

# HS-SPME-GC-MS 法分析卵孢小奥德蘑子实体不同部位挥发性成分及营养成分分析

徐宁<sup>1</sup> 陆欢<sup>2</sup> 冯立国<sup>1</sup> 黄晓辉<sup>1</sup>

①湖南省食用菌研究所 湖南 长沙 410013

②上海市农业科学院 食用菌研究所 农业部应用真菌资源与利用重点开放实验室 国家食用菌工程技术研究中心 上海市农业遗传育种重点实验室 上海 201403

**摘要:** 采用顶空固相微萃取法结合气相色谱-质谱联用技术, 对卵孢小奥德蘑子实体菌盖和菌柄的挥发性成分进行测定。结果表明从卵孢小奥德蘑子实体菌盖和菌柄分别鉴定出 101 和 102 种化合物, 其中 44 种为相同物质, 占挥发性物质的 43%。主要以烷类、酯类和酸类化合物为主, 其中十四烷、八甲基环四硅氧烷、己酸、抗坏血酸二棕榈酸酯和芳樟醇相对含量最高。营养成分分析表明, 卵孢小奥德蘑子实体含粗纤维 1.2%、总糖 28.7%、脂肪 0.3g/100g、蛋白质 3.58g/100g、灰分 1.6%; 必需氨基酸 0.871g/100g, 占氨基酸总量 (2.783g/100g) 的 31.30%; 1kg 子实体含 29.2mg Na、4.37×10<sup>3</sup>mg K、115mg Mg、12.6mg Zn、6.19mg Ca、46.5mg Fe、6.93μg B<sub>1</sub>、17.9μg B<sub>2</sub>、33.6μg B<sub>6</sub>。本研究首次对卵孢小奥德蘑营养成分和挥发性成分进行了系统研究, 为进一步研究卵孢小奥德蘑中活性物质及完善化合物谱图库提供理论支撑。

**关键词:** 卵孢小奥德蘑, 挥发性成分, 顶空固相微萃取, 气相色谱-质谱联用, 营养成分

[引用本文] 徐宁, 陆欢, 冯立国, 黄晓辉, 2020. HS-SPME-GC-MS 法分析卵孢小奥德蘑子实体不同部位挥发性成分及营养成分分析. 菌物学报, 39(10): 1933-1947

Xu N, Lu H, Feng LG, Huang XH, 2020. Volatile components analysed by HS-SPME-GC-MS in different parts of fruiting bodies and nutritional composition of *Oudemansiella raphanipes*. Mycosystema, 39(10): 1933-1947

基金项目: 长沙市科技计划项目 (kq1901157); 衡阳市科技计划重点研发项目 (2019fz010962)

Supported by Changsha Science and Technology Project (kq1901157) and Hengyang Key Research and Development Program (2019fz010962).

✉ Corresponding author. E-mail: 245450595@qq.com

Received: 2020-07-16, accepted: 2020-08-24

## Volatile components analysed by HS-SPME-GC-MS in different parts of fruiting bodies and nutritional composition of *Oudemansiella raphanipes*

XU Ning<sup>1</sup> LU Huan<sup>2</sup> FENG Li-Guo<sup>1</sup> HUANG Xiao-Hui<sup>1</sup>

①Institute of Hunan Edible Fungi, Changsha, Hunan 410013, China

②Institute of Edible Fungi, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Edible Fungi Resources and Utilization (South), Ministry of Agricultural, P.R. China, National Engineering Research Center of Edible Fungi, Shanghai Key Laboratory of Agricultural Genetics and Breeding, Shanghai 201403, China

**Abstract:** The volatile components in pileus and stipe of *Oudemansiella raphanipes* were determined by head space solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). Respectively 101 and 102 compounds were identified from the pileus and stipe, 44 of which were the same components, accounting for 43% of the total components. They were mainly anesane, ester and acid compounds, of which the relative content of tetradecane, octamethylcyclotetrasiloxane, hexanoic acid, l-(+)-ascorbic acid 2,6-dihexadecanoate and linalool is the highest. Nutritional analysis showed that the *O. raphanipes* fruiting body contained 1.2% coarse fiber, total sugar 28.7%, fat 0.3g/100g, protein 3.58g/100g, ash 1.6%, essential amino acid 0.871g/100g, and 31.30% of total amino acids (2.783g/100g). Per kg fruiting body contains 29.2mg Na,  $4.37 \times 10^3$ mg K, 115mg Mg, 12.6mg Zn, 6.19mg Ca, 46.5mg Fe, 6.93mg B<sub>1</sub>, 17.9mg B<sub>2</sub>, and 33.6mg B<sub>6</sub>. This is the first analysis of the nutritional and volatile components in *O. raphanipes*, aiming at providing theoretical support for further study and the improvement of the compound spectrum library.

**Key words:** *Oudemansiella raphanipes*, volatile components, head space solid phase microextraction, gas chromatography-mass spectrometry, nutrient composition

卵孢小奥德蘑 *Oudemansiella raphanipes* (Berk.) Pegler & T.W.K. Young, 商品名为黑皮鸡枞, 分类学地位为真菌界、担子菌门、伞菌纲、蘑菇目、膨瑚菌科、小奥德蘑属(戴玉成和杨祝良 2008; 戴玉成等 2010; 郝艳佳等 2015)。野生卵孢小奥德蘑广泛分布在赤道及南部非洲、东亚、南亚及南太平洋岛屿等热带和亚热带地区, 在我国主要分布在云南、贵州、四川、广西、广东等省, 现已成功驯化并在全国大范围内推广栽培。卵孢小奥德蘑味道鲜美, 营养丰富, 富含多糖、蛋白质、氨基酸及多种微量元素, 是一种具有很高的使用价值和药用价值珍稀食用菌(Wu *et al.* 2019)。珍稀食用菌是指除了常见的食用菌之外, 具有栽培历史短、栽培方法较为复

杂或还不能进行人工栽培等特点, 且具有较高食用和药用价值的食用菌。

近年来, 国内外学者对卵孢小奥德蘑的驯化栽培(彭阳翔等 2019; 叶雷等 2019; 张季军等 2020)、液体发酵(徐宁等 2019)、多糖提取(孙凯等 2016; 徐兵等 2017; Geng *et al.* 2017; Zhou *et al.* 2020)、氨基酸含量测定(欧胜平等 2017; 李艳 2018)等方面进行了研究, 对其化学成分研究尚未见报道。本研究采用顶空固相微萃取法结合气相色谱-质谱联用技术, 通过对冷冻干燥-超微粉碎制得卵孢小奥德蘑干燥样品进行挥发性成分测定, 探究卵孢小奥德蘑子实体中的挥发性成分物质。旨在为卵孢小奥德蘑后续综合利用提供新的方向, 促进产业链延伸和助

推产业高质量发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料和仪器

GC/MS Solution 色谱工作站和 NIST.17 质谱数据库(日本岛津公司)、GC/MS-QP2010 Ultra 气相色谱-质谱联用仪;固相微萃取器手柄、30/50 $\mu$ m DVB/PDMS 固相微萃取纤维头(美国 Supelco 公司)、顶空萃取瓶(上海安谱实验科技股份有限公司);FD-2C 真空冷冻干燥机(北京博医康实验仪器有限公司);XDW-15B 低温超微粉碎机(济南达微机械有限公司);MS-TS 分析天平[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司];DHG-9123A 电热恒温鼓风干燥箱(苏州江东精密仪器有限公司)。

卵孢小奥德蘑购买自湖南省湘潭市雨湖区姜畲现代农业示范园绿新蔬菜合作社。

### 1.2 样品制备

先将卵孢小奥德蘑鲜品置于烘干机中低温烘干,再将菌盖和菌柄分别经超微粉碎机粉碎,置于-80℃冰箱中 24h 后取出,放入冷冻干燥机中 48h 后制得干燥样品,再将不同部位样品分别过 100 目筛,置于避光阴凉处密封保存。精密称取菌盖和菌柄样品各 0.1g 置于 10mL 顶空萃取瓶中,隔垫密封待测。

### 1.3 检测方法

**1.3.1 营养成分分析:**对人工栽培的卵孢小奥德蘑子实体烘干后进行营养成分分析,氨基酸含量测定采用氨基酸自动分析仪,参照 GB 5009.124-2006《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》,多糖含量测定采用硫酸苯酚法,参照 NY/T 1676-2008《食用菌中粗多糖含量的测定》和 GB/T 15672-2009《食用菌中总糖含量的测定》,蛋白质含量测定采用凯氏定氮法,参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》,灰分含量测定参照 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》,粗纤维含量测定参照 GB

