

魏广伟, 阳慧怡, 王 敏, 等. 芝麻种质资源表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(18): 122–130.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.18.019

芝麻种质资源表型性状遗传多样性分析及综合评价

魏广伟, 阳慧怡, 王 敏, 苏如奇, 王小慧, 沈庭海, 杨 茜, 方 圣, 吴自明

(江西农业大学作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室, 江西南昌 330045)

摘要:探究芝麻种质资源表型性状遗传多样性,对芝麻种质资源进行综合性评价,筛选出优异种质,为芝麻优质品种的推广和育种亲本的选择提供理论依据。对 193 份芝麻种质资源的 13 个表型性状进行记录,通过计算遗传多样性指数(H')分析芝麻种质资源的遗传多样性,运用聚类分析、相关性分析、主成分分析和逐步回归分析对芝麻种质资源进行综合评价。5 个质量性状遗传多样性指数(H')在 0.17~0.90 之间,8 个数量性状变异系数(CV) 在 3.32%~45.33% 之间,遗传多样性指数(H') 在 1.77~2.04 之间,数量性状遗传多样性指数大于质量性状,表现出丰富的遗传多样性。聚类分析将 193 份芝麻种质资源分为 4 个类群,Ⅰ类群为低始蒴高度、高单株蒴果数和高产的优质种质资源,Ⅱ类群为较高单株蒴果数和千粒质量的潜力种质资源,Ⅲ类群为高秆、高每蒴粒数和高千粒质量的特殊种质资源,Ⅳ类群为低秆、低单株蒴果数和低产的较差种质资源。主成分分析表明,当累计贡献率达到 80% 以上时,13 个表型性状被转换为 7 个综合因子,贡献率分别为 19.24%、16.89%、12.67%、10.50%、8.17%、7.54%、6.79%,通过计算综合评价 D 值,筛选出综合表现最好的 2 个品系:17-52 和 17-51;以综合评价 D 值为因变量,13 个性状为自变量,利用逐步回归分析筛选到评价芝麻种质的 8 个关键性指标。参试芝麻种质资源 8 个数量性状变异幅度较大,遗传多样性丰富,且均呈现出正态分布;单株产量、株高、主茎茸毛量、始蒴高度、空梢尖长度、千粒质量、每叶腋花数、蒴果棱数可作为反映芝麻种质资源优劣的重要农艺性状指标。

关键词:芝麻;种质资源;表型性状;遗传多样性;综合评价

中图分类号:S565.302.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)18-0122-08

芝麻是我国古老的油料作物,拥有上千年的栽培历史,种植地域分布广泛^[1-2]。表型性状鉴定是认识作物种质资源和培育新品种的基石^[3],通过鉴定芝麻表型性状,研究其遗传变异规律,对挖掘不同基因型芝麻种质资源并加以利用具有重要意义。人们通常从形态学水平、细胞学(染色体)水平和分子水平来研究作物的遗传多样性,而形态学水平(表型性状)往往被认为是最直观容易的方法^[4]。我国拥有丰富的芝麻种质资源,截至 2017 年 6 月已经收集到 6 068 份材料^[5],通过表型性状分析遗传多样性已被广泛应用于芝麻种质资源中。韩俊梅等对 200 份芝麻的 13 个表型性状进行研究分析,结

果发现,果轴长遗传多样性指数最大,蒴果棱数最小,并通过聚类分析选出一批矮秆、节间长度较小、单株蒴果数少、低始蒴高度的芝麻品种,可以作为培育机械化芝麻品种的亲本材料^[6]。杨学乐等对湖南省 63 份芝麻种质资源进行遗传多样性分析,结果表明,质量性状和数量性状遗传多样性指数最大的分别为茎秆茸毛量和株高,聚类分析将 63 份材料分为 4 个类群^[7],育种家可根据目标性状选择相对应的材料作亲本。崔彦芹等对 300 份河北省地方品种进行连续 3 年的表型性状调查和记载,结果表明,300 份芝麻种质资源遗传多样性丰富,聚类分析将 300 份芝麻种质资源分为低始蒴高度、高产、长蒴果等 6 类,提高了芝麻种质资源的利用率^[8]。前人对芝麻种质资源遗传多样性的研究,多运用聚类分析将具有同样特点的种质资源进行简单的分类,对芝麻种质资源综合评价的文章目前鲜有报道。本研究对 193 份芝麻资源表型性状进行遗传多样性分析,通过主成分分析对其进行综合评价,结合逐步回归分析法筛选出评价芝麻种质资源的关键性指标,为芝麻高产栽培和杂交育种亲本的选择提供理论依据。

收稿日期:2022-05-11

基金项目:国家自然科学基金(编号:32060438);江西省现代农业产业技术体系建设专项(编号:JXARS-18);江西省教育厅科技计划(编号:GJJ190226)。

作者简介:魏广伟(1995—),男,河南舞阳人,硕士研究生,主要研究方向为芝麻遗传育种。E-mail:337167540@qq.com。

通信作者:吴自明,博士,教授,主要从事作物栽培生理与遗传育种研究,E-mail:wuzmjxau@163.com;方 圣,博士,讲师,主要从事作物栽培生理研究,E-mail:1393684991@qq.com。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验材料为我国芝麻产区收集的 193 份芝麻品种(系),包含江西省内材料 134 份和省外材料 59 份(表 1)。

