

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

040206

PET 與 PLA 共混材料之降解研究

學校名稱：國立臺中第一高級中學

作者： 高二 蔡億穎 高二 謝楷立	指導老師： 陳孟宏 劉嘉慶
-------------------------	---------------------

關鍵詞：PET、PLA、降解

摘要

目前從石油製造而來的傳統塑膠具有極難被分解的特性，而廢棄塑膠對環境及回收處理過程會造成許多汙染，已成為一項不容忽視的問題。實驗中利用日常生活中難以分解且極為氾濫的寶特瓶原料，聚對苯二甲酸乙二醇 ploy ethylene terephthalate (PET)，摻入具有生物可分解特性的材料聚乳酸 poly lactic acid (PLA)。在固定 PET 之含量下，以不同比例之 PLA 進行共混後，製作成膜，以豬胰腺脂肪酵素 Lipase from porcine pancreas, Type II (PPL) 進行降解。

本實驗共分兩階段：第一階段實驗中，將共溶劑揮發製膜進行降解，但由於溶劑法所留下的孔洞，影響了降解速率；因此，在第二階段實驗中，改以熱壓的方式製膜解決孔洞問題，並進行降解。

結果發現：將 PLA 與 PET 混合後，確實可利用生分解材料 PLA 可被分解的特性牽引傳統塑膠材料 PET 進行分解，進而大幅度地減短 PET 分解所需的時間，而當 PET 與 PLA 皆為 3% 時降解情況最佳。

壹、研究動機

隨著石化工業的蓬勃發展，各式各樣的塑膠製品已在我們的生活中占有不可或缺的一席之地，舉凡食、衣、住、行無不充斥著塑膠製品的身影，使我們的生活更加便利。然而，量滿為患的廢棄塑膠這股「白色污染」，已讓孕育我們的地球無法負荷。

目前從石油提煉而來的塑膠具有極難被分解的特性，而廢棄塑膠的處理方式大多以掩埋或焚燒為主。以掩埋處理，不易被微生物所分解，千年不腐；以焚化處理又會產生戴奧辛(Dioxins)等有毒氣體危害環境，此兩種方式皆會產生新的污染，使得問題日益嚴重。若想以回收的方式處理，但既有的高分子材料本身因材質種類繁多，難以標示、分類。同時，高分子材料無法像玻璃或金屬材質等，回收後其性質仍和原材質相似，每經過一次再處理，其物理性質和機械性質都會降低，且處理過程也相當耗費能源。

為了解決這個問題，經使用丟棄後，在適當的條件下，可被微生物於合理時間內完全分解，回歸於自然界的poly lactic acid (PLA)、poly lactide- co - glycolide(PLGA)、poly glycolide(PGA)、poly beta- hydroxybutyrate (PHB)等生物可分解材料因應而生，並成為當前研究的熱門焦點。但是，原先已被製造出來難以分解的塑膠材料所造成的問題依然存在。

然而，既有的高分子材料並非完全無法分解，只是降解時間需要很長，根據此性質，我們想：是否可以在既有的塑膠材料中摻入生物可分解材料，利用生物可分解材料可完全被降解的特性，在適當的條件下，牽引既有塑膠材料的分解。

實驗選用的塑膠材料是目前在生活中大量應用且隨處可見的聚對苯二甲酸乙二醇 ploy ethylene terephthalate (PET)。由於生物可分解材料還屬於開發中的階段，因而選擇目前技術較為成熟，且應用較為廣泛，從玉米中提煉而來的乳酸聚合物—聚乳酸 poly lactic acid(PLA)。

貳、研究目的

- (一)探討 PLA 是否可以牽引 PET 進行降解。
- (二)找出 PET/PLA 的最適降解比例。

參、研究設備及器材

一、藥品

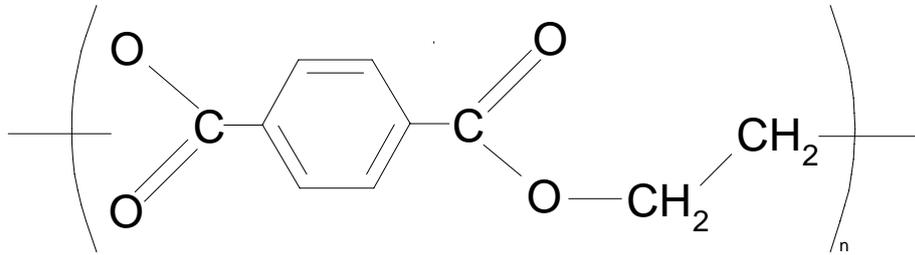
藥品	分子量	廠牌	純度
poy ethylene terephthalate(PET)		遠東工業股份有限公司	
Poly Lactic Acid (PLA)	M _w : 157087	偉盟工業股份有限公司	
Phenol	94.11 g/mol	Riedel-de Haen	99.50%
trichloromethane(CHCl ₃)	125.50 g/mol	TEDIA	HPLC 級
Potassium dihydrogenphosphate (KH ₂ PO ₄)	136.09 g/mol	SHOWA	99.00%
Sodium hydroxide (NaOH)	40.00 g/mol	Riedel-de Haen	99.00%
Lipase from porcine pancreas, Type II (PPL)		SIGMA	25.00% protein
Alcohol	46.00 g/mol		95.00%

二、器材：

器材	規格
12 孔盤	
分度吸量管	20ml
磁石攪拌器	
精密天平	小數點下四位
恆溫恆濕振盪培養箱	
真空烘箱	
旋轉塗布機	
TS-1 手提式酸鹼度氧化還原溫度測定儀	小數點下兩位
偏光顯微鏡	
高溫熱壓爐	
掃描式電子顯微鏡 SEM	
示差熱分析儀 DSC	

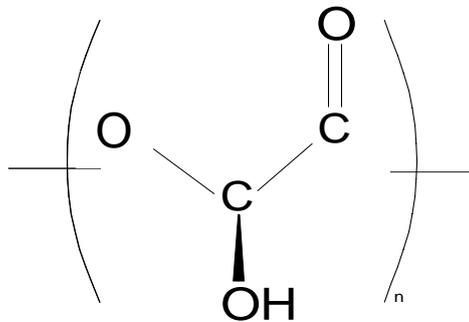
三、試料介紹：

(一)聚對苯二甲酸乙二醇 ploy ethylene terephthalate(PET)



