

中国李种质资源不同味觉品质精准评价

赵海娟, 张玉君, 张玉萍, 刘 宁, 徐 铭, 刘家成, 王碧君, 刘威生, 刘 硕*

(辽宁省果树科学研究所, 辽宁营口 115009)

摘 要:【目的】对中国李种质资源进行精准鉴定评价, 揭示中国李种质资源的味觉品质遗传的客观规律。【方法】针对不同类型(包括品种来源地、果肉颜色、感官味觉)的50份中国李种质资源, 采用电子舌对九种味觉(包括鲜味、咸味、酸味、苦味、涩味、甜味、苦味回味、涩味回味和丰富性)进行了分组比较研究。【结果】不同生态来源地的李品种在味觉特点上存在一定的差异, 但整体上仍难以区分细致。与之不同的是, 果肉颜色与味觉之间存在一定的关系, 不同颜色的果肉在味觉特点上呈现出不同的分布模式。酸描述在鲜味味觉中表现出较高的中位数, 甜描述在甜味觉中表现出较高的中位数。酸甜和甜酸的描述之间相关系数较大。【结论】中国李的味觉特点可以分为酸涩型、咸酸型和鲜甜型, 同时筛选出一系列优异味觉表现突出、劣势味觉表现较差的特异种质材料, 这些试材及背后的遗传基因将成为我国李育种活动中的“种业芯片”。

关键词: 中国李; 种质资源; 味觉品质; 电子舌; 精准评价

中图分类号: S662.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2024)05-0797-15

Precise evaluation of different taste qualities of Chinese plum (*Prunus salicina* L.) germplasm

ZHAO Haijuan, ZHANG Yujun, ZHANG Yuping, LIU Ning, XU Ming, LIU Jiacheng, WANG Bijun, LIU Weisheng, LIU Shuo*

(Liaoning Institute of Pomology, Yingkou 115009, Liaoning, China)

Abstract: 【Objective】Chinese plum originated and has been cultivated for a long time in China. Precise germplasm evaluation is of great importance for germplasm innovation and breeding in fruit trees. The study focused on precise evaluation of the taste quality of different types of Chinese plum germplasms, including different geographic origins, flesh colors, and sensory taste perceptions in order to explore the genetic diversity of the taste quality and screen out excellent germplasm. 【Methods】The test materials of 50 accessions of mature plum fruits were harvested in National Plum and Apricot Germplasm Repository during the ripe season in July to August in 2022 and 2023. Nine taste parameters were implemented with an electronic tongue, including freshness, saltiness, sourness, bitterness, astringency, sweetness, bitter aftertaste, astringent aftertaste, and richness. The objective patterns of taste quality genetics in Chinese plum germplasm were unveiled. For the analysis, 50 g mixed flesh from 10 peeled fruits of each accession were collected and diluted with 150 mL of distilled water in a test tube, and then shaken at $3000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ for 5 minutes. The SA-402B taste analysis system was used to accurately identify the taste richness of Chinese plums using six artificial lipid membrane sensors and three reference electrodes. The sweetness test was repeated 5 times for each sample solution, and the other taste tests were repeated 4 times. The average value of the last three data for each sample were taken as the test result. The potential values obtained from nine taste tests were converted into the final data through

收稿日期: 2023-11-17

接受日期: 2024-02-20

基金项目: 辽宁省种质创新藏粮于技专项计划(2023JH1/10200005); 辽宁省农业科学院院长基金(面上项目)(2023QN2411); 农业种质资源普查收集、保护鉴定服务项目(19230698); 国家科技基础条件平台(NHGRC2023-NH10); 兴辽英才计划(XLYC2203061); 营口市企业博士双创计划项目(YKSCJH2023-29)

作者简介: 赵海娟, 硕士, 主要从事李、杏种质资源与育种研究。E-mail: zhj20102330@126.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail: liushuo028@163.com

the analysis software of the electronic tongue. In the data analysis phase, we used multiple analysis packages from R language, including Factoextra, Cluster, FactoMineR, Ggplot2, Ggcorrplot and Ggrepel. 【Results】 By investigating the taste characteristics of 50 accessions of the Chinese plum germplasms, it was found that the plum varieties from different ecological origins exhibited some differences in taste characteristics but were not easy to distinguish overall. Conversely, there was a correlation between the flesh color and taste perception, the different flesh colors showed distinct distribution patterns in taste characteristics. The aftertaste-A exhibited a relatively scattered distribution in orange yellow flesh and yellow flesh, while a dispersed distribution of acidity, sweetness, and freshness in the red flesh. The faint yellow flesh was relatively concentrated in the taste sense of freshness and bitterness. The description of acidity/sweetness also reflected a certain relationship with the taste sense. The sourness exhibited a higher median value in the freshness taste parameter, while sweetness had a higher median value in the sweetness taste parameter. The high correlation between the sourness and sweetness suggested that these tastes could often coexist in certain plums. Based on the cluster analysis, the germplasms could be divided into six groups. There were analysis conducted in the second, the third, and the sixth groups, including the box diagram analysis and principal component analysis. In the umami, and sweetness, the distributions of the cluster 2, cluster 3 and cluster 6 were similar and discrete relatively, while the cluster 6 had higher values in the umami and sweetness than those of the other two groups. In PCA analysis, the cluster 2 was mainly distributed in the second quadrant, the cluster 3 was mainly distributed in the fourth quadrant, and the cluster 6 is mainly distributed in the second and third quadrant. At the same time, the taste specific germplasm resources were objectively screened. Sanhuali had the lowest sourness taste and the highest sweetness value, with outstanding umami value. On the contrary, Changlidazili showed the maximum value of sourness and the minimum value of sweetness in taste, while Qiuwangli, Zhengzhouzaoli, and Zhenzhuli had prominent saltiness taste characteristics, while Hongbaoshi had the maximum bitterness taste characteristics and was accompanied by a large astringency taste value, Jinxiqiyueli also showed the highest value in bitterness and aftertaste-A, while Qingzhouli and Jinxipingdingxiangli showed a high degree of taste diversity. 【Conclusion】 The Chinese plums could be categorized into sour and astringent type, salty and tangy type, and fresh and sweet type. This study also identified a range of germplasm materials with outstanding taste attributes. These findings would provide a scientific basis for plum variety identification and classification, and are of significant importance for plum quality improvement.

Key words: Chinese plum (*Prunus salicina* L.); Germplasm; Taste sense quality; Electronic tongue; Precision evaluation

李是世界上分布最广泛的果树之一,属于蔷薇科(Rosaceae)李属(*Prunus*)。中国李(*Prunus salicina* L.)起源于中国,也是中国重要的传统水果。据《黄帝内经》记载,原产于中国的传统“五果”(桃、李、杏、栗和枣)中,李是典型的“民族水果”,多在中国山区、边远、贫困、落后、民族地区和交通不便、经济欠发达、生态环境脆弱地区广泛分布^[1]。中国李种质资源丰富且栽培历史悠久^[1]。中国李美丽、芳香、多汁且营养丰富,作为中国本土水果,在乡村振兴、种植业结构调整、栽培模式升级、各地区果林产业发展中发挥了重要作用^[1-2]。目前,中国正在积极推进李

育种工作,并高度重视种质创新和新品种的培育。要充分挖掘这些卓越的遗传资源,则必须对种质资源重要经济性状(包括感官性状)进行精确而全面的评估^[3]。

李果实的味觉性状在育种改良工作中扮演着关键的角色,其品质的优劣很大程度上决定了新品种竞争力。对于消费者来说,味觉品质直接关系到对李新品种的认知和满意度,对李果实的味道印象产生深远影响。而对于种植者和销售者来说,李果实的味觉品质还与产品的市场需求、定位紧密相关。因此,改良和优化李品种的味觉性状可以提高产品

的市场竞争力,满足不同消费者口味的需求,增加李果实的市场销售份额。FAO 资料^[4]显示,世界李栽培面积 263.7 万 hm^2 ,总产量 1 222.5 万 t;中国是世界上最大的李生产国,面积 194.5 万 hm^2 (占世界的 73.75%),产量 647.5 万 t(占世界的 52.97%)。深入研究不同种质资源之间的味觉特性差异,可以为李育种者提供一定的遗传材料和基因资源。

我国自建国初期逐步开展李种质资源的果实味觉描述和评价,长期以来已经建立了包括《李种质资源描述规范和数据标准》(NY/T2924—2016)^[5]、《农作物种质资源鉴定技术规程—李》(NY/T 1308—2007)^[6]和《农作物优质种质资源评价规范—李》(NY/T 2027—2011)^[7]在内的评价体系。如今,不断深入的“种业芯片”发掘与利用对种质资源的味觉鉴定与评价提出了更进一步的精准鉴定的要求,以数字化、标准化、高通量化和高重复性预防文字描述性评价不可避免的系统性因素干扰。这主要体现在李种质资源的果实味觉描述和评价三个方面:一是主观性和个体差异。水果味觉是一种主观感知,不同人对相同水果的味道有不同的感知和评价。这种主观性和个体差异增加了味觉评估的复杂性。二是李果实味觉复杂多样。李果实的味道不仅仅包括甜味,还包括酸味、苦味、咸味、鲜味等多种味觉感知,评估这些不同类型味觉的多样性需要综合考虑各种感知因素。三是鉴定和评价李果实味觉需要使用精准和复杂的分析手段,如气相色谱质谱联用(GC-MS)、高效液相色谱(HPLC)、电子舌(electronic tongue, ET)等。因此,李果实味觉的多样性和鉴定评价需要采用专业化的检测和分析方法,以更全面地了解李果实的味觉特点和品质。