表 1 193 份芝麻种质资源名称和来源

编号	名称	来源	编号	名称	来源	编号	名称	来源
1	鄱阳对夹乌	江西	66	中芝 24	湖北	131	白芝麻 2	江西
2	鄱阳千层塔	江西	67	中芝 HJ05	湖北	132	白芝麻 3	江西
3	鄱阳黑芝麻	江西	68	中芝 H16	湖北	133	白芝麻 5	江西
4	芦田黑芝麻	江西	69	中芝 9 号	湖北	134	武宁白芝麻	江西
5	QMW-1	江西	70	中芝 35	湖北	135	德安白芝麻	江西
6	QMW-2	江西	71	襄黑芝 2078	湖北	136	济南白芝麻 1	山东
7	QMW-3	江西	72	襄阳黑芝麻	湖北	137	济南白芝麻 2	山东
8	古县渡黑芝麻	江西	73	邕宁黑芝麻	广西	138	17-1	江西
9	古兆黑芝麻	江西	74	三合黑芝麻	广西	139	17-2	江西
10	鄱阳红旗 1	江西	75	大头棒	浙江	140	17-3	江西
11	鄱阳红旗 2	江西	76	岱山黑芝麻	湖南	141	17-6	江西
12	鄱阳红旗 3	江西	77	黑芝麻 3954	湖南	142	17-7	江西
13	狮子山黑芝麻	江西	78	济南黑芝麻	山东	143	17-12	江西
14	鄱阳黑芝麻 1	江西	79	来宾白芝麻	广西	144	17-13	江西
15	鄱阳黑芝麻 2	江西	80	沙岗四连子	广西	145	17-20	江西
16	珠湖 1	江西	81	邕宁白芝麻	广西	146	17-21	江西
17	珠湖 2	江西	82	鹿寨褐色芝麻	广西	147	17-25	江西
18	ZH1	江西	83	扶绥白芝麻	广西	148	17-30	江西
19	ZH2	江西	84	范县白芝麻 1	河南	149	17-34-1	江西
20	ZH5	江西	85	范县白芝麻 2	河南	150	17-38	江西
21	星子黑芝麻	江西	86	懒汉白芝	河南	151	17-39	江西
22	芝麻(ZZM2834)	江西	87	武昌八方陀	湖北	152	17-41	江西
23	海会黑芝麻	江西	88	武昌竹竿青早麻	湖北	153	17-42	江西
24	多萌黑芝麻	江西	89	武昌四贯麻	湖北	154	17-43	江西
25	武宁黑	江西	90	武昌转股麻	湖北	155	17-46-1	江西
26	万年黑芝麻	江西	91	武昌紫花麻	湖北	156	17-46-2	江西
27	金沙江芝麻	江西	92	襄阳米黄芝麻	湖北	157	17-47	江西
28	珠山黑芝麻	江西	93	钟祥芝麻	湖北	158	17-48	江西
29	贵溪褐芝麻 2	江西	94	孝感独角叶三角	湖北	159	17-49	江西
30	贵溪褐芝麻 1	江西	95	孝感芝麻	湖北	160	17-50	江西
31	资溪芝麻	江西	96	鄂芝 1 号	湖北	161	17-51	江西
32	万安县芝麻	江西	97	鄂芝 2 号	湖北	162	17-52	江西
33	余干芝麻	江西	98	鄂芝 3 号	湖北	163	17-54	江西
34	潭口芝麻	江西	99	鄂芝 4 号	湖北	164	17-57-2	江西
35	德兴黑芝麻	江西	100	鄂芝 5 号	湖北	165	17-62	江西
36	黑芝麻 2831	江西	101	鄂芝 6 号	湖北	166	17-63	江西
37	矮脚金黄麻	江西	102	鄂芝 7 号	湖北	167	17-65	江西
38	金黄麻	江西	103	鄂芝 8 号	湖北	168	17-65	江西
39	都昌黑	江西	104	鄂芝 9 号	湖北	169	17-74	江西
40	XG-1	江西	105	皖芝 1 号	安徽	170	17-76-1	江西
41	XG-2	江西	106	皖芝 2 号	安徽	171	17-77	江西
42	XG-3	江西	107	皖芝 5 号	安徽	172	17-78	江西
43	ND-7	江西	108	皖芝 9 号	安徽	173	17-79	江西
44	赣芝 8 号	江西	109	皖芝 10 号	安徽	174	17-83	江西
45	赣芝 2 号	江西	110	皖芝 11 号	安徽	175	17-87	江西
46	赣芝 5 号	江西	111	皖芝 12 号	安徽	176	17-88	江西
47	赣芝 6 号	江西	112	皖芝 15 号	安徽	177	17-99	江西

表 1(续)

编号	名称	来源	编号	名称	来源	编号	名称	来源
48	赣芝 7 号	江西	113	小籽白	安徽	178	17-111	江西
49	赣芝 9 号	江西	114	bzy348	安徽	179	17-119	江西
50	赣芝 11 号	江西	115	bzy421	安徽	180	17-126-2	江西
51	赣芝 14 号	江西	116	bzy425	安徽	181	17-127	江西
52	WZM1	江西	117	bzy432	安徽	182	17-129	江西
53	WZM2	江西	118	bzy436	安徽	183	17-130	江西
54	WZM3	江西	119	18052XH1	安徽	184	17-131	江西
55	WZM4	江西	120	18044XH1	安徽	185	17-132	江西
56	WZM5	江西	121	贵溪白芝麻	江西	186	17-134-2	江西
57	WZM6	江西	122	南昌县白芝麻	江西	187	17-135-2	江西
58	WZM7	江西	123	万安县白芝麻	江西	188	17-153	江西
59	WZM8	江西	124	丰城白芝麻	江西	189	17-154	江西
60	WZM9	江西	125	航芝 1 号	湖北	190	17-156	江西
61	WZM10	江西	126	XG-1-2	江西	191	17-158-1	江西
62	高安黑芝麻	江西	127	XG-1-2	江西	192	17-158-2	江西
63	宜春黑芝麻	江西	128	赣芝 3 号	江西	193	18-15	江西
64	南昌县芝麻	江西	129	赣芝 10 号	江西			
65	中芝 33	湖北	130	白芝麻 1	江西			

