

陕北野生和不同栽培模式羊肚菌 营养成分比较分析

Comparative analysis of nutrients in fruiting bodies between wild and cultivated *Morchella* in different cultivation models

赵瑞华¹ 贺晓龙¹ 高小鹏¹ 汪飞²

ZHAO Rui-hua¹ HE Xiao-long¹ GAO Xiao-peng¹ WANG Fei²

(1. 延安大学生命科学学院, 陕西 延安 716000; 2. 延安市微生物研究所, 陕西 延安 716000)

(1. College of Life Science, Yan'an University, Yan'an, Shaanxi 716000, China;

2. Yan'an Institute of Microbiology, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

摘要:目的: 评估陕北野生和人工栽培羊肚菌的营养价值。方法: 以陕北野生羊肚菌及驯化后以温棚、弓棚及林下3种模式栽培的羊肚菌子实体作为样品, 依据国家标准通过常用方法对其营养成分进行检测分析。结果: 在粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和水分含量方面, 所有人工栽培羊肚菌都比野生羊肚菌略高; 并且人工栽培羊肚菌的氨基酸含量也比野生羊肚菌高, 其中林下栽培羊肚菌的氨基酸配比最为合理; 野生和人工栽培羊肚菌均含有丰富的不饱和脂肪酸, 显著高于饱和脂肪酸含量, 以油酸和亚油酸为主; 野生和人工栽培羊肚菌均富含矿物质元素, 而野生羊肚菌的矿物质元素含量更为丰富。结论: 陕北地区人工栽培羊肚菌的营养价值不低于野生羊肚菌, 但栽培模式不同会略有差异。

关键词: 羊肚菌; 温棚; 弓棚; 林下; 营养成分

Abstract: Objective: This study aimed to estimate the nutritive value of wild and cultivated *Morchella* in Northern Shaanxi.

Methods: *Morchella* fruiting bodies wildly growing in Northern Shaanxi and cultivated in three models (greenhouse, plastic shed and understory) were used to analyze the difference in the main nutrition components. **Results:** In terms of crude protein, crude fat, crude fiber and water content, all cultivated *Morchella* were slightly higher than those in the wild. Moreover, the amino acid content of cultivated *Morchella* was also higher and the amino acid ratio of understory was the most reasonable. Both the wild

and the cultivated were rich in unsaturated fatty acids, and the content of unsaturated fatty acids was significantly higher than that of saturated fatty acids. Unsaturated fatty acids were mainly oleic acid and linoleic acid. Both the wild and the cultivated were rich in mineral elements, but the content of mineral elements in the wild *Morchella* was more abundant. **Conclusion:** The nutritional value of the cultivated *Morchella* was not lower than that of the wild *Morchella* in Northern Shaanxi, but had slightly difference due to cultivation models.

Keywords: *Morchella*; greenhouse; plastic shed; understory; nutrition components

羊肚菌 [*Morchella esculenta* (L.) Pers.] 是一种菌盖外面凹凸形成类似羊肚的珍贵食药两用真菌, 又称羊肚菜、羊雀菌或草笠竹等^[1-2]。子实体富含各种氨基酸、不饱和脂肪酸、矿物质元素和维生素等, 风味独特、口感脆嫩; 同时具备抵抗病毒、抵抗氧化、抑制肿瘤细胞及增强机体免疫力等多种潜在的生理功能^[3-4]。近年来, 对羊肚菌的研究使人工栽培技术不断进步, 种植规模逐年扩大, 在一定程度上迎合了对羊肚菌的市场需求, 但大多数消费者还是更认可野生羊肚菌的营养价值, 使得该野生资源的市场价格普遍偏高^[5]。

