

# 中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生活與應用科學(二)科

第三名

082912

「杯著希望，重返融耀」

學校名稱：嘉義縣朴子市大同國民小學

作者：	指導老師：
小五 謝亦程	蘇靜芳
小六 蔡昀彤	陳菽靜
小六 彭勻霖	
小五 沈依庭	
小六 鄭詒鴻	
小五 柯加恩	

關鍵詞：聚乳酸、複合材料、落球衝擊試驗

## 摘要

本研究以咖啡渣和茶葉渣做為廢棄聚乳酸的混合材料，並以添加廢棄生質材料之「不同重量比例」為操縱變因，探討其對廢棄聚乳酸混摻天然生質廢棄物複合材料之機械性質的影響。實驗設計以廢棄聚乳酸為對照組，以加入不同重量比例的天生生質廢棄物為實驗組，測其「硬度」、「抗衝擊強度」、「拉伸強度」、「荷重」等，並以所得數值來判斷複合材料之機械性質。研究發現廢棄聚乳酸混摻較高比例咖啡渣和茶葉渣的複合材料之「抗衝擊強度」和「荷重」有明顯的提升，具有很好的補強效果。而 13%的複合材料為製作成品的最適比例。提供給**回收聚乳酸**一種新的應用途徑。可製作成盆栽、下午茶茶盤、肥皂盒、相框、手機架鑰匙圈、墊板，梳子、冰箱磁貼...等用品。期待所發展之廢棄聚乳酸複合材料未來能夠應用在更廣的層面。

## 壹、研究動機

放假時，與同學們相約來某一家連鎖咖啡店討論今年科展專題，當大家喝著冰飲料時，我們看到飲料杯底寫著 PLA 的英文字母，這令我們感到好奇，為什麼有些塑膠杯寫 PP 或是 PET，於是我們上網查資料，原來 PLA 是一種植物塑膠，科學家所研發出來的環保材質。在蒐集文獻過程中，我們看到了 2021 年 9 月 19 日公視新聞網的一則新聞---「環團揭露聚乳酸(PLA)環保迷思」，文章中指出：「越來越多超商、賣場等通路，標榜他們使用的 PLA 塑膠材質可以自然分解。但環保團體做了實驗，把咖啡杯、塑膠袋埋在土壤，過了一個月後，卻沒有分解的跡象，突破消費者迷思」。另外，北市環保局指出：「PLA 要在特定條件下才能分解，需採行工業堆肥，在 55°C 以上、濕度 80%~90%的土壤，埋上 6 到 12 個星期才能分解」，但若要將 PLA 塑膠回收，在台灣並沒有專門回收 PLA 的處理廠，若在回收時不小心混入傳統塑膠，可能導致傳統塑膠回收材料品質降低。因此，我們感到可惜的是 PLA 一旦被丟進垃圾桶，最後還是進了焚化爐，這樣便失去了科學家研發的初衷。

這篇報導開啟了我們的好奇心，PLA 只能與一般垃圾進行焚燒嗎？還有回收再利用的可能嗎？我們想到如果能將廢棄的聚乳酸塑膠杯加入咖啡渣或茶葉渣混製製成「生物可分解

的複合材料」，再製成具有咖啡香，茶葉香的再生用品（例如盆栽、午茶茶盤、肥皂盒、手機架、鑰匙圈、墊板、梳子、筆筒、冰箱磁貼...等），可以幫助它擁有新的魔力，用愛續杯，重塑前緣，愛護地球。



### 我們一起去連鎖咖啡店和超商蒐集聚乳酸塑膠杯

#### 相關教材

五上自然第三單元 熱對物質的影響。

六上數學第五單元 圓面積。

六上自然第四單元 神奇的電磁鐵。

六下自然第一單元 簡單機械(槓桿、輪軸、動力傳送)。

六下自然第三單元 珍愛家園愛護環境。

#### 分工與實作

- 1.自 110 年 10 月初開始一直到現在持續收集廢棄聚乳酸飲料杯，也拜託全校老師幫忙收集，放學後定期到鄰近的連鎖咖啡店和超商索取廢棄聚乳酸飲料杯。
- 2.自 110 年 9 月下旬起，兩位指導老師帶領我們六位學生利用每週二、四、五早自修及每週三下午 1:00~4:00 進行科展實驗實作。

## 貳、研究目的

研究一、探討廢棄聚乳酸(PLA)塑膠杯混摻天然廢棄生質材料的製程方法。

研究二、自製檢測工具來測定複合材料的機械性質。

研究三、找出「聚乳酸」與「天然廢棄生質材料」混摻後的最佳比例。

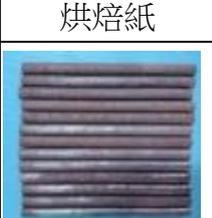
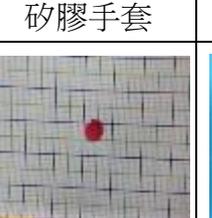
研究四、利用最適比例製成生物可分解的再生複合材料用品。

## 參、研究設備及器材

### 一、設備：

					
烤箱	測溫槍	熱風槍	電源供應器	智高積木	電鍋

### 二、器材：

					
PLA 塑膠杯	咖啡渣	紅茶葉渣	鋁盤	壓板	土壤檢測儀
					
烘焙紙	脫模劑	矽膠模具	試片切割器	矽膠手套	矽膠模具
					
小鐵釘	漆包線	電線	複寫紙	自製方格紙	250g 鐵球
					
護目鏡	活性碳口罩	計時器	電子游標尺	電子磅秤	無痕膠
					
固定鉗夾具	千斤頂	學生課桌	C 型夾具	6L 寶特瓶	0.7mm 銅線

## 肆、研究過程、結果與發現

本研究過程與方法如下圖 1 表示：

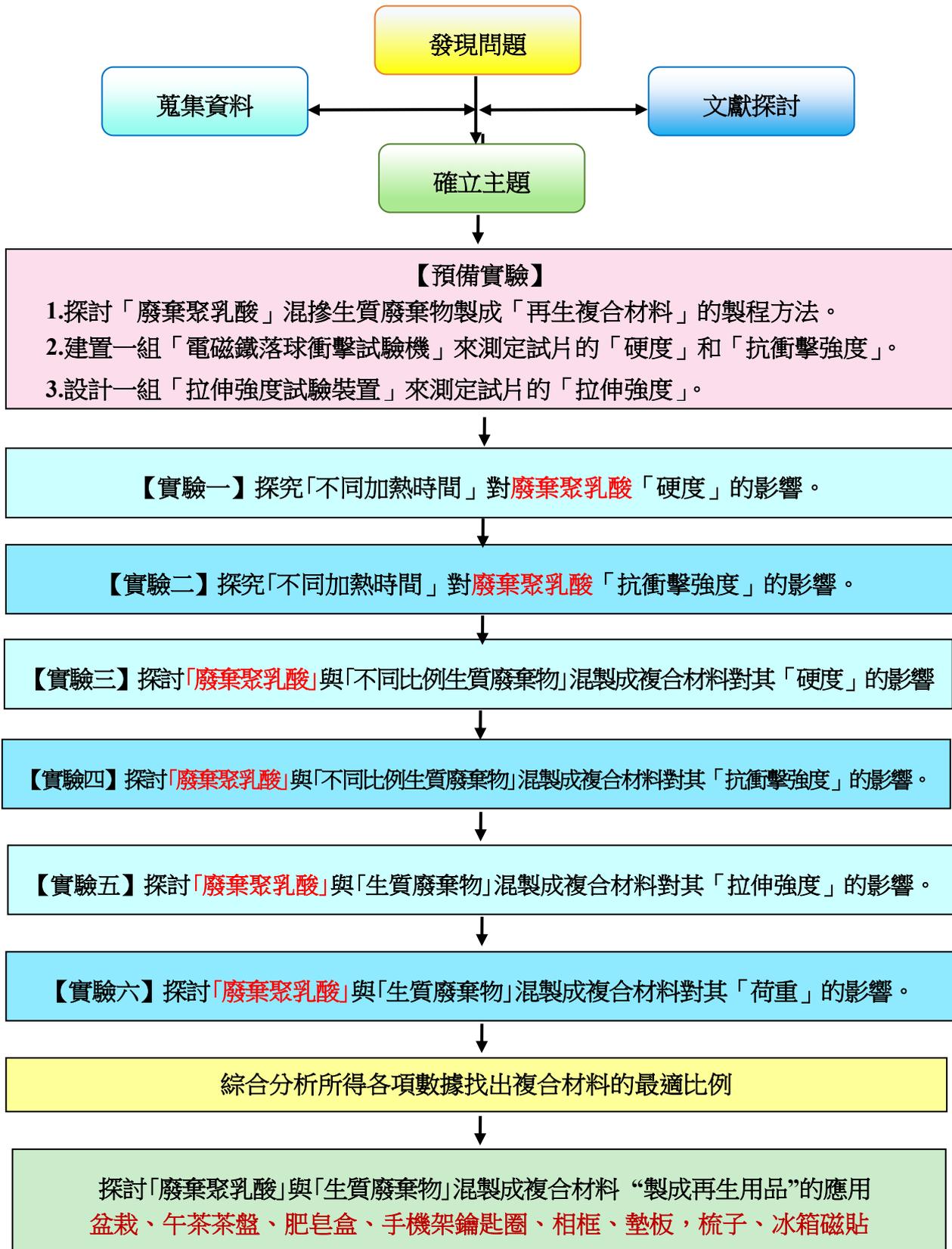


圖 1.研究流程圖

## 一、文獻探討

我們閱讀關於「聚乳酸 PLA」文章及歷屆全國科展作品集，將重點整理如下：

### (一) 生物可降解塑膠：

生物可降解塑膠就是能利用自然界微生物進行分解，最後成為水和二氧化碳或甲烷的塑膠。因為可分解，這種產品可和一般動植物垃圾與牲畜排泄物，乃至於樹枝、樹葉一起做堆肥，成為土壤改良材料與綠地土壤甚至肥料。若進行甲烷氣體化，則可回收成為能源。也可稱之為綠色塑膠 (陳立偉，2009)。

### (二) 聚乳酸 (英語：Polylactic Acid 或 Polylactide，縮寫：PLA)

聚乳酸為乳酸的聚合物，是一種原料取自植物的塑膠，幾乎已成為生物塑膠(Biomass Plastic)的代名詞。早在 1932 年，發明耐龍(Nylon)的美國杜邦公司就曾以乳酸(Lactide)為原料，合成高分子量的聚乳酸。1960 年代起，由於其優良的生物組織相容性，聚乳酸被廣泛應用於醫學材料，如縫線、組織再生支持材料、藥物緩慢釋放系統的基質材料等。時至 1980 年，由於塑膠廢棄物問題的浮上檯面，微生物分解性塑膠逐漸受到注目，聚乳酸也因此成為全球矚目的焦點材料 ([材料世界網](#)，2014)。

### (三) 聚乳酸的合成方法：(引自[材料世界網](#))

1. 聚乳酸聚合法— 開環聚合法：聚乳酸以 L-乳酸為原料，經脫水反應成寡聚物(Oligomer)，再經解聚環化反應(Depolymerization Cyclization Reaction)合成環狀雙聚乳酸，分離、精製後，再於熔融狀態進行開環聚合，製得高分子量的聚乳酸。但此製程會殘留未反應的乳酸、直鏈狀的寡聚物，製得的聚乳酸分子量並不高。此外，遇水即分解，穩定性不佳亦是缺點。因此，此製程中的乳酸原料需經精密的精製、分離，以控制 D-乳酸的含量。
2. 聚乳酸聚合法— 接聚合法：直接聚合法為將 L-乳酸直接脫水縮合的聚合法。先將熔融乳酸或乳酸溶液聚合至寡聚物狀態，加入觸媒，再加熱至融點以下的溫度，進行加熱聚合，於移動床反應器中製成高分子量的聚乳酸。相較於前述的開環聚合法，直接聚合法的產出物光學純度高、結晶化速度大，其缺點是脫水縮合反應速率小，聚合所需時間較長且反應容器較大。圖一是聚乳酸聚合反應示意圖 (圖 2)。

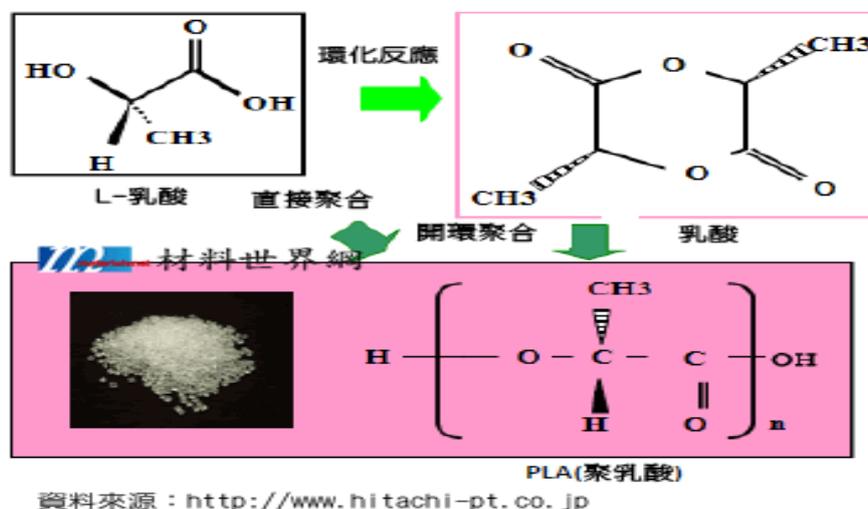


圖 2. 聚乳酸聚合反應示意圖 (引自 [材料世界網](#))

3.聚乳酸的特性：聚乳酸與一般的高分子材料不同，主要在於其兩項特性：其一為完全生物可降解性，其二為植物來源性。使用後能被自然界中微生物完全降解，最終生成二氧化碳和水，不污染環境。惟需在 55°C 以上、濕度 80%~90%的土壤，埋上 6 到 12 個星期才能分解。

(四)第 59 屆中小學全國科展，國小組生活應用科(二)：會呼吸的複合式環保蛋殼植栽容器。

- 1.探討利用蛋殼和天然物質聚乳酸，製造出可自行在土壤中分解的植栽容器。
- 2.說明：植栽容器會在土壤中自行崩裂，尚未完全分解的碎屑，繼續施放養分有助植物生長可以取代塑膠軟盆，是一種創新的作法。

