

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.10.008

不同偶联剂改性 BBCMR 对 WPE/BBCMR 复合材料性能影响

王海荣,刘彤,廖万鹏,邓浩
(贵州大学化学与化工学院,贵阳 550025)

摘要:以 γ -氨基丙基三甲氧基硅烷(A0800)、 γ -氨基丙基三乙氧基硅烷(KH550)、双(二辛氧基焦磷酸酯基)乙撑钛酸酯(UP311)、异丙基二油酸酰氧基(二辛基磷酸酰氧基)钛酸酯(NDZ101)、异丙基二油酸酰氧基铝酸酯(DL411)、硬脂酸(HSt)六种偶联剂处理后的艾纳香中药废渣(BBCMR)作为填料,废旧聚乙烯(WPE)为基体树脂,采用螺杆挤出造粒与注塑制备 WPE/BBCMR 复合材料。研究了不同偶联剂改性后的 BBCMR 对 WPE/BBCMR 复合材料力学性能、吸水率、微观形貌的影响,在此基础上选择改性效果最佳的偶联剂,研究了其用量对 WPE/BBCMR 复合材料性能及微观形貌的影响。结果表明,偶联剂 A0800 对 BBCMR 的改性效果优于其它偶联剂,当 A0800 偶联剂用量为 BBCMR 质量的 2% 时, WPE/BBCMR 复合材料的综合性能最佳,微观结构显示 A0800 改性的 BBCMR 与 WPE 共混效果好,界面相容性优异。

关键词: 偶联剂; 改性; 艾纳香; 废旧聚乙烯; 复合材料

中图分类号: TQ322.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)10-0039-06

Effects of BBCMR Modified by Different Coupling Agents on Properties of WPE/BBCMR Composites

Wang Hairong, Liu Tong, Liao Wanpeng, Deng Hao

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: The waste polyethylene (WPE)/blumea balsamifera Chinese medicine residue (BBCMR) composites were prepared by screw extrusion granulation and injection molding, with BBCMR treated with six kinds of coupling agents as filler [the coupling agents including γ -aminopropyltrimethoxysilane (A0800), γ -aminopropyltriethoxysilane (KH550), bis(dioctyloxypyrophosphate) ethylene titanate (UP311), isopropyl dioleic acid acyloxy (dioctyl phosphate acyloxy) titanate (NDZ101), isopropyl dioleic acyloxy aluminate (DL411) and stearic acid (HSt)], waste polyethylene (WPE) as the matrix resin. The effects of different coupling agent modified BBCMR on mechanical properties, water absorption and micro morphology of WPE/BBCMR composites were studied, and the effects of content of the coupling agent with the best modification effect on the properties and micro morphology of WPE/BBCMR composites were also studied. The results show that the modification effect of coupling agent A0800 on BBCMR is better than those of other coupling agents, when the content of coupling agent A0800 is 2% of BBCMR mass, WPE/A0800-BBCMR composite has the best general properties. The microstructure shows that the blending effect of A0800-BBCMR and WPE is good and the interfacial compatibility is excellent.

Keywords: coupling agent; modification; blumea balsamifera; waste polyethylene; composite

艾纳香是一种菊科多年生草本植物,在我国主要分布在云南、贵州等地区^[1-2],其具有温中止泻、活血解毒、祛风除湿等功效,可治疗风湿痛、痛经、风热感冒及跌打损伤等疾病,是一种重要的民间药

物^[3-4]。但是,在使用艾纳香制备药物的过程中会产生艾纳香中药废渣(BBCMR),据不完全统计,贵州每年 BBCMR 的产生量达到 10 万余吨,而这些 BBCMR 绝大多数被白白丢弃,不仅污染环境,占用

基金项目: 贵州省科技合作计划项目(黔科合 LH 字[2017]7252 号),贵州省科技计划社会发展科技攻关项目(黔科合 SY 字[2013]3092 号、SY 字[2014]3052 号),贵州大学 2017 年度学术新苗培养及创新探索专项(黔科合平台人才[2017]5788 号)

通信作者: 刘彤,副教授,硕士研究生导师,主要从事化工原理与无机填料试验教学和科研 E-mail: 764244030@qq.com

收稿日期: 2020-08-10

引用格式: 王海荣,刘彤,廖万鹏,等. 不同偶联剂改性 BBCMR 对 WPE/BBCMR 复合材料性能影响[J]. 工程塑料应用,2020,48(10): 39-44.

