

电热、微波焙烤对辣椒粉挥发性成分影响的差异性分析

王知松¹, 丁筑红², 蒋智纲¹, 高瑞萍¹, 张孝刚¹, 李岩^{1,*}

(1. 遵义医学院公共卫生学院食品质量与安全教研室, 贵州 遵义 563000;

2. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州省农畜产品贮藏与加工重点实验室, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 为比较电热焙烤、微波焙烤对辣椒粉挥发性成分物质的影响, 以固相微萃取及气相色谱-质谱联用检测技术作为鉴定方法。结果显示, 电热焙烤和微波焙烤处理辣椒粉挥发性物质有明显区别, 其中微波焙烤检出的芳香物质中, 烷、烯、酯、吡嗪、酮、芳香族类化合物的含量都大于电热焙烤, 只有醛类物质小于电热焙烤; 由此得出, 微波焙烤在辣椒粉加工过程中比电热焙烤更能提升其风味物质的含量。

关键词: 辣椒粉; 焙烤; 固相微萃取; 挥发性物质

Comparative Analysis of the Impact of Oven and Microwave Baking on Volatile Components of Chilli Powder

WANG Zhisong¹, DING Zhuhong², JIANG Zhigang¹, GAO Ruiping¹, ZHANG Xiaogang¹, LI Yan^{1,*}

(1. Food Quality and Safety Department, School of Public Health, Zunyi Medical University, Zunyi 563000, China;

2. Key Laboratory of Agricultural and Animal Products Store and Processing of Guizhou Province, School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: This study compared the impact of oven and microwave baking on volatile components of chilli powder. Solid phase microextraction coupled to gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS) was used to volatile components of chilli powder. Results showed that a significant difference in the composition of volatile components existed between oven-baked and microwave-baked samples. Among the volatile compounds identified, alkanes, alkenes, esters, pyrazine, ketones and aromatic compounds were more abundant in microwave-baked chili than in the oven-baked one although only aldehydes were less abundant in microwave-baked chili. Therefore, microwave baking was better than oven baking at increasing the contents of flavor substances.

Key words: chilli powder; baking; solid phase microextraction; volatile substances

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610031

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 10-0183-04

引文格式:

王知松, 丁筑红, 蒋智纲, 等. 电热、微波焙烤对辣椒粉挥发性成分影响的差异性分析[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 183-186. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610031. <http://www.spkx.net.cn>

WANG Zhisong, DING Zhuhong, JIANG Zhigang, et al. Comparative analysis of the impact of oven and microwave baking on volatile components of chilli powder[J]. Food Science, 2016, 37(10): 183-186. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610031. <http://www.spkx.net.cn>

辣椒粉作为一种常见的风味调料, 其挥发性物质的含量及种类是决定其风味特点的关键因素^[1], 而挥发性物质的含量及种类与辣椒的焙烤方式有着密切的联系。电热焙烤和微波焙烤在物料的加热原理上不同, 电热焙烤

通过热传递的方式由外至内进行加热, 微波焙烤是在通过场的作用同时形成多个热源点的方式进行加热^[2-3], 且微波具有穿透性^[4-5], 在单层辣椒中能够起到同时加热的效果, 因此在焙烤过程中2种不同的加热方式必然引起热

收稿日期: 2015-08-01

基金项目: 遵义医学院硕士科研启动基金项目 (F-674); 遵义医学院学科建设经费资助项目

作者简介: 王知松 (1984—), 男, 讲师, 硕士, 主要从事果蔬贮藏加工与质量安全控制研究。E-mail: wzskissinger@aliyun.com

*通信作者: 李岩 (1969—), 男, 教授, 博士, 主要从事卫生毒理学研究。E-mail: liyan167321@sina.com

传递效率和升温速率差异, 焙烤食品中挥发性成分产生主要受加热温度的影响^[6], 为了了解电热焙烤和微波焙烤对辣椒粉挥发性成分的影响, 采用现在较为成熟的固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术作为检测手段^[7-9], 分析2种方式焙烤后挥发性风味物质间的差异, 为辣椒粉加工多元化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

