

## 新疆制干辣椒品质综合评价及加工适宜性分析

年国芳，郭超男，徐建宗，周建中

### Comprehensive Quality Evaluation and Processing Suitability Analysis of Xinjiang Dried Pepper

NIAN Guofang, GUO Chaonan, XU Jianzong, and ZHOU Jianzhong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022040116>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 基于主成分与聚类分析的辣椒品质综合评价

Comprehensive Evaluation of Hot Pepper Quality Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis

食品工业科技. 2019, 40(14): 49-55 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.14.008>

#### 博辣天剑朝天椒、皱纹1号线椒和陶岭三味辣椒株系的品质分析及评价

Quality Analysis and Evaluation of Taoling Sanwei Pepper, Knit Line No.1 Line Pepper and Bola Tianjian Pod Pepper

食品工业科技. 2019, 40(5): 48-52,60 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.05.009>

#### 基于主成分分析和聚类分析综合评价蒸谷米的品质特性

Comprehensive Evaluation of Quality Characteristics of Parboiled Rice Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis

食品工业科技. 2021, 42(7): 258-267 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020050209>

#### 基于聚类分析和主成分分析法的杨梅营养品质评价研究

Evaluation of nutritional quality of red bayberry based on cluster analysis and principal component

食品工业科技. 2017(01): 278-280 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.01.047>

#### 基于主成分分析和聚类分析的不同品种燕麦品质评价

Quality Evaluation of Different Varieties of Oat Based on Principal Components Analysis and Cluster Analysis

食品工业科技. 2020, 41(13): 85-91 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.13.014>

#### 基于主成分和聚类分析的不同品种猕猴桃鲜食品质评价

Fresh Food Quality Evaluation of Kiwifruit Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis

食品工业科技. 2021, 42(7): 1-8 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020050240>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

年国芳, 郭超男, 徐建宗, 等. 新疆制干辣椒品质综合评价及加工适宜性分析 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 317–325. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040116

NIAN Guofang, GUO Chaonan, XU Jianzong, et al. Comprehensive Quality Evaluation and Processing Suitability Analysis of Xinjiang Dried Pepper[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(4): 317–325. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040116

· 分析检测 ·

# 新疆制干辣椒品质综合评价及加工适宜性分析

年国芳, 郭超男, 徐建宗, 周建中\*

(新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 为筛选加工专用的辣椒品种, 以新疆主栽的 12 个干椒品种为材料, 比较各品种间品质指标差异, 并通过主成分分析和聚类分析对 12 份辣椒资源进行品质综合评价和加工适宜性分析。结果表明, 不同品种辣椒间各项指标存在不同程度差异, 裕红 113 号的单果重 (6.166 g) 最大, 长线 1 号的果形指数 (14.322) 最大, 可溶性还原糖含量 (354.311 mg/g) 最高, 大叶朝天椒的可食率 (96.973%) 最高。通过比较色差、粗脂肪、辣椒素等 16 个指标的变异系数, 发现辣椒素含量的变异系数最大, 高达 76.104%。12 份辣椒的平均隶属度相差 0.203, 表明品种间差异明显; 主成分分析提取出 4 个主成分, 累计贡献率达 88.369%, 得到品质较优的品种有红素三号、长线 1 号、红安 6 号、聚源 5 号、红龙 23 号。经 R 型聚类筛选出辣椒品质的核心指标为单果重、辣椒红素、脂肪、维生素 C 含量、 $a^*$ , 经 Q 型聚类将 12 种辣椒聚为 4 类。经综合分析发现: 线椒适宜做发酵辣椒酱、辣椒丝和油辣椒的原料; 朝天椒适宜提取辣椒碱, 也可作为制粉、辣椒油等调味料的原料; 板椒适宜辣椒红色素的提取。红素三号是 12 份辣椒中品质最优、最适宜制干的辣椒品种。

**关键词:** 辣椒, 主成分分析, 聚类分析, 品质评价, 加工适宜性

中图分类号:S641.3

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2023)04-0317-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040116

本文网刊:



## Comprehensive Quality Evaluation and Processing Suitability Analysis of Xinjiang Dried Pepper

NIAN Guofang, GUO Chaonan, XU Jianzong, ZHOU Jianzhong\*

(College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** In this study, to select special pepper varieties for processing, 12 dry pepper varieties mainly grown in Xinjiang were used as materials to compare the differences of quality indexes among different varieties. Next, the comprehensive quality evaluation and processing suitability analysis of the 12 pepper resources were performed through principal component analysis and cluster analysis. The results showed that differences were present in various indexes among the different pepper varieties. Yuhong 113 had the largest single fruit weight (6.166 g). Changxian 1 had the largest fruit shape index (14.322) and the highest soluble reducing sugar content (354.311 mg/g). And large leaf pod pepper had the highest edible rate (96.973%). By comparing the coefficient of variation of 16 indicators, including color difference, crude fat and capsaicin, it was observed that the coefficient of variation of capsaicin content was the greatest, as high as 76.104%. The difference in the average membership degree of the 12 pepper varieties was 0.203, thus indicating that there were significant differences among the varieties. Four principal components were extracted by principal component analysis, and the cumulative contribution rate reached 88.369%. The results showed that the varieties possessing superior quality were Hongsu 3, Changxian 1, Hong'an 6, Juyuan 5 and Honglong 23. The core indexes of pepper quality were selected as single

收稿日期: 2022-04-13

基金项目: 新疆维吾尔自治区重点研发任务专项计划项目 (2022B02008-1)。

作者简介: 年国芳 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与综合利用, E-mail: 413714480@qq.com。

\* 通信作者: 周建中 (1979-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品精深加工及植物蛋白工程, E-mail: zjz7978@sina.com。

fruit weight, capsanthin, fat, vitamin C content and  $a^*$ , according to the R-type clustering. The 12 varieties of pepper were grouped into four categories by Q-cluster. Through comprehensive analysis, it was found that the line pepper was suitable for use as the raw material of fermented pepper sauce, pepper shreds and oil pepper. Pod pepper was suitable for extracting capsaicin, and could also be used as the raw material for making powder, pepper oil and other seasonings. And horn pepper was suitable for extracting capsanthin. Hongsu 3 was the best pepper variety with the best quality and was the most suitable one for drying among the 12 pepper varieties.

**Key words:** pepper; principal component analysis; clustering analysis; quality evaluation; processing suitability

辣椒(*Capsicum* ssp.) 属于茄科, 是茄果类的重要蔬菜之一<sup>[1]</sup>, 是人们生活中必不可少的辣味调味品<sup>[2]</sup>, 因其独特的口味深受消费者的喜爱。辣椒富含可溶性糖、蛋白质、维生素 C、辣椒红素、辣椒素、有机酸、钙、磷等有效成分, 具有较高的营养保健价值, 其中辣椒中的维生素 C 含量堪称“蔬菜之冠”<sup>[3]</sup>, 能参与机体的代谢, 提高身体免疫力, 缓解牙龈出血等症状<sup>[4]</sup>; 辣椒红素是很好的自由基清除剂<sup>[5-6]</sup>, 该物质与辣椒素分别具有抗炎、抗糖尿病、抗肿瘤、抗辐射<sup>[7]</sup> 和改善肠道菌群多样性<sup>[8]</sup>、降血脂<sup>[9]</sup>、抗癌<sup>[10]</sup>、抗菌消炎、调节免疫力<sup>[11-12]</sup> 的功效。因此, 辣椒不仅能用于食品及食品加工行业, 其提取物辣椒碱在医药<sup>[13]</sup>、化工、军工等方面的作用也较广泛。

