

不同成熟度唐古特白刺果风味特征分析

李光英¹, 迟明¹, 曹文秀¹, 白家瑞¹, 周先加¹, 孟江飞^{2*}

(1. 青海省轻工业研究所有限责任公司, 西宁 810000; 2. 西北农林科技大学葡萄酒学院, 杨凌 712100)

摘要: **目的** 探究不同成熟度唐古特白刺果风味特征差异。**方法** 以3个不同采收期唐古特白刺果为试材, 采用电子舌味觉分析仪和气相色谱-离子迁移谱法(gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS)对其风味特征进行研究。**结果** 电子舌结果表明, 成熟度C唐古特白刺果中的甜味和鲜味值显著高于成熟度A和B, 而成熟度A的唐古特白刺果咸味值高于成熟度B和C。GC-IMS分析表明, 不同成熟度唐古特白刺果中定性检出36种挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs), 其中单体主要包括酯类9种、醛类5种、醇类4种、酮类8种; 随着唐古特白刺果成熟度增加, 异戊酸甲酯、乙酸-2-甲基丁酯、异戊醇、乙醇、2-戊酮峰体积呈上升趋势, 而乙酸乙酯、(E)-2-己烯醛、异戊醛、乙偶姻呈下降趋势。**结论** 综合电子舌和GC-IMS结果, 唐古特白刺果在成熟度A时咸味值最高, 在成熟度C时甜味最高, 在成熟度B时风味物质变化最大。可根据唐古特白刺果不同成熟阶段的风味特点, 为其潜在的加工利用价值提供依据。

关键词: 唐古特白刺果; 成熟度; 电子舌; 气相色谱-离子迁移谱法; 挥发性有机化合物

Analysis of flavor characteristics of *Nitraria tangutorum* Bobr. fruit at different maturity

LI Guang-Ying¹, CHI Ming¹, CAO Wen-Xiu¹, BAI Jia-Rui¹, ZHOU Xian-Jia¹, MENG Jiang-Fei^{2*}

(1. Qinghai Light Industry Institute Co., Ltd., Xining 810000, China; 2. College of Enology, Northwest Agriculture & Forestry University, Yangling 712100, China)

ABSTRACT: Objective To explore the flavor characteristics of *Nitraria tangutorum* Bobr. fruit with different maturity. **Methods** *Nitraria tangutorum* Bobr. fruits at 3 different harvest periods were used as the experimental raw materials. The flavor characteristics was analyzed by electronic tongue taste analyzer and gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS). **Results** The results of the electronic tongue showed that the sweetness and umami values of *Nitraria tangutorum* Bobr. fruits at maturity C were significantly higher than those of maturity A and B, and the saltiness value of *Nitraria tangutorum* Bobr. fruit at maturity A was higher than that of maturity B and C. GC-IMS analysis showed that a total of 36 volatile organic compounds (VOCs) were identified in *Nitraria tangutorum* Bobr. fruits at different maturity, of which the monomers mainly included 9 kinds of esters, 5 kinds of aldehydes, 4 kinds of alcohols and 8 kinds of ketones. With the increase of the maturity of *Nitraria tangutorum* Bobr. fruit, the peak volumes of methyl isovalerate, 2-methyl butyl acetate, isoamyl alcohol, ethanol and 2-pentanone increased, while ethyl acetate, (E)-2-hexenal, isovaleral and acetoin decreased. **Conclusion** According to the comprehensive results of electronic tongue and GC-IMS, *Nitraria tangutorum* Bobr. has the highest saltiness value at

基金项目: 青海省科技厅应用基础研究项目(2021-ZJ-772)

Fund: Supported by the Applied Basic Research Project of Science and Technology Department of Qinghai Province (2021-ZJ-772)

*通信作者: 孟江飞, 博士, 教授, 主要研究方向为葡萄与葡萄酒研究。E-mail: mjfwine@nwafu.edu.cn

*Corresponding author: MENG Jiang-Fei, Ph.D, Professor, College of Enology, Northwest Agriculture & Forestry University, Yangling 712100, Shanxi, China. E-mail: mjfwine@nwafu.edu.cn

maturity A, the highest sweetness value at maturity C, and the greatest change of flavor substances at maturity B. According to the change characteristics of flavor of *Nitraria tangutorum* Bobr. at different maturities, it can provide a basis for its potential processing and utilization value.

KEY WORDS: *Nitraria tangutorum* Bobr. fruits; maturity; electronic tongue; gas chromatography-ion mobility spectrometry; volatile organic compounds

0 引言

唐古特白刺(*Nitraria tangutorum* Bobr.)隶属于藜科(Zygophyllaceae)白刺属(*Nitraria* L.), 主要分布在青藏高原柴达木盆地的沙地和盐碱地带, 具有良好的抗逆特性^[1]。唐古特白刺花期在 5~6 月, 果实成熟期在 8~9 月, 成熟的唐古特白刺果晶莹剔透、红似珍珠、紫如玛瑙, 被誉为“高原红珍珠”, 被用作食物已有数千年历史^[2]。这种小浆果不仅具有饲用价值, 也可用于食品工业生产果啤^[3]、果汁^[4]和乳酸菌复合饮料^[5]等。唐古特白刺果富含维生素、类胡萝卜素、花青素等营养成分^[6], 其果实提取物具有降血脂^[7]、抗氧化^[8]、降血糖^[9]和神经保护^[10]等多种功效。

