

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240302005

不同生长发育阶段紫芝营养成分含量的研究

孔子浩^{1,2}, 王宏雨^{1,2}, 翁梦婷^{1,2}, 罗贝贝^{1,2}, 张迪^{1,2*}

(1. 福建省农业科学院食用菌研究所, 福州 350014; 2. 福建省农业科学院特色食用菌繁育与栽培国家地方联合工程研究中心, 福州 350014)

摘要: **目的** 研究不同生长发育期紫芝的营养成分含量。**方法** 采收幼菇期、快收边、收边、灰底、开始喷粉阶段的新鲜紫芝子实体, 分别进行冷冻干燥, 对比分析其营养成分含量, 并与热风干燥成熟期紫芝、赤芝的营养成分含量进行比较分析。**结果** 从干燥方式对营养成分含量的影响分析: 冻干紫芝的蛋白质、粗纤维、总三萜、锌的含量分别为 12.7%~16.6%、57.2%~59.9%、0.829%~1.050%、26.7~33.2 mg/kg, 明显高于热风干燥成熟期的紫芝和赤芝。从紫芝不同生长发育阶段的营养成分含量分析: 幼菇阶段冻干紫芝的总糖、蛋白质、总氨基酸、铁、锌含量最高, 分别为 8.217%、16.6%、14.63%、205.0 mg/kg、33.2 mg/kg; 亚油酸的相对含量最高, 为 69.3%。灰底阶段紫芝的多糖、总三萜、锌含量较高, 分别为 1.438%、1.050%、28.3 mg/kg。**结论** 采用冷冻干燥的方式更有利于紫芝营养成分含量的保持, 幼菇期和灰底阶段的紫芝在营养成分含量更具优势。

关键词: 不同生长阶段紫芝; 冷冻干燥; 营养成分

Study on different growth stages on nutrient content of *Ganoderma sinense*

KONG Zi-Hao^{1,2}, WANG Hong-Yu^{1,2}, WENG Meng-Ting^{1,2},
LUO Bei-Bei^{1,2}, ZHANG Di^{1,2*}

(1. Institute of Edible Fungi, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350014, China;
2. National and Local Joint Engineering Research Center for Breeding & Cultivation of Featured Edible Fungi, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350014, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the content of nutrients in different growth stage of *Ganoderma sinense*. **Method** The fruit bodies of *Ganoderma sinense* in young mushroom stage, fast harvesting edge, closing edge, gray bottom, and beginning to be dusted were collected, and then dried by the freeze-drying method. Next, the nutritional components were analysed, and compared with hot air dried and mature period *Ganoderma sinense* and *Ganoderma lucidum*. **Result** The effects of drying methods on the content of nutrients were analyzed: the results showed that the contents of protein, crude fiber, total triterpenoid and zinc in lyophilized *Ganoderma sinense* were 12.7%–16.6%、57.2%–59.9%、0.829%–1.050%、26.7–33.2 mg/kg, which was significantly higher than hot air dried and mature period *Ganoderma sinense* and *Ganoderma lucidum*. Analysis of nutrient content in different growth and

基金项目: 福建省属科技计划公益类专项(2022R1035002)、福建省农业科学院科技创新团队建设专项(CXTD2021045)、福建省农业高质量发展超越“5511”协同创新工程项目(XTCXGC2021014)

Fund: Supported by the Fujian Provincial Science and Technology Program Public Welfare Special Project (2022R1035002), the Science and Technology Innovation Team Building Project of Fujian Academy of Agricultural Sciences (CXTD2021045), and the Fujian Province Agricultural high-quality development beyond the "5511" Collaborative innovation project (XTCXGC2021014)

*通信作者: 张迪, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为食(药)用菌加工与功能评价。E-mail: photohost@126.com

*Corresponding author: ZHANG Di, Master, Associate Professor, Institute of Edible Fungi, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Room 7013, Scientific Research and Comprehensive Experiment Center, No.104 Pudang Road, Jin'an District, Fuzhou City, Fujian Province. E-mail: photohost@126.com

development stages of *Ganoderma sinense*: the contents of total sugar, protein, total amino acid, iron and zinc in young mushroom stage were the highest, which were 8.217%, 16.61%, 14.63%, 205.0 mg/kg and 33.2 mg/kg; the relative content of linoleic acid were the highest, which were 69.3%. The contents of polysaccharide, total triterpenoids, zinc in the grey bottom stage were 1.438%, 1.050% and 28.3 mg/kg. **Conclusion** The freeze-drying method is more conducive to main the nutrition of *Ganoderma sinense*. The young mushroom stage and gray bottom stage has better advantages in nutrients.

KEY WORDS: different growth stages of *Ganoderma sinense*; freeze-drying; nutritional composition

0 引言

灵芝为多孔菌科真菌赤芝(*Ganoderma lucidum*(Leyss. ex Fr.) Karst)或紫芝(*Ganoderma sinense* Zhao, Xu et Zhang)的干燥子实体^[1], 是我国一种珍贵的药食两用真菌, 纳入2000版《中华人民共和国药典》使其在我国具有了法定的药用价值^[2]。已有的研究中发现, 灵芝中的化学成分多且复杂^[3-6], 包括多糖类、三萜类、甾醇类、脂肪酸类、多肽、氨基酸、蛋白质、生物碱, 以及铁、镁、铜、锌、钙、磷、硼、硒等无机元素等成分。因其富含多种营养成分, 具有免疫调节^[7-8]、抗肿瘤^[9]、抗炎^[10]、抗衰老^[11]、抗病毒^[12]、抗真菌^[13]、镇定安神^[14]、降低血压^[15]、护肝^[16]、护心^[17]等作用, 在医药和保健品领域颇受欢迎^[18]。

