

## 不同添加剂对防霉剂野外防霉性能的影响

周月英, 孙芳利, 鲍滨福

(浙江农林大学 工程学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 为了提高户外用竹材防霉剂的抗水解、光降解和抗氧化降解能力, 采用向防霉剂中添加抗氧剂、紫外线吸收剂等方法, 以4年生新伐毛竹 *Phyllostachys edulis* 为试材, 以防霉剂丙环唑和戊唑醇为试剂, 通过24周野外防霉实验, 研究抗氧剂和紫外线吸收剂的添加对防霉剂防霉性能的影响。结果表明: 抗氧剂二叔丁基对甲酚(BHT)对戊唑醇的防霉效力具有较好的促进作用, 以质量分数1.0%戊唑醇为例, 其处理材上表面的综合防霉效力为19.14%, 加入BHT后提高到34.84%, 而同时加入BHT和BTA这2种添加剂可提高到42.75%; 然而, BHT对丙环唑防霉效果的影响不明显。紫外线吸收剂苯骈三氮唑(BTA)对戊唑醇防霉效果有减弱作用, 对丙环唑则起到明显的促进作用, 以质量分数1.0%的丙环唑处理材上表面为例, 纯药剂防霉效力为14.43%, 加入BTA后提高到37.23%, 同时添加BHT和BTA防霉效力增加到54.12%。; 同时添加BHT和BTA对所选2种防霉剂均能起到明显的防霉促进作用。图4表6参17

**关键词:** 木林学; 丙环唑; 戊唑醇; 二叔丁基对甲酚; 苯骈三氮唑; 防霉效果; 竹林

**中图分类号:** S782.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-0756(2013)03-0385-07

## Field tests for mold resistance with BHT and BTA added to bamboo preservatives

ZHOU Yueying, SUN Fangli, BAO Binfu

(School of Engineering, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** To improve resistance of bamboo preservatives against hydrolysis, light degradation, and oxidation degradation in outdoor applications, an antioxidant, butylated hydroxytoluene (BHT), and an ultraviolet absorber, benzotriazole (BTA), were added to the preservatives propiconazole and tebuconazole and applied to four-year-old bamboo samples. Then, the influence on mold resistance was studied through 24 weeks of field tests. Results showed that for a 1.0% concentration of tebuconazole, adding BHT alone increased resistance against mold fungi on the up-face of bamboo from 19.14% to 34.84%; however, BTA alone reduced mold resistance. Nevertheless, adding both BHT and BTA to tebuconazole increased mold resistance to 42.75%. For a 1.0% propiconazole concentration, mold resistance on the up-face of bamboo with BTA alone increased from 14.4% to 37.23%, but BHT alone had little effect; adding both BHT and BTA to propiconazole, however, increased mold resistance to 54.12%. Thus, using BHT and BTA together could enhance mold resistance of both tebuconazole and propiconazole. [Ch, 4 fig. 6 tab. 17 ref.]

**Key words:** wood science; propiconazole 1-[2-(2,4-dichlorophenyl)-4-propyl-1,3-dioxolan-2-yl]methyl]-1,2,4-triazole; tebuconazole (RS)-1-p-chlorophenyl-4,4-dimethyl-3-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl) pentan-3-ol; butylated hydroxytoluene (BHT); benzotriazole (BTA); mold-resistance; bamboo wood

由于三唑类杀菌剂独特的作用机制及其广谱、内吸、低毒等优良特性, 使其成为农药分子设计领域

收稿日期: 2012-05-04; 修回日期: 2012-05-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30972304); 浙江省重点科技创新团队资助项目(2012R10023-15)

作者简介: 周月英, 从事木竹材化学改性与保护等研究。E-mail: zhouyy081212@163.com。通信作者: 鲍滨福, 教授级高级工程师, 从事木竹材加工与改性等研究。E-mail: bfbao@zafu.edu.cn

