

福建省主要栽培果蔗品种红糖香气成分研究

张树河, 李和平, 李海明, 李瑞美*

(福建省农业科学院亚热带农业研究所, 漳州 363005)

摘要: 目的 分析不同果蔗品种红糖的香气成分差异, 探究果蔗红糖的特征性香味物质, 为筛选红糖型果蔗品种提供参考。**方法** 采用顶空气相色谱-质谱法对福建省4个主要栽培果蔗品种红糖进行检测, 分析其香气成分与差异, 利用主成分分析(principal components analysis, PCA)分析不同果蔗品种红糖的主要特征性挥发性成分。**结果** 4个不同果蔗红糖样品共检测出主要香气成分45种, 主要包括烷类、醇类、酮类、吡嗪类、醛类、酸类、酚类、酯类等。其中反-2-甲基环戊醇、5-甲基-2-呋喃甲醇、2-甲基四氢呋喃-3-酮、5-甲基呋喃醛和2-甲氧基-4-乙烯苯酚为4个果蔗红糖共有的香气成分。对不同果蔗品种红糖的挥发性香气成分进行分类统计表明黑皮果蔗红糖中吡嗪类物质占比最高, 达60.08%; 闽引黄皮果蔗红糖中酮类物质含量最高, 占23.93%, 大田雪蔗红糖中酚类物质含量最高, 为37.05%, 同安果蔗红糖中烷类、醛类及酸类含量相当, 分别为16.31%、15.76%及15.01%。挥发性成分PCA结果表明, 4个果蔗品种红糖分布在不同的4个象限, 表明香气物质差异较大, 闽引黄皮果蔗红糖起主要贡献作用的是酮类、酸类、烷类和酯类; 同安果蔗红糖香气成分起主要贡献作用的是其他类、醛类、嘧啶类和醇类; 大田雪蔗红糖香气成分起主要作用的是酚类和胍类, 黑皮果蔗红糖香气成分起主要贡献作用的是吡嗪类、烯类、吡咯类。**结论** 不同果蔗品种红糖有共有的香气成分, 也有不同种类与特征性的香气物质, 闽引黄皮果蔗是酮类和酸类, 大田雪蔗是酚类和胍类, 同安果蔗是其他类、醛类和嘧啶类, 黑皮果蔗是吡嗪类物质。本研究结果为筛选具有不同香气成分的果蔗红糖品种提供了参考。

关键词: 果蔗; 红糖; 香气成分; 顶空气相色谱-质谱法

Analysis of aromatic components from brown sugar of main cultivated chewing cane varieties in Fujian Province

ZHANG Shu-He, LI He-Ping, LI Hai-Ming, LI Rui-Mei*

(Institute of Subtropical Agriculture, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Zhangzhou 363005, China)

ABSTRACT: Objective To analyze the differences of aroma components of brown sugar in different chewing cane varieties, explore the characteristic aroma substances of brown sugar in sugarcane, and provide reference for screening brown sugar chewing cane varieties. **Methods** Headspace gas chromatography-mass spectrometry was used to analyze the aroma components and differences of brown sugars from four major chewing cane varieties in Fujian Province. Principal components analysis (PCA) was used to analyze the main characteristic volatile

基金项目: 国家糖料产业技术体系漳州综合试验站项目(CARS-170707)、国家闽台特色作物种质资源圃(漳州)项目、福建省农业高质量发展超越“5511”协同创新工程项目(XTCXGC2021019-YRS01)

Fund: Supported by the Zhangzhou Comprehensive Experimental Station of National Sugar Industry Technology System (CARS-170707), the National Fujian and Taiwan Characteristic Crop Germplasm Resources Nursery (Zhangzhou), and the Fujian Province's Agricultural High Quality Development Surpasses the “5511” Collaborative Innovation Project (XTCXGC2021019-YRS01)

*通信作者: 李瑞美, 研究员, 主要研究方向为甘蔗选育种与加工利用研究。E-mail: lrm0626@163.com

*Corresponding author: LI Rui-Mei, Professor, Institute of Subtropical Agriculture, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Zhangzhou 363005, China. E-mail: lrm0626@163.com

components of brown sugars from different chewing cane varieties. **Results** The 45 kinds of main aromatic compounds were detected, which include alkanes, alcohols, ketones, pyrazines, aldehydes, acids, phenols, esters, etc.. Five aromatic compounds commonly detected in all 4 brown sugars were trans-2-methylcyclopentanol, 5-methyl-2-furanmethanol, 2-methyltetrahydrofuran-3-one, 5-methylfuranaldehyde and 2-methoxy-4-vinylphenol. The volatile aroma components of brown sugar from different chewing cane varieties were classified and counted. The results showed that pyrazines accounted for the highest proportion of brown sugar in *Badila*, reaching 60.08%. The content of ketones in brown sugar from Minyin Huangpi Guozhe was the highest, accounting for 23.91%. The content of phenols in brown sugar from Datian Xuezhe was the highest, which was 37.05%. The content of alkanes, aldehydes and acids in brown sugar from Tongan Guozhe was 16.31%, 15.76% and 15.01%, respectively. The PCA results of volatile components showed that the brown sugars of the four chewing cane varieties were distributed in four different quadrants, indicating that the aroma substances were quite different. The brown sugars of Minyin Huangpi Guozhe mainly contributed to ketones, acids, alkanes and esters. The aroma components of Tongan Guozhe brown sugar mainly contributed to other types, aldehydes, pyrimidines and alcohols. Phenols and hydrazines played a major role in the aroma components of brown sugar in Datian Xuezhe, and pyrazines, alkenes and pyrroles played a major role in the aroma components of brown sugar in *Badila*. **Conclusion** Brown sugars made from different chewing canes share some common aroma compounds. In the meantime, they all have different kinds of characteristic substances, such as ketones and acids in Minyin Huangpi Guozhe, phenols and hydrazines in Datian Xuezhe, other types, aldehydes and pyrimidines in Tongan Guozhe, and pyrazines in *Badila*. The results of this study provide a reference for screening brown sugar varieties with different aroma components.

