

DOI: 10.12326/j.2096-9694.2022147

儿茶素改性水性 UV 木器涂料的 抗菌抗病毒及漆膜性能研究

燕力榕¹, 冯启明¹, 徐佳鹤¹, 夏同强², 林蔚², 赵荣军¹

(1. 中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 北京金隅天坛家具股份有限公司, 北京 100013)



摘要: 选用一种适合与水性UV木器涂料混合的儿茶素类生物功能材料作为抗菌抗病毒助剂, 制备具有抗菌抗病毒功能的环保木器涂料(标记为AWU涂料), 并与未添加助剂的水性UV木器涂料(标记为WU涂料)对比分析, 探究儿茶素改性水性UV木器涂料的抗菌抗病毒活性及漆膜理化性能。结果表明: AUW涂料漆膜的抗菌率及抗病毒活性率均大于99.99%, 实现了抗菌抗病毒的效果; 抗菌抗病毒助剂加入未对漆膜的微观形貌造成不利影响, 同时改善了漆膜的铅笔硬度、光泽度, 还优化了涂饰后木器表面的色度, 为抗菌抗病毒木器涂料的研发与应用提供了理论依据。

关键词: 儿茶素改性水性UV涂料; 抗菌; 抗病毒; 漆膜理化性能

中图分类号: TQ637; TS653.6 文献标识码: A 文章编号: 2096-9694 (2023) 02-0059-07

Study on Antibacterial, Antiviral and Film Properties of Catechin Modified Waterborne-UV Wood Coatings

YAN Lirong¹, FENG Qiming¹, XU Jiahe¹, XIA Tongqiang², LIN Wei², ZHAO Rongjun¹

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Beijing Building Material Group Tiantan Furniture Company Limited, Beijing 100013, China)

Abstract: In this study, a catechin biological-functional material was selected as the antibacterial and antiviral additive to mix with a waterborne-UV wood coating (labeled as AWU coating). The antibacterial and antiviral environment-friendly wood coating made in the laboratory was compared with the waterborne-UV coatings without the additives (labeled as WU coating). The advantages of the catechin modified waterborne-UV wood coatings were explored in aspects of antibacterial, antiviral, and physicochemical properties of the film. The results showed that the antibacterial rate and antiviral activity rate of the AWU film were greater than 99.99%, indicating a high antibacterial and antiviral efficiency. The addition of antibacterial and antiviral additives did not affect the micromorphology of the film. Furthermore, antibacterial and antiviral additives improved the hardness and glossiness of the film, and greatly optimized the chromaticity of the wood surface. This study provides a theoretical basis for the development and application of antibacterial and antiviral wood coatings.

收稿日期: 2022-07-26; 修改日期: 2022-08-06

作者简介: 燕力榕 (1999—), 女, 硕士研究生。

通讯作者: 林蔚, 女, 高级工程师。Email: linwei@tintan.com.cn

Key words: catechin modified waterborne-UV coatings; antibacterial; antiviral; physicochemical properties of coatings

近年来水性木器涂料的研发日益成熟, 紫外光(Ultraviolet, UV)固化涂料技术也得到了突飞猛进的发展, 水性UV木器涂料因其固化速度快、涂装效果好、环境友好等特点, 得到了广泛的应用^[1-3]。但由于木材本身具有多孔性, 以及涂料涂饰工艺等因素的影响, 导致木器漆膜表面存在部分细微的孔隙结构^[4-5], 这些孔隙结构可能会吸附空气中附着有细菌、病毒的部分微尘和气溶胶颗粒^[6]。因此, 研发能够抑制微生物生长甚至灭活细菌及病毒的涂料迫在眉睫^[7-8]。

国内外对抗菌抗病毒涂料已有一些研究, 主要是通过添加具有抗菌或抗病毒效果的有效成分作为助剂, 对附着在涂层表面的细菌或病毒进行灭杀, 赋予涂料抗菌抗病毒的功能^[9]。如选用异噻唑啉酮类、吡啶类、季铵盐类等聚合物作为抗菌抗病毒助剂或包裹助剂的载体^[10-11], 通过电荷排斥使病毒和细菌不易附着在涂层表面, 同时在特定条件下释放抗菌抗病毒助剂, 达到灭菌、灭病毒的效果。此外, 金属离子或金属氧化物^[12-13]也一直是涂层改性助剂的研究热点, 特别是银、铜及锌离子或其氧化物, 具有较高的抗菌抗病毒活性, 可以粘附在病毒包膜上破坏其遗传物质。近几年, 功能纳米材料也逐渐成为研究热点^[14-15], 因其高比表面积以及与细菌、病毒相似的物理尺寸, 可以通过生物效应抑制细菌、病毒与材料表面附着, 或诱导细菌、病毒灭活。

