

北虫草生长发育条件的初步探究

温慧颖¹, 辛树权²

(1. 长春职业技术学院食品与生物技术分院, 长春 130031; 2. 长春师范大学生命科学学院, 长春 130032)

摘要:本文对尖头北虫草(*Cordyceps militaris*)生长发育条件即:碳源、氮源、无机盐和光质等的最佳组合条件进行探索研究。结果表明:最终筛选出较佳的培养基配方及光质条件。子实体产量方面最佳配方:碳源为葡萄糖 5 g/L, 氮源为酵母浸膏 5 g/L, 无机盐为磷酸二氢钾 1 g/L, 光质为蓝光(或白炽光)。北虫草子实体中合成可溶性糖最多的最佳培养基配方:碳源为可溶性淀粉 5 g/L, 氮源为蛋白胨 5 g/L, 无机盐为硫酸镁 1 g/L, 光质为白炽光;北虫草子实体中合成可溶性蛋白最多的最佳培养基配方:碳源为甘露醇 5 g/L, 氮源为酵母浸膏 5 g/L, 无机盐为磷酸二氢钾 1 g/L, 最佳光质为蓝光。

关键词:北虫草;培养基;碳源;氮源;无机盐;光质

中图分类号:S567.3*5

文献标识码:A

文章编号:1003-8701(2016)03-0099-05

A Primary Investigation on Conditions for Growing and Developing of *Cordyceps militaris*

WEN Huiying¹, XIN Shuquan²

(1. College of Food and Biotechnology, Changchun Vocational Technical School, Changchun 130031; 2. College of Life Science, Changchun Normal University, Changchun 130032, China)

Abstract: The optimal conditions for growing and developing conditions of *Cordyceps militaris*, including carbon source, nitrogen source, mineral salt and light quality, were primary investigated in the paper. The best medium and light quality were selected in the experiment. The best medium for encarpium was that carbon source was 5 g/L glucose, nitrogen source was 5 g/L yeast extract, mineral salt was 1 g/L monopotassium phosphate, and light quality was blue light or incandescence. Besides, the best medium for soluble sugar produced in encarpium of *Cordyceps militaris* was that carbon source was 5 g/L soluble starch, nitrogen source was 5 g/L peptone, mineral salt was 1 g/L magnesium sulfate, and light quality was incandescence. On the medium of which carbon source was 5 g/L mannite, nitrogen source was 5g/L yeast extract, mineral salt was 1 g/L monopotassium phosphate, light quality was blue light, more soluble protein in encarpium of *Cordyceps militaris* could be produced.

Key words: *Cordyceps militaris*; Medium; Carbon source; Nitrogen source; Mineral salt; Light quality

北虫草 [*Cordyceps militaris*(L.)Link] 又叫蛹虫草, 北冬虫夏草, 是蛹虫草真菌寄生在鳞翅目(*Lepidoptera*)夜蛾科的昆虫蛹体上形成的子座与北体的结合体。分类学上, 虫草属隶属于子囊菌纲肉座菌目麦角菌科, 广布于世界各地^[1-2]。

近几年我国在北虫草的研发使用方面获得了很多成果, 如: 抗肿瘤^[3-7], 抗菌活性^[8-10], 对肝肾呼吸系统保护^[11], 抗氧化^[12-14], 调解免疫力^[15], 调解内分泌与抗疲劳^[16-18]等等。随着人们需求的不断增加, 导致野生虫草资源不断减少, 价格不断上

涨。人工培养北虫草便成为天然虫草的最佳替代品, 日益受到重视。采用人工拌料, 控制温度、湿度、光照、通风等环境条件, 于北虫草生长发育的不同阶段适时调整其所需的环境条件, 提高北虫草的产量和品质, 形成产业规模是虫草发展的方向。已有的报道和研究结果都证实了碳源^[19]、氮源^[20]、无机盐、光照^[21-22]等因素条件对人工栽培北虫草过程中子实体生长发育及代谢产物产生影响, 但这些研究较单一和局限, 只是针对某个因素进行研究, 如何把以上因素结合到一起进行研究鲜见报道。

北虫草的人工培养方式包括液体发酵和固体发酵, 有关北虫草有效成分含量影响因素的研究在液体发酵中较多, 而固体发酵中大多仅限于对

收稿日期: 2015-12-27

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20100255)

