

可分解性塑膠袋分解後的生物毒性試驗

蘇怡婕¹、許凱婷¹、周柏翰¹、顏廷臻¹、任奕勳¹、
吳惠中²、陳王琨¹

¹ 景文科技大學 ² 銘傳大學生物科技系

摘要

本研究之目的在瞭解可分解性塑膠的生物毒性，研究中由市面上常見的塑膠袋材質中，選三種不同的單體來當為研究目標進行生物毒性試驗，此三種樣品分別為，聚乙烯(Poly Ethylene, PE)、聚乙烯醇(Poly Vinyl Alcohol, PVA)，以及聚乳酸(Poly Lactic Acid, PLA)，實驗中另以濾紙和有機土壤的兩種材質做為比對樣本，以有機土壤為底層，再將四種不同的樣本與底層有機土平均混合，讓極易發芽的綠豆生長在五種不同環境的土壤上生長，測驗何種單體較易對植物生長產生抑制？或者可能幫助生長？而以兩個不同地點的實驗組分別同時進行比對，以確認實驗結果的可信度，由實驗結果發現，在溫度以及光線與溼度均相同的條件下，兩組來自不同實驗組的樣本顯示出以聚乙烯醇(PVA)混合土壤底層下的樣本能夠使綠豆的生長進度有明顯落後於只以有機土壤為基本樣本。而在以聚乳酸(PLA)為樣本混合土壤底層下綠豆的生長進度則有明顯的領先於只以有機土壤為基本樣本的進度，此一實驗結果可以顯示聚乳酸卻會使生長受到增進，而聚乙烯醇會使得植物生長受到抑制。因此，國內未來在推動使用可分解性塑膠之時，尤須注意到它在分解之後所可能會產生的環境負面效應發生。

關鍵詞：生物毒性試驗、可分解性塑料、PLA、PVA

Biological Toxicity Test Study of Plastic Bags after Decomposition

Yi-Jie Su¹ Kai-Ting Hsu¹ Bo-Han Chou¹ Ting-Chen

Yan¹ Yi-Syun Ren¹

Hui-Chung Wu² Wang-Kun Chen¹

¹Jinwen University of Science and Technology
department of Environment and property management

²Ming-Chuan University, Department of Biological
Science and Technology

Abstract

The object of this study is to understand the biological toxicity of biodegradable plastic material. Three different monomer were chosen for the biological toxicity test. These samples were Polyethylene(PE), Polyvinyl Alcohol(PVA), and Polylactic Acid(PLA). In addition, the filter paper and organic soil material were also used in this experiment as the sample for comparison. The experiment was controlled under a condition with the same light intensity, temperature, and humidity. The growth rate of mung bean was compared as the biological toxicity index. It is found that growth rate of the PVA mixed soil sample were much slower than the basic sample with only the organic soil. The mung

growth rate from the PLA mixed sample was the faster among these samples. The reason is possibly because the product from PLA mixed sample will enhance the growth of plant.

Keywords: Biological toxicity test, PLA, PVA

一、前言

1.1 研究緣起

可分解性塑膠是近年來大家所關注的研究重點。可分解性塑膠在分解的過程中會不會產生對生物有害的成份值得大家關心。根據台灣環境資訊協會的數據顯示，台灣平均每年所使用的塑膠袋量，竟然高達“三十億”個塑膠袋。「達到世界關鍵的 CO2 排放量；還是必須靠革新技術的開發」。其實在除了消極的回歸自然外，積極面應該因該了解到“更環保的技術其實是工業的革新技術”。[一]

塑膠袋的主要原料多為聚乙烯(PE),是由乙烯聚合而成的高分子,通常會再添加一些抗氧化劑,以防止加工過程的分子劣化,因此放在室內保存或在掩埋場不容易分解,但是再每年生產將近三十億的塑膠袋的台灣,若以掩埋場方式解決將對土地固有的面積造成嚴重的衝擊,若以焚化處理廢棄的塑膠袋,不僅有戴奧辛污染產生,大量的廢塑膠袋進入了焚化爐後,對於爐體維護與後端廢氣處理也形成極大的負擔,不但易造成爐體壽命縮短若造成不完全燃燒後,不但不利於正常之焚化處理,也伴隨著影響大眾身體健康之虞面對地球日趨嚴重的溫室效應,以焚化處理的塑膠袋更是扮演著舉足輕重的角色 在這樣一波波的塑膠袋危機中,科學家以及工業家以及各國政府無不絞盡腦汁,期許有更完美且環保的塑膠袋原料的產生。

