

# 基于化学分析与电子舌研究干燥方式对点柄粘盖牛肝菌鲜味的影响

魏云云<sup>1</sup>, 宫 雪<sup>1</sup>, 辛 广<sup>1,\*</sup>, 张晓玉<sup>1</sup>, 于晓丹<sup>2</sup>, 杨 镇<sup>3</sup>, 孙炳新<sup>1</sup>, 孟宪军<sup>1</sup>

(1.沈阳农业大学食品学院, 辽宁 沈阳 110866; 2.沈阳农业大学生物科学技术学院, 辽宁 沈阳 110866;

3.辽宁省农业科学院, 辽宁 沈阳 110034)

**摘 要:** 为研究干燥方式对点柄粘盖牛肝菌鲜味影响, 分析经自然干燥、热风干燥、真空干燥、真空冷冻干燥后样品中非挥发性成分, 用等鲜量值及电子舌味觉值评价其鲜味。结果表明: 热风干燥菌管鲜味氨基酸 (18.49 mg/g) 和等鲜量值 (113.18 g/100 g)、菌盖鲜味氨基酸 (15.11 mg/g)、菌柄等鲜量值 (27.66 g/100 g) 均最高 ( $P < 0.05$ ); 真空干燥菌管、菌柄可溶性糖 (26.35%、23.25%), 菌柄鲜味氨基酸 (10.04 mg/g), 菌管、菌盖、菌柄鲜味核苷酸 (3.63、3.06、2.84 mg/g), 菌盖等鲜量值 (39.51 g/100 g) 均最高 ( $P < 0.05$ ); 真空冷冻干燥菌盖可溶性糖 (30.29%), 甜味、无味氨基酸总量 (16.90、16.23 mg/g), 菌柄甜味氨基酸总量 (16.74 mg/g), 菌管苦味氨基酸总量 (27.66 mg/g) 均最高 ( $P < 0.05$ ); 自然干燥菌盖鲜味味觉值 (11.46)、苦味氨基酸总量 (21.13 mg/g), 菌柄苦味、无味氨基酸总量 (37.48、17.44 mg/g) 均最高 ( $P < 0.05$ )。故在点柄粘盖牛肝菌鲜味剂等深加工中, 对菌管及菌柄热风干燥适宜, 菌盖真空干燥适宜。

**关键词:** 点柄粘盖牛肝菌; 干燥方式; 鲜味成分; 化学分析; 电子舌

## Effect of Different Drying Methods on the Umami Taste Components of *Suillus granulatus* Based on Chemical Analysis and Electronic Tongue Sensory Evaluation

WEI Yunyun<sup>1</sup>, GONG Xue<sup>1</sup>, XIN Guang<sup>1,\*</sup>, ZHANG Xiaoyu<sup>1</sup>, YU Xiaodan<sup>2</sup>, YANG Zhen<sup>3</sup>, SUN Bingxin<sup>1</sup>, MENG Xianjun<sup>1</sup>

(1. College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

2. College of Bioscience and Biotechnology, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

3. Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110034, China)

**Abstract:** In order to study the effect of different drying methods on the umami taste components in different parts of the fruiting body of *Suillus granulatus*, the contents of non-volatile components in the mushroom samples after natural drying (ND), hot air drying (HAD), vacuum drying (VD) and vacuum freeze drying (FVD) were determined. The umami taste was evaluated by equivalent umami concentration and umami taste scores from an electronic tongue. The results suggested that among four drying methods, HAD provided the highest umami amino acid content (18.49 mg/g) and equivalent umami concentration (EUC) (113.18 g/100 g) in *Suillus granulatus* tube, the highest umami amino acid content in pileus (15.11 mg/g) and the highest EUC value in stipe (27.66 g/100 g) ( $P < 0.05$ ). After vacuum drying, the soluble sugar content of *Suillus granulatus* tube (26.35%) and stipe (23.25%), the umami amino acid content (10.04 mg/g) of stipe, the umami nucleotide contents of tube, pileus and stipe (3.63, 3.06 and 2.84 mg/g) and the EUC value (39.51 g/100 g) of stipe were all significantly higher than those from the other three drying methods ( $P < 0.05$ ). After vacuum freeze drying, the soluble sugar content (30.29%) and the contents of sweet amino acids (16.90 mg/g) and non-taste-active amino acids (16.23 mg/g) in *Suillus granulatus* pileus, the sweet amino acid content (16.74 mg/g) of stipe, and the bitter amino acid content (27.66 mg/g) of tube were all significantly higher than those from the other three drying methods ( $P < 0.05$ ). After natural drying, the umami taste score (11.46) and bitter amino acid content (21.13 mg/g) of *Suillus granulatus* pileus and the contents of bitter amino acids (37.48 mg/g) and non-taste-active amino acids (17.44 mg/g) in stipe were all significantly higher than those from

收稿日期: 2018-03-22

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2018YFD0400205);

辽宁省沈阳农业大学高层次人才引进基金项目 (SYAU20160003); 辽宁科技厅重点研发计划项目 (2017201012)

第一作者简介: 魏云云 (1995—), 女, 硕士研究生, 研究方向为果蔬加工与贮藏。E-mail: weiyunyun.syau@qq.com

\*通信作者简介: 辛广 (1966—), 男, 教授, 博士, 研究方向为果蔬加工与贮藏。E-mail: xguang212@163.com

the other three drying methods ( $P < 0.05$ ). Therefore, during the deep processing of *S. granulatus* into umami seasonings, hot air drying is suitable for *S. granulatus* tube and stipe, while vacuum drying is suitable for *S. granulatus* pileus.

