

基于主成分和聚类分析不同辣椒资源 农艺和品质性状的综合评价

任朝辉¹, 何建文², 田怀志¹, 田浩¹, 廖卫琴¹

(1. 遵义市农业科学研究院 贵州遵义 563100; 2. 贵州省农业科学院辣椒研究所 贵阳 550006)

摘要: 为了探索不同辣椒资源的综合品质, 对 20 份种质资源的 14 个性状进行差异性分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析。结果表明, 不同辣椒资源之间的各性状指标差异较大, 变异系数为 11.63%~63.15%; 农艺性状和品质性状之间呈显著相关性; 主成分分析提取出 5 个主成分, 累积贡献率达 84.488%; 聚类分析将参试资源分为 3 种类型, 以贵州大众口味的饮食习惯来看, 第 I 类适用于加工糟辣椒、油辣椒和糊辣椒面, 第 II 类适用于鲜食以及加工糟辣椒、油辣椒和糊辣椒面, 第 III 类适用于辣味调味品。试验结果为辣椒资源的挖掘利用和优良品种的选育奠定了基础。

关键词: 辣椒; 农艺性状; 品质性状; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: S641.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-2871(2025)02-050-09

Comprehensive evaluation on agronomic and quality traits of different pepper resources based on principal component and cluster analysis

REN Chaohui¹, HE Jianwen², TIAN Huaizhi¹, TIAN Hao¹, LIAO Weiqin¹

(1. Zunyi Academy of Agricultural Sciences, Zunyi 563100, Guizhou, China; 2. Pepper Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, Guizhou, China)

Abstract: To explore the difference in the comprehensive quality of different pepper resources, 20 varieties were used as experimental materials to investigate genetic diversity of agronomic and quality traits with genetic diversity analysis, correlation analysis, principal component and cluster analysis. The results showed that there were rich genetic diversities. Coefficient of variation of quantitative traits ranged from 11.63% to 63.15%. There were significant correlations between agronomic traits and quality traits. The principal component analysis showed that 14 traits were integrated into 5 principal components making 84.488% cumulative contribution to the total variance. Cluster analysis divided the tested varieties into 3 types. Based on the dietary habits of the general public in Guizhou, the first type can be used for processing fermented pepper, oil pepper, and burnt pepper noodles. The second type can be used for fresh and processed fermented pepper, oil pepper, and burnt pepper noodles. The third type can be used for spicy seasoning. This research provided a foundation for the exploration and utilization of pepper resources and breeding of superior varieties.

Key words: Pepper; Agronomic traits; Quality traits; Principal component analysis; Cluster analysis

辣椒(*Capsicum annuum* L.)是一种重要的鲜食蔬菜和调味品,因其具有独特的口味和丰富的营养品质而深受消费者喜爱,在全世界广泛种植^[1-2],也是我国种植面积最大的蔬菜作物之一,占全国蔬菜总播种面积的 8%~10%,位居蔬菜首位^[3]。尤其是贵州、湖南、四川等省份种植面积较大^[4]。其中,贵州常年种植面积稳定在 33.3 万 hm² 以上,产量超

600 万 t,种植面积和产量均占全国的 1/6 和全球的 1/10,产加销均位居全国首位^[5]。辣椒果实中富含辣椒素、维生素 C、蛋白质、脂肪、多糖等有效成分,具有颇高的营养价值和保健功能^[6],辣椒在贵州脱贫攻坚和乡村振兴中发挥了重要作用^[7]。

随着辣椒产业发展的需要以及嗜辣人群对生活品质的不断提高,消费者对辣椒品质的要求也逐

收稿日期: 2024-01-04; 修回日期: 2024-03-24

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合支撑(2022)重点 016 号); 贵州省科技计划项目(黔科合服企(2024)008-1)

作者简介: 任朝辉,男,高级农艺师,主要从事辣椒品种选育及种质资源创新与利用研究工作。E-mail: rench888@126.com

通信作者: 廖卫琴,女,高级农艺师,主要从事辣椒品种选育及配套栽培技术研究工作。E-mail: 717144439@qq.com

步提高。种质资源营养品质评价是种质资源研究的重要组成部分,也是优质种质资源挖掘和创新利用的基础^[8]。目前,不同辣椒种质资源的品质分析报道较多^[9-13],但针对不同辣椒种质资源农艺和品质性状的综合评价较少。利用主成分和聚类分析的方法对不同辣椒资源农艺和品质性状的综合评价还未见报道。笔者以收集获得的20份辣椒种质资源为材料,对其单株挂果数、单果鲜质量、果横径、果纵径、果肉厚及辣椒素、二氢辣椒素、辣椒红素、

维生素C、蛋白质、还原糖、粗脂肪、粗纤维和干物质含量等14个农艺和品质性状进行综合评价,以期作为优质辣椒种质资源的挖掘利用以及新品种选育提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