尽管气相和液相色谱技术可以深入解析香气物质的化学成分和功能,但是它们无法直观地反映出人们在口腔和舌头中品尝水果时的实际感受,包括局部和整体的味觉体验。使用类似于人类舌头味觉细胞的原理的人工脂膜传感器电子舌检测技术,既能够消除主观因素和个体差异,同时还能够客观且数字化地分析样品的苦味、涩味、酸味、咸味、鲜味、甜味等基本味觉特性^[8]。多年来,此项技术已成功地广泛应用在中药材(品种、产地)^[9]、饮品^[10]、茶叶^[11]、调味料^[12]等方面的鉴别研究。在水果味觉的鉴定研究方面,任新乐等^[13]发现樱桃的涩

味、苦味回味、涩味回味和丰富性(鲜味回味)接近无味点;酸味和甜味差异显著。解云等^[14]对 12 种红枣进行电子舌分析的结果表明,5 个基本味差异显著,3 个回味差异不显著。电子舌综合评价 20 份甜柿种质资源口感,发现甜味、苦味、咸味、鲜味、涩味回味及丰富性味觉均在无味点以上,是甜柿的有效味觉^[8]。同时,还可以利用电子舌检测香蕉新鲜度^[15]、检测李果实褐腐病真菌感染的情况^[16]。近年来,应用电子舌开展水果鉴定分析的研究越来越多,而有关基于李种质资源解析李果实的味觉品质性状的研究却鲜见报道。

为进一步探究中国李资源味觉性状的遗传多样性,发掘优异味觉种质特性,笔者在本研究中将针对其不同类型(包括品种来源地、果肉颜色、感官味觉)的中国李种质资源,采用对九种味觉(包括鲜味、咸味、酸味、苦味、涩味、甜味、苦味回味、涩味回味以及丰富性)进行了分类定量的精准评价和分组比较研究,揭示中国李种质资源的味觉品质遗传的客观规律。本研究旨在为我国李新品种选育和改良实践提供有效参考和技术支撑。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试中国李种质资源均来自辽宁营口的“国家李杏种质资源圃”,代表我国不同生态地区的品种李种质共计 50 份(表 1)。果实样品分别采集于 2022 年和 2023 年夏季(7—8 月),每份种质选取完整无损、大小基本一致的 10 个成熟果实(即果皮底色完全转变,果肉有弹性)进行测定。

1.2 试验方法

1.2.1 试验样品制备 每份李种质样品选取 10 个果实,去除表皮后将果肉切块并混匀,取 50 g 样品放入破壁机(九阳牌, JYL-Y3 号),加入 150 mL 蒸馏水,启动搅拌大约 20 s。随后,将混合液放入离心机(德国 Eppendorf, Centrifuge 5804R),以 $3000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速度离心 5 min。离心完成后,通过滤纸过滤取约 150 mL 上清液,然后将样品置于 4°C 冰箱冷藏,等待进行后续检测。每份李种质样品的采集、处理和检测时间不超过 24 h。除了待测的李果实样品,还需要准备基准溶液和正负极清洗溶液,用于自洗人工脂膜传感器和参比电极。基准溶液由 $30 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KCl 和 $0.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的酒石酸混合而成,倒入样品杯约 28 mL 备用。负极清洗液为 $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 和 30%(体积分数,下同)

表 1 50 份中国李种质资源及不同的分组名单

Table 1 50 accessions of *P. salicina* germplasm and their subdivision

序号 Code	品种 Variety	来源地 Origin	果肉颜色 Flesh color	风味 Flavor	序号 Code	品种 Variety	来源地 Origin	果肉颜色 Flesh color	风味 Flavor
1	龙园秋李 Longyuanqiuli	东北 The Northeast China	黄 Yellow	甜酸 Sweet and sour	21	兴岳李 Xingyueli	华东 The East China	淡黄 Faint yellow	酸 Sour
2	康什 Kangshen	东北 The Northeast China	黄 Yellow	甜酸 Sweet and sour	22	蜜李 Mili	华东 The East China	淡黄 Faint yellow	酸甜 Sour and sweet
3	万福大紫李 Wanfudazili	东北 The Northeast China	红 Red	甜酸 Sweet and sour	23	紫玉 Ziyu	华东 The East China	红 Red	酸甜 Sour and sweet
4	锦西七月香 Jinxiquyuexiang	东北 The Northeast China	红 Red	甜酸 Sweet and sour	24	大青棵 Daqingke	华东 The East China	淡黄 Faint yellow	甜酸 Sweet and sour
5	长李84号 Changli No. 84	东北 The Northeast China	红 Red	酸甜 Sour and sweet	25	李水红 Lishuihong	华东 The East China	红 Red	甜酸 Sweet and sour
6	吉胜 Jisheng	东北 The Northeast China	淡黄 Faint yellow	酸甜 Sour and sweet	26	珍珠李 Zhenzhuli	华东 The East China	橙黄 Orange yellow	甜酸 Sweet and sour
7	绥李3号 Suili No. 3	东北 The Northeast China	淡黄 Faint yellow	甜酸 Sweet and sour	27	携李 Zuili	华东 The East China	黄绿 Yellow green	甜酸 Sweet and sour
8	海城苹果李 Haichengpingguoli	东北 The Northeast China	淡黄 Faint yellow	酸甜 Sour and sweet	28	金滴 Jindi	华东 The East China	橙黄 Orange yellow	甜 Sweet
9	兴城寺田 Xingchengsitianli	东北 The Northeast China	淡黄 Faint yellow	酸甜 Sour and sweet	29	青奈 Qingnai	华东 The East China	黄 Yellow	甜 Sweet
10	锦西平顶香 Jinxipingdingxiang	东北 The Northeast China	淡黄 Faint yellow	酸甜 Sour and sweet	30	晚李王 Wanliwang	华东 The East China	黄 Yellow	酸甜 Sour and sweet
11	龙园蜜李 Longyuanmili	东北 The Northeast China	淡黄 Faint yellow	酸甜 Sour and sweet	31	青州李 Qingzhouli	华南 The South China	红 Red	甜酸 Sweet and sour
12	宽甸大李 Kuandiandali	东北 The Northeast China	黄 Yellow	甜酸 Sweet and sour	32	桐壳李 Tongkeli	华南 The South China	黄 Yellow	酸甜 Sour and sweet
13	美丽李 Meilili	东北 The Northeast China	淡黄 Faint yellow	酸甜 Sour and sweet	33	三华李 Sanhuali	华南 The South China	红 Red	甜 Sweet
14	长李15号 Changli No. 15	东北 The Northeast China	淡黄 Faint yellow	酸甜 Sour and sweet	34	乐业无名李 Leyewumingli	华南 The South China	黄 Yellow	甜酸 Sweet and sour
15	改良 Gailiang	华北 The North China	红 Red	甜酸 Sweet and sour	35	快食李 Kuaishili	华南 The South China	黄 Yellow	酸甜 Sour and sweet
16	秋王李 Qiuwangli	华北 The North China	淡黄 Faint yellow	甜酸 Sweet and sour	36	早熟李 Zaoshuli	华南 The South China	黄绿 Yellow green	酸甜 Sour and sweet
17	昌黎大紫李 Changlidazili	华北 The North China	黄绿 Yellow green	甜酸 Sweet and sour	37	从化三华李 Conghuasanhuali	华南 The South China	红 Red	酸甜 Sour and sweet
18	固安桃李 Gu'antaoli	华北 The North China	黄 Yellow	甜 Sweet	38	绿空心李 Lükongxinli	华中 The Central China	黄绿 Yellow green	甜 Sweet
19	红宝石 Hongbaoshi	华东 The East China	黄 Yellow	酸 Sour	39	大灰李 Dahuili	华中 The Central China	橙黄 Orange yellow	甜酸 Sweet and sour
20	上海芙蓉李 Shanghai furongli	华东 The East China	红 Red	甜酸 Sweet and sour	40	郑州早李 Zhengzhouzaoli	华中 The Central China	黄 Yellow	甜酸 Sweet and sour

表 1 (续) Table 1 (Continued)									
序号 Code	品种 Variety	来源地 Origin	果肉颜色 Flesh color	风味 Flavor	序号 Code	品种 Variety	来源地 Origin	果肉颜色 Flesh color	风味 Flavor
41	木里李 Mulili	西部 The Western China	黄 Yellow	甜酸 Sweet and sour	46	玫瑰李 Meiguili	西部 The Western China	黄 Yellow	甜酸 Sweet and sour
42	田坎麻李 Tiankanmali	西部 The Western China	黄绿 Yellow green	甜酸 Sweet and sour	47	紫云鸡血李 Ziyunjixueli	西部 The Western China	橙黄 Orange yellow	酸甜 Sour and sweet
43	巴塘李 Batangli	西部 The Western China	黄绿 Yellow green	甜 Sweet	48	银川玉皇李 Yinchuanyuhuangli	西部 The Western China	橙黄 Orange yellow	甜酸 Sweet and sour
44	兴义空心李 Xingyikongxinli	西部 The Western China	黄绿 Yellow green	甜 Sweet	49	金沙李 Jinshali	西部 The Western China	黄 Yellow	甜酸 Sweet and sour
45	奎丽 Kuili	西部 The Western China	淡黄 Faint yellow	甜 Sweet	50	阿坝州玫瑰李 Abazhoumeiguili	西部 The Western China	淡黄 Faint yellow	酸甜 Sour and sweet

