

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.11.003

三种植物纤维填充聚乳酸复合材料性能对比^{*}

张建^{1,2}, 何春霞^{1,2}, 唐辉³, 付菁菁^{1,2}, 王敏^{1,2}

(1. 南京农业大学工学院, 南京 210031; 2. 江苏省智能化农业装备重点实验室, 南京 210031;

3. 张家界航空工业职业技术学院, 湖南张家界 427000)

摘要: 为充分利用农作物植物资源, 以稻秸秆、麦秸秆、稻壳三种植物纤维为填充相, 聚乳酸 (PLA) 为基体, 制备了 PLA/植物纤维复合材料。对三种植物纤维的成分进行了对比分析, 并对制备的复合材料的力学性能和吸水性进行了比较, 分析了三种复合材料的热重曲线、差示扫描量热曲线与红外光谱, 并用扫描电子显微镜观察了复合材料的断面微观结构。结果表明, 三种植物纤维材料中稻秸秆的纤维素与半纤维素总含量最高, 稻秸秆制备的 PLA 复合材料力学性能与界面结合性最好, 其弯曲强度为 28 MPa, 分别比麦秸秆和稻壳制备的 PLA 复合材料高 75% 和 47%; PLA/稻壳复合材料的吸水率最小, 比 PLA/稻秸秆和 PLA/麦秸秆分别小 10% 与 25%; 三种植物纤维改性 PLA 复合材料的热分解曲线基本相同, PLA/稻壳复合材料的热稳定性相对最好。

关键词: 稻秸秆; 麦秸秆; 稻壳; 聚乳酸; 力学性能; 热性能; 模压成型

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)11-0012-06

Performance Comparison of Three Kinds of Plant Fibers Modified Polylactic Acid Composites

Zhang Jian^{1,2}, He Chunxia^{1,2}, Tang Hui³, Fu Jingjing^{1,2}, Wang Min^{1,2}

(1. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China; 2. Key Laboratory of Intelligence Agriculture Equipment of Jiangsu Province, Nanjing 210031, China; 3. Zhangjiajie Aviation Industry Vocational Technical College, Zhangjiajie 427000, China)

Abstract: In order to take full advantage of crop resources, three different plant fibers such as rice straw, wheat straw, rice husk were chosen as the filling materials to modify polylactic acid (PLA) composites and the effects of different plant fibers on the properties of three plant fibers filled PLA composites were investigated. The components analysis of three plant fibers were reported and the mechanical properties and water absorbency capability of three composites were tested. The FTIR spectra and TG, DSC curves of the composites were analyzed. The fracture surface microstructures of the composites were observed by using a scanning electron microscope. The results show that the rice straw has the highest content of cellulose and hemicellulose compared with other two plant fibers, and the rice straw based composite showed better mechanical and interfacial bonding properties. The PLA/rice straw composite has the best flexural strength of 28 MPa which is 75% and 47% higher than the PLA/wheat straw composite and the PLA/rice husk composite respectively. The PLA/rice husk composite has the lowest water absorption rate which is 10% and 25% lower than the PLA/rice straw and the PLA/wheat straw. The TG and DSC curves of three plant fibers filled PLA present similar trends, and the rice husk filled PLA composite has the best thermal stability.

Keywords: rice straw; wheat straw; rice husk; PLA; mechanical property; thermal property; compression molding

农业废弃物植物纤维来源广泛, 在自然条件下可完全降解, 且密度小、刚度大, 是制备环境友好和可自然降解绿色复合材料的重要原料^[1-2]。聚乳酸 (PLA) 是生物可降解材料中应用较为广泛的一种, 具有良好的力学性能和加工性能, 还具有一定的抗菌性和生物相容性, 适合制造食品包装材料、可降解塑料袋等^[3-5]。以农业废弃物纤维为填充材料, PLA 为基体复合制备的复合材料被称为“绿色复合材料”, 可以从根本上解决石油短缺危机造成的原料不足以及塑料废弃物产生的白色污染问题^[6-8]。