20份辣椒资源的名称及来源详见表1,于2023年种植在贵州省遵义市新蒲新区虾子镇红旗村遵

表1 供试品种名称和来源

Table 1 Name and source of the tested resources

样品编号 Sample number	资源名称 Resource name	类型 Type	来源 Source
1	绥阳子弹头 Suiyang Zidantou	圆锥椒(常规种) Conical pepper(Conventional species)	绥阳县农业农村局 Suiyang County Agriculture and Rural Bureau
2	湄潭灯笼椒 Meitan bell pepper	灯笼椒(常规种) Sweet pepper(Conventional species)	湄潭县农业农村局 Meitan County Agriculture and Rural Bureau
3	凤冈珠子椒 Fenggang Zhuzijiao	圆珠椒(常规种) Ball pepper(Conventional species)	凤冈县农业农村局 Fenggang County Agriculture and Rural Bureau
4	朝天椒6号 Pod pepper No. 6	锥形椒(杂交种) Conical pepper(Coeno-species)	遵义市农业科学研究院 Zunyi Academy of Agricultural Sciences
5	遵辣1号 Zunla No. 1	锥形椒(常规种) Conical pepper(Conventional species)	遵义市农业科学研究院 Zunyi Academy of Agricultural Sciences
6	川椒 Chuanjiao	锥形椒(杂交种) Conical pepper(Coeno-species)	四川省川椒种业科技有限责任公司 Sichuan Pepper Seed Technology Co., LTD
7	朝阳1号 Chaoyang No. 1	锥形椒(常规种) Conical pepper(Conventional species)	遵义市农业科学研究院 Zunyi Academy of Agricultural Sciences
8	黄杨小米辣 Huangyangxiaomila	指形椒(常规种) Finger pepper(Conventional species)	绥阳县黄杨镇农业服务中心 Huangyang Town Agricultural Service Center, Suiyang Country
9	艳椒808 Yanjiao 808	指形椒(杂交种) Finger pepper(Coeno-species)	武汉吉祥世纪农业科技发展有限公司 Wuhan Jixiangshiji Agricultural Technology Co., LTD
10	星悦 Xingyue	指形椒(杂交种) Finger pepper(Coeno-species)	湖南湘研种业公司 Hunan Xiangyan Seed Industry Co., LTD
11	务辣1号 Wula No.1	指形椒(杂交种) Finger pepper(Coeno-species)	遵义市农业科学研究院 Zunyi Academy of Agricultural Sciences
12	艳椒908 Yanjiao 908	指形椒(杂交种) Finger pepper(Coeno-species)	武汉市千弘如农业科技有限公司 Wuhan Qianhongru Agricultural Technology Co., LTD
13	山堡辣椒 Shanbao pepper	指形椒(常规种) Finger pepper(Conventional species)	遵义市农业科学研究院 Zunyi Academy of Agricultural Sciences
14	兴蔬单生朝天椒 Xingshu single pod pepper	指形椒(杂交种) Finger pepper(Coeno-species)	湖南兴蔬种业公司 Hunan Xingshu Seed Industry Co., LTD
15	骄阳6号 Jiaoyang No. 6	指形椒(杂交种) Finger pepper(Coeno-species)	遵义市农业科学研究院 Zunyi Academy of Agricultural Sciences
16	湘辣702 Xiangla 702	指形椒(杂交种) Finger pepper(Coeno-species)	湖南湘研种业公司 Hunan Xiangyan Seed Industry Co., LTD
17	三樱椒8号 Sanying pepper No. 8	指形椒(杂交种) Finger pepper(Coeno-species)	柘城县农业农村局 Zhecheng County Agriculture and Rural Bureau
18	艳椒425 Yanjiao 425	指形椒(杂交种) Finger pepper(Coeno-species)	重庆市农业科学院 Chongqing Academy of Agricultural Sciences
19	博辣15号 Bola No. 15	线椒(杂交种) Line pepper(Coeno-species)	湖南兴蔬种业公司 Hunan Xingshu Seed Industry Co., LTD
20	满分215 Manfen 215	线椒(杂交种) Line pepper(Coeno-species)	北京大一种苗有限公司 Beijing Dayi Seedlings Co., LTD

义市农业科学研究院辣椒研究所的试验基地。试验地地势平整,中等肥力,光照充足,排灌方便。2023年3月22日,采用漂浮育苗播种。定植前,一次性施足底肥,采用高厢起垄、地膜覆盖,小区按1.3 m连沟开厢,垄面宽70 cm,垄高20 cm,垄沟50 cm。5月12日双行单株定植,株距40 cm,行距50 cm,小区面积14.4 m²,每小区种植50株,3次重复,完全随机区组排列。

1.2 测定指标

待辣椒果实充分红熟后,拔除杂株,并挑选生长状况一致且无病害的红椒果实,测量不同辣椒资源的单株挂果数、单果鲜质量、果横径、果纵径、果肉厚等5个农艺性状指标,测量标准参照李锡香等^[14]《辣椒种质资源描述规范和数据标准》,设3次重复,取平均值。并将红椒果实用样品采集袋密封好后迅速带回实验室,对鲜椒进行辣椒素、二氢辣椒素、辣椒红素、维生素C、蛋白质、还原糖、粗脂肪、粗纤维和干物质含量等9个品质指标进行测定,设3次重复,取平均值。采用GB/T 30388—2013高效液相色谱法测定辣椒素和二氢辣椒素含量^[15];参照韩晓岚等^[16]高效液相色谱法测定辣椒红素含量;采用GB 5009.86—2016 2,6-二氯靛酚滴定法测定维生素C含量^[17];采用GB 5009.5—2016凯氏定氮法测定粗蛋白含量^[18];采用GB 5009.7—2016高效液相色谱法测定还原糖含量^[19];采用GB 5009.6—2016索氏抽提法测定粗脂肪含量^[20];采用GB/T 5009.10—2003测定粗纤维含量^[21];采用GB 5009.3—2016直接干燥法测定干物质含量^[22]。

