广东农业科学 2023，50（11）：66-77
Guangdong Agricultural Sciences DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2023.11.007

许艺，巩雪峰，陈鑫，陈琼，侯思皓，李红，宋占锋 . 四川不同产区二荆条辣椒农艺性状及品质分析［J］. 广东农业科学，2023，50（11）：66-77.

四川不同产区二荆条辣椒农艺性状及品质分析

许　艺[1,2]，巩雪峰[1,2]，陈　鑫[1]，陈　琼[1]，侯思皓[1,2]，李　红[1,2]，宋占锋[1,2]

（1. 四川省农业科学院园艺研究所 / 蔬菜种质与品种创新四川省重点实验室，四川 成都　610066；
2. 四川省蔬菜工程技术研究中心，四川 彭州　611934）

摘　要：【目的】通过对四川优质地方品种二荆条辣椒种质资源的全面评价，充分发挥其在新品种选育与产业加工中的作用。【方法】以简阳、富顺、西充、绵阳、三台、夹江、双流、会东、邛崃 9 个四川不同产区的二荆条辣椒为研究对象，通过田间观察、品质检测、电子鼻分析等方法，对其农艺性状、营养品质指标及风味特征进行综合评价。【结果】在农艺性状方面，四川不同产区的二荆条辣椒在首花节位、主茎高度、茎粗、株高、株幅长、株幅宽以及叶长、叶宽等方面存在显著差异，其均值分别为 6.83~12.67、18.08~27.33 cm、9.08~15.39 mm、98.17~141.50 cm、86.33~136.67 cm、69.75~ 117.50 cm、9.62~15.86 cm、2.74~4.56 cm；不同产区的二荆条辣椒果实外观性状差异相对较小，果型指数均大于 10，红果均为红色，果面富有光泽，果实质地软，果皮均发皱，为典型的二荆条辣椒果实特征；但各产区的果长差异较大，以邛崃二荆条果长最长、平均为 25.02 cm，会东二荆条果长最短、平均仅为 11.23 cm；果宽差异不大，在 1.08~1.76 cm 之间。不同产区二荆条辣椒果实品质差异显著，各指标变异系数在 8.35~45.72 之间，其中辣椒素含量差异最大，含量最高的是邛崃二荆条（0.54 mg/g），最低的是西充二荆条（0.13 mg/g）；色价差异最小，除简阳二荆条色价仅为 7.35 外，其余品种间无显著性差异。同时，不同品质指标间有一定相关性，可溶性糖和总蛋白、Vc 含量呈显著正相关，有利于筛选高营养的辣椒品种。通过隶属函数分析筛选出综合品质性状排名前 3 的二荆条辣椒品种为邛崃二荆条（高辣高营养型二荆条）＞双流二荆条（中辣高营养型）＞西充二荆条（低辣高营养型）。不同产区二荆条果实风味特征较相似，通过电子鼻仅可区分出部分产区，但同一产区辣椒的果肉与种子的风味很好区分。【结论】四川不同产区的二荆条辣椒在长期的自然与人为选择中形成了多样的外观形态与品质特征，在种质资源的利用与产品选择过程中，可根据不同需求进行筛选。

关键词：辣椒；四川二荆条；农艺性状；果实品质；风味；电子鼻

中图分类号：S641.3　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1004-874X（2023）11-0066-12

Analysis on Agronomic Characters and Quality of Erjingtiao Varieties in Different Production Areas of Sichuan

XU Yi[1,2], GONG Xuefeng[1,2], CHEN Xin[1], CHEN Qiong[1], HOU Sihao[1,2], LI Hong[1,2], SONG Zhanfeng[1,2]

（1. *Horticulture Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences / Vegetable Germplasm Innovation and Variety Improvement Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu* 610066, *China;*
2. *Sichuan Province Engineering Technology Research Center of Vegetables*, *Pengzhou* 611934, *China*）

收稿日期：2023-09-27

基金项目：四川省自然科学基金青年基金（2023NSFSC1240）；四川省“十四五”蔬菜育种攻关项目（2021YFYZ0022）；国家现代农业产业技术体系四川省创新团队（sccxtd-2020-05）；四川省科技计划青年创新团队（2021JDT0006）

作者简介：许艺（1990—），女，硕士，助理研究员，研究方向为辣椒种质资源创制、评价与新品种选育，E-mail：763553664@qq.com

通信作者：宋占锋（1977—），男，研究员，研究方向为辣椒新品种选育、栽培技术研究及示范推广，E-mail：289544274@qq.com

Abstract: 【Objective】A comprehensive evaluation on germplasm resources of high-quality local Erjingtiao pepper varieties in Sichuan was conducted, with a view to giving full play to their roles in new variety breeding and industrial processing.【Method】Erjingtiao pepper varieties from nine different production areas of Sichuan including Jianyang, Fushun, Xichong, Mianyang, Santai, Jiajiang, Shuangliu, Huidong and Qionglai were selected as the research materials, and their agronomic traits, nutritional quality indexes and flavor characteristics were comprehensively evaluated by field observation, quality detection and electronic nose analysis.【Result】In terms of agronomic traits, there were significant differences among different varieties in the node of first flower, main stem height, stem diameter, plant height, crown length, crown width, leaf length and leaf width. The mean values were 6.83~12.67, 18.08~27.33 cm, 9.08~15.39 mm, 98.17~141.5 cm, 86.33~136.67 cm, 69.75~117.50 cm, 9.62~15.86 cm and 2.74~4.56 cm, respectively. The differences in the appearance of different varieties of fruits were relatively small, the fruit shape indexes were all above 10, with red mature fruits, glossy fruit surface, soft fruit texture and wrinkled fruit skin, which were the typical fruit characteristics of Erjingtiao pepper. However, there was a great difference in fruit length among different varieties, with the longest fruit length of Qionglai Erjingtiao (25.02 cm) and the shortest fruit length of Huidong Erjingtiao (11.23 cm). However, the difference of fruit width was little, ranging from 1.08 to 1.76 cm. In terms of nutritional quality, there were significant differences among different varieties. The variable coefficients were between 8.35 to 45.72, of which capsaicin content had the greatest difference, with the highest content in Qionglai Erjingtiao (0.54 mg/g), and the lowest one in Xichong Erjingtiao (0.13 mg/g). However, except for Jianyang Erjingtiao, with the lowest color value of only 7.35, there was no significant difference in color value among other varieties. Meanwhile, there were some correlations among different quality indexes, and soluble sugar was significantly positively correlated with total protein and Vc, which was conducive to screening pepper varieties with high nutrition. The first three varieties of Erjingtiao with better comprehensive quality traits were selected by membership function analysis. The Qionglai Erjingtiao, ranking first, belonged to the high-spicy and high-nutrient variety, followed by Shuangliu Erjingtiao and Xichong Erjingtiao, belonged to the varieties of medium-spicy and low-spicy with high nutrition, respectively. The fruit flavor characteristics of different Erjingtiao varieties were similar, and only some varieties could be distinguished by electronic nose, but the flavor of the pulp and seed of the same pepper variety could be distinguished well.【Conclusion】The varieties of Erjingtiao pepper in different production areas of Sichuan have formed various agronomic traits and quality characteristics through long-term natural and artificial selection, and they can be screened according to different needs in the process of germplasm resources utilization and product selection.

