

doi:10.11937/bfyy.20214652

不同灵芝菌株主要农艺性状及 活性成分比较分析

李学龙¹, 李 跃¹, 张 鹏¹, 杨 镇^{2,3}, 马世宇^{2,3}, 张 敏¹

(1. 辽宁省农业科学院 食用菌研究所, 辽宁 沈阳 110161; 2. 葫芦岛农函大玄宇食用菌野驯繁育有限公司, 辽宁 葫芦岛 125100; 3. 辽宁省食用菌秸秆栽培及资源利用重点实验室, 辽宁 葫芦岛 125100)

摘 要:以国内 8 个主栽灵芝菌株为试材, 采用灵芝菌株菌丝培养、段木栽培及灵芝子实体中主要活性成分含量检测等方法, 比较及分析了灵芝菌株主要农艺性状及子实体活性成分含量, 以期筛选获得适宜辽宁地区栽培的优质灵芝菌株。结果表明: 不同灵芝菌株母种、原种、栽培种菌丝萌发活力、菌丝平均生长速度、菌丝长势、菌丝特征存在一定差异。在相同栽培条件下, 不同菌株灵芝子实体单质量、菌柄长度、菌柄直径、菌盖直径、菌盖厚度、生物学效率等主要农艺性状均显示出一定差异, 菌株 006 生物学效率最低, 为 9.83%, 菌株 003 生物学效率最高, 为 16.10%。试验菌株所获得灵芝中三萜及甾醇、多糖等灵芝标志性活性成分含量亦有所不同, 其含量均高于药典规定, 菌株 004 三萜及甾醇含量比药典规定高出 110.00%, 菌株 008 多糖含量比药典规定高出 43.33%。不同灵芝菌株子实体中蛋白质及 16 种氨基酸含量有所差异, 蛋白质含量为 5.10%~13.40%, 16 种氨基酸含量为 2.69%~7.24%, 为灵芝高效优质栽培选择灵芝菌株提供参考依据。

关键词:灵芝; 农艺性状; 活性成分

中图分类号: S 567.3⁺1 文献标识码: A 文章编号: 1001-0009(2022)13-0119-07

灵芝属于真菌界担子菌门伞菌纲多孔菌目灵芝科药用真菌^[1], 具有补中益气、延年益寿、扶正固本等功效,《中华人民共和国药典》一部收载的灵芝为赤芝(*Ganoderma lucidum* (Leys. ex Fr.) Karst.)或紫芝(*Ganoderma sinense* Zhao, Xu et Zhang)的干燥

子实体^[2]。灵芝含有多糖、三萜、甾醇、腺苷、氨基酸、脂肪类等多种活性物质^[3]。灵芝三萜是灵芝子实体中化学结构较为复杂的一类化合物^[4], 具有保肝护肝、抗肿瘤、降血糖、抗氧化等药理活性^[5-7]。灵芝作为药用真菌, 可根据子实体中的活性成分和营养物质对其进行功能分析评价^[8]。

我国灵芝人工栽培始于 20 世纪 50 年代, 经过近 70 年的发展, 已逐步形成一定规模的灵芝栽培基地, 主要集中在东北山区、大别山区及东南沿海山区^[9-11]。传统灵芝段木栽培一般采用阔叶树木作为基质, 包括装袋、灭菌、接种、发菌、覆土、出芝管理、子实体采收等生产环节^[12]。代料灵芝栽培常用玉米芯、棉籽壳、杂木屑等作为栽培基质, 主要包括拌料、装袋、灭菌、接种、发菌、出芝管理和子实体采收^[13]。然而, 不同地区栽培的灵芝菌株农艺性状存在一定差异, 使得灵芝子实体的活

第一作者简介:李学龙(1984-), 男, 硕士, 助理研究员, 现主要从事食用菌药用真菌高效栽培及天然活性产物等研究工作。E-mail: lixuelong2008@126.com.

责任作者:张敏(1972-), 女, 博士, 研究员, 现主要从事食用菌遗传育种与栽培技术等研究工作。E-mail: zhangminindun@163.com.

