中国农业大学学报 2026,31(12):194-204
Journal of China Agricultural University http://zgnydxxb.ijournals.cn

刘洋,付建,杨欣怡,何淇润,梁涛,王孝忠.重庆主栽辣椒品种产量、养分吸收和果实品质差异分析[J].中国农业大学学报,2026,31(12):194-204.
LIU Yang, FU Jian, YANG Xinyi, HE Qirun, LIANG Tao, WANG Xiaozhong. Analysis of yield, nutrient uptake, and fruit quality differences among major pepper cultivars in Chongqing[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2026, 31(12): 194-204.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2026.12.15

重庆主栽辣椒品种产量、养分吸收和果实品质差异分析

刘 洋[1] 付 建[2] 杨欣怡[1] 何淇润[1] 梁 涛[3] 王孝忠[1*]
(1.西南大学 资源环境学院/长江经济带农业绿色发展研究中心,重庆 400716;
2.重庆市铜梁区农业技术推广中心,重庆 402560;
3.重庆市农业科学院 农业资源与环境研究所,重庆 401329)

摘 要 为探究重庆地区主栽辣椒品种间产量、养分吸收及果实品质间的差异,明确重庆地区适宜、高产的辣椒品种,以重庆地区主栽辣椒品种为研究对象,按果实类型分为菜椒、条椒和朝天椒三大类,测定其产量、养分吸收和果实品质指标,并运用主成分分析法和隶属函数法进行综合评价,为重庆地区辣椒种植、品种选育和生产加工提供理论依据。结果表明:1)不同果实类型辣椒各项指标存在显著差异($P<0.05$),菜椒的平均产量高于其他果实类型19.4%~34.7%,且果实中氮、磷和钾的平均累积量高于其他类型7.9%~27.4%;2)品种间产量、养分吸收存在显著差异($P<0.05$),'渝椒13号'较其他品种增产幅度达6.8%~142.7%,'美辣一号'对氮的响应程度相对较高,'薄皮早优F1'对钾的响应程度相对较高;3)不同成熟期品质指标表现出不同变化趋势,绿熟期至红熟期维生素C、硝酸盐呈整体上升趋势。绿熟期'薄皮127'硝酸盐含量最低(11.9 mg/kg),红熟期'绿洋乐L9'维生素C积累最高(234.8 mg/100 g),'渝椒13号'可溶性糖含量达28.8 mg/g峰值。综上,菜椒'久比九号'、条椒'绿洋乐L9'和朝天椒'艳椒465'品质优势明显,可在重庆地区或同类生态区域作为主栽品种引进推广。本研究结果为重庆地区辣椒产业提质增产提供理论依据。

关键词 重庆;露地辣椒;品种;品质;主成分分析
中图分类号 S435.112;TP79 **文章编号** 1007-4333(2026)12-0194-11 **文献标志码** A

Analysis of yield, nutrient uptake, and fruit quality differences among major pepper cultivars in Chongqing

LIU Yang[1], FU Jian[2], YANG Xinyi[1], HE Qirun[1], LIANG Tao[3], WANG Xiaozhong[1*]
(1. Interdisciplinary Research Center for Agriculture Green Development in Yangtze River Basin/College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;
2. Agricultural Technology Extension Center of Tongliang District, Chongqing 402560, China;
3. Institute of Agricultural Resources and Environment, Chongqing, Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 401329, China)

Abstract This study aimed to investigate the difference in yield, nutrient uptake, and fruit quality among the major pepper cultivars in Chongqing, and to identify suitable, high-yielding cultivars for this region. The main pepper cultivars in Chongqing were taken as study object and classified into three categories based on fruit type: sweet pepper, long pepper, and chaotian pepper. The yield, nutrient uptake, and fruit quality indices were measured, and a comprehensive evaluation was conducted using principal component analysis and membership function

收稿日期:2025-12-06;接受日期:2026-07-30
基金项目:西南大学——铜梁区人民政府校长江经济带蔬菜全产业链绿色发展研究与示范项目(CAGD-TL2021)
第一作者:刘洋(ORCID:0009-0007-9939-5039),硕士研究生,E-mail:lylinsey@163.com
通讯作者:王孝忠(ORCID:0000-0001-5978-4274),副教授,主要从事蔬菜养分资源管理研究,E-mail:wxz20181707@swu.edu

method. The results showed that: 1) Significant differences in various indices were observed among the three fruit types ($P<0.05$). Vegetable pepper exhibited 19.4%-34.7% higher average yield than the other types, and its average accumulation of nitrogen, phosphorus, and potassium in fruits was 7.9%-27.4% higher than that of the other types. 2) Significant differences in yield and nutrient uptake existed among pepper varieties ($P<0.05$). 'Yujiao No. 13' showed a yield increase of 6.8%-142.7% compared with other varieties. 'Meila No. 1' showed a relatively higher response to nitrogen, while 'Baopi Zaoyou F1' showed a relatively higher response to potassium. 3) Quality indices varied with maturity stage. From the green-ripe to red-ripe stage, vitamin C and nitrate contents showed an overall increasing trend. At the green-ripe stage, 'Bopi 127' had the lowest nitrate content (11.9 mg/kg), while at the red-ripe stage, 'Lvyangle L9' exhibited the highest vitamin C accumulation (234.8 mg/100 g), and 'Yujiao No. 13' reached a peak soluble sugar content of 28.8 mg/g. In conclusion, vegetable pepper 'Jiubiji No. 9', strip pepper 'Lvyangle L9', and pod pepper 'Yanjiao 465' demonstrated clear quality advantages and are recommended as main cultivars for introduction and promotion in Chongqing and ecologically similar regions. This study provides a theoretical basis for improving yield and quality in the pepper industry in Chongqing.

Keywords　Chongqing; open-field pepper; cultivars; quality; principal component analysis

辣椒（*Capsicum* spp.）是全球重要的蔬菜和经济作物，富含粗脂肪、蛋白质、维生素C、辣椒素、辣椒红色素和植物多糖等有效成分，具有较高的营养价值和保健功效[1]。据统计，目前，我国辣椒种植面积约133万hm^2，产量2 800万t，占世界辣椒面积的35%[2]。重庆作为辣椒集中消费区和调味品生产重要区域，辣椒常年种植面积约占重庆蔬菜种植面积的10%，已成为重庆地区特色农业支柱产业[3-5]。然而，重庆冬、春两季雨水较多，夏、秋两季高温高湿，加上辣椒连年种植、肥料施用不合理，导致辣椒生产面临连作障碍加剧、土壤养分盈余高、养分损失量高和果实品质波动大等突出问题；同时重庆地区缺少适应性强的高产品种，传统品种因常年自交导致抗病性下降，部分抗病品种其抗病基因来源单一，缺少针对重庆地区的高产和优质品种[6]。

