

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生活與應用科學(二)科

第三名

032912

生質環保「袋」著走

學校名稱：新北市立漳和國民中學

作者：  國二 廖唯竹  國二 高珮綺  國二 蔡凌宇	指導老師：  吳怡慧
---	------------------

關鍵詞：生質塑膠、環保、可生物分解

## 摘 要

塑膠垃圾汙染日益嚴重，為了替環境盡一份心力，我們決定研究生質塑膠膜。使用玉米澱粉和明膠為基底製做生質膜，調整各項材料比例，再進行拉力、吸水能力等物理特性及燃燒、土壤掩埋分解測試。發現自製生質塑膠膜的張力能夠高於市售塑膠；燃燒後質量縮減率也可達 100%；經土壤掩埋一週後即可完全分解。

我們依據自製生質塑膠膜各種特性考量，選出最佳比例：[0.5%甘油水溶液 100mL+2g 明膠+2g 玉米澱粉+1.5mL 醋]生質膜，將其製成餐具外包裝、塑膠背心袋、鉛筆袋、物品外包裝等日常盛裝非水性物品之塑膠袋，證實自製生質塑膠膜可以達到和市售塑膠一樣的包裝及承重效果，丟棄燃燒後可大幅減少灰燼剩餘質量；經土壤掩埋後亦可在自然環境下完全分解，達環保目的。

## 壹. 前 言

### 一、研究動機

在現代忙碌的生活步調中，人們追求快速便利，於是成本低廉且用途廣、方便性高的塑膠袋，就經常被使用在日常生活中各個物品上。但對地球來說，累積的塑膠袋垃圾量，卻是一件很嚴重且難解決的問題。媒體曾報導在台中梧棲海邊擱淺的短肢领航鯨，搶救無效，經解剖發現胃內竟塞滿了近三公斤的塑膠袋！

台灣一年使用塑膠吸管量多達 30 億根，使用塑膠袋高達 165 億個，平均每人每年使用 710 個塑膠袋。光是台灣的塑膠製品使用量就如此驚人了！無論是塑膠袋、塑膠吸管、塑膠杯膜…等塑膠類產品，都是對地球環境、空氣極有害的物質。再者，現代人雖環保意識抬頭，也期待空氣汙染能被改善，但真正做到的「不塑之客」卻是少之又少…。所以我們認為除了環保理念的推行與實踐之外，塑膠產品的改良也是不可或缺的重要關鍵。

既然塑膠是萬年無法分解的地球殺手，那就改變成分把它變成可自然降解，或是燃燒後的產物可以以無毒狀態回歸自然。生質塑膠是近年來環保界的新趨勢，故我們以此為題進行成分及特性的研究，期待能製做出對人類及環境友善的環保塑膠。

### 二、研究目的

- (一)、尋找生質塑膠膜的製做方法並製做。
- (二)、調整生質塑膠的不同材料比例(玉米澱粉、明膠、醋)，探討其成膜特性差異。
- (三)、將自製生質塑膠膜製成可替代市售塑膠袋的產品。
- (四)、以燃燒、土壤掩埋法測試自製生質膜可分解性。

### 三、文獻回顧

#### (一) 塑膠袋簡介：

一般塑膠既方便又便宜，還可以重複使用，是生活中不可或缺的物品。但其主要成分是聚氯乙烯，除無法被分解以外，燃燒後甚至會產生戴奧辛和微塑膠粒，而微塑膠粒中含有毒化合物，體積小，不易被分解，經常被魚類、貝殼類等生物誤食。又因為生物無法將微塑膠粒排出體內，造成毒素在食物鏈中不斷循環累積，最終回到人類的身體裡，在人體內達一定的量時，便會影響免疫系統、神經系統和生殖能力，嚴重者甚至會致癌。

#### (二) 生質塑膠簡介：

歐盟執委會於 2018 年 4 月正式通過歐盟循環經濟行動方案(Circular Economy Package; CEP)成為正式法律，具有低碳排與可循環再生的生質塑膠(Bioplastics)成為循環經濟中重要的一環。而生質塑膠又分為可分解塑膠 (Biodegradable Plastic) 和生物基塑膠 (Biobased Plastic) 兩大類，依照其來源可分為石油基與生物基，而當中又分為生物可分解與不可生物分解共四類，「生物可分解」一般表示在某些限定的環境條件下，物質可以在一定期限內被微生物分解。目前台灣環保署尚未特別規劃生物可分解塑膠的回收機制，導致生物可分解塑膠與一般塑膠共用回收機制。生物可分解塑膠進入一般回收體系後，與其他材質塑膠容器混合，便降低了再生料品質，難以再利用。目前臺灣常見的廢聚乳酸塑膠 (PLA) 回收就面臨這樣的狀況，不是進了回收體系降低再生料品質，就是全進了焚化爐。

市售可生物分解塑膠 PLA 標榜在攝氏五十五度以上、濕度百分之八十至九十，即可在六至十二週分解。然而根據聯合新聞網在 2021 年 9 月 19 日的報導顯示，將市售 PLA 蛋盒、冷飲杯、番茄盒埋進泡水的土壤裡，近五個月後只有冷飲杯裂了兩處，其餘都完好，強韌程度都可再利用。又根據科技新報在 2019 年 05 月 16 日的報導得知，將 3 年前埋在地下處理的可生物分解塑膠袋、普通手提塑膠袋挖出後，發現這些標榜可生物分解塑膠袋並沒有完全分解，有一些甚至還堅韌得很，可以繼續裝約 2.3 公斤雜物。



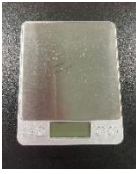



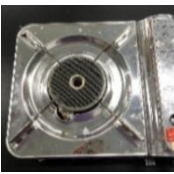






根據上述資料顯示，生質塑膠雖然可以分解，卻需要較嚴苛的環境及較長的時間，故我們研究使用天然材料製做生質塑膠膜，測試其各項物理性質及可生物分解性，期待能做出和市售生質塑膠效果相同但更容易分解的生質塑膠，以減輕塑膠對環境造成的傷害。

## 貳. 研究材料與器材

### 一、實驗材料 表 1：實驗材料圖示對照表

						
甘油	明膠	玉米澱粉	醋	糯米粉	在來米粉	馬鈴薯澱粉

二、 實驗器材 表 2：實驗器材圖示對照表

						
量筒、滴管	燒杯	刮勺、刮刀	電子秤	坩堝鉗、酒精燈	測溫槍、溫溼度計	土壤濕度、溫度計
						
卡式爐	鍋子	電動攪拌器	烤盤	乾果機	鎢絲燈	封口機

### 參. 研究架構與方法

#### 一、研究架構

- ◆ 實驗一：製做生質塑膠膜
  - 實驗一-1：製做澱粉基底生質塑膠膜
  - 實驗一-2：製做明膠基底生質塑膠膜
- ◆ 實驗二：以[玉米澱粉]為基底製做生質塑膠膜
  - 實驗二-1：以不同比例[玉米澱粉]製做生質塑膠膜
  - 實驗二-2：以不同比例[玉米澱粉+醋]製做生質塑膠膜
- ◆ 實驗三：以[明膠]為基底製做生質塑膠膜
  - 實驗三-1：以不同比例[明膠]製做生質塑膠膜
  - 實驗三-2：以不同比例[明膠+醋]製做生質塑膠膜
- ◆ 實驗四：以[明膠+玉米澱粉]為基底製做生質塑膠膜
  - 實驗四-1：以不同比例[明膠+玉米澱粉]製做生質塑膠膜
  - 實驗四-2：以不同比例[明膠+玉米澱粉+醋]製做生質塑膠膜
- ◆ 實驗五：自製生質塑膠膜之物理特性測試
  - 實驗五-1：生質塑膠膜之拉力測試
  - 實驗五-2：生質塑膠膜之耐穿刺力測試
  - 實驗五-3：生質塑膠膜之吸水能力測試
- ◆ 實驗六：將自製生質塑膠膜製成產品
- ◆ 實驗七：自製生質塑膠膜之分解測試
  - 實驗七-1：生質塑膠膜之可燃性測試
  - 實驗七-2：生質塑膠膜之土壤掩埋測試

## 二、研究方法

### (一)實驗一：製做生質塑膠膜

#### ◆ 實驗一-1：製做澱粉基底生質塑膠膜

前言：上網搜尋資料，採用「Digichem-Bioplastic video」影片中，以水、甘油、玉米澱粉、醋為材料試做生質塑膠膜(以下簡稱生質膜)，再改用不同澱粉製做，觀察其成膜性質。

步驟：

1. 量取 60mL 水、5mL 甘油、15g 玉米澱粉、5mL 醋。
2. 將所有材料混合，倒入鍋中加熱，攪拌至濃稠狀，再倒入鐵盤風乾成膜。
3. 將玉米澱粉替換成馬鈴薯澱粉、在來米粉及糯米粉，並重複步驟 1~2。

結果：



圖 1-1-a 不同澱粉生質膜成品圖

討論：

1. 用在來米粉和糯米粉製做皆未能成膜；用玉米澱粉跟馬鈴薯粉製做可成膜(如圖 1-1-a)。
2. 馬鈴薯粉製成的生質膜偏軟、會黏手，易反潮，[玉米澱粉]生質膜則偏硬，較不黏。
3. 綜合以上結果，決定以玉米澱粉為基底，調整玉米澱粉及醋的比例，製做各種生質膜。

#### ◆ 實驗一-2：製做明膠基底生質塑膠膜

前言：網路上生質塑膠膜的製做，除了玉米澱粉外，亦有利用明膠、甘油及水為原料的生質膜，我們參考「Designing Plastic for the Future: How To Make a BioPlastic Bag」影片中材料成分，製做以明膠為基底的生質塑膠膜。

步驟：

1. 調配 0.5%的甘油水溶液 360mL，加入 6.8g 明膠。
2. 將上述溶液倒入鍋中加熱，並加熱攪拌至明膠融化，倒入鐵盤風乾成膜。

結果：



圖 1-2-a 明膠生質膜成品圖

## 討論：

1. [明膠]生質膜比[玉米澱粉]生質膜透明，硬度較低，也較容易吸收空氣中水分而變黏。
2. 綜合上述兩實驗，發現明膠和玉米澱粉都可以製做生質膜，故分別以此兩種原料基底，調整比例製做生質膜，進行後續實驗。

## (二) 實驗二：以[玉米澱粉]為基底製做生質塑膠膜

### ◆ 實驗二-1：以不同比例[玉米澱粉 Corn starch]製做生質塑膠膜(實驗代號 C)

前言：由實驗一-1 結果發現玉米澱粉成膜效果最好，故決定調整玉米澱粉的比例製做生質膜，並觀察其成膜性質。

\*生質膜代號命名方式為：[原料英文代號+克數]

## 步驟：

1. 配製 0.5% 甘油水溶液 100mL，加入 2 克玉米澱粉[代號 C2]。
2. 將上述的材料倒入鍋中，用攪拌機攪拌並加熱至 90 度後熄火，倒入烤盤，再放入乾果機加熱烘乾成膜。
3. 將玉米澱粉質量更換成 4g[C4]、6g[C6]，重複步驟 1~2。

## 結果：

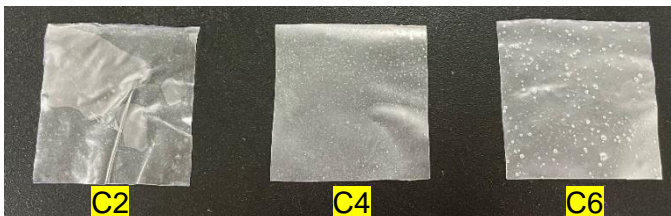


圖 2-1-a 不同比例[玉米澱粉]生質膜成品圖

表 2-1-a 不同比例[玉米澱粉]生質膜成品性質描述表

代號	成品性質描述
C2	最軟、氣泡無、有點黏、最光滑
C4	偏硬、氣泡少、不黏、光滑
C6	最硬、氣泡多、不黏、粗糙

## 討論：

1. 硬度比較：C6>C4>C2，氣泡量比較：C6>C4>C2，黏度比較：只有 C2 會黏，顯示玉米澱粉越多，生質膜硬度越大，氣泡越多。

### ◆ 實驗二-2：以不同比例[玉米澱粉+醋 Vinegar]製做生質塑膠膜(實驗代號 CV)

前言：從「打破醋缸問到底- 醋的功用」文章中，得知醋可使物質軟化、韌性減弱及滅菌。選用實驗二-1 中硬度最大的 C6 為基底，加入不同量的醋製做生質膜，觀察其成膜性質。

## 步驟：

1. 調配 0.5% 甘油水溶液 100mL，加入 6g 玉米澱粉及 1mL 醋[代號 C6V1]。
2. 將上述的材料倒入鍋中，用攪拌機攪拌並加熱至 90 度後熄火，倒入烤盤，再放入乾果機加熱烘乾成膜。
3. 將醋換成 1.5mL[C6V1.5]、2mL [C6V2]，重複步驟 1~2。

## 結果：

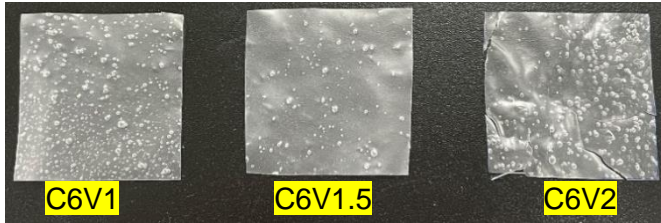


圖 2-2-a 不同[玉米澱粉+醋]比例生質膜成品圖

表 2-2-a 不同比例[玉米澱粉+醋]生質膜成品性質描述表

代號	成品性質描述
C6V1	最硬、氣泡次多、不黏、霧面
C6V1.5	偏硬、氣泡偏多、不黏、霧面
C6V2	偏軟、氣泡最多、不黏、霧面

## 討論：

1. 硬度比較：C6V1 > C6V1.5 > C6V2；氣泡量比較：C6V2 > C6V1 > C6V1.5；黏度比較：C6V1、C6V1.5、C6V2 皆不黏。
2. 將 CV 組(C6V1、C6V1.5、C6V2)生質膜和 C6 比較，發現 CV 組都比 C6 軟，得知加醋可使 [玉米澱粉]生質膜的硬度降低，醋加越多，生質膜硬度越小。

### (三)實驗三：以[明膠]為基底製做生質塑膠膜

#### ◆ 實驗三-1：以不同比例[明膠 Gelatin]製做生質塑膠膜(實驗代號 G)

**前言：**由實驗一-2 結果發現明膠亦可製做生質塑膠膜，且外觀和保鮮膜相似，故決定調整明膠的比例製做生質膜，並觀察其成膜性質。

## 步驟：

1. 調配 0.5%的甘油水溶液 100mL，加入 1g 明膠[代號 G1]。
2. 將所有材料倒入鍋中加熱至明膠全部融化，再倒入烤盤，用鎢絲燈烘乾成膜。
3. 將明膠分別改成 2g[G2]、3g[G3]，重複步驟 1~2。

