较容易组配出高产组合。J1959 适于高密度条件,高密度下较容易组配出高产杂交组合。3 种密度条件下,改良系 J2111 均有较高一般配合力效应(分别为 7.09、2.85、4.62),说明其对密度选择不敏感,稳产性好。改良系 J1959 的一般配合力效应值随密度增加而有较大提高(分别为 1.49、7.18、13.48),说明其在较高密度条件下表现较好,更适于密植。

(2)不同密度下父本自交系单株产量的一般配合力表现。由表 5 可知,6.0 万株/hm²密度下父本群 DA15(2.18)最高,DA16(1.95)次之,5AD(-4.71)最低;7.5 万株/hm²密度下 T59(2.67)最高,S122(2.11)次之,DA16(-5.49)最低;9.0 万株/hm²密度下,5AD(4.01)最高,S122(-5.03)最低。其中 DA15 在 3 种密度下的一般配合力均较高(分别为 2.18、1.72、3.41),说明该自交系具有较好的稳产性。5AD 在 6.0 万株/hm²密度下 GCA 效应较低,但其随密度增加而增加,说明其更适于高密度种植。

表 4 不同密度下单株产量方差分析的 F 值

Table 4. F value of variance analysis for yield per plant in different densities

项目	密度/(万株·hm ⁻²)		
	6.0	7.5	9.0
组合	20.68**	14.61**	22.03**
母本	16.25**	15.36**	13.03**
父本	34.37**	5.98**	42.58**
母×父	18.14**	16.61**	18.69**

注:“**”表示在 0.01 水平上差异极显著

明,组合 J2111×5AD 在 6.0、7.5、9.0 万株/hm²密度下,特殊配合力全为正值,分别为 16.96、2.81、

10.09,且在 6.0 万株/hm²密度下 30 个组合中最高。组合 J2209×5AD 在 7.5 万株/hm²密度下特殊配合力最高,为 9.78,在 9.0 万株/hm²密度下特殊配合力也较高,为 4.16,但在 6.0 万株/hm²密度下 SCA 为负值。组合 J2024×S122 在 9.0 万株/hm²密度下特殊配合力最高,为 16.81,组合 J2103×T59 次之,为 13.18。说明组合 J2209×5AD、J2024×S122、J2103×T59 更适合密植;组合 J2111×5AD 不适合密植;组合 J1959×5AD 在 3 种

密度下 SCA 分别为-2.14,3.13,9.32;依次升高,且升高幅度较大,说明其更适于高密度条件;组合 J1959×T59 在 6.0,7.5,9.0 万株/hm²密度下 SCA 全为正值,分别为 7.23,2.38,1.69,依次降低,说明其更适于低密度条件。以上分析说明,特殊配合力的变化趋势与密度的变化趋势并不相同,即同一组合的特殊配合力效应增减与密度变化方向无特定规律(表 6)。

表 6 不同密度下单株产量的特殊配合力效应

Table 6. SCA for yield per plant in different densities

组合	密度/(万株·hm ⁻²)			组合	密度/(万株·hm ⁻²)		
	6.0	7.5	9.0		6.0	7.5	9.0
J2111×5AD	16.96	2.81	10.09	J2024×5AD	-11.00	8.94	-16.96
J2111×S122	6.04	-2.19	-9.47	J2024×S122	5.65	-2.75	16.81
J2111×T59	-13.86	-1.17	0.47	J2024×T59	2.04	-3.04	-13.54
J2111×DA15	-3.45	-3.56	0.28	J2024×DA15	-2.72	-8.30	4.62
J2111×DA16	-5.68	4.10	-1.38	J2024×DA16	6.03	5.15	5.10
J2209×5AD	-1.26	9.78	4.16	J1409×5AD	5.12	-20.65	4.53
J2209×S122	-3.16	4.02	-4.32	J1409×S122	-4.26	4.86	-3.70
J2209×T59	2.99	-7.96	3.20	J1409×T59	2.93	6.50	-1.02
J2209×DA15	8.07	2.47	10.31	J1409×DA15	-4.71	0.71	-0.18
J2209×DA16	-6.64	-8.30	-18.35	J1409×DA16	0.92	8.59	9.34
J2103×5AD	-7.68	-4.00	-11.11	J1959×5AD	-2.14	3.13	9.32
J2103×S122	-4.54	-9.99	0.35	J1959×S122	0.28	6.05	0.32
J2103×T59	-1.33	3.29	13.18	J1959×T59	7.23	2.38	1.69
J2103×DA15	5.91	6.55	-9.05	J1959×DA15	-3.11	2.13	-9.98
J2103×DA16	7.63	4.15	6.63	J1959×DA16	-2.26	-13.69	-1.34