乙醇溶液的混合液;正极清洗液为100 mmol·L⁻¹ KCl、100 mmol·L⁻¹ KOH和30%乙醇溶液的混合液,倒入样品杯约25 mL待用。人工脂膜传感器和参比电极的内部液和浸泡液需要定期更换。

1.2.2 上机方案 电子舌仪器采用SA-402B味觉分析系统(日本INSENT公司),采用六种人工脂膜传感器和三种参比电极进行检测,其中包括鲜味(umami)、咸味(saltiness)、酸味(sourness)、苦味(bitterness)、涩味(astringency)以及丰富性(richness)、苦味回味(aftertaste-B)和涩味回味(aftertaste-A)。每份样品溶液重复测定甜味5次,其他味觉重复测定4次。测定完毕取后3次数据的平均值作为测试结果。九种味觉检测获得的电势值通过电子舌自带的分析软件转化成的味觉值为最终所得的数据。每个样品提取液的味觉是以参比溶液为基准,参比溶液是用来模拟人工唾液的,其对应的值为无味点。咸味和酸味的无味点分别为-6和-13,其余味觉的无味点是0(表2)。

1.3 统计分析

在数据分析阶段,使用R语言中的多个分析包,包括Factoextra^[17]、Cluster^[18]以及FactoMineR^[19]以深入了解不同李品种之间的关系和变异,进行全面评估其味觉特征。首先,笔者准备并整理了与味觉特性、化学成分等相关的数据,确保数据的完整性和一致性。然后,通过相关性分析(correlation analysis)来分析不同变量之间的相关性,使用聚类分析(cluster analysis, CA)将李品种分成组群,以便更好地了解它们之间的相似性和差异性,最后,通过主成分分析(principal component analy-

表 2 电子舌传感器对不同物质响应类型
Table 2 Electronic tongue sensors respond to different types of substances

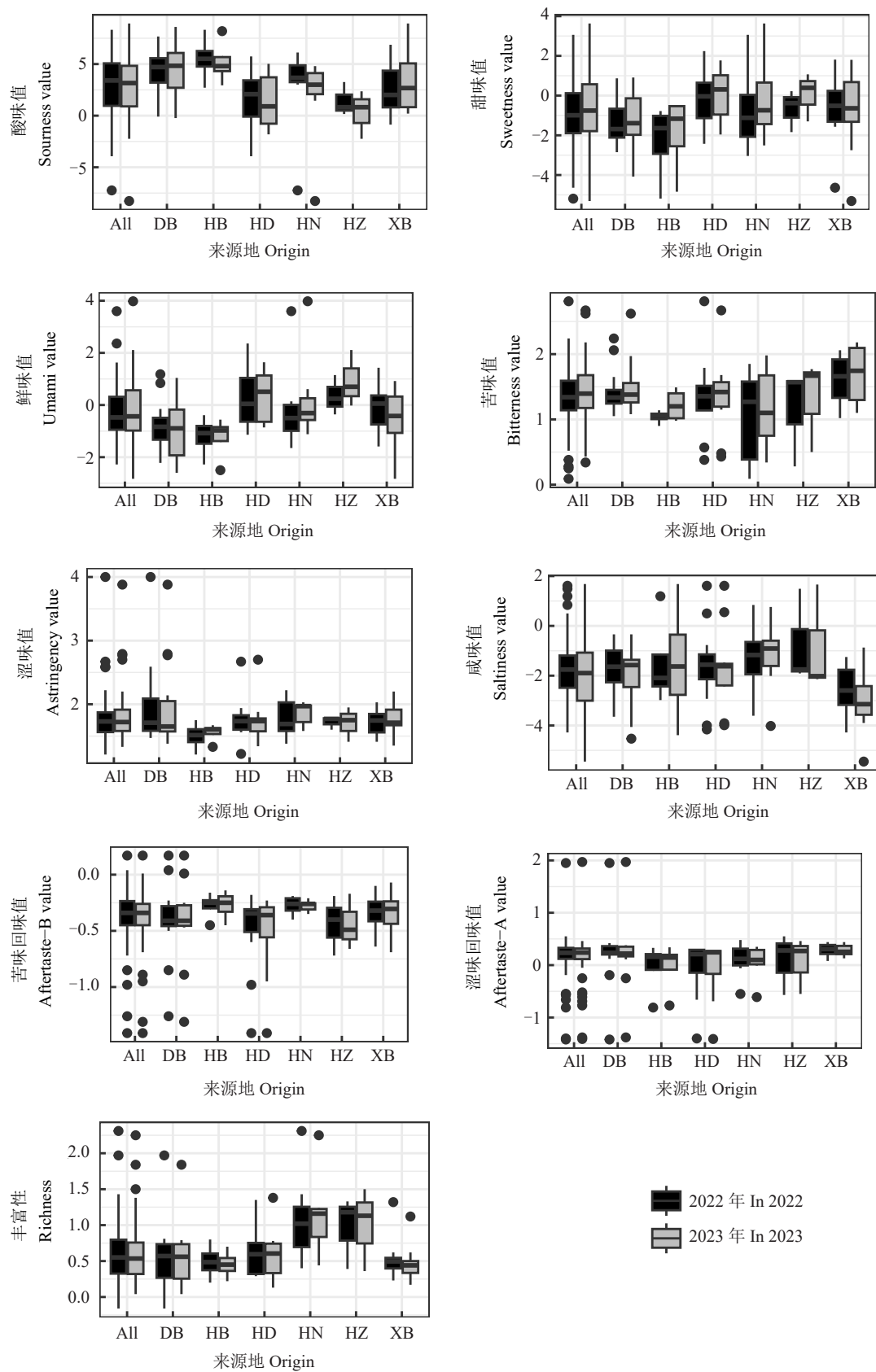
传感器名称 Sensor name	性能描述 Performance description	
	基本味 Basic taste	回味值 Aftertaste value
酸味传感器 CAO	酸味 Sourness	无 None
苦味传感器 COO	苦味 Bitterness	苦味回味 Aftertaste-B
涩味传感器 AE1	涩味 Astringency	涩味回味 Aftertaste-A
鲜味传感器 AAE	鲜味 Umami	鲜味丰富度 Richness
咸味传感器 CTO	咸味 Saltiness	无 None
甜味传感器 GL1	甜味 Sweetness	无 None

sis, PCA)进行降维和数据可视化。此外,笔者使用ggplot2^[20]、ggcorrplot^[21]、ggrepel包^[22]创建各种图表,如散点图和箱线图,以对试验数据进行可视化分析。

2 结果与分析

2.1 中国李种质资源不同分组的味觉比较

2.1.1 不同来源地李果实味觉评价 50份中国李种质资源按照来源地不同分为6组(图1),分别是东北地区种质(14份)、华北地区种质(4份)、华东地区种质(12份)、华南地区种质(7份)、华中地区种质(3份)和西部地区种质(10份)。东北地区种质在涩味方面表现出明显的分散分布,但涩味回味则分布较集中。华北地区种质味觉特点较为集中,尤其在酸味和苦味方面,但是在甜味和咸味味觉方面表现分散。华东地区种质的鲜味味觉分布较分散,其他地区的味觉分布集中。华南地区种质的味觉特点在甜味、苦味、丰富性方面相对较分散。华中地区种质在甜味和鲜味方面具有相对较为一致的味觉分布。西部地区种质



ALL. 50 份梨资源; DB. 东北地区; HB. 华北地区; HD. 华东地区; HN. 华南地区; HZ. 华中地区; XB. 西部地区。下同。

ALL. 50 plum resources; DB. Northeast China; HB. North China; HD. East China; HN. South China; HZ. Central China; XB. Western China. The same below.

图 1 不同来源地李果实味觉箱形图

Fig. 1 Boxplots of taste perception attributes of plum from different origins

在涩味回味味觉和丰富性味觉值方面较为集中,但在咸味方面具有相对较低的味觉数值。离散点主要出现在东北地区种质和华东地区种质的味觉中,相比之下,华中地区种质的9个味觉中均没有离散点。而在9个味觉中都存在不同程度的离散点,特别是在苦味回味和涩味回味方面,离散点明显(图1)。由图1可知,2022年华北地区种质苦味味觉分布集中,2023年分布较为分散,其余地区种质的9种味觉在两年的测试结果中相对稳定。

2.1.2 不同果肉颜色李种质资源味觉评价 根据果肉颜色不同,将中国李分为5组(图2),分别是橙黄色(5份)、淡黄色(14份)、黄色(14份)、黄绿色(7份)和红色(10份)。基于果肉颜色的味觉分析显示,橙黄色果肉在酸味味觉上呈现集中分布,且具有最低的中位数;甜味也集中分布,中位数最高,且具有高中位数值丰富性味觉。同时,涩味回味味觉在橙黄色果肉和黄色果肉中表现出较为离散的分布。相反,红色果肉在酸味、甜味和鲜味方面呈现出分散的分布。淡黄色果肉在鲜味、苦味咸味味觉上分布相对集中。黄色果肉主要在苦味味觉上分布较分散,而黄绿色果肉在涩味味觉上具有集中分布。橙黄色果肉、淡黄色果肉、黄色果肉和红色果肉在9个味觉中呈现不同程度的离散点。与此不同的是,黄绿色果肉的离散点最少,呈现相对较为稳定的味觉特性(图2)。由2022—2023年的味觉分析结果可知,2023年橙黄色果肉在甜味中较2022年更为集中,且中位数最高,其余味觉值分布较为均衡。

