

不同发育阶段羊肚菌子实体呈味物质研究

谢丽源¹, 兰秀华^{1,2}, 曹雪莲¹, 彭卫红¹, 甘炳成^{1*}

¹四川省农业科学院土壤肥料研究所, 成都 610066; ²电子科技大学生命科学与技术学院 信息生物学研究中心, 成都 610054

摘要:本文对羊肚菌 M0 菌株不同发育阶段子实体中的呈味物质进行了分析, 以期获得不同发育阶段羊肚菌呈味物质差异。结果表明: M0 菌株栽培得到的子实体在不同发育阶段挥发性物质组成和含量不同, 主体挥发性香气成分有一定差异, 聚类分析表明, B02 和 B03 阶段挥发性成分更为相似; 多糖和酚类物质含量随着发育进程而积累; 5'-核苷酸含量在生长发育过程中先下降再上升; 在生长发育过程中天冬氨酸和谷氨酸的含量没有显著性差异; 等鲜浓度值在 93.626 ~ 269.336 g MSG/100 g 之间, 且 B03 的 EUC 值最高。

关键词:羊肚菌; 发育阶段; 挥发性物质; 5'-核苷酸; 游离氨基酸; 等鲜浓度

中图分类号: S646.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2020) Suppl-0079-07

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2020.S.012

Study on tasting components of fruiting body of *Morchella* in different developmental stages

XIE Li-yuan¹, LAN Xiu-hua^{1,2}, CAO Xue-lian¹, PENG Wei-hong¹, GAN Bing-cheng^{1*}

¹Institute of Soil and Fertilizer, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China;

²School of Life Science and Technology, Center for Informational Biology, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China

Abstract: The tasting components of the fruiting body of *Morchella* M0 were studied in different developmental stages. The results showed that the content of volatile tasting components in the fruiting body of strains M0 varied with the development stages. There were some differences in the key volatile aroma components, and cluster analysis showed that the volatile components at B02 and B03 were more similar. Contents of polysaccharides and phenols were accumulated with developmental stages. The content of 5'-nucleotide decreased first and then increased in the developmental stages. As for the content of aspartic acid and glutamic acid, no significant difference was found in the developmental stages. EUC (equivalent umami concentration) of M0 varied from 93.626 to 269.336 g MSG/100 g and expected the highest density on B03.

Key words: *Morchella*; developmental stage; volatile components; 5'-nucleotide; free amino acid; equivalent umami concentration

羊肚菌 (*Morchella* spp.) 是一种珍稀名贵食用菌, 由于其菌盖表面有不规则多面凹陷褶皱似羊肚而得名^[1]。羊肚菌作为药食兼用菌, 含有丰富的氨基酸, 具有很高的营养价值, 同时含有多糖、生物酶类、矿物质元素等^[2,3], 有调节机体免疫力、抗疲劳、抑制肿瘤、抗菌、抗病毒、降血脂、抗氧化等多种功效^[4-12]。羊肚菌中含有的挥发性物质和非挥发性物质赋予羊肚菌独特的香味和滋味, 但对于羊肚菌子

实体采收没有一定的标准, 通常是通过子实体外观来确定, 具有一定的随机性和普遍性, 也没有实验数据来支撑。因此对羊肚菌生长发育过程中挥发性和非挥发性呈味物质进行研究, 可以为生长发育过程中呈味物质的研究和选择合适的采收期提供理论基础。本文对羊肚菌生长发育过程中多糖、酚类、氨基酸、5'-核苷酸的含量变化以及挥发性物质的含量变化进行研究, 以期获得香味、口感和营养较好的采收期提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

羊肚菌供试菌株: M0, 四川省农业科学院土壤

收稿日期: 2019-12-30 接受日期: 2020-04-24

基金项目: 四川省科技计划重点项目 (2017NZ0006); 国家现代农业食用菌产业技术体系项目 (CARS-20)

