

爆裂玉米种质资源的果穗性状和膨爆特性多样性及相关性分析

王 慧, 于典司, 关 媛, 卫季辉, 孙萍东, 顾 炜,
施 标, 林金元, 卢有林, 郑洪建

(上海市农业科学院作物育种栽培研究所/CIMMYT-中国特用玉米研究中心, 上海 201403)

摘 要: 研究分析 50 份不同爆裂玉米种质材料的果穗性状及其膨爆特性。结果表明, 果穗性状中秃尖长的变异系数为 68.88%; 果穗穗长、行数、行粒数、穗粗、百粒重呈正态分布, 果穗秃尖长呈偏态分布。膨爆特性中膨爆倍数的变异系数为 32.86%, 膨爆倍数呈正态分布, 膨爆率呈偏态分布, 表明爆裂玉米种质材料间主要性状具有较为丰富的多样性。膨爆特性、果穗性状间的相关性分析表明, 膨爆倍数与膨爆率呈显著正相关; 膨爆倍数与穗长、穗行数、行粒数、穗粗呈正相关, 与秃尖长、百粒重呈负相关; 膨爆率与行粒数、穗粗呈显著正相关, 与穗长、秃尖长、行数、百粒重呈正相关。

关键词: 爆裂玉米; 果穗性状; 膨爆倍数; 膨爆率; 多样性; 相关性

中图分类号: S513.024

文献标识码: A

Diversity and Correlation Coefficient Analysis on Ear and Explosion Characters of Popcorn Germplasm Resources

WANG Hui, YU Dian-si, GUAN Yuan, WEI Ji-hui, SUN Ping-dong, GU Wei,
SHI Biao, LIN Jin-yuan, LU You-lin, ZHENG Hong-jian

(Crop Breeding and Cultivation Research Institute/

CIMMYT-China Specialty Maize Research Center, Shanghai 201403, China)

Abstract: The ear characters and popping characters of 50 different popcorn germplasm were analyzed. The results showed that the variation coefficient of the ears' bald tip lengths was 68.88%, and the ear lengths, rows per ear, seeds per row, ear diameter and 100-grain weight presented a normal distribution, while the bald tip lengths a skew distribution; popping volume was 32.86%, presented a normal distribution, popping rate presented a skew distribution. The main characters of popcorn germplasm had abundant diversity, which was helpful for screening and comparison of good varieties and breeding and improvement of new varieties. Correlation analysis between popping characteristics and ear traits showed that the popping volume was positively correlated with the popping rate, and the popping volume was positively correlated with the ear length, rows per ear, seeds per row and ear diameter; and the negative correlation with the bald length and 100-grain weight. The popping rate was significantly positively correlated with seeds per row and the ear diameter, and positively related to the ear length, baldness, rows and 100-grain weight.

Key words: Popcorn; Ear character; Popping volume; Popping rate; Diversity; Correlation

录用日期: 2018-11-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(31801364)、国家重点研发计划项目(2018YFD0100106)、上海市农委基础项目[沪农科攻字(2015)第6-1-2号]、上海市鲜食玉米产业技术体系[沪农科产字(2017)第10号]

作者简介: 王 慧(1983-), 女, 安徽人, 硕士, 副研究员, 主要从事玉米遗传育种工作。Tel: 021-37195373

E-mail: wanghui19840109@163.com

郑洪建为本文通讯作者。E-mail: hjzh6188@163.com

爆裂玉米(*Zea mays* L. var. *everta*)是一种专门用于爆制玉米花的特殊玉米类型, 其主要特点是具有极好的爆裂性, 又称爆炸玉米或爆花玉米, 是一种专门用来爆制玉米花的特殊类型玉米, 起源于美洲, 是一种营养丰富的特色食品^[1-4]。研究表明, 经常食用玉米花可以增加营养、减少癌症发病率、减少肠道疾病和保护牙齿等多种作用。爆裂玉米产业在美国经久不衰, 在 100 多年中平均以每年 5% 的速度持续增

长^[5-8]。

我国爆裂玉米新品种的选育工作开始于20世纪80年代后期。目前,我国爆裂玉米育种已经全面进入单交种阶段。全国农业技术推广中心将爆裂玉米正式列入国家玉米新品种区域试验,这一举措有力地促进了我国爆裂玉米的新品种选育,规范了新品种推广,使育种强度和水平都有了明显提高,为我国爆裂玉米产业发展起了重要作用。

