

帚高粱的遗传多样性及其在种质创新中的应用

王黎明¹, 焦少杰¹, 姜艳喜¹, 严洪冬¹, 苏德峰¹, 孙广全¹, 张 华²

(¹ 黑龙江省农业科学院作物育种研究所, 哈尔滨 150086; ² 黑龙江省农业科学院佳木斯分院, 佳木斯 154007)

摘要: 对 173 份不同来源的帚高粱种质资源及其杂交后代进行了表型性状的遗传多样性分析。结果表明, 各来源的帚高粱品种主要在生育期、株高、穗长、单穗糜子数及伸出程度等性状上差异较大。杂交后的育种材料在多个性状上表现优良, 与来源于不同国家的品种有很大差异, 利用各来源品种特有的优异性状可有效进行帚高粱的品种改良。遗传距离为 0.64 时将所有品种划分为 5 个类群。由于来源于各国的帚高粱品种间有一定的相似性, 不能按其来源进行类群的明确划分, 而改良后的育种材料类群划分比较集中。帚高粱的多个性状间存在显著相关性, 在种质创新中要同时进行考虑, 应选择生育期适宜、株高较矮、穗较长、单穗糜子数多、穗柄较粗以及脱粒后单穗重、单穗粒重、千粒重均高的性状, 但伸出程度和穗柄不宜过长。

关键词: 帚高粱; 种质资源; 遗传多样性; 表型性状; 性状相关

Genetic Diversity of Broomcorn Sorghum and Its Utilization on Genetic Enhancement

WANG Li-ming¹, JIAO Shao-jie¹, JIANG Yan-xi¹, YAN Hong-dong¹, SU De-feng¹,
SUN Guang-quan¹, ZHANG Hua²

(¹ Crop Breeding Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086;

² Jiamusi Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154007)

Abstract: The phenotypic diversity of 173 landraces and breeding lines of broomcorn sorghum from different origins was analyzed. We observed visible phenotypic variation among landraces from different origins mainly on growth duration, plant height, panicle length, number of fibers per panicle and panicle exertion. Breeding lines hybridized from land races had superior characteristic in many agronomical traits compared with that of different origins. Peculiar excellent traits of varieties from different origins could be used effectively in germplasm improvement. These accessions were clustered into 5 groups at the genetic distance of 0.64. These landraces derived from different places failed to make group individually, while the breeding lines were grouped together. Since the agronomic traits showed the correlation, this consequence needed to be considered in use of these correlation in breeding. These lines with appropriate growth duration lower plant height, longer panicle length, more fiber numbers per panicle, thicker peduncle diameter, high threshed panicle weight, high panicle weight and high 1000-grain weight, could be selected with priority, while selection for long panicle exertion and peduncle is unlikely suggested.

Key words: broomcorn sorghum; germplasm resources; genetic diversity; agronomical traits; genetic enhancement

栽培高粱根据其农艺类型分为粒用高粱、甜高粱、苏丹草及帚高粱^[1]。帚高粱 [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] 亦称笱帚糜子^[2], 是栽培高粱的一个

特殊类型, 经过多年的演化和选择, 具有穗形散、分枝长而柔韧、无穗轴或穗轴极短的特点^[3]。帚高粱的穗为簇生的纤维状分枝, 被称为纤维或糜子^[4],

收稿日期: 2018-03-14 修回日期: 2018-03-30 网络出版日期: 2018-07-13

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20180712.1637.003.html>

基金项目: 国家国际科技合作项目 (2011DFR30840-10); 哈尔滨市国际科技合作项目 (2016AE6AE001); 国家谷子高粱产业技术体系 (CARS-06-13.5-A1)

第一作者主要从事高粱种质资源与遗传育种。E-mail: dawnw@126.com

主要用于加工笱帚^[5]。

帚高粱虽然栽培历史悠久,但与其他类型高粱相比,帚高粱的种质创新及新品种选育研究相对落后,生产上种植的品种大多数为地方品种的改良后代,综合农艺性状不理想,在很大程度上限制了帚高粱的发展^[6]。这其中的一个主要原因就是帚高粱的种质资源匮乏,且对帚高粱的遗传多样性研究极少^[7-8]。在遗传多样性研究方面,国内外已对粒用高粱^[9-10]、甜高粱^[11-12]及苏丹草^[13-14]进行了大量研究,为种质创新及新品种选育奠定了基础。因此,有必要对帚高粱的种质资源进行遗传多样性研究,为资源的合理利用、种质创新及丰富遗传基础提供理论依据,加快帚高粱新品种的选育进程。

在以往的研究中,对高粱的遗传多样性研究主要利用表型性状及分子标记进行分析^[15-16]。研究表明,表型性状由于具有直观性、与目标性状紧密相连且易于获取数据等优点而在遗传多样性分析中具

有特有的优势^[17-18],在多项研究中利用表型性状的研究结果与分子标记、遗传背景及地理来源相符^[19-20],可作为遗传多样性分析的重要方法。因此,本研究利用表型性状对不同来源的帚高粱及其杂交后代进行遗传多样性分析,明确中国帚高粱种质资源与国外引进资源的遗传变异性,同时分析主要性状间的相关性,为合理、高效地利用帚高粱资源进行种质创新和新品种选育提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料共 173 份(表 1)。其中国外材料 76 份,分别为俄罗斯 31 份、乌克兰 26 份、保加利亚 10 份、美国 9 份。中国材料 97 份,其中 39 份为地方品种,58 份为利用不同国家地方品种杂交后的育种材料。其中,编号 1~42 以及 101~173 为地方品种,编号 43~100 为育种材料。