2.1.3 不同酸/甜描述李种质资源味觉评价 根据《李种质资源描述规范和数据标准》(NY/T 2924—2016)^[5]中酸/甜描述分类不同,将中国李分为4组(图3),分别是酸(2份)、酸甜(17份)、甜(8份)和甜酸(23份)。酸味味觉中,酸描述分布集中,且中位数最低,甜酸描述的分布离散;甜味中,酸描述的中位数最高,甜酸描述分布离散;鲜味味觉中,酸描述分布集中,且中位数最高,甜酸描述分布离散;苦味味觉中,酸描述分布离散,且中位数最高;涩味味觉中,酸甜描述分布集中,酸描述分布离散,且中位数最高;咸味味觉中,甜酸描述分布离散;苦味回味中,酸描述分布离散,且中位数最低;涩味回味中,酸描述分布离散,且中位数最低,其余描述分布均集中;丰富性味觉中,酸描述分布集中,甜酸描述分布离散。酸甜描述在涩味和鲜味味觉中存在较多的离

散点,而涩味回味味觉在甜酸描述方面表现出明显的离散点。特别的是9种味觉中,甜味表现出离散点最少,且这个离散点主要出现在甜描述中(图3)。由分析结果可知,酸味描述在酸味味觉和甜味中2023年的分布更为集中,其余味觉值均较稳定。

2.2 中国李种质资源味觉PCA分析

对50份中国李种质资源的主成分分析结果表明(图4-A),前两个主维度(Dimension 1 & 2)的累积方差贡献率为63.5%。第1主维度(延x轴横向)解释了总变量信息的40%,主要综合了酸味、苦味、鲜味和甜味的信息,其中酸味呈正载荷,而甜味、苦味和鲜味呈负载荷。第2主维度(延y轴纵向)解释了总变量信息的23.5%,主要综合了涩味的信息,呈正载荷。这些结果表明,在这50份中国李种质资源中,酸味、苦味、鲜味和甜味是主要的味觉特征。在第一和第二主维度中,供试的李果实的味觉贡献率从高到低分别为酸味、鲜味、苦味和甜味。酸味和鲜味呈相反的趋势,即它们在主成分中的向量方向(贡献效果)相反。

不同种质资源来源地在主成分空间中呈现出不同的分布模式,东北地区的李主要分布在第一、第二和第三象限,华北地区的李主要分布在第二和第三象限,华东地区的李主要分布在第一、第二和第三象限,华南地区的李主要分布在第二象限(图4-B)。根据果肉颜色的不同,李在主成分空间中呈现出不同的分布模式,淡黄色果肉主要集中在第二、第三和第四象限,红色果肉主要集中在第三和第四象限,黄绿色果肉主要集中在第一、第二象限(图4-C)。根据酸/甜描述的不同,李在主成分空间中呈现出不同的分布模式,酸甜描述的李主要集中在第二和第三象限,甜酸描述的李主要集中在第一、第二和第四象限(图4-D)。

2.3 中国李种质资源不同分组的味觉相关性分析

对50份中国李种质资源分组进行相关性分析(图5)。按照不同来源地分析可知,东北和华北地区的相关系数最高($r=0.98$),华东和华南、西部相关系数($r=0.94$)和东北与西部相关系数($r=0.94$)相同(图5-A)。按照果肉颜色不同分析可知,橙黄色果肉的味觉与淡黄色果肉、红色果肉、黄色果肉之间的相关系数均较低,分别是0.65、0.74、和0.78(图5-B)。黄色果肉与黄绿色果肉味觉的相关系数最高,相关系数是0.99。根据酸/甜描述不同分析可知,酸与甜、甜酸、酸甜描述的相关系数排最后三位,分别是0.57、0.27和0.23。酸甜与甜酸的相关系数最高,

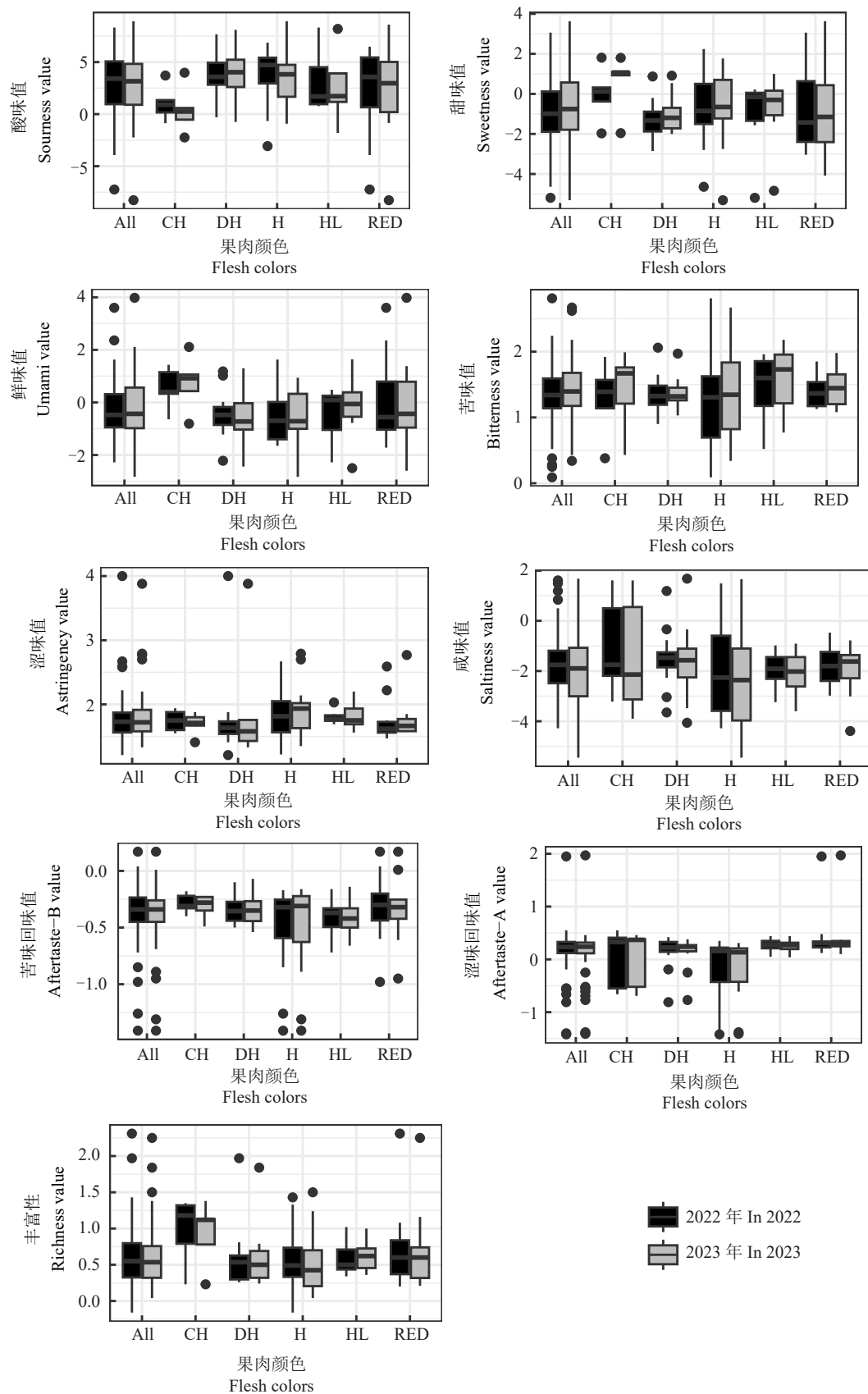


图 2 不同果肉颜色李果实味觉箱形图

Fig. 2 Boxplots of taste perception attributes of plum with different flesh colors