Wang Hairong, Liu Tong, Liao Wanpeng, et al. Effects of BBCMR modified by different coupling agents on properties of WPE/BBCMR composites[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(10): 39-44.

土地资源,而且厂家为处理 BBCMR 还要消耗大量的费用^[5-7]。因此研究 BBCMR 的高价值回收利用具有重要的意义。笔者在前期工作中将葛根、杜仲、鱼腥草等药物产生的中药渣与 BBCMR 分别填充废旧聚丙烯 (WPP) 制备复合材料,研究发现 BBCMR 的填充性能较好^[8],可应用于废旧塑料的回收改性中。除 WPP 外,废旧聚乙烯 (WPE) 在废旧塑料中也占有很大的比例,为扩大 BBCMR 的利用范围及降低企业生产成本,笔者以 BBCMR 作为填料,将其填充到 WPE 基体中,制备 WPE/BBCMR 复合材料,该材料可作为混凝土浇注支撑模板使用,可替代目前市场上的竹胶合板与木模板,具有价格低廉及可多次回收利用等优点^[9]。由于 BBCMR 内部数量较多的亲水基团(羟基、羧基)使其凸显亲水性,而 WPE 的疏水性很强,致使 BBCMR 与 WPE 分子间作用力较小,相容性不佳,因此优选出性能优异的偶联剂对 BBCMR 进行表面改性,以提高 WPE/BBCMR 复合材料性能,扩大其应用范围^[10-11]。

1 实验部分

1.1 主要原料

BBCMR: 贵州和顺堂中草药开发有限公司;

WPE: 粒径 3~4 mm, 贵州永环资源利用公司;

γ -氨基丙基三甲氧基硅烷 (A0800), γ -氨基三乙氧基硅烷 (KH550): 分析纯, 昆明瑞杰斯化工有限公司;

双(二辛氧基焦磷酸酯基)乙撑钛酸酯 (UP311), 异丙基二油酸酰氧基(二辛基磷酸酰氧基)钛酸酯 (NDZ101), 异丙基二油酸酰氧基铝酸酯 (DL411): 分析纯, 湖北锐祥化工有限公司;

硬脂酸 (HSt): 工业纯, 贵阳筑科化工产品公司;

乙醇, 异丙醇: 分析纯, 贵州鑫进化工有限公司。

1.2 主要仪器与设备

纤维短切机: JHD-480 型, 福建锐克纳机械有限公司;

螺杆挤出机: GSW-630 型, 广东宜金机械有限公司;

注塑机: KDS-35T 型, 河南凯科机械有限公司;

高速混料机: P75-WH 型, 贵阳盛广装备有限公司;

冲击试验机: MB-800K 型, 南昌思科机械有限

公司;

万能试验机: SDL-500 型, 南昌思科机械有限公司;

扫描电子显微镜 (SEM): NCV-250K 型, 上海向业仪器有限公司;

电热恒温干燥箱: HG-Y80 型, 贵州欧太尔机械有限公司。

1.3 试样制备

(1) BBCMR 的改性处理。

第一步, 将 BBCMR 切割成长度小于 1 mm 的短纤, 随后将短纤浸泡在去离子水中进行多次洗涤, 去除杂质及灰尘, 然后在 NaOH 溶液(浓度 3%)中浸泡 2 h 后, 再清水洗涤至中性, 洗涤后的 BBCMR 在干燥箱中干燥 4 h(干燥温度 102℃), 取出备用。