的研究焦点<sup>[1]</sup>。研究表明:三唑类杀菌剂对木竹材腐朽菌也具有较高活性,因此,以三唑类杀菌剂为主要活性成分の木竹材保护剂成为新型环保型木竹材防腐防霉剂的研究重点<sup>[2-4]</sup>,其中用于木竹材保护的三唑类杀菌剂品种主要有丙环唑和戊唑醇<sup>[5]</sup>。但是,丙环唑和戊唑醇作为有机杀菌剂存在光解和水解问题,且木竹材制品用于户外本身也存在着耐候性差的问题。随着竹材应用领域的不断延伸,户外竹制品的研究和开发已成为近几年竹材的研究热点。户外竹材面临的最大问题是霉变,开发高效耐候的竹材保护剂是目前亟待解决的难题。为了提高材料的抗水解、光降解和抗氧化降解能力,通常采用添加抗氧剂、紫外线吸收剂等方法。二叔丁基对甲酚(BHT)是一种广泛应用于石油化工及食品工业中的抗氧化剂<sup>[6-8]</sup>。关晔晴等<sup>[9]</sup>研究发现,BHT对某些植物病原真菌具有抑制作用。另据报道<sup>[10-11]</sup>,在木材防腐剂中加入抗氧剂、螯合剂或紫外线吸收剂等能够提高其防腐性能,尤其是户外材防腐性能<sup>[12]</sup>。有机杂环化合物苯骞三氮唑(BTA)是优良的紫外线吸收剂,吸收波长 290~390 nm。可用于户外涂料添加剂,明显降低颜(涂)料等因紫外线破坏引起的褪色<sup>[13-16]</sup>。本研究将二叔丁基对甲酚和苯骞三氮唑添加到防霉剂中,研究其对竹材户外防霉性能的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 试材 试材为 4 年生新伐毛竹 *Phyllostachys edulis*, 采自浙江临安,无虫蛀,无蓝变,无霉斑等缺陷。取竹材中段(即自基部向上 2~4 m 处),去竹青、竹黄,加工成尺寸为 100 mm × 20 mm × 5 mm (长×宽×厚)的试件。剪去表面毛刺,用游标卡尺测量每块试件的长、宽、厚(精确到 0.1 mm),并编号、称量(精确到 0.001 g)。

1.1.2 化学试剂 丙环唑和戊唑醇购于江苏七州绿色化工股份有限公司,纯度均为 95%。抗氧剂 BHT 和紫外线吸收剂 BTA 购于南京华立明化学品有限公司。

### 1.2 方法

试件准备、处理和防霉试验等均按照国家标准 GB/T 18261-2000《防霉剂防治木材霉菌及蓝变菌的试验方法》的相关规定进行<sup>[17]</sup>。

1.2.1 试验季节及环境条件 试验时间为 2011 年 5 月 15 日至 2011 年 11 月 15 日,历时 24 周,试件放置于浙江农林大学林工科技楼野外试验空地。试验时期为夏初至秋末,温暖潮湿,有利于霉菌的繁殖。据浙江省临安市气象局提供数据进行统计,试验期间平均气温为 23.1 ℃,日平均降水量为 6.2 mm,平均日照时间为 4.7 h·d<sup>-1</sup>,平均相对湿度为 77.6%,具体温湿度、降水量及日照变化见表 1。

1.2.2 防霉处理 以乙醇作溶剂配制不同添加剂含量的处理药剂,每种防霉剂设 0.5%, 1.0%和 2.0%等

表 1 试验期间温湿度、降雨量及日照变化

Table 1 Changes of temperature, humidity, sunlight and rainfall during the experimental time

| 试验周数  | 平均气温/℃ | 平均降水量/mm | 平均日照/h | 平均相对湿度/% |
|-------|--------|----------|--------|----------|
| 1~2   | 21.5   | 2.1      | 6.8    | 62       |
| 3~4   | 23.2   | 22.7     | 2.7    | 79       |
| 5~6   | 25.3   | 11.4     | 3.7    | 79       |
| 7~8   | 28.7   | 1.7      | 5.9    | 73       |
| 9~10  | 28.8   | 5.6      | 8.4    | 73       |
| 11~12 | 28.4   | 5.6      | 7.8    | 74       |
| 13~14 | 26.2   | 12.9     | 3.0    | 83       |
| 15~16 | 25.0   | 2.9      | 6.0    | 78       |
| 17~18 | 20.6   | 3.3      | 2.9    | 79       |
| 19~20 | 18.1   | 1.6      | 2.8    | 83       |
| 21~22 | 15.8   | 1.8      | 4.0    | 80       |
| 23~24 | 15.4   | 2.1      | 2.7    | 87       |

