

红腐乳中挥发性风味物质的分析

闫平平, 衣杰荣*

(上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要: 采用同时蒸馏萃取法结合气相色谱-质谱联用提取分析自制红腐乳及两种不同品牌红腐乳中的挥发性风味物质; 同时以甲醛滴定法测定坯体与汤料中的氨基酸态氮含量。结果显示: 坯体比汤料中的风味物质种类多, 自制、王致和、鼎丰腐乳坯体中酯类分别为 18、24、27 种, 醛类 13、11、15 种, 醇 5、7、6 种, 酮 3、4、4 种, 均含呋喃类 1 种。其中以长链脂肪酸酯含量最高, 占风味物质总量的 90% 以上。那同时存在于坯体和汤料的风味物质中, 甲基吡嗪、亚油酸乙酯等酯类双亲分子较其他风味物质更倾向于存在于汤料中。汤料中的氨基酸态氮含量比坯体中高, 且 3 种腐乳中氨基酸态氮含量存在显著差异。

关键词: 红腐乳坯体、汤料; 挥发性风味物质; 氨基酸态氮; 同时蒸馏萃取; 气相色谱-质谱联用

Analysis of Volatile Flavor Components in Red Fermented Soybean Curds

YAN Ping-ping, YI Jie-rong*

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Volatile flavor components in three different red fermented soybean curds were extracted by a simultaneous steam distillation extraction method and analyzed by gas chromatography-mass spectrometry. The content of amino nitrogen in pehtze and soup were determined by formaldehyde titration. Results showed that more flavor components in pehtze were detected than in soup, which included 18, 24 and 27 kinds of esters, 13, 11 and 15 kinds of aldehydes, 5, 7 and 6 kinds of alcohols, 3, 4 and 4 kinds of ketones and one furan were detected in pehtze from three kinds of sufu, respectively. Among these flavor components, esters were the major components, and long chain fatty acid esters were accounted for more than 90%. Methyl pyrazine, linoleic acid ethyl ester and other amphiphilic esters were more abundant in sufu juice. Amino nitrogen in sufu juice was more than in sufu pehtze, and amino nitrogen contents in three kinds of sufu revealed a significant difference.

Key words: pethze and soup of red fermented soybean curds; volatile flavor components; amino acid nitrogen; simultaneous steam distillation; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

中图分类号: TS214.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)02-0211-05

腐乳起源于我国, 是我国独有的一种传统发酵食品, 已有一千多年酿造历史, 有东方奶酪之称^[1]。它是以新鲜豆腐为原料, 经微生物发酵制得的营养丰富的发酵豆制品。根据所用发酵菌种的不同, 可分为毛霉型、根霉型和细菌型^[2]。其中毛霉应用最为广泛。腐乳的生产主要包括制坯(白坯)、前酵(制作毛坯)、腌坯、灌汤后酵(加入各种不同香辛料)几个阶段。腐乳虽有一千多年的发展历史, 但对其研究却并不够深入, 主要集中在生产技术、菌种及其后酵阶段中酶活力及化学成分变化等方面的简单研究^[1-4]。Han 等^[5]研究了腐乳发酵过程中微生物种类变化; Li 等^[6]对后酵阶段中的一些

化学变化做了粗略的研究; 对风味物质分析方面, Chung 等^[7-9]以腐乳坯体为研究对象, 采用同时蒸馏萃取(simultaneous distillation extraction, SDE)方法与超临界流体萃取方法提取物质, 并结合气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分别检测分析几种市售的红腐乳和白腐乳中的挥发性风味物质, 其 3 次研究结果之间差异显著, 缺乏一致性, 令人无法判断究竟是由于样品的不同还是提取检测方法所致。在所有以往的研究中都未检测腐乳汤料中风味物质组分, 而腐乳汤料的风味对整个腐乳产品的风味至关重要, 了解其风味成分的分布有助于今后腐乳工艺的改进研究。因

收稿日期: 2011-09-30

作者简介: 闫平平(1985—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品化学与加工。E-mail: ppyan2009@163.com

