

2024年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 070004
參展科別 微生物學
作品名稱 尋找提升淡紫青黴菌BA1S菌株降解PBAT塑膠能力之因子

就讀學校 臺北市立第一女子高級中學
指導教師 劉啟德、蔡任圃
作者姓名 陳昕言

關鍵詞 淡紫擬青黴菌、PBAT、塑膠降解

作者簡介



我是陳昕言，英文名Yan，生日9/21。就讀臺北市立第一女子高級中學科學班，國小至國中皆為資優班還有弦樂團成員。雖為生物組，但參與地奧選拔營和擔任北一科學營地科教學，跨領域學習是我的追求。身為減塑組織Unplastify成員，致力於環保研究，期望為減塑盡一份心力。

尋找提升淡紫青黴菌 BA1S 菌株降解 PBAT 塑膠能力之因子

-摘要-

塑膠汙染問題日益嚴重，生物降解是一個對環境相對友善的解決方法。淡紫青黴菌 (*Purpureocillium lilacinum*) 為一種內寄生性真菌，前人發現其 BA1S 菌株具有降解 PBAT (Polybutylene Adipate Terephthalate) 塑膠的能力。本研究目的在篩選能夠提升 *P. lilacinum* BA1S 降解 PBAT 能力的添加物。將厚度 30 μ m 的塑膠片置於含有 BA1S 以及各類添加物的溶液中進行生降解試驗，以 7 天或 14 天為單位進行取樣，依塑膠片餘重來計算塑膠的降解百分比。實驗結果發現添加 Cu²⁺ 離子的處理組在鹼性環境下 (pH 7.5) 有最佳的降解效果，推測是該添加物可作為漆酶 (laccase) 的誘導物，促進 BA1S 的氧化的降解效果。添加 Rifampicin 的處理組也能顯著提升降解率，推測是因為該物質具有促進 cytochrome p450 單加氧酵素活性所致。本研究成果不僅可運用在降解 PBAT 農膜，也可以解決田間病原線蟲危害的問題。

Study on factors that enhance the ability of *Purpureocillium lilacinum* BA1S strain to degrade PBAT plastic