作者简介: 温慧颖(1973-), 女, 讲师, 研究方向: 食品工程。

子实体生长条件优化的研究^[23]。本文研究针对北虫草固体过程中培养基、培养条件、北虫草子实体生长情况及虫草多糖、可溶性蛋白合成的情况进行探究,为北虫草栽培研究方面提供数据基础。

1 材料与方 法

1.1 试验菌种

北虫草一级菌种:尖头北虫草(*Cordyceps militaris*),长春师范大学生命科学学院食用菌栽培室保存。

1.2 培养基

一级培养基:PDA培养基:土豆 200 g、葡萄糖 20 g、琼脂 20 g、水 1 000 mL,pH 自然。

液体培养基:土豆 200 g、葡萄糖 20 g、MgSO₄ 1 g、KH₂PO₄ 1 g、水 1 000 mL,pH 自然。

北虫草固体培养基:大米 40 g,母液 50 mL,温度 121℃/0.122MPa 下灭菌 40 min。(母液中含:葡萄糖 5 g/L、奶粉 5 g/L、磷酸二氢钾 1.0 g/L、硫酸镁 1.0 g/L)。在以下处理中每个处理培养样品 12 瓶,测试时去掉其中差异大的 2 瓶样品。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理

试验采用针对北虫草固体培养基中的母液营养条件的添加物进行研究。碳源添加物样品处理:选择玉米淀粉、蔗糖、葡萄糖、可溶性淀粉、甘露醇 5 种碳源和不加碳源为对照组。氮源添加物样品处理:选择麦麸、豆饼、蛋白胨、酵母浸膏、奶粉 5 种氮源不加氮源为对照组。无机盐添加物样品处理:选择氯化钾、柠檬酸三钠、柠檬酸三铁铵、磷酸二氢钾、硫酸镁五种无机盐不加的为对照组。光质影响样品处理:选择白炽光、黄光、红光,蓝光 4 种光质,记录不同光质对子实体颜色、转色时间、原基形成的影响。各配方成份进行调换量不变。

1.3.2 试验方法

将一级菌种接种到 PDA 培养基上,24℃ 培养 7 d 备用;将菌种块捣碎接入液体培养基中,放在

磁力搅拌器上培养,在 23℃ 的条件下暗培养 7 d 后制作成液体菌种用于接种;在无菌条件下,每瓶北虫草固体培养基中用接菌枪接种液体菌种 5 mL;将接种好的培养瓶置于温度 22℃、湿度 50%~65% 条件下暗培养 6 d 左右,使菌丝长满整个培养基;将培养好的菌丝体培养瓶放在温控光照培养室培养并进行指标测定;成熟的北虫草子实体称取鲜重并记录,然后于 80℃ 条件下烘干至恒重。

1.3.3 检测方法

鲜重干重采用称重法;多糖测定采用蒽酮比色法^[24]和可溶性蛋白测定采用考马斯亮蓝法测定^[24]。

1.4 数据处理和统计

数据应用 Excel 2003 进行图表制做,采用 PSS19.0 软件中的单因素方差进行多重比较分析。

2 结果与讨论

2.1 培养条件对北虫草生长及有效成分合成的影响

2.1.1 碳源添加物对北虫草生长及有效成分合成的影响

碳源为微生物提供细胞生命活动所需的能量,提供合成产物的碳架。碳源为菌丝或细胞的正常生长,分裂提供物质基础。虫草多糖的结构简单,多为单糖和双糖^[25]。由表 1 得知,不同碳源对子实体鲜重、干重的影响不同,碳源为蔗糖与葡萄糖时子实体鲜重、干重最高,与对照组相比分别增加 3.28% ($P<0.05$, $F=157.199$, $df=5$, $P=0.00$) 与 2.07% ($P<0.05$, $F=157.089$, $df=5$, $P=0.00$)。而多糖含量最高的为可溶性淀粉和玉米淀粉,与对照组相比分别增加 17.11% 与 12.20% ($P<0.05$, $F=909.433$, $df=5$, $P=0.00$)。甘露醇对可溶性蛋白影响与对照组相比增加 9.58% ($P<0.05$, $F=80\ 842.696$, $df=5$, $P=0.00$)。在这些碳源添加物中,可溶性淀粉是合成多糖的最佳碳源,甘露醇是产生可溶性蛋白的最佳碳源。

