

# 微量元素对生防木霉菌 T23 生长量及三种酶活性的影响

唐琳, 高增贵, 庄敬华, 薛春生

(沈阳农业大学 植物保护学院 农业部北方农作物病害免疫重点开放实验室, 辽宁 沈阳 110161)

**摘要:** 用常规试验方法研究 7 种微量元素  $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mo}^{6+}$  对木霉菌 T23 生长量以及  $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶、纤维素酶和几丁质酶的影响。结果表明:  $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$  对木霉菌 T23 菌丝生长和产孢量均有促进作用;  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mo}^{6+}$  对木霉菌 T23 产生  $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶有激活作用, 但  $\text{Mg}^{2+}$  对其产生  $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶有明显的抑制作用; 同时还发现  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$  对木霉菌 T23 产纤维素酶有促进作用, 其他微量元素对木霉菌 T23 产生纤维素酶有抑制作用;  $\text{Zn}^{2+}$  对其产生几丁质酶均有明显的促进作用,  $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  抑制其产生几丁质酶。由此可见, 微量元素通过促进木霉菌 T23 的生长、产孢及提高  $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶和几丁质酶的活性, 从而提高其生防效果。

**关键词:** 生防木霉菌 T23; 微量元素;  $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶; 纤维素酶; 几丁质酶

**中图分类号:** Q 946.91<sup>+</sup>1; Q 949.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2008)04-0234-03

木霉菌 (*Trichoderma*) 属于半知菌亚门、丝孢纲、丝孢目、粘孢菌类, 是一类自然界中普遍存在的真菌<sup>[1]</sup>。木霉菌的作用机制几乎包括了所有生防机制, 如抗生素的杀菌作用, 重寄生作用, 溶菌作用, 诱导抗病性和竞争作用<sup>[2]</sup>。同时木霉菌是  $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶、几丁质酶、纤维素酶的优良产生菌。 $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶可以催化  $\beta$ -1, 3-葡聚糖的水解反应, 而很多植物的病原真菌细胞壁的主要成份都是  $\beta$ -1, 3-葡聚糖和几丁质, 所以该酶的水解活性能够抑制真菌的生长与增殖。另外, 在许多植病生防现象中都发现有几丁质酶的作用过程, 如自溶现象以及重寄生现象等<sup>[3]</sup>。因此  $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶和几丁质酶在木霉菌重寄生过程中起着重要作用, 是重寄生能力的重要标志之一。

该试验获得一株生防效果较好的木霉菌菌株 T23, 其不产生抗生素类物质, 而是通过快速繁殖与病菌竞争营养和生存空间或重寄生作用达到抑菌效果<sup>[4]</sup>。经在含有微量元素的培养基中培养后, 木霉菌 T23 的各项生理生化指标及生长量均发生了变化, 生防效果均有不同程度的提高和降低, 现从菌丝湿重、产孢量、 $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶、纤维素酶、几丁质酶等几方面阐述微量元素对木

霉菌 T23 的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料及培养

木霉菌 T23 由沈阳农业大学北方农作物重点开放实验室保存。

菌株发酵采用改良的组合培养基 ( $\text{NaNO}_3$  2.00 g、 $\text{KCl}$  0.50 g、 $\text{K}_2\text{HPO}_4$  1.00 g、蔗糖 30.0 g、蒸馏水 1 000 mL), 分别加入 4、8、12、16 mg/L 4 个浓度梯度的  $\text{MgSO}_4$ 、 $\text{CuSO}_4$ 、 $\text{ZnSO}_4$ 、 $\text{FeSO}_4$ 、 $\text{MnSO}_4$ 、 $(\text{NH}_4)_6\text{MgO}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 。将培养液装入 250 mL 的三角瓶中, 装液量为 100 mL, 每个浓度设 3 次重复。接种的孢子悬浮液浓度为  $1 \times 10^8$  个/mL, 接种量为 1 mL。于 26 °C, 100 rpm 振荡培养 7 d。

### 1.2 菌丝湿重及产孢量调查

将培养 7 d 的木霉菌 T23 发酵液抽滤, 滤出菌丝。菌丝用无菌水洗涤 3 ~ 4 次, 滤纸吸干, 称量菌丝湿重。采用血球计数板计数法计量发酵液中的孢子量<sup>[5]</sup>。