基金项目:辽宁省科技厅重点研发计划资助项目(2020JH2/10200013); 国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-20); 中央引导地方科技发展专项资金计划资助项目(2021JH6/10500133)。

收稿日期:2021-11-16

性成分和营养物质积累有所不同,直接影响了灵芝作为药物使用的效果,制约了灵芝产业的持续健康发展。目前灵芝菌株的生物学特性尚无系统研究,人们对灵芝菌株的选择常具有一定的随机性,使灵芝子实体活性成分的含量缺乏稳定性,进而影响了灵芝产品的品质^[14]。

该研究采用8个主栽灵芝菌株为试验材料,对其主要农艺性状及活性成分进行比较分析,考察不同灵芝菌株母种、原种、栽培种菌丝萌发活力、菌丝平均生长速度、菌丝长势、菌丝特征,以及不同菌株灵芝子实体单质量、菌柄长度、菌柄直径、菌盖直径、菌盖厚度、生物学效率等主要农艺性状特征,旨在进一步确定不同灵芝菌株的农艺性状与三萜及甾醇、多糖、蛋白质、16种氨基酸等灵芝子实体的活性成分积累的关系,为灵芝高效优质栽培提供优良灵芝菌株,并为高产、优质灵芝新品种选育及高效栽培提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试菌株及来源地见表1。

母种培养基:马铃薯200 g,葡萄糖20 g,琼脂18 g,水1 000 mL,121℃灭菌21 min;原种培养基:木屑77%,麦麸20%,石膏1%,玉米粉1%,红糖1%,含水量62%~65%,121℃灭菌90 min;栽培种培养基:木屑78%,麦麸21%,石膏1%,含水量62%~65%,121℃灭菌90 min。栽培基质:制作灵芝段木菌段,将新鲜砍伐的硬杂木截成15 cm左右的短木段,劈成适当大小,捆扎成直径20 cm左右,调整含水量60%左右,装入聚丙烯袋中,115℃灭菌240 min。

表1 供试菌株及来源地
Table 1 Tested strains and sources

菌株 Strains	菌株来源 Sources
001	吉林省
002	山东省
003	上海市
004	浙江省
005	吉林省
006	山东省
007	安徽省
008	辽宁省

1.2 试验方法

1.2.1 灵芝母种菌株菌丝培养

在PDA培养基平皿(直径9 cm,下同)中心点处接种供试灵芝菌种母种,26℃恒温培养,菌丝体长至平皿的2/3~3/4时,在无菌条件下用打孔器切取菌丝块,接种于PDA平皿中心,每个灵芝菌株5次重复,26℃恒温培养,每2 d测量菌丝生长边缘与中心点距离,计算菌丝平均生长速度,记录菌丝萌发活力、菌丝平均生长速度、菌丝长势、菌丝特征,菌丝长势中“+”表示菌丝长势较弱,“++”表示菌丝长势较强,“+++”表示菌丝长势强。

菌丝平均生长速度($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$) = 菌落半径(mm)/菌丝生长天数(d)。

1.2.2 灵芝菌株原种菌丝培养

无菌条件下取适当大小生长健壮的母种菌丝块,接种于栽培种菌种瓶(750 mL)中,26℃避光培养至菌丝长满瓶,每天测量菌种瓶瓶壁菌丝生长边缘与接种面距离,计算菌丝平均生长速度,记录菌丝萌发活力、菌丝平均生长速度、菌丝长势、菌丝特征,菌丝长势中“+”表示菌丝长势较弱,“++”表示菌丝长势较强,“+++”表示菌丝长势强。1支灵芝母种试管接种10~15瓶灵芝原种。

1.2.3 灵芝菌株栽培种菌丝培养

无菌条件下取适当数量生长健壮的灵芝原种,接种于栽培种菌种瓶(750 mL)中,26℃避光培养至菌丝长满瓶,每天测量菌种瓶瓶壁菌丝生长边缘与接种面距离,计算菌丝平均生长速度,记录菌丝萌发时间、菌丝平均生长速度、菌丝长势、菌丝特征,菌丝长势中“+”表示菌丝长势较弱,“++”表示菌丝长势较强,“+++”表示菌丝长势强。1瓶灵芝原种菌种接种15~20瓶灵芝原种。