* 通信作者: 衣杰荣(1969—), 女, 讲师, 博士, 研究方向为食品化学。E-mail: jryi@shou.edu.cn

此本研究采用3种不同的红腐乳为实验材料,以坯体及汤料为研究对象,利用SDE法提取挥发性风味物质,并利用GC-MS进行分析。以甲醛滴定法测定腐乳中的氨基酸态氮,分析其在坯体及汤料中的不同。通过研究红腐乳中风味成分的组成,分析其产生的代谢途径,旨在为工艺生产中优化腐乳风味提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鼎丰小红腐乳、王致和大块腐乳 市售;自制腐乳(发酵菌种为雅致放射毛霉,前酵温度28℃、后酵温度25℃,不添加任何香辛料)。三者生产日期相差不超过1个月。

二氯甲烷(分析纯,45℃水浴重蒸,去除前、后30mL)、无水硫酸钠(分析纯,550℃马弗炉中活化2h)、甲醛(分析纯)、氢氧化钠(分析纯,0.05mol/L)。

1.2 仪器与设备

5973/6890 气相色谱-质谱联用仪 美国安捷伦公司;同时蒸馏萃取仪 自制;HWS12 型恒温水浴锅 上海一恒科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 SDE 萃取方法

汤料取样:准确称取样品汤料50g于500mL圆底烧瓶中,加入250mL去离子水混匀。

腐乳坯体取样:取腐乳坯体于玻璃漏斗上用去离子水洗涤,并静置30min以去除坯体上水分。把腐乳坯体于研钵中研碎,准确称取50g样品加入500mL圆底烧瓶中,并以250mL去离子水混匀。

萃取:将上述样品加入沸石置于同时蒸馏萃取仪轻相一侧,并取50mL重蒸二氯甲烷于100mL圆底烧瓶中置于同时蒸馏萃取仪重相一侧。样品侧用电热套加热,温度控制在(130±5)℃,重蒸溶剂一侧水浴加热,温度为50℃。待样品侧回流后开始计时,萃取2h。

浓缩:将萃取液与U形管中萃取溶剂合并,密封并于-26℃条件下过夜去除水分,溶剂部分进行氮吹浓缩。剩余8mL时以2.3g无水硫酸钠干燥,继续浓缩至2mL,-26℃条件保存。

1.3.2 测定氨基酸态氮方法

参照SB/T 10170—2007《腐乳》^[10]准备样品并测定。

1.3.3 GC-MS 分析

1.3.3.1 色谱条件

色谱柱:DB-5MS 石英毛细柱(60m×0.32mm,1.00μm);升温程序:41℃保持5min,以2℃/min升至80、200、220、240℃,并分别保持5min,再以2℃/min

升至250℃,保持15min;载气(He)流速1.0mL/min,进样量1.0μL;分流比:2:1。

1.3.3.2 质谱条件

电子轰击(EI)离子源;电子能量70eV;离子源温度230℃;四级管温度106℃,电子倍增器1160V,溶剂延迟7min,质量扫描范围m/z 35~500。

对测得的物质峰经计算机图谱库检索及人工分析质谱图,仅当匹配度及反相匹配度均大于800(最大值1000)的物质峰为可信物质。最后参阅有关文献^[7,11]确定最终结果物质。

2 结果与分析

2.1 风味物质分析

表1分别列出了王致和大块腐乳、小块红腐乳和自制红腐乳(未添加任何香辛料)的坯体和汤料中检出的各种风味物质组分及其相对含量。

在王致和大块腐乳坯体中共检出挥发性风味物质55种,汤料中43种;鼎丰小红腐乳坯体中56种,汤料中42种;自制腐乳坯体中42种,汤料中37种。

在自制红腐乳的坯体中,共检出醛类13种、酮类3种、酯类18种、醇类5种、呋喃类1种、其他类1种。王致和坯体中,则分别检出醛类11种、酮类4种、酯类24种、醇类7种、呋喃类1种、吡嗪类2种、其他类5种。小红腐乳坯体中则检出醛类15种、酮类4种、酯类27种、醇类6种、呋喃类1种、其他类3种。