1.2 试验方法

试验材料于 2019、2021 年在江西省鄱阳县古县渡镇罗龙村(116°87'E,29°09'N)进行播种,试验地土壤理化性质为:pH 值 6.2,有机质含量 26.74 g/kg,碱解氮含量 87.84 mg/kg,有效磷含量 13.59 mg/kg,速效钾含量 94.95 mg/kg。每份材料播种 4 行,行距 30 cm,芝麻 2 对真叶期按照株距 20 cm 间苗。芝麻表型性状调查参照《芝麻种质资源描述规范和数据标准》^[9]进行(表 2)。在芝麻生长期对株型、花冠颜色、每叶腋花数、蒴果棱数、主茎茸毛量等 5 个质量性状进行调查,待芝麻成熟后,每个材料选取长势一致的 5 个单株进行挂牌,调查株高、始蒴高度、空梢尖长度、蒴果长度、每蒴粒数、单株蒴果数、千粒质量、单株产量等 8 个数量性状。

1.3 数据统计分析

采用 Excel 2007 对统计的原始数据进行整理,并计算平均值(\bar{x})、标准差(s)和变异系数(CV),公式为 $CV = s/\bar{x}$ 。对各性状进行分级,分级标准分为 10 级,相邻两级间相差 0.5s,即 1 级 $< \bar{x} - 2.0s$, $\bar{x} - 2.0s \leq 2$ 级 $< \bar{x} - 1.5s$, $\bar{x} - 1.5s \leq 3$ 级 $< \bar{x} - 1.0s$, $\bar{x} - 1.0s \leq 4$ 级 $< \bar{x} - 0.5s$, $\bar{x} - 0.5s \leq 5$ 级 $< \bar{x}$, $\bar{x} \leq 6$ 级 $< \bar{x} + 0.5s$, $\bar{x} + 0.5s \leq 7$ 级 $< \bar{x} + 1.0s$, $\bar{x} + 1.0s \leq 8$ 级 $< \bar{x} + 1.5s$, $\bar{x} + 1.5s \leq 9$ 级 $< \bar{x} + 2.0s$, $\bar{x} + 2.0s \leq 10$ 级,计算每一级相对频率(P_i)。利用 R 4.1.1 进行 Person 相关性分析、聚类分析,采用 DPS 7.05 进行

表 2 芝麻表型性状记载标准

性状	记载标准
株型	1 = 单秆,2 = 分枝
花冠颜色	1 = 白色,2 = 浅紫色,3 = 紫色
每叶腋花数	1 = 单花,3 = 三花
蒴果棱数	4 = 四棱,6 = 六棱,8 = 八棱,9 = 混合
主茎茸毛量	1 = 少,2 = 中等,3 = 多
株高	成熟期主茎子叶节至顶端的高度
始蒴高度	成熟期子叶节至主茎下部第 1 个有效果节的高度
空梢尖长度	主茎最上一个有效蒴果至顶端的高度
蒴果长度	成熟期中部蒴果的长度
单株蒴果数	成熟期主茎上有效蒴果数
每蒴粒数	成熟期主茎中部单个蒴果的籽粒数
千粒质量	成熟期 1 000 粒饱满、晒干籽粒(含水量 5%)的质量
单株产量	成熟期单个植株晒干籽粒(含水量 5%)的质量

主成分分析,计算各主成分及表型性状的综合得分 D 值,再结合逐步回归分析筛选出评价芝麻种质资源的关键性指标^[10]。

1.3.1 隶属函数分析 采用模糊隶属函数计算出各性状的隶属函数值,将各性状定义到 $[0,1]$ 闭区间。

$$U(x_i) = (x_i - x_{imin}) / (x_{imax} - x_{imin}) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)。$$

式中: $U(x_i)$ 为某种质材料第 i 个性状的隶属函数值; x_i 为某种质材料第 i 个性状值; x_{imax} 和 x_{imin} 分别为所有种质材料第 i 个性状的最大值和最小值。

1.3.2 遗传多样性指数 Shannon - Weaver 多样性指数计算公式为:

$$H' = - \sum [P_i (\ln P_i)] \quad (2)$$

式中: P_i 为某性状的第 i 个级内材料份数占总份数的百分比, 具体方法参照前人的研究方法^[11]。

2 结果与分析

2.1 芝麻种质资源聚类分析

通过聚类分析将 193 份芝麻种质资源分为 4 个类群(图 1)。I 类群包含 14 份材料, 占总资源的 7.25%, 包括江西省内 12 份材料和省外 2 份材料, 均是每叶腋花数为三花、四棱蒴果和混合、低始蒴高度(39.47 cm)、高单株蒴果数(89.48)和高单株

产量(14.06 g)的优质种质资源; II 类群共有 55 份材料, 占总资源 28.50%, 其中来源为江西省有 33 份, 省外有 22 份, 均是单秆、白花、四棱蒴果和混合、较高单株蒴果数(74.89)和高千粒质量(2.60 g)的具有增产潜力的种质资源; III 类群共有 18 份材料, 其中包括江西省内 14 份材料和省外 4 份材料, 均是白花、高秆(147.30 cm)、高始蒴高度(52.23 cm)、高每蒴粒数(96.55)和高千粒质量(2.64 g)的特殊种质资源; IV 类群共有 106 份材料, 其中包括江西省内 73 份材料和省外 33 份材料, 占总资源的 54.92%, 其均是低秆(114.44 cm)、低单株蒴果数(49.28)和低产(7.78 g)的较差种质资源。

