

真空低温油炸和真空冷冻干燥对香菇脆片品质及挥发性风味成分的影响

高兴洋¹, 安欣欣¹, 赵立艳¹, 杨方美¹, 裴 斐², 杨文建², 任鹏飞³, 刘同军⁴, 胡秋辉^{1,2,*}

(1.南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095; 2.南京财经大学食品科学与工程学院, 江苏 南京 210046;

3.山东省农业科学院农业资源与环境研究所, 山东 济南 250100; 4.济南新思达机械有限公司, 山东 济南 250032)

摘 要: 利用真空低温油炸和真空冷冻干燥两种加工工艺制成香菇脆片, 对其感官品质、营养成分进行对比分析, 并进一步利用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术对两种香菇脆片挥发性风味成分进行比较。结果表明, 真空冷冻干燥香菇脆片其硬度、脆度较大, 体积皱缩率较小, 颜色较白, 感官品质较好, 与此同时其营养成分保留较好。两种香菇脆片挥发性风味成分差异较大, 主要体现在以醇、醛为主的八碳化合物以及酯类物质的差异上。真空冷冻干燥香菇脆片中共检测到45种挥发性风味成分, 真空低温油炸香菇脆片中共检测到31种挥发性成分, 其中真空冷冻干燥香菇脆片中1-辛烯-3-醇占6.37%、1,2,3,5,6-五硫杂环庚烷占2.02%, 而这两种物质在真空低温油炸香菇脆片中未检出。此外, 真空低温油炸香菇脆片中壬醛含量为真空冷冻干燥香菇脆片的7倍, 且酯类物质含量显著升高。两种香菇脆片中均检出较多烷烃类物质。

关键词: 香菇脆片; 真空低温油炸; 真空冷冻干燥; 营养成分; 挥发性风味成分; 气相色谱-质谱

Effects of Vacuum Frying versus Freeze Drying on Quality and Volatile Components of Shiitake (*Lentinula edodes*) Chips

GAO Xingyang¹, AN Xinxin¹, ZHAO Liyan¹, YANG Fangmei¹, PEI Fei², YANG Wenjian², REN Pengfei³, LIU Tongjun⁴, HU Qiuhui^{1,2,*}

(1. College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210046, China;

3. Institute of Agricultural Resources and Environment, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China;

4. Jinan New Star Machine Co. Ltd., Jinan 250032, China)

Abstract: Vacuum frying and freeze drying were comparatively used to produce shiitake (*Lentinula edodes*) chips. A comprehensive analysis of the dried chips was performed on their sensory quality, nutritional composition and volatile components by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that freeze drying was better for shiitake chips than vacuum frying in terms of texture, color and nutritional components. There were considerable differences in volatile components between the two shiitake chips mainly with respect to eight-carbon components and esters. A total of 45 volatile components were identified in freeze dried chips and 31 in vacuum fried chips. 1-Octen-3-ol and 1,2,3,5,6-pentathiepane were identified in freezing dried chips but neither of them were detected in vacuum fried chips. Moreover, much higher amounts of nonyl aldehyde and esters were identified in vacuum fried chips. In addition, alkanes were also formed in considerable quantities in the two shiitake chips.

Key words: *Lentinula edodes* chips; vacuum frying; freeze drying; nutritional components; volatile components; gas chromatography-mass spectrometry

中图分类号: TS255.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2015)17-0088-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201517017

香菇 (*Lentinula edodes* (Berk.) Sing), 又名香蕈、香菌、香信、花菇。隶属于真菌门、担子菌纲、口蘑科、香菇属^[1]。香菇不仅营养丰富, 兼具良好的保健功能和较

高的药用价值^[2], 而且香菇中特有的香菇精及其他八碳挥发性化合物赋予了香菇浓郁的蘑菇香味, 使其不但位列草菇、平菇、白蘑菇之上, 而且素有“真菌皇后”之誉^[3]。

收稿日期: 2015-03-14

基金项目: 国家现代农业(食用菌)产业技术体系建设专项(CARS-24)

作者简介: 高兴洋(1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品营养与化学。E-mail: 2013108034@njau.edu.cn

*通信作者: 胡秋辉(1962—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品科学与工程。E-mail: qiuhuihu@njau.edu.cn

