

高密度条件下不同基因型玉米高产特性及耐密性研究

洪德峰, 马俊峰, 马毅, 魏锋, 卫晓轶, 王稼苜, 张学舜

(河南省新乡市农业科学院, 河南 新乡 453003)

摘要: 以 13 份不同基因型玉米品种为材料, 采用裂区试验, 在玉米各生育期对玉米产量及产量性状和农艺性状进行测量, 分析不同基因型玉米的高产特性及耐密性。结果表明, 在 75 000 株/hm² 密度下, 登海 618 产量最高, 其次为农大 372、先玉 688, 登海 518 产量最低。在 90 000 株/hm² 密度下, 滑玉 168 产量最高, 其次为农大 372、迪卡 517, 登海 518 产量最低。通过隶属函数分析、主成分分析等方法对品种耐密性进行综合评价, 结果表明, 7 个指标可转换为 3 个独立指标作为耐密性指标进行综合评价, 从中筛选出耐密性强的品种农大 372、联创 808、利单 618 和先玉 688, 登海 518、登海 618 和裕丰 303 耐密性较弱。

关键词: 玉米; 高产特性; 模糊隶属函数; 耐密性

中图分类号: S513.037

文献标识码: A

Study on the Property of Density Tolerance in Maize

HONG De-feng, MA Jun-feng, MA Yi, WEI Feng, WEI Xiao-yi, WANG Jia-mu, ZHANG Xue-shun

(Xinxiang Academy of Agricultural Sciences of Henan, Xinxiang 453003, China)

Abstract: The density tolerance property of 13 maize varieties were analyzed under two densities. Experiment was conducted in split-plot design, with each of density was assigned to a whole plot and each variety was assigned to a subplot. Maize grain yield, yield components and some agronomic traits were investigated at different maize growth stages. Under the density of 75 000 plants/ha, Denghai618 yielded the most, followed by Nongda327 and Xianyu688, and Denghai518 had the lowest yield. Under the density of 90 000 plants/ha, Huayu 168 obtained the highest yield, then followed by Nongda327 and Dika517, and the yield of Denghai518 was the lowest. The properties of maize high yield and density-tolerance were studied by fuzzy membership function and principal component analysis. Seven morphological indexes of maize were recombined into three independent comprehensive indexes for maize variety evaluation. Based on the three comprehensive indexes, the varieties with highly density tolerance were selected, which included Nongda372, Lianchuang808, Lidan618, Xianyu688, and the varieties with weak density tolerance, that is, Denghai518, Denghai618, and Yufeng303, were also identified.

Key words: Maize; High yield Chaeacteristic; Fuzzy membership function; Density tolerance

玉米产量增加的 20% 以上来自于种植密度的增加^[1-4]。我国制约玉米增产的主要原因在于种植密

度低^[5,6]。美国玉米高产竞赛种植密度一般都在 79 000 ~ 103 000 株/hm², 2017 年全美 18 名优胜者(6 个组别的前 3 名)平均产量为 24 233.85 kg/hm², 最高折合产量为 34 037.10 kg/hm²。我国玉米高产田种植密度一般在 67 500 ~ 82 500 株/hm²^[7], 2017 年夏玉米创出高产 22 756.65 kg/hm² 的新纪录。从全国平均水平来说, 中美间差距显著。国家统计局发布数据, 2017 年全国玉米平均产量 6 090.75 kg/hm², 只相当于 2017 年美国玉米平均产量的 55.40%。因此增加种植密度是提高玉米产量的一个途径^[8,9]。

空秆率、果穗虚尖长度、单株产量、株高系数、边

录用日期: 2018-07-30

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目(CARS-02-33)、河南省玉米育种重大科技专项资助项目(161100110500-0103)、河南省科技开放合作项目(172106000047)

作者简介: 洪德峰(1975-), 河南永城人, 副研究员, 研究方向为玉米新品种选育及栽培技术研究。Tel: 0373-3697099

E-mail: hdf7505@126.com

张学舜为本文通讯作者。E-mail: zxs5605@126.com

际效应指数等都被作为玉米耐密性指标^[10,11],说明玉米耐密性具有复杂的机理,因此采用对适宜指标的综合评价才能正确客观地反映不同基因型玉米品种的耐密性状。采用耐密系数并结合模糊隶属函数法可以对植物的抗逆性进行综合评价,是一种重要的方法^[12~16]。

