

五种云南野生食用菌中非挥发性的主要呈味物质比较研究

王逍君¹, 谷大海¹, 王雪峰¹, 和劲松¹, 周颖², 万长江³, 范江平¹, 葛长荣¹

(1. 云南农业大学食品科技学院, 云南昆明 650201) (2. 云南卓一食品有限公司, 云南江川 650032)

(3. 云南大理农林职业技术学院, 云南大理 671003)

摘要: 采用高效液相色谱仪及全自动氨基酸分析仪对黑牛肝菌、黄牛肝菌、鸡枞菌、干巴菌、松茸菌等5种云南野生食用菌品种进行肌苷酸、氨基酸总量及游离氨基酸含量比较分析, 结果表明, 黑牛肝菌中肌苷酸含量最高, 达1326.48 $\mu\text{g/g}$, 显著高于干巴菌(890.98 $\mu\text{g/g}$)、松茸菌(513.83 $\mu\text{g/g}$) ($p < 0.05$)。5种云南野生食用菌均含17种氨基酸, 氨基酸总量在不同品种间差异性显著 ($p < 0.05$), 鸡枞菌的氨基酸总量达158.06 mg/g , 并显著高于其它四种菌 ($p < 0.05$), 其次是黑牛肝菌(112.26 mg/g); 五种野生菌中必需氨基酸占总氨基酸的比例均在40%以上, 氨基酸配比合理, 5种云南野生食用菌均属优质蛋白; 另外, 鸡枞菌的风味氨基酸含量最高, 其中鲜味游离氨基酸含量达9.35 mg/g , 显著高于其它菌种, 其次是黄牛肝菌(5.11 mg/g)。5种云南野生食用菌呈味物质含量丰富, 其应用于食品调味料产品具有较好的前景。

关键词: 云南野生食用菌; 非挥发呈味物质; 肌苷酸; 氨基酸

文章编号: 1673-9078(2016)3-306-312

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.3.047

Non-volatile Flavor Substances in Five Kinds of Yunnan Wild Edible Mushrooms

WANG Xiao-jun¹, GU Da-hai¹, WANG Xue-feng¹, HE Jin-song¹, ZHOU Yin², WAN Chang-jiang³, FAN Jiang-ping¹, GE Chang-rong¹

(1. Faculty of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

(2. Yunnan Zhuoyi Food Company Limited, Jiangchuan 650032, China)

(3. Dali Vocational College of Agriculture and Forestry, Dali 671003, China)

Abstract: The levels of inosinic acid, total amino acids, and free amino acids in five varieties of Yunnan wild edible mushrooms—*Boletus aereus*, *Cantharellus cibarius*, *Termitomyces albuminosus* (Berk) Heim, *Thelephora ganbajum* zang, and *Tricholoma matsutake* (Ito et Imai) Singer—were determined by high-performance liquid chromatography (HPLC) and an amino acid analyzer. *Boletus aereus* contained the highest level of inosinic acid (1326.48 $\mu\text{g/g}$), significantly higher than those of *Thelephora ganbajum* zang (890.98 $\mu\text{g/g}$) and *Tricholoma matsutake* (Ito et Imai) Singer (513.83 $\mu\text{g/g}$) ($p < 0.05$). Seventeen amino acids were found in the five types of mushrooms, and significant differences in total amino acids were found among the types of mushrooms ($p < 0.05$). The level of total amino acids in *Termitomyces albuminosus* (Berk) Heim was 158.06 mg/g ; significantly higher than those of the other four mushrooms ($p < 0.05$). *Boletus aereus* contained the second-highest level of total amino acids (112.26 mg/g). The essential amino acids in the five wild mushrooms accounted for more than 40% of total amino acids, and the ratio of amino acids was reasonable. In addition, *Termitomyces albuminosus* (Berk) Heim showed the highest level of flavor amino acids. Its free flavor amino acid content was 9.35 mg/g , which was significantly higher than that of the other mushrooms. The second-highest free flavor amino acid content was found in *Cantharellus cibarius* (5.11 mg/g). In conclusion, flavor substances were abundant in five Yunnan wild edible mushrooms, making them good prospects for use in food seasoning products.

Key words: yunnan wild edible mushroom; non-volatile flavor substances; inosinic acid; amino acid

收稿日期: 2015-04-15

基金项目: 云南省省院省校科技合作专项(2013IB010)

作者简介: 王逍君(1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 畜产品加工与品质

通讯作者: 范江平(1972-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品科学

我国是野生食用菌资源最丰富的国家之一,尤以云南野生食用菌种类最多,生物量最大,数量和自然产量居世界首位。其中的一些野生菌在云南分布较广,如鸡枞菌(*Termitomyces albuminosus* (Berk) Heim),属担子菌纲,在中国仅西南、东南省及台湾的一些地区产出,而且以云南所产最多;干巴菌(*Thelephora ganbajum* zang),属层菌纲,绣球菌科,主要生长在滇中及滇西的山林松树间,是云南特有的珍稀野生食用菌;松茸菌(*Tricholoma matsutake* (Ito et Imai) Singer),属担子菌纲,口蘑属,具有独特的浓郁香味,是世界上珍稀名贵的天然药用菌,具有抗衰老^[1]、降血脂^[2]等多种功效,云南的鲜松茸出口量占全国总产量的80%以上^[3];黑牛肝菌和黄牛肝菌均属牛肝菌(*Boletus*),属层菌纲,在云南各地均有分布,因其产量高、风味独特、营养丰富而大量出口,极受欢迎。

