

不同来源芝麻种质资源的表型多样性分析

吕 伟, 韩俊梅, 文 飞, 任果香, 王若鹏, 刘文萍

(山西省农业科学院经济作物研究所, 太原 030031)

摘要: 以 246 份我国不同来源芝麻种质资源为参试材料, 对其 14 个表型性状进行遗传变异分析, 结果表明, 参试材料的 14 个表型性状中, 遗传多样性指数以株高和单株蒴果数两个性状最高, 均为 2.06, 变异系数以蒴果数最高, 为 60.73%。对参试材料 14 个表型性状进行主成分分析, 结果表明, 前 5 个主成分因子累计贡献率达 67.527%, 分别为产量因子、蒴果因子、株型因子、茸毛因子、蜜腺因子。通过系统聚类, 在遗传距离为 8.0 时, 将参试芝麻种质资源分为 5 个类群, 其中类群 I 各性状中等, 具有一定增产潜力, 类群 II 综合性状均较好, 属于高秆、高产芝麻优异材料, 类群 III 为高产、分枝芝麻材料, 类群 IV 为高秆、多蒴粒芝麻特异材料, 类群 V 为矮秆、短节间芝麻特异材料。同时对不同来源芝麻群体进行分析, 将 6 个芝麻群体分为 4 大组群, 组群 I 为河南、湖北、河北芝麻群体, 组群 II 为山西芝麻群体, 组群 III 为陕西芝麻群体, 组群 IV 为重庆芝麻群体, 其中山西芝麻群体平均变异系数和遗传多样性指数均最高。本研究为我国芝麻种质资源高效利用、亲本选择、品种改良提供理论基础。

关键词: 芝麻种质; 鉴定; 表型多样性; 聚类分析

Phenotypic Diversity Analysis of Sesame Germplasm Resources

LV Wei, HAN Jun-mei, WEN Fei, REN Guo-xiang, WANG Ruo-peng, LIU Wen-ping

(*Institute of Economic Crops Research, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031*)

Abstract: The phenotypic diversity analysis of 14 phenotypic traits was conducted in 246 sesame germplasm resources from different sources in China. The highest genetic diversity index (2.06) of plant height and number of capsules per plant were detected, while the coefficient variation of capsule number was ranking first with 60.73% in 14 phenotypic traits. By the principal component analysis of 14 phenotypic traits, the top five principal components (yield factor, capsule factor, plant type factor, hairy factor and nectary factor) contributed to 67.527% of phenotypic variation. Cluster analysis assigned five groups of the sesame germplasm resources when the genetic distance was 8.0. The accessions within group I showed potential on yield increase, while the accessions with high-pillar and high-yield of excellent material with good comprehensive traits were resided in group II. Group III was consisted of the accessions showing high-yield and branched. The accessions showing high-rod and multi-grain were resided in group IV, while the accessions showing short-rod and short-internode were found in Group V. By taking use of the geographic information, sesame populations of different sources were classified into 4 groups, including Group I (Henan, Hubei and Hebei), group II (Shanxi), group III (Shaanxi) and group IV (Chongqing). The highest values on average of coefficient of variation and the genetic diversity index were found in accessions of group II (Shanxi). Taken together, this study provided a theoretical basis for future utilization of sesame germplasm resources in parental selection and modern variety breeding in China.

Key words: sesame germplasm; identification; phenotypic diversity; cluster analysis

收稿日期: 2019-10-26 修回日期: 2019-11-19 网络出版日期: 2019-12-27

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20191026001>

第一作者研究方向为芝麻育种与栽培, E-mail: xiaohaitun0352@163.com

通信作者: 刘文萍, 研究方向为芝麻育种与栽培, E-mail: wenggeping@163.com

基金项目: 国家特色油料产业技术体系 (CARS-14-2-04); 山西省科技攻关项目 (201703D221007-1); 山西省农业科学院育种工程项目 (17 yzgc 050); 山西省农业科学院农业科技创新项目 (YCX2018419)

Foundation project: National Characteristic Oil Industry Technology System (CARS-14-2-04), Shanxi Province Science and Technology Research Project (201703D221007-1), Breeding Project of Shanxi Academy of Agricultural Sciences (17 yzgc 050), Agricultural Science and Technology Innovation of Shanxi Academy of Agricultural Sciences Project (YCX2018419)

芝麻是我国六大特色油料作物之一^[1-2],因其含有丰富的营养物质和抗氧化物质,被誉为“油中之王”。芝麻具有耐旱、耐瘠薄等特性,在我国种植历史悠久^[3-4]。然而近几年,我国传统芝麻主产区种植面积逐年萎缩,产量不稳,其主要原因在于亲本的遗传基础较为相似,从而导致培育的新品种抗逆性较差^[5-6]。因此,对我国不同来源芝麻种质资源进行鉴定及表型多样性分析,不仅有利于目标优异芝麻种质的发掘,而且对优质抗逆芝麻新品种的选育也具有重要指导意义。

种质资源是育种工作的物质基础^[7],而种质资源的遗传多样性是作物育种突破的关键。目前,形态学标记在种质资源的鉴定和评价是最为简单有效、表现直观的方法^[8],而主成分、相关性和聚类分析是种质资源形态特征及遗传多样性研究中应用最为广泛的分析方法^[9],已在大豆^[10]、花生^[11-12]、水稻^[13-14]、高粱^[15-16]、谷子^[17-18]、番茄^[19]、红麻^[20]、红花^[21]等作物中广泛应用,但在芝麻种质资源的表型性状评价与分析方面却鲜有报道。因此,本研究以 246 份我国不同来源芝麻种质资源为研究材料,对其 14 个表型性状进行遗传多样性、相关性、主成分和聚类分析,为今后我国芝麻种质资源利用、亲本选择、品种改良提供材料基础和理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为山西省农业科学院经济作物研究所于 2012-2015 年收集的 246 份不同来源芝麻地方种质,其中河南(24 份)、河北(33 份)、湖北(35 份)、陕西(44 份)、重庆(15 份)、山西(95 份),材料名称及来源见表 1。

1.2 试验设计

于 2017-2018 年对 246 份芝麻材料进行表型鉴定,每份材料设 3 次重复,试验采用完全随机区组设计,2 行区,行长 3 m,株行距为 20 cm × 40 cm,理论种植密度为 8300 株/667 m²。试验在山西省汾阳市经济作物研究所试验基地进行,海拔 747.7 m,111.79° E, 37.27° N,温带季风气候,平均气温 11.9 °C,平均降雨 395.6 mm。田间管理、施肥水平与当地芝麻生产管理相同。

