

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.12.002

PLA/茶渣复合材料的制备与性能改善

龚新怀^{1,2}, 肖峰¹, 赵升云¹, 刘凯¹, 叶进辉¹, 金富露¹, 蔡佳栩¹

(1. 武夷学院生态与资源工程学院, 福建省生态产业绿色技术重点实验室, 福建武夷山 354300;

2. 华侨大学材料科学与工程学院, 环境友好功能材料教育部工程研究中心, 福建厦门 361021)

摘要: 为高值化利用茶渣剩余物资源, 采用密炼及注塑工艺制备了聚乳酸/茶渣(PLA/TW)复合材料, 考察了 TW 粒径、添加量及不同界面增容作用对 PLA/TW 复合材料结构与性能的影响。结果表明, TW 粒径为 75~180 μm 时, 复合材料的平衡扭矩与料温最高, 并随 TW 用量和混炼速率的增加而增加; 随 TW 用量增加, 复合材料的拉伸、弯曲强度及缺口冲击强度和断裂伸长率逐渐减小, 而拉伸强度、弯曲弹性模量及维卡软化点呈增大趋势; 当 TW 质量分数增加至 60%, 复合材料的力学性能出现急剧下降; PLA/TW 复合材料具有一定的抗菌性能, 当 TW 质量分数为 50% 时, 其对大肠杆菌和金黄葡萄球菌的抑菌率分别超过 99% 和 90%。界面增容剂硅烷偶联剂(KH550)、二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI)及甲基丙烯酸缩水甘油酯接枝 PLA(GPLA)的添加改善了 PLA/TW 复合材料的界面相容性、力学及热性能, 其中以 GPLA 增容改善效果最佳。制备的 PLA/TW 复合材料具有良好的力学性能、热性能和抗菌性能, 可为塑茶复合材料的开发与应用提供有益参考。

关键词: 茶渣; 聚乳酸; 塑茶复合材料; 界面增容; 性能改善

中图分类号: TQ323.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)12-0008-06

Preparation and Performances Improvement of the PLA/Tea Waste Composites

Gong Xinhui^{1,2}, Xiao Feng¹, Zhao Shengyun¹, Liu Kai¹, Ye Jinhui¹, Jin Fulu¹, Cai Jiaxu¹

(1. Ecology and Resources Engineering College, Wuyi University, Fujian Provincial Key Laboratory of Eco-Inwasterial Green Technology, Wuyishan 354300, China; 2. College of Material Science and Engineering, Huaqiao University, Engineering Research Center of Environment-Friendly Functional Materials, Ministry of Education, Xiamen 361021, China)

Abstract : In order to make high-valued use of the waste tea waste, the polylactic acid/tea waste (PLA/TW) composites were prepared by mixing and injection molding, and the effects of TW diameter, content and different interfacial compatibilization agents addition on the structures and properties of PLA/TW composites were studied. The results show that the PLA/TW composites show higher balance torques and material temperatures when the TW diameters is 75-180 μm , and the balance torques and material temperatures increase with the increase of TW content and mixing rate. The mechanical strength of the PLA/TW composites decrease while the intensile and flextural modulus increase with the increasement of TW content. The mechanical properties of the PLA/TW composites deteriorate rapidly when the TW content is more than 60%. The PLA/TW composites show good antibacterial properties and the antibacterial rates against Escherichia coli and Staphylococcus aureus are more than 99% and 90% respectively when the content of TW is 50%. The additions of compatibilization agents of KH550, MDI or GPLA improve the interfacial compatibility and mechanical properties of the PLA/TW composites, and the composites compatibilized with GPLA show the best performances improvement. The PLA/TW composites show good mechanical, thermal and antibacterial properties, and this study can provide useful reference for the development and application of plastic tea composites.