针对上述问题，深入探究不同基因型辣椒在特定气候环境下的表现显得尤为重要，特定范围的气候环境对作物的产量及品质有影响[7]，不同基因型辣椒在果实发育过程中表现出明显的形态和品质多样性[8]，优良品种通常具备抗病、抗旱和抗倒伏等特性，为产量提升提供保障[9]。国内外学者对辣椒品种间的差异性做了相关研究。刘周斌等[10]研究表明不同基因型辣椒在发育过程中品质整体随成熟度提升而改善，但在糖类、蛋白质、维生素、辣椒素及色素等积累水平上存在显著差异；Li等[11]研究表明辣椒中醛类、烯烃类和酯类等挥发性物质在不同品种间差异显著；Virga等[12]对多个西西里辣椒种质进行了农艺形态学表征，结果表明不同基因型辣椒的农艺性状表现出显著差异。然而，针对不同辣椒品种多成熟期的产量、养分吸收和品质综合评价仍存在明显不足，重庆地区辣椒品种的多维度综合评价体系亦尚未建立。

鉴于此，本研究拟选取重庆地区主栽的14个辣椒品种，涵盖条椒、菜椒和朝天椒3种主要果实类型，比较不同品种及果实类型在产量、养分吸收和果实品质方面的差异，分析果实品质在品种特性与成熟阶段等因素作用下的变化规律，并运用主成分分析法和隶属函数法进行综合评价，以期筛选出适宜重庆地区的高产且优质的辣椒品种。

1　材料与方法

1.1　试验材料

2024年3—7月，在重庆市铜梁区太平镇垣楼村（29°53′ N，106°07′ E）开展田间试验。该地区年平均气温为18.4 ℃，年降水量为1 129.3 mm，年日照为1 087.2 h[13]。试验共选取重庆市农业科学院自育品种、重庆市地方辣椒品种以及西南地区主推辣椒品种14种，分别为：条椒（'美辣一号''种椒1号''绿洋乐L9''鲜辣1号'）、菜椒（'薄皮早优F1''久比九号''薄皮127''大果薄皮5号''海迈8000F1''渝椒13号'）、朝天椒（'艳椒528''艳椒465''艳椒425''珠子椒2号'）。

每个处理重复3次，每个品种小区种植面积35 m^2，株行距为40 cm×40 cm。基于作物需肥特性、土壤供肥性能和肥料效应，施肥处理：底肥使用商品有机肥4 500 kg/hm^2，复合肥（15-15-15）

525 kg/hm²；追肥使用18-8-18（硝硫基、含DMPP和聚磷酸铵）300 kg/（hm²·次），分别在开花结果初期、结果中期和结果盛期进行3次追肥。其他栽培管理同当地农民习惯，种植密度为品种推荐密度。

1.2 测定项目及评价指标

1.2.1 产量

在辣椒结果中期开展测产，选取小区中间连续12株具有代表性的区域固定为测产微区，至收获前后共测产2～3次，每次采收的辣椒产量相加，即为辣椒的总产量。

1.2.2 果实氮、磷、钾浓度及累积量

在辣椒成熟期，每个小区取4株辣椒果实样品作为混合样品，75 ℃条件下干燥至恒重，粉碎，测定果实的氮、磷、钾浓度及累积量。全氮使用H_2SO_4消煮-凯氏定氮法测定，磷使用H_2SO_4消煮-钼锑抗比色法测定，全钾使用H_2SO_4消煮-火焰光度计法测定[14]。

1.2.3 品质指标测定

分别在辣椒绿熟期、红熟期，每个小区取4株辣椒果实样品作为混合样品，低温保存，用于品质的测定。主要品质指标包括维生素C、硝酸盐、蛋白质、可溶性糖、游离氨基酸、总酚和总黄酮含量。采用2,6-二氯靛酚法测定维生素C含量，采用水杨酸-硫酸法测定硝酸盐含量，采用双缩脲法测定蛋白质含量，采用蒽酮法测定可溶性糖含量，采用福林酚法测定总酚含量，采用茚三酮显色法测定氨基酸含量，采用$NaNO_2$-Al$(NO_3)_3$-NaOH显色法测定总黄酮含量[15-16]。

1.2.4 辣椒果实品质综合评价

主成分分析法（Principal Component Analysis，PCA）是一种常用的多变量统计分析方法，旨在通过对原始高维数据进行降维，提取数据中的主要信息，揭示变量之间的内在结构关系。

$$Y_i=\sum_{j=1}^{7}\omega_{ij}X_j \tag{1}$$

式中：Y_i为第i个特征值＞1的主成分；ω_{ij}表示第i个特征值＞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。

$$Y=\sum_{i=1}^{m}\alpha_i Y_i \tag{2}$$

式中：α_i和Y_i分别为第i个特征值＞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[17]。

采用模糊数学隶属函数法对多个辣椒品质指标进行数据分析，指标与品质呈正相关和负相关的计算公式分别为：

$$X_{(\mu)}=\frac{X-X_{\min}}{X_{\max}-X_{\min}} \tag{3}$$

$$X_{(\mu)}=1-\frac{X-X_{\min}}{X_{\max}-X_{\min}} \tag{4}$$

式中：$X_{(\mu)}$为各指标的隶属值，X为各指标的测定值，$X_{\max}$和$X_{\min}$分别为各指标的最大和最小测定值。通过对各个指标的隶属值进行累加，并计算其平均值。平均值越大，表明样品的品质越好[18]。

1.2.5 数据统计分析

使用Microsoft Excel 2021进行数据整理，使用SPSS 26.0进行差异显著性分析和相关性分析（$P<0.05$），使用Origin 2022软件绘图。

