

# 高粱种质资源表型性状的遗传多样性分析

周 瑜, 李泽碧, 黄 娟, 吴 毓, 张亚勤, 张志良, 张晓春

(重庆市农业科学院特色作物研究所, 重庆 402160)

**摘要:** 以 434 份不同来源的高粱种质资源为材料, 利用变异系数、Shannon-weaver 多样性指数、相关分析和聚类分析, 对表型性状的遗传变异水平进行了分析, 以期种质创新和品种改良提供依据。结果表明, 供试的高粱种质拥有丰富的遗传多样性, 穗型、穗形和叶病的遗传多样性指数  $H'$  较低, 分别为 1.0454、0.9244 和 1.1718; 株高、穗长和千粒重的  $H'$  值较高, 分别为 2.0463、2.0259 和 2.0093; 茎节数和生育期的  $H'$  值较低, 分别为 1.4652 和 1.7628。从参试种质中, 筛选出 1 份特矮秆和 23 份矮秆种质, 可为矮化育种提供优异亲本。相关分析结果表明, 株高与穗长、穗柄长、叶片数、茎节数、茎粗和生育期呈极显著正相关, 与穗柄粗和穗粒重呈极显著负相关; 穗粒重与千粒重呈极显著正相关。对高粱的 10 个数量性状进行聚类分析, 在欧氏距离为 11 时, 434 份高粱种质资源可以分为 3 大类。类群 I 植株高大、茎秆粗壮、生育期长, 可作为饲草或能源进行开发; 类群 II 穗长和穗柄长较长, 可从中筛选适合作工艺(帚)用的资源; 类群 III 矮秆、早熟、大穗, 可作为粒用高粱材料创新及杂交育种的种质资源。

**关键词:** 高粱; 种质资源; 遗传多样性

## Genetic Diversity of Sorghum Germplasms Based on Phenotypic Traits

ZHOU Yu, LI Ze-bi, HUANG Juan, WU Yu, ZHANG Ya-qin, ZHANG Zhi-liang, ZHANG Xiao-chun

(Institute of Characteristic Crops Research, Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 402160)

**Abstract:** The diversity of phenotypic traits in 434 sorghum germplasms were analyzed using variation coefficients, Shannon-Weaver diversity index, correlation analysis and cluster analysis, to provide reference for germplasm enhancement and variety improvement. The results showed that sorghum germplasms used in this study had a great diversity. The diversity indices ( $H'$ ) of panicle type, panicle shape and leaf disease were low with the value of 1.0454, 0.9244 and 1.1718. The  $H'$  of plant height, main panicle length, and 1000-grain weight were relatively higher with 2.0463, 2.0259, and 2.0093. The  $H'$  of node number and growth period were relatively lower with 1.4652 and 1.7628. From 434 sorghum germplasms, 1 significantly dwarf and 23 dwarf germplasms were screened out, which could be used as excellent parents for dwarf breeding. The results of correlation analysis showed that there existed significantly positive correlations between plant height and main panicle length, ear stem length, leaf number, node number, stem diameter, growth period, and significantly negative correlations between plant height and ear stem diameter, kernel weight per panicle. The kernel weight per panicle was significantly positive correlate with 1000-grain weight. By cluster analysis, these 434 sorghum germplasms were grouped into 3 clusters at the Euclidean distance of 11. Cluster I with the characteristics of high plant, thick stem and long growth period could be developed for forage or energy. Cluster II with the characteristics of long main panicle length and ear stem length could be used as germplasm materials for cultivating processing sorghum.

收稿日期: 2020-09-22 修回日期: 2020-09-25 网络出版日期: 2020-10-21

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20200922001>

第一作者研究方向为高粱轻简高效栽培, E-mail: xinganmermer@163.com

通信作者: 张晓春, 研究方向为种质资源、栽培技术与抗病育种, E-mail: 1546688922@qq.com

**基金项目:** 物种资源保护项目(111721301354052036); 重庆市科委项目(cstc2019jcyj-msxmX0125, cstc2018jxjl80008, cstc2019jcsx-msxmX0384)

**Foundation projects:** Species Variety Resources Conservation Fee Project(111721301354052036), Chongqing Science and Technology Commission Project(cstc2019jcyj-msxmX0125, cstc2018jxjl80008, cstc2019jcsx-msxmX0384)

Cluster III with the characteristics of dwarf, early mature and big ear would provide valuable source for grain sorghum germplasm enhancement and cross breeding.

**Key words:** sorghum; germplasms resource; genetic diversity

高粱[ *Sorghum bicolor* ( L. ) Moench ] 抗逆性强、适应性广,有酿造、饲用、食用、能源用、纤维、色素、工艺(帚)等多种用途,发展高粱产业是我国当前农业生产调结构、转方式的理想选择之一。种质资源是种质创新和新品种选育的物质基础<sup>[1]</sup>,因此,种质资源评价及其遗传多样性分析对优异种质筛选、资源合理利用和品种改良具有重要意义<sup>[2-3]</sup>。

中国于 1956 年组织第一次全国范围高粱种质资源收集活动,至 2000 年共进行了 3 次,收集到 12836 份地方高粱种质资源,其中 10414 份作为遗传资源登记,并保存在国家种质资源库里<sup>[4]</sup>。美国国家植物种质资源库收集和保存了 42221 份高粱种质资源<sup>[3]</sup>。朱志华等<sup>[5]</sup>对“十五”期间存入国家种质库的 532 份高粱种质资源的粗蛋白、粗淀粉、赖氨酸、单宁等 4 个主要品质性状进行了鉴定评价,筛选出一批多项、双项或单项品质优良的高粱种质资源。何继红等<sup>[6]</sup>对甘肃省新征集到的 128 份品种资源进行了田间统一鉴定和遗传多样性评价。王黎明等<sup>[2]</sup>发现国外甜高粱品种具有植株高大、生物产量高及含糖量高等优异性状,可用于中国资源的种质创新及品种改良。

高粱种质资源数量巨大,其中一些已被研究者在遗传、育种、生理、生化、病虫抗性等方面进行了利

用,但已利用的数目极其有限<sup>[7]</sup>,高粱种质资源的潜力有待充分挖掘。为了更有效地利用种质资源丰富的遗传背景,本研究对国内外 434 份高粱种质资源主要农艺性状进行考察,分析其遗传多样性,以期

