

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

任新乐¹,李长春²,孙斐¹,傅茂润¹,韩聪^{1*}

(1. 齐鲁工业大学(山东省科学院)食品科学与工程学院,山东 济南 250353;

2. 山东尚春农业科技有限公司,山东 济南 250300)

摘要:为了探讨不同品种樱桃的滋味和质构差异,本研究选择‘拉宾斯’‘红灯’‘布鲁克斯’‘美早’‘萨米脱’5个樱桃品种,利用质构仪进行质构分析,得到不同品种樱桃果实的质构数据;再利用电子舌对样品进行检测,得到6个滋味数据,并对其进行比较分析。质构数据显示,5种樱桃的果皮硬度为3~4 N,‘拉宾斯’的最大,‘萨米脱’的最小;果肉硬度平均值均在0.5 N以下,‘美早’的最大,‘萨米脱’的最小。电子舌测试结果显示,5个樱桃品种的酸味和甜味明显不同,酸味由强到弱的顺序是‘红灯’‘布鲁克斯’‘拉宾斯’‘美早’‘萨米脱’,甜味由强到弱的顺序是‘萨米脱’‘布鲁克斯’‘美早’‘拉宾斯’‘红灯’,且5种樱桃的甜味与可溶性固形物含量呈正相关。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;且5个品种的樱桃在苦味上差异不大,在味觉上的差异主要表现在酸味和甜味上。

关键词:樱桃;品种;电子舌;滋味;质地

中图分类号:TS207.3

文献标志码:A

文章编号:1008-1038(2023)02-0066-06

DOI:10.19590/j.cnki.1008-1038.2023.02.011

Analysis on Flavor and Texture Difference of Different Cherry Varieties Based on Electronic Tongue Technology and Texture Analyzer

REN Xinle¹, LI Changchun², SUN Fei¹, FU Maorun¹, HAN Cong^{1*}

(1. School of Food Science and Engineering, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan 250353, China; 2. Shandong Shangchun Agricultural Technology Co., Ltd., Jinan 250300, China)

Abstract: In order to explore the taste and texture differences of different cherry varieties, this study selected five cherry varieties, ‘Rabins’, ‘Red Light’, ‘Brooks’, ‘Meizao’ and ‘Sameto’, and used texture analyzer to conduct texture analysis to obtain texture data of different cherry varieties. Then, the electronic tongue was used to detect the samples, and six taste data were obtained, and compared and analyzed. Texture data showed that the peel hardness

收稿日期:2022-11-09

基金项目:济南市农业应用技术创新计划项目(202005)

第一作者简介:任新乐(1999—),男,在读硕士,研究方向为农产品加工与贮藏

* 通信作者简介:韩聪(1990—),男,讲师,博士,主要从事农产品加工及果蔬采后贮藏保鲜的研究工作

of the five cherries was 3–4 N, and that of ‘Rabins’ was the largest, and that of ‘Sameto’ was the smallest. The average value of flesh hardness was below 0.5 N, with the largest value of ‘Meizao’ and the smallest value of ‘Sameto’. The results of electronic tongue test showed that the sour and sweet taste of the five cherry varieties were significantly different. The order of sour taste from strong to weak was ‘Red Light’, ‘Brooks’, ‘Rabins’, ‘Meizao’ and ‘Sameto’. In the comparison of sweetness, the order of sweetness from strong to weak was ‘Sameto’, ‘Brooks’, ‘Meizao’, ‘Rabins’, and ‘Red Light’. Also, the levels of sweetness in the five cherry varieties were positively correlated with the values of soluble solid content. The astringency, bitter aftertaste, astringency aftertaste and richness (fresh aftertaste) of cherries were close to the tasteless point. And the difference in bitter taste of the five varieties of cherries was not significant. The difference in taste of the five varieties of cherries was mainly reflected in sour taste and sweet taste.

