

# 不同品种芒果果脯和果干的品质比较分析

任二芳<sup>1,2</sup>, 罗朝丹<sup>1,2</sup>, 黄燕婷<sup>1,2</sup>, 冯春梅<sup>1,2</sup>, 邓有展<sup>1</sup>, 李建强<sup>1,2\*</sup>

(1. 广西壮族自治区亚热带作物研究所, 广西南宁 530001)

(2. 广西亚热带水果加工工程技术研究中心, 广西南宁 530001)

**摘要:**以金煌芒、桂七、台农和玉芒等四种不同品种的芒果为原料,采用色差计、电子舌、电子鼻及气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)等仪器,分别从色泽、滋味、气味及挥发性风味物质四方面评价不同芒果品种对果脯和果干原果风味及品质的影响。结果表明:金煌芒果脯、台农果脯、玉芒果脯较好地保留了原果色泽;金煌芒果干、桂七果脯、桂七果干、台农果干、玉芒果脯、玉芒果干较好地保留了原果滋味;基于电子鼻的PCA分析发现,台农果脯、台农果干较好地保留了原果的气味,其次是玉芒果脯、玉芒果干;不同品种芒果鲜果、果脯和果干鉴定出的主要挥发性风味成分有醇类、酯类、酮类、烷烃、烯烃、芳香烃及其他物质,其中烯烃类是主要的挥发性风味化合物,玉芒果脯、玉芒果干的烯烃相对含量均较高,分别为81.09%、77.52%。金煌芒果脯、金煌芒果干、桂七果干、玉芒果脯、玉芒果干较好地保留了原果的挥发性风味物质。综合考量,认为玉芒果最适合开发原果风味芒果果脯及果干。

**关键词:**芒果品种;芒果干制品;色泽;滋味;气味;挥发性风味物质

文章编号:1673-9078(2022)07-282-290

DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.7.0405

## Comparative Analysis on the Quality of Preserved Mango and Dried Mango of Different Varieties

REN Erfang<sup>1,2</sup>, LUO Chaodan<sup>1,2</sup>, HUANG Yanting<sup>1,2</sup>, FENG Chunmei<sup>1,2</sup>, DENG Youzhan<sup>1</sup>, LI Jianqiang<sup>1,2\*</sup>

(1. Guangxi Subtropical Crops Research Institute, Nanning 530001, China)

(2. Guangxi Subtropical Fruits Processing Research Center of Engineering Technology, Nanning 530001, China)

**Abstract:** The color, taste, odor, and volatile flavor compounds of four dried and preserved mango varieties (Jinhuang, Guiqi, Tainong, and Yumang) were examined using a colorimeter, an electronic tongue, an electronic nose, and gas chromatography-mass spectrometry. Preserved Jinhuang, Tainong, and Yumang mangoes retained their original color better than Guiqi mangoes, whereas in terms of flavor, dried Jinhuang, Tainong, Guiqi, and Yumang mangoes and preserved Guiqi mangoes were the best performers. Electronic nose analysis showed that preserved and dried Tainong mangoes retained the odor of the original fruit better than the others, followed by preserved and dried Yumang mangoes. The main volatile flavor components identified in fresh, preserved, and dried mangoes of the four varieties were alcohols, esters, ketones, alkanes, olefins, and aromatic hydrocarbons, among which olefin predominated. The relative olefin content of preserved and dried Yumang mangoes was higher than that of the others, at 81.09% and 77.52%, respectively. Preserved Jinhuang and Yumang mangoes and dried Jinhuang, Guiqi, and Yumang mangoes retained the volatile flavor components of the original fruit well. Considering the original flavor and quality of different varieties of preserved and dried mangoes, Yumang was the most suitable overall.

**Key words:** mango variety; dehydrated mango; color; taste; odor; volatile flavor substance

引文格式:

任二芳,罗朝丹,黄燕婷,等.不同品种芒果果脯和果干的品质比较分析[J].现代食品科技,2022,38(7):282-290,+183

REN Erfang, LUO Chaodan, HUANG Yanting, et al. Comparative analysis on the quality of preserved mango and dried mango of different varieties [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(7): 282-290, +183

收稿日期:2022-04-08

基金项目:广西科技厅亚热带广西特色水果全产业链技术创新平台(桂科ZY20111007);广西农业科学院基本科研业务专项项目(桂农科2021YT144);广西农业科学院基本科研业务专项(桂农科2021ZX07);广西农业科学院科技发展基金项目(2020YM133)

作者简介:任二芳(1986-),女,助理研究员,硕士研究生,研究方向:农产品贮藏与加工, E-mail: 2110093871@qq.com

通讯作者:李建强(1972-),男,正高级工程师,研究方向:农产品贮藏与加工, E-mail: 974108174@qq.com

芒果是著名的热带和亚热带水果之一,其富含蛋白质、酚类物质、多种维生素及矿物质等营养物质<sup>[1-4]</sup>,芒果果肉细腻丝滑,口感酸甜适度,风味独特而深受消费者喜爱,被誉为“热带果王”<sup>[5]</sup>。然而芒果是典型的呼吸跃变型水果,采收期处在高温高湿的夏季,芒果本身又含有大量的水分和糖分,芒果采后果实极易出现腐烂、霉变等品质衰变,造成资源浪费和经济损失<sup>[6,7]</sup>,因此,目前芒果除一部分鲜食外,还加工成果汁、果酱、果干等休闲食品。据了解,近年来水果干制品消费市场迅猛,其中芒果果脯作为最主要产品,因酸甜软糯、果香浓郁且携带方便,越来越受到国内外市场青睐<sup>[2]</sup>,已成为网红产品。但是目前传统芒果果脯的生产需添加防腐剂、色素、香精、含硫护色剂等<sup>[8]</sup>,不能满足人们对于健康、安全、无添加食品的要求。因此,开发无化学添加,保持原味原色的芒果干制品势在必行。