近幾年來在各國的環保意識水漲船高的同時,終於有新的塑膠袋原料的發

明，我們稱之為”綠色塑膠”亦稱為”生物可分解塑膠”這樣的原料主要取自植物，運用生化科技，經精煉、發酵、合成等程序製造而成。[二]此次實驗研究為了證實，這樣的塑膠原料是否可以為我們愛護地球的心，成為使地球不受污染又受惠的人類廢棄物。

在塑膠袋充斥生活周遭的當今，我們要如何以愛護地球環境與生物的心態下，讓我們的隨手可得的塑膠袋化做有實際意義的行動。對於一般大眾不了解塑膠類別的狀況下，我們以簡單明瞭的植物實驗，來表現出塑膠袋使用後的可能問題，以實驗結果來凸顯選擇塑膠材質上的重要，使得普遍大眾能在往後的生活，以最簡單的生活習慣，幫助改善生病的地球。

二、前人研究

2.1 國內外使用實例與發展

早自 1997 年，國外麥當勞已開始使用完全生物可分解且可堆肥的刀叉用品；2000 年雪梨奧運會，也全面採用「完全生物可分解材料」製品—包括餐盤、紙杯、杯蓋、吸管、刀叉餐具、垃圾袋、廚餘袋等製品。在歐洲，已有數百萬人每天使用生物可分解塑膠袋來收集有機物和庭院廢棄物。日本大阪市政府也已先行推廣使用玉米澱粉垃圾袋(生物可分解塑膠袋)取代傳統垃圾袋。另外，日本近來利用生物可分解塑膠將肥料包覆其中，由於可藉以控制肥料釋出時間，不僅提高了肥料的使用效率，同時也減少過去肥料可能對河川所造成的氮、磷污染。在德國，生物可分解塑膠的應用範圍包括乳製品、水果、蔬菜、肉類的包裝、超級市場購物袋、裝有機性廢棄物的袋子及速食店的免洗餐具等。製造商部分，包括英國、美國、比利時、義大利、日本等都有設立工廠生產生物可分解塑膠等相關產品。美國國內目前的生物可分解塑膠年使用量約為 23 萬噸，日本約為 3 千噸。

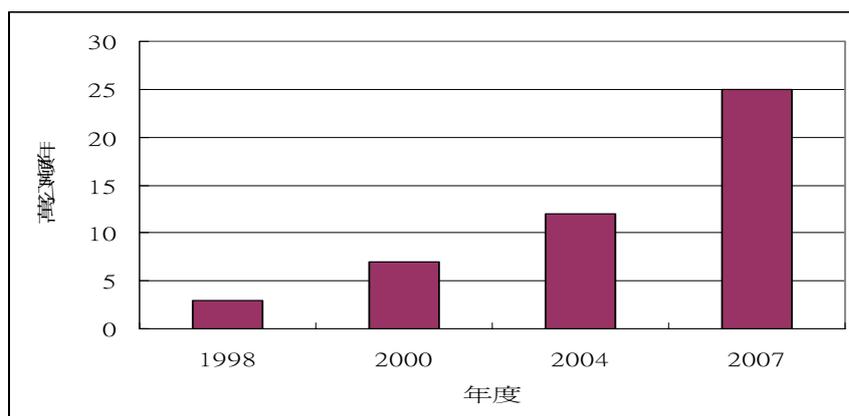


圖 1. 全球可分解性塑膠市場評估[三]

由於環保意識的高漲，國際上已不斷出現限制及反對使用塑膠的浪潮，包括美國、德國、丹麥、澳大利亞、瑞士、義大利、日本等國皆對塑膠製品採取管制措施，包括課稅、部分塑膠材質禁用或回收率的強制要求等；有鑑於此，不論是外國的環保或化工雜誌中都已提到，生物可分解性材料的發展將是未來的趨勢。

國內目前已有幾家廠商，藉由與國外公司簽署產品開發及行銷同意書的方式，引進國外成熟技術於國內設廠製造，目前主要生產生物可分解的塑膠薄膜與塑膠袋，並且已試用於農委會農改場及北市廚餘回收計劃中。精緻農業栽培可有效改善產品品質，提高單位面積產值，其中包括畦面覆蓋、簡易塑膠布溫室、蔬果套袋等，均大量使用塑膠產品，以達到保溫、保水、防除雜草、防雨、防蟲等目的。但傳統塑膠製品經使用後，不僅回收困難、耗費人力，同時也容易造成灌溉溝渠堵塞，影響田間排水。因此，如果改採「生物可分解塑膠」，就可在田間將之與作物殘株等混合後，直接製成堆肥施用於田間。

