

# 烫漂方式对香菇挥发性成分的影响

刘璐<sup>1,2</sup>, 黄文<sup>1</sup>, 程薇<sup>2</sup>, 高虹<sup>2</sup>, 史德芳<sup>2</sup>, 乔宇<sup>2</sup>

(1. 华中农业大学食品科技学院, 湖北武汉 430070)

(2. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430064)

**摘要:** 比较微波、蒸汽和沸水烫漂对香菇挥发性成分的影响。采用顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用技术进行挥发性成分定性分析, 并对苯甲醛与 1-辛烯-3-醇进行外标法定量分析。结果表明: 新鲜香菇的主要挥发性化合物分为五类 25 种, 包括醇类 6 种、醛类 4 种、酮类 2 种、烃类 5 种和含硫化合物 8 种, 苯甲醛与 1-辛烯-3-醇分别为 0.28 ng/g 和 308.44 ng/g。微波烫漂的香菇中 1-辛烯-3-醇含量为 515.65 ng/g; 蒸汽烫漂与沸水烫漂对醇类与含硫化合物的相对含量影响较大, 其中蒸汽烫漂使香菇中醇类相对含量由 22.49% 降至 3.93%, 含硫化合物相对含量由 64.57% 增至 87.64%, 苯甲醛与 1-辛烯-3-醇含量分别为 0.45 ng/g 和 245.64 ng/g; 香菇经沸水烫漂, 醇类相对含量达 87.89%, 含硫化合物 (2.85%) 显著降低, 1-辛烯-3-醇含量为 1482.46 ng/g。以上表明, 从挥发性成分组成来看, 蒸汽烫漂与沸水烫漂处理对其差异影响较大, 特别是醇类与含硫化合物的相对含量有明显区别。

**关键词:** 烫漂; 香菇; 固相微萃取; 挥发性成分

文章篇号: 1673-9078(2017)3-210-215

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.3.032

## Effect of Blanching Treatment on the Volatile Components of *Lentinus edodes*

LIU Lu<sup>1,2</sup>, HUANG Wen<sup>1</sup>, CHENG Wei<sup>2</sup>, GAO Hong<sup>2</sup>, SHI De-fang<sup>2</sup>, QIAO Yu<sup>2</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China) (2. Research Institute of Agricultural Products Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)

**Abstract:** The effects of microwave, steam, and boiling-water blanching treatments on the volatile components of *Lentinus edodes* were compared. Headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was employed to qualitatively analyze the volatile components. The external standard method was employed for the quantitative analysis of benzaldehyde and 1-octen-3-ol. Five different types, totaling 25 volatile components, were obtained from *Lentinus edodes*, including six alcohols, four aldehydes, two ketones, five hydrocarbons, and eight sulfur-containing compounds. The contents of benzaldehyde and 1-octen-3-ol in fresh *Lentinus edodes* were 0.28 and 308.44 ng/g, respectively. The content of 1-octen-3-ol of *Lentinus edodes* upon microwave blanching treatment was 515.65 ng/g. The contents of alcohols and sulfur-containing compounds were significantly affected by steam and boiling-water blanching treatments, where steam treatment showed a reduction from 22.49% to 3.93% in the relative content of alcohols, and an increase from 64.57% to 87.64% in the relative amount of sulfur-containing compounds. The contents of benzaldehyde and 1-octen-3-ol after steam treatment were 0.45 and 245.64 ng/g, respectively. Blanching by boiling water resulted in relative content of alcohols at 87.89%. Additionally, the content of sulfur-containing compounds was significantly reduced (2.85%) and the content of 1-octen-3-ol was 1482.46 ng/g. These results suggested that steam and boiling-water blanching processes had a significant impact on volatile components, where contents of alcohols and sulfur compounds were especially significantly different.