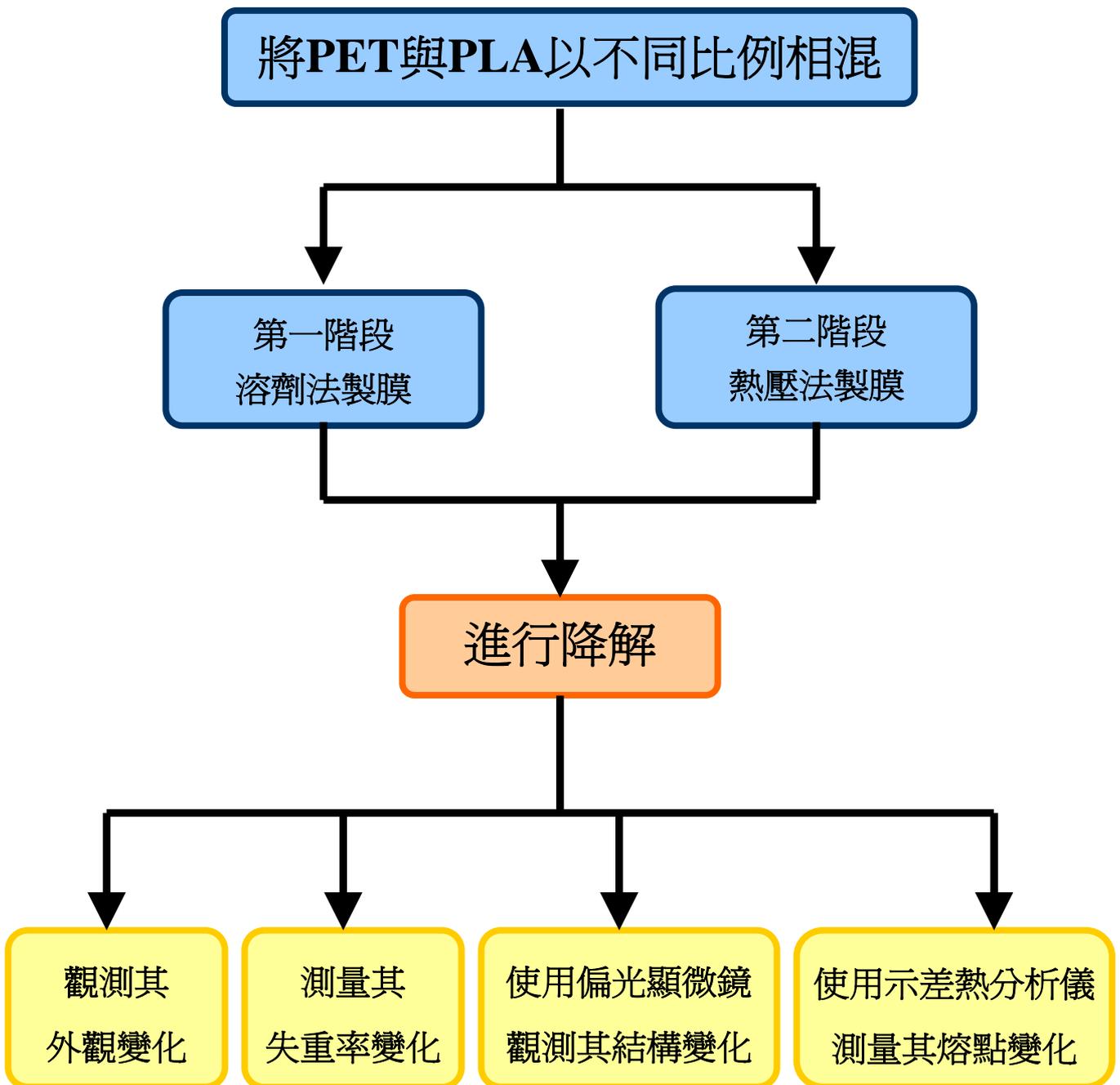
由對苯二甲酸與乙二醇經縮合反應製得，外觀為白色或淡黃色透明固體。密度大約為 1.38 – 1.40 g/cm³，熔點則大約在 255 – 256°C。由於具有韌性佳、質輕、不透氣、耐酸鹼等特點，成為汽水、果汁、碳酸飲料等之常用容器。

(二)聚乳酸 poly lactic acid (PLA)



以澱粉作為原料，醱酵後製得乳酸（lactic acid），經由縮合聚合將乳酸聚合成低分子量之聚乳酸，再利用耦合劑將低分子量聚乳酸接合成具有較良好機械物性的高分子量聚乳酸。目前主要用於藥物傳輸和生醫材料，包括藥物控釋系統及軟組織修復，受到相當程度的重視。

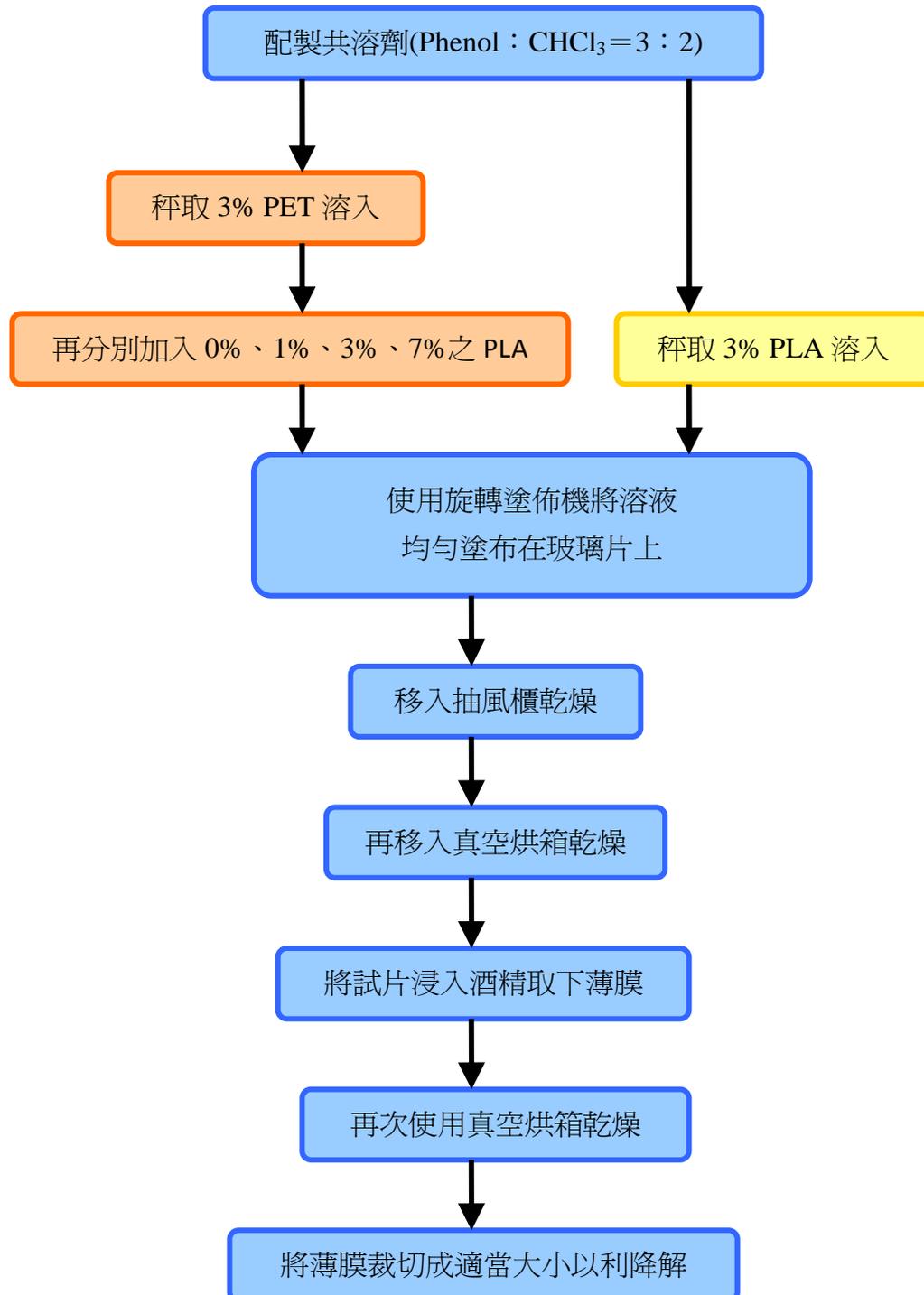
肆、研究過程或方法



第一階段實驗

一、實驗流程

(一)製作樣本：



1. 配置溶液：

以酚和氯仿的混合溶液(重量比為 3 : 2)作為 PET/PLA 的共溶劑，分別配製成五種不同濃度的溶液，如表一所示。

(表一)

	PET 濃度(%)	PLA 濃度(%)
溶液A	3	0
溶液B	3	1
溶液C	3	3
溶液D	3	7
溶液E	0	3

2. 製膜

(1)旋轉塗佈：

每種溶液各取 5 毫升，分成 5 次每次 1 毫升，均勻塗佈在玻璃片上，如表二所示。

(表二)

	轉速(r.p.m)	層數	時間(秒)/每層	量(mL)/每層
試片A	400	5	5	1
試片B	400	5	5	1
試片C	400	5	5	1
試片D	400	5	5	1
試片E	400	5	5	1