1.3 试验方法

分别在盛花期和成熟期调查各个材料的 14 个表型性状,包括 7 个质量性状(株型、茎茸毛量、每

腋花数、蜜腺、蒴果茸毛量、花冠颜色、蒴果棱数)和 7 个数量性状(株高、节间长度、果轴长度、始蒴高度、单株蒴果数、单株产量、每蒴粒数)。田间性状调查按照《芝麻种质资源描述规范和数据标准》^[22]进行观测和测定,其中所有参试材料的 7 个数量性状重复调查 10 株,7 个质量性状分别予以赋值,株型:单秆 =1、分枝 =2;主茎茸毛量:无 =1、少 =2、中等 =3、多 =4;蒴果茸毛量:无 =1、少 =2、中等 =3、多 =4;每腋花数:单花 =1、三花 =2、多花 =3;花冠颜色:白色 =1、粉色 =2、浅紫色 =3、紫色 =4;蜜腺:有 =1、无 =2;蒴果棱数:四棱 =1、六棱 =2、八棱 =3、混合 =4。

1.4 数据处理与分析

利用 Microsoft Excel 2010 对试验数据进行整理,计算各个性状的变异参数及遗传多样性指数。对 7 个数量性状进行 10 级分类,1 级 ≤ X-2δ, 10 级 > X+2δ, 中间每级间差 0.5δ, X 为各性状平均值,δ 为标准差^[23],通过每一级的相对频率来计算 Shannon's 遗传多样性指数(H),其计算公式为: $H = -\sum P_i \ln P_i$, 式中 P_i 为某性状第 i 个级内材料份数占总份数的百分比^[24-25]。表型数据采用 SPSS 24.0 进行主成分、相关性及 Ward 法聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同来源芝麻种质的变异分析及表型多样性分析

由表 2 可以看出,7 个质量性状在参试芝麻种质间差异较大,变异较丰富,变异系数范围为 16.94%~60.73%,其中以蒴果棱数最大,为 60.73%,以花冠颜色最小,为 16.94%,从大到小排序为蒴果棱数(60.73%)>蜜腺(35.20%)>株型(34.90%)>主茎茸毛量(33.13%)>每腋花数(27.20%)>蒴果茸毛量(24.09%)>花冠颜色(16.94%)。7 个质量性状的遗传多样性指数范围在 0.48~1.21 之间,其中以主茎茸毛量最高,为 1.21,以蒴果棱数最低,为 0.48,从大到小排序为主茎茸毛量(1.21)>蒴果茸毛量(1.03)>花冠颜色(0.73)>每腋花数(0.72)>株型(0.68)>蜜腺(0.60)>蒴果棱数(0.48)。

从表 3 可以看出,7 个数量性状变异系数范围在 11.55%~49.68%,其中以单株产量最大,为 49.68%,以株高最小,为 11.55%,从大到小排序为单株产量(49.68%)>单株蒴果数(40.53%)>始蒴高度(32.32%)>每蒴粒数(25.80%)>果轴长度(25.27%)>节间长度(21.05%)>株高(11.55%)。

