

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.06.003

亲水性 PBS/虎杖提取物复合材料的相容性及性能^{*}

宋洁¹, 延小雨¹, 罗翼², 张敏¹, 许小玲¹

(1. 陕西科技大学, 教育部轻工助剂化学与技术重点实验室, 西安 710021; 2. 西安长庆化工集团有限公司, 西安 710018)

摘要: 从天然植物虎杖中提取染色抗菌有效成分获得虎杖提取物 (PCSZ), 将其与聚丁二酸丁二酯 (PBS) 亲水改性聚合物 PBS-OH 和 PBS-COOH 通过混炼复合, 研究了 PCSZ 与两种亲水性 PBS 复合后的相容性, 测试了不同 PCSZ 用量下 PBS-OH/PCSZ 和 PBS-COOH/PCSZ 复合材料的结晶性能、亲疏水性、热稳定性、拉伸性能和抗菌性能。结果表明, PCSZ 中的—OH 均可与 PBS-OH 或 PBS-COOH 中的酯基产生氢键作用, 同时还与改性端基形成 H—O···H—O, 充分改善了复合材料的相容性。PCSZ 的添加对复合材料的结晶形貌不产生影响, 但复合材料结晶度随其用量的增加而增大, 且水接触角在 PCSZ 高用量下有所减少, 亲水性有所增强; PCSZ 可使复合材料的热稳定性和抗菌能力得到提高, 当 PCSZ 用量较高时, PBS-OH/PCSZ 复合材料的热稳定性高于 PBS-COOH/PCSZ 复合材料。与 PBS-COOH/PCSZ 复合材料相比, PBS-OH/PCSZ 复合材料力学性能总体较优, 但抗菌能力略差。综合比较两种亲水性 PBS/PCSZ 复合材料, PBS-OH/PCSZ 复合材料的相容性更强。

关键词: 虎杖; 聚丁二酸丁二酯; 亲水改性; 复合材料; 相容性; 抗菌性能

中图分类号: TQ321.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)06-0012-06

Compatibility and Properties of Hydrophilic PBS/Polygonum Cuspidatum Sieb. et Zucc Extracts Composites

Song Jie¹, Yan Xiaoyu¹, Luo Yi², Zhang Min¹, Xu Xiaoling¹

(1. Key Laboratory of Auxiliary Chemistry and Technology for Chemical Industry, Ministry of Education, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China; 2. Xi'an Changqing Chemical Group Co. Ltd., Xi'an 710018, China)

Abstract: The active ingredients with dyeing and antibacterial function were extracted from Polygonum cuspidatum Sieb. et Zucc to obtain the extracts (PCSZ), and the extracts was compounded with poly(butylene succinate) (PBS) hydrophilic modified polymer PBS-OH and PBS-COOH, the compatibility of the PCSZ with the two hydrophilic modified PBS polymers were studied, the crystallinity, hydrophobicity, thermal stability, tensile properties and antibacterial ability of PBS-OH/PCSZ and PBS-COOH/PCSZ composites with different PCSZ contents were tested. The results show that the —OH of PCSZ can produce hydrogen bonds with the ester groups in both PBS-OH and PBS-COOH, and also form H—O···H—O with the modified end groups, which greatly improves the compatibility of the composites. The addition of PCSZ does not affect the crystalline morphology of the composites, but makes the crystallinity increase with the increasing of the PCSZ contents, the water contact angle is reduced under the high PCSZ contents, which indicates the hydrophilicity is enhanced. PCSZ also improves the thermal stability and antibacterial ability of the composites, the thermal stabilities of PBS-OH/PCSZ composites are superior to PBS-COOH/PCSZ composites when PCSZ content is high. Compared with PBS-COOH/PCSZ composites, the mechanical properties of PBS-OH/PCSZ composites are better in total, but the antibacterial ability is slightly worse. Comparing these two hydrophilic PBS/PCSZ composites, the compatibility of the PBS-OH/PCSZ composites are stronger.

