贵州不同地区高粱种质资源表型多样性与聚类分析

高 杰[1] 封广才[2] 李晓荣[3] 李青风[1] 彭 秋[1]

（[1]贵州省农业科学院旱粮研究所，550006，贵州贵阳；[2]黔东南州扶贫开发办公室，556000，贵州凯里；
[3]楚雄彝族自治州农业科学院，675000，云南楚雄）

摘 要 对贵州地区220份高粱种质资源进行了多样性和聚类分析。结果表明：籽粒包被度、壳色和粒色分布较分散，穗形、穗柄状态和穗型频率分布较集中，侧散（伞）类型居多；生育期、有效分蘖数、节间数、株高、茎粗、穗长、穗柄长、穗粒重和千粒重均存在较大变异，变异系数为8.36%~37.46%，各性状多样性指数均较大，平均为2.00；从区域来看，黔东南地区种质变异系数和多样性指数均最高，分别为28.56%和1.52；相关分析结果显示，部分数值型性状间存在显著的相关性；聚类分析将220份高粱种质分为3个类群，类群Ⅰ包含211份种质，表现为侧散（伞）穗、生育期短、分蘖力强、穗长和穗粒重小等特点，可作为中早熟侧散型高粱育种的基础材料；类群Ⅱ包含8份种质，主要表现为周散（伞）穗、穗柄直等特点，可用作帚用高粱材料的改良亲本；类群Ⅲ仅含1份种质，主要表现为棒形紧穗、生育期长、分蘖力弱、节间数多、植株高大粗壮、主穗短、穗柄长和穗粒重大等特点，可作为能源用高粱种质创新。

关键词 高粱；表型性状；遗传多样性；主成分分析；聚类分析

开放科学（资源服务）标识码（OSID）：

高粱是世界第五大禾谷类作物，是C_4植物的模式植物[1]，具有光合效率高和抗逆耐瘠等特点[2]，是环境友好型和资源节约型作物[3]。随着农业产业结构的调整，高粱在农业生产中拥有巨大的发展空间和产业优势，其中，酿酒业是我国经济发展的重要产业之一，也是我国高粱产业中最具优势和发展潜力的产业之一[4]。贵州省主要利用高粱来酿酒，现阶段主要以红缨子为主推品种，品种比较单一，抗性退化严重，因此全面了解贵州高粱种质资源的遗传多样性信息，可以为杂交亲本选择、高产抗逆新品种选育提供理论基础。

种质资源是遗传研究与育种应用的基础，科学有效地评价种质资源的遗传多样性和遗传关系是资源鉴定、保护及品种改良等工作的重要内容[5]，利用表型性状开展高粱种质资源遗传多样性水平评价是现阶段行之有效的途径之一[6-7]。Ayana等[8]分析了来自埃塞俄比亚和厄立特里亚的415份高粱地方品种的表型多样性，发现高粱有高度的表型变异。Appa Rao等[9]研究了保存在国际热带半干旱地区作物研究所（International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics）的2 343份印度高粱地方品种，发现也存在高度的遗传变异。陈艳丽等[6]对国内外207份高粱种质资源的主要农艺性状进行研究，发现千粒重的多样性指数最高，穗形频率分布较为集中，纺锤形最多。Djè等[10]利用SSR标记分析了来自世界各地分别代表5个不同族的25个栽培高粱种质资源的遗传多样性，发现不同分类、不同地理来源的高粱种质资源存在着不同的多样性，其中来自非洲东部地区的双色族高粱资源存在着最多的遗传变异。Li等[11]利用叶绿体基因组SSR标记分析了185个中国高粱地方品种的遗传多样性，结果表明，中国高粱的等位基因和连锁群具有较低的遗传多样性。Zhang等[12]以69个国外高粱品种为对照，利用32个高粱核基因组SSR标记研究了184份中

作者简介：高杰，主要从事作物遗传改良与栽培生理调控研究，E-mail：gaojie396300520@163.com
彭秋为通信作者，主要从事高粱种质资源评价与遗传育种研究，E-mail：p5615@sina.com

基金项目：贵州省科技支撑计划（黔科合支撑[2020]1Y053号）；农业部现代农业产业体系建设专项（CARS-06-13.5-B26）；贵州省科技计划项目（黔科合服企［2018］4005）；中央引导地方科技发展专项资金项目（黔科中引地［2018］4003）；贵州省科技计划项目（RCJD2018-14）

收稿日期：2020-05-09；修回日期：2020-06-10；网络出版日期：2020-11-19

国高粱地方品种的遗传多样性，结果表明中国高粱的平均基因多样性为 0.629，与非洲南部地区高粱相当。

前人对高粱的遗传多样性已做了大量研究，主要是对国内外或多区域种质进行的分析，而关于贵州地区高粱种质资源的遗传多样性研究尚未见报道，因此，本研究通过对高粱种质资源描述型性状和数值型性状的规范化调查，考察贵州地区不同高粱种质资源表型多样性和变异特点，以期为高粱的品种改良、选育及优异种质材料挖掘提供数据支撑。