香菇脆片是一种新型休闲食品,采用一定的干燥工艺将新鲜香菇进行脱水制成,使其在保证香菇营养和风味的同时,延长了货架期,且具有方便性。目前常采用真空低温油炸工艺对其进行加工。真空低温油炸是在低温低压低氧的环境下对物料进行油水替换脱水,可有效降低高温对原料营养及感官品质的破坏,减少了有害物质的生成,有效降低产品的含油率。近年来真空低温油炸工艺发展迅速,国内外对其研究也较多。如日本Yamazaki等^[4]发明了一种在真空低温状态下制备油炸脱水苹果的方法。潘牧等^[5]对真空低温油炸薯片工艺进行了研究,确定了薯片真空低温油炸最优工艺参数。裴斐等^[6]以杏鲍菇为原料,对真空低温油炸杏鲍菇工艺进行了优化。但真空低温油炸对产品营养成分的破坏仍不可忽略且对产品色泽等感官品质影响较大,于是目前国内外学者试图采用真空冷冻干燥工艺替代真空低温油炸工艺对果蔬进行脱水干燥加工。如Hammami等^[7]通过响应曲面法研究并优化了草莓的冷冻干燥工艺。章斌等^[8]进行了香蕉片的真空冷冻干燥工艺研究。真空冷冻干燥工艺在保证产品感官品质、营养等方面具有不可比拟的优势,它是将物料中的水冻结成冰后在真空环境下对其进行低温加热,使物料中水分直接升华进行脱水,有效减少了高温加工过程中对原料营养、活性物质等的破坏。但真空冷冻干燥工艺生产周期长、耗电量大仍限制了其发展。

固相微萃取技术(solid-phase microextraction, SPME)结合气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分离与鉴定样品中的挥发性风味成分已经广泛应用于食品、制药、化工等领域。SPME通过固相萃取头对密闭容器中待测样品的挥发性风味成分进行吸附提取,然后通过萃取头解吸使得香气成分进入色谱仪进行色谱分析,GC-MS技术同时结合气相色谱的高效分离性和质谱的高灵敏性优点,实现挥发性风味物质的定性和半定量分析。

本实验以产品感官品质、营养成分、挥发性风味成分分为指标,对采用真空冷冻干燥工艺和真空低温油炸工艺生产的香菇脆片进行对比研究,为以香菇为原料的脱水干燥生产提供理论指导,以满足生产及消费的需要。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜香菇 济南八里桥蔬菜水果批发市场。

食盐 中盐青岛盐业有限公司;白砂糖 湛江市金丰糖业有限公司;麦芽糊精 山东西王糖业有限公司;食用棕榈油 上海益海嘉里公司。

硫酸铜、硫酸钾、蒽酮、硫酸、硼酸、氢氧化钠、石油醚等均为分析纯 南京化学试剂有限公司;可溶性蛋白试剂盒 南京建成生物工程研究所。

1.2 仪器与设备

(VF) XSD-60型真空低温油浴脱水设备 济南新思达机械有限公司;12L真空冷冻干燥机 美国Labconco公司;GYX515便携式色差仪 上海嘉标测试仪器有限公司;TA-XT2i型质构仪 英国Stable Micro Systems公司;101-3A电热鼓风干燥机 上海苏进仪器设备厂;HH-6数显恒温水浴锅 江苏常州国华电器有限公司;722型可见分光光度计 上海菁华科技仪器有限公司;RX/RJ索式脂肪抽取仪 德国维根斯公司;2300凯氏自动定氮仪 丹麦Foss公司;50/30 μm DVB/CAR/PDMS固相萃取头、15 mL顶空固相萃取瓶 美国Supelco公司;7890A-5975C气相色谱-质谱联用仪 美国Agilent公司。

1.3 方法

1.3.1 香菇脆片前处理

按照前期预实验优化结果对新鲜香菇进行去蒂、清洗后沥干水分并纵向切成1 cm厚的薄片,然后按料液比1:5 (m/V)的比例称取香菇并置于含质量分数分别为18%麦芽糊精、1.3%盐、8%糖的浸渍液中90 $^{\circ}\text{C}$ 浸渍7 min,将浸渍后的香菇用流动水漂洗1 min并控干水分后,置于-35 $^{\circ}\text{C}$ 冰柜中冷冻10 h。