Keywords : tea waste ; polylactic acid ; plastic tea composite ; interfacial compatibilization ; performances improvement

基金项目: 福建省自然科学基金面上项目(2021J011140, 2018J01445), 福建省大学生创新训练计划项目(S202210397039), 福建省教研项目(FBJG20210037), 福建省高校杰出青年科研人才计划(闽科教[2018]47号), 武夷学院引进人才科研启动项目(YJ201810), 武夷学院师生共创科研团队项目(2020-SSTD-009)

通信作者: 龚新怀, 博士, 副教授, 从事生物质资源利用与高分子复合材料研究

收稿日期: 2022-10-20

引用格式: 龚新怀, 肖峰, 赵升云, 等. PLA/茶渣复合材料的制备与性能改善[J]. 工程塑料应用, 2022, 50(12): 8-13, 37.

Gong Xinhui, Xiao Feng, Zhao Shengyun, et al. Preparation and performances improvement of the PLA/tea waste composites[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(12): 8-13, 37.

茶饮是世界上除水之外最流行的饮品,茶叶在生产、消费等环节中会产生大量茶渣剩余物,中国是世界上主要的茶叶生产和消费大国,每年可产生500万t以上的茶渣(TW)剩余物资源^[1-2]。将TW填充树脂中制备塑茶复合材料,可大量削减茶渣堆积,减少固废污染,还可以降低塑料使用量,减少塑料“白色污染”,同时制备的塑茶复合材料融合了植物材质和塑料双重优势特性,兼具茶叶香气和茶文化元素,是一种具有广泛应用前景的多功能新型仿木复合材料^[2]。目前塑茶复合材料的研究主要以聚乙烯^[3-4]和聚丙烯^[5-7]等不可降解树脂为基体。聚乳酸(PLA)无毒环保、可降解,具有优良的力学性能和塑料加工性,日益受到研究者的重视^[8]。熊伟等^[9]采用挤出-注塑工艺制备了PLA/茶梗纤维复合材料,并对其耐水性、密度及力学性能进行了测试与分析。龚新怀等^[10-13]则研究了PLA/TW复合材料的界面改性及增韧增塑改性问题。但其对复合材料的加工流变性研究均未涉及,且制备的复合材料中TW质量分数仅为30%,难以有效发挥填充改性作用。

塑茶复合材料的制造过程中,复合材料的加工流变性、茶渣添加量以及填料与基体间的界面相容性改善是其关键。目前虽然零星可见一些关于塑茶复合材料的界面增容改善研究报道^[3,5,10-11],但对塑茶复合材料的加工流变性以及TW最大可添加量的研究,尚未见报道。此外,TW富含多酚等活性组分,这可能赋予复合材料一定的抗菌功效等^[2],相关研究鲜见报道。

因此笔者采用密炼-注塑工艺制备了PLA/TW生物质复合材料,重点探讨了TW填料粒径、用量及转速等对其加工性能的影响,并考察了不同界面增容对复合材料性能的改善作用,此外,首次对PLA/TW复合材料的抗菌性能进行了初步研究。以期为塑茶复合材料的研究提供一定参考。

1 实验部分

1.1 主要原材料

TW:用前将TW用流水清洗去除杂质,风干、鼓风干燥后,粉碎机粉碎,用标准分样筛分别筛取得到<75,75~125,125~180 μm和180~600 μm 4种粒径的TW,湖北随州神农茶叶有限公司;

PLA:熔体流动速率(MFR)为22 g/10 min (190℃,2.16 kg),深圳光华伟业实业有限公司;

二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI):上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

硅烷偶联剂:KH550,广州泰瑞新材料有限公司;

甲基丙烯酸缩水甘油酯接枝聚乳酸(GPLA):单体接枝率为4.88%,武夷学院;

大肠杆菌、金黄葡萄球菌:中国工业微生物菌种保藏管理中心。

1.2 主要仪器及设备

转矩流变仪:XSS-300型,上海科创橡塑机械设备有限公司;

注塑机:SA600/150型,宁波海天塑料机械集团有限公司;

电子式万能试验机:ETM104B型,深圳万测试验设备有限公司;

热变形维卡温度测定仪:XRW-300HA型,中国承德市大加仪器有限公司;

扫描电子显微镜(SEM):SU8000型,日本日立公司。

1.3 试样制备

将PLA,TW,KH550,MDI,GPLA按照表1的配方称料,转入流变仪中混炼至设定时间后,取出经机械粉碎造粒,然后用注塑机注塑成型标准样条。物料混炼温度为180℃,混炼速度为40 r/min,混炼7 min。注塑温度为165~190℃,压力为55~80 MPa,保压时间为5 s,样条冷却时间为10~30 s。