陕北南泥湾气候独特, 造就了该地区丰富的野生羊肚菌种质资源^[6]。但在野生羊肚菌高价格的驱使下, 当地农民在出菇阶段年复一年进行不正确的采收, 造成总产量逐渐下降, 野生羊肚菌赖以生存的生态环境处于被破坏的边缘。因此, 人工栽培羊肚菌的营养价值可否比得上野生资源值得探究, 也是对当地野生资源给予合理保护的前提。此前曾有研究^[7-8]就野生和人工栽培羊肚菌的营养价值进行过分析, 结果显示有差异, 但从蛋白质、氨基酸、矿物质元素及脂肪酸等方面全面地对同一地

基金项目: 陕西省重点研发计划项目 (编号: 2021NY-069); 延安大学科研计划项目 (编号: YDY2020-27); 延安市科技计划项目 (编号: 2020ZDYFZD-01, 2020ZDYFZD-02, 2020ZDYFZD-03, 2020ZDYFZD-04, 2019CGZH-004)

作者简介: 赵瑞华 (1978—), 女, 延安大学讲师, 博士。

E-mail: zhaohua506@sohu.com

收稿日期: 2021-08-20

区野生及驯化后以不同模式栽培羊肚菌的营养成分进行比较分析的工作还未见报道。近年来对陕北南泥湾野生羊肚菌进行了母种分离纯化,成功获得驯化菌种,在延安采用不同模式栽培羊肚菌的试验也取得一定进展。为明确该地区野生和人工栽培羊肚菌的营养成分差异,对采集的野生羊肚菌及不同模式栽培的羊肚菌样品就基本营养成分、氨基酸、脂肪酸以及矿物质元素等进行检测分析,以期为该地区野生羊肚菌资源的生态保护及人工栽培推广提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

野生羊肚菌:陕北南泥湾地区;

人工栽培羊肚菌:陕北南泥湾野生羊肚菌驯化后以 3 种模式温室大棚(温棚)、普通塑料弓形棚(弓棚)、松树林下(林下)栽培的样品;

甲醇:色谱纯,北京汇海科仪科技有限公司;

乙腈:色谱纯,天津赛孚世纪科技发展有限公司;

无水乙醇、乙酸、乙酸钠、浓盐酸、浓硫酸、乙醚、NaOH、Na₂CO₃、苯酚、柠檬酸钠等:分析纯,天津市百世化工有限公司;

钾、钠、钙、镁、铁、锌等元素:光谱纯标品(1 000 μg/mL),广州分析测试中心科力技术开发公司。

1.2 栽培种配方

栽培种配方:麦粒 50%,木屑 27.3%,腐殖土 20%,石膏 1%,轻质碳酸钙 1%,硫酸镁 0.5%,磷酸二氢钾 0.2%。

1.3 主要仪器

电子天平:H0503 型,河北慧采科技有限公司;

电热鼓风干燥箱:101-0ABE 型,上海坤天实验室仪器有限公司;

全自动凯氏定氮仪:K9860 型,济南莱宝医疗器械有限公司;

万能粉碎机:30B 型,常州市磐丰干燥设备有限公司;

马弗炉: SX2-4-10G 型,山东博科再生医学有限公司;

数显恒温水浴锅: HH-80 型,常州市亿能实验仪器有限公司;

原子吸收光谱仪: AA320N 型,浙江纳德科学仪器有限公司;

气相色谱-质谱联用分析仪: ISQ7000 型,苏州津仪仪器有限公司;

氨基酸全自动分析仪: L-8900 型,天美仪拓实验室设备(上海)有限公司。

1.4 栽培条件与样品前处理

3 种人工栽培模式羊肚菌出菇时土壤温度均保持在 5~15℃,湿度 80%~90%,出现子实体原基后,控制光照、湿度和通风等条件刺激出菇。野生羊肚菌和人工栽培羊肚菌样品采后即刻于 50℃烘干再粉碎,放于干燥器

