

青方腐乳关键挥发性风味物质研究

马艳莉, 刘亚琼, 夏亚男, 孙剑锋, 牟建楼, 王颀

(河北农业大学食品科技学院, 河北省农产品加工工程技术研究中心, 河北保定 071001)

摘要: 青方腐乳是我国传统腐乳中风味最为独特的品种, 目前人们对其风味物质认识滞后, 特别是对其关键挥发性风味物质缺乏研究。本文采用动态顶空法萃取青方腐乳风味物质, 气相色谱-质谱联用 (GC-MS) 技术鉴定其挥发性风味物质, 进一步使用动态顶空稀释法 (DHDA) 结合嗅闻检测技术确定其关键挥发性风味物质, 为稳定产品风味质量提供科学依据。经 GC-MS 分析, 共确定 73 种挥发性风味成分, 其中酯类 16 种、含氮化合物 13 种、醇类 12 种、酸类 12 种、醛酮类 10 种、含硫化合物 8 种, 未检测到硫化氢。内标定量可知, 含氮化合物、酸类、酯类、酚类和醇类化合物相对含量较高, 分别占风味物质相对含量的 19.66%、18.7%、14.79%、10.35% 和 9.21%。DHDA 结合嗅闻技术从青方腐乳中鉴定出 25 种关键挥发性风味物质, 其中吲哚、苯酚、二甲基二硫、三甲基胍、乙酸乙酯、丁酸、二甲基三硫对青方腐乳风味贡献最大。

关键词: 青方腐乳; 动态顶空萃取; 风味物质; GC-O-MS

文章编号: 1673-9078(2015)5-316-321

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.5.050

Key Volatile Flavor Compounds of Grey Sufu, a Chinese Traditional Fermented Soybean Food Product

MA Yan-li, LIU Ya-qiong, XIA Ya-nan, SUN Jian-feng, MU Jian-lou, WANG Jie

(Department of Food Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Agricultural Products Processing Engineering Technology Research Center of Hebei, Baoding 071001, China)

Abstract: Grey sufu is a Chinese traditional fermented tofu with a unique flavor. Research on the flavor compounds of grey sufu is generally poor, especially with respect to the key volatile flavor compounds. In this study, dynamic headspace extraction was used to extract the flavor compounds in grey sufu, the gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) technique was used to identify the volatile flavor compounds, and dynamic headspace dilution analysis (DHDA) and sniffing were further used to determine the key volatile flavor compounds. These results can provide a scientific basis for stabilizing the flavor quality of grey sufu products. There were 73 volatile flavor components identified by GC-MS, including 16 esters, 13 nitrogen-containing compounds, 12 alcohols, 12 acids, 10 aldehydes and ketones, and eight sulfur-containing compounds. No hydrogen sulfide was detected. Quantitative analysis using internal standards showed that the relative content of nitrogen-containing compounds, acids, esters, phenols, and alcohol compounds was relatively high, accounting for 19.66%, 18.7%, 14.79%, 10.35%, and 9.21% of the total flavor compounds, respectively. Twenty-five key volatile flavor compounds were identified by DHDA and sniffing technique, among which indole, phenol, dimethyl disulfide, trimethyl hydrazine, ethyl acetate, butyric acid, and dimethyl trisulfide were the most important compounds contributing to the flavor of grey sufu.

Key words: grey sufu; dynamic headspace extraction; flavor compounds; gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry

风味是食品的重要特征, 关键风味成分研究有利于稳定产品质量、提高产品品质。腐乳是以大豆为主要原料, 经磨浆、制坯、前酵、腌制、后酵等生产过程制得的中国传统发酵豆制品, 其种类繁多, 风味迥异, 目前关于腐乳挥发性风味物质研究主要集中在白

收稿日期: 2014-12-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31101336)

