

食用菌光生物学及 LED 应用进展

刘文科,杨其长

中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所,农业部设施农业节能与废弃物处理重点实验室,北京 100081

摘要 食用菌作为集营养与保健药用价值于一体的食品,安全卫生,在维持消费者健康,保障国家粮食安全方面具有重要意义,中国已经成为世界上最大的食用菌生产和出口国。食用菌的生产种类多,目前存在企业生产规模小、技术落后、地区发展参差不齐等不足。食用菌工厂化生产是指在密闭可控环境下进行食用菌周年生产的模式,自动化水平高,生产效率高。由于食用菌生长发育的营养方式和环境条件需求与植物截然不同,需按照食用菌的生物学特性研发食用菌生产与调控技术。光照是食用菌子实体原基产生和子实体生长发育必要的环境条件,食用菌种类不同其对生长环境中光照条件(光质和光强)需求各异,传统电光源因光强光质固定不能满足食用菌工厂化生产光环境精准智能调控的技术要求。LED 为半导体固态冷光源,具有光质纯、光效高、波长类型丰富、可按照农业生物需求调制光谱能量等优势,是食用菌工厂化生产光环境调控的理想设施。本文总结了食用菌光生物学的研究进展,阐述了 LED 光源在调控食用菌生长发育和营养品质形成中的作用、研究方向和应用前景。

关键词 食用菌;光生物学;LED 光源;工厂化生产;光环境

中图分类号 S626.9

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.18.012

Prospects in Edible Fungi Photobiology and LED Applications

LIU Wenke, YANG Qichang

Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences; Key Laboratory of Energy Conservation and Waste Management of Agricultural Structures, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China

Abstract Edible fungi are the nutritive and healthy food, keeping consumer in good health and guiding national food security. China has become the biggest country for edible fungi production worldwide with many kinds of cultivation species. However, there are some problems for edible fungi production in China, including small scale, outdated technology, and development imbalance between regions. In the past decade, the market demand for edible fungi has increased annually. Therefore, in order to improve the yield and nutritional quality of edible fungi, factory production technology becomes an urgent task. Factory production of edible fungi is referred to cultivate edible fungi under controllable closed facilities all the year round. Since the nutrition patterns and environmental requirements for edible fungi are completely different comparing with the plants. Light is a necessary environmental factor that is needed in the formation of fruiting body primordium and the development of fruiting body. Various edible fungi pose different photobiological traits to light quality and light intensity. In fact, traditional electric sources are unable to meet diverse and precise light environment for the factory production of edible fungi. As a kind of semiconductor light source, Light-Emitting Diode (LED) has many advantages over traditional electric light sources in terms of light quality, light efficiency, and spectral energy distribution. Nowadays, LED becomes an ideal light source for the factory production of edible fungi due to the decline of LED price and enhancement of lighting emitting. The advances in the photobiology of edible fungi are summarized, and the application prospects of LED in the factory production of edible fungi are emphasized.

Key words edible fungi; photobiology; LED light source; factory production; light environment

收稿日期:2013-01-25;修回日期:2013-03-18

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)课题(2013AA103001,2011AA03A114);中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所基本科研业务费项目(BSRF201204)

作者简介:刘文科,研究员,研究方向为 LED 光源在设施农业中的应用,电子信箱:liuwke@163.com;杨其长(通信作者),研究员,研究方向为设施园艺工程,电子信箱:yangq@ieda.org.cn

0 引言

食用菌,俗称蘑菇,指真菌家族中能够形成大型子实体或菌核,并且具食用或药用价值的一类真菌,多数是担子菌,少数是子囊菌^[1]。食用菌集营养与保健功能于一体,且食味独特,营养丰富,含有多糖、氨基酸、维生素、活性蛋白、萜类、核苷、酚类物质、甾醇等功能活性成分,具有抗衰老、防癌、抗癌等功能,食药两用价值很高^[2]。目前,中国已成为世界上最大的食用菌生产和出口国,且食用菌栽培品种众多,不仅有香菇、平菇、双孢蘑菇、金针菇、草菇、黑木耳、毛木耳等大宗品种,而且还有银耳、滑菇、猴头菇、鸡腿菇、白灵菇、杏鲍菇、茶树菇、小平菇、灰树花、竹荪、姬松茸、凤尾菇、银丝草菇、皱环球盖菇、长根菇、鸡腿蘑、真姬菇等珍稀品种。此外,还发展了以灵芝、天麻、冬虫夏草、茯苓等为代表的药用菌产业和以松茸、牛肝菌、块菌、羊肚菌等为代表的野生食用菌。众多品种中,以平菇、香菇、双孢菇、毛木耳、黑木耳、金针菇、姬菇、草菇、鸡腿菇、银耳、滑菇、茶树菇等为主,其产量均位居前列^[3]。