中备用,并于 48 h 内进行检测。

1.5 营养成分检测

1.5.1 常规营养成分检测方法

(1) 水分:按 GB 5009.3—2016 的直接干燥法执行。

(2) 粗蛋白:按 GB 5009.5—2016 的凯氏定氮法执行。

(3) 粗脂肪:按 GB 5009.6—2016 的索氏脂肪抽提法执行。

(4) 粗纤维:按 GB/T 5009.10—2003 执行。

(5) 灰分:按 GB 5009.4—2016 的灼烧重量法执行。

每个样品重复 3 次。

1.5.2 氨基酸检测与评估

(1) 氨基酸检测:按 GB 5009.124—2016 的酸水解法执行,色氨酸按 GB/T 18246—2000 执行。

(2) 氨基酸评估:采用世界卫生组织和联合国粮农组织(FAO/WHO)给出的氨基酸评分标准模式和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式^[9]作为评估依据,分别按式(1)和式(2)求出羊肚菌子实体样品中蛋白质的氨基酸评分(AAS)及化学评分(CS)。

$$A_{AS} = \frac{C_{SAA}}{C_{FAO/WHOSMSAA}}, \quad (1)$$

$$C_S = \frac{C_{SAA}}{C_{WEPSAA}}, \quad (2)$$

式中:

A_{AS} ——氨基酸评分;

C_S ——化学评分;

C_{SAA} ——样品中氨基酸含量,mg/g 蛋白质;

$C_{FAO/WHOSMSAA}$ ——FAO/WHO 评分模式同种氨基酸含量,mg/g 蛋白质;

C_{WEPSAA} ——全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量,mg/g 蛋白质。

1.5.3 脂肪酸检测 按 GB 5009.168—2016 执行。采用索氏抽提法提取脂肪经甲酯化处理后,上机检测。

1.5.4 矿物质元素检测

(1) 钾、钠、钙、镁、铁、锌、铜、镉、砷、铅:按 GB 5009.268—2016 的电感耦合等离子体质谱法执行。

(2) 磷、锶:按 GB 5009.268—2016 的电感耦合等离子体发射光谱法执行。

(3) 硒:按 GB 5009.93—2017 执行。

(4) 锰:按 GB 5009.242—2017 的火焰原子吸收光谱法执行。

(5) 硫:离子色谱法^[10]。

(6) 硅:硅钼蓝分光光度法^[11]。

2 结果与分析

2.1 常规营养成分对比分析

由表 1 可知,不管是野生还是 3 种人工栽培模式其

表 1 样品常规营养成分

Table 1 Determination of conventional nutrient components in samples %					
成分	野生	温棚栽培	弓棚栽培	林下栽培	中国平均值 ^[12]
粗蛋白	30.71±0.69	34.25±0.64	35.07±0.24	34.55±0.11	26.90
粗脂肪	1.78±0.35	2.12±0.22	2.31±0.16	1.99±0.48	7.10
粗纤维	14.19±0.43	16.34±0.98	15.78±0.14	15.65±0.79	12.90
灰分	10.96±0.28	7.93±0.15	9.87±0.24	7.51±0.08	8.00
水分	4.56±0.23	8.16±0.42	7.98±0.15	7.18±0.33	14.30

羊肚菌子实体粗蛋白含量都非常丰富,均在 30%以上,粗蛋白和粗纤维含量高于中国平均值,而粗脂肪含量低于中国平均值,表现出高蛋白、高纤维和低脂肪的特点。人工栽培与野生的差异主要表现在粗蛋白、粗纤维、粗脂肪和水分含量整体上略高于野生的,而灰分含量稍低于野生的。3 种栽培模式中弓棚粗蛋白、粗脂肪、灰分含量最高,温棚粗纤维和水分含量最高。总体而言,就常规营养成分方面来评价羊肚菌的营养价值,人工栽培的要略高于野生。