风味是一种感觉现象,包括食物入口后给予口腔的触感、温感、味感及嗅感等四种感觉的综合,通常人们所讲的风味主要是指味感和嗅感的综合<sup>[9]</sup>。原味果干即保留鲜果滋味和挥发性气味的果干。目前学者对原味芒果干的研究主要集中在工艺优化方面,冯春梅等<sup>[10]</sup>研究了原味无硫芒果干的最佳加工工艺为浸泡糖液量与芒果量比例为1.00:3.00、浸泡糖液初始温度为30.00℃、糖液初始浓度为30.00°Brix、D-异抗坏血酸钠用量为0.30%,并结合在0.07 MPa真空下维持3.00 h。黎新荣等<sup>[11]</sup>探讨了原味芒果干无硫加工过程中原料选择、催熟、选果、无硫护色、浸糖、烘干等6道工序的质量关键控点。冯春梅等<sup>[8]</sup>对原味芒果干无硫加工品质提升的工艺进行优化,芒果片经低温(芒果量与浸泡糖液量比例1.00:0.80、冷库温度15.00℃、D-异抗坏血酸钠用量0.30%、用糖量25.00%)处理6.00 d后半烘干,再用0.30%苹果酸兑水800.00 mL进行拌酸调控还原糖处理,制得的芒果干具有原果风味,酸甜适宜且不含防腐剂。原果风味芒果干的加工品质和特性不仅与渗糖、干燥等工艺有关,同时也受芒果品种、产地、采收成熟度等条件的影响<sup>[12,13]</sup>。郭亚娟等<sup>[14]</sup>选择22个华南地区的主栽荔枝品种分析不同品种荔枝果干的主要挥发性物质种类和含量,其主要成分为乙醇、乙酸、3-羟基-2-丁酮、2,3-丁二醇、糠醛、D-柠檬烯、苯甲醇、可巴烯、丁香烯和萜烯类;不同荔枝品种果干的挥发性物质种类和含量存在显著差异。张文娟等<sup>[15]</sup>研究了8种不同品种葡萄干的挥发性成分及香气成分的差异,发现8种共有成分,不同品种含量不同,而且多数品种含有独有成分。因此,本文拟以四种不同品种的芒果(金煌芒、桂七、

台农、玉芒)为原料,采用色差计、电子舌、电子鼻及气相色谱-质谱等仪器,分别从色泽、滋味、气味及挥发性风味物质四方面评价不同芒果品种对芒果果脯及果干原味原色品质的影响,以期为原果风味水果干制品的生产提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

芒果(8成熟),金煌芒、桂七、台农、玉芒四个品种,均购于广西南宁海吉星水果批发市场;氯化银、氯化钾、氢氧化钾、L(+)-酒石酸、乙醇等,均为国产分析纯。

### 1.2 仪器与设备

CR-400 色彩色差计,日本 KONICA MINOLTA INC; L550 台式低速大容量离心机,湘仪离心机仪器有限公司;电子舌(SA-402B 味觉分析系统),日本 INSENT 公司;Pegasus BT 气相色谱高通量飞行时间质谱联用仪,美国 LECO 公司;PEN3 型电子鼻,德国 AIRSENSE 公司。各个传感器的名称及性能描述见表1。

表1 电子鼻传感器性能描述

Table 1 Performance description of electronic nose sensors

阵列信号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分苯类
2	W5S	灵敏度大,对氮氧化物很灵敏
3	W3C	氨类,对芳香成分灵敏
4	W6S	主要对氢化物有选择性
5	W5C	短链烷烃芳香成分
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对无机硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	芳香成分,对有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品制备

芒果果脯:

新鲜芒果→催熟八成熟(可溶性固形物10%~12%,可滴定酸0.5%~1.0%)→挑选→清洗→去皮、削片→护色→浸糖→半烘干→撒糖粉→烘干→检验→包装→成品

根据其中护色工艺为将果肉浸泡在0.5%焦亚硫酸钠+0.2%氯化钙的混合护色液中护色15 min;浸糖工艺为在室温下采用40°Brix糖水对果肉进行浸渍72 h,每24 h添加一次白砂糖提升糖度,浸渍终止糖度

低于 38 °Brix; 烘干工艺采用二次变温干燥法, 第一次采用 60 °C 烘干 6 h 至样品水分含量为 35% 左右, 撒糖粉后, 采用 45 °C 烘干 10 h 至样品最终含水量为 18% 以下。

#### 芒果果干:

新鲜芒果→催熟八成熟(可溶性固形物 10%~12%, 可滴定酸 0.5%~1.0%)→挑选→清洗→去皮、削片→烘干→检验→包装→芒果果干成品

其中烘干工艺采用二次变温干燥法, 第一次采用 60 °C 烘干 6 h 至样品水分含量为 35% 左右, 第二次采用 45 °C 烘干 10 h 至样品最终含水量为 18% 以下。

### 1.3.2 色泽的检测

随机挑选芒果鲜果、果脯和果干, 使用色差计分别测定芒果鲜果、果脯及果干不同位置的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值, 每组样品平行测定 5 次。 $L^*$  值表示样品的亮度,  $L^*=0$  为黑色,  $L^*=100$  为白色;  $a^*$  值表示样品的红绿度,  $-a^*$ =绿色,  $+a^*$ =红色;  $b^*$  值表示样品的黄蓝度,  $-b^*$ =蓝色,  $+b^*$ =黄色。

### 1.3.3 滋味的检测

#### 1.3.3.1 样品前处理

分别称量一定量的芒果鲜果、果脯和果干, 首先分别对其稀释 30 倍打浆 1 min, 之后在 4000 r/min 转速下离心 20 min, 并再次过滤, 取上清液相, 待检测。

#### 1.3.3.2 电子舌检测条件

实验前, 6 个传感器与 3 个参比电极需分别活化 36.00 h, 鲜味、咸味、酸味、苦味及涩味检测采用两步清洗法, 甜味检测采用甜味测试法, 每个样品重复测定 5 次, 保留后 3 次的检测数据进行分析。

### 1.3.4 气味的检测

#### 1.3.4.1 样品前处理

分别称量一定量的芒果鲜果、果脯和果干于 20 mL 富集瓶中, 密封置于室温环境中富集时间为 0.50 h, 进行检测。

#### 1.3.4.2 电子鼻检测条件

检测条件: 进样间隔时间 1 s, 清洗时间 60 s, 零点配平时间 1 s, 预进样时间 5 s, 测试时间 60 s, 进样流速 400 mL/min。

### 1.3.5 挥发性风味物质的检测

#### 1.3.5.1 顶空固相微萃取

分别称取 5.00 g 芒果鲜果、果脯和果干置于 20 mL 顶空瓶中, 将老化后的 50  $\mu$ m DVB 和 30  $\mu$ m CAR、

PDMS 萃取头插入样品瓶顶空部分, 于 60 °C 吸附 30 min, 吸附后的萃取头取出后插入气相色谱进样口, 于 250 °C 解吸 3 min, 同时启动仪器采集数据。