1.3.2 真空低温脱水工艺条件

经过前处理后的香菇分别采用真空低温油炸和真空冷冻干燥进行脱水处理,其中脱水过程采用前期预实验优化的工艺参数。具体工艺参数如下:

真空低温油炸工艺条件:取上述冷冻后的香菇置于真空低温油炸脱水设备中,并在真空度为(0.096 ± 0.001) MPa,油炸温度为(90 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ 的条件下进行真空低温油炸40 min,然后以350 r/min的脱油转速脱油4 min。使香菇脆片中的水分含量降至5%以下。

真空冷冻干燥工艺条件:取上述冷冻后的香菇置于真空冷冻干燥机中,并在真空度为0.1 MPa,温度为30 $^{\circ}\text{C}$ 的条件下进行真空冷冻干燥43 h。使香菇脆片中的水分含量降至5%以下。

1.3.3 质构特性测定

采用TA-XT2i型质构仪对两种加工工艺生产的香菇脆片进行硬度和脆度测定,测定探头采用HDP-BSK型,测定程序采用三点支架破碎法^[9-10]。以样品破碎时仪器上支架所需最大力表示硬度,所需力越大表示样品硬度越大,样品达到破碎点时上支架移动的距离表示脆度,距离越小表示样品脆性越大。测试参数为:触发力5 g,测试前速率3.0 mm/s,测试速率2 mm/s,测试后速率为10.0 mm/s,测试距离为8.0 mm。每种香菇脆片样品测试6次,取平均值。

1.3.4 色泽测定

利用GYX515便携式色差仪对两种香菇脆片样品色泽

进行测定,测定结果用 L^* 值(亮度/暗度)、 a^* 值(红度/绿度)和 b^* 值(蓝度/黄度)表示。每种香菇脆片样品测6次,取平均值。

1.3.5 体积皱缩率测定

采用小米置换法^[11]测定样品的体积。用公式(1)、(2)计算。

$$V=V_1-V_2 \tag{1}$$

$$V_s/\% = \frac{V_{\text{干前}} - V_{\text{干后}}}{V_{\text{干前}}} \times 100 \tag{2}$$

式中: V 为香菇的体积/ cm^3 ; V_1 为香菇与小米的总体积/ cm^3 ; V_2 为小米的体积/ cm^3 ; V_s 为体积皱缩率/%; $V_{\text{干前}}$ 为干燥前香菇的体积/ cm^3 ; $V_{\text{干后}}$ 为干燥后香菇的体积/ cm^3 。

1.3.6 多糖含量测定

采用蒽酮-硫酸比色法^[12]对样品多糖含量进行测定,以葡萄糖作为标准品。

1.3.7 总蛋白质含量测定

参考GB/T 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》,采用FOSS自动凯氏定氮仪测定。

1.3.8 可溶性蛋白的测定

采用考马斯亮蓝蛋白试剂盒测定。

1.3.9 脂肪含量测定

参考GB/T 5009.6—2003《食品中脂肪的测定》进行测定。

1.3.10 挥发性风味成分的测定

各取两种香菇脆片适量进行冰浴研磨,称取0.5 g样品分别置于15 mL顶空瓶中,用具有聚四氟乙烯隔垫的盖子密封。DVB/CAR/PDMS萃取头(50/30 μm)活化后插入顶空瓶隔垫内,然后置于60 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴锅中,推出纤维探头,顶空静态吸附40 min,于GC-MS的GC进样口解吸3 min。

色谱条件:色谱柱:HP-5MS毛细管柱(30 m $\times$ 250 μm , 0.25 μm);升温程序:程序升温条件为初始温度40 $^{\circ}\text{C}$,保持3 min,以5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升到150 $^{\circ}\text{C}$,保持时间3 min,再以10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升至230 $^{\circ}\text{C}$,保持时间2 min;载气He;流速0.8 mL/min;分流比1:1。

质谱条件:电离方式为电子轰击离子源,离子源温度230 $^{\circ}\text{C}$,四极杆温度150 $^{\circ}\text{C}$,接口温度250 $^{\circ}\text{C}$,电子能量70 eV;质量扫描范围25~450 u。

1.4 数据处理

香菇脆片中各挥发性成分由计算机检索与Wiley和NIST 08两个标准谱库匹配定性,峰面积归一化法定量各组分的相对含量。通过SPSS Statistics 17.0统计软件分析,采用 t 检验比较两种香菇脆片样品各挥发性成分之间的显著性差异($P<0.05$)。数据均用 $\bar{x}\pm s$ 表示。

