高分子材料科学与工程
POLYMER MATERIALS SCIENCE & ENGINEERING

http://pmse.scu.edu.cn

嵌段聚合物 PBAT-*b*-PLA 在共混物 PBAT/PBAT-*b*-PLA/PLA 中的增容作用及对共混物性能的影响

张涵，曹继龙，江龙，黄云，淡宜

（先进高分子材料全国重点实验室（四川大学），四川大学高分子研究所，四川 成都 610065）

摘要：为开发兼具聚对苯二甲酸-己二酸丁二醇酯（PBAT）和聚乳酸（PLA）性能优势的共混物新材料，本文将嵌段聚合物 PBAT-*b*-PLA 引入到 PBAT 与 PLA 的共混体系中得到三元共混物 PBAT/PBAT-*b*-PLA/PLA，系统研究了嵌段聚合物在共混物中的增容作用和对共混物力学性能、光学性能和气体阻隔性能的影响规律。差示扫描量热分析和扫描电子显微镜观察表明，PBAT-*b*-PLA 能显著提升 PBAT 与 PLA 之间的相容性，分散相尺寸和两相玻璃化温度差值ΔT_g分别由 PBAT/PLA 体系的 5712 nm 和 94.22 °C 降至 1200 nm 和 94.00 °C 以下；分散相尺寸随嵌段聚合物数均分子量降低而减小，PBAT-*b*-PLA 数均分子量从 8.5×10^4 减小到 3.0×10^4，分散相尺寸则由 1186 nm 降至 426 nm。PBAT-*b*-PLA 的增容作用使 PBAT/PBAT-*b*-PLA/PLA 的性能优于 PBAT/PLA 并随 PBAT-*b*-PLA 的数均分子量变化而变化。随着 PBAT-*b*-PLA 数均分子量由 8.5×10^4 减小到 3.0×10^4，三元共混物拉伸强度稳定在 30 MPa 左右，断裂伸长率则由 116.1%增至 276.1%，显著高于 PBAT/PLA 体系的 15.6%；透光率曲线呈现透光性时的波长则逐渐降低，而 PBAT/PLA 在 400~780 nm 波长内均不透光；水蒸气渗透系数（P_{H_2O}）由 1.23×10^{-13} g·cm/(cm^2·s·Pa)降至 1.18×10^{-13} g·cm/(cm^2·s·Pa)，氧气渗透系数（P_{O_2}）由 2.32×10^{-14} g·cm/(cm^2·s·Pa)降至 2.18×10^{-14} cm^3·cm/(cm^2·s·Pa)，低于 PBAT/PLA，气体阻隔性能提升。

关键词：聚乳酸；聚对苯二甲酸-己二酸丁二醇酯；嵌段聚合物；共混物；增容作用

可生物降解聚合物聚对苯二甲酸-己二酸丁二醇酯（PBAT）与聚乳酸（PLA）二者的共混物 PBAT/PLA 因可将 PLA 的气体阻隔性（优于聚丙烯、聚苯乙烯等多种材料）、透光性（＞90%）及高强度与 PBAT 的韧性（断裂伸长率＞300%）相结合[1,2]，通过二者性能互补发展出综合性能优异的可生物降解材料，而获得越来越多的关注[3]。

PBAT 为脂肪族-芳香族聚酯，PLA 为脂肪族聚酯，两者分子结构差异大，相容性差，发展 PBAT/PLA 共混物材料的关键是增强这两种聚合物之间的相容性[4]。一般通过使用非反应型增容剂[5]，采用纳米/微米颗粒如硅藻土和滑石粉或采用离子液体 ILs 如基于 ILs 的亚膦酸盐（IL-TMP）和氯化物（IL-Cl）等增容[6,7]，其中纳米/微米颗粒通过吸附在分散相周围，防止分散相单域团聚，降低界面张力，减小分散相尺寸，提升相容性，离子液体通过离子-离子相互作用以及酯基-离子液体相互作用，细化分散相，进而增加相容性。这类增容方法存在增容剂易团聚、难以有效分散等问题。或

doi: 10.16865/j.cnki.1000-7555.2026.0094
收稿日期：2026-01-14
基金项目：国家自然科学基金资助项目（52173104）；四川省自然科学基金资助项目（2024NSFSC1031）；天府永兴实验室研究项目基金（2023KJGG12）
通讯联系人：黄云，主要从事高分子合成及高分子新材料研究，E-mail: hyscu1988@scu.edu.cn；
淡宜，主要从事高分子合成及环境友好材料研究，E-mail: danyi@scu.edu.cn

者使用反应型增容剂，利用酸酐/过氧化物或环氧基增容剂增容，如过氧化二异丙苯和扩链剂 ADR 等[8,9]。过氧化物通过自由基反应机理促进酸酐与聚酯之间的反应，形成交联点增加相容性。环氧基增容剂则通过诱发 PLA 和 PBAT 链末端的羟基羧基与环氧官能团反应，形成 PLA-*g*-PBAT 中间体，进而实现增加 PBAT 与 PLA 之间的相容性。这类增容方法容易因副反应干扰而使反应过程失稳，如过度交联等，不仅工艺控制难度增大，而且影响后续材料性能。

