

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

第三名

081533

塑形密碼

學校名稱：臺中縣太平市東平國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳錡霖	林淑芳
小六 黃敏榮	林憶汝
小六 陳玟茜	
小六 顏欣顥	
小六 曾子庭	
小六 王柏凱	

關鍵詞：塑膠 食品容器 聚合物

摘要

本研究在探討塑膠食品容器之塑號意義，藉以提升塑膠食器使用之觀念。研究從問卷調查與收集食器方式建立初步認知，再從中挑選代表樣本，利用自製重壓及磨損工具、受熱裝置、水質測定器與水藻，探討其受力、受熱表現以及受時間與溫度的影響。

研究發現：1.塑膠食器材質外形會影響其受重壓的強度與受磨損的硬度。2.塑膠塑號決定其燃燒特性；影響塑膠變形情形是烘烤大於水煮方式，且變形率與塑號塑形有關。3.時間與溫度都會影響塑膠之物理特性，尤其是長期冷凍與照光；而時間比溫度更會造成塑膠對水質與藻類的影響，尤其是長期受熱。

研究結果呈現一份塑形密碼，提供大家在生活中適切使用塑膠食器；並可提供相關塑膠研究單位作深入之探討參考。

壹、研究動機

每到週五學校資源回收日，我們就忙著分類資源垃圾。回收時發現「塑膠」產品上都有一個號碼，有些不同形狀的塑膠品會標上同號碼，有些相同形狀的塑膠品卻標上不同號碼；這些號碼真像塑膠的密碼。究竟這些編號有何意義？我們決定以生活常見的塑膠食器為主，對這些密碼展開研究。

貳、研究目的與問題

- 一、認識生活中的塑膠食器
- 二、探討塑膠受力的物理特性
 - (一) 比較各塑號試片受重壓的強度表現
 - (二) 比較各塑號試片受磨損的硬度表現
- 三、探討塑膠受熱的化學特性
 - (一) 觀察各塑號試片的燃燒情形
 - (二) 比較各塑號試片在不同受熱方式下的變形情形
- 四、探討時間與溫度對塑膠物理特性的影響
- 五、探討不同熱處理方式對塑膠的影響
 - (一) 比較加熱、長期照光受熱後的各塑號試片對水質的影響
 - (二) 比較加熱、長期照光受熱後的各塑號試片對藻類的影響

參、研究設備及器材

酒精燈、試管夾、針筒、烤箱、瓦斯爐、平底鍋、方格紙、石蕊試紙、電子秤、游標尺、玻璃罐、鋁箔紙、保鮮膜、檯燈、定時器、冰箱、藻類、純水、溫度計、TDS 水質測定器。

肆、研究設計

一. 研究定義

- (一) 塑膠食器：指生活中盛裝食品的塑膠容器。
- (二) 塑號：塑膠產品上的編號，即國際通用的塑膠分類回收標誌。
- (三) 塑形：指塑膠食器的形狀；例如：瓶狀－瓶子的形狀。

二. 研究相關資料

參考環保署公告說明，我們認知塑膠產品編號，每一塑號代表一類塑膠材質（聚合物），供回收業者分類。本研究以塑號 1-6 的塑膠食器為主。

表 4-2-1

塑號			
代號	PET	HDPE	PVC
聚合物	聚乙烯對苯二甲酸酯	高密度聚乙烯	聚氯乙烯
產品			
塑號			
代號	LDPE	PP	PS
聚合物	低密度聚乙烯	聚丙烯	聚苯乙烯
產品			