Key words: pepper; Erjingtiao in Sichuan; agronomic trait; fruit quality; flavorr; electronic nose

【研究意义】辣椒（*Capsicum* spp.）营养价值高、用途广，含有丰富的Vc、铁、钙、磷和Vb族，既可鲜食、又可加工，其独特的辣椒素可作为镇痛剂用于医药，辣椒红素色泽鲜艳、无副作用，可作为药片糖衣、高级化妆品的调色原料[1-2]。因此，辣椒是一种重要的世界性蔬菜[3]。我国是世界上最大的辣椒生产国和消费国，根据联合国粮食及农业组织（FAO）统计数据，2021年中国辣椒种植面积占全球种植面积的36.72%，产量占全球近一半。四川是我国传统的三大辣椒产地之一，也是我国重要的辣椒生产、加工和消费大省，辣椒栽培面积常年在11万 hm^2 以上，占全省蔬菜产业面积的8%左右；产量在260万t以上，占全省蔬菜产业产量的5.6%以上，栽培面积与产量均位于四川蔬菜作物前列[4-5]。得益于四川优越的地理环境，四川辣椒种质资源丰富，孕育了诸多优质地标产品。四川二荆条是一系列果实形态为线椒、皮薄、尖端有倒勾的四川辣椒地方品种的统称，其果肉含水量低、辣味适中、干鲜兼用、香味浓郁，是正宗川菜不可缺少的调料，也是四川优质郫县豆瓣的最佳原料。其中双流二荆条和西充二荆条分别于2009年和2010年通过国家地理标志产品保护认证，这些优良地方品种是培育高品质辣椒新品种的重要资源。但由于四川地域辽阔，生态多样，不同产区气候环境差异较大，在长期的栽培与选择中，不同产区二荆条辣椒品质出现明显差异，但目前无论是育种者、加工者，还是消费者，均没有很好地区分不同产区二荆条辣椒差异。因此，对四川不同产区的二荆条辣椒品种生长发育及营养、风味等相关品质进行分析比较，可为培育不同性状的辣椒新品种选育亲本提供参考，同时也为不同二荆条辣椒的适用领域提供借鉴。

【前人研究进展】种质资源的评价是资源利

用与新品种选育的基础，前人对其开展了大量研究。在农艺性状方面，宋钊等[6]、段永凤等[7]、白健君等[8]分别对收集保存的辣椒种质资源进行了植物学和农艺性状调查，并通过变异系数分析、相关性分析和聚类分析等方法对其进行了综合评价与筛选。在品质方面，李子雄等[9]、朱丽等[10]、任朝辉等[11]以国内外辣椒种质资源为试材，采用相关性分析、隶属函数值等方法对辣椒果实的辣椒红素、叶黄素、β- 胡萝卜素、粗脂肪、粗纤维、Vc 等品质指标进行了综合评价。此外，随着人们生活品质的提高，具有良好风味的果蔬成为人们新的追求目标，电子鼻可简单、快速地判别不同样品香气风味，应用较为广泛。蓬桂华等[12]采用电子鼻技术对 3 个地理标志辣椒品种在 4 个种植区域的风味差异进行了分析，可以将不同品种及同一品种不同种植区域的辣椒进行一定区分。王知松等[13]利用电子鼻对辣椒粉风味进行了评价，结果显示电子鼻传感器对辣椒粉挥发性风味物质具有较高的灵敏度和稳定性。四川二荆条作为四川优质辣椒地方品种，目前在营养风味等方面也开展了一定研究，如谭华强等[14]基于液相色谱 – 质谱联用的非靶向代谢组学技术，研究了紫色辣椒 HN191 和其中一个四川二荆条辣椒品种在果实未熟期和老熟期的代谢物种类和含量变化。彭粲等[15]对四川剑阁二荆条、贵州新种二荆条、黔西二荆条，以及美国红类辣椒的辣椒红素、辣椒素和挥发性物质进行了分析，认为二荆条类辣椒更适合生产高辣度的豆瓣酱。杨芳等[16]选取了 5 个产地（四川成都、江西萍乡、湖南邵阳、贵州遵义和云南丘北）的干红二荆条辣椒制作辣椒油样品，并对样品的色差、辣椒素类物质含量和挥发性有机化合物种类及含量进行了测定，认为四川成都二荆条制备的辣椒油样品风味最丰富。

【本研究切入点】目前关于辣椒种质资源的分析与评价研究较多，涉及农艺性状、营养品质、风味等多方面。变异系数、隶属函数、相关性分析和聚类分析等方法是种质资源分析与评价的主要手段，电子鼻在不同辣椒香气风味的区分上也具有一定的灵敏度和稳定性，但同时利用以上方法对辣椒种质资源进行全面综合的评价还较少。四川二荆条辣椒作为四川优质辣椒种质资源，目前尚未有对四川不同产地的二荆条辣椒进行综合评价的研究。本试验利用变异系数、隶属函数、相关性分析和聚类分析等方法，结合电子鼻，对四川不同产区二荆条辣椒品种在田间性状、果实营养品质和香气风味进行全面分析。【拟解决的关键问题】通过对不同产区四川二荆条辣椒农艺性状、营养品质、香气风味的全面分析与评价，全面了解对四川二荆条这一优质地方品种，为培育不同性状的辣椒新品种选育亲本提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试的 9 个四川二荆条辣椒品种为简阳二荆条（JYEJT）、富顺二荆条（FSEJT）、西充二荆条（XCEJT）、绵阳二荆条（MYEJT）、三台二荆条（STEJT）、夹江二荆条（JJEJT）、双流二荆条（SLEJT）、会东二荆条（HDEJT）和邛崃二荆条（QLEJT），均由四川省农业科学院园艺研究所辣椒课题组在种质资源普查工作中收集保存，种植于四川省成都市新都区四川省农业科学院科研基地。

1.2 试验方法

上述辣椒于 2022 年 11 月 10 日播种，2023 年 3 月 20 日定植于塑料大棚（行距 70 cm，株距 40 cm），试验小区厢宽 80 cm，长 4 m，每小区定植 20 株，田间管理措施一致。于 2023 年 7 月中旬盛果期进行田间农艺性状调查，并采收大小一致、无明显病虫害的红椒鲜果进行果实品质检测。鲜果置于烘箱 100 ℃杀青 1 h，60 ℃恒温烘干至恒重后分为果肉和种子，分别进行电子鼻风味检测。电子鼻为德国 AIRSENSE 公司的 PEN 3 型，10 个传感器分别对一类或几类物质敏感，详见表 1。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 *田间农艺性状* 于 2023 年 7 月 18 日辣椒植株盛果期进行植株田间农艺性状观察，每个品种选取 6 株具有代表性的植株进行性状统计，主要包括首花节位、主茎高度、茎粗、株幅（长、宽）、叶长（宽）、果长（宽）、青（红）果颜色、果面特征、果面光泽、果实质地等。统计方法参考中国农业行业标准 NY/T 3926–2021《农作物品种示范规范 蔬菜》的附录 E《辣椒品种试验调查项目与标准》。

表 1　电子鼻传感器型号及其响应物质
Table 1　Electronic nose sensor models and their response substances

传感器型号 Sensor type	功能描述 Functional description	参考物质 Reference substance	参考物质检测限 Reference substance detection limit (mL/m³)
W1C	对芳香成分灵敏	甲苯	10
W5C	灵敏度大，对氮氧化合物很灵敏	NO_2	1
W3C	对氨水、芳香成分灵敏	苯	10
W6S	主要对氢气有选择性	H_2	100
W5S	烷烃，芳香成分	丙烷	1
W1S	对甲烷灵敏	CH_3	100
W1W	对硫化物灵敏	H_2S	1
W2S	对乙醇灵敏	CO	100
W2W	芳香成分，对有机硫化物灵敏	H_2S	1
W3S	对烷烃灵敏	CH_4	10

1.3.2　果实品质指标　总蛋白、游离脂肪酸、Vc、可溶性糖含量检测试剂盒购自成都安锐科生物科技有限公司，测量方法根据试剂盒说明书进行。辣椒素含量采用 NY/T 1381—2007 的方法测定。色价采用国标 GB 1886.34—2015 的方法测定。

1.3.3　干椒香气风味特征　干椒果肉与种子分别利用电子鼻检测香气风味，果肉用粉碎机粉粹成粉末，分装于 50 mL 密封管中，每个处理 3 次重复。参照电子鼻使用说明进行检测，测试时间为 60 s，45 s 基本稳定，取 46~48 s 的数据进行分析。

1.4　数据分析与处理

采用 Excel 2019 软件进行数据整理和隶属函数分析；采用 IBM SPSS Statistics 23 软件进行方差分析、相关性分析和聚类分析，方差分析多重比较采用 Duncan 法进行显著性测验；采用电子鼻自带软件 Winmuster 进行辣椒果肉与种子香气成分 PCA 分析和 Loadings 分析。