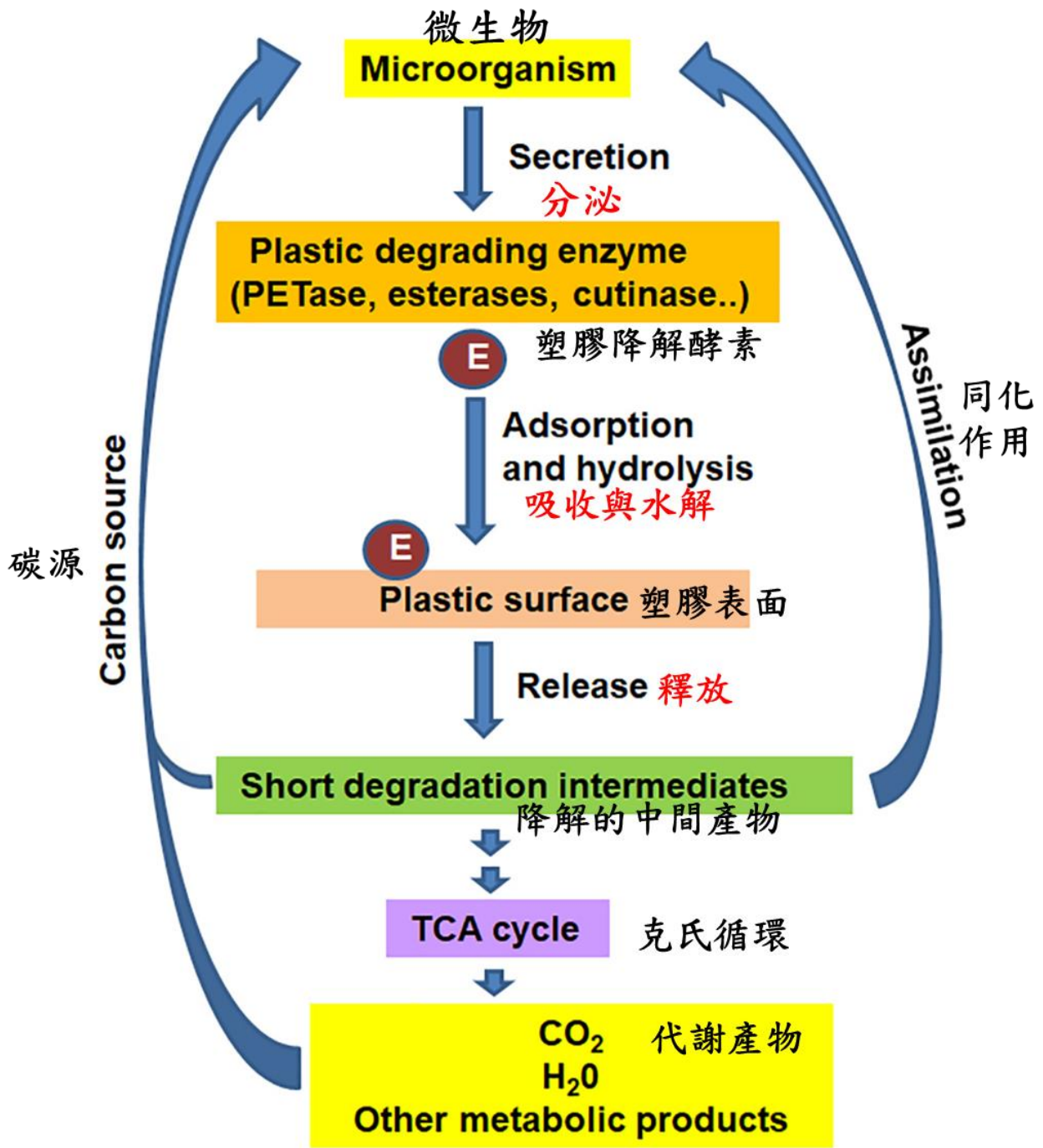
Abstract

The problem of plastic pollution is becoming increasingly serious, and biodegradation is a relatively environmentally friendly solution. *Purpureocillium lilacinum* is endoparasitic fungus. Previous studies have found that its BA1S strain has the ability to degrade PBAT (Polybutylene Adipate Terephthalate) plastic. The purpose of this study was to screen additives that can improve the ability of *P. lilacinum* BA1S to degrade PBAT. A plastic sheet with a thickness of 30 μ m was placed in a solution containing BA1S and various additives for a biodegradation test. Samples were taken every 7 days or 14 days, and the degradation percentage of the plastic was calculated based on the remaining weight of the plastic sheet. Experimental results show that the treatment group with Cu²⁺ ions has the best degradation effect in alkaline environment (pH 7.5). It is speculated that the additive can act as an inducer of laccase and promote the oxidation and degradation effect of BA1S. The treatment group adding Rifampicin can also significantly increase the degradation rate, presumably because this substance promotes cytochrome p450 monooxygenase activity. The results of this research can not only be used to degrade PBAT agricultural film, but also solve the problem of pathogenic nematode damage in the field.

壹、前言

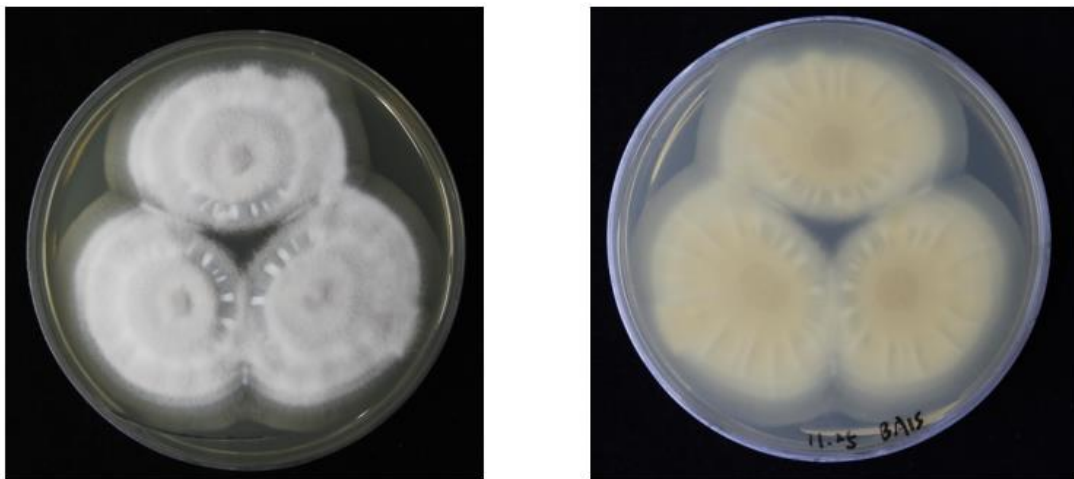
塑膠汙染是困擾全球多年的環境問題，每年會有近五百萬到一千三百萬噸的塑膠成為垃圾被排放到海洋中，被海洋生物攝入，造成生物死亡，並進入食物鏈，危害上游生物 (Srikanth, *et al.*, 2022)。常見的塑膠包括 Nylon、PET(polyethylene terephthalate)、PE(polyethylene)、PTFE(polytetrafluoroethylene)...等，因為其自然降解速度極為緩慢，因此會一直堆積在環境中(Srikanth, *et al.*, 2022)。使塑膠被降解的方法途徑有光降解、熱氧降解、生物降解...等(Srikanth, *et al.*, 2022)。光降解(photodegradation)是指塑膠持續暴露在紫外光下，因氧化而裂解；而熱氧降解(thermo-oxidative degradation)則是暴露在高溫環境下或是經熱處理，但是這會導致塑膠燃燒而產生有毒物質，如戴奧辛(Srikanth, *et al.*, 2022)。有別於前面兩種，生物降解(biodegradation)被認為是對環境較為友善的降解方式(Srikanth, *et al.*, 2022)。塑膠的生物降解指的是微生物附著在塑膠表面生長，在特定環境因子的影響下(如 pH 值)會以塑膠做為碳源(Srikanth, *et al.*, 2022)。Khan 等人發現 *Penicillium citrinum* 能夠降解像 LDPE (low density polyethylene) 這樣難降解的塑膠 (Khan, *et al.*, 2022)。近年來，各國積極推動使用生物可降解塑膠，例如常見的 PLA、PBAT、PBS...等。這些塑膠依原料分成兩大類，包括以生質材料製成的塑膠，以及由石油副產品化學合成的塑膠。它們在適當條件下可被微生物降解成水、二氧化碳或甲烷(“生物可降解塑膠”, Wikipedia)。

塑料薄膜(Plastic films)在當前農業活動中被廣泛使用，但多數使用後的農膜被丟棄並掩埋在土地中，對環境產生不利影響，這些農膜中最常使用的為聚丁二酸己二酸丁二醇酯 (PBSA)，PBSA 是一種可生物降解的聚合物，具有良好的延展性，可用於包裝和地膜覆蓋 (Chien, *et al.*, 2022)。PBAT 的中文稱為聚己二酸對苯二甲酸丁二醇酯(Polybutylene Adipate Terephthalate)是 1,4-丁二醇(BDO)、對苯二甲酸(PTA)與己二酸(AA)的無規共聚物(“Polybutylene Adipate Terephthalate”, Wikipedia)。得益於不規則結構，它具有高延展性和韌性，常被用於製作塑膠袋、包裝材和農用地膜。目前的生物可降解農膜在田間經自然降解約需一年以上的時間，且無法控制或是預測其降解程度。曾有學者首此發現 *Aspergillus fumigatus* L30 和 *Aspergillus terreus* HC 兩株真菌菌株，可降解 PBSA (Chien, *et al.*, 2022)。除了此兩真菌菌株外，是否還有其他菌株可降解 PBSA，在這些可降解 PBSA 的菌株中，可否找到同時具環境友善，且能防治作物病蟲害的菌株，這樣的菌株具有較高的應用價值。因此，持續開發可對應作物栽培時間長短需求之「可調控的塑膠農膜降解技術」成為研發重點，利用微生物降解塑膠的流程如圖一。

