

光质对灵芝生长及抗氧化酶系统的影响

郝俊江, 陈向东, 兰进*

中国医学科学院 北京协和医学院药用植物研究所, 北京 100193

摘要:目的 以飞船搭载的灵芝 *Ganoderma lucidum* 菌株为材料, 研究不同光质对灵芝生长形态及抗氧化酶活性的效应, 找出适于灵芝生长的最佳光质, 为光质选择提供理论依据。方法 栽培灵芝时进行不同光质处理, 在灵芝不同生长发育时期观测其形态变化, 并测定抗氧化酶体系中主要酶活性。结果 不同光质处理的弹孢前期灵芝菌盖厚度与菌盖表面环纹数与对照差异显著。不同光质处理对灵芝子实体产量和灵芝孢子粉产量均有影响。红色、蓝色光质处理提高了过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性。蓝色光质处理提高了可溶性蛋白量, 并且使丙二醛(MDA)在生长末期保持相对较低水平, 从而延缓了灵芝子实体衰老。绿色、黄色光质抑制了抗氧化酶活性, 导致灵芝子实体可溶性蛋白量下降及MDA量上升, 加速了灵芝子实体的衰老过程。结论 蓝色光质可以使灵芝子实体维持较高的抗氧化酶水平, 促进可溶性蛋白合成, 从而增强灵芝代谢, 延缓灵芝衰老。

关键词: 灵芝; 光质; 抗氧化酶; 可溶性蛋白; 丙二醛

中图分类号: R282.21 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2011)12-2529-06

Effect of light on growth in *Ganoderma lucidum* and anti-oxidative enzyme activities

HAO Jun-jiang, CHEN Xiang-dong, LAN Jin

Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100193, China

Abstract: Objective In order to provide theoretical basis for cultivation, the effects of different light on the form and anti-oxidative enzyme activities of *Ganoderma lucidum* ever carried by the first spacecraft of China were studied to find the optimum light for the growth of *G. lucidum*. **Methods** *G. lucidum* was planted under different light. Their forms and activities of anti-oxidant enzymes were observed. **Results** There were significant differences in the form of the thickness and the ring pattern numbers of the fruit body before ejection. The yield of both fruit bodies and spores were affected under different light. Red and blue light increased the activities of POD and CAT. Blue light increased the contents of soluble protein and MDA. In contrast, green and yellow light decreased the activities of anti-oxidant enzymes, the contents of soluble protein and MDA. **Conclusion** These results indicate that blue light could accelerate the growth of *G. lucidum* and prevent the senescence by maintaining high levels of anti-oxidant enzymes and promoting the content of soluble protein.

Key words: *Ganoderma lucidum* (Leyss. ex Fr.) Karst.; light; anti-oxidant enzymes; soluble protein; MDA

光在植物生长中具有重要的地位, 可以作为一种触发信号影响植物的生长。研究表明, 光质对植物的生长发育^[1-2]、产量、品质、抗逆和衰老^[3]等方面均有较大的影响。通过光质调节, 控制植株形态建成和生长发育是设施栽培领域的一项重要技术。此类研究在灵芝栽培中尚未见报道。本实验以灵芝为材料, 研究子实体内抗氧化系统成分在不同光质条件下的持续变化情况, 探讨灵芝子实体内抗氧化

物质和抗氧化酶对外界光质条件变化的响应过程与差异, 以深入了解抗氧化系统在栽培灵芝适应光质环境中的变化规律, 为进一步开展光质对药用真菌生长调控机制研究及光质在灵芝栽培生产上的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

灵芝 S₃ 号菌株, 由中国医学科学院北京协和医

收稿日期: 2011-04-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(81173660)

作者简介: 郝俊江(1985—), 男, 河北省景县人, 在读硕士研究生, 从事药用真菌生理生化方面研究。Tel/Fax: (010)62899723

*通讯作者 兰进 E-mail: lanjin60@hotmail.com

学院药用植物研究所生物发酵实验室提供, 该菌株 1999 年由神州一号宇宙飞船进行搭载。

1.2 光质的处理

在栽培灵芝大棚中, 以太阳光透过率相近的特制不同颜色的滤光膜得到不同光质。试验设计分为加白色、红色、黄色、绿色和蓝色光质 5 个处理, 以白色光质 (灵芝生长需遮阴, 白色光质起降低光强, 透过为自然光) 为对照, 采用棉籽皮代料瓶栽方式, 在相同条件下, 灵芝未出蕾前进行搭棚, 调节棚高使棚内光强一致。各处理间间隔 80 cm, 保证受光均匀。随机排列, 重复 5 次。