野生菌菇肉质结实,香气浓郁,口感各异,其中非挥发性的滋味物质主要是氨基酸、核苷酸、碳水化合物和一些无机离子等水溶性小分子物质。氨基酸是人体生命活动的重要物质,具有多种生理功能,同时也是重要的呈味物质。菌类中除含有呈味氨基酸外,还有较多的核苷酸类呈味物质,具有鲜味的核苷酸类有鸟苷酸(GMP)、肌苷酸(IMP)、黄苷酸(XMP),鸟苷酸在食用菌中含量丰富,是重要的呈鲜核苷酸之一。另外,肌苷酸也是食用菌子中重要的呈鲜味核苷酸之一,对食用菌的呈鲜味也具有重要的贡献作用,5'-肌苷酸的水溶液即使在比较低的浓度下,也可起到呈味作用。目前对野生食用菌中肌苷酸测定的报道还不多,对云南省野生菌的呈香呈味物质的研究还较少。本文对黑牛肝菌、黄牛肝菌、干巴菌、松茸菌和鸡枞菌等五种云南野生食用菌中非挥发性的主要呈味物质肌苷酸、氨基酸进行分析测试,旨在为更好的开发利用云南野生食用菌资源以及为其进行深加工提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

黑牛肝菌、黄牛肝菌、鸡枞菌、松茸菌和干巴菌等五种样品均购于云南省玉溪市易门县。样品经70℃烘干至恒重,用打粉机打粉后置于干燥器中保存备用。

1.2 主要仪器和试剂

Agilent 1200型高效液相色谱仪,美国安捷伦公司;日立 L8800全自动氨基酸分析仪,日本 Hitachi 公司;FE20型pH计,梅特勒-托利多仪器有限公司;

PL303型分析天平,梅特勒-托利多仪器有限公司;101型电热鼓风干燥箱,北京中兴伟业仪器有限公司;HH-S114型电热恒温水浴锅,金坛市华特实验仪器有限公司。

无水乙酸钠、氢氧化钠、高氯酸、盐酸,均为分析纯;甲醇、三乙胺、磷酸、冰醋酸、乙腈、苯酚,均为色谱纯;肌苷酸标品(纯度≥99%),美国 Sigma 公司。

1.3 测定方法及步骤

1.3.1 肌苷酸含量测定

样品制备:取适量样品于玻璃匀浆器中,用3.5%高氯酸匀浆、洗涤,静置30 min后,移取上清液10 mL,用0.5 mol/L 氢氧化钠调pH=6.5,用水定容至50 mL,取1 mL过膜,待上机。

色谱条件:流动相 取3.5 mL 磷酸,加入7 mL 三乙胺摇匀,用超纯水定容至1000 mL,调pH=6.5,临用时加5%甲醇,0.45 μm 滤膜过膜。C18硅胶反相柱(4.6×150 mm, 5 μm);柱温:20℃;检测波长:256 nm;流速:1 mL/min;进样量:20 μL;分析时间:10 min。

1.3.2 总氨基酸含量测定

样品制备:准确称取适量样品于安瓿管中,加入10 mL 含0.1%苯酚的6 mol/L 盐酸,震荡使样品均匀分散于溶液中,将安瓿瓶置-20℃冰箱中冷冻3~5 min,充氮后用喷灯熔封,在110℃烘箱中水解24 h,取出冷却,取水解液1 mL,至浓缩管中浓缩仪浓缩至干,加入1 mL 的0.1 mol/L 稀盐酸溶解,用0.45 μm 滤膜过膜后,取清液贮于冰箱中,供衍生使用。

色谱条件:色谱柱为 Venusil AA 氨基酸分析柱(4.6×250 mm, 5 μm);流动相 A 液:称取12.5 g 无水乙酸钠,加水1850 mL,溶解后用冰醋酸调pH至6.5,然后加乙腈140 mL,混匀,用0.45 μm 滤膜过膜。流动相 B 液:80%乙腈水溶液,0.45 μm 滤膜过膜。柱温:40℃;检测波长:254 nm;流速:1 mL/min;进样量:10 μL;分析时间:45 min。洗脱梯度见表1

1.3.3 游离氨基酸的测定

样品制备及测定:准确称取样品粉末1.00 g于容量瓶中,加入5%磺基水杨酸,定容至刻度,超声30 min,过滤,经高速离心机10000 r/min 离心10 min,取上清液过0.45 μm 微孔滤膜,上样于日立 L8800全自动氨基酸分析仪进行游离氨基酸测定分析。