**Key words:** blanching; *Lentinus edodes*; solid-phase microextraction; volatile component

香菇 (*Lentinus edodes*) 又名香蕈, 属真菌门、担子菌纲、伞菌目、口蘑科和香菇属。其肉质肥厚细嫩,

收稿日期: 2016-03-24

基金项目: 农业部公益性行业 (农业) 科研专项 (201303080)

作者简介: 刘璐 (1990-), 女, 硕士, 研究方向: 食用菌风味化学

通讯作者: 乔宇 (1981-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品加工

口味鲜美, 香郁诱人, 营养丰富, 含有丰富的多糖、氨基酸、维生素及微量元素等营养物质, 具有很高的营养价值及保健功效<sup>[1,2]</sup>。常规烫漂处理如蒸汽烫漂与沸水烫漂虽可钝化香菇中的各种酶、抑制酶促褐变、软化或改进组织结构, 降低其中的污染物和微生物数量, 但其风味、色泽、营养成分及外观等品质均会受

到严重影响<sup>[3]</sup>。近年应用广泛的微波技术,利用其热力效应与生物效应破坏酶结构而达到烫漂目的,灭酶彻底、时间短、速度快、对食品外观与色泽影响小<sup>[4]</sup>。目前对烫漂后菇体或其烫漂液的品质、色泽、稳定性与抗氧化性方面的研究较多,李静等<sup>[5]</sup>将白术、淡竹叶和木瓜提取物溶液浸泡与沸水烫漂进行结合,使菇片抗坏血酸与总酚含量均高于清水浸泡前处理的菇片;赖谱富等<sup>[6]</sup>对大球盖菇漂烫液喷雾干燥精粉的贮藏稳定性进行研究,发现低温、避光及低湿条件下具有良好贮藏稳定性。张锐等<sup>[7]</sup>提出水煮处理对巴西蘑菇抗氧化能力的破坏作用明显高于微波处理。

目前关于不同烫漂处理对香菇风味物质影响的研究甚少,国内外对香菇风味物质的研究多集中在鲜香菇及其干燥或贮藏过程中挥发性成分的变化,如张书香等<sup>[8]</sup>确定了香菇挥发性成分固相微萃取优化条件,检测出香菇中含量较高的成分分别为二甲基二硫醚、二甲基三硫醚、1,2,4-三硫杂环戊烷与1-辛烯-3-醇;Hiraide等<sup>[9]</sup>研究了香菇中的香菇精及其前体物质在干制过程中的变化情况;阎瑞香等<sup>[10]</sup>分析鉴定了塑料箱式气调和塑料袋自发气调贮藏过程中香菇的挥发性成分,得出醛类、醇类与含硫化合物为鲜香菇贮藏后期风味的重要组成部分,且塑料箱式保鲜能够有效维持香菇中的香气成分。

鉴于此,本文对香菇进行微波、蒸汽和沸水烫漂处理,研究了不同烫漂方式对香菇挥发性成分的影响,尤其是香菇烫漂前后挥发性成分的变化情况,为香菇的深加工利用提供了理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

新鲜香菇,购于武商量贩农科城店。

无水乙醇和氯化钠均为分析纯。标准品:苯甲醛和1-辛烯-3-醇,纯度均大于99%,TCI东京化成工业株式会社。使用时用无水乙醇稀释成所需浓度。试验用水均为娃哈哈纯净水。

### 1.2 仪器与设备

C21-SN216 多功能电磁炉,美的;G70F20CN2L-B8H(B0)微波炉,格兰仕;SPME 手动进样手柄、萃取头 DVB/CAR/PDMS 50/30  $\mu\text{m}$  (二乙烯基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷),美国 Supelco 公司;Agilent GC-MS7890A 气相色谱-质谱联用仪,美国安捷伦公司;DF101S 集热式恒温磁力搅拌器,巩义市予华仪器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品处理

