

117份干辣椒资源的营养指标比较分析

朱丽¹, 张军¹, 尚迪¹, 蔡臣¹, 钟珉菡¹, 孙婷¹, 秦廷豪¹, 李焕秀²

(1. 四川省农业特色植物研究院 四川内江 611730; 2. 四川农业大学园艺学院 成都 610000)

摘要: 为了培育出营养成分含量丰富的干制辣椒品种, 以117份辣椒资源的干椒为供试材料, 测定其蛋白质、粗脂肪和辣椒素含量, 运用描述性统计、相关性分析、灰色关联度分析、聚类分析等多元分析方法进行综合评价。结果表明, 117份干辣椒的辣椒素含量变异系数最大, 为85.04%, 在选育新品种过程中辣椒素含量的选育空间较大; 蛋白质含量与粗脂肪含量呈显著负相关, 与辣椒素含量呈极显著负相关, 而粗脂肪含量与辣椒素含量呈极显著正相关。基于熵权的灰色关联度分析, 蛋白质、粗脂肪和辣椒素含量的权重分别为0.20、0.22和0.58, 综合营养品质较优的是2021Q-141-571、2021Q-156-543和2021Q-147-543; $K=5$ 时把117份干辣资源聚为低粗脂肪低辣椒素类、高粗脂肪类、高辣椒素类、营养品质中等类、高蛋白质类等5个类群, 相较系统聚类能较好地解决各营养指标之间存在关联的问题。依据灰色关联度分析和 K 均值聚类综合评价结果, 可筛选高辣椒素、高蛋白或高粗脂肪含量的辣椒材料, 研究结果为科学评价辣椒综合营养品质, 对辣椒种质资源创新利用以及培育优良品种具有一定的参考价值。

关键词: 辣椒; 营养品质; 相关性; 灰色关联度分析; 聚类分析

中图分类号: S641.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)11-038-10

Comparative analysis of nutritional indexes of 117 dried pepper resources

ZHU Li¹, ZHANG Jun¹, SHANG Di¹, CAI Chen¹, ZHONG Minhan¹, SUN Ting¹, QIN Tinghao¹, LI Huanxiu²

(1. Sichuan Academy of Agricultural Characteristic Plants, Neijiang 611730, Sichuan, China; 2. College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 610000, Sichuan, China)

Abstract: Pepper is an important cash crop. In order to cultivate dried pepper varieties with rich nutrients and high content, the contents of protein, crude fat and capsaicin in 117 dried peppers were determined and compared by descriptive statistics, correlation analysis, grey correlation analysis and cluster analysis. The results showed that the maximum coefficient of variation of capsaicin content in 117 dried peppers was 85.04%, and there was more room for the selection of capsaicin content in the process of breeding new pepper varieties. Protein content was found negative correlation with crude fat content, and significant negative with capsaicin content, while crude fat content was exhibited significant positive correlation with capsaicin content. Based on the grey relational analysis of entropy weight, the weights of protein, crude fat and capsaicin was 0.20, 0.22 and 0.58 respectively, and the comprehensive nutritional quality of 2021Q-141-571, 2021Q-156-543 and 2021Q-147-543 were better. When $K=5$, 117 dried and spicy resources were grouped into five groups: Low crude fat, low capsaicin, high crude fat, high capsaicin, medium nutritional quality and high protein. Compared with systematic clustering, it can better solve the problem of correlation among nutritional indexes. According to the comprehensive evaluation results of grey relational analysis and K -means clustering, pepper materials with high capsaicin content, high protein content or rich crude fat content can be screened out, which has certain reference value for scientific evaluation of comprehensive nutritional quality of pepper, innovative utilization of pepper germplasm resources and cultivation of excellent varieties.

Key words: Pepper; Nutritional quality; Correlation; Analysis of grey correlative degree; Cluster analysis

辣椒(*Capsicum annuum* L.)原产于南美洲, 是世界上重要的经济作物之一, 更是中国最重要的蔬菜之一, 近年来产量在我国蔬菜作物中居第一

位^[1-2]。辣椒果实富含蛋白质、氨基酸、粗脂肪等多种营养物质, 可以鲜食、制干, 加工酱类、泡菜, 提取辣椒素、辣椒红素作为工业原料等。将辣椒制干具

收稿日期: 2024-05-01; 修回日期: 2024-06-19

基金项目: 四川省公益性科研院所基本科研课题(23JDKY02, 24JBKY04)