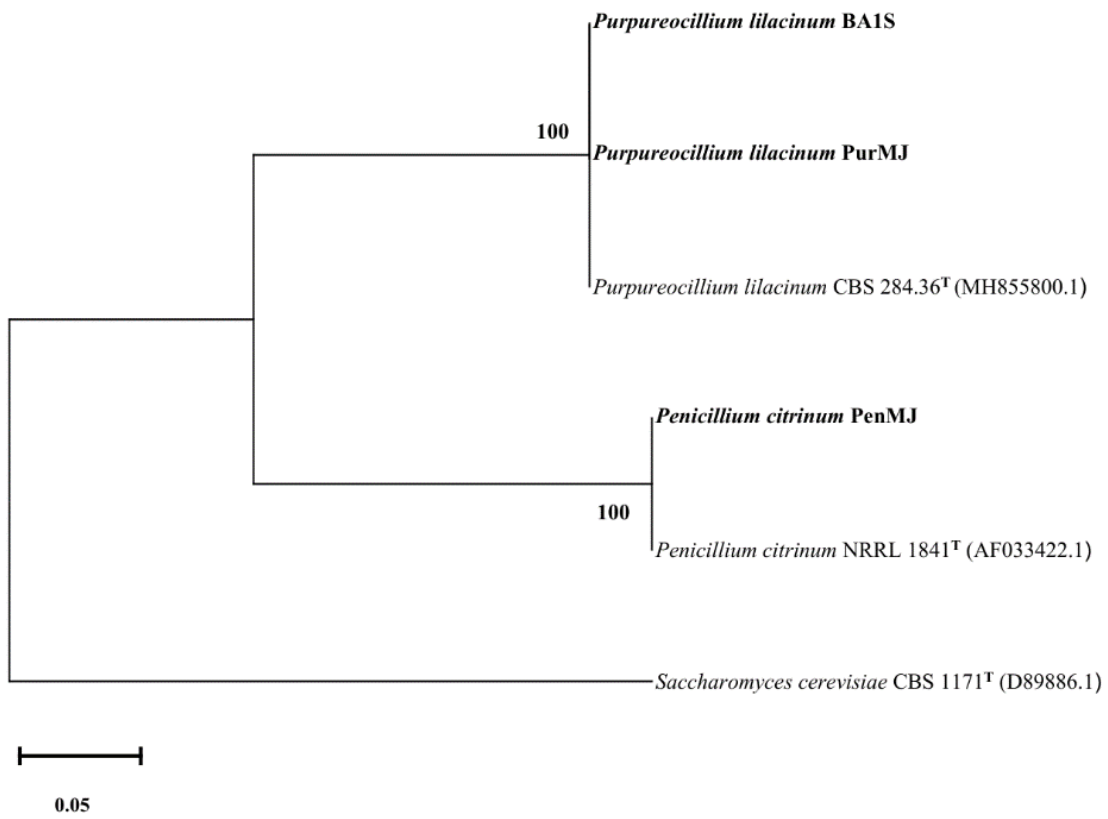


圖一、透過微生物降解塑膠的機制示意圖(Mohanan, et al., 2020)。

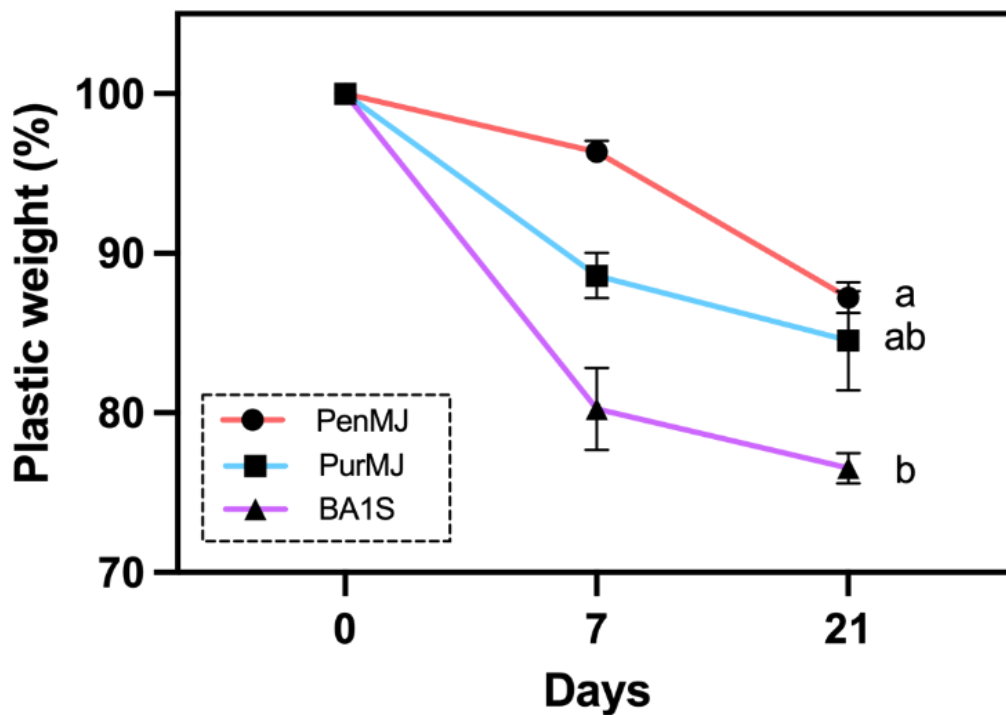
實驗室先前研究發現，淡紫擬青黴菌(*Purpureocillium lilacinum*)BA1S 菌株(圖二)也具有降解 PBAT 塑膠的能力(Tseng, 2022)。淡紫擬青黴菌屬內寄生性真菌，目前已實際應用在病原線蟲的生物防治。其菌絲攀附在線蟲卵的表面上並形成附著器，進而穿透卵殼、殺死線蟲，可減輕多種作物根結線蟲、胞囊線蟲、莖線蟲等植物線蟲病的危害。除了 BA1S 菌株外，在前期試驗我們也篩選到同為淡紫青黴菌的 PurMJ 菌株以及 *Penicillium citrinum* PenMJ 菌株。依分子鑑定親緣關係分析(註：選取 rRNA 的 ITS1 到 ITS2 間的序列，以 ClustalW 進行序列比對，用 MEGA11 繪製了親緣關係樹)(圖三)，確定了 *Purpureocillium lilacinum* 與同樣有塑膠降解能力的 *Penicillium citrinum* 具有較近的親緣關係。降解 PBAT 塑膠的能力，如圖四所示，BA1S 在降解 PBAT 的能力優於另外兩株，因此本研究將以 BA1S 為對象探索能提升其降解 PBAT 能力的添加物。



