

杨娅, 吴康云, 黄冬福, 等. 基于主成分分析对不同地区辣椒品质的综合评价 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(23): 264–271. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023120036

YANG Ya, WU Kangyun, HUANG Dongfu, et al. Comprehensive Evaluation of Peppers Quality from Different Regions Based on Principal Component Analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(23): 264–271. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023120036

· 分析检测 ·

基于主成分分析对不同地区辣椒品质的综合评价

杨 娅, 吴康云, 黄冬福, 周 鹏, 付文婷, 王楠艺, 何建文*
(贵州省辣椒研究所, 贵州贵阳 550000)

摘要: 为探究朝天椒在不同地区品质的差异, 选择三个朝天椒品种 (骄阳 6 号、辣研 101 和卓椒新 52) 在贵州、云南、重庆、陕西和新疆进行种植。通过研究种植于不同地区朝天椒辣椒红素、还原糖、氨基酸、粗纤维、粗脂肪、辣椒素等营养品质的变化, 采用主成分分析和聚类分析评价不同品种朝天椒的产地适宜性, 以为不同地区朝天椒的选择提供借鉴。结果表明: 辣椒品质产地变异较大, 变异系数范围为 5.79%~50.29%, 其中辣椒素含量随产地的变化最大, 平均变异系数达到 41.94%, 粗纤维和氨基酸平均变异系数在 8% 左右。通过主成分分析得到, 贵州辣研 101 的综合得分最高, 其次为贵州的卓椒新 52, 三个品种均表现出在贵州种植的品质得分高于其他四个地区。综上所述, 辣椒品种在不同的产地种植其品质会有显著差异, 三个品种均表现出在贵州地区种植的品质优势, 其中, 贵州辣研 101 综合得分最高。

关键词: 辣椒, 品质, 产地, 主成分分析, 聚类分析

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)23-0264-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023120036



本文网刊:

Comprehensive Evaluation of Peppers Quality from Different Regions Based on Principal Component Analysis

YANG Ya, WU Kangyun, HUANG Dongfu, ZHOU Peng, FU Wenting, WANG Nanyi, HE Jianwen*
(Guizhou Pepper Research Institute, Guiyang 550000, China)

Abstract: To investigate the variation in pepper quality across different regions, three pepper varieties (Jiao yang 6, La yan 101 and Zhuo jiao xin 52) were selected and planted in Guizhou, Yunnan, Chongqing, Shaanxi and Xinjian Provinces. In order to provide reference for the selection of pepper varieties in different regions, principal component analysis and cluster analysis were employed to evaluate the suitability of each pepper variety for its region by determining the peppers' nutritional quality, such as capsaicin, reducing sugar, amino acids, crude fibre, crude fat, capsaicin. The study revealed that significant variations presented in pepper quality across different producing areas and the coefficient of variation ranged from 5.79% to 50.29%. Among them, capsaicin content varied the most with origin. Notably, the average coefficient of variation was 41.94% for capsaicin and was about 8% for crude fiber and amino acids. The comprehensive evaluation of La yan 101 variety was the highest, then Zhuo jiao xin 52 was the second by principal component analysis. Meanwhile, all three varieties showed higher quality scores when planted in Guizhou Province compared to other four regions. In summary, peppers quality varied significantly among different regions and La yan 101 planted in Guizhou demonstrated the best quality performance. Thus we concluded that these peppers planted in Guizhou Province had quality advantages to

收稿日期: 2023-12-08

基金项目: 贵州省科技支撑重点项目《贵州辣椒品质特征分析与评价体系构建》(黔科支撑合[2022]重点016号); 贵州省山地农业关键核心技术攻关项目《贵州特色辣椒资源优势基因挖掘及新品种选育》(GZNYGJHX-2023008); 中央引导地方科技发展资金(黔科中引地[2022]4039); 《贵州喀斯特山区重要作物生物育种平台建设项目》(黔科合中引地[2023]033); 贵州省辣椒产业技术体系(GZSLJCYSJTX)。

作者简介: 杨娅(1998-), 女, 硕士, 研究实习生, 研究方向: 辣椒种质资源遗传改良与品质分析, E-mail: 2925341775@qq.com。

* **通信作者:** 何建文(1982-), 男, 硕士, 研究员, 研究方向: 辣椒种质资源遗传改良与品质评价研究, E-mail: 569809092@qq.com。

other four provinces.

Key words: pepper; quality; producing areas; principal component analysis; cluster analysis

辣椒(*Capsicum annuum* L.)一年生或多年生草本植物,原产于中南美洲,是中国和世界上消费量最大的调味作物之一,也是餐桌上常见的蔬菜,贵州辣椒种植面积每年超过 500 万亩,居全国首位^[1-2]。辣椒除了作菜用、加工,具有调味功能外,还具有镇痛、健胃等药用功效^[3],辣椒提取物在化工、军事行业也有广泛用途^[4]。辣椒相关研究大量集中于影响产量的因素^[5-6]。但随着人们对于辣椒的需求越来越多样化和辣椒精深加工的需求,对辣椒品质要求也在不断提高,辣椒的品质特征成为影响辣椒产业发展的重要因素。

大量研究表明,产地对蔬菜品质的影响显著,李其晔^[7]对河北、山东、云南和甘肃四个产地洋葱的基本营养成分分析发现,河北紫皮洋葱营养物质的含量更高;对不同产地香椿^[8]、肉桂^[9]和枸杞^[10]等的研究也都表明产地对于作物的品质有较大影响。辣椒品质也不仅仅受到品种、施肥的影响^[11-12]。王雪梅等^[13]通过研究不同产地辣椒做的辣椒制品发现,不同产地辣椒制成的郫县豆瓣其理化性质和风味物质都有一定差异。陈菊等^[14]通过研究也发现,辣椒种植于地标区和非地标区的挥发性风味物质含量有明显差别。说明辣椒种植在不同的产地其风味物质会有差异,但具体产地对辣椒干椒的营养品质影响的研究目前还相对较少。