2　结果与分析

2.1　不同产区四川二荆条辣椒农艺性状分析

由表 2 可知，不同产区四川二荆条辣椒植株形态存在显著差异。9 个首花节位均值在 6.83~12.67 之间，双流二荆条最低、三台二荆条最高。不同品种平均主茎高度在 18.08~27.33 cm 之间，富顺二荆条最低、简阳二荆条最高。茎粗除富顺二荆条仅为 9.08 mm 外，其余差距不大，在 11.02~15.39 mm 之间。不同产区平均株高以及株幅间差异较大，分别在 98.17~141.5 cm、86.33~136.67 cm、69.75~ 117.50 cm 之间；叶片大小也存在一定差异，会东二荆条叶片最小，平均叶长仅为 9.62 cm，叶宽为 2.74 cm；三台二荆条平均叶长最大、为 15.86 cm，而富顺二荆条平均叶宽最大、为 4.56 cm。不同株型的二荆条辣椒品种为植株形态育种提供了多样的资源。

表 2　不同四川二荆条辣椒品种植株田间表现
Table 2　Plants field performance of different Erjingtiao varieties in Sichuan

品种 Variety	首花节位 Node of first flower	主茎高度 Main stem height (cm)	茎粗 Stem diameter (mm)	株高 Plant height (cm)	株幅长 Crown length (cm)	株幅宽 Crown width (cm)	叶长 Leaf length (cm)	叶宽 Leaf width (cm)
JYEJT	11.83 ± 0.76 a	27.08 ± 3.99 a	13.46 ± 1.89 ab	130.67 ± 12.42 ab	136.5 ± 16.26 a	112.33 ± 16.59 a	14.7 ± 1.71 ab	4.35 ± 0.71 ab
FUEJT	7.67 ± 0.76 bc	18.08 ± 2.9 d	9.08 ± 0.61 c	98.17 ± 1.26 e	121 ± 27.4 ab	90.83 ± 23.8 abc	12.61 ± 0.65 abc	4.56 ± 0.22 a
XCEJT	11.17 ± 0.76 a	27.33 ± 0.38 a	11.68 ± 1.41 abc	103.5 ± 18.26 cde	86.33 ± 10.6 b	76.17 ± 8.98 bc	11.91 ± 0.72 abc	4.27 ± 0.45 ab
MYEJT	11.00 ± 1.00 a	19 ± 1.09 d	11.02 ± 1.84 bc	112 ± 10.04 bcde	91.67 ± 17.75 b	77.33 ± 17.64 bc	13.37 ± 2.57 abc	3.91 ± 0.62 ab
STEJT	12.67 ± 1.04 a	24.13 ± 2.92 abc	15.39 ± 2.25 a	125.83 ± 5.35 abcd	136.67 ± 7.64 a	117.5 ± 5.77 a	15.86 ± 3.76 a	4.36 ± 1.05 ab
JJEJT	8.50 ± 0.50 bc	25.08 ± 0.52 ab	11.5 ± 4.23 abc	112.17 ± 3.17 bcde	118.17 ± 35.44 ab	101.67 ± 36.31 abc	14.13 ± 1.27 ab	3.97 ± 0.18 ab
SLEJT	6.83 ± 0.76 c	20.42 ± 1.28 cd	14.49 ± 0.91 ab	141.5 ± 12.26 a	120.83 ± 5.58 ab	104.25 ± 5.11 ab	11.49 ± 1.58 bc	3.29 ± 0.4 bc
HDEJT	9.17 ± 1.26 b	23.17 ± 1.26 bc	12.02 ± 0.66 abc	126.88 ± 6.65 abc	120.5 ± 9.76 ab	95.33 ± 6.63 abc	9.62 ± 1.5 c	2.74 ± 0.38 c
QLEJT	8.67 ± 1.26 b	20.75 ± 0.75 cd	13.22 ± 1.84 ab	101.25 ± 27.56 de	94.42 ± 18.74 b	69.75 ± 6.31 c	13.61 ± 2.68 ab	4.04 ± 0.58 ab

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著（$P<0.05$）。
Note: Different lowercase letters after data in the same column indicate significant differences ($P<0.05$).

果实是辣椒的最终经济产物，果实外观的选育也是育种家长期关注的指标。由表 3 可知，不同四川二荆条辣椒品种果实特征有一定共性，但也存在差异。二荆条辣椒是典型的线椒，果型指数均在 10 以上，红果均为红色，果面富有光泽，

表 3　不同产区四川二荆条辣椒品种果实特征

Table 3　Fruit characteristics of different Erjingtiao varieties in Sichuan

品种 Variety	果长 Fruit length (cm)	果宽 Fruit width (cm)	果型指数（果长 / 果宽） Fruit shape index (fruit length/ fruit width)	青果 Green fruit				红果 Red fruit			
				颜色 Color	果面特征 Fruit surface feature	果面光泽 Fruit surface gloss	果实质地 Fruit texture	颜色 Color	果面特征 Fruit surface feature	果面光泽 Fruit surface gloss	果实质地 Fruit texture
JYEJT	18.17 ± 0.35 bc	1.19 ± 0.06 cd	15.24 ± 1.02 b	深绿	微皱	中等	硬	红	皱	亮	软
FUEJT	19.33 ± 1.62 b	1.34 ± 0.09 bc	14.53 ± 2.02 bc	浅绿	微皱	中等	脆	红	皱	亮	软
XCEJT	16.52 ± 1.18 c	1.38 ± 0.07 bc	11.99 ± 0.72 cde	黄绿	皱	中等	软	红	极皱	亮	软
MYEJT	18.25 ± 1.78 bc	1.29 ± 0.08 bc	14.23 ± 2.09 bcd	黄绿	微皱	中等	硬	红	极皱	亮	软
STEJT	20.37 ± 1.62 b	1.76 ± 0.14 a	11.61 ± 0.55 de	黄绿	微皱	中等	硬	红	微皱	亮	软
JJEJT	20.3 ± 0.78 b	1.08 ± 0.22 d	19.11 ± 2.81a	中绿	微皱	中等	硬	红	皱	亮	软
SLEJT	18.93 ± 0.59 b	1.4 ± 0.06 b	13.52 ± 0.19bcd	浅绿	微皱	中等	软	红	极皱	亮	软
HDEJT	11.23 ± 0.11 d	1.08 ± 0.08 d	10.4 ± 0.85 e	浅绿	微皱	中等	硬	红	微皱	亮	软
QLEJT	25.02 ± 1.05 a	1.18 ± 0.05 cd	21.18 ± 1.36 a	深绿	皱	中等	硬	红	皱	亮	软

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著（$P<0.05$）。

Note: Different lowercase letters after data in the same column indicate significant differences ($P<0.05$).

果实质地软，果皮发皱，但褶皱程度不同。青果颜色有差异，黄绿、中绿、浅绿、深绿色果实均有，果实质地也有一定差异，但果面光泽度均为中等，果皮仍有褶皱，程度略有差异。果长、果宽是一个重要的果型指标，9 个二荆条品种中，邛崃二荆条果长最长、平均为 25.02 cm，会东二荆条果长最短、平均仅为 11.23 cm，其余在 16.52~20.37 之间；果宽差异不大，在 1.08~1.76 cm 之间；果型指数主要因果长差异较大而存在明显差异，在 10.40~21.18 之间。

不同田间测试指标相关性分析由表 4 可知，植株株高与茎粗和株幅宽度均呈显著正相关

表 4　四川二荆条辣椒田间表型指标间的相关性分析

Table 4　Correlation analysis of field phenotypic indexes of Erjingtiao varieties in Sichuan

指标 Index	首花节位 Node of first flower	茎粗 Stem diameter	主茎高度 Main stem height	株高 Plant height	株幅 / 长 Crown length	株幅 / 宽 Crown width	叶长 Leaf length	叶宽 Leaf width	果长 Fruit length	果宽 Fruit width	果型指数 Fruit shape index
首花节位 Node of first flower	1										
茎粗 Stem diameter	0.312	1									
主茎高度 Main stem height	0.591	0.414	1								
株高 Plant height	0.088	0.710*	0.265	1							
株幅 / 长 Crown length	0.217	0.423	0.286	0.633	1						
株幅 / 宽 Crown width	0.313	0.533	0.442	0.705*	0.952**	1					
叶长 Leaf length	0.466	0.303	0.129	–0.150	0.253	0.292	1				
叶宽 Leaf width	0.292	–0.218	0.074	–0.555	–0.106	–0.101	0.703*	1			
果长 Fruit length	–0.178	0.132	–0.196	–0.436	–0.150	–0.190	0.673*	0.625	1		
果宽 Fruit width	0.429	0.420	0.023	0.170	0.208	0.301	0.429	0.367	0.193	1	
果型指数 Fruit shape index	–0.393	–0.115	–0.150	–0.503	–0.245	–0.329	0.380	0.349	0.0800**	–0.430	1

注：* 表示显著相关，** 表示极显著相关。

Note: * represent significant correlation, ** represent extremely significant correlation.

