

川渝地区特色红油火锅底料挥发性风味物质的比较及主成分分析

曾朝懿¹, 张丽珠¹, 田伟², 史颖¹, 唐洁¹, 车振明¹

(1. 西华大学食品与生物工程学院, 四川成都 610039;

2. 中国测试技术研究院, 四川成都 610056)

摘要:采用同时蒸馏萃取法(Simultaneous Distillation Extraction, SDE)对市售川渝特色红油火锅底料中的挥发性风味物质进行提取, 提取物经气相色谱质谱联用仪(GC-MS)分离、检测, 在被测样品中检测到的风味物质均为醇类化合物、醛类化合物、酮类化合物、酯类化合物、烃类化合物, 其中共同检测到的化合物有芳樟醇、(-)-4-萜品醇、乙酸芳樟酯、棕榈酸甲酯、 α -蒎烯、 β -蒎烯、3-亚甲基-6-(1-甲基乙基)环己烯、月桂烯、罗勒烯、 γ -萜品烯、石竹烯和茴香脑。在风味物质检测的基础上, 对火锅底料中的风味物质进行主成分分析(Principal Component Analysis, PCA), 结果表明前三个主成分因子累积方差贡献率达到 80.7%, 能有效表征火锅底料风味物质信息。

关键词:川渝特色红油火锅底料, 蒸馏萃取法, 气质联用, 主成分分析, 风味物质

Comparison of volatile flavor substances and principal components analysis of Sichuan and Chongqing region characteristic red oil hot pot

ZENG Chao-yi¹, ZHANG Li-zhu¹, TIAN Wei², SHI Ying¹, TANG Jie¹, CHE Zhen-ming¹

(1. School of Food and Bioengineer, Xihua University, Chengdu 610039, China;

2. China Testing Technology Research Institute, Chengdu 610056, China)

Abstract: Simultaneous distillation extraction method (Simultaneous Distillation Extraction, SDE) was used to extract volatile flavor compounds in commercially available characteristic hot pot soup stocks in Sichuan and Chongqing, the extracted compounds were separated by gas chromatography mass spectrometry (GC-MS). The detected substances in the samples were alcohols, aldehydes, ketones compounds, esters, hydrocarbons. The common compounds detected in all the samples were linalool, (-)-4-terpineol, linalyl acetate, methyl palmitate, pinene, camphene, 3-methylene-6-(1-methyl ethyl) cyclohexene, myrcene, ocimene, γ -terpinene, caryophyllene and anethole. On the basis of flavor substances detection, the flavor substances were analyzed by principal component analysis (PCA), the results showed that the first three principal components factor reached 80.7%, which would effectively characterize the flavor material information of hot pot.

Key words: Sichuan and Chongqing red oil hot pot bottom material; simultaneous distillation extraction; GC-MS; principal component analysis; flavor components

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2016)07-0283-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.07.046

火锅作为中国独创的饮食方式, 因其特别的口感及香味受到越来越多消费者的青睐, 尤其是川渝等地消费者对红油火锅情有独钟。火锅在涮煮食材过程中产生的特色风味主要来源于火锅底料中的汤卤、油脂以及香料的作用, 因此火锅底料作为火锅熬煮过程中的基础原料, 对火锅的质量及口感有极其重要的影响。同时蒸馏萃取(Simultaneous Distillation Extraction, SDE)法将水蒸汽蒸馏与馏分的溶剂萃取

两步骤合二为一, 与传统的水蒸气蒸馏方法相比, 减少了实验步骤, 降低了样品在转移过程中的损失, 节省了大量萃取试剂^[1-2]。Gracia P Blanch^[3]等人运用 SDE-GCMS 分析出果酒醋中 61 种挥发性成分; 刘洋^[4]等人采用 SDE 方法测定海底捞上汤三鲜火锅底料中的挥发性风味物质, 运用该方法鉴定出海底捞上汤三鲜火锅底料 90 种香气成分。目前, 不同品牌及口味的川渝地区特色红油火锅底料中风味物质的