长条线椒 市售。

1.2 仪器与设备

ALS-1000电热焙烤箱 吴江华东标准烘箱有限公司; WD900B型微波炉 顺德格兰仕电器厂有限公司; FA2004电子天平 上海良平仪器仪表有限公司; HP6890/5975C型气相色谱-质谱联用仪 美国安捷伦公司; 100 μm 聚二甲基硅氧烷 (polydimethylsiloxane, PDMS) 固相微萃取器 美国Supelco公司。

1.3 方法

1.3.1 样品前处理

取干燥的市售长条线椒100 g, 焙烤前将辣椒剪断, 长度2~3 cm, 平铺在白磁盘中, 确保辣椒处于单层平铺的状态。

1.3.2 电热焙烤辣椒粉前处理

将铺上辣椒的白磁盘放入120 $^{\circ}\text{C}$ 电热焙烤箱中焙烤, 通过视窗观察、以辣椒表面开始出现黑色的焦糊斑点为焙烤终点, 时间约4 min, 取出自然冷却至常温后装入自封袋中待测。

1.3.3 微波焙烤辣椒粉前处理

将铺上辣椒的白磁盘放入微波炉中, 将档位转换到烧烤档, 启动开始焙烤, 通过视窗观察、以辣椒表面开始出现黑色的焦糊斑点为焙烤终点, 时间约2.5 min, 取出自然冷却至常温后装入自封袋中待测。

1.3.4 挥发性物质检测

样品风味物质提取: 采用固相微萃取法, 参照朱晓兰^[10]、Beaulieu^[11]等方法。

将处于自封袋中的样品揉碎 (焙烤结束12 h), 颗粒长度小于0.5 mm, 于60 $^{\circ}\text{C}$ 条件下恒温10 min后, 插入固相微萃取器, 60 $^{\circ}\text{C}$ 吸附30 min, 取出插入气相色谱-质谱进样口脱附、分析。

色谱条件: 色谱柱为HP-5MS 5% Phenyl Methyl Siloxane弹性石英毛细管柱 (30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm); 升温程序: 柱温45 $^{\circ}\text{C}$ (保留0.5 min), 以

5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至290 $^{\circ}\text{C}$, 保持2 min; 汽化室温度250 $^{\circ}\text{C}$; 载气为高纯 (99.999%) He; 柱前压力7.62 psi; 载气流速1.0 mL/min; 分流比20:1。

1.3.5 质谱解谱

采用Agilent MSD ChemStation Data Analysis对质谱峰进行分析, 由于没有采用标样进行定量, 采用各个峰的峰面积进行横向半定量分析。

2 结果与分析

2.1 焙烤后辣椒粉挥发性风味成分分析

2.1.1 电热及微波焙烤辣椒粉挥发性风味物质总离子流图分析

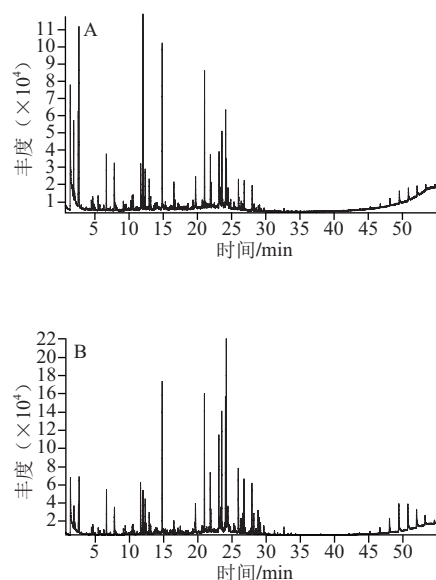


图1 电热焙烤 (A) 和微波焙烤 (B) 辣椒挥发性物质总离子流图
Fig. 1 Total ion current chromatograms of volatile substances in chili baked by oven (A) and microwave (B)