KEY WORDS: chewing cane; brown sugar; aroma component; headspace gas chromatography-mass spectrometry

0 引言

果蔗是一种供鲜食的水果甘蔗,具有皮薄、汁多、味甜、营养高、产量高、经济效益好的特点,还有解渴充饥、消除疲劳、清热解毒之功效,深受广大消费者的青睐^[1-3]。果蔗产区遍布云南、广西、海南、广东、福建、浙江、江西、湖南、河北、河南、山东等省区,面积200多万亩^[4]。福建面积常年稳定在10万余亩,主要种植有闽引黄皮果蔗^[5]、大田雪蔗、同安果蔗和黑皮果蔗等^[6]优良果蔗品种。

果蔗主要以茎段鲜食为主,也有鲜榨果蔗汁、蔗汁罐头、功能饮料、渣浆副产品开发等^[7-8]系列产品。随着制糖技术广泛兴起,原有的一些食用甘蔗品种也被应用于制糖,蔗茎经压榨提汁后,再浓缩形成带蜜糖^[9],属于全营养糖,不仅具备糖的功能,还含有丰富的维生素和微量元素^[10]。杨柳等^[11]认为筛选加工型红糖种质时可重点关注蛋白质、总游离氨基酸、总多酚、香气成分等指标,果蔗含有丰富的糖分、纤维、水分、矿质元素、氨基酸等^[12-13],可作为加工红糖的原料,与鲜售相比,拓展了果蔗产业链,大大提高果蔗经济效益。

红糖的香气是对其风味和品质的直观反映,是判定品质的重要指标^[14]。红糖的主要香气成分包括醛类、醇类、酮类、酸类、吡嗪类、呋喃类、含硫化合物等^[15-16],香气的形成受品种、种植环境、加工工艺、保存等物理、化学或生物作用的影响,即使加工工艺相同,由于品种不同

所得的红糖其香气成分及含量也会存在较大的差异^[17]。例如杨婷等^[18]采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法(headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)结合相对气味活性值(relative odor activity value, ROAV)对15种红糖样品中鉴定出67种挥发性化合物,包括醛类、吡嗪类、酮类、醇类、酸类、酯类、酚类其他类8类化合物,不同红糖产品之间相对含量、种类存在差异;曾欣怡等^[19]利用电子鼻对红糖品质进行研究,结果表明不同产地及榨季的红糖样品的色泽具有明显差异,且不同产地的红糖样品挥发性成分也有差异;崔斐等^[20]采用HS-SPME对9种甘蔗品种红糖进行挥发性测定,表明不同甘蔗品种对红糖的挥发性物质有显著影响;另外红糖在蒸发浓缩过程中美拉德反应的时间、水分、pH等条件均对挥发性香气成分有影响。

红糖的香气成分因不同甘蔗品种而有所差异,因此为探究不同的果蔗品种在相同生产工艺及生长环境条件下其香气成分的差异,本研究对福建省4个主要栽培果蔗品种制备的红糖香气成分差异进行研究,旨在为充分挖掘福建省不同果蔗品种价值及筛选红糖型果蔗品种提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

4个果蔗品种(闽引黄皮果蔗、大田雪蔗、同安果蔗和

黑皮果蔗)均由福建省农业科学院亚热带农业研究所基地提供,均为3月上旬种植、翌年1月下旬采样经传统红糖工艺加工制成,加工前对果蔗重量、蔗汁体积、蔗汁蔗糖分与出糖率进行测定(出糖率=红糖重量/果蔗重量×100%),见表1。

表1 供试果蔗红糖样品信息
Table 1 Brown sugar sample information of tested chewing cane

品种	果蔗重量/kg	蔗汁体积/L	蔗汁蔗糖分/%	出糖率/%
闽引黄皮果蔗	10.0±0.76	6.547±0.50	11.56±0.29 ^c	11.82±0.34 ^b
大田雪蔗	10.0±0.62	5.959±0.39	14.45±0.33 ^b	13.33±0.43 ^a
同安果蔗	10.0±0.43	6.057±0.30	10.70±0.54 ^c	10.33±0.14 ^c
黑皮果蔗	10.0±0.11	6.109±0.08	15.75±0.62 ^a	13.62±0.60 ^a