在对爆裂玉米的需求量不断增大的今天,对于其性状的详细研究,有助于对更优良品种的筛选和比较以及新品种的培育和改良。本文对引进收集和自行选育的爆裂玉米种质材料的果穗性状及膨爆特性进行了多样性分析和评价,为开展玉米品质改良和选育新的爆裂玉米品种提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验以从国内外搜集到的50份不同爆裂玉米种质资源作为供试材料。试验在上海市农业科学院庄行试验站内进行,土壤肥料中等、均匀,排灌方便,前茬作物为水稻。

1.2 试验实施

将50份爆裂玉米材料大田种植,4行区,行长5 m,密度67 500株/hm²。为了避免外来花粉的影响,各小区选择长势一致的植株10株,挂牌标记,吐

丝前雌穗套袋,人工自交授粉。成熟期取挂牌自交授粉果穗,含水量14%左右测定爆裂玉米膨爆特性;自然授粉果穗风干用于产量测定。

1.3 调查项目与方法

1.3.1 果穗性状

随机连续取样10穗测量,分别测定果穗长(果穗基部至果穗顶端长度)、果穗粗(果穗中间的直径)、秃尖长(果穗顶端不结实部分的长度)、穗行数(果穗中部的子粒行数)、行粒数(以每穗对称数2行再除以2,为每行粒数)。

1.3.2 子粒膨爆特性测定

将考种所得玉米进行脱粒用水分仪测定其水分含量,含水量14%时,随机取100粒爆裂玉米,放入爆花机内爆花,用1 000 mL量筒测量玉米花的体积,测其重量、体积、百粒重后放入已经充分预热后的爆花机加热锅中,取出玉米花爆花后测定全部样品,检查充分膨爆的爆花粒数、未爆和爆花不完全的粒数并计算爆花率和膨爆倍数。重复3次,求平均值。膨爆倍数(V_2/V_1)=爆花后容积/爆花前容积;爆花率=爆花粒数/试爆粒数^[9]。爆裂玉米粒型分米粒型和珍珠型两种。米粒型爆裂玉米粒长,顶端有刺;珍珠型爆裂玉米粒圆形,顶端无刺。爆裂玉米爆米花的花形划分为蝶形和球形(图1)。

1.3.3 爆裂玉米花形

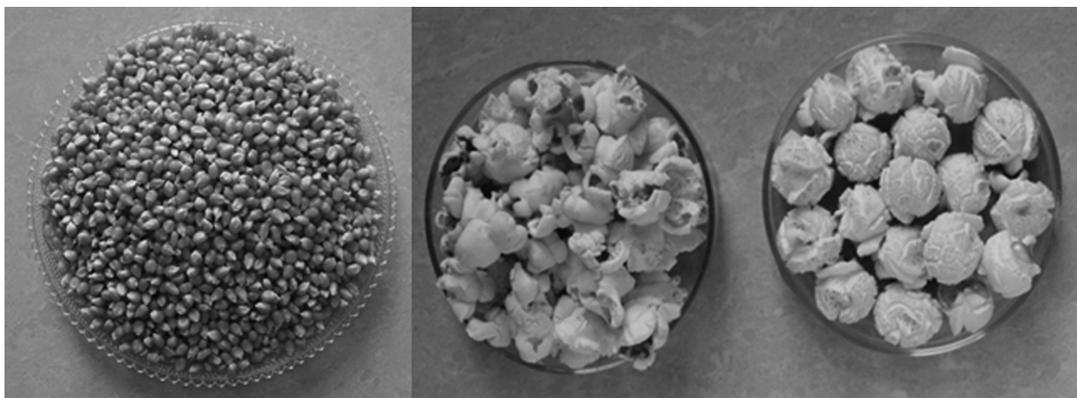


图1 爆裂玉米子粒及爆花形状

Fig.1 Kernel type and shape of popcorn

1.3.4 统计分析方法

数据采用软件Excel计算平均数、最小值、最大值、标准差、变异系数;采用SPSS软件计算相关系数。

2 结果与分析

2.1 爆裂米种质材料间果穗性状的多样性分析

由表1可知,爆裂玉米种质材料中,果穗穗长、

秃尖长、行粒数、行数、穗粗、百粒重变异幅度分别是4.96~17.5 cm、0~4.20 cm、9~36粒、6.40~16行、2.12~4.39 cm、8.23~18.27 g,平均值依次为11.16 cm、1.28 cm、21.64粒、11.13行、3.34 cm、12.47 g。