这些测定结果之间的差异可能是因为参与发酵的微生物及发酵条件的不同,从而造成参与脂肪、蛋白质和碳水化合物生化代谢的酶的差异,最终发生不同的代谢反应,产生不同的代谢产物-各类风味物质。以往的研究也证实了这一点,如在Hwan等^[12]的研究中,发现用*A.Taiwanensis*发酵的腐乳中生成的醇和酯的种类远多于用*Mucor* sp.发酵的白腐乳。不同的发酵条件如温度、pH、NaCl等影响脂肪酶及蛋白酶活力^[13],并在乳酸菌存在的条件下影响脂肪和蛋白质的水解^[14],而腐乳发酵中已证实有乳酸菌存在^[15]。

将自制红腐乳的检测结果显示与Chung等^[7](以红腐乳为研究对象)的研究结果对照,都发现酯类(以亚油酸乙酯、油酸乙酯、十六酸乙酯为主)的浓度最高,但是本研究检测到的醛的种类多于醇的种类,这与Chung等^[7]的研究结果恰好相反。此外,就具体的化合物来说,二者也存在一些差异。在检测到的10种醛中,仅有4种与其相同,酯类是10种(共检测到19种),酮类4种(共检测到5),醇类3种(共检测到5)。黄明泉等^[11]的研究结果和本实验结果相同,也是醛的种类大于醇(醛类

表1 3种腐乳坯体与汤料中挥发性风味物质

Table 1 Volatile flavor components in pehtze and juice of three kinds of red fermented soybean curds

