

doi:10.11937/bfyy.20171650

不同光照强度对蛹虫草 主要活性成分的影响规律

方华舟¹, 肖习明²

(1. 荆楚理工学院 生物工程学院, 湖北 荆门 448000; 2. 荆门市农业局, 湖北 荆门 448000)

摘要:以优质蛹虫草菌株为试材, 分别以不同光照强度对蛹虫草发菌、转色、原基分化、子实体生长等阶段进行单因子对照试验, 比较不同阶段不同光照强度下的各蛹虫草试验组在蛋白质、多糖、虫草素、虫草酸等主要活性成分含量的差异及特点, 探索蛹虫草不同生长阶段的适宜光照强度及规律。结果表明: 蛹虫草发菌、转色、原基分化、子实体生长等阶段的光照强度分别约为 0~10、500~200、200~500、300~500 lx 时, 蛹虫草主要活性成分含量相对较高。说明不同生长阶段不同光照强度对蛹虫草主要活性成分的合成和积累可产生明显影响, 以各阶段相应适宜光照强度对蛹虫草进行栽培是保证和提高主要活性成分含量的重要措施之一。

关键词: 蛹虫草; 光照强度; 蛋白质; 多糖; 虫草素; 虫草酸

中图分类号: S 567.3⁺5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2017)24-0170-08

蛹虫草(*Cordyceps militaris* Link)属真菌界(*Fungi*)、双核菌亚界(*Bikarya*)、子囊菌门

(*Ascomycota*)、子囊菌纲(*Ascomycetes*)、粪壳菌亚纲(*Sordariomycetidae*)、肉座菌目(*Hypocreales*)、麦角菌科(*Clavicipitaceae*)、虫草属(*Cordyceps* Link)模式种, 又名北冬虫夏草、北虫草, 是我国宝贵的虫草资源^[1]。

第一作者简介: 方华舟(1965-), 男, 本科, 教授, 研究方向为食用菌与农业微生物学。E-mail: 434761170@qq.com.

基金项目: 湖北省教育厅重点科研资助项目(D 20126101); 湖北省荆门市科学技术局科研资助项目(YFYB2017003)。

收稿日期: 2017-07-14

大量研究证实蛹虫草主要活性成分及医疗保健功效不仅与冬虫夏草相类似, 甚至虫草素等重要活性成分含量明显高于冬虫夏草, 因而引起人

2% 3,5-dinitrobenzoic acid ethanol-2 mol · L⁻¹ potassium hydroxide(1 : 1) as the chromogenic agent; and the content of andrographolide and dehydroandrographolide was detected by HPLC. The separation was carried out on a Hypersil BDS C₁₈ (4.6 mm × 250 mm, 5 μm) column with the mobile phase of methanol-water(65 : 35); the column temperature was at 30 °C; the detection wavelength of andrographolide and dehydroandrographolide were 225 nm and 254 nm, respectively. The results showed that andrographolide and dehydroandrographolide could be identified by TLC, the content of andrographolide and dehydroandrographolide in *Andrographis paniculata* could be accurately determined by HPLC. The established methods of TLC and HPLC might be a reliable and specific method with good reproducibility, which could be used as quality control method of *Andrographis paniculata*.

Keywords: *Andrographis paniculata* Nees; andrographolide; dehydroandrographolide; TLC; HPLC

们的广泛重视^[2]。研究已广泛证实蛹虫草含有充足的虫草类主要活性物质如虫草素、虫草酸、虫草多糖、蛋白质以及全部8种必需氨基酸、多种微量元素及维生素等成分,具有滋补营养、增强免疫、抗肿瘤、抑制病毒、抗辐射、抗菌消炎等多种功能,已在东亚等地区被广泛用作进补滋养、保健及药用佳品,被认为是冬虫夏草的理想替代品及药用真菌的后起之秀,我国于2009年批准为新资源食品(现名新食品原料)^[2-3]。自我国世界上第一个以昆虫蛹人工培育蛹虫草获得成功以来,我国蛹虫草人工种植技术快速发展,现已基本实现产业化,年产值可达100亿元以上^[4]。