表 1 试验材料的名称和来源

Table 1 The information of the tested germplasm accessions

编号 Code	品种名称 Name	来源 Origin	编号 Code	品种名称 Name	来源 Origin	编号 Code	品种名称 Name	来源 Origin
1	T504	中国	23	五常帚-1	中国	45	HZ2051	中国
2	T506	中国	24	五常帚-2	中国	46	HZ2052	中国
3	T507	中国	25	五常九头鸟	中国	47	HZ2053	中国
4	T507	中国	26	笱帚	中国	48	HZ2054	中国
5	T508	中国	27	泰来帚-1	中国	49	HZ2061	中国
6	T513	中国	28	泰来帚-2	中国	50	HZ2062	中国
7	T516	中国	29	嫩江笱帚糜子	中国	51	HZ2063	中国
8	黄壳糜子	中国	30	大庆帚-2	中国	52	HZ207	中国
9	褐壳糜子	中国	31	阿城矮帚	中国	53	HZ208	中国
10	细糜子	中国	32	山西矮帚	中国	54	HZ2091	中国
11	粗长糜子	中国	33	山西帚	中国	55	HZ2092	中国
12	长黄糜子	中国	34	上海帚	中国	56	HZ2101	中国
13	绿糜子	中国	35	龙帚 1	中国	57	HZ2102	中国
14	大粒红帚	中国	36	帚 3	中国	58	HZ2103	中国
15	T532	中国	37	帚 8	中国	59	HZ2104	中国
16	长穗帚	中国	38	长帚	中国	60	HZ2105	中国
17	T551	中国	39	贵州帚高粱	中国	61	HZ2106	中国
18	矮炊帚	中国	40	保帚 1	保加利亚	62	HZ2111	中国
19	高炊帚	中国	41	保帚 2	保加利亚	63	HZ2112	中国
20	T522	中国	42	保帚 3	保加利亚	64	HZ2113	中国
21	T554	中国	43	HZ2041	中国	65	HZ212	中国
22	T564	中国	44	HZ2042	中国	66	HZ213	中国

表 1(续)

编号 Code	品种名称 Name	来源 Origin	编号 Code	品种名称 Name	来源 Origin	编号 Code	品种名称 Name	来源 Origin
67	HZ214	中国	103	美帚 3	美国	139	库班帚 23	俄罗斯
68	HZ2151	中国	104	美帚 4	美国	140	库班引 39	俄罗斯
69	HZ2152	中国	105	GW004124	美国	141	乌甜帚-1	乌克兰
70	HZ2153	中国	106	帚 180	美国	142	乌甜帚-2	乌克兰
71	HZ2154	中国	107	帚 646	美国	143	乌甜帚-3	乌克兰
72	HZ2161	中国	108	美国笱帚	美国	144	乌甜帚-4	乌克兰
73	HZ2162	中国	109	青岗引美国帚	美国	145	乌甜帚-5	乌克兰
74	HZ2171	中国	110	俄帚无轴	俄罗斯	146	乌帚 02	乌克兰
75	HZ2172	中国	111	俄引 01	俄罗斯	147	乌帚 04	乌克兰
76	HZ218	中国	112	俄引 34	俄罗斯	148	乌帚 05	乌克兰
77	HZ219	中国	113	俄帚 01	俄罗斯	149	乌帚 06	乌克兰
78	HZ2201	中国	114	俄帚 03	俄罗斯	150	乌帚 07	乌克兰
79	HZ2202	中国	115	俄帚 04	俄罗斯	151	乌帚 08	乌克兰
80	HZ2211	中国	116	俄帚 05	俄罗斯	152	乌帚 09	乌克兰
81	HZ2212	中国	117	俄帚 06	俄罗斯	153	乌帚 10	乌克兰
82	HZ2213	中国	118	俄帚 07	俄罗斯	154	乌帚 13	乌克兰
83	HZ2214	中国	119	南方 1 号	俄罗斯	155	乌帚 14	乌克兰
84	HZ2215	中国	120	罗帚 02	俄罗斯	156	乌帚 15	乌克兰
85	HZ2216	中国	121	库班帚 01	俄罗斯	157	乌帚 16	乌克兰
86	HZ2217	中国	122	库班帚 02	俄罗斯	158	乌帚 17	乌克兰
87	HZ2218	中国	123	库班帚 03	俄罗斯	159	乌帚 19	乌克兰
88	HZ2219	中国	124	库班帚 04	俄罗斯	160	乌帚 21	乌克兰
89	HZ22110	中国	125	库班帚 05	俄罗斯	161	乌帚 22	乌克兰
90	HZ22111	中国	126	库班帚 06	俄罗斯	162	乌帚 23	乌克兰
91	HZ22112	中国	127	库班帚 08	俄罗斯	163	乌帚 24	乌克兰
92	HZ22113	中国	128	库班帚 12	俄罗斯	164	乌帚 25	乌克兰
93	HZ22114	中国	129	库班帚 13	俄罗斯	165	乌帚 26	乌克兰
94	HZ2221	中国	130	库班帚 14	俄罗斯	166	乌帚 27	乌克兰
95	HZ2222	中国	131	库班帚 15	俄罗斯	167	保加利亚帚 1	保加利亚
96	HZ2223	中国	132	库班帚 16	俄罗斯	168	保加利亚帚 2	保加利亚
97	HZ2224	中国	133	库班帚 17	俄罗斯	169	保加利亚帚 3	保加利亚
98	HZ2225	中国	134	库班帚 18	俄罗斯	170	保加利亚工艺 1	保加利亚
99	HZ2226	中国	135	库班帚 19	俄罗斯	171	保加利亚工艺 2	保加利亚
100	HZ223	中国	136	库班帚 20	俄罗斯	172	保加利亚工艺 3	保加利亚
101	美帚 1	美国	137	库班帚 21	俄罗斯	173	保加利亚工艺 4	保加利亚
102	美帚 2	美国	138	库班帚 22	俄罗斯			