### 1.3 木霉发酵液中酶活性测定

酶粗提液的制备: 将培养 5 d 的木霉菌发酵液于 4 °C, 10 000 rpm 离心 20 min, 上清液即为酶粗提液。置入 -20 °C 下保存待用。 $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶活性测定, 参照高增贵等的方法<sup>[6]</sup>。残余还原糖的测定: DNS 法<sup>[7]</sup>, 纤维素酶活性测定参照 CMC 酶活性测定方法<sup>[8]</sup>。胶体几丁质制备参照 Berger 的方法<sup>[9]</sup>, 几丁质酶活性测定参照王玮的方法<sup>[10]</sup>。结果用 DPS 7.05 统计软件分析, 统计方法采用 Duncan 氏新复极差法进行多重比较。

## 2 结果与分析

第一作者简介: 唐琳(1981-), 女, 沈阳农业大学植物病理学专业硕士研究生, 从事木霉生物防治方面的研究。E-mail: tang Lin869@163.com。

通讯作者: 高增贵。E-mail: gaozenggui@sina.com。

基金项目: 国家“十一五”科技支撑资助项目(2006BAD08A06); 辽宁省自然科学基金资助项目(20032087, 20062018)。

收稿日期: 2007-10-29

表 1 微量元素对木霉菌 T23 生长量的影响

元素	产孢量×10 <sup>5</sup> 个/mL				湿重 g			
	4 mg/ L	8 mg/ L	12 mg/ L	16 mg/ L	4 mg/ L	8 mg/ L	12 mg/ L	16 mg/ L
Zn	32.50aA	8.67dDE	15.33dBC	6.00cdCD	0.23cC	0.18cC	0.22cdCD	0.20deCD
Mn	26.17bB	3.50eEF	34.00bB	14.00bB	0.32bB	0.35aA	0.34aA	0.28bB
Cu	10.50cC	45.83aA	19.83dBC	1.17eD	0.23cC	0.25bB	0.32aAB	0.35aA
Fe	8.83cdCD	9.33dD	24.67bcB	9.33cBC	0.16dD	0.26bB	0.20cdCD	0.17efDE
Ca	5.77deCDE	35.50bB	129.33aA	50.83aA	0.34bB	0.37aA	0.28abABC	0.23cdBCD
对照	4.50eDE	4.50dEF	4.50dD	4.50deCD	0.16dD	0.16cC	0.16dD	0.16efDE
Mo	2.83eE	2.17fF	1.33eD	1.33eD	0.12eE	0.17cC	0.15dD	0.14fE
Mg	2.50eE	26.33cC	4.33dD	6.00cdCD	0.38aA	0.26bB	0.24bcBCD	0.27bcBC

2.1 微量元素对木霉菌 T23 产孢量和生长量的影响

试验结果见表 1, 不同微量元素对木霉菌 T23 的产孢量影响存在明显差异, 与对照产孢量 4.50×10<sup>5</sup> 个/mL 相比, 大部分元素对其产孢具有促进作用, 最大产孢量为 129.33×10<sup>5</sup> 个/mL; 个别元素抑制其产孢, 最小产孢量仅为 1.17×10<sup>5</sup> 个/mL。同一浓度水平上的不同元素比较发现: 4 mg/L 浓度, Zn<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 均显著优于对照, 其中 Zn<sup>2+</sup> 量的促进作用最大, 而 Mg<sup>2+</sup> 显著低于对照。8 mg/L 浓度, Cu<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 均显著高于对照, Mn<sup>2+</sup> 和 Mo<sup>6+</sup> 则低于对照。12 mg/L 浓度, Ca<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 均显著高于对照, Mg<sup>2+</sup> 与对照相差不大, Mo<sup>6+</sup> 显著低于对照。在 16 mg/L 浓度, Ca<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 显著高于对照, Mo<sup>6+</sup>、Cu<sup>2+</sup> 显著低于对照。同一元素在不同浓度水平上比较发现: Zn<sup>2+</sup> 在 4 mg/L 浓度的产孢量最大, 高浓度则抑制其产孢; Cu<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 在 8 mg/L 浓度上的产孢量最大; Mn<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 在 12 mg/L 浓度上的产孢量最大; Mo<sup>6+</sup> 在任何浓度上均抑制木霉菌 T23 产孢。结果表明: Ca<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 可不同程度地促进木霉菌 T23 产孢, Mo<sup>6+</sup> 则抑制木霉菌 T23 产孢。