2 结果与分析

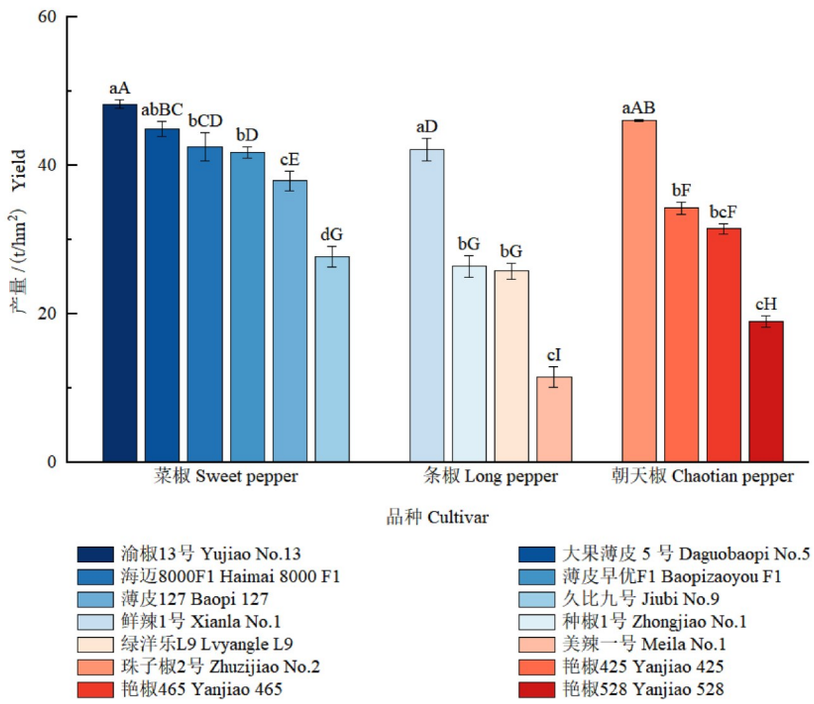
2.1 产量分析

田间试验结果表明（图1），3种果实类型平均产量表现为：菜椒＞朝天椒＞条椒。菜椒品种中‘渝椒13号’产量优势突出，较其余5个品种高出7.3%～73.1%；‘久比九号’产量最低。条椒品种中‘鲜辣1号’产量最高，较同类型其他品种高出56.5%～267.6%；‘美辣一号’产量最低。朝天椒品种中‘珠子椒2号’产量领先，较其余3个品种高出34.6%～143.1%；‘艳椒528’产量最低。

2.2 养分吸收分析

田间试验结果表明（表1），3种果实类型的果实平均氮浓度表现为：朝天椒＞菜椒＞条椒；条椒平均磷浓度为9.0 g/kg，较其余两类高出6.6%～10.1%；朝天椒平均钾浓度最高，达34.3 g/kg，高于菜椒和条椒。不同品种间养分浓度存在明显差异（$P<0.05$），菜椒品种中‘久比九号’氮浓度最高，‘渝椒13号’对磷的响应程度最大；‘薄皮早优F1’的钾浓度最高，较其他菜椒品种高出9.3%～44.1%。条椒品种中‘美辣一号’的果实氮浓度、磷浓度最高，且与其他品种差异显著（$P<0.05$）；‘种椒1号’对钾的响应程度最大，钾浓度高于其他条椒品种。朝天椒品种中，‘朝天椒528’对于氮、磷、钾的吸收累积能力优于其他3个品种，其氮、磷、钾浓度均显著高于其他朝天椒品种。

3种果实类型中，菜椒的平均氮累积量为



大写字母表示不同辣椒果实类型间差异显著，小写字母表示同一果实类型中不同品种间差异显著（$P<0.05$）。下同。

Different uppercase letters indicate significant differences among fruit types, and different lowercase letters indicate significant differences among varieties within the same fruit type ($P<0.05$). The same below.

图 1　不同品种辣椒的产量差异

Fig. 1　Yield differences among different chili pepper varieties

53.6 kg/hm^2，高于其他类型 7.9%～23.9%；菜椒的平均磷累积量与条椒无显著差异，但高于朝天椒 27.4%；菜椒的平均钾累积量为 67.0 kg/hm^2，高于其他类型 9.9%～24.6%。不同品种间，菜椒品种‘海迈 8000F1’氮累积量最高，‘渝椒 13 号’磷累积高于其他菜椒品种，‘大果薄皮 5 号’钾累积量最高。条椒品种中‘美辣一号’果实氮累积量最高，与其他品种差异显著（$P<0.05$）；‘绿洋乐 L9’磷累积量最高；‘种椒 1 号’钾累积量高于其他条椒品种。朝天椒品种中，‘朝天椒 528’对于氮、磷、钾累积量均高于其余同类型品种。

2.3　果实品质分析

2.3.1　营养品质

田间试验结果表明，不同果实类型间维生素 C 含量表现为：朝天椒＞条椒＞菜椒。菜椒的可溶性糖含量整体显著高于其他果实类型（$P<0.05$），朝天椒的可溶性蛋白、游离氨基酸含量则显著高于菜椒和条椒。不同成熟期各品种间营养品质变化规律不同：14 种辣椒的维生素 C 含量均随成熟进程显著提升（图 2(a)），在红熟期，‘绿洋乐 L9’的维生素 C 含量最高，较同时期的其他品种高出 35.7%～196.5%；可溶性糖方面（图 2(b)），除菜椒‘薄皮 127’、条椒‘鲜辣 1 号’、朝天椒‘艳椒 465’，其他 11 个品种含量均呈上升趋势，红熟期菜椒‘渝椒 13 号’的可溶性糖含量最高，较同时期的其他品种高出 45.1%～103.3%；可溶性蛋白方面（图 2(c)），菜椒‘大果薄皮 5 号’‘久比九号’‘薄皮早优 F1’、条椒‘种椒 1 号’、朝天椒‘珠子椒 2 号’含量有所下降，其余 9 种辣椒则呈上升趋势；游离氨基酸含量中（图 2(d)），菜椒‘渝椒 13 号’‘薄皮早优 F1’、条椒‘种椒 1 号’含量有所下降，其余 11 种辣椒在红熟期有所升高。红熟期朝天椒‘艳椒 465’的可溶性蛋白和游离氨基酸含量均为所有品种最高，较其他品种分别高 4.0%～143.0% 和 38.0%～313.4%。

2.3.2　功能品质

从绿熟期到红熟期，菜椒、条椒和朝天椒的总黄酮、总酚含量变化存在明显差异。12 种辣椒的总黄酮含量均显著上升（图 3(a)），仅条椒‘鲜辣 1 号’和朝天椒‘珠子椒 2 号’的总黄酮含量出现下降。红

表1 不同品种辣椒果实的氮、磷、钾浓度及累积量

Table 1 Nitrogen, phosphorus, and potassium concentrations and accumulations in different chili pepper cultivars