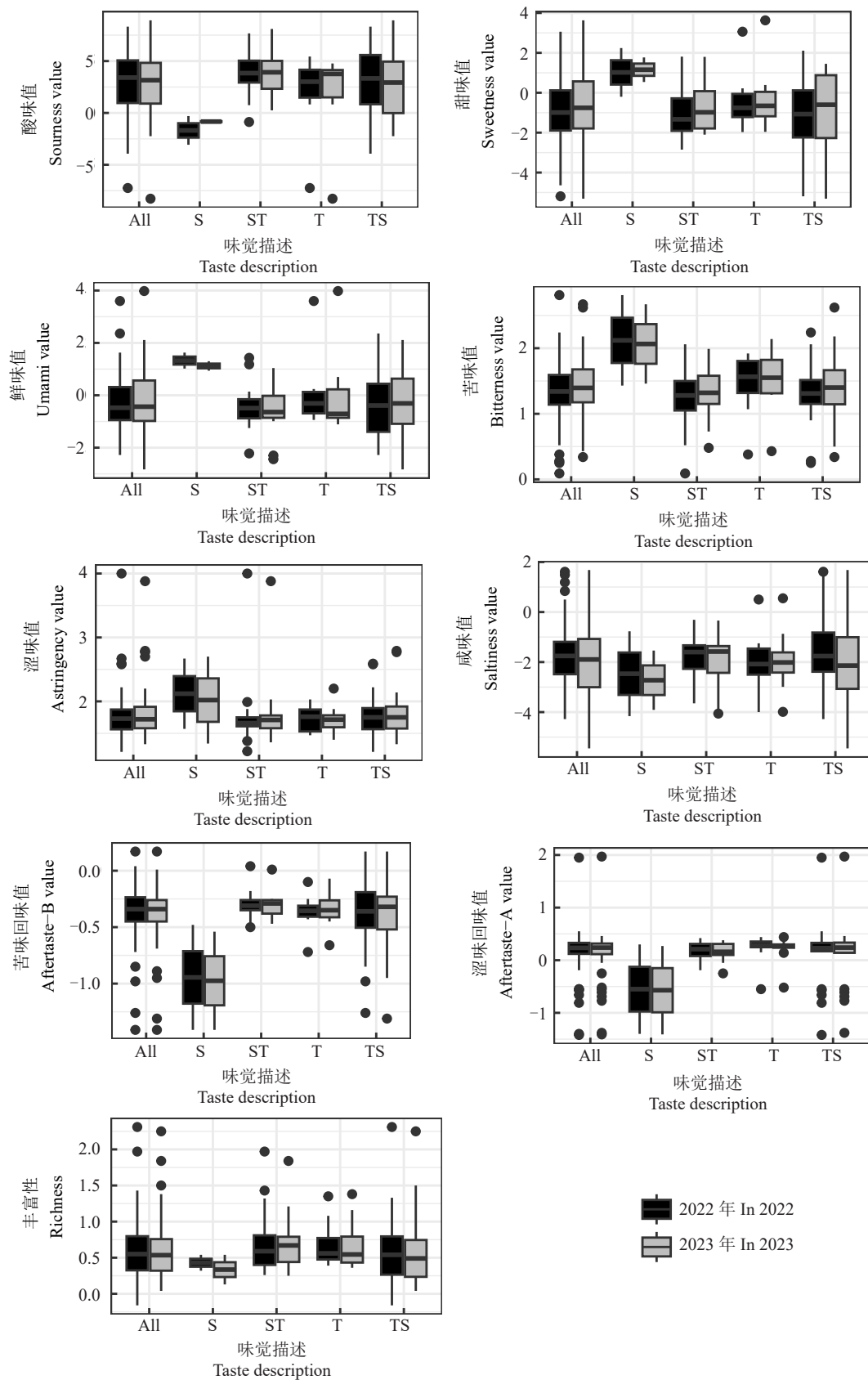
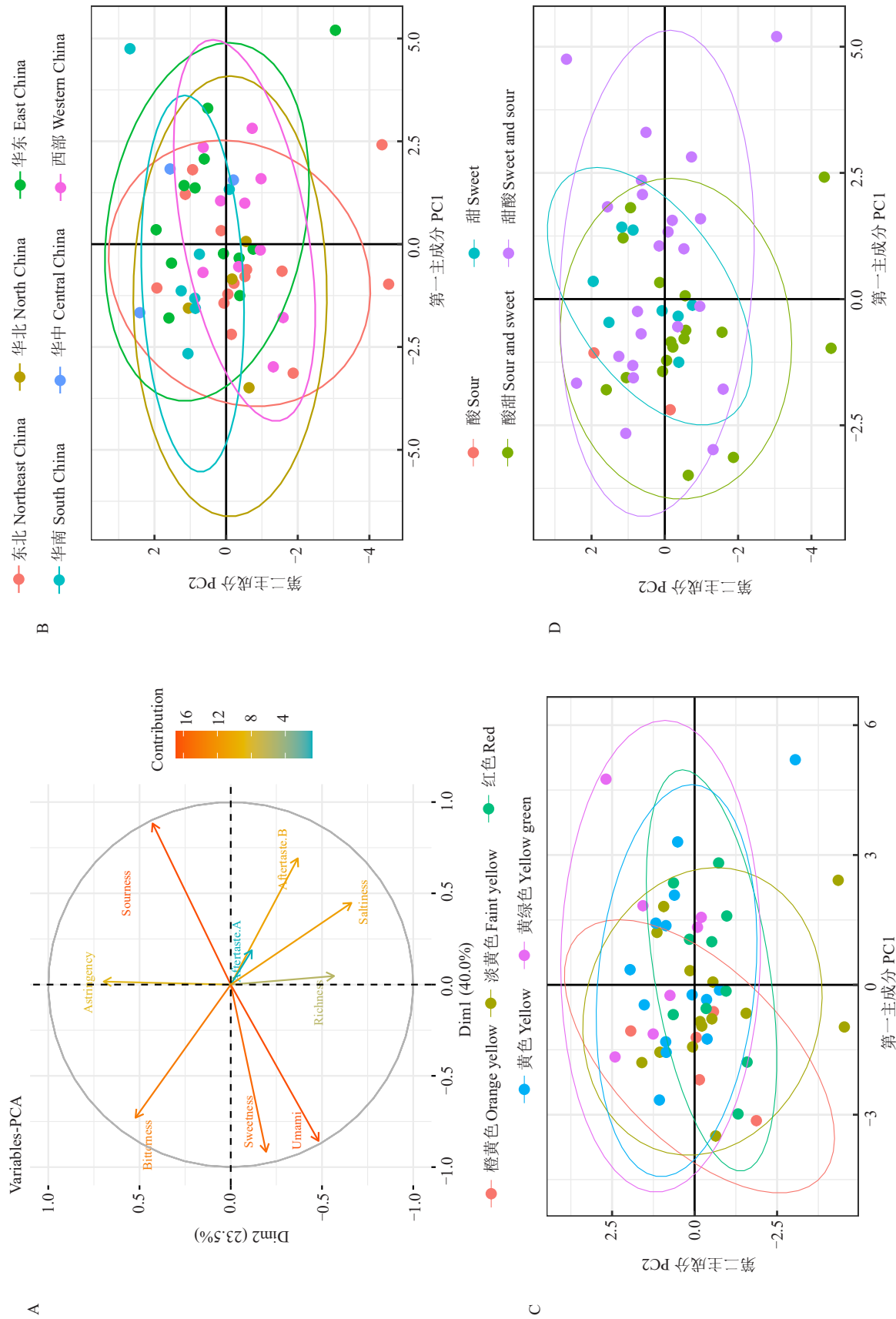


图3 不同感官风味李果实味觉箱形图

Fig. 3 Boxplots of taste perception attributes of plum with different sensory flavors



A. PCA map of Chinese plum germplasm resources; B. The scatter plot of taste from different origin; C. The scatter plot of taste with different flesh colors; D. The scatter plot of taste with different sensory flavors.

图 4 中国李种质资源 PCA 及不同分組味觉散点分析

Fig. 4 PCA and scatter analysis of Chinese plum germplasm in different subdivision

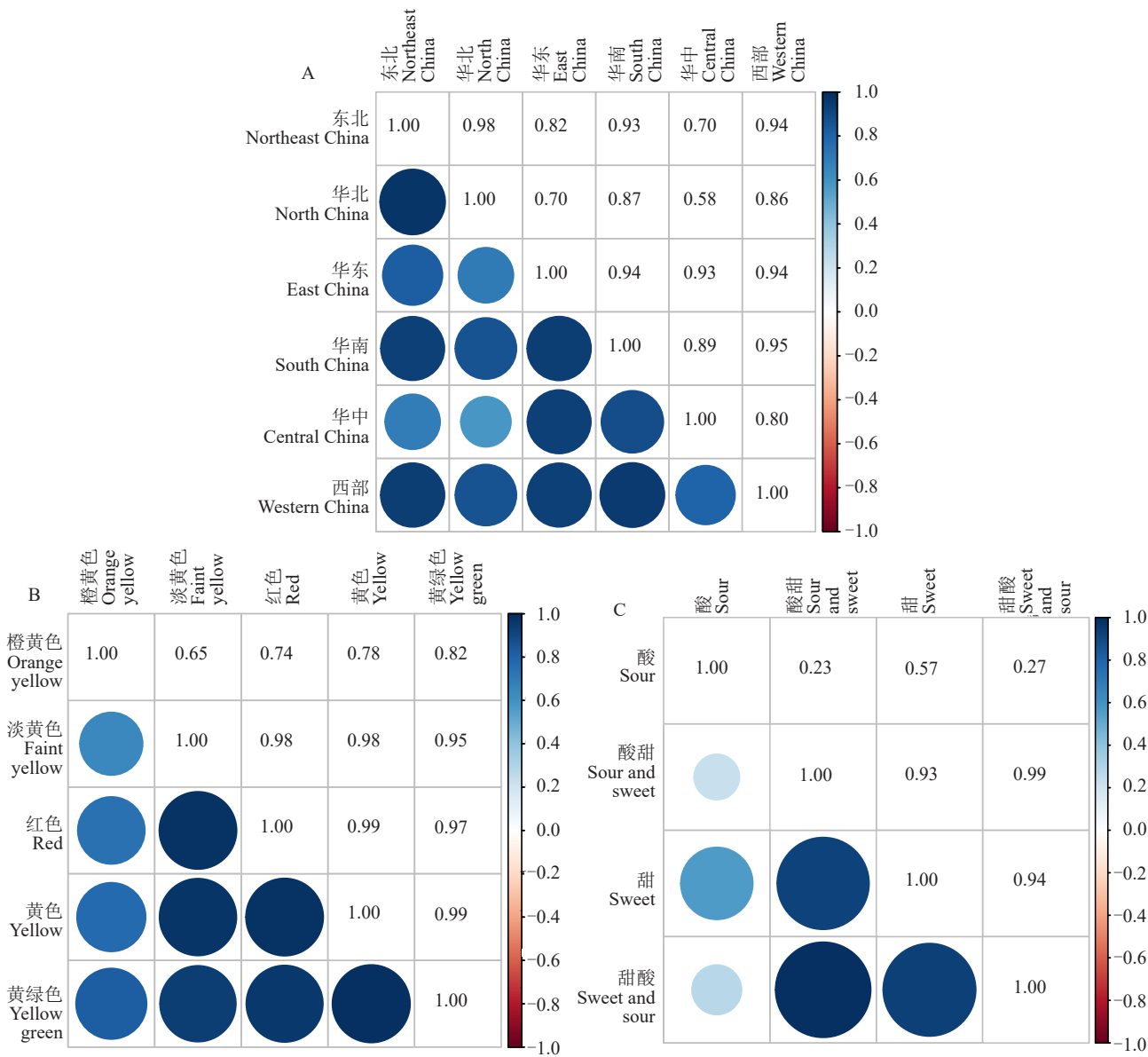
相关系数是0.99(图5-C)。

的品种(图6-A)。

2.4 中国李种质资源不同来源地味觉聚类分析

根据对 50 份中国李种质资源的 9 个味觉进行的聚类分析,可以将其划分为六个类群。第一类群(cluster 1,紫色)包括一个来自东北地区和一个来自华南地区的品种。第二类群(cluster 2,红色)主要包括华南和华东的品种。第三类群(cluster 3,绿色)主要由东北地区的品种组成。第四类群(cluster 4,黄色)是两个东北品种。第五类群(cluster 5,黑色)包含东北地区和华东地区品种各一个。第六类群(cluster 6,蓝色)主要包含来自西部地区和华东地区