* 通信作者 E-mail: gbc@sohu.com

肥料研究所新都基地驯化栽培,进行出菇,在出菇过程中依据发育阶段将羊肚菌划分标准为3个时期(B01-幼菇(子实体长度2~3 cm)、B02-成熟期(子实体长度6~8 cm)、B03-后熟期(子实体长度10~12 cm)进行取样,切去菌柄,烘干,粉碎备用。

1.2 试剂与设备

Fw-80 高速粉碎机(北京启宏瑞达科技有限公司);DZF-6020 真空干燥箱(上海精宏实验设备有限公司);超纯水装置(Millipore 公司);L-8900 氨基酸自动分析仪(日本 Hitachi 公司);ALC-Z10.3 电子天平(北京赛多利斯天平有限公司);LC-20 高效液相色谱仪(日本岛津公司);7890-5975 气相色谱-质谱联用仪(GC-MS),配有电子轰击电离源(EI)(美国 Agilent 公司);65 μm PDMS/DVB 萃取纤维头(美国 Supelco 公司);Teledyne Tekmar Atomx 动态顶空自动进样器。

5'-核苷酸、混合氨基酸标准品购自 Sigma 公司;色谱纯乙腈、色谱纯甲醇、葡萄糖、苯酚、总酚均购自奥克生物科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 顶空固相微萃取

将粉碎后的样品混合均匀,称取 2.00 g 试样放置在 10 mL 样品瓶中,加入 1.5 g NaCl 和 6 mL 经过煮沸冷却的蒸馏水,摇匀,然后将溶液置于 15 mL 顶空瓶中,将老化后的萃取头插入样品瓶顶空部分,于 50 $^{\circ}\text{C}$ 吸附 30 min,吸附后的萃取头取出后插入气相色谱进样口,于 250 $^{\circ}\text{C}$ 解吸 3 min,用于 GC-MS 分析检测。

1.3.2 GC-MS 条件

色谱柱:DB-WAX(60 m \times 0.25 mm,0.50 μm);载气:高纯氦气;载气流速(恒流模式):1.0 mL/min;进样口温度:230 $^{\circ}\text{C}$;进样方式:分流进样;分流比:10:1;升温程序:35 $^{\circ}\text{C}$ 不保持,以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速率升温至 220 $^{\circ}\text{C}$,保持 10 min;离子源温度:230 $^{\circ}\text{C}$;扫描模式:scan 扫描模式;扫描范围: m/z 45 ~ 350;接口温度:230 $^{\circ}\text{C}$;

1.3.3 主体挥发性香气成分评定方法

采用相对气味活度值(relative odor activity value, ROAV)评价各挥发性物质对样品总体风味的贡献^[13-15],定义对样品风味贡献最大的组分的 ROAV = 100,则其他挥发性成分的 ROAV < 100,其计算方法:

$$\text{ROAV} \approx \frac{C_i}{C_t} \times \frac{T_i}{T_t} \times 100$$

式中: C_i 、 T_i 分别为挥发性成分的相对含量

(%) 和气味阈值($\mu\text{g}/\text{kg}$); C_t 、 T_t 分别为对样品整体风味贡献最大组分的相对含量(%) 和气味阈值($\mu\text{g}/\text{kg}$)。

ROAV ≥ 1 ,说明该物质为样品的主体风味成分,且在一定范围内,ROAV 越大说明该物质对总体风味贡献越大;0.1 \leq ROAV < 1 之间,说明该物质对整体风味有修饰作用^[16,17]。

1.3.4 氨基酸测定

称取 100 mg 粉末样品加入水解管中,加入 100 mL 6mol/L 的盐酸,封管后,于 100 $^{\circ}\text{C}$ 水解 24 h,水解后样品经处理后通过 L-8900 氨基酸自动分析仪进行氨基酸分析^[18]。

测试条件:分离柱(4.6 mm \times 60.0 mm)柱温为 55 $^{\circ}\text{C}$,反应器温度为 130 $^{\circ}\text{C}$,洗脱液流速为 0.40 mL/min,茚三酮流速为 0.35 mL/min,进样量为 20 μL 。