基于相似相容原理，本文提出在 PBAT/PLA 共混体系中引入嵌段聚合物 PBAT-*b*-PLA，通过嵌段聚合物中的 PBAT 嵌段与共混物中的 PBAT 相作用，嵌段聚合物中的 PLA 嵌段与共混物中的 PLA 相作用，建立起本不相容的两相间的“桥梁”[10,11]，进而增强共混物两相之间的相容性，由此发展出兼具 PBAT 性能优势和 PLA 性能优势的共混物新材料的思路。拟在我们前期已合成系列分子量（3.0×10^4~ 8.5×10^4 g/mol）的嵌段聚合物 PBAT-*b*-PLA 的基础上[10]，将 PBAT-*b*-PLA 引入二元共混体系 PBAT/PLA 中制备三元共混物 PBAT/PBAT-*b*-PLA/PLA，研究嵌段聚合物对共混物的增容作用及嵌段聚合物分子量演变对共混物力学性能、光学性能、及气体阻隔性能的影响规律，为发展基于 PBAT 和 PLA 的可降解新材料提供实验依据。

1 实验部分

1.1 原料与试剂

左旋丙交酯（*L*-LA，AR），购自济南岱罡生物材料有限公司。无水乙醇（EtOH，AR），购自成都市科隆化学品有限公司。辛酸亚锡（Sn (Oct)$_2$，AR）、氘代氯仿（$CDCl_3$，HPLC）、四氢呋喃（THF，HPLC）、二甲苯（DMB，AR，超干）和二氯甲烷（CH_2Cl_2，AR），购自 Adamas 试剂有限公司。聚乳酸（PLA）粒料（4032D，$M_n = 11.9\times10^4$ g/mol），购自美国 Nature Works 公司。聚对苯二甲酸-己二酸丁二醇酯（PBAT）粒料（A400，数均分子量 $M_n = 5.3\times10^4$ g/mol），购自金发科技有限公司。所有化学品均直接使用，未进行进一步处理。

通过 A400 水解制备得到数均分子量（通过核磁共振氢谱计算得到）分别为 0.9×10^4 g/mol（$PBAT_{9k}$）、1.4×10^4 g/mol（$PBAT_{14k}$）、2.0×10^4 g/mol（$PBAT_{20k}$）、和 2.7×10^4 g/mol（$PBAT_{27k}$）的 PBAT。通过 $PBAT_{9k}$、$PBAT_{14k}$、$PBAT_{20k}$、$PBAT_{27k}$ 分别引发 *L*-LA 开环聚合，并控制 PBAT:*L*-LA 质量比为 30:70，制备得到嵌段质量比（PBAT 嵌段:PLA 嵌段）为 30:70，数均分子量分别为 3.0×10^4 g/mol、4.5×10^4 g/mol、6.5×10^4 g/mol、和 8.5×10^4 g/mol 的嵌段聚合物 PBAT-*b*-PLA[10]，分别命名为 BP_{30k}、BP_{45k}、BP_{65k} 和 BP_{85k}。

1.2 实验过程

1.2.1 *共混物的制备*：将 PBAT、PLA、PBAT-*b*-PLA（BP_{30k}、BP_{45k}、BP_{65k}、BP_{85k}）按照 PBAT 与 PLA 的质量比为 30:70，PBAT-*b*-PLA 为共混物总质量的 5 %的比例混合，溶解至 50 ml 二氯甲烷中，得到四组均匀的共混物溶液，将溶液缓慢滴加至 800 ml 高速搅拌的乙醇中得到絮状沉淀物，沉淀物用乙醇清洗，然后在真空烘箱中于 60°C 干燥 24 h，得到四种 PBAT/PBAT-*b*-PLA/PLA 共混物，分别命名为 PBAT/BP_{30k}/PLA、PBAT/BP_{45k}/PLA、PBAT/BP_{65k}/PLA、和 PBAT/BP_{85k}/PLA。类似方法制备二元共混物 PBAT/PLA（PBAT:PLA 质量比为 30:70），作为对照样。

1.2.2 共混物薄膜的制备：使用热压机（型号 SY-6210-C）将预先制备好的共混物于 200 °C 熔融 5 min，然后于 10 MPa 压力下热压 2 min，再置于冰水浴中快速冷却形成非晶薄膜，薄膜厚度(100±5) μm。

1.3 测试与表征

1.3.1 共混物薄膜聚集态结构分析：采用 X 射线衍射仪（XRD，型号 Ultima IV，Rigaku 公司，日本）分析薄膜聚集态结构。发射电压 40kV，测量角度范围 5-30°，扫描速率 3°/min。

