

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2015-0265

吕鑫,平俊爱,张福耀,杜志宏,李慧明,杨婷婷,牛皓,姚琳.新选饲草高粱恢复系农艺性状配合力效应分析.草业科学,2016,33(7):1361-1366.

Lyu X, Ping J A, Zhang F Y, Du Z H, Li H M, Yang T T, Niu H, Yao L. Effect analysis on the combining ability of main agronomic traits for new breeding restorer lines derived from forage sorghum. Pratacultural Science, 2016, 33(7): 1361-1366.

新选饲草高粱恢复系农艺 性状配合力效应分析

吕鑫^{1,2,3}, 平俊爱^{1,2,3}, 张福耀^{1,2,3}, 杜志宏^{1,2,3},
李慧明^{1,2,3}, 杨婷婷¹, 牛皓^{1,2,3}, 姚琳¹

(1.山西省农业科学院高粱研究所,山西 晋中 030600; 2.高粱遗传与种质创新山西省重点实验室,山西 晋中 030600;

3.农业部黄土高原作物基因资源与种质创制重点实验室,山西 晋中 030600)

摘要:利用 5 个高粱(*Sorghum bicolor*)不育系和 6 个饲草高粱恢复系(IS722 为对照)为材料组配置 30 个杂交组合,采用不完全双列杂交(NC II)设计法对其生物产量、株高、茎粗、分蘖和干重 5 个主要农艺性状数据进行了遗传力估算和配合力分析。结果表明,所有饲草高粱恢复系中,只有安徽草 3 和 053423-2 在 5 个性状上的一般配合力都表现出正向效应,尤其在生物产量等性状上表现出较好的一般配合力。TX623A/053423-2、SX14A/053423-2 和 SX14A/(MamaMama/BMR)-1 等 9 个组合的生物产量特殊配合力效应值高于对照 IS722,表现出较高的特殊配合力。(MamaMama/BMR)-1 的株高和干重效应值均位居第 1 位,表现出较高的一般配合力。V4A/健宝-8-2、HC356A/安徽草 3、SX14A/皖系 3SM3-1、SX7A/安徽草 3 和 V4A/(MamaMama/BMR)-1 在产量性状上表现出较高的特殊配合力,是较好的杂交模式。5 个农艺性状的遗传是受加性和非加性效应双重影响,占主导地位的是加性效应。综合而言,(MamaMama/BMR)-1 和 053423-2 表现出的一般配合力突出,安徽草 3 的特殊配合力表现较好,都是选育出的优良亲本恢复系。本研究对饲草高粱恢复系配合力和遗传力进行了估算,对了解饲草高粱恢复系主要性状的配合力,及为杂交育种选择优良亲本和最优杂交组合提供依据。

关键词:饲草高粱;恢复系;配合力

中图分类号:S816;S514.01 文献标志码:A 文章编号:1001-0629(2016)7-1361-06*

Effect analysis on the combining ability of main agronomic traits for new breeding restorer lines derived from forage sorghum

Lyu Xin^{1,2,3}, Ping Jun-ai^{1,2,3}, Zhang Fu-yao^{1,2,3}, Du Zhi-hong^{1,2,3},
Li Hui-ming^{1,2,3}, Yang Ting-ting¹, Niu Hao^{1,2,3}, Yao Lin¹

(1.Sorghum Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Jinzhong 030600, China;

2.Shanxi Key Laboratory of Sorghum Genetics and Germplasm Enhancement, Jinzhong 030600, China;

3.Key Laboratory of Crop Gene Resources and Germplasm Enhancement on
Loess Plateau, Ministry of Agriculture, Jinzhong 030600, China)

Abstract: 30 hybridized combinations from 5 sterile lines and 6 restoring lines (IS722 by CK) were used to analyze the heritability and combining ability of 5 agronomic characters with a $p \times q$ incomplete diallel cross (NC II) design. The results were as follows: among all the restorer lines tested, only 053423-2 showed positive effect

* 收稿日期:2015-05-08 接受日期:2016-04-20

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-06-01-01);酿造专用高粱育种及利用山西省科技创新重点团队(2014131015);山西省农科院院育种工程项目(16yzgc020);国家科技支撑计划课题“优质高粱高效生产技术与示范”(2014BAD07B02)

