

网络出版时间:2016-09-07 09:03

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2016.10.027

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20160907.0903.054.html>

温度对大球盖菇生长发育的影响

鲍蕊, 杜双田, 张晶, 丁建, 鲁车龙, 李珍

(西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 【目的】研究温度对大球盖菇生长发育的影响, 为其栽培管理提供参考。【方法】在不同温度条件下, 研究大球盖菇孢子萌发的适宜温度; 采用正交多项式回归分析法构建数学模型, 揭示温度对大球盖菇菌丝生长速率、出菇数量及产量的影响。【结果】经过冷刺激(5℃下冷藏30 d)后, 大球盖菇孢子萌发的适宜温度为28℃; 大球盖菇菌丝生长的最适温度为26.0℃; 采用温室栽培, 当菌床基质中心温度为18.7℃时, 大球盖菇的产量最高、出菇数量较多; 菌床基质中心温度在16~19.4℃时, 大球盖菇子实体形态较好。【结论】冷刺激及高温是大球盖菇孢子萌发的重要条件, 温度是影响大球盖菇生长发育、高产及优质的关键因素。

[关键词] 大球盖菇; 孢子萌发; 数学模型; 培养温度

[中图分类号] S646.1⁺90.4⁺6

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2016)10-0193-06

Effects of temperature on growth of *Stropharia rugoso-annulata*

BAO Rui, DU Shuangtian, ZHANG Jing, DING Jian, LU Chelong, LI Zhen

(College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the effects of temperature on growth of *Stropharia rugoso-annulata* to provide reference for cultivation and management of *S. rugoso-annulata*. 【Method】 Different temperatures were tested to obtain the optimum temperature for *S. rugoso-annulata* spore germination. Orthogonal polynomial regression method was used to build model for investigating effects of temperature on hypha growth rate, fruit body amount and yield of *S. rugoso-annulata*. 【Result】 The optimum temperature for *S. rugoso-annulata* germination after cold stimulation (5℃, 30 d) was 28℃ and the optimal temperature for hypha growth was 26.0℃. In greenhouse, when the center temperature of fungus bed matrix was 18.7℃, the fruiting body numbers and yield of *S. rugoso-annulata* reached the highest values. When the center temperature of fungus bed matrix was 16—19.4℃, the shape of fruiting body was the best. 【Conclusion】 High temperature and cold stimulation treatments were essential conditions for germination of *S. rugoso-annulata* spore. Temperature was the main factor influencing growth, high quality and yield of *S. rugoso-annulata*.

Key words: *Stropharia rugoso-annulata*; spore germination; mathematics model; culture temperature

大球盖菇(*Stropharia rugoso-annulata*)属于担子菌亚门(Basidiomycota)、层菌纲(Hymenomyces)、伞菌目(Agaricales)、球盖菇科(Strophariace-

ae)、球盖菇属(*Stropharia*)真菌^[1], 因其在同类真菌中体形巨大, 被称为花园巨人(Garden giant)、哥斯拉蘑菇(Godzilla mushroom)^[2], 又因其菇盖颜色

〔收稿日期〕 2015-04-17

〔基金项目〕 陕西省农业示范推广项目; 西北农林科技大学科技创新及成果转化专项(XNY2013-63)

〔作者简介〕 鲍蕊(1989—), 男, 陕西绥德人, 在读硕士, 主要从事微生物资源开发利用研究。E-mail: 294763925@qq.com

〔通信作者〕 杜双田(1961—), 男, 陕西扶风人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事食用菌与药用真菌研究。E-mail: dst6107@126.com

