

DOI: 10.13801/j.cnki.fhclxb.20151026.001

茶粉/聚丙烯复合材料自然老化性能

龚新怀^{1, 2, 3, *}, 陈良壁¹

(1. 武夷学院 生态与资源工程学院, 武夷山 354300; 2. 闽北竹产业公共技术创新服务平台, 武夷山 354300;
3. 福建省生态产业绿色技术重点实验室, 武夷山 354300)

摘 要: 为高值化利用茶产业剩余物, 拓宽木塑复合材料中植物纤维来源, 以茶粉(TD)为有机增强相, 聚丙烯(PP)为基体, 采用开炼-注塑工艺制备了 TD/PP 复合材料; 为研究其户外应用及老化机制, 采用户外自然老化形式考察了老化时间对 TD/PP 复合材料力学性能、材色及表面形貌的影响, 并用 FTIR 分析了其老化机制。结果表明: 与木材纤维相比, TD 中纤维素含量更少, 而各种形式的抽提物含量要高很多, 纤维长径比更小。户外自然老化 8 个月后, TD/PP 复合材料的亮度变化值、红绿轴色品指数变化值、黄蓝轴色品指数变化值及色差值分别为 37.64、-10.40、-3.38 和 39.49; TD/PP 复合材料的弯曲、缺口冲击强度、弯曲模量及硬度值分别降低了 38.7%、42.4%、41.4% 和 9.14%。FTIR 分析表明, 在户外自然老化环境中, TD/PP 复合材料中的 PP 分子链和 TD 中木质素组分发生了光照降解。SEM 照片显示, 随户外自然老化时间延长, TD/PP 复合材料表面出现裂纹, 且裂纹数量逐渐增多, 深度和宽度增大, 并且局部地方出现粉化现象。

关键词: 茶粉; 聚丙烯; 复合材料; 自然老化; 力学性能; 颜色变化

中图分类号: TS69; TQ325.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3851(2016)07-1437-09

茶粉(TD)/聚丙烯(PP)复合材料是一种以茶梗、茶末、茶渣等茶废弃物为填充相, PP 为基体的新型木塑复合材料。其不仅能缓解对木材资源的过度消耗和依赖, 还可以充分资源化利用中国大量堆积的茶废弃物。目前全球每年茶叶消耗量超过 450 万吨, 而每制作 1 t 茶叶将会产生 30~50 kg 的茶梗和茶末等废弃物^[1], 不仅污染环境, 也造成巨大资源浪费。另外, 随着森林木材资源的日益减少, 作为木塑复合材料主要填充材料的木粉价格却在逐年攀升。多年来人们致力于采用其他植物纤维如竹^[2]、果壳^[3]、废纸^[4]、秸秆^[5]及药渣^[6]等来替代木粉, 制备新型木塑复合材料, 并取得一定成果。以茶梗茶末等废弃物为填料制备茶塑复合材料是解决这一问题的有效途径。

Shi^[7]和 Hou^[8]等将茶废弃物应用于刨花板的压制, 分析了茶粒料取代木材粒料的可行性。Mattos 等^[9]采用南美洲马黛茶废弃物和桉树木粉混合物作为填料填充 PP, 考察 2 种植物纤维填充比例

对复合材料性能的影响。Hassan 等^[10]考察了马来酸酐接枝 PP (Maleic Anhydride grafted PP, MAPP)和甲基丙烯酸缩水甘油酯接枝 PP (Glycidyl Methacrylate grafted PP, GMA-g-PP)²种界面增容剂对 TD/PP 复合材料性能的影响。Wu^[11]则采用四乙氧基硅烷偶联剂处理茶梗粉, 考察其对 TD/聚羟基脂肪酸酯 (polyhydroxyalkanoates, PHA)复合材料力学性能和降解率的影响。宋剑斌等^[12]考察了 TD 粒径及添加碳纳米管等对 TD/HDPE 复合材料力学性能及加工流变性等的影响。但目前关于茶梗茶末废弃物填充应用于聚合物基复合材料的研究主要集中在界面改性和工艺优化, 而茶废弃物填充聚合物基复合材料的老化研究却鲜见报道。

由于木塑复合材料更多是应用在室外场合, 其在户外环境中使用时会受到阳光、水分、温度变化及生物腐蚀等多方面综合作用, 出现物理和化学性质改变和材料老化现象, 最终影响复合材料的外观和

收稿日期: 2015-07-07; 录用日期: 2015-10-20; 网络出版时间: 2015-10-26 11:20
网络出版地址: www.cnki.net/kcms/detail/11.1801.TB.20151026.1120.002.html
基金项目: 福建省自然科学基金重点项目(2012N0027); 福建省中青年教育科研项目(JA14314); 福建省大学生创新训练项目(201410397033)
通讯作者: 龚新怀, 博士, 讲师, 研究方向为生物质资源利用和聚合物复合材料。 E-mail: wyu_gxh@163.com

引用格式: 龚新怀, 陈良壁. 茶粉/聚丙烯复合材料自然老化性能[J]. 复合材料学报, 2016, 33(7): 1437-1445.
GONG X H, CHEN L B. Performances of tea dust/polypropylene composites under natural weathering[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2016, 33(7): 1437-1445 (in Chinese).

