

淀粉复合膜的堆肥降解性能研究

张欣, 王文涛, 侯汉学*

(山东农业大学食品科学与工程学院, 泰安 271018)

摘要: **目的** 研究淀粉三层复合膜的降解过程及降解周期。**方法** 通过测定淀粉复合膜在受控堆肥条件下其排放的二氧化碳量来确定其最终需氧生物分解能力及其崩解程度, 通过测定失重率、扫描电镜、X-射线衍射、红外光谱等方法观察降解前后淀粉复合膜的形貌、结晶度、化学结构等变化。**结果** 淀粉复合膜在受控堆肥条件下表现出良好的生物降解性, 56 d后生物分解率可达47.23%, 与失重率相一致。淀粉复合膜在土壤降解的56 d内, 外观和微观形貌都发生了显著变化, 结晶度降低, 晶体结构被破坏, 降解前后没有产生新的基团, 只是大分子分解为小分子的过程, 降解周期为42 d。**结论** 淀粉复合膜在受控堆肥条件下具有良好的生物降解性。

关键词: 淀粉复合膜; 生物降解; 堆肥

Composting degradation behavior of starch composite film

ZHANG Xin, WANG Wen-Tao, HOU Han-Xue*

(School of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

ABSTRACT: Objective To determine the degradation process and degradation cycle of the starch three-layer composite film. **Methods** Determine the final aerobic biodegradability and its degree of disintegration by measuring the amount of carbon dioxide emitted by the starch composite film under controlled composting conditions. The morphology, crystallinity and chemical structure of the starch composite film before and after degradation were observed by measuring the weight loss rate, scanning electron microscopy, X-ray diffraction and infrared spectroscopy. **Results** The starch composite film showed good biodegradability under controlled composting conditions, and the biodegradation rate reached 47.23% after 56 d, which was consistent with the weight loss rate. Within 56 d of soil degradation of the starch composite film, the appearance and microscopic morphology changed significantly, the crystallinity decreased, the crystal structure was destroyed, and no new groups were generated before and after the degradation, but the process of decomposition of macromolecules into small molecules. The degradation cycle was 42 days. **Conclusions** The starch composite film has good biodegradability under controlled composting conditions.

KEY WORDS: starch composite film; biodegradation; composting

基金项目: 山东省重点研发项目(2018GNC113004)

Fund: Supported by Key Research and Development Program of Shandong province (2018GNC113004)

*通讯作者: 侯汉学, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为淀粉基材料。E-mail: hhx@sdau.edu.cn

*Corresponding author: HOU Han-xue, Professor, School of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China. E-mail: hhx@sdau.edu.cn

1 引言

在 21 世纪,可持续发展的三大制约条件是资源、环境、人口,因此,保护环境、节约资源对于实现可持续发展显得尤为重要。虽然塑料制品曾给人类带来了极大的便利,但其造成的环境污染以及对能源的消耗备受人们关注。传统塑料制品的化学性质比较稳定,在其被遗弃后也会给生态环境造成严重的“白色污染”,同时传统塑料制品大多来源于石油,而石油资源不可再生,因而大量消耗石油资源会导致“能源危机”^[1]。随着我国经济高速增长,加之人口数量巨大,非降解塑料的生产和消费量必然呈爆炸式的增长^[2],生态环境将会遭受巨大压力。为实现可持续发展、营造健康友好的生态、生活环境,越来越多的人开始重视环境保护。在这一背景下,可降解材料作为保护生态环境,减少环境污染的一大要素,成为了人们关心的重点之一^[3]。

以天然高分子为原料开发生物基可降解塑料已成为国际上竞相研究和开发的热点领域。淀粉作为一种天然高分子化合物,是自然界丰富的可再生资源,广泛存在于玉米、小麦、马铃薯等植物中。此外,在处理后的,它们在土壤,海水和污水等各种环境中被微生物完全降解^[4],对环境没有负面影响,也减少了温室效应。由于其廉价,可再生和可生物降解的性质,淀粉作为石油基材料的替代品已引起越来越多的关注^[5]。国内外对含淀粉的三层复合膜的降解性能研究还鲜有报道。

因此,本研究以实验室自制的高性能三层淀粉复合膜为研究对象,研究复合膜的降解速率和降解过程,以期对淀粉复合膜的应用提供基础数据。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

D8 ADVANCE 型 X-射线衍射仪(德国 Bruker 公司); Nexus 670 傅立叶变换红外光谱仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司); Quanta FEG 250 型扫描电子显微镜(美国 FEI 公司); UV-2100 紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限公司); 无油空气压缩机(台州市奥突斯工贸有限公司); TG1650-WS 台式高速离心机(上海卢湘仪离心机仪器有限公司)。

PE 膜(食品级,泰安市秉新包装有限公司); 淀粉复合膜(食品级,实验室自制)。

无水乙醇、氢氧化钠、盐酸、氢氧化钡、酚酞(分析纯,天津市凯通化学试剂有限公司); 纤维素(分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司)。全降解聚酯吹膜料: 主要成分为聚乳酸(poly(lactic acid), PLA)和聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯(poly(adipate/butylene terephthalate), PBAT)(巴斯夫

