

王楠艺, 付文婷, 孙思思, 等. 辣椒品质的综合评价方法及影响辣椒品质的关键气象因子[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(8): 1483-1492.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2024.08.013

辣椒品质的综合评价方法及影响辣椒品质的关键气象因子

王楠艺¹, 付文婷¹, 孙思思², 周鹏¹, 杨娅¹, 吴迪¹, 于飞², 何建文¹

(1. 贵州省农业科学院蚕业(辣椒)研究所, 贵州 贵阳 550006; 2. 贵州省山地气象科学研究所, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 为探究辣椒品质的综合评价方法及影响辣椒品质的关键气象因子, 以卓椒 52、骄阳 6 号和辣研 12 号 3 个辣椒品种为供试材料, 在贵州省麻江县、云南省砚山县、湖南省长沙市、重庆市石柱县 4 个辣椒主产区进行栽培试验, 并进行辣椒品质指标测定, 采用相关性分析、主成分分析、逐步回归等方法, 明确影响辣椒品质的关键气象因子, 建立辣椒品质综合评价模型与气候品质评价模型, 并对 4 个辣椒主产区的气候资源优势进行比较。结果表明, 种植于 4 个种植点的 3 个辣椒品种品质指标存在较大的变异, 其中辣椒二氢辣椒素含量、辣椒红素含量、辣椒素含量的变异系数均在 50% 以上, 而还原糖含量、氨基酸含量、粗脂肪含量、粗纤维含量变异系数均在 20% 以内。种植于云南省砚山县的卓椒 52 品质综合评价最优, 而供试的 3 个辣椒品种种植于贵州省麻江县的辣椒品质总体优于其他 3 个种植区。根据主成分载荷值筛选出的辣椒品质指标为辣椒素含量、二氢辣椒素含量和粗脂肪含量。影响辣椒品质的关键气候因子为辣椒定植至采收期的平均相对湿度和总降水量。4 个种植点的气象因子主成分得分分属 4 个象限, 而 7 个气象因子的主成分载荷值分属 3 个象限, 其中, 与辣椒品质相关的关键气象因子平均相对湿度和总降水量位于第 2 象限, 与贵州省麻江县的气象因子主成分得分一致。说明贵州省麻江县的气象条件有利于提升辣椒的品质。本研究结果为进一步的辣椒优质栽培、品质评价及种植区划提供了依据。

关键词: 辣椒; 品质; 综合评价; 气象因子

中图分类号: S641.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2024)08-1483-10

Comprehensive evaluation method of pepper quality and key meteorological influencing factors

WANG Nanyi¹, FU Wenting¹, SUN Sisi², ZHOU Peng¹, YANG Ya¹, WU Di¹, YU Fei², HE Jianwen¹

(1. Institute of Guizhou Sericulture (Pepper) Research, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China; 2. Guizhou Institute of Mountain Meteorological Sciences, Guiyang 550002, China)

Abstract: In order to explore the comprehensive evaluation methods of pepper quality and the key meteorological factors affecting pepper quality, cultivation experiments were carried out in four main pepper producing areas of Majiang in

收稿日期: 2023-12-07

基金项目: 贵州省科技支撑重点项目[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(GZNYGJHX-2023008); 贵州省辣椒产业技术体系遗传育种功能实验室项目(GZLJCYJSTX-02)

作者简介: 王楠艺(1997-), 男, 贵州毕节人, 硕士, 助理研究员, 主要从事辣椒种质资源遗传改良与创新研究。(Tel) 18786544646; (E-mail) wangnanyi0202@163.com

通讯作者: 何建文, (Tel) 13985586211; (E-mail) 569809092@qq.com

Guizhou, Yanshan in Yunnan, Changsha in Hunan and Shizhu in Chongqing with three pepper varieties (Zhuojiao 52, Jiaoyang 6 and Layan 12) as experimental materials, and the quality indices of pepper were determined. The key meteorological factors affecting the quality of pepper were determined by correlation analysis, principal component analysis and stepwise regression. The comprehensive evaluation model and climate quality evaluation model of pepper quality were established, and the advantages of climate re-

sources in the four main pepper producing areas were compared. The results showed that there were great variations in the quality indices of three pepper varieties planted in four planting sites. The variation coefficients of dihydrocapsaicin content, capsanthin content and capsaicin content in pepper were all above 50%, while the variation coefficients of reducing sugar content, amino acid content, crude fat content and crude fiber content were all within 20%. The comprehensive evaluation of the quality of Zhuojiao 52 planted in Yanshan County, Yunnan province was the best, while the quality of the three pepper varieties planted in Majiang County, Guizhou province was better than that of the other three planting areas. The quality indices of pepper screened according to the principal component load values were capsaicin content, dihydrocapsaicin content and crude fat content. The key climatic factors affecting the quality of pepper were the average relative humidity and total precipitation from planting to harvest. The principal component scores of meteorological factors in four planting sites belonged to four quadrants, while the principal component load values of seven meteorological factors belonged to three quadrants. Among them, the average relative humidity and total precipitation of the key meteorological factors related to pepper quality were located in the second quadrant, which was consistent with the principal component score of meteorological factors in Majiang County, Guizhou province. It indicated that the meteorological conditions of Majiang in Guizhou were conducive to improving the quality of pepper. The results of this study provide a basis for further high-quality cultivation, quality evaluation and planting regionalization of pepper.