表1 PLA/TW 复合材料配方 g

试样编号	PLA	TW	KH550	MDI	GPLA
1 [#]	180				
2 [#]	162	18			
3 [#]	144	36			
4 [#]	126	54			
5 [#]	108	72			
6 [#]	90	90			
7 [#]	72	108			
8 [#]	126	54	0.27		
9 [#]	126	54	0.54		
10 [#]	126	54	1.08		
11 [#]	126	54		0.54	
12 [#]	126	54		1.08	
13 [#]	126	54		2.16	
14 [#]	117	54			9
15 [#]	108	54			18
16 [#]	99	54			27

1.4 性能测试与表征

(1)力学性能测试。

拉伸性能按 GB/T 1040.2-2006 测试,拉伸速度为 5 mm/min,试样尺寸为 150.0 mm×10.0 mm×4.0 mm;

弯曲性能按 GB/T 9341-2008 测试,弯曲速度为 2 mm/min,试样 100.0 mm×10.0 mm×4.0 mm,跨距 60 mm,挠度 6 mm;

简支梁缺口冲击强度按 GB/T 1043.1-2008 测试,缺口类型 B 型,缺口深度 0.8 mm,试样尺寸为 80.0 mm×10.0 mm×4.0 mm。试样测定 5~6 次取平均值。

(2)维卡软化点(VSP)测试。

VSP 按 GB/T 1633-2000 测定,试样尺寸 30.0 mm×10.0 mm×4.0 mm,平行测试 3 次,求平均值。

(3)断面微观形态观察。

PLA/TW 断面喷金处理后,用 SEM 观察其形态,测试加速电压为 3 kV。

(4)抗菌性能测试。

抑菌性能按照 QB/T 2091-2003 测试,菌浓度 $3 \times 10^8 \sim 3.5 \times 10^8$ cfu/mL。以 PLA 树脂为参照,计算 PLA/TW 复合材料对大肠杆菌和金黄葡萄球菌的抑菌率。

2 结果与讨论

2.1 TW 粒径及含量对复合材料性能的影响

(1)加工流变性能。

为简化研究体系,固定 PLA/TW 质量配比为 70/

30,考察了 TW 粒径和混炼转速对 PLA/TW 复合材料加工流变性的影响,结果列于表 2。由表 2 可知,随混炼速率的增加,不同粒径制备的 PLA/TW 复合材料加工平衡扭矩和平衡料温都呈增大趋势。这是因为随混炼转速的增加,转子对物料体系施加的剪切作用力就越大,转子受到物料体系的阻力就越大,导致测试的平衡扭矩增大,同时转子转速增加,其对混合物料的剪切作用增强,摩擦致热效应越明显,导致最终的平衡料温也越高。由表 2 还可知,随 TW 粒径的增加,混合物料的平衡扭矩先增大后减小,按物料平衡扭矩的大小顺序排列依次为 TW (125~180 μm) > TW (75~125 μm) > TW (180~600 μm) > TW (<75 μm),表明 TW 粒径过大或过小时,PLA/TW 复合材料的加工平衡扭矩较小,而 TW 粒径介于 75~180 μm 时的 PLA/TW 复合材料的加工平衡扭矩较大。这可能是由于刚性的 TW 粒径过大时,PLA 对 TW 包裹不够充分,两者难以形成较结实的复合材料,无法形成较大的摩擦阻力;而 TW 粒径过小时,同样无法产生较大的摩擦阻力,摩擦阻力越大,表明两者的相互融合作用更强^[4]。

因此综合考虑,为保证 PLA 与 TW 有更好的相互融合作用,同时拓宽 TW 原料来源,将 TW (125~180 μm)和 TW (75~125 μm)混匀,得到粒径为 75~180 μm 的 TW,用于后续 PLA/TW 复合材料的制备。

