



研究报告

氮源对蛹虫草生长及类胡萝卜素产生的影响

杨莹^{1,2} 张娇娇² 卜宁¹ 董彩虹^{*2}

1 沈阳师范大学生命科学学院 辽宁 沈阳 110034

2 中国科学院微生物研究所 真菌学国家重点实验室 北京 100101

摘要:【背景】蛹虫草是一种珍稀食药菌,类胡萝卜素不仅为其重要活性成分,而且影响子实体的外观品相,但是类胡萝卜素产生的影响因素不明。【目的】揭示氮源对蛹虫草生长和类胡萝卜素产生的影响。【方法】测定不同氮源培养基中菌株生长速度、分生孢子产生及类胡萝卜素含量,筛选菌株生长的最适氮源,进一步研究不同浓度的氮源对蛹虫草生长及类胡萝卜素产生的影响,并测定不同光照条件下氮源浓度对蛹虫草子实体类胡萝卜素产生的影响。【结果】蛹虫草在不同的氮源培养基中菌落形态和类胡萝卜素产生存在明显差异。麦麸和黄豆粉培养基中菌株生长速度最快,但是菌落稀疏,正面分别呈现荧光黄色和极微弱红色;蛋白胨和酵母提取物培养基中菌落致密,产孢量极显著高于其它氮源培养基($P<0.01$),菌落正面为橙黄色;甘氨酸和柠檬酸为氮源时完全没有色素产生,其它无机和氨基酸氮源培养基平板背面有微量色素产生。固体和液体静置培养条件下均发现蛋白胨浓度在0–3%的范围内,随着浓度的增加,类胡萝卜素含量增加;子实体栽培中不同的氮源浓度均表现为蓝光光照条件下类胡萝卜素含量显著高于白光;而在白光和蓝光光照条件下均表现为蛋白胨浓度为1%时类胡萝卜素含量最高,分别为 $2\ 809.38\pm 386.24\ \mu\text{g/g}$ 和 $4\ 093.75\pm 518.37\ \mu\text{g/g}$ 。【结论】氮源种类和浓度显著影响蛹虫草类胡萝卜素的产生,蓝光光照和1%蛋白胨浓度为子实体类胡萝卜素产生的最佳条件,这为栽培富含类胡萝卜素的蛹虫草子实体提供了试验依据。

关键词: 蛹虫草, 类胡萝卜素, 氮源, 蓝光, 浓度

Effect of nitrogen sources on the growth and carotenoid production in *Cordyceps militaris*YANG Ying^{1,2} ZHANG Jiao-Jiao² BU Ning¹ DONG Cai-Hong^{*2}

1 College of Life Sciences, Shenyang Normal University, Shenyang, Liaoning 110034, China

2 State Key Laboratory of Mycology, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract: [Background] *Cordyceps militaris* is one of the famous medicinal fungi. Carotenoid is not only an important active component but also affects the appearance of fruiting body. However, the factors regulating its production are unknown. [Objective] To reveal the effects of nitrogen sources on the growth and carotenoid production of *C. militaris*. [Methods] The growth rate, conidia and carotenoid production on media with different nitrogen sources were determined and the optimum nitrogen sources were selected. The

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (31572179, 31600054)

*Corresponding author: E-mail: dongch@im.ac.cn

Received: 24-05-2018; Accepted: 04-07-2018; Published online: 20-07-2018

基金项目: 国家自然科学基金(31572179, 31600054)

*通信作者: E-mail: dongch@im.ac.cn

收稿日期: 2018-05-24; 接受日期: 2018-07-04; 网络首发日期: 2018-07-20

effects of nitrogen concentration on carotenoid production of *C. militaris* fruiting body under different light conditions were further determined. **[Results]** There were significant differences in growth and carotenoid production of *C. militaris* on media with different nitrogen sources. The growth rate was the fastest in wheat bran and soybean powder media, showing as fluorescent yellow and very weak red, respectively. The conidia produced in peptone and yeast extract media were significantly more than that in other nitrogen sources ($P < 0.01$), and the colony was orange. There was no pigment production in inorganic nitrogen source media except for trace pigments on the back of plate of glutamic acid and ammonium chloride. It was found that the carotenoid content increased with the increase of peptone concentration in the range of 0–3%. Blue light was more suitable for the carotenoid production in fruiting body than white light. The carotenoid contents were the highest with the peptone concentration of 1% under both white and blue light conditions, $2\ 809.38 \pm 386.24\ \mu\text{g/g}$ and $4\ 093.75 \pm 518.37\ \mu\text{g/g}$ respectively. **[Conclusion]** Nitrogen source and its concentration significantly affected the carotenoid production in *C. militaris*. Blue light and peptone concentration of 1% were the best conditions for carotenoid production in fruiting bodies. This study will be helpful for cultivating *C. militaris* fruiting body rich in carotenoid.