2 结果与分析

2.1 两种加工工艺对香菇脆片感官品质的影响

表1 两种加工工艺对香菇脆片感官品质的影响
Table 1 Effects of two processing methods on quality characteristics of *Lentinula edodes* chips

样品	质构		颜色			体积皱缩率/%
	硬度/g	脆度/mm	L^*	a^*	b^*	
真空低温油炸香菇脆片	2 753.55 $\pm$ 107.28	3.21 $\pm$ 0.22	67.23 $\pm$ 2.64	6.78 $\pm$ 1.53	24.23 $\pm$ 1.81	17.96 $\pm$ 0.95
真空冷冻干燥香菇脆片	4 064.63 $\pm$ 129.43*	2.42 $\pm$ 0.17*	78.82 $\pm$ 2.84*	5.92 $\pm$ 1.75	14.60 $\pm$ 1.69*	10.89 $\pm$ 0.76*

注:*, 同列不同样品间比较呈差异显著($P<0.05$)。下同。

由表1可知,真空低温油炸香菇脆片硬度和脆度均显著小于真空冷冻干燥香菇脆片($P<0.05$),而体积皱缩率显著大于真空冷冻干燥香菇脆片($P<0.05$)。由于真空冷冻干燥过程温度相对较低,原料内部水分直接升华脱水,使得香菇脆片形成疏松多孔的结构,体积变化小,产生了较好的脆性,而真空低温油炸温度较高,使香菇发生了较严重的皱缩,疏松性差,导致脆性显著低于真空冷冻干燥香菇脆片;真空低温油炸香菇脆片含油量高,根据吴列洪等^[13]对薯片硬度与含油量相关性研究可知,含油量高能减小真空低温油炸脆片硬度,但是真空低温油炸香菇脆片体积皱缩率较大会增加其硬度,可能是由于体积皱缩对产品硬度的影响小于含油量高对其影响,使得真空低温油炸香菇脆片的硬度小于真空冷冻干燥香菇脆片。由表1可知,真空低温油炸香菇脆片 L^* 值显著低于真空冷冻干燥香菇脆片,而 b^* 值显著高于真空冷冻干燥香菇脆片,呈现更暗、更黄的褐变趋势,这主要是因为油炸过程中温度较高会促使香菇发生美拉德褐变反应,使产品颜色变暗变黄,且真空低温油炸过程中油脂渗入物料中加深了物料的颜色。而真空冷冻干燥香菇脆片颜色更白更亮,更接近新鲜香菇。

2.2 两种加工工艺对香菇脆片主要营养成分的影响

表2 两种加工工艺对香菇脆片主要营养成分的影响
Table 2 Effects of two processing methods on major nutritional components of *Lentinula edodes* chips

样品	mg/g					
	香菇多糖	粗脂肪	粗蛋白	可溶性蛋白	灰分	水分
真空低温油炸香菇脆片	286.15 $\pm$ 8.54	259.7 $\pm$ 1.9	131.9 $\pm$ 0.1	51.39 $\pm$ 3.87	48.15 $\pm$ 3.32	44.6 $\pm$ 0.2
真空冷冻干燥香菇脆片	406.23 $\pm$ 10.07*	11.4 $\pm$ 0.7*	230.5 $\pm$ 2.5*	52.85 $\pm$ 5.04	43.24 $\pm$ 4.41	40.1 $\pm$ 3.8

由表2可知,真空低温油炸香菇脆片中香菇多糖及粗蛋白含量均显著低于真空冷冻干燥香菇脆片($P<0.05$),说明真空低温油炸工艺对这两种营养成分破坏较大,这是由于真空低温油炸过程温度较高,使美拉德反应更易发生,从而对香菇多糖、粗蛋白等营养成分造成了更大程度的破坏^[14]。一般食用菌中脂肪含量不高,仅为干质量的1%~4%,而真空低温油炸使香菇脆片

中的脂肪含量大大增加,易引起发胖或诱发心血管类疾病^[15]。在可溶性蛋白、灰分及水分含量方面,两种加工工艺生产的香菇脆片无显著差异。

2.3 两种加工工艺对香菇脆片挥发性风味成分的影响
采用SPME技术提取两种香菇脆片的挥发性风味物质,并用GC-MS进行分离鉴定,总离子流图见图1。各成分和相对含量见表3。