(五) 2014 年臺灣國際科學展覽會，高中組工程學：聚乳酸/天然纖維複合材料之研究--探討聚乳酸加入玉米葉纖維對其機械性質之影響。

- 1.探討以玉米葉纖維做為聚乳酸纖維的補強材料，並以加入的玉米葉纖維長度為操縱變因，探討其對聚乳酸/玉米葉纖維複合材料機械性質的影響。
- 2.說明：拉伸強度與對照組差距不大，但在耐衝擊值卻比對照組高出許多。除此之外，拉伸強度和耐衝擊值都顯示加入。

(六) 第 56 屆中小學全國科展：高中組工程學科(二)「啡」咖文創產品。

- 1.探討廢棄咖啡渣添加於聚乳酸(PLA)材料製成 PLA 咖啡渣複合材料及製造 PLA 咖啡渣 3D 列印拉條的可行性
- 2.說明：只有 PLA+1%咖啡渣複合材料 3D 拉條能順利製作成杯墊產品，添加 10%咖啡渣對抗拉強度、彎曲強度下降幅度分別為 27.57%及 18%；顯示 PLA 添加咖啡渣後材料拉伸強度及韌性變差。

(七) 2011 年朝陽科技大學碩士論文：天然植物纖維補強聚乳酸綠色複材之研究

- 1.探討改善農業廢棄物鳳梨葉纖維與聚乳酸的複合材料之界面相容性，藉以提升複合材料的機械性質與耐熱性。
- 2.說明：研究結果顯示，經改質後不僅能有效提升聚乳酸與鳳梨葉纖維之間的界面相容性，也有效提升複合材料界面相容性的新路徑。

(八) 2009 年交通大學碩士論文：保壓過程之模溫控制對於聚乳酸、聚乳酸/洋麻纖維和聚乳酸/蒙脫土射出成形品的高次構造形成之影響

- 1.探討以生質材料聚乳酸分別與強化材洋麻纖維和蒙脫土做混練，再以聚乳酸及其複合物做射出成形且在其保壓階段操控模具溫度，並進行成形樣品的機械性質調查，探討高次構造的影響。
- 2.說明：研究結果顯示聚乳酸需要高溫且長時間的保壓才会有高次結構的產生，但若是高次結構不夠密集，亦無法對拉伸強度有所強化。聚乳酸長時間處於高溫下會造成 PLA 的劣化，有混練過的試片其拉伸強度普遍低於純 PLA 試片。

綜合相關文獻我們發現咖啡渣和茶葉渣在很多科展文獻中常拿來做植物的堆肥，提供養分，而我們也常見咖啡店或飲料店大多將這類生質材料直接丟棄，很少拿來再利用，因此我們才想到用這些材料來當作聚乳酸的添加物，秉持「取之自然，回歸於自然」的理念，一方面既可做成有**咖啡香或茶葉香**的生活用品，另一方面當我們製作的再生用品壞掉了，把它丟棄變成垃圾時還能是對**環境友善**的，最後也能透過生物物降解**回歸於自然**。[\(整理 PLA 之相關文獻資料如附件表一\)](#)。

## 二、研究過程與實驗步驟

研究一、探討廢棄聚乳酸(PLA)塑膠杯混摻天然廢棄生質材料的製程方法。

(一)【預備實驗】廢棄聚乳酸混摻「廢棄生質材料」製成複合材料的製程

1.參考文獻：第 59 屆中小學全國科展「會呼吸的複合式環保蛋殼植栽容器」利用烤箱加熱 PLA，在熔化的 PLA 中加入蛋殼粉，快速攪拌使蛋殼粉與 PLA 均勻混合。

2.研發過程：

(1)安全防護措施：做實驗時我們會帶活性碳口罩、穿著實驗衣、戴護目鏡及矽膠手套，開啟通風設備以保持實驗室空氣流通。

(2)我們根據文獻探討「會呼吸的複合式環保蛋殼植栽容器」的加熱方法，測試利用烤箱加熱聚乳酸所需溫度，一開始我們用比較低的溫度 150°C 來融化聚乳酸發現，融化效果不好，進一步查詢聚乳酸的熔點在 175-178°C，烤箱的溫度最高可以達到 230°C，因此改用較高溫度 230°C 來融化聚乳酸，以減少加熱時間。

(3)先將回收的聚乳酸杯子剪碎，取 10g 的聚乳酸放在鋁盤上（圖 3），放入烤箱大約 10 分鐘可以融化，並重新塑型（圖 4、圖 5）。



圖 3.秤取 10g 聚乳酸



圖 4.熔融狀聚乳酸



圖 5 聚乳酸重新塑型

(4)嘗試在聚乳酸中添加咖啡渣，我們先將聚乳酸加熱 10 分鐘後再加入咖啡渣，需在聚乳酸降溫前用鋼筷快速攪拌，造成鋁盤變形，不易脫模（圖 6），為了使聚乳酸與咖啡渣混合均勻我們戴隔熱手套，將聚乳酸從鋁盤取下，用手快速揉捏成團狀（圖 7），但溫度太高戴手套仍會燙手。

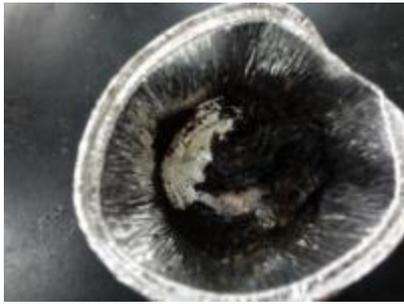


圖 6.在熔融狀的聚乳酸中添加咖啡渣，鋼筷攪拌後鋁盤變形

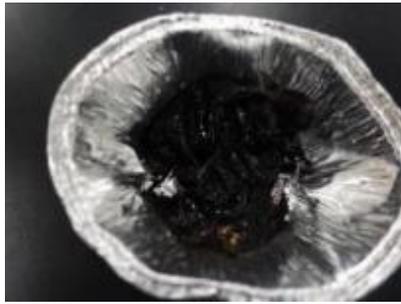


圖 7.揉成團狀

(5)聚乳酸加熱到 230°C 後，置於室溫下約兩分鐘後溫度就會下降至 120°C，此時聚乳酸已經凝固，無法再塑型，故需重複加熱，待其軟化後再迅速塑型。聚乳酸沾黏在鋼筷和手套後便很難再取下，成品不如預期，實驗失敗（圖 8）。



嘗試用手捏塑



捏塑成形(聚乳酸已凝固)



手套沾黏聚乳酸

圖 8

### 3.修正製程：

- (1)為了解決鋁盤沾黏問題，我們改用烘焙用的鐵製模具，並搭配相同造型的模具壓桿來製作試片（圖 9），在模具底部和側邊鋪好防沾黏的烘焙紙，底部脫模雖然有改善，但側邊的烘焙紙無法取下，成品依然不如預期。（圖 10）
- (2)改用橢圓形模具，減少直角，並在模具側邊加噴脫模劑，測試脫模效果，脫模情況改善，但側邊仍殘留烘焙紙無法清除乾淨（圖 11）。
- (3)我們上網搜尋其他可耐高溫非鐵製器皿，發現一種烘焙蛋糕或吐司的矽膠模具，可以放入烤箱中烘烤，它除了非常耐高溫外，也使吐司易脫模，不沾黏。
- (4)嘗試改用矽膠模具進行聚乳酸加熱融化，效果非常不錯，除了不沾黏易脫模外，製作試片也能控制大小均勻一致，減少實驗誤差。（圖 12）



圖 9.烘焙模具和壓桿



圖 10.側邊仍不易脫模，烘焙紙沾黏，無法取下。



圖 11.改用橢圓形模具，加噴脫模劑，脫模情況改善，但邊緣仍殘留烘焙紙。



圖 12.用矽膠模具烘烤後脫模效果佳，大小均勻一致，減少實驗誤差。

### 4.決定試片規格、大小及厚度：

我們選用邊長 6cm\*6cm 的矽膠模具來製作試片，取 10g 聚乳酸放入模具中，進行加熱融化塑型，並用壓桿將表面壓平，共製作 5 片，用電子游標尺測量試片厚度約 0.23cm、0.25cm、0.24cm、0.26cm、0.25cm，厚度很平均，表示定量聚乳酸下製作出來的厚度穩定性良好。

5.修正混摻咖啡渣和茶葉渣的製作程序：如圖 13、圖 14。

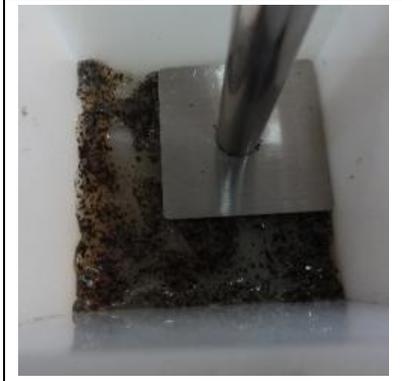
		
<p><b>【步驟一】</b> 先將混摻的材料(紅茶葉渣)倒入矽膠模具，再倒入聚乳酸，使其覆蓋茶葉渣，這樣茶葉渣或咖啡渣才不會烤焦。</p>	<p><b>【步驟二】</b> 加熱 20 分鐘後，用矽膠棒攪拌後壓平，因聚乳酸很快凝固，因此會來不及將混摻後的複合材料推到模具邊緣，故需重新加熱塑型。</p>	<p><b>【步驟三】</b> 再放入烤箱加熱 20 分鐘後，用壓桿將複合材料推開，並壓平。</p>

圖 13

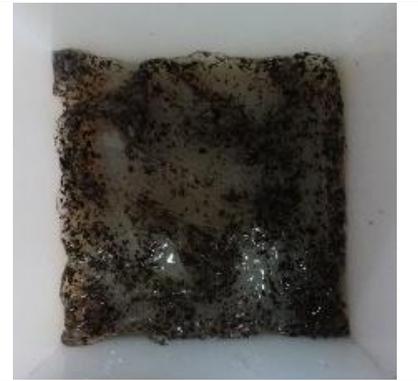
		
<p>因約兩分鐘後聚乳酸溫度就會下降至 120°C，此時聚乳酸已經凝固，無法再塑型，試片表面仍不平整。</p>	<p><b>【步驟四】</b> 繼續放入烤箱加熱 20 分鐘，待聚乳酸軟化後，再用壓桿壓平冷卻。</p>	<p>此為脫模後表面平整均勻的試片，製作過程嘗試縮短加熱時間，但仍無法讓試片表面平整，最後決定固定烘烤時間為 60 分鐘及烘烤溫度為 230°C。</p>

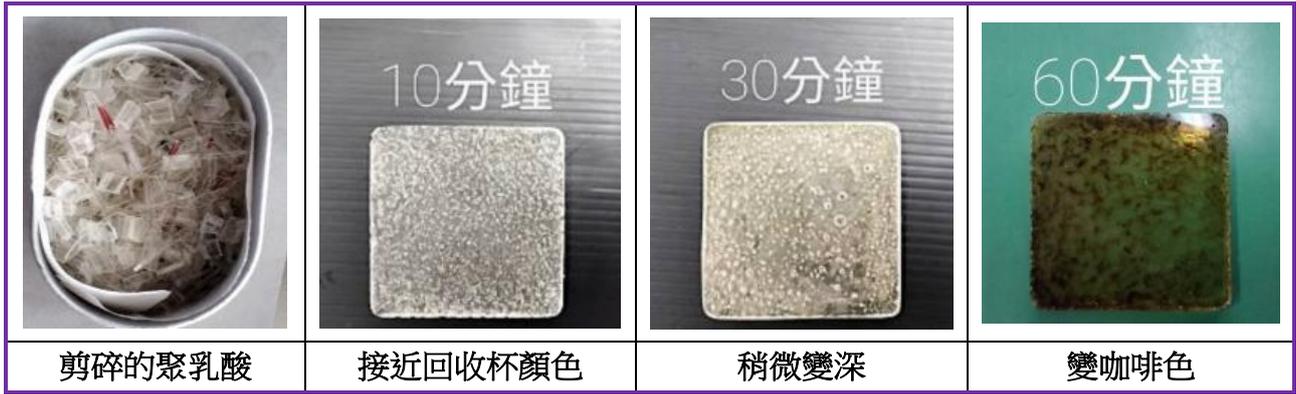
圖 14

6.修正聚乳酸的加熱溫度：我們將製作好的聚乳酸試片，以「第二代電磁鐵落球試驗機」做預試，發現烤箱溫度設定太高，造成聚乳酸產生裂解現象。

(1)操縱變因：加熱的時間為10分鐘、30分鐘、60分鐘。

(2)控制變因：烤箱溫度230°C、試片大小6cm\*6cmm、聚乳酸10g、相同的烤箱。

(3) 試片外觀變化

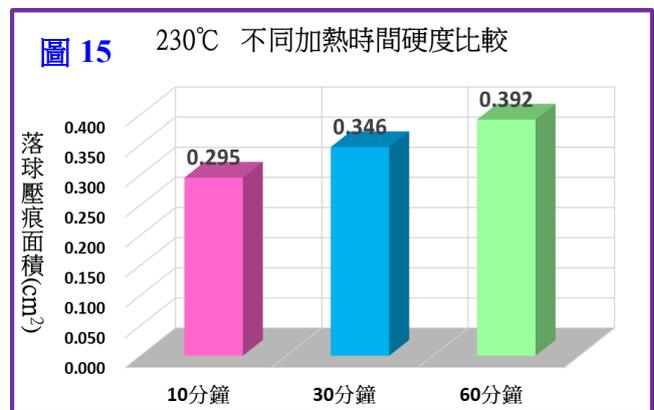


(4) 硬度比較：落球壓痕面積越小，表示硬度越大(在研究二、自製檢測工具有說明)

表一、不同加熱時間硬度比較

時間 試片	10 分鐘	30 分鐘	60 分鐘
1	0.290	0.290	0.415
2	0.310	0.385	0.420
3	0.286	0.363	0.340
落球壓 痕面積 平均數	0.30	0.35	0.39

單位：cm<sup>2</sup>



(5) 抗衝擊強度比較：落球撞擊次數越多，表示抗衝擊強度越大。(在研究二、自製檢測工具有說明)

表二、不同加熱時間抗衝擊強度比較

時間 試片	10 分鐘	30 分鐘	60 分鐘
1	208	51	1
2	283	63	1
3	302	70	1
落球撞 擊損毀 平均次數	264.3	61.3	1.0

