

氨基酸自动分析仪法测定云南新鲜羊肚菌中 16种氨基酸的含量

张航¹, 宋卿², 林佶², 飞志欣^{2*}

(1. 云南省环境科学研究院, 昆明 650034; 2. 云南省疾病预防控制中心, 昆明 650022)

摘要: **目的** 建立氨基酸自动分析仪法测定和分析云南新鲜羊肚菌中16种氨基酸含量的方法。**方法** 样品匀浆后采用酸水解处理, 使用氨基酸自动分析仪法测定样品中的氨基酸含量。通过计算氨基酸总含量, 必需氨基酸比值, 呈鲜味氨基酸比值等对云南羊肚菌中的氨基酸进行分析。**结果** 16种氨基酸在10~150 nmol/mL的浓度范围内线性关系良好, 相关系数为0.9988~0.9999, 检出限为1.0~2.5 mg/100 g, 定量限为3.0~7.5 mg/100 g, 16种氨基酸的加标回收率为88.2%~105.2%, 相对标准偏差为3.95%~11.67%。云南新鲜羊肚菌中均含所测16种氨基酸, 平均含量为3.298 g/100 g, 必需氨基酸占总氨基酸总量的35.8%~38.0%。其中谷氨酸和天冬氨酸是含量最高, 占到氨基酸总量的21.8%~24.4%。**结论** 氨基酸自动分析仪法测定羊肚菌中氨基酸具有重现性好、结果可靠的优点; 云南羊肚菌中氨基酸含量丰富, 各州市间样品间氨基酸含量相对稳定。

关键词: 羊肚菌; 氨基酸; 氨基酸自动分析仪

Determination of 16 amino acids in fresh *Morchella esculenta* of Yunnan province by amino acid automatic analyzer

ZHANG Hang¹, SONG Qin², LIN Ji², FEI Zhi-Xin^{2*}

(1. Yunnan Institute of Environmental Science, Kunming 650034, China;
2. Yunnan Center for Disease Control and Prevention, Kunming 650022, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the determination and analysis of 16 amino acids in fresh *Morchella esculenta* from Yunnan province by automatic amino acid analyzer. **Methods** The samples were homogenized and treated with acid hydrolysis, and then the concentration of amino acids were determined by automatic amino acid analyzer. The amino acids in *Morchella esculenta* were analyzed by calculating the total content of amino acids, the ratio of essential amino acids and the ratio of taste amino acids, respectively. **Results** The 16 amino acids had good linear relationships in the range of 10–150 nmol/mL, and the correlation coefficients were 0.9988–0.9999. The limits of detection were 1.0–2.5 mg/100 g. The limits of quantitation were 3.0–7.5 mg/100 g. The recoveries of 16 amino acids were 88.2%–105.2%, with the relative standard deviations of 3.95%–11.67%. Yunnan fresh *Morchella esculenta* contained 16 kinds of amino acids, the average content was 3.298 g/100 g, and the essential amino acids accounted for 35.8%–38.0% of the total amino acids. Among them, glutamic acid and aspartic acid were the highest content, accounting for 21.8%–24.4% of the total amino acid. **Conclusion** The determination of amino acids in morels by automatic amino acid analyzer has the advantages of good reproducibility and reliable

*通讯作者: 飞志欣, 硕士, 主要研究方向为色谱分离分析。E-mail: 452266251@qq.com

*Corresponding author: FEI Zhi-Xin, Master, Yunnan Center for Disease Control and Prevention, No.158, Dongsu Street, Kunming 650022, China. E-mail: 452266251@qq.com

results. The content of amino acids in *morchella yunnanensis* is rich, and the content of amino acids between samples in each city is relatively stable.

KEY WORDS: morel; amino acids; automatic amino acid analyzer

1 引 言

羊肚菌(*Morchella esculenta*)又称羊肚菜、羊肚蘑,为子囊菌门(Ascomycota)、羊肚菌属(*Morchella*)数种菌的总称,是我国 4 大珍稀名贵食用菌之一,具有较高的药用和营养价值^[1]。目前的研究显示,羊肚菌的化学成分主要包括碳水化合物、蛋白质、氨基酸、多糖以及吡喃酮抗生素等。其中,氨基酸的含量极其丰富,野生羊肚菌氨基酸含量比香菇多 1.4 倍,尤其是人体所必需的氨基酸较一般食用菌高出 25~40%^[2-4]。羊肚菌分布广泛,在我国主要分布于北温带、暖温带地区及西南高山地区^[5],云南独特的气候和地理条件为野生羊肚菌的生长提供了优质的生态环境^[6,7]。