#### 1.3.5.2 气相色谱高通量飞行时间质谱联用仪检测条件

色谱条件: 色谱柱 (30.00 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu$ m); 升温程序: 温度 40 °C 保持 3 min, 以 10 deg/min 升温至 230 °C, 保持 5 min; 进样口温度为 250 °C; 载气: 氦气, 流速为 1 mL/min。

质谱条件: 电离方式为 EI 源, 发射电流 1 mA, 电子能量 70 eV, 界面温度 250 °C, 离子源温度 200 °C, 探测器电压 2000 V。

## 1.4 数据处理

数据使用 Origin Pro 2016 绘图及 SPSS 22.0 进行单因素方差分析 (Duncan Test,  $p<0.05$ )。电子鼻数据分析利用其自带的 Winmuster 软件进行 PCA 分析和载荷分析 (Loading analysis, LOA)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同芒果品种对芒果干的色泽影响

表 2 不同芒果品种对芒果干的色泽影响

Table 2 Effect of different mango varieties on the color of dehydrated mango

样品	$L^*$	$a^*$	$b^*$
金煌芒鲜果	61.28 $\pm$ 2.70 <sup>ef</sup>	8.24 $\pm$ 2.57 <sup>de</sup>	54.05 $\pm$ 3.80 <sup>de</sup>
金煌芒果脯	62.08 $\pm$ 1.50 <sup>c</sup>	12.48 $\pm$ 1.31 <sup>c</sup>	51.10 $\pm$ 3.42 <sup>ef</sup>
金煌芒果干	54.06 $\pm$ 1.83 <sup>h</sup>	15.91 $\pm$ 0.81 <sup>b</sup>	47.67 $\pm$ 4.05 <sup>f</sup>
桂七鲜果	68.17 $\pm$ 1.41 <sup>cd</sup>	10.14 $\pm$ 1.85 <sup>cd</sup>	58.33 $\pm$ 2.25 <sup>cd</sup>
桂七果脯	59.06 $\pm$ 1.47 <sup>fg</sup>	18.46 $\pm$ 0.56 <sup>a</sup>	54.51 $\pm$ 2.36 <sup>de</sup>
桂七果干	57.46 $\pm$ 2.33 <sup>g</sup>	18.61 $\pm$ 2.11 <sup>a</sup>	50.68 $\pm$ 2.77 <sup>ef</sup>
台农鲜果	72.01 $\pm$ 1.24 <sup>a</sup>	7.13 $\pm$ 1.71 <sup>f</sup>	62.19 $\pm$ 4.02 <sup>abc</sup>
台农果脯	71.22 $\pm$ 1.05 <sup>ab</sup>	10.61 $\pm$ 0.50 <sup>cd</sup>	65.13 $\pm$ 2.20 <sup>ab</sup>
台农果干	62.30 $\pm$ 0.81 <sup>c</sup>	11.21 $\pm$ 0.93 <sup>c</sup>	58.77 $\pm$ 2.90 <sup>cd</sup>
玉芒鲜果	69.58 $\pm$ 0.91 <sup>abc</sup>	12.48 $\pm$ 0.79 <sup>c</sup>	61.00 $\pm$ 1.56 <sup>bc</sup>
玉芒果脯	68.74 $\pm$ 0.88 <sup>bcd</sup>	11.95 $\pm$ 2.16 <sup>c</sup>	62.82 $\pm$ 4.19 <sup>abc</sup>
玉芒果干	66.71 $\pm$ 0.93 <sup>d</sup>	15.31 $\pm$ 0.28 <sup>b</sup>	67.16 $\pm$ 0.94 <sup>a</sup>

注: 表中同列带有不同字母的数据之间差异显著 ( $p<0.05$ ), 带有相同字母的数据之间差异不显著 ( $p>0.05$ ); 下同。

表 3 电子舌对不同品种芒果鲜果、果脯及果干的响应分析

Table 3 Response analysis of electronic tongue to fresh fruit, preserved fruit and dried fruit of different mango varieties

样品	酸味	甜味	苦味	涩味	咸味	鲜味
金煌芒鲜果	-11.80±0.03 <sup>c</sup>	10.70±0.37 <sup>c</sup>	-4.85±0.14 <sup>i</sup>	0.06±0.04 <sup>b</sup>	2.64±0.06 <sup>b</sup>	5.35±0.06 <sup>j</sup>
金煌芒果脯	-2.67±0.23 <sup>b</sup>	7.74±0.06 <sup>i</sup>	-4.14±0.21 <sup>h</sup>	-1.08±0.07 <sup>c</sup>	1.14±0.13 <sup>c</sup>	0.79±0.03 <sup>k</sup>
金煌芒果干	-12.45±0.68 <sup>d</sup>	6.32±0.07 <sup>m</sup>	-3.80±0.38 <sup>g</sup>	1.11±0.04 <sup>a</sup>	3.11±0.03 <sup>a</sup>	5.90±0.29 <sup>i</sup>
桂七鲜果	-25.70±0.04 <sup>k</sup>	13.13±0.12 <sup>c</sup>	5.35±0.01 <sup>b</sup>	-3.18±0.03 <sup>h</sup>	-5.44±0.01 <sup>g</sup>	10.59±0.02 <sup>b</sup>
桂七果脯	-15.53±0.03 <sup>e</sup>	10.35±0.10 <sup>f</sup>	3.24±0.10 <sup>e</sup>	-2.20±0.04 <sup>d</sup>	-6.58±0.04 <sup>h</sup>	7.21±0.02 <sup>g</sup>
桂七果干	-26.51±0.05 <sup>m</sup>	6.76±0.13 <sup>k</sup>	2.40±0.09 <sup>f</sup>	-4.61±0.04 <sup>i</sup>	-1.21±0.02 <sup>d</sup>	11.73±0.04 <sup>a</sup>
台农鲜果	-20.17±0.00 <sup>h</sup>	15.75±0.00 <sup>a</sup>	8.44±0.00 <sup>a</sup>	-2.96±0.00 <sup>g</sup>	-8.58±0.00 <sup>k</sup>	8.81±0.00 <sup>e</sup>
台农果脯	8.64±0.18 <sup>a</sup>	7.68±0.09 <sup>j</sup>	-5.67±0.43 <sup>j</sup>	1.03±0.19 <sup>a</sup>	-10.97±0.15 <sup>m</sup>	-3.26±0.05 <sup>m</sup>
台农果干	-25.26±0.12 <sup>j</sup>	9.48±0.06 <sup>g</sup>	5.52±0.22 <sup>b</sup>	-5.62±0.27 <sup>j</sup>	-3.29±0.07 <sup>e</sup>	9.98±0.08 <sup>c</sup>
玉芒鲜果	-21.42±0.00 <sup>i</sup>	13.69±0.00 <sup>b</sup>	4.12±0.00 <sup>c</sup>	-2.67±0.00 <sup>f</sup>	-6.86±0.00 <sup>i</sup>	9.15±0.00 <sup>d</sup>
玉芒果脯	-16.12±0.07 <sup>f</sup>	12.88±0.04 <sup>d</sup>	3.64±0.03 <sup>d</sup>	-2.32±0.01 <sup>d</sup>	-8.34±0.04 <sup>j</sup>	7.03±0.02 <sup>h</sup>
玉芒果干	-18.46±0.03 <sup>g</sup>	9.16±0.18 <sup>h</sup>	2.45±0.08 <sup>f</sup>	-2.50±0.03 <sup>e</sup>	-4.75±0.05 <sup>f</sup>	8.53±0.01 <sup>f</sup>