目前, 关于唐古特白刺果研究集中在营养成分、功效成分及药理活性方面, 而对其风味(滋味和气味)研究较少。白刺果属于浆果类果实, 风味是评价果实的重要指标之一, 其优劣影响果实的加工和产品品质。果实的风味与其成熟度密切相关^[11]。孙莹等^[12]研究了成熟度对纽荷尔脐橙香气成分的影响, 发现脐橙在成熟的过程中柠檬烯含量的增加使其果实香气不断增加。高利萍等^[13]采用电子舌和电子鼻结合多元统计分析区分出不同成熟度草莓鲜榨汁的风味品质。由此可见, 果实成熟度很大程度上影响其风味特征。

电子舌在食品的滋味判别、味觉指标量化及评价中应用广泛, 特别在果汁^[14]、果酒^[15]的味觉特征分析及果实品种区分方面应用成熟。气相色谱-离子迁移谱法(gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS)是近年新兴的气味定性定量检测技术, 比传统气相色谱-质谱法、电子鼻等技术, 具有样品前处理和操作简单、高分离度、低检出限、风味物质可视化等特点^[16], 已广泛应用于杏^[17]、沃柑^[18]、黑枣^[19]等果实挥发性风味分析方面。因此, 本研究采用电子舌味觉分析仪和 GC-IMS, 从滋味和气味两个角度分析 3 种不同成熟度对唐古特白刺果风味的影响, 为唐古特白刺资源加工利用方面提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

唐古特白刺果采自青海省德令哈市柯鲁柯镇。根据采摘时间不同, 将唐古特白刺果成熟度标记为成熟度 A (2021 年 8 月 16 日)、成熟度 B (2021 年 9 月 2 日)和成熟

度 C (2021 年 9 月 17 日) 3 种。选取 20~30 丛左右无病虫害、长势良好的唐古特白刺植株采摘颜色、大小相近的果实, 每批次随机采摘约 2.0 kg, 装在放有干冰的泡沫盒后立即运回实验室, 剔除杂质和烂果, 用蒸馏水喷淋, 洗涤表面浮尘, 沥干水分备用。唐古特白刺果的感官特点如表 1 所示。

表 1 不同成熟度唐古特白刺果感官特点
Table 1 Sensory characteristics of *Nitraria tangutorum* Bobr. fruits at different maturity

成熟度	果实外观	气味	汁液	滋味
成熟度 A	果皮红色、颜色鲜艳、果实饱满	果香味较淡	较少	甜中带酸
成熟度 B	果皮紫红色、颜色偏暗、果实饱满	果香味较浓	较多	酸甜微咸
成熟度 C	果皮深紫黑色、果实饱满	果香味浓郁	较多	酸甜可口

1.2 仪器与设备

BT125D 电子分析天平(感量 0.0001 g, 德国赛多利斯科学仪器有限公司); 数显手持式糖度计(日本 ATAGO 公司); TS-5000Z 型味觉分析仪(日本 INSENT 公司); MXT-5 色谱柱(15 m×0.53 mm, 1 μm)、FlavourSpec® GC-IMS 联用仪(德国 G.A.S.公司)

1.3 实验方法

1.3.1 理化指标

采用斐林试剂滴定法测定还原糖含量, 结果以葡萄糖计^[20]。参考黄婷等^[21]的方法测定可溶性固形物含量。

1.3.2 味觉特征测定

参照高利萍等^[13]的方法测定白刺果味觉特征值。

1.3.3 挥发性物质测定

顶空进样条件: 将不同成熟度唐古特白刺果破碎后, 称取 2.0 g 果皮及果汁的破碎样品于 20 mL 顶空进样瓶中, 40℃孵化 15 min, 进样针温度 85℃, 进样体积为 500 μL。GC 条件: MXT-5 色谱柱(15 m×0.53 mm, 1 μm), 载气 N₂(纯度 ≥99.999%), 载气流量程序为 0~2 min, 2~15 mL/min; 2~20 min, 20~80 mL/min。IMS 条件: 漂移管长度 98 mm; 管内线性电压 500 V/cm; 漂移管温度 45℃; 漂移气 N₂(纯度 ≥99.999%); 漂移气流速 150 mL/min; 放射源为 β 射线(氚, ³H); 离子化模式为正离子。

1.4 数据处理

采用 Origin 2016 绘图, 采用 IBM SPSS Statistics 24.0 统计软件进行单因素方差分析, $P < 0.05$ 时表示差异显著。使用 GC-IMS 仪自带的分析软件 LAV 及 GC-IMS Library Search 软件内置数据库对挥发性物质进行定性分析; 采用 Gallery Plot 插件和 Dynamic 插件对不同成熟度唐古特白刺果挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs)进行图谱对比和主成分分析(principal component analysis, PCA)。

2 结果与分析

2.1 不同成熟度唐古特白刺果滋味分析

2.1.1 电子舌味觉特征分析

采用电子舌测定不同成熟度唐古特白刺果味觉特征值, 结果如图 1 所示。因为电子舌酸味的无味点为-13, 咸味的无味点为-6, 其他指标的王味点均为 0, 所以当样品的味觉值低于无味点时说明样品无此味道, 味觉值高于无味点时则有此味道^[21]。不同成熟度唐古特白刺果的酸味和苦味在无味点以下, 表明白刺果无酸味和苦味特征; 后苦味、涩味、后涩味也在无味点, 说明白刺果也无苦味和涩味特征。而咸味、甜味、丰富度和鲜味明显高于无味点, 因此咸味、甜味、丰富度和鲜味指标可作为 3 种不同成熟度唐古特白刺果的味觉特征。