三. 研究架構

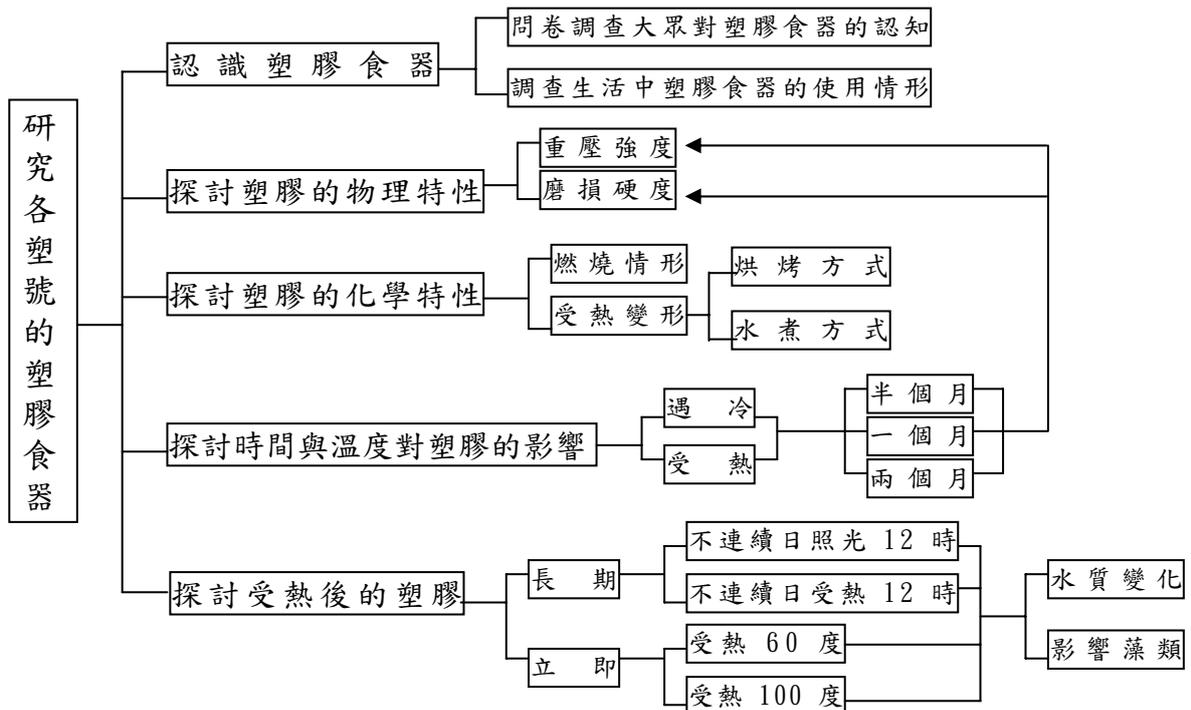


圖 4-2-1

四. 研究自製工具

(一) 重壓強度測試板

1. 介紹工具

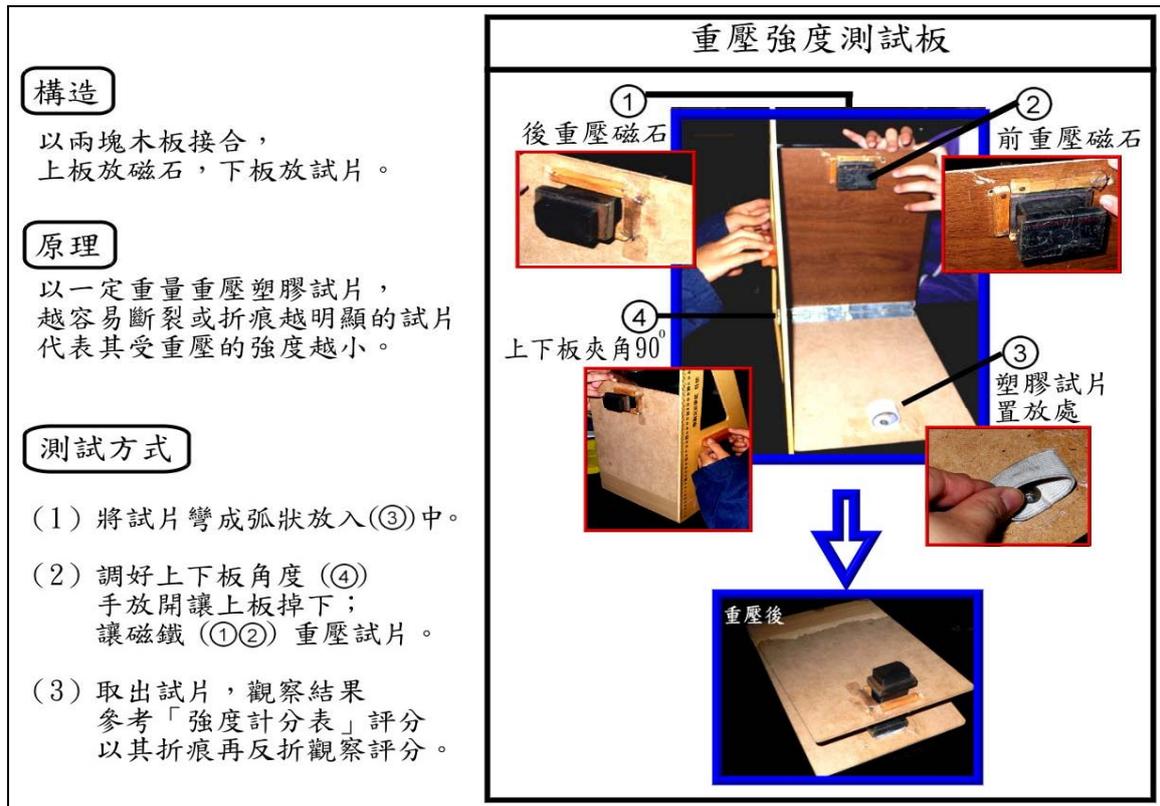


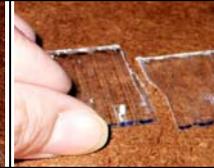
圖 4-4-1

2. 穩定性測試：研究前以不同試片各反覆多次測試受重壓結果；確認同種試片多次結果皆相似，代表此工具具穩定性。統整約 60 片試片測試結果，形成五種表現類型作為強度計分依據（表 4-4-1）。

3. 強度計分

- (1) 根據測試結果，評定各類型的分數。
- (2) 給每試片 11 分；以扣分方式，觀察重壓後出現哪種類型，參考強度計分表扣除其分數；再反折觀察其出現現象扣分。最後得分越多代表強度越強。例如：一重壓出現裂痕，再反折就斷裂，強度分數為 2（ $11 - 4_{\text{裂痕}} - 5_{\text{斷裂}} = 2$ ）。

表 4-4-1 強度計分表

類型	微彎無痕	未變白折痕	變白折痕	裂痕	斷裂
圖示					
需扣除的分數	1	2	3	4	5

(二) 磨損硬度測試器

1. 介紹工具

構造

選擇五種不同材質的菜瓜布製成磨頭①
並依材質，配合測試結果幫磨頭編號1-5
每一組磨頭配妥一套電路
利用電池開關控制馬達通電轉動磨頭③

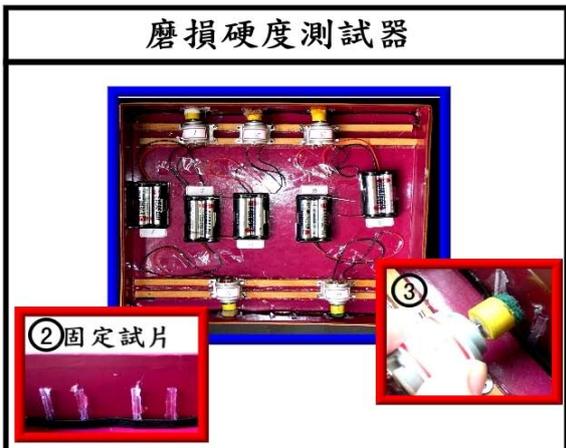
原理

硬度是指塑膠抵抗磨損的能力，
使磨頭上的菜瓜布與試片互相磨擦，
受損的一方具有較小的硬度。
所以，如果試片上出現痕跡，
代表該試片的硬度 < 磨頭上的菜瓜布

測試方法

- (1) 固定試片在②中
- (2) 先從最細材質磨頭1號開始測試
- (3) 按下電池開關開始摩擦試片
- (4) 關掉電路，取出試片觀察是否受損
- (5) 如果試片有可見痕跡，代表硬度1
- (6) 若看不見磨損痕跡，再換2號磨頭；
依此方法找到哪個磨頭使試片受損

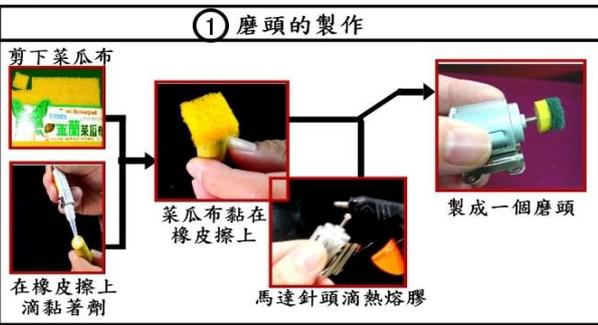
磨損硬度測試器



② 固定試片

③

① 磨頭的製作



剪下菜瓜布

菜瓜布黏在橡皮擦上

在橡皮擦上滴黏著劑

馬達針頭滴熱熔膠

製成一個磨頭

圖 4-4-2

2. 穩定性測試：取三種試片各五片，分別受五個磨頭摩擦，計算各試片減少的重量。再根據測試結果，排定五種磨頭的硬度，從小到大編號 1-5。

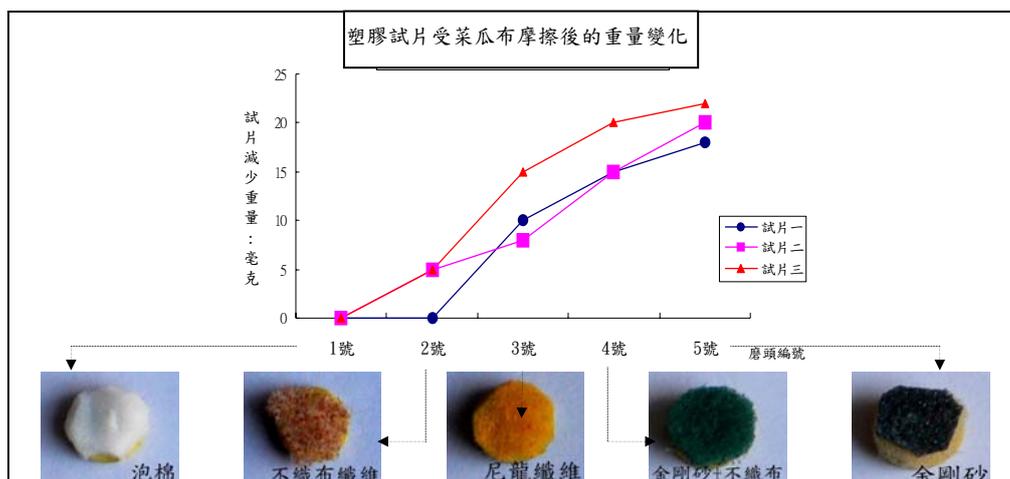


圖 4-4-3

3. 硬度計分

- (1) 先從硬度最小 1 號磨頭開始測試，再逐號換磨頭。
- (2) 試片受哪號磨頭摩擦後，有出現「看得見」的痕跡，就計該磨頭編號的分數。例如：試片受 1-3 號磨頭摩擦皆無可見痕跡，直到 4 號磨痕才出現，硬度分數 4。