作者简介: 马艳莉 (1982-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 大豆食品加工技术

通讯作者: 王颀 (1959-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品贮藏与加工

方和红方腐乳。Chung et al.^[1]从三种红方腐乳中鉴定出 89 种化合物, 其中 2-甲基丙酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、2,3-丁二酮、丁酸乙酯、3-甲硫基丙醛、苯乙醛、3-苯丙酸乙酯为其关键挥发性风味物质。Chung et al.^[2]研究了三种商业白腐乳挥发性风味物质, 共发现 83 种化合物, 其中 68 种是三个样品所共有的, 醇类、酸类和酯类是三种样品中数量最多的化合物, 进一步在三种商业白腐乳中鉴定出 14 种关键挥发性风味成分, 其中乙酸、甲硫基丙醛、亚油酸乙酯、油酸乙酯和 3-甲基丁酸对风味贡献最大。Moy et al.^[3]研究了台湾酶促腐乳挥发

性风味物质,共鉴定出70种挥发性风味成分,包括20种醛类、18种醇类、16种酯类、5种酮类、5种酸类和6种其他类化合物,其中脂肪酸、醛类和酯类占主导地位。但是,该研究未对酶促腐乳关键挥发性风味物质进行鉴定。

青方腐乳是我国传统腐乳中风味最为独特的品种,其“闻着臭,吃着香”的独特风味被部分人所喜爱,然而关于青方腐乳风味物质研究较少,对其关键风味物质的鉴定更未见报道。目前人们对青方腐乳风味物质认识滞后,一般认为青方腐乳的发酵过程比其他品种更彻底,导致其氨基酸较丰富,含有较多丙氨酸以及酯类化合物,带来特殊的甜味和酯香味,并且一般认为青方腐乳独特的臭味由硫化氢引起^[4]。但是在对青方腐乳挥发性成分的初步研究中并未发现硫化氢,因此有必要对青方腐乳挥发性风味物质进行深入研究,为青方腐乳风味物质提供科学数据,并有利于产品风味质量的控制与稳定。本研究使用动态顶空法萃取青方腐乳挥发性风味物质,GC-MS法对萃取的挥发性成分进行鉴定,再通过动态顶空稀释法(DHDA)结合嗅闻检测技术对其关键挥发性风味成分进行分析确定,为提高产品风味质量及稳定性提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

试验所用青方腐乳样品购自北京某大型超市。高纯氮气(纯度 $\geq 99.999\%$),北京千禧京城气体有限公司;甲醇、2-甲基-3-庚酮、丁酸乙酯、正丙醇、丙酸丁酯、正丁醇、丁酸、丙酸、甲硫醇、乙酸乙酯、2,3-二羟基丙醛、苯甲醛、邻苯二甲酸二乙酯、苯乙酮、4-乙基苯酚均为色谱纯, Sigma-Aldrich 公司; C5-C20 烷烃系列标准样品溶液, Sigma-Aldrich 公司。

1.2 仪器与设备

气相色谱-质谱联用仪, Agilent 7890A-5975C, 美国 Agilent 公司; 萃取头, 兼性, 美国 Supelco 公司; 气相色谱毛细管柱, DB-WAX (30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m), DB-5 (30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m), 美国 Agilent 公司; 嗅探仪, Sniffer 9000, 瑞士 Brechbühler; 分析天平, EY-300A, 日本松下电器公司。

1.3 试验方法

1.3.1 动态顶空法萃取风味物质

腐乳样品在密闭容器中置于 4 $^{\circ}$ C 条件下冷藏, 试验前将样品恢复至室温, 并在较为柔和的条件下于

30s 内快速研磨混匀, 取适量研磨混匀的样品放入 100 mL 的吹扫瓶中, 加入一定量的内标 2-甲基-3-庚酮, 扭紧旋帽使吹扫瓶达到密闭状态, 50 $^{\circ}$ C 下平衡 30 min, 然后在玻璃容器左颈通入高纯氮气(99.999%), 以 100 mL/min 速度吹扫捕集 40 min, 右颈插入填装好的 Tenax TA 吸附管(0.2 g, 60/80, 12 cm), 风味物质通过吸附管吸附完毕后, 将 Tenax TA 吸附管放入通入 N₂ 的干燥器中除去水分, 直至柱体完全干燥, 然后置于自动进样器中检测分析。

1.3.2 动态顶空稀释分析(DHDA)

