

# 不同干燥方式对姬松茸挥发性风味成分分析

张艳荣, 吕呈蔚, 刘 通, 甄佳美

(吉林农业大学食品科学与工程学院, 吉林 长春 130118)

**摘 要:** 采用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术, 分别对鲜姬松茸、热风恒温干燥、微波干燥、真空冷冻干燥3种不同干燥方式的姬松茸中挥发性风味成分进行检测与分析。结果表明, 鲜姬松茸、热风恒温干燥、微波干燥和真空冷冻干燥分别检测出20、50、43种及22种挥发性风味成分。热风恒温干燥新生成了醇、醛、酮、酚、醚类物质, 对姬松茸风味的改良和增香具有一定作用; 微波干燥生成醛类物质较多, 使干燥后的姬松茸具有特殊的肉桂香气和类似苦杏仁的香味; 真空冷冻干燥处理的姬松茸与鲜姬松茸在整体风味成分上较为接近, 说明真空冷冻干燥方式能够较好的保持姬松茸原有风味。

**关键词:** 姬松茸; 干燥方式; 风味成分; 气相色谱-质谱联用技术

## Effect of Different Drying Methods on Volatile Flavor Components in *Agaricus blazei*

ZHANG Yanrong, LÜ Chengyu, LIU Tong, ZHEN Jiamei

(College of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

**Abstract:** The effect of different drying methods on the volatile flavor components of *Agaricus blazei* was studied. The volatile flavor components of fresh *A. blazei* and the ones dried by three drying methods, hot air drying, microwave drying and vacuum freeze drying, were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) with solid-phase micro-extraction (SPME). The results showed that a total of 20, 50, 43 and 22 volatile flavor components were detected in fresh, hot air dried, microwave dried and vacuum freeze dried samples, respectively. Alcohol, aldehyde, ketone, phenol, and ether were generated from hot air drying, which contributed to the improvement of flavor and aroma in *A. blazei*. Microwave drying produced more aldehyde, which was responsible for the special cinnamon aroma and bitter apricot kernel-like flavor in the dried *A. blazei*. The volatile flavor components of *A. blazei* dried by vacuum freeze drying were close to those of the fresh sample on the whole, suggesting that vacuum freeze drying method can better protect the volatile flavor components of *A. blazei*.

**Key words:** *Agaricus blazei*; drying methods; flavor components; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610020

中图分类号: TS201.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2016)10-0116-06

引文格式:

张艳荣, 吕呈蔚, 刘通, 等. 不同干燥方式对姬松茸挥发性风味成分分析[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 116-121.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610020. <http://www.spkx.net.cn>

ZHANG Yanrong, LÜ Chengyu, LIU Tong, et al. Effect of different drying methods on volatile flavor components in *Agaricus blazei*[J]. Food Science, 2016, 37(10): 116-121. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610020. <http://www.spkx.net.cn>

姬松茸又名巴西蘑菇、小松菇, 是一种药食兼用的真菌, 原产于美国和巴西<sup>[1]</sup>, 在当地被称作“上帝的蘑菇”<sup>[2]</sup>。姬松茸具有浓郁的杏仁香味, 富含多糖、蛋白质、维生素和微量元素<sup>[3-4]</sup>, 具有许多其他食品资源无法取代的保健作用<sup>[5-6]</sup>。

新鲜的姬松茸因呼吸作用强、水分含量高而易于腐烂变质, 必需进行保鲜处理。姬松茸干制品便于贮藏运输,

货架寿命长<sup>[7]</sup>。相关研究<sup>[8]</sup>表明干燥方式是影响干制食品品质的重要因素, 尤其对产品的风味影响较为突出, 其中挥发性风味成分的种类及含量是影响其品质的重要指标。近些年来, 国内外主要对姬松茸多糖的提取、液体发酵、功效成分及药用机理等方面进行了研究<sup>[9-10]</sup>, 对姬松茸挥发性风味成分及其综合品质的影响研究较少。姬松茸在干燥过程中, 由于水分蒸发, 分子间发生相互作用<sup>[11]</sup>,

收稿日期: 2015-12-14

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2013BAD16B08); 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2011AA100805)

作者简介: 张艳荣(1965—), 女, 教授, 博士, 研究方向为粮油植物蛋白工程与功能食品。E-mail: xcpyfzx@163.com

挥发性风味成分易发生变化或丧失,同时亦有新物质的生成。对鲜姬松茸及其干制品的风味成分进行分析,不仅对姬松茸干制技术的选择提供理论依据,同时对其他食用菌干制方法的确定提供参考。本研究采用顶空固相微萃取(headspace solid-phase micro extraction, HS-SPME)结合气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用技术对热风恒温干燥、微波干燥、真空冷冻干燥及鲜姬松茸中的挥发性风味成分进行定性分析,比较3种干燥方式对姬松茸挥发性风味成分的影响,以期对姬松茸及其他食用菌的干燥方式的选择提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