1.2 试验方法

农艺性状测定:所有帚高粱材料分别于 2014 年和 2015 年种植于黑龙江省农业科学院(哈尔滨)试

验基地。行长 5 m,3 行区,3 次重复,于生育期间进行生育期、株高、穗长、单穗糜子数、伸出程度、穗柄长及穗柄粗等性状的调查,收获晒干后调查脱粒后

单穗重、单穗粒重及千粒重。选取有代表性的连续 10 株进行调查,所有数据取平均数作为调查结果。调查项目按照《高粱种质资源描述规范和数据标准》^[21]及 Berenji 等^[4]的方法。其中,伸出程度为穗下叶痕处至旗叶叶舌的距离,高于叶舌为正值,被叶鞘包被、位于叶舌之下为负值。脱粒后单穗重为脱粒后的糜子重和穗柄重之和。

统计分析:用 SAS 软件分析所有品种各性状的平均值及标准偏差(SD)。同时将原始数据经过标准化变换,采用 UPGMA 法聚类。

2 结果与分析

2.1 不同来源帚高粱的性状分析

不同来源的帚高粱在生育期、株高、穗长、单穗糜子数及伸出程度等性状上差异较大,而在穗柄长、穗柄粗、脱粒后单穗重、单穗粒重及千粒重等性状上

差异较小(表 2)。对不同来源品种的性状分析表明,中国地方品种的主要特点为生育期短、株高较高、穗短、单穗糜子数少、穗柄较长、伸出较长以及单穗粒重和千粒重较高。俄罗斯品种主要表现为生育期长、穗较长、单穗糜子数多以及千粒重低。乌克兰品种表现为株高较高、伸出较长、穗柄较长、穗柄较细以及脱粒后单穗重较低。保加利亚品种生育期较长、穗较长以及单穗糜子数较多,但伸出程度最小、穗柄最短且单穗粒重最低。美国品种表现为植株高、穗较长、伸出程度较小且脱粒后单穗重低。而杂交后的育种材料主要特点为生育期较短、株高矮、单穗糜子数少、伸出长、脱粒后单穗重高以及单穗粒重较低。以上结果可见,不同来源的帚高粱表现出不同程度的性状差异,尤其是利用不同来源品种杂交后的育种材料在多个性状上表现优良,与来源于不同国家的品种有很大差异。

表 2 不同来源种质资源的性状平均值及标准差

Table 2 Statistics of agronomic traits among the accessions collected from different countries

来源 Origin	生育期(d) GD	株高(cm) PH	穗长(cm) PL	单穗糜子数 FNP	伸出程度(cm) PE
中国地方品种 Chinese landraces	106.88 ± 5.06c	267.76 ± 53.44ab	44.78 ± 7.96c	47.60 ± 10.61c	-3.33 ± 9.16a
俄罗斯 Russia	115.13 ± 6.73a	241.28 ± 50.21b	52.64 ± 7.76ab	57.56 ± 12.29a	-8.27 ± 9.99b
乌克兰 Ukraine	110.69 ± 5.85b	267.18 ± 56.84ab	48.75 ± 7.13b	49.94 ± 8.80bc	-2.23 ± 16.07a
保加利亚 Bulgaria	114.36 ± 3.45a	232.36 ± 36.79b	54.82 ± 8.45a	53.43 ± 8.70ab	-13.93 ± 11.98c
美国 America	110.30 ± 5.43b	280.37 ± 53.16a	51.64 ± 5.06ab	51.50 ± 9.05b	-9.70 ± 7.16b
育种材料 Breeding lines	107.36 ± 5.04c	192.34 ± 47.29c	48.13 ± 9.25b	47.71 ± 10.91c	-2.00 ± 11.02a
来源 Origin	穗柄长(cm) PDL	穗柄粗(cm) PDD	脱粒后单穗重(g) TPW	单穗粒重(g) GWP	千粒重(g) TGW
中国地方品种 Chinese landraces	45.42 ± 6.56a	1.02 ± 0.08a	17.34 ± 3.67a	38.26 ± 8.37a	21.78 ± 2.74a
俄罗斯 Russia	43.87 ± 4.88ab	1.02 ± 0.07a	18.12 ± 3.78a	35.55 ± 7.74ab	18.90 ± 2.58b
乌克兰 Ukraine	45.43 ± 8.92a	0.97 ± 0.09a	16.00 ± 3.99ab	33.12 ± 10.27ab	20.41 ± 2.72a
保加利亚 Bulgaria	40.29 ± 7.77b	1.02 ± 0.12a	17.84 ± 4.32a	31.29 ± 10.24b	19.73 ± 2.64ab
美国 America	43.82 ± 6.94ab	1.01 ± 0.10a	15.42 ± 3.35b	35.40 ± 6.80ab	20.46 ± 1.98a
育种材料 Breeding lines	44.86 ± 8.55a	1.03 ± 0.09a	18.47 ± 4.91a	31.77 ± 9.28b	19.48 ± 3.43ab