**Keywords:** *Suillus granulatus*; drying methods; umami taste components; chemical analysis; electronic tongue

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201818030

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2018) 18-0192-07

引文格式:

魏云云, 宫雪, 辛广, 等. 基于化学分析与电子舌研究干燥方式对点柄粘盖牛肝菌鲜味的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(18): 192-198. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201818030. <http://www.spkx.net.cn>

WEI Yunyun, GONG Xue, XIN Guang, et al. Effect of different drying methods on the umami taste components of *Suillus granulatus* based on chemical analysis and electronic tongue sensory evaluation[J]. Food Science, 2018, 39(18): 192-198. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201818030. <http://www.spkx.net.cn>

点柄粘盖牛肝菌 (*Suillus granulatus*), 属担子菌纲伞菌目牛肝菌科粘盖牛肝菌<sup>[1]</sup>。在东北、西南、华南、华北、华东等地区均有分布<sup>[2]</sup>, 是一种珍贵的食用菌, 具有香味浓、口味鲜、蛋白高、脂肪低的特点<sup>[3]</sup>。但其耐储性差, 为防其变质以保菌品质量, 宜采取适当的干制方法<sup>[4]</sup>。

干燥作为一种常用的加工方法, 对改善食用菌风味及品质至关重要, 且不同干燥方式影响不同<sup>[5-8]</sup>。此外, 食用菌因干燥后具有独特鲜味, 其干制品近些年越来越受人们欢迎。食用菌中鲜味成分主要有鲜味氨基酸和鲜味核苷酸<sup>[9]</sup>, 其中, 天冬氨酸和谷氨酸有强烈鲜味, 5'-鸟苷酸 (5'-guanosine monophosphate, 5'-GMP) 和 5'-肌苷酸 (5'-inosine monophosphate, 5'-IMP) 可与谷氨酸通过协同效应增强食用菌鲜味强度<sup>[10-11]</sup>。食用菌鲜味评价常用感官评价和化学分析, 近些年, 电子舌因易操作、重复性好、破坏性小逐渐用于食用菌鲜味评价<sup>[12-13]</sup>。

食用菌除鲜销外, 亦制成产品, 有研究表明食用菌不同部位中所含鲜味成分含量不同<sup>[14]</sup>, 故研究不同干燥方式对其不同部位中鲜味成分影响具有重要意义。目前, 国内对不同干燥方式的研究主要集中在果蔬品质<sup>[15-19]</sup>, 国外主要研究不同干燥方式对杏鲍菇<sup>[20]</sup>、香菇<sup>[21]</sup>、双孢菇<sup>[22]</sup>呈味物质的影响, 对牛肝菌研究较少。因此, 采用不同干燥方式对点柄粘盖牛肝菌不同部位进行干燥, 通过紫外分光光度计、高效液相色谱仪、氨基酸分析仪及电子舌测定其非挥发性成分, 评价鲜味, 探索保留各部位鲜味成分的最佳方法, 最大限度发挥不同部位的作用, 以期干燥方式的选择提供理论依据, 同时为其他食用菌干燥方式提供参考, 进而推动食用菌行业的发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

新鲜点柄粘盖牛肝菌: 于2016年9月采自辽宁省凌源地区, 菌盖呈扁半球形, 中部稍凸, 湿时黏滑, 干后有光泽; 菌肉柔软, 呈淡黄色; 菌管于菌柄周围直生或

稍下延, 易与菌肉分离, 米黄色或芥黄色; 菌柄近圆柱形, 淡黄褐色。经沈阳农业大学冯景刚教授结合该菌形态特征, 并通过测定其ITS序列, 将结果进行BLAST对比, 与点柄粘盖牛肝菌相似度达99%, 认定其为点柄粘盖牛肝菌。

苯酚、硫酸 (均为分析纯), 盐酸、磺基水杨酸、磷酸二氢钾 (均为色谱纯) 天津市光复精细化工研究所; 5'-GMP、5'-IMP、5'-黄苷酸 (5'-xanthosine monophosphate, 5'-XMP)、5'-腺苷酸 (5'-adenosine monophosphate, 5'-AMP) 上海源叶生物科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

L-8900氨基酸自动分析仪 日本日立公司; 600高效液相色谱仪 美国Waters公司; SA402B电子舌北京盈生恒泰科技有限公司; TU1901型紫外分光光度计北京普析通用仪器有限责任公司; D2F-1B型真空干燥机上海跃进医疗器械厂; WGL-65B电热鼓风干燥箱天津市泰斯特仪器有限公司; LGJ-12冷冻干燥机北京松源华兴科技发展有限公司; TDL-80-2B型低速台式离心机 上海安亭科学仪器厂。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品前处理

实验选取菌盖直径为4~8 cm大小均匀且无损伤的新鲜点柄粘盖牛肝菌, 将其菌管、菌盖、菌柄分离后归类。均匀选样后称取新鲜点柄粘盖牛肝菌菌管、菌盖、菌柄各4份, 每份500 g, 分别进行自然干燥、热风干燥、真空干燥、真空冷冻干燥, 每小时称量至恒质量, 粉碎机粉碎, 样品备用。自然干燥条件即通过自然风及阳光对其进行干燥; 热风干燥和真空干燥温度为60℃, 分别经GL-65B电热鼓风干燥箱、D2F-1B型真空干燥机干燥; 真空冷冻干燥条件为温度-60℃, 真空度0.1, 经LGJ-12冷冻干燥机干燥。

#### 1.3.2 可溶性糖含量的测定

参照祝义伟等<sup>[23]</sup>的方法, 取不同干燥方式菌管、菌盖、菌柄粉末各0.2 g, 加入50 mL蒸馏水, 超声振荡

15 min, 沸水浴30 min, 过滤, 定容。取0.2 mL样品, 加入0.8 mL蒸馏水, 依次加入1 mL 5%苯酚, 5 mL浓硫酸, 显色测定。

### 1.3.3 游离氨基酸含量的测定

参照张忠<sup>[24]</sup>的方法稍作修改, 取不同干燥方式菌管、菌盖、菌柄粉末各0.3 g, 加入50 mL 0.01 mol/L盐酸, 超声45 min, 离心; 取5 mL上清液加等体积8%磺基水杨酸, 混匀静置15 min, 离心取上清液, 过0.22 μm微孔滤膜, 氨基酸分析仪测定。

### 1.3.4 鲜味核苷酸的测定

参考Tsai等<sup>[25]</sup>的方法稍作修改, 取不同干燥方式菌管、菌盖、菌柄粉末各0.5 g, 加入50 mL蒸馏水煮沸, 过滤至50 mL容量瓶中, 定容。过0.45 μm微孔滤膜, 通过高效液相色谱仪测定。

色谱条件: Ultimate AQ-C<sub>18</sub>色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相: 10 mmol/L缓冲盐磷酸二氢钾(pH 4.6, 色谱纯), 紫外波长250 nm处检测; 柱温30 °C; 进样量20 μL。以5'-GMP、5'-IMP、5'-XMP、5'-AMP为标准品。