根据聚类分析,对第二类群、第三类群和第六类群进行了分组分析(图6-B)。在甜味和咸味中,三组分类分布都较离散。在鲜味和甜味中,cluster 2、cluster 3 和 cluster 6 的分布相近且较集中,而 cluster 6 的鲜味和甜味数值均高于其他两组(大部分数值大于0)。在涩味回味中,cluster 2 的大部分数值小于0,而其他两个分组的数值均大于0。在其他味觉中,三个分组的分类比较集中。PCA 分析(图6-C),可以看出 cluster 2 主要集中分布在第一象限,cluster 3 主要分布在第四象限,而 cluster 6 主要分布在

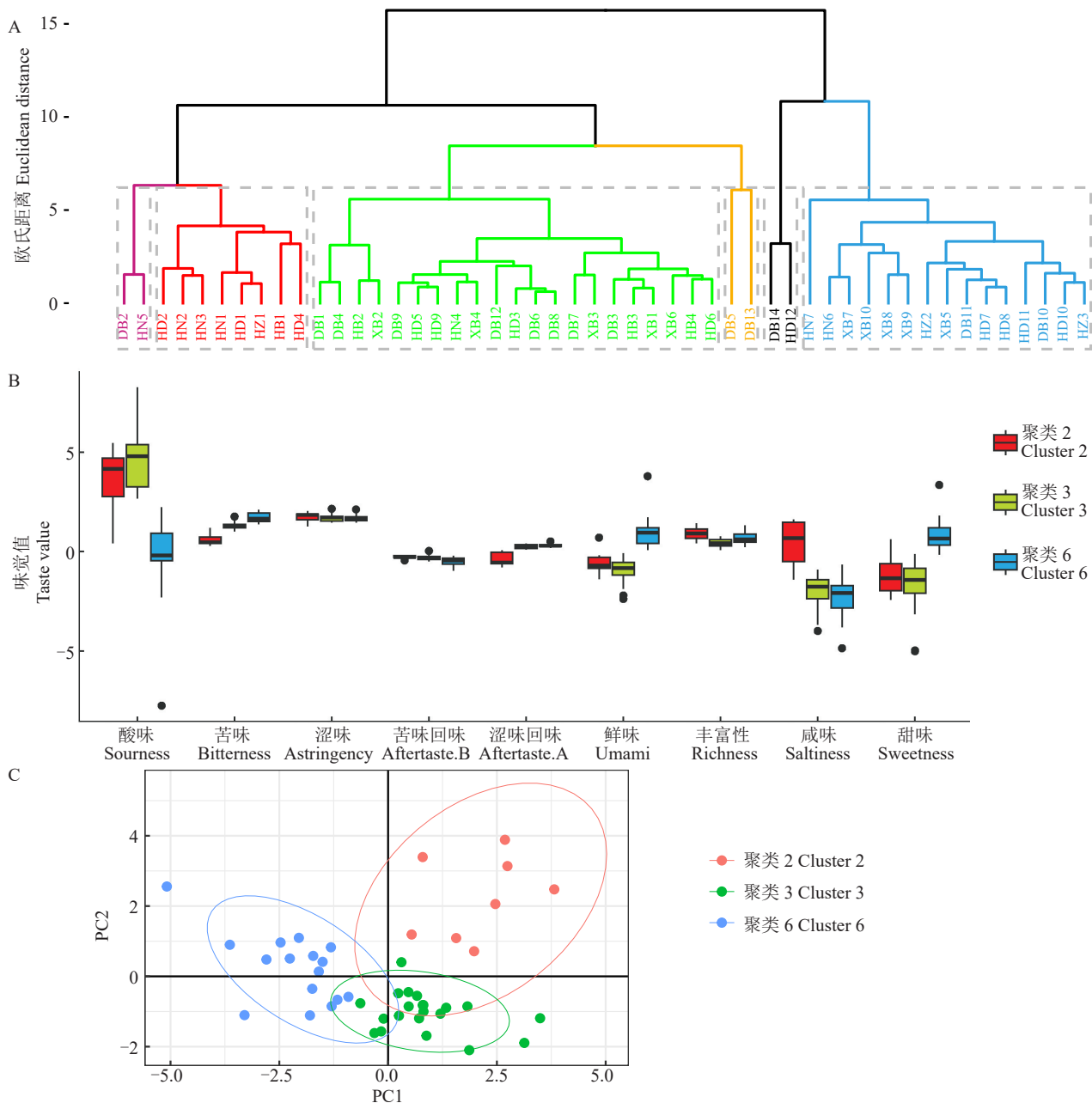


A. 不同来源地味觉相关性分析;B. 不同果肉颜色味觉相关性分析;C. 不同感官味觉相关性分析。

A. The correlation analysis of taste from different origin; B. The correlation analysis of taste with different flesh colors; C. The correlation analysis of taste with different sensory flavors.

图5 中国李种质资源不同分组味觉相关性分析

Fig. 5 The correlation analysis of taste Chinese plum germplasm from subdivisions



A. 中国李种质资源聚类分析; DB2. 锦西平顶香; HN5. 青州李; HD2. 晚李王; HN2. 快食李; HN3. 早熟李; HN1. 乐业无名李; HD1. 金滴; HZ1. 郑州早李; HB1. 秋王李; HD4. 珍珠李; DB1. 万福大紫李; DB4. 兴城寺田; HB2. 昌黎大紫李; XB2. 金沙李; DB9. 吉胜; HD5. 大青棵; HD9. 蜜李; HN4. 从化三华李; XB4. 奎丽; DB12. 长李 84 号; HD3. 紫玉; DB6. 绥李 3 号; DB8. 海城苹果李; DB7. 宽甸大李; XB3. 玫瑰李; DB3. 美丽李; HB3. 固安桃李; XB1. 阿坝州玫瑰李; XB6. 巴塘李; HB4. 改良; HD6. 青奈; DB5. 锦西七月香; DB13. 龙园蜜李; DB14. 龙园秋李; HD12. 红宝石; HN7. 三华李; HN6. 桐壳李; XB7. 紫云鸡血李; XB10. 木里李; XB8. 兴义空心李; XB9. 田坎麻李; HZ2. 大灰李; XB5. 银川玉皇李; DB11. 长李 15 号; HD7. 藕李; HD8. 兴岳李; HD11. 上海芙蓉李; DB10. 康什; HD10. 李水红; HZ3. 绿空心李; B. 中国李资源味觉箱形图; C. 中国李资源味觉散点图。

A. Cluster analysis of Chinese plum germplasm; DB2. Jinxipingdingxiang; HN5. Qingzhouli; HD2. Wanliwang; HN2. Kuaishili; HN3. Zaoshuli; HN1. Leyewumingli; HD1. Jindi; HZ1. Zhengzhouzaoli; HB1. Qiuwangli; HD4. Zhenzhuli; DB1. Wanfudazili; DB4. Xingchengsitianli; HB2. Changlidazili; XB2. Jinshali; DB9. Jisheng; HD5. Daqingke; HD9. Mili; HN4. Conghuasanhuali; XB4. Kuili; DB12. Changli No. 84; HD3. Ziyu; DB6. Suili No. 3; DB8. Haichengpingguoli; DB7. Kuandiandali; XB3. Meiguili; DB3. Meilili; HB3. Gu'antaoli; XB1. Abazhoumeiguili; XB6. Batangli; HB4. Gailiang; HD6. Qingnai; DB5. Jinxiqiyuexiang; DB13. Longyuanmili; DB14. Longyuanqiuli; HD12. Hongbaoshi; HN7. Sanhuali; HN6. Tongkeli; XB7. Ziyunjixueli; XB10. Mulili; XB8. Xingyikongxinli; XB9. Tiankanmali; HZ2. Dahuli; XB5. Yinchuan-yuhuangli; DB11. Changli No. 15; HD7. Zuili; HD8. Xingyueli; HD11. Shanghaifurongli; DB10. Kangshen; HD10. Lishuihong; HZ3. Lükongxinli; B. Boxplots of taste perception attributes of Chinese plum; C. The scatter plot of Chinese plum germplasm.