3 个质量分数梯度，添加剂 BHT 和 BTA 的加入量及比例如表 2。由于添加剂 BHT 和 BTA 及其混合物 (2:1) 防霉预试验显示无防霉效果，因此未对添加剂处理材做进一步的野外防霉测试。试件采用冷浸法处理 10 min，然后取出，用滤纸轻轻擦掉表面药液，立即用电子天平称量(精确到 0.001 g)。同一处理条件下的试件数为 6 个。吸药量按式(1)计算：

$$R=(M_2-M_1)\times C\times 10^6/2\ (HW+WL+HL)。(1)$$
式(1)中： $R$  为吸药量， $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ； $M_1$  为浸渍前质量， $\text{g}$ ； $M_2$  为浸渍后质量， $\text{g}$ ； $H$  为试件厚度， $\text{mm}$ ； $L$  为试件长度， $\text{mm}$ ； $W$  为试件宽度， $\text{mm}$ ； $C$  为药液质量分数， $\%$ 。

1.2.3 试验条件 试件经药剂处理后，根据编号平铺放置于室外空地处。试件表面不覆盖任何保护层，直接露天放置，竹青面朝上，记为上表面，竹黄面朝下，则记为下表面。在自然条件下感染霉菌。

1.2.4 检查方法 隔 2 周检查 1 次，检查后照原位置放好，连续检查 10 次。检查每块试件的上表面与下表面，是否有霉菌感染，若已感染，目测感染面积百分比。按照表 3 判断试件被害值，评定各防霉剂的防霉效果。

1.2.5 防治效力的计算 防治效力与药剂的药效有关。药剂的药效越高，防治效力越高。对霉菌的防治效力，以对霉菌防治效力的算术平均值表示。防治效力参考 GB/T 18261-2000 [17]按下式计算：

$$E=(1-D_t/D_0)\times 100。(2)$$

式(2)中： $E$  为防治效力， $\%$ ； $D_t$  为药剂处理试件的平均被害值； $D_0$  为未处理对照试件的平均被害值。

2 结果与分析

2.1 试件对各药剂吸药量分析

防霉剂在竹材中的吸药量对其防霉效果有重要影响。表 4 为所选药剂在竹材中的吸药量。无论是否加入添加剂，相同质量分数的防霉剂在竹材中的吸药量相当。当药剂质量分数为 0.5%，1.0%和 2.0%时，平均吸药量分别为 0.42, 1.60 和  $5.94\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

表 4 试件对各药剂的吸药量

Table 4 Amount of chemicals absorbed in blocks

| 药剂质量<br>分数/% | 吸药量/( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) |         |         |             |      |         |         |             |
|--------------|--------------------------------------|---------|---------|-------------|------|---------|---------|-------------|
|              | 戊唑醇                                  | 戊唑醇-BHT | 戊唑醇-BTA | 戊唑醇-BHT-BTA | 丙环唑  | 丙环唑-BHT | 丙环唑-BTA | 丙环唑-BHT-BTA |
| 0.5          | 0.48                                 | 0.54    | 0.37    | 0.41        | 0.36 | 0.37    | 0.35    | 0.45        |
| 1.0          | 1.43                                 | 1.80    | 1.49    | 1.47        | 1.72 | 1.61    | 1.85    | 1.45        |
| 2.0          | 5.73                                 | 7.96    | 6.32    | 4.30        | 6.02 | 5.48    | 4.97    | 6.71        |

2.2 各防霉剂的防霉效果

2.2.1 防霉剂在试验周期内对竹材的防霉效果 由于竹材试块放置在野外条件下，上表面和下表面所处环境各异。上表面受到光照、雨水、粉尘等影响，而下表面直接接触土壤、杂草，上下表面受霉菌感染程度可能不同，因此，在 24 周试验阶段隔 2 周观察和记录竹材上下表面的霉变程度，并分别以质量分

表 2 防霉剂与添加剂的配比设计方案

Table 2 Ratio scheme of wood preservatives and additives

| 编号          | 防霉剂 | BHT 质量分数/% | BTA 质量分数/% |
|-------------|-----|------------|------------|
| 戊唑醇         | 戊唑醇 | —          | —          |
| 戊唑醇-BHT     |     | 0.2        | —          |
| 戊唑醇-BTA     |     | —          | 0.1        |
| 戊唑醇-BHT-BTA |     | 0.2        | 0.1        |
| 丙环唑         | 丙环唑 | —          | —          |
| 丙环唑-BHT     |     | 0.2        | —          |
| 丙环唑-BTA     |     | —          | 0.1        |
| 丙环唑-BHT-BTA |     | 0.2        | 0.1        |