世界食用菌产业发展已有 1000 多年的历史,中国是世界上认识和栽培食用菌最早、种类最多、产量最高的国家之一。20 世纪 30 年代工业革命后,随着微生物学、生理学、真菌学、遗传学等学科的发展,德国等发达国家把食用菌的栽培与加工推进到科学化的阶段,成为重要的产业。第二次世界大战后,食用菌生产趋于工业化、工厂化、机械化和集约化。此外,近年来利用分子生物学和基因工程技术,在自然选择和杂交育种的基础上,食用菌品种加快多样化,产业提速发展^[4]。发展食用菌产业具有重要的社会价值^[5],在维持消费者健康,保障国家粮食安全,保护生态环境和解决三农问题等方面具有重要意义。首先,食用菌是安全营养的重要食品,有利于国家粮食安全。食用菌产品蛋白质含量高,脂肪含量低,膳食纤维、矿物质与维生素丰富,营养价值优于植物食品和动物性食品。食用菌的生长周期短,从菇蕾开始到采收一般在 10 天左右,一般不需要使用农药,因此是安全无公害食品。据报道,食用菌产值在种植业中居第 6 位,仅次于粮、棉、油、果、菜^[6]。其次,食用菌具有较高的保健药用价值。食用菌药用和食疗价值较高,食用菌中含有的大量菇类多糖是治疗和预防癌症的良药,是人体干扰素的诱导素,能够起到增强人体抵抗力的作用。

1 食用菌工厂化生产的意义与现状

食用菌生产方式包括工厂化智能生产、机械化设施生产、园艺式手工生产、生态型段木生产、仿野生半人工生产等。1947 年,荷兰在控温、控湿和控制通风条件下栽培双孢菇获得成功,由此开创了世界草腐菌工厂化栽培的先河。食用菌工厂化生产指利用工业技术对设施环境要素(光照、温度、CO₂ 浓度、湿度等)进行自动化控制,进行高效率的机械化、自动化作业,实现食用菌的规模化、集约化、智能化、标准化、周年化生产。即通过对食用菌生长车间的温度、湿度、通风、光照等主要环境条件的调控,形成适宜食用菌生长的最佳人工

环境条件,促进食用菌菌丝体和子实体生长,从而实现食用菌生产周年化的食用菌生产模式^[6],提高食用菌的复种次数。食用菌工厂化生产的发展实现了从原始的季节性手工作坊生产方式到现代的周年供应工厂化规模生产方式的转变^[7]。食用菌工厂化生产等量产品,所需的土地面积仅为传统模式的 1%,劳动力用量只占传统模式的 2%。食用菌工厂化生产能够全年不间断供应产品,彻底解决了传统季节性生产与市场全年不间断需求之间的矛盾。它具有 3 种显著的特性,即智能化栽培环境控制系统,机械化自动化的生产设备设施,以及自动化菌种接种设备等。智能化栽培环境控制系统包括控温系统、光照系统、通风系统和增湿系统^[8]。

20 世纪 90 年代以来,中国食用菌工厂化生产得到快速发展,现已成为世界上最大的食用菌生产和出口国^[9],占全球食用菌产量的 70% 以上。2008 年,王运圣等^[10]设计了基于射频识别(Radio Frequency Identification,RFID)技术的食用菌工厂化生产过程管理原型系统。2010 年,陈传喜等^[11]设计并实现了食用菌研发管理系统。该系统利用信息技术的手段将食用菌研发过程中的试验方案、发菌管理、出菇管理等一般研发过程和危害分析与关键控制点(Hazard Analysis and Critical Control Point,HACCP)控制体系整合应用,实现了食用菌工厂化生产信息管理的目标。2012 年,唐玉邦等^[12]开发了基于无线传感器网络的设施环境监测系统,该系统可对设施环境参数进行实时监测,并可通过互联网及 GSM 无线网络平台进行数据异地观测和管理。

2 食用菌营养与环境需求特性

从进化角度讲,真菌界和动物界的亲缘关系较近,与植物界的亲缘关系较远^[13]。食用菌与植物存在截然不同的生物学特性。首先,营养方式不同。真菌没有叶绿素,不能进行光合作用,靠菌丝分泌胞外酶将有机物分解为可吸收的小分子物质,并用菌丝吸收小分子物质获得能量及营养物质;获取营养过程中需要消耗 O₂,释放 CO₂,属异养生物。有的真菌寄生生活,直接从寄主中获得能量及营养物质。植物有叶绿素,可利用光能并通过光合作用将无机物转变为自身营养物质,属自养生物。其次,细胞结构存在差异。真菌和植物都具明显细胞核,为真核生物。但大多数真菌的细胞壁成分为几丁质和纤维素,而植物主要为纤维素;真菌细胞的核糖体在细胞内主要以游离状态存在,植物细胞则多与内质网相连。最后,在生态系统中的地位不同。真菌是分解者;植物是生产者。由此,食用菌在营养和环境条件要求上与植物存在本质的区别,为此应明确食用菌的营养和生长环境条件需求的生物学特性,不能与栽培农作物相似通过水肥管理即可提高产量和营养品质。

2.1 食用菌的营养生物学特性

食用菌生长发育需要的营养物质有碳源、氮源、矿物质、维生素和生长激素等物质。(1) 碳源。人工栽培食用菌多为腐生菌,利用的碳源广泛,如各种糖、淀粉、纤维素、木质素等。

(2) 氮源。食用菌不能直接吸收蛋白质,但能很好地利用其水解产物氨基酸、蛋白胨等,但不能同化硝酸盐。食用菌不仅要求提供丰富的碳源和氮源,而且是按碳源和氮源的一定碳氮比吸收利用这两种营养要素。(3) 矿质元素和维生素物质。磷、钙、钾等矿质元素均为蘑菇生长所必需。这些元素,除粪、草中含有外,配料时还要加入适量过磷酸钙、硫酸钙、石灰、草木灰等以满足需要。食用菌生长发育还需铁、铜、钼、锌等微量元素和维生素等物质。