1.3.2 共混物薄膜微观形貌表征：采用扫描电子显微镜（SEM，型号 Apreo S HiVoc，FEI 公司，美国）观察共混物薄膜经液氮淬断后的断面微观形貌，加速电压为 10.00 kV，断面喷金，放大尺度为 20 μm 和 5 μm。为每组样品随机选取 30 个分散相颗粒进行尺寸测量，取其算术平均值作为该样品的平均分散相尺寸。

1.3.3 共混物热行为分析：采用差示扫描量热仪（DSC，型号为 TA Q250，TA 公司，美国）测试共混物的热行为。在氮气气氛下，气体流速为 50 mL/min，从-70°C 加热到 200°C，升温速度为 10°C/min，保持 2 min 后冷却至-70°C 并保持 2 min，随后按 10 °C/min 升温速度进行第二次升温，加热至 200°C。通过第二次升温曲线分析共混物的热行为。

1.3.4 共混物薄膜拉伸性能测试：采用万能材料试验机（型号 UTM4204X，1000N 传感器，SUNS 公司，中国），按照 ASTM D882-10 标准，测试共混物薄膜的拉伸性能，拉伸速率 100 mm/min。对每类薄膜样品进行五次平行测试，并对五次测试结果进行平均，得到薄膜断裂时的拉伸强度和断裂伸长率。

1.3.5 共混物薄膜透光率测试：采用紫外-可见光分光光度计（型号 UV-2600，Shimadzu 公司，日本）测试共混物薄膜的光学特性，测试波长范围 400-780 nm，测试间隔 1 nm。

1.3.6 共混物薄膜氧气阻隔性能测试：采用氧气透过率测试仪（型号 VAC-V2，Labthink 公司，中国），根据国标 GB/T 1038.1-2022，在 23°C/ 0% RH 条件下测试共混物薄膜（≥38.48 cm^2, Φ=97 mm）的氧气渗透系数（P_{O_2}），对每类薄膜样品进行三次平行测试，取三次测试结果平均值。

1.3.7 共混物薄膜水蒸气阻隔性能测试：采用水蒸气渗透率测试仪（型号 W3-062，Labthink 公司，中国），根据国标 GB/T 1037-2021，在 38°C/90% RH 条件下测试共混物薄膜（≥33 cm^2, Φ = 74 mm）的水蒸气渗透系数（P_{H_2O}），对每类薄膜样品进行三次平行测试，取三次测试结果平均值。

2 结果与讨论

2.1 共混物热行为分析

Fig.1 反映了共混物的热行为，其中 Fig.1(a)是共混物薄膜在差示扫描量热分析中消除热历史后的第二次升温曲线，根据 Fig.1(a)曲线中台阶状拐点的热流变化，通过切线外推得到共混物的玻璃化温度，结果如 Fig.1(b)所示。可见，所有共混物均表现出 PBAT 相的玻璃化温度 T_g1 和 PLA 相的玻璃化温度 T_g2，该两相玻璃化温度之差ΔT_g（$\Delta T_g = T_g2 - T_g1$）因共混物组成不同而有所不同。与二元共混物 PBAT/PLA 的ΔT_g（94.22 °C）相比，三元共混物的ΔT_g均有所减小，并随嵌段聚合物数均分子量降低而减小，嵌段聚合物数均分子量分别为 8.5×10^4 g/mol、6.5×10^4 g/mol、4.5×10^4 g/mol、和 3.0×10^4 g/mol 时，三元共混物的ΔT_g分别为 93.93 °C、93.28 °C、92.93 °C、和 92.63 °C，ΔT_g减小表

明共混物中 PBAT 相与 PLA 相之间的相容性提高[12]，这种相容性的提升源于嵌段聚合物 PBAT-*b*-PLA 对 PBAT 相与 PLA 相的增容作用。

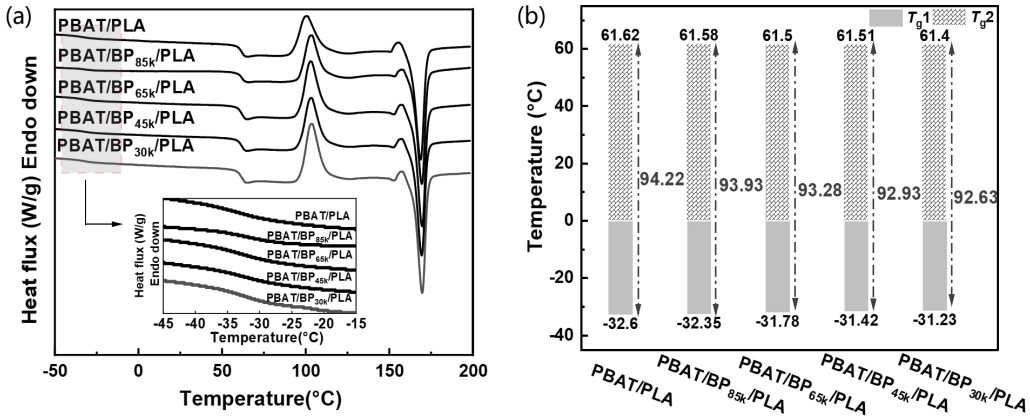


Fig. 1　(a) DSC second heating curves and (b) T_g of different film samples

2.2 共混物薄膜的结构与断面形貌分析

Fig.2 为所制备的共混物薄膜的 X-射线衍射（XRD）曲线。可见，共混物薄膜的 XRD 曲线均呈现宽广的非晶峰，无尖锐的结晶峰出现，通过对 XRD 曲线的微量结晶峰进行数学拟合，得到共混物薄膜的结晶度在 0.5%至 0.8%范围内，低于 1%，表明所制备共混物薄膜为非晶薄膜。