伍、研究過程、結果及討論

一、認識塑膠食器

(一) 調查大眾對塑膠食器的認知

1. 方法：

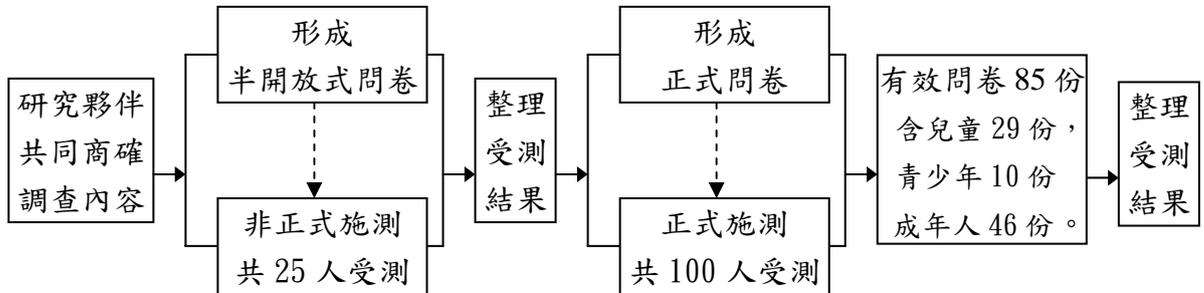


圖 5-1-1

2. 結果：

(1) 大多數人都知道塑號代表塑膠材質及回收分類標誌。

(2) 大眾喜愛回收再用的食器塑形是盒 (23%) > 瓶 (22%) > 罐 (21%) > 碗 (18%) > 杯 (16%)。

(3) 對塑膠食器適放環境的看法 (圖 5-1-2)，多數不贊同放高溫環境，如受熱與光照；少數不贊同放在低溫環境，含冷凍、冷藏。

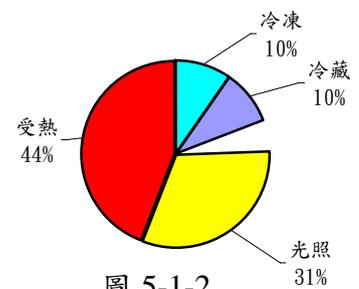


圖 5-1-2

(4) 少數不贊同塑膠食器放在低溫環境的因素，以認為變硬 (30%) 及易破碎 (27%) 看法最多。

(5) 多數不贊同塑膠食器放在高溫環境的因素 (圖 5-1-3)，以認為會變形及會釋放毒素最多，尤其是認為有毒素的看法主要是成年人群組。

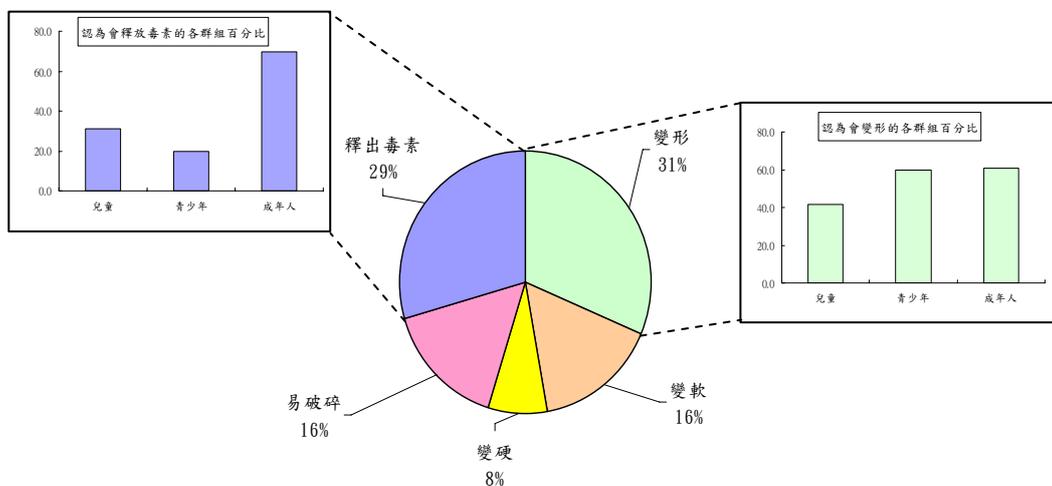


圖 5-1-3

(二) 調查塑膠食器的生活應用情形

1. 方法：共收集 64 件塑膠食器，進行分類調查。

2. 結果：收集的塑膠食器，以  (34%)、 (25%) 最多，其次是  (14%) 及  (13%)， (9%) 與  (5%) 最少。整理各塑號食器的外形及使用性於表 5-1-1；再分析各食器使用情形於圖 5-1-4。

表 5-1-1 調查各塑號食器的外形及使用性

	外形						使用性										
	瓶		罐		碗 杯		盒 蓋		手感材質		可置放環境		盛裝內容				
	瓶	罐	碗	杯	盒	蓋	軟	硬	彈性	冷	熱	常溫	飲品	冷食	熱食	零食	其他
 1 PET	●	○			○		●	○	●	○	○	●	●	○	○	○	○
 2 HDPE	●	○					●	○	○	●			●				
 3 PVC		○			●		●	○	○	●		○		●		○	
 4 LDPE						●	●	●				●					●
 5 PP	○		●	○	○		○	○	○	●	○	○	○	○	●	○	
 6 PS	●			○	●	○	○	●	○	●	○	○	○	○	●	○	○

註：(1) 外形上分析食器形狀(塑形)及手摸食器材質，其中有「彈性」代表按壓食器時，會反彈回原形。
 (2) 使用性含盛裝物及食器最常放置環境，「冷」指放置冷凍庫或冷藏室，「熱」主指能立即放熱食或可微波。
 (3) 表框中各特徵的食器量標記，佔該塑號 50% 以上以●代表，30-50%以○代表，○代表 30%以下；表框中無標記代表數量零。

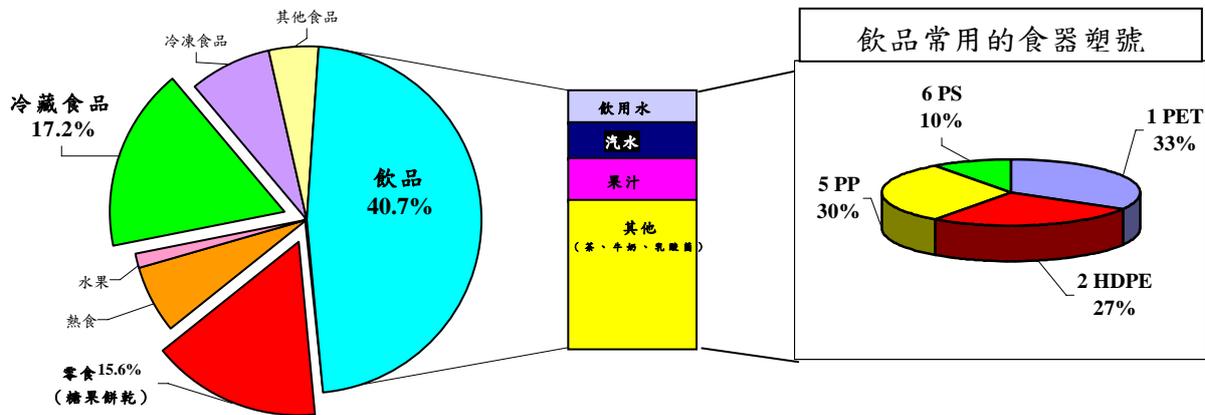
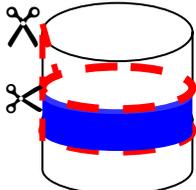
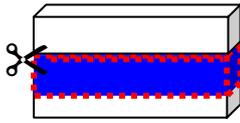


圖 5-1-4

(三) 綜合討論

綜上調查，我們想知道塑膠食器在生活中的使用價值，包含—是否耐摔（重壓強度）？耐刷洗（磨損硬度）嗎？耐熱（燃燒、變形、變質、釋放物質）嗎？放置環境或時間會影響其特性嗎？根據這些疑問設計後續研究，在收集的食器中，從各塑號較常生產製作的塑形中，選出 16 項研究樣本，配合各研究裁切實驗試片（表 5-1-2）進行探討。