接近酒红色,也被称为酒红大球盖菇(Wine cap Stropharia)^[3]。大球盖菇营养丰富,口感脆嫩,鲜味浓郁,且具有重要的保健功能,是目前国际食用菌市场上十大交易菇类之一,也是联合国粮农组织(FAO)向发展中国家推荐栽培的食用菌之一^[4]。据文献报道,大球盖菇多糖具有预防冠心病、助消化、缓解精神疲劳等功效;大球盖菇多糖对小白鼠肉瘤 S-180 和艾氏癌的抑制率达到 70%^[5-7];大球盖菇所含的抗氧化物质(类黄酮、多酚、皂甙等)对婴幼儿智力及中枢神经发育具有重要作用^[7-8]。另外,大球盖菇可有效降解土壤与废水中的 2,4,6-三硝基甲苯(TNT)^[9-11]、氯苯、苯胺化合物、氯化苯酚、甲酚、苯甲酚和二甲苯等有害物质^[12],是环境保护及环境污染修复的重要生物之一。

目前,关于大球盖菇的研究主要集中在栽培原料及其配方方面^[4,12-13],而关于温度对大球盖菇生长发育的影响尚未见系统报道。因此,本试验系统研究了温度对大球盖菇孢子萌发、菌丝生长及子实体产量、数量和形态的影响,以期为大球盖菇的栽培管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 菌种 供试菌种由西北农林科技大学生命科学学院提供,菌株编号为 SR-01。

1.1.2 培养基 (1)PDA。马铃薯 200.0 g/L,葡萄糖 20.0 g/L,琼脂粉 12.5 g/L,水 1 000 mL(pH 6.5)。(2)CM。葡萄糖 20.0 g/L,蛋白胨 5.0 g/L, MgSO₄ 0.5 g/L, K₂HPO₄ 1.0 g/L, KH₂PO₄ 0.5 g/L,琼脂粉 12.5 g/L,水 1 000 mL(pH 6.5)。(3)WA。琼脂粉 20.0 g/L,水 1 000 mL(pH 6.5)。(4)MEA。麦芽浸膏 20.0 g/L,蛋白胨 1.0 g/L,葡萄糖 20.0 g/L,琼脂粉 12.5 g/L,水 1 000 mL(pH 6.5)。(5)小麦培养基。小麦 99 g,蔗糖 1 g,水 100 mL(pH 6.5)。

1.1.3 栽培原料 主要栽培原料为苹果树修剪枝条木屑。

1.2 方法

1.2.1 孢子的收集 选用子实体较大、菌柄粗壮、健康无病虫害的成熟大球盖菇子实体,采用孢子弹射法收集孢子,将收集的孢子保存备用。

1.2.2 菌种制备 将保存的大球盖菇斜面菌种在 PDA 培养基上转接 2 次后,再转接到小麦培养基上,25℃条件下培养,菌丝发满瓶后备用。

1.2.3 温度对孢子萌发的影响 将 5℃下冷藏 30 d 的大球盖菇孢子和未经冷藏的孢子用无菌水制备孢子悬液,以血球计数板计数,使其密度大约为 $10^3 \cdot \text{mL}^{-1}$,接种量为 10 μL /皿。进行以下 2 项试验:

(1)将未冷藏孢子制成的悬液分别涂布在 PDA、WA、CM 和 MEA 平板上,28℃恒温培养 12 d,每隔 24 h 观察并记录菌落形成时间及形成的菌落数。

(2)将冷藏孢子制成的悬液接种于 PDA 平板上,将平板分别置于 8,12,16,20,24,28 和 32℃条件下培养,每隔 24 h 观察并记录菌落形成时间及数量。

以上每处理重复 5 次。以公式(1)计算孢子萌发率。

孢子萌发率 = (孢子萌发数/孢子总数) × 100%。(1)

1.2.4 温度对菌丝生长速率与菌落长势的影响 在 PDA 平板中央接种一粒麦粒菌种,分别于 5,10,15,20,25,30,35℃及空气相对湿度 60%~70%和黑暗条件下培养 13 d,采用十字划线法测量其菌落半径(mm),每处理重复 5 次。

菌丝生长速率 = 菌落半径/培养时间。(2)