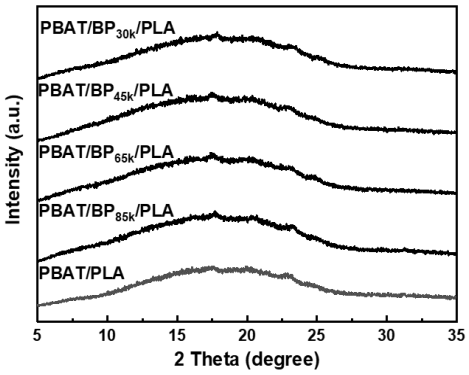


Fig. 2　XRD patterns of different film samples

Fig.3 所示为共混物薄膜在 20 μm 和 5 μm 尺度下的断面形貌，Fig.4 所示为在 Fig.3 基础上定量统计得到的各共混物薄膜中的分散相尺寸。由 Fig.3 可见，二元共混物 PBAT/PLA(Fig.3(a_1), (a_2))相界面清晰，相分离明显，PBAT 分散相尺寸较大，为 5712 nm；三元共混物 PBAT/PBAT-*b*-PLA/PLA(Fig.3(b_1)~(e_2))相界面模糊，相分离程度显著削弱，分散相尺寸显著减小为 1200 nm 以下，不超过二元共混物分散相尺寸的 21%，随着 PBAT-*b*-PLA 数均分子量由 8.5×10^4 g/mol 减小至 3.0×10^4 g/mol，分散相尺寸由 1187 nm 逐渐减小至 426 nm（Fig.4），表明嵌段聚合物 PBAT-*b*-PLA 不仅能有效增强 PBAT 相与 PLA 相之间的相容性，而且能有效调控分散相尺寸，控制嵌段聚合物分子量在相对较低的范围内有利于减小共混物分散相尺寸。