从图1可以看出, 2种焙烤方式总离子流图的总体出峰情况大致相同, 但微波焙烤辣椒粉大部分挥发性物质的峰高在15~30 min时段出现了将近一倍的增长, 而在15 min之前的部分物质峰高小于电热烘烤。由总离子流图的整体出峰峰形和坐标高度推测得出, 电热焙烤和微波焙烤中挥发性物质在种类上差异不大, 而不同种类的挥发性物质含量差异较大。

2.1.2 电热及微波焙烤辣椒粉挥发性风味物质解谱分析

采用Agilent MSD ChemStation Data Analysis软件对各个可分析的色谱峰进行分析, 如解谱出的所有物质的可信度小于50%, 则将其舍弃, 其余列表进行分析, 见表1。

表1 电热、微波焙烤辣椒挥发性物质成分汇总
Table 1 Volatile substances identified in chili baked by oven and microwave

序号	保留时间/min	成分	分子式	相对分子质量	峰面积	
					电热焙烤	微波焙烤
1	1.82	2-甲基-丙醛	C ₄ H ₈ O	72	1 074 988	590 577
2	2.52	3-甲基-丁醛	C ₅ H ₁₀ O	86	1 206 619	700 498
3	2.62	2-甲基-丁醛	C ₅ H ₁₀ O	86	2 231 463	1 583 805
4	4.40	2,3-丁二酮	C ₄ H ₆ O ₂	90	138 797	265 292
5	4.82	己醛	C ₆ H ₁₂ O	100	72 493	※1
6	5.39	甲基-吡嗪	C ₄ H ₆ N ₂	94	181 709	193 394
7	5.64	呋喃	C ₄ H ₄ O ₂	96	50 137	99 785
8	6.22	2-呋喃甲醇酯	C ₆ H ₈ O ₂	98	74 455	142 710
9	6.66	邻二甲苯	C ₈ H ₁₀	106	769 888	1 153 877
10	7.76	2,6-二甲基吡嗪	C ₆ H ₈ N ₂	108	1 061 694	1 123 434
11	7.98	2,3-二甲基吡嗪	C ₆ H ₈ N ₂	108	60 447	※2
12	9.08	2-呋喃甲酸	C ₆ H ₄ O ₃	112	136 731	160 453
13	9.24	苯甲醛	C ₇ H ₆ O	106	※1	36 916
14	9.35	5-甲基-2-糠醛	C ₈ H ₈ O ₂	110	76 089	58 399
15	9.52	二甲基三硫	C ₂ H ₆ S ₃	126	75 028	44 137
16	10.20	2,2,4,6,6-五甲基-庚烷	C ₁₂ H ₂₆	170	162 620	171 516
17	10.37	2-己基-6-甲基吡嗪	C ₇ H ₁₀ N ₂	122	163 656	335 053
18	10.50	三甲基吡嗪	C ₇ H ₁₀ N ₂	122	※2	335 053
19	10.56	2-己基-3-甲基吡嗪	C ₇ H ₁₀ N ₂	122	76 620	78 447
20	11.03	N-β-氯乙基吡咯	C ₇ H ₈ N ₂	120	※3	42 299
21	11.12	2-吡咯烷酮	C ₄ H ₇ NO	115	※4	91 970
22	11.62	1-甲基-2-吡咯烷酮	C ₅ H ₉ NO	99	824 530	1 757 728
23	11.79	苯乙醛	C ₈ H ₈ O	120	134 525	104 599
24	11.97	3,7-二甲基-Z-1,3,6-庚三烯	C ₁₀ H ₁₆	136	2 460 535	1 110 121
25	12.10	2,5-二甲基-4-羟基-3-(2H)-呋喃酮	C ₆ H ₆ O ₃	128	221 677	※3
