

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 生活與應用科學科(二)

探究精神獎

082901

倚「天」屠「龍」記-一種綠色經濟型替代保麗  
龍材料的研究與開發

學校名稱：康橋學校財團法人新北市康橋高級中學

作者：  小六 王士瑋  小六 鄒宜臻  小六 辛宇杭	指導老師：  賴俊憲
---	------------------

關鍵詞：天然穀物、蛤蠣殼、保麗龍

# 摘要

傳統的保麗龍材料在製造過程中會釋放出有害的化學物質，並且無法有效地回收和再利用。本實驗使用天然材料製作的替代品更加環保和可持續，因為它們可以降低對石化原料的依賴，並且可以被自然分解。我們採用了一種新的製造方法，研發用最經濟的飼料硬質玉米和高粱加熱爆裂後，作為填充材料，並使用聚乙烯醇和硼酸作為黏著劑。這種方法適用於製造可避震、防火隔熱的材料，除了減少對石化原料的需求，也降低了製造成本。此外，我們還用了蛤蠣殼粉和無毒的清潔劑成分的無患子萃取液，這些材料都比保麗龍更加環保。本組產品呼應全球 ESG 永續行動，它可以減少包裝材料對環境的污染和傷害，同時具有更好的可持續性，為地球的永續循環經濟盡一份心力。

## 壹、前言

### 一、研究動機

本研究為“倚「天」屠「龍」記”，意指利用「天」然物質來取代保麗「龍」，以避免其對環境和人類的傷害。保麗龍廣泛地用於包裝、隔熱和發泡等用途，但其對環境和人體健康都有嚴重的負面影響。首先，保麗龍的製造過程消耗了大量不可再生的石油資源，並且釋放出有害的化學物質，如苯乙烯、……等。其次，保麗龍在自然界中需要數十(百)年甚更長時間才能完全降解。因此，本組開發了一種可分解的環保“天然保麗龍”，以天然發泡材料加上黏著劑來替代保麗龍，減少對環境和人體的傷害。

### 二、研究目的

實驗由找出天然加熱會爆裂的澱粉穀物開始，之後再從諸多黏著劑中，不斷實驗做出適合的保護材料，訴求以天然物來完成環保的責任；研究目的有六項：

- (一) 實驗一：找出最適合發泡的填充物
- (二) 實驗二：找出最具發泡與支撐效果的組合
- (三) 實驗三：複合泡泡板柔軟度的測試
- (四) 實驗四：複合泡泡板防火隔熱的測試
- (五) 實驗五：複合泡泡板包裝運輸保護能力的測試

## (六) 實驗六：複合泡泡板掩埋後的分解追蹤

### 三、文獻回顧

#### (一) 歷屆全國科展對爆米花之研究共計四篇

##### 1. 爆米花屠龍記(第 49 屆)

- (1) 內容：該組以 22 個檢驗分析的實驗結果與保麗龍作一比較，其中 19 項贏過保麗龍。
- (2) 可取處：該組使用各式器材完成分析。使用小體積的球狀與 M 型的保麗龍實驗。而本組最大不同是以製作”板”方式來做比較，以(倚)天然無毒物製作。

##### 2. 你溶我濃，特砂請多--糖/水溶液對爆米花脆度的影響(第 50 屆)

- (1) 內容：該篇研究在加熱溫度、攪拌速度、玉米品種……等，條件不變下了解糖水溶液對爆米花脆度的影響：糖水溶液比固體糖更能讓爆米花的脆度增加、糖的顆粒大小、糖水的濃度和水溶液的溫度對爆米花脆度都有影響。
- (2) 可取處：該組以破碎機方式取代脆度分析，用公式在脆片大小分類上計算得到脆度。幾乎已知糖類都取來實驗，精神可嘉。

##### 3. 「米」花朵朵開第 57 屆

- (1) 內容：該組要瞭解玉米粒在不同的條件下，形成的爆米花有哪些差異與影響？研究內容主要包含：一、比較爆開前後的變化，如顏色、大小、軟硬程度、密度及形狀；二、探討缺損的玉米能否爆裂成爆米花；三、探討不同溫度的冷藏後爆開的差異；四、糖對爆米花脆裂度的影響。
- (2) 可取處：該組對玉米受熱前後的變化做一探討，例如缺損、加熱溫度、糖類影響。其中評審評語：測量脆度應注意實驗間與濕度的影響，若能多一點與化學連結的科學數據與觀察更佳。

##### 4. POP 蹦!!! (第 57 屆)

- (1) 內容：該組探討爆玉米花時，節約能源下達到爆裂成功之方法；對保溫效果亦有與保麗龍作一簡易比較。

- (2) **可取處**：實驗發現以 1.白砂加蓋加熱最快；2.以鋁箔包覆玉米可以做出最大的玉米。以冷、熱水保溫比較保麗龍結果效果相近。

(二)歷屆天然複合材料科展相關共計二篇：

1. 聚乳酸/天然纖維複合材料之研究-探討加入玉米葉纖維對機械性質之影響(2014 國際科展)
  - (1) 內容：實驗以玉米葉纖維做為聚乳酸纖維的補強材料，加入不同長度的玉米葉纖維，探討複合材料機械性質的影響。
  - (2) **可取處**：對機械性的拉伸強度和耐衝擊值來判斷，纖維並不是越長越好，而是以實驗中稍短者 2mm 為佳。
2. 「蛋」然處之~探討以黃豆餅蛋白與小花蔓澤蘭製成複合材料修飾牆面裂縫之可行性(全國第 61 屆)
  - (1) 內容：該組複合材料基質用榨油後黃豆蛋白變性，纖維採用小花蔓澤蘭的莖部製成，試驗以 20%的粉末拉力最高，較市售批土強度高 5 倍。
  - (2) **可取處**：該實驗所用材料均為廢棄材料，植物纖維小花蔓澤蘭，其為對環境影響大的外來種，作為一個新用途。

(三)其他相關文獻一篇：

1. 綠色膠黏，交聯：硼砂的取代調查(台灣化學教育 2019.3 月)
  - (1) 內容：本篇文章主要探討如何尋找可替代硼砂的綠色膠黏交聯劑。結果：雖然已有一些可行的替代方案，但尚未有一種單一的交聯劑可以完全替代硼砂。本篇提供了對可替代硼砂的綠色膠黏交聯劑的探討和評估，並為未來的研究提供了方向。
  - (2) **可取處**：研究測試硼砂和水溶性聚醯胺及適當的反應條件，可以製備出較優秀的交聯膠黏劑，其力學性能和熱穩定性都優於常規膠黏劑。另發現當硼砂劑量增加時，膠黏劑的交聯密度和力學性能也會提高，但過量的硼砂可能會降低膠黏劑的性能。

## 貳、研究設備及器材

### 一、原料：

硬質玉米	爆裂玉米	薏仁	高粱
糙米	氯化鈣	海藻酸鈉	熱熔膠
硼酸	聚乙烯醇(PVA)	石蠟	純水
黃豆	醋酸	明膠片	葡萄糖
石膏	五倍子	鹽酸	食用鹼粉
甘油	蛤蠣殼(碳酸鈣)	無患子	稻草
清潔劑(十二烷基苯磺酸鈉，簡縮 SDBS)			

### 二、儀器與設備類：

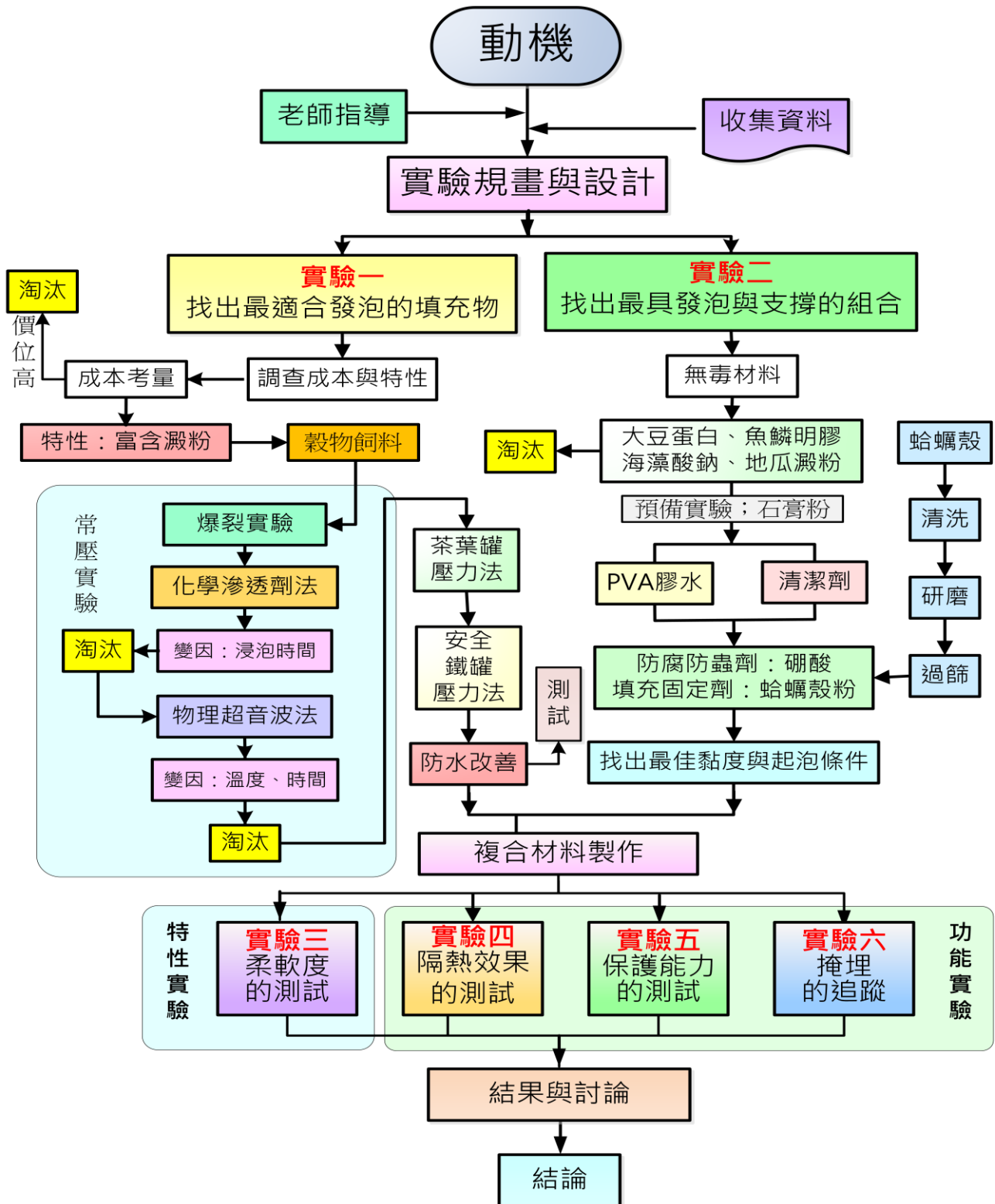
磅秤	不銹鋼便當盒	電磁爐	超音波清洗機
壓力鍋	鐵鍋	卡式瓦斯爐	去漬油空罐
安全夾具	攪拌棒	溫度計	果汁機
量筒	燒杯	熱熔膠槍	電動打蛋器
溫度感應器	熱燈	瓦楞紙	研磨機
小茶瓷杯	紙盒	蔬果烘乾機	保麗龍
氣泡布	壓舌板	布丁杯	電子磅秤
藥勺	膠帶	線香	打火機
護目鏡	PVC 手套	校園田園區	鏟子
棉質隔熱手套	有殼壓克力盒	噴瓶	模具便當紙盒
竹籤	小瓶蓋	篩網	

# 參、研究過程或方法

## 一、實驗流程

圖 1  
實驗流程圖

### 汙染環境的保麗龍有其他材料可以取代嗎？



## 二、實驗一：找出最適合發泡的填充物

圖 2

實驗一之流程圖



(一) 天然穀物的詢價、成分與特性比較。

1. 我們在飼料行裡，查到穀物：硬質玉米、薏仁、燕麥、爆裂玉米、高粱、糙米作為實驗材料的價格；另查詢穀物的成分與研判其特性。

圖 3

天然穀物外觀及穀物價格表(111/7/28)



(二) 找出最適合爆裂方法：

1. 以化學方式：

- (1) 浸泡滲透劑：取 50 顆以上實驗最經濟三種穀物硬質玉米、高粱與爆裂玉米(對照組)、分別浸泡兩種 5.0%濃度的滲透劑中(甘油、葡萄糖)10 分鐘，瀝乾微濕。
- (2) 浸泡水中(對照組)：取 50 顆以上三種穀物分別浸泡水中 30 分鐘，瀝乾微濕。
- (3) 將上述瀝乾後三種浸泡方式的三種穀物，分別置於不銹鋼便當盒中，加蓋後以電磁爐全開功率加熱。