### 1.3.5 等鲜量值(equivalent umami concentration, EUC)<sup>[26]</sup>的测定

EUC值表示在100 g干物质的食物中, 由谷氨酸钠(monosodium glutamate, MSG)的含量表示该食物所含鲜味物质的含量, 计算公式如下:

$$EUC/(g/100 g) = \sum a_i b_i + 1218 (\sum a_i b_i) (\sum a_j b_j)$$

式中:  $a_i$ 和 $a_j$ 分别为鲜味氨基酸和鲜味核苷酸的含量/(g/100 g);  $b_i$ 和 $b_j$ 分别为鲜味氨基酸(Glu=1、Asp=0.077)和鲜味核苷酸的相对呈鲜系数(5'-IMP=1、5'-GMP=2.3、5'-XMP=0.61、5'-AMP=0.18); 1218为协同作用常数。

### 1.3.6 电子舌感官评价

取不同干燥方式菌管、菌盖、菌柄粉末各0.5 g, 加蒸馏水, 摇匀, 定容, 测定<sup>[27]</sup>。

## 1.4 数据处理

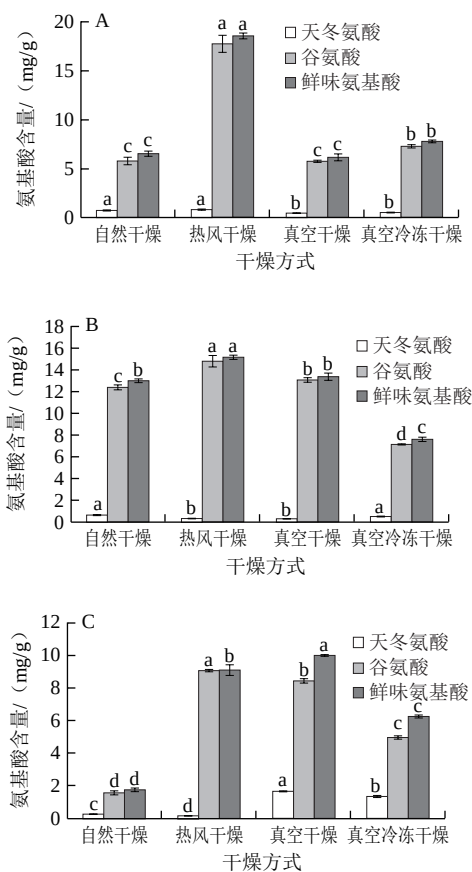
所有实验重复3次, 实验数据使用Excel 2007进行统计分析并制图, 采用SPSS Statistics 17.0软件中Duncan's法进行多重比较。 $P < 0.05$ , 差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 干燥方式对点柄粘盖牛肝菌中鲜味氨基酸含量的影响

如图1所示, 各部位自然干燥、热风干燥、真空干燥、真空冷冻干燥后样品中鲜味氨基酸含量分别为: 菌管: 6.56、18.49、6.17、7.79 mg/g; 菌盖: 13.03、15.11、13.35、7.62 mg/g; 菌柄: 1.75、9.15、10.04、

6.25 mg/g。其中, 热风干燥菌管和菌盖、真空干燥菌柄中鲜味氨基酸含量显著高于其他干燥方式( $P < 0.05$ )。Yang等<sup>[28]</sup>将鲜味氨基酸含量分3个水平, 低于5 mg/g为低含量水平, 5~20 mg/g为中含量水平, 大于20 mg/g为高含量水平, 可知菌管和菌盖4种干燥样品鲜味氨基酸含量均属中含量水平, 菌柄除自然干燥条件下属低含量水平, 其他3种干燥样品均属中含量水平。



A. 菌管; B. 菌盖; C. 菌柄; 小写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ ); 下图同。鲜味氨基酸=天冬氨酸+谷氨酸。

图1 干燥方式对点柄粘盖牛肝菌鲜味氨基酸含量的影响

Fig. 1 Effects of different drying methods on contents of umami amino acids of *Suillus granulatus*

对于天冬氨酸, 热风干燥菌管、自然干燥菌盖、真空干燥菌柄含量均最高, 分别为0.79、0.61、1.61 mg/g。而对于谷氨酸, 不论在菌管、菌盖、菌柄中, 经热风干燥样品中其含量均显著高于其他干燥方式( $P < 0.05$ ), 分别为17.7、14.85、9.04 mg/g。故不同干燥方式对点柄粘盖牛肝菌中天冬氨酸和谷氨酸影响不同, 分析其原因可能是两者在加热过程中发生反应程度不同。

### 2.2 干燥方式对点柄粘盖牛肝菌中鲜味核苷酸含量的影响

如图2所示, 经热风干燥、真空干燥、真空冷冻干燥及自然干燥鲜味核苷酸含量依次为菌管: 2.65、

3.63、1.41、0.38 mg/g; 菌盖: 0.67、3.06、0.55、0.53 mg/g; 菌柄: 1.02、2.84、0.41、0.46 mg/g, 且真空干燥后各部位中鲜味核苷酸含量均显著高于其他干燥方式 ( $P<0.05$ )。Yang等<sup>[28]</sup>将鲜味核苷酸含量分为3个水平, 低于1 mg/g为低含量水平, 在1~5 mg/g为中等含量水平, 高于5 mg/g的为高含量水平, 由此可知菌管仅自然干燥属低含量水平, 其他3种干燥方式属中含量水平; 菌盖仅真空干燥属中含量水平, 其他均属低含量水平; 菌柄热风干燥及真空干燥属中含量水平, 自然干燥和真空冷冻干燥属低含量水平。

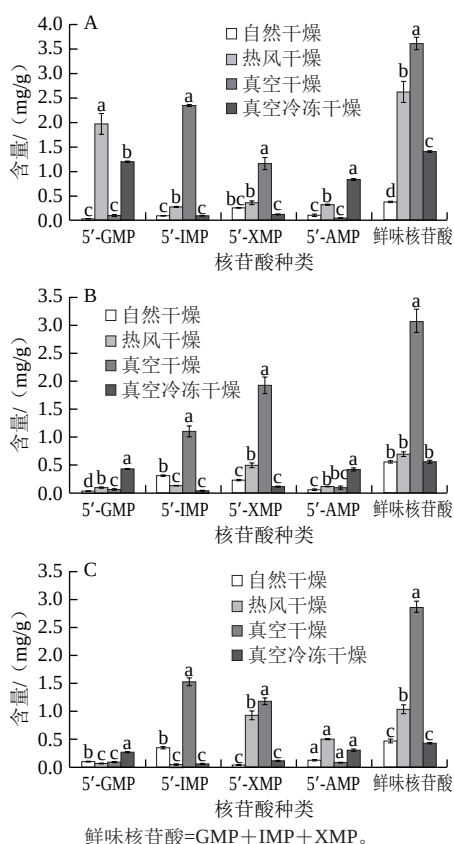


图2 干燥方式对点柄粘盖牛肝菌鲜味核苷酸含量的影响

Fig. 2 Effects of different drying methods on contents of umami nucleotides of *Suillus granulatus*