1.4 数据分析

样品核苷酸含量以 μg/g 以干重计,氨基酸含量以 mg/g 以干重计,数据采用 spss.17 的 Duncan 法测验对

样品的数值进行方差分析。然后检验各个组分之间在 $p < 0.05$ 水平上是否存在差异显著性。

表 1 流动相洗脱梯度表

Table 1 Gradient elution program for the mobile phase

时间/min	B/%
0	0
2	0
15	10
20	30
33	45
33.1	100
38	100
38.1	0
45	0

2 结果与分析

2.1 五种云南野生食用菌肌苷酸的含量比较

肌苷酸也是食用菌子中重要的呈味核苷酸之一，在比较低的浓度下就表现出呈味效果，有文献报道肌苷酸在水溶液中只要有0.012%~0.025%的量存在即起到呈味作用^[4]，利用高效液相色谱仪（HPLC）对黑牛肝菌、黄牛肝菌、鸡枞菌、干巴菌和松茸菌5种云南野生食用菌进行肌苷酸分析（图2），结果表明（见表2），黑牛肝菌肌苷酸含量最高，达1326.48 $\mu\text{g/g}$ ，其次是黄牛肝菌（1239.91 $\mu\text{g/g}$ ）、鸡枞菌（1207.32 $\mu\text{g/g}$ ）、干巴菌（890.98 $\mu\text{g/g}$ ）、松茸菌（513.83 $\mu\text{g/g}$ ）。肌苷酸的含量显示黑牛肝菌、黄牛肝菌、鸡枞菌的含量显著高于干巴菌和松茸菌（ $p < 0.05$ ）。氨基酸类鲜味成分含量在阈值以下时，其鲜味是潜在的，只要添加少量的5'-核苷酸，就可提到阈值以上从而发挥增鲜效果^[5]，由此表明，5种野生食用菌中的鲜美味道与肌苷酸的增鲜效果是分不开的。

表 2 云南野生食用菌肌苷酸含量（单位： $\mu\text{g/g}$ ）

Table 2 Levels of inosinic acid in five Yunnan wild edible mushrooms

野生菌种	黑牛肝菌	黄牛肝菌	鸡枞菌	干巴菌	松茸菌
肌苷酸含量	1326.48 \pm 102.47 ^a	1239.91 \pm 83.69 ^a	1207.32 \pm 59.47 ^a	890.98 \pm 46.61 ^b	513.83 \pm 86.41 ^c

注：同一行上标相同字母者差异不显著（ $p > 0.05$ ），同一行上标不同字母者差异显著（ $p < 0.05$ ）。

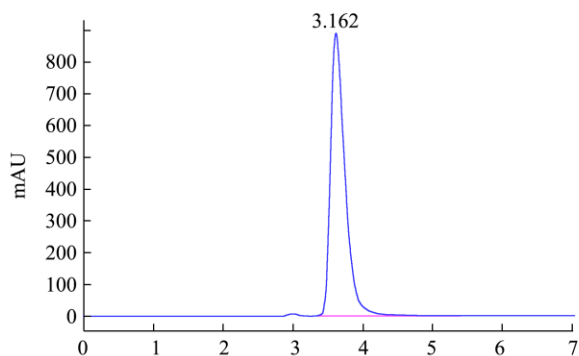


图1 肌苷酸标品色谱图

Fig.1 Chromatogram of inosinic acid standard

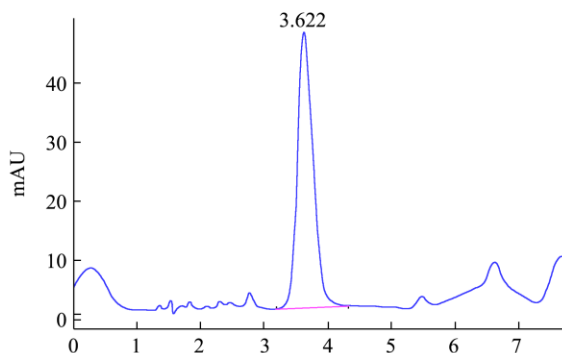


图2 肌苷酸样品图谱

Fig.2 Chromatogram of one inosinic acid sample

2.2 五种云南野生食用菌总氨基酸含量及组成

将17种氨基酸混合标准液和黑牛肝菌、黄牛肝菌、鸡枞菌、干巴菌、松茸菌酸水解后滤液分别向Agilent 1200型高效液相色谱仪进样10 μL ，17种氨基酸得到较好分离（见图3、4），符合分析要求（本实验采用酸水解法，必需氨基酸之一的色氨酸受影响较大，所以不做色氨酸分析）。