單位：次

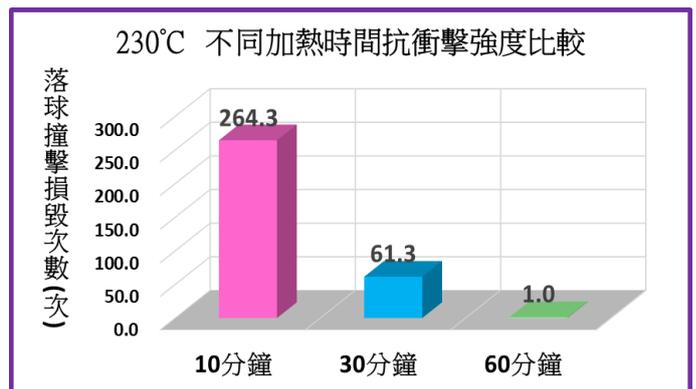


圖 16

(6) 預試結果

由實驗數據可知加熱溫度太高，導致聚乳酸產生裂解現象，隨著加熱時間的增加硬度逐漸變小（如表一、圖 15），而抗衝擊的強度也變小（如表二、圖 16），溫度太高聚乳酸已經產生裂解。

(7) 討論：

預試結果不理想，我們進一步蒐集相關文獻找出聚乳酸熔點 175-178°C，沸點 230°C 但在達沸點前便會產生裂解現象，使得聚乳酸一壓即碎。

研究二、自製檢測工具來測定複合材料的機械性質。

## (二)【預備實驗二】建置一組「第四代電磁鐵落球試驗機」

1.落球試驗機文獻：「落球衝擊試驗機」是將試片擺放在機台下平台上，選用特定尺寸之鋼球自高處自由落下，利用電磁鐵控制鐵球落下，使其打擊試片之表面，觀察試件之表面受損程度，可依試片狀況調整鋼球直徑和測試高度進行測試試件的抗衝擊耐受性。(引自 [QC-637 落球衝擊試驗機](#))

2.研發過程：

(1)我們根據文獻探討，參考自「產品型號：QC-637 落球衝擊試驗機」裝置（圖 17），並重新設計改良自我們去年科展作品的「第一代電磁鐵落球試驗機」（圖 18）。用智高積木固定好電磁鐵後，變更組裝落球架為約 31 公分，此為「第二代電磁鐵落球試驗機」（圖 19），使用 500g 鐵球試打對照組聚乳酸試片，我們發現試片抵抗落球衝擊數不到 20 次便破裂，落球衝擊力過高，後來改用 250g 鐵球測試，抵抗落球衝擊數為 300 次以上，導致落球衝擊力過低，鑑別度低，不易分辨出試片抗衝擊的優劣程度。

(2) 使用「第二代電磁鐵落球試驗機」時常遇到纏繞的漆包線過熱，導致磁力失效，有時也導致供電器的保險絲燒斷，因此我們打算重新製作一顆電磁鐵。



圖 17. [QC-637 落球衝擊試驗機](#)

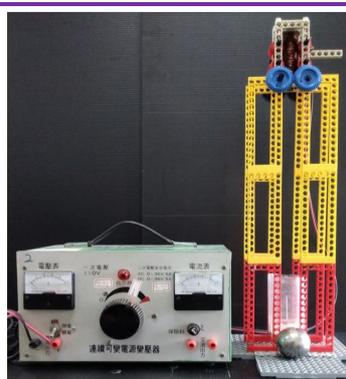


圖 18. 第一代電磁鐵落球試驗機（去年科展作品）



圖 19. 第二代電磁鐵落球試驗機（今年改良）

(3)使用 250g 鐵球落球衝擊力過低，故修正落球架高度為 46cm，另外針對電磁鐵溫度過高，導致磁力失效的問題，提出解決方法，我們改用 0.5mm 的漆包線製作電磁鐵，重新組裝「第三代電磁鐵落球試驗機」（圖 20）。

(4)「第三代電磁鐵落球試驗機」測試結果：增加球架高度**可提供較適當的衝擊力，提高檢測抗衝擊的鑑別度**，但操作時仍常遇到電磁鐵過熱、磁力失效、保險絲燒斷等問題。

(5)電磁鐵的磁場大小與電流大小、線圈匝數成正比，確認這些因素後我們要解決電磁鐵過熱問題，我們想到在「六下自然神奇電磁鐵單元活動 4-3 電磁鐵製作實驗」，有學到漆包線的粗細會影響電阻，越細產生的電阻越大，容易造成過熱，越細的銅線所能付載的電流越小，因此改用 0.7mm 的漆包線製作電磁鐵，解決了我們遇到的問題。

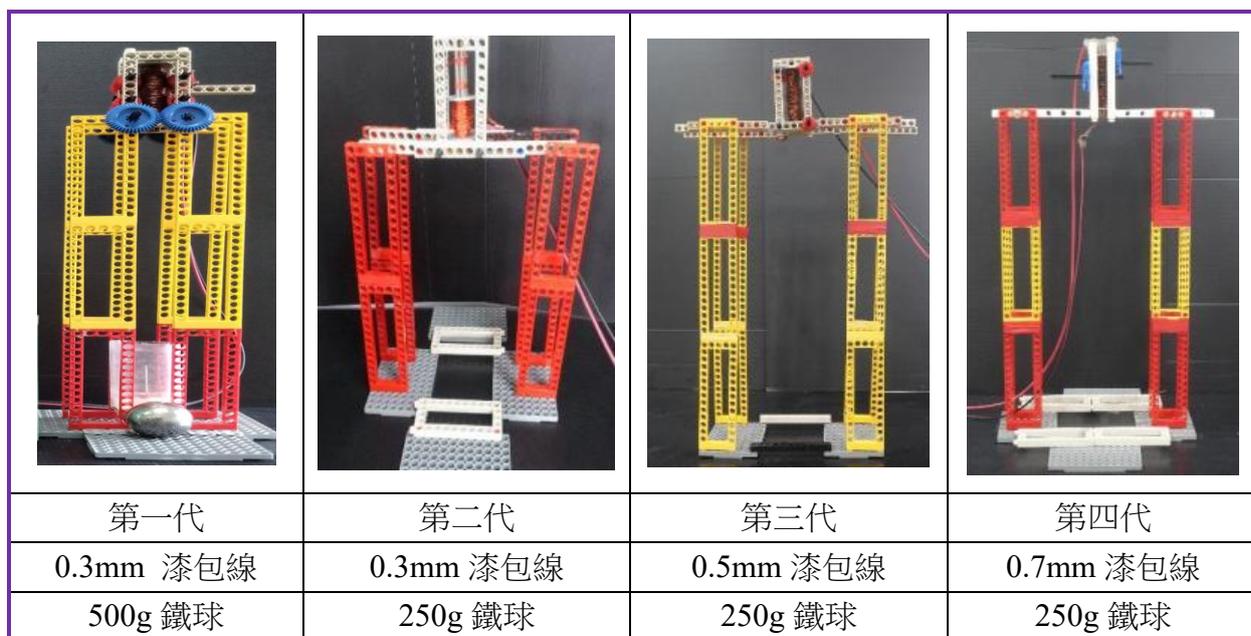


圖 20

(6)注意事項：因智高積木是塑膠製品，因此漆包線連接電線到「連續可變電源變壓器」時要避免碰觸到積木，以免導線溫度升高，破壞積木，故在連接的地方需用耐高溫的無痕膠做隔絕處理。(圖 21)

(7) 為了能提供穩定電流，連接「連續可變電源變壓器」(圖 22) 來代替電池組，除了用來增強電磁鐵磁力，並利用這台變壓器的斷電開關，控制鐵球自由落下的時機，以減少人為控球。

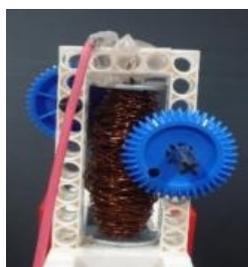


圖 21.無痕膠隔絕處理



圖 22.電源變壓器

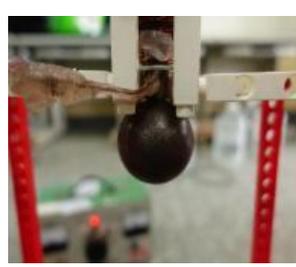


圖 23.通電可吸住鐵球

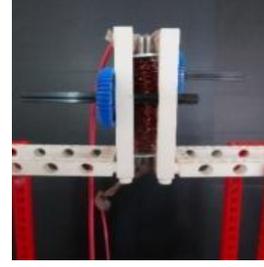


圖 24.固定好電磁鐵

3.可信度評估：

(1)將白紙墊在落球架下方，再蓋上複寫紙，當球落下擊中複寫紙後，會在白紙上印出紅色的落球痕跡，為了測試鐵球是否每一次都能打在同一個位置，我們準備五張白紙，在每張紙上連續打了五次落球。

(2)由圖 25 結果可發現：有些落球位置會重疊，有些有點偏離，但印痕大多集中在相同的區域，表示落球點的位置穩定性良好。

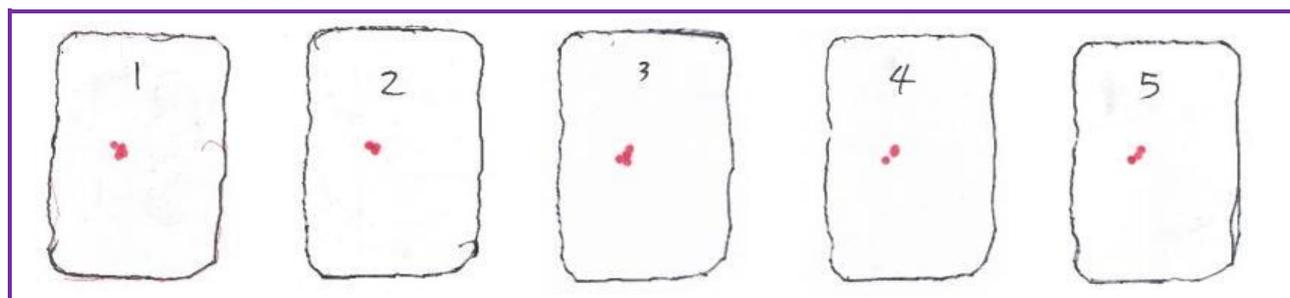


圖 25

#### 4.操作及定位方法：(圖 26)

- (1)【步驟 1】在地面上放一張複寫紙，讓鐵球落下打在地面上印出落球位置，做為定位點。
- (2)【步驟 2】做好定位後，再將試片中心位置放在落球點上。
- (3)【步驟 3】用膠帶固定試片邊緣，避免落球衝擊時移動試片位置。
- (4)【步驟 4】開啟電源開關，通電後電磁鐵吸住鐵球，再關閉電源讓鐵球落下衝擊試片。

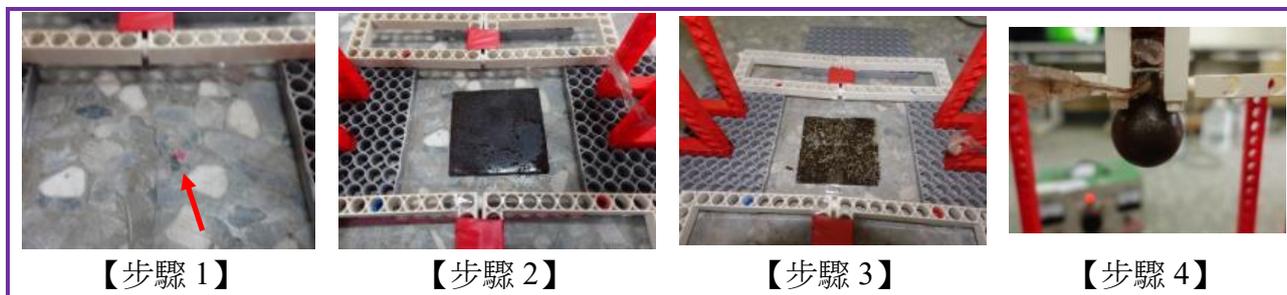


圖 26

#### 5.要如何判定聚乳酸試片的硬度：(圖 27)

- (1)【步驟 1】定位後，將試片放在落球架下。
- (2)【步驟 2】在試片上面放方格紙。
- (3)【步驟 3】在方格紙上面放複寫紙，當球落下時，複寫紙墨色會清楚的印在方格紙上。
- (4)【步驟 4】計算印痕面積，其壓痕面積越大代表硬度越小。

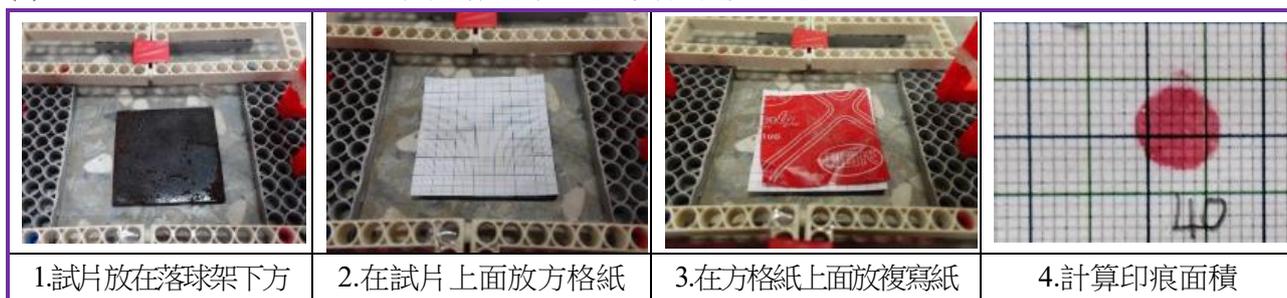


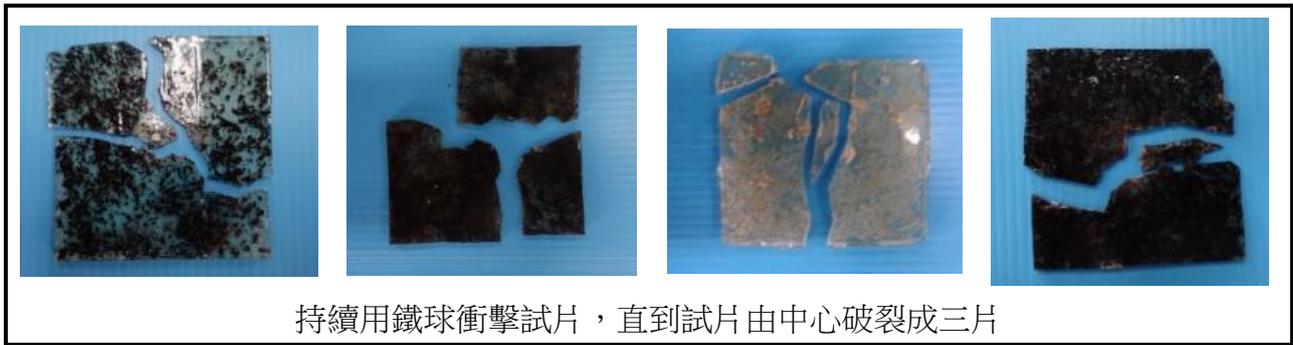
圖 27

#### 6.如何計算壓痕面積：

- (1)自製方格紙每一小格面積為  $0.01\text{cm}^2$ ，我們利用六上學期數學單元 5-2 圓面積教過的估算方法，分別計數完整格子數和不完整格子數，鐵球印痕面積 = [完整格子的數 + (不完整格子數  $\div$  2)]  $\times$   $0.01\text{cm}^2$ 。
- (2)將收集到的方格紙印痕用平板電腦拍照後，再用電腦將照片放大進行面積判讀以減少計算誤差。