选择个体大小均匀,成熟一致,无病虫害及机械损伤的新鲜香菇,将其洗净切片,每次取样 50 g,按照试验设计要求进行烫漂处理,烫漂结束后自然冷却,沥干,切碎,备用。

#### 1.3.2 香菇烫漂处理方式

##### 1.3.2.1 微波烫漂处理

新鲜香菇洗净切片(5 mm厚)放入微波专用盒中薄层平铺,微波功率为560 W,对香菇烫漂30 s。

##### 1.3.2.2 沸水烫漂处理

新鲜香菇洗净切片(5 mm厚)放入沸水中(按料水比1 g:4 mL加水)进行烫漂,烫漂时间为30 s。

##### 1.3.2.3 蒸汽烫漂处理

新鲜香菇洗净切片(5 mm厚)置于纱布上薄层平铺,放入蒸汽中进行烫漂,烫漂时间为30 s。

#### 1.3.3 挥发性成分定性分析

##### 1.3.3.1 固相微萃取条件

分别称取新鲜与经过不同烫漂方式处理的香菇样品 1.5 g 于 50 mL 螺口样品瓶中,再分别加入 3 g NaCl、12 g 去离子水,用聚四氟乙烯隔垫密封,60  $^{\circ}\text{C}$  置于磁力搅拌器中水浴平衡 10 min。然后用 DVB/CAR/PDMS 50/30  $\mu\text{m}$  (聚二甲基硅氧烷/二乙烯基苯)萃取头顶空吸附 40 min 后,将萃取头插入 GC 进样,解析 5 min 进行 GC-MS 分析。

##### 1.3.3.2 气相色谱-质谱联用条件

采用 Agilent GC-MS7890A 气相色谱-质谱联用仪,Agilent HP-5ms 非极性毛细管柱(60 m $\times$ 25  $\mu\text{m}$  $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ ),升温程序:初温 40  $^{\circ}\text{C}$  保持 2 min,后以 3  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的速率升至 90  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 5 min,再以 10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的速率升至 260  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 1 min;载气(He)流速 1.0 mL/min;进样口温度 250  $^{\circ}\text{C}$ ,不分流。质谱条件为电子能量 70 eV,电压 350 V;离子源温度 230  $^{\circ}\text{C}$ ,四极杆温度 150  $^{\circ}\text{C}$ ,传输线温度 280  $^{\circ}\text{C}$ ;质量扫描范围  $m/z$  50~450。

##### 1.3.3.3 定性分析

经 Agilent GC-MS7890A 气相色谱-质谱联用仪进行分析鉴定,通过 NIST08 标准谱图数据库检索,选择匹配度大于 80%的物质作为有效的挥发性成分,相对百分含量采用同一积分参数峰面积归一法计算。

#### 1.3.4 挥发性成分定量分析

##### 1.3.4.1 气相色谱条件

Agilent HP-5ms 非极性毛细管(60 m $\times$ 25  $\mu\text{m}$  $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ )色谱柱;样口温度 250  $^{\circ}\text{C}$ ;FID 检测器温度 280  $^{\circ}\text{C}$ ;

载气为高纯氦气(纯度≥99.999%), 流速 30 mL/min; H<sub>2</sub> 流速 30 mL/min; 空气流速 400 mL/min; 尾吸: 31 mL/min; 柱流量 1 mL/min; 升温程序同 1.3.3.2 所述。

### 1.3.4.2 标准溶液的配制

精确移取 0.1 mL 各标准品, 用无水乙醇溶解后定容至 10 mL, 于 4 °C 冰箱内保存, 此溶液即为各标准溶液的母液。将母液分别稀释至所需浓度, 得到一系列各标准品的标准溶液<sup>[11]</sup>。

### 1.3.5 数据处理

文中柱状图用 Excel 软件绘制。测定样品设置 3 个平行, 结果以平均值±标准偏差表示, 显著性差异采用 Duncan 新复极差法进行分析, 以不同字母表示 ( $p < 0.05$ )。