为种质创新和新品种选育提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料共 434 份,分别由中国农业科学院作物科学研究所、四川省农科院水稻高粱研究所、贵州省农科院旱粮作物研究所、山西省农业科学院高粱研究所、辽宁省农业科学院高粱研究所、湖南省农业科学院高粱研究开发中心、内蒙古自治区农牧科学院和重庆市农业科学院特色作物研究所提供,其中编号 396~434 共 39 份高粱种质资源为“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”重庆项目组于 2015-2016 年所收集。参试种质中,417 份来自中国,其中贵州 92 份,云南 64 份,重庆 55 份,黑龙江 53 份,四川 47 份,辽宁 25 份,内蒙古 17 份,山西 13 份,海南 12 份,河北 10 份,湖北、三峡库区各 4 份,北京、湖南、江苏和山东各 3 份、陕西 2 份,安徽、甘肃、广东、广西、吉林、江西和新疆各 1 份; 17 份来自国外,其中美国 14 份,澳大利亚 3 份。资源编号及来源见表 1。

表 1 供试的 434 份高粱资源的名称和来源  
Table 1 The name and origin of 434 sorghum germplasms used in this study

编号 No.	名称 Name	来源地 Origin	编号 No.	名称 Name	来源地 Origin	编号 No.	名称 Name	来源地 Origin
1	糯高粱	中国云南	13	高粱	中国云南	25	大穗红高粱	中国云南
2	高粱	中国云南	14	红高粱	中国云南	26	老挝白高粱	中国云南
3	三河白高粱	中国云南	15	高粱	中国云南	27	红高粱	中国云南
4	高粱	中国云南	16	红高粱	中国云南	28	高粱	中国云南
5	高粱	中国云南	17	高粱	中国云南	29	黑高粱	中国云南
6	高粱	中国云南	18	高粱	中国云南	30	卡连高粱	中国云南
7	红高粱	中国云南	19	高粱	中国云南	31	糯高粱	中国云南
8	高粱	中国云南	20	本地高粱	中国云南	32	白糯高粱	中国云南
9	半野生高粱	中国云南	21	甜高粱	中国云南	33	湾碧高粱	中国云南
10	兴文高粱	中国云南	22	高粱	中国云南	34	巴拉红高粱	中国云南
11	红高粱	中国云南	23	红高粱	中国云南	35	紫高粱	中国云南
12	高粱	中国云南	24	白甜高粱	中国云南	36	吃杆高粱	中国云南

表 1(续)

编号 No.	名称 Name	来源地 Origin	编号 No.	名称 Name	来源地 Origin	编号 No.	名称 Name	来源地 Origin
37	闭眼高粱	中国云南	81	本地高粱	中国四川	125	PAC F8421	澳大利亚
38	本地高粱	中国云南	82	黄高粱	中国四川	126	22050	美国
39	永仁高粱	中国云南	83	高粱	中国四川	127	SS2	美国
40	高粱	中国云南	84	马尾糯	中国四川	128	粘高粱	中国北京
41	红糯高粱	中国云南	85	红高粱	中国四川	129	粘高粱	中国北京
42	黑糯高粱	中国云南	86	红壳高粱	中国四川	130	粘高粱	中国北京
43	糯高粱	中国云南	87	江西高粱	中国江西	131	红粘高粱	中国河北
44	红高粱	中国云南	88	小白高粱	中国湖北	132	红矮种粘	中国河北
45	糯高粱(红)	中国云南	89	甜高粱	中国三峡库区	133	红粘高粱	中国山西
46	饭高粱(白)	中国云南	90	甜高粱	中国三峡库区	134	糯高粱	中国山西
47	红高粱	中国云南	91	马尾高粱	中国三峡库区	135	粘高粱	中国辽宁
48	高粱	中国云南	92	红高粱	中国三峡库区	136	粘高粱	中国江苏
49	高粱	中国云南	93	高粱粟	中国广东	137	马尾粘	中国山东
50	本地高粱	中国云南	94	矮高粱	中国四川	138	猴子眼粘高粱	中国山东
51	高粱	中国云南	95	高粱	中国四川	139	糯高粱	中国湖北
52	高粱	中国云南	96	本地高粱	中国四川	140	粘高粱	中国湖北
53	红高粱	中国云南	97	矮高粱	中国四川	141	矮脚糯酒高粱	中国陕西
54	高粱	中国云南	98	红高粱	中国海南	142	糯高粱	中国陕西
55	白高粱	中国云南	99	赤高粱	中国海南	143	糯高粱	中国云南
56	红高粱	中国云南	100	红壳高粱	中国海南	144	糯高粱	中国云南
57	红高粱	中国云南	101	白壳高粱	中国海南	145	糯高粱	中国云南
58	糯高粱	中国贵州	102	白高粱	中国海南	146	糯高粱	中国云南
59	糯高粱	中国贵州	103	白高粱	中国海南	147	糯高粱	中国云南
60	高粱	中国贵州	104	红高粱	中国海南	148	糯高粱	中国云南
61	糯高粱	中国贵州	105	红高粱	中国海南	149	糯高粱	中国云南
62	红高粱	中国贵州	106	白高粱	中国海南	150	糯高粱	中国广西
63	白高粱	中国贵州	107	高粱	中国海南	151	泸糯 8 号	中国四川
64	褐高粱	中国贵州	108	高粱	中国海南	152	泸糯 9 号	中国四川
65	白高粱	中国贵州	109	高粱	中国海南	153	泸杂四号	中国四川
66	高粱	中国贵州	110	basero	美国	154	青壳洋高粱	中国四川
67	红高粱	中国贵州	111	Enorma	美国	155	泸州红	中国四川
68	红高粱	中国贵州	112	新苏 2 号	中国新疆	156	红壳子	中国四川
69	白高粱	中国贵州	113	GRAZE KING	美国	157	牛尾砣	中国四川
70	甜杆高粱	中国贵州	114	23419	美国	158	矮砣砣	中国四川
71	大高粱	中国四川	115	23402	美国	159	1 s/3560R	中国四川
72	早高粱	中国四川	116	22053	美国	160	72A/1560	中国四川
73	本地高粱	中国四川	117	26837	美国	161	糯粱 99	中国湖南
74	高粱	中国四川	118	22043	美国	162	两糯二号	中国湖南
75	本地高粱	中国四川	119	BMR ELITE	美国	163	两糯一号	中国湖南
76	高粱	中国四川	120	BIG KAHUNA	美国	164	赤杂 16 号	中国内蒙古
77	鼓眼糯	中国四川	121	大力士	美国	165	河北定州一号	中国河北
78	本地高粱	中国四川	122	SWEET VIRGINIA	美国	166	乐小高粱一号	中国四川
79	马尾高粱	中国四川	123	JUMBO	澳大利亚	167	乐砣砣高粱	中国四川
80	鼓眼糯	中国四川	124	PAC F8423	澳大利亚	168	622A	中国山西

表 1(续)

