

# 植物生长调节剂对灰树花 QY-01 菌丝生长的影响

李 珍<sup>1</sup>, 吕平会<sup>2</sup>, 杜双田<sup>1\*</sup>, 丁 建<sup>1</sup>, 鲁车龙<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:**以灰树花菌株 QY-01 为材料,在添加不同种类及浓度植物生长调节剂的培养基上培养,以灰树花的菌落直径为主要指标。研究植物生长调节剂对灰树花菌丝生长的影响规律,筛选促进灰树花菌丝生长的植物生长调节剂及其适宜使用浓度。结果表明,KT-30 和 6-BA 对白灵菇菌丝生长的促进作用强,芸苔素和赤霉素对其菌丝生长无作用,NAA、三十烷醇、DA-6 等的促进作用较弱;菌丝对 6-BA 非常敏感,对 NAA 表现较强耐受性,高浓度的 KT-30 和 6-BA 导致菌落形态改变;KT-30、6-BA、NAA、三十烷醇、鲜胺酯、IAA、低聚壳聚糖、四甲基戊二酸和复硝酚钠对菌落直径的提高比例分别为 57.9%、52.4%、11.7%、10.9%、10.2%、10.0%、8.5%、8.4%和 8.1%,最佳浓度分别为 4.9、10.0、5.0、0.1、3.7、3.6、7.5、6.5 mg/L 和 2.7 mg/L,对灰树花的液体发酵及液体菌种培养具有重要意义。

**关键词:**灰树花;植物生长调节剂;菌落直径

**中图分类号:**S763.15      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2016)02-0188-07

## Effect of Different Types of Plant Growth Regulators on the Hypha Growth of *Grifola frondosa*

LI Zhen<sup>1</sup>, LYU Ping-hui<sup>2</sup>, DU Shuang-tian<sup>1\*</sup>, DING Jian<sup>1</sup>, LU Che-long<sup>1</sup>

(1. College of Life Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** *Grifola frondosa* strain QY-01 was cultivated on the media supplemented with different types and concentrations of plant growth regulators to examine their effects on strain growth and to select optimal regulator and concentration by using colony diameter as index. The results showed that KT-30 and 6-BA had obvious promoting effect on the mycelium growth, while NAA, triacontanol, and DA-6 were weaker. Canola and GA<sub>3</sub> had no effect. The stain was very sensitive to 6-BA, and showed strong tolerance to NAA. High concentrations of KT-30 and triacontanol caused changes in the colony morphology. Compared with controls, the colony diameters of KT-30, 6-BA, NAA, Triacontanol, DA-6, IAA, Chitosan, Tetramethyl gluttaric aciduria and Sodium nitrophenolate treated sample significantly increased by 57.9%, 52.4%, 11.7%, 10.9%, 10.2%, 10%, 8.5%, 8.4% respectively, the corresponding optimal concentrations were 4.9, 10.0, 5.0, 0.1, 3.7, 3.6, 7.5, 6.5 mg/L and 2.7 mg/L, respectively. The result was of great significance to liquid fermentation and the strains cultivation of *G. frondosa*.

**Key words:** *Grifola frondosa*; plant growth regulator; colony diameter

灰树花(*Grifola frondosa*)又名贝叶多孔菌, 亚门(Basidiomycotina), 层菌纲(Hymenomycetes), 千佛菌、栗蘑、莲花菌、日本称为“舞茸”, 隶属担子菌 非褶菌目(Aphyllphorales), 多孔菌科(Ployproace-

收稿日期:2015-05-06 修回日期:2015-06-01

基金项目:“十二五”科技支撑项目“西北地区板栗高效生产关键技术研究示范”(2013BAD14B0404);国家林业局重点推广课题“板栗新品种栽培技术集成与示范推广”[2014] 44 号。

作者简介:李 珍,女,在读硕士,研究方向:微生物资源开发与利用。E-mail:lizhennew2008@163.com

\*通信作者:杜双田,男,副教授,研究方向:食用与药用真菌。E-mail:dst6107@126.com

ae),树花属(*Grigola*)真菌<sup>[1]</sup>。其子实体外观形似菊,气味清香,肉质脆嫩可口。野生的灰树花多发生于夏秋间的栗树根部周围及栎、栲等阔叶树的树干及木桩周围<sup>[2]</sup>。我国人工林和观光果林面临着病虫害加剧、生产力低下、开发深度不够、模式单一、生态效益及经济效益低等问题<sup>[3-4]</sup>。林下覆土栽培是目前国内灰树花的主栽方式之一,而实现灰树花与人工林更大规模的菌林互作是解决上述一系列问题的主要途径之一。

灰树花子实体营养丰富,蛋白质、脂肪、碳水化合物、粗纤维和灰分含量分别为 31.5%、1.7%、49.69%、10.7%、6.41%,且富含 18 种氨基酸、维生素、矿物质及多种生物活性物质<sup>[5-6]</sup>,是近年来我国和日本正在推广的一种珍贵食药两用真菌。大量药理分析与临床实验证实,灰树花多糖具有改善免疫系统作用,调节血糖、血压、血脂代谢及抗肿瘤、抗病毒、抑制 HIV 和抗肝炎等功能<sup>[7-13]</sup>。