主成分分析法(Principal component analysis, PCA)主要通过将多个指标转化为几个综合指标,在保证数据信息损失最少的情况下,达到降维简化的效果^[15]。近年来,主成分分析方法广泛应用在种质资源的评价和食品品质分析中。如黄瓜^[16]、马铃薯^[17]、玉米^[18]和辣椒^[19]中,大量的研究证明,主成分分析方法能一定程度避免人为主观因素干扰,是能在资源评价、品质分析中得到较客观结果的综合分析方法,本文利用主成分分析对辣椒的品质指标进行综合分析,全面地对辣椒品质进行评估比较,建立辣椒品质分析评价的方法,进行辣椒优质品种和适宜产地的分析筛选。

为了充分分析辣椒在不同产地的品质变化规律,本研究选取在贵州广泛种植的 3 个朝天椒品种分别种植于国内 5 个辣椒主产区,利用主成分分析和聚类分析,对不同产地的辣椒品种进行综合评价,为摸清不同产地辣椒品质特征和筛选引进更适宜当地的高品质辣椒品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

供试材料保存于贵州省辣椒研究所,详见表 1。辣椒于 2022 年移栽到试验地点。试验地点分别位于贵州清镇市(GZ)、云南砚山县(YN)、重庆石柱县

(CQ)、陕西大荔县(SX)和新疆乌鲁木齐市(XJ),其中贵州清镇和重庆石柱均属于北亚热带季风湿润气候,云南砚山属于低纬北亚热带高原季风气候,陕西大荔属于暖温带半湿润半干旱季风气候,新疆乌鲁木齐属于温带大陆性气候。辣椒大田管理参照辣椒栽培地方标准进行大田管理;丙酮、茚三酮、氨基酸、无水乙醇、DNS 试剂、无水乙醚(分析纯) 成都市科龙化工试剂厂;辣椒素、二氢辣椒素(色谱纯) 贵州豪升环保科技有限公司。

表 1 材料品种名称
Table 1 Material variety names

编号	名称	类型	选育单位
1	骄阳6号	锥形朝天椒	遵义市农科院
2	辣研101	长指形朝天椒	贵州省辣椒研究所
3	卓椒新52	朝天椒	贵州卓豪农业科技股份有限公司

101-1AB 烘箱 贵州兰科实验室仪器设备有限公司;BSA224S-CW 型电子天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;752 紫外可见分光光度计 上海菁华科技有限公司;SZF-06A 脂肪提取仪器 上海精隆科技有限公司;安捷伦 1290 型高效液相色谱仪 贵州普瑞赛斯仪器有限公司。

1.2 实验方法

分别于辣椒红熟期(花后 80 d)进行采样,将采收后的辣椒进行烘干,取部分样品进行粉碎过 100 目筛,测定样品中的辣椒红素、还原糖、氨基酸、粗纤维、粗脂肪、辣椒素、二氢辣椒素、辣椒素类物质总量等营养指标。

1.2.1 辣椒红素的测定 辣椒红素的测定采用分光光度法^[20]:称取 0.100 g 样品,加入 200 mL 丙酮避光振荡 4 h,定容至 250 mL,静置 10 min,吸取适当溶液移入比色杯,用丙酮作参比在 460 nm 处测定其吸收值。重复 3 次,辣椒中辣椒红素的总含量 C,单位为 μg/g。

$$C = \frac{A \times f \times 2.5 \times 10^5}{2250 \times (100 - H) \times m}$$

式中: A 为试液的吸收值; f 为分光光度计校正因子; 2.5×10⁵ 为换算系数; 2250 为辣椒红素的吸光系数; H 为试样水分含量,%; m 为试样质量, g。

1.2.2 还原糖的测定 还原糖的测定采用 2,6 二硝基水杨酸比色法^[21]:用已知浓度葡萄糖溶液作标曲, DNS 试剂稀释,制备辣椒样品待测液,将待测液与 DNS 试剂混合,充分摇匀后于 80 ℃ 水浴锅中反应 5 min。取出后冷却至室温,定容后摇匀,在 540 nm 处测定其吸光度,代入标准曲线 y=1.3566x-0.0697 (R²=0.9904)。

1.2.3 氨基酸的测定 氨基酸含量采用茚三酮比色法进行测定^[22]: 将标准品母液按照浓度稀释制作成标曲, 取样品加入醋酸缓冲液与茚三酮显色液, 混匀后沸水浴加热 15 min, 冷却加入乙醇稀释, 在 570 nm 处测定吸光度, 代入标准曲线 $y=5.0971x-0.0104$ ($R^2=0.9955$)。

1.2.4 粗纤维的测定 采用过滤法测定辣椒粗纤维含量^[23]: 称量 5.0 g 样品, 加入适量煮沸的稀硫酸, 加热使微沸, 保持 30 min, 期间每隔 5 min 摇动一次保持瓶内物质充分混合, 水解除去其中色素、糖等物质; 用煮沸的氢氧化钾溶液将过滤后的留存物洗入锥形瓶, 加热微沸 30 min, 用沸水洗涤后抽滤, 将内容物置于烘箱中 105 ℃ 烘干至恒重, 称重为 a, 移入 550 ℃ 高温炉中灰化约 1 h, 使含碳的物质全部灰化, 冷却后称重为 b, 所损失的质量与样品质量之比即为粗纤维含量。

$$X(\%) = \frac{a-b}{m} \times 100$$

式中: X 为试样中粗纤维的含量, %; a 为 105 ℃ 干燥后的质量, g; b 为灰化后的质量, g; m 为试样质量, g。

1.2.5 粗脂肪的测定 采用索氏脂肪分析仪测定辣椒粗脂肪含量^[24]: 称取辣椒样品 1.000 g 于已知质量的定性滤纸上, 对折后用脱脂棉线系住, 放入脂肪测定仪提取瓶中, 加入无水乙醚完全浸没; 设置浸提温度为 50 ℃, 浸提时间为 60 min, 处理结束后回收试剂, 取出滤纸团, 用无水乙醚冲洗掉粘连的油脂, 置于通风处挥发掉表面乙醚, 放入烘箱 103 ℃ 烘干 2 h, 取出后称重为 s。质量之差则为样品中粗脂肪的质量。