氨基酸是含有一个或多个碱性氨基和酸性羧基的有机化合物,大多数氨基酸的极性高、挥发点低、无强发色基团,因此其分离分析比较困难^[8]。目前常用的分析法有比色法、柱前衍生反相高效液相色谱法、氨基酸自动分析仪等^[9-11]。氨基酸自动分析仪法是以阳离子交换树脂为固定相,酸性缓冲液为流动相,在柱后采用茚三酮溶液与氨基酸衍生物生成具有可见光吸收的衍生物从而实现在线检测,该法具有重现性好、仪器稳定、结果可靠等优点^[12]。目前关于云南地区羊肚菌中氨基酸含量的系统性研究相对较少^[13-15]。

本研究通过条件优化建立了氨基酸自动分析法测定新鲜羊肚菌的氨基酸,并对采自云南丽江、昆明、迪庆、大理、楚雄以及保山 6 个州市的新鲜羊肚菌样品中 16 种氨基酸的含量进行了测定研究,对了解云南羊肚菌中氨基酸含量的状况,科学指导羊肚菌的食用和开发利用具有一定的意义。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

A300 全自动氨基酸分析仪(德国 Membrapure 公司); DN-24w 氮气浓缩仪(上海五九公司); DHG-9070 型电热恒温鼓风干燥箱(上海一恒科技有限公司); SI-234 电子天平(美国 DENVER 公司); Milli-Q 超纯水器(美国 Millipore 公司)。

16 种氨基酸溶液混合标准物质包括天冬氨酸 Asp、苏氨酸 Thr、丝氨酸 Ser、谷氨酸 Glu、甘氨酸 Gly、丙氨酸 Ala、缬氨酸 Val、蛋氨酸 Met、异亮氨酸 Ile、亮氨酸 Leu、酪氨酸 Tyr、苯丙氨酸 Phe、组氨酸 His、赖氨酸 Lys、精氨酸 Arg、脯氨酸 Pro(100 nmol/mL, C1707015, 德国 membraPure GmbH 公司); 盐酸(优级纯, 西陇化工股份有限公司); 苯酚(分析纯, 浙江杭州双林化工试剂厂); 样品

稀释液、不同 pH 和离子强度的洗脱缓冲液、茚三酮溶液(德国 membraPure GmbH 公司); 实验室用水电阻率为 18.2 MΩ·cm。

新鲜羊肚菌样品分别采自云南丽江、昆明、迪庆、大理、楚雄以及保山 6 个州市农贸市场。

2.2 实验方法

2.2.1 样品前处理

参照国家食品安全标准对样品进行前处理^[16]。将全株新鲜羊肚菌匀浆,准确称取 0.2 g 试样置于水解管中。在水解管中加入 15 mL 盐酸溶液,继续向水解管中加入 3~4 滴苯酚。将水解管放入冷冻剂中,冷冻 3~5 min,抽真空,然后充入氮气,重复抽真空—充氮气 3 次后,在充氮气状态封口。将已封口的水解管放置在 110 °C±1 °C 的电热鼓风恒温箱中,水解一定时间后,取出冷却至室温。打开水解管,将水解液过滤至 25 mL 容量瓶中,用少量水多次冲洗水解管,水洗液移入同一 25 mL 容量瓶内,用水定容至刻度,摇匀。准确吸取 0.5 mL 滤液移入 10 mL 试管内,用浓缩仪在 40~50 °C 加热环境下减压干燥,干燥后残留物用水溶解,再减压干燥,最后蒸干。

将 0.5 mL pH2.2 的柠檬酸缓冲溶液加入到干燥后的试管内振荡溶解,涡旋混匀后,吸取溶液过膜,供仪器测定用。混合氨基酸标准溶液和样品测定液分别注入氨基酸分析仪,以外标法通过峰面积计算样品测定液中氨基酸的浓度。

2.2.2 测定条件

磺酸型阳离子树脂色谱柱(4.6 mm×60.0 mm),柱温 57.0 °C; 反应器温度 130 °C; 泵 A(洗脱溶液)流速为 0.40 mL/min, 泵 B(茚三酮溶液)流速为 0.35 mL/min, 进样量为 20 μL; 检测波长为 570 nm 和 440 nm。

