

黄一承, 史玉, 马艳丽, 等. 玫瑰、百合煎饼风味成分比较研究 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(5): 302–309. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070054

HUANG Yicheng, SHI Yu, MA Yanli, et al. Comparative Study on the Aroma Compounds of Rose and Lily Pancakes [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(5): 302–309. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070054

· 分析检测 ·

玫瑰、百合煎饼风味成分比较研究

黄一承¹, 史玉¹, 马艳丽², 丁云峰³, 马琳¹, 李丹^{1,*}, 李晓磊^{1,*}

(1. 长春大学农产品加工吉林省普通高等学校重点实验室, 吉林长春 130022;

2. 长春大学园林学院, 吉林长春 130021;

3. 吉林建筑大学艺术设计学院, 吉林长春 130012)

摘要: 为探究玫瑰、百合对煎饼风味的提升作用, 本研究以原味、玫瑰和百合煎饼为对象, 通过顶空固相微萃取 (HS-SPME) 与气相色谱-质谱联用技术 (GC-MS) 测定煎饼中的挥发性风味物质, 对其相对含量进行聚类层次分析并计算相对气味活度值, 采用高效液相色谱法 (HPLC) 分析煎饼中有机酸含量。从 3 种煎饼中共分离出 51 种挥发性风味物质, 不同煎饼中挥发性风味物质种类和含量存在差异, 在玫瑰煎饼中检出了玫瑰特征香气成分香茅醇, 相对含量为 2.24%, 在百合煎饼中未检出百合的特征香味成分。相对气味活度值结果表明, 煎饼中关键风味物质主要为醛类物质, 香茅醇、橙花基丙酮和苯乙醇对玫瑰煎饼风味具有积极作用, 而乙酸丁酯和正癸醇对百合煎饼风味具有修饰作用。有机酸结果表明煎饼中乳酸含量最高, 其中原味煎饼中乳酸含量达到了 5.604 mg/g, 与百合煎饼中的 3.848 mg/g 存在显著差异 ($P < 0.05$), 仅在百合煎饼中检出苹果酸, 含量为 1.921 mg/g, 说明玫瑰和百合能够有效改变煎饼的风味物质。

关键词: 煎饼, 挥发性风味物质, 气相色谱-质谱联用, 相对气味活度值, 聚类层次分析, 有机酸

中图分类号: TS213.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)05-0302-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070054



本文网刊:

Comparative Study on the Aroma Compounds of Rose and Lily Pancakes

HUANG Yicheng¹, SHI Yu¹, MA Yanli², DING Yunfeng³, MA Lin¹, LI Dan^{1,*}, LI Xiaolei^{1,*}

(1. Jilin Key Lab of Biotechnology for Agricultural Products Processing in Changchun University, Changchun 130022, China;

2. College of Landscape Architecture in Changchun University, Changchun 130021, China;

3. College of Art and Design in Jilin Jianzhu University, Changchun 130012, China)

Abstract: In order to explore the rose, lily on pancake flavor enhancement, in this study, the volatile flavor compounds in the original, rose and lily pancakes were determined by headspace solid phase microextraction (HS-SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), the relative content was analyzed by hierarchical cluster analysis and the relative odor activity value was calculated. The content of organic acids in pancakes was analyzed by high performance liquid chromatography (HPLC). A total of 51 flavor compounds were isolated from three kinds of pancakes, and there were differences in the types and contents of compounds in different pancakes, citronellol was detected in rose pancake, and its relative content was 2.24%. No characteristic aroma component was detected in lily pancake. The results of relative odor activity value showed that the key flavor compounds in pancakes were aldehydes, citronellol, nerylacetone and phenylethanol had positive effects on the flavor of rose pancake, while butyl acetate and n-decanol had modifying effects on the flavor of lily pancake. The content of lactic acid in pancakes was the highest, and the content of lactic acid in the original pancake reached 5.604 mg/g, which was significantly different from 3.848 mg/g in the lily pancake, malic acid was detected merely

收稿日期: 2021-07-06

基金项目: 吉林省发改委 (2020C036-7); 长春大学攀登学者项目 (ZKP202006, ZKP202016)。

作者简介: 黄一承 (1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 功能性食品, E-mail: 932790924@qq.com。

* 通信作者: 李丹 (1972-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品生物技术研究, E-mail: drldan@sina.com。

李晓磊 (1978-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 生物技术和功能性食品研究, E-mail: xiaolei97@163.com。

in lily pancake, and the content was 1.921 mg/g. Rose and lily can effectively change the flavor compounds of pancakes.