表 3 试件霉变的分级标准 [17]

Table 3 Classification of the infection value

| 被害值定级 | 试件霉变面积              |
|-------|---------------------|
| 0     | 试件表面无菌丝             |
| 1     | 试件表面感染面积 < 1/4      |
| 2     | 试件表面感染面积 1/4~1/2    |
| 3     | 试件表面感染面积 1/2~3/4    |
| 4     | 试件表面感染面积 $\geq 3/4$ |

数为 1.0% 的戊唑醇和丙环唑为例, 对处理材霉变情况作动态分析。

图 1 为质量分数为 1.0% 戊唑醇系列防霉剂对试件上表面的防霉效果。结果表明: 未经处理的对照组试件在试验进行第 4 周时试件上表面霉菌感染面积超过 3/4, 试件平均被害值已达到 4.0。从第 4 周开始, 戊唑醇和戊唑醇-BTA 处理试件平均被害值增加明显, 相比之下, 戊唑醇-BTA 处理试件防霉效果较差, 平均被害值达到 4.0 的时间比无添加剂的戊唑醇处理材早 4 周, 说明添加剂 BTA 的加入减弱了戊唑醇药剂的防霉效果。与以上 2 种处理材相比, 在戊唑醇中仅加入 BHT 或同时加入 BHT 和 BTA 时, 能够显著提高其防霉效果, 处理材在试验进行至第 18 周时, 平均被害值才接近于 4.0。可以看出: 添加剂 BHT 或它与 BTA 的混合物对戊唑醇具有较好的防霉协效作用。

图 2 为不同添加剂对丙环唑防霉效果的影响, 添加剂对丙环唑防霉效果的影响不同于戊唑醇。在丙环唑中加入添加剂 BTA 比加入 BHT 防霉效果好, 第 24 周时, 添加 BTA 和 BHT 的防霉剂处理试件平均被害值分别为 3.4 和 3.8。在丙环唑防霉剂中同时添加 BHT 和 BTA, 其防霉效果最好, 从试验进行 6 周起, 处理材霉变程度增幅减缓, 到第 24 周时, 试件平均被害值仅为 2.2。

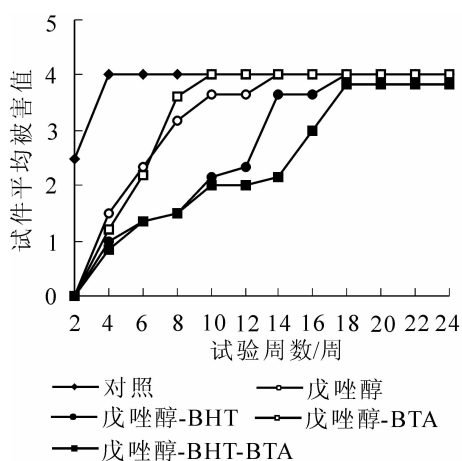


图 1 戊唑醇-1%系列防霉剂对试件上表面的防霉效果

Figure 1 Mould resistance of 1%-tebuconazole (up-face of bamboo)

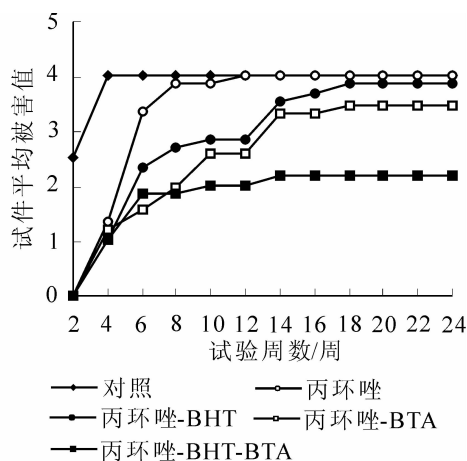


图 2 丙环唑-1%系列防霉剂对试件上表面的防霉效果

Figure 2 Mould resistance of 1%-propiconazole (up-face of bamboo)