果实类型 Type	品种 Cultivar	氮质量分数/（g/kg） Nitrogen mass fraction	磷质量分数/（g/kg） Phosphorus mass fraction	钾质量分数/（g/kg） Potassium mass fraction	氮累积量/（kg/hm²） Nitrogen accumulation	磷累积量/（kg/hm²） Phosphorus accumulation	钾累积量/（kg/hm²） Potassium accumulation
菜椒 Sweet pepper	渝椒13号	25.74±1.06 cd	9.46±0.25 a	27.74±6.03 e	54.83±2.26 b	20.14±0.53 a	59.09±12.84 d
	大果薄皮5号	25.90±3.32 cd	7.99±1.40 c	36.50±1.22 b	54.78±7.02 b	16.89±2.96 b	77.21±2.57 a
	海迈8000F1	24.72±1.31 d	7.19±0.05 d	29.38±0.11 d	61.87±3.29 a	17.99±0.14 b	73.54±0.26 b
	薄皮127	28.26±4.51 b	8.77±0.21 b	39.98±10.26 a	47.68±7.61 d	14.79±0.36 d	67.45±17.32 c
	久比九号	26.50±1.64 c	7.97±0.40 c	36.21±12.50 b	49.04±3.03 c	14.76±0.74 d	67.00±23.12 c
	薄皮早优F1	30.75±3.52 a	9.14±1.80 a	33.09±2.11 c	53.65±6.14 b	15.95±3.15 c	57.74±3.69 e
条椒 Long pepper	鲜辣1号	26.09±0.55 b	8.56±0.13 b	33.30±6.56 b	45.27±0.96 c	14.86±0.22 c	57.78±11.38 c
	绿洋乐L9	24.26±1.83 c	9.07±0.46 ab	37.35±9.79 a	43.15±3.25 d	16.14±0.81 b	66.43±17.41 a
	美辣一号	25.25±1.38 bc	8.88±0.63 b	28.79±0.59 d	52.33±2.86 b	18.41±1.31 a	59.66±1.22 b
	种椒1号	31.32±4.26 a	9.53±0.28 a	31.62±1.79 c	56.97±7.75 a	17.33±0.51 ab	57.51±3.26 c
朝天椒 Chaotian pepper	珠子椒2号	26.93±1.90 b	8.45±1.61 a	32.57±6.44 b	40.50±2.85 b	12.71±2.42 a	48.98±9.69 b
	艳椒528	26.35±0.51 b	8.14±2.99 a	30.92±3.85 c	38.67±0.74 d	11.95±4.38 b	45.38±5.65 c
	艳椒465	26.54±3.43 b	7.19±1.83 b	31.86±0.12 b	39.73±5.13 c	10.77±2.74 b	47.69±0.18 bc
	艳椒425	29.03±1.61 a	8.64±0.73 a	39.21±7.43 a	44.36±2.46 a	13.20±1.11 a	59.91±11.35 a

