

高粱地方种质资源表型多样性分析及综合评价

牛雪婧¹, 王新栋¹, 王金萍², 孙娟¹, 郟彦敏¹, 王丽娜¹, 耿立格¹

(¹河北省农林科学院粮油作物研究所/河北省作物遗传育种重点实验室, 石家庄 050035; ²河北省农林科学院谷子研究所, 石家庄 050035)

摘要:以“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”为依托,采用遗传多样性分析、相关性分析、聚类分析、主成分分析等方法,对2020-2021年在河北省内普查收集的136份高粱种质资源进行研究及综合评价。结果表明:河北省高粱地方种质资源具有丰富的表型变异,15个表型性状的多样性指数在0.0844~1.9926之间,变异系数在4.69%~68.00%之间,千粒重的遗传多样性最高,穗形的变异系数最大;株高与穗部性状之间存在极显著正相关关系;聚类分析将136份高粱种质资源分为3个类群,3个类群无明显地域聚类特点。第I类群在穗部性状方面表现最好,可进行工艺用高粱资源选育;第II类群株高较低,可筛选矮秆高粱资源进行种质创新;第III类群在产量性状方面表现最好,可作为粒用高粱育种材料加以利用。主成分分析将表型性状简化为5个主成分,累计贡献率为60.182%,株高、穗部与籽粒性状是高粱表型变异的主要因素;136份高粱的综合得分范围在0.107~1.147之间,以综合得分排序,筛选出肃宁高粱、长穗高粱、笄帚高粱、落黍等排名前10的综合性状表现较好的种质资源。本研究从多方面、多角度对新征集的河北省高粱种质资源进行了分析及评价,以期为高粱优异种质资源的挖掘及种质创新利用提供参考依据。

关键词:高粱;种质资源;遗传多样性分析;综合评价;普查收集

Genetic Diversity and Comprehensive Evaluation of Sorghum Germplasm Based on Phenotypic Traits

NIU Xuejing¹, WANG Xindong¹, WANG Jinping², SUN Juan¹, QIE Yanmin¹, WANG Lina¹, GENG Lige¹

(¹Institute of Cereal and Oil Crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences/Hebei Key Laboratory of Crop Genetics and Breeding, Shijiazhuang 050035; ²Institute of Millet Crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050035)

Abstract: Based on "The Third National Campaign of Crop Germplasm Census and Collection", genetic diversity analysis, correlation analysis, cluster analysis and principal component analysis were used to study and evaluate 136 sorghum germplasm resources collected from 2020 to 2021 in Hebei province. The results showed that there were abundant phenotypic variations in the collection. The diversity index of 15 phenotypic traits ranged from 0.0844 to 1.9926, and the coefficient of variation ranged from 4.69% to 68.00%. The genetic diversity of 1000-grain weight and the coefficient of variation of panicle shape were the highest. A significant positive correlation between plant height and panicle traits was detected. These germplasms were divided into three groups by cluster analysis, while three clusters didn't correlate with the geographic collection sites. Cluster I showed the best performance in panicle traits and could be used in breeding for technical purposes. The plant height of cluster II was low, which can be used as dwarf resources in germplasm innovation. Cluster III showed the best yield traits which can be used in breeding for higher grain production. Principal component analysis

收稿日期: 2023-09-19 修回日期: 2023-10-11 网络出版日期: 2023-11-28

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20230919001>

第一作者研究方向为农作物种质资源收集整理和评价利用, E-mail: 13393118152@163.com

通信作者: 耿立格, 研究方向为农作物种质资源收集保存、鉴定评价和共享利用, E-mail: genglige@126.com

基金项目:第三次全国农作物种质资源普查与收集行动; 河北省农林科学院科技创新专项(2022KJCXZX-LYS-15); 国家科技资源共享服务平台项目(NCGRC-2023-023)

Foundation projects: The Third National Campaign of Crop Germplasm Census and Collection; Science and Technology Innovation Project of Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences (2022KJCXZX-LYS-15); National Science and Technology Resource Sharing Service Platform Project(NCGRC-2023-023)

simplified phenotypic trait factors into 5 principal components, with the cumulative contribution rate of 60.182%. The plant height, the panicle and grain traits were the main factors contributing to the phenotypic differences. Based on the comprehensive scores of 136 sorghum germplasm resources that ranged from 0.107 to 1.147, the top 10 elite germplasm resources such as Suning sorghum, Changsui sorghum, Tiaozhou sorghum and Luoshu were selected. Collectively, based on the evaluation of these newly collected sorghum germplasm resources in Hebei province, this study provided insights for the mining of elite sorghum germplasm and the innovative utilization of germplasm.

Key words: sorghum; germplasm resources; genetic diversity; comprehensive evaluation; survey and collection

种质资源也称遗传资源,是进行作物育种、品种改良最原始、最有价值的材料^[1],而表型性状鉴定因具有直观性且易于获取,在遗传多样性分析中具有独特优势,是认识作物种质资源和培育新品种的基石^[2]。高粱是世界第五大禾谷类作物,是C4植物的模式植物^[3],光合效率高,用途广泛,既可食用、饲用,也可用于酿酒、加工工艺品、生物能源^[4],适应能力强,分布范围广,在亚洲、非洲等地均有种植,广泛分布于全球100多个国家^[5-6]。

我国复杂的自然环境赋予了中国农作物种类及其野生资源的多样性,河北省是中国唯一兼有高原、山地、丘陵、平原、湖泊和海滨的省份,不同区域的高粱经过长期驯化、歧化、强化和农民多个世代的选择进化后^[7],形成了地域特色鲜明、表型丰富各异的高粱种质资源。通过表型性状多样性分析及综合评价,加强对本省的高粱种质资源多样性及其本底的系统认知,从而促进种质创新和培育优良品种,进一步解决高粱生产中存在的如缺乏优良株型^[8]、产量低、品种同化现象严重等问题^[9]。

此前已有多位学者从表型性状的角度开展了对高粱的鉴定评价工作,如Mofokeng等^[10]对来自南非的98份高粱种质资源的14个农艺性状进行了鉴定评价,鉴定出4份具有育种价值的资源,且对数量性状之间的相关关系进行了阐述;从20世纪80年代开始,中国对已注册登记的高粱品种资源的农艺性状、营养性状和抗性性状进行鉴定,从中筛选

出许多具有特异性状的品种资源^[11];周瑜等^[12]对国内外434份高粱进行遗传多样性分析,发现质量性状的遗传多样性指数较低,且数量性状的遗传多样性普遍高于质量性状;何继红等^[13]对甘肃省新征集的128份高粱进行多样性分析,发现质量性状中粒色遗传多样性最高,数量性状中穗粒重遗传多样性最丰富;王自力等^[14]对国内外152份高粱种质资源进行遗传多样性分析及综合评价,得出了与周瑜等^[12]相同的结论,且筛选出了10份综合评价较高的高粱种质资源。

本研究以“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”为依托,对2020-2021年河北省普查收集的136份高粱地方种质资源进行表型性状的遗传多样性分析及综合评价,初步探索河北省高粱种质资源表型变异特点,筛选综合评价较高、可用于遗传育种的种质资源,以期对高粱优异种质资源的挖掘及种质创新利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究所用的136份高粱种质资源,是在“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”过程中,河北省项目行动小组于2020-2021年在河北省内各县(市、区)普查征集和系统收集获得的,其中地方品种133份,育成品种3份,具体来源和信息见表1。