圖二、*Purpureocillium lilacinum* BA1S 在培養皿上的生長外觀(Tseng, 2022)。



圖三、親緣關係樹。選取 rRNA 的 ITS1 至 ITS2 間的序列，以 ClustalW 進行比對 (Tseng, 2022)。



圖四、不同菌株的 PBAT 降解能力(Tseng, 2022)。

除了找尋具降解 PBAT 能力的菌株外，若能以輔以其他添加劑而提升降解效率，可更加提升其應用價值。我們思考：若欲提升 BA1S 降解力最直接的方法就是促進真菌細胞的生長，因為 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 能夠透過促進細胞骨架生長來促進菌的生長 (Retegi-Carrión, *et al.*, 2022)，且在生物降解過程中，真菌會分泌胞外酵素，如 cutinase、protease、lipase、esterase、laccase，以及一些 pro-oxidant ions 來降解塑膠，因此我想尋找能夠促進這些酵素的添加物來提升真菌降解塑膠的能力。酵素藉由氧化或水解高分子聚合物提高其親水性，並持續的降解成小分子 (Srikanth, *et al.*, 2022)。而微量的金屬離子如 Co、 Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Ni^{2+} 會顯著提升氧化降解的速率 (Gorghiu, *et al.*, 2004)。最終聚合物會斷裂成單體以通過細胞膜。有研究顯示 (Santo, *et al.*, 2012)，未氧化的聚合物，明顯比氧化的聚合物不易被降解，因此 laccase 等氧化酶在此階段扮演了重要角色。Laccase 是廣泛存在於植物、真菌、細菌中的多銅氧化酶。它能促進孢子形成、色素產生、根瘤形成、木質素降解...等，也能氧化聚乙烯的碳骨架。而銅的添加物可提升 laccase 活性。另外，protease 能夠水解 PLA，且 Gelatin 能夠誘導 protease 和其他 PLA 降解酶的產生，並提高 PLA 的降解 (Bubpachat, *et al.*, 2018)。進入真菌細胞後的塑膠小分子會再經歷兩個階段的代謝生成乙醯輔酶 A (acetyl-CoA)，進入 TCA 循環。第一階段的酵素包含 cytochrome p450 (CYP)、flavin containing monooxygenase、epoxide hydrolase、monoamine oxidase ... 等。CYP 具單加氧酶功能，廣泛存在於生物界，在哺乳動物體內能氧化類固醇、脂肪酸和 Xenobiotic，而他是涉及藥物代謝與生物激活作用的主要酶類。根據文獻 (Wooten, 2015)，CYP inducer 包括 Barbiturates、St. John's Wort、Rifampicin、Phenytoin... 等。Rifampicin 的中文名稱為立放黴素，為一種廣效性抗生素，具有提升 CYP 活性的效果。除了添加酵素促進物以外，我們期望透過添加界面活性劑來提升塑膠的親水性。Tween 80 ($\text{C}_{64}\text{H}_{124}\text{O}_{26}$) 是一種被廣泛運用的非離子型界面活性劑，對微生物毒性較低。塑膠的疏水性會阻礙微生物的形成，間接影響塑膠本身的降解。而 Tween 80 除了具有界面活性劑功能，也能夠作為碳源，促進微生物定植 (Cheng, *et al.*, 2022)。因此，我也將評估添加 Tween 80 提升 BA1S 的降解力。

基於以上原因，本研究之研究目的如下：

- 一、探討金屬離子對 BA1S 降解 PBAT 能力的影響
- 二、探討 pH 值對 BA1S 降解 PBAT 能力的影響
- 三、比較 Gelatine、Tween 80、Rifampicin 對 BA1S 降解 PBAT 能力的影響

貳、研究方法或過程

一、實驗材料

淡紫青黴菌 BA1S 菌株、PBAT 塑膠(分子量 Mn : 7732 g/mol、Mw : 58919 g/mol、BA 和 BT 組成的莫耳數比 : 0.52 : 0.48)、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 CuSO_4 、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 KH_2PO_4 、 K_2HPO_4 、 NH_4NO_3 、 NaCl 、gelatin、Tween 80、Rifampicin、 ddH_2O 、 HCl 、 NaOH

二、實驗器材

pipette、ependorf、錐形瓶、塞子、離心機、培養皿、laminar flow、vortex genie、微量電子秤、恆溫培養箱、高溫高壓滅菌釜

三、Basal Medium 配製(1L)

秤量 K_2HPO_4 0.7g、 K_2HPO_4 0.7g、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.7g、 NH_4NO_3 1g、 NaCl 0.005g、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.002g、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.002g、 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.001g、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.001g、 CuSO_4 0.001g，加入水配置成 1L 的溶液，並以此配方作為對照組。每個錐形瓶中加入 100ml 的溶液。