编号 No.	名称 Name	来源地 Origin	编号 No.	名称 Name	来源地 Origin	编号 No.	名称 Name	来源地 Origin
169	622B	中国山西	212	271	中国贵州	255	248	中国贵州
170	7501A	中国山西	213	259	中国贵州	256	322	中国贵州
171	7501B	中国山西	214	278	中国贵州	257	249	中国贵州
172	Tx623A	中国山西	215	266	中国贵州	258	320	中国贵州
173	Tx623B	中国山西	216	245	中国贵州	259	285	中国贵州
174	TAM428A	中国辽宁	217	265	中国贵州	260	292	中国贵州
175	TAM428B	中国辽宁	218	325	中国贵州	261	286	中国贵州
176	1573-1	中国四川	219	243	中国贵州	262	253	中国贵州
177	青壳洋	中国四川	220	287	中国贵州	263	319	中国贵州
178	红缨子	中国四川	221	299	中国贵州	264	290	中国贵州
179	N9-1	中国重庆	222	300	中国贵州	265	277	中国贵州
180	N24-1	中国重庆	223	263	中国贵州	266	301	中国贵州
181	青峰高粱	中国重庆	224	293	中国贵州	267	256	中国贵州
182	江津龙华	中国重庆	225	244	中国贵州	268	321	中国贵州
183	郎糯 1 号	中国四川	226	272	中国贵州	269	八月齐	中国辽宁
184	大粒谷	中国四川	227	252	中国贵州	270	八月齐	中国内蒙古
185	本地高粱	中国重庆	228	283	中国贵州	271	八月齐	中国辽宁
186	N26-3	中国重庆	229	279	中国贵州	272	八面城	中国吉林
187	N6-1	中国重庆	230	307	中国贵州	273	八月齐	中国辽宁
188	N40-2	中国重庆	231	255	中国贵州	274	三升半	中国辽宁
189	N38-1	中国重庆	232	282	中国贵州	275	土白高粱	中国辽宁
190	4007	中国山西	233	323	中国贵州	276	大八叶	中国黑龙江
191	贵 324	中国贵州	234	274	中国贵州	277	天下包皮	中国辽宁
192	贵 265	中国贵州	235	257	中国贵州	278	大白高粱	中国河北
193	贵 323	中国贵州	236	276	中国贵州	279	大白粱	中国河北
194	贵 305	中国贵州	237	308	中国贵州	280	大关东青	中国河北
195	贵 254	中国贵州	238	296	中国贵州	281	大青粱	中国辽宁
196	贵 264	中国贵州	239	288	中国贵州	282	大蛇眼	中国辽宁
197	270	中国贵州	240	261	中国贵州	283	大蛇眼	中国辽宁
198	314	中国贵州	241	305	中国贵州	284	小白壳	中国辽宁
199	310	中国贵州	242	312	中国贵州	285	小红高粱	中国内蒙古
200	313	中国贵州	243	318	中国贵州	286	小黄壳	中国辽宁
201	291	中国贵州	244	273	中国贵州	287	小黄壳	中国辽宁
202	297	中国贵州	245	246	中国贵州	288	牛心红	中国辽宁
203	294	中国贵州	246	302	中国贵州	289	打锣棒	中国辽宁
204	304	中国贵州	247	267	中国贵州	290	处处红 1 号	中国辽宁
205	262	中国贵州	248	315	中国贵州	291	老来白	中国辽宁
206	298	中国贵州	249	258	中国贵州	292	合江红 1 号	中国辽宁
207	317	中国贵州	250	275	中国贵州	293	米高梁	中国湖北
208	316	中国贵州	251	254	中国贵州	294	红壳白	中国河北
209	284	中国贵州	252	264	中国贵州	295	红壳蛇眼	中国辽宁
210	295	中国贵州	253	311	中国贵州	296	不脖张	中国辽宁
211	306	中国贵州	254	281	中国贵州	297	昭农 129	中国内蒙古



表 1(续)

编号 No.	名称 Name	来源地 Origin	编号 No.	名称 Name	来源地 Origin	编号 No.	名称 Name	来源地 Origin
298	哈恢 2 号	中国黑龙江	344	绥不育 8 号保	中国黑龙江	390	黑壳棒子	中国内蒙古
299	铁恢 2 号	中国黑龙江	345	黑龙不育 20	中国黑龙江	391	黑壳	中国内蒙古
300	黑龙不育 1 号保药子	中国黑龙江	346	嫩恢 1 号	中国黑龙江	392	Z220	中国山西
301	黑龙不育 7 号保	中国黑龙江	347	嫩恢 4 号	中国黑龙江	393	4693	中国山西
302	黑龙不育 11 号保	中国黑龙江	348	嫩恢 6 号	中国黑龙江	394	SXR-11	中国山西
303	黑龙不育 21 号保	中国黑龙江	349	嫩恢 7 号	中国黑龙江	395	SXC7029	中国山西
304	曙半升	中国黑龙江	350	嫩不育 1 号保	中国黑龙江	396	高粱	中国重庆
305	饶子高粱	中国黑龙江	351	嫩不育 81 号保	中国黑龙江	397	马尾高粱	中国重庆
306	大红蛇眼	中国河北	352	平恢 2 号	中国甘肃	398	马尾高粱	中国重庆
307	平顶冠	中国河北	353	黄高粱	中国内蒙古	399	甜高粱	中国重庆
308	合不育 76061 号保	中国黑龙江	354	巴南高粱	中国重庆	400	高粱	中国重庆
309	合不育 551 号保	中国黑龙江	355	永川本地高粱	中国重庆	401	高粱	中国重庆
310	合不育 78011 号保	中国黑龙江	356	泸州红	中国四川	402	红缨子	中国重庆
311	合恢 3 号	中国黑龙江	357	牛尾砣	中国四川	403	甜高粱	中国重庆
312	合恢 7 号	中国黑龙江	358	矮砣砣	中国四川	404	糯高粱	中国重庆
313	合恢 8 号	中国黑龙江	359	松溉高粱	中国重庆	405	高粱	中国重庆
314	合恢 12 号	中国黑龙江	360	永川松溉	中国重庆	406	高粱	中国重庆
315	合恢 13 号	中国黑龙江	361	五间高粱	中国重庆	407	高粱	中国重庆
316	合恢 16 号	中国黑龙江	362	0722R	中国四川	408	糯高粱	中国重庆
317	合恢 18 号	中国黑龙江	363	晋 1 h	中国四川	409	马尾高	中国重庆
318	合恢 19 号	中国黑龙江	364	45A 杂 1	中国四川	410	糯高粱	中国重庆
319	合恢 25 号	中国黑龙江	365	45A 杂 2	中国四川	411	高粱	中国重庆
320	合恢 26 号	中国黑龙江	366	45A 杂	中国四川	412	蓑衣高粱	中国重庆
321	合恢 29 号	中国黑龙江	367	45A 杂可育	中国四川	413	本地高粱	中国重庆
322	合恢 30 号	中国黑龙江	368	国窖红 1 号	中国四川	414	散粉高粱	中国重庆
323	合恢 35 号	中国黑龙江	369	五间 1	中国重庆	415	双石小高粱	中国重庆
324	合恢 38 号	中国黑龙江	370	红缨子 10	中国贵州	416	宝峰甜水汁高粱	中国重庆
325	齐不育 4 号保持系	中国黑龙江	371	小红粱	中国内蒙古	417	甜水子	中国重庆
326	齐不育 14 号保	中国黑龙江	372	N5-2	中国重庆	418	本地高粱	中国重庆
327	克恢 4 号	中国黑龙江	373	喜鹊白粘	中国河北	419	本地高粱	中国重庆
328	克恢 7 号	中国黑龙江	374	紫蛾子高粱	中国山东	420	土高粱	中国重庆
329	克恢 22 号	中国黑龙江	375	骡子尾	中国江苏	421	粘高粱	中国重庆
330	克恢 25 号	中国黑龙江	376	ZIH05690	中国内蒙古	422	甜高粱	中国重庆
331	克恢 34 号	中国黑龙江	377	蛤蟆眼	中国内蒙古	423	本地高粱	中国重庆
332	克恢 29 号	中国黑龙江	378	双心红	中国内蒙古	424	高粱	中国重庆
333	克恢 30 号	中国黑龙江	379	牛心黄	中国内蒙古	425	土高粱	中国重庆
334	克不育 15 号保	中国黑龙江	380	牛心红	中国辽宁	426	糯高粱	中国重庆
335	克不育 18 号保	中国黑龙江	381	黑壳棒	中国辽宁	427	高粱	中国重庆
336	牧恢 15-4	中国黑龙江	382	马翘脚	中国内蒙古	428	七片叶高粱	中国重庆
337	哈恢 5 号	中国黑龙江	383	小粘棒	中国辽宁	429	甜高粱	中国重庆
338	哈恢 75 号	中国黑龙江	384	小蛇眼	中国内蒙古	430	高粱	中国重庆
339	绥恢 1 号	中国黑龙江	385	打锣鼓	中国内蒙古	431	高粱	中国重庆
340	绥恢 2 号	中国黑龙江	386	老来小	中国内蒙古	432	甜高粱	中国重庆
341	绥恢 7 号	中国黑龙江	387	靖江高粱	中国江苏	433	矮子高粱	中国重庆
342	绥恢 8 号	中国黑龙江	388	大黑柳	中国安徽	434	甜高粱	中国重庆
343	绥不育 1 号保	中国黑龙江	389	小白高粱	中国内蒙古			

