

杏鲍菇子实体及其下脚料的营养成分和呈味物质研究

李晓贝^{1,2}, 杨焱², 周峰², 陈万超², 刘艳芳², 冯涛¹

(1. 上海应用技术学院, 香料香精学院, 上海 201418)(2. 国家食用菌工程技术研究中心, 农业部南方食用菌资源利用重点实验室, 上海市农业科学院食用菌研究所, 上海 201403)

摘要: 研究以杏鲍菇子实体及其下脚料菇蕾和菇片为对象, 分析检测其粗蛋白、纤维、总糖等营养成分及可溶性糖、有机酸、游离氨基酸、5'-核苷酸等呈味物质, 并比较杏鲍菇培养料子实体生长前后营养成分与呈味物质的变化。结果显示, 子实体采收后杏鲍菇培养料中主要营养物质纤维素、蛋白质及总糖含量均有一定程度降低, 但前两者仅分别下降了7%及13%左右; 此外, 除甘露醇的含量显著上升, 培养料中各呈味物质的含量均有一定下降。粗蛋白含量在杏鲍菇菇蕾、子实体、菇片中依次降低, 为230.12~108.68 mg/g, 总糖与之相反, 为366.61~565.53 mg/g。除海藻糖、果糖、乙酸及谷氨酸外, 菇蕾中各呈味物质的含量均比杏鲍菇子实体中较高。而菇片多数呈味物质含量均低于或者接近于子实体中的含量。杏鲍菇菇片、菇蕾、子实体的等鲜浓度值逐次升高, 为19.05~24.10 g MSG/100 g。结果显示杏鲍菇下脚料仍具有极高的应用价值。

关键词: 杏鲍菇; 菇蕾; 废料; 营养成分; 呈味物质; 等鲜浓度值

文章篇号: 1673-9078(2015)6-272-278

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.6.043

Nutritional Contents and Flavor Substances in Fruit Bodies and Leftovers of *Pleurotus eryngii*

LI Xiao-bei^{1,2}, YANG Yan², ZHOU Feng², CHEN Wan-chao², LIU Yan-fang², FENG Tao¹

(1. School of Perfume and Aroma Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China) (2. Institute of Edible Fungi, Shanghai Academy of Agricultural Sciences; Key Laboratory of Edible Fungi Resources and Utilization (South), Ministry of Agriculture; National Engineering Research Center of Edible Fungi, Shanghai 201403, China)

Abstract: The fruit bodies and leftovers (mushroom buds and slices) of *Pleurotus eryngii* were analyzed and the nutritional components, including crude protein, crude fiber, carbohydrates, etc., and flavor substances such as soluble sugars, organic acids, free amino acids, and 5'-nucleotides were measured. In addition, the changes in the nutritional components and flavor substances before and after growth of the fruit bodies of *Pleurotus eryngii* were compared. The results showed that after the fruit bodies of *Pleurotus eryngii* were harvested, the contents of crude fibre and protein (7% and 13% respectively) as well as total carbohydrates in the substrates decreased to some extent. In addition, with the exception of the mannitol content, which was significantly increased, the content of each flavor substance in the substrate declined. The crude protein content in the mushroom buds, fruit bodies, and mushroom slices of *Pleurotus eryngii* followed the order: mushroom buds > fruit bodies > mushroom slices, ranging from 108.68 to 230.12 mg/g; the opposite order was identified for the carbohydrate content, which ranged from 565.53 to 366.61 mg/g. Except for trehalose, fructose, acetic acid, and glutamic acid, the content of each flavor substance was higher in the mushroom buds than in the fruit bodies, while the contents of flavor substances in mushroom slices were lower than or close to those of the fruit bodies. The equivalent umami concentrations in the mushroom buds, fruit bodies, and mushroom slices of *Pleurotus eryngii* were present in the order as mushroom slices > mushroom buds > fruit bodies, and were in the range of 19.05~24.10 g MSG/100 g. These results indicate that the leftovers of *Pleurotus eryngii* still exhibit high application values.