表 1 碳源添加物对北虫草生长及有效成分合成的影响

	对照	玉米淀粉	蔗糖	葡萄糖	可溶性淀粉	甘露醇	F	df	p
子实体鲜重(g/瓶)	29.53±0.079a	29.83±0.085b	30.49±0.045c	30.08±0.038d	29.52±0.027a	29.86±0.051b	157.199	5	0.000
子实体干重(g/瓶)	5.13±0.009a	5.13±0.008a	5.08±0.005b	5.24±0.012c	5.17±0.011d	4.93±0.035e	157.089	5	0.000
多糖含量(%)	3.81±0.022a	4.28±0.003b	3.76±0.023c	3.66±0.006d	4.47±0.034e	3.82±0.025a	909.433	5	0.000
可溶性蛋白(mg/g)	19.66±0.006a	18.55±0.015b	19.94±0.011c	19.66±0.003a	18.07±0.004d	21.54±0.003e	80\ 842.696	5	0.000

注:同一系列中的小写字母代表均值差的显著性水平为 0.05,下同

2.1.2 氮源添加物对北虫草生长及有效成分合成的影响

氮源作为构成生物体的蛋白质、核酸及其他氮素化合物的材料^[26]。由表2得知,氮源为酵母浸膏时子实体鲜重、干重最高,与对照组相比分别增加4.59% ($P<0.05$, $F=137.027$, $df=5$, $P=0.00$)与4.47% ($P<0.05$, $F=831.87$, $df=5$, $P=0.00$)。而多糖

含量最高的为蛋白胨,与对照组相比分别增加19.65% ($P<0.05$, $F=6\ 864.619$, $df=5$, $P=0.00$)。酵母浸膏对可溶性蛋白影响与对照组相比增加了3.59% ($P<0.05$, $F=8\ 854.575$, $df=5$, $P=0.00$)。在这些氮源添加物中,蛋白胨是合成多糖的最佳氮源,酵母浸膏是产生可溶性蛋白的最佳氮源。

表2 氮源添加物对北虫草生长及有效成分合成的影响

	氮源对照	麦麸	豆饼	蛋白胨	奶粉	酵母浸膏	<i>F</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
子实体鲜重(g/瓶)	27.55±0.011a	26.48±0.003b	26.86±0.482c	25.66±0.017d	28.16±0.008e	28.82±0.005f	137.027	5	0.000
子实体干重(g/瓶)	4.86±0.016a	4.76±0.014b	4.75±0.008c	4.88±0.004a	4.92±0.005a	5.14±0.004e	831.870	5	0.000
多糖含量(%)	3.63±0.003a	3.74±0.004b	3.86±0.008c	4.34±0.003d	4.14±0.013e	3.64±0.005f	6 864.619	5	0.000
可溶性蛋白(mg/g)	19.73±0.006a	19.95±0.004b	19.98±0.005c	19.85±0.003d	17.82±0.005e	20.44±0.011f	8 854.575	5	0.000

2.1.3 无机盐添加物对北虫草生长及有效成分合成的影响

无机盐存在于体内和食物中的矿物质营养素,细胞中大多数无机盐以离子形式存在,低浓度的无机盐是真菌生长与多糖产量的关键^[27]。由表3得知,无机盐为磷酸二氢钾与氯化钾时子实鲜重、干重最高,与对照组相比分别增加16.08%与11.79% ($P<0.05$, $F=197\ 939.787$, $df=5$, $P=0.000$), 15.65%与

10.92% ($P<0.05$, $F=18\ 106.411$, $df=5$, $P=0.000$)。而子实体中多糖含量最高的为硫酸镁,与对照组相比分别增加23.93% ($P<0.05$, $F=17\ 127.148$, $df=5$, $P=0.000$)。磷酸二氢钾对可溶性蛋白影响与对照组相比增加13.57% ($P<0.05$, $F=42\ 877.097$, $df=5$, $P=0.000$)。在这些无机盐添加物中,硫酸镁是合成多糖的最佳无机盐,磷酸二氢钾是产生可溶性蛋白的最佳无机盐。

