

N-P-B 系木材防护剂的制备及性能初探

田肖箫,余丽萍*,洪宇

(贵州大学 林学院,贵州 贵阳 550025)

摘要:为使木材同时具有防腐防霉及阻燃等多重功能,将磷酸胍(GDP)、氨基磺酸胍(GS)、四水合八硼酸二钠(DOT)、十二烷基二甲基苄基氯化铵(DDBAC)根据正交试验进行不同比例的复配,制成 N-P-B 环保型木材防护剂并检测了其处理材的性能。结果表明,该防护剂不仅对腐朽菌和霉菌有较好防治效果,使处理材基本都达到了强耐腐等级,且处理材的氧指数是空白对照的 1.72~2.71 倍,此外对木材的抗吸水性也有积极影响。将正交试验结果利用矩阵法计算各因素水平的权重,根据权重大小,优选出的配方为 2% 的 GDP,3% 的 GS,3% 的 DOT 和 0.5% 的 DDBAC。试验结果证实该 N-P-B 系木材复合防护剂能使各种药剂的功能协同化,实现“一剂多效”。

关键词:防腐性;防霉性;吸水性;氧指数

中图分类号:S782.33

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2018)03-0254-05

Preparation and Properties of Nitrogen-Phosphorus-Boron Wood Protective Agent

TIAN Xiao-xiao, YU Li-ping*, HONG Yu

(Forestry College of Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract: In order to make woods to have multiple functions, such as decay and mold resistance, flame retardant, guanidine dihydrogen phosphate (GDP), guanidine sulfamate (GS), disodium octaborate tetrahydrate (DOT) and dodecyldimethylbenzylammonium chloride (DDBAC) were compounded in different proportions according to orthogonal design. Series of N-P-B wood protective agents were made and the properties of treated woods were tested. The results showed that these protective agents had better effects against decay fungi and mold, and the treated woods reached to the high decay resistance level. Compared with the control, the oxygen index of treated groups improved 1.72–2.71 times. In addition, there was a positive impact on water absorption resistance. Matrix analysis was used to calculate the weight of the factors and levels. According to the weights, the formulation of 2% GDP, 3% GS, 3% DOT and 0.5% DDBAC was selected as the optimized formula. The results revealed that there was synergistic effect among these reagents in the agent and realized the goal of “one dose with multiple effects”.

Key words: decay resistance; mold resistance; water-absorbing capacity; oxygen index

木材是一种性能优良的高分子材料,因其天然无害、纹理美观大方而在建筑装饰用材中备受青睐。社会的进步使人类认识到环境生态对生命延续的重要性,环境友好型用材备受提倡,我国木制品行业的发展使木材供求关系变得更加紧张^[1-2]。改善木材易腐性,延长木材使用寿命,已成为亟需解决的问

题。如何高效、合理利用大量的速生人工林材创造高附加值的木材产品^[3],又要考虑化学改性过程中对环境的影响,针对这一问题,国外学者提出了“一剂多效”的概念,并做了大量研究^[4-5]。而国内的研究主要倾向于对木材的阻燃、防腐、防霉等方向的单一改性,对于“一剂多效”的复合防护药剂配方研究

收稿日期:2017-08-10 修回日期:2017-09-07

基金项目:贵州省科学技术基金[(黔科合)NY[2015]3027号]。

作者简介:田肖箫,女,在读硕士,研究方向:森林培育。E-mail:1637347959@qq.com

*通信作者:余丽萍,女,博士,副教授,研究方向:木材科学与技术。E-mail:ylpgzu@163.com

不多,如果能实现生产意义上的“一剂多效”,将会节省大量的财力、人力、物力。

本研究目的是要研制一种新型 N-P-B 环保型木材保护药剂,使其能同时赋予木材阻燃、防腐、防水等性能。硼类木材防腐剂具有价格低、无毒高效、渗透性好、不改变木材原有颜色等优点^[6]。并且硼不仅是阻燃剂的主体元素之一,还是一种危害较小的杀虫剂^[7-8],兼具防腐、阻燃多种功能。胍类化合物是一种无毒高效广谱抗菌剂,且含有磷或氮元素的胍盐具有阻燃性能^[9-10]。故本研究研制了一种磷酸胍、氨基磺酸胍、四水合八硼酸二钠为主体的环保型木材防护剂,目的是赋予木材多重功能,延长木材使用寿命,并探索该配方较优的配比数据,为实现“一剂多效”提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与设备