Keywords: *Cordyceps militaris*, Carotenoid, Nitrogen source, Blue light, Concentration

蛹虫草 [*Cordyceps militaris* (L.) Fr.], 又名北虫草、北冬虫夏草, 是一种具有营养和滋补作用的珍稀食药真菌。蛹虫草富含虫草酸、虫草多糖、核苷类等多种活性成分, 具有抗肿瘤、抗炎、抗衰老、抗氧化和提高免疫力等多种功效^[1]。当前已经在东亚地区被广泛用作滋补品及药用菌, 我国卫生部于 2009 年 3 月 16 日正式将其列为新资源食品(中华人民共和国卫生部公告 2009 年第 3 号, <http://www.moh.gov.cn/publicfiles/business/htmlfiles/zwgkzt/pgg/200903/39591.htm>)。蛹虫草还含有独特的活性成分虫草素和喷司他丁^[2], 引起了研究者广泛关注。

蛹虫草子实体呈现鲜艳的橘黄色, 证实其为类胡萝卜素类^[3], 类胡萝卜素含量是评价其子实体品质的重要指标之一^[4]。付鸣佳等^[5]和张志军等^[6]报道了类胡萝卜素的提取方法; 已经从蛹虫草中分离出叶黄素^[7]、玉米黄素^[8]和北虫草黄素^[9]。目前的研究集中于蛹虫草色素的提取及稳定性^[10-11]。

对于蛹虫草而言, 光照是其子实体发育、色素产生的必要条件^[3,12]。殷林等^[11]优化了蛹虫草在谷物培养基中液体培养产类胡萝卜素的条件, 但是仅限于各种谷物的配比。蛹虫草黑暗摇瓶培养 2 d 后蓝光静置培养数天, 培养基表面菌丝产生类胡萝卜素^[13], 不同波长光对菌丝体生长及类胡萝卜素含量的影响研究发现, 蓝光和白光有利于类胡萝卜素的合成^[14]。本团队对蛹虫草类胡萝卜素的产

生条件进行了系列研究, 除白化菌株外, 光照刺激促进蛹虫草菌丝色素的形成, 而且蓝光的作用优于白光^[12]; 蓝光光照条件下子实体类胡萝卜素含量极显著高于自然光光照^[15], 栽培后期热胁迫有助于类胡萝卜素的产生^[16]。除此之外, 对于影响类胡萝卜素产生的条件和调控鲜有报道。

氮源作为真菌生长发育不可缺少的营养因子, 同时可以调节代谢产物的产生^[17]。蛹虫草中已有的研究表明氮源调节其虫草酸、虫草多糖^[18]、虫草蛋白^[19]和虫草素^[20]的产生, 促进菌丝生长量的增加^[21]。红曲霉的研究中证实氮源影响类胡萝卜素产生^[22], 无机氮源中 NH_4^+ 促进红曲霉 S 产黄色素, NO_3^- 促进红曲霉 S 产红色素^[23]; 朱振元等^[24]的研究证明蛋白胨有利于中国拟青霉色素的合成。目前为止还没有氮源对蛹虫草色素产生调控的研究。

作为一种新食品原料, 蛹虫草的营养和保健功能越来越得到人们的认可, 但是目前市场上子实体产品的质量参差不齐, 各种有效成分差异很大。本研究通过研究不同的氮源种类及其浓度对蛹虫草类胡萝卜素产生的调控作用, 为蛹虫草子实体的优质栽培提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试菌株

本实验室保存蛹虫草菌株, 编号 633。

1.2 主要试剂和仪器

甲醇、丙酮、石油醚、2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚(BHT)、氯化铵、柠檬酸铵、硝酸铵、硝酸钠, 国药集团化学试剂有限公司; 硝酸钠、磷酸氢二钾、氯化钾、七水硫酸镁、七水硫酸亚铁、蔗糖, 北京现代东方精细化学有限公司; 蛋白胨和酵母提取物, 安琪酵母股份有限公司; 甘氨酸, 上海金畔生物科技有限公司; 谷氨酸, 宝如亿(北京)生物技术有限公司; 琼脂粉, 北京鼎国昌盛生物技术有限责任公司。

生化培养箱, 上海博讯实业有限公司医疗设备厂; 台式高速离心机, 湖南赫西仪器装备有限公司; 分光光度计, 尤尼柯仪器有限公司(上海); 电热鼓风干燥箱, 上海一恒科学仪器有限公司。

1.3 不同氮源培养基

查氏培养基(g/L): 硝酸钠 3.0, 磷酸氢二钾 1.0, 氯化钾 0.5, 七水硫酸镁 0.5, 七水硫酸亚铁 0.01, 蔗糖 30.0, 琼脂 15.0, pH 6.0–6.5。

以查氏培养基为基础培养基, 按照硝酸钠的氮含量(16.5%), 计算其他氮源的添加量以保证各种氮源培养基中氮含量一致(表 1)。采用打孔器($\Phi=1.0$ cm)在菌种平板边缘打孔, 接种于上述氮

源培养基, 12 h 白光/12 h 黑暗, 光照强度 735 lx, 20 °C 培养 20 d, 观察菌落形态, 十字交叉法测定菌落生长速度, 血球计数板测定产孢量。

1.4 不同蛋白胨浓度的固、液体培养基

以 PDA 为基础培养基, 配制不同浓度的蛋白胨 PDA 固体培养基, 1×10^5 Pa 灭菌 30 min。接种, 20 °C 避光培养 20 d, 光照 3 d, 观察菌落形态及其颜色变化。