本研究利用13个玉米品种为供试材料,在两种密度条件下,对不同基因型玉米新品种进行各项指标进行测定,利用模糊隶属函数法进行综合评价,筛选耐密高产品种。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选择国家玉米产业技术体系黄淮海区15个综合试验站统一提供的13个品种,分别为郑单958、滑玉168、裕丰303、京农科728、五谷305、先玉047、联创808、农大372、先玉688、迪卡517、登海618、利单618和登海518(序号分别为1~13)。试验采用裂区设计,以密度为主处理,品种为副处理,3次重复,各处理内完全随机区组排列。每个小区种植6行,行距60 cm,行长6 m。其他种植与管理方式同当地大田生产管理。

1.2 试验地情况

试验地位于新乡市辉县市湖桥乡三小营村,海拔1 372 m,经度113°45′,纬度35°27′,前茬为小麦,试验地年平均气温14℃,降水量657 mm,其中,夏玉米生长季节占全年降雨量的60%左右。试验地土壤为壤土,0~20 cm土壤有机质含量为1.4%,全氮1.08 g/kg,速效磷11.39 mg/kg,速效钾111.2 mg/kg。田间管理按照高产田进行管理。整个生育期灌溉3次,施入基肥(氮:磷:钾为17:17:17)300 kg/hm²,于拔节期追施尿素50 kg/hm²。

1.3 测定项目

1.3.1 植株性状及整齐度

在灌浆期选择长势均匀一致的植株进行株高、穗位高的测量,在玉米小喇叭口期连续测量20株的株高,测算其整齐度。

1.3.2 产量及其构成因素

收获期每品种取中间4行进行实收计产与考种,测定穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数、百粒重和子粒含水量,计算产量。

1.3.3 棒3叶叶面积

在吐丝后期,选择5株长势均匀一致的植株进行,测定其穗位叶、穗上叶及穗下叶的长、宽,根据叶面积=叶长×叶宽×0.75,计算棒3叶叶面积。

1.4 数据处理与分析

采用Excel 2003进行数据整理,利用SPSS系统进行统计分析。

模糊隶属函数计算公式为:

$$X_{ij}=\text{高密度处理性状值/低密度处理性状值} \quad (1)$$

$$P_{ij}=(X_{ij}-X_{ij_{\min}})/(X_{ij_{\max}}-X_{ij_{\min}}) \quad (2)$$

$$\text{或 } P_{ij}=(X_{ij_{\max}}-X_{ij})/(X_{ij_{\max}}-X_{ij_{\min}}) \quad (3)$$

$$W_j=CV_j/V_{CV_j} \quad (j=1) \quad (4)$$

$$P_i=P_{ij} \times W_j \quad (j=1) \quad (5)$$

式中, P_{ij} 是第*i*个品种第*j*指标的隶属函数值; $X_{ij_{\max}}$ 表示第*j*指标的最大值; $X_{ij_{\min}}$ 表示第*j*指标的最小值; W_j 代表归一化变异系数权重; P_i 代表第*i*品种的耐密性综合指数;式(2)适用于指标大反应耐密性强弱的指标,式(3)则相反。

2 结果与分析

2.1 产量及产量构成

由表1可知,在75 000株/hm²密度下,不同基因型玉米品种在产量表现上差异极显著,差异幅度在2.11%~33.09%,登海618产量最高;其次为农大372、先玉688;登海518产量最低。在收获穗数上,不同品种之间没有明显差异。百粒重上表现为差异极显著,差异幅度在0.50%~32.29%,迪卡517子粒百粒重最大,平均为37.28 g;裕丰303子粒百粒重最小,为28.18 g。在穗粒数上,不同基因型玉米品种的差异达显著水平,差异幅度在0.88%~31.98%,裕丰303的穗粒数最多,平均为534.27粒;登海618的最少,平均为404.80粒。

表1 不同品种在75 000株/hm²密度下的产量及产量构成因子
Table 1 Yield and yield components of different maize varieties under 75 000 plants/ha

序 号 No.	产量(kg/hm ²) Yield	收获穗数(穗) Harvested ear number	序 号 No.	百粒重(g) 100-grain weight	序 号 No.	穗粒数(粒) Kernel number per ear
11	11 240.10 a	5 016.00 a	10	37.28 a	3	534.27 a
8	11 007.60 ab	5 064.67 a	8	37.09 a	6	529.63 a
9	10 870.50 ab	5 031.00 a	12	36.22 ab	10	495.36 ab