果穗秃尖长变异系数(CV)值最大,为68.88%;行粒数变异系数为31.75%,穗长变异系数为31.16%,穗行数变异系数为21.84%,穗粗的变异系数为

18.62%,百粒重变异系数为17.52%,表明不同爆裂玉米种质材料果穗性状具有丰富的多样性,其中,果穗秃尖长的多样性最为丰富。果穗穗长、果穗行粒

数、果穗行数、果穗穗粗、百粒重呈正态分布,而果穗秃尖长呈偏态分布(图2),育种和生产上对秃尖长短的选择作用较大。

表1 爆裂玉米种质材料间果穗性状表现分析

Table 1 Analysis of ear characters of popcorn germplasm materials

	均值 Mean value	标准差 Standard deviation	变异系数(%) Coefficient of variation	最大值 Max	最小值 Min
穗长(cm)	11.16	3.48	31.16	17.5	4.96
秃尖长(cm)	1.28	0.88	68.88	4.20	0.00
行数(行)	11.13	2.43	21.84	16.00	6.40
行粒数(粒)	21.64	6.87	31.75	36.00	9.00
穗粗(cm)	3.34	0.62	18.62	4.39	2.12
百粒重(g)	12.47	2.18	17.52	18.27	8.23

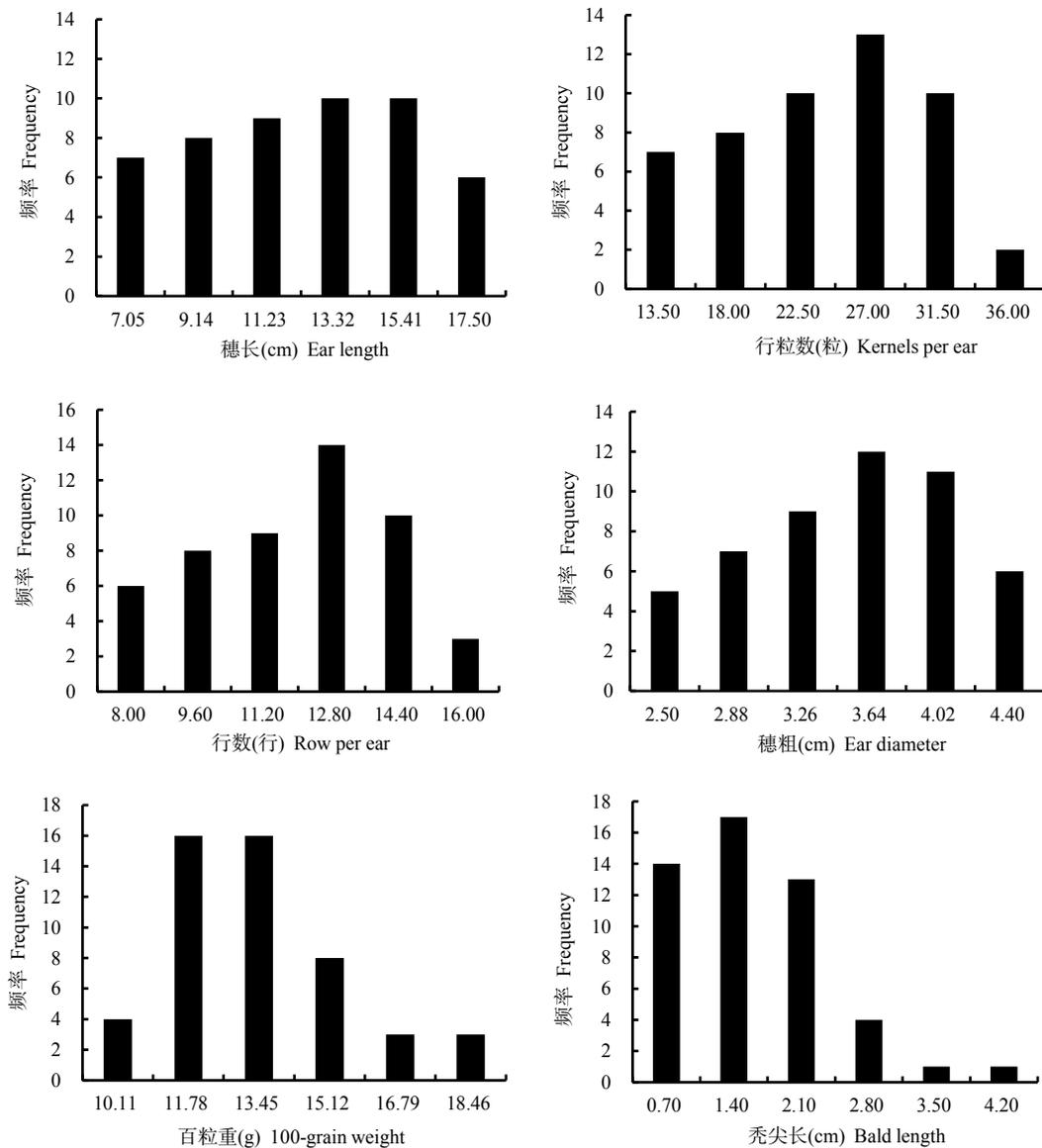


图2 爆裂玉米种质资源果穗性状频率分布图

Fig.2 Frequency distributions of ear characters of popcorn

2.2 爆裂玉米种质材料间的膨爆特性分析

表2 50份爆裂玉米种质资源膨爆特性分析
Table 2 Analysis of popping quality of 50 popcorn germplasm resources

