

严圭,李辉婕,华之梦,等.基于主成分分析的芝麻品质综合评价[J].江西农业大学学报,2020,42(6):1139-1150.



基于主成分分析的芝麻品质综合评价

严圭¹,李辉婕¹,华之梦¹,苏如奇¹,王敏¹,
舒金贵²,石锐²,方圣^{1*},吴自明^{1*}

(1.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;2.江西省鄱阳县农业农村局,江西鄱阳 333100)

摘要:【目的】对31份芝麻资源的油用品质进行综合评价,筛选出综合品质较高的油用品种。【方法】应用近红外光谱仪测定芝麻资源的13个品质性状,并采用主成分分析法建立芝麻油用品质综合评价模型,依据该模型对31份芝麻资源油用品质进行综合评价。【结果】代表芝麻油用品质的13个指标均存在品种间差异,其中品种间芝麻素、芝麻酚林、亚麻酸含量差异较大,棕榈酸、亚油酸含量差异较小;芝麻中油酸含量与亚油酸含量、芝麻素含量与亚麻酸含量间存在极显著的负相关关系,芝麻酚林含量与亚麻酸含量、亚麻酸含量与棕榈烯酸含量间存在极显著正相关关系;采用主成分分析法筛选出综合评价芝麻油用品质的核心指标:亚麻酸含量、油酸含量和芝麻酚林含量,依据芝麻品质评价模型评价出综合品质最优的5个芝麻品种依次为:鄱阳黑、鄱阳千层塔、鄱阳对夹乌、上饶车轮芝麻、星子芝麻。【结论】研究对31份芝麻资源的品质进行综合评价,筛选出了5个油用品质较优的品种,可为芝麻油用品质综合评价及油用高品质芝麻品种选育提供参考。

关键词:芝麻;油用品质;近红外光谱仪;主成分分析;综合评价

中图分类号:S565.3 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2020)06-1139-12

Comprehensive Evaluation of Quality of Sesame based on Principal Component Analysis

YAN Gui¹, LI Hui-jie¹, HUA Zhi-meng¹, SU Ru-qi¹, WANG Ming¹,
SHU Jin-gui², SHI Rui², FANG Sheng^{1*}, WU Zi-ming^{1*}

(1.Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education/Jiangxi Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2.Poyang County Agricultural Bureau, Poyang, Jiangxi 333100, China)

收稿日期:2020-05-22 修回日期:2020-07-23

基金项目:国家自然科学基金项目(32060438)、江西省花生芝麻产业技术体系(JXARS-18)和江西省教育厅科技计划项目(GJJ190226)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(32060438), the Jiangxi Province Peanut and Sesame Industry Technology System(JXARS-18) and the Science and Technology Plan Project of Jiangxi Education Department(GJJ190226)

作者简介:严圭, orcid.org/0000-0002-3211-6716, 2937115519@qq.com; *通信作者:方圣, 讲师, 博士, 主要从事作物栽培生理研究, orcid.org/0000-0002-5575-549X, 1393684991@qq.com; 吴自明, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事作物栽培生理与遗传育种研究, orcid.org/0000-0002-8805-514X, wuzmjxau@163.com。

Abstract: [Objective] This study was to conduct a comprehensive evaluation of the oil seed quality of 31 sesame resources, and select varieties with higher comprehensive oil seed quality. [Method] 13 traits of sesame resources were determined by near infrared spectroscopy, and a comprehensive evaluation model of sesame oilseed quality was established by principal component analysis. Based on the model, 31 sesame resources were evaluated. [Result] There were differences in all the 13 indicators representing the quality of sesame among the varieties, in which the content of sesamin, sesame phenolic, and linolenic acid varied greatly, and the content of palmitic acid and linoleic acid differed slightly. There was a very significant negative correlation between the content of sesamin and linolenic acid. There was a very significant positive correlation between the content of sesamin and linolenic acid, the content of linolenic acid and the content of palmitoleic acid. The core indicators for evaluating the quality of sesame were: linolenic acid content, oleic acid content and sesame phenolic forest content. According to the sesame oil seed quality evaluation model, the five sesame varieties with the best overall oil seed quality were evaluated as follows: Poyang black seame, Poyangqiancengta, Poyangyangduijawu, Shangraochelun seame, Xingzi sesame. [Conclusion] In this study, a comprehensive evaluation of the oil seed quality of 31 sesame resources was carried out, and five varieties with better overall quality were selected, which could provide a reference for comprehensive evaluation of sesame oil seed quality and the selection and breeding of oil seed high quality sesame varieties.

Keywords: sesame; oilseed quality; near infrared spectroscopy; principal component analysis; comprehensive evaluation