$$F(\%) = \frac{m-s}{m} \times 100$$

式中: F 为试样中粗脂肪的含量, %; s 为烘干残渣重, g; m 为样品的质量, g。

1.2.6 辣椒素类物质的测定 辣椒素和二氢辣椒素采用高效液相色谱法进行测定^[25]: 采用辣椒素和二氢辣椒素标品配制成标样, 进行定性、定量分析。色谱柱: Zorbax SB-C₁₈ (4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流动相: 甲醇+水(65+35); 进样量: 10 μL; 流速: 1 mL/min; 紫外检测波长: 280 nm; 柱温箱温度: 30 ℃; 时间: 30 min。辣椒素类物质总量 W 和斯科维尔指数 (SHU) 的计算方法如下; 辣度与斯科维尔指数 (SHU) 的换算关系为: 150 SHU=1 度。

$$W(g/kg) = \frac{W_a + W_b}{0.9}$$

$$S = W \times 0.9 \times (16 \times 10^3) + W \times 0.1 \times (9.3 \times 10^3)$$

式中: W 为辣椒素类物质总量, g/kg; W_a 为试样中辣椒素的含量, g/kg; W_b 为试样中二氢辣椒素的含量, g/kg; 0.9 为辣椒素与二氢辣椒素折算为辣椒素类物质总量的系数; S 为斯科维尔指数。

1.3 数据处理

实验均重复三次取得数据, 采用 Excel 进行数据处理, 运用 SPSS 进行数据统计分析, 用 Duncan 法进行显著性差异分析, 以 $P<0.01$ 作为差异显著性判断标准, 采用 Origin 2021 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同产地辣椒辣椒红素含量的变化

辣椒红素作为辣椒中重要的天然色素, 在保健和食品加工上都有一定作用^[26]。由图 1 可知, 三个品种朝天椒在不同产地种植后辣椒红素的含量有极显著差异 ($P<0.01$)。所有样品中贵州卓椒新 52 的辣椒红素含量最高, 达到 59.66 μg/g, 其次为陕西种植的卓椒新 52, 含量最低的是陕西的骄阳 6 号, 只有 24.46 μg/g。对于骄阳 6 号而言, 贵州的辣椒红素含量最高, 云南和陕西的辣椒红素含量极显著低于其他地区 ($P<0.01$)。辣研 101 的辣椒红素含量在贵州也表现为最高。

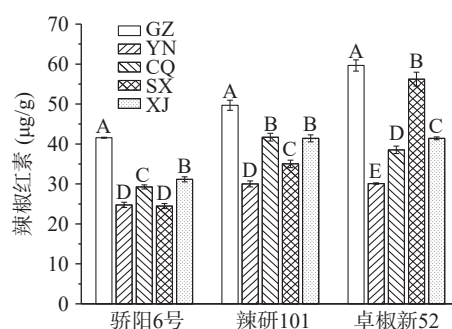


图 1 不同品种辣椒的辣椒红素含量产地差异

Fig.1 Difference of capsanthin content in different pepper varieties from different producing areas

注: 图中不同字母表示差异极显著 ($P<0.01$), 图 2~图 5 同。

三个品种均表现出在贵州的辣椒红素含量高于其他产地。雷建军等^[27]的研究发现在辣椒果实发育的过程中, 主要是光照和温度影响辣椒红素的合成和积累。由此推测贵州光温条件较有利于辣椒中辣椒红素的合成积累。

2.2 不同产地辣椒还原糖含量的变化

由图 2 可知, 三个品种朝天椒在不同产地还原

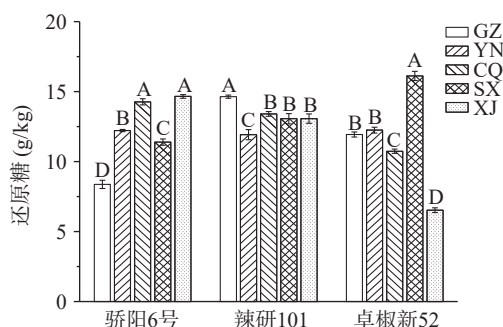


图 2 不同品种辣椒还原糖含量产地差异

Fig.2 Difference of reducing sugar content in different pepper varieties from different producing areas

糖含量差异极显著($P<0.01$),其中陕西卓椒新 52 的还原糖含量最高,达到 16.12 g/kg,还原糖含量最低的是新疆卓椒新 52,只有 6.53 g/kg。对骄阳 6 号而言,种植于重庆和新疆的还原糖含量极显著高于其他地区($P<0.01$),贵州骄阳 6 号的还原糖含量较低,差异极显著($P<0.01$)。不同产地辣研 101 的还原糖含量变化较小,说明辣研 101 的还原糖品质比较稳定。三个品种在不同产地还原糖的含量没有明显规律,说明还原糖的含量与产地没有一定的相关性,受品种和产地的综合影响。

2.3 不同产地辣椒氨基酸含量的变化

由图 3 可知辣椒氨基酸含量在不同产地有极显著差异($P<0.01$)。整体而言贵州辣研 101 的氨基酸含量最高为 52.28 $\mu\text{mol/g}$,新疆骄阳 6 号的氨基酸含量最低为 33.50 $\mu\text{mol/g}$ 。其中骄阳 6 号的氨基酸含量整体较低,并且变幅较小,说明骄阳 6 号氨基酸品质较稳定。辣研 101 的氨基酸含量整体较高但随产地的变化最大,其中贵州的含量最高,陕西的含量最低。卓椒新 52 的氨基酸含量在云南表现为极显著高于其他地区($P<0.01$),在新疆则极显著低于其他产地($P<0.01$),其他三个产地的氨基酸含量则没有显著差异。对比五个产地,三个品种在云南的氨基酸含量均呈现较高水平,黄芳等^[28]在茶叶中的研究发现在弱光照条件下有利于氨基酸的合成,这可能也是辣椒在不同产地氨基酸含量差异的原因。