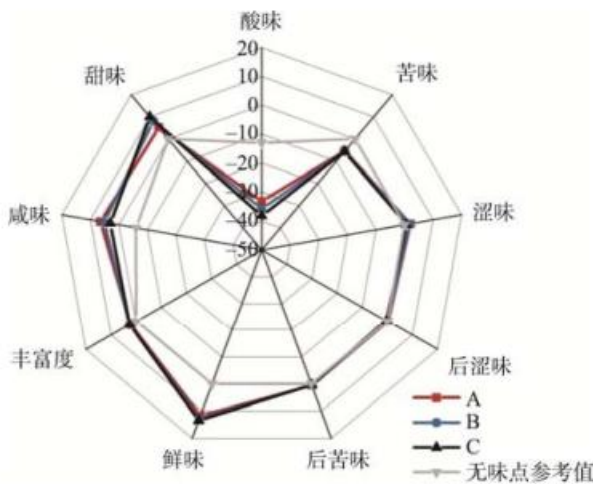


图 1 不同成熟度唐古特白刺果的味觉特征雷达图

Fig.1 Radar diagram of taste characteristics of *Nitraria tangutorum* Bobr. fruits at different maturity

2.1.2 不同成熟度唐古特白刺果滋味分析

3 种不同成熟度唐古特白刺果还原糖和可溶性固形物含量见表 2。随着果实成熟增加, 唐古特白刺果的可溶性固形物、还原糖含量均呈上升趋势, 且存在显著性差异 ($P < 0.05$), 在果实发育过程中, 糖组分是一个动态变化的过程^[22]。按糖积累特点, 唐古特白刺果与甜樱桃^[23]、桑葚^[24]等浆果相似, 属于糖直接积累型果实, 果实中可溶性糖组分主要来自于蔗糖、葡萄糖和果糖。因此, 随着果实成熟,

还原糖、可溶性固形物含量随之增加。

表 2 不同成熟度唐古特白刺果理化指标($n=3$, g/100 g)
Table 2 Physicochemical indexes of *Nitraria tangutorum* Bobr. fruits at different maturity ($n=3$)

成熟度	A	B	C
还原糖	14.22±0.20 ^b	14.52±0.08 ^b	15.00±0.09 ^a
可溶性固形物	24.83±0.04 ^c	27.22±0.09 ^b	28.43±0.02 ^a

注: 同行不同小写字母分别表示差异显著 ($P < 0.05$)。

由图 2 可知, 不同唐古特白刺果同种属性(鲜味、丰富度、咸味、甜味)之间存在显著差异 ($P < 0.05$), 但丰富度和甜味在成熟度 B、C 无显著差异 ($P > 0.05$)。随着成熟度增加, 唐古特白刺果的鲜味和甜味特征值呈递增趋势, 丰富度变化不大, 而咸味味觉特征值随着成熟度增加而显著降低。成熟度 A 的唐古特白刺果咸味值最强, 鲜味值和甜味值最低, 与表 1 滋味有所不同, 原因是电子舌与真实味觉评价具有差异性^[25]。成熟度 C 的唐古特白刺果与之结果相反。甜味随着成熟度增加而增加, 与果实的还原糖与可溶性固形物含量增加有关^[26]。咸味主要源于 Na^+ 、 K^+ 等无机阳离子, 白刺果吸收了较多土壤中无机盐离子, 所以会呈现出咸味, 这与唐古特白刺分布在盐分高的荒漠地带, 可减轻土地盐碱化程度的状况相符。但随着成熟度增加, 咸味值显著下降, 可能是果实为了平衡细胞液和原生质的渗透压, 启动泌盐功能, 保证其在盐碱化土壤中生长^[2]。同时白刺果的鲜味特征值相对较高, 与其含有较高的无机离子含量可能也有关系^[27]。

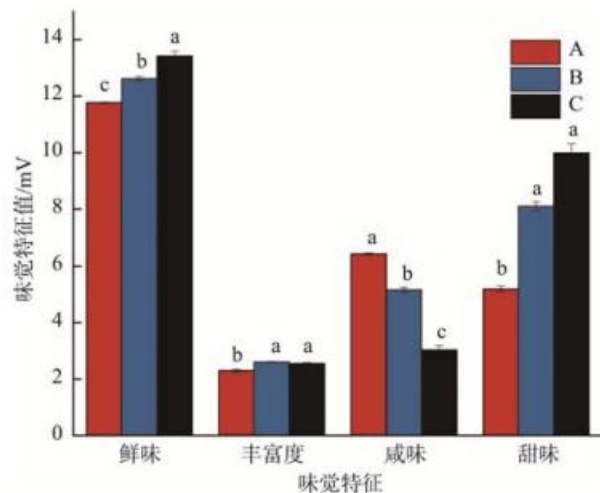


图 2 不同成熟度唐古特白刺果味觉特征值($n=3$)

Fig.2 Taste characteristic values of *Nitraria tangutorum* Bobr. fruits at different maturity ($n=3$)

2.2 唐古特白刺果挥发性物质

2.2.1 不同唐古特白刺中的挥发性物质分析

不同成熟度的唐古特白刺果 GC-IMS 二维谱图如图 3A 所示。根据图中反应离子峰(色点)的有无或者颜色深浅

能够直观表现不同样品之间的 VOCs 种类及浓度差异。不同成熟度的唐古特白刺果峰数和峰位大致相同, 但随成熟度增加, 点的数量逐渐减少。说明不同成熟度唐古特白刺果在 VOCs 种类上差异较小, VOCs 的含量随着成熟时间的变化而变化, 其中一些 VOCs 含量降低, 甚至消失, 但有些点的颜色加深, 说明相应的 VOCs 含量上升。如图 3B 所示, 当以成熟度 A 唐古特白刺为参照差异对比时, 可直观地看出其他两组样品中对应的 VOCs 浓度高低, 唐古特白刺果 VOCs 含量在成熟过程中有升高也有降低。