第二步, 将干燥后的 BBCMR 放入不同偶联剂 (A0800, KH550, UP311, NDZ101, DL411, HSt) 溶液中浸渍 1 h 后取出, 其后放入温度设定为 80℃ 的干燥箱中干燥 2 h, 得到六种偶联剂改性的 BBCMR, 分别命名为 A0800-BBCMR, KH550-BBCMR, UP311-BBCMR, NDZ101-BBCMR, DL411-BBCMR, HSt-BBCMR。其中, 偶联剂 A0800, KH550, DL411 的溶剂为乙醇, 偶联剂 UP311, NDZ101 的溶剂为异丙醇, 上述偶联剂溶液溶质与溶剂质量比均为 4:96, 偶联剂用量为 BBCMR 质量的 1.5%。

另外, 选用六种偶联剂中改性效果最好的偶联剂配制溶液, 偶联剂用量按 BBCMR 质量 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3% 的比例加入溶剂中(溶质与溶剂质量比为 4:96)。将相同质量的洗涤后的 BBCMR 放入各偶联剂用量所对应的溶液中浸渍再干燥即可(相关参数与第二步相同)。

(2) WPE/BBCMR 复合材料的制备。

将未改性的 BBCMR 与改性处理后的 A0800-BBCMR, KH550-BBCMR, UP311-BBCMR, NDZ101-BBCMR, DL411-BBCMR, HSt-BBCMR 分别与 WPE 按 1:4 的质量比放入高速混料机进行配料, 其后挤出造粒(机筒前、中、后三段温度为 210, 190, 180℃, 螺杆转速 150 r/min), 将所得粒料在注塑机中注塑成 WPE/未改性 BBCMR, WPE/A0800-BBCMR, WPE/KH550-BBCMR, WPE/UP311-BBCMR, WPE/NDZ101-BBCMR, WPE/DL411-BBCMR, WPE/HSt-BBCMR 复合材料样品(注塑温度 230℃、注塑压力 90 MPa、注塑时间 25 s、模具温度 70℃)。

1.4 性能测试与结构表征

冲击强度依据 GB/T 1043-2008 测定;

静曲强度与弹性模量均依据 GB/T 17657-1999 测定,采用三点弯曲模式,加载速率为 10 mm/min;

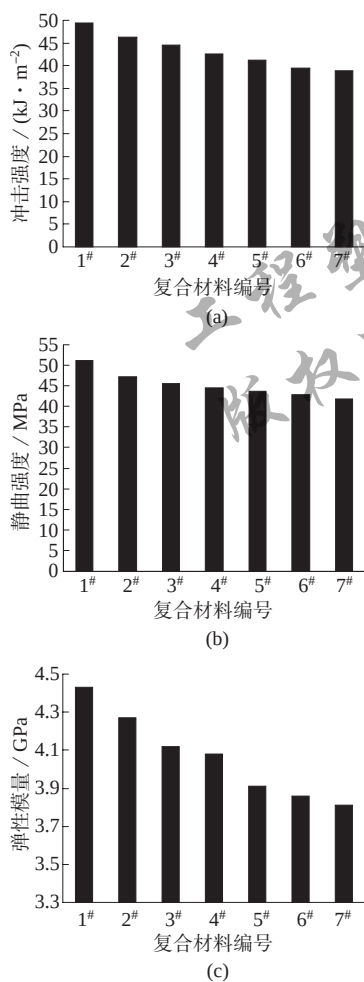
吸水率依据 GB/T 17657-1999 测定;

采用 SEM 观察复合材料冲击断面形貌。

2 结果与讨论

2.1 不同偶联剂改性 BBCMR 对 WPE/BBCMR 复合材料力学性能的影响

图 1 为不同种类的偶联剂改性 BBCMR 填充 WPE 后所得 WPE/BBCMR 复合材料的力学性能。从图 1 可以看出,在 BBCMR 填充量相同的条件下,偶联剂改性 BBCMR 填充 WPE 的效果均优于未改性 BBCMR,改性后的复合材料冲击强度、静曲强