## 1.2 试验设计

田间试验于 2014-2015 年和 2017-2018 年在重庆市农业科学院渝西作物试验站(29.52° N、107.64° E, 海拔 298 m)实施,供试土壤为紫色土,耕层土壤 pH 值为 5.6,有机质含量 22.3 g/kg,全氮 1.31 g/kg,速效氮 119.0 mg/kg,速效磷 25.0 mg/kg,速效钾 74.7 mg/kg。试验采用随机区组设计,3 次重复,3 行区,行长 5 m,行距 0.5 m,株距 0.39 m。3 月 20-25 日播种,4 月 10-15 日定苗,每行 13 株。从每小区中间一行连续取 5 株进行田间性状调查和室内考种。

## 1.3 测定项目与方法

按照《高粱种质资源描述规范和数据标准》<sup>[8]</sup>,记载各品种成熟期、穗型、穗形,成熟后考察株高、穗长、穗柄长、叶片数、茎节数、茎粗、穗柄粗、穗粒重、千粒重和叶部病害,计算生育期,以 2 年的平均值进行统计计算。

## 1.4 数据处理与分析

统计分析的性状分为 2 类:第 1 类是描述性性状,穗型和穗形分别予以赋值,叶部病害程度依据植株上所有叶片的病害表现按无、轻、中、重分别赋以 1、2、3、4;第 2 类是株高、穗长、穗柄长、叶片数(成熟期绿叶数)、茎节数、茎粗、穗柄粗、穗粒重、千粒重和生育期 10 个数量性状,计算最大值、最小值、平均值、标准差、中位数、变异系数和多样性指数。第 2 类性状根据平均数、标准差将材料分为 10 级,从第 1 级  $X_i < (x - 2s)$  到第 10 级  $X_i \geq (x + 2s)$ ,每 0.5 s 为 1 级,每一组的相对频率用于计算多样性指数<sup>[9]</sup>。用 Shannon-weaver 多样性指数来衡量遗传多样性的大小,计算公式为:  $H' = -\sum P_i \ln P_i$ ,  $H'$  为遗传多样性指数,  $P_i$  为某一性状第  $i$  级别内材料份数占总份数的百分比,  $\ln$  为自然对数<sup>[10]</sup>。对 10 个数量性状数据标准化后,采用离差平方和法(Ward's method)进行聚类分析<sup>[11]</sup>。对 10 个数量性状进行相关分析。

使用 Excel 软件进行遗传多样性分析,使用 SPSS 19.0 软件进行聚类分析和相关分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 高粱种质资源描述性状的遗传多样性分析

参试资源的 3 个描述性状共有 14 个变异类型(表 2),遗传多样性指数  $H'$  平均值为 1.0472,遗传多样性指数  $H'$  较小,每个变异类型上分布不均匀。穗型以侧散型最多,其次为中紧型,紧穗型最少。穗形以伞形最多,其次为纺锤形,牛心形、棒形和圆筒

形资源均较少。叶病发病程度为中和轻的占比较大,发病程度重和无症状的较少;对叶部病害表现免疫的种质可在抗病品种选育过程中作为抗性亲本。

表 2 434 份高粱种质资源 3 个描述性状不同类型的频率分布及多样性指数

Table 2 Diversity index and frequency distribution of 3 description characters in 434 sorghum germplasms

性状 Character	频率分布 Frequency distribution					多样性 指数 $H'$
	1	2	3	4	5	
穗型 Panicle type	0.0023	0.2143	0.1014	0.6198	0.0622	1.0454
穗形 Panicle shape	0.2949	0.0415	0.0069	0.0300	0.6267	0.9244
叶病 Leaf disease	0.0714	0.3687	0.4401	0.1198		1.1718

穗型: 1 紧、2 中紧、3 中散、4 侧散、5 周散; 穗形: 1 纺锤形、2 牛心形、3 圆筒形、4 棒形、5 伞形; 叶病: 1 无、2 轻、3 中、4 重

Panicle type: 1 compact, 2 semi-compact, 3 semi-loose, 4 side drooping, 5 spreading drooping. Panicle shape: 1 fusiform, 2 cordate, 3 cylindrical, 4 clavate, 5 umbelliform. Leaf disease: 1 immune, 2 slight, 3 medium, 4 severe