Key words: pepper; quality; comprehensive evaluation; meteorological factor

辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 属于茄科、辣椒属, 是典型的浅根系一年生或多年生植物, 也是中国重要的经济作物之一^[1-2]。贵州位于中国西南部青藏高原至华南丘陵的过渡地带, 属于典型的高原山地地貌, 季节分明、雨量充沛、雨热同期, 属典型的亚热带季风气候。贵州 88 个县(市) 空气质量平均优良天数比例高达 98.7%, 具有开展辣椒种植的生态环境优势。贵州作为中国辣椒种植大省, 其辣椒种植面积、加工规模与经济效益、市场规模均位居全国第一^[3]。贵州辣椒具有香辣协调、品味温醇的独特品质^[4-5], 在国内辣椒市场具有独特的优势。

随着人民生活水平日益提高, 辣椒栽培也从单纯追求高产逐渐转变为高产、优质兼顾^[6]。一般而言, 作物品质不仅受品种基因型制约, 同时也受到种植区的生态环境及田间管理措施的影响^[7]。目前关于不同辣椒资源(品种) 的品质差异已有许多研究^[8-11], 但现有研究大多是在相同的生态环境下开展的, 往往忽略了生态环境对辣椒品质的影响。此外, 在辣椒种植气候适宜性分析^[12-13]、辣椒种植气候区划分^[14-15]及基于气候的辣椒产量模型^[16]等方面亦有较多研究, 但研究中对环境条件对辣椒品质的影响、辣椒品质形成的主要气象因子及贵州辣椒品质优异的机制还缺乏深入分析。为此, 本研究以卓椒 52、骄阳 6 号和辣研 12 号 3 个辣椒品种在贵州麻江、湖南长沙、云南砚山、重庆石柱 4 个辣椒主产区进行栽培试验, 在品质指标测定及其主成分分析

的基础上, 建立辣椒品质综合评价模型, 并分析不同种植区气象条件对辣椒品质的影响, 找出影响辣椒品质的关键气象因子, 为辣椒的优质栽培、品质评价、适宜种植区区划提供依据, 以促进中国辣椒产业健康发展。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

选用贵州卓豪农业科技有限公司、遵义市农业科学院、贵州省辣椒研究所分别选育的卓椒 52、骄阳 6 号、辣研 12 号 3 个辣椒品种为试验材料, 于 2022 年 5 月 1 日定植于贵州麻江县、云南砚山县、湖南长沙市、重庆石柱县 4 个辣椒主产区(表 1)。田间定植采用随机区组排列, 起垄栽培, 每垄双行定植, 每穴定植 1 株, 各种植区株距均为 45 cm、行距 60 cm, 各种植区田间管理水平基本一致。辣椒采收期各种植区各品种选取长势一致的 10 株植株, 采用随机取样法, 采集辣椒第 2~4 层无病虫害、大小一致的达到市场采收标准的商品果 45 个, 贵州麻江试验点采集的辣椒样品立即放入液氮冷存后送至贵州省辣椒研究所实验室, 其他 3 个试验点采集的辣椒样品先放入液氮冷存后再放入装有干冰的泡沫盒中运送至贵州省辣椒研究所实验室, 所有辣椒样品运至实验室后统一用自封袋密封放入 -80 ℃ 冰箱冷藏, 进而进行辣椒果实营养成分的测定。

1.2 气象数据分析

各试验点气象数据由贵州省山地气象科学研究

所进行实地观测,包括辣椒从移栽到采收全生育期的逐日平均温度、最高温度、最低温度、平均相对湿度、日照时数、降水量。统计各种植区不同辣椒品种从移栽到采收全生育期的总降水量、累积日照时数、平均温度、最高温度、最低温度、平均相对湿度及全生育期 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温。

1.3 品质指标测定

将采集的各处理辣椒鲜果随机分为3组,参照GB 5009.7-2016^[17]、GB 5009.6-2016^[18]、GB/T 5009.10-2003^[19]、GB/T40348-2021^[20]、NY/T1381-2007^[21]进行还原糖含量、粗脂肪含量、粗纤维含量、辣椒红素含量、辣椒素含量、二氢辣椒素含量等品质指标的测定。采用茚三酮显色法^[22]进行辣椒果实氨基酸含量测定。

1.4 研究方法

1.4.1 品质因子及气候因子筛选 将辣椒品质的7个品质指标及辣椒全生育期7个气象因子原始数据进行标准化处理,并进行主成分分析,利用主成分将品质因子及气象因子进行简化,从而找出影响辣椒品质的主要品质因子及气象因子。

1.4.2 辣椒品质综合评价模型和辣椒气象品质评价模型的构建 辣椒品质指标标准化数据进行主成分分析后,根据特征值大于1的条件进行主成分提取,并计算其主成分得分^[23-24]:

$$Y_i = \sum_{j=1}^7 w_{ij} X_j \quad (1)$$

式中, Y_i 为第*i*个特征值大于1的主成分, w_{ij} 表示第*i*个特征值大于1的主成分第*j*个变量(品质指标)的权重, X_j 为辣椒第*j*个品质指标。

再以主成分的方差贡献率为权重,构建综合评价模型:

$$Y = \sum_{i=1}^m \alpha_i Y_i \quad (2)$$

式中, α_i 和 Y_i 分别为第*i*个特征值大于1主成分的方差贡献率和得分, m 为主成分数量, Y 为辣椒品质综合得分。

以辣椒各品质指标为因变量,气象因子为自变量,利用逐步回归方法构建辣椒气象品质评价模型。

1.5 数据分析

采用Excel 2010进行数据统计与整理,使用SPSS 26.0进行主成分分析、处理间差异显著性分析以及品质指标之间、品质指标与气象因子之间的相关性分析(双尾检验)。使用Origin 2021对试验数据进行作图。