5009.10-2003《植物类食品中粗纤维的测定》,矿物质含量测定参照 GB 5009.268-2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》,脂肪含量测定参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》,维生素测定参照 GB 5009.82-2016《食品安全国家标准 食品中维生素 A、D、E 的测定》、GB 5009.84-2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B<sub>1</sub> 的测定》、GB 5009.85-2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B<sub>2</sub> 的测定》、GB 5009.86-2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》、GB 5009.89-2016《食品安全国家标准 食品中烟酸和烟酰胺的测定》和 GB 5009.154-2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B<sub>6</sub> 的测定》,氨基酸测定参照 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》。将卵孢小奥德蘑的各项营养成分和主要覆土栽培和主栽品种的营养成分进行对比分析,如双孢蘑菇、草菇、姬松茸、香菇、金针菇和糙皮侧耳。

**1.3.2 蛋白质营养价值评价:**采用氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS)对卵孢小奥德蘑的蛋白质进行综合评价。根据 Bano & Rajarathnam (1982)的方法进行氨基酸评分,氨基酸评分计算公式(AAS)=(A<sub>x</sub>/A<sub>s</sub>)×100,其中 A<sub>x</sub> 为试验蛋白质氨基酸的含量,A<sub>s</sub> 为 WHO/FAO 评分模式氨基酸含量。根据 FAO 确定的方法进行化学评分(Food and Agricultural Organization of the United Nations 1970),化学评分计算公式(CS)=[(A<sub>x</sub>\*E<sub>e</sub>)/(A<sub>e</sub>\*E<sub>x</sub>)]×100,其中 A<sub>x</sub> 为待测蛋白某一必需氨基酸的含量,A<sub>e</sub> 为待测蛋白中必需氨基酸的总含量,E<sub>e</sub> 为标准鸡蛋白相应必需氨基酸的含量,E<sub>x</sub> 为标准鸡蛋白中必需氨基酸的总含量。

**1.3.3 GC-MS 条件:**CD-WAX 色谱柱(30.0m×0.25 $\mu$ m, 0.25mm,上海安谱实验科技股份有限公司);柱升温程序:初始温度 60℃,保持 3min,以 3℃/min 升至 140℃,保持 3min,再以 5℃/min 升至 210℃,保持 5min;进样口温度 240℃;载

气流速 1.0mL/min；载气为高纯 He（含有量 99.999%）；进样方式：不分流。

电子轰击离子源(EI源)；离子源温度 150℃，接口温度 280℃；电子能量 70V；灯丝发射电流 200μA；质核比扫描范围：35–350m/z；质谱图利用 NIST 谱库进行检索比对和 CAS 编码查询，并结合有关文献进行鉴定。

2 结果与分析

2.1 卵孢小奥德蘑营养成分分析与蛋白质评价

卵孢小奥德蘑灰分为 1.6%，粗纤维含量为 1.2%，总糖含量为 28.7%，粗多糖含量为 0.47g/100g，脂肪含量较低，为 0.3g/100g，蛋白质含量为 3.58g/100g（表 1）。与已报道的双孢蘑菇、草菇、姬松茸、香菇、金针菇和糙皮侧耳成分进行对比，脂肪和纤维素含量最低，蛋白质含量比金针菇和草菇高，说明卵孢小奥德蘑是富含高蛋白、低脂肪、低纤维、营养价值丰富的珍稀食用菌。卵孢小奥德蘑子实体含氨基酸种类丰富，共检出人体所需的 8 种必需氨基酸和 9 种非必需氨基酸，必需氨

基酸含量为 0.87g/100g，还含有婴儿所必须的组氨酸，含量为 0.36g/100g，高于双孢蘑菇、姬松茸、香菇和金针菇（表 2）。经测定，卵孢小奥德蘑富含矿物质元素和维生素，1kg 子实体含 29.2mg Na、4.37×10<sup>3</sup>mg K、115mg Mg、12.6mg Zn、6.19mg Ca、46.5mg Fe、维生素 6.93μg B<sub>1</sub>、维生素 17.9μg B<sub>2</sub>、维生素 33.6μg B<sub>6</sub>，未检测出维生素 A、维生素 C、维生素 E 和烟酸（表 3）。卵孢小奥德蘑 AAS 和 CS 值见表 4，AAS 值与评分模式氨基酸组成越接近或者 CS 值与标准蛋白的组成越接近，蛋白质价值就越高。表 4 结果表明，色氨酸、甲硫氨酸和苯丙氨酸偏离较大，其他氨基酸均与鸡蛋标准蛋白组成较接近。

2.2 挥发性成分分析

卵孢小奥德蘑子实体菌盖和菌柄的挥发性成分 GC-MS 分析经过 NIST.17 质谱数据库检索，从各离子的相对峰度等方面进行比对，选取相似度 80%以上的化合物，用面积归一法对各部位色谱峰占总峰面积百分比进行计算，共鉴定出 159 个化合物。其中，菌盖中共鉴定出 101 种

表 1 卵孢小奥德蘑子实体营养成分与其他 6 种食用菌比较

Table 1 Nutritional comparison between *Oudemansiella raphanipes* and other six edible fungi (fw: g/100g)

营养成分 Nutrient component	卵孢小奥德蘑 <i>Oudemansiella raphanipes</i>	双孢蘑菇 <i>Agaricus bisporus</i>	草菇 <i>Volvariella volvacea</i>	姬松茸 <i>Clitocybe maxima</i>	香菇 <i>Lentinula edodes</i>	金针菇 <i>Flammulina filiformis</i>	糙皮侧耳 <i>Pleurotus ostreatus</i>
灰分 Ash	1.60	3.98	0.91	5.46	4.50	0.83	6.67
粗纤维 Crude fiber	1.20	7.86	1.40	8.54	7.40	1.77	28.31
蛋白质 Protein	3.58	21.00	2.68	29.95	18.43	2.72	19.46
脂肪 Fat	0.30	1.50	2.24	2.88	0.62	0.13	0.69
总糖 Total carbohydrates	28.7	/	/	43.35	34.00	/	21.90
粗多糖 Crude polysaccharides	0.47	3.38	2.60	/	/	5.45	3.50

表 2 卵孢小奥德蘑子实体氨基酸含量与其他 6 种食用菌比较

Table 2 Comparison of amino acid compositions between *Oudemansiella raphanipes* and other six edible fungi (fw: g/100g)

氨基酸	卵孢小奥德蘑	双孢蘑菇	草菇	姬松茸	香菇	金针菇	糙皮侧耳
Amino acid	<i>Oudemansiella raphanipes</i>	<i>Agaricus bisporus</i>	<i>Volvariella volvacea</i>	<i>Clitocybe maxima</i>	<i>Lentinula edodes</i>	<i>Flammulina filiformis</i>	<i>Pleurotus ostreatus</i>
天冬氨酸 Asp	0.22	1.82	1.96	1.57	1.57	0.68	1.44
谷氨酸 Glu	0.48	4.37	4.16	1.57	1.42	1.17	2.40
丝氨酸 Ser	0.14	0.91	1.07	0.57	0.60	0.51	0.83
精氨酸 Arg	0.20	0.90	2.14	1.00	0.92	0.48	0.92
甘氨酸 Gly	0.12	0.93	0.99	1.02	0.73	0.51	0.76
苏氨酸 Thr	0.13	0.99	1.06	0.73	0.80	0.53	0.78
脯氨酸 Pro	0.10	1.62	0.59	0.40	0.40	0.42	0.57
丙氨酸 Ala	0.20	1.51	1.30	1.51	0.86	0.89	0.93
色氨酸 Try	0.03	0.10	—	0.22	0.24	—	—
缬氨酸 Val	0.14	1.12	1.14	0.85	0.74	1.28	0.42
甲硫氨酸 Met	0.04	0.45	1.86	0.35	0.02	0.29	0.20
亮氨酸 Leu	0.17	2.31	1.28	1.23	1.24	0.77	1.02
组氨酸 His	0.36	0.32	0.43	0.34	0.31	0.27	0.39
赖氨酸 Lys	0.16	0.91	1.09	0.88	0.95	0.70	0.98
酪氨酸 Tyr	0.09	0.84	0.72	0.38	0.45	0.48	0.32
异亮氨酸 Ile	0.10	1.41	1.23	0.71	0.81	0.53	0.60
苯丙氨酸 Phe	0.10	0.98	0.86	0.75	0.66	0.56	0.76
T	2.78	21.49	21.88	14.08	12.72	10.07	13.32
E	0.87	8.27	8.52	5.72	5.46	4.66	4.76
N	1.91	13.22	13.36	8.36	7.26	5.41	8.56
E/T	0.31	0.38	0.39	0.41	0.43	0.46	0.38
E/N	0.69	0.62	0.61	0.59	0.57	0.54	0.62

注：T：氨基酸总量；E：必需氨基酸总量；N：非必需氨基酸总量；—表示未检出

Note: T: Total amino acids; E: The total essential amino acids; N: The total non-essential amino acids; —: Undetected.

