

竹笋自然发酵过程中风味物质变化规律

周杏荣^{1,2}, 陈晓艺^{1,2}, 蒋立文^{1,2*}, 刘成国¹, 黄 海³

(1.湖南农业大学 食品科学技术学院, 湖南 长沙 410128;

2.食品科学与生物技术湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410128;

3.柳州市美申园食品科技有限公司, 广西 柳州 545100)

摘 要: 为了研究竹笋发酵过程中挥发性成分动态变化, 采用顶空固相微萃取-气质联用法(HS-SPME-GC-MS)对不同发酵阶段竹笋挥发性成分进行分析, 并测定其相应酸度。结果表明, 竹笋在自然发酵过程中酸度呈上升趋势, 在第60天总酸含量达到最高为0.58 g/100 g。竹笋在不同发酵阶段共检测出挥发性物质63种, 其中酚类与酸类物质相对含量呈现先增加后减少趋势, 而醇类物质呈现先减少后增加的趋势, 相对含量在发酵40 d时达到最低为1.53%, 酯类物质相对含量则不断减少, 在发酵60 d时减少了25.96%。

关键词: 竹笋; 自然发酵; 挥发性成分; 顶空固相微萃取-气质联用法

中图分类号: TS255

文章编号: 0254-5071(2019)08-0020-05

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2019.08.005

引文格式: 周杏荣, 陈晓艺, 蒋立文, 等. 竹笋自然发酵过程中风味物质变化规律[J]. 中国酿造, 2019, 38(8): 20-24.

Changes of flavor substances in natural fermentation of bamboo shoots

ZHOU Xingrong^{1,2}, CHEN Xiaoyi^{1,2}, JIANG Liwen^{1,2*}, LIU Chengguo¹, HUANG Hai³

(1.College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2.Hunan Provincial Key Laboratory of Food Science and Biotechnology, Changsha 410128, China;

3.Liuzhou Meishenyuan Food Technology Co., Ltd., Liuzhou 545100, China)

Abstract: In order to study the dynamic changes of volatile components in the fermentation process of bamboo shoots, the volatile components of bamboo shoots in different fermentation stages were determined and analyzed by HS-SPME-GC-MS, and the corresponding acidity was determined. The results showed that the acidity of bamboo shoots increased during the natural fermentation process, and the acidity reached the highest of 0.58 g/100 g at 60 d. For the bamboo shoots, 63 volatile substances were detected in different fermentation stages. The relative content of phenols and acid substances increased first and then decreased. The alcohols content decreased first and then increased, and the relative content reached the lowest of 1.53% after fermentation 40 d. The relative content of esters decreased continuously, which was reduced by 25.96% after fermentation 60 d.

Key words: bamboo; natural fermentation; volatile components; HS-SPME-GC-MS

竹笋(*Bamboo propagines*)是中国传统佳肴, 味香质脆, 有悠久的食用和栽培历史。在农村一般竹笋以鲜食为主, 小笋一般采摘后用沸水漂烫后置于冷水浸泡自然发酵酸化炒食。酸笋一直以来作为传统风味辅料食材, 未受到广泛的关注。竹笋发酵或腌渍产品在长沙臭豆腐卤水发酵^[1-2]和螺狮粉^[3]中都是重要配料和调味料, 由于酸笋所具有的独特风味表明了酸笋有很大的研究空间^[4]。

国内对于竹笋发酵方面文献较少, 朱照华^[5]对酸笋的营养成分及其主要风味物质进行研究, 特别是提到成品中相对比较活跃的挥发性风味物质多为酸类、醇类、酸类、醛类。李梅等^[6]采用4种处理方式分析了不同处理方式对竹笋中营养物质含量的影响, 为竹笋发酵保鲜提供理论依据。

国外主要集中在竹笋中膳食纤维、营养成分在发酵过

程中的变化, 如蛋白质、可溶性糖、粗纤维、矿质元素、果胶、维生素C(vitamin C, VC)、pH值等。有学者^[7-8]研究表明, 通过酵母、细菌或霉菌分解碳水化合物和蛋白质而产生的化学变化, 可用于制造和保存发酵竹笋食品, 并同时保持完整的营养价值和增强风味。发酵食品中独特的微生物菌群都会增加蛋白质、维生素和脂肪酸的含量^[9-10]。MUSTAFA U等^[11]研究发现, 竹笋粉可作为营养丰富且便宜的来源来生产最优质的烘焙产品, 提高了产品质量中膳食纤维含量, 增加了产品花样及产品功能性。本研究应用气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)法^[12-14]对竹笋自然发酵过程中的挥发性成分变化进行分析, 获得酸笋发酵过程中主要气味物质, 旨在为发酵竹笋规模化生产加工提供理论依据。