生物可分解塑膠薄膜已由農委會積極在其台南、花蓮、桃園等農業改良場推行試用，初期使用由於台灣的氣候及溫濕度等條件與國外不同，所以生物可分解塑膠的分解速率還未能與作物的生長採收期完全配合，這部分可藉由重新調整配方後加以克服。事實上，生物可分解塑膠在分解時間的掌握上很重要，在每一季收成完後就必須完全分解掉，以免影響下一季作物根部的成長；同時也不能太快分解，否則就達不到防蟲、防雜草等功能。生物可分解塑膠袋亦可配合廢棄物分類，用來盛裝家庭有機廢棄物、果菜市場、家畜市場、食品加工

廠的廢棄物。主婦聯盟也曾受台北市政府委託，於內湖試辦廚餘回收時，也同時試用了生物可分解塑膠袋，如果後續堆肥成效良好，將會考慮跨大使用。如何辨認生物可分解塑膠。依據業者所做之市場調查顯示，生物可分解塑膠可取代傳統塑膠的國內市場潛力，每年約有 60 萬公噸，其加工成品之市場價值更高達 1,320 億元。目前的發展瓶頸在於價格太高，約為傳統塑膠的 4 至 5 倍，而成本居高不下的主因是因為產能尚無法達於量產，依據國內業界的估算，如果逐步增加生產線達於量產後，5 年內可能就可將價格降至目前塑膠原料的 1.5 倍。

2.2 文獻回顧

聚乳酸(poly lactic acid, PLA)除了有生物可分解的特性外，聚乳酸的主要優勢包括有良好的機械特性與 其材料來源，聚乳酸的材料來源為澱粉，在今日原油價格上漲，石油儲存量下降的環境之下，除具有環境保護的優勢，也同時有能源經濟的效益。[四] 聚乳酸，由於構成的成分中含有可分解的天然高分子或聚酯類為基質，所以只要在溼度足足夠的溼度、氧氣與適當的微生物存在的自然掩埋或堆肥環境中，可經由微生物的吞噬、消化作用分解成二氧化碳、水及腐殖質。

生物可分解 PLA 具有優越的之透明性，剛性及耐 UV 特性。此外日本 NEC 與 Unitika 合作於 2006 年 Nanotech 展出以 kenaf 紅麻植物纖維補強 PLA 複合材，做為手機外殼用生物可分解複合材，此材料與目前石化系 PC/ABS 合膠約可降低 50% 之 CO₂ 排放量[五]。 PLA 使得塑膠-不在是生態環境的隱形殺手。[六]

日本核能研究開發機構，已開發出具有彈性的聚乳酸，使用放射線成功的使柔軟劑保持高濃度。聚乳酸是植物原料製成的塑膠，因環保政策使其加速實用化。用玉米製成的聚乳酸再室溫狀態下會變硬，所以會在塑膠中加入具有柔軟性的可塑劑，但聚乳酸會隨著時間的經過，且可塑劑揮發導致無法維持其柔軟性，於是研發團隊再將加入可塑劑的聚乳酸，之後再照入電子束，在完成連結分子鏈的「架橋」結構之後，以攝氏 100°C 加熱 30 分鐘，之後可塑劑會被鎖在 20nm 的洞中，聚乳酸就可以保持其柔軟性。以往可塑劑最大添加量為 30%，本研究可提高至 60%，若添加至 40% 以上即可完成像橡膠般具有彈性的聚乳酸，

將可運用於 PC 及手機等內部防震材料，以及汽車的內裝零件。[七]利用層狀矽酸鹽與 PLA 形成有機/無機奈米複合材料來同時提升 PLA 材料的機械性質、耐熱性、阻氣性以及加速其生物分解速度。[八]不須仰賴以石油為原料的生物分解與生物可在生高分子，在環境中可以被分解產生無毒的副產物，使可以取代目前泛用塑膠環境的友善材料，以植物澱粉為原料的聚乳酸。[九]

2.3 生物分解機制

土壤中行使生物分解動作最主要的部分即為微生物，而存在其中的微生物與土壤植物的種類、土壤特性、土壤濕度及含氧量有關，存在最多微生物的地方即為植物根部層稱為 rhizosphere，在此層植物與微生物是共生關係，植物獲取養份而微生物的族群數目得以增加。許多合成的有機物在本層都可會受到生物分解。