Keywords: Cherry; varieties; electronic tongue; flavor; texture

樱桃是蔷薇科李属樱亚属经济木^[1],在我国产地分布较广,已有 2 000 多年的栽培历史。樱桃果实生长发育快,成熟期早,被称为“早春第一果”^[2]。樱桃果实色彩鲜艳,肉厚多汁,营养丰富,含有丰富的糖类、维生素、花色苷、酚酸类^[3]、黄酮类等营养物质^[4],具有抗氧化、预防心血管疾病、预防癌症、提高身体免疫力、提高睡眠质量、缓解疲劳等作用^[5]。此外,樱桃还具有调节气血、益肾补精、平肝祛热、健脾祛湿、补血等功效^[6],因此深受消费者喜爱。

电子舌技术是一种高效便捷的识别、分析样品滋味的新型检测技术手段^[7]。作为一种仿生味觉系统,电子舌通过模仿生命体的味觉识别机制,即采用与味蕾细胞工作原理相类似的人工脂膜传感技术,故味觉传感器能够探测到接近生命体所能感知的“味觉”^[8]。传感器通过测量人工脂膜表面的电势变化检测味道,评估各种口味。目前,电子舌已被广泛应用在食品味道评价、食品掺伪鉴定、食品加工过程检测、中药材鉴别研究、茶叶分级、酒类区分、香辛料评价等领域^[9–10],在食品、医药、化工等行业具有广阔的应用前景。

质构是水果众多评价指标中的主要指标之一^[11]。目前对食品质构评价的主要方法有传统的感官评价和质构仪器测量两种^[12]。传统的感官评测需要具有专业知识和专业判断能力的专业评审员,评价过程效率低、步骤繁琐,而且感官评价结果往往因人而异,主观性差异较大,结果不够稳定。质构仪则能够通过不同的物理处理模式对食品进行加工检测^[13],以数据的形式客观准确地反映食品的力学特征,如食品的硬度、弹性、柔软性等指标^[14]。质构仪在水果中主要测试水果的成熟度、果皮

的硬度、果实脆性、果皮或果肉的弹性等指标。质构仪因其高效、简便、灵敏度高等优点被广泛应用在各种食品质构评价中^[15]。

目前,国内的鲜食樱桃品种繁多,约有 100 种,主要有‘拉宾斯’‘美早’‘红灯’‘布鲁克斯’‘桑提娜’‘萨米脱’‘早红宝石’‘极佳’等^[16]。不同品种的樱桃酸甜不一、滋味各异,而对于不同樱桃品种的滋味分析鲜有研究。此外,不同樱桃品种成熟时的软硬度不同,而软硬度是决定樱桃销售半径的一个重要因素。本研究选择济南当地种植面积较大的五个代表性品种为试验材料,利用质构仪和电子舌对样品进行质构分析和滋味检测,得到不同品种樱桃果实的质构结果和电子舌传感器响应值,并对其进行分析,为不同樱桃品种的采后储运及消费者选择提供理论支持^[17]。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料于 2020 年 5 月采自山东省济南市长清区五峰镇纸坊村春汇山庄,选用‘拉宾斯’‘红灯’‘布鲁克斯’‘美早’‘萨米脱’5 个樱桃品种。

1.2 仪器与设备

TS-5000Z 味觉分析系统,日本 INSENT 公司;JYL-Y3 型多功能破壁机,九阳股份有限公司;TMS-Pro 型专业级食品物性分析仪,美国 FTC 公司;KQ-250D 型数控超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;YP5102 型电子天平,上海光正医疗仪器有限公司。

1.3 方法

利用电子舌对 5 种樱桃样品进行分析时,需要对影响电子舌传感器特征响应值的主要参数进行优化,包括樱桃样品的前处理、试验温度等。实际样品最佳分析方法的确立要满足两个条件:一是电子舌对样品味道的全面提取,寻找并分析不同来源、不同品种樱桃的味道特征,即实现组间差异最大化;二是使样品溶液的味道保持稳定,组内差异减小,以期最大限度地对不同品种的樱桃进行区分。

1.3.1 质构分析

取完整的樱桃果实,样品高度均在 22~25 mm 之间,将赤道部分果肉对准质构仪探头。食品物性分析仪直径 2 mm 的柱形探头(探头编号:432-076)从起始位置开始,以 60 mm/min 的测试前速度接触到样品的表面后(触发力 0.05 N),再以 3 mm/min 测试速度穿过样品表面并继续穿刺到样品内部,达到 8 mm 的穿刺距离后以 60 mm/min 的测试速度返回起始位置。每个品种平行测定 7 个,结果取平均值。