1.3.5 5'-核苷酸检测

取羊肚菌干品 1 g,加入 25 mL 蒸馏水,煮沸 1 min,冷却至室温后于 12 000 rpm 离心 15 min,取出上清液,废渣以相同方法重提一次,合并上清液,定容至 50 mL。取上清液过 0.22 μm 微孔滤膜,高效液相色谱仪进行检测。色谱条件: C_{18} 柱(250 mm \times 4.6 mm),流动相: KH_2PO_4 缓冲液,259 nm 紫外扫描检测,柱温 30 $^{\circ}\text{C}$;进样量 10 μL ^[19,20]。

1.3.6 等鲜浓度值计算

等鲜浓度值(EUC)常用来表征食品的鲜味程度,指在 100 g 干重的食物中,以谷氨酸钠(MSG)的量来表示呈鲜物质的总量^[21-23],计算公式如下:

$$Y = \sum a_i b_i + 1.218 (\sum a_i b_i) (\sum a_j b_j)$$

式中:Y 是 EUC 值,单位是 g MSG/100 g; a_i 为呈鲜氨基酸(天冬氨酸 ASP 和谷氨酸 Glu)的质量分数(%), a_j 为呈鲜核苷酸[5'-肌苷酸(5'-IMP)、5'-鸟苷酸(5'-GMP)、5'-黄苷酸(5'-XMP)、5'-腺苷酸(5'-AMP)]的质量分数(%), b_i 为呈鲜氨基酸相对 MSG 的鲜味程度值(Glu = 1, Asp = 0.077); b_j 为呈味核苷酸相对 5'-核苷酸的值(5'-IMP = 1、5'-GMP = 2.3、5'-XMP = 0.61、5'-AMP = 0.18),1.218 为协同作用常数(浓度单位为 g/100 g)。

1.4 数据处理

采用 IBM SPSS Statistics 22.0 对羊肚菌呈味物质进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同发育阶段挥发性物质分析

2.1.1 不同发育阶段挥发性物质比较

不同发育阶段样品共鉴定了 22 种挥发性物质,其组成和相对含量见表 1 所示。主要包括 2 种酮类、8 种醛类、5 种醇类、5 种烃类、1 种呋喃化合物和 1 种含硫化合物,其中醛类物质相对含量最大,分别为 40.08%、40.91% 和 48.89%,其次为醇类化合物。随着羊肚菌生长进程,醛类化合物总量呈现上升趋势,而醇类化合物、酮类化合物总量呈现下降趋

势,呋喃化合物和烃类化合物总量在不同发育阶段差别不大,含硫化合物在 B03 阶段才累积出现。单个物质分析,B01 和 B03 检测出 20 种挥发性成分,B02 检测到 14 种成分,其中有 13 个化合物是三个发育时期都可见,包括 3-甲基丁醛、2-甲基丁醛、2-甲基丙醛、正己醛、正戊醛、苯甲醛、2-甲基-1-丙醇、3-甲基-1-丁醇、1-己醇、2-戊基呋喃、十四烷、二氯苯、萘。

表 1 不同发育阶段样品挥发性香气成分的相对含量

Table 1 Volatile compounds and their relative percentage contents of samples in different developmental stage