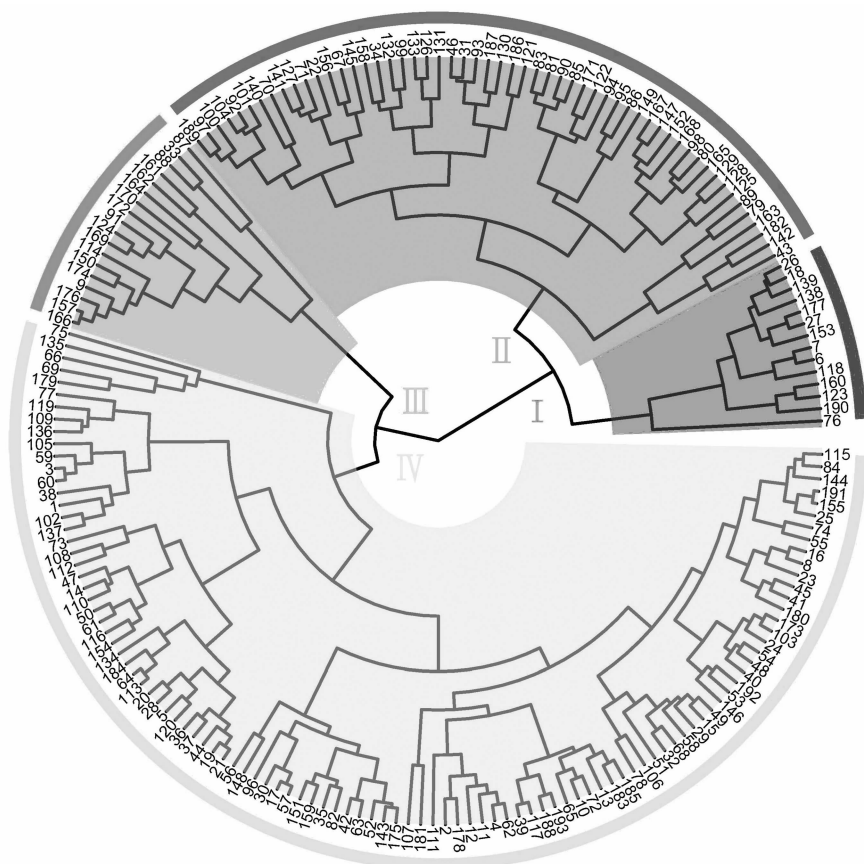


图1 芝麻种质资源聚类分析

2.2 芝麻种质资源表型性状的遗传多样性

2.2.1 质量性状 由表 3 可知, 193 份芝麻种质资源的主茎茸毛量以少为主, 占总资源的 64.25%, 其次是主茎茸毛量多的种质资源, 占总资源的 20.73%; 株型以单秆类型为主, 占总资源的 94.30%; 每叶腋花数以三花类型为主, 其次为单花类型, 分别占总资源的 74.61% 和 25.39%; 蒴果棱数以四棱为主, 占总资源的 84.97%, 其次为混合类

型, 占总资源的 11.92%; 花冠颜色以白色为主, 占总资源的 95.85%, 紫色和浅紫色只占 4.15%。5 个数量性状多样性指数范围为 0.17 ~ 0.90, 其中主茎茸毛量遗传多样性指数最大, 花冠颜色最小。

2.2.2 数量性状 从表 4 中可以看出, 193 份芝麻种质资源的 8 个数量性状中, 千粒质量变异系数最小, 为 3.32%, 空梢尖变异系数最大, 为 45.33%; 株高遗传多样性指数为 2.04, 平均值为 129.02 cm, 品

表 3 芝麻种质资源质量性状的分布和遗传多样性指数

性状	级别	赋值标准	份数	占总数的百分比(%)	遗传多样性指数
主茎茸毛量	少	1	124	64.25	0.90
	中等	2	29	15.03	
	多	3	40	20.73	
株型	单秆	1	182	94.30	0.22
	分枝	2	11	5.70	
每叶腋花数	单花	1	49	25.39	0.57
	三花	3	144	74.61	
蒴果棱数	四棱	4	164	84.97	0.52
	六棱	6	2	1.04	
	八棱	8	4	2.07	
	混合	9	23	11.92	
花冠颜色	白色	1	185	95.85	0.17
	浅紫色	2	1	0.52	
	紫色	3	7	3.63	

种 17-51 的株高最高(175.30 cm),黑芝麻 3954 株高最矮(73.86 cm);始蒴高度遗传多样性指数为 1.82,平均值为 44.86 cm,17-54 始蒴高度最高(84.20 cm),德安白芝麻最低(16.63 cm);空梢尖长度遗传多样性指数为 1.95,平均长度为 4.63 cm,17-134-2 空梢尖最长(10.13 cm),18-15 最短(0.53 cm);单株蒴果数遗传多样性指数为 2.00,平均值为 65.52 个,岱山黑芝麻单株蒴果数最多(132.67 个),大头棒最少(16.33 个);蒴果长度遗传多样性指数为 1.93,平均值为 3.32 cm,17-46-2 蒴果最长(4.67 cm),17-76-1 最短(2.37 cm);每蒴粒数遗传多样性指数为 1.77,武昌八方陀每蒴粒数最多(142.00 粒),皖芝 5 号每蒴粒数最少(50.33 粒);千粒质量遗传多样性指数为 1.90,平均值为 2.60 g,鄱阳黑芝麻 2 千粒质量最大(2.85 g),18052XH1 最小(2.42 g);单株产量遗传多样性指数为 1.98,平均单株产量为 11.14 g,孝感独角叶三角单株产量最高(19.37 g),鄱阳对夹乌最低(3.40 g)。

2.3 芝麻种质资源数量性状间相关性分析

由图 2 可知,193 份芝麻种质资源的 8 个数量性状的分布均符合正态分布,其中株高与始蒴高度、单株产量、每蒴粒数、蒴果长度和单株蒴果数呈极显著性正相关,与千粒质量呈显著性正相关;空梢尖长度与单株蒴果粒数和单株产量呈极显著正相关;单株蒴果数与单株产量呈极显著正相关,相关系数达 0.87;每蒴粒数与蒴果长度、单株产量均