续表1 Continued 1

序 号	产量(kg/hm ²)	收获穗数(穗)	序 号	百粒重(g)	序 号	穗粒数(粒)
No.	Yield	Harvested ear number	No.	100-grain weight	No.	Kernel number per ear
2	10 662.30 abc	5 043.33 a	2	35.64 abc	1	494.03 ab
10	10232.40 abcd	4 955.33 a	9	35.62 abc	5	479.36 ab
3	10227.60 abcd	4 969.00 a	13	34.96 abcd	9	478.67 ab
1	10189.80 abcd	4 972.33 a	4	34.59 bcd	8	477.71 ab
12	9 961.20 abcd	5 049.00 a	11	34.10 bcde	7	467.84 ab
4	9 732.60 bcde	5 025.67 a	5	33.41 cde	13	461.97 ab
7	9 720.60 bcde	4 984.33 a	7	33.10 def	2	456.83 ab
5	9 433.65 cde	4 999.67 a	1	32.08 ef	12	455.87 ab
6	9 229.20 de	4 969.00 a	6	30.94 f	4	424.27 b
13	8 445.30 e	5 030.33 a	3	28.18 g	11	404.80 b

注:式中小写字母表示0.05水平下差异显著。下表同。
Note: Lowercase letters indicated significant differences at the 0.05 level. The same below.

表2 不同品种在90 000株/hm²密度下的产量及产量构成因子
Table 2 Yield and yield components of different maize varieties under 90 000 plants/ha

序 号	产量(kg/hm ²)	收获穗数(穗)	序 号	百粒重(g)	序 号	穗粒数(粒)
No.	Yield	Harvested ear number	No.	100-grain weight	No.	Kernel number per ear
2	10 543.35 a	5 940.67 a	10	37.22 a	3	564.95 a
8	10 405.95 ab	5 963.67 a	12	36.42 ab	1	518.16 ab
10	10 378.80 ab	6 005.33 a	8	36.10 ab	6	497.20 ab
9	10 198.65 abc	6 018.33 a	3	35.18 abc	10	495.07 ab
12	10 088.25 abcd	5 917.67 a	4	34.78 abc	13	482.00 ab
1	9 846.00 abcde	5 987.33 a	7	34.43 bc	2	475.79 ab
3	9 716.85 bcde	5 909.00 a	5	34.26 bc	7	461.31 b
4	9 630.75 bcde	5 986.67 a	2	34.20 bc	12	453.79 b
6	9 506.55 cde	5 974.33 a	9	33.44 c	5	452.16 b
11	9 438.45 cde	5 904.67 a	6	32.90 c	9	448.75 b
7	9 288.00 de	5 898.67 a	11	30.14 d	4	436.21 b
5	9 155.40 e	5 991.67 a	1	30.13 d	8	428.75 b
13	7 765.35 f	5 892.67 a	13	26.79 e	11	418.21 b

由表2可知,在90 000株/hm²密度下,不同基因型玉米品种在产量表现上差异极显著,差异幅度在1.32%~35.77%,滑玉618产量最高;其次为农大372、迪卡517;登海518产量最低。在收获穗数上,不同品种之间差异不显著。百粒重上表现为差异极显著,差异幅度在2.20%~38.93%,迪卡517子粒百粒重最大,平均为37.22g;登海518子粒百粒重最小,为26.79 g。在穗粒数上,不同基因型玉米品种的差异达显著水平,差异幅度在9.03%~32.14%,裕丰303的穗粒数最多,平均为564.95粒;农大372的最少,平均为428.75粒。

2.2 增加密度对不同基因型玉米产量及产量构成因子的影响

由表3可知,增加密度后,13个品种的穗数均有

不同程度的增加,增幅为17.2%~21.19%。产量方面,只有先玉047、迪卡517和利单618增产,分别增产3.01%、1.43%和1.28%;其余品种都是减产,减产幅度在16.03%~1.05%,减产幅度最大的为登海618,达到16.03%,其次为登海518,减产达到8.05%。裕丰303、京农科728、五谷305、先玉047、联创808、利单618在百粒重方面增加,增加幅度在0.55%~24.84%,其余品种均表现为减少,减少幅度在-23.37%~-0.16%。郑单958、滑玉168、裕丰303、京农科728、登海618、登海518在穗粒数方面增加,增加幅度为2.81%~5.74%,剩余品种皆降低,幅度在-10.25%~-0.06%。

