

不同干制工艺对野山椒粉挥发性成分的影响

熊学斌^{1,2}, 夏延斌^{1,2*}, 邓后勤^{1,2}, 吴灿¹

(1. 湖南农业大学 食品科学技术学院, 湖南 长沙 410128; 2. 国家蔬菜加工技术研发分中心, 湖南 长沙 410128)

摘要:以湖南郴州产野山椒为原料,采用固相微萃取法(SPME),结合气相色谱-质谱(GC-MS)分析技术,对原干、烤香、焦盐 3 类加工型野山椒粉的挥发性化合物进行分析。结果表明:从 3 种辣椒粉中共鉴定出 105 种成分,其中 37 种为 3 类辣椒粉共有;原干椒、烤香椒、焦盐椒中的挥发性物质分别为 58、93、55 种,其中,己酸己酯、2-甲基丁酸己酯、3-甲基丁酸己酯等酯类物质的相对含量较高,其次为烷烃类和烯烃类;与原干辣椒粉相比,烤香野山椒粉和焦盐野山椒粉中的酯类物质含量降低,烷烃类物质含量增大。

关键词:野山椒;挥发性成分;烘烤;焦盐;干制工艺

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2012)01-0106-06

Influence of different drying technologies on the volatile components of chilli (*Capsicum annuum* L.) powder

XIONG Xue-bin^{1,2}, XIA Yan-bin^{1,2*}, DENG Hou-qin^{1,2}, WU Can¹

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. National R & D Center For Vegetable Processing, Changsha 410128, China)

Abstract: Volatile components of dried, baked and salty baked *Capsicum annuum* L. cultured in Chenzhou of Hunan were analyzed by solid phase microextraction (SPME) coupled with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). A total of 105 volatile components including 37 common components were identified in the dried, baked and salty baked chillies which contained 58, 93 and 55 volatile components respectively. Among the volatile components, the relative contents of hexyl hexanoate, hexyl 2-methylbutanoate and hexyl 3-methylbutanoate were the highest and those of the alkane and olefin components were the second highest. Compared to the dried chillies, the contents of the ester compounds decreased and the contents of the alkane components increased the most in the baked and salty baked chillies.

Key words: *Capsicum annuum* L.; volatile components; baking; salty baked; drying technologies

辣椒中含有的大部分烯类物质是呈香化合物,多不易挥发,但适当加热可以促进其挥发^[1-2]。烤香辣椒粉是经过一定温度处理后的辣椒粉,比原干辣椒粉的香气更充裕。焦盐辣椒粉是加入了适量食盐的烤香辣椒粉,与烤香辣椒粉相比,焦盐辣椒粉具有可直接食用、携带方便、易于保存等特点。固相微萃取技术(SPME)具有操作简单、快速、灵敏、费用

低、能与气相色谱或液相色谱直接联用等优点^[3]。目前,用 SPME 结合 GC-MS 检测辣椒中挥发性成分的研究^[4-13]较多,但关于不同加工工艺对辣椒中挥发性成分影响的研究尚少,相关的研究主要是对烘烤前、后辣椒中的香气成分进行比较^[14-15]。野山椒香气丰富、浓郁,烘烤前、后颜色对比鲜明,这些特点有利于对其进行感官评价和挥发性成分检

收稿日期: 2011-11-05

基金项目: 农业部“948”专项经费资助项目(2003T18)

作者简介: 熊学斌(1985—),男,湖南桃江县人,硕士研究生,主要从事干制辣椒香气和辣椒素类物质研究,xxb85327@sina.com;

*通信作者, xy520523@yahoo.com.cn

测。笔者对用不同干制工艺加工出的原干、烤香和焦盐3种野山椒粉的香气特征进行研究,旨在揭示不同干制工艺对辣椒粉香气成分的影响,从而为相关辣椒产品的开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