圖 4

以化學方式爆裂穀物之過程



2. 物理方式

- (1) 超音波法：將穀物浸泡於水中，置於超音波清洗機(45W)中，使水分子產生氣泡產生



之氣泡，受到高壓波段的壓縮而破裂，破裂產生的水柱會衝擊穀物，水分因而進入穀物內，之後將穀物加熱產生糊化作用，使體積膨脹而爆破。

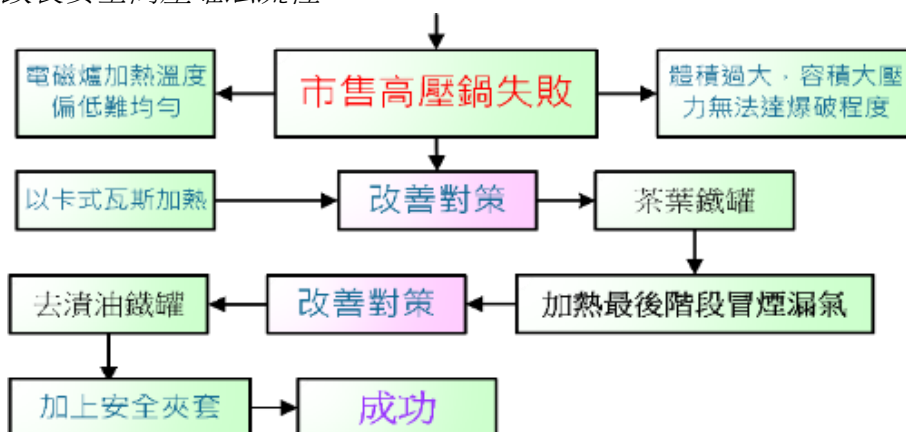
(2)改良安全高壓罐法：

A. 原理：壓力罐使穀物內水分在高溫度與氣壓下產生糊化而爆破。

B. 改善壓力鍋過重，手部搖動困難：因市售高壓鍋體積大，加熱中需不斷搖動，避免穀物燒焦之情形。

圖 5

改良安全高壓罐法流程



C. 安全改善過程：避免茶罐蓋子漏氣，改用瓶口有螺紋可拴緊的去漬油油罐，再以夾套將茶罐蓋子壓緊，完全冷卻後再開啟。

圖 6

壓力罐安全改善過程及爆裂穀物外觀



3. 爆裂成功率的比較，測試條件：

(1)卡式瓦斯用新品，使用 1 小時更換。

(2)取硬質玉米、高粱、爆破玉米(對照組)各 100 顆各五組秤重，計算平均重量。

(3)加熱時間：高粱 2 分 50 秒，硬質玉米 5 分、爆破玉米(對照組)3 分 30 秒。

(4)確定夾套固定穩妥，戴上隔熱手套，才可開始加熱、計時。

(5)加熱完成熄火，放置冷卻再開蓋。倒出計算未爆破或爆 2/3 以下不全的個數。



(6)加熱高度計距離爐頭 5 公分；重複各組實驗做五次。

### (三)防水的改善

1. 原由：前期實驗發現到，膨脹的穀物在膠水中，遇水後會吸收水分，以致穀物軟化，無支撐空間作用。
2. 作法：
  - (1) 材料：石蠟、鐵鍋、瓦斯爐、隔熱手套、鐵夾、湯匙、爆開穀物
  - (2) 將石蠟放置於鐵鍋中，以瓦斯爐加熱使其完全溶解。
  - (3) 待石蠟完全溶解微沸後，將穀物放入鐵鍋裡，穀物會浮在熱蠟油上，鐵鍋內攪拌混合，使穀物都能有蠟油全滲入，非表層因蠟油溫度不足的蠟封。

圖 7

穀物防水改善作法

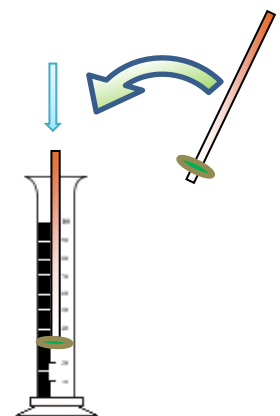


- (4) 關瓦斯爐，用鐵夾將穀物取出，放置陰涼處冷卻，即可做成防水穀物。
- (5) 防水實驗追蹤：將三種穀物浸泡於自來水中，每日觀察其防水效果。

### (四)測量爆裂前後的體積與膨脹率：

1. 取三種已防水處理過的穀物：硬質玉米、高粱與爆裂玉米(對照組)，分別測量其乾物重量與體積。
2. 將上述三種穀物爆裂；加熱時間條件：  
高粱 2 分 50 秒，硬質玉米 5 分、爆破玉米(對照組)3 分 30 秒。
3. 爆裂完成後，分別測量其乾物重量與體積。
4. 體積測量治具製作：如右圖 8，以熱熔膠黏著竹籤與瓶蓋。  
目的：改善防水穀物會浮在水面上問題，影響測量準確性。
5. 以排量法測量不規則體積：  
排量法：取一個有刻度的量筒，裝入定量的水。記錄水的初

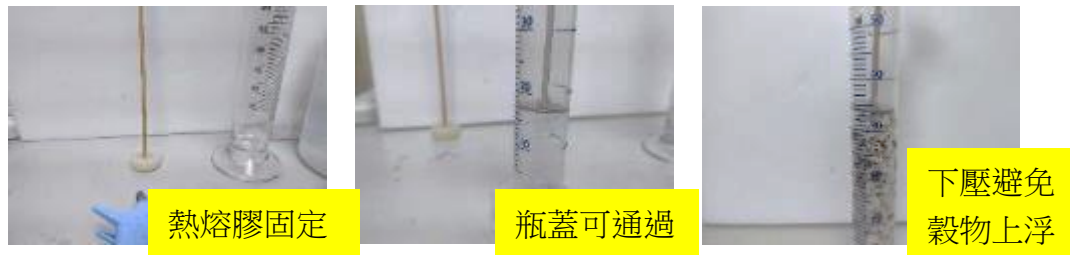
圖 8  
體積測量治具



始體積。然後，將待測量的穀物放入量筒，以製作的冶具，下壓上浮的穀物，使其完全浸入水中，穀物會將水排開，造成水位上升，**注意瓶蓋位置要稍高液面**。測量新的水位並記錄其體積。 $\boxed{\text{新的體積} - \text{初始體積} = \text{穀物體積}}$

**圖 9**

以體積測量冶具測量不規則體積過程



### 三、實驗二：找出最具發泡與支撐效果的組合

**圖 10**

各種黏著劑測試歷程



#### 1. 蛋白質膠

(1) 實驗二之 1 實驗過程：黃豆蛋白質(植物)

- 做成豆漿濃度標準：豆：水=1：10 = 600：6000(六公升)
- 用果汁機去打碎，第一道用豆漿布過濾出雜質，擠出豆汁。
- 豆汁以電磁爐加熱，升溫到 70°C，每次加 5ml 食用醋酸後，不斷攪拌，即可看見片狀固形物產生。
- 放置冷卻不燙手後，再以豆漿布過濾，留下固形物，即為蛋白膠。
- 將蛋白膠 30g(對照組 15g)與分別與穀物以 10：1 比例混合攪拌後，分別裝置於二鋁箔製盒裡，放置乾燥。

**圖 11**

使用黃豆製作過程



F. 實驗二之 1 乾燥五天後的黃豆蛋白質

圖 12

穀物放置三天外觀



圖 13

穀物放置五天外觀



結果：1. 放置五天後：已完全風乾，體積縮小變硬，有異味、發霉現象。

2. 穀物以高粱為填充物較不易破裂、玉米於小體積實驗時易裂開。

(2) 實驗二之 2：膠原蛋白(動物)

A. 取明膠片 (2.8g + 2.52g = 5.32g) + 100ml 60°C 的熱水溶解成明膠水溶液。

B. 加入以 5g 的五倍子於 100ml 熱水中熬出的「單寧酸」水溶液。

C. 取鹼粉水溶液 pH 10.5(食用碳酸鈉)與 pH 3 鹽酸水溶液。

D. 將明膠溶解液與高粱以 10 : 1 比例混合攪拌後，分別裝置於塑膠盒裡，放置乾燥

放置如下表：

表 1

膠原蛋白實驗之成分說明表(實驗二之 2)

組別	對照組	實驗 1	實驗 2	實驗 3
成分	原液 100ml	+ pH 3 鹽酸 1.0ml	+ 單寧酸 1.0ml + pH 10.5 鹼粉 1.5ml	+ 單寧酸 1.0ml + pH 10.5 鹼粉 3.0ml

圖 14





使用膠原蛋白製作過程



F. 明膠測試：取明膠水溶液 15.0 公克 + 高粱 3.0 公克

表 2

膠原蛋白實驗之結果說明表

成分	原液	+ pH 3 鹽酸 1.0ml	+ 單寧酸 1.0ml + pH 10.5 鹼粉 1.5ml	+ 單寧酸 1.0ml + pH 10.5 鹼粉 3.0ml
照片				
說明	黏結、硬實	黏結、彈性小、 略白色、硬	黏結、底未乾、 硬	黏結、底未 乾、硬




結果：明膠製作效果：黏度好、質硬，雖填充物高粱由 10%提高至 20%，但缺點仍  
硬質無彈性。

2. 澱粉膠：需以烤箱加熱，且澱粉不會起泡，故以清潔劑來起泡。

(1) 實驗二之 3-1：石膏 + 清潔劑 之準備實驗與結果

表 3

石膏加清潔劑實驗之成分與製作方式說明表(實驗二之 3-1)





組別	對照組	實驗 A	實驗 B
成分	石膏 33.0g + 水 100ml	對照組 + 清潔劑 1.0g + 手動攪拌	實驗 A + 硬質玉米 + 電動打蛋器 3 分鐘
照片			

結果：石膏粉加清潔劑可以起泡，質軟，實驗特地添加大顆粒玉米測試後結果易散裂。

(2) 實驗二之 3-2：番薯澱粉 20.0g + 石膏 25.0g + 清潔劑 + 水 100ml + 硼酸 2.0g(防腐驅蟲)

表 4

澱粉膠實驗之成分與製作方式說明表(實驗二之 3-2)

組別	實驗 C	實驗 D	實驗 E	實驗 F
成分	清潔劑 5.0g	清潔劑 5.0g	清潔劑 3.0g	清潔劑 3.0g
加熱 方式	70°C 15 分鐘	120°C 5 分鐘 70°C 10 分鐘	70°C 15 分鐘	120°C 5 分鐘 70°C 10 分鐘
照片				



結果：1.番薯澱粉需加熱才會固定成形，以 120°C 高溫加熱先期膨脹佳，但都中空。

2 以 70°C 加熱底部未完全乾有黏稠狀，故以二段式加熱。

3.添加清潔劑 3.0g 較 5.0g 泡沫較為穩定不易破。




### 3. 實驗二之 4：多醣體膠(海藻酸鈉)

(1) 海藻酸鈉是從褐藻類的海帶或馬尾藻中提取，無毒性，其水溶液具有高黏度，在食品用途多用於增稠劑等，海藻酸分子鏈上含有大量的羧基—COOH 和羥基—OH，很容易和二價金屬離子結合，形成穩定的螯合物，例如鈣(Ca<sup>2+</sup>)的氯化鈣、乳酸鈣。本組採用碳酸鈣，能改善過軟之效果。

(2) 實驗法：因海藻酸鈉溶液與氯化鈣水溶液反應很快凝結，再置入高粱粒，固著效果不佳，故須先將高粱粒混合在海藻酸鈉裡，再以裝入鈣離子的噴瓶，以噴霧方式進行海藻酸鈣的固化。

表 5

多醣體膠實驗之成分與結果說明表(實驗二之 4)

成分	原液(對照組) 海藻酸鈉 25.0 公克 + 高粱 5.0 公克	海藻酸鈉 25.0 公克 + 高粱 5.0 公克 + 碳酸鈣 2.5 %	海藻酸鈉 25.0 公克 + 高粱 5.0 公克 + 氯化鈣 2.5 %
照片			
說明	無黏結、分散、軟	無黏結、分散、軟	黏結、彈性、軟

結果：海藻酸鈉 + 氯化鈣其彈性較佳、軟。

### 4. 實驗二之 5：PVA 粉末(聚乙烯醇)

由實驗二之 3-1：石膏 + 清潔劑 之準備實驗結果，給本組一個研究的方向：

(1) 固定支撐：碳酸鈣(蛤蠣殼粉)，取代原用石膏的輕質、易碎性。

#### A. 蛤蠣殼粉製

- 將收集的蛤蠣殼洗淨後，以稀釋醋酸 2.0% 浸泡 15 分鐘，有氣泡產生即可，溶去外殼上附著的雜質，以清水洗滌至中性後靜置晾乾。
- 將蛤蠣殼以厚紙包好，以鐵槌敲打成碎片。
- 將碎片放入粉碎機裡研磨，研磨一分鐘，休息一分鐘，避免機器溫度過高。
- 以 100 目濾網過篩，若無法過篩的部分，再重新研磨多次後均可完成。

圖 15

蛤蠣殼粉製作過程



- (2) 起泡效果：清潔劑，調查 10 件清潔劑均使用 SDBS(十二烷基苯磺酸鈉)作為界面活性劑，其化學性質：難以揮發，易溶於水，具高起泡性、有乳化、分散、滲透等效果。

表 6

PVA 粉末實驗之成分說明表(實驗二之 5)

材料	PVA 粉末	蛤蠣殼粉	SDBS	水	硼酸	高粱
T28	20.0 g	10.0 g	3.0 g	80 ml	1.0 g	11.4 g
T29	20.0 g	6.0 g	3.0 g	90 ml	1.0 g	12.0 g
T31	20.0 g	6.0 g	6.0 g	90 ml	1.0 g	12.3 g