第一作者:吕鑫(1978-),男,山西祁县人,副研究员,硕士,主要从事高粱遗传育种工作。E-mail:lvxing_0_2000@126.com

通信作者:平俊爱(1968-),女,山西运城人,研究员,硕士,主要从事高粱遗传育种工作。E-mail:pingjia1029@163.com

on the 5 traits, especially for the general combining ability (GCA) in biological yields. The 9 combinations derived from TX623A/053423-2, SX14A/053423-2 and SX14A/(MamaMama/BMR)-1 etc. exhibited significant specific combining ability (SCA) and exceeded to IS722. General combining ability of (MamaMama/BMR)-1 in plant height and dry weight were significant and the highest. The combinations V4A/Jianbao-8-2, HC356A/An hui cao No.3, SX14A/Wan xi 3SM3-1, SX7A/An hui cao No.3 and V4A/(MamaMama/BMR)-1 showed high biological yield. The results indicated that the 5 agronomic traits were controlled by both additive and non-additive effects, and the additive effects were the principal one. Comprehensive, (MamaMama/BMR)-1 and 053423-2 showed good general combining ability, An hui cao No.3 showed good special combining ability, they are the ideal restoring lines. The heredity of the five traits was influenced by the dual influence of both additive effect and non-additive effects, but the additive effect is dominant. The study by means of combining ability and heritability estimates of forage sorghum restoring lines, to understand the combining ability of forage sorghum restorer main characters, and cross breeding of choosing excellent parents and provides the basis for the optimal hybrid combinations.

Key words: forage sorghum; restorer lines; combining ability

Corresponding author: Ping Jun-ai E-mail: pingjia1029@163.com

饲草高粱即高粱杂交草,也称高丹草,是利用高粱(*Sorghum bicolor*)与苏丹草(*Sorghum sudanense*)杂交产生的 F₁ 代杂交种,具有苏丹草再生性强、营养价值高、适口性好等优点,是国外发达国家普遍利用的草种^[1-2]。饲草高粱不但杂种优势强,生长速度快,再生能力强,并且有很高的生物产量和较高的营养价值,同时具有适口性好、适应性强等特点,在我国现行推广的牧草品种中从产量到品质均占有优势,特别是独特的抗旱耐涝等特性在国内外品种市场竞争中占有绝对优势^[3-4]。饲草高粱为暖季型一年生禾本科高大牧草,适合牛羊和鱼等利用。在北方,由于受气候条件影响,一年可刈割两季;在南方,无霜期长,可以刈割三季。

饲草高粱品种选育起步较晚,在国外,美国、独联体、澳大利亚和日本等国都已育成了高粱 A×苏丹草杂交种^[5-6]。此外,日本、印度、伊朗、阿根廷和墨西哥等国都在研究高粱×苏丹草杂交草,其种植范围广,而且经济效益明显,发展前景非常广阔^[7]。我国是 20 世纪 80 年代末开始进行饲草高粱品种选育研究的,其选育方法与普通高粱选育方法一样,也是采用“三系”配

套的选育方法^[8]。目前我国育成的品种主要有皖草系列、辽草系列、冀草系列及晋草系列品种^[9-11]。但由于饲草高粱种质资源比普通高粱少,所以株高、茎粗、分蘖等性状配合力强的饲草高粱恢复系更是难以选育。本研究以近年来从不同种质资源筛选出的新饲草高粱恢复系与高粱不育系为材料进行组配,从饲草高粱恢复系农艺性状遗传力和配合力方面进行研究,分析饲草高粱恢复系各农艺性状的配合力和遗传力,旨在利用常规杂交育种技术选育出新的饲草高粱恢复系,评价其在饲草高粱杂交育种上的利用价值,并拓宽饲草高粱恢复系选育途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

母本:选用饲草高粱主干不育系(P1) A1TX623A, A3HC356A, A3SX14A, A2V4A 和 A1SX7A。父本:选用近年来新选育的饲草高粱恢复系(P2):健宝-8-2、安徽草 3、皖系 3SM3-1、053423-2、(MamaMama/BMR)-1 以及 IS722 (对照)(表 1)。