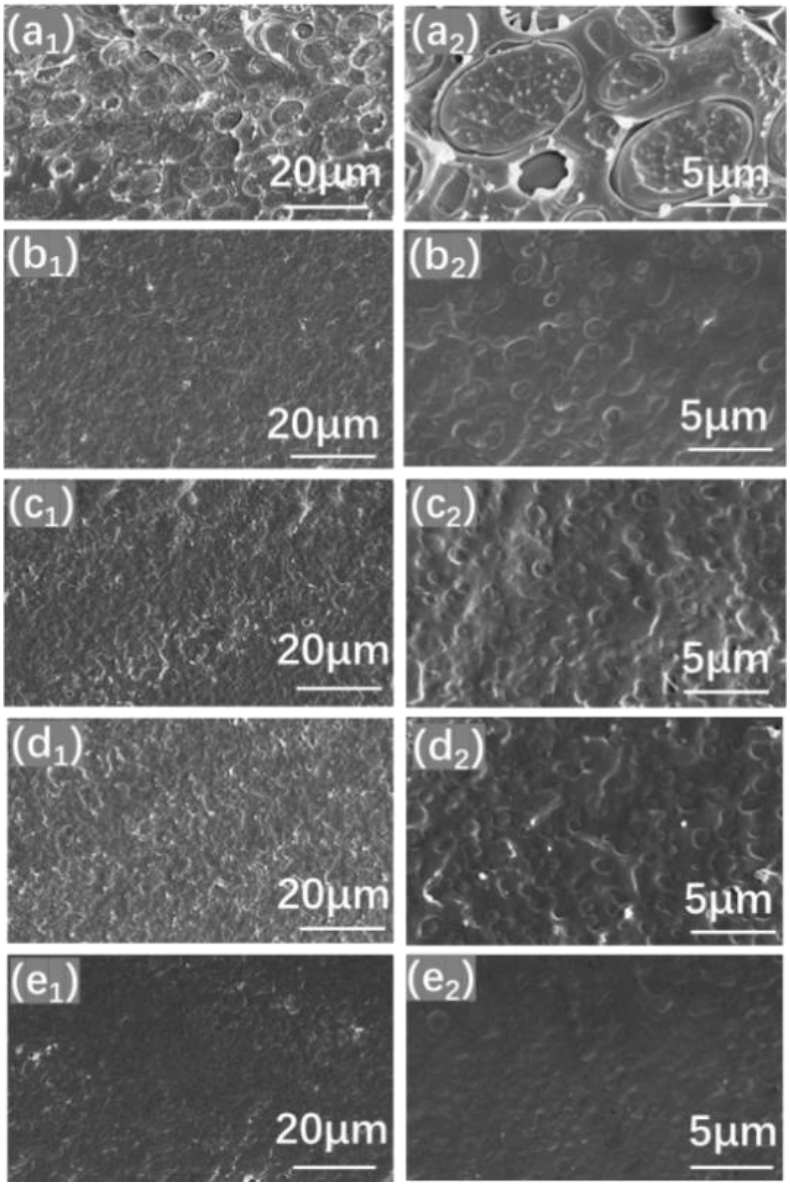


Fig. 3 SEM images of different film samples: (a_1) and (a_2) PBAT/PLA; (b_1) and (b_2) PBAT/BP_{85k}/PLA; (c_1) and (c_2) PBAT/BP_{65k}/PLA; (d_1) and (d_2) PBAT/BP_{45k}/PLA; (e_1) and (e_2) PBAT/BP_{30k}/PLA

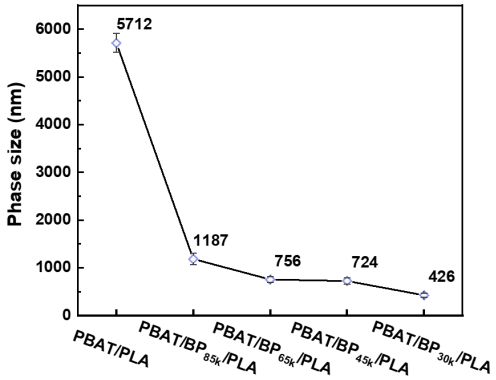


Fig. 4 Dispersed phase size of different film samples

2.3 共混物薄膜的性能分析

2.3.1 *共混物薄膜的力学性能*：Fig.5 是共混物薄膜的拉伸应力-应变曲线(Fig.5(a))和拉伸强度及拉伸断裂伸长率(Fig.5(b))。通过 Fig.5(a)可以看出，PBAT/PLA 共混物薄膜在发生屈服后快速断裂，断裂伸长率仅 15.6%，而 PBAT/PBAT-*b*-PLA/PLA 共混物薄膜因 PBAT-*b*-PLA 的数均分子量不同，在发生屈服后出现不同程度的冷颈，为韧性断裂，断裂伸长率均超过 100%，拉伸强度却与 PBAT/PLA 共混物薄膜相当。PBAT/PBAT-*b*-PLA/PLA 共混物薄膜优异的拉伸性能源于嵌段聚合物 PBAT-*b*-PLA 对 PBAT 和 PLA 的增容作用。该嵌段聚合物在相似相容原理的驱动下，在 PLA 与 PBAT 两相间起到“桥梁”作用，有效降低界面张力、细化分散相尺寸并强化界面结合。增强的界面耦合使得韧性 PBAT 相能够在受力时充分变形，诱发屈服和塑性变形行为，进而有效耗散能量[13]，最终体现为断裂伸长率的大幅提升。

Fig.5(b)结果表明，改变嵌段聚合物 PBAT-*b*-PLA 数均分子量，PBAT/PBAT-*b*-PLA/PLA 共混物薄膜的拉伸强度变化不大，但拉伸断裂伸长率发生变化。随着 PBAT-*b*-PLA 的数均分子量从 8.5×10^4 g/mol 降至 6.5×10^4 g/mol、4.5×10^4 g/mol、和 3.0×10^4 g/mol，共混物薄膜拉伸强度差别不大，分别为 33.1 MPa、31.1 MPa、33.1 MPa 和 32.8 MPa，但拉伸断裂伸长率却不断增加，分别为 116.1%、191.7%、228.9%、和 276.1%（最高为二元共混物薄膜断裂伸长率 15.6%的 17 倍，优于其他文献报道中的最优结果[6,10,11]）。这一变化规律对应于共混物相容性及分散相尺寸随嵌段聚合物分子量的变化规律。数均分子量较低的嵌段聚合物更易于迁移并富集于 PBAT 相与 PLA 相界面，且当共混物中嵌段聚合物质量含量（5%）一定时，嵌段聚合物数均分子量越低，聚合物分子数量就越多，在两相聚合物界面的连接点就越致密，对两相聚合物的增容作用就越强，进而提升两相相间相容性，促进应力传递，致使材料韧性提高。

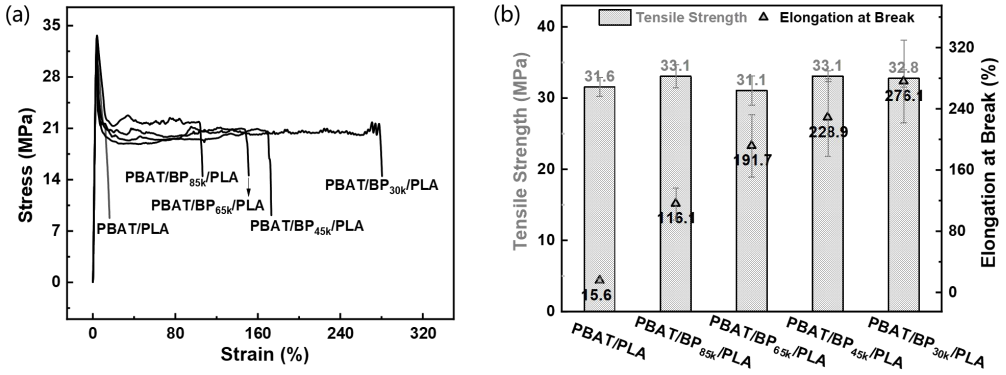


Fig. 5 (a) Tensile stress-strain curves, (b) tensile strength and elongation at break of different film samples