对于5'-IMP和5'-XMP: 菌管、菌盖及菌柄中两者含量均为经真空干燥显著高于其他干燥方式 ( $P<0.05$ ), 分别为5'-IMP: 2.36、1.09、1.52 mg/g; 5'-XMP: 1.17、1.92、1.17 mg/g。对于5'-GMP: 菌管热风干燥含量最高 ( $P<0.05$ ), 为2.00 mg/g, 而菌盖和菌柄中真空冷冻干燥含量显著高于其他干燥方式 ( $P<0.05$ ), 分别为0.42、0.26 mg/g; 对于5'-AMP: 菌管和菌盖中均是真空冷冻干燥含量最高 ( $P<0.05$ ), 分别为0.85、0.42 mg/g, 菌柄中热风干燥含量最高 ( $P<0.05$ ), 为0.49 mg/g。

### 2.3 干燥方式对点柄粘盖牛肝菌中EUC值的影响

如图3所示, 热风干燥、真空干燥、真空冷冻干

燥、自然干燥后样品各部位EUC值分别为: 菌管分别为113.18、23.91、28.16, 2.98 g/100 g; 菌盖: 12.56 g、39.51、10.49、8.55 g/100 g; 菌柄: 27.66、26.15、5.25、1.72 g/100 g。对于菌管和菌柄, 热风干燥后EUC值显著高于其他干燥方式 ( $P<0.05$ ), 而对于菌盖, 真空干燥最高 ( $P<0.05$ )。Mau<sup>[29]</sup>以每100 g干样品中所含MSG含量为基础, 将EUC值分为4个水平, 依次为: 第1水平: EUC值大于1 000 g/100 g; 第2水平: EUC值为100~1 000 g/100 g; 第3水平: 10~100 g/100 g; 第4水平: EUC值小于10 g/100 g。可知, 热风干燥后菌管属第2水平; 真空干燥和真空冷冻干燥菌管, 热风干燥、真空干燥及真空冷冻干燥菌盖, 真空干燥及热风干燥菌柄EUC值均属第3水平; 自然干燥菌管和菌盖、自然干燥及真空冷冻干燥菌柄均属第4水平。

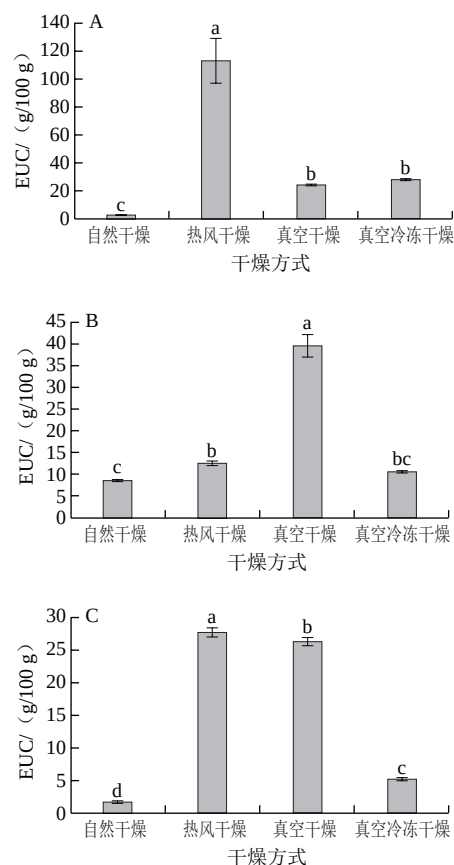


图3 干燥方式对点柄粘盖牛肝菌EUC值的影响

Fig. 3 Effects of different drying methods on EUC value of *Suillus granulatus*

### 2.4 干燥方式对电子舌鲜味味觉值的影响

如图4所示, 对于菌管和菌柄, 真空干燥方式其鲜味味觉值最高, 分别为9.96、9.30, 热风干燥次之, 分别为9.93、9.08, 2种干燥方式间无显著性差异; 对于菌盖, 自然干燥方式最高 ( $P<0.05$ ), 为11.46, 真空干燥次之, 为10.57。



表1 干燥方式对点柄粘盖牛肝菌中可溶性糖和氨基酸含量的影响  
Table 1 Effect of drying methods on soluble sugar and amino acid contents of *Suillus granulatus*