表1 136份高粱种质资源基本信息表

Table1 General information of 136 sorghum germplasm resources

序号 No.	样品编号 Sample ID	种质名称 Germplasm name	种质类型 Germplasm type	市 City	县 County
1	2021133041	大黑帽高粱	地方品种	保定市	安新县
2	P130632031	红高粱	地方品种	保定市	安新县
3	2021133034	高粱	地方品种	保定市	安新县
4	P130632030	老品种高粱	地方品种	保定市	安新县

表1(续)

序号 No.	样品编号 Sample ID	种质名称 Germplasm name	种质类型 Germplasm type	市 City	县 County
5	2021133083	大穗高粱	地方品种	保定市	安新县
6	P130637022	高粱	地方品种	保定市	博野县
7	P130637003	高粱	地方品种	保定市	博野县
8	P130921014	红壳高粱	地方品种	沧州市	沧县
9	P130921001	野高粱	地方品种	沧州市	沧县
10	P130921002	散穗高粱	地方品种	沧州市	沧县
11	2021132006	甜高粱	地方品种	秦皇岛市	昌黎县
12	2021132007	粘高粱	地方品种	秦皇岛市	昌黎县
13	2021132008	高粱(散穗)	地方品种	秦皇岛市	昌黎县
14	2021132009	高粱(高秆)	地方品种	秦皇岛市	昌黎县
15	2021132168	粘高粱	地方品种	秦皇岛市	昌黎县
16	2021138043	秆高粱	地方品种	邯郸市	大名县
17	2021138009	硬秆高粱	地方品种	邯郸市	大名县
18	2021138022	笨高粱	地方品种	邯郸市	大名县
19	2021138008	醇草	地方品种	邯郸市	大名县
20	2021132052	小笨高粱	地方品种	秦皇岛市	抚宁区
21	2021132127	高粱	地方品种	秦皇岛市	抚宁区
22	P130306023	高粱	地方品种	秦皇岛市	抚宁区
23	2021132099	粘高粱	地方品种	秦皇岛市	抚宁区
24	2021132051	多穗粘高粱	地方品种	秦皇岛市	抚宁区
25	P130306022	多穗粘高粱	地方品种	秦皇岛市	抚宁区
26	2021132050	散穗粘高粱	地方品种	秦皇岛市	抚宁区
27	2021132064	粘高粱	地方品种	秦皇岛市	抚宁区
28	P131128014	笱帚高粱	地方品种	衡水市	阜城县
29	2021133105	黄壳高粱	地方品种	保定市	阜平县
30	2021133106	紫壳高粱	地方品种	保定市	阜平县
31	2021133166	高粱(扫帚)	地方品种	保定市	阜平县
32	2021133177	笨高粱	地方品种	保定市	阜平县
33	2021133139	笨高粱	地方品种	保定市	阜平县
34	2021133178	粘高粱	地方品种	保定市	阜平县
35	2021133115	黑壳高粱	地方品种	保定市	阜平县
36	2021133170	笨高粱	地方品种	保定市	阜平县
37	2021133151	红高粱	地方品种	保定市	阜平县
38	2021133007	高粱	地方品种	保定市	阜平县
39	P131126008	长穗高粱	地方品种	衡水市	故城县
40	P130433002	笱帚高粱	地方品种	邯郸市	馆陶县
41	P130433001	高粱	地方品种	邯郸市	馆陶县
42	P130432017	炊帚高粱	地方品种	邯郸市	广平县
43	P130432018	红高粱	地方品种	邯郸市	广平县
44	P130432019	黑壳高粱	地方品种	邯郸市	广平县

表 1 (续)

序号 No.	样品编号 Sample ID	种质名称 Germplasm name	种质类型 Germplasm type	市 City	县 County
45	P130924003	红高粱	地方品种	沧州市	海兴县
46	P130924021	长葶绣高粱	地方品种	沧州市	海兴县
47	P130924004	白高粱	地方品种	沧州市	海兴县
48	P130984004	野生黑粒高粱	地方品种	沧州市	河间市
49	P130983002	黑壳白高粱	地方品种	沧州市	黄骅市
50	P130983003	红壳白	地方品种	沧州市	黄骅市
51	P131103011	小高粱	地方品种	衡水市	冀州区
52	P131103023	鬼打伞	地方品种	衡水市	冀州区
53	P131103010	大高粱	地方品种	衡水市	冀州区
54	P130529003	睁眼禾子	地方品种	邢台市	巨鹿县
55	P130827026	宽东青	地方品种	承德市	宽城满族自治县
56	P130827029	耷拉头粘高粱	地方品种	承德市	宽城满族自治县
57	P130827031	铁秆青	地方品种	承德市	宽城满族自治县
58	P130522019	支角野生高粱	地方品种	邢台市	临城县
59	P130824017	耷拉糜子	地方品种	承德市	滦平县
60	P130930014	长秆高粱	地方品种	沧州市	孟村县
61	P130930013	苗子高粱	地方品种	沧州市	孟村县
62	P130930002	黑壳红	地方品种	沧州市	孟村县
63	2021134100	高粱	地方品种	邢台市	南宫市
64	2021134061	野高粱	地方品种	邢台市	南宫市
65	2021134039	红高粱	地方品种	邢台市	南宫市
66	2021134040	白高粱	地方品种	邢台市	南宫市
67	2021134175	高粱	地方品种	邢台市	南宫市
68	2021134160	紫穗高粱	地方品种	邢台市	南宫市
69	2021134041	紫码高粱	地方品种	邢台市	南宫市
70	2021134104	鬼打散	地方品种	邢台市	南宫市
71	P130523017	白高粱	地方品种	邢台市	内丘县
72	P130523016	笱帚高粱	地方品种	邢台市	内丘县
73	P130528002	高粱	地方品种	邢台市	宁晋县
74	P130528011	高粱	地方品种	邢台市	宁晋县
75	P130532010	红高粱	地方品种	邢台市	平乡县
76	P130532011	老高粱	地方品种	邢台市	平乡县
77	P130532014	高粱	地方品种	邢台市	平乡县
78	P130922003	粘高粱	地方品种	沧州市	青县
79	P130922012	小白人	地方品种	沧州市	青县
80	P130922010	红高粱	地方品种	沧州市	青县
81	P130922008	红茅6号	育成品种	沧州市	青县
82	P130922009	红缨子	育成品种	沧州市	青县
83	P130922011	糯红高粱	地方品种	沧州市	青县
84	2021137112	苕帚高粱	地方品种	邯郸市	邱县

表 1 (续)

