

几种干燥方式对金针菇子实体挥发性风味成分的影响

唐秋实, 陈智毅, 刘学铭*, 杨春英, 王思远, 林耀盛

(广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业部功能食品重点实验室,
广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)

摘要:为研究不同干燥方式对金针菇子实体挥发性风味物质的影响, 运用固相微萃取(SPME)和气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术, 分别对金针菇鲜样及热泵、鼓风和真空冷冻三种方式干燥的金针菇挥发性成分进行分析比较。金针菇干样和鲜样共检出54种挥发性成分, 其中热泵干燥和鼓风干燥后主要挥发性成分为醛类和醇类, 其次为酯类和酮类, 热泵干燥后2-甲基丁醛、3-甲基丁醛和2,3-丁二醇相对含量较高, 鼓风干燥后3-甲基丁醛和丁内酯较高; 真空冷冻干燥后和鲜样中主要挥发性成分为烃类和醇类, 真空冷冻干燥后相对含量较高的为2,2,4,6,6-五甲基庚烷、2,3-丁二醇和D-柠檬烯。三种干燥方式中, 加热的干燥方式使物料成分发生相互作用生成较多阈值低的风味物质, 鼓风干燥因局部反应剧烈还生成吡嗪类物质, 真空冷冻干燥因低温无氧条件而能较好保持鲜金针菇风味。

关键词:金针菇, 干燥方式, 挥发性风味, GC-MS

Influence of drying methods on volatile components of *Flammulina velutipe*

TANG Qiu-shi, CHEN Zhi-yi, LIU Xue-ming*, YANG Chun-ying, WANG Si-yuan, LIN Yao-sheng

(Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China)

Abstract:The volatile composition of *Flammulina velutipe* by different drying methods (heat pump, hot air and vacuum freeze drying) was analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) with solid-phase micro-extraction (SPME). A total of 54 volatile compounds were detected. By using heat pump and hot air drying, aldehydes and alcohols were the major components in *Flammulina velutipe*, followed by esters and ketones. Higher relative content of 2/3-methylbutanal and 2,3-butanediol were observed in the sample by using heat pump, while 3-methylbutanal and butyrolactone were in greater percentage in the one by hot air drying method. On the other hand, hydrocarbons and alcohols showed the highest contents in the sample by vacuum freeze drying method and the control. It demonstrated that 2,2,4,6,6-pentamethylheptane, 2,3-butanediol and D-limonene were the major components in the sample by vacuum freeze drying method. Among these drying methods, more volatile compounds which had lower thresholds were generated by heat treatment methods due to the interaction of compounds in raw material. Besides, pyrazines were detected by hot air drying for local heat reactions. With regard to vacuum freeze drying method, the fresh *Flammulina velutipe* flavor could be better kept due to the low temperature and anaerobic condition.

Key words: *Flammulina velutipe*; drying method; volatile component; GC-MS

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)10-0119-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.10.016

金针菇 [*Flammulina velutiper* (Fr.) Singe] 又名毛柄金钱菌、构菌、朴菇、冬菇、智力菇等, 隶属担子菌亚门 (Basidiomycotina), 层菌纲 (Hymenomycetes), 伞

菌目 (Agaricales), 口蘑科 (Tricholomataceae), 金钱菌属 (*Flammulina*)^[1]。金针菇菌盖滑嫩, 形美, 味鲜, 营养物质丰富, 是著名的食药两用菌和观赏菌, 具有较高

收稿日期: 2014-07-30

作者简介: 唐秋实 (1987-), 男, 硕士, 研究方向: 食品品质分析。

* 通讯作者: 刘学铭 (1967-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 食品品质分析。

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项经费项目 (201303080); 广东省教育部产学研结合项目 (2012B091100292); 广东省科技计划项目 (2012A020100010)。

的营养价值和药用价值^[2]。

新鲜的食用菌因其呼吸作用强和含水量高而难以保鲜,干燥是目前食用菌的常用保存方式,既便于贮藏和携带,又可延长其货架期,避免经济损失^[3]。常用的干燥方式有热空气干燥法、冷冻干燥法、微波干燥法,但食用菌在干燥过程中由于水分的散失,蛋白质发生聚集,脂质含量升高,分子间发生相互作用而出现风味的丧失,并且不同的干燥方式对分子间相互作用影响不同,风味的变化也不同^[3-4]。挥发性风味是决定食用菌品质和大众接受度的重要因素,研究表明食用菌中挥发性风味成分主要包括酮、醛、酯类等化合物^[5]。固相微萃取(SPME)技术和气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术已广泛用于分析挥发性和半挥发性风味组成^[6],对研究干燥过程中香气形成机理亦非常有效。