(一)、金屬離子組

1. Mg^{2+} : $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 濃度改為 10mM=0.24647g/100ml。
2. Ca^{2+} : $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 濃度改為 0.002g/100ml。(滅菌後再加)
3. Mn^{2+} : $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 濃度改為 0.001g/100ml。
4. Fe^{2+} : $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 濃度改為 0.002g/100ml。
5. Zn^{2+} : $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 濃度改為 0.002g/100ml。
6. Cu^{2+} : CuSO_4 濃度改為 0.4mM=0.00638g/100ml。

(二)、不同 pH 值組

以 HCl 和 NaOH 將原溶液調配成 pH 5.5 或 7.5，分成三組：

1. pH 5.5
2. pH 7.5
3. pH 7.5+ Cu^{2+} : CuSO_4 濃度為 0.4mM=0.00638g/100ml。

(三)、其他添加物

1. Gelatin : 濃度為 0.1g/100ml 。
2. Tween 80 : 濃度為 0.5g/100ml 。
3. Rifampicin : 濃度為 50 μ g/ml (滅菌後再加) 。

四、加入 PBAT 塑膠片

將厚度約 15 μ m 的的 PBAT 膜剪成 2.5x5cm²的大小，在 Laminar flow 裡用 ddH₂O 將塑膠片清洗兩次，每個錐形瓶裡加入 10 片，塞上矽膠塞。

五、滅菌

在高溫高壓滅菌釜滅菌一個小時，溫度 121 $^{\circ}$ C 以上

六、加入 BA1S 孢子液

在每個錐形瓶內加入 100 μ l 濃度為 2*10⁸個/ml 的 BA1S 孢子液，塞上矽膠塞。

七、將錐形瓶放入 30 $^{\circ}$ C 恆溫培養箱

放入 30 $^{\circ}$ C 恆溫培養箱時起為第 0 天，金屬離子組在第 14 天、第 28 天時進行採樣，不同 pH 值組和其他添加物組則在第 7 天、第 14 天、第 28 天時進行採樣。

八、計算 PBAT 的降解百分比及剩餘重量百分比

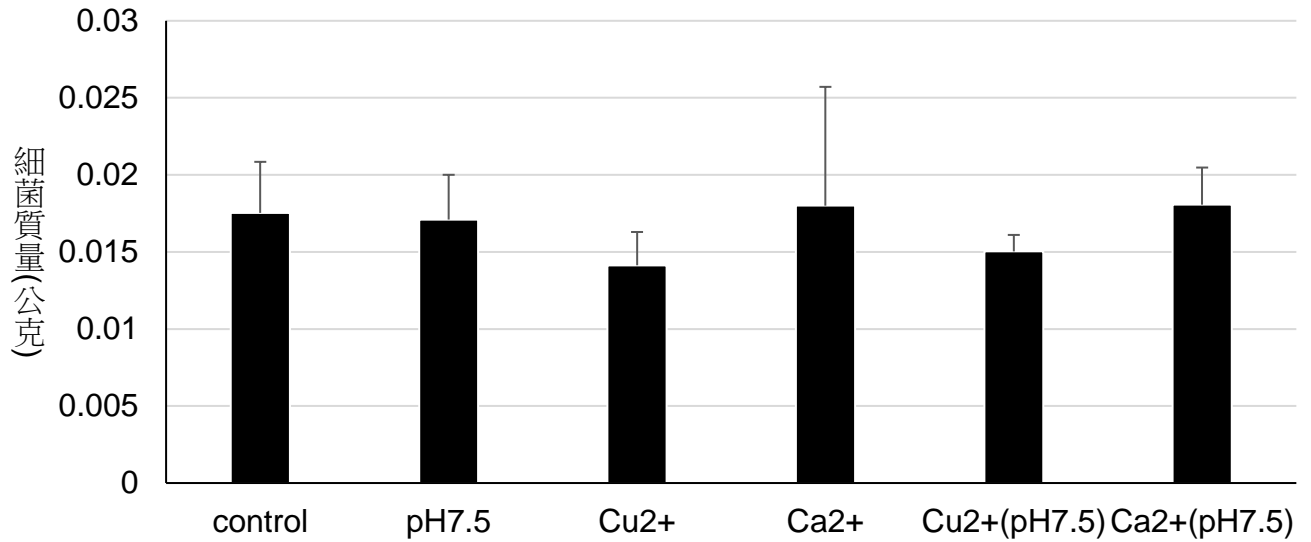
採樣時一次取出 3 片 PBAT 片，去除附著在上面的菌絲、清洗乾淨後，秤量其乾重。並計算降解百分比(%)=[(原重-末重)/原重]*100%，以及剩餘重量百分比(%)=(末重/原重)*100%，最終結果取 3 次的平均。