DHDA 参考 Chen et al.^[5] 的方法略有改进, 将适量研磨混匀的腐乳样品置于 100 mL 的吹扫瓶中, 加入适量内标物 2-甲基-3-庚酮, 在 50 $^{\circ}$ C 平衡 30 min, 用高纯氮气以 100 mL/min 的速率分别吹扫 60 min、12 min、2.4 min、30 s, 然后以 20 mL/min 的速率吹扫 6 s。吹扫瓶中的挥发性气体通过装有 Tenax TA 填料的 12 cm 长的玻璃吸附柱(含有 0.2 g Tenax TA 60/80)收集, 用氮气以 20 mL/min 的速率分别吹扫玻璃吸附柱 90 min、45 min、30 min、20 min、10 min, 直至玻璃吸附柱中的物质完全干燥为止, 进一步将 Tenax TA 吸附管置于自动进样器中检测分析。

1.3.3 气谱-嗅探-质谱(GC-O-MS)分析

萃取的风味物质进入自动进样器后首先在-100 $^{\circ}$ C 浓缩, 然后在 230 $^{\circ}$ C 热解析, 再通过连接装置进入气相色谱。分别用极性和非极性两种毛细管柱检测, 极性 DB-WAX 毛细管柱(30 m \times 0.25 mm i.d., 0.25 μ m; J&W Scientific, USA), 氦气(99.999%纯度)作为载气, 流速为 1.0 mL/min; 非极性 DB-5 ms 毛细管柱(30 m \times 0.25 mm i.d., 0.25 μ m; J&W Scientific, USA)。加热箱起始温度 50 $^{\circ}$ C, 维持 3 min 后, 按 5 $^{\circ}$ C/min 的速度逐步升温至 160 $^{\circ}$ C, 维持 3 min, 以 10 $^{\circ}$ C/min 的速度升温至 230 $^{\circ}$ C, 维持 10 min。质谱条件为: 色谱、质谱的接口温度为 280 $^{\circ}$ C, 质谱电子方式为 EI, 电子能量 70 eV, 离子源温度 230 $^{\circ}$ C, 四级杆温度 150 $^{\circ}$ C, 溶剂延迟 2 min, 谱库 NIST05a.L, 质谱质量扫描范围 30~400 amu, 嗅闻使用 ODP2, 质谱和 ODP2 的分流比为 1:1。

1.3.4 线性保留指数(LRI)

使用 C₆-C₂₂ 系列烷烃的保留时间作为参考, 通过下面公式计算化合物的 LRI 值。

$$LRI = 100N + 100n \frac{tR_a - tR_N}{tR_{(N+n)} - tR_N}$$

注: 各参数分别代表: N 是与风味化合物相邻的较小的系列烷烃的 C 原子数, n 是风味化合物插到两个系列烷烃中间的 C 原子数的差值, tR_a、tR_N、tR_(N+n) 分别代表风味化合物的保留时间、最小烷烃的保留时间、最大烷烃的保留时间。

1.3.5 风味稀释因子 (FD 值)

采用减少吹扫捕集时间达到稀释风味物质的效果, 分别吹扫 60 min、12 min、2.4 min、30 s、6 s, 即时间以 5 的倍数递减直至物质吸闻不到为止, 只在第一次吹扫能闻出来时, 此化合物的 FD 值记为 1, 只在第二次吹扫能闻出来时, FD 值记为 5, 其他 FD 值以 5ⁿ 规律类推, n=0、1、2、3、4……最大值就是此物质的 FD 值。三个经过专业培训并有 GC-O 超过 60 h 训练时间的吸闻者吸闻, 三个吸闻者对同一物质风味的描述一致时, 确定此风味化合物的属性。

2 结果与讨论

采用动态顶空法萃取青方腐乳挥发性风味物质, 经 GC-MS 分析, 共鉴定出 73 种风味成分, 其中酯类 16 种、醇类 12 种、酸类 12 种、醛酮类 10 种、含硫化合物 7 种、酚类 2 种、含氮化合物 1 种、其他 13 种。内标定量可知, 含氮化合物、酸类、酯类、酚类和含硫化合物的含量较高, 其中含量超过 0.1 μg/g 的成分有 45 种, 分别如表 1 所示, 鉴定出的这些挥发性

化合物大多具有美国食用香料与提取物制造者协会 (FEMA) 对外公布的一般公认安全 (GRAS) 的 FEMA 编号, 大部分是我国 GB 2760-2011 中规定允许使用的风味物质^[6]。