图 6 中国李种质资源聚类分析及主要聚类群 (cluster)

Fig. 6 Cluster analysis of Chinese plum germplasm and description of the main clusters

第二和第三象限。

3 讨 论

3.1 不同分组条件下中国李种质资源味觉差异

本研究结果表明,不同生态来源地的李品种在味觉特点上存在一定的差异。例如,华北地区的李品种在酸味和苦味方面分布较集中,华东地区的李品种在鲜味味觉上呈现较为分散的分布,华南地区的李品种在甜味、苦味、丰富性方面呈现分散的分布,东北地区的李品种涩味味觉值相对较高,西部地区的李品种咸味味觉值相对较低。然而,这些味觉特点在地区之间的差异似乎并不明显(未达到显著水平)。例如,笔者在本研究中发现,华北地区与华东、华中地区的味觉相关性较低,表明华北地区的李品种在味觉特点上与其他地区有较大的差异,可能是由于不同的生长环境和品种选择所致。但是,东北地区与华北地区、西部地区与华南地区在味觉上均呈现出一定的相关性,说明这些地区的李品种在味觉特点上有相似之处,可能是由相似的气候和土壤条件导致的。总的来说,不同地区的李品种在味觉特点上呈现一些特定特征,但在统计上,不同地区之间的味觉差异尚未达到显著水平,也就是说,各类味觉在不同地区的分布具有一定的分散性。这与其他水果,例如苹果^[23]和刺梨^[24]等研究结论并不完全相似。

笔者在本研究中基于对50份李种质资源的调查发现,尽管气候、土壤和品种选择等因素在某种程度上可能导致李品种的味觉特性差异,但仅仅依据地理来源因素全面区分不同李品种的味觉特点还不够充分。与之不同的,笔者在本研究中发现,果肉颜色似乎与味觉之间存在一定的关系,不同颜色的果肉在味觉特点上呈现出不同的分布模式。橙黄色果肉在酸味味觉上呈现集中分布,可能表示这种颜色的果肉在这些味觉特点上相对较为突出。红色果肉的酸味、甜味和鲜味呈现出分散的分布,这意味着红色果肉在味觉特点上相对较为多样化,可能同时具有酸味、甜味和鲜味的特点。淡黄色果肉的鲜味、苦味和咸味味觉分布相对集中,可能表示这种颜色的果肉在咸味、鲜味和苦味方面较为突出。黄色果肉的苦味味觉分布较分散,这可能意味着黄色果肉在苦味方面具有一定的差异。而黄绿色果肉在涩味味觉上具有集中分布的特点,可能表示这种颜色的果肉在涩味方面较为突出。此结论与猕猴桃^[25]、桃^[26]

等水果的研究结果相符。

酸/甜描述结果同样反映出与味觉之间存在一定的关系。首先,酸描述在鲜味味觉中表现出较高的中位数,这可能意味着酸味在李的味觉特点中相对较强。这与李酸味常常被人们所熟知的特点相符合。然而,笔者在本研究中借助电子舌的多种味觉分析,客观呈现了李果实除了酸味味觉之外的各种味觉组成和分布,在某种程度上,改变了人们对李果“酸”的刻板印象。此外,酸描述在苦味回味中表现出较低的中位数,这可能表示李的酸味在回味方面相对较弱,即酸味不会在口中留下长时间的苦味。其次,甜描述在甜味味觉中表现出较高的中位数,这可能意味着李的甜味相对较强。这与李通常被认为是一种甜美水果的特点相符合。值得注意的是,甜描述在鲜味、苦味和涩味味觉中也有一定的分布,这可能表示李的甜味在不同的味觉方面有一定的差异。此外,甜酸描述在多个味觉中都有一定的分布,这与某些品种的李果实同时具有酸和甜的特点相符合。然而,酸甜和甜酸的相关系数较高,这可能意味着酸和甜在某些李中通常是同时存在的。然而,基于《李种质资源描述规范和数据标准》(NY/T 2924—2016)^[5]中酸/甜描述分类受主观感知影响较大,不同人对相同水果的味道有不同的感知和评价,且不容易分辨出甜/酸之外的味觉,因此应用电子舌策略开展味觉鉴定评价有明显的优势。

3.2 中国李种质资源味觉的客观分组和差异

通过对供试的50份中国李的味觉整体分析,揭示出中国李客观上存在的三种味道类型:一是咸酸型,主要包括来自华南和华东地区的品种(cluster 2)。根据聚类分析和分组分析结果,这些李在苦味和涩味回味上的数值较低,但咸味味觉的数值较高。这意味着这些李具有较为酸咸的味觉特点,不会过于甜,且口感相对柔和。这可能与华南和华东地区的气候和土壤条件有关,这些地区的气候相对较温暖,可能有助于李的口感的形成(广东地区李常用于腌制咸味李果)。除本研究中的供试材料外,具有这种特点的还有华南品种连平三华李和华北品种昌黎黄牛心李^[26]。二是酸涩型,主要包括来自东北地区的品种(cluster 3)。根据聚类分析和分组分析结果,这些李在酸味和涩味上的数值较高。这意味着这些李具有较酸、涩的味觉特点。这可能是由东北地区的气候和土壤条件,以及这些品种的遗传背景导致的。除本

研究中的供试材料外,具有这种特点的东北品种还有安家晚熟、矮甜李、吉林黄干核。张艳波等^[27]研究发现带有涩味的品种主要是黄干核、李子梅、红干核系列的品种资源,占比约35.56%,吉林黄干核属于黄干核系列的品种资源,带有涩味。三是鲜甜型,主要包括来自西部地区和华东地区的品种(cluster 6)。根据聚类分析和分组分析结果,这些李在苦味、甜味及鲜味上的数值均较高,而在酸味和咸味味觉上的数值较低。这意味着这些李具有鲜甜的味觉特点,这可能与西部地区的气候和土壤条件有关,这些地区的气候相对干燥,可能有助于李的味觉特点的形成。除本研究中的供试材料外,具有这种特点的西部品种还有西北地区的玉皇李、奎丰和西南地区的青脆李、蜂糖李(口感较为鲜脆)。

传统上,人们对李的分类主要依据果实形态特征和颜色等外部特征。然而,这些外部特征并不能准确反映李的味觉特点。通过电子舌技术的应用,笔者可以更加客观地评价李的味觉特点,为李的品种鉴定和分类提供了新的方法和依据。不同类型的李具有不同的味觉特点,这意味着不同类型的李适合于不同的用途和市场需求。例如,酸涩型的李可能更适用于制作果酱或糖果,而鲜甜的李则更适合作为鲜食水果(例如,西南地区的李产业规模庞大,栽培和食李历史悠久),这对李的品质改良和选育具有指导意义。通过了解不同李的味觉特点,笔者可以有针对性地进行品质改良和选育,提高李的口感和市场竞争能力。此研究结果为中国李的品种鉴定和分类提供了科学依据。

3.3 中国李果实味觉性状特异种质资源筛选

9种味觉在50份中国李种质中广泛分布,客观上筛选出一批味觉特异的种质资源。来自广东地区利源三华李在酸味味觉中是最小值(离散点),同时也拥有最大甜味值,鲜味值突出。相反,河北地区昌黎大紫李在味觉测试中显示出酸味的最大值和甜味的最小值,这与笔者主观的风味评价一致。这两种味觉特性能够在口感中明显地被察觉。笔者在本研究中发现,部分李品种,如河北地区秋王李、河南地区郑州早李和福建地区永泰珍珠李具有突出的咸味味觉特性,这种咸味主要来自无机盐的存在,是补充人体无机盐很好的来源。此外,笔者还观察到山东烟台红宝石李具有最大值的苦味特性(表现为离散点),并伴有较大的涩味味觉值。同时,辽宁地区锦

西七月李的苦味回味和涩味回味也表现出最大值(离散点)。另外,广东地区青州李和辽宁地区锦西平顶香李表现出了高度的味觉多样性。

在育种工作中,选择性状突出的亲本有助于发挥杂交后代的遗传优势,进而更容易培育出卓越的品种。上述李种质味觉特异性性状背后蕴藏着丰富的优势基因库,是改善李味觉品质性状、增强“民族水果”属性的宝贵物质基础。聚合了多种优势味觉性状的秋王李、红宝石李、锦西七月李、青州李种质在我国李现代育种和“种业振兴”中具有非常明显的育种潜力。

4 结 论

笔者在本研究中应用电子舌技术对50份中国李资源进行不同分组方法的味觉精准评价,李果实的味觉除少数味觉外,整体在生态来源地之间没有明显差异,但与果肉颜色、酸/甜描述评价存在一定的相关性。与此同时,发现中国李的味觉客观上可以分为酸涩型、咸酸型和鲜甜型,这一研究结果不仅为李的品种鉴定和分类提供了科学依据,还对李的品质改良、地理分布和生态适应具有重要意义。同时,笔者在本研究中筛选出一系列优异味觉突出、劣势味觉缺乏的种质材料,这些材料及背后的遗传基因将成为我国李育种中的“种业芯片”,具有重要的意义和利用价值,为中国李产业的发展和推广提供了科学支持。

参考文献 References:

- [1] 刘威生,章秋平,马小雪,张玉萍,刘家成,张玉君,刘硕,刘宁,徐铭. 新中国果树科学研究70年:李[J]. 果树学报,2019,36(10):1320-1338.
LIU Weisheng, ZHANG Qiuping, MA Xiaoxue, ZHANG Yuping, LIU Jiacheng, ZHANG Yujun, LIU Shuo, LIU Ning, XU Ming. Fruit scientific research in New China in the past 70 years: Plum[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(10): 1320-1338.
- [2] 刘硕,徐铭,刘家成,章秋平,马小雪,刘宁,张玉萍,张玉君,赵海娟,刘威生. 世界李育种概况[J]. 中国农业科学,2023,56(9):1744-1759.
LIU Shuo, XU Ming, LIU Jiacheng, ZHANG Qiuping, MA Xiaoxue, LIU Ning, ZHANG Yuping, ZHANG Yujun, ZHAO Haijuan, LIU Weisheng. An overview of the worldwide plum breeding[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2023, 56(9): 1744-1759.
- [3] 凤凰访谈:刘威生博士谈第十八次全国李杏学术交流会为什么结缘信宜[Z]. [2023-05-23]. <http://biz.ifeng.com/c/8QD8cnv0SK5>.
Phoenix Interview: Dr. Liu Weisheng's discussion on why the 18th national Li Xing academic exchange meeting met with Xinyi[Z]. [2023-05-23]. <http://biz.ifeng.com/c/8QD8cnv0SK5>.
- [4] 联合国粮农组织数据库[OL]. 2020. <https://www.fao.org/home/en/>.
Food and Agriculture Organization of the United Nations Database (FAOSTAT)[OL]. 2020. <https://www.fao.org/home/en/>.