注：表中每一列带有不同字母的数据之间差异显著 ( $p < 0.05$ )，带有相同字母的数据之间差异不显著 ( $p > 0.05$ )；下同。

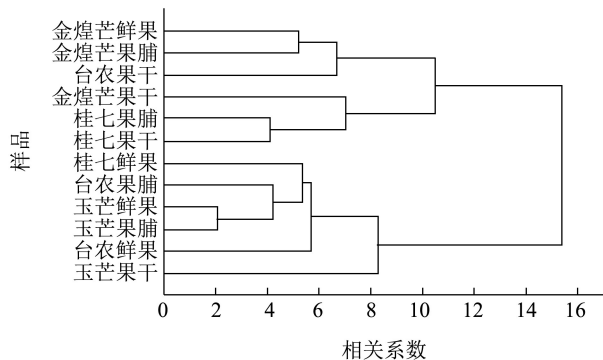


图 1 不同品种芒果鲜果、果脯及果干的聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of fresh fruit, preserved fruit and dried fruit of different mango varieties

不同芒果品种对芒果干的色泽影响如表 2 所示：四种芒果鲜果、果脯及果干的亮度  $L^*$  值分布在 54.06~72.01 之间，其中四个品种的果干亮度  $L^*$  值均显著低于其对应的芒果鲜果 ( $p < 0.05$ )，另外，金煌芒果脯、台农果脯、玉芒果脯与其对应的芒果鲜果的亮度  $L^*$  值差异不显著 ( $p > 0.05$ )；四种芒果鲜果、果脯及果干的红绿度  $a^*$  值分布在 7.13~18.61 之间，其中仅有玉芒果脯与玉芒鲜果之间不存在显著差异 ( $p > 0.05$ )，其他三个品种的芒果果脯或果干与鲜果间均差异显著 ( $p < 0.05$ )；四种芒果果脯、玉芒果干与其对应的芒果鲜果的黄蓝度  $b^*$  值均差异不显著 ( $p > 0.05$ )，而其他三个品种的芒果果干与鲜果间均存在显著差异 ( $p < 0.05$ )。由图 1 的聚类分析结果可知，四种不同品种的芒果鲜果、果脯及果干可以聚为四类，其中金煌芒鲜果、金煌芒果脯、台农果干归为一类；金煌芒果干、桂七果脯、桂七果干归为一类；桂七鲜果、台农果脯、玉芒鲜果、玉芒果脯、台农鲜果归为

一类；玉芒果干为一类。由此可见，从色泽角度分析，金煌芒果脯、台农果脯、玉芒果脯较好地保留了原果色泽，分析原因是由于蔗糖浓度会影响果脯的色泽，糖液浓度过低时，果脯色泽暗淡，糖液浓度过高，色泽均匀一致但有透明感，糖液浓度合适，产品色泽均匀一致、块型完整、饱满度好<sup>[16]</sup>，因此，芒果果脯能较好地保留原果色泽，而芒果果干的色泽较暗淡。

## 2.2 不同芒果品种对芒果干的滋味影响

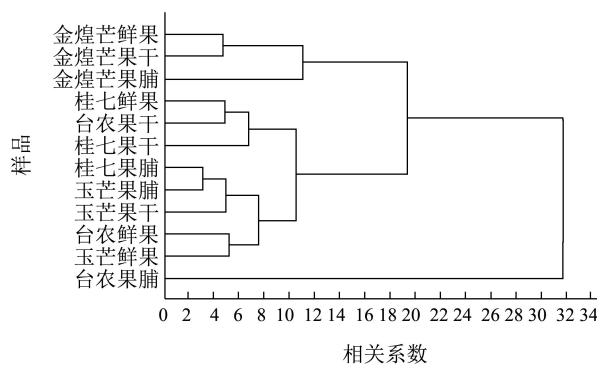


图 2 不同品种芒果鲜果、果脯及果干的聚类分析

Fig.2 Cluster analysis of fresh fruit, preserved fruit and dried fruit of different mango varieties

以参比溶液作为对照，酸味的无味点为-13.00，咸味的无味点为-6.00，其他滋味的无味点为 0.00。利用电子舌对不同品种芒果鲜果、果脯及果干进行滋味分析见表 3，在酸味、甜味、咸味和鲜味方面，四种不同品种的芒果鲜果、果脯及果干之间均存在显著差异 ( $p < 0.05$ )；在苦味方面，桂七果干与玉芒果干之间、桂七鲜果与台农果干之间均不存在显著差异 ( $p > 0.05$ )，而其他样品间均存在显著差异 ( $p < 0.05$ )；