Keywords: polygonum cuspidatum Sieb. et Zucc; poly(butylene succinate); hydrophilic modification; composite; compatibility; antibacterial property

高分子材料由于优点诸多, 与钢铁、木材、水泥并列成为国民经济的四大支柱材料。然而, 其所带来的“白色”污染以及原料石油的日趋减少, 使得人类不得不面临巨大的难题^[1-3]。可生物降解材料正是解决这两方面问题的良方^[4-5]。与其它可生物降解塑料相比, 聚丁二酸丁二酯 (PBS) 综合性能优良,

且相应聚合单体还可以由生物资源发酵制备, 成为现今研究热度较大的一种可完全生态循环的环保聚合物材料^[6-8]。

^{*} “863”计划项目子课题项目 (2011AA100503)

联系人: 宋洁, 讲师, 博士, 主要从事环境友好高分子材料的研究

收稿日期: 2017-03-16

随着科学技术的发展和人们健康意识的增强,抗菌塑料应运而生,通过添加一定的抗菌物质,达到有效降低或避免细菌交叉传染和疾病传播的目的^[9-11]。天然抗菌剂不属于化学制品,完全从天然动物或植物中提取,对环境无害,再次受到青睐^[12-13]。同时,色素是植物中普遍存在的有色化合物,目前我国已发现高等植物 3 万多种,其中被确认的药用植物有 11 146 种,但植物的医疗、保健作用,及杀虫、杀菌、除草等药用价值远远未被广泛开发完全^[14-16]。因此,将具有染色、抗菌成分的天然植物源提取物与可生物降解材料复合,可同时解决合成染料及一些无机或有机抗菌剂有毒物质的污染问题,并使得可生物降解材料 PBS 具有染色和抗菌的双功能性。但植物源提取物中多数含有大量的亲水性基团,因而通过不同的方法提高两者复合的相容性成为研究的关键。笔者前期研究中已采用偶联剂对天然植物虎杖提取物 (PCSZ) 进行了本体修饰,但第三组分的添加可能会在三者相容时产生多项界面,对复合材料的综合性能提高产生影响,而从复合材料基材改性出发,根据“相似相容”原理使得基材的极性提取物更加相近,则可能会使复合材料的相容性改进更加充分。

笔者从天然植物虎杖根部提取具有染色、抗菌双功能性的有效成分,得到了 PCSZ,为了提高其与可生物降解材料 PBS 的相容性,制备了两种亲水改性 PBS 基聚合物——端羟基 PBS (PBS-OH) 和端羧基 PBS (PBS-COOH),研究了天然虎杖提取物与 PBS-OH 及 PBS-COOH 两种亲水性聚合物复合后复合材料各项性能的变化,旨在为 PBS/植物提取物复合材料相容性的提高提供理论依据。

1 实验部分

1.1 实验原料

1,4-丁二醇 (BDO): 分析纯,天津市福晨化学试剂厂;

1,4-丁二酸 (SA)、钛酸丁酯 $[\text{Ti}(\text{OBu})_4]$ 、三氯甲烷 (CHCl_3): 分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;

天然植物虎杖根部: 市售;

无水乙醇: 分析纯,天津市富宇精细化工有限公司。

1.2 主要设备及仪器

炼塑机: SK-160 型,上海齐才液压机械有限公司;

傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 仪: VERTE-22 型,德国 Bruker 公司;

广角 X 射线衍射 (XRD) 仪: AD/Max-3c 型,日本理学株式会社;

接触角测量仪: Easydrop 型,德国 KRUSS 公司;

热重 (TG) 分析仪: Q600 型,美国 TA 公司;

万能实验机: XWW-10A 型,承德市金建检测仪器有限公司。

1.3 试样制备

(1) 虎杖的提取。

将虎杖根部干燥,然后经粉碎机粉碎;采用超声波辅助提取法 (溶剂为 95% 乙醇),在提取料液质量比 1:15、超声温度 40℃、超声时间 30 min 条件下对其进行提取;提取完毕后抽滤,35℃ 下旋转蒸发浓缩后冷冻干燥,得到黄棕色粉末状物质,其即为 PCSZ。