表 1 亲本材料及分类

Table 1 Parent materials and classification

P1(不育系 Sterile line)			P2(恢复系 Restoring line)	
A1 胞质 Cytoplasm	A2 胞质 Cytoplasm	A3 胞质 Cytoplasm	自选系 Self-selection line	外引系 Introduced line
A1TX623A	A2V4A	A3HC356A	(MamaMama/BMR)-1	安徽草 3 Anhuicao No.3
A1SX7A		A3SX14A	053423-2	皖系 3SM3-1 Wanxi 3SM3-1
			健宝-8-2 Jianbao -8-2	IS722

1.2 试验方法

本试验于 2010 年组配杂交组合 30 个,组配地点是山西榆次。2011 年在山西省农业科学院高粱研究所试验田种植,采用不完全双列杂交(NC II)设计^[12],3 次重复,种植密度为 330 000 株·hm⁻²,行长 6 m,行距 0.43 m,株距 0.07 m。7 月 15 日(即饲草高粱第 1 次抽穗期)第 1 次刈割时测定田间株高、茎粗、分蘖及生物产量等指标;9 月 28 日(即饲草高粱第 2 次抽穗期或者成熟期)第 2 次刈割时分别测定株高、茎粗、分蘖及生物产量等指标,并取 5 株整株鲜样,样品切碎后取鲜重 500 g,在烘干箱内于 105 ℃下杀青 15 min,后调至 60 ℃烘干样品至恒重,测得干重;株高、茎粗、分蘖为第 1 次和第 2 次刈割数据的平均值,干重为第 2 次刈割取样烘干测定的数据,生物产量折亩产数据为第 1 次、第 2 次生物产量相加之后折算为亩产量的数据。按 Griffing^[13]提出的模型对所有数据进行处理,分析一般配合力(general combining ability,GCA)和特殊配合力(specific combining ability,SCA)效应

值。

1.3 数据分析

所有试验数据均采用 DPS 7.05 软件分析处理。

2 结果与分析

2.1 各性状方差分析

在进行配合力分析之前,首先要计算原始数据的方差。只有基因型引起的方差表现为差异显著时,才能进行配合力的方差分析。如果基因型引起的方差表现为差异不显著时,则不需要进行配合力的方差分析。

在区组间和组合间,30 个杂交组合的生物产量、株高、茎粗、分蘖和干重 5 个农艺性状互作方差值达到了极显著水平($P < 0.01$)(表 2)。饲草高粱不育系(P1)方差值的生物产量、株高、茎粗、分蘖 4 个性状、饲草高粱恢复系(P2)方差生物产量、茎粗、干重 3 个性状,不育系×恢复系(P1×P2)互作方差生物产量、茎粗、分蘖、干重 4 个性状均达到了极显著水平($P < 0.01$),表明这 5 个农艺性状受加性及非加性效应

表 2 30 个杂交组合各性状方差分析结果

Table 2 Variance analysis of 30 hybridized combinations's characters

变异来源 Source	自由度 <i>df</i>	生物产量 Biological yield	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	分蘖 Tiller number	干重 Dry weight
区组间 Block	2	8.33**	6.64**	3.65**	0.63**	10.65**
处理间 Treatments	29	5.82**	4.85**	0.82**	7.87**	4.24**
P1	4	2.15**	1.08**	3.13**	7.89**	1.26
P2	5	1.97**	0.29	0.32**	0.61	1.99**
P1×P2	20	4.39**	5.46**	0.70	4.18**	3.51**

注: ** 表示在 0.01 水平下显著。

Note: ** Indicate significant at the 0.01 level.

影响,参试组合间存在一定的遗传差异^[14],可进行配合力方差分析。

2.2 一般配合力(GCA)效应分析

一般配合力(GCA)是反映各性状基因加性效应程度及加性效应的稳定遗传和固定,在同一试验中不因试验地点和年份变化发生较大改变^[12],其中 6 个饲草恢复系的 5 个性状的 GCA 效应值见表 3。

同一饲草高粱恢复系不同性状的 GCA 效应值出现差异较大的现象,同时各饲草高粱恢复系间同一性状的 GCA 效应值也出现差异较大的现象,这都是由各饲草高粱恢复系的遗传性决定的。所有饲草高粱恢复系中,安徽草 3 和 053423-2 的 5 个性状的 GCA 效应值都表现为正值;其中,株高和茎粗这两个与生物产量呈正相关的性状 GCA 效应值均比对照 IS722 高。