序号 No.	样品编号 Sample ID	种质名称 Germplasm name	种质类型 Germplasm type	市 City	县 County
85	2021137156	大穗高粱	地方品种	邯郸市	邱县
86	2021137111	大红高粱	地方品种	邯郸市	邱县
87	2021137181	红缨子高粱	育成品种	邯郸市	邱县
88	2021137130	矮秆高粱	地方品种	邯郸市	邱县
89	P130634011	粘高粱	地方品种	保定市	曲阳县
90	2021138171	早高粱	地方品种	邯郸市	曲周县
91	2021138139	长秆高粱	地方品种	邯郸市	曲周县
92	P131124023	高粱	地方品种	衡水市	饶阳市
93	P130982011	大高粱	地方品种	沧州市	任丘市
94	P130982021	甜高粱	地方品种	沧州市	任丘市
95	P130582006	高粱	地方品种	邢台市	沙河市
96	P131182020	散花高粱	地方品种	衡水市	深州市
97	P131182003	高粱	地方品种	衡水市	深州市
98	P130926018	高粱	地方品种	沧州市	肃宁县
99	P130926019	高粱	地方品种	沧州市	肃宁县
100	P130926012	高粱	地方品种	沧州市	肃宁县
101	P130926009	甜高粱(甜棒秫秸)	地方品种	沧州市	肃宁县
102	P130631004	稷	地方品种	保定市	望都县
103	2021134004	酿酒高粱	地方品种	邢台市	威县
104	2021134019	禾子	地方品种	邢台市	威县
105	2021134148	小散码	地方品种	邢台市	威县
106	2021134021	高粱	地方品种	邢台市	威县
107	P130828038	高粱	地方品种	承德市	围场满族蒙古族自治县
108	P131026008	长秆高粱	地方品种	廊坊市	文安县
109	P131123003	长亭秀	地方品种	衡水市	武强县
110	P131123004	铁秆高粱	地方品种	衡水市	武强县
111	P131122013	甜高粱	地方品种	衡水市	武邑县
112	P131122012	丈八挺	地方品种	衡水市	武邑县
113	P130530015	高粱	地方品种	邢台市	新河市
114	2020132100	高粱	地方品种	石家庄市	行唐县
115	2020132101	高粱(软秆)	地方品种	石家庄市	行唐县
116	2020132095	高粱(秆用)	地方品种	石家庄市	行唐县
117	2020132093	高粱(弯钩)	地方品种	石家庄市	行唐县
118	2020132092	粘高粱	地方品种	石家庄市	行唐县
119	2020132094	高粱(紧码直穗)	地方品种	石家庄市	行唐县
120	2020132089	高粱(扫帚)	地方品种	石家庄市	行唐县
121	P130925026	黑壳白高粱	地方品种	沧州市	盐山县
122	2021137024	书香高粱	地方品种	邯郸市	永年区
123	2021137060	白高粱	地方品种	邯郸市	永年区
124	2021137059	红高粱	地方品种	邯郸市	永年区

表 1 (续)

序号 No.	样品编号 Sample ID	种质名称 Germplasm name	种质类型 Germplasm type	市 City	县 County
125	2021137082	笱帚高粱	地方品种	邯郸市	永年区
126	P131023010	落黍	地方品种	廊坊市	永清县
127	2020131012	山地高粱	地方品种	石家庄市	赞皇县
128	P131121002	笱帚高粱	地方品种	衡水市	枣强县
129	2020133173	高粱	地方品种	石家庄市	赵县
130	2020133171	白糯高粱	地方品种	石家庄市	赵县
131	2020133175	小高粱	地方品种	石家庄市	赵县
132	2020133172	高粱	地方品种	石家庄市	赵县
133	2020133174	高粱	地方品种	石家庄市	赵县
134	P130731020	二大旱高粱	地方品种	张家口市	涿鹿县
135	P130731021	孩儿背粘糕高粱	地方品种	张家口市	涿鹿县
136	P130731017	白牛星粘糕高粱	地方品种	张家口市	涿鹿县

1.2 试验方法

试验材料于 2022-2023 年播种在河北省邢台市宁晋县小河庄村,采用随机区组试验设计,2 行区,3 次重复,行长 6 m,行距 50 cm,采用穴播,穴距 15 cm。3~4 叶期定苗,每穴 1 株。播种前施用复合肥(N:P:K=20:10:10)600 kg/hm²,拔节期至抽穗期以漫灌方式浇水 1 次。

性状数据采集质量要求严格按照《高粱种质资源描述规范和数据标准》^[15]执行。每份资源选择具有本品种特征特性的大小适中、无病虫害、未折断或无折痕的 5 株完整植株,记载描述性性状包括芽鞘色、穗柄伸出状态、穗型、穗形、颖壳色、芒性、颖壳包被度、粒色、粒形,数量性状包括株高、茎粗、穗长、穗柄长、千粒重、着壳率,共计 15 项表型性状数据,其中着壳率为 1000 粒高粱种子中带壳粒数的占比,用百分数表示。

1.3 数据处理及统计分析

利用 Microsoft Excel 2016 对表型数据进行整理,对描述性性状进行赋值,具体赋值信息见表 2;利用 SPSS 26.0 进行均值分析、主成分分析、相关性分析、直方图绘制,运用 R 语言的 ggtree 程序包进行聚类分析,利用 Arcmap 10.3 及 Graphpad prism9 进行图表绘制。

利用 Shannon-weaver 多样性指数衡量遗传多样性的 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^[16]。根据平均值(X)、标准差(δ)将材料分为 10 级,从第 1 级 $X_i < (X - 2\delta)$ 到

第 10 级 $X_i \geq (X + 2\delta)$,每 0.5 δ 划分为 1 级,每一组的相对频率用于计算多样性指数^[17]。变异系数与性状离散程度呈正相关,变异系数越小,表明个体间的差异越小,性状越稳定,变异系数 $CV(\%) = \text{标准差}(\delta) / \text{平均值}(X) \times 100\%$ 。

参照孟珊等^[17]和郜战宁等^[18]的方法,以特征向量为权重,构建主成分的函数表达式,即将每份资源的标准化表型性状数据与相应主成分因子系数进行乘积和运算,获得每份种质各个主成分的得分(F_n),再将其与主成分因子的贡献率作为权重(V_n)计算主成分综合模型,最终获得每份种质的综合得分($F_{\text{综合}}$),即 $F_{\text{综合}} = V_1 F_1 + V_2 F_2 + \dots + V_n F_n$ 。

表 2 描述性性状赋值

Table 2 Assignment of morphological traits

性状 Traits	赋值 Assignment
芽鞘色 Coleoptile color	1:绿;2:紫
穗柄伸出状态 Panicle branch extension	1:长;2:中;3:短
穗型 Panicle type	1:紧;2:中紧;3:中散;4:散
穗形 Panicle shape	1:棒形;2:纺锤;3:伞形;4:筒形;5:帚形
颖壳色 Glume color	1:白;2:褐;3:黑;4:红;5:红褐;6:黄; 7:浅黄;8:灰;9:浅灰
芒性 Burr trait	1:长;2:中长;3:中;4:短;5:无
颖壳包被度 Hull coated degree	1:全;2:3/4;3:1/2;4:1/4
粒色 Grain color	1:白;2:白黄;3:褐;4:黑;5:红;6:红褐; 7:黄;8:黄褐
粒形 Grain shape	1:卵形;2:椭圆形;3:圆形;4:长圆形

2 结果与分析

2.1 高粱种质资源在河北省分布现状

136份高粱种质资源主要以地方品种为主,分别来自于河北省11个地级市48个县(市、区),其中在沧州市收集的高粱资源份数最多,有25份,其次为邢台市和邯郸市,分别为23份和20份,在廊坊市收集的最少,仅有2份。不同县(市、区)收集份数相比,保定市阜平县收集份数最多,有10份,衡水市阜城县、故城县,保定市曲阳县、望都县等共计17个县(市、区)均只收集到1份高粱。由图1可知,河北省高粱种质资源大多分布在河北省中南部地区,北部分布较少。