2.2 食用菌环境需求特性

食用菌对生长环境具有需求特性,其环境要素包括大气环境(光照、温度、湿度、风速、CO₂和O₂浓度)和栽培基质环境(组成、C/N、水分、酸碱度和矿质元素含量等),其中光照与温度是关键环境因素^[4]。不同食用菌种类具有各异的生理学和生物化学特性^[5]。食用菌生长包括两个阶段,即营养生长阶段和生殖生长阶段。两阶段间的转换主要通过环境因子需求变化来实现(图1),表现为光照、温度、CO₂和O₂体积分数的变化。姜性坚等^[6]2011年研究发现,杏鲍菇催蕾期最适温度为15℃,空气湿度为90%,空气中CO₂体积分数为15×10⁻⁴,光照强度为100lx,子实体生长期最佳温度为16℃,最佳空气相对湿度为90%,空气中CO₂体积分数为12×10⁻⁴,最佳光照强度100lx。研究较少,光需求强度小。目前,有关食用菌生长发育环境需求特性研究报道较少,报道多集中在营养需求特性方面。

光生物学是研究光与生物相互关系的科学,是生物学、化学、物理学等学科相互交叉、相互渗透形成的学科。其基本任务是阐明光作为一个环境信息如何作用于生物有机体,以及生物产生对光反应的机理。食用菌生长发育过程中,光照条件是忽略的因素。食用菌作为设施栽培生物,需要适宜的光环境条件才能达到高产优质的生产目标,实现工厂化高效生产,因此研究食用菌光生物学是非常必要的。光不仅影响食用菌的菌丝体的生物学特征(生长速率、菌丝体密度和颜色)和子实体的生物学形态(菌柄、菌盖及其颜色形成),还对食用菌生理生化过程、营养物质代谢具有调控作用。迄今为止,食用菌光生物学研究进展缓慢,处于停滞状态,鲜有

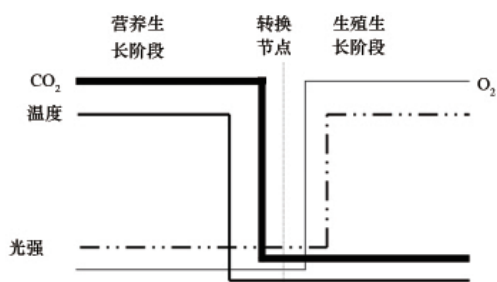


图1 食用菌营养生长阶段与生殖生长阶段转换环境因子变化

Fig. 1 Changes of environmental factors for the edible fungi when they switch from vegetable growth stage to productive growth stage

报道,已经滞后于快速发展的食用菌种类和工厂化生产的技术要求。在20世纪80—90年代,中国一些学者以人造单色光进行了食用菌光质生物学的研究,但由于光质纯度问题,结果一致性差,未见系统深入探究。21世纪以来,中国有关光照条件,特别是光质对食用菌生长发育、产量品质的影响及其生理生化与分子生物学机制研究有少量报道^[7]。随着食用菌工厂化栽培的发展,环境控制智能化程度逐年提高,需要对食用菌生长发育各阶段所需要的环境因子进行精确控制,根据经验调控光照已经无法满足食用菌工厂化生产的需求,食用菌光生物学需要深入系统研究,根据食用菌种类差异完成光照条件的优化定量。

3 食用菌光生物学研究进展

3.1 食用菌光生物学特性

光照的作用机制是复杂的,不同品种食用菌对不同波长可见光的反应不一,不同生长发育阶段对光照强度、光质要求均有差异;光照既可刺激真菌发育,也可抑制真菌发育^[18,19],并受其他环境因子或营养因子的影响^[20,21]。首先,食用菌生长发育需要光照条件,应避免强光照和直接照射。其次,食用菌在菌丝体生长期一般无需光照但在子实体生长阶段为光照敏感期,必须进行光照,食用菌才能生长发育。也就是说,食用菌营养生长阶段不需要光线诱导,而营养生长向生殖生长转变阶段则需要适量的光诱导^[14,17,22]。由于食用菌菌丝无叶绿素,不能利用光能,靠分解有机物获取营养及能量,且其菌丝多在料内生长,所以菌丝生长阶段不需要光。现蕾后,菇蕾长成子实体阶段需散射光,但不需要直射光,这与其野生品种生活在森林林地或腐殖层中的习性有关。当菌丝体基本长满培养基时食用菌就具备了由营养生长转入殖生长的物质基础,标志着进入了光照敏感期。此时就应该及时给予散射光照和降温条件,以促进其光反应。在光反应中诱发细胞分化逐渐形成了子实体原基。一般,散射光照实现方法是在培养料上覆盖2~4层白纱布,使所受光强为250~1500lx。适宜的散射光照不仅能够促进食用菌原基分化,而且与子实体的形态有密切关系,但不同种类食用菌其子实体需要散射光的程度不同。黑木耳是直接可以阳光照射的食用菌,但阳光照射的目的是使其子实体变黑。凤尾菇需要300lx左右的散射光照,灵芝、平菇、白灵菇等是喜光型的品种,双孢蘑菇、金针菇等品种则为厌光型品种。食用菌所需光强较低,一般为几十到1500lx的弱光,最佳光强因食用菌种类而异。光照对子实体形成的作用机理目前还不清楚,日本学者发现光照与环腺苷酸(cyclic adenosine monophosphate, cAMP)的代谢有关,而cAMP是子实体形成的诱导物^[23,24]。