### 2.2 高粱种质资源数量性状的遗传多样性分析

对 434 份高粱的 10 个数量性状进行多样性分析(表 3), 10 个性状的变异系数在 7.61%~29.36% 之间, 平均值为 19.79%, 其中变异系数较大的为穗柄长、株高、穗柄粗和穗长, 表明这 4 个性状变异幅度较大; 而变异系数较小的为生育期和穗粒重, 表明这 2 个性状变异幅度较小, 遗传特性较为稳定。遗传多样性指数  $H'$  在 1.4652~2.0463 之间, 平均值为 1.8783, 株高、穗长和千粒重的遗传多样性指数较大, 表明这 3 个性状多样性丰富; 茎节数和生育期的遗传多样性指数较小, 表明这 2 个性状表现型较少, 多样性较差。

434 份高粱资源间的株高差异很大, 株高小于 111.18 cm 的有 4 份, 111.18~150.55 cm 之间的有 20 份, 分别占全部资源的 0.92% 和 4.61%; 大于 268.64 cm 的有 216 份, 占全部资源的 49.77%。供试资源中有 1 份特矮秆种质(株高  $\leq 100$  cm), 23 份矮秆种质( $100 \text{ cm} < \text{株高} \leq 150 \text{ cm}$ )<sup>[12]</sup>。由表 4 可知, 特矮秆种质 45A 杂 1 的株高为 99 cm, 而 45A 在四川泸州的株高为 125~135 cm<sup>[13]</sup>, 两者其他性状相似, 推测该种质为 45A 中的株高变异株, 可作为矮化育种的优异亲本。辽宁地方品种老来白株高较矮, 叶部病害轻, 生育期短, 单穗粒重较重, 千

表 3 434 份高粱种质资源 10 个数量性状的主要参数

Table 3 Main parameters of 10 quantitative characters in 434 sorghum accessions

性状 Character	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 $\pm$ 标准差 Mean $\pm$ SD	中位数 Med	变异系数 (%) CV	遗传多样性指数 H'
株高 (cm) PH	99.00	506.00	269.67 $\pm$ 75.67	268.00	28.06	2.0463
穗长 (cm) MPL	15.00	63.00	33.92 $\pm$ 8.02	33.00	23.65	2.0259
穗柄长 (cm) ESL	0.00	94.00	48.96 $\pm$ 14.37	48.00	29.36	1.9807
叶片数 LN	5.00	14.00	9.13 $\pm$ 1.54	9.00	16.92	1.8266
茎节数 NN	5.00	15.00	8.21 $\pm$ 1.61	8.00	19.57	1.4652
茎粗 (mm) SD	6.33	23.70	14.16 $\pm$ 2.62	14.06	18.53	1.8891
穗柄粗 (mm) ESD	3.35	16.01	8.30 $\pm$ 2.01	8.11	24.23	1.8562
穗粒重 (g) KWP	37.80	74.90	53.54 $\pm$ 7.45	52.50	13.92	1.9210
千粒重 (g) TGW	10.15	29.97	19.62 $\pm$ 3.15	19.30	16.04	2.0093
生育期 (d) GP	102.00	149.00	121.89 $\pm$ 9.28	120.00	7.61	1.7628

PH: Plant height, MPL: Main panicle length, ESL: Ear stem length, LN: Leaf number, NN: Node number, SD: Stem diameter, ESD: Ear stem diameter, KWP: Kernel weight per panicle, TGW: Thousand grain weight, GP: Growth period. The same as below

表 4 矮秆种质的性状特征

Table 4 Phenotype values of selected dwarf germplasms

编号 No.	名称 Name	来源 Origin	株高 (cm) PH	穗长 (cm) MPL	穗柄长 (cm) ESL	叶片数 LN	茎节数 NN	茎粗 (mm) SD	穗柄粗 (mm) ESD	穗粒重 (g) KWP	千粒重 (g) TGW	生育期 (d) Growth period
364	45A 杂 1	四川	99	21	58	11	10	18.24	7.35	47.0	18.8	135
175	TAM428B	辽宁	101	24	47	9	8	13.58	8.24	44.4	13.6	136
174	TAM428A	辽宁	102	25	21	10	9	17.88	12.62	43.2	21.6	135
291	老来白	辽宁	105	27	46	6	6	11.98	7.21	56.5	20.4	120
171	7501B	山西	113	22	42	11	10	14.56	8.36	53.5	19.2	134
170	7501A	山西	118	20	40	7	5	10.79	7.25	64.7	21.2	128
278	大白高粱	河北	120	19	63	10	9	17.87	12.33	48.9	19.6	136
375	骡子尾	江苏	122	32	48	7	6	21.48	15.06	54.8	24.8	120
190	4007	山西	123	28	46	9	7	14.20	6.90	43.6	17.2	141
365	45A 杂 2	四川	123	24	57	10	9	18.02	5.26	49.1	14.0	135
172	Tx623A	山西	127	36	60	9	8	15.77	10.31	60.0	18.1	114
173	Tx623B	山西	130	30	33	11	9	13.43	7.80	48.1	20.8	120
274	三升半	辽宁	130	33	80	9	8	12.56	8.57	54.7	17.5	115
169	622B	山西	135	29	45	11	10	13.44	7.68	44.4	17.2	135
168	622A	山西	136	33	72	10	9	15.99	7.07	48.1	27.2	125
273	八月齐	辽宁	138	25	52	10	8	16.16	8.35	47.1	20.8	126
394	SXR-11	山西	139	20	47	9	8	13.30	6.76	56.8	19.6	139
334	克不育 15 号保	黑龙江	140	30	35	10	8	14.22	10.83	47.6	22.0	123
85	红高粱	四川	143	29	30	9	8	14.56	8.29	44.9	18.8	124
277	大下包皮	河北	143	29	46	8	7	15.98	9.89	50.3	15.2	123
395	SXC7029	山西	145	22	45	10	10	17.82	11.96	58.6	18.5	128
164	赤杂 16 号	内蒙古	147	33	75	11	10	17.26	12.15	50.0	22.0	128
362	0722R	四川	150	30	43	9	7	14.78	10.23	46.1	20.4	124
392	Z220	山西	150	23	35	9	8	20.04	11.75	41.9	15.2	134

粒重较高,综合表现较好,可作育种材料进行直接利用,也可作为杂交亲本,通过有性杂交进行品种改良。矮秆种质中,除了赤杂 16 号外,其余均为遗传材料或地方品种,将在高粱矮化育种中发挥重要作用。

材料间穗长差异也很大,大部分材料穗长为 21.51~42.06 cm,占全部材料的 80.88%。穗柄长影响作物机械收获质量<sup>[14]</sup>,343 份高粱的穗柄长在 0~94 cm 之间,主要集中在 34.02~64.01 cm,占全部材料的 75.35%;小于 19.03 cm 的占 1.84%,穗柄长为 0 的材料,穗柄未伸出,表现为缩穗,容易引发穗部病害,降低产量,增加机收含杂率;大于 79.01 cm 的仅占 2.30%。