#### 7.如何判定聚乳酸試片的抗衝擊強度

- (1)持續用鐵球衝擊試片，直到試片由中心破裂成三片為止(如圖 28)，並記錄落球衝擊次數，以「落球衝擊損毀次數」代表「抗衝擊強度」，落球衝擊次數越多，表示「抗衝擊強度」越大。
- (2)判定試片破裂程度會因人的視覺主觀因素容易造成誤差，因此進行判定時是由我們組員六位同學，和兩位指導老師，一起判定共同標準(圖 28)。



持續用鐵球衝擊試片，直到試片由中心破裂成三片

圖 28

(三)【預備實驗三】設計一組「**拉伸強度試驗裝置**」(圖 33)

1. 拉伸強度試驗機文獻：原理是將試片置於試驗機內，然後施加壓力，則試片隨拉力之荷重增加而逐漸伸長，將每一荷重及其所對應之伸長量逐一記錄下來，由此加以分析材料之各項性質（陳立偉，2009）。

2. 研發過程：

- (1) 我們根據文獻探討，參考自「產品型號：[QC-500M1F 拉力試驗機](#)」裝置（圖 29），為了方便使用拉桿轉動千斤頂，我們將學生的課桌倒過來，利用兩組 C 型夾具將千斤頂固定於桌腳一端（圖 30）。
- (2) 將固定鉗夾具固定於千斤頂的頂端（圖 31），再用另一組大型固定鉗夾具固定於桌腳的另一端（圖 32）。
- (3) 以固定型夾具夾住試片兩端後，用水平尺測量裝置的水平性，試片需與地面保持平行，使夾具能平均施壓於試片兩端，減少測量誤差。



圖 29.  
[QC-500M1F 拉力試驗機](#)



圖 30. 用 C 型夾具固定千斤頂於桌腳。



圖 31. 將固定鉗夾具固定於千斤頂頂端。



圖 32. 大型固定鉗夾具固定於桌腳另一端。



圖 33 拉伸強度試驗完整裝置圖

3. 如何判定聚乳酸試片的拉伸強度

- (1)將試片固定好後，轉動千斤頂的拉桿（圖 34），直到試片斷裂，便停止轉動。
- (2)計數千斤頂「轉動的螺紋數」來代表拉伸強度（圖 35）。



圖 34 試片斷裂，便停止轉動

圖 35.計數轉動的「螺紋數」來代表拉伸強度

- 4.觀察進行預試的試片外觀發現在拉的過程試片斷裂前有**縮頸**現象（圖 36）



圖 36

研究三、找出「聚乳酸」與「天然廢棄生質材料」混摻後的最佳比例。

#### (四)【實驗一】探究「不同加熱時間」對廢棄聚乳酸「硬度」的影響。

1.目的：在決定本研究最後使用的加熱時間。

2.實驗過程：

(1)方法：將聚乳酸塑膠杯剪碎後放入矽膠模具，再放入烤箱烘烤，待其融化後用壓桿將表面壓平。在預試時烤箱溫度設定 230°C，只需加熱 10 分鐘，就能做好 10 g 的聚乳酸試片，後來降低烤箱溫度設定為 200°C，則須至少 15 分鐘才能完全融化壓平塑型，我們也觀察到聚乳酸從融化到凝固的時間大約 3 分鐘，因此需在短暫的時間快速將表面壓平塑型，做好試片，若來不及壓平，則需重新放入烤烘 10~15 分鐘，才能再做壓平塑型，最後以「第四代電磁鐵落球試驗機」來測量硬度。

(2)操縱變因：加熱的時間為15分鐘、20分鐘、25分鐘、30分鐘、35分鐘、40分鐘、45分鐘、50分鐘、55分鐘、60分鐘。

(3)控制變因：烤箱溫度設定200°C、試片大小6cm\*6cm、聚乳酸10g、相同的烤箱。

(4)應變變因：測量所得「落球印痕面積」。

### 3.實驗記錄

(1)在試片上取三個不同位置進行硬度測試，並計算三個落球印痕面積，再取平均值，做為該試片的硬度值。(圖 37)

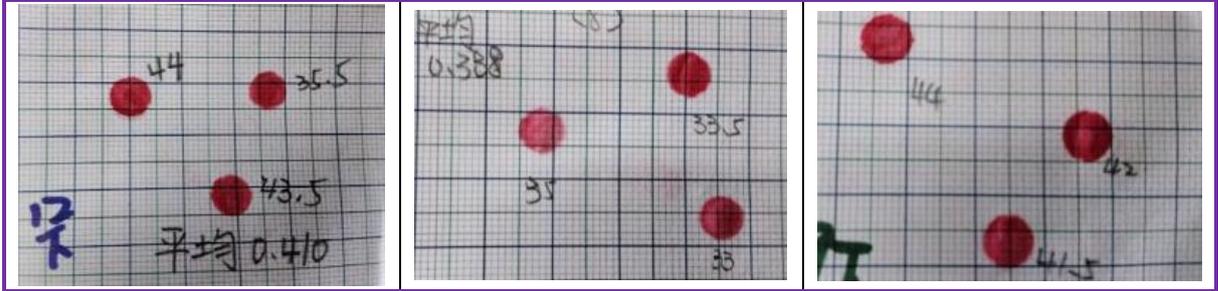


圖 37

(2) 不同加熱時間硬度比較

表三、定溫 200°C 不同加熱時間硬度比較

時間 試片	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘	35 分鐘	40 分鐘	45 分鐘	50 分鐘	55 分鐘	60 分鐘
1	0.337	0.357	0.377	0.357	0.360	0.370	0.372	0.417	0.397	0.410
2	0.347	0.345	0.387	0.362	0.352	0.383	0.393	0.370	0.413	0.425
3	0.350	0.338	0.338	0.350	0.370	0.368	0.365	0.425	0.430	0.413
落球壓 痕面積 平均數	0.345	0.347	0.367	0.356	0.361	0.374	0.377	0.404	0.413	0.416

### 4.實驗結果：

由下圖 38 可知加熱 15 分鐘的試片印痕面積最小，表示硬度最大，60 分鐘的試片印痕面積最大，表示硬度最小，惟 25 分鐘的試片硬度略小於 30 分鐘的試片。

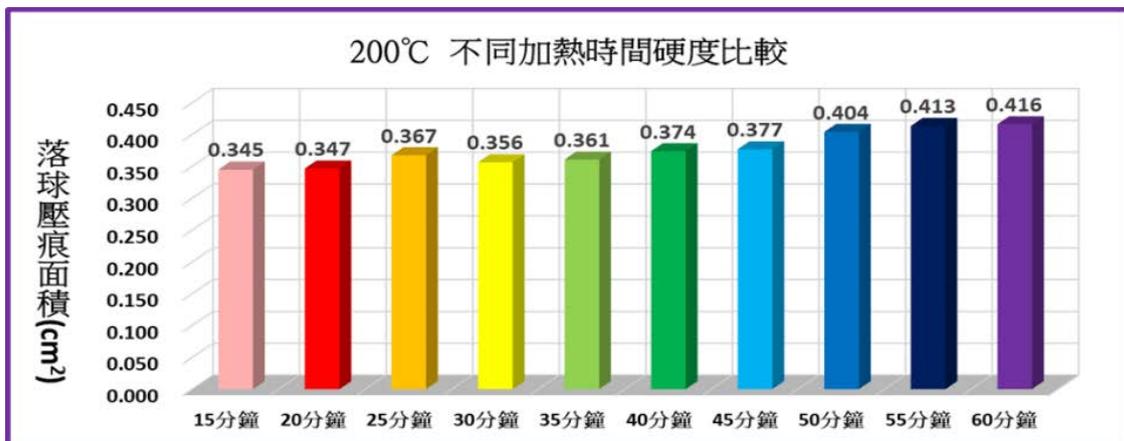


圖 38

### 5.實驗發現與討論

(1)由硬度指標趨勢圖（圖 39）可知，隨著加熱時間的增加，落球壓痕面積逐漸變大，表示

加熱時間越長，聚乳酸試片硬度越小，雖然 25 分鐘試片的硬度略小於 30 分鐘，但差距不大。

(2)因複合材料試片製作過程時間需至少 60 分鐘，因此由這次實驗可以計算 60 分鐘試片的硬度指標為 0.0240，15 分鐘試片的硬度指標為 0.0290， $[(0.0290-0.0240)/0.0290] * 100\% \approx 17\%$ 】硬度指標的變動約為 17%，表示變動不大。

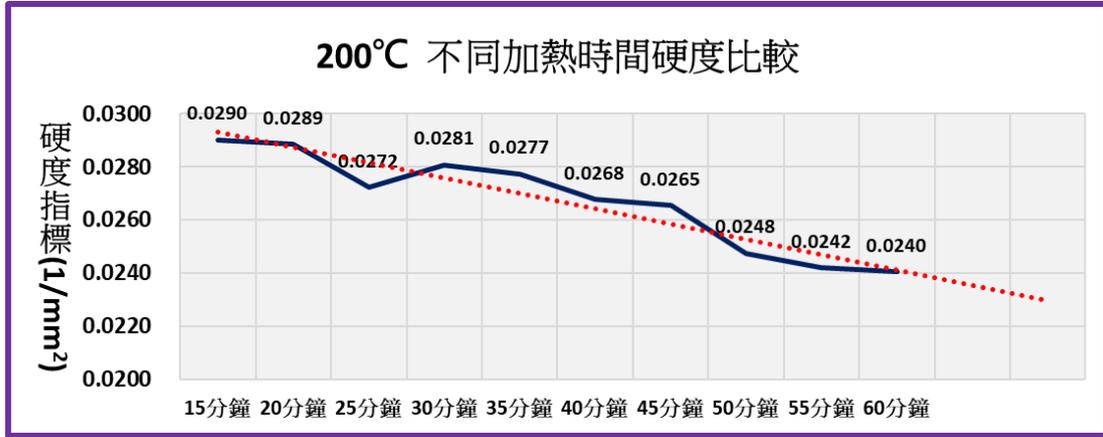


圖 39

(五)【實驗二】探究「不同加熱時間」對廢棄聚乳酸「抗衝擊強度」的影響。

1.實驗目的：在決定本研究最後使用的加熱時間。

2.實驗過程：

(1)方法：我們將製作好的聚乳酸試片，以「第四代電磁鐵落球試驗機」來測量抗衝擊強度。

(2)操縱變因：加熱的時間為15分鐘、20分鐘、25分鐘、30分鐘、35分鐘、40分鐘、45分鐘、50分鐘、55分鐘、60分鐘。

(3)控制變因：烤箱溫度設定200°C、試片大小6cm\*6mm、聚乳酸10g。

(4)應變變因：測量所得「落球撞擊次數」。

3.實驗記錄

表四、定溫 200°C 不同加熱時間抗衝擊強度比較

時間 試片	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘	35 分鐘	40 分鐘	45 分鐘	50 分鐘	55 分鐘	60 分鐘
1	16	17	14	15	12	9	7	8	10	8
2	14	14	16	13	15	12	8	10	7	10
3	17	15	13	16	14	14	12	9	8	8
落球撞擊損毀 平均次數	15.7	15.3	14.3	14.7	13.7	11.7	9.0	9.0	8.3	8.7

4.實驗結果

由圖 40 可知加熱 15 分鐘的試片落球撞擊損毀次數最多，表示抗衝擊強度最大，60 分

鐘的試片撞擊損毀次數最少，表示抗衝擊強度最小，惟 25 分鐘的試片抗衝擊強度略小於 30 分鐘的試片。

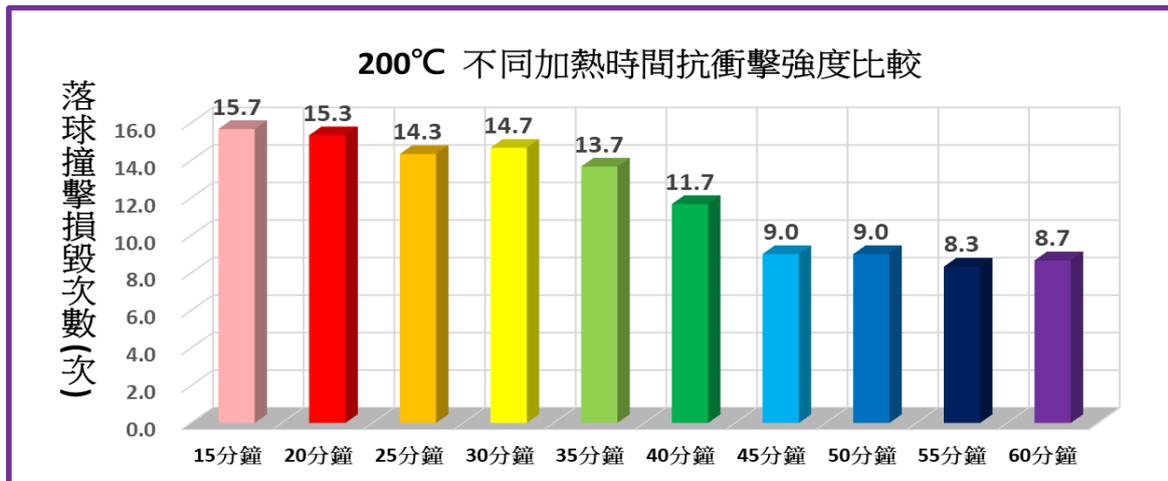


圖 40

5.實驗發現與討論：

- (1)由抗衝擊強度趨勢圖（圖 41）可知，隨著加熱時間的增加，落球撞擊損毀次數逐漸變少，表示加熱時間越長，聚乳酸試片抗衝擊強度越小，雖然 25 分鐘試片的抗衝擊強度略小於 30 分鐘，但差距不大。
- (2)因複合材料試片製作過程時間需至少 60 分鐘，因此由這次實驗可以計算 60 分鐘抗衝擊強度為 8.7，15 分鐘試抗衝擊強度指標為 15.7，【 $[(15.7-8.7)/15.7] * 100\% \approx 45\%$ 】抗衝擊強度的變動約為 45%，表示變動大，加熱時間越久抗衝擊強度越小