干野山椒产自湖南郴州,其中辣椒素类物质含量(6.7±0.2) mg/g。食盐碘含量(35±15) mg/kg。

主要仪器和设备:气相色谱-质谱联用仪(GCMS-QP2010,日本岛津公司);手动SPME进样器,100 μm聚甲基硅氧烷(PDMS)萃取纤维头,SPME操作平台(上海安谱科学仪器有限公司);磁力搅拌器(GL-3250,海门市其林贝尔仪器制造有限公司);中草药粉碎机(FW177,天津市泰斯特仪器有限公司);电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9240A,上海飞越实验仪器有限公司);电子天平(TP-213,北京赛多利斯仪器系统有限公司);0.391 mm标准检验筛(浙江萧山水发电器有限公司)。

1.2 方法

试验于2011年3—6月进行。

1.2.1 样品的制备

1) 原干辣椒粉的制备。将野山椒于50℃烘箱中烘至水分15%,用粉碎机粉碎,过0.391 mm标准检验筛,得到原干辣椒粉。

2) 烤香辣椒粉的制备。将原干辣椒粉放入115℃的烘箱烘烤15 min,得到烤香辣椒粉。

3) 焦盐辣椒粉的制备。称取占原干辣椒粉质量5%的食盐,用蒸馏水溶解后与原干辣椒粉混合均匀,于50℃烘箱中干燥至水分15%后,再于120℃烘箱中烘烤10 min,得到焦盐椒粉。

1.2.2 固相微萃取方法

参考文献[15],先将100 μm PDMS萃取纤维头插入气-质联用仪的进样口中,于250℃老化30 min,然后取1 g待测野山椒粉于15 mL样品瓶中,在60℃条件下恒温10 min,插入萃取纤维头,于60℃顶空吸附30 min后,取出萃取纤维头,迅速插入气-质

联用仪进样口脱附3 min。

1.2.3 GC-MS分析条件

色谱条件:30.00 m、0.25 mm×0.25 μm DB-5MS弹性石英毛细管柱;载气为高纯氦气(99.999%);氦气流速1.0 mL/min;进样口温度250℃;不分流进样。程序升温:柱温45℃保持1 min,以5℃/min升温至290℃,保持2 min。

质谱条件:离子源为EI;离子源温度200℃;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℃;质量扫描范围45~500 amu。

1.2.4 数据处理

利用随机Xcalibu工作站NIST2002标准谱库自动检索各组分质谱数据,参照文献[14-15]对机检结果进行核对和确认,按面积归一化法计算各组分的含量。

1.2.5 感官评价

称取原干、烤香和焦盐3种野山椒粉各5 g,置于烧杯中,观察颜色后闻其香味,再观察其变化情况。

2 结果与分析

2.1 野山椒粉的挥发性成分

从3种野山椒粉中共鉴定出105种成分(表1),其中37种挥发性成分为3种野山椒粉共有。本结果是采用SPME法富集3种野山椒粉的挥发成分后,用气相色谱-质谱联用仪对其进行分离、鉴定(图1)后得出的。

从原干辣椒粉中共鉴定出58种成分(占原干辣椒粉总挥发性成分的98.11%),其中,烯烃类8种(8.12%),烷烃类12种(11.36%),酯类32种(76.09%),醛类2种(1.39%),酮类1种(0.17%),醇类1种(0.14%),其他类2种(0.84%)。

从烤香辣椒粉中共鉴定出93种成分(占烤香辣椒粉总挥发性成分的98.06%),其中,烯烃类12种(7.58%),烷烃类21种(18.75%),酯类42种(67.20%),醛类5种(2.37%),酮类1种(0.33%),酸类2种(0.15%),醇类4种(0.49%),其他类6种(1.19%)。

表1 3种野山椒粉挥发性成分的GC-MS分析结果

Table 1 Analytical results of GC-MS for volatile components from the dried, baked and salty baked chillies