目前, 用于 PLA 基复合材料的天然纤维主要有麻纤维、木粉、蔗渣纤维、竹纤维等。R. Csizmadia 等^[9]采用一种可溶性酚醛树脂溶液浸润木粉用于增强 PLA 复合材料。结果表明, 可溶性酚醛树脂浸润木粉可以增强木粉的强度, 改善木粉与 PLA 基体界面结合性。当树脂溶液浓度为 1% 时, 复合材料

^{*} 国家科技支撑计划项目 (2011BAD20B202-2)

联系人: 何春霞, 教授, 主要从事新型工程材料和木塑复合材料的应用与研究

收稿日期: 2016-08-31

的力学性能最好,吸水率最低。梁晓斌^[10]研究了不同成型工艺对 PLA/汉麻复合材料性能的影响,确定了最佳的成型工艺,并且对复合材料的降解性能进行了研究,结果发现,复合材料在土壤中的降解速度高于户外暴露降解的速度。W. Sujaritjun 等^[11]分别制备了未经处理的和柔性环氧树脂处理的纤维增强 PLA 复合材料。研究发现,未经处理的纤维增强 PLA 复合材料的硬度随着纤维含量的增加而增加,拉伸强度随着纤维含量的增加而减少。经环氧树脂表面处理的竹纤维、椰子纤维增强 PLA 复合材料的拉伸性能与未处理相比有了明显改善。盛雨峰等^[12]采用硅烷偶联剂与碱溶液混合处理的方法对蔗渣纤维进行表面改性,研究了不同表面处理方法对蔗渣纤维增强 PLA 复合材料力学性能的影响,结果发现表面改性不同程度地改善了复合材料的力学性能,其中碱处理后再经硅烷偶联剂处理对复合材料的力学性能增强效果最好。Li S H 等^[13]以橡实壳纤维为填充相,制备了 PLA/橡实壳纤维复合材料。研究发现,橡实壳纤维在复合材料中呈空间网络状分布,随着填充量的增加,橡实壳纤维与 PLA 基体间的界面结合性能变差,力学性能也随之下降。Yu Dong 等^[14]研究了椰子壳含量和表面处理对椰子壳纤维填充 PLA 复合材料的影响,结果发现碱处理能够提高复合材料的力学性能,改善椰子壳纤维的界面结合性与表面湿润性,经过碱处理加快了复合材料的降解速度。研究还发现,随着纤维含量的增加,复合材料的力学性能也随之增加,当纤维含量为 20% 时,复合材料的力学性能最好。姜爱菊等^[15]制备了不同纤维含量的 PLA/剑麻纤维复合材料,发现复合材料的降解速度同剑麻纤维含量成正比。杨舒宇等^[16]将环氧包覆型聚磷酸铵 (EAPP) 作为阻燃剂,椰壳纤维作为填充相与 PLA 共混,得到了一种新型阻燃复合材料。当椰壳纤维含量为 10%, EAPP 含量为 20% 时,复合材料的阻燃性最好。

在以植物纤维增强 PLA 复合材料的相关研究中,对于植物纤维改性处理以提高树脂基体与植物纤维界面相容性的研究较多,而对不同植物纤维,特别是农业废弃物纤维增强 PLA 复合材料的性能对比研究较少。不同植物纤维的成分与结构也不相同,对以其为增强相制得复合材料的性能有直接影响^[17-18]。我国是农业大国,农业废弃物纤维来源广泛,以农业废弃物纤维制备环保可降解复合材料有助于减轻农业废弃物不当处理产生的环境危害^[19]。笔

者选用稻秸秆纤维、稻壳纤维和麦秸秆纤维三种农业废弃物纤维作为填充相,以 PLA 为基体用模压成型制备了三种 PLA/植物纤维复合材料,研究了不同植物纤维的成分和界面复合性对复合材料力学性能、吸水率、热稳定性的影响。

1 实验部分

1.1 原材料

稻秸秆粉、麦秸秆粉、稻壳粉:粒度 $< 150\ \mu\text{m}$,取自江苏省连云港市;

PLA: 4032D, 东莞富力凯塑胶原料商行;

马来酸酐接枝 PLA: 东莞盛邦工程塑胶原料商行。

1.2 仪器及设备

恒温鼓风干燥箱: SXG-025 型, 上海松鑫电子工业设备有限公司;