3 结果与分析

3.1 样品水解条件的优化

3.1.1 水解试剂浓度的优化

为获得新鲜羊肚菌样品的最佳水解效果,首先对加入水解的盐酸浓度进行了调查。分别加入 3~7 mol/L 的盐酸进行水解,共设 5 个梯度,结果见图 1。盐酸浓度对水解效果影响较为明显,当盐酸浓度增加时,测得的氨基酸总量总体是随之上升,盐酸浓度在 6 mol/L 时,氨基酸总量达到最高,随后趋于稳定。Glu、Asp、Leu 和 Val 等主要氨基酸含量趋势与总含量类似。经分析,确定用于水解样品的盐酸浓度为 6 mol/L。

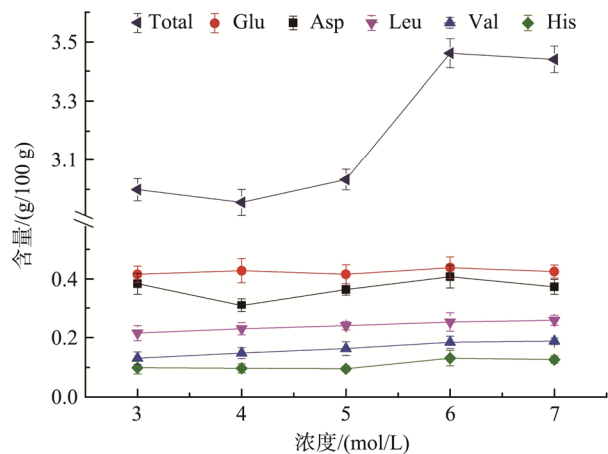


图 1 盐酸浓度对氨基酸总量和主要氨基酸水解效果的影响($n=3$)
Fig.1 Effects of hydrochloric acid concentration on hydrolysis of total amino acids and main amino acids ($n=3$)

3.1.2 水解时间的优化

确定水解盐酸的浓度后,在此基础上,分别测试水解时间 14~24 h 的水解效果。由图 2 可知,在 14~22 h 期间,总氨基酸含量随水解时间增加而增加,在 22 h 时达到最高。Leu、Val、His 也是在 22 h 水解含量最高, Glu、Asp 变化趋势与氨基酸总量变化趋势基本一致。因此,选择 22 h 为最终的水解时间。

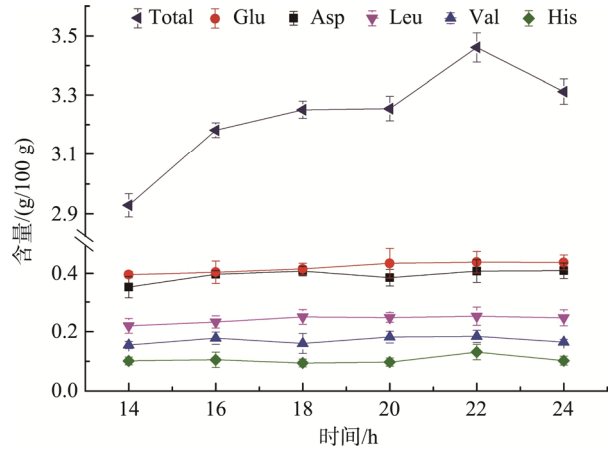
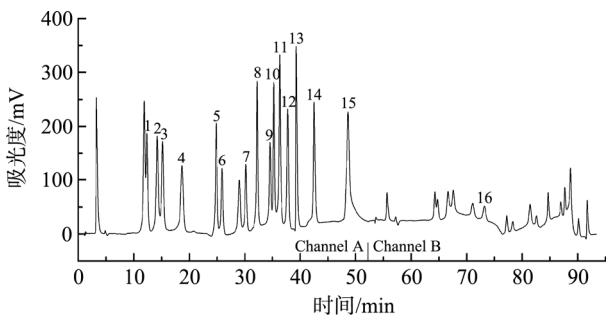


图 2 水解时间对氨基酸总量和主要氨基酸含量的影响($n=3$)
Fig.2 Effects of hydrolysis time on contents of total amino acids and main amino acids ($n=3$)