## 結果：



圖 3-1-a 不同比例明膠生質膜成品圖

表 3-1-a 不同比例[明膠]生質膜成品性質描述表

代號	成品性質描述
G1	最軟、無氣泡、最黏、光滑、透明
G2	很軟、無氣泡、偏黏、光滑、最黃
G3	偏軟、無氣泡、略黏、光滑、偏黃

## 討論：

1. 因 G1 黏度太高，脫模後會沾黏在一起，無法分開，故僅取 G2 和 G3 進行後續實驗。
2. 硬度比較：G3 > G2 > G1；氣泡量比較：G1、G2、G3 皆無氣泡；黏度比較：G1 > G2 > G3。[明膠]生質膜都無氣泡，且明膠越多，生質膜硬度越大、黏度越小。
3. 經查資料後得知明膠熔點約為 28 °C，故無法使用乾果機加熱成膜，因此我們選用鎢絲燈泡照膜加熱，成膜時間較長。

### ◆ 實驗三-2：以不同比例[明膠+醋]製做生質塑膠膜(實驗代號 GV)

**前言：**由實驗二-2 發現醋可降低[玉米澱粉]生質膜的硬度，欲實驗醋對明膠是否亦有軟化效果，故決定選用實驗二-1 硬度最大的 G3 加不同量醋製做生質膜，並比較其成膜性質。

#### **步驟：**

1. 調配 0.5% 甘油水溶液 100mL，加入 3g 明膠及 1mL 醋[代號 G3V1]。
2. 將所有材料倒入鍋中加熱至明膠全部融化，再倒入烤盤，用鎢絲燈烘乾成膜。
3. 將醋分別改成 1.5mL[G3V1.5]、2mL[G3V2]，重複步驟 1~2。

#### **結果：**



圖 3-2-a 不同比例[明膠+醋]生質膜成品圖

表 3-2-a 不同比例[明膠+醋]生質膜成品性質描述表

代號	成品性質描述
G3V1	偏硬、無氣泡、不黏、光滑、透明
G3V1.5	很軟、無氣泡、很黏、光滑、透明
G3V2	偏軟、無氣泡、略黏、光滑、透明

#### **討論：**

1. 硬度比較：G3V1 > G3V2 > G3V1.5；氣泡量比較：G3V1、G3V1.5、G3V2 皆無氣泡；黏度比較：G3V1.5 > G3V2 > G3V1。
2. 將 G3V1、G3V1.5、G3V2 與 G3 比較後發現，GV 組都比 G3 硬，顯示加醋會使[明膠]生質膜硬度增加。

### (四)實驗四：以[明膠+玉米澱粉]為基底製做生質塑膠膜

#### ◆ 實驗四-1：以不同比例[明膠+玉米澱粉]製做生質塑膠膜(實驗代號 GC)

**前言：**根據實驗二和三得知，[玉米澱粉]生質膜偏硬，[明膠]生質膜偏軟，我們試想，如果將兩者加在一起，或許能改善單一成分生質膜的缺點，故選用硬度最小的 G2 加上不同比例玉米澱粉，觀察玉米澱粉是否能增加其硬度以及成膜性質。

#### **步驟：**

1. 調配 0.5% 甘油水溶液 100mL，加入 2g 明膠及 1g 玉米澱粉[代號 G2C1]。
2. 將上述的材料倒入鍋中，用攪拌機攪拌並加熱至 90 度後熄火，倒入烤盤，再放入乾果機加熱烘乾成膜。
3. 將玉米澱粉分別改為 2g[G2C2]及 3g[G2C3]，重複步驟 1~2。



## 結果：

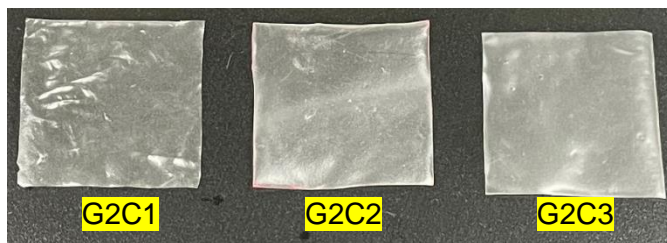


圖 4-1-a 不同比例[明膠+玉米澱粉]生質膜成品圖

表 4-1-a 不同比例[明膠+玉米澱粉]生質膜成品性質描述表

代號	成品性質描述
G2C1	最軟、無氣泡、不黏、粗糙
G2C2	偏軟、無氣泡、不黏、光滑
G2C3	偏硬、無氣泡、不黏、光滑

## 討論：

1. 硬度比較：G2C3 > G2C2 > G2C1；氣泡量比較：G2C1、G2C2、G2C3 皆無氣泡；黏度比較：G2C1、G2C2、G2C3 皆不黏。
2. 將 G2C1、G2C2、G2C3 生質膜和 G2 比較後發現，GC 組皆比 G2 硬且不黏，顯示加玉米澱粉可使[明膠]生質膜硬度增加、黏度降低，且玉米澱粉越多，生質膜硬度越大。

### ◆ 實驗四-2：以不同比例[明膠+玉米澱粉+醋]製做生質塑膠膜(實驗代號 GCV)

**前言：**根據實驗四-1，證實[明膠+玉米澱粉]可以製做生質膜，又實驗二-2 加醋可軟化生質膜，故決定製做[明膠+玉米澱粉+醋]生質膜，並觀察其成膜性質。

## 步驟：

1. 調配 0.5% 甘油水溶液 100mL，加入 2g 明膠、2g 玉米澱粉及 1mL 醋[代號 G2C2V1]。
2. 將上述的材料倒入鍋中，用攪拌機攪拌並加熱至 90 度後熄火，倒入烤盤，再放入乾果機加熱烘乾成膜。
3. 將醋分別改為 1.5mL[G2C2V1.5]及 2mL[G2C2V2]，重複步驟 1~2。

## 結果：

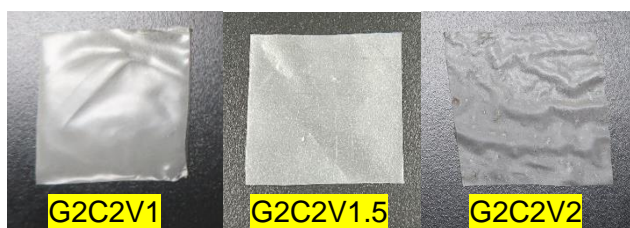


圖 4-2-a 不同比例[明膠+玉米澱粉+醋]生質膜成品圖

表 4-2-a 不同比例[明膠+玉米澱粉+醋]生質膜成品性質描述表

代號	成品性質描述
G2C2V1	最硬、無氣泡、不黏、偏黃
G2C2V1.5	偏硬、無氣泡、不黏、偏黃
G2C2V2	偏軟、無氣泡、不黏、偏黃

## 討論：

- (1) 硬度比較：G2C2V1 > G2C2V1.5 > G2C2V2，氣泡量比較：G2C2V1、G2C2V1.5、G2C2V2 皆無氣泡；黏度比較：G2C2V1、G2C2V1.5、G2C2V2 皆不黏。
- (2) 將 G2C2V1、G2C2V1.5、G2C2V2 生質膜和 G2C2 比較後發現，GCV 組皆比 G2C2 軟，得知醋可使 [明膠+玉米澱粉]生質膜硬度降低，醋加越多，生質膜硬度越小。

## 綜合討論

綜合比較實驗二到實驗四的自製生質膜，比較得知：

1. [玉米澱粉]生質膜(C組)：玉米澱粉越多，生質膜硬度越大，氣泡越多；  
[玉米澱粉+醋]生質膜(CV組)：加醋可使[玉米澱粉]生質膜的硬度降低。
2. [明膠]生質膜(G組)：都無氣泡，且明膠越多，生質膜硬度越大、黏度越小；  
[明膠+醋]生質膜(GV組)：加醋可使[明膠]生質膜硬度增加。
3. [明膠+玉米澱粉]生質膜(GC組)：加玉米澱粉可使[明膠]生質膜硬度增加及黏度降低；  
[明膠+玉米澱粉+醋]生質膜(GCV組)：加醋可使[明膠+玉米澱粉]生質膜硬度降低。

### (五)實驗五：自製生質塑膠膜之物理特性測試

**前言：**上述實驗已製做出各種生質膜，想知道它們的各種特性，如承重能力(張力)、拉伸長度(延展性)、耐穿刺能力和吸水能力，同時也和市售塑膠袋做比較。

**\*選用市售塑膠簡介：**

1. 市售塑膠袋 1：HDEP 耐熱袋，標榜盛裝熱食不會溶出塑化劑且耐穿刺能力佳。(如圖 5-a 上)
2. 市售塑膠袋 2：PE 保鮮袋，標榜盛裝熱食不會溶出塑化劑且可隔離細菌(如圖 5-a 下)。



圖 5-a 市售塑膠袋展示圖

#### ◆ 實驗五-1：生質塑膠膜之拉力測試

**前言：**一般使用塑膠袋盛裝物品，袋子都須具備能承載重量的特性。本實驗透過自製拉力裝置，測試自製生質塑膠膜可承載之重量及拉伸長度，以測試其張力及延展性。

**步驟：**

1. 取 2.5cm\*8cm 生質膜，在上下兩端 2cm 處畫上記號，分別夾在自製拉力裝置夾具上，保持中間生質膜起始測量距離為 4cm (如圖 5-1-a)。  
**\*夾具用木板及防滑墊製做，兩旁以螺絲鎖緊，防止生質膜滑落 (如圖 5-1-b)。**
2. 裝置右方放一長尺，記錄拉力測量器底下竹籤所指刻度。
3. 將砝碼依序放置於測量器的塑膠盒中，直到塑膠膜破裂；記錄此時竹籤所指刻度(即生質膜拉伸長度)及砝碼和盒子的總重量(即生質膜承重重量)。  
**\*每種生質膜測試三次取平均，得其承重重量及拉伸長度。(測試數據詳見實驗日誌)**