- (3) 高粱已預先作防水處理，添加量為全重的 10%。
- (4) 加入硼酸目的防腐防蟲，但是硼酸會與 PVA 膠水反應，造成凝膠化，所以水要最後加入。
- (5) 全部材料加入不銹鋼便當提鍋裡，電磁爐全開，戴上隔熱手套。
- A. 加水之後立即加熱，測量溫度在 170-190°C 之間，注意過度加熱「交鏈反應」會很快凝固，難以混合。
- B. 加熱同時以打蛋器中速不斷攪拌約 180 秒至多不超過 200 秒，起泡大小約 5mm 即可，過大的泡泡易破掉無法堅立，過於細密的泡沫會變硬不易彎曲。

圖 16

熱泡液與穀物混合過程



- C. 當「熱泡液」混合均勻後，可先倒入一半的穀物的量攪拌均勻，再一起倒於模具盒中，大約一半時，再將另一半穀物倒入，再加另一半的熱泡液攪拌，使穀物能均勻分布在泡液中，再放置冷卻硬化即可。

## 5. 實驗二之 5-1：PVA 膠水(聚乙烯醇)

目的：改善實驗二之 5，將原本需要加熱的過程改為不加熱的方式製作，以降低製程複雜度並節省能源的使用。

表 7

PVA 膠水實驗之成分說明表(實驗二之 5-1)

配方	PVA 膠水 (g)	無患子萃 取液 (g)	硼酸飽和 溶液 (ml)	貝殼粉 (g)	硬質玉米 (g)	稻草(g)
Test1-1	50	1.5	0.75	5.0	5.0	2.0
Test1-2	50	3.0	0.75	5.0	7.0	2.0
Test1-3	50	6.0	0.75	5.0	9.0	2.0

- (1) PVA 膠水配製(參考 T28)：取 20.0g 低分子 PVA #205 粉末於 90 ml 純水中攪拌均勻至溶解。
- (2) 取無患子的果皮約 30 g，研磨成粉末，後以金屬篩網過濾，取 20.0 g，加入 100 ml 純水中，以電爐加熱熬煮 30 分鐘後，過濾留下濾液，補水至 100ml。
- (3) 取得稻草，將莖部分類取用下方有孔粗莖，以剪刀剪成約 4~5cm 長度備用。

圖 17

製作無患子萃取液過程



- (4) 混合順序：PVA 膠水+ 無患子萃取液+貝殼粉→混合攪拌均勻，  
加入稻草→再攪拌均勻+硼酸飽和溶液→硬化後+硬質玉米。

圖 18

採用膠水與無患子萃取液製作泡泡板過程



## 四、實驗三：複合泡泡板柔軟度的測試

原理：試樣往前移動前端受重力影響，會逐漸下垂，當前端接觸到斜面的移動距離，



即為此”柔軟度”，越柔軟者移動距離越短，剛硬者甚至不會下垂。

(一) 製作：以瓦楞板裁剪以下尺寸，以膠水黏緊，最後將直尺貼合於平台上。

(二) 測試方法：將試樣剪成長 3 份條狀  $3 \times 10 \text{ cm}$ ，每次一條平放在平台上，慢慢推動試樣後端，使試樣定速往前移動，當試樣前端接觸到斜面，紀錄長條後端移動的距離。

圖 19  
柔軟度測試方式

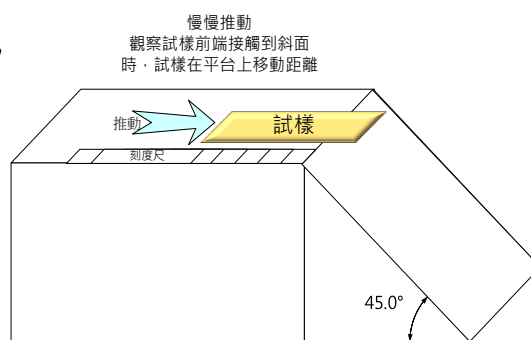


圖 20  
複合泡泡板柔軟度測試過程



可彎曲



剪裁



測試

## 五、實驗四：複合泡泡板對防火隔熱的測試

### (一) 防火實驗的操作

1. 將點燃線香煙頭部分分別插入實驗成品與保麗龍板。
2. 觀察是否會燃燒。

### (二) 隔熱實驗的操作

1. 將試樣隔離盒放入壓克力測試塑膠盒。
2. 將溫度感應器偵測頭置於樣品盒底部。
3. 將熱燈(飛利浦 250W)安置於樣品上方 80 公分處，照射中心對準樣品盒。
4. 開啟溫度計錄器電源，設定 10 秒/次紀錄溫度。
5. 試驗樣品置於樣品盒上方處。開啟熱燈電源，觀察溫度上升狀況。

圖 21  
隔熱實驗方式

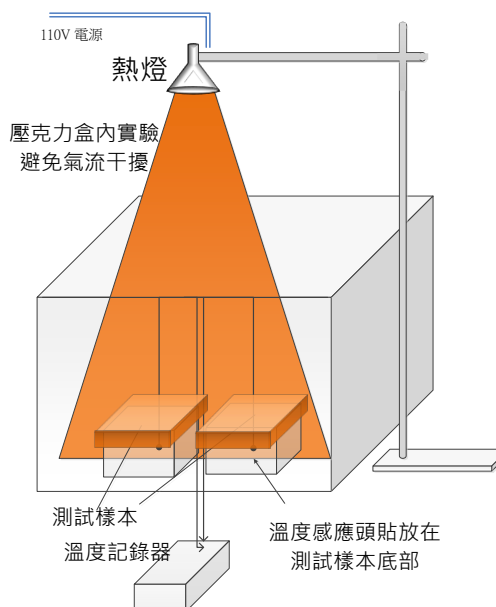


圖 22  
保麗龍線香防火測試

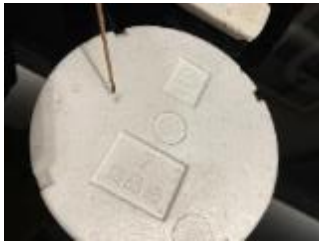


圖 23  
隔熱實驗過程



## 六、實驗五：複合泡泡板包裝運輸保護能力的測試(郵寄實驗)

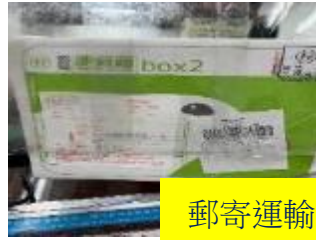
### (一) 包裝

1. 取小茶瓷杯一套八組件，每個杯子編號並錄影，分別置入紙盒中。
2. 實驗組：自製的包裝材固定二個瓷杯於盒中。  
對照組以：報紙、保麗龍、氣泡布，盒外以膠帶黏好。

### (二) 運輸：以上各取四組兩件分別各取一件分別於○○貨運與郵局寄送。

### (三) 檢查：開箱後檢查是否完整。

圖 24  
複合泡泡板包裝運輸保護能力測試過程



## 七、實驗六：複合泡泡板掩埋後的分解追蹤(掩埋實驗)

### (一)目的：證明成品在自然狀況下可分解

### (二)實驗方法：

1. 首先將要測試的材料秤好初始重量，之後每周掘土取出先洗淨再烘乾才秤重。
2. 將竹籤以奇異筆做好標示。在校園田園區裡挖出小洞，深約 10 公分。
3. 埋下每個試驗樣本與標記的竹籤是一致。隔日澆水一次，濕潤即可，雨天不用澆。

圖 25  
複合泡泡板掩埋實驗過程



## 肆、研究結果

### 一、實驗一：找出最適合發泡的填充物

(一) 調查適合爆裂之穀物：適合爆裂之穀物特性有：1.富含澱粉、蛋白質、油和水 2.厚實的表皮(維基百科)，故我們至飼料行調查市價，並選擇適合爆裂之穀物，包括硬質玉米、薏仁、燕麥、爆裂玉米、高粱、糙米作為實驗材料。

表 8  
六種穀物成分特性與價格一覽表

穀物	含量(每 100 克) 特性	澱粉	蛋白質	油脂	粗纖維	單價：元 /600 公克
硬質 玉米	表皮堅硬、產生蓬鬆 的花朵狀結構、具有 一定的韌性和彈性	73.2 克	8.2 克	4.7 克	2.4 克	18 元
薏仁	爆開後形成小而脆脆 的花朵，可作填充材 料，輕量的包裝保護	77.7 克	11.3 克	3.7 克	3.2 克	90 元
燕麥	爆開後會形成「小橢 圓粒狀」的結構，亦 可作為填充材料使用	66.3 克	16.9 克	6.9 克	10.6 克	26 元
爆裂 玉米	表皮薄，容易爆裂， 後形成較大的花朵狀 結構，可作包裝材料 具良好的緩衝效果	79.1 克	9.4 克	4.6 克	9.3 克	40 元
高粱	爆開後形成小花狀的 結構，可作填充材 料，輕量的包裝保護	74.6 克	11.3 克	1.9 克	1.5 克	15 元
糙米	爆開後形成比高粱稍 大顆橢圓、粒狀的結 構，相對易碎較脆弱	80.0 克	6.7 克	0.6 克	0.4 克	30 元

註：取自美國農業部 (USDA) 的國家營養素數據庫 (National Nutrient Database)

小結：大顆粒以硬質玉米每台斤 18 元，小顆粒以高粱具小花狀且每台斤 15 元較經濟。

1. 爆裂成功率比較：

實驗採此二者與爆裂玉米(對照組)比較，以下為 100 顆五次爆裂實驗平均結果：

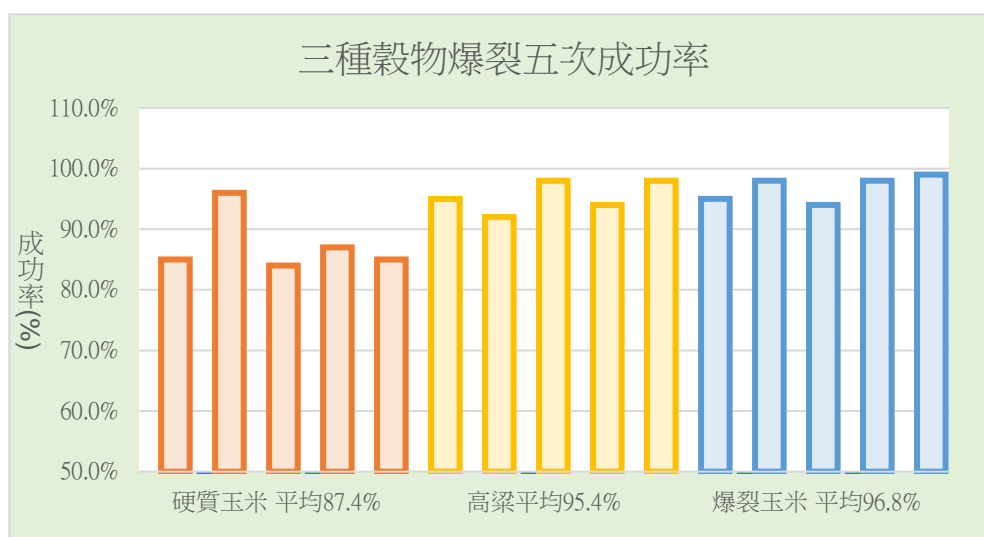
表 9

三種穀物爆裂實驗之成功率比較表

材料/數量	全數量	未爆破或 3/1 以上不全者	平均成功率
硬質玉米	100×5	15 + 4 + 16 + 13 + 15 = 63	87.4%
高粱	100×5	5 + 8 + 2 + 6 + 2 = 23	95.4%
爆裂玉米(對照組)	100×5	5 + 2 + 6 + 2 + 1 = 16	96.8%

圖 26

三種穀物爆裂五次成功率



小結：硬質玉米較難爆開，爆裂玉米最容易有 96.8%成功率。

2. 防水的改善追蹤：

(1)取硬質玉米與高粱爆裂後，以熱蠟油浸泡後，浸泡於水中，觀察其變化。

圖 27

未處理與熱蠟處理後即浸泡於水中



圖 28

未處理與熱蠟處理後浸泡於水中 10 天



小結：以熱熔石蠟油防水處理後，10 天後，仍浮水面上，但長出真菌。

3. 爆裂前後體積變化：玉米實驗原水位 50.0 ml，每次取樣 12 顆；

高粱實驗原水位 20.0ml，每次取樣 100 顆。

(1)密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) = 質量 / 體積。須將體積的單位轉換為與質量相符的單位，上升水位的單位是毫升 (ml)，需轉換為立方釐米 ( $\text{cm}^3$ )。

表 10

硬質玉米密度三次測量記錄表

硬質玉米	測量 1	測量 2	測量 3	平均值	標準差
爆裂重量(g)	2.857	3.054	2.942	2.951	0.099
量測水位(ml)	67.3	66.3	68.5	67.4	1.102
上升水位(ml)	17.3	16.3	18.5	17.4	
密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	0.17	0.19	0.16	0.17	0.015

表 11

高粱密度三次測量記錄表

高粱	測量 1	測量 2	測量 3	平均值	標準差
爆裂重量(g)	2.801	2.825	2.864	2.830	0.032
量測水位(ml)	34.2	32.8	34.5	33.8	0.907
上升水位(ml)	14.2	12.8	14.5	13.8	
密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	0.20	0.22	0.20	0.20	0.013