2 结果与分析

2.1 辣椒发育进程及气象因子分析

各种植点3个辣椒品种的生长发育过程基本一致。5月1日移栽后,6月中旬进入初花期,7月上旬进入坐果期,8月中下旬采收(表1)。各种植点气象条件存在一定的差异,辣椒定植至采收的平均气温在20.8~26.4 $^{\circ}\text{C}$,其中云南砚山种植点的平均气温最低,为20.8 $^{\circ}\text{C}$,定植至采收期间极端最高气温仅为30.8 $^{\circ}\text{C}$,比其他种植点低。各种植点定植至采收期间平均相对湿度为77.7%~81.1%,其中云南砚山种植点最高,重庆石柱种植点最低。定植至采收期间总降水量由高到低依次为湖南长沙、云南砚山、贵州麻江、重庆石柱。4个种植点 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温介于1 151.5~1 818.5 $^{\circ}\text{C}$,与平均温度相一致(表2)。

表1 各种植点3个辣椒品种平均生育期

Table 1 The average growth period of three pepper varieties in each planting site

序号	地点	经度($^{\circ}$)	纬度($^{\circ}$)	海拔(m)	定植时间(月-日)	初花期(月-日)	坐果期(月-日)	采收期(月-日)
1	贵州省麻江县	107.55	26.49	943	05-01	06-18	07-06	08-25
2	云南省砚山县	103.36	23.35	1 572	05-01	06-15	07-04	08-15
3	湖南省长沙市	112.98	28.19	60	05-01	06-14	07-06	08-15
4	重庆市石柱县	108.12	29.99	866	05-01	06-16	07-06	08-18

2.2 种植于不同种植点的辣椒品质差异

4个种植点3个辣椒品种的品质指标如表3所示。从表中可以看出,同一品种不同种植点、同一种植点不同品种间的品质指标均存在较大差异。4个

种植点3个辣椒品种辣椒红素含量平均值为31.35 $\mu\text{g/g}$,其中种植于贵州省麻江县的卓椒52辣椒红素含量最高,达到77.39 $\mu\text{g/g}$,显著高于其他处理,种植于湖南省长沙市和贵州省麻江县的骄阳6号辣椒

表 2 各种植点辣椒全生育期气象数据

Table 2 Climate data in the whole growth period of pepper at each planting site

序号	地点	平均温度 (°C)	最高温度 (°C)	最低温度 (°C)	平均相对 湿度 (%)	总降水量 (mm)	累积日照 时数 (h)	≥10 °C 有效 积温 (°C)
1	贵州省麻江县	23.7	34.2	11.2	79.3	525.4	478.1	1 385.6
2	云南省砚山县	20.8	30.8	9.5	81.1	597.8	450.5	1 151.5
3	湖南省长沙市	26.4	39.6	10.8	78.9	613.6	615.1	1 818.5
4	重庆市石柱县	24.4	40.9	9.1	77.7	473.6	666.2	1 583.9

红素含量较低。4 个种植点 3 个辣椒品种还原糖含量平均为 12.42 mg/g, 种植于贵州省麻江县的辣研 12 号与种植于重庆市石柱县的骄阳 6 号还原糖含量较高, 显著高于其他处理。而种植于湖南省长沙市的辣研 12 号还原糖含量最低, 仅为 9.19 mg/g。4 个种植点 3 个辣椒品种的氨基酸含量平均值为 40.31 μmol/g, 其中种植于贵州省麻江县的骄阳 6 号和辣研 12 号氨基酸含量较高, 显著高于其他处理, 种植于湖南省长沙市的骄阳 6 号氨基酸含量显著低于其他处理, 仅为 33.47 μmol/g。4 个种植点 3 个辣椒品种的平均粗脂肪含量为 15.26%, 其中, 种植于云南省砚山县的卓椒 52 粗脂肪含量高达 18.58%, 显著高于其他处理, 种植于重庆市石柱县和贵州省麻江县的辣研 12 号及种植于贵州省麻江

县的骄阳 6 号粗脂肪含量较低。4 个种植点 3 个辣椒品种的平均粗纤维含量为 23.01%, 其中, 种植于湖南省长沙市的卓椒 52 粗纤维含量最高, 为 27.39%, 显著高于其他处理, 种植于重庆市石柱县的辣研 12 号粗纤维含量最低, 仅为 15.55%。4 个种植点 3 个辣椒品种的平均辣椒素含量为 2.56 g/kg, 其中, 种植于贵州省麻江县和云南省砚山县的卓椒 52 辣椒素含量较高, 种植于云南省砚山县的辣研 12 号最低, 仅为 0.83 g/kg, 显著低于其他处理。4 个种植点 3 个辣椒品种的平均二氢辣椒素含量为 1.16 g/kg, 其中, 种植于贵州省麻江县的卓椒 52 二氢辣椒素含量最高, 达 2.98 g/kg, 显著高于其他处理, 种植于云南省砚山县的辣研 12 号最低, 仅为 0.15 g/kg。

表 3 4 个种植区不同品种辣椒果实品质差异

Table 3 Differences in fruit quality of different varieties of pepper in four planting regions