植物生长调节剂因其用量小、速度快、效益高、残毒少在花卉、作物和果树上都有广泛的应用,例 GA<sub>3</sub>、6-BA 可影响葡萄果实的发育和着色,KT-30 可促进苹果幼树发枝等<sup>[14-15]</sup>,不同种类的植物生长调节剂作用不同,其中,生长素类可促进插枝生根,延缓或促进器管脱落,控制雌雄性别;赤霉素类可促进发芽及茎叶生长,促进单性结实和坐果;细胞分裂素类可促进细胞分裂和扩大,诱导花芽分化,延缓叶片衰老等<sup>[16]</sup>。植物生长调节剂在猴头菇、双孢蘑菇、侧耳、平菇及斑玉蕈菌等菌类上也有相关的研究报道<sup>[17-22]</sup>,关于植物生长调节剂对灰树花菌丝生长的影响研究尚未见报道,本文系统地研究了 11 种植物生长调节剂对灰树花菌丝生长的影响规律,以期作为灰树花的液体培养提供依据。

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 QY-01。

1.1.2 培养基 马铃薯 200.0 g/L,葡萄糖 10.0g/L,蔗糖 10.0 g/L,蛋白胨 2.0 g/L,KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 1.0 g/L,MgSO<sub>4</sub> 0.5 g/L,琼脂粉 12.0 g/L,蒸馏水 1 000 mL(pH7.0)。

1.2 方法

试验因素及水平:6-苄氨基嘌呤(6-BA)、激动素(KT-30)、萘乙酸(NAA)、低聚壳聚糖、芸苔素、胺鲜酯(DA-6)、复硝酚钠、赤霉素(GA<sub>3</sub>)、四甲基戊二酸、吲哚乙酸(IAA)的试验水平分别为 2.0、4.0、

6.0、8.0 mg/L 和 10.0 mg/L,三十烷醇的试验水平为 0.1、0.5、1.0、2.0、4.0、6.0、8.0 mg/L 和 10.0 mg/L,以不添加植物生长调节剂的培养基为对照,每个处理重复 4 次。

方法:试验均采用直径 90 mm 的培养皿,培养基用量 20 mL/皿,每个平板中心接种直径 5 mm、菌龄一致、厚度一致的灰树花菌饼 1 块。培养温度(24±1)℃,空气相对湿度 70%~85%,每隔 2 d 标记 1 次菌落直径,共培养 12 d。

1.3 数据处理

试验均采用单因素方法实施,采用 DPS(Version 7.05)对数据进行单因素方差分析,并对拟合的函数方程进行显著性检验,Excel 2007 作图。

2 结果与分析

2.1 6-BA 对灰树花菌丝生长的影响

经计算,灰树花菌落直径(Y<sub>1</sub>)与 6-BA 浓度(X<sub>1</sub>)之间的函数关系为:

$$Y_1 = 52.244 + 7.147\ 9X_1 - 0.878\ 6X_1^2 + 0.042\ 7X_1^3$$
 (1)

方差分析得:  $F_{\text{回归}} = 22.265\ 4 > F_{0.05(2,2)} = 19.0, p = 0.043\ 3 < 0.05, R^2 = 0.970\ 9$ ,表明方程(1)达到显著水平,该模型与实测值拟合较好。

求极值得:

$X_{1\text{max}} = 10.0\ \text{mg/L}$

$Y_{1\text{max}} = 78.6\ \text{mm}$

即当 6-BA 浓度为 10 mg/L 时,灰树花菌落直径最大为 78.6 mm。

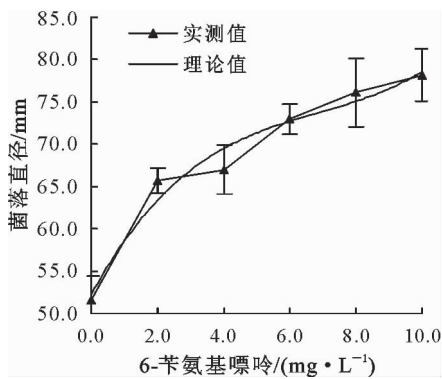


图 1 6-BA 对灰树花菌落直径的影响

Fig. 1 Effect of 6-BA on the colony diameter of *Grifola frondosa*

由图 1 可知,灰树花菌落直径随 6-BA 浓度的增加而快速增大,在试验范围内,菌落直径呈持续增长趋势,表明试验水平取值较低。为了获得 6-BA 的最适添加浓度,尚需进一步扩大试验范围。

经计算,灰树花菌落直径与 6-BA 浓度之间呈三次函数关系,表明灰树花菌丝生长对 6-BA 浓度

的变化比较敏感,6-BA 浓度微小的变化,对灰树花菌丝的生长会产生较大的效应。当 6-BA 浓度为 2.0 mg/L 时,灰树花菌落直径比对照提高 27.5%,6-BA 浓度为 10.0 mg/L 时,菌落直径比对照提高 51.6%,表明适当添加 6-BA 是提高灰树花菌丝生长的有效途径。