2.3 不同基因型玉米耐密性指标筛选

各指标的变异系数能反应不同基因型玉米在高

密度条件下的敏感性,数值越大表示该指标受高密度胁迫影响在不同基因型玉米品种间的差异就越大。通过式(1)~式(5)计算出隶属函数综合评价价值,对不同基因型玉米的耐密性进行模糊隶属函数综合评价。

由表4可知,不同基因型玉米品种间耐密性综合指数在不同的指标间差异较大,最小值为1.57,最大值为43.38。同时,在高密度种植条件下,与低密

度相比,12个不同的指标均达极显著和显著水平。其中,产量、穗长、百粒重、出籽率、棒3叶叶面积减小,减小范围在1.31%~3.81%;产量、穗长、棒3叶叶面积减少3.81%;百粒重减少1.71%;出籽率减少1.31%;株高、穗位高、轴粗增加,分别为4.55%、1.49%、7.27%;穗粗、穗行数、行粒数及子粒含水量基本没有变化。

表3 不同基因型玉米品种增密对产量及产量构成因子的影响
Table 3 Yield components of different genotypes of maize under high density

品 种 Variety	增产幅度 (%) Yield increased percentage	穗数增加幅度(%) Increased percentage of ear number per unit area	百粒重增加幅度(%) Increase percentage of 100-kernel weight	穗粒数增加幅度(%) Increased percentage of kernel number per ear
郑单958	-3.37	20.41	-6.08	4.88
滑玉168	-1.12	17.79	-4.04	4.15
裕丰303	-4.99	18.92	24.84	5.74
京农科728	-1.05	19.12	0.55	2.81
五谷305	-2.95	19.84	2.54	-5.67
先玉047	3.01	20.23	6.33	-6.12
联创808	-4.45	18.34	4.02	-1.4
农大372	-5.47	17.75	-2.67	-10.25
先玉688	-6.18	19.62	-6.12	-6.25
迪卡517	1.43	21.19	-0.16	-0.06
登海618	-16.03	17.72	-11.61	3.31
利单618	1.275	17.2	0.55	-0.46
登海518	-8.05	17.14	-23.37	4.34

表4 高低密度处理下不同基因型玉米形态统计值
Table 4 Statistics of maize traits under low and high density levels

指 标 Index	低密度处理 Low density		高密度处理 High density		<i>t</i> 检验 <i>t</i> -test	处理相对值 Relative value	
	平均值 Mean	变异系数(%) CV	平均值 Mean	变异系数(%) CV		平均值 Mean	变异系数(%) CV
产 量	671.56	7.75	645.96	7.54	4.61**	0.96	4.15
株 高	240.28	8.00	251.21	8.10	2.18*	1.04	2.24
穗位高	93.13	10.76	94.52	11.22	3.72*	1.02	3.56
穗 长	18.21	9.67	17.36	8.07	6.93**	0.96	5.94
穗 粗	4.82	3.05	4.83	3.47	6.53**	1.00	1.57
轴 粗	2.20	5.82	2.36	4.8	6.34**	1.08	3.57
穗行数	15.14	6.90	15.17	5.99	6.31**	1.00	3.20
行粒数	31.36	6.73	31.58	5.74	5.17**	1.01	6.53
百粒重	39.82	8.91	39.14	10.17	6.99**	0.98	2.75
出籽率	83.45	3.18	82.36	3.04	7.54**	0.99	2.51
含水量	26.25	8.98	26.18	9.8	6.40**	1.00	2.59
棒3叶叶面积	0.19	6.54	0.18	8.04	6.48**	0.96	4.18

注:**表示0.01水平下差异显著。
Note: ** indicated a significant difference at the 0.01 level.