1.3 灵芝不同生长阶段形态变化观测

不同光质处理条件下采用随机取样, 每次抽取 10 个样本。分别在现蕾期观察记录每瓶灵芝原基分化的数目; 在灵芝菌盖形成期测量菌柄长度; 在弹孢前期测量菌盖的直径和厚度, 并观察记录灵芝菌盖表面环纹数目。

1.4 灵芝产量的测定

在弹孢后期采收, 用电子天平称取子实体质量和孢子粉质量。

1.5 酶活性的测定

采用随机混合取样法, 分别在灵芝现蕾期、芝盖形成期、开伞期、弹孢前期、弹孢后期进行取样。每个处理重复 3 次。取试验材料 0.1 g 加入预先配制好的缓冲液 5 mL, 冰浴研磨, 在 4 °C 10 000 r/min 离心 15 min, 收集上清液用于酶活性测定。

1.5.1 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性测定 采用邻苯三酚自氧化法^[4]测定酶活力。通过测定邻苯三酚的自氧化反应速度 (A_{420}) 和 SOD 抑制下的邻苯三酚自氧化速度 (A'_{420}), 便可计算出 SOD 酶活力。先测定邻苯三酚自氧化速率, 取 1.5 mL 100 mmol/L, pH 8.2 Tris-HCL 缓冲液、1.4 mL 双蒸水混合后, 于 25 °C 水浴 20 min, 取出后立即加入 25 °C 预热 6 mmol/L 邻苯三酚 0.1 mL, 对照管用 10 mmol/L HCl 代替邻苯三酚, 于 420 nm 处每隔 30 s 测定 1 次吸光度 (A) 值, 共测 10 个数据。以 A 值对时间作图, 根据线性变化部分的斜率求出 A_{420} 值。适当改变邻苯三酚的用量, 使自氧化反应速度为 0.02 U/min。然后进行 SOD 活性测定, 方法与测自氧化率相同, 只是在此反应系统中加入待测 SOD 粗酶液, 测 A'_{420} 值。

1.5.2 过氧化物歧化酶 (POD) 活性测定 采用愈创木酚法^[5], 反应液为 2.9 mL 0.05 mol/L 磷酸缓冲

液 (pH 5.5), 1.0 mL 2% H_2O_2 , 1.0 mL 0.05 mol/L 愈创木酚和 0.1 mL 酶液。用加热煮沸 5 min 的酶液为对照, 反应体系加入酶液后, 于 34 °C 水浴中保温 3 min, 然后在 470 nm 波长下比色, 每隔 1 min 记录 1 次 A 值, 共记录 5 次, 然后以每分钟内 A_{470} 变化 0.001 为 1 个酶活单位 (U)。

1.5.3 过氧化氢酶 (CAT) 活性的测定 参照 Barata 等^[6]的方法, 3 mL 反应体系中含有磷酸缓冲液 (0.2 mol/L, pH 7.0) 2.8 mL, 粗酶提液 0.1 mL, 25 °C 预热, 加入 H_2O_2 (0.1 mol/L) 0.1 mL, 启动反应。以磷酸缓冲液作为空白对照, 记录 240 nm 波长下 A 值降低速度, 从 H_2O_2 加入后 30 s 开始读数, 每 15 s 读数 1 次, 读数 1.5 min, 以每分钟 A 值变化 0.001 为一个酶活单位 (U)。

1.6 丙二醛 (MDA) 及可溶性蛋白量的测定

1.6.1 MDA 测定 参照李合生^[7]的方法, 取 0.1 g 样品, 加 5% 三氯乙酸 5 mL, 研磨后得匀浆在 3 000 r/min 下离心 10 min, 取上清液 2 mL, 加 0.67% 硫代巴比妥酸 2 mL, 混合后在 100 °C 水浴上煮沸 30 min, 冷却后再离心 1 次。分别测定上清液在 532、600 nm 处 A 值。