表1 材料名称及来源

Table 1 Genotype name and sources

编号 Code	名称 Name	来源 Origin	编号 Code	名称 Name	来源 Origin	编号 Code	名称 Name	来源 Origin	编号 Code	名称 Name	来源 Origin
1	豫-03	河南	63	ZZM3350-1	湖北	125	延-37	陕西	187	吉县南耀	山西
2	豫-03-2-1	河南	64	ZZM3369	湖北	126	延-63	陕西	188	2012-30-01	山西
3	豫-07-2	河南	65	ZZM3375	湖北	127	延-64	陕西	189	绛县涇南-1	山西
4	豫-10	河南	66	ZZM3376	湖北	128	延-66	陕西	190	2012-16-02-1	山西
5	豫-11-1-1	河南	67	ZZM3379-1	湖北	129	延-68	陕西	191	2012-16-02-2	山西
6	豫-11-2	河南	68	ZZM3381	湖北	130	延-47	陕西	192	2012-16-02-3	山西
7	豫-11-2-2	河南	69	ZZM3382	湖北	131	延-49	陕西	193	2012-19-01	山西
8	豫-12	河南	70	ZZM3383	湖北	132	延-51	陕西	194	绛县史村-1	山西
9	豫-12-1	河南	71	ZZM3387	湖北	133	延-52	陕西	195	绛县史村-3	山西
10	豫-17	河南	72	ZZM3387-1	湖北	134	延-53	陕西	196	祁县-1	山西
11	豫-17-1	河南	73	ZZM3389	湖北	135	延-59	陕西	197	祁县-2	山西
12	豫-17-1-2	河南	74	ZZM3389-1	湖北	136	延-60	陕西	198	祁县-3	山西
13	豫-17-2	河南	75	ZZM3390	湖北	137	Cq002	重庆	199	2012-29-02	山西
14	豫-18-2	河南	76	ZZM3391	湖北	138	Cq005	重庆	200	吉县芝麻	山西
15	豫-21-1	河南	77	ZZM3394	湖北	139	Cq006	重庆	201	绛县大交-2	山西
16	豫-35	河南	78	ZZM3319	湖北	140	Cq013	重庆	202	2012-26-03	山西
17	豫-43-3	河南	79	ZZM3319-1	湖北	141	Cq014	重庆	203	绛县状册-1	山西
18	豫-44	河南	80	ZZM3328	湖北	142	Cq017	重庆	204	临县双圪桶-1	山西
19	豫-45-1	河南	81	ZZM3338	湖北	143	Cq015	重庆	205	临县双圪桶-3	山西
20	豫-45-2	河南	82	ZZM3344	湖北	144	Cq025	重庆	206	四棱芝麻-1	山西
21	豫-46	河南	83	ZZM3357	湖北	145	Cq027	重庆	207	四棱芝麻-2	山西
22	豫-47-1-2	河南	84	ZZM3385	湖北	146	Cq028	重庆	208	选-4-1	山西
23	豫-48-1	河南	85	ZZM3385-1	湖北	147	Cq029	重庆	209	选-4-2	山西
24	豫-50-4	河南	86	ZZM3385-2	湖北	148	Cq030	重庆	210	82030	山西
25	河北-1-3	河北	87	ZZM3386	湖北	149	Cq012	重庆	211	8602-2-1	山西
26	河北-5	河北	88	ZZM3386-1	湖北	150	Cq019	重庆	212	8605-4-1	山西
27	河北-7-1	河北	89	ZZM3386-2	湖北	151	Cq021	重庆	213	8605-1-1	山西
28	河北-7-4	河北	90	ZZM3395	湖北	152	冀城-4	山西	214	8605-1-2	山西
29	河北-9-1	河北	91	ZZM3397	湖北	153	太谷1号	山西	215	2012-33-03	山西
30	河北-12	河北	92	ZZM3397-1	湖北	154	2012-23-02	山西	216	2012-33-04	山西
31	河北-21	河北	93	陕-白-4	陕西	155	太谷2号-1	山西	217	2012-33-05-2	山西
32	河北-22	河北	94	陕-白-13	陕西	156	太谷2号-2	山西	218	2012-33-05-3	山西
33	河北-23	河北	95	陕-白-15	陕西	157	太谷2号-3	山西	219	2012-46-02	山西
34	河北-24	河北	96	陕-白-17	陕西	158	运城3号	山西	220	2012-48-01	山西
35	河北-30	河北	97	陕-白-24	陕西	159	2012-13-02	山西	221	2012-48-04	山西
36	河北-30-1	河北	98	陕-白-24-1	陕西	160	临县3号	山西	222	2012-50-03	山西
37	青县芝麻-1	河北	99	陕-白-25	陕西	161	2012-14-02	山西	223	2012杂F3-4	山西
38	青县芝麻-2	河北	100	陕-白-26-1	陕西	162	临县5号-2	山西	224	高-2-2	山西
39	青县芝麻-3	河北	101	陕-安康-8	陕西	163	临县5号-3	山西	225	高-12	山西
40	文安芝麻	河北	102	陕-汉中-1-1	陕西	164	2012-34-02	山西	226	不抗-9	山西
41	文安孙章村芝麻-1	河北	103	陕-汉中-1-2	陕西	165	2012-43-02	山西	227	分抗-1	山西
42	文安孙章村芝麻-2	河北	104	陕-汉中-23	陕西	166	2012-43-03	山西	228	分抗-4-1	山西
43	文安崔家坊芝麻	河北	105	陕-汉中-30-1	陕西	167	2012-43-05	山西	229	分抗-4-2	山西
44	绕阳白芝麻	河北	106	陕-汉中-34-1	陕西	168	柳林1号-2	山西	230	2002g8	山西
45	独根亭芝麻	河北	107	陕-汉中-37	陕西	169	柳林2号-2	山西	231	杂F8-1	山西
46	角密芝麻	河北	108	延-19	陕西	170	柳林2号-1	山西	232	杂F8-2	山西
47	笨芝麻	河北	109	延-21	陕西	171	2012-03-02	山西	233	杂F8-3-1	山西
48	四棱霸王鞭	河北	110	延-22	陕西	172	定襄1号-1	山西	234	杂F8-3-2	山西
49	大白芝麻-1	河北	111	延-39	陕西	173	定襄1号-2	山西	235	杂F10-1	山西
50	大白芝麻-2	河北	112	延-46	陕西	174	见喜1号-1	山西	236	杂F10-16	山西
51	城关芝麻-1	河北	113	延-45	陕西	175	见喜1号-2	山西	237	杂F10-17	山西
52	城关芝麻-2	河北	114	延-62	陕西	176	2012-32-01	山西	238	杂F11-6	山西
53	大穗白	河北	115	延-56	陕西	177	2012-32-03	山西	239	杂F13-3	山西
54	一叶三	河北	116	延-5	陕西	178	2012-32-04-2	山西	240	抗病-1-1	山西
55	平山芝麻	河北	117	延-65	陕西	179	2012-21-02	山西	241	g43	山西
56	四棱长蒴芝麻	河北	118	延-6	陕西	180	绛县涇南-2	山西	242	g6	山西
57	抗旱芝麻	河北	119	延-8	陕西	181	吉县底贴	山西	243	高-4-1	山西
58	ZZM3318	湖北	120	延-9	陕西	182	2012-29-05	山西	244	高-4-2	山西
59	ZZM3318-1	湖北	121	延-12	陕西	183	临县双圪桶-4	山西	245	2000g65	山西
60	ZZM3322	湖北	122	延-32	陕西	184	2012-10-01-1	山西	246	g77	山西
61	ZZM3342	湖北	123	延-34	陕西	185	2012-10-01-2	山西			
62	ZZM3350	湖北	124	延-36	陕西	186	柳林石西-1	山西			

表 2 参试材料 7 个质量性状的变异分析及遗传多样性分析

Table 2 Genetic diversity and variation analysis of seven quality traits in tested materials

性状 Characters	株型 PT	主茎茸毛量 NSP	蒴果茸毛量 NCG	每腋花数 NFA	花冠颜色 CC	蜜腺 NE	蒴果棱数 CN
最小值 Min.	1	1	1	1	1	1	1
最大值 Max.	2	4	4	3	4	2	4
极差 Range	1	3	3	2	3	1	3
平均值 Mean	1.41	2.50	2.77	1.82	2.96	1.28	1.28
标准差 SD	0.49	0.83	0.67	0.50	0.50	0.45	0.78
变异系数 (%) CV	34.90	33.13	24.09	27.20	16.94	35.20	60.73
遗传多样性指数 H	0.68	1.21	1.03	0.72	0.73	0.60	0.48

PT: Plant type, NSP: Number of stem pubescence, NCG: Number of capsule pubescence, NFA: Number of flowers per axillary, CC: Corolla color, NE: Nectaries, CN: Capsule number, the same as below

表 3 参试材料 7 个数量性状的变异分析及遗传多样性分析

Table 3 Genetic diversity and variation analysis of seven quantitative traits in tested materials

性状 Characters	株高 (cm) PH	始蒴高度 (cm) CH	果轴长度 (cm) SAL	节间长度 (cm) IL	单株蒴果数 NCP	每蒴粒数 NGS	单株产量 (g) YP
最小值 Min.	102	20	29	1.9	13	40	0.6
最大值 Max.	196	105	145	7.5	278	160	25.66
极差 Range	94	85	116	5.60	265	120	25.07
平均值 Mean	152.55	53.55	95.74	3.54	102.60	78.89	9.08
标准差 SD	17.62	17.30	24.19	0.74	41.58	20.35	4.51
变异系数 (%) CV	11.55	32.32	25.27	21.05	40.53	25.80	49.68
遗传多样性指数 H	2.06	1.97	2.05	1.94	2.06	1.60	2.03