（P<0.05），株幅宽度与株幅长度呈极显著正相关（P<0.01)，叶长分别与叶宽和果长呈显著正相关（P<0.05），果长与果形指数呈极显著正相关（P<0.01），其余指标相关性不显著（P>0.05）。

2.2 不同产区四川二荆条辣椒果实品质分析

由表 5 可知，不同二荆条辣椒果实品质指标差异显著。各指标变异系数在 8.35~45.72 之间，变异系数值大小依次为：辣椒素、游离脂肪酸、Vc、总蛋白、可溶性糖含量及色价。由此可见，辣椒素在 9 个品种中差异最大，其含量最高的是邛崃二荆条（0.54 mg/g），最低的是西充二荆条（0.13 mg/g）；游离脂肪酸含量最高的是会东二荆条(479.79 μmol/g),最低的是西充二荆条(126.95 μmol/g）；Vc 含量最高的是夹江二荆条、为 0.77 mg/g，最低的是简阳二荆条、仅为 0.27 mg/g；总蛋白含量最高的是西充二荆条、为 3.08 mg/mL，最低的是会东二荆条、仅为 1.55 mg/mL；可溶性糖含量最高的是双流二荆条、为 46.65 mg/g，最低的是简阳二荆条、仅为 26.65 mg/g；各品种色价指标差异不大，除简阳二荆条色价仅为 7.35 外，其余品种间无显著差异。

表 5 不同产区四川二荆条辣椒果实主要营养物质含量

Table 5 Main nutrients of fruits in different Erjingtiao varieties in Sichuan

品种 Variety	总蛋白 Total protein (mg/mL)	游离脂肪酸 Free fatty acid (μmol/g)	Vc (mg/g)	可溶性糖 Soluble sugar (mg/g)	辣椒素 Capsaicin (mg/g)	色价 Color value
JYEJT	1.56 g	278.59 c	0.27 f	26.65 e	0.25 bc	7.35 b
FUEJT	1.80 f	348.41 b	0.42 e	29.35 d	0.22 bcd	8.94 ab
XCEJT	3.08 a	126.95 e	0.61 d	37.35 c	0.13 d	9.25 ab
MYEJT	2.12 e	337.92 b	0.39 e	41.57 b	0.48 a	8.32 ab
STEJT	2.77 b	189.31 d	0.43 e	32.06 d	0.18 cd	8.71 ab
JJEJT	2.33 d	269.77 c	0.77 a	37.69 c	0.25 bc	8.80 ab
SLEJT	2.31 d	320.93 b	0.62 cd	46.65 a	0.31 b	9.89 a
HDEJT	1.55 g	479.79 a	0.70 b	32.32 d	0.45 a	8.15 ab
QLEJT	2.58 c	200.92 d	0.68 bc	41.14 b	0.54 a	9.11 ab
均值 Average	2.23	283.62	0.54	36.09	0.31	8.72
标准偏差 Standard deviation	0.53	104.59	0.17	6.48	0.14	0.73
变异系数 Variable coefficient(%)	23.82	36.88	31.72	17.96	45.72	8.35

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著（P<0.05）。

Note: Different lowercase letters after data in the same column indicate significant differences (P<0.05).

各品质指标相关性分析表明（表 6），辣椒果实总蛋白含量与游离脂肪酸含量呈极显著负相关（P<0.01），而与可溶性糖含量呈显著正相关（P<0.05）；游离脂肪酸含量与辣椒素含量呈显著正相关，Vc 与可溶性糖含量呈显著正相关（P<0.05)；其余指标间相关性不显著（P>0.05）。

采用模糊数学隶属函数法对 9 个四川二荆条辣椒品种进行测试品质指标的综合评价，由于游离脂肪酸是一大类脂肪酸化学物质的总称，其对果实风味有重要影响，但不同脂肪酸种类及不同含量对风味的好坏影响不同，因此仅对除游离脂肪酸以外的 5 个品质指标进行评价。将这 5 个测试指标均定义为优良品质指标，值越大越好，计算样品的平均隶属函数值（表 7）。

表 6 四川二荆条辣椒果实品质指标间的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of fruit quality indexes of Erjingtiao varieties in Sichuan

指标 Index	总蛋白 Total protein	游离脂肪酸 Free fatty acid	Vc	可溶性糖 Soluble sugar	辣椒素 Capsaicin	色价 Color value
总蛋白 Total protein	1					
游离脂肪酸 Free fatty acid	−0.837**	1				
Vc	0.294	0.029	1			
可溶性糖 Soluble sugar	0.464*	−0.125	0.484*	1		
辣椒素 Capsaicin	−0.301	0.425*	0.193	0.315	1	
色价 Color value	0.359	−0.186	0.276	0.361	0.040	1

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著（P<0.05）。

Note: Different lowercase letters after data in the same column indicate significant differences (P<0.05).

表 7　不同产区四川二荆条辣椒果实品质综合比较分析

Table 7　Comprehensive comparative analysis of fruit quality of different Erjingtiao varieties in Sichuan

品种 Variety	总蛋白 Total protein	Vc	可溶性糖 Soluble sugar	辣椒素 Capsaicin	色价 Color value	平均隶属函数值 Average membership function value	排名 Ranking
QLEJT	0.68	0.82	0.72	1.00	0.69	0.78	1
SLEJT	0.50	0.70	1.00	0.43	1.00	0.73	2
XCEJT	1.00	0.68	0.54	0.00	0.75	0.59	3
JJEJT	0.51	1.00	0.55	0.28	0.57	0.58	4
MYEJT	0.38	0.25	0.75	0.85	0.38	0.52	5
HDEJT	0.00	0.86	0.28	0.78	0.31	0.45	6
STEJT	0.80	0.32	0.27	0.11	0.53	0.41	7
FSEJT	0.16	0.30	0.13	0.21	0.63	0.29	8
JYEJT	0.01	0.00	0.00	0.29	0.00	0.06	9

9 个辣椒品种的平均隶属函数值由大到小依次为：邛崃二荆条、双流二荆条、西充二荆条、夹江二荆条、绵阳二荆条、会东二荆条、三台二荆条、富顺二荆条、简阳二荆条，表明邛崃二荆条有最优的综合品质指标，表现出相对的高辣椒素、较高的总蛋白、Vc、可溶性糖和色价，其次是双流二荆条和西充二荆条，平均隶属函数值分别为 0.73 和 0.59。分析数据可知，双流二荆条和西充二荆条平均隶属函数值较邛崃二荆条低的最主要原因是辣椒素含量较低。简阳二荆条综合品质性状最低，平均隶属函数值仅为 0.06，各项测试品质指标均较低。

将表 7 中的品质指标标准化后进行系统聚类分析，采用 Ward 聚类方法计算欧氏距离（图 1）。以欧式距离为总距离的一半（12.5）进行划分，9 个二荆条辣椒品种可被分为 4 类：第一类包括西充二荆条、三台二荆条和夹江二荆条，主要表现为低辣椒素和较高总蛋白、Vc、可溶性糖、色价等；第二类包括双流二荆条和邛崃二荆条，主要表现为高可溶性糖、较高总蛋白、Vc、色价和辣椒素；第三类包括简阳二荆条和富顺二荆条，主要表现为较低的总蛋白、Vc、可溶性糖以及辣椒素；第四类包括绵阳二荆条和会东二荆条，主要表现为较高的辣椒素、较低的色价和总蛋白。