在木霉菌 T23 菌丝湿重的影响方面, 同一浓度水平上的不同元素比较发现: 在 4 mg/L 浓度上, Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup> 均显著高于对照, 而 Mo<sup>6+</sup> 低于对照。在 8 mg/L 浓度上, Ca<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup> 均明显高于对照, Zn<sup>2+</sup>、Mo<sup>6+</sup> 与对照相差不大。12 mg/L 浓度, 所有 7 种元素与对照相差不大。16 mg/L 浓度, 只有 Fe<sup>2+</sup>、Mo<sup>6+</sup> 与对照相差不大, 其它元素均高于对照。同一元素在不同浓度水平上比较发现: 微量元素对菌丝湿重的影响均不大。结果表明: 仅 Mo<sup>6+</sup> 会抑制木霉菌 T23 的菌丝湿重, 其他微量元素均促进菌丝的生长或与对照相当, 最大湿重为 0.38 g, 最小湿重为 0.12 g。

2.2 微量元素对木霉菌 T23 的 3 种酶活性的影响

2.2.1 对木霉菌 T23 β-1, 3-葡聚糖酶活性的影响 试验结果见表 2 同一浓度水平上的不同元素比较发现: 4 mg/L 浓度, Mn<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup> 均显著高于对照, Mg<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Mo<sup>6+</sup> 则显著低于对照。8 mg/L 浓度, 除 Mn<sup>2+</sup> 与对照差异不大以外, 其他微量元素均显著高于对

照。12 mg/L 浓度, Mn<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup> 显著高于对照, Zn<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Mo<sup>6+</sup> 均显著低于对照, 其中 Zn<sup>2+</sup> 与 Fe<sup>2+</sup> 差异不大。16 mg/L 浓度, Cu<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup> 均显著高于对照, Mg<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Mo<sup>6+</sup> 显著低于对照。同一元素在不同浓度水平上比较发现: Mn<sup>2+</sup> 在 4 mg/L 浓度 β-1, 3-葡聚糖酶活性最大, 高浓度会抑制酶的活性。Mg<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Mo<sup>6+</sup> 在 8 mg/L 浓度酶活性最大。Ca<sup>2+</sup> 在 12 mg/L 浓度上的酶活性最大。Cu<sup>2+</sup> 随着浓度的增大而促进酶的活性, 在 16 mg/L 浓度最大。结果表明: Mn<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup> 对木霉菌 T23 产生 β-1, 3-葡聚糖酶有促进作用, 而 Zn<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Mo<sup>6+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 在一定浓度范围内对木霉菌 T23 产生 β-1, 3-葡聚糖酶有激活作用, 其中最大酶活为 68.13 U/mL。

2.2.2 对木霉菌 T23 纤维素酶活性的影响 由表 2 可见, 同一浓度水平上的不同元素比较发现: 在 4 mg/L 浓度上, 仅有 Mg<sup>2+</sup> 处理的酶活性显著高于对照, 其他微量元素均低于对照。8 mg/L 浓度, 仅有 Mn<sup>2+</sup> 显著高于对照。12 mg/L 浓度, 除 Mg<sup>2+</sup> 外, 其它元素均低于对照。16 mg/L 浓度, 仅有 Cu<sup>2+</sup> 显著高于对照。同一元素在不同浓度水平上比较发现: Zn<sup>2+</sup> 在 4 mg/L 浓度的纤维素酶活性高于其他浓度, 随着浓度增大会抑制酶的活性。Mn<sup>2+</sup>、Mo<sup>6+</sup> 在 8 mg/L 浓度的纤维素酶活性最大。Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup> 在 12 mg/L 浓度的纤维素酶活性最大。Cu<sup>2+</sup> 随着浓度的增大而促进木霉菌 T23 产生纤维素酶, 在 16 mg/L 浓度上最大。结果表明: Mg<sup>2+</sup> 在低浓度下促进木霉菌 T23 产生纤维素酶, Cu<sup>2+</sup> 则随浓度的增大而促进纤维素酶的产生, Mn<sup>2+</sup> 在特定浓度范围可促进酶的活性。其他微量元素均会抑制木霉菌 T23 产生纤维素酶, 其中最大酶活可达到对照的二倍, 为 193.25 U/mL (表 2)。

2.2.3 对木霉菌 T23 几丁质酶活性的影响 同一浓度水平上的不同元素比较发现: 4 mg/L 浓度, Mg<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 显著高于对照, 其他微量元素均低于对照。在 8 mg/L 浓度上, Fe<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Mo<sup>6+</sup>、Cu<sup>2+</sup> 显著高于对照, 其他微量元素均显著低于对照。12 mg/L 浓度, Zn<sup>2+</sup>、Mo<sup>6+</sup> 与对照相差不大, Ca<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup> 低于对照。16 mg/L 浓度, Mo<sup>6+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup> 显著低于对照。同一元素在不同浓度水平上