Key words: *Pleurotus eryngii*; mushroom buds; waste composts; nutritional content; flavor substances; equivalent umami concentration

收稿日期: 2014-09-19

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关项目 [沪农科攻字(2013)第6-10号]

作者简介: 李晓贝(1990-), 女, 研究生, 研究方向: 食品风味化学

通讯作者: 冯涛(1978-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品风味化学

杏鲍菇是近年来开发并成功实现工厂化栽培的珍稀食用菌新品种, 菇肉肥厚, 脆嫩可口, 烹饪时不会变形, 且具有杏仁的香味, 极受消费者欢迎, 有“平菇之王”的称号。李玉^[1]等人研究表明杏鲍菇出菇2~3 d

后对其进行人工疏蕾处理,留下2~3个子实体,最有利于工厂化瓶栽杏鲍菇的利润最大化。子实体采收后,为保证产品的整洁美观,需将根部进行一定程度的削减,如此产生的菇蕾及菇片(如图1)一般以低价售卖给食堂或其他餐饮场所。此外,由于杏鲍菇的生长周期较短,不能充分的吸收培养料的营养成分^[2],将杏鲍菇的废菌料用来培养其他食用菌已成为一种新的趋势,目前见于报道的以杏鲍菇废菌料为培养料组分的食用菌有高温香菇、金针菇等^[2~3]。

食用菌的美味主要来源于丰富多样的风味物质,主要有挥发性及非挥发性两类。非挥发性风味物质主要是一些可溶性单糖及糖醇、游离氨基酸、5'-核苷酸及有机酸等^[4]。食用菌令人称道的鲜味主要来源于呈味5'-核苷酸及呈鲜氨基酸,表征食用菌鲜味的等鲜浓度值(EUC)便是由此两类物质计算而得^[5]。杏鲍菇具有极高的食药价值,甚受消费者欢迎,近年来其工厂化生产规模迅速扩大,但是关于杏鲍菇的研究仍是集中于培养基的筛选和优化,对于杏鲍菇呈味物质的研究较少,市场上销售的杏鲍菇产品仍是以新鲜子实体为主,部分加工成罐头或者休闲食品,深加工产品极少。然而关于杏鲍菇下脚料菇蕾及菇片的营养成分和风味物质研究却未见报道,且杏鲍菇子实体生长前后培养料营养成分及呈味物质的变化亦未见详细报道。本文将对杏鲍菇成熟子实体及生产过程中采集的下脚料菇蕾、菇片以及废菌料的营养成分(包括总糖、粗蛋白、粗纤维、粗脂肪等)和非挥发性风味物质(包括可溶性糖、游离氨基酸、5'-核苷酸及有机酸等)进行检测,以探究杏鲍菇下脚料的营养价值及市场潜力,从而为其深加工提供理论依据,提高杏鲍菇工厂化生产的整体效益。



图1 杏鲍菇子实体及其下脚料图片

Fig.1 Images of fruit bodies and leftovers of *Pleurotus eryngii*

1 材料与方法

1.1 原料

杏鲍菇(国森1号)成熟子实体及其下脚料来自国森生物科技有限公司。

1.2 试剂与仪器

岩藻糖、鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、葡萄糖、甘露糖、果糖、木糖、核糖、甘露醇及海藻糖标准品,5'-核苷酸标准品购自美国Sigma公司;氨基酸标准品购自日本Wako公司;其他试剂均购自国药集团化学试剂有限公司。

ICS2500型离子色谱仪,CarboPac PA-20阴离子交换分析柱,CarboPac MA-1阴离子交换柱,美国Dionex公司;Waters 600高效液相色谱仪,美国Waters公司;L-8900氨基酸自动分析仪,日本Hitachi公司;Ultimate AQ-C18色谱柱,上海月旭材料科技有限公司;Green ODS-AQ C18色谱柱,上海易创仪器分析有限公司;Allegra 25 R高速冷冻离心机,美国Beckman公司;Synergy HT多功能微孔板酶标检测仪,美国Bio-Tek公司;旋转蒸发仪,瑞士BUCHI公司;HWS28型电热恒温水浴锅,DHG-9240A型鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;BF00A粉碎机,上海淀久机械制造有限公司;Milli-Q超纯水设备,美国Ultra公司。

1.3 试验方法

1.3.1 原料采集及预处理

选用工厂化的瓶栽杏鲍菇,在接种后需在暗处倒置培养35~40 d,之后进行搔菌处理,严格控制菇房温度、空气湿度及CO₂浓度,培养10 d左右翻框,此时开始出菇,7~8 d后子实体便可成熟采收。出菇时,选取几瓶培养瓶,去除菌皮后均匀的挖取一定量的培养料;收集出菇两天后疏蕾所产的全部菇蕾,不分大小;出菇7 d后采摘杏鲍菇成熟子实体,并收集削下的干净菇皮,同时选取采收后的培养瓶,去除菌皮后挖取废菌料。所采集的5部分样品均于采收当天通过鼓风干燥机50℃烘干至含水量低于10%,将烘干的样品分别粉碎过20目筛后置于干燥器中备用。