1.2.5 温度对大球盖菇产量、数量及形态的影响 以苹果树修剪枝条木屑为原料,在日光温室内按常规畦栽方法栽培管理,接种时间为 2013-11-15,出菇期为 2014-04-17—06-04。在出菇期,每天 08:00 记录菌床中心温度与室内温度,15:00 记录室内温度。采收时,记录出菇数量、产量,并测量菌盖直径、菌盖厚度、菌柄直径及长度(mm),按公式(3)计算菇形指数。

菇形指数 = 鲜菇菌盖直径/鲜菇柄长^[11]。(3)

1.2.6 数据处理 对试验原始数据去除“ $\bar{x} \pm 2\sigma$ ”($\bar{x}$ 为平均值, σ 为标准差)以外的数据,再求其平均数即为试验结果,采用 DPS(Version 7.05)数据分析软件进行数理统计分析。

2 结果与分析

2.1 温度对大球盖菇孢子萌发的影响

观察结果显示,未经过冷藏处理的大球盖菇孢子在 PDA、WA、CM 和 MEA 平板培养基上均未能形成肉眼可见的菌落。经过冷藏处理 1 个月的大球盖菇孢子在温度 $\leq 24^\circ\text{C}$ 时不能萌发;当培养温度为 28℃时,在 PDA 培养基上第 9 天形成肉眼可见的菌落,经计算孢子萌发率为 40%,且形成的菌落气

生菌丝旺盛、浓密、洁白;当培养温度为 32 ℃ 时,在 PDA 培养基上形成肉眼可见的菌落需 12 d,孢子萌发率为 10%,其菌落气生菌丝相对稀疏。可见,于 5 ℃ 下经过 30 d 冷藏处理的大球盖菇孢子萌发的适宜温度为 28 ℃。

2.2 温度对大球盖菇菌丝生长速率及菌落长势的影响

温度对大球盖菇菌丝生长速率及菌落长势的影响见图 1 和图 2。

经计算,大球盖菇菌丝生长速率(Y_1)与培养温度(X_1)的函数关系如下:

$$Y_1 = -0.0007X_1^3 + 0.035X_1^2 - 0.3859X_1 + 16.43. \tag{4}$$

方差分析得: $F_{\text{回归}} = 19.35 > F_{0.05(3,3)} = 9.28$, $P_{0.05} = 0.018 < 0.05$, $R^2 = 0.96$,表明该方程达到显著水平,且模型与实际值拟合较好。

对方程(4)求极值得:
 $X_{1\max} = 26.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Y_{1\max} = 2.4\text{ mm/d}$ 。
即培养温度为 26.0 ℃ 时,大球盖菇的菌丝速率达最大值 2.4 mm/d。

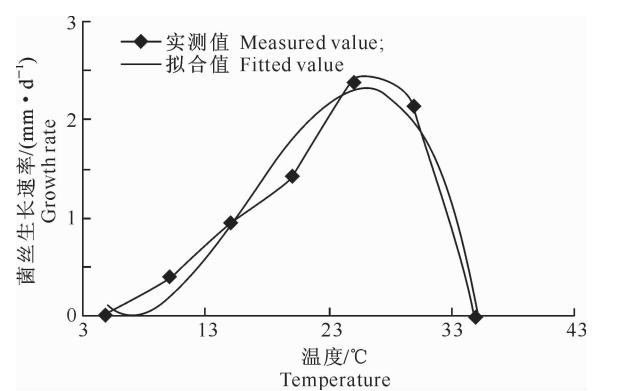


图 1 培养温度对大球盖菇菌丝生长速率的影响
Fig.1 Effect of temperature on growth rate of *Stropharia rugoso-annulata*