2.2 KT-30 对灰树花菌丝生长的影响

经计算,灰树花菌落直径( $Y_2$ )与 KT-30 浓度( $X_2$ )之间的函数关系为:

$$Y_2=50.466+12.896X_2-1.344\ 4X_2^2\quad (2)$$

方差分析得: $F_{\text{回归}}=20.164\ 6>F_{0.05(2,2)}=19.0,p=0.018\ 2<0.05,R^2=0.930\ 8$ ,表明方程(2)达到显著水平,该模型与实测值拟合情况较好。

经计算:

$X_{2\text{max}}=4.9\text{ mg/L}$

$Y_{2\text{max}}=81.4\text{ mm}$

即当 KT-30 浓度为 4.9 mg/L 时,灰树花菌落直径最大为 81.4 mm。

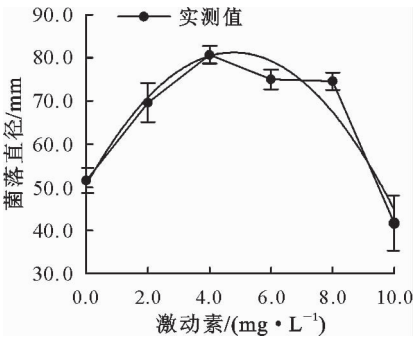


图2 激动素对灰树花菌落直径的影响

Fig. 2 Effect of KT-30 on the colony diameter of *G. frondosa*

由计算及图 2 可知,灰树花菌落直径与 KT-30 浓度之间呈二次函数关系,在试验范围内,灰树花菌落直径随 KT-30 浓度的增大呈先增加后下降的趋势,表明适当地添加 KT-30 对灰树花菌丝生长具有明显的促进作用,过量添加对灰树花的菌丝生长具有一定的抑制作用。当 KT-30 的添加浓度 $\geq 8.0$  mg/L 时,菌落直径显著减小,同时菌落形态也发生了明显的变化,由低浓度时的浓密绒毛状变为紧贴培养基生长的稀疏状菌落。当 KT-30 浓度为 4.9 mg/L 时,菌落直径达到最大值,比对照提高了 57.4%,表明适当添加 KT-30 是提高灰树花菌丝生长的有效途径。

2.3 NAA 对灰树花菌丝生长的影响

经计算,灰树花菌落直径( $Y_3$ )与 NAA 浓度( $X_3$ )之间的数学模型为:

$$Y_3=\frac{57.594}{1+e^{(-2.2276-1.4509X_3)}}\quad (3)$$

方差分析得: $F_{\text{回归}}=117.199\ 5>F_{0.05(2,2)}=19.0,p=0.008\ 5<0.05,R^2=0.991\ 5$ ,表明方程(3)达显著水平,该模型与实测值拟合情况较好。

求极值得:

$X_{3\text{max}}=5.0\text{ mg/L}$

$Y_{3\text{max}}=57.6\text{ mm}$

即当 NAA 浓度 $\geq 5.0$  mg/L 时,灰树花菌落直径最大为 57.6 mm。

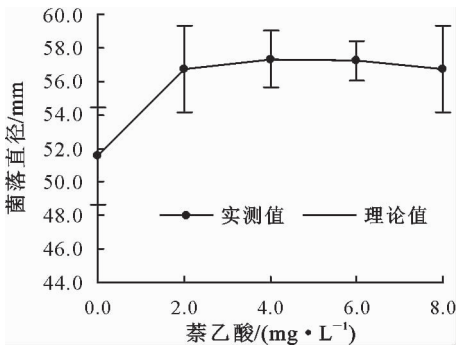


图3 萘乙酸对灰树花菌落直径的影响

Fig. 3 Effect of NAA on the colony diameter of *G. frondosa*

由计算结果及图 3 可知,灰树花菌落直径与 NAA 浓度之间呈 logistic 函数关系,NAA 浓度在 0~2.0 mg/L 范围内时,随着浓度的增加,菌落直径迅速增大,在 2.0~4.0 mg/L 时,菌落直径曲线增大趋势变缓,在 5.0 mg/L 时达到最大值,比对照提高了 11.7%,在 5.0~8.0 mg/L 时,曲线趋于平缓,表明低浓度的 NAA 对灰树花菌丝生长具有显著的促进作用,灰树花对高浓度 NAA 具有较强的耐受力。

2.4 低聚壳聚糖对灰树花菌丝生长的影响

经计算灰树花菌落直径( $Y_4$ )与低聚壳聚糖浓度( $X_4$ )之间的函数关系为:

$$Y_4=51.900+1.031\ 0X_4-0.065\ 7X_4^2\quad (4)$$

方差分析得: $F_{\text{回归}}=16.316\ 2>F_{0.05(2,2)}=9.55,p=0.024\ 4<0.05,R^2=0.915\ 8$ ,表明方程(4)达显著水平,该模型与实测值拟合情况较好。

求极值得:

$X_{4\text{max}}=7.5\text{ mg/L}$

$Y_{4\text{max}}=55.9\text{ mm}$

即当低聚壳聚糖浓度为 7.5 mg/L 时,灰树花菌落直径最大为 55.9 mm。

由上述计算结果及图 4 可知:随低聚壳聚糖浓度的增加,灰树花菌落直径缓慢增大,在聚壳聚糖浓度为 7.5 mg/L 时灰树花菌落达到最大值,比对照提高了 8.5%,在 7.5~10.0 mg/L 内,菌落直径开始缓慢下降,在 10.0 mg/L 时,菌落直径仍明显大于对照。