辣椒是全球重要的经济性蔬菜作物之一, 据国家大宗蔬菜产业技术体系统计, 2021 年我国辣椒播种面积突破 153.33 万 hm<sup>2</sup>(2300 万亩), 占全球辣椒播种面积的 40%<sup>[14]</sup>。同时我国也是世界第一大辣椒生产国与消费国<sup>[15]</sup>。随着辣椒产业的迅速发展, 新疆凭借独特的地理优势和日照时间长, 昼夜温差大等条件成为新的一支辣椒生产基地, 已形成天山以南的巴州、天山以北的昌吉州、伊犁州和塔城四大辣椒产区。辣椒生产分鲜椒和制干两大类, 与我国辣椒主要产地相比, 新疆的主栽品种为制干用辣椒, 干辣椒年产量高达 15 万至 20 万 t, 占全国总产量的 60% 左右<sup>[16]</sup>, 其产品除满足我国辣椒加工业的需求外, 还出口至韩国、日本、美国及欧洲国家, 在国际市场享有较高的声誉。但新疆种植的部分品种种性混杂, 退化严重, 造成辣椒产量不稳定<sup>[17]</sup>, 加工主要以粗加工为主, 高附加值综合深加工制品生产较少<sup>[18]</sup>, 已成为制约其生产的主要因素之一。此外, 加工原料品种的选取会影响产品品质<sup>[19]</sup>, 辣椒加工企业收购原料时因缺乏科学的选料依据使得生产出的产品质量不稳定, 严重阻碍了辣椒产业的标准化发展。

因此, 该试验通过对 12 份新疆制干辣椒资源的多个品质指标的测定与分析, 对其进行差异显著性分析和隶属函数分析, 并将主成分和聚类分析法相结合对其进行综合评价, 可以有效发掘新疆本地辣椒优势, 对提高辣椒加工产品品质的均一性也具有非常重要的意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

辣椒 选用在新疆广泛种植、可用于开展制干

类型辣椒的辣椒资源, 共 12 份, 其中编号 XH 开头的材料从和静县搜集, 编号 XA 开头的材料从阿克苏搜集, 编号 XY 开头的材料从焉耆搜集, 编号 XB 开头的材料从博湖搜集, 编号 XK 开头的材料从库尔勒获取。材料编号及来源见表 1; 葱酮 上海麦克林生化科技有限公司; 硫酸、盐酸 成都市科隆化学品有限公司; 考马斯亮兰-G250、牛血清蛋白 天津市大茂化学试剂场; 无水乙醇、磷酸、石油醚 天津市鑫铂特化工有限公司; 钼酸铵、偏磷酸 天津市北辰方正试剂厂; 抗坏血酸 天津永晟精细化工有限公司; 以上试剂 均为分析纯。

表 1 供试材料名称  
Table 1 Name of test materials

编号	品种名称	来源
XH-1	线椒10号	和静
XH-2	长线1号	和静
XH-3	红安6号	和静
XK-4	泰星四号	库尔勒
XA-5	红丹丹1号	阿克苏
XA-6	朝地椒	阿克苏
XB-7	大叶朝天椒	博湖
XB-8	红龙13	博湖
XB-9	红龙23	博湖
XY-10	裕红113	焉耆
XB-11	聚源5号	博湖
XB-12	红素三号	博湖

TU-1810PC 紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司; TDL-5-A 低速台式离心机 上海安亭科学仪器厂; FW-100 高速万能粉碎机 北京市永光明医疗仪器有限公司; MX-S 涡旋振荡器 上海奥然科贸有限公司; HY-2A 数显调速多用振荡器 常州亚特实验仪器有限公司; NH-310 色差仪 北京光学仪器厂; SZF-06B 脂肪测定仪 浙江托普仪器有限公司; Agilent LC1100 高效液相色谱仪 上海林理仪器有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 不同品种辣椒商品品质的测定

1.2.1.1 单果重及果形指数的测定 每个品种随机选择 15 个果实, 使用电子天平对其进行称重, 重复测定 3 次。并用游标卡尺对其横径与纵径进行测量, 重复测定 3 次, 计算其果型指数, 果形指数=纵径/横径。

1.2.1.2 可食比率的测定 每个品种随机选取 15 个果实用电子天平测定其单果重, 再去除辣椒蒂进行称重, 记录数据平均值。可食率(%)=去蒂可食部分质量/全果质量×100。

1.2.1.3 色度的测定 本实验中不同品种辣椒果实的色度采用色度色差仪检测, 经过零位校正和白板校正后对  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、H 和 C 5 个参数值进行测定, 平行测 10 次, 依据  $a^*$ 、 $b^*$  值计算综合色度指标色度角  $H=\tan^{-1}(b^*/a^*)$  和饱和度( $C=\sqrt{a^*+b^*}$ )<sup>[20]</sup>。

### 1.2.2 不同品种辣椒营养指标测定

1.2.2.1 可溶性糖含量的测定 采用蒽酮-硫酸显色法<sup>[21]</sup> 测定, 以蔗糖为标样绘制标准曲线。制备样品时准确称取 0.5 g 辣椒粉至试管, 加入沸水, 在水浴中加盖煮沸 10 min。测定时, 准确吸取 1 mL 已稀释的提取液, 加入 4 mL 蕤酮试剂, 在 620 nm 处测定吸光度; 在标准曲线上查出可溶性糖含量。

1.2.2.2 蛋白质含量的测定 采用马斯亮蓝 G -250 比色法<sup>[22]</sup> 测定, 以牛血清蛋白为标样绘制标准曲线, 制备样品时准确称取 1 g 辣椒粉至离心管, 加入蒸馏水, 4000 r/min 离心 20 min, 吸取上清液, 测定时取 1 mL 已稀释过的待测样, 加入马斯亮蓝 G -250 试剂 5 mL, 放置 2 min 后在 595 nm 处测定吸光度; 通过标准曲线查得样品提取液中蛋白质的含量。

1.2.2.3 维生素 C 含量测定 采用钼酸铵比色法<sup>[3]</sup> 测定, 以抗坏血酸为标样绘制标准曲线, 制备样品时准确称取 1 g 辣椒粉至离心管, 加入适量草酸-EDTA 溶液, 7000 r/min 离心 15 min, 取 20 mL 上清液, 测定时取已稀释过的待测样 5 mL, 依次加入 0.5 mL 3% 偏磷酸-乙酸溶液、1 mL 5% 硫酸溶液、2 mL 1% 钼酸铵溶液, 放置 20 min 后在 709 nm 处测定吸光度, 在标准曲线上查出样品中的维生素 C 含量。

1.2.2.4 粗脂肪含量的测定 采用脂肪测定仪进行, 准确称量 2 g 研磨好的辣椒粉, 置于滤纸筒中, 确保滤纸筒要紧密, 将石油醚加入萃取室内, 使得液面高于滤纸筒 1.5~2 cm, 回流速度不低于 12 次/h, 提取温度为 65 °C, 提取时间为 6 h。

1.2.2.5 辣椒红色素含量的测定 辣椒红色素含量测定参照国标 GB/T 22299-2008《辣椒粉 天然着色物质总含量的测定》。

1.2.2.6 辣椒素含量的测定 采用高效液相色谱法(HPLC)对鲜果中辣味物质的含量进行测定<sup>[23~24]</sup>, HPLC 色谱条件流动相: 甲醇(A)-0.1% 磷酸水溶液(B), 梯度洗脱(0~10 min, A: 10%~20%, 10~20 min, A: 20%~40%, 20~35 min, A: 40%~70%, 35~50 min, A: 70%~70%, 50~55 min, A: 70%~10%, 55~60 min, A: 10%~10%), 检测波长 235 nm, 色谱柱: Agilent ZORBAX SB-C<sub>18</sub> (5 μm, 4.6 mm×250 mm), 流速 1 mL/min, 柱温 30 °C, 进样量 15 μL。