九、統計分析

以 student t-test 同時對兩個處理組進行比較，如果測試出來的 p 值<0.05，表示結果具統計上的顯著差異。

參、研究結果與討論

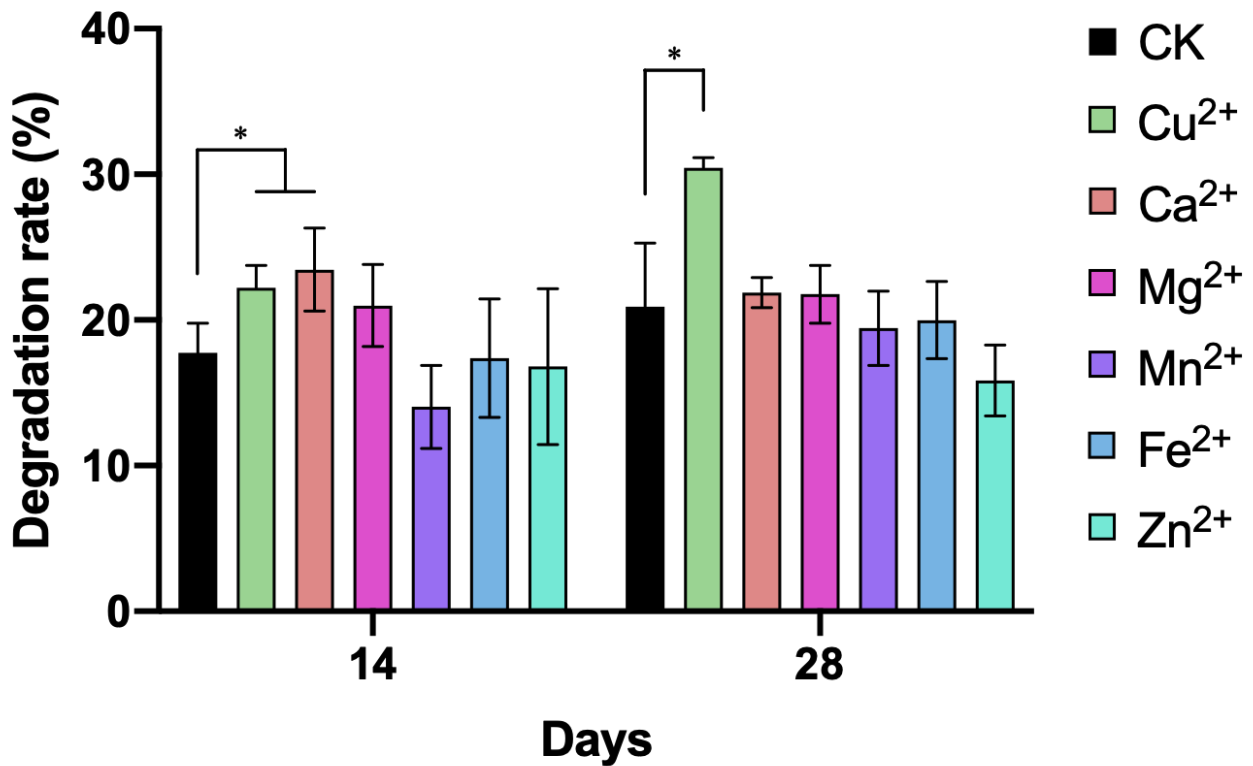
為驗證添加劑是否會影響菌株的正常生長，我們測試 pH 因子與添加物在沒有塑膠的中液態培養基中(6 ml)，三日後對菌株生長的效應。結果發現沒調整 pH 值(PH 約為 6.6)、調整 pH 值至 7.5 與添加 Cu^{2+} 、 Ca^{2+} 等處理，皆不影響菌株的生長情形(圖五)。



圖五、pH 因子與添加物對菌株生長情形的效應(各組取樣數皆為 3)，各組間未達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定)。

一、金屬離子對 BA1S 降解 PBAT 能力的影響

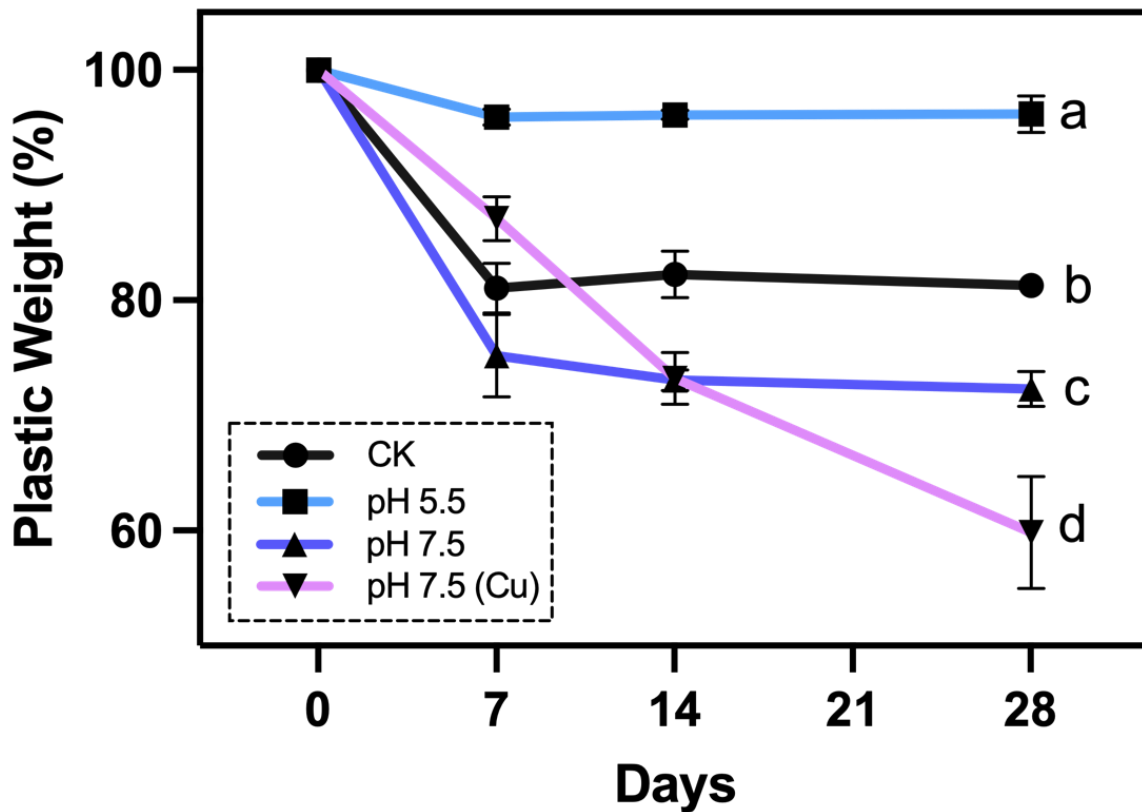
由圖六得知 Cu^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 皆能提升 PBAT 的降解率，而 Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 反而有抑制的效果。 Mg^{2+} 雖然在兩個天數皆有提升，但並無顯著差異。 Ca^{2+} 在第 14 天的降解率最高，然而到了第 28 天卻降低。 Cu^{2+} 則是在第 14 天時略低於 Ca^{2+} ，到了第 28 天有明顯的提升。相較於 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} ， Cu^{2+} 能夠提升後期的降解率。



