

腐乳发酵过程挥发性风味成分的变化

卢靖, 刘平, 张丽珠, 车振明*
(西华大学生物工程学院, 四川 成都 610039)

摘要: 采用固相微萃取法结合气相色谱-质谱法对腐乳发酵过程不同时期的挥发性风味成分进行分析, 共鉴定出化合物110种, 包括酯类41种、醛类19种、酮类12种、醇类12种、酸类9种、烃类9种、其他类化合物8种。不同发酵时期腐乳挥发性风味成分差异明显, 随着发酵的进行, 挥发性风味成分的种类逐渐增多。在前发酵过程中, 豆腐白坯经毛霉发酵成毛坯, 醛类相对含量显著降低, 酯类、醇类相对含量以及种类逐渐增大; 在后发酵过程中, 随着后发酵时间的延长, 醛类、酸类、酯类相对含量逐渐升高, 烃类、醇类相对含量逐渐降低。其中正己醛、苯乙醛、壬醛、双戊烯、异戊醇、己酸乙酯、苯乙酸乙酯、戊酸乙酯、辛酸乙酯、2-正戊基呋喃、烯丙基甲基二硫醚对腐乳风味的形成贡献较大。

关键词: 腐乳; 固相微萃取; 挥发性风味成分; 气相色谱-质谱法

Changes in Volatile Flavor Compounds in Sufu during Fermentation

LU Jing, LIU Ping, ZHANG Li-zhu, CHE Zhen-ming*
(College of Bioengineering, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: Volatile compounds in samples collected at different stages during the fermentation of sufu were extracted and analyzed by solid phase micro-extraction (SPME) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that 110 volatile compounds were isolated and identified, which included 41 esters, 19 aldehydes, 12 ketones, 12 alcohols, 9 acids, 9 hydrocarbons and 8 other compounds. Volatile composition differed significantly across various processing stages. More volatile compounds were detected as the fermentation proceeded. The relative contents of aldehydes were decreased significantly after *Mucor* fermentation, whereas the relative contents and kinds of esters and alcohols were increased. As the post-fermentation proceeded, the relative contents of aldehydes, acids and esters were increased gradually. Among these volatile compounds, caproaldehyde, 2-phenylethanal, nonanal, dipentene, ethyl caproate, ethyl phenylacetate, ethyl valerate, ethyl octanoate, 2-amylfuran and allyl methyl disulphide had an important contribution to the flavor of sufu during the fermentation process.

Key words: sufu; solid phase micro-extraction (SPME); volatile flavor; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

中图分类号: TS207.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 16-0175-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201416034

腐乳又称豆腐乳, 是我国传统的大豆发酵制品, 有东方乳酪之称^[1]。它不仅味道鲜美、风味独特, 而且还富含膳食纤维、异黄酮和大豆多肽等多种生理活性物质, 深受广大消费者喜爱^[2]。近年来, 国内外学者对腐乳挥发性风味成分进行了大量研究, 如蒋丽婷等^[3]采用顶空固相微萃取 (headspace-solid phase micro-extraction, HS-SPME) 结合气相色谱-质谱 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 联用技术分析了白腐乳的挥发性风味成分; 黄明泉等^[1]对北京地区的2种王致和腐乳和3种老才臣腐乳的

挥发性成分进行了比较分析; Chung等^[4]采用超临界萃取仪结合GC-MS联用技术对3种白腐乳风味成分进行了研究。但是, 国内外对腐乳发酵过程风味成分分析、变化以及形成机理等方面的研究却鲜有报道。

本研究跟踪腐乳发酵过程, 采用固相微萃取 (solid phase micro-extraction, SPME) 结合GC-MS联用技术分离鉴定腐乳发酵过程主要的风味成分, 同时研究其主要风味成分的变化, 分析风味的形成机理, 以期对腐乳品质的提高及工艺的改进提供科学依据。

收稿日期: 2013-11-12

基金项目: 西华大学研究生创新基金项目 (YCJJ2014133)

作者简介: 卢靖 (1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品营养与安全。E-mail: 1018524778@qq.com