近年来, 紫芝在我国有了良好的发展, 覃培升等^[19]利用短段木仿野生技术在广西山区栽培紫芝, 福建武夷山地区建立全国首个段木灵芝生态种植基地^[18], 海南地区发展了成熟橡胶林下的无公害栽培技术^[20]等。陈体强等^[21]报道对短段木栽培的紫芝子实体的营养成分进行分析, 发现短段木栽培紫芝具有较丰富的钙、锌等人体必需的矿物质元素; 钟礼义^[22]通过对桉树栽培紫芝的营养成分进行分析, 结果表明桉树栽培紫芝晚季粗多糖含量比对照组高13.56%; 刘养山等^[23]通过水-酶联合法制备灵芝多糖, 发现灵芝多糖具有良好的抗氧化性; HSU等^[24]总结从紫芝中分离得到的化合物超过100种。

紫芝营养成分丰富且新鲜紫芝容易腐败变质, 因此市面流通的紫芝以干品为主。常见的菌类干燥方式有自然风干、热风干燥、低温干燥等。其中, 自然风干生产成本低, 节约能源, 但干燥速度较慢, 且受环境条件的限制, 干制品色泽较差, 不耐久藏; 热风干燥速度较快但对食品营养造成一定的损失; 低温干燥保持了食品的营养价值和口感, 但干燥时间长、设备成本高。本研究引入冷冻干燥, 能最大程度地保留食品的原始品质、营养成分和风味, 并且能在较短的时间内处理大量的样品。从唐秋实等^[25]、王悦等^[26]、张越翔等^[27]的研究发现, 也证明了干燥方式会对菌类的营养成分含量产生一定的影响。但干燥方式对紫芝子实体营养成分含量的研究报道较少, 特别是当前研究主要针对的是成熟的紫芝子实体。鉴于此, 本研究以不同生长期阶段的紫芝为研究对象, 采收新鲜紫芝子实体冷冻干燥制备样品, 对

其营养成分进行检测分析, 并与烘干成熟期紫芝和赤芝比较, 以期开发紫芝鲜食加工产品提供理论支持, 为紫芝鲜食开发的最佳采收期提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料、试剂与仪器

不同生长期阶段新鲜紫芝和赤芝采集于福建省龙岩市武平县, 采样时间为2021年8月, 经福建省农业科学院食用菌研究所林衍铨研究员鉴定为赤芝、紫芝的子实体。将采收的不同生长期阶段紫芝分为幼菇期、快收边、收边、灰底、开始喷粉, 分别以GS-A、GS-B、GS-C、GS-D、GS-E表示, 以GS-F和GL-H表示烘干紫芝和赤芝。

浓盐酸、浓硫酸、苯酚、葡萄糖、香草醛、无水乙醇、甲醇、亚硝酸钠、冰醋酸、高氯酸、福林酚试剂(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 齐墩果酸、芦丁(纯度 $\geq 98\%$, 上海麦克林生化科技有限公司)。

Pilot3-6L 冷冻干燥仪(北京博医康实验仪器有限公司); DFY-1000 高速粉碎机(60目, 北京燕山正德机械设备有限公司); NV622ZH 电子天平[准确度等级: 千分之一, 奥豪斯仪器(上海)有限公司]; DK-S22 电热恒温水浴锅(上海精宏实验设备有限公司); KQ5200DE 型数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司); UVmini-1240 紫外分光光度计(日本 SHIMADZU 公司); VX-200 涡旋振荡器、5804R 大容量离心机(60目, 德国 Eppendorf 公司); MB35 水分测定仪(瑞士 OHAUS 公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 样品的处理

2021年8月份, 于福建武平地区现场采集不同生长期紫芝, 以及成熟期紫芝、赤芝。选取品相良好、外表无损伤的样品, 进行处理。对不同生长阶段的紫芝, 各选取新鲜子实体1000g, -80°C 下预冻24h后冷冻干燥制样。对成熟期紫芝、赤芝, 各选取新鲜子实体1000g, 热风烘干制样。所有样品均使用粉碎机粉碎, 于 -20°C 保存备用。

1.2.2 样液的制备

称取1g粉碎后的样品, 加入无水乙醇30mL超声提取2次, 功率200W, 每次1h, 提取液过滤后合并, 真空浓缩后用95%乙醇定容至25mL容量瓶, 4°C 冰箱保存备用。

1.2.3 营养成分分析

总糖的测定: 参照 GB/T 15672—2009《食用菌中总糖含量的测定》。

粗多糖的测定: 参照 NY/T 1676—2023《食用菌中粗多糖的测定》。

氨基酸的测定: 参照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》。

蛋白质的测定: 参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》。

总汞的测定: 参照 GB 5009.17—2014《食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定》。

水分的测定: 参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》。

脂肪的测定: 参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》。

粗纤维的测定: 参照 GB/T 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》。

灰分的测定: 参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》。

总砷的测定: 参照 GB 5009.11—2014《食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定》。