1.3.2 可溶性固形物(TSS)含量的测定

从每个品种的樱桃果实中随机选取 5 个大小、颜色均匀,表皮光滑,无病虫害,无机械伤的样品,去核研磨成浆后,用三层纱布过滤浆液,用 PAL-1 手持式折光仪测定可溶性固形物含量,每个处理重复测定 3 次,取其平均值。

1.3.3 电子舌参数的确定

每个品种分别选择大小、颜色均匀,表皮光滑,无病虫害,无机械伤的八成熟樱桃样品若干,超声洗净后去核,称取 50 g 样品切成小块后置于多功能破壁机中,添加 200 g 蒸馏水,打碎混匀 2 min,四层纱布过滤,取滤液用于电子舌测试。

电子舌经活化、校正、诊断通过,在确保采集得到的

数据可靠、稳定的条件下进行测定。在本实验中,25℃室温下进行分析测试,进样体积 25 mL,数据采集时间 120 s,采集周期 1 s,清洗时间为 10 s。电子舌所得所有数据都是以人工唾液(参比溶液)为标准的绝对输出值,电子舌测试人工唾液的状态,模拟人口腔中只有唾液时的状态。其中参比溶液的输出值为无味点(Tasteless),参比溶液(reference)由氯化钾和酒石酸组成味觉值。每份样品按照平行测试 3 次,进行分析处理。

1.3.4 味单位的确定

根据韦伯费希纳定律,在同类刺激下,差别阈值的大小随标准刺激强弱呈一定比例关系^[18]。对于味道来说,大部分动物对味觉增加的响应与溶液中味觉物质浓度的对数成一定的线性关系^[19]。一般来说,味物质的强度发生 20% 的变化时,人舌可以识别其差异。本实验所用的日本 INSENT 电子舌将味物质 20% 的强度变化定义为一个单位,味单位与味物质强度的对数成正比。

1.3.5 不同品种樱桃的主成分分析

主成分分析(principal component analysis,PCA)是一种常用的统计分析方法。分别以主成分一和主成分二为横、纵坐标,本实验中显示方差贡献率分别为 70.58% 和 25.52%,基于本次测试的所有味觉指标,对 5 种樱桃进行主成分分析。

1.4 数据处理

利用 Excel 2013 进行数据处理,Origin 2019 用于数据作图,用 SPSS 26 进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 5 种樱桃的质构分析

