

24 种辣椒籽皮成分分析与比较

周 鹏, 彭世清, 李文馨, 涂德辉, 殷 勇, 何建文

(贵州省农业科学院辣椒研究所 贵阳 550006)

摘 要:为评估辣椒籽皮不同品种间的品质差异,以 24 个辣椒品种为研究对象,测定籽皮比、还原糖含量、粗纤维含量等生理生化指标,采用相关性分析、主成分分析及聚类分析进行综合评价。结果表明,24 个辣椒品种的籽粒数为 7~29 粒·g⁻¹,其中 S23 籽粒最多,S24 最少。籽皮比为 21.37%~120.48%,S21 籽皮比最高,S5 最低;辣椒籽和皮各主要成分的平均值分别为:氨基酸含量(b , 120.84、124.19 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)、还原糖含量(w , 后同)(27.22、27.89 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、辣椒红素含量(3.31、46.35 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、粗脂肪含量(17.92%、13.67%)、粗纤维含量(28.52%、22.50%)、辣椒素含量(1.04、3.24 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、二氢辣椒素含量(0.44、1.58 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。聚类分析结果将辣椒籽和皮分别划分为 4 个类群;各品种不同指标间存在强弱不一的相关性;不同辣椒籽皮的营养成分存在差异,主成分分析分别将辣椒籽皮分为 3 个主成分,累计贡献率分别为 69.741%、73.284%;根据主成分分析结果构建综合评分模型,发现辣椒籽 S19、S4、S2(朝天椒 8 号、黔椒 4 号、遵辣 9 号)和辣椒皮 S11、S15、S17(单生 52、黔辣 14 号、山堡辣椒 1 号)分别位列前三。不同辣椒籽皮的生理生化性质存在差异,可为辣椒籽皮综合利用与产品开发提供数据参考。

关键词:辣椒;主成分分析;聚类分析;综合评价

中图分类号:S641.3

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)09-148-10

Component analysis and comparison of seeds and peels from 24 *Capsicum* cultivars

Zhou Peng, Peng Shiqing, Li Wenxin, Tu Dehui, Yin Yong, He Jianwen

(Pepper Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, Guizhou, China)

Abstract: To clarify the quality differences between seeds and peels among different pepper varieties, this study used 24 pepper cultivars as materials and determined physiological and biochemical indicators including seed-to-peel ratio, reducing sugar, and crude fiber. Comprehensive evaluation was conducted using correlation analysis, principal component analysis, and cluster analysis. The results showed that the seed number per gram among the 24 cultivars ranged from 7 to 29, with S11 exhibiting the highest and S24 the lowest. The seed-to-peel ratio ranged from 21.37% to 120.48%, with S21 being the highest and S5 the lowest. The average contents of major components in pepper seeds and peels were as follows: Amino acids 120.84 and 124.19 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$, reducing sugar 27.22 and 27.89 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, capsanthin 3.31 and 46.35 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, crude fat 17.92% and 13.67%, crude fiber 28.52% and 22.50%, capsaicin 1.04 and 3.24 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, dihydrocapsaicin 0.44 and 1.58 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. Cluster analysis classified the seeds and peels of the 24 pepper cultivars into four groups, respectively. Correlation analysis revealed varying degrees of correlation among different indicators across cultivars. Nutritional component differences were observed between seeds and peels. Principal component analysis extracted three principal components for both seeds and peels, with cumulative contribution rates of 69.741% and 73.284%, respectively. The comprehensive scoring model constructed based on principal component analysis showed that S19, S4, and S2 ranked the top three cultivars for seeds, while S11, S15, and S17 ranked the top three for peels. In conclusion, significant differences in physiological and biochemical characteristics exist among seeds and peels of different pepper cultivars, which can provide a theoretical basis for the comprehensive utilization and product development of pepper by-products.

Key words: *Capsicum*; Principal component analysis; Cluster analysis; Comprehensive evaluation

收稿日期:2025-09-23;修回日期:2026-04-10

基金项目:黔农科一般基金((2025)22 号);黔科支撑合((2022)重点 016 号);黔农科一般基金((2024)16 号);黔科合平台(ZSYS(2025)027);所创新(2025(3)号)

作者简介:周 鹏,男,助理研究员,主要从事辣椒栽培技术研究。E-mail:1127621600@qq.com

通信作者:何建文,男,研究员,主要从事辣椒资源收集、鉴定与评价研究工作。E-mail:569809092@qq.com

辣椒作为一种重要的蔬菜和调味品,不仅在食用方面具有广泛应用,同时辣椒籽和果皮作为加工副产品蕴藏着丰富的营养和生物活性成分^[1]。随着贵州辣椒种植面积和产量的不断扩大,如何实现辣椒资源的综合利用,提升产品附加值成为亟待解决的问题^[2]。通过对辣椒籽皮主要成分的系统分析,不仅可以为深加工产品的研发提供科学依据,还能推动区域经济和绿色农业的发展^[3]。辣椒籽皮比是决定加工路径的核心参数:高籽皮比品种主要用于高辣度调味料、功能性辣椒制品;低籽皮比品种因加工工序简化、风味均衡,成为油辣椒、风味酱料等中高端加工产品的核心原料。已有研究主要集中在单一成分或单个部位的分析。例如,蓬桂华等^[4]对地方干椒的籽皮比进行了研究,揭示了不同品种间籽皮比的变化规律;马燕等^[5]和王知松等^[6]分别对新疆及贵州部分辣椒籽的营养成分进行了测定,发现辣椒籽中含有丰富的蛋白质、脂肪、膳食纤维以及必需氨基酸;戈伟等^[7]则对辣椒果皮中的脂肪酸组成进行了分析,发现果皮和籽在成分上存在一定差异。总体而言,现有研究多聚焦于单一指标或单个部位的成分分析,对辣椒籽皮比较与综合评价较

少。鉴于此,笔者以从贵州毕节市大方县采集的 24 个辣椒品种为对象,通过对其籽粒数、籽皮比及主要营养成分进行定量测定,并利用聚类分析、相关性分析和主成分分析进行综合评价,旨在为辣椒加工提供一定的数据参考。

1 材料与方法

1.1 材料

辣椒品种由贵州省农业科学院辣椒研究所提供(详见表 1),于 2023 年 3—10 月在贵州省毕节市大方县试验基地进行试验。

1.2 方法

采用完全随机试验设计,每个品种种植 3 行,每行 20 株。在成熟期,取无病害且生长健壮的上部果实 2 kg,充分混匀后在烘箱中 100 ℃烘干。样品经烘干后,人工分离籽和皮并进行粉碎预处理,室温保存待测。