2.2 高粱种质资源描述性性状遗传多样性分析

对高粱的9个描述性性状进行多样性分析,各表型性状呈现出不同程度的变异,9个性状的总变异类型共有44个,且136份高粱资源在9个描述性性状各类型上均有分布。136份高粱中,以芽鞘色为紫色、穗柄伸出状态中等、散穗、棒形、颖壳黑色、无芒、颖壳全包被、红褐色、圆形籽粒的材料居多,分别占比69.1%、98.5%、44.1%、48.5%、33.8%、48.5%、40.4%、27.2%、35.3%(表3)。9个性状的变异系数在6.10%~68.00%之间,平均为41.25%,从大到小排序范围依次为穗形>穗型>粒形>芒性>颖壳包被度>颖壳色>粒色>芽鞘色>穗柄伸出状态。9个性状的多样性指数在0.0844~1.8448之间,平均为1.1430,从大到小排序范围依次为粒色>颖壳色>芒

性>粒形>穗型>颖壳包被度>穗形>芽鞘色>穗柄伸出状态。由此可知,芽鞘色及穗柄伸出状态多样性较小,变异程度较低;穗形及穗型的变异程度高;粒色与颖壳色遗传多样性较高,但变异程度较低;芒性与粒形的变异程度及遗传多样性均较高。

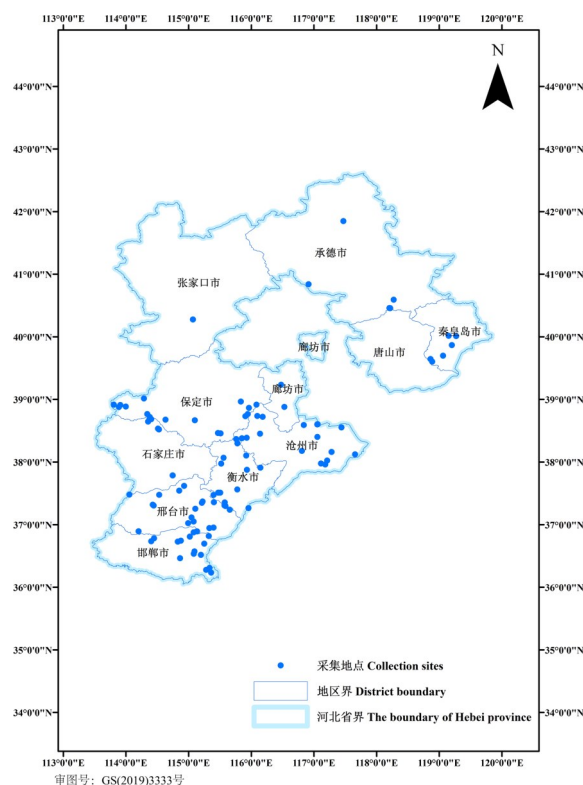


图1 136份高粱种质资源采集地点分布
Fig.1 Distribution of the 136 sorghum germplasm resources collection sites

表3 描述性性状的多样性分析

Table 3 Diversity analysis of morphological traits

性状 Traits	分布百分比(%) Distribution percentage									多样性 指数 H'	变异系 数(%) CV	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
芽鞘色 Coleoptile color	30.9	69.1									0.6183	27.46
穗柄伸出状态 Panicle branch extension	0.7	98.5	0.7								0.0844	6.10
穗型 Panicle type	32.4	9.6	14.0	44.1							1.2264	49.04
穗形 Panicle shape	48.5	5.9	2.9	2.2	40.4						1.0707	68.00
颖壳色 Glume color	6.6	6.6	33.8	8.1	17.6	20.6	3.7	0.7	2.2		1.7164	42.85
芒性 Burr trait	21.3	13.2	1.5	15.4	48.5						1.2987	46.72
颖壳包被度 Hull coated degree	40.4	25.0	33.1	1.5							1.1417	45.56
粒色 Grain color	8.1	0.7	14.7	13.2	12.5	27.2	19.9	3.7			1.8448	37.37
粒形 Grain shape	34.6	9.6	35.3	20.6							1.2852	48.14

2.3 高粱种质资源数量性状遗传多样性分析

对高粱的6个数量性状进行遗传多样性分析,各表型性状呈现出不同程度的变异(表4、图2)。各表型性状值分布范围较大,说明136份高粱存在广泛的遗传多样性。株高在215.256~230.481 cm之间分布最多,共有29份,占比21.3%;茎粗在11.727~12.015 mm和12.592~12.881 mm之间分布最多,分别有24份,各占比17.6%;穗长在38.077~41.973 cm之间分布最多,共有31份,占比22.8%;穗柄长在50.392~54.724 cm之间分布最多,共有30份,占比22.1%;千粒重在22.798~25.001 g和25.001~27.203 g之间分布最多,分别有25份,各占比18.4%;着壳率在64.002%~65.905%之间分布最多,共有68份,占比50%。6个数量性状的变异系数在4.7%~22.8%之间,平均为13.44%,从大到小排序范围依次为穗长>千粒重>穗柄长>株高>着壳率>茎粗;多样性指数在1.3464~1.9926之间,平均为1.8732,从大到小排序范围依次为千粒重>穗柄长>穗长>茎粗>株高>着壳率。由此可知,136份高粱的茎粗及着壳率表现较为稳定,变异系数较低,其中着壳率多样性水平不高,千粒重、穗长、穗柄长变异程度及遗传多样性水平平均高于平均水平,株高遗传多样性水平及变异程度低于穗柄长。

在64.002%~65.905%之间分布最多,共有68份,占比50%。6个数量性状的变异系数在4.7%~22.8%之间,平均为13.44%,从大到小排序范围依次为穗长>千粒重>穗柄长>株高>着壳率>茎粗;多样性指数在1.3464~1.9926之间,平均为1.8732,从大到小排序范围依次为千粒重>穗柄长>穗长>茎粗>株高>着壳率。由此可知,136份高粱的茎粗及着壳率表现较为稳定,变异系数较低,其中着壳率多样性水平不高,千粒重、穗长、穗柄长变异程度及遗传多样性水平平均高于平均水平,株高遗传多样性水平及变异程度低于穗柄长。

表4 数量性状的多样性分析

Table 4 Diversity analysis of quantitative traits

性状 Traits	平均值 Mean	标准差 SD	最小值 Min.	最大值 Max.	多样性指数 H'	变异系数(%) CV
株高(cm) Plant height	245.705	30.449	179.150	344.700	1.9539	12.39
茎粗(mm) Stem diameter	12.304	0.577	11.225	13.725	1.9788	4.69
穗长(cm) Main panicle length	34.181	7.793	15.725	50.650	1.9794	22.80
穗柄长(cm) Ear stem length	50.392	8.664	23.775	68.875	1.9880	17.19
千粒重(g) 1000-grain weight	25.001	4.405	14.256	35.149	1.9926	17.62
着壳率(%) Hulled grain ratio	64.002	3.806	54.750	80.250	1.3464	5.95