2.2.2 不同成熟度唐古特白刺果 VOCs 定性分析

由表 3 可知, 唐古特白刺果中共鉴定出 36 种 VOCs (包括单体及部分物质的二聚体), 当 VOCs 浓度过高时, 出现两个分子时共用一个正电荷, 形成二聚体的现象^[28]。本研究检出的单体主要包括 9 种酯类、5 种醛类、4 种醇类和 8 种酮类。

其中, 酯类物质对果实香气的形成具有重要作用, 在

果实成熟过程中, 主要以氨基酸、糖和脂质为前体合成酯类化合物^[29]。酯类化合物为果实提供果香味, 乙酸乙酯具有苹果、葡萄、草莓的果香^[29], 丙酸丁酯具有香蕉香气, 异戊酸甲酯具有苹果、菠萝果香^[30]。如表 3 所示, 随着唐古特白刺成熟度的增加, 乙酸乙酯、丙酸丁酯峰体积逐渐减少, 而异戊酸甲酯、乙酸-2-甲基丁酯等峰体积逐渐增加, 其中乙酸乙酯峰体积最大且降低幅度最大, 成熟度 A 到 C, 峰体积降低了 84.64%。异戊酸甲酯峰体积增幅最大, 成熟度 A 到 C, 峰体积增加了 119.69%。

脂肪酸降解可产生醛类化合物^[17]。醛类化合物在果实中主要呈现青草香、果香和苦杏仁味。如(*E*)-2-己烯醛具有青草味、绿苹果味, 苯甲醛具有果香、杏仁味, 异戊醛具有苹果、桃子果香味^[30]。随着唐古特白刺果成熟度的增加, (*E*)-2-己烯醛和异戊醛峰体积有明显下降趋势, 其中(*E*)-2-己烯醛峰体积降低幅度最大, 成熟度 A 到 C, 峰体积降低了 59.52%。

表 3 不同成熟度的唐古特白刺果 VOCs 定性分析结果与峰面积
Table 3 Qualitative analysis results and peak areas of VOCs of *Nitraria tangutorum* Bobr. fruits at different maturity

编号	CAS	中文名称	分子量	保留指数	保留时间/s	迁移时间/ms	峰面积		
							A	B	C
酯类									
1	C109217	丁酸丁酯	144.2	1001.6	353.257	1.340	213.697	112.875	119.083
2	C590012	丙酸丁酯-M	130.2	910.4	272.468	1.288	721.874	506.193	483.708
3	C590012	丙酸丁酯-D	130.2	910.0	272.123	1.724	1073.743	453.888	513.982
4	C105668	丁酸丙酯-M	130.2	899.1	262.798	1.264	1026.123	816.206	838.440
5	C105668	丁酸丙酯-D	130.2	898.3	262.107	1.692	1528.695	642.933	770.605
6	C624419	乙酸-2-甲基丁酯-M	130.2	884.5	252.782	1.317	472.917	508.653	517.956
7	C624419	乙酸-2-甲基丁酯-D	130.2	883.8	252.437	1.709	417.466	373.005	363.708
8	C556241	异戊酸甲酯-M	116.2	775.5	195.509	1.202	302.053	300.028	282.647
9	C556241	异戊酸甲酯-D	116.2	772.6	194.367	1.534	581.103	1200.488	1276.617
10	C637785	丙酸异丙酯	116.2	752.9	186.371	1.564	11.096	123.079	99.442
11	C123864	乙酸丁酯-M	116.2	809.7	212.707	1.240	103.353	102.435	103.844
12	C123864	乙酸丁酯-D	116.2	809.7	212.707	1.624	130.316	19.146	52.495
13	C141786	乙酸乙酯-M	88.1	607.8	138.514	1.100	294.698	235.576	190.975
14	C141786	乙酸乙酯-D	88.1	614.3	140.240	1.340	3754.382	3807.700	576.587
15	C79209	乙酸甲酯	74.1	537.9	119.664	1.196	425.278	412.423	370.066
醛类									
16	C5910850	2,4-庚二烯醛	110.2	990.3	340.610	1.193	23.815	87.651	96.205
17	C66251	正己醛-M	100.2	796.8	205.790	1.254	497.823	319.478	299.977
18	C66251	正己醛-D	100.2	795.1	204.877	1.566	1943.546	426.192	527.199
19	C100527	苯甲醛	106.1	961.0	315.640	1.152	142.571	75.999	113.836

表 3(续)

编号	CAS#	中文名称	分子量	保留指数	保留时间/s	迁移时间/ms	峰体积		
							A	B	C
20	C6728263	(E)-2-己烯醛-M	98.1	856.5	237.776	1.183	1738.948	728.651	703.944
21	C6728263	(E)-2-己烯醛-D	98.1	852.2	235.492	1.520	7888.904	933.188	1002.680
22	C590863	异戊醛 醇类	86.1	657.9	152.013	1.405	2042.305	1700.784	1691.049
23	C111273	正己醇-M	102.2	872.9	246.565	1.324	18.797	28.271	24.050
24	C111273	正己醇-D	102.2	871.2	245.688	1.638	12.871	21.085	17.206
25	C123513	异戊醇	88.1	733.8	178.603	1.492	1032.576	2478.638	2288.565
26	C107039	丙硫醇	76.2	634.0	145.571	1.362	237.261	302.475	267.557
27	C64175	乙醇 酮类	46.1	460.5	98.767	1.131	1813.071	2056.671	2097.457
28	C110930	甲基庚烯酮	126.2	993.4	343.270	1.179	48.407	105.266	108.155
29	C513860e	乙偶姻	88.1	713.9	170.535	1.333	936.146	118.467	136.585
30	C431038	2,3-丁二酮	86.1	586.6	132.781	1.169	171.483	249.719	226.016
31	C96220	3-戊酮	86.1	701.6	165.580	1.359	540.672	1163.155	1002.537
32	C107879	2-戊酮	86.1	689.3	160.567	1.375	89.390	550.845	433.898
33	C1629589	1-戊烯-3-酮-M	84.1	688.8	160.357	1.074	130.649	48.747	39.542
34	C1629589	1-戊烯-3-酮-D	84.1	689.5	160.647	1.315	442.624	21.917	18.108
35	C78933	甲乙酮	72.1	584.1	132.116	1.249	44.824	274.378	226.482
36	C67641	丙酮	58.1	504.0	110.496	1.120	4807.903	5638.840	4966.687