籽粒数用 10 个辣椒的籽粒总数与 10 个辣椒果实总质量比值来表示,单位为粒·g⁻¹;试验设 3 个重复,每重复取 10 个辣椒果实,统计籽粒数,称量果皮质量。采用分析天平称量辣椒皮和籽的质量,

表 1 样品信息
Table 1 Sample information

编号 No.	样品名称 Sample name	类型 Type	编号 No.	样品名称 Sample name	类型 Type
S1	卓椒 8 号 Zhuojiao 8	朝天椒 Facing heaven pepper	S13	黔辣 9 号 Qianla 9	朝天椒 Facing heaven pepper
S2	遵辣 9 号 Zunla 9	朝天椒 Facing heaven pepper	S14	黔辣 5 号 Qianla 5	朝天椒 Facing heaven pepper
S3	黔辣 4 号 Qianla 4	朝天椒 Facing heaven pepper	S15	黔辣 14 号 Qianla 14	线椒 Line pepper
S4	黔椒 4 号 Qianjiao 4	线椒 Line pepper	S16	纂椒 1 号 Zuanjiao 1	朝天椒 Facing heaven pepper
S5	辣研 11 号 Layan 11	线椒 Line pepper	S17	山堡辣椒 1 号 Shanbaolajiao 1	朝天椒 Facing heaven pepper
S6	黔椒 11 号 Qianjiao 11	线椒 Line pepper	S18	辣研 3 号 Layan 3	朝天椒 Facing heaven pepper
S7	黔辣 1 号 Qianla 1	朝天椒 Facing heaven pepper	S19	朝天椒 8 号 Facing heaven pepper 8	朝天椒 Facing heaven pepper
S8	艳椒 425 Yanjiao 425	朝天椒 Facing heaven pepper	S20	花溪辣椒 Huaxi lajiao	线椒 Line pepper
S9	川椒 112 Chuanjiao 112	朝天椒 Facing heaven pepper	S21	虾子辣椒 Xiazi lajiao	朝天椒 Facing heaven pepper
S10	长辣 7 号 Changla 7	线椒 Line pepper	S22	博辣 15 号 Bola 15	线椒 Line pepper
S11	单生 52 Dansheng 52	朝天椒 Facing heaven pepper	S23	独山线椒 Dushan xianjiao	线椒 Line pepper
S12	香辣 7 号 Xiangla 7	线椒 Line pepper	S24	黔椒 8 号 Qianjiao 8	线椒 Line pepper

并按式(1)计算籽皮比。

籽皮比/% = $\frac{m_{\text{籽}}}{m_{\text{皮}}} \times 100$ 。(1)

式中： $m_{\text{籽}}$ 为 10 个辣椒籽的质量(g)； $m_{\text{皮}}$ 为 10 个辣椒皮的质量(g)。

辣椒红素含量参照 GB/T 22299—2008 测定^[8]；辣椒素和二氢辣椒素含量参考 GB/T21266—2007 测定^[9]；还原糖含量参照 GB5009.7—2016 测定^[10]；氨基酸含量参照李恋红等^[11]的方法测定；粗脂肪含量参照 GB 5009.6—2016 测定^[12]；粗纤维含量参照 GB/T 5009.10—2003 测定^[13]。

1.3 数据分析

采用 SPSS 19.0 对数据进行处理和主成分分析,采用 Duncan 多重比较法进行差异显著性检验,采用 Origin 2021 进行相关性分析与聚类分析。

2 结果与分析

2.1 籽粒及籽皮比分析

如表 2 所示,籽粒数在 7~10 粒·g⁻¹的有 7 个辣椒品种,编号为 S5、S8、S14、S16、S19、S21、S24;13 个品种在 12~20 粒·g⁻¹之间,编号为 S1、S2、S3、S4、S7、S9、S10、S13、S15、S17、S18、S20、S22;在 20 粒·g⁻¹及以上的有 4 个辣椒品种,编号为 S6、S11、S12、S23。

S1、S4、S7、S5、S10、S22 籽皮比在 21.37%~29.85%之间,S5 值最小;S20、S2、S9、S14、S18、S17 籽皮比在 31.85%~39.37%之间;S13、S3、S6、S15、S12 籽皮比在 41.15%~47.62%之间;S11、S24、S23、S8、S16、S19、S21 籽皮比在 51.02%~120.48%之间,该类品种籽皮比均超过 50%。

2.2 不同营养成分分析

2.2.1 辣椒籽营养成分分析 由表 3 可知,不同品种各指标之间有显著差异,氨基酸含量 98.27~144.53 μmol·g⁻¹之间,平均值为 120.84 μmol·g⁻¹,变异系数为 9.40%,S1 含量最低,S15 含量最高;还原糖含量在 22.20~32.27 g·kg⁻¹之间,平均值为 27.22 g·kg⁻¹,变异系数为 10.12%,S8 含量最低,S18 含量最高;辣椒红素含量 1.07~5.41 g·kg⁻¹之间,平均值为 3.31 g·kg⁻¹,变异系数为 39.68%,S17 含量最低,S22 含量最高;粗脂肪含量在 9.75%~24.45%,平均值为 17.92%,变异系数为 24.49%,S2 含量最低,S23 含量最高;粗纤维含量在 22.85%~34.81%,变异系数为 10.42%,S12 含量最低,S9 含量最高,平均值为 28.52%;辣椒素含量在 0.36~2.45 g·kg⁻¹之间,平均值为 1.04 g·kg⁻¹,

表 2 不同辣椒籽粒数与籽皮比
Table 2 Number of seeds and the ratio of seed and peel of different pepper cultivars

编号 No.	籽粒数 Seed number/ (seeds·g ⁻¹)	籽皮比 Ratio of seed and peel/%	编号 No.	籽粒数 Seed number/ (seeds·g ⁻¹)	籽皮比 Ratio of seed and peel/%
S1	12	27.55	S13	16	41.15
S2	18	32.79	S14	9	35.97
S3	19	42.19	S15	19	47.39
S4	13	26.46	S16	9	79.37
S5	10	21.37	S17	14	39.37
S6	23	46.51	S18	14	37.59
S7	17	29.85	S19	9	81.97
S8	9	70.42	S20	14	31.85
S9	13	35.21	S21	8	120.48
S10	12	25.91	S22	14	26.39
S11	27	51.02	S23	29	60.98
S12	20	47.62	S24	7	56.50