鲜姬松茸 丽江民兴特色食品有限责任公司。

### 1.2 仪器与设备

101A-2E电热鼓风干燥箱 上海实验仪器厂有限公司; NN-K587WS型微波炉 松下电器产业株式会社; FD-1B-50冷冻干燥机 北京博医康实验仪器有限公司; 5975-6890N GC-MS联用仪 美国Agilent公司; SPME手动进样器、50  $\mu\text{m}$ 二乙基苯/碳分子筛/聚二甲硅氧烷(divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane, DVB/CAR/PDMS)萃取头 美国Supelco公司; 精密电子天平 美国双杰兄弟(集团)有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品处理

挑选无霉变、无病虫害的新鲜姬松茸(A),切成粒度小于1 cm的块、片,备用。经检测鲜姬松茸含水量为86%。按照不同干燥方式分别进行热风恒温干燥(B)、微波干燥(C)、真空冷冻干燥(D)。

热风恒温干燥(B):将处理完的姬松茸均匀的平铺于50  $^{\circ}\text{C}$ 电热鼓风干燥箱中干燥5 h,每隔30 min翻动一次。样品最终含水量为6.8%,适于风味成分的检测。

微波干燥(C):将处理完的姬松茸均匀的平铺于平皿中,每加热2 min取出翻动一次,共干燥15 min。样品最终含水量为6.7%,适于风味成分的检测。

真空冷冻干燥(D):将处理完的姬松茸于-20  $^{\circ}\text{C}$ 条件下预冻8 h,再将其放入真空冷冻干燥机内,在-50  $^{\circ}\text{C}$ 、9 Pa条件下干燥8 h。样品最终含水量为6.5%,适于风味成分的检测。

对相同质量的上述3种姬松茸干燥样品的体积进行检测并进行差异性分析,均差异不显著( $P>0.05$ ),最大限度消除体积差别对HS-SPME法检测风味成分的影响。

#### 1.3.2 SPME条件

参考文献[8]及文献[12],为最大限度减少样品中水

分及外界条件对风味成分检测的影响,以PDMS为吸附剂、在一定温度和时间条件下进行姬松茸风味成分的萃取。取5 g姬松茸样品置于50 mL顶空进样瓶中密封。60  $^{\circ}\text{C}$ 水浴条件下平衡30 min后,将已老化好的萃取头插入顶空瓶,吸附30 min后取出萃取头插入到GC进样口,推出纤维头,250  $^{\circ}\text{C}$ 解吸5 min。

#### 1.3.3 GC-MS条件

GC条件:HP-INNOWax毛细管柱(60 m $\times$ 0.25 mm, 0.25  $\mu\text{m}$ );程序升温:柱初温60  $^{\circ}\text{C}$ ,保持4 min,以8  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 上升到250  $^{\circ}\text{C}$ ,保持20 min;进样口温度250  $^{\circ}\text{C}$ ;载气为He;体积流量1.0 mL/min;不分流进样。

MS条件:电子电离源;离子源温度230  $^{\circ}\text{C}$ ;接口温度260  $^{\circ}\text{C}$ ;四极杆温度150  $^{\circ}\text{C}$ ;质量扫描范围20~580 u。

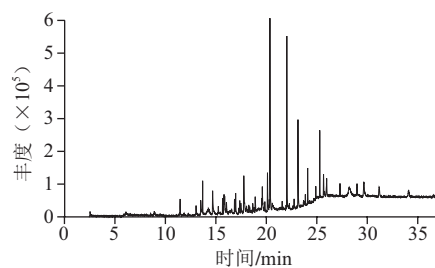
#### 1.4 数据处理

样品中姬松茸中各挥发性成分由计算机检索并根据NIST.11 Library标准谱图库进行数据对比,选择匹配度大于800(最大值为1 000)的鉴定结果予以确认,结合文献报道及标准谱图对挥发性成分进行定性;采用面积归一法计算在给出的确定温度、时间条件下样品中挥发性风味成分的相对含量<sup>[8,12]</sup>。

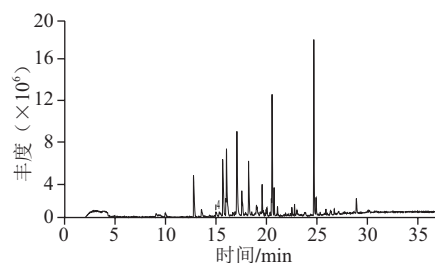
## 2 结果与分析

### 2.1 不同干燥方式姬松茸挥发性成分检测结果

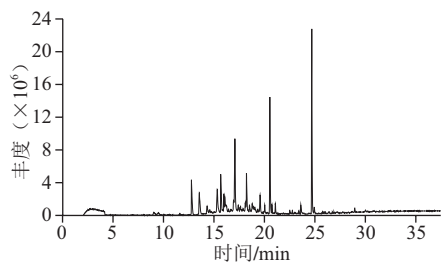
图1分别为鲜姬松茸、热风恒温干燥、微波干燥、真空冷冻干燥样品香气成分的GC-MS总离子流色谱图,各组鉴定分析结果见表1、2。