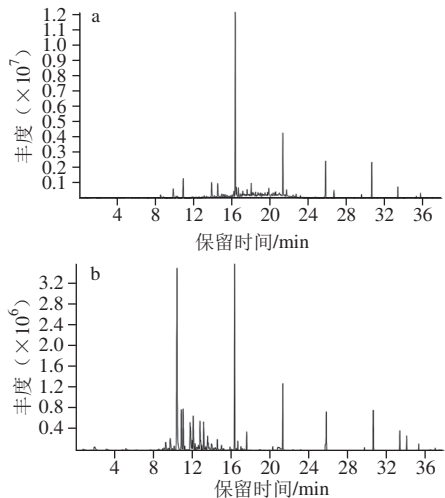


图1 真空冷冻干燥香菇脆片(a)和真空低温油炸香菇脆片(b)中挥发性成分总离子流图
Fig.1 Total ion current chromatograms of volatile components analyzed by GC-MS from freezing dried (a) and vacuum(b) fried *L. edodes* chips

表3 真空冷冻干燥香菇脆片和真空低温油炸香菇脆片挥发性成分化学组成与相对含量

Table 3 Volatile constituents and their relative contents in *L. edodes* chips

种类	保留时间/min	中文名称	相对含量/%	
			真空低温油炸香菇脆片	真空冷冻干燥香菇脆片
醇类	9.936	1-辛烯-3-醇	ND	6.37±0.28
	10.136	2-甲基-2-[2.2.2]辛-1-醇	2.10±0.44	ND
	11.916	2-乙基-1-己醇	ND	1.23±0.23
	12.270	3,5-辛二烯-2-醇	ND	0.98±0.19
	17.020	2-己基-1-癸醇	ND	0.66±0.28
	17.380	2-(2-丁氧基乙氧基)乙醇	1.40±0.59	ND
	18.925	1-甲基环庚醇	ND	5.40±0.37
	19.657	3-十三醇	ND	0.89±0.49
醛类		合计	3.50±0.98	15.53±1.01*
	0.764	己醛	ND	2.18±0.36
	8.906	苯甲醛	ND	1.84±0.52
	10.869	辛醛	ND	0.45±0.09
	12.362	苯乙醛	0.94±0.13	0.84±0.27
	14.588	壬醛	6.67±1.09	0.97±0.58*
		合计	7.61±0.87	6.28±0.99
酮类	18.319	5-羟基-2-甲基-3-己酮	ND	2.59±0.56
	19.926	环十一酮	ND	7.21±0.74
	20.384	2-十一酮	ND	4.20±0.26
	22.621	6-乙氧基-6-甲基-2-环己烯酮	ND	0.61±0.09