作者简介: 朱丽, 女, 研究实习员, 研究方向为蔬菜生物技术与遗传育种。E-mail: 18784009622@163.com

通信作者: 孙婷, 女, 副研究员, 研究方向为蔬菜育种与栽培技术。E-mail: 5796946@qq.com

有便于贮存和运输的优势,据统计 2019—2022 年我国干辣椒出口保持增长态势,其中已磨干辣椒出口量在 2016 年超过印度,成为世界第一已磨干辣椒出口国^[3]。蛋白质、粗脂肪和辣椒素含量的高低是评价辣椒品种品质、辣椒制品品质的重要指标,其中蛋白质是辣椒及辣椒制品的重要营养成分,与粗脂肪一起还决定了食品的营养价值、口感、风味、形态等方面的质量^[4]。辣椒素是生理效能很强的生物碱活性物质,给辣椒制品增添独特味觉体验的同时,还具有杀毒、镇痛、消炎、增强食欲、促进消化、调节肠道菌群、提高免疫力、缓解热应激、防御和治疗心血管疾病等多种生物学功能^[5-7],此外,辣椒素还能应用到军事领域^[8]。利用隶属函数分析、主成分分析、相关性分析、灰色关联度分析、聚类分析等多元分析方法综合评价辣椒品质,能够挖掘出优质的辣椒种质资源,为当地引种栽培、培育优质辣椒新品种奠定理论基础^[9-15]。为了培育出营养物质丰富、品质优良的干制辣椒品种,对 117 份辣椒资源干椒的蛋白质、粗脂肪和辣椒素含量进行测定,采用描述性统计、相关性分析、灰色关联度分析、聚类分析等多元分析方法进行综合评价,以期筛选出适合选育高营养价值干辣椒新品种的优异资源。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为 117 份辣椒资源(表 1),均来源于四川省川椒种业科技有限责任公司,包括 11 份朝地椒,90 份朝天椒,3 份牛角椒,13 份羊角椒。

1.2 方法

试验于 2023 年 2 月上旬在四川富顺县试验基地进行。采用漂浮盘育苗,待辣椒苗长至 6~8 片真叶时,双行单株定植,株行距为 40 cm×60 cm,117 份辣椒资源随机区组排列,小区面积 7.2 m²,3 次重复。田间常规管理,待各资源 2~3 层果实充分成熟后,采收生长一致且无病虫害的鲜红(黄)辣椒果实于 45 °C 烘干至恒质量,去除果柄萼片后粉碎过 80 目筛,保存于干燥避光的器皿中备用。

参照鹏桂华等^[16]的方法采用索氏脂肪分析仪测定粗脂肪含量,略有修改。滤纸筒制备:将定性滤纸卷成直径 1 cm 左右的纸筒,称取 1 g 左右(样品质量,记为 m)的干辣椒粉末于已知质量的滤纸筒中,并将两头折叠封口,放入索氏提取器的提取瓶中,加入无水乙醚完全浸没;浸提温度 50 °C,浸提时间 60 min,处理结束后回收试剂,取出滤纸筒,用

无水乙醚冲洗掉粘连的油脂,在通风橱中挥发掉表面乙醚,置于烘箱中 103 °C 烘干 2 h,称质量记为 m_1 。 $w(\text{粗脂肪})/\%=(m-m_1)/m\times 100$ 。

参照 GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》凯氏定氮法测定粗蛋白含量^[17]。参照 GB/T21266—2007《辣椒及辣椒制品中辣椒素类物质测定及辣度表示方法》测定辣椒素含量^[18]。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 25.0 对试验数据进行处理和描述性统计,采用 https://www.chiplot.online/circle_heatmap.html 和 OriginPro 2021 进行相关性分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同辣椒材料的营养指标分析

对 117 份辣椒资源的 3 个营养指标进行测定。由表 2 可知,不同的营养成分含量在不同辣椒资源中存在较大差异,蛋白质、粗脂肪、辣椒素平均含量分别为 13.91 g·100 g⁻¹、11.43%、2.64 g·kg⁻¹,其中蛋白质含量最高的是 2021Q-141-564,为 22.09 g·100 g⁻¹,最低的是 2021Q-147-543,为 10.61 g·100 g⁻¹,最大值是最小值的 2.16 倍;粗脂肪含量最高的是 2021Q-139-111,为 21.22%,最低的是 2021Q-T32A-828,仅为 6.72%,最大值是最小值的 3.16 倍;辣椒素含量最高的是 2021Q-141-571,为 11.23 g·kg⁻¹,最低的是 2021Q-H242-833,为 0.10 g·kg⁻¹,最大值是最小值的 112.30 倍。蛋白质、粗脂肪和辣椒素含量的变异系数分别为 11.61%、20.95%和 85.04%。以上结果表明本研究参试辣椒的蛋白质和粗脂肪含量变异系数低,辣椒素含量差异和变异系数最大,具有较丰富的遗传信息和选择潜力。

2.2 辣椒营养指标的相关性分析

干椒的营养指标之间存在不同程度的关联,由表 3 可知,蛋白质含量与粗脂肪含量呈显著负相关(-0.229),与辣椒素含量呈极显著负相关(-0.350);而粗脂肪含量与辣椒素含量呈极显著正相关(0.292)。可见,辣椒的不同营养指标之间存在不同程度相关性,在评价干椒营养品质优劣、培育辣椒新品种时,采用单一的指标评价是不全面的,缺乏说服力。