注:同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

1.2 仪器与设备

Thermo Scientific TSQ 9000 三重四极杆气相-质谱联用仪、Thermo Scientific TriPlus 300 顶空自动进样器、TG-5SiIMS 色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)(美国赛默飞世尔科技公司); GZX-9246MBE 电热鼓风干燥箱(上海博迅实业有限公司医疗设备厂); JM.B500 电子天平(精度 0.01 g, 浙江诸暨市超泽衡器设备有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 色谱条件

TG-5SiIMS 色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm); 载气为高纯 He(纯度>99.999%); 升温程序: 40℃保持 1.0 min, 以 3℃/min 升至 200℃保持 10 min。进样口温度: 225℃, 吹扫流量 5.0 mL/min。

1.3.2 质谱条件

传输线温度 250℃, 电子轰击(electron impact, EI)源温度: 280℃; 质谱全扫描方式, 扫描范围 30~550 amu。

1.3.3 香气成分检测

称取样品 4 g 置于 20 mL 顶空瓶中(设 3 个平行重复), 放入顶空自动进样器测定挥发性香气成分。各组分质谱经美国国家标准与技术研究院(National Institute of Standards and Technology, NIST)检索和比对, 采用峰面积归一法计算各成分相对百分含量。

1.4 数据处理

采用 SPSS 22.0 软件进行差异显著性和主成分分析(principal component analysis, PCA), 用 Origin 2021 软件进行分析与作图^[21]。

2 结果与分析

2.1 不同果蔗品种红糖挥发性香气成分分析

不同果蔗红糖挥发性香气成分见表 2。4 个不同果蔗品种红糖中共检测出 45 种挥发性香气物质, 包括 2 种烷类、2 种烯类、4 种醇类、3 种酮类、9 种吡嗪类、4 种醛类、5 种酸类、3 种腈类、2 种嘧啶类、3 种酯类、2 种吡咯类、2 种酚类及各 1 种铵类、咪唑啉、呋喃类、脲类; 其中反-2-甲基环戊醇、5-甲基-2-呋喃甲醇、2-甲基四氢呋喃-3-酮、5-甲基呋喃醛和 2-甲氧基-4-乙烯苯酚为 4 个果蔗品种红糖共有的 5 种挥发性成分, 总含量在闽引黄皮果蔗、大田雪蔗、同安果蔗和黑皮果蔗中分别占检测总挥发性香气物质的 29.15%、45.81%、35.61%和 17.45%。

不同果蔗品种红糖的主要香气成分明显不同, 闽引黄皮果蔗的主要香气成分排名前 3 的依次为 2-甲基四氢呋喃-3-酮、5-甲基-2-呋喃甲醇和 2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮, 含量为 35.41%; 大田雪蔗依次为 2-甲氧基-4-乙烯苯酚、3-羟基丙烷肼和咪唑-2-甲醇, 含量占 60.34%, 同安果蔗依次为 2-甲基-3-亚硝基-1,3-恶唑烷、亚甲基环丙烷-2-羧酸和 2-甲基四氢呋喃-3-酮, 含量占 42.24%, 黑皮果蔗依次为 2,5-二甲基吡嗪、2-甲基吡嗪和 2-甲基四氢呋喃-3-酮, 含量为 51.72%

2.2 不同果蔗品种红糖香气成分类别及相对含量差异分析

对不同果蔗品种红糖的香气成分进行归类, 结果见表 3, 发现不同果蔗品种红糖香气类别存在差异, 闽引黄皮果蔗香气成分 22 种、大田雪蔗香气成分 18 种、同安果蔗香气成分 17 种和黑皮果蔗香气成分 23 种; 在闽引黄皮果蔗和黑皮果蔗中吡嗪类物质类别最多, 大田雪蔗中醇类和酸类物质最多, 同安果蔗中醛类和酸类物质种类数最多。

对不同果蔗品种红糖的挥发性香气成分进行分类统计, 结果见表 4, 黑皮果蔗红糖中吡嗪类物质占比最高, 达 60.08%; 闽引黄皮果蔗红糖中酮类物质含量最高, 占 23.93%, 大田雪蔗红糖中酚类物质含量最高, 为 37.05%, 同安果蔗红糖中烷类、醛类及酸类含量相当, 分别为 16.31%、15.76%及 15.01%。这几类化合物相对含量在不同果蔗品种之间的差异达到显著水平。

果蔗蔗汁加工成红糖的过程主要是美拉德反应, 由氨基酸或蛋白质与还原糖发生一系列复杂的物理化学变化, 产生挥发性化合物。吡嗪类是典型的美拉德反应的产物, 具有巧克力香、坚果香、焦香、烤香, 对红糖香气形成贡献很大。由表 2 可知, 在不同的果蔗红糖样品中香气成分含量差异明显, 黑皮果蔗红糖样品中检测出 7 种吡嗪类香气成分, 占 60.08%, 其中 2,5-二甲基吡嗪含量最高, 为 29.12%; 闽引黄皮果蔗检测出 4 种吡嗪类香气成分, 占