序号	化合物	保留时间 /min	相对含量/%			序号	化合物	保留时间 /min	相对含量/%		
			原干	烤香	焦盐				原干	烤香	焦盐
1	二氧化硫	1.780	0.71	0.29	-	54	α -紫穗槐烯	22.383	-	0.06	-
2	丙烯基乙醚	2.850	-	0.62	-	55	异丁酸香茅酯	22.542	-	0.07	-
3	己醛	4.825	-	0.11	-	56	2-丁基-1,1,3-三甲基环己烷	22.709	4.40	-	3.96
4	4-甲基-1-戊醇	5.683	-	0.22	-	57	3-己基-1,1-二甲基环戊烷	22.717	-	4.99	-
5	2-戊基呋喃	9.742	-	0.07	-	58	(4a <i>S</i> -顺)-2,4a,5,6,7,8,9,9a-八氢-3,5,5-三甲基-9-亚甲基-1H-茚并环庚烯	22.925	0.73	0.80	0.93
6	苯乙醛	11.383	-	0.17	-	59	3-甲基-5-丙基壬烷	23.067	-	0.16	-
7	2-辛醇	12.033	-	0.07	-	60	2-甲基十四烷	23.179	2.07	2.59	4.11
8	2-甲基丁酸-3-甲基丁酯	12.992	0.45	0.78	0.48	61	β -紫罗兰酮	23.575	-	-	0.54
9	3-甲基丁酸-3-甲基丁酯	13.188	0.32	0.56	0.38	62	顺-(-)-2,4a,5,6,9a-六氢-3,5,5,9-四甲基-1H-茚并环庚烯	23.667	4.47	3.43	3.61
10	2-甲基丙酸己酯	13.350	1.61	2.63	1.45	63	香橙烯	23.754	1.85	1.45	-
11	2-甲基丁酸戊酯	14.113	0.13	0.25	0.29	64	香树烯	23.758	-	-	3.66
12	3-甲基丁酸戊酯	14.309	0.06	0.19	0.47	65	十五烷	24.071	0.55	1.09	1.11
13	2-甲基丙酸己酯	14.383	0.06	0.20	-	66	(+)- α -长叶蒎烯	24.158	0.11	0.13	0.17
14	2-乙烯基双环[2.2.1]-5-庚烯-2-醇	14.583	-	0.06	-	67	辛酸己酯	24.234	0.16	0.12	-
15	丁酸己酯	14.667	0.18	0.33	0.37	68	(+)- δ -杜松烯	24.575	-	0.04	-
16	2-甲氧基-3-异丁基吡嗪	15.267	-	0.01	-	69	二氢猕猴桃内酯	24.875	-	-	0.23
17	2-癸醇	15.392	-	0.14	-	70	N-环己烷-N-氧-1-丙烯-3-亚胺	24.975	0.13	0.15	0.13
18	水杨酸甲酯	15.779	0.16	0.18	-	71	(3 <i>Z</i>)-3-十四烯	25.042	0.34	-	-
19	2-甲基丁酸己酯	16.000	19.19	15.21	9.68	72	1,1,2-三甲基环十一烷	25.075	-	0.48	-
20	3-甲基丁酸己酯	16.196	15.52	12.13	7.98	73	2-甲基-1-十五烯	25.167	-	0.23	-
21	己酸-3-甲基丁酯	16.421	0.43	0.63	0.50	74	1,1,2-三甲基环十一烷	25.300	-	0.15	-
22	(<i>Z</i>)-3-甲基丁酸叶醇酯	16.734	0.13	0.21	-	75	壬基环己烷	25.400	-	0.05	-
23	(<i>Z</i>)-2-甲基丁酸叶醇酯	16.830	0.20	0.32	-	76	2-甲基十五烷	25.621	1.01	1.58	2.57
24	2-甲基丁酸己酯	16.996	1.53	2.26	1.32	77	3-甲基十五烷	25.796	-	0.10	0.43
25	3-甲基丁酸己酯	17.163	0.69	1.13	0.79	78	4,8,12-三甲基-3,7,11-三烯十三腈	25.850	-	0.05	-