收稿日期: 2019-03-06

修回日期: 2019-07-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31571819)

作者简介: 周杏荣(1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向为发酵制品。

*通讯作者: 蒋立文(1968-), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品生物技术。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜竹笋:市售;氢氧化钠(分析纯):河北金诺德化工产品有限公司;邻苯二甲酸氢钾(分析纯):临沂正衡化玻仪器有限公司。

1.2 仪器与设备

GC-MS-QP 2010气相色谱质谱联用仪:日本岛津公司;85 μm PA顶空固相微萃取(headspace solid phase microextraction, HS-SPME)萃取头:美国Supelco公司;数显型磁力加热搅拌器: Talboys公司; LDZX-50KBS立式压力蒸汽灭菌锅:上海申安医疗器械厂;LRH-250型智能生化培养箱:上海飞越实验仪器有限公司;pH计:梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备

将新鲜竹笋去壳、洗净、切成块(1 cm×1 cm)后,挑选出老嫩程度相近的部分,分装至300 mL玻璃瓶中,每瓶100 g;加入蒸馏水150 mL,密封,置于28 $^{\circ}\text{C}$ 培养箱中培养。每10 d为一个周期,连续跟踪60 d,每个样品3次重复,定期取样分析检测总酸含量和挥发性成分变化。

1.3.2 主要指标测定方法

(1)酸度:参照国标GB 5009.239—2016《食品安全国家标准 食品酸度的测定》^[15]。

(2)挥发性成分测定

样品萃取方法:称取2 g竹笋按照1.3.1制备的样品置于15 mL样品瓶中,磁力搅拌器60 $^{\circ}\text{C}$ 加热达到平衡后,预热20 min,转速为200 r/min,插入萃取头萃取40 min(萃取纤维头事先于270 $^{\circ}\text{C}$ 老化60 min),上机进行GC-MS分析^[16-17]。

色谱条件:CD-WAX弹性石英毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);载气为高纯(99.999%)氦气(He),氦气的流速控制在1.0 mL/min;进样口温度设置为240 $^{\circ}\text{C}$;不分流进样。初始柱温50 $^{\circ}\text{C}$,保持2 min,以5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至200 $^{\circ}\text{C}$,保持14 min,以15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至240 $^{\circ}\text{C}$ 。

质谱条件:离子源为电子电离(electron ionization, EI)源,离子源温度200 $^{\circ}\text{C}$;电子能量70 eV;发射电流150 μA ;倍增器电压1 037 V;接口温度220 $^{\circ}\text{C}$;质量扫描范围45~500 m/z。

1.3.3 数据处理

采用Excel 2010软件进行数据分析,显著性水平为 $P < 0.05$,每个样品检测均为3次重复;挥发性成分获得数据采用美国国家标准与技术研究院(national institute of standards and technology, NIST)2015版本对照,相似度在80%以上为有效数据。

2 结果与分析

2.1 发酵过程中总酸含量测定结果

由图1可知,竹笋在发酵过程中,总酸含量呈上升趋势,

发酵60 d时最高达到0.578 g/100 g,分析的可能原因是乳酸菌或空气中微生物进入发酵体系引起酸度变化,发酵时间的推进导致乙醇含量逐渐减少,即发酵产生了相关酸性成分,导致了样品酸度随发酵时间变长而提高。