Key words: pancakes; volatile flavor components; gas chromatography-mass spectrometry; relative odor activity value (ROAV); hierarchical cluster analysis; organic acid

煎饼是我国北方的传统主食之一,分布范围广,通常以谷物为原料泡开后经碾磨成糊状,再摊制而成^[1]。煎饼是一种全谷物食品,含有蛋白质、碳水化合物、脂质等丰富的营养成分^[2],还具有降血脂、预防冠心病等功效^[3],受到消费者的广泛关注。煎饼往往使用粗粮作为原料,口感及风味存在一定的不足,不能满足部分消费者的偏好,因此,近年来对提升煎饼口感及风味的研究逐渐成为热点。

玫瑰是蔷薇科(Rosaceae)蔷薇属(*Rosa*)落叶丛生灌木,起源于亚洲,香味优雅柔和,同时兼具理气活血、美容养颜和提高机体免疫等功效,是香水和食品行业的重要原料^[4-6]。百合是百合科(Liliaceae)百合属(*Lilium*)草本球根植物,在我国分布广泛,含有多糖、皂苷、酚类等营养物质,具有抗氧化、降血糖等功效^[7-9]。百合具有特殊香味,深受人们喜爱,在食品方面具有广泛应用。因为玫瑰和百合的食用价值和药用价值越来越受到重视,以玫瑰、百合等作为辅料的糕点越来越多^[10]。

风味作为食品感官的重要评价指标,与消费者的接受程度密切相关。玫瑰煎饼和百合煎饼是近年来新研发的煎饼品种,受到消费者的喜爱,但是缺少对其风味物质的研究。风味物质分为挥发性风味物质和非挥发性风味物质,顶空固相微萃取和气相色谱-质谱联用技术是高效的气味分析方法,在食品中应用广泛^[11]。本研究以原味煎饼、玫瑰煎饼和百合煎饼为原料,通过气相色谱-质谱联用技术和高效液相色谱法对挥发性风味物质和有机酸含量进行检测,采用聚类层次分析的方法进行分析处理,并计算相对气味活度值,以期对煎饼风味的选择和品质控制提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

原味煎饼、玫瑰煎饼、百合煎饼 由吉林瑞恒食品有限公司提供;酒石酸、苹果酸、乳酸、柠檬酸、马来酸标准品及其他试剂 均为国产分析纯。

15 mL 顶空萃取瓶 美国 Supelco 公司;QP2010 Ultra 气相色谱-质谱联用仪 日本 Shimadzu 公司;Centrifuge 5430 离心机 德国 Eppendorf 公司;P680A LPJ-4 高效液相色谱仪 德国 Dionex 公司;DVB/CAR/PDMS 萃取纤维(50/30 μm) 美国 Supelco 公司;DB-5MS UI 毛细管柱(60 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm) 美国 Agilent 公司;Acclaim OA 色谱柱(4.0 mm $\times$ 250 mm, 5 μm) 美国 Thermofisher。

1.2 实验方法

1.2.1 HS-SPME-GC-MS 分析挥发性风味物质

1.2.1.1 HS-SPME 条件 称取 0.5 g 样品,在研钵中

碾碎后加入顶空萃取瓶中,再加入 1.50 mL 饱和 NaCl 溶液,60 $^{\circ}\text{C}$ 预平衡 20 min,用已活化好的 DVB/CAR/PDMS 萃取纤维顶空吸附 60 min,将萃取头插入 GC 进样口解吸 5 min。

1.2.1.2 GC-MS 分析 GC 条件:DB-5MS UI 毛细管柱(60 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm);进样口温度 230 $^{\circ}\text{C}$,分流比 1:25;载气 He,流速 1.0 mL/min;升温程序:毛细管柱初温 35 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min,以 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 140 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min,再以 6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 230 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min。

MS 条件:GC-MS 接口温度 280 $^{\circ}\text{C}$,离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$;离子化方式:电子电离源;电子能量 70 eV;质量扫描范围 m/z 30~550。

定性方法:通过对比软件标准谱库 NIST11,保留相似度大于 80% 的化合物。

定量方法:通过气相色谱峰面积归一化法得到各物质相对含量。

1.2.2 相对气味活度值(relative odor activity value, ROAV)值计算及关键风味物质的确定 ROAV 值是一种能够有效评价测得化合物的方法^[12]。对样品总体风味贡献最大的化合物的 ROAV 以 100 计,其他风味化合物的 ROAV 按下式计算:

$$\text{ROAV}_A = 100 \times \frac{C\%_A}{C\%_{\max}} \times \frac{T_{\max}}{T_A}$$

式中, $C\%_A$ 和 T_A 分别为各挥发性物质的相对含量和感觉阈值, $C\%_{\max}$ 和 $T_{\max}$ 分别为对样品总体风味贡献最大组分的相对含量和感觉阈值。ROAV 越大表示该化合物对样品总体风味的贡献作用越大,一般认为 ROAV>1 的风味化合物是关键风味化合物^[13]。

1.2.3 HPLC 分析有机酸含量 分别准确称取一定量的酒石酸、苹果酸、乳酸、柠檬酸、马来酸标准品,用流动相配置成 10、20、5、20、10 mg/mL 的标准溶液,再依次稀释成 0.830、1.670、0.520、1.670、0.280 mg/mL 的混合标准溶液,用于进样分析。

取 1 g 样品,研钵碾碎后用蒸馏水定容至 10 mL,30 $^{\circ}\text{C}$ 条件下以 20 kHz 频率超声提取 60 min,取上清液 10000 r/min 离心 10 min,再取上清液过 0.22 μm 针式滤器,待测。

HPLC 条件:色谱柱:Acclaim OA(4.0 mm $\times$ 250 mm, 5 μm);流动相:0.1 mol/L Na_2SO_4 (pH2.65);检测波长:UV 210 nm;流速 0.50 mL/min;进样量:5 μL 。