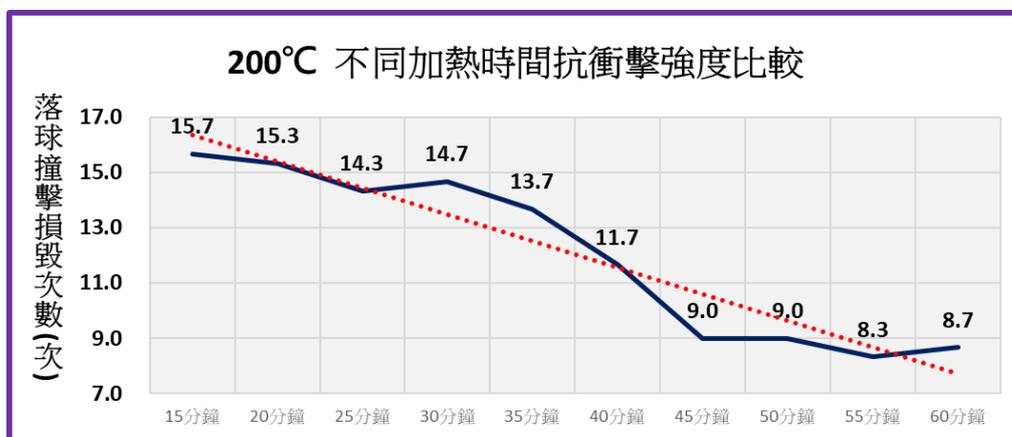


圖 41

(六)【實驗三】探討「廢棄聚乳酸」與「不同比例生質廢棄物」混製成複合材料對其「硬度」的影響。

1.實驗目的：找出本研究添加廢棄生質材料最好比例。

2.實驗過程：

- (1)方法：按照預備實驗的製程分別添加不同比例的咖啡渣和紅茶葉渣來製作複合材料的聚乳酸試片，複合材料製作的比例以重量百分比的變動來做測試，在等重的聚乳酸中添加不同量的咖啡渣 / 紅茶葉渣(如表五)。最後以「第四代電磁鐵落球試驗機」來測量其硬度。

表五、等重的聚乳酸中添加不同量的咖啡渣 / 茶葉渣

w%	3%	5%	10%	13%	15%
咖啡渣/茶葉渣	0.31g	0.53g	1.11 g	1.49g	1.76g
聚乳酸	10g	10g	10g	10g	10g

註：添加物重量/(添加物重量+聚乳酸重量)=添加物重量百分比% (w%)

(2)操縱變因：生質材料添加比例為3%、5%、10%、13%、15%。

(3)控制變因：烤箱溫度設定200°C、加熱時間60分鐘，試片大小6.5cm\*6.5cm、聚乳酸10g。

(4)應變變因：測量所得「落球印痕面積」。

### 3.實驗記錄：

表六、添加不同比例咖啡渣試片外觀的比較

試片外觀	3%	5%	10%	13%	15%
我的觀察	咖啡渣分佈的不均勻，還是有透明的地方。	咖啡渣分佈的比3%還要均勻，有較濃的咖啡香。	仍有透明的地方。部分PLA未沾黏到咖啡渣。	咖啡渣分布很均勻，有磨砂質感，有較濃的咖啡香味。	全黑，找不到透明的地方。但試片四角有咖啡渣剝落。

表七、添加不同比例茶葉渣試片外觀的比較

試片外觀	3% 茶葉	茶葉 5%	茶葉 10%	茶葉 13%	15%
我的觀察	較透明感，茶葉渣少較易攪拌，但茶葉香較淡。	部分透明感，有較濃的茶葉香。	試片看起來比較均勻但是還是有透明的地方。部分PLA未沾黏到茶葉渣。	茶葉渣分布很均勻，有磨砂質感及濃郁茶葉香。	較多茶葉渣，沒有混摻到試片裡。表示茶葉渣過量。

表八、添加不同比例咖啡渣/茶葉渣的硬度比較

試片	wt% 廢棄 聚乳酸	3%比例		5%比例		10%比例		13%比例		15%比例	
		咖啡渣	茶葉渣								
添加物	無										
1	0.360	0.392	0.437	0.380	0.478	0.395	0.468	0.410	0.473	0.450	0.500
2	0.382	0.367	0.435	0.410	0.455	0.403	0.493	0.420	0.457	0.415	0.460
3	0.338	0.350	0.263	0.365	0.412	0.395	0.468	0.408	0.498	0.457	0.530
落球印痕面積平均數	0.360	0.369	0.378	0.385	0.448	0.398	0.477	0.413	0.476	0.441	0.497
硬度指標 1/mm <sup>2</sup>	0.0278	0.0271	0.0264	0.0260	0.0223	0.0251	0.0210	0.0242	0.0210	0.0227	0.0201

落球印痕面積單位：cm<sup>2</sup>

#### 4. 實驗結果：

由圖 41、圖 42 可知，添加 15%咖啡渣或茶葉渣，測量出來的落球印痕面積均較大，此外由記錄表平均數比較 3%茶葉渣>3%咖啡渣，5%茶葉渣>5%咖啡渣，10%茶葉渣>10%咖啡渣，13%茶葉渣>13%咖啡渣，15%茶葉渣>15%咖啡渣。



圖 41、

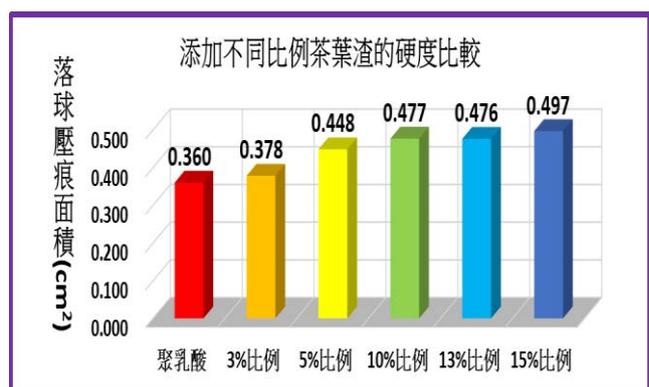


圖 42

#### 5. 實驗討論：

由硬度趨勢圖 43、圖 44 可知，隨著添加物比例的增加，硬度指標逐漸變小，比較添加 15%比例的硬度指標，茶葉渣<咖啡渣，可能是茶葉纖維的特性所致，而咖啡渣的顆粒較小特性使其與聚乳酸結合緊密。



圖 43

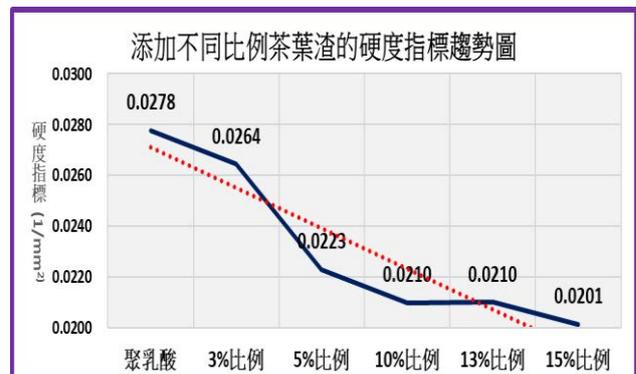


圖 44

(七)【實驗四】探討「廢棄聚乳酸」與「廢棄生質材料」混製成複合材料對其「抗衝擊強度」的影響。

1.實驗目的：添加咖啡渣和茶葉渣材料製成之複合材料的抗衝擊強度比較。

2.實驗過程：

(1)方法：我們將製作好的試片，以「第四代電磁鐵落球試驗機」來測量抗衝擊強度。

(2)操縱變因：生質材料添加比例為3%、5%、10%、13%、15%。

(3)控制變因：烤箱溫度設定200°C、加熱時間60分鐘，試片大小6.5cm\*6.5cm、聚乳酸10g。

(4)應變變因：測量所得「落球撞擊次數」。

3.實驗記錄：

表九、添加不同比例咖啡渣/茶葉渣的抗衝擊強度比較

試片	wt% 廢棄 聚乳酸	3%比例		5%比例		10%比例		13%比例		15%比例	
		咖啡渣	茶葉渣	咖啡渣	茶葉渣	咖啡渣	茶葉渣	咖啡渣	茶葉渣	咖啡渣	茶葉渣
1	4	38	35	49	62	68	81	86	84	78	288
2	4	36	43	46	65	72	74	73	107	73	169
3	8	31	39	46	44	78	80	62	74	75	286
落球撞擊損毀平均次數	5.3	35.0	39.0	47.0	57.0	72.7	78.3	73.7	88.3	75.3	247.7

單位：次

4.實驗結果：

由圖 45、圖 46 可知，添加 15%咖啡渣或茶葉渣，測量出來的抗衝擊強度均較大，此外由記錄表平均數比較 3%茶葉渣>3%咖啡渣，5%茶葉渣>5%咖啡渣，10%茶葉渣>10%咖啡渣，13%茶葉渣>13%咖啡渣，15%茶葉渣>15%咖啡渣。

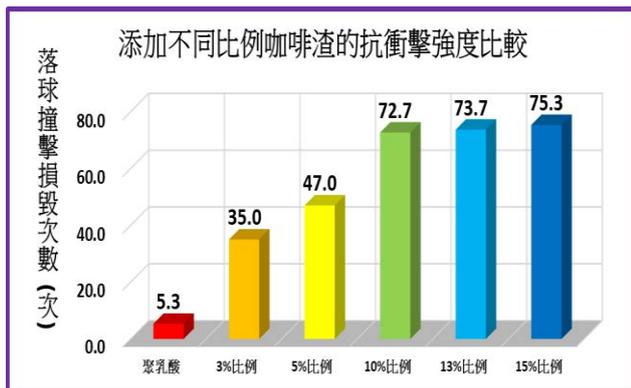


圖 45

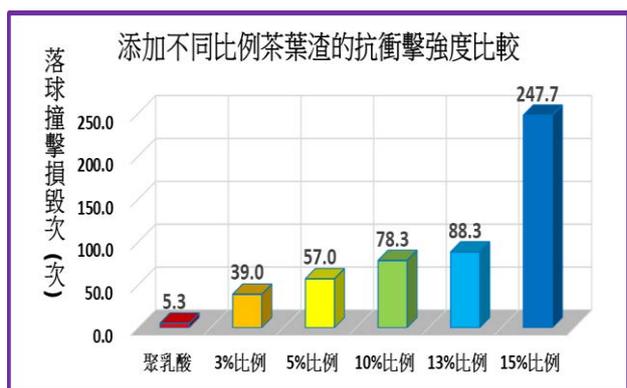


圖 46

5.實驗討論：

由抗衝擊強度趨勢圖(47、圖 48)可知，隨著添加物比例的增加，抗衝擊強度逐漸變大，比較添加 15%比例的抗衝擊強度，茶葉渣<咖啡渣，可能是茶葉纖維的強韌所致，使得複合材料的抗衝擊強度大幅提升。

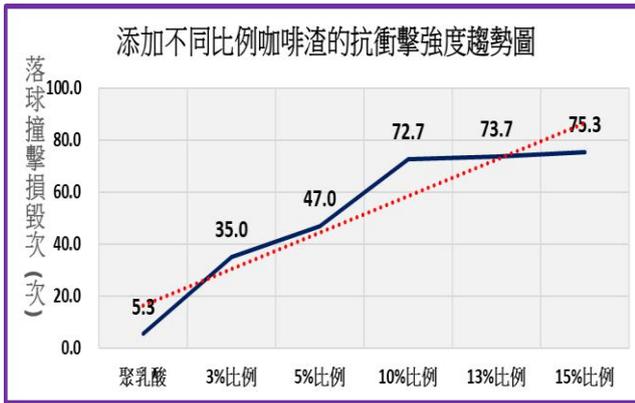


圖 47

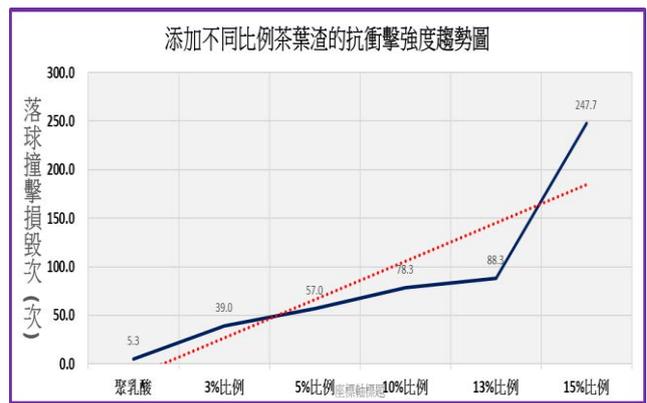


圖 48

(八)【實驗五】探討「廢棄聚乳酸」與「生質廢棄物」混製成複合材料對其「拉伸強度」的影響。

1.實驗目的：添加咖啡渣和茶葉渣製成之複合材料的拉伸強度比較。

2.實驗過程：

(1)方法：我們將製作好的試片，以「拉伸強度試驗裝置」來測量其拉伸強度。

(2)操縱變因：取對照組、13%咖啡渣、13%茶葉渣三種試片做比較。

(3)控制變因：烤箱溫度設定200°C、加熱時間60分鐘、試片大小10cm\*2.2cm、聚乳酸4g。

3.實驗記錄：

表十、複合材料拉伸強度比較

材料試片	對照組	13%茶葉渣	13%咖啡渣
1	28	15	13
2	29	17	16
3	30	18	15
轉動螺紋平均數	29.0	16.7	14.7

單位：螺紋數(個)