表5 变异系数归一化处理后各指标的权重
Table 5 The weight of maize index after their coefficients of variation normalized

指 标 Index	变异系数(%) CV	权重 Weight	
		12个指标	7个指标
		12 indices	7 indices
相对产量	4.15	0.026	0.133 312
相对株高	2.24	0.014	
相对穗位高	3.56	0.023	0.114 359
相对穗长	5.94	0.027	0.134 276
相对穗粗	1.57	0.038	0.190 813
相对轴粗	3.57	0.010	
相对穗行数	3.20	0.023	0.114 680
相对行粒数	6.53	0.020	0.102 795
相对百粒重	2.75	0.042	0.209 765
相对出籽率	2.51	0.018	
相对含水量	2.59	0.016	
相对棒3叶面积	4.18	0.017	

不同的指标在此试验中根据相对值计算出的变异系数不同,由于产量、穗位高、穗长、轴粗、穗行数、

行粒数及棒3叶叶面积的处理相对值变异系数较高(CV>3%),选择此7个指标进行耐密性分析。

2.4 不同基因型玉米耐密性评价

变异系数的大小能反映出各个指标对增加密度胁迫的敏感程度,CV值越大表明此指标受到胁迫的影响在品种间的差异就越大。通过公示计算出不同基因型玉米品种的隶属函数值,以经过归一化处理后各指标的变异系数作为权重(表5),得到不同品种的隶属函数综合评价价值,可以对其进行模糊隶属函数综合评价。

由表6表明,不同基因型高产玉米品种耐密性模糊隶属函数综合指数之间差异较大,12个指标变化范围在0.137 3~0.033 8,相差达到3倍,7个指标变化范围在0.587 5~0.099 4,相差达5倍。根据综合指标数值的大小,12个指标综合评价时,联创808、农大372、先玉047的耐密性强,迪卡517、登海518、登海618耐密性差;7个指标综合评价时,农大372、先玉047、联创808耐密性强,迪卡517、登海518、登海618耐密性差。由此说明,选择的7个指标进行耐密性综合评价具有一定的代表性。

表6 不同基因型玉米耐密性模糊隶属函数综合指数
Table 6 Comprehensive index of density tolerance of different maize varieties by fuzzy membership function

编 号 No.	品种名称 Hybrid	综合指数 Comprehensive index		编 号 No.	品种名称 Hybrid	综合指数 Comprehensive index	
		12个指标	7个指标			12个指标	7个指标
		12 indices	7 indices			12 indices	7 indices
1	郑单958	0.106 61	0.387 01	8	农大372	0.133 05	0.587 50
2	滑玉168	0.082 83	0.348 92	9	先玉688	0.076 12	0.313 26
3	裕丰303	0.091 09	0.294 04	10	迪卡517	0.054 38	0.226 29
4	京农科728	0.090 53	0.381 42	11	登海618	0.033 82	0.099 42
5	五谷305	0.093 67	0.344 65	12	利单618	0.109 19	0.367 97
6	先玉047	0.128 60	0.584 43	13	登海518	0.052 56	0.202 70
7	联创808	0.137 28	0.562 09				

2.5 主成分分析评价

由表7可知,12个指标进行主成分分析,前4个指标的特征值都大于1,其累积贡献率达到74.325%,可以将12个指标转换成4个变量;用7个指标进行主成分分析时,前3个指标的特征值大于1,累积贡献率达到76.369%,可以将7个指标转换成3个变量。

由表8可知,全部采用12个指标进行综合分析,13个不同基因型玉米品种中,耐密能力综合得分高低依次为农大372、联创808、利单618、京农科728、

五谷305、先玉688、先玉047、郑单958、迪卡517、滑玉168、登海518、裕丰303、登海618;7个指标进行综合分析时,综合得分高低顺序依次为为联创808、农大372、先玉047、利单618、五谷305、滑玉168、先玉688、郑单958、迪卡517、裕丰303、登海518、登海618,与12个指标分析前6位重合率达到83.33%,后3位重合率达到100%。由此可知,相对产量、相对穗位高、相对穗长、相对穗粗、相对穗行数、相对行粒数、相对百粒重可以作为评价玉米耐密性的指标。

表7 主成分分析各因子变量的特征值和贡献率
Table7 Eigenvalue and contribution rate of each factors in principal component analysis

因子编号 Factor No.	特征值 Eigenvalue		贡献率(%) Contribution rate		累积贡献率(%) Cumulative contribution	
	12 指标评价	7 指标评价	12 指标评价	7 指标评价	12 指标评价	7 指标评价
	12 indices	7 indices	12 indices	7 indices	12 indices	7 indices
1	3.521	2.506	29.342	35.795	29.342	35.795
2	2.595	1.666	21.628	23.796	50.970	59.591
3	1.581	1.174	13.172	16.778	64.142	76.369
4	1.222	0.896	10.184	12.799	74.325	89.168
5	0.946	0.532	7.887	7.601	82.212	96.769
6	0.834	0.145	6.953	2.068	89.165	98.836
7	0.580	0.081	4.836	1.164	94.001	100.000
8	0.323		2.694		96.695	
9	0.227		1.894		98.590	
10	0.116		0.967		99.556	
11	0.051		0.424		99.981	
12	0.002		0.019		100.000	