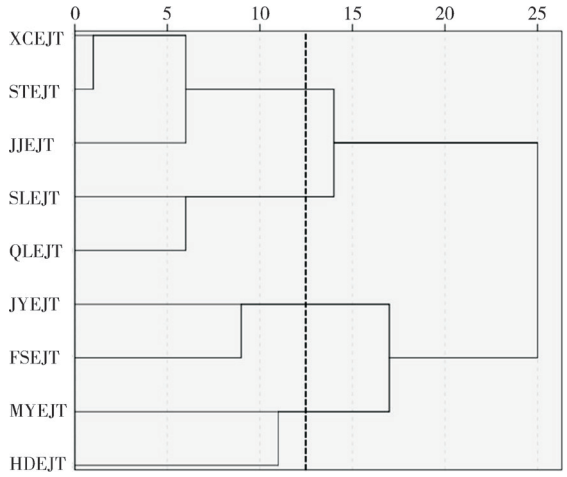


图 1　不同产区四川二荆条辣椒品种聚类分析树状图

Fig. 1　Dendrogram of cluster analysis of different Erjingtiao varieties in Sichuan

2.3　不同产区四川二荆条辣椒果实风味分析

将 9 个四川二荆条辣椒果实烘干后分为果肉和种子分别进行电子鼻风味检测，利用 WinMuster 软件进行 PCA 主成分分析（图 2）。由图 2A 可知，不同辣椒品种果肉风味主成分分析第 1 主成分（PC1）和第 2 主成分（PC2）的贡献率分别为 92.54% 和 5.61%，累计贡献率为 98.15%，基本代表样品的主要信息特征，表明分析方法适用。简阳二荆条、邛崃二荆条、绵阳二荆条、西充二荆条、富顺二荆条、三台二荆条彼此间距离较近，说明这 6 个品种的果肉挥发性风味较相似；而双流二荆条、夹江二荆条和会东二荆条分别独立，彼此间能较好区分，说明这 3 个二荆条的果肉香气成分存在差异。图 2B 为不同辣椒品种种子风味主成分分析，第 1 主成分（PC1）和第 2 主成分（PC2）的贡献率分别为 55.69% 和 32.73%，累计贡献率为 88.42%，分析方法适用。由图 2B 可知，9 个二荆条辣椒品种的种子挥发性风味仅西充二荆条可以很好地分开，其余 8 个二荆条辣椒品种种子挥发性风味较相似。由此可知，同一二荆条辣椒品种的果肉和种子风味存在差异，为了进一步详细表征此差异，对每个二荆条品种的果肉和种子风味进行单独的 PCA 分析（图 3），结果表明，

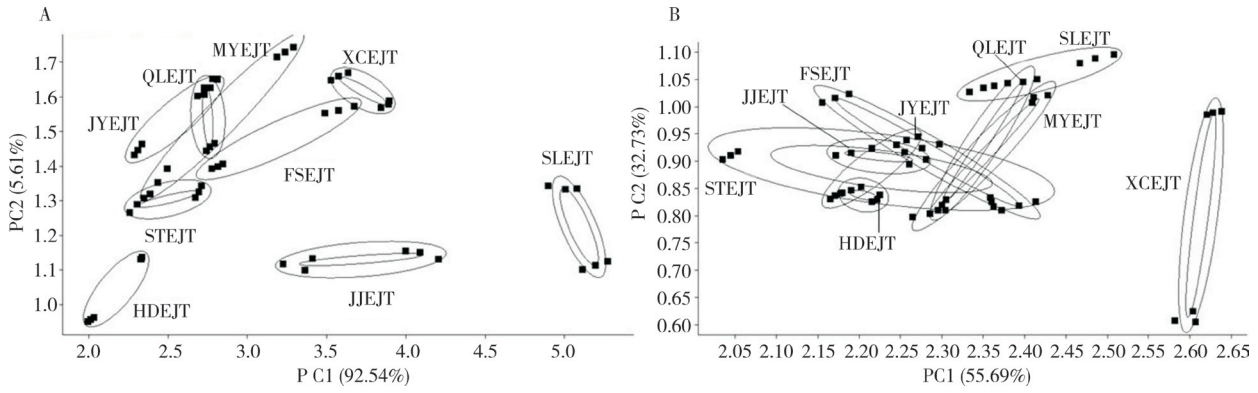
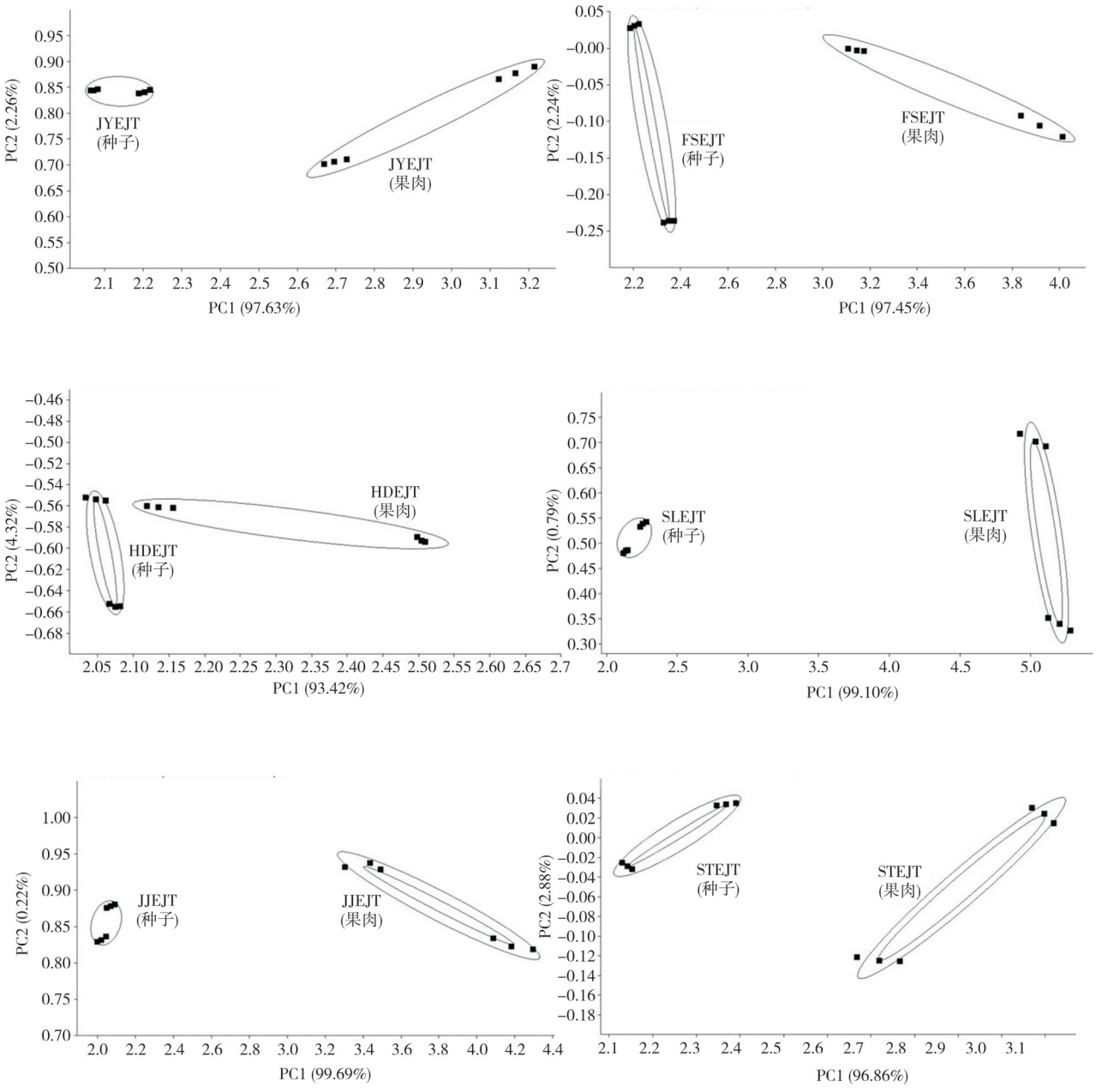


