

灵芝不同生长阶段营养品质变化规律研究*

刘义军^{1,2}, 卜梦婷³, 刘洋洋^{1,2}, 龚 霄^{1,2}, 唐月登⁴, 李积华^{1,2**}

(1. 中国热带农业科学院农产品加工研究所, 农业农村部热带作物产品加工重点实验室, 广东 湛江 524001;
2. 海南省果蔬贮藏与加工重点实验室, 广东 湛江 524001; 3. 云南农业大学热带作物学院, 云南 普洱 665099;
4. 广东石油化工学院生物与食品工程学院, 广东 茂名 525000)

摘要:【目的】揭示灵芝不同生长阶段营养品质的变化规律, 为灵芝的采收和食用提供数据支撑。【方法】采用原子荧光光谱仪、氨基酸分析仪、原子吸收光谱仪和紫外可见分光光度计等测定不同生长阶段灵芝子实体所含的氨基酸、粗纤维、灵芝多糖、总三萜及重金属等的含量。【结果】不同生长阶段灵芝多糖的含量为0.46%~1.16%, 菌蕾期含量最高; 总三萜化合物含量为1.32%~2.22%, 成熟期含量最高; 粗纤维含量为48.60%~52.90%, 分化期含量最高; 总氨基酸含量为15.82%~21.18%, 菌蕾期含量最高, 其中组氨酸含量最高, 为5.65%~6.48%; 开伞期、成熟期和弹孢期灵芝中的重金属含量均符合国家限制标准。【结论】菌蕾期灵芝子实体营养丰富, 应该得到科学和合理的利用; 成熟期为最佳的采收期, 成熟期所得灵芝食用品质最好。

关键词: 灵芝; 营养品质; 规律; 多维度

中图分类号: S 567.310.1

文献标志码: A

文章编号: 1004-390X(2020)06-1061-06

Study on the Nutrition Quality Change in Different Growth Stages of *Ganoderma lucidum*

LIU Yijun^{1,2}, BU Mengting³, LIU Yangyang^{1,2}, GONG Xiao^{1,2}, TANG Yuedeng⁴, LI Jihua^{1,2}

(1. Key Laboratory of Tropical Crop Products Processing of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Agricultural Products Processing Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang 524001, China;

2. Hainan Key Laboratory of Storage & Processing of Fruits and Vegetables, Zhanjiang 524001, China;

3. College of Tropical Crops, Yunnan Agricultural University, Pu'er 665099, China;

4. School of Biotechnology and Food Engineering, Guangdong University of

Petrochemical Technology, Maoming 525000, China)

Abstract: [Purpose] To reveal the nutrition quality change in different growth stages of *Ganoderma lucidum* and provide data support for the harvest and consumption of *G. lucidum*. [Method] The atomic fluorescence spectrometer, amino acid analyzer, atomic absorption spectrometer, ultraviolet and visible spectrophotometer were used to analyze the content of amino acids, crude fibers, *Ganoderma* polysaccharides, total triterpene and heavy metals in the different growth stages of *G. lucidum*.

[Result] The content of *Ganoderma* polysaccharides was 0.46% to 1.16%, the bud stage was the

收稿日期: 2020-02-07

修回日期: 2020-07-16

网络首发时间: 2020-11-06 13:26:12

*基金项目: 广东省科技创新战略专项资金竞争性分配项目(2018A03022); 中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金(1630122017014, 1630122020008)“一带一路”热带项目基金(BARTP-10); 广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队建设项目(2019KJ117)。

作者简介: 刘义军(1987—), 男, 湖南沅江人, 硕士, 助理研究员, 主要从事热带农产品加工工艺与设备研制。E-mail: liuyijun-1@163.com