处理		辣椒红素含量 (μg/g)	还原糖含量 (mg/g)	氨基酸含量 (μmol/g)	粗脂肪含量 (%)	粗纤维含量 (%)	辣椒素含量 (g/kg)	二氢辣椒素 含量(g/kg)
种植点	品种							
贵州省麻江县	卓椒 52	77.39±3.49a	13.77±0.37b	43.51±1.16c	13.84±0.17ef	26.47±0.06d	5.03±0.45a	2.98±0.37a
	骄阳 6 号	14.02±0.39hi	12.72±0.28c	48.49±0.77a	13.38±0.31f	27.01±0.16b	3.47±0.21c	1.71±0.11c
	辣研 12 号	42.90±0.56c	14.60±0.66a	48.02±0.76ab	14.05±0.34e	20.28±0.04j	1.41±0.14ef	0.51±0.06efg
湖南省长沙市	卓椒 52	19.59±0.45g	13.59±0.30b	36.74±0.80ef	16.92±0.18b	27.39±0.12a	2.43±0.37d	1.30±0.29cd
	骄阳 6 号	13.09±0.28i	11.21±0.17d	33.47±0.82g	15.85±0.52c	23.04±0.08g	3.53±0.11bc	2.14±0.40b
	辣研 12 号	16.10±0.44h	9.19±0.06e	41.08±0.94d	16.94±0.18b	16.39±0.07k	1.03±0.07f	0.30±0.15fg
云南省砚山县	卓椒 52	30.11±0.18e	12.25±0.21c	46.58±1.22b	18.58±0.36a	26.28±0.07e	4.49±0.15ab	2.23±0.06b
	骄阳 6 号	24.76±0.64f	12.22±0.08c	36.21±0.44ef	16.06±0.28c	23.22±0.10f	2.31±0.05de	0.94±0.0de
	辣研 12 号	49.06±0.62b	10.80±0.22d	36.63±1.13ef	14.91±0.63d	21.10±0.03i	0.83±0.00f	0.15±0.01g
重庆市石柱县	卓椒 52	38.54±0.93d	10.74±0.15d	40.00±1.15d	14.98±0.34d	26.64±0.09c	2.35±1.77de	0.66±0.56ef
	骄阳 6 号	29.26±0.53e	14.27±0.22a	38.02±1.60e	14.39±0.38de	22.78±0.07h	2.50±0.11d	0.82±0.03e
	辣研 12 号	21.37±0.51g	13.72±0.21b	34.92±0.97fg	13.27±0.23f	15.55±0.05l	1.23±0.03f	0.22±0.01fg

同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

4 个种植点 3 个辣椒品种的 7 项品质指标的变异系数范围为 10.74%~78.64%, 其中, 二氢辣椒素

含量变异系数最大, 为 78.64%, 辣椒红素含量、辣椒素含量的变异系数略低, 分别为 58.99% 和

53.13%,粗纤维含量、还原糖含量、氨基酸含量和粗脂肪含量的变异系数均在20%以下,分别为17.66%、13.41%、12.97%、10.74%(表4)。

2.3 辣椒品质指标间的相关性

4个种植点3个辣椒品种的品质指标间的相关

性如表5所示。从表中可以看出,辣椒素含量与粗纤维含量呈极显著正相关,相关系数为0.720。二氢辣椒素含量与粗纤维含量呈显著正相关,与辣椒素含量呈极显著正相关,相关系数分别为0.666与0.972。

表4 不同种植点辣椒品质指标变异分析

Table 4 Variation analysis of pepper quality indices in different planting sites

品质指标	最大值	最小值	平均值	标准差	品质指标	变异系数(%)
辣椒红素含量(μg/g)	77.39	13.09	31.36	18.50	辣椒红素含量	58.99
还原糖含量(mg/g)	14.60	9.19	12.42	1.67	还原糖含量	13.41
氨基酸含量(μmol/g)	48.49	33.47	40.31	5.23	氨基酸含量	12.97
粗脂肪含量(%)	18.58	13.27	15.26	1.64	粗脂肪含量	10.74
粗纤维含量(%)	27.39	15.55	23.01	4.06	粗纤维含量	17.66
辣椒素含量(g/kg)	5.03	0.83	2.56	1.36	辣椒素含量	53.13
二氢辣椒素含量(g/kg)	2.98	0.15	1.16	0.92	二氢辣椒素含量	78.64

表5 辣椒品质指标间的相关性分析

Table 5 Correlation analysis between quality indices of pepper

品质指标	相关系数						
	辣椒红素含量	还原糖含量	氨基酸含量	粗脂肪含量	粗纤维含量	辣椒素含量	二氢辣椒素含量
辣椒红素含量	1.000						
还原糖含量	0.247	1.000					
氨基酸含量	0.246	0.211	1.000				
粗脂肪含量	-0.297	-0.439	-0.067	1.000			
粗纤维含量	0.205	0.170	0.291	0.174	1.000		
辣椒素含量	0.259	0.229	0.329	0.146	0.720**	1.000	
二氢辣椒素含量	0.264	0.205	0.281	0.156	0.666*	0.972**	1.000