随着“双碳”目标的提出, 研究者及行业工作者们在开发抗菌抗病毒涂料的同时, 也关注涂料的毒理性, 并倡导绿色无毒、可持续发展的生产理念, 避免对人类健康和生态环境造成负面影响。天然高分子聚合物类抗菌抗病毒助剂具有良好的活性, 可以通过抑制细菌代谢或改变病毒结构等方式, 对细菌和病毒进行灭活, 最重要的是这些助剂的来源绿色健康、功能持久, 具有环境友好特性, 同时不会对漆膜理化性能造成不良影响, 因而得到行业的广泛关注^[16-18]。研究发现, 儿茶素类生物功能材料中含有大量的多酚及黄酮类化合物, 具有天然的抗菌抗病毒活性^[19-20], 有望作

为抗菌抗病毒助剂应用于木器涂料中, 实现功能拓展。

鉴于此, 笔者选用儿茶素类生物功能材料作为抗菌抗病毒助剂, 以饰面中密度纤维板为基材, 开发了一种适用于木器的抗菌抗病毒涂料, 探究漆膜的抗菌抗病毒性能, 并对涂料的理化性能等进行表征, 揭示抗菌抗病毒助剂对木器涂料漆膜性能的影响, 使木器表面具备抗细菌抗病毒的活性, 从而降低木器表面细菌及病毒的传播危害。

1 材料与方法

1.1 试验材料

水性UV涂料: 单组分, 主要成分为丙烯酸树脂, 固体含量 $\geq 98\%$, 黏度为3 000~5 000 Pa·s, 外购。

抗菌抗病毒助剂: 深棕色液体, 有效成分为儿茶素类生物功能材料(固体含量 $\geq 45\%$), pH值5.5~6.5, 密度1.05~1.10 g/mL, 外购。

中密度纤维板(MDF): 胡桃木(*Juglans regia*)薄木贴面, 密度730 kg/m³, 规格150 mm(长)×100 mm(宽)×10 mm(厚), 含水率3%~10%, 共100块。外购。

菌种与病毒: 大肠埃希氏菌(*Escherichia coli*, AS1.90), 金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*, AS1.89), 生长介质为NA营养琼脂培养基。甲型H3N2流感病毒(*Influenza virus*, ATCC VR-1679), 宿主为MDCK细胞(ATCC CCL-34), 生长介质为EMEM培养基; 猫杯状病毒(*Feline calicivirus*, ATCC VR-782), 宿主为CRFK细胞(ATCC CCL-94), 生长介质为RPMI 1640培养基。

1.2 试验设备

恒温培养箱(37±1)℃、离心机、烘箱(WGZ-9240B)、扫描电子显微镜(S-4800)、光泽计(H6000677)、漆膜磨耗仪(Taber型)、冲击器(QCJ)、铅笔硬度仪(QHQ型)、接触角检测仪(HARKE SPCA-X3)、电脑色差仪(NH300)等。

1.3 试验方法

在前期预试验的基础上, 首先将一定量的抗

菌抗病毒助剂加入到相对应质量的水性UV涂料中（抗菌抗病毒助剂的添加量为水性UV涂料质量的2%），共混物在800~2 000 r/min下磁力搅拌2 min，使抗菌抗病毒助剂在水性UV涂料中充分分散，得到儿茶素改性水性UV涂料，记为AWU涂料。未添加抗菌抗病毒助剂的标记为WU涂料。

将制备的涂料移至喷枪中，用喷枪在贴胡桃薄木表面喷涂（封闭底漆涂布量15~25 g/m²，透明底漆涂布量60~85 g/m²，面漆涂布量30~40 g/m²）后在室温下静置1 h，随后将试件放置在温度为60~70 ℃、照度为350~400 mW/cm²的UV环境下照射1 s使其表面发生瞬时固化，然后在室温下静置3~5 s至涂层完全固化后作为试验样品，标记为试件AWU。