续表3

种类	保留时间/min	中文名称	相对含量/%	
			真空低温油炸香菇脆片	真空冷冻干燥香菇脆片
酮类	23.777	3-甲基-1,2-环戊二酮	ND	0.27±0.07
	24.819	5-甲基-2-(1-甲基乙基)-环己酮	ND	0.82±0.11
	29.757	4,6-二甲基-2(1H)-喹啉酮	1.02±0.91	ND
		合计	1.02±0.83	15.69±1.29*
烷烃类	12.951	5-甲基癸烷	ND	0.89±0.37
	13.558	十九烷	3.30±0.37	1.87±0.21*
	14.490	4-甲基十二烷	7.61±0.88	ND
	14.857	5-甲基十一烷	3.07±0.67	0.97±0.11*
	15.921	正三十四烷	ND	2.35±0.06
	16.081	4-乙基癸烷	2.59±0.31	2.09±0.62
	16.276	2,6-二甲基癸烷	3.07±0.28	7.48±0.44*
	17.649	十六烷	22.96±2.11	4.99±0.19*
	17.695	十二烷	9.81±0.98	ND
	18.908	戊基环戊烷	0.66±0.45	ND
	19.520	三十一烷	ND	3.30±0.34
	21.786	1,2,4,5-噻烷	ND	4.65±0.39
	22.444	3-甲基十三烷	1.07±0.19	1.46±0.18
	23.222	十四烷	0.88±0.11	0.83±0.24
	35.771	异丙基十六烷	ND	1.23±0.17
酯类	2.022	1-辛烯	2.55±0.39	ND
	5.490	1,3-二甲基苯	1.77±0.09	ND
	8.780	3,5-二甲基-2-己烯	2.29±0.18	ND
	11.773	柠檬烯	ND	0.36±0.06
	12.631	反式-十氢-萘	ND	0.89±0.08
	15.183	十氢-1-甲基萘	ND	2.85±0.37
	17.122	柑橘环	2.17±0.49	ND
	17.861	(Z)-3-十二烯	0.75±0.29	ND
	19.606	2,6-二甲基-2,4-庚二烯	ND	1.56±0.44
	20.367	2-甲基萘	1.71±0.12	ND
		合计	66.26±1.56	37.77±1.23*
含氮/硫化物	8.700	N-(环己烷羰基)-L-脯氨酸-异丁酯	1.35±0.76	ND
	12.591	2-乙基己基壬基草酸酯	1.50±0.44	ND
	12.625	1,1-二甲基乙基庚酸酯	4.99±0.58	ND
	12.825	2-乙基己基亚硫酸酯	1.00±0.17	ND
	12.854	己基戊基亚硫酸酯	1.95±0.19	ND
	13.060	2-乙基己基十四烷基草酸酯	ND	0.61±0.12
	14.359	环丁基十七烷基草酸酯	ND	1.01±0.29
	15.417	6-乙基-3-草酸正丁酯	5.36±0.24	ND
	15.675	2-甲基十二烷基-2-丙烯酸酯	ND	ND
	17.975	丁基十二烷基亚硫酸酯	ND	1.15±0.31
	19.783	2-乙基己基十四烷基草酸酯	ND	2.39±0.29
	20.968	十七烷基环戊烷甲酸酯	ND	2.52±0.65
	28.870	2,2,4-三甲基-3-羧基异丙基戊酸异丁酯	ND	0.77±0.17
	34.088	10-羟基-11-吗啉-4-基-十一烷酸丙酯	2.12±0.77	ND
		合计	18.27±1.99	8.46±1.93*
含氮/硫化物	29.597	香菇精	ND	2.02±0.36
	8.620	甲基磺酰基乙烯	1.96±0.27	2.86±0.85
	10.394	2-戊基呋喃	ND	1.63±0.07
	20.224	4-乙基-2-甲基噻唑	ND	3.50±0.76
	20.647	N,N-二甲基甲酰胺	0.98±0.07	2.72±0.31*
含氮/硫化物	19.062	己内酰胺	0.41±0.05	3.53±0.45*
		合计	3.34±0.26	16.28±1.76*

注: ND. 未检出。

由表3可知,两种加工工艺生产的香菇脆片在挥发性风味成分上有显著差异($P<0.05$)。真空冷冻干燥香菇脆片中共检出45种挥发性成分,其中醇、酮和含氮/硫杂环化合物含量较高,分别占挥发性总成分的15.53%、15.69%、16.28%。而真空低温油炸香菇脆片中共检出31种挥发性成分,含量较高的为酯类物质(18.27%),而醇、酮和含氮/硫杂环化合物含量较低。两种香菇脆片中均检出较多烷烃类物质,其中真空低温油炸香菇脆片中其含量高达66.26%,接近真空冷冻干燥香菇脆片的两倍。

八碳化合物,如1-辛烯-3-醇、1-辛醇、2-辛烯-1-醇、3-辛酮等提供了香菇特殊的风味,尤以1-辛烯-3-醇贡献最大,被称为“蘑菇醇”。由芮汉明等^[16]的研究可知,1-辛烯-3-醇在新鲜香菇中含量高达26.65%,但由于性质不稳定,易挥发,在干燥过程中损失严重,所以真空冷冻干燥香菇脆片中检出其含量6.37%,远低于新鲜香菇,而在真空低温油炸香菇脆片中该物质未检出,说明真空低温油炸对其破坏更大,主要由于真空油炸温度高,使得醇类等挥发性成分损失严重^[17-18]。