### 1.3 数据处理

应用 SPSS 26 软件计算各指标的最大值、最小值、平均值和标准差, 并对数据进行 Duncan's 差异显著性分析,  $P<0.05$  时显著。对数据进行主成分分析和聚类分析, 聚类分析采用系统聚类的组间连接法。

采用 Excel 软件计算变异系数, 并进行隶属函数分析; 隶属函数公式为:  $T_{ij}=(X_{ij}-X_{j\min})/(X_{j\max}-X_{j\min})$ , 式中: i 表示某个辣椒品种; j 表示某个品质指标;  $T_{ij}$  表示 i 辣椒品种 j 品质指标的隶属函数值;  $X_{ij}$  表示 i 辣椒品种 j 品质指标的实际测量值;  $X_{j\max}$  和  $X_{j\min}$  分别表示 12 份辣椒品种中 j 品质指标的最大值和最小值<sup>[25]</sup>。分别计算出 12 份辣椒品种的品质指标隶属函数值后求均值, 得平均隶属函数值。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种辣椒品质分析

#### 2.1.1 不同品种辣椒商品品质比较

2.1.1.1 不同品种辣椒形态指标比较 由表 2 可知, 辣椒单果重的范围在 0.673~6.166 g 之间, 平均重量为 2.781 g, 高于 3.000 g 的有 XB-8(红龙 13)、XB-9(红龙 23)、XY-10(裕红 113)、XB-11(聚源 5 号)、XB-12(红素三号), 均属于大果形的板椒, 其中 XY-10(裕红 113)的单果质量最大, 为 6.166 g, 其中 XK-4(泰星 4 号)的单果质量最小, 为 0.673 g, XB-9(红龙 23)和 XB-12(红素三号)单果重相当, 与其余品种差异显著( $P<0.05$ ); 纵径最大的是 XH-2(长线 1 号), 为 22.881 cm, 与其余差异显著( $P<0.05$ ); 横径最大的是 XB-9(红龙 23), 为 3.579 cm, 与其余品种差异显著( $P<0.05$ ); 果形指数是判定果实形状的最直观标准, 果形指数最大的是 XH-2(长线 1 号), 为 14.322, 显著高于其他各个品种( $P<0.05$ ), 果形指数最小的是 XB-8(红龙 13), 为 4.417; 可食比率最大的是 XB-7(大叶朝天椒), 为 96.973%, 其次是 XA-6(朝地椒)、XA-5(红丹丹 1 号)、XK-4(泰星四号), 均属于朝天椒。该 5 个形态指标中, 单果重、横径、纵径、果形指数 4 个指标的变异系数都大于 10%, 表明该 12 份辣椒品种的表型较丰富。

2.1.1.2 不同品种辣椒色度比较 色泽是评价辣椒商品性的重要指标, 辣椒干制加工后产品的颜色对商品性的评价更为重要<sup>[26]</sup>。目前在食品检测中常用的颜色表示系统为 CIELAB 表色系和 Hunter Lab 表色系<sup>[27]</sup>,  $L^*$  值表示光泽的明亮度,  $L^*$  值越大, 亮度越高;  $a^*$  值为色度中的红绿色差指标, 正值越大, 红色越深;  $b^*$  值表示黄蓝色, 正值越大, 黄色越深<sup>[28]</sup>; H 值为色调参数中的色度角, 变化幅度 0~180 之间, H<50 时, H 值越小, 红色越深<sup>[29]</sup>; C 值为饱和度, 又称纯度, 表示含色的多少, 低饱和度意味着色泽稀疏暗淡, 高饱和度则表示饱满、强烈的颜色<sup>[30]</sup>。通过对 12 个品种辣椒的 5 个色度进行分析, 结果见表 3,  $L^*$  值在 50.259~

表 2 不同品种辣椒形态指标比较  
Table 2 Comparison of agronomic traits of different pepper varieties

品种	单果重(g)	纵径(cm)	横径(cm)	果形指数	可食比率(%)
XH-1	1.907±0.010 <sup>e</sup>	12.252±0.120 <sup>e</sup>	0.984±0.010 <sup>i</sup>	12.452±0.000 <sup>b</sup>	94.777±0.030 <sup>d</sup>
XH-2	2.177±0.000 <sup>e</sup>	21.881±0.100 <sup>a</sup>	1.528±0.010 <sup>e</sup>	14.322±0.010 <sup>a</sup>	94.735±0.040 <sup>d</sup>
XH-3	1.778±0.030 <sup>h</sup>	12.274±0.010 <sup>e</sup>	1.584±0.010 <sup>e</sup>	7.746±0.030 <sup>d</sup>	94.740±0.010 <sup>d</sup>
XK-4	0.673±0.010 <sup>j</sup>	6.946±0.000 <sup>j</sup>	1.223±0.010 <sup>h</sup>	5.680±0.030 <sup>f</sup>	96.681±0.010 <sup>b</sup>
XA-5	2.081±0.040 <sup>f</sup>	13.093±0.070 <sup>e</sup>	2.106±0.010 <sup>f</sup>	6.217±0.010 <sup>e</sup>	96.774±0.010 <sup>b</sup>
XA-6	1.618±0.000 <sup>i</sup>	8.120±0.010 <sup>i</sup>	1.595±0.010 <sup>e</sup>	5.092±0.030 <sup>g</sup>	96.783±0.000 <sup>b</sup>
XB-7	1.621±0.000 <sup>i</sup>	11.233±0.010 <sup>h</sup>	1.287±0.000 <sup>h</sup>	8.728±0.000 <sup>c</sup>	96.973±0.010 <sup>a</sup>
XB-8	3.349±0.050 <sup>d</sup>	12.181±0.050 <sup>g</sup>	2.758±0.050 <sup>e</sup>	4.417±0.100 <sup>i</sup>	94.879±0.010 <sup>c</sup>
XB-9	3.666±0.010 <sup>c</sup>	18.410±0.080 <sup>b</sup>	3.579±0.130 <sup>a</sup>	5.149±0.210 <sup>g</sup>	94.848±0.040 <sup>c</sup>
XY-10	6.166±0.070 <sup>a</sup>	16.061±0.050 <sup>c</sup>	3.181±0.050 <sup>b</sup>	5.050±0.100 <sup>g</sup>	94.612±0.150 <sup>d</sup>
XB-11	4.678±0.080 <sup>b</sup>	14.690±0.010 <sup>d</sup>	2.996±0.020 <sup>c</sup>	4.904±0.030 <sup>h</sup>	94.598±0.330 <sup>d</sup>
XB-12	3.665±0.020 <sup>c</sup>	12.714±0.300 <sup>f</sup>	2.874±0.030 <sup>d</sup>	4.424±0.130 <sup>i</sup>	94.627±0.040 <sup>d</sup>
最大值	6.166	21.881	3.579	14.322	96.973
最小值	0.673	6.946	0.984	4.417	94.598
平均值	2.781	13.321	2.141	7.015	95.419
标准差	1.558	4.096	0.889	3.272	1.028
变异系数(%)	56.021	30.749	41.519	46.648	1.077

注: 同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ); 表2~表4同。

表 3 不同品种辣椒色度比较  
Table 3 Comparison of different varieties of pepper color degree