每组试验涂饰6块板材，在相同的固化条件下未添加助剂的水性UV涂料喷涂的贴面中密度纤维板作为对照样品，标记为试件WU。

1.4 性能测试

1.4.1 漆膜抗菌抗病毒性能：1) 根据GB/T 21866—2008《抗菌涂料（漆膜）抗菌性测定方法和抗菌效果》测试漆膜表面抗大肠杆菌、金黄色葡萄球菌的性能，记录培养24 h后活菌数，并计算抗菌率。重复测试12个样品，结果取平均值。2) 为了进一步验证涂料的抗病毒效果，采用ISO: 21702: 2019 “*Measurement of antiviral activity on plastics and other non-porous surfaces*”测试漆膜表面抗甲型H3N2流感病毒以及猫杯状病毒的性能，并计算抗病毒活性。重复测试12个样品，结果取平均值。

1.4.2 漆膜微观形貌 对WU及AWU涂料涂饰后的漆膜表面及MDF试件的横切面和纵切面的形貌进行观察，加速电压为5 kV。

1.4.3 漆膜理化性能 按照GB/T 4893系列标准，进行耐冷液、耐湿热、耐干热、附着力、光泽、耐磨性和抗冲击测试，具体试验条件见表1。各性能指标均测试3个试件。

1.4.4 漆膜水接触角 选取3块试件，在室温下检测涂饰试件的水接触角。每个样品分别取同一测试表面5个不同位置进行检测，重复3次，最后将所得数据取平均值即为静态水接触角。

表1 漆膜理化性能测定参考标准及方法
Tab.1 Standards and methods of measuring physical and chemical properties of the paint film

理化性能	标准方法	测试条件
耐冷液	GB/T 4893.1—2021 《家具表面漆膜理化性能试验 第1部分:耐冷液测定法》	温度(23±2)℃ 相对湿度(50±5)% 时间1 440 min
耐湿热	GB/T 4893.2—2020 《家具表面漆膜理化性能试验 第2部分:耐湿热测定法》	温度(85±1)℃ 相对湿度(50±5)% 时间20 min
耐干热	GB/T 4893.3—2020 《家具表面漆膜理化性能试验 第3部分:耐干热测定法》	温度(85±1)℃ 相对湿度(50±5)% 时间20 min
附着力	GB/T 4893.4—2013 《家具表面漆膜理化性能试验 第4部分:附着力交叉切割测定法》	温度(20±2)℃ 相对湿度60%~70%
光泽	GB/T 4893.6—2013 《家具表面漆膜理化性能试验 第6部分:光泽测定法》	温度(20±2)℃ 相对湿度60%~70%
耐磨性	GB/T 4893.8—2013 《家具表面漆膜理化性能试验 第8部分:耐磨性测定法》	温度(20±2)℃ 相对湿度60%~70% 磨转1 000次
抗冲击	GB/T 4893.9—2013 《家具表面漆膜理化性能试验 第9部分:抗冲击测定法》	温度(20±2)℃ 相对湿度60%~70% 冲击高度50 mm
硬度	GB/T 6739—2006 《色漆和清漆 铅笔法测定漆膜硬度》	温度(23±2)℃ 相对湿度(50±5)%

1.4.5 漆膜色度学参数 采用国际照明委员会颁布的CIE(1976) $L^*a^*b^*$ 表色系统，对涂饰试件的颜色进行定量度量。 L^* 表示明度， a^* 表示红绿色品指数， b^* 表示黄蓝色品指数， C^* 表示色饱和度， H^* 表示色相。每种涂料取样3块，每块试件沿中心线取5个检测点，共15个，取平均值，计算试件的表色指数差值 ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* 、 ΔH^* 、 ΔC^* 和总色差值 ΔE^* 。

2 结果与讨论

2.1 漆膜抗菌抗病毒性能

2.1.1 漆膜抗菌性能 不同涂料涂饰试板的漆膜抗菌性能测试结果见表2。

由表2可知，阴性对照样板和空白对照样板WU在接种菌液24 h后回收菌液浓度基本一致，呈现增加的趋势；儿茶素改性水性UV涂料试验样板AWU对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的24 h后回收菌液浓度均小于20 cfu/片，远小于阴性对照样板和空白对照样板WU，其表面抗菌率均大于99.99%，有效抑制了漆膜表面细菌生长繁殖。可以达到与

表 2 漆膜抗大肠杆菌及金黄色葡萄球菌的测试结果

Tab.2 Test results of anti *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* of the paint film