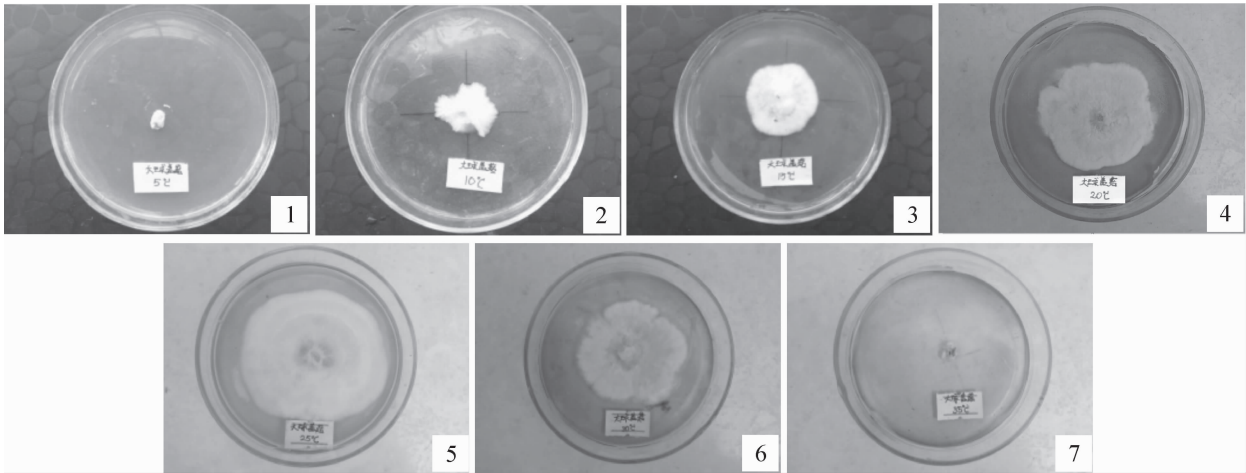


图 2 培养温度对大球盖菇菌落长势的影响
1~7 分别是 5,10,15,20,25,30,35 ℃ 条件下培养的大球盖菇菌落长势
Fig.2 Effects of temperature on colonies growth of *Stropharia rugoso-annulata*
1—7. Growth of colonies under 5,10,15,20,25,30, and 35 ℃

由计算结果及图 1 可见,在试验范围内,大球盖菇的菌丝生长速率与培养温度之间呈三次函数关系。当温度为 5~26 ℃ 时,随着温度的升高,大球盖菇的菌丝生长速率逐渐增大,在 26 ℃ 时达到最大值;超过 26 ℃ 后,大球盖菇菌丝生长速率迅速降低。

由图 2 可见,当温度为 5 和 10 ℃ 时,菌落长势较差;温度为 15 和 20 ℃ 时,菌落长势较好;温度为 25 和 30 ℃ 时,菌落较大且长势最好,气生菌丝浓密洁白;温度为 35 ℃ 时,菌落生长缓慢。

2.3 温度对大球盖菇产量及出菇数的影响

2.3.1 室内温度与菌床基质中心温度的关系 以

采收时间为横坐标,以当日的室内温度和菌床中心温度为纵坐标,室内温度和菌床基质中心温度的变化趋势见图 3。由图 3 可见,室内温度(每天 08:00 和 15:00 温度)受天气变化的影响较大,特别是每天 15:00 的温度变化幅度较大,而菌床基质中心温度变化相对缓和。随着时间的推移,所记录的 3 种温度变化趋势基本相同,都是随着外界气温的升高逐渐升高;3 种温度的趋势线斜率相近。为了分析方便,本试验以菌床基质中心温度为指标,研究温度对大球盖菇子实体形成数量及产量的影响。