表8 不同基因型玉米主成分分析耐密能力综合得分
Table 8 Comprehensive scores of tolerability to high density of the maize by principle component analysis

编 号 No.	品种名称 Hybrid	综合得分 Comprehensive score		编 号 No.	品种名称 Hybrid	综合得分 Comprehensive score	
		12 个指标	7 个指标			12 个指标	7 个指标
		12 indices	7 indices			12 indices	7 indices
1	郑单 958	-0.004 680	-0.007 060 50	8	农大 372	0.071 211	0.041 803 32
2	滑玉 168	-0.021 100	-0.005 061 10	9	先玉 688	0.005 527	-0.006 794 60
3	裕丰 303	-0.051 850	-0.024 064 20	10	迪卡 517	-0.019 180	-0.016 123 30
4	京农科 728	0.020 471	0.007 514 86	11	登海 618	-0.057 250	-0.055 567 00
5	五谷 305	0.009 703	0.003 785 35	12	利单 618	0.034 031	0.021 834 69
6	先玉 047	0.003 974	0.035 947 71	13	登海 518	-0.038 620	-0.039 075 50
7	联创 808	0.047 766	0.042 860 72				

3 结论与讨论

在不同的种植密度下,不同基因型玉米品种在产量及产量构成因子上存在显著差异。综合评价分析表明,农大 372、联创 808、利单 618、先玉 688 的耐密性较强,登海 518、登海 618、裕丰 303 的耐密性较弱,生产上选用这些品种时应采用适宜的种植密度。本文利用模糊隶属函数综合指数方法,选用 12 个指标与 7 个指标相比较,耐密性强和弱的品种重合率达到 100%。通过主成分分析,选用 12 个指标与采用 7 个指标进行综合分析相比,13 个不同基因型玉米品种中,耐密综合能力强前 6 位重合率达到 83.33%,后 3 位(耐密性弱)重合率达到 100%。因此,

可以将相对产量、相对穗位高、相对穗长、相对穗粗、相对穗行数、相对行粒数、相对百粒重等 7 个指标作为评价不同基因型玉米耐密性强弱的指标。

耐密性是一个辅助的综合特性,它受多种因素的影响^[17~19],耐密性的评定方法采用多个指标进行综合评定可以有效弥补单个指标的局限性,从而使评定结果更加客观可靠。灰色关联度分析法、聚类分析法、模糊隶属函数法、主成分分析法等分析方法,可以综合多个指标进行植物品种抗逆性(耐密性)分析,结果更加真实可靠。

参考文献:

[1] Tollenaar M, Lee E A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize[J]. Field Crops Research, 2002, 88: 161-169.

