

一种水载型有机木材防腐剂的制备及其性能研究



CHENG Kang-hua

程康华, 朱 昆, 翟 炜

(南京林业大学化工学院 木材保护研究所, 江苏 南京 210037)

摘 要: 为了制取不含金属的水载型有机木材防腐剂,选择十二烷基二甲基苄基氯化铵(BAC)、多菌灵和吡虫啉作为木材防腐剂的组分,以 5% BAC、2% 多菌灵、1% 吡虫啉和 10% 乳化剂的配方,在乳化时间 30 min、乳化温度 70 ℃、搅拌速度 1 000 r/min 的条件下进行乳化,得到稳定的水载型有机木材防腐剂。对木材防腐剂进行防腐、防霉实验和抗流失实验,结果表明防腐剂在载药量 3.20 和 7.58 kg/m³ 时对彩绒革盖菌和密粘褶菌的防腐结果达到一级;在载药量为 0.354 和 0.372 kg/m³ 时曲霉素和绿色木霉对木材的危害为 0 级,显示了较好的防腐和防霉效果;用两相滴定法、薄层-紫外分光光度法和红外光谱法检测浸泡液中 BAC、多菌灵、吡虫啉 3 种有效成分的流失性能,3 种有效成分具有较好的抗流失性。在载药量为 3.20 kg/m³ 时,BAC 流失率为 9.44%,多菌灵流失率为 8.50%,吡虫啉流失率为 9.17%。

关键词: 木材防腐剂;BAC;多菌灵;吡虫啉;乳化剂;抗流失性

中图分类号:TQ351

文献标识码:A

文章编号:0253-2417(2011)02-0075-07

Preparation and Performance Study of a Waterborne Organic Wood Preservative

CHENG Kang-hua, ZHU Kun, ZHAI Wei

(College of Chemical Engineering and Wood Protection Research Institute, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: In order to prepare metal-free water-borne organic wood preservatives, BAC, carbendazim and imidacloprid were chosen as components of the preservative and a steady water-borne organic wood preservative was obtained under conditions of 5% BAC, 2% carbendazim, 1% imidacloprid and 10% emulsifier, 30 min of emulsification time, 70 ℃ of emulsification temperature and 1 000 r/min of stirring speed. The results of the experiment showed that the preservatives have good performances in anti-rot, anti-mould and anti-leaching for wood. Preservative effects against *Coriolus versicolor* and *Gloeophyllum trabeum* reached first degree at dosage of 3.20 and 7.58 kg/m³ respectively. Effects against *Aspergillus niger* and *Trichodemaviride* reached zero degree at dosage of 0.354 and 0.372 kg/m³ doses respectively. Two-phase titration, ultraviolet spectrophotometry and infrared spectroscope were used to detect the leachability of BAC, carbendazim and imidacloprid, the results showed that these components have good performance in anti-leachability. The loss rate of the BAC, carbendazim and imidacloprid was 9.44%, 8.50%, 9.17% respectively in the 3.20 kg/m³ dose.

Key words: wood preservatives; BAC; carbendazim; imidacloprid; emulsifier; anti-leachability

目前常用的水载型木材防腐剂都含有金属元素,如铜、铬、砷三种无机氧化物或无机盐组成的水溶性木材防腐剂(CCA)和无机铜类化合物和有机季铵盐类化合物组成的木材防腐剂(ACQ)等,这些含有金属元素的木材防腐剂的最大不足之处就是造成环境污染^[1],特别是CCA木材防腐剂,由于其含有铬和砷而对环境造成的污染比较严重,很多国家已经严格地限制了它们的使用。因此,当前一些科学工作者都把眼光放在水载型有机木材防腐剂的研究和开发上面来^[2-3],与CCA、ACQ等相比,水载型有机木材防腐剂具有环境友好、易于回收的优点^[4],作者制备了一种水载型有机木材防腐剂,并用两相滴定法、薄层、紫外分光光度法和红外光谱法对其防腐、防霉和抗流失性能进行了研究,以期对水载型防腐剂研究提供基础数据。

收稿日期:2011-02-24

作者简介:程康华(1954-),男,江苏丹阳人,教授,从事木材保护研究。

1 材料与方法

1.1 主要材料

十二烷基二甲基苄基氯化铵(BAC, 98%)、吡虫啉(工业级)、多菌灵(98%); OP-10、Span-20、Span-80、Tween-20、Tween-80均为分析纯;农乳系列乳化剂均购于江苏钟山化工有限公司。