表2 不同果蔗品种红糖挥发性香气成分分析
Table 2 Volatile aroma components of brown sugar produced from different chewing cane varieties

编号	挥发性香气成分	保留时间/min	相对含量/%			
			闽引黄皮果蔗	大田雪蔗	同安果蔗	黑皮果蔗
1	2-甲基-3-亚硝基-1,3-恶唑烷	3.007	3.04±1.15	-	16.31±1.20	7.00±2.35
2	1,1-二乙酰氧基十二烷	16.559	0.86±0.38	-	-	0.53±0.07
3	顺式-2,3-氯丁烯	3.208	0.81±0.13	-	-	-
4	2-甲氧基-1-庚烯	15.466	-	-	-	0.56±0.29
5	反-2-甲基环戊醇	4.654	1.27±0.54	1.31±0.64	1.58±0.10	0.97±0.08
6	咪唑-2-甲醇	6.119	-	9.98±0.23	-	-
7	5-甲基-2-呋喃甲醇	9.701	11.47±1.60	1.67±0.30	8.68±1.10	1.63±0.39
8	1-吡啶-2-基-2-丙醇	12.605	-	-	-	0.52±0.06
9	2-甲基四氢呋喃-3-酮	4.791	12.62±0.76	5.80±0.82	12.30±0.35	10.91±2.07
10	1-(6-甲基-2-吡嗪基)乙酮	16.834	-	-	-	0.50±0.14
11	2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮	18.115	11.32±0.85	-	-	4.77±1.25
12	2-甲基吡嗪	5.241	3.39±1.45	-	-	11.69±3.99
13	2,5-二甲基吡嗪	8.078	7.53±4.22	7.81±3.77	-	29.12±2.18
14	2,3-二甲基吡嗪	8.259	-	-	-	2.30±1.11
15	2-乙基-6-甲基吡嗪	11.599	-	-	0.55±0.21	2.02±0.14
16	2-乙基-3-甲基吡嗪	11.720	-	-	-	6.82±1.33
17	3,5-二甲基-2-(3-甲基丁基)吡嗪	11.770	1.10±0.44	-	-	-
18	2-甲基-6-乙基吡嗪	12.371	-	-	-	4.17±1.47
19	2,6-二乙基吡嗪	15.140	-	-	-	3.96±0.74
20	2-乙烷基-3,5-二甲基吡嗪	15.157	0.51±0.33	-	-	-
21	3-糠醛	5.435	7.66±2.52	-	6.82±1.21	-
22	3-甲硫基丙醛	7.873	-	-	-	0.63±0.42
23	5-甲基呋喃醛	10.016	1.53±0.08	1.38±0.09	1.67±0.06	0.80±0.16
24	苯乙醛	13.591	-	5.56±0.58	7.27±1.82	1.87±0.48
25	2-羟基-3,3-二甲基丁酸	4.120	-	0.63±0.25	-	-
26	4-氨基吡啶-2-甲酸	5.281	-	1.84±0.14	2.39±0.46	-
27	亚甲基环丙烷-2-羧酸	6.133	9.87±4.04	-	13.63±1.23	2.95±0.56
28	4,5-二氨基-5-氧代戊酸	8.748	0.50±0.25	-	-	-
29	2-环己基丁酸	11.820	-	1.85±0.05	1.38±0.48	-
30	3-羟基丙烷肼	3.007	-	14.71±3.05	-	-
31	甲酰肼	5.713	-	1.24±0.15	1.04±0.04	-
32	乙酰肼	6.579	1.28±0.05	-	-	-
33	4,5-二甲基嘧啶	8.081	-	-	7.03±2.66	-
34	2,4-二甲基-嘧啶	8.262	0.95±0.46	-	-	-
35	胍基甲酸苄酯	13.604	2.39±1.29	-	-	-
36	邻苯二甲酸单丁酯	37.164	-	-	-	0.43±0.08
37	邻苯二甲酸二乙酯	37.187	2.50±0.37	1.12±0.32	4.01±2.14	-
38	3-乙酰基吡咯	14.433	-	-	-	1.64±0.63
39	2-乙酰基吡咯	14.446	4.64±1.14	-	-	-
40	3-[(E)-(羟基亚胺)甲基]苯酚	16.546	-	1.39±0.14	-	-
41	2-甲氧基-4-乙炔苯酚	25.795	2.27±1.45	35.65±3.73	11.37±2.26	3.14±0.97
42	环丁基氯化铵	3.933	-	1.49±0.48	1.24±0.19	-
43	2-乙基-2-咪唑啉	5.455	-	2.58±0.36	-	-
44	2-乙酰基呋喃	7.890	0.88±0.23	-	-	-
45	1,3-二甲基-2-硫代乙内酰脲	18.092	-	2.13±0.96	2.38±0.93	-

注: -表示未检出, 表4同。

表 3 不同果蔗品种红糖香气成分类别组成
Table 3 Categories of aroma component of brown sugar in different chewing cane varieties