接种菌落种类	接种菌液浓度/(cfu·mL ⁻¹)	24 h 后平均回收菌液浓度/(cfu·片 ⁻¹)			抗菌率/%
		阴性对照样板	空白对照样板 WU	儿茶素改性水性 UV 涂料试验样板 AWU	
大肠杆菌	7.4×10 ⁵	4.8×10 ⁷	4.8×10 ⁷	<20	>99.99
金黄色葡萄球菌	7.1×10 ⁵	1.1×10 ⁷	1.0×10 ⁷	<20	>99.99

注:样品灭菌方式为 UV 灭菌 5 min。

改性天然生物分子 PA 涂料相似的抗大肠杆菌及金黄色葡萄球菌活性^[17], 并符合 GB/T 21866—2008 中 I 级抗菌要求 (抗菌率≥99.00%), 说明 AWU 涂料对大肠杆菌及金黄色葡萄球菌具有优异的抗菌效果。

2.1.2 漆膜抗病毒性能 不同涂料涂饰试板的漆膜抗病毒性能的影响结果, 见表 3。

由表 3 可知, 接种病毒 24 h 后 AWU 试件表面甲型 H3N2 流感病毒和猫杯状病毒平均病毒滴度的

对数值分别从 6.09、5.34 mL 降低至<1.50 mL, 抗甲型 H3N2 流感病毒活性值>3.8, 抗猫杯状病毒活性值>3.4。Haldar 等^[21]研究了 9 种 PEIs 聚合物涂层, 甲型 H3N2 流感病毒在其中 3 种涂层表面接种 30 min 后达到了 100% 的抗病毒活性。尽管 AWU 涂料并未表现出优异的快速抗病毒效果, 但接种病毒 24 h 后 AWU 漆膜表面的抗病毒活性率大于 99.9%, 说明抗菌抗病毒助剂的加入为涂料提供了较好的抗病毒效果。

表 3 漆膜抗甲型 H3N2 流感病毒和猫杯状病毒的测试结果

Tab.3 Test results of anti *influenza virus* (H3N2) and *Feline calicivirus* of the paint film

病毒种类	漆膜种类	接种时间/h	病毒滴度 1 TCID ₅₀ /mL	病毒滴度 2 TCID ₅₀ /mL	病毒滴度 3 TCID ₅₀ /mL	平均病毒滴度的 对数值 lgTCID ₅₀ /mL	抗病毒活性值	抗病毒活性率/%
甲型 H3N2 流感病毒 (ATCC VR-1679)	空白对照样板 WU	0	6.14	6.00	6.14	6.09	>3.8	>99.9
		24	5.29	5.33	5.39	5.34		
	儿茶素改性水性 UV 涂料试验样板 AWU	24	<1.50	<1.50	<1.50	<1.50		
猫杯状病毒 (ATCC VR-782)	空白对照样板 WU	0	5.90	5.83	5.80	5.84	>3.4	>99.9
		24	4.88	4.90	4.90	4.89		
	儿茶素改性水性 UV 涂料试验样板 AWU	24	<1.50	<1.50	<1.50	<1.50		