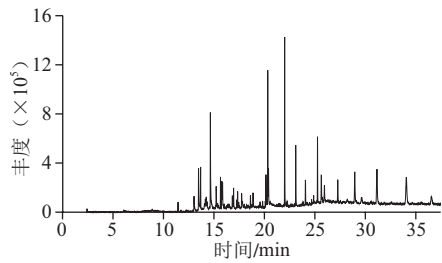
A.鲜姬松茸



B.热风恒温干燥姬松茸



C.微波干燥姬松茸



D.真空冷冻干燥姬松茸

图1 鲜姬松茸及不同干燥方式姬松茸挥发性成分总离子流图

Fig.1 Total ion chromatogram of flavor components in fresh and differently dried *Agaricus blazei*

表1 鲜姬松茸及不同干燥方式姬松茸挥发性成分GC-MS分析结果  
Table 1 GC-MS analytical results of volatile components from different drying methods of *Agaricus blazei*

| 序号 | 保留<br>时间/min | 化合物名称                                | 英文名称                                             | 相对含量/% |       |        |       |
|----|--------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|--------|-------|--------|-------|
|    |              |                                      |                                                  | A      | B     | C      | D     |
| 醇类 |              |                                      |                                                  |        |       |        |       |
| 1  | 12.259       | 2-丁基辛醇                               | 2-butyl-octyl alcohol                            | 1.582  | —     | —      | —     |
| 2  | 14.356       | 2-丁基-1-辛醇                            | 2-butyl-1-octanol                                | —      | 0.315 | —      | —     |
| 3  | 15.059       | 1-辛醇                                 | 1-octanol                                        | —      | 0.599 | —      | —     |
| 4  | 15.466       | 2-己基-1-癸醇                            | 2-hexyl-1-decanol                                | —      | 0.703 | —      | 1.571 |
| 5  | 16.013       | 芳樟醇                                  | linalool                                         | —      | 0.996 | 2.490  | —     |
| 6  | 17.648       | 薄荷醇                                  | menthol                                          | —      | 1.619 | —      | —     |
| 7  | 18.819       | $\alpha$ -萜品醇                        | alpha-terpineol                                  | —      | 0.848 | 1.099  | —     |
| 8  | 19.862       | 异植醇                                  | isophitol                                        | —      | 0.407 | —      | —     |
| 9  | 22.076       | 十二醇                                  | lauryl alcohol                                   | —      | 0.330 | —      | —     |
| 10 | 22.801       | 苯甲醇                                  | benzyl alcohol                                   | —      | 1.257 | 0.450  | —     |
| 11 | 23.045       | S-(Z)-3,7,11-三甲<br>基-1,6,10-十二烷三醇-3醇 | cis-3,7,11-trimethyl-1,6,10-<br>dodecatrien-3-ol | —      | 1.186 | —      | —     |
| 12 | 23.915       | 4-异丙基苯甲醇                             | 4-isopropylbenzyl alcohol                        | —      | 0.499 | —      | —     |
| 醛类 |              |                                      |                                                  |        |       |        |       |
| 13 | 6.941        | 正己醛                                  | caproaldehyde                                    | —      | 0.530 | 0.380  | —     |
| 14 | 16.102       | 苯甲醛                                  | benzaldehyde                                     | —      | 8.485 | 2.336  | —     |
| 15 | 17.947       | 苯乙醛                                  | phenylacetaldehyde                               | —      | 0.775 | —      | —     |
| 16 | 20.059       | 对异丙基苯甲醛                              | p-isopropylbenzaldehyde                          | —      | —     | 1.153  | —     |
| 17 | 20.308       | 4-异丙基苯甲醛                             | 4-isopropylbenzaldehyde                          | —      | 0.879 | 0.319  | —     |
| 18 | 20.575       | 7-十六碳烯醛                              | 7-hexadecenal                                    | —      | —     | 13.131 | —     |
| 19 | 23.641       | 对甲氧基苯甲醛                              | anisic aldehyde                                  | —      | —     | 1.338  | —     |
| 20 | 24.729       | 肉桂醛                                  | cinnamic aldehyde                                | —      | —     | 19.836 | —     |
| 21 | 25.798       | 5-甲基-2-苯基-2-己烯醛                      | 5-methyl-2-phenyl-2-hexenal                      | —      | —     | 0.459  | —     |
| 酯类 |              |                                      |                                                  |        |       |        |       |
| 22 | 17.909       | 苯甲酸甲酯                                | methyl benzoate                                  | —      | 1.705 | 0.702  | —     |
| 23 | 19.550       | 亚油酸甲酯                                | methyl linoleate                                 | 2.390  | —     | —      | —     |
| 24 | 19.989       | 10-甲基十一烷酸甲酯                          | methyl 10-methylundecanoate                      | —      | 0.697 | —      | —     |
| 25 | 20.123       | 亚油酸乙酯                                | ethyl linoleate                                  | 5.379  | —     | —      | 0.769 |