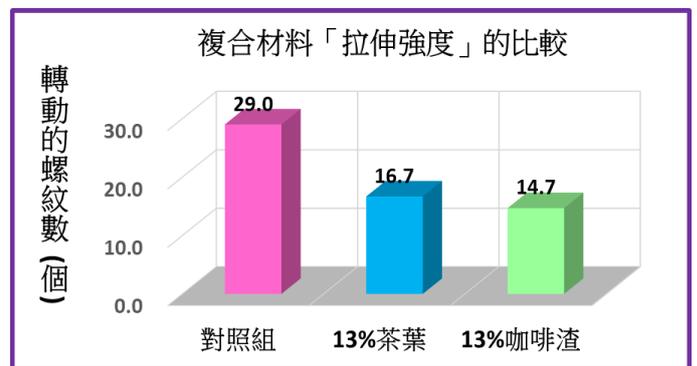


圖 49

4.實驗結果：

由圖 49 可知拉伸強度對照組 29.0 個螺紋>13%茶葉渣 16.7 個螺紋>13%咖啡渣 14.7 螺紋，複合材料的拉伸強度皆下降。

5.實驗討論：

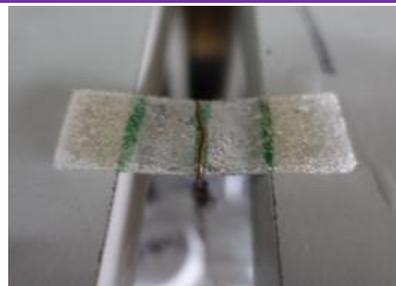
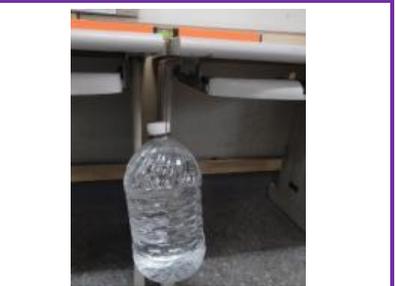
複合材料的拉伸強度皆不如聚乳酸(對照組)，我們的實驗結果與陳立偉(2009)論文提出添加強化材洋麻纖維和蒙脫土與聚乳酸混製成的複合材料無法提升其拉伸強度，有相同之處。另外我們也發現，添加茶葉渣的拉伸強度會優於咖啡渣。

(九)【實驗六】探討「廢棄聚乳酸」與「生質廢棄物」混製成複合材料對其「荷重」的影響。

1.實驗目的：添加咖啡渣和添加茶葉渣製成之複合材料的「荷重」比較。

2.實驗過程：

(1)方法：製作相同大小試片，在試片上畫出中線，固定受力面積及受力點（圖 50），使其受力均勻，並量測桌面的水平性（圖 51）以減少誤差，使用銅線吊掛 6 公升容量的水（圖 52），皆用 0.7mm 的銅線來固定受力面積，銅線與試片接觸的地方即為受力點，試片吊掛 5 天後，觀察試片折彎的情形。

		
圖 50.固定受力面積及受力點	圖 51.測量水平性	圖 52.試片吊掛 6 公升水
		
圖 53.對照組	圖 54.咖啡渣	圖 55.茶葉渣

(2)操縱變因：取對照組、13%咖啡渣、13%茶葉渣三種試片做比較。

(3)控制變因：烤箱溫度設定200°C、加熱時間60分鐘、試片大小6cm\*2.2cm、聚乳酸2.5g、固定銅線受力面積。

3.實驗記錄：

			
			
試片相同尺寸及厚度	角度大於 10 度	角度小於 10 度	角度小於 10 度

圖 56

4.實驗結果：

由圖 56 實驗照片可知對照組的折彎角度最大，13%茶葉和 13%咖啡渣試片兩者差不多，咖啡渣試片的折彎角度略大於茶葉渣試片的折彎角。

5.實驗討論：

由實驗結果可知添加咖啡渣和茶葉渣的複合材料後，「荷重」能力有增強，添加物補強了聚乳酸「荷重」的能力。

#### 研究四、利用最適比例製成生物可分解的再生複合材料用品。

##### (十)研發回收聚乳酸塑膠杯與生質廢棄物混製成複合材料後的用途

1.綜合分析所得各項數據以添加 13%的咖啡渣和茶葉渣製成的複合材料為最適比例，除了有較佳的機械性質外，外觀質感也較佳，15%的機械性質雖然優於 13%，但是外觀常有添加物脫落現象，因此我們最後選擇 13%比例來製作生活用，而咖啡渣和茶葉渣各有獨特香味，和補強效果。

##### 2.成品製作：



下午茶茶盤



墊板



梳子



盆栽



相框



冰箱磁貼



手機架鑰匙圈



肥皂盒



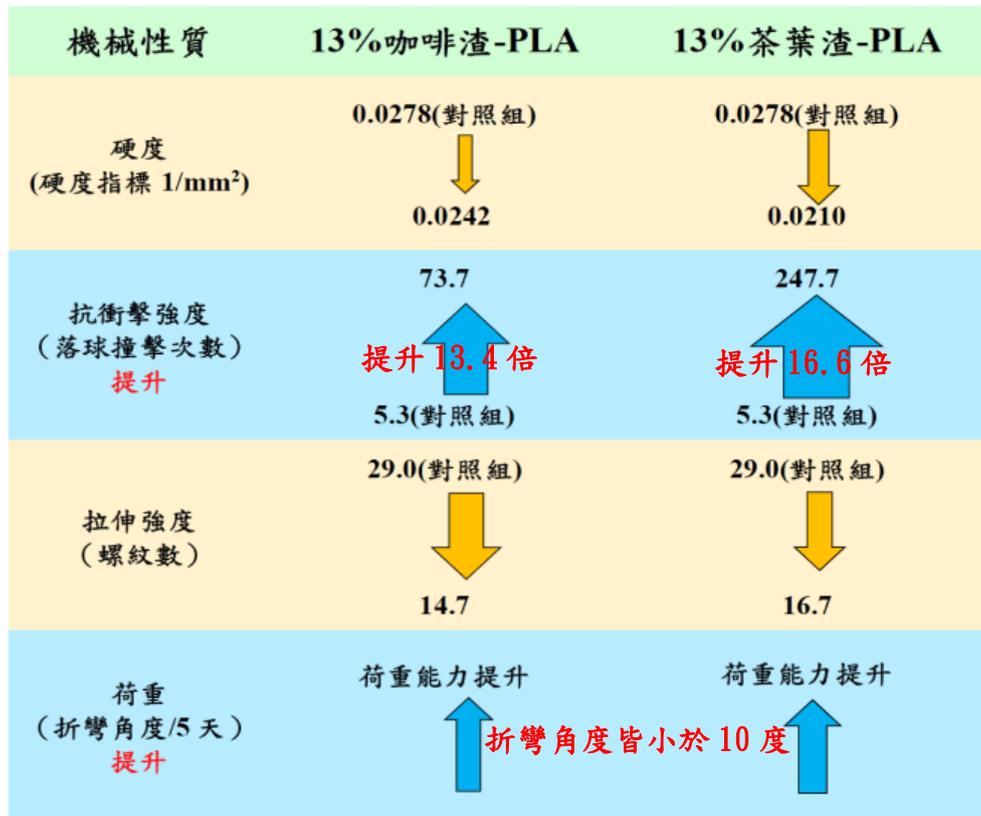
文字造型磁貼

## 伍、結論

- 一、聚乳酸加熱溫度太高（230°C），會導致 PLA 產生裂解現象，隨著加熱時間的增加會造成「抗衝擊強度」明顯下降。
- 二、在定溫 200°C 融化聚乳酸可趨緩聚乳酸產生裂解，但隨著加熱時間的增加，其「硬度」和「抗衝擊強度」會隨之下降。（60 分鐘試片硬度降為 15 分鐘的 0.83 倍，60 分鐘試片抗衝擊強度降為 15 分鐘的 0.55 倍）
- 三、廢棄聚乳酸混摻咖啡渣和茶葉渣的複合材料之「硬度」有明顯下降，茶葉渣低於咖啡渣。（13%咖啡渣渣降為原來的 0.87 倍，13%茶葉渣降為原來的 0.76 倍；15%咖啡渣渣降為原來的 0.82 倍，15%茶葉渣降為原來的 0.72 倍）
- 四、廢棄聚乳酸混摻咖啡渣和茶葉渣的複合材料之「抗衝擊強度」有明顯的提升，茶葉渣高於咖啡渣，具有補強效果。（13%咖啡渣渣**提升**為原來的 **13.4 倍**，13%茶葉渣**提升**為原來的 **16.6 倍**；15%咖啡渣渣**提升**為原來的 **14.2 倍**，15%茶葉渣**提升**為原來的 **46.7 倍**）
- 五、廢棄聚乳酸混摻**較高比例**咖啡渣和茶葉渣的複合材料的「抗衝擊強度」有明顯的提升，15%比例有較好的補強效果。
- 六、複合材料的「拉伸強度」皆不如對照組，複合材料無法提升其拉伸強度，而添加茶葉渣的拉伸強度優於咖啡渣。（13%咖啡渣渣降為原來的 0.51 倍，13%茶葉渣降為原來的 0.57 倍）
- 七、複合材料的「荷重」能力**有增強**，茶葉渣優於咖啡渣。（**折彎角度小於 10 度**）
- 八、13%比例的咖啡渣-PLA 及茶葉渣-PLA 複合材料為我們所測試的條件中的最適的比例。
- 九、廢棄聚乳酸添加咖啡渣或茶葉渣，可製成具有咖啡香或茶葉香的再生用品，**為廢棄聚乳酸提供了一種新的應用途徑。**

# 新的應用途徑

利用回收聚乳酸塑膠杯混摻天然生質廢棄物製成“再生複合材料”



## 陸、總結

利用回收聚乳酸塑膠杯混摻天然生質廢棄物製成的「再生複合材料」，經過機械性質測試，提升了抗衝擊強度，和荷重能力，可以運用在很多日常用品中！例如下午茶盤、肥皂盒、手機架鑰匙圈...，而一個手機架鑰匙圈，只需用一個杯子就能完成，兼具環保和實用，符合 SDGs 的未來永續概念。原本是要被當成垃圾丟掉的塑膠杯，我們重新再利用，讓它「重返融耀」，最後期待我們所發展的廢棄聚乳酸複合材料未來可以應用在更廣的層面，為地球減塑盡一份心力！

## 柒、參考資料及其他

陳立偉（2009）保壓過程之模溫控制對於聚乳酸、聚乳酸/洋麻纖維和聚乳酸/蒙脫土射出成形品的高次構造形成之影響。未出版之碩士論文，國立交通大學理工學院機械工程學系研究所。新竹市。

張文潔（2011）天然植物纖維補強聚乳酸綠色複材之研究。未出版之碩士論文，朝陽科技大學應用化學系研究所。台中市。

2014 年臺灣國際科學展覽會，高中組工程學：聚乳酸/天然纖維複合材料之研究--探討聚乳酸加入玉米葉纖維對其機械性質之影響。

第 59 屆中小學全國科展「會呼吸的複合式環保蛋殼植栽容器」。

第 56 屆中小學全國科展 高中組工程學科(二)「啡」咖文創產品。

材料世界網

<https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=11751>

公視新聞網

<https://news.pts.org.tw/article/545392>

萬能拉力試驗機示範

[https://www.youtube.com/watch?v=avnvn6Uiu\\_I](https://www.youtube.com/watch?v=avnvn6Uiu_I)

落球衝擊試驗機示範

[https://www.youtube.com/watch?v=aJpcNz\\_MBXY](https://www.youtube.com/watch?v=aJpcNz_MBXY)

落球衝擊試驗機

<https://www.cometech.com.tw/cht/impact-test-machine/QC-637-1.htm>

維基百科聚乳酸

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%81%9A%E4%B9%B3%E9%85%B8>

維基百科縮頸

<https://zh.m.wikipedia.org/wiki/%E9%A0%B8%E7%B8%AE>

附錄一

文獻來源	作品名稱	使用材料	進行探討的實驗	研究結果及特色
2009 年碩士論文(交通大學)	保壓過程之模溫控制對於聚乳酸、聚乳酸/洋麻纖維和聚乳酸/蒙脫土射出成形品的高次構造形成之影響	1.聚乳酸原料。 2.洋麻纖維 3.蒙脫土(無機奈米材料)。	1.抗拉強度測試 2.硬度測試 3.偏光顯微鏡觀察 4.電子顯微鏡(SEM)觀察 5.射出成形品製作	一、PLA 需在高溫且長時間的保壓才会有高次結構的產生。 二、而在與強化材混練過後的試片方面，因強化材未達預期的均勻分散效果，加上 PLA 處於長時間高溫環境，造成 PLA 的劣化，分子量下降。 三、拉伸強度方面，有混練過的試片普遍低於純 PLA 試片。
2011 年碩士論文(朝陽科技大學)	天然植物纖維補強聚乳酸綠色複材之研究	1.聚乳酸原料。 2.鳳梨葉纖維。 3.回收竹筴纖維。	1.以偶合劑改質 2.植物纖維改質光譜分析 3.熱性質分析 4.拉伸強度測試 5.彎曲強度測試 6.耐衝擊強度測試 7.動態機械分析儀測試	一、改質後提升了聚乳酸與植物纖維之間的界面黏著性。 二、改善複合材料的機械性質與熱性質。 三、添加 30wt%的改質纖維複合材料，拉伸強度提升了 60%，而彎曲模數提升了 66%。 四、在熱性質部分，在純聚乳酸中添加 30wt%的改質纖維後，其熱變形溫度由 80.9℃ 提升至 141.9℃，提升了 75%。 五、聚乳酸之熱性質、機械性質提升可降低材料之成本，且合乎環保之需求。
2014 年臺灣國際科學展覽會	聚乳酸/天然纖維複合材料之研究-探討聚乳酸加入玉米葉纖維對其機械性質之影響。	1.聚乳酸原料。 2.玉米葉纖維。	1.拉伸強度測試 2.耐衝擊強度測試	一、以拉伸強度和耐衝擊值來判斷機械性質的強度，實驗組與對照組 差距不大，但在耐衝擊值卻比對照組高出許多。 二、拉伸強度和耐衝擊值都顯示加入 2mm 玉米葉纖維在實驗組 擁有最佳的數值。 三、加入越長的玉米葉纖維反而不會擁有較佳的機械性質。
2015 年第 56 屆中小學全國科	「啡」咖文創產品。	1.聚乳酸原料。 2.咖啡渣。	1. PLA 咖啡渣複材混練造粒： 2.PLA 咖啡渣複材射出	1.利用咖啡渣之多孔結構及咖啡油脂，製備 PLAPLA / 咖啡渣複合材料， 可以製成厚度 3mm 試片杯墊成品。 2. PLA / 咖啡渣複合材料應用於 3D 列印材料是可行性，有別