2.2 漆膜表面形貌

添加抗菌抗病毒助剂后涂料涂饰 MDF 表面的微观形貌见图 1。

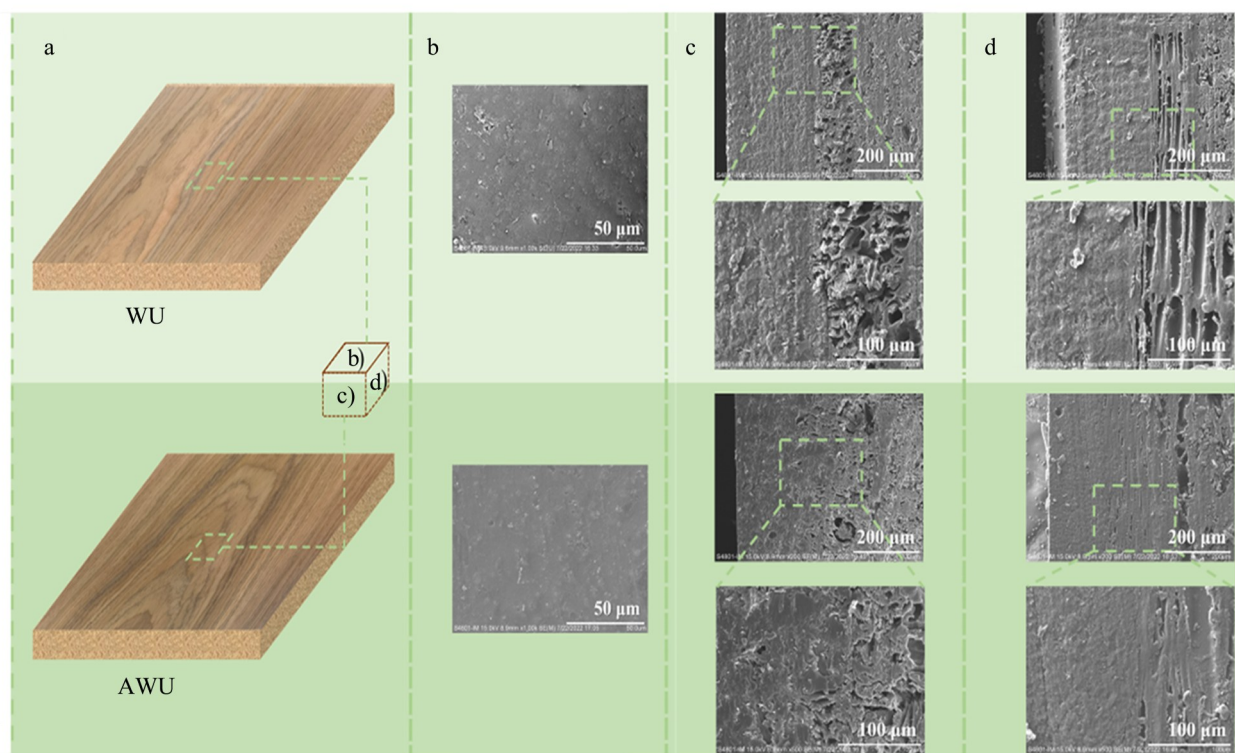
观察漆膜表面 (图 1b), 两种漆膜表面均有颗粒状物质, 但试件 AWU 表面相对于试件 WU 表面没有明显的团聚现象。这可能是由于抗菌抗病毒助剂中存在活性基团与涂料中的丙烯酸形成了交联结构, 优化了漆膜的性能^[2]。进一步观察 MDF 试件的横切面和纵切面 (图 1c、1d), WU 涂料与薄木结合的横切面方向可以直接看到部分裸露的导管, 纵切面方向上也存在部分裸露的轴向细胞腔; 而经 AWU 涂料涂饰后, 涂料部分填充进入薄木表面裸露的沟槽状的细胞腔和细胞隙中, 达到了较好的附着效果。综合观察试件的微观形貌, 添加抗菌抗病毒助剂没有对漆膜造成不利影响。

2.3 漆膜性能

2.3.1 漆膜理化性能 抗菌抗病毒助剂对漆膜理化性能的影响结果, 见表 4 和表 5。

由表 4 可知, 试件 AWU 漆膜的铅笔硬度为 3H, 比试件 WU 的高, 达到了不低于 2H 的要求, 且漆膜表面未出现塑性变形、内聚破坏等缺陷。

漆膜光泽度反映了漆膜对光的反射能力。对于木材来说, 光泽度大的表面视觉效果较好。本研究采用入射角度 60°±0.1°的入射光线进行光泽测定, 发现抗菌抗病毒助剂改善了漆膜的光泽度, 试件 AWU 的光泽度达到 26 GU, 而试件 WU 的光泽度为 22 GU。结合漆膜的表面微观形貌 (图 1b) 分析可知, 这是由于试件 AWU 的漆膜分布更均匀, 粗糙度低, 抑制了漫反射, 从而增加了光泽度^[22]。



a 涂饰后的贴面 MDF 试件;b 试件表面;c 试件横切面;d 试件纵切面。

图 1 WU 及 AWU 涂料涂饰的照片及微观形貌

Fig.1 Photographs of WU and AWU coatings and SEM images of coating surfaces

表 4 抗菌抗病毒助剂对漆膜理化性能的影响

Tab.4 Effect of antibacterial and antiviral additives on physicochemical properties of the paint film

试件	硬度	光泽度	附着力	耐磨性	抗冲击性能
WU	2H	22 GU	1 级	1 级	2 级
AWU	3H	26 GU	1 级	1 级	2 级

表 5 抗菌抗病毒助剂对漆膜耐冷液等性能的影响

Tab.5 Effect of antibacterial and antiviral additives on the resistance to cold liquid and other properties of paint film

试件	耐酸	耐碱	耐盐	耐乙醇	耐 84	耐洗涤剂	耐咖啡	耐饮料	耐干热	耐湿热
WU	1 级	2 级	1 级	1 级	1 级	1 级	1 级	1 级	1 级	1 级
AWU	1 级	2 级	1 级	1 级	1 级	1 级	1 级	1 级	1 级	1 级