26	12.13	2,5-二甲基-4-羟基-3-(2H)-呋喃酮	C ₆ H ₆ O ₃	128	※5	378 100
27	12.28	1-(1H-吡咯-2-烯基)-己酮	C ₆ H ₇ NO	109	577 143	577 143
28	12.86	3-己基-2,5-二甲基-吡嗪	C ₈ H ₁₂ N ₂	136	418 938	418 938
29	13.10	2,3,5,6-四甲基吡嗪	C ₈ H ₁₂ N ₂	136	83 780	83 780
30	13.52	4,6-二甲基-癸烷	C ₁₄ H ₃₀	198	64 297	※4
31	13.90	麦芽酚	C ₆ H ₆ O ₃	126	176 262	281 096
32	14.06	3-甲基-2-(1H)-吡啶	C ₆ H ₇ NO	109	93 839	160 615
33	14.77	2,3-脱氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮	C ₈ H ₆ O ₄	144	2 570 914	4 248 659
34	14.97	4,5-二甲基-2-异丁基-恶唑	C ₉ H ₁₃ NO	153	50 847	103 820
35	15.23	2,3,5-三甲基-6-己基吡嗪	C ₉ H ₁₄ N ₂	150	63 815	87 338
36	16.34	甲基水杨酸甲酯	C ₈ H ₈ O ₃	152	29 989	※5
37	16.48	3-甲基丁酸-2-甲基丙酯	C ₉ H ₁₆ O ₂	158	447 055	458 045
38	17.10	3,4-二羟基-1,3-二甲基-吡咯[1,2-a]吡嗪	C ₉ H ₁₂ N ₂	148	119 739	173 648
39	18.55	α-己基亚甲基-苯乙醛	C ₁₀ H ₁₆ O	146	83 311	88 540
40	19.66	4-乙烯基-2-甲氧基-苯酚	C ₉ H ₁₀ O ₂	150	665 111	828 014
41	20.63	1-(2-氨基-3-甲基酚羟基)-3-叔丁氨基-2-丙醇	C ₁₄ H ₂₄ N ₂ O ₂	252	101 224	167 840
42	20.96	2-甲基-二十烷	C ₂₁ H ₄₄	296	1 836 257	3 488 250
43	21.31	依兰烯	C ₁₅ H ₂₄	204	※6	148 110
44	21.82	β-榄香烯	C ₁₅ H ₂₄	204	780 356	1 607 189
45	21.94	十四烷	C ₁₄ H ₃₀	198	352 614	513 690
46	23.09	2-丁基-1,1,3-三甲基-环己烷	C ₁₅ H ₃₀	182	832 917	2 687 970
47	23.25	醋酸橙花酯	C ₁₅ H ₂₂ O	194	130 990	224 489
48	23.33	长叶烯	C ₁₅ H ₂₄	204	254 092	570 994
49	23.51	2-甲基-十四烷	C ₁₅ H ₃₂	212	998 322	2 982 574
50	23.62	9,10-脱氢-异长叶烯	C ₁₅ H ₂₂	202	58 248	149 641
51	23.95	1,4-氢-3,5-二甲氧基-2-甲基苯	C ₁₃ H ₁₆ O ₂	204	72 785	171 721
52	24.06	γ-雪松烯	C ₁₅ H ₂₄	204	1 447 246	3 809 887
53	24.35	β-愈创木烯	C ₁₅ H ₂₄	204	144 753	※6
54	24.41	十五烷	C ₁₅ H ₃₂	212	163 468	372 777