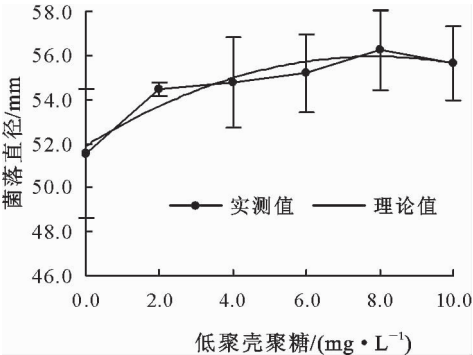


图 4 低聚壳聚糖对灰树花菌落直径的影响

Fig. 4 Effect of chitooligosaccharides on the colony diameter of *G. frondosa*

2.5 三十烷醇对灰树花菌丝生长的影响

图 5 表明,当三十烷醇浓度为 0~0.1 mg/L 时,随浓度的增大,灰树花菌落直径迅速增大,在三十烷醇浓度为 0.1 mg/L 时,菌落直径达到最大值,之后随着三十烷醇浓度的增大,菌落直径迅速减小,当三十烷醇浓度>0.5 mg/L 时菌落直径曲线趋于平稳。可见,低浓度的三十烷醇对灰树菌丝生长的促进作用非常明显,高浓度的使用效果较差,但也无明显抑制作用。

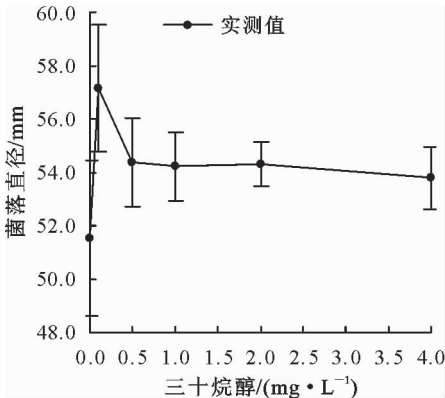


图 5 三十烷醇对灰树花菌落直径的影响

Fig. 5 Effect of triacontanol on the colony diameter of *G. frondosa*

2.6 芸苔素对灰树花菌丝生长的影响

经计算得灰树花菌落直径( $Y_6$ )芸苔素浓度( $X_6$ )之间的数学模型:

$$Y_6 = 56.576 + 1.726\ 2X_6 - 0.402\ 7X_6^2 + 0.021X_6^3 \quad (6)$$

方差分析得: $F_{\text{回归}} = 17.669\ 3 < F_{0.05(2,2)} = 19.0, p = 0.054\ 0 > 0.05, R^2 = 0.963\ 9$ ,表明方程(6)不显著。

但从图 6 可知,随着芸苔素使用浓度的增大,对灰树花菌落直径有一定的影响效应,有待于进一步研究。

2.7 胺鲜酯对灰树花菌落生长的影响

经计算灰树花菌落直径( $Y_7$ )与胺鲜酯浓度

( $X_7$ )之间的函数关系为:

$$Y_7 = 56.498 + 3.110\ 9X_7 - 0.423\ 6X_7^2 \quad (7)$$

方差分析得: $F_{\text{回归}} = 811.972\ 2 > F_{0.05(2,2)} = 19.0, p = 0.012 < 0.05, R^2 = 0.998\ 8$ ,表明方程(7)达显著水平,该模型与实测值拟合情况较好。

求极值得:

$$X_{7\text{max}} = 3.7\ \text{mg/L}$$

$$Y_{7\text{max}} = 62.2\ \text{mm}$$

即当胺鲜酯浓度为 3.7 mg/L 时,灰树花菌落直径达最大为 62.2 mm。

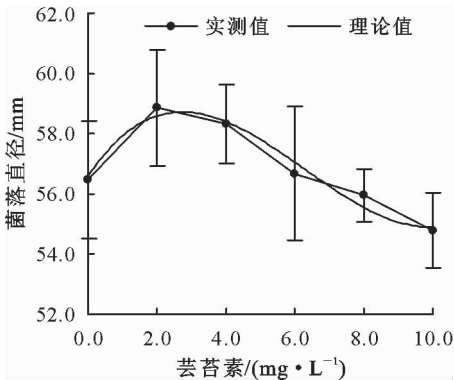


图 6 芸苔素对灰树花菌落直径的影响

Fig. 6 Effect of brassinolide on the colony diameter of *G. frondosa*

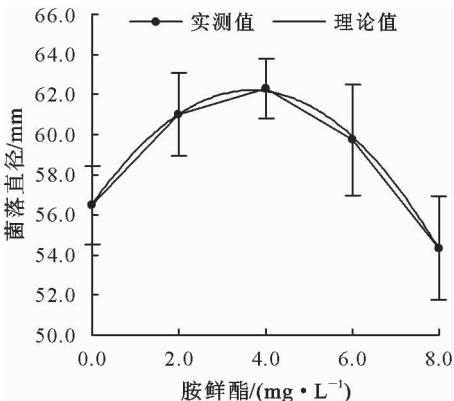


图 7 胺鲜酯对灰树花菌落直径的影响

Fig. 7 Effect of DA-6 on the colony diameter of *G. frondosa*

由计算及图 7 可知,灰树花菌落直径与胺鲜酯浓度之间呈二次函数关系。随着胺鲜酯添加浓度的增加,灰树花直径曲线呈先迅速上升后缓慢降低的规律,在浓度为 3.7 mg/L 处,菌落直径达最大值 62.2 mm,此时高于对照菌落直径 10.1%。