金针菇虽然营养价值高风味鲜美,但其高附加值产品的开发比较少,干燥是进行高附加值产品开发的必须阶段,目前尚无关于金针菇采后干燥及其对挥发性风味影响的报道。本研究选用热泵干燥、鼓风干燥、真空冷冻干燥的方式对金针菇进行干燥,采用GC-MS分析不同干燥方式对金针菇挥发性风味成分影响,探究其香气形成机理,对开发和利用金针菇资源具一定参考价值,同时为食用菌产品开发提供理论基础和实践依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

新鲜金针菇 购自广州某大型超市。

GHRH-20型高温热泵干燥系统 广东省农业机械研究所提供;真空冷冻干燥机 美国Labconco公司;MA100C型水分测定仪 德国Sartorius公司;6890N/5975B型气相色谱-质谱联用仪 美国Agilent公司;固相微萃取手动进样器 美国Supelco公司;50/30 μ m DVB/CAR/PDMS型固相微萃取纤维头 美国Supelco公司;ALC-210.4型电子分析天平 德国Acculab公司;FW100型高速粉碎机 天津市泰斯特仪器有限公司;GZX-9420 MBE型电热恒温鼓风干燥箱 上海博迅实业有限公司医疗设备厂。

1.2 实验方法

1.2.1 干燥工艺 称取三份新鲜金针菇,每份500g,分别进行鼓风干燥、热泵干燥和真空冷冻干燥,直至物料水分含量降至8%以下,结束干燥,粉碎机粉碎,样品保存备用。鼓风干燥和热泵干燥条件:鲜金针菇均匀铺散在干燥箱搁板上,设置温度55 $^{\circ}$ C,每4h测定样品水分含量。真空冷冻干燥条件:鲜金针菇均匀铺散在托盘上,并覆盖上扎孔的薄膜,置于-20 $^{\circ}$ C冰箱预冻,随后将其置于真空冷冻干燥箱,直至水分含量达到8%以下,干燥完成。

1.2.2 GC-MS分析挥发性风味成分 将鲜金针菇和三种不同方式干燥后的金针菇样品分别进行GC-MS分析。先将固相微萃取头在进样口老化2h,老化温度250 $^{\circ}$ C,分别称取1.5g样品于顶空萃取瓶中,应用固相微萃取头45 $^{\circ}$ C条件下萃取40min,富集挥发性化合物,在GC-MS进样口250 $^{\circ}$ C解吸附5min,GC-MS检测

分析纤维头上挥发性化合物。

1.2.2.1 GC条件 DB-5MS (30m \times 250 μ m \times 0.25 μ m)毛细管柱,进样口采用不分流模式,温度为250 $^{\circ}$ C,柱温初始温度35 $^{\circ}$ C,保持5min,以3 $^{\circ}$ C/min上升到70 $^{\circ}$ C,再以5 $^{\circ}$ C/min上升到120 $^{\circ}$ C,之后8 $^{\circ}$ C/min上升到200 $^{\circ}$ C,保持5min;载气(He)流量1mL/min。

1.2.2.2 MS条件 EI离子源温度230 $^{\circ}$ C;四级杆温度150 $^{\circ}$ C;电子能量70eV;电子倍增器电压1200V;扫描质量范围:30~450amu。

1.2.2.3 定性和定量分析 根据得到的总离子流色谱图,采用Nisto5a谱图库计算机检索,并参考有关文献资料分析,再结合保留时间、质谱、人工图谱解析及和标准化合物比对鉴定,结合匹配度确定挥发性成分的化学组成。按面积归一化法进行定量分析,各分离组分相对含量(%)=(分离组分的峰面积/总峰面积) \times 100。

2 结果与分析

2.1 GC-MS检测结果

应用固相微萃取技术能有效吸附样品中挥发性成分,经GC-MS分析新鲜金针菇及热泵干燥、鼓风干燥和真空冷冻干燥后的金针菇样品,总离子流色谱图如图1所示,共鉴定出54种挥发性成分,其中热泵、鼓风、真空冷冻干燥分别鉴定出17、25、26种挥发性成分,鲜样鉴定出7种(表1)。将所得挥发性成分进行分类,主要有醛类、醇类、酯类、酮类、烯烃类、烷烃类、吡嗪类以及其他种类较少的物质,如醚类、含硫化合物和胺类物质(表2)。从相对含量看,采用热泵干燥加工方式其挥发性风味成分醛类物质含量最高共4种,相对含量达到31.78%;鼓风干燥的加工方式也是醛类物质含量最高共5种,相对含量达到40.78%;而采用真空冷冻干燥方式烃类的含量最高55.31%,共16种;鲜金针菇中检出的风味成分烃类的含量最高59.40%,共5种。