2.2 氨基酸组成及评价

2.2.1 氨基酸组成 由表 2 可知,野生和 3 种栽培模式的羊肚菌中均含有大量的氨基酸,且氨基酸种类齐全,检测到待测的 18 种氨基酸,其中包含人体必需氨基酸 8 种。4 种样品中氨基酸总含量高低顺序依次是:弓棚栽培(266.73 mg/g)>林下栽培(264.06 mg/g)>温棚栽培(263.32 mg/g)>野生(222.73 mg/g),与表 1 中粗蛋白的检测结果顺序一致;必需氨基酸含量高低顺序依次是:林下栽培(96.16 mg/g)>温棚栽培(95.30 mg/g)>弓棚栽培(92.76 mg/g)>野生(78.53 mg/g)。可见人工栽培羊肚菌的氨基酸总量和必需氨基酸含量均略高于野生,与已有报道^[8,12]一致。另外,在 4 种样品的子实体中,必需氨基酸含量均占氨基酸总量的 34%~37%,与 FAO/WHO 推荐的模式值(必需氨基酸总量与总氨基酸比值在 40%左右)相当;且必需氨基酸/非必需氨基酸结果都处于 53%~58%,与 FAO/WHO 推荐的模式值比较接近,符合人体所需必需氨基酸的比例,均属于较优质的蛋白质。其中林下样品的必需氨基酸总量比总氨基酸及必需氨基酸总量比非必需氨基酸总量的两个比值最接近 FAO/WHO 规定的理想蛋白,氨基酸配比最为合理。

从氨基酸组成来看,4 种样品含量最高的氨基酸都是谷氨酸,然后是天冬氨酸。谷氨酸和天冬氨酸为主要鲜味氨基酸,也是构成羊肚菌鲜味的主要来源,占总氨基酸含量 26%~30%,赋予羊肚菌鲜美独特的口味。鲜味氨基酸总量高低顺序是:弓棚栽培(75.16 mg/g)>温棚栽培(72.89 mg/g)>林下栽培(69.70 mg/g)>野生(64.70 mg/g),从风味上来说,人工栽培羊肚菌要好一些。此外,所有样品中具有不同生理功效的氨基酸含量也非常丰富,比如可以协助蛋白质吸收的苏氨酸含量达

表 2 样品氨基酸检测[†]

Table 2 Determination of amino acid in samples				
mg/g				
氨基酸	野生	温棚栽培	弓棚栽培	林下栽培
天冬氨酸(Asp) ^a	24.81	29.24	28.62	28.13
谷氨酸(Glu) ^a	39.89	43.65	46.54	41.57
丝氨酸(Ser)	12.42	14.33	13.98	14.61
组氨酸(His)	6.32	6.78	7.71	7.78
甘氨酸(Gly)	10.73	11.68	11.44	12.00
苏氨酸(Thr) ^b	13.03	15.58	14.21	15.19
精氨酸(Arg)	15.52	22.72	24.66	19.45
丙氨酸(Ala)	16.67	17.41	17.17	17.74
酪氨酸(Tyr)	6.79	9.76	9.05	9.13
半胱氨酸(Cys)	1.03	1.17	3.84	3.58
缬氨酸(Val) ^b	12.54	14.55	14.19	14.68
蛋氨酸(Met) ^b	2.36	2.54	3.99	2.59
苯丙氨酸(Phe) ^b	11.28	13.03	12.58	13.04
异亮氨酸(Ile) ^b	9.84	11.62	10.75	12.64
亮氨酸(Leu) ^b	15.71	18.06	18.06	18.98
赖氨酸(Lys) ^b	10.60	13.69	14.00	13.90
色氨酸(Trp) ^b	3.17	6.23	4.98	5.14
脯氨酸(Pro)	10.02	11.28	10.96	13.91
必需氨基酸总量	78.53	95.30	92.76	96.16
非必需氨基酸总量	144.20	168.02	173.97	167.90
鲜味氨基酸	64.70	72.89	75.16	69.70
总氨基酸	222.73	263.32	266.73	264.06