在涩味方面, 桂七果脯与玉芒果脯之间、金煌芒果干与台农果脯之间均差异不显著 ( $p>0.05$ ), 而其他样品间均存在显著差异 ( $p<0.05$ )。对不同品种的芒果鲜果、果脯及果干的滋味进行聚类分析, 结果见图 2。由聚类分析结果可知, 四种不同品种的芒果鲜果、果脯及果干可以聚为四类, 其中金煌芒果鲜果、金煌芒果干归为一类; 金煌芒果脯归为一类; 桂七鲜果、台农果干、桂七果干、桂七果脯、玉芒果脯、玉芒果干、台农鲜果、玉芒果鲜果归为一类; 台农果脯归为一类。由此可见, 从滋味角度分析, 金煌芒果干、桂七果脯、桂七果干、台农果干、玉芒果脯、玉芒果干较好地保留了原果滋味。

### 2.3 不同芒果品种对芒果干的气味影响

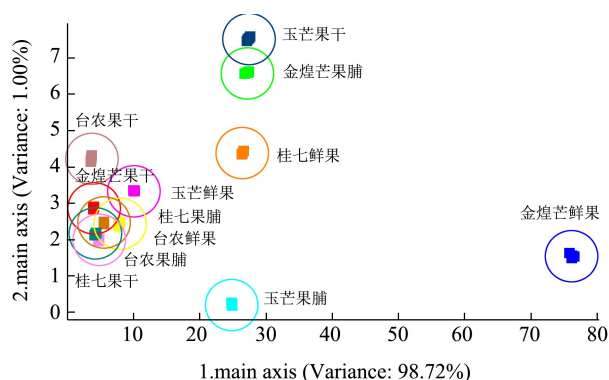


图3 电子鼻的 PCA 分析

Fig.3 PCA analysis of electronic nose

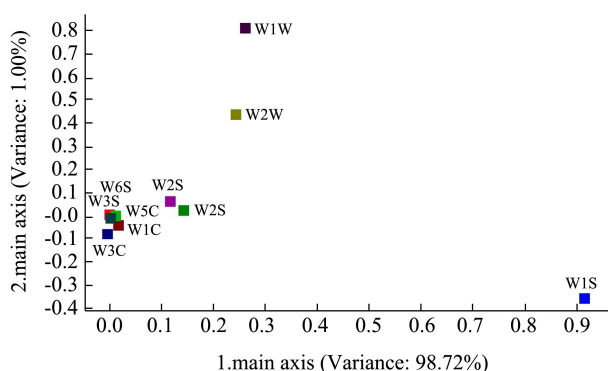


图4 电子鼻的 Loading 分析

Fig.4 Loading analysis of electronic nose

四种不同品种的芒果鲜果及其制得的果脯、果干的电子鼻 PCA 分析结果如图 3 所示, PCA 分析结果中的横坐标代表第一主成分 (PC1), 其贡献率为 98.72%, 纵坐标代表第二主成分 (PC2), 其贡献率为 1.00%, 前两主成分的贡献率累计为 99.72%, 说明这两主成分可以代表样品挥发性气味的主要特征。在

PCA 分析图中, 由于 PC1 占比较大, 因此主要比较不同样品在 PC1 上的距离, 其中台农果脯和台农果干均与台农鲜果在 PC1 距离较接近; 玉芒果脯、果干均与玉芒果鲜果在 PC1 距离相对较接近; 桂七果脯、果干均与桂七鲜果在 PC1 距离相对较远; 而金煌芒果干、果脯均与芒果鲜样在 PC1 上距离较远, 因此, 基于电子鼻的分析结果发现, 原果挥发性气味保留最好的是台农果脯、台农果干, 其次是玉芒果脯、玉芒果干。

Loading 分析法即载荷分析, 是电子鼻传感器对于主成分分析贡献率大小的分析<sup>[17]</sup>。图 4 为四种不同品种的芒果鲜果及其制得的果脯、果干的电子鼻 Loading 分析图, 由图 4 可知, 在主成分 1 (PC1) 贡献率方面, 传感器 W1S 的贡献率最大, 其次是传感器 W1W; 而在主成分 2 (PC2) 贡献率方面, 传感器 W1W 的贡献率最大, 其次是传感器 W2W。说明第一主成分主要反映的是对甲基类, 其次是无机硫化物, 第二主成分主要反映的是无机硫化物, 其次是芳香成分、有机硫化物。

### 2.4 不同芒果品种对芒果干的挥发性风味物质影响

水果香气物质是由脂肪酸、氨基酸、碳水化合物等作为前体物质在果实生长发育过程中经过一系列酶促反应而形成, 香气物质属于果实的次级代谢产物<sup>[18-20]</sup>。芒果香气成分种类和含量是其重要品质特性之一<sup>[21]</sup>, 据报道, 芒果的香气物质有 270 多种, 主要有单萜、倍半萜、酯、醛、酮、醇、酸等<sup>[18,22]</sup>, 其中萜烯类物质是最主要的香气物质<sup>[23-25]</sup>。由表 4 不同品种芒果鲜果、果脯及果干的主要挥发性风味物质可以看出, 不同品种芒果鲜果、果脯及果干 12 个样品共鉴定出的主要挥发性成分有醇类、酯类、酮类、烷烃、烯烃、芳香烃及其他物质, 且样品中的挥发性风味物质种类及相对含量均存在明显差异。但从不同品种芒果鲜果、果脯及果干的挥发性风味物质种类及相对含量来看, 烯烃类是主要的挥发性风味化合物, 包含单萜、倍半萜, 这与文献资料报道的萜烯类是芒果的主要香气成分相吻合<sup>[24-27]</sup>。孙宝国<sup>[28]</sup>按萜烯香气特征将芒果基本分为三种: 罗勒烯型、萜烯型和萜品烯型。其中图 5 不同品种芒果鲜果、果脯及果干的烯烃相对含量显示: 玉芒果脯、玉芒果干的烯烃相对含量均较高, 分别为 76.07%、57.56%。

表4 不同品种芒果鲜果、果脯及果干的主要挥发性风味物质

Table 4 Main volatile flavor compounds in fresh fruit, preserved fruit and dried fruit of different mango varieties