(2) PBS-OH 与 PBS-COOH 的合成。

将聚合单体 SA 和 BDO 在催化剂 $\text{Ti}(\text{OBu})_4$ 的作用下,以物质的量比 1:1.3 进行聚合, $\text{Ti}(\text{OBu})_4$ 的用量为 SA 物质的量的 0.1%;在 N_2 气氛,170~180℃ 条件下反应,至脱水量与理论值相符后,停止 N_2 保护并抽真空;220~230℃ 减压至 -9.576×10^5 Pa 以下完成反应;采用 CHCl_3 将产物溶解,并用无水乙醇醇化,制得 PBS-OH。PBS-COOH 的合成过程与上述相同,其中 SA 与 BDO 物质的量比为 1.1:1。两种亲水性 PBS 的数均分子量均为 1×10^5 。

(3) 亲水性 PBS/PCSZ 复合材料的制备。

将炼塑机两辊温度设为 110℃,将 PCSZ 按质量分数 1%,3%,5%,7%,9% 缓慢加入 PBS-OH 或 PBS-COOH 中进行混炼,将制得的 PBS-OH/PCSZ 复合材料分别表示为 PBS-OH1, PBS-OH3, PBS-OH5, PBS-OH7, PBS-OH9; PBS-COOH/PCSZ 复合材料亦用相同方法表示。

1.4 测试与表征

FTIR 分析: KBr 压片,波长范围 400~4 000 cm^{-1} 。

XRD 测试: 扫描速度 6(°)/min, 40 kV, 40 mA, Cu 靶。

亲疏水性测试: 利用接触角测量仪测量蒸馏水在复合材料表面的接触角,以其大小表示材料的亲疏水性。

TG 测试: N_2 保护,升温速率 20℃/min。

拉伸性能按 GB/T 1040-2006 测试,拉伸速率

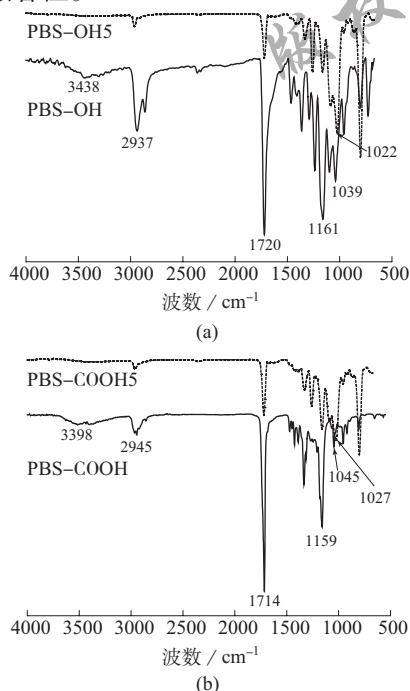
为 5 mm/min。

抗菌性能按 QB/T 2591-2003 测试。

2 结果与讨论

2.1 FTIR 分析

图 1 为 PCSZ 质量分数分别为 0% 和 5% 的亲水性 PBS/PCSZ 复合材料的 FTIR 谱图。从图 1 中可以看出,亲水性 PBS/PCSZ 复合材料与相应的亲水性 PBS 基体相比,均出现了 PBS 的特征吸收峰,说明向各亲水性 PBS 添加 PCSZ 后,两者之间没有化学反应产生,只进行了共混。其中, PBS-OH5 中 C—O 的伸缩振动吸收峰出现在 1022 cm^{-1} 处,较 PBS-OH 的 1039 cm^{-1} 向低波数移动了 17 cm^{-1} ; PBS-COOH5 中 C—O 的伸缩振动吸收峰出现在 1027 cm^{-1} 处,较 PBS-COOH 的 1045 cm^{-1} 向低波数移动了 18 cm^{-1} ,说明提取成分里大量酚羟基化合物中的—OH 与两种亲水性 PBS 基体中的酯基形成了 $\text{C}=\text{O}\cdots\text{H}-\text{O}$ 。同时,从图 1 还可以看出,与 PBS-OH 和 PBS-COOH 相比, PBS-OH5 在 3438 cm^{-1} 处、PBS-COOH5 在 3398 cm^{-1} 处的—OH 伸缩振动吸收峰均完全消失,说明提取成分中的—OH 除了可与 PBS 主链上的酯基形成氢键外,还可与其改性端基形成 $\text{H}-\text{O}\cdots\text{H}-\text{O}$,改善了复合材料的相容性。