化合物 编号	保留时间 /min	化合物名称	相对含量 /%						匹配度	
			王致和大块腐乳		鼎丰小红腐乳		自制红腐乳			
			坯	汤	坯	汤	坯	汤		
醛	1	12.728	2-btenal 2- 丁烯醛	0.027	0.019	0.047	0.056	0.081	0.060	871
	2	13.093	3-methylbutanal 3- 甲基丁醛	0.415	0.456	0.588	0.560	0.108	0.090	948
	3	13.661	2-methylbutanal 2- 甲基丁醛	0.128	0.141	0.214	0.252	0.047	0.037	872
	4	15.785	pentanal 戊醛	—	—	0.068	—	—	—	821
	5	24.013	hexanal 己醛	0.164	—	0.287	—	0.440	0.075	912
	6	26.972	furfural糠醛	0.031	0.036	0.060	0.042	0.034	0.030	877
	7	29.243	(E)-2-hexenal (E)- 2-己烯醛	0.014	—	—	—	0.039	—	827
	8	34.612	heptanal 庚醛	—	—	0.024	—	0.023	0.013	815
	9	35.27	3-(methylthio) propionaldehyde3- 甲硫基丙醛	0.028	0.029	0.051	0.052	—	0.012	851
	10	40.545	(Z)-2-heptenal, (Z)-2-庚烯醛	—	—	0.023	—	0.027	—	828
	11	41.502	benzaldehyde 苯甲醛	0.010	0.010	0.157	0.117	0.034	—	925
	12	49.469	benzeneacetaldehyde 苯乙醛	0.201	0.264	0.751	0.721	0.156	0.121	953
	13	50.406	(E)-2-octenal, (E)-2-辛烯醛	0.017	—	0.031	—	0.057	—	830
	14	54.497	nonanal 壬醛	—	—	0.030	—	0.028	—	812
	15	71.559	(E,E)-2,4-Decadienal,(E,E)- 2,4-癸二烯醛	0.025	0.008	0.034	0.011	0.081	0.010	872
	16	83.095	5-methyl-2-phenyl-2-hexenal5 - 甲基 -2- 苯基 -2- 己烯基醛	—	—	0.033	—	—	—	870
酮		种类	11	8	15	8	13	9		
		占总量百分比 /%	1.043	0.965	2.398	1.811	1.155	0.448		
	1	9.507	2,3-butanedione 2,3- 丁二酮	0.065	0.045	0.029	0.027	0.029	0.021	908
	2	9.803	(E,E)-5,9-dodecadien-2-one,6,-酮 10-dimethyl-,(E,E)-6,10- 二甲基 -5,9- 十二碳二烯	—	—	0.038	—	—	—	810
	3	15.6	2,3-pentanedione 2,3- 戊二酮	0.018	0.009	—	—	—	—	830
	4	33.149	2-heptanone 2-庚酮	0.026	0.013	0.101	0.081	0.048	0.018	912
	5	53.174	2-nonanone 2- 壬酮	0.021	0.019	0.060	0.035	0.020	0.021	893
		种类	4	4	4	3	3	3		
		占总量百分比 /%	0.130	0.086	0.228	0.143	0.097	0.060		
	酯	1	10.565	ethyl acetate 乙酸乙酯	0.713	0.507	1.107	1.047	0.936	0.916
2		16.614	ethyl propionate 丙酸乙酯	0.100	0.040	0.046	0.028	—	—	926
3		20.374	ethyl-2-methyl propanoate2- 甲基丙酸乙酯	0.011	—	0.064	0.060	—	—	888
4		24.9	ethyl 2-hydroxy propionate,2- 羟基丙酸乙酯	0.010	0.011	0.573	0.461	0.176	0.129	941
5		28.602	ethyl-2-methyl butyrate2- 甲基丁酸乙酯	0.015	—	0.057	0.042	—	—	889
6		34.246	ethyl valerate 戊酸乙酯	—	—	—	—	0.027	—	841
7		37.975	ethyl-3-hydroxybutyrate3-羟基丁酸乙酯	0.013	—	—	0.099	—	—	800
8		41.148	ethyl-4-methyl pentanoate4- 甲基戊酸乙酯	0.019	—	—	—	—	—	845
9		44.455	ethyl caprate 己酸乙酯	0.087	0.035	0.922	0.502	8.644	2.735	901
10		49.45	ethyl phenylacetate 苯乙酸乙酯	0.011	0.030	0.088	0.032	—	—	938
11		53.574	ethyl heptylate 庚酸乙酯	—	—	0.069	0.066	0.070	0.018	883
12		54.058	ethyl-3-methyl thiopropionate3- 甲硫基丙酸乙酯	—	—	0.031	—	—	—	803
13		60.249	ethyl-succinate 丁二酸乙酯	—	—	0.046	0.043	—	—	907
14		61.249	ethyl-4octenoate4-辛烯酸乙酯	0.023	—	0.022	—	—	—	839
15		61.83	ethyl caprylate 辛酸乙酯	0.316	0.067	1.046	1.251	0.398	0.128	919
16		63.812	ethyl 3-pyridylacetate3-吡啶羧酸乙酯	0.013	—	—	—	—	—	809
17		69.365	ethyl pelargonate 壬酸乙酯	—	—	0.042	0.031	0.021	0.013	809
18		73.774	ethyl phenyl propionate 苯丙酸乙酯	0.259	—	0.030	0.040	—	—	936
19		76.385	ethyl caprate 癸酸乙酯	0.026	0.031	0.055	0.194	0.022	0.031	870
20		83.711	nonanoic acid, 9-oxo-, ethyl ester9- 氧代壬酸乙酯	0.013	0.012	0.064	0.031	0.064	0.019	875
21		85.623	ethyl 3-hydroxy tridecanoate3-羟基十三碳酸乙酯	—	—	0.091	—	—	—	820
22		89.202	2,2,4-trimethyl-1,3-pentanedi-ol diisobutyra te2,2,4- 三甲基 -1,3- 戊二醇二异丁酸酯	—	0.211	—	—	—	—	853
23		99.011	ethyl-3- hydroxyl laurate3-羟基十二碳酸乙酯	—	—	0.023	—	—	—	801
24		102.552	ethyl myristate 肉豆蔻酸乙酯	0.142	0.206	0.735	0.806	0.221	0.351	888