1#—WPE/A0800-BBCMR; 2#—WPE/KH550-BBCMR;
3#—WPE/UP311-BBCMR; 4#—WPE/NDZ101-BBCMR;
5#—WPE/DL411-BBCMR; 6#—WPE/HSt-BBCMR;
7#—WPE/未改性 BBCMR

a—冲击强度; b—静曲强度; c—弹性模量

图 1 WPE/不同偶联剂改性 BBCMR 复合材料的力学性能

度、弹性模量比未改性的复合材料均有所提高,其中硅烷偶联剂 A0800 改性效果最好, KH550 次之,其次分别为 UP311, NDZ101, DL411 和 HSt。WPE/A0800-BBCMR 复合材料的冲击强度、静曲强度、弹性模量分别为 49.32 kJ/m², 51.27 MPa, 4.43 GPa, 比 WPE/未改性 BBCMR 复合材料分别提高了 26.9%, 22.2%, 16.3%。这是因为 A0800 其结构中含有的氨基可与 WPE 的不饱和双键 (PE 在首次加工时会加入交联剂、增塑剂、润滑剂、抗氧剂等助剂,在后续使用过程中会导致 WPE 内部出现不饱和双键) 发生聚合反应,含有的甲氧基水解产生的硅醇可与 BBCMR 的羟基反应,有效增强了 WPE 和 BBCMR 的作用力,同时 BBCMR 表面覆盖了聚硅氧烷膜 (A0800 甲氧基水解产生的硅醇与 BBCMR 的羟基反应所得),使其疏水性增强,提升了与 WPE 的亲合力,使 WPE/A0800-BBCMR 复合材料的力学性能更优^[2]。对于 KH550,虽然其结构中所含氨基也可与 WPE 的不饱和双键聚合,但其亲无机基团的乙氧基水解生成硅醇的效率却低于 A0800 中甲氧基水解生成硅醇的效率,导致其与 BBCMR 表面羟基的反应不充分,对 BBCMR 的改性效果弱于 A0800。对于 UP311, NDZ101, DL411,由于其有机长链与 WPE 不饱和双键反应难度比 A0800 中的氨基要大,导致分子链桥接效果差,对 BBCMR 的改性效果有限^[13]。而对于 HSt,其表面大量羧基只有少部分与 BBCMR 所含羟基发生脱水反应,更多的羧基反而增加了 BBCMR 的亲水性,抵消了脱水反应所带来的有益效果,故其对 BBCMR 的改性效果不佳。

2.2 不同偶联剂改性 BBCMR 对 WPE/BBCMR 复合材料吸水率的影响

图 2 为不同种类的偶联剂改性 BBCMR 填充 WPE 后所得 WPE/BBCMR 复合材料的吸水率。从图 2 可以看出,经过偶联剂改性的 WPE/BBCMR 复合材料吸水率比未改性的复合材料低,其中 WPE/A0800-BBCMR 的吸水率最低,相比于 WPE/未改性 BBCMR 降低了 14.6%,造成这种现象的原因是 BBCMR 纤维表面含有大量的极性羟基,加入偶联剂后,其表面羟基可与偶联剂中的亲水基团发生反应形成共价键,从而减少 BBCMR 纤维表面的羟基数目,亲水性下降,亲油性增高,致使复合材料的吸水性能下降。同时偶联剂的改性,在 WPE 与 BBCMR 起到“分子桥”作用,提高了三

者的共混相容性^[14]。由于偶联剂 A0800 对 WPE/BBCMR 复合材料体系的界面改性作用优于其它 5 种偶联剂,因此,加入 A0800 偶联剂的复合材料体系吸水率降低程度更大。