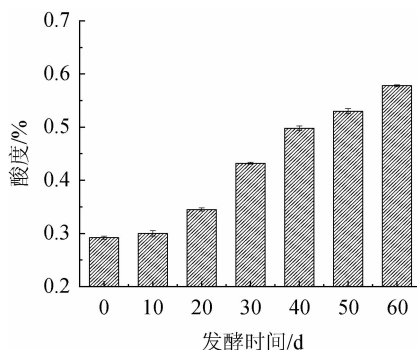


图1 竹笋发酵过程中总酸含量变化

Fig. 1 Changes of total acid contents of bamboo shoots during fermentation

2.2 自然发酵竹笋的挥发性成分测定结果

对自然发酵竹笋的挥发性成分进行GC-MS分析,其挥发性风味成分的总离子流图见图2,样品中各类挥发成分的定性和相对定量结果如表1所示。

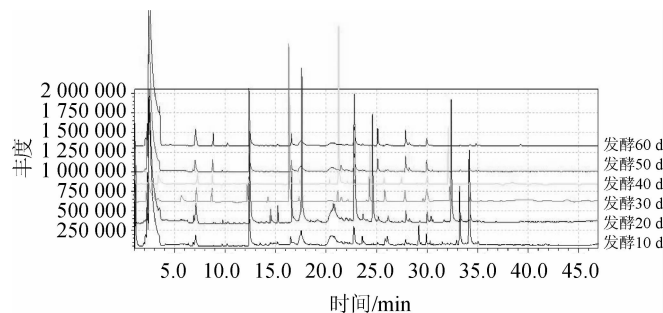


图2 自然发酵样品中挥发性成分的总离子流色谱图

Fig. 2 Total ion chromatogram of volatile components in natural fermentation samples

由表1可知,根据相似度检索,共鉴定出63种成分,其中醇类10种,酸类13种,酯类17种,酮类1种,醛类2种,酚类9种,烯炔类1种,醚类5种,吡啶2种。由此可知酸类、醇类和酯类物质为主要挥发性成分。新鲜竹笋共鉴定出6种挥发性成分,相对含量为51.6%。挥发性成分少且含量低。烯丙酸乙氧乙酯和二乙二醇乙醚为主要挥发成分。发酵10 d的竹笋中共鉴定出29种挥发性成分,相对含量为93.46%。主要有醇类6种(60.98%),酯类9种(18.09%),酸类5种(11.26%),酚类5种(1.82%)等。酯类物质相对含量明显高于其他发酵时间的样品,其中主要酯类化合物为亚油酸甲酯(12.35%),其具有刺激性气味,为竹笋提供一定的风味。发酵20 d的竹笋中共鉴定出26种挥发性成分,相对含量为99.99%。主要有醇类4种(53.7%),酯类有7种(2.15%),酚类5种(9.68%),

酸类6种(24.06%), 吡嗪(9.17%)等。吡嗪含量高于发酵10 d的含量, 其是具有强烈臭味的物质^[3], 但在极稀释的条件下可提供一种臭香味。发酵30 d竹笋中共鉴定出22种挥发性成分, 相对含量为99.76%。主要有醇类5种(32.86%), 酯类3种(1.56%), 酚类7种(13.59%), 酸类6种(51.69%)等。酸类物质中主要为丁酸(41.86%), 丁酸具有刺激性臭味, 极稀溶液也有汗臭味, 酸败牛奶的臭味就是丁酸酯水解成丁酸的缘故。发酵40 d的竹笋中共鉴定出28种挥发性成分, 相对含量为94.69%。主要有醇类5种(1.53%), 酯类7种(1.12%), 酚类5种(10.07%), 酸类8种(59.02%)等。发酵50 d的竹笋中共鉴定出22种挥发性成分, 相对含量为20.16%, 主要有醇类4种(7.64%), 酯类6种(2.19%), 酚类5种(4.22%), 酸类6种(5.21%)等。发酵60 d的竹笋中共鉴定出19种挥发性成分, 相对含量为99.89%。主要有醇类6种(87.73%),

酯类4种(1.28%), 酚类4种(3.5%), 酸类4种(6.51%)等。醇类中主要化合物为乙醇(82.22%), 其具有令人愉快的香味和芬芳的气味, 对发酵竹笋样品风味有一定作用。在发酵过程中, 酚类是影响酸笋挥发性风味的重要成分之一, 也是发酵酸笋挥发性物质成分中检测到的含量比较高的一类物质, 主要有2-甲氧基-4-甲基苯酚、4-乙基-2-甲氧基苯酚、4-乙基苯酚、苯酚等, 酚类风味成分常会产生刺激性气味和一些特殊异味, 且阈值比较低, 对酸笋的风味产生重要影响, 这与文献[18]的研究结果一致。酮类后期发酵产生了3-羟基-2-丁酮, 该物质具有强烈的奶油、脂肪、白脱样香气, 说明对样品的气味有一定影响。吡嗪是一种具有强烈臭味的物质, 在本次试验中发酵中期产生吡嗪, 说明该物质在竹笋发酵过程中对其风味有一定影响。

表1 不同发酵时间自然发酵竹笋挥发性成分的GC-MS鉴定结果
Table 1 Identification results of volatile components of naturally fermented bamboo shoots at different fermentation time by GC-MS