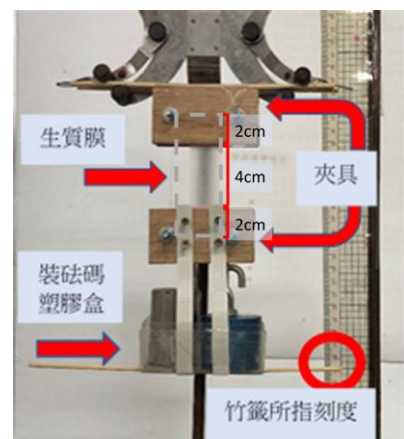


圖 5-1-a 自製拉力裝置

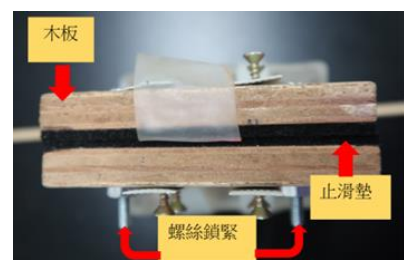


圖 5-1-b 夾具俯視圖

結果：

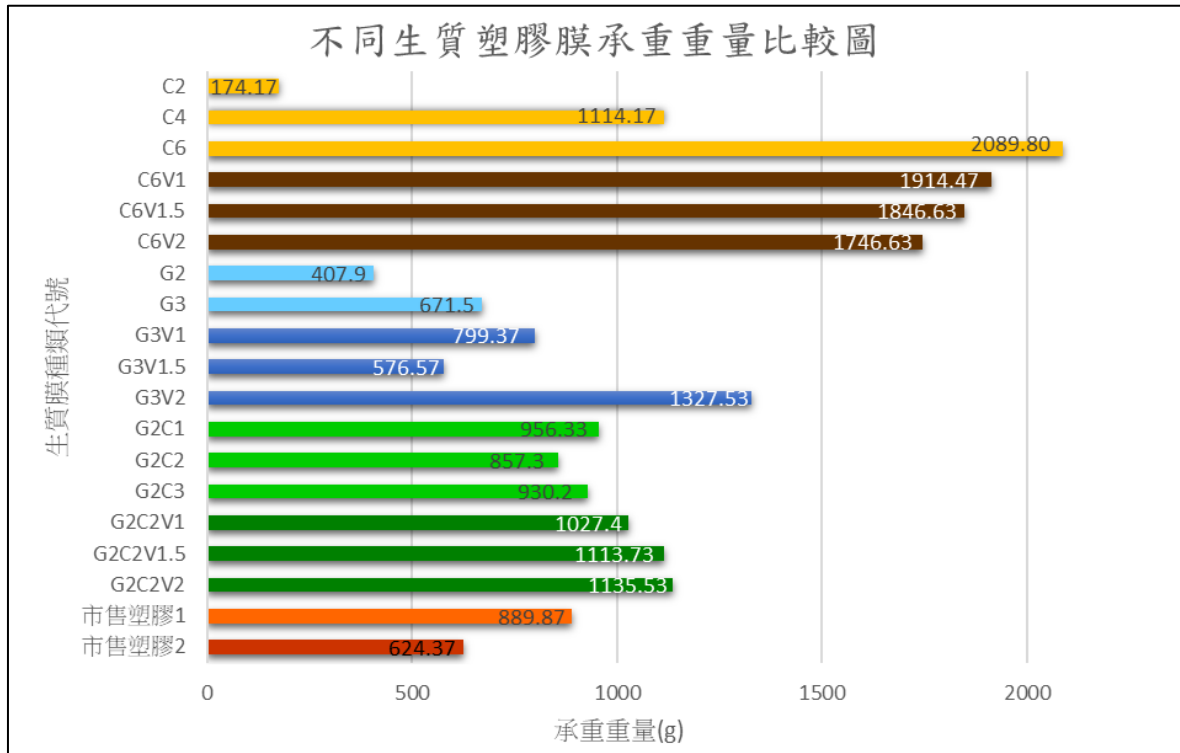


圖 5-1-c 不同生質塑膠膜之承重重量測試結果比較圖

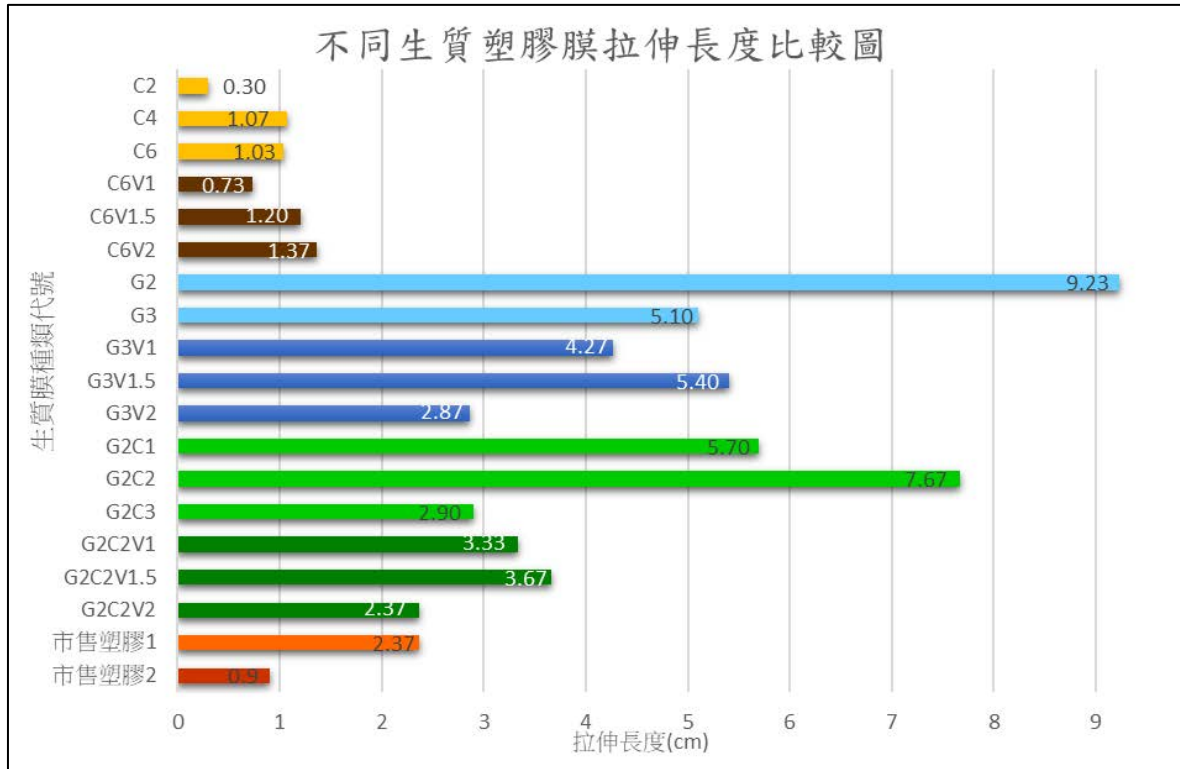


圖 5-1-d 不同生質塑膠膜之拉伸長度測試結果比較圖

## 討論：

### 1. 承重重量(張力)組內比較：

- (1) C 組別：C6>C4>C2，發現玉米澱粉越多，承重重量越大。
- (2) CV 組別：C6V1> C6V1.5>C6V2，發現當玉米澱粉量固定時，醋越多，承重重量越小；且 CV 組整體承重比 C6 略差。
- (3) G 組別：G3 > G2，發現明膠越多，承重重量越大。
- (4) GV 組別：G3V2>G3V1>G3V1.5，發現 GV 組整體承重比 G 組大。
- (5) GC 組別：G2C1>G2C3>G2C2，GC 組和 G 組相比後發現，加入玉米澱粉可提升[明膠]生質膜承重能力。
- (6) GCV 組別：G2C2V2 >G2C2V1.5> G2C2V1，發現明膠及玉米澱粉量固定時，醋加越多，承重重量越大；GCV 組整體承重張力皆大於市售塑膠。

### 2. 拉伸長度(延展性)組內比較：

- (1) C 組別：C4>C6>C2，C4 及 C6 拉伸長度相近。
- (2) CV 組別：C6V2> C6V1.5> C6V1，玉米澱粉基底，醋越多延展性越好。
- (3) G 組別：G2>G3，明膠越少，延展性越好；G2 為拉伸長度最長的生質膜。
- (4) GV 組別：G3V1.5> G3V1> G3V2，發現 G3V1.5 拉伸長度最長，但承重能力最差；顯示拉伸長度與張力成反比趨勢。
- (5) GC 組別：G2C2> G2C1> G2C3，G2C2 拉伸長度最長，但未成比例趨勢。
- (6) GCV 組別：G2C2V1.5> G2C2V1> G2C2V2，G2C2V1 及 G2C2V1.5 拉伸長度相近。

### 3. 承重重量(張力)組內平均後組間比較：CV > C > GC > GV > GCV > 市售塑膠 > G。

拉伸長度(延展性) 組內平均後組間比較：G > GC > GV > GCV > 市售塑膠 > CV > C。

### 4. 經上述實驗，發現[玉米澱粉]基底生質膜承重張力大，拉伸長度短，兩者呈反比趨勢；[明膠]基底生質膜則是承重張力小，拉伸長度長，兩者呈反比趨勢。而我們嘗試混合[玉米澱粉+明膠]的 GC 組，及[玉米澱粉+明膠+醋]的 GCV 組，承重張力及拉伸長度皆介於玉米澱粉基底及明膠基底生質膜之間，顯示混合此兩種成分的生質膜，可改善僅有單一成分生質膜的缺點。

## ◆ 實驗五-2：生質塑膠膜之耐穿刺力測試

前言：一般塑膠袋有一定的耐穿刺力，不容易被刺破，所以我們用自製實驗裝置測試生質塑膠膜可承載之耐穿刺重量，以測試其耐穿刺力。

## 步驟：

1. 在兩片 10 cm \*10 cm 木板中央，裁切直徑 4 cm 圓，二片木板重疊，中間放置一片 5cm\*5cm 生質膜並黏合(如圖 5-2-a)，再放置於紙杯上進行測量(如圖 5-2-b)。

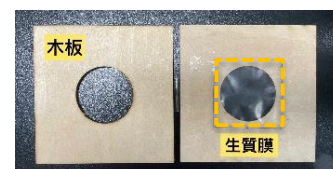


圖 5-2-a 固定生質膜之木板

2. 取一可裝砝碼的小盒子，底部黏上一細吸管，將細吸管穿過固定在鐵架上的粗吸管中，以固定砝碼下壓位置與方向。
3. 將細吸管尖端對準固定板上生質膜的圓心，在小盒子中放入砝碼，記錄生質膜破掉時的砝碼克數，即為生質塑膠膜的耐穿刺重量(如圖 5-2-b)。

\*每種生質膜測試三次砝碼質量取平均，得其耐穿刺重量。  
(測試數據詳見實驗日誌)



圖 5-2-b 自製耐穿刺力裝置

### 結果：

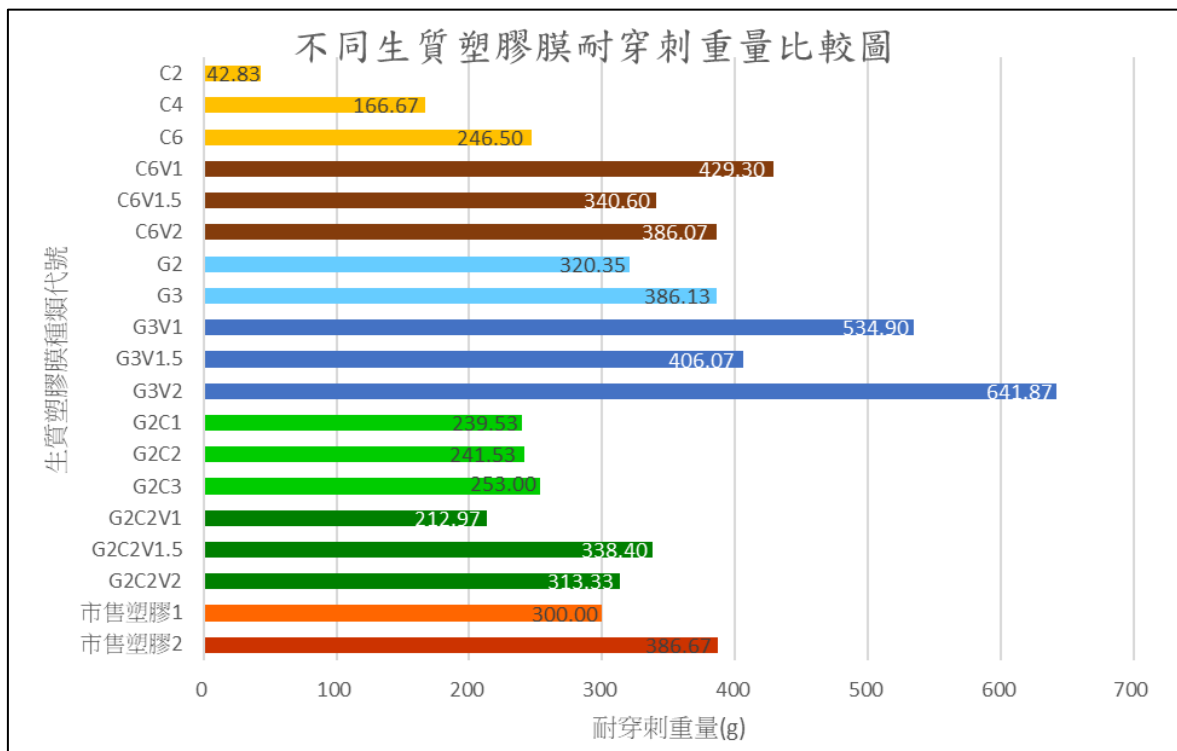


圖 5-2-c 不同生質塑膠膜之耐穿刺重量測試結果比較圖

### 討論：

1. 耐穿刺重量(耐穿刺力)組內比較：
  - (1) C 組：C6>C4>C2，玉米澱粉越多，可承受的耐穿刺重量越大。
  - (2) CV 組：C6V1>C6V2>C6V1.5，和 C6 比較後發現，加醋可增加[玉米澱粉]生質膜的耐穿刺重量。
  - (3) G 組：G3>G2，[明膠]組生質膜比[玉米澱粉]組生質膜有更好的耐穿刺力。
  - (4) GV 組：G3V2>G3V1>G3V1.5，G3V2 的耐穿刺力最佳(達 641.87g)。GV 組和 G3 比較後發現，加醋會增加[明膠]生質膜可承受的耐穿刺重量。

- (5) GC 組：G2C3>G2C2>G2C1，固定明膠量，玉米澱粉加越多，可承受的耐穿刺重量略增。GC 組整體耐穿刺承重效果比 C 組好，顯示加明膠會增加[玉米澱粉]生質膜承受的耐穿刺重量。
- (6) GCV 組：G2C2V1.5>G2C2V2>G2C2V1，GCV 組整體耐穿刺承重效果比 GC 組好，顯示加醋可使[明膠+玉米澱粉]生質膜的耐穿刺重量增加。
2. 耐穿刺重量組間比較：GV> CV> G> GCV> GC> C；不同材料基底的生質膜在加醋之後，可承受的耐穿刺重量皆會增加。

### ◆ 實驗五-3：生質塑膠膜之吸水能力測試

**前言：**我們發現在下雨天(濕度較高的天氣)，生質膜會出現軟化現象，推測是因為生質膜吸收空氣中水氣而軟化，故決定設計實驗，來測試其吸水能力。

#### **步驟：**

1. 測量 5cm\*5cm 生質膜質量，再將生質膜放入 200mL 水中，計時 2 分鐘後取出。
2. 擦乾生質膜表面多餘水分(圖 5-3-a)，再次測量質量。

\*每種生質膜測試三次，將吸水後質量減去吸水前質量再取平均，得其平均吸水質量。(測試數據詳見實驗日誌)



圖 5-3-a 用廚房紙巾吸收生質膜多餘水分

#### **結果：**

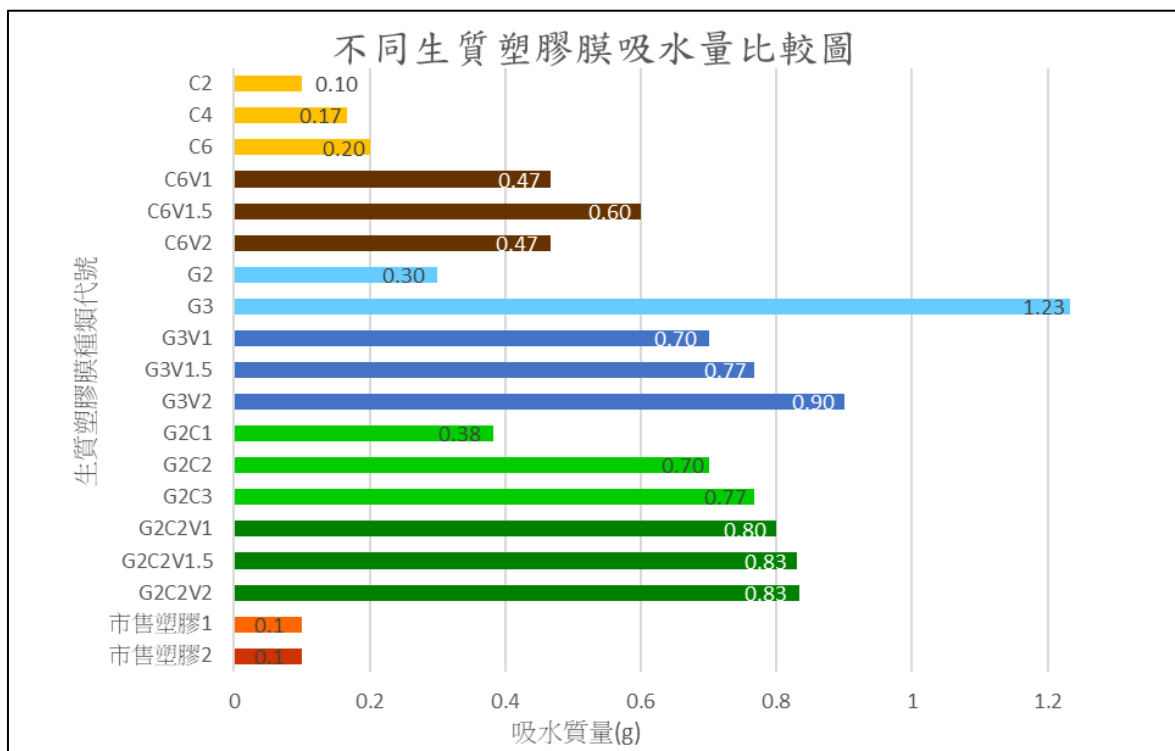


圖 5-3-b 不同生質塑膠膜之吸水量測試結果比較圖

## 討論：

1. 吸水能力組內比較：
  - (1) C 組別：C2<C4<C6。玉米澱粉越少，吸水量越少。
  - (2) CV 組別：C6V1=C6V2<C6V1.5。C6V1、C6V1.5、C6V2 和 C6 比較後發現，加醋會增加[玉米澱粉]生質膜的吸水量。
  - (3) G 組別：G2<G3。明膠越少，吸水量越少。吸水量：[明膠]G 組>[玉米澱粉]C 組。
  - (4) GV 組別：G3V1<G3V1.5<G3V2。當明膠克數固定時，醋越少，吸水量越少。G3V1、G3V1.5、G3V2 和 G3 比較後發現，加醋會降低[明膠]生質膜吸水量。
  - (5) GC 組別：G2C1<G2C2<G2C3。當明膠克數固定時，玉米澱粉越少，吸水量越少。G2C1、G2C2、G2C3 和 G2 比較後發現，加玉米澱粉會增加[明膠]生質膜吸水量。
  - (6) GCV 組別：G2C2V1<G2C2V1.5=G2C2V2。G2C2V1、G2C2V1.5、G2C2V2 和 G2C2 比較後發現，加醋會增加[明膠+玉米澱粉]生質膜吸水量。
2. 吸水能力組間比較：C 組<CV 組<GC 組<G 組<GV 組<GCV 組。顯示有加明膠的組別(G、GV、GC、GCV)，吸水量普遍比加玉米澱粉(C、CV)多。
3. 將[C 組、CV 組]、[G 組、GV 組]、[GC 組、GCV 組]兩兩比較後發現，加醋會增加生質膜的吸水量。
4. 由此實驗結果可知，用玉米澱粉或明膠為原料製成的生質膜，皆具有會吸水的特性，放在濕度較大的空間中會吸收水氣而軟化，因此自製生質膜包裝的適用限制應為盛裝「非水性物品」，才不致使生質膜變軟而影響使用效果。