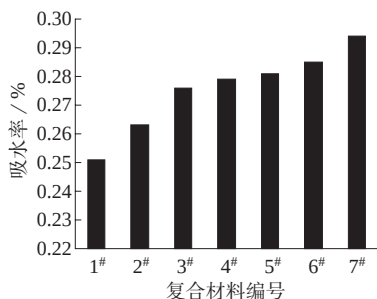
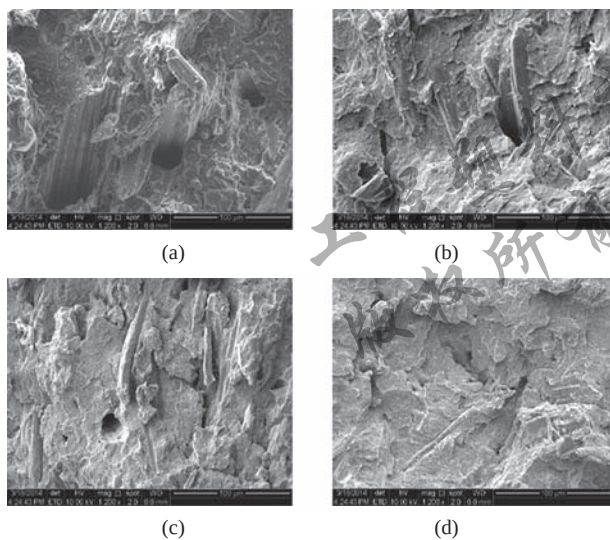


图2 WPE/不同偶联剂改性 BBCMR 复合材料的吸水率

2.3 不同偶联剂改性 BBCMR 对 WPE/BBCMR 复合材料微观结构的影响

图3为不同偶联剂改性 BBCMR 所得 WPE/BBCMR 复合材料的冲击断面 SEM 照片。



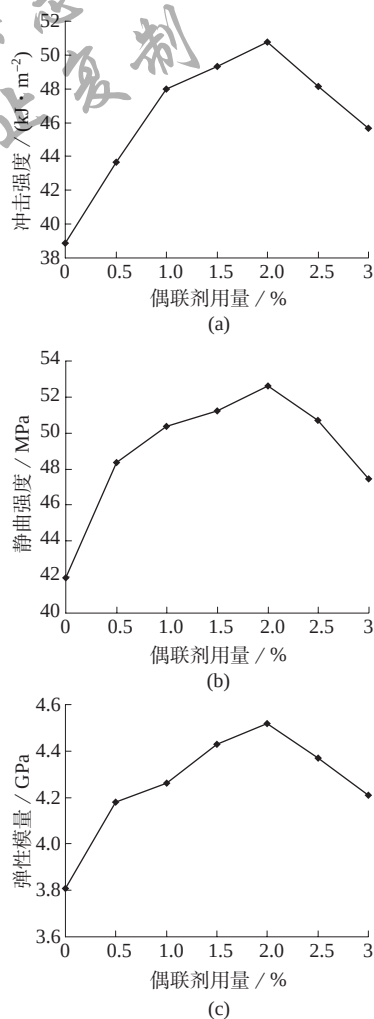
a—WPE/未改性 BBCMR; b—WPE/DL411-BBCMR;
c—WPE/UP311-BBCMR; d—WPE/A0800-BBCMR

图3 WPE/不同偶联剂改性 BBCMR 复合材料冲击断面 SEM 照片

由图3看出, WPE/未改性 BBCMR 复合材料中 BBCMR 与 WPE 两者间的相界面明显,冲击断面出现 BBCMR 纤维被拔出后产生的空穴,且空穴尺寸较大,同时 BBCMR 之间团聚严重,与 WPE 基体的相容性差^[15]。DL411-BBCMR 与 UP311-BBCMR 能被 WPE 包裹,两者相容性有一定提升,材料冲击断面仍出现空穴,但空穴数量减少且尺寸变小。A0800-BBCMR 与 WPE 的相界面模糊,材料冲击断面空穴与缝隙极少,亦能均匀分布在 WPE 中,复合材料的均质性有所增强。可以看出, A0800-BBCMR 与 WPE 的相容性更好。