**通信作者 Corresponding author: 李积华(1979—), 男, 江西上饶人, 博士, 研究员, 主要从事农产品加工与贮藏研究。E-mail: foodpaper@126.com

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20201105.1344.002.html>



highest. The content of total triterpene was 1.32%-2.22%, the mature stage was the highest. The content of crude fibers was 48.60%-52.90%, the differentiation stage was the highest. The content of amino acids was 15.82%-21.18%, the bud stage was the highest, and the highest content of histidine highest in all amino acids was 5.65%-6.48%. The contents of heavy metals in the umbrella stage, mature stage and spore stage were in compliance with national standard. [Conclusion] The *G. lucidum* fruit body obtained in the bud stage was rich in nutrition and should be used scientifically and reasonably. The mature stage was the best harvesting time and the edible quality was the best.

Keywords: *Ganoderma lucidum*; nutritional quality; regular pattern; multi-dimension

灵芝为多孔菌科真菌, 是中国重要的药用真菌, 现有灵芝品种 75 种, 但仅少数可做药物或者保健品, 如赤芝 [*Ganoderma lucidum* (Leyss. ex Fr.) Karst] 和紫芝 (*Ganoderma sinense* Zhao, Xu et Zhang) 等^[1]。灵芝子实体中含有糖类(还原糖和多糖)、三萜类、甾醇类、氨基酸、蛋白质、香豆精苷和核苷类等^[2]成分。国内外研究主要集中于多糖和三萜类在免疫调节^[3]、多靶点抗肿瘤^[4]、降血脂^[5]、抗化学性和免疫性肝损伤^[6]等方面, 但灵芝子实体中诸多成分均有特殊功效, 如灵芝多肽具有很好的抗羟基自由基活性^[7]。

灵芝生长过程中受品种、培养基质和生长环境等影响, 导致其不同生长阶段营养品质存在一定的差异^[8]。但已有研究多是基于单一指标或因素分析灵芝的营养品质, 缺少综合分析研究。灵芝生长过程中营养成分的含量随灵芝的生长呈动态变化, 也必定引起其功效的变化, 因此, 有必要从多类型指标研究灵芝不同生长阶段营养品质变化规律, 为更好地利用灵芝提供数据支撑, 但关于这方面的研究目前尚未见报道。本研究以大红芝(赤灵芝)为研究对象, 从其基本营养(水分、蛋白质和粗纤维)、重金属(有益和有毒)、氨基酸和功能性营养(灵芝多糖和总三萜)等多类型指标研究其不同生长阶段品质变化规律, 为指导大红芝的采收及产品开发提供基础数据支撑。

1 材料与方法

1.1 灵芝培养与样品采集

灵芝培养在广东省湛江市广东农垦现代农业产业园核心区进行, 供试种为大红芝(赤芝)。培养基配方为: 甘蔗渣 40%、棉籽壳 43%、玉米粉 15%、石灰 2%, 含水量 50%~60%。菌丝体培养条件: 温度 25~28 ℃, 相对湿度 60%~65%, 遮光; 子实体培养条件: 温度 25~28 ℃, 相对湿

度 80%~95%, 散射光。灵芝生长过程中经历菌蕾期、菌盖分化期、开伞期、成熟期和弹孢期, 在不同阶段分别采集 500 g 样品置于热风干燥箱中, 50 ℃ 干燥 24 h, 然后粉碎过 40 目筛, 保存备用。

1.2 样品指标测定

1.2.1 基础营养成分的测定

含水量的测定参考 GB 5009.3—2016; 蛋白质含量的测定参考 GB 5009.124—2016, 以总氨基酸含量表示; 粗纤维含量的测定参考 GB/T 5009.10—2003。

1.2.2 重金属含量的测定

Fe 的测定参考 GB 5009.90—2016; Cu 的测定参考 GB 5009.13—2017; Cd 的测定参考 GB 5009.15—2014; As 的测定参考 GB 5009.11—2014; Pb 的测定参考 GB 5009.12—2017; Hg 的测定参考 GB 5009.17—2014; Se 的测定参考 GB 5009.93—2017。