2.2 醛类和酮类物质分析

醛类物质和酮类物质都属羰基类化合物,其中醛类物质是食用菌中比较丰富的一种挥发性化合物,其气味阈值低,并且同其他化合物重叠效应较强,C₅~C₉的醛类通常来自脂肪氧化和降解,具有脂香气味^[7]。从表1、表2可以看出鲜样中未检出醛类风味物质,而热泵干燥和鼓风干燥后醛类物质所占挥发性成分比例均最高。热泵干燥后的主要成分为2-甲基丁醛(12.14%)、3-甲基丁醛(10.78%)和正己醛(8.38%),同时含少量苯乙醛(0.48%);鼓风干燥后的主要成分为3-甲基丁醛(27.32%)、正己醛(6.85%)和异丁醛(5.67%),含少量苯甲醛(0.61%)和苯乙醛(0.36%);真空冷冻干燥后仅含3-甲基丁醛(1.14%)。可以看出热泵干燥和鼓风干燥这两种加热的干燥方式生成较多醛类物质,且主要为C₅~C₉类化合物,这与李琴等对双孢蘑菇的研究结果相似,这些芳香醛和小分子醛可能发生美拉德反应,其中2-甲基丁醛具甜味和果香味,3-甲基丁醛具苹果香味,正己醛具有青草味^[8-9]。

酮类化合物贡献气味有花香和果香,具有香味

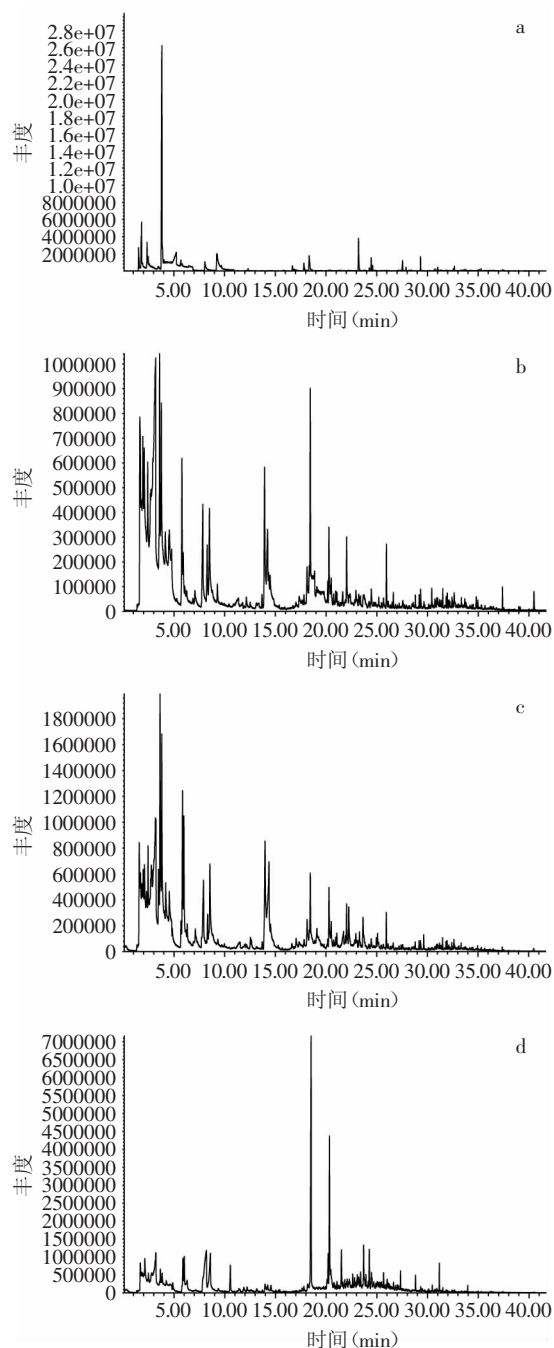


图1 不同干燥方式及鲜金针菇挥发性成分总离子图
Fig.1 Ion chromatogram of *Flammulina velutipe* by GC-MS from different drying methods