使用寿命^[13];同时由于茶梗茶末的纤维素等化学组分含量与分布、纤维细胞形态等方面均与木材植物纤维有较大差异^[14],其中纤维素含量及形态会影响木塑复合材料的力学性能,木质素及抽提物会吸收紫外线,其含量对复合材料材色有重要影响^[15],导致以茶梗茶末等为有机填充相制备的木塑复合材料老化规律也更复杂,因此对茶塑复合材料老化机制的研究具有重要意义。

本文以废弃茶梗研磨成 TD 后为有机增强相,PP 为基体,制备 TD/PP 复合材料,研究其在户外环境中的自然老化性能,以期对 TD/PP 复合材料的户外应用以及老化规律研究提供参考。

1 试验材料及方法

1.1 材料

废弃茶梗茶末取自当地一家岩茶加工厂,风干后粉碎收集 120~250 μm TD;PP 熔融指数(Melt Index, MI)为 23 g/10 min(230 ℃, 2.16 kg),广东茂名实华东成化工有限公司;马来酸酐接枝 PP,接枝率为 0.94%,MI 为 20 g/10 min(190 ℃, 2.16 kg),常州维骏塑料新材料有限公司。

1.2 复合材料制备

将 TD 放入 105 ℃烘箱中干燥 12 h。周松等^[16]的研究结果表明,MAPP 增容剂添加质量分数为 7.5%时,制备的竹纤维/PP 复合材料具有最佳的综合力学性能和较好的加工性能。因此 TD/PP 复合材料各组分按质量配比设计为 TD/PP/MAPP/硬脂酸=40/51/7.5/1.5。将物料按设定配比称料后在 300 r/min 下高速混合 10 min 后,转入开炼机(SK-100 开放式炼塑机,上海科创橡胶机械设备有限公司)混炼均匀,混炼温度为 170~178 ℃,混炼时间为 6~10 min。然后用塑料粉碎机粉碎成粒料,转入注塑机(SA600/150 塑料注射

成型系统,宁波海天塑料机械集团有限公司)注塑成型,得到 TD/PP 标准测试样条,注塑温度范围为 175~190 ℃,注塑压力为 45~65 MPa,保压时间为 15 s。

1.3 自然老化试验方法

将 TD/PP 复合材料试样用细铁丝轻微固定在木板支架上,置于武夷学院绿色化工实验大楼顶层(共 5 层),试样离地 120 cm 左右,与地平面呈 45°朝东放置,室外老化时间设定为 0、2、4、6、8 个月,至预定时间后取出 4 根样条放入真空干燥箱在 50 ℃下干燥 24 h 后,测试性能。老化时间为 2014 年 10 月~2015 年 5 月,自然老化 8 个月的天气状况如表 1 所示。

1.4 测试与表征

1.4.1 TD 主要成分含量测试

采用硝酸-乙醇纤维素法测试 TD 中纤维素含量,按 GB/T 2677.9—1994^[17]测试半纤维素含量,按 GB/T 2677.8—1994^[18]测试 TD 木质素含量,按 GB/T 2677.6—1994^[19]测试 TD 中热水及苯醇抽提物含量。

1.4.2 力学性能测试

用 CMT6104 微机控制电子万能试验机(深圳市新三思计量技术有限公司),按 GB/T 9341—2008^[20]测试复合材料弯曲性能,试样尺寸为 100 mm×10 mm×4 mm,跨距为 60 mm,挠度为 6 mm,加载速度为 2 mm/min;采用 TH210 D 型邵氏硬度计(北京时代光南科技有限公司)测试复合材料的硬度值,试样尺寸为 25 mm×25 mm×4 mm。采用 ZBC7251-B 型液晶式塑料摆锤冲击试验机(美斯特工业系统有限公司),按 GB/T 1043.1—2008^[21]测试复合材料的简支梁缺口冲击强度,试样尺寸为 80 mm×10 mm×4 mm,缺口深度为 0.8 mm,缺口类型 B 型。试样皆平行测定 4 次。

表 1 自然老化 8 个月的天气状况

Table 1 Natural weathering condition of 8 months

Item	Date							
	2014-10	2014-11	2014-12	2015-01	2015-02	2015-03	2015-04	2015-05
Average temperature/℃	19.5-22.2	14.9-18.2	6.5-10.1	7.4-10.6	9.1-12.5	13.2-15.3	17.8-20.2	21.7-23.4
Monthly rain/mm	0-38.6	32.8-66.1	14.3-23.3	32.7-47.3	40.1-97.8	187.9-243.7	91.1-179.0	252.8-478.2
Monthly sunlight/h	231.7-251.8	99.7-129.0	129.5-152.5	113.8-143.6	75.9-94.9	59.1-88.4	112.8-139.9	53.0-86.8

1.4.3 表面材色测试

用锯子从复合材料上截取尺寸为 25 mm×25 mm×4 mm 试样, 采用 WSC-S 全自动测色色差仪(上海圣科仪器设备有限公司)测试复合材料阳光照射面的材色, 计算色差值 ΔE , 平行测试 3 次, 取平均值:

$$\Delta E = \left[(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2 \right]^{1/2}$$