3.2 光强需求

食用菌光强需求研究涉及到菌丝体和子实体生长两个阶段。1984年,杨珊珊和李志超^[25]研究了光量对凤尾菇子实体形成的影响。结果表明,光照是食用菌菌丝生长、子实体原基形成和子实体生长的必要条件。当菌丝体基本长满培养料

则进入光照敏感期,必须给予 250~1500lx 的散射光照。较强直射光照条件下菌丝、子实体原基和子实体生长停止。1994 年,黄文芳^[26]研究了光量对凤尾菇菌丝生长的影响。高光强下(60W 灯泡)下不能正常生长,原因可能是高光强或高灯温抑制菌丝生长,或高温导致培养基水分散失所致。低光强下(15W 灯泡)较自然光处理菌丝生长速率高。2005 年,田雪梅等^[27]研究了不同光量对樟芝菌丝生长的影响。结果显示,适量地给予光照能够加速菌丝体的生长,但当光强大于 600lx 时抑制了菌丝体的生长。1983 年,杨珊珊^[28]认为平菇必须在一定的光照的刺激下才能产生子实体。菌丝体基本长满培养基时,是平菇见光的适宜时期。平菇菌丝体在完全黑暗和 10lx

的微弱散射光照下生长良好^[29]。凤尾菇研究表明,菌丝营养生长阶段应该在黑暗、较高温度条件下最好;但黑暗条件下无法分化出子实体原基,导致无法出菇^[30,31]。表 1 列出了几种食用菌对光照的需求^[3],可知食用菌在子实体形成与生长两个方面其需光强弱,双孢蘑菇和大肥菇子实体发育阶段不需要光照,而多数食用菌需要光照才能形成子实体,子实体才能正常生长。然而,强光照射下对食用菌子实体发育产生不良影响,如平菇表现出短粗菌柄、畸形子实体等^[32]。总之,要在适当的阶段给予食用菌合适的光照。光线对子实体的色泽也有很大的影响。光照不足时,草菇呈灰白色,木耳为浅褐色。只有在光照强度为 250~1000lx 时,木耳才呈正常的黑褐色^[1]。

表 1 几种食用菌对光照的需求

Table 1 Light requirement for several edible fungi

项目	双孢蘑菇	大肥菇	香菇	草菇	金针菇	平菇	滑菇	猴头菇	黑木耳	银耳
光照	0	0	++	++	+	+	++	+	+	+

注:“0”表示不需要阳光;“+”表示无光可形成子实体,需光照子实体才能正常生长;“++”表示无光不能形成子实体。

Notes: 0 represents that edible fungi are able to fruit normally without light; + represents that edible fungi are able to form fruiting without light, however edible fungi are able to normal growth only with light; ++ represents that edible fungi are unable to fruit without light.

3.3 光质需求

食用菌光强需求研究也涉及到了菌丝体和子实体生长两个阶段。1984 年,杨珊珊和李志超^[25]采用 25W 黄色、红色、绿色、蓝色灯泡及自然光处理的光质试验结果表明,红光和蓝光处理菌丝生长极慢,尤其是正面受光的一面,菌丝生长受到强烈抑制。红光和蓝光下的培养瓶相继形成子实体原基,再经过 5~7 天后形成子实体;红光、蓝光下的培养瓶一直未出现子实体原基。黄光和绿光下菌丝下扎,菌丝长满、菌蕾出现和子实体正常形成。自然光条件下,菌丝下扎,菌丝生长、菌蕾出现和子实体可正常形成,完全黑暗下形不成子实体原基。光照太弱(30~40lx)虽能形成子实体原基,但往往发育成畸形菇;光照超过 1500lx,随着光照增强原基减少甚至无法形成。平菇需要 200~400lx 的弱光进行连续光照子实体发育较正常,明暗交替与连续光照效果相似。1984 年,杨珊珊^[27]认为凤尾菇菌丝在绿光、黄光和自然散射白光下生长良好,红光影响菌丝生长,而蓝光则强烈抑制菌丝生长。故此,平菇最喜欢 520~570nm 的黄光和绿光^[20]。

1994 年,黄文芳^[26]研究了光质对凤尾菇菌丝生长的影响。不同颜色灯照射下,菌丝生长速度排序为绿光、蓝光、黄光、白光、红光和自然光。但从菌丝的长势和生长密度来说,排序为红光、蓝光、黄光、白光、自然光和绿光。此结果与杨珊珊^[27]1984 年的研究结果不一致,有待深入探讨。2012 年,罗茂春等^[33]研究表明,黑暗条件有利于红平菇菌丝体的生长,白光和自然光照条件下,红平菇子实体生长发育最好,具有较好的商业应用价值。红平菇子实体生长发育最优的光照条件是 40W 散射白光、每天光照 8h 左右,光照强度为 1020lx。2005 年,田