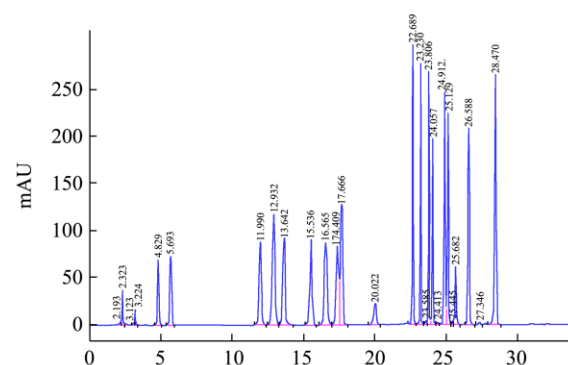


图 3 标品氨基酸图谱图

Fig.3 Chromatogram of amino acid standards

对黑牛肝菌、黄牛肝菌、鸡枞菌、干巴菌和松茸

菌5种云南野生食用菌氨基酸分析,从表3可看出,就氨基酸总量而言,鸡枞菌的氨基酸含量最高,达158.06 mg/g,并显著高于黑牛肝菌(112.26 mg/g)、黄牛肝菌(107.71 mg/g)、干巴菌(88.05 mg/g)、松茸(54.81 mg/g)($p < 0.05$)。就必需氨基酸和非必需氨基酸而言,鸡枞菌分别达63.27 mg/g、94.79 mg/g,均显著高于其他种类,这与邹立扣等^[6]在鸡枞中的测定基本一致。

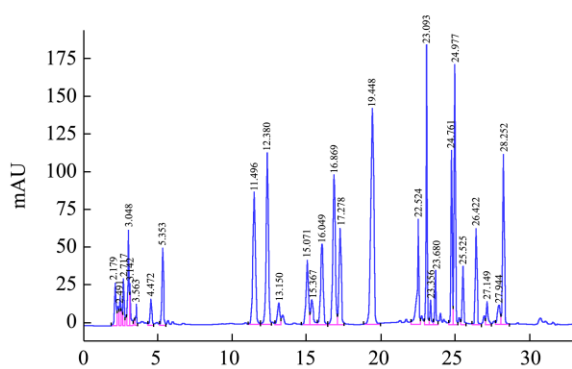


图4 样品氨基酸图谱

Fig.4 Chromatogram of amino acid samples

图3、图4为根据上述方法分析的氨基酸图谱,出峰顺序为: Aep(天冬氨酸)、Glu(谷氨酸)、Ser(丝氨酸)、Gly(甘氨酸)、His(组氨酸)、Arg(精氨酸)、Thr(苏氨酸)、Ala(丙氨酸)、Pro(脯氨酸)、Tyr(酪氨酸)、Val(缬氨酸)、Met(蛋氨酸)、Cys(胱氨酸)、Leu(亮氨酸)、Ile(异亮氨酸)、Phe(苯丙氨酸)、Lys(赖氨酸)

2.3 五种云南野生食用菌 17 种氨基酸的含量比较

对黑牛肝菌、黄牛肝菌、鸡枞菌、干巴菌和松茸菌5种云南野生食用菌的17种氨基酸分析表明(表3),17种氨基酸的含量分布为0.41 mg/g~22.62 mg/g。在所测17种氨基酸中,各种氨基酸的含量均显示出部分菌种间的差异($p < 0.05$)。鸡枞菌的谷氨酸、丝氨酸、组氨酸、甘氨酸、精氨酸、丙氨酸、苏氨酸、脯氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、络氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸等14种氨基酸的含量都是最高的,其中有6种为必需氨基酸。天冬氨酸和胱氨酸的含量以黑牛肝最高;蛋氨酸的含量在黄牛肝菌中最高。

五种野生食用菌脯氨酸、谷氨酸和丝氨酸的含量较高,这几类氨基酸比常见的花、茎、叶、瓜果蔬菜及水果类氨基酸含量高许多^[7]。

值得提出的是,精氨酸含量在5种野生食用菌中也均较高,鸡枞菌最高达12.73 mg/g,其次为黑牛肝菌(9.51 mg/g)、松茸最低为5.08 mg/g。精氨酸是尿

素循环途径中重要的代谢产物之一,对消除氮的毒害作用具有重要意义^[8],可促进新陈代谢,有利于身体健康,同时还抗肿瘤、治疗肾衰竭等免疫功能^[9-10],精氨酸对促进婴幼儿的智力发育和身体发育也起着重要作用。

2.4 五种云南野生食用菌必需氨基酸的种类与含量

现代营养学研究表明,食物蛋白质的营养价值不但取决于该食物蛋白质的含量,同时取决于该食物所含氨基酸的组成与比例,尤其是必需氨基酸的组成与比例。

由表3可见,五种云南野生食用菌均含人体所需的7种必需氨基酸。鸡枞菌的必需氨基酸总量最高,达63.27 mg/g,其次是黑牛肝菌(45.38 mg/g)、黄牛肝菌(44.22 mg/g)、干巴菌(39.15 mg/g)、松茸菌(22.24 mg/g)。鸡枞菌显著高于黑牛肝菌、黄牛肝菌、干巴菌和松茸菌($p < 0.05$)。