1.3 数据处理

采用Excel对数据进行整理和统计;采用SPSS 27进行相关性分析、主成分分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同辣椒资源农艺和品质性状的遗传多样性分析

不同辣椒资源农艺和品质性状的遗传多样性分析结果如表2所示,各项农艺和品质性状指标在不同辣椒资源之间的含量差异较大。其中,单株挂果数在34.27~161.48个,平均挂果数为100.59个;单果鲜质量在2.71~12.82 g,平均鲜质量为6.37 g;果纵径在2.48~20.52 cm,平均纵径为7.71 cm;果横径在0.91~3.95 cm,平均纵径为1.85 cm;果肉厚在1.08~2.63 mm,平均果肉厚为1.75 mm。辣椒素含量(w,后同)在0.61~70.08 mg·100 g⁻¹,平均含量为

表2 不同辣椒资源性状遗传多样性分析

Table 2 Genetic diversity analysis of traits of different pepper resources

参数 Parameter	单株挂果数 Hanging fruit number of single plant	单果鲜 质量 Single fruit fresh mass/g	果纵径 Fruit longitudinal diameter/cm	果横径 Fruit transverse diameter/cm	果肉厚 Flesh thick- ness/mm	w(辣椒素) Capsaicine content/ content/ (mg·100 g ⁻¹)	w(二氢辣椒素) Dihydrocapsaicin content/ content/ (mg·100 g ⁻¹)	w(辣椒红素) Capsorubin content/ content/ (mg·100 g ⁻¹)	w(维生素C) Vitamin C content/ content/ (mg·100 g ⁻¹)	w(蛋白质) Protein content/ content/ (g·100 g ⁻¹)	w(还原糖) Reducing sugar content/ content/ (g·100 g ⁻¹)	w(粗脂肪) Crude fat content/ content/ (g·100 g ⁻¹)	w(粗纤维) Crude fiber content/ content/ (g·100 g ⁻¹)	w(干物质) Dry substance content/ content/ (g·100 g ⁻¹)
平均值 Average value	100.59	6.37	7.71	1.85	1.75	21.66	9.90	0.46	85.24	15.24	0.33	16.04	26.89	25.09
最大值 Maximum	161.48	12.82	20.52	3.95	2.63	70.08	29.47	0.89	115.75	18.52	0.43	20.90	32.43	31.33
最小值 Minimum	34.27	2.71	2.48	0.91	1.08	0.61	0.24	0.21	61.71	12.87	0.11	12.17	21.68	17.52
标准差 Standard deviation	43.29	4.02	1.67	0.46	0.47	11.87	4.63	0.15	23.28	1.77	0.07	2.53	4.91	3.82
变异系数 Coefficient of variation/%	43.03	63.15	21.72	24.63	26.71	54.81	46.76	32.38	27.31	11.63	22.18	15.78	18.30	15.24

21.66 mg·100 g⁻¹; 二氢辣椒素含量在 0.24~29.47 mg·100 g⁻¹, 平均含量为 9.90 mg·100 g⁻¹; 辣椒红素含量在 0.21~0.89 mg·100 g⁻¹, 平均含量为 0.46 mg·100 g⁻¹; 维生素 C 含量在 61.71~115.75 mg·100 g⁻¹, 平均含量为 85.24 mg·100 g⁻¹; 蛋白质含量在 12.87~18.52 g·100 g⁻¹, 平均含量为 15.24 g·100 g⁻¹; 还原糖含量在 0.11~0.43 g·100 g⁻¹, 平均含量为 0.33 g·100 g⁻¹; 粗脂肪含量在 12.17~20.90 g·100 g⁻¹, 平均含量为 16.04 g·100 g⁻¹; 粗纤维含量在 21.68~32.43 g·100 g⁻¹, 平均含量为 26.89 g·100 g⁻¹; 干物质含量在 17.52%~31.33%, 平均含量为 25.09%。此外, 不同辣椒资源农艺和品质性状指标的变异系数也存在较大差异, 其中以单果鲜质量的变异系数最大, 达 63.15%, 单果鲜质量最大值是最小值的 4.73 倍, 其他依次为辣椒素含量、二氢辣椒素含量、单株挂果数、辣椒红素含量、维生素 C 含量、果肉厚、果横径、还原糖含量、果纵径、粗纤维含量、粗脂肪含量、干物质含量、蛋白质含量, 分别为 54.81%、46.76%、43.03%、32.38%、27.31%、26.71%、24.63%、22.18%、21.72%、18.30%、15.78%、15.24% 和 11.63%。以上结果说明这 20 份辣椒资源具有丰富的遗传多样性。