收稿日期: 2015-09-17

作者简介: 曾朝懿(1988-), 女, 硕士, 研究方向: 食品安全, E-mail: 270660891@qq.com。

基金项目: 西华大学食品生物技术省高校重点实验室资助项目; 西华大学食品科学重点学科建设项目。

种类和含量有较大差异,且主成分分析法对火锅底料中的挥发性风味物质的研究还鲜有报道。本文利用SDE法对10种具有代表性的川渝地区特色的红油火锅底料中的挥发性风味物质进行提取,提取物经GC-MS检测分析以研究川渝地区特色红油火锅底料的挥发性风味物质,并通过主成分分析确定川渝地区特色红油火锅底料特征性风味物质,为火锅底料的品质控制及风味物质的研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

皇城老妈红汤火锅底料(S1)、皇城老妈川西菜籽油火锅底料(S2)、皇城老妈红汤红香火锅底料(S3)、丹丹菜籽油火锅底料(S4)、德庄麻辣烫火锅底料(S5)、德庄香牛油火锅底料(S6)、大红袍清油火锅底料(S7)、桥头重庆火锅底料(S8)、三耳重庆火锅底料(S9)、重大青花椒清油火锅底料(S10) 本地超市。二氯甲烷(AR)、无水硫酸钠(AR) 成都市科龙试剂有限公司。

GC2010气相色谱质谱仪 岛津公司;同时蒸馏萃取装置 安徽东冠器械设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 川渝地区特色红油火锅底料中挥发性风味物质的提取与测定 首先采用SDE法对10种不同样品中的挥发性风味物质进行提取,如图1所示,盛有90 mL样品液的A端圆底烧瓶与盛有100 mL二氯甲烷萃取液的B端圆底烧瓶,分别放入120 ℃的电热套和65 ℃水浴锅中加热,进行同时蒸馏萃取2 h。萃取液用无水硫酸钠干燥过夜后,经旋转蒸发仪浓缩至2 mL,供GC-MS分析^[5]。

气相色谱条件:色谱柱:Rtx-5,氮气流速为1.0 mL/min,进样量为1 μL;进样口温度230 ℃,程序升温:起始温度60 ℃,以5 ℃/min升至160 ℃,再以10 ℃/min升至230 ℃,保持9 min^[5]。

质谱条件:GC-MS接口温度250 ℃;EI离子源;电子能量70 eV;离子源温度250 ℃;扫描范围:40~350 m/e;溶剂延迟时间为4.5 min^[5]。

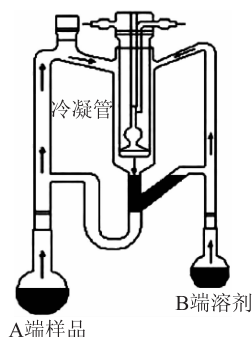


图1 同时蒸馏萃取装置图

Fig.1 Simultaneous distillation extraction equipment

1.2.2 川渝特色红油火锅底料中挥发性风味物质的主成分分析 根据前期风味物质测定结果,利用Minitab 15软件对所测得的共同化合物进行主成分分析。通过软件分析生成特征值、方差贡献率、累积方差贡献率及特征向量。根据以上分析结果中,

可以基于以下几个方面选择具有代表性的主成分:选取 $\lambda > 1$ 的特征值对应的主成分;累积贡献率达到80%以上的特征值对应的主成分^[6]。最后,通过主成分得分图评价川渝地区特色红油火锅底料风味物质信息。