注: (a) 金针菇鲜样; (b) 热泵干燥; (c) 鼓风干燥; (d) 真空冷冻干燥。

表1 不同干燥方式及鲜金针菇挥发性成分GC-MS分析结果

Table 1 GC-MS analytical results of volatile compounds from different drying methods of *Flammulina velutipe*

类别	保留时间 (min)	化合物	分子式	相对含量 (%)			
				热泵	鼓风	真空冷冻	鲜样
醛类	2.44	Isobutyraldehyde 异丁醛	C ₄ H ₈ O		5.67		
	3.47	Isovaleraldehyde 3-甲基丁醛	C ₅ H ₁₂ O	10.78	27.32	1.14	
	3.75	2-methyl butanal 2-甲基丁醛	C ₅ H ₁₀ O	12.14			
	8.54	Caproaldehyde 正己醛	C ₆ H ₁₂ O	8.38	6.85		
	17.05	Benzaldehyde 苯甲醛	C ₇ H ₆ O		0.61		
	20.96	Phenylacetaldehyde 苯乙醛	C ₈ H ₈ O	0.48	0.36		

优异持久的特点,其中烯酮类化合物具有类似玫瑰叶中的香味,主要通过脂质氧化加热生成^[10]。热泵干燥和鼓风干燥后酮类的主要挥发性成分为3,5-辛二烯-2-酮,相对含量分别为3.62%和2.08%,另外热泵干燥后含少量的4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)呋喃酮(0.74%)和甲基壬基甲酮(0.36%),鼓风干燥后含少量的2-壬酮(0.53%),真空冷冻干燥后含少量的3-羟基-2-丁酮(0.63%)和反式-2-酮八氢萘(0.29%)。

加热干燥后醛类物质构成金针菇风味特征主体香味,酮类化合物3,5-辛二烯-2-酮也起一定贡献作用,这可能是加热干燥利于醛类和酮类羰基类化合物的形成,而真空冷冻干燥后因低温无氧条件则不易生成羰基类风味物质。同时鼓风干燥受环境影响较大,干燥较为剧烈,而热泵干燥是利用介质除湿的方式进行干燥,环境相对温和,因而两种加热干燥方式生成的主要醛类化合物不同,相对含量也有一定差异。

2.3 醇类物质分析

醇类物质一般通过脂质氧化而来,其阈值较高,但浓度达到一定程度后可充分发挥其价值,不饱和醇也可达到这种效果,并且随着碳链增加,可产生出清香、木香和脂肪香的特征^[11]。热泵干燥后主要醇类化合物为2,3-丁二醇(10.39%)和异戊醇(6.82%),其次为DL-薄荷醇(2.18%)和2-甲基丁醇(2.14%);鼓风干燥后主要醇类化合物为2-甲基丁醇(7.58%)和2,3-丁二醇(7.10%),其次为苯乙醇(2.14%)、1-戊醇(1.20%)和DL-薄荷醇(1.13%);真空冷冻干燥后醇类化合物主要为2,3-丁二醇(19.83%),其次为异戊醇(3.33%)、2-甲基丁醇(3.06%)和丙二醇(2.04%),另外含少量柠檬烯二醇(0.38%);鲜金针菇中则仅含DL-薄荷醇(13.20%)。

八碳类化合物是食用菌中一类重要风味化合物,尤其1-辛烯三醇广泛存在食用菌中,被称为“蘑菇醇”^[12],与其他食用菌比较,干燥后的金针菇未检出1-辛烯三醇,这可能与金针菇自身1-辛烯三醇含量低,及其稳定性不高,各种干制方法对其破坏性有关。同时,随着干燥的进行,醇类物质种类增加,并呈现不同风味,如异戊醇具焦香麦芽的味道,DL-薄荷醇具薄荷清香,它们相互作用,不同干燥方式的金针菇因而呈现不同风味。