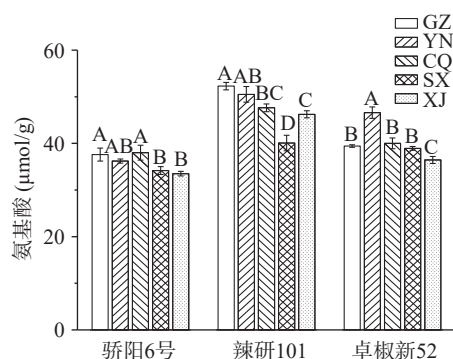


图 3 不同品种辣椒氨基酸含量产地差异

Fig.3 Difference of amino acid content in different pepper varieties from different producing areas

2.4 不同产地辣椒粗纤维含量的变化

辣椒粗纤维含量会影响其口感,三个品种辣椒粗纤维含量随产地的变化可以从图 4 得出,整体而言,含量最高的是新疆卓椒新 52,达到 30.91%,最低的是陕西骄阳 6 号。骄阳 6 号在新疆的粗纤维含量呈最高水平,差异极显著($P<0.01$),其次为贵州,在陕西的粗纤维含量最低。辣研 101 的粗纤维含量在新疆也极显著高于其他产地($P<0.01$),贵州的粗纤维含量则表现出较低水平。卓椒新 52 的粗纤维含量也表现出在新疆较高。三个品种在新疆的粗纤维含量均极显著高于其他产地($P<0.01$),所以新疆在引进辣椒新品种的时候需要考虑其粗纤维含量变化对品质的影响。

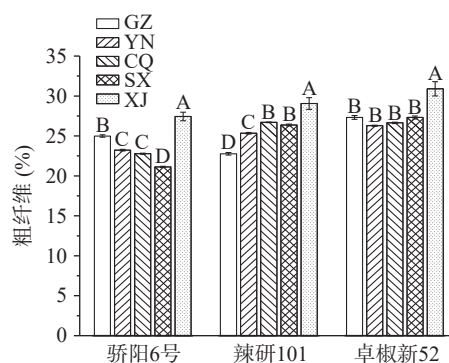


图 4 不同品种辣椒粗纤维含量产地差异

Fig.4 Difference of crude fiber content in different pepper varieties from different producing areas

2.5 不同产地辣椒粗脂肪含量的变化

从图 5 可以看出,不同产地辣椒粗脂肪含量有极显著差异($P<0.01$),粗脂肪含量最高的是云南卓椒新 52,为 18.58%,含量最低的为新疆骄阳 6 号,只有 8.48%。三个品种辣椒粗脂肪含量随产地的变化有着相似的趋势,均表现为云南的粗脂肪含量高于其他产地,新疆的粗脂肪含量均极显著低于其他地区($P<0.01$)。说明不同产地辣椒粗脂肪含量有差异,这与张艺龄等^[29]对不同产地的大豆油脂研究的结论一致。

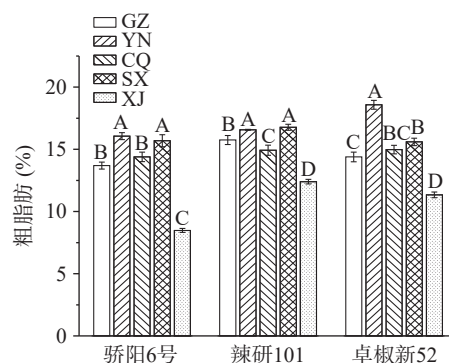


图 5 不同品种辣椒粗脂肪含量产地差异

Fig.5 Difference of crude fat content in different pepper varieties from different producing areas

2.6 不同产地辣椒中辣椒素类物质的变化

由表 2 可知,同一品种不同地区其辣椒素类物质含量有极显著差异($P<0.01$)。所有样品中云南的卓椒新 52 辣度最高,新疆骄阳 6 号的辣度最低,辣度相差达 379。品种的平均辣度对比,卓椒新 52 和辣研 10 平均辣度比骄阳 6 号高。辣椒素和二氢辣椒素的含量随产地的变化趋势具有一致性,三个品种的辣椒素类物质含量在贵州均表现出较高水平,而陕西和新疆辣椒素、二氢辣椒素含量则明显低于其他产地。可以得出,产地对辣椒素、二氢辣椒素这类辣椒素类物质含量有显著影响,这与肖何等^[30]的研究结论一致。张婧等^[31]通过研究发现环境对辣椒素类物质的影响主要表现在土壤和降雨方面,所以贵州辣椒的辣椒素类物质含量较高可能与贵州的土壤条件相关。

表 2 不同品种辣椒辣度的产地差异

Table 2 Differences in the spiciness of different varieties of peppers from different producing areas