序号	保留时间/ min	CAS号	化合物	相对含量/%						
				新鲜竹笋	发酵10 d	发酵20 d	发酵30 d	发酵40 d	发酵50 d	发酵60 d
		醇类			6种	4种	5种	5种	4种	6种
1	2.454	64-17-5	乙醇	-	55.27	39.27	25.93	0.13	2.06	82.22
2	7.054	71-41-0	1-戊醇	-	2.03	-	-	-	2.06	2.57
3	10.186	111-27-3	正己醇	-	0.28	-	-	0.43	-	0.33
4	13.468	104-76-7	2-乙基己醇	-	0.18	-	-	-	-	-
5	22.001	100-51-6	苄醇	-	0.15	0.05	0.09	-	0.04	0.06
6	22.747	60-12-8	苯乙醇	-	3.07	12.4	0.48	0.62	3.48	2.39
7	7.025	123-51-3	异戊醇	-	-	1.98	0.49	0.22	-	-
8	5.766	71-36-3	正丁醇	-	-	-	5.87	-	-	-
9	3.227	78-92-2	仲丁醇	-	-	-	-	0.13	-	-
10	15.2	595-41-5	2,3-二甲基-3-戊醇	-	-	-	-	-	-	0.16
		小计		0	60.98	53.7	32.86	1.53	7.64	87.73
		酯类		1种	9种	7种	3种	7种	6种	4种
11	20.001	106-74-1	烯丙酸乙氧乙酯	27.24	-	-	-	-	-	-
12	2.102	141-78-6	乙酸乙酯	-	0.8	-	-	-	-	-
13	20.806	6290-37-5	己酸-2-苯乙酯	-	0.19	-	-	-	-	-
14	22.305	2021-28-5	3-苯丙酸乙酯	-	0.16	0.22	-	0.46	-	-
15	29.175	112-39-0	棕榈酸甲酯	-	2.43	-	-	0.17	0.08	-
16	29.924	628-97-7	棕榈酸乙酯	-	1.09	0.73	0.48	0.14	1.48	0.8
17	30.317	54546-22-4	9-十六碳烯酸乙酯	-	0.24	0.32	-	-	-	-
18	32.914	112-61-8	硬脂酸甲酯	-	0.5	-	-	-	-	-
19	34.182	112-63-0	亚油酸甲酯	-	12.35	0.37	0.18	-	0.25	-
20	35.049	544-35-4	亚油酸乙酯	-	0.33	-	-	-	0.18	0.07
21	20.793	103-45-7	乙酸苯乙酯	-	-	0.25	-	-	-	-
22	23.975	103-52-6	丁酸苯乙酯	-	-	0.09	-	0.14	-	-
23	31.614	2305-05-7	丙位十二内酯	-	-	0.17	-	-	-	-
24	3.419	687-47-8	L(-)-乳酸乙酯	-	-	-	0.9	-	-	-