生物可分解塑膠運用生物化學之科技，從植物精練、發酵、合成等程序，製造完全可被生物分解之生物可分解性材料。於產品生命循環中，利用有機堆肥來達成「取之於大自然，使用後再回歸於大自然」的原則。如圖 2 所示。

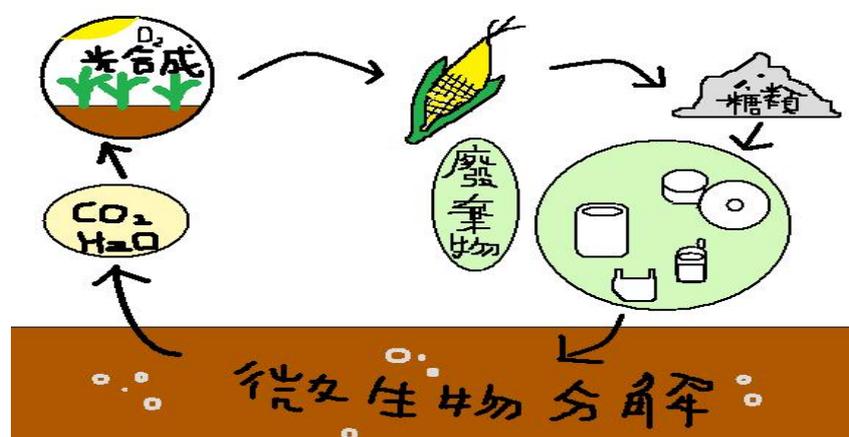


圖 2. 聚乳酸塑膠成為永續資源的過程[十]

事實上，生物可分解塑膠與堆肥化的處理是一體兩面且相輔相乘，缺一不可，今後要發展堆肥，必須有生物可分解塑膠配合；在現今廚餘堆肥化工作列入政府重點工作之際，生物可分解塑膠的發展有其未來潛力。

為促進生物可分解產業的發展，國際間已發展出數個生物可分解材料的認證制度。在 1990 年正式公告實施的 ISO14851、ISO14852、ISO14855 三個標準，

就是為了統一國際之檢測基準，作為爾後生物可分解材料檢測的標準依據；經檢測通過後，即可獲頒生物可分解材料之可堆肥性認證標章—「OK Compost」及「DIN CERTCO」於其包裝或容器上，以利消費者辨別。

2.2 研究目的

本研究的主要目的，僅分述如下：

1.設計一個簡易的分解性塑膠的生物毒性測試

以種植的方式將有機土壤與塑膠混合以便達到催化塑膠分解，並且以適當的操作過程和條件(相同的溼度以及溫度和有機土壤)，利用足夠的溼度、氧氣與適當微生物存在的環境中，使得個種不同主體的樣本被微生物所分解。

2. 可分解性塑膠對生物生長的抑制情形

針對綠豆不同的生長情形，探討出不同主體在溼度與溫度相同的情形下，其分解產物是否會對植物造成生長的影響。

3.可分解性塑膠對生物生長的促進情形

同上，觀察生物可分解塑膠 PLA、PVA 等在分解的情形下對植物可否達到生長的幫助

2.3 實驗材料

(一)皆為 30 公克的五種樣本，除了有機土壤外，其他皆裁剪為 2*2cm 的正方形體。

1.PE 2.PLA 3.濾紙 4.PVA 5.有機土壤

(二)750 公克有機土壤(經由 2.2mm 直徑過濾)

(三)250 顆綠豆(每顆綠豆約 0.01g)

(四)直徑 10 公分高度 15 公分的圓形盆栽*5

(五)10 公分直徑的圓形濾紙*5

2.4 實驗流程

將 150g 的有機土壤與 30g 的樣本品平均混合後，再將已用過小石頭塞住盆栽底洞將其倒入，在以剪裁完後的濾紙水平擺入，在將 50 顆的綠豆平均分散於濾紙上方每天將 100cc 的自來

水，灑入濾紙的表面全濕。觀察天數為十五天

分別為兩組實驗對照下進行，以利於數據正確性的提高。研

究限制:(日照:零 T: 28.7~30.2℃ RH: 76%~70%)