雪梅等^[27]研究了不同光质对樟芝菌丝生长的影响。结果显示,蓝光对菌丝体生长有一定的抑制作用,光照对樟芝菌丝体密度和颜色有影响。

1997 年,刘明月等^[34]对不同光质照射下即将出菇的金针菇进行处理。研究发现,与黑暗和室内散光照射为对照,各种光质 50lx 光照条件下均可促进子实体原基提早形成,缩短生产周期,增产 40% 以上。其中以黄光、绿光、紫光、青光照射增产效果最佳。散光照射不利于金针菇产量和品质的提高,完全黑暗环境子实体现蕾迟,生长不整齐,产量大幅度下降。结果表明,黄色和红色处理最佳。金针菇对光照条件要求不严,在侧面照射条件下,红光照射产量最高,其次为黑暗和自然光散射光^[35]。但在生物学性状方面,仅菌柄长优于其他处理,而菌柄直径和菌盖直径低于自然散射光处理。2007 年,田雪梅等^[36]研究了不同光质、光量对灵芝菌株菌丝生长的影响。结果表明,24h 全黑暗条件下菌丝生长最好,不同光量光质光照处理对灵芝菌丝生长均有抑制作用。据报道食用菌生长发育过程中光处理的机制主要是诱导作用^[34,37],不同食用菌种类子实体生长发育对光谱中不同光质,如紫外光、蓝光、红光、黄光、橙光、紫光和绿光的响应存在差异。

总结已有报道可知:(1) 光质对食用菌的生长发育有调控作用,食用菌对光质具有选择性,最佳光质因种类而异;(2) 食用菌光生物学研究严重滞后,食用菌种类已达几十种,绝大多数种类的光生物学特性尚未明确,有待探究;(3) 研究内容有待拓宽,不仅要探明光环境对食用菌菌丝体、子实体发育的影响,更需明确食用菌营养品质对光环境的响应机制。光环境(光强、光质和光周期)对食用菌生长发育的调节

作用十分复杂,光照条件与营养及其他环境因子间存在交互作用,需要进行深入系统研究。

4 LED光源在食用菌工厂化生产中的应用前景

LED为半导体固态冷光源,可发出单色可见光,具有光质纯、光效高、波长类型丰富、光强与光谱能量调制便捷等突出优势,呈现出传统光源无法比拟的光电优势,是设施生物生产中理想的光环境调控设施,也是食用菌工厂化栽培光环境调控最佳光源。随着LED成本不断下降,不久的将来LED必然替代传统电光源。近些年,伴随LED价格降低及发光效率的提高,LED在生物产特别是设施园艺中的应用快速发展,在植物组织培养、种苗生产、蔬菜栽培、芽苗菜培养和温室补光等领域均获得了成功,应用面积逐年增加^[38-45]。采用LED单色光有助于弄清食用菌光质生物学特性,种类差异和光照策略,对实现工厂化高效生产具有重要价值。

LED光源在食用菌工厂化生产中有着广阔的应用前景,理由如下:(1)LED灯具形状、大小多样性,可满足食用菌工厂化生产的各种照明需要。光环境调控技术采用物理手段调控植物生长,符合绿色农业的要求,在食用菌工厂化生产中具有广阔的应用前景。LED可按照食用菌的生物需求提供光谱,可为食用菌工厂化生产量身定做光源。近些年,LED光源已在植物工厂蔬菜栽培、育苗、组培和温室补光等多种生产领域中展示出广泛的应用优势和广阔前景。(2)LED的弱光特性可在食用菌生产中提供弱光和散射光。(3)LED为冷光源,近距离照射不产生热量,不影响菌棒表面的湿度。日本学者研究表明,LED光质对滑子菇和鸡腿菇的子实体发育有调控作用,光质间差异明显^[46](图2和图3)。2011年,王立华等^[47]研究表明,蓝光处理及黑暗对照条件下灵芝菌丝体生长较快,黑暗对照条件下菌丝体形态纤细、菌落淡薄,蓝光、白光处理菌丝体粗壮、菌落浓密。白光处理菌丝体生物量积累最高,蓝光次之。前期绿光处理菌丝体多糖含量较高,生长后期蓝光处理菌丝体多糖含量显著高于其他处理。光质影响灵芝菌丝体生长代谢,蓝光利于灵芝菌丝体生长代谢。除了能够调控食用菌生长发育以外,LED光源在食用菌工厂化生产虫害防治方面也有应用前景。2012年,穆洪雁等^[48]选用不同颜色的LED杀虫灯诱集鸡腿菇害虫,研究了不同颜色杀虫灯对害虫的诱集效果。结果表明,绿色、白色、黄色杀虫灯对害虫总量的诱集效果远高于蓝色和粉色杀虫灯,而且前3种杀虫灯对鸡腿菇眼蕈蚊科的诱集效果好于后两种;绿色杀虫灯对瘿蚊科的诱集效果明显优于其他灯具;蓝色杀虫灯对蝇科有更好的诱集效果。在5个杀虫灯中,绿色对许多重要的害虫显示出良好的诱捕效果。

现今,LED光质对食用菌生长发育、产量品质影响研究少见报道,国内外刚刚起步,食用菌光质生物学特性研究十分迫切。确定最佳光强、光质和光周期参数,研发专用灯具和布控方法,制定食用菌光环境控制策略、光照方式与散射光