续表 1

化合物 编号	保留时间/min	化合物名称	相对含量/%						匹配度
			王致和大块腐乳		鼎丰小红腐乳		自制红腐乳		
			坯	汤	坯	汤	坯	汤	
酯	25	ethyl pentadecylate 十五酸乙酯	0.043	0.098	0.110	0.677	0.061	0.128	864
	26	methyl palmitate 十六酸甲酯	—	—	—	—	0.036	0.032	841
	27	ethyl 11-hexadecenoate(E)(E)-11-十六烯酸乙酯	0.042	0.016	0.108	0.091	0.455	0.230	854
	28	ethyl 9-hexadecenoate9-十六烯酸乙酯	0.163	0.393	0.510	1.459	0.225	0.564	909
	29	ethyl palmitate 十六酸乙酯	21.941	23.865	26.338	27.003	17.912	21.740	872
	30	ethyl magarate 十七酸乙酯	0.040	0.067	0.091	0.192	0.141	0.204	871
	31	ethyl linoleate 亚油酸乙酯	46.496	47.211	34.070	34.617	41.411	42.968	927
	32	ethyl oleate 油酸乙酯	23.435	22.286	22.517	22.173	20.676	20.726	873
	33	ethyl stearate 硬脂酸乙酯	0.945	1.554	2.104	3.304	3.697	5.390	890
		种类	24	18	27	24	19	18	
	占总量百分比/%	94.876	96.600	90.959	94.249	95.193	96.322		
醇	1	3-methyl-1-butanol3-甲基-1-丁醇	0.419	0.245	0.727	0.428	0.192	0.116	921
	2	2-methyl-1-butanol2-甲基-1-丁醇	0.184	0.121	0.352	0.334	—	—	858
	3	2-furanmethanol2-呋喃甲醇	0.062	0.053	0.066	0.049	0.034	0.024	909
	4	1-hexanol 1-己醇	0.083	0.024	0.105	0.052	0.155	0.048	906
	5	1-octen-3-ol 1-辛烯-3-醇	0.046	—	0.110	0.095	0.065	0.014	876
	6	phenylethyl alcohol 苯乙醇	0.172	0.073	0.591	0.118	0.077	0.032	924
	7	2,4-decadien-1-ol2,4癸二烯-1-醇	0.019	—	—	—	—	—	805
		种类	7	5	6	6	5	5	
	占总量百分比/%	0.985	0.516	1.951	1.076	0.523	0.234		
吡嗪	1	pyrazine, methyl- 甲基吡嗪	0.038	0.063	—	—	—	—	899
	2	pyrazine, 2,6-dimethy l-2,6-二甲基吡嗪	0.055	0.057	—	—	—	—	914
		种类	2	2	0	0	0	0	
		占总量百分比/%	0.093	0.120					
呋喃	1	furan, 2-pentyl- 2-戊基呋喃	0.100	0.018	0.149	0.117	0.329	0.058	899
		种类	1	1	1	1	1	1	
		占总量百分比/%	0.100	0.018	0.149	0.117	0.329	0.058	
其他	1	isoxazole 异恶唑	—	0.007	0.044	—	—	—	812
	2	phenol 苯酚	0.559	0.173	0.139	—	—	—	951
	3	eucalyptol 桉叶醇	0.014	—	—	—	—	—	837
	4	estragole 龙蒿脑	0.021	—	—	—	—	—	847
	5	indole 吲哚	0.131	0.028	—	—	—	—	912
	6	2-methoxy-4-vinylphenol4- 乙烯基-2-甲氧基苯酚	0.233	0.145	—	—	0.048	0.029	940
	7	eugenol 丁子香酚	0.478	0.070	—	—	—	—	934
	8	cedrane, 8-propoxy-8-丙氧基柏木烷	—	—	0.027	—	—	—	870
		种类	6	5	3	0	1	1	
		占总量百分比/%	1.436	0.423	0.210	0.048	0.029		
	总量百分比/%	98.470	98.728	95.895	97.396	97.345	97.152		

12 种，醇类 5 种)。另外，在 Chung 等的研究结果中检测到乙醇，而且含量很高，而在此次研究及黄明泉的研究中都未检出，是因为在 Chung 等的研究中，其程序升温设定的初始温度为 35℃，低于实验设定的 40℃。