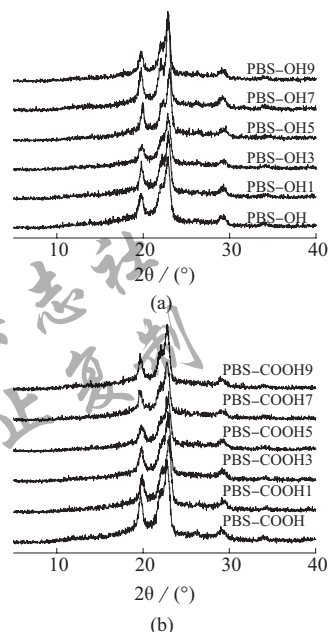
a—PBS-OH 与 PBS-OH5; b—PBS-COOH 与 PBS-COOH5

图 1 亲水性 PBS 及其与 PCSZ 复合材料的 FTIR 谱图

2.2 结晶性能

图 2 为不同 PCSZ 用量下亲水性 PBS/PCSZ

复合材料的 XRD 谱图。通过软件 MDI Jade 5.0 拟合后两种复合材料的结晶度如表 1 所示。从图 2 可以看出,两种亲水性 PBS 均在 (020), (021), (110) 晶面出现较强的特征衍射峰,而不同 PCSZ 用量下复合材料衍射峰的出峰位置基本相似,说明 PCSZ 的添加对两种亲水性 PBS 基体的晶型均不产生影响。但从表 1 可以看出,随着 PCSZ 用量的增加,两种复合材料的结晶度均依次增大,说明 PCSZ 的添加对两种亲水性 PBS 基体都起到了成核剂的作用。



a—PBS-OH 基复合材料; b—PBS-COOH 基复合材料

图 2 不同 PCSZ 用量下亲水性 PBS/PCSZ 复合材料的 XRD 谱图

表 1 不同 PCSZ 用量下亲水性 PBS/PCSZ 复合材料的结晶度 %

材 料	结晶度	材 料	结晶度
PBS-OH	45.74	PBS-COOH	48.32
PBS-OH1	50.25	PBS-COOH1	49.98
PBS-OH3	51.69	PBS-COOH3	53.73
PBS-OH5	57.75	PBS-COOH5	55.81
PBS-OH7	58.53	PBS-COOH7	58.44
PBS-OH9	59.74	PBS-COOH9	59.95

2.3 亲疏水性

图 3 为 PCSZ 质量分数为 0%, 1%, 5%, 9% 时两种复合材料的水接触角测试结果。PBS 本身是疏水的,其水接触角为 91.7° ,而从图 3 可以看出, PBS-OH 和 PBS-COOH 的水接触角均有所减小,表明两者亲水性得到提高,为其与 PCSZ 相容提供了更好的条件。从上述结晶度测试结果可以得出,两种亲水性 PBS 基复合材料的结晶度均随 PCSZ 用量的增加而增大,这会使复合材料的球晶排列更加紧密,而球晶排列的越紧密越不利于水分子深入,因而理论上复合材料的亲水性应该是下降的。但从

图 3 发现,当在两种亲水性 PBS 中加入 PCSZ 时,随着 PCSZ 用量的增加,复合材料的水接触角表现出先增大后减小的趋势,说明 PCSZ 成分中含有大量以亲水性成分为主的化合物,在其高用量时,所产生亲水效应的影响大于结晶作用所产生疏水效应的影响,从而使水接触角减小,亲水性得到提高。而对于 PBS-OH1 和 PBS-COOH1,其水接触角略高于相应的 PBS 基体,说明质量分数为 1% 的 PCSZ 中与亲水性 PBS 发生氢键作用的亲水性成分稍多,使得暴露在复合材料表面的非亲水性基团有所增加,导致亲水性略有下降。