表 5-1-2 研究樣本與試片裁切說明表

塑號	容器結構性強 → 結構性弱					
	瓶	罐	碗	杯	盒	蓋
1 PET						
2 HDPE						
3 PVC						
4 LDPE						
5 PP						
6 PS						
實驗試片 裁切方式						

註：(1) 結構性依據是以容器開口及高度為主，開口越小容器越高則結構性越強，反之則結構性越弱。
 (2) 樣本挑選是從收集的食器中最頻產的塑形為主。表中灰色區塊表示此塑號無此塑形作研究樣本。
 (3) 試片的裁切以順勢形狀的方向為主，只切平整面（不含紋路、角度）。

二、探討塑膠受力的物理特性

(一) 測試比較各塑號試片受重壓的強度表現

1.方法：

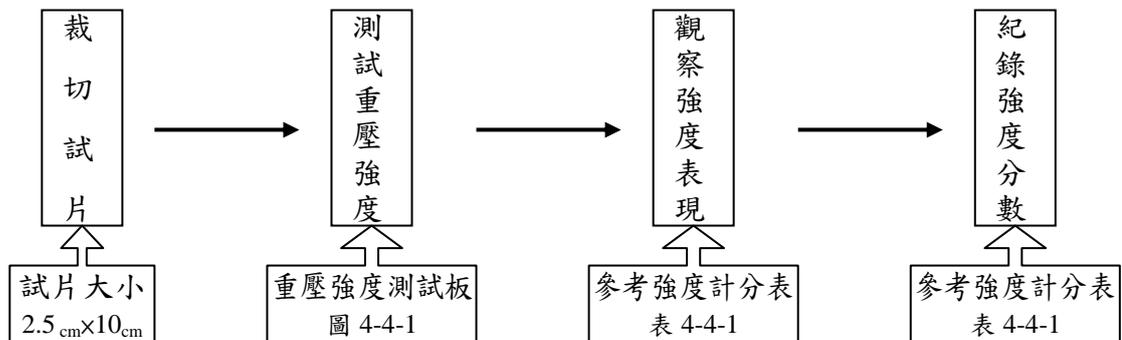


圖 5-2-1

2.結果：

(1) (瓶、罐)， (罐)， (蓋)， (瓶、盒) 的強度最大7分，重壓反折後不會裂。 (碗、杯) 及 (瓶、杯) 的強度最小1-2分，重壓反折後會斷裂。

(2)各塑號以 、 及 和 較能被重壓；最不宜重壓 。

(3) 各塑形的強度表現差異最大。

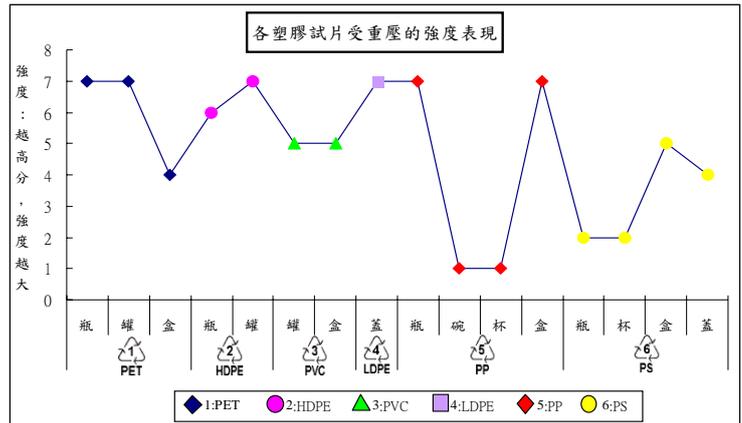


圖 5-2-2

(二) 測試比較各塑號試片受磨損的硬度表現

1. 方法：

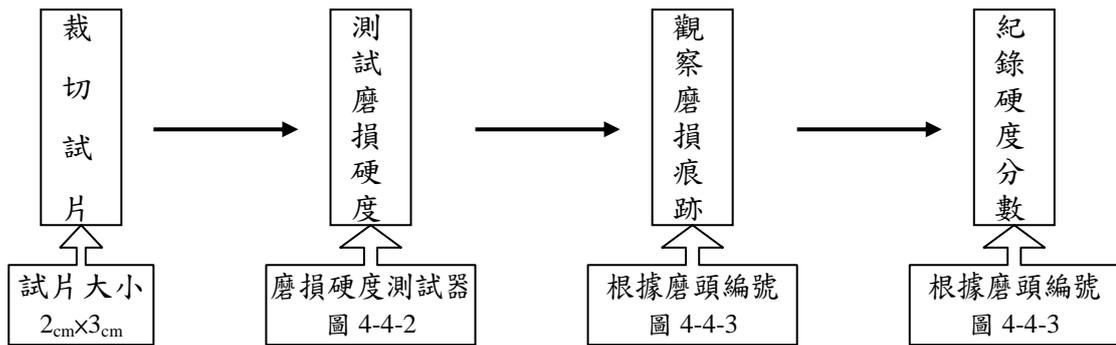


圖 5-2-3

2. 結果：

(1) (瓶、罐)， (瓶、罐)， (罐)， 及 (瓶、杯) 的硬度最大，須用金剛砂材質菜瓜布才有刮痕。 (蓋) 及 (盒、蓋) 的硬度最小，用泡棉刷就有刮痕。

(2) 各塑膠材質的硬度以 和 最大； 硬度最小。

(3) 塑號 各塑形的硬度表現差異最大。

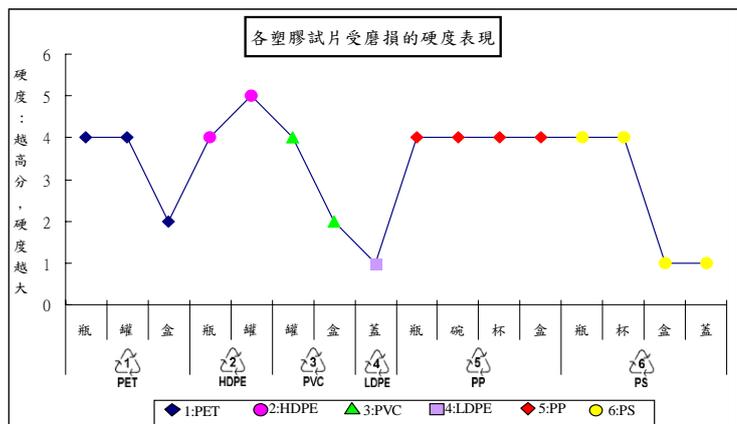


圖 5-2-4

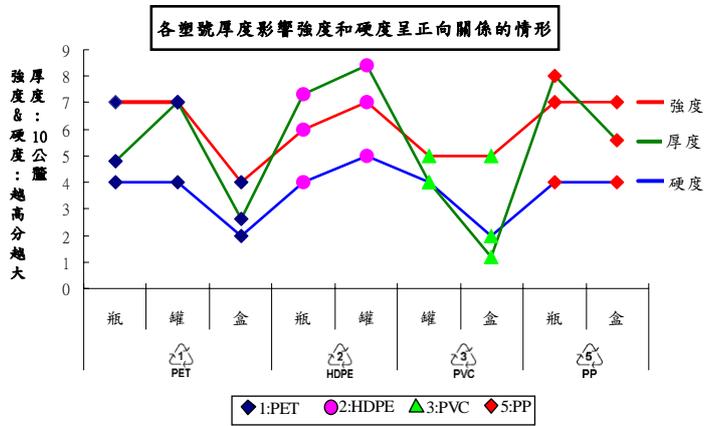
(三) 綜合討論－塑膠食器的物理特性

綜合強度與硬度結果，有以下兩種發現：

1. **PET HDPE PVC 和 PP** (瓶盒) 的強度與硬度有正向關係：硬度越大，強度越大，下圖：

(1) 這些塑膠的厚度會影響其特性 (所以圖中加入厚度比較)；越厚的塑膠，強度與硬度越大。

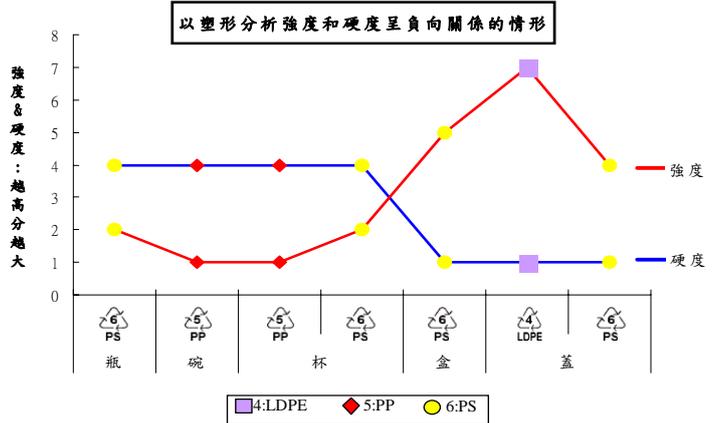
(2) 同塑號，而結構性較弱的盒狀塑膠的硬度較小，如：**PET**。



2. **LDPE PS 和 PP** (碗杯) 的強度與硬度有負向關係：硬度越大，強度越小，下圖：

我們發現這些塑膠跟塑形有關。塑形會正影響硬度，負影響強度；結構性強的瓶、杯狀硬度 > 盒、蓋狀，但強度 < 盒、蓋狀。推測這是「材質」的影響：