*通信作者: 车振明 (1960—), 男, 教授, 学士, 研究方向为发酵食品及其安全。E-mail: 157857443@qq.com

1 材料与方法

1.1 材料

豆腐白坯（A）、毛坯（B）、腌坯（C）、后发酵21 d腐乳（D）、后发酵36 d腐乳（E）均为实验室自制。

1.2 仪器与设备

固相微萃取装置 上海安谱科学仪器有限公司；QP2010Plus气相色谱质谱仪 日本岛津公司；电热恒温水浴锅 江苏省金坛市环宇科学仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 毛霉纯种发酵腐乳的工艺

工艺流程：大豆精选→浸泡→磨浆→点浆→蹲脑→压榨→白坯→摆盘→接种→前期发酵→毛坯→腌制（7d）→
↑ ↑
纯种孢子液 各种辅料
→腌坯→密封→后期发酵→成品。

豆腐白坯经过前发酵培养48 h，得到毛坯，搓毛后分别加入适量食盐、白酒、辣椒、生姜和大蒜等拌匀，腌制一周后分装于经消毒的真空袋中，抽真空后置于25 ℃条件下进行后期发酵。分别取白坯、毛坯以及腌坯、后发酵21 d、后发酵36 d样品进行挥发性成分的测定。

1.3.2 挥发性物质的提取

将豆腐样品研磨均匀，取3 g样品加入到15 mL顶空进样瓶中。密封后置于电热水浴锅中在60 ℃加热平衡10 min，将老化后的75 μm PDMS/CAR萃取头插入进样瓶顶空萃取。顶空吸附30 min后，插入GC进样口解吸5 min。

1.3.3 分析条件

色谱条件：色谱柱DB-5MS（30 m×0.25 mm，0.25 μm）；进样口温度250 ℃；升温程序：起始温度32 ℃，保持5 min；然后以4 ℃/min的速率升温到130 ℃；最后以10 ℃/min的速率升温到200 ℃；载气（He）流速1.0 mL/min。

质谱条件：离子源温度230 ℃；接口温度250 ℃；电离方式：电子电离（electron ionization，EI）源；电子能量70 eV；质量扫描范围 m/z 40~350。

利用计算机NIST谱库数据检索，各组分相对含量按峰面积归一化法进行计算分析。

2 结果与分析

2.1 GC-MS鉴定腐乳挥发性成分

分别对5个时期样品总离子流图进行数据分析，鉴定出腐乳不同发酵时期的挥发性风味成分及相对含量见表1，将这些挥发性成分按结构分类，结果见表2。

表1 腐乳发酵过程中挥发性风味成分及其相对含量

Table 1 Volatile compounds and their contents in fermented bean curd during fermentation