樱桃穿刺试验典型图谱如图 1 所示。在 0~4 mm 区间内探头位移与质构仪负载呈线性关系,直线的斜率表

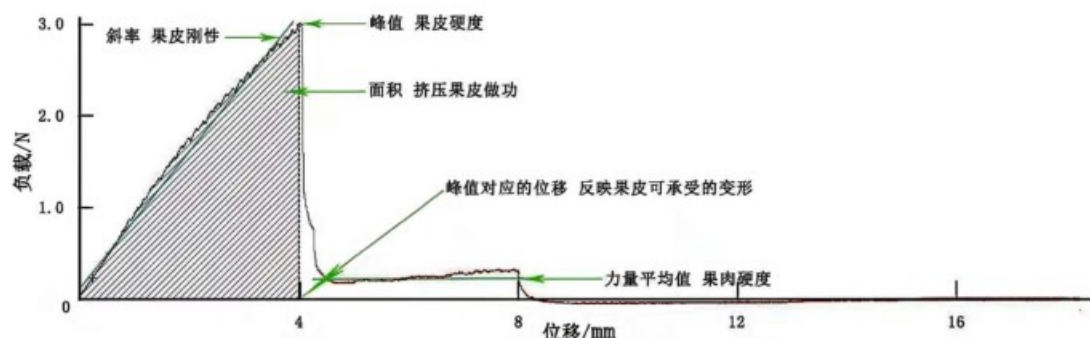


图 1 樱桃穿刺试验典型图谱

Fig.1 Typical atlas of cherry puncture experiment

表 1 樱桃质构指标结果表
Table 1 Results of cherry texture index

品种	穿刺距离/mm	样品高度/mm	果皮硬度/N	达到果皮硬度时的位移 /mm	最大模量/(N/mm)	果肉硬度/N
红灯	8.00	25.18 ± 0.94 ^a	3.51 ± 0.57 ^{ab}	4.08 ± 0.27 ^{ab}	0.84 ± 0.13 ^{ab}	0.27 ± 0.02 ^{ab}
拉宾斯	8.00	23.40 ± 0.33 ^b	4.24 ± 0.43 ^a	4.04 ± 0.49 ^{ab}	1.04 ± 0.18 ^a	0.26 ± 0.10 ^b
布鲁克斯	8.00	23.38 ± 0.38 ^b	3.73 ± 0.59 ^{ab}	3.88 ± 0.41 ^{ab}	0.96 ± 0.27 ^{ab}	0.26 ± 0.14 ^{ab}
美早	8.00	23.01 ± 0.23 ^b	3.10 ± 0.46 ^b	3.38 ± 0.46 ^b	0.90 ± 0.17 ^b	0.37 ± 0.07 ^a
萨米脱	8.00	22.98 ± 0.10 ^b	3.06 ± 0.13 ^b	4.09 ± 0.27 ^a	0.75 ± 0.04 ^b	0.25 ± 0.01 ^b

注:表中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

示樱桃果皮的刚性;在探头位移 4 mm 时,质构仪负载到达峰值,峰值表示果皮的硬度。峰值所对应的位移,反映了果皮可承受的变形;从位移为 0 到峰值对应位移 4 mm 的区间内,斜线积分形成的面积表示挤压果皮所做的功;峰值对应位移到 8 mm 位移区间内的质构仪负载表示果肉硬度位移 8 mm 后质构仪负载趋近于 0。

由表 1 可知,樱桃的果皮可承受一定的形变,所有样品在形变 4 mm 左右会破裂,但达到果皮硬度时的位移存在差异,其中‘美早’的果皮可形变的程度最差,在达到果皮硬度时的位移为 3.38 mm,‘萨米脱’和‘红灯’的果皮可形变的程度较好,在达到果皮硬度时的位移分别为 4.09、4.08 mm。几种樱桃的果皮硬度在 3~4 N 之间,相较而言,‘美早’和‘萨米脱’的果皮相对较软,‘拉宾斯’和‘布鲁克斯’的果皮相对较硬。根据食品物性学原理,食品模量是指材料在受力状态下应力与应变之比,其值越大,使材料发生一定弹性变形的应力也越大,即样品硬度越大^[30]。样品的最大模量表现出明显差异,‘拉宾斯’的最大模量在所有样品中最大,‘萨米脱’的最大模量在所有样品中最小,这与果皮硬度的结果是一致的。5 个品种所有样品的樱桃果肉非常柔软,与果皮硬度相比,果肉硬度均很低,均在 0.5 N 以下。

2.2 可溶性固形物(TSS)结果分析

表 2 可溶性固形物(TSS)含量表
Table 2 Table of Soluble solids (TSS) content

品种	TSS 含量
萨米脱	14.6 ± 0.2 ^a
美早	13.5 ± 0.1 ^a
布鲁克斯	14.0 ± 0.3 ^b
拉宾斯	13.1 ± 0.2 ^a
红灯	11.9 ± 0.3 ^a

如表 2 所示,5 个品种樱桃的 TSS 含量有显著差异,TSS 含量由高到低依次是‘萨米脱’>‘布鲁克斯’>‘美早’>‘拉宾斯’>‘红灯’。

2.3 电子舌结果与分析

2.3.1 味觉指标分析

由表 3 可知,樱桃具有明显的酸味,所有品种的酸味在数值上明显高于无味点,如图 2 和图 3(见下页)所示,5 个品种的樱桃在酸味上存在明显的差异,比较可见‘红灯’的酸味最强,‘萨米脱’的酸味最弱,五个样品酸味由强到弱的顺序是‘红灯’>‘布鲁克斯’>‘拉宾斯’>‘美早’>‘萨米脱’。甜味由强到弱的顺序是‘萨米脱’>‘布鲁克斯’>‘美早’>‘拉宾斯’>‘红灯’,‘萨米脱’最强,‘红灯’最弱,且 5 种樱桃的甜味与 TSS 含量呈正相关。依靠酸甜味的辨别,容易区分出‘红灯’和‘萨米脱’两个品种。‘布鲁克斯’的甜味和酸味都较强,‘美早’和‘拉宾斯’酸味和甜味数值都处于中等水平,并且酸味和甜味相当,单纯依靠酸甜味很难区别‘美早’和‘拉宾斯’两个品种。