续表1

序号	保留时间/min	成分	分子式	相对分子质量	峰面积	
					电热焙烤	微波焙烤
55	24.61	β-雪松烯	C ₁₅ H ₂₄	204	86 279	205 063
56	24.79	二丁基羟基甲苯	C ₁₅ H ₂₄ O	220	129 242	139 850
57	25.27	5,6,7,7a-脱氢-4,4,7a-三甲基(R)-2(4H)-苯并呋喃	C ₁₇ H ₁₆ O ₂	180	124 763	281 508
58	25.51	己基二辛醛	C ₁₄ H ₃₀ O	214	※7	72 568
59	25.92	二十烷	C ₂₀ H ₄₂	282	279 675	2 420 719
60	26.34	(E,E)-4,8,12-三甲基-1,3,7,11-癸四烯	C ₁₆ H ₂₆	218	143 145	505 962
61	26.58	植物醇新癸酸环氧乙烷基甲酯	C ₂₀ H ₃₈ O	296	※8	549 840
62	26.77	2-氨基-4,7(1H,8H)-哌啶	C ₆ H ₁₀ N ₂ O ₂	179	473 871	※7
63	26.77	十六烷	C ₁₆ H ₃₄	226	※9	1 554 524
64	28.53	十三醇羟基-环氧乙烷	C ₁₅ H ₃₀ O	226	※10	138 830
65	28.84	1,1'-苯磺酰-己烷	C ₁₂ H ₂₀ O	186	91 439	639 557
66	29.68	3-(m-氨基苯基)-2-甲基-丙酸	C ₁₁ H ₁₃ NO ₃	207	65 584	580 026
67	32.62	邻苯二甲酸二甲酯	C ₁₄ H ₁₄ O ₄	222	65 688	231 606

注：※1~※10.对比过程中差异性的物质种类。

由表1可知，电热、微波焙烤辣椒挥发性物质分别检出57、60种，其中相同成分50种，主要呈香物质相同，其差异主要表现在各挥发性物质含量。从解谱的物质峰面积上看，出峰时间在15 min之前的物质峰面积因物质种类不同而出现交错的变化。电热焙烤辣椒粉比微波焙烤辣椒粉峰面积较大物质的主要是小分子的醛类，如2-甲基-丙醛、3-甲基-丁醛、2-甲基-丁醛，3种物质电热、微波焙烤累积峰面积分别为4 513 070、2 874 800，电热焙烤辣椒粉挥发性醛类物质是微波焙烤辣椒粉挥发性醛类物质的1.6倍；同样在此时段内，吡嗪物质却表现出稳定的增长，电热、微波焙烤辣椒粉中都鉴定出7种吡嗪类物质，累积峰面积分别为1 831 492、2 455 870，电热焙烤辣椒粉挥发性吡嗪物质是微波焙烤辣椒粉挥发性吡嗪物质的0.75倍。出峰时间在15 min之后的物质大部分物质的峰面积都出现了增加，增加较为明显的为烯炔类和烷炔类，烯炔类检出的有依兰烯、β-榄香烯、长叶烯、γ-雪松烯、β-愈创木烯、β-雪松烯、(E,E)-4,8,12-三甲基-1,3,7,11-癸四烯，电热、微波焙烤辣椒粉挥发性物质累积烯炔峰面积分别为16 611 599、996 846，电热焙烤辣椒粉挥发性炔类物质是微波焙烤辣椒粉挥发性炔类物质的0.23倍；烷炔类检出的有2-甲基-二十烷、十四烷、2-丁基-1,1,3-三甲基-环己烷、2-甲基十四烷、十五烷、二十烷、十三醇羟基-环氧乙烷、1,1'-苯磺酰-己烷，电热、微波焙烤辣椒粉挥发性物质累积烷炔峰面积分别为4 554 692、12 618 891，电热焙烤辣椒粉挥发性烷炔物质是微波焙烤辣椒粉挥发性烷炔物质的0.36倍。

为了能整体反映电热、微波焙烤辣椒粉挥发性成分的变化情况，现将鉴定出的挥发性成分按照醛、烷、烯、吡嗪、酯类、芳香族化合物、酮进行分类，结果如表2和图2所示。

表2 辣椒粉电热焙烤与微波焙烤挥发性物质含量变化
Table 2 Comparison of volatile compounds content of chilli powders subjected to oven baking and microwave baking