表 12

爆裂玉米密度三次測量記錄表

爆裂玉米(對照組)	測量 1	測量 2	測量 3	平均值	標準差
爆裂重量(g)	2.658	2.741	2.672	2.690	0.044
量測水位(ml)	66.3	67.2	66.8	66.8	0.451
上升水位(ml)	16.3	17.2	16.8	16.8	
密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	0.16	0.16	0.16	0.16	0.02

小結：1.爆裂重量：硬質玉米 > 高粱 > 爆裂玉米。

2.密度：高粱 > 硬質玉米 > 爆裂玉米；密度大較硬具支撐能力。

結果：在實驗一中的三項比較中發現

第一：硬質玉米與高粱其成本最低與特性符合。

第二：硬質玉米的爆裂成功率較低，但以成本每單位成功率 = 單價 / 成功率計算，

硬質玉米的成本每單位成功率 = 18 元 / 87.4%  $\approx$  0.206 元

爆裂玉米的成本每單位成功率 = 40 元 / 96.8%  $\approx$  0.413 元

高粱的成本每單位成功率 = 15 元 / 95.4%  $\approx$  0.157 元



所以：在成本考量下，硬質玉米與高粱的成本效益均較高。

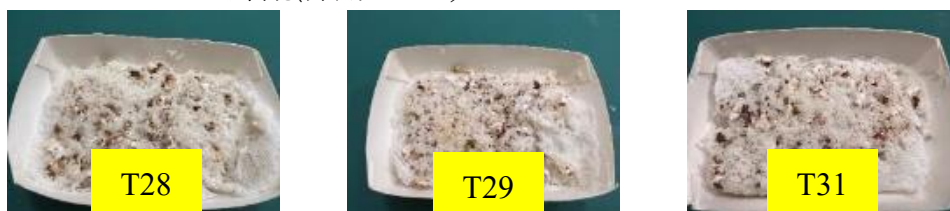
第三：比較爆裂後，顯示亦有較高的密度值，其質地較硬可支撐填充材料。

## 二、實驗二：找出最具發泡與支撐效果的組合

(一)實驗二之 5：材料：PVA 粉末、蛤蠣殼粉、SDBS、水、硼酸、高粱，在熱液下製做以具雛形。

圖 29

T28、T29、T31 外觀(採用 SDBS)



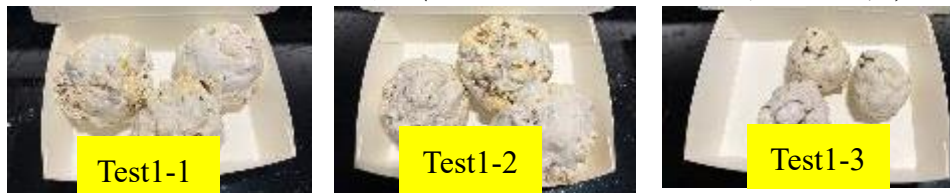
結果外觀：T28 較為硬實，T29 稍軟泡少，T31 軟且泡多。

(二)實驗二之 5-1：PVA 膠水(聚乙烯醇)，以低分子 PVA 粉末製成 10%水溶液。

目的：改善實驗二之 5，1.將加熱的過程改為不加熱的方式製作，以降低製程複雜度、安全考量並節省能源的使用。2.SDBS 改以天然無患子萃取液替代。

圖 30

Test1-1、Test1-2、Test1-3 外觀(SDBS 改以天然無患子萃取液替代)



## 三、實驗三：複合泡泡板柔軟度的測試

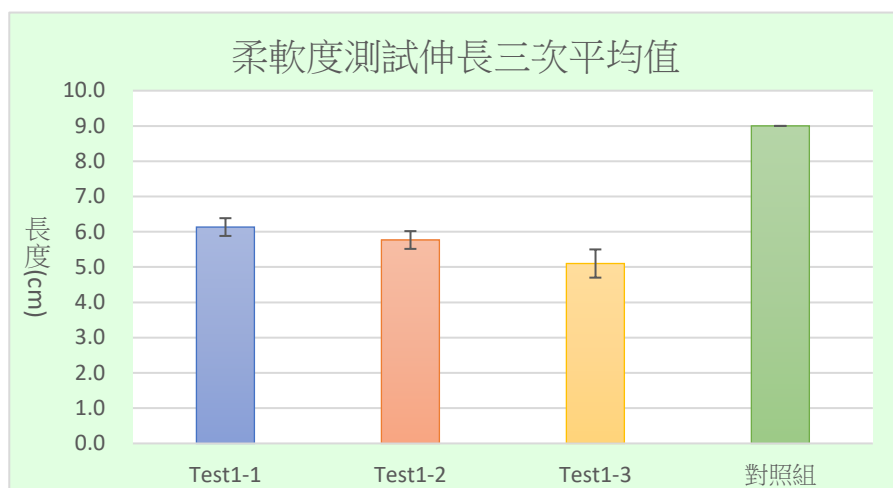
表 13

複合泡泡板柔軟度測試紀錄表

材料	1	2	3	平均值	標準差
Test1-1	6.4	5.9	6.1	6.1	0.25
Test1-2	5.8	6.0	5.5	5.8	0.25
Test1-3	5.1	5.5	4.7	5.1	0.40
對照組	9	9	9	9.0	0.00

圖 32

柔軟度測試伸長三次平均值



結果：柔軟度測試，以伸出長度下垂距離最長者，以對照組的保麗龍板，無法彎曲距離最長，其他依序為：Test1-1 > Test1-2 > Test1-3；以 Test1-3 具最佳柔軟度。

#### 四、實驗四：複合泡泡板防火隔熱的測試

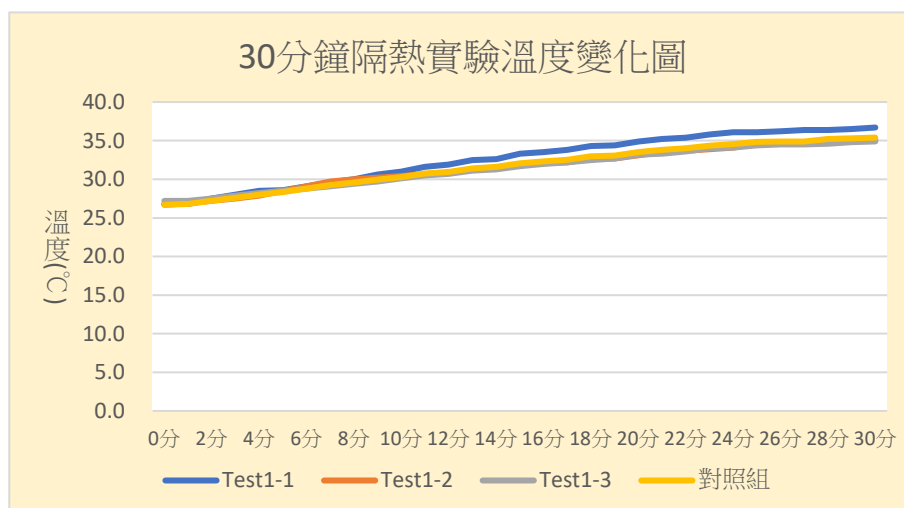
(一)防火實驗：以點燃線香頭，保力龍很容易熔出一洞口，線香移去，仍會擴大洞口後逐漸熄滅，本組 Test1-1、Test1-2、Test1-3 測試線香立即熄滅，均不具燃燒效果。

#### (二) 隔熱實驗

以 Test1-1、Test1-2、Test1-3 與對照組測試結果：(實驗數據請參看實驗日誌)

圖 31

30 分鐘隔熱實驗溫度變化圖



結果：Test1-2、Test1-3 與對照組保麗龍板三組隔熱效果與隔熱實驗效果接近，Test1-1 稍偏高。



## 五、實驗五：複合泡泡板包裝運輸保護能力的測試

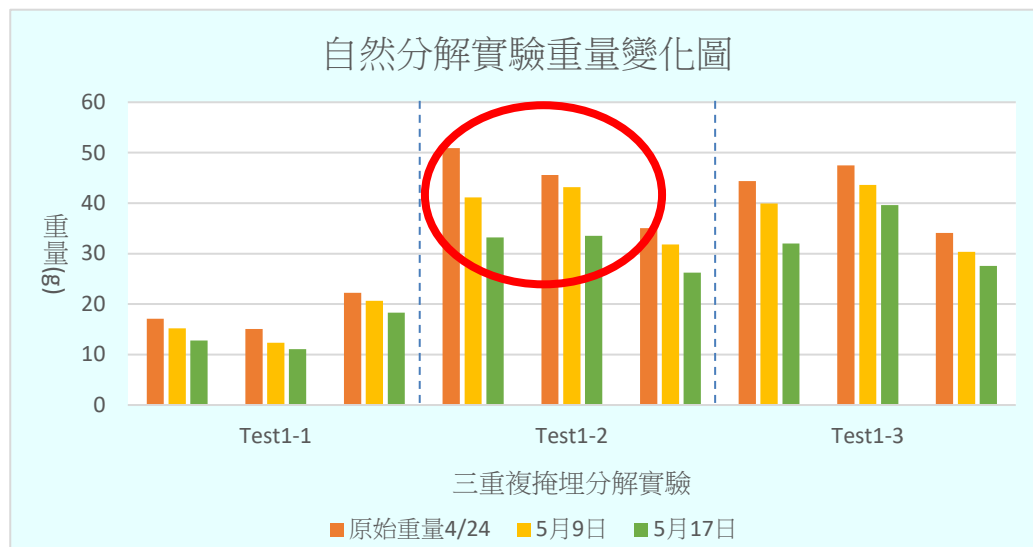
結果：以 Test1-1 (較硬)和報紙、保麗龍、氣泡布做對照組包裝後，**測試茶杯組在貨運與郵局的寄送下，收貨開箱檢查，全部都正常，無任何損傷。**(請參考 P16 圖 24)

## 六、實驗六：複合泡泡板掩埋後的分解追蹤(掩埋實驗)

取出時，洗淨烘乾再測重，記錄各組減少重量，如下表：(單位 g)

圖 33

自然分解實驗重量變化圖



結果：實驗以 Test1-2 被分解最多，Test1-3 最少，以上顯示均可被分解。

## 伍、討論

### 一、實驗一：找出最適合發泡的填充物

本組實驗以天然物穀物種子來爆裂，根據熱漲冷縮與玉米花爆裂的原理：在玉米內存有澱粉的狀況下，少量的水分因加熱而蒸發，與澱粉發生「糊化反應」造成膨脹而爆裂。

以下是爆米花爆裂的形成過程：

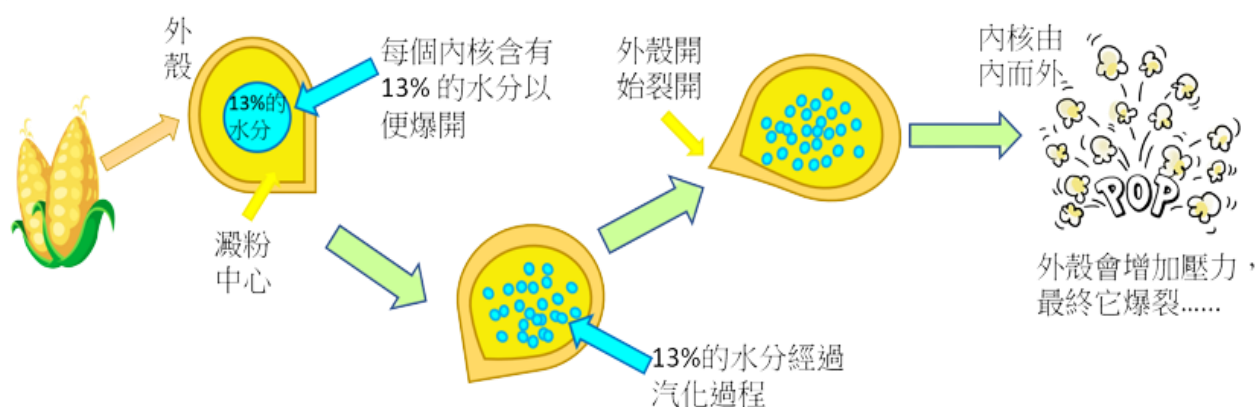
- (一) 當內核被加熱時，被困在胚乳內的 13% 少量水也會被加熱。
- (二) 熱量將水轉化為蒸汽。液態水和蒸汽之間的膨脹比約為 1：1700。
- (三) 加壓和過熱蒸汽將胚乳層的澱粉轉化為糊化狀物質。
- (四) 壓力繼續增加，直到達到本體的斷裂點：壓力約為 135 psi，溫度為 180°C。
- (五) 此時，本體爆裂，釋放蒸汽並發出的爆裂聲。

(六) 一個典型的爆米花仁一旦爆裂，將在不到 1/50 秒的時間內完成爆裂/膨脹過程。生成的彈出內核是其原始大小的 40 到 50 倍。

(七) 隨著本體破裂，糊化的澱粉也會迅速膨脹並冷卻，形成蓬鬆發泡玉米。由於加熱而形成的澱粉、水氣融合在一起糊化，並在暴露於空氣中冷卻時迅速凝固，形成玉米花。

圖 34

爆米花爆裂形成過程



註:修改自 MR.MOORE2016SCIENCEFAIR 網站 m3-1\_physics 作品

市場常見玉米有三種：一般的食用玉米、爆裂玉米(爆米花用)與硬質玉米，其中以硬質玉米為飼料用最為價廉，根據農糧署公告(106-110 年)收購價每公斤 9 元，故本組採用以硬質玉米做爆破實驗，以降低成本，但硬質玉米水分較少，無法稍一加熱即可爆開，我們也希望能以安全的方式來爆裂，經過多次實驗，其中有化學法，物理法，以上以便當鐵盒加熱均無法成功，最後選擇用茶葉鐵罐，在罐內加入數滴的沙拉油加熱後，以夾具夾緊以策安全，溫度升高後罐內氣壓變大，很快就可聽見穀物爆裂聲音；另高粱顆粒小加熱後糊化反應快，易於爆裂。