另外,对于其它饲草高粱恢复系而言,053423-2 的生物产量一般配合力 GCA 效应值为 13.63,位于所有饲草高粱恢复系第 1 位,表现出较高的一般配合力。(MamaMama/BMR)-1 的株高和干重 GCA 效应值分别为 2.26 和 18.08,均位居第 1 位,表现出较高的一般配合力。

2.3 特殊配合力(SCA)效应值

在饲草高粱品种选育过程中,生物产量性状作为最主要的目标性状和最主要的评价指标。但最终由生物产量性状的配合力所体现出株高、茎粗和分蘖 3 个性状特殊配合力(SCA)效应值。因此,本研究仅分析了生物产量性状的特殊配合力(SCA)效应值(表 4)。

由饲草高粱不育系和恢复系组配的不同组合间生物产量的 SCA 效应值出现差异较大的现象(表 4)。

表3 饲草高粱恢复系5个农艺性状的一般配合力(GCA)效应值

Table 3 General combining ability (GCA) effects of forage restorer lines on five agronomic characters

性状 Character	健宝-8-2 Jianbao-8-2	IS722	安徽草3 An hui cao No.3	皖系 3SM3-1 Wanxi3SM3-1	053423-2	(MamaMama/ BMR)-1
生物产量 Biological yield	0.54	11.43	3.99	-7.62	13.63	2.61
株高 Plant height	-0.94	0.28	1.71	-0.83	0.94	2.26
茎粗 Stem diameter	0.90	-0.93	0.18	0.14	0.76	0.78
分蘖 Tiller number	-1.74	1.58	6.89	-0.98	1.39	-0.36
干重 Dry weight	5.26	-11.78	3.32	-8.01	3.66	18.08

表4 饲草高粱生物产量的特殊配合力(SCA)效应值

Table 4 Specific combining ability effects of forage sorghum biological yields

亲本 Parent	健宝-8-2 Jianbao-8-2	IS722	安徽草3 Anhuicao No.3	皖系 3SM3-1 Wanxi 3SM3-1	053423-2	(MamaMama/ BMR)-1
TX623A	-0.92	0.89	1.16	0.18	1.68	0.72
HC356A	1.74	1.88	6.89	-0.98	-5.39	-0.36
V4A	5.26	-11.78	-3.32	-8.01	-0.94	18.08
SX14A	-0.94	1.82	1.71	7.83	3.66	2.26
SX7A	-0.54	11.43	10.99	-7.62	-3.63	-10.63

所组配的30个组合中,安徽草3除与V4A特殊配合力表现为-3.32之外,与其余4个母本所配组合表现为正效应,都具有增产的趋势。而TX623A/安徽草3、TX623A/053423-2、HC356A/安徽草3、V4A/健宝-8-2、V4A/(MamaMama/BMR)-1、SX14A/053423-2、SX14A/皖系3SM3-1、SX14A/053423-2和SX14A/(MamaMama/BMR)-1,9个组合的生物产量特殊配合力效应值比对照IS722高。

2.4 各农艺性状遗传参数分析

遗传力表示非遗传方差和遗传方差的相对重要性(表5),即数量性状遗传过程中环境影响与遗传决定的相对重要性指标,是重要的育种指标和遗传指数。5个主要农艺性状的广义和狭义遗传力的数据是根据配合力方差分析结果得出的。

5个主要农艺性状中,生物产量的亲本的遗传方差大于环境方差,说明遗传因素是生物产量遗传变异中主要影响因子。另外,生物产量、茎粗和分蘖的一般配合力(GCA)方差大于特殊配合力(SCA)方差,表明在这些性状的遗传表现中,占主导地位的是加性基因效应。在特殊配合力(SCA)方差中,株高和干重方差分别达到98.33和74.65,表明各饲草高粱恢复系具有丰富的遗传类型,选择株型较高和干重较高的饲草高粱恢复系进行组配,获得优良组合的概率较高。