【研究意义】芝麻(*Sesamum indicum* L)属胡麻科1年生草本植物,是世界上古老的特色优质油料作物^[1]。按照芝麻利用途径,可将其划分为油用、副食品用、工业用、药用及饲料用5大适用类型,其中油用型和副食品用型为主要类型^[2]。不同适用类型芝麻品种籽粒成分特征不同,用于生产芝麻酱等副食品的芝麻往往要求含有较高的粗蛋白含量、较高的纤维素含量及较低的粗脂肪含量,以维持芝麻酱的稳定性,避免出现“固液分离”现象^[3]。优质的油用型芝麻则通常要求其籽粒中具有较高含量的不饱和脂肪酸及芝麻素、芝麻酚林等抗氧化活性物质,不饱和脂肪酸是人体不能合成的必须脂肪酸,对降低胆固醇、预防血管硬化具有良好效果。芝麻中特有的芝麻素、芝麻林素在加工中可转化为芝麻酚和芝麻素酚,可以预防高血压、延缓皮肤细胞衰老,利用优质的油用型芝麻压榨得到的芝麻油具有很高的营养与保健价值^[4]。因此选育出优质的油用型芝麻品种对于高品质芝麻油的开发具有重要意义。【前人研究进展】柳家荣等^[5]对410份芝麻种质的油分、蛋白质含量及脂肪酸组分进行了分析,筛选出18个油酸含量高于45%的品种,110个亚油酸含量高于45%的品种。张秀荣等^[6]对48份我国芝麻育成品种及高代品系的主要品质成分的含量进行了分析,筛选出7个含油量大于60%的高油资源、2个蛋白质含量大于24%的高蛋白资源及3个木质素含量大于1.1%的高木质素资源。贾斌等^[7]对317份国内芝麻的芝麻素及芝麻酚林含量进行测定,结果表明,白芝麻种质的芝麻素及芝麻酚林含量均显著高于黑芝麻。以上研究表明,不同芝麻品种间油分、脂肪酸组分、芝麻素、芝麻酚林含量等均存在差异,可以通过测定芝麻的品质指标,明确不同芝麻品种的适用类型。【本研究切入点】前人有关芝麻油用品质的综合分析报道较少,现有的芝麻油用品质评价方法往往孤立地考察脂肪酸组分、芝麻素、芝麻酚林等品质指标,而未能将这些指标进行综合分析,因此难以准确地对芝麻的油用品质进行综合评价。主成分分析法(PCA, Principle Component Analysis)将多个变量通过降维处理整合成几个较少的综合变量,尽可能地反映原有变量的信息,既达到化繁为简的目的,又可以对多个品质指标进行综合分析^[8]。本研究利用近红外光谱仪对31份芝麻资源的品质指标进行测定,采用主成分分析法建立芝麻油用品质优劣评价模型。【拟解决的关键问题】以该模型对31份芝麻资源的油用品质进行综合评价,筛选出油用品质较优良的芝麻资源,并为油用高品质芝麻品种的选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验采用收集自 5 个省份、21 个县市区的 31 个栽培面积较大的芝麻品种,其中地方品种 28 个,育成品种 3 个(表 1)。

表 1 31 种芝麻品种与产地
Tab.1 31 Sesame varieties and origins

编号 No.	品种 Cultivar	产地 Origins	类型 Type	编号 No.	品种 Cultivar	产地 Origins	类型 Type
1	孝感芝麻	湖北	地方品种	17	扶绥白芝麻	广西	地方品种
2	武昌四贯麻	湖北	地方品种	18	懒汉白芝麻	河南	地方品种
3	武昌八方陀	湖北	地方品种	19	青县白芝麻	河北	地方品种
4	武昌竹竿青早麻	湖北	地方品种	20	万年黑芝麻	江西	地方品种
5	襄阳米黄芝麻	湖北	地方品种	21	武宁黑芝麻	江西	地方品种
6	钟祥芝麻	湖北	地方品种	22	珠山黑芝麻	江西	地方品种
7	孝感独角叶三角	湖北	地方品种	23	鄱阳对夹乌芝麻	江西	地方品种
8	武昌转股麻	湖北	地方品种	24	鄱阳千层塔	江西	地方品种
9	武昌紫花麻	湖北	地方品种	25	星子芝麻	江西	地方品种
10	贵溪白芝麻	江西	地方品种	26	上饶车轮芝麻	江西	地方品种
11	德安白芝麻	江西	地方品种	27	高城黑芝麻	江西	地方品种
12	来宾白芝麻	广西	地方品种	28	鄱阳黑芝麻	江西	地方品种
13	沙岗四连子	广西	地方品种	29	赣芝 5 号	江西	育成品种
14	邕宁白芝麻	广西	地方品种	30	赣芝 7 号	江西	育成品种
15	鹿寨褐色芝麻	广西	地方品种	31	赣芝 8 号	江西	育成品种
16	渠西白芝麻	广西	地方品种				

1.2 试验方法

试验于 2018 年 8 月至 10 月在江西农业大学生态园进行,试验地土壤理化性质为:pH 值 6.1、有机质 22.5 g/kg、碱解氮 67.0 mg/kg、有效磷 9.76 mg/kg、速效钾 72.68 mg/kg、全氮 1.16 g/kg。按品种编号依次条播,每品种播种 4 行,行长 2 m,行距 40 cm,两对真叶期按照株距 15 cm 间苗。播种前每公顷施用 300 kg 三元复合肥(N:P:K=15:15:15)作底肥,后期栽培管理均按当地耕作习惯和水平进行。成熟期收获籽粒,并利用 DS2500F 型近红外光谱仪(美国 Foss 公司)对样品进行检测,重复 3 次。检测品质指标包括芝麻素、芝麻酚林、棕榈烯酸、棕榈烯酸、十七烷酸、十七碳烯酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生酸、花生烯酸、粗脂肪含量共 13 个性状。

1.3 数据处理

利用 Excel 2010 软件整理数据并进行变异分析,利用 SPSS Statistics22.0 软件进行相关性分析、主成分分析及聚类分析。

2 结果与分析

2.1 品质性状的变异分析

表 2 为不同品种芝麻品质的测定结果,各品质性状在不同材料间的含量差异较大,遗传变异比较丰富。13 个品质性状的变异幅度在 3.63%~40.74%,其中芝麻素含量变异系数最大,为 40.74%,棕榈酸含量变异系数最小,为 3.63%。

2.2 品质性状的相关性分析

从相关系数矩阵可知,各性状之间存在一定的相关性。其中,芝麻素含量与亚麻酸含量、棕榈烯酸

含量与硬脂酸含量、硬脂酸含量与亚麻酸含量、油酸含量与亚油酸含量、亚麻酸含量与花生烯酸含量间均存在极显著的负相关关系,而芝麻素含量与硬脂酸含量,芝麻酚林含量与亚麻酸含量,棕榈烯酸含量与亚油酸含量,十七烷酸含量与十七碳烯酸、油酸含量,亚麻酸含量与花生酸含量间均存在极显著的正相关关系(表3)。指标上的相关性说明所得的统计数据反映的信息在一定程度上有所重叠,因此有必要通过主成分分析对13项指标进行简化来提高综合评价的准确性。