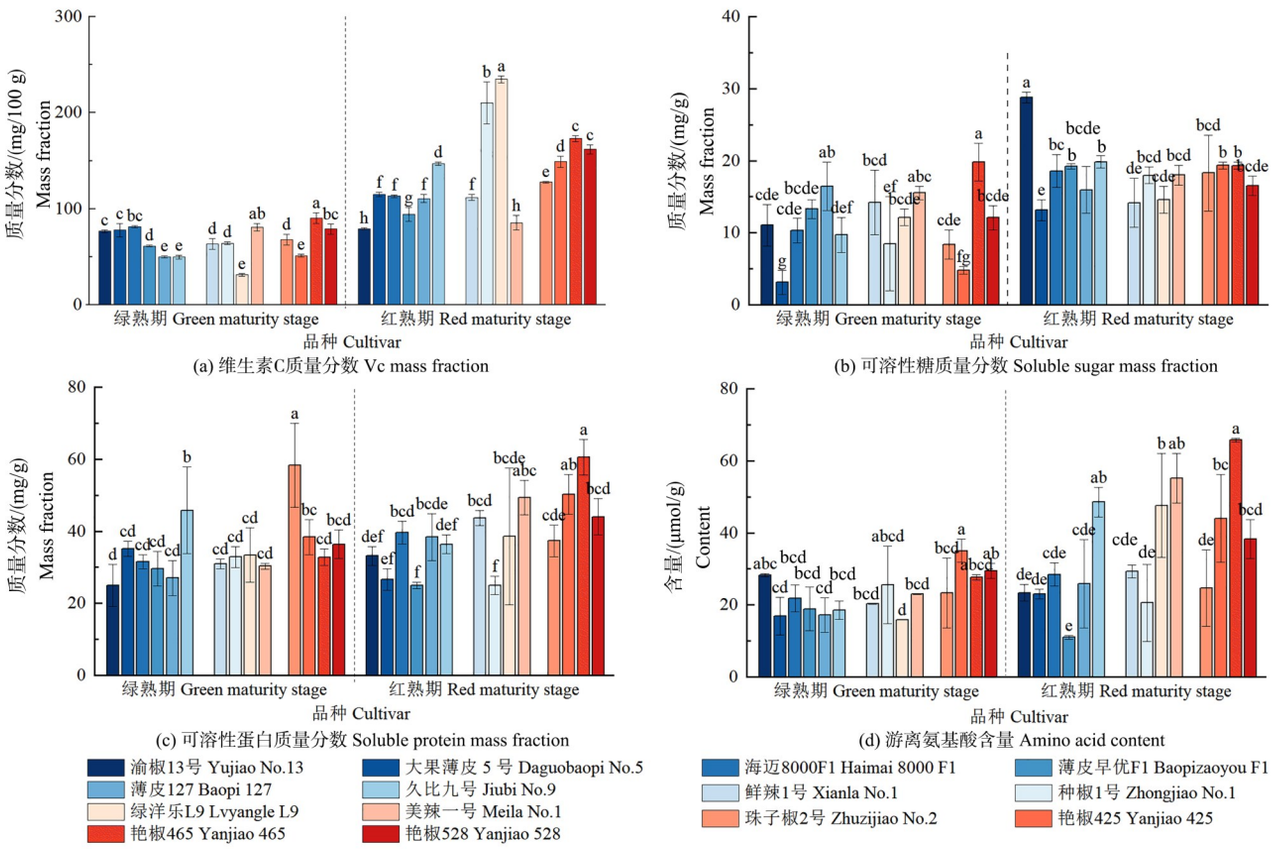


图 2　不同品种辣椒的营养品质差异

Fig. 2　Differences in nutritional quality among different chili pepper cultivars

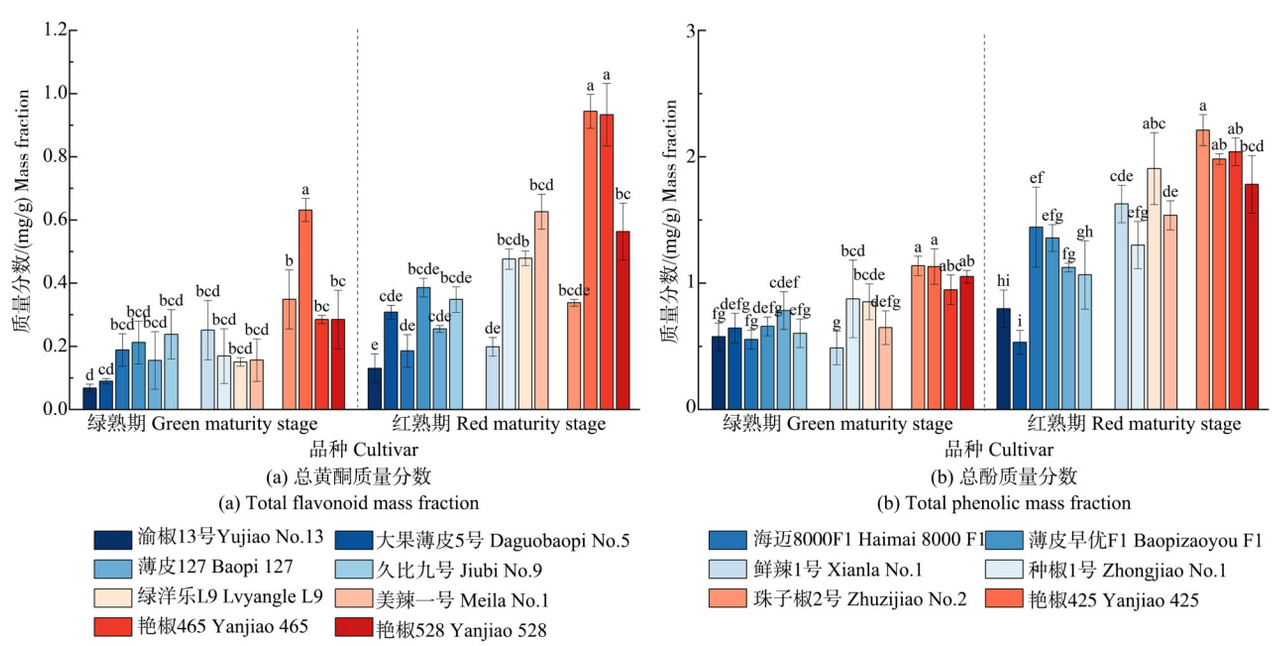


图 3　不同品种辣椒的功能品质差异

Fig. 3　Differences in functional quality among different chili pepper cultivars

熟期朝天椒‘艳椒425’总黄酮含量达到峰值，为0.9 mg/g，除‘艳椒465’外，较同时期其他品种高出50.2%～622.7%。总酚含量方面（图3(b)），除菜椒‘大果薄皮2号’外，其余13种辣椒均有不同幅度升高，红熟期朝天椒‘珠子椒2号’总酚含量最高，较同时期其他品种高出8.0%～314.3%。

2.3.3 硝酸盐含量

从绿熟期到红熟期，3种果实类型的硝酸盐含量平均值均显著上升（图4）。供试的14种辣椒硝酸盐含量均有所上升，红熟期朝天椒‘珠子椒2号’的硝酸盐含量最高，为108.0 mg/kg，较同时期其他品种高出45.4%～169.2%。

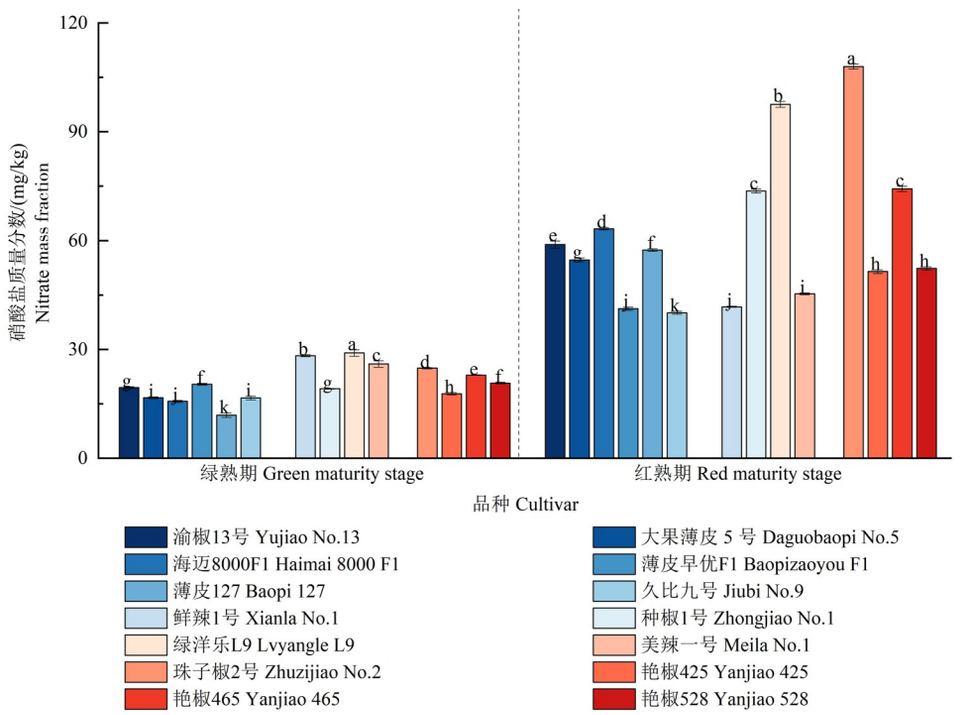


图4 不同品种辣椒的硝酸盐差异

Fig. 4 Differences in nitrate content among different chili pepper cultivars

2.4 不同品种辣椒在不同成熟期的主成分分析

选取维生素C、可溶性糖、可溶性蛋白、游离氨基酸、总黄酮、总酚和硝酸盐含量共7项辣椒品质指标进行主成分分析，结果显示PC1、PC2和PC3累积解释方差达到85%，能够有效反映原始数据的主要信息。其中PC1对维生素C、总黄酮、总酚和游离氨基酸的负载较高，PC2对可溶性糖、可溶性蛋白和硝酸盐的负载较高，PC3对可溶性糖和维生素C的负载较高。

根据综合得分可知（表2），菜椒品种中，‘久比九号’‘海迈8000F1’的综合得分在绿熟期和红熟期均高于其他菜椒品种；条椒品种中，‘种椒1号’在绿熟期排名最高，‘绿洋乐L9’在红熟期的综合得分高于其他条椒品种；朝天椒品种中，‘珠子椒2号’在绿熟期的综合得分高于其他朝天椒品种，‘艳椒465’在红熟期的排名最高。

基于上述7个品质指标进一步开展模糊隶属函数分析并进行综合评价（表3），绿熟期综合品质最优品种为‘珠子椒2号’，其平均隶属函数值为0.44；红熟期综合品质最佳的是‘艳椒465’，平均隶属函数值为0.80。该分析结果与主成分分析计算的结果一致。

3 讨论与结论

本研究系统比较了不同类型辣椒种质的产量、养分吸收和果实品质差异，结果表明不同种质辣椒在产量构成、质构特性及营养成分上存在明显差异[19]。在产量方面，菜椒类品种整体产量表现最优，其中‘渝椒13号’较其他品种增产7.3%～73.1%，与其株型结构、高效的光合特性以及较强的养分吸收能力密切相关[20]；条椒品种中‘鲜辣1号’通过提高单株结果数实现较高产量，较同类品

表 2　不同成熟期不同品种辣椒品质综合评价得分及其排名

Table 2　Comprehensive quality evaluation scores and rankings of different chili pepper cultivars at the different maturity stage