从处理试件上表面霉变情况来看, 在没有添加剂时, 质量分数均为 1% 的丙环唑与戊唑醇对试件上表面的防治效果相当。添加剂 BHT 对戊唑醇和丙环唑均具有较好协效作用, 添加剂 BTA 对丙环唑能起到很好的协效作用, 而对戊唑醇起到抑制作用。同时添加 BHT 与 BTA 对 2 种防霉剂均能显著提高其防霉效果。出现以上现象的原因可能是由于竹材上表面受到光照、雨淋等环境因素影响, 因此, 选择合适的抗氧化剂或紫外线吸收剂能够减轻或阻止竹材及防霉剂的降解。但是, 置于室外的竹材下表面不会受到光照的影响, 因此添加剂的加入与否可能对其防霉效果没有影响。然而, 实验结果并非如此。

图 3 为质量分数 1.0% 戊唑醇系列防霉剂对试件下表面的防霉效果。与竹材上表面霉变情况相比, 未经处理的对照组试件下表面在试验进行第 2 周时霉菌感染面积已超过 3/4, 比上表面提前 2 周。从第 2 周开始, 戊唑醇处理试件、戊唑醇-BTA 和戊唑醇-BHT 处理材开始霉变, 到第 8 周时, 其平均被害值分别为 3.2, 2.6 和 3.3。第 18 周始, 处理试件平均被害值稳定在 4.0, 3.8 和 3.5。可以看出: 添加剂 BHT 与 BTA 均对戊唑醇有少量的协效作用, 前者略优于后者。与处理材上表面相似, 在戊唑醇中同时加入 BHT 和 BTA, 其防霉效果显著提高, 处理试件平均被害值增加较缓, 第 8 周时试件平均被害值为 1.8, 从第 18 周至测试结束, 试件平均被害值保持在 3.0。

添加剂对丙环唑处理材下表面的防霉效果也有较为明显的影响(图 4)。丙环唑中加入 BHT, 其处理材防霉效果降低, 第 8 周时试件平均被害值达 3.2, 第 24 周时达 3.7, 明显低于无添加剂的丙环唑处理材。添加剂 BTA 与丙环唑表现出较好的协效性, 处理材霉变程度增加缓慢, 第 8 周和第 24 周试件平均被害值分别为 1.2 和 1.8。在丙环唑中同时添加 BHT 和 BTA, 对其防霉效果影响不大。

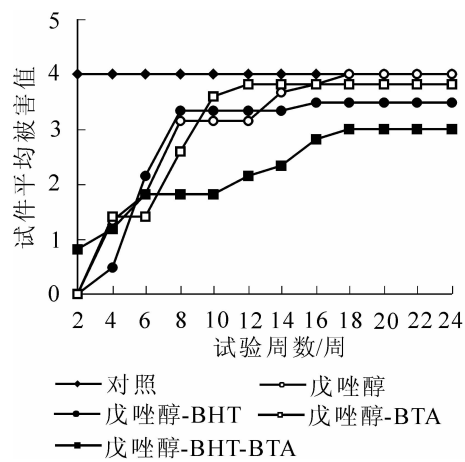


图 3 戊唑醇-1%系列防霉剂对试件下表  
面的防霉效果

Figure 3 Mould resistance of 1%-tebuconazole (down-  
face of bamboo)

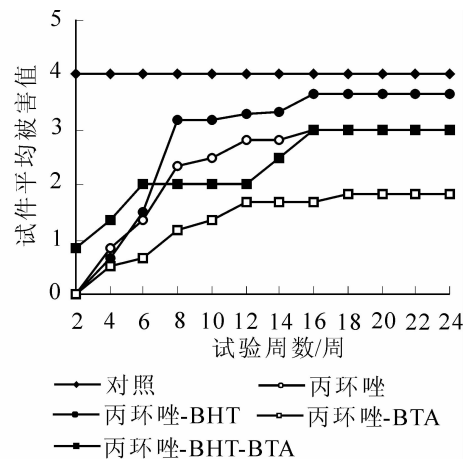


图 4 丙环唑-1%系列防霉剂对试件下表  
面的防霉效果

Figure 4 Mould resistance of 1%-propiconazole (down-face  
of bamboo)

不同添加剂对防霉剂处理材下表面防霉效果的影响结果表明，质量分数均为 1%的丙环唑比戊唑醇防霉效果好。添加剂 BHT 对丙环唑防霉效果作用不明显或有降低作用，对戊唑醇能起到很好的协效作用。添加剂 BTA 对丙环唑具有较好的协效作用，而对戊唑醇的防霉作用影响不明显。同时添加 BHT 与 BTA 对戊唑醇处理材下表面防霉作用有较明显提高，而对丙环唑处理材防霉效果的影响不明显。防霉剂处理材下表面一般不受光照、雨淋和风沙等影响，但其对竹材下表面的保护效果与添加剂的种类有关，说明部分添加剂可能与防霉剂有一定的协效性，这一现象在文献中也有报道<sup>[10-11]</sup>。