续表1

| 序号  | 保留时间/min | 化合物名称         | 英文名称                           | 相对含量/% |        |        |        |
|-----|----------|---------------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|     |          |               |                                | A      | B      | C      | D      |
| 26  | 20.184   | 油酸乙酯          | ethyl oleate                   | —      | —      | —      | 3.239  |
| 27  | 20.436   | 十八酸乙酯         | ethyl stearate                 | —      | —      | —      | 3.607  |
| 28  | 25.346   | 棕榈酸甲酯         | methyl hexadecanoate           | 3.065  | 0.844  | —      | —      |
| 29  | 25.753   | 十六酸乙酯         | palmitic acid ethyl ester      | 2.605  | 0.366  | —      | 2.343  |
| 30  | 25.938   | 乙酸丁香酚酯        | eugenyl acetate                | —      | —      | 0.514  | —      |
| 31  | 26.771   | 邻苯二甲酸二甲酯      | dimethyl phthalate             | —      | —      | 0.560  | —      |
| 32  | 27.636   | 硬脂酸甲酯         | methyl stearate                | 2.734  | 0.897  | —      | 1.142  |
| 33  | 28.724   | 棕榈酸丁酯         | hexadecanoic acid              | 18.707 | 0.694  | 0.681  | 12.514 |
| 34  | 28.992   | 邻苯二甲酸二异丁酯     | diisobutyl phthalate           | —      | 2.579  | 1.008  | —      |
| 35  | 29.914   | 邻苯二甲酸二丁酯      | dibutyl phthalate              | —      | 0.478  | —      | —      |
| 36  | 30.048   | 硬脂酸丁酯         | n-butyl stearate               | 14.776 | 0.775  | 0.338  | 14.886 |
| 37  | 30.283   | 苯甲酸苯酯         | benzyl benzoate                | —      | —      | 0.191  | —      |
| 38  | 30.754   | 4-乙酰基安息香酸甲酯   | methyl 4-acetylbenzoate        | —      | 0.761  | —      | —      |
| 酚类  |          |               |                                |        |        |        |        |
| 39  | 23.450   | 甲基丁香酚         | methyl eugenol                 | —      | —      | 0.524  | —      |
| 40  | 24.977   | 丁香酚           | eugenol                        | —      | 15.109 | 0.848  | —      |
| 41  | 26.071   | 2,4-二叔丁基苯酚    | 2,4-di-tert-butylphenol        | —      | 0.579  | —      | —      |
| 42  | 27.796   | 4-丙烯基-2-甲氧基苯酚 | isoeugenol                     | —      | 0.767  | 0.401  | —      |
| 烯炔类 |          |               |                                |        |        |        |        |
| 43  | 8.487    | 月桂烯           | myrcene                        | —      | 0.148  | —      | —      |
| 44  | 8.570    | $\beta$ -蒎烯   | $\beta$ -pinene                | —      | —      | 0.239  | —      |
| 45  | 9.403    | 双戊烯           | dipentene                      | —      | —      | 0.234  | —      |
| 46  | 16.681   | 香桉烯           | alloaromadendrene              | —      | 0.881  | —      | —      |
| 47  | 16.700   | 瓦伦烯           | valencene                      | —      | —      | 1.280  | —      |
| 48  | 16.904   | $\beta$ -榄香烯  | $\beta$ -elemene               | —      | 0.805  | —      | —      |
| 49  | 17.107   | 反式石竹烯         | $\beta$ -caryophyllene         | —      | 13.005 | 13.123 | —      |
| 50  | 19.022   | $\beta$ -瑟林烯  | $\beta$ -selinene              | —      | 1.292  | —      | —      |
| 51  | 19.073   | 1-甲基-4-环己烯    | 1-methyl-4-cyclohexene         | —      | —      | 1.311  | —      |
| 52  | 19.601   | $\delta$ -杜松烯 | $\delta$ -cadinene             | —      | 1.017  | 3.448  | —      |
| 53  | 19.849   | $\alpha$ -姜黄烯 | $\alpha$ -curcumen             | —      | —      | 0.302  | —      |
| 54  | 25.297   | 角鲨烯           | squalene                       | 6.883  | —      | —      | 5.721  |
| 55  | 26.930   | 氧化石竹烯         | caryophyllene oxide            | —      | 1.243  | 0.523  | —      |
| 烷烃类 |          |               |                                |        |        |        |        |
| 56  | 9.511    | 十二烷           | dodecane                       | —      | 0.493  | 0.974  | —      |
| 57  | 11.643   | 十三烷           | tridecane                      | —      | —      | 0.611  | —      |
| 58  | 13.047   | 十九烷           | nonadecane                     | 5.115  | —      | —      | —      |
| 59  | 13.577   | 十四烷           | n-tetradecane                  | —      | 1.328  | 4.676  | —      |
| 60  | 14.254   | 2-甲基十五烷       | 2-methyl pentadecane           | —      | —      | —      | 1.816  |
| 61  | 15.358   | 正十五烷          | n-pentadecane                  | 3.743  | —      | 6.438  | 6.008  |
| 62  | 15.813   | 正十七烷          | n-heptadecane                  | 3.214  | —      | —      | 4.425  |
| 63  | 15.882   | 姥蛟烷           | pristane                       | 3.561  | —      | —      | 3.967  |
| 64  | 16.050   | 1,2-环氧十八烷     | 1,2-epoxy octadecane           | 3.254  | —      | —      | —      |
| 65  | 16.150   | 2,6,10-三甲基十四烷 | 2,6,10-trimethyl tetradecanoic | —      | —      | —      | 3.916  |
| 66  | 16.280   | 3-甲基十四烷       | 3-methyl tetradecane           | —      | —      | 1.249  | —      |
| 67  | 16.471   | 3-甲基十五烷       | 3-methyl pentadecane           | —      | —      | 0.996  | 1.472  |
| 68  | 16.845   | 正十八烷          | octadecane                     | —      | —      | —      | 1.639  |
| 69  | 16.967   | 植烷            | phytane                        | 4.055  | —      | —      | 2.904  |
| 70  | 16.968   | 正十六烷          | n-hexadecane                   | 7.227  | —      | 5.000  | 12.935 |
| 71  | 17.479   | 2-甲基十八烷       | 2-methyl octadecane            | 2.951  | —      | —      | 1.832  |
| 72  | 17.616   | 降姥蛟烷          | norpristane                    | 1.828  | —      | 0.973  | 6.765  |
| 73  | 18.552   | 2,6,10-三甲基十二烷 | 2,6,10-trimethyl dodecane      | 1.635  | —      | 1.556  | 2.052  |
| 酮类  |          |               |                                |        |        |        |        |
| 74  | 12.081   | 2,3-辛二酮       | 2,3-octanedione                | —      | 0.136  | —      | —      |
| 75  | 13.901   | 3-辛烯-2-酮      | 3-octen-2-one                  | —      | 0.234  | —      | —      |
| 76  | 14.955   | 5-甲基-2-异丙基环己酮 | menthone                       | —      | 0.508  | —      | —      |
| 77  | 20.377   | 1-苯基-1,2-丙二酮  | 1-phenyl-1,2-propanedione      | —      | 0.453  | —      | —      |