不同字母表示 0.05 水平差异显著,下同

Different letters represent significant difference at 0.05 level

GD: Growth duration, PH: Plant height, PL: Panicle length, FNP: Number of fibers per panicle, PE: Panicle exertion, PDL: Peduncle length, PDD: Peduncle diameter, TPW: Threshed panicle weight, GWP: Grain weight per panicle, TGW: 1000-grain weight, the same as below

2.2 帚高粱品种的聚类分析

平均遗传距离为 0.64 时将 173 份材料划分为 5 个类群(图 1)。

聚类结果表明,各类群具有不同的农艺性状特点(表 3),具体表现为:

第 I 类群,共 38 个品种。主要特点为生育期

短、株高较矮、穗最长、穗柄较粗且短以及脱粒后单穗重高。这一类群包含所有来源的品种,其中,最多的为育种材料,共 23 个,占 60.5%。其他为俄罗斯品种 7 个、中国地方品种 4 个、乌克兰品种 2 个、美国和保加利亚品种各 1 个。

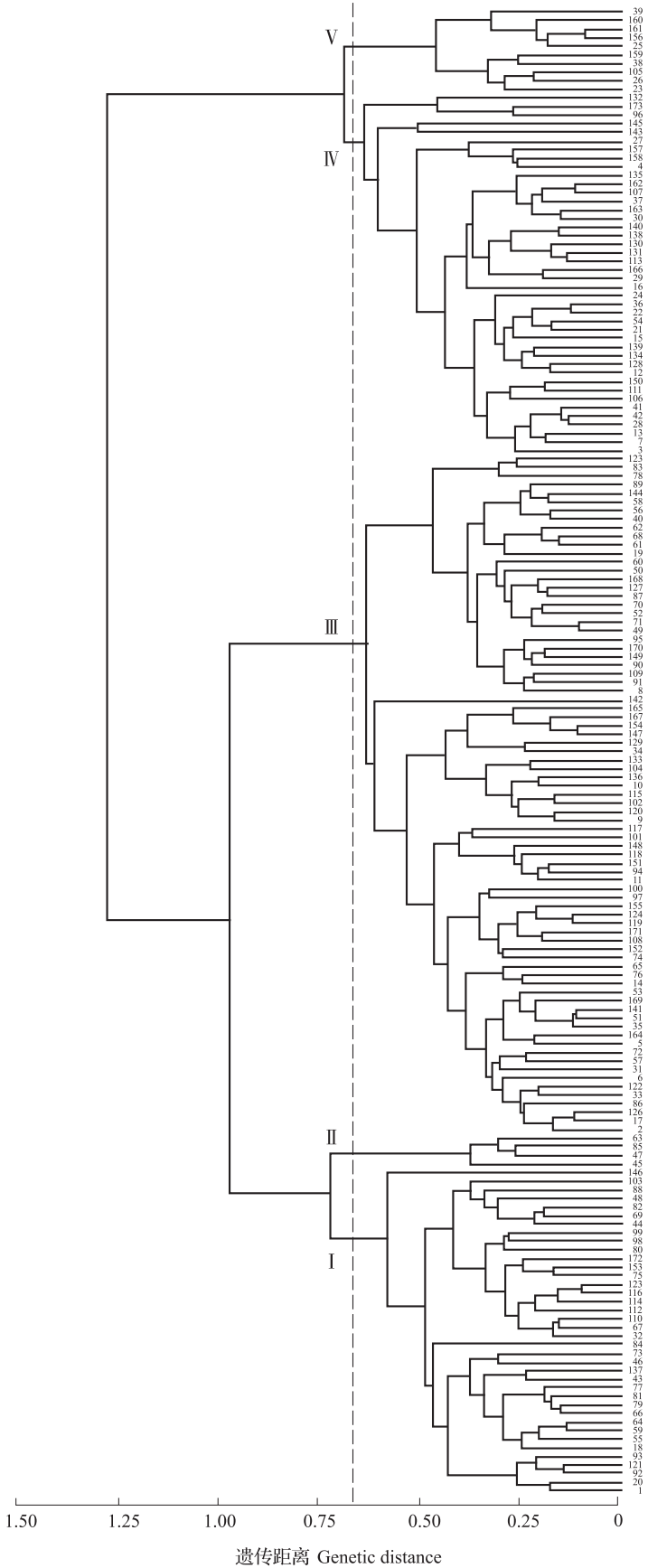


表 3 不同类群性状的平均值及标准差

Table 3 The phenotypic variations of the accessions in each group

类群 Group	生育期(d) GD	株高(cm) PH	穗长(cm) PL	单穗糜子数 FNP	伸出程度(cm) PE
I	106.18 ± 4.89c	158.10 ± 14.40d	52.93 ± 10.61a	49.95 ± 9.97ab	-5.44 ± 12.49c
II	108.50 ± 7.04b	112.83 ± 8.81e	36.88 ± 4.35c	42.50 ± 9.53b	7.38 ± 12.11a
III	109.46 ± 6.32b	229.47 ± 25.72c	47.86 ± 7.95b	50.28 ± 11.70ab	-5.38 ± 10.34c
IV	111.79 ± 6.46ab	294.54 ± 16.06b	47.37 ± 7.36b	50.00 ± 12.06ab	-1.18 ± 13.15b
V	113.50 ± 3.13a	344.15 ± 11.30a	48.66 ± 4.23b	53.15 ± 8.58a	-6.85 ± 7.13c

类群 Group	穗柄长(cm) PDL	穗柄粗(cm) PDD	脱粒后单穗重(g) TPW	单穗粒重(g) GWP	千粒重(g) TGW
I	41.54 ± 8.58b	1.05 ± 0.10a	19.25 ± 4.44a	31.86 ± 7.51b	19.55 ± 3.23ab
II	48.33 ± 5.42a	0.92 ± 0.08b	13.18 ± 2.31b	16.50 ± 4.65c	17.13 ± 1.15b
III	44.22 ± 6.93ab	1.01 ± 0.09a	17.18 ± 4.13ab	33.03 ± 8.28b	20.04 ± 3.31a