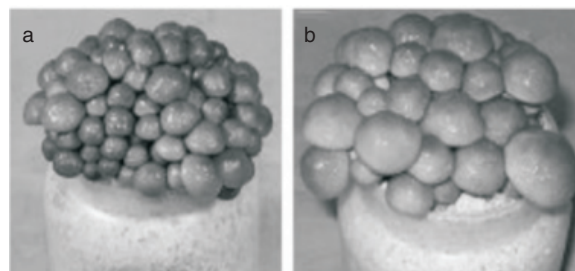


图2 蓝光LED对滑子菇(*P. nameko*)处理子实体形成的影响 (a)在菌丝生长阶段未光照;(b)在菌丝生长阶段后期用蓝光LED照12天

Fig. 2 Effects of blue LED light on the fruiting of *P. nameko* For treatment (a), no light is used in mycelia growth stage; For treatment (b), blue LED light is used for 12 days during the late mycelia growth stage

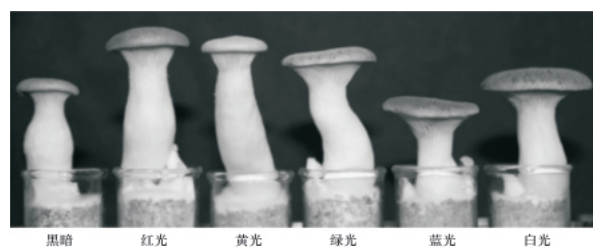


图3 LED光质对杏鲍菇(*P. eryngii*)子实体的影响

Fig. 3 Effects of LED light qualities on the fruiting of *P. eryngii*

调控实现方法,以及光环境调控的产量与品质效应,特别是药用食用菌的营养保健价值响应机制是当务之急。深信LED光源在食用菌光生物学与工厂化生产,以及食用菌产业发展中将会起到非常重要的作用。

5 结论

本文通过总结食用菌光生物学的研究进展,分析了光环境调控在食用菌生长发育和营养品质形成中的潜在作用,并探讨了LED光源在调控食用菌生长发育和营养品质形成中的作用、研究方向和应用前景。得出结论如下:(1)光环境调控在食用菌生长发育和营养品质形成过程中起着重要作用,是食用菌工厂化生产必须调控的环境因子,食用菌的子实体发育阶段为光敏感期;(2)光环境在食用菌生长发育和营养品质形成过程中所起作用取决于食用菌种类、光质、光强和光周期等因素,其中光质具有重要生物学功能;(3)LED为半导体固态光源,具有光质纯、光效高、波长类型丰富、可按照农业生物需求调制光谱能量等优势,是食用菌工厂化生产光环境调控的理想设施,具有广阔的应用前景;(4)食用菌工厂化生产光环境调控研究报道较少,食用菌光生物学及LED光源的调控机制需要加大研究力度。总之,食用菌光生物学及LED光源的调控机制研究必将为食用菌工厂化生产提供科学依据,促进食用菌产业的快速健康发展。

参考文献 (References)