2.4 最优偶联剂用量对 WPE/BBCMR 复合材料力学性能的影响

选择改性效果最好的偶联剂 A0800,在其不同用量条件下所得 WPE/A0800-BBCMR 复合材料力学性能数据如图4所示。由图4可以看出,随着 A0800 用量的增加,复合材料的三项力学性能均显示先增后减的变化趋势,且均在偶联剂用量为 2% (相对于 BBCMR 质量) 时达到最大值,分别为 50.79 kJ/m², 52.61 MPa, 4.52 GPa。这是因为当 A0800 用量不大于 2% 时, A0800 水解基团甲氧基水解成硅醇与 BBCMR 表面羟基发生化学反应,生成聚硅氧烷膜单分子层,使 BBCMR 的表面性质由亲水性转变为亲油性,与 WPE 分子间作用力增强,材料力学性能得到提升^[15]。当 A0800 用量大于 2% 后,过量 A0800 偶联剂会破坏前期在 BBCMR 表面形成的聚硅氧烷膜单分子层,在界面结构中形成不



a—冲击强度; b—静曲强度; c—弹性模量

图4 不同偶联剂用量的 WPE/A0800-BBCMR 复合材料力学性能

均匀多分子层,使 WPE 基体和 BBCMR 的内部界面结合力差,当有外力作用时容易发生破坏,从而降低复合材料的力学性能^[16]。

2.5 最优偶联剂用量对 WPE/BBCMR 复合材料吸水率的影响

图 5 为偶联剂 A0800 在其不同用量条件下所得 WPE/A0800-BBCMR 复合材料吸水率。由图 5 可见,随着 A0800 偶联剂用量不断增大, WPE/A0800-BBCMR 复合材料吸水率逐渐减小,这是因为加入越多的偶联剂 A0800, BBCMR 表面亲水性的羟基与 A0800 偶联剂所含水解基团甲氧基水解而成的硅醇化学反应的几率也越大, BBCMR 所含的羟基数目不断下降导致其亲水性下降,且随着偶联剂的不断增多, BBCMR 表面多余的羟基被 A0800 包覆,从而有效提高 BBCMR 的亲油性^[17],最终使复合材料的吸水率下降。

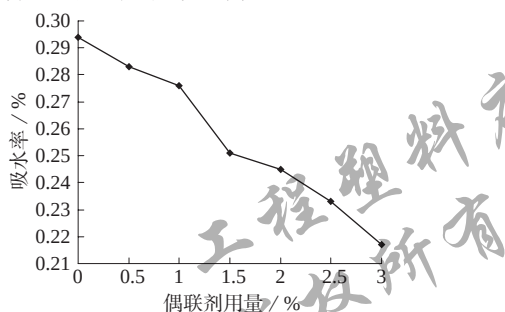
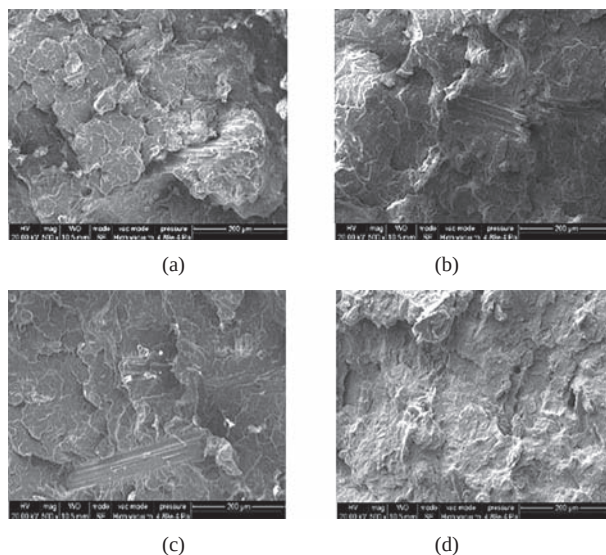


图 5 不同偶联剂用量的 WPE/BBCMR 复合材料吸水率

2.6 最优偶联剂用量对 WPE/BBCMR 复合材料微观形貌的影响

偶联剂 A0800 在不同用量条件下改性 BBCMR,所得 WPE/BBCMR 复合材料微观形貌如图 6 所示。从图 6a 可以看出,未改性的 BBCMR 纤维团聚现象严重,填料表面粗糙度大,未能被 WPE 基体有效包裹, BBCMR 纤维被抽出后留下的孔洞较多,这表明 BBCMR 与 WPE 基体的界面结合较差,在外力作用下 BBCMR 在承受较低的外力作用时就可能从其所在原始位置拔出或是断裂。从图 6b 可以看出, A0800 用量为 1% 的 A0800-BBCMR 在 WPE 基体中的分散性有所提高,填料表面的粗糙度减小,凹凸点不明显, A0800-BBCMR 深埋在 WPE 基体中,提高了两者的共混相容性,复合材料断面结构更加丰富,但部分粒径较小的 BBCMR 仍然相互吸附或吸附在大粒径的 BBCMR 上。从图 6c 可以看出, A0800 用量为 2% 的 A0800-BBCMR 纤维拔出后留下的孔洞不明显,且 BBCMR 纤维被