表 3 卵孢小奥德蘑子实体矿质元素和维生素

Table 3 Vitamins' and elements' content of *Oudemansiella raphanipes* fruiting body (fw: mg/kg)

营养成分	含量	营养成分	含量
Nutrient	Content	Nutrient component	Content
Na	29.2	维生素 A Vitamin A	—
K	4.37×10 <sup>3</sup>	维生素 C Vitamin C	—
Mg	115	维生素 E Vitamin E	—
Zn	12.6	维生素 B <sub>1</sub> Vitamin B <sub>1</sub>	0.00693
Ca	6.19	维生素 B <sub>2</sub> Vitamin B <sub>2</sub>	0.0179
Fe	46.5	维生素 B <sub>6</sub> Vitamin B <sub>6</sub>	0.0336
		烟酸 Niacin	—

挥发性物质，占总挥发性物质的 63.52%；菌柄中共鉴定出 102 种挥发性物质，占总挥发性物质的 64.15%（表 5）。

**2.2.1 卵孢小奥德蘑子实体菌盖中挥发性化合物及分析：**卵孢小奥德蘑子实体菌盖中的 101 种挥发性物质中，含有烷类 23 种、酯类 14 种、醇类 13 种、烯烃类 9 种、酸类 7 种、酮类 7 种、酰胺类 4 种、苯类 4 种、醛类 3 种、酚类 2 种、腈类 2 种、氨酸 1 种、萘类 1 种、醚类 1 种、吡嗪类 1 种，其他类 9 种。烷类化合物为整个挥发性化合物主要成分，占总比例 22.77%，其次为酯类、醇类化合物，分别占 13.86%、12.87%；烯

表 4 卵孢小奥德蘑必须氨基酸 AAS 和 CS 值

Table 4 Essential amino acid scores of *Oudemansiella raphanipes* (fw: mg/g)

营养成分	含量	FAO/WHO 模式	鸡蛋模式	AAS	CS
Nutrient component	Content	FAO/WHO model	Egg model		
苏氨酸 Thr	1.30	4.00	5.68	32.50	0.31
色氨酸 Try	0.30	10.00	16.00	3.00	0.03
缬氨酸 Val	1.40	5.00	6.88	28.00	0.28
赖氨酸 Lys	1.60	5.50	8.37	29.09	0.26
亮氨酸 Leu	1.70	7.00	10.30	24.29	0.23
异亮氨酸 Ile	1.00	4.00	6.60	25.00	0.21
甲硫氨酸 Met	0.40	3.50	3.57	11.43	0.15
苯丙氨酸 Phe	1.00	6.00	6.12	16.67	0.22

烃类、酸类、酮类、酰胺类、苯类和醛类化合物分别占 8.91%、6.93%、6.93%、3.96%、3.96%、2.97%。烷类化合物主要为十四烷、十二烷、十二甲基环六硅氧烷和十四甲基环七硅氧烷，相对含量分别为 2.75%、2.06%、1.19%、1.19%；酯类化合物主要为正己酸乙酯，相对含量为 0.92%；醇类化合物主要为芳樟醇和 2-丙基-1-戊醇，相对含量分别为 2.23%、1.52%；烯烃类化合物主要为苯乙烯和柠檬烯，相对含量分别为 1.77%、1.39%；酸类化合物主要为己酸，相对含量为 0.61%；酮类化合物主要为橙化基丙酮，相对含量为 3.37%；酰胺类化合物主要为 N-异戊基乙酰胺，相对含量为 0.50%；苯类化合物主要为对二甲苯，相对含量为 0.99%；醛类化合物主要为苯甲醛和苯甲醛二甲缩醛，相对含量分别为 1.21%、1.10%；酚类化合物为 3,5-二叔丁基苯酚和 2,6-二叔丁基对苯二酚，相对含量分别为 0.67%、0.24%；腈类化合物为十七腈和十八烷腈，相对含量分别为 0.08%、0.01%；氨酸为 3,4-脱氢-DL-脯氨酸，相对含量为 0.21%；萘类化合物为 2-甲基萘，相对含量为 0.24%；醚类化合物为乙二醇单丁醚，相对含量为 0.01%；吡嗪类化合物为 2,3-二甲基吡嗪，相对含量为 0.06%；其他化合物中奥昔菊环、2-乙酰基吡咯、苯并噻唑等相对含量较高，分别为 1.25%、0.47%、0.40%。

**2.2.2 卵孢小奥德蘑子实体菌柄中挥发性化合物及分析：**卵孢小奥德蘑子实体菌柄中的 102 种挥发性物质中，含有烷类 18 种、酸类 18 种、酯类 17 种、醇类 13 种、酮类 6 种、醛类 6 种、烯烃类 5 种、苯类 3 种、酚类 3 种、氨酸 2 种、糖类 1 种、萘类 1 种、醚类 1 种、吡嗪类 1 种，其他类 7 种。烷类、酸类化合物为整个挥发性化合物主要成分，分别都占总比例 17.65%，其次为酯类、醇类化合物，分别占 16.67%、12.75%；酮类、醛类、烯烃类、苯类和酚类化合物分别占 5.88%、5.88%、4.90%、2.94%、2.94%。烷类化合物主要为八甲基环四硅氧烷、十甲基环五硅氧烷、十六烷基环八硅氧烷、十四烷和十二甲基环六硅氧烷，相对含量分别为 3.28%、3.07%、2.03%、1.73%、1.26%；酸类化合物主要为己酸和 2-甲基丁酸，相对含量分别为 0.79%、0.56%；酯类化合物主要为抗坏血酸二棕榈酸酯，相对含量为 1.76%；醇类化合物主要为苯乙醇和柏木脑，相对含量分别为 1.66%、1.53%；酮类化合物主要为橙化基丙酮，相对含量为 0.85%；醛类化合物主要为苯甲醛，相对含量为 1.50%；烯烃类化合物主要为 B-柏木烯和 1-十四烯，相对含量分别为 0.25%、0.21%；苯类化合物主要为对二甲苯和邻二甲苯，相对含量分别为 0.50%、0.47%；酚类化合物主要为 3,5-二叔丁基苯酚，

表 5 卵孢小奥德蘑菌盖和菌柄挥发性成分分析表

Table 5 GC-MS analytical results of chemical composition of volatile compositions of pileus and stipe from *Oudemansiella raphanipes*