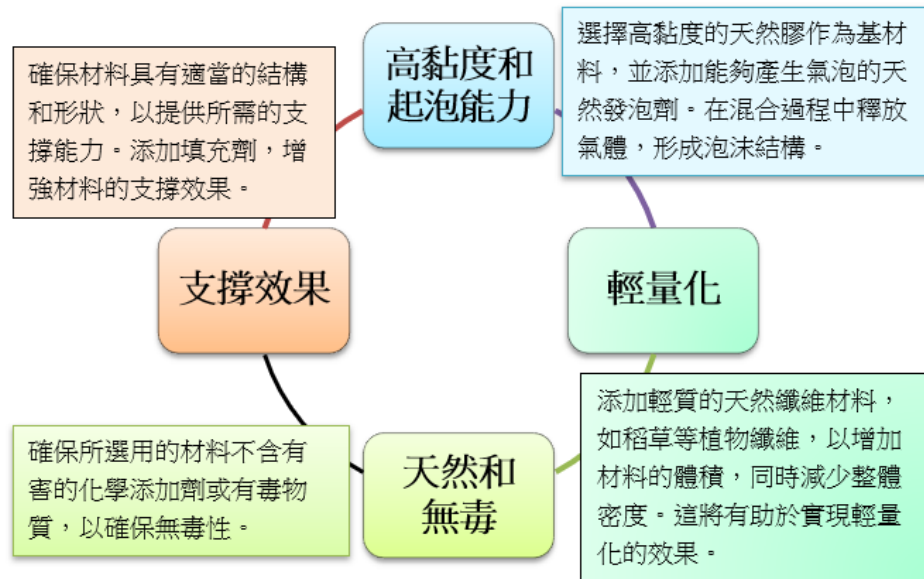
本實驗過程中遭遇一個難題，含澱粉穀物爆裂後，遇水會軟化，作為填充物一旦軟化，使作品無法撐起來降低密度，減輕重量，本組想到可把蠟油融化後，將穀物浸入熱蠟油中後取出，稍冷後即可防水，經測試證明具防水效果。

## 二、實驗二：找出最具發泡與支撐效果的組合

思考歷程：要高黏度、能起泡、輕量化、天然無毒

圖 35

找出最具發泡與支撐效果組合之思考歷程



### (一)蛋白質膠

首先想到的材質是蛋白質膠水，蛋白質具起泡性質，我們將黃豆榨成豆漿後將其加熱加酸變性成膠水。凝固後體積縮小變硬，且發出卵臭味，這是未添加防腐劑所致，縮小變硬成品無法使用。第二個蛋白質想到是做果凍的明膠，明膠是由動物的皮、骨頭熬煮出其內的蛋白質，是一種膠原蛋白，在水中稍加熱即可融取用。明膠做成的成品乾燥凝固後質硬，幾乎無彈性。

加入 pH 3 鹽酸後，與膠原蛋白發生變性作用，黏度提高，一旦被酸性破壞，釋出黏液膠體會包覆在蛋白質的外層，眾多齊聚即會造成凝聚現象，故被認為是發生「沉澱反應」。本組測量 pH 值為 4.3，此處無法證明是等電點，僅可知酸性使黏度提高。明膠加入單寧酸，單寧酸從五倍子熬煮得來，其作用是在鹼性環境下進行改質，以提高黏性，但本組製成凝膠在放置 5 天，仍為膠狀難以凝固。

### (二)澱粉類實驗

本組討論後決定以澱粉類加熱來實驗，澱粉不會有起泡效果，所以要加入「起泡劑」市售洗髮精與清潔劑其毒性是非常低，我們調查了市面上的清潔劑：發現均含有 SDBS 成分，此物為陰離子界面活性劑，具有起泡、濕潤、清潔等功能，先期本組實驗購用，後期本組改善使用天然無患子取代。預備實驗時發現：以半水石膏(硫酸鈣)加入起泡劑後，其凝固快且質輕。

澱粉採用番薯粉，因為黏性高的糯米粉價錢高，本組使用澱粉則需以加熱方式使澱粉膨脹，其原理：在升溫過程中，體積會膨脹，澱粉液成為半透明的黏稠狀，此為澱粉的糊

化現象。實驗過程加熱溫度 70°C 時間 15 分鐘，顯示底部未乾且無蓬鬆，故改兩段式加熱先以 120°C 加熱 5 分鐘再以 70°C 加熱 10 分鐘，則會有中空膨鬆成整片之現象。

(三)多醣體類實驗：

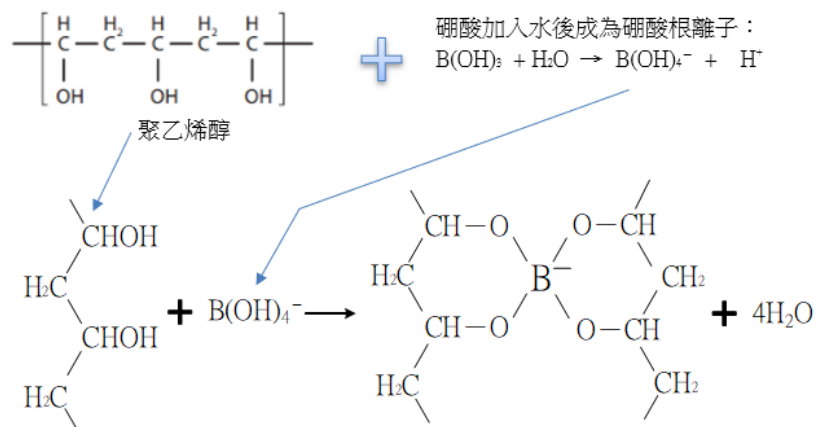
以海藻酸鹽與幾丁聚醣均可以做成膜，其中海藻酸鈉與氯化鈣常做成海藻酸鈣晶球，我們嘗試製作保護層，實驗結果可溶性氯化鈣的鈣離子可與鈉離子交換形成凝固海藻酸鈣膠體，而不溶水的碳酸鈣，雖是同為二價的鈣離子，則不會凝固成膠體。本組討論：若先以碳酸鈣水溶液加入海藻酸鈉溶液中混合均勻，再加入氯化鈣水溶液攪拌均勻，或許有機會成功。本實驗製作過程複雜，從海藻酸鈉須於純水 70~80°C 中溶解，加入已爆裂填充物(玉米或高粱)，將氯化鈣水溶液裝入噴瓶以噴霧方式，與海藻酸鈉反應；成品：海藻酸鈉與氯化鈣反應後，其彈性佳且質軟。

(四) PVA 膠水(聚乙烯醇)實驗：

在以半水石膏(硫酸鈣)加入 SDBS，發現其凝固快且質輕軟，因此以蛤蠣殼粉)取代半水石膏。實驗結果以 T28、T29 與 T31 較為成功，因配方的不同而略有差異。其效果能顯出之主因在於：PVA 與「硼酸」發生交鏈反應，在加熱與攪拌的時間約 30 秒的適當條件下得以完成實驗；本實驗加入「硼酸」之目的在於防腐、避免昆蟲食用，卻因此使**硼酸與長鏈狀的聚乙烯醇發生交鏈反應成為下圖右側網狀結構**：

圖 36

硼酸與長鏈狀的聚乙烯醇發生交鏈反應



註：修改自教育部技術型高級中等學校網站 105 年專題得獎作品-硼砂與經基結合方式的探討與應用

### (五)實驗二之五 PVA 膠水實驗製程改進：

在實驗二之五的製程需要進行加熱步驟以完成特定的製作過程。但加熱不僅製程複雜，除了安全顧慮，還消耗能源。為求完善，製作改為不需加熱方式，以簡化製程並降低能源的使用。首先，在材料上，我們重新評估後目標是選擇能夠在常溫下進行反應或製作，這樣就不需加熱。

在此製程中，我們原本需要加熱的原因是使用了高分子型的 PVA。因為高分子 PVA 具有較大的分子量和黏度，導致其在水中的運動受到阻礙，因此生成泡沫的能力較差。需要加熱至 70°C 以上才能溶解，低分子型 PVA 由於分子量較小，具有更好的水溶性並容易分解，因此在土壤中的降解能力較高。

表 14

PVA 高低分子型之優劣比較表

比較	PVA 高分子型	PVA 低分子型
優勢	高黏度	溫水可溶不需加熱；較高起泡性；容易降解
劣勢	溶解需加熱；較低的起泡性 較長的降解時間	較低的黏度

1. 過程優化：重新設計避免使用加熱步驟。使用無患子熬煮的皂苷水溶液作為發泡劑取代 SDBS，並添加稻草作為纖維複合材料。
2. 實驗條件調整：新製程中，調整相關實驗參數以確保在無需加熱的情況下獲得所需產品。考慮攪拌時間、添加順序、材料比例等，以達到最佳製程效果。
3. 效益與評估：製程簡易化，無需加熱減少了操作步驟和時間，提高了生產效率。
4. 能源節省：去除了加熱步驟後，大量節省能源，降低製程成本，減少環境影響。
5. 改善後密度計算  $D = M/V = 22.15/28 = 0.79 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ ：可浮於水面，如上圖 37。



### 三、實驗三：複合泡泡板柔軟度的測試

保麗龍板無法做到柔軟性。而聚乙烯醇與硼酸的成為膠水的反應根據科學 Online 高瞻自然科學教學資源平台：膠水成分反應機制：「當硼砂溶於水中時會生成硼酸，硼酸於水溶液中會接受帶負電荷氫氧根離子(OH<sup>-</sup>)進而生成硼酸根離子，與聚乙烯醇上的醇基進行化學反應並且脫去水分子，使得聚乙烯醇分子交鏈（cross linking）在一起，而形成具有彈性的黏土狀聚合物」。本實驗放入硼酸原目的是為防腐與蟲害，因此也做出具彈性的



## 黏土狀聚合物。

### 四、實驗四：複合泡泡板防火隔熱的測試

燃燒三要素：可燃物、助燃物和達到燃點。明顯可燃的東西是對照的保麗龍，保麗龍是由聚苯乙烯發泡製成。而本組作品使用的是蛤蠣殼粉和聚乙烯醇、水加硼酸交鏈而成的軟性固狀物，水蒸氣的溫度最高 384°C，無助燃物更不易燃燒，讓可燃物達到一定的溫度才會燃燒。此外本實驗材質屬多孔類隔熱材質，其含空氣率越高保溫隔熱效果越好，本組作品以無患子萃取液具起泡效果加上膨脹穀物，其隔熱具很好效果。

### 五、實驗五：複合泡泡板包裝運輸保護能力的測試

運輸業對於包裝材料有以下要求：足夠的強度，具有防潮濕、防蟲等功能，而且包裝材料能安全、經濟，其中環保訴求對包裝亦趨重要。目前運輸業者均可以模擬汽車運輸振動臺的晃動震動測試機測試，本組則以實際寄送比較。

包裝成本與交通運費為必要考量，寄送時運費計算，一般貨運主要是以「體積」計算，在郵局寄送時，若購買其提供紙箱，則可不以「秤重」來計費。本組製成的材料以體積計算會較為划算。

### 六、實驗六：複合泡泡板掩埋後的分解追蹤

實驗所用材料：PVA 與硼酸產生交鏈反應後的彈性固狀物，在酸性中易被降解，降解微量 PVA 具保水能力，對水土保持有益，對防潮亦有效果。無患子萃取液具有良好的發泡性，同時具有抗菌抗炎作用，也可以減少環境負擔。對照組(保麗龍)：由聚苯乙烯製造，價錢便宜但不耐用，二次使用不衛生，為一次性用完即丟的材料，在自然環境難分解。焚燒處理又會放出有毒氣體。

### 七、製作成本：以 Test1-條件使用材料計算：

表 15

複合泡泡板之製作成本一覽表

配方	PVA 10%膠水	無患子 萃取液	硼酸 飽和溶液	貝殼粉	硬質 玉米	稻草	水
Test1-2	50.0 g	3.0 g	0.75 ml	5.0g	7.0g	2.0g	200 ml

(一) PVA：高、低分子型價相同，城乙化工：130 元/450g(粉末)，使用 50.0g 費用 1.444 元。

(二) 碳酸鈣：6.0 g。貝殼免費。研磨電費計算，研磨機功率: 1.4KW，使用每次 1 分鐘共 15 次 = 1.4KW × 1/60 × 15 = 0.35 KWH = 0.35 度電

電費以營業夏季電費計：3.55 元/度，計 1.243 元

(三) 無患子萃取液：以 20 克果皮加水 100 毫升熬煮 30 分鐘。每次實驗平均以 5.0 g 計算

$$150 \text{ 元} / 1\text{kg} \text{ 約 } 556 \text{ 顆} \quad \text{使用 } 28 \text{ 顆} \text{ 即 } 150 \times 28 / 556 = \boxed{7.55 \text{ 元}}$$