2.3 基于熵权的灰色关联度分析

干椒的营养品质是由多个营养指标综合决定的,应用灰色系统理论的关联度分析方法综合评价辣椒营养品质,先设置一个理想的参考品种,试验

表1 辣椒资源及编号

Table 1 Pepper resource and serial number

编号 Number	资源名称 Resource name	类型 Type	编号 Number	资源名称 Resource name	类型 Type	编号 Number	资源名称 Resource name	类型 Type
1	2021Q-T32A-828	ShP	40	2021Q-156-111	PoP	79	2021Q-147-543	PoP
2	2021Q-T32A-829	PoP	41	2021Q-156-543	PoP	80	2021Q-142-542	PoP
3	2021Q-T32A-830	ShP	42	2021Q-156-118	PoP	81	2021Q-545-541	PoP
4	2021Q-T12A-832	PoP	43	2021Q-157-129	PoP	82	2021Q-143-130	PoP
5	2021Q-T12A-831	ChP	44	2021Q-157-117	PoP	83	2021Q-143-137	PoP
6	2021Q-J22A-828	ShP	45	2021Q-157-114	PoP	84	2021Q-143-115	PoP
7	2021Q-J22A-T222	ShP	46	2021Q-153-824	PoP	85	2021Q-266-813	PoP
8	2021Q-J22A-T221	ShP	47	2021Q-153-109	PoP	86	2021Q-264-779	PoP
9	2021Q-J21A-J1	ShP	48	2021Q-153-118	PoP	87	2021Q-264-826	PoP
10	2021Q-H242-T212	ShP	49	2021Q-153116	PoP	88	2021Q-264-806	PoP
11	2021Q-H242-833	ShP	50	2021Q-148-826	PoP	89	2021Q-264-815	PoP
12	2021Q-H242-830	ShP	51	2021Q-148-825	DP	90	2021Q-264-813	PoP
13	2021Q-H241-832	ChP	52	2021Q-148-827	DP	91	2021Q-264-810	PoP
14	2021Q-H241-831	ChP	53	2021Q-148-129	DP	92	2021Q-142-129	PoP
15	2021Q-H23A-834	ShP	54	2021Q-148-117	DP	93	2021Q-142-111	PoP
16	2021Q-BA-H242	ShP	55	2021Q-148-116	PoP	94	2021Q-142-110	PoP
17	2021Q-BA-H241	ShP	56	2021Q-155-126	PoP	95	2021Q-142-109	PoP
18	2021Q-BA-B2	ShP	57	2021Q-155-109	PoP	96	2021Q-142-134	PoP
19	2021Q-139-136	DP	58	2021Q-155-117	PoP	97	2021Q-142-118	PoP
20	2021Q-139-126	DP	59	2021Q-155-115	PoP	98	2021Q-142-117	PoP
21	2021Q-139-111	PoP	60	2021Q-232-137	PoP	99	2021Q-142-778	PoP
22	2021Q-139-117	PoP	61	2021Q-232-811	PoP	100	2021Q-141-567	PoP
23	2021Q-139-115	PoP	62	2021Q-232-114	PoP	101	2021Q-141-566	PoP
24	2021Q-139-130	DP	63	2021Q-146-136	DP	102	2021Q-141-564	PoP
25	2021Q-138-820	PoP	64	2021Q-146-109	PoP	103	2021Q-141-109	PoP
26	2021Q-138-821	PoP	65	2021Q-146-543	PoP	104	2021Q-141-578	PoP
27	2021Q-138-822	DP	66	2021Q-146-116	PoP	105	2021Q-141-137	PoP
28	2021Q-280-110	PoP	67	2021Q-147-136	PoP	106	2021Q-141-544	PoP
29	2021Q-280-109	PoP	68	2021Q-147-109	PoP	107	2021Q-141-118	PoP
30	2021Q-280-118	PoP	69	2021Q-147-137	PoP	108	2021Q-141-785	PoP
31	2021Q-280-114	PoP	70	2021Q-147-117	PoP	109	2021Q-141-816	PoP
32	2021Q-278-806	PoP	71	2021Q-145-136	DP	110	2021Q-141-815	PoP
33	2021Q-278-806	PoP	72	2021Q-145-132	DP	111	2021Q-141-814	PoP
34	2021Q-278-814	PoP	73	2021Q-145-129	PoP	112	2021Q-141-555	PoP
35	2021Q-278-810	PoP	74	2021Q-145-111	PoP	113	2021Q-141-554	PoP
36	2021Q-156-816	PoP	75	2021Q-145-776	PoP	114	2021Q-141-553	PoP
37	2021Q-156-126	PoP	76	2021Q-145-116	PoP	115	2021Q-141-572	PoP
38	2021Q-156-127	PoP	77	2021Q-145-778	PoP	116	2021Q-141-571	PoP
39	2021Q-156-823	PoP	78	2021Q-145-113	PoP	117	2021Q-141-550	PoP

注: ShP 表示羊角椒; PoP 表示朝天椒; ChP 表示牛角椒; DP 表示朝地椒。

Note: ShP means sheep-horn pepper, PoP means pod pepper, ChP means cow-horn pepper, DP means downward pepper.

表2 不同辣椒营养指标描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of nutritional indexes of different peppers

指标 Index	最小值 Min	最大值 Max	极差 Extreme difference	平均值 Average value	标准差 Standard eviation	变异系数 CV/%
w(蛋白质)Protein content/(g·100 g ⁻¹)	10.61	22.09	11.48	13.91	1.61	11.61
w(粗脂肪) Crude fat content/%	6.72	21.22	14.50	11.43	2.39	20.95
w(辣椒素) Capsaicinoids content/(g·kg ⁻¹)	0.10	11.23	11.13	2.64	2.24	85.04

表3 辣椒营养指标的相关性分析
Table 3 Correlation analysis of nutritional index of pepper

指标 Index	蛋白质含量 Protein content	粗脂肪含量 Crude fat content	辣椒素含量 Capsaicinoids content
蛋白质含量 Protein content	1.000		
粗脂肪含量 Crude fat content	-0.229*	1.000	
辣椒素含量 Capsaicinoids content	-0.350**	0.292**	1.000

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: * indicates significant correlation at 0.05 level; ** indicates extremely significant correlation at 0.01 level.