表 2 不同 TW 粒径的 PLA/TW 复合材料的加工流变数据

TW 粒径/ μm	转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)									
	10		20		30		40		50	
	扭矩/($\text{N} \cdot \text{m}$)	料温/ $^{\circ}\text{C}$	扭矩/($\text{N} \cdot \text{m}$)	料温/ $^{\circ}\text{C}$	扭矩/($\text{N} \cdot \text{m}$)	料温/ $^{\circ}\text{C}$	扭矩/($\text{N} \cdot \text{m}$)	料温/ $^{\circ}\text{C}$	扭矩/($\text{N} \cdot \text{m}$)	料温/ $^{\circ}\text{C}$
180~600	2.5	169.9	3.8	171.1	5.1	171.7	5.4	173.2	6.1	173.9
125~180	2.9	169.8	4.2	170.4	5.4	171.2	6.6	173.7	6.8	174.2
75~125	3.1	169.3	4.3	169.8	5.2	171.7	6	173.1	6.5	174.9
<75	2.5	170.1	3.8	171.1	4.6	171.4	5.3	172.1	5.9	173.5

注:TW 质量分数为 30%。

固定 TW 粒径为 75~180 μm ,研究了混炼转速和 TW 质量分数对 PLA/TW 复合材料加工性能的影响,结果列于表 3。由表 3 可知,随混炼转速的增加,PLA/TW 复合材料的加工平衡扭矩和平衡料温都呈增大趋势,其原因与上述相同。而随 TW 含量的增加,PLA/TW 复合材料的加工平衡扭矩和平衡料温则呈先增大后减小趋势,这主要是由于 TW 用量增加,复合材料内部 TW 与 PLA 之间、TW 本身之间产生的摩擦作用点数量增加,相应的混炼扭矩和加工料温就增大。但当 TW 质量分数超过 50%时,PLA/

TW 复合材料的加工平衡扭矩和料温有所下降,这可能是由于 TW 含量过多,导致复合材料中分散相 TW 无法被基体树脂 PLA 充分包裹,形成 TW 团聚体,TW 与 PLA 之间的结合与摩擦位点减少,导致复合材料熔体体系平衡加工扭矩和平衡料温下降。

(2)力学性能。

随填料 TW 含量的增加,PLA/TW 复合材料的力学强度和韧性逐渐减小,而刚性(模量)则呈增加趋势见表 4。这与 Almgren^[15]和 Li^[16]研究结果类似。这主要是由于填料 TW 大多以片状、颗粒状等形态

表3 不同TW添加量的PLA/TW加工流变数据

TW质量 分数/%	转速/(r·min ⁻¹)									
	10		20		30		40		50	
	扭矩/(N·m)	料温/℃	扭矩/(N·m)	料温/℃	扭矩/(N·m)	料温/℃	扭矩/(N·m)	料温/℃	扭矩/(N·m)	料温/℃
0	2.1	169.5	3.4	169.9	4.2	171.6	4.9	172.7	5.4	174.7
10	2.1	170.1	3.3	171.1	4	172.5	4.5	173	5.1	173.4
20	2.2	169	3.6	170.7	4.7	171.8	5.5	173.2	5.9	175.1
30	2.8	169.8	4	170.4	5.4	171.2	6.6	173.7	6.8	174.2
40	4	169.8	4.8	171.7	6	171.8	6.9	173.1	7.3	174.3
50	5.1	169.8	5.5	171.3	6.5	171.6	7.2	173.5	7.7	174.5
60	3.9	169.3	4.6	171.1	5.3	171.4	6.7	172.8	6.9	174.1

表4 TW用量对PLA/TW复合材料的力学性能的影响

项目	TW质量分数/%						
	0	10	20	30	40	50	60
拉伸强度/MPa	54.5±0.7	47.1±1.3	43.8±0.7	41.2±0.6	35.8±0.4	27.2±1.5	18.6±0.2
拉伸弹性模量/MPa	3 307.8±79.7	3 571.1±104.7	3 847.3±199.7	4 122.6±64.9	4 437.2±35.7	4 913.4±72.7	4 040.9±242.9
断裂伸长率/%	9.1±0.5	8.2±0.7	7.5±0.2	6.9±0.3	6.3±0.1	4.6±0.6	3.6±0.5
弯曲强度/MPa	79.1±3.5	71.8±0.2	65.1±2.3	62.6±0.4	54.9±3.1	48.6±5.4	28.8±4.7
弯曲弹性模量/MPa	3 099.4±272.7	3 469.4±96.1	3 764.7±214.5	3 935.8±165.1	4 225.4±71.3	4 843.8±281.4	5 338.4±141.5
缺口冲击强度/(J·m ⁻¹)	17.4±1.5	16.9±1.7	16.1±0.5	15.2±0.8	11.2±0.3	10.5±0.2	6.9±1.1