2.2 不同辣椒资源农艺和品质性状的相关性分析

不同辣椒资源的 14 个性状指标的相关性分析结果如表 3 所示, 单果鲜质量与果横径、果肉厚呈极显著正相关, 果横径与果肉厚、蛋白质含量均呈极显著正相关, 辣椒素含量与二氢辣椒素、干物质含量均呈极显著正相关, 果纵径与辣椒红素含量、二氢辣椒素含量与干物质含量均呈极显著正相关; 单株挂果数与辣椒素、二氢辣椒素含量均呈显著正相关, 单果鲜质量与蛋白质含量、粗纤维含量与干物质含量均呈显著正相关。单株挂果数与单果鲜质量呈极显著负相关, 单果鲜质量与辣椒素、二氢辣椒素、干物质含量均呈极显著负相关, 果横径与二氢辣椒素、辣椒红素含量均呈极显著负相关, 果肉厚与辣椒素、二氢辣椒素含量均呈极显著负相关; 单株挂果数与果横径呈显著负相关, 果纵径与果横径、蛋白质含量均呈显著负相关, 果横径与辣椒素、干物质含量均呈显著负相关, 果肉厚与干物质含量、二氢辣椒素含量与蛋白质含量、蛋白质含量与还原糖含量均呈显著负相关。

2.3 不同辣椒资源农艺和品质性状的主成分分析

不同辣椒资源农艺和品质性状的主成分分析如表 4 所示, 提取到特征值大于 1 的主成分共 5

个, 累积方差贡献率达到 84.488%, 说明所提取的 5 个主成分对不同辣椒资源的综合评价具有一定的代表性, 可作为辣椒选优、评价的综合指标。第一主成分的特征值为 5.326, 方差贡献率最高, 为 38.044%, 占比较高的指标为辣椒素和二氢辣椒素含量; 第二主成分的特征值为 2.814, 方差贡献率为 20.099%, 占比较高的指标为粗脂肪、粗纤维和干物质含量; 第三主成分的特征值为 1.437, 方差贡献率为 10.264%, 占比较高的指标为维生素 C 含量; 第一、第二和第三主成分累积方差贡献率为 68.407%, 主要反映了辣椒的品质指标因子。第四主成分的特征值为 1.199, 方差贡献率为 8.568%, 占比较高的指标为单株挂果数, 主要反映了辣椒的农艺指标因子。第五主成分的特征值为 1.052, 方差贡献率为 7.513%, 占比较高的指标为还原糖含量, 主要反映了辣椒的品质指标因子。

2.4 不同辣椒资源农艺和品质性状的综合评价

为了对辣椒资源主要农艺与品质性状进行综合评价, 根据因子得分系数矩阵及其所对应的主成分, 可得到如下 5 个主成分得分函数表达式:

$$F_1=0.29X_1-0.37X_2+0.08X_3-0.37X_4-0.35X_5+0.36X_6+0.37X_7+0.14X_8-0.06X_9-0.29X_{10}+0.15X_{11}+0.08X_{12}+0.10X_{13}+0.31X_{14};$$

$$F_2=0.06X_1-0.11X_2-0.52X_3+0.25X_4+0.07X_5+0.13X_6+0.11X_7-0.47X_8+0.01X_9+0.24X_{10}-0.08X_{11}+0.36X_{12}+0.33X_{13}+0.30X_{14};$$

$$F_3=0.07X_1-0.16X_2-0.09X_3+0.01X_4+0.29X_5-0.17X_6-0.16X_7-0.09X_8+0.56X_9-0.32X_{10}+0.48X_{11}+0.22X_{12}-0.32X_{13}+0.15X_{14};$$

$$F_4=0.43X_1+0.14X_2-0.15X_3+0.07X_4+0.12X_5+0.15X_6+0.18X_7+0.12X_8-0.11X_9-0.07X_{10}-0.37X_{11}+0.40X_{12}-0.55X_{13}-0.26X_{14};$$

$$F_5=0.03X_1+0.23X_2+0.19X_3+0.14X_4+0.14X_5+0.00X_6+0.01X_7-0.26X_8-0.66X_9-0.26X_{10}+0.51X_{11}+0.20X_{12}+0.03X_{13}-0.06X_{14}.$$

式中, $X_1\sim X_{14}$ 分别表示单株挂果数、单果鲜质量、果纵径、果横径、果肉厚、辣椒素含量、二氢辣椒素含量、辣椒红素含量、维生素 C 含量、蛋白质含量、还原糖含量、粗脂肪含量、粗纤维含量、干物质含量 14 个性状指标; F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 分别表示主成分 1、2、3、4、5 的得分。以各主成分特征值比率为权重, 构建 20 个辣椒资源农艺和品质性状综合评价得分函数, $F=0.45F_1+0.24F_2+0.12F_3+0.10F_4+0.09F_5$ 。分别计算出 20 份辣椒资源农艺和品质性

表3 不同辣椒资源农艺和品质性状的相关系数
Table 3 Related coefficients of argonomic and quality traits of different pepper resources