## **(六)實驗六：將自製生質塑膠膜製成產品**

前言：根據材料世界網資料指出：塑膠製品裡，包裝佔其應用 36%。顯示塑膠包裝用途之廣泛。我們將所有自製生質膜的承重張力、拉伸長度、耐穿刺力及外觀進行比較，選出 G2C2V1.5 生質膜，模仿市售塑膠製成塑膠包裝產品，研究其取代市售塑膠之可行性。

## 步驟及結果：

物品名稱	製作步驟	成品圖示	附註
餐具 外包装	將生質膜對照市售餐具外包装，取適當大小，並以封口機黏合四邊，再在封口處剪出鋸齒狀以方便開封。		不易破、易攜帶，鋸齒側邊開封容易，保護內部餐具兼顧衛生。

物品名稱	製作步驟	成品圖示	附註
生質膜鉛筆袋	將生質膜對照市售鉛筆袋，取 19.6cm*13.5cm 大小，對摺後用封口機黏合底部和側邊。		堅固耐用，可裝約 15 枝筆，承重能力佳(500g 以上)。
立體小物包裝袋	將生質膜對照市售物品包裝袋，取 8.5cm*22.5cm 及 8.5cm*19.5cm 大小，將兩片膜短邊頂端對齊，用封口機黏合左、上、右三邊，下方膜在裝入物品後向上反摺黏起。		使用範圍廣，可運用於髮圈外包裝、單品文具包裝、立體小物外包裝……等。
紙類包裝袋	將生質膜對照市售活頁紙包裝袋，取 19cm*26cm 及 19cm*29cm 大小，將兩片膜短邊底端對齊，用封口機黏合左、下、右三邊，上方膜在裝入紙張後向下反摺黏起。		保護內容物(紙張)不易受潮、不易皺、可防塵。實測三週，紙張仍完好乾燥無損。
面紙包裝袋	將生質膜對照市售塑面紙包裝袋，取 12cm*5cm 大小，對摺後用封口機黏合將其餘三邊黏合。		可保持衛生，不易皺、不易破，實際使用三週後仍十分耐用。
口罩包裝袋	將生質膜對照市售口罩包裝袋，取 20cm*24cm 大小，對摺後用封口機將其餘三邊黏合。		可保持口罩衛生，不易受潮，不易皺，可防塵。
生質膜背心袋	將生質膜對照市售塑膠背心袋，取兩片 12.5cm*26.5cm 及兩片 4.5cm*26.5cm，分別作背心袋主體及側面，用封口機將主體和側邊黏合。		使用範圍廣，承重能力好(約 2kg)，使用後略變軟，但承重能力未減弱，可重複使用。

**\*注意事項：**

1. 自製生質膜在高濕度環境易吸水軟化，屬正常現象。
2. 不適合加熱、冷藏、冷凍使用。



## 討論：

1. 用生質膜製成的餐具外包裝、面紙袋、口罩外包裝、活頁紙外包裝等，外觀和市售塑膠包裝相似，實測包裝三週，內容物皆完好無損，顯示生質膜外包裝可保存物品、兼顧衛生、可防塵等功能。
2. 生質膜背心袋經過測試，能承重兩公斤以上，雖然使用後變軟，但承重能力未減弱，可重複使用。立體小物包裝袋可使用範圍廣，包括髮圈、單品文具…等立體小物外包裝。
3. 經實測後，發現自製生質膜製成生活物品外包裝，可以達到和一般市售塑膠相同功能，且承重能力佳，可取代部分市售塑膠袋。

## (七)實驗七：自製生質塑膠膜之分解測試

### ◆ 實驗七-1：生質塑膠膜之可燃性測試













**前言：**媒體報導指出：「塑膠的材料大多數是聚乙烯或聚氯乙烯，不完全燃燒會生成一氧化碳；此外，聚氯乙烯燃燒會生成戴奧辛、氯氣等毒性氣體，造成環境危害。」而我們自製的生質塑膠膜，都是使用天然成分，推測其燃燒較不會產生有毒物質，故決定測試生質塑膠膜的可燃性，並觀察其燃燒時的特性及剩餘灰燼質量。

## 步驟：

- (1) 將 5g 的生質膜用酒精燈燃燒，並記錄煙霧多寡、煙霧味道，以及燃燒後灰燼的質量。
  - (2) 若生質膜不到 5g，記錄燃燒前、後生質膜質量，計算其質量縮減率來相互比較。
- (測試記錄詳見實驗日誌)

## 結果：

表 7-1-a 自製生質膜燃燒前、後外觀照片比較表

	C 組	CV 組	G 組	GV 組	GC 組	GCV 組
燃燒前						
燃燒後						

\*相同原料之生質膜燃燒前後狀態相似，故每組生質膜僅取一組照片呈現。

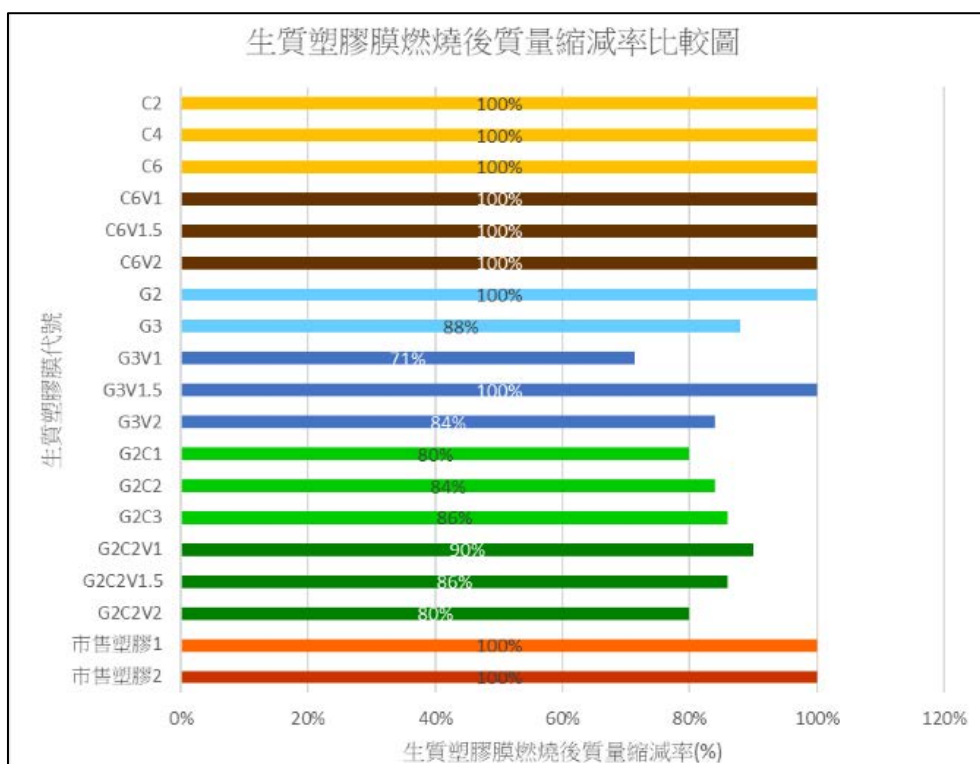


圖 7-1-a 不同生質塑膠膜之燃燒後質量縮減率比較圖

### 討論：

#### 1. 生質膜燃燒後質量縮減率組內比較：

- (1) C 組別、CV 組別：[玉米澱粉]和[玉米澱粉+醋]生質膜，燃燒後剩餘質量皆小於電子秤可秤得之 0.1 克以下，燃燒後質量縮減率都達 100%。
- (2) G 組別：G2>G3，明膠越多，燃燒後質量縮減率越低，但仍有 88.00%以上。
- (3) GV 組別：G3V1.5>G3V2>G3V1，和 G3 比較後發現，除了 G3V1.5 以外，加醋都會降低其燃燒後的質量縮減率。
- (4) GC 組別：G2C3>G2C2>G2C1，固定明膠量，玉米澱粉越多，燃燒後質量縮減率越高，皆達 80.00%以上。
- (5) GCV 組別：G2C2V1>G2C2V1.5>G2C2V2，當明膠和玉米澱粉固定時，醋越多燃燒後質量縮減率越低。

2. 燃燒後質量縮減率組別比較：C=CV=市售塑膠>G>GV=GCV≒GC。[玉米澱粉]C 組、[玉米澱粉+醋]CV 組別、市售塑膠的殘留灰燼都低於電子秤可秤得之 0.1 克以下。

3. 加玉米澱粉的生質膜(C、CV)燃燒後質量縮減率都比加明膠的生質膜(G、GV、GC、GCV)高。

4. 每種生質膜燃燒後質量縮減率都達 71%以上，顯示生質膜燃燒後可有效減少垃圾質量。

5. 燃燒市售塑膠膜時，發現燃燒時會變成透明油狀滴下，且會產生蠟燭味。燃燒自製生質膜產生的氣味大多為燒紙或爆米花的味道，推測應是自製生質膜的成分較為天然無毒。

## ◆ 實驗七-2：生質塑膠膜之土壤掩埋測試

**前言：**台灣垃圾處理方式為焚燒及掩埋，但傳統塑膠經土壤掩埋多年後仍無法分解，造成嚴重環境污染；而市售可生物分解塑膠需在特定條件下才能分解，未能確實解決對環境的危害。本實驗自製生質塑膠採用天然材料，推測其掩埋後應可自然分解，因此我們設計實驗將自製生質膜進行土壤掩埋，探討其不同土壤成分、溫度、植栽、酵素等變因下的分解情形，希望其經土壤掩埋後可完全分解，以達環保目的。

\*本實驗之[土壤]皆為體積比 2：1 之[壤土+培養土]；[堆肥]為學校自產的落葉堆肥。

\*本實驗掩埋的生質膜皆為[G2C2V1.5]（厚度 0.15mm）。

### 1. 土壤掩埋之溫控測試（實驗代號 A1、A2、B1、B2）

#### 步驟：

- (1) 準備四個塑膠盒，兩兩一組，分成[土壤]組（A1、A2），裝入高度 5cm [土壤]；[土壤+堆肥]組（B1、B2），裝入高度 5cm，體積 3：1 的土壤和堆肥。
- (2) 以毛線將土壤等分成十格，每格放兩片生質膜（如圖 7-2-a）；再將上半部生質膜覆上 3cm 土，做出覆土及未覆土的差別（如圖 7-2-b）。（未覆土設計目的是為了觀察生質膜分解狀態變化）。
- (3) 將 A1、B1 置於冷氣房，模擬台灣冬天（均溫 16.5°C）的環境溫度；A2、B2 則置於室內以鎢絲燈泡照射（如圖 7-2-c），模擬台灣夏天（均溫 30.0°C）的環境溫度。
- (4) 每天澆水並記錄其土壤濕度和溫度、環境溼度和溫度；每週取一格（兩片）覆土及一格（兩片）未覆土生質膜，觀察其分解變化，預計觀察五週。



圖 7-2-a 放置生質膜於土壤上



圖 7-2-b 覆土與未覆土差異展示

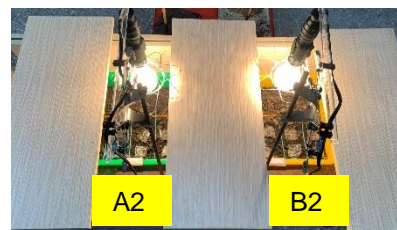


圖 7-2-c 鎢絲燈加熱生質膜設計展示

表 7-2-a 土壤掩埋溫控測試組別對照表



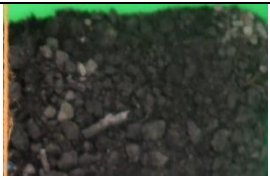





溫度控制	低溫組		高溫組	
組別	A1	B1	A2	B2
土壤	[土壤]	[土壤+堆肥]	[土壤]	[土壤+堆肥]
放置環境	冷氣房(模擬冬天)		照鎢絲燈(模擬夏天)	
環境平均溫度	均溫 19.0°C		均溫 33.6°C	
環境平均濕度	69.6%	69.6%	74.5%	74.5%
土壤平均溫度	21.5°C	21.5°C	26.1°C	26.1°C
土壤平均濕度	3.3	2.9	4.4	4.4

\*土壤濕度計之濕度刻度為 0~10，10 為最大濕度。

**結果：**

➤ **覆土組**

表 7-2-b A1、A2、B1、B2 生質膜的覆土實驗結果比較表

組別	A1	B1	A2	B2
環境	低溫組-冷氣房(均溫 19.0 °C)		高溫組-照鎢絲燈(均溫 33.6 °C)	
土壤	[土壤]	[土壤+堆肥]	[土壤]	[土壤+堆肥]
第一週				
	完全分解	完全分解	完全分解	完全分解
第二週				
	完全分解	完全分解	完全分解	完全分解








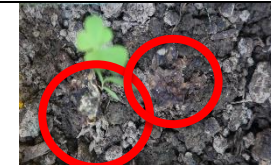
\*由於第一週覆土組生質膜已完全分解，經第二週再次確認後，證實覆土生質膜皆已完全分解，因此覆土組僅觀察至第二週為止。

➤ **未覆土組**

表 7-2-c A1、A2、B1、B2 生質膜的未覆土實驗結果比較表

組別	A1	B1	A2	B2
環境	低溫組-冷氣房(均溫 19.0 °C)		高溫組-照鎢絲燈(均溫 33.6 °C)	
土壤	[土壤]	[土壤+堆肥]	[土壤]	[土壤+堆肥]
第一週				
	有褐色、白色斑點 卷曲	有褐色、白色斑點 卷曲、有小坑洞	有白色斑點、卷曲 、未有分解現象	有褐色斑紋、少部 分分解
第二週				
	有褐色、白色斑點 卷曲、有小坑洞	有褐色、白色斑點 卷曲、有小坑洞	有褐色、白色斑點 部分變焦褐色、卷 曲、分解成小碎塊	有褐色、白色斑點 部分變焦褐色、卷 曲、分解成小碎塊

表 7-2- c A1、A2、B1、B2 生質膜的未覆土實驗結果比較表

組別	A1	B1	A2	B2
環境	低溫組-冷氣房(均溫 19.0 °C)		高溫組-照鎢絲燈(均溫 33.6 °C)	
土壤	[土壤]	[土壤+堆肥]	[土壤]	[土壤+堆肥]
第三週				
	有褐色、白色斑點 出現小裂痕	有褐色、白色斑點 卷曲、有小坑洞	白色變深褐色、約 八成分解	白色變深褐色、約 八成分解
第四週				
	有褐色、白色斑點 裂痕變大	褐色、白色斑點變 多、有小坑洞	變深黑褐色，約九 成分解	變深黑褐色，約九 成分解