3.2 色谱图

根据保留时间定性,标准样品分离色谱图如图 3, 16 种氨基酸在氨基酸分析仪上获得了较优的分离。其中,脯氨酸在 440 nm 波长下测定,其余氨基酸的测定波长为 570 nm。羊肚菌样品分离色谱图如图 4。谱图显示羊肚菌经酸水解后,运用氨基酸自动分析仪获得了各类氨基酸较好的分离效果。



注: 1: Asp, 2: Thr, 3: Ser, 4: Glu, 5: Gly, 6: Ala, 7: Val, 8: Met, 9: Ile, 10: Leu, 11: Tyr, 12: Phe, 13: His, 14: Lys, 15: Arg, 16: Pro, 以下同。

图 3 标准样品分离色谱图
Fig.3 Separation chromatogram of standard sample

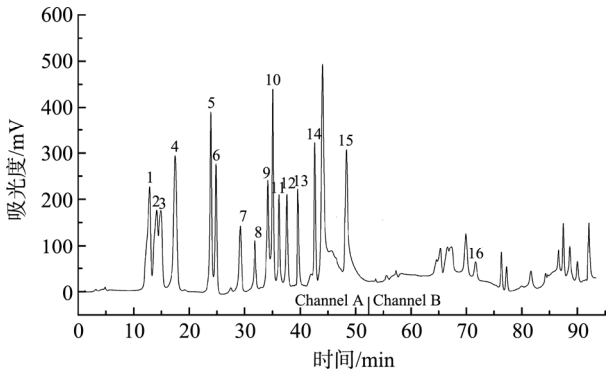


图 4 羊肚菌样品分离色谱图
Fig.4 Separation chromatogram of morel sample

3.3 方法学验证

3.3.1 标准曲线、检出限和定量限

将标准混合溶液用样品稀释液进行适当稀释,使其摩尔浓度分别为 10、20、50、100、150 nmol/mL,分别进样,以色谱峰面积为纵坐标、氨基酸摩尔浓度为横坐标绘制标准曲线(见表 1)。从表 1 可以看出,16 种氨基酸均显示良好的线性关系,相关系数 R^2 在 0.9988~0.9999 之间,表明全自动氨基酸分析仪法的峰面积与浓度之间线性关系稳定。

通过进样低浓度混合标准液获得检出限(limit of detection, LOD)。当向色谱仪注射 1 nmol/mL 的混合标准液时,获得样品色谱峰的 3 倍信噪比,样品称样量为 0.2 g,定容体积为 25 mL,得到各氨基酸的检出限,3 倍检出限作为定量限(limit of quantitation, LOQ),列于表 1 中。

3.3.2 精密度和加标回收实验

为验证氨基酸自动分析仪测定羊肚菌样品的精密度,对同一羊肚菌样品平行测定 5 次,计算相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)。表 2 结果显示,相对标准偏差为 2.71%~5.93%,方法具有较好的精密度。

3.3.3 加标回收实验

采用标准加入法进行加标回收实验。准确称取 0.1 g 羊肚菌样品, 加入一定量氨基酸混合标准溶液, 按照优化的实验方法重复测定 6 次并计算各氨基酸的回收率。由表 3 可知, 16 种氨基酸的加标回收率为 88.2%~105.2%, 相对标准偏差为 3.95%~11.67%, 表明方法具有较好的准确度。

3.4 实际样品检测

通过试样峰面积与标准峰面积比较定量, 表 4 列出了样品中 16 种氨基酸的平均含量值。由表 3 可知, 云南新鲜羊肚菌中 16 种氨基酸的含量为 2.937~3.901 g/100 g, 平均含量为 3.298 g/100 g。6 个地州间氨基酸总含量的相对标准偏差为 9.66%, 表明各地羊肚菌中氨基酸含量差异化不大。其中, 云南羊肚菌中含有 6 种(仅限所讨论的 16 种)人体必需氨

基酸, 必须氨基酸占总氨基酸总量的 35.8%~38.0%。

检测数据进一步显示, 在 16 种氨基酸中谷氨酸和天冬氨酸是含量最高的 2 种, 占到氨基酸总量的 21.8%~24.4%; 而这 2 种氨基酸正是鲜味氨基酸中的特征氨基酸, 这可能也是羊肚菌味道鲜美的重要原因之一^[13-15]。本文测定的新鲜羊肚菌中呈鲜味氨基酸平均含量为 0.775 g/100 g(换算后为 0.775%), 新鲜羊肚菌中水分平均含量为 88.64%, 若以干基计则羊肚菌中呈鲜氨基酸平均含量应为 6.82%。在已见的报道中^[15], 两种呈鲜味氨基酸在以干基计的牛肝菌、鸡枞、松茸以及干巴菌中的含量分别为 0.58%、0.81%、0.35%、0.70%, 结果表明羊肚菌中呈鲜氨基酸含量远高于牛肝菌、鸡枞、松茸以及干巴菌等云南其它特色野生菌中的含量。