表3 无机盐添加物对北虫草生长及有效成分合成的影响

	无机盐对照	氯化钾	柠檬酸三钠	柠檬酸三铁铵	磷酸二氢钾	硫酸镁	<i>F</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
子实体鲜重(g/瓶)	29.58±0.008a	33.07±0.003b	32.45±0.004c	33.18±0.003d	34.34±0.003e	27.92±0.003f	1 197 939.787	5	0.000
子实体干重(g/瓶)	5.04±0.005a	5.95±0.004b	5.85±0.008c	5.78±0.008d	5.88±0.005e	5.17±0.004f	18 106.411	5	0.000
多糖含量(%)	3.34±0.005a	2.84±0.008b	3.37±0.006c	3.47±0.008d	3.87±0.007e	4.13±0.007f	17 127.148	5	0.000
可溶性蛋白(mg/g)	19.26±0.007a	19.36±0.007b	19.85±0.007c	19.47±0.013d	21.87±0.013e	20.32±0.008f	42 877.097	5	0.000

2.1.4 光质对北虫草菌丝体转色、原基形成及子实体生长的影响

光照在人工培养北虫草子实体形成、生长有着重要的影响^[28],不同真菌对光质有很强特异性^[29]。本文研究的4种光质(可见光波长范围:390~760纳米、红光的波长范围为620~760纳米、黄光的波长范围:597~577纳米、蓝光:波长范围:450~435纳米)对北虫草子实体的影响。如表4所示这4种光质对虫草菌丝体转色、原基形成无明显影响,而红光与黄光有利于子实体颜色加深。如表5得知,本研究的4种光质中,光质为红光的鲜重最高,与其它光质达到了显著性差异 ($P<0.05$, $F=232.945$, $df=3$, $P=0.000$);光质为白炽光与蓝光的干重最高,二者无差异,而与其他两光线(红光、黄光)间差异显著。白炽光条件

下,北虫草子实体多糖含量显著高于红光、黄光、蓝光 ($P<0.05$, $F=112.115$, $df=3$, $P=0.000$)。蓝光条件下最利于北虫草可溶性蛋白的合成与积累,蓝光对可溶性蛋白影响最高,与其他光质提高显著 ($P<0.05$, $F=1\ 278.652$, $df=3$, $P=0.000$)。在这些光质中,白炽光是合成多糖的最佳光质,蓝光是产生可溶性蛋白的最佳光质。

表4 光质对北虫草原基形成及子实体颜色的影响

光质	转色时间(d)	原基形成时间(d)	子实体颜色
白炽光	7	7	浅黄偏白
红光	8	7	橙黄色
黄光	7	8	橙黄色
蓝光	7	7	浅黄偏白

表5 光质对北虫草生长及有效成分合成的影响

	白炽光	红光	黄光	蓝光	F	df	p
子实体鲜重(g/瓶)	29.83±0.085a	30.49±0.045b	30.08±0.038c	29.52±0.027d	232.945	3	0.000
子实体干重(g/瓶)	5.82±0.059a	5.08±0.005b	5.24±0.012c	5.85±0.075a	268.954	3	0.000
多糖含量(%)	3.85±0.006a	3.47±0.007b	3.32±0.005c	3.54±0.082d	112.115	3	0.000
可溶性蛋白(mg/g)	19.43±0.013a	19.30±0.011b	19.55±0.009c	19.75±0.008d	1278.652	3	0.000

3 结论与讨论

本文研究了光质、碳源、氮源、无机盐对北虫草生长及有效成分合成的影响,实验结果表明光质、碳源、氮源、无机盐等因素是影响北虫草生长及有效成分含量的重要因素。北虫草的培养条件是个综合复杂的过程,国内外不少学者对各种真菌类的虫草生长条件及产物进行了研究。碳源、氮源、无机盐、光照等方面的研究结果各有不同,但大多研究只是进行某方面或某个因素的研究,没有进行综合全面的研究尝试。如, Mao 等研究表明,用半乳糖作为碳源有利于蛹虫草菌丝体的生长,而葡萄糖作为碳源,氮源为蛋白胨时则有利于蛹虫草菌丝体中虫草素的积累^[30]; Shih 等的研究则表明,玉米粉作为碳源有利于蛹虫草菌丝体培养过程中腺苷物质的积累,而酵母膏作为最佳氮源,可以提高蛹虫草菌丝体培养中多糖和虫草素的产量^[31]; 马国良等对北冬虫夏草菌丝生长情况进行了研究,发现所测试的碳源中生长最适的是可溶性淀粉,最适氮源是酵母粉^[32]; 陈怀宇等研究则发现,北冬虫夏草菌丝生长最适碳源为葡萄糖和蔗糖,氮源为蛋白胨和柠檬酸铵^[33]; 廉添添等研究表明,蓝光光照可改善子实体产品的颜色,提高类胡萝卜素含量^[34]; 付鸣佳等研究认为液体发酵条件下蓝光对蛹虫草胞内多糖的积累起到抑制的作用,而对胞外多糖变化的影响由于营养情况的改变有所不同^[21]; 吴钰溟等认为蓝光和白光有利于类胡萝卜素的合成^[35]。以上研究证明根据生产需求不同采用不同的配方,每种营养成分对虫草生长及产物都有所不同。不同的研究得出不一致的结论,可能和菌种特性、培养方法、培养时间等有关系。