[†] “a”表示鲜味氨基酸,“b”表示必需氨基酸;所有数据均以样品干重计算。

13.00~16.00 mg/g,还有可一起修复损伤肌肉、提高生长激素的亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸基本都在 10.00 mg/g 以上,3 种栽培模式都优于野生羊肚菌,但模式之间相差不多。

2.2.2 氨基酸评价 对蛋白质评价依据氨基酸平衡理论,该理论认为质量越佳的蛋白质其氨基酸组成比例会越接近 FAO/WHO 模式或全蛋白模式。由表 3 可知,人工栽培羊肚菌的必需氨基酸总含量均大于 300 mg/g 蛋白质,相比野生羊肚菌,更接近 FAO/WHO 模式,与粮食

作物花生(315 mg/g 蛋白质)相当,其中林下栽培(315.38 mg/g 蛋白质)最优。说明人工栽培羊肚菌子实体的蛋白中必需氨基酸含量更丰富,但较全蛋白模式仍有一定差距。

根据 FAO/WHO 和全蛋白模式对表 3 测定的必需氨基酸组成比较分析,得出野生和 3 种栽培模式羊肚菌子实体的 AAS 和 CS,见表 4 和表 5。基于 AAS 计算结果,所有样品中第一、二限制性氨基酸分别是蛋氨酸+半胱氨酸和赖氨酸。所有样品中苏氨酸和色氨酸的 AAS 评分都大于 1,苯丙氨酸+酪氨酸的 AAS 评分除野生样品外也都大于 1。基于 CS 计算结果,发现所有样品中第一限制性氨基酸也是蛋氨酸+半胱氨酸,与 AAS 中的结果相同,但其第二限制性氨基酸不一样都是异亮氨酸。整体来看人工栽培样品必需氨基酸的 CS 评分普遍高于野生样品,但 CS 评分除了温棚模式的色氨酸外均小于 1。

综合上述各样品的氨基酸含量及对必需氨基酸进行评价的结果,人工栽培羊肚菌的氨基酸营养价值是优于野生羊肚菌的,这可能与人工栽培时具有含丰富氨基酸的氮源有关。另外从 AAS 与 CS 分析结果也发现,虽然所有样品必需氨基酸种类齐全,但存在限制性氨基酸:蛋氨酸、半胱氨酸、赖氨酸、异亮氨酸等,限制性氨基酸的缺乏会影响其他必需氨基酸在人体内的充分利用而造成浪

费,因此为了提高羊肚菌各类必需氨基酸的整体利用率,需在饮食中补充富含这些限制性氨基酸的食品。

2.3 脂肪酸组成

由表 6 可知,野生羊肚菌和 3 种栽培模式羊肚菌样品中均检出油酸、亚油酸及棕榈油酸等 11 种主要的脂肪酸成分(包括 6 种不饱和脂肪酸,5 种饱和脂肪酸),其中 6 种不饱和脂肪酸经检测单不饱和脂肪酸有 5 种,多不饱和脂肪酸有 1 种。除了弓棚栽培样品中不饱和脂肪酸占总脂肪酸的比例低于 70%外,其余样品均超过了 75%,由高到低顺序是:野生>林下栽培>温棚栽培>弓棚栽培,并且野生和林下栽培样品已高达 82%左右。油酸和亚油酸这两种不饱和脂肪酸在各样品中所占比例都是最高的,其中野生羊肚菌亚油酸的含量最多,林下栽培稍次之;温棚栽培的油酸含量最高,林下栽培稍次之。因此,不管野生还是栽培的羊肚菌对人体来说均是有益的食物来源,可提供人体自身不能合成必须从膳食中摄取的亚油酸和亚麻酸。试验所用样品中的脂肪酸均以不饱和脂肪酸为主,与以往对食用菌脂肪酸的研究^[13]结果一致。

2.4 矿物质元素

由表 7 可知,野生羊肚菌和 3 种栽培模式羊肚菌样品中都有丰富的矿物质元素,如对人体有益的 K、Na、Ca、Mg、P、S 等常量元素以及必需的 Fe、Zn、Cu、Mn、Sr、Si、Se