品种	产地	辣椒素(g/kg)	二氢辣椒素(g/kg)	辣椒素类物质(g/kg)	SHU	辣度
骄阳6号	贵州	0.96±0.16 ^A	2.13±0.52 ^{AB}	3.43±0.76 ^{AB}	52903	353
	云南	0.65±0.10 ^B	1.60±0.04 ^B	2.50±0.07 ^{BC}	38571	257
	重庆	0.80±0.01 ^{AB}	2.50±0.10 ^A	3.67±0.12 ^A	56557	377
	陕西	1.04±0.05 ^A	0.65±0.06 ^C	1.88±0.03 ^{CD}	28992	193
	新疆	0.84±0.09 ^{AB}	0.50±0.12 ^C	1.49±0.23 ^D	22956	153
辣研101	贵州	1.44±0.08 ^B	3.16±0.13 ^A	5.11±0.22 ^A	78829	526
	云南	0.95±0.09 ^C	2.85±0.15 ^B	4.23±0.26 ^B	65187	435
	重庆	1.00±0.04 ^C	2.81±0.12 ^B	4.24±0.17 ^B	65307	435
	陕西	1.12±0.02 ^C	0.70±0.03 ^C	2.03±0.05 ^D	31248	208
	新疆	1.69±0.18 ^A	0.90±0.01 ^C	2.88±0.18 ^C	44339	296
卓椒新52	贵州	1.51±0.14 ^B	2.36±0.19 ^{AB}	4.29±0.36 ^{AB}	66226	442
	云南	1.53±0.04 ^B	3.12±0.11 ^A	5.17±0.15 ^A	79726	532
	重庆	0.66±0.19 ^C	2.35±0.98 ^{AB}	3.34±1.30 ^{AB}	51569	344
	陕西	1.40±0.11 ^B	1.04±0.03 ^C	2.70±0.15 ^B	41703	278
	新疆	2.20±0.50 ^A	1.45±0.23 ^{BC}	4.05±0.80 ^{AB}	62498	417

注: 同列不同字母表示同一品种不同产地间差异极显著($P<0.01$)。

2.7 不同品种辣椒品质的产地变异指数

辣椒品种的产地间变异系数越大说明辣椒品质受产地的影响越大。由表 3 可知, 骄阳 6 号辣椒素的产地变异系数最大, 达到 50.29%, 说明在几个辣椒的品质中骄阳 6 号的辣椒素含量受产地影响最大。骄阳 6 号氨基酸含量的产地变异系数最小为 5.79%。辣研 101 还原糖含量受产地的影响明显小于骄阳 6 号和卓椒新 52, 可以得出不同辣椒品种品质受产地的影响也有差异, 整体也能得出辣椒素的含量受产地的影响最大, 而氨基酸和粗纤维的含量受产地影响较小, 这与常晓轲等^[32]和彭黎等^[33]的研究结论一致, 但常晓轲等的研究侧重于同一产地中品种的选择, 彭黎等的研究关注的是线椒, 本研究则偏向于朝天椒品质随产地的变化。不同产地对辣椒品质影响的具体因素, 还需要结合具体品种和产地进行分析。

2.8 不同品种不同产地辣椒品质特征的主成分分析

对 8 个品质指标进行主成分分析, 以特征值 >1.0 为标准, 得到主成分分析载荷图如图 6 所示, 载荷图能够最直观地显示出各主成分和变量之间的相关关系, 图中不同变量的分布取决于载荷因子离象限原点的距离, 离象限原点越远, 对主成分的贡献率越大。可知共得到 3 个特征值 >1 的主成分因子, 其中第一主成分特征值为 3.562, 方差贡献率达到 44.53%, 第二主成分的特征值为 1.887, 贡献率为 23.58%, 第三主成分特征值为 1.163, 贡献率为 14.53%。三个

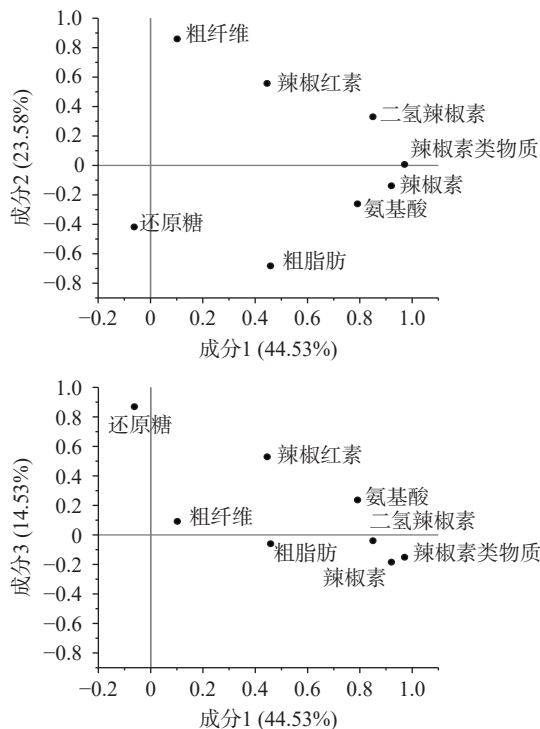


图 6 主成分分析载荷图

Fig.6 Principal component analysis load diagram

主成分累积方差贡献率达到 82.64%, 说明这三个主成分能够代表大部分品质的信息。

表 4 为主成分的载荷矩阵, 结合图 6 和表 4 可知, 第一主成分主要的影响因子是辣椒素类物质、辣

表 3 不同品种辣椒品质的产地变异系数

Table 3 Coefficient of variation of the quality of different pepper varieties in different producing areas

品种	品质产地变异系数(%)							
	辣椒红素	还原糖	氨基酸	粗脂肪	粗纤维	辣椒素	二氢辣椒素	辣椒素类物质
骄阳6号	22.18±4.15	20.14±4.54	5.79±0.33	21.96±6.10	9.43±0.86	50.29±21.83	27.46±7.50	40.68±15.25
辣研101	18.11±3.28	7.09±0.50	9.54±0.97	10.96±1.32	8.26±0.69	41.13±18.68	26.88±6.22	34.74±12.96
卓椒新52	27.19±7.15	30.23±10.22	8.92±0.74	16.55±2.82	6.35±0.37	34.41±11.65	34.12±14.95	29.18±9.02

表 4 各品质指标的载荷矩阵
Table 4 Rotated composition matrix of each quality index

品质	成分1	成分2	成分3
辣椒红素	0.446	0.557	0.529
还原糖	-0.062	-0.418	0.869
氨基酸	0.791	-0.261	0.237
粗脂肪	0.459	-0.683	-0.06
粗纤维	0.102	0.859	0.091
辣椒素	0.921	-0.139	-0.185
二氢辣椒素	0.85	0.33	-0.04
辣椒素类物质	0.971	0.006	-0.152
特征值	3.562	1.887	1.163
累积方差贡献率(%)	44.53	68.11	82.64