采用单点校正法进行定量分析。按下式计算:

$$X = \frac{A \times c \times 10}{A_0}$$

式中: X 为有机酸样品的质量浓度, mg/g; A 为测得有机酸样品的峰面积; A_0 为测得有机酸标准品的峰面积; c 为有机酸标准品的质量浓度, mg/g。

1.3 数据处理

通过 Microsoft Office Excel 2016 对所得数据进行整理计算, 采用 IBM SPSS Statistics 20.0 分析软件对数据进行 Duncan 检验 ($P < 0.05$), 通过 TBtools 进行聚类层次分析以及热图制作。

2 结果与分析

2.1 3 种煎饼挥发性成分 HS-SPME-GC-MS 分析

提取得到的煎饼挥发性成分色谱图如图 1 所示, 通过与质谱数据库比较, 将相似度超过 80% 的组分保留。如表 1 所示, 共鉴定出 51 种风味物质, 主要包括酯类、醛类、醇类、酮类、烯炔类及杂环类化合物, 这些化合物共同构成了几个品种煎饼的独特

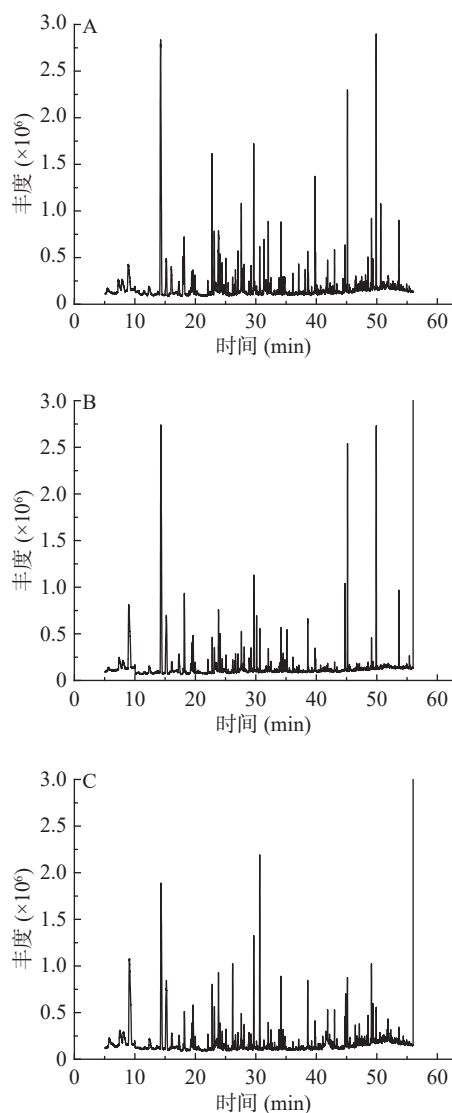


图 1 3 种煎饼挥发性成分色谱图

Fig.1 TIC patterns of volatile components in three kinds of pancakes

注: A: 原味煎饼; B: 玫瑰煎饼; C: 百合煎饼。

风味。其中, 原味煎饼中鉴定出 35 种挥发性风味物质, 玫瑰煎饼中鉴定出 30 种, 百合煎饼中鉴定出 33 种挥发性风味物质, 可以发现不同煎饼中检测出的挥发性风味物质种类和数目存在差异。煎饼挥发性风味物质不同是因为采用了不同的原料, 不同品种的花香气成分不同。酯类物质在百合煎饼中的相对含量最高, 达到了 23.20%, 而在原味煎饼中未检测出酯类物质, 其中乙酸丙酯、乙酸丁酯、丙位辛内酯等具有花果香气的风味物质, 相对含量分别达到了 17.95%、4.31% 和 0.34%, 在玫瑰煎饼中只测出乙酸丙酯, 且相对含量仅为 5.85%。在 3 种样品中均检测到醛类物质, 其中, 原味煎饼和玫瑰煎饼的醛类物质相对含量在 55.00% 以上, 与朱力杰等^[14]测定玉米煎饼的结果相符。正己醛是具有青草气味的风味物质, 在 3 种煎饼中相对含量均超过 20%, 其中玫瑰煎饼中含量最高, 达到了 38.20%。大量醛类物质可能是在煎饼制作过程中由于微生物发酵所产生的^[15-16]。醇类物质和酮类物质相对含量在 6.23%~16.67%。正己醇、正庚醇等醇类物质易挥发且具有芳香气味, 能够起到助香的作用, 对总体风味具有促进作用^[17-18], 在玫瑰煎饼中检出了苯乙醇和香茅醇, 且相对含量分别为 2.86% 和 2.24%, 这两种物质是具有玫瑰花香气的特殊风味化合物, 其中香茅醇是玫瑰的关键香气成分之一, 也被称作玫瑰醇^[19-20]。几种煎饼中还检测出杂环类物质, 杂环类物质一般阈值较低且沸点高, 对后味延长具有重要作用。氨基酸、糖类等参与美拉德反应可能会产生杂环类及醛、酮类物质^[21-22]。