3 讨论

吴景锋等^[10]曾经指出,中国玉米杂交种的种质状况是亲本种类较少,骨干系集中,种质遗传基础相对狭窄,单株产量育种水平进展缓慢^[11]。因此,不断引进、创造新的种质材料,改良现有种质资源,是我国长期而艰巨的重要任务^[12-13]。PH6WC 是我国广泛应用的骨干自交系,具有出苗快、一般配合力及单株产量高等很多优点,以其为亲本组配的杂交组合,单粒点播苗率、产量水平、品质等级提高,但其抗病性及抗倒伏能力一般,对其进行遗传改良具有重要意义^[14-15]。

“登海”系列等紧凑型玉米的大面积推广及种植,证明玉米创高产依赖于丰产、抗病、耐密杂

交种的利用^[16-17]。选育稳产性好,耐密性强,抗病、抗倒伏的优质品种是玉米育种的首要目标,而增加种植密度,提高玉米单株产量是实现此目标的重要途径^[18-19]。研究表明,随密度增加,玉米产量、平均叶面积指数、穗数均会增加、平均净同化率、生育期、收获指数、穗粒数、千粒重、依次降低^[20]。管慧慧等^[21]采用根钻挖掘法对玉米根系干质量研究表明,吐丝期以后各土层的根质量在中等密度下最大,高密度下次之,低密度下最小。杨国虎等^[22]在 5 个密度下对 4 个不同类型的杂交种研究结果表明,玉米单株叶面积、光合势和地上部干物质积累随密度的增加呈下降趋势,而群体叶面积、叶面积系数、光合势则呈增高趋势。

在本试验中的 6.0, 7.5, 9.0 万株/hm² 3 种密度下, 玉米单株产量的杂种优势均较强, 单株产量的杂种优势随密度的增大而减小, 这与夏远峰等^[23-25] 研究结果类似。但实际小区产量是随密度增加而增加的, 说明玉米杂交种产量的提高与单株产量杂种优势无直接关系, 这与梁雨娟等^[26-28] 研究结果相似。玉米育种时注重选用单株产量高的材料对选配高产杂交非常有利。

4 结 论

1) 在 6.0, 7.5, 9.0 万株/hm² 3 种密度下, Reid 改良系与 Non-Reid、DOM 自交系单株产量杂种优势普遍存在, 低密度下单株产量杂种优势较高, 随密度增加杂种优势降低, 但改良系 J1959 在低密度下杂种优势却较高。

2) 杂交组合×密度的互作是极显著的, 说明不同组合所要求的适宜密度不同。组合 J2111×5AD 宜在 6.0 万株/hm² 密度, J1959×5AD 宜在 9.0 万株/hm² 密度才能充分发挥增产作用。

3) 配合力分析结果表明, Reid 改良系 J1959 的一般配合力随密度增加而增大, 在 9.0 万株/hm² 高密度下最高, 也是该密度下 6.0 个改良系中最高, 表明该改良系为 6 个改良系中最耐密植; 改良系 J2111 在 6.0 万株/hm² 低密度下, 一般配合力最高, 说明其适于低密度条件。

以改良系 J1959 为亲本组配的组合 J1959×5AD 的特殊配合力随密度增加而增加, 说明改良系 J1959 与自交系 5AD 在较高密度下表现较好, 适于密植。组合 J2111×S122 的特殊配合力效应随密度增加而降低, 说明其适于在低密度环境下种植。

参考文献:

[1] 徐艳荣, 孙发明, 焦仁海, 等. 结合吉林省玉米现状谈玉米育种发展方向[J]. 农业与技术, 2007, 27(5): 32-34.

[2] 吴景彬, 李继竹, 尹日成, 等. 不同密度下玉米旅大红骨改良系的应用潜力[J]. 吉林农业大学学报, 2013, 35(2): 154-159.