续表1

| 序号    | 保留<br>时间/min | 化合物名称                     | 英文名称                                           | 相对含量/% |        |       |       |
|-------|--------------|---------------------------|------------------------------------------------|--------|--------|-------|-------|
|       |              |                           |                                                | A      | B      | C     | D     |
| 78    | 20.944       | 6,10-二甲基-5,9-十一双<br>烯-2-酮 | 6,10-dimethyl-5,9-undecadien-2-one             | —      | 2.358  | 0.282 | —     |
| 79    | 22.286       | 2,4,6-三甲氧基苯乙酮             | 2,4,6-trimethoxyacetophenone                   | —      | —      | —     | 1.645 |
| 80    | 30.254       | 2-羟基-4,6-二甲氧基苯<br>乙酮      | ethanone,1-(2-hydroxy-4,6-<br>dimethoxyphenyl) | —      | 0.979  | —     | —     |
| 醚类    |              |                           |                                                |        |        |       |       |
| 81    | 20.778       | 对丙烯基茴香醚                   | anethole                                       | —      | 12.279 | 0.968 | —     |
| 82    | 26.447       | 肉豆蔻醚                      | myristicin                                     | —      | 0.808  | 0.730 | —     |
| 呋喃类   |              |                           |                                                |        |        |       |       |
| 83    | 10.039       | 2-正戊基呋喃                   | 2-pentylfuran                                  | 1.330  | 0.928  | 0.337 | —     |
| 含硫化合物 |              |                           |                                                |        |        |       |       |
| 84    | 13.303       | 二甲基三硫                     | dimethyltrisulfide                             | —      | 0.154  | —     | —     |
| 其他类   |              |                           |                                                |        |        |       |       |
| 85    | 8.035        | 1,3-二甲苯                   | 1,3-xylene                                     | —      | 0.217  | —     | —     |
| 86    | 8.093        | 1,4-二甲苯                   | 1,4-xylene                                     | —      | —      | 0.210 | —     |
| 87    | 9.333        | 吡啶                        | pyridine                                       | —      | 0.528  | —     | —     |
| 88    | 22.203       | 1,2,3-三甲氧基苯               | 1,2,3-trimethoxybenzene                        | —      | 0.381  | —     | —     |