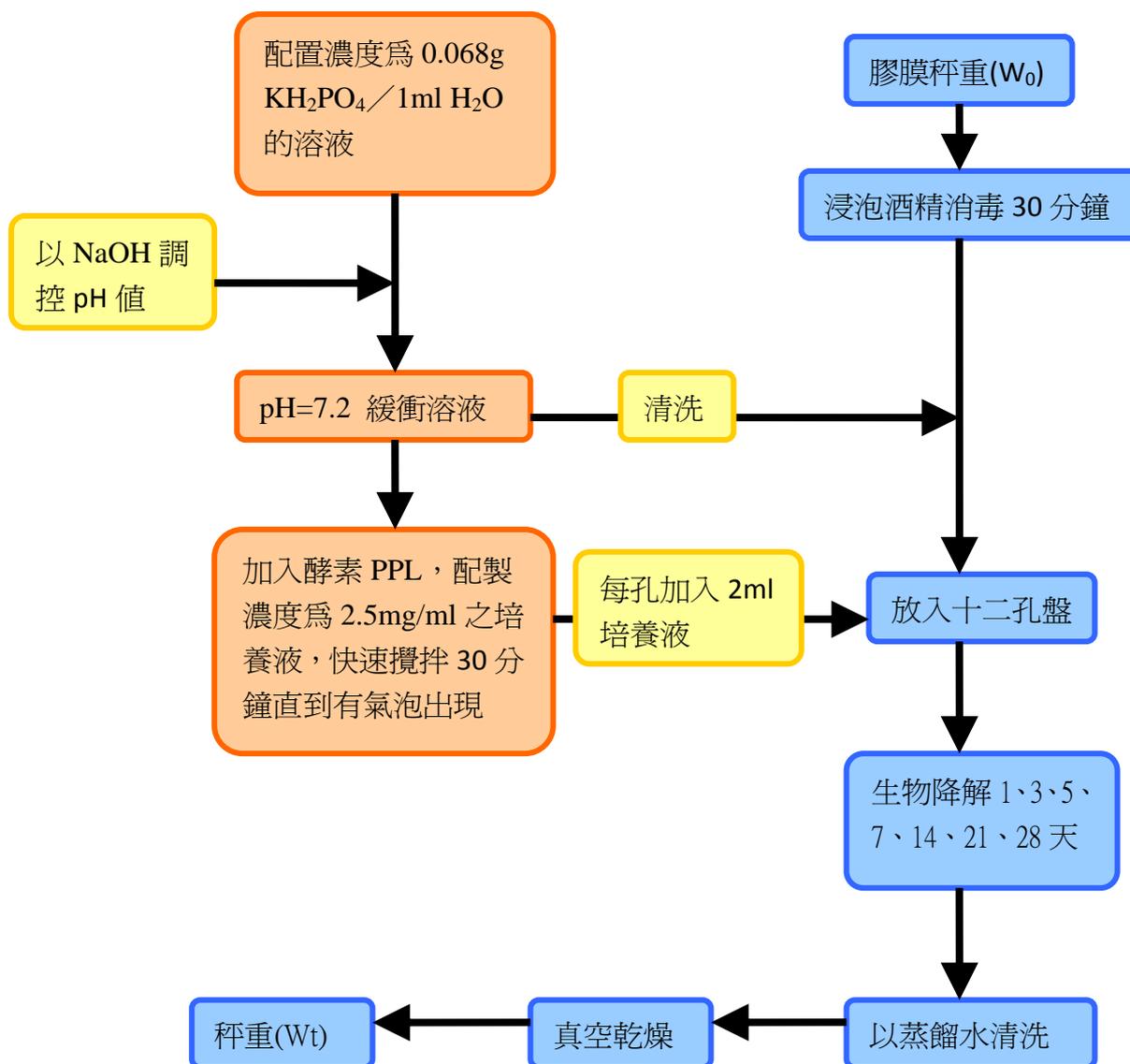
(2)乾燥：

將各試片移入抽風櫃中乾燥，並以鋁箔紙覆蓋以防污染，待溶劑適度揮發後，再將試片移入真空烘箱中完全乾燥。

(3)取膜：

試片完全乾燥之後，將各試片浸入 95%酒精中，使用鑷子將玻璃片上 A~E 之薄膜取下，再將薄膜送入真空烘箱完全乾燥。

3. 降解



(1) 配製緩衝溶液：

- 配製溶液濃度為 0.068g KH₂PO₄ / 1ml H₂O，攪拌溶解。
- 利用 NaOH_(s) 調控溶液 pH 值為 7.2。

(2) 降解：

- 將各薄膜裁切秤重(W₀)放入 12 孔盤，加入 75% 酒精消毒 20 分鐘，再以緩衝溶液充分潤洗三次。
- 以緩衝溶液與酵素 PPL 配製濃度為 2.5mg/ml 之培養液，快速攪拌 30 分鐘直到有氣泡出現。
- 每格加入 2ml 培養液，於 37.5°C、相對溼度 50、轉速 100 r.p.m 的恆溫恆濕槽中進行 1、3、5、7、14、21、28 天的降解反應，並每隔 48 hr 更換一次培養液。

(二)測量：

1. 秤重

(1)完成降解時間後取出薄膜，以去離子水充分清洗，真空乾燥 6 個小時，取出秤重(Wt)。

(2)以失重百分比表示：
$$\frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100\%$$

註：W₀ 為各試片未降解前之重量；W_t 為各試片降解後之重量

2. 儀器分析

以偏光顯微鏡觀察各薄膜降解後的型態。

二、第一階段研究結果

(一)巨觀

1. 計算失重率

將薄膜 A、B、C、D、E 進行 1、3、5、7、14 天的降解，取出完成降解天數的薄膜，充分水洗、烘乾，並秤重計算其失重率，實驗數據如下：

(表三)各試片未降解前之重量

	0%(薄膜 A)	1%(薄膜 B)	3%(薄膜 C)	7%(薄膜 D)	PLA(薄膜 E)
Day 1	0.0022	0.0046	0.0018	0.0071	0.0041
Day 3	0.0023	0.0043	0.0015	0.0072	0.0036
Day 5	0.0029	0.0040	0.0015	0.0077	0.0041
Day 7	0.0026	0.0045	0.0020	0.0073	0.0033
Day 14	0.0020	0.0042	0.0021	0.0080	0.0035

(單位：g)

(表四)各試片降解後之重量

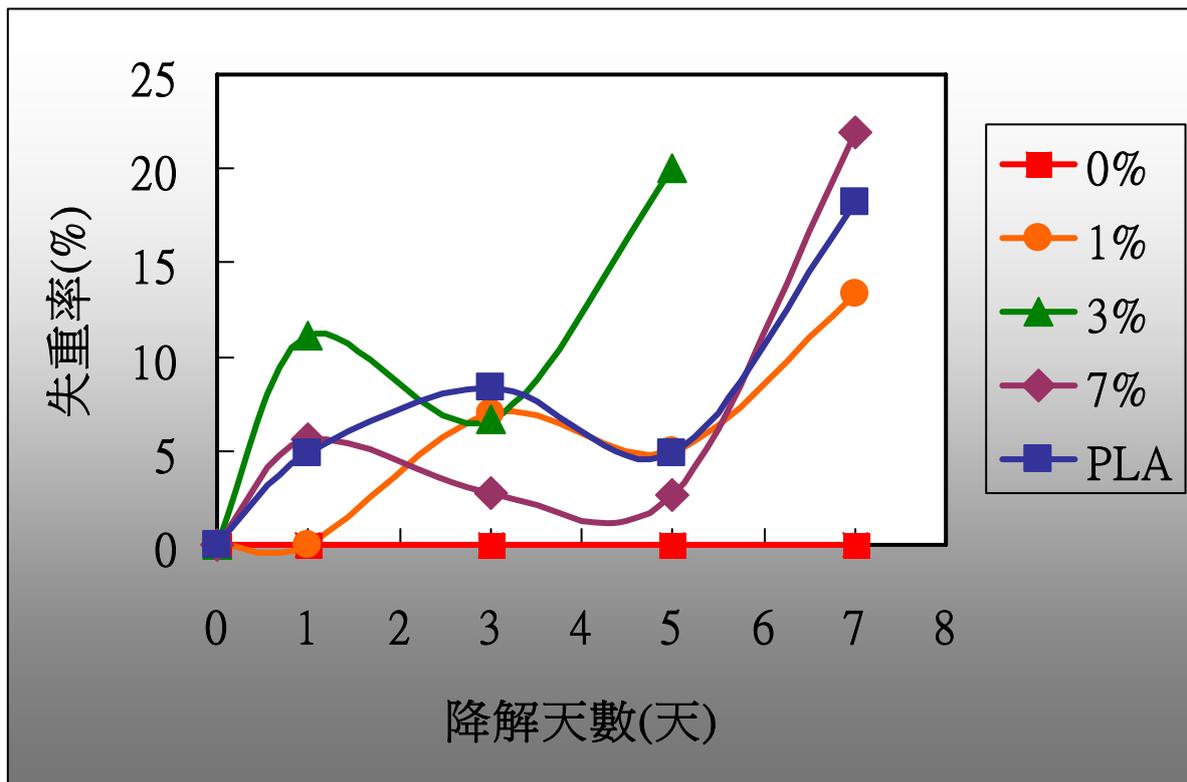
	0%(薄膜 A)	1%(薄膜 B)	3%(薄膜 C)	7%(薄膜 D)	PLA(薄膜 E)
Day 1	0.0022	0.0046	0.0016	0.0067	0.0039
Day 3	0.0023	0.0040	0.0014	0.0070	0.0033
Day 5	0.0029	0.0038	0.0012	0.0075	0.0039
Day 7	0.0026	0.0039	無法測量*	0.0057	0.0027
Day 14	0.0020	0.0038	無法測量*	無法測量*	無法測量*