2.4 酯类物质分析

酯类是由醇与酸发生酯化反应形成的物质,通

续表

类别	保留时间(min)	化合物	分子式	相对含量(%)			
				热泵	鼓风	真空冷冻	鲜样
醇类	5.79	Isopentanol 异戊醇	C ₅ H ₁₂ O	6.82		3.33	
	5.92	2-methyl butanol 2-甲基丁醇	C ₅ H ₁₂ O	2.14	7.58	3.06	
	6.29	Propanediol 丙二醇	C ₃ H ₈ O ₂			2.04	
	7.11	1-pentanol 1-戊醇	C ₅ H ₁₂ O		1.20		
	7.84	2,3-butanediol 2,3-丁二醇	C ₄ H ₁₀ O ₂	10.39	7.10	19.83	
	23.65	Phenylethanol 苯乙醇	C ₈ H ₁₀ O		2.14		
	25.95	DL-menthol DL-薄荷醇	C ₁₀ H ₂₀ O	2.18	1.13		13.20
酯类	30.46	Limonene glycol 柠檬烯二醇	C ₁₀ H ₁₈ O ₂			0.38	
	12.55	Isoamyl acetate 乙酸异戊酯	C ₇ H ₁₄ O ₂		0.50		
	12.64	2-Methylbutyl acetate 2-甲基丁基乙酸酯	C ₇ H ₁₄ O ₂		0.42		
	14.37	Butyrolactone 丁内酯	C ₄ H ₆ O ₂	6.62	10.73	1.02	
	20.52	3-Methylenedihydro-2(3H)-furanone 2-甲烯基丁内酯	C ₅ H ₆ O ₂		1.47		
	40.49	Methyl 14-methylpentadecanoate 14-甲基十五烷酸甲酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	0.72			
	4.87	3-hydroxy-2-butanone 3-羟基-2-丁酮	C ₄ H ₈ O ₂			0.63	
酮类	21.07	2-Nonanone 2-壬酮	C ₉ H ₁₈ O		0.53		
	21.64	4-Hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)furanone 4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)呋喃酮	C ₆ H ₈ O ₃	0.74			
	22.03	3,5-octadien-2-one 3,5-辛二烯-2-酮	C ₈ H ₁₂ O	3.62	2.08		
	25.58	trans-2-Decalone 反式-2-酮八氢萘	C ₁₀ H ₁₆ O			0.29	
	29.18	Methyl nonyl ketone 甲基壬基甲酮	C ₁₁ H ₂₂ O	0.36			
	15.41	α-pinene α-蒎烯	C ₁₀ H ₁₆			0.17	
	17.81	β-pinene β-蒎烯	C ₁₀ H ₁₆			0.44	
烃类	20.33	D-limonene D-柠檬烯	C ₁₀ H ₁₆	3.70	3.11	13.31	15.40
	25.84	1-methyl-Cyclodecene 1-甲基环癸烯	C ₁₁ H ₂₀			0.39	
	31.84	Longifolene 长叶烯	C ₁₅ H ₂₄		0.19	0.08	8.80
	31.95	Cedrene 雪松烯	C ₁₅ H ₂₄		0.32		
	18.51	2,2,4,6,6-pentamethyl-heptane 2,2,4,6,6-五甲基庚烷	C ₁₂ H ₂₆			19.88	
	20.10	4-Isopropyltoluene 4-异丙基甲苯	C ₁₀ H ₁₄			0.95	
	21.50	Decalin 萘烷	C ₁₀ H ₁₈			3.14	
	21.84	2-methyldecane 2-甲基癸烷	C ₁₁ H ₂₄			0.74	
	22.07	3-methyldecane 3-甲基癸烷	C ₁₁ H ₂₄			1.04	
	23.22	cis-Decalin 顺式十氢化萘	C ₁₀ H ₁₈			1.67	
	23.92	1,3-dimethyladamantane 1,3-二甲基金刚烷	C ₁₂ H ₂₀			1.16	
	24.47	decyl Cyclohexane 正癸基环己烷	C ₁₆ H ₃₂			1.31	
	25.66	2-methyladamantane 2-甲基金刚烷	C ₁₁ H ₁₈			1.29	
	26.63	Dodecane 十二烷	C ₁₂ H ₂₆	0.50			
31.51	Tetradecane 十四烷	C ₁₄ H ₃₀	0.48	0.27	0.18		
吡嗪	25.04	decahydro-2-methyl-Naphthalene 2-甲基十氢化萘	C ₁₁ H ₂₀			9.63	
	33.33	n-Pentadecane 正十五烷	C ₁₅ H ₃₂				13.20
	34.96	n-Hexadecane 正十六烷	C ₁₆ H ₃₄				11.00
	35.66	7-methyl-heptadecane 7-甲基十七烷	C ₁₈ H ₃₈				11.00
	19.10	2-Ethyl-5-methylpyrazine 2-乙基-5-甲基吡嗪	C ₇ H ₁₀ N ₂		0.61		
	22.25	3-Ethyl-2,5-dimethylpyrazine 3-乙基-2,5-甲基吡嗪	C ₈ H ₁₂ N ₂		2.08		
	24.98	2,3-diethyl-5-methylpyrazin 2,3-二乙基-5-甲基吡嗪	C ₉ H ₁₄ N ₂		0.27		
其他	25.09	3,5-diethyl-2-methyl-pyrazin 3,5-二乙基-2-甲基吡嗪	C ₉ H ₁₄ N ₂		0.34		
	29.65	2-butyl-3,5-dimethylpyrazine 2-丁基-3,5-二甲基吡嗪	C ₁₀ H ₁₆ N ₂		0.40		
其他	13.93	2-Butoxyethanol 乙二醇单丁醚	C ₆ H ₁₄ O ₂	9.70			
	14.56	Dimethyl sulfone 二甲基砜	C ₂ H ₆ O ₂ S			0.72	
	15.82	N,N-diethyl-Formamide N,N-二乙基甲酰胺	C ₅ H ₁₁ NO				15.40