| 味觉种类 | 指标             | 菌管                      |                         |                         |                         | 菌盖                      |                         |                         |                         | 菌柄                      |                         |                         |                         |
|------|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|      |                | 自然干燥                    | 热风干燥                    | 真空干燥                    | 真空冷冻干燥                  | 自然干燥                    | 热风干燥                    | 真空干燥                    | 真空冷冻干燥                  | 自然干燥                    | 热风干燥                    | 真空干燥                    | 真空冷冻干燥                  |
| 甜味   | Ala            | 3.04±0.01 <sup>c</sup>  | 2.22±0.11 <sup>d</sup>  | 6.98±0.16 <sup>b</sup>  | 7.22±0.04 <sup>a</sup>  | 3.17±0.09 <sup>c</sup>  | 1.92±0.07 <sup>d</sup>  | 7.96±0.15 <sup>a</sup>  | 6.28±0.10 <sup>b</sup>  | 2.10±0.06 <sup>c</sup>  | 2.24±0.08 <sup>c</sup>  | 8.98±0.13 <sup>a</sup>  | 5.74±0.13 <sup>b</sup>  |
|      | Gly            | 0.71±0.05 <sup>b</sup>  | 1.45±0.06 <sup>c</sup>  | 1.50±0.08 <sup>c</sup>  | 0.71±0.04 <sup>b</sup>  | 0.68±0.03 <sup>c</sup>  | 0.77±0.05 <sup>b</sup>  | 1.18±0.05 <sup>c</sup>  | 0.62±0.03 <sup>c</sup>  | 0.69±0.04 <sup>c</sup>  | 0.93±0.05 <sup>b</sup>  | 1.07±0.06 <sup>c</sup>  | 0.63±0.02 <sup>c</sup>  |
|      | Ser            | 3.57±0.11 <sup>a</sup>  | 2.82±0.12 <sup>c</sup>  | 3.69±0.09 <sup>a</sup>  | 3.10±0.10 <sup>b</sup>  | 1.83±0.08 <sup>b</sup>  | 1.91±0.06 <sup>b</sup>  | 1.40±0.05 <sup>c</sup>  | 2.13±0.08 <sup>a</sup>  | 1.71±0.05 <sup>c</sup>  | 1.70±0.06 <sup>c</sup>  | 1.23±0.07 <sup>b</sup>  | 1.65±0.06 <sup>c</sup>  |
|      | Thr            | 20.85±0.10 <sup>a</sup> | 9.16±0.08 <sup>c</sup>  | 4.34±0.11 <sup>d</sup>  | 17.18±0.06 <sup>b</sup> | 8.00±0.12 <sup>a</sup>  | 4.95±0.11 <sup>b</sup>  | 4.41±0.06 <sup>c</sup>  | 7.87±0.08 <sup>a</sup>  | 2.73±0.12 <sup>c</sup>  | 2.53±0.07 <sup>c</sup>  | 3.80±0.08 <sup>b</sup>  | 8.72±0.16 <sup>a</sup>  |
|      | 甜味氨基酸总量/(mg/g) | 28.17±0.08 <sup>a</sup> | 15.65±0.07 <sup>c</sup> | 16.51±0.11 <sup>b</sup> | 28.21±0.11 <sup>a</sup> | 13.68±0.20 <sup>c</sup> | 9.55±0.07 <sup>d</sup>  | 14.95±0.18 <sup>b</sup> | 16.90±0.12 <sup>a</sup> | 7.23±0.14 <sup>c</sup>  | 7.40±0.11 <sup>c</sup>  | 15.08±0.20 <sup>b</sup> | 16.74±0.28 <sup>a</sup> |
|      | 可溶性糖质量分数/%     | 9.58±0.27 <sup>d</sup>  | 14.61±0.85 <sup>c</sup> | 26.35±0.35 <sup>a</sup> | 19.14±0.49 <sup>b</sup> | 24.94±0.80 <sup>b</sup> | 11.76±0.94 <sup>d</sup> | 23.83±0.61 <sup>c</sup> | 30.29±0.56 <sup>a</sup> | 10.83±0.98 <sup>c</sup> | 10.41±0.61 <sup>d</sup> | 23.25±0.72 <sup>a</sup> | 20.36±0.59 <sup>b</sup> |
| 苦味   | 味觉值            | 6.08±0.03 <sup>c</sup>  | 8.37±0.20 <sup>d</sup>  | 13.68±0.06 <sup>a</sup> | 12.51±0.13 <sup>b</sup> | 12.22±0.14 <sup>a</sup> | 9.06±0.16 <sup>c</sup>  | 12.33±0.21 <sup>a</sup> | 12.22±0.14 <sup>a</sup> | 14.6±0.21 <sup>a</sup>  | 10.49±0.21 <sup>d</sup> | 13.48±0.22 <sup>b</sup> | 12.88±0.17 <sup>c</sup> |
|      | Arg            | 5.15±0.10 <sup>b</sup>  | 2.65±0.07 <sup>c</sup>  | 5.12±0.13 <sup>b</sup>  | 10.09±0.17 <sup>a</sup> | 2.61±0.11 <sup>b</sup>  | 1.16±0.07 <sup>c</sup>  | 1.21±0.06 <sup>c</sup>  | 3.79±0.10 <sup>a</sup>  | 2.90±0.13 <sup>b</sup>  | 2.44±0.08 <sup>c</sup>  | 1.00±0.07 <sup>d</sup>  | 9.59±0.14 <sup>a</sup>  |
|      | His            | 1.98±0.08 <sup>b</sup>  | 1.29±0.08 <sup>c</sup>  | 1.92±0.09 <sup>b</sup>  | 3.08±0.12 <sup>a</sup>  | 1.10±0.04 <sup>c</sup>  | 0.83±0.06 <sup>d</sup>  | 1.62±0.11 <sup>b</sup>  | 2.22±0.10 <sup>a</sup>  | 1.25±0.06 <sup>c</sup>  | 0.67±0.05 <sup>c</sup>  | 0.92±0.05 <sup>b</sup>  | 1.35±0.07 <sup>a</sup>  |
|      | Ile            | 0.20±0.10 <sup>b</sup>  | 0.32±0.02 <sup>a</sup>  | 0.30±0.02 <sup>ab</sup> | 0.24±0.02 <sup>ab</sup> |                         | 0.51±0.14 <sup>a</sup>  | 0.26±0.03 <sup>b</sup>  | 0.36±0.02 <sup>b</sup>  |                         | 0.60±0.04 <sup>a</sup>  | 0.32±0.02 <sup>b</sup>  | 0.30±0.02 <sup>b</sup>  |
|      | Leu            | 1.59±0.05 <sup>c</sup>  | 3.14±0.10 <sup>b</sup>  | 1.55±0.07 <sup>c</sup>  | 6.44±0.18 <sup>a</sup>  | 3.24±0.10 <sup>b</sup>  | 3.74±0.10 <sup>a</sup>  | 1.47±0.05 <sup>d</sup>  | 1.78±0.05 <sup>c</sup>  | 5.08±0.13 <sup>b</sup>  | 3.56±0.08 <sup>c</sup>  | 8.00±0.16 <sup>a</sup>  | 1.54±0.08 <sup>d</sup>  |
|      | Met            | 0.48±0.03 <sup>d</sup>  | 2.03±0.13 <sup>a</sup>  | 1.08±0.04 <sup>c</sup>  | 1.24±0.07 <sup>b</sup>  |                         | 1.50±0.08 <sup>b</sup>  | 2.56±0.07 <sup>a</sup>  | 0.14±0.01 <sup>c</sup>  |                         | 1.08±0.06 <sup>c</sup>  | 2.17±0.07 <sup>a</sup>  | 0.82±0.04 <sup>c</sup>  |
|      | Phe            | 10.84±0.05 <sup>a</sup> | 5.97±0.12 <sup>b</sup>  | 3.78±0.13 <sup>d</sup>  | 5.59±0.08 <sup>c</sup>  | 13.50±0.15 <sup>a</sup> | 8.39±0.12 <sup>b</sup>  | 4.66±0.12 <sup>d</sup>  | 7.43±0.14 <sup>c</sup>  | 27.69±0.85 <sup>a</sup> | 5.62±0.23 <sup>b</sup>  | 5.51±0.12 <sup>b</sup>  | 5.83±0.12 <sup>b</sup>  |
|      | Val            | 1.18±0.06 <sup>a</sup>  | 0.49±0.14 <sup>c</sup>  | 0.48±0.13 <sup>d</sup>  | 1.01±0.07 <sup>b</sup>  | 0.72±0.04 <sup>b</sup>  | 0.40±0.04 <sup>c</sup>  |                         | 0.86±0.07 <sup>c</sup>  | 0.63±0.04 <sup>a</sup>  |                         |                         | 0.67±0.04 <sup>a</sup>  |
|      | 苦味氨基酸总量/(mg/g) | 21.49±0.19 <sup>b</sup> | 15.94±0.06 <sup>c</sup> | 14.29±0.09 <sup>d</sup> | 27.66±0.05 <sup>a</sup> | 21.13±0.22 <sup>a</sup> | 16.57±0.18 <sup>b</sup> | 11.82±0.17 <sup>c</sup> | 15.52±0.07 <sup>b</sup> | 37.48±0.66 <sup>a</sup> | 13.92±0.24 <sup>d</sup> | 17.88±0.27 <sup>c</sup> | 20.03±0.23 <sup>b</sup> |
|      | 味觉值            | 5.48±0.12 <sup>c</sup>  | 7.2±0.15 <sup>b</sup>   | 8.08±0.12 <sup>a</sup>  | 7.22±0.13 <sup>b</sup>  | 7.12±0.15 <sup>b</sup>  | 7.01±0.16 <sup>b</sup>  | 12.79±0.12 <sup>a</sup> | 6.87±0.13 <sup>b</sup>  | 8.41±0.12 <sup>b</sup>  | 7.38±0.17 <sup>c</sup>  | 10.21±0.52 <sup>a</sup> | 7.25±0.19 <sup>c</sup>  |
| 无味   | Lys            | 6.71±0.14 <sup>a</sup>  | 3.63±0.13 <sup>b</sup>  | 3.71±0.14 <sup>b</sup>  | 6.48±0.14 <sup>a</sup>  | 5.84±0.10 <sup>a</sup>  | 3.90±0.11 <sup>c</sup>  | 3.62±0.12 <sup>c</sup>  | 5.51±0.13 <sup>b</sup>  | 9.87±0.13 <sup>a</sup>  | 3.04±0.14 <sup>d</sup>  | 3.74±0.10 <sup>c</sup>  | 4.63±0.10 <sup>b</sup>  |
|      | Tyr            | 5.85±0.09 <sup>c</sup>  | 5.25±0.12 <sup>d</sup>  | 6.73±0.13 <sup>a</sup>  | 6.07±0.06 <sup>b</sup>  | 2.67±0.08 <sup>d</sup>  | 5.41±0.07 <sup>c</sup>  | 6.96±0.29 <sup>a</sup>  | 10.14±0.12 <sup>a</sup> | 7.15±0.10 <sup>c</sup>  | 4.58±0.09 <sup>d</sup>  | 10.33±0.13 <sup>a</sup> | 8.33±0.14 <sup>b</sup>  |
|      | Cys            | 0.27±0.12 <sup>b</sup>  |                         | 0.32±0.06 <sup>a</sup>  |                         | 0.38±0.14 <sup>ab</sup> | 0.28±0.07 <sup>b</sup>  | 0.23±0.09 <sup>b</sup>  | 0.58±0.13 <sup>a</sup>  | 0.42±0.07 <sup>a</sup>  | 0.16±0.04 <sup>b</sup>  | 0.23±0.05 <sup>b</sup>  | 0.49±0.06 <sup>c</sup>  |
|      | 无味氨基酸总量/(mg/g) | 12.83±0.08 <sup>a</sup> | 8.88±0.25 <sup>c</sup>  | 10.44±0.27 <sup>b</sup> | 12.87±0.04 <sup>a</sup> | 8.89±0.14 <sup>d</sup>  | 9.59±0.11 <sup>c</sup>  | 10.81±0.22 <sup>b</sup> | 16.23±0.14 <sup>a</sup> | 17.44±0.24 <sup>a</sup> | 7.78±0.11 <sup>d</sup>  | 14.30±0.24 <sup>b</sup> | 13.45±0.23 <sup>c</sup> |