然而,栽培实践中人们长期注重蛹虫草产量的提高,忽略保持和提高蛹虫草品质尤其提高蛹虫草主要活性成分含量的相关栽培技术研究及应用,导致部分蛹虫草产品的主要活性成分含量明显下降,已成为制约蛹虫草产业进一步发展的重要瓶颈之一^[4-6]。光照是蛹虫草正常生长与发育的重要基本条件之一,不同光照强度等无疑对蛹虫草主要成分的合成、代谢和积累产生重要影响。比较并系统研究不同光照条件对蛹虫草主要活性物质的影响及规律有重要现实意义,但相关报道较少。该研究根据一般实际栽培条件,对不同阶段不同光照强度下蛹虫草主要活性成分含量的差异及特点进行深入系统探讨,以期对蛹虫草规范种植、确保蛹虫草优良品质及质量提供一定参考依据及技术参数,供栽培实践及进一步研究参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试蛹虫草菌种D1由荆楚理工学院生物工程学院食用菌实验室分离、保藏和提供,并经实际栽培证实具有良好生长及出草性能。

大米、马铃薯(市场购买)、可溶性淀粉、蛋白胨、葡萄糖(化学纯,天津福晨化学试剂厂生产)、琼脂、磷酸二氢钾、硫酸镁(化学纯,天津凯通化学试剂有限公司生产)、维生素B₁(华中药业公司生产,药店购买)及其它常见药品;虫草素标准品(纯度>98%,SIGMA)、葡萄糖标准品(纯度>98%,西安天丰生物科技有限公司)、甘露醇标准品(纯

度>98%,上海永叶生物科技有限公司)及其它常规试剂等。

液体菌种培养基:可溶性淀粉30g,葡萄糖10g,蛋白胨10g,磷酸二氢钾2g,硫酸镁2g,维生素B₁10mg,水1000mL,pH6.5^[7];栽培出草培养基:大米30g,营养液45mL;其中营养液配方为蛋白胨20g,磷酸二氢钾1g,硫酸镁0.8g,维生素B₁10mg,水1000mL,pH6.5~7.0^[7-8]。上述液体培养基分装至锥形瓶,出草培养基以500mL罐头瓶为容器,按常规高压蒸汽灭菌。

供试仪器:YX-400A高压蒸汽灭菌锅(上海三申医疗器械有限公司)、FA2104分析电子天平(良平仪器有限公司)、SW-CJ-1F超净工作台(苏州净化设备有限公司)、TP22恒温摇床(中国科学院武汉科学仪器厂)、HP1500GS(武汉瑞华仪器设备有限公司)、LRH-250~GS I智能人工气候箱(广东韶关市泰宏医疗器械有限公司)、250B生化培养箱(江苏金坛医疗器械厂)、XYI-III光照强度计(杭州新叶光电工程技术有限公司)、电热恒温干燥箱(上海浦东荣丰科学仪器有限公司)、紫外可见分光光度计(上海谱元仪器有限公司)、WATERS-LC超高效液相色谱仪(美国WATERS公司)及其它常用栽培工具与分析检测仪器等。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

将蛹虫草菌种D1经PDA培养基活化后无菌接入液体菌种培养基,于20℃、150r·min⁻¹摇床闭光培养至液体菌种成熟^[9];将液体菌种以10%体积量无菌接入栽培培养基(实际接种量约为6mL)进行培养,分别于蛹虫草发菌、转色、原基分化、子实体生长等主要生长阶段,按照单因子对照原则设置不同光照强度进行栽培出草。以黑布遮光、在培养室及人工气候箱或生化培养箱上部改建和悬挂日光灯等方式调节光照强度。进行各阶段不同光照强度试验时,光照强度设置参照文献^[10]进行,其它温度、湿度等生长条件管理均按文献^[9]所述适宜条件进行。其中,发菌阶段光照强度分别设置为白昼0、5、10、20、50、100lx光照12h及黑暗12h;转色阶段,以0lx光照且菌丝已长至瓶底的已完成发菌的优良菌瓶,分别设置光

照强度白昼 50、100、200、300、500、1 000 lx 光照 15 h 及夜晚黑暗 9 h;原基分化阶段,以 300 lx 光照、已完成良好转色的菌瓶,分别设置光照强度白昼 50、100、200、300、500、1 000 lx 光照 12 h 及黑夜 12 h(昼夜温差为 5 ℃);子实体生长阶段,以 200 lx 光照及一定昼夜温差、已形成良好原基的菌瓶,分别设置光照强度白昼 50、100、200、300、500、1 000 lx 光照 12 h 及黑夜 12 h。发菌、转色、原基分化等阶段已完成本阶段光照试验而不参与下阶段光照试验的其它栽培菌瓶,以文献[10]所述蛹虫草良好生长及较高产量的相应各阶段的适宜光照条件(发菌 0 lx,转色 300 lx 光照 15 h 及黑暗 9 h,原基分化 200 lx 光照 12 h、黑夜 12 h 及昼夜温差 5 ℃,子实体生长 200 lx 光照 12 h 及黑夜 12 h)及其它适宜条件^[9]进行栽培和出草。子实体采收后,于室内通风处阴干后置烘箱 50 ℃烘干至恒重,分别测定不同光照强度下各栽培试验组蛹虫草子实体的各主要活性成分含量,总结不同光照强度对蛹虫草主要活性成分的影响规律。