(單位：g)

* 由於代謝物與薄膜混合無法分離，無法秤重計算失重率

(表五)各薄膜失重率

試片 天數	薄膜 A(%)	薄膜 B (%)	薄膜 C(%)	薄膜 D(%)	薄膜 E(%)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.00	0.00	11.11	5.60	4.88
3	0.00	6.98	6.67	2.78	8.33
5	0.00	5.00	20.00	2.60	4.88
7	0.00	13.33	無法計算	21.92	18.18
14	0.00	9.52	無法計算	無法計算	無法計算

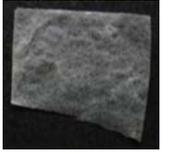
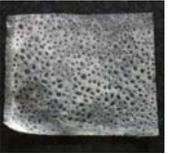
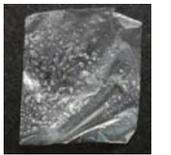


(圖一) 各薄膜失重率折線圖

註：當降解實驗進行至第 14 天時，3%PET 與 3%PLA(薄膜 C)、3%PET 與 7%PLA(薄膜 D)、0%PET 與 3%PLA(薄膜 E)之混合薄膜的失重率過高，且與代謝物混合無法分離，所以無法稱重計算失重率，故折線圖取至第 7 天。

2. 肉眼觀察各薄膜外貌

各薄膜外貌(表六)

	Day 0	Day 1	Day 3	Day 5	Day 7	Day 14
3%PET 0%PLA (試片 A)						
3%PET 1%PLA (試片 B)						
3%PET 3%PLA (試片 C)						
3%PET 7%PLA (試片 D)						
0%PET 3%PLA (試片 E)						

註：降解天數以外薄膜的降解情形

(表七)

	Day 6
3%PET 3%PLA	

(表八)

	Day 6
0%PET 3%PLA	

(表九)

	Day 11	Day 12
3%PET 7%PLA		

3. 實驗結果

- (1) 純 PET(薄膜 A)在降解過程中，外觀沒有變化且失重率為 0。
- (2) 薄膜 B 在外觀上並沒有太大的改變，在降解過程中其重量有逐漸減少的趨勢，降解速率並不快。
- (3) 薄膜 C 在第 5 天時外貌已經開始出現破損，到第 7 天時薄膜變得極小並和代謝物混雜以致於無法秤重計算失重率，從外觀上可以看到黃色的代謝物質。從折線圖中可以發現：薄膜 C 的降解速率一直是最快的。表七為第 6 天之降解情形。
- (4) 薄膜 D 前 10 天外貌無明顯破損，失重率也不高，薄膜從第 11、12 天開始快速破損，並在第 14 天與代謝物混雜無法秤重計算失重率，乾燥後變成粉狀，表九為第 11、12 天之降解情形。
- (5) 純 PLA(薄膜 E)在降解過程中外貌逐漸破損，失重率也逐漸提高，到第 14 天時薄膜與代謝物混雜無法秤重計算失重率。表八為第 6 天之降解情形。
- (6) 實驗初期，降解速率快慢依序：薄膜 C > 薄膜 E > 薄膜 D > 薄膜 B > 薄膜 A
- (7) 實驗末期，降解速率快慢依序：薄膜 C > 薄膜 D > 薄膜 E > 薄膜 B > 薄膜 A

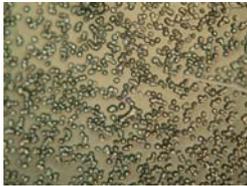
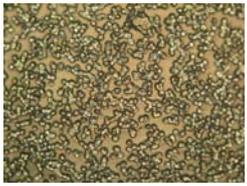
(二)顯微觀察

利用偏光顯微鏡，以 50X 的倍率進行表面觀測。

1. 觀測照片

- (1) 3%PET 與 0%PLA 之混合薄膜(薄膜 A)：

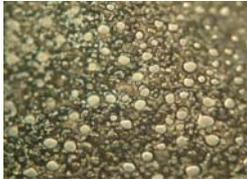
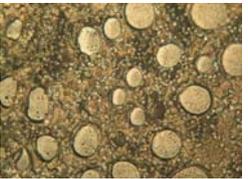
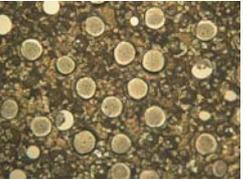
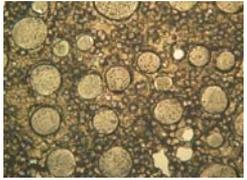
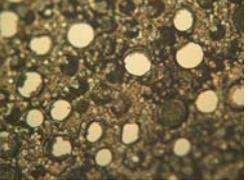
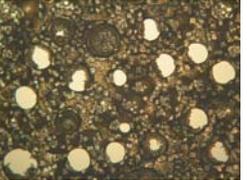
(表十)

天數 薄膜	0	1	3
3%PET 0%PLA (薄膜 A)			
	5	7	14
			

註：圖中之小圓圈為溶劑揮發時在薄膜表面所留下的孔洞

(2) 3%PET 與 1%PLA 之混合薄膜(薄膜 B)：

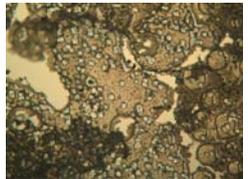
(表十一)

天數 薄膜	0	1	3
3%PET 1%PLA (薄膜 B)			
	5	7	14
			

註：圖中之小圓圈為溶劑揮發時在薄膜表面所留下的孔洞

(3) 3%PET 與 3%PLA 之混合薄膜(薄膜 C)：

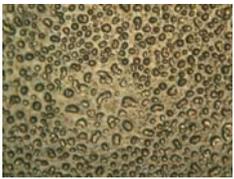
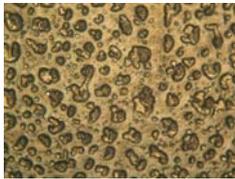
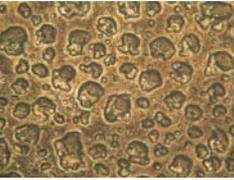
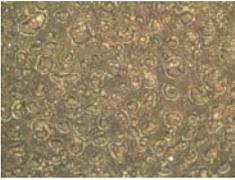
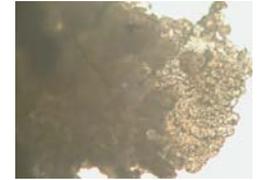
(表十二)

天數 薄膜	0	1	3
3%PET 3%PLA (薄膜 C)			
	5	7	14
			

註：圖中之小圓圈為溶劑揮發時在薄膜表面所留下的孔洞

(4) 3%PET 與 7%PLA 之混合薄膜(薄膜 D)：

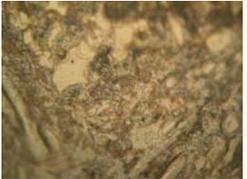
(表十三)

天數 薄膜	0	1	3
3%PET 7%PLA (薄膜 D)			
	5	7	14
			

註：圖中之小圓圈為溶劑揮發時在薄膜表面所留下的孔洞

(5) 0%PET 與 3%PLA 之混合薄膜(薄膜 E)：

(表十四)

天數 薄膜	0	1	3
0%PET 3%PLA (薄膜 E)			
	5	7	14
			

2. 觀察結果

- (1)由於共溶劑沸點差異甚大，使得溶液在揮發過程速率不一而留下孔洞。
- (2)降解進行，酵素易從孔洞周邊開始向外分解，擴大孔洞，造成薄膜的分解。
- (3)部份薄膜上的黑色物質為薄膜被酵素降解後所產生的代謝物殘留所造成。