(1) **PS** 的材質硬脆沒彈性。結構性強的瓶、杯狀雖硬度大，卻使硬脆材質繃得越緊，降低強度，一被重壓就容易斷裂。



(2) **LDPE** 材質軟且彈性佳，蓋狀結構最弱故硬度小，但其彈性提升強度，不易壓斷。

3. 我們以上述討論內容排列所有樣本之強度 (表 5-2-1)、硬度 (表 5-2-2)，更確定影響強度主要是塑膠材質，其次是塑形與厚度。影響硬度主要是塑形，其次是厚度。

表 5-2-1

以影響強度的因素排列各塑膠食器之強度表現

塑號	軟、彈性佳				硬、無彈性			
	PET		LDPE		HDPE		PP	
塑形	瓶	罐	盒	蓋	瓶	罐	盒	杯
強度	●	●	◎	●	●	●	●	●

註：(1) 表中各塑膠食器是以塑號材質、塑形優先考量，再以厚度為次要考量，從左到右排列。
 (2) 表框標記●代表強度 7-6；◎代表強度 5-4；○代表強度 3-1。
 (3) 各塑號中只有 PET 及 PP 的各塑形食器厚度差異大 (紅框)；其表框底標■指該塑號中最厚的食器，底標□代表是最薄的食器。

表 5-2-2

以影響硬度的因素排列各塑膠食器之硬度表現

容器結構性強	→												結構性弱			
	瓶				罐			碗	杯		盒			蓋		
塑號	5 PP	2 HDPE	1 PET	6 PS	2 HDPE	1 PET	3 PVC	5 PP	5 PP	6 PS	5 PP	1 PET	3 PVC	6 PS	4 LDPE	6 PS
硬度	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	◎	◎	○	○	○

註：(1) 表中各塑膠食器是以塑形優先考量，再以厚度為次要考量，從左到右排列。

(2) 表框標記●代表硬度 5-4；◎代表硬度 3-2；○代表硬度 1。

三、探討塑膠受熱的化學特性

(一) 觀察塑膠的燃燒情形

1. 方法：

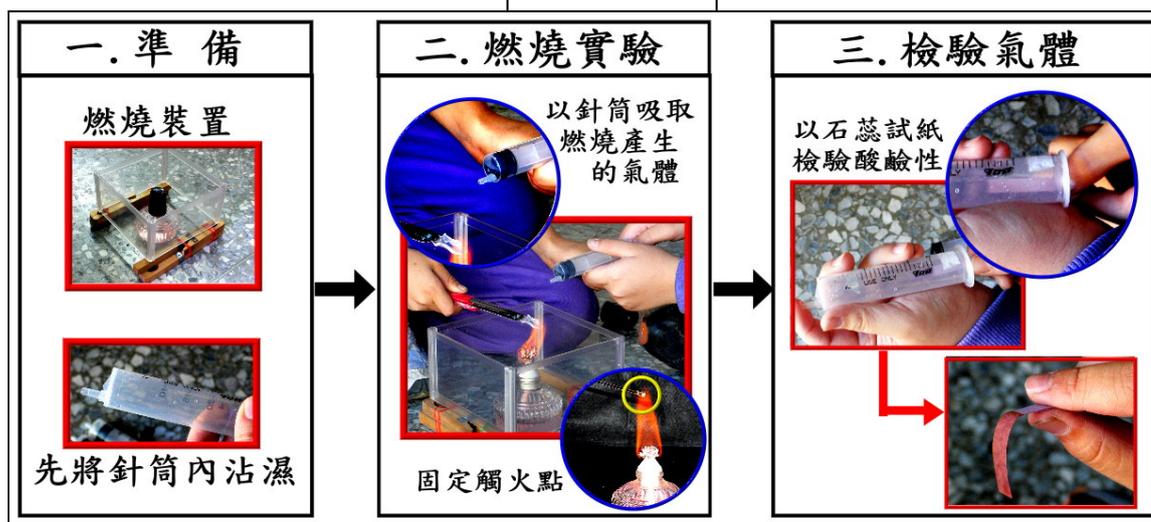
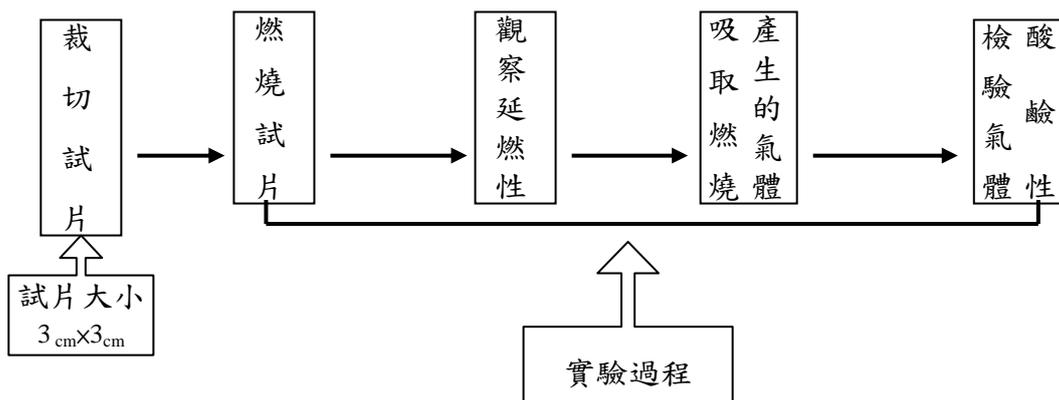


圖 5-3-1

2. 結果：表 5-3-1

- (1) 同塑號不同塑形的塑膠燃燒情形相同。
- (2) 同材質 (PE) 不同塑號 (2 和 4) 的塑膠的燃燒情形也相同。
- (3) 燃燒  PET  PP 產生灰煙， PS 是濃黑煙，都是酸性。
- (4) 燃燒  HDPE、 PVC、 LDPE 產生白煙是中性。

表 5-3-1 比較各塑號試片的燃燒情形

塑號 (有延燃性)	觀察檢驗燃燒產生的煙				
	顏色	酸鹼性			
	白	灰	黑	中	酸
 PET			√		√
 HDPE	√				√
 PVC		√			√
 LDPE	√				√
 PP			√		√
 PS				√	√