组各指标越接近参考品种,关联系数越大,表示其综合品质越好。以蛋白质、粗脂肪和辣椒素含量的原始数据为依据,设置理想参考品种 Ao,其各项指标为参试材料各项指标的最大值 $22.09 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ 、 21.22% 和 $11.23 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。将各指标原始数据无量纲化处理,基于熵权计算出蛋白质、粗脂肪和辣椒素含量的权重分别为 0.20、0.22 和 0.58(表 4),带入灰色关联度计算公式,以 $\rho=0.5$ 为分辨系数,计算出各辣椒资源与参考组 Ao 的关联度系数 r 并按照大小排序(表 5)。关联度系数排名靠前的是 2021Q-141-571、2021Q-156-543、2021Q-147-543,分别为 0.729、0.709、0.654,其辣椒素含量均高于 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;而 2021Q-BA-B2、2021Q-T32A-828、2021Q-J22A-T221、2021Q-H242-830 的关联度系数均小于 0.36。根据关联分析原则,关联度系数越高,综合品质越好,117 份辣椒资源中 2021Q-141-571、2021Q-156-543、2021Q-147-543 干椒综合营养品质最好,表现为极高辣椒素含量,是选育高辣干椒品种的理想材料,而 2021Q-BA-B2、2021Q-T32A-828、2021Q-J22A-T221、2021Q-H242-830 表现为蛋白质、粗脂肪和辣椒素含量均比较低,综合营养品质较差。

表4 各指标的熵值和权重

Table 4 Entropy value and weight of each index

指标 Index	熵值 Entropy value	权重 Weight
蛋白质含量 Protein content	0.975	0.20
粗脂肪含量 Crude fat content	0.974	0.22
辣椒素含量 Capsaicinoids content	0.931	0.58

2.4 不同辣椒资源营养指标聚类分析

117 个供试辣椒的营养指标以 $K=5$ 时做聚类分析,最终聚类中心见表 6,聚类成员与聚类中心距离见表 7。第 1 类群为低粗脂肪低辣椒素类,有 37 份资源,占试验辣椒总数的 31.62%,包含所有的牛角椒,84.60%的羊角椒;第 2 类群为高粗脂肪类,有 12 份材料,占 10.26%,包含 11 份朝天椒,1 份朝地椒;第 3 类群为高辣椒素类,有 11 份材料,占 9.40%,包含 9 份朝天椒和 2 份朝地椒;第 4 类群为营养品质中等类,有 40 份材料,占比最大为 34.10%,包含 38.90%的朝天椒和 45.50%的朝地椒;第 5 类群为高蛋白质类,有 17 份材料,占 14.53%,包含 15 份朝天椒和 2 份羊角椒。

将各营养指标原始数据无量纲化处理后,以欧式距离在 Chiplot 在线网页(<https://www.chiplot.online/>)做系统聚类。如图 1 所示,第 I 类群仅有 2021Q-141-564,为蛋白质含量最高的朝天椒;第 II 类群有 27 份资源,包含 24 份朝天椒和 3 份朝地椒;第 III 类群有 7 份资源,包含 6 份朝天椒和 1 份朝地椒;第 IV 类群有 16 份资源,包含 15 份朝天椒和 1 份朝地椒;第 V 类群有 66 份资源,包含所有的牛角椒、84.6%的羊角椒、63.6%的朝地椒、51.1%的朝天椒和 7 份朝天椒。朝天椒的营养品质差异较大,适合多种育种目标的筛选;大果型牛角椒和羊角椒的粗脂肪和辣椒素含量均较低,结合田间表现,适合作为提取辣椒红素的育种材料。

两种聚类算法都把高辣椒素的 41、43、52、65、79、81、116 聚为一类,把高蛋白质的 2、4、16、17、82、84、85、86、89、90、92、94、95、96、101、102、105 聚为一类。而系统聚类法将蛋白质含量最高的 102 单独聚一类,将 K 均值聚类中辣椒素含量较高的 4 份材料(37、38、39、53),部分粗脂肪含量居中的 11 份材料(63、56、42、58、45、50、93、36、75、46、73),以及粗脂肪含量较高的 12 份材料(21、26、28、32、34、40、51、57、59、74、87、110)聚为一类;将 K 均值聚类中第 1 类群 37 份低粗脂肪低辣椒素的材料和第 4 类群 30 份各营养指标含量中等的材料聚为一类。总的来说, $K=5$ 的聚类分析和系统聚类的结果相似但略有不同。 K 均值聚类有多个聚类中心,可以把 117 份辣椒资源按照不同营养品质含量高低聚为明确的类群,能较好地解决各指标之间存在关联的问题,因此 K 均值聚类更具有参考价值。

表5 各指标原始数据无量纲化处理和灰色关联度分析

Table 5 Dimensionless processing and grey correlation analysis of original data of each index