序号 No.	保留时间 $t_R$ /min	化合物名称 Chemical name	分子式 Molecular formula	相对含量 Relative percentage (%)	
				菌盖 Pileus	菌柄 Stipe
1	1.571	六甲基环三硅氧烷 Hexamethylcyclotrisiloxane	$C_6H_{18}O_3Si_3$	0.00	0.17
2	2.531	8-羟基喹啉铜 Copper quinolate	$C_{18}H_{12}CuN_2O_2$	0.00	—
3	2.690	六甲氧胺 3,4,8,9,12,13-Hexaoxa-1,6-diazabicyclo[4.4.4]tetradecane	$C_6H_{12}N_2O_6$	0.00	—
4	3.533	邻二甲苯 o-Xylene	$C_8H_{10}$	0.29	0.47
5	4.022	对二甲苯 p-Xylene	$C_8H_{10}$	0.99	0.50
6	4.130	异己酸 Pentanoic acid	$C_6H_{12}O_2$	0.07	—
7	4.225	甘露庚酮糖 D-mannoheptulose	$C_7H_{14}O_7$	—	0.09
8	4.439	异戊酸 Butanoic acid	$C_5H_{10}O_2$	—	0.05
9	4.496	3-甲基戊酸 DL-3-methylvaleric acid	$C_6H_{12}O_2$	—	0.08
10	4.537	丝氨酸 2-Amino-1,3-propanediol	$C_3H_9NO_2$	—	0.05
11	4.715	苯乙烯 Styrene	$C_8H_8$	1.77	—
12	5.021	2-甲基丁酸 2-Methyl butyric acid	$C_5H_{10}O_2$	0.09	0.56
13	5.343	高瓜氨酸 L-Homocitrulline	$C_7H_{15}N_3O_3$	0.12	—
14	5.605	乙二醇单丁醚 2-Butoxyethanol	$C_6H_{14}O_2$	0.01	—
15	5.732	4-羟基丁酸乙酯 4-Hydroxybutyric acid	$C_4H_8O_3$	0.01	—
16	5.773	正戊酸 Valeric acid	$C_5H_{10}O_2$	—	0.05
17	5.950	6-氧代-3-哌啶甲酸 6-oxopiperidine-3-carboxylic acid	$C_6H_9NO_3$	0.00	—
18	6.160	N-甲基-N-(2-吡啶)甲酰胺 N-methyl-N-(2-pyridyl)formamide	$C_7H_8N_2O$	0.10	—
19	6.283	2,3-二甲基吡嗪 2,3-Dimethylpyrazine	$C_6H_8N_2$	0.06	—
20	6.406	甲磺酰乙酸 Methanesulfonylacetic acid	$C_3H_6O_4S$	—	0.34
21	6.500	叔丁酸甲酯 Butanoic acid, 3,3-dimethyl-, methyl ester	$C_7H_{14}O_2$	0.01	—
22	7.298	癸硼烷 Decaborane	$BH_3$	0.00	—
23	7.299	2,4-二氯-5-氨基磺酰基苯甲酸 2,4-Dichloro-5-sulfamoylbenzoic acid	$C_7H_5Cl_2NO_4S$	—	0.02
24	7.351	3-乙基己酸甲酯 methyl 3-ethylhexanoate	$C_9H_{18}O_2$	—	0.05
25	7.525	1-环己烯基乙醇 1-(1-Cyclohexen-1-yl)ethanol	$C_8H_{14}O$	0.00	—
26	7.802	$\gamma$ -戊内酯 gamma-Valerolactone	$C_5H_8O_2$	0.16	0.05
27	8.158	苯甲醛 Benzaldehyde	$C_7H_6O$	1.21	1.50
28	8.503	3-异丙基-6-亚甲基-1-环己烯 p-mentha-1(7),2-diene	$C_{10}H_{16}$	0.08	—
29	8.837	3,4-脱氢-DL-脯氨酸 3,4-Dehydro-dl-proline	$C_5H_7O_2$	0.21	0.12
30	9.017	1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	$C_8H_{16}O$	0.16	—
31	9.140	苯基-甲基氨基甲酸酯 Methylcarbamic acid phenyl ester	$C_8H_9NO_2$	—	0.08
32	9.269	甲基庚烯酮 6-Methyl-5-hepten-2-one	$C_8H_{14}O$	0.37	0.05
33	9.412	八甲基环四硅氧烷 Octamethylcyclotetrasiloxane	$C_8H_{24}O_4Si_4$	—	3.28
34	9.848	正己酸乙酯 Ethyl hexanoate	$C_8H_{16}O_2$	0.92	0.43
35	10.059	己酸 Hexanoic acid	$C_6H_{12}O_2$	0.61	0.79
36	10.348	反式-3-己烯酸 trans-3-Hexenoic acid	$C_6H_{10}O_2$	—	0.00

待续

续表 5

37	10.483	2-吡咯甲醛 Pyrrole-2-carboxaldehyde	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> O	—	0.05
38	10.549	2-羟基-2-甲基-4-庚酮 2-hydroxy-2-methyl-4-heptanone	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	—	0.09
39	10.612	4-异丙基甲苯 p-Cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	0.14	—
40	10.667	P-伞花烃 M-Isopropyltoluene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	—	0.02
41	10.852	(+)-柠檬烯 (+)-Dipentene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.39	0.14
42	11.022	2-丙基-1-戊醇 2-Propyl-1-pentanol	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	1.52	0.47
43	11.100	N-苄氧羰基-L-精氨酸 Nalpha-Cbz-L-Arginine	C <sub>14</sub> H <sub>20</sub> N <sub>4</sub> O <sub>4</sub>	—	0.59
44	11.365	苯乙醛 Phenylacetaldehyde	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	—	0.25
45	11.509	罗勒烯 Ocimene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.31	—
46	11.838	2-溴(正)壬烷 2-Bromononane	C <sub>9</sub> H <sub>19</sub> Br	0.55	—
47	11.855	邻甲酚 o-Cresol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	—	0.20
48	12.114	4-氯苯丁酮 4-Chlorobutyrophenone	C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> ClO	0.16	—
49	12.156	5-苯(甲)酰戊酸 5-Benzoylpentanoic acid	C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>	—	0.04
50	12.311	2-乙酰基吡咯 2-Acetyl pyrrole	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> NO	0.47	0.55
51	12.392	呋喃酮 Furaneol	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	—	0.11
52	12.519	三氯乙酸壬酯 Trichloroacetic acid, nonyl ester(C9)	C <sub>11</sub> H <sub>19</sub> Cl <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	—	0.08
53	12.660	2-丙酰基吡嗪 2-Propionylpyrazine	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub> O	—	0.07
54	13.103	庚酸 Heptanoic acid	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	—	0.18
55	13.225	2,3-二甲基辛烷 2,3-Dimethyloctane	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	0.15	—
56	13.446	芳樟醇 Linalool	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	2.23	0.70
57	13.641	苯甲醛二甲缩醛 Benzaldehyde dimethyl acetal	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	1.10	—
58	13.818	苯乙醇 Phenethyl alcohol	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	0.99	1.66
59	14.372	异辛酸 2-Ethylhexanoic acid	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	—	0.07
60	14.563	二十二烷酸二十二烷基酯 Docosanoic acid, docosyl ester	C <sub>44</sub> H <sub>88</sub> O <sub>2</sub>	—	0.25
61	14.677	N-异戊基乙酰胺 N-(3-Methylbutyl)acetamide	C <sub>7</sub> H <sub>15</sub> NO	0.50	—
62	14.745	十甲基环五硅氧烷 Decamethylcyclopentasiloxane	C <sub>10</sub> H <sub>30</sub> O <sub>5</sub> Si <sub>5</sub>	1.13	3.07
63	15.377	2-异丙基-5-甲基-1-庚醇 2-Isopropyl-5-methyl-1-heptanol	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub> O	—	0.08
64	15.546	4-甲基十二烷 4-Methyldodecane	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	0.28	0.03
65	15.734	2-(氯甲基)-1-甲基-1H-咪唑盐酸盐 3-Methylundecane	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	0.65	0.09
66	15.818	环庚烷 Cycloheptane	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	—	0.08
67	15.976	薄荷脑 DI-Menthol	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	0.27	0.04
68	16.072	奥昔菊环 Azulene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	1.25	0.52
69	16.390	1-十四烯 1-Tetradecene	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	0.78	0.21
70	16.410	十二醇 1-Dodecanol	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> O	0.49	—
71	16.497	α-松油醇 (-)-alpha-Terpineol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.39	0.16
72	16.663	十二烷 Dodecane	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	2.06	0.77
73	16.759	2-甲基-2-丙烯酸异癸酯 Iso-decyl methacrylate	C <sub>14</sub> H <sub>26</sub> O <sub>2</sub>	0.01	—
74	16.817	癸醛 Decanal	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	—	0.20
75	17.348	苯并噻唑 Benzothiazole	C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> NS	0.40	—
76	17.549	环己基异硫氰酸脂 Cyclohexyl isothiocyanate	C <sub>7</sub> H <sub>11</sub> NS	0.16	0.08
77	17.918	戊基环戊烷 N-Pentylcyclopentane	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	0.32	—
78	17.947	碘十一烷 1-Iodoundecane	C <sub>11</sub> H <sub>23</sub> I	0.15	0.08