26	异丁酸庚酯	17.267	-	0.05	-	79	1-十六烯	26.054	0.11	0.24	-
27	戊酸己酯	17.488	2.14	2.63	1.13	80	1-(4-溴丁基)-2-哌啶酮	26.213	0.17	0.33	0.68
28	8-甲基-6-壬烯酸	17.950	-	0.06	-	81	十六烷	26.492	0.92	1.82	3.18
29	戊酸己酯	18.467	0.05	0.12	-	82	壬酸己酯	26.633	0.17	0.34	0.60
30	环丁烷羧酸己酯	18.588	0.07	0.09	-	83	十三烷内酯	27.246	0.16	0.21	0.72
31	戊酸庚酯	18.709	0.04	0.05	-	84	2-甲基- <i>Z</i> -7-十六烯	27.504	0.34	0.77	1.75
32	1-(己基氧)-3-甲基己烷	18.917	0.38	0.41	0.24	85	14-甲基十三烷内酯	27.717	0.05	0.09	0.19
33	1-(己基氧)-4-甲基己烷	19.142	0.20	0.42	0.11	86	2-甲基十六烷	27.950	0.73	1.27	3.57
34	己酸己酯	19.275	27.12	18.27	10.73	87	桃醛	28.279	0.29	0.45	0.86
35	香茅醇	19.408	0.14	-	-	88	阿道克醛	28.506	1.10	1.60	5.36
36	2-甲基丁酸庚酯	19.733	0.18	0.29	0.65	89	十七烷	28.784	0.75	1.47	5.53
37	2-甲基丁酸庚酯	19.900	-	0.16	-	90	癸酸己酯	28.904	0.47	0.77	2.66
38	(<i>Z</i>)-己酸-3-己烯酯	19.934	0.17	0.21	-	91	9-十六烯酸	29.300	-	0.09	-
39	(<i>Z</i>)-己酸-3-己烯酯	20.030	0.17	0.20	-	92	(1 <i>R</i> -(1 α ,3 β ,4 β))-1-异丙烯基-4-甲基-1,3-环己烷二醇-3-乙酸	29.308	-	-	0.20
40	己酸己酯	20.188	3.66	4.40	1.82	93	1-(己基氧)-辛烷	29.842	-	-	0.40
41	1-(己基氧)-3-甲基己烷	20.363	0.11	0.08	-	94	2,6,10-三甲基-9-烯十一醛	30.108	-	0.04	-
42	环戊烷甲酸己酯	20.500	-	0.10	-	95	2-甲基十七烷	30.184	-	0.11	0.55
43	2-甲基十三烷	20.563	1.15	1.40	0.87	96	十八烷	30.975	-	0.15	0.79
44	衣兰烯	20.783	-	0.13	-	97	2,6,10,14-四甲基十六烷	31.092	-	0.07	0.52
45	可巴烯	20.942	0.17	0.25	-	98	乙酸-顺-11-十四烯酯	31.421	-	0.04	0.37
46	己酸己酯	21.096	0.16	0.29	-	99	十五烷内酯	31.692	-	-	0.19
47	戊酸苄酯	21.400	-	0.10	-	100	植酮	31.833	-	-	0.31
48	环戊烷羧酸己酯	21.450	-	0.06	-	101	邻苯二甲酸二异丁酯	32.200	-	0.14	0.34
49	十四烷	21.508	0.09	0.25	0.38	102	乙酸十三酯	32.442	-	0.17	0.65
50	庚酸丁酯	21.759	0.26	0.49	-	103	十九烷	33.059	-	0.11	0.72
51	乙酸-5-甲基-2-异丙基己酯	21.783	-	-	0.62	104	邻苯二甲酸二丁酯	33.150	-	0.09	-
52	长叶烯	21.883	-	0.05	-	105	5-苯基-2-(2-丙炔氨基)-4(5 <i>H</i>)-唑酮	40.175	-	-	0.48
53	己酸庚酯	21.984	0.42	0.64	-						