品种	$L^*$	$a^*$	$b^*$	H	C
XH-1	46.523±0.280 <sup>f</sup>	25.471±0.180 <sup>d</sup>	22.292±0.030 <sup>g</sup>	39.385±0.240 <sup>g</sup>	33.849±0.150 <sup>g</sup>
XH-2	46.811±0.110 <sup>e</sup>	25.473±0.040 <sup>d</sup>	23.813±0.230 <sup>c</sup>	42.068±0.340 <sup>d</sup>	34.871±0.180 <sup>f</sup>
XH-3	46.511±0.060 <sup>f</sup>	25.699±0.020 <sup>d</sup>	28.534±0.130 <sup>a</sup>	49.965±0.260 <sup>a</sup>	38.401±0.090 <sup>a</sup>
XK-4	50.259±0.050 <sup>a</sup>	24.234±0.080 <sup>f</sup>	25.335±0.080 <sup>c</sup>	47.045±0.280 <sup>b</sup>	35.060±0.040 <sup>f</sup>
XA-5	49.619±0.100 <sup>b</sup>	24.236±0.020 <sup>f</sup>	26.779±0.040 <sup>b</sup>	49.722±0.030 <sup>a</sup>	36.118±0.050 <sup>e</sup>
XA-6	48.952±0.080 <sup>c</sup>	24.625±0.020 <sup>e</sup>	23.160±0.060 <sup>f</sup>	42.323±0.130 <sup>d</sup>	33.805±0.040 <sup>g</sup>
XB-7	48.573±0.340 <sup>d</sup>	23.793±0.110 <sup>g</sup>	24.262±0.150 <sup>d</sup>	45.887±0.490 <sup>c</sup>	33.982±0.040 <sup>g</sup>
XB-8	44.915±0.180 <sup>hi</sup>	30.667±0.410 <sup>a</sup>	21.562±0.370 <sup>h</sup>	31.638±0.120 <sup>h</sup>	37.488±0.550 <sup>c</sup>
XB-9	44.900±0.150 <sup>hi</sup>	30.746±0.210 <sup>a</sup>	21.512±0.220 <sup>h</sup>	31.486±0.470 <sup>h</sup>	37.525±0.150 <sup>c</sup>
XY-10	45.688±0.090 <sup>g</sup>	28.446±0.010 <sup>b</sup>	25.138±0.120 <sup>c</sup>	39.768±0.190 <sup>g</sup>	37.962±0.080 <sup>b</sup>
XB-11	44.787±0.050 <sup>i</sup>	27.298±0.050 <sup>c</sup>	25.168±0.040 <sup>c</sup>	41.489±0.020 <sup>e</sup>	37.130±0.060 <sup>d</sup>
XB-12	45.140±0.100 <sup>h</sup>	28.313±0.060 <sup>b</sup>	25.329±0.020 <sup>c</sup>	40.257±0.060 <sup>f</sup>	37.989±0.050 <sup>b</sup>
最大值	50.259	30.746	28.534	49.965	38.401
最小值	44.787	23.793	21.512	31.486	33.805
平均值	46.890	26.584	24.407	41.753	36.182
标准差	1.976	2.466	2.097	6.000	1.776
变异系数(%)	4.215	9.275	8.592	14.371	4.908

44.787 之间, 最高的品种为 XK-4(泰星 4 号), 表明该品种果皮亮度较高, 与其余品种差异显著( $P<0.05$ ), 最低的品种为 XB-11(聚源 5 号);  $a^*$  值在 23.793~30.746 之间, 最高的品种为 XB-9(红龙 23), 最低的品种为 XB-7(大叶朝天椒);  $b^*$  值最高的品种为 XH-3(红安 6 号), 表明该品种表皮黄色较深; H 值在 31.486~49.965 之间, 红色最深的品种为 XB-9(红龙 23), 最淡的品种为 XH-3(红安 6 号); C 值在 33.805~38.401 之间。五个色泽指标变异系数依次为  $H>a^*>b^*>C>L^*$ , 说明该 12 份辣椒品种之间的色泽差异主要表现在 H 值和  $a^*$  上。产生这种差异的原因一是实验选择的辣椒品种以红椒为主, 二是板椒和朝天椒品种居多, 该两类辣椒表皮的明亮度较线椒高。

2.1.2 不同品种辣椒营养品质比较 通过对 12 个品种辣椒的可溶性糖、粗脂肪、可溶性蛋白质、维生素 C、辣椒素含量和 ASTA 色度进行测定, 结果如表 4 所示, 可溶性糖的含量范围在 153.177~354.311 mg/g 之间, 平均含量为 233.523 mg/g, 含量最高的是 XH-2(长线 1 号), 显著高于其他各个品种( $P<0.05$ ), 脂肪含量最高的是 XB-12(红素 3 号), 为 15.307 g/100 g, 最低的是 XA-5(红丹丹 1 号), 为 9.652 g/100 g, 各品种间的差异显著( $P<0.05$ )。可溶性蛋白含量最高的是 XB-12(红素三号), 为 14.740 mg/g, 除 XB-11(聚源 5 号)外, 其余的品种与其差异显著( $P<0.05$ ); 维生素 C 含量最高的是 XA-5(红丹丹 1 号), 为 4.587 mg/g, 含量最低的是 XH-1(线椒 10 号), 为 1.558 mg/g, 其中

表 4 不同品种辣椒营养指标比较  
Table 4 Comparison of nutritional indexes of different pepper varieties

品种	可溶性糖(mg/g)	脂肪(g/100 g)	可溶性蛋白质(mg/g)	维生素C(mg/g)	ASTA 色度	辣椒素(mg/100 g)
XH-1	287.638±0.370 <sup>c</sup>	14.329±0.030 <sup>d</sup>	9.477±0.000 <sup>g</sup>	1.558±0.000 <sup>k</sup>	248.713±0.130 <sup>k</sup>	129.930±0.020 <sup>d</sup>
XH-2	354.311±0.060 <sup>a</sup>	13.276±0.030 <sup>f</sup>	14.659±0.010 <sup>b</sup>	3.437±0.000 <sup>b</sup>	324.692±0.080 <sup>i</sup>	108.890±0.040 <sup>e</sup>
XH-3	213.886±0.010 <sup>g</sup>	12.779±0.020 <sup>i</sup>	13.357±0.010 <sup>e</sup>	3.397±0.000 <sup>c</sup>	459.171±0.730 <sup>d</sup>	65.970±0.000 <sup>f</sup>
XK-4	221.418±0.100 <sup>f</sup>	11.862±0.010 <sup>j</sup>	9.748±0.000 <sup>f</sup>	2.734±0.050 <sup>g</sup>	404.475±0.060 <sup>g</sup>	156.390±0.150 <sup>b</sup>
XA-5	213.890±0.000 <sup>g</sup>	9.652±0.020 <sup>k</sup>	11.215±0.000 <sup>d</sup>	4.587±0.010 <sup>a</sup>	341.573±0.010 <sup>b</sup>	38.560±0.050 <sup>b</sup>
XA-6	153.177±0.000 <sup>k</sup>	14.794±0.010 <sup>b</sup>	5.864±0.010 <sup>k</sup>	1.782±0.020 <sup>j</sup>	341.573±0.000 <sup>b</sup>	146.730±0.100 <sup>c</sup>
XB-7	179.098±0.030 <sup>i</sup>	14.757±0.010 <sup>c</sup>	8.803±0.010 <sup>h</sup>	3.108±0.010 <sup>d</sup>	292.483±0.010 <sup>i</sup>	237.610±0.010 <sup>a</sup>
XB-8	249.649±0.000 <sup>e</sup>	13.262±0.010 <sup>f</sup>	8.291±0.000 <sup>i</sup>	3.376±0.000 <sup>c</sup>	436.822±0.030 <sup>f</sup>	6.910±0.170 <sup>l</sup>
XB-9	189.057±0.010 <sup>h</sup>	14.056±0.010 <sup>e</sup>	10.925±0.000 <sup>e</sup>	2.977±0.000 <sup>c</sup>	449.189±0.010 <sup>e</sup>	37.220±0.240 <sup>i</sup>
XY-10	300.244±0.010 <sup>b</sup>	13.162±0.010 <sup>g</sup>	7.257±0.000 <sup>j</sup>	2.497±0.000 <sup>h</sup>	465.320±0.010 <sup>c</sup>	31.410±0.160 <sup>k</sup>
XB-11	267.864±0.020 <sup>d</sup>	12.945±0.010 <sup>h</sup>	14.733±0.000 <sup>a</sup>	2.838±0.000 <sup>f</sup>	528.074±0.070 <sup>b</sup>	57.970±0.480 <sup>g</sup>
XB-12	172.043±0.040 <sup>j</sup>	15.307±0.010 <sup>a</sup>	14.740±0.000 <sup>a</sup>	2.059±0.000 <sup>j</sup>	646.715±0.010 <sup>a</sup>	33.610±0.120 <sup>l</sup>
最大值	354.311	15.307	14.740	4.587	646.715	237.610
最小值	153.177	9.652	5.864	1.558	248.713	6.906
平均值	233.523	13.348	10.756	2.862	411.567	87.598
标准差	59.925	1.531	3.055	0.831	110.444	66.666
变异系数(%)	25.661	11.468	28.402	29.028	26.835	76.104