白腐菌:彩绒革盖菌(*Coriolus versicolor*);霉菌:黑曲霉(*Aspergillus niger*)、绿色木霉(*Trichoderma viride*),南京林业大学化工院微生物实验室提供;褐腐菌:密粘褶菌(*Gloeophyllum trabeum*),购自中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所。

供防腐试验用树种:针叶材选用马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.),阔叶材选用毛白杨(*Populus tomentosa* Carr.),胸径均在200~300 mm,在胸高位置上截取,针叶材试样用于褐腐菌试验,阔叶材试样用于白腐菌试验。尺寸为20 mm×20 mm×10 mm(顺纹方向,下同),饲木应与试样取自同一树种的边材,尺寸为22 mm×22 mm×3 mm。

防霉试验试材:选用马尾松作为防霉试验的试材,尺寸为50 mm×20 mm×5 mm。

1.2 防腐剂组分及其用量的确定

借鉴农药行业的经验^[5-7]和做法,针对木材防腐、防霉、防虫的特点,对一些可能合适的药剂进行抑菌试验,从中筛选杀虫剂和杀菌剂作为木材防腐剂的主要组分,并确定它们的用量。

1.3 乳化剂种类与用量的选择

用Span-20(亲水亲油平衡值HLB 8.6)和Tween-20(HLB 16.7)配制一系列HLB值的乳液,通过析油的快慢来确定最佳HLB值^[8-9],为乳化剂的选择提供一定的依据。

1.4 乳液的制备

影响乳化的主要因素有乳化剂的用量、乳化时间、乳化温度、搅拌速度,在单因素试验中得到最佳的乳化时间、乳化温度和搅拌速度,用正交试验法对这些因素进行实验室考察,确定最佳工艺条件。

1.5 防腐和防霉实验

参照《中华人民共和国林业行业标准——木材防腐剂对腐朽菌毒性实验室试验方法》(LY/T1283-1998)及《防霉剂防治木材霉菌及蓝变菌的试验方法》(GB/T18261-2000),进行木材防腐防霉实验。

1.6 防流失实验^[10-12]

每个实验用9块20 mm×20 mm×20 mm的马尾松或毛白杨试件,经真空、加压处理法注入木材防腐剂,处理完成后在通风良好的地方放置21 d进行固着。固着后的试件置于锥形瓶中并用300 mL蒸馏水浸泡,试件须浸没在水面以下,锥形瓶口用防水纸包好,防止去离子水的蒸发,把锥形瓶放在恒温摇床上进行振荡以利浸提;在浸提过程中,需要更换锥形瓶中去离子水,先每隔6、24、48 h更换一次,后每隔48 h更换一次,共计浸泡14 d。保存好浸提液和试件以备分析用。

本研究分别用两相滴定法、薄层-紫外分光光度法和红外光谱法检测浸泡液中BAC、多菌灵、吡虫啉3种有效成分的抗流失率。

另取一组素材,按上述同样工艺处理,作为空白对照组试验。

2 结果与分析

2.1 防腐剂组分与用量的确定

2.1.1 组分的确定 筛选杀虫剂和杀菌剂的基本要求是高效、低毒和长效,作者参考和借鉴农药和目前木材防腐的经验和做法,针对木材防腐、防霉、防虫的对象和特点,选择了一些合适的药剂作为考察对象。