化合物名称	保留时间/min	相对含量/%					
		CAS号	A	B	C	D	E
异戊醇	4.183	123-51-3		7.85	23.16	17.56	11.29
异戊酸甲酯	5.383	556-24-1		6.85			
正己醛	6.321	66-25-1	51.45	2.55	2.83	5.41	6.21
乳酸乙酯	6.767	97-64-3				2.97	
2-甲基丁酸乙酯	8.508	7452-79-1		0.45		0.29	
2-己烯醛	8.758	6728-26-3	1.22				
异戊酸乙酯	8.767	108-64-5		3.63		1.50	0.51
(E)-2-甲基-2-丁烯酸甲酯	9.225	6622-76-0		5.87	1.98	2.39	1.16
乙酸异戊酯	9.758	123-92-2			0.17	0.81	
正己醇	9.817	111-27-3		6.54		2.13	3.72
2-庚酮	10.315	110-43-0				2.41	1.63
庚醛	10.933	111-71-7	1.60				
戊酸乙酯	10.942	539-82-2		0.80	0.65	4.51	1.31
烯丙基甲基二硫醚	11.349	2179-58-0			1.25	2.69	4.02
(E)-2-甲基-2-丁烯酸乙酯	12.675	5837-78-5		0.15	0.94		0.57
异戊酸丙酯	13.233	557-00-6		0.18			
(E)-2-庚烯醛	13.474	18829-55-5	2.27	0.67	1.40	1.21	1.95
(E)-2-甲基-2-丁烯酸异丙酯	14.267	1733-25-1		0.05		0.19	
1-辛烯-3-酮	14.383	4312-99-6				0.15	
甲基庚烯酮	14.767	110-93-0			0.55	0.54	
1-辛烯-3-醇	14.833	3391-86-4		3.85			
2-正戊基呋喃	14.983	3777-69-3	5.99	9.17	8.11	7.90	7.98
3-甲基戊酸	15.350	105-43-1	1.75				
己酸乙酯	15.475	123-66-0	2.41	4.47	3.94	7.98	8.21
辛醛	15.617	124-13-0	3.51		2.35		
异戊酸异丁酯	15.825	589-59-3		1.85	0.28	0.51	
茴香酮	15.857	1195-79-5				0.47	
庚二烯醛	15.909	4313/3/5	0.46		0.32		
乙酸己酯	16.083	142-92-7		0.03			
正己酸	16.301	142-62-1			0.10	0.13	0.18
双戊烯	16.618	138-86-3	6.59	3.20	16.20	3.43	1.04
苯乙醛	17.267	122-78-1	0.05	0.46	0.73	1.23	2.65
甲基丙烯酸癸酯	17.988	3179-47-3					0.99
反-2-辛烯醛	18.008	2548-87-0	1.97	0.59	1.28	0.61	
正己酸乙酯	18.300	3050-69-9	0.25				
二烯丙基二硫醚	18.826	2179-57-9			6.3	3.29	0.43
蒎品油烯	19.092	586-62-9	0.22		0.53	0.21	
壬烯	19.158	124-11-8		0.61	0.4		
3-壬酮	19.192	925-78-0	0.15		0.07	0.12	
2-壬酮	19.433	821-55-6	0.29		0.18		
巴豆酸异丁酯	19.467	61692-84-0		0.89			
己酸丙酯	19.625	626-77-7		0.10			
庚酸乙酯	19.742	106-30-9	0.21	0.17	0.35	0.76	0.78
2-甲基丁酸-3-甲基丁酯	19.825	27625-35-0		0.23			
芳樟醇	19.925	78-70-6	0.30	0.10	2.02	0.91	0.89
壬醛	20.003	124-19-6	5.17	1.58	1.75	2.06	2.59
异戊酸异戊酯	20.117	659-70-1		3.23	0.23		
苯乙醇	20.575	60-12-8		1.65	2.12	1.03	0.83
(-)-反-松香芹醇	21.750	547-61-5				0.61	
反-2-壬烯醛	22.258	18829-56-6	0.60	0.24	0.31	0.61	0.71
苯甲酸乙酯	22.617	93-89-0	0.08	0.12	0.31	0.49	0.74
苯乙酸甲酯	22.808	101-41-7	0.07	6.25	2.40	1.21	0.94
4-萜烯醇	23.083	562-74-3	0.29				
7-十三酮	23.125	462-18-0		2.58			