品种	烷类	烯类	醇类	酮类	吡嗪类	醛类	酸类	胍类	嘧啶类	酯类	吡咯类	酚类	其他类	总成分数
闽引黄皮果蔗	2	1	2	2	4	2	2	1	1	2	1	1	1	22
大田雪蔗	0	0	3	1	1	2	3	2	0	1	0	2	3	18
同安果蔗	1	0	2	1	1	3	3	1	1	1	0	1	2	17
黑皮果蔗	2	1	3	3	7	3	1	0	0	1	1	1	0	23

表 4 不同果蔗品种红糖香气成分类别相对含量(%)
Table 4 Relative content of aroma categories of brown sugar in different chewing cane varieties (%)

品种	闽引黄皮果蔗	大田雪蔗	同安果蔗	黑皮果蔗
烷类	3.90±0.83 ^c	-	16.31±1.20 ^a	7.54±2.30 ^b
烯类	0.81±0.13 ^a	-	-	0.56±0.29 ^a
醇类	12.74±1.23 ^a	12.96±1.08 ^a	10.26±1.20 ^b	3.12±0.32 ^c
酮类	23.93±1.59 ^a	5.80±0.82 ^d	12.30±0.35 ^c	16.18±2.85 ^b
吡嗪类	12.53±5.94 ^b	7.81±3.77 ^{bc}	0.55±0.21 ^c	60.08±4.73 ^a
醛类	9.19±2.53 ^b	6.94±0.55 ^{bc}	15.76±2.93 ^a	3.30±1.04 ^c
酸类	10.38±3.80 ^b	1.85±0.05 ^c	15.01±0.77 ^a	2.95±0.56 ^c
胍类	1.28±0.05 ^b	15.95±2.97 ^a	1.04±0.04 ^b	-
嘧啶类	0.95±0.46 ^b	-	7.03±2.66 ^a	-
酯类	4.89±1.36 ^a	1.12±0.32 ^b	4.01±2.14 ^a	0.43±0.08 ^b
吡咯类	4.64±1.14 ^a	-	-	1.64±0.63 ^b
酚类	2.27±1.45 ^c	37.05±3.64 ^a	11.37±2.26 ^b	3.14±0.97 ^c
其他类	0.88±0.23 ^c	6.20±0.31 ^a	3.62±1.10 ^b	-

注: 同行不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

12.53%; 大田雪蔗只检测出 2,5-二甲基吡嗪, 占 7.81%; 同安果蔗只检测出 2-乙基-6-甲基吡嗪, 占 0.55%。酮类化合物也是美拉德反应的产物, 其中 2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮拥有烯醇化的环酮分子, 具有焦糖香味, 4 个果蔗品种红糖中只有闽引黄皮果蔗和黑皮果蔗检出, 含量分别为 11.32%和 4.77%。因此 4 个果蔗品种红糖中黑皮果蔗、闽引黄皮果蔗的焦糖香味要大于其他两个品种红糖。

红糖挥发性香气成分中重要的呈香物质为醇类和醛类化合物, 醇类物质是红糖在生产过程中变化较大的一类物质, 对红糖的香气成分贡献较小; 醛类是红糖的主要香气来源, 呈现青草味、干果味, 本研究的 4 个果蔗红糖样品中检测出 4 种醛类成分, 分别是 3-糠醛、3-甲基硫基丙醛、5-甲基呋喃醛和苯乙醛, 其中 3-糖醛在闽引黄皮果蔗红糖和同安果蔗红糖中检测出, 含量分别为 7.66%和 6.82%。

2.3 不同果蔗品种红糖主要香气物质比较及特征分析

根据 1.3 的色谱条件和 GC-MS 对 4 种果蔗进行香气成分检测, 数据通过 Origin 2021 软件进行分析与作图(图 1)。从图 1 可知, PC1 和 PC2 总和达 76.0%, 对原始变量的解释量较好。4 个果蔗品种红糖存在明显分离, 分布在不同的 4 个象限, 说明 4 个果蔗品种红糖香气物质差异较大。闽引黄皮果蔗红

糖香气成分分布在第 1 象限, 起主要贡献作用的是酮类、酸类、烷类、酯类; 同安果蔗红糖香气成分主要分布在第 2 象限, 起主要贡献作用的是其他类、醛类、嘧啶类、醇类; 大田雪蔗红糖香气成分主要分布在第 3 象限, 起主要作用的是酚类和胍类; 黑皮果蔗红糖香气成分主要分布在第 4 象限, 起主要贡献作用的是吡嗪类、烯类和吡咯类。

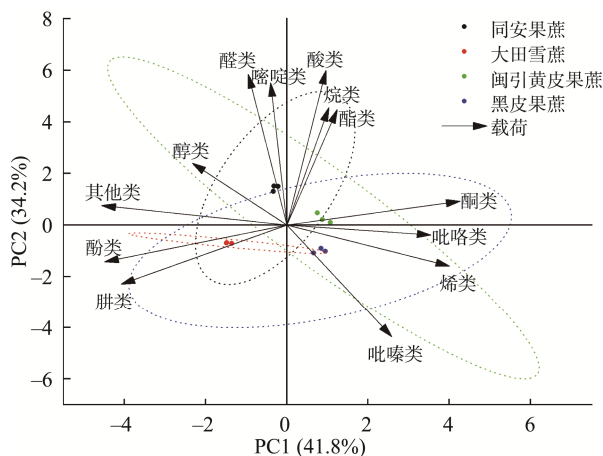


图 1 4 个果蔗红糖主要香气成分的 PCA 分析
Fig.1 PCA analysis of the main aroma components of 4 fruit cane brown sugar