待续



续表 5

79	18.076	十四甲基环七硅氧烷 Tetradecamethylcycloheptasiloxane	$C_{14}H_{42}O_7Si_7$	1.19	0.32
80	18.138	己酸-1,5-二甲基-1-乙烯基-4-己烯酯 Hexanoic acid, 1-ethenyl-1,5-dimethyl-4-hexenyl ester	$C_{16}H_{28}O_2$	0.22	—
81	18.233	丙位十二内酯 4-Dodecanolide	$C_{12}H_{22}O_2$	—	0.13
82	18.474	环癸酮 Cyclodecanone	$C_{10}H_{18}O$	—	0.05
83	19.223	3-十一酮 3-Undecanone	$C_{11}H_{22}O$	0.17	—
84	19.351	甲基壬基甲酮 2-Undecanone	$C_{11}H_{22}O$	—	0.20
85	19.383	2-十九烷酮 2-Nonadecanone	$C_{19}H_{38}O$	0.31	—
86	19.426	2-甲基萘 2-Methylnaphthalene	$C_{11}H_{10}$	0.24	—
87	19.587	正十五烷 Pentadecane	$C_{15}H_{32}$	—	0.51
88	19.711	十二甲基环六硅氧烷 Dodecamethylcyclohexasiloxane	$C_{12}H_{36}O_6Si_6$	1.19	1.26
89	19.826	1-甲基萘 1-Methylnaphthalene	$C_{11}H_{10}$	—	0.23
90	21.183	丙位壬内酯 Gamma-Nonanolactone	$C_9H_{16}O_2$	—	0.65
91	21.467	正癸酸 Decanoic acid	$C_{10}H_{20}O_2$	0.10	—
92	22.316	十四烷 Tetradecane	$C_{14}H_{30}$	2.75	1.73
93	22.454	N-癸基丁二酸酐 N-Decylsuccinic anhydride	$C_{14}H_{24}O_3$	0.36	—
94	22.665	2-甲基癸醇 2-Methyl-1-decanol	$C_{10}H_{18}O_2$	—	0.36
95	22.713	2-乙基-1-十二醇 2-Ethyl-1-dodecanol	$C_{14}H_{30}O$	0.24	—
96	22.959	B-柏木烯 1H-3a,7-Methanoazulene,octahydro-3,8,8-trimethyl-6-methylene-, (3R,3aS,7S,8aS)-	$C_{15}H_{24}$	—	0.25
97	23.506	橙化基丙酮 Nerylacetone	$C_{13}H_{22}O$	3.37	0.85
98	24.287	2,6,10-三甲基-9-烯-十一醛 9-Undecenal, 2,6,10-trimethyl-	$C_{14}H_{26}O$	0.61	—
99	24.563	碘十六烷 1-Iodoheptadecane	$C_{16}H_{33}I$	—	0.60
100	24.665	癸醚 di-N-Decyl ether	$C_{20}H_{42}O$	—	0.47
101	24.868	正十七烷 N-Heptadecane	$C_{17}H_{36}$	0.82	0.67
102	25.010	3,5-二叔丁基苯酚 3,5-Di-tert-butylphenol	$C_{14}H_{22}O$	0.67	0.67
103	25.138	2-十三醇 2-Tridecanol	$C_{13}H_{28}O$	—	0.40
104	25.370	$\Delta$ -杜松烯 (+)-Delta-cadinene	$C_{15}H_{24}$	0.26	—
105	25.436	4,6,8-三甲基甘菊蓝 4,6,8-Trimethylazulene	$C_{13}H_{14}$	—	0.36
106	25.851	2-甲基二苯基甲烷 2-Methyldiphenylmethane	$C_{14}H_{14}$	0.24	—
107	26.161	5-甲基十五烷 5-Methylpentadecane	$C_{16}H_{34}$	0.29	—
108	26.205	正壬基环己烷 N-Nonylcyclohexane	$C_{15}H_{30}$	0.38	—
109	26.286	2,4,7,9-四甲基-5-癸炔-4,7-二醇 2,4,7,9-Tetramethyl-5-decyne-4,7-diol	$C_{14}H_{26}O_2$	0.47	—
110	26.381	反式-橙花叔醇 Nerolidol	$C_{15}H_{26}O$	0.75	—
111	26.411	正二十烷 N-Eicosane	$C_{20}H_{42}$	0.56	0.85
112	27.095	1-十五醇 N-Pentadecanol	$C_{15}H_{32}O$	0.53	0.47
113	27.545	柏木脑 Cedrol	$C_{15}H_{26}O$	0.83	1.53
114	27.782	6-溴吡啶-3-甲醛 4-Sec-butyl-2,6-di-tert-butylphenol	$C_{18}H_{30}O$	—	0.61
115	27.900	正六十烷 Hexacontane	$C_{60}H_{122}$	0.22	—
116	27.964	二苯甲酮 Benzophenone	$C_{13}H_{10}O_2$	0.25	—
117	28.012	十六烷基环八硅氧烷 Hexadecamethylcyclooctasiloxane	$C_{16}H_{48}O_8Si_8$	0.86	2.03
118	28.489	2,2',5,5'-四甲基联苯基 2,2',5,5'-Tetramethylbiphenyl	$C_{16}H_{18}$	0.23	0.14

待续

续表 5

119	29.002	4-十八烷基吗啉 4-octadecylmorpholine	$C_{22}H_{45}NO$	—	1.24
120	29.099	乙酰胺,2-氯-N-苯乙基- 2-Chloro-N-phenethylacetamide-	$C_{10}H_{12}ClNO$	0.30	—
121	29.444	十七烯 1-Heptadecene	$C_{17}H_{34}$	0.11	—
122	29.933	2,6-二叔丁基对苯二酚 2,6-di-tert-butylhydroquinone	$C_{14}H_{22}O_2$	0.24	—
123	30.931	肉豆蔻酸 Myristic acid	$C_{14}H_{28}O_2$	—	0.38
124	30.970	癸二酸 Sebacic acid	$C_{10}H_{18}O_4$	0.04	—
125	31.307	1,3-二苯基-1-丁烯 Benzene, 1,1'-(3-methyl-1-propene-1,3-diyl)bis-	$C_{16}H_{16}$	0.03	0.06
126	31.520	十八甲基环九硅氧烷 Octadecamethyl-cyclononasiloxane	$C_{18}H_{54}O_9Si_9$	0.05	0.72
127	31.862	十七腈 N-Heptadecanenitrile	$C_{17}H_{33}N$	0.08	—
128	31.967	正二十一烷 N-Heneicosane	$C_{21}H_{44}$	0.62	0.23
129	32.402	十六醛 N-Hexadecanal	$C_{21}H_{44}$	—	0.16
130	32.564	十八烷腈 Octadecanenitrile	$C_{13}H_{35}N$	0.01	—
131	33.052	2-辛基十二烷酸 2-Octyldodecanoic acid	$C_{20}H_{40}O_2$	—	0.06
132	33.340	邻苯二甲酸二异丁酯 1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	$C_{15}H_{26}O$	0.14	0.26
133	33.433	十五烷酸 Pentadecanoic acid	$C_{15}H_{30}O_2$	—	0.37
134	34.447	法尼基丙酮 Farnesyl acetone	$C_{18}H_{30}O$	0.89	—
135	34.658	棕榈酸甲酯 Hexadecanoic acid, methyl ester	$C_{17}H_{34}O_2$	—	0.11
136	34.675	西柏烯 1,3,6,10-Cyclotetradecatetraene	$C_{20}H_{32}$	0.05	—
137	34.903	棕榈油酸 Palmitoleic acid	$C_{16}H_{30}O_2$	—	0.14
138	35.121	邻苯二甲酸-1-丁酯-2-异丁酯 1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl 2-methylpropyl ester	$C_{16}H_{22}O_4$	—	0.21
139	35.178	邻苯二甲酸二丁酯 Phthalic acid, diisobutyl ester	$C_{16}H_{22}O_4$	0.14	—
140	35.341	抗坏血酸二棕榈酸酯 L-(+)-Ascorbic acid 2,6-dihexadecanoate	$C_{38}H_{68}O_8$	—	1.76
141	35.766	棕榈酸乙酯 Hexadecanoic acid, ethyl ester	$C_{18}H_{36}O_2$	0.04	0.14
142	35.953	邻苯二甲酸二十三酯 1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl 2-methylpropyl ester	$C_{16}H_{22}O_4$	0.06	—
143	36.056	硼酸十六烷基酯 Trihexadecyl borate	$C_{48}H_{99}BO_3$	0.01	0.25
144	36.177	十二烯基丁二酸酐 2-Dodecen-1-yl(-)succinic anhydride	$C_{16}H_{26}O_3$	0.03	0.21
145	36.525	五氟丙酸十四烷基酯 Tetradecyl 2,2,3,3,3-pentafluoropropanoate	$C_{17}H_{29}F_5O_2$	—	0.04
146	36.682	泪杉醇 1-Naphthalenepropanol	$C_{20}H_{34}O$	—	0.05
147	36.720	十七烷酸 Heptadecanoic acid	$C_{17}H_{34}O_2$	—	0.06
148	37.041	十九烷醇 1-Nonadecanol	$C_{19}H_{40}O$	—	0.09
149	37.093	油酰氯 cis-1-Chloro-9-octadecene	$C_{18}H_{35}Cl$	0.02	—
150	37.544	硬酯酸甲酯 C18 Octadecanoic acid, methyl ester	$C_{19}H_{38}O_2$	—	0.01
151	37.603	亚油酸 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-	$C_{18}H_{32}O_2$	—	0.03
152	37.754	十六烷基七硅氧烷 Hexadecamethylheptasiloxane	$C_{16}H_{48}O_6Si_7$	—	0.20
153	37.969	硬脂酸 Octadecanoic acid	$C_{18}H_{36}O_2$	—	0.40
154	37.990	亚油酸乙酯 9,12-Octadecadienoic acid, ethyl ester	$C_{20}H_{36}O_2$	0.01	—
155	38.065	油酸乙酯 Ethyl oleate	$C_{20}H_{38}O_2$	0.03	—
156	38.106	双酚 A Phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)bis-	$C_{15}H_{16}O_2$	—	0.23
157	38.190	十六碳酰胺 Hexadecanamide	$C_{16}H_{33}NO$	0.02	—
158	38.229	十六烷酸丁基酯 Hexadecanoic acid, butyl ester	$C_{20}H_{40}O_2$	0.05	0.13
159	39.648	卡比吗唑 Carbimazole	$C_7H_{10}N_2O_2S$	0.01	—