圖六、不同金屬離子對 PBAT 降解率的影響，以 student t test 進行統計分析，*號代表組間有顯著差異(p 值<0.05)。

二、不同 pH 值對 BA1S 降解 PBAT 能力的影響

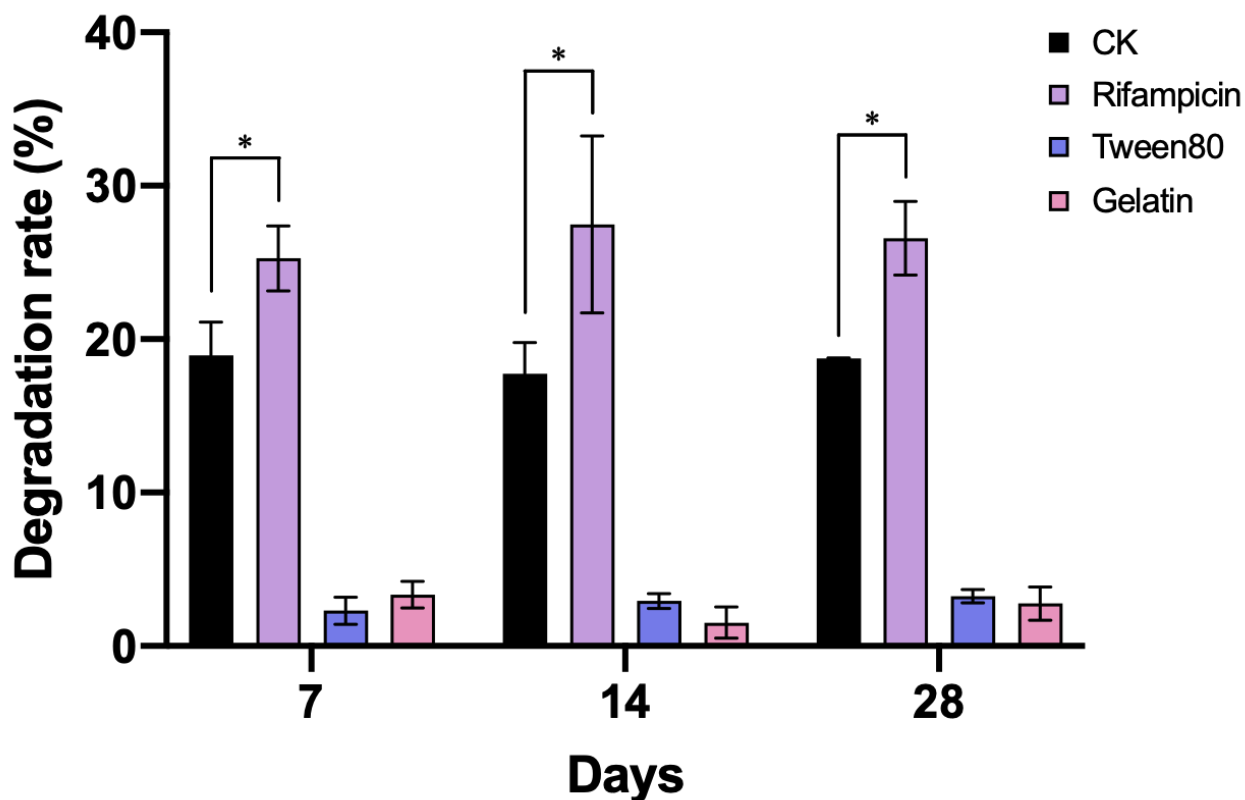
由圖七知，在 pH 7.5 的鹼性環境下能夠提升 BA1S 的降解力。然而 CK(對照組)、pH 5.5、pH 7.5 在第 7 天以後，塑膠的重量皆無明顯下降。說明酸鹼環境能夠影響最一開始的降解速率。不過，額外添加了 Cu^{2+} 的 pH 7.5 組，雖然在第 7 天時塑膠的重量較 pH 7.5 及 CK 高，但是在第 14 天以後重量低於未添加 Cu^{2+} 的 pH 7.5 組，且持續下降，說明 Cu^{2+} 能夠解決降解停滯的問題。



圖七、不同 pH 值，以及額外添加 Cu^{2+} 對塑膠重量的影響

三、其他添加物對 BA1S 降解 PBAT 能力的影響

由圖八可以發現，抗生素 Rifampicin 在所有天數皆能顯著提升 PBAT 降解率，但在第 28 天時的降解率依舊低於 Cu^{2+} (圖六)。而 Tween 80 和 Gelatin 反而會大幅抑制降解。



圖八、Rifampicin、Tween 80、Gelatine 對 PBAT 降解率的影響，以 student T test 進行統計分析，*號代表組間有顯著差異(p 值 < 0.05)。

四、討論：為何在 pH 7.5 的環境下添加 Cu^{2+} 在一開始降解率會比原本低？

當環境中含有 Cu^{2+} 時，會經由對銅有高親和力的轉運蛋白 **Ctr** 進入細胞內。當銅過量時， Cu^+ 會與 copper-responsive 轉錄因子結合，使 **MTs**(metallothioneins) 的基因表現。**MTs** 是一群富含半胱氨酸(**Cys**)且能與金屬結合的蛋白，它能與多個 Cu^{2+} 結合，作為一個清除銅的對策。而高含量的銅也會產生 **ROS**(reactive oxygen species)，真菌會分泌 **laccase** 會在細胞表面上產生黑色素保護膜，能夠吸收和中和細胞外的 **ROS**(Smith et al., 2017)。推測由於還原態的 **laccase** 無法氧化 **PBAT**，或是 **ROS** 直接影響菌的生長，導致一開始的降解率較低，還需後續實驗證實。