比较发现:  $Mn^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Zn^{2+}$ 、 $Fe^{2+}$ 、 $Mo^{6+}$  在 8 mg/L 浓度的几丁质酶活高于其他浓度,  $Ca^{2+}$ 、 $Cu^{2+}$  在 12 mg/L 浓度上高于其他浓度。结果表明:  $Zn^{2+}$  促进木霉菌 T23

产生几丁质酶,  $Mn^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$  会抑制木霉菌 T23 产生几丁质酶, 其他微量元素在特定浓度范围内会促进几丁质酶的活性, 其中最大酶活性为 14.57 U/mL(表 2)。

表 2 微量元素对木霉菌 T23 的 3 种酶活性的影响

元素	$\beta$ -1, 3-葡聚糖酶 U/mL				纤维素酶 U/mL				几丁质酶 U/mL			
	4 mg/L	8 mg/L	12 mg/L	16 mg/L	4 mg/L	8 mg/L	12 mg/L	16 mg/L	4 mg/L	8 mg/L	12 mg/L	16 mg/L
Mn	43.19aA	11.81fF	41.21cC	19.27bBC	64.19cC	94.56aA	53.04cD	66.87dC	0.84eE	1.71eDE	0.21fF	0.004eE
Ca	38.39bB	41.32cC	68.13aA	57.08aA	41.38dD	48.48eE	68.33dC	57.73eD	0.11fF	0.36eE	1.26eE	0.25eE
Cu	18.74cC	32.14dD	52.14bB	60.43aA	25.49fF	67.06cC	37.43fE	193.25aA	0.11fF	5.85cC	6.43cC	2.66cD
对照	13.83dD	13.83fF	13.83dD	13.83cC	81.50bB	81.50bB	81.50bB	81.50bB	3.61cC	3.61dD	3.61dD	3.61cC
Mg	7.55eE	19.06eE	3.41fFG	1.84dD	91.96aA	32.38fF	105.16aA	75.10cB	5.24aA	1.07eE	7.18bB	6.41bB
Zn	7.16eEF	59.50bB	8.14eE	20.68bB	69.50cC	63.06cD	67.67dC	55.19eD	4.17bB	10.54bB	3.85dD	6.54bB
Fe	4.85eEF	65.34aA	7.27eEF	1.17dD	14.91gG	57.44dD	80.67bB	80.10bB	1.80dD	14.57aA	7.85aA	11.60aA
Mo	2.83fF	58.41bB	0.90fG	1.54dD	33.68eE	83.16bB	73.87cBC	59.18eD	1.56dD	10.29bB	3.47dD	1.42dDE

3 结论与讨论

研究表明:  $Mn^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Cu^{2+}$ 、 $Zn^{2+}$ 、 $Fe^{2+}$  对木霉菌 T23 菌丝的生长均有促进作用, 但  $Mo^{6+}$  对菌丝生长的作用不明显。在产孢量方面,  $Ca^{2+}$ 、 $Mn^{2+}$ 、 $Zn^{2+}$ 、 $Fe^{2+}$ 、 $Cu^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  对木霉菌 T23 的产孢具有不同程度的促进作用,  $Mo^{6+}$  抑制其产孢。庄敬华等报道硫酸铜、硫酸锌、硫酸亚铁在一定浓度下对木霉菌 T23 的抑制作用较小, 钼酸铵、硫酸亚铁、硫酸钙对木霉菌 T23 菌丝生长和孢子形成具有明显的刺激作用<sup>[11]</sup>, 锰对菌丝生长和木霉孢子产生有一定的促进作用<sup>[12]</sup>, 这与该研究结论一致, 因此上述微量元素在一定浓度范围内是较理想的木霉菌剂的添加剂及增效剂。此外,  $Mn^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Cu^{2+}$  对木霉菌 T23 产生  $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶有促进作用, 而  $Zn^{2+}$ 、 $Fe^{2+}$ 、 $Mo^{6+}$  在一定浓度范围对木霉菌 T23 产生  $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶有激活作用, 但  $Mg^{2+}$  对产生  $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶有明显的抑制作用, 这与易华西<sup>[13]</sup>的结论一致。同时还发现  $Mg^{2+}$  在低浓度下促进木霉菌 T23 产生纤维素酶,  $Cu^{2+}$  则随浓度的增大而促进纤维素酶的产生,  $Mn^{2+}$  在特定浓度范围可促进酶的活性, 其他微量元素均会抑制木霉菌 T23 产生纤维素酶。在产生几丁质酶方面  $Zn^{2+}$  均有明显的促进作用, 而  $Mn^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$  抑制其产生几丁质酶。另外, 该研究还表明微量元素的适中浓度对木霉菌 T23 的生长量及酶活性有促进作用, 即可以提高木霉菌 T23 的理论生防效果; 但浓度过低或过高均会引起木霉菌 T23 的生长量及酶活性的不稳定, 表现为明显增加或减少。