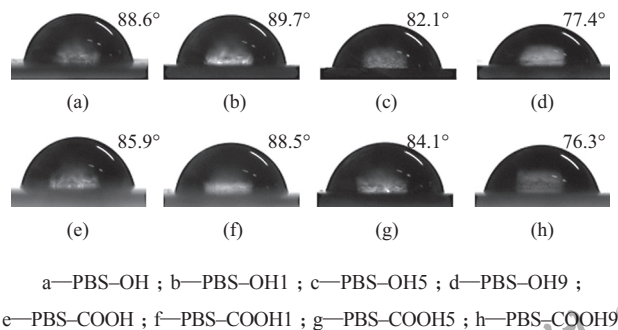


图 3 不同 PCSZ 用量下亲水性 PBS / PCSZ 复合材料的水接触角

2.4 热稳定性

图 4 为不同 PCSZ 用量下亲水性 PBS / PCSZ 复合材料的 TG 与 DTG 曲线。表 2 为复合材料在失重 5%、失重 50% 及失重速率最大时所对应的热失重温度 ($T_{5\%}$, $T_{50\%}$, $T_{\max}$)。从图 4 及表 2 可以看出, PBS-OH 和 PBS-COOH 均呈现较好的热稳定性,但 PCSZ 本身对热是相对不稳定的,因而将两者复合时,其热稳定性应该降低。但从表 2 可以看出,在考察的 PCSZ 用量下, PBS-OH 基复合材料的 $T_{5\%}$ 和 $T_{50\%}$ 均高于 PBS-OH, $T_{\max}$ 基本不变,表明复合材料的热稳定性较 PBS-OH 呈现整体提高的趋势;对于 PBS-COOH 基复合材料,除 PCSZ 质量分数为 9% 时,其 $T_{5\%}$ 较 PBS-COOH 略有下降外,其余的热稳定性较 PBS-COOH 也呈现整体提高的趋势,表明 PCSZ 中的 $-OH$ 与 PBS-OH 或 PBS-COOH 中的酯基发生了相互作用,同时没有作用的提取物成分也能与基材良好相容,使得热稳定性得以显著提高。在 PCSZ 用量较高时,复合材料的热稳定性有一定程度的降低,这是因为 PCSZ 用量过高时,提取物本身对复合材料热稳定性的影响超越了提取物与亲水性 PBS 基体产生的分子间作用力,没有与基体发生作用的成分率先溢出,从而使得复合材料的热稳定性有一定的下降。综合比较添加 PCSZ 后复

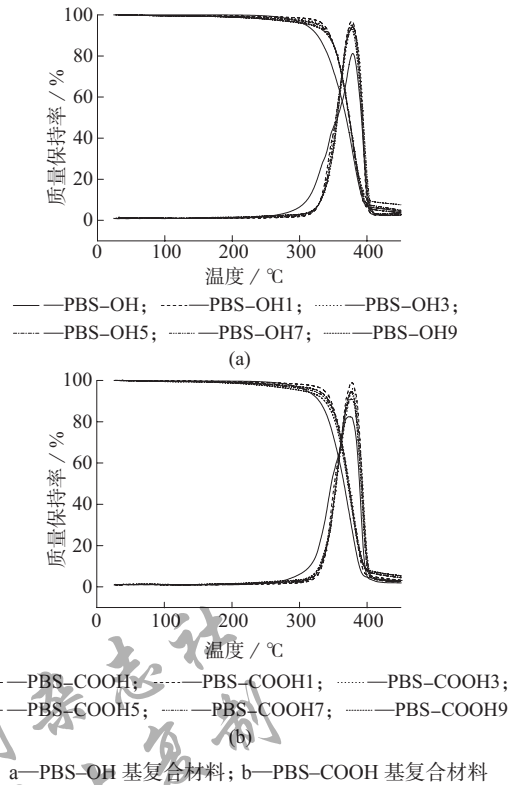


图 4 不同 PCSZE 用量下亲水性 PBS / PCSZE 复合材料的 TG 及 DTG 曲线

表 2 不同 PCSZE 用量下亲水性 PBS / PCSZE

复合材料的热失重温度							℃
材 料	$T_{5\%}$	$T_{50\%}$	$T_{\max}$	材 料	$T_{5\%}$	$T_{50\%}$	$T_{\max}$
PBS-OH	310	369	379	PBS-COOH	311	366	373
PBS-OH1	336	373	378	PBS-COOH1	337	373	378
PBS-OH3	333	374	378	PBS-COOH3	329	374	380
PBS-OH5	329	374	378	PBS-COOH5	327	373	377
PBS-OH7	322	374	377	PBS-COOH7	319	372	377
PBS-OH9	317	374	377	PBS-COOH9	304	371	376