性状 Trait	单株挂果数 Hanging fruit number of single plant	单果 鲜质量 Single fruit fresh mass	果纵径 Fruit longitudinal diameter	果横径 Fruit transverse diameter	果肉厚 Flesh thickness	辣椒素含量 Capsaicine content	二氢辣椒 素含量 Dihydrocapsa- icin content	辣椒红素 含量 apsorubin content	维生素 C含量 Vitamin C content	蛋白质 含量 Protein content	还原糖 含量 Reducing sugar content	粗脂肪 含量 Crude fat content	粗纤维 含量 Crude fiber content	干物质 含量 Dry substance content
单株挂果数	1.000													
Hanging fruit number of single plant														
单果鲜质量	-0.619**	1.000												
Single fruit fresh mass														
果纵径	-0.089	0.065	1.000											
Fruit longitudinal diameter														
果横径	-0.486*	0.715**	-0.513*	1.000										
Fruit transverse diameter														
果肉厚	-0.408	0.694**	-0.324	0.800**	1.000									
Flesh thickness														
辣椒素含量	0.500*	-0.634**	-0.053	-0.551*	-0.592**	1.000								
Capsaicine content														
二氢辣椒素含量	0.553*	-0.640**	-0.024	-0.588**	-0.631**	0.977**	1.000							
Dihydrocapsaicin content														
辣椒红素含量	0.174	-0.063	0.680**	-0.563**	-0.346	0.148	0.200	1.000						
Capsorubin content														
维生素C含量	-0.185	-0.134	-0.160	0.055	0.253	-0.200	-0.223	0.061	1.000					
Vitamin C content														
蛋白质含量	-0.441	0.469*	-0.453*	0.678**	0.342	-0.432	-0.464*	-0.422	0.024	1.000				
Protein content														
还原糖含量	0.113	-0.332	0.258	-0.281	-0.087	0.118	0.131	0.005	0.032	-0.536*	1.000			
Reducing sugar content														
粗脂肪含量	0.299	-0.127	-0.397	0.130	-0.001	0.273	0.272	-0.404	0.030	-0.037	0.025	1.000		
Crude fat content														
粗纤维含量	-0.053	-0.255	-0.246	0.020	-0.251	0.285	0.243	-0.319	-0.186	0.205	0.015	0.075	1.000	
Crude fiber content														
干物质含量	0.425	-0.764**	-0.308	-0.447*	-0.498*	0.576**	0.595**	-0.174	0.070	-0.345	0.328	0.366	0.544*	1.000
Dry substance content														

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

Note: * means significant correlation at 0.05 level; ** means extremely significant correlation at 0.01 level.

表4 不同辣椒资源农艺和品质性状的主成分因子

Table 4 The main component factor of agronomic and quality traits of different pepper resources

性状 Trait	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
单株挂果数 Hanging fruit number of single plant	0.674	0.108	0.083	0.476	0.032
单果鲜质量 Single fruit fresh mass	-0.858	-0.184	-0.189	0.153	0.238
果纵径 Fruit longitudinal diameter	0.186	-0.871	-0.105	-0.162	0.191
果横径 Fruit transverse diameter	-0.851	0.411	0.011	0.077	0.140
果肉厚 Flesh thickness	-0.801	0.122	0.348	0.135	0.143
辣椒素含量 Capsaicine content	0.830	0.225	-0.200	0.169	-0.001
二氢辣椒素含量 Dihydrocapsaicin content	0.860	0.187	-0.195	0.200	0.008
辣椒红素含量 Capsorubin content	0.314	-0.795	-0.109	0.127	-0.263
维生素C含量 Vitamin C content	-0.143	0.011	0.671	-0.118	-0.673
蛋白质含量 Protein content	-0.677	0.398	-0.386	-0.073	-0.267
还原糖含量 Reducing sugar content	0.354	-0.139	0.572	-0.403	0.524
粗脂肪含量 Crude fat content	0.178	0.605	0.260	0.435	0.209
粗纤维含量 Crude fiber content	0.224	0.550	-0.382	-0.603	0.027
干物质含量 Dry substance content	0.723	0.511	0.178	-0.282	-0.066
特征值 Eigenvalues	5.326	2.814	1.437	1.199	1.052
贡献率 Contribution rate/%	38.044	20.099	10.264	8.568	7.513
累积贡献率 Cumulative contribution rate/%	38.044	58.143	68.407	76.975	84.488