[3] 王懿波, 王振华, 王永普. 中国玉米主要种质杂种优势群的划分及其改良利用[J]. 华北农学报, 1998, 13(1): 74-80.

[4] 王国宏, 石清琢, 王延波, 等. 美国优异种质在玉米育种中的利用研究[J]. 玉米科学, 2014, 22(6): 1-5.

[5] 柳迎春, 宿子泉, 李耀光, 等. 吉林省玉米新品种现状及杂种优势模式利用分析[J]. 农业与技术, 2006, 26(1): 53-54, 84.

[6] 郭琦, 李继竹, 杨伟光, 等. 玉米外引自交系及改良系穗部性

状的遗传分析[J]. 吉林农业大学学报, 2013, 35(6): 656-661.

[7] 刘来福. 作物数量遗传[M]. 北京: 农业出版社, 1984: 206-250.

[8] 盖钧镒. 试验统计方法[M]. 北京: 农业出版社, 2000: 105-107.

[9] 孔繁玲. 植物数量遗传学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2006: 115-181.

[10] 吴景彬. 我国主要玉米杂交种种质基础评述[J]. 中国农业科学, 1982(2): 1-8.

[11] 史桂荣. 玉米种质基础研究现状分析[J]. 黑龙江农业科学 2002(2): 35-37.

[12] 丁孝营. 玉米外来种质遗传改良材料的杂种优势表现及亲缘关系的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2007.

[13] 张野, 孙贵星, 杨巍, 等. 玉米 Mo17 及其改良系单株产量遗传研究[J]. 吉林农业大学学报, 2014, 36(3): 265-270.

[14] 吴景彬. 不同密度条件下玉米外引 Reid 种质及其改良系穗部形状的遗传研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2012.

[15] 李继竹, 胡洋, 张焕欣, 等. 美国玉米种质改良系的应用潜力研究[J]. 吉林农业大学学报, 2012, 34(1): 19-23.

[16] 代秀云, 牟丰盛, 董亚琳. 浅析吉林省玉米育种发展方向[J]. 农业与技术, 2009, 29(2): 22-23.

[17] 孙贵星, 任雪娇, 杨巍, 等. 玉米“昌 7-2”遗传改良系及其组配杂交种的耐密性分析[J]. 吉林农业大学学报, 2015, 37(2): 141-147, 165.

[18] 杨伟光. 玉米高产育种研究[J]. 玉米科学, 2006, 14(2): 10-12, 15.

[19] 杨巍, 李玲, 姜龙, 等. 不同密度下玉米 DH 系单株产量的杂种优势及配合力分析[J]. 吉林农业大学学报, 2014, 36(1): 23-29.

[20] 李向岭, 葛均筑, 侯海鹏, 等. 播期和种植密度对玉米产量性能的影响[J]. 玉米科学, 2011, 19(2): 95-100.

[21] 管建慧, 郭新宇, 刘洋, 等. 不同密度处理下玉米根系干重空间分布动态的研究[J]. 玉米科学, 2007, 15(4): 105-108.

[22] 杨国虎, 李新, 王承莲, 等. 种植密度影响玉米产量及部分产量相关性状的研究[J]. 西北农业学报, 2006, 15(5): 57-60.

[23] 夏远峰, 许明学, 于明彦, 等. 玉米基础种质杂种优势模式分析[J]. 玉米科学, 2008, 16(5): 29-32, 36.

[24] Aivi M B, Rafique M, Tariq M S, et al. Hybrid vigour of some quantitative characters in maize (*Zea mays* L.) [J]. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2003, 6(2): 139-141.

[25] 李洋, 慈佳宾, 董莹, 等. 玉米 Lancaster 种质改良系的杂种优势及配合力研究[J]. 吉林农业大学学报, 2015, 37(3): 268-272.

[26] 梁雨娟, 刘振库, 李继竹, 等. 不同密度条件下玉米杂种优势及配合力研究[J]. 玉米科学, 2012, 20(6): 25-29.

[27] 金明华, 李继竹, 于铁, 等. 不同密度条件玉米株间杂种优势及配合力研究[J]. 华南农业大学学报, 2009, 30(2): 1-5.

[28] Duvick D N. Heterosis: Feeding People and Protecting Natural Resources [M] // Coors J G, Pandey S. The genetics and exploitation of heterosis in crop. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, 1999: 19-29.

(责任编辑: 赵立华)