时期 Maturity stage	果实类型 Fruit type	品种 Cultivar	PC1得分 PC1 score	PC2得分 PC2 score	PC3得分 PC3 score	综合得分 Comprehensive score	排名 Ranking
绿熟期 Green maturity stage	菜椒 Sweet pepper	渝椒13号	0.22	—0.40	0.10	0.07	14
		大果薄皮5号	0.34	—0.52	—0.25	0.08	12
		海迈8000F1	0.40	—0.41	0.04	0.18	10
		薄皮127	0.23	—0.47	0.25	0.07	13
		久比九号	0.74	—0.51	—0.03	0.37	5
		薄皮早优F1	0.35	—0.39	0.16	0.16	11
	条椒 Long pepper	鲜辣1号	0.40	—0.34	0.21	0.21	8
		绿洋乐L9	0.39	—0.42	0.12	0.18	9
		美辣一号	0.41	—0.23	0.28	0.25	7
		种椒1号	0.56	—0.33	0.01	0.30	6
	朝天椒 Chaotian pepper	珠子椒2号	1.44	—0.08	0.01	0.94	1
		艳椒528	0.90	—0.07	0.19	0.60	3
		艳椒465	0.78	0.03	0.48	0.58	4
		艳椒425	1.33	—0.09	—0.06	0.86	2
红熟期 Red maturity stage	菜椒 Sweet pepper	渝椒13号	0.59	0.26	0.89	0.54	12
		大果薄皮5号	0.49	0.17	0.32	0.40	14
		海迈8000F1	1.12	0.65	0.61	0.96	10
		薄皮127	0.99	0.44	0.46	0.81	11
		久比九号	1.37	0.63	0.65	1.12	7
		薄皮早优F1	0.59	0.32	0.53	0.52	13
	条椒 Long pepper	鲜辣1号	1.27	0.48	0.39	1.00	8
		绿洋乐L9	1.99	1.87	0.77	1.84	3
		美辣一号	2.15	0.73	0.62	1.66	4
		种椒1号	0.97	1.18	0.70	0.99	9
	朝天椒 Chaotian pepper	珠子椒2号	1.49	1.46	0.83	1.42	6
		艳椒528	1.88	1.09	0.61	1.57	5
		艳椒465	3.19	1.79	0.90	2.63	1
		艳椒425	2.53	1.33	0.77	2.07	2

种增产56.5%～267.6%；朝天椒品种尽管果实个体较小，但‘珠子椒2号’仍表现出34.6%～143.1%的产量优势，这可能与其单株果数、果肉厚和单果质量有关[21]。

在养分吸收方面，辣椒品种间养分累积的差异性主要受遗传特性与栽培环境的共同调控[22]，已在苋菜和茄子等多种蔬菜作物中得到证实[23-24]。不同品种在养分吸收效率上存在显著差异，其中‘朝天椒528’表现最为突出，其氮、磷、钾累积量均显著高于同类品种（$P<0.05$）。这种优势可能与品种特异的根系构型、养分转运效率及关键酶活性等生理特性密切相关。不同基因型通过根分泌物特性调控根际微生物的表现不同，进而表现出营养吸收的差异[25]。此外，栽培环境中的土壤特性和施肥方式等因素也会通过影响根际微环境而调控养分的有效性[26]。

辣椒果实品质由品种遗传特性与成熟度协同调控。不同果实类型在品质指标上存在显著差异：菜椒类以可溶性糖积累为主，赋予其较好的风味特征；朝天椒类则表现出更高水平的可溶性蛋白、游

表3 绿熟期不同辣椒品种品质的隶属函数值及排序

Table 3 Membership function values and ranking of quality of different pepper varieties at the different maturity stage

时期 Maturity stage	果实类型 Fruit type	品种 Cultivar	Vc	硝酸盐 Nitrate	可溶性蛋白 Soluble protein	可溶性糖 Soluble sugar	游离氨基酸 Amino acid	总黄酮 Total flavonoid	总酚 Total phenolic	平均隶属函数值 Average membership function value	排名 Ranking
绿熟期 Green maturity stage	菜椒 Sweet pepper	渝椒13号	0.22	0.92	0.00	0.31	0.32	0.00	0.05	0.26	12
		大果薄皮5号	0.23	0.95	0.29	0.00	0.11	0.02	0.09	0.24	14
		海迈8000F1	0.25	0.96	0.19	0.28	0.20	0.14	0.04	0.29	9
		薄皮127	0.09	1.00	0.06	0.52	0.11	0.10	0.17	0.29	8
		久比九号	0.09	0.95	0.59	0.26	0.14	0.19	0.07	0.33	5
		薄皮早优F1	0.15	0.91	0.13	0.40	0.14	0.16	0.10	0.28	10
	条椒 Long pepper	鲜辣1号	0.16	0.83	0.17	0.43	0.17	0.21	0.00	0.28	11
		绿洋乐L9	0.00	0.82	0.24	0.35	0.09	0.09	0.21	0.26	13
		美辣一号	0.24	0.85	0.15	0.48	0.22	0.10	0.09	0.31	6
		种椒1号	0.16	0.92	0.22	0.21	0.27	0.12	0.23	0.30	7
	朝天椒 Chaotian pepper	珠子椒2号	0.18	0.87	0.94	0.20	0.22	0.32	0.38	0.44	1
		艳椒528	0.23	0.91	0.32	0.35	0.34	0.25	0.33	0.39	4
		艳椒465	0.29	0.89	0.22	0.65	0.30	0.25	0.27	0.41	3
		艳椒425	0.10	0.94	0.38	0.06	0.44	0.64	0.37	0.42	2
红熟期 Red maturity stage	菜椒 Sweet pepper	渝椒13号	0.24	0.51	0.23	1.00	0.23	0.07	0.18	0.35	13
		大果薄皮5号	0.41	0.55	0.05	0.39	0.22	0.27	0.03	0.27	14
		海迈8000F1	0.40	0.47	0.41	0.60	0.32	0.13	0.55	0.41	10
		薄皮127	0.39	0.53	0.38	0.50	0.27	0.21	0.37	0.38	11
		久比九号	0.57	0.71	0.32	0.65	0.69	0.32	0.34	0.51	6
		薄皮早优F1	0.31	0.69	0.00	0.63	0.00	0.36	0.51	0.36	12
	条椒 Long pepper	鲜辣1号	0.40	0.69	0.53	0.43	0.33	0.15	0.66	0.46	7
		绿洋乐L9	1.00	0.11	0.38	0.45	0.67	0.47	0.82	0.56	5
		美辣一号	0.27	0.65	0.68	0.58	0.81	0.64	0.61	0.61	3
		种椒1号	0.88	0.36	0.00	0.58	0.17	0.47	0.47	0.42	9
	朝天椒 Chaotian pepper	珠子椒2号	0.47	0.00	0.35	0.59	0.25	0.31	1.00	0.42	8
		艳椒528	0.64	0.58	0.54	0.52	0.50	0.57	0.75	0.58	4
		艳椒465	0.70	0.35	1.00	0.63	1.00	0.99	0.90	0.80	1
		艳椒425	0.58	0.59	0.71	0.63	0.60	1.00	0.87	0.71	2