注: M 表示化合物结构为单体, D 表示化合物结构为二聚体。

醇类化合物是由支链氨基酸的代谢或者脂肪酸为前体生成^[17]。在白刺果中呈现清香、酒香,如乙醇表现为清香和酒香,异戊醇表现为酒精、果味,丙硫醇为甜洋葱味^[31]。随着唐古特白刺果成熟度的增加,醇类物质峰体积不断增加,其中异戊醇峰体积最大且增加幅度最大,增加了 54.88%。

酮类化合物主要提供奶油、薄荷味及辛辣调味料,如乙偶姻、2,3-丁二酮表现为奶油香气^[30],丙酮、3-戊酮、2-戊酮为薄荷味,1-戊烯-3-酮具有辛辣芥末、洋葱和胡椒味^[32]。随着成熟度的增加,其中甲基庚烯酮呈现增加趋势,而乙偶姻、1-戊烯-3-酮呈现降低趋势,其中 1-戊烯-3-酮降低幅度最大,降低了 95.90%。酮类物质中峰体积最大的是丙酮,成熟度 B 唐古特白刺果的含量最高。

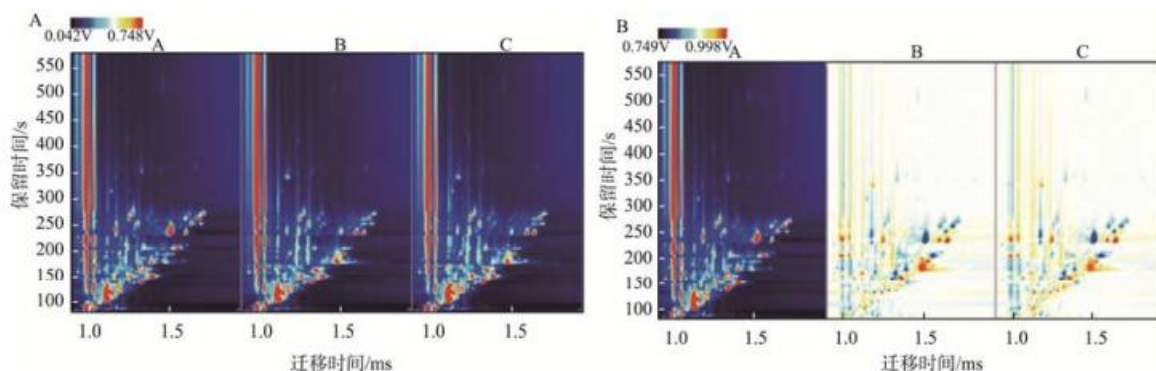
2.2.3 Gallery Plot 指纹谱图分析

为了更加全面地对比 3 种不同成熟度唐古特白刺果的挥发性化合物组分差异性,使用 LAV 软件的 Gallery Plot 插件,将 3 种不同成熟度唐古特白刺果的 GC-IMS 二维图谱中所有待分析峰自动生成指纹图谱(图 4)。唐古特白刺果中共检出 48 种 VOCs,其中已知成分 36 种,未知成分 12 种。区域 1 是成熟度 A 唐古特白刺果的特征峰区域,主要特征挥发性风味物质包括正己醛、丁酸丁酯、1-戊烯-3-酮、(E)-2-己烯醛、乙酸丁酯、异戊醛、乙偶姻等,其中(E)-2-己烯醛、丁酸丁酯、乙偶姻、1-戊烯-3-酮 4 种 VOCs 在成熟度 B 和成熟度 C 中较少甚至没有,说明这 4 种 VOCs 随

着果实的成熟逐渐减少。区域 2 是成熟度 B 和 C 唐古特白刺果的特征峰区域,主要特征挥发性风味物质为正己醇、2,3-丁二酮、2-戊酮、甲基庚烯酮、2,4-庚二烯醛、甲乙酮。从区域 2 可以看出,丙硫醇、2,3-丁二酮、丙酸异丙酯、甲乙酮、2-戊酮、2,4-庚二烯醛、正己醇共计 7 种 VOCs 为成熟度 B 和成熟度 C 唐古特白刺果共有特征挥发性风味物质,而且除 2,4-庚二烯醛外,其余 VOCs 含量在成熟度 B 中明显高于成熟度 C,推测这 6 种 VOCs 变化与其果实在成熟过程中理化特性、营养成分等的变化密切相关^[33]。