式中: ΔL 为亮度差值; Δa 为红绿轴色品指数变化值; Δb 为黄蓝轴色品指数变化值。

1.4.4 化学结构测试

在 TD/PP 复合材料阳光照射面表面上刮取少量粉末, 与溴化钾压片, 在 AVATAR-330 傅里叶红外光谱仪(美国赛默飞世尔科技)上测定其红外光谱。

1.4.5 微观形态观察

采用 S-4800 冷场发射扫描电子显微镜(日本日立公司)观察复合材料阳光照射面及拉伸断面形态, 样品观察前经干燥和喷金处理。

2 结果与讨论

2.1 TD 组分含量及微观形态

茶梗木质纤维材料与木材纤维^[22]如硬木材杨木和软木材马尾松的化学成分含量及分布具有很大不同, TD 与木材纤维主要成分含量比较见图 1。TD 主要成分为纤维素、木质素、半纤维素及果胶等, 其纤维素含量为 22.53wt%, 半纤维素含量为 33.45wt%, 木质素含量为 27.68wt%, 热水抽提物含量为 31.46wt%, 苯醇抽提物含量为 18.94wt%。

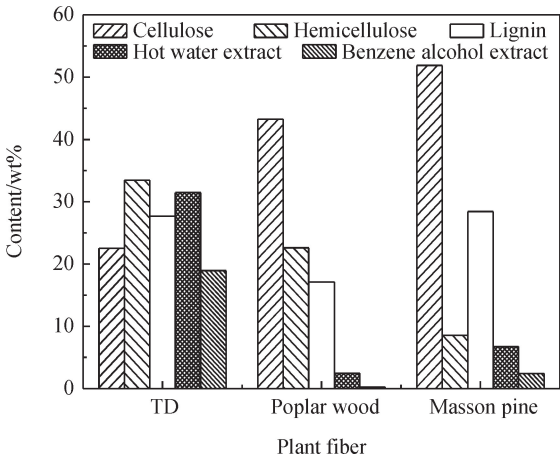


图1 TD与木材纤维主要成分含量比较

Fig.1 Comparison of main component contents between TD and wood fiber

TD 纤维中纤维素含量要明显低于木粉中纤维素含量, 不到后者的一半, 而 TD 纤维中半纤维素含量要高于木材中半纤维素含量, 差异最明显的是各种形式的抽提物含量, TD 纤维中各种抽提物含量几倍于甚至十几倍于木材中抽提物含量。

图 2 为 TD 的 SEM 照片。可知, 茶梗经粉碎机粉碎后得到的 TD, 在微观形态上呈长条状、短棒状或薄片状, 有些甚至为颗粒状, TD 截面直径大多在 20~100 μm 之间, 长度在 200~1 000 μm , 长径比约为 2~50, 要小于木粉长宽比。有研究^[14]指出, 茶梗碎料纤维细胞长径比较小, 低于木材纤维细胞, 属于短纤维。但其纤维细胞壁较薄, 细胞体积较大, 仍是一种很好的纤维原料。在植物纤维增强的聚合物复合材料中, 植物纤维的纤维素含量及纤维形态会影响木塑复合材料的力学性能, 而木质素及抽提物会吸收紫外线, 对复合材料材色有重要影响。因此茶塑复合材料的户外使用性能及老化机制研究具有实际应用意义。

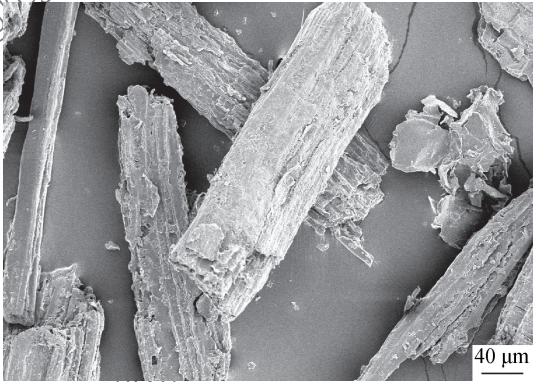


图2 TD的SEM照片

Fig.2 SEM photograph of TD

2.2 自然老化对 TD/PP 复合材料表观材色影响

TD 含量为 40wt%(总量为 100)时, 自然老化对 TD/PP 复合材料材色的影响如图 3 所示。L 为复合材料的亮度指数, a 为红绿轴色品指数, b 为黄蓝轴色品指数。可知, 随着自然老化时间的延长, TD/PP 复合材料的材色变化明显, 材色指标 L 逐渐变大, 而材色指标 a、b 逐渐减小, 当室外自然老化时间达到 8 个月后, 相比于老化之前的 TD/PP 复合材料, 其 L 增大了 37.64, a、b 分别减小了 10.40、3.38, 材料老化后色差值 ΔE 达到了 39.19。说明 TD/PP 复合材料经自然老化 8 个月以后, 材料明显变白、变亮, 而略微变绿变蓝。表明茶塑复