1.6.2 可溶性蛋白测定 采用考马斯亮蓝法^[7]。以蛋白质浓度为横坐标 (X), 以 A 值为纵坐标 (Y), 得出标准曲线 $Y=0.0041X+0.0889$, $r=0.9961$ 。准确称取 0.1 g 样品, 放入研钵, 加 5 mL 磷酸缓冲液 (pH 7.0), 研成匀浆。再在 4 000 r/min 离心 10 min, 合并上清液, 定容至刻度。另取 1 支具塞试管, 准确加入 0.1 mL 样品提取液, 加入蒸馏水 0.9 mL 和 5 mL 考马斯亮蓝 G-250 试剂, 放置 3 min, 在 595 nm 波长下比色测定, 并通过标准曲线计算蛋白质量。

1.7 可溶性蛋白质电泳

1.7.1 凝胶制备 按文献方法^[8]制备, 凝胶浓度为 7%, 分离胶浓度 10%。

1.7.2 样品溶液制备 取试验材料 0.5 g, 加电极缓冲液 5 mL 研磨成匀浆, 静置 30 min, 转移至离心管中, 按 3 000 r/min 离心 15 min, 取上清液 0.5 mL 加入 0.05% 溴酚蓝指示剂 1~2 滴, 混匀备用。

1.7.3 电泳 将电压控制在 100 V, 电泳过程中保持电压稳定 2 h, 当样品中所含的溴酚蓝指示剂迁移至下沿 1.5 cm 处即停止电泳。

1.7.4 固定染色 加入 10% 三氯乙酸盖没凝胶板, 固定过夜。弃去固定液, 加入染色液 0.25% 考马斯

亮蓝 R-250 水染色液，染色 12 h。

1.7.5 脱色 染色后弃去染色液，将凝胶板用蒸馏水漂洗数次，然后加入脱色液 7%醋酸，脱色 12 h。

1.8 数据分析

采用 SPSS 10.0 统计软件对数据进行统计分析。LSD 检验比较各处理间以及各处理与对照间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同光质对灵芝生长的影响

不同光质处理的灵芝，其不同生长发育时期形态的表现不同。在灵芝现蕾期的原基分化数和芝盖形成期的菌柄长度，不同光质处理间差异不显著。在弹孢前期形态指标菌盖厚度、菌盖表面环纹数目，不同光质处理间有显著差异 ($P < 0.05$)。菌盖厚度大小依次为对照 > 绿色光质 > 蓝色光质 > 红色光质 > 黄色光质。绿色光质处理菌盖厚度与对照无显著差异。菌盖表面环纹数目依次为红色光质 > 绿色光质 > 对照 > 蓝色光质 > 黄色光质；黄色光质处理菌盖厚度和表面环纹数比对照低 22% 和 25%，结果见表 1。

表 1 光质对不同生长时期灵芝形态影响
Table 1 Effects of light on forms of *G. lucidum* at different development stages

光质	原基分化数	菌盖厚度/cm	菌盖环纹数目	菌盖直径/cm	菌柄长度/cm
对照	3.35 a	1.78 a	4.25 ab	4.93 a	3.61 a
黄色	3.85 a	1.39 b	3.17 c	5.71 a	3.38 a
绿色	4.30 a	1.60 ab	4.33 ab	5.24 a	3.80 a
蓝色	3.45 a	1.43 b	4.08 b	4.91 a	3.83 a
红色	3.20 a	1.43 b	5.00 a	5.66 a	3.43 a

不同小写字母数值间差异显著 $P < 0.05$ ，下同
Lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$), same as below

2.2 不同光质对灵芝子实体和孢子粉产量的影响

不同光质处理，灵芝子实体产量和灵芝孢子粉产量均有差异。灵芝子实体产量对照最高，绿色光质、黄色光质次之。红色光质，蓝色光质处理产量较低，仅为对照的 51% 和 35%。灵芝孢子粉产量以红色光质最高，是对照的 3.47 倍。见表 2。

2.3 不同光质条件和生长发育时期灵芝抗氧化相关酶的变化规律

2.3.1 SOD 活性变化 SOD 作为植物体内的一种保护酶可以清除体内自由基的过多积累，缓解逆境

表 2 光质对灵芝子实体和孢子粉产量影响

Table 2 Effects of different light on yield of fruit bodies and spores

光质	灵芝子实体产量/(g·瓶 ⁻¹)	灵芝孢子粉产量/(g·瓶 ⁻¹)
对照	31.06 a	0.116 c
黄色	20.04 b	0.234 b
绿色	23.10 b	0.366 a
蓝色	10.83 d	0.342 a
红色	15.69 c	0.403 a