- [1] 王贺祥. 食用菌栽培学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008.
Wang Hexiang. Edible mushroom cultivation[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2008.
- [2] 童应凯, 王学佩, 班立桐. 食用菌栽培学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2010.
Tong Yingkai, Wang Xuepei, Ban Litong. Edible mushroom cultivation [M]. Beijing: China Forestry Press, 2008.
- [3] 张俊彪, 李波. 对我国食用菌产业发展的现状与政策思考 [J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2012(5): 13-21.
Zhang Junbiao, Li Bo. Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition, 2012(5): 13-21.
- [4] 吴立锋, 李爱红, 田博. 食用菌产业发展意义 [J]. 现代农业科技, 2012(5): 358-364.
Wu Lifeng, Li Aihong, Tian Bo. Modern Agricultural Science and Technology, 2012(5): 358-364.
- [5] 卢敏, 李玉. 中国食用菌产业的战略地位及发展展望 [J]. 食用菌学报, 2006, 13(1): 1-5.
Lu Min, Li Yu. Acta Edulis Fungi, 2006, 13(1): 1-5.
- [6] 吴少风. 食用菌工厂化生产几个问题的探讨[J]. 中国食用菌, 2008, 27(1): 52-54.
Wu Shaofeng. China Edible Fungi, 2008, 27(1): 52-54.
- [7] 聂和平, 刘朝贵, 李小孟. 初探我国食用菌工厂化生产的途径[J]. 中国食用菌, 2006(6): 12-14.
Nie Heping, Liu Chaogui, Li Xiaomeng. China Edible Fungi, 2006(6): 12-14.
- [8] 常明昌, 孟俊龙, 程红艳, 等. 我国食用菌工厂化栽培的初步研究与探索[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2010, 30(4): 289-295.
Chang Mingchang, Meng Junlong, Cheng Hongyan, et al. Journal of Shanxi Agricultural University: Social Sciences Edition, 2010, 30(4): 289-295.
- [9] 胡永光, 李萍萍, 袁俊杰. 食用菌工厂化生产模式探讨[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(9): 2606-2607, 2669.
Hu Yongguang, Li Pingping, Yuan Junjie. Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(9): 2606-2607, 2669.
- [10] 王运圣, 万常照, 郭倩, 等. 基于 RFID 技术的食用菌工厂化生产管理方案[J]. 农业工程学报, 2008, 24(S2): 206-210.
Wang Yunsheng, Wan Changzhao, Guo Qian, et al. Transactions of the Chinese Society Agricultural Engineering, 2008, 24(S2): 206-210.
- [11] 陈传喜, 蔺钊, 黄冠群. 工厂化栽培食用菌研发管理系统设计与实现 [J]. 科技信息, 2010(30): 274-276.
Chen Chuanxi, Lian Zhao, Huang Guanqun. Science Information, 2010(30): 274-276.
- [12] 唐玉邦, 李辉平, 黄万喜, 等. 食用菌生产环境参数自动监测系统的设计与实现[J]. 食用菌, 2012(3): 57-59.
Tang Yubang, Li Huiping, Huang Wanxi, et al. Edible Fungi, 2012(3): 57-59.
- [13] 邢来君, 李明春. 普通真菌学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
Xing Laijun, Li Mingchun. Mycology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2010.
- [14] 于海龙, 郭倩, 杨娟, 等. 环境因子对食用菌生长发育影响的研究进展[J]. 上海农业学报, 2009, 25(3): 100-104.
Yu Hailong, Guo Qian, Yang Juan, et al. Acta Agriculturae Shanghai, 2009, 25(3): 100-104.
- [15] 王立安. 食用菌栽培过程中的几个重要理论问题[J]. 食用菌, 2012(3): 1-3.
Wang Li'an. Edible Fungi, 2012(3): 1-3.
- [16] 姜性坚, 王春晖, 胡汝晓, 等. 杏鲍菇工厂化生产关键技术的研究[J]. 中国食用菌, 2011, 30(1): 23-25, 41.
Jiang Xingjian, Wang Chunhui, Hu Ruxiao, et al. China Edible Fungi, 2011, 30(1): 23-25, 41.
- [17] 李玉, 于海龙, 周峰, 等. 光照对食用菌生长发育影响的研究进展. 食用菌, 2011(2): 3-4.
Li Yu, Yu Hailong, Zhou Feng, et al. Edible Fungi, 2011(2): 3-4.
- [18] Murao S, Sato S. Studies on pepsin inhibitor (S2PI) from streptomyces naniniwaensis [J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1971, 35(6): 1477-1487.
- [19] Odani S, Tominaga K, Kondou S, et al. The inhibitory properties and primary structure of a novel serine proteinase inhibitor from the fruiting body of the basidiomycete lentinula edodes[J]. European Journal of Biochemistry, 1999, 262(3): 915-923.
- [20] Leatham G F, Stahmann M A. Effect of light and aeration on fruiting of *Lentinula edodes* [J]. Transactions of the British Mycological Society, 1987, 88(1): 9-20.
- [21] Pardo A G, Forchassin F. Effect of light and nutrition on fruiting of *Ascobolus biguttulatus*[J]. Current Microbiology, 1993, 27(2): 69-72.
- [22] Eger G, Gottwald H D, von Netzer U. The action of light and other factors on the sporophore initiation in *Pleurotus ostreatus*[J]. Mushroom Science, 1974(9): 575-583.
- [23] Uno I, Yamniaguchi M, Ishikawa T. The effect of light on fruiting body formation and adenosine 3': 55'-cyclic monophosphate metabolism in *Coprinus macrorhizus* (adenylate cyclase /phosphodiesterase/cAMP-binding protein)[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1974, 71(2): 479-483.
- [24] Uno I, Ishikawa T. Control of adenosine 3', 5'-monophosphate level and protein phosphorylation by depolarizing agents in *coprinus macrorhizus* [J]. BBA-General Subjects, 1981, 672(1): 108-113.
- [25] 杨珊珊, 李志超. 光量光质与凤尾菇子实体的形成 [J]. 食用菌, 1984(4): 28-29.
Yang Shanshan, Li Zhichao. Edible Fungi, 1984(4): 28-29.
- [26] 黄文芳. 不同光量光质的光对凤尾菇菌丝生长的影响 [J]. 食用菌, 1994(3): 2-3.
Huang Wenfang. Edible Fungi, 1994(3): 2-3.
- [27] 田雪梅, 宋爱荣, 郭立忠, 等. 不同光质光量对樟芝菌丝体生长的影响研究[C]// 首届海峡两岸食(药)用菌学术研讨会论文集, 北京: 中国菌物学会, 2005.
Tian Xuemei, Song Airong, Guo Lizhong, et al. Effects of light intensity on mycelial growth of *Antrodia camphorate* [C]// The first two sides across the Taiwan strait food (medicine) conference in bacteria, Beijing: Mycological Society of China, 2005.
- [28] 杨珊珊. 平菇见光适宜时间初步研究[J]. 微生物学通报, 1983(2): 53-54.
Yang Shanshan. Bulletin of Microbiology, 1983(2): 53-54.
- [29] 杨珊珊. 光照与平菇发育[J]. 食用菌, 1981(4): 35.
Yang Shanshan. Edible Fungi, 1981(4): 35.
- [30] 杨珊珊, 李志超. 利用光热因子调控凤尾菇生育 [J]. 农业气象, 1983(4): 28-29.
Yang Shanshan, Li Zhichao. Agrometeorology, 1983(4): 28-29.
- [31] 杨珊珊. 光热调控凤尾菇生育[J]. 食用菌, 1983(6): 26-27.
Yang Shanshan. Edible Fungi, 1983, 6: 26-27.
- [32] 杨珊珊. 光量和光质对凤尾菇菌丝生长的影响 [J]. 微生物学通报, 1984(4): 147-148.