1.2.4 灵芝段木发菌

在洁净接种室内,在灭菌的灵芝段木菌段上接入灵芝栽培种,扎好袋口后于温度26℃,空气湿度60%的培养室中进行避光培养。

1.3 项目测定

采用灵芝菌段覆土栽培模式进行出芝管理,灵芝菌段脱去菌袋后直立于地中,菌段间距10 cm左右,覆土厚度1~2 cm,灵芝菌芽形成至菌盖分化温度控制在20~25℃,空气湿度90%左右;灵

芝子实体生长及孢子粉收集期温度控制在 25~30 ℃,空气湿度 80%左右,光照强度 1 500~2 500 lx。当灵芝孢子弹射明显减少时,采收灵芝子实体,50 ℃干燥 24 h,每个灵芝菌株随机抽取 10 个子实体比较其农艺性状,测量灵芝子实体单质量、菌柄长度、菌柄直径、菌盖平均直径、菌盖厚度,计算生物学效率。

灵芝多糖、三萜及甾醇含量采用《中华人民共和国药典》2020 年版一部灵芝项下方法测定^[2]。蛋白质含量采用 GB 5009.5-2016 第一法测定^[15],16 种氨基酸(天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、脯氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸)含量采用 GB 5009.124-2016 方法测定^[16]。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 和 DPS 19.05 软件对试验

数据进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同灵芝菌株母种菌丝生长特征

从表 2 可以看出,灵芝菌株 003、004、006、007 菌丝萌发活力强盛,菌丝爬壁能力强,菌丝状态浓密,菌丝平均生长速度较快,在 PDA 培养基上菌丝生长速度最快的是 006 菌株,菌丝平均生长速度为 4.91 mm·d⁻¹,比菌丝生长速度最慢的 005 菌株 3.80 mm·d⁻¹ 高出 29.20%,菌株 001、002、008 菌丝萌发活力较强,菌株 005 菌丝萌发活力和爬壁能力较弱,菌丝状态较稀疏,菌落形态不整齐,呈不规则状。菌株 001、002、003、007、008 颜色均呈白色,菌落形态整齐或较整齐,呈放射状生长。

表 2 不同灵芝菌株母种菌丝在 PDA 培养基中的生长特征

Table 2 Mycelial growth characteristics of different *Ganoderma lucidum* strains in PDA medium

菌株 Strains	菌丝萌发活力 Mycelial germination activity	菌丝平均生长速度 Average mycelial growth rate/(mm·d ⁻¹)	菌丝长势 Mycelial vigor	菌丝特征 Mycelial characteristics
001	较强	4.21±0.21d	++	洁白,整齐,放射状
002	较强	4.12±0.15d	++	洁白,整齐,放射状
003	强	4.76±0.11ab	+++	洁白,较整齐,放射状
004	强	4.54±0.30b	+++	微黄,较整齐,不规则状
005	较弱	3.80±0.26e	+	白色,不整齐,不规则状
006	强	4.91±0.10a	++	微黄,较整齐,放射状
007	强	4.66±0.42ab	+++	洁白,较整齐,放射状
008	较强	4.42±0.22bc	+++	洁白,较整齐,放射状

注:不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平,下同。

Note: Different lowercase letters show significant difference at 0.05 level, the same as below.