2.8 复硝酚钠对灰树花菌落生长的影响

经计算灰树花菌落直径( $Y_8$ )与复硝酚钠浓度( $X_8$ )之间的函数关系为:

$$Y_8 = 57.936 + 2.299\ 4X_8 - 0.422\ 4X_8^2 \quad (8)$$

方差分析得: $F_{\text{回归}} = 15.414\ 6 > F_{0.05(2,3)} = 9.55, p = 0.026\ 4 < 0.05, R^2 = 0.911\ 3$ ,方程(8)达

显著水平。

计算得：

$$X_{8\max}=2.7\text{ mg/L}$$

$$Y_{8\max}=61.1\text{ mm}$$

即当复硝酚钠浓度为 2.7 mg/L 时,灰树花菌落直径达最大为 61.1 mm。

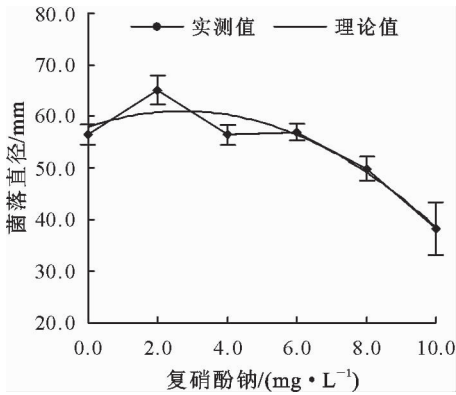


图 8 复硝酚钠对灰树花菌落直径的影响

Fig. 8 Effect of compound sodium nitrophenolate on the colony diameter of *G. frondosa*

由上述计算结果及图 8 可知,研究变量间依然呈二次函数关系,菌落直径随复硝酚钠浓度的增大呈先迅速增大后逐渐减小的规律;在浓度为 2.7 mg/L 处,菌落直径达最大值 61.1 mm,此时高于对照菌落直径 8.2%。

2.9 赤霉素对灰树花菌丝生长的影响

经计算灰树花菌落直径( $Y_9$ )与赤霉素浓度( $X_9$ )之间的函数关系为：

$$Y_9=56.286+0.275\ 5X_9\tag{9}$$

$F_{\text{回归}}=39.37, p=0.003\ 3<0.05, R^2=0.904\ 7$ ,方程(9)达显著水平。

由计算知,灰树花菌落直径与赤霉素浓度之间呈线性函数关系,由于其直线斜率仅为 0.275 5,菌落直径的图形相对平缓,在试验范围内,当赤霉素浓度为 10 mg/L 时,菌落直径比对照提高了 4.0%。从图 9 可知,进一步增大赤霉素的添加浓度,对提高灰树花菌丝生长速率仍有一定的潜力,有待进一步研究。

2.10 四甲基戊二酸对灰树花菌丝生长的影响

经计算得灰树花菌落直径( $Y_{10}$ )与四甲基戊二酸浓度( $X_{10}$ )之间的函数关系：

$$Y_{10}=56.838+1.381\ 4X_{10}-0.108\ 1X_{10}^2\tag{10}$$

方差分析得： $F_{\text{回归}}=10.099\ 9>F_{0.05(2,3)}=9.55, p=0.046\ 5<0.05, R^2=0.870\ 7$ ,表明方程(10)达显著水平,该模型与实测值拟合情况较好。

求极值得：

$$X_{10\max}=6.5\text{ mg/L}$$

$$Y_{10\max}=61.2\text{ mm}$$

即当四甲基戊二酸浓度为 6.5 mg/L 时,灰树花菌落直径达最大为 61.2 mm。

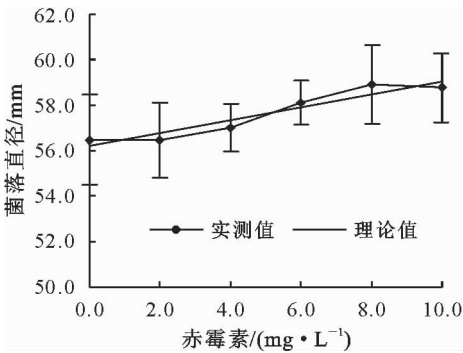


图 9 赤霉素对灰树花菌落直径的影响

Fig. 9 Effect of gibberellin on the colony diameter of *G. frondosa*

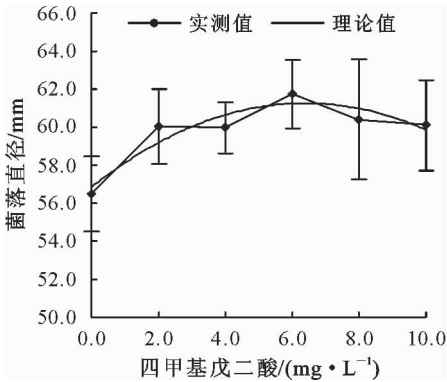


图 10 四甲基戊二酸对灰树花菌落直径的影响

Fig. 10 Effect of tetramethyl glutaric aciduria on the colony diameter of *G. frondosa*