XH-3 和 XB-8 的维生素 C 含量差异不显著( $P>0.05$ )。ASTA 色度最大的是 XB-12(红素三号), 为 646.715, 最小的是 XH-1(线椒 10 号), 为 248.713, 其中 XA-5(红丹丹 1 号)和 XA-6(朝地椒)的差异性不显著( $P>0.05$ )。辣椒素含量的范围在 6.906~237.610 mg/100 g 之间, XB-7(大叶朝天椒)的辣椒素含量高达 237.610 mg/100 g。该 6 个营养指标的变异系数在 11.468%~76.104% 之间, 表明 12 个品种的营养成分含量互不相同, 各有特点。线椒的可溶性糖、可溶性蛋白含量高于板椒和朝天椒, 粗脂肪含量和板椒相当, 辣椒素含量适中。因此从营养价值角度来说, 本研究中线椒的营养价值高于板椒和朝天椒。

## 2.2 不同品种辣椒综合品质差异性分析

利用模糊数学中的隶属函数值分析法, 对 12 份辣椒的单果重、脂肪、蛋白质、辣椒素含量等指标的隶属函数分别进行计算, 并分别计算出 12 个辣椒品种的平均隶属函数, 评价 12 份辣椒的综合品质之间的差异, 结果如表 5 所示, 12 份辣椒的 13 个品质指标的平均隶属度在 0.313~0.516 之间, 相差 0.203, 表明 12 份辣椒的综合品质之间存在较大差异。

## 2.3 不同品质辣椒主成分分析

主成分分析可以解析复杂信息中的主要影响因素, 简化评价过程<sup>[31]</sup>。本研究采用主成分分析法对 12 个辣椒品种的单果重、可食比率、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量等指标结果进行分析, 结果如表 6、表 7 所示, 以特征值大于 1 为标准, 提取出 4 个主成分, 累计贡献率达 88.369%, 所表达的综合信息可以用来反映全部性状的信息<sup>[32]</sup>。第一主成分的特征值为 4.798, 包含原来信息量的 43.614%,  $L^*$ 、可食比率、 $a^*$  值、单果重、辣椒红素、辣椒素的绝对值排在前几位, 表明第一主成分由这些指标综合反映, 其中产生负向影响的为  $L^*$ 、可食比率和辣椒素含量; 第二主

表 5 12 份辣椒的综合品质的平均隶属度值  
Table 5 Average membership values for the overall quality of the 12 chili peppers

品种	总隶属度	平均隶属度
XH-1	4.633	0.356
XH-2	6.723	0.516
XH-3	6.251	0.481
XK-4	6.038	0.464
XA-5	6.302	0.485
XA-6	4.679	0.360
XB-7	6.451	0.496
XB-8	4.087	0.313
XB-9	4.360	0.335
XY-10	5.333	0.410
XB-11	5.927	0.456
XB-12	5.605	0.431

表 6 主成分特征值及累计贡献率  
Table 6 Characteristic values of principal components and cumulative contribution rate of contribution

主成分	特征值	贡献率(%)	累计贡献率(%)
1	4.798	43.614	43.614
2	2.375	21.589	65.204
3	1.416	12.869	78.073
4	1.133	10.296	88.369

成分的特征值为 2.375, 包含原来信息量的 21.589%, 脂肪和维生素 C 含量的特征向量值相对较高, 表明第二主成分主要综合了辣椒的维生素 C 和脂肪含量的信息; 第三主成分的特征值为 1.416, 包含原来信息量的 12.869%, 主要反映辣椒的可溶性糖含量; 第四主成分的特征值为 1.133, 包含原来信息量的 10.296%, 主要由可溶性蛋白含量决定。将 4 个主成分得分分别记为  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  和  $A_4$ , 用 4 组主成分的特征值除以特征值总和作为权重数, 得到主成分综合得分模型<sup>[33~34]</sup>, 计算公式如下:

$$A_1 = -0.428X_1 - 0.4022X_2 + 0.394X_3 + 0.3661X_4 - 0.3529X_5 + 0.346X_6 + 0.1319X_7 - 0.0753X_8 - 0.2337X_9 + 0.104X_{10} + 0.1808X_{11}$$

$$A_2 = 0.0201X_1 - 0.0792X_2 - 0.0045X_3 + 0.0779X_4 - 0.2725X_5 - 0.0519X_6 - 0.5645X_7 + 0.5347X_8 + 0.3770X_9 + 0.34X_{10} + 0.2193X_{11}$$

$$A_3 = -0.1664X_1 - 0.2664X_2 + 0.0109X_3 + 0.1370X_4 + 0.1857X_5 - 0.4446X_6 + 0.1975X_7 - 0.2983X_8 + 0.3328X_9 + 0.5883X_{10} - 0.2546X_{11}$$

$$A_4 = -0.019X_1 - 0.2216X_2 - 0.3474X_3 - 0.2986X_4 + 0.2544X_5 + 0.0216X_6 + 0.1249X_7 - 0.0516X_8 - 0.215X_9 + 0.2751X_{10} + 0.7304X_{11}$$

$$A_{综} = 0.43614A_1 + 0.21589A_2 + 0.12869A_3 + 0.1029A_4$$

前 4 个表达式中,  $X_1 \sim X_{11}$  分别为单果重、可食比率、 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、ASTA 色度、脂肪、维生素 C 含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、辣椒素含量检测值经标准化处理后的值。

12 份辣椒的综合评分如表 8 所示, 综合评分由高到低依次为 XB-12(红素 3 号)、XH-2(长线 1 号)、XH-3(红安 6 号)、XB-11(聚源 5 号)、XB-9(红龙

表 7 主成分载荷结果  
Table 7 Principal component load

指标	主成分			
	1	2	3	4
$L^*$	-0.938	0.031	-0.198	-0.021
可食率	-0.881	-0.122	-0.317	-0.236
$a^*$	0.863	-0.007	0.013	-0.370
单果重	0.802	0.120	0.163	-0.318
辣椒素含量	-0.773	-0.420	0.221	0.271
辣椒红素含量	0.758	-0.080	-0.529	0.023
粗脂肪含量	0.289	-0.870	0.235	0.133
维生素 C 含量	-0.165	0.824	-0.355	-0.055
$b^*$	-0.512	0.581	0.396	-0.229
可溶性糖含量	0.228	0.524	0.700	0.293
可溶性蛋白含量	0.396	0.338	-0.303	0.778

表 8 不同品种辣椒主成分评分和综合评分  
Table 8 Principal component scores and comprehensive scores of different pepper varieties