2.2 不同灵芝菌株原种菌丝生长特征

从表 3 可以看出,灵芝菌株 001、002、003、004、006、007、008 原种菌丝萌发活力强盛,菌丝爬壁能力强,菌丝状态浓密,菌丝平均生长速度较快,在原种培养基上菌丝生长速度最快的是 003 菌株,菌丝平均生长速度为 4.01 mm·d⁻¹,长满培养瓶需 31 d,005 菌株菌丝生长速度最慢,菌丝平均生长速度为 3.18 mm·d⁻¹,长满培养瓶需 45 d,其它菌株长满培养瓶所需时间为 36~40 d,时间差别不明显。除菌株 005 菌丝较稀疏外,其它菌株均较浓密。菌丝特征与母种菌株较为相似,菌株 004、006 长满菌瓶后菌丝呈微黄色,其它菌株菌丝呈白色。

2.3 不同灵芝菌株栽培种的生长特征

从表 4 可以看出,灵芝菌株 001、002、003、004、006、007、008 栽培种菌丝萌发活力强盛,菌丝爬壁能力强,菌丝状态浓密,菌丝平均生长速度较快,在栽培种培养基上,菌株 003、004、006、007 菌丝萌发时间较快,均为 24 h,菌株 005 菌丝萌发速度最慢,为 48 h,其它菌株萌发速度为 36 h。菌丝生长速度最快的是 003 菌株,菌丝平均生长速度为 4.93 mm·d⁻¹,长满培养瓶需 29 d,005 菌株菌丝生长速度最慢,菌丝平均生长速度为 4.02 mm·d⁻¹,长满培养瓶需 42 d,其它菌株长满培养瓶所需时间为 34~39 d,时间差别不明显,较原种菌株菌丝长满培养瓶时间均有所减少。除

表 3 不同灵芝菌株原种菌丝在培养基质中的生长特征

Table 3 Mycelial growth characteristics of pre-culture spawn of different *Ganoderma lucidum* strains in culture substrates

菌株	菌丝萌发活力	菌丝平均生长速度	菌丝长势	满瓶时间	菌丝特征
Strains	Mycelial germination activity	Average mycelial growth rate/(mm · d ⁻¹)	Mycelial vigor	Growth time/d	Mycelial characteristics
001	较强	3.42±0.36d	++	40	洁白,整齐
002	较强	3.53±0.21d	++	38	洁白,整齐
003	强	4.01±0.41a	+++	31	洁白,较整齐
004	较强	3.75±0.33bc	+++	36	微黄,较整齐
005	较弱	3.18±0.20e	+	45	白色,不整齐
006	较强	3.85±0.32b	++	39	微黄,较整齐
007	强	3.83±0.11b	+++	36	洁白,较整齐
008	较强	3.67±0.18bc	+++	37	洁白,较整齐

表 4 不同灵芝菌株栽培种菌丝在培养基质中的生长特征

Table 4 Mycelial growth characteristics of spawns of different *Ganoderma lucidum* strains in culture substrates

菌株	菌丝萌发时间	菌丝平均生长速度	菌丝长势	满瓶时间	菌丝特征
Strains	Mycelial germination time/h	Average mycelial growth rate/(mm · d ⁻¹)	Mycelial vigor	Growth time/d	Mycelial characteristics
001	36	4.61±0.32b	++	39	浅白,整齐
002	36	4.34±0.16c	++	37	浅灰白,整齐
003	24	4.93±0.19a	+++	29	浅白,整齐
004	24	4.70±0.26b	+++	35	微黄,较整齐
005	48	4.02±0.24d	+	42	浅白,较整齐
006	24	4.30±0.22c	++	35	浅白,微黄,较整齐
007	24	4.86±0.18a	+++	34	浅白,整齐
008	36	4.53±0.13bc	+++	36	灰白,整齐

菌株 005 菌丝较稀疏外,其它菌株均较浓密。菌丝特征与原种菌株较为相似,菌株 004、006 长满菌瓶后菌丝呈微黄色,其它菌株呈白色。

2.4 不同灵芝菌株段木发菌生长情况

从表 5 可以看出,菌株 003、004、006 菌丝萌发时间较短,均为 36 h 后段木表面覆盖的菌种便可生长延伸进入段木基料中,菌株 005 菌丝萌发时间最长,为 60 h,其它菌株的菌丝萌发时间均