公司购买); 羟丙基二淀粉磷酸酯(杭州普罗星淀粉有限公司); 聚乙烯醇 2488(中国石化集团四川维尼纶厂)。

2.2 实验方法

2.2.1 淀粉复合膜的制备方法

将淀粉、聚乙烯醇(polyvinyl alcohol, PVA)、甘油和其它助剂在高速混合机中混合均匀后,采用双螺杆造粒机进行造粒。以全降解吹膜聚酯(PLA/PBAT 复合母粒)为皮层,以淀粉粒料为芯层,采用三层共挤设备进行吹膜,得到淀粉复合膜,密封保存备用。

2.2.2 降解速度研究

(1) 堆肥土的制备

从学校试验田收集土壤,手工去除大块的杂质,之后用孔径 1 cm 的筛子将土壤筛选备用。从网上购得有机堆肥,按照 1:2(*m:m*)的比例与土壤混合。添加一定水分保证湿度,在平坦的地方充分曝气,同时加入一些碱调整土壤的 pH 值,趋于中性。堆肥土的 pH 为 7.2,总干固体含量为 51.6%。

(2) 试样制备

进行试验的淀粉复合膜中间层为添加 50%PVA 的淀粉层,两边为 PLA/PBAT 外层的 3 层复合膜,用热压法分别制备淀粉/PVA 膜和 PLA/PBAT 膜与淀粉复合膜进行对比,观察分析各膜的降解情况,纤维素和 PE 膜分别为正、负参比材料。

淀粉/PVA 膜的制备: 取 5 g 样品颗粒置于两块聚四氟乙烯板之间,温度达到 170 °C 后预热 2 min,先在 10 MPa 下热压 4 min,然后在 15 MPa 下热压 4 min,降温到 30 °C 后取出。

PLA/PBAT 膜的制备: 取 5 g 样品颗粒置于两块聚四氟乙烯板之间,温度达到 190 °C 后预热 5 min,先在 10 MPa 下热压 7 min,然后在 30 MPa 下热压 5 min,降温到 30 °C 后取出。

取厚度均匀一致的薄膜,裁成 2 cm × 2 cm 大小的方块,每组样品设置 3 个平行样,加上空白对照组,一共 6 组,分别为: 空白、纤维素、PE 膜、PLA/PBAT 膜、淀粉/PVA 膜和淀粉复合膜,制备完成后备用。

(3) 试验步骤

称取一定量的薄膜,以试验材料的干重与接种物的干重比大约为 1:6 的比例放入堆肥容器内中,均匀喷洒蒸馏水使得容器内保持一定的湿度(50% RH),充分混匀后,留下足够的顶隙,使得试验周期内可以进行适当晃动,防止堆肥板结,影响试验效果。然后将堆肥容器放置温度设定为(58±2) °C 的恒温水箱中,连接好所有装置后,在黑暗或弱光下进行试验。以氢氧化钡作为二氧化碳气体的吸收液,通入气体,保证整个体系处于有氧的条件下。试验开始后,每天收集一次二氧化碳,实时监测试验动态,防止试验出现漏气现象,影响试验结果;每周晃动堆肥容器,

防止堆肥板结, 保证微生物与试验材料充分接触。每周测试堆肥的湿度和 pH 值, 当湿度过低, 加入蒸馏水。按 GB/T 19277.1-2011 受控堆肥条件下材料最终需氧生物分解能力的测定 采用测定释放的二氧化碳的方法^[6]规定, 当淀粉复合膜的生物降解达到平稳阶段时为终点。

2.2.3 降解过程物理性状的研究

将淀粉复合膜、PLA/PBAT 膜和 PE 膜裁成 2×15 cm 的长条, 试验前将膜干燥至恒重, 称重、标记, 埋于盛有堆肥土的大烧杯中, 58 °C±2 °C 保温处理, 每隔一段时间浇水一次, 土壤湿度保持在 50% 左右。随着时间的变化, 淀粉膜的重量、形态、结构都有着相应的变化, 从埋入试样当天起, 每 7 d 取样一次, 样品出土后用无水乙醇将表面土壤杂质清洗干净, 置于烘箱中干燥至恒重, 对样品表面形态进行拍照分析, 每个样品三个平行, 通过失重率变化、形貌变化、结晶度变化、分子结构变化等来研究淀粉复合膜的降解过程。

3 结果与分析

3.1 淀粉复合膜降解过程中生物分解率

图 1 为试验材料去掉空白后二氧化碳释放量与二氧化碳理论释放量的比值, 即生物降解率。由图 1 可看出, 试验进行 56 d 时, 纤维素、淀粉/PVA 膜、淀粉复合膜、PLA/PBAT 膜、PE 膜的生物降解率分别为 81.96%、75.68%、47.23%、1.55%、0.19%, 其中, 纤维素为正参比材料, PE 膜为负参比材料, 随着降解天数的增加, 试验材料的降解率均逐渐增大, 当堆肥降解进行 45 d 后, 纤维素的生物降解率达到 70.47%, 超过 70%, 符合 GB/T 19277.1-2011 的规定^[6], 说明本试验所用堆肥接种物基本符合要求。56 d 后淀粉复合膜的生物降解率达到 47.23%, 与其失重率

45.98% 相近, 说明试验操作符合要求^[7], 淀粉复合膜具有较好的堆肥降解性。此外, 如图 1 所示, 纤维素和淀粉/PVA 膜在降解试验的 56 d 内二氧化碳生成总量和生物降解率一直保持较快增长, 而 PLA/PBAT 膜和 PE 膜保持缓慢增长^[8], 淀粉复合膜在降解前 36 d 二氧化碳生成总量和降解速率基本与淀粉/PVA 膜持平, 说明这段时间主要是淀粉复合膜中的淀粉层在降解; 36 d 后淀粉复合膜生物降解达到平稳阶段, 说明这段时间中间层可降解物质基本降解完全, 开始降解 PLA/PBAT 外层。