试样:贵州省榕江县杉木边材(*Cunninghamia lanceolata*),无瑕疵。各个检测指标所用试样数量及规格见表 1。

表 1 试验试样规格及数量

Table 1 Specifications and quantities of test samples

| 试样规格 | 试样数量(共 10 组) | 试样用途 |
|-------------------|--------------|------|
| 20 mm×20 mm×10 mm | 每组 12 块 | 耐腐蚀性 |
| 20 mm×20 mm×20 mm | 每组 6 块 | 吸水率 |
| 20 mm×5 mm×50 mm | 每组 8 块 | 防霉性 |
| 6 mm×10 mm×120 mm | 每组 15 块 | 氧指数 |

试剂:磷酸胍($C_2H_{10}N_6 \cdot H_3PO_4$,简称 GDP),氨基磺酸胍($CN_4H_8SO_3$,简称 GS),四水合八硼酸二钠($Na_2B_8O_{13} \cdot 4H_2O$,简称 DOT),均为上海阿拉丁生化科技股份有限公司生产;十二烷基二甲基苄基氯化铵($C_{21}H_{38}NCl$,简称 DDBAC),上海麦克林生化科技有限公司生产。

菌种:霉菌(黑曲霉(*Aspergillus niger*,简称 AN),绿色木霉(*Trichoderma viride*,简称 TV))

腐朽菌(彩绒革盖菌(*Coriolus versicolor*,简称 CV),密粘褶菌(*Gloeophyllum trabeum*,简称 GT))

设备:自制真空浸注设备,TTech-GBT2406-2 智能氧指数分析仪(苏州泰思泰克检测仪器科技有限公司)。

1.2 试样处理

本次试验采用 $L_9(3^4)$ 正交试验设计,采用 4 种试剂,每种试剂选取 3 个浓度水平,按照表 2 的因素水平进行混合,制得澄清的混合溶液备用。

试样先放入烘箱中 60℃ 条件下烘至恒重,采用真空浸注方法(真空度为 -0.09 MPa,保持 30 min)

将复合防腐剂浸注到试样内部。取出木块,擦干试样表面多余液体,放入烘箱,在 60℃ 下烘至恒重。

表 2 正交试验

Table 2 Orthogonal experimental table

| 处理 | A GDP | B GS | C DOT | D DDBAC |
|----|----------|---------|----------|------------|
| 1 | 1(2%) | 1(3%) | 1(1%) | 1(0.5%) |
| 2 | 1 | 2(4%) | 2(2%) | 2(1%) |
| 3 | 1 | 3(5%) | 3(3%) | 3(1.5%) |
| 4 | 2(3.5%) | 1 | 2 | 3 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 7 | 3(5%) | 1 | 3 | 2 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| 空白 | 0 | 0 | 0 | 0 |

1.3 方法

防腐性:参照林业行业标准 LY/T 1283—2011《木材防腐剂对腐朽菌毒性实验室试验方法》测定。防霉性:参照 GB/T 18261—2000《防霉剂防治木材霉菌及蓝变菌的试验方法》测定。阻燃性:参照《GB/T 2406.2—2009 塑料 用氧指数法测定燃烧行为 第 2 部分:室温试验》测定。吸水性:根据 GB/T 1934.1—2009《木材吸水性测试方法》测定。