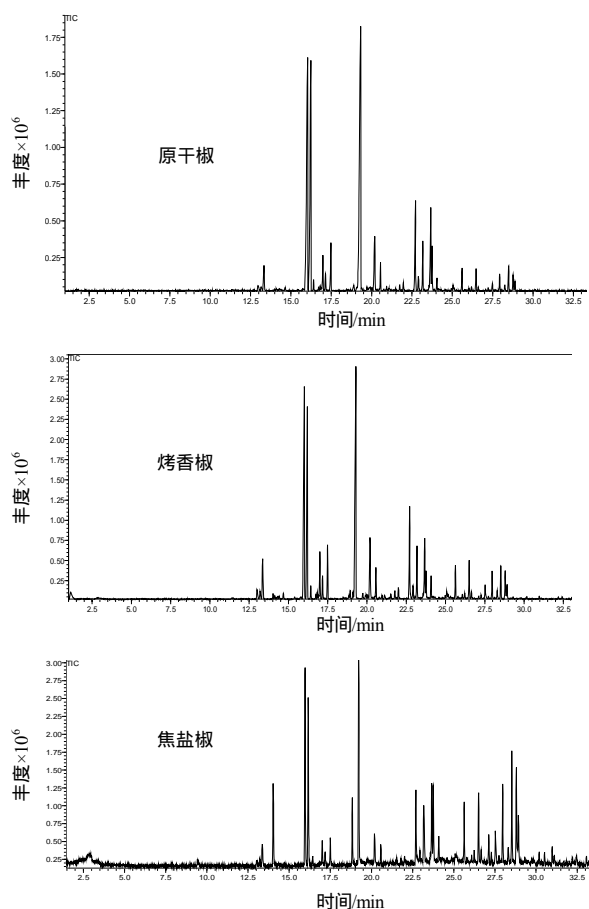


图1 3种野山椒粉GC-MS分析的总离子流色谱图

Fig.1 Total ion current chromatogram of dried, baked and salty baked chilli powder by GC-MS

从焦盐野山椒粉中共鉴定出55种成分(占总挥发性成分的92.32%),其中,烯烃类5种(10.12%),烷烃类17种(29.03%),酯类25种(44.61%),醛类2种(6.22%),酮类4种(2.01%),酸类1种(0.20%),其他类1种(0.13%)。

由以上分析可知,野山椒粉中的主要成分为酯类物质,其次为烷烃类和烯烃类,此外还含有少量的醛类、酮类、酸类等物质。这些物质共同构成了野山椒特有的香气特征。

2.2 不同干制工艺对野山椒粉香气的影响

2.2.1 对酯类成分的影响

由表1可知,酯类是3种野山椒粉挥发性成分中种类和相对含量最多的一类物质,也是构成辣椒粉香气的一类重要物质。烤香辣椒粉中含酯类物质的种类(42种)最多,原干辣椒粉中酯类物质的相对含

量(76.09%)最高。在被检测出的45种酯类成分中,19种为3种辣椒粉共有,其中,己酸己酯、2-甲基丁酸己酯、3-甲基丁酸己酯的相对含量较高,原干辣椒粉、烤香辣椒粉、焦盐辣椒粉中这3种物质含量之和分别占总酯类物质的89.20%、79.90%、72.45%。己酸己酯具有生青水果香气和新鲜的清香香气;2-甲基丁酸己酯具有浓烈的水果清香和持久的黑胡椒样香气;3-甲基丁酸己酯具有水果香气以及未成熟水果样香韵,它们是辣椒香气中“青”和“刺激”气味的主要贡献物质^[16-17]。这表明3种野山椒粉中酯类对香气的贡献总体是相同的,即表现为生青刺激,但在细微方面有一些差异。烤香野山椒粉含酯类物质的种类最多,所表现出来的香气比另外2种丰富,但由于其酯类物质总量和3种主要酯类物质的相对含量均比原干辣椒粉少,所以,比原干野山椒粉明显少了一些“青”和“刺激”的气味。焦盐野山椒粉酯类物质总量和3种主要酯类物质的相对含量比烤香野山椒粉更少,所以,“青”和“刺激”气味比烤香野山椒粉更少。适当加热可以促使辣椒中不易挥发组分挥发,使其感官风味品质得到体现。由于酯类相对于其他风味组分的热稳性差,且易于挥发,所以,烘烤使其损失较大。