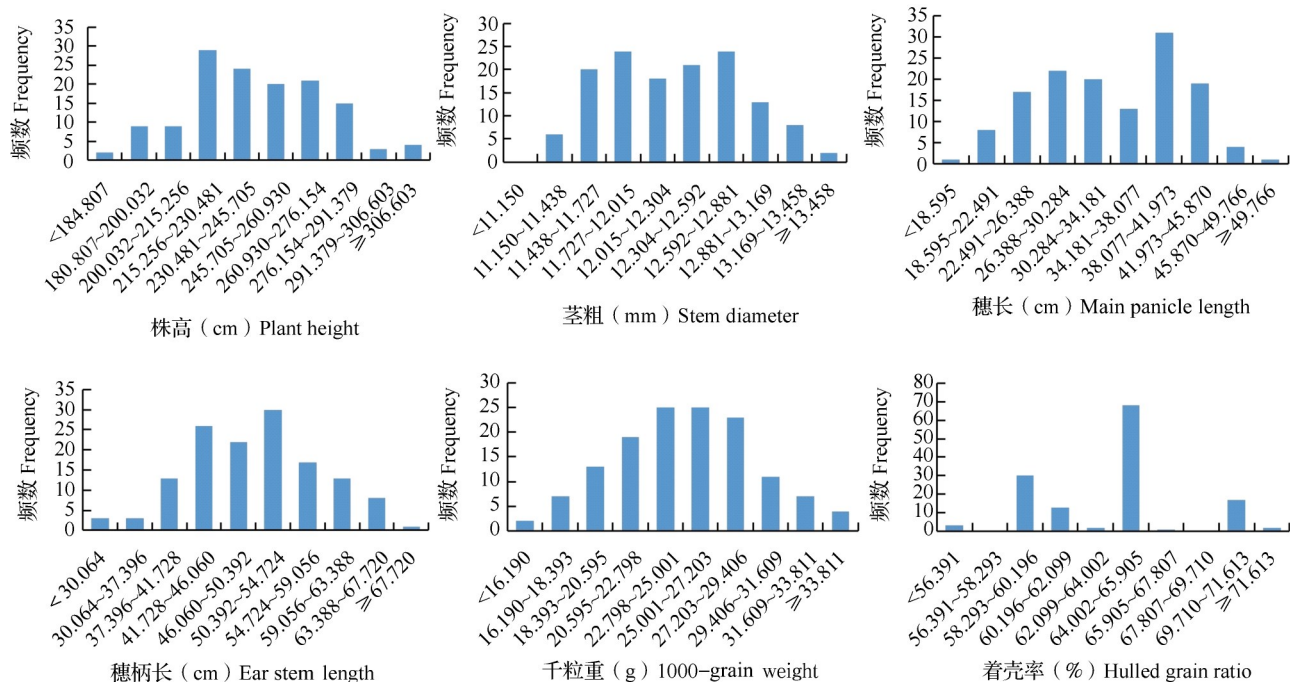


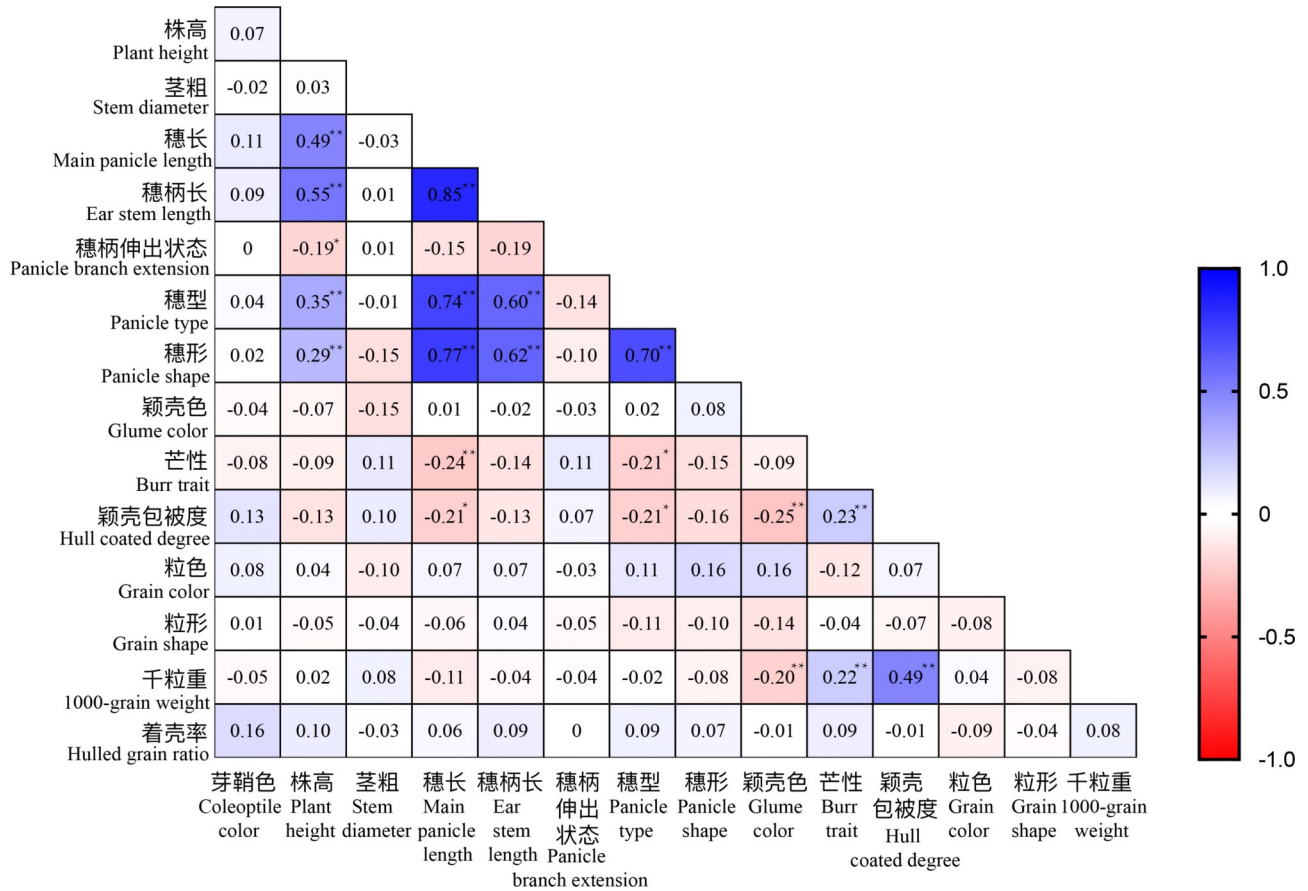
图2 数量性状的频率分布直方图

Fig.2 Histogram of frequency distribution of quantitative traits

2.4 相关性分析

136份高粱的15个表型性状相关性分析(图3)表明,多个不同性状之间存在显著相关性。其中株高与穗长、穗柄长、穗形、穗型呈极显著正相关;穗长与穗柄长、穗形、穗型呈极显著正相关,与芒性、颖壳包被度分别呈极显著、显著负相关;穗柄长与穗形、穗型呈极显著正相关;穗型与穗形呈极显著

正相关,与芒性、颖壳包被度呈显著负相关。颖壳色与颖壳包被度、千粒重呈极显著负相关,芒性与颖壳包被度、千粒重呈极显著正相关;千粒重与颖壳包被度呈极显著正相关。由相关性分析可以看出高粱粒色、粒形、芽鞘色与其他性状均无相关关系,其余各性状间的相关关系较复杂,相互制约。