1.3.2 可溶性糖的检测

可溶性糖的提取参考Ajlouni等人^[6]的方法。精确称取500 mg杏鲍菇干粉,加入50 mL 80%乙醇,摇匀后于30℃摇床震荡45 min,抽滤。将滤渣用80%乙醇冲洗3次,取滤液于55℃真空旋转蒸发去除乙醇,超纯水定容至10 mL。将样品12000 r/min离心10 min后进行一定浓度的稀释,上清液过0.22 μm混合纤维素酯(MCE)微孔滤膜上机测试,所用设备为ICS2500型离子色谱仪。

可溶性糖的检测条件:单糖:CarboPac PA20阴离子交换分析柱(150 mm×3 mm i.d);柱温30℃;流动相为纯水和0.25 M NaOH,流速为0.45 mL/min,进样量25 μL;可溶性糖醇:CarboPac MA1阴离子交换

柱(4 mm×250 mm); 柱温 30 °C; 流动相为 0.48 mol/L NaOH, 流速为 0.4 mL/min, 进样量 25 μL。每个样品做 3 次平行试验。

1.3.3 有机酸的检测

准确称取 500mg 杏鲍菇干粉, 加入 50 mL 0.1 mol/L 盐酸, 60 °C 震荡 60 min 提取有机酸。待冷却后将提取液 12000 r/min 离心 15 min, 上清液过 0.22 μm MCE 微孔滤膜由 Waters 600 高效液相色谱仪检测。色谱条件: Green ODS-AQ C18 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相为 10 mmol/L KH₂PO₄ 缓冲盐, pH 值 2.8, 流速 1.0 mL/min; 紫外检测波长为 210 nm; 柱温 30 °C; 进样量 10 μL。通过标准品的出峰时间及峰面积建立的标准曲线计算样品中相应物质的含量, 每个样品做 3 次平行试验。

1.3.4 5'-核苷酸的检测

5'-核苷酸的提取参考 Taylor 等人^[7]的方法, 取杏鲍菇样品 1 g, 加入 25 mL 蒸馏水, 煮沸 1 min, 冷却至室温后于 12000 r/min 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。取定容后的上清液过 0.22 μm MCE 微孔滤膜, 由高效液相色谱仪(HPLC, Waters 600)进行风味 5'-核苷酸的检测。色谱条件为: 色谱柱: Ultimate AQ-C18 柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm), 流动相: KH₂PO₄ 缓冲液(pH 为 4.68, 浓度为 10 mmol/L), 259 nm 紫外扫描检测, 柱温 30 °C, 进样量 10 μL。通过标准品的出峰时间及峰面积建立的标准曲线计算样品中相应物质的含量, 每个样品做 3 次平行试验。

1.3.5 游离氨基酸的检测

取杏鲍菇样品 500 mg, 加入 30 mL 0.1mol/L 盐酸溶液(优级纯 HCl), 40 °C 超声 30 min, 冷却至室温后于 12000 r/min 离心 5 min。取 1mL 上清液与等体积的 5% 磺基水杨酸混合, 混合液 4 °C 放置 30 min 后在 10000 r/min 转速下 4 °C 离心 30 min。取上清液由 10 mol/L 氢氧化钠溶液调节 pH 至 2.0 左右后过 0.22 μm MCE 微孔滤膜上样, 由 L-8900 氨基酸自动分析仪检测游离氨基酸。

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, 具体指: 在 100 g 干重的食物中, 以谷氨酸钠的量来表示呈鲜物质的总量。由以下公式计算可得^[8]:

$$Y = \sum a_i b_i + 1218 \left(\sum a_i b_i \right) \left(\sum a_j b_j \right)$$

其中 Y 是 EUC 值, 单位是 g MSG/100 g; a_i 为呈鲜氨基

酸的含量[天冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)], 单位是 mg/g; a_j 为

呈鲜核苷酸的含量[5'-肌苷酸(5'-IMP)、5'-鸟苷酸(5'-GMP)、5'-黄苷酸(5'-XMP)、5'-腺苷酸(5'-AMP)], 单位是 mg/g; 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'-IMP 的值(5'-IMP=1、5'-GMP=2.3、5'-XMP=0.61、5'-AMP=0.18), 1218 为协同作用常数(浓度单位是 g/100g)。

1.3.7 数据分析

除水分含量外, 所有数据均是基于干品通过三次重复实验所得。所得数据由 SAS 8.2 软件通过一般线性模型(general linear model, GLM)进行显著性分析, 分析方法为邓肯多重范围检验(Duncan's multiple range tests), 显著性水平为 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 杏鲍菇子实体及其下脚料营养成分