椒素、二氢辣椒素和氨基酸,均正向作用,载荷值分别是 0.971、0.921、0.85 和 0.791,说明第一主成分主要反映的是辣椒辣度因子和风味因子,在第一主成分中只有还原糖表现出负作用,载荷值为-0.062;第二主成分主要影响因子是粗纤维、粗脂肪和辣椒红素,载荷值为 0.859、-0.683、0.557;第三主成分的主要影响因子是还原糖,载荷值为 0.869。

根据表 4 中成分因子得分系数矩阵,利用标准化后的品质指标,可以计算出三个主成分因子得分,各主成分的因子得分计算公式如下所示:

$$F_1=0.24X_1-0.03X_2+0.42X_3+0.24X_4+0.05X_5+0.49X_6+0.45X_7+0.51X_8$$

$$F_2=0.41X_1-0.30X_2-0.19X_3-0.50X_4+0.63X_5-0.10X_6+0.24X_7+0.004X_8$$

$$F_3=0.49X_1+0.81X_2+0.22X_3-0.06X_4+0.08X_5-0.17X_6-0.04X_7-0.14X_8$$

其中 $X_1\sim X_8$ 分别表示辣椒红素、还原糖、氨基酸、粗脂肪、粗纤维、辣椒素、二氢辣椒素和辣椒素类物质 8 个品质含量标准化后的指标, F_1 、 F_2 、 F_3 分别为主成分 1、2、3 的得分,分别以主成分 1、2、3 的特征值除以特征值总和作为权重,构建 15 个样品的综合品质得分函数,公式如下所示:

$$F=0.54F_1+0.29F_2+0.18F_3$$

F 为 15 个辣椒样品 8 个品质性状的综合得分。根据综合得分函数得出不同产地辣椒三个主成分的得分和最后的综合得分及其排名。综合得分越高,说明该产地辣椒品种的综合评价越好。得分结果如表 5 所示,其中种植于贵州的辣研 101 品质得分最高,排名在第 1 位,贵州、云南、新疆种植的卓椒新 52 分别排名第 2、3、4 名,种植于陕西的骄阳 6 号得分最低。三个品种中,卓椒新 52 在五个产地的得分排名均较靠前,其次为辣研 101,骄阳 6 号的得分整体较低。从产地来看,产地为陕西的辣椒得分都较低,种植在贵州的得分均高于其他产地,说明同一个品种在贵州种植其品质相对其他产地来说有一定优势。

表 5 15 份辣椒主成分得分
Table 5 Principal component scores of 15 peppers

品种	产地	F ₁	F ₂	F ₃	F	排名
骄阳6号	贵州	-0.22	0.68	-1.30	-0.15	9
	云南	-1.71	-1.45	-0.70	-1.46	14
	重庆	-0.38	-1.37	-0.09	-0.61	11
	陕西	-2.57	-1.65	-0.92	-2.01	15
	新疆	-3.59	1.13	0.92	-1.45	13
辣研101	贵州	3.11	-1.01	1.07	1.57	1
	云南	1.49	-1.21	-0.50	0.37	6
	重庆	1.43	-0.16	0.51	0.82	5
	陕西	-1.54	-0.57	0.44	-0.91	12
	新疆	-0.33	1.07	0.89	0.28	8
卓椒新52	贵州	1.62	1.64	0.61	1.45	2
	云南	2.78	-0.93	-0.78	1.09	3
	重庆	-0.28	0.09	-0.55	-0.22	10
	陕西	-0.37	0.55	2.25	0.36	7
	新疆	0.57	3.18	-1.85	0.89	4

2.9 不同品种不同产地辣椒品质的聚类分析

聚类分析通过将大量的数据进行多元分类统计,反映样品之间的关联程度。由图 7 所示,图块颜色表示辣椒品质含量的高低,轴之间的距离为欧式距离,欧式距离越短,聚为同类则表示其关联程度越高^[20]。

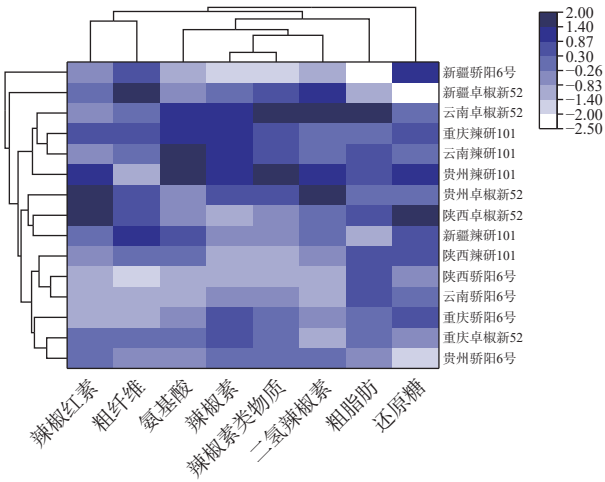


图 7 辣椒品种的聚类分析图
Fig.7 Cluster analysis of pepper varieties

基于主成分分析结果对辣椒品种和品质进行聚类分析,其中横轴为辣椒品质特性的聚类,可分为三类:第一类为辣椒红素、粗纤维,第二类为氨基酸、粗脂肪、辣椒素、二氢辣椒素和辣椒素类物质,第三类为还原糖。这与主成分分析中的三类主要因子的结果较为一致。

纵轴为不同产地辣椒品种聚类,15 个样品可分为五大类:新疆骄阳 6 号和新疆卓椒新 52 均单独聚为一类,从图 7 可以看出主要受粗脂肪和还原糖含量的影响。云南卓椒新 52、重庆、云南和贵州的辣研 101 聚为一类,从图 7 可以看出这些辣椒品质在氨基酸、辣椒素和辣椒素类物质上的含量都较高,表