变异系数为 65.38%,S13 和 S23 含量最低,S2 含量最高;二氢辣椒素含量在 0.09~1.39 g·kg⁻¹之间,变异系数为 77.27%,S12 含量最低,S19 含量最高。

2.2.2 辣椒皮营养成分分析 由表 4 可知,不同品种各指标之间有显著差异,辣椒皮中总氨基酸含量在 102.44~145.66 μmol·g⁻¹之间,平均值为 124.19 g·kg⁻¹,变异系数为 9.27%,S11 含量最低,S17 含量最高;还原糖含量在 22.45~34.22 g·kg⁻¹之间,平均值为 27.89 g·kg⁻¹,变异系数为 9.87%,S8 含量最低,S13 含量最高;辣椒红素含量在 28.75~72.62 g·kg⁻¹之间,平均值为 46.35 g·kg⁻¹,变异系数为 27.81%,S15 含量最低,S8 含量最高;粗脂肪含量在 8.31%~21.79%之间,平均值为 13.67%,变异系数为 34.65%,S13 含量最低,S5 含量最高;粗纤维含量在 18.82~26.93%之间,平均值为 22.50%,变异系数为 10.31%,S12 含量最低,S11 含量最高;辣椒素含量在 0.31~8.78 g·kg⁻¹之间,平均值为 3.24 g·kg⁻¹,变异系数为 74.77%,S24 含量最低,S8 含量最高;二氢辣椒素含量在 0.15~4.45 g·kg⁻¹之间,平均值为 1.58 g·kg⁻¹,变异系数为 91.05%,S24 含量最低,S11 含量最高。

2.2.3 不同辣椒籽品质指标相关性分析 对 24 种辣椒籽的 7 个品质指标进行了相关性分析(表 5),辣椒籽中辣椒素含量与二氢辣椒素含量呈极显著正相关,相关程度最高。说明两种辣椒素类物质的合成受到协同调控。辣椒红素含量与辣椒素含量呈显著负相关,表明籽中类胡萝卜素(红色素)合成途径与辣椒素合成途径之间存在代谢竞争或拮抗

表 3 辣椒籽营养成分与含量
Table 3 Nutritional components and contents of pepper seed

编号 No.	<i>b</i> (氨基酸) Amino acid content/($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	<i>w</i> (还原糖) Reducing sugar content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<i>w</i> (辣椒红素) Capsanthin content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<i>w</i> (粗脂肪) Crude fat content/%	<i>w</i> (粗纤维) Crude fiber content/%	<i>w</i> (辣椒素) Capsaicin content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<i>w</i> (二氢辣椒素) Dihydrocapsaicin content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
S1	98.27±2.53 h	23.05±0.60 k	3.33±0.07 h	10.63±0.27 k	30.31±0.33 f	1.14±0.05 e	0.42±0.02 fgh
S2	109.86±3.73 g	26.90±0.69 hi	3.89±0.05 g	9.75±0.16 l	28.14±0.25 h	2.45±0.05 a	1.00±0.06 c
S3	99.64±1.56 h	26.31±0.79 i	2.84±0.06 j	10.27±0.41 kl	28.79±0.39 g	1.14±0.01 e	0.51±0.06 ef
S4	132.46±3.07 b	24.92±0.84 j	4.19±0.10 f	13.04±0.37 j	26.73±0.17 i	1.58±0.24 bc	1.25±0.13 bc
S5	134.65±3.86 b	25.07±0.57 j	2.00±0.06 l	12.22±0.31 j	24.72±0.37 kl	1.06±0.11 e	0.60±0.06 d
S6	124.99±2.46 c	27.93±0.86 efgh	1.89±0.05 l	15.60±0.47 i	30.56±0.22 def	2.44±0.17 a	0.65±0.18 d
S7	127.62±3.91 c	29.59±0.40 cd	3.28±0.06 h	10.72±0.24 k	26.84±0.17 i	0.51±0.02 hi	0.33±0.02 ghij
S8	118.73±1.20 de	22.20±0.41 k	2.56±0.01 k	19.47±0.63 fg	31.79±0.52 c	1.37±0.11 d	0.44±0.08 fg
S9	123.25±2.13 cd	24.14±0.34 j	2.97±0.09 i	17.99±0.27 h	34.81±0.47 a	0.44±0.13 hi	0.32±0.01 hij
S10	115.81±3.48 ef	24.39±0.11 j	4.24±0.05 f	21.39±0.59 cd	24.25±0.24 l	0.51±0.02 hi	0.16±0.02 kl
S11	114.72±2.84 efg	24.27±0.10 j	1.10±0.02 m	21.53±0.43 bc	30.39±0.23 ef	1.54±0.15 c	0.10±0.02 l
S12	124.21±0.62 c	28.41±0.69 defg	5.22±0.05 bc	21.63±0.42 bc	22.85±0.34 m	0.55±0.01 gh	0.09±0.01 l
S13	111.95±3.40 fg	31.25±0.68 ab	4.72±0.06 d	17.77±0.42 h	30.71±0.34 def	0.36±0.03 i	0.14±0.02 kl
S14	117.20±3.23 e	27.25±0.35 ghi	2.62±0.04 k	20.55±0.52 de	27.85±0.37 h	1.73±0.14 b	0.56±0.03 de
S15	144.53±1.87 a	30.57±0.70 bc	1.97±0.05 l	19.88±0.42 efg	27.74±0.42 h	0.72±0.01 fg	0.32±0.01 hij
S16	114.42±1.85 efg	28.53±0.62 def	4.52±0.11 e	22.32±0.41 b	26.44±0.22 ij	0.55±0.03 gh	0.32±0.08 hij
S17	125.59±1.26 c	30.92±1.11 b	1.07±0.01 m	20.00±0.62 ef	31.02±0.29 d	0.79±0.06 f	0.25±0.02 ijk
S18	124.14±2.52 c	32.27±0.55 a	5.32±0.08 ab	21.45±0.48 bc	28.25±0.36 h	1.03±0.13 e	0.32±0.02 hij
S19	126.07±2.08 c	28.51±0.68 def	1.89±0.01 l	21.23±0.52 cd	25.95±0.08 j	2.44±0.04 a	1.39±0.06 a
S20	123.13±2.91 cd	29.13±0.66 de	2.93±0.06 ij	19.10±0.60 g	33.36±0.50 b	1.04±0.12 e	0.39±0.02 gh
S21	125.45±1.74 c	27.53±0.68 fgh	2.54±0.02 k	20.18±0.35 ef	30.95±0.26 de	0.43±0.05 hi	0.21±0.01 k
S22	141.15±3.61 a	29.02±0.54 de	5.41±0.03 a	17.53±0.80 h	30.82±0.23 def	0.45±0.04 hi	0.16±0.05 kl
S23	109.98±0.82 g	24.29±0.46 j	3.85±0.05 g	24.45±0.75 a	25.04±0.13 k	0.36±0.03 i	0.24±0.02 jk
S24	112.33±2.87 fg	26.89±1.11 hi	5.16±0.12 c	21.27±0.89 cd	26.16±0.20 j	0.40±0.02 hi	0.35±0.03 ghi
平均值 Average value	120.84	27.22	3.31	17.92	28.52	1.04	0.44
最大值 Maximum value	144.53	32.27	5.41	24.45	34.81	2.45	1.39
最小值 Minimum value	98.27	22.20	1.07	9.75	22.85	0.36	0.09
变异系数 Variable coefficient/%	9.40	10.12	39.68	24.49	10.42	65.38	77.27