采用1973年世界卫生组织(WHO)和联合国粮农组织(FAO)提出的蛋白质营养价值必需氨基酸模式^[11],根据FAO/WHO提出的理想蛋白条件:构成蛋白质的几种必需氨基酸E/T(必需氨基酸占总氨基酸的百分比)值应达40%左右;E/N(必需氨基酸与非必需氨基酸的比值)值应达0.6以上。对五种野生食用菌蛋白质质量进行评价,主要依据蛋白质的氨基酸构成,特别是必需氨基酸的含量和构成比例进行分析评价,并与称之为含有最优质蛋白的全鸡蛋蛋白进行了比较,结果见表3。可见,干巴菌、松茸菌、黑牛肝菌、鸡枞菌、黄牛肝菌中必需氨基酸的E/T值和E/N值分别为44.46%、0.80;40.21%、0.67;40.42%、0.68;40.03%、0.67和41.05%、0.70,五种野生食用菌均满足理想蛋白条件,且与全鸡蛋中蛋白质可媲美,属优质蛋白。

必需氨基酸中的赖氨酸能提高钙的吸收及其在体内的积累,同时增强免疫功能,促进骨骼生长及人体发育,而许多谷物食物中缺乏赖氨酸或赖氨酸含量甚低,在5种野生食用菌中,赖氨酸含量均较为丰富,其中鸡枞菌的赖氨酸含量最高(9.64 mg/g),其次是干巴菌(7.21 mg/g)、黄牛肝菌(7.01 mg/g)、黑牛肝菌(6.51 mg/g)、松茸菌(4.02 mg/g),若在膳食中将食用菌与谷物食物等食物合理搭配食用,可弥补谷物食物中赖氨酸缺乏的现象,提高蛋白质的利用率,从而提高蛋白质的营养价值。

2.5 五种云南野生食用菌游离氨基酸的组成

分析

食物中的游离氨基酸是一类重要的味觉活性物质，它们对食物的呈味起着重要的作用。通过测定5种云南野生食用菌的游离氨基酸，结果由表4可见，鸡枞菌、松茸菌、干巴菌分别含有16种游离氨基酸，黄牛肝菌和黑牛肝菌分别含有17种游离氨基酸。鸡枞菌的游离氨基酸含量最高，达23.48 mg/g，其次是松茸菌（12.7 mg/g），干巴菌的游离氨基酸含量最低，为1.69 mg/g。

Komata^[12]依据氨基酸的不同呈味特征，将食物中的氨基酸分为鲜味氨基酸、甜味氨基酸、苦味氨基酸和无味氨基酸。在四类呈味氨基酸中，鲜味氨基酸和甜味氨基酸是构成食用菌特殊风味的最主要成分，而呈苦味的氨基酸不具有味觉活性，可能被可溶性糖的甜味掩盖^[13]。天冬氨酸、谷氨酸是重要的鲜味氨基酸，

从表5可看出，五种野生食用菌鲜味氨基酸总量最高的为鸡枞菌，达9.35 mg/g，其次是黄牛肝菌（5.11 mg/g），黑牛肝菌、干巴菌和松茸菌的鲜味氨基酸相对较低，分别为0.57 mg/g、0.36 mg/g、.044 mg/g。除鲜味氨基酸外，甜味氨基酸也是令人关注的风味氨基酸，它们也同样对食用菌的风味产生不同程度的影响，甜味氨基酸主要是丝氨酸、苏氨酸、丙氨酸和甘氨酸。五种不同野生食用菌甜味氨基酸含量由高到低依次为鸡枞菌（7.97 mg/g）、松茸菌（4.57 mg/g）、黑牛肝菌（2.99 mg/g）、黄牛肝菌（1.66 mg/g）、干巴菌（0.69 mg/g）。

由表5测试结果显示，五种菌的呈味游离氨基酸均占总游离氨基酸的45%以上，这也是五种野生菌味道鲜美的原因。其中鸡枞菌的呈味游离氨基酸占总游离氨基酸的比值达到90.1%，鸡枞菌清香四溢、口感清脆，兼具脆、香、鲜、甜等风味特色，这与其高含量的呈味游离氨基酸是分不开的。

表 3 五种云南野生食用菌总氨基酸含量及组成 (mg/g DW)

Table 3 Total amino acid levels in five types of Yunnan wild edible mushrooms (mg/g DW)