木霉菌及制剂在生产应用时受到环境、土壤、施肥及栽培方法的影响<sup>[14]</sup>。研究表明,  $Zn^{2+}$ 、 $Cu^{2+}$ 、 $Fe^{2+}$  等对木霉菌 T23 的菌丝生长、产孢量、 $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶的和几丁质酶等方面均有促进作用, 因此, 在木霉生防制剂中加入适量的微量元素作为增效因子, 可以提高木霉菌的生防效果<sup>[15]</sup>。Altomare 等<sup>[16]</sup>发现, 哈茨木霉菌株 T22 具有溶解可溶性或微溶性矿物质的能力, 通过螯合或降解作用来溶解金属氧化物, 如二氧化锰( $MnO_2$ )、锌

(Zn)、铁(Fe)的溶解。在该研究中发现: 木霉菌 T23 对各种微量元素有不同程度的吸收和利用, 因此, 可以利用木霉菌 T23 吸收利用土壤中的微量元素, 从而改善土壤环境, 提高其生防制剂的生防效果, 木霉菌 T23 在这方面的利用还有待于进一步研究。

参考文献

[ 1 ] 杨合同, 唐文华, Ryder M. 木霉菌与植物病害的生物防治[ J ]. 山东科学, 1999, 12( 14 ): 7-15.  
[ 2 ] Whipps J M. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere [ J ]. J. Exp. Botany, 2001, 52( roots special issue ): 487-511.  
[ 3 ] Zeilinger S, Galhup G, Payer K, et al. Chitinase gene expression during mycoparasitic interaction of Trichoderma harzianum with its hosts[ J ]. Fungal Genetics and Biology, 1999, 26: 131-140.  
[ 4 ] 庄敬华, 孙国良, 高增贵, 等. 番茄灰霉病生物防治菌株的筛选[ J ]. 沈阳农业大学学报, 2005, 36( 1 ): 33-36.  
[ 5 ] 方中达. 植病研究方法[ M ]. 北京: 中国农业出版社, 1998.  
[ 6 ] 高增贵, 陈捷, 刘军华, 等. 拮抗内生细菌 B20-006 菌株对玉米主要防御酶的影响[ J ]. 植物病理学报, 2007, 37( 1 ): 102-104.  
[ 7 ] 张龙翔, 张庭芳, 李令媛. 生化实验方法和技术[ D ]. 北京: 高等教育出版社, 1997: 1-3.  
[ 8 ] Mandels M. Measurement of saccharifying cellulases[ J ]. Biotechnol Bioeng, 1976( 6 ): 21-34.  
[ 9 ] Berger I R, Reynolds D M. The chitinase system of a strain of streptomyces griseus[ J ]. Biochim Biophys Acta, 1958, 29: 522-534.  
[ 10 ] 王玮. 3, 5-二硝基水杨酸法测定还原糖[ A ] // 李合生. 植物生理生化试验原理和技术[ Q ]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 197-199.  
[ 11 ] 庄敬华, 高增贵. 营养元素对木霉菌防治甜瓜枯萎病效果的影响[ J ]. 植物保护学报, 2004, 31( 4 ): 359-364.  
[ 12 ] 纪明山, 李博强, 许远, 等. 绿色木霉 TR-8 菌株的生物学特性研究[ J ]. 沈阳农业大学学报, 2004, 35( 3 ): 195-199.  
[ 13 ] 易华西. 木霉 TP-24 固态发酵生产  $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶产酶条件及酶学性质的研究[ D ]. 华中农业大学硕士学位论文, 2004.  
[ 14 ] 陈小均, 燕嗣皇, 吴石平. 氮磷钾肥对木霉菌丝生长和产孢的影响[ J ]. 贵州农业科学, 2005, 33( 2 ): 34-35.  
[ 15 ] 肖常沛. 不同供钙水平对黄瓜生长、养分吸收和酶活性的影响[ J ]. 广西热带农业, 2001, 79( 2 ): 4-7.  
[ 16 ] Altomare C, Norve W A, Björkman T, et al. Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant growth promoting and biocontrol fungus Trichoderma harzianum RiiLai [ J ]. Applied and Environmental Microbiology, 1999, 65: 2926-2933.