活性与对照有显著差异，其 SOD 活性分别比对照高 2.75 倍和 1.83 倍，表明黄色、绿色光质处理，对灵芝生长发育已属逆境。不同光质处理的灵芝其 SOD 活性在现蕾期最高，其他发育阶段均低于现蕾期。而对照现蕾期 SOD 活性最低，其余生长时期对照的灵芝 SOD 活性均高于不同光质处理。红色光质处理的灵芝其 SOD 活性除灵芝芝盖形成期外，其余生长时期与对照无差异，表明红色光质处理对灵芝的 SOD 活性影响较小。见图 1。

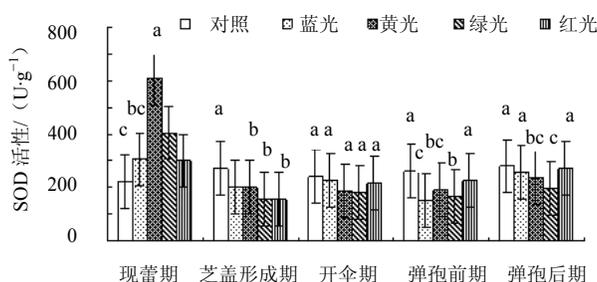


图 1 不同光质处理灵芝各生长发育时期 SOD 活性变化
Fig. 1 Variety of SOD activity in *G. lucidum* at different development stages under different light

2.3.2 POD 活性变化 POD 是活性氧清除剂，其活性的提高可以减轻活性氧对细胞膜的伤害。在现蕾期，蓝色光质处理灵芝的 POD 活性最高，黄色光质处理与对照相近，红色光质处理最低。随着灵芝的生长发育，红色光质处理的灵芝，其 POD 活性几乎无变化；其余光质处理的灵芝，其 POD 活性逐渐降低。黄色、绿色光质处理的灵芝，在弹孢前期其 POD 活性最低；蓝色光质处理的灵芝，在弹孢后期其 POD 活性最低。在灵芝开伞期，不同光质处理的灵芝其 POD 活性均低于对照。灵芝生长发育各时期，蓝色光质处理 POD 活性与对照差异不显著，表明蓝色光质处理对灵芝 POD 活性影响较小。见图 2。

2.3.3 CAT 活性变化 不同光质处理的灵芝其 CAT 活性在灵芝现蕾期、芝盖形成期、开伞期与对照无显著

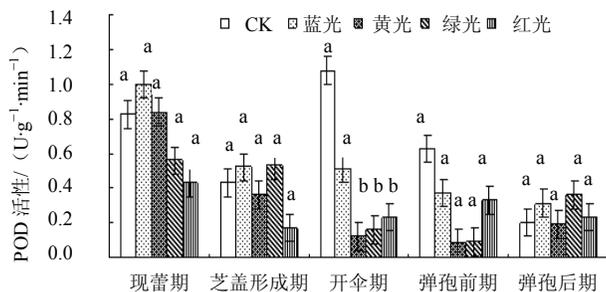


图 2 不同光质处理灵芝生长发育各时期 POD 活性变化
Fig. 2 Variety of POD activity in *G. lucidum* at different development stages under different light

差异，对照的 CAT 活性最高。弹孢前期，蓝色光质处理的灵芝 CAT 活性与对照有显著差异，其 CAT 活性是对照的 3.25 倍。弹孢后期，灵芝 CAT 活性不同光质处理及对照均达到最高点，且不同光质处理间无显著差异，表明 CAT 是灵芝衰老时期的一种重要保护酶。不同光质处理及对照在弹孢后期对 CAT 没有明显的抑制作用。在灵芝生长发育过程中黄色和红色光质处理 CAT 活性相近，二者无差异，这与光质对彩色辣椒幼苗研究报道^[9]相类似。见图 3。

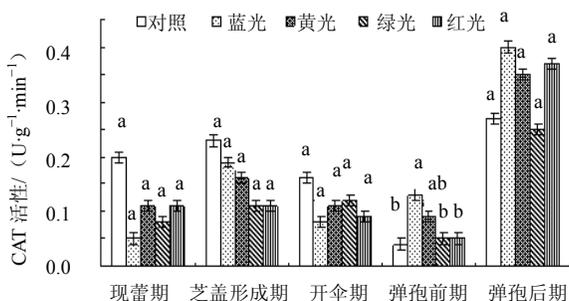


图 3 不同光质处理灵芝生长发育各时期 CAT 活性变化
Fig. 3 Variety of CAT activity in *G. lucidum* at different development stages under different light