涂层的附着力代表漆膜与基体的接合强度，附着力高的漆膜能够起到保护和装饰的作用^[23]。交叉切割测试后，试件 WU 及 AWU 的漆膜在切割交叉处有少许漆膜脱落，交叉切割面积受影响未超过 5%。抗冲击性能是漆膜耐久性能的一个衡量指标，高抗冲击性可以防止漆膜因振动而磨损。冲击测试后试件 WU 及 AWU 的漆膜表面均无裂纹，但可见冲击印痕。磨耗测试后，试件 WU 及 AWU

的漆膜未见明显露白。试件 WU 及 AWU 的漆膜附着力及耐磨性能均为 1 级，抗冲击性能均为 2 级。UV 漆膜的附着力、抗冲击性能和耐磨性能没有因为添加抗菌抗病毒助剂而发生改变，且助剂在涂料中分散均匀，没有破坏 WU 的结构，所以添加抗菌抗病毒助剂对漆膜附着力、抗冲击性能及耐磨性能无影响。

漆膜耐冷液性能强弱与漆膜质量和使用寿命紧密相关，是衡量漆膜性能的一个重要指标。表 5 显示，试件 WU 及 AWU 漆膜表面在耐冷液、耐干热、湿热测试中表现一致，基本没有出现褪色、变色、鼓泡、膨胀等损伤，仅当光源投射到试验表面并反射到观察者眼睛中时可区分试验区域与相邻区域的轻微变化；除耐碱等级为 2 级，其他耐冷液及耐干热、湿热性能均为 1 级。这表明添加抗菌抗病毒助剂对涂料的耐冷液及耐干热、耐湿热性能没有影响；同时说明涂料具有良好的耐冷液及耐干热、耐湿热性能，能够很好地保护基材表面，使其免受这些溶剂及干热、湿热的损害。

2.3.2 表面水接触角 试件 WU 及 AWU 的静态水接触角测试结果见图2。

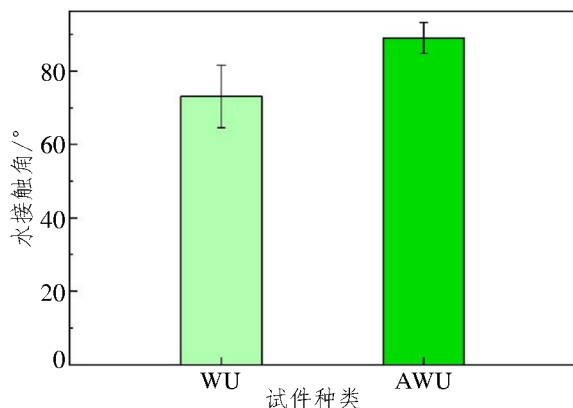


图2 涂饰后试件的静态水接触角

Fig.2 Photographs of static water contact angle of primer

图2显示, 试件 WU 和 AWU 漆膜水接触角的平均值分别为 $73.12^\circ \pm 8.53^\circ$ 和 $89.00^\circ \pm 4.25^\circ$, 添加抗菌抗病毒助剂后, 水接触角提高了约 15° , 可以更有效地阻止水分在漆膜表面滞留, 从而达到较好的防护效果。结合漆膜的表面微观形貌 (图1b) 分析, 这可能是由于儿茶素类物质中活跃的酚羟基可以与水性漆中的吸水性羟基、羧基、醛基等发生醚化、酯化、交联反应等, 从而提高了漆膜表面的疏水性能^[24-26]。

2.3.3 漆膜表面颜色 涂饰 WU 及 AWU 涂料后试件的色度值变化, 如图3所示。

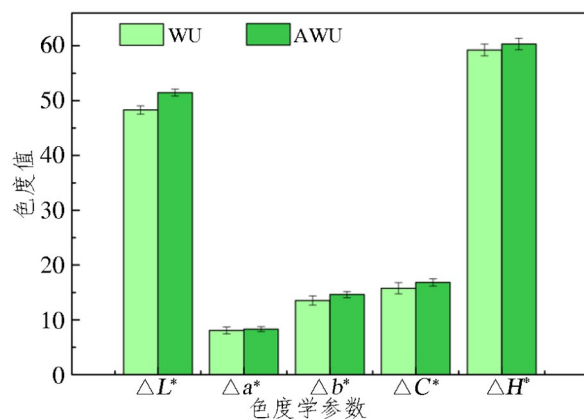


图3 WU 及 AWU 涂饰后试件的色度值对比

Fig.3 Comparison of chromaticity values with WU and AWU coatings

抗菌抗病毒助剂使试件 AWU 比试件 WU 的色度更明亮, 略偏红, 黄色、色饱和度略高, 色相更好。根据总色差公式计算得到 ΔE^* 为 3.37, 说明试件 AWU 与试件 WU 的表面颜色略有不同。