序号 Number	资源名称 Resource name	蛋白质含量 Protein content	粗脂肪含量 Crude fat content	辣椒素含量 Capsaicinoids content	灰色关联度系数 Grey correlation coefficient	排名 Rank
1	2021Q-T32A-828	0.227	0.001	0.041	0.351	116
2	2021Q-T32A-829	0.430	0.286	0.043	0.383	78
3	2021Q-T32A-830	0.301	0.342	0.074	0.382	83
4	2021Q-T12A-832	0.492	0.130	0.054	0.380	86
5	2021Q-T12A-831	0.394	0.162	0.052	0.373	101
6	2021Q-J22A-828	0.274	0.090	0.105	0.367	109
7	2021Q-J22A-T222	0.245	0.199	0.046	0.364	111
8	2021Q-J22A-T221	0.215	0.101	0.047	0.356	115
9	2021Q-J21A-J1	0.224	0.161	0.099	0.367	108
10	2021Q-H242-T212	0.333	0.158	0.101	0.375	97
11	2021Q-H242-833	0.366	0.238	0.001	0.369	105
12	2021Q-H242-830	0.191	0.227	0.010	0.357	114
13	2021Q-H241-832	0.309	0.246	0.078	0.376	96
14	2021Q-H241-831	0.363	0.255	0.038	0.375	99
15	2021Q-H23A-834	0.209	0.158	0.064	0.361	113
16	2021Q-BA-H242	0.496	0.119	0.015	0.375	98
17	2021Q-BA-H241	0.545	0.023	0.023	0.376	94
18	2021Q-BA-B2	0.152	0.048	0.021	0.346	117
19	2021Q-139-136	0.356	0.347	0.219	0.409	49
20	2021Q-139-126	0.356	0.373	0.309	0.428	30
21	2021Q-139-111	0.215	1.001	0.278	0.534	6
22	2021Q-139-117	0.168	0.408	0.158	0.391	70
23	2021Q-139-115	0.242	0.370	0.144	0.390	71
24	2021Q-139-130	0.310	0.287	0.116	0.384	77
25	2021Q-138-820	0.194	0.363	0.300	0.414	40
26	2021Q-138-821	0.157	0.556	0.301	0.432	26
27	2021Q-138-822	0.219	0.262	0.328	0.414	41
28	2021Q-280-110	0.123	0.642	0.361	0.454	19
29	2021Q-280-109	0.174	0.363	0.239	0.402	56
30	2021Q-280-118	0.214	0.313	0.177	0.389	72
31	2021Q-280-114	0.165	0.250	0.065	0.365	110
32	2021Q-278-806	0.335	0.546	0.113	0.410	46
33	2021Q-278-806	0.126	0.377	0.113	0.379	91
34	2021Q-278-814	0.348	0.613	0.113	0.420	34
35	2021Q-278-810	0.327	0.400	0.012	0.380	89
36	2021Q-156-816	0.313	0.492	0.349	0.445	21
37	2021Q-156-126	0.373	0.367	0.661	0.530	7
38	2021Q-156-127	0.432	0.446	0.591	0.516	10
39	2021Q-156-823	0.367	0.424	0.617	0.518	9
40	2021Q-156-111	0.180	0.874	0.450	0.526	8
41	2021Q-156-543	0.145	0.540	0.947	0.709	2
42	2021Q-156-118	0.094	0.457	0.341	0.426	31
43	2021Q-157-129	0.149	0.287	0.525	0.461	14
44	2021Q-157-117	0.165	0.361	0.326	0.418	36
45	2021Q-157-114	0.191	0.485	0.211	0.409	48
46	2021Q-153-824	0.359	0.465	0.313	0.438	24

表 5(续)
Table 5 (Continued)

序号 Number	资源名称 Resource name	蛋白质含量 Protein content	粗脂肪含量 Crude fat content	辣椒素含量 Capsaicinoids content	灰色关联度系数 Grey correlation coefficient	排名 Rank
47	2021Q-153-109	0.291	0.263	0.148	0.386	76
48	2021Q-153-118	0.196	0.220	0.118	0.372	102
49	2021Q-153116	0.171	0.158	0.129	0.368	106
50	2021Q-148-826	0.218	0.472	0.312	0.428	29
51	2021Q-148-825	0.300	0.615	0.353	0.460	16
52	2021Q-148-827	0.201	0.462	0.588	0.500	12
53	2021Q-148-129	0.324	0.459	0.566	0.500	11
54	2021Q-148-117	0.240	0.253	0.135	0.380	90
55	2021Q-148-116	0.197	0.416	0.259	0.411	44
56	2021Q-155-126	0.084	0.503	0.383	0.439	23
57	2021Q-155-109	0.049	0.624	0.305	0.436	25
58	2021Q-155-117	0.121	0.449	0.295	0.417	37
59	2021Q-155-115	0.276	0.613	0.367	0.461	15
60	2021Q-232-137	0.237	0.311	0.120	0.382	84
61	2021Q-232-811	0.299	0.423	0.157	0.401	57
62	2021Q-232-114	0.114	0.395	0.097	0.378	93
63	2021Q-146-136	0.454	0.326	0.420	0.458	17
64	2021Q-146-109	0.256	0.323	0.233	0.402	54
65	2021Q-146-543	0.184	0.308	0.822	0.594	4
66	2021Q-146-116	0.309	0.278	0.251	0.406	52
67	2021Q-147-136	0.168	0.226	0.326	0.408	51
68	2021Q-147-109	0.171	0.278	0.323	0.411	45
69	2021Q-147-137	0.194	0.371	0.208	0.398	60
70	2021Q-147-117	0.139	0.345	0.232	0.397	63
71	2021Q-145-136	0.285	0.372	0.255	0.412	42
72	2021Q-145-132	0.332	0.250	0.272	0.409	47
73	2021Q-145-129	0.342	0.457	0.286	0.430	27
74	2021Q-145-111	0.411	0.710	0.214	0.456	18
75	2021Q-145-776	0.336	0.433	0.251	0.421	33
76	2021Q-145-116	0.250	0.309	0.240	0.402	55
77	2021Q-145-778	0.249	0.451	0.081	0.389	73
78	2021Q-145-113	0.331	0.434	0.160	0.405	53
79	2021Q-147-543	0.001	0.144	0.930	0.654	3
80	2021Q-142-542	0.371	0.325	0.277	0.419	35
81	2021Q-545-541	0.008	0.173	0.838	0.586	5
82	2021Q-143-130	0.547	0.221	0.215	0.417	38
83	2021Q-143-137	0.350	0.272	0.092	0.382	80
84	2021Q-143-115	0.490	0.305	0.215	0.417	39
85	2021Q-266-813	0.526	0.281	0.046	0.393	68
86	2021Q-264-779	0.435	0.239	0.168	0.399	58
87	2021Q-264-826	0.288	0.620	0.268	0.442	22
88	2021Q-264-806	0.216	0.337	0.100	0.379	92
89	2021Q-264-815	0.435	0.202	0.172	0.397	62
90	2021Q-264-813	0.474	0.246	0.202	0.409	50
91	2021Q-264-810	0.392	0.174	0.022	0.370	104
92	2021Q-142-129	0.481	0.184	0.118	0.392	69
93	2021Q-142-111	0.245	0.457	0.404	0.449	20