## 2 结果与讨论

### 2.1 烫漂香菇的挥发性成分定性分析

#### 2.1.1 不同烫漂方式所得香菇的挥发性成分总离子流图

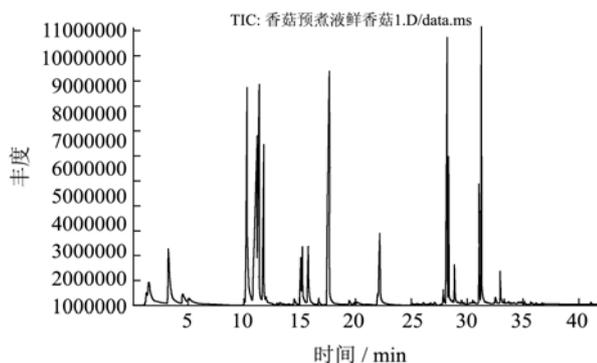


图 1 新鲜香菇挥发性成分 GC-MS 分析总离子流图

Fig.1 GC-MS ion chromatogram of volatile components from fresh *Lentinus edodes*

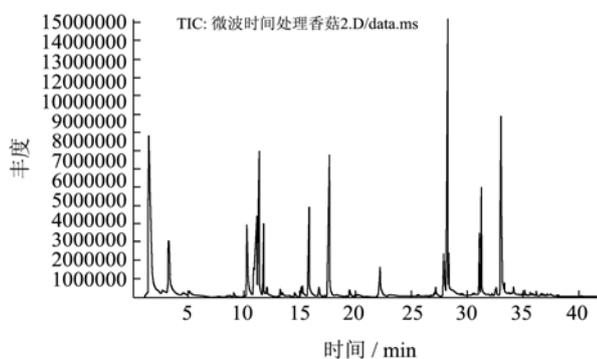


图 2 微波烫漂香菇挥发性成分的 GC-MS 分析总离子流图

Fig.2 GC-MS ion chromatogram of volatile components from *Lentinus edodes* treated with microwave blanching

对新鲜香菇与经不同烫漂方式烫漂之后所得的香菇进行挥发性成分分离鉴定, 得到总离子流色谱图,

如图 1 至图 4 所示。

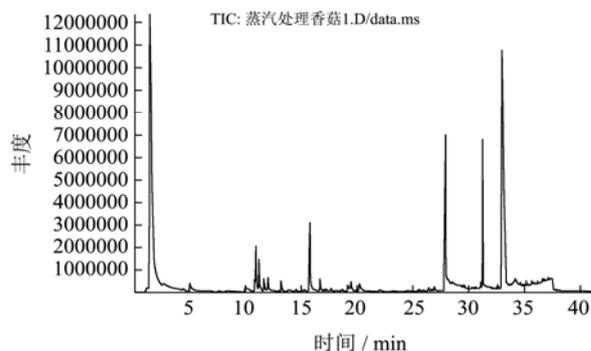


图 3 蒸汽烫漂香菇挥发性成分的 GC-MS 分析总离子流图

Fig.3 GC-MS ion chromatogram of volatile components from *Lentinus edodes* treated with steam blanching

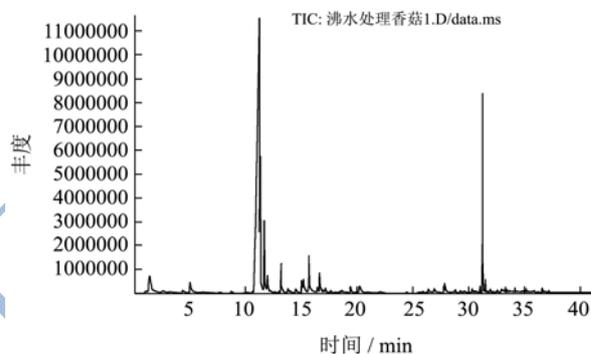


图 4 沸水烫漂香菇挥发性成分的 GC-MS 分析总离子流图

Fig.4 GC-MS ion chromatogram of the volatile components from *Lentinus edodes* treated with boiling-water blanching

#### 2.2.2 不同烫漂方式所得香菇的挥发性成分及相对含量

新鲜香菇与经不同烫漂方式烫漂之后所得香菇挥发性成分离子图谱中对应的化合物及相对百分含量如表 1 所示。

由表 1 分析可知, 新鲜香菇与微波烫漂、蒸汽烫漂、沸水烫漂三种不同处理方式所得香菇的挥发性风味物质差异较大。共鉴定出 38 种挥发性化合物, 包括醇类 (8 种)、醛类 (6 种)、酮类 (3 种)、烃类 (11 种) 和含硫化合物 (10 种) 共五类挥发性化合物。