参试资源叶片数多集中在 7.45~11.67 片之间,占全部材料的 81.57%。茎节数多集中在 6.41~10.09 节之间,占全部材料的 82.49%。

茎粗与植株抗倒伏性紧密相关,在干物质积累与转运过程中起重要作用,茎秆亦是甜高粱主要的收获器官,因此茎粗对高粱产量具有重要影响。不同高粱资源间茎粗差异很大,茎粗小于 8.65 mm 和大于 19.65 mm 的资源分别占全部资源的 1.38% 和 3.00%,11.40~16.90 mm 之间的资源占全部资源的 82.49%。穗柄粗的分布与茎粗相似,小于 3.60 mm

和大于 12.11 mm 的材料分别占全部材料的 0.46% 和 3.00%,在 5.98~9.55 mm 之间的材料占全部材料的 71.89%。

434 份材料间的单穗粒重差异很大,单穗粒重大于 69.59 g 的材料仅占全部材料的 1.84%,单穗粒重分布在 49.21~53.29 g 和 53.30~61.44 g 之间的材料较多,分别占全部材料的 19.12% 和 44.93%。参试的资源千粒重整体都较小,千粒重小于 12.96 g 的占 1.38%,大于 24.58 g 的占 7.60%,在 16.28~22.92 g 之间的占 74.42%。

434 份高粱资源中没有特早熟材料(生育期  $\leq 100$  d)<sup>[12]</sup>。生育期在 101~115 d 之间的早熟材料有 129 份,在 116~130 d 之间的中熟材料有 222 份,在 131~145 d 之间的晚熟材料有 80 份,145 d 以上的特晚熟材料有 3 份。

数量性状的统计分析结果表明,参试材料的遗传背景较丰富,改良潜力较大,可为我国高粱新品种的选育提供优异的种质基础,对生产中宜机化、抗倒伏、高产、早熟需求等具有重要实际意义。

### 2.3 数量性状的相关分析

对 434 份高粱资源的株高、穗长、穗柄长、叶片数、茎节数、茎粗、穗柄粗、穗粒重、千粒重和生育期等 10 个数量性状进行相关分析(表 5)。

表 5 10 个数量性状的相关系数

Table 5 Correlation coefficient between 10 quantitative characters

性状 Character	株高 PH	穗长 MPL	穗柄长 ESL	叶片数 LN	茎节数 NN	茎粗 SD	穗柄粗 ESD	穗粒重 KWP	千粒重 TGW
穗长 MPL	0.35**								
穗柄长 ESL	0.24**	0.19**							
叶片数 LN	0.24**	0.18**	0.08						
茎节数 NN	0.20**	0.18**	0.05	0.90**					
茎粗 SD	0.16**	0.13**	-0.28**	0.09	0.07				
穗柄粗 ESD	-0.17**	-0.03	-0.25**	-0.06	-0.09	0.65**			
穗粒重 KWP	-0.33**	-0.15**	0.12*	0.00	-0.01	-0.06	0.08		
千粒重 TGW	-0.07	-0.03	0.26**	0.01	-0.02	-0.01	0.04	0.28**	
生育期 GP	0.42**	0.12**	-0.03	0.01	-0.00	0.24**	0.08	-0.21**	0.04

\*, \*\* 分别表示  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$  水平上显著差异

\*, \*\* mean significant difference at 0.05 and 0.01 level respectively

结果表明,株高与穗长、穗柄长、叶片数、茎节数、茎粗和生育期呈不同程度的正相关,达极显著水平,其中,株高与穗长、生育期的相关程度较高;与穗柄粗和穗粒重呈极显著负相关,相关程度较低。穗粒重与千粒重呈极显著正相关,与生育期呈极显

著负相关,但相关程度较低。

### 2.4 基于表型性状的聚类分析

对高粱的 10 个数量性状进行聚类分析(详见 <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20200922001>, 附图 1),在欧氏距离为 11 时,434 份高粱种质资源可



以分为 3 大类。由表 6 可知,类群 I 共 165 份资源,该类群株高最高但穗柄长最短,所有穗柄长为 0 的材料均属此类,但茎粗和穗柄粗最大,穗粒重、千粒

重最小,生育期最长。该类群包含甜高粱和饲草高粱杂交种和常规种,可作为饲草或能源进行开发,收获茎秆。

表 6 高粱种质资源各类群数量性状特征

Table 6 The mean and coefficient deviation of quantitative charcters in different germplasm clusters of sorghum

性状 Charcter	项目 Item	种质类群 Germplasms clusters		
		I	II	III
	资源数	165	146	123
株高 (cm) PH	平均值	311.57	283.75	196.75
	变异系数 (%)	23.39	19.23	20.80
穗长 (cm) MPL	平均值	34.76	37.52	28.53
	变异系数 (%)	21.92	19.31	22.78
穗柄长 (cm) ESL	平均值	42.38	58.86	46.02
	变异系数 (%)	35.37	20.26	19.15
叶片数 LN	平均值	8.91	9.91	8.48
	变异系数 (%)	16.41	13.33	17.87
茎节数 NN	平均值	7.90	9.06	7.60
	变异系数 (%)	18.89	16.83	18.70
茎粗 (mm) SD	平均值	15.53	13.00	13.68
	变异系数 (%)	18.10	16.77	14.21
穗柄粗 (mm) ESD	平均值	8.87	7.34	8.65
	变异系数 (%)	26.17	21.89	17.70
穗粒重 (g) KWP	平均值	50.35	52.34	59.23
	变异系数 (%)	11.35	13.23	11.71
千粒重 (g) TGW	平均值	18.69	19.81	20.66
	变异系数 (%)	15.84	17.72	12.27
生育期 (d) GP	平均值	128.20	119.35	116.45
	变异系数 (%)	6.25	7.33	5.23

类群 II 共 146 份资源,该类群叶片数和茎节数最多,穗长和穗柄长最大,茎粗和穗柄粗最小。可从该类群中筛选适合作工艺(帚)用的资源。

类群 III 共 123 份资源,该类群株高最小,穗粒重和千粒重最大,生育期最短。该类群具有矮秆、早熟、大穗等特点,是粒用高粱优异种质,可作为材料创新及杂交育种的种质源。

类群 I 和类群 II 主要由来自中国南方的种质构成,类群 III 主要由来自中国北方的种质构成。云南的种质资源主要集中在类群 I,贵州的种质资源主要集中在类群 II,黑龙江、辽宁、内蒙古的种质资源主要集中在类群 III,四川的种质资源在 3 个类群分布较均匀,表明来自四川的高粱种质类型比较多样,