共接种栽培蛹虫草 1 500 余瓶,以保证各阶段各光照强度试验组不少于 50 瓶重复、优化验证性试验 300 瓶重复,其中发菌阶段 1 260 余瓶 0 lx 光照强度试验菌瓶进一步进入转色阶段不同转色光照强度试验,转色阶段 1 000 余瓶 300 lx 光照强度试验菌瓶进一步进入原基分化阶段不同原基分化光照强度试验,原基分化阶段 700 余瓶 200 lx 光照强度试验菌瓶进一步进入子实体生长阶段不同子实体生长光照强度试验;活性成分含量测定 3 次重复。

1.2.2 优化及验证性试验

根据各蛹虫草主要生长阶段不同光照强度对蛹虫草主要活性成分含量的影响结果,以较高主要活性成分含量的光照条件,进行蛹虫草人工栽培及主要活性成分含量测定,并以文献[10]所述蛹虫草较高产量的适宜光照条件(发菌 0 lx、转色 300 lx、原基分化 200 lx、子实体生长 200 lx)为对照,以进一步验证和深化不同光照强度对蛹虫草主要活性成分的影响规律及机制,优化发菌、转色、原基分化、子实体生长等蛹虫草主要生长阶段的适宜光照参数及条件。

1.3 项目测定

蛹虫草各主要成分含量均采用相关部委、行业规定的标准及成熟方法进行测定。蛹虫草蛋白质含量采用分光光度法测定^[11],蛹虫草多糖含量采用苯酚-硫酸法测定^[12],虫草素含量采用高效色谱法测定^[13],虫草酸含量采用高碘酸钠法测定^[14]。

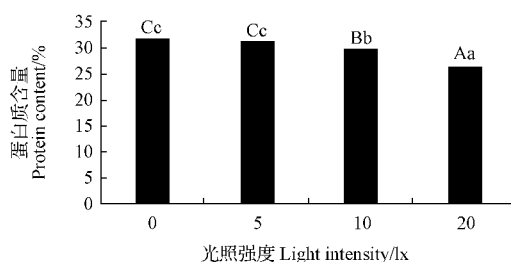
1.4 数据分析

试验数据采用 SPSS 19.0 软件进行差异性显著性分析。

2 结果与分析

2.1 发菌阶段不同光照强度对蛹虫草主要活性成分的影响

由图 1~4 可知,光照强度由 0 lx 升高至 20 lx,蛹虫草蛋白质、多糖、虫草素、虫草酸含量总体上均较明显下降,说明以微弱光照或无光照进行发菌有利于蛹虫草主要成分的合成。于 5~10 lx 弱光照,蛹虫草蛋白质、虫草酸含量与 0 lx 光照条件较为接近,而多糖、虫草素则一定程度上升,说明以约 10 lx 以下的弱光照有利于保持较高蛹虫草主要活性物质含量,可能与一定弱光照可较早促进相关物质合成及代谢有关。该试验发现,当光照强度达到或超过 50 lx 则菌丝生长明显衰弱、过早转色,不形成原基及子实体,可能与光照抑制菌丝营养代谢、有利于菌丝进入生殖代谢及生长有关。说明发菌阶段以约 10 lx 以下弱光照较为适宜(50~100 lx 光照不出草,无相关成分含量)。



注:大小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平差异显著,下同。

Note: The uppercase and lowercase letters indicated significant difference at 0.01 and 0.05 levels, respectively. The same below.