2 结果与讨论

2.1 川渝地区特色火锅底料挥发性物质分析结果

对市场销售的川渝地区特色红油火锅底料及其中的挥发性风味物质进行测定,图1为代表性的川渝地区特色红油火锅底料(样品5)挥发性风味成分总离子流图。通过GC-MS分析,由表1可知,在所检测样品中仅检测出共同物质有12种,分别为芳樟醇、(-)-4-萜品醇、乙酸芳樟酯、棕榈酸甲酯、 α -蒎烯、蒎烯、3-亚甲基-6-(1-甲基乙基)环己烯、月桂烯、罗勒烯、 γ -萜品烯、石竹烯和茴香脑。但根据火锅底料品牌的不同、熬制条件、香料成分等差异导致不同样品产生了一些特有的风味成分,如表2所示:样1中检测出7种特有成分,包括十七醇、苯丙醛、桂醛、2,3,4-三甲基正己烷、1,3,5,5-四甲基-1,3-环己二烯、 β -蒎烯、 α -衣兰油烯;样2检测出2种特有成分,即4-乙基环乙醇、3-呋喃甲醛;样3检测出3种特有成分,即桃金娘烯醛、香叶基丙酮、香茅烯;样5检测出8种特有成分,即2-辛醇、 γ -萜品醇、(E)-2-庚烯醛、茴香醛、2-蒎酮、2-癸酮、亚油酯乙酸、十一烷;样6检测出2种特有成分,即乙酸苯乙酯、甲基丙基二硫醚;样7检测出10种特有成分,即2-庚醇、十三(碳)烯醛、2-苯基巴豆醛、对甲氧基肉桂酸乙酯、肉豆蔻酸乙酯、异丁酸香茅酯、1-十四烯、 α -长叶蒎烯、 α -丁子香烯、榄香素;样8检测出2种特有成分,即山萘酸乙酯、硬脂酸甲酯;样9检测出2种特有成分,即(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、环己酮;样10检测出5种特有成分,即香叶醇、十二醛、十一醛、仲辛酮、3,5-二甲基-4-辛烷。在所测样品中均检测出了醇类化合物、醛类化合物、酮类化合物、酯类化合物、烃类化合物及其他化合物,这些物质对火锅底料的风味贡献不同。

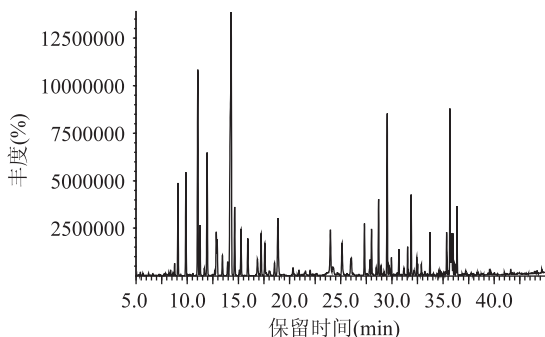


图2 川渝地区特色红油火锅底料挥发性风味成分总离子流图(样品5)

Fig.2 Total ion flow chart of volatile flavor compounds in Sichuan and Chongqing hot pot(sample 5)

2.1.1 醇类 醇类是火锅底料中重要的挥发性化合物之一,主要来自于样品中脂肪的氧化分解^[7]。在10种不同川渝火锅底料中均检测到的醇类化合物有

表1 10种不同川渝地区特色火锅底料共有的挥发性物质
Table 1 The common volatile flavor compounds of different hot pot in Sichuan and Chongqing