合材料的热稳定性较基体更加优越,且当 PCSZ 含量较高时, PBS-OH 基复合材料的热稳定性略优于 PBS-COOH 基复合材料。

2.5 力学性能

表 3 为不同 PCSZ 用量下亲水性 PBS / PCSZ 复合材料的拉伸性能。PCSZ 为颗粒状物质,与亲水性 PBS 基体复合时将镶嵌在其中,从而会导致提取物颗粒在复合材料拉伸过程中形成应力集中,进一步影响材料的力学性能。从表 3 可以看出,随着 PCSZ 用量的增加, PBS-OH / PCSZ 复合材料的拉伸强度虽总体上呈降低趋势,但在 PCSZ 质量分数为 3% 时有所上升,已接近 PBS-OH,且标准偏差相对最小;断裂伸长率则随着 PCSZ 用量的增加呈先升高后降低的趋势,在 PCSZ 质量分数为 3% 时达到最大,较 PBS-OH 提高了 40.2%。而不同 PCSZ

用量下, PBS-COOH/PCSZ 复合材料的拉伸强度和断裂伸长率均呈现先降低后升高再降低的趋势,且当 PCSZ 质量分数为 5% 时拉伸强度和断裂伸长率均达到相对最大,其中拉伸强度较 PBS-COOH 提高 7.8%,断裂伸长率则与 PBS-COOH 较为接近,且此时标准偏差相对最小。这也证明在一定用量下, PCSZ 中的—OH 与 PBS-OH, PBS-COOH 发生了相互作用,从而导致复合材料的某些力学性能有所提高。可以发现, PBS-OH 基复合材料在 PCSZ 质量分数为 3% 时的拉伸强度与基体差别很小,而断裂伸长率提升明显,相比 PCSZ 质量分数为 5% 时的 PBS-COOH 基复合材料,其力学性能提升效果更为明显,因此可以得出以下结论,即当对 PBS 基体进行亲水改性以提高其与 PCSZ 的相容性时,相对于采用 PBS-COOH,采用 PBS-OH 会获得更好的力学性能。

表 3 不同 PCSZ 用量下亲水性 PBS/PCSZ

复合材料的拉伸性能					
材 料	拉伸强度 /MPa	断裂伸长率 /%	材 料	拉伸强度 /MPa	断裂伸长率 /%
PBS-OH	29.6 ± 0.36	8.7 ± 0.32	PBS-COOH	21.9 ± 0.38	7.8 ± 0.36
PBS-OH1	27.1 ± 0.42	10.4 ± 0.44	PBS-COOH1	19.0 ± 0.46	6.2 ± 0.47
PBS-OH3	29.1 ± 0.42	12.2 ± 0.43	PBS-COOH3	22.8 ± 0.45	6.8 ± 0.47
PBS-OH5	26.2 ± 0.43	8.6 ± 0.44	PBS-COOH5	23.6 ± 0.45	7.0 ± 0.47
PBS-OH7	24.6 ± 0.43	7.8 ± 0.45	PBS-COOH7	19.6 ± 0.46	5.6 ± 0.48
PBS-OH9	22.2 ± 0.44	3.7 ± 0.45	PBS-COOH9	18.8 ± 0.46	4.9 ± 0.48

2.6 抗菌性能

表 4 为同 PCSZ 用量下亲水性 PBS/PCSZ 复合材料的抗菌性能。从表 4 可以看出, PBS-OH 和 PBS-COOH 本身没有抗菌能力。添加 PCSZ 后,复合材料的抗菌能力随 PCSZ 用量的增加而增大,且两种复合材料抗大肠杆菌的能力均高于抗金黄色葡萄球菌的能力。加入等量的 PCSZ,两种复合材料中 PBS-COOH 基复合材料的抗菌能力更强。这可能是因为相对于 PBS-OH, PBS-COOH 与 PCSZ 的相互作用相对弱一些,导致复合材料中 PCSZ 的析出量相对较多,从而使 PBS-COOH 基复合材料的抗菌性能较 PBS-OH 基复合材料有所提高。