新鲜香菇中共鉴定出 25 种化合物, 其中醇类 6 种 (22.49%)、醛类 4 种 (1.44%)、酮类 2 种 (10.29%)、烃类 5 种 (0.31%) 和含硫化合物 8 种 (64.57%), 相对百分含量较高的挥发性成分为硫化物与 C<sub>8</sub> 化合物, 分别为二甲硫基甲烷 (30.06%)、二甲基三硫 (17.28%)、1-辛烯-3-醇 (10.78%)、3-辛酮 (10.18%) 和二甲基二硫 (8.19%)。微波烫漂处理所得香菇中共鉴定出 18 种化合物, 其中醇类 6 种 (26.91%)、醛类 3 种 (1.18%)、酮类 2 种 (14.06%)、烃类 1 种 (0.05%) 和含硫化合物 6 种 (57.47%), 其挥发性成分主要为

二硫化碳 (25.42%)、1-辛烯-3-醇 (20.87%)、3-辛酮 (14.02%) 和香菇素 (13.44%)。蒸汽烫漂处理所得香菇中共鉴定出 23 种化合物,其中醇类 6 种(3.93%)、醛类 3 种 (2.17%)、酮类 3 种 (2.22%)、烃类 8 种 (2.51%) 和含硫化合物 3 种 (87.64%), 挥发性成分

主要以二硫化碳 (59.46%) 和香菇素 (27.93%) 为主。沸水烫漂处理所得香菇中共鉴定出 23 种化合物,其中醇类 7 种 (87.89%)、醛类 4 种 (2.91%)、烃类 10 种 (3.92%) 和含硫化合物 2 种 (2.85%), 挥发性成分以 1-辛烯-3-醇含量最高 (77.79%)。

表 1 烫漂香菇挥发性成分的相对百分含量

Table 1 Relative contents of volatile components in *Lentinus edodes* treated with blanching

序号	保留时间 /min	中文名	相对含量/%			
			新鲜香菇	微波处理	蒸汽处理	沸水处理
1	1.51	二硫化碳	3.44	25.42	59.46	2.70
2	3.27	二甲基二硫	8.19	4.72	-	-
3	7.72	庚醛	-	-	-	0.05
4	10.05	苯甲醛	0.23	-	0.96	-
5	10.30	二甲基三硫	17.28	4.94	-	-
6	10.87	1-辛烯-3-酮	-	-	0.41	-
7	11.21	1-辛烯-3-醇	10.78	20.87	2.14	77.79
8	11.40	3-辛酮	10.18	14.02	1.70	-
9	11.82	3-辛醇	6.50	4.46	0.66	4.65
10	12.99	柠檬烯	0.05	-	0.03	0.04
11	13.06	桉叶油醇	0.03	0.01	0.02	0.06
12	13.27	2-乙基己醇	0.29	0.51	0.83	2.84
13	13.87	苯乙醛	-	-	0.21	-
14	14.53	反-2-辛烯醛	0.45	0.40	-	0.48
15	15.12	2-辛烯-1-醇	2.33	-	-	-
16	15.26	正辛醇	2.56	0.94	0.17	2.02
17	16.52	芳樟醇	-	-	-	0.44
18	16.73	壬醛	0.29	0.70	0.99	2.13
19	17.06	1,2,4,5-四甲苯	-	-	0.25	0.50
20	17.25	1,2,3,4-四甲苯	-	-	0.15	0.09
21	17.50	2,3,5-三硫杂己烷	-	8.91	-	-
22	17.74	二甲硫基甲烷	30.06	-	-	-
23	20.23	萘	-	-	1.05	1.64
24	20.24	三硫代碳酸二甲酯	0.60	-	-	-
25	22.01	癸醛	0.47	0.09	-	0.25
26	22.18	二甲基四硫醚	3.88	-	-	-
27	25.95	五甲基苯	-	-	0.08	0.10
28	26.41	二甲基萘	-	-	0.53	0.46
29	26.09	环癸烷	0.03	-	-	-
30	26.70	甲基壬基甲酮	0.11	0.05	0.11	-
31	26.92	1-甲基萘	-	-	0.32	0.70
32	27.76	1-癸硫醇	0.02	-	-	-
33	28.72	1,2,4,5-四噻烷	0.07	-	0.10	0.31
34	32.44	十六烷	0.05	0.05	-	0.03
35	32.60	柏木脑	-	0.12	0.11	0.09