遗传多样性较高。

3 讨论

种质资源是作物品种改良最有价值、最关键、最基本的材料<sup>[15]</sup>,而鉴定农艺性状、发掘新的基因组合是种质资源利用的前提<sup>[16]</sup>。本研究对 434 份高粱种质资源的表型性状进行了研究,发现这些种质资源的遗传多样性较高,遗传背景丰富,材料间存在较大差异。描述性状的遗传多样性指数较低,穗型、穗形和叶病的  $H'$  值分别为 1.0454、0.9244 和 1.1718,穗型分布中,侧散最多,其次为中紧;穗形分布中,伞形所占比例最高,其次为纺锤形。叶病上表现无和重的资源数量均较少,仅占总资源数的



7.14% 和 11.98%,抗病资源少。10 个数量性状的变异系数为 7.61%~29.36%,生育期的变异系数最小,穗柄长的变异系数最大,其次为株高和穗柄粗,表明供试的 434 份高粱种质穗柄长差异最大,其次为株高和穗柄粗。数量性状的  $H'$  值为 1.4652~2.0463,多样性较描述性状更丰富,株高、穗长、千粒重、穗柄长和穗粒重的  $H'$  值较高,依次为 2.0463、2.0259、2.0093、1.9807 和 1.9210,频率分布都较为分散。冯国郡等<sup>[17]</sup>对国内外 72 份甜高粱种质资源 24 个性状进行遗传多样性研究,也发现数量性状的遗传多样性普遍高于质量性状。本研究中的 434 份高粱资源中,有 1 份特矮秆种质,23 份矮秆种质,可为矮秆高粱品种改良提供亲本材料。而其他性状达不到优异标准的资源可根据育种目标作为亲本来源,部分综合性状优异的资源也可以在生产上直接利用。

研究数量性状之间的相关性对评价 2 种或 2 种以上性状联合选择的可行性具有重要意义,对评估次要性状选择对主要性状遗传增益的影响也具有重要意义<sup>[18]</sup>。本研究对 434 份高粱资源的 10 个数量性状进行了相关分析,结果显示,株高和生育期呈极显著正相关,与于纪珍等<sup>[19]</sup>的研究结果相同,而赵香娜等<sup>[9]</sup>认为株高主要决定于出苗至挑旗天数。相似地,Warkad 等<sup>[20]</sup>发现株高与出苗至开花时间呈极显著正相关。有研究表明,高粱株高与叶片数、穗长、穗柄长、茎粗呈正相关<sup>[21]</sup>,甜高粱株高与茎粗、茎节数呈极显著正相关<sup>[22]</sup>,本研究中,株高与穗长、穗柄长、叶片数、茎节数和茎粗呈不同程度的正相关。穗长是株高的重要组成部分,与株高的相关程度较高,陈艳丽等<sup>[23]</sup>也发现株高与穗长呈极显著正相关。而穗长与穗粒重呈负相关,表明通过选择增加穗长并不一定能相应地增加籽粒产量<sup>[24]</sup>。

通过对不同种质类型进行分类,可以针对不同的育种目标进行定向选育,在遗传改良过程中实现优势互补,有效指导作物的遗传育种<sup>[25]</sup>。本研究根据 10 个数量性状进行聚类分析,将 434 份高粱种质资源分为 3 个类群,3 个类群均表现出独特的表型特征,在株高、茎粗、穗长、穗柄长、穗粒重、千粒重和生育期上均表现出比较明显的差异性和互补性。类群 I 植株高大、茎秆粗壮、生育期长,具有饲用或糖用高粱的优良特性;类群 II 穗长和穗柄长最长,穗长和穗柄长是工艺用高粱最重要的性状,我国工艺用高粱的加工性状较国外同类高粱来说表现较差,利用范围受到限制,且数量较少,遗传基础狭窄<sup>[26]</sup>,本研究结果将拓宽工艺用高粱种质的遗传

基础;类群 III 具有矮秆、早熟、大穗等特点,是粒用高粱优异种质,可作为材料创新及杂交育种的种质资源。赵香娜<sup>[27]</sup>采用遗传相似系数、UPGMA 法将国内外 206 份甜高粱种质资源聚为 6 类,其中生育期长、植株高大的 46 个品种聚为一类。冯国郡等<sup>[17]</sup>对甜高粱进行聚类,结果主要也是以生育期和植株性状为核心进行分类的。

#### 参考文献

- [1] 刘旭,李立会,黎裕,方涛.作物种质资源研究回顾与发展趋势.农学学报,2018,8(1):1-6  
Liu X, Li L H, Li Y, Fang W. Crop germplasm resources: advances and trends. Journal of Agriculture, 2018, 8(1): 1-6
- [2] 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  
Wang L M, Jiao S J, Jiang Y X, Yan H D, Su D F, Sun G Q. Genetic diversity analysis on sweet sorghum germplasm resources of different origins based on agronomical traits. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(2): 411-416
- [3] 卢庆善,邹剑秋,朱凯,张志鹏,王艳秋.高粱种质资源的多样性和利用.植物遗传资源学报,2010,11(6):798-801  
Lu Q S, Zou J Q, Zhu K, Zhang Z P, Wang Y Q. Diversity and utilization of sorghum germplasm. Journal of Plant Genetic Resources, 2010, 11(6): 798-801
- [4] Lu Q, Dahlberg J A. Chinese sorghum genetic resources. Economic Botany, 2001, 55(3): 401-425
- [5] 朱志华,李为喜,刘方,张晓芳,王文真,刘三才,李燕.高粱种质资源主要品质性状鉴定与评价.植物遗传资源学报,2003,4(4):326-330  
Zhu Z H, Li W X, Liu F, Zhang X F, Wang W Z, Liu S C, Li Y. Identification and evaluation of quality traits in sorghum germplasm. Journal of Plant Genetic Resources, 2003, 4(4): 326-330
- [6] 何继红,董孔军,刘敏轩,任瑞玉,张磊,杨天育,陆平.甘肃省新征集高粱地方品种资源的鉴定与遗传多样性评价.植物遗传资源学报,2015,16(3):479-484  
He J H, Dong K J, Liu M X, Ren R Y, Zhang L, Yang T Y, Lu P. Identification and genetic diversity evaluation of new-collective germplasm of sorghum in Gansu province. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(3): 479-484
- [7] 卢庆善,卢峰,王艳秋,段有厚.高粱种质资源研究的最新进展.辽宁农业科学,2010(4):34-37  
Lu Q S, Lu F, Wang Y Q, Duan Y H. The newest research progress of sorghum germplasm. Liaoning Agricultural Sciences, 2010(4): 34-37
- [8] 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  
Lu P. Descriptors and data standard for sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench]. Beijing: Chinese Agricultural Publishers, 2006
- [9] 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