表 4 不同 PCSZ 用量下亲水性 PBS/PCSZ

复合材料的抗菌率 %					
材 料	菌 类		材 料	菌 类	
	金黄色葡萄球菌	大肠杆菌		金黄色葡萄球菌	大肠杆菌
PBS-OH	0	0	PBS-COOH	0	0
PBS-OH1	69.6	72.3	PBS-COOH1	74.8	75.2
PBS-OH3	72.7	76.2	PBS-COOH3	78.1	84.9
PBS-OH5	84.1	86.4	PBS-COOH5	87.3	88.1
PBS-OH7	89.2	90.1	PBS-COOH7	92.6	94.7
PBS-OH9	95.0	97.8	PBS-COOH9	97.8	98.1

3 结论

(1) PCSZ 与两种亲水 PBS 基体复合后,提取物中的—OH 可与基体中的酯基产生氢键作用,同时提取物中的—OH 还可与基体的端基形成 H—O…H—O,充分改善了复合材料的相容性。

(2) PCSZ 的添加对两种亲水 PBS 的结晶形貌没有影响,随着 PCSZ 用量的增加,两种复合材料的结晶度依次升高,水接触角在 PCSZ 用量较大时减小,说明 PCSZ 成分中含有大量以亲水性成分为主的化合物,且其所产生亲水效应的影响大于结晶作用所产生疏水效应的影响。

(3) PCSZ 的添加使复合材料的热稳定性和抗菌能力得到明显提高。当 PCSZ 用量较高时, PBS-OH 基复合材料的热稳定性高于 PBS-COOH 基复合材料。与 PBS-COOH 基复合材料相比, PBS-OH 基复合材料的力学性能总体上较好,但抗菌性能略差。

参考文献

- [1] Zhang Pengfei, Li Guoqiang. Advances in healing-on-demand polymers and polymer composites [J]. Progress in Polymer Science, 2016, 57(6): 32-63.
- [2] Kwon B G, Koizumi K, Chung S Y, et al. Global styrene oligomers monitoring as new chemical contamination from polystyrene plastic marine pollution[J]. Journal of Hazardous Materials, 2015, 300: 359-367.
- [3] Brajovic L M, Stojanovic D B, Mihailovic P, et al. Preparation and characterization of bismuth germanium oxide (BGO) polymer composites[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2012, 695(2): 841-849.
- [4] dos Santos P P, Flôres S H, de Oliveira Rios A, et al. Biodegradable polymers as wall materials to the synthesis of bioactive compound nanocapsules[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 53(7): 23-33.
- [5] Touchaleaume F, Martin-Closas L, Angellier-Coussy H, et al. Performance and environmental impact of biodegradable polymers as agricultural mulching films[J]. Chemosphere, 2016, 144(2): 433-439.
- [6] Zakharova E, Lavilla C, Alla A, et al. Modification of properties of poly(butylene succinate) by copolymerization with tartaric acid-based monomers[J]. European Polymer Journal, 2014, 61(12): 263-273.
- [7] Tan Bin, Bi S, Emery K, et al. Bio-based poly(butylene succinate-co-hexamethylene succinate) copolyesters with tunable thermal and mechanical properties[J]. European Polymer Journal, 2017, 86(1): 162-172.
- [8] Dai Xun, Qiu Zhaobin. Synthesis and properties of novel biodegradable poly(butylene succinate-co-decamethylene succinate)

- copolyesters from renewable resources[J]. Polymer Degradation and Stability, 2016, 134(12):305–310.
- [9] Tsekova P B, Spasova M G, Manolova N E, et al. Electrospun curcumin-loaded cellulose acetate / polyvinylpyrrolidone fibrous materials with complex architecture and antibacterial activity[J]. Materials Science and Engineering:C, 2017, 73(8):206–214.
- [10] Thakur K, Kalia S, Kaith B S, et al. The development of antibacterial and hydrophobic functionalities in natural fibers for fiber-reinforced composite materials[J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2016, 4(2):1 743–1 752.
- [11] Wang Xiangxiang, Mao Jiwei, Chen Yiming, et al. Design of antibacterial biointerfaces by surface modification of poly(ϵ -caprolactone) with fusion protein containing hydrophobin and PA-1[J]. Colloids and Surfaces B:Biointerfaces, 2017, 151(3):255–263.
- [12] Ignatova M, Manolova N, Rashkov I, et al. Quaternized chitosan / κ -carrageenan / caffeic acid-coated poly(3-hydroxybutyrate)fibrous materials:Preparation, antibacterial and antioxidant activity[J]. International Journal of Pharmaceutics, 2016, 513(1–2):528–537.
- [13] Mohamed R R, Elella M H A, Sabaa M W. Cytotoxicity and metal ions removal using antibacterial biodegradable hydrogels based on *N*-quaternized chitosan / poly(acrylic acid)[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 98:302–313.
- [14] Kuppusamy P, Yusoff M M, Parine N R, et al. Evaluation of in-vitro antioxidant and antibacterial properties of *Commelina nudiflora* L.extracts prepared by different polar solvents[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2015, 22(3):293–301.
- [15] Boo H O, Hwang S J, Bae C S, et al. Extraction and characterization of some natural plant pigments[J]. Industrial Crops and Products, 2012, 40(12):129–135.
- [16] Rahman A, Shanta Z S, Rashid M A, et al. In vitro antibacterial properties of essential oil and organic extracts of *Premna integrifolia* Linn[J]. Arabian Journal of Chemistry, 2016, 9(9):S475–S479.