2.2.2 对烃类成分的影响

一般来讲,饱和烷烃香气的阈值较高,赋予产品的香气作用较小,但2-丁基-1,1,3-三甲基环己烷在原干椒和焦盐野山椒粉中的相对含量比较高;3-己基-1,1-二甲基环戊烷在烤香野山椒粉中的相对含量比较高;2-甲基十四烷在3种辣椒粉中的相对含量都较高。萜烯类化合物相对饱和烷烃的阈值较低,并具有特殊香气,赋香作用较大。在检出的14种烯烃类物质中,原干辣椒粉、烤香辣椒粉和焦盐椒粉分别有8、12、5种,相对含量分别为8.12%、7.58%、10.12%,其中,(4aS-顺)-2,4a,5,6,7,8,9,9a-八氢-3,5,5-三甲基-9-亚甲基-1H-苯并环庚烯、(+)- α -长叶蒎烯、2-甲基-Z-7-十六烯为3种辣椒粉共有。一般相对分子质量较大的直链或支链烯烷

值较大,相对萜烯类物质来说,其对香气的贡献较小,而(3Z)-3-十四烯、2-甲基-1-十五烯、1-十六烯、2-甲基-Z-7-十六烯属于同一类物质,而且其相对含量较低,所以,烃类对辣椒粉香气的贡献主要体现为萜烯类物质的贡献,即衣兰烯、可巴烯、长叶烯、 α -紫穗槐烯、(4aS-顺)-2,4a,5,6,7,8,9,9a-八氢-3,5,5-三甲基-9-亚甲基-1H-苯并环庚烯、顺(-)-2,4a,5,6,9a-六氢-3,5,5,9-四甲基-1H-苯并环庚烯、香橙烯、香树烯、(+)- α -长叶蒎烯、(+)- δ -杜松烯为烃类物质中的主要香气物质,其分子式都为 $C_{15}H_{24}$ 的倍半萜烯,而且结构都比较相似,所以,这些倍半萜烯类物质可能都具有比较类似的香气特征。倍半萜烯广泛分布于植物精油中,多具有较强烈的木香、脂香等,如长叶烯具有松节油样的香气^[17],所以,萜烯类物质为辣椒提供的是柔和的“脂香”。辣椒中烯类物质的挥发较慢,适当的温度可以促进其挥发,所以,烤香辣椒粉中烯类物质明显多于原干辣椒粉,加入食盐却抑制了一些萜烯类物质的产生,使其未能被检测出来。

2.2.3 对其他类成分的影响

从3种野山椒粉中检测出的醛类、酸类、醇类、酮类物质分别为5、3、5、4种,其他类物质6种。这些物质种类较少,相对含量较低,阈值较低,如2-甲氧基-3-异丁基吡嗪可产生一种很强的甜柿子椒香味,其可感出的阈值是 0.0002 ng/g ^[18];2-辛醇有芳香气味;己醛呈生的油脂和青草气及苹果香味;2-戊基呋喃具有豆香、果香、泥土、青香及类似蔬菜的香韵; β -紫罗兰酮有紫罗兰花香气,木香香韵突出;二氢猕猴桃内酯具有柔和的木香和果香香韵;桃醛呈油脂和鸢尾似香气;阿道克醛有强烈而新鲜的花香、玫瑰香气、海洋气息^[16-17],所以,这些物质对野山椒粉香气的贡献也较大。

2.3 不同干制工艺对野山椒粉感官变化的影响

原干辣椒粉的香气比较刺激,经高温烘烤后的2种野山椒粉的香气相对柔和。就焦盐野山椒粉和

烤香野山椒粉而言,前者香气比较单调,后者香气相对浓郁。这主要是高温烘烤使野山椒粉中的大部分酯类物质得以挥发,特别是使产生生青刺激气味的相对含量较高的己酸己酯、2-甲基丁酸己酯、3-甲基丁酸己酯等酯类物质得以挥发。此外,适当的烘烤温度可以促进碳水化合物和氨基酸类等物质分解,或这些物质间相互反应而生成其他嗅感物质。从焦盐辣椒粉中检测出的挥发性成分种类远远少于烤香辣椒粉,特别是一些对香气贡献较大的物质,如2-甲氧基-3-异丁基吡嗪、衣兰烯、可巴烯以及一些醇类、醛类物质等,在焦盐野山椒粉中都被检测到,所以,其气味比较单调。