平板硫化机: XLB-0 型, 湖州顺力橡胶机械有限公司;

简支梁冲击试验机: XJJ-5 型, 承德市金建检测仪器有限公司;

SANS 微机控制电子万能试验机: CMT6104 型, 美特斯工业系统(中国)有限公司;

洛氏硬度计: XHR-150 型, 上海光学仪器厂;

傅立叶变换红外光谱 (FTIR) 仪: Nicolet iS10 型, 赛默飞世尔科技(中国)有限公司;

同步热分析仪: STA 449 F3 型, 德国耐驰公司;

扫描电子显微镜 (SEM): S-4800 型, 日本株式会社日立高新技术那珂事业所;

恒温水浴箱: HH-600 型, 上海百典仪器设备有限公司。

1.3 试样制备

将三种植物纤维在恒温鼓风干燥箱中在 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘 12 h 后取出, 再将 PLA 粉末在 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘干 2 h, 将植物纤维粉末和 PLA 粉末按质量比 1:1 的比例混合好, 再加入占植物纤维与 PLA 总质量 2% 的马来酸酐接枝 PLA 粉末置于三维混合机中混合 15 min, 最后将混合均匀的原料移入模具中, 置于平板硫化机上模压成型, 模压温度设定为 $175\text{ }^{\circ}\text{C}$, 压力为 10 MPa, 保压时间 10 min。最后制得的复合材料的尺寸为 $120\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 10\text{ mm}$, 待模具冷却到室温后取出加工成标准试样。

1.4 性能测试与表征

纤维成分: 采用范氏法测定三种植物纤维的纤维素、半纤维素、木质素与灰分的含量。

力学性能:采用洛氏硬度计按 GB/T 5766-2007 测试硬度;采用电子万能试验机按 GB/T 19341-2008 测试弯曲强度,加载速度为 5 mm/min;采用简支梁冲击试验机按 GB/T 1043-2008 测试冲击强度。以上实验均在室温下进行,取三次结果的平均值。

吸水率:按 GB/T 1462-2005 测试,将材料烘干后称重,在室温下放入蒸馏水中完全浸泡 24 h 后取出擦干称重并计算。

红外光谱:采用 FITR 仪对复合材料试样进行扫描,波数为 4000~400 cm^{-1} ,扫描次数为 16 次。

热稳定性:采用同步热分析仪测试,试验样品重 8 mg,得到热失重 (TG) 和差示扫描量热 (DSC) 曲线,氩气为保护气,升温速率为 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$,温度范围 30~600 $^{\circ}\text{C}$ 。

2 结果与讨论

2.1 三种植物纤维的成分分析

表 1 示出稻秸秆、麦秸秆、稻壳的主要成分纤维素、半纤维素、木质素以及灰分的含量。

表 1 三种植物纤维的主要成分含量/%

纤维种类	纤维素	半纤维素	木质素	灰分
稻秸秆	42.94	20.95	10.92	3.17
麦秸秆	43.32	19.69	12.49	5.03
稻壳	43.62	15.40	20.48	6.61

纤维素是植物细胞壁中的骨架物质;半纤维素和木质素分别是植物纤维中的粘结物质和填充物质,二者将骨架物质纤维素粘接起来;灰分的主要成分是 SiO_2 ,一般存在于植物纤维的表面;半纤维素和纤维素合称为综纤维素。从表 1 可以看出,综纤维含量从大到小依次为稻秸秆纤维、麦秸秆纤维、稻壳纤维。稻壳纤维中木质素含量最高,这也是稻壳纤维质地相对较坚硬的原因。

2.2 三种植物纤维填充 PLA 复合材料的力学性能

表 2 示出三种植物纤维填充 PLA 复合材料的力学性能。从表 2 可以看出,PLA/稻壳复合材料的洛氏硬度最高,为 35.4 HRC,PLA/稻秸秆复合材料的硬度最低。PLA/稻秸秆复合材料的弯曲强度最高,为 28 MPa,比 PLA/稻壳复合材料高 47%,比 PLA/麦秸秆复合材料高 75%。三种复合材料的冲击性能均较差,其中,PLA/稻秸秆复合材料的冲击强度稍好,为 2.1 kJ/m^2 。复合材料的力学性能主要与改性纤维自身强度、塑料基体以及二者的界面结合情况相关。由成分分析得知,稻壳纤维中木质素含量最多,因此稻壳纤维的质地最为坚