IV	47.08 ± 7.27a	1.01 ± 0.08a	17.82 ± 4.46ab	39.54 ± 8.66a	20.75 ± 2.55a
V	48.79 ± 4.40a	1.02 ± 0.06a	16.64 ± 3.10ab	36.95 ± 11.45ab	20.67 ± 3.08a

第 II 类群,只有 4 个品种。与其他类群相比,大多数性状存在很大差异。主要特点为生育期较短、株高最矮、穗最短、单穗糜子数最少、穗伸出最长、穗柄长且细以及脱粒后单穗重、单穗粒重和千粒重均最低。这一类群中全部为育种材料,没有来源于各国的品种。

第 III 类群,包含 79 个品种。与其他类群相比,除千粒重较高以及伸出程度较短外,其他所有性状均为中等水平。这一类群所包含的品种最多,占总数的 45.7%。类群中包括所有来源的品种,其中育种材料最多,为 29 个,另外包括中国地方品种 14 个、俄罗斯品种 13 个、乌克兰品种 12 个、保加利亚品种 6 个以及美国品种 5 个。

第 IV 类群,共 42 个品种。主要特点为株高、单穗粒重及千粒重均高。这一类群中包含所有来源的品种,但育种材料只有 2 个,其余均为来源于各国的品种。其中包括中国地方品种 16 个、俄罗斯品种

11 个、乌克兰品种 8 个、保加利亚品种 3 个以及美国品种 2 个。

第 V 类群,共 10 个品种。主要特点为生育期长、植株高、单穗糜子数多、穗柄长、千粒重较高,但伸出程度小。这个类群中中国地方品种 5 个、乌克兰品种 4 个以及美国品种 1 个,没有育种材料、保加利亚品种和俄罗斯品种。

聚类分析结果表明,来源于不同国家的帚高粱品种除第 II 类群外,基本分布于其他各类群中,说明来源于各国的帚高粱品种间有一定的相似性,不能按其来源进行类群的明确划分。而育种材料除 2 份外全部集中在前 3 个类群中,说明利用各国品种杂交的育种材料在性状上有很大改良,与各国品种的性状间差异较大。

2.3 主要农艺性状相关性分析

通过对帚高粱的主要农艺性状进行相关分析(表 4)发现,多个农艺性状间存在显著相关性。

表 4 主要农艺性状间的相关性

Table 4 Correlation among agronomic traits

性状 Traits	生育期 GD	株高 PH	穗长 PL	单穗糜子数 FNP	伸出程度 PE	穗柄长 PDL	穗柄粗 PDD	脱粒后单穗重 TPW	单穗粒重 GWP
株高	0.34 **								
穗长	-0.03	-0.08							
单穗糜子数	0.25 **	0.12	0.21 **						
伸出程度	-0.09	-0.03	-0.48 **	-0.41 **					

表 4(续)

性状 Traits	生育期 GD	株高 PH	穗长 PL	单穗糜子数 FNP	伸出程度 PE	穗柄长 PDL	穗柄粗 PDD	脱粒后单穗重 TPW	单穗粒重 GWP
穗柄长	-0.05	0.23 **	-0.35 **	-0.20 **	0.60 **				
穗柄粗	-0.11	-0.10	0.25 **	0.17 *	-0.16 *	-0.16 *			
脱粒后单穗重	0.05	-0.09	0.46 **	0.11	-0.24 **	-0.20 **	0.67 **		
单穗粒重	0.07	0.34 **	-0.10	0.01	0.02	0.10	0.26 **	0.25 **	
千粒重	-0.29 **	0.19 **	-0.05	-0.22 **	0.07	0.09	-0.01	-0.04	0.43 **