转下页

接上页

36	32.96	香菇素	1.11	13.44	27.93	0.15
37	33.15	古巴烯	0.12	-	-	0.04
38	37.16	环辛硫烷	-	0.04	0.25	-

注：“-”表示该挥发性成分未检出。

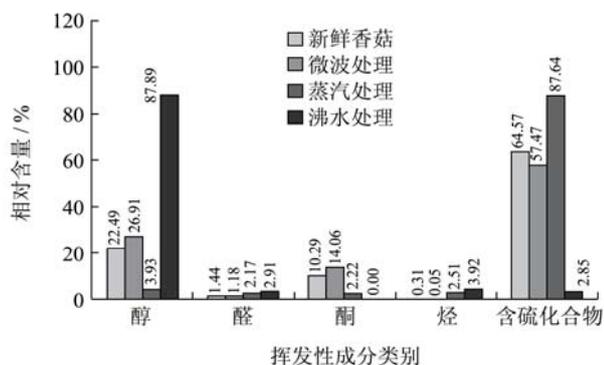


图5 烫漂香菇挥发性成分类别

Fig.5 Aroma components of *Lentinus edodes* treated with blanching

据峰面积归一法求得经烫漂处理之后香菇中各类的挥发性成分相对百分含量如图5所示。由图5可

表2 烫漂香菇的GC定量分析结果

Table 2 Result of gas chromatography quantitative analysis of *Lentinus edodes* treated with blanching

化合物名称	线性方程	R <sup>2</sup>	含量/(ng/g)			
			新鲜香菇	微波烫漂	蒸汽烫漂	沸水烫漂
苯甲醛	y=6971.8x-111.51	0.99	0.28±12.51	-	0.45±8.66	-
1-辛烯-3-醇	y=50.785x+323.5	0.99	308.44±9.82	515.65±16.49	245.64±10.67	1482.46±15.77

注：“-”表示该挥发性成分未检出。

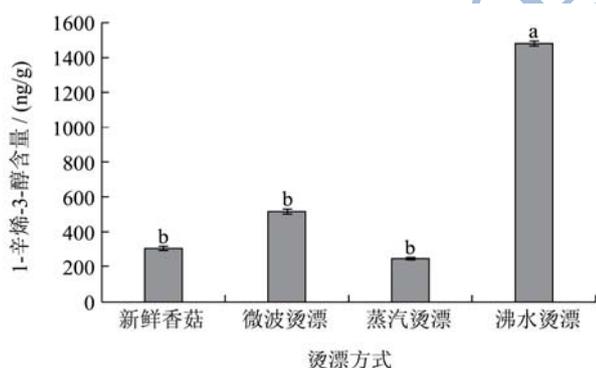


图6 烫漂方式对香菇中1-辛烯-3-醇含量的影响

Fig.6 Effect of blanching treatment on the contents of 1-octen-3-ol in *Lentinus edodes*

注：烫漂方式差异显著性以不同字母 a 和 b 表示(p<0.05)。

苯甲醛广泛存在于植物中，具有特殊的杏仁气味<sup>[12]</sup>；1-辛烯-3-醇则呈现浓烈的植物甜香，是C<sub>8</sub>化合物的代表，在蘑菇中普遍存在，其左旋结构比右旋结构的风味更强，也被称作蘑菇醇<sup>[13]</sup>，故选择这两种特征化合物进行定量分析。对新鲜香菇及经不同方式烫漂之后所得香菇中的特征挥发性成分苯甲醛与1-辛烯