表5(续)
Table 5 (Continued)

序号 Number	资源名称 Resource name	蛋白质含量 Protein content	粗脂肪含量 Crude fat content	辣椒素含量 Capsaicinoids content	灰色关联度系数 Grey correlation coefficient	排名 Rank
94	2021Q-142-110	0.444	0.298	0.109	0.395	64
95	2021Q-142-109	0.585	0.240	0.215	0.423	32
96	2021Q-142-134	0.492	0.242	0.123	0.398	61
97	2021Q-142-118	0.278	0.300	0.098	0.380	88
98	2021Q-142-117	0.364	0.244	0.088	0.381	85
99	2021Q-142-778	0.306	0.204	0.010	0.363	112
100	2021Q-141-567	0.260	0.103	0.161	0.376	95
101	2021Q-141-566	0.530	0.205	0.203	0.412	43
102	2021Q-141-564	1.001	0.135	0.132	0.496	13
103	2021Q-141-109	0.300	0.192	0.100	0.375	100
104	2021Q-141-578	0.270	0.246	0.209	0.393	67
105	2021Q-141-137	0.533	0.155	0.029	0.383	79
106	2021Q-141-544	0.358	0.119	0.179	0.387	75
107	2021Q-141-118	0.324	0.299	0.076	0.380	87
108	2021Q-141-785	0.331	0.201	0.032	0.368	107
109	2021Q-141-816	0.362	0.278	0.002	0.372	103
110	2021Q-141-815	0.228	0.586	0.249	0.430	28
111	2021Q-141-814	0.177	0.386	0.105	0.382	82
112	2021Q-141-555	0.237	0.203	0.266	0.399	59
113	2021Q-141-554	0.127	0.176	0.221	0.382	81
114	2021Q-141-553	0.166	0.296	0.229	0.394	66
115	2021Q-141-572	0.178	0.325	0.214	0.394	65
116	2021Q-141-571	0.054	0.163	1.001	0.729	1
117	2021Q-141-550	0.204	0.241	0.207	0.388	74

表6 K=5的最终聚类中心
Table 6 The final clustering center with K = 5

指标 Index	聚类 Cluster				
	1	2	3	4	5
w(蛋白质) Protein content/(g·100 g ⁻¹)	13.77	13.39	12.94	13.29	16.64
w(粗脂肪) Crude fat content/%	9.69	16.38	11.68	12.22	9.70
w(辣椒素) Capsaicinoids content/(g·kg ⁻¹)	1.18	3.22	8.27	2.77	1.45
个案数 Number of cases	37	12	11	40	17
占比 Proportion/%	31.62	10.26	9.40	34.19	14.53

3 讨论与结论

不同的辣椒资源营养品质有着极大差异,本研究表明,辣椒的辣椒素含量变异系数最大,为85.04%,说明在选育辣椒新品种过程中辣椒素含量的选育空间更大,而蛋白质和粗脂肪含量的变异系数较低,以蛋白质、粗脂肪含量为目标选育更加困难,蓬桂华等^[16]、BARUAH等^[19]、付文婷等^[20]的研究

中也得出类似的结论。前人研究表明,辣椒果实的氨基酸、辣椒素、蛋白质、维生素、粗脂肪等营养成分之间存在一定的相关性^[21],本研究发现辣椒的蛋白质含量与粗脂肪含量呈显著负相关,与辣椒素含量呈极显著负相关,与前人在蛋白质含量与粗脂肪、辣椒素含量间的相关性是基本一致的,但并未达显著或极显著水平^[21-22],与周焘等^[23]、彭泽等^[15]的研究结果也有差异,这可能是前人供试样本量小造成结论偏差。粗脂肪含量与辣椒素含量呈极显著正相关,与付文婷等^[20]的研究结果一致。

笔者对117份辣椒资源干椒的营养指标进行灰色关联度分析和聚类分析,对营养品质进行综合评价和分类。在灰色关联度分析中,2021Q-141-571、2021Q-156-543、2021Q-147-543等3份资源的关联度系数高于0.65,其综合营养品质较优;通过灰色关联度分析筛选出的综合营养品质最优的资源辣椒素含量也最高,但其蛋白质和粗脂肪含量仅处于中下水平,因此不能完全忽视其他营养指标表现较好的资源,这种现象在李建忠等^[24]、李