2.3.2 *共混物薄膜的透光性*：Fig.6 所示为共混物薄膜在 400-780 nm 波长范围内的透光率测试结果。结果表明，二元共混物 PBAT/PLA 对该波长范围的光不具有透过性，三元共混物 PBAT/PBAT-*b*-PLA/PLA 则对 500nm 以上波长的光表现出一定程度的透过，这种光透过性因共混物中嵌段聚合物 PBAT-*b*-PLA 数均分子量的不同而有所不同。随着 PBAT-*b*-PLA 的数均分子量从 8.5×10^4 g/mol 降至 6.5×10^4 g/mol、4.5×10^4 g/mol、和 3.0×10^4 g/mol，三元共混物发生光透过对应的最低光波长变短，分别约为 700 nm、610 nm、600 nm 和 550 nm，对特定波长的光的透过率增加（如对 750nm 光，透光率分别为 1.4%、2.6%、3.8%和 6.4%）。三元共混物透光性的这一变化规律对应于共混物分散相尺寸随嵌段聚合物数均分子量的变化规律。随着嵌段聚合物数均分子量从大到小变

化，所述三元共混物分散相尺寸分别为 1187nm、756nm、724nm、和 432nm。分散相尺寸越大，由于光散射效应[14]，发生光透过对应的起始波长值就越大。但受限于分散相尺寸，共混物对 780nm 波长的光的透过率最高仅为 8%。

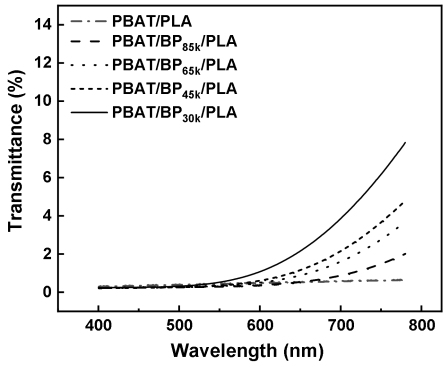


Fig. 6　Transmittance curves of different film samples

2.3.3 共混物薄膜的气体阻隔性能：Fig.7 所示为共混物薄膜的水蒸气渗透系数(P_{H_2O}，Fig.7(a))和氧气渗透系数(P_{O_2}，Fig.7(b))测试结果。根据气体分子扩散动力学基本原理，薄膜气体渗透系数越低，表明该薄膜对该气体的阻隔性越好[15]。与二元共混物薄膜的P_{H_2O}(1.25×10^{-13} g·cm/(cm^2·s·Pa))和P_{O_2}(2.45×10^{-14} cm^3·cm/(cm^2·s·Pa)) 相比，三元共混物薄膜的P_{H_2O}和P_{O_2}均有所降低，表明后者对水蒸气和氧气的阻隔性优于前者。这种阻隔性能的提升主要归因于三元共混物中由于嵌段共聚物的引入增强了共混物相间相容性，使 PBAT 与 PLA 两相聚合物分子间的结合增强，相界面间隙减小（Fig.3），有效减少了气体透过的薄弱路径[16]。对比氧气渗透系数变化和水蒸气渗透系数变化发现，由于氧气以单分子形式扩散，水蒸气以氢键团簇形式传输，前者分子尺寸（0.346 nm）小于后者分子团簇尺寸（≥0.85 nm），氧气分子对聚合物薄膜界面孔隙尺寸变化更为敏感，致使氧气渗透系数降低幅度高于水蒸气渗透系数降低幅度。三元共混物薄膜中 PBAT/BP$_{30k}$/PLA 的氧气渗透系数最低，为 2.18×10^{-14} cm^3·cm/(cm^2·s·Pa)，是二元共混物薄膜 PBAT/PLA 氧气渗透系数(2.45×10^{-14} cm^3·cm/(cm^2·s·Pa))的 89%，其水蒸气渗透系数也最低，为 1.18×10^{-13} g·cm/(cm^2·s·Pa)，是 PBAT/PLA 水蒸气渗透系数(1.25×10^{-13} g·cm/(cm^2·s·Pa))的 94%。随着共混物中嵌段聚合物 PBAT-*b*-PLA 的数均分子量从 8.5×10^4 g/mol 降至 3.0×10^4 g/mol，共混物薄膜的水蒸气渗透系数由 1.23×10^{-13} g·cm/(cm^2·s·Pa)减少为 1.18×10^{-13} g·cm/(cm^2·s·Pa)，反映出水蒸气阻隔性能的提升，氧气渗透系数由 2.32×10^{-14} cm^3·cm/(cm^2·s·Pa)减少至 2.18×10^{-14} cm^3·cm/(cm^2·s·Pa)，反映出氧气阻隔性能的提升。这一变化结果源于嵌段聚合物数均分子量变化带来的共混物相容性及分散相尺寸的变化。在 3.0×10^4 g/mol 至 8.5×10^4 g/mol 数均分子量范围内，嵌段聚合物分子量降低，共混物分散相尺寸减小，PBAT 与 PLA 两相界面间隙减小，气体透过的孔隙及路径减少，薄膜气体阻隔性能提升。