氨基酸	云南野生食用菌种类					全鸡蛋
	黑牛肝菌	黄牛肝菌	鸡枞菌	干巴菌	松茸菌	
天冬氨酸 (Asp)	4.23±0.21 ^a	2.91±0.12 ^{ab}	3.81±0.21 ^{bc}	2.61±0.14 ^c	1.92±0.31 ^c	11.55
谷氨酸 (Glu)	10.86±0.35 ^b	10.84±0.51 ^b	15.52±0.54 ^a	7.84±0.59 ^c	7.01±0.47 ^c	15.65
丝氨酸 (Ser)	11.15±0.24 ^b	11.10±0.25 ^b	16.21±0.39 ^a	8.02±0.42 ^c	5.12±0.21 ^d	8.67
甘氨酸 (Gly)	3.21±0.01 ^b	3.21±0.13 ^b	4.62±0.07 ^a	2.34±0.21 ^c	2.13±0.14 ^c	3.90
组氨酸 (His)	2.40±0.24 ^{ab}	1.11±0.11 ^b	3.75±0.14 ^a	1.53±0.18 ^b	1.19±0.20 ^b	2.70
精氨酸 (Arg)	9.51±0.35 ^b	8.69±0.48 ^b	12.73±0.62 ^a	8.78±0.38 ^b	5.08±0.46 ^c	7.36
苏氨酸* (Thr)	6.52±0.28 ^b	5.88±0.31 ^b	12.41±0.51 ^a	7.02±0.31 ^{ab}	4.01±0.35 ^b	5.77
丙氨酸 (Ala)	6.33±0.21 ^b	5.61±0.10 ^b	10.00±0.18 ^a	5.64±0.24 ^b	3.64±0.12 ^b	6.49
脯氨酸 (Pro)	14.36±0.48 ^{ab}	15.10±0.48 ^{ab}	22.62±0.47 ^a	8.31±0.41 ^{bc}	4.82±0.21 ^c	4.36
酪氨酸 (Tyr)	3.71±0.13 ^a	4.21±0.13 ^a	4.61±0.14 ^a	3.42±0.17 ^a	1.37±0.09 ^b	4.92
缬氨酸* (Val)	9.40±0.45 ^b	7.89±0.36 ^c	12.15±0.18 ^a	7.21±0.42 ^c	4.24±0.14 ^d	6.99
蛋氨酸* (Met)	3.02±0.11 ^a	6.55±0.21 ^c	3.14±0.14 ^a	1.70±0.11 ^b	1.03±0.11 ^b	3.63
胱氨酸 (Cys)	1.12±0.03 ^a	0.71±0.02 ^{ab}	0.92±0.05 ^{ab}	0.41±0.03 ^{bc}	0.79±0.03 ^c	2.45
异亮氨酸* (Ile)	6.05±0.27 ^{ab}	5.12±0.12 ^b	8.12±0.54 ^a	5.52±0.23 ^b	2.71±0.15 ^c	6.29
亮氨酸* (Leu)	7.16±0.25 ^b	5.87±0.34 ^c	8.67±0.31 ^a	5.10±0.34 ^c	3.02±0.27 ^d	10.46
苯丙氨酸* (Phe)	6.72±0.31 ^b	5.90±0.09 ^c	9.14±0.39 ^a	5.39±0.19 ^c	3.21±0.23 ^d	6.22
赖氨酸* (Lys)	6.51±0.26 ^b	7.01±0.24 ^b	9.64±0.42 ^a	7.21±0.42 ^b	4.02±0.21 ^c	8.50
必需氨基酸 EAA	45.38±1.38 ^b	44.22±1.29 ^b	63.27±1.93 ^a	39.15±1.99 ^c	22.24±0.98 ^d	50.08
非必需氨基酸 N	66.88±1.56 ^b	63.49±1.57 ^b	94.79±2.04 ^a	48.90±1.87 ^c	33.07±0.71 ^d	68.05
总氨基酸量 T	112.26±3.14 ^b	107.71±2.83 ^b	158.06±3.47 ^a	88.05±3.54 ^c	55.31±1.58 ^d	118.13
E/N	0.68 ^{ab}	0.70 ^a	0.67 ^b	0.80 ^a	0.67 ^{ab}	0.74
E/T/%	40.42	41.05	40.03	44.46	40.21	42.00

注：*标记的为必需氨基酸；E/T为必需氨基酸含量占氨基酸总量比值；E/N为必需氨基酸与非必需氨基酸比值；同一行上标相同字母者差异不显著 ($p > 0.05$)，同一行上标不同字母者差异显著 ($p < 0.05$)。

表 4 五种云南野生食用菌游离氨基酸含量 (mg/g DW)

Table 4 Levels of free amino acids in five Yunnan wild edible mushrooms (mg/g DW)