2.2 3 种煎饼挥发性成分层次聚类分析

为了进一步研究三种煎饼中风味物质的差异, 对其相对含量进行层次聚类分析并结合热图分析, 可以清楚看到不同煎饼中 51 种风味物质的分布规律。如图 2 所示, 颜色表示相对含量由低到高的变化, 相对含量越多红色越深, 相对含量越少蓝色越深^[23-24]。

由图 2 可知, 原味煎饼、玫瑰煎饼和百合煎饼特征香气成分差异明显, 可分为原味煎饼以及玫瑰煎饼和百合煎饼两大类。再对图中纵向进行分析, 可将特征香气成分分为 I(苯甲醛~2, 4-庚二烯醛)、II(2-十一烯醛~壬醛)、III(十一醛~3, 5-二甲基环己醇)和 IV(环己酮~2, 3-辛二酮)4 个系列。I 系列以醛类和醇类物质为主, 原味煎饼中相对含量较高, 其中苯甲醛具有苦杏仁味, 松油醇、庚醛及庚醇等具有花果香味; II 系列以醛类为主, 其中壬醛、辛醛、苯乙醛等是具有花香味的物质, 与原味煎饼相比, 玫瑰煎饼和百合煎饼这类物质损失较多; III 系列多以醇类物质和酯类物质为主, 其中乙酸丙酯和乙酸丁酯等酯类物质具有果香味, 该系列物质在百合煎饼中相对含量最高; IV 系列以醇类为主, 其中香茅醇、苯乙醇、苯甲醇等是具有玫瑰等花香的物质, 玫瑰煎饼最多, 百合煎饼和原味煎饼较少。

表 1 3 种煎饼样品中挥发性风味物质分析结果

Table 1 Identification and peak area percentages of volatile flavor compounds in three kinds of pancakes

类别	化合物名称	保留时间(min)	相对含量(%)		
			原味煎饼	玫瑰煎饼	百合煎饼
酯类	乙酸丙酯	9.06	—	5.85	17.95
	乙酸丁酯	15.18	—	—	4.31
	丁二酸二乙酯	32.66	—	—	0.22
	丙位辛内酯	41.57	—	—	0.34
	己二酸二乙酯	42.19	—	—	0.38
	5种		0.00	5.85	23.20
	正己醛	14.28	27.77	38.20	20.77
	2-己烯醛	17.29	0.81	—	—
	庚醛	19.96	0.95	0.50	0.69
	2-庚烯醛	22.78	6.09	2.22	3.27
	苯甲醛	23.14	2.62	1.48	2.11
	正辛醛	25.05	1.25	0.89	0.78
	2,4-庚二烯醛	25.08	0.66	—	—
	苯乙醛	27.06	1.54	0.93	0.64
	反式-2-辛烯醛	27.60	3.54	2.37	1.36
	正壬醛	29.66	4.68	4.38	4.11
	反式-2-壬醛	32.06	2.49	0.92	0.93
	正癸醛	34.18	2.41	2.22	2.97
	2,4-壬二烯醛	34.73	0.58	0.26	—
	反式-2-癸烯醛	37.09	1.00	0.23	0.32
醛类	十一醛	39.22	0.22	—	0.31
	2,4-癸二烯醛	39.42	4.72	—	1.15
	2-十一烯醛	41.68	0.51	0.48	—
	17种		61.84	55.08	39.41
	正己醇	18.17	3.90	7.00	2.84
	2-甲基环戊醇	19.25	—	—	0.71
	顺-2-己烯-1-醇	19.26	—	0.80	—
	正庚醇	23.37	0.16	—	—
	1-辛烯-3-醇	23.87	1.46	—	—
	异辛醇	26.17	0.63	0.57	3.47
	苯甲醇	26.51	—	0.65	—
	3-甲基-2-庚烯-1-醇	27.93	0.81	0.35	0.36
	3-癸炔-2-醇	28.07	0.96	—	—
	3,5-二甲基环己醇	29.19	—	—	0.69
	苯乙醇	30.13	—	2.86	—
	反式-2-壬烯-1-醇	32.30	0.31	0.20	—
	3,7-二甲基辛烷-1-醇	32.49	—	0.83	—
	松油醇	33.94	0.21	—	—
	香茅醇	35.12	—	2.24	—
	反式-2,4-癸二醇	39.80	—	1.17	—
醇类	正癸醇	45.60	—	—	0.35
	17种		8.44	16.67	8.42
	环己酮	19.61	1.64	3.58	3.44
	1-辛烯-3-酮	23.76	1.57	—	—
	2,3-辛二酮	24.10	1.53	2.08	1.13
	3-辛烯-2-酮	26.64	0.89	0.94	0.63
	甲基麦芽酚	29.88	0.14	—	—
	橙化基丙酮	44.75	1.35	3.70	1.03
酮类	6种		7.12	10.30	6.23
	3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯	26.47	0.30	—	—
	2-甲基-2,4-己二烯	34.72	—	—	0.30
	2-乙基-1-十二烯	42.43	0.19	—	0.24
	十五烯	42.71	—	—	0.18
烯炔类	4种		0.49	0.00	0.72
	2-正戊基呋喃	24.44	1.20	0.65	0.86
	2,3-二氢苯并呋喃	34.52	0.64	1.24	1.08
杂环类	2种		1.84	1.89	1.94