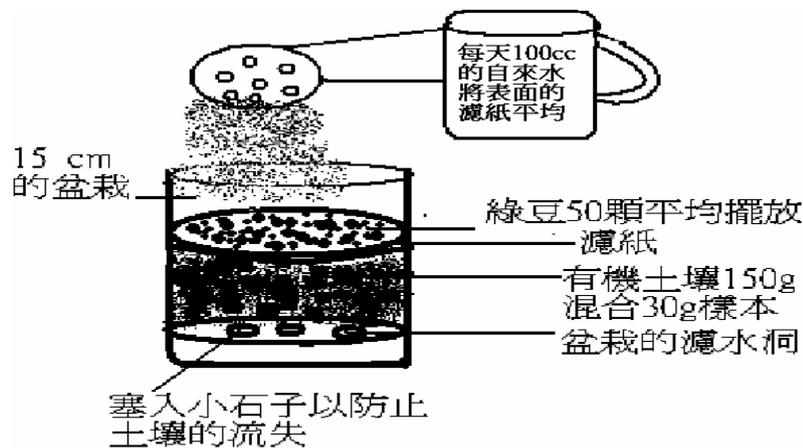


圖 3. 本實驗示意圖

三. 實驗結果

3.1 實驗樣本結果對照圖表

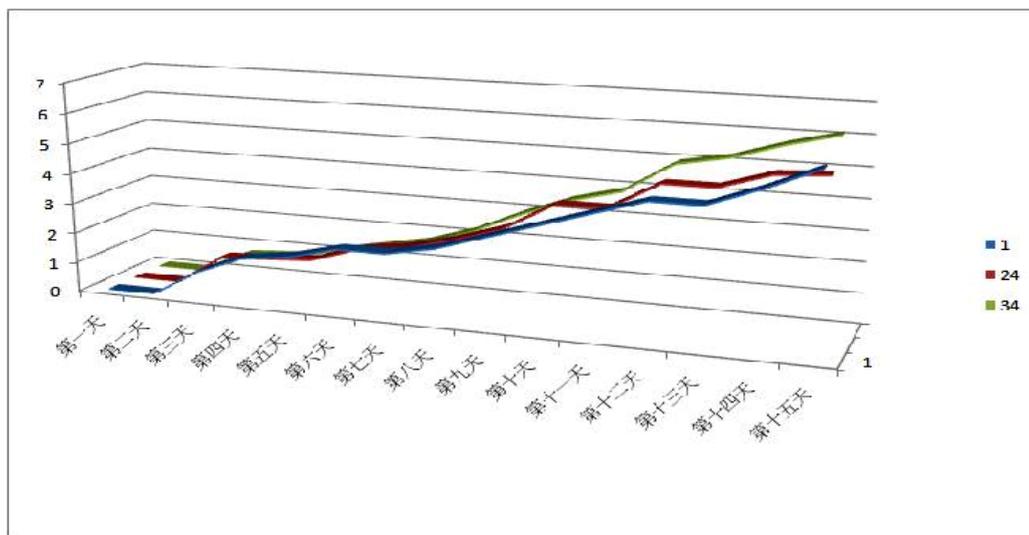


圖 4. 以 PE(polyethylene)為樣本所生長的實驗結果圖

圖 4 是以 PE(polyethylene)為樣本所生長的實驗結果圖，圖中以常態分配中

的 n 大於 30 選取其中第 1. 24. 34 顆為抽樣(由外至內)。

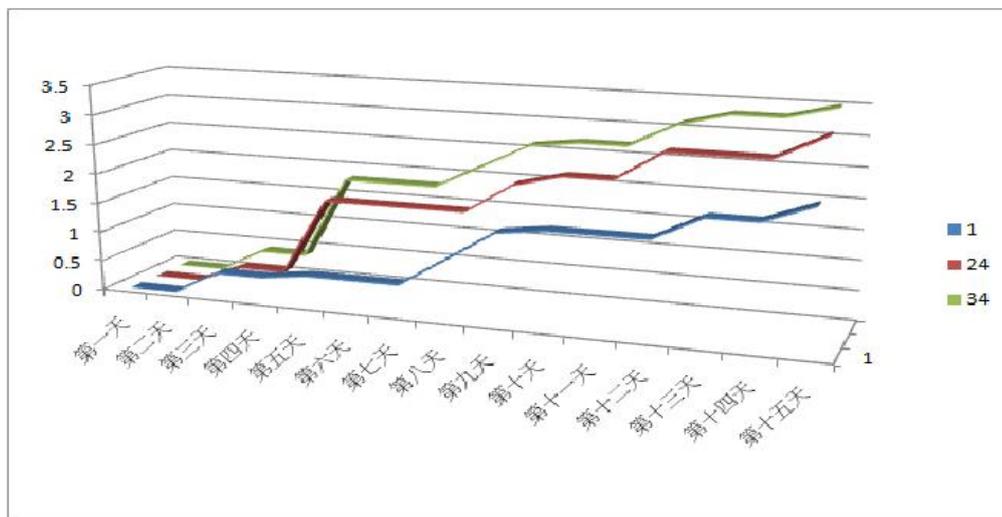


圖 5 是以 PVA(Polyvinyl Alcohol)為樣本所生長的實驗結果圖

圖 5 是以 PVA(Polyvinyl Alcohol)為樣本所生長的實驗結果圖，圖中以常態分配中的 n 大於 30 選取其中第 1. 24. 34 顆為抽樣(由外至內)。