3.2 淀粉复合膜的外观形貌

图 2 是降解不同时间的 PE 膜、PLA/PBAT 膜和淀粉复合膜的外观照片。从图 2 中可以看出, PE 膜和 PLA/PBAT 膜降解 56 d 后依然完整, 整体外观形貌变化不明显。可见, PE 膜和 PLA/PBAT 膜在土壤中降解缓慢^[9]。淀粉复合膜土埋 7 d 后已经出现皱缩, 透明度也有一定的下降, 14 d 后在薄弱处中间层开始有白色物质出现, 28 d 后, 白色区域变大, 且有明显的分层现象, 中间的淀粉层已破裂, 而外层 PLA/PBAT 膜较完整。42 d 后淀粉复合膜几乎全部变为白色, 而且中间层出现部分剥落, 但外层 PLA/PBAT 膜仍较完整。56 d 后中间层的白色区域开始变小。这一结果表明经过 56 d 的时间, 复合膜中的淀粉层降解显著, 而非淀粉成分未发生明显降解。这主要是由于中间淀粉层具有较强的亲水性, 在环境中易吸水降解; 另外, 由于淀粉来自于天然植物资源, 更易被自然环境中的微生物所识别而降解, 而 PLA/PBAT 必须经过较程度的水解生成小分子量的水解产物才能被微生物代谢分解, 随着时间的延长中间淀粉层降解程度不断加大, 而外层 PLA/PBAT 在自然环境的水解程度比较缓慢^[10], 所以出现了明显的分层现象。

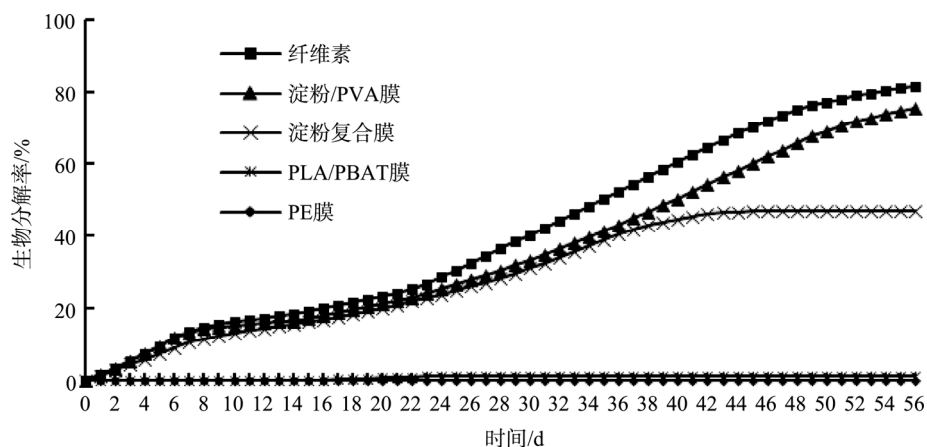


图 1 PE 膜、PLA/PBAT 膜和淀粉复合膜降解过程中的生物分解率

Fig.1 Biodegradation rate during degradation of PE, PLA/PBAT and starch composite film

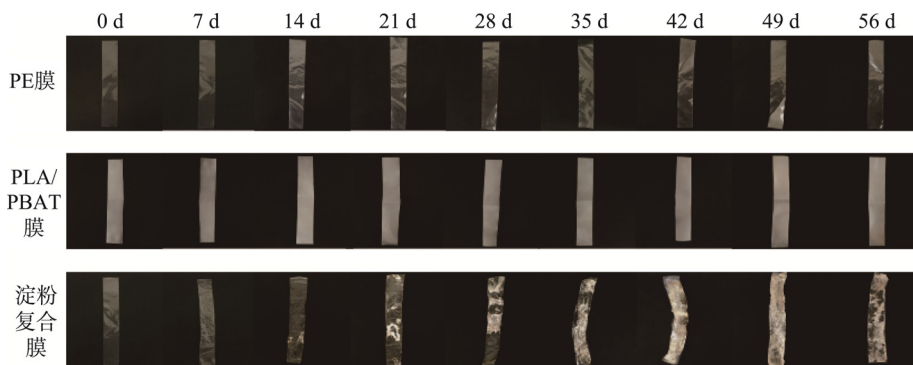


图 2 PE 膜、PLA/PBAT 膜和淀粉复合膜降解过程中的外观形貌

Fig.2 Appearance appearance during degradation of PE, PLA/PBAT and starch composite film

3.3 淀粉复合膜的微观形貌

图 3 为降解不同时间的 PE 膜、PLA/PBAT 膜和淀粉复合膜的表面微观形貌。从图 3(a)可以看出, 土埋 56 d 后, PE 膜与 0 d 相比无明显破损, 表面平整, 无明显降解迹象, 表明 PE 膜性质稳定。3(b)、3(c)中 PLA/PBAT 膜和淀粉复合膜在土埋降解前, 表面结构规整, 连接紧密; 而在土埋降解试验后, 由于受土壤中微生物(霉菌和细菌等)的作用, 表面明显受到破坏, 出现孔洞和裂缝^[11]。从淀粉复合膜和 PLA/PBAT 膜的表面形貌还可以看出, 淀粉复合膜的整体结构受到破坏的程度明显高于 PLA/PBAT 膜。随着降解时间的增加, 淀粉复合膜表面开始塌陷, 变得凹凸不平, 出现明显的层状剥离, 厚度较薄的地方出现小的孔洞^[12], 内部结构较 PLA/PBAT 膜变得更为蓬松, 致密性下降, 说明淀粉复合膜的降解性要优于 PLA/PBAT 膜。这是由于在土埋降解试验过程中, 在土壤中微生物(霉菌和细菌等)的作用下, 淀粉层先发生降解, 淀粉中间层的降解促进了外层 PLA/PBAT 的降解, 导致淀粉复合膜表面更易受到破坏^[13]。