2.3.2 菌床基质中心温度对大球盖菇产量及出菇数量的影响 菌床基质中心温度对大球盖菇产量及

出菇数量的影响见图 4 和图 5。

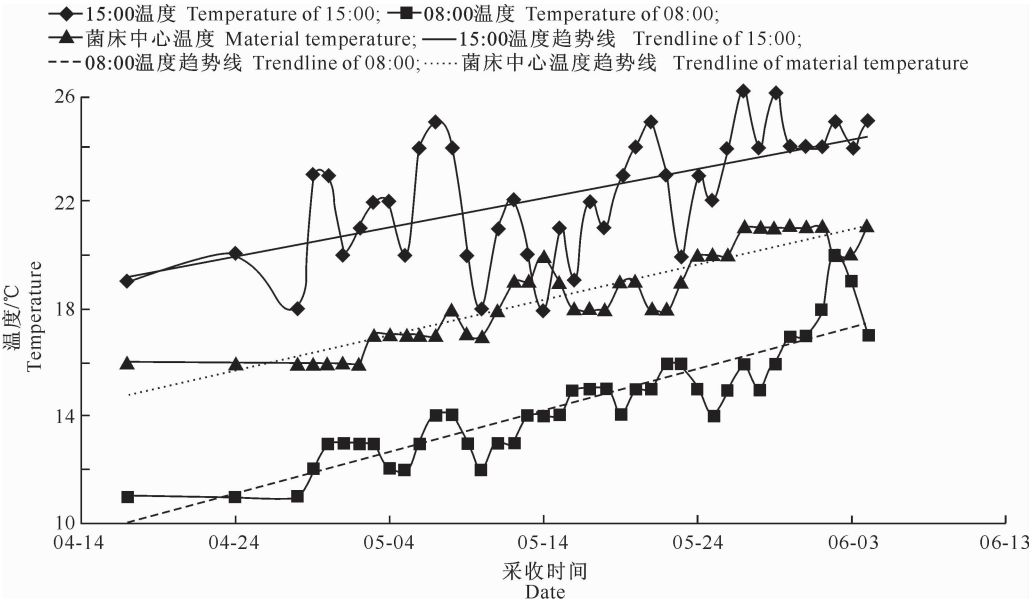


图 3 室内温度和菌床基质中心温度的变化趋势

Fig. 3 Relationship between indoor temperature and material temperature

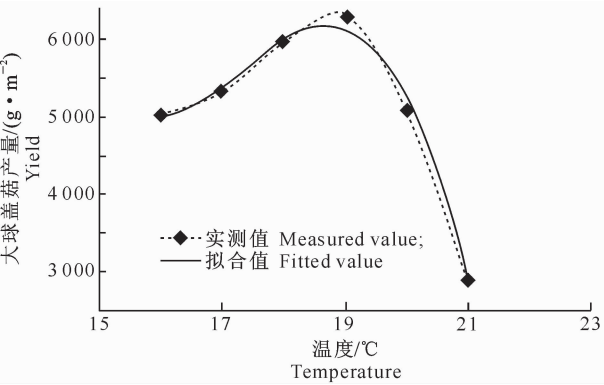


图 4 菌床基质中心温度对大球盖菇产量的影响

Fig. 4 Effect of temperature on yield of *Stropharia rugoso-annulata*

以菌床基质中心温度为指标,统计不同温度下大球盖菇的产量和出菇数量,经计算,大球盖菇产量(Y_2)与菌床基质中心温度(X_2)之间的函数关系为:

$$Y_2 = -96.54X_2^3 + 5001.3X_2^2 - 85752X_2 + 492127. \quad (5)$$

方差分析得: $F_{\text{回归}} = 57.19 > F_{0.05(2,3)} = 9.55$, $P_{0.05} = 0.0172 < 0.05$, $R^2 = 0.988$,表明方程(5)达显著水平,该模型与实测值拟合情况较好。

求极值得:

$$X_{2\text{max}} = 18.7\text{ }^{\circ}\text{C}, Y_{2\text{max}} = 6174.7\text{ g/m}^2.$$

即菌床基质中心温度为 $18.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,大球盖菇的产量达最大值 6174.7 g/m^2 。