注：A.鲜姬松茸；B.热风恒温干燥；C.微波干燥；D.真空冷冻干燥；下同。—.未检出。

表2 鲜姬松茸及不同干燥方式姬松茸挥发性成分种类比较  
Table 2 Comparison of volatile compounds from different drying  
methods of *Agaricus blazei*

| 类别    | 种类数 |    |   |    |
|-------|-----|----|---|----|
|       | A   | B  | C | D  |
| 醇类    | 1   | 11 | 3 | 1  |
| 醛类    | 0   | 4  | 8 | 0  |
| 酯类    | 7   | 10 | 7 | 7  |
| 酚类    | 0   | 3  | 3 | 0  |
| 烯炔类   | 1   | 7  | 8 | 1  |
| 烷烃类   | 10  | 2  | 9 | 12 |
| 酮类    | 0   | 6  | 1 | 1  |
| 醚类    | 0   | 2  | 2 | 0  |
| 呋喃类   | 1   | 1  | 1 | 0  |
| 含硫化合物 | 0   | 1  | 0 | 0  |
| 其他类   | 0   | 3  | 1 | 0  |

由表1可知，采用HP-SPME与GC-MS联用技术检测3种不同干燥方式处理的姬松茸挥发性风味成分上有着明显的不同。鲜姬松茸样品中检出20种挥发性成分，其中酯类化合物相对含量高达49.656%，而醇类及呋喃类化合物的相对含量较少。热风恒温干燥方式获得的姬松茸样品中检出50种挥发性成分，其中醇、醛、酯、酚及醚类化合物相对含量较为接近，分别占总挥发性成分的8.759%、10.669%、9.796%、16.455%和13.087%。微波干燥方式获得的姬松茸样品中检出43种挥发性成分，相对含量较高的是醛类化合物，其相对含量为38.952%，醇类及酯类化合物的相对含量分别为4.039%和3.994%。而由真空冷冻干燥方式获得的姬松茸样品中检出22种挥发性成分，其中酯类化合物的相对含量为38.500%，醇类及酮类化合物的相对含量较少。

## 2.2 干燥方式对姬松茸挥发性成分的影响

通常短链脂肪酸酯（ $C_1 \sim C_{10}$ ）具有水果的甜香气味，而长链脂肪酸酯具有轻微油脂气味<sup>[13]</sup>。鲜姬松茸与真空冷冻干燥姬松茸中酯类化合物的相对含量分别为49.656%和38.500%，与涂宝军等<sup>[8]</sup>的研究不同，真空冷冻干燥并没有大幅度提升酯类相对含量，另外热风恒温干燥与微波干燥样品中酯类化合物的相对含量均较低（9.796%、3.994%），并且在鲜姬松茸与真空冷冻干燥样品中检出的棕榈酸丁酯与硬脂酸丁酯在热风恒温干燥与微波干燥样品中相对含量较少。这可能是由于酯类化合物在加热条件下与干燥过程中出现的大量水分反应，被水解为醇类或酚类以及羧基化合物。真空冷冻干燥由于温度较低且处于真空环境，其酯类化合物被较好地保存下来。在热风恒温干燥样品中检出的11种醇类化合物，均为新鲜样品中没有被检出的新生醇类化合物。其中1-辛醇（0.599%）具有脂香，甜而微有草香味<sup>[14]</sup>；薄荷醇（1.619%）具有凉的、清新的、愉快的薄荷特征香气，清爽感强烈；苯甲醇（1.257%）稍有芳香气味，兼具定香作用；芳樟醇（0.996%）具有甜嫩新鲜的兰香； $\alpha$ -萜品醇（0.848%）具有紫丁香的鲜幽香气；上述香气成分的综合作用赋予热风恒温干燥样品其他干燥方式不具备的独特而浓郁的香气。微波干燥样品中检出的苯甲醇、芳樟醇及 $\alpha$ -萜品醇相对含量分别为0.450%、2.490%、1.099%。这些醇类化合物使热风恒温干燥及微波干燥姬松茸的风味得到一定改良与增香，并使其整体风味结构更加丰富。酚类化合物在鲜姬松茸及真空冷冻干燥样品中均未被检出，而在热风恒温干燥与微波干燥样品中的相对含量分别为16.455%、1.773%，且都含有4-丙烯基-2-甲氧基苯酚及丁香酚。其中丁香酚在热风恒温干燥样品中相对含量为15.109%，其具有强烈的辛香香气及花香。微波干燥样品中的酚类物质相对含量较少可能是由于微波干燥是从物料内部加热，并在微波振荡作用下发生化学反应，从而使醇类酚类化合物进一步反应生成了醛类及酮类化合物。