表 3 样品必需氨基酸的组成模式

Table 3 Essential amino acid composition pattern in samples									mg/g 蛋白质
样品	Thr	Val	Ile	Leu	Lys	Trp	Met+Cys	Phe+Tyr	总含量
野生	42.43	40.83	32.04	51.16	34.52	10.32	11.04	58.84	281.18
温棚栽培	45.49	42.48	33.93	52.73	39.97	18.19	10.75	66.54	310.08
弓棚栽培	40.52	40.46	30.65	51.50	39.92	14.20	22.33	61.68	301.26
林下栽培	43.97	42.49	36.58	54.93	40.23	14.88	17.86	64.17	315.38
FAO/WHO 模式	40	50	40	70	55	10	35	60	360
全蛋白模式	51	73	66	88	64	16	55	100	513

表 4 样品必需氨基酸 AAS 评价

Table 4 AAS evaluation analysis of essential amino acid in samples									
样品	Thr	Val	Ile	Leu	Lys	Trp	Met+Cys	Phe+Tyr	第一限制氨基酸
野生	1.06	0.82	0.80	0.73	0.63	1.03	0.32	0.98	Met+Cys
温棚栽培	1.14	0.85	0.85	0.75	0.73	1.82	0.31	1.11	Met+Cys
弓棚栽培	1.01	0.81	0.77	0.74	0.73	1.42	0.64	1.03	Met+Cys
林下栽培	1.10	0.85	0.91	0.78	0.73	1.49	0.51	1.07	Met+Cys

表 5 样品必需氨基酸 CS 评价

Table 5 CS evaluation analysis of essential amino acid in samples									
样品	Thr	Val	Ile	Leu	Lys	Trp	Met+Cys	Phe+Tyr	第一限制氨基酸
野生	0.83	0.56	0.49	0.58	0.54	0.65	0.20	0.59	Met+Cys
温棚栽培	0.89	0.58	0.51	0.60	0.62	1.14	0.20	0.67	Met+Cys
弓棚栽培	0.79	0.56	0.46	0.59	0.62	0.89	0.41	0.62	Met+Cys
林下栽培	0.86	0.58	0.55	0.62	0.63	0.93	0.32	0.64	Met+Cys

表 6 样品脂肪酸组成

Table 6 Determination of fatty acid in samples %

脂肪酸	野生	温棚栽培	弓棚栽培	林下栽培
油酸	11.95	15.90	13.58	15.31
亚油酸	69.35	59.48	54.62	65.57
棕榈油酸	0.24	0.10	0.11	0.08
顺式-15-二十四烯酸	0.08	0.06	0.07	0.07
反油酸	0.57	0.42	0.31	0.34
芥酸	0.14	0.19	0.23	0.15
己酸	0.08	0.20	0.31	0.10
肉豆蔻酸	0.05	0.07	0.12	0.04
-棕榈酸	14.34	17.75	22.09	15.18
硬脂酸	3.15	5.78	8.49	3.10
二十四烷酸	0.07	0.06	0.07	0.06
单不饱和脂肪酸	12.98	16.67	14.3	15.95
多不饱和脂肪酸	69.35	59.48	54.62	65.57
不饱和脂肪酸	82.33	76.15	68.92	81.52
饱和脂肪酸	17.69	23.86	31.08	18.48