经计算,大球盖菇出菇数量(Y'_2)与菌床基质中

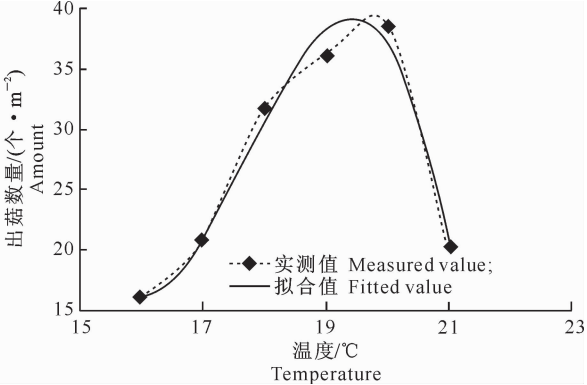


图 5 菌床基质中心温度对大球盖菇出菇数量的影响

Fig. 5 Effect of temperature on amount of *Stropharia rugoso-annulata*

心温度(X_2)之间的函数关系为:

$$Y'_2 = -1.12X_2^3 + 59.49X_2^2 - 1043.6X_2 + 6070.6. \quad (6)$$

方差分析得: $F_{\text{回归}} = 37.23 > F_{0.05}(2,3) = 9.55$, $P_{0.05} = 0.0263 < 0.05$, $R^2 = 0.982$,表明方程(6)达显著水平,该模型与实测值拟合情况较好。

求极值得:

$$X_{2\text{max}} = 19.4\text{ }^{\circ}\text{C}, Y'_{2\text{max}} = 44\text{ 个/m}^2.$$

即菌床基质中心温度为 $19.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,大球盖菇出菇数量达到最大值 44 个/m^2 。

由计算结果及图 4、图 5 可知,在试验范围内,大球盖菇产量与菌床基质中心温度之间呈三次函数关系。当菌床基质中心温度在 $16\sim 18.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (此时

08:00 室内温度为 11~16 ℃,15:00 室内温度为 18~23 ℃)时,随着温度的升高,大球盖菇产量逐渐升高,菌床基质中心温度在 18.7 ℃(此时 08:00 温度为 16 ℃,15:00 室内温度为 22 ℃)时大球盖菇产量达到最大值;超过 18.7 ℃ 后,大球盖菇单位面积产量迅速降低。

由计算结果及图 4、图 5 还可知,在试验温度范围内,大球盖菇出菇数量与菌床基质中心温度之间呈三次函数关系。当菌床基质中心温度在 16~19.4 ℃(此时 08:00 室内温度为 11~16 ℃,15:00

室内温度为 18~23 ℃)时,随着温度的升高,大球盖菇出菇数量逐渐升高,菌床基质中心温度在 19.4 ℃(此时 08:00 室内温度为 16 ℃,15:00 室内温度为 22 ℃)时大球盖菇出菇数量达到最大值;超过 19.4 ℃ 后,大球盖菇出菇数量迅速降低。

2.3.3 菌床基质中心温度对子实体形态的影响
在出菇期间,通过调节卷帘机,控制温室温度在15~26 ℃,以采菇时菌床基质中心温度为指标,分别测量不同温度下 113~221 个子实体的菌盖直径、菌盖厚度、菌柄直径、菌柄长度,统计结果见表 1。

表 1 菌床基质中心温度对大球盖菇子实体形态的影响

Table 1 Effect of temperature on morphological characteristics of *Stropharia rugoso-annulata*

温度/℃ Temperature	样本数 Number	菌盖直径/mm Diameter	菌盖厚度/mm Depth	菌柄长度/mm Length	菌柄直径/mm Diameter	菇形指数 Morphology
16	113	69.58 aA	40.03 aA	134.19 aA	33.89 abA	0.52 bB
17	146	70.10 aA	39.11 abAB	126.14 bB	34.98 aA	0.56 aA
18	170	60.56 bB	37.64 bcBC	123.93 cC	32.11 bB	0.49 cC
19	221	62.07 bB	36.84 cC	126.02 bB	31.44 cB	0.49 cC
20	127	53.07 cC	32.59 dD	120.72 dD	27.59 dC	0.44 dD
21	115	49.76 dD	28.46 eE	118.23 eE	22.69 eD	0.42 eE

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),标不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。
Note:The lowercase letters are the $P=5\%$ significant level,the capital letters are the $P=1\%$ significant level.