明在这类辣椒中这些品质呈现含量优势。贵州和陕西的卓椒新 52 与新疆辣研 101 聚为一类;其他聚为一类。

结合辣椒品质的产地变异性可以得出:辣椒素和辣椒红素这类影响辣椒品质的重要因子,受产地的影响较大,通过品种选择配合适宜的产地选择能够得到更高的含量,这对于加工型辣椒尤其是工业辣椒的种植区域选择具有重要意义。

3 结论

本研究以骄阳 6 号、辣研 101 和卓椒新 52 三个朝天椒品种为研究对象,以其营养品质作为指标评价不同产地辣椒的品质表现。辣椒品质中随产地变化含量差异较大的是辣椒素、二氢辣椒素和辣椒红素,都表现出在贵州种植的品质含量较高;氨基酸和粗纤维随产地变化较小,其中在云南种植的辣椒氨基酸均表现较好,粗纤维则在新疆都表现出较高水平,还原糖随产地的变化更多受到品种和产地的综合影响。通过主成分分析得出主要影响辣椒品质的关键性指标为辣椒素、二氢辣椒素、辣椒素类物质和氨基酸;计算品种得分排序为贵州辣研 101 的综合得分最高,其次为贵州卓椒新 52,陕西骄阳 6 号综合得分最低。产地对辣椒品质的影响,导致同一品种在聚类中分别聚在不同的类别。三个品种都表现出在贵州种植的辣椒品质得分高于其他产地,说明贵州的辣椒综合品质优于其他产区,这与人们对贵州辣椒品质优异的认知一致。本研究可为辣椒种植产区选择提供参考。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 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 X X, MA Y Q, DAI X Z, et al. Spread and industry development of pepper in China[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2020, 47(9): 1715-1726.]
- [2] MOURA D F P P, GONCALVES A M L, COSTA L L, et al. Evaluation of antioxidant potential of pepper sauce (*Capsicum frutescens* L.)[J]. Cogent Food Agriculture, 2016, 2(1): 1134381-1134381.
- [3] KUMAR S M, KUMAR S R, RAJAN L, et al. *Capsicum annum* L. and its bioactive constituents: A critical review of a traditional culinary spice in terms of its modern pharmacological potentials with toxicological issues[J]. Phytotherapy Research; PTR, 2022, 37(3): 965-1002.
- [4] GURUNG T, TECHAWONGSTIEN S, SURIHARN B, et al. Impact of environments on the accumulation of capsaicinoids in *Capsicum* spp.[J]. HortScience, 2011, 46(12): 1576-1581.
- [5] SUSILAWATI, IRMAWATI, AMMAR M. Growth and yield of several red chilli (*Capsicum Annuum* L.) peat-strains on peat soil[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 995(1): 1-6.
- [6] 步洪凤,张忠武,邓正春,等.26个辣椒品种主要农艺性状分析与测评[J].热带作物学报,2019,40(7):1290-1296. [BU H F, ZHANG Z W, DENG Z C, et al. Analysis of main agronomic traits of 26 pepper varieties[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(7): 1290-1296.]
- [7] 李其晔.不同产地白皮洋葱和紫皮洋葱化学成分的分析比较[J].陕西农业科学,2023,69(11):46-50. [LI Q Y. A comparison of nutritional components in white onions and purple onions from different regions[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2023, 69(11): 46-50.]
- [8] 王晓敏,史冠莹,王赵改,等.不同产地香椿抗氧化活性及挥发性成分的差异分析[J].现代食品科技,2020,36(7):271-281. [WANG X M, SHI G Y, WANG Z G, et al. Differences in the antioxidant activities and volatile components of *Toona sinensis* from different regions[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(7): 271-281.]
- [9] 王泽亮,张敏,邱道富,等.不同产地肉桂的挥发性成分差异分析[J].现代食品科技,2022,38(4):201-207. [WANG Z L, ZHANG M, QIU D F, et al. Difference analysis of volatile components in cinnamon from different producing areas[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(4): 201-207.]
- [10] 李曼旻,沈天辰,刘春风,等.不同产地枸杞品质差异研究[J].食品与发酵工业,2021,47(24):56-63. [LI M Y, SHEN T C, LIU C F, et al. Research on the quality of wolfberry from different production areas[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(24): 56-63.]
- [11] ABDELSATTAR A, A T M E A, A A I M, et al. Soil application of effective microorganisms and nitrogen alleviates salt stress in hot pepper (*Capsicum annum* L.) plants[J]. Frontiers in Plant Science, 2023, 13: 1079260.
- [12] MAGDALÉNA V, JIŘÍ M, MARTINA B, et al. Influence of varieties and mulching on the quality and quantity of vegetable pepper yield[J]. Horticulturae, 2022, 8(11): 1035.
- [13] 王雪梅,孙文佳,李亚隆,等.不同产地鲜辣椒发酵郫县豆瓣的品质分析[J].食品科学,2020,41(10):213-221. [WANG X M, SUN W J, LI Y L, et al. Quality analysis of Pixian broad-bean pastes made with fresh hot peppers from different producing areas[J]. Food Science, 2020, 41(10): 213-221.]
- [14] 陈菊,王雪雅,杜雄,等.辣椒于地标区与非地标区种植的挥发性化合物差异分析[J].食品研究与开发,2023,44(17):145-152. [CHEN J, WANG X Y, DU X, et al. Difference analysis of volatile compounds of peppers planted in landmarks and non-landmarks[J]. Food Research and Development, 2023, 44(17): 145-152.]
- [15] TIAN Y, GOU X, NIU P, et al. Multivariate data analysis of the physicochemical and phenolic properties of not from concentrate apple juices to explore the alternative cultivars in juice production[J]. Food Analytical Methods, 2018, 11(6): 1735-1747.
- [16] 王越,吕赢,蔺晓莹,等.139份黄瓜种质资源主要果实性状的主成分和聚类分析[J].长江蔬菜,2023(22):45-50. [WANG Y, LÜ Y, LIN X X, et al. Principal component and cluster analysis of major fruit traits of 139 cucumber germplasm resources[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2023(22): 45-50.]
- [17] 王鹏,李芳弟,郭天顺,等.基于主成分分析、相关性分析和隶属函数法对22个马铃薯品种的综合评价[J].中国瓜菜,2023,36(7):78-87. [WANG P, LI F D, GUO T S, et al. Comprehensive evaluation of 22 potato varieties based on principal component