1.2.3 灵芝多糖的测定

参考《中国药典》2015 年版第一部所述方法。

标准曲线的制作: 分别量取 0.12 mg/mL 的葡萄糖标准溶液 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 和 1.2 mL, 置于 10 mL 具塞试管中, 各加水 2.0 mL, 加入硫酸蒽酮溶液(称取 0.1 g 蒽酮, 加 100 mL 硫酸溶液, 溶解摇匀) 6 mL, 摇匀, 放置 15 min, 立即置于冰浴中冷却 15 min 后取出。以不加葡萄糖所制备的试剂为空白对照, 625 nm 波长处测定吸光度, 以吸光度 (A) 为纵坐标, 质量浓度 (ρ , $\mu\text{g/mL}$) 为横坐标, 得到标准曲线回归方程 $A=0.0418c-0.0297$, $R^2=0.994$ 。

供试样品溶液的制备: 称取约 2 g 样品置于圆底烧瓶, 加 60 mL 水, 静置 1 h, 加热回流 4 h; 趁热滤过, 用少量热水洗涤滤器和滤渣, 将滤渣及滤纸置于烧瓶中, 加 60 mL 水, 加热回流 3 h; 趁热滤过, 合并滤液, 置水浴上蒸干, 残渣用 5 mL

水溶解,边搅拌边缓慢滴加 75 mL 乙醇,摇匀,在 4 ℃ 放置 12 h,离心后弃去上清液,沉淀物用热水溶解并转移至 50 mL 量瓶中,放冷,定容后摇匀,取溶液适量,离心,量取 3 mL 上清液移至 25 mL 容量瓶中,定容后摇匀即得。

测定方法:量取 2 mL 样品溶液移至 10 mL 具塞试管中,按照本节标准曲线的制作方法,测定吸光度,从标准曲线上读出供试样品溶液中无水葡萄糖的含量并计算。

本品按干燥品计算,含灵芝多糖以无水葡萄糖($C_6H_{12}O_6$)计,不得少于 0.9%。

1.2.4 灵芝总三萜的测定

参考《中国药典》2015 年版第一部所述方法。

对照样品的制备:称取 10 mg 齐墩果酸对照样品移至 50 mL 容量瓶中,加无水甲醇定容,配制成 0.2 mg/mL 的对照品溶液。

标准曲线的制作:分别量取对照品溶液 0.1、0.2、0.3、0.4 和 0.5 mL,置于 15 mL 具塞试管中,挥干,放冷,加入 0.2 mL 新配制的香草醛冰醋酸溶液(称取 0.5 g 香草醛,加冰醋酸溶解成 10 mL)和 0.8 mL 高氯酸溶液,摇匀,在 70 ℃ 水浴中加热 15 min,立即置于冰浴中冷却 5 min,取出,加入 4 mL 乙酸乙酯,摇匀,以不加齐墩果酸所制备的试剂为空白对照,按照紫外可见分光光度法(通则 0401),于 546 nm 波长测其吸光度,以吸光度(A)为纵坐标,质量浓度(ρ , $\mu\text{g/mL}$)为横坐标,得到标准曲线回归方程 $A=0.0495\rho-0.0454$, $R^2=0.9912$ 。

供试样品溶液的制备:称取约 2 g 样品置于具塞锥形瓶中,加 50 mL 乙醇,超声处理(功率 140 W,频率 42 kHz) 45 min,滤过,滤液置于 100 mL 量瓶中,用适量乙醇分次洗涤滤器和滤渣,洗液并入同一量瓶中,加无水乙醇定容,摇匀后即得。

测定方法:量取 0.2 mL 样品溶液置于 15 mL 具塞试管中,参照本节标准曲线的制作方法,测定吸光度,从标准曲线上读出供试样品溶液中齐墩果酸的含量并计算。

本品按干燥品计算,含三萜及甾醇以齐墩果酸计,不得少于 50%。

1.3 数据处理与分析方法

采用 Microsoft Excel 2010 和 Origin 8.0 进行数据分析与制图进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 灵芝不同生长阶段常规营养成分含量变化规律