脂肪酸的测定: 参照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》。

镁的测定: 参照 GB 5009.241—2017《食品安全国家标准 食品中镁的测定》。

锌的测定: 参照 GB 5009.14—2017《食品安全国家标准 食品中锌的测定》。

铅的测定: 参照 GB 5009.12—2017《食品安全国家标准 食品中铅的测定》。

钙的测定: 参照 GB 5009.92—2016《食品安全国家标准 食品中钙的测定》。

铁的测定: 参照 GB 5009.90—2016《食品安全国家标准 食品中铁的测定》。

磷的测定: 参照 GB 5009.87—2016《食品安全国家标准 食品中磷的测定》。

镉的测定: 参照 GB 5009.15—2014《食品安全国家标准 食品中镉的测定》。

1.2.4 总三萜分析

参照葛亚哲等^[28]的方法, 以齐墩果酸为标准品, 无水甲醇配制 0.2 mg/mL 标准品溶液。分别吸取 0.00、0.10、0.20、0.30、0.40、0.50 mL 的标准溶液于 10 mL 具塞试管中, 沸水浴中除去溶剂后, 分别加入 0.8 mL 高氯酸和 0.2 mL 5% 香草醛-冰醋酸溶液, 加塞, 60℃ 水浴加热 20 min, 取出后冰水冷却, 加入 5 mL 冰醋酸, 放置 20 min, 测定 550 nm 处吸光度值, 制作标准曲线。吸取 0.3 mL 样品溶液, 按照标准曲线步骤测试样液吸光度值, 计算总三萜含量。

1.2.5 总酚分析

参考 TAWAHA 等^[29]的方法, 以没食子酸为标准品, 配制 20、100、200、300、400、500 g/mL 标准溶液, 80% 甲醇溶液为空白对照, 分别取 50 μ L 标准溶液, 加入 450 μ L 蒸馏水和 2.5 mL 0.2 mol/L 福林酚试剂, 5 min 后加入 2 mL 75 g/L Na_2CO_3 溶液, 室温避光反应 1.5 h, 测 765 nm 处的吸光度值, 制备标准曲线。取 50 μ L 上述样液, 按照标准曲线步骤测试样液吸光度值, 计算总酚含量。

1.2.6 总黄酮分析

参照杨文慧等^[30]的方法, 以芦丁为标准品, 配制 0.3 mg/mL 的标准品溶液, 取 0.0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 mL 的标准品溶液于 10 mL 容量瓶中, 用 95% 乙醇补至 6 mL, 加入 0.6 mL 的 5% 亚硝酸钠溶液, 摇匀, 静置 6 min; 加入 0.4 mL 的 5% 硝酸铝溶液, 摇匀, 静置 6 min; 加入 3 mL 的 4% NaOH 溶液, 95% 乙醇稀释至刻度, 摇匀, 静置 12 min, 以 95% 乙醇为空白溶液, 测定 510 nm 处吸光度值。取 2 mL 上述样液, 按照标准曲线步骤进行吸光度值测试。

1.3 数据处理

采用 Origin 8.5、Excel 2007 和 SPSS 23.0 进行数据分析, 其中紫芝基础和功能性营养成分数据以 3 次实验结果的平均值 $\pm$ 标准偏差表示, 并用 ANOVA 方差分析进行组间差异性检验。

2 结果与分析

2.1 营养成分分析

2.1.1 基础营养成分含量分析

不同生长期阶段紫芝照片如图 1 所示。

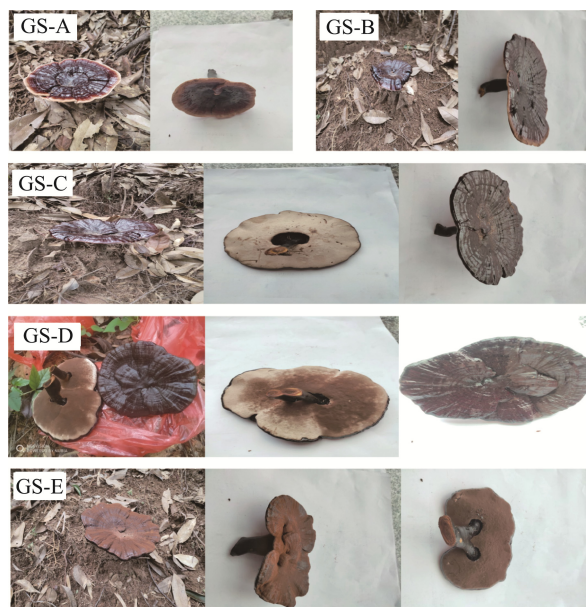


图1 不同生长阶段紫芝

Fig.1 Different growth stages of *Ganoderma sinense*

参照 GB/T 15672—2009《食用菌中总糖含量的测定》处理和检测样品的吸光度值, 其回归方程为 $A=9.82C-0.003$, $r^2=0.997$ 。由表 1 可知, 对于不同生长阶段的紫芝与热风烘干的成熟紫芝相比, 水分虽有差异, 但都少于赤芝, 说明赤芝的水分高于紫芝。紫芝的蛋白质含量、灰分高于热风烘干的成熟赤芝, 且脂肪含量更小, 说明在基础营养方面紫芝更具有优势; 紫芝的蛋白质随着不断的生长先降低后上升, 到喷粉阶段重新积累, 说明在生长阶段消耗了部分蛋白质; 经冻干处理后的紫芝, 粗纤维含量在 57.2%~59.9%之间, 明显大于热风干燥处理后的紫芝和赤芝; 冻干紫芝总糖含量在 5.550%~8.217%之间, 蛋白质含量在 12.7%~16.6%之间, 对不同时期进行对比, 发现 GS-A 的总糖、蛋白质含量均高于其他组, 分别为 8.217%和 16.6%, 说明 GS-A 的紫芝有着更好的基础营养。