碳源、氮源、无机盐和光因子等几方面综合进行研究的报道国内还未见到。本试验从提高北虫草子实体产量、多糖产量及可溶性蛋白产量进行全面研究,利用单因素交差筛选法,从成本及产量相结合等因素出发,筛选出最适的碳源、氮源及无机盐和光因子条件,并比较生产成本之间的

关系得出最佳的配方组合。因此笔者认为,根据实际生产需要,最好针对自己所在单位生产的菌株,进行培养基筛选和发酵条件优化,找出经济、实用、高效的生产配方。

本研究的配方结合前人的研究与本单位的实际情况及涉及成本等多因素得出了最优的配方,结果显示,子实体产量方面较佳配方:碳源为葡萄糖 5 g/L,氮源为酵母浸膏 5 g/L,无机盐为磷酸二氢钾 1 g/L,光质为蓝光(或白炽光)。北虫草子实体中合成可溶性糖较多的最佳培养基配方:碳源为可溶性淀粉 5 g/L,氮源为蛋白胨 5 g/L,无机盐为硫酸镁 1 g/L,光质为白炽光;合成可溶性蛋白较多的最佳培养基配方:碳源为甘露醇 5 g/L,氮源为酵母膏 5 g/L,无机盐为磷酸二氢钾 1 g/L,最佳光质为蓝光。

参考文献:

- [1] 戴玉成,杨祝良.中国药用真菌名录及部分名称的修订[J].菌物学报,2008,27(6):801-824.
- [2] 戴玉成,周丽伟,杨祝良,等.中国食用菌名录[J].菌物学报,2010,29(1):1-21.
- [3] 陈桂宝,罗梅初,刘实晶,等.北虫草的药理作用研究[J].中草药,1997,28(7):415-417.
- [4] 王林美,都兴范,李学军,等.北虫草对人胃癌细胞 BGC-823 生长抑制与诱导凋亡作用研究[J].中国微生态学杂志,2009,21(2):118-121.
- [5] PARK C, HONG S H, LEE J Y, et al. Growth inhibition of U937 leukemia cells by aqueous ex tract of *Cordyceps militaris* through h induction of apoptosis[J]. *Oncol Rep*, 2005,13(6): 1211-1216.
- [6] YOOHS, SHINJW, CHOJH, et al. Effects of *Cordyceps militaris* ex tract on angiogenesis and tumor growth[J]. *Acta Pharmacol Sin*, 2004, 25(5): 657-665.
- [7] 樊慧婷,林洪生,李杰,等.人工北虫草子实体对 Lewis 肺癌荷瘤小鼠 CD4⁺CD25⁺调节性 T 细胞的影响[J].中华肿瘤防治杂志,2009,16(15):1130-1134.
- [8] SUGAR A M, MCCAFFREY R P. Antifungal activity of 3' - deoxyadenosine (cordycepin)[J]. *Antimicrobial Agents Chemotherapy*, 1998, 42(6): 1424-1427.
- [9] 高燕燕,周礼红,潘肇仪,等.北虫草抗菌活性物质的初步研究[J].广东农业科学,2013,40(11):183-185.
- [10] 陈宏伟,朱蕴兰,邵颖,等.北虫草乙醇分级多糖生理功