续表1

化合物名称	保留 时间/min	相对含量/%					
		CAS号	A	B	C	D	E
庚酸烯丙酯	23.236	142-19-8			0.58		
乙酸苏合香酯	23.392	93-92-5	0.04	0.38	0.56		
2-癸酮	23.558	693-54-9		0.25	0.04		0.20
辛酸乙酯	23.762	106-32-1			2.03	3.31	5.38
α -松油醇	23.767	98-55-5	4.84	2.78			
癸醛	24.117	112-31-2	0.29	0.45	0.37	0.36	0.35
烟酸乙酯	24.385	614-18-6			0.05	0.12	
苯乙酸乙酯	24.425	101-97-3	0.03	0.67	1.21	0.94	1.36
(E,E)-2,4-壬二烯醛	24.450	5910-87-2	0.13	0.05	0.18		
2-乙基丁酸	24.569	88-09-5					0.15
2,3-二氢苯并呋喃	25.038	496-16-2			0.19	0.32	0.36
橙花醛	25.390	106-26-3				0.16	
甲酸芳樟酯	25.740	115-99-1					0.06
壬酸乙酯	26.148	123-29-5			0.19	0.52	0.82
反-2-癸烯醛	26.233	3913-81-3	0.63	0.44		0.17	
2-十三烯醛	26.315	7069-41-2				0.36	
2-苯基巴豆醛	26.360	4411-89-6					1.32
(E)-柠檬醛	26.500	141-27-5				0.38	
壬酸	26.950	112-05-0		0.24	0.23	0.24	0.27
茴香脑	27.125	104-46-1	0.22	0.16	0.96	0.75	1.36
9-十七酮	27.350	540-08-9					0.16
反-2,4-癸二烯醛	27.433	25152-84-5	0.20	0.23	0.27	0.10	0.14
呋喃	27.524	120-72-9		0.64	0.26		
4-羟基-2-甲基苯乙酮	27.997	875-59-2					0.28
2-甲氧基-4-乙基苯酚	28.025	7786-61-0			0.08	0.18	
反-4-癸烯酸乙酯	29.110	76649-16-6			0.53	0.86	1.66
苯丙酸乙酯	29.292	2021-28-5			0.10	0.04	0.39
正十五烷酸	29.417	1002-84-2					0.29
肉豆蔻酸	29.625	544-63-8					0.53
二十二碳酸乙酯	29.741	5908-87-2					2.89
2-十一烯醛	29.992	2463-77-6		0.66	0.18	0.14	0.78
癸酸	30.225	334-48-5	0.12	0.35	0.13	0.39	0.45
癸酸乙酯	30.924	110-38-3			0.07	1.04	0.44
十四烷	31.142	629-59-4		0.16			0.31
香叶基丙酮	32.283	699-67-8	0.05	0.06		0.10	
硬脂酸乙酯	32.307	111-61-5					0.99
1-金刚烷醇	32.929	768-95-6		0.08		0.11	0.35
α -姜黄烯	33.015	644-30-4			0.11	0.23	0.48
2-甲基丁酸-2-苯乙酯	33.258	24817-51-4		0.17			
姜烯	33.298	495-60-3			0.09	0.15	0.33
十五烷	33.432	629-62-9	0.19	0.35	0.27	0.40	0.33
亚麻酸乙酯	33.482	1191-41-9					0.09
二氢猕猴桃内酯	33.946	17092-92-1			0.06	0.04	0.24
叶绿醇	34.525	102608-53-7					0.96
月桂酸	34.784	143-07-7	0.06	0.41	0.12	0.17	0.46
7-十四碳烯	34.883	10374-74-0		0.09			0.11
月桂酸乙酯	35.079	106-33-2			0.15	0.18	0.69
反-9-十八烯醇	35.392	506-42-3					0.49
柏木脑	35.517	77-53-2	1.38	1.07	0.15	0.09	0.15
十一烷酸	35.577	112-37-8		0.32			0.62
十三烷酸乙酯	36.038	28267-29-0			0.20	0.10	0.62
十六烷酸乙酯	36.150	628-97-7					0.08
(Z)-7-十二碳烯-1-醇乙酸酯	36.276	14959-86-5		0.28			0.62
甲基十七烷基甲酮	36.538	629-66-3					
正二十一烷	36.669	629-94-7		0.33			0.63
香叶基芳樟醇	36.736	1113-21-9					0.25

表2 腐乳发酵过程中挥发性化合物的种类及相对含量

Table 2 Changes in the composition and relative contents of volatile compound classes during fermentation

化合物 种类	A		B		C		D		E	
	种类 数量	相对 含量/%	种类 数量	相对 含量/%	种类 数量	相对 含量/%	种类 数量	相对 含量/%	种类 数量	相对 含量/%
醛类	14	69.55	11	7.92	12	11.97	13	12.8	9	16.7
酮类	3	0.49	3	2.89	4	0.84	6	3.79	5	2.89
酸类	3	1.93	4	1.32	4	0.58	4	0.93	8	2.95
烃类	3	7.00	6	4.74	6	17.6	5	4.42	7	3.23
醇类	3	5.43	7	22.85	3	27.3	6	22.35	8	18.78
酯类	6	3.09	22	36.82	22	16.98	22	30.76	23	30.92
其他	4	7.59	4	11.04	8	17.3	7	15.22	6	14.3