等微量元素。通过对比各元素的含量发现,常量元素中,K 含量最高均超过 2 000 mg/100 g,其次是 P,然后是 S、Ca 和 Mg;微量元素中,含量最高的是 Fe,其次是 Zn,然后是 Mn、Cu 和 Si。通过对比不同样品发现,野生和人工栽培样品矿物质元素含量相差较大,总体来说,除 Na、Fe、Sr 3 种元素外,野生羊肚菌的矿物质元素含量更丰富,其 K、P 等常量元素及 Zn、Cu 等微量元素明显高于人工栽培样品,可能陕北南泥湾地区的土壤和气候条件有利于野生羊肚菌对大多数矿物质元素的富集;另外 3 种栽培模式之间的元素含量也有着比较明显的差别,其中弓棚栽培的常量元素 K、Na、Mg、P 以及微量元素 Fe、Zn、Cu、Mn、Sr、Se 含量均最高,可能野生与人工栽培模式之间的差异对羊肚菌矿物质元素的含量有影响,但具体原因还需进一步的探讨。此外,对限量元素的检测发现,野生、温棚及林下栽培样品中有 Cd 存在,但均未超过 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》的上限(0.50 mg/kg),而且所有样品未检测到 As、Pb、Hg。相比野生环境不可控的因素,人工栽培羊肚菌通过控制培养基质和环境条件可以调节各种矿物质元素的富集,同时可控制对重金属的摄入,降低重金属污染风险。

3 结论

试验对陕北南泥湾野生羊肚菌及从该地区驯化的羊肚菌菌株在不同栽培模式(温棚、弓棚、林下)下子实体的营养成分进行了检测和分析比较。结果显示:所有羊肚菌样品都有着蛋白含量高、脂肪含量低的特点,人工栽培羊肚菌蛋白、脂肪、碳水化合物和水分含量整体上比野生的略高,从基本营养成分看,人工栽培的营养价值要略优于野生;野生和3种栽培模式都检测出18种氨基酸及

表 7 样品矿物质元素检测[†]

Table 7 Determination of mineral composition in samples mg/100 g

元素	野生	温棚栽培	弓棚栽培	林下栽培
K	7 158.83	2 105.10	2 507.30	2 081.54
Na	14.95	48.14	222.69	24.56
Ca	618.21	160.20	199.32	209.83
Mg	310.95	96.55	186.81	89.60
P	2 677.63	1 092.59	1 360.17	1 054.41
S	535.28	379.39	339.10	334.82
Fe	28.72	4.62	28.81	5.78
Zn	25.51	10.34	10.69	9.60
Cu	4.92	1.02	1.29	0.94
Mn	4.75	2.79	3.36	2.26
Sr	1.64	1.14	2.34	0.60
Si	4.77	1.76	2.30	3.63
Se	0.05	0.03	0.04	0.01
Cd	0.033	0.015	—	0.011
As	—	—	—	—
Pb	—	—	—	—
Hg	—	—	—	—

[†] “—”代表未检出。

8 种必需氨基酸,必需氨基酸总量占氨基酸总量的35%~45%,但人工栽培的氨基酸含量更高,氨基酸的营养价值总体高于野生;所有样品中的脂肪酸都主要是不饱和脂肪酸,其野生和林下栽培的含量最高;所有样品中矿物质元素丰富,野生和人工栽培相比,前者矿物质元素含量更高,3 种栽培模式相比,弓棚矿物质元素含量更高。

参考文献

[1] ROSSBACH M, KUMMERLE E, SCHMIDT S, et al. Elemental analysis of *Morchella esculenta* from Germany[J]. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2017, 313(1): 273-278.

[2] TANG Yu, CHEN Jin-long, LI Fu-hua, et al. Antioxidant and antiproliferative activities of modified polysaccharides originally isolated from *Morchella angusticepes* Peck[J]. Journal of Food Science, 2019, 84(3): 448-456.

[3] 孙巧弟, 张江萍, 谢洋洋, 等. 羊肚菌营养素、功能成分和保健功能研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(5): 323-328.

SUN Qiao-di, ZHANG Jiang-ping, XIE Yang-yang, et al. Recent progress in research on nutrients, functional components and health benefits of *Morchella esculenta* [J]. Food Science, 2019, 40(5): 323-328.

[4] VIEIRA V, FERNANDES A, BARROS L, et al. Wild *Morchella conica* Pers. from different origins: A comparative study of nutritional and bioactive properties[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(1): 90-98.

(下转第 73 页)