状的主成分得分和综合得分,如表5所示,20份辣椒资源的综合排名依次为:星悦、艳椒808、湘辣702、兴蔬单生朝天椒、艳椒908、朝天椒6号、骄阳6号、川

椒、艳椒425、黄杨小米辣、凤冈珠子椒、务辣1号、遵辣1号、三樱椒8号、朝阳1号、山堡辣椒、绥阳子弹头、博辣15号、满分215和湄潭灯笼椒。

表5 20份辣椒资源的主成分得分

Table 5 The main component score of 20 pepper resources

样品编号 Sample number	资源名称 Resource name	F1	F2	F3	F4	F5	F	排序 Rank
1	绥阳子弹头 Suiyang Zidantou	17.65	30.28	35.95	4.89	-45.44	15.97	17
2	湄潭灯笼椒 Meitan bell pepper	6.48	27.42	36.14	-9.18	-51.14	8.35	20
3	凤冈珠子椒 Fenggang Zhuzijiao	31.88	30.76	53.60	31.25	-55.91	26.38	11
4	朝天椒6号 Pod pepper No. 6	42.17	33.29	62.33	37.91	-63.54	32.67	6
5	遵辣1号 Zunla No. 1	31.97	30.51	46.56	18.17	-53.56	24.39	13
6	川椒 Chuanjiao	45.26	35.52	35.19	24.72	-46.68	31.46	8
7	朝阳1号 Chaoyang No. 1	21.39	30.49	44.37	2.24	-55.47	17.57	15
8	黄杨小米辣 Huangyangxiaomila	41.20	32.72	54.48	20.11	-62.04	29.48	10
9	艳椒808 Yanjiao 808	78.11	42.92	25.62	49.69	-35.68	50.36	2
10	星悦 Xingyue	77.97	43.30	27.16	58.87	-33.36	51.71	1
11	务辣1号 Wula No. 1	34.89	30.88	39.79	16.44	-43.78	25.66	12
12	艳椒908 Yanjiao 908	68.85	42.70	25.92	33.90	-44.53	43.79	5
13	山堡辣椒 Shanbao pepper	21.65	25.45	44.41	4.09	-54.27	16.79	16
14	兴蔬单生朝天椒 Xingshu single pod pepper	68.11	35.30	33.33	54.79	-40.80	45.04	4
15	骄阳6号 Jiaoyang No. 6	45.26	30.25	46.64	36.19	-49.56	32.50	7
16	湘辣702 Xiangla 702	73.46	44.64	44.51	39.18	-62.55	47.52	3
17	三樱椒8号 Sanying pepper No. 8	24.56	28.07	50.45	9.09	-59.69	19.48	14
18	艳椒425 Yanjiao 425	46.07	35.77	53.75	14.52	-72.69	30.79	9
19	博辣15号 Bola No. 15	17.42	17.19	37.04	5.38	-43.42	13.12	18
20	满分215 Manfen 215	15.94	14.82	41.39	1.48	-49.94	11.44	19

2.5 不同辣椒资源农艺和品质性状的聚类分析

采用欧氏距离和质心聚类法对 20 份辣椒资源的主成分综合得分进行聚类分析,聚类结果如图 1 所示。在欧氏距离为 10 处,可将 20 份辣椒资源分为 3 大类。第 I 类包括的资源有朝天椒 6 号、骄阳 6 号、川椒、艳椒 425、黄杨小米辣、凤冈珠子椒、务辣 1 号和遵辣 1 号,编号分别为 4、15、6、18、8、3、11 和 5,主要特征是维生素 C 和粗脂肪含量高,其他性状指标均处于中等水平;第 II 类包括的资源有朝阳 1 号、山堡辣椒、绥阳子弹头、三樱椒 8 号、博辣 15 号、满分 215 和湄潭灯笼椒,编号分别为 7、13、1、17、19、20 和 2,主要特征是果实大,单株挂果数少,

干物质含量最低,含水量大,蛋白质含量高,维生素 C、还原糖和粗纤维含量均处于中等水平,辣椒素、二氢辣椒素和辣椒红素含量最低。第 III 类包括的资源有艳椒 808、星悦、艳椒 908、兴蔬单生朝天椒和湘辣 702,编号分别为 9、10、12、14 和 16,主要特征是果实小,单株挂果数多,辣椒素、二氢辣椒素、辣椒红素、还原糖、粗纤维和干物质含量高,维生素 C 和蛋白质含量低,粗脂肪含量处于中等水平。从贵州大众口味的饮食习惯来看,第 I 类适用于加工糟辣椒、油辣椒和糊辣椒面,第 II 类适用于鲜食以及加工糟辣椒、油辣椒和糊辣椒面,第 III 类适用于辣味调味品。