* 为 0.05 水平显著,** 为 0.01 水平显著

* Significant at 0.05 level of probability, ** Significant at 0.01 level of probability

生育期与株高和单穗糜子数为极显著正相关,而与千粒重为极显著负相关。

株高与生育期、穗柄长、单穗粒重和千粒重均为极显著正相关。

穗长与单穗糜子数、穗柄粗及脱粒后单穗重为极显著正相关,与伸出程度和穗柄长为极显著负相关。

单穗糜子数与生育期和穗长为极显著正相关,与穗柄粗为显著正相关,但与伸出程度、穗柄长及千粒重为极显著负相关。

伸出程度与穗柄长为极显著正相关,与穗长、单穗糜子数及脱粒后单穗重为极显著负相关,同时与穗柄粗为显著负相关。

穗柄长与株高和伸出程度为极显著正相关,但与穗长、单穗糜子数以及脱粒后单穗重为极显著负相关,与穗柄粗为显著负相关。

穗柄粗和穗长、脱粒后单穗重及单穗粒重为极显著正相关,与单穗糜子数为显著正相关,和伸出程度及穗柄长为显著负相关。

脱粒后单穗重与穗长、穗柄粗及单穗粒重为极显著正相关,与伸出程度和穗柄长为极显著负相关。

单穗粒重与株高、穗柄粗、脱粒后单穗重及千粒重为极显著正相关。

千粒重与株高和单穗粒重为极显著正相关,而与生育期和单穗糜子数为极显著负相关。

3 讨论

3.1 遗传多样性分析与种质资源利用

丰富的种质资源是进行种质创新和品种改良的基础。与国外品种相比,我国高粱品种存在遗传基础比较狭窄、遗传多样性不够丰富的问题^[22-23]。研究表明,利用国外优异资源可对本国高粱品种进行

有效改良、丰富遗传基础^[24-25]。通过对不同来源的帚高粱表型分析表明,各来源的帚高粱品种表现出不同程度的性状差异,且利用不同来源品种杂交后的育种材料与其亲本来源相比,生育期早、株高明显变矮、伸出程度增长以及脱粒后单穗重增加,说明利用不同来源的帚高粱可创造出性状优异的杂交后代。因此,在品种改良时,要重点利用各来源品种的生育期、株高、穗长、单穗糜子数及伸出程度等性状上差异较大的特点,同时,针对各国品种特有的优异性状对我国帚高粱进行有目的的改良。在我国帚高粱地方品种原有优良性状的基础上,可利用保加利亚、俄罗斯和美国品种穗较长且单穗糜子数多的特点对我国帚高粱进行穗部性状改良。利用乌克兰品种伸出程度较长以及穗柄较长的特点改良穗柄性状。利用俄罗斯品种脱粒后单穗重高的特点改良产量性状。

3.2 遗传多样性分析与杂种优势利用

在进行种质创新和杂交种选育时,对亲本进行遗传多样性分析将为获得较高的杂种优势提供理论依据。亲本间的性状差异越大、亲缘关系越远则后代的杂种优势越强。另外,由于类群间的杂种优势高于类群内的杂种优势^[26],在选择亲本时,要利用不同类群的亲本进行杂交,以创造丰富的分离群体并获得较高的杂种优势。通过对我国及引进帚高粱品种的遗传多样性分析,要重点利用第Ⅰ类群的早熟、株高较矮、分枝长以及脱粒后单穗重高的特点,第Ⅱ类群株高矮及伸出程度长的特点,第Ⅲ类群生育期适中且千粒重较高的特点,第Ⅳ类群单穗粒重和千粒重高的特点以及第Ⅴ类群单穗糜子数多且穗柄长的特点。同时,所分析的生育期、株高、穗长、单穗糜子数、伸出程度、穗柄长、穗柄粗、脱粒后单穗重、单穗粒重及千粒重等性状均为数量性状,大多数性状与后代的杂种优势为正相关^[27],因此,为使杂

交后代有较优异的性状,要选择双亲性状均优良的帚高粱材料进行杂交,以提高帚高粱的育种效率。

3.2 帚高粱的种质创新

在粒用高粱、甜高粱及苏丹草等类型高粱的品种改良中,籽粒产量或生物产量为最重要的性状。而帚高粱由于其特殊的加工用途,株高、生育期、穗部性状及产量性状均应重点关注^[28],并且,根据性状间的相关性,需要从多方面进行改良和创新。

在帚高粱的各性状中,生育期可直接影响糜子的颜色和质量。如果成熟度不好,会使糜子的颜色出现灰绿色,且穗底部的分枝脆弱易断。而种植过早的品种,由于过度成熟导致糜子变得坚硬、易风化及颜色褐变。因此,应根据具体的气候条件选择适宜生育期的品种。同时,由于生育期与单穗糜子数为极显著正相关,在保证成熟的情况下,生育期不宜过短。

株高是帚高粱进行机械化收获的最主要限制因素。目前生产上种植的帚高粱大多数为高秆品种,只能人工收获而使生产成本增加,种植矮秆品种可进行机械化收获,有效降低成本。由于株高与穗柄长、单穗粒重及千粒重等性状为极显著正相关,在能够进行机械化收获的条件下,株高不宜过矮。