- [2] 佟屏亚,程延年.玉米密度与产量因素关系的研究[J].北京农业科学,1995,13(1):23-25.
Tong P Y, Cheng Y N. The relationships between yield and density [J]. Beijing Agricultural Sciences, 1995, 13(1): 23-25. (in Chinese)
- [3] 赵化春,韩 萍.玉米栽培的适宜密度问题[J].玉米科学,2001,9(增刊):34-38.
Zhao H C, Han P. Research on optimum density of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2001, 9(S): 34-38. (in Chinese)
- [4] 王 楷,王克如,王永宏,等.密度对玉米产(>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.
Wang K, Wang K R, Wang Y H, et al. Effects of density on maize yield and yield components[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45 (16): 3437-3445. (in Chinese)
- [5] 李利利,张吉旺,刘 伟,等.高产玉米新品种登海661的高产特性研究[J].玉米科学,2011,19(5):83-86.
Li L L, Zhang J W, Liu W, et al. Study on high yield characteristics of new maize variety Denghai661[J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(5): 83-86. (in Chinese)
- [6] 刘 伟,吕 鹏,苏 凯,等.种植密度对夏玉米产量和源库特性的影响[J].应用生态学报,2010,21(7):1737-1743.
Liu W, Lü P, Su K, et al. Effects of planting density on the grain yield and source-sink characteristics of summer maize[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(7): 1737-1743. (in Chinese)
- [7] 陈国平,王荣焕,赵久然.玉米高产田的产量结构模式及关键因素分析[J].玉米科学,2009,17(4):89-93.
Chen G P, Wang R H, Zhao J R. Analysis on yield structural model and key factors of maize high-yield polts[J]. Journal of Maize Sciences, 2009, 17(4): 89-93. (in Chinese)
- [8] 陈传永,侯玉红,孙 锐,等.密植对不同玉米品种产量性能的影响及其耐密性分析[J].作物学报,2010,36(7):1153-1160.
Chen C Y, Hou Y H, Sun R, et al. Effects of planting density on yield performance and density-tolerance analysis for maize hybrids [J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(7): 1153-1160. (in Chinese)
- [9] 勾 玲,黄建军,张 宾,等.群体密度对玉米茎秆抗倒力学和农艺性状的影响[J].作物学报,2010,36(7):1153-1160.
Gou L, Huang J J, Zhang B, et al. Effects of population density on stalk lodging resistant mechanism and agronomic characteristics of maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(7): 1153-1160. (in Chinese)
- [10] 张丽华,赵洪祥,谭国波,等.不同玉米杂交种抗旱性比较研究[J].玉米科学,2012,20(3):29-33.
Zhang L H, Zhao H X, Tan G B, et al. Comparative study on the drought resistance of maize hybrids[J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(3): 29-33. (in Chinese)
- [11] 苏方宏.玉米耐密性的数学表达及其应用[J].玉米科学,1997,6(1):52-54,68.
Su F H. The mathematical expression and application of density tolerant in maize[J]. Journal of Maize Sciences, 1997, 6(1): 52-54, 68. (in Chinese)
- [12] 莫惠栋.穗数-密度的理论曲线方程及其分析[J].作物学报,1964,3(3):327-342.
Mo H D. Spike-density theory curve equation and its analysis[J]. Acta Agronomica Sinica, 1964, 3(3): 327-342. (in Chinese)
- [13] 薛吉全,梁宗锁,马国胜,等.玉米不同株型耐密性的群体生理指标研究[J].应用生态学报,2002,13(1):55-59.
Xue J Q, Liang Z S, Ma G S, et al. Population physiological indices on density-tolerance of maize in different plant type[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(1): 55-59. (in Chinese)
- [14] 徐 蕊,王启柏,张春庆,等.玉米自交系抗旱性评价指标体系的建立[J].中国农业科学,2009,42(1):72-84.
Xu R, Wang Q B, Zhang C Q, et al. Drought-Resistance evaluation system of maize inbred[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(1): 72-84. (in Chinese)
- [15] 袁刘正.玉米耐阴性的QTL分析[D].河南:河南农业大学,2009.
- [16] 吴 琼,杨克军,张翼飞,等.不同基因型玉米耐密植抗倒性分析及其鉴定指标的筛选[J].玉米科学,2017,25(6):79-86.
Wu Q, Yang K J, Zhang Y F, et al. Analysis of lodging resistance and determination of resistance evaluation indicators in different maize genotypes under higher population density selection pressures[J]. Journal of Maize Sciences, 2017, 25(6): 79-86. (in Chinese)
- [17] 赵如浪,王永宏,赵 健,等.春玉米高产区不同基因型品种耐密性比较及特征研究[J].种子,2014,33(9):71-75.
Zhao R L, Wang Y H, Zhao J, et al. Density-tolerance and characteristic of different genotype varieties in spring maize high yield region[J]. Seed, 2014, 33(9): 71-75. (in Chinese)
- [18] 杨吉顺,高辉远,刘 鹏,等.种植密度和行距配置对超高产夏玉米群体光合特性的影响[J].作物学报,2010,36(7):1226-1233.
Yang J S, Gao H Y, Liu P, et al. Effects of planting density and row spacing on canopy apparent photosynthesis of high-yield summer corn[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(7): 1226-1233. (in Chinese)
- [19] 李宗新,陈源泉,王庆成,等.密植条件下种植方式对夏玉米群体根冠特性及产量的影响[J].生态学报,2012,3(12):7391-7401.
Li Z X, Chen Y Q, Wang Q C, et al. Effect of different planting methods on root-shoot characteristics and grain yield of summer maize under high densities[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 3(12): 7391-7401. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)