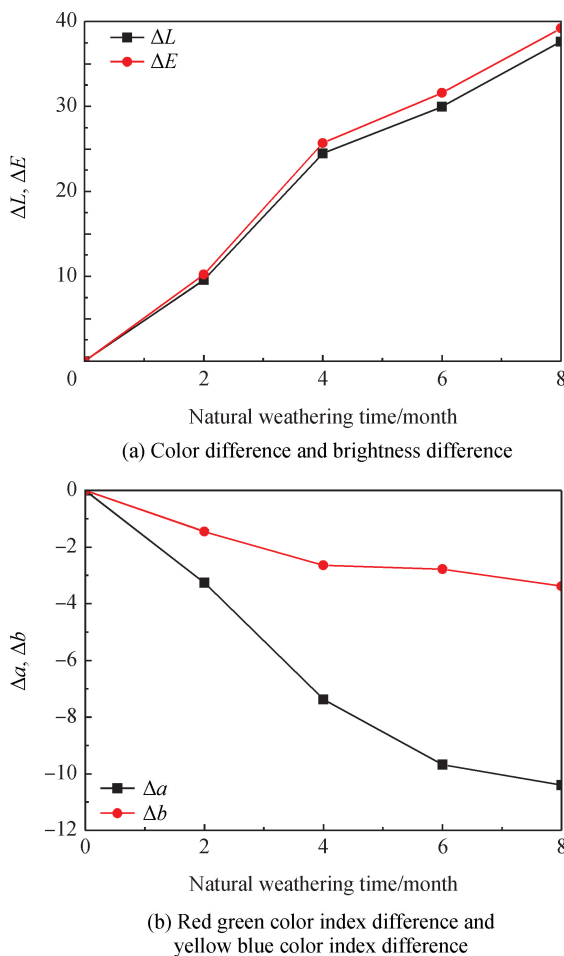


图3 自然老化对 TD/PP 复合材料材色的影响

Fig. 3 Effects of natural weathering on color change of TD/PP composites

合材料在自然老化环境中,材料表面材色发生了明显褪色,严重影响材料外观。这主要是由于 TD 组分中各种抽提物含量较多(如图 1 所示),抽提物中含有大量的多酚物质,在户外环境中的水气、氧气、紫外光照射及温度变化的共同作用下,TD 组分中多酚物质发生了光致化学变色,产生严重的外观褪色现象^[23]。

2.3 自然老化对 TD/PP 复合材料力学性能影响

自然老化对 TD/PP 复合材料力学性能的影响如图 4 所示。可知,自然老化对 TD/PP 复合材料力学性能影响显著。随着自然老化时间的延长,复合材料的弯曲强度、缺口冲击强度及弯曲模量逐渐下降,而邵氏硬度变化较小。在自然老化 8 个月后,复合材料的弯曲强度、缺口冲击强度、弯曲模量及硬度值分别降低了 38.7%、42.4%、41.4% 和 9.14%。这主要是由于在户外老化环境中,强吸水

性的 TD 纤维会吸收水分,水分浸入纤维与树脂的界面之间,水分的引入不仅会降低植物纤维本身的强度,还会破坏植物纤维与树脂的界面结合,降低二者的界面结合作用^[24];同时,户外自然环境中雨水浸渍和阳光照射及高温作用下,TD 纤维成分会发生一定程度的干缩湿胀,也会破坏界面结合,降低复合材料的力学性能^[25]。

图 5 为 TD/PP 复合材料断面形态。由于 TD 填料为亲水性组分,与亲油基体 PP 二者相容性差,因此在未添加界面增容剂 MAPP 下,制备的 TD/PP 复合材料拉伸断面上可清晰看到 TD 粒料与基体的界面上有空隙存在,界面比较规则、光滑,甚至可以看到 TD 粒料被拔出后残留的孔洞。而在添加了界面增容剂 MAPP 后,复合材料断面上不再有 TD 粒料被拔出后残留的孔洞,界面空隙体积变小甚至消失,界面变模糊,表明二者界面结合作用得到改善。这主要是由于 MAPP 增容剂中的酸酐侧基团可以与 TD 上的羟基形成化学键或者氢键作用,而主链与 PP 分子链热力学相容,通过这种桥联作用改善了 TD 组分与 PP 基体的界面结合。

图 6 为 TD/PP 复合材料表面微观形貌。可见,老化之前,复合材料表面平整,没有裂纹,如图 6(a)所示。随着老化的进行,复合材料表面开始出现一些裂纹(见图 6(b)),且随着老化时间的延长,裂纹数量逐渐增多,裂纹深度和宽度也增大,并且伴随局部地方出现粉化现象,如图 6(c)、图 6(d)和图 6(e)所示,这些缺陷都会引起应力集中效应,使复合材料力学性能下降。

2.4 TD/PP 复合材料自然老化前后化学结构变化

图 7 为 TD/PP 复合材料自然老化前后的 FT-IR 谱图。从图 7(a)中可知,3 420 cm^{-1} 左右为 $-\text{OH}$ 的伸缩振动吸收峰,2 958 和 2 919 cm^{-1} 处为 $-\text{CH}_2$ 伸缩振动峰,2 839 和 2 874 cm^{-1} 处为 $-\text{CH}$ 伸缩振动峰^[26]。1 728 cm^{-1} 附近为 $\text{C}=\text{O}$ 伸缩振动峰,在 TD/PP 复合材料老化前主要是来自于增容剂 MAPP 中的酸酐基团。1 633、1 507 及 1 251 cm^{-1} 左右的吸收峰代表植物纤维中木质素组分的苯环结构。1 458 和 1 376 cm^{-1} 处则分别为 PP 中 $-\text{CH}_2$ 的不对称伸缩振动峰和 $-\text{CH}_3$ 的弯曲振动吸收峰^[27]。1 165、1 050 cm^{-1} 左右的吸收峰分别为 $\text{C}-\text{O}$ 的伸缩及变形振动吸收峰^[15, 22]。