序号	化合物	保留时间 /min	相对含量/%													
			金煌芒鲜果	金煌芒果脯	金煌芒果干	桂七鲜果	桂七果脯	桂七果干	台农鲜果	台农果脯	台农果干	玉芒鲜果	玉芒果脯	玉芒果干		
1	醇类化合物	2-(4-甲基苯基)-2-丙醇	17.43	-	-	-	-	-	-	1.99	-	1.86	-	-	-	
2		乙醇	1.97	-	4.25	-	-	-	-	-	8.35	-	-	-	-	
3	酯类化合物	丁酸乙酯	4.66	-	4.91	-	-	-	-	-	7.76	-	-	-	11.60	
4	酮类化合物	1-甲氧基-2-丙酮	1.93	-	-	2.95	-	77.34	-	-	-	-	-	-	-	
5	烷烃类化合物	1,3,3-三甲基三环 [2.2.1.0(2,6)]庚烷	11.01	-	-	9.11	-	-	-	-	6.26	3.26	-	-	-	
6	单萜	$\alpha$ -蒎烯	8.41	-	-	-	-	-	2.81	-	1.82	0.85	1.50	8.25	-	
7		松油烯	11.32	-	-	3.69	-	-	-	-	6.50	2.05	-	4.82	-	
8		蒎品油烯	13.84	-	1.75	16.68	-	-	-	28.76	47.01	58.66	-	-	-	
9		3-葑烯	11.04	-	1.57	-	-	-	-	-	-	-	-	9.40	9.86	
10		罗勒烯	12.42	-	-	0.73	9.88	9.59	21.52	-	-	-	0.66	-	-	
11		$\gamma$ -松油烯	12.86	-	-	0.51	-	-	2.97	-	-	-	13.99	1.55	1.51	
12		烯烃类化合物	(R)-1-甲基-5- (1-甲基乙烯基)环己烯	11.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42.50	11.07	8.51
13			3-甲基-6- (1-甲基乙亚基)环己烯	13.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.08	38.33	36.48
14		倍半萜	1-石竹烯	25.38	-	-	0.66	-	0.57	2.65	-	-	-	-	-	-
15			$\alpha$ -律草烯	26.47	-	-	-	-	-	1.29	-	0.64	0.37	-	-	-
16			$\beta$ -蒎烯	27.52	-	0.30	7.50	-	-	-	-	4.55	1.83	0.26	1.54	0.85
17	$\alpha$ -芹子烯		27.77	1.71	-	3.57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	$\alpha$ -愈创木烯		25.72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.11	0.35	
19	芳香烃类化合物	4-异丙烯基甲苯	14.00	-	-	-	-	-	-	3.09	2.70	-	-	-	-	

注：“-”表示未检出。

表 5 评价指标的综合比较

Table 5 Comprehensive comparison of evaluation indicators

样品	金煌芒果脯	金煌芒果干	桂七果脯	桂七果干	台农果脯	台农果干	玉芒果脯	玉芒果干
色泽	+				+		+	
滋味		+	+	+		+	+	+
气味					++	++	+	+
挥发性风味成分	+	+		+			+	+

注：“+”表示根据聚类分析或PCA分析结果芒果果脯或果干较好地保留了原果风味品质。“+”越多，原果风味品质保留效果越好。

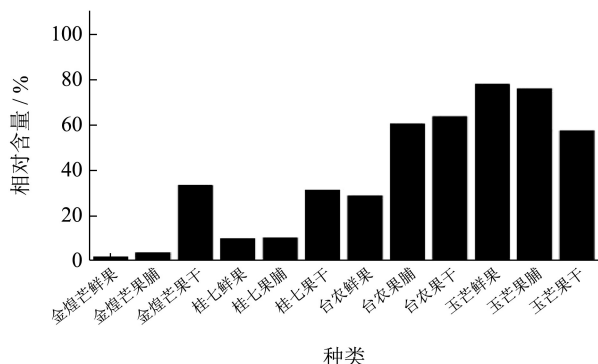


图 5 不同品种芒果鲜果、果脯及果干的烯烃相对含量

Fig.5 Relative content of olefins in fresh fruit, preserved fruit and dried fruit of different mango varieties

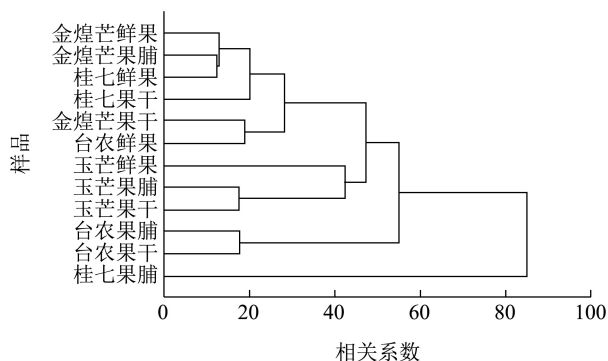


图 6 不同品种芒果鲜果、果脯及果干的聚类分析

Fig.6 Cluster analysis of fresh fruit, preserved fruit and dried fruit of different mango varieties

另外，将每种芒果果脯及果干与其相应芒果鲜果的挥发性风味化合物对比发现：金煌芒果干保留了原果的 $\alpha$ -芹子烯挥发性风味物质；桂七果脯和果干较好地保留了原果的八甲基环四硅氧烷、罗勒烯挥发性风味物质，其中罗勒烯相对含量分别为9.59%、21.52%，罗勒烯包含了果香、青香和兰香韵<sup>[29]</sup>，按照含量最高的萜类物质对芒果进行分类<sup>[28]</sup>，桂七为罗勒烯型，这与张劲的研究结果一致<sup>[30]</sup>；台农果脯和果干较好地保留了原果的八甲基环四硅氧烷、萜品油烯挥发性风味物质，其中萜品油烯相对含量分别高达47.01%、58.66%，萜品油烯又称异松油烯，具有松木树脂味<sup>[31]</sup>，台农芒果干带有的松木树脂味不太被消费者接受；玉芒果脯和果干较好地保留了原果的 $\gamma$ -松油烯、(R)-1-