3 结论与讨论

己酸己酯、2-甲基丁酸己酯、3-甲基丁酸己酯是野山椒粉中含量最高的3种挥发性成分,它们是辣椒生青刺激性气味的主要来源。原干辣椒粉中这3种物质的相对含量最高,所以,原干辣椒粉所表现出来的香气特征主要为“生青”、“刺激”。与原干辣椒粉相比,烤香辣椒粉香气浓郁、丰富。加入食盐会对野山椒粉中一些挥发性成分的产生造成影响,或者抑制一些物质的反应,使辣椒粉中一些含量相对较低的挥发性成分不能被检测出来,所以,与烤香野山椒粉相比,焦盐野山椒粉气味比较单调,而且香气不够浓郁。

由于原干辣椒粉气味生青、刺激,所以,原干辣椒粉不适宜作为辅料添加到食品中直接食用。烤香辣椒粉最大限度地发挥了辣椒粉的香气特征,比原干辣椒粉的应用广泛,可以作为辅料添加到各类食品中直接食用。焦盐辣椒粉香气虽然不如烤香辣椒粉浓郁,但可以作为原料直接食用,其产品具有香脆可口、开胃、不易发霉、保质期长等优点。

参考文献:

- [1] 吴谋成. 食品分析与感官评定[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 55-56.
- [2] 黄伟坤. 食品检测与分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社,

- 社, 1989: 564–566.
- [3] Koziel J A , Pawliszyn J. Air sampling and analysis of volatile organic compounds with solid phase microextraction[J]. Journal of the Air and Waste Management Association , 2001 , 51: 173–184.
- [4] 张恩让, 任媛媛, 胡华群, 等. 6个品种辣椒干的挥发性成分比较研究[J]. 种子, 2009, 28(10): 88–90.
- [5] 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.
- [6] 周晓媛, 邓靖, 李福枝. 发酵辣椒挥发性成分分析及复合香味剂调配[J]. 中国食品学报, 2007, 7(3): 138–143.
- [7] 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.
- [8] Stanislau B J , Arlete de M T , Cláudia A Z , et al. Optimization of the extraction conditions of the volatile compounds from chili peppers by headspace solid phase micro–extraction[J]. J Chromatography A , 2011 , 1218(21): 3345–3350.
- [9] Arthur G , Eric R , Eric K , et al. Volatile compounds and capsaicinoid content of fresh hot peppers (*Capsicum Chinense*) scotch bonnet variety at red stage[J]. Adv J Food Sci Technol , 2011 , 3(3): 211–218.
- [10] Nándor K ,Mária A ,Zsuzsa M ,et al. GC–MS investigation of the aroma compounds of hungarian red paprika (*Capsicum annuum*) cultivars[J]. J Food Composition and Analysis , 2002 , 15(2): 195–203.
- [11] Jorge P , Marilú G , Liena C , et al. Characterization of total capsaicinoids , colour and volatile compounds of habanero chilli pepper(*Capsicum chinense* Jack.) cultivars grown in Yucatan[J]. Food Chemistry , 2007 , 104(4): 1682–1686.
- [12] Yang Yong–juan , Ding Zhu–hong. Clustering analysis of volatile aroma compounds in dried chilli (*Capsicum annum* L.) [J]. Food Science , 2010 , 31(4): 187–189.
- [13] Dirk R C , Karl E. Formation of volatile compounds during heating of spice paprika (*Capsicum annum*) powder [J]. J Agric Food Chem , 2000 , 48(6): 2454–2460.
- [14] 曹雁平, 张东. 固相微萃取–气相色谱质谱联用分析辣椒树脂挥发性成分[J]. 食品工业科技, 2011, 32(1): 108–111.
- [15] 李达, 王知松, 丁筑红, 等. 固相微萃取–气–质联用法对干椒烘焙前后风味化合物的分析评价[J]. 食品科学, 2009, 30(16): 269–271.
- [16] 谢建平. 烟草香原料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [17] 刘树文. 合成香料技术手册[K]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009.
- [18] 宋国新. 香气分析技术与实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 124–133.

责任编辑: 王赛群