2 结果与分析

各配方处理的木材试样经过各种性能检测,得到的结果见表 3。

表 3 处理材的各项性能检测结果

Table 3 Performance test results of treated woods %

| 处理 | 防腐性 质量损失率 | | 防霉性 防治效力 | | 氧指数 |
|----|--------------|-------------|-------------|-------|-------------|
| | CV | GT | AN | TV | |
| 1 | 0.36(0.15) | 1.92(0.23) | 83.33 | 100 | 45.32(0.93) |
| 2 | 0.61(0.21) | 2.99(0.21) | 50.00 | 100 | 50.68(0.61) |
| 3 | 0.80(0.18) | 4.51(0.33) | 83.33 | 100 | 50.24(0.51) |
| 4 | 1.07(0.39) | 6.77(0.95) | 83.33 | 100 | 51.12(0.55) |
| 5 | 1.14(0.26) | 3.74(0.8) | 66.67 | 100 | 61.00(3.12) |
| 6 | 1.52(0.32) | 6.38(0.12) | 66.67 | 100 | 71.48(1.02) |
| 7 | 1.01(0.39) | 7.09(0.43) | 83.33 | 71.43 | 70.78(1.40) |
| 8 | 0.44(0.03) | 11.17(0.66) | 50.00 | 100 | 64.82(3.69) |
| 9 | 0.73(0.11) | 9.95(0.35) | 66.67 | 100 | 70.00(1.93) |
| 空白 | 18.30(0.32) | 29.20(0.78) | 0 | 0 | 26.28(0.15) |

注:()里为标准差。

2.1 耐腐蚀性

从表 3 可以看出,杉木边材对 CV 的耐腐蚀性比 GT 好,这与前人的研究结果相同^[7]。经 CV 腐朽后,处理材质量损失率 0.36%~1.52%;经 GT 腐朽后,处理材的质量损失率在 1.92%~11.17%。相对于空白对照组来说,经过木材防护剂处理的试

样,其耐腐性都分别提高了 16.78%~17.94%、18.03%~27.28%。说明复合防护剂能起到较好的防腐作用,且经过处理后的木材也具有室外耐腐的潜力。空白对照在 CV 的侵染中结果的耐腐性均为 II 级,在 GT 试验中都处于 III 级,而处理材除了第 8 组外都在 I 级强耐腐的范围内,说明防护剂对腐朽菌的耐受性有着较好的效果。

2.2 防霉性

霉变主要发生在木材表面,如果将木材用作表面装饰装修材料时,这种霉菌的侵害将会大大降低

木竹材的品质和价格,严重影响到木竹材的销售和使用范围,所以对木材进行防霉处理是十分必要的。从表 3 可知,木材对于 TV 的防治能力基本上均>AN。处理材对于 TV 和 AN 的防治能力远强于空白组。除处理 7 外,防护剂处理材对于 TV 的防治力都为 100%,说明该防护剂配方防治 TV 十分有效。防护剂处理材对于 AN 的防治力都在 50%~83.3%,说明防护剂配方对于 AN 的防治力也有一定效果。经方差分析各个因素对杉木的防霉性影响都不显著(表 4)。