3 结论

1) 儿茶素改性水性 UV 木器涂料漆膜的抗大肠杆菌及金黄色葡萄球菌率 $>99.99\%$, 抗甲型 H3N2 流感病毒及猫杯状病毒活性率 $>99.9\%$, 涂料的抗菌抗病毒性能优良。

2) 添加抗菌抗病毒助剂涂料的漆膜理化性能良好, 硬度和光泽度稍高, 附着力、耐磨性、耐冷液、耐干热、耐湿热、抗冲击性能与未添加助剂的涂料性能一致。

3) 添加抗菌抗病毒助剂使涂料更均匀地覆盖在基材表面, 使水接触角提高约 15° , 表面疏水性能改善; 试件的明度、红绿色度、黄蓝色度、色饱和度、色相均提高, 使涂饰后基材的颜色更明亮、偏红黄色, 饱和度更高。

4) 在本试验范围内, 研究开发的儿茶素改性水性 UV 木器涂料选用了一种生物质助剂, 更加安全、健康、环保, 不仅可以发挥杀灭细菌及病毒活性的功能, 并且可以较好地保护基材表面, 改善视觉效果和理化性能, 适合推广应用于住宅场所及医院、学校等对卫生条件要求较高的公共场所, 为木器涂料的功能化改良提供了新途径。

参考文献:

- [1] 孙英纯, 吴燕. 聚多巴胺改性纳米碳化硼对水性聚氨酯涂层性能的影响研究[J]. 木材科学与技术, 2022, 36(3): 46-51, 57.
SUN Y C, WU Y. Effect of polydopamine-modified nano-boron carbide on properties of waterborne polyurethane coatings[J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2022, 36(3): 46-51, 57.
- [2] SCRINZI E, ROSSI S, DEFLORIAN F, et al. Evaluation of aesthetic durability of waterborne polyurethane coatings applied on wood for interior applications[J]. Progress in Organic Coatings, 2011, 72(1): 81-87.
- [3] 吴华贵, 龙玲, 徐建峰, 等. 涂布量对水性 UV 涂料干燥时间与涂膜性能的影响[J]. 木材工业, 2019, 33(5): 7-10.
WU H G, LONG L, XU J F, et al. Effect of UV-waterborne wood coating weight on film drying time and film performance[J]. China Wood Industry, 2019, 33(5): 7-10.
- [4] WIMMER R, KLÄUSLER O, NIEMZ P. Water sorption mechanisms of commercial wood adhesive films[J]. Wood Science and Technology, 2013, 47(4): 763-775.
- [5] 刘如, 龙玲, 徐建峰, 等. 干燥温度与人造板基材对快干型水性 UV 木器涂料涂膜性能的影响[J]. 中国人造板, 2019, 26(12): 23-26.
LIU R, LONG L, XU J F, et al. Effect of drying temperature and wood-based panel substrate on film properties of fast waterborne UV curing wood coating[J]. China Wood Based Panels, 2019, 26(12): 23-26.
- [6] 王健, 李慧敏, 邓晓蓓. 大气颗粒物吸附的空气微生物毒性效应的研究进展[J]. 生态毒理学报, 2021, 16(3): 66-77.
WANG J, LI H M, DENG X B. Toxicity of inhalable microorganisms