五、討論：添加 Cu^{2+} 在土壤中是否會額外造成重金屬污染？

土壤中原本就存在砷、汞、鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅...等重金屬。若要將淡紫青黴菌用到實際農地中來降解農膜的話，不必再添加銅。

六、討論：添加 **Tween 80** 和 **Gelatin** 為何使得 **PBAT** 降解率變得非常低？

雖然 **Tween 80** 可提供 **BA1S** 碳源來促進真菌生長，但同時也使得 **BA1S** 減少以 **PBAT** 作為碳源的需求，而去降解 **Tween 80**。**Gelatin** 可以誘導 **protease** 的分泌，因為 **Gelatin** 本身可被 **protease** 降解。所以 **BA1S** 不去降解 **PBAT**，而去降解 **Gelatin**。

七、討論：若將淡紫青黴菌施用在農地，是否會對作物造成危害？

淡紫青黴菌可促進多種作物生長(Baron, et al., 2020)，且可減輕南方根結線蟲在番茄的蟲害問題(Isaac et al., 2021)，而番茄生長過程中需要使用農膜，因此淡紫青黴菌在降解農膜的同時，也可以帶來其他的幫助。

肆、結論與應用

- 一、金屬離子中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cu^{2+} 皆能提升 BA1S 降解 PBAT 的能力，其中以 Cu^{2+} 的效果最好。
- 二、在鹼性環境下能夠提升 PBAT 前期的降解率，而加入 Cu^{2+} 後，會使一開始的降解較緩慢，但能使降解持續下去，並在最後有最高的降解率。
- 三、作為 CYP 誘導物的 Rifampicin 能夠顯著提升 BA1S 降解 PBAT 的能力，而作為碳源的添加物，會使 BA1S1 不去降解 PBAT，而使降解率降低。

伍、參考文獻

- Baron, N. C., de Souza Pollo, A., & Rigobelo, E. C. (2020). *Purpureocillium lilacinum* and *Metarhizium marquandii* as plant growth-promoting fungi. *PeerJ*, 8, e9005.
- Bubpachat, Tiparporn & Sombatsompop, N. & Prapagdee, Benjaphorn. (2018). Isolation and role of polylactic acid-degrading bacteria on degrading enzymes productions and PLA biodegradability at mesophilic conditions. *Polymer Degradation and Stability*. 152.
- Cheng, Y., Chen, J., Bao, M., Zhao, L., & Li, Y. (2022). The proliferation and colonization of functional bacteria on amorphous polyethylene terephthalate: Key role of ultraviolet irradiation and nonionic surfactant polysorbate 80 addition. *Chemosphere*, 291(Pt 2), 132940.
- Chien, H. L., Tsai, Y. T., Tseng, W. S., Wu, J. A., Kuo, S. L., Chang, S. L., Huang, S. J., & Liu, C. T. (2022). Biodegradation of PBSA Films by Elite *Aspergillus* Isolates and Farmland Soil. *Polymers*, 14(7), 1320.
- Gorghiu, Laura & Jipa, S. & Zaharescu, Traian & Setnescu, Radu & Mihalcea, I.. (2004). The effect of metals on thermal degradation of polyethylenes. *Polymer Degradation and Stability - POLYM DEGRAD STABIL*. 84. 7-11.
- Isaac, G. S., El-Deriny, M. M., & Taha, R. G. (2021). Efficacy of *Purpureocillium lilacinum* AUMC 10149 as biocontrol agent against root-knot nematode *Meloidogyne incognita* infecting tomato plant. *Brazilian journal of biology = Revista brasleira de biologia*, 84, e253451.
- Khan, S., Ali, S. A., & Ali, A. S. (2022). Biodegradation of low density polyethylene (LDPE) by mesophilic fungus '*Penicillium citrinum*' isolated from soils of plastic waste dump yard, Bhopal, India. *Environmental technology*, 1–15.
- Mohanan, N., Montazer, Z., Sharma, P. K., & Levin, D. B. (2020). Microbial and Enzymatic Degradation of Synthetic Plastics. *Front Microbiol*. 11, 580709.
- Polybutylene adipate terephthalate. In *Wikipedia*
- Retegi-Carrión, S., Ferrandez-Montero, A., Eguiluz, A., Ferrari, B., & Abarrategi, A. (2022). The Effect of Ca²⁺ and Mg²⁺ Ions Loaded at Degradable PLA Membranes on the Proliferation and Osteoinduction of MSCs. *Polymers*, 14(12), 2422.
- Santo, Miriam & Weitsman, Ronen & Sivan, Alex. (2013). The role of the copper-binding enzyme – laccase – in the biodegradation of polyethylene by the actinomycete *Rhodococcus ruber*. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 84. 204-210.

- Smith, A. D., Logeman, B. L., & Thiele, D. J. (2017). Copper Acquisition and Utilization in Fungi. *Annual review of microbiology*, 71, 597–623.
- Srikanth, M., Sandeep, T.S.R.S., Sucharitha, K. *et al.* Biodegradation of plastic polymers by fungi: a brief review. *Bioresour. Bioprocess.* **9**, 42 (2022).
- Tseng, W. S. (2022). Characterization of PBAT biodegradation by *Purpureocillium lilacinum* strain BA1S. National Taiwan University Master's Thesis. Taipei. (advisor : Chi-Te Liu).
- Wooten J. M. (2015). Rules for improving pharmacotherapy in older adult patients: part 2 (rules 6-10). *Southern medical journal*, 108(3), 145–150.
- 生物可降解塑膠。 In *Wikipedia*

【評語】 070004

前人研究發現內寄生性真菌淡紫青黴菌(*Purpureocillium lilacinum*)的 BA1S 菌株具有降解 PBAT(polybutylene adipate terephthalate)塑膠的能力。本研究目的在篩選能夠提升 *P. lilacinum* BA1S 降解 PBAT 能力的添加物，因此具有實用性。

然而作者在選擇添加物時應注意考量科學相關性，並對添加物進行劑量影響分析。