图 1 发菌光照强度对蛋白质含量的影响

Fig. 1 Influence of the light intensity of spore germination on the content of protein

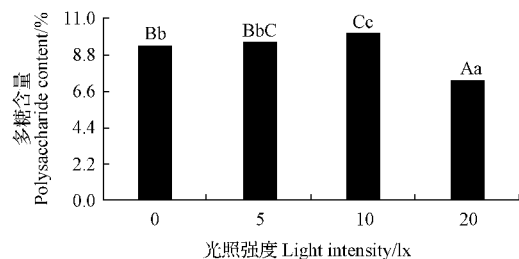


图2 发菌光照强度对虫草多糖含量的影响
Fig. 2 Influence of the light intensity of spore germination on the content of polysaccharide

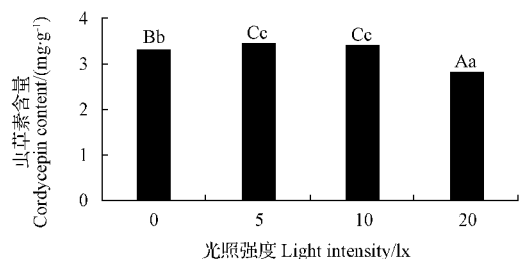


图3 发菌光照强度对虫草素含量的影响
Fig. 3 Influence of the light intensity of spore germination on the content of cordycepin

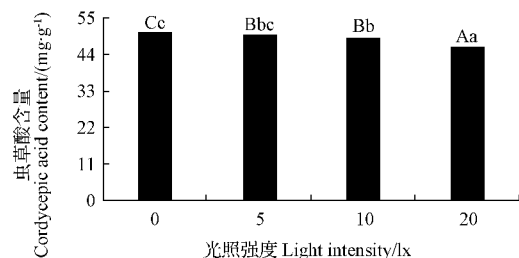


图4 发菌光照强度对虫草酸含量的影响
Fig. 4 Influence of the light intensity of spore germination on the content of cordycepic acid

2.2 转色阶段不同光照强度对蛹虫草主要活性成分的影响

由图5~8可知,蛹虫草蛋白质含量约500 lx时最高,在50~300 lx时呈上升趋势,至1 000 lx时下降迅速;虫草多糖、虫草素含量在500 lx时最高,在50~500 lx时上升较迅速,至约1 000 lx时下降较明显;虫草酸含量于50~100 lx时上升,200~500 lx时下降明显,500~1 000 lx时趋于稳定。说明转色阶段光照强度对蛹虫草蛋

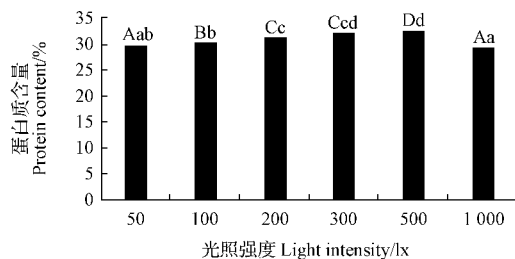


图5 转色光照强度对蛋白质含量的影响
Fig. 5 Influence of the light intensity of color changing on the content of protein

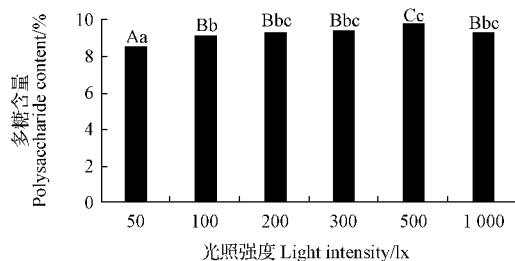


图6 转色光照强度对虫草多糖含量的影响
Fig. 6 Influence of the light intensity of color changing on the content of polysaccharide

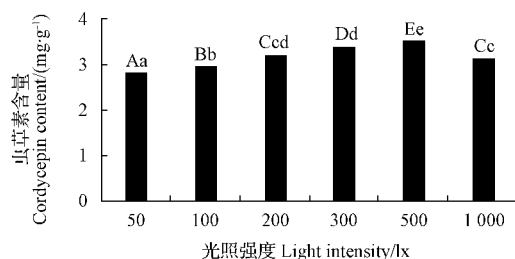


图7 转色光照强度对虫草素含量的影响
Fig. 7 Influence of the light intensity of color changing on the content of cordycepin

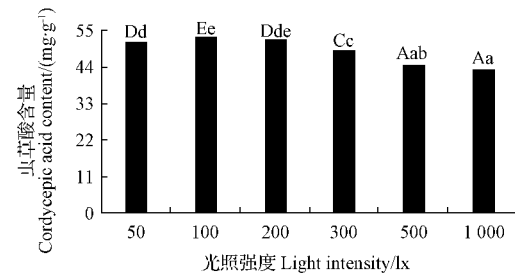


图8 转色光照强度对虫草酸含量的影响
Fig. 8 Influence of the light intensity of color changing on the content of cordycepic acid