\*紅色圈內為觀察時剩餘之生質膜。

## 討論：

### (1) 覆土與未覆土分解速率比較

- ①A1、B1、A2、B2 的覆土組在第一週皆已完全分解，顯示不論[高溫-照燈]組或[低溫-冷氣]組、[土壤]組或[土壤+堆肥]組，都可讓覆土組生質膜在七天內完全分解。
- ②自第一週起，覆土組皆已完全分解，而未覆土組則只有少部分分解，即分解速率：覆土>未覆土，顯示生質膜與土壤接觸面積越大，分解速率越快。

### (2) 未覆土生質膜溫度差異分解速率比較

- ①[土壤]組(A1、A2)未覆土部分，自第二週起出現明顯差異，分解速率：[高溫-照燈]A2 > [低溫-冷氣]A1，顯示高溫可讓生質膜分解速率加快。
- ②[土壤+堆肥]組(B1、B2)未覆土部分，自第二週起出現明顯差異，分解速率：[高溫-照燈]B2 > [低溫-冷氣] B1，顯示高溫可讓生質膜分解速率加快。

### (3) 未覆土生質膜加堆肥與未加堆肥分解速率比較

- ①冷氣組的[土壤]A1、[土壤+堆肥]B1 未覆土生質膜，第一週至第四週變化相似，皆出現褐色、白色斑點，且有小坑洞或裂痕，顯示不論有無堆肥，皆可將生質膜分解。
- ②照燈組[土壤]A2、[土壤+堆肥]B2 未覆土生質膜，第一週至第四週變化相似，皆變深黑褐色且約九成分解，顯示不論有無堆肥，皆可將生質膜分解。

\*經上述實驗，發現自製生質膜分解速度很快，一週觀察一次難以觀察到中間的過程變化。因此我們再次設計實驗，改為每天觀察生質膜分解情形，同時加入濕度變因。

## 2. 土壤掩埋之濕度測試 (實驗代號 B3、B4)

### 步驟：

- (1) 準備兩個塑膠盒，皆裝入 5cm 高的[土壤+堆肥]。
- (2) 在 6cm\*11cm 紙上，剪掉兩個 4cm\*4cm 方格，貼上兩片生質膜，用膠帶將四邊固定，每盒放置 14 組生質膜於土壤表面(如圖 7-2-d)。(將生質膜固定在紙片上，目的是使生質膜平貼土壤。)
- (3) 將兩盆土的上半部皆覆上 3cm 土壤，做出覆土及未覆土的差異(如圖 7-2-e)。
- (4) 每天記錄[澆水組]B3(澆水 100mL/天)、[不澆水組]B4 的土壤濕度和溫度、環境溼度和溫度；每天各取一組(兩片)覆土及一組(兩片)未覆土生質膜，觀察其變化，共觀察七天。



圖 7-2-d



圖 7-2-e

表 7-2-d 土壤掩埋濕度測試組別對照表

組別	澆水組 B3	不澆水組 B4
土壤	[土壤+堆肥]	[土壤+堆肥]
環境平均溫度	室溫 (均溫 25.7 °C)	室溫 (均溫 25.7 °C)
環境平均濕度	78.5%	78.5%
土壤平均溫度	24.3 °C	24.8 °C
土壤平均濕度	2.41	1.25
是否澆水	澆水	不澆水

### 結果：

表 7-2-e 澆水組 B3、不澆水組 B4 生質膜觀察結果比較表


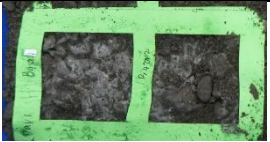

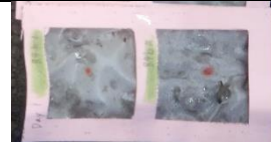





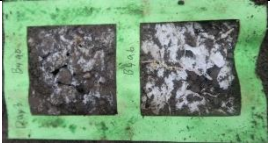

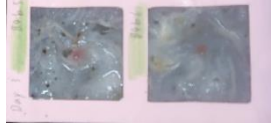
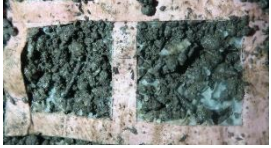
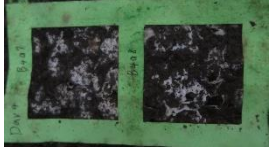
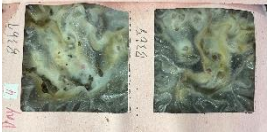


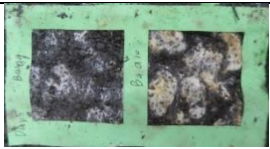
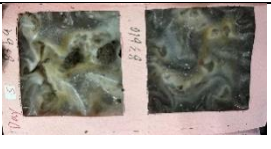
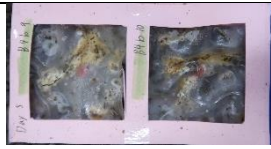

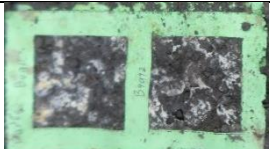

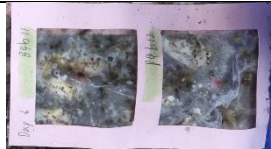


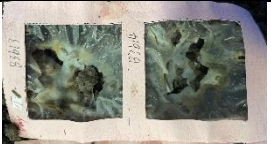
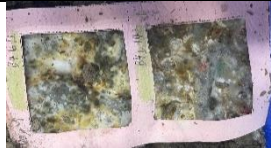
	覆土		未覆土	
	澆水組 B3	不澆水組 B4	澆水組 B3	不澆水組 B4
第一天	 略濕黏、略分解	 未有分解現象	 略濕黏、未分解	 變白、未有分解現象
第二天	 濕黏、分解量略增	 未有分解現象	 濕黏、出現小坑洞	 變白、未有分解現象

表 7-2-e 澆水組 B3、不澆水組 B4 生質膜觀察結果比較表

	覆土		未覆土	
	澆水組 B3	不澆水組 B4	澆水組 B3	不澆水組 B4
第三天				
	濕黏、分解量增加	些微分解	出現小坑洞	變白、未有分解現象
第四天				
	濕黏、大部分分解	分解成塊狀	變白、小坑洞變多	有褐色、白色斑點
第五天				
	約九成分解	分解成白色塊狀	坑洞變大	有小裂痕
第六天				
	完全分解	分解成小塊狀	變白、有小坑洞	有小坑洞
第七天				
	完全分解	約九成分解	約四成分解	褐色、白色斑點變多 約二成分解

**討論：**

(1) 生質膜濕度差異分解速率比較

- ① 覆土組濕度差異比較：[澆水]組 B3 生質膜自第一天開始分解，第六天完全分解；[不澆水]組 B4 生質膜自第三天開始分解，第七天約九成分解，即分解速率：澆水>不澆水，顯示澆水可加速生質膜分解速率。
- ② 未覆土組濕度差異比較：[澆水]組 B3 生質膜自第二天開始分解，第七天時約四成分解；[不澆水]組 B4 生質膜自第四天開始分解，第七天約二成分解，即分解速率：澆水>不澆水，顯示澆水可加速生質膜分解速率。

(2) 綜合上述結果，在第七天時各組生質膜分解速率比較：[覆土-澆水]組 B3(完全分解)>[覆土-不澆水]組 B4(約九成分解)>[未覆土-澆水]組 B3(約四成分解)>[未覆土-不澆水]組 B4(約二成分解)，顯示覆土對生質膜分解成效影響最大，澆水對生質膜分解成效影響次之。

### 3. 戶外環境土壤掩埋測試

- 3-1 每週觀察生質膜分解之戶外土壤掩埋測試(實驗代號 C1、C2、D1、D2、E1、E2)

#### 步驟：

- (1) 準備兩個盆栽(C1、C2)，裝入 5cm 高[土壤]，用緞帶將花盆五等分，每一格都放上四片 4cm\*4cm 及一片 4cm\*8cm 生質膜，覆上 3cm[土壤]，再在 C2 內每一格種一株左手香。
- (2) 將學校種植用地[土壤]混入堆肥，分成 4 個區塊(代號 D1、D2、E1、E2)，用毛線將每個區塊分成八格，在其中七格都放上四片 4cm\*4cm、一片 4cm\*8cm 生質膜，最後一格放上一片 10cm\*10cm 生質膜，再覆上一層 3cm 土壤。在 D2、E2 土壤上每一格各種一株左手香；E 組每週澆一次酵素(如圖 7-2-f)。
- (3) 每天測量土壤濕度和溫度、環境濕度和溫度，每週觀察一格(五片)生質膜分解變化，預計觀察七週。(10cm\*10cm 生質膜預計在第七週取出觀察)。
- (4) 在學校種植用地 D1 及 E1 其餘空間中，再埋入四片 4cm\*4cm、一片 4cm\*8cm 市售可分解塑膠膜，預計五週後取出觀察。(目的是比較自製生質塑膠膜與市售可分解塑膠膜，兩者分解速率及效果差異)。

\*可生物分解塑膠膜簡介：選用「OP 生物分解密封袋」，標榜可生物分解，無毒且不含塑化劑(如圖 7-2-g)。



表 7-2-f C1~E2 組土壤差異比較表

圖 7-2-g OP 生物分解塑膠

C1	C2	D1	D2	E2	E1
土壤	土壤+植被	土壤+堆肥	土壤+堆肥+植被	土壤+堆肥+酵素+植被	土壤+堆肥+酵素

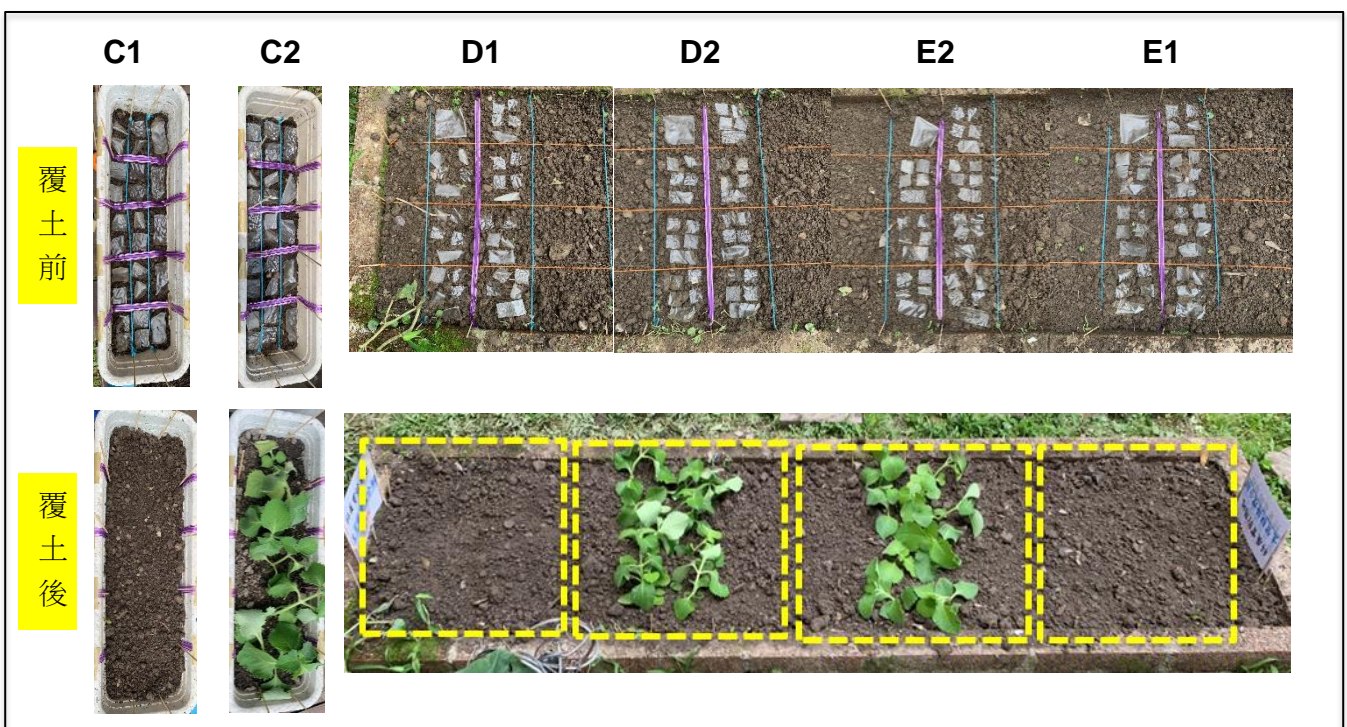


圖 7-2-f C1~E2 組土壤掩埋測試覆土前後展示圖



\*實驗觀察期間，環境平均溫度 26.2°C、環境平均濕度 75.6%。













土壤平均溫度：C1-26.0°C、C2-25.6°C、D1~E2-25.5°C。

土壤平均濕度：C1-6.3、C2-5.8、D1~E2-4.4。

## 結果：

### ➤ 生質膜分解觀察





表 7-2-g C1~E2 組生質膜之土壤掩埋觀察結果比較表

	C1	C2	D1	D2	E1	E2
	土壤	土壤+植被	土壤+堆肥	土壤+堆肥+植被	土壤+堆肥+酵素	土壤+堆肥+酵素+植被
第一週						
第二週						

\*由於生質膜在第一週已完全分解，經第二週確認後，證實生質膜皆已完全分解，因此僅觀察至第二週為止。

### ➤ 市售可生物分解塑膠分解觀察

表 7-2-h 市售可分解塑膠袋之土壤掩埋前後差異比較表

埋於[土壤]D1 區域之市售可分解塑膠		埋於[土壤+堆肥]E1 區域之市售可分解塑膠	
掩埋前	掩埋四週後	掩埋前	掩埋四週後
			

## 討論：

- (1) [土壤]組 C1、C2(+植被)第一週僅剩少許生質膜尚未分解(照片中紅色標記處)，而[土壤+堆肥]組 D1~E2 在第一週時就已全數分解，顯示堆肥可提升生質膜的分解速率。
- (2) [土壤+堆肥] 組 D1、D2(+植被)及[土壤+堆肥+酵素] 組 E1、E2(+植被)生質膜，在第一週皆已完全分解，顯示不論有無酵素皆可讓生質膜在一週內分解。
- (3) [土壤]組 C1、C2(+植被)分解速率相近；[土壤+堆肥]組 D1、D2(+植被)分解速率相近；[土壤+堆肥+酵素]組 E1、E2(+植被)分解速率相近，顯示植被對生質膜分解速率影響不大。
- (4) 有種植植被(左手香)的 C2、D2、E2 組，四週後植物皆生長良好，顯示生質膜掩埋不會對左手香生長造成不良影響。