- 能研究[J].食品与发酵工业,2008,34(9):16-19.
- [11] 施明珠,李有贵,钟石,等.北虫草菌丝体醇提物对氢化可的松致小鼠肝损伤的保护作用[J].中草药,2009,40(2):262-265.
- [12] 吕国英,潘慧娟,吴永志,等.北虫草无性型菌丝体提取液体外抗氧化活性研究[J].菌物学报,2009,28(4):597-602.
- [13] 朱雅红,颜辉,桂仲争.北虫草多糖对四氯化碳诱导大鼠原代肝细胞损伤的保护作用研究[J].蚕业科学,2009,35(1):106-110.
- [14] 王琦,韩晓龙.北虫草对老年大鼠自由基代谢影响的研究[J].辽宁师专学报(自然科学版),2002,4(4):104-106.
- [15] 张安宁,袁书林.不同剂量北虫草菌丝体对大鼠免疫功能的影响[J].食品研究与开发,2009,30(3):30-34.
- [16] 刘洁,杨旭,陈亚,等.蚕北虫草镇静及性激素样作用的研究[J].白求恩医科大学学报,1994,20(1):14-16.
- [17] 陈文冬,杨文礼.北虫草对运动训练大鼠血清激素水平及运动能力影响的研究[J].西安体育学院学报,2008,25(4):86-89.
- [18] 贾景明,吴春福.北冬虫夏草发酵液对运动员身体机能影响的研究[J].沈阳体育学院学报,2003(2):6-7,10.
- [19] 方华舟,向会耀,王小艳.不同碳源对北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.
- [20] 钟冬晖,丘志忠,陈逸湘.营养辅料和水分对北虫草生长的影响[J].广东农业科学,2008(7):126-127.
- [21] 付鸣佳,王小菁,黄文芳,等.蓝光诱导北虫草菌丝类胡萝卜素的积累[J].微生物学通报,2005,32(5):24-28.
- [22] 金华燕,沈俊良,付鸣佳,等.蓝光诱导蛹虫草虫草素含量和分生孢子数的变化[J].安徽农业科学,2013,41(1):409-410.
- [23] 高凌飞,王义祥,翁伯琦.蛹虫草工厂化栽培与系列加工技术研究进展[J].中国农学报,2014,30(13):93-101.
- [24] 张志良,瞿伟菁.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2008:159-160.
- [25] 陈晋安,黄浩,郑忠辉,等.北虫草液体发酵条件的研究[J].集美大学学报(自然科学版),2001,6(3):219-223.
- [26] 刘华晶,许修宏,高士刚.不同培养基对北虫草生长的影响[J].东北农业大学学报,2004,35(3):325-328.
- [27] 谷桓生,梁曼逸.人工培育北虫草的研究[J].药学情报通讯,1987,5(3):51-52.
- [28] 高晓梅,陈月仍.光照对人工培养北虫草子实体形成和生长的影响[J].广东农业科学,2006(6):31-32.
- [29] 唐燕玉,谢文玲,高亚辉,等.不同浓度NaCl和光照强度对杜氏藻体内胡萝卜素含量的影响[J].植物生理学通讯,2006,42(2):315-318.
- [30] Mao X B, Eksriwong T, Chauvatcharin S, et al. Optimization of carbon source and carbon/nitrogen ratio for cordycepin production by submerged cultivation of medicinal mushroom *Cordyceps militaris*[J].Process Biochemistry, 2005, 40(5): 1667-1672.
- [31] Shih I L, Tsai K L, Hsieh C. Effects of culture conditions on the mycelia growth and bioactive metabolite production in submerged culture of *Cordyceps militaris*[J].Biochemical Engineering Journal, 2007, 33(3): 193-201.
- [32] 马国良,韩玉军.北冬虫夏草菌丝对不同碳氮源利用的研究[J].青海大学学报:自然科学版,2007,25(2):10-12,17.
- [33] 陈怀宇,许延宗,王德枝,等.北冬虫夏草菌丝体培育条件的研究[J].泉州师范学院学报:自然科学版,2008,26(2):106-109.
- [34] 廉添添,董彩虹,杨涛,等.蓝光光照对蛹虫草子实体生长和主要活性成分的影响[J].菌物学报,2014,33(4):838-846.
- [35] 吴钰溟,周礼红,史炜,等.光照对蛹虫草菌丝体生长发育及类胡萝卜素含量的影响[J].广东农业科学,2013(7):24-25,45.

(责任编辑:王昱)