对比表 1 中坯体和汤料中风味物质的含量，从总体上来说，坯体中的挥发性风味物质比汤料中种类多，这与蒋丽婷等^[15]利用固相微萃取法测定的白腐乳中挥发性成分结果相符。而且有一些物质仅在腐乳坯体中检测

到，例如 2-己烯醛、(*E*)-2-辛烯醛；这可能是因为，腐乳中蛋白质及脂肪的代谢主要在坯体中进行，而后通过扩散作用进入汤料，但由于风味物质的物理化学性质(极性大小)及汤料中酶及香辛料的存在，使某些汤料中风味物质(如亚油酸乙酯、甲基吡嗪)含量大于坯体。但也有少数物质仅在汤料中检测到，如 3-羟基丁酸乙酯在小红腐乳中仅在汤料中检测到，因此，对腐乳风味进行评价应同时检测坯体及汤料。

所有风味成分中 3 种长链脂肪酸酯(亚油酸乙酯、油

酸乙酯、十六酸乙酯)含量最高, 占有挥发性成分的90%以上, 这表明腐乳中的甘油三酯在脂肪水解酶的作用下, 水解产生游离脂肪酸, 该产物与乙醇作用形成脂肪酸酯。本实验也检测到中短链的脂肪酸酯的存在, 其含量上远远低于长链脂肪酸酯。这表明部分水解产生的游离脂肪酸经过了进一步的代谢 β 氧化。甲基酮2-壬酮和2-庚酮的检出更有力地证实了存在脂肪酸的 β 氧化过程^[16](二者都是脂肪酸 β 氧化的产物)。

3种样品中样品鼎丰小红腐乳的代谢最为彻底, 中短链脂肪酸酯及其他代谢产物多数都比自制和王致和腐乳两种样品中多。感官测试结果(未列出)表明样品鼎丰小红腐乳的风味较另两个样品浓郁, 推测其原因是长链脂肪酸酯的阈值较高, 对风味物质的贡献并不大, 相反, 中短链风味物质的阈值较低, 较少的数量却有显著的作用。小红腐乳的坯体体积仅为另外两个样品的1/4左右, 具有较大的比表面积, 则经前期霉菌发酵单位体积内酶含量较高, 脂肪和蛋白质代谢会更彻底。

香辛料的使用也会导致风味物质的差异。如丁香中71%左右的香气成分是丁子香酚, 茴香中也含有微量的丁子香酚^[17], 丁子香酚和两种甲基吡嗪化合物都仅在王致和腐乳中检测到, 说明这两类物质可能不是通过代谢得到。同时, 自制腐乳中挥发性风味物质成分远小于市售样品, 可能也与自制腐乳中没有使用任何的香辛料有关。

2.2 氨基酸态氮分析

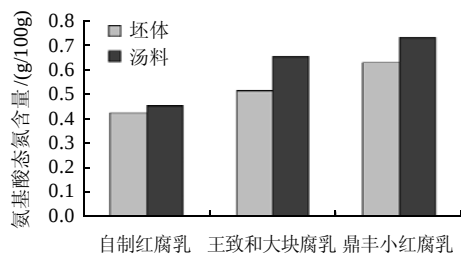


图1 腐乳中氨基酸态氮

Fig.1 Amino nitrogen contents in pehtze and juice of three kinds of red fermented soybean curds

从图1看出, 腐乳汤料中的氨基酸态氮含量高于坯体中, 三者的坯体及汤料中含量均存在显著差异($P < 0.05$)。没加入任何香辛料的自制红腐乳中含量最小, 鼎丰小红腐乳中含量最高, 其坯体和汤料中氨基酸态氮含量都明显高于自制和王致和腐乳样品($P < 0.05$, 存在显著差异)。除了坯体大小的影响, 还有一个可能的影响因素是香辛料, 香辛料的存在可能会影响蛋白质的代谢(含有香辛料的两种样品氨基酸态氮含量高, 蛋白代谢更彻底)。所用的毛霉及后加入的曲霉中蛋白酶活性对它也有影响, 各个厂家所用的菌株不同, 活性也不同。