展			飛盤及試片杯墊成品 3.依 ASTM D638 標準 量測拉 伸 強度	於市面上 PLA 加入 咖啡香精製造的 3D 列印材料，可以 將廢棄咖啡渣再利用，具有環保教育意義。
2018 年第 59 屆中小 學全國科 展	會呼吸的複合式 環保蛋殼植栽容 器	1.聚乳酸。 2.蛋殼。	1.蛋殼粉顆粒大小探究 2.材料比例探究 3.透水性實驗 4.耐用性測試 5.分解實驗 6.酸鹼緩衝實驗 7.成品應用探究	一、 植栽容器會在土壤中自行崩裂。 二、 繼續施放養分於植物生長所需。 三、 取代塑膠軟盆。
我們 的作品	杯著希望，重返 融耀	1.回收聚乳酸塑 膠杯。 2.咖啡渣。 3.茶葉渣。	1.添加天然廢棄物比例 探究。 2.自製檢測硬度工具(測 硬度)。 3.自製檢測抗衝擊強度 工具(測抗衝擊強 度)。 4.自製檢測拉伸強度工 具(拉伸強度)。 5.荷重能力測試。 6.生物降解實驗測試。	一、隨著加熱時間的增加會造成「抗衝擊強度」明顯下 降， 而硬度的變動不大。 二、混摻咖啡渣和茶葉渣的複合材料的「硬度」明顯下降。 三、「抗衝擊強度」有明顯的提升，具有補強效， 四、複合材料的「拉伸強度」不如對照組，無法提升其拉伸強 度。 五、複合材料的「荷重」能力有增強。 六、13%為混合的最適比例，可製作具咖啡香茶葉香的再生用 品。

## 【評語】 082912

本研究利用廢棄聚乳酸混和廢棄物製成再生複合材料有環保價值，參考先前相關研究作品和結果，找出製作再生 PLA 的方法，研究日誌亦十分詳實。然而，後續研究重點卻偏往說明測量硬度的機械設計，延續前人想法，有進行重複性量測，建議可以偏重在 PLA 的再生研究，例如：防水性、是否能夠分解...等。

## 作品簡報

# 「杯著希望，重返融耀」

利用回收聚乳酸塑膠杯混摻天然生質廢棄物製成“再生複合材料用品”的應用

國小組 生活與應用科學(二)科



# 與歷屆科展研究之比較

探討聚乳酸加入玉米葉纖維對其機械性質之影響

PLA/玉米葉纖維製成的複合材料其拉伸強度和耐衝擊值都顯示加入 2mm 玉米葉纖維在實驗組 擁有最佳的數值。(2014 年臺灣國際科學展覽會)

「啡」咖文創產品

PLA咖啡渣複合材料應用於 3D 列印材料是可行性，可將廢棄咖啡渣再利用，具有環保教育意義。

會呼吸的複合式環保蛋殼植栽容器

PLA/蛋殼的植栽容器會在土壤中自行崩裂、繼續施放養分於植物生長所需、取代塑膠軟盆。

本研究特色

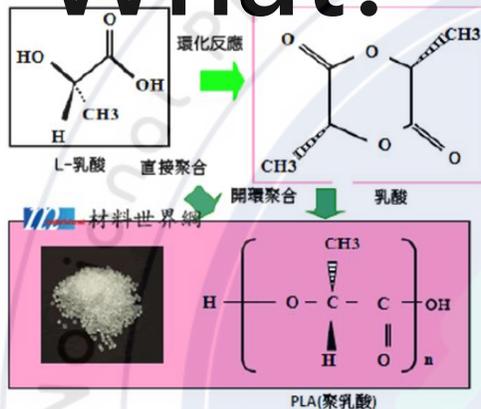
1. 自製檢測工具測量複合材料的機械性質。
2. 使用回收的PLA塑膠杯和生質廢棄物來當作原料。
3. 咖啡渣、茶葉渣可提升抗衝擊強度及荷重的能力。
4. 可製成具有咖啡香或茶葉香的再生用品，為廢棄PLA提供了一種新的應用途徑。

# 前言:(研究動機)

## Why?



## What?



資料來源: <http://www.hitachi-pt.co.jp>

## How?



## We can do !



# 前言:(研究目的)

- 研究一、探討廢棄聚乳酸(PLA)塑膠杯混摻天然廢棄生質材料的製程方法。
- 研究二、自製檢測工具來測定複合材料的機械性質。
- 研究三、找出「聚乳酸」與「天然廢棄生質材料」混摻後的最適比例。
- 研究四、利用最適比例製成生物可分解的再生複合材料用品。

# 研究過程與方法

參考相關文獻收集資料後

## 【預備實驗】目的有三

1. 探討「再生複合材料」的製程方法。
2. 建置一組「電磁鐵落球衝擊試驗機」。
3. 設計一組「拉伸強度試驗裝置」。

## 【實驗一】~【實驗二】

- 目的是在決定加熱的時間
- 探討「不同加熱時間」對聚乳酸「硬度」、「抗衝擊強度」的影響。

## 【實驗三】~【實驗六】

- 目的是找出最適比例來製作再生用品
- 探討「聚乳酸」與「不同比例的生質廢棄物」混製成複合材料後，對其「硬度」、「抗衝擊強度」、「拉伸強度」、「荷重」的影響。

# 預備實驗「再生複合材料」的製程方法



【步驟一】

先將混摻的材料倒入矽膠模具，再倒入剪碎的聚乳酸，使其覆蓋茶葉渣/茶葉渣，以避免混摻材料烤焦。



【步驟二】

加熱 20 分鐘後，用矽膠棒攪拌均勻並快速壓平，聚乳酸會很快凝固，故來不及將混摻後的複合材料推至模具邊緣。



【步驟三】

再放入烤箱加熱 20 分鐘後，用壓桿將複合材料推開，並壓平。



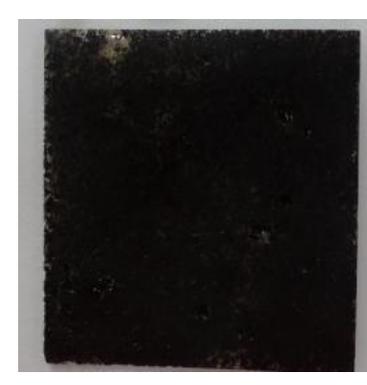
【觀察】

約兩分鐘後聚乳酸溫度就會下降至  $120^{\circ}\text{C}$ ，聚乳酸已凝固無法塑型，試片表面仍不平整。



【步驟四】

繼續放入烤箱加熱 20 分鐘，待聚乳酸軟化後，再用壓桿壓平冷卻。



【觀察】

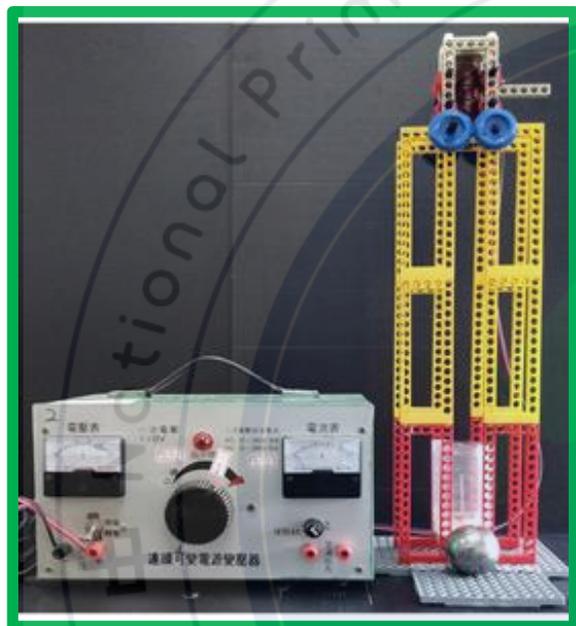
此為脫模後表面平整均勻試片，嘗試縮短加熱時間，但仍無法使試片平整，最後決定固定烘烤時間為 60 分鐘。

預試過程發現烤箱溫度設定太高，造成聚乳酸產生裂解現象，持續修正製成，最後決定加熱時間為 60 分鐘，烘烤溫度為  $200^{\circ}\text{C}$

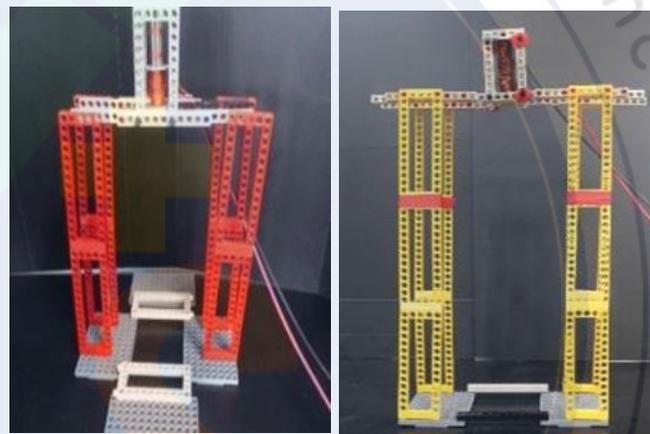
# 預備實驗 「電磁鐵落球衝擊試驗機」發展過程



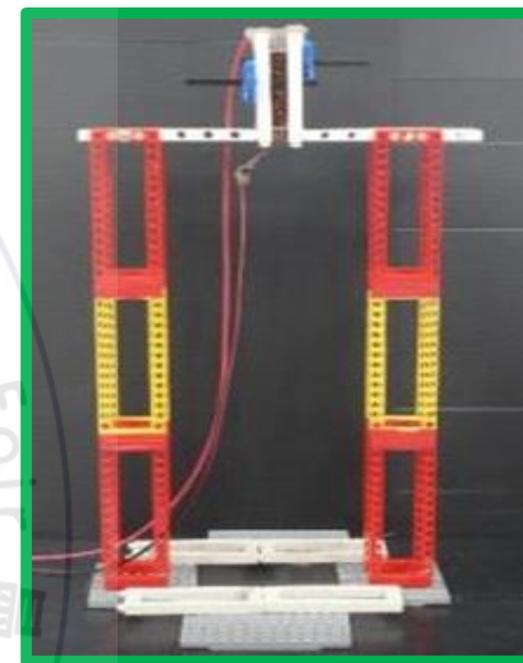
QC-637 落球  
衝擊試驗機



第一代  
電磁鐵落球試驗機



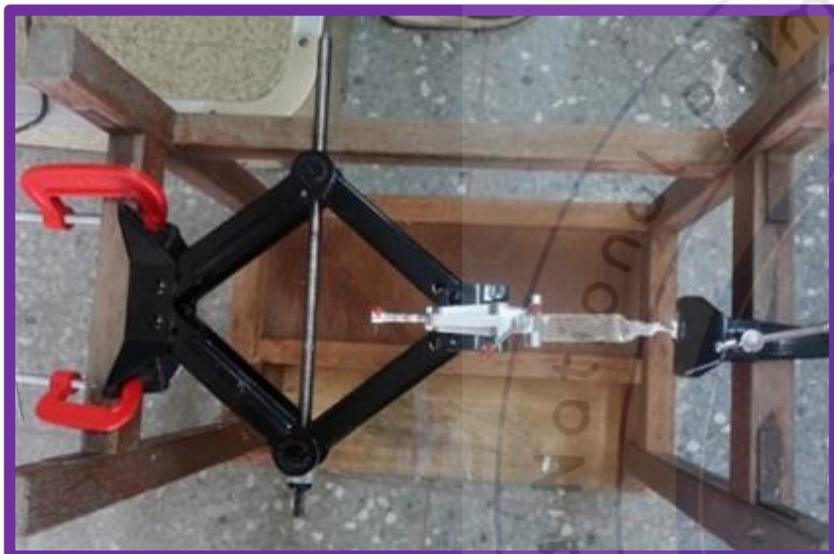
第二代、第三代  
電磁鐵落球試驗機



第四代  
電磁鐵落球試驗機

改良過程中曾遇到落球衝擊力不夠，鑑別度低。常遇漆包線過熱，磁力失效等問題，確認原因後改用0.7mm的漆包線製作電磁鐵，成功設計了「第四代電磁鐵落球試驗機」

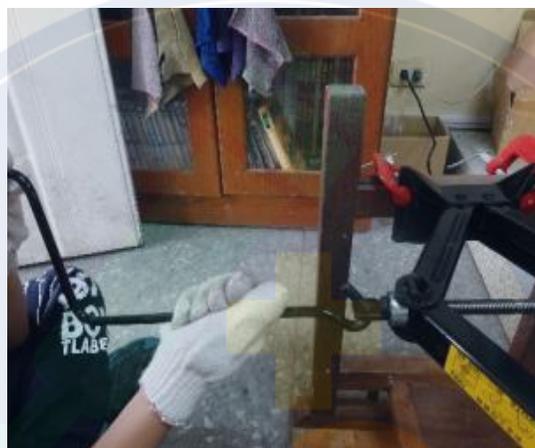
# 預備實驗設計了一組「拉伸強度試驗裝置」



我們的拉伸強度試驗裝置



QC-500M1F  
拉力試驗機



試片斷裂後，便  
停止轉動。

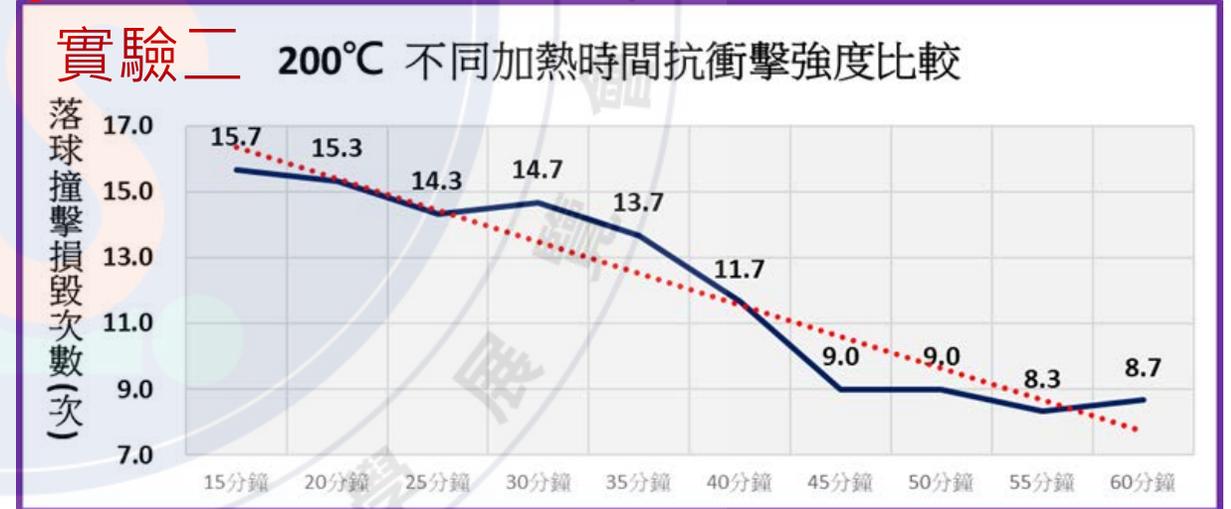
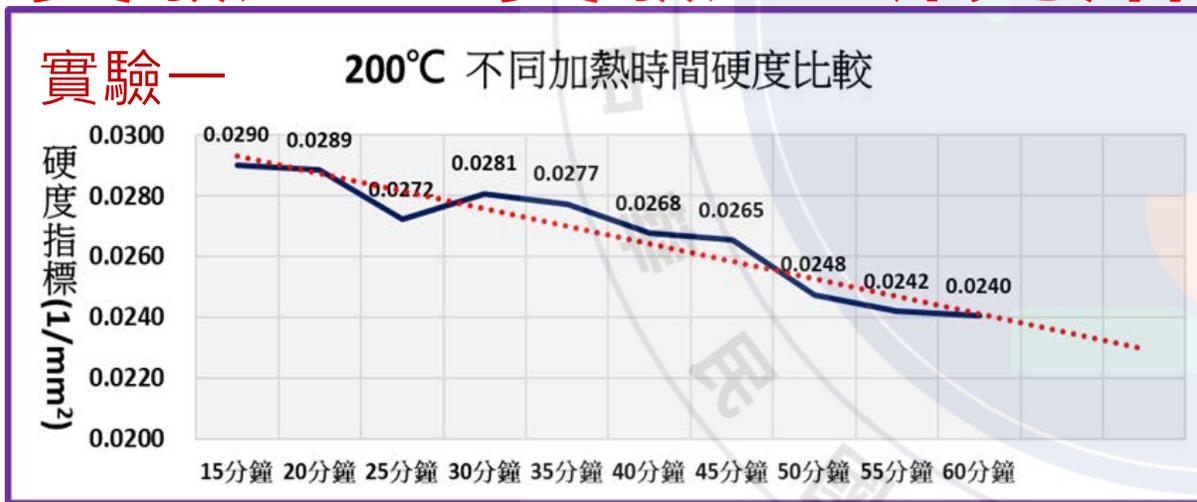