田间编号 Field number	品种名称 Variety name	来源 Origin	百粒重(g) 100-grain weight	粒型 Grain type	子粒颜色 Grain color	爆花形状 Popping type	未爆粒数 Unexploded number	膨爆倍数 (V_2/V_1) Popping volume	膨爆率 (%) Popping rate
P1	RP1	上海	8.44	珍珠	黄	蝶形	20	17.50	80
P2	RP2	上海	11.16	珍珠	黄	蝶形	20	25.00	80
P3	黄BL1	上海	10.55	珍珠	黄	蝶形	0	26.00	100
P4	黄BL2	上海	10.23	珍珠	黄	蝶形	47	20.00	53
P5	黄BL3	上海	11.53	珍珠	黄	蝶形	0	25.33	100
P6	白BL12	上海	12.52	珍珠	白	蝶形	15	12.35	85
P7	白BL13	上海	12.88	珍珠	白	蝶形	7	26.47	93
P8	白BL15	上海	11.50	珍珠	白	蝶形	29	7.33	71
P9	HN2317	贵州	12.32	珍珠	黄	蝶形	23	18.75	77
P10	HN2318	贵州	11.84	珍珠	黄	蝶形	38	21.33	62
P11	HN2319	贵州	11.35	珍珠	黄	蝶形	23	16.88	77
P12	HN2320	贵州	11.52	珍珠	黄	球形	5	23.33	95
P13	HN2321	贵州	8.23	珍珠	黄	蝶形	25	15.83	75
P14	HN2322	贵州	14.46	珍珠	黄	蝶形	6	22.11	94
P15	HN2323	贵州	12.41	珍珠	黄	蝶形	26	14.71	74
P16	HN2324	新疆	13.52	珍珠	黄	蝶形	2	24.21	98
P17	HN2325	新疆	12.61	珍珠	黄	蝶形	11	21.18	89
P18	HN2326	新疆	11.27	珍珠	黄	蝶形	22	16.88	78
P19	HN2327	新疆	13.29	珍珠	黄	蝶形	15	18.33	85
P20	HN2328	新疆	12.15	珍珠	黄	蝶形	23	14.12	77
P21	HN2329	四川	13.05	珍珠	黄	蝶形	0	18.42	100
P22	HN2330	四川	11.32	珍珠	黄	蝶形	15	16.88	85
P23	HN2331	四川	12.35	珍珠	黄	蝶形	4	22.22	96
P24	HN2332	四川	12.24	珍珠	黄	蝶形	8	14.44	92
P25	HN2333	四川	11.95	珍珠	黄	蝶形	9	18.24	91
P26	HN2334	四川	12.77	珍珠	黄	蝶形	9	18.82	91
P27	HN2335	四川	12.59	珍珠	黄	球形	28	21.25	72
P28	HN2336	四川	13.08	珍珠	黄	蝶形	16	19.44	84
P29	HN2337	北京	11.20	珍珠	黄	蝶形	16	20.63	84
P30	HN2338	北京	10.61	珍珠	黄	蝶形	15	14.67	85
P31	HN2339	北京	10.17	珍珠	黄	蝶形	31	16.67	69
P32	HN2340	云南	9.06	珍珠	黄	蝶形	13	13.57	87
P33	HN2341	云南	10.14	珍珠	黄	蝶形	8	12.67	92