经过对比可以发现,TD/PP 复合材料在户外

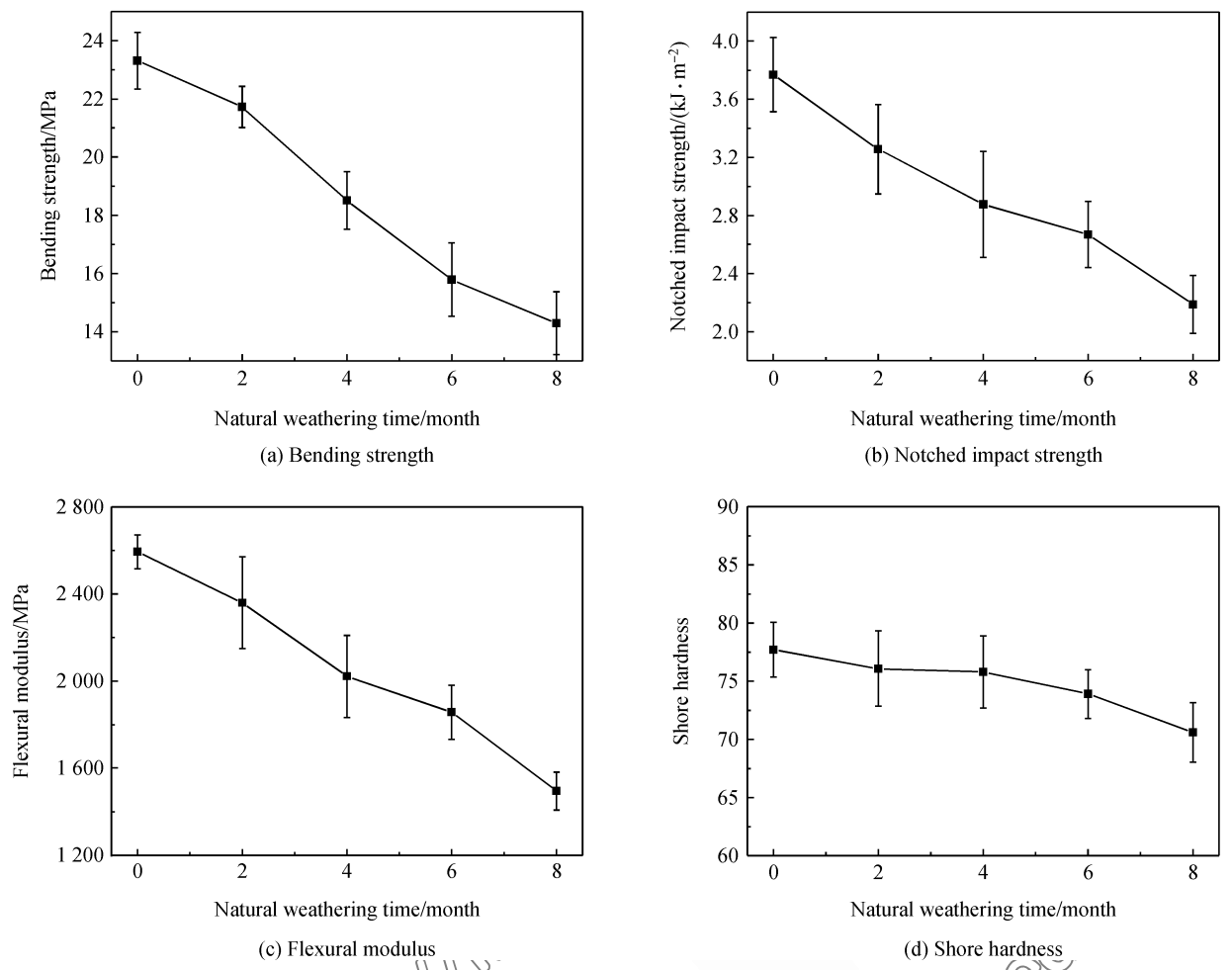


图4 自然老化对 TD/PP 复合材料力学性能的影响
Fig. 4 Effects of natural weathering on mechanical properties of TD/PP composites

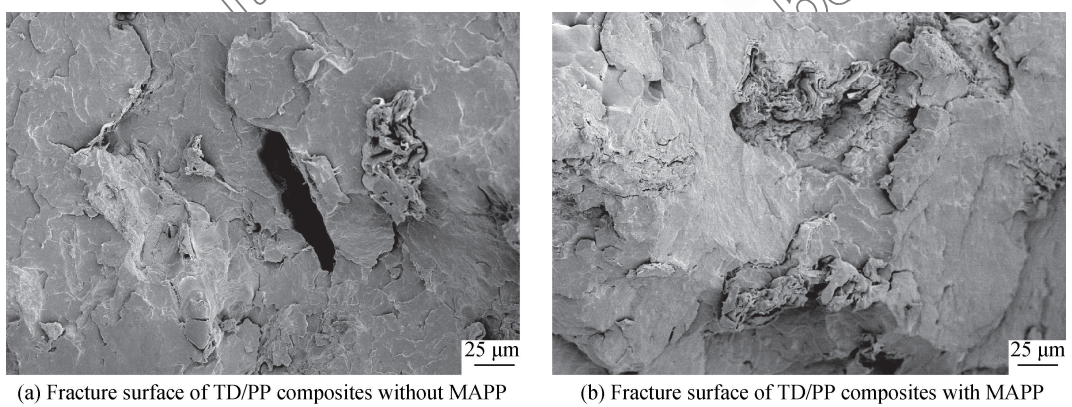


图5 TD/PP 复合材料断面形态
Fig. 5 Fracture surface morphologies of TD/PP composites

自然老化 4 个月和 8 个月, 在 $1\,728\text{ cm}^{-1}$ 附近代表 $\text{C}=\text{O}$ 的吸收峰强度获得较大幅度提高, 表明 TD/PP 复合材料表面上的基体 PP 在户外阳光照射、氧气等作用下可能发生了氧化作用。此外,