达到极显著正相关,与千粒质量呈显著正相关;千粒质量与单株产量呈极显著正相关;单株蒴果和每蒴粒数呈现出显著的负相关性。

2.4 芝麻种质资源表型性状主成分分析

对芝麻种质资源的 13 个表型性状进行主成分分析,KMO(0.43)和 Bartlett($P < 0.01$)检验合格,前 7 个主成分累计贡献率达到了 80% 以上(表 5),其中第 1 主成分(PV1)贡献率最大,达到了 19.238 2%,对应的特征向量中单株蒴果数和单株产量值较大,此类性状与产量密切相关,因此,第 1 主成分为产量因子;第 2 主成分(PV2)贡献率为 16.891 9%,对应的特征向量中每蒴粒数和蒴果棱数值较大,此类性状与蒴果密切相关,因此,第 2 主成分为蒴果因子;第 3 主成分(PV3)贡献率为 12.667 9%,对应的特征向量中蒴果长度值最大,主茎茸毛量负向量值最大,说明蒴果长度与主茎茸毛量呈负相关;第 4 主成分(PV4)贡献率为 10.500 3%,对应的特征向量中始蒴高度值最大,蒴果长度负向量值最大,说明始蒴高度和蒴果长度具有一定的负相关性;第 5 主成分(PV5)贡献率为 8.171 7%,对应的特征向量中花冠颜色值最大,因此,第 5 主成分代表花冠颜色因子;第 6 主成分(PV6)贡献率为 7.543 2%,对应的特征向量中空梢尖长度值最大,株型为负向量值最大,表明空梢尖的长度与株型有一定的相关性;第 7 主成分(PV7)贡献率为 6.792 9%,对应的特征向量中株高值最大,因此第 7 主成分称为株高因子。

2.5 芝麻种质资源综合评价

对 193 份芝麻种质资源的 13 个表型性状原始数据用隶属函数进行标准化处理,计算 7 个主成分得分,将 7 个主成分得分归一化处理,计算各主成分权重系数(23.52%、20.64%、15.49%、12.84%、9.99%、9.22%、8.30%),求得每个品种的综合评价 D 值,利用 D 值对每个品种进行综合评价,其中 D 值越大,表明品种越优, D 值越小,品种越差。根据 D 值筛选出综合排名前五的品种(系)分别为 17-52、17-51、孝感独角叶三角、ND-7 和武昌竹竿青早麻,综合表现较差的 5 个品种(系)分别为金黄麻、黑芝麻 3954、18052XH1、大头棒和鄂芝 7 号。

2.6 回归模型的建立及筛选

以综合评价值 D 与 13 个表型性状为基础,以 D 值作为因变量,利用逐步回归法建立最优回归方程:

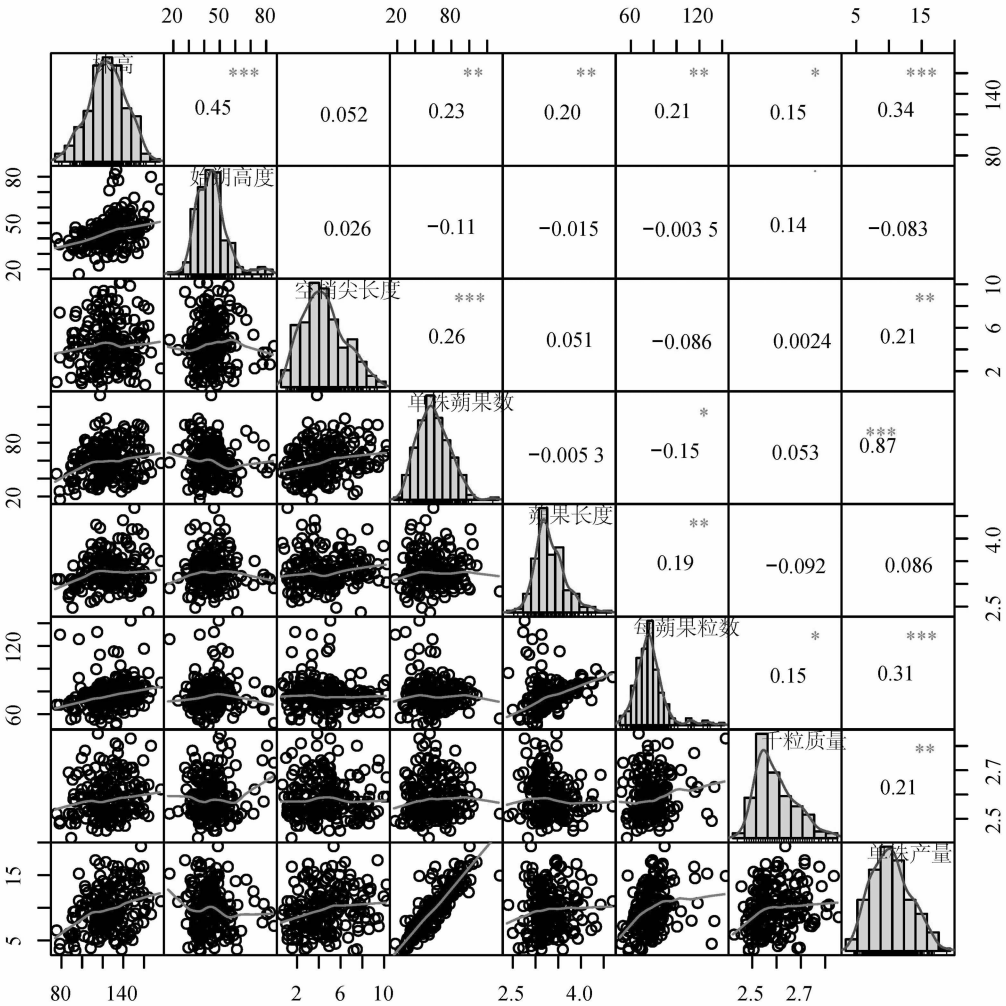
$$y = 0.14x_{13} + 0.02x_6 + 0.54x_1 + 0.03x_7 + 0.09x_8 + 0.25x_{12} + 0.20x_3 + 0.08x_4 - 0.049.$$