3 讨论与结论

前人研究认为,亲本的自身表现值与一般配合力有显著的正相关关系^[4]。父本053423-2生物产量的一般配合力(GCA)为13.63,但与其它5个饲草高粱

表5 5个性状的群体遗传参数估计

Table 5 The heredity parameter value of 5 characters for population

性状 Character	环境 Environment (VE)	亲本1 Parents 1 (Vp1)	亲本2 Parents 2 (Vp2)	亲本互作 Parents interaction (VP1,2)	GCA (Vg)/ %	SCA (Vs)/ %	广义遗传力 h ² N/%	狭义遗传力 h ² B/%
生物产量 Biological yield	91.51	173.23	164.31	70.21	66.70	33.30	62.90	20.95
株高 Plant height	81.69	4.58	0.02	269.94	1.67	98.33	60.17	1.00
茎粗 Stem diameter	0.06	0.01	0.02	0.02	97.30	2.70	7.63	7.61
分蘖 Tiller number	0.92	0.02	0.01	0.09	60.17	39.83	72.68	43.73
干重 Dry weight	235.36	12.16	54.69	196.89	25.35	74.65	52.84	13.39

不育系之间的特殊配合力(SCA)却没有安徽草 3 等其它饲草高粱恢复系特殊配合力(SCA)高。说明,由两个一般配合力高的饲草高粱不育系和恢复系所配的组合中,该组合的特殊配合力却不一定高^[15]。另外,本研究结果中,30 个组合中 5 个性状一般配合力和特殊配合力区组间,各性状互作方差达到了极显著水平($P < 0.01$);饲草高粱不育系(P1)方差值的生物产量、株高、茎粗、分蘖 4 个性状,饲草高粱恢复系(P2)方差生物产量、茎粗、干重 3 个性状,不育系×恢复系(P1×P2)互作方差生物产量、茎粗、分蘖、干重 4 个性状均达到了极显著水平,表明这 5 个性状同时受加性和非加性效应双重影响。5 个性状中茎粗的广义和狭义遗传力相差较小,说明占主导地位的是非加性效应,由遗传决定的能力较弱,受栽培条件及环境影响较大^[16]。而在实际育种过程中,各饲草高粱恢复系茎粗的变异确实是受土壤水肥条件及环境影响比较大。

从本研究结果可以看出,一般配合力效应值在同一亲本不同农艺性状存在较大差异,在不同亲本间同一农艺性状也存在显著差异^[17]。通过一般配合力效应分析可见,饲草高粱恢复系 053423-2 和 (MamaMama/BMR)-1 都是理想的亲本恢复系。而一般配合力一定时,特殊配合力方差越大,杂种后代出现突破性材料的可能性越大。所有饲草高粱恢复系所配组合中生物产量特殊配合力位居前列的安徽草 3 与 HC356A、SX7A 的 SCA 效应值分别为 6.89 和 10.99,通过特殊配合力的效应分析可见,饲草恢复系安徽草 3 是理想的饲草高粱恢复系。特殊配合力效应值越大,说明其后代在该性状上增大的趋势越强^[17]。因此

选择组合时,应该选择特殊配合力大的组合,V4A/健宝-8-2、HC356A/安徽草 3、SX14A/皖系 3SM3-1 SX7A/安徽草 3、和 V4A/(MamaMam/BMR)-1 这 5 个组合表现出较好的特殊配合力,其效应值分别为 5.26、6.89、7.83、10.99 和 18.08。

本研究中,广义遗传力($h^2N\%$)表现出分蘖>生物产量>株高>干重>茎粗,狭义遗传力($h^2B\%$)表现出分蘖>生物产量>干重>茎粗>株高。广义遗传力分析,生物产量、株高、分蘖和干重 4 个性状的 $h^2N\%$ 大于 50%,而 $h^2B\%$ 均小于 50%,表明占主导地位的是加性效应,遗传因素是性状主要影响因子,受基因型影响较大。5 个性状狭义遗传力均低于 50%,这说明显性上位效应对其有一定影响,只要对其进行 4~5 代选择后,所选材料才会相对稳定。而对所选材料的性状遗传力低的时候,在其早世代对其进行选择不适合,而应该在 F_3 代之后进行单株选择,这样显性上位效应干扰大大降低,选择到优良的基因型材料可能性增大^[18]。