由计算及图 10 可知,随四甲基戊二酸添加浓度的增大,对灰树花菌丝生长的作用逐渐增大,当四甲基戊二酸浓度为 6.5 mg/L 时灰树花菌落直径达到最大值,比对照菌落直径提高 8.4%,可见四甲基戊二酸对灰树花菌丝生长的促进作用较弱,而过量的添加则会起抑制作用。

2.11 IAA 对灰树花菌丝生长的影响

经计算得灰树花菌落直径( $Y_{11}$ )与 IAA( $X_{11}$ )之间的函数关系：

$$Y_{11}=56.665+2.999\ 7X_{11}-0.411\ 5X_{11}^2\tag{11}$$

经方差分析： $F_{\text{回归}}=26.746\ 4>F_{0.05(2,2)}=19.0, p=0.036\ 0<0.05, R^2=0.963\ 9$ ,表明方程(11)达显著水平,该模型与实测值拟合良好。

求极值得：

$$X_{11\max}=3.6\text{ mg/L}$$

$$Y_{11\max}=62.1\text{ mm}$$

即当 IAA 浓度为 3.6 mg/L 时,灰树花菌落直径达最大为 62.1 mm。

由计算及图 11 可见,菌落直径随 IAA 浓度的



增大呈先增大后减小的趋势,在 IAA 添加浓度为 3.6 mg/L,灰树花菌落直径达到最大值,此时的菌落直径高于对照 10.0 %,在 IAA 添加浓度>7.2 mg/L 时,灰树花菌落直径开始低于对照,IAA 对灰树花菌丝生长具有双重作用规律。

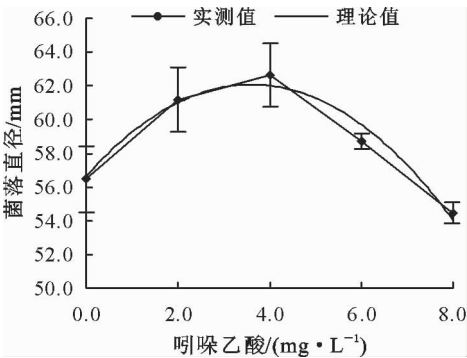


图 11 吲哚乙酸对灰树花菌落直径的影响

Fig. 11 Effect of IAA on the colony diameter of *G. frondosa*

2.12 不同植物生长调节剂对灰树花菌落直径影响的差异性分析

表 1 表明,低聚壳聚糖、NAA、四甲基戊二酸和

胺鲜酯各水平处理间灰树花菌落直径差异不显著,但与对照之间的差异显著,表明低浓度的添加这 4 种物质对灰树花菌丝生长就能起到显著促进作用不必添加较高的浓度。

对 KT-30 及复硝酚钠而言,除个别处理外,各水平处理间灰树花的菌落直径差异显著,表明提高其添加浓度对灰树花菌丝生长有显著的影响,同时也可以看出,二者的最佳添加浓度分别为 4.0 mg/L 和 2.0 mg/L。

针对 6-BA,随着各水平处理浓度的增加,灰树花菌落直径也相应增加,在其浓度为 2.0 mg/L 时,菌落直径已极显著高于对照组,在 6-BA 添加浓度为 4.0 mg/L 时,虽与 6-BA 浓度 2.0 mg/L 处理之间差异不显著,单菌落曲线仍为上升趋势,之后随着 6-BA 添加浓度的增大,灰树花菌落直径间差异显著。

对于 IAA,添加水平为 2.0 mg/L 和 4.0 mg/L 处理间无显著差异,但菌落直径显著高于对照。

表 1 不同植物生长调节剂对灰树花菌落直径影响的差异性分析

浓度 (mg· L <sup>-1</sup> )	6-BA		KT-30		NAA		低聚壳聚糖		胺鲜酯 DA-6		复硝酚钠		四甲基戊二酸		IAA	
	<i>F</i> <sub>0.05</sub> <i>F</i> <sub>0.01</sub>		<i>F</i> <sub>0.05</sub> <i>F</i> <sub>0.01</sub>		<i>F</i> <sub>0.05</sub> <i>F</i> <sub>0.01</sub>		<i>F</i> <sub>0.05</sub> <i>F</i> <sub>0.01</sub>		<i>F</i> <sub>0.05</sub> <i>F</i> <sub>0.01</sub>		<i>F</i> <sub>0.05</sub> <i>F</i> <sub>0.01</sub>		<i>F</i> <sub>0.05</sub> <i>F</i> <sub>0.01</sub>		<i>F</i> <sub>0.05</sub> <i>F</i> <sub>0.01</sub>	
	<i>F</i> <sub>0.05</sub>	<i>F</i> <sub>0.01</sub>	<i>F</i> <sub>0.05</sub>	<i>F</i> <sub>0.01</sub>	<i>F</i> <sub>0.05</sub>	<i>F</i> <sub>0.01</sub>	<i>F</i> <sub>0.05</sub>	<i>F</i> <sub>0.01</sub>	<i>F</i> <sub>0.05</sub>	<i>F</i> <sub>0.01</sub>	<i>F</i> <sub>0.05</sub>	<i>F</i> <sub>0.01</sub>	<i>F</i> <sub>0.05</sub>	<i>F</i> <sub>0.01</sub>	<i>F</i> <sub>0.05</sub>	<i>F</i> <sub>0.01</sub>
0	d	D	d	C	b	B	b	B	b	B	b	B	bd	B	bc	CD
2.0	c	C	c	B	a	A	a	A	a	A	a	A	ab	AB	a	AB
4.0	c	C	a	A	a	A	a	AB	a	A	b	B	abc	AB	a	A
6.0	b	B	b	B	a	A	a	A	a	A	b	B	a	A	b	BC
8.0	ab	AB	b	B	a	A	a	A	b	B	c	C	a	AB	c	D
10.0	a	A	e	D	—	—	a	A	—	—	d	D	a	AB	—	—