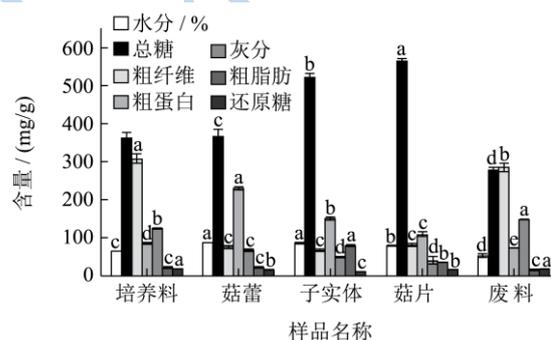


图 2 杏鲍菇子实体及其下脚料营养成分含量。不同字母的数据表示其相互之间具有显著性差异($p < 0.05$)

Fig.2 Nutrient contents in fruit bodies and leftovers of *Pleurotus eryngii*. The different letters indicate significant differences between the samples ($p < 0.05$)

由图 2 可知, 杏鲍菇新鲜子实体的水分含量高达 86%, 菇蕾与其接近, 而菇片稍低, 为 80%。与大多食用菌相似, 杏鲍菇菇蕾、子实体及菇片中主要的营养物质均为碳水化合物和蛋白质, 灰分及脂肪含量极低。杏鲍菇菇蕾中蛋白质含量是子实体的 1.5 倍, 总糖含量只有子实体的 70% 左右, 而 Barros 等人^[9]在松乳菇和白乳菇中则发现了相反的规律, 其蛋白质含量随着成熟度降低, 同时总糖含量升高。这种差异可能是不同种类的菌菇在生长过程中营养转化和组织结构构建的不同造成的。相对于菇蕾和子实体, 菇片有最低的粗蛋白含量及最高的粗纤维和总糖含量, 分别为 108.68 mg/g 及 81.50 mg/g, 565.53 mg/g。且菇蕾的粗纤维含量高于子实体。粗脂肪含量在子实体中最高,

为 79.99 mg/g, 是菇片的 2.27 倍, 菇蕾的 3.77 倍。而还原糖含量在子实体中最低, 菇蕾与菇片中相近, 灰分则在菇蕾中含量最高, 子实体与菇片中相近, 且菇片略低。子实体采收后, 培养料中粗蛋白、粗纤维、粗脂肪及总糖含量均有一定程度降低, 其中粗纤维及粗蛋白含量仅降低 7% 及 13%, 而总糖含量降低 23% 左右, 还原糖含量无显著变化。然而废料中灰分的含

量高于培养料。整体来讲, 菇蕾及菇片含有丰富的营养物质, 有极高的食用价值, 且废料中仍含有丰富的碳源、氮源, 具有循环利用的价值。

2.2 杏鲍菇子实体及其下脚料可溶性糖检测

结果

表 1 杏鲍菇子实体及其下脚料可溶性糖及糖醇含量

可溶性糖及糖醇		含量/(mg/g)				
		培养料	菇蕾	子实体	菇片	废料
海藻糖	Trehalose	21.49±4.20 ^{d*}	213.25±5.57 ^b	254.31±7.20 ^a	181.80±6.42 ^c	7.99±1.32 ^d
甘露醇	Mannitol	11.74±1.56 ^d	157.26±4.00 ^a	45.07±6.05 ^c	65.05±8.07 ^b	18.68±1.41 ^d
岩藻糖	Fucose	nd ^{**}	0.06±0.01 ^a	0.01±0.00 ^b	0.03±0.01 ^b	nd
鼠李糖	Rhamnose	0.04±0.01 ^a	0.07±0.01 ^a	0.04±0.01 ^a	0.05±0.01 ^a	0.06±0.03 ^a
葡萄糖	Glucose	1.65±0.20 ^{ab}	1.34±0.11 ^b	0.70±0.06 ^c	2.01±0.17 ^a	1.31±0.16 ^b
甘露糖	Mannose	0.33±0.09 ^b	0.23±0.02 ^b	0.12±0.02 ^c	0.50±0.02 ^a	0.58±0.09 ^a
果糖	Fructose	0.06±0.01 ^c	0.10±0.01 ^c	0.15±0.02 ^b	0.71±0.02 ^a	0.09±0.01 ^c
总量	Total	35.30±2.74 ^d	372.31±9.72 ^a	300.40±13.18 ^b	250.15±1.89 ^c	28.71±0.14 ^d

注: *所有数值均表示为: 平均值±标准偏差SD(重复次数n=3); 相同字母的数据表示其相互之间无显著性差异($p<0.05$)。** nd: 未检测到。

食用菌中小分子可溶性糖是其甜味的主要来源, 但并不是食用菌特有的风味。由表 1 可知, 杏鲍菇菇蕾、子实体及菇片可溶性糖总量差别显著, 以菇蕾最高, 而菇片最低。其中海藻糖在三者中含量均为最高, 占可溶性糖总量的 50% 以上, 且在子实体中含量显著高于另外二者。因其温和的甜度、稳定的性能及良好的保湿效果, 海藻糖近些年来常被添加于食品或饮料中以提高其品质^[10]。甘露醇是唯一检测到的糖醇, 在三者中含量为 45.07~157.26 mg/g, 其中菇蕾中含量最高, 是子实体的 3 倍以上, 菇片的 2 倍以上。相较于出菇前的培养料, 废料中海藻糖含量会显著性降低, 而甘露醇含量会有一定程度升高。