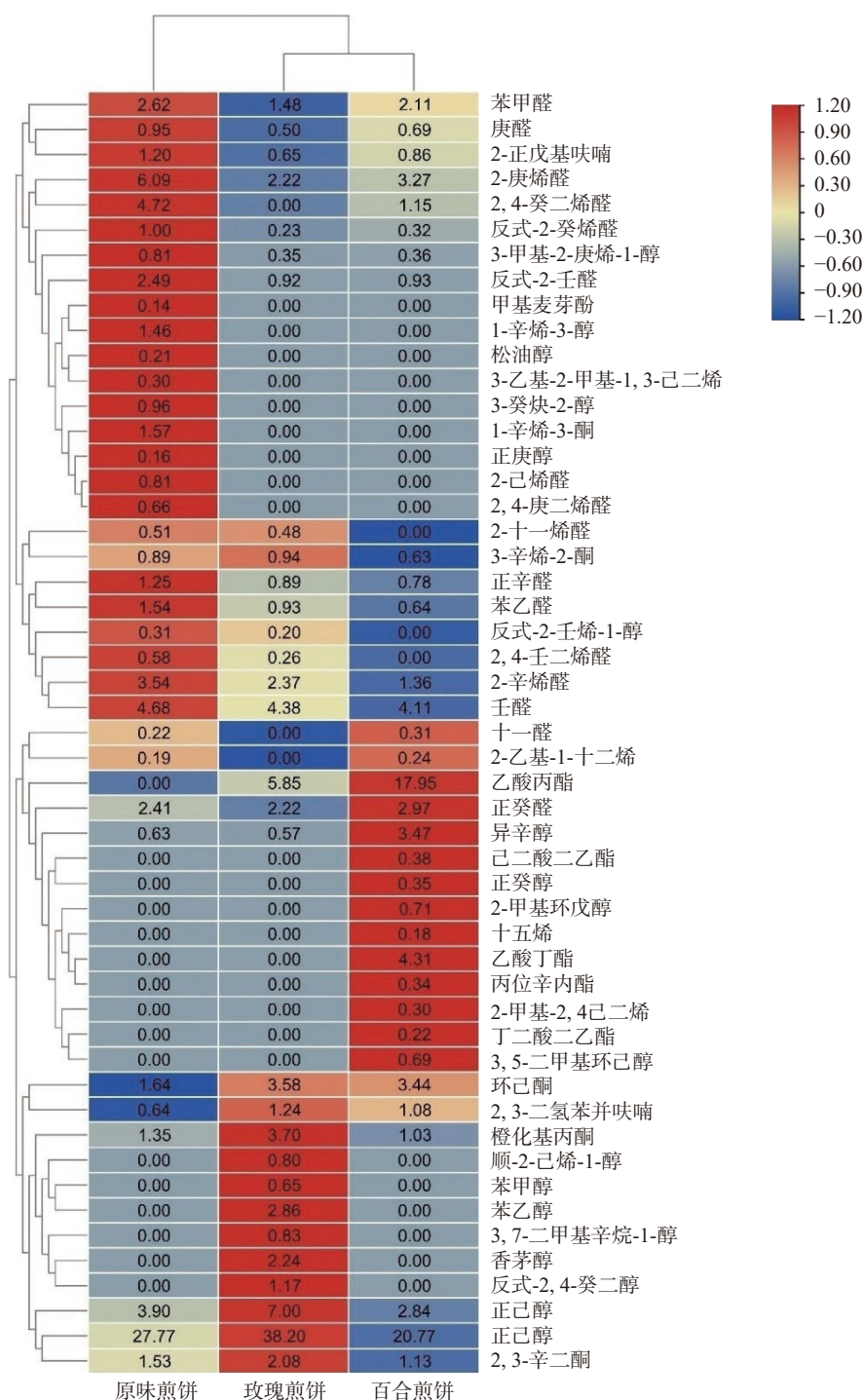


图2 3种煎饼挥发性成分聚类热图

Fig.2 Cluster heat map of volatile components in three kinds of pancakes

2.3 挥发性成分 ROAV 值分析

食品的整体风味不仅取决于不同挥发性物质的浓度,而且与物质的气味阈值相关^[25]。感觉阈值比较低的物质更容易被感知到。根据表1得到的各挥发性物质的定性结果及离子峰面积比,参考《化合物香味阈值汇编(第二版)》^[26]及文献^[18],以ROAV为参数,保留ROAV值大于0.1的挥发性风味物质,确定几个煎饼样品中的关键风味物质。如表2所示,原味煎饼中的关键风味物质为正辛醛、正己醛、2-庚烯醛、2,4-庚二烯醛、苯乙醛、壬醛、正癸醛、橙化基丙