图 2　不同产区四川二荆条辣椒品种果肉（A）和种子（B）电子鼻风味 PCA 分析

Fig. 2　Electronic nose PCA analysis of pepper’s pulps (A) and seeds (B) of different Erjingtiao varieties in Sichuan



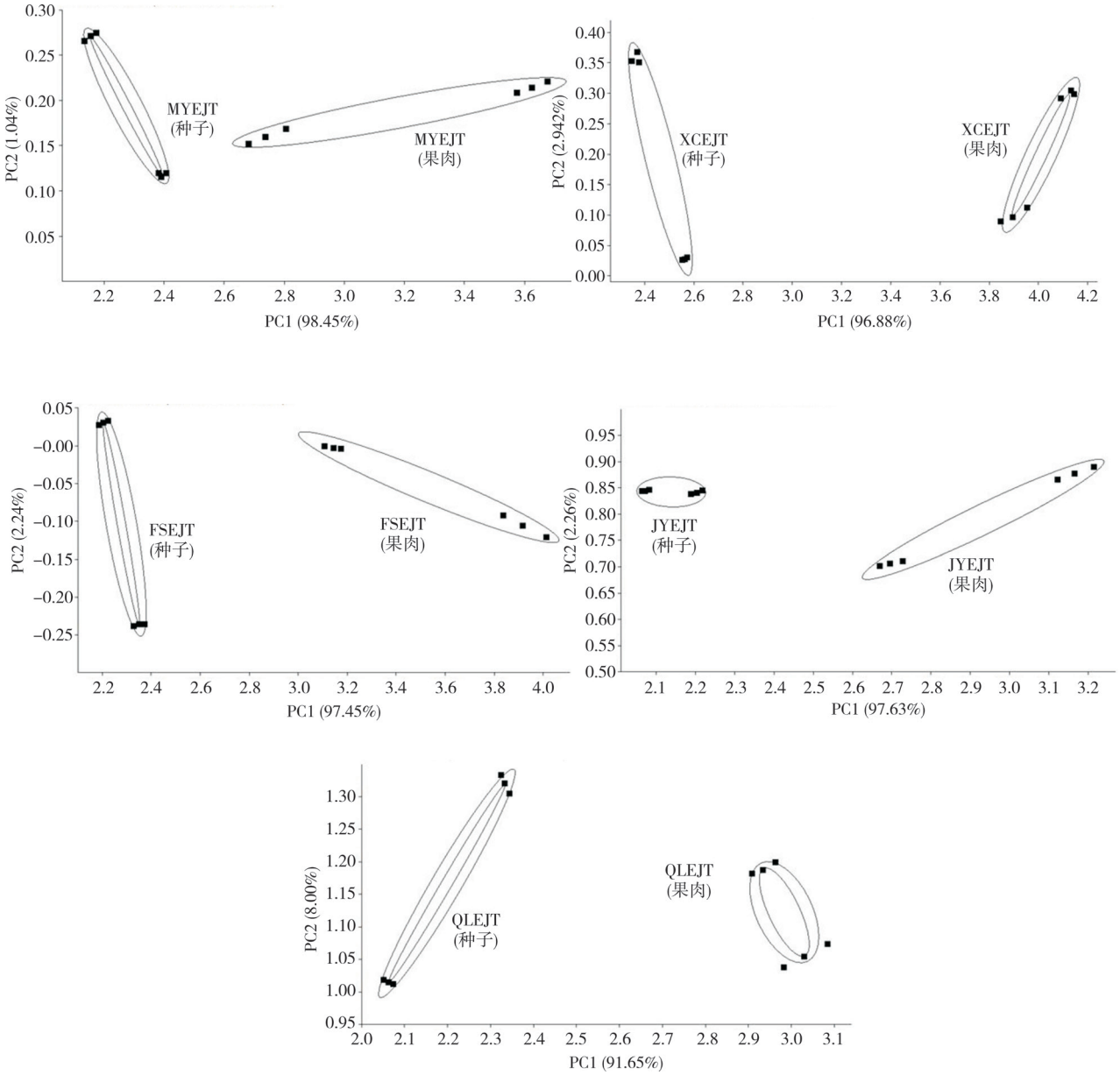


图 3　同种二荆条辣椒品种果肉与种子电子鼻风味 PCA 分析

Fig. 3　Electronic nose PCA analysis of pepper’s pulps and seeds of the same Sichuan Erjingtiao variety

9 个二荆条辣椒品种的果肉和种子挥发性风味均能彼此分开，说明辣椒果肉和种子具有不同的风味特征。

通过对电子鼻 10 个传感器的响应值进行 Loadings 分析发现（图 4），在干辣椒果肉风味检测中（图 4A），第一主成分（PC1）贡献率方面，传感器 W1S 贡献率最大，其次是 W5S、W1W、W2W、W2S；对第二主成分（PC2）的贡献率最大的传感器为 W1W，其次是 W2W 和 W5S。传感器 W1C、W3C、W6S、W5C、W3S 的负载参数近乎为零，表明它们对辣椒果肉香气成分的敏感度很低。在干辣椒种子风味检测中（图 4B），起主要贡献的传感器与果肉相比无差异，仍是 W1S、W5S、W1W、W2W、W2S，说明辣椒果肉和种子的挥发性香味虽然能很好的区分（图 4），但起主要作用的物质成分是相似的，更多的可能是配比的不同。结合表 1，主要是对甲烷类、硫化物类、烷烃类、乙醇类等化合物敏感。

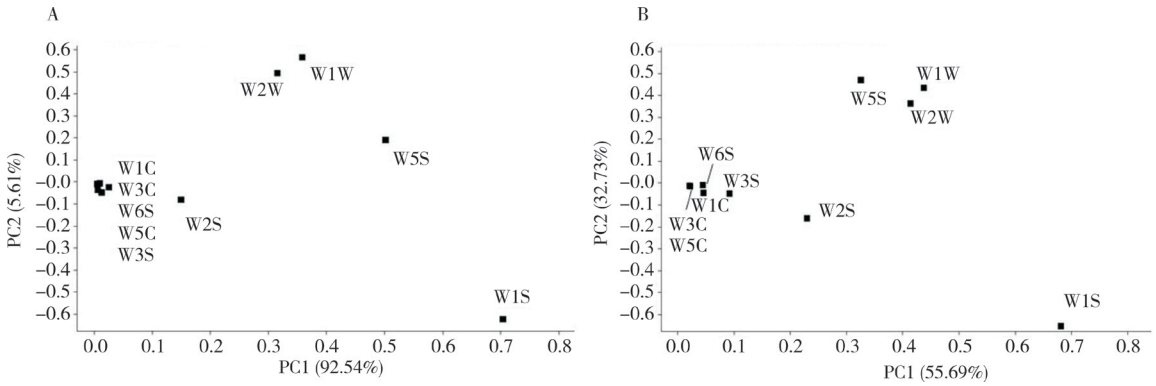


图 4　不同产区四川二荆条辣椒果肉（A）和种子（B）风味 Loadings 分析

Fig. 4　Flavor loadings analysis of pepper’s pulps (a) and seeds (b) of different Erjingtiao varieties in Sichuan

3　讨论

随着人们对优良品质食物需求的增加，高品质、优风味的果蔬育种成为育种关注的重点，而优质种质资源是培育高品质、优风味果蔬的基础。四川地方品种二荆条辣椒以其优良的品质闻名全国，是一个利用价值高的优质种质资源。但四川不同产区的二荆条辣椒在长期种植过程中受到当地气候环境和人为的选择，逐渐形成了不同的农艺性状、营养品质和风味特征，给辣椒育种选择适配亲本带来了干扰，也给以二荆条辣椒为原料的企业带来困惑。本研究以 9 个四川主要产区的二荆条辣椒为材料，对其农艺性状，主要果实营养品质，以及风味特征进行了较全面的分析，发现 9 个四川二荆条辣椒品种在首花节位、主茎高度、茎粗、株高、株幅、叶片和果实大小和青果果实特征等方面均有一定差异。9 个二荆条辣椒均种植在同一地方、统一管理，农艺性状的差异更多的来自品种本身，但不同产区的二荆条辣椒品种之间的亲缘关系如何，早期是由同一品种进化而来，还是本身来自不同品种等问题还有待进一步做遗传分析。