类别 Category	化合物 Compound	相对含量 Relative content(%)		
		B01	B02	B03
酮类 Ketones	丙酮 Acetone	8.21	-	-
	2-庚酮 2-Heptanone	0.38	-	0.50
	小计 Subtotal	8.59	-	0.50
醛类 Aldehydes	3-甲基丁醛 3-Methylbutyraldehyde	10.84	13.50	14.76
	2-甲基丁醛 2-Methylbutyraldehyde	7.51	8.74	12.48
	2-甲基丙醛 2-Methylpropanal	7.12	11.11	11.59
	2-丁烯醛 2-Butenal	-	-	0.87
	正己醛 n-Hexanal	11.09	5.69	7.16
	正戊醛 n-Valeraldehyde	1.82	0.82	0.84
	苯甲醛 Benzaldehyde	1.2	1.05	0.81
	正壬醛 n-Nonanal	0.50	-	0.38
	小计 Subtotal	40.08	40.91	48.89
醇类 Alcohol	2-甲基-1-丙醇 2-Methyl-1-propanol	11.51	10.76	7.61
	3-甲基-1-丁醇 3-Methyl-1-butanol	18.15	18.32	14.67
	1-己醇 1-Hexanol	6.35	4.17	4.53
	1-戊醇 1-Pentanol	1.7	1.58	-
	1-壬醇 1-Nonanol	0.87	-	0.68
	小计 Subtotal	38.58	24.07	19.88
	呋喃类 Furans	2-戊基呋喃 2-Pentylfuran	0.87	0.46
	小计 Subtotal	0.87	0.46	0.55
烃类 Hydrocarbons	十二烷 Dodecane	0.33	-	0.40
	十四烷 Tetradecane	0.67	0.51	0.59
	二氯苯 Dichlorobenzene	0.47	1.03	0.53
	长叶烯 Longifolene	0.42	-	0.41
	萘 Naphthalene	0.67	0.62	0.52
	小计 Subtotal	2.56	2.16	2.45
	含硫化合物 Sulfur compounds	二甲基三硫化物 Dimethyl trisulfide	-	-
	小计 Subtotal	-	-	0.95

2.1.2 不同发育阶段挥发性香气成分分析

虽然不同生长阶段羊肚菌含有多种挥发性风味物质,但是只有小部分对其整体风味有重要贡献,还有一些成分对整体风味起辅助作用。挥发性化合物对香气的贡献由其含量、气味阈值共同决定,有些化合物含量低,但气味阈值也很低,可能对羊肚菌的整体风味起重要作用。从表 2 可知,不同发育阶段羊肚菌干品对整体风味起重要作用的挥发性物质 (ROAV \geq 1) 有一定差异。B01 的主体挥发性香气成分有 2-甲基丁醛、2-甲基丙醛、正己醛、正戊醛、正壬醛、2-戊基呋喃、萘。2-甲基丁醛具有果香和可可

味,2-甲基丙醛具有巧克力、蜜桃味,正己醛具有清香、木香、果香,正戊醛具有果香、面包香,正壬醛具有蜡香、柑橘香、脂肪香、花香,2-戊基呋喃具有果香、奶酪、酸性乳制品香气,1-己醇对整体风味发挥着重要的修饰作用($0.1 \leq$ ROAV <1)。B02 主体挥发性香气成分有 3 种,分别为 2-甲基丁醛、2-甲基丙醛和正己醛,正戊醛、1-己醇、2-戊基呋喃、萘对整体风味起着重要修饰作用。B03 的主体挥发性香气成分有 2-甲基丁醛、2-甲基丙醛和二甲基三硫化物,二甲基三硫化物,具有肉香、洋葱、蔬菜样香气,正己醛、正壬醛对整体风味起修饰作用。