- Zhao X N, Li G Y, Liu Y, Lu P, Dun B Q, Yue M Q, Zhang P. Genetic diversity and correlation analysis of main agronomic characters in domestic and foreign sweet sorghum germplasm. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2008, 9 ( 3 ): 302-307
- [ 10 ] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication. Chicago: The University of Illinois, Urbana, 1949: 3-14
- [ 11 ] 董昕, 李淑君, 杨华, 官玲, 付忠军, 祁志云, 金川, 余雪源, 易红华, 陈荣丽, 张丕辉. 重庆玉米地方品种表型多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2019, 20 ( 4 ): 861-870
- Dong X, Li S J, Yang H, Guan L, Fu Z J, Qi Z Y, Jin C, Yu X Y, Yi H H, Chen R L, Zhang P H. Phenotypic diversity of maize landraces collected from Chongqing. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20 ( 4 ): 861-870
- [ 12 ] 陈冰孺, 李继洪, 王阳, 李淑杰, 胡喜连, 李伟, 马英慧, 高鸣, 高士杰. 高粱 (*Sorghum bicolor* ( L. ) Moench ) 种质资源研究进展. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2013, 41 ( 1 ): 67-72, 77
- Chen B X, Li J H, Wang Y, Li S J, Hu X L, Li W, Ma Y H, Gao M, Gao S J. Advances in germplasm resources of sorghum (*Sorghum bicolor* ( L. ) Moench ). *Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition*, 2013, 41 ( 1 ): 67-72, 77
- [ 13 ] 倪先林, 赵甘霖, 刘天朋, 胡炯凌, 李元, 陈国民, 汪小楷, 丁国祥. 优质高配合力糯质高粱不育系 45A 的选育与应用. *园艺与种苗*, 2014 ( 11 ): 11-14
- Ni X L, Zhao G L, Liu T P, Hu J L, Li Y, Chen G M, Wang X K, Ding G X. Breeding and application of high quality and high combining ability glutinous sorghum sterile line 45A. *Horticulture & Seed*, 2014 ( 11 ): 11-14
- [ 14 ] 董朋飞, 李潮海, 李少昆, 王克如, 刘东尧, 谢耀丽, 张旭赫, 闫振华, 刘天学, 王群. 黄淮南部不同玉米品种机械粒收质量评价及其穗部性状鉴定指标筛选. *玉米科学*, 2021, 29 ( 1 ): 112-119
- Dong P F, Li C H, Li S K, Wang K R, Liu D Y, Xie Y L, Zhang X H, Yan Z H, Liu T X, Wang Q. Evaluation of mechanical grain quality of different maize in the southern part of Huang-Huai Plain and screening of ear characters. *Journal of Maize Sciences*, 2021, 29 ( 1 ): 112-119
- [ 15 ] Upadhyaya H D, Yadav D, Dronavalli N, Gowda C L L, Singh S. Mini core germplasm collections for infusing genetic diversity in plant breeding programs. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 2010, 1 ( 4 ): 1294-1309
- [ 16 ] Upadhyaya H D, Sharma S, Ramulu B, Bhattacharejee R, Gowda C L L, Reddy V G, Singh S. Variation for qualitative and quantitative traits and identification of trait specific sources in new sorghum germplasm. *Crop and Pasture Science*, 2010, 61: 609-618
- [ 17 ] 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
- Feng G J, Li H Q, Ye K, Li G Y, Tu Z D, Guo J F. Genetic diversity and cluster analysis of sweet sorghum germplasm in Xinjiang. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2012, 13 ( 3 ): 398-405
- [ 18 ] Seetharam K. Phenotypic assessment of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench ) germplasm reference set for yield and related traits under post flowering drought conditions. Coimbatore: Tamil Nadu Agricultural University, 2011
- [ 19 ] 于纪珍, 王瑞, 詹鹏杰, 平俊爱, 张福耀. 中国主要高粱杂交种农艺及品质性状多样性分析. *作物杂志*, 2017 ( 5 ): 49-54
- Yu J Z, Wang R, Zhan P J, Ping J A, Zhang F Y. Diversity of agronomic and quality traits of major sorghum hybrids in China. *Crops*, 2017 ( 5 ): 49-54
- [ 20 ] Warkad Y N, Tidke R T, Maske N M, Kharde A V, Potdukhe N R. Character association and path analysis in sorghum [*Sorghum bicolor* ( L. ) Moench ]. *International Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 6 ( 1 ): 100-104
- [ 21 ] Ayana A, Bekele E. Geographical patterns of morphological variation in sorghum (*Sorghum bicolor* ( L. ) Moench ) germplasm from Ethiopia and Eritrea: quantitative characters. *Euphytica*, 2000, 115 ( 2 ): 91-104
- [ 22 ] 邵初阳, 何晓兰, 徐照龙, 张大勇, 黄益洪, 卫培培, 许玲, 刘晓庆, 郭士伟, 彭陈, 葛婷婷, 王为. 甜高粱种质资源多样性及主要农艺参数聚类分析. *江苏农业学报*, 2015, 31 ( 5 ): 984-994
- Shao C Y, He X L, Xu Z L, Zhang D Y, Huang Y H, Wei P P, Xu L, Liu X Q, Guo S W, Peng C, Ge T T, Wang W. Genetic diversity of sweet sorghum germplasm resources and clustering of major agronomical traits. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 31 ( 5 ): 984-994
- [ 23 ] 陈艳丽, 田承华, 田怀东. 国内外高粱种质资源形态性状与农艺性状的多样性分析. *山西农业科学*, 2015, 43 ( 4 ): 378-382
- Chen Y L, Tian C H, Tian H D. Diversity analysis of morphological and agronomic characters of sorghum at home and abroad. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2015, 43 ( 4 ): 378-382
- [ 24 ] Ezeaku I E, Mohammed S G. Character association and path analysis in grain sorghum. *African journal of Biotechnology*, 2006, 5 ( 14 ): 1337-1340
- [ 25 ] 李祥栋, 潘虹, 陆秀娟, 魏心元, 陆平, 石明, 练启仙. 薏苡属种质资源的主要表型性状多样性研究. *植物遗传资源学报*, 2019, 20 ( 1 ): 229-238
- Li X D, Pan H, Lu X J, Wei X Y, Lu P, Shi M, Lian Q X. Analysis of main phenotypic characteristics in *Coix* L. germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20 ( 1 ): 229-238
- [ 26 ] 宋旭东, 史红梅, 张海燕, 张桂香. 工艺用高粱种质资源性状多样性分析. *辽宁农业科学*, 2011 ( 4 ): 31-33
- Song X D, Shi H M, Zhang H Y, Zhang G X. Genetic diversity analysis of processing sorghum germplasm resources. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2011 ( 4 ): 31-33
- [ 27 ] 赵香娜. 国内外甜高粱品种资源遗传多样性研究. 北京: 中国农业科学院, 2008
- Zhao X N. An assessment of genetic diversity among a collection of domestic and foreign sweet sorghum germplasms. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008