計數轉動的「螺紋數」來代  
表拉伸強度。

# 「硬度」、「抗衝擊強度」數據判定方法

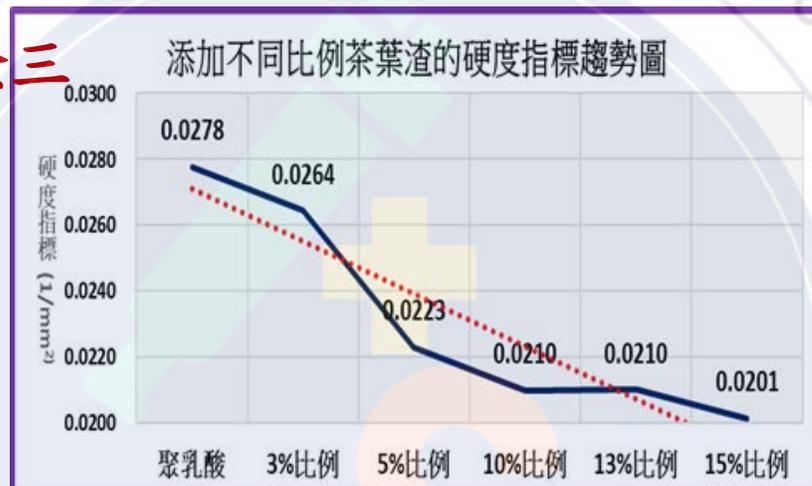
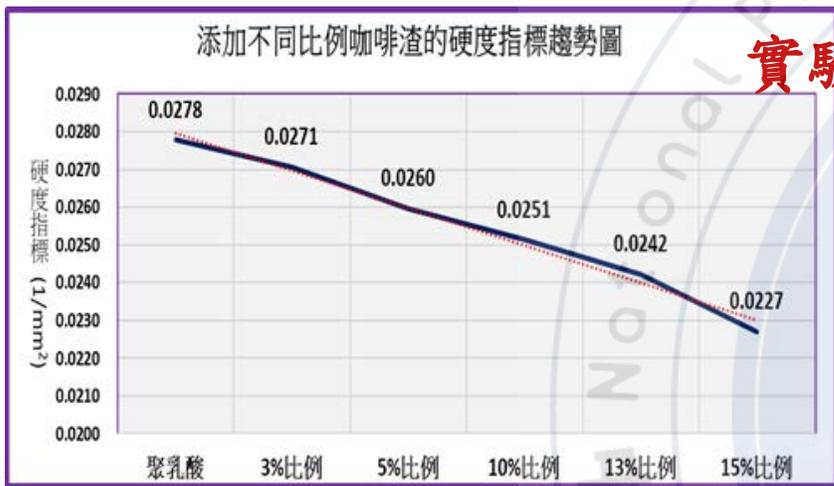
- 1.以測量所得的「落球印痕面積」來代表硬度，面積越小，表示硬度越大。
- 2.以測量所得「落球撞擊次數」來代表「抗衝擊強度」，落球撞擊次數落多，表示「抗衝擊強度」越大。

## 實驗一、實驗二研究結果

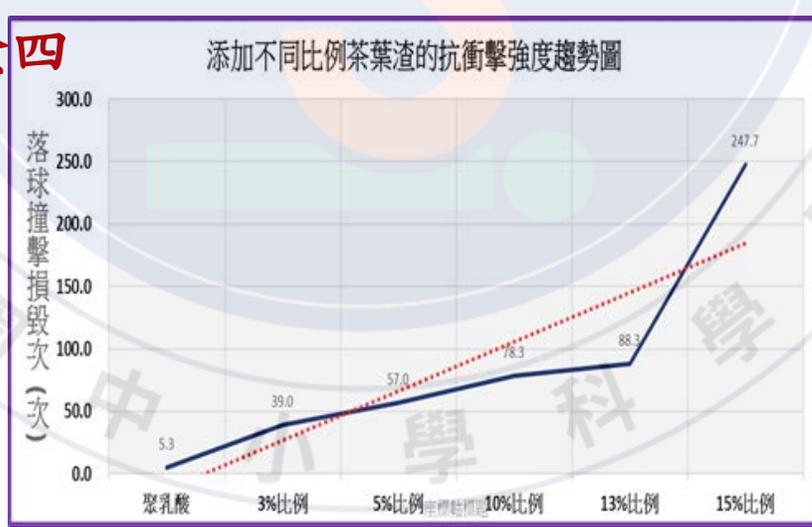


- 1.隨著加熱時間的增加，聚乳酸試片的硬度逐漸變小。
- 2.隨著加熱時間的增加，聚乳酸試片的抗衝擊強度逐漸變小。

# 實驗三、實驗四研究結果: 探討「聚乳酸」與「不同比例生質廢棄物」混製成複合材料後，對其「硬度」和「抗衝擊強度」的影響。



1. 隨著添加物比例的增加，硬度指標逐漸變小，茶葉渣均小於咖啡渣。



2. 隨著添加物比例的增加，抗衝擊強度逐漸變大，茶葉渣均大於咖啡渣。

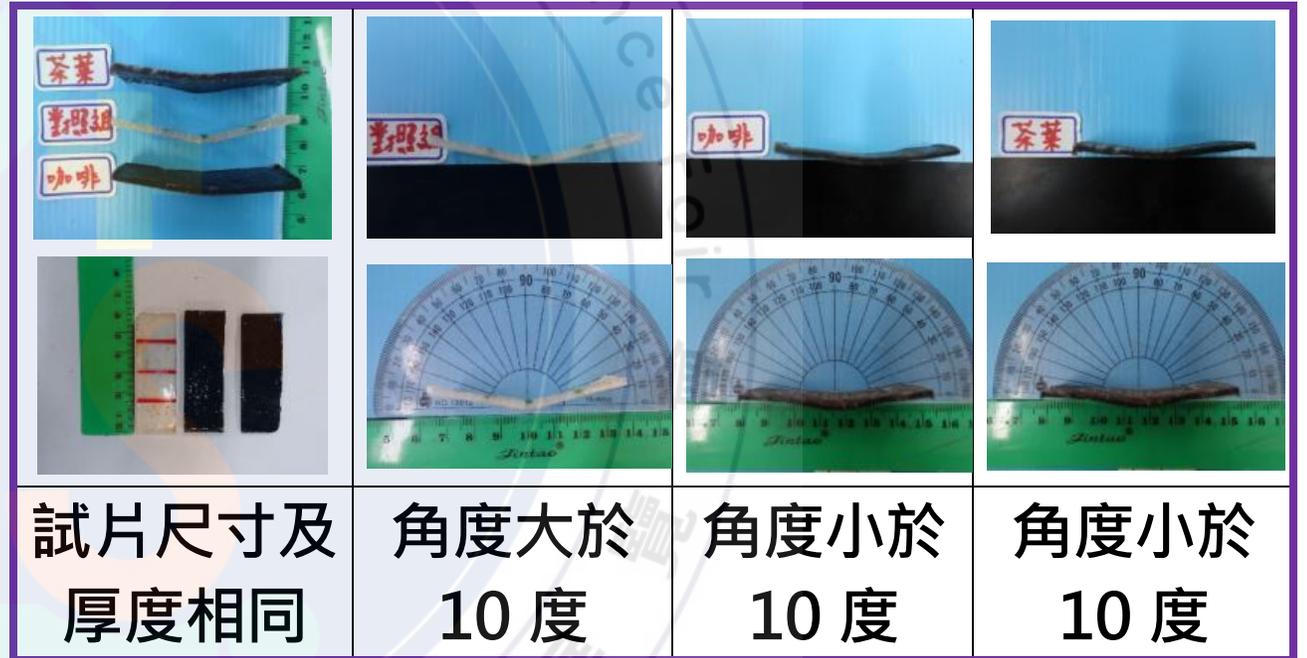
# 實驗五 研究結果



複合材料的拉伸強度皆下降。添加茶葉渣的拉伸強度會優於咖啡渣。

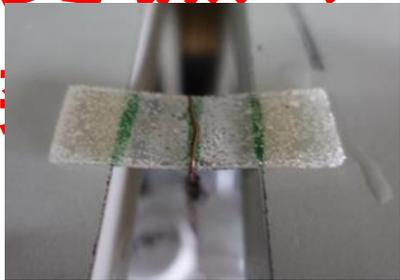
# 實驗六 研究結果

實驗六探討「廢棄聚乳酸」與「生質廢棄物」混製成複合材料對其「荷重」的影響。



對照組的折彎角度最大，而咖啡渣略大於茶葉渣。添加物補強了聚乳酸「荷重」的能力。

# 實驗六 荷重實驗



固定受力面積及受力點

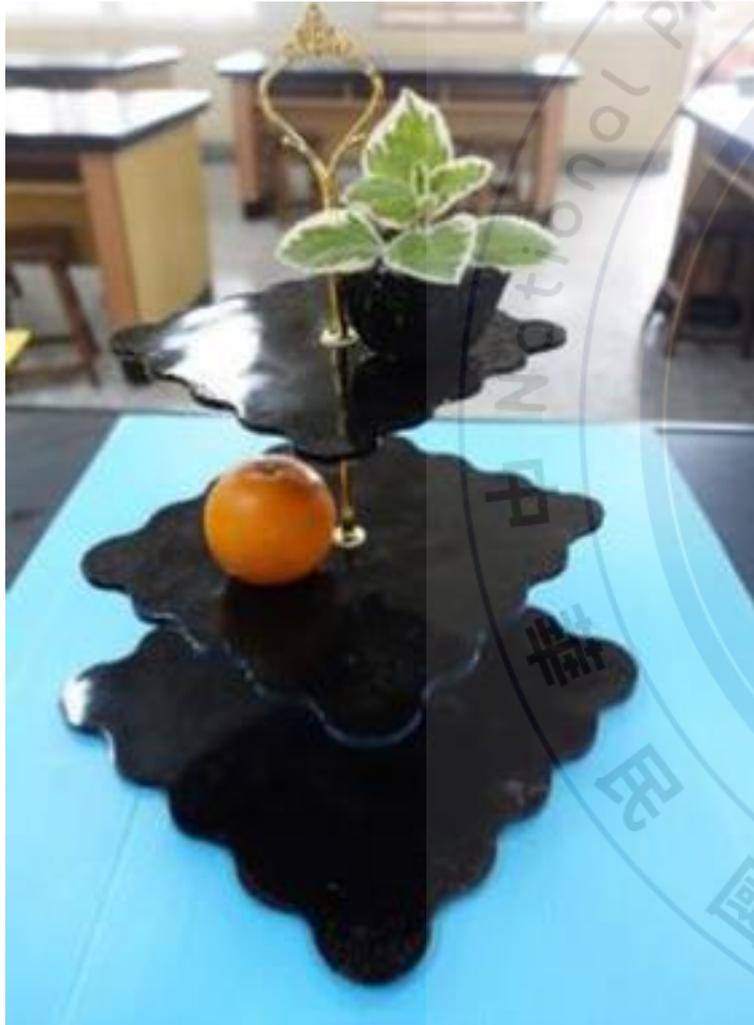


測水平性



吊掛 6公升水

# 製成生物可分解的再生複合材料用品



# 新的應用途徑

## 機械性質

### 13%咖啡渣-PLA

### 13%茶葉渣-PLA

硬度  
(硬度指標 1/mm<sup>2</sup>)

0.0278(對照組)

0.0278(對照組)

0.0242

0.0210

73.7

247.7

提升13.4倍

提升16.6倍

5.3(對照組)

5.3(對照組)

29.0(對照組)

29.0(對照組)

14.7

16.7

拉伸強度  
(螺紋數)

荷重能力提升

荷重能力提升

折彎角度皆小於10度

荷重  
(折彎角度/5天)  
提升

## 總結

「再生複合材料」可提升抗衝擊強度及荷重能力，能運用在很多日常用品中，兼具環保和實用，我們把原本是要被當成垃圾丟掉的塑膠杯，重新再利用，讓它「重返融耀」，符合SDGs的未來永續概念，為地球減塑盡一份心力！

### 參考文獻

- 2014年臺灣國際科學展覽會，高中組工程學：探討聚乳酸加入玉米葉纖維對其機械性質之影響。
- 第56屆中小學全國科展 高中組工程學科(二)：「啡」咖文創產品。
- 第59屆中小學全國科展：「會呼吸的複合式環保蛋殼植栽容器」。
- 第60屆中小學全國科展：「翻轉番麥」。