液体培养基配制方法同固体培养基(不添加琼脂粉), 装液量 80 mL/250 mL 三角瓶, 1×10^5 Pa 灭菌 30 min。采用打孔器($\Phi=1.0$ cm)在菌种平板边缘打孔, 每瓶接种 6 块, 20 °C 避光振荡培养 4 d, 转至 20 °C 白光(735 lx)静置培养 7 d。收取菌膜, 观察其形态, 并测定类胡萝卜素含量。

1.5 蛹虫草子实体栽培

蛹虫草子实体栽培方法参考 Guo 等^[25], 在营养液中添加不同浓度的蛋白胨, 并在不同光照条件下(白光 735 lx, 蓝光 19.3 lx)培养 35 d, 观察子实体颜色变化, 测定子实体鲜重, 计算生物转化率并测定类胡萝卜素含量。

生物转化率根据以下公式计算:

$$\text{生物转化率} = \frac{\text{子实体鲜重(g)}}{\text{培养基干重(g)}} \times 100\%$$

表 1 培养基中氮源添加量

Table 1 Media with different nitrogen sources

氮源种类 Classification	氮源 Nitrogen source	氮含量 Nitrogen content (%)	添加量 Amount (g/L)
氨基酸 Amino acid	甘氨酸 Glycine	18.6	2.6
	谷氨酸 Glutamic acid	9.5	5.2
无机氮源 Inorganic nitrogen	氯化铵 Ammonium chloride	26.2	1.9
	柠檬酸铵 Ammonium citrate	17.3	2.9
	硝酸铵 Ammonium nitrate	35.4	1.4
	硝酸钠 Sodium nitrate	16.5	3.0
有机氮源 Organic nitrogen	蛋白胨 Peptone	12.5	4.0
	黄豆粉 Soybean flour	5.2	9.5
	酵母提取物 Yeast extract	12.7	3.9
	麦麸 Wheat bran	10.0	4.9

1.6 类胡萝卜素含量测定

类胡萝卜素含量测定采用酸热法破壁, 丙酮:石油醚=4:1 (体积比)混合溶剂作为提取剂^[4]。0.3 g 样品加入 4.5 mL 1 mol/L HCl, 加入 0.1% BHT 以防止氧化, 浸提 30 min, 沸水煮 4 min, 立即冰上冷却, 5 000 r/min 离心 10 min, 弃上清, 水洗 2 次, 最后一次离心转速提到 8 000 r/min (避光)。弃上清, 加入 4.5 mL 丙酮:石油醚=4:1 (体积比)混合溶剂, 提取 30 min, 提取 2 次, 合并提取液。采用紫外分光光度计在 445 nm 处测定提取液的吸光度值, 并通过下列公式计算其含量:

$$\text{类胡萝卜素含量}(\mu\text{g/g}) = \frac{A \times V \times D}{0.16 \times W}$$

式中, A: 吸光度值; V: 提取试剂的体积; D: 稀释倍数; 0.16: 消光系数; W: 蛹虫草子实体干重(g)。

1.7 数据分析

所有试验数据分析采用 SPSS 19.0 统计学软件, Excel 绘制图表。计算平均值、标准差, 并进行单因素方差分析, 以 Duncan's 新复极差法进行多重比较, 确定差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同氮源对蛹虫草生长的影响

2.1.1 菌落形态

菌株 633 在不添加氮源的对照培养基中长势微弱, 仅有稀疏的菌丝生长; 在所有供试氮源培养基中, 633 菌丝长势明显强于不添加氮源的对照组 (图 1)。在无机氮源(硝酸钠、硝酸铵、氯化铵、柠檬酸铵)和氨基酸(甘氨酸、谷氨酸)为氮源的培养基中, 气生菌丝均较厚, 除了谷氨酸、氯化铵、硝酸钠、硝酸铵平板背面有微量色素产生外, 其他培养基