白质、多糖、虫草素、虫草酸等主要物质含量影响较明显。显然,转色是蛹虫草菌丝进入生殖生长,进行相关物质合成与代谢的重要奠基和生长的关键时期^[9-10],因而不同光照强度对蛹虫草生长及主要成分含量的影响差异较明显;鉴于虫草素、多糖及蛋白质含量于500~200 lx较高,虫草酸含量于200~500 lx时亦未显著降低,说明转色以500~200 lx时光照强度较为适宜。

2.3 原基分化阶段不同光照强度对蛹虫草主要活性成分的影响

由图9~12可知,此阶段不同光照强度对蛹虫草主要活性含量的影响较小,大体表现为50~500 lx光照,蛹虫草蛋白质、多糖、虫草素含量在一定程度上上升,1 000 lx时不同程度下降;50~1 000 lx光照虫草酸含量呈连续下降趋势,但差异不明显,尤其50~500 lx时含量接近。同时,鉴于栽培实践及该试验中发现光照强度较强对原基分化有抑制作用,约200 lx原基数分化较多,超过500 lx对原基分化抑制明显^[9-10],说明原基分化阶段以200~500 lx光照为宜。

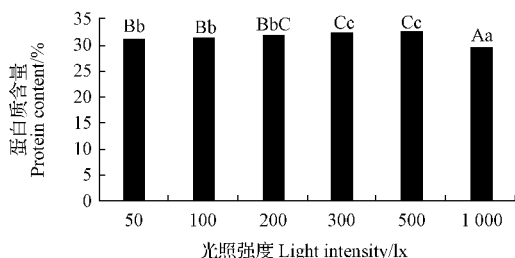


图9 原基分化光照强度对蛋白质含量的影响

Fig. 9 Influence of the light intensity of primordium differentiation on the content of protein

2.4 子实体生长阶段不同光照强度对蛹虫草主要活性成分的影响

由图13~16可知,此阶段不同光照强度对蛹虫草蛋白质、多糖、虫草素、虫草酸含量的影响均较明显。显然与子实体生长阶段在蛹虫草生长发育周期中占比显著较长以及此阶段代谢旺盛等有关。其中,蛹虫草蛋白质含量于50~200 lx时上升较迅速,300 lx时最高,较50 lx时提高约21.6%,500~1 000 lx时下降较迅速,说明光照过强对蛹虫草蛋白质合成及积累有一定抑制作

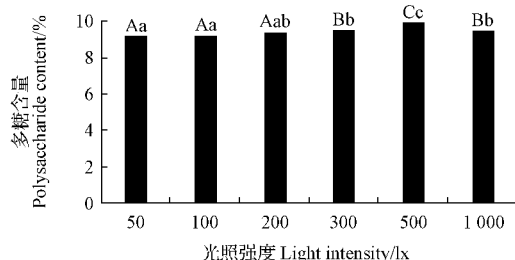


图10 原基分化光照强度对虫草多糖含量的影响

Fig. 10 Influence of the light intensity of primordium differentiation on the content of polysaccharide

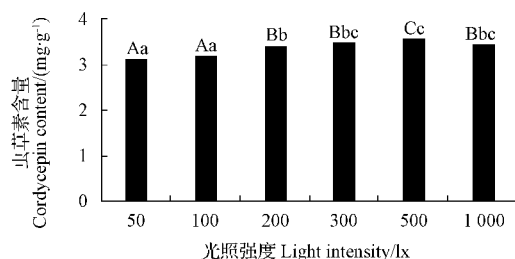


图11 原基分化光照强度对虫草素含量的影响

Fig. 11 Influence of the light intensity of primordium differentiation on the content of cordycepin

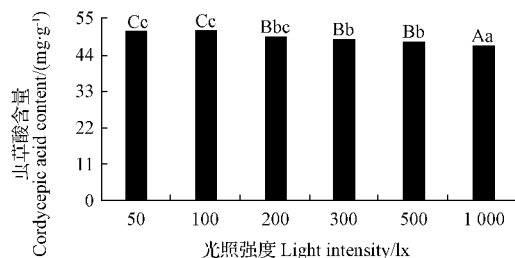


图12 原基分化光照强度对虫草酸含量的影响

Fig. 12 Influence of the light intensity of primordium differentiation on the content of cordycepic acid

用;多糖含量于50~100 lx时一定上升后,随光照强度增加呈下降趋势,500~1 000 lx时趋于稳定;虫草素含量于50~200 lx时较低,约300 lx时迅速增加,约500 lx时达到峰值,300~1 000 lx时均可保持较高水平,其中在300 lx时为拐点,虫草素含量由200 lx时 $2.19 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 显著增加至300 lx时 $3.52 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,增加率达60.73%,说明较强光照强度有利于虫草素的积累和合成;虫草酸含量随光照强度增加而逐步下降,至500 lx