2.2.2 不同添加剂对防霉剂综合防治效力的影响 为了进一步了解添加剂对丙环唑和戊唑醇防霉效果的影响，本研究对相同质量分数、同一种防霉剂在不同测试阶段的防霉效果进行综合分析，处理竹材上表面综合防治效力结果见表 5。可以看出，药剂对霉菌的综合防治效力与其质量分数成正比。对于防霉剂戊唑醇，添加 BHT 或 BHT 和 BTA 的混合物能够显著提高其防霉效果，尤其是同时加入 2 种添加剂。以质量分数 1.0%戊唑醇为例，其处理材的综合防霉效力为 19.14%，加入 BHT 后提高到 34.84%，而同时加入 BHT 和 BTA 这 2 种添加剂可提高到 42.75%。在戊唑醇中加入添加剂 BTA，其防霉效力反而降低。处理材在长时间户外实验过程中，BHT 可能通过抑制戊唑醇及其处理材的降解而起到增强戊唑醇的防霉效果，或者通过与戊唑醇产生协效防霉作用而提高其防霉效果。

从表 5 还可以看出：添加剂 BTA 能够显著提高防霉剂丙环唑的防霉效果，质量分数为 1.0%的丙环唑防霉效力为 14.43%，加入 BTA 后提高到 37.23%，同时添加 BHT 和 BTA 防霉效力增加到 54.12%。苯骈三氮唑也是优良的紫外线吸收剂，吸收波长 290~390 nm，能够明显降低化合物因紫外线破坏引起的褪色<sup>[15]</sup>。但是，由于丙环唑对光和热稳定(320 ℃以下稳定)，水解不明显。因此，BTA 能够提高丙环唑防霉效果的主要原因可能是两者的防霉协效性，这一推测也可以从 2.2.1 的结果中得到证实。另外，在防霉剂丙环唑中加入添加剂 BHT 使其防霉效果略有降低，说明 BHT 与丙环唑不具有防霉协效性。

表 5 各防霉剂对霉菌的综合防治效力(上表面)

Table 5 Synthetical value of mould resistance (up-face of bamboo)

| 药剂质量<br>分数/% | 各防霉剂防治效力/% |         |         |             |       |         |         |             |
|--------------|------------|---------|---------|-------------|-------|---------|---------|-------------|
|              | 戊唑醇        | 戊唑醇-BHT | 戊唑醇-BTA | 戊唑醇-BHT-BTA | 丙环唑   | 丙环唑-BHT | 丙环唑-BTA | 丙环唑-BHT-BTA |
| 0.5          | 12.86      | 12.47   | 8.54    | 15.69       | 13.80 | 8.15    | 13.92   | 30.59       |
| 1.0          | 19.14      | 34.84   | 17.57   | 42.75       | 14.43 | 28.56   | 37.23   | 54.12       |
| 2.0          | 25.42      | 41.51   | 27.33   | 56.08       | 58.78 | 45.36   | 65.13   | 59.61       |

表 6 为不同药剂处理后竹材下表面的平均防治效力。整体看来，丙环唑比戊唑醇的防霉效果好，平

均防治效力高 1.6~2.0 倍。

与上表面防霉效果类似, 丙环唑中加入 BTA 能够显著提高其防霉效果。以质量分数为 1.0% 的丙环唑为例, 其防霉效力从 44.09% 增加到 67.80%, 进一步证实了 BTA 与丙环唑具有防霉协效性。BHT 的加入降低了丙环唑的防霉效力, 质量分数为 1.0% 的丙环唑中加入 BHT, 防霉效力从 44.09% 降到 32.26%, 也进一步证实了 BHT 与丙环唑不具有防霉协效性。与上表面防霉效力不同, 在丙环唑中同时加入 BHT 和 BTA, 其防霉效力降低。

表 6 各防霉剂对霉菌的综合防治效力(下表面)