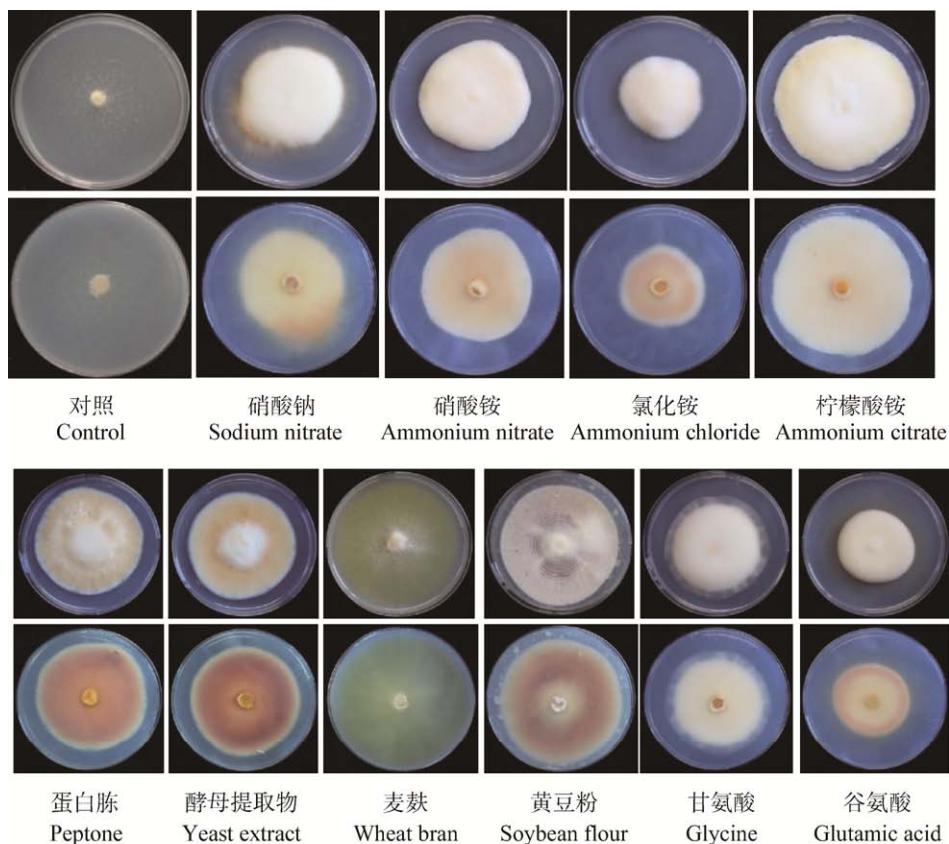


图 1 不同氮源培养基中蛹虫草菌落形态差异

Figure 1 Colony of *Cordyceps militaris* cultured on media with different nitrogen sources

平板正面和背面均几乎不转色。4种有机氮源培养基中蛹虫草菌丝生长形态和颜色差别较大,胰蛋白胨、酵母提取物培养基中,菌丝转色明显,呈橙黄色,气生菌丝致密且生长旺盛;麦麸培养基中,菌落最大,但是菌丝贴附于培养基生长,长势微弱、生长稀疏,呈荧光黄;黄豆粉培养基中菌落大小仅次于麦麸培养基,菌丝贴附于培养基生长,呈白色,菌落背面呈现微红色,菌落有明显的节律圈(图1)。

2.1.2 菌落生长速度

总体来看(表2),蛹虫草菌株在有机氮源培养基中的生长速度高于无机氮源和氨基酸为氮源的培养基。在麦麸为氮源的培养基中生长最快,显著高于黄豆粉以外的其他氮源培养基($P<0.01$);在胰蛋白胨和酵母提取物培养基中,其菌落生长速度虽然较麦麸和黄豆粉培养基稍慢,但是菌落明显致密,气生菌丝更旺盛。在无机氮源培养基中,氯化铵培养基中生长最慢,蛹虫草在柠檬酸铵为氮源的培养基中生长较快,显著高于其他的无机氮源培养基($P<0.01$)。

2.1.3 分生孢子产生

如表2所示,菌株633在酵母提取物及蛋白胨

为氮源的培养基中分生孢子产生最多,极显著高于其他氮源培养基($P<0.01$);在 NaNO_3 作为氮源的培养基中分生孢子产生最少。

综合生长速度、色素产生和成本考虑,选用蛋白胨研究不同浓度氮源对蛹虫草生长和色素产生的影响。

2.2 固体培养条件下不同蛋白胨浓度对蛹虫草生长的影响

菌株633分别接种在0%、1%、3%的蛋白胨培养基中,相同培养条件下生长速度差别不大,但是菌落颜色差异明显(图2)。3%蛋白胨的培养基中菌落颜色最深,正面呈橘黄色,背面颜色也最深。

2.3 液体静置培养条件下蛋白胨浓度对蛹虫草生长的影响

菌株633接种于不同浓度蛋白胨液体培养基中培养,形成的菌膜颜色差异明显,菌膜正面颜色随着蛋白胨浓度的增大而逐渐加深(图3),而且菌膜背面颜色较正面更深。类胡萝卜素含量测定结果也表明3%蛋白胨浓度的培养基中形成的菌膜类胡萝卜素含量最高,达 $3067.80\pm 208.07\ \mu\text{g/g}$,极显著高于其他浓度的培养基(图4, $P<0.01$),为不添加蛋白胨培养基中菌膜类胡萝卜素含量的5倍。

表2 不同氮源对菌落生长速度及分生孢子产生的影响

Table 2 Effects of nitrogen sources on the growth rate of colony and conidia production

氮源种类 Classification	氮源 Nitrogen source	生长速度 Growth rate (mm/d)	产孢量 Conidia production ($\times 10^6/\text{dish}$)
氨基酸 Amino acid	甘氨酸 Glycine	3.34 \pm 0.23D	10.92 \pm 0.58C
	谷氨酸 Glutamic acid	2.48 \pm 0.05F	7.42 \pm 0.72C
无机氮源 Inorganic nitrogen	氯化铵 Ammonium chloride	2.30 \pm 0.13F	2.92 \pm 0.52C
	柠檬酸铵 Ammonium citrate	3.46 \pm 0.40CD	8.00 \pm 3.50C
	硝酸铵 Ammonium nitrate	2.95 \pm 0.13E	5.50 \pm 2.95C
	硝酸钠 Sodium nitrate	2.37 \pm 0.38F	2.83 \pm 1.28C
	有机氮源 Organic nitrogen	蛋白胨 Peptone	3.66 \pm 0.50BC
	黄豆粉 Soybean flour	3.81 \pm 0.15AB	11.83 \pm 2.67C
	酵母提取物 Yeast extract	3.32 \pm 0.38D	71.17 \pm 10.69A
	麦麸 Wheat bran	4.03 \pm 0.09A	3.92 \pm 0.29C

注:表中数据为平均值 \pm 标准差,同列数据后的不同大写字母(Duncan's多重比较结果)表示0.01水平上的差异显著,即极显著差异。
Note: Values are the mean \pm SD of triple determinations and values followed by the different capital letters are extremely significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.01$).