从鉴定出的成分数量来看, 酯类化合物数量最多, 达 16 种, 占青方腐乳挥发性风味物质数量的 21.92% (图 1)。酯类化合物是在青方腐乳发酵过程中形成的, 腐乳前期发酵一般采用开放式管理, 会接触到自然界中多种微生物, 在这些微生物的作用下, 会把豆腐中的碳水化合物转变为醇类和酸类, 醇类和酸类进一步反应得到酯类化合物^[7]。腐乳生产发酵过程中, 脂肪酶的存在起到了非常重要的作用, 在发酵过程中, 脂肪酶将腐乳中的脂肪水解代谢, 生成了游离脂肪酸和丙三醇, 游离脂肪酸与乙醇发生了酯化反应, 生成大分子量的脂肪酸酯, 具有增加香气的作用。大豆中脂肪酸主要以甘油三酯形式存在, 腐乳发酵过程中部分甘油三酯被脂肪酶降解为游离脂肪酸, 进一步与乙醇发生酯化反应, 生产大分子量脂肪酸乙酯类^[8], 这些酯类在腐乳香气形成过程中起很大作用。

表 1 动态顶空法萃取青方腐乳挥发性风味物质 GC-MS 分析结果

Table 1 Gas chromatography-mass spectrometry analysis results of volatile flavor compounds extracted from grey sufu using dynamic headspace

序号	保留时间/min	化合物名称	分子式	含量/(μg/g)	峰面积/%	GB2760-2011 允许使用
1	2.22	正己烷	C ₆ H ₁₄	1.06	1.92	是
2	3.10	三甲基胍	C ₃ H ₁₀ N ₂	1.87	3.40	否
3	3.33	乙醚	C ₄ H ₁₀ O	0.43	0.79	是
4	3.36	二甲基丙醇	C ₅ H ₁₂ O	0.16	0.28	否
5	4.04	二甲基二丁胺	C ₅ H ₁₃ N	0.22	0.39	否
6	4.18	丙基乙酸	C ₅ H ₁₀ O ₂	2.79	5.08	是
7	4.60	苯乙基苯甲腈	C ₁₅ H ₁₃ N	0.18	0.33	否
8	5.65	甲基硫脲	CH ₄ N ₂ S	0.23	0.42	否
9	6.41	2-戊酮	C ₅ H ₁₀ O	0.58	1.06	是
10	6.42	3-甲基丁酮	C ₅ H ₁₀ O	0.57	1.04	否
11	6.44	2-庚酮	C ₇ H ₁₄ O	0.13	0.24	是
12	6.60	2-甲基丁醇	C ₅ H ₁₂ O	0.22	0.40	是
13	7.29	2-甲基-3-己醇	C ₇ H ₁₆ O	0.15	0.28	否
14	7.31	乙酸乙酯	C ₄ H ₈ O ₂	1.96	3.57	是
15	7.61	丁酸乙酯	C ₆ H ₁₂ O ₂	1.58	2.88	是
16	7.85	乙酰氧脲酸	C ₂ H ₃ NO ₂	0.17	0.30	否
17	8.42	二甲基二硫	C ₂ H ₆ S ₂	2.01	3.66	是
18	10.14	丙酸丁酯	C ₇ H ₁₄ O ₂	0.11	0.20	是
19	10.59	正丁醇	C ₄ H ₁₀ O	2.85	5.20	是
20	10.60	2,3-二羟基丙醛	C ₃ H ₆ O ₂	1.65	3.00	否
	10.90	二甲基三庚酮	C ₈ H ₁₆ O	1.68	3.06	