注：同行不同肩标小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。

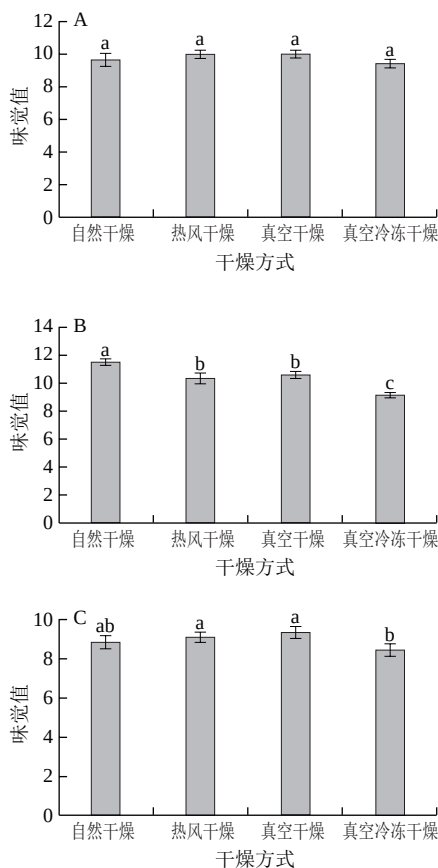


图4 干燥方式对点柄粘盖牛肝菌鲜味味觉值的影响

Fig. 4 Effects of different drying methods on umami tastes scores of *Suillus granulatus*

2.5 干燥方式对点柄粘盖牛肝菌中甜味、苦味的影响

由表1可知，各部位可溶性糖质量分数范围分别为：菌管：9.58%~26.35%之间，菌盖：11.76%~30.29%，菌柄：10.41%~23.25%，其中菌管和菌柄均为真空干燥可溶性糖含量最高（ $P<0.05$ ），菌盖真空冷冻干燥最高（ $P<0.05$ ）。