Table 6 Synthetical values of mould resistance (down-face of bamboo)

| 药剂质量<br>分数/% | 各防霉剂防治效力/% |         |         |             |       |         |         |             |
|--------------|------------|---------|---------|-------------|-------|---------|---------|-------------|
|              | 戊唑醇        | 戊唑醇-BHT | 戊唑醇-BTA | 戊唑醇-BHT-BTA | 丙环唑   | 丙环唑-BHT | 丙环唑-BTA | 丙环唑-BHT-BTA |
| 0.5          | 30.68      | 37.50   | 21.97   | 24.62       | 52.73 | 35.98   | 64.77   | 43.94       |
| 1.0          | 26.89      | 31.82   | 27.73   | 45.83       | 44.09 | 32.26   | 67.80   | 43.94       |
| 2.0          | 33.33      | 34.66   | 42.05   | 33.71       | 66.30 | 64.55   | 70.45   | 50.00       |

以上分析表明, BHT 的加入能够提高戊唑醇防霉效力, 尤其是处理材上表面防霉效力。而 BHT 对丙环唑的防治效力略有抑制作用。BTA 的加入对戊唑醇的防霉效力作用不明显, 但是能够显著提高丙环唑的防治效力, 尤其是处理材上表面的防霉效力。BHT 和 BTA 同时加入能够显著提高丙环唑和戊唑醇处理材上表面的防霉效力, 而对下表面防霉效力的作用不明显。

根据以上测试和分析结果, 并参考添加剂对防霉剂其他浓度的影响结果, 最终得出添加剂 BHT 对戊唑醇的防霉效果有促进作用, 而对丙环唑有降低作用; BTA 对戊唑醇的防霉效力作用不明显, 但是能够显著提高丙环唑的防霉效力。

### 3 结论与讨论

以被处理材 24 周后试件上表面和下表面的平均被害值及各防霉剂对霉菌的综合防治效力为防霉效果评定指标。以质量分数为 1.0% 系列戊唑醇为例, 其处理材上下表面的综合防霉效力分别为 19.14% 和 26.89%, 加入 BHT 后分别提高到 34.84% 和 31.82%, 而同时加入 BHT 和 BTA 可分别提高到 42.75% 和 45.83%; 1.0% 的丙环唑中加入 BHT, 就试件下表面而言, 防霉效力从 44.09% 降到 32.26%, 而上表面则从 14.43% 提高到 28.56%, 从而说明抗氧剂 BHT 对戊唑醇的防霉效力具有较好的促进作用, 而对防霉剂丙环唑防霉效果的影响不明显。质量分数为 1.0% 的戊唑醇处理材上表面而言, 添加 BTA 的防霉剂综合防治效力为 17.57%, 而质量分数为 1.0% 的戊唑醇纯药剂防治效力为 19.14%。质量分数为 1.0% 的丙环唑处理材上表面为例, 纯药剂防霉效力为 14.43%, 加入 BTA 后提高到 37.23%, 同时添加 BHT 和 BTA 防霉效力增加到 54.12%。因此紫外线吸收剂 BTA 对戊唑醇防霉效果略有减弱作用, 对丙环唑则起到明显的促进作用; 同时添加 BHT 和 BTA 对所选 2 种防霉剂均能起到明显的防霉促进作用。

由于添加剂种类繁多, 不同添加剂对防霉剂防霉效果有不同影响, 因此, 筛选出更多具有协效作用的辅助剂对三唑类杀菌剂进行复配, 将为进一步研究新型、高效、耐候、环境安全的绿色木竹材有机防腐防霉剂提供新的思路。

#### 参考文献:

- [1] 薛振祥. 三唑类杀菌剂在我国发展的回顾和展望[J]. 精细化工基地信息通讯, 2000 (3): 8 - 10.  
XUE Zhenxiang. The retrospect and prospect of the triazole fungicides in China [J]. *Fine Chem Ind Raw Mat Intermed*, 2000 (3): 8 - 10.
- [2] EVANS P. Emerging technologies in wood protection [J]. *For Prod*, 2003, **53**: 14 - 22.
- [3] FREEMAN M H, NICHOLAS D D, SCHULTZ T P. *Nonarsenical Wood Protection: Alternatives for Chromated Copper Arsenate, Creosote and Pentachlorophenol in Environmental Impacts of Treated Wood* [M]. Newyork: Taylor and Francis, 2006.