由图 1 可知:灵芝子实体生长过程中,含水量呈现出先增加后下降的变化趋势,处于菌盖分化期的子实体含水量最高,为 78.00%;蛋白质含量呈现出从菌蕾期到分化期降低,分化期到成熟期升高,成熟期到弹孢期降低的趋势,菌蕾期含量最高,其次为成熟期;粗纤维含量呈现出上升—下降—上升—下降的变化趋势,分化期的子实体粗纤维含量最高,为 52.90%。

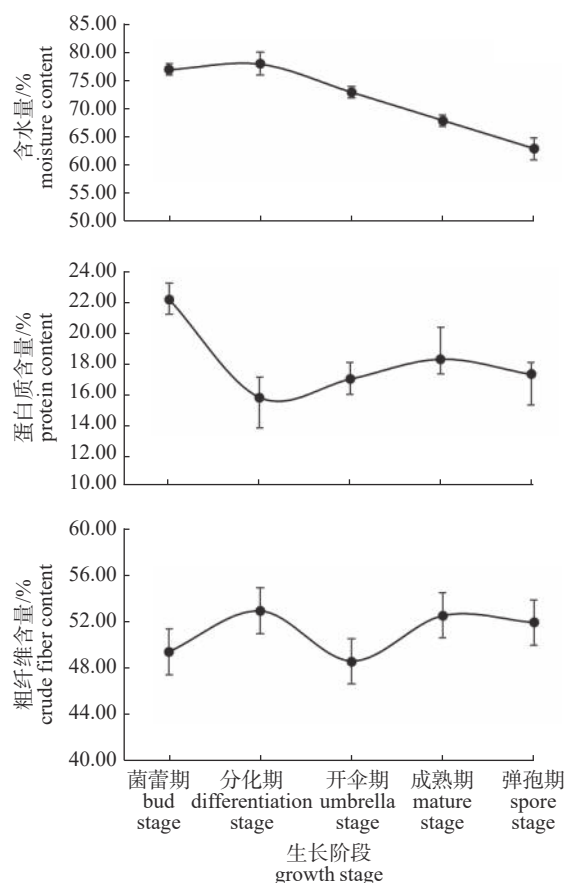


图 1 灵芝不同生长阶段常规营养成分变化

Fig. 1 The change of conventional nutritions in different growth stages of *G. lucidum*

2.2 灵芝不同生长阶段氨基酸含量的变化规律

由表 1 可知:不同生长阶段灵芝检出了 17 种氨基酸,包括 7 种必需氨基酸和 10 种非必需氨基酸,其中色氨酸由于试验方法的原因未检出。必需氨基酸和非必需氨基酸的总含量由高到低的趋势为:菌蕾期>成熟期>弹孢期>开伞期>分化期。灵芝所含氨基酸主要为组氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸和苏氨酸等,其中组氨酸含量最

高。除赖氨酸、甘氨酸、精氨酸、酪氨酸和组氨酸外，天冬氨酸等氨基酸含量整体呈现出从菌蕾期到分化期降低、分化期到成熟期升高、成熟期到弹孢期降低的趋势，其含量以菌蕾期最高；甘氨酸呈现出逐渐增加的趋势，成熟期含量最高；精氨酸在开伞期含量最高；酪氨酸在菌蕾期含量最高；赖氨酸和组氨酸在成熟期含量最高。

2.3 灵芝不同生长阶段重金属含量的变化规律

由表 2 可知：在灵芝子实体生长过程中，开

伞期、成熟期和弹孢期的有益微量重金属元素铜、铁、硒含量及有毒微量重金属元素镉、砷、铅、汞含量都符合国家相关限量标准。铜、铁、硒含量在菌蕾期最高，成熟期最低，说明菌蕾期对生长有益的重金属的富集作用最强。镉含量在分化期最高，成熟期含量最低；砷含量在菌蕾期和成熟期最高，分化期最低；铅含量在菌蕾期最高，开伞期和成熟期最低；汞含量在生长各阶段都未检出；说明有毒微量重金属元素随着灵芝的