- Yang Shanshan. Bulletin of Microbiology, 1984(4): 147-148.
- [33] 罗茂春, 林标生, 林跃鑫. 光质对红平菇菌丝体和子实体生长发育的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(8): 188-190.
Luo Maochun, Lin Biaosheng, Lin Yuexin. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(8): 188-190.
- [34] 刘明月, 何长征, 谭金莲, 等. 光质对金针菇子实体生长发育的影响[J]. 中国食用菌, 1997, 16(6):11-12.
Liu Mingyue, He Changzheng, Tan Jinlian, et al. China Edible Fungi, 1997, 16(6): 11-12.
- [35] 张杨. 金针菇的光效应[J]. 食用菌, 1984(1): 29.
Zhang Yang. Edible Fungi, 1984(1): 29.
- [36] 田雪梅, 宋爱荣, 张国利, 等. 不同光质光量对灵芝 MP-01 菌株菌丝生长的影响[J]. 食用菌, 2007(5): 8-9.
Tian Xuemei, Song Aorong, Zhang Guoli, et al. Edible Fungi, 2007(5): 8-9.
- [37] 何莉莉, 韩丽荣, 杨延杰. 温度和光照对鲍鱼菇子实体生长发育的影响[J]. 中国蔬菜, 2005(12): 24-26.
He Lili, Han Lirong, Yang Yanjie. China Vegetables, 2005(12): 24-26.
- [38] 崔瑾, 徐志刚, 邸秀茹. LED 在植物设施栽培中的应用和前景 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 249-253.
Cui Jin, Xu Zhigang, Di Xiuru. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(8): 249-253.
- [39] 马超, 张欢, 郭银生, 等. LED 在芽苗菜生产中的应用及前景[J]. 中国蔬菜, 2010(20): 9-13.
Ma Chao, Zhang Huan, Guo Yinsheng, et al. China Vegetables, 2010(20): 9-13.
- [40] 刘文科, 杨其长. 红蓝光质对豌豆苗生长?光合色素与营养品质的影响[J]. 中国农业气象, 2012, 33(4): 500-504.
Liu Wenke, Yang Qichang. Chinese Journal of Agrometeorology, 2012, 33(4): 500-504.
- [41] 杨其长, 徐志刚, 陈弘达, 等. LED 光源在现代农业的应用原理与技术进展[J]. 中国农业科技导报, 2011,13(5): 37-42.
- Yang Qichang, Xu Zhigang, Chen Hongda, et al. Journal of Agricultural Science and Technology, 2011, 13(5): 37-42.
- [42] 刘文科, 杨其长, 魏灵玲. LED 光源及其设施园艺应用 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012.
Liu Wenke, Yang Qichang, Wei Lingling. Light-emitting diodes (LEDs) and their applications in protected horticulture as light sources[M]. Beijing: China Agriculture Science and Technology Press, 2012.
- [43] 杨其长, 魏灵玲, 刘文科. 植物工厂系统与实践 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
Yang Qichang, Wei Lingling, Liu Wenke. Plant factory: system and practice[M]. Beijing: Chemical Industrial Press, 2012.
- [44] Zhou Wanlai, Liu Wenke, Yang Qichang. Reducing nitrate concentration in lettuce by elongated lighting delivered by red and blue LEDs before harvest[J]. Journal of Plant Nutrition, 2013, 36(3): 481-490.
- [45] Zhou Wanlai, Liu Wenke, Yang Qichang. Quality changes of hydroponic lettuce under pre-harvest short-term continuous light with different intensity [J]. The Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2012, 87(5): 429-434.
- [46] Miyazaki Y, Masuno K, Abe M, et al. Light-stimulative effects on the cultivation of edible mushrooms by using blue LED [C]//Proceedings of the 7th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products. Villenave d'Ormon Cedex, France: Institut National de la Recherche Agronomique, 2011: 58-67.
- [47] 王立华, 陈向东, 王秋颖, 等. LED 光源的不同光质对灵芝菌丝体生长及抗氧化酶活性的影响. 中国中药杂志, 2011, 36(18): 2471-2474.
Wang Lihua, Chen Xiangdong, Wang Qiuying, et al. Chinese Journal of Materia Medica, 2011, 36(18): 2471-2474.
- [48] 穆洪雁, 郝立武, 孔丽娜, 等. LED 杀虫灯对鸡腿菇害虫的诱集效果 [J]. 食用菌, 2012(3): 53-54.
Mu Hongyan, Hao Liwu, Kong Lina, et al. Edible Fungi, 2012 (3): 53-54.

(责任编辑 侯澄芝)

·学术动态·



2013 年中国科协优秀决策咨询成果评选结果

2013 年 5 月 14 日, 中国科协调研宣传部公布 2013 年中国科协优秀决策咨询成果评选结果。

2012 年 12 月 19 日, 中国科协调研部发布“关于举办 2013 年中国科协优秀决策咨询成果评选活动的通知”, 共收到 27 个全国学会、32 个省级科协和副省级城市科协推荐的参评成果 266 份。根据《中国科协优秀调研报告评选管理办法(试行)》, 经形式审查、初评、综合评审, 确定授予“测绘装备国产化专项工程研究”(中国测绘学会)等 10 项成果一等奖, “中国铝业中长期发展战略研究”(中国有色金属学会)等 20 项成果二等奖, “‘十二五’新材料产业化发展规划”(中国材料研究学会)等 31 项成果三等奖, 授予中国老科学技术工作者协会等 12 个单位优秀组织奖。

详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35488/14693159.html>。