在帚高粱的穗部性状中,首先要求穗长达到一定的长度,来获得较高的产量并满足加工需要。如果糜子短,需要通过增加单穗糜子数或增加籽粒产量来保证帚高粱的产值。在穗柄性状中,适当的穗柄长和穗柄粗可保证加工后的笕帚秆部具有一定的长度和粗度。在伸出程度上,穗部最好完全伸出旗叶叶鞘,如果糜子包裹在叶鞘里,不仅增加收获的难度,而且还易感染螟虫,使糜子变为红色或褐色,影响加工品质。性状间的相关性分析表明,穗长、单穗糜子数及穗柄粗3个性状之间为显著或极显著正相关,但这3个性状与伸出程度和穗柄长为显著或极显著负相关,同时,脱粒后单穗重与穗长和穗柄粗为极显著正相关,而与穗柄长及伸出程度为极显著负相关。因此,在种质创新时,要选择穗较长、单穗糜子数多且穗柄较粗的品种,但伸出程度和穗柄不宜过长。

帚高粱的产量包括脱粒后单穗重和单穗粒重两部分。脱粒后单穗重是决定帚高粱经济收入的重要部分,而籽粒产量是帚高粱的副产品,是对帚高粱经济收入的重要补偿。因此,脱粒后单穗重和单穗粒重越高越好。同时,脱粒后单穗重与单穗粒重以及单穗粒重与千粒重之间均为极显著正相关,可同时选择3个性状均高的品种以增加产量。

综上所述,在帚高粱的种质创新和品种改良中,要同时考虑多个性状,选择生育期适宜、株高较矮、穗较长、单穗糜子数多、穗柄较粗以及脱粒后单穗重、单穗粒重、千粒重均高的性状,但伸出程度和穗柄不宜过长。

参考文献

- [1] Berenji J, Dahlberg J. Perspectives of sorghum in Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2004, 1905: 332-338
- [2] 卢庆善. 高粱学. 北京: 中国农业出版社, 1999: 490
- [3] Dahlberg J, Berenji J, Sikora V, Latkovic D. Assessing sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] germplasm for new traits: food, fuels & unique uses. *Maydica*, 2011, 56: 85-92
- [4] Berenji J, Dahlberg J, Sikora V, Latkovic D. Origin, History, Morphology, Production, Improvement, and Utilization of Broomcorn [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] in Serbia. *Economic Botany*, 2011, 65: 190-208
- [5] Rooney L W, Waniska R D. Sorghum food and industrial utilization//Smith C W, Frederiksen R A. *Sorghum: Origin, History, Technology, and Production*. New York: John Wiley and Sons Inc- corporation, 2000: 689-729
- [6] Dogan Y, Nedelcheva A M, Yarci C. Plant taxa used as brooms in several southeast European and west Asian countries. *Natural Croatian*, 2008, 17: 193-206
- [7] Elangovan M, Shrotria P K, Raghavendra Rao K V, Khulbe R K, Babu P K. Collection, GIS mapping and conservation of broomcorn sorghum from Uttarakhand, India. *International Journal of Advanced Research*, 2015, 3: 57-69
- [8] 王黎明, 焦少杰, 姜艳喜, 严洪冬, 苏德峰, 孙广全. 利用分子标记分析高粱的遗传多样性及其在种质创新中的应用. *植物遗传资源学报*, 2015, 16(2): 288-293
- [9] Deu M, Sagnard F, Chantreau J, Calatayud C, Viquoroux Y, Pham J L, Mariac C, Kapran I, Mamadou A, Gerard B, Ndjeunqa J, Bezancan G. Spatio-temporal dynamics of genetic diversity in *Sorghum bicolor* in Niger. *Theoretical and Applied Genetics*, 2010, 120: 1301-1313
- [10] Satish L, Shilpha J, Pandian S, Rency A S, Rathinapriya P, Ceasar S A, Largia M J V, Kumar A A, Ramesh M. Analysis of genetic variation in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes with various agronomical traits using SPAR methods. *Gene*, 2016, 576: 581-585
- [11] Wang L M, Jiao S J, Jiang Y X, Yan H D, Su D F, Sun G Q, Yan X F, Sun L F. Genetic diversity in parent lines of sweet sorghum based on agronomical traits and SSR markers. *Field Crops Research*, 2013, 149: 11-19
- [12] 冯国郡, 李宏琪, 叶凯, 李桂英, 涂振东, 郭建富. 甜高粱种质资源在新疆的多样性表现及聚类分析. *植物遗传资源学报*, 2012, 13(3): 398-405
- [13] Zhan Q W, Zhang T Z, Wang B H, Li J Q. Diversity comparison and phylogenetic relationships of *S. bicolor* and *S. sudanense* as revealed by SSR markers. *Plant Science*, 2008, 174: 9-16
- [14] 温莹, 逯晓萍, 任锐, 米福贵, 韩平安, 薛春雷. 高丹草 EST-SSR 标记的开发及其遗传多样性. *遗传*, 2013, 35(2): 225-232
- [15] Barro-Kondombo C, Sagnard F, Chantreau J, Deu M, vom Brocke K, Durand P, Goze E, Zongo J D. Genetic structure among sorghum landraces as revealed by morphological variation and micro-satellite markers in three agroclimatic regions of Burkina Faso. *Theoretical and Applied Genetics*, 2010, 120: 1511-1523
- [16] Basahi M. ISSR-based analysis of genetic diversity among sorghum landraces growing in some parts of Saudi Arabia and Yemen. *Comptes Rendus Biologies*, 2015, 338: 723-727
- [17] 赵香娜, 李桂英, 刘洋, 陆平, 顿宝庆, 岳美琪, 张璞. 国内外甜