为 48 h。菌丝长满菌袋时间,即菌丝生长至覆盖整个段木表面时间,菌株 003 所需时间最短,为 31 d,菌株 005 时间所需最长,为 43 d,其它菌株菌丝长满菌袋时间为 33~41 d。菌丝长满菌袋后,菌丝继续向段木内部生长,并形成生理后熟,菌丝生理成熟后,不同的灵芝菌株菌丝有不同的表现特征,菌株 001、002、003、006、007、008 菌丝均呈白色,菌株 004、005 菌丝呈微黄至浅黄色,接种的段木截面均呈微黄至浅黄色。菌株 005 菌丝较稀疏,长势稍弱,其它菌株菌丝均较浓密、整齐、健壮。

2.5 不同灵芝菌株子实体主要农艺性状比较

从表 6 可以看出,不同灵芝菌株段木栽培所获得的灵芝子实体的主要农艺性状存在一定差异。菌株 003 灵芝子实体平均单质量最高,为 128.35 g,菌株 007 灵芝子实体平均单质量最低,为 84.21 g。菌株 006 灵芝子实体菌柄平均长度最长,为 8.77 cm,菌株 002 灵芝子实体菌柄平均长度最短,为 5.80 cm。菌株 004 灵芝子实体菌柄平均直径最大,为 3.23 cm,菌株 008 灵芝子实体菌柄平均直径最小,为 2.32 cm。菌株 003 灵

表 5 不同灵芝菌株段木发菌特征

Table 5 Mycelial growth characteristics in log of different *Ganoderma lucidum* strains

菌株	菌丝萌发时间	满瓶时间	菌丝特征
Strains	Mycelial germination time/h	Growth time/d	Mycelial characteristics
001	48	33	白色,浓密,整齐,健壮,菌皮微黄
002	48	35	浅白,较密,整齐,健壮,菌皮微黄
003	36	31	白色,浓密,整齐,健壮,菌皮浅黄
004	36	38	微黄,较密,较整齐,一般,菌皮浅黄
005	60	43	浅黄,较稀疏,较整齐,稍弱,菌皮黄
006	36	36	浅白,微黄,浓密,较整齐,健壮,菌皮微黄
007	48	39	白色,浓密,整齐,健壮,菌皮黄
008	48	41	白色,稀疏,整齐,健壮,菌皮微黄

表 6 不同灵芝菌株子实体主要农艺性状特征

Table 6 Main agronomic characters of fruiting bodies of different *Ganoderma lucidum* strains

菌株 Strains	子实体平均单质量 Average single weight of fruit body/g	菌柄长度 Length of stipe /cm	菌柄直径 Diameter of stipe /cm	菌盖直径 Diameter of pilcus /cm	菌盖厚度 Thickness of pilcus /cm	生物学效率 Biological efficiency /%
001	105.21±8.23bc	6.57±0.52d	2.59±0.39c	18.56±1.48ab	1.89±0.22b	14.72±1.55b
002	95.30±9.01c	5.80±0.46e	2.73±0.27b	14.74±1.65d	1.55±0.19d	12.54±1.12cd
003	128.35±15.51a	7.91±0.65b	2.92±0.31ab	19.13±1.12a	2.40±0.30a	16.10±1.97a
004	112.74±9.79b	6.21±0.53de	3.23±0.26a	18.33±1.42ab	1.82±0.24b	10.85±0.96d
005	89.40±9.52d	8.35±0.95a	3.18±0.43a	17.18±2.86c	1.68±0.19c	10.21±1.02d
006	98.46±6.16c	8.77±0.88a	3.04±0.27ab	16.83±1.50c	1.58±0.31d	9.83±0.79e
007	84.21±7.83e	7.85±0.89bc	3.16±0.38a	18.72±1.24ab	1.64±0.18c	11.24±1.91d
008	110.50±9.30bc	8.11±0.97b	2.32±0.10d	17.97±2.85b	1.81±0.20b	13.30±1.54c

芝子实体平均菌盖直径最大,为 19.13 cm,菌株 002 灵芝子实体平均菌盖直径最小,为 14.74 cm。菌株 003 灵芝子实体菌盖平均厚度最大,为 2.40 cm,菌株 002 灵芝子实体菌盖平均厚度最小,为 1.55 cm。菌株 003 的生物学效率最高,为 16.10%,菌株 006 的生物学效率最低,为 9.83%。综上所述,不同灵芝菌株栽培所得灵芝子实体单质量、菌盖直径、菌盖厚度、菌柄长度、菌柄直径、生物学效率均存在一定差异。