总蛋白、游离脂肪酸、Vc、可溶性糖、辣椒素含量及色价等指标在一定程度上决定了辣椒的营养、风味与色泽[17-20]。本试验中 9 个四川二荆条辣椒品种各品质指标存在显著差异，变异系数 8.35%~45.72%，其中色价变异系数最低，可能是因为色价表征辣椒果实的色泽，人眼便于观察，在长期的品种选择过程中方便选择，而其他指标均需进行化学检测才能进行筛选，增加了筛选难度。辣椒素变异系数最高，辣椒素是辣椒辣味的主要呈味物质，不同地区、不同消费者对辣椒辣味有不同的喜好程度，进而体现到辣椒品种的选择上，这可能是辣椒素各产区差异大的主要原因，而不同辣度的二荆条辣椒品种也为育种家选育不同辣味需求的新品种提供了丰富资源。各品质指标相关性分析表明，可溶性糖与总蛋白、Vc 含量均成显著正相关，这将有利于筛选优质辣椒新品种。本试验中辣椒素与色价并无显著相关性，与周书栋等[21]研究结果一致。此外，本研究采用隶属函数法对 9 个二荆条辣椒品种进行了测试指标的综合排序，邛崃二荆条排名第一，各项测试指标均较高，特别是相对其他二荆条品种有最高的辣椒素，双流二荆条和西充二荆条是四川的两个地理标志保护产品，其排名分别为第 2 和第 3，主要是由于这两个品种的辣椒素含量低于邛崃二荆条，尤其是西充二荆条。因此，辣椒素含量的高低不能作为品质好坏的标准，而应该针对不同消费者喜爱程度，选育能够满足不同消费人群的辣椒品种。

电子鼻检测可以快速、便捷地分析不同样品的整体风味信息，在中药、茶叶、食品等产区鉴定、产品区分等方面应用广泛[22-25]。本研究中，电子鼻不能完全把 9 种二荆条很好的区分出来，尤其是辣椒种子，只有西充二荆条与其他 8 个品种能很好地区别，说明不同二荆条辣椒品种在风味上具有相似性。同时发现，同一辣椒品种虽然果肉和种子风味有明显的差异，但是影响风味的主要物质类似，均为甲烷类、硫化物类、烷烃类、乙醇类，不同的风味差异可能来自于各类化合物的比例不同。但电子鼻只能对风味进行一个简单的大类区分，对其中具体物质的鉴定还需进一步

开展相关风味组学的研究。

4 结论

四川不同产区的二荆条辣椒品种在植株形态、果实特征以及果实品质等方面均存在明显差异。不同产区的二荆条辣椒品种在首花节位、主茎高度、茎粗、株高、株幅长、株幅宽以及叶长、叶宽等植株田间表现方面存在显著差异，其均值分别在6.83~12.67、18.08~27.33 cm、9.08~15.39 mm、98.17~141.5 cm、86.33~136.67 cm、69.75~117.50 cm、9.62~15.86 cm、2.74~4.56 cm之间；不同品种的辣椒果实外观特征差异相对较小，但各品种果长差异较大，邛崃二荆条果长最长（25.02 cm），会东二荆条果长最短（11.23 cm）；果宽差异不大，在1.08~1.76 cm之间。不同二荆条辣椒果实各品质指标变异系数在8.35~45.72之间，其中辣椒素含量差异最大，含量最高的是邛崃二荆条（0.54 mg/g），最低的是西充二荆条（0.13 mg/g）；色价差异最小。同时，不同品质指标间有一定相关性，可溶性糖和总蛋白、Vc含量呈显著正相关。综合品质性状较优的前三个二荆条辣椒品种为邛崃二荆条、双流二荆条和西充二荆条。不同二荆条品种果实风味特征较相似，通过电子鼻仅可以区分出部分品种，但同一辣椒品种的果肉与种子的风味可以很好区分。本研究可为四川二荆条辣椒品种在育种资源和加工原料的选择上提供有效参考。

参考文献（References）：

[1] 张海丽, 黄文美 . 辣椒新品种引种适应性研究[J]. 耕作与栽培, 2015 (1): 30,13. DOI:10.13605/j.cnki.52-1065/s.2015.s1.016.
ZHANG H L, HUANG W M. Pepper varieties introduction adaptability study[J]. *Journal of Tillage and Cultivation*, 2015 (1):30,13. DOI:10.13605/j.cnki.52-1065/s.2015.s1.016.

[2] 王继榜 . 我国辣椒产业现状及发展趋势综述[J]. 安徽农学通报, 2013, 12(19): 64-78. DOI:10.16377/j.cnki.issn1007-7731.2013.19.023.
WANG J B. The present situation and development trend of hot pepper industry in China[J]. *Journal of Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2013, 12 (19): 64 -78. DOI:10.16377/j.cnki.issn1007-7731.2013.19.023.

[3] 邹学校, 朱凡 . 辣椒的起源、进化与栽培历史[J]. 园艺学报, 2022, 49(6): 1371-1381. DOI:10.16420/j.issn.0513-353x.2021-0853.
ZOU X X, ZHU F. Origin, evolution and cultivation history of the pepper[J]. *Acta Horticulturae Sinica*,2022,49(6): 1371-1381. DOI:10.16420/j.issn.0513-353x.2021-0853 .

[4] 许艺, 陈鑫, 李红, 巩雪峰, 宋占锋 . 四川辣椒产业发展优势及存在的问题和建议[J]. 四川农业科技, 2023 (1): 91-93.
XU Y, CHEN X, LI H, GONG X F, SONG Z F. Development advantages, existing problems and suggestions of Sichuan pepper industry[J]. *Sichuan Agricultural Science and Technology*, 2023, (1): 91-93.

[5] 邹学校, 马艳青, 戴雄泽, 李雪峰, 杨莎 . 辣椒在中国的传播与产业发展[J]. 园艺学报, 2020, 47(9): 1715-1726. DOI:10.16420/j.issn.0513-353x.2020-0103.
ZOU X X, MA Y Q, DAI X Z, LI X F, YANG S. Pepper to the spread of industry development in China[J]. *Acta Horiculturae Sinica*, 2020, 47 (9): 1715-1726. DOI: 10.16420 / j.issn. 0513-353 - x. 2020-0103.

[6] 宋钊, 陈潇, 常静静, 李静, 曹健, 何裕志, 张白鸽 . 辣椒种质资源果色多样性分析[J] . 中国农学通报, 2023, 39(28): 24-32.
SONG Z, CHEN X, CHANG J J, LI J, CAO J, HE Y Z, ZHANG B G. Analysis of fruit color diversity of germplasm resources of capsicum[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2023, 39(28): 24-32.

[7] 段永凤, 陈丽娜, 陈石, 龙卫平 . 二十一份观赏辣椒种质资源主要农艺性状的遗传分析与评价[J]. 热带农业科学, 2023, 43(8): 27-32.
DUAN Y F, CHEN L N, CHEN S, LONG W P. Genetic analysis and evaluation of main agronomic traits of 21 ornamental pepper germplasm resources[J]. *Tropical Agricultural Sciences*, 2019,43(8):27-32.

[8] 白健君, 郭咏梅, 段旭东, 郭妮妮, 王军娥, 41份辣椒种质资源果形果色及其相关性状的聚类分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2021, 41(5): 68-78. DOI:10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202105039.
BAI J J, GUO Y M, DUAN X D, GUO N N, WANG J E. Clustering analysis of fruit shape, fruit color and related traits of 41 capsicum germplasm resources[J]. *Journal of Shanxi Agricultural University* (*Natural Science Edition*), 201, 41(5): 68-78. DOI:10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202105039.

[9] 李子雄, 潘兵青, 宋莹莹, 马世杰, 张娣, 陈婕, 沈火林, 孙亮 . 辣椒种质资源果实品质与抗病性综合评价[J]. 中国蔬菜, 2023(8): 46-58. DOI:10.19928/j.cnki.1000-6346.2023.2033.
LI Z X, PAN B Q, SONG Y Y, MA S J, ZHANG D, CHEN J, SHEN H L, SUN L. Comprehensive evaluation of fruit quality and disease resistance of pepper germplasm resources[J]. *Chinese Vegetables*, 2023(8): 46-58. DOI:10.19928/j.cnki.1000-6346.2023.2033.