相对含量为 0.67%；氨基酸类化合物为 N-苄氧羰基-L-精氨酸和 3,4-脱氢-DL-脯氨酸，相对含量分别为 0.59%、0.12%；糖类化合物为甘露庚酮糖，相对含量为 0.09%；萘类化合物为 1-甲基萘，相对含量为 0.23%；醚类化合物为癸醚，相对含量为 0.47%；吡嗪类化合物为 2-丙酰基吡嗪，相对含量为 0.07%；其他化合物中 4-十八烷基吗啉、2-乙酰基吡咯、奥昔菊环等相对含量较高，分别为 1.24%、0.55%、0.52%。

### 3 讨论

由营养成分分析结果可知，湖南省人工栽培的卵孢奥德蘑子实体属于低脂肪、低纤维、低钠高钾、碳水化合物丰富的珍稀食用菌。子实体中所含脂肪含量为 0.3g/100g，低于香菇、糙皮侧耳、草菇、双孢蘑菇、姬松茸等主栽品种，仅高于金针菇等极少品种，纤维素和多糖含量亦低于常见主栽品种。但其粗蛋白质含量为 3.58g/100g，与金针菇、草菇等含量较接近；8 种必需氨基酸含量为 0.87g/100g，占总氨基酸总含量的 31.30%，低于香菇、金针菇、草菇、双孢蘑菇、姬松茸、糙皮侧耳、柱状田头菇等主栽品种。子实体中含 29.2mg/kg Na、 $4.37 \times 10^3$ mg/kg K、115mg/kg Mg、12.6mg/kg Zn、6.19mg/kg Ca、46.5mg/kg Fe、6.93μg/kg 维生素 B<sub>1</sub>、17.9μg/kg 维生素 B<sub>2</sub>、33.6μg/kg 维生素 B<sub>6</sub>，其中 Fe 的含量是香菇的 2 倍多，维生素 B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub> 和 B<sub>6</sub> 含量高于香菇。而维生素 A、维生素 C、维生素 E 和烟酸未检出，原因可能是卵孢奥德蘑的鲜菇中含水量极高，脂肪含量较低，缺乏生成这些维生素的因子，以及在采收后的保藏和运输过程导致维生素的流失和氧化。卵孢奥德蘑因脂肪含量低，是一种具有较高营养价值的食用菌，在膳食结构中与其他食用菌和食材相辅相成，为人类健康和均衡饮食提供保障。

食用菌一般都具有较高的食用和药用价值，且具有香气浓郁、味道鲜美等特点，其所含的风

味物质主要由挥发性呈香物质和非挥发性呈味物质组成。研究者发现食用菌的挥发性物质主要包括八碳挥发性化合物和含硫化合物，以及醇类、酯类、酸类、醚类、酮类、醛类等化合物，如 1-辛烯-3-醇、1-辛烯-4-醇以及 3-辛烯-2-醇等香气成分 (Mau *et al.* 1992; Zawirska-Wojtasiak 2004; Kalač 2009; 谷镇和杨焱 2013)。各类化合物相互修饰和调和，造就不同食用菌具有独特的特征香气。食用菌的挥发性物质中烷类化合物的香味阈值较高，虽不是构成食用菌呈香的主要物质，但能与其他香气化合物相辅相成使不同食用菌呈现不同的香味，而烯炔类化合物和酯类化合物是构成食用菌呈香的主要物质，酯类物质一般具有水果的芳香味，短链的酯类化合物常温下易挥发并且阈值低 (李翔等 2018; 殷朝敏等 2018; 李巧珍等 2019)。醛类化合物具有特殊的香气，多为花香及果香气味，较高碳位数的醛类化合物能够提供柑橘皮的香味，在食用菌中属于低阈值，能与其他化合物相重叠产生较强的风味效应，如庚醛具有坚果味和水果青香，辛醛具有青果皮香味等。酮类化合物是不饱和的脂肪酸进行氧化作用而产生的，一般伴有花香和果香风味，通常随着 C 链的增长而呈现出更强的花香特征。醇类化合物阈值较高，但浓度达到一定程度后会影响食用菌风味，大多数酮类和酚类化合物阈值较高，两类化合物在食用菌挥发性成分中相对含量较低，对食用菌的风味贡献不大，但有助于提升整体风味，且酮类物质性质稳定、香气持久，具有果香气味。呋喃、吡嗪等少量相对含量较低的化合物也都具有特殊的气味，虽然相对含量较低但由于阈值较低对香味也都起着重要的作用；其他类型化合物种类和相对含量均较低，但对食用菌整体风味仍然发挥着不可或缺的辅助作用 (冯涛等 2018; 张宪臣等 2019)。

Malheiro *et al.* (2013) 通过固相微萃取联合气质联用技术 (GC-MS) 对肉色杯伞 *Clitocybe odora*、芳香杯伞 *Clitocybe fragrans*、大毒滑锈伞

*Hebeloma crustuliniforme*、紫丁香蘑 *Lepista nuda* 等不同的野生食用菌挥发性成分进行了研究,结果表明八碳化合物是这些食用菌的主要挥发性成分,其中尤以 3-辛醇、1-辛醇和 3-辛酮含量较高。Cho *et al.* (2008) 比较了松茸菌盖和菌柄的挥发性成分差异,在菌盖和菌柄中分别检测出 24 种和 21 种挥发性成分,其中两者的主要挥发性成分分别为肉桂酸甲酯和 1-辛烯-3-醇,其中 1-辛烯-3-醇又名蘑菇醇,是食用菌主要特征性风味物质,具有蘑菇、泥土的香味。Pelusio *et al.* (1995) 通过顶空固相微萃取鉴定并分析了黑松露和白松露的有机硫化物。李文等 (2018) 对香菇中挥发性成分研究发现,八碳化合物是构成香菇香气的主要物质之一,主要以 1-辛烯-3-醇为主。罗晓等 (2019) 通过 GC-MS 检测山桃花中挥发油成分发现,肉豆蔻酸和棕榈酸甲酯为主要挥发油成分之一,其中棕榈酸甲酯可作为乳化剂、稳定剂、润湿剂等,还可以通过诱导 PPAR- $\alpha$  来预防非酒精性脂肪性肝炎 (Zhang *et al.* 2019)。邻苯二甲酸二异丁酯属于邻苯二甲酸酯类增塑剂和软化剂,并对神经系统具有一定的危害。在褐黄牛肝菌和美味牛肝菌中均检测到吡嗪类化合物,其对牛肝菌特殊风味形成具有很大的贡献,但在茶褐牛肝菌未检出醛类、含硫类和醚类化合物,说明这些化合物对风味形成贡献不大 (周超等 2017)。松茸的挥发性成分主要包括含硫化合物、八碳挥发性化合物,以及酮类、酸类、酯类和醛类化合物等,不同部位、不同成熟度所含有的风味物质不一样。运用主成分分析研究不同培养料与草菇子实体挥发性成分的相关性,发现异戊醛、己醛、1-辛烯-3-醇、甲硫醇、2-戊基呋喃、二甲基硫醚为影响草菇子实体香气的特征性风味成分。

卵孢小奥德蘑因口感鲜脆、风味独特而受到消费者喜爱和市场认可,还具有较复杂的活性成分,而挥发性芳香物质的不同是造成不同食用菌具有独特风味的主要原因。现有针对卵孢小奥德