三、第一階段討論

(一)降解速率討論

1. 3%PET 與 0%PLA 之混合薄膜(薄膜 A)：

在降解過程當中，純 PET 薄膜在外觀上並沒有產生形變，而重量以及計算之失重率亦不變，故可得知在實驗過程中，純 PET 薄膜不會被酵素分解。

2. 3%PET 與 1%PLA 之混合薄膜(薄膜 B)：

在降解過程當中，薄膜在外觀上並沒有產生太大的改變，所秤得的重量逐天減少，而失重率的部份則是漸進式的。

3. 3%PET 與 3%PLA 之混合薄膜(薄膜 C)：

3%的薄膜在實驗中是降解速率最快的，大約在第五天時外觀上已經有明顯的破損，到第 14 天時幾乎完消失，失重率的部份在第 5 天前就已經快速分解，而實驗進行至第 7 天時，薄膜就與酵素摻雜在一起無法秤重取得數據。

4. 3%PET 與 7%PLA 之混合薄膜(薄膜 D)：

在第五天以前幾乎沒有分解，然而從第五天到第七天時，雖然外觀上並沒有太大的改變，但是從失重率可看見，7%之薄膜(薄膜 D)在第 5 天到第 7 天時就快速分解。在第 7 天以後，外觀上就開始明顯改變(表九)，最後在第 14 天時碎裂與代謝物混雜無法分離，以致於乾燥後變成粉狀。

5. 0%PET 與 3%PLA 之混合薄膜(薄膜 E)：

降解過程中，純 PLA 薄膜的外觀逐漸破損，而失重率也逐漸增加，到第七天以後則快速分解，最後幾乎不見。而 3%薄膜(薄膜 C)與 7%薄膜(薄膜 D)最後速率反而比純 PLA(薄膜 E)還快，其原因推測是由於 PLA 在製膜過程當中，幾乎沒有出現溶劑揮發所造成的孔洞，所以降解速率反而較 3%薄膜(薄膜 C)與 7%薄膜(薄膜 D)還慢。

(二) 薄膜孔洞討論

1. 3%PET 與 0%PLA 之混合薄膜(薄膜 A)：

在偏光顯微鏡下可以看到，0%薄膜的孔洞從第1天開始一直到第14天，孔洞一直沒有擴大的跡象，並不會進行分解。

2. 1%薄膜(薄膜 B)、3%薄膜(薄膜 C)、7%薄膜(薄膜 D)：

在偏光顯微鏡下可以看到，各薄膜孔洞有明顯擴大的跡象，可以得知酵素是從孔洞周邊開始分解，進而分解整塊薄膜。

3. 0%PET 與 3%PLA 之混合薄膜(薄膜 E)：

在偏光顯微鏡下可以看到，純 PLA 薄膜製成時並沒有產生孔洞，所以降解速率並無受到孔洞的影響。

四、第一階段結論

1. PLA 與 PET 的混合薄膜會快速的被降解。
2. 在製膜過程中由於溶劑揮發所造成的孔洞加速了本實驗的降解速率。酵素會累積在孔洞並從孔洞周圍開始進行分解，將孔洞逐漸擴大進而降解整塊薄膜。
3. 當 PET 與 PLA 比例不同時會導致不同的降解速率，最終降解速率快慢依序為 $3\% > 7\% > \text{PLA} > 1\% > 0\%$ ，其中，當 PET 與 PLA 濃度相同時降解速率達會到最高。

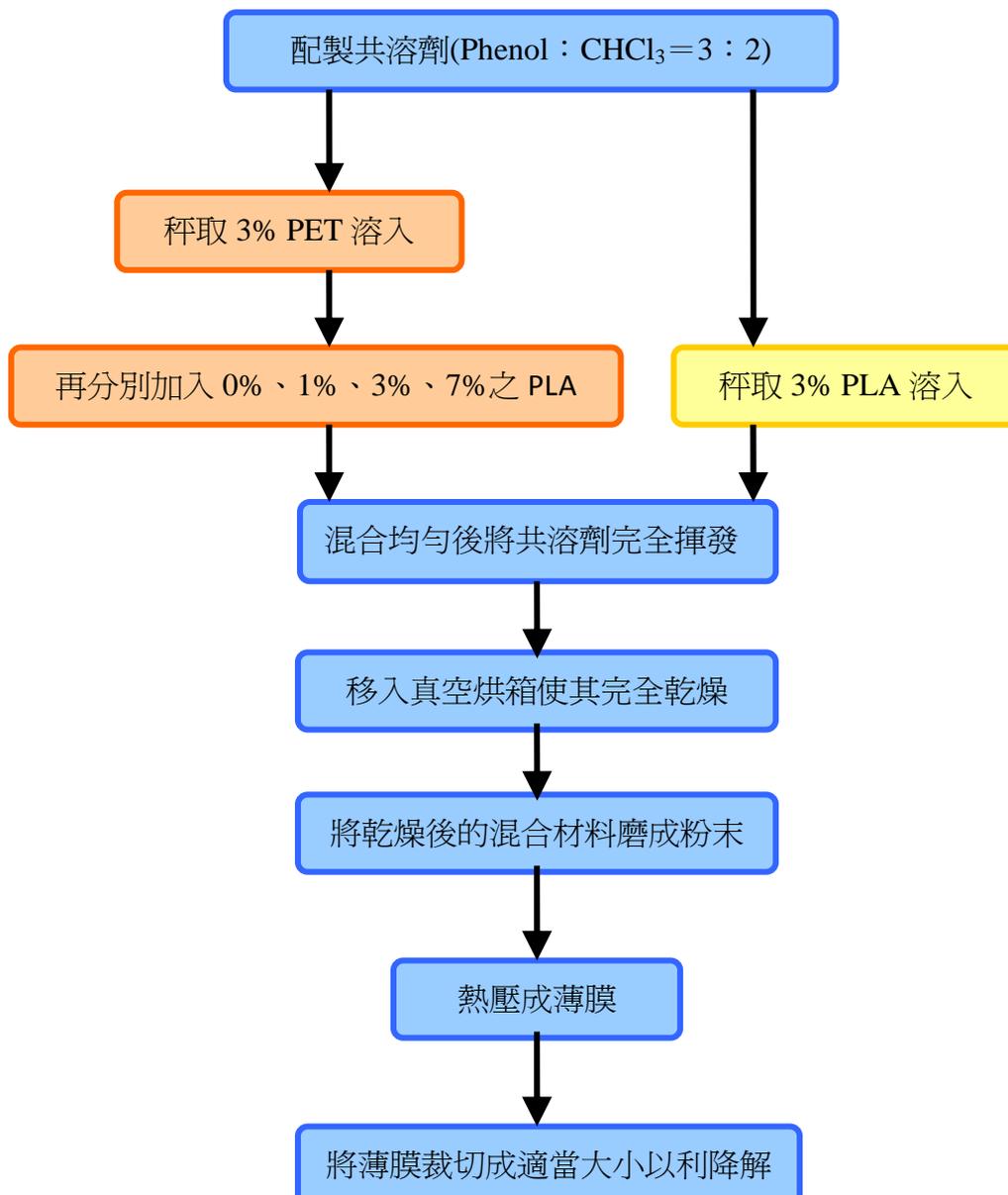
由第一階段實驗結果發現，共溶劑揮發時所產生的孔洞主導了降解速率，因此我們進行第二階段實驗，嘗試修正孔洞因素。

第二階段實驗

五、實驗流程

爲了不讓孔洞成爲影響實驗的主因，改以熱壓法製成薄膜，以減少第一階段實驗溶劑揮發時，所留下孔洞的影響。

(一)製作樣本：



1. 配置溶液：

以酚和氯仿的混合溶液(重量比為 3 : 2)溶解 PET/PLA 的共溶劑，分別配製成五種不同濃度的溶液，如表十五所示。

(表十五)