1　材料与方法

1.1　试验材料

供试材料为 220 份贵州本地高粱种质资源（表 1），均由贵州省农业科学院旱粮研究所提供。于 2017–2018 年种植于贵州省农业科学院旱粮研究所试验基地，试验地属于亚热带湿润季风气候，土壤类型为黏土，土壤有机质含量 13.9g/kg，全氮 1.32g/kg，碱解氮 356.48mg/kg，速效磷 19.97mg/kg，速效钾 236.59mg/kg，pH 值为 7.2。采用随机区组试验设计，3 次重复，2 行区，行长 5m，行宽 60cm，

表 1　供试的 220 份贵州地区高粱种质资源

Table 1　The 220 sorghum germplasm resources used in Guizhou

序号 Number	名称 Name	地点 Region	县区 County	序号 Number	名称 Name	地点 Region	县区 County	序号 Number	名称 Name	地点 Region	县区 County	序号 Number	名称 Name	地点 Region	县区 County
1	92-Ⅰ-67	黔西南	盘县	40	92-Ⅳ-47	黔西南	望谟	79	92-Ⅳ-18	黔南	独山	118	93-Ⅰ-6	黔东南	榕江
2	92-Ⅱ-280	黔西南	盘县	41	92-Ⅴ-575	黔南	罗甸	80	92-Ⅳ-37	黔南	独山	119	93-Ⅰ-24	黔东南	榕江
3	92-Ⅱ-281	黔西南	盘县	42	92-Ⅴ-585	黔南	罗甸	81	92-Ⅳ-4	黔南	独山	120	93-Ⅰ-9	黔东南	榕江
4	92-Ⅱ-282	黔西南	盘县	43	92-Ⅳ-165	黔南	罗甸	82	92-Ⅳ-5	黔南	独山	121	93-Ⅰ-7	黔东南	榕江
5	92-Ⅱ-453	黔西南	盘县	44	92-Ⅴ-657	黔南	罗甸	83	92-Ⅳ-105	黔南	独山	122	93-Ⅰ-8	黔东南	榕江
6	92-Ⅱ-83	黔西南	盘县	45	92-Ⅳ-39	黔南	罗甸	84	92-Ⅳ-7	黔南	荔波	123	93-Ⅱ-4	黔东南	黎平
7	92-Ⅱ-427	黔西南	盘县	46	92-Ⅴ-12	黔南	罗甸	85	92-Ⅳ-43	黔南	荔波	124	93-Ⅰ-4	黔东南	黎平
8	92-Ⅰ-214	黔西南	盘县	47	92-Ⅴ-678	黔南	罗甸	86	93-Ⅳ-8	黔南	荔波	125	93-Ⅰ-4-1	黔东南	黎平
9	92-Ⅱ-476	黔西南	盘县	48	92-Ⅴ-683	黔南	罗甸	87	93-Ⅳ-41	黔南	荔波	126	93-Ⅰ-3	黔东南	黎平
10	92-Ⅱ-483	黔西南	盘县	49	92-Ⅵ-38	黔南	罗甸	88	93-Ⅳ-9	黔南	荔波	127	93-Ⅱ-5	黔东南	黎平
11	92-Ⅱ-37	黔西南	安龙	50	92-Ⅴ-751	黔南	罗甸	89	92-Ⅳ-40	黔南	荔波	128	93-Ⅱ-7	黔东南	黎平
12	92-Ⅰ-149	黔西南	安龙	51	92-Ⅳ-22	黔南	罗甸	90	93-Ⅳ-38(甜)	黔南	三都	129	93-Ⅱ-7-1	黔东南	黎平
13	92-Ⅱ-398	黔西南	安龙	52	92-Ⅳ-189	黔南	罗甸	91	93-Ⅴ-10	黔南	三都	130	93-Ⅰ-2	黔东南	黎平
14	92-Ⅱ-233	黔西南	安龙	53	92-Ⅵ-60	黔南	罗甸	92	93-Ⅴ-5	黔南	三都	131	93-Ⅰ-23	黔东南	黎平
15	92-Ⅱ-260	黔西南	兴义	54	92-Ⅴ-574	黔南	罗甸	93	93-Ⅴ-7	黔南	三都	132	93-Ⅳ-27	黔东南	锦屏
16	92-Ⅳ-17	黔西南	册亨	55	92-Ⅵ-222	黔南	罗甸	94	93-Ⅳ-39	黔南	三都	133	93-Ⅳ-46	黔东南	锦屏