2.1.2 功能性营养成分分析

灵芝含有丰富的功能性营养成分, 对供试样品的多糖、总三萜、总酚、总黄酮含量进行分析, 其中粗多糖回归方程: $A=10.00C+0.009$, $r^2=0.998$; 总三萜: $B=7.8C-0.066$, $r^2=0.998$; 总酚: $D=0.001C+0.002$, $r^2=0.995$; 总黄酮: $E=1.104C-0.002$, $r^2=0.996$ 。由表 2 可知, 冻干紫芝的粗多糖含量为 1.192%~1.438%, 总三萜含量为 0.829%~1.050%, 其中 GS-D 的粗多糖和总三萜含量最高, 为 1.438%和 1.050%, 粗多糖含量显著高于紫芝的其他阶段, 与 GL-H 1.439%含量相近, 并且总三萜的含量显著高于 GL-H, 说明在抗氧化、提高机体免疫力方面, 灰底期紫芝有着更好的效果。冻干紫芝的总酚和总黄酮含量高于烘干紫芝和赤芝, 不同生长阶段紫芝的总酚和总黄酮在开始喷粉期含量均为

最高, 且总酚经过冷冻干燥处理后, 整个生长阶段含量均高于热风干燥处理后的成熟期紫芝。说明经冷冻干燥后, 能更好的保留紫芝的营养物质。

2.1.3 氨基酸、脂肪酸对比分析

联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)推荐人体必需氨基酸(essential amino acids, EAA)/氨基酸总量(total amount of amino acids, TAA)在 40%左右, EAA/非必需氨基酸(non-essential amino acids, NEAA)大于 60%的属于优质蛋白。由表 3 可知, 供试样品 EAA/TAA 为 49.56%~56.79%, EAA/NEAA 为 98.24%~131.44%, 说明供试样品的蛋白为优质蛋白, 且具有较高营养价值。供试样品中含有 17 种氨基酸, 与已有报道^[4,31]相符, 其中 EAA 8 种, NEAA 9 种。供试样品的 EAA 含量, GS-A>GS-B>GS-F>GS-C>GS-E>GS-D>GS-H, 说明紫芝的 EAA 含量高于热风干燥的赤芝, 且 GS-A EAA 含量最高, NEAA 含量由高到低依次为 GS-A>GS-B>GS-C>GS-F>GS-E>GS-D>GS-H, 其中紫芝的 NEAA 含量高于热风干燥的赤芝, 且 GS-A 的 NEAA 含量最高, 。TAA 和药用氨基酸含量规律与 NEAA 相同, 这均说明紫芝的氨基酸含量高于热风干燥的赤芝, 且冻干紫芝中幼菇期紫芝的各类氨基酸含量最高。

由表 4 可知, 供试样品中富含多种脂肪酸, 其中饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸各占 50%。长链不饱和脂肪酸油酸和亚油酸对人体非常有益, 油酸在不同生长期阶段紫芝中的含量呈上升的趋势, 亚油酸的含量呈下降趋势。在 GS-B、GS-C、GS-D、GS-E 紫芝中还检出了顺-6,9,12-二十碳三烯酸、山嵛酸、二十二碳烯酸等长链酸。

表 1 紫芝与赤芝样品的基础营养成分及含量
Table 1 Basic nutrient composition and content of *Ganoderma sinense* and *Ganoderma lucidu*

处理	水分/%	蛋白质/%	粗纤维/%	脂肪/%	灰分/%	总糖/%
GS-A	7.07±0.060 ^b	16.6±0.451 ^a	57.6±3.700 ^a	1.2±0.019 ^f	2.9±0.062 ^b	8.217±0.238 ^a
GS-B	6.16±0.031 ^d	14.7±0.336 ^c	57.2±2.848 ^a	1.5±0.054 ^d	2.0±0.076 ^c	6.427±0.029 ^d
GS-C	5.24±0.057 ^f	13.5±0.325 ^d	59.9±2.950 ^a	1.3±0.032 ^e	1.8±0.045 ^d	8.030±0.305 ^b
GS-D	6.16±0.042 ^d	12.7±0.225 ^e	59.6±3.750 ^a	1.7±0.032 ^c	1.7±0.032 ^c	5.550±0.637 ^f
GS-E	5.44±0.047 ^e	13.3±0.290 ^d	58.3±3.651 ^a	2.2±0.061 ^b	1.9±0.059 ^d	6.367±0.203 ^e
GS-F	6.61±0.021 ^c	15.4±0.306 ^b	32.5±1.447 ^b	0.8±0.013 ^g	3.1±0.092 ^a	6.183±0.194 ^f
GL-H	14.1±0.091 ^a	9.28±0.197 ^f	33.8±1.559 ^b	2.3±0.085 ^a	1.5±0.039 ^f	7.647±0.214 ^c

注: 不同字母表示数据间显著差异, $P<0.05$; $n=3$, 下同。

表 2 紫芝与赤芝样品的功能性营养成分及含量
Table 2 Functional components and content of *Ganoderma sinense* and *Ganoderma lucidu*