醛类物质属于羰基类化合物，并且醛类物质是食用菌中比较丰富的一种挥发性化合物，其气味阈值一般都很低， $C_5 \sim C_9$ 的醛类来自脂肪氧化和降解，具有脂香气味<sup>[15-16]</sup>。由表2可知，醛类物质在鲜姬松茸与真空冷冻干燥样品中均未被检出，而在热风恒温干燥与微波干燥样品中分别检出4种与8种新生醛类物质，相对含量分别为10.669%、38.952%。微波干燥的反应相较于热风恒温干燥更为剧烈，可以更好地促使原料中的脂肪酸氧化裂解及美拉德反应，生成醛类化合物<sup>[12]</sup>。热风恒温干燥样品中醛类物质主要为苯甲醛（8.485%），其主要是亚油酸氧化作用的结果<sup>[17]</sup>，具有樱桃与苦杏仁的气味<sup>[18]</sup>，赋予样品特殊的杏仁香味。微波干燥样品中醛类物质主要为



肉桂醛(19.836%)与7-十六碳烯醛(13.131%),其中肉桂醛具有特殊的肉桂香气,使干燥样品风味更浓郁。

4种样品中均检出较多的烯烃类及烷烃类化合物(43.466%、20.212%、42.933%、55.452%),热风恒温干燥与微波干燥的样品对比新鲜样品中的烷烃类化合物的相对含量均有大幅的降低,其中热风恒温干燥样品中烷烃类化合物相对含量为1.821%,而真空冷冻干燥的样品中烷烃类化合物相对含量则有明显的升高,与唐秋实等<sup>[19]</sup>对金针菇风味成分变化趋势相符。可能是随着新鲜样品中水分散失,低温真空条件下烃类挥发性风味成分发生变化,空间结构发生改变<sup>[20]</sup>,生成多种烷烃类物质。另外,热风恒温干燥和微波干燥样品中均有大量新的烯烃类化合物产生。烃类物质风味阈值普遍较高,对原料整体风味变化影响不大。但一些烯烃类风味独特,如热风恒温干燥与微波干燥样品中均检测到反式石竹烯(13.005%、13.123%),具有辛香、木香、柑橘香和温和的丁香香气<sup>[21]</sup>。

低分子质量醚易挥发,具有甜味和醇味,较高分子质量的醚则具有果香味<sup>[22]</sup>。在热风恒温干燥及微波干燥样品中均检出对丙烯基茴香醚(12.279%、0.968%),对丙烯基茴香醚也被称为茴香脑,具有强烈的茴香、辛香料、甘草的气味,且风味阈值较低,对热风恒温干燥的姬松茸具有增香作用,并且对微波干燥的姬松茸的整体风味具有一定的提升作用。2-戊基呋喃被普遍认为是亚油酸的一种氧化分解产物<sup>[23]</sup>,具有泥土、青草及类似蔬菜的香气,在新鲜样品、热风恒温干燥及微波干燥的样品中均被检出(1.330%、0.928%、0.337%)。与Yang Wenjian<sup>[24]</sup>、李延华<sup>[25]</sup>等的研究中所发现的高温加热会促使吡嗪类化合物生成从而赋予原料一种独特的烘焙香气的结论不同,本研究中2-戊基呋喃的含量并没有增加,反而有所降低。这可能是本研究中热风恒温干燥和微波干燥温度低,不足以促使2-戊基呋喃的生成,同时,这2种干燥方式也没有其他的吡嗪类化合物生成。二甲基三硫呈现强烈逸发性冷凉的薄荷味和浓烈辛香气,其只在热风恒温干燥的样品中检出,但相对含量较低(0.154%)。

### 3 结 论

采用HP-SPME与GC-MS联用技术对新鲜姬松茸及不同干燥方式处理的姬松茸样品的挥发性风味成分进行分析,分别检测出醇类、醛类、酯类、酚类、烯烃类、烷烃类、酮类、醚类、呋喃类和含硫化合物共88种化合物,其中新鲜姬松茸20种、热风恒温干燥姬松茸50种、微波干燥姬松茸43种、真空冷冻干燥姬松茸22种。