时下降趋缓,说明过强光照不利于虫草酸的积累和合成。鉴于蛹虫草虫草素含量显著较低及兼顾其它主要成分含量,以 300~500 lx 光照为宜,且子实体形态、色泽较典型。

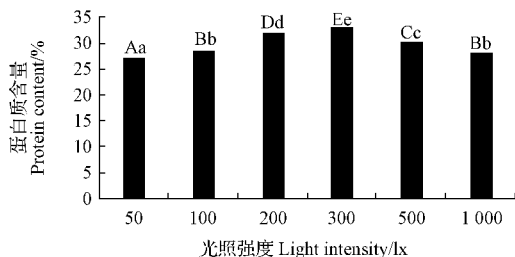


图 13 子实体不同光照强度对蛋白质的影响

Fig. 13 Influence of the light intensity of sporocarp growth on the content of protein

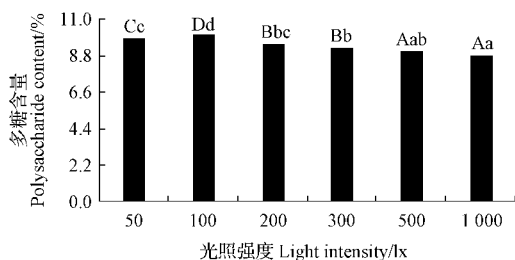


图 14 子实体不同光照强度对多糖的影响

Fig. 14 Influence of the light intensity of sporocarp growth on the content of polysaccharide

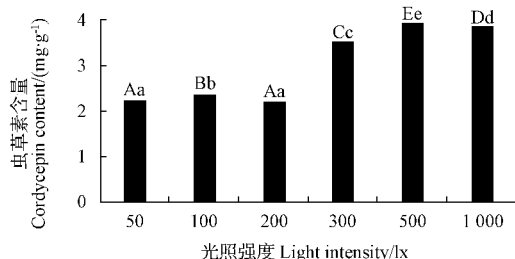


图 15 子实体不同光照强度对虫草素的影响

Fig. 15 Influence of the light intensity of sporocarp growth on the content of cordycepin

2.5 优化试验结果与机制分析

鉴于发菌、转色、原基分化、子实体生长等各阶段不同光照强度对蛹虫草主要活性成分的影响存在差异及综合考虑各主要成分含量等情况,该研究将上述各栽培环节的光照强度分别优化为

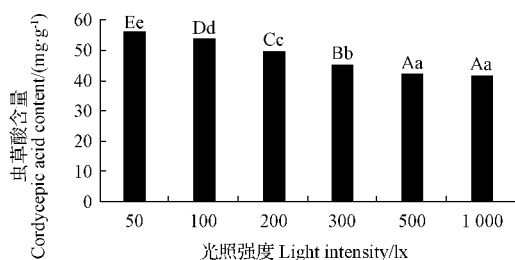


图 16 子实体不同光照强度对虫草酸的影响

Fig. 16 Influence of the light intensity of sporocarp growth on the content of cordycepic acid

5、500、300、300 lx 并进行栽培试验。经测定该光照强度下的蛹虫草产品的主要有效成分含量分别为蛹虫草蛋白质 32.1%、多糖 9.86%、虫草素 $3.93 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、虫草酸 $45.1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,与对照组比较,尽管虫草酸含量有一定程度下降,但其蛹虫草蛋白质、多糖、虫草素含量分别较对照组提高 1.27%、5.80%、18.34%,且各成分的含量均较高,尤其虫草素含量上升显著,产量较高、子实体形态典型,说明各阶段不同光照强度可较明显影响蛹虫草主要成分的比例及含量。该试验发现,光照强度较弱则蛹虫草子实体较瘦弱,光照强度较强则子实体较粗壮并趋向一定畸形;光照强度较强则一定光照强度范围内促进虫草素含量趋高、多糖含量趋低;光照强度较弱则虫草酸含量较高,光照强度适宜则蛋白质含量较高,说明光照强度是影响蛹虫草生长发育、形态建成及主要物质代谢和积累的重要因素^[15]。各阶段光照强度适宜,蛹虫草各物质代谢协调、均衡,各主要成分积累及含量恰当,因而形态及色泽较典型^[16]。说明可通过适当调节蛹虫草各生长阶段的光照强度等因素,兼顾产量和主要成分含量等内在品质,努力提高蛹虫草产量和较好促进蛹虫草主要活性成分的合成、积累和保持,也是提高蛹虫草品质和质量的可行方法之一。