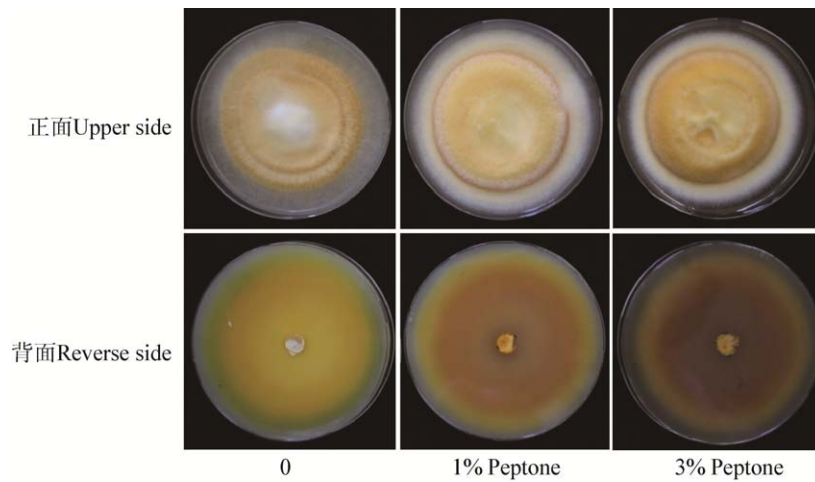


图 2 不同蛋白胨浓度培养基中蛹虫草菌落形态
Figure 2 Colony of *Cordyceps militaris* on the media with different peptone concentrations

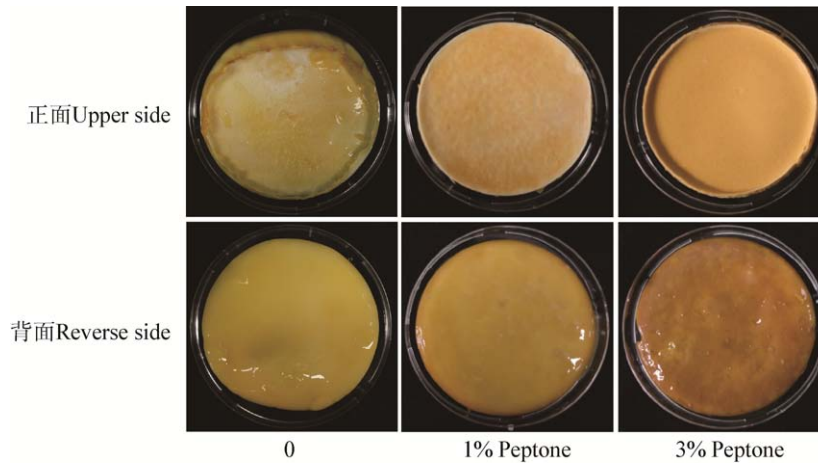


图 3 不同浓度蛋白胨对液体静置培养形成菌膜颜色的影响
Figure 3 Effect of peptone concentration on the color of the velum under static liquid culture

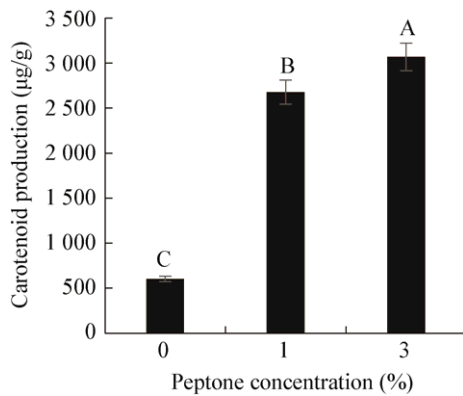


图 4 不同蛋白胨浓度对蛹虫草菌膜类胡萝卜素含量的影响
Figure 4 Effect of peptone concentration on carotenoid production of the velum

2.4 不同光照条件下蛋白胨浓度对子实体生长和类胡萝卜素产生的影响

在蛹虫草子实体栽培培养液中添加不同浓度的蛋白胨, 均表现为添加高浓度蛋白胨(5%)时子实体转化率最低, 而蛋白胨浓度为 1%时转化率最高。子实体颜色观察发现在各种蛋白胨浓度条件下, 均表现为蓝光光照颜色深于白光光照, 类胡萝卜素含量测定结果与肉眼观察结果一致(表 3)。两种光照条件下均表现为蛋白胨浓度为 1%时类胡萝卜素含量高于其他蛋白胨浓度。所有处理中蓝光光照条件、蛋白胨浓度为 1%时生物转化率和类胡萝卜素含量均为最高。

表 3 不同光照条件下蛋白胨浓度对蛹虫草子实体生长和类胡萝卜素产生的影响

Table 3 Effect of peptone concentration on the fruiting body growth of *Cordyceps militaris* and carotenoid production under different light conditions