BAC和二癸基二甲基氯化铵(DDAC)是已经被证实的具有很好木材防腐功效的化学物质,且低毒稳定,但是BAC的价格较便宜,所以选择BAC作为防腐组分。

多菌灵、苯菌灵和甲基托布津都是很好的杀菌、防霉药剂,低毒稳定。已经证实苯菌灵和甲基托布津

起杀菌、防霉作用是它们在生物体内的形成代谢产物多菌灵,所以直接选择多菌灵作为防菌、防霉组分。

吡虫啉和氯氰菊酯等拟除虫菊酯都是很好的杀虫剂,且毒性较低,化学性质较稳定。但是拟除虫菊酯对鱼毒性很高,所以选择吡虫啉作为防虫组分。

2.1.2 用量的确定 通过抑菌实验对 BAC、多菌灵组分抑菌效果进行考察,结果见表 1。

表 1 BAC 与多菌灵的抑菌示意表¹⁾

Table 1 Bactriostasis of BAC and carbendazim

	药液质量分数/% mass concentration	彩绒革盖菌 <i>Corioliolus versicolor</i>	密粘褶菌 <i>Gloeophyllum trabeam</i>	黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i>	绿色木霉 <i>Trichodemaviride</i>
BAC	0	—	—	—	—
	1	25	33		25
	2	少量菌丝 a little hypha	36		25
	3	少量菌丝 a little hypha	36		25
	4	少量菌丝 a little hypha	少量菌丝 a little hypha		25
	5	基本无菌丝 almost no hyphae	基本无菌丝 almost no hyphae	12	26
多菌灵 carbendazim	0	—	—	—	—
	1	—	—	无菌丝 no hyphae	无菌丝 no hyphae
	2	—	—	无菌丝 no hyphae	无菌丝 no hyphae
	3	—	—	无菌丝 no hyphae	无菌丝 no hyphae
	4	—	—	无菌丝 no hyphae	无菌丝 no hyphae

1) 数字代表抑菌圈直径(mm),“—”代表无抑菌效果 data indicate bactriostasis circle diameter(mm),“—” indicate no bactriostasis efficacy

从以上实验可以看出,BAC 在质量分数为 2% 时,就能很好地抑制木材白腐菌(彩绒革盖菌)、褐腐菌(密粘褶菌)和绿色木霉;多菌灵在质量分数为 1% 时就能完全抑制黑曲霉和绿色木霉;根据农药中的防虫实验,吡虫啉在质量分数为 1% 时就有很好的防虫效果。最终确定乳液的配方:BAC 为 5%、多菌灵为 2% 和吡虫啉为 1%。

2.2 乳化剂种类及其用量的选择

2.2.1 最佳 HLB 值 把有机杀虫剂和杀菌剂制成水载型的木材防腐剂,需要用乳化剂进行乳化形成稳定的乳液,在乳化过程中需要确定乳化剂的最佳 HLB 值。制备水溶性(O/W 型)乳状液所需乳化剂的 HLB 值要大于 13,在 HLB 值大于 13 时,乳液是一种透明的液体,比较稳定^[13-14]。为了确定乳化剂最佳的 HLB 值,使用 Span-20(HLB 8.6)和 Twenn-20(HLB 16.7)配制一系列 HLB 值的乳化剂,并在这一系列 HLB 值的情况下配制出乳状液,通过乳状液析油的快慢,即溶液的稳定性来确定最佳 HLB 值,表 2 为不同 HLB 值下乳状液的情况。

表 2 HLB 值的选择

Table 2 Choice of HLB value

HLB 值 HLB value	稳定性 stability
14.2	出现析油慢 analysis of the oil appears slow
14.4	稳定不析油 analysis of the oil is not stoble
14.6	基本稳定 stable
14.8	出现析油慢 analysis of the oil appears slow

表 2 可以看出,在 HLB 值为 14.4 时,乳液不析油,比较稳定所以选择 14.4 作为乳化时 HLB 值。

2.2.2 乳化剂种类确定 能否得到稳定的乳状液,乳化剂的选择很关键。表面活性剂分为离子型表面活性剂和非离子型表面活性剂。非离子型表面活性剂在溶液中不呈离子状态,故稳定性好、不怕硬水,不受 pH 值、无机盐、酸和碱的影响^[15],所以选择非离子型表面活性剂作为防腐剂的乳化剂。

2.2.3 乳化剂用量确定 为了确定乳化剂用量,使用不同量的乳化剂配制成防腐剂,然后观察不同乳化剂用量下防腐剂的离心稳定性、分散性、固化物含量和溶解状况,而乳液的离心稳定性、分散性及固含

量是决定乳液稳定性品质的重要标准,因此实验中对三者进行考察,以其最好的结果作为乳化剂用量的依据(见表3)。

表3 乳化剂用量的选择

Table 3 Choice of emulsifier dosage

乳化剂用量/% emulsifier dosage	离心稳定性/级 centrifugal stability/grade	分散性/级 dispersibility/grade	固含量/% solid content	溶解状况 solution state
3	6	4	11.19	不透明液体,有固体颗粒 opaque liquid, solid particles
5	5	3	13.42	淡黄色半透明液体 yellow translucent liquid
10	1	1	18.53	淡黄色透明液体 light yellow transparent
15	1	2	19.11	乳化时,大量气泡,粘稠 emulsification, the large liquid number of bubbles, thick
20	1	3	19.97	淡黄色膏状 light yellow paste