投稿须知

1 稿件内容

稿件应注重科学性、实用性及时效性,要求技术新颖,论点明确,论据可靠,数据准确,文字通顺、简练。稿件内容必须真实,避免抄袭,请作者文责自负。引用他人成果时,请按《著作权法》有关规定说明出处。内容应未曾发表过或被其他出版物刊载过,且无一稿多投。

2 稿件要求

凡属于重大科技获奖的论文和重点项目资助的论文,请在来稿第一页注明名称及批准号,本刊将优先刊登。

(1) 题目、作者署名及单位。题目力求简明、醒目,反映出文章的主题,一般不超过 20 个汉字。作者姓名在题目下按序排列,不同工作单位的作者,应在姓名右上角加注阿拉伯数字序号。作者单位须写全称并注明省份、城市和邮政编码。联系人信息(包括姓名,学历或职称,主要研究方向)注在第一页下方。

(2) 摘要及关键词。论文需要同时提供中文和英文摘要,摘要以提供论文的内容梗概为目的,不加评论和补充解释,应简明、确切地论述研究目的、原理和结论,具有相对独立性。中文和英文摘要均要求采用报道性摘要类型。具体要求:中英文摘要均为一段式,内容比较具体,一般需要列举关键数据。中英文摘要内容基本一致,中文摘要以 200~300 字为宜,英文摘要可略详。关键词要求 3~8 个。

(3) 正文。正文各部分都应简洁明了。层次标题一律用阿拉伯数字连续编号,尽量减少层次;不同层次的数字之间用小圆点相隔,末位数字不加标点符号。如“1”,“1.1”等。文中量、单位及符号的使用应符合国际标准和国家标准。

(4) 图表。图表要设计合理,简单自明。每一幅图都应有图序和简短确切的图名,横纵坐标均要注明物理量及其单位,线条图要用矢量格式的图,或将 *.opg, *.dwg, *.eps 等格式的图打包压缩随投稿一起上传。表格请使用三线表,每一表格都应有表序和简短确切的表题。图表标题一律用中文表达。

(5) 参考文献。以作者亲自阅读过的主要原始文献为限,不可引用非公开出版或发表的文献,不能引用其他文章中引用的但未经核对原文的文献,要注意引用最新的文献。参考文献要有一定的数量,研究性论文至少 10 篇。参考文献的著录按文章中引用的顺序依次排列,中文参考文献要有对照英文部分(英文部分不编号)。无论中外文的作者,一律采用姓前名后的形式著录;作者不超过 3 人时可全部著录,超过 3 人时,只著录前 3 位,其后加“等”或“et al”。综述类论文的参考文献著录项目适当简化,可参见本刊相关栏目文章样式。作者对所引文献的准确性和完整性负责。

3 投稿方式

请作者登陆“工程塑料网”(http://www.epa1973.com),进入杂志社之页,点击“网上投稿”后投稿。来稿请注明详细地址、电话、邮箱等信息,便于通知联系。一般一个月左右可以查询稿件审理意见,超过 3 个月未收到修改意见或回复的可自行处理。

4 注意事项

为适应我国信息化建设需要,扩大学术交流渠道,本刊已编入国内外著名数据库。稿件一经录用,将同时被数据库收录,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意收录,请在投稿时声明,否则将视为同意。