蛋白胨浓度 Peptone concentration (%)	生物转化率 Biological efficiency (%)		类胡萝卜素含量 Carotenoid yield ($\mu\text{g/g}$)	
	白光 White light	蓝光 Blue light	白光 White light	蓝光 Blue light
	0	71.00 \pm 0.91ab	70.63 \pm 4.33ab	2 193.75 \pm 290.63b
1	78.00 \pm 1.22a	78.75 \pm 1.94a	2 809.38 \pm 386.24a	4 093.75 \pm 518.37a
3	73.34 \pm 3.12ab	69.25 \pm 1.94b	2 225.00 \pm 349.06b	3 275.00 \pm 564.16b
5	63.63 \pm 1.44b	59.63 \pm 3.22c	1 968.75 \pm 110.53b	3 375.00 \pm 525.00ab

注：表中数据为平均值 \pm 标准差，同列数据后的不同小写字母(Duncan's 多重比较结果)表示 0.05 水平上的差异显著。

Note: Values are the mean \pm SD of triple determinations and values followed by the different letters are significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

3 讨论与结论

天然类胡萝卜素除了能作为食品添色外，还具有较高的营养和保健价值，几乎所有类胡萝卜素均有抗氧化、增强免疫力、防止紫外线损伤、抗心血管疾病和抗癌等功能^[26]。类胡萝卜素作为食品添加剂和营养增补剂，已经得到 FDA (Food and drug administration)、欧洲共同体、WHO (World health organization) 等国际组织的认可，蛹虫草作为天然类胡萝卜素的来源，研究其代谢产生具有重要意义。我们通过研究氮源及其浓度对蛹虫草生长和类胡萝卜素产生影响的结果表明，氮源种类及其浓度为蛹虫草类胡萝卜素产生的重要调控因子，为富含类胡萝卜素的蛹虫草子实体栽培提供了试验依据。

见光转色为蛹虫草子实体人工栽培中菌种质量判定的重要标准，本研究表明见光转色也和培养基中的氮源种类相关。在固体培养基培养条件下，有机氮培养基中蛹虫草转色较明显，而在无机氮培养基中基本不转色或仅有微弱转色(图 1)。在蛋白胨和酵母提取物为氮源的培养基中，菌落呈现黄色，背面为红棕色，而在麦麸培养基中呈现为荧光黄色，表现出明显的颜色差别，表明不同氮源培养基中产生的色素组分可能存在差别。赵能等^[27]在研究不同氮源对牛樟芝菌丝生长的影响时也发现，不同氮源培养基中牛樟芝均可以生

长，但是菌落颜色差别很大，仅有酵母提取物能得到自然状态下的红色菌体。

以蛋白胨为氮源时，其不同浓度对菌丝体和子实体类胡萝卜素合成也有调控作用。在固体培养基和液体培养基静置培养情况下，随着蛋白胨浓度的增加，平板及菌膜正反面颜色均加深。类胡萝卜素含量测定结果表明，蛋白胨浓度为 3% 时类胡萝卜素含量极显著高于其他处理，但是子实体栽培结果发现在白光和蓝光条件下均表现为 1% 蛋白胨浓度时类胡萝卜素含量最高，在栽培时可以通过调节氮源浓度影响蛹虫草子实体颜色。本研究也证实在不同的氮源浓度下，蓝光光照更有利于蛹虫草子实体类胡萝卜素的产生，这与我们之前的研究结果一致^[13]。

已有的研究表明真菌中类胡萝卜素合成代谢途径的关键基因受到氮源、光照等多种因素的调控^[28]，蛹虫草类胡萝卜素合成途径还有待解析^[16]，因此氮源对蛹虫草类胡萝卜素合成调控的机制还有待深入研究。

综上所述，氮源种类和浓度影响蛹虫草菌落形态及类胡萝卜素产生。蛹虫草子实体栽培中，蓝光光照和 1% 蛋白胨浓度为其类胡萝卜素产生的最佳条件。本研究为蛹虫草子实体的优质栽培提供理论基础。