注:同列数据后不同小写字母表示品种间在 0.05 水平差异显著。下同。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at 0.05 level. The same below.

作用。其他各营养指标间之间无显著相关性。如表 6 所示,不同辣椒皮的品质指标相关性表明,辣椒皮中辣椒素含量与二氢辣椒素含量呈极显著正相关。粗纤维含量与二氢辣椒素含量呈显著正相关。其他各营养指标之间无显著相关性。

2.2.4 辣椒籽皮主成分分析模型构建 对 24 种辣椒籽的 7 种营养成分进行主成分分析,指标主成分的特征值、方差贡献率和累计方差贡献率如表 7 所示,主成分特征向量如表 8 所示。根据特征值大于 1 原则,辣椒籽和皮分别提取出 3 个主成分,辣椒籽

主成分初始特征值依次 2.228、1.375 和 1.279,贡献率依次为 31.834%、19.636%和 18.271%;辣椒皮主成分初始特征值依次为 2.258、1.539 和 1.064,贡献率依次为 36.108%、21.983%和 15.193%。

根据主成分的特征值和相应的特征向量,分别得到辣椒籽皮 3 个主成分的得分函数表达式(1)~(3),以每个主成分对应的特征值与所提取的主成分特征值之和的比例为权重,得到辣椒籽皮品质的综合评价公式(4),如表 9 所示。通过主成分分析构建的综合评价模型,能够科学且全面地对辣椒籽

表 4 辣椒皮营养成分与含量
Table 4 Nutritional components and contents of pepper peel

编号 No.	<i>b</i> (氨基酸) Amino acid content/($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	<i>w</i> (还原糖) Reducing sugar content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<i>w</i> (辣椒红素) Capsanthin content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<i>w</i> (粗脂肪) Crude fat content/%	<i>w</i> (粗纤维) Crude fiber content/%	<i>w</i> (辣椒素) Capsaicin content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<i>w</i> (二氢辣椒素) Dihydrocapsaicin content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
S1	120.76±2.12 ghi	26.91±0.60 fg	49.22±1.16 f	19.40±0.36 c	19.31±0.16 no	3.13±0.92 ef	0.74±0.30 h
S2	115.93±2.24 i	27.08±0.17 fg	32.48±1.05 m	20.73±0.54 b	24.70±0.32 c	4.24±0.15 d	1.32±0.00 fg
S3	119.37±3.83 hi	25.06±0.59 hi	43.90±0.89 h	19.42±0.23 c	25.86±0.32 b	6.43±0.24 b	2.04±0.47 e
S4	129.43±2.39 de	28.63±0.83 cd	44.90±0.93 h	21.08±0.52 b	21.86±0.33 k	2.67±0.26 fg	1.16±0.09 g
S5	109.72±2.26 j	34.05±0.71 a	30.10±0.79 n	21.79±0.37 a	20.03±0.27 lm	2.23±0.06 ghi	0.62±0.03 hi
S6	126.30±3.15 def	26.07±0.50 gh	39.15±0.12 j	21.76±0.51 a	23.95±0.12 de	1.44±0.01 jk	0.22±0.01 jk
S7	105.67±1.01 jk	24.10±0.33 i	29.55±0.67 n	20.78±0.51 b	24.50±0.19 c	1.11±0.19 k	0.56±0.04 hi
S8	108.97±0.47 j	22.45±0.41 j	72.62±1.58 a	11.61±0.29 fg	22.22±0.26 hi	8.78±0.23 a	2.48±0.09 d
S9	115.54±2.53 i	29.50±1.05 c	35.39±0.96 l	11.08±0.29 gh	25.55±0.37 b	0.36±0.01 l	0.33±0.01 ijk
S10	135.93±2.61 bc	26.62±0.60 fg	43.17±0.61 h	10.09±0.15 i	18.97±0.26 o	1.84±0.15 ij	0.35±0.04 ijk
S11	102.44±2.63 k	27.80±0.34 def	46.95±0.71 g	11.17±0.25 fgh	26.93±0.64 a	8.51±0.47 a	4.45±0.17 a
S12	131.11±4.03 cd	26.73±0.88 fg	46.99±0.53 g	11.44±0.16 fg	18.82±0.23 o	1.62±0.08 jk	0.24±0.01 jk
S13	122.44±3.17 fgh	34.22±0.67 a	63.65±1.62 c	8.31±0.09 l	19.06±0.21 o	1.41±0.05 jk	0.19±0.01 jk
S14	125.56±3.28 efg	27.29±0.22 efg	36.20±0.44 kl	10.81±0.44 h	23.39±0.33 f	3.32±0.02 e	1.43±0.02 fg
S15	144.17±3.69 a	29.59±0.86 c	28.75±0.15 n	9.18±0.28 jk	22.55±0.12 hi	5.69±0.51 c	2.94±0.45 c
S16	116.90±3.03 i	28.78±0.97 cd	71.42±1.00 a	9.62±0.24 jk	23.72±0.24 de	1.97±0.11 hij	1.29±0.07 fg
S17	145.66±2.16 a	28.13±0.77 de	35.61±0.77 l	11.75±0.31 f	22.48±0.30 hij	6.22±0.34 bc	2.54±0.16 d
S18	131.39±2.62 cd	29.43±0.23 c	55.18±0.26 d	13.71±0.53 d	24.26±0.08 cd	3.43±0.02 e	1.60±0.01 f
S19	117.49±2.53 hi	26.63±1.11 fg	37.57±0.86 jk	12.85±0.42 e	22.02±0.12 hij	6.04±0.24 bc	3.63±0.12 b
S20	136.66±5.10 b	26.34±0.17 g	53.81±1.20 de	10.05±0.20 i	22.82±0.22 hi	2.49±0.09 gh	0.76±0.06 h
S21	126.56±2.65 def	26.79±0.77 fg	68.98±0.56 b	12.40±0.24 e	23.24±0.203 fg	1.63±0.06 ijk	0.56±0.03 hi
S22	135.89±0.85 bc	29.31±0.03 c	52.37±0.68 e	10.22±0.19 i	20.39±0.41 l	1.53±0.31 jk	0.61±0.14 hi
S23	128.49±4.95 de	26.16±0.71 gh	41.37±1.59 i	9.73±0.18 ij	23.68±0.18 ef	1.42±0.07 jk	0.49±0.08 hij
S24	128.07±0.42 de	31.73±0.57 b	53.40±2.41 e	9.05±0.17 k	19.63±0.32 mn	0.31±0.02 l	0.15±0.01 k
平均值 Average value	124.19	27.89	46.35	13.67	22.50	3.24	1.58
最大值 Maximum value	145.66	34.22	72.62	21.79	26.93	8.78	4.45
最小值 Minimum value	102.44	22.45	28.75	8.31	18.82	0.31	0.15
变异系数 Variable coefficient/%	9.27	9.87	27.81	34.65	10.31	74.77	91.05