分散于PLA基体中,难以发挥纤维的增强作用^[2,6]。此外,TW表面富含羟基,极性大,与极性较低的PLA基体界面相容性差,界面粘结不紧密导致TW颗粒处容易产生应力集中,在受外力作用时容易产生裂纹,加速复合材料的破坏。随着TW添加量的增加,应力集中点数量也增多,导致PLA/TW复合材料的力学强度下降。此外,TW为刚性生物质填料,其含量增加将使复合材料的刚性增加,模量增大,而断裂伸长率减小^[17]。

(3)耐热性能。

不同TW添加量的PLA/TW复合材料的VSP如图1所示。由图1可知,随着TW质量分数增加,PLA/TW复合材料的VSP逐渐提高,当TW添加质量分数40%增加到50%以后,PLA/TW复合材料的VSP发生突跃,由(79.3±0.8)℃增加到(146.6±1.4)℃以上。这可能是由于刚性TW填料添加量的增加,使PLA/TW复合材料的耐热性提高;另一方面,TW用量的增加,在提高PLA/TW复合材料耐热性的同时,可使复合材料在测试VSP的时候,受热时间延长,促进了PLA的重结晶,导致复合材料VSP增大^[18]。

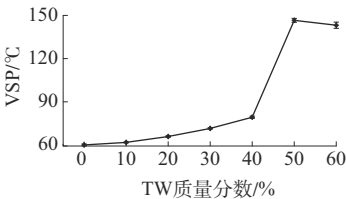
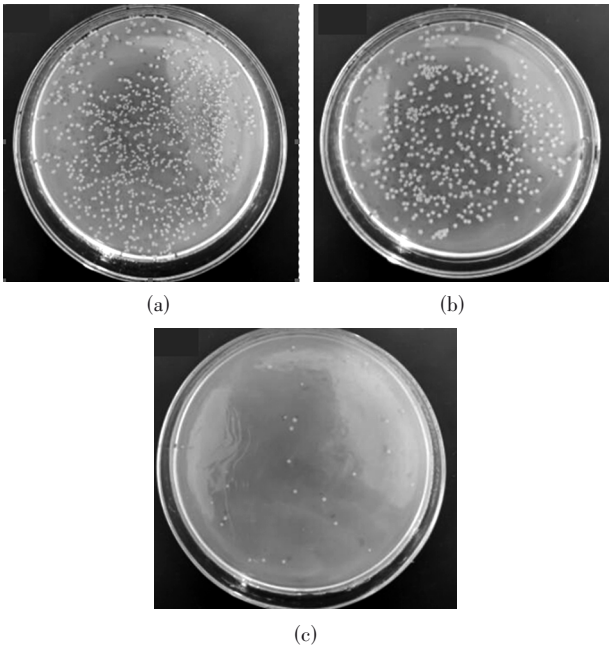


图1 不同TW添加量的PLA/TW复合材料的VSP

(4)抗菌性能。

TW中富含的多酚作为一种天然的抗菌抗氧化剂,是茶生物物质中最重要的活性组分,理论上可赋予塑茶复合材料一定的抗菌抗氧化功能^[19-20]。试验测试了PLA/TW复合材料对大肠杆菌 and 金黄葡萄球菌的抗菌性能,结果如图2、图3所示以及列于表5。由表5可知,随TW含量的增加,复合材料对大肠杆菌和金黄葡萄球菌的抑菌率逐渐增加,当TW质量分数为50%时,PLA/TW复合材料对大肠杆菌



a—2#试样;b—4#试样;c—6#试样

图2 不同TW含量的PLA/TW复合材料的抗菌性能(大肠杆菌)