17	92-Ⅴ-194	黔西南	册亨	56	92-Ⅴ-820	黔南	罗甸	95	93-Ⅴ-9	黔南	三都	134	93-Ⅳ-47	黔东南	锦屏
18	92-Ⅳ-117	黔西南	册亨	57	92-Ⅴ-11	黔南	罗甸	96	93-Ⅳ-21	黔南	三都	135	93-Ⅳ-31	黔东南	锦屏
19	92-Ⅷ-277	黔西南	册亨	58	92-Ⅴ-757	黔南	罗甸	97	93-Ⅱ-23	黔东南	雷山	136	93-Ⅳ-29	黔东南	锦屏
20	92-Ⅴ-193	黔西南	册亨	59	92-Ⅴ-113	黔南	罗甸	98	93-Ⅰ-14	黔东南	雷山	137	93-Ⅳ-30	黔东南	锦屏
21	92-Ⅴ-255	黔西南	册亨	60	92-Ⅴ-638	黔南	罗甸	99	93-Ⅱ-2	黔东南	雷山	138	93-Ⅳ-32	黔东南	锦屏
22	92-Ⅴ-1	黔西南	贞丰	61	92-Ⅳ-188	黔南	罗甸	100	93-Ⅱ-17	黔东南	雷山	139	93-Ⅳ-44	黔东南	锦屏
23	92-Ⅰ-14	黔西南	贞丰	62	92-Ⅳ-48	黔南	平塘	101	93-Ⅱ-19	黔东南	雷山	140	92-Ⅴ-480	黔西	紫云
24	92-Ⅰ-83	黔西南	贞丰	63	92-Ⅳ-55	黔南	平塘	102	93-Ⅰ-18(甜)	黔东南	雷山	141	92-Ⅴ-103	黔西	紫云
25	92-Ⅱ-182	黔西南	贞丰	64	92-Ⅳ-54	黔南	平塘	103	93-Ⅰ-15	黔东南	雷山	142	92-Ⅴ-56	黔西	紫云
26	92-Ⅱ-304	黔西南	贞丰	65	92-Ⅳ-50	黔南	平塘	104	93-Ⅰ-17	黔东南	雷山	143	92-Ⅴ-490	黔西	紫云
27	92-Ⅰ-7	黔西南	贞丰	66	92-Ⅳ-50-1	黔南	平塘	105	93-Ⅱ-20	黔东南	雷山	144	92-Ⅴ-487	黔西	紫云
28	92-Ⅰ-90	黔西南	贞丰	67	92-Ⅳ-57	黔南	平塘	106	93-Ⅰ-22	黔东南	从江	145	92-Ⅴ-506	黔西	紫云
29	92-Ⅱ-134	黔西南	贞丰	68	92-Ⅳ-56	黔南	平塘	107	93-Ⅱ-28	黔东南	从江	146	92-Ⅵ-183	黔西	紫云
30	92-Ⅱ-162	黔西南	贞丰	69	92-Ⅳ-49	黔南	平塘	108	93-Ⅱ-3	黔东南	从江	147	92-Ⅴ-603	黔西	紫云
31	92-Ⅴ-365	黔西南	望谟	70	92-Ⅳ-3	黔南	平塘	109	93-Ⅰ-21	黔东南	从江	148	92-Ⅴ-556	黔西	紫云
32	92-Ⅵ-89	黔西南	望谟	71	92-Ⅳ-36	黔南	独山	110	93-Ⅱ-12	黔东南	剑河	149	92-Ⅴ-555	黔西	紫云
33	92-Ⅵ-148	黔西南	望谟	72	92-Ⅳ-16	黔南	独山	111	93-Ⅱ-13	黔东南	剑河	150	92-Ⅳ-116	黔西	紫云
34	92-Ⅴ-463	黔西南	望谟	73	92-Ⅳ-14	黔南	独山	112	93-Ⅱ-15	黔东南	剑河	151	92-Ⅴ-57	黔西	紫云
35	92-Ⅴ-114	黔西南	望谟	74	92-Ⅴ-4	黔南	独山	113	93-Ⅱ-15-1	黔东南	剑河	152	92-Ⅳ-121	黔西	紫云
36	92-Ⅵ-143	黔西南	望谟	75	92-Ⅴ-3	黔南	独山	114	93-Ⅱ-16	黔东南	剑河	153	92-Ⅵ-171	黔西	紫云
37	92-Ⅴ-124	黔西南	望谟	76	92-Ⅳ-10	黔南	独山	115	93-Ⅱ-10	黔东南	剑河	154	92-Ⅴ-515	黔西	紫云
38	92-Ⅴ-412	黔西南	望谟	77	92-Ⅳ-13	黔南	独山	116	93-Ⅰ-10	黔东南	剑河	155	97-16	黔西	紫云
39	92-Ⅴ-400	黔西南	望谟	78	92-Ⅳ-17	黔南	独山	117	93-Ⅱ-1	黔东南	剑河	156	97-17	黔西	紫云