见，新鲜香菇与微波烫漂处理香菇的挥发性成分均以含硫化合物与醇类为主，蒸汽烫漂处理香菇的挥发性成分则以含硫化合物（87.64%）为主，而沸水烫漂处理香菇的挥发性成分主要为醇类（87.89%）。除微波烫漂处理之外，另两种烫漂方式处理之后所得香菇的挥发性成分类别和含量与新鲜香菇存在明显差异，这可能是由于蒸汽与沸水烫漂处理相较微波烫漂处理而言，其烫漂温度更高，促进了某些物质之间的反应，使产物含量明显增多。而蒸汽烫漂处理与沸水烫漂处理所得香菇挥发性成分之间的差异，则可能是由于在各自烫漂过程中其水分含量不同所造成的，水分含量大，经烫漂之后所得香菇的1-辛烯-3-醇含量高。

## 2.2 烫漂香菇挥发性成分定量分析

-3-醇定量分析结果如表2所示。

由表2可知，香菇经微波与沸水烫漂之后，苯甲醛损失极为严重，在样品中均未检测出，而经蒸汽烫漂后，其含量略有增加。1-辛烯-3-醇含量除经蒸汽烫漂处理之后略微减少之外，其他两种烫漂处理方式对其含量的增加均有明显效果，且以沸水烫漂处理最为显著。由图6可知，经微波与蒸汽烫漂的香菇与新鲜香菇对比，其1-辛烯-3-醇的含量无显著性差异(p>0.05)，而沸水烫漂可显著增加1-辛烯-3-醇的含量(p<0.05)。这可能是由于在30s短小时内，沸水烫漂处理能使香菇受热更为完全与均匀，从而促进了香菇中亚油酸的氢过氧化物降解生成1-辛烯-3-醇，故使其含量显著增加。1-辛烯-3-醇在不同烫漂方式处理过程中含量的变化，还可能与所处温度与水分含量相关。蒸汽烫漂处理温度高，导致C<sub>8</sub>化合物氧化分解，使1-辛烯-3-醇含量降低，同时含硫化合物明显增加，如二硫化碳含量在新鲜香菇中含量仅为3.44%，而经蒸汽烫漂处理之后其含量增长至59.46%。沸水烫漂处理则显著增加1-辛烯-3-醇的含量，其含量在新鲜香菇中

为 308.44 ng/g, 经沸水处理之后其含量为 1482.46 ng/g。此两种特征化合物在定量分析结果中的变化趋势与表 1 中相对百分含量结果的变化趋势相一致。

### 3 结论

经 GC-MS 定性分析与外标法定量分析, 新鲜香菇与经烫漂处理后的香菇样品挥发性成分的种类与各类别数目差异不大, 但在特征性挥发性物质如含硫化物与醇类的含量上有明显差异。新鲜香菇的主要挥发性物质为醇类 6 种 (22.49%)、醛类 4 种 (1.44%)、酮类 2 种 (10.29%)、烃类 5 种 (0.31%)、含硫化物 8 种 (64.57%), 苯甲醛与 1-辛烯-3-醇含量分别为 0.28 和 308.44 ng/g。经过微波、蒸汽和沸水烫漂处理后香菇的挥发性成分分别鉴定出 18、23 和 23 种。微波烫漂处理香菇的主要挥发性物质为二硫化碳 (25.42%)、1-辛烯-3-醇 (20.87%, 515.65 ng/g)、3-辛酮 (14.02%) 和香菇素 (13.44%); 蒸汽烫漂处理香菇挥发性成分以二硫化碳 (59.46%) 和香菇素 (27.93%) 为主, 苯甲醛含量为 0.45 ng/g, 1-辛烯-3-醇含量为 245.64 ng/g; 沸水烫漂处理香菇中 1-辛烯-3-醇相对百分含量达 77.79%, 定量分析测定其含量为 1482.46 ng/g。这为工业实际生产中选择优良的烫漂方式提供了一定理论依据和技术参考。