酮和2-正戊基呋喃($ROAV \geq 1$)。玫瑰煎饼中的关键风味物质为正辛醛、正己醛、2-庚烯醛、苯乙醛、壬醛、正癸醛、香茅醇、橙化基丙酮和2-正戊基呋喃。百合煎饼中的关键风味物质为正辛醛、正己醛、2-庚烯醛、壬醛、正癸醛、橙化基丙酮和2-正戊基呋喃。其中正辛醛、正己醛、2-庚烯醛、壬醛、正癸醛、橙化基丙酮和2-正戊基呋喃是三种煎饼共有的,应为构成此类煎饼风味的关键风味化合物。醛类物质是煎饼中重要的呈香物质,香茅醇和橙化基丙酮等具有玫瑰花等香气,对玫瑰煎饼的风味具有积极贡献作用。ROAV值在0.1~1的风味物质对煎饼整体风味

表 2 3 种煎饼样品中挥发性风味物质及对应 ROAV
Table 2 Relative odor activity values of volatile flavor compounds detected in three kinds of pancakes

类别	化合物名称	香气描述	阈值(mg/kg)	ROAV		
				原味	玫瑰	百合
酯类	乙酸丁酯	果香味	0.2	0.00	0.00	0.28
	正己醛	青草味	0.21	1.06	2.04	1.27
	庚醛	果香味	0.031	0.25	0.18	0.29
	2-庚烯醛	特殊气味	0.01	4.87	2.49	4.19
	正辛醛	柑橘味	0.0001	100.00	100.00	100.00
	2,4-庚二烯醛	醛香	0.0035	1.51	0.00	0.00
	苯乙醛	果香味	0.009	1.37	1.16	0.91
醛类	壬醛	玫瑰味	0.0035	10.70	14.06	15.05
	正癸醛	柑橘香	0.005	3.86	4.99	7.62
醇类	正己醇	特殊气味	0.2	0.16	0.39	0.18
	苯乙醇	玫瑰味	0.045	0.00	0.71	0.00
	香茅醇	玫瑰味	0.01	0.00	2.52	0.00
	正癸醇	特殊气味	0.023	0.00	0.00	0.20
酮类	橙化基丙酮	花香味	0.01	1.08	4.16	1.32
杂环类	2-正戊基呋喃	果香味	0.0048	2.00	1.52	2.30

也具有促进作用,其中乙酸丁酯和正癸醇是具有花果香味的风味物质,仅在百合煎饼中存在,对百合煎饼的风味具有修饰作用,而苯乙醇具有玫瑰花香,能够修饰玫瑰煎饼的风味。

2.4 HPLC 分析有机酸含量

有机酸分布广泛,能够影响多种食品的风味和口感,且柠檬酸、苹果酸等阈值较低,与食品品质密切相关^[27]。3 种煎饼中有机酸含量如表 3 所示,差异性分析显示几种有机酸在不同煎饼中均有不同程度的差异。百合煎饼和玫瑰煎饼的酒石酸含量存在显著差异($P<0.05$),其含量分别为 0.328 mg/g 和 0.299 mg/g,酒石酸是一种重要的抗氧化剂,具有酸味,能够有效改变煎饼风味。苹果酸是一种人体必需的有机酸,存在于大部分果实中,具有降疲劳、降脂等功效^[28],仅在百合煎饼中检出且含量达到 1.921 mg/g。柠檬酸在食品工业中应用广泛^[29],具有调节血脂等功效^[30],百合煎饼和原味煎饼柠檬酸含量存在显著差异($P<0.05$),含量分别为 0.598 mg/g 和 0.385 mg/g,煎饼中的柠檬酸可能是由淀粉、砂糖等含糖物质通过发酵而产生的。几种有机酸中乳酸含量最高,乳酸是在发酵过程中所产生的,大米等淀粉

质的原料在乳酸菌作用下会产生乳酸,对风味具有一定帮助,其中原味煎饼中乳酸含量达 5.604 mg/g,高于玫瑰煎饼(5.522 mg/g)和百合煎饼(3.848 mg/g),可能是由于煎饼制作的原料配比不同,加入玫瑰和百合后大米的相对含量减少,因此产生的乳酸变少,原味煎饼和玫瑰煎饼中乳酸含量显著高于百合煎饼($P<0.05$),可能是因为苹果酸在乳酸酶作用下苹果酸转化为乳酸并释放 CO₂。三种煎饼中乳酸含量低于姜照^[27]从玉米酸煎饼中测出的乳酸含量 16.265 mg/g,可能是由于制作原料和工艺的差异导致的。三种煎饼中马来酸含量具有显著差异($P<0.05$),其中原味煎饼中含量最高,达到了 0.034 mg/g。

3 结论

煎饼的风味与其含有的风味物质密切相关,本研究通过 GC-MS 对 3 种煎饼主要挥发性风味物质进行了分析,共检出 51 种物质,其中,醛类、醇类和酮类物质种类最多,分别检出了 17、17 和 6 种,在玫瑰煎饼中醛类物质相对含量较高,达到 55.08%,且测得玫瑰特征香味化合物香茅醇的相对含量为 2.24%,百合煎饼中相对含量最高的是醛类和酯类,相对含量分别为 39.41% 和 23.20%,三种煎饼的风味物质种类和数量存在差异;采用层次聚类分析并结合热图分析三种煎饼的挥发性风味物质,玫瑰煎饼和百合煎饼可归为一类,与原味煎饼存在差异;再通过 ROAV 值分析煎饼中的关键风味物质,结果表明三种煎饼中醛类物质是重要的呈香物质,正辛醛、正己醛、2-庚烯醛、壬醛、正癸醛、橙化基丙酮和 2-正戊基呋喃是构成此类煎饼风味的关键风味化合物,香茅醇、橙化基丙酮和苯乙醇对玫瑰煎饼风味具有积极作用,而乙酸丁酯和正癸醇对百合煎饼风味具有修饰作用。