表 1 标准溶液的线性相关系数、检出限和定量限
Table 1 Linear correlation coefficients, detection limits and quantitative limits of standard solution

氨基酸种类	回归方程	相关系数 r^2	LOD(mg/100 g)	LOQ(mg/100 g)
天冬氨酸 Asp	$Y=-3.79\times10^4X+1.50\times10^4$	0.9996	1.5	4.5
苏氨酸 Thr	$Y=-4.96\times10^4X+1.91\times10^4$	0.9991	1.5	4.5
丝氨酸 Ser	$Y=4.67\times10^4X-5.04\times10^4$	0.9993	1.5	4.5
谷氨酸 Glu	$Y=4.60\times10^4X-7.52\times10^4$	0.9994	2.0	6.0
甘氨酸 Gly	$Y=-4.64\times10^4X+8.51\times10^4$	0.9991	1.0	3.0
丙氨酸 Ala	$Y=-2.89\times10^4X+9.20\times10^3$	0.9997	1.0	3.0
缬氨酸 Val	$Y=-3.25\times10^4X-3.22\times10^4$	0.9993	1.5	4.5
蛋氨酸 Met	$Y=-5.01\times10^4X+1.00\times10^4$	0.9999	2.0	6.0
异亮氨酸 Ile	$Y=-3.34\times10^4X+4.33\times10^4$	0.9990	1.5	4.5
亮氨酸 Leu	$Y=-4.60\times10^4X+6.82\times10^4$	0.9991	1.5	4.5
酪氨酸 Tyr	$Y=7.11\times10^4X+3.87\times10^4$	0.9990	2.0	6.0
苯丙氨酸 Phe	$Y=-5.39\times10^4X-1.17\times10^5$	0.9992	2.0	6.0
组氨酸 His	$Y=-5.45\times10^4X+9.21\times10^4$	0.9995	2.0	6.0
赖氨酸 Lys	$Y=-4.61\times10^4X+4.82\times10^4$	0.9990	2.0	6.0
精氨酸 Arg	$Y=-8.45\times10^4X-1.35\times10^6$	0.9988	2.0	6.0
脯氨酸 Pro	$Y=-8.30\times10^3X+9.60\times10^3$	0.9997	2.5	7.5

表 2 16 种氨基酸的相对标准偏差($n=5$)
Table 2 Relative standard deviation of 16 amino acids ($n=5$)

氨基酸种类	Asp	Thr	Ser	Glu	Gly	Ala	Val	Met	Ile	Leu	Tyr	Phe	His	Lys	Arg	Pro
相对标准偏差/%	5.79	5.13	4.35	4.12	3.54	3.21	4.55	2.71	3.36	4.21	3.89	3.54	4.28	5.93	5.33	3.51

表 3 16 种氨基酸在新鲜羊肚菌样品中的加标回收率($n=6$)
Table 3 Standard recoveries of 16 kinds of amino acids in fresh morchella samples ($n=6$)

氨基酸种类	Asp	Thr	Ser	Glu	Gly	Ala	Val	Met	Ile	Leu	Tyr	Phe	His	Lys	Arg	Pro
加标回收率/%	93.5	91.6	94.0	105.2	90.6	89.5	90.8	92.4	95.3	88.2	100.1	102.2	103.9	91.1	92.4	93.7
相对标准偏差/%	4.93	6.40	6.72	3.95	4.58	4.42	6.49	6.13	7.90	4.73	8.99	7.15	11.67	4.91	7.33	9.66

表 4 羊肚菌样品中 16 种氨基酸平均含量(g/100 g)
Table 4 Average contents of sixteen amino acids in morels (g/100 g)