*表示品质指标间相关性显著($P<0.05$),**表示品质指标间相关性极显著($P<0.01$)。

2.4 辣椒品质综合评价模型及各种种植点辣椒品质综合得分

2.4.1 辣椒品质指标主成分分析 辣椒品质指标标准化数据经过主成分分析后得到2个特征值大于1.000的主成分。其中,主成分1的特征值为2.926,方差贡献率为42.31%,辣椒素含量和二氢辣椒素含量贡献相对较大,载荷值分别为0.940和0.915,对综合评价结果均起到正向作用,表明主成分1主要与辣椒的辣味相关。主成分2的特征值为1.644,方差贡献率为23.48%,粗脂肪含量贡献最大,载荷值为0.869,对综合评价结果亦起到正向作用,表明主成分2主要与辣椒的口味相关。2个主

成分累计方差贡献率达65.79%,说明这2个主成分能反映大部分的辣椒品质信息(表6)。

表6 辣椒品质指标主成分载荷值

Table 6 Principal component load values of pepper quality indices

品质指标	主成分1	主成分2
辣椒红素含量	0.435	-0.513
还原糖含量	0.374	-0.672
氨基酸含量	0.502	-0.221
粗脂肪含量	0.048	0.869
粗纤维含量	0.812	0.218
辣椒素含量	0.940	0.191
二氢辣椒素含量	0.915	0.204

2.4.2 辣椒品质综合评价模型建立 根据各个变量的权重,构建主成分 1 和主成分 2 的得分函数,表达式分别为:

$$Y_1 = 0.253X_1 + 0.217X_2 + 0.292X_3 + 0.028X_4 + 0.472X_5 + 0.546X_6 + 0.532X_7 \quad (3)$$

$$Y_2 = -0.400X_1 - 0.524X_2 - 0.172X_3 + 0.678X_4 + 0.170X_5 + 0.149X_6 + 0.159X_7 \quad (4)$$

式(3)和式(4)中, X_1 、 X_2 、 X_3 、 \dots 、 X_7 分别为标准化的辣椒红素含量、还原糖含量、氨基酸含量、粗脂肪含量、粗纤维含量、辣椒素含量和二氢辣椒素含量。

进一步结合各主成分方差贡献率,得到辣椒品质综合评价模型为:

$$Y = 0.4231Y_1 + 0.2348Y_2 \quad (5)$$

式中, Y_1 、 Y_2 分别为主成分 1 和主成分 2 的得分, Y 为辣椒品质综合评价得分。

2.4.3 不同种植点辣椒品质综合评价 根据综合

评价模型,得到各种种植点 3 个辣椒品种品质的综合得分如表 7 所示。从表 7 可知,4 个种植点卓椒 52 辣椒品质的综合得分从高到低依次为:云南省砚山县>贵州省麻江县>湖南省长沙市>重庆市石柱县;骄阳 6 号辣椒品质的综合得分从高到低依次为:贵州省麻江县>湖南省长沙市>云南省砚山县>重庆市石柱县;辣研 12 号品质的综合得分从高到低依次为贵州省麻江县>湖南省长沙市>云南省砚山县>重庆市石柱县。综合评价结果表明种植于不同种植点相同品种辣椒品质呈现较大的差异,其中,以种植于贵州省麻江县的辣椒品质较高,3 个品种中有 2 个品种综合评价结果高于其他种植区,种植于重庆市石柱县的辣椒品质相对较差,3 个品种综合评价得分均低于其他种植区。4 个种植点 3 个辣椒品种以云南省砚山县种植点卓椒 52 品质综合得分最高,重庆市石柱县辣研 12 号品质综合得分最低。

表 7 各种种植点不同辣椒品种品质综合评价得分及其排名

Table 7 The comprehensive evaluation score and ranking of quality of different varieties of pepper in each planting site

种植点	品种	Y_1	Y_2	Y	综合排名
贵州省麻江县	卓椒 52	3.41	-1.37	1.12	2
	骄阳 6 号	1.38	-0.41	0.49	3
	辣研 12 号	-0.31	-2.04	-0.61	9
湖南省长沙市	卓椒 52	0.36	0.89	0.36	5
	骄阳 6 号	0.21	1.52	0.45	4
	辣研 12 号	-2.44	1.41	-0.70	10
云南省砚山县	卓椒 52	2.15	1.79	1.33	1
	骄阳 6 号	-0.53	0.61	-0.08	7
	辣研 12 号	-1.69	-0.35	-0.80	11
重庆市石柱县	卓椒 52	-0.10	0.30	0.03	6
	骄阳 6 号	-0.18	-0.89	-0.28	8
	辣研 12 号	-2.25	-1.46	-1.29	12

Y :辣椒品质综合评价得分; Y_1 :主成分 1 得分; Y_2 :主成分 2 得分。

2.5 不同种植点影响辣椒品质的主要气象条件

2.5.1 不同种植点辣椒品质与气象因子的相关性分析 品质指标与辣椒生长期气象因子的相关性如表 8 所示。从表 8 中可以看出,辣椒红素含量与辣椒全生育期平均温度、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 有效积温呈极显著负相关,与生育期最高温度、最低温度呈显著负相关,

与生育期平均相对湿度呈显著正相关;还原糖含量与生育期总降水量呈极显著负相关;氨基酸含量与生育期最高温度、生育期累积日照时数呈极显著负相关,与生育期平均温度、生育期 $\geq 10^\circ\text{C}$ 有效积温呈显著负相关,与生育期平均相对湿度呈极显著正相关;粗脂肪含量与生育期总降水量呈极显著正相