(5) 自製生質膜在第一週均已分解，而市售可生物分解塑膠經過四週掩埋仍未見分解，顯示分解能力：自製生質膜>市售可生物分解塑膠。

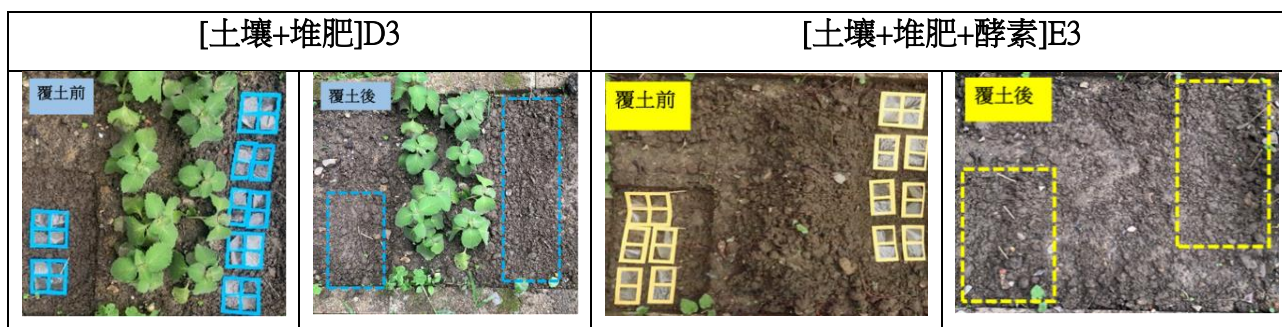
\*經上述實驗，發現自製生質膜在戶外土壤分解速度很快，一週觀察一次難以觀察到中間的過程變化。因此我們再次設計實驗，改為每天觀察生質膜分解情形。

● 3-2 每天觀察生質膜分解之戶外土壤掩埋測試(實驗代號 D3、E3)

步驟：

- (1) 在 11cm\*11cm 的紙上，剪掉 4 個 4cm\*4cm 的方格，作為標記生質膜位置之紙框，在[土壤+堆肥]D 區 [土壤+堆肥+酵素] E 區中，各放上七個標記紙框，並將 4cm\*4cm 的生質膜置於方格中，命名為 D3 及 E3，最後蓋上一層土。E3 區塊每週澆一次酵素。
- (2) 每天測量土壤濕度和溫度、環境濕度和溫度，每天觀察一組(四片)生質膜分解狀態，共七天。

表 7-2-i D3、E3 生質膜覆土前後差異比較表

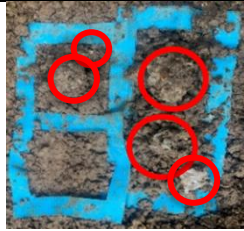
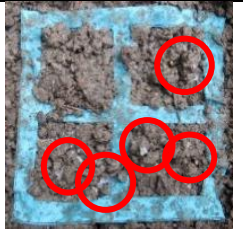
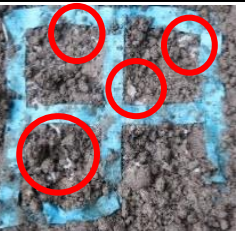
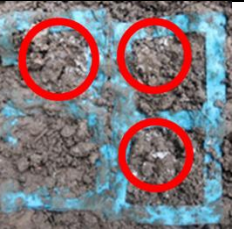
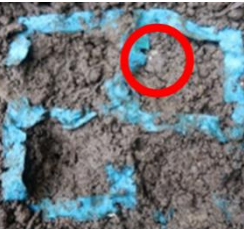




\*實驗期間為梅雨季節，天天下雨。

結果：








➢ [土壤+堆肥] 組 D3 連續觀察 1 週之結果

表 7-2-j [土壤+堆肥] 組 D3 生質膜觀察結果比較表

第一天	第二天	第三天	第四天
			
生質膜開始分解成數個塊狀	生質膜變成更小塊狀	殘存生質膜體積變小，數量漸減	殘存生質膜體積更小，數量更少
第五天	第六天	第七天	
			
僅剩少數生質膜尚未分解	生質膜完全分解	生質膜完全分解	

➤ [土壤+堆肥+酵素] 組 E3 連續觀察 1 週之結果

表 7-2-k [土壤+堆肥] 組 E3 生質膜觀察結果比較表

第一天	第二天	第三天	第四天
			
生質膜開始分解成數個塊狀	生質膜分解成白色小塊狀	生質膜分解成白色小塊狀	殘存小塊狀生質膜數量漸減
第五天	第六天	第七天	
			
殘存小塊狀生質膜數量漸減	生質膜完全分解	生質膜完全分解	

**討論：**


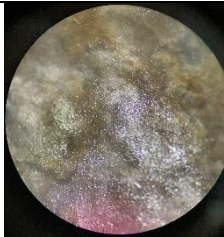

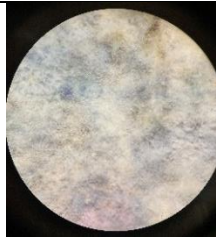

- (1) [土壤+堆肥] 組 D3 和[土壤+堆肥+酵素] 組 E3 生質膜自第一天起，就開始分解成白色小塊狀；到第四、五天，殘存小塊狀生質膜數量漸減；第六天，生質膜已完全分解；故本實驗證實自製生質膜可在七天內完全分解。
- (2) [土壤+堆肥] 組 D3 和[土壤+堆肥+酵素] 組 E3 生質膜皆在第六天就已完全分解，顯示其分解速率相近，得知酵素對生質膜分解速率的影響不大。

**4. 用解剖顯微鏡觀察生質膜分解變化**

**步驟：**

- (1) 準備一個培養皿，裝入[土壤+堆肥]，放上一片 5cm\*5cm 生質膜，並在生質膜上標註五個紅點，作為觀察參考點，觀察時將紅點置於顯微鏡視野正下方。
- (2) 每天以解剖顯微鏡(倍率為 45 倍)觀察其變化，共九天。

**結果：** 表 7-2-1 生質膜在解剖下之觀察結果比較表

第一天	第三天	第五天	第七天	第九天
				
透明生質膜下半部已變白色	白色部分持續變多	白色部分變更多	出現明顯顆粒狀	白色變薄、有蟲蠕動

## 討論：

- (1) 自製生質膜第一天開始變白，第七天出現顆粒狀，第九天觀察到幼蟲在吃生質膜，顯示自製生質膜可被生物食用分解。

## 肆. 結論

### 一、製做生質塑膠膜之原料探討

- (一)、由實驗一結果可知：可以使用玉米澱粉或明膠為原料製做生質膜，但在來米粉、糯米粉等澱粉則無法製成生質膜。
- (二)、由實驗二到實驗四結果可知：
1. [玉米澱粉]生質膜及[明膠]生質膜，其原料成分越多，成膜硬度越大。[明膠+玉米澱粉]生質膜，固定明膠量，玉米澱粉越多，成膜硬度越大。
  2. 加醋之後，增加[明膠]生質膜的硬度；降低[玉米澱粉]生質膜的硬度，降低[明膠+玉米澱粉]生質膜的硬度。

### 二、自製生質塑膠膜之物理特性測試

- (一)、**生質膜之拉力測試**：由實驗五-1 結果可知，[玉米澱粉]基底生質膜承重張力大，拉伸長度短，兩者呈反比趨勢；[明膠]基底生質膜則是承重張力小，拉伸長度長，兩者呈反比趨勢。[明膠+玉米澱粉]基底生質膜，承重張力及拉伸長度皆介於玉米澱粉基底及明膠基底生質膜之間，顯示混合此兩種成分的生質膜，可改善僅有單一成分生質膜的缺點。
- (二)、**生質膜之耐穿刺力測試**：由實驗五-2 結果可知，加醋之後，[玉米澱粉] 基底、[明膠] 基底、[玉米澱粉+明膠]基底的生質膜，可承受的耐穿刺重量皆會增加。
- (三)、**生質膜之吸水能力測試**：由實驗五-3 結果可知，[明膠]生質膜吸水能力>[玉米澱粉]生質膜吸水能力；加醋會使[玉米澱粉] 基底、[明膠] 基底、[玉米澱粉+明膠]基底生質膜皆增加吸水能力。

### 三、將自製生質塑膠膜製成各項產品

各項自製生質塑膠膜外包裝產品，外觀皆和市售塑膠包裝相似，經實測使用三週，內容物皆完好無損，顯示其可達到保存物品、兼顧衛生、防塵等功能；生質膜背心袋亦可承重兩公斤以上，承重力佳。綜合上述，自製生質塑膠膜產品可取代部分市售塑膠產品。

#### 四、自製生質塑膠膜之分解能力測試

(一)、生質膜之可燃性測試：每種生質塑膠膜燃燒後質量縮減率達 71%以上，顯示將其燃燒後可有效減少垃圾質量；且將其燃燒後產生燒紙及爆米花的味道，推測應是成分天然所致。

(二)、生質膜之生物分解能力測試：

1. 室內土壤掩埋變因控制測試：

(1) [G2C2V1.5]生質膜之土壤掩埋分解速率比較：覆土 > 未覆土；高溫 > 低溫；澆水 > 不澆水。

(2) 生質膜掩埋七天各組分解速率比較：[覆土-澆水]組 B3(完全分解)>[覆土-不澆水]組 B4(約九成分解)>[未覆土-澆水]組 B3(約四成分解)>[未覆土-不澆水]組 B4(約二成分解)，顯示覆土對生質膜分解成效影響最大，濕度(澆水)對生質膜分解成效影響次之。

2. 戶外環境土壤掩埋測試：

(1) 將[G2C2V1.5]生質膜掩埋於戶外土壤中，模擬真實土壤分解環境，發現生質膜經土壤掩埋一天即開始分解，一週內可完全分解。

(2) 生質膜掩埋於土壤中，不論是否添加酵素或植被，皆可使生質膜在一週內分解，且不會對所種植之植被造成不良影響。

3. 用解剖顯微鏡觀察生質膜分解變化：

第九天觀察到幼蟲在吃生質膜，顯示自製生質膜可被生物食用分解。

塑膠製品方便、耐用，已是生活中不可缺少的物品。相較於石油來源塑膠製品對環境造成的危害，生質塑膠漸被國際視為可取代石油基塑膠的發展選項。本實驗所製做之自製生質塑膠膜[G2C2V1.5]，有一定承重能力，能製成多種塑膠外包裝產品，確實達到保護物品，兼顧衛生之功能；經土壤掩埋分解測試後，證實自製生質塑膠膜在一般戶外環境之土壤掩埋，可在一週內完全分解，分解效果優於市售可生物分解塑膠。綜合上述，自製生質塑膠應可取代部分市售塑膠，達到相同包裝功能，又能降低對環境的危害，成為對環境友善的綠色塑膠。

## 伍. 參考資料

1. 蔡文居（2015年7月2日）吃太多塑膠袋 鯨魚擱淺枉死。自由時報。  
<https://news.ltn.com.tw/news/life/paper/894226>
2. 正見新聞網（2018年3月23日）無法想像一年用塑膠總量 竟比全人類還重。  
<https://big5.zhengjian.org/node/243030>
3. 好問答網-健康（2021年3月24日）塑料味道對人體有哪些危害，燒塑料的氣味對人體有什麼危害。  
<https://www.betermondo.com/a/202103/406560.html>
4. 台灣科技媒體中心（2019年4月16日）環境友善塑膠相關科學資訊。  
<https://smctw.tw/5042/>
5. 吳淑君、陳雅玲、蔡容喬、郭政芬、鄭朝陽(2021年9月19日) 環保假象？可分解塑膠掩埋5個月 依舊完好強韌。聯合新聞網。  
<https://udn.com/news/story/10653/5756708>
6. 愛范兒（2019年05月16日）可分解塑膠袋被埋3年還能用，研究指出這是一場誤導消費者的行銷。科技新報。  
<https://technews.tw/2019/05/16/biodegradable-bags-can-ues-three-years-after/>
7. Mary Lempres（2020年5月21日）Designing Plastic for the Future: How To Make a BioPlastic Bag.  
<https://www.youtube.com/watch?v=fDStwxetx7Q>
8. Taintygaga（2012年3月10日）Biodegradable plastic from Jicama (Singkamas) Starch.  
<https://www.youtube.com/watch?v=T3yWRx-ootE>
9. Joanna Chan（2016年3月14日）Digichem- Bioplastic video.  
[https://www.youtube.com/watch?v=IGvPo\\_U\\_Js&t=286s](https://www.youtube.com/watch?v=IGvPo_U_Js&t=286s)
10. Chef Rudakova（2020年6月27日）How to make an EDIBLE PLASTIC WRAP (crazy molecular recipes) .  
[https://www.youtube.com/watch?v=IGvPo\\_U\\_Js&t=286s](https://www.youtube.com/watch?v=IGvPo_U_Js&t=286s)
11. Fab Lab Barcelona（2021年2月19日）Making Bioplastic from Orange Peel - REMIX EL BARRIO.  
<https://www.youtube.com/watch?v=SB9D6yHGI7E>
12. ATIRAH ROSSIM（2020年12月31日）MAKE BIOPLASTIC FROM TAPIOCA STARCH - MARINE ENVIRONMENT BIOTECHNOLOGY (BIOPLASTIC MINI PROJECT).  
<https://www.youtube.com/watch?v=ggg1dxZjgqQ&t=311s>
13. 張怡雯（2021年5月17日）生質可分解塑膠發展概況。材料世界網。  
<https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=46963>

## 【評語】 032912

本作品透過甘油、明膠、玉米澱粉、醋自製生質塑膠膜，探討原料組成對物理特性測試的影響，製成各項產品並對照市售塑膠；經土壤掩埋後亦可在自然環境下完全分解。

研究內容設計嚴謹，作有次序的分析，以國中可以理解的知識基礎進行研究，並且自製儀器進行分析，依研究成果製成生質環保袋，是很不錯的作品。

可在濕度溫度皆高的環境下作成品的穩定度測試，更能反應在臺灣較嚴苛環境的貯存條件。亦可評估建議可以討論是否具有抗黴效果，以利後續使用發展。

作出的膜在冷凍和冷藏溫度和加熱時都不穩定，且有很強的吸水性，未來可設計實驗去改善這些性狀，或逆向思考找出其它的應用方向。

## 作品簡報



# 生質環保「袋」著走

組別：國中組

科別：生活與應用科學（二）科

# 壹、研究動機

報導指出，台灣一年塑膠袋使用量高達165億個，若未經妥善處理，易造成嚴重的塑膠垃圾污染，因此我們嘗試以天然原料**自製生質塑膠膜**，並研究其成膜性質，期待能**取代石化塑膠產品**，且能減少垃圾汙染，達到環保目的，成為新一代的綠色塑膠。