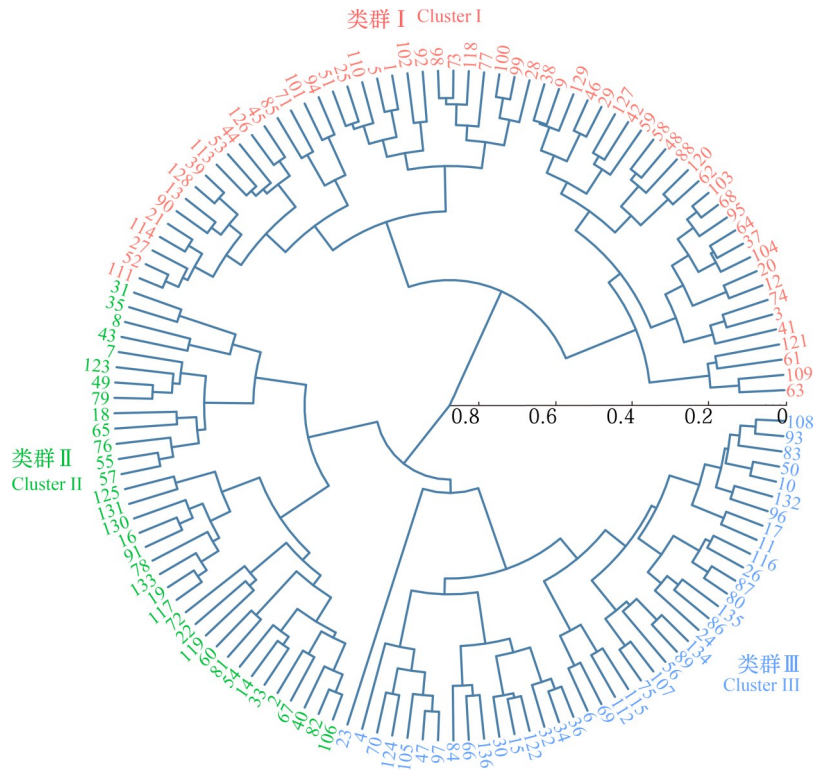
*和**分别表示在P<0.05和P<0.01水平下显著相关
* and ** indicate significant correlation at the levels of P<0.05 and P<0.01, respectively

图3 表型性状相关性分析
Fig.3 Correlation analysis of phenotypic traits

2.5 聚类分析

对136份高粱种质资源进行聚类分析(图4、表5),结果表明136份高粱资源划分为3大族群,3个族群并未呈现出明显的地域聚类特点(图5)。其中第I类群61份,占比44.9%,该群体以散穗、帚形为主,颖壳包被度以全包被为主,粒形以卵形为主,平均株高最高,为256.20 cm,株高最大值为344.70 cm,穗长与穗柄长均值在3个族群中最大,可作为工艺用高粱资源进行选育。第II类

群共35份,占比为25.7%,该群体以紧穗、中紧穗、棒形为主,颖壳包被度以3/4为主,粒形以圆形为主,平均株高最低,为216.81 cm,最小值为179.15 cm,可用于筛选矮秆高粱资源进行种质创新。第III类群共40份,占比29.4%,该群体以紧穗、棒形为主,粒形以圆形、长圆形为主,平均株高为254.98 cm,株高最大值为314.83 cm,平均千粒重最重,为25.86 g,可作为粒用高粱育种材料加以利用。



材料序号同表 1

The codes of samples are the same as table 1

图 4 136 份高粱种质资源遗传聚类图

Fig.4 Genetic cluster tree of the 136 sorghum germplasm resources

表 5 不同类群的高粱数量性状均值分析

Table 5 Mean analysis of quantitative traits of sorghum in different cluster

性状 Traits	类群 I Cluster I			类群 II Cluster II			类群 III Cluster III		
	平均值 Mean	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	最小值 Min.	最大值 Max.
株高(cm)Plant height	256.20	214.85	344.70	216.81	179.15	260.08	254.98	191.23	314.83
茎粗(mm)Stem diameter	12.26	11.25	13.45	12.29	11.23	13.73	12.38	11.33	13.50
穗长(cm)Main panicle length	40.81	21.75	50.65	28.13	19.98	43.60	29.37	15.73	41.10
穗柄长(cm)Ear stem length	57.36	33.53	68.88	45.43	33.73	59.53	44.11	23.78	57.83
千粒重(g)1000-grain weight	24.48	17.61	32.89	24.91	14.26	35.15	25.86	14.30	34.99
着壳率(%)Hulled grain ratio	63.34	55.00	70.25	65.23	60.00	80.25	63.94	54.75	70.25

2.6 主成分分析

对 136 份高粱的 15 个表型性状进行主成分分析,以特征值大于 1 的提取标准确定了 5 个主成分,累计贡献率达到 60.182%(表 6),可解释表型性状的

大部分信息,可用于后续高粱种质资源的表型性状综合评价。主成分 1 的因子贡献率较高,达到 24.491%,主要代表与高粱穗部性状相关的因子及株高,对其贡献最大的是穗长(0.932)和穗柄长

(0.857),其次为穗型(0.826)和穗形(0.821);主成分2的因子贡献率为11.865%,主要代表了与籽粒相关的因子,包括千粒重、颖壳包被度、颖壳色,贡献最大的为千粒重(0.729);主成分3的因子贡献率为8.696%,主要代表粒色(0.684)、粒形(0.536);主成分4的因子贡献率为7.616%,主要代表了芽鞘色(0.790);主成分5的因子贡献率为7.514%,代表了着壳率(0.531)。

2.7 综合评价

结合5个主成分中每个指标所对应的特征向量,以特征向量为权重,构建5个主成分的函数表达式,随后以每个主成分因子的贡献率作为权重计算主成分综合模型: $F_{综合}=0.245F_1+0.119F_2+0.087F_3+0.076F_4+0.075F_5$ 。根据 $F_{综合}$ 值对136份高粱进行表型性状的综合评价,得分越高,综合表现越好。136份高粱的得分范围在0.107~1.147之间,平均值为0.655。综合得分前10名的资源(表7)中,沧州肃宁县2份高粱及衡水阜城县的笱帚高粱综合得分较高,分别为1.147、1.133和1.127。10份种质资源平均千粒重达到25.5 g,平均穗长及穗柄长达到44.58 cm和61.53 cm,综合性状表现较好,可结合每份资源性状特点,直接作为优良育种材料加以利用。

表6 表型性状的主成分分析

Table 6 Principal component analysis of phenotypic traits

性状 Traits	主成分 Principal components				
	1	2	3	4	5
芽鞘色 Coleoptile color	0.109	0.157	0.109	0.790	-0.105
株高 Plant height	0.593	0.225	-0.181	0.011	-0.025
茎粗 Stem diameter	-0.092	0.323	-0.319	-0.302	0.078
穗长 Main panicle length	0.932	0.097	-0.045	-0.037	0.024
穗柄长 Ear stem length	0.857	0.198	-0.128	-0.013	-0.036
穗柄伸出状态 Panicle branch extension	-0.246	-0.020	0.113	0.052	0.409
穗型 Panicle type	0.826	0.092	0.066	-0.111	0.075
穗形 Panicle shape	0.821	0.045	0.167	-0.086	0.086
颖壳色 Glume color	0.088	-0.538	0.427	-0.048	0.247
芒性 Burr trait	-0.322	0.414	-0.043	-0.155	0.405
颖壳包被度 Hull coated degree	-0.322	0.692	0.296	0.052	-0.215
粒色 Grain color	0.156	-0.057	0.684	0.031	-0.372
粒形 Grain shape	-0.068	-0.106	-0.536	0.228	-0.472
千粒重 1000-grain weight	-0.162	0.729	0.252	-0.148	-0.114
着壳率 Hulled grain ratio	0.106	0.235	-0.058	0.547	0.531
特征值 Eigenvalue	3.674	1.780	1.304	1.142	1.127
贡献率(%) Contribution rate	24.491	11.865	8.696	7.616	7.514
累积贡献率(%) Cumulative contribution rate	24.491	36.356	45.052	52.668	60.182