图 4 为降解不同时间的 PE 膜、PLA/PBAT 膜和淀粉复合膜的液氮脆断后的断面微观形貌。从图 4(a)可以看出, PE 膜土埋前结构规整, 连接紧密, 随着试验的进行, PE 膜的断面变得平滑, 表明其分子间作用力降低。结合失重率和红外可以看出 PE 膜的降解率很低, 并且没有发生组分的变化, 说明 PE 膜在土壤中降解速度很慢, 较难降解。图 4(b)、4(c)中, 淀粉复合膜较 PLA/PBAT 膜相比, 断面结构变化更为明显。淀粉复合膜降解前 PLA/PBAT 外层与中间淀粉层连接紧密, 但随着时间的延长, 层与层之间发生分离, 外层 PLA/PBAT 的结构变得疏松, 这与 PLA/PBAT 膜的断面结构变化一致; 中间淀粉层不断减少, 至降解 56 d 时淀粉层含量已很低, 说明淀粉复合膜的降解先从中间淀粉层开始, 并且主要发生在中间淀粉层, 随着时间的延长, PLA/PBAT 也开始降解, 但过程比较缓慢^[14]。

3.4 淀粉复合膜的失重率变化

图 5 为 PE 膜、PLA/PBAT 膜和淀粉复合膜的质量损失率随降解时间的变化量。从图中可以明显看出, 土埋 56 d 后淀粉复合膜的失重率明显大于 PLA/PBAT 膜和 PE 膜, 达到 44.52%, 而 PLA/PBAT 膜和 PE 膜的质量损失率分别为 1.52%和 0.17%, 说明淀粉复合膜较 PLA/PBAT 膜和 PE 膜更易降解, 而 PE 膜最难降解, 性质稳定。从图中还可以看出, 淀粉复合膜 42 d 前降解较快, 而 42 d 后失重率变化较小。这可能是由于与疏水性的 PLA/PBAT 相比, 淀粉具有较强的亲水性, 更易被微生物所降解, 所以降解先从淀粉中间层开始, 前期降解速率较快, 易降解成分最先降解, 留下降解较慢的 PLA/PBAT 外层, 从而导致降解速率减缓^[15]。

3.5 淀粉复合膜的分子结构变化

图 6(a)、图 6(b)、图(c)分别为 PE 膜、PLA/PBAT 膜和淀粉复合膜土埋降解过程中随时间变化的红外光谱图。图 6(a)中, 2914 cm^{-1} 附近为 $-\text{CH}_2$ 反对称伸缩振动, 2848 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_2$ 对称伸缩振动, 1471 cm^{-1} 是 $-\text{CH}_2$ 变角振动, 717 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_2$ 面内摇摆^[16], 土埋前后 PE 膜的特征峰位置和强弱都没有发生明显的变化, 且无新的吸收峰产生, 说明 PE 膜基本未降解。

图 6(b)中, 2945 cm^{-1} 是 $-\text{CH}_3$ 的振动峰, 1711 cm^{-1} 是 $\text{C}=\text{O}$ 的伸缩振动, 1330 cm^{-1} 是 $\text{C}-\text{H}$ 的振动峰, 1151 cm^{-1} 是 $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ 非对称伸缩吸收峰^[17], 从图中可以看出, 不同降解时间下 PLA/PBAT 膜的吸收峰没有发生明显的变化, 表明降解后 PLA/PBAT 膜的分子结构未发生很大的变化^[18]。

图 6(c)中, 3358 cm^{-1} 处为 $-\text{OH}$ 伸缩振动吸收峰, 2945 cm^{-1} 处对应的是 $\text{C}-\text{H}$ 伸缩振动吸收峰, 1722 cm^{-1} 处为 $\text{C}=\text{O}$ 伸缩振动吸收峰, 1161 cm^{-1} 处的吸收峰为非对称的 $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ 伸缩振动^[19], 1041 cm^{-1} 处为 $\text{C}-\text{H}$ 摇摆振动吸收峰^[16]。从图中可以看出, 随着降解时间的增加, 淀粉复合膜特征峰位置基本没有发生变化, 说明降解前后没有产生新的基团, 只是大分子分解为小分子的过程, 不会出现新的吸收峰^[17], 但是随着降解时间的变化, 淀粉复合膜特征

峰强度逐渐变化, 在 3358、2945 和 1041 cm^{-1} 处吸收峰强度逐渐降低, 而在 1722 和 1161 cm^{-1} 处吸收峰强度逐渐升高, 出现这种现象原因可能是淀粉复合膜中间淀粉/PVA 层在土壤中受到水分子和微生物的作用先降解为 CO_2 和 H_2O 逸出, 所以各吸收峰强度逐渐降低, 而 PLA/PBAT 外层降解较慢, 由图 6(b)可知, PLA/PBAT 的主要特征峰在 1711 和 1151 cm^{-1} 处, 将 PLA/PBAT 与淀粉/PVA 复合后特征峰位置会有偏移, 可以推测 1722 和 1161 cm^{-1} 处为淀粉复合膜中 PLA/PBAT 的主要特征峰, 随着中间层含量的减少, PLA/PBAT 相对含量逐渐增大, 所以 1722 和 1161 cm^{-1} 处 C=O 和 C-O-C 的吸收峰强度逐渐增大。