续表 1 Table 1 (continued)

序号 Number	名称 Name	地点 Region	县区 County	序号 Number	名称 Name	地点 Region	县区 County	序号 Number	名称 Name	地点 Region	县区 County	序号 Number	名称 Name	地点 Region	县区 County
157	97-19	黔西	紫云	173	97-45	黔西	平坝	189	97-69	黔中	开阳	205	RH16.1	黔北	仁怀
158	97-23	黔西	关岭	174	97-47	黔西	平坝	190	97-72	黔中	开阳	206	RH17.1	黔北	仁怀
159	97-24	黔西	关岭	175	97-49	黔西	平坝	191	97-76	黔中	开阳	207	RH19.2	黔北	仁怀
160	97-26	黔西	关岭	176	97-53	黔中	修文	192	97-77	黔中	开阳	208	RH22.1	黔北	仁怀
161	97-29	黔西	镇宁	177	97-55	黔中	修文	193	97-78	黔中	开阳	209	RH22.2	黔北	仁怀
162	97-5	黔西	镇宁	178	97-56	黔中	修文	194	97-79	黔中	开阳	210	RH23.2	黔北	仁怀
163	97-28	黔西	镇宁	179	97-57	黔中	修文	195	97-80	黔中	开阳	211	RH24.1	黔北	仁怀
164	97-31	黔西	镇宁	180	97-58	黔中	修文	196	RH5.2	黔北	仁怀	212	RH25.1	黔北	仁怀
165	97-32	黔西	镇宁	181	97-60	黔中	开阳	197	RH7.2	黔北	仁怀	213	RH26.1	黔北	仁怀
166	97-35	黔西	普定	182	97-61	黔中	开阳	198	RH9.4	黔北	仁怀	214	RH28.1	黔北	仁怀
167	97-37	黔西	普定	183	97-62	黔中	开阳	199	RH10.2	黔北	仁怀	215	RH28.2	黔北	仁怀
168	97-38	黔西	普定	184	97-63	黔中	开阳	200	RH12	黔北	仁怀	216	RH29.1	黔北	仁怀
169	97-39	黔西	平坝	185	97-64	黔中	开阳	201	RH12.2	黔北	仁怀	217	RH32.2	黔北	仁怀
170	97-40	黔西	平坝	186	97-66	黔中	开阳	202	RH13.1	黔北	仁怀	218	RH34.1	黔北	仁怀
171	97-41	黔西	平坝	187	97-67	黔中	开阳	203	RH14.1	黔北	仁怀	219	RH 黔红糯	黔北	仁怀
172	97-43	黔西	平坝	188	97-68	黔中	开阳	204	RH15.1	黔北	仁怀	220	RH 黑壳糯	黔北	仁怀

小区面积 6m^2。栽培管理同大田生产。试验材料的描述型性状于田间进行观测记录，数值型性状每份资源调查 10 株，取 2 年数据的平均值进行计算。

1.2 试验方法

从高粱出苗—成熟整个生育期进行主要表型数据调查和观测，表型性状调查主要包括生育期、有效分蘖数、节间数、株高、茎粗、穗长、主穗柄长、穗粒重和千粒重 9 个数值型性状指标以及穗型、穗柄状态、穗形、籽粒包被度、壳色和粒色 6 个形态描述型性状指标。形态描述型性状指标按照标准要求进行分级赋值，数值型性状指标则无需赋值，对实际测得的数值直接进行统计计算。所有表型数据采集和分级标准见表 2。

表 2 高粱种质资源 6 个形态性状描述标准

Table 2 Description standard on six agronomic characteristics of sorghum germplasm resources

性状 Characteristic	描述标准 Description standard
穗型 Panicle type	1. 侧散；2. 周散；3. 中紧
穗柄状态 Panicle stem status	1. 弯；2. 直
穗形 Panicle shape	1. 伞；2. 帚；3. 棒
籽粒包被度 Grain peridium degree	1. 全包被；2. 包被 1/2；3. 包被 2/3；4. 包被 3/4；5. 包被 4/5；6. 全裸
壳色 Shell color	1. 白；2. 黄；3. 灰；4. 红；5. 褐；6. 紫；7. 黑
粒色 Grain color	1. 白；2. 浅黄；3. 黄；4. 黄褐；5. 褐黄；6. 红褐；7. 褐红；8. 褐

1.3 数据统计分析

根据形态描述型性状的遗传多样性的分级和赋值，采用 Shannon′s 信息指数（H'）进行描述和评价，计算公式为：$H'=-\Sigma P_i \times \ln P_i$，其中，$P_i$ 表示第 i 种变异类型出现的频率，用所有相应性状 H' 的平均值表示一组或所有种质的遗传多样性程度 [13]。采用 SPSS 19.0 进行主成分和聚类分析，采用 Excel 2010 处理各性状数据。

2 结果与分析

2.1 贵州省高粱种质资源农艺性状多样性

贵州省 220 份高粱种质资源数值型农艺性状多样性见表 3。220 份种质平均生育期为 124.5d，极大值与极小值之间相差 57.0d，有效分蘖数平均为 1.9 个，节间数为 11.3 个，株高和茎粗分别为 351.9cm 和 14.2mm。穗部性状主要有穗长、主穗柄长、穗粒重和千粒重，平均分别为 37.5cm、62.9cm、39.3g 和 19.3g。其中变异系数最大的为穗粒重，为 37.46%，其次为有效分蘖数。各性状的多样性指数为 1.87~2.07，多样性丰富，其中以有效分蘖数多样性指数最高，为 2.07，多样性指数排序为有效分蘖数＞节间数＞千粒重＞穗长＞生育期＝茎粗＝穗粒重＞主穗柄长＞株高。

贵州省 220 份高粱种质描述型性状多样性见表 4。供试的 220 份高粱种质中，穗部性状主要有穗型、穗柄状态和穗形，其中穗型主要以散穗为主，穗柄状态主要以弯为主，穗形主要以伞形为主。籽粒相关性状有包被度、壳色和粒色，籽粒包被度以包被 1/2 频率最高，为 46.8%，全裸和全包被占比很小。壳色主要以红色为主，粒色主要以黄色和褐色为主。6 个描述型性状的遗传多样性指数为 0.185~0.796，大小顺序为壳色＞包被度＞粒色＞穗形＞穗型＞穗柄状态，以壳色多样性指数最高。