	PET 濃度(%)	PLA 濃度(%)
溶液 F	3	0
溶液 G	3	1
溶液 H	3	3
溶液 I	3	7
溶液 J	0	3

2. 製膜

(1) 乾燥

待共溶劑完全揮發後，移入真空烘箱使其完全乾燥。再將乾燥後得共混材料磨成粉末。

(2) 熱壓法

量取適量粉末，蓋上鐵氟龍布，並用鋁板夾著，放入熱壓機中，壓成薄膜，如表十六所示。

(表十六)

	溫度(°C)	壓力(kgf/m ²)	預熱時間	加壓時間
試片 F	250	50	10	10
試片 G	250	50	5	5
試片 H	130	50	1	1
試片 I	130	50	5	5
試片 J	190	50	5	5

(二) 降解

與第一階段降解流程相同，見(頁九)。

(三) 測量：

1. 秤重

(1) 完成降解時間取出薄膜，以去離子水充分清洗，真空乾燥 6 個小時，取出秤重(Wt)。

(2) 降解率以失重百分比來表示：
$$\frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100\%$$

註：W₀ 為各試片未降解前之重量；W_t 為各試片降解後之重量

2. 儀器分析

(1) 以 SEM 比較溶劑與熱壓法各薄膜降的型態。

(2) 以偏光顯微鏡觀察各薄膜降解前後的型態。

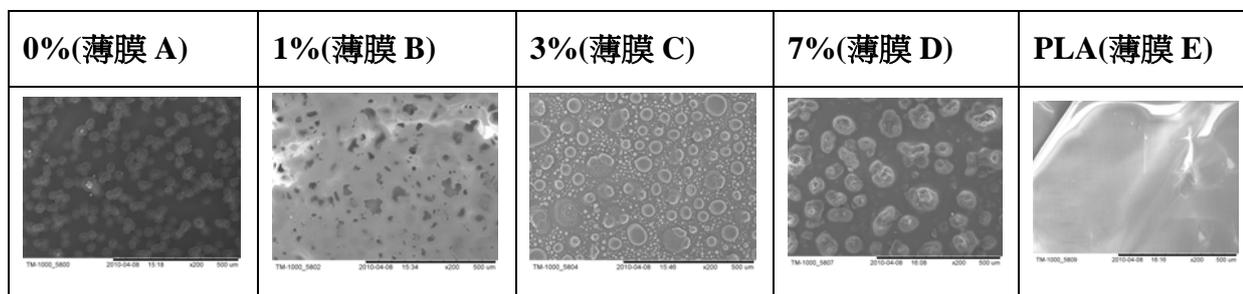
(3) 以 DSC 比較不同濃度薄膜之熔點變化

(四)以 SEM 比較溶劑與熱壓法各薄膜降的型態。

爲了驗證熱壓法對於溶劑法所留下孔洞的改善，使用 SEM 觀察各薄膜表面。

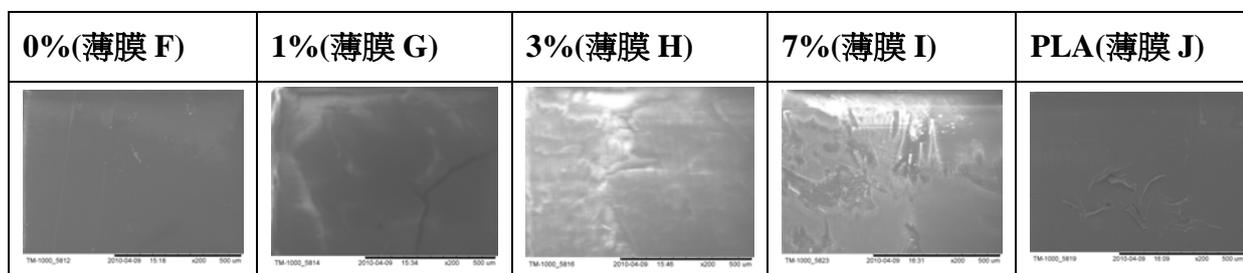
1. 溶劑法

(表十七)



2. 熱壓法

(表十八)



3. 觀察結果

由 SEM 觀察結果可得知：使用熱壓法所製成的薄膜並沒有產生孔洞。

六、第二階段研究結果

(一)巨觀

1. 計算失重率

將薄膜 F、G、H、I、J 進行 1、3、5、7、14、21、28 天的降解，取出完成降解天數的薄膜，充分水洗、烘乾，並秤重計算其失重率，實驗數據如下：

(表十九)各試片未降解前之重量

	0%(薄膜 F)	1%(薄膜 G)	3%(薄膜 H)	7%(薄膜 I)	PLA(薄膜 J)
Day 1	0.0266	0.0172	0.0091	0.0226	0.0205
Day 3	0.0196	0.0150	0.0090	0.0384	0.0180
Day 5	0.0266	0.0176	0.0039	0.0269	0.0241
Day 7	0.0308	0.0146	0.0055	0.0477	0.0173
Day 14	0.0301	0.0234	0.0063	0.0326	0.0103
Day 21	0.0273	0.0125	0.0080	0.0288	0.0100

(單位：g)

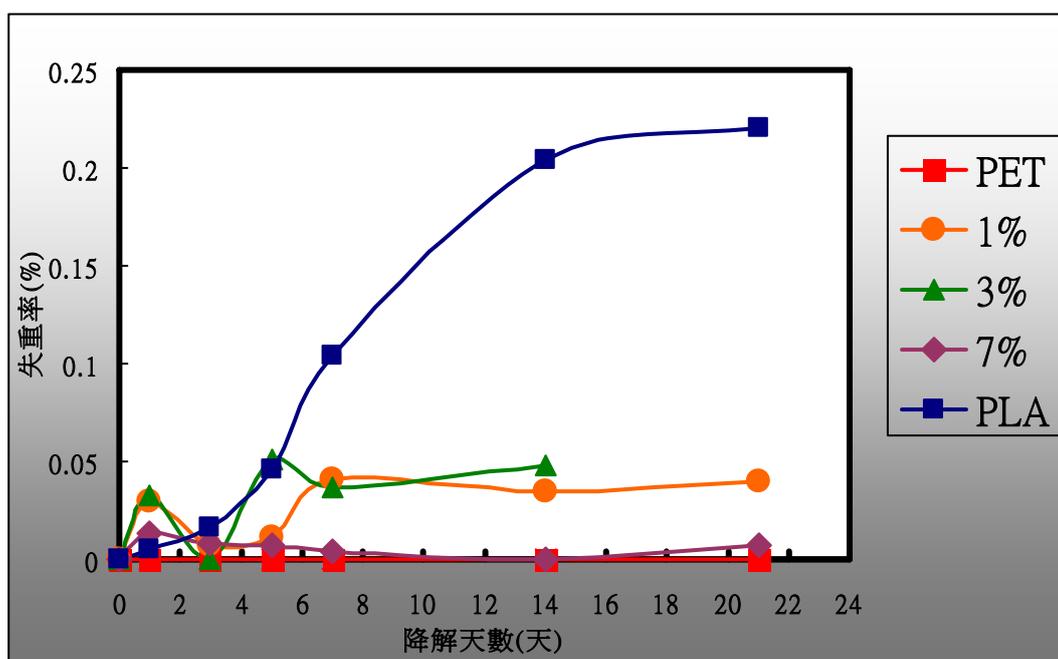
(表二十)各試片降解後之重量

	0%(薄膜 F)	1%(薄膜 G)	3%(薄膜 H)	7%(薄膜 I)	PLA(薄膜 J)
Day 1	0.0266	0.0167	0.0088	0.0223	0.0204
Day 3	0.0196	0.0149	0.0090	0.0381	0.0177
Day 5	0.0266	0.0174	0.0037	0.0267	0.0230
Day 7	0.0308	0.0140	0.0053	0.0475	0.0155
Day 14	0.0301	0.0226	0.0060	0.0326	0.0082
Day 21	0.0273	0.0120	0.0082	0.0286	0.0078

(單位：g)

(表二十一)各薄膜失重率

試片 天數	薄膜 F(%)	薄膜 G (%)	薄膜 H(%)	薄膜 I(%)	薄膜 J(%)
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0000	0.0291	0.0330	0.0133	0.0049
3	0.0000	0.0067	0.0000	0.0078	0.0167
5	0.0000	0.0114	0.0513	0.0074	0.0456
7	0.0000	0.0411	0.0364	0.0042	0.1040
14	0.0000	0.0342	0.0476	0.0000	0.2039
21	0.0000	0.0400	無法計算	0.0070	0.2200