$2\,958$ 和 $2\,919\text{ cm}^{-1}$ 处 $-\text{CH}_2$ 伸缩振动吸收峰强度及 $1\,161\text{ cm}^{-1}$ 处的 $\text{C}-\text{O}$ 吸收峰强度也提高了, 且随老化时间从 4 个月延长到 8 个月, $2\,839$ 、 $2\,874\text{ cm}^{-1}$ 处 $-\text{CH}$ 吸收峰强度进一步增大 (见

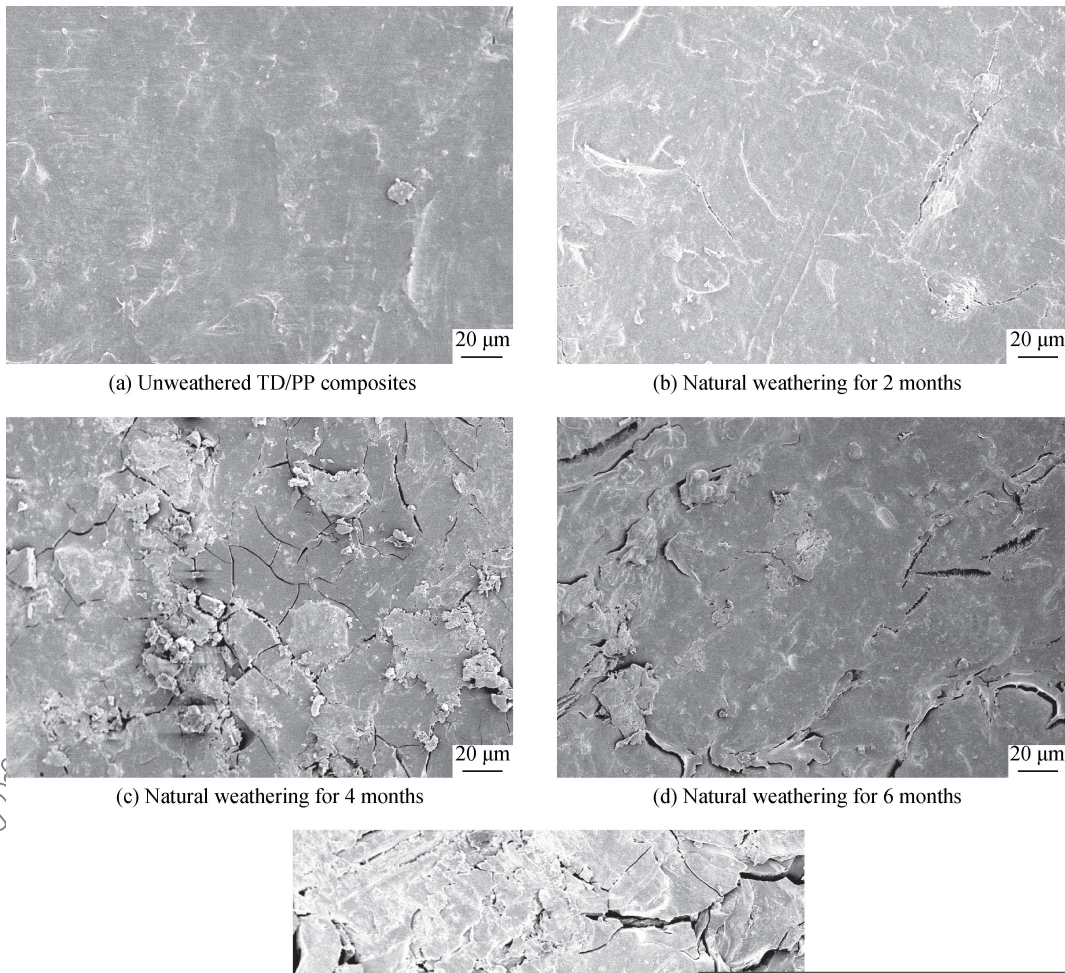


图 6 TD/PP 复合材料表面微观形貌
Fig. 6 Surface micro morphologies of TD/PP composites

图 7(b)和图 7(c))，进一步说明了 PP 在户外老化中发生了光照氧化降解，从而形成更多的一CH 基团。Zhou 等^[26]在用 FTIR 分析竹粉质量分数为 30% 的竹粉/PP 发泡复合材料的自然老化机制时，同样发现户外自然老化 10 个月后，TD/PP 复合发泡材料 FTIR 谱图中在 $1\,720\text{ cm}^{-1}$ 左右的吸收峰强度以及 $2\,800\sim 2\,900\text{ cm}^{-1}$ 之间的吸收峰强度有着大幅度的提高，其认为 PP 分子链在户外光照下发生了光照氧化断裂降解。Hou 等^[5]采用 FTIR 分析了麦秸秆/PP 复合材料紫外照射加速老化后复合材料化学结构变化，发现复合材料紫