表 1 灵芝不同生长阶段氨基酸含量变化

Tab. 1 The change of amino acid contents in different growth stages of *G. lucidum*

%

氨基酸 amino acid	菌蕾期 bud stage	分化期 differentiation stage	开伞期 umbrella stage	成熟期 mature stage	弹孢期 spore stage
苏氨酸 Thr*	1.11	0.79	0.81	0.91	0.89
缬氨酸 Val*	1.11	0.71	0.75	0.82	0.77
蛋氨酸 Met*	0.22	0.11	0.12	0.13	0.11
异亮氨酸 Ile*	0.75	0.48	0.49	0.57	0.52
亮氨酸 Leu*	1.21	0.71	0.70	0.81	0.78
苯丙氨酸 Phe*	0.88	0.48	0.57	0.66	0.62
赖氨酸 Lys*	0.66	0.54	0.60	0.69	0.68
天冬氨酸 Asp	2.84	1.27	1.35	1.51	1.46
丝氨酸 Ser	1.02	0.77	0.78	0.87	0.86
谷氨酸 Glu	2.18	1.26	1.34	1.44	1.46
脯氨酸 Pro	0.87	0.50	0.55	0.67	0.64
甘氨酸 Gly	0.06	0.68	0.74	0.80	0.80
丙氨酸 Ala	1.27	0.88	0.90	0.99	1.00
酪氨酸 Tyr	0.56	0.23	0.25	0.29	0.30
组氨酸 His	5.65	5.82	5.73	6.48	5.69
精氨酸 Arg	0.79	0.59	1.28	0.69	0.73
必需氨基酸总量 total essential amino acids	5.94	3.82	4.04	4.59	4.37
非必需氨基酸总量 total non-essential amino acids	15.24	12.00	12.92	13.74	12.94
氨基酸总量 total amino acids	21.18	15.82	16.96	18.33	17.31

注：“*”表示必需氨基酸。

Note: “*” represents essential amino acid.

表 2 灵芝不同生长阶段重金属含量变化

Tab. 2 The change of heavy metal contents in different growth stages of *G. lucidum*

mg/kg

元素 element	菌蕾期 bud stage	分化期 differentiation stage	开伞期 umbrella stage	成熟期 mature stage	弹孢期 spore stage	最大限量 maximum limit ^[9-10]
铜 Cu	25.40	20.00	18.80	11.80	18.00	20.00
硒 Se	0.12	0.10	0.10	0.09	0.09	—
铁 Fe	45.40	38.00	38.60	36.00	36.90	—
镉 Cd	0.33	0.55	0.47	0.22	0.40	0.50
砷 As	0.16	0.12	0.14	0.16	0.14	0.50
铅 Pb	0.26	0.20	0.14	0.14	0.15	1.00
汞 Hg	ND	ND	ND	ND	ND	0.10

注：—，未规定；ND，未检出。

Note: —, unspecified; ND, undetected.

生长逐渐下降。

2.4 灵芝不同生长阶段灵芝多糖和总三萜含量的变化规律

由图2可知:灵芝子实体灵芝多糖含量呈现出不断下降的变化趋势,其中成熟期到弹孢期的下降趋势最为明显,处于菌蕾期的灵芝多糖含量最高,为1.16%。总三萜含量呈现出先上升后下降的变化趋势,处于成熟期的总三萜含量最高,为2.22%。