表 4 芝麻种质资源数量性状的变异和多样性

性状	项目	全体	类群 I	类群 II	类群 III	类群 IV
株高	最大值(cm)	175.30	125.87	163.07	175.30	147.53
	最小值(cm)	73.86	101.50	117.27	129.50	85.70
	平均值(cm)	129.02	114.64	139.70	147.30	114.44
	变异系数(%)	9.60	6.36	8.36	9.16	14.50
	遗传多样性指数	2.04	1.12	1.52	1.51	1.86
始蒴高度	最大值(cm)	84.20	45.23	84.20	71.67	59.57
	最小值(cm)	16.63	31.47	27.67	41.77	16.63
	平均值(cm)	44.86	39.47	44.92	52.23	42.80
	变异系数(%)	20.36	13.70	29.08	18.63	20.02
	遗传多样性指数	1.82	1.30	1.76	1.43	1.74
空梢尖长度	最大值(cm)	10.13	9.27	10.13	7.73	9.37
	最小值(cm)	0.53	1.97	1.83	0.70	0.53
	平均值(cm)	4.63	5.66	4.83	3.70	4.32
	变异系数(%)	45.33	37.11	44.37	48.89	50.95
	遗传多样性指数	1.95	1.83	1.85	1.69	1.93
单株蒴果数	最大值(个)	132.67	132.67	100.00	60.67	72.33
	最小值(个)	16.33	74.67	52.00	39.67	16.33
	平均值(个)	65.52	89.48	74.89	48.43	49.28
	变异系数(%)	18.98	17.27	17.57	12.70	28.38
	遗传多样性指数	2.00	1.30	1.56	0.87	1.71
蒴果长度	最大值(cm)	4.67	3.87	4.67	4.40	4.30
	最小值(cm)	2.37	2.83	2.70	2.37	2.60
	平均值(cm)	3.32	3.40	3.28	3.33	3.25
	变异系数(%)	11.28	8.59	11.32	14.59	10.62
	遗传多样性指数	1.93	1.67	1.76	1.96	1.91
每蒴粒数	最大值(粒)	142.00	82.33	96.67	142.00	129.67
	最小值(粒)	50.33	56.00	52.00	77.67	50.33
	平均值(粒)	81.04	76.02	77.04	96.55	74.55
	变异系数(%)	13.77	8.46	12.49	16.49	17.65
	遗传多样性指数	1.77	0.90	1.67	1.51	1.63
千粒质量	最大值(g)	2.85	2.78	2.74	2.83	2.80
	最小值(g)	2.42	2.45	2.49	2.47	2.42
	平均值(g)	2.60	2.58	2.60	2.64	2.57
	变异系数(%)	3.32	3.36	2.79	4.12	3.03
	遗传多样性指数	1.90	1.73	1.79	1.95	1.84
单株产量	最大值(g)	19.37	17.24	19.37	16.25	11.88
	最小值(g)	3.40	12.30	7.18	7.57	3.40
	平均值(g)	11.14	14.06	12.34	10.37	7.78
	变异系数(%)	21.34	11.72	20.78	23.79	29.07
	遗传多样性指数	1.98	1.17	1.75	1.43	1.62

式中: x_{13} 、 x_6 、 x_1 、 x_7 、 x_8 、 x_{12} 、 x_3 、 x_4 分别代表单株产量、株高、主茎茸毛量、始蒴高度、空梢尖长度、千粒质量、每叶腋花数和蒴果棱数 8 个表型性状,方程复相关系数 $R=0.997$,调整后 $R^2=0.994$,这 8 个指标

解释了 D 值 99.40% 的变异, $F=4\ 108.88$,方程极显著,相关性分析表明,上述 8 个性状均与 D 值呈现出极显著性的正相关(表 6),上述 8 个指标可作为筛选芝麻优异种质的关键性指标,该回归方程可



*、**、*** 分别表示在 0.05、0.01、0.001 水平显著相关

图2 芝麻种质资源数量性状间相关性分析

表 5 芝麻种质资源表型性状主成分分析

性状	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6	PV7
主茎茸毛量	0.168 8	0.040 6	-0.592 0	0.144 0	-0.135 8	0.161 4	0.350 4
株型	-0.039 5	0.332 0	0.096 2	0.372 7	-0.121 5	-0.504 1	-0.457 7
每叶腋花数	0.400 0	-0.378 1	-0.062 3	0.073 8	0.122 2	0.150 3	-0.010 9
蒴果棱数	0.118 3	0.383 8	-0.278 5	-0.248 7	0.241 2	0.148 0	-0.311 4
花冠颜色	-0.052 9	-0.042 9	-0.010 8	-0.049 1	0.773 0	-0.456 9	0.363 3
株高	0.214 5	0.382 2	0.290 5	0.177 6	-0.087 2	0.174 2	0.444 5
始蒴高度	-0.050 8	0.279 1	0.351 3	0.446 0	0.259 2	0.281 5	0.135 3
空梢尖长度	0.253 0	-0.162 3	0.274 9	-0.107 9	0.364 7	0.390 7	-0.418 6
单株蒴果数	0.559 7	-0.110 8	0.136 7	0.050 2	-0.112 4	-0.297 5	0.023 7
蒴果长度	-0.024 8	0.133 1	0.432 2	-0.520 4	-0.219 5	0.051 7	0.188 7
每蒴粒数	0.063 8	0.485 9	-0.189 9	-0.408 9	0.117 9	-0.013 1	-0.011 5
千粒质量	0.165 1	0.249 6	-0.179 6	0.277 2	0.089 1	0.232 3	-0.104 4
单株产量	0.579 0	0.131 5	0.039 8	-0.105 5	-0.075 1	-0.242 9	0.017 2
特征值	2.501 0	2.195 9	1.646 8	1.365 0	1.062 3	0.980 6	0.883 1
贡献率(%)	19.238 2	16.891 9	12.667 9	10.500 3	8.171 7	7.543 2	6.792 9
累计贡献率(%)	19.238 2	36.130 1	48.797 9	59.298 3	67.470 0	75.013 3	81.806 2