P34	HN2342	云南	11.79	珍珠	黄	蝶形	14	25.71	86
P35	HN2343	云南	14.48	珍珠	黄	蝶形	14	10.48	86
P36	HN2344	美国	18.27	珍珠	黄	混合形	24	15.60	76
P37	HN2345	美国	17.02	珍珠	黄	混合形	4	16.25	96
P38	HN2346	美国	17.30	珍珠	黄	混合形	7	14.62	93
P39	HN2347	美国	10.29	珍珠	黄	蝶形	20	4.29	80
P40	HN2348	美国	13.91	珍珠	黄	蝶形	5	10.53	95
P41	HN2349	美国	14.37	珍珠	黄	蝶形	5	24.21	95
P42	HN2350	美国	13.71	珍珠	黄	蝶形	3	20.53	97
P43	MEXPOP9	墨西哥	11.12	珍珠	黄	蝶形	15	12.67	85
P44	MEXPOP10	墨西哥	15.63	珍珠	黄	蝶形	48	4.35	52
P45	MEXPOP11	墨西哥	14.54	珍珠	黄	蝶形	0	8.18	100
P46	MEXPOP12	墨西哥	15.47	珍珠	黄	蝶形	23	7.62	77
P47	MEXPOP13	墨西哥	14.63	珍珠	黄	蝶形	8	11.82	92
P48	MEXPOP14	墨西哥	16.41	珍珠	黄	蝶形	12	13.04	88
P49	MEXPOP15	墨西哥	9.48	珍珠	黄	蝶形	17	12.14	83
P50	MEXPOP16	墨西哥	10.53	珍珠	黄	蝶形	15	14.00	85

对搜集整理的50份爆裂玉米种质资源材料进行膨爆特性分析。由表2可见,爆裂玉米的子粒类型为珍珠形,子粒颜色有黄色和白色,爆花形状一般分为蝶形、球形及混合形,以蝶形为主。在膨爆倍数上,50份爆裂玉米差异较大,最大为26.47倍,最小为4.29倍。膨爆倍数大于25倍的有5个,占10%;20~25倍的有11个,占22%;15~20倍的有14个,占28%;10~15倍的有15个,占30%,低于10倍的有5个,占10%。膨爆率上,爆裂玉米差异也同样较大,最高为100%,最低仅为52%。膨爆率大于等于

95%的有11个,占22%;90%~95%的有8个,占16%;85%~90%的有11个,占22%;80%~85%的有6个,占12%;75%~80%的有7个,占14%;低于75%的有7个,占14%。

表3可见,爆裂玉米不同种质材料间爆花率、膨爆倍数的平均值分别为84.74、16.83;变异幅度分别为52~100、4.29~26.47;膨爆倍数的变异系数为32.86%,膨爆率的变异系数为13.10%,表明爆裂玉米种质材料子粒膨爆特性具有较为丰富的多样性。膨爆倍数呈正态分布,而膨爆率呈偏态分布(图3)。

表3 爆裂玉米种质材料间膨爆特性表现分析

Table 3 Analysis of popping quality of popcorn germplasm materials

指标 Index	均值 Mean value	标准差 Standard deviation	变异系数(%) Coefficient of variation	最大值 Max	最小值 Min
膨爆率(%)	16.83	5.53	32.86	26.47	4.29
膨爆倍数	84.74	11.10	13.10	100.00	52.00