- attached to PM_{2.5}[J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2021, 16(3): 66-77.
- [7] QIU Q H, CHEN S Y, LI Y P, et al. Functional nanofibers embedded into textiles for durable antibacterial properties[J]. Chemical Engineering Journal, 2020, 384(C): 123241.
- [8] LIN J, CHEN X Y, CHEN C Y, et al. Durably antibacterial and bacterially antiadhesive cotton fabrics coated by cationic fluorinated polymers[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2018, 10(7): 6124-6136.
- [9] PEMMADA R, ZHU X X, DASH M, et al. Science-based strategies of antiviral coatings with viricidal properties for the COVID-19 like pandemics[J]. Materials (Basel, Switzerland), 2020, 13(18): 4041.
- [10] Muñoz-Bonilla A, Fernández-García M. Polymeric materials with antimicrobial activity[J]. Progress in Polymer Science, 2012, 37 (2): 281-339.
- [11] LIELEG O, LIELEG C, BLOOM J, et al. Mucin biopolymers as broad-spectrum antiviral agents[J]. Biomacromolecules, 2012, 13(6): 1724-1732.
- [12] KWON K Y, CHEESEMAN S, Frias-De-Diego A, et al. A liquid metal mediated metallic coating for antimicrobial and antiviral fabrics[J]. Advanced Materials (Deerfield Beach, Fla), 2021, 33(45): e2104298.
- [13] VINCENT M, DUVAL R E, HARTEMANN P, et al. Contact killing and antimicrobial properties of copper[J]. Journal of Applied Microbiology, 2018, 124(5): 1032-1046.
- [14] CAGNO V, ANDREZZI P, D'ALICARNASSO M, et al. Broad-spectrum non-toxic antiviral nanoparticles with a virucidal inhibition mechanism[J]. Nature Materials, 2018, 17(2): 195-203.
- [15] ZHONG H, ZHU Z, LIN J, et al. Reusable and recyclable graphene masks with outstanding superhydrophobic and photothermal performances[J]. ACS Nano, 2020, 14(5): 6213-6221.
- [16] KRITCHENKOV A S, KLETSKOV A V, EGOROV A R, et al. New water-soluble derivatives of chitin and their based nanoparticles: Antibacterial and catalytic activity[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 163: 2005-2012.
- [17] YANG L, WANG C, LI L, et al. Bioinspired integration of naturally occurring molecules towards universal and smart antibacterial coatings [J]. Advanced Functional Materials, 2022, 32(4): 2108749.
- [18] KRITCHENKOV A S, EGOROV A R, DUBASHYNSKAYA N V, et al. Natural polysaccharide-based smart (temperature sensing) and active (antibacterial, antioxidant and photoprotective) nanoparticles with potential application in biocompatible food coatings[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 134: 480-486.
- [19] WU M S, BROWN A C. Applications of catechins in the treatment of bacterial infections [J]. Pathogens, 2021, 10 (5): 546.
- [20] SHAIK F B, SWARNALATHA K, MOHAN M C, et al. Novel antiviral effects of chloroquine, hydroxychloroquine, and green tea catechins against SARS CoV-2 main protease (Mpro) and 3C-like protease for COVID-19 treatment[J]. Clinical Nutrition Open Science, 2022, 42: 62-72.
- [21] HALDAR J, AN D Q, ALVAREZ DE CIENFUEGOS L, et al. Polymeric coatings that inactivate both influenza virus and pathogenic bacteria[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2006, 103(47): 17667-17671.
- [22] 柴春鹏, 马一飞. 不同粒径水性聚氨酯乳液的制备与性能研究[J]. 北京理工大学学报, 2018, 38(4): 417-422.
- CHAI C P, MA Y F. Preparation and performance of waterborne polyurethane with different particle size[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2018, 38(4): 417-422.
- [23] 曹坤丽, 吴燕, 于成宁, 等. 纤维素纳米晶体/KH560对UV固化水性木器涂层性能的影响[J]. 林业工程学报, 2016, 1(2): 135-139.
- CAO K L, WU Y, YU C N, et al. The influence of CNC and KH560 on the properties of waterborne UV-curable wood coatings[J]. Journal of Forestry Engineering, 2016, 1(2): 135-139.
- [24] XU J, LIU R, WU H G, et al. Coating performance of water-based polyurethane-acrylate coating on bamboo/bamboo scrimber substrates [J]. Advances in Polymer Technology, 2019, 31: 1-8.
- [25] FOYERGABRIEL, BARRIOLMORGANE, NEGRELCLAIRE, et al. Aldehyde functional monomer as efficient cross-linkable comonomer with biobased phenols in acrylic coatings[J]. Progress in Organic Coatings, 2015, 84: 1-8.
- [26] 凌凯莉, 冯启明, 黄艳辉, 等. 改性丙烯酸水性漆对漆膜性能的影响 [J]. 光谱学与光谱分析, 2020, 40(7): 2133-2137.
- LING K L, FENG Q M, HUANG Y H, et al. Effect of modified acrylic water-based paint on the properties of paint film[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2020, 40(7): 2133-2137.

(本文编校 孟凡丹)