由表1和表2可知,从5个样品中共检测出110种挥发性风味物质,包括醛类、酮类、烯烃类、醇类、酸类、酯类等化合物。

A中检测出36种挥发性风味物质,其中醛类化合物14个,酮类化合物3个,酸类化合物3个,烃类化合物3个,醇类化合物3个,酯类化合物6个,其他化合物4个,其中相对含量较大的为正己醛(51.54%)、壬醛(5.17%)、双戊烯(6.59%)、 α -松油醇(4.84%)、己酸乙酯(2.41%)、2-正戊基呋喃(5.99%)等。

B中检测出57种挥发性风味物质,其中醛类化合物11个,酮类化合物3个,酸类化合物4个,烃类化合物6个,醇类化合物7个,酯类化合物22个,其他化合物4个,其中相对含量较大的为双戊烯(3.2%)、异戊醇(7.85%)、正己醇(6.54%)、己酸乙酯(4.47%)、异戊酸甲酯(6.85%)、(E)-2-甲基-2-丁烯酸甲酯(5.87%)、2-正戊基呋喃(9.17%)等。

C中检测出59种挥发性风味物质,其中醛类化合物12个,酮类化合物4个,酸类化合物4个,烃类化合物6个,醇类化合物3个,酯类化合物22个,其他化合物8个,其中相对含量较大的为辛醛(2.35%)、双戊烯(16.2%)、异戊醇(23.16%)、己酸乙酯(3.94%)、2-正戊基呋喃(8.11%)、二烯丙基二硫醚(6.3%)等。

D中检测出63种挥发性风味物质,其中醛类化合物13个,酮类化合物6个,酸类化合物4个,烃类化合物5个,醇类化合物6个,酯类化合物22个,其他化合物7个,其中相对含量较大的为正己醛(5.41%)、壬醛(2.06%)、2-庚酮(2.41%)、双戊烯(3.43%)、异戊醇(17.56%)、己酸乙酯(7.98%)、戊酸乙酯(4.51%)、辛酸乙酯(3.31%)、2-正戊基呋喃(7.9%)、二烯丙基二硫醚(3.29%)、烯丙基甲基二硫醚(2.69%)等。

E中检测出66种挥发性风味物质,其中醛类化合物9个,酮类化合物5个,酸类化合物8个,烃类化合物7个,醇类化合物8个,酯类化合物23个,其他化合物6个,其中相对含量较大的为正己醛(6.21%)、苯乙醛

(2.65%)、壬醛(2.59%)、异戊醇(11.29%)、正己醇(3.72%)、己酸乙酯(8.21%)、苯乙酸乙酯(1.36%)、戊酸乙酯(1.31%)、辛酸乙酯(5.38%)、2-正戊基呋喃(7.98%)、烯丙基甲基二硫醚(4.02%)等。

2.2 腐乳发酵过程中挥发性成分分析

酯类物质是食品香气的主要成分,赋予食品香甜、果香^[5]。豆腐白坯中检测出7种酯类物质,相对含量仅为3.09%,白坯经毛霉前发酵形成毛坯后,酯类物质的种类和相对含量迅速增加,共检出22种酯类化合物,相对含量达到37.2%,说明在此阶段,毛霉以及其他生长在白坯上的微生物生长代谢活跃,产生了大量的醇、酸和酯类物质^[6]。毛坯腌制后,酯类物质相对含量显著降低,这是由于加入的辅料中烃类、醛类等物质相对含量较多的原因。另外,由于腌制过程乙醇的加入使得乙酯类物质的种类不断丰富,且除己酸乙酯、戊酸乙酯外,乙酯类物质相对含量都出现了不同程度的增大。乙酯类物质赋予产品果香味和奶油香味^[7],是促进腐乳风味形成的重要物质。例如,己酸乙酯具有强烈的果香和酒香香气,并且有菠萝、香蕉的香气^[8];苯乙酸乙酯具有浓烈而甜的蜂蜜香气^[9];辛酸乙酯具有白兰地酒香味。后发酵21 d的腐乳中酯类物质相对含量相比腌坯增加了13.22%,主要是由己酸乙酯、戊酸乙酯、辛酸乙酯以及乳酸乙酯的含量增加引起,后发酵36 d的腐乳中酯类相对含量与后发酵21 d的相差不大,另外还检出了少量硬脂酸乙酯、十六酸乙酯、亚麻酸乙酯等长链酯类物质,这些酯类物质大多具有轻微的油脂味^[10]。因此,可认为酯类物质对腐乳风味的形成做出了贡献。