- analysis, correlation analysis and membership function method[J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2023, 36(7): 78–87.]
- [18] 曹勇, 许秀颖, 蔡丹, 等. 玉米籽粒后熟品质性状主成分分析与综合评价[J]. *食品科学*, 2024, 45(11): 1–7. [CAO Y, XU X Y, CAI D, et al. Principal component analysis and comprehensive evaluation of corn postharvest ripening quality traits[J]. *Food Science*, 2024, 45(11): 1–7.]
- [19] 陈菊, 陆敏, 黄正连, 等. 基于主成分和聚类分析贵州黔东南红酸汤品质的综合评价[J]. *中国酿造*, 2023, 42(6): 146–150. [CHEN J, LU M, HUANG Z L, et al. Comprehensive evaluation of southeast Guizhou red sour soup quality based on principal component and cluster analysis[J]. *Chinese Brewing*, 2023, 42(6): 146–150.]
- [20] 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. GB/T 22299-2008/ISO 7541: 1989 辣椒粉天然着色物质总含量的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [General Administration of Quality Supervision and Inspection of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/T 22299-2008/ISO 7541: 1989 Ground paprika-Determination of total natural colouring mater content[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.]
- [21] 张萌, 魏全全, 肖厚军, 等. 生物质炭对贵州黄壤朝天椒减氮的生物效应及氮肥利用率的影响[J]. *土壤学报*, 2019, 56(5): 1201–1209. [ZHANG M, WEI Q Q, XIAO H J, et al. Biological effects of biochar on nitrogen fertilizer reduction and nitrogen fertilizer utilization efficiency of pop pepper in yellow soil of Guizhou[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2019, 56(5): 1201–1209.]
- [22] 葛帅, 王蓉蓉, 王颖瑞, 等. 湖南常见辣椒品种游离氨基酸主成分分析及综合评价[J]. *食品科学技术学报*, 2021, 39(2): 91–102. [GE S, WANG R R, WANG Y R, et al. Principal component analysis and comprehensive evaluation of free amino acids of different peppers in Hunan[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2021, 39(2): 91–102.]
- [23] 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. GB/T 5009.10-2003, 植物类食品中粗纤维的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003. [General Administration of Quality Supervision and Inspection of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/T 5009.10-2003, Determination of crude fiber in vegetable foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2003.]
- [24] 蓬桂华, 韩世玉, 杨万荣, 等. 辣椒粗脂肪提取最佳条件优化研究[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2013, 44(3): 352–356. [PENG G H, HAN S Y, YANG W R, et al. Study on the best extraction method of peppers' crude fat[J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2013, 44(3): 352–356.]
- [25] 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. 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]. 北京: 中国标准出版社, 2007. [General Administration of Quality Supervision and Inspection of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/T 21266-2007, Determination of total capsaicinoid content and representation of pungency degree in capsicum and its products[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.]
- [26] 张嘉园, 辛鑫, 邢泽农, 等. 辣椒红素相关研究进展[J]. *现代农业科技*, 2019, 746(12): 209–210. [ZHANG J Y, XIN X, XING Z N, et al. Research progress on capsaicin[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2019, 746(12): 209–210.]
- [27] 雷建军, 朱张生, 陈长明, 等. 辣椒红色素及其生物合成的分子机理研究进展[J]. *园艺学报*, 2023, 50(3): 669–684. [LEI J J, ZHU Z S, CHEN C M, et al. Research progress on pepper main red pigments and their molecular mechanisms of biosynthesis[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2023, 50(3): 669–684.]
- [28] 黄芳, 钱佳佳, 傅秀敏. 茶叶氨基酸合成代谢及转化研究进展[J]. *中国茶叶*, 2023, 45(9): 10–18. [HUANG F, QIAN J J, FU X M. Research advances in amino acid metabolism and transformation of tea plants (*Camellia sinensis*) [J]. *China Tea*, 2023, 45(9): 10–18.]
- [29] 张艺龄, 师立松, 刘方, 等. 大豆品种籽粒的油脂组成综合评价[J]. *大豆科学*, 2024, 43(2): 151–158. [ZHANG Y L, SHI L S, LIU F, et al. Comprehensive evaluation of oil composition of soybean varieties seeds[J]. *Soybean Science*, 2024, 43(2): 151–158.]
- [30] 肖何, 刘洋, 王馨瑶, 等. 不同产地辣椒生长过程品质变化分析[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(13): 316–324. [XIAO H, LIU Y, WANG X Y, et al. Analysis of quality change of capsicum annum in growing process from different producing areas[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(13): 316–324.]
- [31] 张婧, 顾建明, 郁继华, 等. 辣椒素类物质的生物合成影响因素及其生理功能研究进展[J]. *园艺学报*, 2019, 46(9): 1797–1812. [ZHANG J, HE J M, YU J H, et al. A review of research on capsaicinoids biosynthesis regulation and physiological function[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2019, 46(9): 1797–1812.]
- [32] 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. [CHANG X K, DONG X Y, HAN Y N, et al. Comprehensive quality evaluation of different pepper varieties by principal component analysis[J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2023, 36(3): 42–47.]
- [33] 彭桀, 黄钧, 黄家全, 等. 不同产地和品种辣椒的特性差异分析[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(13): 159–167. [PENG C, HUANG J, HUANG J Q, et al. Analysis of the characteristics of peppers of different origins and varieties[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(13): 159–167.]