表2 31种芝麻的品质指标
Tab.2 Quality indexes of 31 kinds of sesame

品种 Cultivar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
孝感芝麻 Xiaogan sesame	5.11	2.36	8.64	0.10	0.09	0.04	4.99	32.01	53.97	0.14	0.59	0.18	53.29
武昌四贯麻 Wuchangsiguanma	4.39	1.89	9.85	0.11	0.08	0.04	4.91	34.18	50.61	0.18	0.61	0.18	53.49
武昌八方陀 Wuchangbafangtuo	5.42	2.30	9.23	0.10	0.09	0.05	4.96	32.14	53.4	0.16	0.60	0.18	52.2
武昌竹竿青早麻 Wuchangzhuganqingzaoma	5.65	2.12	9.20	0.10	0.07	0.04	4.83	33.29	52.46	0.13	0.59	0.18	55.28
襄阳米黄芝麻 Xiangyang yellow sesane	5.23	2.29	8.71	0.11	0.08	0.04	4.89	31.58	54.25	0.17	0.60	0.18	56.33
钟祥芝麻 Zhongxiang sesame	3.58	1.55	8.89	0.10	0.09	0.05	4.99	34.86	51.03	0.15	0.61	0.18	53.74
孝感独角叶三角 Xiaogandujiaoyesanjiao	4.74	1.37	9.44	0.09	0.10	0.05	5.03	33.26	52.74	0.15	0.62	0.18	49.29
武昌转股麻 Wuchangzhuanguma	5.11	1.92	9.42	0.11	0.07	0.04	4.76	33.05	52.01	0.15	0.59	0.18	56.86
武昌紫花麻 Wuchangzihuama	4.55	1.93	9.35	0.11	0.08	0.04	4.87	31.81	53.75	0.17	0.60	0.18	54.1
贵溪白芝麻 Guixi white sesame	3.60	2.00	9.16	0.11	0.09	0.05	5.01	34.39	50.85	0.17	0.62	0.19	53.3
德安白芝麻 Dean white sesame	3.91	2.27	9.33	0.11	0.09	0.04	5.04	33.93	51.04	0.16	0.62	0.18	52.79
来宾白芝麻 Laibin white sesame	5.27	2.03	9.08	0.10	0.08	0.04	4.94	32.59	53.2	0.21	0.61	0.17	51.93
沙岗四连子 Shagangsilianzi	4.22	1.63	9.51	0.10	0.08	0.04	4.90	33.44	51.69	0.16	0.62	0.18	54.2
邕宁白芝麻 Yongning white sesame	4.63	1.87	9.03	0.10	0.08	0.04	4.89	32.49	52.84	0.15	0.61	0.18	54.64
鹿寨褐芝麻 Luzhai brow sesame	4.03	1.98	9.29	0.10	0.08	0.04	4.95	34.01	51.35	0.16	0.61	0.18	54.63
渠西白芝麻 Quxi white sesame	4.35	1.37	9.89	0.10	0.08	0.04	4.89	30.07	54.86	0.16	0.60	0.17	54.55

续表 2

品种 Cultivar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
扶绥白芝麻 Fusui white sesame	6.07	2.10	10.27	0.10	0.07	0.03	4.74	30.91	53.70	0.18	0.61	0.17	55.16
懒汉白芝麻 Lanhan white sesame	3.89	2.12	9.45	0.09	0.11	0.06	5.15	37.48	47.43	0.17	0.65	0.18	48.96
青县白芝麻 Qingxian white sesame	3.39	1.82	9.52	0.09	0.11	0.06	5.22	39.57	45.61	0.17	0.66	0.19	47.91
万年黑芝麻 Wannian black sesame	1.88	3.42	9.05	0.12	0.09	0.05	4.29	30.83	55.03	0.30	0.65	0.16	51.87
武宁黑芝麻 Wuning black sesame	2.05	1.69	9.05	0.12	0.10	0.06	4.04	33.56	52.43	0.28	0.71	0.16	49.77
珠山黑芝麻 Zhushan black sesame	1.81	2.17	9.07	0.12	0.10	0.06	4.29	31.76	53.89	0.27	0.76	0.16	49.20
鄱阳对夹乌芝麻 Poyangduijiawu sesame	1.93	2.79	9.07	0.12	0.09	0.06	3.96	32.02	54.21	0.32	0.66	0.16	51.07
鄱阳千层塔 Poyangqiancengta	1.94	2.02	9.09	0.12	0.11	0.06	4.03	34.97	51.25	0.31	0.71	0.16	49.30
星子芝麻 Xingzi sesame	1.92	1.71	9.09	0.12	0.10	0.06	3.84	32.5	53.67	0.28	0.75	0.16	47.91
上饶车轮芝麻 Shangraochelun sesame	1.80	1.54	9.12	0.12	0.10	0.06	3.51	32.3	54.05	0.28	0.78	0.16	48.03
高城黑芝麻 Gaocheng black sesame	2.02	2.67	9.05	0.12	0.09	0.05	3.78	34.04	52.67	0.30	0.61	0.16	53.46
鄱阳黑芝麻 Poyang black sesame	1.97	2.80	9.03	0.12	0.10	0.06	4.47	33.52	50.74	0.30	0.70	0.16	47.69
赣芝 5 号 Ganzhi 5 hao	1.92	2.77	9.04	0.12	0.09	0.05	4.03	31.47	55.48	0.27	0.68	0.16	52.68
赣芝 7 号 Ganzhi 7 hao	1.86	1.98	9.06	0.12	0.10	0.06	4.05	31.55	54.11	0.26	0.74	0.16	49.72
赣芝 8 号 Ganzhi 8 hao	1.90	2.24	9.06	0.12	0.09	0.06	4.15	31.66	54.82	0.28	0.68	0.16	51.63
均值 Mean	3.55	2.09	9.23	0.11	0.09	0.05	4.59	33.07	52.55	0.21	0.65	0.17	52.10
标准差 SD	1.45	0.45	0.33	0.01	0.01	0.01	0.48	1.92	2.14	0.06	0.06	0.01	2.68
变异系数 CV	40.74%	21.75%	3.63%	9.71%	12.71%	19.27%	10.54%	5.80%	4.08%	30.43%	8.66%	6.08%	5.14%