有机酸对煎饼的风味也有重要作用,通过 HPLC 测定煎饼中 5 种有机酸含量,比较发现三种煎饼中

表 3 3 种煎饼中有机酸含量
Table 3 Content of organic acids in three kinds of pancakes

有机酸	含量(mg/g)		
	原味煎饼	玫瑰煎饼	百合煎饼
酒石酸	0.318±0.008 ^{ab}	0.299±0.015 ^b	0.328±0.004 ^a
苹果酸	0.000±0.000 ^b	0.000±0.000 ^b	1.921±0.051 ^a
乳酸	5.604±0.149 ^a	5.522±0.249 ^a	3.848±0.354 ^b
柠檬酸	0.385±0.012 ^b	0.437±0.016 ^{ab}	0.598±0.123 ^a
马来酸	0.034±0.002 ^a	0.025±0.004 ^b	0.014±0.002 ^c

注: 数值为平均值±标准误(n=3), 同行不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

乳酸的含量最高且三种煎饼间含量存在差异,仅在百合煎饼中检出苹果酸且含量为 1.921 mg/g,对百合煎饼风味形成具有重要作用。

由此证明,玫瑰、百合的添加能有效改变煎饼风味物质。本文为特色煎饼的制作和风味物质的分析提供一定依据。

参考文献

- [1] CHO E, KIM J E, BAIK B K, et al. Influence of physicochemical characteristics of flour on pancake quality attributes[J]. Food Sci Technol, 2019, 56(3): 1349–1359.
- [2] LUO K, ZHANG G. Nutritional property of starch in a whole-grain-like structural form[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 79: 113–117.
- [3] KELLY S A, SUMMERBELL C D, BRVNES A, et al. Wholegrain cereals for coronary heart disease[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2007, 18(2): 50–51.
- [4] 和丽媛, 杨志龙, 樊丹敏. 玫瑰功能成分及产品开发研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(14): 408–413. [HE L Y, YANG Z L, FAN D M. Research progress on functional components and product development of rose[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(14): 408–413.]
- [5] 周亚军, 李圣桡, 王淑杰, 等. 高压脉冲电场协同酶法辅助提取玫瑰精油工艺优化[J]. 食品科学, 2020, 41(6): 270–277. [ZHOU Y J, LI S R, WANG S J, et al. Optimization of extraction of rose essential oil by high intensity pulsed electric field combined with enzymatic treatment-assisted[J]. Food Science, 2020, 41(6): 270–277.]
- [6] 雷春妮, 王波, 解迎双, 等. 吹扫捕集-气相色谱/质谱联用分析玫瑰花水香气成分[J]. 食品工业科技, 2020, 41(2): 201–206. [LEI C N, WANG B, XIE Y S, et al. Analysis of rose water aroma components by purge and trap-gas chromatography/mass spectrometry[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(2): 201–206.]
- [7] RONG D, MURRAY A F, JIA X, et al. Lily steroidal glycoalkaloid promotes early inflammatory resolution in wounded human fibroblasts[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2020: 258.
- [8] WANG X, YANG L, LIU J, et al. Comparison of the biochemical properties and thermal inactivation of polyphenol oxidase from three lily bulb cultivars[J]. Food Biochem, 2020, 44(10): e13431.
- [9] 胡悦, 杜运鹏, 田翠杰, 等. 百合属植物化学成分及其生物活性的研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 323–332. [HU Y, DU Y P, TIAN C J, et al. A review of chemical components and their bioactivities from the genus liliun[J]. Food Science, 2018, 39(15): 323–332.]
- [10] 张月, 周航, 吴海军. 玫瑰在食品中的应用及前景展望[J]. 现代食品, 2021(11): 25–27. [ZHANG Y, ZHOU H, WU H J. Application and prospect of rosa rugosa in food[J]. Modern Food, 2021(11): 25–27.]
- [11] 于森, 马明娟, 毋思敏, 等. 六款特种麦芽风味物质和感官特性分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(20): 246–250, 265. [YU M, MA M J, WU S M, et al. Sensory and volatile compounds analysis of six kinds of specialty malts[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(20): 246–250, 265.]
- [12] 王藤, 施娅楠, 李祥, 等. SPME-GC-MS 结合 ROAV 分析腌制时间对大河乌猪火腿挥发性风味物质的影响[J]. 食品工业科技, doi:10.13386/j.issn1002-0306.2021010250. [WANG T, SHI Y N, LI X, et al. Analysis of the effect of curing time on the volatile flavor compounds of Dahe black pig ham by SPME-GC-MS and ROAV[J]. Science and Technology of Food Industry, doi:10.13386/j.issn1002-0306.2021010250.]
- [13] 樊艳. SPME-GC-MS 结合 ROAV 分析腐乳中的主体风味物质[J]. 食品工业科技, 2021, 42(8): 227–234. [FAN Y. Analysis of main flavor substances in fermented soybean curd by SPME-GC-MS and ROAV[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(8): 227–234.]
- [14] 朱力杰, 石月, 刘秀英, 等. 固相微萃取-气质联用分析玉米煎饼的挥发性风味物质[J]. 食品工业科技, 2016, 37(10): 102–105, 122. [ZHU L J, SHI Y, LIU X Y, et al. Solid phase micro-extraction combined with gas chromatography-mass spectrometry analysis of volatile flavor compounds of corn pancake[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(10): 102–105, 122.]
- [15] LEE J, KIM D H, CHANG P S, et al. Headspace-solid phase microextraction (HS-SPME) analysis of oxidized volatiles from free fatty acids (FFA) and application for measuring hydrogen donating antioxidant activity[J]. Food Chemistry, 2007, 105(1): 414–420.
- [16] DACAMPORA Z B, DUGO P, DUGO G, et al. Gas chromatography-olfactometry in food flavour analysis[J]. Journal of Chromatography A, 2008, 1186(1): 123–143.
- [17] 张旭, 康峻, 黄本婷, 等. 不同脯制工艺对酱鹅游离氨基酸及挥发性风味成分的影响[J]. 中国调味品, 2021, 46(3): 60–64. [ZHANG X, KANG J, HUANG B T, et al. Effects of different curing process on free amino acids and volatile flavor components in sauce goose[J]. China Condiment, 2021, 46(3): 60–64.]
- [18] 樊月, 刘伟, 徐芬, 等. 不同种类山东煎饼特征风味成分差异分析[J]. 食品科学, 2020, 41(12): 173–179. [FAN Y, LIU W, XU F, et al. Analysis of characteristic flavor components in different kinds of Shandong pancakes[J]. Food Science, 2020, 41(12): 173–179.]
- [19] 张军, 刘建福, 张福庆, 等. 天津产地玫瑰香干白葡萄酒风味特征分析[J]. 酿酒科技, 2015(2): 25–28. [ZHANG J, LIU J F, ZHANG F Q, et al. Flavoring components of muscat (planted in Tianjin) grape wine[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2015(2): 25–28.]
- [20] ZHAO C Y, XUE J, CAI X D, et al. Assessment of the key aroma compounds in rose-based products[J]. Food Drug Anal, 2016, 24(3): 471–476.
- [21] BIRCH A N, PETERSEN M A, HANSEN Å S. The aroma profile of wheat bread crumb influenced by yeast concentration and fermentation temperature[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(2): 480–488.
- [22] PICO J, BERNAL J, GOMEZ M. Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: A review[J]. Food Research International, 2015, 75: 200–215.
- [23] 毛娟, 万鹏, 梁国平, 等. 基于区域适栽品种筛选的苹果品质综合评价模型的建立[J]. 食品工业科技, 2020, 41(19): 60–66, 77. [MAO J, WAN P, LIANG G P, et al. Establishment of com-