2.6 不同灵芝子菌株实体中主要活性成分含量比较

灵芝三萜及甾醇、灵芝多糖、蛋白质是灵芝子实体中主要活性成分,是评价灵芝品质的重要指标,《中华人民共和国药典》一部,灵芝含量测定中规定,三萜及甾醇以齐墩果酸(C₃₀H₄₈O₃)计,不得少于 0.50%,灵芝多糖以无水葡萄糖(C₆H₁₂O₆)计,不得少于 0.90%。从表 7 可以看出,8 个不同灵芝菌株栽培获得的灵芝子实体中

三萜及甾醇、多糖含量均存在一定差异,所有灵芝菌株的三萜及甾醇、多糖含量均超过药典规定标准,不同菌株间灵芝子实体的三萜及甾醇、多糖含量存在一定差异。灵芝菌株 008 子实体三萜及甾醇含量最高,为 1.05%,比药典规定标准高出 110.00%,灵芝菌株 006 子实体三萜及甾醇含量最低,为 0.82%,三萜及甾醇最高含量和最低含量相差 28.05%。灵芝菌株 008 子实体多糖含量最高,为 1.29%,比药典规定标准高出 43.33%,灵芝菌株 002 子实体多糖含量最低,为 1.04%,灵芝多糖最高含量和最低含量相差 24.04%。

2.7 不同灵芝菌株子实体中蛋白质及 16 种氨基酸含量比较

蛋白质及氨基酸是灵芝子实体中主要营养物质,是构建细胞的重要生物活性大分子。从表 8 可以看出,8 个不同灵芝菌株栽培获得的灵芝子实体中蛋白质及天冬氨酸等 16 种氨基酸含量均存在一定差异,003 菌株灵芝子实体中蛋白质含量和 16 种氨基酸总量均为最高,含量分别为 13.40%和 7.24%,006 菌株灵芝子实体中蛋白质含量和 16 种氨基酸总量均为最低,含量分别为 5.10%和 2.69%。8 个灵芝菌株栽培的灵芝子实体中只有 003、006、007 菌株灵芝子实体内检测到蛋氨酸含量,而且含量较低,只有 0.007 2%~0.087 0%,其它菌株灵芝子实体内蛋氨酸含量低于检出限(0.005 0%)。16 种氨基酸中亮氨酸平均含量最高,为 0.730%,组氨酸平均含量最低,为 0.074%。所有不同灵芝子实体中含量最高的氨基酸是亮氨酸,002 菌株灵芝子实体中亮氨酸占 16 种氨基酸比例最高,占比为 26.9%,004 菌

表 7 不同灵芝子菌株实体中主要活性成分含量

Table 7 Contents of main active ingredients in fruiting bodies of different *Ganoderma lucidum* strains

菌株 Strains	三萜及甾醇含量 Triterpenoids and sterols content/%	多糖含量 Polysaccharide content/%
001	0.83	1.14
002	0.88	1.04
003	0.89	1.19
004	0.97	1.13
005	0.91	1.09
006	0.82	1.26
007	0.94	1.18
008	1.05	1.29

表 8 不同灵芝菌株子实体中蛋白质及 16 种氨基酸含量

Table 8 Contents of protein and 16 kinds of amino acids in fruiting bodies of different *Ganoderma lucidum* strains