2.4 不同光质条件下，不同生长发育时期灵芝可溶性蛋白及 MDA 的变化

2.4.1 MDA 量变化 不同光质处理灵芝体 MDA 量发生了变化。随着灵芝的生长发育，对照的 MDA 量逐渐增加，在弹孢前期达最大值。弹孢前期，对照与绿色、蓝色光质处理的灵芝体内 MDA 量有显著差异；对照比绿色、蓝色光质处理的灵芝体内 MDA 量分别高 1.67 倍和 1.49 倍。弹孢后期，蓝色光质处理的灵芝其 MDA 量最高，是对照的 1.7 倍。黄色、红色光质处理的 MDA 量变化趋势与对照相似。见图 4。

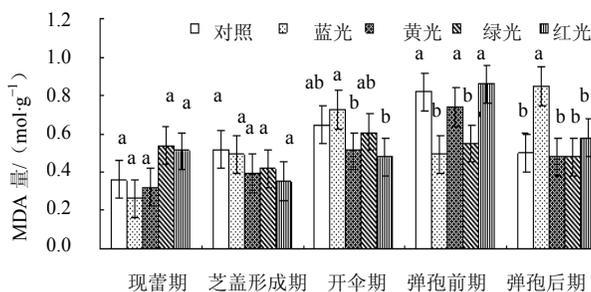


图 4 不同光质处理下灵芝生长发育各时期丙二醛量变化
Fig. 4 Variety of MDA content in *G. lucidum* at different development stages under different light

2.4.2 可溶性蛋白量变化 不同光质处理的灵芝，其可溶性蛋白量随生长发育进程的变化称单峰曲线，灵芝芝盖形成期达最大值；现蕾期，不同光质处理的灵芝其可溶性蛋白量均高于对照。植物体内的可溶性蛋白质大多数是参与各种代谢的酶类，测其量是植物体总代谢和酶活性的一个重要指标^[10]。在灵芝菌盖形成期不同光质处理的灵芝其可溶性蛋白量均达最大值，其可溶性蛋白量高低依次为蓝色光质>绿色光质>黄色光质>对照>红色光质，这一时期灵芝代谢能力增强，蓝色光质处理可能有助于增强代谢能力。见图 5。

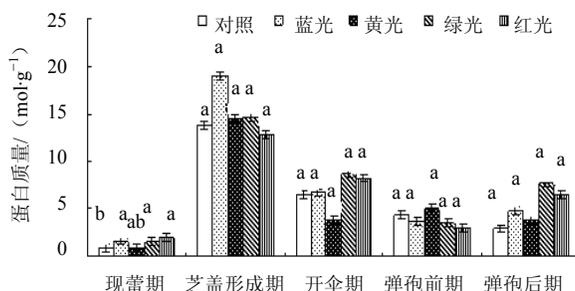


图 5 不同光质处理灵芝生长发育各时期蛋白质的量变化
Fig. 5 Variety of protein content in *G. lucidum* at different development stages under different light

2.4.3 蛋白质电泳结果 在现蕾期，芝盖形成期不同光质处理的灵芝其蛋白质种类无差异，均有 10 条谱带。在开伞期，Rf 值 0.18 处，对照、黄色、蓝色光质处理的灵芝均有特征谱带，Rf 值 0.25 处，黄色、绿色、蓝色光质处理的灵芝有谱带，其余光质处理无这 2 条谱带。不同光质处理影响灵芝的蛋白质代谢，这种影响以蓝色光质较为显著。在孢子弹射前期，不同光质处理的灵芝其蛋白质谱带较少，仅有 6 条，表明此时期蛋白质种类较少。见图 6。