1-芝麻素(mg/g);2-芝麻酚林(mg/g);3-棕榈酸(%);4-棕榈烯酸(%);5-十七烷酸(%);6-十七碳烯酸(%);7-硬脂酸(%);8-油酸(%);9-亚油酸(%);10-亚麻酸(%);11-花生酸(%);12-花生烯酸(%);13-粗脂肪(%)

1-Sesamin(mg/g);2-Sesamol(mg/g);3-Palmitic(%);4-Palmitolei(%);5-Heptadecanoic(%);6-Heptadecenoic(%);7-Stearic(%);8-Oleic(%);9-Linoleic(%);10-Linolenic(%);11-Arachidic(%);12-Arachidonic(%);13-Oil(%)

2.3 品质性状的主成分分析

对 31 个芝麻品种的 13 个品质指标进行主成分分析,提取出 3 个特征值大于 1 的主成分,其累计方差贡献率达到 85.385%,可以解释绝大部分原始信息(表 4)。其中第一主成分的特征值 6.730,贡献率 51.770%,第一主成分载荷较高的为亚麻酸,其次是芝麻素和硬脂酸,因此将第一主成分称为亚麻酸因子。第二主成分的特征值 3.222,贡献率 24.782%,在第二主成分中,油酸的载荷最大,其次是亚油酸和十七烷酸,因此将第二主成分称为油酸因子。第三主成分的特征值 1.148,方差贡献率 8.833%,第三主成分中,芝麻酚林的载荷最大,将第三主成分称为芝麻酚林因子(表 5)。3 个主成分因子累计贡献率达到 85.385%,较全面地反映了芝麻的 13 个品质性状。

表 3 芝麻品质指标间的相关性分析

Tab.3 Correlation analysis of quality indexes of sesame

性状 Trait	芝麻素 Sesamin	芝麻酚林 Sesamol	棕榈酸 Palmitic	棕榈烯酸 Palmitoleic	十七烷酸 Heptadecanoic	十七碳烯酸 Heptadecenoic	硬脂酸 Stearic	油酸 Oleic	亚油酸 Linoleic	亚麻酸 Linolenic	花生酸 Arachidic	花生烯酸 Arachidonic	粗脂肪 Oil
芝麻素 Sesamin	1												
芝麻酚林 Sesamol	-0.293	1											
棕榈酸 Palmitic	0.378*	-0.341	1										
棕榈烯酸 Palmitoleic	-0.766**	0.432*	-0.393*	1									
十七烷酸 Heptadecanoic	-0.650**	0.000	-0.287	0.190	1								
十七碳烯酸 Heptadecenoic	-0.817**	0.100	-0.375*	0.455*	0.865**	1							
硬脂酸 Stearic	0.796**	-0.255	0.317	-0.851**	-0.319	-0.572**	1						
油酸 Oleic	-0.021	-0.200	0.076	-0.394*	0.471**	0.292	0.329	1					
亚油酸 Linoleic	-0.115	0.228	-0.240	0.479**	-0.357*	-0.158	-0.479**	-0.958**	1				
亚麻酸 Linolenic	-0.878**	0.461**	-0.322	0.842**	0.479**	0.689**	-0.889**	-0.188	0.308	1			
花生酸 Arachidic	-0.810**	-0.006	-0.244	0.624**	0.683**	0.801**	-0.739**	-0.021	0.107	0.740**	1		
花生烯酸 Arachidonic	0.751**	-0.357*	0.244	-0.791**	-0.302	-0.521**	0.896**	0.446*	-0.538**	-0.911**	-0.700**	1	
粗脂肪 Oil	0.650**	0.013	0.168	-0.250	-0.900**	-0.857**	0.417*	-0.322	0.243	-0.573**	-0.795**	0.444*	1

“*”“**”分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关

“*”“**”indicate significant correlation at 0.05 and 0.01 levels, respectively

表 4 主成分的特征值、方差贡献率和累计方差贡献率

Tab.4 Eigenvalue, variance contribution rate and cumulative variance contribution rate of principal components

主成分 Principal components	特征值 Eigenvalue	方差贡献率/% Variance contribution rate	累计方差贡献率/% Cumulative variance contribution rate
1	6.730	51.770	51.770
2	3.222	24.782	76.551
3	1.148	8.833	85.385

用各品质指标的主成分载荷除以主成分相对应的特征值开平方根,得到 3 个主成分中每个品质指标所对应的系数即特征向量,以特征向量为权重构建 3 个主成分得分的函数表达式: (F_1 为第一主成分得分; F_2 为第二主成分得分; F_3 为第三主成分得分)

$$F_1 = -0.361X_1 + 0.128X_2 - 0.052X_3 + 0.104X_4 - 0.084X_5 - 2.250X_6 - 0.896X_7 + 0.351X_8 + 0.387X_9 + 3.838X_{10} + 0.491X_{11} + 0.674X_{12} - 0.702X_{13} \quad (1)$$

$$F_2 = -0.061X_1 - 0.196X_2 + 0.504X_3 - 0.492X_4 - 0.242X_5 + 0.358X_6 + 0.455X_7 + 0.460X_8 - 0.494X_9 + 0.527X_{10} + 0.489X_{11} - 0.394X_{12} - 0.485X_{13} \quad (2)$$

$$F_3 = -0.047X_1 + 0.673X_2 + 0.213X_3 - 0.149X_4 + 0.089X_5 + 0.643X_6 - 0.377X_7 + 0.446X_8 + 0.269X_9 - 0.128X_{10} + 0.194X_{11} - 0.549X_{12} + 0.329X_{13} \quad (3)$$