热风恒温干燥在一定温度加热且氧气充足的条件下,

缓慢发生呈色反应及脂肪酸氧化分解,有利于独特的挥发性风味成分的形成,赋予姬松茸干制品浓郁的特殊芳香。由于热风恒温干燥设备投资少,此方法较常采用。

微波干燥姬松茸醛类化合物相对含量较高,达到38.952%。微波干燥从物料内部加热,极性分子发生剧烈振荡,产生大量的摩擦热并使游离脂肪酸等成分发生适度裂解、聚合、氧化等作用,生成了较多醛类化合物,使干燥后的姬松茸具有特殊的肉桂香气和类似苦杏仁的香味。同时微波干燥生产效率高,可实现连续、绿色清洁生产,因而微波干燥方式易于食用菌干燥产业化生产与利用。

真空冷冻干燥处理姬松茸与新鲜姬松茸在整体风味成分上较为接近,说明真空冷冻干燥方式能够较好的保持姬松茸的原有天然风味,极少有劣化影响,但是对姬松茸芳香程度及气味无明显增强作用。由于此干燥方式设备投资大、产率低,只在特殊产品干制时使用。

### 参考文献:

- [1] 陈士瑜. 珍稀菇菌栽培与加工[M]. 北京: 金盾出版社, 2003: 128-154.
- [2] 王丽娟, 张彦青, 王勇, 等. 姬松茸多糖增强免疫作用及急性毒性研究[J]. 食品科学, 2014, 35(13): 258-261. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201413051.
- [3] 魏秀伶, 张文会, 郭彦. 姬松茸的营养保健价值及其开发利用前景[J]. 中国食物与营养, 2005, 11(10): 23-24. DOI:10.3969/j.issn.1006-9577.2005.10.008.
- [4] 林戎斌, 林陈强, 张慧, 等. 姬松茸食药价值研究进展[J]. 中国食用菌, 2012, 19(2): 117-122. DOI:10.3969/j.issn.1005-9873.2012.02.024.
- [5] ZHAI Feihong, WANG Qi, HAN Jianrong. Nutritional components and antioxidant properties of seven kinds of cereals fermented by the basidiomycete *Agaricus blazei*[J]. Journal of Cereal Science, 2015, 65: 202-208. DOI:10.1016/j.jcs.2015.07.010.
- [6] 张艳荣, 王大为, 张雅媛, 等. 姬松茸低聚肽的制备及性质[J]. 高等学校化学学报, 2009, 30(2): 293-296. DOI:10.3321/j.issn.0251-0790.2009.02.014.
- [7] 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. DOI:10.1016/j.foodeng.2005.10.021.
- [8] 涂宝军, 陈尚龙, 马庆昱, 等. 3种干燥方式对香菇挥发性成分的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(19): 106-110. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201419022.
- [9] 李娜, 张静, 徐仲伟, 等. 姬松茸研究现状与展望[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(7): 166-169. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2009.07.048.
- [10] 张艳荣, 单玉玲, 刘婷婷, 等. 微波萃取技术在姬松茸多糖提取中的应用[J]. 食品科学, 2006, 27(12): 267-270. DOI:10.3321/j.issn.1002-6630.2006.12.060.
- [11] 董全, 黄艾祥. 食品干燥加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 56-72.
- [12] 陈瑞娟, 毕金峰, 周禹含, 等. 干燥方式对胡萝卜超微粉中挥发性风味物质的影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(1): 250-256. DOI:10.16429/j.1009-7848.2015.01.036.

- [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. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.12.031.
- [14] 徐丹萍, 蒲彪, 刘书亮, 等. 不同发酵方式的泡菜挥发性成分分析[J]. 食品科学, 2015, 36(16): 94-100. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201516017.
- [15] 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.
- [16] 高兴洋, 杨文建, 胡秋辉, 等. 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[J]. 食品科学, 2015, 36(17): 88-93. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201517017.
- [17] FUJIMAKI M, ARAI S, KIRIGAYA N, et al. Studies on flavor components in soybean[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1965, 29(9): 855-863.
- [18] 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.
- [19] 唐秋实, 陈智毅, 刘学铭, 等. 几种干燥方式对金针菇子实体挥发性风味成分的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(10): 119-124. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.10.016.
- [20] 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.
- [21] 刘春菊, 李大婧, 刘春泉. 不同干燥方式对慈姑挥发性风味成分影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(21): 102-106.
- [22] 张晓鸣. 食品风味化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009: 32-44.
- [23] 徐寅, 黄玉军, 陈霞, 等. 牛乳含量对发酵豆乳风味成分的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(4): 1-5.
- [24] YANG Wenjian, YU Jie, PEI Fei, et al. Effect of hot air drying on volatile compounds of *Flammulina velutipes* detected by HS-SPME-GC-MS and electronic nose[J]. Food Chemistry, 2015, 196(1): 860-866.
- [25] 李延华, 张兰威, 王伟军, 等. 热处理引起牛乳风味变化的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(6): 414-416; 420.