PH: Plant height, CH: Capsule height, SAL: Stem axis length, IL: Internode length, NCP: Number of capsules per plant, NGS: Number of grains per sputum, YP: Yield per plant, the same as below

遗传多样性指数范围在 1.60~2.06 之间,其中以株高和单株蒴果数最高,均为 2.06,以每蒴粒数最低,为 1.60,从大到小排序为株高、单株蒴果数(2.06)>果轴长度(2.05)>单株产量(2.03)>始蒴高度(1.97)>节间长度(1.94)>每蒴粒数(1.60)。

2.2 不同来源芝麻种质资源 14 个表型性状的相关分析

对 246 份不同来源芝麻种质资源的 14 个表型性状进行相关性分析(表 4),结果表明,参试芝麻种质的 14 个表型性状中,大部分性状之间均存在极显著($P<0.01$)或显著($P<0.05$)的相关性,说明芝麻各个表型性状间是相互影响、相互制约的。表型性状间的相关性分析结果,不仅反映了芝麻种质发育过程中性状差异化协调发育的特点,而且还反映了芝麻不同表型性状间既相互独立又错综复杂的相关性。

2.3 不同来源芝麻种质资源 14 个表型性状的主成分分析

利用 SPSS 24.0 软件对 246 份不同来源芝麻种质资源的 14 个表型性状进行主成分分析(表 5),结果表明,前 5 个主成分累计贡献率达 67.527%,

包含了 7 个质量性状和 7 个数量性状的绝大部分信息。

第 1 主成分的特征值为 3.065,贡献率为 21.895%,在其特征向量中,绝对值较高的性状有果轴长度(0.859)、单株产量(0.682)、单株蒴果数(0.663)、株高(0.627)、节间长度(0.614),此类性状与产量有密切关系,因此,第 1 主成分为产量因子;第 2 主成分的特征值为 1.959,贡献率为 13.993%,在其特征向量中,绝对值较高的性状为每蒴粒数(0.768)和蒴果棱数(0.715),此类性状与蒴果有关,因此,第 2 主成分为蒴果因子;第 3 主成分的特征值为 1.790,贡献率为 12.784%,在其特征向量中,绝对值最高的性状为株型(0.561),因此,第 3 主成分为株型因子;第 4 主成分的特征值为 1.525,贡献率为 10.896%,在其特征向量中,绝对值较高的性状为蒴果茸毛量(0.735)和主茎茸毛量(0.702),此类性状与植株茸毛量有关,因此,第 4 主成分为茸毛因子;第 5 主成分的特征值为 1.114,贡献率为 7.959%,在其特征向量中,绝对值最高的性状为蜜腺(0.560),因此,第 5 主成分为蜜腺因子。

表 4 芝麻种质资源各性状的相关性

Table 4 The correlation between the traits of sesame germplasm resources

性状 Characters	株型 PT	主茎 茸毛量 NSP	蒴果 茸毛量 NCG	每腋 花数 NFA	花冠 颜色 CC	蜜腺 NE	蒴果 棱数 CN	株高 PH	始蒴 高度 CH	果轴 长度 SAL	节间 长度 IL	单株 蒴果数 NCP	每蒴 粒数 NGS
主茎茸毛量 NSP	0.024	1.000											
蒴果茸毛量 NCG	0.040	0.575**	1.000										
每腋花数 NFA	-0.079	0.138*	0.061	1.000									
花冠颜色 CC	0.217**	-0.089	0.021	-0.079	1.000								
蜜腺 NE	0.146*	0.058	0.013	0.155*	0.267**	1.000							
蒴果棱数 CN	-0.002	-0.049	0.075	-0.136*	-0.150*	-0.027	1.000						
株高 PH	-0.107	-0.005	-0.050	-0.245**	-0.080	-0.230**	0.060	1.000					
始蒴高度 CH	0.304**	-0.045	0.061	-0.069	-0.081	0.099	0.230**	0.022	1.000				
果轴长度 SAL	-0.302**	0.066	-0.052	-0.100	0.029	-0.241**	-0.131*	0.691**	-0.672**	1.000			
节间长度 IL	-0.241**	-0.047	-0.201**	-0.083	0.055	0.057	-0.111	0.254**	-0.338**	0.410**	1.000		
单株蒴果数 NCP	0.105	-0.085	-0.121	-0.112	0.189**	0.047	-0.194**	0.370**	-0.185**	0.406**	0.234**	1.000	
每蒴粒数 NGS	-0.040	0.001	0.115	-0.274**	-0.104	-0.088	0.555**	0.191**	0.114	0.042	-0.001	-0.064	1.000
单株产量 YP	0.061	-0.111	-0.172**	-0.259**	0.214**	0.011	-0.073	0.267**	-0.222**	0.362**	0.357**	0.641**	0.100

*代表在 0.05 水平上显著相关; **代表在 0.01 水平上显著相关

*Represents significant correlation at $P<0.05$, **Represents significant correlation at $P<0.01$

表 5 参试材料各性状的主成分载荷与贡献率

Table 5 Factor loading matrix and contribution rate of traits of test materials

性状 Characters	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3	因子 4 Factor 4	因子 5 Factor 5
株型 PT	-0.257	-0.145	0.561	0.378	-0.313
主茎茸毛量 NSP	-0.140	0.020	-0.513	0.702	-0.016
蒴果茸毛量 NCG	-0.267	0.150	-0.385	0.735	-0.006
每腋花数 NFA	-0.259	-0.426	-0.413	-0.063	0.111
花冠颜色 CC	0.134	-0.409	0.408	0.325	0.240
蜜腺 NE	-0.186	-0.408	0.277	0.259	0.560
蒴果棱数 CN	-0.209	0.715	0.172	0.008	0.377
株高 PH	0.627	0.424	-0.010	0.127	-0.315
始蒴高度 CH	-0.576	0.260	0.449	0.062	-0.269
果轴长度 SAL	0.859	0.105	-0.343	0.084	-0.043
节间长度 IL	0.614	-0.085	-0.069	-0.099	0.393
单株蒴果数 NCP	0.663	-0.177	0.328	0.271	-0.178
每蒴粒数 NGS	0.025	0.768	0.163	0.140	0.356
单株产量 YP	0.682	-0.047	0.403	0.209	0.061
特征值 Numerical value	3.065	1.959	1.790	1.525	1.114
贡献率(%) Contribution rate	21.895	13.993	12.784	10.896	7.959
累计贡献率(%) Total account	21.895	35.888	48.672	59.568	67.527