的抑菌率超过 99%,对金黄葡萄球菌的抑菌率超过 90%,表明 PLA/TW 复合材料具有一定的抗菌性能。

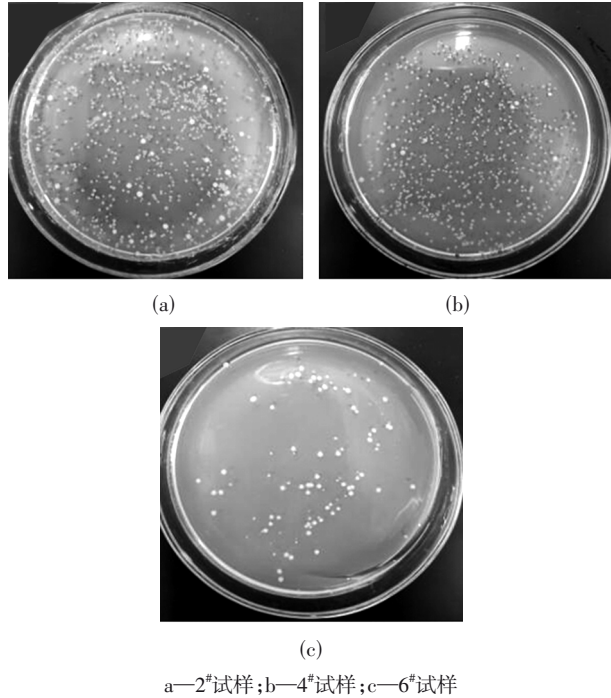


图3 不同TW含量的PLA/TW复合材料的抗菌性能(金黄葡萄球菌)

表5 不同TW含量的PLA/TW复合材料抗菌性能

TW 质量分 数/%	对大肠杆菌抑 菌率/%	对金黄葡萄球菌 抑菌率/%
10	24.8±0.7	11.8±0.9
30	32.4±3.1	23.1±1.9
50	99.9±3.3	90.9±4.4

2.2 界面增容对PLA/TW复合材料的性能改善

(1)力学性能。

为增强 PLA/TW 复合材料的界面相容性,充分发挥 TW 的填充增强作用,试验采用 KH550,MDI 和 GPLA 为界面改性剂,分析了其添加量对复合材料的界面增容和性能改善作用,结果列于表 6。由表 6 可知,3 种界面改性剂添加都能使 PLA/TW 复合材料的力学性能获得不同程度的提高。其中以 GPLA 的界面增容效果最优,MDI 次之,KH550 界面改性效果最差,并在 GPLA 添加质量分数为 10% 时,PLA/TW 复合材料的力学性能最佳,此时复合材料的拉伸、弯曲强度和缺口冲击强度分别比纯 PLA/TW 提高 43.7%,42.1% 和 24.1%,拉伸弹性模量、弯曲弹性模量分别提高 26.5% 和 10.4%,断裂伸长率提高 26.1%。

(2)界面相容性。

表6 不同界面增容方式下PLA/TW复合材料的力学性能

试样 编号	拉伸强 度/ MPa	拉伸弹性 模量/MPa	断裂伸 长率/%	弯曲强 度/MPa	弯曲弹性 模量/MPa	缺口冲击 强度/ (J·m ⁻¹)
4 [#]	41.2± 0.6	4 122.6± 64.9	6.9±0.3	62.6±0.4	3 935.8± 165.1	15.2±0.8
8 [#]	42.3± 0.1	4 131.2± 16.6	7.1±0.2	64.7±1.4	4 276.2± 135.4	15.3±1.0
9 [#]	45.3± 0.2	4 201.2± 52.9	7.2±0.1	70.4±2.2	4 641.8± 320.9	15.6±1.3
10 [#]	43.4± 0.8	4 151.3± 86.9	7.4±0.1	66.4±0.5	4 367.2± 231.4	15.5±0.4
11 [#]	41.2± 0.5	4 272.3± 149.9	6.3±0.1	64.8±1.8	4 302.3± 296.9	15.6±1.0
12 [#]	49.0± 0.6	4 641.4± 55.9	6.9±0.2	73.6±1.4	5 141.3± 509.2	16.2±1.7
13 [#]	46.6± 0.3	4 391.3± 40.6	6.8±0.2	68.8±1.3	4 845.3± 909.6	15.6±1.3
14 [#]	55.7± 1.3	4 879.8± 152.1	8.1±0.9	81.7±1.5	4 435.9± 155.1	17.6±0.2
15 [#]	59.2± 1.1	5 215.5± 226.9	8.7±0.2	88.9±2.1	4 345.9± 175.2	18.9±0.8
16 [#]	56.9± 0.9	4 535.2± 52.3	9.0±0.4	87.4±2.2	4 255.0± 93.9	19.3±0.6