续表										
序号	保留时间/ min	CAS号	化合物	相对含量/%						
				新鲜竹笋	发酵10 d	发酵20 d	发酵30 d	发酵40 d	发酵50 d	发酵60 d
25	11.328	626-82-4	己酸丁酯	-	-	-	-	0.1	-	-
26	14.108	5405-41-4	3-羟基丁酸乙酯	-	-	-	-	0.02	-	-
27	34.865	84-69-5	邻苯二甲酸二异丁酯	-	-	-	-	0.09	0.12	0.22
28	39.26	84-74-2	邻苯二甲酸二丁酯	-	-	-	-	-	0.08	0.19
		小计		27.24	18.09	2.15	1.56	1.12	2.19	1.28
		酚类		1种	5种	5种	7种	5种	5种	4种
29	24.604	527-60-6	2,4,6-三甲基苯酚	0.98	-	-	-	-	-	-
30	23.588	93-51-6	2-甲氧基-4-甲基苯酚	-	0.56	0.3	0.16	0.29	0.1	0.11
31	25.094	2785-89-9	4-乙基-2-甲氧基苯酚	-	0.27	0.28	0.04	0.21	1.43	1.55
32	26.062	106-44-5	4-甲基苯酚	-	0.82	-	5.06	0.16	-	-
33	27.858	123-07-9	4-乙基苯酚	-	0.1	0.6	0.35	0.27	2.14	1.64
34	30.53	96-76-4	2,4-二叔丁基苯酚	5.45	0.07	-	0.13	-	0.12	-
35	24.531	108-95-2	苯酚	-	-	8.14	7.75	9.14	-	-
36	26.091	108-39-4	间甲酚	-	-	0.36	-	-	-	-
37	21.591	90-05-1	愈创木酚	-	-	-	0.1	-	-	-
38	28.224	7786-61-0	4-乙烯基-2-甲氧基苯酚	-	-	-	-	-	0.43	0.2
		小计		6.43	1.82	9.68	13.59	10.07	3.22	3.5
		酸类		1种	5种	6种	6种	8种	6种	4种
38	12.362	64-19-7	乙酸	-	8.06	7.6	5.19	1.68	0.05	5.22
39	15.175	79-31-2	异丁酸	-	0.22	0.74	0.11	0.11	0.05	-
40	20.524	2941-78-8	2-氨基-5-甲基苯甲酸	-	2.06	-	-	-	-	-
41	21.475	142-62-1	己酸	-	0.4	0.27	-	34.68	0.96	-
42	25.852	124-07-2	辛酸	2.24	0.52	-	-	-	0.15	0.09
43	14.44	79-09-4	丙酸	-	-	0.96	1.07	0.34	-	-
44	16.541	107-92-6	丁酸	-	-	3.25	41.86	19.7	1.36	0.58
45	17.522	105-43-1	3-甲基戊酸	-	-	11.24	1.02	-	-	-
46	20.664	2305-36-4	2-氨基-4-甲基苯甲酸	-	-	-	2.44	-	2.64	-
47	17.538	116-53-0	2-甲基丁酸	-	-	-	-	1.1	-	-
48	19.05	109-52-4	正戊酸	-	-	-	-	0.46	-	-
49	20.489	646-07-1	异己酸	-	-	-	-	0.95	-	-
50	2.125	6628-79-1	3-甲基-4-氧代戊酸	-	-	-	-	-	-	0.62
		小计		2.24	11.26	24.06	51.69	59.02	5.21	6.51
		醛类			1种	1种				
51	4.05	66-25-1	己醛	-	0.18	-	-	-	-	-
52	20.628	5973-71-7	3,4-二甲基苯甲醛	-	-	0.41	-	-	-	-
		小计		0	0.18	0.41	0	0	0	0
		醚类		2种	2种	1种		1种		
53	2.429	60-29-7	乙醚	1.42	-	-	-	-	-	-
54	16.49	111-90-0	二乙二醇乙醚	13.32	0.85	-	-	-	-	-
55	27.543	4536-30-5	乙二醇十二烷基醚	-	0.1	-	-	-	-	-
56	19.084	3055-93-4	十二烷基二乙二醇醚	-	-	0.3	-	-	-	-
57	3.387	1663-35-0	2-甲氧基乙基乙烯基醚	-	-	-	-	7.46	-	-
		小计		14.74	0.95	0.3	0	7.46	0	0
		其他		1种	1种	2种	1种	2种	1种	1种
58	12.917	1193-79-9	5-甲基-2-乙酰基呋喃	0.95	-	-	-	-	-	-

续表

序号	保留时间/ min	CAS号	化合物	相对含量/%						
				新鲜竹笋	发酵10 d	发酵20 d	发酵30 d	发酵40 d	发酵50 d	发酵60 d
59	32.34	120-72-9	吡嗪	-	-	9.17	0.06	15.43	-	-
60	33.267	95-20-5	2-甲基吡嗪	-	-	0.52	-	-	-	-
61	19.109	4200-95-7	十七胺	-	0.13	-	-	-	-	-
62	8.76	513-86-0	3-羟基-2-丁酮	-	-	-	-	-	1.02	0.87
63	8.916	98-83-9	2-苯基-1-丙烯	-	-	-	-	0.06	-	-
小计				0.95	0.13	9.69	0.06	15.43	1.02	0.87

注：“-”表示未检出。

竹笋中的风味物质的形成主要来源于原料、微生物发酵、生理生化反应和酶催化反应产生的滋味物质和香气物质^[19]。在竹笋自然发酵过程中,酒精发酵可以产生乙醇,醋酸发酵可以产生乙酸。发酵初期乙醇含量高,随着时间的增加相对含量递减,发酵60 d的竹笋乙醇含量增加明显,可能有酵母污染形成干扰^[20]。酸类物质的变化趋势与醇类相反,随着发酵时间的增加其相对含量开始增长,同样在发酵50 d开始,相对含量明显减少,相对含量为5.21%,但酸度持续增长,可能的原因是随着时间的延长,挥发性酸的含量降低,其他酸含量持续增加导致酸度增长。