由表 1 可知,菌床基质中心温度不同,大球盖菇子实体的菌盖直径、厚度以及菌柄长度、直径等差异较大。当温度为 16~17 ℃时,大球盖菇子实体的菌盖直径、厚度以及菌柄长度、直径均较大,与其他温度下的菌盖直径、厚度以及菌柄长度、直径的差异总体显著。温度为 17 ℃时,大球盖菇的菇形指数最大,此时子实体的菇盖大、菌柄短,菇形较好,符合市场需求。

3 结论与讨论

3.1 冷刺激及高温是大球盖菇孢子萌发的重要条件

本研究发现,经过冷刺激的大球盖菇孢子,在 28 和 32 ℃ 温度条件下都形成了肉眼可见的菌落,但在 28 ℃ 时的孢子萌发率较高,萌发时间相对较短。由于孢子萌发是一系列生理生化过程,是在多种相关酶的作用下完成的,而酶的活性与温度有着密切的关系,所以孢子要在一定的温度范围下才能萌发。食用菌优良菌种选育、生理研究以及遗传研究,都需要经过纯种分离,孢子分离法是食用菌主要的菌种分离方法之一。因此,明确大球盖菇孢子萌发的适宜条件,对优良菌种的选育等至关重要。

3.2 温度是影响大球盖菇菌丝生长的关键因素

本研究结果显示,大球盖菇菌丝生长速率与培

养温度之间呈三次函数关系,表明大球盖菇菌丝生长对培养温度比较敏感,即微小的培养温度变化就会引起较大的生理效应,因此在大球盖菇菌丝体阶段要严格控制温度,特别是集约化栽培时,要加强循环风,使培养架上下温差缩小,以便达到生长整齐、分化一致,从而利于生产管理。本研究还发现,在 5~10 ℃ 培养温度范围内,菌丝生长缓慢,有利于菌种的保藏;从菌落长势来看,适宜的培养温度在20~30 ℃,此时气生菌丝旺盛、浓密、洁白。从菌丝生长速率与菌落长势可以看出,20~26 ℃ 最利于菌丝体培养,菌丝生长速率快,分枝较多,当培养温度>30 ℃ 时,培养基容易失水,影响菌丝的生长。

3.3 温度是影响大球盖菇产量及成菇数量的关键因素

本研究结果显示,大球盖菇单位面积产量、出菇数量均与菌床基质中心温度之间呈现三次函数关系,表明温度对产量的影响较为敏感,在生产过程中,应严格控制环境温度。据于萍等^[14]报道,大球盖菇中与降解培养料内纤维素、木质素等相关的酶主要有羧甲基纤维素酶、β-葡萄糖苷酶、半纤维素酶、漆酶;Schlosser 等^[15]、Yoo 等^[16]、许颖等^[17]报道,上述 4 种酶在高温条件下酶活较高,适当升高培养温度有利于提高纤维素、木质素降解酶的活性,有利于促进子实体生长。

3.4 温度是影响大球盖菇子实体形态的关键因素

菌床基质中心温度不同,大球盖菇子实体的菇盖直径、厚度以及菌柄长度、直径等差异较大;当温度为 16~17 ℃时,大球盖菇子实体的菇盖直径、厚度以及菌柄长度、直径较大;大球盖菇菇形指数最大时的温度为 17 ℃,此时大球盖菇子实体菇盖大,菌柄短,菇形较好,符合市场需求。

[参考文献]

[1] Kirk P M, Cannon P F, Stalpe J A. Dictionary of the fungi [M]. Tenth Edition. USA: CABI Publishing, 2008: 432-434.

[2] Carluccio A. The complete mushroom book [M]. Italy: Quadrille Publishing Ltd, 2010: 165-170.

[3] Bruhn · N J N, Abright · J D Mihail. Forest farming of wine-cap *Stropharia* mushrooms [J]. Agroforest Syst, 2010, 79: 267-275.

[4] 张 颖. 大球盖菇北方棚内反季栽培技术 [J]. 中国林副特产, 2014(6): 54-55.