3 讨论

出糖率是作为制糖原料可行性的重要判定指标,出糖率高表明利用相同原料可获得较多的糖与较高的经济效益,反之糖少且经济效益低^[22]。参试的 4 个果蔗品种,在相同原料前提下,传统红糖出糖率与蔗糖分呈正相关,黑皮果蔗和大田雪蔗蔗糖分出糖率也高,与其他品种差异达显著水平,从出糖率角度考虑,这 2 个果蔗品种适合作为制作传统红糖的原料。

挥发性香气成分是评价红糖品质的重要指标之一,因成分类别与相对含量的差异,使得不同品种红糖具有独特的风味。红糖中的挥发性香气成分主要包括醛类、醇类、酮类、酸类、吡嗪类、呋喃类、含硫化合物等^[23-25]。不同的物质呈现出不同的香味,如酮类物质坚果香、奶油香和甜味,酸类有源于蔗汁发酵和高温下的美拉德反应呈别样的风味,酚类物质具有特殊的芳香气味,醛类物质能够为食品提供奶油、脂肪、果香及草木等香气,吡嗪类物质有坚果味、咖啡味和烧烤味^[26-27],吡咯类具有谷物般的清香^[28],5-甲基-2-呋喃甲醇具有水果味和薄荷味^[29]。闽引黄皮果蔗红糖 2-甲基四氢呋喃-3-酮与 5-甲基-2-呋喃甲醇含量较高,呈现坚果香、奶油香、甜味、水果味和薄荷味;大田雪蔗红糖 2-甲氧基-4-乙炔苯酚和 3-羟基丙烷脒含量高,呈现特殊的芳香气味;同安果蔗红糖 2-甲基-3-亚硝基-1,3-恶唑烷酮值高无香气,亚甲基环丙烷-2-羧酸和 2-甲基四氢呋喃-3-酮含量高,呈坚果香、奶油香、甜味等特殊香味;黑皮果蔗红糖 2,5-二甲基吡嗪和 2-甲基吡嗪含量高,呈坚果味、咖啡味和烧烤味。本研究中的果蔗红糖仅品种不同,其他条件均一致,结果显示不同果蔗品种制备的红糖所含香气成分的种类和含量存在明显差异,在主香成分上也完全不同,推测由果蔗品种本身的特性造成。WEERAWATANAKORN 等^[30]和 ASIKIN 等^[31]的研究也表明了用不同甘蔗品种原料,会导致红糖主要挥发性香气物质存在显著差异,与本文研究结果一致。

本研究从出糖率和香气成分等指标角度,对福建省 4 个主要栽培果蔗品种传统红糖进行了比较分析与综合评价,拓展了除果蔗育种栽培、生理生化、分子机制等领域外的研究领域,但研究覆盖面仍十分有限,今后还需深入开展红糖特性、营养成分、香气与工艺贮藏方面的研究,为充分挖掘果蔗品种特性、科学评价果蔗品种优劣与准确筛选红糖加工型果蔗品种提供依据。

4 结论

本研究主要比较了福建蔗区 4 个果蔗品种出糖率和挥发性香气成分的差异,并进行了化合物的分类、比较与评价。福建省果蔗传统红糖出糖率为 10.33%~13.62%,4 个不同果蔗品种红糖中共检测出主要香气成分 45 种,主要包括烷类、醇类、酮类、吡嗪类、醛类、酸类、酚类、酯

类等,挥发性成分 PCA 结果表明,4 个果蔗品种红糖香气物质差异较大,闽引黄皮果蔗红糖起主要贡献作用的是酮类、酸类、烷类和酯类;同安果蔗红糖香气成分起主要贡献作用的是其他类、醛类、嘧啶类和醇类;大田雪蔗红糖香气成分起主要作用的是酚类和脒类,黑皮果蔗红糖香气成分起主要贡献作用的是吡嗪类、烯类、吡咯类。

本研究对不同果蔗品种加工的红糖进行了挥发性成分对比分析,得出不同果蔗品种加工后的红糖挥发性成分存在差异,主要贡献的香气类别及含量不同,如黑皮果蔗加工红糖中吡嗪类物质含量占 60.08%,表明不同的果蔗品种由于自身的蔗汁品质、营养成分不同,在相同的加工条件下挥发性成分出现差异,为筛选适合加工红糖品种提供了一定的理论指导,同时在加工工艺方面也需要进一步的研究,以期加工出优质的果蔗红糖。