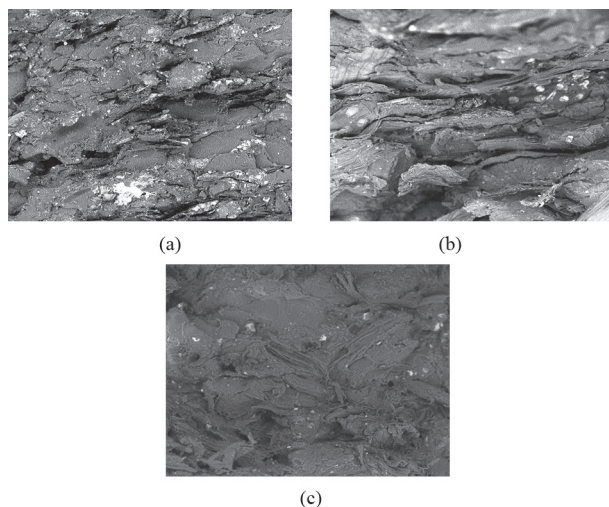
硬,PLA/稻壳复合材料的洛氏硬度最大。三种植物纤维的纤维素含量相近,而灰分含量差异较大,其中稻秸秆灰分含量最少,而灰分的主要成分为 SiO_2 , SiO_2 会妨碍塑料或者树脂对纤维的渗透,影响纤维与树脂的界面结合。因此,稻秸秆与 PLA 基体更容易粘接,故稻秸秆纤维与 PLA 的界面结合更好,PLA/稻秸秆复合材料的力学性能最佳。

表 2 三种植物纤维填充 PLA 复合材料的力学性能

材料	洛氏硬度 / HRC	弯曲强度 / MPa	冲击强度 / ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)
PLA/稻秸秆	24	28	2.1
PLA/麦秸秆	28	16	1.4
PLA/稻壳	35.4	19	1.7

2.3 三种植物纤维填充 PLA 复合材料的断面形貌

图 1 是三种植物纤维填充 PLA 复合材料的断面微观形貌。从图 1 可以看出,PLA/稻壳复合材料拉伸断面中纤维与 PLA 基体结合较好,断面比较平整,PLA 树脂基体将纤维基本包裹,只有少量的纤维裸露在外,二者紧密融合,界面结合较好。PLA/麦秸秆复合材料的拉伸断面处有很多缺陷和缝隙,大量麦秸秆纤维被拉出裸露在外,麦秸秆与 PLA 树脂基体间缝隙明显,二者相容性较差。这是由于麦秸秆外表面角质层中有蜡质晶体和硅质细胞,角质层不利于树脂的润湿和浸透,因此,二者的界面相容性不好。PLA/稻秸秆复合材料拉伸断面的纤维在 PLA 基体中分散较好,纤维与 PLA 基体间没有明显的缝隙,界面比较模糊。故 PLA/稻秸秆复合材料界面相容性最佳。