(四) 水：200 ml，含其他實驗洗滌用水，共 3000mL 計算：

$$\text{自來水：以第三段 } 11.55 \text{ 元/度計算，} 11.55 \div 1000(\text{公升/度}) \times 3 \text{ 公升} = \boxed{0.035 \text{ 元}}$$

(五) 硼酸：1.0 g。城乙化工：60 元/450g，使用 1 g + 水 25ml = 4.0% 常溫下 為  $\boxed{0.133 \text{ 元}}$ 。

(六) 玉米(已爆好)：7.0 g。穀物爆裂後水分約 20% 散失 (參考 POP 蹦!!!)，故需未爆原粒約 8.7g。飼料糧商：15 元/600g，使用 8.75g， $8.75 \times 15 / 600 = \boxed{0.219 \text{ 元}}$ 。

(七) 加熱瓦斯費：

1. 「液化石油氣」：每公斤 37.25 元，參考新北市各區家用桶裝瓦斯參考零售價格 20 公斤以上，新店、烏來地區價格：745 元 / 20 公斤，更新日期 2023-01-16。

2. 瓦斯所需熱值與熱量：

表 16

瓦斯產出熱值計算表

熱值	平均熱效率	產出熱值
3.12,000 kca /公斤	4.43%	5.5,160 kca /公斤

註：註:依照經濟部能源局,計算假設條件,非標章機種之平均熱效率取 43%。取自節能標章網站。

3. 穀物熱量：H=M × S ×(上升溫度差)=8.75 × 0.6 ×(180-22)=829.5(Cal)

4. 穀物的比熱 S 值受季節、儲存地、天候影響，以平均比熱 0.6 計算。

(1)溫度由 22°C 加熱至 180°C。◎所需熱量：829.5 cal，為 = 0.830 kcal。

(2)熱量÷熱值=0.830÷5160=0.00016 公斤/次 × 37.25 元/公斤 =  $\boxed{0.006 \text{ 元/次}}$

5. 無患子萃取液加熱：比熱以 1.0 計，110 × 1.0 ×(180-22)=7.8 (kcal)。

熱量÷熱值=7.8÷5160=0.00151 公斤/次 × 37.25 元/公斤 =  $\boxed{0.0056 \text{ 元/次}}$

6. 熱融石蠟瓦斯費計算：蠟材館販售：石蠟 100 元/公斤，融蠟最高溫 70°C。

(1)石蠟比熱：查表 0.501 cal/gK。加熱 100g 石蠟冷卻秤重 91.0 g (損耗 9%)。

(2)H=M × S ×(上升溫度差)=100 × 0.501 ×(70-22)=2404.8 cal=2.405 Kcal

(3)熱量÷熱值=2.405 ÷ 5160=0.00047 公斤/次 × 37.25 元 =  $\boxed{0.0174 \text{ 元/次}}$

(4)石蠟損耗：100 元/1000 公克=0.1 元/公克 => 9 公克為  $\boxed{0.9 \text{ 元}}$ 。

以上合計：1.444+1.243 + 7.55 + 0.035 + 0.133 + 0.219 + 0.006 + 0.0056 + 0.0174 + 0.9 = 11.533 元

小結：合計製作重量約 35 克的防護材，材料費：11.533 元。市售保麗龍板價位 NT\$55 厚 2cm (60×90cm)。



## 陸、結論

### 一、實驗一：找出最適合發泡的填充物

以有加蓋鐵罐並加上安全夾套可爆裂穀物；其中硬質玉米與高粱，兩者價位為最經濟，另特性和每單位成功率比較後，最為適用；將融化石臘作為穀物防水層，免吸濕軟化。

### 二、實驗二：找出最具發泡與支撐效果的組合

在各種材料與條件實驗後，以無毒 PVA 作為黏著劑、無患子萃取液為起泡劑、蛤蠣殼粉取代碳酸鈣作為硬化支撐體與硼酸防腐防蟲劑，與穀物作為填充物，做成天然纖維複合具彈性複合材料。

### 三、實驗三：複合泡泡板柔軟度的測試

本實驗作品由聚乙炔醇與硼酸交鏈反應，作品具彈性可捏揉變形，因硼酸用量有相關性，硼酸用量比例越大，成品越為硬質。保麗龍板彎曲會脆裂。

### 四、實驗四：複合泡泡板防火隔熱的測試

以實驗二完成三種作品測試：完全不會燃燒，而保麗龍為石化製品具可燃性，其隔熱效果與保麗龍相當。

### 五、實驗五：複合泡泡板包裝運輸保護能力的測試

取小茶瓷杯一套八組件，以本組作品與三種的對照組的包裝材料：報紙、保麗龍、氣泡布包裝後，分別以郵局與貨運公司運送後，拆箱檢查，結果均無損傷。

### 六、實驗六：複合泡泡板掩埋後的分解追蹤

掩埋於校園田園區裡，目前已進行三次確認，重量均有明顯減輕，預估半年後可完全消失，本作品是為可分解材料，完全符合 ESG 中環境方面之要求。

## 未來展望

- (一) 近期目標：完成對新型“天然保麗龍”的作為包裝材符合國家規定的基本性能測試，如發泡性、支撐性、防火、隔熱、柔軟度與包裝運輸的保護能力，並進行改良。
- (二) 中期目標：對新型“天然保麗龍”進行長期分解實驗，確認其環保性。尋找可能的工業生產合作夥伴，開始探討工業化生產的可能性。
- (三) 長期目標：推廣新型“天然保麗龍”在各種領域中的應用，來取代傳統保麗龍。降低對石化原料的依賴，提高產品的可持續性，以回應全球 ESG 永續行動。

## 柒、參考文獻資料

- [1] 袁苙芸、徐暉傑、李瑞軒、梁少彥(2009)。爆米花屠籠記。中華民國第 49 屆科學展覽會。
- [2] 周侑利、趙昱傑、趙伯宣、蘇哲緯、王鼎言(2010)。你溶我濃，特砂請多--糖/水溶液對爆米花脆度的影響。中華民國第 50 屆科學展覽會。
- [3] 陳妍安等(2017)。「米」花朵朵開。中華民國第 57 屆科學展覽會。
- [4] 賴佑齊等(2017)。POP 崩!!!。中華民國第 57 屆科學展覽會
- [5] 簡銘賢、鐘蓋(2014)。聚乳酸/天然纖維複合材料之研究-探討加入玉米葉纖維對機械性質之影響。2014 國際科展。
- [6] 黃長承等(2021)。「蛋」然處之~探討以黃豆餅蛋白與小花蔓澤蘭製成複合材料修飾牆面裂縫之可行性。全國第 61 屆科展。
- [7] Tina L. Seelig(1994)。科學爆米花--不可思議的廚房實驗室。遠哲科學教育基金會出版。
- [8] 小化(2019)。高分子發泡製品加工：選對發泡材料和技術，省錢又省力。每日頭條。  
<https://kknews.cc/news/jllknyp.html>
- [9] 孫婉秋等(2020)。食品級凝膠顆粒的製備及應用研究進展。食品工業科技, 41(1), 7。
- [10] 吳奕萱(2013)。聚乙烯醇-膠水的成分。科學 Online 高瞻自然科學教學資源平台。  
<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=46567>
- [11] 內政部消防署(2022)。防火宣導及教學指引。中華民國內政部消防署全球資訊網。  
<https://ebook.nfa.gov.tw/1110106/files/basic-html/page64.html>
- [12] 黃崧任(2007)。生物複合材料的機械行為分析、製造與其特性化研究(NSC 96-2221-E-194-048)。行政院國家科學委員會。
- [13] 廖旭茂等(2019 年 3 月)。綠色膠黏，交聯：硼砂的取代調查。台灣化學教育第三十期。
- [14] *Popping popcorn(M3-1 PHYSICS)*。  
[http://milweesfmoore.weebly.com/uploads/1/3/6/1/13618823/m3-1\\_physics.pdf](http://milweesfmoore.weebly.com/uploads/1/3/6/1/13618823/m3-1_physics.pdf)
- [15] 嘉義高工(2016)。硼砂與羥基結合方式的探討與應用。教育部技術型高級中等學校化工群科中心。  
<https://vtedu.mt.ntnu.edu.tw/uploads/1608705893205fzRGFd1y.pdf>

## 【評語】 082901

本作品主要在討論以天然材料取代傳統保麗龍的可行性，實驗過程詳細且內容豐富，對環境保護及地球永續循環經濟具正向貢獻。從六種天然穀物找出合適發泡的填充材，也許可考慮非糧食作物取代。但在防水處理的部分，可看出即使用熱蠟處理之後，亦有真菌的生成，表示此材料對於特殊的環境場域(如高溼度環境)下有所限制。雖已有類似的議題已討論出，但對於含材料選擇、產品測試、產品使用及廢棄處理有完整的規畫，實驗探究精神佳。

# 作品海報

# 倚「天」屠「龍」記

一種綠色經濟型替代  
保麗龍材料的研究與開發





## 摘要

傳統的保麗龍材料在製造過程中會釋放出有害的化學物質，並且無法有效地回收和再利用。本實驗使用天然材料製作的替代品更加環保和可持續，因為它們可以降低對石化原料的依賴，並且可以被自然分解。我們採用了一種新的製造方法，研發用最經濟的飼料硬質玉米和高粱加熱爆裂後，作為填充材料，並使用聚乙烯醇和硼酸作為黏著劑。這種方法適用於製造可避震、防火隔熱的材料，除了減少對石化原料的需求，也降低了製造成本。此外，我們還用了蛤蠣殼粉和無毒的無患子萃取液，這些材料都比保麗龍更加環保。本組產品呼應全球ESG永續行動，它可以減少包裝材料對環境的污染和傷害，同時具有更好的可持續性，為地球的永續循環經濟盡一份心力。

## 壹、前言

### 一、研究動機

本研究為“倚「天」屠「龍」記”，意指利用「天」然物質來取代保麗「龍」，以避免其對環境和人類的傷害。保麗龍廣泛地用於包裝、隔熱和發泡等用途，但其對環境和人體健康都有嚴重的負面影響。首先，保麗龍的製造過程消耗了大量不可再生的石油資源，並且釋放出有害的化學物質，如苯乙烯、……等。其次，保麗龍在自然界中需要數十(百)年更甚長時間才能完全降解。因此，本組開發了一種可分解的環保“天然保麗龍”，以天然發泡材料加上黏著劑來替代保麗龍，減少對環境和人體的傷害。

### 二、研究目的

實驗由找出天然加熱會爆裂的澱粉穀物開始，之後再從諸多黏著劑中，不斷實驗做出適合的保護材料，訴求以天然物來完成環保的責任；研究目的有六項：

- (一) 實驗一：找出最適合發泡的填充物
- (二) 實驗二：找出最具發泡與支撐效果的組合
- (三) 實驗三：複合泡泡板柔軟度的測試
- (四) 實驗四：複合泡泡板防火隔熱的測試
- (五) 實驗五：複合泡泡板包裝運輸保護能力的測試
- (六) 實驗六：複合泡泡板掩埋後的分解追蹤