表2 不同干燥方式及鲜金针菇挥发性成分分类比较

Table 2 Comparison of volatile compounds from different drying methods of *Flammulina velutipe*

类别	热泵		鼓风		真空冷冻		鲜样	
	种类	相对含量(%)	种类	相对含量(%)	种类	相对含量(%)	种类	相对含量(%)
醛类	4	31.78	5	40.78	1	1.14		
醇类	4	21.53	5	19.15	5	28.62	1	13.20
酯类	2	7.34	4	13.13	1	1.02		
酮类	3	4.73	2	2.60	2	0.92		
烃类	3	4.68	4	3.86	16	55.31	5	59.40
吡嗪类			5	3.70				
其他	1	9.70			1	0.72	1	15.40

常而言,短链的酯类不仅常温下挥发性较强且阈值较低,对风味具有较大的贡献潜力^[13]。三种干燥方式中,热泵和鼓风的加热干燥方式,酯类相对含量仅次于醛类和醇类,其中热泵干燥后酯类挥发性成分主要为丁内酯(6.62%),14-甲基十五烷酸甲酯含量较低(0.72%)。鼓风干燥后酯类挥发性成分主要为丁内酯(10.73%),其次为2-甲基丁内酯(1.47%),乙酸异戊酯(0.50%)和2-甲基丁基乙酸酯(0.42%)含量较低;真空冷冻干燥后酯类挥发性成分仅丁内酯(1.02%),鲜样中则不含酯类成分。内酯类化合物能够赋予产品果香类气息,其中丁内酯具椰子香气,低剂量条件下还会散发杏子和李子的香气^[14]。经干燥后,加热条件下金针菇形成较多酯类如丁内酯,而冷冻后丁内酯含量较低,这可能是水分散失后,加热条件有利于内酯类化合物的形成。

2.5 烃类物质分析

烃类物质中主要检出烯烃类和烷烃类化合物,烃类物质风味阈值较高,对金针菇整体风味影响不大,但一些烯烃类风味独特,如D-柠檬烯有新鲜橙子香气及柠檬香气^[7]。热泵干燥后烯烃类挥发性成分仅检出D-柠檬烯(3.70%);鼓风干燥后主要烯烃类挥发成分也为D-柠檬烯(3.11%),长叶烯(0.19%)和雪松烯(0.32%)含量较低;真空冷冻干燥后主要烯烃类挥发成分同样为D-柠檬烯(13.31%),含少量 α -蒎烯(0.17%)、 β -蒎烯(0.44%)、1-甲基环癸烯(0.39%)和长叶烯(0.08%);鲜样中含D-柠檬烯(15.40%)和长叶烯(8.80%)。对比不同干燥方式和鲜样,四种样品均含D-柠檬烯,真空冷冻干燥后和鲜样中D-柠檬烯成分相对含量较高,而加热干燥后相对含量降低,可能是加热干燥致D-柠檬烯部分发生变化,而真空冷冻干燥能较好的保持金针菇风味。其他烯烃类物质含量较低,但具特殊香气,对整体风味有一定影响。

热泵干燥后挥发性成分还含烷烃类化合物十二烷(0.50%)和十四烷(0.48%);鼓风干燥后仅含十四烷(0.27%);鲜金针菇中检出3种烷烃类物质正十五烷(13.20%)、正十六烷(11.00%)和7-甲基十七烷(11.00%);而真空冷冻干燥后共检出16种烃类物质,相对含量达到55.31%,除烯烃外还有2,2,4,6,6-五甲基庚烷(19.88%)和2-甲基十氢化萘(9.63%)相对含量较高。可看出不同于热干燥利于醛类、酯类和酮类物质形成,真空冷冻干燥后烃类物质种类增加而