五种样品中含量最高的可溶性单糖均为葡萄糖, 且菇片中鼠李糖、葡萄糖、甘露糖及果糖含量为五者中最高, 而子实体中各可溶性单糖含量都相对较低。除菇片外, 甘露糖在其余四者中的含量均仅次于葡萄糖, 为 0.12~0.58 mg/g, 以废料中最高而子实体中最低。果糖在菇片中的含量仅次于葡萄糖, 比海藻糖略高, 且其在菇片中的含量显著高于其他样品。岩藻糖和鼠李糖在各样品中含量均很低, 培养料及废料中甚至没有检测到岩藻糖。

2.3 杏鲍菇子实体及其下脚料有机酸检测

表 2 杏鲍菇子实体及其下脚料有机酸含量

可溶性糖及糖醇		含量/(mg/g)				
		培养料	菇蕾	子实体	菇片	废料
酒石酸	Tartaricacid	nd [*]	0.62±0.10 ^{ab**}	1.51±0.54 ^a	0.25±0.15 ^b	nd
苹果酸	Malicacid	nd	43.97±6.76 ^a	25.01±2.04 ^b	27.83±5.64 ^{ab}	nd
乙酸	Aceticacid	69.46±3.40 ^a	25.76±3.73 ^b	72.42±4.45 ^a	13.30±0.61 ^c	4.60±1.37 ^d
柠檬酸	Citricacid	2.19±0.62 ^c	8.93±1.12 ^a	7.33±1.60 ^{ab}	5.85±1.28 ^b	2.47±0.63 ^c
富马酸	Fumaricacid	0.31±0.20 ^c	3.30±0.83 ^a	1.49±0.53 ^{bc}	1.78±0.61 ^b	0.16±0.08 ^c
总量	Total	71.96±2.98 ^b	82.58±1.18 ^b	107.8±5.0 ^a	49.01±7.06 ^c	7.23±0.66 ^d

注: * nd: 未检测到。 **所有数值均表示为: 平均值±标准偏差SD(重复次数n=3); 相同字母的数据表示其相互之间无显著性差异($p<0.05$)。

由表 2 可知杏鲍菇及其培养料中共检测到酒石酸、苹果酸、乙酸、柠檬酸及富马酸 5 种有机酸, 但培养料和废料中未检测到酒石酸和苹果酸。苹果酸和乙酸是杏鲍菇菇蕾、子实体及菇片中含量较丰富的有机酸, 分别为 25.01~43.97 mg/g 和 13.30~72.42 mg/g, 其中苹果酸在菇蕾中含量最高, 而乙酸在子实体中的含量显著高于另外二者。其次含量较高的是柠檬酸, 在三者中含量差别不显著, 菇片中较低, 为 5.85 mg/g。富马酸在三者中的含量为 1.49~3.30 mg/g, 菇蕾中较高。酒石酸是所检测到有机酸中含量最低的, 以菇片中最少, 为 0.25 mg/g。总体来讲, 除乙酸外, 菇蕾中

各有有机酸含量均较子实体高, 而菇片中相对较低, 可见杏鲍菇的成熟度及子实体的部位对其有机酸的含量是有影响的。

经过子实体的发育成长, 培养料中乙酸含量有显著性降低, 其在废料中的含量仅为培养料中的 6.7% 左右, 消耗的乙酸可能用于子实体的生长, 而柠檬酸及富马酸的含量变化不显著。

2.4 杏鲍菇子实体及其下脚料游离氨基酸、5'-核苷酸及 EUC 值结果

表 3 杏鲍菇子实体及其下脚料游离氨基酸及 5'-核苷酸含量

Table 3 Contents of free amino acids and 5'-nucleotides in fruit bodies and leftovers of *Pleurotus eryngii*