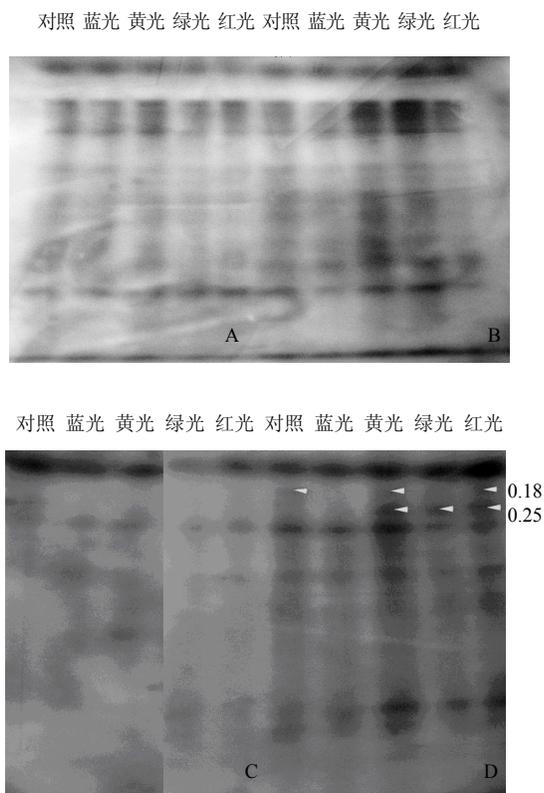


图 6 灵芝在芝盖形成期 (A)、现蕾期 (B)、弹孢前期 (C)、开伞期 (D) 的蛋白质电泳图

Fig. 6 Protein electrophoretograms at stages of forming cover (A), squaring (B), ejection (C), and umbrella (D)

3 讨论

近年来的研究表明, 逆境下植物产生更多的氧自由基, SOD 和 POD 则对这些自由基和过氧化物起着清除作用, 因此这些酶成为植物在逆境中的保护体系。其中 SOD 是存在于植物细胞中最重要的清除氧自由基的酶之一, 其主要功能是清除 $O_2^{\cdot-}$, 产生 H_2O_2 , 而 POD 可以清除体内的 H_2O_2 , 维持体内的活性氧代谢平衡, 保护膜结构, 从而使植物能在一定程度上忍耐、减缓或抵抗逆境胁迫^[11-12]。本实验中, 不同光质处理的灵芝, 其 SOD、POD 活性在生长初期最高。POD 可以将 SOD 从氧自由基转化成的 H_2O_2 进一步分解, 由于不同光质处理在现蕾期 SOD 活性较高, 此时期产生较多 H_2O_2 , 所以在现蕾期和灵芝芝盖形成期 POD 活性较高。蓝色、红色光质处理的灵芝, 其 POD、SOD 活性与对照几乎无差异, 但在生长后期其 POD、SOD 活性高于对照, 这与光质对番茄幼苗抗氧化酶活性影响报道一致^[13], 表明红色光质和蓝色光质可以提高灵芝

子实体内的抗氧化酶活性, 有利于提高其抗氧化能力。不同光质处理的灵芝, 其 CAT 活性无明显差异, 说明光质对 CAT 活性影响不大。这与蒲高斌^[13], 杜建芳等^[14]的研究结果相同。

POD 在植物体内是组织和器官分化的标志酶, 与氧化有关。POD 既起保护作用又起氧化作用, 活性过高时使组织所含的某些碳水化合物转化成木质素, 增加木质化程度^[15-16]。开伞期灵芝木质化程度加深, 此时对照 POD 活性最高, 可以推测开伞期是灵芝分化的一个重要时期。此时蓝色光质处理 POD 活性与对照无显著差异, 表明蓝色光质处理对灵芝分化无影响。其余光质处理 POD 活性显著低于对照, 由于 POD 具有 IAA 氧化酶的功能^[17], 黄色、绿色及红色光质处理下灵芝菌盖直径均较对照、蓝色光质处理的大。

MDA 是活性氧攻击膜脂而形成的最终降解产物, 其含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度^[18]。研究发现, 不同光质处理后, 随着灵芝的生长 SOD、POD 活性下降, MDA 量增加, 细胞膜透性增大, 表明灵芝在生长过程中, 体内已生成相应的氧自由基, 在生长初期 SOD、POD 酶活性较高, 可以将这些氧自由基清除。进入衰老期, 氧自由基的产生已超过 SOD、POD 等抗氧化体系的清除能力, 故部分未能清除的活性氧引起膜脂的过氧化 (MDA 量增加), 导致膜系统损伤。蓝色光质处理在弹孢前期 MDA 量显著低于对照, 表明此时期灵芝损伤较小, 蓝色光质处理对灵芝有保护作用。