2.4 不同来源芝麻种质资源 14 个表型性状的聚类及类群特征

对 246 份不同来源芝麻种质资源 14 个表型性

状进行 Ward 法聚类分析,在遗传距离为 8.0 时,将 246 份参试材料分为 5 大类(图 1),同时对 5 个类群芝麻种质资源表型性状进行统计分析(表 6)。

类群 I 包括 60 份材料, 其中河南 7 份、河北 12 份、湖北 12 份、山西 22 份、陕西 5 份、重庆 1 份; 其主要特征为果轴长度较长 (97.72 cm)、节间长度较长 (3.79 cm), 类群 I 各性状中等, 具有一定的增产潜力。类群 II 包括 65 份材料, 其中河南 12 份、河北 9 份、湖北 16 份、山西 21 份、陕西 7 份; 其主要特征为株高较高 (159.77 cm)、始蒴高度较低 (42.41 cm)、果轴长度较长 (114.47 cm)、单株蒴果数较多 (115.35 个)、单株产量较高 (10.55 g)。类群 II 属于高秆、高产芝麻优异材料。类群 III 包括 55 份材料, 其中河南 5 份、河北 12 份、湖北 6 份、山西 27 份、陕西 5 份; 其主要特征为株高较高 (155.45 cm)、单株蒴果数较多 (135.35 个)、单株产量较高 (12.28 g)。类群 III 属于分枝、高产芝麻材料。类群 IV 包括 26 份材料, 其中山西 23 份、陕西 3 份; 其主要特征为株高较高 (158.98 cm)、始蒴高度较高 (64.75 cm)、每蒴粒数较多 (121.92 粒)。类群 IV 属于高秆、多蒴粒芝麻特异材料。类群 V 包括 40 份材料, 其中山西 2 份、陕西 24 份、重庆 14 份; 其主要特征为株高较矮 (132.70 cm)、果轴长度较短 (68.68 cm)、节间长度较短 (2.84 cm)、始蒴高度较高 (62.80 cm), 单株蒴果数、每蒴粒数、单株产量最少。类群 V 属于矮秆、短节间芝麻特异材料。

2.5 不同来源芝麻群体表型性状分析

由表 7 可看出, 不同来源芝麻群体的 7 个质量性状和 7 个数量性状的变异系数和多样性指数均存在差异。其中, 山西芝麻群体表型性状平均变异系数 (30.50%) 和遗传多样性指数 (1.36) 均最高, 陕西芝麻群体表型性状平均变异系数 (27.74%) 和遗传多样性指数 (0.91) 次之, 重庆芝麻群体表型性状平均变异系数 (22.04%) 和遗传多样性指数 (0.46) 最小, 说明山西、陕西种质资源表型性状较为丰富, 遗传多样性较高, 而重庆种质资源表型性状较为单一, 遗传多样性较低。

利用 SPSS 24.0 软件对不同来源芝麻群体表型性状进行 Ward 法聚类分析, 在遗传距离为 5.0 时, 把 6 个芝麻群体分为 4 个组群 (图 2), 其中组群 I 为河南、湖北、河北芝麻群体, 组群 II 为山西芝麻群体, 组群 III 为陕西芝麻群体, 组群 IV 为重庆芝麻群体。由此可看出, 河南、湖北、河北芝麻种质群体遗传背景较近, 陕西、山西、重庆芝麻种质群体与其遗传关系较远。