2.2.4 不同成熟度白刺果 VOCs 主成分分析

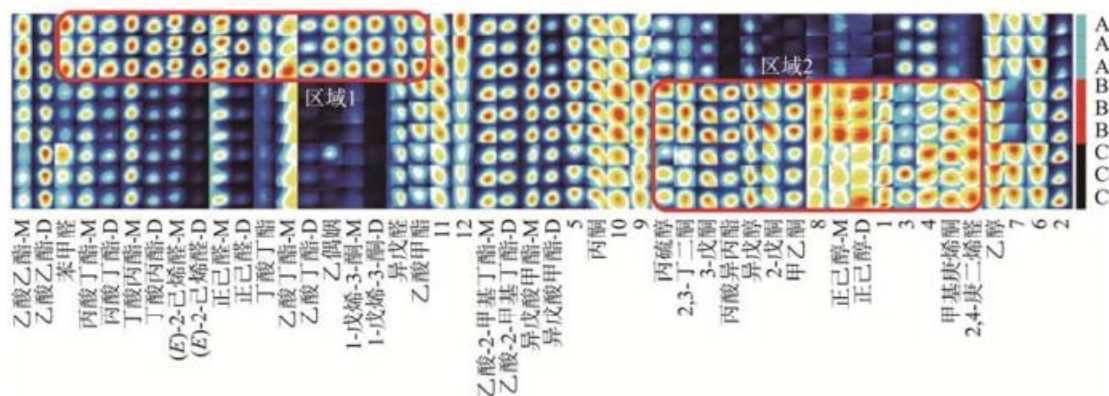
PCA 是多元统计分析中常见的数据分析方法,PCA 可以根据不同样本中的主要成分因子的贡献率来评估样品之间的规律性和差异性^[34-35]。如图 5 所示,第 1 主成分和第 2 主成分的贡献率分别为 78%和 15%,降维后两个主成分累积贡献率为 93%,能较好的表征原始变量的特征差异。组内各样品相对距离较近,说明样品的重复性较好,在不同的贮藏时间,3 种不同成熟度唐古特白刺果 VOCs 基本分布在不同区域,表明样品之间的 VOCs 存在差异,成熟度 A 唐古特白刺果与成熟度 B、C 唐古特白刺果距离最远,具有明显的特征差异。成熟度 B、C 唐古特白刺果距离较近,表明唐古特白刺果到一定成熟阶段,风味物质变化较小。3 个不同成熟度唐古特白刺果样品之间没有重叠部分,说明可以通过 GC-IMS 可以区分出不同成熟度白刺果的风味特征。



注: 横坐标 1.0 处红色竖线为反应离子峰(经归一化处理), 反应离子峰两侧的每一个点代表一种 VOCs, 颜色越深表示含量越高; B 图以成熟度 A 唐古特白刺光谱图作为参考, 红色代表该物质在该样品中浓度高于参照样品, 颜色越深, 浓度越高, 而蓝色则代表低于参照样品, 颜色越浅, 浓度越低。

图 3 不同成熟度唐古特白刺果 VOCs 二维谱图(A)和差异谱图(B)

Fig.3 Two dimensional spectra (A) and difference spectra (B) of VOCs in *Nitraria tangutorum* Bobr. fruits at different maturity



注: 一行代表一个样品的挥发性成分组成; 图中一列代表某种 VOCs 在不同样品中的信号峰; 信号峰的颜色明暗代表该物质的浓度高低。

图 4 不同成熟度唐古特白刺 Gallery Plot 指纹谱图

Fig.4 Gallery plot fingerprint of *Nitraria tangutorum* Bobr. fruits at different maturity

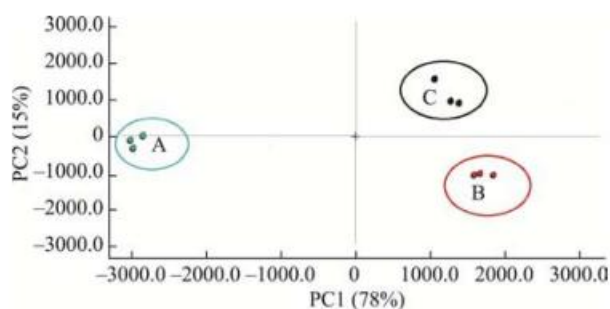


图 5 不同成熟度唐古特白刺果 PCA 图

Fig.5 PCA figure in *Nitraria tangutorum* Bobr. fruits at different maturity

3 结论

本研究主要采用电子舌味觉分析仪和 GC-IMS 分析了不同成熟度唐古特白刺果风味特征。发现不同成熟度唐古特白刺果滋味特点均是以甜味、咸味和鲜味为主。其中成熟度

C 中的甜味和鲜味值高于成熟度 A 和 B, 而成熟度 A 的咸味值高于成熟度 B 和 C。从 3 种不同成熟度唐古特白刺果中共鉴定出 36 种 VOCs, 主要包括酯类、醛类、醇类和酮类。随着唐古特白刺果成熟度增加, 异戊酸甲酯、乙酸-2-甲基丁酯、异戊醇、乙醇、2-戊酮峰体积呈上升趋势, 而乙酸乙酯、(E)-2-己烯醛、异戊醛、乙偶姻峰体积呈下降趋势。

后续可增加 VOCs 定量分析, 结合气味活力值分析唐古特白刺果中特征香气物质, 结合特征香气物质和感官香气属性, 构建理化指标、味觉特征值、特征香气物质与感官属性之间的关联性, 以此明确唐古特白刺果在成熟过程中的风味变化特征, 为唐古特白刺果资源深加工提供科学依据。

参考文献

[1] 杨仁明, 索有瑞, 王洪伦. 唐古特白刺果化学成分和功效作用研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24(7): 6.
YANG RM, SUO YR, WANG HL. Research progress on chemical