蛋白质是组成有机体的重要成分, 是生物体的主要物质基础。不同波长的光对其形成有显著影响。许多研究表明蓝光可以促进蛋白质的合成^[19]。结果显示蓝色光质处理的灵芝其蛋白质的量在灵芝的生长发育过程中始终比其他光质处理高。灵芝可溶性蛋白电泳研究发现, 在开伞期不同光质处理的灵芝, 其可溶性蛋白电泳条带不同, 蓝色光质处理的灵芝其可溶性蛋白有特征条带, 可能是光质可以通过调控基因的表达来指导或抑制一些功能性蛋白或酶的合成, 最终影响蛋白质的代谢反应。

综上所述, 光质在灵芝生长中作用是显著的。蓝色光质处理可明显提高蛋白质的量。同时, 蓝色光质处理提高了 POD、CAT 活性, 并且使 MDA 在生长末期保持相对较低水平, 提高了抗氧化能力从而延缓了灵芝子实体衰老, 为生产上利用光质培养灵芝提供理论依据。

参考文献

- [1] D'Onofrio C, Morini S, Bellocchi G. Effect of light quality on somatic embryogenesis of quince leaves [J]. *Plant Cell Tissue Organ Cult*, 1998, 53: 91-98.
- [2] 王菊凤, 李鹤鸣, 廖飞勇, 等. 不同光强对弱光型盾叶薯蓣中薯蓣皂苷元和生物量的影响 [J]. *中草药*, 2011, 42(1): 171-175.
- [3] Wang L, Wang L, Li X J, *et al.* Effects of light and temperature on antioxidant activity and peroxidase expression at different growth stages of the Chinese red radish [J]. *Korean Soc Appl Biol Chem*, 2009, 52(2): 151-156.
- [4] 张龙翔, 张庭芳, 李令媛. 生化实验方法和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1997.
- [5] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [6] Barata, R M, Chapparato A, Chabregas, S M, *et al.* Targeting of the soybean leghemoglobin tobacco chloroplasts: Effects on aerobic metabolism transgenic plants [J]. *Plant Sci*, 2000, 155: 193-202.
- [7] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [8] 何忠效, 张树政. 电泳 [M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [9] 杜洪涛, 刘世琦, 张 珍. 光质对彩色甜椒幼苗生长及酶活性影响 [J]. *华北农学报*, 2005, 20(2): 45-48.
- [10] 马鲁沂, 孙小玲, 郝 俊, 等. 遮阴对高羊茅和沿阶草生活力及抗氧化酶体系的影响 [J]. *草地学报*, 2009, 17(2): 187-192.
- [11] Salin M L. Toxic oxygen species and protective system of the chloroplast [J]. *Physiol Plant*, 1988, 72: 681-689.
- [12] Shen W Y, Nada K, Tachibana S. Effect of cold treatment on nonenzymic antioxidant activities in leaves of chilling-tolerant and chilling-sensitive cucumber (*Cucumis sativus* L.) cultivars [J]. *Jpn Soc Hort Sci*, 1999, 68(5): 967-973.
- [13] 蒲高斌, 刘世琦, 张 珍. 光质对番茄幼苗生长及其抗氧化酶活性的影响 [J]. *中国蔬菜*, 2005, 9: 21-23.
- [14] 杜建芳, 廖祥儒, 叶步青. 光质对油菜幼苗生长及抗氧化酶性的影响 [J]. *植物学通报*, 2002, 19(6): 743-745.
- [15] 赵 洁, 程井辰. 光因子对石刁柏愈伤组织生长过程中蛋白质含量及酶活性变化的影响 [J]. *武汉植物学研究*, 1994, 12(3): 251-257.
- [16] 王伟英, 林江波, 邹 晖, 等. 水杨酸处理对水仙株型及抗氧化酶活性的影响 [J]. *中国农学通报*, 2009, 5(14): 157-160.
- [17] Normanly J. Auxin metabolism [J]. *Physiol Plant*, 1997, 100: 431-442.
- [18] 李文兵, 王燕凌, 李 芳, 等. 水分胁迫下多枝桧柳体内活性氧与保护酶的关系 [J]. *新疆农业大学学报*, 2007, 30(1): 30-34.
- [19] 李韶山, 潘瑞炽. 蓝光对水稻幼苗碳水化合物和蛋白质代谢的调节 [J]. *植物生理学报*, 1995, 21(1): 22-28.