表 6 表型性状与综合得分(*D* 值)间的相关性

性状	<i>D</i> 值	性状	<i>D</i> 值
单株产量	0.70 **	空梢尖长度	0.26 **
株高	0.68 **	千粒质量	0.45 **
主茎茸毛量	0.45 **	每叶腋花数	0.33 **
始蒴高度	0.34 **	蒴果棱数	0.33 **

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平显著相关。

用于芝麻种质资源的综合评价。

3 讨论与结论

遗传多样性是生物保持和发展的基础,是生物多样性的基础和核心^[12]。本研究采用 Shannon - Wieners 多样性指数对芝麻种质资源的 13 个表型性状进行遗传多样性分析,统计发现,株高遗传多样性指数最大,花冠颜色最小。王治会等研究指出,遗传多样性指数较大,表明该性状遗传基础较广,改良潜力较大,遗传多样性指数较小,则表明该性状遗传基础较窄,改良潜力较小^[13]。此外,本研究发现 193 份芝麻种质资源的数量性状遗传多样性指数普遍高于质量性状,这与杨学乐等的研究结果^[7,14]一致,说明芝麻数量性状更易受环境的影响,而质量性状受环境影响较小,遗传更加稳定,因此,具有更小的遗传多样性指数。变异系数和遗传多样性指数都是描述遗传多样性的指标,变异系数是表现某性状变量的离散程度,遗传多样性指数反映的是种质资源间性状的丰富度^[15]。本研究表明,变异系数最高的为空梢尖长度,最低的为千粒质量,与遗传多样性指数排序有所不同,这与吕伟等的研究结果^[16]一致,遗传多样性指数与变异系数之间不存在相关性。

聚类分析是应用多元统计分析原理,按照相似程度研究分类问题的一种数学方法,分析结果客观科学^[17-18]。本研究采用聚类分析的方法将 193 份芝麻种质资源分为四大类,每一类群都有其显著的特征特性,这为育种家亲本的选择提供了依据。主成分分析利用降维的思想,把众多指标转化为少量综合指标因子,用较少的综合性指标因子对目标对象进行综合评价^[19]。吕伟等研究了 246 份不同来源芝麻的 14 个表型性状,选出产量因子、蒴果因子、株型因子等^[16]。韩俊梅等通过对 200 份芝麻进行主成分分析,选出株高因子、蜜腺因子、株型因子等^[6]。本研究通过主成分分析将 193 份芝麻种质资源的 13 个性状简化为 7 个主成分,选出产量因子、

蒴果因子、蒴果长度因子等。以上结果具有一定的差异,产生这些差异的主要原因可能是选用的种质资源和目标性状不同所导致的。

芝麻表型性状相互之间存在着复杂的相关性,影响芝麻种质资源高效研究和利用,采用逐步回归的方法,可以简化评价芝麻种质资源指标^[20]。本研究以 *D* 值为因变量,13 个表型性状为自变量,筛选出单株产量、株高等 8 个指标作为评价芝麻种质资源的关键性指标,为高效评价芝麻种质资源提供理论基础。此外,基于表型性状研究具有一定的局限性,为了更加全面了解芝麻种质资源的遗传本质,还应结合细胞生物学与分子标记技术等,扩宽芝麻种质资源研究的宽度和深度^[21-22]。

193 份芝麻种质资源类型丰富,遗传多样性丰富,数量性状遗传多样性指数高于质量性状。单株产量、株高、主茎茸毛量、始蒴高度、空梢尖长度、千粒质量、每叶腋花数、蒴果棱数可作为评价芝麻种质资源的关键性指标,综合评价 17-52 和 17-51 表现最好,在今后的育种工作中可加以利用。

参考文献:

- [1] Bedigian D, Harlan J R. Evidence for cultivation of sesame in the ancient world[J]. *Economic Botany*, 1986, 40(2): 137-154.
- [2] 杨 湄, 黄凤洪. 中国芝麻产业现状与存在问题、发展趋势与对策建议[J]. *中国油脂*, 2009, 34(1): 7-12.
- [3] 张爱民, 阳文龙, 方红曼, 等. 作物种质资源研究态势分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(3): 377-382.
- [4] 冯夏莲, 何承忠, 张志毅, 等. 植物遗传多样性研究方法概述[J]. *西南林学院学报*, 2006, 26(1): 69-74, 79.
- [5] 杨文娟, 高 媛, 魏 鑫, 等. 芝麻种质资源信息数据库的设计与构建[J]. *中国油料作物学报*, 2018, 40(1): 57-63.
- [6] 韩俊梅, 吕 伟, 任果香, 等. 200 份芝麻种质资源农艺性状遗传多样性分析[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(13): 95-99.
- [7] 杨学乐, 何录秋, 张 璐, 等. 湖南芝麻种质资源农艺性状的遗传多样性[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2019, 45(6): 577-582.
- [8] 崔彦芹, 郭元章, 蹇家利, 等. 河北省芝麻地方品种资源表型多样性分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2020, 21(1): 224-233.
- [9] 张秀荣, 冯祥运. 芝麻种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 9-71.
- [10] 王海岗, 贾冠清, 智 慧, 等. 谷子核心种质表型遗传多样性分析及综合评价[J]. *作物学报*, 2016, 42(1): 19-30.
- [11] 张斌斌, 蔡志翔, 沈志军, 等. 观赏桃种质资源表型性状多样性评价[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(11): 2406-2420.
- [12] 王晓娟, 邱丽娟, 景蕊莲, 等. 作物种质资源表型性状鉴定评价: 现状与趋势[J]. *植物遗传资源学报*, 2022, 23(1): 12-20.
- [13] 王治会, 彭 华, 江新风, 等. 江西茶树种质资源芽叶表型多样