氨基酸	丽江	昆明	迪庆	大理	楚雄	保山	平均值
天冬氨酸 Asp [#]	0.317±0.002	0.363±0.036	0.358±0.006	0.408±0.028	0.387±0.024	0.339±0.026	0.362
苏氨酸 Thr [*]	0.188±0.017	0.194±0.001	0.238±0.010	0.201±0.024	0.204±0.011	0.183±0.013	0.201
丝氨酸 Ser	0.163±0.003	0.173±0.012	0.213±0.020	0.192±0.020	0.186±0.012	0.168±0.001	0.183
谷氨酸 Glu [#]	0.386±0.001	0.401±0.038	0.491±0.019	0.438±0.050	0.391±0.023	0.372±0.015	0.413
甘氨酸 Gly	0.136±0.005	0.150±0.010	0.186±0.028	0.164±0.040	0.161±0.012	0.137±0.005	0.156
丙氨酸 Ala	0.177±0.003	0.203±0.013	0.250±0.069	0.213±0.038	0.201±0.022	0.173±0.009	0.203
缬氨酸 Val [*]	0.159±0.002	0.166±0.021	0.224±0.084	0.184±0.020	0.184±0.021	0.166±0.009	0.181
蛋氨酸 Met	0.111±0.009	0.114±0.029	0.146±0.028	0.086±0.017	0.117±0.013	0.085±0.018	0.110
异亮氨酸 Ile [*]	0.264±0.043	0.247±0.005	0.300±0.017	0.290±0.054	0.237±0.009	0.223±0.001	0.260
亮氨酸 Leu [*]	0.200±0.015	0.211±0.021	0.274±0.015	0.252±0.016	0.219±0.012	0.200±0.017	0.226
酪氨酸 Tyr	0.115±0.013	0.104±0.029	0.165±0.007	0.126±0.042	0.13±0.021	0.115±0.012	0.126
苯丙氨酸 Phe [*]	0.147±0.021	0.150±0.002	0.174±0.012	0.163±0.016	0.148±0.008	0.134±0.013	0.153
组氨酸 His	0.109±0.013	0.113±0.026	0.170±0.013	0.131±0.014	0.128±0.021	0.113±0.005	0.127
赖氨酸 Lys [*]	0.167±0.006	0.193±0.004	0.228±0.007	0.197±0.002	0.198±0.005	0.171±0.010	0.192
精氨酸 Arg	0.203±0.051	0.264±0.003	0.308±0.007	0.252±0.015	0.27±0.023	0.219±0.025	0.253
脯氨酸 Pro	0.124±0.007	0.155±0.006	0.177±0.015	0.165±0.019	0.163±0.011	0.137±0.008	0.154
总含量(T)	2.964±0.050	3.202±0.147	3.901±0.240	3.461±0.278	3.323±0.189	2.937±0.011	3.298
必须氨基酸平均含量(E)	1.13	1.16	1.44	1.29	1.19	1.08	1.21
呈鲜氨基酸平均含量(N)	0.703	0.764	0.849	0.846	0.778	0.711	0.775
E/T /%	38.0	36.3	36.9	37.2	35.8	36.7	36.8
N/T /%	23.7	23.9	21.8	24.4	23.4	24.2	23.5

注: #为鲜味氨基酸; *为必须氨基酸。

4 结 论

本研究立了氨基酸自动分析仪测定云南羊新鲜羊肚菌中 16 种氨基酸的方法。该法线性关系良好, 相关系数 r^2 在 0.9988~0.9999 之间, 样品重复测定 RSD 在 6%以内, 具有重现性好、结果可靠的特点, 可有效检测羊肚菌中 16 种氨基酸。

测定结果显示, 云南羊肚菌中氨基酸含量丰富, 6 个州市所测定的羊肚菌中氨基酸含量相对稳定。其中, 16 种氨基酸的平均含量为 3.298 g/100 g; 呈鲜氨基酸含量占 21.8%~24.4%, 总量也较其它野生菌含量高。

参考文献

[1] 黄年来, 林志彬, 陈国良, 等. 中国食药食用菌学[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2010.
Huang YL, Lin ZB, Chen GL, *et al.* Medicinal and edible fungi [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Literature Press, 2010.