离氨基酸以及功能性成分（总黄酮、总酚），显示出其在营养价值与健康功能方面的优势。随着果实由绿熟期向红熟期转变，维生素C、总黄酮和总酚等抗氧化物质含量普遍增加，这不仅提升了果实的营养品质，也增强了其功能性特征，成熟度和品种对辣椒品质均有明显调控。该变化趋势与Ye等[27]对不同成熟阶段辣椒品种的理化品质的研究结果一致。本研究中红熟期‘绿洋乐L9’的维生素C含量较其他品种高出35.7%～196.5%，‘艳椒425’的总黄酮含量达到0.9 mg/g，而‘珠子椒2号’则表现出最高的总酚水平，均显示出突出的品种优势。与此同时，硝酸盐含量随成熟度增加而上升，可能与果实代谢活动增强密切相关。主成分分析及隶属函数法结果表明，在不同品种间，综合品质表现差异显著，其中朝天椒‘艳椒465’在红熟期的综合品质优势最为突出。

综上所述，本研究系统解析了不同类型辣椒种质在产量形成、养分吸收与品质表达上的基因型差异，明确了菜椒高产、朝天椒养分高效与功能性品质突出的性状分化特征。研究筛选出的分类型优异种质，可为重庆地区辣椒专用品种选育、栽培技术优化及产业化开发提供科学依据，为重庆地区辣椒品种的选育和开发利用提供了重要参考。

参考文献　References

[1] 王永平，王岩，涂德辉，邢丹．不同辣椒新品种产量品质的综合分析[J]．种子，2025，44(3)：183-189
Wang Y P，Wang Y，Tu D H，Xing D．Comprehensive analysis on yield quality of different new varities of *Capsicum annuum*[J]．*Seed*，2025，44(3)：183-189 (in Chinese)

[2] 马燕，徐贞贞，邹辉，高歌，王永涛，崔俊良，廖小军．8个品种辣椒籽成分分析与比较[J]．食品科学，2017，38(22)：178-183
Ma Y，Xu Z Z，Zou H，Gao G，Wang Y T，Cui J L，Liao X J．Analysis and comparison of constituents in hot pepper seeds of eight verities[J]．*Food Science*，2017，38(22)：178-183 (in Chinese)

[3] 吕中华，黄任中，黄启中，张世才．重庆高山辣椒安全高效栽培技术[J]．辣椒杂志，2011，9(3)：21-23
Lv Z H，Huang R Z，Huang Q Z，Zhang S C．Safe and efficient cultivation techniques of Alpine pepper in Chongqing[J]．*Journal of China Capsicum*，2011，9(3)：21-23 (in Chinese)

[4] 曾婷婷，付婷婷，黄永川，张伟，唐明凤．重庆基地辣椒铅、镉污染状况调查初报[J]．南方农业，2021，15(31)：88-90，94
Zeng T T，Fu T T，Huang Y C，Zhang W，Tang M F．Preliminary report on lead and cadmium pollution status of pepper in Chongqing base[J]．*South China Agriculture*，2021，15(31)：88-90，94 (in Chinese)

[5] 段敏杰，杨小苗，张世才，李怡斐，王春萍，黄任中，黄启中．加工型辣椒新品种‘艳椒705’的选育[J]．辣椒杂志，2022，20(3)：25-29
Duan M J，Yang X M，Zhang S C，Li Y F，Wang C P，Huang R Z，Huang Q Z．Breeding of a new processing pepper cultivar ‘Yanjiao 705’[J]．*Journal of China Capsicum*，2022，20(3)：25-29 (in Chinese)

[6] 王春萍，杨小苗，李怡斐，雷开荣，黄启中，黄任中，林清，吴红，张世才．重庆加工型辣椒种质资源抗疫病鉴定的分子标记筛选[J]．热带亚热带植物学报，2021，29(6)：642-648
Wang C P，Yang X M，Li Y F，Lei K R，Huang Q Z，Huang R Z，Lin Q，Wu H，Zhang S C．Molecular marker screening of processed pepper (*Capsicum annuum*) germplasm resources against with *Phytophthora capsici* in Chongqing[J]．*Journal of Tropical and Subtropical Botany*，2021，29(6)：642-648 (in Chinese)

[7] 陆佳岚，王净，马成，陶明煊，赵春芳，张亚东，李霞，方先文，张俊，陈长青，张巫军，夏加发，江学海，柳开楼，乔中英，张彬．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
Lu J L，Wang J，Ma C，Tao M X，Zhao C F，Zhang Y D，Li X，Fang X W，Zhang J，Chen C Q，Zhang W J，Xia J F，Jiang X H，Liu K L，Qiao Z Y，Zhang B．Correlation between the differences in yield and quality traits among various types of middle rice and meteorological factors during growth period in the Yangtze River basin[J]．*Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*，2020，36(6)：1361-1372 (in Chinese)

[8] Alonge M，Wang X G，Benoit M，Soyk S，Pereira L，Zhang L，Suresh H，Ramakrishnan S，Maumus F，Ciren D，Levy Y，Harel T H，Shalev-Schlosser G，Amsellem Z，Razifard H，Caicedo A L，Tieman D M，Klee H，Kirsche M，Aganezov S，Ranallo-Benavidez T R，Lemmon Z H，Kim J，Robitaille G，Kramer M，Goodwin S，McCombie W R，Hutton S，Van Eck J，Gillis J，Eshed Y，Sedlazeck F J，van der Knaap E，Schatz M C，Lippman Z B．Major impacts of widespread structural variation on gene expression and crop improvement in tomato[J]．*Cell*，2020，182(1)：145-161.e23

[9] 李桂花，谈近强，陈汉才，陆美莲，张艳，黎庭耀，叶莹莹，张慧．不同品种小白菜的营养品质比较试验[J]．广东农业科学，2016，43(9)：26-32
Li G H，Tan J Q，Chen H C，Lu M L，Zhang Y，Li T Y，Ye Y Y，Zhang H．Comparison of nutrional quality of different varieties of Chinese cabbage[J]．*Guangdong Agricultural Sciences*，2016，43(9)：26-32 (in Chinese)

[10] 刘周斌，毛莲珍，黄宇，戴云花，李紫瑜，欧立军．5种不同基因型辣椒果实发育期品质变化[J]．食品科学，2021，42(23)：18-26
Liu Z B，Mao L Z，Huang Y，Dai Y H，Li Z Y，Ou L J．Changes of fruit quality in five different genotypes of pepper (*Capsicum annuum* L) during development[J]．*Food Science*，2021，42(23)：18-26 (in Chinese)

[11] Li W Q，Wang Y，Xing L J，Song W S，Lu S L．Analysis of volatile and non-volatile components of dried chili pepper (*Capsicum annuum* L)[J]．*Foods*，2025，14(5)：712

[12] Virga G，Licata M，Consentino B B，Tuttolomondo T，Sabatino L，Leto C，la Bella S．Agro-morphological characterization of Sicilian chili pepper accessions for ornamental purposes[J]．*Plants*，2020，9(10)：1400