表 4 6 个指标的直观分析

Table 4 Orthogonal analysis table

%

| 指标 | | A | B | C | D |
|----------|------|---------|--------|--------|--------|
| CV 质量损失率 | k1 | 0.59 | 0.81 | 0.77 | 0.74 |
| | k2 | 1.24 | 0.73 | 0.80 | 1.05 |
| | k3 | 0.73 | 1.02 | 0.98 | 0.77 |
| | 极差 R | 0.65 | 0.29 | 0.21 | 0.30 |
| GT 质量损失率 | k1 | 3.14 | 5.26 | 6.49 | 5.20 |
| | k2 | 5.63 | 5.97 | 6.57 | 5.49 |
| | k3 | 9.40 | 6.95 | 5.11 | 7.48 |
| | 极差 R | 6.26 | 1.69 | 1.46 | 2.28 |
| AN 防治效力 | k1 | 72.22 | 83.33 | 66.67 | 72.22 |
| | k2 | 72.22 | 55.56 | 66.67 | 66.67 |
| | k3 | 66.67 | 72.22 | 77.78 | 72.22 |
| | 极差 R | 5.55 | 27.77 | 11.11 | 5.55 |
| TV 防治效力 | k1 | 100 | 90.48 | 100 | 100 |
| | k2 | 100 | 100 | 100 | 90.48 |
| | k3 | 90.48 | 100 | 90.48 | 100 |
| | 极差 R | 9.52 | 9.52 | 9.52 | 9.52 |
| OI | k1 | 48.75 | 55.74 | 60.54 | 58.77 |
| | k2 | 61.20 | 58.83 | 57.27 | 64.31 |
| | k3 | 68.53 | 63.91 | 60.67 | 55.39 |
| | 极差 R | 19.79 * | 8.17 | 3.41 | 8.92 |
| 吸水率 | k1 | 118.85 | 127.35 | 118.18 | 128.04 |
| | k2 | 127.65 | 115.69 | 123.75 | 117.22 |
| | k3 | 114.43 | 117.89 | 118.99 | 115.67 |
| | 极差 R | 13.22 | 11.67 | 5.56 | 12.37 |

注:k1,k2,k3 分别为水平 1,2,3 的均值;带 * 为方差分析显著影响因子。

2.3 氧指数

氧指数是衡量木材是否易燃的一项重要指标。从表 3 可以看出,防护剂处理材的氧指数都远>空白对照组。处理材氧指数最小的是处理 1,为 45.3%,但其药剂的浓度仅为 6.5%;其余处理均显示出优良的阻燃性能。防护剂处理组相对于空白对照组氧指数提高了 1.72~2.71 倍,说明该防护剂提高了木材的难燃性,对木材的阻燃性有积极影响。

2.4 吸水率

从图 1 可以看出,木材吸水率的变化趋势大致相同,但处理组的吸水率都远<空白组,在经过 8 昼夜(192 h)的浸水后,木材都达到最大吸水率,空白组的最大吸水率在 160%左右,而处理组的最大吸水率在 60%~110%。吸水率最小的是处理 8,为

103.04%,最大的是处理 1,为 133.49%,与空白组 172.06%相比较,经过处理的木材在吸水性能上,最大值与空白试验组相差 38.57%,说明防护剂对木材的吸水性有较好的改善,经处理后的木材在室外及室内都能够比空白未处理的木材的抗吸湿性能好,能够更好地延长木材的使用寿命。

2.5 正交试验

本试验属于多指标正交试验设计,共测定了 6 个指标,为有效解决多指标正交试验设计的方案优化问题,本研究先用直观分析法计算出各因素水平的平均值和极差(表 4),再利用这些值用矩阵法计算出各因素各水平的权重值,直接根据权重大小快速确定各因素水平对各指标的影响程度,从而确定各因素水平的主次顺序^[11]。

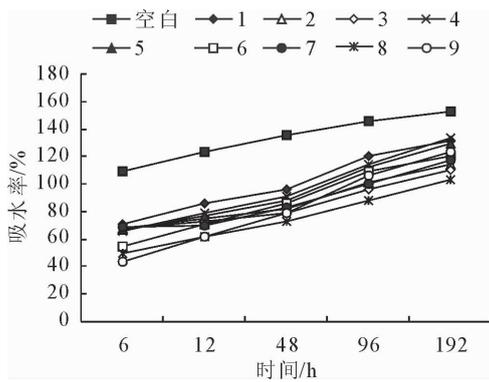


图 1 吸水性趋势图

Fig. 1 Trends of water absorption

从直观分析总的趋势来看, GDP、GS 及 DD-BAC 在低浓度时防腐防霉效果比高浓度时好, 这可能是因为这几种药剂中含有丰富氮元素的缘故, 尤其是 GDP 最为明显。而氧指数则是随着胍盐浓度的增加而提高。A1 处理材的耐腐性最好, A3 处理材的氧指数最高。DOT 对氧指数及防腐性影响不明显。对吸水率的影响各因素也基本是浓度最高的最好。方差分析表明, 除 GDP 对氧指数有显著影响外, 其余各因素对其他指标影响均不显著。