- [4] 孙芳利, 鲍滨福, 陈安良, 等. 有机杀菌剂在木竹材保护中的应用及发展展望[J]. 浙江农林大学学报, 2012, **29** (2): 272 – 278.  
SUN Fangli, BAO Binfu, CHEN Anliang, *et al.* Application and prospect of organic-biocides in wood preservation [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2012, **29** (2): 272 – 278.
- [5] 周子燕, 李昌春, 高同春, 等. 三唑类杀菌剂的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, **36** (27): 11842 – 11844.  
ZHOU Ziyan, LI Changchun, GAO Tongchun, *et al.* Research advances in triazole fungicides [J]. *J Anhui Agri Sci*, 2008, **36** (27): 11842 – 11844.
- [6] 马林, 韩巨才, 刘慧平. 辣椒内生放线菌 Lj20 活性代谢物抑菌作用的研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, **16** (3): 666 – 668.  
MA Lin, HAN Jucai, LIU Huiping. Fungicidal action of active metabolites of endophytic actin omycetes Lj20 from *Capsicum* spp [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2008, **16** (3): 664 – 668.
- [7] 翁新楚. 抗氧化剂及其抗氧化机制[J]. 郑州工程学院学报, 1993, **3** (3): 20 – 29.  
WENG Xinchu. Antioxidants and antioxidation mechanism [J]. *J Zhengzhou Grain Coll*, 1993, **3** (3): 20 – 29.
- [8] 阚欢, 陆斌, 范方宇, 等. 3 种食品抗氧化剂在核桃油抗氧化中的活性比较[J]. 西南林学院学报, 2010, **30** (4): 50 – 52.  
KAN Huan, LU Bin, FAN Fangyu, *et al.* Comparative study on antioxidation effect of three different food antioxidants on walnut oil [J]. *J Southwest For Univ*, 2010, **30** (4): 50 – 52.
- [9] 关晔晴, 陈红兵, 张宝俊, 等. BHT 对 6 种植物病原真菌抑制作用的研究[J]. 山西农业大学学报, 2011, **31** (1): 47 – 49.  
GUAN Yeqing, CHEN Hongbing, ZHANG Baojun, *et al.* Study on the inhibition effect of BHT on six kinds of plant pathogenic fungi [J]. *J Shanxi Agric Univ Nat Sci Ed*, 2011, **31** (1): 47 – 49.
- [10] SCHULTZ T P, NICHOLAS D D, KIRKER G T, *et al.* Effect of the antioxidant BHT on reducing depletion of chlorothalonil in treated wood after 54 months of groundcontact exposure [J]. *Internat Biodeter Biodeg*, 2006, **57**: 4550.
- [11] SCHULTZ T P, NICHOLAS D D. Development of environmentally benign wood preservatives based on the combination of organic biocides with antioxidants and metal chelators [J]. *Phytochemistry*, 2002, **61**: 555 – 560.
- [12] MABICKA A, DUMARC-AY S, ROUHIER N, *et al.* Synergistic wood preservatives involving EDTA, irganox 1076 and 2-hydroxypyridine-N-oxide [J]. *Internat Biodeter Biodeg*, 2005, **55**: 203 – 211.
- [13] 沈澄英, 尤勇军. 苯并三氮唑生产工艺介绍[J]. 山西化工, 2006, **26** (6): 48 – 50.  
SHEN Chengying, YOU Yongjun. Study on processing technology of BTA [J]. *Shanxi Chem Ind*, 2006, **26** (6): 48 – 50.
- [14] 林红卫, 周呈勇. 新型苯并三氮唑类化合物合成研究[J]. 怀化学院学报, 2011, **30** (5): 21 – 22.  
LIN Hongwei, ZHOU Chengyong. Study on the synthesis of the novel triazole derivatives [J]. *J Huaihua Univ*, 2011, **30** (5): 21 – 22.
- [15] 丁著明, 刘丽湘, 周淑静. 紫外线吸收剂的研究进展[J]. 精细与专用化学品, 2005, **13** (13): 5 – 10.  
DING Zhuming, LIU Lixiang, ZHOU Shujing. Research progress on ultraviolet stabilizers [J]. *Fine Spec Chem*, 2005, **13** (13): 5 – 10.
- [16] 王善伟, 杨成洁, 杜新胜. 苯并三唑类光稳定性的研究进展[J]. 塑料制造, 2011 (9): 66 – 83.  
WANG Shanwei, YANG Chengjie, DU Xinsheng. Research and advance of benzotriazole light stabilizer [J]. *Injection Mater*, 2011 (9): 66 – 83.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 18261–2000 防霉剂防治木材霉菌及蓝变菌的试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.