### 参考文献

- [1] Eva Guillamon, Ana Garcia-Lafuente, Miguel Lozano, et al. Edible mushrooms: Role in the prevention of cardiovascular diseases [J]. *Fitoterapia*, 2010, 81(7): 715-723
- [2] Barbara Ribeiro, Paula Guedes de Pinho, Paula B. Andrade, et al. Fatty acid composition of wild edible mushrooms species: A comparative study [J]. *Microchemical Journal*, 2009, 93(1): 29-35
- [3] 吴薇,高振江,杜志龙. 环保型气体射流冲击烫漂技术的研究[J]. *粮油加工与食品机械*, 2003, 11: 63-64  
WU Wei, GAO Zhen-jiang, DU Zhi-long. Research on blanching technology of environmentally friendly gas jet impact [J]. *Machinery for Cereals, Oil and Food Processing*, 2003, 11: 63-64
- [4] 严启梅,牛丽影,唐明霞,等. 微波烫漂对杏鲍菇 POD 酶活性的影响[J]. *食品科学*, 2012, 33(4): 247-251  
YAN Qi-mei, NIU Li-ying, TANG Ming-xia, et al. Effects of microwave blanching conditions on POD activity of *Pleurotus eryngii* [J]. *Food Science*, 2012, 33(4): 247-251
- [5] 李静,王安建,刘丽娜,等. 三种提取物对双孢菇片烫漂颜色和品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(1): 22-25  
LI Jing, WANG An-jian, LIU Li-na, et al. Effect of three plant extracts on color and quality of mushroom (*Agaricus bisporus*) slices during blanching [J]. *Food Research and Development*, 2014, 35(1): 22-25
- [6] 赖谱富,李怡彬,陈君琛,等. 大球盖菇漂烫液喷雾干燥精粉贮藏稳定性的研究[J]. *福建农业学报*, 2012, 27(3): 299-304  
LAI Pu-fu, LI Yi-bin, CHEN Jun-chen, et al. Studying storage stability of spray drying powder from blanching water of *stropharia rugoso-annulata* [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 27(3): 299-304
- [7] 张锐,孙丽平,翟庆娇,等. 水煮和微波处理对巴西蘑菇营养品质及抗氧化能力的影响[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(1): 103-105  
ZHANG Rui, SUN Li-ping, ZHAI Qing-jiao, et al. Effect of boiling and microwaving treatments on nutritional characteristics and antioxidant activities of mushroom (*Agaricus blazei Murrii*) [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(1): 103-105
- [8] 张书香,谢建春,孙宝国. 固相微萃取/气-质联用分析香菇挥发性香味成分[J]. *北京工商大学学报(自然科学版)*, 2010, 28(2): 1-5, 13  
ZHANG Shu-xiang, XIE Jian-chun, SUN Bao-guo. Flavor components of mushrooms analysed by SPME/GC-MS [J]. *Journal of Beijing Technology and Business University (Natural Science Edition)*, 2010, 28(2): 1-5, 13
- [9] Hiraide M, Kato A, Nakashima T. The smell and odorous components in lenthionine and lenthinic acid contents during the drying process [J]. *Journal of Wood Science*, 2010, 56(6): 477-482
- [10] 阎瑞香,陈存坤,关文强,等. 自发气调包装对香菇贮藏中挥发性成分的影响[J]. *中国食用菌*, 2010, 29(6): 49-51  
YAN Rui-xiang, CHEN Cun-kun, GUAN Wen-qiang, et al. Effect of modified atmosphere storages on aromatic compounds of *Lentinus edodes* [J]. *Edible Fungi of China*, 2010, 29(6): 49-51
- [11] 刘媛,谢孟峡,陈世忠. 气相色谱定量分析中药有效成分[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2001, 37(2): 217-220  
LIU Yuan, XIE Meng-xia, CHEN Shi-zhong. Gas chromatographic quantitative analysis of active ingredients of traditional Chinese medicine [J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2001, 37(2): 217-220
- [12] Kotwaliwade N, Bakane P, Verma A. Changes in textural and optical properties of oyster mushroom during hot air drying [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 78(4): 1207-1211

- [13] Kalac P. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review [J]. Food Chemistry, 2009, 113(1): 9-16

现代食品科技