增容前后 PLA/TW 复合材料的拉伸断面 SEM 图如图 4 所示。由图 4a 可知,未增容 PLA/TW 复合材料的 TW 与 PLA 界面处有明显空隙(图 4a),表明二者界面结合作用弱。经 KH550 (图 4b)、MDI (图 4c)及 GPLA (图 4d)界面增容后,复合材料中 TW 与 PLA 的界面相容性得到明显改善,TW 与 PLA 的界面空隙体积减小甚至消失,TW 被基体树脂包裹更加紧密,用 GPLA 增容改善效果最明显。

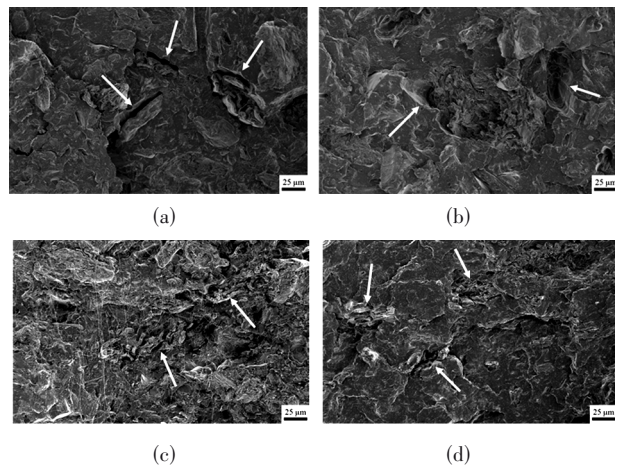


图4 PLA/TW复合材料增容前后拉伸断面SEM图(放大400倍)

(3)耐热性能。

不同界面增容方式对 PLA/TW 复合材料的 VSP 列于表 7。由表 7 可知,KH550,MDI 及 GPLA 界面增容后,复合材料 VSP 都得到提高,以 GPLA 增容改

善效果最明显。在GPLA添加质量分数为10%时,PLA/TW复合材料的VSP由 $(71.5\pm 0.4)^{\circ}\text{C}$ 增加到 $(148.3\pm 0.7)^{\circ}\text{C}$,提高了107.4%。

表7 不同界面增容方式下PLA/TW复合材料的VSP

试样编号	VSP/ $^{\circ}\text{C}$
4 [#]	71.5±0.4
8 [#]	72.6±1.1
9 [#]	78.2±2.5
10 [#]	76.1±0.6
11 [#]	75.2±1.2
12 [#]	81.5±1.1
13 [#]	76.3±2.4
14 [#]	87.9±0.2
15 [#]	148.3±0.7
16 [#]	147.1±2.9

3 结论

(1) PLA/TW复合材料的平衡扭矩与平衡料温随TW含量和混炼速率的增加而增加,并在TW粒径为75~180 μm 时更高。

(2)随TW含量的增加,复合材料的力学强度和韧性下降,而刚性及耐热性呈增大趋势,且其对大肠杆菌和金黄葡萄球菌的抑菌率逐渐增加,在TW质量分数为50%时,复合材料对大肠杆菌和金黄葡萄球菌的抑菌率分别超过99%和90%。