关;粗纤维含量未与任何气象因子达到显著相关水平;辣椒素含量与生育期平均相对湿度呈显著正相关,与生育期累积日照时数呈显著负相关;二氢辣椒素含量与生育期平均相对湿度呈极显著正相关,与生育期累积日照时数呈极显著负相关。

2.5.2 辣椒气象品质评价模型 相关性分析结果表明除了粗纤维含量外,辣椒其他品质指标与气象因子存在较好的相关性,因此可利用气象因子评价辣椒品质。利用逐步回归方法构建辣椒气象品质评价模型如表 9 所示。从表 9 可知,辣椒品质指标主要受生育期平均相对湿度和生育期总降水量的影响,构建的逐步回归方程均达显著性水平,表明构建的各辣椒气象品质评价模型具有较高的拟合性。

2.5.3 不同种植点影响辣椒品质的关键气象因子

对 4 个辣椒种植点的气象因子进行主成分分析,提取出 2 个主成分 PC1 和 PC2,方差贡献率分别为 63.1%、26.0%,累计方差贡献率达到 89.1% (图 1)。湖南省长沙市、贵州省麻江县、云南省砚山县、

重庆市石柱县 4 个辣椒种植点气象因子主成分得分分属第 1、第 2、第 3、第 4 象限。而气象因子主成分载荷亦有不同的分布,其中,辣椒生育期最低温度、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温及生育期平均温度位于第 1 象限,辣椒生育期平均相对湿度及总降水量位于第 2 象限,生育期最高温度和生育期累积日照时数位于第 4 象限。即辣椒生育期最低温度、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温及平均温度与气象因子主成分 PC1 和 PC2 均呈正相关,生育期平均相对湿度及总降水量与 PC1 呈负相关,与 PC2 呈正相关,生育期最高温度和累积日照时数与 PC1 呈正相关,与 PC2 呈负相关。由于本研究中构建的辣椒气象品质模型表明影响辣椒果实品质的主要气象因子为辣椒定植至采收期的平均相对湿度和总降水量(表 8),而贵州省麻江县的气象因子主成分得分 PC1<0、PC2>0,因此,可以认为 4 个辣椒主产区中,贵州省麻江县生产的辣椒品质更优。

表 8 辣椒品质指标与气象因子的相关性

Table 8 Correlation between pepper quality indices and meteorological factors

品质指标	平均温度	最高温度	最低温度	平均相对湿度	累积日照时数	$\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温	总降水量
辣椒红素含量	-0.457 **	-0.422 *	-0.387 *	0.360 *	-0.412	-0.438 **	-0.252
还原糖含量	-0.164	-0.108	-0.178	0.203	-0.225	-0.140	-0.472 **
氨基酸含量	-0.408 *	-0.516 **	-0.183	0.669 **	-0.686 **	-0.365 *	-0.161
粗脂肪含量	0.071	-0.036	0.158	-0.130	0.150	0.042	0.735 **
粗纤维含量	-0.199	-0.258	-0.086	0.280	-0.289	-0.186	0.049
辣椒素含量	-0.171	-0.261	-0.028	0.355 *	-0.353 *	-0.150	0.028
二氢辣椒素含量	-0.108	-0.279	0.111	0.457 **	-0.434 **	-0.082	0.173

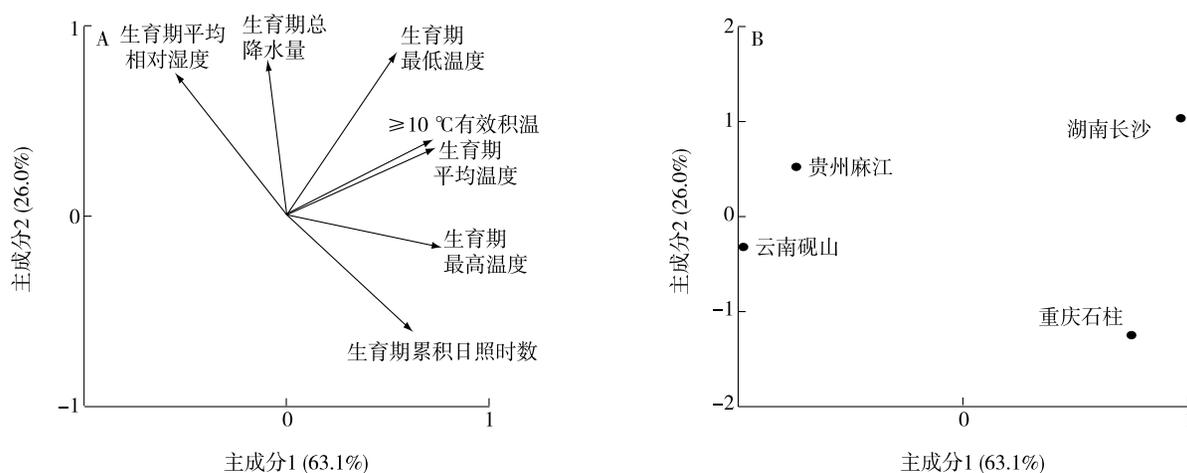
* 表示相关性显著($P<0.05$), ** 表示相关性极显著($P<0.01$)。