Yang等<sup>[28]</sup>将游离氨基酸分为4组，即丙氨酸（Ala）、甘氨酸（Gly）、丝氨酸（Ser）、苏氨酸（Thr）为甜味氨基酸；天冬氨酸（Asp）和谷氨酸（Glu）为鲜味氨基酸；精氨酸（Arg）、组氨酸（His）、异亮氨酸（Ile）、亮氨酸（Leu）、甲硫氨酸（Met）、苯丙氨酸（Phe）、缬氨酸（Val）为苦味氨基酸；赖氨酸（Lys）、酪氨酸（Tyr）、半胱氨酸（Cys）为无味氨基酸。不同干燥方式条件下不同部位各类氨基酸总量范围如下：对于菌管：甜味氨基酸含量为15.65~28.21 mg/g，苦味氨基酸含量为14.29~27.66 mg/g，无味氨基酸含量为8.88~12.87 mg/g，真空冷冻干燥后无味和苦味氨基酸均显著高于其他干燥方式（ $P<0.05$ ），真空冷冻干燥甜味氨基酸最高，自然干燥次之，两者无显著性差异；对于菌盖：甜味氨基酸含量为9.55~16.90 mg/g，苦味氨基酸含量为11.82~21.13 mg/g，无味氨基酸含量为8.89~16.23 mg/g，真空冷冻干燥甜味氨基酸、自然干燥后苦味氨基酸、真空冷冻干燥无味氨基酸均显著高于其他干燥方式（ $P<0.05$ ）；对于菌柄：甜味氨基酸

含量为7.23~16.74 mg/g, 苦味氨基酸含量为13.92~37.48 mg/g, 无味氨基酸含量为7.78~17.44 mg/g, 真空冷冻干燥甜味氨基酸、自然干燥无味和苦味氨基酸均显著高于其他干燥方式 ( $P<0.05$ ),

经电子舌对样品味觉值测定可知: 真空干燥菌管、自然干燥菌柄甜味值均显著高于其他干燥方式 ( $P<0.05$ ); 真空干燥菌盖最高, 自然干燥、真空冷冻干燥次之, 三者甜味值无显著性差异; 菌管、菌盖、菌柄苦味值均为真空干燥方式显著高于其他干燥方式 ( $P<0.05$ )。

### 3 讨论

不同干燥方式对鲜味氨基酸含量的影响: 菌盖中鲜味氨基酸含量与王肖肖<sup>[30]</sup>经冷冻干燥的5种云南野生牛肝菌菌盖中鲜味氨基酸含量所属水平一致, 而菌柄则与其结果不同, 可能由于不同干燥方式对点柄粘盖牛肝菌中鲜味氨基酸的影响与其部位和种类有关。此外, 对鲜味氨基酸, 热风干燥和真空干燥效果较好, 这与谷镇<sup>[31]</sup>对双孢菇和杏鲍菇鲜味氨基酸研究结果相近, 其原因可能是加热过程中样品发生蛋白质分解和美拉德反应使产生的氨基酸比消耗的多, 即氨基酸含量整体呈上升趋势<sup>[32]</sup>。不同干燥方式对样品不同部位中鲜味氨基酸影响不同, 可能由于不同部位中还原糖及氨基酸种类及含量不同, 也可能因真空条件降低了点柄粘盖牛肝菌中脂肪等氧化进而降低了羰基化合物的生成<sup>[33]</sup>, 即不同干燥条件下样品美拉德反应程度不同, 进而导致各部位鲜味氨基酸含量不同, 具体影响机理还有待进一步研究。

不同干燥方式对鲜味核苷酸含量的影响: 真空干燥更有益于样品中鲜味核苷酸的保留, 与Li Xiaobei<sup>[20]</sup>和吴迪<sup>[34]</sup>等对杏鲍菇和香菇研究结果一致, 可能是因热风干燥较真空干燥用时及空气存在一定程度上使5'-核苷酸降解<sup>[35]</sup>。对于5'-GMP及5'-AMP: 真空冷冻干燥法较益于保留其含量, 可能因冷冻干燥对食品微观结构会产生一定影响, 较低的处理温度, 以及因冰升华导致的高孔隙, 阻止了大部分营养成分降解, 使冷冻干燥法更有利于5'-GMP及5'-AMP提取<sup>[36]</sup>。

呈味物质间相互作用: 样品中呈味物质测定后发现菌管和菌柄热风干燥条件下其鲜味氨基酸含量较高, 菌盖真空干燥较高, 而热风干燥后菌管和菌柄中苦味氨基酸含量相对较低, 可能由于鲜味对苦味有一定的减弱作用<sup>[37]</sup>, 即不同氨基酸之间可能存在相互作用。Kirimura等<sup>[38]</sup>研究指出仅几种氨基酸并不具备牛肉的味道, 而所有游离氨基酸共同作用后可产生肉味, 故推测, 不同种游离氨基酸共同作用时, 可能对点柄粘盖牛肝菌口感有影响, 具体影响机制还有待进一步研究。

化学分析与电子舌鲜味分析结果经比较可知, 两者结果不同, 可能是因各呈鲜物质之间存在一定的作用, 也可能是因存在其他待发现的呈鲜物质或增鲜物质, 具体原因还有待进一步研究。因电子舌分析结果差异不大, 本实验最终以较客观的EUC值选择适合点柄粘盖牛肝菌各部位鲜味物质保留的干燥方法。

### 4 结论

不同干燥方式对点柄粘盖牛肝菌各部位中鲜味氨基酸、鲜味核苷酸、EUC值、鲜味味觉值及甜味、苦味影响不同。热风干燥后菌管中鲜味氨基酸含量及EUC值, 菌盖中鲜味氨基酸含量和菌柄EUC值均显著高于其他干燥方式 ( $P<0.05$ ); 真空干燥后菌管中可溶性糖、鲜味核苷酸, 菌柄中可溶性糖、鲜味氨基酸和鲜味核苷酸, 菌盖鲜味核苷酸、EUC值均显著高于其他3种干燥方式 ( $P<0.05$ ); 真空冷冻干燥中菌管苦味氨基酸总量, 菌盖可溶性糖、无味氨基酸总量和甜味氨基酸总量, 菌柄甜味氨基酸总量均最高; 自然干燥条件下菌盖鲜味味觉值, 菌盖苦味氨基酸总量, 菌柄苦味、无味氨基酸总量均最高。综上, 真空干燥及热风干燥可更好保留点柄粘盖牛肝菌中鲜味物质, 故在点柄粘盖牛肝菌鲜味剂等产品深加工中宜根据其加工部位在真空干燥及热风干燥中做出合理选择, 对菌管及菌柄采用热风干燥适宜, 菌盖采用真空干燥适宜。

### 参考文献:

- [1] 毕君, 许云龙, 马增旺, 等. 点柄粘盖牛肝菌生态学初步研究[J]. 食用菌学报, 1999, 6(3): 29-33.
- [2] 丁明仁, 文华安. 中国的粘盖牛肝菌[J]. 菌物学报, 2003, 22(2): 182-190.
- [3] 张璐, 弓志青, 王文亮, 等. 7种大宗食用菌的呈味物质分析及鲜味评价[J]. 食品科技, 2017, 42(3): 274-278; 283. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2017.03.053.
- [4] 唐秋实, 刘学铭, 池建伟, 等. 不同干燥工艺对杏鲍菇品质和挥发性风味成分的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(4): 25-30. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201604005.
- [5] TIAN Y T, ZHAO Y T, HUANG J J, et al. Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms[J]. Food Chemistry, 2016, 197(Pt A): 714-722. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.11.029.
- [6] 苏倩倩, 陈贵堂, 裴斐, 等. 不同干燥方式对香菇品质及甲醛含量的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(17): 33-38. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201517007.
- [7] 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.
- [8] 张艳荣. 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/spkx1002-6630-201321011.
- [9] BELUHAN S, RANOGEJEC A. Chemical composition and non-volatile components of Croatian wild edible mushrooms[J]. Food Chemistry, 2011, 124(3): 1076-1082. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.07.081.