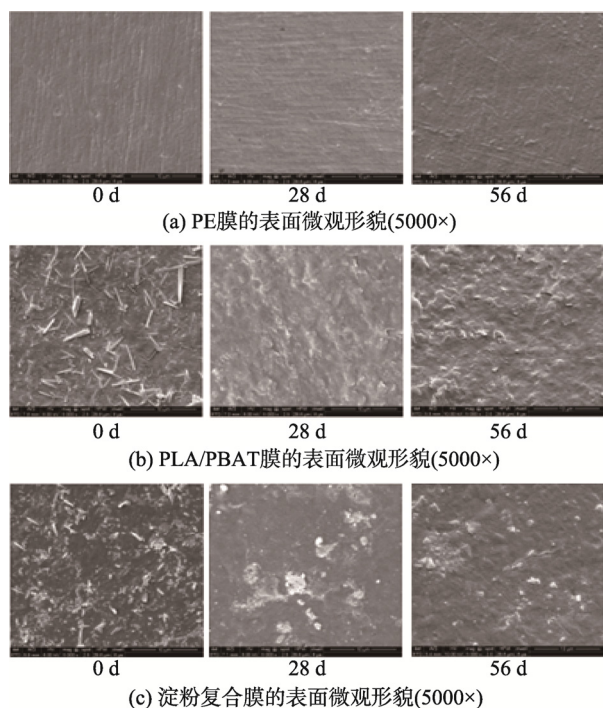


图 3 PE 膜、PLA/PBAT 膜和淀粉复合膜降解过程中的表面微观形貌

Fig.3 Surface morphology during degradation of PE, PLA/PBAT and starch composite film

3.6 淀粉复合膜的结晶性能变化

图 7(a)、(b)、(c)分别为 PE 膜、PLA/PBAT 膜和淀粉复合膜随降解时间变化的 X-射线衍射(X-ray diffractometer, XRD)图。从图 7(a)中可以看出, PE 膜的特征衍射峰 2θ 分别为 9.2° 、 21° 、 27° 和 36.5° , 土壤降解试验前后的特征衍射峰位置基本未变, 说明 PE 膜的结晶类型没有改变, 但峰值有所减弱, 可以得出结论, 土壤降解后结晶颗粒减小, 结晶度发生一定程度的变化^[14]。

图 7(b)中, $2\theta=19.5^\circ$ 和 $2\theta=22.5^\circ$ 处衍射峰为 PLA/PBAT 的特征衍射峰, 从图中可以看出, PLA/PBAT 膜在前 42 d 特征衍射峰在增强, 之后开始逐渐减弱。前 42 d 衍射峰增强可能是由于降解前期基体中的部分无定形态更易降解, 随着非晶区

面积不断减小, 晶区面积所占的百分比不断增加^[20], 所以结晶度有所增强。随着降解时间的延长, 42 d 后 $2\theta=19.5^\circ$ 和 $2\theta=22.5^\circ$ 处的衍射峰强度明显降低, 反映了相对结晶度的降低, 进而说明土壤降解使得 PLA/PBAT 膜晶体区域转为不规则的非晶态区域。相对结晶度的降低表明 PLA/PBAT 膜发生了降解, 且膜的分子有序性降低^[21]。同时, 降解试验后期特征峰高度变化较初期显著, 说明降解试验初期 PLA/PBAT 降解速度较慢, 随着降解时间的增加, 水分和微生物进入膜内部的途径不断增多^[22], 所以结晶度变化较初期明显。

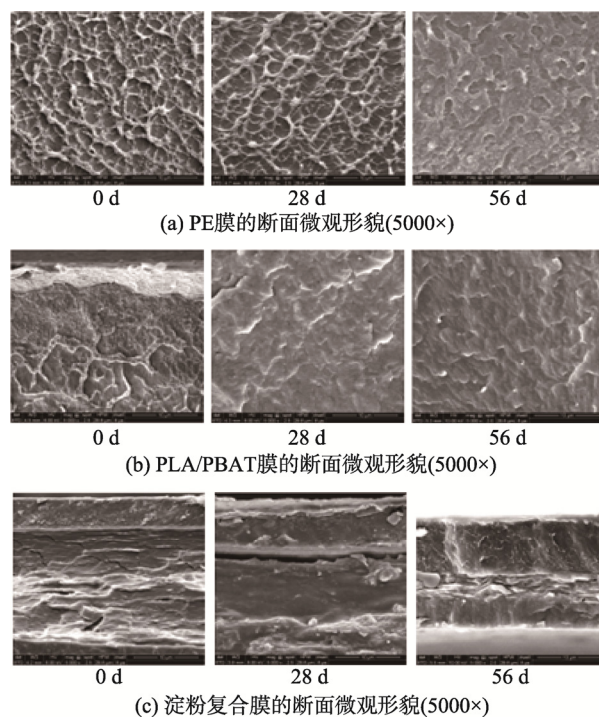


图 4 PE、PLA/PBAT 和淀粉复合膜降解过程中的断面微观形貌
Fig.4 Microscopic morphology of the cross section during degradation of PE, PLA/PBAT and starch composite film