序号	保留时间 (min)	英文名称	中文名称	匹配度	相对含量(%)									
					S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
1	18.879	Linalool	芳樟醇	95	6.73	17.2	5.41	24.79	3.04	12.94	3.76	10.97	29.65	22.17
2	24.008	(-)-Terpinen-4-ol	(-)-4-萜品醇	97	3.99	0.93	3.99	1.72	2.15	0.1	3.76	1.93	4.33	0.36
3	27.906	Linallylacetate	乙酸芳樟酯	95	7.59	1.28	3.31	2.6	0.61	7.67	0.68	15.68	1.64	1.69
4	44.148	Methyl hexadecanoate	棕榈酸甲酯	93	0.06	0.07	0.04	0.06	0.04	0.07	0.07	0.08	0.07	0.04
5	9.092	2-Pinene	α -蒎烯	96	8.8	3.36	6.59	1.64	5.52	1.48	6.16	1.38	1.43	0.54
6	9.863	Camphene	莰烯	96	0.33	0.34	0.23	1.34	3.44	1.2	2.19	2.35	1.07	0.62
7	11.018	3-methylene-6-(1-methylethyl)-Cyclohexene	3-亚甲基-6-(1-甲基乙基)环己烯	94	2.88	10.75	6.52	8.08	26.16	0.67	6.36	4.46	8.01	4.78
8	11.941	Myrcene	月桂烯	95	5.37	10.35	0.72	5.25	4.79	11.18	5.94	5.83	4.58	3.95
9	15.254	Ocimene	罗勒烯	97	1.44	1.98	2.57	1.23	1.73	6.54	1.6	2.26	1.51	1.73
10	15.92	γ -Terpinene	γ -萜品烯	97	2.95	1.77	2.43	2.94	1.42	0.16	1.73	2.29	2.82	2.42
11	33.754	Isocarophyllene	石竹烯	97	1.73	0.33	1.52	0.28	1.1	0.48	1.65	0.09	1.56	0.31
12	29.562	Anethole	茴香脑	95	5.02	0.33	2.38	2.28	5.81	8.54	5.63	7.61	10.53	10.32

芳樟醇和(-)-4-萜品醇,两者阈值较小,对火锅底料的风味形成产生一定作用。芳樟醇具有柑橘香或者木青香气,并随其来源而有不同的气息,存在于天然植物香料中^[8],(-)-4-萜烯醇呈暖的胡椒香,天然存在于肉豆蔻^[9]、鱼腥草^[10]等中。

2.1.2 醛类 在被测大部分样品中检测到的醛类化合物有反式-2,4-癸二烯醛、苯甲醛、苯乙醛和柠檬醛。直链醛类化合物主要是由油脂中脂肪酸氧化降解产生,六个碳原子以上醛类是脂肪氧化的典型产物^[11];亚油酸氧化的典型的产物反式-2,4-癸二烯醛,呈现出脂肪气味^[12];苯甲醛具有令人愉快的杏仁香、坚果香和水果香^[13],可能与其加入的陈皮、肉桂、良姜、丁香等香辛料有关^[14]。

2.1.3 酯类 酯类化合物可能是醇类化合物和酸类化合物经酯化反应生成,给火锅底料带来令人愉快的香味^[5]。在被测的10种不同川渝火锅底料中均检测到的酯类物质有乙酸芳樟酯和棕榈酸甲酯。乙酸芳樟酯主要来源于所使用的红花椒香辛料中,具有柑橘香味,香气浓郁^[15]。火锅底料的熬制需要大量的油脂,油脂的主要组成为高级脂肪酸,棕榈酸甲酯可能来源于油脂的甲酯化反应^[16]。

2.1.4 烃类及其他化合物 在检测到烃类化合物中,大部分为萜烯类化合物,分别为 α -蒎烯、莰烯、3-亚甲基-6-(1-甲基乙基)环己烯、月桂烯、罗勒烯、 γ -萜品烯、石竹烯。以上化合物主要源自于脂肪酸烷氧自由基的断裂^[14]。烯烃类化合物其阈值较低,对风味具有一定的贡献。 α -蒎烯具有草药气味;莰烯具有樟脑的气味;3-亚甲基-6-(1-甲基乙基)环己烯存在于山柰中;月桂烯具有膏香、木香气味;罗勒烯有草药、辛香气味; γ -萜品烯具有柑橘和柠檬香气^[15]。在烃类化合物中还检测到部分直连烃,这可能是由于在样品提取过程中由于长时间的高温蒸

煮形成的^[17]。另外在被测样品中均检测到茴香脑及二烯丙基二硫,茴香脑具有茴香的特殊香味,天然存在于八角、小茴香等香辛料中^[18];二烯丙基二硫俗称大蒜素,是一种有机硫化物,是葱属植物的主要成分^[19]。