从表3可知,当乳化剂用量10%时,离心稳定性1级、分散性1级、固含量达到18.53%。综合三者考虑,乳液的最佳乳化剂用量为10%,此时能获得固含量较高、稳定性较好的淡黄色透明产品。

2.3 最佳工艺条件

在单因素试验中得到最佳的乳化时间30 min、乳化温度70℃和搅拌速度1000 r/min。在单因素工艺条件确定后,用正交试验法对这些因素进行综合考察,具体见表4。

表4 正交试验的结果

Table 4 Result of the orthogonal test

序号 No.	A 搅拌速度/(r·min ⁻¹) stirring speed	B 乳化时间/min emulsify time	C 乳化温度/℃ emulsify temp.	D 乳化剂用量/% emulsifier dose	离心稳定性/级 centrifugal stability/ grade
1	800	25	65	9	6
2	800	30	70	10	1
3	800	35	75	11	5
4	1000	25	70	11	4
5	1000	30	75	9	2
6	1000	35	65	10	3
7	1200	25	75	10	5
8	1200	30	65	11	4
9	1200	35	70	9	2
<i>k</i> ₁	4.00	5.00	4.33	3.33	
<i>k</i> ₂	3.00	2.33	2.33	3.00	
<i>k</i> ₃	3.67	3.33	4.00	4.33	
<i>R</i>	1.00	2.67	2.00	1.33	

由极差分析结果可知,影响最明显的因素是乳化时间,极差反映出各因素影响大小顺序为乳化时间>乳化温度>乳化剂用量>搅拌速度,最佳因素组合为乳化时间30 min、乳化剂用量10%、乳化温度70℃和搅拌速度1000 r/min。

2.4 防霉防腐实验

为了测试木材防腐剂的使用效果,必须进行木材防霉和防腐实验,观察防腐剂对常见的霉菌和木材腐朽菌的防治效果。

2.4.1 防霉性能

防霉性能中选择黑曲霉和绿色木霉作为防霉效果测试,其结果见表5。

从表5可知,对于两种霉菌而言,处理过的试样被害值都随着吸药量的增加而降低,防霉效果愈加明显,其中,当处理质量分数达到0.5%时,防霉等级便达到了0。在载药量为0.354 kg/m³时,黑曲霉对木材被害值便可达到0;在载药量为0.372 kg/m³时,绿色木霉对木材的防霉等级便可达到0,达到满意的防霉效果。

2.4.2 防腐实验 防腐实验中用彩绒革盖菌和密粘褶菌进行12周的防腐实验,并且用防腐剂ACQ-D作对照试验,然后测试木材的失重率,根据失重率确定木材的耐腐等级,测试结果见表6和表7。

表5 对黑曲霉和绿色木霉的抑制效果

Table 5 Inhibition effect against *Aspergillus niger* and *Trichodemaviride*

霉菌 mould	防腐剂 preservatives	药液质量分数/% liquor mass fraction	载药量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) liquor dose	感染面积 infection area	防霉等级 anti-mould grade
黑曲霉 <i>A. niger</i>	空白 blank	0	0	>3/4	4
	水载型有机木材防腐剂 water containing organic wood preservatives	0.1	0.062	0~1/4	1
		0.5	0.354	0	0
绿色木霉 <i>T. viride</i>	空白 blank	0	0	>3/4	4
	水载型有机木材防腐剂 water containing organic wood preservatives	0.1	0.065	0~1/4	1
		0.5	0.372	0	0
		1	0.991	0	0

表6 对彩绒革盖菌的防腐结果

Table 6 Inhibition effect against *Coriulus versicolor*

防腐剂 preservatives	药液质量分数/% liquor mass fraction	载药量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) liquor dose	失重率/% mass loss	耐腐等级 anti-decay grade
空白 blank	0	0	45.29	III
水载型有机木材防腐剂 water containing organic wood preservatives	0.2	1.19	11.52	II
	0.6	3.20	9.84	I
	1.0	5.48	9.01	I
	1.4	8.54	8.21	I
	1.8	11.12	7.32	I
ACQ-D	0.2	1.21	5.10	I
	0.6	3.25	2.98	I
	1.0	5.33	1.78	I