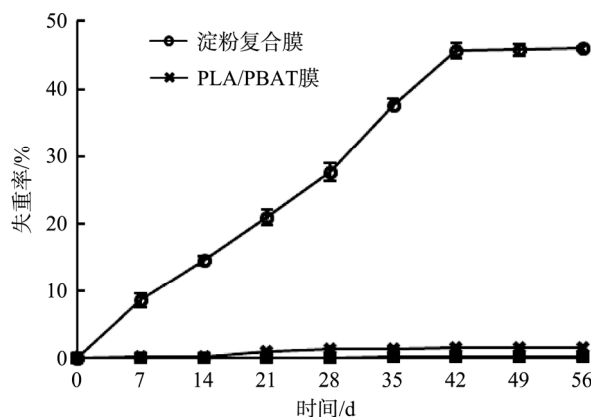


图 5 PE 膜、PLA/PBAT 膜和淀粉复合膜降解过程中的失重率
Fig.5 Weight loss rate during degradation of PE, PLA/PBAT and starch composite film

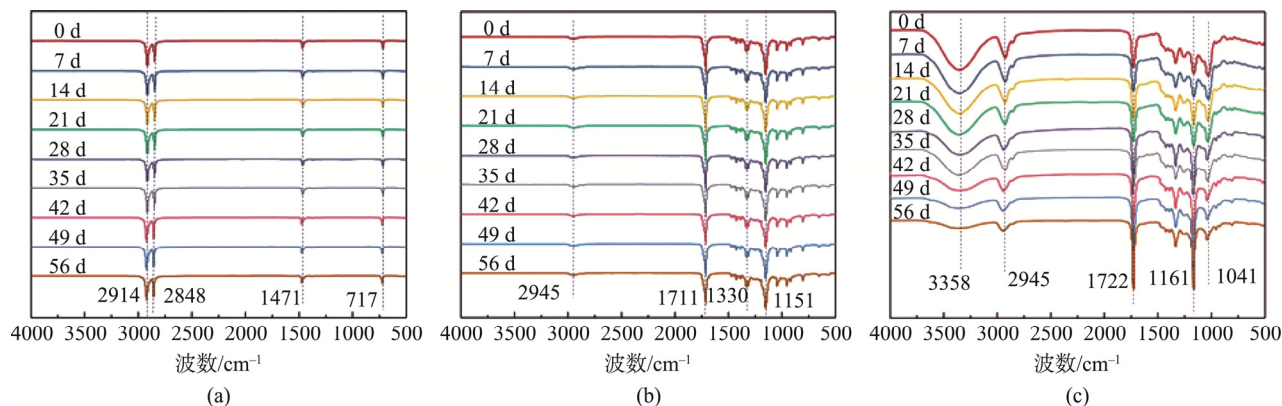
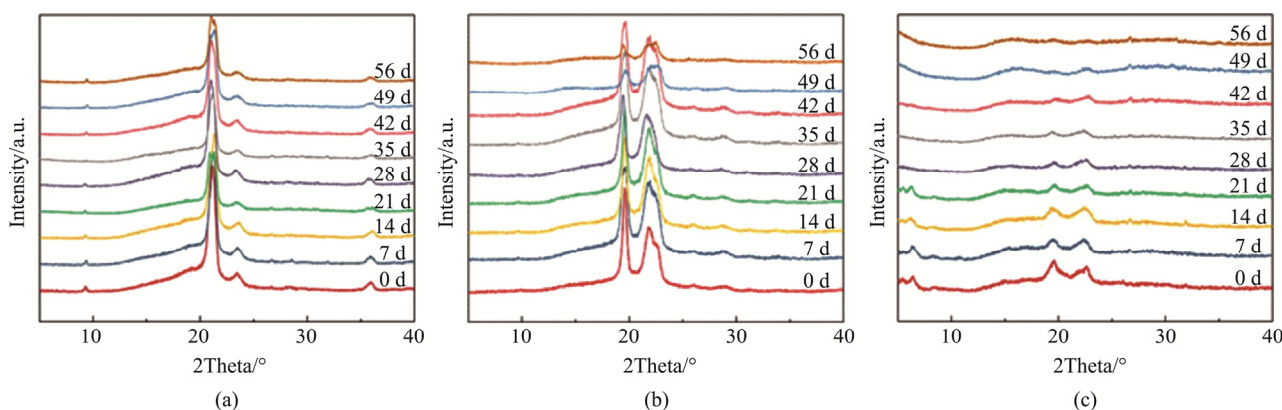