- [5] 郁香荷,刘威生. 李种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2006.
- YU Xianghe, LIU Weisheng. Descriptors and data standard for plum[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [6] 中华人民共和国农业部. 农作物种质资源鉴定技术规程 李: NY/T 1308—2007[S]. 北京:中国农业出版社,2007.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Technical code for evaluating germplasm resources plum (*Prunus*): NY/T 1308—2007[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.
- [7] 中华人民共和国农业部. 农作物优异种质资源评价规范 李: NY/T 2027—2011[S]. 北京:中国农业出版社,2011.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Evaluation standards of elite and rare germplasm resources: Plum (*Prunus* subgenus. *Prunus* Mill.): NY/T 2027—2011[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2011.
- [8] 程文强,龚榜初,吴开云,杨旭,王衍鹏,范金根,滕国新,刘翠玉,徐阳. 基于质构仪与电子舌的甜柿口感品质综合评价[J]. 果树学报,2022,39(7):1281-1294.
- CHENG Wenqiang, GONG Bangchu, WU Kaiyun, YANG Xu, WANG Yanpeng, FAN Jingen, TENG Guoxin, LIU Cuiyu, XU Yang. Comprehensive evaluation of taste quality of non-astringent persimmon based on texture analyzer and electronic tongue[J]. Journal of Fruit Science, 2022, 39(7): 1281-1294.
- [9] 李建军,常筱沛,马静潇,贺敬颖,董世可,杨梅. 电子眼、电子鼻和电子舌鉴别不同品种、不同产地生地黄[J]. 中成药,2022,44(11):3549-3554.
- LI Jianjun, CHANG Xiaopei, MA Jingxiao, HE Jingying, DONG Shike, YANG Mei. Discrimination of different cultivars and habitats of raw *Rehmannia glutinosa* with electronic eye, electronic nose and electronic tongue[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2022, 44(11): 3549-3554.
- [10] 王鹏,韩颖. 功能饮料滋味电子舌与感官评价相关性分析[J]. 食品研究与开发,2018,39(3):184-188.
- WANG Peng, HAN Ying. Research on the correlation between electronic tongue analysis and sensory evaluation of beverages[J]. Food Research and Development, 2018, 39(3): 184-188.
- [11] 潘玉成,叶乃兴,江福英,黄先洲. 电子舌在茶叶检测识别中的应用[J]. 茶叶科学,2016,36(6):621-630.
- PAN Yucheng, YE Naixing, JIANG Fuying, HUANG Xianzhou. Application of electronic tongue in tea detection and identification[J]. Journal of Tea Science, 2016, 36(6): 621-630.
- [12] 吴锦源,梁梓健,李生花,符树勇,杨文安,高向阳. 5种功能性甜味剂对莲蓉馅料品质的影响[J]. 食品科学,2023,44(8):62-70.
- WU Jinyuan, LIANG Zijian, LI Shenghua, FU Shuyong, YANG Wen'an, GAO Xiangyang. Effect of five functional sweeteners on the quality of lotus paste filling[J]. Food Science, 2023, 44(8): 62-70.
- [13] 任新乐,李长春,孙斐,傅茂润,韩聪. 基于电子舌和质构仪的不同品种樱桃滋味及质地差异分析[J]. 中国果菜,2023,43(2):66-71.
- REN Xinle, LI Changchun, SUN Fei, FU Maorun, HAN Cong. Analysis on flavor and texture difference of different cherry varieties based on electronic tongue technology and texture analyzer[J]. China Fruit & Vegetable, 2023, 43(2): 66-71.
- [14] 解云,陈邵德盟,蔡文超,高俊,单春会,郭壮,赵慧君. 基于电子鼻和电子舌技术对不同品种红枣香气和滋味的差异分析[J]. 中国酿造,2022,41(12):178-182.
- XIE Yun, CHEN Shaodegang, CAI Wenchao, GAO Jun, SHAN Chunhui, GUO Zhuang, ZHAO Huijun. Aroma and taste differences analysis of different varieties of jujubes based on electronic nose and electronic tongue technology[J]. China Brewing, 2022, 41(12): 178-182.
- [15] KIM C, KIM S J, LEE Y J, NGUYEN T M, LEE J M, MOON J S, HAN D W, OH J W. A phage- and colorimetric sensor-based artificial nose model for banana ripening analysis[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2022, 362: 131763.
- [16] VITALIS F, NUGRAHA D T, AOUADI B, BÓSQEZ J P A, BODOR Z, ZAUUU J L Z, KOCIS T, ZSOM-MUHA V, GILLAY Z, KOVACS Z. Detection of *Monilia* contamination in plum and plum juice with NIR spectroscopy and electronic tongue[J]. Chemosensors, 2021, 9(12): 355.
- [17] KASSAMBARA A, MUNDT F. Package 'Factoextra': Extract and visualize the results of multivariate data analyses[CP]. [2023-11-17]. 2017, <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>.
- [18] MAECHLER M, ROUSSEUW P, STRUYF A, HUBERT M, HORNIK K. Package 'Cluster': Dosegljivo na[CP]. [2023-11-17]. 2013. <https://cran.r-project.org/package=cluster>.
- [19] LÊ S, JOSSE J, HUSSON F. FactoMineR: An R package for multivariate analysis[J]. Journal of Statistical Software, 2008, 25(1): 1-18.
- [20] WICKHAM H. ggplot2[J]. WIREs Computational Statistics, 2011, 3(2): 180-185.
- [21] KASSAMBARA A, KASSAMBARA M A. Package 'ggcorrplot': R package version 0.1[CP]. [2023-11-17]. 2019, <https://mirrors.cqu.edu.cn/CRAN/web/packages/ggcorrplot/index.html>.
- [22] SLOWIKOWSKI K, SCHEP A, HUGHES S, DANG T K, LU-KAUSKAS S, IRISSON J, KAMVAR Z N, RYAN T, CHRISTOPHE D, HIROAKI Y, GRAMME P, ABDOL A M, BARRETT M, CANNOODT R, KRASSOWSKI M, CHIRICO M, APHALO P, BARTON F. Package ggrepel: Automatically position non-overlapping text labels with 'ggplot2' [CP]. [2023-11-17]. 2018. <https://CRAN.R-project.org/package=ggrepel>.
- [23] 匡立学,聂继云,李银萍,程杨,沈友明. 中国不同地区‘富士’苹果品质评价[J]. 中国农业科学,2020,53(11):2253-2263.
- KUANG Lixue, NIE Jiyun, LI Yinping, CHENG Yang, SHEN Youming. Quality evaluation of 'Fuji' apples cultivated in different regions of China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(11): 2253-2263.
- [24] 俞露,赵芷,张文欣,任廷远. 贵州不同地区刺梨的综合品质对比分析[J]. 现代食品科技,2021,37(9):169-178.
- YU Lu, ZHAO Zhi, ZHANG Wenxin, REN Tingyuan. Comparative comprehensive quality analysis of *Rosa roxburghii* fruit from different regions in Guizhou Province[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(9): 169-178.
- [25] 李文生,石磊,王宝刚,冯晓元,侯玉茹,杨军军,张长松. 不同颜色果肉猕猴桃营养品质的比较[J]. 食品科技,2012,37(7):47-48.
- LI Wensheng, SHI Lei, WANG Baogang, FENG Xiaoyuan, HOU Yuru, YANG Junjun, ZHANG Changsong. Comparison of nutritional qualities of different flesh kiwifruit[J]. Food Science and Technology, 2012, 37(7): 47-48.
- [26] 刘雪平,张永涛,崔晓梅,顾召帅,崔爱华,刘云国. 不同桃品种的品质及加工特性评价分析[J]. 保鲜与加工,2023,23(6):34-40.
- LIU Xueping, ZHANG Yongtao, CUI Xiaomei, GU Zhaoshuai, CUI Aihua, LIU Yunguo. Evaluation and analysis of qualities and processing characteristics of different peach varieties[J]. Storage and Process, 2023, 23(6): 34-40.
- [27] 张艳波,陈蕾,崔龙,李锋. 吉林省李品种资源果实主要性状鉴定与评价[J]. 北方果树,2018(1):14-17.
- ZHANG Yanbo, CHEN Lei, CUI Long, LI Feng. Identification and evaluation of fruit main characters of plum varieties in Jilin Province[J]. Northern Fruits, 2018(1): 14-17.