Zhang Y. The cultivation of the *Stropharia rugoso-annulata* [J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2014(6): 54-55.

[5] 陶明煊, 王 峰, 王晓炜, 等. 大球盖菇多糖对小鼠心脏抗氧化作用研究 [J]. 食品科学, 2007(28): 529-531.

Tao M X, Wang F, Wang X W, et al. Study on antioxidant of *Stropharia rugoso-annulata* polysaccharide on mouse Heart [J]. Food Science, 2007(28): 529-531.

[6] 王 峰, 王晓炜, 陶明煊, 等. 大球盖菇多糖清除自由基活性和对 D-半乳糖氧化损伤小鼠的抗氧化作用 [J]. 食品科学, 2009, 30(5): 233-238.

Wang F, Wang X W, Tao M X, et al. Free radicals scavenging activity of *Stropharia rugoso-annulata* polysaccharides and their protective effects on D-galactose-induced oxidative damage of mice [J]. Food Science, 2009, 30(5): 233-238.

[7] Zhen S, Le J, Feng X, et al. Characteristics of Se-enriched mycelia by *Stropharia rugoso-annulata* and its antioxidant activities *in vivo* [J]. Boil Trace Elem Res, 2009(131): 81-89.

[8] Liu Y T, Sun J, Luo Z Y, et al. Chemical composition of five wild edible mushrooms collected from Southwest China and their antihyperglycemic and antioxidant activity [J]. Food and Chemical Toxicology, 2012, 50(5): 1238-1244.

[9] Steffen K T, Hatakka A. Removal and mineralization of polycyclic aromatic hydrocarbons by litter-decomposing basidiomycetous fungi [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2002, 60: 212-217.

[10] Scheibner K, Hofrichter M. Conversion of amino nitrotoluenes by fungal manganese peroxidase [J]. Journal of Basic Microbiology, 1998, 38(1): 51-59.

[11] 钟雪美, 杜双田, 王本成. 不同平菇菌株生产性能的综合评判研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 1990, 18(4): 63-68.

Zhong X M, Du S T, Wang B C. Production performance evaluation of different *Pleurotus ostreatus* species [J]. Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition), 1990, 18(4): 63-68.

[12] 王 风, 马碧艳. 北方大球盖菇高产栽培技术 [J]. 中国林副特产, 2014(1): 34.

Wang F, Ma B Y. The high yield cultivation of the north *Stropharia rugoso-annulata* [J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2014(1): 34.

[13] 周祖法, 闫 静, 王伟科. 不同培养料配方栽培大球盖菇试验 [J]. 浙江农业科学, 2013(2): 149-150.

Zhou Z F, Yan J, Wang W K. Cultivation of *Stropharia rugoso-annulata* with different formula [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2013(2): 149-150.

[14] 于 萍, 孙 萌, 傅常娥, 等. 大球盖菇栽培期间胞外酶活性变化研究 [J]. 中国食用菌, 2014(1): 48-50.

Yu P, Sun M, Fu C E, et al. Extracellular enzyme production by *Stropharia rugoso-annulata* farlow during cultivation on raw materials [J]. Edible Fungi of China, 2014(1): 48-50.

[15] Schlosser D, Hofer C. Laccase-catalyzed oxidation of Mn²⁺ in the presence of natural Mn³⁺ chelators as a novel source of extracellular H₂O₂ production and its impact on manganese peroxidase [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2002, 68(67): 3514-3521.

[16] Yoo K H, Chang H S. Studies on the cellulolytic enzymes produced by *Stropharia rugoso-annulata* in synthetic medium [J]. Han'guk Kyunhakhoechi, 1999, 27(2): 94-99.

[17] 许 颖, 兰 进. 真菌漆酶研究进展 [J]. 食用菌学报, 2005(1): 57-64.

Xu Y, Lan J. Advances of research on laccase from fungi [J]. Acta Edulis Fungi, 2005(1): 57-64.