两种香菇脆片中均检出一定的醛类物质,且含量相近。研究表明,醛类主要来源于亚油酸、亚麻酸及花生四烯酸这些不饱和脂肪酸的氧化^[19]。这类物质对香气起一定的协同、补充及加强作用,如己醛是一种增香剂,具有愉悦的青草香,在真空冷冻干燥香菇脆片中含量为2.18%;苯甲醛具有特殊杏仁味,能影响香菇风味,使香气更加醇厚,在真空冷冻干燥香菇脆片中含1.84%,而这两种醛类物质在真空低温油炸香菇脆片中均未检出。壬醛为油炸过程中产生的风味物质^[20],与真空冷冻干燥香菇脆片相比,真空低温油炸香菇脆片壬醛含量高达6.67%,比前者高近6%。而醛种类少于前者。真空低温油炸香菇脆片产生的酮类物质少于真空冷冻干燥香菇脆片,可能是因为冷冻干燥时间长,使得多不饱和脂肪酸得以充分降解^[21]生成酮类物质。

两种加工工艺均使产品生成了较多烷烃类物质,而该类物质在新鲜香菇中含量极少,其含量增加主要来源于脂肪酸烷氧自由基的裂解反应^[22]。真空低温油炸香菇脆片较真空冷冻干燥香菇脆片中烷烃类挥发性成分含量更高,可见真空低温油炸更有利于烷烃类物质形成。烷烃类香味阈值较高,对食用菌风味直接贡献不大,但有助于提升整体风味。酯类是由脂质氧化产生的游离脂肪酸与醇之间相互作用产生的^[23]。其中短链脂肪酸酯($C_1\sim C_{10}$)具有水果的甜香味,而长链脂肪酸酯有轻微油脂味^[19,24-25]。由表3可知,真空低温油炸工艺使得香菇脆片中酯类物质含量高达18.27%,且主要为长链脂肪酸酯,赋予了香菇脆片浓郁的油炸香味,这些大分子酯类物质的形成可能是由于油炸过程促使小分子油脂之间发生了聚合反应^[20]。

真空冷冻干燥香菇脆片中含氮/硫化合物种类及含量远高于真空低温油炸香菇脆片。含硫化合物是香菇中重要的香气来源,尤以含硫杂环化合物最为重要,通常能够影响香菇整体气味。主要包括1,2,3,5,6-五硫杂环庚烷和1,2,4-三硫杂环戊烷等。其中1,2,3,5,6-五硫杂环庚烷(俗称“香菇精”)是香菇中最重要的风味物质^[3],但其稳定性不高易分解,在真空冷冻干燥香菇脆片中含量为2.02%,在真空低温油炸香菇脆片中未检出。另外,2-戊基呋喃(甘草味或果香味)、4-乙基-2-甲基噻唑等杂环化合物在真空冷冻干燥香菇脆片中含量较高,这些杂环化合物源于加热过程美拉德反应中的Strecker降解和醇醛缩合反应^[26],而真空冷冻干燥加热时间较长,更有利于这些反应的进行。

3 结 论

在感官品质方面,真空冷冻干燥香菇脆片与真空低温油炸香菇脆片相比具有较大的硬度、脆度,体积收缩率小,颜色更白更亮,感官品质较好;在营养物质含量方面,真空冷冻干燥香菇脆片中香菇多糖和总蛋白含量明显高于真空低温油炸香菇脆片,且脂肪含量极低,具有较高的营养价值,在可溶性蛋白和灰分含量方面两者无明显差异;通过SPME结合GC-MS联用技术对两种香菇脆片挥发性风味成分进行分析可知,真空冷冻干燥香菇脆片中挥发性风味成分较多,且保留了1-辛烯-3-醇、1,2,3,5,6-五硫杂环庚烷等香菇特征风味物质,赋予真空冷冻干燥香菇脆片香菇特征风味,而真空低温油炸香菇脆片中挥发性风味成分较少,且香菇特征性风味成分未检出,但与真空冷冻干燥香菇脆片相比,含有较多的长链脂肪酸酯等酯类物质,由于酯类物质香味阈值低,赋予了真空低温油炸香菇脆片浓郁的脂香,容易被消费者接受,另外,真空低温油炸过程中产生了壬醛等油炸特征风味物质,加强了真空低温油炸香菇脆片的香味。该研究明确了两种加工工艺生产的香菇脆片产品在感官品质、营养成分及挥发性风味成分三方面的差异,为消费者按需选择产品提供依据。

参考文献:

- [1] 何永,伍玉明,高红东,等.香菇营养成分研究进展[J].现代农业科技,2010(23):140-141.
- [2] 刘春如,易诚.香菇的营养价值和药用价值[J].中国林副特产,2002(1):52-53.
- [3] 杨铭铎,龙志芳,李健.香菇风味成分的研究[J].食品科学,2006,27(5):223-226.
- [4] YAMAZAKI T, MATSUDO J A, HAYASHIDA T, et al. Method of producing dehydrated fried snack food from apples: US, 3962355[P/OL]. 1976-06-08. <http://www.freepatentsonline.com/3962355.html>.