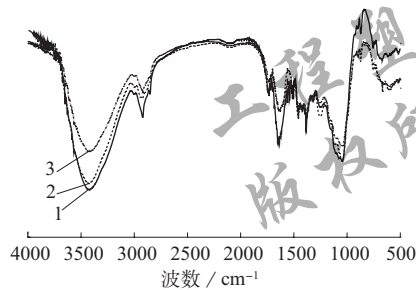
a—PLA/稻壳;b—PLA/麦秸秆;c—PLA/稻秸秆

图 1 三种植物纤维填充 PLA 复合材料的断面微观形貌

2.4 三种植物纤维填充 PLA 复合材料的红外光谱

图 2 为三种植物纤维填充 PLA 复合材料的

FTIR 谱图。由图 2 可知,三种复合材料的主要吸收峰都在 $3\,300 \sim 3\,500\text{ cm}^{-1}$ 处,但峰值差别明显。 $3\,300 \sim 3\,500\text{ cm}^{-1}$ 是分子内—OH 的伸缩振动峰。分子中—OH 主要来源于纤维素、半纤维素、多糖以及单糖^[20]。PLA/稻秸秆复合材料在此处吸收峰的峰值最大,PLA/麦秸秆次之,PLA/稻壳纤维吸收峰最小。说明稻秸秆中所含的纤维素与半纤维素较多,这与之前的三种植物纤维的主要成分含量的测定结果相一致。波数段 $2\,800 \sim 3\,000\text{ cm}^{-1}$ 属于脂肪族化合物、碳水化合物以及木质素中—CH₃ 与—CH₂—的 C—H 反对称伸缩振动。 $1\,740\text{ cm}^{-1}$ 附近是木质素和 PLA 中羧酸脂类化合物羰基和酮类化合物的 C=O 伸缩振动特征吸收峰^[21],PLA 中的羰基与植物纤维的羟基可以形成分子间氢键,从而植物纤维与 PLA 能彼此相容。 $1\,460\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\,382\text{ cm}^{-1}$ 附近为甲基 C—H 不对称和对称弯曲振动吸收峰,此处为 PLA 的特征峰^[22]。 $1\,040\text{ cm}^{-1}$ 附近为无机物 SiO₂ 中硅氧共价键 Si—O 不对称伸缩振动峰,这是由植物纤维中灰分引起。



1—PLA/稻秸秆;2—PLA/麦秸秆;3—PLA/稻壳
图2 三种植物纤维填充 PLA 复合材料的 FTIR 谱图

2.5 三种植物纤维填充 PLA 复合材料的吸水性能

表 3 为三种植物纤维填充 PLA 复合材料的吸水率曲线。由表 3 可知,PLA/稻壳复合材料的吸水率最低,PLA/麦秸秆复合材料的吸水率最高。木塑复合材料的吸水率不仅与植物纤维自身吸水率有关,还与植物纤维和 PLA 界面结合情况有关^[23]。植物纤维自身吸水性能与植物纤维成分中羟基的数量有关系,综纤维含量越高,植物纤维所带的羟基数量越多,自身的吸水性能也越强。稻壳纤维中综纤维含量最少,所以纤维所含羟基也最少^[24],因此稻壳纤维自身的吸水性能相对最弱,PLA/稻壳复合材料的吸水率也较小,比 PLA/稻秸秆和 PLA/麦秸秆分别小 10% 与 25%。此外,植物纤维与 PLA 界面结合好坏也影响植物纤维填充 PLA 复合材料的吸水率。当植物纤维与 PLA 基体界面结合较差时,

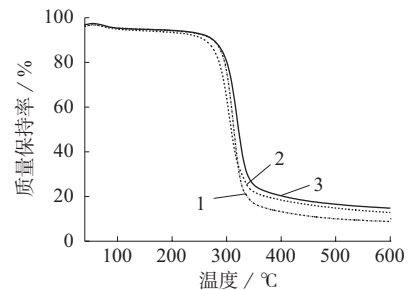
PLA 不能完全包裹植物纤维,水分进入复合材料内部的通道较多,此外纤维与水分的接触面积也较大,导致复合材料中纤维的含水量较多。从断面微观形貌中可以得出,PLA/麦秸秆复合材料的界面结合情况最差,故 PLA/麦秸秆复合材料的吸水率也最大,与前面力学性能测试与断面微观形貌的结果相一致。