2.2 川渝地区特色火锅底料风味物质的主成分分析

由表2可知,不同火锅底料的风味物质分别由醇类化合物、醛类化合物、酮类化合物、酯类化合物、烃类及其他化合物,其中每种物质的相对含量都不同,为了能选择有代表性的成分作为川渝地区特色红油火锅底料风味指标,运用 Minitab15 对在火锅底料中共同检测到的6类化合物进行主成分分析,其特征值及方差贡献率见表3。

表3 川渝地区特色火锅底料风味物质主成分因子特征值
Table 3 Eigenvectors values of principal component analysis on volatile of Sichuan and Chongqing hot pot

主成分序号	特征值	方差贡献率	累积贡献率
1	1.9483	0.325	0.325
2	1.5947	0.266	0.590
3	1.2981	0.216	0.807
4	0.8987	0.150	0.957
5	0.2297	0.038	0.995
6	0.0305	0.005	1.000

因子数目通常选取 $\lambda > 1$ 的特征值对应的主成分且累积贡献率大于等于80%的主成分数目作为研究对象^[6,20],由表3可知,当选取3个主成分时,已经能代替火锅底料风味物质信息的80.7%,因此我们选取前3个特征值,并在表4中给出前3个特征值对应的特征向量。

在表4中可以看出,主成分一代表醛类化合物、烃类化合物及其他化合物3种风味物质的影响,其

表2 10种不同川渝地区特色火锅底料特有的挥发性物质
Table 2 The peculiar volatile flavor compounds of different hot pot in Sichuan and Chongqing

样品	序号	保留时间	英文名称	中文名称	相对含量	匹配度
样品1	1	39.816	Heptadecan	十七醇	0.02	90
	2	22.684	3-Phenylpropionaldehyde	苯丙醛	0.07	91
	3	28.974	Cinnamaldehyde	桂醛	1.58	96
	4	5.058	2,3,4-Trimethylhexane	2,3,4-三甲基正己烷	0.03	93
	5	20.475	1,3,5,5-tetramethyl-3-cyclohexadiene	1,3,5,5-四甲基-1,3-环己二烯	0.04	87
	6	35.615	β -selinene	β -瑟林烯	0.18	88
样品2	7	35.817	α -Murolene	α -衣兰油烯	0.83	93
	1	13.209	4-Ethylcyclohexanol	4-乙基环己醇	0.1	80
	2	5.433	Furan-3-carboxaldehyde	3-呋喃甲醛	0.01	92
样品3	1	29.408	Myrtenal	桃金娘烯醛	0.03	84
	2	34.483	Geranyl acetone	香叶基丙酮	0.03	87
	3	27.000	Citronellene	香茅烯	0.01	82
样品5	1	7.878	2-Octanol	2-辛醇	0.05	90
	2	31.203	γ -Terpineol	γ -萜品醇	0.31	84
	3	10.247	trans-2-Heptenal	(E)-2-庚烯醛	0.02	87
	4	28.158	Anisaldehyde	茴香醛	0.06	91
	5	21.450	2-Camphanone	2-茨酮	0.08	92
	6	29.726	2-DeSFanone	2-癸酮	0.3	95
	7	43.989	Ethyl linoleate	亚油酸乙酯	0.05	86
样品6	8	12.495	Undecane	十一烷	0.03	92
	1	28.070	Phenylethylacetate	乙酸苯乙酯	0.1	82
	2	9.364	methyl prop-1-enyl disulphide	甲基丙烯基二硫醚	0.03	80
	1	7.903	2-Heptanol	2-庚醇	0.05	93
样品7	2	28.528	Tridecenal	十三(碳)烯醛	0.12	91
	3	31.466	2-Phenylcrotonaldehyde	2-苯基巴豆醛	0.03	92
	4	41.290	P-Methoxyl methyl cinnamate	对甲氧基肉桂酸乙酯	0.02	84
	5	41.834	Ethyltetradecanoate	肉豆蔻酸乙酯	0.07	89
	6	42.637	Citronellyl isobutyrate	异丁酸香茅酯	0.01	85
	7	33.017	1-Tetradecene	1-十四烯	0.09	95
	8	34.521	α -Longipinene	α -长叶蒎烯	0.06	74
	9	34.763	(-)-Caryophyllene	α -丁子香烯	0.17	94
	10	36.928	Elemicin	榄香素	0.03	84
	1	37.843	Ethyl behenate	山嵛酸乙酯	0.05	92
样品8	2	44.300	Methyl stearate	硬脂酸甲酯	0.07	89
样品9	1	29.805	(E)-3,7-dimethyl-2,6-Octadienal	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	0.48	88
	2	6.433	Cyclohexanone	环己酮	0.11	93
样品10	1	12.552	Geraniol	香叶醇	0.09	82
	2	11.768	Lauraldehyde	十二醛	0.57	95
	3	14.417	Undecanal	十一醛	0.85	90
	4	19.704	2-Octanone	仲辛酮	0.31	93
	5	32.451	3,5-Dimethyl-4-octanone	3,5-二甲基-4-辛烷	0.79	86