表 2 羊肚菌样品挥发性成分气味贡献表

Table 2 Odor contribution of volatile compounds of samples

化合物 Compound	气味阈值 Odor threshold			ROAV
	Ug/kg	B01	B02	
丙酮 Acetone	500 000	<0.1	-	-
2-庚酮 2-Heptanone	140	<0.1	-	<0.1
3-甲基丁醛 3-Methylbutyraldehyde	NF	NF	NF	NF
2-甲基丁醛 2-Methylbutyraldehyde	1	73.83	55.07	6.57
2-甲基丙醛 2-Methylpropanal	0.7	100	100	8.71
2-丁烯醛 2-Butenal	NF	-	-	NF
正己醛 n-Hexanal	4.5	24.23	7.97	0.84
正戊醛 n-Valeraldehyde	12	1.49	0.43	<0.1
苯甲醛 Benzaldehyde	350	<0.1	<0.1	<0.1
正壬醛 N-Nonanal	1	4.92	-	0.2
2-甲基-1-丙醇 2-Methyl-1-propanol	NF	NF	NF	NF
3-甲基-1-丁醇 3-Methyl-1-butanol	NF	NF	NF	NF
1-己醇 1-Hexanol	250	0.25	0.11	<0.1
1-戊醇 1-Pentanol	4000	<0.1	<0.1	-
1-壬醇 1-Nonanol	NF	NF	-	NF
2-戊基呋喃 2-Pentylfuran	6	1.43	0.48	<0.1
十二烷 Dodecane	2040	<0.1	-	<0.1
十四烷 Tetradecane	1 000	<0.1	<0.1	<0.1
二氯苯 Dichlorobenzene	NF	NF	NF	NF
长叶烯 Longifolene	NF	NF	-	NF
萘 Naphthalene	6	1.10	0.65	<0.1
二甲基三硫化物 Dimethyl trisulfide	0.005	-	-	100

2.1.3 挥发性物质的聚类分析(CA)

采用系统聚类方法,度量标准为平方 Euclidean 距离,通过组间连接的方式,以不同发育阶段总挥发

性物质作为变量,对 3 个样品的挥发性物质进行聚类分析,分析结果见图 1。由图 1 可知,B02 和 B03 聚为一个集群,B01 与 B02、B03 的挥发性物质有显

著差异,单独聚为一列,由此可见,B02和B03较B01有更为相似的挥发性成分。

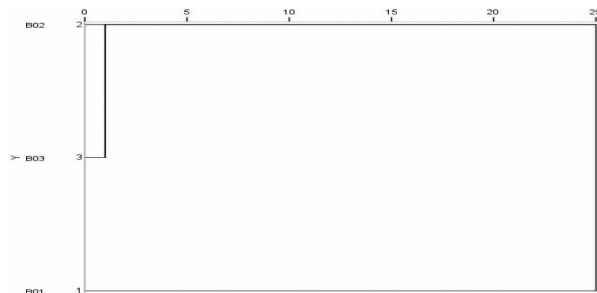


图1 不同发育阶段羊肚菌样品聚类分析树状图

Fig. 1 Cluster analysis dendrogram of samples in different developmental stage

2.2 不同发育阶段羊肚菌多糖和酚类物质分析

由图2可知,随着羊肚菌生长发育进程,多糖和酚类物质含量呈显著上升趋势,即B03的多糖和酚类含量显著高于B02($P < 0.05$),而B-02的多糖和酚类含量显著高于B01($P < 0.05$)。因此,羊肚菌活性物质含量随着发育进程的推进而累积。

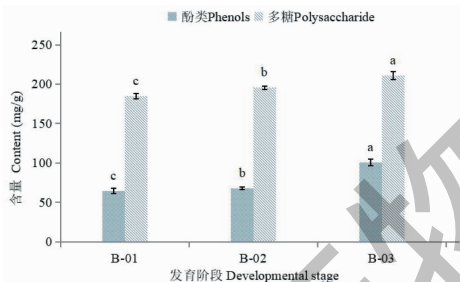


图2 不同发育阶段羊肚菌酚类和多糖物质差异

Fig. 2 Differences of phenols and polysaccharides of *Morchella* in different developmental stages

2.3 不同发育阶段羊肚菌核苷酸分析

植物食品中含有丰富的三磷酸腺苷,在各种特定生物酶的作用下可以发生降解反应,最终分解成相应的核苷酸。其中5'-核苷酸是典型的呈鲜味物质,这些呈味核苷酸不仅具有显著的增鲜作用,而且对于动物性食品的各种滋味也有一定的增减作用。对不同生长发育阶段羊肚菌样品进行5'-核苷酸检测,结果如表3。不同生长发育阶段均检出6种核苷酸5'-CMP、5'-AMP、5'-IMP、5'-GMP、5'-UMP和5'-XMP。随着生长进程,总核苷酸出现先下降,再上升的趋势。CMP和AMP含量随着羊肚菌生长呈显著下降趋势($P < 0.05$),B01和B03的GMP含量显著高于B-02($P < 0.05$),B03的IMP含量显著高