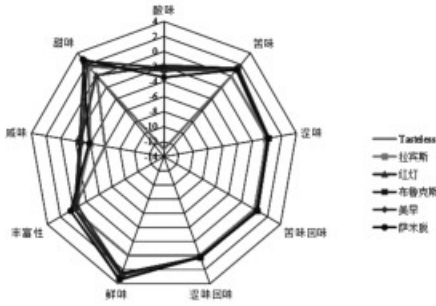


图 2 以 RefSol 为基准的樱桃味觉雷达图

Fig.2 Cherry taste radar based on Refsol

由图 2 可知,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,这表明樱桃中很难被尝出

涩味、苦味回味、涩味回味和丰富性(鲜味回味),并且依靠涩味、苦味回味、涩味回味和丰富性(鲜味回味)不能区分5个樱桃品种。但5种樱桃的咸味存在差异,‘布鲁克斯’的咸味最大,‘拉宾斯’的咸味最小,其他3个品种的樱桃咸味无明显差异。此外樱桃的其他味觉指标的数值均明显高于无味点,均是樱桃有效的味觉指标。

2.3.2 不同品种樱桃的 PCA 分析

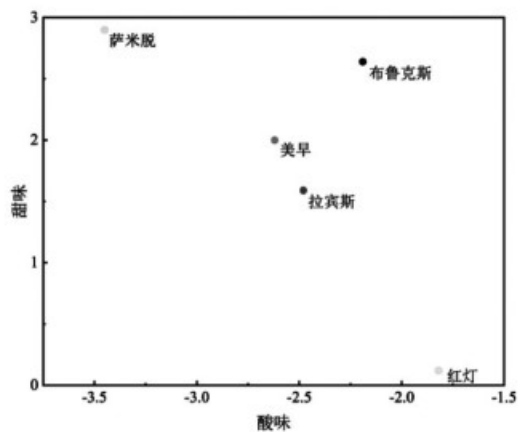


图3 樱桃的酸味和甜味散点图
Fig.3 Scatter plot of sour and sweet flavors of cherry

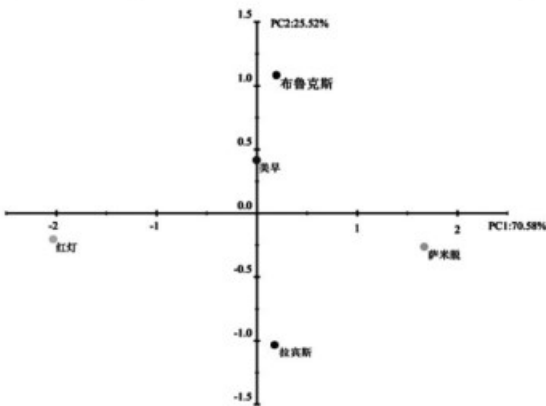


图4 樱桃的 PCA 分析图
Fig.4 Principal component analysis of cherry

如图4所示,5个樱桃样品被明确地区分开来,‘红灯’和‘萨米脱’在第一主成分上存在明显的差异,‘布鲁克斯’‘美早’‘拉宾斯’在第二主成分上存在明显差异。由表4可见,甜味、酸味、咸味等对第一主成分的贡献较大,咸味、甜味、鲜味等味觉指标对第二主成分有较大的贡献,由此可见5个品种的樱桃在味道上的差异主要表现在甜味、酸味、咸味、鲜味等味觉指标上。

表4 味觉指标贡献率表
Table 4 Contribution rate of taste index

项目	PC1	PC2
酸味	-0.415 197	0.146 887
苦味	-0.057 793	0.178 256
涩味	-0.028 779	0.179 467
苦味回味	-0.005 644	0.113 232
涩味回味	-0.015 613	0.022 725
鲜味	0.233 169	-0.398 186
丰富性	0.289 395	-0.012 328
咸味	-0.304 055	0.700 033
甜味	0.769 806	0.502 346
特征值	1.744 8 69	0.630 832
贡献率	70.579 984	25.517 183