3 结论

本研究以竹笋为原料,采用GC-MS方法对竹笋自然发酵中挥发性成分进行分析,并对其总酸含量进行测定。结果表明,竹笋在发酵过程中,总酸含量呈上升趋势,发酵60 d时最高达到0.578 g/100 g。在60 d发酵过程中,共鉴定出63种挥发性成分,含量最多的为醇、酯、酸、酮、杂环化合物、醚、醛比较少;相对活跃的挥发性风味物质多为醇类、酸类。且经过发酵时间的增加,醇类物质相对含量减少,酸类物质的相对含量增加。螺蛳粉中特殊味道主要由酸笋提供,其独特风味是竹笋在自然发酵的过程中产生的气味物质。同时,在研究过程中也发现,在竹笋挥发性成分中检测出3-羟基-2-丁酮、吡嗪类成分以及苯酚类物质,这几类物质在臭豆腐卤水中有大量检出,这说明作为臭豆腐卤水挥发性成分与竹笋存在有一定关系,但冬笋在卤水中与其他成分共作程度需要进一步深入研究。

参考文献:

[1] 郑小芬,苏悟,蒋立文. 两种臭豆腐卤水中挥发性成分的比较[J]. 中国酿造, 2013, 32(10): 122-125.

[2] 李雨枫,徐睿烜,蒋立文,等. 臭豆腐卤水发酵过程中微生物变化及风味成分研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(10): 3098-3109.

[3] 杨伟军. 柳州螺蛳粉的生产工艺技术研究[J]. 食品工业, 2017, 38(8): 80-83.

[4] 钟琿. 竹笋食用与加工[J]. 广西林业, 2015(5): 37-38.

[5] 朱照华. 酸笋的营养成分检测及其主要风味物质的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2014.

[6] 李梅,龚佳,肖梅,等. 不同处理方式下毛竹笋发酵过程中主要营养物质对比分析[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(7): 163-168.

[7] KITHAN N, GOSWAMI S, BISWAS S. Traditional techniques for processing bamboo shoots in northeast India as food resource[J]. *Int J Curr Res*, 2015, 7(3): 13524-13528.

[8] DAS A, NATH D R, KUMARI S, et al. Effect of fermented bamboo shoot on the quality and shelf life of nuggets prepared from desi spent hen[J]. *Orig Res*, 2013, 6(7): 419-423.

[9] YE J Z, SU Z P, LIN L, et al. Determination of inorganic elements content and distribution in bamboo shoots by microwave digestion and ICP-MS[J]. *J Agr Chem Environ*, 2016, 5: 152-157.

[10] WU J S, ZHENG J, XIA X J. Purification and structural identification of polysaccharides from bamboo shoots[J]. *Int J Mol Sci*, 2015, 16(12): 15560-15577.

[11] MUSTAFA U, NAEEM N, MASOOD S, et al. Effect of bamboo powder supplementation on physicochemical and organoleptic characteristics of fortified cookies[J]. *Food Sci Technol*, 2016, 4(1): 7-13.

[12] 陈功,张其圣,余文化,等. 四川泡菜挥发性成分及主体风味物质的研究(二)[J]. 中国酿造, 2010, 29(12): 24-28.

[13] 贺静,谢靓,刘军鸽,等. 臭豆腐卤水发酵过程中挥发性成分的变化趋势分析[J]. 中国酿造, 2016, 35(7): 79-84.

[14] 陈弦,张雁,陈于陇,等. 风味形成机制及其分析技术的研究进展[J]. 中国食品学报, 2014, 14(2): 217-223.

[15] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.239—2016 食品安全国家标准 食品酸度的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[16] 谢建春,孙宝国,刘玉平,等. 固相微萃取在食品香味分析中的应用[J]. 食品科学, 2003, 24(8): 229-233.

[17] 胡弘鲲,谢家理. 固相微萃取技术的应用及其研究进展[J]. 四川环境, 2002, 21(1): 16-19.

[18] 章志远,丁兴举,崔逢欣,等. 感官评定方法确定麻竹笋苦涩味物质成分及与口感的关系[J]. 食品科学, 2017, 38(5): 167-173.

[19] 陆胜民,许峰. 不同发酵方法对泡雷笋品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2004(3): 30-32.

[20] 李慧勤,彭见林,赵国华. 竹笋加工中的营养成分变化及安全性研究进展[J]. 食品工业, 2012, 33(1): 130-134.