圖1 垃圾汙染示意圖

# 貳、研究架構

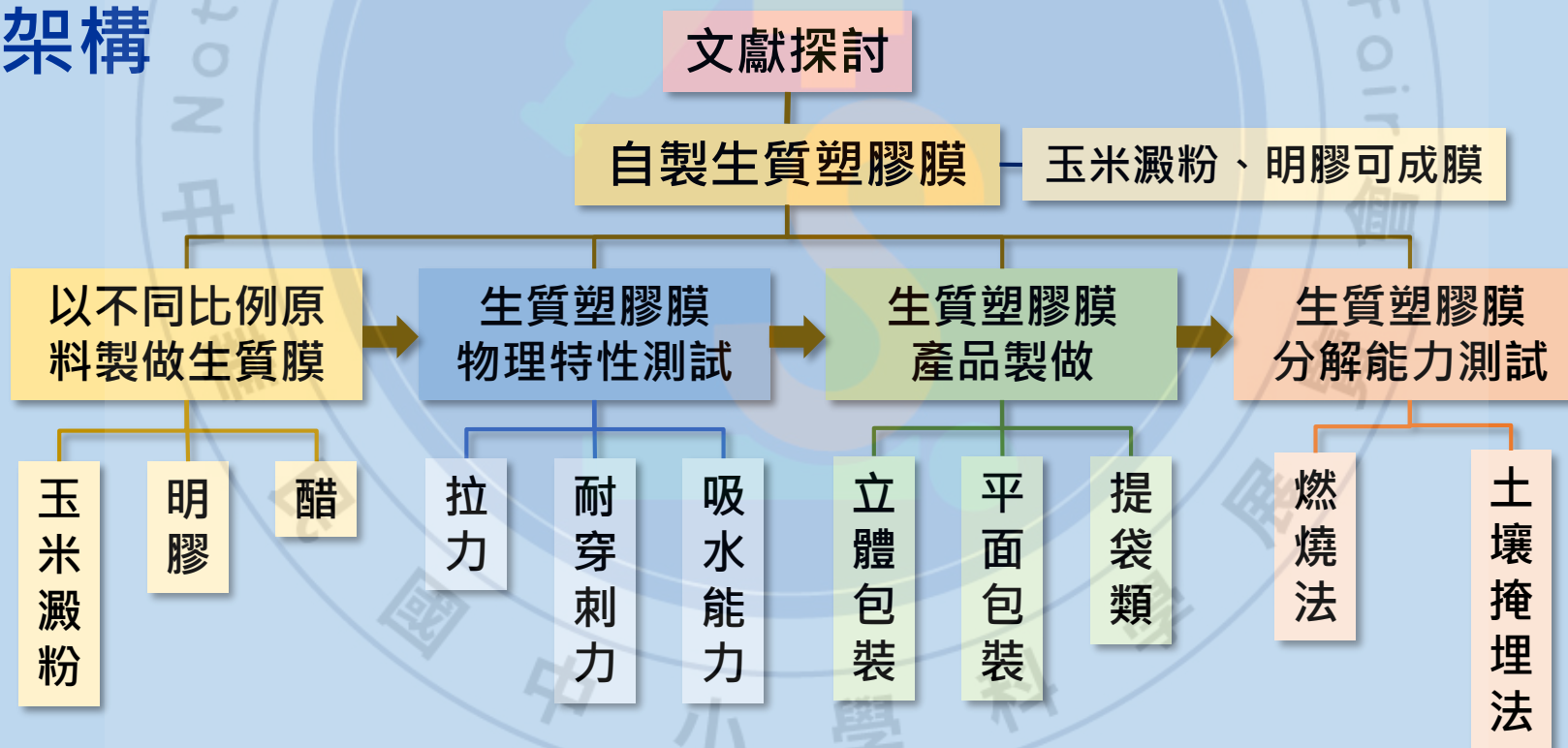


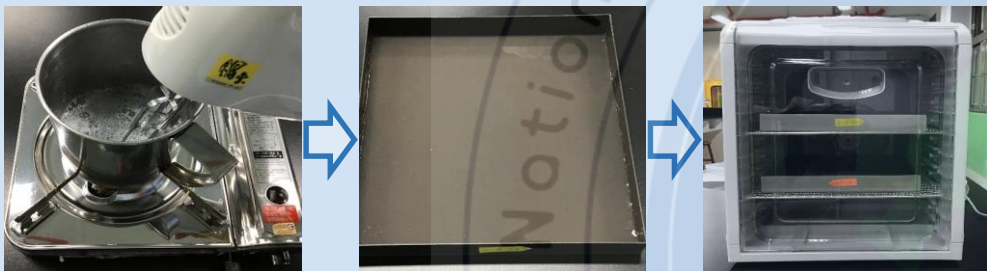
圖2 研究架構流程圖

# 參、研究過程與結果

## 實驗一：製做生質塑膠膜

### 製做生質塑膠膜實驗步驟

材料：0.5%甘油水溶液、玉米澱粉、明膠、醋



將材料攪拌並加熱

倒入烤盤

乾果機烘乾成膜

圖3 生質塑膠膜製做步驟圖

👉 **結論**：玉米澱粉和明膠皆可製成生質塑膠膜。

\* 自製生質塑膠膜以下簡稱「**生質膜**」

\* 生質膜代號命名規則

- 玉米澱粉(Corn starch) 代號**C**
- 明膠(Gelatin) 代號**G**
- 醋(Vinegar) 代號**V**

⇒ 命名方式：[原料英文代號+克數]

## 實驗二~四：以不同比例原料製做生質膜

### 以不同比例原料製做生質膜

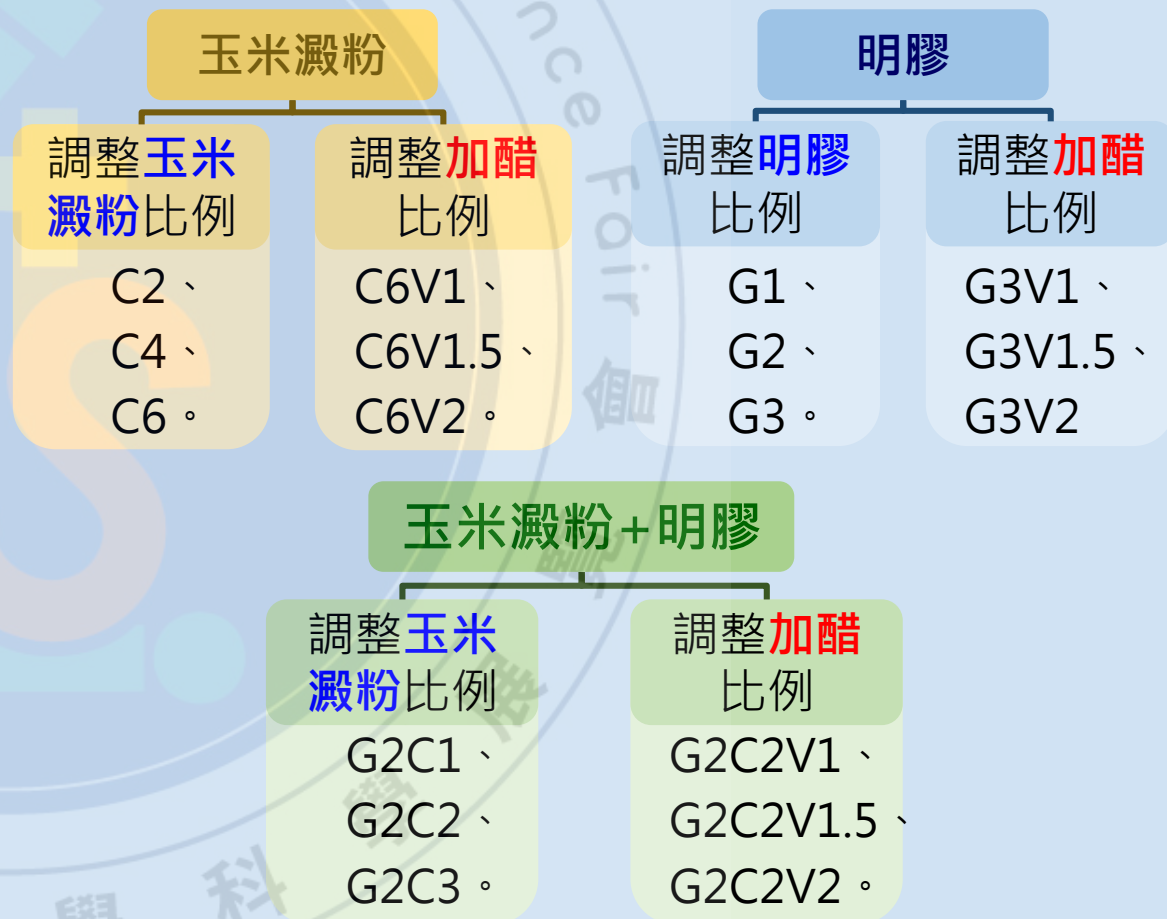
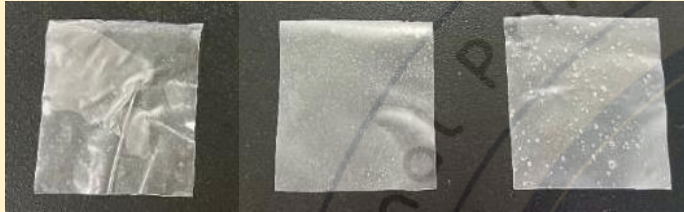


圖4 改變生質膜原料比例架構圖

# 實驗二~四 自製生質膜之成品討論

玉米澱粉



C2

C4

C6

玉米澱粉  
加醋



C6V1

C6V1.5

C6V2

👉 結論：

- 玉米澱粉愈多，生質膜硬度增加。
- 加醋，生質膜硬度降低。

明膠



G1

G2

G3

明膠  
加醋



G3V1

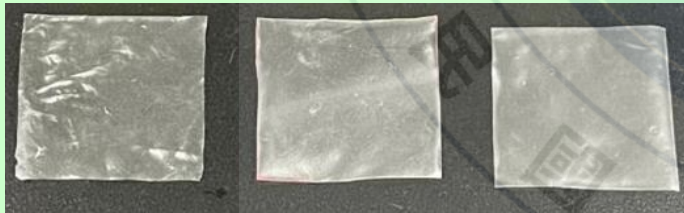
G3V1.5

G3V3

👉 結論：

- 明膠愈多，生質膜硬度增加。
- 加醋，生質膜硬度增加。

玉米澱粉  
明膠



G2C1

G2C2

G2C3

玉米澱粉  
明膠加醋



G2C2V1

G2C2V1.5

G2C2V2

👉 結論：

- 加玉米澱粉，生質膜硬度增加。
- 加醋，生質膜硬度降低。

# 實驗五 生質膜之物理特性測試

## 實驗五-1：拉力測試

1. 取 $2.5 \times 8.0 \text{cm}^2$ ，厚度 $0.15 \text{mm}$ 生質膜，以拉力夾具固定。
2. 將砝碼放入夾具下塑膠盒至生質膜破裂，記錄**承重重量**，及盒下竹籤所指直尺前後刻度，為生質膜**拉伸長度**。



圖5 自製拉力測量器

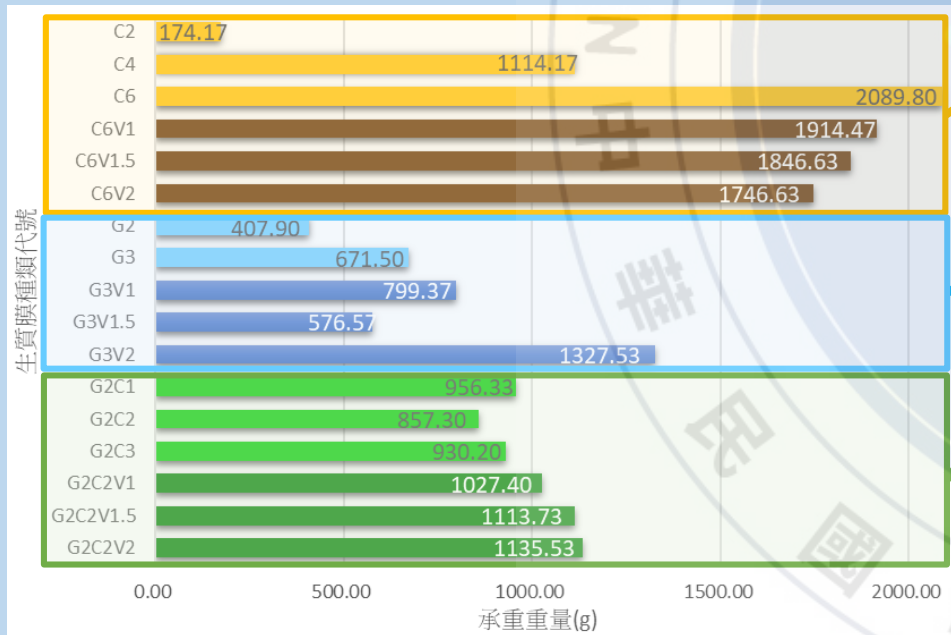


圖6 不同生質塑膠膜之承重重量結果比較圖

[玉米澱粉]生質膜  
承重大，拉伸長度小

+

[明膠]生質膜  
承重小，拉伸長度大

↓

**結論：**  
[玉米澱粉+明膠]生質膜可改善單一成分生質膜的缺點。

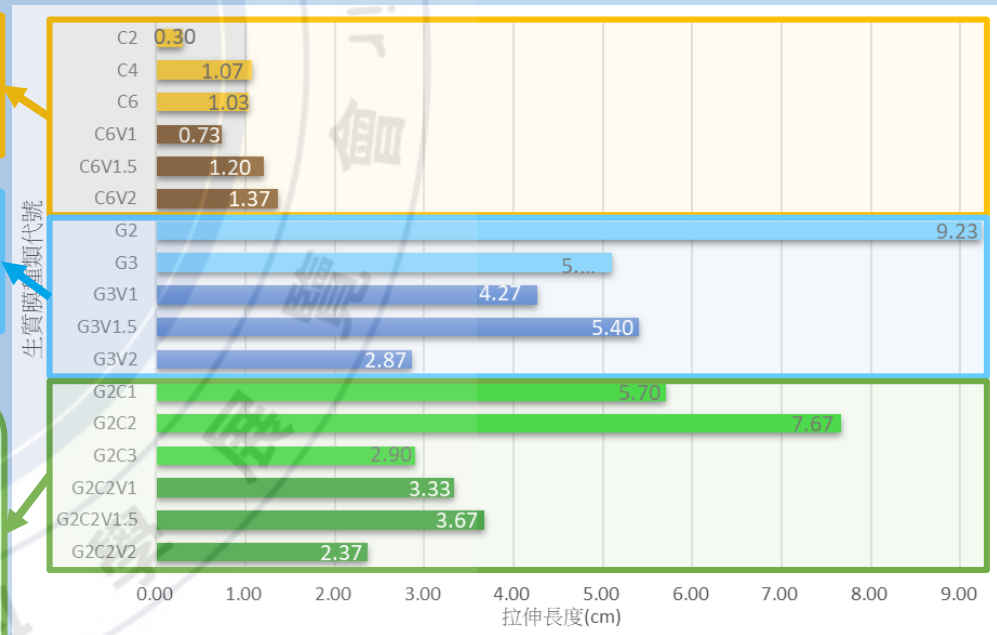


圖7 不同生質塑膠膜之拉伸長度結果比較圖

## 實驗五-2：耐穿刺力測試

1. 將 $5*5\text{cm}^2$ 生質膜黏在中空木板中央。
2. 盒子底部細吸管對準生質膜中心；盒中放入砝碼，記錄戳破生質膜時的克數，即為可承受之耐穿刺重量。