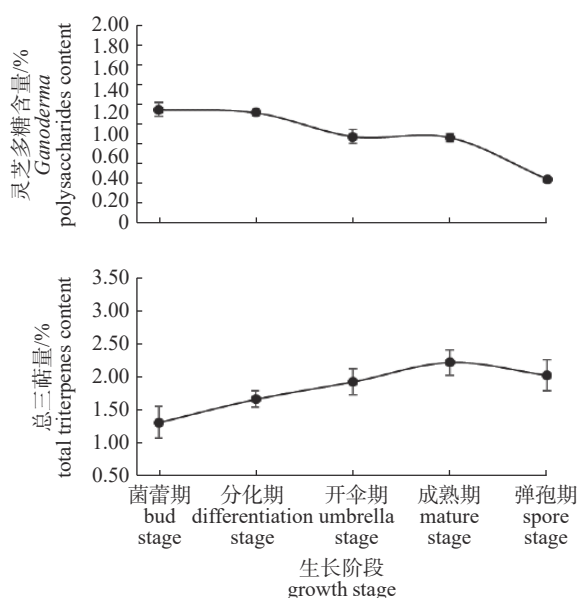


图2 灵芝不同生长阶段灵芝多糖和总三萜含量变化

Fig. 2 The content change of *Ganoderma* polysaccharides and total triterpene in different growth stages of *G. lucidum*

3 讨论

灵芝属于腐生性真菌,需要吸收营养基质中的碳源、氮源、无机盐和水分等维持子实体正常的生长代谢活动,且子实体不同生长阶段的含水量和蛋白质等存在一定的差异性。姚松君^[11]研究认为:赤芝和紫芝水分含量随着生长的成熟发生逐步减少的变化,越到成熟后期,水分含量就越少,与本研究结果一致,说明灵芝品种对水分变化规律无影响。闫征等^[12]研究表明:不同产地灵芝子实体蛋白质含量为5.0%~7.8%;王红梅等^[13]研究表明:不同灵芝菌株子实体蛋白质为7%~14%;而本研究所测蛋白质为15.8%~21.2%,相对较高,其原因可能是栽培基质和试验品种存在差异。成熟期采收所得灵芝子实体粗纤维含量高达52.5%,基于此特性,王激等^[14]以灵芝药渣和

漂白阔叶木浆为原料制备了用于中草药包装的材料,研究所得数据为指导灵芝加工后剩余物残渣的二次开发利用提供了基础数据支撑。

灵芝中氨基酸不仅种类丰富,而且含量高^[15],其在生长代谢过程中合成灵芝多肽和糖肽^[16-17]等生物活性物质,对提高人体免疫力^[18]、改善睡眠^[19]和抗肿瘤^[4]等具有重要作用。通过研究灵芝氨基酸含量及组成的变化规律,发现本研究所得灵芝子实体中组氨酸含量为5.6%~6.5%,比何慧等^[20]和闫征等^[12]分析灵芝中组氨酸含量(分别为0.5%和0.1%)高达10倍以上,造成如此大的差异可能是栽培培养基和品种等不同导致。

灵芝对重金属富集能力受栽培环境、栽培方法、栽培基质以及成熟度等因素的影响^[8, 21-22]。邢增涛等^[23]研究认为:菌蕾期对灵芝生长有益重金属的富集作用最强,本研究与其有一致的规律,但是本研究中没有检出汞,其他有害金属元素含量偏高,可能由于二者研究的品种^[22]和栽培基质^[8]等不同而存在差异。