于B01和B-02($P < 0.05$),B02和B03的XMP含量显著高于B-01($P < 0.05$),UMP含量在不同发育阶段差别不大($P > 0.05$)。一般情况下,食用菌的5'-CMP的含量相比其余5'-核苷酸的量都高,检测结果表明羊肚菌也不例外,5'-CMP的含量最高。

表3 羊肚菌不同发育阶段中5'-核苷酸的含量

Table 3 The content of 5'-nucleotides of *Morchella* in different developmental stage ($\mu\text{g/g}$)

核苷酸 Nucleotide	B-01	B-02	B-03
CMP	615.25 ± 22.54 ^a	332.51 ± 15.68 ^b	398.91 ± 29.81 ^b
UMP	34.38 ± 3.00 ^a	31.48 ± 1.73 ^a	36.59 ± 6.91 ^a
GMP	30.65 ± 4.77 ^{ab}	28.79 ± 1.59 ^b	34.82 ± 1.21 ^a
IMP	99.47 ± 9.71 ^b	181.87 ± 21.87 ^b	385.77 ± 18.21 ^a
XMP	1.55 ± 0.22 ^b	1.99 ± 0.27 ^{ab}	2.98 ± 0.41 ^a
AMP	28.79 ± 9.11 ^a	4.02 ± 0.14 ^b	3.44 ± 0.65 ^b
总核苷酸 Total nucleotide	810.09	580.66	862.51

注:不同字母表示显著性差异, $P < 0.05$;含量表示为平均值 ± 标准误差。

Note: Different letters means significant difference, $P < 0.05$; Content is expressed as mean ± standard error.

2.4 不同发育阶段羊肚菌鲜味游离氨基酸分析

天门冬氨酸和谷氨酸是食用菌鲜味的基本组成成分。食用菌所产生的鲜味由谷氨酸盐和呈味核苷酸共同作用的结果,他们使食用菌产生了各自特有的味道。本研究对不同发育阶段羊肚菌子实体鲜味游离氨基酸进行测定。从表4可知,不同发育阶段羊肚菌游离氨基酸含量差异不明显,都没有达到显著性差异($P > 0.05$)。

表4 不同发育阶段子实体中Glu和Asp的含量

Table 4 Contents of Glu and Asp in fruit bodies in different developmental stage (%)

样品 Sample	天门冬氨酸 Aspartic acid	谷氨酸 Glutamate
B01	1.782 ^a	3.989 ^a
B02	1.748 ^a	3.793 ^a
B03	1.788 ^a	4.503 ^a

2.5 等鲜浓度结果分析

研究表明,食用菌令人称道的鲜味主要来源于5'-核苷酸及呈鲜氨基酸,二者共同存在时,鲜味可以协同增强^[24-28],而表征食用菌鲜味的等鲜浓度值(EUC)是由该两类物质计算而得,用以客观评价食物的呈鲜作用。不同发育阶段等鲜浓度如图1。如

图3可知,不同发育阶段羊肚菌 EUC 值有显著差异,随着羊肚菌生长发育进程,EUC 值呈上升趋势,B01 的 EUC 值为 92.626 g MSG/100 g,B02 的 EUC 值为 123.535 g MSG/100 g,B03 的 EUC 值为 269.336 g MSG/100 g。Mau 等^[29]对 EUC 值划分为四个水平:第一水平为 $EUC > 1\ 000$ g MSG/100 g 干重,第二水平为 $100 < EUC < 1\ 000$ g MSG/100 g 干重,第三水平为 $10 < EUC < 100$ g MSG/100 g 干重,第四水平为 $EUC < 10$ g MSG/100 g 干重。由 EUC 值可知,B01 属于第三水平,B02 和 B03 均属于第二水平,其中 B03 的 EUC 值最高。