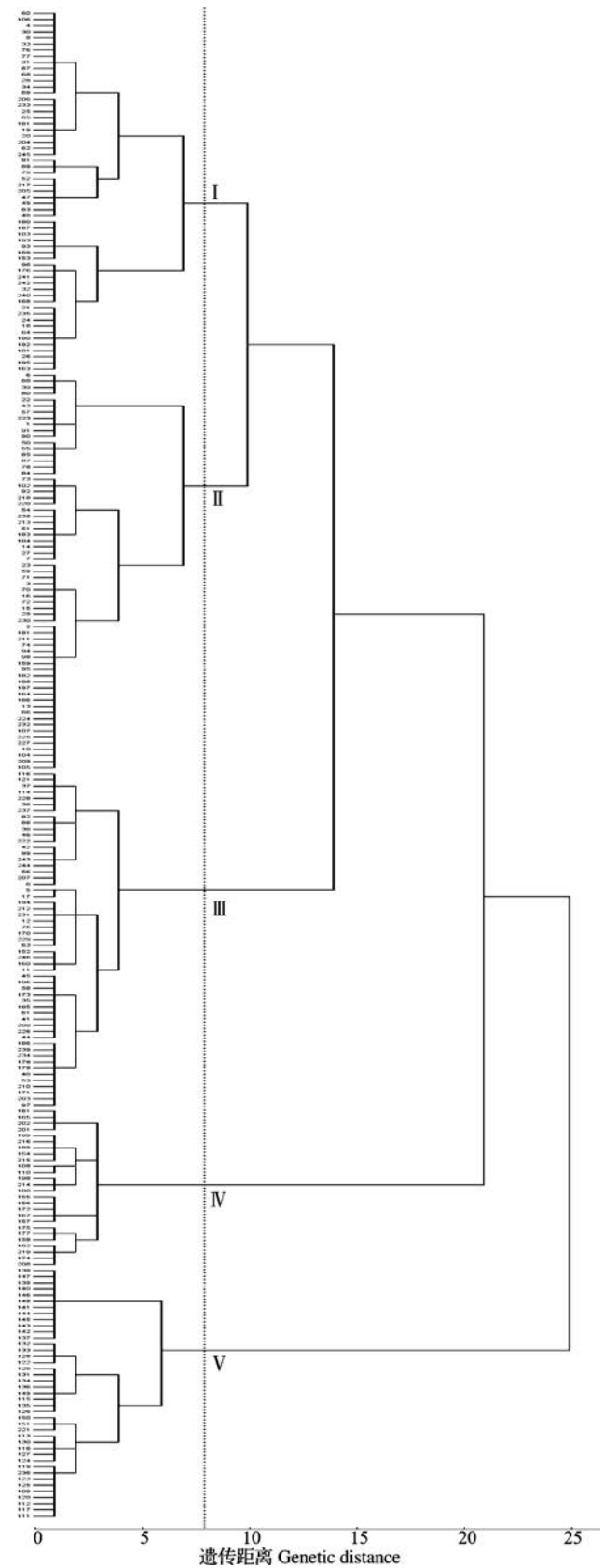


图 1 参试材料的聚类树状图
Fig.1 Cluster tree diagram of test materials

表6 5个芝麻类群表型性状的平均值及特征

Table 6 Average and characteristics of phenotypic traits in 5 sesame groups

类群 Group	株高 (cm)	始蒴 高度 (cm)	果轴 长度 (cm)	节间 长度 (cm)	单株 蒴果数 NCP	每蒴 粒数 NGS	单株产 量(g) YP	株型 PT	主茎茸 毛量 NSP	蒴果茸 毛量 NCG	每腋 花数 NFA	花冠 颜色 CC	蜜腺 NE	蒴果棱数 CN
	PH	CH	SAL	IL										
I	152.52	51.88	97.72	3.79	93.77	74.00	8.57	单秆	多为无或少	多为少或中等	多为三花	多为粉色或浅紫色	多为有蜜腺	多为四棱
II	159.77	42.41	114.47	3.78	115.35	78.34	10.55	多为单秆	多为中等或多	多为中等或多	多为三花	多为浅紫色	多为有蜜腺	四棱
III	155.45	56.52	94.13	3.56	135.35	74.42	12.28	多为分枝	多为少或中等	多为少或中等	单花或三花	多为浅紫色或紫色	多为有蜜腺	多为四棱
IV	158.98	64.75	89.44	3.41	80.08	121.92	8.21	单秆或分枝	多为少或中等	多为中等	单花或三花	多为粉色或浅紫色	多为有蜜腺	多为八棱或混合
V	132.70	62.80	68.68	2.84	64.73	65.30	3.64	单秆或分枝	多为少或中等	多为中等或多	三花或多花	多为浅紫色或紫色	多为无蜜腺	多为四棱

表7 不同来源芝麻群体表型性状变异分析及遗传多样性分析

Table 7 Genetic diversity and variation analysis of phenotypic trait of sesame populations of different sources

性状 Characters	河南 Henan		河北 Hebei		湖北 Hubei		山西 Shanxi		陕西 Shaanxi		重庆 Chongqing	
	变异系 数(%)	遗传多 样性指 数H	变异系 数(%)	遗传多 样性指 数H	变异系 数(%)	遗传多 样性指 数H	变异系 数(%)	遗传多 样性指 数H	变异系 数(%)	遗传多 样性指 数H	变异系 数(%)	遗传多 样性指 数H
	CV	数H	CV	数H	CV	数H	CV	数H	CV	数H	CV	数H
株型 PT	35.39	0.56	35.60	0.67	35.27	0.57	34.78	0.68	34.63	0.69	18.85	0.24
主茎茸毛量 NSP	40.88	1.34	36.59	1.12	34.38	1.24	36.03	1.23	15.34	0.61	18.30	0.58
蒴果茸毛量 NCG	15.60	0.62	33.50	1.12	24.19	1.01	24.55	1.01	13.56	0.58	21.72	0.63
每腋花数 NFA	25.28	0.56	27.50	0.61	26.74	0.60	25.96	0.59	15.23	0.30	14.79	0.50
花冠颜色 CC	19.60	0.90	14.00	0.59	11.06	0.42	20.30	0.85	15.12	0.65	0	0
蜜腺 NE	30.03	0.38	35.60	0.67	35.65	0.60	29.65	0.38	28.90	0.64	34.50	0.50
蒴果棱数 CN	0	0	0	0	0	0	67.33	0.79	60.06	0.50	0	0
株高 PH	9.71	0.79	11.22	1.06	10.46	1.10	9.42	1.95	14.02	1.27	9.96	0.55
始蒴高度 CH	25.52	0.80	25.19	0.96	34.78	1.08	29.51	2.01	31.75	1.29	32.79	0.56
果轴长度 SAL	17.01	0.83	18.31	1.04	19.01	1.10	22.01	1.89	37.09	1.30	28.33	0.59
节间长度 IL	13.47	0.82	14.07	1.09	28.28	1.06	12.06	2.08	16.65	1.24	19.88	0.61
单株蒴果数 NCP	38.35	0.84	34.92	1.07	31.83	1.08	37.35	2.04	43.17	1.22	36.63	0.55
每蒴粒数 NGS	13.79	0.77	17.35	0.95	8.65	0.99	30.09	1.52	18.04	1.23	18.32	0.60
单株产量 YP	32.99	0.82	28.62	1.03	28.02	1.11	47.94	1.99	44.77	1.26	54.55	0.55
平均 Mean	22.69	0.72	23.75	0.86	23.45	0.85	30.50	1.36	27.74	0.91	22.04	0.46

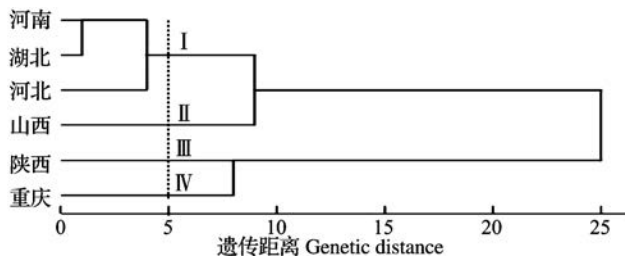


图2 不同来源芝麻群体表型性状聚类图

Fig.2 Cluster diagram of phenotypic traits of sesame populations of different sources

3 讨论

种质资源是育种工作的基础,而分析种质资源的遗传背景是作物育种突破的关键。本研究基于我国不同来源的246份芝麻种质资源进行变异分析和表型多样性分析,对参试材料调查的性状覆盖面较广,有利于今后育种工作中对芝麻目标性状的利用与改良。本研究结果表明,7个质量性状中变异系数以蒴果棱数最高,遗传多样性指数以主茎茸毛量最高;7个数量性状中变异系数以单株产量最高,遗传多样性指数以株高和单株蒴果数最高。有