(二) 比較塑膠在不同受熱方式下的變形情形

我們想探討不同受熱方式會使塑膠產生相同還是不同的變化？設計此研究於下：

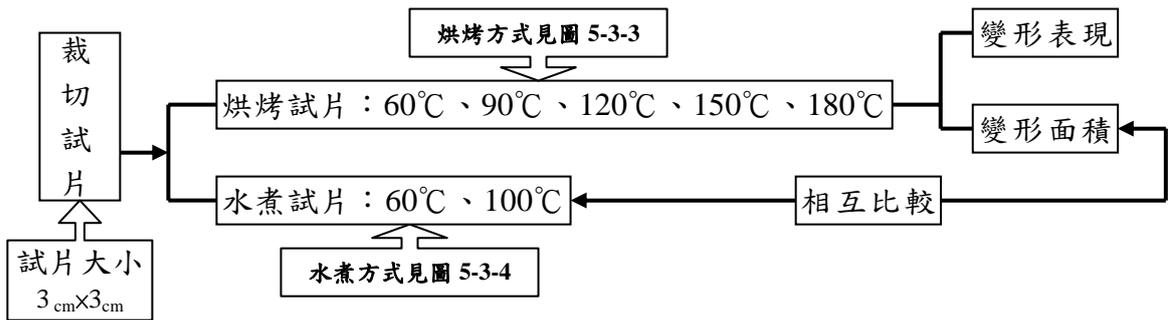


圖 5-3-2

* 烘烤後的塑膠

1. 方法：

- (1) .一次烘烤一種試片×5片。
- (2) .準備 5 個鐵蓋，各置一片；放入烤箱中烘烤。
- (3) .隔著烤箱透明蓋，觀察紀錄試片變形情形。
- (4) .烤箱溫度至 60°C 時，取出一個鐵蓋，拿出試片測表面積。
- (5) .重複 4 動作，取出 90°C、120°C、150°C 及 180°C 的試片。

圖 5-3-3

2. 烘烤結果：

(1) 變形過程：

- ① 所有試片受烘烤皆變形。
- ② 變形變化分三階段（圖 5-3-4）
 - A. **變形**—試片因縮或捲使表面積隨溫度升高而變小。多數試片變形中顏色也變深。
 - B. **熔化熱塑**—各試片受熱到一定程度（不同試片溫度不同），會有流動（①）、發泡（②）的熔化現象（熱塑塑膠特性）；此時的試片表面積會停止變小或變大（變成液體流動）。
 - C. **固化**—試片拿出烤箱，溫度驟降使試片變硬，固化成形。有些甚至黏在鐵蓋上成形（③）。

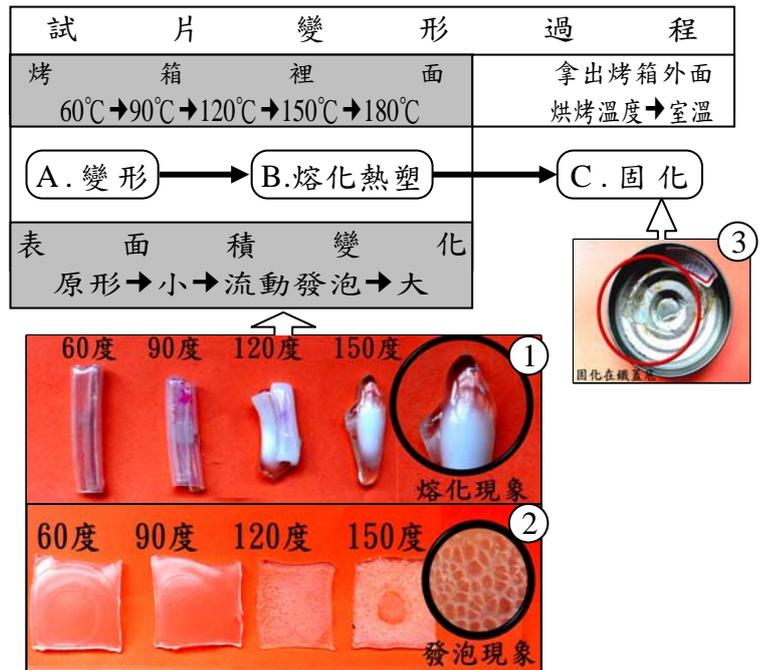


圖 5-3-4

(2) 變形表現與變化速率：

根據塑膠的變形過程，可分成「捲縮」(①)及「軟化」(②)變形型態（圖 5-3-5），依此整理所有樣本變形表現於表 5-3-2。再以「各溫度試片的表面積」方式探討塑膠變形速率；變形表面積越小，變形率越大（圖 5-3-6、5-3-7）。

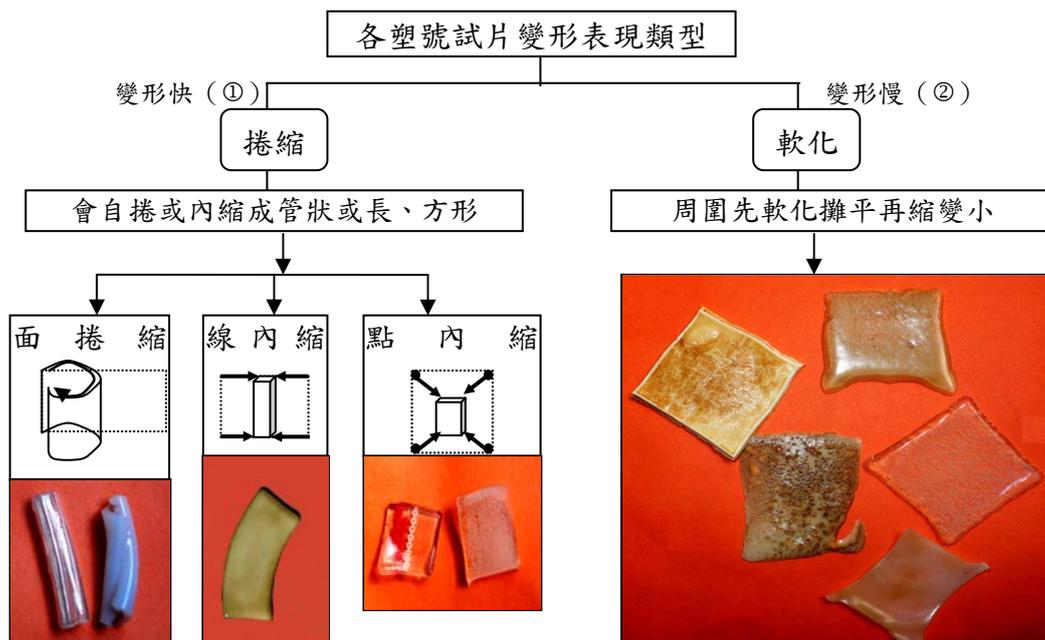


圖 5-3-5

⑤綜合所有試片的變形趨勢，發現「60°C」是關鍵溫度；變形率大的試片在60°C即明顯變形，變形率小的試片即使超過60°C，之後各溫度的形狀變化也不明顯。因此後續相關受熱實驗，會以60°C作比較。