风味贡献率的大小依次是其他化合物、醛类化合物、烃类化合物；主成分二代表醇类化合物和酮类化合物2种风味物质的影响，且醇类化合物风味的影响大于酮类化合物；主成分三代表酯类化合物对风味的影响。

为了进一步明确第一主成分和第二主成分中各种风味物质所起作用不同，将6种风味物质的第一主成分、第二主成分因子绘制成散点图，如图3所

示，6种风味物质分布在三个不同象限，醛类化合物和其他化合物在同一象限，烃类化合物、酮类化合物和酯类化合物在同一象限，醇类化合物单独在一个象限中。说明第一主成分中3种风味物质对川渝地区特色红油火锅底料风味的影响分为两种，即其他类化合物和醛类化合物、烃类化合物，而第二主成分中2种风味物质都对川渝地区特色红油火锅底料风味形成起到影响作用。

表4 前3个特征值对应的特征向量
Table 4 Eigenvectors values of former three eigenvalues

变量	主成分一	主成分二	主成分三
醇类化合物	-0.141	0.662	-0.240
醛类化合物	-0.567	-0.136	0.486
酮类化合物	0.131	-0.460	0.255
酯类化合物	0.129	-0.517	-0.640
烃类化合物	0.522	-0.013	0.476
其他化合物	-0.594	-0.253	-0.071

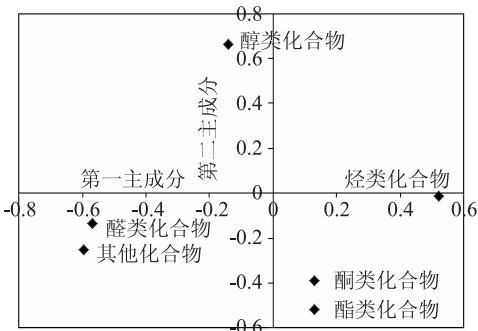


图3 6种风味物质在第一、二主成分得分图

Fig.3 Principal component scores of the first and second flavor compounds in the six flavor substances

3 结论

采用 SDE 法对市售 10 种川渝地区特色红汤火锅底料中的挥发性风味物质进行提取,并运用 GC-MS 对提取物进行分离和检测。结果表明:在所测样品中均检测出了醇类化合物、醛类化合物、酮类化合物、酯类化合物、烃类化合物及其他化合物,其中所有样品中共同检测到的化合物有 12 种,分别是芳樟醇、(-)-4-萜品醇、乙酸芳樟酯、棕榈酸甲酯、 α -蒎烯、苾烯、3-亚甲基-6-(1-甲基乙基)环己烯、月桂烯、罗勒烯、 γ -萜品烯、石竹烯和茴香脑。在风味物质检测的基础上,对火锅底料中的风味物质进行主成分分析(PCA),结果表明当选取前三个主成分时,累积方差贡献率达到 80.7%,能有效表征火锅底料风味物质信息。第一主成分风味贡献率大小依次为其他化合物、醛类化合物、烃类化合物;第二主成分风味贡献率大小依次为醇类化合物、酯类化合物;第三主成分为酯类化合物对风味的贡献。6 种风味物质对川渝地区特色红油火锅底料的影响分为 4 种,分别是其他类化合物和醛类化合物、烃类化合物、酮类化合物和酯类化合物、醇类化合物。这 4 种风味化合物风味作用构成了川渝地区特色红油火锅底料的特征风味。

