

熔融紡糸法による酵素内包 PBAT 繊維の作製および分解性評価

(東大院・農) ○押切香乃、黄秋源、加部泰三、岩田忠久

【諸言】

現在、一般的に使用されている魚網や釣り糸は海洋中で分解せず、近年それらが海洋環境や生態系へ及ぼす悪影響が問題視されている。その解決策として既存の釣り糸や魚網に匹敵する強度を有し、かつ使用後は最終的に海洋中で分解する生分解性繊維の開発が注目されている。Poly(butylene adipate-co-butylene terephthalate)(PBAT)は、テレフタル酸、アジピン酸および 1,4-ブタンジオールを原料とした脂肪族-芳香族ランダム共重合体である(Fig.1)。PBAT はフィルム形状で工業的に大量生産されており、高温多湿環境下では優れた生分解性が認められている。一方で PBAT を用いた紡糸報告は未だ少なく、海洋や土壌中における分解性が非常に遅いことが知られている。

よって本研究では、初めに PBAT を用いて熔融紡糸繊維の作製条件および高強度化の条件を検討した。続いて、酵素を樹脂内に埋め込ませた酵素内包繊維を作製することで、海洋中などあらゆる環境における PBAT 繊維の良好な分解性の付与を目的とした。また、酵素の有無による繊維の機械物性および分解性の変化を観察した。

【実験】

BASF 社製の PBAT($M_w = 1.6 \times 10^5$, $T_m = 115^\circ\text{C}$)を用いて 160°C で熔融紡糸繊維を作製し、延伸・熱処理を施した。引張試験を実施し、延伸・熱処理による高強度化の効果を調べた。続いて、PBAT 樹脂および PBAT の分解酵素を混練温度 130°C で 3 分間熱混練し、酵素内包 PBAT ポリマーを得た。得られた酵素内包ポリマーに対し熔融紡糸機を用い熔融温度 160°C で紡糸を行い、酵素内包繊維を得た。得られた繊維の引張試験を実施し、酵素の有無による機械物性の変化を調べた。続いて、pH7.4 の緩衝液中で as-spun 繊維は 14 日間、延伸・熱処理繊維においては 28 日間の分解試験を実施し、重量減少率の測定及び走査型電子顕微鏡(SEM)による繊維表面の形態観察を行い、酵素内包及び延伸・熱処理による繊維の生分解性への効果を調べた。

【結果】

熔融紡糸の結果、熔融温度 160°C で均一な繊維を得られた。熔融温度 160°C 、巻取速度 7m/min において as-spun 繊維の強度は 45MPa であった。熔融温度 160°C の繊維に、延伸及び熱処理を施した結果、417MPa まで強度が上昇した。酵素内包繊維の熔融紡糸の結果、熔融温度 160°C での繊維化に成功した。引張試験の結果、巻取速度 7m/min において酵素内包 PBAT 繊維の強度は 51MPa であった。この繊維に延伸及び熱処理を施した結果、強度は 400MPa となり、未延伸・延伸繊維共に、酵素内包による強度の著しい低下は見られなかった。Fig. 2 に酵素分解試験の分解日数と損失重量の結果を示す。純粋な PBAT 繊維では分解が進行していない一方で、酵素内包繊維(as-spun) の重量減少率は 8 日間で 51%であった。延伸・熱処理繊維における重量減少率は 8 日間で 9.6%、28 日間で 27%であった。これらの結果から、

熱混練および熔融紡糸に加え、延伸・熱処理の過程を経た後も酵素の活性が保持されていることが分かった。SEM による形態観察では、as-spun 繊維において虫食い状に分解する様子が見られた。延伸・熱処理繊維においては表面から分解し繊維径が減少していく様子が見られた。

以上の結果より、熱混練及び熔融紡糸法を用いることで酵素内包繊維の作製に成功した。また、この繊維に延伸・熱処理を施すことで高強度かつ良好な分解性を有する PBAT 繊維の作製に成功した。

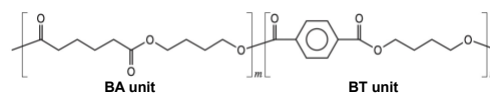


Fig. 1 PBAT の化学構造

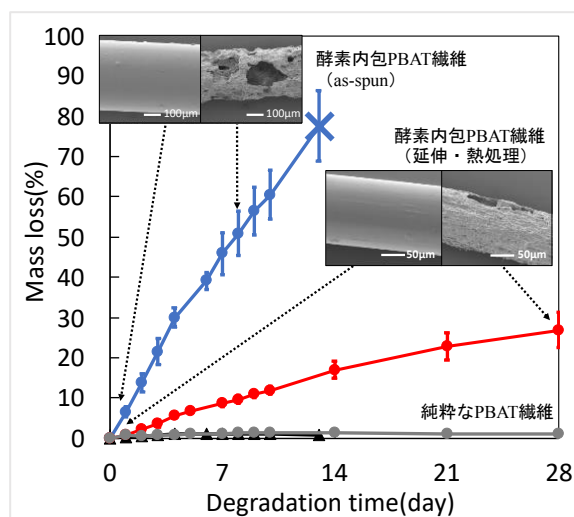


Fig. 2 酵素内包繊維の分解試験