灵芝多糖和总三萜是灵芝重要的功能性成分,在抗肿瘤、免疫调节、抗糖尿病、保肝护肝、保护心肌细胞和抗辐射等方面有多种药理作用。钱磊等^[24]研究表明:灵芝从菌蕾期开始,随着糖代谢相关酶活性逐渐升高,灵芝多糖含量逐渐增加,成熟期达到最大值(2.23%),与本研究结果存在较大差异的原因可能是二者灵芝品种及栽培基质的不同而导致。姚松君^[11]研究表明:赤芝从菌蕾期到成熟期逐渐增加,且在成熟期灵芝三萜含量最高(2.17%),弹孢后灵芝总三萜含量逐渐降低,本试验与其存在的差异较小;但是对紫芝研究的结果表明:从菌蕾期到弹孢期,灵芝总三萜含量呈现出增加—降低—增加—降低的趋势,因此不同品种灵芝总三萜含量变化规律存在一定的差异性。大量研究表明:灵芝的苦味主要来源于灵芝三萜^[25-27],本研究通过研究成熟期与弹孢期灵芝中灵芝总三萜含量的变化规律,解释了灵芝孢子粉微苦,而灵芝子实体较苦。本研究未对不同生长阶段灵芝子实体的生物活性以及各功能性物质的结构等进行对比研究,期待后期做进一步的深入研究。

灵芝生长过程中子实体内各种营养成分都在不断变化,且多种组分的含量并非同时出现最大值和最小值,因此有必要从多类型指标进行分

析,综合考虑灵芝在提高免疫力、抗肿瘤等方面的生物活性来确定最适宜的采收期,或者将不同生长阶段的灵芝子实体依据其营养特性加工成最适合的产品。传统的分析方法只考虑某 1 种或 2 种成分的高低,势必会降低灵芝的营养品质,因此,非常有必要从多类型指标的变化研究其不同生长阶段品质变化规律,为指导大红芝的采收及产品开发提供基础数据支撑。

4 结论

大红芝子实体从菌蕾萌发到子实体成熟、弹孢过程中,子实体的含水量呈现出从菌蕾期到分化期增加、分化期到弹孢期逐渐减少的趋势;灵芝多糖含量呈现出不断下降的趋势;总氨基酸含量呈现出从菌蕾期到分化期降低、分化期到成熟期升高、成熟期到弹孢期降低的趋势;粗纤维含量的波动虽然较大,但与总三萜含量总体均呈现出从菌蕾期到成熟期增加、成熟期到弹孢期降低的趋势。灵芝生长进入开伞期后,有益微量重金属和有害微量重金属含量都符合国家相关标准。在灵芝生产过程中被去掉的多余菌蕾实际上非常有营养,应该科学合理的利用;从灵芝的品质以及产量考虑,确定成熟期为最佳的灵芝采收期,且品质较好。

[参考文献]