表 3 三种植物纤维填充 PLA 复合材料的吸水率 %

项目	PLA/稻秸秆	PLA/麦秸秆	PLA/稻壳
吸水率	10	12	9

2.6 三种植物纤维填充 PLA 复合材料的热稳定性

图 3 是三种植物纤维填充 PLA 复合材料的 TG 曲线。从图 3 可以看出,三种植物纤维填充 PLA 复合材料 TG 曲线变化趋势基本一致,均为一阶失重。在 100°C 之前,三种复合材料的 TG 曲线均有些许下降,这是由于植物纤维中所含水分受热蒸发导致的。 $100 \sim 280^{\circ}\text{C}$,三种复合材料的 TG 曲线较为平缓,失重率较低,这个阶段主要是植物纤维中可挥发性物质的挥发以及 PLA 结晶区的熔融。 $280 \sim 360^{\circ}\text{C}$ 是其中木质纤维的热分解,主要是植物纤维细胞壁三种组成成分的逐级分解。半纤维素热分解发生在 $220 \sim 325^{\circ}\text{C}$,纤维素热分解温度较高,在 $325 \sim 375^{\circ}\text{C}$ ^[25],木质素热分解温度范围较宽,在 $200 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 。由以上数据可以看出,木质素、纤维素和半纤维素的热分解温度范围基本重合。因此,三者的热分解反应基本是同时发生的,在 TG 曲线上也没有明显的变化阶段。不同植物纤维填充 PLA 的热分解起始温度不同。其中 PLA/麦秸秆起始热分解温度最低,为 283.2°C ,这主要是因为麦秸秆密度相对较小,相同质量下所含的体积分数较大,因此在复合材料界面中暴露的纤维较多,暴露的麦秸秆纤维开始分解比较早,因此复合材料热分解温度相对较低。PLA/稻秸秆、PLA/稻壳复合材料的起始分解温度分别为 294.2°C 和 297.2°C 。 380°C 之后三种

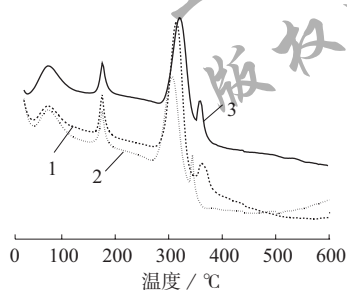


1—PLA/稻秸秆;2—PLA/麦秸秆;3—PLA/稻壳

图3 三种植物纤维填充 PLA 复合材料的 TG 曲线

植物纤维填充 PLA 复合材料的质量几乎没有变化, 剩余物质主要是植物纤维燃烧产生的碳化物以及灰分。不同植物纤维填充 PLA 复合材料的残炭率也不同, 从大到小依次是: PLA / 稻壳为 13.80%、PLA / 麦秸秆为 11.41%、PLA / 稻秸秆为 8.05%。综上所述, PLA / 稻壳的起始分解温度和残炭率均比较高, 热稳定性最优。

图 4 为三种植物纤维填充 PLA 复合材料的 DSC 曲线。从图 4 可以看出, 三种复合材料的 DSC 曲线特征基本相同。在 60~90℃ 之间有一个明显的吸热峰。其中在 60~70℃ 范围内是复合材料中 PLA 相玻璃态转化特征区。复合材料在低温阶段升温过程中, 随着温度的升高, 大分子链会互相松动, 吸收部分热量, 分子链上链段缠结被打开。70~90℃ 之间的吸热峰是由复合材料中植物纤维所含水分蒸发所引起的。160~170℃ 的范围是 PLA 结晶区熔融的特征峰。280℃ 开始, 复合材料进入主要热分解阶段, 280~340℃ 之间为植物纤维中半纤维素、纤维素以及部分木质素的分解阶段^[26]。在这个阶段中, 大部分 PLA 也发生热解失重。其中, PLA / 麦秸秆复合材料开始分解最早, 340~380℃ 之间是剩余 PLA 与剩余木质素继续热分解产生的吸热峰。



1—PLA / 稻秸秆; 2—PLA / 麦秸秆; 3—PLA / 稻壳

图 4 三种植物纤维填充 PLA 复合材料 DSC 曲线

3 结论

(1) 三种植物纤维中, 稻秸秆的纤维素含量最高, PLA / 稻秸秆复合材料的力学性能和界面结合最好, 其弯曲强度分别比 PLA / 稻壳复合材料和 PLA / 麦秸秆复合材料高 47% 与 75%。PLA / 稻壳复合材料的洛氏硬度最高。

(2) 三种复合材料的吸水率相近, 其中 PLA / 稻壳复合材料的吸水率最小, 24 h 吸水率比 PLA / 稻秸秆和 PLA / 麦秸秆分别小 10% 与 25%。