表 5 主成分在各品质指标上的因子载荷矩阵
Tab.5 Rotated component matrix of the principle component analysis

品质指标 Quality index	主成分 Principal components		
	1	2	3
芝麻素(X_1) Sesamin	-0.936	-0.110	-0.047
芝麻酚林(X_2) Sesamolin	0.332	-0.351	0.721
棕榈酸(X_3) Palmitic	-0.434	0.095	-0.620
棕榈烯酸(X_4) Palmitoleic	0.816	-0.404	0.073
十七烷酸(X_5) Heptadecanoic	0.642	0.689	0.042
十七碳烯酸(X_6) Heptadecenoic	0.825	0.478	0.031
硬脂酸(X_7) Stearic	-0.886	0.288	0.150
油酸(X_8) Oleic	-0.134	0.905	0.228
亚油酸(X_9) Linoleic	0.271	-0.883	-0.160
亚麻酸(X_{10}) Linolenic	0.946	-0.137	0.043
花生酸(X_{11}) Arachidic	0.877	0.208	-0.294
花生烯酸(X_{12}) Arachidonic	-0.870	0.352	0.157
粗脂肪(X_{13}) Oil	-0.707	-0.588	0.146

以 3 个主成分中每个主成分的贡献率占有所有提取主成分的贡献率之和的比值为权重,构建综合评价模型: $S(\text{品质综合得分})=0.606F_1+0.290F_2+0.103F_3$ 。对各品种芝麻的品质指标原始数据进行标准化处理后,根据综合得分模型可计算出不同品种芝麻的综合得分(表 6),得分越高,品质越优。31 个芝麻品种中品质较优的依次为鄱阳黑芝麻、鄱阳对夹乌芝麻、鄱阳千层塔、上饶车轮芝麻、星子芝麻。

表 6 芝麻主成分得分及排名
Tab.6 Principal components value of sesame varieties

品种 Cultivar	F_1	排名 Rank	F_2	排名 Rank	F_3	排名 Rank	S	综合排名 ComprehensiveRank
孝感芝麻 Xiaogan sesame	-2.790	27	-3.088	25	-1.099	27	-2.699	28
武昌四贯麻 Wuchangsiguanma	-2.162	25	-1.901	19	-0.066	15	-1.868	22
武昌八方陀 Wuchangbafnagtu	-1.146	18	-2.370	21	-0.670	22	-1.451	17
武昌竹竿青早麻 Wuchangzhuganqingzaoma	-2.916	28	-3.807	29	-0.239	16	-2.896	29
襄阳米黄芝麻 Xiangyang yellow sesame	-3.171	29	-3.466	27	-0.023	14	-2.929	30
钟祥芝麻 Zhongxiang sesame	-1.892	22	-0.768	15	-1.085	26	-1.481	19
孝感独角叶三角 Xiaogandujiaoyesanjiao	0.386	16	-1.037	17	-2.969	31	-0.373	16
武昌转股麻 Wuchangzhuanguma	-4.312	31	-3.529	28	0.269	11	-3.609	31
武昌紫花麻 Wuchangzihuama	-2.726	26	-3.146	26	-0.589	21	-2.625	27
贵溪白芝麻 Guixi white sesame	-1.905	23	-0.968	16	-0.351	18	-1.471	18

续表 6

品种 Cultivar	F_1	排名 Rank	F_2	排名 Rank	F_3	排名 Rank	S	综合排名 ComprehensiveRank
德安白芝麻 Dean white sesame	-3.384	30	-1.516	18	0.046	13	-2.485	25
来宾白芝麻 Laibin white sesame	1.732	10	-1.918	20	-0.768	24	0.414	15
沙岗四连子 Shagangsilianzi	-1.207	20	-2.512	23	-1.146	28	-1.578	21
邕宁白芝麻 Yongning white sesame	-1.849	21	-3.038	24	-1.083	25	-2.113	24
鹿寨褐芝麻 Luzhai brown sesame	-1.198	19	-2.484	22	-0.547	20	-1.503	20
渠西白芝麻 Quxi white sesame	-2.083	24	-4.145	30	-1.537	30	-2.622	26
扶绥白芝麻 Fusui white sesame	-1.063	17	-4.913	31	-0.391	19	-2.109	23
懒汉白芝麻 Lanhan white sesame	1.662	11	2.246	10	-0.757	23	1.580	13
青县白芝麻 Qingxian white sesame	2.602	5	3.143	8	-1.389	29	2.345	7
万年黑芝麻 Wannian black sesame	3.023	3	0.467	14	2.546	1	2.229	9
武宁黑芝麻 Wuning black sesame	1.560	12	4.403	4	0.453	10	2.269	8
珠山黑芝麻 Zhushan black sesame	2.059	8	3.586	6	1.139	7	2.405	6
鄱阳对夹乌芝麻 Poyangduijiawu sesame	4.357	1	2.444	9	1.991	3	3.554	2
鄱阳千层塔 Poyangqiancengta	2.697	4	5.619	1	0.741	8	3.340	3
星子芝麻 Xingzi sesame	2.355	6	4.698	3	0.093	12	2.799	5
上饶车轮芝麻 Shangraochelun sesame	2.321	7	5.192	2	-0.260	17	2.886	4
高城黑芝麻 Gaocheng black Sesame	1.400	13	2.053	11	1.724	5	1.621	12
鄱阳黑芝麻 Poyang black sesame	3.813	2	4.334	5	2.118	2	3.786	1
赣芝 5 号 Ganzhi 5 hao	0.886	15	0.952	13	1.738	4	0.992	14
赣芝 7 号 Ganzhi 7 hao	0.911	14	3.461	7	0.695	9	1.627	11
赣芝 8 号 Ganzhi 8 hao	2.040	9	2.006	12	1.415	6	1.964	10