*** 水煮後的塑膠**

1.方法：

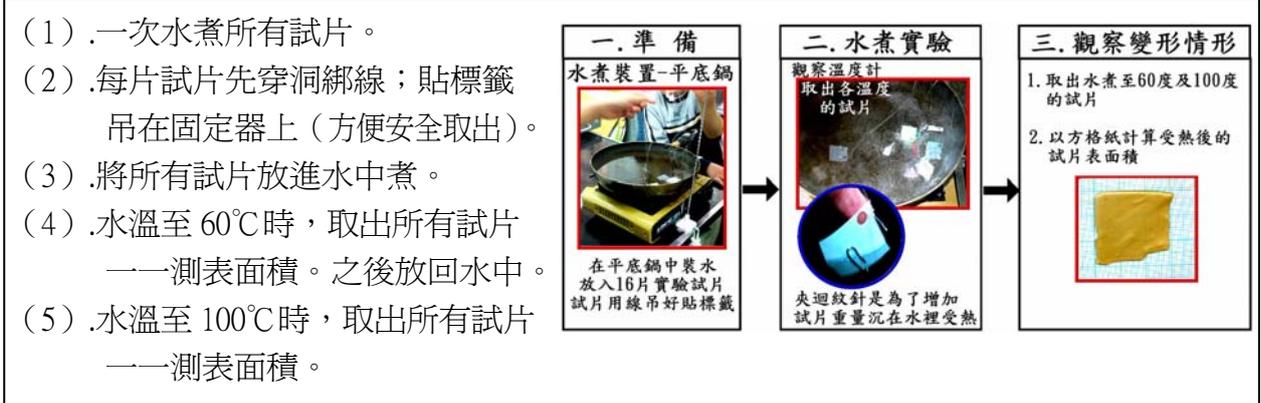


圖 5-3-8

2.結果：

- (1) 捲縮類塑膠水煮的變形率 > 軟化類 (表 5-3-3)。
- (2) 捲縮類塑膠在水溫 60°C 變形有 (瓶、罐) 及 (瓶)；到 100°C 則全數變形。
- (3) 軟化類試片一直到水溫 100°C，只有 (盒) (結構較弱) 的試片變形。
- (4) 不同受熱方式使塑膠有不同變形情形；圖 5-3-9 是水煮後有變形的試片和其烘烤 60°C 的表面積：

表 5-3-3 水煮塑膠的結果

	結構性強 → 弱				
	瓶	罐	碗	杯	盒 蓋
捲縮類					
塑膠					
變軟					
形化					
類					
型					

註：水煮 60°C 就變形的標記●；水煮 100°C 才變形的標記○；水煮受熱皆不變形的標記×。

- ①受熱方式對塑膠的影響是「烘烤」>「水煮」。
- ②塑膠在 60°C 水溫下不太變形；沸騰的水會使捲縮類塑膠變形，且結構性越強，越易捲縮。

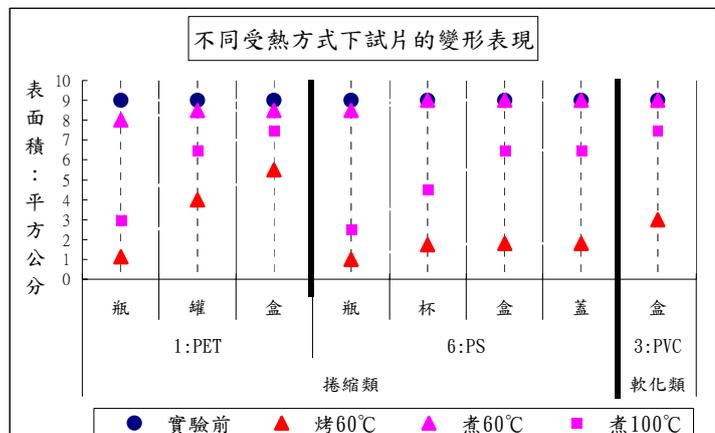


圖 5-3-9

(三) 綜合討論－塑膠食器的化學特性

1. 塑膠的燃燒情形視其材質（聚合物），因此要注意食器編號以免會延燃造成危險。
2. 塑膠受熱不一定變形縮小；像軟化類塑膠加熱水不太會變形，受烘烤變形也不明顯。
3. 受熱方式會影響塑膠的變形率；相同溫度，烘烤使塑膠變形情形遠大於水煮；我們推測是「傳熱速率」導致的結果。烘烤至 60°C 約 2 分鐘，但水煮至 60°C 要 20 幾分鐘；傳熱越快會使塑膠變形越快。同理可證，燃燒約三秒，溫度就升至約 360°C，所以塑膠一碰火就熔。

四、探討時間與溫度對塑膠物理特性的影響

(一) 設計：我們想知道塑膠放哪裡、要多久就會受影響？因此設計此研究。

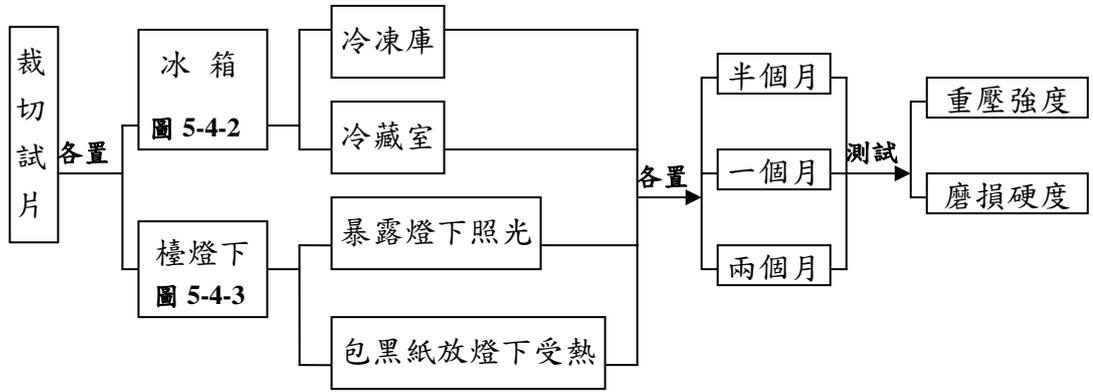


圖 5-4-1



圖 5-4-2

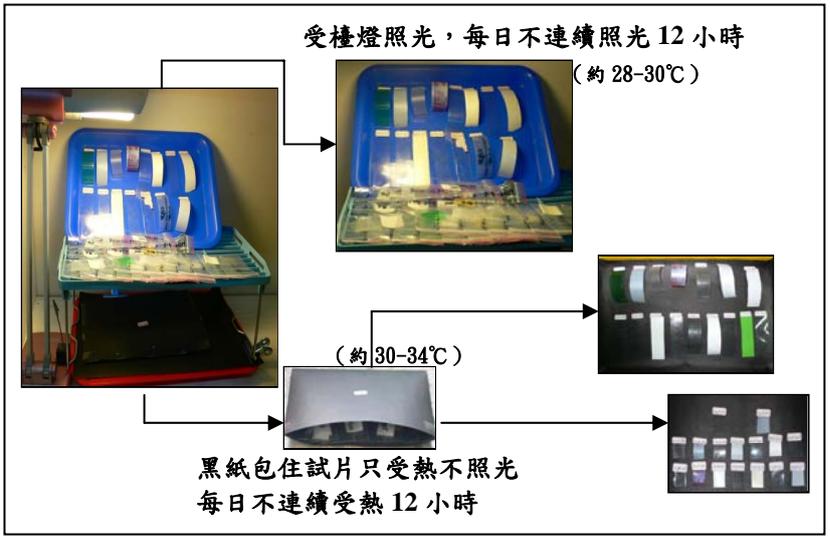


圖 5-4-3

(二) 結果

將所有實驗試片之強硬度與研究二結果作比較，發現時間越久，溫度對塑膠的影響越大；因此以不同時間的標記整理結果於下表。

表 5-4-1 不同時間與溫度處理對塑膠物理特性之影響

		結構性強 ▶ 弱												
		瓶		罐		碗		杯		盒		蓋		
		強度	硬度	強度	硬度	強度	硬度	強度	硬度	強度	硬度	強度	硬度	
低溫環境 冰箱裡	PET	冷凍								+				
		冷藏								+				
	HDPE	冷凍	⊖	-										
		冷藏	-	-										
	PVC	冷凍				-					+	+		
		冷藏				-					+			
	LDPE	冷凍												
		冷藏												
	PP	冷凍	⊖				⊖		⊖		⊖	+		
		冷藏	⊖				-				⊖	+		
	PS	冷凍	+						+	-	⊖		⊖	
		冷藏	+						+		-		⊖	
高溫環境 檯燈下	PET	照光		⊖						+				
		受熱								+				
	HDPE	照光												
		受熱	-											
	PVC	照光				⊖					+			
		受熱									+	+		
	LDPE	照光												
		受熱												
	PP	照光	⊖				⊖				⊖	+		
		受熱	⊖				-				⊖	+		
	PS	照光	+						+		⊖	+	⊖	+
		受熱	+						+		⊖	+	⊖	+