- [1] 林志彬. 灵芝从神奇到科学[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2013.
- [2] ZHAO C, ZHANG C C, XING Z, et al. Pharmacological effects of natural *Ganoderma* and its extracts on neurological diseases: a comprehensive review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 121: 1160. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.10.076.
- [3] LIU T, ZHOU J C, LI W X, et al. Effects of sporoderm-broken spores of *Ganoderma lucidum* on growth performance, antioxidant function and immune response of broilers[J]. Animal Nutrition, 2020, 6(1): 39. DOI: 10.1016/j.aninu.2019.11.005.
- [4] FU Y L, SHI L, DING K. Structure elucidation and anti-tumor activity *in vivo* of a polysaccharide from spores of *Ganoderma lucidum* (Fr.) Karst[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 141: 693. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.09.046.
- [5] XU Y, ZHANG X, YAN X H, et al. Characterization, hypolipidemic and antioxidant activities of degraded polysaccharides from *Ganoderma lucidum*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 135: 706. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.05.166.
- [6] LI T Q, YU H R, SONG Y Y, et al. Protective effects of *Ganoderma* triterpenoids on cadmium-induced oxidative stress and inflammatory injury in chicken livers[J]. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 2019, 52: 118. DOI: 10.1016/j.jtemb.2018.12.010.
- [7] 何慧, 谢笔钧, 吕玉华, 等. 发酵灵芝中肽类化合物的分离及其生物活性研究[J]. 华中农业大学学报, 1997, 16(5): 416.
- [8] 吴鸿雪, 吕旭聪, 唐庆九, 等. 栽培条件对灵芝子实体中四种重金属含量的影响[J]. 菌物学报, 2020, 39(1): 137. DOI: 10.13346/j.mycosystema.190127.
- [9] ISO 18664: 2015. Traditional Chinese Medicine: Determination of heavy metals in herbal medicines used in Traditional Chinese Medicine[S].
- [10] GB 2762—2017. 食品安全国家标准食品中污染物限量[S].
- [11] 姚松君. 灵芝三萜的超声波提取工艺及其指纹图谱检测方法的比较研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [12] 闫征, 郝利民, 张黎明, 等. 3种不同产地灵芝子实体主要化学成分比较[J]. 食品科学, 2019, 40(6): 240. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-20180620-396.
- [13] 王红梅, 王晨光, 张圣龙, 等. 灵芝不同菌株子实体中蛋白质和多糖等化学组分含量的比较研究[J]. 上海农业学报, 2013, 29(3): 10. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3924.2013.03.003.
- [14] 王激, 李敏雯, 杨仁党, 等. 中草药药渣作为浆料的纸张配抄研究[J]. 中国造纸, 2016, 35(11): 23. DOI: 10.11980/j.issn.0254-508X.2016.11.006.
- [15] 陈体强, 徐洁, 吴锦忠. 福建省常见灵芝的氨基酸分析比较[J]. 海峡药学, 2004, 16(5): 1. DOI: 10.3969/j.issn.1006-3765.2004.05.001.
- [16] ANDRI W T, TEUKU H. The inhibitory effects of polysaccharide peptides (PsP) of *Ganoderma lucidum* against atherosclerosis in rats with dyslipidemia[J]. Heart International, 2017, 12(1): e1. DOI: 10.5301/heartint.5000234.
- [17] WU Q, LI Y, PENG K, et al. Isolation and characterization of three antihypertension peptides from the mycelia of *Ganoderma lucidum* (Agaricomycetes)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(29): 8149. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b02276.
- [18] 程丽佳, 谢欣蓉, 杨明, 等. 灵芝提取物对提高小鼠机体免疫力作用研究[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2017, 36(4): 361. DOI: 10.3969/j.issn.1004-5422.2017.04.007.
- [19] 贾薇, 吴岷, 张劲松, 等. 灵芝成分改善睡眠功能试验初探[J]. 食用菌学报, 2005, 12(3): 43. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9873.2005.03.008.
- [20] 何慧, 孙颀, 谢笔钧. 灵芝生物活性肽的分离及组成研究[J]. 食品科学, 2001, 1(5): 56. DOI: 10.3321/j.issn:1002-6630.2001.05.017.
- [21] 蔡迎丰. 不同来源灵芝中重金属与多糖分析与安全性评估[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [22] 王皋. 不同食用菌重金属含量测定及富集能力初步研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2017.
- [23] 邢增涛, 周昌艳, 张劲松, 等. 不同生长阶段灵芝中微量元素与重金属含量分析[J]. 中药材, 2001, 24(7): 469. DOI: 10.3321/j.issn:1001-4454.2001.07.001.
- [24] 钱磊, 张志军, 陈晓明, 等. 灵芝不同生长期子实体多糖含量及糖代谢相关酶活性研究[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(3): 128. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6221.2019.03.020.
- [25] 丁平, 张丹雁, 徐鸿华. RP-HPLC法测定不同部位灵芝中灵芝酸B含量[J]. 中草药, 2001, 32(4): 24. DOI: 10.3321/j.issn:0253-2670.2001.04.012.
- [26] 李国华, 李晔, 梅锡玲, 等. 灵芝三萜类化合物研究进展[J]. 中草药, 2015, 46(12): 1858. DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2015.12.028.
- [27] 谭贻, 唐传红, 冯杰, 等. 灵芝三萜生物合成及调控研究进展[J]. 食用菌学报, 2019, 26(3): 125. DOI: 10.16488/j.cnki.1005-9873.2019.03.016.

责任编辑: 何馨成