(3) 三种植物纤维填充 PLA 复合材料的热分解曲线基本相同, PLA / 稻壳复合材料的热稳定性最好, 从 30℃ 到 600℃ 加温过程中, 初始分解温度为

297.2℃, 残炭率为 13.8%。

参考文献

- [1] 姜海天, 唐峰, 范磊, 等. 农作物秸秆在复合材料中的应用研究进展 [J]. 高分子通报, 2013(11):54-61.
Jiang Haitian, Tang Hao, Fan Lei, et al. Research development of application of the agricultural straw in composite materials[J]. Polymer Bulletin, 2013(11):54-61.
- [2] Wang X, Yang L, Steinberger Y, et al. Field crop residue estimate and availability for biofuel production in China[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 27:864-875.
- [3] Nampoothiri K M, Nair N R, John R P. An overview of the recent developments in polylactide(PLA) research[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(22):8493-8501.
- [4] Rangari D, Vasanthan N. Study of strain-induced crystallization and enzymatic degradation of drawn poly(L-lactic acid)(PLLA) films[J]. Macromolecules 2012, 45:7397-7403.
- [5] 张燕, 李守海, 黄坤, 等. 可降解聚乳酸 / 天然植物纤维复合材料的研究进展 [J]. 工程塑料应用, 2012, 40(5):102-106.
Zhang Yan, Li Shouhai, Huang Kun, et al. Research development of polylactic acid / natural vegetable fiber blend composites[J]. Engineering Plastics Plastics, 2012, 40(5):102-106.
- [6] Nam T H, Ogihara S, Kobayashi S. Interfacial, mechanical and thermal properties of coir fiber-reinforced poly(lactic acid) biodegradable composites[J]. Advanced Composite Materials, 2012, 21(1):103-122.
- [7] Ashori A. Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(11):4661-4667.
- [8] 陈懿, 顾书英, 任杰. 聚乳酸 / 天然纤维复合材料成型加工研究进展 [J]. 工程塑料应用, 2014, 42(9):102-105.
Chen Xie, Gu Shuying, Ren Jie. Research progress on processing of PLA / natural fiber composites[J]. Engineering Plastics Plastics, 2014, 42(9):102-105.
- [9] Csizmadia R, Faludi G, Renner K, et al. PLA / wood biocomposites: Improving composite strength by chemical treatment of the fibers[J]. Composites Part A: Applied Science & Manufacturing, 2013, 53(19):46-53.
- [10] 梁晓斌. 汉麻 / 聚乳酸全降解复合材料的制备和性能研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2010.
Liang Xiaobin. Study to the preparation and properties of the fully-degradable hemp fiber / polylactic acid composite[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2010.
- [11] Sujaritjun W, Uawongsuwan P, Pivsa-Art W, et al. Mechanical property of surface modified natural fiber reinforced PLA biocomposites[J]. Energy Procedia, 2013, 34(40):664-672.
- [12] 盛雨峰, 温变英, 李晓媛, 等. 蔗渣纤维表面处理对蔗渣纤维 / 聚乳酸复合材料力学性能的影响 [J]. 复合材料学报, 2012, 29(6):60-65.