相对含量与鲜金针菇中大致相同,可能是随着鲜金针菇中水分散失,低温无氧条件下烃类挥发性风味成分发生变化,空间结构发生改变,生成多种烃类物质。

2.6 吡嗪及其他类物质分析

鼓风干燥后检出5种吡嗪类化合物,主要成分为3-乙基-2,5-甲基吡嗪(2.08%),其他四种吡嗪相对含量较少;热泵干燥、真空冷冻干燥和鲜样中均未检出吡嗪类成分。含量较高的3-乙基-2,5-甲基吡嗪具有坚果香和可可味,其他相对含量较低的吡嗪如2-乙基-5-甲基吡嗪(0.61%)和2,3-二乙基-5-甲基吡嗪(0.27%)有烤坚果或烘焙香味^[15],这些吡嗪类化合物相对含量虽低但风味强度较高,对金针菇风味有一定贡献。尽管鼓风干燥和热泵干燥温度均为55℃,但二者空气循环方式不同,热泵干燥条件温和,受热均匀,生成风味物质相对少,而鼓风干燥过程比较剧烈,致使局部温度过高而发生美拉德反应,生成具烤香味的吡嗪类化合物^[9],真空冷冻干燥则因温度低而不易生成吡嗪类化合物。

干燥的金针菇样品中还检测出一些其他化合物,热泵干燥后检出乙二醇单丁醚(9.70%),具有中等程度醚味,对金针菇的整体风味会有一定影响;真空冷冻干燥后检出一种含硫类化合物二甲基硫(0.72%),该物质相对含量低但挥发性强,对干燥后的金针菇风味有一定影响;鲜金针菇样中检出N,N-二乙基甲酰胺(15.40%),该物质无气味。

3 结论

采用热泵、鼓风、真空冷冻三种干燥方式对金针菇进行了干燥,并用GC-MS分析了干燥对金针菇挥发性成分的影响,共检出54种挥发性物质,其中热泵干燥17种,鼓风干燥25种,真空冷冻干燥26种。热泵干燥和鼓风干燥后挥发性物质最多的均为醛类、醇类和酯类,呈现主体风味,而鼓风干燥后还检出5种吡嗪类物质,相对含量虽不高,但因其阈值低,具烘烤味,对整体风味有一定影响。真空冷冻干燥后挥发性物质最多的为烃类和醇类,鲜金针菇中烃类和醇类物质相对含量同样丰富,构成金针菇主体风味,说明真空冷冻干燥能较好的保持金针菇鲜样风味。

干燥对挥发性风味的影响是多方面的,既与所选样品有关,也与具体的干燥方式和条件有关,鲜金针菇在不同干燥条件和物料成分等因素的共同作用

下,产生特有的风味,其风味并非由一种或一类物质单独形成,形式也不单一,各挥发性风味物质的阈值也不相同,因此干燥后金针菇挥发性风味是由各种化合物之间共同作用的结果。同时成分的相对含量并不能完全反映出某种化合物对风味的贡献,但从不同干燥方式下挥发性成分变化看,还是能够探究一些干燥对风味的影响及变化规律,为深入研究干燥方式对食用菌风味变化有一定借鉴意义。

参考文献

- [1] Cai H H, Liu X M, Chen Z Y, et al. Isolation, purification and identification of nine chemical compounds from *Flammulina velutipes* fruiting bodies[J]. Food Chemistry, 2013, 141(3):2873-2879.
- [2] Wang Y Q, Bao L, Yang X L, et al. Bioactive sesquiterpenoids from the solid culture of the edible mushroom *Flammulina velutipes* growing on cooked rice[J]. Food Chemistry, 2012, 132(3):1346-1353.
- [3] Giri S K, Prasad S. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(2):512-521.
- [4] Kompany E, Rene F. A note on the freeze-drying conditions for improved aroma retention in cultivated mushrooms (*Agaricus bisporus*) [J]. LWT-Food Science and Technology, 1995, 28(2):238-240.
- [5] 谷镇, 杨焱. 食用菌呈香呈味物质研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(5):363-367.
- [6] Ouzouni P K, Koller W, Badeka A V, et al. Volatile compounds

from the fruiting bodies of three *Hygrophorus* mushroom species from Northern Greece[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2009, 44(4):854-859.