A0800 用量: a—0%; b—1%; c—2%; d—3%

图 6 不同偶联剂用量的 WPE/BBCMR 复合材料微观形貌

包埋在 WPE 基体中,两相界面变得模糊,表明 WPE 与 BBCMR 间的界面相容性得到了很好的改善。从图 6d 可以看出,过多的偶联剂对 BBCMR 表面形成多次包裹, A0800-BBCMR 之间团聚加剧,其与 WPE 的结合力变差, BBCMR 纤维被抽出后留下的孔洞有所增加^[18]。由此可以看到, A0800 用量为 1% 和 3% 时偶联剂都起到了相应的改性效果,但偶联剂用量的增加无疑会使 WPE/BBCMR 复合材料的界面层厚度得到增加,对填料 BBCMR 分散性有一定的改变。

3 结论

(1) 六种偶联剂对 BBCMR 改性效果优异程度为 A0800>KH550>UP311>NDZ101>DL411>HSt。经偶联剂改性后,复合材料的各项力学性能均高于未改性的复合材料,而吸水率均低于未改性的复合材料。制备得到的不同 WPE/BBCMR 复合材料中, WPE/A0800-BBCMR 的力学性能最好,吸水率最低, A0800-BBCMR 与 WPE 的共混相容性最佳。

(2) 偶联剂 A0800 用量为 BBCMR 质量的 2% 时, WPE/A0800-BBCMR 复合材料力学性能优异, A0800-BBCMR 在 WPE 中分散性好,且与 WPE 结合紧密。

参考文献

- [1] 庞玉新, 元超, 胡璇. 黎药艾纳香化学成分研究 [J]. 中药材, 2019, 42(1):91-95.
Pang Yuxin, Yuan Chao, Hu Xuan, et al. Chemical constituents of li minority herb blumea balsamifera[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2019, 42(1):91-95.