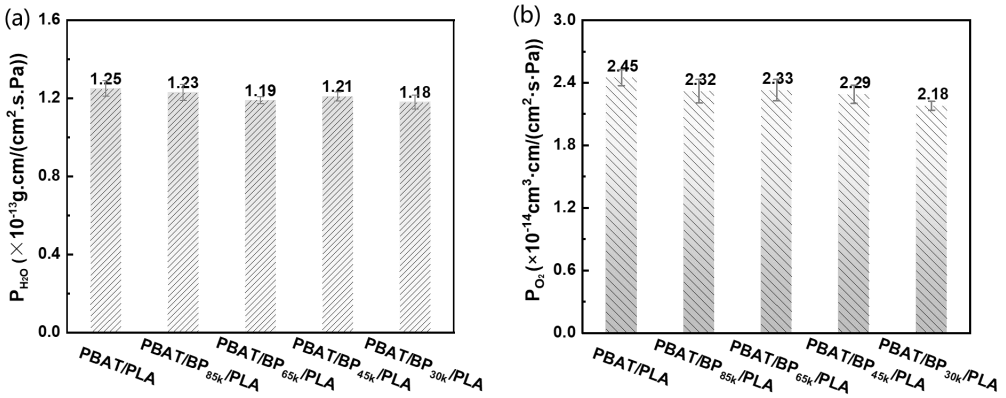


Fig. 7 (a) Water vapor barrier property and (b) oxygen barrier property of different film samples

3 结论

共混物 PBAT/PBAT-*b*-PLA/PLA 中的嵌段聚合物 PBAT-*b*-PLA 能够有效提升 PBAT 相与 PLA 相间的相容性，减小分散相尺寸，提升拉伸韧性和气阻性。在 3.0×10^4 ~ 8.5×10^4 g/mol 数均分子量范围内，随 PBAT-*b*-PLA 数均分子量减小，PBAT/PBAT-*b*-PLA/PLA 分散相尺寸减小，最低仅为 PBAT/PLA 分散相尺寸（5712 nm）的 0.07 倍；拉伸韧性增加（拉伸强度变化不大，与 PBAT/PLA 相近，拉伸断裂伸长率增加，最高达到 PBAT/PLA 拉伸断裂伸长率（15.6%）的 17.7 倍）；气阻性增加（水蒸汽渗透系数和氧气渗透系数均有所减小，可减小为 PBAT/PLA 水蒸气渗透系数（1.25×10^{-13} g·cm/(cm^2·s·Pa)）的 94%和 PBAT/PLA 氧气渗透系数（2.45×10^{-14} cm^3·cm/(cm^2·s·Pa)）的 89%）。共混物 PBAT/PBAT-*b*-PLA/PLA 兼具 PBAT 性能优势和 PLA 性能优势，是一类可降解新材料。

参考文献：

[1] 余鹏, 王东明, 李丽芬, 等. 压力诱导聚乳酸晶体微纤化及强韧化机理[J]. 高分子材料科学与工程, 2025, 41(8): 35-42.

Yu P, Wang D M, Li L F, et al. Pressure induced micro-fibrillation of polylactic acid crystals and its strengthening and toughening mechanism [J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2025, 41(8): 35-42.

[2] Du Y, Cao J, Li W, et al. Barrier properties of polylactic acid to binary aqueous solution systems[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2025, 305: 141050.

[3] Chen R, Zhang F, Jin B, et al. Preparation and properties of toughened PLA/PBAT blends based on EVA and multi-functional epoxy chain extender[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2025, 142: e56857.

[4] Xu Y, Meng X, You X, et al. Impact-resistant PLLA/PBAT composites based on novel biobased reactive micro-crosslinked PBAT[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2025, 64: 1623-1634.

[5] Aversa C, Barletta M, Cappiello G, et al. Compatibilization strategies and analysis of morphological features of poly (butylene adipate-co-terephthalate)(PBAT)/poly (lactic acid) PLA blends: A state-of-art review[J]. European Polymer Journal, 2022, 173: 111304.

[6] Ding Y, Zhang C, Luo C, et al. Effect of talc and diatomite on compatible, morphological, and mechanical behavior of

PLA/PBAT blends[J]. e-Polymers, 2021, 21: 234-243.