图6 膜降解过程中的红外光谱图 (a) PE膜 (b) PLA/PBAT膜 (c) 淀粉复合膜

Fig.6 Infrared spectrum of film in degradation process



注: (a) PE膜 (b) PLA/PBAT膜 (c) 淀粉复合膜

图7 膜降解过程中的结晶性能变化

Fig.7 Changes in crystallization properties during degradation of film

图7(c)中, 淀粉复合膜的特征衍射峰 2θ 分别为 7.2° 、 19.5° 和 22.5° , 其中, 7.2° 和 22.5° 为V型晶体结构淀粉的波谱特征^[23], 淀粉复合膜中的大部分淀粉分子为无定形态, 在XRD图上, 表现为峰的高度较弱且衍射峰较宽。 2θ 为 19.5° 处为PVA的特征衍射峰^[24]。由图14可知, $2\theta=19.5^\circ$ 和 $2\theta=22.5^\circ$ 处衍射峰为PLA/PBAT的特征衍射峰, 但峰强较PLA/PBAT膜相比明显降低, 说明PLA/PBAT与淀粉/PVA复合过程中破坏了原有的晶型结构^[25], 结晶度降低。随着降解时间的延长, 各特征峰高度逐渐降低, 降解56 d时已基本无衍射峰, $2\theta=7.2^\circ$ 处特征衍射峰在降解35 d时已基本消失, 充分说明淀粉复合膜中淀粉/PVA层的结晶区先发生降解, 分子链不断断裂, 由一定的结晶态逐渐转变为无定形态, 结晶度减小, 有序排列逐步被打乱^[22], 降解后期, PLA/PBAT外层的结晶区域也转变为非结晶区。

4 结论

(1) 淀粉复合膜在受控堆肥条件下表现出良好的生物降解性, 在降解前36 d降解速率基本与淀粉/PVA膜持平, 说明这段时间主要是淀粉复合膜中的淀粉层在降解; 36 d

后淀粉复合膜生物降解达到平稳阶段, 说明这段时间中间层可降解物质基本降解完全, 开始降解PLA/PBAT外层, 56 d后生物分解率可达47.23%。

(2) 淀粉复合膜前42 d失重较快, 之后进入缓慢失重状态, 表明淀粉复合膜的降解周期为42 d; 淀粉复合膜在土埋降解的56 d内, 外观和微观形貌都发生了显著变化, 表面明显受到破坏, 出现孔洞和裂缝, 层与层之间发生分离, 复合膜中的淀粉层降解显著, 而非淀粉成分未发生明显降解; X-射线衍射结果显示淀粉复合膜降解过程中其结晶度降低, 红外结果显示淀粉复合膜降解前后没有产生新的基团, 只是大分子分解为小分子的过程。

参考文献

- [1] 应纪飞. 膜级淀粉基全生物降解材料的制备与性能研究[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2017.
- Ying J. Preparation and properties of membrane grade starch-based biodegradable materials [D]. Zhenjiang: Jiangsu University of Science and Technology, 2017.
- [2] 侯汉学, 董海洲, 王兆升, 等. 国内外可食性与全降解食品包装材料发

- 展现状与趋势[J]. 中国农业科技导报, 2011, 13(5): 79-87.
- Hou HX, Dong HZ, Wang ZS, *et al.* Development status and trends of edible and fully degradable food packaging materials at home and abroad [J]. *Chin Agric Sci Technol Rev*, 2011, 13(5): 79-87.
- [3] Wang W, Zhang H, Jia R, *et al.* High performance extrusion blown starch/polyvinyl alcohol/clay nanocomposite films [J]. *Food Hydrocolloid*, 2018, (79): 534-543. .
- [4] Zhang H, Hou H, Liu P, *et al.* Effects of acid hydrolysis on the physicochemical properties of pea starch and its film forming capacity [J]. *Food Hydrocolloid*, 2019, (87): 173-179.
- [5] Ren J, Zhang W, Lou F, *et al.* Characteristics of starch based films produced using glycerol and 1-butyl-3-methylimidazolium chloride as combined plasticizers [J]. *Starch-Stärke*, 2016, 69(1-2): 923-928.
- [6] GB/T 19277.1-2011 受控堆肥条件下材料最终需氧生物分解能力的测定 采用测定释放的二氧化碳的方法[S].
GB/T 19277.1-2011 Determination of the final aerobic biodegradability of materials under controlled composting conditions-The method of determining the released carbon dioxide [S].
- [7] 于镜华, 季君晖, 周玉杨. 受控堆肥生物降解法测定全生物降解塑料(PBS)性能[J]. *化工新型材料*, 2007, 35(2): 76-77.
Yu JH, Ji JH, Zhou YY. Determination of biodegradable plastics (PBS) performance by controlled compost biodegradation method [J]. *Chem Mater*, 2007, 35(2): 76-77.
- [8] 尹基宇, 王文勇, 李涛. 可降解塑料生物降解特性研究[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(14): 6592-6593.
Yin JY, Wang WY, Li T. Study on biodegradation characteristics of biodegradable plastics [J]. *Anhui Agric Sci*, 2009, 37(14): 6592-6593.
- [9] Lv S, Zhang Y, Gu J, *et al.* Biodegradation behavior and modelling of soil burial effect on degradation rate of PLA blended with starch and wood flour [J]. *Colloid Surf B Biointerf*, 2017, (159): 800-808.
- [10] 李荣秋. 聚乳酸薄膜的降解行为及其降解性能快速检测方法研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2016.
Li RQ. Study on degradation behavior and degradation performance of polylactic acid film [D]. Mianyang: Southwest University of Science and Technology, 2016.
- [11] 徐晓强. 改性剑麻纤维增强聚乳酸复合材料的性能和降解行为研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
Xu XQ. Study on properties and degradation behavior of modified sisal fiber reinforced polylactic acid composites [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.
- [12] Imam SH, Cinelli P, Gordon SH, *et al.* Characterization of biodegradable composite films prepared from blends of poly (vinyl alcohol), cornstarch, and lignocellulosic fiber [J]. *J Polym Environ*, 2005, 13(1): 47-55.
- [13] 陈斌. 三种全生物降解地膜降解性能的测试与表征[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
Chen B. Test and characterization of three biodegradable mulch degradation properties [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2016.
- [14] 刘敏. 可生物降解地膜的应用效果及其降解机理研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2011.
Liu M. Study on the application effect and degradation mechanism of biodegradable mulch film [D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2011.
- [15] 成攀娇. 生物可降解苧麻/PBS 复合材料的制备及性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2013.
Cheng PJ. Preparation and properties of biodegradable ramie/PBS composites [D]. Shanghai: Donghua University, 2013.
- [16] 张会平, 沈华艳, 谢东, 等. PLA/淀粉/蔗渣复合材料自然土埋降解行为研究[J]. *甘蔗糖业*, 2017, (6): 6-13.
Zhang HP, Shen HY, Xie D, *et al.* Study on natural soil buried degradation behavior of PLA/starch/calculatate composites [J]. *J Cane Sugar*, 2017, (6): 6-13.
- [17] 翁诗甫. 傅里叶变换红外光谱分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
Weng SF. Fourier transform infrared spectroscopy [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [18] 张敏, 孟庆阳, 刁晓倩, 等. PLA/PBAT 共混物的降解性能研究[J]. *中国塑料*, 2016, 30(8): 79-86.
Zhang M, Meng QY, Diao XQ, *et al.* Study on degradation performance of PLA/PBAT blends [J]. *China Plastic*, 2016, 30(8): 79-86.
- [19] 扈蓉, 陈丽琼, 黄开胜, 等. PLA 在受控堆肥条件下的生物降解行为研究[J]. *塑料科技*, 2012, 40(8): 68-71.
Hu R, Chen LQ, Huang KS, *et al.* Study on biodegradation behavior of PLA under controlled composting conditions [J]. *Plastic Sci*, 2012, 40(8): 68-71.
- [20] 闫美珍. 疏水化改性淀粉/PVA 生物降解塑料地膜的研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2008.
Yan MZ. Study on hydrophobized modified starch/PVA biodegradable plastic film [D]. Daqing: Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2008.
- [21] 朱志科. PLA/PPC 共混材料力学性能及生物降解性能的研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2012.
Zhu ZK. Study on mechanical properties and biodegradability of PLA/PPC blends [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2012.
- [22] 毛海龙, 刘慧芳, 王战勇. 聚乳酸的酶促降解研究[J]. *工程塑料应用*, 2014, (2): 70-73.
Mao HL, Liu HF, Wang ZY. Study on enzymatic degradation of polylactic acid [J]. *Eng Plastic Appl*, 2014, (2): 70-73.
- [23] 郑霞, 李新功, 吴义强, 等. 竹纤维/聚乳酸可生物降解复合材料自然降解性能[J]. *复合材料学报*, 2014, 31(2): 362-367.
Zheng X, Li XG, Wu YQ, *et al.* Natural degradation properties of bamboo fiber/polylactic acid biodegradable composites [J]. *J Composit Mater*, 2014, 31(2): 362-367.
- [24] 王玉忠, 汪秀丽, 宋飞. 淀粉基新材料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015.