外照射老化 480 h 以后，FTIR 谱图中在 $1\,716\text{ cm}^{-1}$ 左右有吸收峰强度，并将其归因于 PP 在紫外光照和植物纤维羟基的作用下发生了光氧化反应，形成的氢过氧基团发生 β 断裂而形成酮。并且紫外照射时间越长，这种变化趋势越明显。此外图 7 还显示，代表 TD 中木质素苯环结构的吸收峰 $1\,633$ 、 $1\,507$ 及 $1\,251\text{ cm}^{-1}$ 逐渐减弱甚至消失，表明在户外自然老化环境中，复合材料表面的 TD 中木质素成分也发生了一定程度的降解，这也是 2.2 节测试分析出复合材料外观发生褪色的原因。

图7 TD/PP复合材料自然老化前后的FTIR谱图

Fig. 7 FTIR spectra of TD/PP composites before and after natural weathering

3 结 论

以茶粉(TD)为有机增强相,聚丙烯(PP)为基体,制备了TD/PP复合材料,考察了户外自然老化对TD/PP复合材料力学性能、表观材色、表面形态及化学结构的影响。

(1)与木材纤维相比,TD中纤维素含量要更少,而各种形式的抽提物含量要高很多,其纤维长度比更小。

(2)随自然老化时间延长,TD/PP复合材料材色指标亮度逐渐变大,而红绿轴色品指数和黄蓝轴色品指数逐渐减小;当室外自然老化8个月后,TD/PP复合材料的亮度差值、红绿轴色品指数变化值及黄蓝轴色品指数变化值分别为37.64、-10.40和-3.38,色差值 ΔE 为39.19。

(3)随自然老化时间延长,TD/PP复合材料弯曲强度、缺口冲击强度及弯曲模量逐渐下降,而邵氏硬度变化较小,而复合材料表面出现裂纹,且裂纹数量逐渐增多,深度和宽度增大,并且局部地方出现粉化现象。在自然老化8个月后,复合材料弯曲强度、缺口冲击强度、弯曲模量及硬度值分别降低了38.7%、42.4%、41.4%和9.14%。

(4)红外光谱分析表明,TD/PP复合材料中PP及TD木质素组分在户外自然老化环境中发生了降解。

参考文献:

[1] BATIANCELA M A, ACDA M N, CABANGON R J. Particleboard from waste tea leaves and wood particles[J]. Journal of Composite Materials, 2014, 48(8): 911-916.

[2] 周亚巍,宁莉萍,李贤伟,等. 铝矾土改性竹粉/HDPE 复合材料性能[J]. 复合材料学报, 2015, 32(4): 977-982.
ZHOU Y W, NING L P, LI X W, et al. Properties of bamboo flour/HDPE composites modified by bauxite[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2015, 32(4): 977-982 (in Chinese).

[3] ZAHEDI M, PIRAYESH H, KHANJANZADEH H, et al. Organo-modified montmorillonite reinforced walnut shell/polypropylene composites[J]. Materials & Design, 2013, 51: 803-809.

[4] 曾广胜,林瑞珍,徐成,等. 发泡废纸纤维/LDPE 复合材料的加工流变性及泡孔形态[J]. 复合材料学报, 2013, 30(2): 89-93.
ZENG G S, LIN R Z, XU C, et al. Processing rheology properties and cell morphology of foamed recycled paperboard fiber/LDPE composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2013, 30(2): 89-93 (in Chinese).

[5] 侯人鸾,何春霞,薛妍,等. 麦秸秆粉/PP 木塑复合材料紫外线加速老化性能[J]. 复合材料学报, 2013, 30(5): 86-93.
HOU R L, HE C X, XUE J, et al. UV accelerated aging properties of wheat straw/PP wood plastic composite[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2013, 30(5): 86-93 (in Chinese).

[6] FENG Y H, LI X L, JIN G, et al. Preparation and properties of several Chinese herbal residue/polylactic acid composites[J]. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 2015, 28(2): 214-224.

[7] SHI J S, LI J Z, FAN Y M. Preparation and properties of waste leaves particleboard[J]. Forestry Studies in China, 2006, 8(1): 41-45.

[8] HOU L J, SONG B H, CHEN T T, et al. Manufacture and properties of particleboards by mixing green tea leaves waste with wood-based particles[J]. Forest Product Industry, 2009, 28(1): 53-62.

[9] MATTOS B D, MISSO A L, CADEMARTORI P H G. Properties of polypropylene composites filled with a mixture of household waste of mate-tea and wood particles[J]. Construction and Building Materials, 2014, 61(30): 60-68.