甲基-5-(1-甲基乙烯基)环己烯、3-甲基-6-(1-甲基乙亚基)环己烯、 $\beta$ -瑟林烯等烯烃类挥发性风味化合物，其中3-甲基-6-(1-甲基乙亚基)环己烯含量分别为38.33%、36.48%，另外，玉芒果脯还保留了原果的 $\alpha$ -蒎烯挥发性风味物质， $\alpha$ -蒎烯有一种木质、松香和松节油的气味，这种气味也存在于木瓜<sup>[32]</sup>和柠檬<sup>[33]</sup>中。由图6不同品种芒果鲜果、果脯及果干的挥发性风味物质的聚类分析结果可知，四种不同品种的芒果鲜果、果脯及果干可以聚为四类，金煌芒果鲜果、金煌芒果脯、桂七鲜果、桂七果干、金煌芒果干、台农鲜果归为一类，玉芒果鲜果、玉芒果脯、玉芒果干归为一类，台农果脯、台农果干归为一类，桂七果脯归为一类，由此可见，从挥发性风味物质角度分析，金煌芒果脯、金煌芒果干、桂七果干、玉芒果脯、玉芒果干较好地保留了原果的挥发性风味物质。

综合考量不同品种（金煌芒、桂七、台农、玉芒）的芒果果脯、果干的四个评价指标，结果见表5。由表5可知，玉芒果脯均较好地保留鲜果的色泽、滋味、气味、挥发性风味物质，其次是玉芒果干。由此可见，玉芒果品种最适合开发原果风味芒果果脯及果干。

### 3 结论

3.1 本文对四种不同品种（金煌芒、桂七、台农、玉芒）的芒果鲜果及其制得果脯、果干的色泽、滋味、气味及挥发性风味物质分别进行了评价，分析比较了不同品种的芒果果脯、果干对原果风味品质的保留效果。研究表明：色泽角度，聚类分析结果发现金煌芒果脯、台农果脯、玉芒果脯较好地保留了原果色泽。滋味角度，聚类分析结果表明金煌芒果干、台农果干、桂七果干、桂七果脯、玉芒果脯、玉芒果干较好地保留了原果滋味。气味角度，基于电子鼻的PCA分析结果发现，原果挥发性气味保留最好的是台农果脯、台农果干，其次是玉芒果干、玉芒果脯，Loading分析说明第一主成分主要反映的是对甲基类，其次是无机硫化物，第二主成分主要反映的是无机硫化物，其次是芳香成分、有机硫化物。挥发性风味物质角度，不同品种芒果鲜果、果脯及果干12个样品鉴定出的主

要挥发性风味成分有醇类、酯类、酮类、烷烃、烯烃、芳香烃及其他物质,其中烯烃类是主要的挥发性风味化合物,包含单萜、倍半萜,这与文献资料报道的萜烯类是芒果的主要香气成分相吻合,聚类分析表明金煌芒果脯、金煌芒果干、桂七果干、玉芒果脯、玉芒果干较好地保留了原果的挥发性风味物质。

3.2 通过上述分析,综合考量色泽、滋味、气味及挥发性风味物质四个评价指标,发现玉芒果脯及果干较好地保留了原果风味和品质,同时玉芒果鲜果上市季节较长,因此,认为玉芒果品种最适合开发原果风味芒果干,其次是台农芒果,而金煌芒和桂七芒果更适合鲜食。

### 参考文献

- [1] 高爱平,罗睿雄,黄建峰,等.南亚国家芒果产业发展现状[J].中国热带农业,2019,86(1):19-21  
GAO Aiping, LUO Ruixiong, HUANG Jianfeng, et al. Development status of mango industry in South Asian countries [J]. China Tropical Agriculture, 2019, 86(1): 19-21
- [2] 刘璇,赖必辉,毕金峰,等.不同干燥方式芒果脆片香气成分分析[J].食品科学,2013,34(22):179-184  
LIU Xuan, LAI Bihui, BI Jinfeng, et al. Analysis of aroma components in mango chips prepared by different drying methods [J]. Food Science, 2013, 34(22): 179-184
- [3] Kim Y, Lounds-Singleton A J, Talcott S T. Antioxidant phytochemical and quality changes associated with hot water immersion treatment of mangoes (*Mangifera indica* L.) [J]. Food Chemistry, 2009, 115(3): 989-993
- [4] Ibarra-Garza I P, Ramos-Parra P A, Hernández-Brenes C, et al. Effects of postharvest ripening on the nutraceutical and physicochemical properties of mango (*Mangifera indica* L.) [J]. Postharvest Biology & Technology, 2015, 103: 45-54
- [5] 熊亚,李敏杰,姜少娟.芒果酒发酵动力学模型及抗氧化性研究[J].食品工业科技,2019,40(19):7-12  
XIONG Ya, LI Minjie, JIANG Shaojuan. Establishment of the dynamic model and the antioxidant activity of mango wine during fermentation [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(19): 7-12
- [6] 张佳佳.草酸(盐)处理对采后芒果果实的保鲜效应及其生理机制研究[D].杭州:浙江工商大学,2011  
ZHANG Jiajia. Effects of oxalate treatment on mango fruit during storage and its mechanism involved [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2011
- [7] Saranwong S, Sornsrivichai J, Kawano S. Prediction of ripe-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy [J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 31(2): 137-145
- [8] 冯春梅,李建强,温立香,等.原味芒果干无硫加工品质提升的工艺优化[J].南方农业学报,2015,46(7):1292-1296  
FENG Chunmei, LI Jianqiang, WEN Lixiang, et al. Optimization of non-sulfur process for promoting quality of natural-taste dehydrated mango [J]. Journal of Southern Agriculture, 2015, 46(7): 1292-1296
- [9] 天津轻工学院无锡轻工学院合编.食品生物化学[M].北京:中国轻工业出版社,1988:433  
Tianjin Institute of Light Industry, Wuxi Institute of Light Industry. Food Biochemistry [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1988: 433
- [10] 冯春梅,李建强,黎新荣.原味无硫芒果干工艺技术研究[J].食品工业科技,2008,29(7):155-156  
FENG Chunmei, LI Jianqiang, LI Xinrong. Study on processing technique of natural taste dehydrated mango with non-sulfur [J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 29(7): 155-156
- [11] 黎新荣,李建强,李翠云,等.原味芒果干无硫加工质量关键点的确定与控制[J].食品科技,2012,10:3  
LI Xinrong, LI Jianqiang, LI Cuiyun, et al. Determination and control of key quality control points in non-sulfur process of dehydrated mango with natural taste [J]. Food Science and Technology, 2012, 10: 3
- [12] Ngamchuachit P, Sivertsen H K, Mitcham E J, et al. Influence of cultivar and ripeness stage at the time of fresh-cut processing on instrumental and sensory qualities of fresh-cut mangos [J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 106: 11-20
- [13] Lebrun M, Plotto A, Goodner K, et al. Discrimination of mango fruit maturity by volatiles using the electronic nose and gas chromatography [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 48(1): 122-131
- [14] 郭亚娟,邓媛元,张瑞芬,等.不同荔枝品种果干挥发性物质种类及其含量比较[J].中国农业科学,2013,46(13):2751-2768  
GUO Yajuan, DENG Yuanyuan, ZHANG Ruifen, et al. Comparison of volatile components from different varieties of dried litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(13): 2751-2768
- [15] 张文娟,黄瑞彬,徐秀娟,等.新疆葡萄干挥发性成分差异化信息分析研究[J].食品研究与开发,2016,37(3):4-9  
ZHANG Wenjuan, HUANG Ruibin, XU Xiujian, et al.