游离氨基酸	云南野生食用菌种类					呈味阈值/(mg/mL)
	黑牛肝菌	黄牛肝菌	鸡枞菌	干巴菌	松茸菌	
天冬氨酸 (Asp)	0.20±0.02 ^d	0.55±0.01 ^a	0.46±0.01 ^b	0.24±0.02 ^d	0.14±0.01 ^e	1.0
谷氨酸 (Glu)	0.37±0.01 ^c	4.56±0.04 ^b	8.89±0.01 ^a	0.12±0.01 ^d	0.30±0.02 ^c	0.3
丝氨酸 (Ser)	0.53±0.02 ^c	0.28±0.02 ^d	1.56±0.02 ^a	0.10±0.01 ^e	0.95±0.01 ^b	1.5
甘氨酸 (Gly)	0.75±0.04 ^b	0.14±0.02 ^c	0.91±0.04 ^a	0.05±0.003 ^d	0.78±0.01 ^b	1.3
组氨酸 (His)	0.12±0.01 ^c	0.42±0.01 ^b	0.62±0.01 ^a	0.05±0.005 ^d	0.15±0.01 ^c	0.2
精氨酸 (Arg)	0.09±0.01 ^c	1.13±0.03 ^a	0.26±0.02 ^b	0.04±0.003 ^d	0.25±0.02 ^b	0.5
苏氨酸* (Thr)	0.57±0.02 ^c	0.45±0.02 ^d	2.64±0.04 ^a	0.09±0.002 ^e	0.80±0.02 ^b	2.6
丙氨酸 (Ala)	1.14±0.04 ^c	0.79±0.03 ^d	2.86±0.02 ^a	0.46±0.01 ^e	2.04±0.02 ^b	0.6
脯氨酸 (Pro)	0.30±0.02 ^b	0.47±0.02 ^a	0.29±0.04 ^b	0.07±0.002 ^c	0.32±0.01 ^b	3.0
酪氨酸 (Tyr)	0.07±0.01 ^d	0.49±0.02 ^c	0.87±0.02 ^a	0.08±0.003 ^d	0.56±0.03 ^b	-
缬氨酸* (Val)	0.18±0.02 ^c	0.20±0.03 ^c	0.95±0.02 ^b	0.04±0.002 ^d	3.44±0.04 ^a	0.4
蛋氨酸* (Met)	2.04±0.05 ^a	0.06±0.01 ^c	0.31±0.02 ^b	-	-	-
胱氨酸 (Cys)	0.41±0.02 ^b	0.31±0.02 ^c	-	0.14±0.01 ^d	0.51±0.03 ^a	-
异亮氨酸* (Ile)	0.13±0.02 ^c	0.13±0.02 ^c	0.43±0.03 ^a	0.04±0.004 ^d	0.23±0.02 ^b	0.9
亮氨酸* (Leu)	0.11±0.03 ^c	0.19±0.01 ^b	0.78±0.02 ^a	0.07±0.003 ^d	0.21±0.01 ^b	1.9
苯丙氨酸* (Phe)	0.09±0.01 ^d	0.24±0.03 ^c	1.14±0.03 ^a	0.02±0.002 ^e	0.77±0.02 ^b	0.9
赖氨酸* (Lys)	0.55±0.03 ^b	0.11±0.01 ^c	0.51±0.01 ^b	0.08±0.003 ^d	1.25±0.04 ^a	0.5
游离氨基酸总量 T	7.65±0.21 ^d	10.52±0.16 ^c	23.48±0.17 ^a	1.69±0.03 ^e	12.70±0.19 ^b	-

注: *标记的为必需氨基酸; -代表未检测出; 同一行上标相同字母者差异不显著 ($p > 0.05$), 同一行上标不同字母者差异显著 ($p < 0.05$)。

表 5 五种云南野生食用菌风味氨基酸含量 (mg/g DW)

Table 5 Levels of flavor amino acids in five Yunnan wild edible mushrooms (mg/g DW)

呈味氨基酸	云南野生食用菌种类				
	黑牛肝菌	黄牛肝菌	鸡枞菌	干巴菌	松茸菌
鲜味氨基酸 (Asp+Glu)	0.57 (7.45%)	5.11 (48.57%)	9.35 (39.82%)	0.36 (21.30%)	0.44 (3.46%)
甜味氨基酸 (Gly+Ser+Thr+Ala)	2.99 (39.09%)	1.66 (15.78%)	7.97 (33.94%)	0.70 (41.42%)	4.57 (35.98%)
苦味氨基酸 (His+Ile+Leu+Tyr+Phe)	0.52 (6.80%)	1.47 (13.97%)	3.84 (16.35%)	0.26 (15.38%)	1.92 (15.12%)
总量	4.08 (53.33%)	8.24 (78.33%)	21.16 (90.12%)	1.32 (78.11%)	6.93 (54.57%)

注: 括号内的数字为占总游离氨基酸的百分比。

3 结论

3.1 五种云南野生食用菌肌苷酸含量显示出部分菌种间的差异, 其中黑牛肝菌的肌苷酸含量最高, 达 1326.48 μg/g, 其次是黄牛肝菌 (1239.91 μg/g)。野生食用菌中肌苷酸具有足够的增鲜效果, 其与鲜味氨基酸不同的配比, 构成了食用菌不同的风味。

3.2 五种云南野生食用菌氨基酸总量存在一定差异,

但都丰富, 种类齐全。其中以鸡枞菌的氨基酸含量最高, 达 158.06 mg/g, 显著高于黑牛肝菌、黄牛肝菌、干巴菌和松茸菌。

3.3 五种云南野生食用菌中, 17种氨基酸的含量分布为 0.41 mg/g~22.62 mg/g, 脯氨酸、谷氨酸和丝氨酸等氨基酸含量均高于普通蔬果, 同时具有较高的精氨酸含量。由此表明, 五种云南野生食用菌是一类营养成分高的菌类食物。