2.4 方差分析

由表5可知, m_2 值反映传感器的区分能力(值越低样品的区分性越好)。误差率:将样品整体偏差作为100%,而后求样品测定误差与其的比率。误差率=20%:样品最大可识别为5组;误差率=50%:样品最大可识别为2组;误差率=100%: $g=s_2$,不能有效识别。由表5可见,9组滋味数值的 m_2 值分别为17.05%、67.85%、120.48%、20.19%、91.67%、14.87%、11.90%、50.97%、

表3 樱桃样品的电子舌试验数据
Table 3 Results of electronic tongue test of cherry samples

品种	酸味	甜味	苦味	涩味	苦味回味	涩味回味	鲜味	丰富性	咸味
无味点	-13	0	0	0	0	0	0	0	-6
拉宾斯	-2.48 ± 0.14 ^c	1.59 ± 0.03 ^d	1.07 ± 0.27 ^e	-0.15 ± 0.50 ^a	0.24 ± 0.01 ^a	0.12 ± 0.01 ^b	3.52 ± 0.06 ^a	-0.21 ± 0.02 ^b	-4.02 ± 0.86 ^b
红灯	-1.82 ± 0.14 ^a	0.12 ± 0.05 ^e	1.33 ± 0.03 ^{ab}	0.22 ± 0.07 ^a	0.40 ± 0.01 ^b	0.30 ± 0.01 ^a	2.51 ± 0.02 ^d	-0.69 ± 0.01 ^c	-2.69 ± 0.03 ^a
布鲁克斯	-2.19 ± 0.10 ^b	2.64 ± 0.13 ^b	1.40 ± 0.05 ^a	0.24 ± 0.04 ^a	0.48 ± 0.03 ^a	0.21 ± 0.11 ^{ab}	2.63 ± 0.09 ^d	-0.18 ± 0.06 ^b	-2.55 ± 0.01 ^a
美早	-2.62 ± 0.09 ^c	2.00 ± 0.18 ^c	1.45 ± 0.05 ^a	0.28 ± 0.07 ^a	0.45 ± 0.02 ^a	0.19 ± 0.09 ^{ab}	2.83 ± 0.08 ^c	-0.22 ± 0.01 ^b	-2.85 ± 0.03 ^a
萨米脱	-3.45 ± 0.09 ^d	2.90 ± 0.08 ^a	1.10 ± 0.05 ^b	0.14 ± 0.03 ^a	0.38 ± 0.03 ^b	0.26 ± 0.06 ^a	3.37 ± 0.10 ^b	0.42 ± 0.09 ^a	-3.84 ± 0.02 ^b

8.98%,除涩味($m_2 \geq 100\%$)外的味觉传感器对樱桃样品的区分性较好。

表5 误差统计分析表

Table 5 Table of error statistical analysis

项目	酸味	苦味	涩味	苦味 回味	涩味 回味	鲜味	丰富性	咸味	甜味
$\bar{g}$	0.09	0.10	0.19	0.02	0.06	0.06	0.04	0.31	0.09
s_1	2.57	1.28	0.21	0.40	0.22	3.00	0.39	3.25	2.09
s_2	0.54	0.15	0.16	0.08	0.06	0.40	0.35	0.62	0.98
$m_1/\%$	3.59	8.14	87.48	4.30	25.31	1.99	10.64	9.65	4.21
$m_2/\%$	17.05	67.85	120.48	20.19	91.67	14.87	11.90	50.97	8.98

注: $\bar{g}$ 为平均误差; s_1 为所有样品的平均值; s_2 为所有样品的标准偏差; m_1 表示平均相对误差, $m_1 = \bar{g}/s_1 \times 100$; m_2 用以判定不同样品的误差率, $m_2 = \bar{g}/s_2 \times 100$ 。