氨基酸及 5'-核苷酸		含量/(mg/g)				
		培养料	菇蕾	子实体	菇片	废料
氨基酸						
天冬氨酸	Asp	0.12±0.02 ^{ab}	0.77±0.08 ^a	0.71±0.09 ^a	0.42±0.05 ^b	0.05±0.01 ^c
苏氨酸	Thr	0.07±0.00 ^c	2.17±0.26 ^a	0.54±0.03 ^b	0.67±0.13 ^b	0.06±0.01 ^c
丝氨酸	Ser	0.13±0.02 ^{cd}	0.78±0.12 ^a	0.59±0.09 ^b	0.31±0.04 ^c	0.08±0.01 ^d
谷氨酸	Glu	0.39±0.00 ^c	2.78±0.38 ^a	3.25±0.30 ^a	1.59±0.13 ^b	0.23±0.01 ^c
甘氨酸	Gly	0.06±0.01 ^{cd}	0.57±0.08 ^a	0.35±0.07 ^b	0.23±0.11 ^{bc}	0.04±0.00 ^d
丙氨酸	Ala	0.27±0.05 ^d	1.80±0.10 ^a	1.17±0.14 ^b	0.90±0.11 ^c	0.16±0.01 ^d
缬氨酸	Val	0.07±0.01 ^c	1.11±0.18 ^a	0.52±0.06 ^b	0.35±0.06 ^b	0.09±0.01 ^c
半胱氨酸	Cys	0.04±0.00 ^b	0.45±0.09 ^a	0.11±0.02 ^b	0.32±0.12 ^a	0.03±0.01 ^b
甲硫氨酸	Met	0.01±0.00 ^a	0.03±0.01 ^a	0.04±0.01 ^a	0.02±0.02 ^a	0.01±0.00 ^a
异亮氨酸	Ile	0.05±0.00 ^d	0.61±0.11 ^a	0.44±0.02 ^b	0.21±0.04 ^c	0.05±0.00 ^d
亮氨酸	Leu	0.07±0.01 ^c	1.17±0.22 ^a	0.60±0.04 ^b	0.45±0.09 ^b	0.08±0.01 ^c
酪氨酸	Tyr	0.02±0.01 ^c	0.92±0.12 ^a	0.48±0.01 ^b	0.38±0.05 ^b	0.02±0.00 ^c
苯丙氨酸	Phe	0.05±0.00 ^d	0.89±0.12 ^a	0.45±0.05 ^b	0.28±0.05 ^c	0.05±0.01 ^b
色氨酸	Trp	0.02±0.01 ^b	0.17±0.07 ^a	0.16±0.01 ^a	0.02±0.03 ^b	0.02±0.01 ^b
赖氨酸	Lys	0.12±0.01 ^c	0.95±0.14 ^a	0.77±0.05 ^a	0.31±0.08 ^b	0.05±0.01 ^c
组氨酸	His	0.04±0.01 ^b	0.38±0.08 ^a	0.24±0.01 ^a	0.24±0.10 ^a	0.02±0.00 ^b
精氨酸	Arg	2.53±0.13 ^a	1.13±0.11 ^b	0.86±0.07 ^c	0.39±0.09 ^d	0.34±0.03 ^d
脯氨酸	Pro	0.01±0.00 ^b	0.54±0.08 ^a	0.40±0.08 ^a	0.19±0.08 ^b	nd ^{**}
必需氨基酸 ^{***}		0.46±0.01 ^d	7.73±0.06 ^a	3.52±0.15 ^b	2.65±0.09 ^c	0.40±0.02 ^d
总量		4.08±0.22 ^d	17.21±0.33 ^a	11.81±0.19 ^b	7.28±0.49 ^c	1.36±0.08 ^e
呈味 5'-核苷酸						
5'-鸟苷酸	5'-GMP	nd	0.22±0.04 ^b	0.19±0.01 ^b	0.35±0.05 ^a	nd
5'-腺苷酸	5'-AMP	nd	0.51±0.06 ^b	0.85±0.07 ^a	0.86±0.07 ^a	nd
总量		-	0.73±0.02 ^b	1.04±0.08 ^a	1.21±0.12 ^a	-
等鲜浓度值						
EUC(gMSG/100g 干物质)		0.04±0.00 ^c	21.07±0.19 ^{ab}	24.10±0.82 ^a	19.05±4.07 ^b	0.02±0.00 ^c

注: ^a所有数值均表示为: 平均值±标准偏差SD(重复次数n=3); 相同字母的数据表示其相互之间无显著性差异(p<0.05)。^{**}nd:未检测到。^{***}必需氨基酸: Thr+Val+Met+Ile+Leu+Phe+Trp+Lys。

游离氨基酸是食用菌中重要的鲜味活性物质。由

表 3 可知, 18 种常见游离氨基酸的总量在杏鲍菇菇片、

子实体、菇蕾中呈递增趋势,为 7.28~17.21 mg/g, 8 种必需氨基酸总量具有相同趋势,含量为 2.65~7.73 mg/g。培养料相对于废料其游离氨基酸总量有显著性降低,而必需氨基酸总量无显著变化。