对发酵食品而言,酸类物质不仅提供酸味而且还提供一定的风味,另外还是合成酯类化合物的前体物质之一^[11]。腐乳发酵过程共检测9种酸类物质,除3-甲基戊酸和2-乙基丁酸外均为脂肪酸。这些脂肪酸的相对含量都较少,随着发酵时间的延长,相对含量有一定的增大。

醛类物质包括单烯醛、二烯醛和饱和醛,多数为直链醛,主要来源于脂类氧化降解^[12]。由表2可知,白坯中醛类物质相对含量为69.55%,经毛霉发酵后含量迅速降低至7.92%,后发酵阶段则呈现不断增长的趋势,后发酵36 d为16.7%。其中,白坯中正己醛含量高达51.54%,这可能与豆制品中不良风味(豆腥味)有关^[13],随着腌制与发酵的进行,其含量先降低后升高,这可能与辅料的加入以及不饱和脂肪酸的氧化有关^[14]。在发酵过程中多种醛类物质的相对含量不断增多,其中包括正己醛、苯乙醛、壬醛及反-2-壬烯醛等,这些醛类能给予清香、果香和坚果香等芳香特质,且阈值较低^[15],因此对腐乳风味贡献较大。

酮类物质一般由脂肪降解、氧化或者进一步反应生成^[12]。在腐乳发酵过程中酮类物质相对含量较低,且其

阈值一般高于其同分异构体醛类^[16],对风味的贡献相对较小。

腐乳发酵过程中检测出的醇类物质有12种,其中白坯中仅有3种,毛坯中检测出7种,这可能是由于微生物代谢产生的。异戊醇具有苹果白兰地香气和辛辣味,腌坯中其相对含量迅速增大,从7.85%增加到23.16%,这可能与辅料辣椒的加入有关。后发酵阶段,醇类物质相对含量明显降低,这可能是醇类物质酯化反应或氧化反应的结果^[17]。醇类往往具有植物香、芳香和土气味,虽然其阈值较高,但是可以与有机酸形成酯类物质^[18],有利于腐乳风味的形成。

腐乳挥发性成分中还存在多种烃类物质,包括烯烃和烷烃两类。烷烃由于其香气阈值较高^[19],加之相对含量低,因此对腐乳的风味贡献较小;烯烃的阈值较低并具有特殊香气^[20],对腐乳的风味有一定贡献。检出的双烯具有类似柠檬的香味,从白坯到毛坯,其相对含量由6.52%降到3.2%,添加食盐、辅料腌制后相对含量增长到16.2%,随着发酵时间的延长,36 d腐乳的相对含量降至1.04%,这可能是由于其化学性质不稳定易氧化造成的。

样品中检测出的其他挥发性成分主要为呋喃类以及含硫化合物。其中2-正戊基呋喃主要来源于亚油酸或2,4-癸二烯醛的氧化,阈值较低,具有豆香和青草味;二烯丙基二硫醚、烯丙基甲基二硫醚阈值较低呈大蒜特殊气味。可以推断这些物质对腐乳的风味也有贡献。