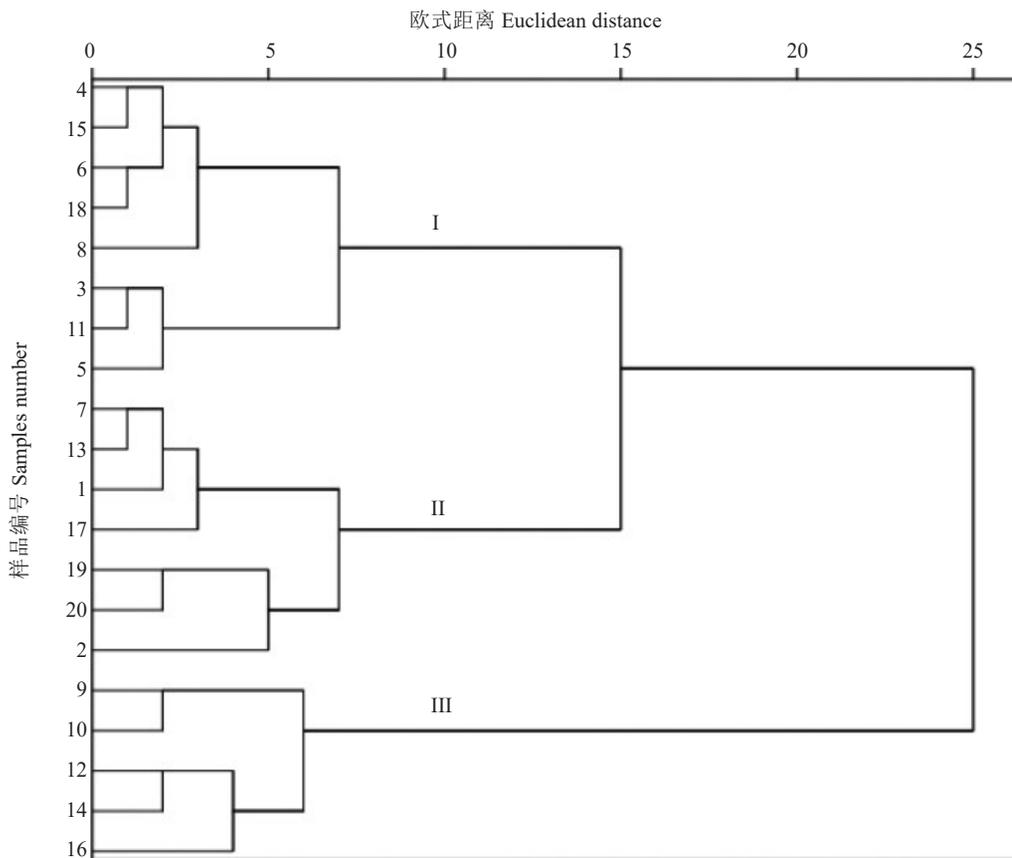


图 1 20 份辣椒资源聚类分析
Fig. 1 Cluster analysis of 20 pepper resources

3 讨论与结论

笔者对收集的 20 份辣椒资源进行了农艺和品质性状的综合评价分析,为遵义辣椒的品种选育奠定了基础。从研究结果可以看出,20 份辣椒资源的农艺和品质性状表现出不同程度的多样性。其中,农艺性状中单果鲜质量的变异系数最大,果实性状表现出较大的差异。常晓轲等^[23]和张秀荣等^[24]的研

究也表明,单果质量的变异系数较大。而各品质性状之间的变异系数也存在较大差异,其中,辣椒素含量的变异系数最大,最高含量是最小含量的 114.89 倍,这与付文婷等^[9]、蓬桂华等^[12]和任朝辉等^[13]的研究结论一致。研究表明,在同一栽培和管理条件下,不同辣椒资源表现出了不同的遗传多样性,具有丰富的遗传信息和较大的选择潜力。

相关性分析可反映两两性状之间的潜在关联

程度,本研究的相关性分析结果表明,农艺性状与品质性状之间形成了相关关系,有28对性状的相关系数达到显著水平,大部分性状间存在着内在的联系,其中,单果鲜质量与果横径、果肉厚呈极显著正相关,这与常晓轲等^[23]、彭泽等^[25]得到的单果质量与果横径、果肉厚呈极显著正相关的研究结论相符。同时,单果鲜质量与辣椒素含量、二氢辣椒素含量、单株挂果数呈极显著负相关,而单株挂果数与辣椒素和二氢辣椒素含量呈显著正相关,辣椒素含量与干物质含量呈极显著正相关,呈现出“挂果数多、果小味辣、干物质含量高”的特征,说明这些农艺性状与农艺性状、农艺性状与品质性状以及品质性状与品质性状之间存在着相互影响、互相制约的关系,因此,在开展辣椒育种的实践工作时,不能单纯地只考虑某一个特征性状指标,而是要综合考量和评价种质资源的综合性状,并协调好他们之间的关系,达到保产增质的目的。

在多样品多指标的综合评价分析中,主成分分析与聚类分析得到了广泛的应用。主成分分析是通过降维的方式,用少量综合指标代替原来多个指标的大部分信息,以达到反映样品基本特征信息的目的^[26]。而因子分析用于综合评价的优点在于,因子之间不相关,每个因子中能反映变量之间的关系,有助于更客观地描述多个变量对样品联系性的影响,因子方差贡献率生成的信息量权数,比人为确定的权数工作量要少,有助于保证客观性^[27]。本研究结果表明,采用主成分分析从14个性状指标中提取出5个主成分,分为农艺因子和品质因子两类,因子1、因子2、因子3和因子5为品质因子,有辣椒素、二氢辣椒素、粗脂肪、粗纤维、干物质、蛋白质、维生素C和还原糖含量等指标,累积方差贡献率达76.320%。因子4为农艺因子,主要指标为单株挂果数,方差贡献率为8.568%。