注:差异显著用小写字母表示,差异极显著用大写字母表示。

3 结论与讨论

不同植物生长调节剂对灰树花菌丝生长的作用规律不同。KT-30、低聚壳聚糖、四甲基戊二酸、IAA、胺鲜酯和复硝酚钠 6 种植物生长调节剂,对灰树花菌丝生长均表现出双重作用规律,即适量的添加对灰树花菌丝生长具有明显的促进作用,过量添加对灰树花的菌丝生长具有一定的抑制作用;KT-30 和三十烷醇的过量添加,在导致灰树花菌落直径显著减小的同时,也可使菌落形态发生明显的变化。

不同植物生长调节剂对灰树花菌丝生长的作用效果不同。在供试的 11 种植物生长调节剂中,KT-30 对灰树花菌丝生长的促进作用最强,6-BA 次之,侯勇认为 KT-30 是一种脲型细胞分裂素,其活性远高于嘌呤类植物生长调节剂,可诱导细胞分裂和促进细胞生长<sup>[23]</sup>。NAA、三十烷醇、鲜胺酯、IAA、低聚壳聚糖、四甲基戊二酸和复硝酚钠对灰树花菌丝

生长有一定的促进作用,但其作用较弱。试验结果表明,上述 7 种物质可使灰树花的菌落直径依次提高 11.7%、10.9%、10.2%、10.0%、8.5%、8.4%和 8.1%,而对应最佳浓度分别为 5.0、0.1、3.7、3.6、7.5、6.5 mg/L 和 2.7 mg/L,其中,三十烷醇是一种天然高效无毒的植物生长调节剂,低浓度下就可表现出较强生理活性;复硝酚钠是一种相对高效的复合植物生长调节剂,其对灰树花的作用可能是多种成分共同作用的结果;而对于其他植物生长调节剂的作用机理,植物上,多认为是外源植物生长调节剂通过与内源激素相互作用影响细胞的代谢、运输和应答反应(例如 IAA<sup>[24-25]</sup>),或者影响 SOD、PPO、POD 等相关酶的活性(例如 DA-6),或通过信号转导(例如低聚壳聚糖<sup>[26]</sup>)等途径起作用。GA<sub>3</sub> 和芸苔素对灰树花菌丝生长无显著作用。但赵俊霞的研究表明适宜浓度芸苔素可使平菇菌落直径比对照高 31.2%,认为芸苔素能够加快平菇菌丝的新陈代谢

速度,提高菌丝分解吸收营养物质的能力<sup>[20]</sup>。植物上,认为 GA<sub>3</sub> 可通过降低细胞壁中的 Ca<sup>2+</sup> 而改变细胞壁伸展性,进而加快细胞生长<sup>[27]</sup>。

合理使用植物生长调节剂是提高灰树花菌丝生长速率的重要途径。KT-30 和 6-BA 的使用,可使灰树花菌落直径分别提高 57.9%和 52.4%;除赤霉素和芸苔素外的其他植物生长调节剂的使用可使灰树花菌落直径提高 8%~10%。可见,植物生长调节剂可有效地缩短培养时间提高生产效率,降低生产成本,对灰树花的液体发酵及液体菌种培养具有重要的实际意义。

关于植物生长调节剂对灰树花子实体的作用,还有待进一步的研究。

参考文献:

[1] 赵继鼎. 中国真菌志(第三卷:多孔菌科)[M]. 北京:科学出版社,1998:176-177.

[2] 隗永青,曹均,曹庆昌. 北京郊区板栗林下栗蘑栽培技术及效益分析[J]. 中国食用菌,2010,29(2):21-23,53.

[3] 彭舜磊,王得祥,赵辉,等. 我国人工林现状与近自然经营途径探讨[J]. 西北林学院学报,2008,23(2):184-188.

PENG S L, WANG D X, ZHAO H, *et al.* Discussion the status quality of plantation and near nature forestry management in China[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23 (2):184-188. (in Chinese)

[4] 卿平勇,弓弼,赵政阳. 我国观光果园的发展现状、存在问题与对策[J]. 西北林学院学报,2006,21(2):188-192.

QING P Y, GONG B, ZHAO Z Y. Situations and problems as well as strategies for sightseeing orchard in China[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(2):188-192.

[5] 裘娟萍,孙培龙. 灰树花高产栽培及营养分析[J]. 中国食用菌, 1998,17(3):31-33.