表 5 辣椒籽各理化指标相关性分析
Table 5 Correlation analysis of various physicochemical indexes of pepper seed

指标 Index	氨基酸含量 Amino acid content	辣椒红素含量 Capsanthin 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	辣椒素含量 Capsaicin content
辣椒红素含量 Capsanthin content	-0.110					
还原糖含量 Reducing sugar content	0.380	0.170				
粗脂肪含量 Crude fat content	0.130	0.086	0.160			
粗纤维含量 Crude fiber content	-0.021	-0.310	-0.003 4	-0.110		
辣椒素含量 Capsaicin content	-0.069	-0.420*	-0.130	-0.300	0.037	
二氢辣椒素含量 Dihydrocapsaicin content	0.074	-0.180	-0.120	-0.380	-0.160	0.760**

注:*表示在 0.05 水平显著相关,**表示在 0.01 水平极显著相关。下同。
Note: * indicates significant correlation at 0.05 level, ** indicates extremely significant correlation at 0.01 level. The same below.

表 6 辣椒皮各理化指标相关性分析

Table 6 Correlation analysis of various physicochemical indexes of pepper peel

指标 Index	氨基酸含量 Amino acid content	辣椒红素含量 Capsanthin 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	辣椒素含量 Capsaicin content
还原糖含量 Reducing sugar content	0.130					
辣椒红素含量 Capsanthin content	-0.051	-0.035				
粗脂肪含量 Crude fat content	0.370	-0.170	-0.400			
粗纤维含量 Crude fiber content	-0.360	0.370	-0.170	0.170		
辣椒素含量 Capsaicin content	-0.190	-0.360	0.002	0.005	0.350	
二氢辣椒素含量 Dihydrocapsaicin content	-0.180	-0.210	-0.100	-0.110	0.430*	0.910**

表 7 辣椒籽皮主成分分析的特征值和累计方差贡献率

Table 7 Eigenvalue and cumulative variance contribution rate of principal component analysis of pepper seed and peel

主成分 Principal component	辣椒籽 Pepper seed			辣椒皮 Pepper peel		
	初始特征值 Initial eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	初始特征值 Initial eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%
Z1	2.228	31.834	31.834	2.528	36.108	36.108
Z2	1.375	19.636	51.470	1.539	21.983	58.091
Z3	1.279	18.271	69.741	1.064	15.193	73.284

表 8 主成分特征向量

Table 8 Eigenvectors of principal component

指标 Index	辣椒籽 Pepper seed			辣椒皮 Pepper peel		
	Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3
氨基酸含量 Amino acid content	-0.08	0.72	-0.05	-0.30	0.32	0.54
还原糖含量 Reducing sugar content	-0.24	0.60	0.05	-0.35	0.03	0.29
辣椒红素含量 Capsanthin content	-0.35	-0.16	0.54	-0.11	0.47	-0.72
粗脂肪含量 Crude fat content	-0.39	0.14	-0.06	0.15	-0.68	-0.01
粗纤维含量 Crude fiber content	0.08	-0.02	-0.76	0.45	-0.15	-0.10
辣椒素含量 Capsaicin	0.59	0.15	0.08	0.53	0.30	0.16
二氢辣椒素含量 Dihydrocapsaicin content	0.55	0.21	0.34	0.52	0.32	0.28

表 9 籽皮得分函数表达式及综合评价公式

Table 9 The scoring function and comprehensive evaluation formula for seed and peel

辣椒籽 Pepper seed	辣椒皮 Pepper peel
$Z_1 = -0.08X_1 - 0.24X_2 - 0.35X_3 - 0.39X_4 + 0.08X_5 + 0.59X_6 + 0.55X_7$ (1)	$Z_1 = -0.3X_1 - 0.35X_2 - 0.11X_3 + 0.15X_4 + 0.45X_5 + 0.53X_6 + 0.52X_7$ (1)
$Z_2 = 0.72X_1 + 0.60X_2 - 0.16X_3 + 0.14X_4 - 0.02X_5 + 0.15X_6 + 0.21X_7$ (2)	$Z_2 = 0.32X_1 + 0.03X_2 + 0.47X_3 - 0.68X_4 - 0.15X_5 + 0.30X_6 + 0.32X_7$ (2)
$Z_3 = -0.05X_1 + 0.05X_2 + 0.54X_3 - 0.06X_4 - 0.76X_5 + 0.08X_6 + 0.34X_7$ (3)	$Z_3 = 0.54X_1 + 0.29X_2 - 0.72X_3 - 0.01X_4 - 0.1X_5 + 0.16X_6 + 0.28X_7$ (3)
$Z = 0.32Z_1 + 0.20Z_2 + 0.18Z_3$ (4)	$Z = 0.36Z_1 + 0.22Z_2 + 0.15Z_3$ (4)

注: $X_1 \sim X_7$ 分别代表每个辣椒籽皮标准化后的指标。
Note: $X_1 \sim X_7$ represent the standardized indicators of each pepper seed and peel.