prehensive evaluation model of apple quality for regional suitable varieties selection[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(19): 60–66,77.]

[24] 唐平, 卢君, 毕荣宇, 等. 赤水河流域不同地区酱香型白酒风味化合物分析[J]. 食品科学, 2021, 42(6): 274–281. [TANG P, LU J, BI R Y, et al. Analysis of flavor compounds of Maotai-flavor Baijiu produced in different regions of the Chishui river basin[J]. Food Science, 2021, 42(6): 274–281.]

[25] 王洁茹, 朱星宇, 郭东起. 枣醋香气成分的分析[J]. 中国调味品, 2020, 45(11): 136–139,144. [WANG J R, ZHU X Y, GUO D Q. Analysis of aromatic components of jujube vinegar[J]. China Condiment, 2020, 45(11): 136–139,144.]

[26] 里奥·范海默特. 化合物嗅觉阈值汇编 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2018: 5. [LEO V H. Compilation of olfactory thresholds for compounds[M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 2018: 5.]

[27] 姜照. 发酵玉米醪中酸及优势微生物的研究 [D]. 泰安: 山

东农业大学, 2011. [JIANG Z. Study on acids and dominant microorganisms in fermented maize mash[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2011.]

[28] FERREIRA I, ORTIGOZA Á, MOORE P. Magnesium and malic acid supplement for fibromyalgia[J]. Medwave, 2019, 19(4): e7633.

[29] 于小斐, 魏文松, 艾鑫, 等. 有机酸处理对肉类品质影响的研究进展 [J]. 食品工业科技, doi:10.13386/j.issn1002-0306.2020070226. [YU X F, WEI W S, AI X, et al. Research progress on the effect of organic acid treatment on meat quality[J]. Science and Technology of Food Industry, doi:10.13386/j.issn1002-0306.2020070226.]

[30] 王妙颖, 阿依姑丽·艾合麦提, 曹梦丽, 等. 柠檬酸对高脂血症小鼠胰岛素敏感性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(9): 132–138. [WANG M Y, AYGUL A, CAO M L, et al. Effect of citric acid on insulin sensitivity in hyperlipidemic mice[J]. Food Science, 2019, 40(9): 132–138.]