处理	粗多糖/%	总三萜/%	总酚/%	总黄酮/%
GS-A	1.192±0.047 ^c	0.838±0.019 ^c	0.194±0.007 ^b	0.142±0.004 ^b
GS-B	1.387±0.018 ^b	0.884±0.045 ^b	0.191±0.004 ^b	0.154±0.003 ^a
GS-C	1.300±0.069 ^c	0.829±0.054 ^c	0.140±0.003 ^d	0.103±0.004 ^d
GS-D	1.438±0.039 ^a	1.050±0.011 ^a	0.172±0.002 ^c	0.131±0.002 ^c
GS-E	1.136±0.050 ^f	1.049±0.057 ^a	0.203±0.006 ^a	0.152±0.001 ^a
GS-F	1.212±0.103 ^d	0.612±0.016 ^f	0.131±0.003 ^c	0.105±0.004 ^d
GL-H	1.439±0.038 ^a	0.714±0.050 ^d	0.164±0.005 ^c	0.111±0.005 ^d

表 3 紫芝与赤芝样品的氨基酸及含量
Table 3 Content of amino acids in *Ganoderma sinense* and *Ganoderma lucidum*

氨基酸种类/%	GS-A	GS-B	GS-C	GS-D	GS-E	GS-F	GL-H
天门冬氨酸	1.33	1.10	1.03	0.87	0.89	0.93	0.60
苏氨酸*	0.77	0.67	0.61	0.52	0.53	0.53	0.39
丝氨酸	0.71	0.60	0.56	0.48	0.49	0.49	0.33
谷氨酸	1.80	1.45	1.29	1.04	1.09	1.08	0.66
甘氨酸	0.75	0.63	0.58	0.50	0.52	0.55	0.33
丙氨酸	0.89	0.77	0.73	0.65	0.67	0.61	0.36
胱氨酸*	0.06	0.05	0.04	0.06	0.06	0.04	0.05
缬氨酸*	0.77	0.71	0.66	0.56	0.57	0.60	0.38
蛋氨酸*	2.72	2.51	2.46	2.05	2.35	3.00	1.81
异亮氨酸*	0.51	0.51	0.48	0.41	0.43	0.46	0.29
亮氨酸*	0.84	0.84	0.82	0.68	0.74	0.76	0.46
酪氨酸	0.38	0.30	0.26	0.20	0.24	0.26	0.13
苯丙氨酸*	0.60	0.54	0.50	0.42	0.45	0.46	0.30
赖氨酸*	0.78	0.65	0.60	0.51	0.52	0.50	0.25
组氨酸	0.33	0.27	0.25	0.22	0.23	0.21	0.11
精氨酸	0.63	0.54	0.48	0.40	0.43	0.44	0.22
脯氨酸	0.56	0.48	0.47	0.41	0.43	0.44	0.25
TAA	14.63	12.62	11.82	9.97	10.64	11.36	6.92
EAA	7.25	6.48	6.17	5.20	5.65	6.35	3.93
NEAA	7.38	6.14	5.65	4.77	4.99	5.01	2.99
鲜味氨基酸	6.76	5.66	5.34	4.44	4.82	5.50	3.40
药用氨基酸	10.03	8.56	8.02	6.67	7.23	7.98	4.76
EAA/TAA	49.56	51.35	52.19	52.16	53.10	55.89	56.79
EAA/NEAA	98.24	105.54	109.20	109.01	113.22	126.75	131.44
鲜味氨基酸/TAA	46.21	44.83	45.18	44.53	45.30	48.42	49.13
药用氨基酸/TAA	68.56	67.83	67.85	66.90	67.95	70.25	68.79

注: *表示人体 EAA。

表 4 紫芝与赤芝样品的脂肪酸及其相对含量
Table 4 Relative content of fatty acids in *Ganoderma sinense* and *Ganoderma lucidum*

脂肪酸/%	GS-A	GS-B	GS-C	GS-D	GS-E	GS-F	GL-H
肉豆蔻酸 C14:0	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.6	0.4
十五酸 C15:0	2.4	2.0	2.1	1.6	0.7	1.5	0.8
棕榈酸 C16:0	11.2	11.1	11.3	12.8	16.3	21.5	14.3
棕榈油酸 C16:1n7c	0.7	0.6	0.6	0.8	0.7	1.1	0.6
十七烷酸 C17:0	1.4	1.1	1.2	0.8	0.5	1.6	0.6
十七碳烯酸 C17:1n7c	0.9	0.8	1.0	0.8	0.4	0.5	0.3
硬脂酸 C18:0	1.4	1.1	1.1	1.6	2.6	3.3	2.9
油酸 C18:1n9c	4.9	16.3	17.4	34.3	54.0	28.2	55.8
亚油酸 C18:2n6c	69.3	56.6	53.7	41.3	21.5	27.7	16.6
亚麻酸 C18:3n3c	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	/	/
花生酸 C20:0	/	0.0	0.0	0.1	0.1	/	0.3
顺-11-二十碳烯酸 C20:1n9c	/	0.1	0.1	0.2	0.2	/	0.4
二十一烷酸 C21:0	0.3	0.5	0.5	0.3	0.1	1.6	0.5
顺-6,9,12-二十碳三烯酸 C20:3n6c	/	0.3	0.4	0.3	0.1	/	/
山嵛酸 C22:0	/	0.3	0.3	0.2	0.2	/	/
二十二碳烯酸 C22:1n9c	/	1.0	1.1	1.4	0.3	/	/
其他	6.5	7.5	8.5	3.6	1.9	11.6	6.3

注: /表示未检出该物质。

2.2 主要矿质元素和重金属检测分析

不同生长阶段冻干紫芝矿质元素镁、锌、磷的含量分别在 549~680 mg/kg、26.7~33.2 mg/kg 和 211~274 mg/kg 之间, 含量均高于烘干赤芝, 其中 GS-A 的锌含量最高, 达到 33.2 mg/kg; GS-A 的铁元素的含量同样最高, 为 205.0mg/kg。食用菌重金属含量是食用菌安全的重要检测