皮品质进行量化评估,其中第一主成分在评价中起主要作用,为后续辣椒籽皮品质评价和分级提供了可靠的分析工具。

不同品种辣椒籽皮综合评价:以 3 个主成分所对应的方差贡献率为权重,分别构建辣椒籽皮果实品质综合评价模型:辣椒籽为 $Z=0.32Z_1+0.20Z_2+0.18Z_3$;辣椒皮为 $Z=0.36Z_1+0.22Z_2+0.15Z_3$ 。利用模

型计算各品种辣椒籽皮的综合得分并进行排序,综合得分越高,其品种的适应性越好。如表 10 所示,不同辣椒品种辣椒籽综合品质排序为 $S19>S4>S2>S6>S5>S14>S15>S7>S18>S12>S3>S22>S17>S16>S20>S24>S8>S10>S1>S21>S11>S23>S13>S9$,其中,朝天椒 8 号、黔椒 4 号、遵辣 9 号综合得分排在前三,表明其辣椒籽综合品质有明显优

表 10 不同籽皮综合得分及排序
Table 10 Comprehensive score and rank of different seeds and peels

编号 No.	辣椒籽 Pepper seed					辣椒皮 Pepper peel				
	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z	排名 Rank	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z	排名 Rank
S1	1.26	-2.59	-0.33	-1.66	19	-0.51	-0.77	-0.44	-1.72	19
S2	2.79	-0.44	1.21	3.57	3	1.32	-1.75	0.26	-0.17	10
S3	1.23	-1.67	0.00	-0.45	11	2.36	-0.69	-0.16	1.51	6
S4	2.05	0.61	1.65	4.31	2	-0.29	-1.01	0.35	-0.95	14
S5	1.11	0.51	0.57	2.19	5	-1.00	-2.22	0.73	-2.49	23
S6	2.09	0.94	-0.69	2.35	4	-0.09	-1.97	-0.14	-2.20	22
S7	-0.29	0.55	0.35	0.61	8	0.94	-2.76	-0.76	-2.58	24
S8	0.89	-1.04	-1.20	-1.35	17	2.49	1.78	-2.08	2.19	5
S9	-0.20	-0.72	-1.98	-2.91	24	-0.43	-1.06	-0.17	-1.66	18
S10	-1.28	-1.20	1.04	-1.44	18	-1.63	0.51	0.44	-0.68	12
S11	0.49	-0.77	-1.73	-2.01	21	3.90	0.99	-0.15	4.74	1
S12	-2.09	0.08	1.76	-0.26	10	-1.63	0.27	-0.02	-1.38	16
S13	-1.66	-0.21	-0.25	-2.11	23	-2.62	1.10	-0.59	-2.11	21
S14	0.74	0.17	0.07	0.98	6	0.29	0.06	0.57	0.92	7
S15	-0.78	2.32	-0.58	0.96	7	0.54	1.33	2.66	4.53	2
S16	-1.45	-0.30	0.83	-0.92	14	-0.30	1.05	-1.76	-1.01	15
S17	-0.41	1.26	-1.74	-0.90	13	0.64	1.20	2.13	3.97	3
S18	-1.51	1.11	0.79	0.39	9	0.06	0.53	0.03	0.62	8
S19	2.62	1.80	1.15	5.57	1	1.94	0.61	0.80	3.35	4
S20	-0.14	0.59	-1.42	-0.97	15	-0.64	0.86	-0.16	0.06	9
S21	-0.90	0.23	-1.28	-1.94	20	-0.68	0.61	-1.56	-1.63	17
S22	-1.72	1.11	-0.13	-0.74	12	-1.72	0.79	0.20	-0.73	13
S23	-1.39	-1.44	0.72	-2.11	22	-0.49	-0.03	-0.05	-0.57	11
S24	-1.45	-0.91	1.17	-1.18	16	-2.48	0.57	-0.13	-2.04	20

势。川椒 112、黔辣 9 号、独山线椒排在最后,表明其辣椒籽综合表现最差;不同辣椒皮综合品质排名为 S11>S15>S17>S19>S8>S3>S14>S18>S20>S2>S23>S10>S22>S4>S16>S12>S21>S9>S1>S24>S13>S6>S5>S7,单生 52、黔辣 14 号、山堡辣椒 1 号综合得分排在前三,表明 3 种辣椒皮综合品质优势明显,黔辣 1 号、辣研 11 号、黔椒 11 号排在末尾,说明 3 种辣椒皮综合表现最差。

2.3 不同辣椒籽皮品质指标聚类分析

由图 1 可知,聚类分析在欧式距离 0.003 处可将 24 个辣椒籽样品分为 4 个类群,第 I 类群包括 S1、S3,如表 11,该类群粗脂肪、粗纤维含量平均值最高,分别为 19.94%和 29.98%。第 II 类群包括 S2、S4、S5、S6、S7、S22,该类群还原糖、辣椒红素、粗脂肪、粗纤维和二氢辣椒素含量平均值最低,分别为 25.07 g·kg⁻¹、2.00 g·kg⁻¹、12.22%、24.72%和 0.24 g·kg⁻¹。第 III 类群包括 S8、S9、S11、S13、S14、S17、S20、S21,该类群还原糖和辣椒红素含量平均值最高,分别为 27.58、4.07 g·kg⁻¹。第 IV 类群包括 S10、

S12、S15、S16、S18、S19、S23、S24,该类群辣椒素和二氢辣椒素含量平均值最高,分别为 1.31、0.54 g·kg⁻¹。

由图 2 可知,聚类分析在欧式距离 0.01 处可将 24 个辣椒皮样品分为 4 个类群。第 I 类群包括 S1、S11、S12、S18、S20、S22、S24,如表 12,该类群辣椒素、粗脂肪含量平均值最高,分别为 4.78 g·kg⁻¹和 19.41%。第 II 类群包括 S2、S3、S4、S6、S7、S9、S10、S14、S15、S17、S19、S23,该类群辣椒红素、辣椒素和二氢辣椒素含量平均值最低,分别为 38.09、2.20 和 0.75 g·kg⁻¹。S5 属于第 III 类群,辣椒红素和二氢辣椒素含量最高,分别为 51.65 和 1.59 g·kg⁻¹。第 IV 类群包括 S8、S13、S16、S21,该类群氨基酸含量平均值最高(129.20 μmol·g⁻¹)。