蛋白质和氨基酸含量		菌株 Strains							
Protein and amino acid content/%		001	002	003	004	005	006	007	008
蛋白质	Protein	10.60	6.76	13.40	7.23	5.46	5.10	6.42	6.02
16 种氨基酸总量	Total 16 amino acids	5.34	2.90	7.24	2.98	2.82	2.69	2.93	3.23
天冬氨酸	Aspartic acid	0.54	0.30	0.73	0.35	0.31	0.28	0.34	0.26
苏氨酸	Threonine	0.34	0.20	0.42	0.20	0.19	0.17	0.22	0.15
丝氨酸	Serine	0.28	0.16	0.36	0.22	0.17	0.14	0.20	0.12
谷氨酸	Glutamate	0.48	0.23	0.79	0.32	0.28	0.24	0.28	0.20
脯氨酸	Proline	0.25	0.16	0.37	0.20	0.14	0.14	0.17	0.14
甘氨酸	Glycine	0.32	0.17	0.42	0.20	0.18	0.16	0.20	0.15
丙氨酸	Alanine	0.35	0.18	0.48	0.22	0.30	0.17	0.23	0.16
缬氨酸	Valine	0.31	0.16	0.45	0.20	0.18	0.15	0.19	0.14
蛋氨酸	Methionine	—	—	0.087 0	—	—	0.007 2	0.014 0	—
异亮氨酸	Isoleucine	0.26	0.16	0.35	0.18	0.14	0.14	0.14	0.12
亮氨酸	Leucine	1.25	0.78	1.26	0.35	0.57	0.70	0.41	0.52
酪氨酸	Tyrosine	0.086	0.052	0.160	0.032	0.030	0.040	0.062	0.0910
苯丙氨酸	Phenylalanine	0.28	0.15	0.42	0.15	0.15	0.13	0.16	0.11
赖氨酸	Lysine	0.28	0.097	0.45	0.16	0.14	0.11	0.16	0.10
组氨酸	Histidine	0.110	0.036	0.180	0.077	0.048	0.036	0.050	0.057
精氨酸	Arginine	0.200	0.067	0.320	0.120	0.092	0.073	0.100	0.092

株灵芝子实体中亮氨酸占比最低,为 11.70%。

3 讨论与结论

该研究对国内 8 个主栽灵芝菌株进行农艺性状及子实体活性成分含量比较及分析,试验结果表明,不同灵芝菌株母种、原种、栽培种菌丝萌发活力、菌丝平均生长速度、菌丝浓密程度、菌丝特征差异存在一定差异。菌丝萌发活力是评价菌株在培养基或栽培基质上着生萌发能力的重要指标,也是菌株活力和抗杂菌污染的重要体现,综合来看,灵芝菌株 003、004、007、008 母种、原种、栽培种在相应的培养基上,菌丝萌发活力强,菌丝平均生长速度较快,菌丝颜色呈洁白色或微黄色,菌落边缘较整齐,多为放射状,大部分灵芝菌株原种、栽培种的菌株生长特性相似度较高,个别菌株呈现出不同的生长特性。灵芝菌株发菌结束后进行覆土栽培,考察不同菌株灵芝子实体的单质量、菌柄长度、菌柄直径、菌盖直径、菌盖厚度、生物学效率等农艺性状,以及三萜及甾醇、多糖等灵芝标志性活性成分含量,试验结果表明,不同灵芝菌株栽培获得的灵芝子实体中蛋白质及天冬氨酸等 16 种氨基酸含量均存在一定差异,16 种氨基酸中亮氨酸平均含量最高,不同菌株间蛋氨酸存在与否及含量差异较大。通过不同灵芝菌株农

艺性状比较及活性成分相关分析,可为灵芝栽培过程中品种选择提供参考依据,不同灵芝菌株农艺性状与其活性成分富集的机理还有待进一步研究。

参考文献

[1] 赵继鼎,张小清. 中国真菌志第十八卷:灵芝科[M]. 北京:科学出版社,2000.

[2] 国家药典委员会.《中华人民共和国药典》一部(2020 年版)[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020.

[3] GONG T,YAN R,KANG J,et al. Chemical components of *Ganoderma*[J]. *Adv Exp Med Biol*,2019,1181:59-106.

[4] 李晔,朱忠敏,姚渭溪,等. 灵芝三萜类化合物的研究进展[J]. *中国中药杂志*,2012,37(2):165-171.