各薄膜失重率折線圖(圖二)

2. 肉眼觀察各薄膜外貌

各薄膜外貌

(表二十二)

	Day 0	Day 1	Day 3	Day 5	Day 7	Day 14	Day 21
3%PET 0%PLA (薄膜 F)							
3%PET 1%PLA (薄膜 G)							
3%PET 3%PLA (薄膜 H)							
3%PET 7%PLA (薄膜 I)							
0%PET 3%PLA (薄膜 J)							

3. 實驗結果

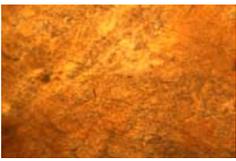
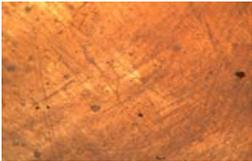
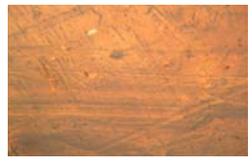
- (1) 降解過程中，各薄膜的外觀並無較明顯變化。
- (2) 純 PET(薄膜 F)在降解過程中，外觀沒有變化且失重率為 0。
- (3) 薄膜 G 在外觀上並沒有太大的改變，在降解過程中其重量有逐漸減少的趨勢，降解速率並不快。
- (4) 薄膜 H 在第 14 天前失重率大致上呈現遞增的情形。除了純 PLA(薄膜 J)以外，薄膜 H 的降解速率一直都是最快的。
- (5) 薄膜 I 外貌無明顯破損，失重率也不高。
- (6) 純 PLA(薄膜 J)在降解過程中失重率穩定攀升，周邊有破損的情況產生。
- (7) 整體而言，降解速率快慢大致上依序為：薄膜 J > 薄膜 H > 薄膜 G > 薄膜 I > 薄膜 F

(二) 利用偏光顯微鏡，以 50X 的倍率進行表面觀測。

1. 觀測照片

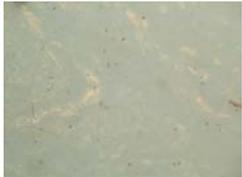
(1) 3%PET 與 0%PLA 之混合薄膜(薄膜 F)：

(表二十三)

天數 薄膜	0	1	3	5
3%PET 0%PLA (薄膜 F)				
	7	14	21	
				

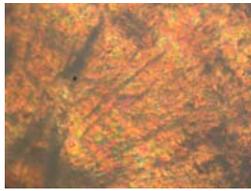
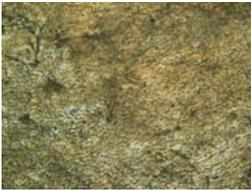
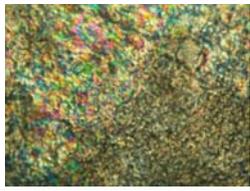
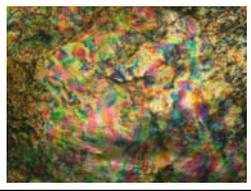
(2) 3% PET 與 1%PLA 之混合薄膜(薄膜 G)：

(表二十四)

天數 薄膜	0	1	3	5
3%PET 1%PLA (薄膜 G)				
	7	14	21	
				

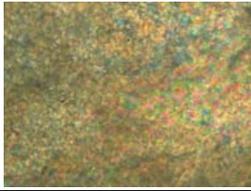
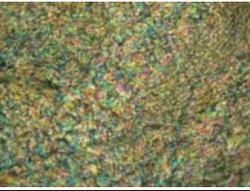
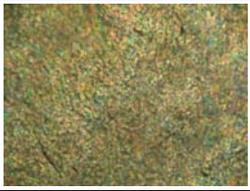
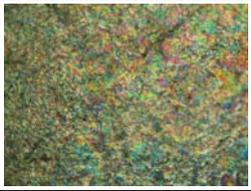
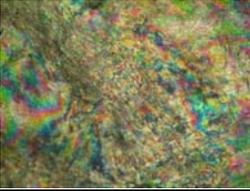
(3) 3%PET 與 3%PLA 之混合薄膜(薄膜 H) :

(表二十五)

天數 薄膜	0	1	3	5
3%PET 3%PLA (薄膜 H)				
	7	14	21	
				

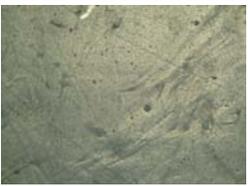
(4) 3%PET 與 7%PLA 之混合薄膜(薄膜 I) :

(表二十六)

天數 薄膜	0	1	3	5
3%PET 7%PLA (薄膜 I)				
	7	14	21	
				

(5) 0%PET 與 3%PLA 之混合薄膜(薄膜 J)：

(表二十七)

天數 薄膜	0	1	3	5
0%PET 3%PLA (薄膜 J)				
	7	14	21	
				

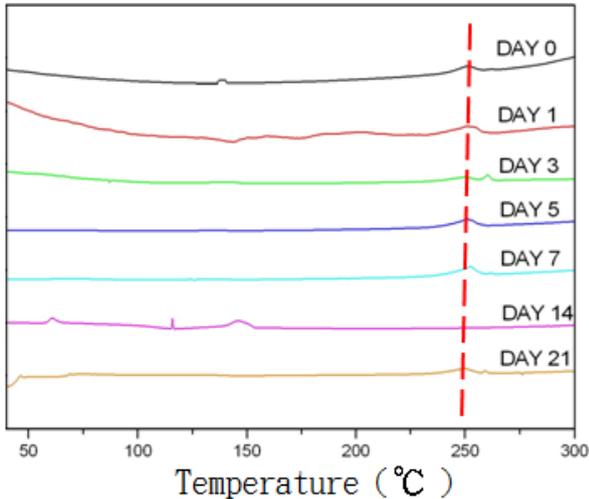
2. 觀測結果

- (1) 在降解過程當中薄膜並沒有明顯改變。
- (2) 由於各濃度的試料性質不一，所製成的薄膜透光度以及粗糙程度不同。
- (3) 由粉末熱壓製成薄膜時，因其晶形結構排列，使得光通過薄膜折射時產生色散，故出現彩色區塊。
- (4) 隨著降解天數的增加，色散區塊有擴大的情形。

(三) 示差熱分析儀(DSC)

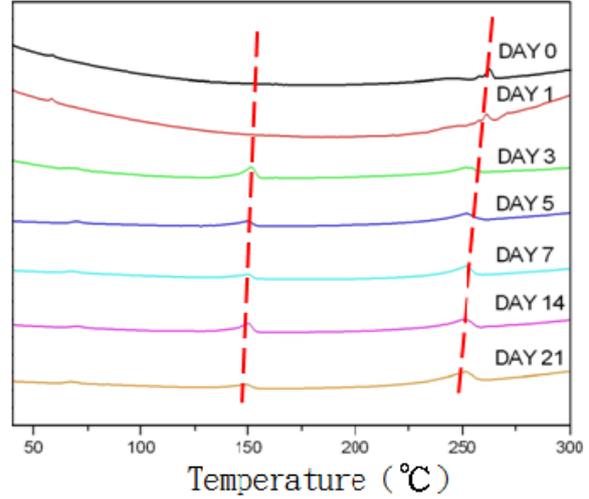
1. DSC 曲線圖

3%PET & 1%PLA



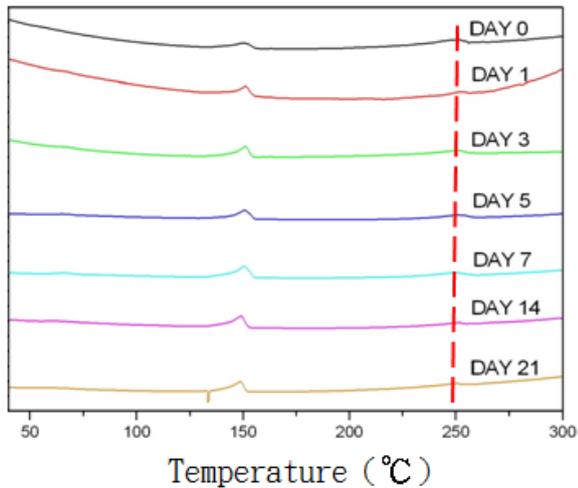
(圖三)