研究表明^[26],表型性状的变异系数反映的是某性状变量的离散程度,而遗传多样性指数则反映的是种质资源间性状的多样性,变异系数与遗传多样性指数之间不存在相关关系。同时有研究认为^[3],当变异系数大于 10% 时,说明样本间差异较大。本研究中芝麻种质资源 14 个表型性状的变异系数为 11.55%~60.73%,均大于 10%,说明参试芝麻种质资源遗传变异较为丰富,这有利于目标优异种质资源的筛选,能有效拓宽我国芝麻育种亲本的遗传背景,为我国芝麻种质资源遗传育种提供材料基础。

有研究^[27-28]表明,主成分分析可在不损失或少损失原有形态性状信息的前提下,将形态学性状信息通过降维的方法分类出几个综合因子来反映原有众多形态性状变量的信息量,从而简化形态性状的分类工作。本研究对 246 份不同来源芝麻种质资源的 14 个表型性状进行主成分分析,结果表明,前 5 个主成分的累计贡献率达 67.527%,5 个主成分包含的性状信息具有一定的相关性,且各性状的特征向量值表明了主成分分析结果与参试材料和性状指标的选择均有一定关系。

聚类分析是根据参试材料不同变量的观测数值,得到能够量度材料间相似程度的统计量,依据统计量作为其分类的标准,按照顺序依次将相似程度大的两个材料聚在一起,直到所有的材料都聚到一个完整的系统发生树中^[29]。本研究对不同来源芝麻种质资源的 14 个表型性状进行 Ward 法聚类,在遗传距离为 8.0 时,将参试芝麻种质分为 5 个类群,通过系统聚类,初步明确了参试芝麻种质资源的类型,其中类群 I 材料具有一定增产潜力,类群 II 属于高秆、高产芝麻优异材料,类群 III 属于分枝、高产芝麻材料,类群 IV 属于高秆、多蒴粒芝麻特异材料,类群 V 属于矮秆、短节间芝麻特异材料。同时对不同来源芝麻群体进行分析,结果表明,河北、河南、湖北芝麻群体遗传背景较近,陕西、山西、重庆芝麻群体与其遗传关系较远。因此,今后在芝麻育种工作中,应加强对陕西、山西、重庆芝麻种质资源的发掘与利用,拓宽芝麻育种亲本遗传背景,对提高芝麻产量及抗逆性具有重要意义。

目前,利用主成分分析、相关性分析和聚类分析对作物种质资源形态性状的鉴定及遗传多样性研究较为普遍的方法,已在许多作物种质的分类、育种材料选择以及遗传多样性研究方面广泛应用^[30],但形态特征受遗传和环境双重因素影响,因此,单一基于形态形状对种质资源进行鉴定及遗传研究,对分析

结果有一定的影响。因此,今后应将细胞学、生物化学与分子标记技术相结合,能更准确把握芝麻种质资源遗传多样性的本质,为我国芝麻种质资源高效利用、种质创制、目标优异基因发掘提供理论基础。

参考文献

- [1] 吕伟,任果香,文飞,韩俊梅,王若鹏,刘文萍,孟丽霞. 外源生根粉对干旱胁迫下芝麻表型性状及产量的影响. 江苏农业科学, 2019, 47(12): 114-117
Lv W, Ren G X, Wen F, Han J M, Wang R P, Liu W P, Meng L X. Effects of exogenous ABT on phenotypic traits and yield of sesame under drought stress. Jiangsu Agricultural Science, 2019, 47(12): 114-117
- [2] 吕伟,刘文萍,任果香,文飞,韩俊梅,王若鹏. 不同浓度生根粉对芝麻生长及产量的影响. 作物杂志, 2017(5): 100-105
Lv W, Liu W P, Ren G X, Wen F, Han J M, Wang R P. Effects of different concentrations of ABT on growth and yield of sesame. Crops, 2017(5): 100-105
- [3] 吕伟,韩俊梅,任果香,文飞,王若鹏,刘文萍. 山西芝麻种质资源遗传多样性分析. 作物杂志, 2019(5): 57-63
Lv W, Han J M, Ren G X, Wen F, Wang R P, Liu W P. Genetic diversity analysis of sesame germplasm resources in Shanxi. Crops, 2019(5): 57-63
- [4] 吕伟,文飞,韩俊梅,王若鹏,任果香,刘文萍,乐美旺,孙建. 昆虫授粉对芝麻产量构成因素的影响. 作物杂志, 2018(6): 124-129
Lv W, Wen F, Han J M, Wang R P, Ren G X, Liu W P, Le M W, Sun J. Effects of insect pollination on yield components of sesame. Crops, 2018(6): 124-129
- [5] 王林海,吕再萍,张艳欣,黎冬华,吕海霞,张晓燕,张秀荣. 利用抑制差减杂交分离芝麻耐湿性相关基因. 中国油料作物学报, 2010, 32(4): 485-490
Wang L H, Lv Z P, Zhang Y X, Li D H, Lv H X, Zhang X Y, Zhang X R. Isolating waterlogging tolerance related genes from sesame (*Sesamum indicum* L.) by suppression subtractive hybridization. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2010, 32(4): 485-490
- [6] 王林海,张艳欣,危文亮,张秀荣. 中国芝麻湿害和旱害发生调查与分析. 中国农学通报, 2011, 27(28): 301-306
Wang L H, Zhang Y X, Wei W L, Zhang X R. Investigation of waterlogging and drought effect on the sesame production in China. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(28): 301-306
- [7] 肖鑫辉,李开绵,许瑞丽,周建国,张洁,王明,万仲卿,叶剑秋. 国内外栽培木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 种质资源表型多样性分析. 植物遗传资源学报, 2017, 18(1): 94-105
Xiao X H, Li K M, Xu R L, Zhou J G, Zhang J, Wang M, Wan Z Q, Ye J Q. Phenotypic diversity analysis of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm from china and abroad. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(1): 94-105
- [8] 陈晓杰,张建伟,杨保安,范家霖,张福彦,程仲杰,胡银岗. 中国冬小麦微核心种质遗传多样性分析. 河南农业科学, 2015, 44(4): 14-20
Chen X J, Zhang J W, Yang B A, Fan J L, Zhang F Y, Cheng Z J, Hu Y G. Genetic diversity of micro-core collections of chinese winter wheat. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2015, 44