### 三、文獻回顧(略)

本組參考並比較以下文獻：(一) 歷屆全國科展對爆米花之研究共計四篇(二) 歷屆天然複合材料科展相關者二篇(三) 其他相關文獻一篇；記載於科展說明書，敬請參閱。

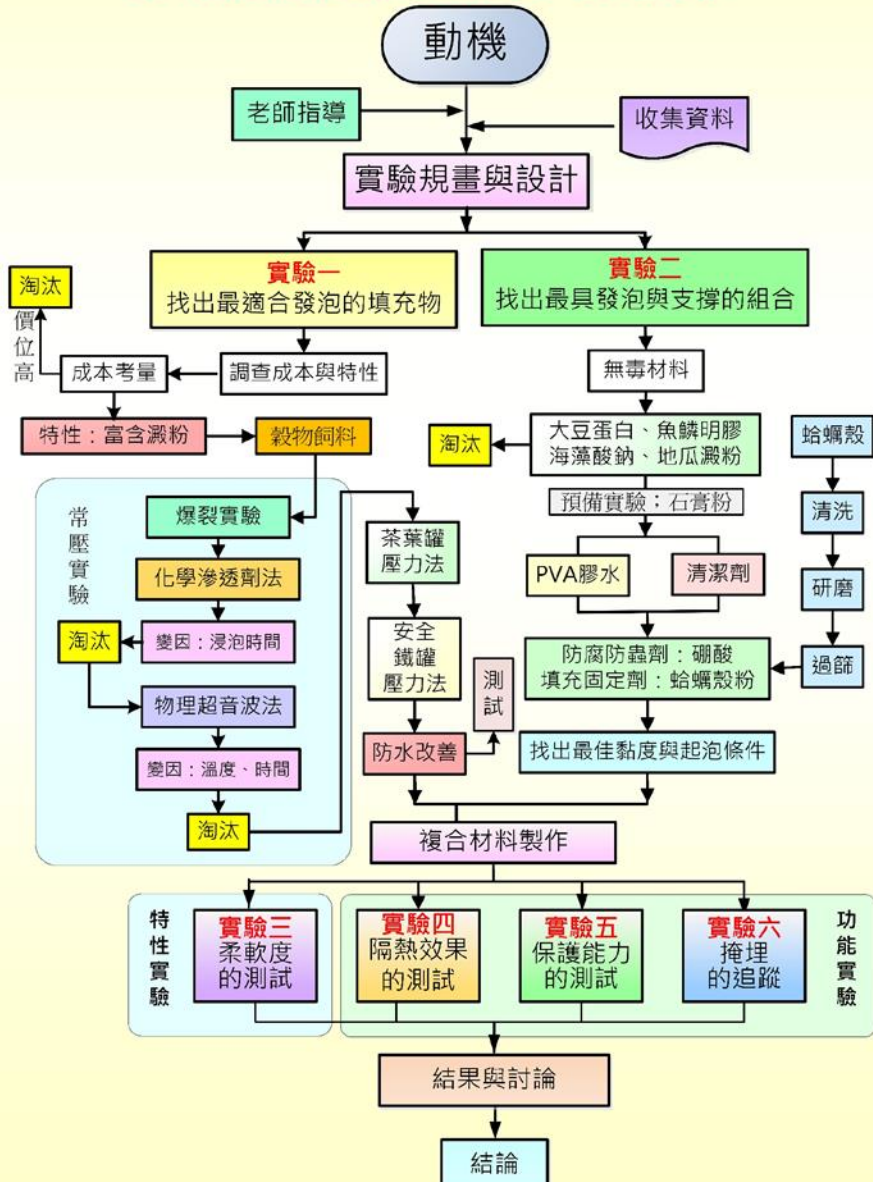
## 貳、研究設備與器材

(略) 請參閱科展說明書

## 參、研究過程或方法

### 一、實驗流程

汙染環境的保麗龍有其他材料可以取代嗎？



## 二、實驗一：找出最適合發泡的填充物

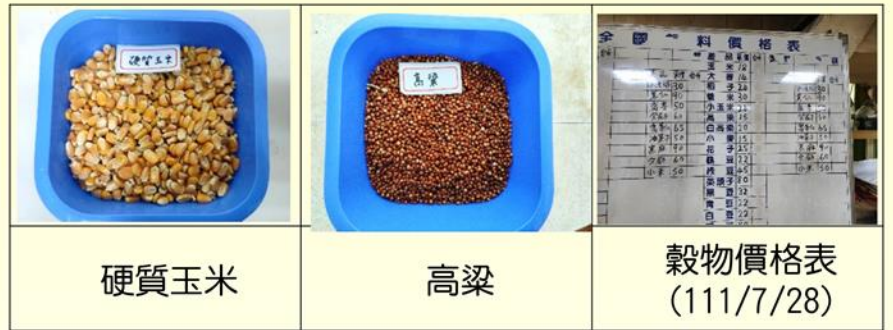
調查適合爆裂之穀物

選擇適合的爆裂方法

選擇最適合發泡的填充物

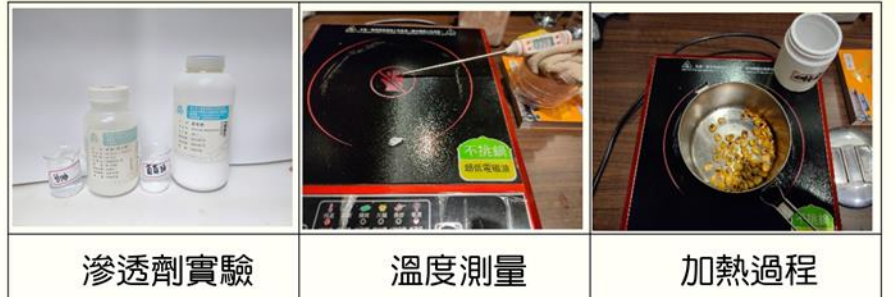
爆裂物防水的改善

(一) 天然穀物的詢價、成分與特性比較。



(二) 找出最適合爆裂方法：

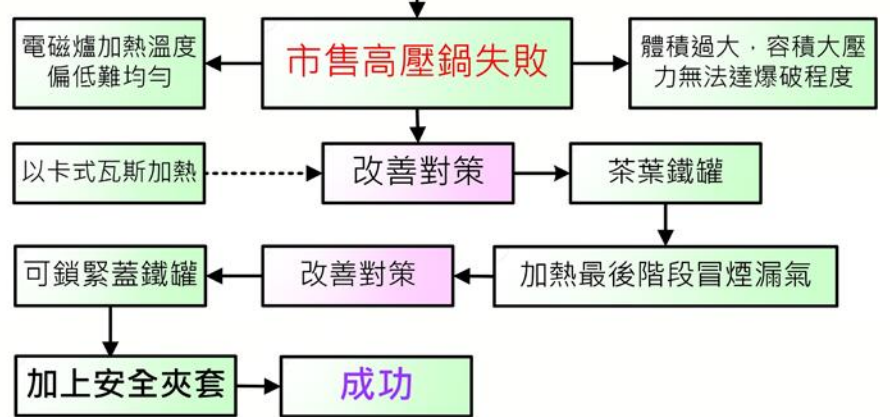
1. 以化學方式爆裂：



2. 物理方式

(1) 超音波法：

(2) 改良安全高壓罐法：



(三) 防水的改善

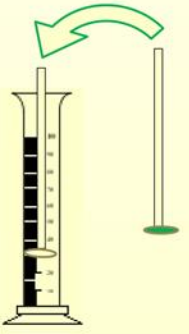
原由：膨脹的穀物遇水後軟化，無支撐空間作用。



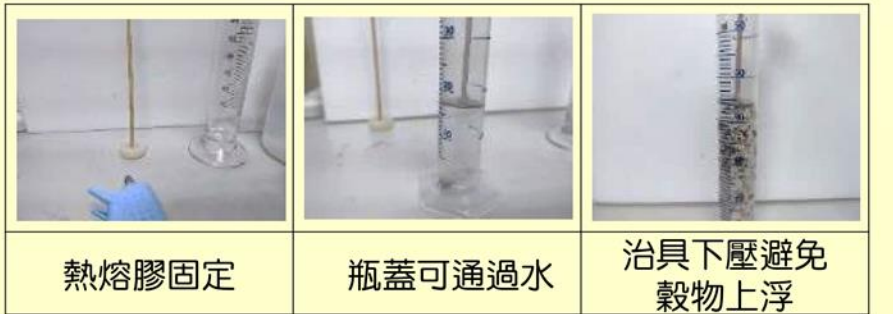
(四) 測量爆裂前後的體積與密度計算：

1. 以排量法測量不規則體積，步驟如下：

- (1) 量筒裝入水，記錄初始水位的體積
- (2) 放入穀物，用治具完全浸入水中，水位上升
- (3) 注意瓶蓋位置要稍高水面，不佔到穀物體積
- (4) 測量新水位、記錄體積
- (5) 穀物體積計算：新體積減初始體積

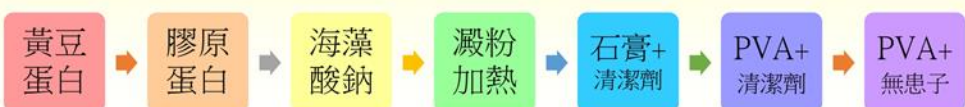


2. 測量穀物的質量，密度 = 質量(g) / 體積(cm<sup>3</sup>)。



## 三、實驗二：找出最具發泡與支撐效果的組合

各種黏著劑測試歷程：





**(一)實驗二之1：黃豆蛋白質(植物)**

結果：

1. 放置五天後：已完全風乾，體積縮小變硬，有異味、發霉現象。
2. 穀物以高粱為填充物較不易破裂、玉米於小體積實驗時易裂開。

**(二)實驗二之2：膠原蛋白(動物)**

1. 明膠測試：明膠15.0公克 + 高粱3.0公克

成分	原液	+ pH 3鹽酸 1.0ml	+ 單寧酸1.0ml + pH 10.5鹼粉 1.5ml	+ 單寧酸1.0ml + pH 10.5鹼粉 3.0ml
照片				
說明	黏結、硬實	黏結、彈性小、 略白色、硬	黏結、底未乾、 硬	黏結、底未乾、 硬

結果：明膠製作效果：黏度好、質硬，雖填充物高粱由10%提高至20%，但仍硬質無彈性。

**(三)實驗二之3-1：石膏(P) + 清潔劑(D) 之準備實驗**

	對照組	實驗A	實驗B
成分	石膏33.0g + 水 100ml	對照組 + 清潔劑 1.0g + 手動攪拌	實驗A + 硬質玉米 + 電動打蛋器3分鐘
照片			

結果：石膏粉加清潔劑可以起泡，再以玉米測試質仍易散裂。

**(四)實驗二之3-2：番薯澱粉20.0g + 石膏25.0g + 清潔劑 + 水100ml + 硼酸2.0g**

	實驗C	實驗D	實驗E	實驗F
成分	清潔劑 5.0g	清潔劑 5.0g	清潔劑 3.0g	清潔劑 3.0g
照片				

- 結果：1. 番薯澱粉需加熱才會固定成形，以120°C高溫加熱先期膨脹佳，但都中空。  
2. 以70°C加熱底部未完全乾有黏稠狀，需做二次低溫加熱。

**(五)實驗二之4：多醣體膠(海藻酸鈉)**

1. 海藻酸鈉測試：海藻酸鈉25.0公克 + 高粱5.0公克

成分	原液	+碳酸鈣2.5%	+氯化鈣2.5%
照片			
說明	無黏結、 分散、軟	無黏結、 分散、軟	黏結、彈性、軟

結果：海藻酸鈉 + 氯化鈣其彈性較佳、軟。

**(六)實驗二之5：PVA膠水(聚乙烯醇)實驗：**

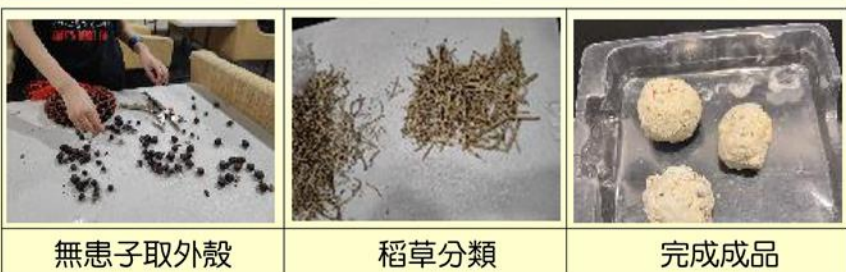
1. 固定支撐：以蛤蠣殼粉，取代原用石膏的輕質、易碎性。

**(1)蛤蠣殼粉製作**



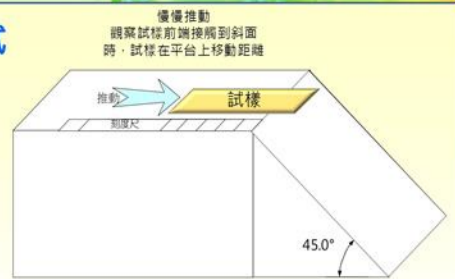
(2)實驗二之5-1：改善為不加熱的低分子PVA膠水與天然無患子萃取液為起泡劑，再加入稻草作為纖維複合材料，以下測試條件成分：

配方	低分子PVA膠水(克)	無患子萃取液(克)	硼酸飽和溶液(ml)	蛤蠣殼粉(克)	硬質玉米(克)	稻草(克)
Test1-1	50	1.5	0.75	5	5	2
Test1-2	50	3.0	0.75	5	7	2
Test1-3	50	6.0	0.75	5	9	2



**四、實驗三：複合泡泡板柔軟度的測試**

原理：試樣往前移動前端受重力影響，會逐漸下垂，當前端接觸到斜面的移動距離，即為此”柔軟度”，越柔軟者移動距離越短，較硬者難下垂。



**五、實驗四：複合泡泡板對防火隔熱的測試**

**(一)防火實驗的操作**

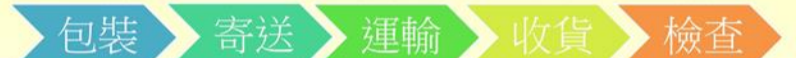
1. 將點燃線香插入成品與保麗龍板。觀察是否會燃燒。

**(二)隔熱實驗的操作**

1. 將塑膠試樣隔離盒放入測試塑膠盒，將溫度偵測頭置於樣品盒底部。
2. 試驗樣品置於樣品盒上方處。開啟溫度紀錄功能鍵與熱燈電源，記錄溫度上升狀況。



**六、實驗五：複合泡泡板包裝運輸保護能力的測試(郵寄實驗)**



**七、實驗六：複合泡泡板掩埋後的分解追蹤(掩埋實驗)**



**肆、研究結果**

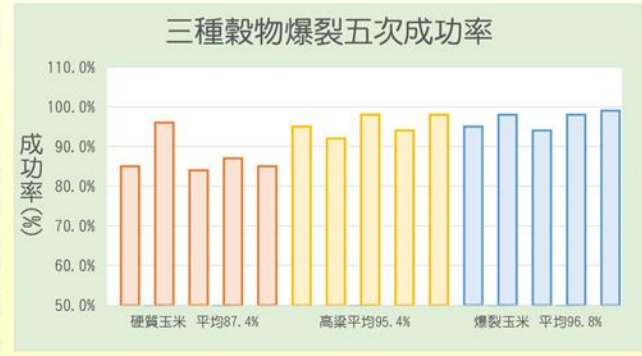
**一、實驗一：找出最適合發泡的填充物**

- (一)取穀物：硬質玉米、薏仁、燕麥、爆裂玉米、高粱、糙米六種食材。
- (二)以化學和物理超音波法效果不佳，壓力鍋法穀物均可以爆裂成功。

穀物	含量(每100克)特性	澱粉(公克)	蛋白質(公克)	油脂(公克)	粗纖維(公克)	單價：元/600克
硬質玉米	表皮堅硬、產生蓬鬆的花朵狀結構、具有一定的韌性和彈性	73.2	8.2	4.7	2.4	18
薏仁	爆開後形成小而脆脆的花朵，可作填充材料，輕量的包裝保護	77.7	11.3	3.7	3.2	90
燕麥	爆開後會形成「小橢圓粒狀」的結構，亦可作為填充材料使用	66.3	16.9	6.9	10.6	26
爆裂玉米	表皮薄，容易爆裂，後形成較大的花朵狀結構，可作包裝材料具良好的緩衝效果	79.1	9.4	4.6	9.3	40
高粱	爆開後形成小花狀的結構，可作填充材料，輕量的包裝保護	74.6	11.3	1.9	1.5	15
糙米	爆開後形成比高粱稍大顆橢圓、粒狀的結構，相對易碎較脆弱	80.0	6.7	0.6	0.4	30