- [5] 潘牧, 陈超, 邓宽平, 等. 低温真空油炸薯片生产工艺及其贮藏条件的研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(3): 207-210.
- [6] 裴斐, 王敏, 刘凌岱, 等. 即食杏鲍菇片真空低温脱水工艺[J]. 食品科学, 2011, 32(8): 167-171.
- [7] HAMMAMI C, RENE F. Determination of freeze-drying process variables for strawberries[J]. Journal of Food Engineering, 1997, 32(2): 133-154.
- [8] 章斌, 李远志, 肖南, 等. 香蕉片真空冷冻干燥工艺研究[J]. 农产品加工: 学刊, 2009(3): 144-152.
- [9] LAGUNA L, SALVADOR A, SANZ T, et al. Performance of a resistant starch rich ingredient in the baking and eating quality of short-dough biscuits[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(3): 737-746.
- [10] MAMAT H, ABU HARDAN M O, HILL S E. Physicochemical properties of commercial semi-sweet biscuit[J]. Food Chemistry, 2010, 121(4): 1029-1038.
- [11] 黄建立, 黄艳, 郑宝东, 等. 不同干燥方式对银耳品质的影响[J]. 中国食品学报, 2010, 10(2): 167-163.
- [12] 刘洁, 吴馨. 鲜香菇中香菇多糖含量测定方法的研究[J]. 科技创业家, 2012(18): 230-231.
- [13] 吴列洪, 沈升法, 李兵. 甘薯品种干率与油炸薯片含油量和硬度间的相关性[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(11): 47-49.
- [14] 于彭伟. 美拉德反应对食品加工的影响及应用[J]. 肉类研究, 2010, 24(10): 15-19.
- [15] 张莹. 几种食用菌风味物质的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2012: 1-5.
- [16] 芮汉明, 贺丰霞, 郭凯. 香菇干燥过程中挥发性成分的研究[J]. 食品科学, 2009, 30(8): 255-259.
- [17] LI Qin, ZHANG Haihua, CLAVER I P, et al. Effect of different cooking methods on the flavour constituents of mushroom (*Agaricus bisporus* (Lange) Sing) soup[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2011, 46(5): 1100-1108.
- [18] 全晶晶, 侯云丹, 黄健, 等. 加工温度对鲢鱼挥发性成分的影响[J]. 中国食品学报, 2012, 12(8): 221-228.
- [19] SABIO E, VIDAL-ARAGON M C, BERNALTE M J, et al. Volatile compounds present in six types of dry-cured ham from south European countries[J]. Food Chemistry, 1998, 61(4): 493-503.
- [20] 王彦蓉. 沙琪玛储存过程中风味变化及品质改善的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012: 1-22.
- [21] BARROS L, BAPTISTA P, CORREIA D M, et al. Effects of conservation treatment and cooking on the chemical composition and antioxidant activity of Portuguese wild edible mushrooms[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(12): 4781-4788.
- [22] 杨楠, 张兰威. 加热对牛奶中风味物质的影响[J]. 东北农业大学学报, 2007, 38(1): 39-43.
- [23] AI Jiu. Headspace solid phase microextraction. Dynamics and quantitative analysis before reaching a partition equilibrium[J]. Analytical Chemistry, 1997, 69(16): 3260-3266.
- [24] SHAHIDI F. 肉制品和水产品的风味[M]. 2版. 李洁, 朱国彬, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 2001: 74-84.
- [25] PIA L, GUNHILD H. Characterization of volatiles from cultured dairy spreads during storage by dynamic headspace GC/MS[J]. European Food Research and Technology, 2001, 212(6): 636-642.
- [26] MISHARINA T, MUHUTDINOVA S, ZHARIKOVA G, et al. Formation of flavor of dry champignons (*Agaricus bisporus* L.)[J]. Applied Biochemistry and Microbiology, 2010, 46(1): 108-113.