采用去雄杂交、多代选育的育种技术可以得到新的饲草高粱恢复系。通过对各组合的对比,发现新选育出的饲草高粱恢复系 053423-2 表现为分蘖性好、配合力好、抗倒伏性强等特点,与不同胞质类型的饲草高粱不育系杂交配合力强,是一个一般配合力好的饲草高粱新恢复系。目前已经审定的晋草 6 号、晋草 7 号^[19]就是利用其衍生系组配的新品种。选育出的安徽草 3 与 HC356A、SX7A 的生物产量特殊配合力 SCA 效应值分别为 6.89 和 10.99,表现出较高的特殊配合力。因此,对于饲草高粱恢复系选育来讲,采用常规育种技术依然是一条非常重要的育种手段^[20]。

参考文献 References:

- [1] 吕鑫,张福耀,平俊爱,杜志宏,李慧明,杨婷婷,田兆祥.我国饲草高粱国家区域试验不同品种(系)试验结果分析.现代农业科技,2012(9):350-353.
Lyu X,Zhang F Y,Ping J A,Du Z H,Li H M,Yang T T,Tian Z X.Analysis on different forage *Sorghum* varieties in regional trial.Modern Agricultural Science and Technology,2012(9):350-353.(in Chinese)
- [2] 胡举伟,张会慧,张秀丽,逢好胜,孙广玉.高丹草叶片 PS II 光化学活性的抗旱优势.草业科,2015,32(3):392-399.
Hu J W,Zhang H H,Zhang X L,Pang H S,Sun G Y.The heterosis of photosystem II functions in *Sorghum bicolor*×*S. sudanense* seedlings under drought stress.Pratacultural Science,2015,32(3):392-399. (in Chinese)
- [3] 张福耀,平俊爱,程庆军,杜志宏,吕鑫,常玉卉.高粱 A3 细胞质雄性不育系 SX-1A 的培育与饲草高粱晋草 1 号的选育.种业研究,2005(11):39-40.
- [4] 詹秋文,陈长之,钱章强.高粱苏丹草杂种一代在生产上的利用.安徽农业大学学报,1995,22:81-84.
Zhan Q W,Chen C Z,Qian Z Q.Utilization of hybrid between sorghum (*Sorghum bicolor*) and smut (*Sorghum sudanense*) in production.Journal of Anhui Agricultural University,1995,22:81-84.(in Chinese)
- [5] 王和平,张福耀,程庆军,平俊爱,杜志宏,郭玉兰,王晋中.高粱-苏丹草杂交草的研究与利用.杂粮作物,2000,20(4):20-23.