蘑活性成分研究报道还极少,结合传统方法和先进技术对卵孢小奥德蘑进行活性成分的提取、分离和鉴定工作,是现阶段的主要工作之一。本研究采用顶空固相微萃取法结合气相色谱-质谱联用技术对卵孢小奥德蘑子实体菌盖和菌柄的挥发性成分进行测定和分析,以获取更大范围的挥发性成分的分析与鉴定,完善了卵孢小奥德蘑挥发性成分的化学信息,此方法被广泛应用在植物、食品等香气和挥发性成分分析方面 (谷镇等 2012; 杨海芮等 2016; 常诗洁等 2018; 张群等 2018; 余新松等 2019; 刘京宏等 2020; 吴英详等 2020; 柳训才等 2020)。本次研究共鉴定出 159 个化合物,其中,菌盖中共鉴定出 101 种挥发性物质,占总挥发性物质 63.52%; 菌柄中共鉴定出 102 种挥发性物质,占总挥发性物质的 64.15%。烷类化合物相对含量最高,其次为酸类化合物、酯类化合物和醇类化合物,烷类化合物主要以十四烷和八甲基环四硅氧烷为主,酸类化合物主要为己酸,具有奶酪香气; 酯类化合物主要为抗坏血酸二棕榈酸酯,醇类化合物主要为芳樟醇,具有花果香。此外,还分析鉴定出卵孢小奥德蘑还含有烯烃类、酮类、酰胺类、苯类、醛类、酚类、腈类、氨基酸、萜类、醚类、吡嗪类、噻唑类和其他类化合物,其中所含的柠檬烯具有类似柠檬的香气。本研究首次对卵孢小奥德蘑子实体挥发性成分进行了鉴定、比较、分析研究,不仅明确了特征性风味物质种类,结果还可用于建立和完善食用菌香气数据库,为进一步促进卵孢小奥德蘑的化学成分研究提供了基础,同时也为卵孢小奥德蘑挥发性组分分析建立了一种快捷、简单、准确的方法,且分析鉴定出的挥发性成分在食品、化妆品、香料等行业有较大开发利用前景,为卵孢小奥德综合利用提供了理论依据。

## [REFERENCES]

Bano Z, Rajarathnam S, 1982. *Pleurotus mushroom as a*

- nutritious food in the tropical mushrooms biological nature and cultivation methods. The Chinese University Press, Hong Kong. 363-380
- Chang SJ, Yang ZY, Yin L, Hu QH, Pei F, Yang WJ, Zhao LY, 2018. Processing of spicy *Volvaria volvacea* and its flavor characteristics. Food Science, 39(8): 135-140 (in Chinese)
- Cho IH, Namgung HJ, Choi HK, Kim YS, 2008. Volatiles and key odorants in the pileus and stipe of pine-mushroom (*Tricholoma matsutake* Sing.). Food Chemistry, 106(1): 71-76
- Dai YC, Yang ZL, 2008. A revised checklist of medicinal fungi in China. Mycosystema, 27(6): 801-824 (in Chinese)
- Dai YC, Zhou LW, Yang ZL, Wen HA, Bau T, Li TH, 2010. A revised checklist of edible fungi in China. Mycosystema, 29(1): 1-21 (in Chinese)
- Feng T, Shui MZ, Li X, Song SQ, Zhuang HN, Zhang JS, 2018. Advances in flavor substances research in edible mushrooms. Acta Edulis Fungi, 25(4): 97-104 (in Chinese)
- Food and Agricultural Organization of the United Nations, 1970. Amino acid content of foods and biological data on proteins. Nutritional Studies, 10(2): 187-190
- Geng XR, Te RG, Tian GT, Zhao YC, Zhao LY, Wang HX, Ng TB, 2017. Purification and characterization of a novel metalloprotease from fruiting bodies of *Oudemansiella radicata*. Acta Biochimica Polonica, 64(3): 477-483
- Gu Z, Yang Y, 2013. Research progress in flavor components of edible fungus. Science and Technology of Food Industry, 34(5): 363-367 (in Chinese)
- Gu Z, Yang Y, Feng T, Zhu JC, 2012. Analysis of volatile compounds in dried *Tricholoma matsutake* Sing. by headspace solid microextraction combined with GC-MS. Natural Product Research and Development, 24: 1063-1066 (in Chinese)
- Hao YJ, Qin J, Yang ZL, 2015. Systems of the genus of *Oudemansiella* and the classification of the genus in China. Summary of Papers of the 2015 Academic Annual Meeting of the Mycological Society of China, Beijing. 255 (in Chinese)
- Kalač P, 2009. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: a review. Food Chemistry, 113(1): 9-16
- Li QZ, Li XB, Wu D, Li ZP, Li Y, Zhou F, Yang Y, 2019. Analysis and evaluation of volatile compounds in different strains of industrially cultivated *Pleurotus eryngii*. Food Science, 40(6): 266-271 (in Chinese)
- Li W, Chen WC, Yang Y, Zhang JS, Feng J, Yu HL, 2018. Volatile flavor components and flavor quality evaluation of *Lentinula edodes* harvested at different growth stages. Acta Edulis Fungi, 32(2): 325-334 (in Chinese)
- Li X, Zhong FY, Ling YK, Deng J, Liu DY, Xu YD, Wang QG, 2018. Comparative analysis of the volatile component from wild and cultivated *Morchella* by HS/SPME-GC/MS. Science and Technology of Food Industry, 39(17): 225-234 (in Chinese)
- Li Y, 2018. Optimization conditions of processed sample for the determination of amino acid content in *Termitomyces* spp. by HPLC. Food Research And Development, 39(19): 147-152 (in Chinese)
- Liu JH, Liu W, Qing ZX, Zeng CY, Zhong XH, Zeng JG, 2020. Analysis of volatile compositions in different flower parts of two varieties of *Hemerocallis citrina* Baroni by HS-SPME-GC-MS. Natural Product Research and Development, 32: 269-277, 304 (in Chinese)
- Liu XC, Zhang XJ, Zhang XT, Xu DM, Fan QY, 2020. Detection of volatile compounds in edible bird's nest by using solid phase microextraction/gas chromatography-mass spectrometry. Journal of Instrumental Analysis, 39(2): 205-211 (in Chinese)
- Luo X, Yu XL, Liu MQ, Gong HY, Hu HT, 2019. Chemical component analysis of volatile oil from *Prunus davidiana* Carr. flower. China Food Additives, 2019(6): 114-116 (in Chinese)
- Malheiro R, de Pinho P, Soares S, da Ferreira AC, Baptista P, 2013. Volatile biomarkers for wild mushrooms species discrimination. Food Research International, 54(1): 186-194
- Mau J, Robert B, Gregory RZ, 1992. 1-octen-3-ol in the cultivated mushrooms *Agricus bisporus*. Food Science, 57(3): 704-706
- Ou SP, Cheng XH, Gao XX, Li WH, Yang T, Sun L, 2017. Analysis on characteristics and nutritional components of *Oudemansiella raphanipes* by solid culture. Edible Fungi of China, 36(5): 52-59 (in Chinese)