3%PET & 3%PLA



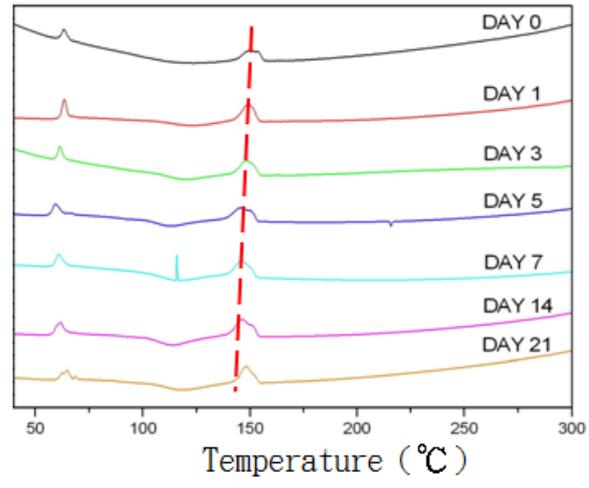
(圖四)

3%PET & 7%PLA



(圖五)

0%PET & 3%PLA



(圖六)

2. 實驗結果

在降解過後使用示差熱分析儀進行分析，可以得知薄膜中 PLA 與 PET 的熔點變化。圖中各曲線代表各降解天數經儀器分析後的數值，每條曲線會出現三個峰值，在 50°C 附近的峰值代表的是玻璃轉換溫度點(TG)，表示薄膜狀態開始產生變化；在 150°C 附近的峰值代表的是 PLA 的熔點；在 250°C 附近的峰值代表的是 PET 的熔點。由各降解天數曲線可得知：隨著降解天數的進行，代表 PET 熔點的峰值逐漸向左移動且峰形趨緩，表示在薄膜中 PET 的熔點隨著降解的進行逐漸下降，其中在 PET 與 PLA 濃度同為 3% 時最為明顯；代表 PLA 熔點的峰值也有逐漸左移的趨勢，其中在純 PLA 時最為明顯。

七、第二階段討論

(一)薄膜孔洞討論

由 SEM 觀察結果可以清楚得知，使用熱壓法所製成的薄膜改善了溶劑法所造成的孔洞，而且膜厚、緻密度也增加不少，因此，可以排除孔洞在結構上對降解速率所造成的影響。

(二)降解速率討論

由於少了孔洞的影響，以及質量、厚度的增加，使得第二階段各薄膜的降解速率都比第一階段得要慢了許多。

1. 3%PET 與 0%PLA 之混合薄膜(薄膜 F)：

在降解過程當中，純 PET 薄膜在外觀上並沒有產生變化，而重量及計算之失重率亦不變，故可得知在實驗過程中，純 PET 薄膜完全不會被酵素分解。

2. 3%PET 與 1%PLA 之混合薄膜(薄膜 G)：

在降解過程當中，薄膜在外觀上並沒有產生太大的改變，所減少的重量逐天增加，失重率的部份大致上呈現的是遞增的趨勢。

3. 3%PET 與 3%PLA 之混合薄膜(薄膜 H)：

3%的薄膜在實驗初期整體來說是降解速率最快的，但在第 21 天時，重量卻不減反增。

4. 3%PET 與 7%PLA 之混合薄膜(薄膜 I)：

外觀無太大變化，降解速率幅度極小。

5. 0%PET 與 3%PLA 之混合薄膜(薄膜 J)：

降解過程中，純 PLA 薄膜的外觀雖然無太大的變化，但重量逐漸減少，失重率也穩定的增加。到了後期，周圍開始出現破損。

(三)薄膜色散討論

試料粉末在熱壓製成薄膜的過程當中，因材料本身晶形結構排列，使得光通過薄膜折射時產生色散，故出現彩色區塊。而隨著降解天數的增加，色散區塊有擴大的情形，推測為酵素先破壞排列散亂的結構，留下結構較為整齊堅固的晶形，使得色散的區塊較為完整。

(四)熔點討論

1. 3%PET 與 3%PLA 之混合薄膜(薄膜 H)：

當 PET 與 PLA 濃度同為 3%是混合薄膜中降解速度最快的，從示差熱分析儀的結果顯示：隨著降解天數的進行，薄膜中 PET 的熔點逐漸下降且峰形逐漸趨緩，表示 PET 分子鏈段已被分解為較小鏈段而結構強度也逐漸變弱。薄膜中 PLA 的熔點也逐漸下降，只是不如 PET 明顯。此可佐證將 PLA 與 PET 混和後，確實可利用生分解材料 PLA 可被分解的特性牽引傳統塑膠材料 PET 進行分解。

2. 3%PET 與 1%PLA 混合薄膜(薄膜 G) 3%PET 與 7%PLA 混合薄膜(薄膜 I)：

1%與 7%的混合薄膜因降解速率不快，因此 PET 與 PLA 的熔點無明顯下降的情形產生。

3. 0%PET 與 3%PLA 之混合薄膜(薄膜 J)：

在降解過程中，PLA 的熔點逐漸下降且峰形趨緩，表示 PLA 分子鏈段已被分解為較小鏈段而結構強度也逐漸變弱。

八、第二階段結論

1. 經由熱壓法製成的薄膜表面平整無孔洞產生，所以酵素是直接對整塊膜作用。
2. 在降解過程當中純 PLA 薄膜降解速率最快且失重率持續上升，而純 PET 薄膜不會被降解。
3. 排列散亂的結構易先被酵素破壞，而留下結構較為整齊堅固的晶形，使得光通過薄膜折射時產生的色散區塊有逐漸擴大的情形。
4. 當 PET 與 PLA 比例不同時會導致不同的降解速率，整體而言降解速率快慢依序為 PLA>3%>1%>7%>0%
5. 經由示差熱分析儀的結果可以發現：隨著降解天數的進行，PLA 和 PET 的熔點都有往下降的趨勢，此可說明將 PLA 和 PET 皆被降解成較小鏈段，也就是說將 PET 與 PLA 混合後，確實可利用 PLA 牽引 PET 進行分解。

伍、結論

1. 將 PLA 與 PET 混合後，確實可利用生分解材料 PLA 可被分解的特性牽引傳統塑膠材料 PET 進行分解。
2. 當 PET 與 PLA 濃度同為 3%時降解速率最快。

陸、未來展望與研究

本實驗已初步證明摻入 PLA 後，確實可以帶動 PET 快速的降解，而未來研究方向也將試圖了解 PET 與 PLA 混合薄膜在降解過後的產物，進而探討 PET 與 PLA 混合薄膜的降解機制。此外，也會嘗試在不使用苯酚和氯仿等環境賀爾蒙之下，改以更環保的方式將 PET 與 PLA 混摻。最後，再以市售之寶特瓶做為對象，進行降解實驗，回歸其實際應用面。

柒、參考文獻

- 1.劉奕君(2007)。Preparation and characterization of porous scaffolds using three-dimensional poly(lactic acid)/silica composite。國立中興大學材料科學與工程學研究所碩士學位論文。
- 2.林苡均、洪恩琪、馮玠寧、賴宜萍(民 94)。滴水不漏／奈米寶特瓶－奈米複合材料的應用。中華民國第四十五屆中小學科學展覽會。
3. 柯亭宇、夏昀(2006)。綠色親善大使之誕生-生物可降解性奈米複合材料的研究。臺灣2006年國際科學展覽會。
- 4.Huipeng Chen ,Marek Pyda ,Peggy Cebe(2009).Non-isothermal crystallization of PET/PLA blends. *Thermochimica Acta* 492 (2009) 61 – 66.
5. Yukie Akutsu-Shigeno, Teerawat Teeraphatpornchai,(2003).Cloning and Sequencing of a Poly(DL-Lactic Acid) Depolymerase Gene from *Paenibacillus amylolyticus* Strain TB-13 and Its Functional Expression in *Escherichia coli*.*Applied and Environmental Microbiology*, May 2003, p . 2498-2504, Vol . 69, No . 5.

【評語】 040206

研究成果有相當的應用價值。可以再加強研究中和化學原理
相關的解釋。