转下页

接上页

21	12.18	甲基乙烯基甲酮	C ₄ H ₆ O	0.17	0.21	否
22	12.27	2-甲基丙酸丁酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	0.12	0.23	否
23	12.40	2-呋喃, 2-丙酮	C ₈ H ₁₀ O ₂	0.16	0.30	否
24	16.81	乙酸	C ₂ H ₄ O ₂	0.38	0.68	是
25	18.40	甲酸甲酯	C ₂ H ₄ O ₂	2.17	3.95	是
26	20.47	丙酸	C ₃ H ₆ O ₂	2.08	3.80	是
27	20.49	苯甲醛	C ₇ H ₆ O	0.24	0.44	是
28	22.49	丁酸	C ₄ H ₈ O ₂	2.44	4.45	是
29	23.44	二甲基己酸	C ₇ H ₁₄ O ₂	1.80	3.28	否
30	23.47	二甲基三硫	C ₂ H ₆ S ₃	1.82	3.32	是
31	24.91	戊酸	C ₅ H ₁₀ O ₂	0.19	0.35	是
32	26.27	4-甲基戊酸	C ₆ H ₁₂ O ₂	0.23	0.41	是
33	28.18	苯丙酸乙酯	C ₁₁ H ₁₄ O ₂	0.81	1.48	是
34	28.71	苯乙醇	C ₈ H ₁₀ O	0.90	1.63	是
35	28.75	1-氢吡咯-2-腈	C ₃ H ₄ N ₂	0.11	0.20	否
36	30.24	苯酚	C ₆ H ₆ O	5.43	9.89	是
37	31.20	苯丙醇	C ₉ H ₁₂ O	0.40	0.72	是
38	31.24	乙酸-3-苯基丙醇	C ₁₁ H ₁₄ O ₂	0.14	0.25	否
39	33.36	4-乙基苯酚	C ₈ H ₁₀ O	0.26	0.47	否
40	33.53	2-吡啶酮	C ₅ H ₉ NO	1.18	2.15	否
41	36.36	邻苯二甲酸二乙酯	C ₁₂ H ₁₄ O ₄	0.56	1.02	否
42	37.53	吡嗪	C ₈ H ₇ N	10.80	19.66	是
43	39.57	癸酸, 癸酯	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	0.36	0.66	否
44	39.58	N-苯基, 2-吡啶	C ₉ H ₁₀ O ₂	0.13	0.24	否
45	41.29	硬脂酸	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	0.12	0.23	是

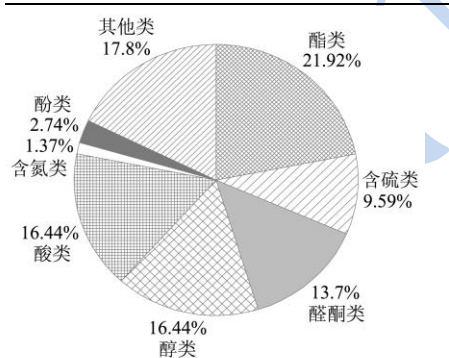


图1 青方腐乳挥发性风味物质数量构成 (%)

Fig.1 Composition of volatile flavor compounds in grey sufu (%)

除了酯类化合物, 青方腐乳风味物质组成中还含有较多数量的酸类、醇类和醛酮类物质, 含硫类物质在青方腐乳挥发性风味物质组成中也占很大比例, 约为 9.59%。含硫类物质具有刺激性臭味, 并且阈值低^[9], 会赋予食品刺激性臭味。青方腐乳具有强烈的臭味, 通常认为是由腐乳发酵过程中产生的硫化氢引起的^[10,11], 但本研究在青方腐乳挥发性风味物质中并未

检测到硫化氢, 可见, 青方腐乳独特的臭味可能和这些含硫物质相关, 关于含硫物质生成的机制目前并不十分清楚。

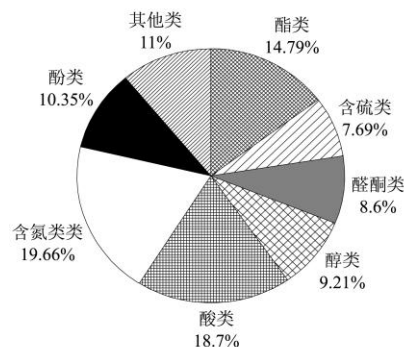


图2 青方腐乳挥发性风味物质相对含量构成 (%)

Fig.2 Relative content composition of volatile flavor compounds in grey sufu (%)

使用内标物2-甲基-3-庚酮对鉴定的化合物初步定量结果表明, 吡嗪、苯酚、正丁醇、丙基乙酸、丁酸、二甲基二硫和丙酸含量较高。其中, 吡嗪属于含氮化合物, 从氨基酸结构看, 色氨酸是氨基酸中唯一含有