表 9 辣椒气象品质评价模型

Table 9 Meteorological quality evaluation model of pepper

品质指标	主要气候因子	评价模型	P 值
辣椒红素含量(Y_1)	X_1	$Y_1 = 121.670 - 3.790X_1$	0.005
还原糖含量(Y_2)	X_4, X_7	$Y_2 = -0.016X_7 + 0.393X_4$	0.001
氨基酸含量(Y_3)	X_5, X_7	$Y_3 = 75.065 - 3.869X_5 - 0.030X_7$	0
粗脂肪含量(Y_4)	X_4, X_7	$Y_4 = 33.428 + 0.023X_7 - 0.387X_4$	0
辣椒素含量(Y_5)	X_4	$Y_5 = 0.315X_4$	0.034
二氢辣椒素含量(Y_6)	X_4	$Y_6 = -20.716 + 0.273X_4$	0.005

$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$ 分别为辣椒定植至采收的平均温度、最高温度、最低温度、平均相对湿度、累积日照时数、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温、总降水量。



A: 载荷图; B: 得分图。

图1 不同种植点气象因子主成分得分及载荷

Fig.1 Principal component scores and loads of meteorological factors in different planting sites

3 讨论

辣椒果实中含有氨基酸、辣椒素类、脂肪等多种营养成分^[25-26],以及丰富的类胡萝卜素、维生素C、维生素A等多种微量营养成分^[27-28],有助于人体健康。本研究利用3个贵州辣椒品种在4个不同辣椒主产区的7个品质指标进行品质差异分析和综合评价,结果发现7个品质指标的变异系数范围为10.74%~78.64%,其中二氢辣椒素含量变异系数最高,为78.64%,这与蓬桂华等^[8]、付文婷等^[9]的研究结果基本一致;粗脂肪含量的变异系数最小,为10.74%,说明粗脂肪含量受品种及生态环境影响较小^[29];品质指标主成分分析得到2个特征值>1的主成分,累计方差贡献率为65.79%,可体现辣椒品质的主要信息。其中,第1主成分方差贡献率为42.31%,辣椒素含量和二氢辣椒素含量贡献最大,主要与辣椒果实辣味相关,第2主成分方差贡献率为23.48%,粗脂肪含量贡献最大,主要与辣椒口味相关。根据2个主成分建立的综合评价模型,辣椒品质的形成受品种和生态环境的共同影响。卓椒52在4个种植点的综合评价结果由高到低依次为云南省砚山县、贵州省麻江县、湖南省长沙市、重庆市石柱县,骄阳6号在4个种植点的综合评价结果由高到低依次为贵州省麻江县、湖南省长沙市、云南省砚山县、重庆市石柱县,辣研12号在4个种植点的综合评价结果由高到低依次为贵州省麻江县、湖南省长沙市、云南省砚山县、重庆市石柱县。

气象因子是影响作物产量和品质的主要环境因素^[30-33]。本研究通过同一品种在不同种植点的栽培试验,分析了气象条件与辣椒品质之间的相关性。研究发现还原糖含量、粗脂肪含量、氨基酸含量、辣椒红素含量、辣椒素含量、二氢辣椒素含量与相关气象因子均表现出显著或极显著相关性,而粗纤维含量与7个气象因子间均无显著相关性,说明辣椒粗纤维含量可能是主要由品种的遗传因素决定,受种植环境的影响较小。辣椒红素含量与生育期平均温度、≥10℃有效积温极显著负相关,与最高温度显著负相关,与平均相对湿度显著正相关;还原糖含量与总降水量极显著负相关;氨基酸含量与最高温度、累积日照时数极显著负相关,与平均温度、≥10℃有效积温显著负相关,与平均相对湿度极显著正相关;粗脂肪含量与总降水量极显著正相关;辣椒素含量与平均相对湿度显著正相关,与累积日照时数显著负相关;二氢辣椒素含量与平均相对湿度极显著正相关,与累积日照时数极显著负相关。上述结果表明辣椒品质受温度因子与水分因子影响较大,这与樊晓芸等^[34]的研究结果基本一致。其中辣椒还原糖含量与生育期总降水量极显著负相关,说明在辣椒生育期降水量越多,糖分累积越少,这与樱桃的结果^[35]基本一致。逐步回归分析结果表明生育期平均相对湿度和总降水量是影响辣椒品质的主要气象因子,同时主成分分析结果表明影响辣椒品质的2个主要气象因子(平均相对湿度和总降水量)在贵州省麻江县种植点贡献

最大,推测贵州辣椒品质优良的原因可能在于其平均相对湿度和总降水量有利于辣椒品质的形成。

4 结论

贵州省选育的3个辣椒品种在贵州省麻江县、湖南省长沙市、重庆市石柱县、云南省砚山县4个主产区品质指标表现出一定的差异性,其中二氢辣椒素含量、辣椒红素含量和辣椒素含量的变异系数均在50%以上,而粗脂肪含量、氨基酸含量、还原糖含量和粗纤维含量的变异系数均低于20%。利用综合评价模型对4个种植点的辣椒品质进行比较发现,骄阳6号与辣研12号的品质在贵州省麻江县的表现均优于其他种植点,卓椒52在贵州省麻江县的品质表现仅次于云南省砚山县,说明贵州省麻江县种植的辣椒品质优于其他3个种植点。辣椒生育期气象条件与辣椒品质指标的相关性分析结果表明生育期平均相对湿度和总降水量是影响辣椒品质的关键气象因子,主成分分析结果亦表明生育期平均相对湿度和总降水量气象因子在贵州省麻江县种植点表现出较大的贡献,这可能是贵州省麻江县种植点辣椒品质优良的主要原因。本研究结果为辣椒适宜种植区分类、辣椒引种及高品质辣椒种植提供理论依据,有利于促进辣椒产业化持续发展。