3 结论与讨论

众所周知,光照及光照强度是蛹虫草生长发育的重要基本条件。一般认为,发菌需以无光或微弱光为基本条件,转色、原基分化、子实体生长需以一定适宜散射光为基本条件。栽培实践及研究均证实,蛹虫草各生长阶段光照条件不尽相同,

以各阶段适宜光照强度进行栽培,可有效促进蛹虫草良好生长和高产稳产^[15-16]。显然,各阶段光照条件参与或调节了蛹虫草菌丝及子实体的生长发育中相关物质及成分的合成与代谢,从而实现对蛹虫草生长和发育的调节和控制。近年来,蛹虫草光受体基因不断被发现以及对部分光受体基因功能的初步研究证明,光受体基因在蛹虫草物质代谢及生长发育中起着重要作用,且不同阶段、菌丝及子实体不同部位的表达特性存在显著差异,也说明光照条件对蛹虫草代谢及生长的调节机制与途径复杂^[17-18]。

该研究表明,各阶段不同光照强度对蛹虫草各主要活性成分的影响存在明显差异。发菌阶段以无光或微弱光为宜,各主要活性成分含量随光照强度增加而一定程度降低,其中蛹虫草多糖、虫草素含量于光照强度超过 20 lx 时明显下降;转色阶段各主要活性成分含量随光照强度先上升后降低,其中虫草素含量上升阶段上升较明显;原基分化阶段各成分含量变化较小,而子实体生长阶段变化明显,其中虫草素含量于子实体生长阶段从光照强度 300 lx 开始随光照强度较明显上升,虫草酸含量则随光照强度上升较明显下降。说明蛹虫草发菌、转色、原基分化、子实体生长等主要生长阶段的适宜光照强度分别以 0~10、500~200、200~500、300~500 lx 为宜,其主要活性成分含量相对较高。此光照强度下,因蛹虫草各成分合成与代谢较为均衡、协调,有利于蛹虫草生长发育及形态建成,因而形态较典型、产量较高。简李茹等^[16]研究表明,人工栽培蛹虫草当光照强度大于 275 lx 时虫草素含量随光照强度升高逐渐增加;陈安徽等^[19]研究证实,以高温和强光胁迫方式栽培蛹虫草,可显著提高蛹虫草虫草素及多糖含量,与该研究基本一致。同时该试验的适宜光照强度结果与左雪枝等^[10]结果存在一定差异,并与简李茹等^[16]研究的蛹虫草良好生长的适宜光照强度及较高活性成分的适宜光照强度结果基本一致,说明蛹虫草主要成分充分并协调合成、代谢及积累的良好条件与与蛹虫草良好生长条件大体相当的同时,也与蛹虫草快速、高产生长的条件不尽相同。栽培实践中,蛹虫草性能特别容易退化,造成子实体畸形、主要成分显著下降及不出草等现象;该试验中,虽然较高或较低光照条件可使

部分蛹虫草主要成分含量显著增加,但也可能成为导致蛹虫草物质代谢严重失衡及遗传性差错、加快蛹虫草性能退化的因素之一^[20]。

因此,栽培实践中一般不能以显著过高或过低光照条件以显著促进相关物质的合成和积累,而应以选育主要成分较高、高产的高性能菌株作为生产菌种,以较适宜光照条件等满足和保证蛹虫草主要活性物质合成、积累及子实体良好生长^[21],作为保证和促进蛹虫草产业可持续发展的重要措施之一。

该试验结果还表明,不同光照强度在蛹虫草不同生长阶段对蛹虫草主要活性成分的合成和积累的作用和效果有较大差异。子实体生长阶段是光照强度对蛹虫草主要活性成分影响的主要阶段,转色阶段、发菌阶段次之,原基分化阶段作用较弱。可能与蛹虫草的系列光受体基因的先后作用次序、代谢调节、光照强弱、光照长短及生长代谢时间等有关。说明栽培实践中应以各阶段适宜光照强度进行分阶段栽培管理,同时尤其应控制好子实体生长阶段及转色阶段的光照强度,是提高和保持蛹虫草产品主要活性成分含量、蛹虫草品质及质量、产量的重要保证。