3.4 必需氨基酸的含量来看,也是鸡枞菌最高(63.27 mg/g),其次是黑牛肝菌(45.38 mg/g)。5种云南野生食用菌必需氨基酸种类齐全,必需氨基酸模式与WTO/FAO提出的蛋白参考模式相接近,配比均衡,具有较高的营养价值,兼具一定的保健作用,是有益于人体氨基酸营养平衡的天然绿色食品。

3.5 五种云南野生食用菌所含必需氨基酸占总氨基酸的百分比均在40%以上,此比例高于大豆(33.59%)、玉米(35.02%)、羊肉(36.66%)等一般动植物食品^[14]。

3.6 野生食用菌中游离氨基酸的含量高低对食用菌的风味具有直接的影响。从测定结果来看,鸡枞菌的鲜味氨基酸含量最高(9.35 mg/g)、其次是黄牛肝菌(5.11 mg/g)。除鲜味氨基酸外,鸡枞菌中的甜味氨基酸也远高于其它四种野生食用菌,为7.97 mg/g。以上数据表明,鸡枞是一种香甜可口、清香宜人的云南野生食用菌。

参考文献:

- [1] YOU Q H, YIN X L. Enzyme assisted extraction of polysaccharides from the fruit of *Cornus officinalis* [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2013, 98: 607-610
- [2] 游丽君,冯梦莹,高擎,等.松茸多糖的结构分析及抗增殖活性研究[J].现代食品科技,2014,30(8):51-58
YOU Li-jun, FENG Meng-ying, GAO Qing, et al. Identification and antiproliferative activity of polysaccharides from *Tricholoma matsutake* (mushroom) [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(8): 51-58
- [3] 吴素蕊,罗晓莉,刘蓓,等.野生食用菌研究开发浅析及建议[J].食品科技,2010,35(4):100-103
WU Su-rui, LUO Xiao-li, LIU Bei, et al. Analyse and advise to research and development of wild edible fungi [J]. *Food Science and Technology*, 2010, 35(4): 100-103
- [4] 王小红,钱骅,张卫明,等.食用菌呈味物质研究进展[J].中国野生植物资源,2009,28(1):5-7
WANG Xiao-hong, QIAN Hua, ZHANG Wei-ming, et al. Research progress on flavor components in edible fungus [J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2009, 28(1): 5-7
- [5] JIANG T, JAHANGIR MM, JIANG Z, et al. Influence of UV-C treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and texture of postharvest shiitake (*Lentinus edodes*) mushrooms during storage [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 56(3): 209-215
- [6] 邹立扣,潘欣,岳爱玲,等.四川省鸡枞菌氨基酸组成及硒元素含量分析[J].食品科学,2011,32(14):245-248
ZOU Li-kou, PAN Xin, YUE Ai-ling, et al. Analysis of amino acid composition and se content in different species of *Termitomyces* grown in Sichuan [J]. *Food science*, 2011, 32(14): 245-248
- [7] 杨月欣,王光亚,潘兴昌.中国食物成分表[M].北京:北京大学医学出版社,2009:193-220
YANG Yue-xin, WANG Guang-ya, PAN Xin-chang. The composition of chiese foods [M]. Beijing: Beijing university of medical press, 2009: 193-220
- [8] Joanna Suilburska, Pawe Bogdanski, Zbigniew Krejpcio, et al. The effects of i-arginine, alone and combined with vitamin C, on mineral status in relation to its antidiabetic, anti-inflammatory, and antioxidant properties in male rats on a high-fat diet [J]. *Biological Trace Element Research*, 2014, 157(1): 67-74
- [9] Nesher N, Frolkis I, Schwartz D, et al. L-Arginine improves endothelial function, independently of arginine uptake, in aortas from chronic renal failure female rats [J]. *American Journal of Physiology Renal Physiology*, 2014, 306(4): F449-456
- [10] Rajagopal BS, Deponete J, Tuchman M, et al. Use of inducible feedback-resistant N-acetylglutamate synthetase (argA) genes for enhanced arginine biosynthesis by genetically engineered *Escherichia coli* K-12 strains [J]. *Applied and Environmental Microbiology*. 1998, 64(5): 1805-1811
- [11] FAO/WHO. Energy and protein requirements [J]. FAO Nutriting Meeting Report Series, 1973, (2): 52-63
- [12] Komata. The taste and constituents of foods [J]. *Nippon Sho-kuhin Kogyo Gakkaishi*, 1969, 3: 26
- [13] 谷镇,杨焱.食用菌呈香呈味物质研究进展[J].食品工业科技,2013,34(5):363-367
GU Zhen, YANG Yan. Research progress in flavor components of edible fungus [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(5): 363-367
- [14] 汪麟,李育岳.20种食用菌的氨基酸含量分析[J].食品科学,1985,1:10-12
WANG Lin, LI Yu-yue. Analysis the amino acid content of the 20 sorts of edible fungi [J]. *Food Science*, 1985, 1: 10-12