Wang YZ, Wang XL, Song F. New starch-based materials [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2015.

[25] 卞其波, 田华峰, 王娅茹, 等. 聚乙烯醇/淀粉纳米晶复合膜的制备及表征[J]. 中国塑料, 2015, 29(3): 95-99.

Bian QB, Tian HF, Wang YR, *et al.* Preparation and characterization of polyvinyl alcohol/starch nanocrystalline composite films [J]. China Plast, 2015, 29(3): 95-99.

[26] 沈一丁, 赖小娟. 聚乙二醇改性淀粉/聚乳酸薄膜的结构与性质研究[J]. 现代化工, 2006, 26(5): 35-37.

Shen YD, Lai XJ. Structure and properties of polyethylene glycol modified starch/polylactic acid films [J]. Mod Chem, 2006, 26(5): 35-37.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介



张欣, 硕士, 主要研究方向: 淀粉复合膜的降解性能及应用研究。

E-mail: 386422913@qq.com



侯汉学, 博士, 教授, 主要研究方向: 全降解食品包装材料的制备及应用。

E-mail: hhx@sda.u.edu.cn

“动物性食品质量与安全”专题征稿函

动物性食品是人们食品的重要组成部分, 这类食品含有丰富蛋白质、脂肪、碳水化合物、矿物质等。然而这类食品容易腐败变质, 且养殖环境的污染、饲料的污染也会对动物源食品安全造成危害, 从而影响消费者健康。

鉴于此, 本刊特别策划了“动物性食品质量与安全”专题, 由中国农业科学院饲料研究所李俊研究员担任专题主编, 主要围绕动物性食品及饲料中农兽药残留、违禁添加物、霉菌毒素、环境污染物的检测、加工贮藏与品质控制、营养成分分析等方面或您认为有意义的相关领域展开论述和研究, 综述及研究论文均可。

鉴于您在该领域丰富的研究经历和突出的学术造诣, 学报主编吴永宁研究员和专题主编李俊研究员特邀请您为本专题撰写稿件, 综述、研究论文、研究简报均可, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。本专题计划在 2020 年 5 月出版, 请在 2020 年 3 月 15 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

同时烦请您帮忙在同事之间转发一下, 再次感谢您的关怀与支持!

谢谢您的参与和支持!

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com(备注: 投稿请登录食品安全质量检测学报主页-作者登录-注册投稿-投稿选择“专题:动物性食品质量与安全”)

E-mail: jfoodsq@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部