参考文献

- [1] 李瑞美,张树河,李海明,等.地方果蔗品种种质资源形态与农艺性状多样性分析[J].热带亚热带植物学报,2015,23(4):399-404.
LI RM, ZHANG SH, LI HM, *et al.* Diversity analysis of morphology and main agronomic traits in chewing cane [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2015, 23(4): 399-404.
- [2] 李瑞美,何炎森.不同类型果蔗品种资源氨基酸等营养成分分析[J].热带作物学报,2017,38(1):171-174.
LI RM, HE YS. Analysis of amino acid component and nutritious elements of different chewing cane varieties [J]. *Chin J Trop Crop*, 2017, 38(1): 171-174.
- [3] ZHU ZY, XIE CF, LI W, *et al.* Nutritional and antioxidant properties of non-centrifugal cane sugar derived from membrane clarified juice [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2020, 131(1): 109717
- [4] 王继华,曹干,张剑亮,等.我国果蔗产业的现状与可持续发展[J].甘蔗糖业,2013,(5):56-61.
WANG JH, CAO G, ZHANG JL, *et al.* The production situation and sustainable development of fruit cane in China [J]. *Sugar Cane Sugar*, 2013, (5): 56-61.
- [5] 吴松海,李海明,张树河,等.果蔗新品种‘闽引黄皮果蔗’的选育[J].福建农业学报,2013,28(12):1248-1251.
WU SH, LI HM, ZHANG SH, *et al.* Breeding of new variety ‘Minyin huangpei Sugarcane’ [J]. *Fujian J Agric Sci*, 2013, 28(12): 1248-1251.
- [6] 陈金斌,林警周,林炎照,等.6个果蔗品种在龙岩市新罗区的种植表现[J].亚热带农业研究,2013,9(1):12-14.
CHEN JB, LIN JZ, LIN YZ, *et al.* Planting performance of six chewing cane varieties in Xinluo District, longyan [J]. *Subtrop Agric Res*, 2013, 9(1): 12-14.
- [7] 林一心,吴松海,李和平,等.福建果蔗蔗田和副产物综合利用之发展[J].中国糖料,2012,(3):77-81.
LIN YX, WU SH, LI HP, *et al.* Development of comprehensive utilization about chewing-cane field and by-product in Fujian [J]. *Sugar Crop China*, 2012, (3): 77-81.
- [8] 肖伟,吕达,陈道德.我国果蔗研究新进展[J].中国糖料,2018,40(1):62-67.
XIAO Y, LV D, CHEN DD. The latest research progress of chewing-cane in China [J]. *Sugar Crop Chin*, 2018, 40(1): 62-67.
- [9] 辛术贞,林熊,杨建,等.我国甘蔗品种及产品加工研究现状[J].农产品加工,2020,(6):73-75.
XIN SZ, LIN X, YANG J, *et al.* Research status of sugarcane varieties and