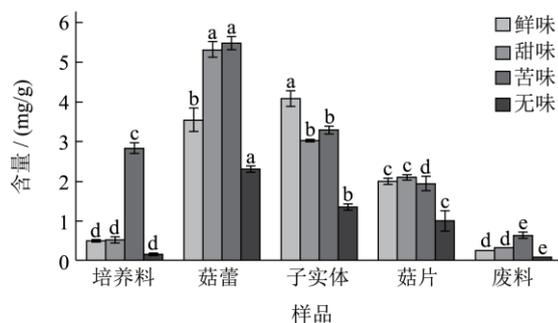


图3 杏鲍菇子实体及其下脚料常见氨基酸呈味特性

Fig.3 Taste and flavor characteristics of common free amino acids in fruit bodies and leftovers of *Pleurotus eryngii*

注: 其中各氨基酸按呈味特性分类如下, 鲜味: Asp+Glu; 甜味: Thr+Ser+Gly+Ala+Pro; 苦味: Val+Met+Ile+Leu+Phe+Trp+His+Arg; 无味: Cys+Tyr+Lys。相同字母的数据表示其相互之间无显著性差异($p < 0.05$)。

根据氨基酸的呈味特性将其分为鲜味、甜味、苦味及无味四种类型^[11], 如图3所示。谷氨酸与食盐结合形成的L-谷氨酸钠(MSG)是鲜味的代表物质,也是味精的主要成分,虽然天冬氨酸钠盐的鲜味程度低于MSG的10%,但是仍具有明显的鲜味,通常把天冬氨酸和谷氨酸均归类为鲜味氨基酸^[12],二者在杏鲍菇菇蕾及子实体中含量相近,在菇片中稍低,而鲜味氨基酸的总量以子实体中较高;甜味、苦味及无味氨基酸的总量则在杏鲍菇菇蕾、子实体、菇片中递减。丙氨酸是重要的甜味氨基酸,与谷氨酸等鲜味物质相互作用会有提鲜效果,含量为0.90~1.80 mg/g,趋势与甜味氨基酸总量相同。培养料向废料的转变过程中苦味氨基酸总量下降最显著,这种降低主要是由其所含的精氨酸造成的,培养料中的精氨酸含量是废料中的7倍以上,且比杏鲍菇菇蕾中的含量高2倍以上。培养料中鲜味、甜味及无味氨基酸的总量亦有一定程度的降低。

与Li^[13]等人的研究结果相似,杏鲍菇中只检测到5'-GMP及5'-AMP两种对鲜味有贡献的5'-核苷酸。其中5'-GMP含量为0.19~0.35 mg/g,在菇片中最高,子实体中最低,而其培养料及废料中3种5'-核苷酸均未检测到。5'-肌苷酸钠(IMP)与谷氨酸钠(monosodium glutamate, MSG)有鲜味协同作用,少量IMP加入MSG中即可有强烈的增鲜效果,最高

可达到单独使用MSG 7倍左右的鲜味程度,而5'-鸟苷酸钠(GMP)与MSG有更强烈的增鲜协同作用,其增鲜程度最高可达到单独使用MSG的30倍^[14]。5'-腺苷酸(5'-AMP)对食用菌鲜味也有一定贡献,但是相较于5'-IMP及5'-GMP较低,由等鲜浓度值(EUC)的计算公式可以看出,5'-AMP相对5'-IMP的鲜味值只有0.18,其在杏鲍菇子实体及菇片中含量相差不大,而在菇蕾中较低,为0.51~0.86 mg/g。

根据EUC值的定义可以看出:1g杏鲍菇菇片、菇蕾及子实体呈现的鲜味相当于0.19g,0.21g及0.24g MSG,三者无显著差异。

整体来讲,杏鲍菇子实体的成熟度及其部位对所含游离氨基酸和5'-核苷酸的含量均有一定影响,尤其是鲜味物质,但是相应物质的变化趋势却与文献报道的姬松茸、草菇、松茸等其他食用菌有所差异,不同种类的食用菌子实体在生长过程中游离氨基酸及5'-核苷酸的变化并无统一的规律^[12]。