3 结 论

本研究以白坯、毛坯、腌坯、后发酵21 d腐乳、后发酵36 d腐乳为原料,采用固相微萃取法结合气相色谱-质谱联用法检测样品挥发性风味成分,共鉴定出110种挥发性化合物,包括酮类、醇类、酸类、酯类、醛类、烃类等化合物。豆腐白坯经毛霉发酵后,醛类化合物相对含量显著降低,醇类化合物相对含量有较大的增长,酯类化合物相对含量以及种类都有明显的增加;随着腌制及发酵时间的延长,各类化合物的种类数量变化不大,醛类、酸类、酯类化合物相对含量逐渐增大,烃类、醇类化合物相对含量逐渐降低。通过分析腐乳发酵过程挥发性成分种类及其相对含量的变化,并结合不同种类化合物阈值的大小对其整体风味的贡献进行了判断,可推测正己醛、苯乙醛、壬醛、双戊烯、异戊醇、己酸乙酯、苯乙酸乙酯、戊酸乙酯、辛酸乙酯、2-正戊基呋喃、烯丙基甲基二硫醚对腐乳风味的形成有较大贡献。

参考文献:

- [1] 黄明泉,陈海涛,刘玉平,等.北京地区不同品牌腐乳挥发性成分比较分析[J].中国调味品,2011,36(6): 80-85.

- [2] 周荧. 腐乳发酵过程中大豆异黄酮组分的变化及理化性质的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011: 5-7.
- [3] 蒋丽婷, 李理. HS-SPME结合GC-MS测定白腐乳中挥发性风味成分[J]. 中国酿造, 2011, 28(3): 150-155.
- [4] 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.
- [5] 邓静, 李萍萍. 大头菜腌制过程中挥发性香味物质变化研究[J]. 食品科学, 2013, 34(24): 227-228.
- [6] 王恺, 慕妮, 李亮, 等. 不同发酵剂对发酵香肠挥发性风味物质的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(14): 177-196.
- [7] 赵冰, 任琳, 李家鹏, 等. 盐焗工艺对盐焗鸡翅挥发性风味物质的影响[J]. 肉类研究, 2012, 26(11): 9-10.
- [8] 邓开野, 黄小红, 白卫东. 贮藏条件对荔枝酒香气成分的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(12): 304-307.
- [9] 乔海军, 杨继涛, 杨晰, 等. 沙枣花挥发油化学成分的GC-MS分析[J]. 食品科学, 2011, 32(16): 233-235.
- [10] BRONCANO J M, PERON M J, PARRA V, et al. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of free cholesterol oxidation products (COPs) in *latissimus dorsi* muscle of Iberian pigs[J]. Meat Science, 2009, 83(3): 431-437.
- [11] 周晓媛, 邓靖, 李福枝, 等. 发酵辣椒的挥发性风味成分分析[J]. 食品与生物技术学报, 2007, 26(1): 54-59.
- [12] 牛爽, 乔发东, 徐静, 等. 发酵干香肠中挥发性成分的分析[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(2): 101-104.
- [13] MOYY S, LU Y 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.
- [14] 辛建刚, 芮汉明. 富碘黑大豆植物蛋白饮料的生产工艺[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(2): 142-143.
- [15] 綦艳梅, 孙金沅, 陈海涛, 等. 美拉德反应制备酱牛肉香精的挥发性成分分析[J]. 食品科学, 2012, 33(8): 199-202.
- [16] SEIK T J, ALBIN I A, LINDSAY R C. Comparison of flavor thresholds of aliphatic lactones with those of fatty acids, esters, aldehydes, alcohol-sandketones[J]. Journal of Dairy Science, 1971, 54(1): 1-4.
- [17] 尚永彪, 吴金凤, 夏杨毅, 等. 农家腊肉冷熏加工过程中挥发性风味物质的变化[J]. 食品科学, 2009, 30(17): 79-83.
- [18] 吴海燕, 解万翠, 杨锡洪, 等. 固相微萃取-气相色谱-质谱联用法测定腌制金丝鱼挥发性成分[J]. 食品科学, 2009, 30(18): 278-281.
- [19] 付湘晋, 许时婴, JINMOON K. 酸碱法提取鲢鱼蛋白脱腥及酵母脱腥机理[J]. 食品与生物技术学报, 2009, 28(1): 59-60.
- [20] 徐俐, 焦鲁英, 何培银. 独山盐酸菜风味物质的研究[J]. 中国蔬菜, 2009(4): 40-43.