物质	电热焙烤		微波焙烤	
	种类	峰面积	种类	峰面积
烷类	8	4 717 312	10	14 843 028
酮类	5	4 333 061	5	7 572 455
醛类	5	4 661 652	4	3 205 087
烯类	8	5 374 654	8	8 106 967
酯类	5	748 177	5	4 004 006
芳香族化合物	6	1 854 862	7	2 523 517
吡嗪	9	2 230 398	8	3 227 777
总计	46		47	

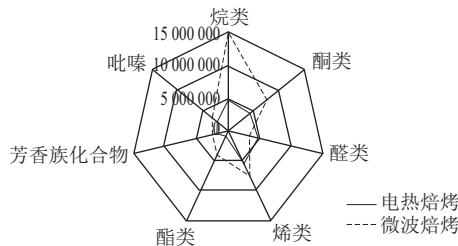


图2 电热焙烤与微波焙烤挥发性物质雷达图

Fig. 2 Radar map of volatile substances of chilli powders subjected to oven baking and microwave baking

从表2和图2可以得出, 电热、微波焙烤处理辣椒粉挥发性物质有显著区别, 其中微波焙烤检出的芳香物质中, 烷、烯、吡嗪、酯、芳香族、酮类含量都大于电热焙烤, 烷烃类增幅最为明显, 而电热焙烤中检出的醛类种类和累积峰面积都大于微波焙烤。

3 结论

通过对电热、微波焙烤辣椒粉挥发性成分的分析可知, 电热焙烤更有利于醛类物质的产生, 而醛类物质, 特别是检出物质中占比较大的2-甲基丙醛、3-甲基-丁醛、2-甲基丁醛是辣椒挥发性物质中具有强烈刺激性的主要物质^[12]; 而辣椒在微波焙烤过程中, 具有显著风味贡献的吡嗪、烯烃、酯类、芳香族类化合物增长都较为明显, 如具有焙烤、焦香味特征的吡嗪类物质^[13-16], 此类物质大多是己醛基和氨基酸缩合反应生成的, 缩合后的中间产物发生Strecker降解生成的氨基还原酮, 氨基还原酮经过自身缩合及氧化生成吡嗪类化合物^[17-20], 微波焙烤辣椒粉中吡嗪含量增加, 而具有刺激性的醛类生成量减少, 可能与消耗部分醛生成吡嗪有关; 清香、花香特征^[21-22]的烯烃类、酯类物质主要是辣椒中主要的不饱和脂肪酸油酸、亚油酸^[17]在热力的作用下发生氧化或裂解产生; 芳香族类的邻二甲苯、苯乙醛等可能是有辣椒中的丁基-邻二甲苯甲酸、邻苯二甲酸二异丁酯^[23]氧化分解而得; 而在微波焙烤过程中增长最为明显的是烷烃类化合物, 烷烃类化合物大多认为是脂肪酸、糖类的降解后的副产物^[21],

因携带的醛基、酮基被取代或被氧化还原^[24], 这可能是微波焙烤过程化学反应更加剧烈, 也是其他类风味物质增长的基础。

从电热、微波焙烤辣椒粉挥发性成分分析中可以得出, 微波焙烤在辣椒粉加工过程中比电热焙烤更能提升其风味物质的含量。

参考文献:

[1] 刘艳敏, 吴拥军, 王亚娟, 等. 贵州油辣椒挥发性风味物质分析[J]. 食品科学, 2013, 34(20): 221-227. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201320047.

[2] 王佳万, 王亚夫. 微波加热原理及应用[J]. 吉林师范大学学报, 2012, 33(4): 142-144.

[3] LIN R, LIN H, LIN Q. Characteristics of microwave vacuum baking and drying of oolong and its kinetic model[J]. Advance Journal of Food Science and Technology, 2013, 5(11): 1423-1427. DOI:10.1021/jf011094e.