圖8 自製耐穿刺力測量器

## 實驗五-3：吸水能力測試

1. 將 $5*5\text{cm}^2$ 生質膜放入200mL水中2分鐘，取出後擦乾多餘水分。
2. 將實驗前後之質量相減，得其吸水質量。

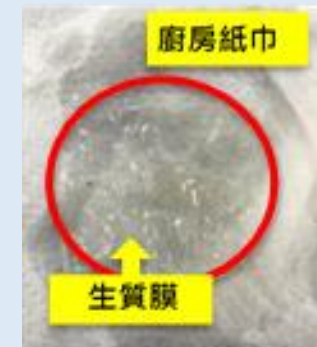


圖10 生質膜吸水示意圖

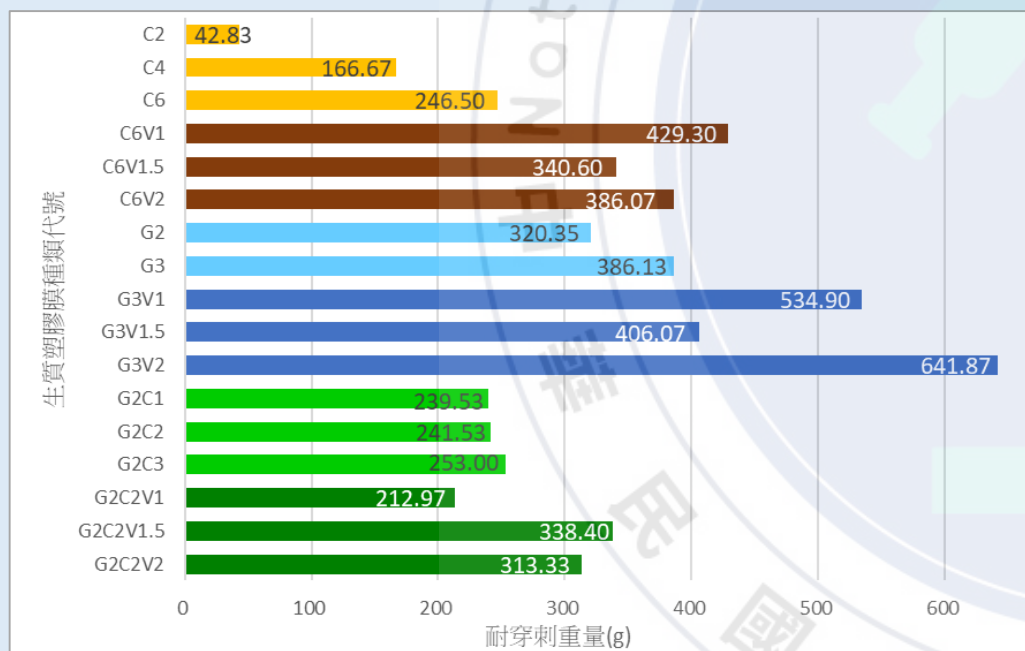


圖9 各種生質膜之耐穿刺重量比較圖

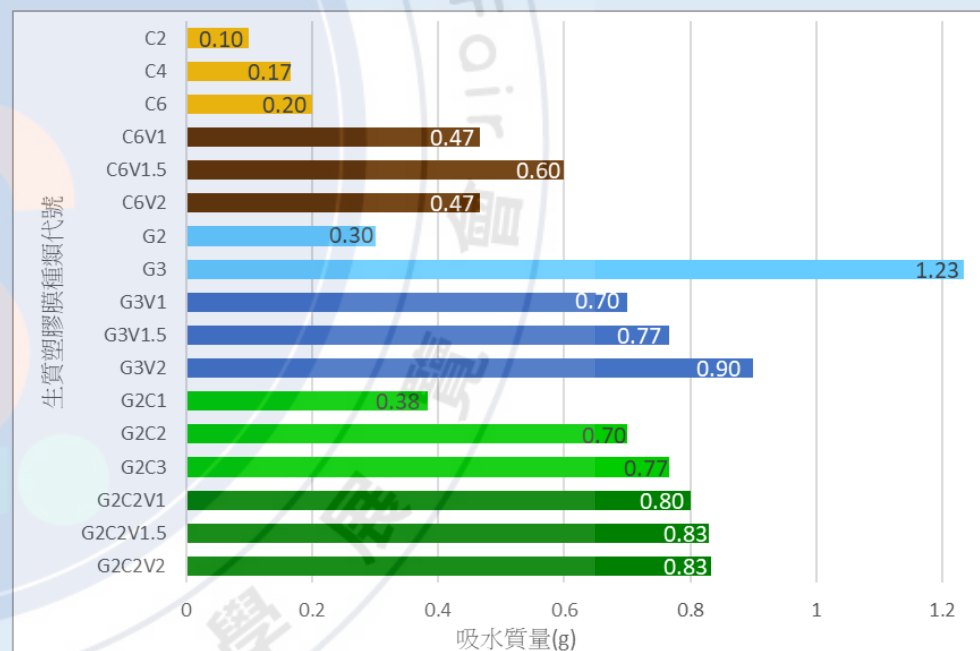


圖11 各種生質膜之吸水質量比較圖

👉 **結論**：加醋可提升生質膜耐穿刺力。

👉 **結論**：明膠、醋會使生質膜吸水量增加。

# 實驗六：將自製生質膜製成產品

## 生質膜選取

組別	特性比較
C組	承重能力佳，但氣泡多，外觀不佳
CV組	承重能力佳，但氣泡多，外觀不佳
G組	耐穿刺力佳但吸水量高，易黏在一起，用途不廣
GV組	耐穿刺力佳但吸水量高，易黏在一起，用途不廣
GC組	拉伸長度長、承重力普通、透明、光滑
GCV組	承重能力及耐穿刺力佳、透明、光滑、外觀美麗

WIN

⇒ 最終選擇[G2C2V1.5]製成生質塑膠膜產品。

## 產品製作步驟

1. 參考市售塑膠製品，並裁成相同大小。
2. 用封口機將開口黏合。

## 立體包裝類



餐具外包裝



小物外包裝



鉛筆袋



不易破、可防塵、保護內容物衛生、使用範圍廣。

## 平面包裝類



活頁紙包裝



口罩套



面紙袋



保護內容物品質及衛生，實測三週仍十分耐用。

## 提袋類



生質塑膠袋



使用範圍廣，可承重2kg，可重複使用。

# 實驗七：自製生質膜分解能力測試

## 實驗七-1：可燃性測試

1. 燃燒各種生質膜各5g。
2. 記錄燃燒後生質膜質量，計算生質膜**燃燒前後質量縮減率**。

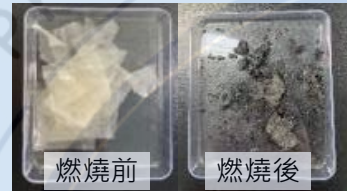


圖12 燃燒前後對照圖

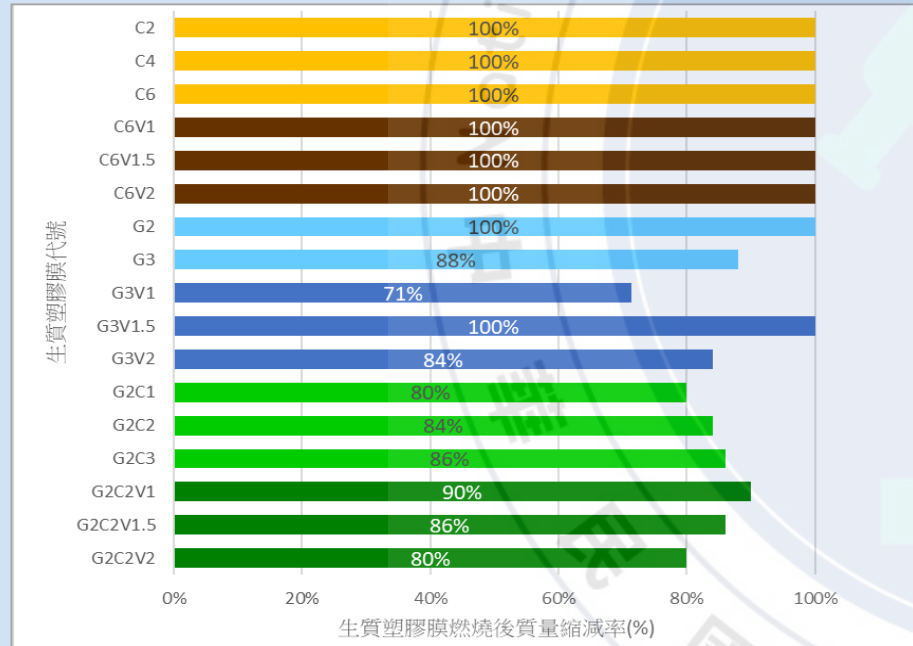


圖13 各種生質膜燃燒後質量縮減率比較圖

**結論**：每種生質膜燃燒後質量縮減率皆達71%以上。

## 實驗七-2：土壤掩埋測試

環境	代號	土壤	實驗條件	觀察	
室內	A1	土壤	低溫組	每週	
	A2	土壤	高溫組		
	B1	土壤+堆肥	低溫組		
	B2	土壤+堆肥	高溫組		
戶外	B3	土壤+堆肥	澆水	每天	
	B4	土壤+堆肥	不澆水		
	C1	土壤	自然環境	每週	
	C2	土壤+植物			
	D1	土壤+堆肥			
	D2	土壤+堆肥+植物			
	E1	土壤+堆肥+酵素			
	E2	土壤+堆肥+酵素+植物			
	D3	土壤+堆肥			每天
	E3	土壤+堆肥+酵素			

圖14 土壤掩埋實驗設計架構圖



## 室內土壤掩埋結果

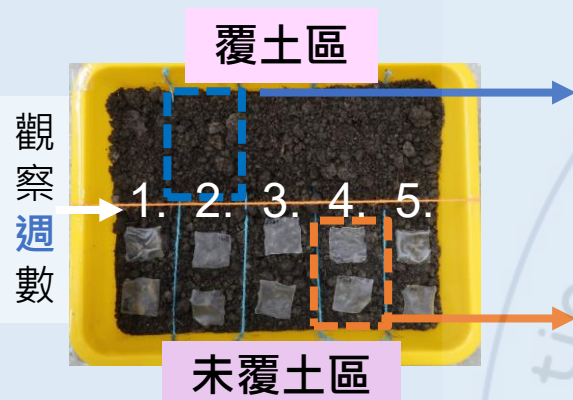


圖15 A1~B2 掩埋測試示意圖

冷氣低溫組19.0°C		照燈高溫組33.6°C		觀察結果
A1 [土壤]	B1 [土壤+堆肥]	A2 [土壤]	B2 [土壤+堆肥]	
				第二週生質膜均已完全分解
				第四週分解速率 高溫組 > 低溫組

👉 **結論：**土壤掩埋分解速率比較：覆土 > 未覆土；高溫 > 低溫。

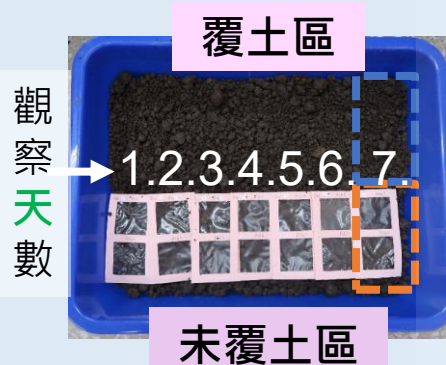


圖16 B3.B4 掩埋測試示意圖

\*澆水組澆水100mL/天。

	覆土區		未覆土區	
	B3澆水組	B4不澆水組	B3澆水組	B4不澆水組
第七天				
	幾乎完全分解	約九成分解	約四成分解	約二成分解

👉 **結論：**覆土對生質膜分解成效影響最大，澆水次之。

## 戶外土壤掩埋結果

觀察週數

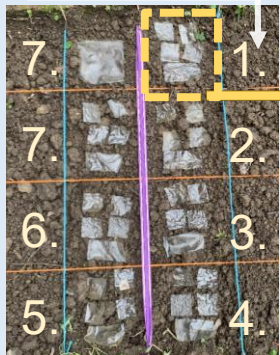


圖17 D1~E2 掩埋前生質膜擺放圖

組別	C1	C2	D1	D2	E1	E2
土壤	土壤	土壤+植物	土壤+堆肥	土壤+堆肥+植物	土壤+堆肥+酵素	土壤+堆肥+酵素+植物
第一週						
結果	僅微小殘餘		完全分解		完全分解	

**結論：**生質膜於戶外環境掩埋，一週即完全分解。堆肥、酵素、植物對分解影響不大。

觀察天數

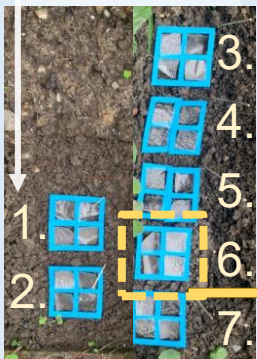


圖18 D3.E3 掩埋前生質膜擺放圖

組別	D3	E3
土壤	土壤+堆肥	土壤+堆肥+酵素
第六天		
結果	完全分解	完全分解

用解剖顯微鏡(45倍)下  
之未覆土生質膜



第九天有幼蟲在吃生質膜

市售可生物分解塑膠袋

掩埋前	
第四週	
結果	未分解

**結論：**生質膜可被生物分解，於掩埋第六天完全分解，效率優於市售可生物分解塑膠。

# 肆、結論

## 一、製做生質塑膠膜之原料探討

- 1.三種基底生質膜，加入之基底原料愈多，硬度愈大。
- 2.加醋可降低[玉米澱粉]及[玉米澱粉+明膠]生質膜的硬度。

## 二、自製生質塑膠膜之物理特性測試

- 1.將兩種原料加在一起製成[明膠+玉米澱粉]生質膜，可**改善單一成分生質膜的缺點**。
- 2.加醋可增加生質膜承受的耐穿刺重量。
- 3.生質膜吸水能力：**明膠 > 玉米澱粉**，**加醋 > 未加醋**。

## 三、將自製生質膜製成各項產品

- 1.生質膜產品，外觀及功能與市售塑膠產品相似。
- 2.實測使用三週，內容物皆完好無損，顯示其可達到**保存物品、兼顧衛生、防塵**等功能。

## 四、自製生質塑膠膜之分解能力測試

- 1.每種生質塑膠膜**燃燒後質量縮減率達71%以上**。
- 2.**覆土、高溫、澆水**等方法可提升生質膜土壤掩埋分解速率。
- 3.生質膜經土壤掩埋後，可於**一週內完全分解**。

## 伍、未來展望

### 一、生質膜性質缺點改善

自製生質膜的吸水性較高，故可嘗試利用不同材料製做生質膜，以達到防水目的。

### 二、生質膜製成方法改良

實驗中發現：相同原料配方，但加熱時選用不同材質盛裝容器，亦會使成膜特性有所差異，故可再研究生質膜之不同製作方法，例如：加熱溫度、時間、方式、盛裝容器等，並觀察其成膜特性。

### 三、生質膜用途多元開發

生質膜厚度、面積若不同，各項性質亦會有所改變，可再研發不同特性之生質膜，製成各類產品，使其用途更加多元廣泛。

## 陸、參考資料

- Mary Lempres ( 2020,May 21 ) Designing Plastic for the Future: How To Make a BioPlastic Bag. from <https://www.youtube.com/watch?v=fDStwxetx7Q>
- Joanna Chan ( 2016,March 14 ) Digichem- Bioplastic video. from <https://www.youtube.com/watch?v=PXVVPaE3Tlc>
- 張怡雯 ( 2021年5月17日 )。生質可分解塑膠發展概況。材料世界網。  
取自：<https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=46963>