表 3　高粱种质数值型性状变异及多样性指数

Table 3　Variations and diversity indexes of numerical characteristics in sorghum germplasms

数值型性状 Numerical characteristic	极大值 Maximum	极小值 Minimum	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation (%)	多样性指数 *H*′
生育期 Growth period (d)	152.0	95.0	124.5	10.4	8.36	2.01
有效分蘖数 Valid tillers	4.5	0.4	1.9	0.6	34.27	2.07
节间数 Internode number	15.7	7.1	11.3	1.6	13.98	2.06
株高 Plant height (cm)	459.0	142.0	351.9	51.8	14.73	1.87
茎粗 Stem diameter (mm)	20.5	10.5	14.2	1.6	10.97	2.01
穗长 Panicle length (cm)	57.7	19.2	37.5	4.1	11.03	2.02
主穗柄长 Panicle stem length (cm)	111.7	41.4	62.9	10.0	15.97	1.90
穗粒重 Grain weight per panicle (g)	88.0	10.5	39.3	14.7	37.46	2.01
千粒重 1000-grain weight (g)	26.0	11.5	19.3	2.9	15.21	2.05

表 4　高粱种质描述型性状表现及多样性指数

Table 4　Diversity indexes and frequency distributions of descriptive characteristics in sorghum germplasms

描述型性状 Descriptive characteristic	频率 Frequency (%)								多样性指数 *H*′
	1	2	3	4	5	6	7	8	
穗型 Panicle type	侧散	周散	中紧	–	–	–	–	–	0.185
	0.959	0.036	0.005	–	–	–	–	–	
穗柄状态	弯	直	–	–	–	–	–	–	0.171
Panicle stem status	0.959	0.041	–	–	–	–	–	–	
穗形 Panicle shape	伞	帚	棒	–	–	–	–	–	0.200
	0.955	0.041	0.005	–	–	–	–	–	
籽粒包被度	全包	1/2 包被	2/3 包被	3/4 包被	4/5 包被	全裸	–	–	0.690
Grain peridium degree	0.027	0.468	0.105	0.182	0.200	0.018	–	–	
壳色 Shell color	白	黄	灰	红	褐	紫	黑	–	0.796
	0.082	0.109	0.000	0.491	0.077	0.055	0.186	–	
粒色 Grain color	白	浅黄	黄	黄褐	褐黄	红褐	褐红	褐	0.525
	0.018	0.023	0.336	0.145	0.227	0.014	0.005	0.232	

2.2　贵州省不同地区高粱种质资源农艺性状多样性比较

贵州各地区高粱种质农艺性状差异见表 5。从变异幅度来看，各地区高粱的有效分蘖数、壳色和粒色均存在较大变异，分别大于 30.00%、34.00% 和 31.00%。黔南、黔西南、黔东南和黔西地区高粱种质的籽粒包被度也存在较大变异，分别为 41.13%、38.52、47.21% 和 37.06%。从多样性指数

表 5　贵州不同地区高粱种质农艺性状差异

Table 5　Changes of agronomic characters of sorghum germplasm in different areas of Guizhou province

农艺性状 Agronomic characters	黔中		黔西南		黔南		黔东南		黔北		黔西	
	CV (%)	*H*′	CV (%)	*H*′	CV (%)	*H*′	CV (%)	*H*′	CV (%)	*H*′	CV (%)	*H*′
生育期 Growth period	3.16	1.57	11.08	1.50	6.70	1.99	8.14	1.78	5.99	1.74	7.83	1.91
有效分蘖数 Valid tillers	39.31	1.67	35.44	2.05	31.94	1.90	34.68	2.00	30.01	1.85	32.71	1.89
节间数 Internode number	7.64	1.73	14.58	1.95	13.78	2.06	15.60	1.99	6.68	1.69	13.77	1.94
株高 Plant height	7.98	1.59	11.67	1.92	12.69	1.88	21.79	1.89	7.45	1.58	13.72	1.74
茎粗 Stem diameter	8.18	1.92	12.14	1.98	9.67	1.88	13.02	1.86	6.47	1.83	10.33	1.96
穗长 Panicle length	7.00	1.89	6.58	2.00	12.56	1.96	13.60	1.94	8.25	1.95	10.32	1.76
主穗柄长 Panicle stem length	4.05	1.73	13.54	1.99	16.82	1.60	20.75	1.84	8.34	2.09	12.44	1.82
穗粒重 Grain weight per panicle	34.26	1.83	24.68	1.98	32.44	2.03	34.73	1.99	18.24	1.92	34.20	1.76
千粒重 1000-grain weight	14.25	1.82	14.58	1.97	16.88	1.97	15.72	1.99	9.36	1.87	15.14	1.93
穗型 Panicle type	0.00	0.00	15.43	0.12	0.00	0.00	37.20	0.47	19.23	0.17	16.22	0.13
穗柄状态 Panicle stem status	21.30	0.20	0.00	0.00	24.25	0.26	35.02	0.36	0.00	0.00	16.22	0.13
穗形 Panicle shape	0.00	0.00	15.43	0.12	0.00	0.00	30.77	0.40	19.23	0.17	16.22	0.13
籽粒包被度 Grain peridium degree	36.03	1.24	38.52	1.36	41.13	1.35	47.21	1.62	0.00	0.00	37.06	1.30
壳色 Shell color	50.38	1.07	39.09	1.52	40.40	1.53	44.14	1.23	34.02	0.50	35.00	1.32
粒色 Grain color	31.35	1.19	37.97	1.28	40.88	1.43	56.08	1.43	35.65	1.63	40.15	1.45