参考文献

[1] OPinho, C peres, I M P L V O Ferreira. Solid-phase micro extraction of volatile compounds in “Terrincho” ewe cheese

comparison of different fibers[J]. Journal of Chromatography A, 2003(1011):1-9.

[2] 李桂花,何巧红,杨君.一种提取复杂物质中易挥发组分的有效方法——同时蒸馏萃取及其应用[J].理化检验-化学分册,2009,45(4):491-496.

[3] Gracia P Blanch, Javier Tabera, Jesus Sanz, et al. Volatile composition of Vinerars. Simultaneous Distillation-Extraction and Gas Chromatographic-Mass Spectrometric Analysis[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40(6):1046-1049.

[4] 刘洋,张宁,徐晓兰,等. SDE/GC-MS 分析火锅底料的挥发性风味成分[J]. 中国食品学报, 2014, 14(2):283-289.

[5] 张丽珠,黄湛,唐洁,等.同时蒸馏萃取法和固相微萃取法分析棕榈油与菜籽油复合火锅底料中的风味物质[J]. 食品科学, 2014, 35(18):156-160.

[6] 陈平雁. SPSS13.0 统计软件应用教程[M]. 人民卫生出版社, 2013:233.

[7] 曲宏宏,段文艳,唐学艳,等.不同样品采集方法对米糠风味物质测定的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 4(4):84-88.

[8] 林翔云.天然芳樟醇与合成芳樟醇[J]. 化学工程与装备, 2008, 7:21-26.

[9] 冒德寿,侯春,李智宇,等.肉豆蔻衣油挥发成分的分析研究[J]. 香精香料化妆品, 2012, 5:16-20.

[10] 蒋玲燕,李清,陈晓辉,等. GC 法同时测定鲜鱼腥草中 4 种成分[J]. 中成药, 2011, 33(6):1014-1017.

[11] 要萍,乔发东,闫红,等.宣威火腿挥发性风味成分的分离与鉴定[J]. 食品科学, 2004, 25(2):146-150.

[12] Barbieri G, Bolzoni L, Parolari G, et al. Flavor compounds of dry-cured ham[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1991, 40(12):2389-2394.

[13] MASON M E, JOHNSON B, HAMMING M C, Volatile components of roasted peanuts. Major monocarbonyls and some noncarbonyl components[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1967, 15(1):66-73.

[14] 张逸君,郑福平,张玉玉,等. MAE-SAFE-GC-MS 法分析道口烧鸡挥发性成分[J]. 食品科学, 2014, 35(22):130-134.

[15] 杨峥,公敬欣,张玲,等. 汉源红花椒和金阳青花椒香气活性成分研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(5):226-230.

[16] 林翔云. 香精香料词典[M]. 化学工业出版社, 2007:177.

[17] 孟驾,乔宇,康旭,等.同时蒸馏萃取、溶剂萃取和顶空固相微萃取与 GC-MS 联用分析甜面酱的挥发性成分[J]. 中国调味品, 2011, 36(1):97-100.

[18] 徐善述,杨洪珍.浅谈三种茴香油及工业生产方法[J]. 食品与发酵工艺, 2012.38(11):147-150.

[19] 单长松,王超,孟令儒,等.泰安大蒜与金乡大蒜挥发性风味物质成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2012.38(11):141-157.

[20] 刘玲.普洱茶特征风味成分分析[D]. 西南大学, 2010.