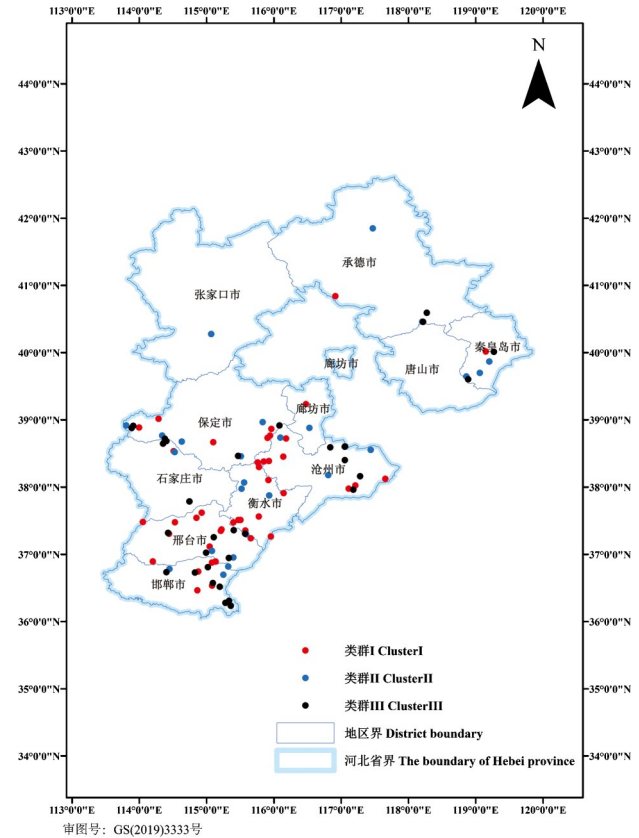


图5 3个类群分布图

Fig.5 Distribution of three groups

表 7 前 10 名综合评价结果

Table 7 Top 10 comprehensive evaluation results

序号 No.	样品编号 Sample ID	市 City	县 County	种质名称 Germplasm name	穗长(cm) Main panicle length	穗柄长(cm) Ear stem length	千粒重(g) 1000-grain weight	综合得分 Scores
94	P130926012	沧州市	肃宁县	高粱	45.500	67.450	24.14	1.147
126	P130926018	沧州市	肃宁县	高粱	43.550	65.675	25.46	1.133
113	P131128014	衡水市	阜城县	笱帚高粱	43.375	68.875	22.94	1.127
112	P131126008	衡水市	故城县	长穗高粱	40.625	61.775	31.14	1.097
39	P130930013	沧州市	孟村县	苗子高粱	48.725	67.600	21.18	1.078
93	P131122012	衡水市	武邑县	丈八挺	41.100	47.900	21.04	1.068
28	P131023010	廊坊市	永清县	落黍	50.650	62.700	28.88	1.066
110	P130924021	沧州市	海兴县	高粱	41.500	53.600	28.40	1.063
98	P130532014	邢台市	平乡县	高粱	47.975	67.550	23.45	1.062
100	P131122013	衡水市	武邑县	甜高粱	42.825	52.125	28.79	1.054

3 讨论

农作物种质资源是保障国家粮食安全和重要农产品有效供给的战略性资源,是农业科技原始创新与现代种业发展的物质基础,但目前品种选育普遍受遗传背景狭窄制约,同质化现象严重,突破性品种少,种业无法形成核心竞争力。因此,普查、搜集、研究和利用好农作物种质资源尤为重要。河北省的高粱种质资源分布区域比较广泛,在太行山区、燕山丘陵区等均有分布,但主要集中在冀中南地区。本次普查收集的 136 份高粱中,沧州市数量最多,邢台市和邯郸市数量较多,3 个市的资源数量占据总数量 50%,说明这些地方居民仍保留有种植高粱的习惯。其中综合评价较高的前 10 名高粱种质资源中,来自沧州市和衡水市的各有 4 份,说明该地区的高粱综合品质较好,具有较高的育种潜力。

农作物表型性状的遗传多样性分析是最简便、直观的遗传研究,可以为育种利用、遗传分析、基因挖掘研究提供非常准确的信息^[2]。136 份高粱种质资源的 9 个描述性性状及 6 个数量性状遗传多样性分析表明,多数表型性状均存在丰富的遗传变异,描述性性状中穗形的变异系数最高,数量性状中穗长的变异系数最高,说明高粱穗部性状易分离;描述性性状中粒色的多样性指数最高,这与何继红等^[13]、赵香娜等^[19]对高粱表型的多样性分析结论相一致,数量性状中千粒重、穗柄长的多样性指数较高,茎粗、着壳率的变异系数较小,性状较为稳定。整体来看,数量性状的多样性指数普遍高于描述性

性状,这与周瑜等^[12]、王自力等^[14]、高杰等^[20]的结论相一致,说明供试材料的遗传差异较大,表型较为丰富,可筛选出优异种质资源用于高粱种质创新和新品种改良。

数量性状之间的相关性分析有助于了解两两性状之间的相互关系,从而进一步了解不同性状之间的协同变化关系。136 份高粱种质资源的表型性状相关性分析表明,多个不同性状之间存在显著或极显著相关性。其中株高与多个穗部性状存在极显著正相关关系,陈艳丽等^[21]、Ayana 等^[22]学者对高粱表型性状之间进行的相关性分析同样得出株高与穗长之间呈现显著正相关关系的结论,因此可将株高与穗部性状作为高粱选育过程中的指导性性状。颖壳包被度与千粒重呈极显著正相关关系,且关系较为紧密,侧面印证了李公德等^[23]的结论即高粱的护颖型与千粒重之间存在连锁遗传关系。

聚类分析有助于了解资源之间的亲缘关系和遗传背景并加以利用,通过对 136 份高粱种质资源进行聚类分析,将其分为 3 个类群,3 个类群并无明显的地域聚类特点,但具有各自的性状特点,不同类群中均有同一地区收集的种质资源,说明同一地区收集的种质资源既存在较大的遗传相似性,也存在遗传分化现象。

通过主成分分析简化评价指标,其次以特征向量为权重,构建函数表达式对资源进行综合评价,从而筛选出评分较高的种质资源用于后续创新育种。目前这种资源评价方法已经应用在多种作物上^[24-26]。本研究共提取了 5 个主成分,累计贡献率 60.182%,第 1 主成分主要是穗部性状相关因子及株

高,第2主成分主要是籽粒性状相关因子,前两个主成分贡献率已达36.356%,可作为河北省高粱地方种质资源多样性的决定性因素,后续可重点针对穗部性状、株高进行改良。根据各性状贡献率的权重计算所得出的综合得分F值,筛选出排名前10的材料作为优异资源材料,可根据其不同性状特点加以利用。

本研究主要围绕表型性状进行了分析,系统阐述了136份高粱的遗传多样性与育种潜力,下一步将重点开展重要品质性状、抗性的精准鉴定,同时结合基因型检测,筛选发掘优异特色基因资源,为种质资源创新和新品种的培育提供良好的种质材料基础。