从表6中可以看出,对彩绒革盖菌的抑制,随着木材的载药量的增加效果越来越好。空白试样的耐腐等级为III级,有机木材防腐剂处理的试样在载药量 3.20 kg/m^3 时效果达到I级耐腐等级、ACQ-D处理的试样在载药量 1.21 kg/m^3 达到了I级耐腐等级,达到了很好的防腐效果。

表7 对密粘褶菌的防腐结果

Table 7 Inhibition effect against *Gloeophyllum trabeam*

防腐剂 preservatives	药液质量分数/% liquor mass fraction	载药量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) liquor dose	失重率/% mass loss	耐腐等级 anti-decay grade
空白 blank	0	0	31.12	III
水载型有机木材防腐剂 water containing organic wood preservatives	0.2	1.59	17.96	II
	0.6	4.32	11.27	II
	1.0	7.58	9.21	I
	1.4	11.39	8.89	I
	1.6	14.94	7.21	I
ACQ-D	0.2	1.69	7.17	I
	0.6	3.59	5.13	I
	1.0	5.19	2.16	I

从表7中可以看出,空白试样耐腐等级为III级,随着药液质量分数和木材载药量的增加,试样失重率均逐渐降低。有机木材防腐剂处理的试样失重率在载药量 7.58 kg/m^3 时达到I级耐腐等级、ACQ-D处理的试样在载药量 1.69 kg/m^3 时便达到了I级耐腐等级,达到了很好的防腐效果。

2.5 抗流失性实验

水载型有机木材防腐剂的有效成分比较容易流失,如果防腐剂的有效成分在较短的时间内从木材中流失,木材中的有效成分浓度就降低,达不到抑制腐朽菌的有效浓度和载药量,木材防腐、防霉的能力

就会下降,因此,检测水载型有机木材防腐剂中有效成分的抗流失性是一项重要的工作,同时水载型有机木材防腐剂中有效成分的抗流失性能也是一项重要的指标。

每次用9块20 mm × 20 mm × 20 mm的马尾松或毛白杨试件,分别在载药量3.20、5.48和8.54 kg/m³的情况下做抗流失实验,测定其浸泡液中和试件中的BAC、多菌灵和吡虫啉的量,分别计算出它们各自的流失率。

2.5.1 BAC流失率 用两相滴定法测定BAC的流失率。

从表8中可以看出,在载药量为8.54 kg/m³时流失率为24.72%,在载药量为3.20 kg/m³时流失率为9.44%,在一般使用情况下,载药量达到4.0 kg/m³就能满足需要,而此时的流失率还是在可以接受的范畴内,BAC的抗流失性能还是比较令人满意的,这是因为季铵盐对木材具有较好亲和力,通过阳离子交换作用固定在木材上,具有良好的抗流失性。

2.5.2 多菌灵流失率 多菌灵的检测是利用薄层-紫外分光光度的方法,所以必须先得到一张标准曲线图。从实验可知,多菌灵的标准曲线方程为 $y = 2.4944x, R^2 = 0.999$ 。

从表8中可以看出,在载药量为8.54 kg/m³时流失率为21.69%,在载药量为3.20 kg/m³时流失率为8.50%,多菌灵的抗流失性能还是比较令人满意的,这是因为多菌灵是有机化合物,不溶于水的缘故。

2.5.3 吡虫啉流失率 吡虫啉的检测是利用红光光谱的方法,必须先得到一张标准曲线图。从实验可知,吡虫啉的标准曲线方程为 $y = 0.0241x + 0.1345, R^2 = 0.999$ 。

从表8中可以看出,吡虫啉在载药量为8.54 kg/m³时流失率为29.13%,在载药量为3.20 kg/m³时流失率为9.17%。

表8 BAC、多菌灵和吡虫啉的流失率

Table 8 Leachability rates of BAC, carbendazim and imidacloprid

试剂 reagent	总载药量/(kg·m ⁻³) total liquor dose	流失液中总量/g leached amount	消化液中总量/g total amount in liquor	流失率/% leachability
BAC	3.20	0.0136	0.130	9.44
	5.48	0.0338	0.213	13.70
	8.54	0.0950	0.289	24.72
多菌灵 carbendazim	3.20	0.00490	0.057	8.50
	5.48	0.00998	0.886	10.12
	8.54	0.03340	0.121	21.69
吡虫啉 Imidacloprid	3.20	0.00264	0.026	9.17
	5.48	0.00604	0.043	12.25
	8.54	0.02240	0.055	29.13