- [7] 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):177-181.
- [8] Whitfield F B, Mottram D S. Volatiles from interactions of Maillard reactions and lipids[J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 1992, 31(1-2):1-58.
- [9] 李琴, 朱科学, 周惠明. 固相微萃取-气相色谱-质谱及气相色谱嗅闻技术分析双孢蘑菇汤的风味活性物质[J]. 食品科学, 2011, 32(16):300-304.
- [10] 麦雅彦, 杨锡洪, 连鑫, 等. SDE/GC-MS测定南美白对虾的挥发性香气成分[J]. 现代食品科技, 2014, 30(1):206-210.
- [11] 张娜, 袁信华, 过世东, 等. 中华绒螯蟹挥发性物质的研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(3):141-144.
- [12] 李巍巍, 吴时敏, 徐婷. 褐黄牛肝菌挥发性风味物质组成研究[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2009, 27(3):300-304.
- [13] Sun W, Zhao Q, Zhao H, et al. Volatile compounds of Cantonese sausage released at different stages of processing and storage[J]. Food Chemistry, 2010, 121(2):319-325.
- [14] Garcia-Esteban M, Ansorena D, Astiasar A N I, et al. Study of the effect of different fiber coatings and extraction conditions on dry cured ham volatile compounds extracted by solid-phase microextraction (SPME) [J]. Talanta, 2004, 64(2):458-466.
- [15] Misharina T A, Muhutdinova S M, Zharikova G G, et al. Formation of flavor of dry champignons (*Agaricus bisporus* L.) [J]. Applied Biochemistry and Microbiology, 2010, 46(1):108-113.

(上接第118页)

- [17] Jellouli K, Balti R, Bougatef A, et al. Chemical composition and characteristics of skin gelatin from grey triggerfish[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(9):1965-1970.
- [18] Weng W, Zheng H, Su W. Characterization of edible films based on tilapia scale gelatin with different extraction pH [J]. Food Hydrocolloids, 2014, 41:19-26.
- [19] Gómez-Guillén M C, Giménez B, López-Caballero M E, et al. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(8):1813-1827.
- [20] 缪进康. 鱼明胶研究进展[J]. 明胶科学与技术, 2011(2):57-69.
- [21] 张宇昊, 马良, 谢祥. 巴沙鱼皮明胶提取工艺及性质研究[J]. 食品科学, 2009(24):88-92.
- [22] 闵新宇, 刘小敏, 黄雅钦. 三文鱼皮明胶的制备及其性能的研究[J]. 明胶科学与技术, 2013(1):15-22.
- [23] 刘朝霞, 陈海光, 黄东雨. 鱼皮胶原蛋白的提取及其应用[J]. 广东农业科学, 2011, 38(20):100-102.
- [24] 吴菲菲, 翁武银, 苏文金, 等. 罗非鱼鱼鳞明胶蛋白膜的制备及特性[J]. 食品工业科技, 2013, 34(11):277-282.
- [25] Jamilah B, Harvinder K G. Properties of gelatins from skins

- of fish-black tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and red tilapia (*Oreochromis nilotica*) [J]. Food Chemistry, 2002, 77(1):81-84.
- [26] Gudmundsson M. Rheological properties of fish gelatins [J]. Journal of Food Science, 2002, 67(6):2172-2176.
- [27] Sperling L H. Introduction to physical polymer science [M]. New York: John Wiley, 1985.
- [28] Nemethy G, Scheraga H A. Stabilization of collagen fibrils by hydroxyproline [J]. Biochemistry, 1986, 25(11):3184-3188.
- [29] 李国英, 张忠楷, 雷苏, 等. 胶原、明胶和水解胶原蛋白的性能差异[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2005, 37(4):54-58.
- [30] 石服鑫, 曹慧, 徐斐, 等. 不同来源 II 型胶原结构及其免疫活性[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(2):22-26.
- [31] 吴文惠, 张艳, 包斌, 等. 不同鲨鱼皮胶原蛋白的分离及其特性研究[J]. 中国海洋药物, 2008, 27(2):22-28.
- [32] 陈开利. 丝胶的圆二色光谱与分子构象[J]. 苏州大学学报: 工科版, 1982, 2:11-27.
- [33] 蒋挺大. 胶原与胶原蛋白 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [34] Usha R, Ramasami T. The effects of urea and n-propanol on collagen denaturation; using DSC, circular dichroism and viscosity [J]. Thermochimica Acta, 2004, 409(2):201-206.