来看，黔中和黔西地区高粱种质以茎粗多样性指数最高，分别为 1.92 和 1.96。黔南地区以节间数和穗粒重多样性最丰富，多样性指数分别为 2.06 和 2.03。黔西南和黔东南地区高粱种质有效分蘖数的多样性指数最高，分别为 2.05 和 2.00。此外，黔西南地区高粱种质的穗长和主穗柄长，黔东南地区穗粒重和千粒重多样性也比较丰富。黔北地区高粱种质的穗长和主穗柄长多样性指数最高，分别为 1.95 和 2.09。

2.3 贵州省高粱种质资源数值型性状的相关性分析

220 份贵州高粱种质的 9 个数值型性状的相关性分析结果（表 6）显示，部分农艺性状之间存在显著的关联性。生育期与节间数、株高、茎粗均呈极显著正相关；节间数与株高、茎粗均呈极显著正相关，与主穗柄长、千粒重均呈极显著负相关；株高与茎粗、主穗柄长均呈极显著正相关；茎粗与主穗柄长呈极显著负相关，与穗粒重呈极显著正相关；穗长与主穗柄长呈极显著正相关；主穗柄长与千粒重呈显著正相关；穗粒重与千粒重呈极显著正相关。

表 6 高粱种质数值型性状的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of numerical characteristics in sorghum germplasms

性状 Characteristic	生育期 Growth period	有效分蘖数 Valid tillers	节间数 Internode number	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	穗长 Panicle length	主穗柄长 Panicle stem length	穗粒重 Grain weight per panicle	千粒重 1000-grain weight
生育期 Growth period	1.000								
有效分蘖数 Valid tillers	0.011	1.000							
节间数 Internode number	0.493**	0.035	1.000						
株高 Plant height	0.199**	0.091	0.409**	1.000					
茎粗 Stem diameter	0.305**	0.012	0.579**	0.228**	1.000				
穗长 Panicle length	0.000	0.070	−0.098	0.124	−0.004	1.000			
主穗柄长 Panicle stem length	0.039	0.036	−0.346**	0.187**	−0.211**	0.386**	1.000		
穗粒重 Grain weight per panicle	−0.131	0.053	−0.007	0.127	0.187**	−0.079	0.002	1.000	
千粒重 1000-grain weight	−0.084	0.033	−0.192**	0.122	−0.067	0.048	0.140*	0.342**	1.000

注：** 表示在 0.01 水平极显著相关；* 表示在 0.05 水平显著相关

Note: ** indicates extermely significant differencre at 0.01 level, * indicates significant differencre at 0.05 level

2.4 贵州省高粱种质资源聚类分析

在欧氏距离为 8.0 处，可将 220 份种质分为 3 个类群（图 1 和表 7）。第Ⅰ类群包含 211 份种质，主要表现为穗侧散、穗伞形或帚形、穗柄弯、生育期短、分蘖力强、穗长和穗粒重小等特点，可作为中早熟侧散型高粱育种的基础材料；第Ⅱ类群包含 8 份种质，主要表现为穗周散、帚形，穗柄直，生育期、分蘖力、节间数、穗长和穗粒重居中等特点；第Ⅲ类群仅含 1 份种质，主要表现为穗中紧、穗棒形、穗柄直、生育期长、分蘖力弱、节间数多、植株高大粗壮、主穗短、穗柄长和穗粒重大等特点。整体来看，贵州地区高粱种质资源株高普遍偏高，均在 3m 以上，都属于高秆型种质，应引入矮秆资源加以改良。3 个类群高粱的千粒重均为 20g 左右，均属于小粒型高粱，可用于酒用小粒糯高粱的资源改良。

3 讨论

遗传多样性反映物种对多变环境的适应性，是生命进化的结果 [6]。丰富、高产、优质、抗逆基因源是品种改良和新品种选育的基础 [14-15]。通过种质资源遗传多样性的研究，可以从整体上把握该种质的可利用信息。表型性状是植物生长最直观的表现，是检验遗传变异最简单的方法 [6,16]。由于通常所记载的植物表型一般来自基因的表型，因此表型差异在很大程度上能够反映出种质间的本质差异 [17]。前人对高粱的遗传多样性已经做了大量的研究，认为高粱种质资源遗传变异丰富 [6,8-10]。本研究通过对贵州地区 220 份高粱资源的表型多样性分析，发现贵州地区高粱资源平均多样性指数为 1.37，其中数值型性状多样性指数较高，平均为 2.00，描述型性状多样性指数较低，平均为 0.428，可能与该地区高粱多以侧散、伞形、红壳居多有关。分区域来看，黔东南地区变异系数和多样性指数最高，分别为 28.56% 和 1.52，可能与黔东南各区县海拔不同以及小气候更多变有关。