- composition and efficacy of tangut white thorn fruit [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2012, 24(7): 6.
- [2] 索有瑞. 柴达木盆地白刺研究与开发[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
SUO YR. Research and development of white thorn in Qaidam Basin [M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [3] 许媛, 王君, 王圣赞, 等. 白刺浓缩汁添加时期对果啤品质及抗氧化活性的影响[J]. *食品与发酵科技*, 2020, 56(1): 7-9.
XU Y, WANG J, WANG SZ, *et al.* Effects of white thorn juice concentrate on quality and antioxidant activity of fruit beer during period of addition [J]. *Food Ferment Technol*, 2020, 56(1): 7-9.
- [4] 陈晨, 张琳, 刘增根. 白刺果汁生产工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2011, 32(11): 289-291.
CHEN C, ZHANG L, LIU ZG. Research on the production process of white thorn juice [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2011, 32(11): 289-291.
- [5] 张洁茹, 叶淑红, 罗明洋, 等. 黑木耳白刺果复合乳酸菌饮料发酵工艺研究[J]. *中国酿造*, 2020, 39(5): 211-215.
ZHANG JR, YE SH, LUO MY, *et al.* Study on fermentation process of lactic acid bacteria compound of black fungus white thorn fruit [J]. *Chin Brew*, 2020, 39(5): 211-215.
- [6] SANG J, MA Q, REN MJ, *et al.* Extraction and characterization of anthocyanins from *Nitraria tangutorum* Bobr. dry fruit and evaluation of their stability in aqueous solution and taurine-contained beverage [J]. *J Food Meas Charact*, 2018, 12(2): 1-12.
- [7] 李冰, 刘康, 张锦, 等. 唐古特白刺果花色苷改善高脂饮食诱导的小鼠非酒精性脂肪肝损伤[J]. *食品科学*, 2019, 40(19): 217-223.
LI B, LIU K, ZHANG J, *et al.* Anthocyanins of tangut white thorn fruit improve high-fat diet-induced nonalcoholic fatty liver injury in mice [J]. *Food Sci*, 2019, 40(19): 217-223.
- [8] RANA J, MISSLER SR, PERSONS K. Total antioxidant capacity and characterization of *Nitraria tangutorum* fruit extract by rapid bioassay directed fractionation [J]. *J AOAC Int*, 2016, 99(5): 1219-1222.
- [9] ZHANG M, MA JB, BI HJ, *et al.* Characterization and cardioprotective activity of anthocyanins from *Nitraria tangutorum* Bobr. by-products [J]. *Food Funct*, 2017, 8(8): 1-30.
- [10] CHEN S, ZHOU H, ZHANG G, *et al.* Characterization, antioxidant, and neuroprotective effects of anthocyanins from *Nitraria tangutorum* Bobr. fruit [J]. *Food Chem*, 2021, 353(1): 1-9.
- [11] 王海波, 陈学森, 辛培刚, 等. 几个早熟苹果品种果实糖酸组分及风味品质的评价[J]. *果树学报*, 2007, (4): 513-516.
WANG HB, CHEN XS, XIN PG, *et al.* Evaluation of sugar and acid components and flavor quality in fruits of several early-ripening apple varieties [J]. *J Fruit Trees*, 2007, (4): 513-516.
- [12] 孙莹, 陈世珍, 朱丽琴, 等. 不同成熟度赣南“纽荷尔”脐橙香气成分和主要品质指标分析[J]. *江西农业大学学报*, 2015, 37(3): 429-434.
SUN Y, CHEN SZ, ZHU LQ, *et al.* Analysis of aroma components and main quality indicators of Gannan “Newhall” navel oranges with different maturity [J]. *Acta Agric Univ Jiangxiensis*, 2015, 37(3): 429-434.
- [13] 高利萍, 王俊, 崔绍庆. 不同成熟度草莓鲜榨果汁的电子鼻和电子舌检测[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2012, 38(6): 715-724.
GAO LP, WANG J, CUI SQ. Detection of freshly squeezed strawberry juice by electronic nose and electronic tongue [J]. *J Zhejiang Univ (Agric Life Sci)*, 2012, 38(6): 715-724.
- [14] 黄星奕, 戴煌, 徐富斌, 等. 电子舌对橙汁感官品质定量评价研究[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(5): 172-177.
HUANG XY, DAI H, XU FB, *et al.* Research on quantitative evaluation of sensory quality of orange juice by electronic tongue [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2014, 30(5): 172-177.
- [15] WANG HX, SUN HM. Potential use of electronic tongue coupled with chemometrics analysis for early detection of the spoilage of *Zygosaccharomyces rouxii* in apple juice [J]. *Food Chem*, 2019, 290: 152-158.
- [16] 孙兴荣, 卞景阳, 刘琳帅, 等. 基于气相色谱-离子迁移谱法比较 3 种粳香稻米挥发性成分[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(17): 5452-5458.
SUN XR, BIAN JY, LIU LS, *et al.* Comparison of volatile components of 3 varieties of Suijing fragrant rice based on headspace gas chromatography-ion mobility spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(2): 396-401.
- [17] 侯晓健, 张浩宇, 张光弟, 等. 不同成熟度红梅杏品质及挥发性物质研究[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(10): 177-182.
HOU XJ, ZHANG HY, ZHANG GD, *et al.* Study on the quality and volatile compounds of Hongmei apricot with different maturity [J]. *Food Ferment Ind*, 2022, 48(10): 177-182.
- [18] 王淋靓, 黎新荣, 冯春梅, 等. 基于 GC-IMS 技术分析沃柑储存过程中挥发性物质的变化[J]. *食品科技*, 2021, 46(10): 249-254.
WANG LL, LI XR, FENG CM, *et al.* Analysis of the changes of volatile substances in the storage process of wotan oranges based on GC-IMS technology [J]. *Food Sci Technol*, 2021, 46(10): 249-254.
- [19] 王越, 王连, 王愈. 基于 GC-IMS 和 HS-SPME-GC-MS 的不同处理方式黑枣的挥发性成分分析[J]. *食品科学*, 2022, 43(8): 247-254.
WANG Y, WANG L, WANG Y. Analysis of volatile components of black jujube with different processing methods based on GC-IMS and HS-SPME-GC-MS [J]. *Food Sci*, 2022, 43(8): 247-254.
- [20] MURRINIE ED, YUDONO P, PURWANTORO A, *et al.* Effect of postharvest maturation storage at different age fruit on chemical characters fruit and seed of wood-apple [J]. *J Phys*, 2020, 14(64): 1-10.
- [21] 黄婷, 闫亚美, 刘俭, 等. 枸杞鲜果感官品质与理化特性相关性研究[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(19): 19-27.
HUANG T, YAN YM, LIU J, *et al.* Physical and chemical qualities and sensory evaluation of fresh fruits of *Lycium barbarum* L. [J]. *Food Res Dev*, 2021, 42(19): 19-27.
- [22] 李治苇, 张萍, 李庆, 等. 酿酒葡萄果实发育过程中糖酸积累规律的研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(19): 7738-7743.
LI ZW, ZHANG P, LI Q, *et al.* Study on the accumulation law of sugar and acid during the development of wine grape fruit [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(19): 7738-7743.
- [23] 王宝刚, 李文生, 侯玉茹, 等. 甜樱桃果实成熟过程中糖累积与品质形