REFERENCES

- [1] Das SK, Masuda M, Sakurai A, et al. Medicinal uses of the

- mushroom *Cordyceps militaris*: current state and prospects[J]. *Fitoterapia*, 2010, 81(8): 961-968
- [2] Xia YL, Luo FF, Shang YF, et al. Fungal cordycepin biosynthesis is coupled with the production of the safeguard molecule pentostatin[J]. *Cell Chemical Biology*, 2017, 24(12): 1479-1489
- [3] Fu MJ. Study on the carotenoid produced from *Cordyceps militaris* L.[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2005, 24(5): 107-110 (in Chinese)
付鸣佳. 蛹虫草产类胡萝卜素的研究[J]. *食品与生物技术学报*, 2005, 24(5): 107-110
- [4] Yang T, Sun JD, Lian TT, et al. Process optimization for extraction of carotenoids from medicinal caterpillar fungus, *Cordyceps militaris* (Ascomycetes)[J]. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2014, 16(2): 125-135
- [5] Fu MJ, Wang XJ, Huang WF. Blue light induced carotenoid accumulation in *Cordyceps militaris* L.[J]. *Microbiology China*, 2005, 32(5): 24-28 (in Chinese)
付鸣佳, 王小菁, 黄文芳. 蓝光诱导蛹虫草菌丝类胡萝卜素的积累[J]. *微生物学通报*, 2005, 32(5): 24-28
- [6] Zhang ZJ, Jiang XL, Mou HJ, et al. Study of extraction conditions on the carotenoid produced from *Cordyceps militaris*[J]. *Food Science and Technology*, 2007(4): 99-103 (in Chinese)
张志军, 江晓路, 牟海津, 等. 蛹虫草类胡萝卜素提取工艺的研究[J]. *食品科技*, 2007(4): 99-103
- [7] Yan XT, Bao HY, Bau T. Isolation and identification of one natural pigment from cultured *Cordyceps militaris*[J]. *Mycosystema*, 2010, 29(5): 777-781 (in Chinese)
闫喜涛, 包海鹰, 图力古尔. 人工培养蛹虫草中一种天然色素的分离和结构鉴定[J]. *菌物学报*, 2010, 29(5): 777-781
- [8] Chen C. Chemical study of cultured *Cordyceps militaris*[D]. Changchun: Master's Thesis of Jilin Agricultural University, 2012 (in Chinese)
陈策. 人工蛹虫草的化学成分研究[D]. 长春: 吉林农业大学硕士学位论文, 2012
- [9] Dong JZ, Wang SH, Ai XR, et al. Composition and characterization of cordyxanthins from *Cordyceps militaris* fruit bodies[J]. *Journal of Functional Foods*, 2013, 5(3): 1450-1455
- [10] Zhang XJ, Chen XX, Tang J, et al. Study on the stability of *Cordyceps militaris* yellow pigment A1[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(18): 128-130,134 (in Chinese)
张晓君, 陈雪香, 唐健, 等. 蛹虫草黄色素 A1 稳定性研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(18): 128-130,134
- [11] Yin L, Lin JF, Qian J, et al. Optimization of the liquid culture medium composition for high carotenoid production by *Cordyceps militaris* and the investigation on the improvement of carotenoid extraction[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(18): 79-84 (in Chinese)
殷林, 林俊芳, 钱璟, 等. 高产类胡萝卜素的蛹虫草液体培养基优化及其提取工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(18): 79-84
- [12] Yang T, Dong CH. Photo morphogenesis and photo response of the blue-light receptor gene *Cmwc-1* in different strains of *Cordyceps militaris*[J]. *FEMS Microbiology Letters*, 2014, 352(2): 190-197
- [13] Shen JL, Jin HY, Gao Y, et al. Two-step fermentation of carotenoid by blue light induction in *Cordyceps militaris* L.[J]. *China Biotechnology*, 2013, 33(2): 83-87 (in Chinese)
沈俊良, 金华燕, 高雅, 等. 蛹虫草蓝光诱导两步法发酵产类胡萝卜素[J]. *中国生物工程杂志*, 2013, 33(2): 83-87
- [14] Wu SM, Zhou LH, Shi W, et al. Influence of light intensity on the growth and development of carotene content and body of *Cordyceps militaris*[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2013, 40(7): 24-25,45 (in Chinese)
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, 40(7): 24-25,45
- [15] Lian TT, Dong CH, Yang T, et al. Effects of blue light on the growth and bioactive compound production of *Cordyceps militaris*[J]. *Mycosystema*, 2014, 33(4): 838-846 (in Chinese)
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
- [16] Zhang JJ, Wang F, Liu KB, et al. Heat and light stresses affect metabolite production in the fruit body of the medicinal mushroom *Cordyceps militaris*[J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2018, 102(10): 4523-4533
- [17] Tudzynski B. Nitrogen regulation of fungal secondary metabolism in fungi[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2014, 5: 656
- [18] Li F, Wang Z, Bian WY, et al. Effects of five kinds nitrogen sources on the growth and quality of *Cordyceps militaris*[J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2018(1): 4-6 (in Chinese)
李菲, 王忠, 卞文印, 等. 5种氮源对蛹虫草生长及其质量的影响[J]. *福建农业科技*, 2018(1): 4-6
- [19] Fang HZ, Xiao XM. Effects of different nitrogen sources on the main active components of *Cordyceps militaris*[J]. *Journal of Jingchu University of Technology*, 2016, 31(6): 5-10 (in Chinese)
方华舟, 肖习明. 不同氮源对蛹虫草主要活性成分的影响及规律研究[J]. *荆楚理工学院学报*, 2016, 31(6): 5-10
- [20] Jian LR, Du ST. Effect of nitrogen and inorganic salt on production of stroma, cordycepin and adenosine in *Cordyceps militaris*[J]. *Northern Horticulture*, 2016(19): 163-167 (in Chinese)
简利茹, 杜双田. 氮源和无机盐对蛹虫草子座产量及虫草素和腺苷的影响[J]. *北方园艺*, 2016(19): 163-167
- [21] Gu YY, Zhang YP, Chen CJ, et al. Effects of carbon and nitrogen sources in culture medium on growth amount of *Cordyceps militaris* hyphae[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2008(7): 77-79 (in Chinese)
顾寅钰, 张亚平, 陈传杰, 等. 蛹虫草培养基碳源和氮源对菌丝生长量的影响[J]. *山东农业科学*, 2008(7): 77-79
- [22] Zhou B, Pu YW, Zhu MJ, et al. Effects of nitrogen sources on *Monascus* yellow pigment production by *Monascus* mutant[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2008, 24(2): 123-127 (in Chinese)
周波, 浦跃武, 朱明军, 等. 氮源对红曲霉突变株产黄色素的