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] 王楠艺,付文婷,吴迪,等. 辣椒品质研究进展[J]. 江苏农业科学,2022,50(16):21-27.
- [3] 张建. 贵州遵义虾子一带辣椒品质与区域地质背景关系研究[D]. 贵阳:贵州大学,2017.
- [4] 杜涛. 贵州辣椒资源禀赋孕育生态辣椒品牌化赋能高质量发展[N]. 中国食品报,2023-08-18(4).
- [5] 罗欢. 科技助力:贵州辣椒“香辣”开场[J]. 大众科学,2022(1):16-19.
- [6] 向家勇,张竹青. 辣椒果实品质育种研究进展[J]. 辣椒杂志,2022,20(2):27-34.
- [7] 隆文杰,武晓阳,周国雁,等. 云南省不同种植区糯玉米种质资源数量性状变化与多样性[J]. 湖北农业科学,2019,58(21):35-41.
- [8] 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.
- [9] 付文婷,詹永发,何建文,等. 10个贵州地方辣椒品种品质评价[J]. 中国瓜菜,2018,31(12):37-40.
- [10] 向家勇,杨莎,梁成亮,等. 鲜食青椒果实的品质性状分析与

- 评价[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2023,49(4):436-441.
- [11] 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.
- [12] 张波,杨世琼,刘宇鹏,等. 贵州辣椒主产区气候适宜性分析[J]. 热带农业科学,2021,41(6):98-104.
- [13] 于飞,梁平,谷晓平. 基于分期播种试验的辣椒种植气象条件分析[J]. 江苏农业科学,2020,48(17):157-160.
- [14] 王华,胡飞,黄俊. 基于GIS的广东冬种辣椒气候适宜性区划[J]. 气象与环境科学,2014,37(3):76-80.
- [15] 蒋松林,马洪燕,盛升旺,等. 基于GIS的岑巩县线辣椒气候适宜性区划[J]. 贵州农业科学,2022,50(10):87-92.
- [16] 谭文,杨世琼,左晋,等. 基于相对气候适宜度指数的贵州辣椒产量动态预报模型构建[J]. 贵州农业科学,2023,51(1):74-79.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中还原糖的测定:GB 5009.7-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定:GB 5009.6-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [19] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. 植物类食品中粗纤维的测定:GB/T 5009.10-2003[S]. 北京:中国标准出版社,2003.
- [20] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 植物源产品中辣椒素类物质的测定 液相色谱-质谱/质谱法:GB/T 40348-2021[S]. 北京:中国标准出版社,2021.
- [21] 中华人民共和国农业部. 辣椒素的测定 高效液相色谱法:NY/T 1381-2007[S]. 北京:中国农业出版社,2007.
- [22] 杨宇,崔璨,张喜春,等. 不同番茄品种果实中氨基酸含量分析[J]. 湖北农业科学,2022,61(24):136-139.
- [23] 任雪松,于秀林. 多元统计分析[M]. 北京:中国统计出版社,2010.
- [24] 牛雪婧,王新栋,王金萍,等. 高粱地方种质资源表型多样性分析及综合评价[J]. 植物遗传资源学报,2024,25(4):562-575.
- [25] SANDOVAL-CASTRO C J, VALDEZ-MORALES M, OOMAH B D, et al. Bioactive compounds and antioxidant activity inscalded Jalapeño pepper industrial byproduct (*Capsicum annuum* L.) [J]. Journal of Food Science and Technology,2017,54(7):1999-2010.
- [26] FABELA-MORÓN M F, CUEVAS-BERNARDINO J C, AYORATALAVERA 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.
- [27] SHETTY A A, MAGADUM S, MANAGANVI K. Vegetables as sources of antioxidants [J]. Journal of Food & Nutritional Disorders,2013,2(1):1-5.
- [28] KWON Y I, APOSTOLIDIS E, SHETTY K. Evaluation of pepper (*Capsicum annuum*) for management of diabetes and hypertension

- [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2007, 31(3): 370-385.
- [29] 刘亚斌, 郭素娟, 孙传昊. 基于巢式分组设计的板栗刺苞与坚果形态多样性分析[J]. *中南林业科技大学学报*, 2020, 40(10): 51-60.
- [30] 姜 骁, 许 静, 潘丽娟, 等. 花生产量相关性状与气象因子多环境相关性分析[J]. *作物学报*, 2023, 49(11): 3110-3121.
- [31] 陆佳岚, 王 净, 马 成, 等. 长江流域中稻产量和品质性状差异与其生育期气象因子的相关性[J]. *江苏农业学报*, 2020, 36(6): 1361-1372.
- [32] 周宝元, 马 玮, 孙雪芳, 等. 冬小麦-夏玉米高产模式周年气候资源分配与利用特征研究[J]. *作物学报*, 2019, 45(4): 589-600.
- [33] 王 丹, 周宝元, 马 玮, 等. 长江中游双季玉米种植模式周年气候资源分配与利用特征[J]. *作物学报*, 2022, 48(6): 1437-1450.
- [34] 樊晓芸, 郭素娟, 李艳华. 不同种植区域板栗品质差异性分析及气候适应性评价[J]. *北京林业大学学报*, 2022, 44(11): 20-30.
- [35] 田彦龙. 西北不同种植区甜樱桃果实品质与环境因子的相关性研究[D]. 西宁: 青海大学, 2021.

(责任编辑: 石春林)