[7] Zhou Y, Qiu S, Waterhouse G I N, et al. Enhancing the properties of PBAT/PLA composites with novel phosphorus-based ionic liquid compatibilizers[J]. Materials Today Communications, 2021, 27: 102407.

[8] Lu X, Zhao J, Yang X, et al. Morphology and properties of biodegradable poly (lactic acid)/poly (butylene adipate-co-terephthalate) blends with different viscosity ratio[J]. Polymer Testing, 2017, 60: 58-67.

[9] Wang X, Peng S, Chen H, et al. Mechanical properties, rheological behaviors, and phase morphologies of high-toughness PLA/PBAT blends by in-situ reactive compatibilization[J]. Composites Part B: Engineering, 2019, 173: 107028.

[10] Zhang H, Cao J, Jiang L, et al. Block polymer PBAT-*b*-PLA: a synergistic integration of PLA and PBAT with adjustable structure and properties[J]. Polymer, 2026, 350: 129779.

[11] Ding Y, Lu B, Wang P, et al. PLA-PBAT-PLA tri-block copolymers: effective compatibilizers for promotion of the mechanical and rheological properties of PLA/PBAT blends[J]. Polymer Degradation and Stability, 2018, 147: 41-48.

[12] Cai K, Liu X, Ma X, et al. Preparation of biodegradable PLA/PBAT blends with balanced toughness and strength by dynamic vulcanization process[J]. Polymer, 2024, 291: 126587.

[13] Yu X Y, Liu H Y, Yan M Y, et al. Integration design of toughening agent for poly(lactic acid) with compatibility, transparency, and environmental friendliness[J]. ACS Applied Polymer Materials, 2024, 6: 5555-5565.

[14] Moritani M, Inoue T, Motegi M, et al. Light scattering from a two-phase polymer system. Scattering from a spherical domain structure and its explanation in terms of heterogeneity parameters[J]. Macromolecules, 1970, 3(4): 433-441.

[15] Cao J, Li W, Huang Y, et al. Design and synthesis of stereoblock polylactic acid with high oxygen and water vapor barrier performances[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2023, 62: 18822-18833.

[16] Cao J, Li W, Du Y, et al. Structure and performances of degradable stereoblock polylactic acid with potential packaging applications[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2025, 64: 2477-2489.

Compatibilizing Effect of Block Polymer PBAT-*b*-PLA in PBAT/PBAT-*b*-PLA/PLA Blends and Its Influence on Blend Properties

Han Zhang, Jilong Cao, Long Jiang, Yun Huang, Yi Dan

(State Key Laboratory of Advanced Polymer Materials (Sichuan University), Polymer Research Institute of Sichuan University, Chengdu 610065, China)

ABSTRACT: To develop novel blend materials combining the performance advantages of poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT) and polylactic acid (PLA), in this study, the block polymer PBAT-*b*-PLA was introduced into the PBAT/PLA blend system, forming the ternary blend PBAT/PBAT-*b*-PLA/PLA. The compatibilizing effect of the block copolymer on the blend and its impact on mechanical, optical, and gas barrier properties were systematically investigated. Differential scanning calorimetry and scanning electron microscopy analyses reveal that PBAT-*b*-PLA significantly enhances the compatibility between

PBAT and PLA. The dispersed phase size and the difference of glass transition temperatures (ΔT_g) between the two phases decreases from 5712 nm and 94.22 °C in the PBAT/PLA blend to less than 1200 nm and 94.00 °C, respectively. The dispersed phase size decreases as the number average molecular weight of PBAT-*b*-PLA is reduced; when the molecular weight decreases from 8.5×10^4 to 3.0×10^4, the dispersed phase size decreases from 1186 nm to 426 nm. The compatibilization by PBAT-*b*-PLA endows the ternary blend PBAT/PBAT-*b*-PLA/PLA with superior properties compared to PBAT/PLA, and these properties vary with the molecular weight of PBAT-*b*-PLA. As the molecular weight decreases from 8.5×10^4 to 3.0×10^4, the tensile strength of the ternary blend remains stable at approximately 30 MPa, while the elongation at break increases from 116.1% to 276.1% — significantly higher than the 15.6% observed in PBAT/PLA. The onset wavelength for light transmission gradually decreases, whereas PBAT/PLA exhibits no transmittance in the visible light range (400~780 nm). The water vapor permeability coefficient (P_{H_2O}) decreases from 1.23×10^{-13} g·cm/(cm^2·s·Pa) to 1.18×10^{-13} g·cm/(cm^2·s·Pa), and the oxygen permeability coefficient (P_{O_2}) decreases from 2.32×10^{-14} g·cm/(cm^2·s·Pa)to 2.18×10^{-14} cm^3·cm/(cm^2·s·Pa), both lower than those of PBAT/PLA, indicating enhanced gas barrier performance.

Keywords: polylactic acid; poly(butylene adipate-co-terephthalate); block polymer; blend; compatibilizing effect