- [2] 王嵩,赵永恒,周毅生,等.艾纳香的研究进展及其研究价值探讨[J].中国现代中药,2014,16(11):53-56.
Wang Song, Zhao Yongheng, Zhou Yisheng, et al. Research progress of blumea balsamifera L.DC. and dosage form development value discuss[J]. Modern Chinese Medicine, 2014, 16(11):53-56.
- [3] 罗世兰,廖利,宾雪英,等.民族药艾纳香的药理活性研究进展[J].临床医药文献电子杂志,2019,6(3):191-194.
Luo Shilan, Liao Li, Bin Xueying, et al. Research progress on pharmacological activities of blumea balsamifera[J]. Journal of Clinical Medical Literature (Electronic Edition), 2019, 6(3):191-194.
- [4] Yuan H W, Xiao Y Y. Biological activities and chemical compositions of volatile oil and essential oil from the leaves of blumea balsamifera[J]. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 2018, 21(6):1511-1531.
- [5] 陈宁,宋雪,陈琳.贵州省中药民族药产业发展现状及对策[J].耕作与栽培,2016,18(6):54-58.
Chen Ning, Song Xue, Chen Lin. Status and countermeasures of traditional Chinese herbal medicine industry development in Guizhou[J]. Tillage and Cultivation, 2016, 18(6):54-58.
- [6] 李卫红,包玉衡,雷文.中药渣复合材料研究现状[J].塑料,2017,46(5):81-83.
Li Weihong, Bao Yuheng, Lei Wen. Research on Chinese medicine residues composite[J]. Plastics, 2017, 46(5):81-83.
- [7] Feng Y H, Chen H, Dong X L, et al. Polyvinyl alcohol-modified pithecellobium clypearia benth herbal residue fiber / polypropylene composites[J]. Polymer Composites, 2016, 37(3):915-924.
- [8] 罗焕虎,刘彤,邓浩,等.不同CMR对WPP/CMR复合材料加工性能与理化性能的影响[J].塑料科技,2020,48(4):1-5.
Luo Huanhu, Liu Tong, Deng Hao, et al. Effect of different CMR on processability and physicochemical of WPP / CMR composites[J]. Plastics Science and Technology, 2020, 48(4):1-5.
- [9] 郎俊彬,刘丽娜.聚乳酸/天然纤维复合材料阻燃性能研究进展[J].工程塑料应用,2020,48(2):128-131.
Lang Junbin, Liu Lina. Research progress on flame resistance of polylactic natural PLA / natural fiber composites[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(2):128-131.
- [10] 陈荣源,刘全金,郭锐标,等.叶片挤出机制备中药渣纤维/回收ABS复合材料的结构与性能研究[J].高分子通报,2014,37(2):105-108.
Chen Rongyuan, Liu Quanjin, Guo Ruibiao, et al. Study on structure and properties of Chinese medicine residue fiber / recycled ABS composites prepared by vane extruder[J]. Polymer Bulletin, 2014, 37(2):105-108.
- [11] 李敏雯,温文杰,张钦发.马来酸酐接枝聚丙烯处理对药渣纤维性能的影响[J].塑料,2018,47(4):47-49.
Li Minwen, Wen Wenjie, Zhang Qinfa. Effect of pretreating with PP-g-MAH on properties of fiber of herbs residues[J]. Plastics, 2018, 47(4):47-49.
- [12] 卓光铭,张效林,刘群,等.废纸/麦秸秆增强PE-HD复合材料性能对比研究[J].中国塑料,2019,33(8):18-23.
Zhuo Guangming, Zhang Xiaolin, Liu Qun, et al. Comparative study on properties of waste paper / wheat straw-reinforced PE-HD composites[J]. China Plastics, 2019, 33(8):18-23.
- [13] 郭红军.聚乙烯基竹塑复合材料的制备及性能研究[J].塑料工业,2019,47(8):43-46.
Guo Hongjun. Preparation and properties of polyethylene-based bamboo-plastic composites[J]. China Plastics Industry, 2019, 47(8):43-46.
- [14] 包玉衡,李卫红,朱宇杰,等.聚乳酸/中药渣复合材料水热老化性能研究[J].塑料科技,2017,45(5):64-68.
Bao Yuheng, Li Weihong, Zhu Yujie, et al. Study on the thermal aging properties of polylactic acid / Chinese medicine residues composite[J]. Plastics Science and Technology, 2017, 45(5):64-68.
- [15] 杨明,李建,葛曷一,等.不同表面处理对剑麻纤维/树脂基复合材料性能影响[J].现代塑料加工应用,2018,30(5):9-12.
Yang Ming, Li Jian, Ge Heyi, et al. Effect of different surface treatments on the properties of sisal / resin matrix composites[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2018, 30(5):9-12.
- [16] 金霄,张效林,邓祥胜.竹纤维增强热塑性塑料复合材料研究进展[J].中国塑料,2017,31(10):6-11.
Jin Xiao, Zhang Xiaolin, Deng Xiangsheng. Research progress of bamboo fiber reinforced thermoplastic composite[J]. China Plastics, 2017, 31(10):6-11.
- [17] 余旺旺,焦艳霞,周宇涵,等.植物纤维/聚乳酸生物质复合材料的制备及应用现状[J].塑料,2020,49(2):90-94.
Yu Wangwang, Jiao Yanxia, Zhou Yuhang, et al. Preparation and application status of plant fiber / PLA biomass composite[J]. Plastics, 2020, 49(2):90-94.
- [18] 袁海兵.短切碳纤维增强聚丙烯复合材料的性能[J].合成树脂及塑料,2018,35(2):24-28.
Yuan Haibing. Properties of PP composites reinforced by chopped carbon fibers[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2018, 35(2):24-28.