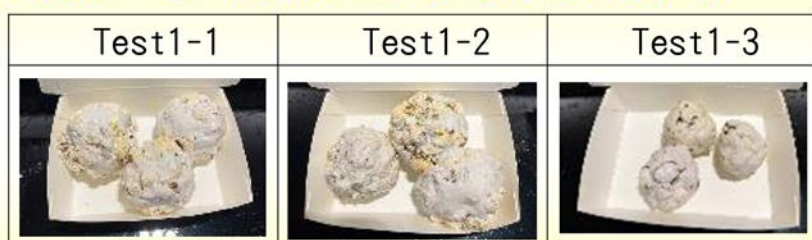
註：取自美國農業部的國家營養素數據庫 (National Nutrient Database)

(三)成本比價：大顆粒以硬質玉米18元/斤，小顆粒高粱每15元/斤較經濟，與爆裂玉米比較，實驗五次平均結果：硬質玉米較難爆開，爆裂玉米最容易有96.8%成功率。



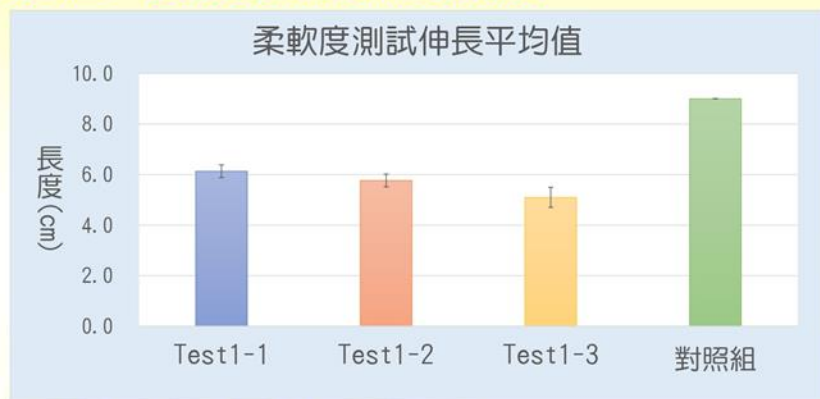


## 二、實驗二：以PVA膠水(低分子聚乙烯醇)的外觀



結果：Test1-1乾硬、Test1-2正常、Test1-3 略濕、軟

## 三、實驗三：複合泡泡板柔軟度的測試

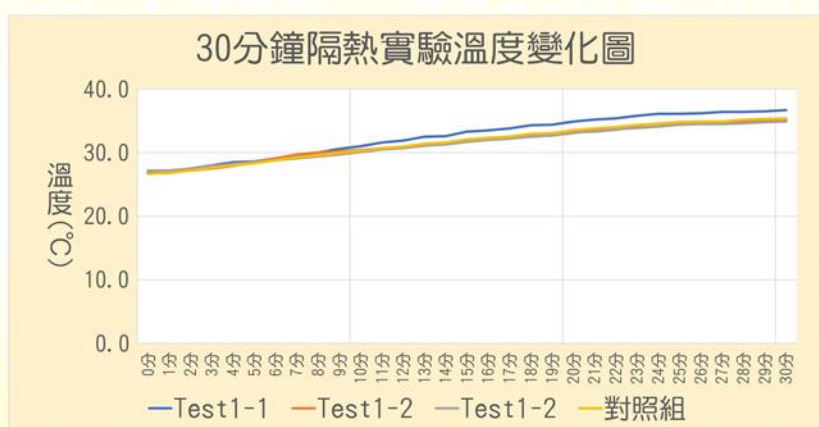


結果：柔軟度測試，以伸出長度下垂距離最長者，以對照組的保麗龍板，無法彎曲距離最長，其他依序為：Test1-1>Test1-2>Test1-3；以Test1-3具最佳柔軟度。

## 四、實驗四：複合泡泡板防火隔熱的測試

(一)防火實驗：三組以線香測試，均立即熄滅，無燃燒能力，保麗龍則產生洞口有緩燒之現象。

(二)隔熱實驗：

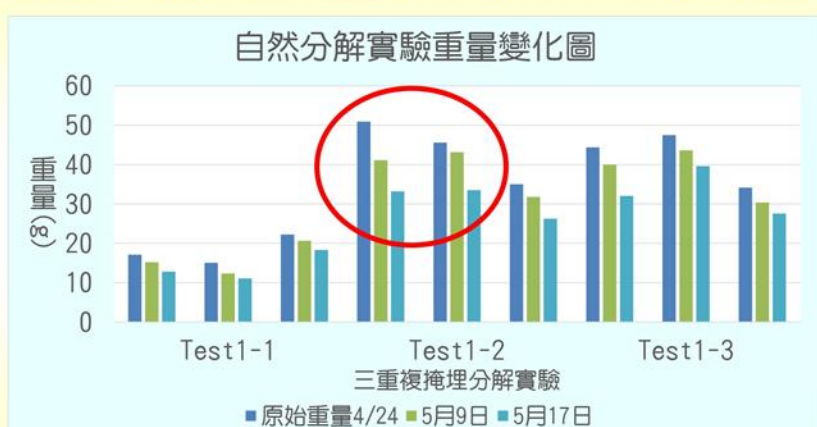


結果：Test1-2、Test1-3與對照組保麗龍板隔熱效果接近，Test1-1稍偏高。

## 五、實驗五：複合泡泡板包裝運輸保護能力的測試

結果：以Test1-1(較硬)和報紙、保麗龍、氣泡布做對照組包裝後，測試茶杯組在貨運與郵局的寄送下，收貨開箱檢查，全部都正常，無任何損傷。

## 六、實驗六：複合泡泡板掩埋後的分解追蹤(掩埋實驗)

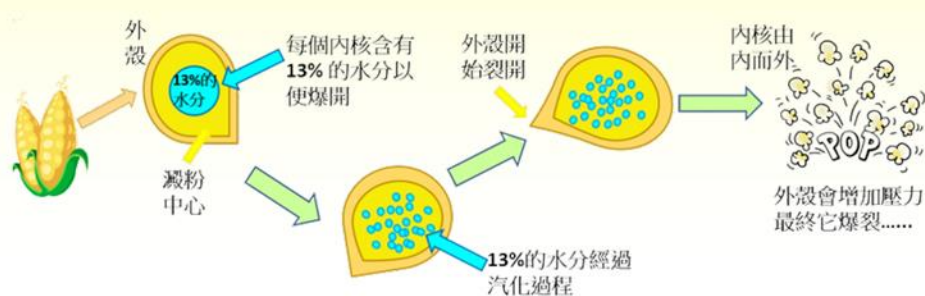


結果：實驗以Test1-2分解最多，顯示均可被分解。

## 伍、討論

### 一、實驗一：找出最適合發泡的填充物

(一)根據熱漲冷縮與玉米花爆裂的原理：



(二)實驗改善：①加壓方式 ②穀物防水。

### 二、實驗二：找出最具發泡與支撐效果的組合

思考歷程：要高黏度、能起泡、快乾、輕量化、天然、無毒；本組嘗試了多種天然材料，若不添加化學助劑，它們很難達到「快乾」的特性，此影響輕量化需要的泡沫穩定性。最後，我們在以半水石膏(硫酸鈣)加入SDBS後，發現其凝固快且質輕軟，因此以蛤蠣殼粉(碳酸鈣)取代半水石膏。

密度計算  $D = M / V = 22.15 / 28 = 0.79(g/cm^3)$



可浮在水面

其主因在於：PVA與「硼酸」發生交鏈反應，傳統製作史萊姆是使用「硼砂」，我們加入「硼酸」之目的在於防腐與避蟲，卻因此發現硼酸亦可與PVA發生交鏈反應，可說是一舉兩得。實驗不加熱以溫水可溶解低分子PVA為關鍵，比較如下：

比較	PVA 高分子型	PVA 低分子型
優勢	高黏度	溫水可溶不需加熱；較高起泡性；容易降解
劣勢	溶解需加熱；較低的起泡性；較長的降解時間	較低的黏度

## 三、實驗三：複合泡泡板柔軟度的測試

保麗龍板無法做到柔軟性。而聚乙烯醇與硼酸成為膠水的反應根據科學Online 高瞻自然科學教學資源平台：膠水成分反應機制：「當硼砂溶於水中時會生成硼酸，……於水中生成硼酸根離子，與聚乙烯醇反應並且脫去水分子，使得聚乙烯醇分子交鏈在一起，而形成具有彈性的黏土狀聚合物」。

## 四、實驗四：複合泡泡板防火隔熱的測試

本實驗使用的是蛤蠣殼粉和聚乙烯醇、水加硼酸交鏈而成的軟性固狀物，水蒸氣的溫度最低100°C，最高為384°C，無助燃物更不易燃燒，讓可燃物達到一定的溫度才會燃燒。本實驗材質屬多孔類，其含空氣率越高保溫隔熱效果越好，本組以無患子萃取液具起泡效果加上膨脹穀物，其隔熱具很好效果。

## 五、實驗五：複合泡泡板包裝運輸保護能力的測試

包裝成本與交通運費為必要考量，過高的包裝運輸費用，造成產品無競爭力，但在環保訴求上則遠勝非環保安全材質。

## 六、實驗六：複合泡泡板掩埋後的分解追蹤(掩埋實驗)

實驗所用材料多為天然物質，PVA與硼酸產生交鏈反應後的彈性固狀物，在酸性中易被降解，降解微量PVA具保水能力，對水土保持有助益。無患子皂苷是天然清潔劑，對環境影響少。對照組：由聚苯乙烯製造，為一次性用完即丟的材料，在自然環境難分解。焚燒處理又會放出有毒氣體。

## 七、成本考慮：

原料費、水電費、瓦斯費、合理計算後得：製作重量35克的防護材，材料費：11.533元。此為少量生產計算，若為大量非試藥級材料則更可降低成本。

## 陸、結論

- 一、實驗一：以鐵罐加上安全夾套可爆裂穀物；其中硬質玉米與高粱，兩者價位為最經濟，在特性與單位成本比較後，最為適用；將融化石蠟作為穀物防水，以免潮濕軟化。
- 二、實驗二：以無毒PVA作為黏著劑、無患子液為起泡劑、蛤蠣殼粉作為硬化支撐體與硼酸防腐防蟲劑並交鏈反應，與穀物作為填充物，做成天然纖維彈性複合材料。
- 三、實驗三：本實驗作品由聚乙烯醇與硼酸交鏈反應，作品具性可捏揉變形，保麗龍板彎曲會脆裂。
- 四、實驗四：以實驗作品測試：完全不會燃燒，而保麗龍為石化製品具可燃性，本組作品的隔熱效果與保麗龍相當。
- 五、實驗五：以本組作品與三種的對照組的包裝材料：報紙、保麗龍、氣泡布包裝後，分別以郵局與貨運公司運送後，開箱檢查，結果均無損傷。
- 六、實驗六：掩埋於校園田園區裡種植實驗用地，進行三次確認，重量均有明顯減輕，預估半年後可完全消失，本作品是為可分解材料，完全符合ESG中環境方面之要求。

### 未來展望：

- 近期目標：完成對新型“天然保麗龍”的作為包裝材符合國家規定的基本性能測試。
- 中期目標：對新型“天然保麗龍”進行長期分解實驗，確認其環保性，開始探討工業化生產的可能性。
- 長期目標：推廣新型“天然保麗龍”在各種領域中的應用，來取代傳統保麗龍。降低對石化原料的依賴，以回應全球ESG永續行動。

## 柒、參考文獻資料

- 袁苙芸等四人(2009)。爆米花屠龍記。中華民國第49屆科學展覽會
- 周佑利等五人(2010)。你溶我濃，特砂請多--糖/水溶液對爆米花脆度的影響。中華民國第50屆科學展覽會
- 陳妍安等五人(2017)。「米」花朵朵開。中華民國第57屆科學展覽會
- 賴佑齊等三人(2017)。POP 蹦!!!。中華民國第57屆科學展覽會
- Tina L. Seelig(1994)。科學爆米花--不可思議的廚房實驗室。台北：遠哲科學教育基金會出版。
- 孫婉秋等四人(2020)。食品級凝膠顆粒的製備及應用研究進展。食品工業科技, 41(1), 7.
- 吳奕萱(2013)。聚乙烯醇-膠水的成分。科學Online。高瞻自然科學教學資源平台。網站：<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=46567>