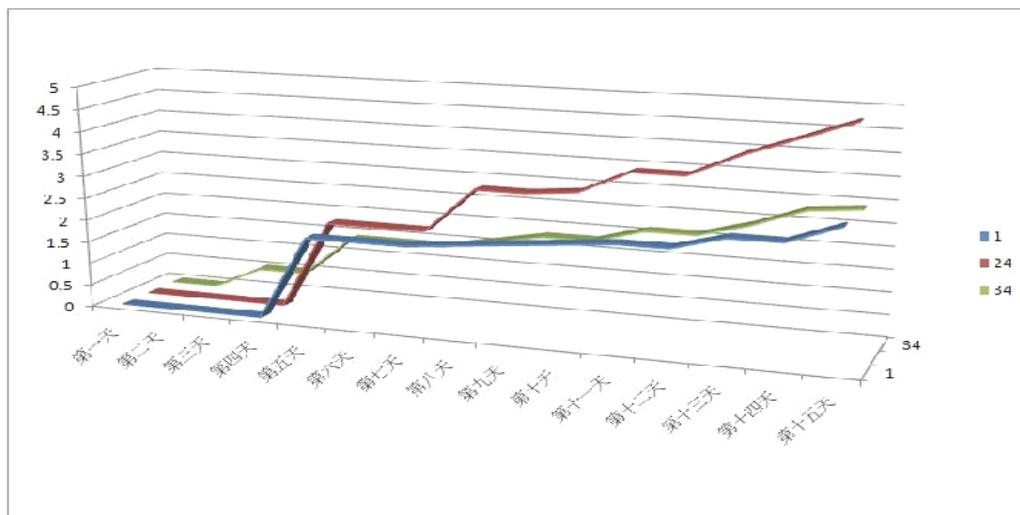


圖 6 是以有機土壤為樣本所生長的實驗結果圖

圖 6 是以有機土壤為樣本所生長的實驗結果圖，圖中以常態分配中的 n 大於 30 選取其中第 1. 24. 34 顆為抽樣(由外至內)。

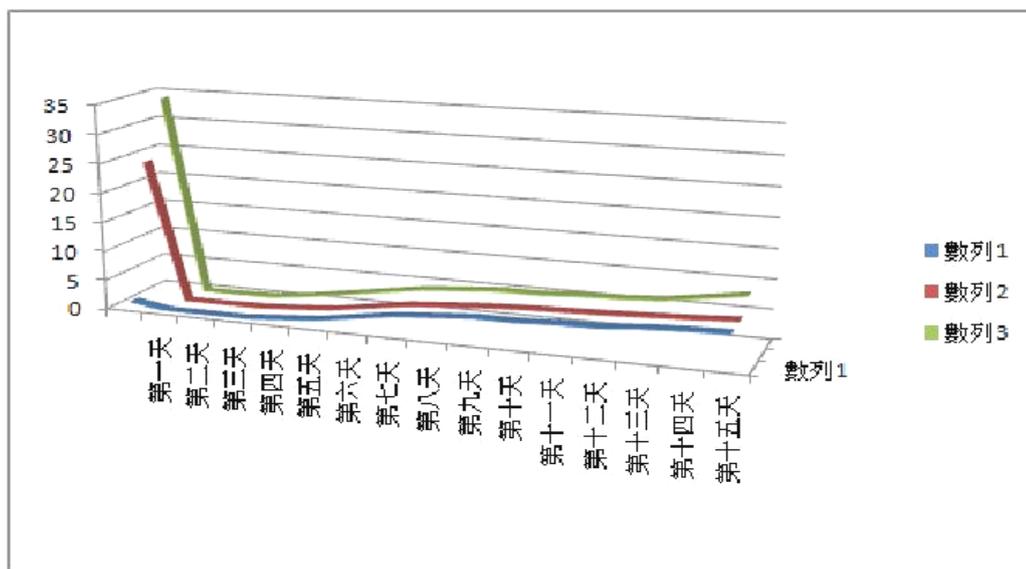


圖 7 是以濾紙為樣本所生長的實驗結果圖

圖 7 是以濾紙為樣本所生長的實驗結果圖，圖中以常態分配中的 n 大於 30 選取其中第 1. 24. 34 顆為抽樣(由外至內)。

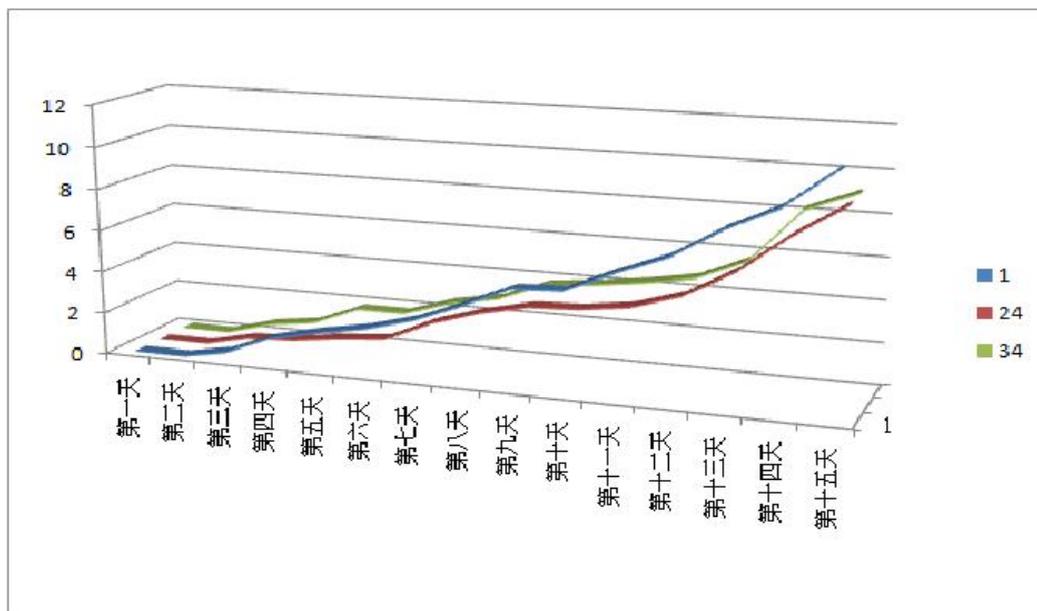


圖 8 是以 PLA(Poly Lactic Acid)為樣本所生長的實驗結果圖

圖 8 是以 PLA(Poly Lactic Acid)為樣本所生長的實驗結果圖，圖中以常態分配中的 n 大於 30 選取其中第 1. 24. 34 顆為抽樣(由外至內)。

表 1 是 1~15 天 PLA.PE 生長時的最小值和最大值

表 1 1~15 天 PLA.PE 生長時的最小值和最大值

PLA 生長數據範圍 (cm)		PE 生長數據範圍 (cm)	
1	0	1	0
2	0~0.2	2	0
3	0.2~1	3	0~1
4	0.2~2	4	0~2
5	0.5~3	5	0~2.5
6	0.5~3.5	6	0.2~3
7	1~4	7	0.2~3.5
8	1~5	8	0.5~4
9	2~5.5	9	1~5
10	2~6	10	2~5.5
11	2~7	11	2~6
12	2~8	12	3~6.5
13	2~10	13	3~7
14	2~13	14	3~8
15	2~15	15	3~9

表 2 是 1~15 天 PVA. 有機土壤生長時的最小值和最大值

表 2 是 1~15 天 PVA. 有機土壤生長時的最小值和最大值

PVA 生長數據範圍 (cm)		有機土壤生長數據範圍 (cm)	
1	0	1	0
2	0	2	0
3	0~1	3	0~1
4	0~1	4	0~1
5	0~3	5	0~3
6	0~3	6	0~3
7	0~3	7	0~3
8	0~3.5	8	0~4
9	0~4	9	0~4.5
10	0~4.5	10	0~5
11	0~4.5	11	0~5.5
12	0~5	12	0~5.5
13	0~5.5	13	0~6
14	0~5.5	14	0~6.6
15	0~6	15	0~7