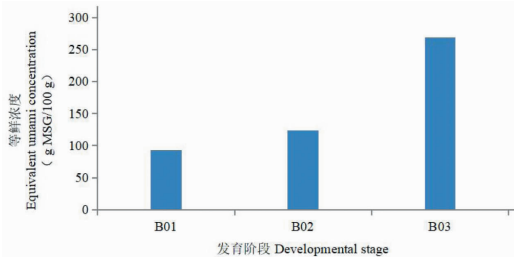


图3 不同发育阶段羊肚菌等鲜浓度

Fig.3 EUC of different samples in different developmental stage

3 讨论

随着食用菌产业的不断发展,人们对食用菌品质提出了更高的要求。由于食用菌的产量和品质不存在一定的正相关,因此,挖掘食用菌内在物质,对食用菌品质和风味的评价具有重要的意义。菌菇类的风味是由非挥发性成分和挥发性成分组成,挥发性成分是蘑菇致香物质的主体,而非挥发性成分决定了食用菌的味道。本文对羊肚菌生长发育阶段的挥发性物质和非挥发性物质进行了较为深入的研究。研究表明,羊肚菌在不同生长发育阶段呈味物质存在一定差异。羊肚菌在发育的 B02 和 B03 具有更为相似的香气成分,但物质组成和含量变化不具有规律性;随着生长发育进程,多糖和酚类物质逐渐积累,且 EUC 值也逐渐增加,所以要获得滋味和香味较好的羊肚菌子实体,尽量在 B03 进行采收,这与普遍认为 B03 感官评分低,不适合采收结论不一致。因此,从呈味物质成分含量和感官评价两方面考虑,羊肚菌最佳采收期应根据羊肚菌开发利用目的而确定。羊肚菌子实体精深加工可在 B03 进行采收,羊肚菌鲜品销售及出口可在 B02 进行采

收。该研究为羊肚菌栽培获得风味佳的羊肚菌子实体提供了科学依据,为其进一步开发利用奠定了理论基础。

参考文献

- Mao XX. Chinese Mushroom(中国蕈菌)[M]. Beijing: Science Press, 2009: 750-777.
- Liu B, Wu SR, Zhu P, et al. Nutrient analysis of morel in northwest Yunnan Province[J]. Sci Technol Food Ind(食品工业科技), 2012, 33(1): 363-365.
- Gençcelep H, Uzun Y, Tuncel Y, et al. Determination of mineral contents of wild-grown edible mushrooms[J]. Food Chem, 2009, 113: 1033-1036.
- Gursoy N, Sarikurcu C, Cengiz M, et al. Antioxidant activities, mineral contents, total phenolics and flavonoids of seven *Morchella* species[J]. Food Chem Toxicol, 2009, 47: 2381-2388.
- İsmet O, Serkan S, Ugur S, et al. Bioactivity and mineral contents of wild-grown edible *Morchella conica* in the Mediterranean region[J]. J Verbr Lebensm, 2010, 5: 453-457.
- Lu KK, Tan Y, Wu SR, et al. Polyphenol components and antioxidant activity of *Morchella conica* Pers. from three different habitats[J]. Food Sci(食品科学), 2015, 36(7): 6-12.
- Mau JL, Chang CN, Huang SJ, et al. Antioxidant properties of methanolic extracts from *Grifola frondosa*, *Morchella esculenta* and *Termitomyces albuminosus mycelis*[J]. Food Chem, 2004, 87(1): 111-118.
- Sulkowska ZK, Muszynska B, Szweczyk A. Antioxidant components of selected indigenous edible mushrooms of the obsolete order *Aphyllphorales*[J]. Rev Iberoam Micol, 2015, 32(2): 99-102.
- Vieira V, Fernandes A, Barros L, et al. Wild *Morchella conica* Pers. from different origins: a comparative study of nutritional and bioactive properties[J]. J Sci Food Agr, 2016, 96(1): 90-98.
- Wang YH, Mei XD, Zhang S. Antihypertensive effect of bioactive extracts from *Morchella conica*[J]. Modern Food Sci Technol, 2013, 29: 2147-2151.
- Wong YJ, Chye FY. Antioxidant properties of selected tropical wild edible mushrooms[J]. Food Comp Anal, 2009, 22: 269-277.
- Ying WW, Zhang S, Wu JF. Hypolipidemic effect of the bioactive extract from *Morchella conica*[J]. Mycosystema(菌物学报), 2009, 28: 873-877.