本研究利用聚类分析将参试的 220 份高粱种质划分为 3 个类群，不同地区的高粱资源表型变异较大，同一地区并没有完全聚在一起，说明地域不一定能将资源进行完整划分，这与 Ayana 等 [8] 的研究结果一致。前人对贵州酒用糯高粱的遗传多样性

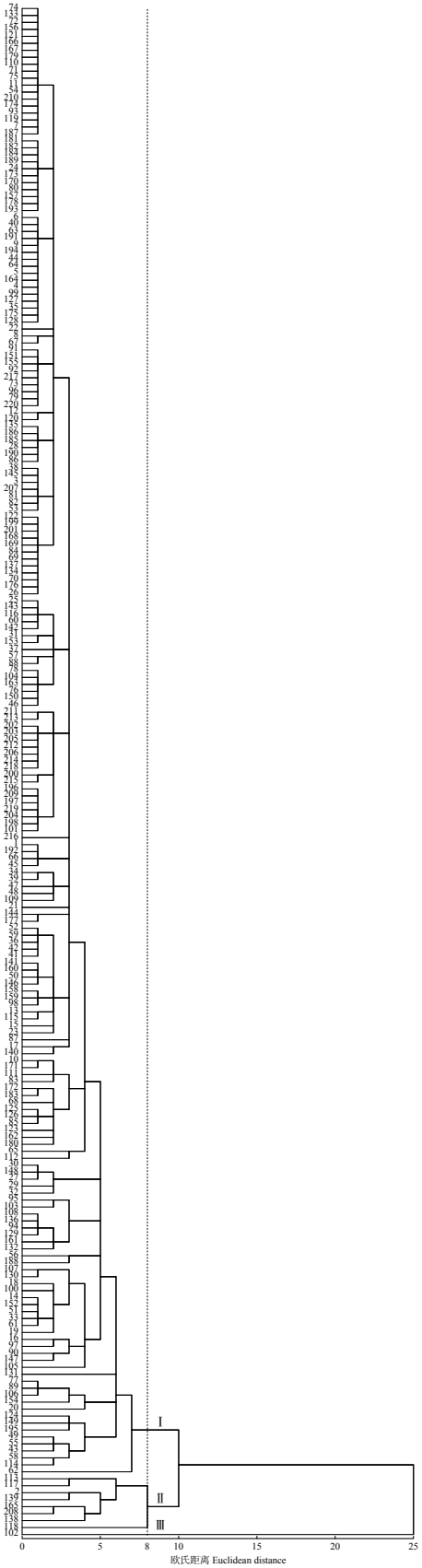


图 1　220 份高粱种质资源的表型聚类分析

Fig.1　The clustering figure of 220 sorghum germplasms based on phenotypic characters

表 7　3 个类群 9 个数值型性状的平均值

Table 7　The mean values of nine numerical characteristics in three groups

性状 Characteristic	类群 Group		
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
生育期 Growth period (d)	124.4	127.9	148.0
有效分蘖数 Valid tillers	1.9	1.8	1.5
节间数 Internode number	11.3	11.6	15.7
株高 Plant height (cm)	353.4	313.1	346.0
茎粗 Stem diameter (mm)	14.2	16.5	18.3
穗长 Panicle length (cm)	37.5	36.0	28.8
主穗柄长 Panicle stem length (cm)	62.6	61.7	64.5
穗粒重 Grain weight per panicle (g)	39.2	46.4	68.0
千粒重 1000-grain weight (g)	19.3	18.3	21.0

研究表明，贵州省白酒用糯高粱具有较高的遗传相似性，利用 UPGMA 聚类不能将此类资源清晰地划分 [2,18]。而本研究划分了 3 个类群，其中第Ⅰ类群包含了绝大多数高粱种质，共 211 份材料，也说明贵州地区高粱多样性丰度较低。贵州地区高粱种质株高绝大多数在 3m 以上，茎秆细弱。前人的研究表明株高与倒伏率呈显著正相关 [19]，因此对贵州地区的高粱材料加以利用的首要前提是降低株高。贵州地区高粱主要用于酿酒，小粒糯质的本地糯高粱是酿酒的优质原料。本研究显示，贵州地区高粱千粒重在 20g 左右。

研究生物遗传多样性的方法经历了形态标记、细胞学标记、生化标记以及 DNA 分子标记 [20]。形态标记简单直观，但是也存在很多缺陷，如多态性差、标记少和易受环境影响等，很难准确有效地对种质资源进行区分，尤其是资源相似性较高的情况下，就更加难以辨别 [21]。随着生物技术的发展，高粱种质资源的遗传多样性研究应逐渐将性状与标记相结合，以便更好地为品种选育和资源保存提供有用信息。

4　结论

综上所述，贵州地区糯高粱种质资源多以侧散、伞形、红壳居多，遗传多样性指数偏低。从不同地区来看，黔东南地区变异系数和多样性指数最高，可能是由于区县间的海拔与小气候不同所致。贵州地区的高粱种质资源利用的首要前提是降低株高，充分发挥其小粒糯质的优势，结合生物技术手段，服务于贵州高粱产业的健康发展。

参考文献

[1]王瑞，王金胜，张福耀，等. 1970s–2000s中国高粱杂交种亲本遗传距离演变的SSR分析. 中国农业科学，2015，48(3)：415-425.