6 个指标中, CV 质量损失率、GT 质量损失率、吸水率 3 个指标的值是越小越好, 而 AN 防治效力、GT 防治效力、OI 值是越大越好。采用权矩阵分析法^[12-13], 计算出各因素水平的权重 W 值。

$$\text{当指标越大越好时, } W = k \times \frac{1}{k_1 + k_2 + k_3} \times \frac{R}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$\text{当指标越小越好时, } W = \frac{1}{k} \times \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3}} \times \frac{R}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

CV 质量损失率、GT 质量损失率、AN 防治效力、GT 防治效力、OI、吸水率 6 个检测指标的权矩阵依次为 $W_1 \sim W_6$:

$$W_1 = \begin{bmatrix} 0.196\ 3 \\ 0.093\ 4 \\ 0.158\ 6 \\ 0.068\ 9 \\ 0.076\ 4 \\ 0.054\ 7 \\ 0.052\ 7 \\ 0.050\ 7 \\ 0.041\ 4 \\ 0.077\ 6 \\ 0.054\ 7 \\ 0.074\ 6 \end{bmatrix} \quad W_2 = \begin{bmatrix} 0.283\ 4 \\ 0.158\ 0 \\ 0.094\ 6 \\ 0.054\ 7 \\ 0.048\ 2 \\ 0.041\ 4 \\ 0.038\ 3 \\ 0.037\ 9 \\ 0.048\ 7 \\ 0.073\ 7 \\ 0.069\ 9 \\ 0.051\ 2 \end{bmatrix} \quad W_3 = \begin{bmatrix} 0.038\ 0 \\ 0.038\ 0 \\ 0.035\ 1 \\ 0.219\ 3 \\ 0.146\ 2 \\ 0.190\ 1 \\ 0.070\ 2 \\ 0.070\ 2 \\ 0.081\ 9 \\ 0.038\ 0 \\ 0.035\ 1 \\ 0.038\ 0 \end{bmatrix}$$

$$W_4 = \begin{bmatrix} 0.086\ 1 \\ 0.086\ 1 \\ 0.077\ 9 \\ 0.077\ 9 \\ 0.086\ 1 \\ 0.086\ 1 \\ 0.086\ 1 \\ 0.086\ 1 \\ 0.077\ 9 \\ 0.086\ 1 \\ 0.077\ 9 \\ 0.086\ 1 \end{bmatrix} \quad W_5 = \begin{bmatrix} 0.134\ 2 \\ 0.168\ 4 \\ 0.188\ 6 \\ 0.063\ 3 \\ 0.066\ 8 \\ 0.072\ 6 \\ 0.028\ 7 \\ 0.027\ 2 \\ 0.028\ 8 \\ 0.072\ 9 \\ 0.079\ 8 \\ 0.068\ 7 \end{bmatrix} \quad W_6 = \begin{bmatrix} 0.104\ 0 \\ 0.096\ 8 \\ 0.108\ 0 \\ 0.085\ 7 \\ 0.094\ 3 \\ 0.092\ 6 \\ 0.044\ 0 \\ 0.042\ 1 \\ 0.043\ 7 \\ 0.090\ 3 \\ 0.098\ 6 \\ 0.100\ 0 \end{bmatrix}$$