3 结论

3.1 本研究对杏鲍菇子实体及其相应下脚料菇蕾、菇片、废料的营养成分及呈味物质进行了分析检测。研究结果显示:相对于培养料,废料中主要营养物质纤维、蛋白质及总糖含量有一定程度降低,但仍具有极高的应用价值,如其中蛋白质含量为73.77±1.54 mg/g,只下降了13%左右;除甘露醇的含量上升了近60%以外,子实体采收后培养料中各呈味物质的含量均有一定下降,其中以海藻糖、乙酸及精氨酸含量降低最为显著。相对于杏鲍菇子实体,菇蕾有最高的粗蛋白含量及最低的总糖含量,菇片与之相反,且菇片中粗纤维含量最高。除海藻糖、果糖、乙酸及谷氨酸外,菇蕾中各呈味物质的含量均比杏鲍菇子实体中较高,尤其是甘露醇,且其中所含必需氨基酸总量亦显著高于子实体。而菇片中5'-鸟苷酸及各可溶性单糖含量除岩藻糖外均比杏鲍菇子实体及菇蕾高,半胱氨酸含量高于子实体而低于菇蕾,其他各呈味物质含量均低于或者接近于子实体中的含量。杏鲍菇子实体的等鲜浓度值最高,为24.10 g MSG/100 g,菇蕾次之,菇片最低。

3.2 由研究结果可以看出,杏鲍菇废料仍含有丰富的碳源、氮源,具有极高的回收再利用价值。杏鲍菇菇蕾及菇片也含有不亚于子实体的营养价值,但受限于其外形直接售卖经济价值远低于子实体,可对其进行深加工,替代杏鲍菇子实体提取海藻糖、多糖等功能物质、生产菇酱或食用菌复合调味料,充分利用其丰富的营养价值及鲜美滋味,全方面提高工厂化生产杏

鲍菇的经济效益。

参考文献

- [1] 李玉,于海龙,周峰,等.工厂化瓶栽杏鲍菇疏蕾研究[J].上海农业学报,2011,27(1):52-54
LI Yu, YU Hai-Long, ZHOU Feng, et al. Studies on thinning buttons of *Pleurotus eryngii* during factory bottle cultivation. [J]. Acta Agriculture Shanghai, 2011, 27(1): 52-54
- [2] 陈有新,陈金良,陈有芳,等.利用杏鲍菇废菌料栽培高温香菇实验[J].浙江食用菌,2008,16(2):39-40
CHEN You-Xing, CHEN Jin-Liang, CHEN You-Fang, et al. Cultivation of high temperature *Lentinula edodes* used waste materials of *Pleurotus eryngii* [J]. Edible Fungi of Zhejiang, 2008, 16(2): 39-40
- [3] 韦强,黄漫青.杏鲍菇菌渣栽培金针菇配方试验[J].食用菌,2010,3:29-30
WEI Qiang, HUANG Man-Qing. Cultivation of *Flammulina velutipes* used waste materials of *Pleurotus eryngii* [J]. Edible Fungi, 2010, 3: 29-30
- [4] Cho I H, Choi H K, Kim Y S. 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
- [5] Yamaguchi, Yoshikawa, Ikeda, et al. Measurement of the relative taste intensity of some α -amino acid and 5'-nucleotides [J]. Journal of Food Science, 1971, 36 (6): 846-849
- [6] Ajlouni S O, Beelman D B, Thompson D B, et al. Changes in soluble sugars in various tissues of cultivated mushrooms, *Agaricus Bisporus*, during postharvest storage [C]// Food flavors.: Generation, Analysis and Process Influence, Proceedings of the 8th International Flavor Conference. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Sci. Publ, 1995: 1865-1880
- [7] Taylor M W, Hershey R A, Levine R A. Improved method of resolving nucleotides by reverse-phase high performance liquid chromatography [J]. Journal of Chromatography A, 1981, 219: 133-139
- [8] Yamaguchi S, Yoshikawa T, Ikeda S, et al. Measurement of the relative taste intensity of some α -amino acid and 5'-nucleotides [J]. Journal of Food Science, 1971, 36: 84
- [9] Barros L, Baptista P, Estevinho L, et al. Effect of fruiting body maturity stage on chemical composition and antimicrobial activity of *Lactarius* sp. Mushrooms [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(21): 8766-8771
- [10] Galmarini M V, Baeza, R, Sanchez V, et al. Comparison of the viscosity of trehalose and sucrose solutions at various temperatures: Effect of guar gum addition [J]. LWT - Food Science and Technology, 2011, 44: 186-190
- [11] Li W, Gu Z, Yang Y, et al. Non-volatile taste components of several cultivated mushrooms [J]. Food Chemistry, 2014, 143: 427-431
- [12] Zhang Y, Venkatasamy C, Pan Z L, et al. Recent developments on umami ingredients of edible mushrooms-A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2013,33 (2): 78-92
- [13] 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
- [14] 杜琨,张亚宁,方多.呈味核苷酸及其在食品中的应用[J].中国酿造,2005,151(10):50-52
DU Kun, ZHANG Ya-Ning, FANG Duo. Flavor nucleotides and their application in food [J]. China Brewing, 2005, 151(10): 50-52