吡啶结构骨架的氨基酸, 并且吡啶是酶法合成色氨酸的原料, 在微生物作用下, 色氨酸可能发生了降解, 生成了吡啶。苯酚具有防腐和杀菌作用, 它的存在对产品的稳定起到一定的作用, 它可能来源于酪氨酸的分解。从各类挥发性风味物质的相对百分含量来看, 含氮类物质所占百分比最大, 为19.66%, 酸类物质次

之, 酯类、酚类、醇类相对百分含量也较高(图2)。但是, 风味物质的相对含量并不能代表其对整体风味的贡献度, 还必须考虑风味物质的阈值, 某些风味物质虽然含量很低, 但由于其阈值低, 对整体风味贡献也很大。因此, 有必要对青方腐乳的关键性风味物质进行鉴定。

表2 青方腐乳关键挥发性风味物质鉴定表

Table 2 Identification of critical volatile flavor components in grey sufu

保留时间 /min	物质名称	保留指数 (LRI) ^a		FD 值 ^b	风味描述 ^c	鉴定方法 ^d
		DB-5MS	DB-WAX			
3.09	三甲基胍	641	907	125	刺激性臭味	MS, LRI, Odour
4.18	丙基乙酸	625	1438	5	酸味	MS, GC, LRI, Odour
6.42	二戊酮	712	969	5	苦杏仁味	MS, LRI, Odour
7.31	乙酸乙酯	829	1021	125	果味	MS, GC, LRI, Odour
7.61	丁酸乙酯	1347	1676	125	甜果香	MS, GC, LRI, Odour
7.84	二甲基二硫	909	1265	625	恶臭	MS, GC, LRI, Odour
10.23	正丁醇	876	1375	25	酒味	MS, GC, LRI, Odour
10.60	2,3-二羟基丙醛	712	1162	25	刺激性臭味	MS, LRI, Odour
12.27	2-甲基丙酸丁酯	832	909	5	苹果香味	MS, LRI, Odour
18.40	甲酸甲酯	794	993	25	芳香气味	MS, GC, LRI, Odour
20.47	丙酸	625	1535	5	刺激性气味	MS, GC, LRI, Odour
20.49	苯甲醛	1238	1509	25	苦杏仁味	MS, LRI, Odour
22.5	丁酸	1106	1627	125	干酪味, 臭味	MS, GC, LRI, Odour
23.08	苯乙酮	1065	1294	25	木香, 紫罗兰香	MS, LRI, Odour
23.44	二甲基己酸	933	1215	25	脂肪的油膩气味	MS, LRI, Odour
23.47	甲硫醇	859	960	1	不愉快的臭味	MS, LRI, Odour
23.47	二甲基三硫	872	1226	125	腐臭味	MS, GC, LRI, Odour
26.89	丁酸丙酯	694	1059	5	水果味	MS, GC, LRI, Odour
26.90	二甲基四硫	838	1255	125	恶臭味	MS, LRI, Odour
28.71	苯乙醇	712	965	25	新鲜面包香味	MS, LRI, Odour
30.23	苯酚	1012	1483	625	臭味	MS, LRI, Odour
33.36	4-乙基苯酚	749	1164	25	霉臭味	MS, LRI, Odour
36.36	邻苯二甲酸二乙酯	937	1259	25	柠檬, 水果味	MS, GC, LRI, Odour
37.54	吡啶	1003	1145	625	粪臭味	MS, LRI, Odour
39.58	N-苯基, 2-吡啶	1029	1459	25	恶臭	MS, LRI, Odour

注: ^a利用系列烷烃(C₅-C₂₀)分别计算出的各物质在DB-5和DB-WAX上的线性保留指数。^bFD: 香气稀释指数, ^c风味描述是在嗅闻检测端口(ODP; Gerstel)进行的, ^d每种化合物是依据以下标准判断的: MS代表质谱数据库; GC代表与标准品在同样条件下定性比较; LRI代表文献中化合物的标准保留指数; Odour代表文献中该化合物的香气描述。

使用极性和非极性两种气相色谱柱测定青方腐乳中的风味化合物保留时间, 用系列烷烃在极性和非极性色谱柱上的保留时间作为参考, 计算出各风味化合物的 LRI 值后, 通过与已有研究中各物质的 LRI 比较筛选, 进一步经过 GC-O 实验, 确定了 25 种对青方腐乳风味有较大贡献作用的物质, 结果如表 2 所示, 在这 25 种物质中, 酯类化合物、酸类化合物、含硫类