- 13 Liu DY, Zhou GH, Xu XL. A novel analytical method for key odor compounds of Chinese sausage[J]. Meat Res(肉类研究), 2011, 25(3):15-20.
- 14 Gu SQ, Tao NP, WU N, et al. A new method based on ROAV value to identify the characteristic key volatile compounds of crab flavor[J]. Sci Technol Food Ind(食品工业科技), 2012, 33:410-416.
- 15 Li XL, Cheng C, Qing Y, et al. Analysis of volatile aroma components in different species of truffle in Huidong county by GC-MS[J]. Food Sci(食品科学), 2015, 36(18):132-136.
- 16 Jiang XQ, Song JF, LI DJ, et al. Analysis constitutes and difference of volatile components in dried vegetable soybean from different varieties[J]. J Nucl Agr Sci(核农学报), 2014, 28:1246-1252.
- 17 Fang SP, Pu B, Chen AJ, et al. Effects of maturity degree on the aroma compounds of *Tuber indicum*[J]. Mycosystema(菌物学报), 2013, 32:1020-1027.
- 18 Li SR, Wang L, Ni SJ, et al. The amino acids content of different part of *Stropharia rugoso-annulata* and their nutrition evaluation[J]. Food Res Dev(食品研究与开发), 2017, 38(8):95-99.
- 19 Das PR, Kim Y, Hong SJ, et al. Profiling of volatile and non-phenolic metabolites-Amino acids, organic acids, and sugars of green tea extracts obtained by different extraction techniques[J]. Food Chem, 2019, 296:69-77.
- 20 Taylor MW, Hershey HV, Levine RA. Improved method of resolving nucleotides by reverse-phase high performance liquid chromatography[J]. J Chromatogr A, 1981, 219:133-139
- 21 Yu WQ, Peng YF, Xu YY, et al. Analysis and evaluation of nutritional and flavor components of five wild dried edible fungi[J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 2015, 27:271-276.
- 22 Yu HL, Li Y, Chen WC, et al. Analysis of differential EUC in dried fruiting bodies of different cultivars of *Lentinus edodes*[J]. Food Sci(食品科学), 2018, 39(4):171-175.
- 23 Yamaguchi S, Yoshikawa T, Ikeda S, et al. Measurement of the relative taste intensity of some α -amino acid and 5'-nucleotides[J]. J Food Sci, 1971, 36:846-849.
- 24 Ye JJ, Li JR, Han XX, et al. Effects of active modified atmosphere packaging on postharvest quality of shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) stored at cold storage[J]. J Integr Agr, 2012, 11:474-482.
- 25 Wen L, Zhen G, Yan Y, et al. Non-volatile taste components of several cultivated mushrooms[J]. Food Chem, 2014, 143:427-431.
- 26 Fei P, Ying S, Gao XY, 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 Chem, 2014, 165:547-554.
- 27 Chen WC, Yan Y, Feng J, et al. Analysis and evaluation of taste components in dried *Lentinula edodes* collected from different areas[J]. Sci Technol Food Ind(食品工业科技), 2015, 36(8):152-157.
- 28 Wang XH, Qian H, Zhang WM, et al. Research progress on flavor components in edible fungus[J]. Chin Wild Plant Res(中国野生植物资源), 2009, 28(1):5-8
- 29 Tsai SY, Tsai HL, Mau JL. Non-volatile taste components of *Agaricus blazei*, *Agrocybe cylindracea* and *Boletus edulis*[J]. Food Chem, 2008, 107:977-983.