[13] 吴吉．不同新型肥料对重庆市典型蔬菜生产农学、环境和经济效应综合评价[D]．重庆：西南大学，2023
Wu J．Different new fertilizers on typical vegetable production in Chongqing comprehensive evaluation of agronomic，environmental and economic effects[D]．Chongqing：Southwest University，2023 (in Chinese)

[14] 朱先海，王泽，张聪，王耀锋，王雪艳，于洪波，盛建东．氮磷钾配施对棉花养分吸收、产量及肥料利用率的影响[J]．土壤通报，2024(1)：121-129
Zhu X H，Wang Z，Zhang C，Wang Y F，Wang X Y，Yu H B，Sheng J D．Effects of combined applications of nitrogen，phosphorus and potassium fertilizers on cotton nutrient absorption，yield and fertilizer utilization efficiency[J]．*Chinese Journal of Soil Science*，2024(1)：121-129 (in Chinese)

[15] 肖让，张永玲，赵芸晨，郭世乾，崔增团，师伟杰．化肥减量配施有机肥对日光温室土壤质量及茄子产量、品质的影响[J]．华北农学报，2023，38(2)：188-198
Xiao R，Zhang Y L，Zhao Y C，Guo S Q，Cui Z T，Shi W J．Effects of

chemical fertilizer reduction and organic fertilizer application on soil quality, eggplant yield and quality in solar greenhouse[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2023, 38(2): 188-198 (in Chinese)

[16] 意如乐, 格根图, 贾玉山, 王志军, 郝俊峰, 建原. 不同溶剂对蒙早苦荬菜活性物质提取的影响[J]. 饲料研究, 2023, 46(8): 54-58
Yi R L, Ge G T, Jia Y S, Wang Z J, Hao J F, Jian Y. Effect of different solvents on extraction of active substances from *Veronica* indica[J]. *Feed Research*, 2023, 46(8): 54-58 (in Chinese)

[17] 王楠艺, 付文婷, 周鹏, 杨娅, 吴迪, 范高领, 何建文. 基于主成分分析的30个辣椒品种果实品质综合评价[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(4): 46-55
Wang N Y, Fu W T, Zhou P, Yang Y, Wu D, Fan G L, He J W. Comprehensive evaluation of fruit quality of 30 pepper varieties based on principal component analysis[J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2024, 37(4): 46-55 (in Chinese)

[18] 费丹, 谢敏, 徐俊, 周瑶敏, 广业兰, 汤泳萍, 涂田华, 熊晓晖. 基于主成分分析和隶属函数法对不同品种芦笋品质的综合评价[J]. 江西农业学报, 2024, 36(4): 33-39
Fei D, Xie M, Xu J, Zhou Y M, Guang Y L, Tang Y P, Tu T H, Xiong X H. Comprehensive quality evaluation of different varieties of *Asparagus* based on principal component analysis and membership function analysis[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2024, 36(4): 33-39 (in Chinese)

[19] Zhang R H, Li M J, Lv J H, Li P P, Mo Y R, Zhang X, Cheng H, Deng Q L, Gui M, Deng M H. Characterization of thirty germplasms of millet pepper (*Capsicum frutescens* L) in terms of fruit morphology, capsaicinoids, and nutritional components[J]. *Metabolites*, 2025, 15(1): 47

[20] 付蕾, 魏珉, 李岩, 杨凤娟, 史庆华, 王秀峰. 不同灌溉施肥方式对日光温室甜椒生长、产量和品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(8): 8-14
Fu L, Wei M, Li Y, Yang F J, Shi Q H, Wang X F. Effects of different fertigation on growth, yield and quality of solar-greenhouse sweet pepper[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2018, 37(8): 8-14 (in Chinese)

[21] 曾绍贵, 朱邦彤, 罗木旺, 邱胤晖, 罗英, 林淑婷. 100份朝天椒的农艺性状和SRAP标记遗传多样性分析[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(4): 871-879
Zeng S G, Zhu B T, Luo M W, Qiu Y H, Luo Y, Lin S T. Agronomic characters and genetic diversity analysis of 100 pot pepper with SRAP markers [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 34(4): 871-879 (in Chinese)

[22] Tian Y M, Wang J J, Chen J, Yu D, Zeng Z, Fu J, Zhang F, Cao H L, Liu F B, Liang T. Effects of integrated management strategies on pepper yield and quality: A study of cultivation and nutrient management practices[J]. *Agronomy*, 2024, 14(12): 2754

[23] 周宝利, 陈志霞, 杜亮, 叶雪凌, 李宁. 不同品种茄子抗黄萎病特性与生理生化指标及根际微环境指标的相关性分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2013, 44(2): 136-142
Zhou B L, Chen Z X, Du L, Ye X L, Li N. Physiological, biochemical and rhizosphere microenvironmental basis of eggplant resistance to *Verticillium* wilt[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2013, 44(2): 136-142 (in Chinese)

[24] Ayenan M A T, Aglinglo L A, Amoussou L C, Sossa R M, Zokpon C, Dinssa F F, Schafleitner R. Agronomic performance and stability of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp) genotypes in Benin[J]. *Plant-Environment Interactions*, 2025, 6(4): e70076

[25] Kuzmicheva Y V, Shaposhnikov A I, Petrova S N, Makarova N M, Tychinskaya I L, Puhalsky J V, Parahin N V, Tikhonovich I A, Belimov A A. Variety specific relationships between effects of rhizobacteria on root exudation, growth and nutrient uptake of soybean[J]. *Plant and Soil*, 2017, 419(1): 83-96

[26] Ping X X, Ali Khan R A, Chen S M, Jiao Y, Zhuang X, Jiang L J, Song L Q, Yang Y H, Zhao J L, Li Y, Mao Z C, Xie B Y, Ling J. Deciphering the role of rhizosphere microbiota in modulating disease resistance in cabbage varieties[J]. *Microbiome*, 2024, 12(1): 160

[27] Ye Z, Shang Z X, Li M Q, Zhang X, Ren H B, Hu X S, Yi J J. Effect of ripening and variety on the physiochemical quality and flavor of fermented Chinese chili pepper (Paojiao)[J]. *Food Chemistry*, 2022, 368: 130797

责任编辑: 董金波



第一作者简介: 刘洋,硕士研究生,2026年毕业于西南大学资源环境学院。本科毕业于福建农林大学,硕士期间获得3次校级二等奖学金、1次校级优秀研究生二等奖学金。



通讯作者简介: 王孝忠,博士,现任西南大学资源环境学院副教授,主要从事蔬菜养分资源管理,环境效应评价,新型肥料产品研发与应用、营养膳食健康领域的研究。现任中国植物营养与肥料学会第十届科普工作委员会委员、中国植物营养与肥料学会第十届青年工作委员会委员、中国中微量元素及肥料产学研创新联盟镁肥专家委员会委员。主持和参加国家、省部级课题7项,发表论文20余篇,其中在*Nature*子刊*Nature Food*上发表研究论文2篇。