参考文献

- [1] 中国科学院中国孢子植物志编辑委员会(梁宗琦主编). 中国真菌志(第三十二卷·虫草属)[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [2] 蒋志涛,戴国梁,潘金火,等. 蛹虫草化学成分及药理作用研究进展[J]. 现代中药研究与实践,2015,29(5):80-83.
- [3] 孟泽彬,陈林会,韩近雨,等. 蛹虫草化学活性成分的研究进展[J]. 分子植物育种,2015,13(9):2147-2154.
- [4] 董彩红,李文佳,李增智,等. 我国虫草产业发展现状、问题与展望:虫草产业金湖宣言[J]. 菌物学报,2016,35(1):1-15.
- [5] 廉家盛,田娇,高日. 蛹虫草栽培研究进展及发展前景展望[J]. 安徽农业科学,2014,42(8):2309-2310.
- [6] 周思静,刘桂君,尚宏忠,等. 蛹虫草人工培养技术研究进展[J]. 江苏农业科学,2014,42(7):13-17.
- [7] 方华舟,向会耀,王小艳. 不同碳源对蛹虫草菌丝及子实体生长状况的影响[J]. 荆楚理工学院学报,2010,25(2):5-8.
- [8] 方华舟,王小艳,向会耀. 不同氮源对蛹虫草菌丝及子实体生长状况的影响[J]. 湖北农业科学,2010,49(11):2734-2737.
- [9] 李菲. 蛹虫草人工高产栽培技术[J]. 福建农业科技,2015(6):54-56.
- [10] 左雪枝,朱运英,方华舟. 不同光照强度对蛹虫草菌丝及子实体生长的影响[J]. 北方园艺,2015(16):140-144.
- [11] 中华人民共和国卫生部. 食品中蛋白质的测定:GB5009.5-

2010[S]. 北京:中国标准出版社,2010.

[12] 中华人民共和国农业部. 食用菌中粗多糖的测定:NY/T1676-2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

[13] 中华人民共和国农业部. 虫草制品中虫草素和腺苷的测定·高效液相色谱法:NY/T2116-2012[S]. 北京:中国标准出版社,2012.

[14] 闫文娟,李泰辉,姜子德. 比色法测定广东虫草虫草酸含量[J]. 食用菌,2010(5):73-74,78.

[15] 纪晓鹏,杜双田,房海珍,等. 光照度对蛹虫草生长发育的影响[J]. 西北农业学报,2014,23(11):173-167.

[16] 简李茹,纪晓鹏,杜双田. 光条件对人工培养蛹虫草子座产量及虫草素和腺苷的影响[J]. 西北农业学报,2015,24(4):163-179.

[17] 郭明敏,杨涛,卜宁,等. 大型真菌光受体及其功能研究进展[J]. 菌物学报,2015,34(5):880-889.

[18] 李琴,毛玉梅,付鸣佳,等. 蛹虫草中蓝光受体基因 *Cmwc-1* 和 *Cmwc-2* 的表达特性分析[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2016,24(6):601-607.

[19] 陈安徽,邵颖,陈尚龙,等. 高温和强光对蛹虫草子实体成分和酪氨酸酶抑制活性的影响[J]. 安徽农业大学学报,2016,43(6):1004-1009.

[20] 殷东林,段鸿斌,王锐丽. 蛹虫草有性生殖研究[J]. 北方园艺,2014(3):130-133.

[21] 李海洲,陈正余,袁学勤,等. 蛹虫草栽培的关键因素及发展趋势[J]. 安康学院学报,2015,27(5):104-106.

Influence of Light Intensity on the Key Active Ingredients of *Cordyceps militaris*

FANG Huazhou¹, XIAO Ximing²

(1. Bioengineering College, Jingchu University of Technology, Jingmen, Hubei 448000; 2. Jingmen City Bureau of Agriculture, Jingmen, Hubei 448000)

Abstract: *Cordyceps militaris* was used as test material, the high-quality strain of *Cordyceps militaris* were invided and the single factor control experiment was carried out at different light intensity on *cordyceps militaris*, turn, primordium differentiation, fruit body growth and so on. The key ingredients as protein, polysaccharides, cordycepin and cordycepic acid in *Cordyceps militaris* in the stages of spore germination, coloring, primordium differentiation and sporocarp growth under different light intensity were compared. The results showed that *Cordyceps militaris* had relatively high-content active ingredients in the stage of spore germination, coloring, primordium differentiation and sporocarp growth, respectively under the light intensity of 0—10 lx, 500—200 lx, 200—500 lx, 300—500 lx. The results showed that *Cordyceps militaris* in different growth stages could produce more active ingredients under different light intensity.

Keywords: *Cordyceps militaris*; light intensity; protein; polysaccharides; cordycepin; cordycepic acid