表 3 是 1~15 天濾紙生長時的最小值和最大值

表 3 是 1~15 天濾紙生長時的最小值和最大值

濾紙生長數據範圍 (cm)	
1	0
2	0
3	0~0.2
4	0~1
5	0~2.5
6	0~3
7	0~3.5
8	0~4
9	0~4.5
10	0~4.5
11	0~5
12	0~6
13	0~7
14	0~8
15	0~10

3.2 研究結果之討論

此次實驗後可以得到在以 PLA 的樣本組中，綠豆在生長過程有明顯幫助成長之現象，反之在以 PVA 的樣本組中，綠豆的生長情形則出現明顯的遲緩，再者與大自然環境最為接近的有機土壤樣本組中，我們可以發現在此樣本的綠豆生長情形與 PE 樣本主並無明顯差異，最後一組以濾紙為樣本體的綠豆，生長情形則為到數第二。在依序觀看後我們可以得到圖 9。

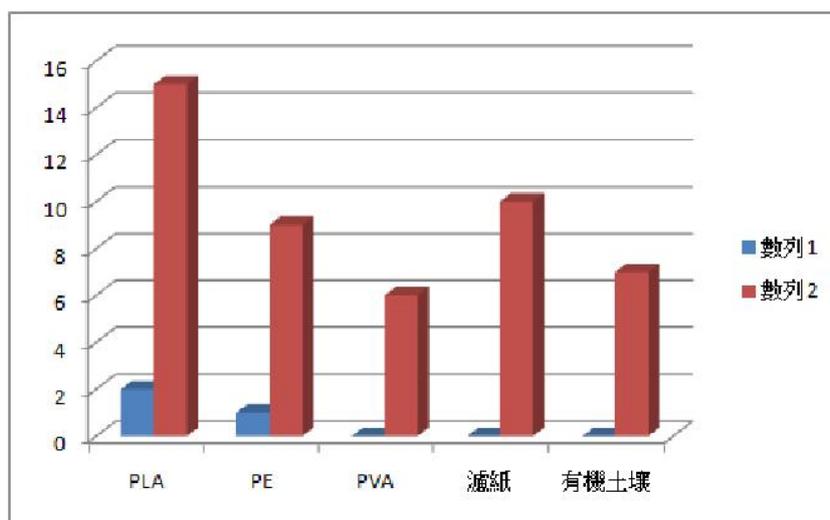


圖 9. 各個樣本的生長高低數值對照圖

圖 9 是各個樣本的生長高低數值對照圖。數列 1 表示各個樣本中綠豆生長最高時的生長公分，數列 2 表示各個樣本中綠豆生長最低時的生長公分。由此可以看出，在經過生物分解之後，對於生物的抑制程度依序為：PVA>有機土壤>PE>濾紙>PLA。

四、結論與建議

以可分解性塑膠為掩埋地的垃圾分解物，不但使得植物不會受到污染外，還可以間接幫助植物生長，作為植物生長的預定地，對環境造景都是不可多得的益處。使得塑膠袋不在是破壞環境污染的隱形殺手，也達到減少焚化處理所帶來的溫室氣體產生，達到兩全其美的效果。然而塑膠分解後對生物的毒性必須有清楚的瞭解，才不會帶來另外的傷害。由本研究結果可知，可分解性塑膠如 PVA、有機土壤、PE、濾紙、PLA 等在分解之後，對於生物的生長會出現不同程度的抑制情形 PLA 有促進生長的情形，而 PVA 則明顯地會抑制生物的生長，代表其生物毒性各有不同，因此未來在推動使用生物分解性塑膠的使用上必須特別留意。

參考文獻

[一] 工研院材化所，材網編輯室，2007。

[二] 朱惟君作 環保署資源回收月刊 (2001/7)

<http://e-info.org.tw/issue/surround/2001/issue-surround01071201>.

htm

[三] 資料來源：Frost Sullivan；ITIS 計畫整理(2005/1)

[四] 楊慕震”聚乳酸塑膠市場概況”論文 2007。

[五] 高信敬”高性能聚乳酸生態材料改質技術-提升 PLA 耐熱、不透明之特性” 論文 2007

[六] 郭文法”塑膠-不再是生態的隱形殺手”論文 2007

[七] 日經產業新聞第 15 版 2007/06/21

[八] 廖聖如”聚乳酸有機/無機奈米複合材料技術現況與發展”
論文 2007。

[九] 何長鴻、王朝輝”共聚合反應/混摻技術改質聚乳酸分子”論
文 2007。

[十] NEC 日本株式會社

<http://www.n-keitai.com/n701ieco/fec.html>