[2] Pavel K. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review [J]. Food Chem, 2009, 113(1): 9–16.
[3] Heleno SA, Stojkovic D, Barros L, *et al.* A comparative study of chemical composition, antioxidant and antimicrobial properties of *Morehella esculenta* (L.) pers. from Portugal and Serbia [J]. Food Res Int, 2013, 51(1): 236–243.
[4] 赵英. 羊肚菌化学成分研究[D]. 青海: 青海民族大学, 2017.
Zhao Y. Study on chemical composition of *Morehella esculenta* (L.) pers [D]. Qinghai: Qinghai Nationalities University, 2017.
[5] 林晓民, 李振歧, 侯军. 中国大型真菌的多样性[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
Lin XM, Li ZQ, Hou J. The diversity of macrofungi in china [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2005.
[6] 赵永昌, 柴红梅, 李树红, 等. 云南羊肚菌居群多样性研究[J]. 西南农业学报, 2008, 21(2): 444–447.
Zhao YC, Chai HM, Li SH, *et al.* Study on the population diversity of *Morchella* in Yunnan [J]. Southwest China J Agric Sci, 2008, 21(2): 444–447.

- [7] 杨嘉谷, 陈自宏, 汪建云. 保山野生羊肚菌资源调查[J]. 保山学院学报, 2017, 36(5): 6–8.
Yang JG, Chen ZH, Wang JY. Investigation of wild *Morchella* resources in Baoshan [J]. J Baoshan Univ, 2017, 36(5): 6–8.
- [8] 王玉红, 申克宇, 李鹏, 等. 高效液相色谱-蒸发光散射检测法直接检测 20 种未衍生基本氨基酸[J]. 色谱, 2011, 29(9): 908–911.
Wang YH, Shen KY, Li P, *et al.* Simultaneous determination of 20 underivatized amino acids by high performance liquid chromatography-evaporative light-scattering detection [J]. Chin J Chromatogr, 2011, 29(9): 908–911.
- [9] 邵金良, 黎其万, 董宝生, 等. 茚三酮比色法测定茶叶中游离氨基酸总量[J]. 中国食品添加剂, 2008, (2): 162–165.
Shao JL, Li QW, Dong BS, *et al.* Determination of total free-amino acid in tea by ninhydrin colorimetry [J]. China Food Add, 2008, (2): 162–165.
- [10] 陈芬, 赵晓燕, 饶钦雄, 等. HPLC 测定姬松茸中谷胱甘肽的含量[J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26(9): 1454–1457.
Chen F, Zhao XY, Rao QX, *et al.* Determination of glutathione in agaricus blazei murru by HPLC [J]. Nat Prod Res Dev, 2014, 26(9): 1454–1457.
- [11] Zhang H, Wang ZY, Yang X, *et al.* Determination of free amino acids and 18 elements in freeze-dried strawberry and blueberry fruit using an amino acid analyzer and ICP-MS with micro-wave digestion [J]. Food Chem, 2014, 147(4): 189–194.
- [12] 张苏平, 邱伟强, 卢祺, 等. 全自动氨基酸分析仪法测定 4 种贝类肌肉中谷胱甘肽和游离氨基酸含量[J]. 食品科学, 2017, 38(4): 170–176.
Zhang SP, Qiu WQ, Lu Q, *et al.* Determination of glutathione and free amino acids in muscles of four shellfish species by automatic amino acid analyzer [J]. Food Sci, 2017, 38(4): 170–176.
- [13] 顾可飞, 周昌艳, 邵毅, 等. 云南省野生牛肝菌与羊肚菌营养成分分析[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(17): 129–133.
Gu KF, Zhou CY, Shao Y, *et al.* The composition analysis of the wild boletus and *Morel* in Yunnan province nutrient [J]. Food Res Dev, 2017, 38(17): 129–133.
- [14] 刘蓓, 吴素蕊, 朱萍, 等. 滇西北地区四种羊肚菌营养成分分析比较[J]. 食品工业科技, 2012, (1): 363–365.
Liu B, Wu SR, Zhu P, *et al.* Nutrient analysis of morel in northwest Yunnan province [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, (1): 363–365.
- [15] 杨旭昆, 汪禄祥, 刘艳芳, 等. 7 种云南野生食用菌的氨基酸组成比较分析及营养评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(10): 3912–3917.
Yang XK, Wang LX, Liu YF, *et al.* Composition comparison and nutritional evaluation of amino acids in 7 kinds of wild edible mushrooms from Yunnan province [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(10): 3912–3917.
- [16] GB 5009.124-2016 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定[S].
GB 5009.124-2016 National food safety standards-Determination of amino acids in food [S].

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



张 航, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为环境工程、食品检测。
E-mail: 239346714@qq.com



飞志欣, 硕士, 检验技师, 主要研究方向为食品理化检验。
E-mail: 452266251@qq.com