[2]肖松,周棱波,张国兵,等. 酱香型白酒用糯高粱种质遗传多样性分析. 江苏农业科学,2016,44(4):45-49.
[3]陆水怡,李南珠,邹剑秋,等. 甜高粱的生物学特征、研究现状与开发应用前景. 江苏农业科学,2009(3):11-13.
[4]刘贵锋,董良利,宋旭东,等. 山西省高粱栽培技术研究的回顾与展望. 山西农业科学,2009,37(8):17-20,26.
[5]赵香娜,李桂英,刘洋,等. 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.
[6]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.
[7]何继红,董孔军,刘敏轩,等. 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.
[8]Ayana A,Bekele E. Multivariate analysis of morphological variation in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) germplasm from Ethiopia and Eritrea. Genetic Resources and Crop Evolution,1999,46(3):273-284.
[9]Appa Rao S,Prasada Rao K E,Mengesha M H,et al. Morphological diversity in sorghum germplasm from India. Genetic Resources and Crop Evolution,1996,43(6):559-567.
[10]Djè Y,Heuertz M,Lefèbvre C,et al. Assessment of genetic diversity within and among germplasm accessions in cultivated sorghum using microsatellite markers. Theoretical and Applied Genetics,2000,100(6):918-925.
[11]Li R Y,Zhang H,Zhou X C,et al. Genetic diversity in Chinese sorghum landraces revealed by chloroplast simple sequence repeats. Genetic Resources and Crop Evolution,2010,57(1):1-15.
[12]Zhang H,Wang J C,Wang D J,et al. Assessment of genetic diversity in Chinese sorghum landraces using SSR markers as compared with foreign accessions. Acta Agronomica Sinica,2011,37(184):224-234.
[13]Shannon C E,Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana:University of Illinois Press,1949:3-14.
[14]李祥栋,潘虹,陆秀娟,等. 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.
[15]冯章丽,于文全,顾广军,等. 东北部分地区山荆子种质资源表型多样性及聚类分析. 植物遗传资源学报,2016,17(6):984-992.
[16]兴旺,崔平,潘荣,等. 不同国家甜菜种质资源遗传多样性研究. 植物遗传资源学报,2018,19(1):76-86
[17]黄萍,马朝宏,颜谦,等. 引进甘薯资源形态标记的聚类分析. 西南农业学报,2010,23(6):1809-1812.
[18]高旭,周棱波,张国兵,等. 基于SSR标记的粒用高粱资源遗传多样性及群体结构. 贵州农业科学,2016,44(9):13-19
[19]高杰,李青风,李晓荣,等.贵州省不同年代糯高粱品种(系)农艺性状演变分析. 作物杂志,2019(4):17-23.
[20]王洋,张明生,李祥栋,等. 不同高粱种质资源形态多样性及其形态标记聚类分析. 贵州农业科学,2014,42(6):1-5.
[21]罗文彬,蔡南通,邱永祥,等. 甘薯种质资源遗传多样性的ISSR分析. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(10):110-114.

Phenotypic Diversity and Clustering Analysis of Sorghum Germplasm Resources in Different Regions of Guizhou Province

Gao Jie[1], Feng Guangcai[2], Li Xiaorong[3], Li Qingfeng[1], Peng Qiu[1]

([1]Guizhou Institute of Upland Crops, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, Guizhou, China;
[2]Poverty Alleviation and Development Office of Qiandongnan Prefecture, Kaili 556000, Guizhou, China;
[3]Chuxiong Autonomous Prefecture Academy of Agricultural Sciences, Chuxiong 675000, Yunnan, China)

Abstract A panel of 220 sorghum germplasms were taken from Guizhou Province for disversity analysis and clustering of these germplasms. The results showed that frequency distributions of biological traits such as grain covering, shell color, grain color were dispersed; panicle shape, panicle stem status, panicle type distributed more convergent, most varieties were lateral dispersion (umbrella) type. The whole growth period, effective tillers, internode number, plant height, stem diameter, panicle length, panicle stem length, grain weight per panicle and 1000-grain weight had greater coefficients of variability, ranging from 8.36% to 37.46%. All agronomic traits tested, showed significant diversity indexes, with an average of 2.00. The variation coefficient and diversity index were the highest in southeast Guizhou Province, which were 28.56% and 1.52, respectively. Correlation analysis showed that there were significant correlation among some numerical characteristics. According to the cluster analysis, 220 sorghum germplasm resources in Guizhou were divided into three groups. The group Ⅰ contained 211 germplasm resources, which showed lateral dispersion (umbrella shape) panicles, short growth period, strong tillering ability, small panicle length and panicle grain weight, could be used as the basic materials for sorghum early mature breeding. The group Ⅱ contained eight germplasm resources, which were mainly characterized by periphery dispersion (umbrella shape) panicles, straight panicle stem, could be used as parent materials for broom sorghum. The group Ⅲ contained only one germplasm resource, which was mainly characterized by rod-shaped tight panicle, long growth period, weak tillering ability, large internode number, tall and strong plants, short panicle, long panicle stem, large panicle grain weight that could play an essential role in sorghum germplasm innovation.

Key words Sorghum; Phenotypic trait; Genetic diversity; Principal component analysis; Cluster analysis