- Peluso F, Nilsson T, Montanarella L, Tilio R, Larsen BR, Facchetti S, Madsen J, 1995. Headspace solid-phase microextraction analysis of volatile organic sulfur compounds in black and white truffle aroma. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(8): 2138-2143
- Peng YX, Yang C, Wang MQ, Wei BY, 2019. Effects of different light qualities on the growth, development and nutrient content of *Oudemansiella raphanipes*. *Hunan Agriculture Sciences*, 2019(9): 27-30 (in Chinese)
- She XS, Yao T, Han YF, Gan ZT, Zhou W, Yuan WS, Tang M, 2020. Chemical compositions of *Ganoderma lingzhi* spore powder analysed by GC/MS and UPLC-QTOF/MS. *Mycosystema*, 39(5): 881-906 (in Chinese)
- Sun K, Guo XM, Mou DH, Li Y, 2016. Optimization of ethanol leaching-water extraction of *Termitornyces badius* polysaccharides by double orthogonal test. *Food Engineering*, 2016(2): 35-38 (in Chinese)
- Wu F, Zhou LW, Yang ZL, Bau T, Li TH, Dai YC, 2019. Resource diversity of Chinese macrofungi: edible, medicinal and poisonous species. *Fungal Diversity*, 98: 1-76
- Wu YX, Ye ZM, Wang WT, Zong WX, Guo BC, Li YY, 2020. Volatiles in leaves of *Melaleuca bracteata*: headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 36(2): 53-63 (in Chinese)
- Xu B, Zheng LX, Shi W, Zhang YJ, Ji H, 2017. Optimal extraction technology of polysaccharide from *Termitomyces* Heim by ultrasonic method. *Food Research And Development*, 38(8): 38-40 (in Chinese)
- Xu N, Feng LG, Wang CH, Deng ZL, Zou SC, Lu H, 2019. Optimization of culture conditions of fermentation technology for *Oudemansiella raphanipes* liquid strain fermenter. *Journal of Southern Agriculture*, 50(2): 344-349 (in Chinese)
- Yang HR, Jia W, Zhang JS, Zhang HN, Yang Y, Fan H, Liu ZD, Zhang YP, Wang WH, Sun WB, 2016. Volatile aroma components in *Taiwannofungus camphoratus* mycelium and spent culture fluid detected by solid-phase microextraction and GC-MS. *Acta Edulis Fungi*, 23(4): 48-52 (in Chinese)
- Ye L, Liu DQ, Zhao JL, Li XL, 2019. Key technology of factory production of *Oudemansiella raphanipes*. *South China Agriculture*, 13(31): 8-12 (in Chinese)
- Yin CM, Fan XZ, Shi DF, Fan Z, Chen W, Gao H, 2018. Flavor compounds analysis of 5 fresh mushrooms using HS-SPME-GC-MS and HPLC. *Science and Technology of Food Industry*, 40(3): 254-260 (in Chinese)
- Zawirska-Wojtasiak R, 2004. Optical purity of (R)-(-)-1-octen-3-ol in the aroma of various species of edible mushrooms. *Food Chemistry*, 86(1): 113-118
- Zhang JJ, Xiao QM, Zhang M, 2020. Key technology of solar greenhouse cultivation of *Oudemansiella raphanipes*. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2020(2): 91-92 (in Chinese)
- Zhang Q, Zheng JY, Zheng JY, Liu W, Tan H, Ge KD, Huang YN, 2018. Analysis of volatile components of "SanWei" chopped chili and its raw materials by solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Food Safety and Quality*, 9(21): 5678-5687 (in Chinese)
- Zhang WL, Mao JC, Yang XJ, Zhang H, Zhao JZ, Tian JZ, Lin CL, Mao JH, 2019. Development of a sulfonic gemini zwitterionic viscoelastic surfactant with high salt tolerance for seawater-based clean fracturing fluid. *Chemical Engineering Science*, 207(2): 688-701
- Zhang XC, Liu GY, Zhang J, Qiu DY, 2019. Comparative analysis of volatile components of five kinds of edible fungi. *Modern Food Science and Technology*, 35(8): 226-235 (in Chinese)
- Zhou C, Huang YY, Hu XJ, 2017. Effects of different drying methods and enzymolysis on volatile flavor compounds in *Neoboletus brunneissimus*. *Science and Technology of Food Industry*, 38(23): 203-209 (in Chinese)
- Zhou X, Yang CL, Fu QF, Cui Y, Wang YD, Chen X, Fu SB, 2020. Investigation of chemical compounds and DPPH radical scavenging activity of *Oudemansiella raphanipes* (Agaricomycetes) based on fermentation. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 22(3): 299-304

#### [附中文参考文献]

- 常诗洁, 杨志颖, 殷玲, 胡秋辉, 裴斐, 杨文建, 赵立艳, 2018. 香辣草菇风味产品的加工及其风味特性分析. *食品科学*, 39(8): 135-140
- 戴玉成, 杨祝良, 2008. 中国药用真菌名录及部分名称的修订. *菌物学报*, 27(6): 801-824
- 戴玉成, 周丽伟, 杨祝良, 文华安, 图力古尔, 李泰辉,

2010. 中国食用菌名录. 菌物学报, 29(1): 1-21
- 冯涛, 水梦竹, 李雪, 宋诗清, 庄海宁, 张劲松, 2018. 食用菌风味物质的研究进展. 食用菌学报, 25(4): 97-104
- 谷镇, 杨焱, 2013. 食用菌呈香呈味物质研究进展. 食品工业科技, 34(5): 363-367
- 谷镇, 杨焱, 冯涛, 朱建材, 2012. 固相微萃取结合 GC/MS 联用技术研究野松茸干品的挥发性成分. 天然产物研究与开发, 24: 1063-1066
- 郝艳佳, 秦姣, 杨祝良, 2015. 小奥德蘑属的系统学及中国该属的分类. 中国菌物学会 2015 年学术年会论文摘要集, 北京. 255
- 李巧珍, 李晓贝, 吴迪, 李正鹏, 李玉, 周峰, 杨焱, 2019. 不同杏鲍菇菌株工厂化栽培子实体的挥发性风味成分分析及其香气评价. 食品科学, 40(6): 266-271
- 李文, 陈万超, 杨焱, 张劲松, 冯杰, 于海龙, 2018. 香菇生长过程中挥发性风味成分组成及其风味评价. 食用菌学报, 32(2): 325-334
- 李翔, 钟方友, 凌云坤, 邓杰, 刘达玉, 徐艺丹, 王秋果, 2018. HS /SPME-GC/MS 法比较分析野生与人工栽培羊肚菌挥发性成分. 食品工业科技, 39(17): 225-234
- 李艳, 2018. 优化 HPLC 测定黑皮鸡枞菌中氨基酸含量样品处理的条件. 食品研究与开发, 39(19): 147-152
- 刘京宏, 刘薇, 卿志星, 曾朝彦, 钟晓红, 曾建国, 2020. HS-SPME-GC-MS 分析两品种黄花菜中不同花部位挥发性成分. 天然产物研究与开发, 32: 269-277, 304
- 柳训才, 张小江, 张晓婷, 徐敦明, 范群艳, 2020. 固相微萃取/气相色谱-质谱联用技术测定燕窝中挥发性成分. 分析测试学报, 39(2): 205-211
- 罗晓, 于新连, 刘孟奇, 龚海燕, 呼海涛, 2019. 山桃花挥发油的化学成分分析. 中国食品添加剂, 2019(6): 114-116
- 欧胜平, 程显好, 高兴喜, 李维焕, 杨涛, 孙磊, 2017. 卵孢小奥德蘑固体培养特性及营养成分分析. 中国食用菌, 36(5): 52-59
- 彭阳翔, 羊晨, 王梦琦, 魏宝阳, 2019. 不同光质对黑皮鸡枞菌子实体生长发育及营养成分的影响. 湖南农业科学, 2019(9): 27-30
- 余新松, 姚婷, 韩燕峰, 甘卓亭, 周蔚, 袁旺生, 唐敏, 2020. 基于 GC-MS 和 UPLC-QTOF/MS 技术的灵芝孢子粉化学成分分析. 菌物学报, 39(5): 881-906
- 孙凯, 郭晓萌, 牟德华, 李艳, 2016. 双正交法优化醇洗-水提黑皮鸡枞菌多糖的研究. 食品工程, 2016(2): 35-38
- 吴英详, 叶征美, 王文婷, 宗伟勋, 郭炳春, 李永裕, 2020. 顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱技术分析千层金叶片的挥发性成分. 中国农学通报, 36(2): 53-63
- 徐兵, 郑丽雪, 史伟, 张雅君, 冀宏, 2017. 超声波法提取黑皮鸡枞多糖工艺优化研究. 食品研究与开发, 38(8): 38-40
- 徐宁, 冯立国, 王春晖, 邓召利, 邹世成, 陆欢, 2019. 黑皮鸡枞液体菌种发酵罐培养条件的优化. 南方农业学报, 50(2): 344-349
- 杨海芮, 贾薇, 张劲松, 张赫男, 杨焱, 樊华, 刘志东, 张亚平, 汪雯翰, 孙文博, 2016. 固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析樟芝发酵液、液体发酵菌丝体和固体培养菌丝体中香气成分. 食用菌学报, 23(4): 48-52
- 叶雷, 刘定权, 赵建龙, 李小林, 2019. 黑皮鸡枞菌工厂化生产关键技术. 南方农业, 13(31): 8-12
- 殷朝敏, 范秀芝, 史德芳, 樊喆, 程薇, 高虹, 2018. HS-SPME-GC-MS 结合 HPLC 分析 5 种食用菌鲜品中的风味成分. 食品工业科技, 40(3): 254-260
- 张季军, 肖千明, 张敏, 2020. 黑皮鸡枞日光温室栽培关键技术. 辽宁农业科学, 2020(2): 91-92
- 张群, 郑井元, 郑金玉, 刘伟, 谭欢, 葛可达, 黄余年, 2018. 顶空固相微萃取-气相色谱联用质谱法分析“三味”剁辣椒和原料的挥发性成分. 食品安全质量检测学报, 9(21): 5678-5687
- 张宪臣, 刘恭源, 张静, 邱德义, 2019. 五种食用菌挥发性成分比较分析. 现代食品科技, 35(8): 226-235
- 周超, 黄裕怡, 胡旭佳, 2017. 不同干燥方式和酶解对茶褐牛肝菌挥发性风味成分的影响. 食品工业科技, 38(23): 203-209

(本文责编: 韩丽)