3 结论

3.1 水载型有机木材防腐剂的有效成分十二烷基二甲基苄氯化铵(BAC)为5%、多菌灵为2%、吡虫啉为1%,这种配方的防腐剂对木材有比较好的防腐和防霉性能。


3.2 在乳化时间30 min、乳化剂用量10%、乳化温度70℃、搅拌速度1000 r/min的条件下,采用乳化剂在油相中的乳化方法,可制备出稳定性、分散性较好,固含量较高的木材防腐剂。

3.3 水载型有机防腐剂对彩绒革盖菌的抑制效果,在载药量为3.20 kg/m³时可以达到I级耐腐等级;对霉菌的抑制效果,在载药量为0.354 kg/m³时,黑曲霉素对木材被害值便可达到0;在载药量为0.372 kg/m³时,绿色木霉对木材的防霉等级便可达到0,达到满意的防霉效果。

3.4 分别用两相滴定法、薄层-紫外分光光度法和红外光谱法,定量分析了水载型有机木材防腐剂中BAC、多菌灵和吡虫啉各成分在木材中的流失性,在载药量为3.20 kg/m³时,BAC流失率为9.44%,多菌灵流失率为8.50%,吡虫啉流失率为9.17%,表明3种成分都表现出了较为满意的抗流失率。

参考文献:

- [1] THOMPSON R. The chemistry of wood preservation[J]. The Royal Society of Chemistry Press, Cambridge, 1991, 73(1):193-223.
- [2] RICHARDSON B A. Organic wood preservatives' activity and safety in relation of structure[J]. Pr Amer Wood Preserv Asso, 1988, 84(2): 56-69.
- [3] PETER E, LAKS, JAMES B. Performance of chlorothalonil and chlorothalonil/biocide combinations in antisapstain tests[J]. Forest Prod J, 2002, 41(5):23-30.
- [4] 单正军, 朱忠林, 蔡道基. 吡虫啉的环境行为研究(二)[J]. 农药科学与管理, 1999, 20(1):17-18.
- [5] 高希武. 新编实用农药手册[M]. 郑州: 中原农民出版社, 2002.
- [6] 张一宾, 张怿. 世界农药新进展[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007:44-69.
- [7] 宋宝安. 杀菌剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009:142-202.
- [8] 曹同玉, 刘庆普, 胡金生. 聚合物乳液合成原理性能及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 1997:492-493.
- [9] 姚胜华, 魏建勤, 吴楚. 柴油-乙醇乳化燃料乳化剂的最佳 HLB 值研究[J]. 浙江大学学报:工学版, 2004, 38(7):899-901.
- [10] AWPA E11-06 Standard Method of Determining the Leachability of Wood Preservatives[S]. 1993-01-20.
- [11] 木材节约发展中心. SB/T 10405-2006 防腐木材化学分析前的湿灰化方法[S]. 中华人民共和国商务部, 2006.
- [12] 木材节约发展中心. SB/T 10432-2007 木材防腐剂铜氨(胺)季铵盐(ACQ)[S]. 中华人民共和国商务部, 2007.
- [13] 敬登伟. 微乳液体系相行为的一种表达——鱼形相图[J]. 日用化学工业, 2003, 33(4):241-248.
- [14] 梁梦兰. 表面活性剂和洗涤剂的制备、性质和应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1992.
- [15] 刘幸平. 物理化学[M]. 北京: 中国医药出版社, 2005:217-221.



学会园地

1. 接中国林学会关于2010年专项工作(学术、科普、咨询、组织)先进单位评选通报, 林化分会获2010年度学术交流工作和组织建设两项先进单位。

2. 经林化分会常务理事扩大会议研究, 并报请中国林学会批准, 林化所蒋剑春所长、福建省元力活性炭有限公司卢元健董事长、广东省科茂化工有限曾广建董事长等三同志为第七届林化分会副理事长, 决定增补林化所黄立新副所长、商士斌研究员为第七届林化分会理事。