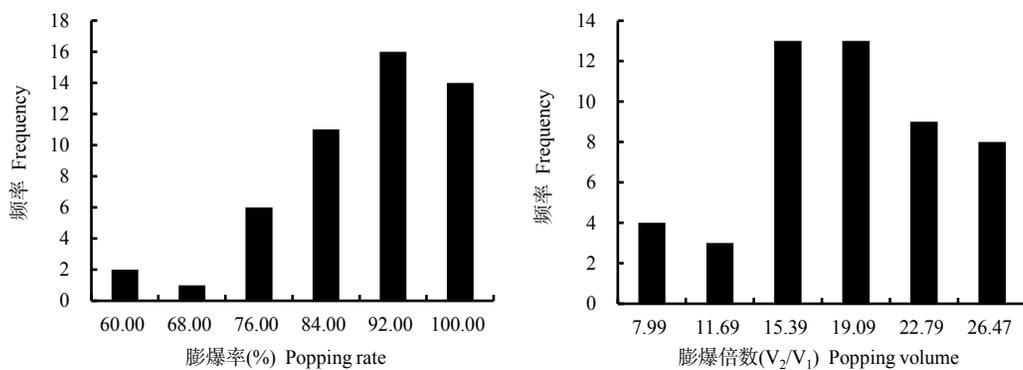


图3 膨爆特性频率分布图

Fig.3 Frequency distributions of popping quality of popcorn

2.3 膨爆特性与主要性状间的相关性分析

表4 膨爆特性与主要性状间的相关分析

Table 4 Correlation coefficient among popping characters and main characteristics

性状 Trait	膨爆倍数 Popping volume	穗长 Ear length	秃尖长 Bald length	行数 Row per ear	行粒数 Kernels per ear	穗粗 Ear diameter	百粒重 100-grain weight	膨爆率 Popping rate
膨爆倍数	1.000	0.277	-0.251	0.216	0.257	0.122	-0.136	0.295*
穗长		1.000	-0.270	0.793**	0.896**	0.329*	-0.002	0.227
秃尖长			1.000	-0.227	-0.213	-0.087	0.151	0.154
行数				1.000	0.806**	0.267	-0.024	0.190
行粒数					1.000	0.399**	0.045	0.352*
穗粗						1.000	0.451**	0.333*
百粒重							1.000	0.184
膨爆率								1.000

注: *、**分别表示在0.05、0.01水平下差异显著。

Note: * and ** indicated that the difference significant at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

膨爆倍数和膨爆率是爆裂玉米的品质的重要指标,对爆裂玉米膨爆倍数与膨爆率之间进行相关性分析,同时对膨爆特性与果穗性状进行相关性分析。从表4可以看出,膨爆倍数与膨爆率呈显著正相关,膨爆倍数与穗长、穗行数、行粒数、穗粗呈正相关,与秃尖长、百粒重呈负相关;膨爆率与行粒数、穗粗呈显著正相关,与穗长、秃尖长、行数、百粒重呈正相关。此外,从表4可看出,穗长与行数、行粒数呈极显著正相关,与穗粗呈显著正相关,与秃尖长,百粒重呈负相关;秃尖长与行数、行粒数、穗粗呈负相关,与百粒重呈正相关;行粒数与穗粗呈极显著正相关,与百粒重呈正相关;穗粗与百粒重呈极显著正相关。

3 结论与讨论

爆裂玉米膨爆特性是爆裂玉米商品价值的关键,爆裂玉米的改良必须在保证爆裂品质优良的前提下提高产量^[9-16]。本研究对不同爆裂玉米种质资源的果穗性状和膨爆特性进行多样性分析,结果表明,爆裂玉米种质材料间果穗性状和膨爆特性均具有丰富的多样性,不同爆裂玉米种质资源的膨爆特性差异较大,有利于进一步的爆裂玉米种质改良利用、育种开发和遗传研究。

本文对膨爆倍数与果穗性状的相关性分析,相关系数从大到小依次为穗长、行粒数、行数、穗粗、百粒重、秃尖长;膨爆率与果穗性状的相关性分析,相关系数从大到小依次为行粒数、穗粗、穗长、行数、百粒重、秃尖长。膨爆倍数与爆花率呈显著正相关(相关系数0.295),作为爆裂玉米品质育种的重要指标,同时在育种过程中,要协调各性状之间的关系。