[10] 朱丽, 薛新如, 梁宗旭, 许琳玉, 余国峰, 唐懿, 李焕秀 . 辣椒种质资源辣椒素含量与农艺性状的相关性[J]. 浙江农业学报, 2023, 35(4):862-872.
ZHU L, XUE X R, LIANG Z X, XU L Y, YU G F, TANG Y, LI H X. Correlation between capsaicin content and agronomic traits of pepper germplasm resources[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis,* 2023, 35(4): 862-872.

[11] 任朝辉, 田旭芳, 廖卫琴, 周安韦, 田浩 . 不同辣椒种质资源的品质性状评价[J]. 西南农业学报, 2020, 33(9): 1884-1891. DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2020.9.002.
REN C H, TIAN X F, LIAO W Q, ZHOU A W, TIAN H. Quality traits of different pepper germplasm resources evaluation[J]. *Journal of Southwest Agricultural*, 2020,33 (9): 1884-1891. DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2020.9.002.

[12] 蓬桂华, 陈菊, 殷勇, 李文馨, 何建文 . 基于电子鼻技术的不同种植区域地理标志辣椒风味变化研究[J]. 蔬菜, 2022 (9): 10-15.
PENG G H, CHEN J, YIN Y, LI W X, HE J W. Study on the change of

pepper flavor based on electronic nose technology in different planting regions[J]. *Vegetables*, 2022 (9): 10–15.

[13] 王知松, 丁筑红, 蒋智纲, 高瑞萍, 张孝刚 . 电子鼻在辣椒粉风味评价中的应用[J]. 中国调味品, 2014, 39(6): 57–61.
WANG Z S, DING Z H, JIANG Z G, GAO R P, ZHANG X G. Application of electronic nose in flavor evaluation of chili powder[J]. *Chinese Condiments*, 2014, 39(6): 57–61.

[14] 谭华强, 铁曼曼, 李丽平, 鲁荣海, 潘绍坤, 唐有万 . 紫色辣椒 HN191 与二荆条的比较代谢组分析[J]. 食品科学, 2023(22):304–312.
TAN H Q, TIE M M, LI L P, LU R H, PAN S K, TANG Y W. Comparative metabolome analysis of purple pepper HN191 and Erjingtiao[J]. *Food Science*, 2023(22): 304–312.

[15] 彭粲, 黄钧, 黄家全, 陈海风, 杨梦露, 周荣清 . 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(13): 159–167.
PENG C, HUANG J, HUANG J Q, CHEN H F, YANG M L, ZHOU R Q. Analysis of different characteristics of pepper from different places and varieties[J]. *Food Research and Development,* 2021(13): 159–167.

[16] 杨芳, 邓凤琳, 袁海彬, 金林蕊, 贾洪锋 . 基于气相色谱 – 离子迁移谱结合多元统计方法研究辣椒产地对辣椒油理化性质和风味成分的影响[J]. 核农学报, 2023(7): 1393–1402.
YANG F, DENG F L, YUAN H B, JIN L R, JIA H F. Study on Effects of pepper origin on physicochemical properties and flavor components of chili oil based on gas chromatography–ion migration spectrometry combined with multivariate statistical method[J]. *Journal of Nuclear Agriculture*, 2023(7): 1393–1402.

[17] 王雪雅, 陆宽, 孙小静, 蓬桂华 . 贵州不同辣椒品种的品质及挥发性成分分析[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 212–218.
WANG X Y, LU K, SUN X J, PENG G H. Analysis of quality and volatile components of different varieties of chili in Guizhou[J]. *Food Science*, 2018, 39(4): 212–218.

[18] 高佳, 田玉肖, 罗芳耀, 罗静红, 唐月明, 宋占锋 . 16 个优良朝天椒组合干制品质分析与评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(4): 1386–1392. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11–5956/ts.2021.04.027.
GAO J, TIAN Y X, LUO F Y, LUO J Y, TANG Y M, SONG Z F. Analysis and evaluation of dry quality of 16 excellent combinations of Chaotian pepper[J]. *Journal of Food Safety and Quality Inspection*, 2021, 12(4): 1386–1392. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11–5956/ts.2021.04.027.

[19] 高佳, 田玉肖, 罗芳耀, 罗静红, 唐月明, 宋占锋 .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. DOI:10.13386/j.issn1002–0306.2020100143.
GAO J, TIAN Y X, LUO F Y, LUO J H, TANG Y M, SONG Z F. Analysis of dry product quality of 10 varieties of line pepper[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(14): 284–288. DOI:10.13386/j.issn1002–0306.2020100143.

[20] 邓文辉, 赵燕, 李建科, 涂勇刚, 马晓娟 . 游离脂肪酸在几种常见食品风味形成中的作用[J]. 食品工业科技, 2012, 33(11): 422–425. DOI:10.13386/j.issn1002–0306.2012.11.105.
DENG W H, ZHAO Y, LI J K, TU Y G, MA X J. The role of free fatty acids in the formation of flavor of several common foods[J]. *Science and Technology of Food Industry,* 2012, 33(11): 422–425. DOI:10.13386/j.issn1002–0306.2012.11.105.

[21] 周书栋, 杨博智, 欧阳娴, 黄林, 张竹青, 陈文超 . 不同干椒品种中辣椒素总含量的比较[J]. 辣椒杂志, 2011, 9(4): 23–25. DOI:10.16847/j.cnki.issn.1672–4542.2011.04.009.
ZHOU S D, YANG B Z, OU Y X, HUANG L, ZHANG Z Q, CHEN W C. Comparison of total capsaicin content in different varieties of dried pepper[J]. *Journal of Pepper,* 2011, 9(4): 23–25. DOI:10.16847/j.cnki.issn.1672–4542.2011.04.009.

[22] 刘阿静, 王娟, 王波, 王慧珺, 张红艳, 丁欢 . 基于电子鼻与多元统计分析鉴别当归产地的研究[J]. 质量安全与检验检测, 2022, 32(1): 1–5.
LIU A J, WANG J, WANG B, WANG H J, ZHANG H Y, DING H. Identification of *Angelica* origin based on electronic nose and multivariate statistical analysis[J]. *Quality Safety and Inspection and Testing*, 2022, 32(1): 1–5.

[23] 刘元林, 龙鸣, 张希, 田晓静, 柏家林, 宋礼 . 基于电子鼻与多元统计分析判别三七品质[J]. 中成药, 2021, 43(3): 700–707.
LIU Y L, LONG M, ZHANG X, TIAN X J, BO J L, SONG L. Identification of Notoginseng quality based on electronic nose and multivariate statistical analysis[J]. *Chinese Patent Medicine,* 2021, 43(3): 700–707.

[24] 黄奕洲, 陈雪凤, 赵承刚, 吴圣进, 张雯龙, 刘增亮 . 基于电子鼻的香菇杂交后代香味品质分析[J]. 中国食用菌, 2023, 42(5): 62–69. DOI:10.13629/j.cnki.53–1054.2023.05.011.
HUANG Y Z, CHEN X F, ZHAO C G, WU S J, ZHANG W L, LIU Z L. Aroma quality analysis of hybrid offspring of mushroom based on electronic nose[J]. *Chinese Journal of Edible Fungi*, 2023, 42(5): 62–69. DOI:10.13629/j.cnki.53–1054.2023.05.011.

[25] 李晶晶, 胡颖菲, 丁晓, 李敏仪, 古结雯, 黄雄俊, 郑璇 . 近五年电子鼻技术在食品安全的应用进展[J]. 中国食品卫生杂志, 2023, 35(5): 789–794. DOI: 10.13590/j.cjfh.2023.05.026.
LI J J, HU Y F, DING X, LI M Y, GU J W, HUANG X J, ZHENG X. Application progress of electronic nose technology in food safety in recent five years[J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2023, 35(5): 789–794. DOI:10.13590/j.cjfh.2023.05.026.

（责任编辑　陈丽娥）