参考文献

- [1] 李炜,毕影东,刘森,王玲,邱树峰,刘建新,樊超,杨光,梁文卫,来永才.寒地野生大豆表型性状的评价和聚类分析.中国种业,2021(12):73-79
Li W, Bi Y D, Liu M, Wang L, Di S F, Liu J X, Fan C, Yang G, Liang W W, Lai Y C. Evaluation and cluster analysis of phenotypic traits of *Glycinesoja* Sieb. et Zucc. in cold region. China Seed Industry, 2021(12): 73-79
- [2] 王晓鸣,邱丽娟,景蕊莲,任贵兴,李英慧,李春辉,秦培友,谷勇哲,李龙.作物种质资源表型性状鉴定评价:现状与趋势.植物遗传资源学报,2022,23(1):12-20
Wang X M, Qiu L J, Jing R L, Ren G X, Li Y H, Li C H, Qin P Y, Gu Y Z, Li L. Evaluation on phenotypic traits of crop germplasm: Status and development. Journal of Plant Genetic Resources, 2022,23(1): 12-20
- [3] 王瑞,王金胜,张福耀,程庆军,田承华,凌亮.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
Wang R, Wang J S, Zhang F Y, Cheng Q J, Tian C H, Ling L. Evolution of genetic distance between parental lines of chinese *sorghum* hybrids from 1970s-2000s based on SSR analysis. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(3): 415-425
- [4] 刘秀慧,陈合云,邹桂花,刘合芹,郑学强,陈小央.浙江地方高粱种质资源表型鉴定评价分析及利用.浙江农业科学,2022,63(8):1887-1890,1895
Liu X H, Chen H Y, Zou G H, Liu H Q, Zheng X Q, Chen X Y. Phenotypic evaluation and utilization of *sorghum* germplasm resources in Zhejiang province. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2022, 63(8):1887-1890,1895
- [5] Vanamala J K P, Massey A R, Pinnamaneni S R, Reddivari L, Reardon K F. Grain and sweet *sorghum* (*Sorghumbicolor* L. Moench) serves as a novel source of bioactive compounds for human health. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2018, 58(17): 2867-2881
- [6] 赵欣蕊,任根增,韩永亮,杨溥原,徐晓,白玉哲,赵栋婷,任玉双,张玲玉,王志博,吴盟,陈东明,常金华,崔江慧.高粱株型表型性状精准鉴定及综合评价.植物遗传资源学报,2022,23(6):1644-1659
Zhao X R, Ren G Z, Han Y L, Yang P Y, Xu X, Bai Y Z, Zhao D T, Ren Y S, Zhang L Y, Wang Z B, Wu M, Chen D M, Chang J H, Cui J H. Accurate identification and comprehensive evaluation of plant architecture related traits in *sorghum*. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(6): 1644-1659
- [7] 郑殿升,杨庆文.中国作物野生近缘植物资源.植物遗传资源学报,2014,15(1):1-11
Zheng D S, Yang Q W. Genetic resources of wild relatives of crops in China. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(1): 1-11
- [8] 曲祥春,杨微,梁军,高悦,李捷,赵德,李继洪,高士杰.中国粒用高粱产业问题探讨.东北农业科学,2020,45(2):16-19,35
Qu X C, Yang W, Liang J, Gao Y, Li J, Zhao D, Li J H, Gao S J. Discussion on problems of grain *sorghum* industry in China. Northeast Agricultural Sciences, 2020, 45(2): 16-19, 35
- [9] 郭睿.粒用高粱育种现状、问题与解决措施.农业工程技术,2019,39(2):89
Guo R. Current situation, problems and solutions of grain *sorghum* breeding. Agricultural Engineering Technology, 2019, 39(2):89
- [10] Mofokeng A M, Shimelis H A, Laing M D. Agromorphological diversity of South African *sorghum* genotypes assessed through quantitative and qualitative phenotypic traits. South African Journal of Plant and Soil, 2017, 34(5): 361-370
- [11] 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
- [12] 周瑜,李泽碧,黄娟,吴毓,张亚勤,张志良,张晓春.高粱种质资源表型性状的遗传多样性分析.植物遗传资源学报,2021,22(3):654-664
Zhou Y, Li Z B, Huang J, Wu Y, Zhang Y Q, Zhang Z L, Zhang X C. Genetic diversity of *sorghum* germplasms based on phenotypic variations. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(3): 654-664
- [13] 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
- [14] 王自力,张北举,李魁印,陈松树,徐如宏,李鲁华,吴传喜,任明见.高粱种质资源表型性状多样性分析及综合评价.江苏农业科学,2022,50(18):115-121

- Wang Z L, Zhang B J, Li K Y, Chen S S, Xu R H, Li L H, Wu C X, Ren M J. Analysis and comprehensive evaluation of phenotypic character diversity of *sorghum* germplasm resources. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50 (18): 115-121
- [15] 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: China Agriculture Press, 2006
- [16] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication. Chicago: The University of Illinois, Urbana, 1949: 3-14
- [17] 孟珊, 徐婷婷, 朱小品, 狄佳春, 朱银, 杨欣, 邹淑琼, 杨雪, 覃翠华, 颜伟. 江苏大豆地方种质资源表型多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2023, 24(2): 419-436
- Meng S, Xu T T, Zhu X P, Di J C, Zhu Y, Yang X, Zou S Q, Yang X, Qin C H, Yan W. Diversity analysis of soybean landraces collected from Jiangsu province using phenotypic traits. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24 (2): 419-436
- [18] 郜战宁, 杨永乾, 王树杰, 冯辉, 薛正刚. 143 份大麦种质资源的综合评价. *作物杂志*, 2023, 39(5): 59-65
- Gao Z N, Yang Y Q, Wang S J, Feng H, Xue Z G. Comprehensive evaluation of 143 barley germplasm resources. *Crops*, 2023, 39(5): 59-65
- [19] 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
- [20] 高杰, 封广才, 李晓荣, 李青凤, 彭秋. 贵州不同地区高粱种质资源表型多样性与聚类分析. *作物杂志*, 2020, 36(6): 54-60
- Gao J, Feng G C, Li X R, Li Q F, Peng Q. Phenotypic diversity and clustering analysis of sorghum germplasm resources in different regions of Guizhou province. *Crops*, 2020, 36(6): 54-60
- [21] 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 traits of sorghum germplasm resources at home and abroad. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2015, 43(4): 378-382
- [22] 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
- [23] 李公德, 姜秀奎, 李沔, 任学锋. 高粱护颖形态的遗传及其与籽实着壳率、千粒重的关系. *作物学报*, 1965, 4(2): 149-156
- Li G D, Jiang X K, Li Q, Ren X F. Heredity of grain guard morphology of sorghum and its relationship with shell filling rate and 1000-grain weight. *Acta Agronomica Sinica*, 1965, 4 (2): 149-156
- [24] 杜普旋, 刘军, 陈荣华, 吴柔贤, 范呈根, 郭丹丹, 鲁清. 广东省花生种质资源收集与鉴定评价. *植物遗传资源学报*, 2023, 24 (3): 671-679
- Du P X, Liu J, Chen R H, Wu R X, Fan C G, Guo D D, Lu Q. Systematic collection, identification and evaluation of peanut germplasm resources in guangdong province. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(3): 671-679
- [25] 胡标林, 万勇, 李霞, 雷建国, 罗向东, 严文贵, 谢建坤. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价. *作物学报*, 2012, 38(5): 829-839
- Hu B L, Wan Y, Li X, Lei J G, Luo X D, Yan W G, Xie J K. Analysis on genetic diversity of phenotypic traits in rice (*Oryza Sativa*) core collection and its comprehensive assessment. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(5): 829-839
- [26] 魏广伟, 阳慧怡, 王敏, 苏如奇, 王小慧, 沈庭海, 杨茜, 方圣, 吴自明. 芝麻种质资源表型性状遗传多样性分析及综合评价. *江苏农业科学*, 2022, 50(18): 122-130
- Wei G W, Yang H Y, Wang M, Su R Q, Wang X H, Shen T H, Yang Q, Fang S, Wu Z M. Analysis and comprehensive evaluation of genetic diversity of phenotypic traits of sesame germplasm resources. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50 (18): 122-130