项目, NY/T 749—2018《绿色食品食用菌》中对绿色食用菌鲜品、干品中重金属的含量要求: 铅 $\leq$ 2.0 mg/kg, 镉 $\leq$ 1.0 mg/kg, 总汞 $\leq$ 0.2 mg/kg, 总砷 $\leq$ 1.0 mg/kg。对供试样品的重金属铅、镉、总汞、总砷进行检测, 结果由表 5 可知, 除了 GS-A 紫芝的铅含量轻微超标, 供试样品的重金属含量均低于 NY/T 749—2018 的规定, 这可能与栽培环境、紫芝品种及在生长过程中生理代谢有关。

表 5 紫芝与赤芝样品的主要矿质元素、重金属及含量(mg/kg)
Table 5 Content of major mineral elements in *Ganoderma sinense* and *Ganoderma lucidum* (mg/kg)

处理	钙	镁	铁	锌	磷	铅	镉	总汞	总砷
GS-A	1480	587	205.0	33.2	255	2.34	0.45	0.023	0.099
GS-B	1060	615	146.0	30.5	236	1.13	0.27	0.036	0.092
GS-C	1230	565	98.9	28.9	211	0.38	0.21	0.016	0.064
GS-D	1060	549	89.4	28.3	215	0.35	0.18	0.031	0.058
GS-E	1640	679	115.0	26.7	274	0.62	0.20	0.028	0.038
GS-F	400	680	202.0	26.0	340	0.94	0.15	0.011	0.260
GL-H	2060	438	106.0	10.4	87.2	0.60	0.18	0.034	0.096

3 讨 论

紫芝在中国古代就有药用记载, 现代研究表明其具有丰富的营养物质^[32]。近年来紫芝产业发展较快, 对其化学成分组成的报道较多, 本研究以冻干的方式处理不同生长阶段的紫芝, 并与热风干燥的成熟期紫芝和赤芝进行对比, 分析了其营养成分含量的差异, 为紫芝资源综合开发和利用提供理论基础。

食用菌中的总糖是一种重要的呈味物质^[33], 紫芝生长过程中其总糖含量出现波动, 其中 GS-A 阶段总糖含量较高。纤维素是一种重要的膳食纤维, 能够促进肠道蠕动, 减少便秘, 紫芝在生长的过程中其粗纤维含量呈现整体变化不大, 但冻干紫芝的粗纤维含量显著高于烘干紫芝和赤芝。紫芝在生长过程中其蛋白质含量呈先下降后上升的趋势, 其总三萜含量逐渐增加, 其中冻干紫芝的总三萜含量高于烘干紫芝和赤芝, 且 GS-D 和 GS-E 的总三萜含量达到 1.050%和 1.049%, 高于已有报道^[28]海南产 17 种灵芝的总三萜含量, 这可能与所选样品品种、生长环境或者采收时间有一定关系。紫芝生长过程总酚和总黄酮的含量出现一定波动, GS-E 阶段总酚含量最高 0.203%, GS-B 阶段的总黄酮含量最高 0.154%。紫芝的氨基酸组成中天门冬氨酸、谷氨酸和蛋氨酸的含量居多, 鲜味氨基酸谷氨酸、丝氨酸、天门冬氨酸和蛋氨酸^[34]的含量占 TAA 的 45%左右。药用氨基酸是维持人体氮平衡所必需的, 它包括谷氨酸、精氨酸、天门冬氨酸、酪氨酸、甘氨酸、蛋氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸^[35], 紫芝中药用氨基酸的含量占 TAA 的 68%左右, 其中紫芝的药用氨基酸总含量高于赤芝,

GS-A 的药用氨基酸含量到 10.03%, 而且紫芝中具有提高运动耐力和抗疲劳的支链氨基酸的含量也较高。脂肪酸和人体生理机能相关, 特别是不饱和脂肪酸, 由表 4 可知紫芝中含有较高的油酸和亚油酸。矿物质元素对人体的细胞代谢以及生物合成等生理功能具有重要的作用, 灵芝含有丰富的矿物质元素, 由表 5 可知, 紫芝和赤芝中均富含钙、镁、铁、锌、磷, 其中冷冻干燥紫芝的钙含量范围在 1060~1640 mg/kg, 均高过牛乳 1040 mg/kg, 铁含量均高于鸡蛋黄 65 mg/kg^[36], 冻干紫芝具有高铁、高磷、高钙及高锌含量, 特别是 GS-A 和 GS-E 阶段的紫芝具有丰富的矿物质含量。

4 结 论

通过对不同生长阶段冻干紫芝和热风干燥成熟期紫芝、赤芝营养成分的分析比较, 从样品的干燥方式来看: 冻干紫芝与热风干燥紫芝相比脂肪、粗纤维、总三萜、总酚, 总黄酮含量仅 GS-C 略低于热风干燥紫芝, 说明冷冻干燥更有利于营养保持; 从紫芝生长过程不同阶段的营养成分含量来分析: 幼菇阶段冻干紫芝的总糖、蛋白质、总氨基酸、铁、锌含量最高, 分别为 8.217%、16.6%、14.63%、205.0 mg/kg、33.2 mg/kg; 亚油酸的相对含量最高, 为 69.3%。灰底阶段紫芝的粗多糖、总三萜、锌含量含量较高, 分别为 1.438%、1.050%、28.3 mg/kg。