参考文献:

- [1] 史振声. 沈农系列爆裂玉米新品种综合研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1992, 23(3): 209-214.
Shi Z S. The selection of a set of new popcorn varieties in Shenyang [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 1992, 23(3): 209-214. (in Chinese)
- [2] 李玉玲, 薛喜梅, 靳永胜, 等. 爆裂玉米单交种的选育效果初报[J]. 中国农学通报, 1999, 15(1): 11-12.
Li Y L, Xue X M, Jin Y S, et al. Preliminary results of the single-cross breeding in popcorn[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 1999, 15(1): 11-12. (in Chinese)
- [3] 李玉玲. 爆裂玉米膨爆特性的遗传及杂交种选育研究进展[J]. 中国农学通报, 2001, 17(1): 43-45.
Li Y L. Advances in inheritance and hybrid breeding of popcorn expansion characters[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2001, 17(1): 43-45. (in Chinese)

- [4] 林琳, 卢林纲, 陈效杰, 等. 特用玉米的发展前景[J]. 作物研究, 1994, 8(3): 44-46.
Lin L, Lu L G, Chen X J, et al. Development prospect of special maize[J]. Crop Research, 1994, 8(3): 44-46. (in Chinese)
- [5] 王玉兰, 马晓萍, 张彦荣, 等. 国内外爆裂玉米遗传育种研究动态[J]. 吉林农业大学学报, 1998, 20(4): 99-102.
Wang Y L, Ma X P, Zhang Y R, et al. Research trends in inherent breeding of internal and external popcorn[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 1998, 20(4): 99-102. (in Chinese)
- [6] 曾三省. 爆裂玉米的品质及其选育[J]. 玉米科学, 1999, 7(1): 14-17.
Zeng S X. Quality and breeding of popcorn[J]. Journal of Maize Sciences, 1999, 7(1): 14-17. (in Chinese)
- [7] Lyster P J. Some genetic and morphological characters affecting the popping expansion of popcorn[J]. Journal of the American Society of Agronomy, 1942, 34(11): DOI: 10.2134/agronj1942.00021962003400110003x.
- [8] Crumbaker Don E, et al. Inheritance of popping Volume and associated characters in crosses between popcorn and dent corn[J]. Agronomy Journal, 1949, 41(5): DOI: 10.2134/agronj1949.00021962004100050009x.
- [9] 刘大文. 爆裂玉米爆裂品质研究[J]. 西南农业学报, 1998(2): 34-39.
Liu D W. Studies on the popping quality of popcorn[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 1998(2): 34-39. (in Chinese)
- [10] 廖琴, 孙世贤. 中国玉米品种科技论坛[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001.
- [11] 曹广才, 黄长玲. 特用玉米品种、种植、利用[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001.
- [12] 史振声, 长喜华. 爆裂玉米加工技术与方法[J]. 农村实用工程技术, 1998(2): 26.
Shi Z S, Chang X H. Processing technology and method of popcorn [J]. Practical Engineering Technology in Rural Areas, 1998(2): 26. (in Chinese)
- [13] 史振声. 爆裂玉米爆制玉米花的研究[J]. 辽宁农业科学, 1990(3): 39-46.
Shi Z S. Study on popping corn into popcorn[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 1990(3): 39-46. (in Chinese)
- [14] 曾三省. 爆裂玉米的开发利用[J]. 农业科技通讯, 1987(9): 12-13.
Zeng S X. Exploitation and utilization of popcorn[J]. Agricultural Science and Technology Communication, 1987(9): 12-13. (in Chinese)
- [15] 陈树宾, 李鲁华, 王友德, 等. 爆裂玉米研究进展[J]. 新疆农垦科技, 2001(5): 28-30.
Chen S B, Li L H, Wang Y D, et al. Research progress of popcorn [J]. Xinjiang Farmland Reclamation Science & Technology, 2001(5): 28-30. (in Chinese)
- [16] 刘立国. 爆裂玉米主要农艺性状及品质性状遗传性研究[D]. 吉林农业大学, 2011.

(责任编辑: 朴红梅)