调查每一种检测出的风味物质的风味特性及描述。该结果显示, 这些风味物质大多具有花果的清香, 所

以赋予了腐乳特有的清香。至于其中对腐乳风味起重要作用的风味物质的识别, 及如何在发酵过程中调控其产生, 还需要今后进一步的研究来阐明。

3 结 论

酯类是腐乳中含量最多的风味物质, 其中长链脂肪酸酯的含量占90%以上。检测出的醛类物质多于醇类物质, 酮类化合物也是腐乳中主要的风味物质。坯体中的挥发性风味物质比汤料中种类多, 那些同时存在于坯体和汤料的风味物质中, 甲基吡嗪、亚油酸乙酯等酯类双亲分子较其他风味物质更倾向于存在于汤料中。3种腐乳的汤料中的氨基酸态氮含量均高于坯体中。

参考文献:

- [1] 张会荣, 刘瑞钦, 郑立红. 新型腐乳生产工艺的研究[J]. 中国调味品, 2009, 34(3): 82-85.
- [2] 徐海蒂, 程永强, 许永伟, 等. 发酵菌种对低盐白腐乳感官品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2003, 33(10): 17-22.
- [3] 吴拥军, 龙菊, 程昌泽, 等. 腐乳发酵过程中酶活力和化学组分变化研究[J]. 食品科学, 2009, 30(3): 249-252.
- [4] 鲁维, 孙君社. 对腐乳后酵过程中一些成分变化的研究[J]. 中国酿造, 2003(6): 14-17.
- [5] HAN Beizhong, CAO Cuifeng, ROMBOUTS F M, et al. Microbial changes during the production of Sufu: a Chinese fermented soybean food [J]. Food Control, 2004, 15(4): 265-270.
- [6] LI Y Y, YU R C, CHOU C C. Some biochemical and physical changes during the preparation of the enzyme-ripening sufu, a fermented product of soybean curd[J]. J Agric Food Chem, 2010, 58(8): 4888-4893.
- [7] CHUNG H Y. Volatile flavor components in red fermented soybean (*Glycine max*) curds[J]. J Agric Food Chem, 2000, 48(5): 1803-1809.
- [8] CHUNG H Y. Volatile components in fermented soybean (*Glycine max*) curds[J]. J Agric Food Chem, 1999, 47(7): 2690-2696.
- [9] CHUNG H Y, FUNG P K, KIM J S. Aroma impact components in commercial plain sufu[J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(5): 1684-1691.
- [10] 王家槐, 吴鸣, 车有荣, 等. SB/T 10170—2007 腐乳[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [11] 黄明泉, 孙宝国, 陈海涛, 等. 同时蒸馏萃取结合气质联机分析北京地区红腐乳挥发性成分的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(7): 150-156.
- [12] HWAN C H, CHOU C C. Volatile components of the Chinese fermented soya bean curd as affected by the addition of ethanol in ageing solution [J]. J Sci Food Agric, 1999, 79(2): 243-248.
- [13] HAN B Z, MA Y, ROMBOUTS F M, et al. Effects of temperature and relative humidity on growth and enzyme production by *Actinomyces* and *Rhizopus oligosporus* during sufu pehtze preparation[J]. Food Chem, 2003, 81(1): 27-34.
- [14] GOBBETTI M, LANCIOTTI R, ANGELIS M D, et al. Study of the effects of temperature, pH, NaCl, and aw on the proteolytic and lipolytic activities of cheese-related lactic acid bacteria by quadratic response surface methodology [J]. Enzyme and Microbial Technology, 1999, 25(10): 795-809.
- [15] 蒋婷丽, 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(3): 150-155.
- [16] COLLINS Y F, MCSWEENEY P L H, WILKINSON M G. Lipolysis and free fatty acid catabolism in cheese: a review of current knowledge[J]. International Dairy Journal, 2003, 13(11): 841-866.
- [17] 夏延斌. 食品风味化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 79-233.