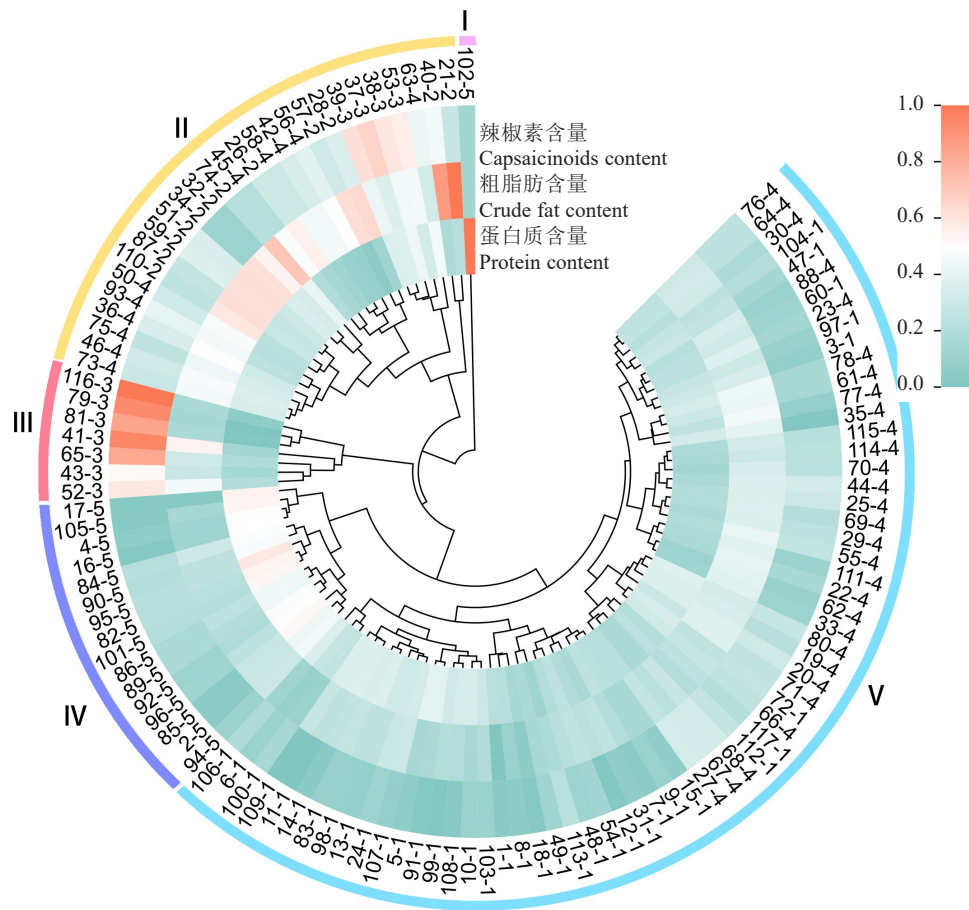
表7 K均值聚类分析
Table 7 K-means clustering analysis

编号 Number	聚类 Cluster	与聚类中心距离 Clustering center distance	编号 Number	聚类 Cluster	与聚类中心距离 Clustering center distance	编号 Number	聚类 Cluster	与聚类中心距离 Clustering center distance
1	1	3.09	40	2	3.63	79	3	4.30
2	5	1.82	41	3	3.77	80	4	1.82
3	1	2.01	42	4	2.25	81	3	3.52
4	5	1.40	43	3	2.56	82	5	1.08
5	1	1.58	44	4	1.27	83	1	1.27
6	1	1.69	45	4	1.62	84	5	1.80
7	1	0.69	46	4	2.05	85	5	1.38
8	1	1.78	47	1	1.01	86	5	1.24
9	1	0.88	48	1	0.96	87	2	0.87
10	1	0.95	49	1	1.44	88	4	1.71
11	1	1.57	50	4	1.55	89	5	1.18
12	1	1.41	51	2	1.28	90	5	1.21
13	1	0.73	52	3	2.37	91	1	1.64
14	1	1.40	53	3	2.88	92	5	0.61
15	1	1.10	54	1	0.89	93	4	2.13
16	5	1.78	55	4	0.70	94	5	1.63
17	5	2.89	56	4	2.93	95	5	1.33
18	1	2.83	57	2	2.33	96	5	0.65
19	4	1.50	58	4	1.73	97	1	1.37
20	4	1.59	59	2	1.29	98	1	1.16
21	2	4.86	60	1	1.60	99	1	1.04
22	4	1.26	61	4	1.34	100	1	1.66
23	4	1.09	62	4	2.13	101	5	0.90
24	1	1.25	63	4	3.32	102	5	5.55
25	4	0.84	64	4	0.87	103	1	0.34
26	2	1.91	65	3	1.11	104	1	1.36
27	4	1.99	66	4	1.72	105	5	1.28
28	2	1.67	67	4	2.55	106	1	1.81
29	4	0.74	68	4	1.89	107	1	1.49
30	4	1.24	69	4	0.61	108	1	0.97
31	1	1.46	70	4	1.21	109	1	1.79
32	2	2.77	71	4	0.62	110	2	1.23
33	4	1.89	72	1	2.13	111	4	1.65
34	2	2.36	73	4	1.74	112	1	1.92
35	4	2.77	74	2	2.17	113	1	2.22
36	4	2.20	75	4	1.40	114	4	1.47
37	3	2.14	76	4	1.06	115	4	1.07
38	3	3.42	77	4	2.06	116	3	4.30
39	3	2.58	78	4	1.63	117	1	1.55