- products processing in china[J]. *Farm Prod Proc*, 2020, (6): 73–75.
- [10] 林一心, 吴松海, 李和平, 等. 福建果蔗蔗田和副产物综合利用之发展[J]. *中国糖料*, 2012, (3): 77–81.
LIN YX, WU SH, LI HP, *et al.* Development of comprehensive utilization about chewing-cane field and by-product in Fujian [J]. *Sugar Crop China*, 2012, (3): 77–81.
- [11] 杨柳, 王智能, 沈石妍, 等. 红糖加工型甘蔗种质资源评价与筛选方法的建立[J]. *植物遗传资源学报*, 2021, 22(2): 532–539.
YANG L, WANG ZN, SHEN SY, *et al.* Evaluation and screening method of sugarcane germplasm resources for brown sugar production [J]. *Plant Genet Resour*, 2021, 22(2): 532–539.
- [12] 杨绍林, 邓军, 李如丹, 等. 果蔗矿质养分含量及品质指标差异稳定性分析[J]. *热带作物学报*, 2021, 42(1): 92–101.
YANG SL, DENG J, LI RD, *et al.* Differences stability analysis of mineral nutrient content and quality index of chewing sugarcane [J]. *Chin J Trop Crop*, 2021, 42(1): 92–101.
- [13] ALARCÓN NL, ORJUELA A, NARVÁEZ PC, *et al.* Thermal and rheological properties of juices and syrups during non-centrifugal sugar cane (Jaggery) production [J]. *Food Bioprod Proc*, 2020, 121: 76–90.
- [14] 黄苏婷. 红糖香气成分鉴别及其溯源初探[D]. 南宁: 广西大学, 2018.
HUANG ST. A preliminary study on the identification of aroma components of brown sugar and its traceability [D]. Nanning: Guangxi University, 2018.
- [15] 杨婷, 沈石妍, 王智能, 等. 不同加工方式红糖营养成分与香气成分分析比较[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(19): 43–45.
YANG T, SHEN SY, WANG ZN, *et al.* Analysis and comparison of nutritional components and aroma components of brown sugar with different processing methods [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(19): 43–45.
- [16] ASIKIN Y, HIROSE N, TAMAKI H, *et al.* Effects of different drying-solidification processes on physical properties, volatile fraction, and antioxidant activity of non-centrifugal cane brown sugar [J]. *LWT Food Sci Technol*, 2016, 66: 340–347.
- [17] 葛艳静. 红糖蒸发浓缩过程中美拉德反应产生香气的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2020.
GE YJ. Study on the aroma produced in Maillard reaction during brown sugar evaporation concentration process [D]. Nanning: Guangxi University, 2020.
- [18] 杨婷, 王智能, 杨柳, 等. 红糖挥发性成分中关键香气成分分析及综合评价[J]. *中国调味品*, 2022, 47(9): 163–169.
YANG T, WANG ZN, YANG L, *et al.* Analysis and comprehensive evaluation of key aroma components in volatile components of brown sugar [J]. *China Cond*, 2022, 47(9): 163–169.
- [19] 曾欣怡, 陈尔豹, 张雨, 等. 基于色差及电子鼻的红糖品质研究[J]. *粮油食品科技*, 2020, 28(5): 170–180.
ZENG XY, CHEN ERB, ZHANG Y, *et al.* Research on brown sugar quality using color difference and electronic nose [J]. *Sci Technol Cere Oils Foods*, 2020, 28(5): 170–180.
- [20] 崔斐, 尚煜豪, 王琦, 等. 不同甘蔗品种对陶瓷膜过滤工艺制备红糖挥发性成分影响[J]. *中国调味品*, 2021, 46(10): 15–20, 26.
CUI F, SHANG YB, WANG Q, *et al.* Effect of different sugarcane varieties on the volatile flavor components of brown sugar prepared by ceramic membrane filtration process [J]. *China Cond*, 2021, 46(10): 15–20, 26.
- [21] 林海明. 如何用 SPSS 软件一步算出主成分得分值[J]. *统计与信息论坛*, 2007, 22(5): 15–17.
LIN HM. How to use SPSS software calculate the value of the principal component scores in one step [J]. *Stat Inform Forum*, 2007, 22(5): 15–17.
- [22] 彭崇, 王凤林, 秦昌鲜, 等. 甘蔗品种对手工红糖品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(11): 163–165.
PENG C, WANG FL, QIN CX, *et al.* Effects of sugarcane varieties on quality of hand-made brown [J]. *Anhui Agric Sci*, 2019, 47(11): 163–165.
- [23] SHI C, RACKEMANN DW, MOGHADDAM L, *et al.* Ceramic membrane filtration of factory sugarcane juice: Effect of pretreatment on permeate flux, juice quality and fouling [J]. *J Food Eng*, 2019, 243: 101–113.
- [24] 杨婷, 王智能, 杨柳, 等. 基于气相色谱-离子迁移谱分析红糖和赤砂糖挥发性风味成分差异[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(15): 4824–4831.
YANG T, WANG ZN, YANG L, *et al.* Analysis of the volatile flavor component differences in brown sugar and brown granulated sugar based on gas chromatography-ion mobility spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(15): 4824–4831.
- [25] 张树河, 李海明, 李和平, 等. 红糖粒径对颜色和挥发性香气成分的影响[J]. *中国调味品*, 2022, 47(7): 90–93.
ZHANG SH, LI HM, LI HP, *et al.* Effect of brown sugar particle size on its color and volatile aroma components [J]. *Chin Cond*, 2022, 47(7): 90–93.
- [26] 董明英, 闫雨洁, 葛艳静, 等. 红糖挥发性香气成分的研究进展[J]. *中国调味品*, 2021, 46(7): 186–191.
DONG MY, YAN YJ, GE YJ, *et al.* Research progress of volatile aroma components in brown sugar [J]. *China Cond*, 2021, 46(7): 186–191.
- [27] 杜勃峰, 丁筑红, 李达, 等. 基于 SPME-GC-MS 结合 ROAV 分析评价不同加工方式下皱椒辣椒粉风味品质[J]. *中国调味品*, 2019, 44(8): 76–80.
DU BF, DING ZH, LI D, *et al.* Analysis of flavor quality of *Capsicum annum* paprika with different processing methods based on SPME-GC-MS combined with ROAV [J]. *Chin Cond*, 2019, 44(8): 76–80.
- [28] MURAKAMI K, AKIYAMA M, SUMI M, *et al.* Differences in flavor characteristics of coffee drinks originating from thermal sterilization process [J]. *Food Sci Technol Res*, 2010, 16: 99–110.
- [29] YAN BAJ. Formation of flavour compounds in the Maillard reaction [J]. *Biotechnol Adv*, 2006, 24(2): 230–233.
- [30] WEERAWATANAKORN M, ASIKIN Y, TAKAHASHI M, *et al.* Physico-chemical properties, wax composition, aroma profiles, and antioxidant activity of granulated noncentrifugal sugars from sugarcane cultivars of Thailand [J]. *J Food Sci Technol*, 2016, 53(11): 4084–4092.
- [31] ASIKIN Y, TAKAHASHI M, HIROSE N, *et al.* Wax, policosanol, and long-chain aldehydes of different sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) cultivars [J]. *Europ J Lipid Sci Technol*, 2012, 114: 583–591.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



张树河, 副研究员, 主要研究方向为甘蔗新品种选育与红糖产品加工。
E-mail: zsh88835@163.com



李瑞美, 研究员, 主要研究方向为甘蔗选育种与加工利用研究。
E-mail: lrm0626@163.com