品种	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>综</sub>	排名
XH-1	-0.193	-0.803	1.380	0.630	-0.013	7
XH-2	-0.447	1.707	1.747	0.453	0.447	2
XH-3	0.183	0.400	0.420	0.587	0.283	3
XK-4	0.323	0.183	-0.790	0.130	0.093	6
XA-5	-1.137	1.973	-0.947	-1.183	-0.313	10
XA-6	0.200	-2.340	-1.090	0.280	-0.530	11
XB-7	-0.210	-0.707	-1.067	1.523	-0.223	9
XB-8	-0.020	0.143	-0.120	-1.280	-0.127	8
XB-9	0.480	-0.407	0.123	-0.393	0.097	5
XY-10	-1.090	-0.290	-0.190	-0.947	-0.660	12
XB-11	-0.403	0.697	0.740	0.487	0.120	4
XB-12	2.310	-0.563	-0.203	-0.283	0.830	1

23)、XK-4(泰星 4 号)、XH-1(线椒 10 号)、XB-8(红龙 13)、XB-7(大叶朝天椒)、XA-5(红丹丹 1 号)、XA-6(朝地椒)、XY-10(裕红 113)。辣椒加工企业可以根据主成分数值大小判定品种的特征, 结合主成分综合得分进行原料品种的选择。

#### 2.4 不同品种辣椒品质聚类分析

对 12 份辣椒品种的 13 个品质性状测试结果标准化后进行 R 型聚类, 结果见图 1, 在组间距离为 20 时, 13 个品质性状被聚为 4 大类群, 第一类为单果重、可食比率、 $L^*$  值、 $a^*$ 、H 值、果形指数、ASTA 色度和辣椒素含量。第二类为可溶性糖含量。第三类为粗脂肪、维生素 C 含量和  $b^*$ 。第四类为可溶性蛋白含量。结合主成分载荷表中的数值较大的正载荷量, 确定干椒品质的核心指标包括  $a^*$ 、单果重、维生素 C、辣椒红素、可溶性蛋白、可溶性糖含量。

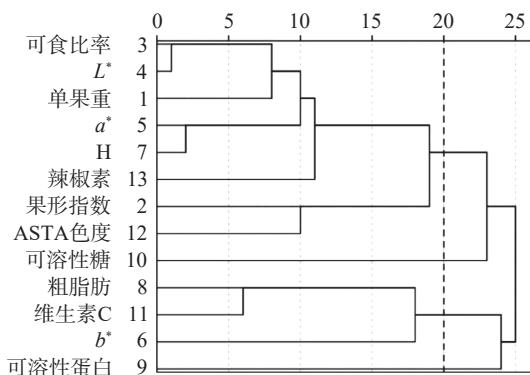


图 1 不同辣椒 R 型聚类谱系图

Fig.1 R-type pedigree diagram of different pepper type

对 12 份辣椒品种进行 Q 型聚类, 由图 2 可知, 在组间距离为 8 时, 12 分辣椒品种被分为 4 类群, 第一类包含五种板椒和一种线椒, 分别为 XB-8(红龙 13)、XB-9(红龙 23)、XY-10(裕红 113)、XB-11(聚源 5 号)、XH-3(红安 6 号)和 XA-5(红丹丹 1 号)。在对 XH-3 品种进行品质评价时, 其可食比率、 $b^*$ 、可溶性糖、粗脂肪、和辣椒红素含量与板椒较为相似, 因此该品种也被聚在第一类。该类群单果重、 $a^*$  值和 ASTA 色度的均值分别为 3.620 g、27.849 和 446.692, 均高于平均值, 表明该类群辣椒品种果型较大, 红色较深, 适宜制干, 可用做提取辣椒红素的原料。第二类将 XH-1(线椒 10 号)和 XH-2(长线 1 号)两种线椒聚为一类, 该类群果形指数和可溶性糖含量均值分别为 13.387 和 320.975 mg/g, 均为 4 个类群中最大, 较其他三个类群差异明显, 表明该类群辣椒品种的果形呈线状, 味道较佳, 适合干制加工。第三类将 12 份资源中的全部朝天椒聚为一类, 分别为 XA-6(朝地椒)、XB-7(大叶朝天椒)、XK-4(泰星 4 号), 该类的可食比率和  $L^*$  值均值分别为 96.8130% 和 49.261, 为四个类群中最高, 且与其他三个类群差异显著( $P < 0.05$ )。表明该类群品种为亮度较高的果型辣椒, 但因朝天椒水分含量和籽含量

较高, 因此该品种属于鲜食加工皆可品种。第四类包含 XB-12(红素 3 号), 该品种虽也属于板椒, 但因其粗脂肪、蛋白质、ASTA 色度值均为四类群中最高, 且与其他三类群差异显著( $P<0.05$ ), 因此被单独分为一类。该品种在主成分综合评分中排名第一, 不仅品质最优, 制干加工适应性也最好。

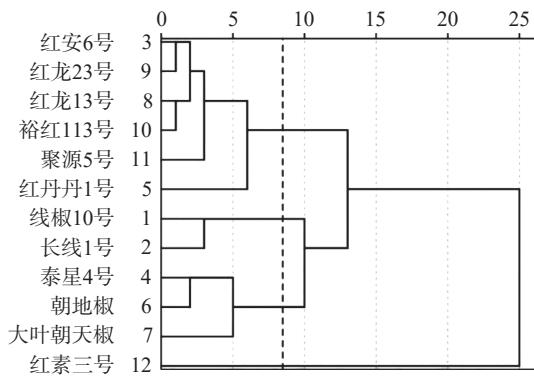


图 2 不同辣椒 Q 型聚类谱系图

Fig.2 Q-type cluster pedigree diagram of different pepper type

### 3 讨论与结论

辣椒的综合品质主要可分为商品品质、感官品质和营养品质。在商品品质中, 单果重与辣椒产量有直接联系, 果形指数也是重要的商品品质之一, 本研究在比较不同品种辣椒商品品质时, 发现线椒 10 号和长线 1 号品种的果形指数较大, 聚源 5 号等板椒的单果重较大, 且单果重和果形指数的变异系数排名靠前, 表明线椒和板椒的产量高于朝天椒。企业在选择原料品种时, 也较容易筛选出产量较高的品种。在营养品质中, 蛋白质是人体所必需的基础物质, 可溶性糖含量是决定辣椒味道的关键指标, 维生素 C 是一种人体所必需的营养元素, 能降低缺铁性贫血的发病率<sup>[35]</sup>。脂肪不仅是食品中重要的营养指标, 其含量的多少会直接影响辣椒风味与口感, 粗脂肪含量高则适口性和香味更佳<sup>[36]</sup>, 辣椒素是辣椒中的主要生物活性成分。在对比不同辣椒的营养和感官品质时发现, 线椒的可溶性糖含量较高, 有利于改善辣椒产品的口感风味, 也有利于微生物发酵<sup>[37]</sup>。因此线椒是发酵辣椒酱用优质干椒原料。朝天椒的辣椒素含量较高, 含籽较多。因此, 朝天椒可作为提取辣椒素的原料, 也较适宜用来制粉、制辣椒油和火锅底料类调味料<sup>[38]</sup>。品种特性是造成辣椒产品品质差异的首要因素, 加工品种的选择会直接影响到产品品质的均一性和稳定性, 因此拥有科学的选料依据对辣椒生产企业而言显得至关重要。近年来, 多元统计分析法成为评价辣椒资源的有效途径。高佳等<sup>[39]</sup>对 10 个线椒品种的主要品质指标进行隶属函数分析和聚类分析筛选出品质最优的品种为红冠 4 号, 为线椒加工品种辅助选择提供理论依据。聂楚楚等<sup>[40]</sup>利用聚类分析将 57 份辣椒材料划分为四大类群, 通过主成分分析结果将 6 个农艺性状转化为 3 个主成分, 为辣椒