2.4 品质性状的聚类分析

将 13 个品质性状指标进行标准化转换后,采用欧氏距离离差平方和法对 31 份芝麻资源进行系统聚类,结果如图 1 所示。结果表明,在欧式距离 9.0 处可将 31 份芝麻资源聚为 4 大类群。其中第 I 类群包含 12 份资源,该类群的芝麻具有亚麻酸含量最高、油酸含量与芝麻酚林含量均较高、粗脂肪含量较低的特点,综合品质得分排名靠前,品质较优。第二类群包含 2 份资源,该类群的芝麻粗脂肪含量高、芝麻素含量较高、亚麻酸含量低,综合品质较差;第三类群包含 15 份资源,该类群的芝麻具有粗脂肪含量高、亚麻酸含量低特点,综合品质排名靠后,品质较差;第四类群包含 2 份资源,该类群的芝麻具有含油量中等、亚麻酸含量中等的特点,综合品质排名中等。

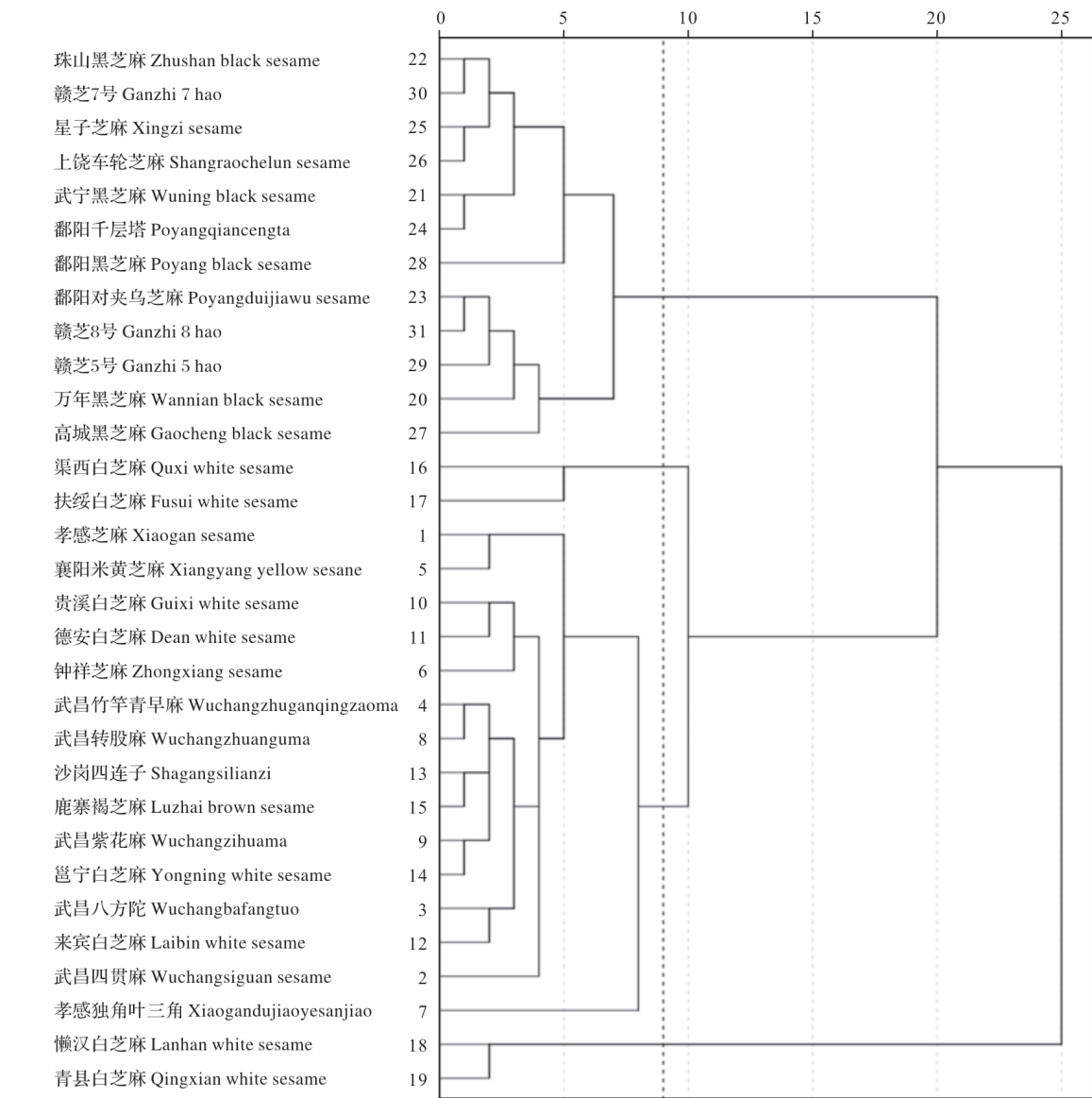


图1 31份芝麻资源的品质聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of quality of 31 sesame varieties

3 讨论与结论

我国丰富的芝麻种质资源,是进行高品质芝麻育种的重要材料^[9-10]。对现有的芝麻种质资源进行鉴定、评价,有利于种质资源的高效利用,对于芝麻育种工作具有重大意义^[11]。近年来兴起的近红外光谱技术具有快速、无污染、不破坏样本等优点^[12-16],在农作物品质分析上应用广泛,但在芝麻品质检测上仍报道较少^[17-18]。本研究利用近红外光谱仪测定不同芝麻品种的品质指标,发现不同芝麻品种间品质差异