化合物、醛酮类化合物分别有 4 种, 醇类化合物 2 种, 含氮类化合物 1 种, 酚类物质 2 种, 其他类物质 2 种。这 25 种化合物通过 DHDA 的方法确定了 FD 值, FD 值是指当采用梯度浓度稀释样品时, 直至不能吸闻到某个化合物时的稀释倍数的函数值, FD 值越大说明某个风味化合物对样品的风味贡献度越大。从表 2 可见, 吡啶、苯酚、二甲基二硫是青方腐乳中 FD 值最

大的风味物质,其FD为625,其次是三甲基胍、乙酸乙酯、丁酸、二甲基三硫,这四种风味物质的FD值为125,然后是正丁醇、2,3-二羟基丙醛、甲酸甲酯、苯甲醛、苯乙酮、二甲基己酸、苯乙醇、4-乙基苯酚、邻苯二甲酸二乙酯、N-苯基,2-吡啶,这十种风味物质的FD值为25,这些物质对青方腐乳特征性风味贡献较大,是其关键挥发性风味物质。

3 结论

本研究使用动态顶空法萃取青方腐乳风味成分,经GC-MS分析,共确定73种风味成分,其中酯类16种、含氮化合物13种、醇类12种、酸类12种、醛酮类10种、含硫化合物8种,内标定量可知,含氮化合物、酸类、酯类、酚类和醇化合物相对含量较高,分别占风味物质相对含量的19.66%、18.7%、14.79%、10.35%和9.21%。采用动态顶空稀释法结合嗅闻技术从青方腐乳中鉴定出25种关键挥发性风味物质,其中吡啶、苯酚、二甲基二硫、三甲基胍、乙酸乙酯、丁酸、二甲基三硫对青方腐乳风味贡献最大。

参考文献

- [1] Chung H Y. Volatile flavor components in red fermented soybean (*Glycine max*) curds [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(5): 1803-1809
- [2] Chung H Y, Fung P K, Kim J S. Aroma impact components in commercial plain sufu [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(5): 1684-1691
- [3] Moy Y S, Lu T J, Chou C C. Volatile components of the enzyme-ripened sufu, a Chinese traditional fermented product of soy bean [J]. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2012, 113(2): 196-201
- [4] Ma Yanli, Wang Jiahui, Cheng Yongqiang, et al. Some biochemical and physical changes during manufacturing of grey sufu, a traditional Chinese fermented soybean curd [J]. *International Journal of Food Engineering*, 2013, 9(1): 45-54
- [5] Chen G, Song H, Ma C. Aroma-active compounds of Beijing roast duck [J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2009, 24(4): 186-191
- [6] GB2760-2011, 食品添加剂使用标准[S]
- [7] Shin H L, Kyoung M K. Fermentation characteristics of tofu with kimchi seasoning [J]. *Food Science and Technology*, 2014, 59 (2): 1041-1046
- [8] Lu Xu, Bin Du, Baojun Xu. A systematic, comparative study on the beneficial health components and antioxidant activities of commercially fermented soy products marketed in China [J]. *Food Chemistry*, 2015, 174(5): 202-213
- [9] Lomans B, Van der Drift C, Pol A, et al. Microbial cycling of volatile organic sulfur compounds [J]. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2002, 59(4): 575-588
- [10] 孙贵朋,张雪娇,王妍,等.臭豆腐卤液中细菌多样性研究[J]. *现代食品科技*, 2010, 26(10): 1087-1091
SUN Gui-Peng, ZHANG Xue-Jiao, WANG Yan, et al. The investigation of bacteria diversity in stinky tofu brine [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2010, 26(10): 1087-1091
- [11] 陈涛,陈燕华,陈福生.汤料对青方腐乳后期发酵过程中主要成分、质构及臭味的影响 [J]. *现代食品科技*, 2013, 29(12): 2883-2888
CHEN Tao, CHEN Yan-hua, CHEN Fu-sheng. Effects of soup on the main compositions, texture and odour of grey sufu during ripening process [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 29(12): 2883-2888