- 影响[J]. 现代食品科技, 2008, 24(2): 123-127
- [23] Yang CL, Yang XJ, He ZG, et al. Effects of carbon and nitrogen sources on *Monascus purpureus* S in its secreting pigment[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2011, 26(5): 832-836 (in Chinese)
杨成龙, 杨晓君, 何志刚, 等. 碳氮源对红曲霉 S 产色素的影响[J]. 福建农业学报, 2011, 26(5): 832-836
- [24] Zhu ZY, Han D, Pang W. Study on the producing conditions of pigment by *Paecilomyces sinensis*[J]. Food Research and Development, 2017, 38(2): 190-195 (in Chinese)
朱振元, 韩丹, 庞伟. 中国拟青霉产色素发酵条件的研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(2): 190-195
- [25] Guo MM, Guo SP, Yang HJ, et al. Comparison of major bioactive compounds of the caterpillar medicinal mushroom, *Cordyceps militaris* (Ascomycetes), fruiting bodies cultured on wheat substrate and pupae[J]. International Journal of Medicinal Mushrooms, 2016, 18(4): 327-336
- [26] Rodriguez-Amaya DB. Quantitative analysis, *in vitro* assessment of bioavailability and antioxidant activity of food carotenoids—a review[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2010, 23(7): 726-740
- [27] Zhao N, Yuan XL, Chen J, et al. Effect of different carbon and nitrogen sources on mycelia growth of *Antrodia cinnamomea*[J]. Journal of West China Forestry Science, 2016, 45(4): 7-12 (in Chinese)
赵能, 原晓龙, 陈剑, 等. 不同碳氮源对牛樟芝菌丝体生长的影响[J]. 西部林业科学, 2016, 45(4): 7-12
- [28] Gmoser R, Ferreira JA, Lennartsson PR, et al. Filamentous ascomycetes fungi as a source of natural pigments[J]. Fungal Biology and Biotechnology, 2017, 4: 4

~~~~~  
(上接 p.112)

### 征 稿 简 则

3.5 参考文献: 参考文献按文内引用的先后顺序排序编码, 未公开发表的资料请勿引用。我刊参考文献需要注明著者(文献作者不超过 3 人时全部列出, 多于 3 人时列出前 3 人, 后加“等”或“et al.”, 作者姓前名后, 名字之间用逗号隔开)、文献名、刊名、年卷期及页码。国外期刊名必须写完整, 不用缩写, 不用斜体。参考文献数量不限。

参考文献格式举例:

- [1] Marcella C, Claudia E, Pier GR, et al. Oxidation of cystine to cysteic acid in proteins by peroyacids as monitored by immobilized pH gradients[J]. Electrophoresis, 1991, 12(5): 376-377
- [2] Wang BJ, Liu SJ. Perspectives on the cultivability of environmental microorganisms[J]. Microbiology China, 2013, 40(1): 6-17 (in Chinese)  
王保军, 刘双江. 环境微生物培养新技术的研究进展[J]. 微生物学通报, 2013, 40(1): 6-17
- [3] Shen T, Wang JY. Biochemistry[M]. Beijing: Higher Education Press, 1990: 87 (in Chinese)  
沈同, 王镜岩. 生物化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990: 87
- [4] Liu X. Diversity and temporal-spatial variability of sediment bacterial communities in Jiaozhou Bay[D]. Qingdao: Doctoral Dissertation of Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2010 (in Chinese)  
刘欣. 胶州湾沉积物细菌多样性及菌群时空分布规律[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所博士学位论文, 2010

### 4 特别说明

4.1 关于测序类论文: 凡涉及测定 DNA 或氨基酸序列的论文, 请先通过国际基因库 EMBL (欧洲)或 GenBank (美国)或 DDBJ (日本), 申请得到国际基因库登录号 (Accession No.)后再投来。

4.2 关于版权: (1) 本刊只接受未公开发表的文章, 请勿一稿两投。(2) 凡在本刊通过审稿、同意刊出的文章, 所有形式的(即各种文字、各种介质的)版权均属本刊编辑部所有。作者如有异议, 敬请事先声明。(3) 对录用的稿件编辑部有权进行文字加工, 但如涉及内容的大量改动, 将请作者过目同意。(4) 文责自负。作者必须保证论文的真实性, 因抄袭剽窃、弄虚作假等行为引发的一切后果, 由作者自负。

4.3 审稿程序及提前发表: (1) 来稿刊登与否由编委会最后审定。对不录用的稿件, 一般在收稿 2 个月之内通过 E-mail 说明原因, 作者登录我刊系统或关注绑定微信也可查看。稿件经过内审、初审、终审通过后, 作者根据编辑部返回的退修意见进行修改补充后上传修改稿, 编辑部复审通过后将发出稿件录用通知单, 稿件按照投稿先后排队发表。(2) 本刊对投稿的个人和单位一视同仁。坚持文稿质量为唯一标准, 对稿件采取择优先登的原则。

### 5 发表费及稿费

论文一经录用, 将在发表前根据版面收取一定的发表费并酌付稿酬、赠送样刊。

### 6 联系方式

地址: 北京市朝阳区北辰西路 1 号院 3 号中国科学院微生物研究所《微生物学通报》编辑部(100101)

Tel: 010-64807511; E-mail: tongbao@im.ac.cn; 网址: <http://journals.im.ac.cn/wswxtbcn>