- Sheng Yufeng, Wen Bianying, Li Xiaoyuan, et al. Effect of surface treatment on the mechanical properties of BF / PLA composite[J]. Acta Materiae Composite Sinica, 2012, 29(6):60-65.
- [13] Li S H. Renewable resource-based composites of acorn powder and polylactide bio-plastic: preparation and properties evaluation[J]. Journal of Polymer and Environment, 2011, 19(1):301-311.
- [14] Yu Dong, Ghataura A, Takagi H, et al. Polylactic acid(PLA) biocomposites reinforced with coir fibers: Evaluation of mechanical performance and multifunctional properties[J]. Composites Part A :Applied Science & Manufacturing, 2014, 63(18):76-84.
- [15] 姜爱菊. 剑麻纤维增强聚乳酸复合材料的制备及性能研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- Jiang Aiju. Research on the performance and preparation of sisal fibers reinforced polylactic acid composites[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.
- [16] 杨舒宇, 徐翊, 庞素娟, 等. PLA / 椰壳纤维阻燃复合材料的制备与性能研究 [J]. 塑料科技, 2015, 43(1):69-73.
- Yang Shuyu, Xu Nai, Pang Sujuan, et al. Study on preparation and properties of flame-retardant PLA / coir fiber composite[J]. Plastics Science and Technology, 2015, 43(1):69-73.
- [17] Mukherjee T, Kao N. PLA based biopolymer reinforced with natural fiber: A review[J]. Journal of Polymer Environment, 2011, 19(3):714-725.
- [18] 侯人鸾, 何春霞, 薛娇, 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 Renluan, He Chunxia, Xue Jiao, et al. UV accelerated aging properties of wheat straw / PP wood composite[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2013, 30(5):86-93.
- [19] 何春霞, 顾红艳, 薛盘芳. 三种植物纤维粉 / 聚丙烯复合材料应用性能 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(2):381-384.
- He Chunxia, Gu Hongyan, Xue Panfang. Performances of polypropylene composite material filled with four kinds of plant fiber powders[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2):381-384.
- [20] 于旻, 何春霞, 张还, 等. 预处理对麦秸 / 聚丙烯复合材料摩擦磨损性能影响实验 [J]. 农业机械学报, 2013, 44(7):138-143.
- Yu Min, He Chunxia, Zhang Huan, et al. Effect of different pretreatments on tribological properties of wheat straw / polypropylene composites[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(7):138-143.
- [21] 宋丽贤, 姚妮娜, 宋英泽, 等. 木粉 / 聚乳酸可降解复合材料性能研究 [J]. 功能材料, 2014(5):5 037-5 040.
- Song Lixian, Yao Nina, Song Yingze, et al. Study on property of polylactic acid / wood flour composites[J]. Journal of Functional Materials, 2014(5):5 037-5 040.
- [22] 刘荣利. 聚乳酸扩链改性及其纳米复合材料的研究 [D]. 西安: 陕西科技大学, 2014.
- Liu Rongli. Chain-extension and in-situ polymerization of polylactide[D]. Xi'an: Shanxi University of Science and Technology, 2014.
- [23] 夏忠珍. 木塑复合材料的界面相容性及吸水性能研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2009.
- Xia Zhongzhen. Study on interfacial compatibility and water absorption behavior of wood plastic composites[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2009.
- [24] 李东方. 聚乙烯木塑复合材料性能影响因子与界面特性研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
- Li Dongfang. Study on performance influence factors and interfacial characteristic of PE wood plastic composites [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013.
- [25] Nörnberg B, Borchardt E, Luinstra G A, et al. Wood plastic composites from poly(propylene carbonate) and poplar wood flour—Mechanical, thermal and morphological properties[J]. European Polymer Journal, 2014, 51:167-176.
- [26] Martin A R, Martins M A, da Silva O, et al. Studies on the thermal properties of sisal fiber and its constituents[J]. Thermochimica Acta, 2010, 506(1):14-19.

科思创扩大二氧化碳塑料研究

材料制造商科思创正与合作伙伴共同探索将二氧化碳纳入聚氨酯泡沫塑料的可能性。

科思创总部位于德国勒沃库森, 正在寻求以新配方生产塑料, 希望其中至少包含 20% 的二氧化碳, 其余成分则为环氧乙烷。

这种配方已经用于公司生产的 Cardyon 品牌柔性泡沫多元醇, 但二氧化碳-环氧乙烷的配方“还可用于生产添加剂”, 科思创补充说。

德国联邦教育和研究部资助了这一为期三年的研究项目, RWTH 亚琛大学和柏林科技大学也参与了研究。参与

研究的还有位于德国美因茨的 PSS 高分子标准所、德国乌伯林根的 Puren 公司以及德国吉拉德斯雷德的 BYK 添加剂和仪器公司。

科思创催化研究部项目总协调人 Christoph Gurtler 表示: “我们已经进入第二步, 即把二氧化碳作为化学和塑料工业的替代性原材料。”

他说: “如果能够将二氧化碳作为碳源, 可不断分散对传统化石能源如石油的依赖, 第一步是成功将它作为柔性泡沫的关键前体, 我们正迎接下一个挑战。”

科思创已经开发出在弹性体中使用二氧化碳所需的技术。(塑新网)