[4] CHAVAN R S, CHAVAN S R. Microwave baking in food industry: a review[J]. International Journal of Dairy Science, 2010, 5(3): 113-127. DOI:10.3923/ijds.2010.113.127.

[5] SUMNU G. A review on microwave baking of foods[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2008, 36(2): 117-127. DOI:10.1046/j.1365-2621.2001.00479.x.

[6] 曾庆孝, 芮汉明, 李泮生. 食品加工与保藏原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 260-262.

[7] 秦刚, 李洪军, 贺雅非, 等. 荣昌猪肉在不同烤制温度条件下的挥发性风味物质变化[J]. 食品科学, 2011, 32(18): 190-194.

[8] 王芙蓉, 张晓鸣, 佟建明, 等. 食品风味分析技术研究进展[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(3): 170-172.

[9] CARRAPISO A I, JESÚS V, CARMEN G. Characterization of the most odor-active compounds of Iberian ham headspace[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(7): 1996-2000. DOI:10.1021/jf011094e.

[10] 朱晓兰, 刘百战, 宗若雯, 等. 辣椒油化学成分的气相色谱-质谱分析[J]. 分析测试学报, 2003, 22(1): 67-70.

[11] BEAULIEU J C, STEIN-CHISHOLM R E. HS-GC-MS volatile compounds recovered in freshly pressed 'Wonderful' cultivar and commercial pomegranate juices[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 643-656. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.06.005.

[12] 丁筑红, 王知松, 郑文字, 等. 不同包装条件干辣椒风味化合物的主成分分析[J]. 中国食品学报, 2014, 14(1): 285-291.

[13] MA Jinyu, PENG Xiaofang, CHENG K W, et al. Effects of melamine on the Maillard reaction between lactose and phenylalanine[J]. Food Chemistry, 2010: 119(1): 1-6. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.07.007.

[14] 冯涛, 田怀香, 陈福玉. 食品风味化学[M]. 北京: 中国质检出版社, 2013: 88-89.

[15] 斯波. 辣椒香味物质的提取分离及其应用[J]. 中国酿造, 2013, 32(3): 19-21.

[16] PARK C W, KE M A. The distribution of fat in dried dairy particles determines flavor release and flavor stability[J]. Journal of Food Science, 2014, 79(4): R452-R459. DOI:10.1111/1750-3841.12396.

[17] 王知松, 李达, 丁筑红, 等. 贵州主要品种辣椒籽营养成分分析[J]. 中国调味品, 2010, 35(5): 93-96.

[18] 刘安军, 魏灵娜, 曹东旭, 等. 美拉德反应制备烧烤型虾味香精及气质联用分析[J]. 现代食品科技, 2009, 25(6): 674-677.

[19] LIN J T, LIU S C, HU C C, et al. Effects of roasting temperature and duration on fatty acid composition, phenolic composition, Maillard reaction degree and antioxidant attribute of almond (*Prunus dulcis*) kernel[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 520-528.

[20] ROKUGAWA H, FUJIKAWA H. Evaluation of a new Maillard reaction type time-temperature integrator at various temperatures[J]. Food Control, 2015, 57: 355-361. DOI:10.1016/j.foodcont.2015.05.010.

[21] 曹雁平, 张东. 固相微萃取-气相色谱质谱分析辣椒油树脂挥发性成分[J]. 食品工业科技, 2011, 32(1): 108-111. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2011.01.024.

[22] 李丽, 高彦祥, 袁芳. 坚果焙烤香气化合物的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2011(3): 164-169.

[23] 阙建全. 食品化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 323-326.

[24] MEGAHEY E K, MCMINN W A M, MAGEE T R A. Experimental study of microwave baking of Madeira cake batter[J]. Food and Bioproducts Processing, 2005, 83(4): 277-287. DOI:10.1205/fbp.05033.