[5] TASAKA K,MIO M,IZUSHI K,et al. Anti-allergic constituents in the culture medium of *Ganoderma lucidum* (Ⅱ) The inhibitory effect of cyclooctasulfur on histamine release[J]. *Agents and Action*,1988(23):157-160.

[6] ZHU M,CHANG Q,WONG L K,et al. Triterpene antioxidants from *Ganoderma lucidum*[J]. *Phytotherapy Research*,1999,13(6):529-631.

[7] LIN Z,ZHANG H. Anti-tumor and immunoregulatory activities of *Ganoderma lucidum* and its possible mechanisms[J]. *Acta Pharmacologica Sinica*,2004,25(11):1387-1395.

[8] 齐川,周慧,斯金平,等. 不同品种灵芝主要活性成分分析[J]. *中国实验方剂学杂志*,2012,18(17):96-100.

[9] 邢志伟,朱优优,郑素月,等. 适宜冀中南地区栽培的灵芝优良菌株筛选[J]. *北方园艺*,2016(11):145-147.

- [10] 班新河,魏银初,王震,等. 中原地区短段木熟料灵芝栽培集成技术[J]. 食用菌,2016(1):50-51.
- [11] 宋友,张玉国,朴永春,等. 长白山地区松杉灵芝的栽培技术[J]. 食用菌,2014(2):50.
- [12] 张海娟,曹隆枢,叶少青. 段木灵芝优质高产栽培技术[J]. 浙江农业科学,2004(3):30-32.
- [13] 邓丽云,李小霞,李丽. 赤灵芝栽培技术[J]. 现代农业科技,2014(19):110.
- [14] 陈杰. 不同产地灵芝子实体化学成分及抗氧化活性研究[D]. 天津:天津科技大学,2016.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定:GB 5009.124-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.

Comparative Analysis of Main Agronomic Characters and Active Ingredients of Different Varieties of *Ganoderma lucidum*

LI Xuelong¹, LI Yue¹, ZHANG Peng¹, YANG Zhen^{2,3}, MA Shiyu^{2,3}, ZHANG Min¹

(1. Edible Fungi Research Institute, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang, Liaoning 110161; 2. Huludao Agricultural Letter Xuanyu Edible Fungus Wild Breeding Co. Ltd., Huludao, Liaoning 125100; 3. Liaoning Key Laboratory of Edible Fungus Straw Cultivation and Resource Utilization, Huludao, Liaoning 125100)

Abstract: Eight main strains of *Ganoderma lucidum* in China were used as experimental materials, the main agronomic characters of *Ganoderma lucidum* strains and the content of active components in fruiting bodies were compared and analyzed by means of mycelial culture of *Ganoderma lucidum* strains, segment wood cultivation and detection of the content of main active components in *Ganoderma lucidum* fruiting bodies, in order to screen and obtain high-quality *Ganoderma lucidum* strains suitable for cultivation in Liaoning Province. The results showed that there were significant differences in mycelial germination activity, average growth rate and mycelial characteristics of stock culture, pre-culture spawn and spawn among different *Ganoderma lucidum* strains. The main agronomic characters of single weight of fruit body, stipe length, stipe diameter, pileus diameter, pileus thickness, biological efficiency of different strains under the same cultivation conditions were also different. The lowest biological efficiency was 9.83% got by strain 006, and the highest was 16.10% got by strain 003. The contents of triterpenoids, sterols and polysaccharides in *Ganoderma lucidum* obtained by the test strain were different, which were all higher than those prescribed by *Chinese Pharmacopeias*. The content of triterpenoids and sterols of strain 004 was 110.00% higher than those prescribed by *Chinese Pharmacopeias*. The content of polysaccharides of strain 008 was 43.33% higher than those prescribed by *Chinese Pharmacopeias*. The contents of protein and 16 kinds of amino acids in fruit bodies of different *Ganoderma lucidum* strains were different, the contents of protein were 5.10%—13.40%, and the contents of 16 kinds of amino acids were 2.69%—7.24%. This study provided reference basis for selection of *Ganoderma lucidum* strains for efficient and high quality cultivation.

Keywords: *Ganoderma lucidum*; agronomic trait; active ingredients