3 讨论与结论

不同辣椒品种因遗传背景不同,营养品质等存在明显差异^[14],选择合适的辣椒品种对提升产量、品

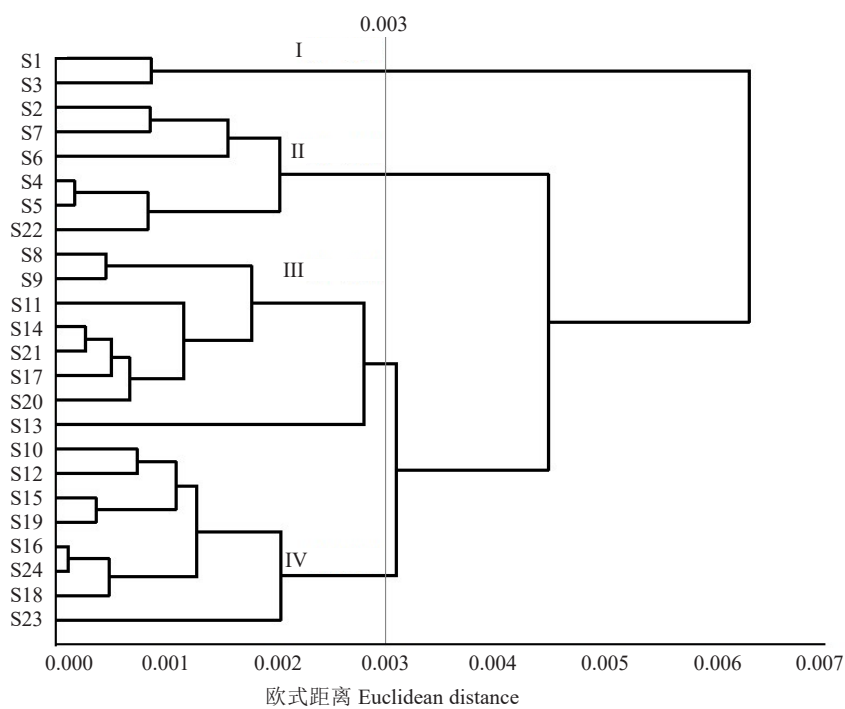


图 1 辣椒籽聚类分析
Fig. 1 Cluster analysis of pepper seeds

表 11 不同类群辣椒籽的理化指标平均值
Table 11 Average values of physicochemical indices for different groups of pepper seeds

类群 Group	<i>b</i> (氨基酸) Amino acid content/($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	<i>w</i> (还原糖) Reducing sugar content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<i>w</i> (辣椒红素) Capsanthin content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<i>w</i> (粗脂肪) Crude fat content/%	<i>w</i> (粗纤维) Crude fiber content/%	<i>w</i> (辣椒素) Capsaicin content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<i>w</i> (二氢辣椒素) Dihydrocapsaicin content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
I	117.64	27.38	3.59	19.94	29.98	0.74	0.34
II	134.65	25.07	2.00	12.22	24.72	0.87	0.24
III	119.71	27.58	4.07	19.02	28.87	0.98	0.29
IV	121.42	27.14	2.89	17.07	28.14	1.31	0.54

质及选择加工原料具有重要意义。本研究结果发现,24个辣椒品种的籽粒数、籽皮比分别在7~29粒 $\cdot\text{g}^{-1}$ 、21.37%~120.48%。蓬桂华等^[4]、薛琰文等^[3]研究显示,籽皮比在0.34~2.03、0.25~1.0之间,说明不同辣椒品种籽皮比存在明显差异。根据蓬桂华等^[4]的定义,S11、S24、S23、S8、S16、S19、S21籽皮比在51.02%~120.48%之间,该类品种籽皮比均超过50%,属于种子型干辣椒,其余品种属于果肉型干辣椒。辣椒籽中粗脂肪含量为9.75%~24.45%,范围明显比马燕等^[5]的研究结果(11.53%~16.70%)范围宽,这与辣椒品种和数量有关。辣椒籽中粗脂肪与粗纤维含量平均值分别为17.92%、28.52%,低于Zou等^[15]报道的东北地区金塔辣椒籽的粗脂肪(23.65%)与粗纤维(38.76%)含量。不同

辣椒籽粒粗脂肪和粗纤维含量的差异可能与个体遗传背景或环境影响有关^[16]。植物的化学成分含量受气候、土壤和植物因素的影响。同一种植物即使生长在相同的条件下,对土壤养分的吸收也可能表现出不同的反应^[17]。通过营养成分均值比较,辣椒皮中辣椒素、二氢辣椒素含量明显高于辣椒籽,这支持了辣椒在果实成熟过程中通过在果皮中集中积累次生代谢产物以增强抗逆性和防御能力的观点^[18]。辣椒籽皮相关性分析结果显示,辣椒籽皮中辣椒素、二氢辣椒素含量存在极显著相关性,这与付文婷等^[19]研究结果一致。

主成分分析是主要通过降维的方式,在选择的指标中以信息最小损失率将多个指标整合为几个综合指标的多元统计方法^[20],该方法广泛用于杨梅^[21]、莼笋^[18]、软枣猕猴桃^[22]等作物的品质评价。笔

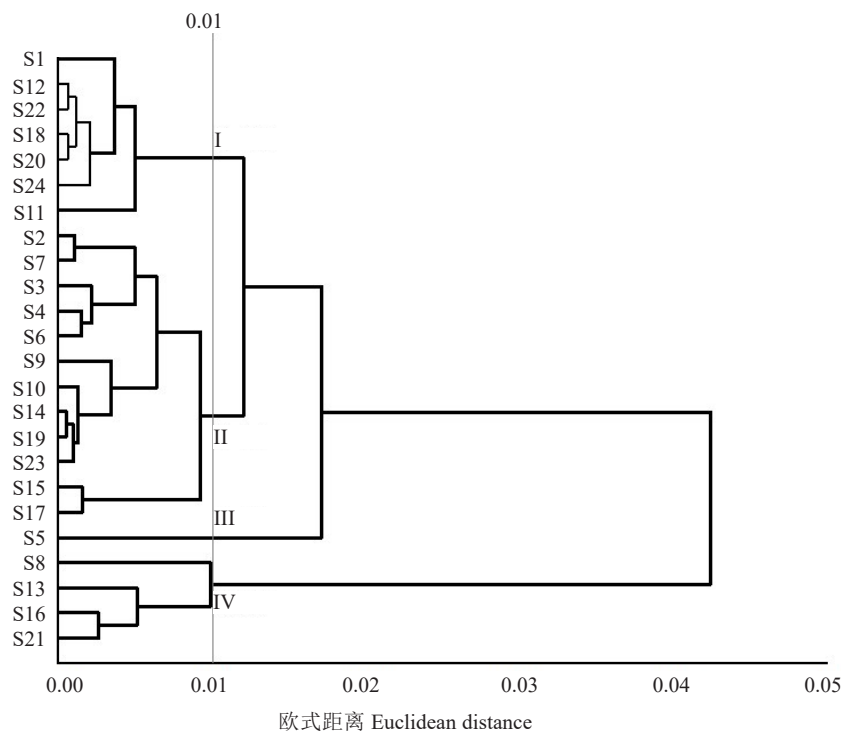


图 2 辣椒皮聚类分析
Fig. 2 Cluster analysis of pepper peels

表 12 不同类群辣椒皮的理化指标平均值
Table 12 Average values of physicochemical indices for different groups of pepper peels