- Analysis of the differences of volatile components in Xinjiang raisins [J]. Food Research and Development, 2016, 37(3): 4-9
- [16] 陈丹,李超,王乃馨,等.超声波辅助制备低糖苹果脯的工艺研究[J].食品工业,2016,37(2):29-32  
CHEN Dan, LI Chao, WANG Naixin, et al. Processing technology of low-sugar preserved apple fruit by ultrasonic [J]. The Food Industry, 2016, 37(2): 29-32
- [17] 蓬桂华,李文馨,殷勇,等.电子鼻和电子舌在分析桑果汁风味上的应用[J].食品工业科技,2020,41(12):240-243,250  
PENG Guihua, LI Wenxin, YIN Yong, et al. Analysis of flavor difference of mulberry juice by E-nose and E-tongue [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(12): 240-243, 250
- [18] 乜兰春,孙建设,黄瑞虹.果实香气形成及其影响因素[J].植物学报,2004,21(5):631-637  
NIE Lanchun, SUN Jianshe, HUANG Ruihong. The biosynthesis and affecting factors of aroma in some fruits [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2004, 21(5): 631-637
- [19] 王海波,陈学森,辛培刚,等.几个早熟苹果品种香气成分的GC-MS分析[J].果树学报,2007,24(1):11-15  
WANG Haibo, CHEN Xuesen, XIN Peigang, et al. GC-MS analysis of volatile components in several early apple cultivars [J]. Journal of Fruit Science, 2007, 24(1): 11-15
- [20] 苑兆和,尹燕雷,李自峰,等.石榴果实香气物质的研究[J].林业科学,2008,44(1):65-69  
YUAN Zhaohe, YIN Yanlei, LI Zifeng, et al. Aromatic substances in pomegranate fruit [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(1): 65-69
- [21] 魏长宾,武红霞,马蔚红,等.完熟金煌芒果实香气成分研究[J].广西农业科学,2007,4:443-445  
WEI Changbin, WU Hongxia, MA Weihong, et al. Studies on aroma compounds of "Jinhuang" mango at fully ripening stage of fruit [J]. Guangxi Agricultural Sciences, 2007, 4: 443-445
- [22] 张伟,卢引,顾雪竹,等.HS-SPME-GC-MS分析两种南瓜肉挥发性成分[J].中国实验方剂学杂志,2013,19(7):117-119  
ZHANG Wei, LU Yin, GU Xuezhu, et al. Analysis of volatile components of two kinds of pumpkin meat by HS-SPME-GC-MS [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2013, 19(7): 117-119
- [23] 魏长宾,孙光明,马蔚红,等.顶空固相微萃取-气相色谱/质谱对红象牙芒果香气成分的分析[J].中国农学通报,2008,1:449-453  
WEI Changbin, SUN Guangming, MA Weihong, et al. HP-SPME and GC-MS analysis of aroma compounds in 'Hongxiangya' mango [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 1: 449-453
- [24] 邢姗姗,姚全胜,魏长宾,等."吉禄"芒果果实采后香气成分的组成及其变化[J].热带作物学报,2012,33(10):1877-1881  
XING Shanshan, YAO Quansheng, WEI Changbin, et al. Changes of aroma components in postharvest 'Jilu' mango [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2012, 33(10): 1877-1881
- [25] 魏长宾,马蔚红,武红霞,等.芒果品种挥发性成分的GC/MS分析[J].食品研究与开发,2009,30(10):110-113  
WEI Changbin, MA Weihong, WU Hongxia, et al. GC-MS analysis of aroma compounds of three mango cultivars [J]. Food Research and Development, 2009, 30(10): 110-113
- [26] 唐会周,明建,程月皎,等.成熟度对芒果果实挥发物的影响[J].食品科学,2010,16:247-252  
TANG Huizhou, MING Jian, CHENG Yuejiao, et al. Effect of degree of maturity on the volatile composition of mango fruits [J]. Food Science, 2010, 16: 247-252
- [27] Pandit S S, Chidley H G, Kulkarni R S, et al. Cultivar relationships in mango based on fruit volatile profiles [J]. Food Chemistry, 2009, 114: 363-372
- [28] 孙宝国.食用调香术[M].北京:化学工业出版社,2003  
SUN Baoguo. Edible Fragrance Adjustment [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003
- [29] 王贵一,孟嘉珺,许文静,等.不同品种芒果的营养成分及风味物质分析[J].食品工业科技,2022,43(1):71-79  
WANG Guiyi, MENG Jiajun, XU Wenjing, et al. Analysis of nutritional components and flavor substances of different varieties of mangoes [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(1): 71-79
- [30] 张劲.芒果香气特征分析研究[D].南宁:广西大学,2011  
ZHANG Jin. Study on aroma characterization of mango fruit [D]. Nanning: Guangxi University, 2011
- [31] 黄豆,曹烙文,岑延相,等.顶空固相微萃取-全二维气相色谱/飞行时间质谱测定三种芒果香气成分[J].食品工业科技,2021,42(15):218-226  
HUANG Dou, CAO Laowen, CEN Yanxiang, et al. Detection of aroma components in three cultivars of mango with headspace solid phase microextraction-comprehensive two-dimensional gas chromatograph/time of flight mass spectrometer [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(15): 218-226