资源分类提供了一定的数据依据。

本研究采用多元分析方法对 12 个辣椒品种的 16 个品质指标进行测定与分析, 结果表明 11 个指标的变异系数均大于 10%, 其中辣椒素含量的变异系数最大, 为 76.104%, 说明 12 个样品间辣度指标差异较大, 与高佳等<sup>[39]</sup>和刘宇鹏等<sup>[41]</sup>的研究结果一致, 由此可知, 这些品种的品质性状具有丰富的遗传多样性; 隶属函数结果表明 12 份辣椒的综合品质之间存在较大差异。采用主成分分析法提取出四个主成分, 累计贡献率达到 88.369%, 得到综合评分排名前五的辣椒 XB-12(红素三号)、XH-2(长线 1 号)、XH-3(红安 6 号)、XB-11(聚源 5 号)和 XB-9(红龙 23)。经聚类分析, 评定指标和辣椒品种均被聚为 4 类, R 型聚类反映出影响干辣椒品质的重要指标包含单果重、辣椒红素、脂肪、维生素 C 含量和  $a^*$ ; Q 型聚类中, 第一类包括红龙 13、红龙 23、裕红 113、聚源 5 号红安 6 号, 第二类包括线椒 10 号和长线 1 号, 第三类包括朝地椒、大叶朝天椒和泰星 4 号, 第四类包括红素三号。经综合分析, 发现线椒的可溶性糖和粗脂肪含量较高, 适宜做发酵辣椒酱、辣椒丝和油辣椒的原料, 朝天椒的辣椒素含量较高, 适宜提取辣椒碱, 也可作为制粉、辣椒油等调味料的原料。板椒的产量和 ASTA 色度较高, 适宜辣椒红色素的提取。12 份辣椒中品质最优、最适宜制干的辣椒为红素三号。本研究旨在辣椒加工时品种的选择提供可靠依据, 也可在一定程度上促进新疆辣椒资源合理配置。后续研究可通过增加更多的测定指标来提高筛选的准确性。

### 参考文献

- [1] 毛立霞, 魏小春, 原玉香, 等. 辣椒红素的生物合成及代谢研究进展[J]. 分子植物育种, 2018, 16(1): 115–122. [MAO Lixia, WEI Xiaochun, YUAN Yuxiang, et al. Progress in the biosynthesis and metabolism of capsanthin[J]. Molecular Plant Breeding, 2018, 16(1): 115–122.]
- [2] 邹学校, 马艳青, 戴雄泽, 等. 辣椒在中国的传播与产业发展[J]. 园艺学报, 2020, 47(9): 1715–1726. [ZOU Xuexiao, MA Yanqing, DAI Xiongze, et al. Spread and industry development of pepper in China[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2020, 47(9): 1715–1726.]
- [3] 占文婷, 胡思卓, 黄倞文, 等. 辣椒粉中还原型维生素 C 含量的测定[J]. 中国调味品, 2017, 42(3): 104–109. [ZHAN Wenting, HU Sizhuo, HUANG Jingwen, et al. Determination of the reduced vitamin C content in paprika[J]. China Condiment, 2017, 42(3): 104–109.]
- [4] 曾翔云. 维生素 C 的生理功能与膳食保障[J]. 中国食物与营养, 2005(4): 52–54. [ZENG Xiangyun. The physiological function and dietary guarantee of vitamin C[J]. Chinese Food and Nutrition, 2005(4): 52–54.]
- [5] MAHESH A, ROYAPURAM P P, HANNAH R V, et al. Dynamic action of carotenoids in cardioprotection and maintenance of cardiac health[J]. Molecules, 2012, 17(4): 4755–4769.

- [ 6 ] JI-SUN K, WOO-MOON L, HAN C R, et al. Red paprika (*Capsicum annuum* L.) and its main carotenoids, capsanthin and  $\beta$ -carotene, prevent hydrogen peroxide-induced inhibition of gap-junction intercellular communication[J]. *Chemico-Biological Interactions*, 2016, 254: 146–155.
- [ 7 ] WU J Y, CHIEN Y, TSAI I, et al. Capsanthin induces G1/S phase arrest, erlotinib-sensitivity and inhibits tumor progression by suppressing EZH2-mediated epigenetically silencing of p21 in triple-negative breast cancer cells[J]. *Aging (Albany NY)*, 2021; 13.
- [ 8 ] 沈伟. 辣椒素对高脂饮食诱导肥胖小鼠肠道菌群的影响研究[D]. 重庆: 第三军医大学, 2017. [ SHEN Wei. Effect of capsaicin on intestinal flora of high-fat diet induced obese mice[D]. Chongqing: The Third Military Medical University, 2017. ]
- [ 9 ] 聂乾忠, 夏延斌, 曾晓楠, 等. 辣椒素类物质对高脂血症大鼠血脂的影响[J]. 食品与机械, 2010, 26(1): 77–80. [ NIE Qianzhong, XIA Yanbing, ZENG Xiaonan, et al. Effect of capsaicin substances on blood lipids in hyperlipidemic rats[J]. *Food and Machinery*, 2010, 26(1): 77–80. ]
- [ 10 ] BRUNNO F R C, MARIANA B T, NATALIA E F P, et al. Capsaicin reduces genotoxicity, colonic cell proliferation and pre-neoplastic lesions induced by 1,2-dimethylhydrazine in rats[J]. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2017, 338: 93–102.
- [ 11 ] CLARK R, LEE S H. Anticancer properties of capsaicin against human cancer[J]. *Anticancer Research*, 2016, 36(2): 837–844.
- [ 12 ] MONICA R L, ALESSANDRO P, MARCO B, et al. Evaluation of chemical profile and antioxidant activity of twenty cultivars from *Capsicum annuum*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum chacoense* and *Capsicum chinense*: A comparison between fresh and processed peppers[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 64(2): 623–631.
- [ 13 ] FABELA M M F, CUEVAS B J C, AYORA T T, et al. Trends in capsaicinoids extraction from habanero chili pepper (*Capsicum chinense* Jacq.): Recent advanced techniques[J]. *Food Reviews International*, 2020, 36(2): 105–134.
- [ 14 ] 王立浩, 张宝奎, 张正海, 等. 多抗、优质甜椒优异种质资源的创新及新品种选育[J]. 中国科技成果, 2021, 22(24): 28–29. [ WANG Lihao, ZHANG Baoxi, ZHANG Zhenghai, et al. Innovation of excellent sweet pepper germplasm resources with high resistance and breeding of new varieties[J]. *China Science and Technology Achievements*, 2021, 22(24): 28–29. ]
- [ 15 ] 王艳玲. 柘城: 红火小辣椒脱贫大产业[J]. 河南农业, 2019 (28): 57–58. [ WANG Yanling. Zhecheng: red-hot small pepper poverty alleviation big industry[J]. *Henan Agriculture*, 2019(28): 57–58. ]
- [ 16 ] 李宁, 杨涛, 帕提古丽, 等. 适于新疆制干类型辣椒种质资源遗传多样性的 SRAP 和 SCOT 分析[J]. 分子植物育种, 2017, 15(8): 3331–3340. [ LI Ning, YANG Tao, PATIGULI, et al. Suitable for SRAP and SCOT analysis of genetic diversity in Xinjiang [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2017, 15(8): 3331–3340. ]
- [ 17 ] 李艳, 王亮, 刘志刚. 新疆绿洲干旱区制干辣椒生产技术现状与产业发展对策[J]. 北方园艺, 2014(13): 189–192. [ LI Yan, WANG Liang, LIU Zhigang. Current production technology and industrial development countermeasures of dried pepper in Xinjiang oasis arid area[J]. *Northern Gardening*, 2014(13): 189–192. ]
- [ 18 ] 蔡永艳, 郝会娟, 关振亚, 等. 辣风味研究及其常见辣椒品种品质分析[J]. 中国调味品, 2021, 46(9): 193–196. [ CAI Yongyan, HAO Huijuan, GUAN Zhengya, et al. Research on spicy flavor and its quality analysis of common pepper varieties[J]. *Chinina Condiment*, 2021, 46(9): 193–196. ]
- [ 19 ] 王立浩, 张宝奎, 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. [ WANG Lihao, ZHANG Baoxi, ZHANG Zhenghai, et al. Status in breeding and production of *Capsicum* spp. in China during “the thirteenth five-year plan” period and future prospect[J]. *China Vegetables*, 2021(2): 21–29. ]
- [ 20 ] 汪琳, 应铁进. 番茄果实采后贮藏的颜色动力学研究[J]. 食品科技, 2000(5): 49–51. [ WANG Ling, YING Tiejin. Color dynamics of tomato fruit storage[J]. *Food Technology*, 2000(5): 49–51. ]
- [ 21 ] 龙小琴, 戴应和. 葱酮-硫酸显色法测定白及块茎与非药用部位中白及多糖含量的比较研究[J]. 农业与技术, 2021, 41(13): 30–32. [ LONG Xiaoqin, DAI Yinghe. Comparative study on polysaccharide content in stems of *Bletilla* and non medicinal parts by anthrone-sulphuric acid colorimetry[J]. *Agriculture and Technology*, 2021, 41(13): 30–32. ]
- [ 22 ] 徐亚, 范会芬, 赵玲玲, 等. 考马斯亮蓝法测定大豆水溶性蛋白提取方法的优化[J]. 大豆科学, 2022, 41(2): 196–202. [ XU Ya, FAN Huiying, ZHAO Dingling, et al. Optimization of the extraction method for water-soluble protein determination by coomassie bright blue method[J]. *Soybean Science*, 2022, 41(2): 196–202. ]
- [ 23 ] 冯华, 王祥培, 王世俊, 等. 辣椒药材的 HPLC 指纹图谱建立及聚类分析和主成分分析[J]. 中国药房, 2019, 30(8): 1078–1082. [ FENG Hua, WANG Xiangpei, WANG Shijun, et al. Establishment of HPLC fingerprint, cluster analysis and principal component analysis of *Capsicum annuum*[J]. *China Pharmacy*, 2019, 30(8): 1078–1082. ]
- [ 24 ] 周勇. 中药材干辣椒中辣椒素和二氢辣椒素含量测定方法分析[J]. 临床医药文献电子杂志, 2020, 7(15): 162. [ ZHOU Yong. Assay method analysis of capsaicin and dihydrocapsaicin in dried pepper[J]. *Electronic Journal of Clinical Medical Literature*, 2020, 7(15): 162. ]
- [ 25 ] 任朝辉, 廖卫琴, 周安伟, 等. 不同线椒品种品质评价[J]. 中国瓜菜, 2019, 32(7): 26–30. [ REN Chaohui, LIAO Weiqin, ZHOU Anwei, et al. Quality evaluation of different line pepper varieties[J]. *Chinese Melons and Vegetables*, 2019, 32(7): 26–30. ]
- [ 26 ] SCALA K D, CRAPISTE G. Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2008, 41: 789–795.
- [ 27 ] CHARLES P. Background colour & its impact on food perception & behaviour[J]. *Food Quality and Preference*, 2018, 68: 156–166.
- [ 28 ] 苏美玲, 周之洛, 林林, 等. 不同套袋对三红蜜柚果皮色泽及果实品质的影响试验[J]. 农业研究与应用, 2019, 32(2): 912. [ SU Meiling, ZHOU Zhiluo, LIN Lin, et al. Effects of different