仇律雯,杨 扬,范亚明,等. 国家东南区鲜食糯玉米品质及农艺性状与 SSR 标记遗传多样性分析[J]. 江苏农业科学,2022,50(18):130-135.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.18.020

国家东南区鲜食糯玉米品质及农艺性状 与 SSR 标记遗传多样性分析

仇律雯^{1,2}, 杨 扬², 范亚明², 田红丽², 易红梅², 王 璐², 任 洁², 葛建镨², 王风格², 陆大雷¹

(1. 江苏省作物遗传生理重点实验室/江苏省作物栽培生理重点实验室/江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心/
扬州大学农学院, 江苏扬州 225009; 2. 北京市农林科学院玉米研究中心/玉米 DNA 指纹及分子育种北京市重点实验室, 北京 100097)

摘要:中国东南区是我国鲜食糯玉米的主要生产、加工和消费地区。为了解该区域鲜食糯玉米的品质、农艺性状与简单重复序列(simple sequence repeats, SSR)标记遗传多样性,以国家东南区鲜食糯玉米区域试验样品为材料,用分子标记和形态学标记探究该区域鲜食糯玉米不同遗传背景下品质、农艺性状的差异。结果表明,41 份供试材料具有丰富的农艺、品质性状变异和 SSR 标记基因多样性:12 个农艺、品质性状的变异系数在 1.72%~36.10%之间,平均值为 14.06%;40 个 SSR 标记共检测出 321 个等位基因,多态信息含量(polymorphism information content, PIC)为 0.179~0.866(平均值为 0.658);供试材料的基因多样性为 0.186~0.877(平均值为 0.687)。聚类分析将供试 41 份材料划分为 4 个遗传背景不同的组群,以京科糯 2000 为代表的 I 组产量性状表现优秀,且组内材料数量最多;以苏玉糯 5 号为代表的 II 组材料数量次多,其组内品种皮渣率较低,含水率也低于其他组别。4 个聚类分组在农艺、品质性状上各有特点,根据不同育种需求,选择相应的杂优模式能够有效利用育种资源,从而加速鲜食糯玉米新品种的提优进程。

关键词:糯玉米;农艺性状;品质性状;SSR 标记;遗传多样性

中图分类号: S513.024 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)18-0130-06

糯玉米别称黏玉米、蜡质玉米,籽粒中支链淀粉含量接近 100%,可在乳熟期收获果穗用于鲜食,具有很高的营养价值和经济价值,其相关产业发展潜力巨大,是近年来我国种植业结构调整、贯彻落

实乡村振兴战略、拉动地方经济增长的首选作物^[1-3]。我国作为世界上糯玉米种植面积最大的国家^[2],对糯玉米的规划和发展尤为重视,主要表现在以下方面:2000 年,糯玉米作为鲜食玉米纳入国家品种管理,其选育品种开始参加国家级鲜食玉米区域试验;2008 年,全国农业技术推广服务中心品种管理处对鲜食玉米品种区域试验进行了改革完善,将我国糯玉米种植区域划分为东南、西南、东华北、黄淮海 4 个大区。东南区由于气候适宜、经济较为发达、当地居民喜食糯玉米等原因一直是参试品种数量最多的区域^[4]。随着人们生活水平的提高和膳食结构的变化,人们对于鲜食糯玉米营养、口

收稿日期:2021-09-21

基金项目:江苏省现代农业产业技术体系(编号:JATS[2020]444、JATS[2021]497)。

作者简介:仇律雯(1997—),男,江苏盐城人,硕士,从事玉米分子遗传多样性研究。E-mail:1347440540@qq.com。

通信作者:陆大雷,博士,教授,从事玉米栽培生理研究,E-mail:dllu@yzu.edu.cn;王风格,博士,研究员,从事玉米品种分子检测研究,E-mail:gege0106@163.com。

性分析[J]. 江苏农业科学,2020,48(1):134-138,142.

[14] 吕 伟,韩俊梅,任果香,等. 山西芝麻种质资源遗传多样性分析[J]. 作物杂志,2019(5):57-63,封2.

[15] 潘存祥,许 勇,纪海波,等. 西瓜种质资源表型多样性及聚类分析[J]. 植物遗传资源学报,2015,16(1):59-63.

[16] 吕 伟,韩俊梅,文 飞,等. 不同来源芝麻种质资源的表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2020,21(1):234-242,251.

[17] 潘高峰,张小燕,庞有强. 大麦种质资源光合色素和光合特性聚类分析[J]. 西北农业学报,2008,17(5):152-156.

[18] Geöcze K C, Barbosa L C A, Fidêncio P H, et al. Essential oils from

pequi fruits from the Brazilian Cerrado ecosystem [J]. Food Research International, 2013, 54(1):1-8.

[19] 奚广生,王艳玲. 大豆品种主要农艺及品质性状分析[J]. 大豆科学,2007,26(3):355-358,362.

[20] 徐泽俊,齐玉军,邢兴华,等. 黄淮海大豆种质农艺与品质性状分析及综合评价[J]. 植物遗传资源学报,2022,23(2):468-480.

[21] 魏晓羽,刘 红,瞿 辉,等. 158 份春兰种质资源的表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2022,23(2):398-411.

[22] 芮文婧,王晓敏,张倩男,等. 番茄 353 份种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 园艺学报,2018,45(3):561-570.