类群 Group	<i>b</i> (氨基酸) Amino acid content/($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	<i>w</i> (还原糖) Reducing sugar content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<i>w</i> (辣椒红素) Capsanthin content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<i>w</i> (粗脂肪) Crude fat content/%	<i>w</i> (粗纤维) Crude fiber content/%	<i>w</i> (辣椒素) Capsaicin content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<i>w</i> (二氢辣椒素) Dihydrocapsaicin content/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
I	120.07	25.98	46.56	19.41	22.59	4.78	1.39
II	120.49	28.21	38.09	19.39	22.57	2.20	0.75
III	122.98	27.81	51.65	10.90	23.21	4.09	1.59
IV	129.20	28.21	47.23	10.71	21.71	2.79	1.34

者运用主成分分析法对 24 个辣椒品种籽皮 7 个品质指标分别进行综合评价,辣椒籽得分顺序为 S19>S4>S2>S6>S5>S14>S15>S7>S18>S12>S3>S22>S17>S16>S20>S24>S8>S10>S1>S21>S11>S23>S13>S9;辣椒皮得分顺序为 S11>S15>S17>S19>S8>S3>S14>S18>S20>S2>S23>S10>S22>S4>S16>S12>S21>S9>S1>S24>S13>S6>S5>S7。

聚类分析可以区分具有遗传差异的品种,并根据遗传距离的大小将品种划分为不同的类群^[22]。本研究通过聚类分析将 24 种辣椒籽分为 4 个类群,各类群之间的主要特征均存在一定差异,如类群 I 表现为较高的辣椒红素、粗脂肪、粗纤维含量,类群 II 表现为较高的氨基酸含量和较低的还原糖、辣椒红素、粗脂肪、粗纤维和二氢辣椒素含量;对应的 24

种辣椒皮中,第 I 类群表现为较低的还原糖含量及较高的辣椒素含量,第 II 类群表现为较低的辣椒素及二氢辣椒素含量。目前仅仅分析了某个区域种植的辣椒,加之气候对品种有较大的影响,下一步应多区域采样进行深层次的分析;此外,样本量较少,应结合市场主推品种,加大分析群体,丰富品种数量;最后还应结合企业需求,加大对辣椒籽皮矿物元素、挥发性及非挥发性成分等的研究力度,以便更好地为辣椒深加工提供更全面的数据支持。

综上所述,不同辣椒品种间籽粒数、籽皮比及营养品质存在较大差异,S23、S11 和 S6 的籽粒数依次排在前三,S21、S19 和 S16 的籽皮比依次排在前三;辣椒籽营养品质综合评价 S19、S4、S2 最佳,辣椒皮营养品质综合评价 S11、S15、S17 最佳。

参考文献

- [1] 王雪雅,陆宽,孙小静,等.贵州不同辣椒品种的品质及挥发性成分分析[J].食品科学,2018,39(4):212-218.
- [2] 周鹏,杨娅,付文婷,等.贵州25个辣椒主栽品种品质分析与评价[J].食品安全质量检测学报,2023,14(21):292-298.
- [3] 薛琰文,胡景娜,敬璞,等.我国11种常见品种辣椒籽成分分析和比较[J].粮食与油脂,2021,34(7):143-149.
- [4] 蓬桂华,李文馨,张爱民,等.贵州地方干椒资源籽皮比的变化及分类[J].中国瓜菜,2018,31(10):23-26.
- [5] 马燕,徐贞贞,邹辉,等.8个品种辣椒籽成分分析与比较[J].食品科学,2017,38(22):178-183.
- [6] 王知松,李达,丁筑红,等.贵州主要品种辣椒籽营养成分分析[J].中国调味品,2010,35(5):93-96.
- [7] 戈伟,王述彬,刘金兵,等.不同辣椒材料果皮脂肪酸组成分析[J].中国蔬菜,2013(8):56-60.
- [8] GB/T 22299—2008 辣椒粉天然着色物质总含量的测定[S].
- [9] GB/T 21266—2007 辣椒及辣椒制品中辣椒素类物质测定及辣度表示方法[S].
- [10] GB 5009.7—2016 食品安全国家标准 食品中还原糖的测定[S].
- [11] 李恋红,邓玉群,田玉桥,等.基于聚类的主成分分析的不同产地黄精主要成分比较[J].中国现代医药杂志,2023,25(9):10-18.
- [12] GB 5009.6—2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S].
- [13] GB/T 5009.10—2003 植物类食品中粗纤维的测定[S].
- [14] Bae H, Jayaprakasha G K, Jifon J, et al. Variation of antioxidant activity and the levels of bioactive compounds in lipophilic and hydrophilic extracts from hot pepper (*Capsicum* spp.) cultivars[J]. Food Chemistry, 2012, 134(4): 1912-1918.
- [15] Zou Y, Ma K, Tian M X. Chemical composition and nutritive value of hot pepper seed (*Capsicum annuum*) grown in Northeast Region of China[J]. Food Science and Technology, 2015, 35(4): 659-663.
- [16] Assefa Y, Purcell L C, Salmeron M, et al. Assessing variation in US soybean seed composition (protein and oil)[J]. Frontiers in Plant Science, 2019, 10: 298.
- [17] Yldz H, Ercisli S, Hegedus A, et al. Bioactive content and antioxidant characteristics of wild (*Fragaria vesca* L.) and cultivated strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) fruits from Turkey[J]. Journal of Applied Botany and Food Quality, 2014, 87: 274-278.
- [18] 苗明军,李菊,钟建,等.基于主成分分析和聚类分析的15个莴笋品种综合评价[J].四川农业大学学报,2025,43(6):1554-1564.
- [19] 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.
- [20] 游双红,史文景,陈元平,等.不同类型果袋对紫金红2号桃果皮色泽和果实品质的影响[J].果树学报,2025,42(7):1502-1517.
- [21] 李雪,杨丽,王进,等.基于主成分分析的重庆地区杨梅果实品质综合评价[J].果树学报,2026,43(5):1186-1199.
- [22] 温锦丽,曹炜玉,王月,等.基于主成分分析与聚类分析的软枣猕猴桃果实品质综合评价[J].食品工业科技,2024,45(1):247-257.