(3)增容剂KH550,MDI及GPLA添加改善了PLA/TW复合材料的结构与性能,以GPLA增容改善效果最优,在质量分数为10%时,复合材料的综合性能最佳。

参考文献

- [1] 谢枫,金玲莉,涂娟,等.茶废弃物综合利用研究进展[J].中国农学通报,2015,31(1):140-145.
Xie Feng, Jin Lingli, Tu Juan, et al. Comprehensive utilization of tea waste: A review[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(1):140-145.
- [2] 龚新怀,李明春,辛梅华,等.茶生物质填充高分子复合材料的研究进展[J].农业工程学报,2020,36(18):283-291.
Gong Xinhui, Li Mingchun, Xin Meihua, et al. Research progress of polymer composites filled with tea biomass[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(18): 283-291.
- [3] 于学领,宋剑斌,杨文斌,等. KH-550含量对茶梗粉/HDPE性能的影响[J].森林与环境学报,2015,35(1):92-96.
Yu Xueling, Song Jianbin, Yang Wenbin, et al. Effects of KH-550 content on properties of tea stems flour/HDPE[J]. Journal of Forest and Environment, 2015, 35(1):92-96.
- [4] Cavdar A D, Kalaycioglu H, Mengeloglu F. Technological properties of thermoplastic composites filled with fire retardant and tea mill waste fiber[J]. Journal of Composite Materials, 2016, 50(12): 1 627-1 634.
- [5] 龚新怀,赵升云,陈良璧,等.茶生物质/聚丙烯复合材料的制备与性能研究[J].材料导报,2016,30(24):48-53.
Gong Xinhui, Zhao Shengyun, Chen Liangbi, et al. Preparation and properties of wasted tea biomass/polypropylene composites[J]. Materials Review, 2016, 30(24):48-53.
- [6] 龚新怀,赵升云,陈良璧.茶粉/聚丙烯复合材料加速老化性能[J].农业工程学报,2015,31(12):308-314.
Gong Xinhui, Zhao Shengyun, Chen Liangbi. Properties of accelerated weathering of tea stalk/polypropylene composites[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(12):308-314.
- [7] De Cademartori P H G, Missio A L, Mattos B D, et al. Roughness and color evaluation of wood polymer composites filled by household waste of mate-tea[J]. Maderas-Cienciay Tecnologia, 2015, 17 (3):457-468.
- [8] Tsutsumi N, Kono Y, Oya M, et al. Recent development of biodegradable network polyesters obtained from renewable natural resources[J]. Clean Soil Air Water, 2008, 36(8):682-686.
- [9] 熊伟,孙亚男,卢嵩.茶梗纤维/聚乳酸复合材料的制备与性能[J].茶叶通讯,2020,47(3):491-495.
Xiong Wei, Sun Yanan, Lu Song. Preparation and properties of tea stalk fiber/PLA composites[J]. Journal of Tea Communication, 2020, 47(3):491-495.
- [10] 龚新怀,辛梅华,李明春,等. MDI增容茶粉/聚乳酸生物基复合材料的制备与性能[J].塑料工业,2016,44(11):127-131, 151.
Gong Xinhui, Xin Meihua, Li Mingchun, et al. Preparation and properties of tea waste/polylactic acid biomass composites compatibilized with MDI[J]. China Plastics Industry, 127-131, 151.
- [11] 龚新怀,辛梅华,李明春,等.增容剂改善茶粉/聚乳酸生物基复合材料性能[J].农业工程学报,2017,33(2):308-314.
Gong Xinhui, Xin Meihua, Li Mingchun, et al. Compatibilizer improving properties of tea dust/polylactic acid biomass composites[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(2):308-314.
- [12] 龚新怀,辛梅华,李明春,等.茶粉/聚乳酸复合材料的增韧改性[J].化工进展,2016,35(10):3 273-3 280.
Gong Xinhui, Xin Meihua, Li Mingchun, et al. Toughening of tea dust/poly(lactic acid) composites[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2016, 35(10):3 273-3 280.
- [13] 龚新怀,辛梅华,李明春,等.环氧大豆油增塑聚乳酸/茶渣生物基复合材料的制备与性能研究[J].塑料科技,2019,47(4):54-58.
Gong Xinhui, Xin Meihua, Li Mingchun, et al. Study on preparation and properties of PLA/TW biocomposites plasticized with ESO[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(4):54-58.

(下转第37页)