[6] TSAI S Y, WENG C C, HUANG S J, *et al.* Nonvolatile taste components of *Grifola frondosa*, *Morchella esculenta* and *Termitomyces albuminosus* mycelia[J]. Food Science and Technology, 2006, 39(10):1066-1071.

[7] 邢增涛,周昌艳,潘迎捷,等. 灰树花多糖研究进展[J]. 食用菌学报,1999,6(3):54-58.

[8] 项哨,朱圣禾,朱永平,等. 灰树花多糖在小鼠体内抗病毒作用的研究[J]. 浙江医科大学学报,1995,24(5):203.

[9] NANBA H, KODAMA N, SCHAR D, *et al.* Effects of maitake (*Grifola frondosa*) glucan in HIV-infected patients[J]. Myco-science, 2000, 41:293-295.

[10] YAO W T, KUAN Y C, WANG J L, *et al.* Characterization of a novel maitake (*Grifola frondosa*) protein that activates natural killer and dendritic cells and enhances antitumor immunity in mice[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61:9828-9838.

[11] KUBO K, AOKI H, NANBA H. Anti-diabetic activity present in the fruit body of *Grifola frondosa* (Maitake)[J]. Biological and Pharmaceutical Bulletin, 1994, 17(8):1106-1110.

[12] CAO X H, YANG Q W, LU M F, *et al.* Preparation and anti-coagulation activity of a chemically sulfated polysaccharide

(S-GFB) obtained from *Grifola frondosa*[J]. Journal of Food Biochemistry, 2010, 34(3):1049-1060.

[13] 陈琛,苏珂,陈贵堂,等. 灰树花中铁的存在形态分析[J]. 食品科学,2013,34(22):1-6.

CHEN C, SHU K, CHEN G T, *et al.* Speciation of iron in *Grifola frondosa*[J]. Food Science, 2013, 34(22):1-6.

[14] 孟云,马少锋,邵建柱,等. 不同时期涂抹 KT-30 乳液对苹果幼树发枝的影响[J]. 北方园艺,2012,3(12):9-12.

[15] 蒋爱丽,李世诚,扬天仪,等. GA<sub>3</sub> 和 KT<sub>30</sub> 对早熟无核葡萄浆果生长的影响[J]. 上海交通大学学报:农业科学版,2004,22 (3):261-265.

[16] 霍珊珊,惠竹梅,马立娜,等. 植物生长调节剂对赤霞珠葡萄果实品质的影响[J]. 西北农林科技大学:自然科学版,2012,40 (1):183-189.

HUO S S, HUI Z M, MA L N, *et al.* Effect of plant growth regular on the quality of *Cabernet sauvignon* grape[J]. Journal of Northwest A&F University: Nat. Sci. Edi. , 2012, 40 (1):183-189. (in Chinese)

[17] 冯志学,刘喜文,卢耀环. 赤霉素和 2,4-D 对猴头菇的效应及其机制研究[J]. 食用菌学报,1998,5(3):42-47.

[18] 李晶,林先贵,王一鸣,等. 复硝酚钠在双孢蘑菇栽培中的应用研究[J]. 食用菌,2011(2):24-25.

[19] 蔡敬民,钟洁,于宙,等. 三十烷醇对侧耳菌丝体生长的调节作用[J]. 安徽农业科学,1994,22(4):375-377.

[20] 赵俊霞. 天然芸苔素对平菇生长及蛋白质含量的影响[J]. 河北农业科学,2001,5(4):1-5.

[21] 吴秀珍,王秋珍,杜双田. 无机盐、维生素及生长调节剂对斑玉蕈菌丝生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2012,40(2):158-162.

WU X Z, WANG Q L, DU S T. Effect of several different in-organic salts, vitamins and plant hormones on the mycelial growth of *Hypsizygus marmoreus* (peck) Bigelow[J]. Journal of Northwest A&F University: Nat. Sci. Edi. , 2012, 40 (2):158-162. (in Chinese)

[22] 张占甲,陈坤明,李仲芳,等. 植物激素与营养液施肥对平菇产量和品质的影响[J]. 西北植物学报,1994,14(6):40-45.

[23] 侯勇,马国瑞. CPPU 研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 1999,5(2):106-114.

[24] 鄂志国,王磊. 水稻中生长素作用的分子机理研究进展[J]. 核农学报,2011,25(4):0730-0735.

E Z G, WANG L. Advances on molecular mechanism of auxin in rice[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2011, 25 (4):0730-0735.

[25] SANKNER A, ESTELLE M. Recent advances and emerging trends in plant hormone signalling [J]. Nature, 2009, 459 (7250):1071-1078.

[26] 林强,张元,崔玉梅. 低聚壳聚糖植物生长调节剂对黄芪生长及次生代谢产物的影响[J]. 安徽农业科学,2010,38(9):4534-4535.

[27] 彭映辉,曾冬琴,陈飞飞,等. 赤霉素及多效唑对 3 种草本花卉花期与株高的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2007,27(4):100-103.

PENG Y H, ZENG D Q, CHEN F F, *et al.* Effects of spraying with GA<sub>3</sub> or paclobutrazol on the flowering and body height of three herbal flower species[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2007, 27(4):100-103. (in Chinese)