综合来看, 冻干紫芝的营养成分含量更好, 特别是幼菇期和灰底阶段的紫芝在营养成分含量具有一定优势, 但本次幼菇阶段紫芝的样品存在铅含量稍高的情况, 这种情况是源于紫芝品种, 或者紫芝生长过程自身生理代谢特点, 还是栽培环境影响有待进一步研究。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典·灵芝[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
National Pharmacopoeia Committee. Pharmacopoeia of the People's Republic of China *Ganoderma lucidum* [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020.
- [2] 林志彬. 从史前到现代——我国灵芝医药学发展简史[J]. 菌物研究, 2024, 22(1): 1–8.
LIN ZB. From prehistory to modern times: A brief history of *Ganoderma lucidum* Medicine development in China [J]. Fungi Res, 2024, 22(1): 1–8.
- [3] 杜琳, 刘玉容, 叶峻, 等. 紫芝中三萜类化学成分研究[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(10): 1669–1673.
DU L, LIU YR, YE J, et al. Studies on chemical constituents of triterpenoids from *Ganoderma sinense* [J]. Nat Prod Res Dev, 2018, 30(10): 1669–1673.
- [4] 包海鹰, 王欣宇. 紫芝的化学成分研究进展[J]. 菌物研究, 2014, 12(4): 187–196, 202, 184.
BAO HY, WANG XY. Studies on chemical constituents of *Ganoderma sinense* [J]. Fungi Res, 2014, 12(4): 187–196, 202, 184..
- [5] 曾婷, 黄文琪, 赵立娜, 等. 灵芝精深加工技术与产品研发进展[J]. 菌物研究, 2024, 22(1): 103–112.
ZENG T, HUANG WQ, ZHAO LN, et al. Research progress on techniques and products with deep processing of *Ganoderma* [J]. Fungi Res, 2024, 22(1): 103–112.
- [6] LIU C, ZHAO F, CHEN RY. A novel alkaloid from the fruiting bodies of *Ganoderma sinense* Zhao, Xu et Zhang [J]. Chin Chem Lett, 2010, 21(2): 197–199.
- [7] SATO N, MA CM, KOMATSU K, et al. Triterpene-farnesyl hydroquinone conjugates from *Ganoderma sinense* [J]. J Nat Prod, 2009, 72(5): 958–961.
- [8] REN L, ZHANG J, ZHANG TH. Immunomodulatory activities of polysaccharides from *Ganoderma* on immune effector cells [J]. Food Chem, 2021, 340: 127933.
- [9] HAN W, CHEN HJ, ZHOU L, et al. Polysaccharides from *Ganoderma sinense*-rice bran fermentation products and their anti-tumor activities on non-small-cell lung cancer [J]. BMC Complement Med, 2021, 21(1): 169.
- [10] MEI RQ, ZUO F, DUAN XY, et al. Ergosterols from *Ganoderma sinense* and their anti-inflammatory activities by inhibiting NO production [J]. Phytochem Lett, 2019, 32: 177–180.
- [11] CHEN YY, OU XZ, YANG JN, et al. Structural characterization and biological activities of a novel polysaccharide containing N-acetylglucosamine from *Ganoderma sinense* [J]. Int J Biol Macromol, 2020, 158: 1204–1215.
- [12] CAO Y, XU XW, LIU SJ, et al. *Ganoderma*: A cancer immunotherapy review [J]. Front Pharmacol, 2018, 9: 1217.
- [13] PATERSON RRM. *Ganoderma*-a therapeutic fungal biofactory [J]. Phytochemistry, 2006, 67(18): 1985–2001.
- [14] SHARIF SM, BONDZIE QP, WANG H, et al. Potentialities of *Ganoderma lucidum* extracts as functional ingredients in food formulation [J]. Food Res Int, 2023, 172: 113161.
- [15] LIU C, SONG X, LI Y, et al. A comprehensive review on the chemical composition, pharmacology and clinical applications of *Ganoderma* [J]. USA J Chin Med, 2023, 51(8): 1983–2040.
- [16] SEWERYN E, ZIAŁA A, GAMIAN A. Health-promoting of polysaccharides extracted from *Ganoderma lucidum* [J]. Nutrients, 2021, 13(8): 2725.
- [17] XIA Q, ZHANG HZ, SUN XF, et al. A comprehensive review of the structure elucidation and biological activity of triterpenoids from *Ganoderma* spp. [J]. Molecules, 2014, 19(11): 17478–17535.
- [18] 翁立珊, 金浪. 闽产道地灵芝产业化发展现状、存在问题与对策建议[J]. 食药菌, 2022, 30(5): 343–350.
WENG LS, JIN L. Industrial development status, existing problems and countermeasures of *Ganoderma lucidum* in Fujian province [J]. Edibl Med Fungi, 2022, 30(5): 343–350.
- [19] 覃培升, 杨显清, 王贵田, 等. 紫芝和黑芝仿野生短段木高产栽培技术[J]. 食药菌, 2021, 29(3): 258–261.
QIN PS, YANG XQ, WANG GT, et al. High yield cultivation technique in imitating wild condition of *Ganoderma sinense* and *Ganoderma atrum* by short wood log [J]. Edibl Med Fungi, 2021, 29(3): 258–261.
- [20] 申丹艳, 高静, 邱苏晗, 等. 海南省天然橡胶林下经济发展现状及建议[J]. 热带农业科技, 2024, 47(1): 41–45.
SHEN DY, GAO J, QIU SH, et al. Hainan natural rubber forests economic development present situation and suggested [J]. Trop Agric Sci Tech, 2024, 47(1): 41–45.
- [21] 陈体强, 李开本, 林兴生, 等. 紫芝的子实体、担孢子形态及其营养成分[J]. 江西农业大学学报, 2001, 23(3): 325–328.
CHEN TQ, LI KB, LIN XS, et al. Morphology of fruitbody, basidiospore and nutritional components of log-cultivate *Ganoderma sinense* [J]. J Jiangxi Agric Univ, 2001, 23(3): 325–328.
- [22] 钟礼义. 桉树栽培紫芝及营养成分分析[J]. 中国食用菌, 2014, 33(3): 24–26.
ZHONG LY. Analysis on nutrient content of *Ganoder masinense* cultivated by *Eucalyptus* spp. [J]. Chin Edibl Fungi, 2014, 33(3): 24–26.
- [23] 刘养山, 逢梦玉, 张景, 等. 水-酶联合法制备灵芝多糖及其抗氧化活性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(9): 292–302.
LIU YS, PANG MY, ZHANG J, et al. Preparation of *Ganoderma lucidum* polysaccharides by water-enzyme combination method and their antioxidant activity [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(9): 292–302.
- [24] HSU KD, CHENG KC. From nutraceutical to clinical trial: Frontiers in *Ganoderma* development [J]. Appl Microbiol Biot, 2018, 102(21): 9037–9051.
- [25] 唐秋实, 刘学铭, 池建伟, 等. 不同干燥工艺对杏鲍菇品质和挥发性风味成分的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(4): 25–30.
TANG QS, LIU XM, CHI JW, et al. Effects of different drying methods on quality and volatile components of *Pleurotuseryngii* [J]. Food Sci, 2016, 37(4): 25–30.
- [26] 王悦, 姜永红, 张强, 等. 不同方式干燥对猴头菌营养成分含量及抗氧化活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(5): 159–164.
WANG Y, JIANG YH, ZHANG Q, et al. Effects of different drying methods on nutrient content and antioxidant activity of *Hericiumerinaceus* [J]. Jiangsu Agric Sci, 2021, 49(5): 159–163.
- [27] 张越翔, 刘静, 吴小恬, 等. 食用菌干燥技术研究进展[J]. 中国果菜, 2022, 42(1): 24–33.
ZHANG YX, LIU J, WU XT, et al. Research progress on drying technology of edible fungus [J]. Chin Fru Veg, 2022, 42(1): 24–33.