3 结论

由方差分析可得,电子舌的所有传感器对樱桃区分性较好,电子舌所得数据稳定可靠,5个樱桃样品可被明确地区分开来,味道上的差异主要表现在甜味、酸味、咸味、鲜味等指标上。通过对比5种樱桃的酸味和甜味,发现5种樱桃的酸味值都明显高于无味点,且5种樱桃在酸味上存在明显差异。5个样品酸味由强到弱的顺序是‘红灯’>‘布鲁克斯’>‘拉宾斯’>‘美早’>‘萨米脱’;甜味由强到弱的顺序是‘萨米脱’>‘布鲁克斯’>‘美早’>‘拉宾斯’>‘红灯’,且5种樱桃的甜味与TSS含量呈正相关。通过质构仪可很好地进行樱桃果实的质构指标分析,样品之间在多项指标上存在明显的差异,比较而言,‘美早’和‘萨米脱’的果皮相对较软,‘拉宾斯’和‘布鲁克斯’的果皮相对较硬,5个品种所有样品的樱桃果肉非常柔软,与果皮硬度相比,果肉硬度平均值均很低,均在0.5 N以下。综上所述,电子舌可以作为区分不同品种樱桃的一种高效快捷的方法,可以为不同品种的樱桃鉴别提供一种高效、快捷的技术手段;质构仪可以以数据的形式客观准确地描述食品的质地特征,具有快捷、客观、准确的优点,能够给食品研究及工作人员带来了极大的方便。

参考文献:

[1] 吴保欢,黄文鑫,石文婷,等.中国李属樱亚属 *Prunus* L. subgenus *Cerasus* (Mill.) A. Gray 的数量分类[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2018, 57(1): 36-43.

[2] 贾朝爽,单长松,周涛,等.主要樱桃品种果实营养性状分析[J]. 食品科学, 2019, 40(4): 244-250.

[3] 王悦,周涛,吴澎,等.樱桃中多酚类物质的研究进展[J]. 中国果菜, 2021, 41(10): 9-15, 21.

[4] 贾朝爽,吴澎,单长松.酸樱桃有效成分提取方法的研究进展[J]. 饮料工业, 2017, 20(1): 64-68.

[5] 郭艳,周小魏,吕佳欣,等.不同大樱桃品种营养成分分析及体外抗氧化作用研究[J]. 中国果树, 2021, 215(9): 55-58.

[6] 童彤.甜樱桃有助于抑制氧化应激和炎症反应 [J]. 中国果业信息, 2018, 35(7): 55.

[7] 谢亚妮,沈思涵,陈光宇,等.基于电子舌智能感官评定与人工评价结合的五汁饮风味技术研究[J]. 中国现代应用药学, 2022, 39(6): 772-776.

[8] CIOSEK P. Sensor arrays for liquid sensing—electronic tongue systems[J]. The Analyst, 2007, 132(10): 963-978.

[9] 黄嘉丽,黄宝华,卢宇靖,等.电子舌检测技术及其在食品领域的应用研究进展[J]. 中国调味品, 2019, 44(5): 189-193, 196.

[10] 吴浩普,张冬月,康廷国,等.基于电子舌技术的南、北五味子及其产地的鉴别研究[J]. 中药材, 2018, 41(4): 822-828.

[11] 姜建中,蔡冲,崔旭红,等.桑葚采后自溶过程中的质地与细胞壁结构变化[J]. 蚕业科学, 2018, 44(4): 580-587.

[12] 朱丹实,李慧,曹雪慧,等.质构仪器分析在生鲜食品品质评价中的研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(7): 264-269.

[13] 霍胜伟.质构仪在食品研究中的应用现状 [J]. 现代食品, 2017(16): 75-77.

[14] 张丽.测试条件对食品质构特性的影响 [J]. 农产品加工, 2017(10): 54-55, 58.

[15] 江登珍,李敏,康莉,等.食品质构评定方法的研究进展[J]. 现代食品, 2019(7): 99-103.

[16] 张明.温室甜樱桃品种优选和高效栽培技术研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014: 37-39.

[17] 唐志超.山东省大樱桃产业发展问题及对策研究 [J]. 中国果菜, 2020, 40(4): 84-87.

[18] 孙霖, ALAIN C, 孙沛.数量表征和韦伯—费希纳定律:应用及发展[J]. 心理研究, 2017, 10(5): 35-39.

[19] 邹帅帆.饮食行为与味觉受体基因进化的研究进展 [J]. 现代食品, 2021(18): 50-52.

[20] 姜松,刘瑞霞,赵杰文.粉丝弹性模量测定方法的研究[J]. 食品科学, 2011, 32(1): 91-94.

[21] 周霞,杨诗龙,胥敏,等.电子舌技术鉴别黄连及其炮制品 [J]. 中成药, 2015, 37(9): 1993-1997.