- bagging treatment on peel color and fruit quality of Sanhongmiyou [J]. Agricultural Research and Application, 2019, 32(2): 912. ]
- [ 29 ] 王利群, 戴雄泽. 色差计在辣椒果实色泽变化检测中的应用 [J]. 辣椒杂志, 2009(3): 23–26. [ WANG Liqun, DAI Xiongze. Application of color meter in color change of pepper fruit [J]. The Pepper Magazine, 2009(3): 23–26. ]
- [ 30 ] 汪琳, 应铁进. 番茄果实采后贮藏过程中的颜色动力学模型及其应用 [J]. 农业工程学报, 2001, 17(3): 118–121. [ WANG Ling, YING Tiejin. Kinetic model on surface color in tomato fruits during the post -harvest storage and its application [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2001, 17(3): 118–121. ]
- [ 31 ] GAO Boyan, LU Yingjian, SHENG Yi, et al. Differentiating organic and conventional sage by chromatographic and mass spectrometry flow injection fingerprints combined with principal component analysis [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(12): 2957–2963.
- [ 32 ] LI Liming, ZHAO Jing, WANG Chongrong, et al. Comprehensive evaluation of robotic global performance based on modified principal component analysis [J]. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2020, 17(4): 1–11.
- [ 33 ] GENTILE C, GREGORIO D E, STEFANO D V, et al. Food quality and nutraceutical value of nine cultivars of mango (*Mangifera indica* L.) fruits grown in Mediterranean subtropical environment [J]. Food Chemistry, 2019, 277: 471–479.
- [ 34 ] HAO J, GAO L H, TANG X W, et al. Comparison in quality characters of five different tomato cultivars [J]. Acta Horticulturae, 2010, 856: 133–140.
- [ 35 ] 张瑞祥, 米富丽, 马慧霞, 等. 市场上常见辣椒品种的维生素 C 和辣椒碱含量分析 [J]. 现代食品, 2021(19): 215–217. [ ZHANG Ruixiang, MI Fuli, MA Huixia, et al. Analysis of vita- min C and capsaicin content of common pepper varieties on the market [J]. Modern Food, 2021(19): 215–217. ]
- [ 36 ] 王瑞, 孙长霞, 张泽生. 几种坚果植物中脂肪酸含量的分析研究 [J]. 天津农学院学报, 2007, 14(4): 39–41. [ WANG Rui, SUN Changxia, ZHANG Zesheng. Analysis of fatty acid content in several nut plants [J]. Journal of Tianjin Agricultural College, 2007, 14(4): 39–41. ]
- [ 37 ] 程晓齐. 干辣椒制作发酵型辣椒酱的研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021. [ CHENG Xiaoqi. Study on the preparation of fermented chili sauce with dried chili [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2021. ]
- [ 38 ] 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. [ WANG Xingbo, RAO Lei, WANG Yongtao, et al. Quality analysis and evaluation of 9 varieties of dried pepper [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(18): 300–310. ]
- [ 39 ] 高佳, 田玉肖, 罗芳耀, 等. 10 个线椒品种干制品品质分析 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(14): 284–288. [ GAO Jia, TIAN Yuxiao, LUO Fangyao, et al. Quality analysis of 10 dried line pepper varieties [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(14): 284–288. ]
- [ 40 ] 聂楚楚, 王秀峰, 毛芙蓉, 等. 辣椒品种的聚类及主成分分析 [J]. 北方园艺, 2017(17): 86–91. [ NIE Chuchu, WANG Xiufeng, MAO Furong, et al. Clustering and principal component analysis of the pepper varieties [J]. Northern Gardening, 2017(17): 86–91. ]
- [ 41 ] 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. [ LIU Yupeng, ZHANG Hao, CHEN Fang, et al. Analysis on differences of quality of local pepper varieties in Guizhou [J]. China Cucurbits and Vegetables, 2022, 35(1): 42–46. ]