- [28] 葛亚哲, 马青云, 蔡彩虹, 等. 海南产不同种类灵芝活性分析及其总三萜含量分析[J]. 时珍国医国药, 2020, 31(3): 556–559.
- GE YZ, MA QY, CAI CH, *et al.* Analysis of activity and total triterpenoids of *Ganoderma* from Hainan [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2020, 31(3): 556–559.
- [29] TAWAHA K, ALALI FQ, GHARAIBEH M, *et al.* Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species [J]. Food Chem, 2007, 104(4): 1372–1378.
- [30] 杨文慧, 孟敏, 王晓飞, 等. 不同食用菌的抗氧化活性及总黄酮含量测定研究[J]. 时珍国医国药, 2020, 31(2): 300–303.
- YANG WH, MENG M, WANG XF, *et al.* Study on antioxidant activity of different edible fungi and determination of total flavonoids [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2020, 31(2): 300–303.
- [31] 张婧. 桉树栽培灵芝试验及灵芝营养成分分析[J]. 桉树科技, 2018, 35(1): 33–36.
- ZHANG J. *Ganoderma lucidum* cultivation on *Eucalyptus* substrates and analyses of its nutritional contents [J]. Eucalypt Sci Technol, 2018, 35(1): 33–36.
- [32] 林志彬. 灵芝的现代研究[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2007.
- LIN ZB. Modern research on *Ganoderma lucidum* [M]. Beijing: Peking University Med Press, 2007.
- [33] CHEN YY, OU XZ, YANG JN, *et al.* Structural characterization and biological activities of a novel polysaccharide containing N-acetylglucosamine from *Ganoderma sinense* [J]. Int J Biol Macromol, 2020, 158: 1204–1215.
- [34] 武彦文, 欧阳杰. 氨基酸和肽在食品中的呈味作用[J]. 中国调味品, 2001, 26(1): 21–24.
- WU YW, OU YJ. The flavoring effect of amino acids and peptides in food [J]. Chin Cond, 2001, 1: 19–22.
- [35] 张晓煜, 刘静, 袁海燕, 等. 不同地域环境对枸杞蛋白质和药用氨基酸含量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(3): 100–104.
- ZHANG XY, LIU J, YUAN HY, *et al.* Effect of surrounding conditions on protein and pharmacological amino acid of *Lycium Barbarum* L. [J]. Agric Res Arid Areas, 2004, 3: 100–104.
- [36] 中国疾病预防控制中心营养与健康所. 中国食物成分表[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2019.
- Institute of Nutrition and Health, Chinese Center for Disease Control and Prevention. Chinese Food Composition Table [M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2019.

(责任编辑: 蔡世佳 于梦娇)

作者简介



孔子浩, 硕士, 研究实习员, 主要研究方向为紫芝的保鲜及加工技术。
E-mail: 457235702@qq.com



张迪, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为食(药)用菌加工与功能评价。
E-mail: photohost@126.com