- (4): 14-20
- [9] 张加强,陈常理,骆霞虹,金关荣. 26份黄麻种质资源产量性状的主成分聚类分析及其评价. 植物遗传资源学报, 2016, 17(3): 475-482
Zhang J Q, Chen C L, Luo X H, Jin G R. Comprehensive evaluation and cluster analysis on yield characters of 26 jute germplasm resources based on principal components. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17(3): 475-482
- [10] 王燕平,宗春美,孙晓环,齐玉鑫,白艳风,李文,任海祥,王晓梅,侯国强,徐德海,张帅,师红财. 东北春大豆种质资源表型分析及综合评价. 植物遗传资源学报, 2017, 18(5): 837-845
Wang Y P, Zong C M, Sun X H, Qi Y X, Bai Y F, Li W, Ren H X, Wang X M, Hou G Q, Xu D H, Zhang S, Shi H C. Phenotype analysis and comprehensive evaluation on northeast spring soybean resources in Mudanjiang. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(5): 837-845
- [11] 苗丽娟,张新友,黄冰艳,董文召,汤丰收,刘娟,张俊,刘华,齐飞艳. 河南省花生农家品种资源农艺和品质性状分析. 植物遗传资源学报, 2016, 17(5): 854-860
Miao L J, Zhang X Y, Huang B Y, Dong W Z, Tang F S, Liu J, Zhang J, Liu H, Qi F Y. Evaluation of agronomic and quality traits in peanut (*Arachis hypogaea* L.) landraces of Henan province. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17(5): 854-860
- [12] 孙东雷,卞能飞,陈志德,邢兴华,徐泽俊,齐玉军,王幸,王晓军,王伟. 花生种质资源表型性状的综合评价及指标筛选. 植物遗传资源学报, 2018, 19(5): 865-874
Sun D L, Bian N F, Chen Z D, Xing X H, Xu Z J, Qi Y J, Wang X, Wang X J, Wang W. Comprehensive evaluation and index screening of phenotypic traits in peanut germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(5): 865-874
- [13] Bhati P K, Singh S K, Dhurai S Y, Sharma A. Genetic divergence for quantitative traits in rice germplasm. Electronic Journal Plant Breeding, 2015, 6(2): 521-527
- [14] 汤翠凤,张恩来,董超,阿新祥,张斐斐,申时全,韩龙植. 云南新收集水稻地方品种的表型多样性分析. 植物遗传资源学报, 2018, 19(6): 1106-1116
Tang C F, Zhang E L, Dong C, A X X, Zhang F F, Shen S Q, Han L Z. Analysis on phenotypic diversity of rice landraces newly collected in Yunnan province. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(6): 1106-1116
- [15] 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
- [16] 王黎明,焦少杰,姜艳喜,严洪冬,苏德峰,孙广全,张华. 帚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, 2018, 19(6): 1083-1091
Wang L M, Jiao S J, Jiang Y X, Yan H D, Su D F, Sun G Q, Zhang H. Genetic diversity of broomcorn sorghum and its utilization on genetic enhancement. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(6): 1083-1091
- [17] 相吉山,徐峰,索良喜,程凯,王艳超,孟海龙,张佳乐,贾斌,王冬雪,刁现民. 东北地区谷子地方品种和育成品种表型比较分析. 植物遗传资源学报, 2018, 19(4): 642-656
Xiang J S, Xu F, Suo L X, Cheng K, Wang Y C, Meng H L, Zhang J L, Jia B, Wang D X, Diao X M. Comparison on the phenotypic traits between landraces and cultivars of foxtail millet [*setaria italica* (L.) P.beau.] in Northeast China. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(4): 642-656
- [18] 丁银灯,聂石辉,王仙,胡相伟,冯国郡,耿洪伟,战帅帅. 谷子主要育成品种在新疆的遗传多样性研究. 植物遗传资源学报, 2018, 19(2): 232-242
Ding Y D, Nie S H, Wang X, Hu X W, Feng G J, Geng H W, Zhan S S. Genetic diversity of agronomic traits of foxtail millet (*Setaria italica* (L.) Beauv.) mainly bred varieties in Xinjiang province, China. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(2): 232-242
- [19] 韩泽群,姜波. 加工番茄品种多性状综合评价方法研究. 中国农业科学, 2014, 47(2): 357-365
Han Z Q, Jiang B. A study on comprehensive evaluation of the processing tomato varieties multiple traits. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(2): 357-365
- [20] 陶爱芬,祁建民,林培青,方平平,吴建梅,林荔辉. 红麻优异种质产量和品质性状主成分聚类分析与综合评价. 中国农业科学, 2008, 41(9): 2859-2867
Tao A F, Qi J M, Lin P Q, Fang P P, Wu J M, Lin L H. Cluster analysis and evaluation of elite kanaf germplasm based on principal components. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(9): 2859-2867
- [21] 郭丽芬,徐宁生,张跃,张锡顺,刘旭云,胡尊红,胡学礼,杨谨. 云南红花种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2012, 13(2): 219-225
Guo L F, Xu N S, Zhang Y, Zhang X S, Liu X Y, Hu Z H, Hu X L, Yang J. Genetic diversity analysis of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) germplasm resources from Yunnan province. Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(2): 219-225
- [22] 张秀荣,冯祥运. 芝麻种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006
Zhang X R, Feng Y X. Descriptors and data standard for sesame (*Sesame indicum* L.). Beijing: China Agricultural Press, 2006
- [23] 贺晨帮,宗绪晓. 豌豆种质资源形态标记遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2011, 12(1): 42-48
He C B, Zong X X. Genetic diversity of pea (*Pisum sativum* L.) germplasm resources revealed by morphological traits. Journal of Plant Genetic Resources, 2011, 12(1): 42-48
- [24] 王海平,李锡香,沈镛,邱杨,宋江萍,张晓辉,Philipp W.Simon. 基于表型性状的中国大蒜资源遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2014, 15(1): 24-31
Wang H P, Li X X, Shen D, Qiu Y, Song J P, Zhang X H, Simon P W. Evaluation on genetic diversity of garlic (*Allium sativum* L.) clones in china based on morphological characters. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(1): 24-31
- [25] 纪海波,张玉鑫,李玉明,潘存祥,陈年来. 西瓜种质资源主要性状的表型多样性. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2013, 41(8): 155-160
Ji H B, Zhang Y X, Li Y M, Pan C X, Chen N L. Phenotypic diversity in main characters of watermelon germplasm. Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition, 2013, 41(8): 155-160