- 成研究[J]. 果树学报, 2017, 34(5): 576–583.
- WANG BG, LI WS, HOU YR, *et al.* Study on sugar accumulation and quality formation of sweet cherry fruits during ripening [J]. *J Fruit Trees*, 2017, 34(5): 576–583.
- [24] 乔健, 李国鹏, 杜丽清, 等. 桑葚果实不同发育期品质测定及其相关性分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(17): 24–29.
- QIAO J, LI GP, DU LQ, *et al.* Quality determination and correlation analysis of mulberry fruits during different development stages [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(17): 24–29.
- [25] 王兴亚, 庞广昌, 李阳. 电子舌与真实味觉评价的差异性研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(1): 213–216, 220.
- WANG XY, PANG GC, LI Y. Research progress on the difference between electronic tongue and real taste evaluation [J]. *Food Mach*, 2016, 32(1): 213–216, 220.
- [26] 代良超, 肖猛, 彭毅秦, 等. 基于电子舌和理化特征分析成熟度对百香果食用品质的影响[J]. 食品与发酵科技, 2020, 56(2): 27–32.
- DAI LC, XIAO M, PENG YQ, *et al.* Analysis of the effect of maturity on edible quality of passion fruit based on electronic tongue and physicochemical characteristics [J]. *Food Ferment Sci Technol*, 2020, 56(2): 27–32.
- [27] 曹荣, 胡梦月, 谭志军, 等. 基于电子舌和气相色谱-离子迁移谱分析坛紫菜与条斑紫菜的风味特征[J]. 食品科学, 2021, 42(8): 186–191.
- CAO R, HU MY, TAN ZJ, *et al.* Analysis of the flavor characteristics of *Porphyra alba* and *Porphyra japonica* based on electronic tongue and gas chromatography-ion mobility spectrometry [J]. *Food Sci*, 2021, 42(8): 186–191.
- [28] SAN AT, JOYCE DC, HOFMAN PJ, *et al.* Stable isotope dilution assay (SIDA) and HS-SPME-GCMS quantification of key aroma volatiles for fruit and sap of Australian mango cultivars [J]. *Food Chem*, 2017, 221: 613–619.
- [29] 刘婉君, 张莹, 张玉星, 等. 18 个品种授粉鸭梨果实品质和香气成分分析与评价[J]. 食品科学, 2022, 43(2): 9.
- LIU WJ, ZHANG Y, ZHANG YX, *et al.* Analysis and evaluation of fruit quality and aromacomponents of 18 pollinated Yali varieties [J]. *Food Sci*, 2022, 43(2): 9.
- [30] 王燕华, 王晓婷, 龚加顺, 等. 基于 HS-GC-IMS 对 8 种咖啡豆烘焙前后挥发性有机物成分分析[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(23): 124–130.
- WANG YH, WANG XT, GONG JS, *et al.* Analysis of volatile organic compounds in 8 kinds of coffee beans before and after roasting based on HS-GC-IMS [J]. *Food Res Dev*, 2021, 42(23): 124–130.
- [31] 易封萍, 马宁, 朱建才. 基于 GC-O, OAV 及 Feller 加和模型对酱香型习酒特征香气成分的分析[J]. 食品科学, 2022, 43(2): 15.
- YI FP, MA N, ZHU JC. Analysis of characteristic aroma components of Maotai-flavor Xiji wine based on GC-O, OAV and Feller additive model [J]. *Food Sci*, 2022, 43(2): 15.
- [32] ZHAO Y, ZHAN P, TIAN HL, *et al.* Insights into the aroma profile in three kiwifruit varieties by HS-SPME-GC-MS and GC-IMS coupled with DSA [J]. *Food Anal Methods*, 2021, 14(5): 1033–1042.
- [33] NIU H, YUAN L, ZHOU H, *et al.* Comparison of the effects of high pressure processing, pasteurization and high temperature short time on the physicochemical attributes, nutritional quality, aroma profile and sensory characteristics of passion fruit Purée [J]. *Foods*, 2022, 11(5): 632.
- [34] KWAN C, SNYDER AP, ERICKSON RP, *et al.* Chemical agent detection using GC-IMS: A comparative study [J]. *IEEE Sens J*, 2010, 10(3): 451–460.
- [35] JI XY, JI WS. Determination of the volatile organic compounds (VOCs) in mature and immature foliage of five species of pinaceae by gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS) with principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA) [J]. *Anal Lett*, 2022, 55(9): 1412–1424.

(责任编辑: 郑丽 韩晓红)

作者简介



李光英, 硕士研究生, 主要研究方向为特色生物资源研究与开发。
E-mail: guangyinglili@163.com



孟江飞, 博士, 教授, 主要研究方向为葡萄与葡萄酒研究。
E-mail: mjfwine@nwfufu.edu.cn