- [10] DERMIKI M, MOUNAYAR R, SUWANKANIT C, et al. Maximising umami taste in meat using natural ingredients: effects on chemistry, sensory perception and hedonic liking in young and old consumers[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2013, 93(13): 3312-3322. DOI:10.1002/jsfa.6177.
- [11] MOURITSEN O G, KHANDELIA H. Molecular mechanism of the allosteric enhancement of the umami taste sensation[J]. FEBS Journal, 2012, 279(17): 3112-3120. DOI:10.1111/j.1742-4658.2012.08690.x.
- [12] HAT C, MOON B, LEE C. Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system[J]. Food Chemistry, 2016, 192: 1068-1077. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.07.113.
- [13] 邴芳玲, 冯涛, 杨焱, 等. 食用菌鲜味觉定性定量方法的电子舌研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(8): 317-321. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.8.04.
- [14] INHEE C, HYUNGKYOON C, YOUNGSUK K. Comparison of umami-taste active components in the pileus and stipe of pine-mushrooms (*Tricholoma matsutake* Sing.) of different grades[J]. Food Chemistry, 2010, 118(3): 804-807. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.05.084.
- [15] 徐明亮, 周祥, 蔡金龙, 等. 不同干燥方法对海笋干品质影响[J]. 食品科学, 2010, 31(11): 64-68.
- [16] 许晴晴, 陈杭君, 郇海燕, 等. 真空冷冻和热风干燥对蓝莓品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 64-68. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201405013.
- [17] 姜唯唯, 刘刚, 张晓喻, 等. 微波真空冷冻干燥对芒果干制品品质特性的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 49-52.
- [18] 沈静, 杜若曦, 魏婷, 等. 干制方式对鲜食枣脆片香气品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 131-137. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201718021.
- [19] 周鸣谦, 刘春泉, 李大婧. 不同干燥方式对莲子品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(9): 98-104. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201609019.
- [20] LI X B, FENG T, ZHOU F, et al. Effects of drying methods on the tasty compounds of *Pleurotus eryngii*[J]. Food Chemistry, 2015, 166: 358-364. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.06.049.
- [21] DERMIKI M, PHANPHENSOPHON N, MOTTRAM D S, et al. Contributions of non-volatile and volatile compounds to the umami taste and overall flavour of shiitake mushroom extracts and their application as flavour enhancers in cooked minced meat[J]. Food Chemistry, 2013, 141(1): 77-83. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.03.018.
- [22] PEI F, SHI Y, GAO X Y, et al. Changes in non-volatile taste components of button mushroom (*Agaricus bisporus*) during different stages of freeze drying and freeze drying combined with microwave vacuum drying[J]. Food Chemistry, 2014, 165(3): 547-554. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.05.130.
- [23] 祝义伟, 周令国, 叶宸志, 等. 香菇柄中可溶性糖的测定[J]. 农产品加工, 2015(6): 43-45. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(X).2015.03.046.
- [24] 张忠. 3 种野生食用菌干品的鲜味评价[J]. 食品科学, 2013, 34(21): 51-54. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201321011.
- [25] TSAI S Y, TSAI H L, MAU J L. Non-volatile taste components of *Agaricus blazei*, *Agrocybe cylindracea*, and *Boletus edulis*[J]. Food Chemistry, 2008, 107(3): 977-983. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.07.080.
- [26] YAMAGUCHI S, YOSHIKAWA T, IKEDA S, et al. Measurement of the relative taste intensity of some *L*- $\alpha$ -amino acid and 5'-nucleotides[J]. Journal of Food Science, 1971, 36: 846-849.
- [27] ONG W, ZHAO J, HU R, et al. Differentiation of Chinese robusta coffees according to species, using a combined electronic nose and tongue, with the aid of chemometrics[J]. Food Chemistry, 2017, 229: 743-751. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.02.149.
- [28] YANG J H. Non-volatile taste components of several commercial mushrooms[J]. Food Chemistry, 2001, 73(4): 461-466. DOI:10.1016/S0308-8146(00)00262-4.
- [29] MAU J L. The umami taste of edible and medicinal mushrooms[J]. International Journal of Medicinal Mushrooms, 2005, 7(1): 119-126. DOI:10.1615/IntJMedMushr.v7.i12.120.
- [30] 王肖肖. 云南五种野生食用菌呈味物质研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2015: 27-29; 39-41.
- [31] 谷镇. 食用菌呈味物质分析及制备工艺研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2012: 67.
- [32] WANG Z Y, LIU H, MA L Z, et al. Characteristics of porcine proteins by heat treatment[J]. Food Science, 2008, 29(5): 73-77. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2008.05.007.
- [33] 阚建全, 段玉峰, 姜发堂. 食品化学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008.
- [34] 吴迪. 不同干燥技术对香菇和杏鲍菇风味成分的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(22): 188-191. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.22.066.
- [35] 王延辉, 杨文鸽, 徐培芳. 干燥条件对鳗鲡风味成分的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(2): 11-15.
- [36] OIKONOMOPOULOU V P, KROKIDA M K, KARATHANOS V T. The influence of freeze drying conditions on microstructural changes of food products[J]. Procedia Food Science, 2011, 1(1): 647-654. DOI:10.1016/j.profoo.2011.09.097.
- [37] KIM Y, KIM E Y, SON H J, et al. Identification of a key umami-active fraction in modernized Korean soy sauce and the impact there of on bitter-masking[J]. Food Chemistry, 2017, 233: 256-262. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.04.123.
- [38] KIRIMURA J, SHIMIZU A, KIMIZUKA A, et al. Contribution of peptides and amino acids to the taste of foods[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1969, 17(4): 689-695. DOI:10.1021/jf60164a031.