有福等^[25]、彭泽等^[15]的研究中也有体现。 $K=5$ 时把117份资源聚为低粗脂肪低辣椒素类、高粗脂肪类、高辣椒素类、营养品质中等类、高蛋白质类5个类群,相较系统聚类能较好地解决各营养指标之间存在关联的问题。值得注意的是,朝天椒的营养品质差异较大,适合多种育种目标的筛选;大果型牛角

椒和羊角椒在 K 均值聚类中聚在粗脂肪和辣椒素含量较低的第1类群和第5类群,结合田间表现,适合作为提取辣椒红素的育种材料。

综上所述,117份干辣椒的辣椒素含量变异系数最大,为85.04%;蛋白质含量、粗脂肪含量与辣椒素含量之间存在不同程度的相关性。基于熵权的



注：数据经无量纲化处理，编号例“102-5”代表辣椒资源102在K均值聚类中属于第5类。

Note: The data is dimensionless, and the numbered example “102-5” indicates that pepper resource 102 belongs to the fifth category in K-means clustering.

图1 不同辣椒资源干椒营养指标系统聚类结果

Fig. 1 Systematic clustering of nutritional indexes of different dried pepper resources

灰色关联度分析，综合营养品质较优的是2021Q-141-571、2021Q-156-543和2021Q-147-543；K=5时把117份干辣资源聚为低粗脂肪低辣椒素类、高粗脂肪类、高辣椒素类、营养品质中等类、高蛋白质类等5个类群，可以参考灰色关联度分析，依据K均值聚类的结果按照不同用途和目标筛选高辣椒素、高蛋白或高粗脂肪含量的辣椒资源，研究结果为科学评价辣椒综合营养品质及培育高品质干制辣椒新品种提供参考依据。

参考文献

[1] 王立浩,张宝玺,张正海,等.“十三五”我国辣椒育种研究进展、产业现状及展望[J].中国蔬菜,2021(2):21-29.
 [2] 邹学校,朱凡.辣椒的起源、进化与栽培历史[J].园艺学报,2022,49(6):1371-1381.
 [3] 乔立娟,赵帮宏,宗义湘,等.我国辣椒产业发展现状、趋势及对策[J].中国蔬菜,2023(11):9-15.
 [4] 张祥,刘雨婷,李平平,等.6个地方名优辣椒品种干椒品质测定及分析[J].长江蔬菜,2020(22):60-64.

[5] PAULSEN T, JENSEN K H, HARN V J, et al. Safety assessment of the functional feed additive phenylcapsaicin in a commercial broiler diet[J]. Toxicology Research and Application, 2023, 7: 1-4.
 [6] GUPTA R, KAPOOR B, GULATI M, et al. Sweet pepper and its principle constituent capsiate: Functional properties and health benefits[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2021, 62(26): 7370-7394.
 [7] 袁雷,杨涛,张国儒,等.辣椒果实中辣椒素的研究进展[J].中国瓜菜,2021,34(11):1-9.
 [8] 仲辉,孙令强,牟其芸,等.不同类型干制辣椒辣度评估及辣度杂优遗传分析[J].中国农学通报,2013,29(22):114-119.
 [9] 常晓轩,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.
 [10] 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.
 [11] UMESH BABU B S, TEMBHURNE V, HONNAPPA M, et al. The genetic dissection of economically important traits in chilli genotypes (*Capsicum annum* L.) through multivariate analysis[J]. International Journal of Plant and Soil Science, 2023, 35

- (22):117-144.
- [12] 王丹丹,师建华,李燕,等.基于主成分与聚类分析的辣椒主要农艺性状评价[J].中国瓜菜,2021,34(2):47-53.
- [13] SINGH T N, JOSHI A K, VIKRAM A, et al. Mean performances, character associations and multi-environmental evaluation of chilli landraces in north western himalayas. [J]. Scientific Reports, 2024, 14(1):769.
- [14] 朱珍花,濮丹,杨洋,等.干制辣椒种质资源表型性状遗传多样性分析[J].北方园艺,2024(6):1-8.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 中华人民共和国卫生部.食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5-2010[S].北京:中国标准出版社,2010.
- [18] 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.辣椒及辣椒制品中辣椒素类物质测定及辣度表示方法:GB/T 21266-2007[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [19] BARUAH J, MUNDA S, SARMA N, et al. Estimation of genetic variation in yield, its contributing characters and capsaicin content of *Capsicum chinense* Jacq. (ghost pepper) germplasm from Northeast India[J]. PeerJ, 2023, 11:e15521.
- [20] 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.
- [21] 肖深根,阳文龙,王日勇,等.干辣椒品种果实品质的灰色关联评估及相关分析[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2001,27(4):283-285.
- [22] 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.
- [23] 周焘,刘志敏,戴雄泽,等.辣椒果实品质的评估及相关分析[J].中国蔬菜,2006(6):4-6.
- [24] 李建忠,戴昀,叶鑫雨,等.基于多元统计分析对芥菜营养品质的综合评价[J].中国蔬菜,2024(1):29-37.
- [25] 李有福,张欢欢,段惠敏,等.河西荒漠绿洲区加工番茄果实品质综合评价[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2022,50(10):125-134.