- 高粱种质资源主要性状遗传多样性及相关性分析. 植物遗传资源学报, 2008, 9(3): 302-307
- [18] 王黎明, 焦少杰, 姜艳喜, 严洪冬, 苏德峰, 孙广全. 不同来源甜高粱种质资源的表型遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2014, 15(2): 411-416
- [19] Geleta M, Labuschagne M T, Viljoen C. Genetic diversity analysis in sorghum germplasm as estimated by AFLP, SSR and morpho-agronomical markers. Biodiversity and Conservation, 2006, 15: 3251-3265
- [20] Ali M L, Rajewski J F, Baenziger P S, Gill K S, Eskridge K M, Dweikat I. Assessment of genetic diversity and relationship among a collection of US sweet sorghum germplasm by SSR markers. Molecular Breeding, 2008, 21: 497-509
- [21] 陆平. 高粱种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006: 50-60
- [22] Li R Y, Zhang H, Zhou X C, Guan Y A, Yao F X, Song G A, Wang J C, Zhan C Q. Genetic diversity in Chinese sorghum landraces revealed by chloroplast simple sequence repeats. Genetic Resources and Crop Evolution, 2010, 57: 1-15
- [23] Pei Z, Gao J, Chen Q, Wei J, Li Z, Luo F, Shi L, Ding B, Sun S J. Genetic diversity of elite sweet sorghum genotypes assessed by SSR markers. Biologia Plantarum, 2010, 54: 653-658
- [24] Zhang H, Wang J C, Wang D J, Yao F X, Xu J F, Song G A, Guan Y A, Li R Y. Assessment of genetic diversity in Chinese sorghum landraces using SSR markers as compared with foreign accessions. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37: 224-234
- [25] Wang M L, Zhu C S, Barkley N A, Chen Z, Erpelding J E, Murray S C, Tuinstra M R, Tesso T, Pederson G A, Yu J. Genetic diversity and population structure analysis of accessions in the US historic sweet sorghum collection. Theoretical and Applied Genetics, 2009, 120: 13-23
- [26] Wang L M, Jiao S J, Jiang Y X, Yan H D, Su D F, Sun G Q, Yan X F, Sun L F. Genetic structure analysis of sorghum parent lines based on SSR markers. Cereal Research Communications, 2013, 41(3): 359-365
- [27] Berenji J, Sikora V. Utilization of hybrid vigor in broomcorn, *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Cereal Research Communications, 2002, 30: 89-94
- [28] Berenji J, Sikora V. Trends and achievements in broomcorn breeding. Cereal Research Communications, 2002, 30: 81-88

欢迎订阅 2019 年《果树学报》

《果树学报》是中国农业科学院郑州果树研究所主办的国家级学术期刊, 为中国精品科技期刊、中文园艺学核心期刊、中国科技核心期刊, 已被中国科学引文数据库来源期刊(核心库)、美国化学文摘(CA)、英国 CABI 等 20 余种国内外重要数据库收录。栏目设置有种质资源·遗传育种·分子生物学、栽培·生理·生态、植物保护·果品质量与安全、贮藏·加工、专论与综述、技术与方法、新品种选育报告等。读者对象为果树学科的科研人员、高等农业院校师生及基层果树管理技术人员。

月刊, 每期定价 20 元, 全年 240 元。邮发代号: 36-93, 国际代号 BM/1107。

地址: 河南省郑州市未来路南端 中国农业科学院郑州果树研究所

邮编: 450009

电话: 0371-63387308

E-mail: guoshuxuebao@caas.cn

网址: www.fruitsci.cn

在线投稿: <http://gskk.cbpt.cnki.net>

欢迎订阅 2019 年《玉米科学》

《玉米科学》由吉林省农业科学院主办, 为中文核心期刊、中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊, 被英国《国际农业与生物科学研究中心》、波兰《哥白尼索引》、美国《乌利希期刊指南》、《日本科学技术振兴机构中国文献数据库》等数据库收录。先后被评为“吉林省一级期刊”、“吉林省科技类十佳期刊”、“吉林省名刊”、“中国北方优秀期刊”。2010 年, 《玉米科学》被评为第二届吉林省新闻出版奖——期刊精品奖。主要报道: 遗传育种、品种资源、耕作栽培、生理生化、生物工程、土壤肥料、专家论坛、国内外玉米科研动态、新品种信息等方面的内容。适合科研、教学、生产及管理方面的人员参考。

双月刊, 每期定价 15 元, 全年 90 元。国内外公开发售, 邮发代号: 12-137, 全国各地邮局(所)均可订阅, 漏订者可直接向本刊编辑部补订。

地址: 吉林省长春市生态大街 1363 号

邮编: 130033

电话: 0431-87063137

E-mail: ymkx@cjaas.com

网址: www.ymkx.com.cn