聚类分析法是分类学与多元分析相结合的统计方法,能够根据调查指标的相似性或差异性,定量确定不同品种间的亲疏关系并进行分类^[28]。笔者采用欧氏距离和质心聚类法对20份辣椒资源的主成分综合得分进行聚类分析,将20份辣椒资源划分为3大类,性状相近的聚为一类,各个类群具有一定的形态学特征。莫惠栋等^[29]研究表明,利用多个性状进行聚类时,某些性状的差异可能会被另一些性状的差异所掩盖,导致出现部分组间差异模糊。因此,可在必要时对组内材料再进行系统聚类,以便获得更精确的聚类结果。

综上所述,20份辣椒资源的各性状指标差异较大,变异系数为11.63%~63.15%;农艺性状和品质性状之间呈显著相关性;主成分分析提取出5个主成分,累积贡献率达84.488%;聚类分析将参试资源分为3种类型,从贵州大众口味的饮食习惯来看,第I类适用于加工糟辣椒、油辣椒和糊辣椒面,第II类适用于鲜食以及加工糟辣椒、油辣椒和糊辣椒面,第III类适用于辣味调味品。可根据不同辣椒类型的特征特点进行资源整合与归类,在育种过程中将其作为种质资源套袋纯化后再进行优化改良,为遵义早日建成“世界辣椒加工贸易基地”奠定基础。

参考文献

- [1] ROSSO F, ZOPPELLARI F, SALA G, et al. Effect of rhizospheric microorganisms inoculum on sweet pepper quality[J]. *Journal of Biotechnology*, 2010, 150(1):273.
- [2] CAO S F, YANG Z F, ZHENG Y H. Effect of 1-methylcyclopentane on senescence and quality maintenance of green bell pepper fruit during storage at 20 °C[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2012, 70: 1-6.
- [3] 王立浩,张正海,曹亚从,等.“十二五”我国辣椒遗传育种研究进展及其展望[J]. *中国蔬菜*, 2016(1):1-7.
- [4] 罗英. 辣椒种质资源主要性状的分析与评价[D]. 北京:中国农业科学院, 2009.
- [5] 金晶,张小明,付浩. 贵州省辣椒产业发展现状及建议[J]. *北方园艺*, 2021(21):152-156.
- [6] 帅天罡,陆红佳,胡益侨,等. 辣椒营养保健功能与加工利用进展[J]. *中国调味品*, 2014(8):125-128.
- [7] 杜涛. 贵州从“辣椒大省”迈向“辣椒强省”[N]. *中国食品报*, 2021-09-27(2).
- [8] 刘浩,周闲容,于晓娜,等. 作物种质资源品质性状鉴定评价现状与展望[J]. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(1):215-221.
- [9] 付文婷,詹永发,何建文,等. 10个贵州地方辣椒品种品质评价[J]. *中国瓜菜*, 2018, 31(12):37-40.
- [10] 王兴波,饶雷,王永涛,等. 9个品种干辣椒的品质分析及评价[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(18):300-310.
- [11] 刘宇鹏,张皓,陈芳,等. 贵州地方辣椒品种品质差异分析[J]. *中国瓜菜*, 2022, 35(1):42-46.
- [12] 蓬桂华,张爱民,苏丹,等. 93份贵州地方辣椒资源品质性状分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(3):429-435.
- [13] 任朝辉,田旭芳,廖卫琴,等. 不同辣椒种质资源的品质性状评价[J]. *西南农业学报*, 2020, 33(9):1884-1891.
- [14] 李锡香,张宝玺. 辣椒种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社, 2006.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 辣椒及其油树脂总辣椒碱含量的测定:GB/T 30388-2013[S]. 北京:中国标准出版社, 2013.
- [16] 韩晓岚,胡云峰,赵学志,等. 高效液相色谱法测定辣椒红素[J]. *中国食物与营养*, 2010(3):61-64.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家

- 标准 食品中抗坏血酸的测定:GB 5009.86—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中还原糖的测定:GB 5009.7—2016[S],北京:中国标准出版社,2016.
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中脂肪的测定:GB 5009.6—2016[S],北京:中国标准出版社,2016.
- [21] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.植物类食品中粗纤维的测定:GB/T 5009.10—2003[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [22] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中水分的测定:GB 5009.3—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [23] 常晓轲,董晓宇,韩娅楠,等.基于主成分分析的不同朝天椒品种品质综合评价[J].中国瓜菜,2023,36(3):42-47.
- [24] 张秀荣,李晓丹,张延安,等.辣椒产量与相关农艺性状的灰色关联度分析[J].江西农业学报,2013,25(2):47-50.
- [25] 彭泽,胡明文,白立伟,等.不同辣椒品种的农艺性状与品质指标综合评价[J].北方园艺,2023(1):1-10.
- [26] 李小胜,陈珍珍.如何正确应用 SPSS 软件做主成分分析[J].统计研究,2010,27(8):105-108.
- [27] 林海明,刘照德,詹秋泉.因子分析综合评价应该注意的问题[J].数理统计与管理,2019,38(6):1037-1047.
- [28] 史卫东,罗海玲,康红卫,等.基于主成分分析与聚类分析的菜心品种评价[J].安徽农业科学,2020,48(24):46-49.
- [29] 莫惠栋,顾世梁.江浙沪大麦品种农艺性状的聚类分析[J].中国农业科学,1987,20(3):28-38.