[10] HASSAN M M, MUELLER M, TARTAKOWSKA D J, et al. Role of compatibilizers on the physical mechanical performance of tea dust polypropylene composites[J]. Jr J

- mechanical properties of HDPE/tea stalk/CNTs composites [J]. *China Plastics Industry*, 2015, 43(4): 79-86 (in Chinese).
- [13] KALLAKAS H, POLTIMAEE T, SUELD T M, et al. The influence of accelerated weathering on the mechanical and physical properties of wood-plastic composites [J]. *Progress of the Estonian Academy of Sciences*, 2015, 64(2): 94-104.
- [14] 苏团. 茶梗碎料板工艺及甲醛释放量控制机理的研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
- SU T. Research on technology and control mechanism of formaldehyde emission from tea stalk particlboard [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forest University, 2012 (in Chinese).
- [15] FABIYI J S. Chemistry of wood plastics composite weathing [D]. Idaho: University of Idaho, 2007.
- [16] 周松, 陈浩, 王刚毅, 等. 竹纤维/马来酸酐接枝聚丙烯/聚丙烯复合材料的结构和性能研究 [J]. *塑料工业*, 2013, 41(11): 57-61.
- ZHOU S, CHEN H, WANG G Y, et al. Structure and properties of BF/PP-g-MA/PP Composites [J]. *China Plastics Industry*, 2013, 41(11): 57-61 (in Chinese).
- [17] 轻工业部造纸工业科学研究所. 造纸原料多戊糖含量的测定: GB/T 2677.9—1994 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- Paper Industry Science Research Institute of Light Industry Ministry. Fibrous raw material—Determination of pentosan: GB/T 2677.9—1994 [S]. Beijing: Standards Press of China, 1995 (in Chinese).
- [18] 轻工业部造纸工业科学研究所. 造纸原料酸不溶木素含量的测定: GB/T 2677.8—1994 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- Paper Industry Science Research Institute of Light Industry Ministry. Fibrous raw material—Determination of acid-insoluble lignin: GB/T 2677.8—1994 [S]. Beijing: Standards Press of China, 1995 (in Chinese).
- [19] 轻工业部造纸工业科学研究所. 造纸原料有机溶剂抽出物含量的测定: GB/T 2677.6—1994 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- Paper Industry Science Research Institute of Light Industry Ministry. Fibrous raw material—Determination of solvent extractives: GB/T 2677.6—1994 [S]. Beijing: Standards Press of China, 1995 (in Chinese).
- [20] 国家化学建筑材料测试中心. 塑料弯曲性能的测定: GB/T 9341—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- National Test Center of Polymer and Chemical Building Materials. Plastics—Determination of flexural properties: GB/T 9341—2008 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008 (in Chinese).
- [21] 国家合成树脂质量监督检验中心. 塑料简支梁冲击性能的测定: GB/T 1043.1—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- National Quality Supervision and Inspection Center of Synthetic Resin. Plastics—Determination of charpy impact properties: GB/T 1043.1—2008 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008 (in Chinese).
- [22] 杨淑惠. 植物纤维化学 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001: 18-19.
- YANG S H. Plant fiber chemistry [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2001: 18-19 (in Chinese).
- [23] ADHIKARY K B, PANG S S, STAIGER M P. Effects of the accelerated freeze-thaw cycling on physical and mechanical properties of wood flour-recycled thermoplastic composites [J]. *Polymer Composites*, 2010, 31(2): 185-194.
- [24] PAGES P, CARRASCO F, SAURINA J, et al. FTIR and DSC study of HDPE structural changes and mechanical properties variation when exposed to weathering aging during Canadian winter [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 1996, 60(2): 153-159.
- [25] PANTHAPULAKKAL S, LAW S, SAIN M. Effect of water absorption, freezing and thawing, and photo-aging on flexural properties of extruded HDPE/rice husk composites [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2006, 100(5): 3619-3625.
- [26] ZHOU X X, HUANG S S, YU Y, et al. Outdoor natural weathering of bamboo flour/polypropylene foamed composites [J]. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2014, 33(12): 1835-1846.
- [27] LEONG Y W, ABUBAKAR M B, MOHD I Z A, et al. Characterization of talc/calcium carbonate filled polypropylene hybrid composites weathered in a natural environment [J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2004, 83(3): 411-422.

Performances of tea dust/polypropylene composites under natural weathering

GONG Xinhua^{1, 2, 3, *}, CHEN Liangbi¹

(1. Ecology and Resources Engineering College, Wuyi University, Wuyishan 354300, China;

2. Science and Technology Innovation Public Service Center of Minbei Bamboo Industry, Wuyishan 354300, China;

3. Fujian Provincial Key Laboratory of Eco-Industrial Green Technology, Wuyishan 354300, China)

Abstract: In order to make high-valued use of the waste tea residue and broaden the plant fiber sources in wood-plastics composites, tea dust/polypropylene (TD/PP) composites were manufactured by open mill and injection molding process with TD as organic reinforcement and PP as matrix. Aiming to explore the outdoor application and weathering mechanism, the outdoor natural weathering form was applied and the effects of weathering time on the mechanical properties, color change and surface morphology of TD/PP composites were investigated. And the weathering mechanism was analyzed by FTIR. The results show that the contents of different extracts from TD is much higher but cellulose content in TD and ratio of fiber length to width is lower compared with wood fibers. The corresponding brightness difference, red green color index difference and yellow blue color index difference are 37.64, -10.40, -3.38 and 39.19, respectively after outdoor natural weathering for 8 months, and the bending strength, notched impact strength, flexural modulus and hardness of TD/PP composites are reduced by 38.7%, 42.4%, 41.4% and 9.14%, respectively. The photodegradation of PP matrices chain in TD/PP composites and lignin in TD are confirmed by FTIR analysis during the outdoor natural weathering process. And the SEM photograph indicates that there are obviously cracks on the surface of TD/PP composites, the quantity, depth and width of cracks increase, and there even occurs pulverization phenomena in some place.

Keywords: tea dust; polypropylene; composites; natural weathering; mechanical properties; color change