较大。其中芝麻素含量、芝麻酚林含量、亚麻酸含量的变异系数均大于10%,芝麻素含量的变异系数甚至达到40.74%,而棕榈酸、粗脂肪等变异系数均小于10%,这与刘盼等^[19]的研究结果一致。因此在选育新品种时,芝麻素的选择空间较大,而棕榈酸、粗脂肪的选择难度较大。相关性分析表明,芝麻籽粒中芝麻素含量与粗脂肪含量呈极显著正相关,与梅鸿献等^[20]的研究结果一致,棕榈酸含量与硬脂酸含量呈极显著正相关关系,而与亚油酸含量呈极显著负相关关系,油酸含量与亚油酸含量呈极显著负相关关系,与汪学德^[21]等先前的研究结果一致。这些脂肪酸含量间的相关性可能与芝麻的生长环境及生长过程中的脂肪酸合成路径有关^[22-24]。

现有的芝麻油用品质评价方法往往较多地使用变异分析和相关性分析,这些方法仍存在片面性强、主观性强的问题,难以客观、准确地反映芝麻的油用综合品质^[25-26]。而主成分分析可将多个评价指标简化为少量的几个综合指标,去除不重要部分,保证原信息损失小且变量数目尽可能少^[27-29],可对农产品品质进行综合评价,已在花生、红麻、柑橘、苹果等多种农产品的品质评价上得到应用^[30-31]。本研究采用主成分分析方法从31份芝麻资源的13个油用品质指标中提取3个主成分,可反映所有品质指标85.385%的信息,同时筛选出对芝麻品质影响最大的3个核心指标:亚麻酸含量、油酸含量、芝麻酚林含量。以主成分的特征向量为权重构建主成分的函数公式,以所选主成分对应的贡献率占累计贡献率的比例为权重,得到芝麻油用品质综合评价模型,将原始数据标准化后,代入到上述公式中即可求得品质综合得分。参试品种中综合得分最高的前5个品种依次为鄱阳黑芝麻、鄱阳千层塔、鄱阳对夹乌、上饶车轮芝麻、星子芝麻。以31份芝麻资源的油用品质参数为指标,利用欧式距离离差平方和法对这些品种进行系统聚类,可将31份芝麻资源划分为4大类群,其中上述综合得分最高的5个品种均被聚为第I类群中,聚在该类群的品种具有高芝麻酚林、高亚麻酸含量的特点,油用综合品质较高,可作为高品质芝麻油的生产原料;懒汉白芝麻、青县白芝麻被聚为第IV类群,该类群油用综合品质中等,但懒汉白芝麻和青县白芝麻中油酸含量高,可作为选育高油酸芝麻的亲本加以利用;其余品种被聚为第II、III类群,这些芝麻的油用综合品质较差,但该类群中有些品种某一方面的品质较为突出,如武昌竹竿青早麻、扶绥白芝麻的芝麻素含量较高,分别达到5.65 mg/g、6.07 mg/g,襄阳米黄芝麻、武昌转股麻的粗脂肪分别达到56.33%和56.83%,这些品种可作为选育专用型品种如高芝麻素、高含油量芝麻的亲本加以利用。

本研究应用近红外光谱仪测定31份芝麻资源的13个油用品质指标,并利用主成分分析法构建了芝麻油用品质优劣综合评价模型,依据该模型对31份芝麻资源的油用品质进行综合评价,油用品质较优的5个芝麻品种依次为鄱阳黑芝麻、鄱阳千层塔、鄱阳对夹乌、上饶车轮芝麻、星子芝麻。试验结果可为芝麻新品种的选育、芝麻产品的开发利用提供参考。

参考文献:

- [1] 郑永战,刘艳阳,张海洋,等.芝麻种质资源研究进展与展望[J].河南农业科学,2011,40(6):21-27.
Zheng Y Z, Liu Y Y, Zhang H Y, et al. Research advances and prospect of sesame germplasm resources in China[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2011, 40(6): 21-27.
- [2] 孙建,乐美旺,何才和,等.中国主要黑芝麻品种的遗传多样性分析[J].植物遗传资源学报,2015,16(2):269-276.
Sun J, Le M W, He C H, et al. Analysis of genetic diversity of main black sesame cultivars released in China[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(2): 269-276.
- [3] 刘素慧,汪学德,魏其超,等.芝麻品种对芝麻酱品质特性的影响[J].食品工业科技,2019,40(2):81-86.
Liu S H, Wang X D, Wei Q C, et al. Effect of sesame varieties on quality characteristics of sesame paste[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(2): 81-86.
- [4] Cheng F C, Tzyy-Rong J, Hou R C W, et al. Neuroprotective effects of sesamin and sesamol on gerbil brain in cerebral ischemia[J]. International Journal of Biomedical Science Ijbs, 2006, 2(3): 284-288.