此正交试验检测指标的总权矩阵为 6 个指标值的权矩阵的平均值, 记为 W :

$$W = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6}{6} = \begin{bmatrix} 0.140\ 3 \\ 0.106\ 8 \\ 0.110\ 5 \\ 0.095\ 0 \\ 0.086\ 3 \\ 0.089\ 6 \\ 0.053\ 3 \\ 0.052\ 3 \\ 0.053\ 7 \\ 0.073\ 1 \\ 0.069\ 3 \\ 0.069\ 8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A1 \\ A2 \\ A3 \\ B1 \\ B2 \\ B3 \\ C1 \\ C2 \\ C3 \\ D1 \\ D2 \\ D3 \end{bmatrix}$$

由以上计算可得各个因素对正交试验的指标值影响的主次顺序(主一次)为 ABDC, 因素 A 的 3 个水平对试验结果的影响权重分别为 $A_1=0.140\ 3$, $A_2=0.106\ 8$, $A_3=0.110\ 5$, A_1 权重最大; 同理因素 B 中 B_1 权重最大; 因素 C 中 C_3 权重最大; 因素 D 中 D_1 权重最大。因此正交试验的最优方案配比为: $A_1B_1C_3D_1$ 。即为 2% 的 GDP、3% 的 GS、3% 的 DOT 和 0.5% 的 DDBAC。

3 结论与讨论

国内研究了多种木材及木制品的阻燃剂, 但是主流始终是含磷、氮和硼元素的化合物及其混合物^[13]。本防护剂采用多种药剂复配形成 N-P-B 阻燃体系, 处理 6 药剂的阻燃性能最好, 氧指数为 71.5%, 但药剂浓度仅为 10.5%。同为 N-P-B 阻燃体系, 马林榕^[14]等研究的复配药剂浓度为 15% 时, 氧指数最高为 41.3%; 钟光华^[15]等研究发现 BL-环保型阻燃剂药剂浓度为 15% 时, 其氧指数为 48.54%; 潘景^[16]等用 15% 的 BL-环保型阻燃剂真空加压处理杨木边材, 其氧指数最高为 55.9%。相比之下, 本防护剂氧指数提高了 15.5%~30.2%, 说明本防护剂能在较低药剂浓度下, 到达了较好的

阻燃效果,说明 GDP、GS 和 DOT 及 DDBAC 之间存在一定的协同作用。

研究表明,采用 GDP、GS、DOT 和 DD-BAC 复配的防护剂处理材防腐性能较好,除第 8 组外都在 I 级强耐腐的范围内;且该防护剂对霉菌的防治力和对木材的抗吸水性也有一定积极影响;除处理 1 可能因药剂浓度太低,氧指数没到达 50% 外,其他处理材氧指数均超过了 50%,最高可达到 71.48%。显示出较好的阻燃性能,具有成为难燃级别建筑用材的潜力。GDP 对处理材的氧指数影响显著,其他因素对各个检测指标的影响均不显著。通过矩阵分析法可知找出最优配比为:A1B1C3D1。根据以上结论以及对数据的分析,可以知道本试验的氮磷硼系木材复合防护剂能附着在木材细胞中,发挥各种药剂的功能,提高木材的防腐防霉,抗吸水性,难燃性能,初步实现了“一剂多效”,但本研究对于该配方处理材各方面性能的检测还不够,还需深入研究。

参考文献:

- [1] 唐镇忠,于丽丽,马晓军,等.我国木材防腐行业产品质量控制途径探讨[J].世界林业研究,2013,26(1):93-96.
TANG Z Z, YU L L, MA X J, *et al.* Discussion on product quality control methods for wood preservation industry in China [J]. World Forestry Research, 2013, 26(1): 93-96. (in Chinese)
- [2] 李玉栋.防腐木材应用指南[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [3] 王新爱,朱玮,汪玉秀.杨木材性的化学改良技术[J].西北林学院学报,2001,16(1):76-81.
WANG X A, ZHU W, WANG Y X. Recent developments in chemical modification techniques of poplar wood[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2001, 16(1): 76-81. (in Chinese)
- [4] KARTAL S N, IMAMURA Y. Effects of N-N-(1,8-Naphthyl) hydroxylamine (NHA-Na) and hydroxynaphthalimide (NHA-H) on boron leachability and biological degradation of wood[J]. Holzals Roh-und Werkstoff, 2004, 62(7): 378-385.
- [5] POLUS-RATAJCZAK I, MAZELA B. The uses of blood protein in wood preservatives [J]. Holzals Roh-und Werkstoff, 2004, 62(3): 181-183.
- [6] 余丽萍,谢莉华.硼酸盐/硅酸钠复合防腐剂的制备及其处理材的性能[J].西北林学院学报,2014,29(1):165-168.
YU L P, XIE L H. Formulation of borates/sodium silicate composite preservative and properties of treated wood [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(1): 165-168. (in Chinese)
- [7] KARTAL S N, AYRILMS N, IMAMURA Y. Decay and termite resistance of plywood treated with various fire retardants [J]. Building and Environment, 2007, 42(3): 1207-1211.
- [8] THOMPSON D C. Weather resistant, fire retardant preservative and protective compositions for the treatment of wood and cellulosic products; United States 5151127[P]. 1992.
- [9] 李为义,张求慧,赵广杰.阻燃处理木质壁纸的结构与性能表征[J].北京林业大学学报,2016,38(7):91-97.
LI W Y, ZHANG Q H, ZHAO G J. Structure and properties characterization of the flame retardant wood wallpaper[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2016, 38(7): 91-97. (in Chinese)
- [10] 吕钊霞,谷晓昱,张胜,等.氨基磺酸胍对尼龙6阻燃性能的影响[J].塑料,2016,45(4):36-38.
LYU Z X, GU X Y, ZHANG S, *et al.* Effect of guanidine sulfamate on the flame retardant of nylon 6[J]. Plastics, 2016, 45(4): 36-38. (in Chinese)
- [11] 魏效玲,薛冰军,赵强.基于正交试验设计的多指标优化方法研究[J].河北工程大学学报:自然科学版,2010,27(3):95-99.
- [12] 周玉珠.正交试验设计的矩阵分析方法[J].数学的实践与认识,2009,39(2):202-207.
ZHOU Y Z. A matrix analysis of orthogonal design[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2009, 39(2): 95-99. (in Chinese)
- [13] 王梅,胡云楚.木材及木塑复合材料的阻燃性能研究进展[J].塑料科技,2010,38(3):104-108.
WANG M, HU Y C. Research progress in fire-retardant of wood and wood plastic composites[J]. Plastics Science and Technology, 2010, 38(3): 104-108. (in Chinese)
- [14] 马林榕,张世锋,高强,等.氮磷硼阻燃剂及制备阻燃胶合板的性能评价[J].木材工业,2014,28(3):30-33.
MA L R, ZHANG S F, GAO Q, *et al.* Fire retardancy of plywood treated with a nitrogen-phosphorus-boron fire retardant [J]. China Wood Industry, 2014, 28(3): 30-33. (in Chinese)
- [15] 钟光华. BL-环保阻燃剂与常见无机阻燃剂对比研究初探[J].林业机械和木工设备,2006,34(8):19-20.
ZHONG G H. A contrast research between bl-environment friendly flame-retardant and common inorganic flame-retardant [J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2006, 34(8): 19-20. (in Chinese)
- [16] 潘景,吴赵旭,王凤玫,等.氮磷硼阻燃剂处理杨木的工艺及阻燃性能评价[J].木材工业,2013,27(3):47-50.
PAN J, WU Z X, WANG F M, *et al.* Fire resistance of poplar samples treated with nitrogen-phosphorus-boron fire retardant [J]. China Wood Industry, 2013, 27(3): 47-50. (in Chinese)