- Wang H P, Zhang F Y, Cheng Q J, Ping J A, Du Z H, Guo Y L, Wang J Z. Study and utilization of hybrid between *Sorghum* and Sudangrass. *Rain Fed Crops*, 2000, 20(4): 20-23. (in Chinese)
- [6] 詹秋文, 董小琴. 不同高粱-苏丹草杂交种产草量和品质分析. *作物杂志*, 2003(6): 19-20.
Zhan Q W, Dong X Q. Analysis the yield and quality to hybrid of between sorghum (*Sorghum bicolor*) and smut (*Sorghum sudanense*). *Crops*, 2001(2): 56-61. (in Chinese)
- [7] 李建平, 郭孝. 国内外饲用高粱生产、科研状况及应用前景. *饲料研究*, 2007(10): 68-70.
- [8] 卢庆善. 高粱学. 北京: 农业出版社, 1999: 214-243.
Lu Q S. *Sorghum*. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 214-243. (in Chinese)
- [9] 詹秋文, 林平, 李军, 钱章强. 高粱-苏丹草杂交种研究与利用前景. *草业学报*, 2001, 10(2): 56-61.
Zhan Q W, Lin P, Li J, Qian Z Q. Research and prospect of hybrid between sorghum (*Sorghum bicolor*) and smut (*Sorghum sudanense*). *Acta Prataculture Sinica*, 2001, 10(2): 56-61. (in Chinese)
- [10] 平俊爱, 张福耀, 杜志宏, 吕鑫, 李慧明, 杨婷婷, 牛皓, 姚琳. “晋牧1号”高丹草的选育及其特征特性研究. *草业学报*, 2015, 14(6): 1233-1238.
Ping J A, Zhang F Y, Du Z H, Lyu X, Li H M, Yang T T, Niu H, Yao L. Breeding and characteristic of *Sorghum bicolor* × *S. sudanense* ‘Jinmu 1’. *Acta Prataculture Sinica*, 2015, 14(6): 1233-1238. (in Chinese)
- [11] 李源, 赵海明, 谢楠, 游永亮, 刘贵波, 柳斌辉. 高产优质抗逆高丹草新品种冀草2号的选育. *河北农业科学*, 2012, 16(9): 60-63.
Li Y, Zhao H M, Xie N, You Y L, Liu G B, Liu B H. Breeding of *Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense* new variety Jicao No. 2 with high yield, Good quality and stress tolerance. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2012, 16(9): 60-63. (in Chinese)
- [12] 吕鑫, 张福耀, 平俊爱, 杜志宏, 李慧明. 高粱主干恢复系主要农艺经济性状配合力分析. *杂粮作物*, 2010, 30(4): 265-268.
Lyu X, Zhang F Y, Ping J A, Du Z H, Li H M. Analysis on the combining ability of main agronomic and economic traits for restorer lines derived from *Sorghum*. *Rain Fed Crops*, 2010, 30(4): 265-268. (in Chinese)
- [13] Griffings. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Australian Journal of Biological Science*, 1956(9): 454-463.
- [14] 白志良, 王呈祥, 王良群, 杨伟, 刘勇, 白鸿雁. 高粱航天新不育系与恢复系的配合力分析. *山西农业科学*, 2007, 35(3): 21-23.
Bai Z L, Wang C X, Wang L Q, Yang W, Liu Y, Bai H Y. Analysis on the combining ability of *Sorghum* A and R lines developed by space mutation. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2007, 35(3): 21-23. (in Chinese)
- [15] 刘永柱, 林轩东, 张建国, 王慧, 郭涛, 陈志强. 水稻空间诱变恢复系主要农艺经济性状配合力分析. *华南农业大学学报*, 2009, 30(1): 14-18.
Liu Y Z, Lin X D, Zhang J G, Wang H, Guo T, Chen Z Q. Analysis on the combining ability of main agronomic and economic traits for restorer lines derived from space mutation in rice. *Journal of South China Agricultural University*, 2009, 30(1): 14-18. (in Chinese)
- [16] 严明建, 黄文章, 吕直文, 赵正武, 雷树凡, 袁项成, 冉彦秀. 广谱恢复系万恢88主要性状配合力分析. *种子*, 2006, 25(8): 92-93.
Yan M J, Huang W Z, Lyu Z W, Zhao Z W, Lei S F, Yuan X C, Ran Y X. Analysis of broad spectrum restorer 88 main characters combining ability. *Seed*, 2006, 25(8): 92-93. (in Chinese)
- [17] 卢超, 高明博, 焦小钟, 何峰, 李学军, 王辉. 几个小麦亲本主要农艺性状的配合力评价及遗传力分析. *麦类作物学报*, 2010, 30(6): 1023-1028.
Lu C, Gao M B, Jiao X Z, He F, Li X J, Wang H. Combing ability and heritability analysis of main agronomic traits in Wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 2010, 30(6): 1023-1028. (in Chinese)
- [18] 李陈建, 付彦博, 万江春, 王玉祥, 张博. 30份苏丹草种质资源农艺性状的遗传多样性分析. *草业科学*, 2015, 32(1): 85-93.
Li C J, Fu Y B, Wan J C, Wang Y X, Zhang B. Genetic diversity of agronomic characteristics of 30 *Sorghum sudanense* germplasm. *Pratacultural Science*, 2015, 32(1): 85-93. (in Chinese)
- [19] 平俊爱, 张福耀, 杜志宏, 吕鑫, 李慧明, 杨婷婷. 高丹草新品种晋草7号选育报告. *甘肃农业科技*, 2013(10): 5-6.
Ping J A, Zhang F Y, Du Z H, Lyu X, Li H M, Yang T T. Breeding report of a new *Sorghum*-sudan variety Jincao 7. *Gansu Agriculture Science and Technology*, 2013(10): 5-6. (in Chinese)
- [20] 徐忠诚. 高粱几个亲本的配合力分析. *杂粮作物*, 2000, 20(4): 17-19.
Xu Z C. Analysis on the combining ability for parents from *Sorghum*. *Rain Fed Crops*, 2000, 20(4): 17-19. (in Chinese)

(责任编辑 苟燕妮)