- [5] 柳家荣,郑永战,徐如强.芝麻种质营养品质研究[J].华北农学报,1992(3):110-116.
Liu J R, Zheng Y Z, Xu R Q. Study on nutritional quality of sesame germplasm [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1992 (3): 110-116.
- [6] 张秀荣,李培武,汪雪芳,等.芝麻种子木质素组分、粗脂肪、粗蛋白含量及相关性分析.中国油料作物学报,2005(3):88-90.
Zhang X R, Li P W, Wang X F, et al. Studies on Relationship among lignans, oil and protein content in seameed [J]. Chinese Journal of Oil Crop Science, 2005(3): 88-90.
- [7] 贾斌,王允,尹海燕,等.黑、白芝麻营养成分及品质的差异分析[J].河南农业科学,2020,49(5):69-74.
Jia B, Wang Y, Yin H Y, et al. Differential analysis of nutritional and quality components of black and white sesame [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2020, 49(5): 69-74.
- [8] Yulong L I, Yang Y, Guoquan L U. Optimization of frying process for sweet potato chips based on uniform design and principal component analysis [J]. Food Science, 2017, 4.
- [9] Shi L K, Liu R J, Jin Q Z, et al. The contents of lignans in lesame seeds and commercial sesame oils of China [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2017, 94(8): 1035-1044.
- [10] Zhang Y, Zhang X, Hua W, et al. Analysis of genetic diversity among indigenous iandraces from sesame (*Sesamum indicum* L.) core collection in China as revealed by SRAP and SSR markers [J]. Genes & Genomics, 2010, 32(3): 207-215.
- [11] 王斌,赵利,王利民,等.胡麻种质资源主要品质性状的分析与评价[J].中国油料作物学报,2018,40(6):785-792.
Wang B, Zhao L, Wang L M, et al. Main quality traits analysis and evaluation of oil flax germplasm [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2018, 40(6): 785-792.
- [12] 卜晓朴,彭彦昆,王文秀,等.生鲜紫薯花青素等多品质参数的可见-近红外快速无损检测[J].食品科学,2018,39(16):227-232.
Bu X P, Peng Y K, Wang W X, et al. Rapid nondestructive detection of multiple quality parameters of fresh purple sweet potato based on visible near infrared spectroscopy [J]. Food Science. 2018, 39(16): 227-232.
- [13] Dong C, Zhu H, Wang J, et al. Prediction of black tea fermentation quality indices using nirs and nonlinear tools [J]. Food Science & Biotechnology, 2017, 26(4): 1-8.
- [14] Nordey T, Joas J, Davrieux F, et al. Robust nirs models for non-destructive prediction of mango internal quality [J]. Scientia Horticulturae, 2017, 216: 51-57.
- [15] Saha U, Jackson D. Analysis of moisture, oil, and fatty acid composition of olives by near-infrared spectroscopy: development and validation calibration models [J]. J Sci Food Agric, 2018, 98(5): 1821-1831.
- [16] Moreira A C D O, Machado A H D L, Almeida F V D, et al. Rapid purity determination of copaiba oils by a portable nirspectrometer and pls [J]. Food Analytical Methods, 2017(8): 1-11.
- [17] 商志伟,赵云,沈奇,等.紫苏种子品质的近红外光谱分析[J].光谱学与光谱分析,2017,37(12):3719-3724.
Shang Z W, Zhao Y, Shen Q, et al. Quality analysis with naer infrared spectroscopy in *Perilla* seed [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2017, 37(12): 3719-3724.
- [18] Pomaresviciana T, Martínezvaldivieso D, Font R, et al. Characterization and predicting of carbohydrate content in zucchini fruit using near infrared spectroscopy [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2017, 98(5): 1703-1711.
- [19] 刘盼,张艳欣,黎冬华,等.基于近红外模型的芝麻核心种质油脂和蛋白质含量变异分析[J].中国油料作物学报,2016,38(6):722-729.
Liu P, Zhang Y X, Li D H, et al. Oil and protein contents analysis of sesame core collections based on near infrared reflectance spectroscopy model [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2016, 38(6): 722-729.
- [20] 梅鸿献,魏安池,刘艳阳,等.芝麻种质资源芝麻素、蛋白质、脂肪含量变异及其相关分析[J].中国油脂,2013,38(4):87-90.
Mei H X, Wei A C, Liu Y Y, et al. Variation and correlation analysis of sesamin, oil and protein contents in sesame germplasm resources [J]. China Oils and Fats, 2013, 38(4): 87-90.

- [21] 汪学德,崔英德,刘日斌,等.芝麻籽中脂肪酸组成测定及相关性分析[J].中国油脂,2016,41(1):95-99.
Wang X D, Cui X D, Liu R B, et al. Determination and correlation analysis of fatty acid composition of sesame seed [J]. China Oils and Fats, 2016, 41(1): 95-99.
- [22] Cui H, Chen C, Huang N, et al. Association analysis of yield, oil and fatty acid content, and main phenotypic traits in *Paeonia rockii* as an oil crop [J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2017, 93(4): 1-8.
- [23] Bhunia R K, Chakraborty A, Kaur R, et al. Analysis of fatty acid and lignan composition of Indian germplasm of sesame to evaluate their nutritional merits [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2015, 92(1): 65-76.
- [24] Mondal N, Bhat K V, Srivastava P S. Variation in fatty acid composition in Indian germplasm of sesame [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2010, 87(11): 1263-1269.
- [25] 毛红艳,徐鑫,于明.新疆地区玉米品种营养品质主成分分析与评价[J].新疆农业科学,2018,55(10):1909-1915.
Mao H Y, Xu X, Yu M. Principal component analysis and evaluation of nutritional quality of maize cultivars in Xinjiang [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2018, 55(10): 1909-1915.
- [26] 李伟,郜海燕,陈杭君,等.基于主成分分析的不同品种杨梅果实综合品质评价[J].中国食品学报,2017,17(6):161-171.
Li W, Gao H Y, Chen H J, et al. Evaluation of comprehensive quality of different varieties of bayberry based on principal components analysis [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(6): 161-171.
- [27] Song J, Liu C, Jiang X, Dajing L I. Comprehensive evaluation of vegetable soybean quality by principal component analysis and cluster analysis [J]. Food Science, 2015, 24(3): 114-128.
- [28] Glogovac S, Takač A, Tepić A, et al. Principal component analysis of tomato genotypes based on some morphological and biochemical quality indicators [J]. Ratarstvo I Povrtarstvo, 2012, 49(3): 296-301.
- [29] Wang X, Xing Y. Evaluation of the effects of irrigation and fertilization on tomato fruit yield and quality: a principal component analysis [J]. Sci Rep, 2017, 7(1): 350.
- [30] 殷冬梅,张幸果,王允,等.花生主要品质性状的主成分分析与综合评价[J].植物遗传资源学报,2011,12(4):507-512.
Yin D M, Zhang X G, Wang Y, et al. Principal component analysis and comprehensive evaluation on quality traits of peanut parents [J]. Journal of Plant Genetic Resources. 2011, 12(4): 507-512.
- [31] Francini A, Romeo S, Cifelli M, et al. ¹H NMR and PCA-based analysis revealed variety dependent changes in phenolic contents of apple fruit after drying [J]. Food Chemistry, 2017, 221: 1206-1213.