註：(1) 以+代表強度或硬度變大；溫度處理半個月就變大標⊕，一個月變大標⊕，兩個月才變大標⊕。
 (2) 以-代表強度或硬度變小；溫度處理半個月就變小標⊖，一個月變小標⊖，兩個月才變小標⊖。
 (3) 溫度與時間處理皆不影響其強度或硬度的不作標記。

- 綜合分析各塑膠強硬度被時間與溫度影響的趨勢（表 5-4-1），可發現：
 - 各塑號被影響的情形是： $PS \geq PP > PVC > PET > HDPE > LDPE$ 。
 - 各塑形被影響的情形是：盒 > 瓶 ≥ 杯 > 蓋 > 碗 > 罐。
 - 強度比硬度容易被時間與溫度影響，才半個月，很多塑膠強度就有變化。
 - 短時間就容易影響塑膠的溫度處理是冷凍和照光，其次是受熱。

2. 以研究二結果比較塑膠的強度被時間與溫度的影響（表 5-4-2）：

表 5-4-2 各塑膠食器之強度受時間溫度影響的結果

塑號	軟、彈性佳						硬、無彈性									
	1 PET			4 LDPE	2 HDPE		5 PP				3 PVC		6 PS			
塑形	瓶	罐	盒	蓋	瓶	罐	瓶	盒	杯	碗	罐	盒	蓋	盒	杯	瓶
原強度表現	●	●	⊙	●	●	●	●	●	○	○	⊙	⊙	⊙	⊙	○	○
影 低 冷凍			⊕				⊖	⊖				⊕	⊖	⊖	⊕	⊕
響 溫 冷藏			⊕				⊖	⊖				⊕	⊖	-	⊕	+
變 高 照光			⊕				⊖	⊖				⊕	⊖	⊖	⊕	⊕
因 溫 受熱			⊕				⊖	⊖				⊕	⊖	⊖	⊕	⊕

註：(1) 表中各塑膠按順序以塑號材質、塑形和厚度從左到右排列。標記●代表強度 7-6；⊙代表強度 5-4；○代表強度 3-1。
 (2) 各塑號中 1 (PET) 及 5 (PP) 的各塑形厚度差異大 (紅框)；表框底標■是該塑號中最厚，底標■代表是最薄。
 (3) 影響變因處理半個月就變大標⊕，一個月標⊕，兩個月標⊕；半個月就變小標⊖，一個月標⊖，兩個月標⊖；不影響不標記。

- (1) 塑膠強度很快就受溫度影響的有 (盒、瓶) 和 (蓋、杯、瓶)。
- (2) 和 會因時間溫度降低強度， 和 是增大強度； 的盒蓋狀強度會降低，瓶杯狀卻增大。
- (3) 比較「有受影響的塑膠」溫度處理 2 個月後的強度與原強度 (圖 5-4-4)：

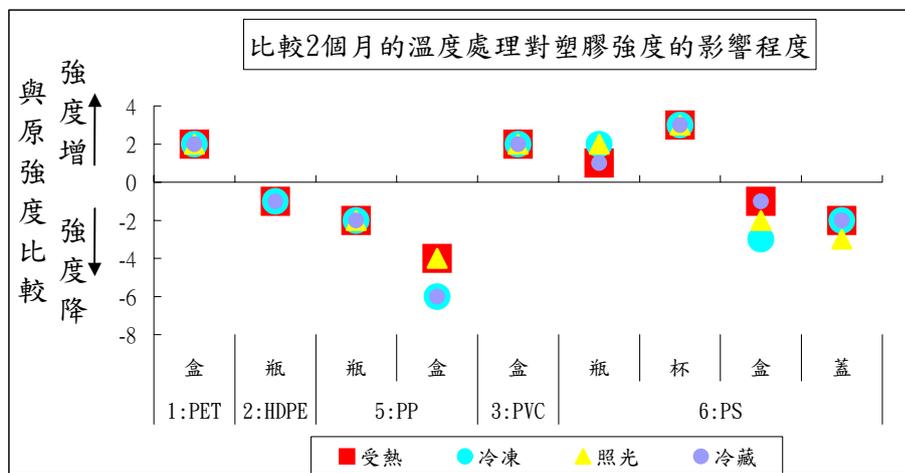


圖 5-4-4

- ① 受溫度影響增大塑膠強度有 (杯瓶)、 和 (盒)；以 (杯) 受影響程度較大。
- ② 受溫度影響降低塑膠強度有 (盒瓶)、 (蓋盒) 和 (盒瓶)，以 (盒) 受影響程度較大，尤其是低溫環境。

3. 以研究二結果比較塑膠的硬度被時間與溫度的影響 (表 5-4-3):

表 5-4-3 各塑膠食器之硬度受時間溫度影響的結果

容器結構性強	容器結構性強												結構性弱			
	瓶				罐			碗	杯		盒			蓋		
塑號	5 PP	2 HDPE	1 PET	6 PS	2 HDPE	1 PET	3 PVC	5 PP	5 PP	6 PS	5 PP	1 PET	3 PVC	6 PS	4 LDPE	6 PS
原硬度表現	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	◎	◎	○	○	○
影 低 冷凍		-				-	-	⊖	⊖	-	⊕		+			
響 溫 冷藏		-											+			
變 高 照光			⊖				⊖	⊖			⊕			+		+
因 溫 受熱								-			⊕		+	+		+

註：(1) 表中各塑膠按順序以塑形，厚度從左到右排列。標記●代表硬度 5-4；◎代表硬度 3-2；○代表硬度 1。
 (2) 影響變因處理半個月就變大標⊕，一個月標⊕，兩個月標⊕；半個月就變小標⊖，一個月標⊖，兩個月標⊖；不影響不標記。

- (1) 才半個月就使硬度起變化的只有 PET (瓶)，只受照光影響。
- (2) 原硬度與塑形結構性較強 (瓶、罐、碗和杯) 的 PET、HDPE、PVC、PP 和 PS 會因時間溫度降低硬度，結構性弱 (盒、蓋) 的 PVC、PP 和 PS 是增大硬度。
- (3) 比較「有受影響的塑膠」溫度處理 2 個月後的硬度與原硬度 (圖 5-4-5):

- ① 溫度處理增大 PVC (盒) 和 PS (盒、蓋) 強度的影響程度相近。
- ② 溫度處理降低 PET (瓶)、HDPE (罐)、PP (碗、杯) 強度的影響程度最大；多是受冷凍、照光影響。

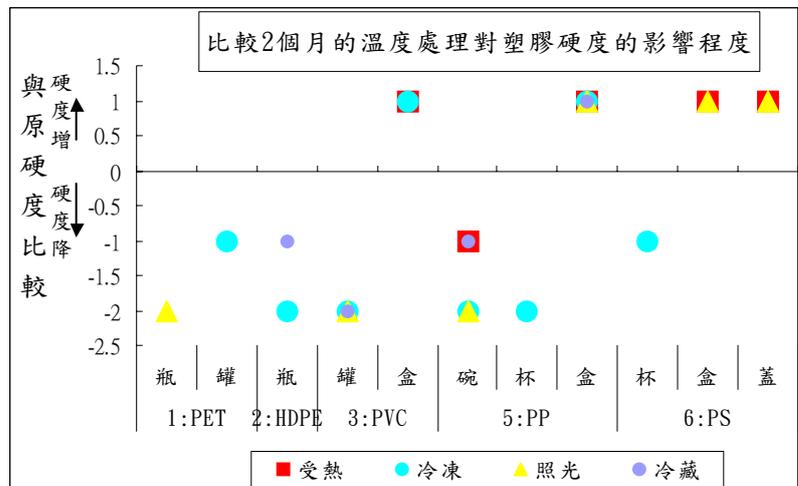


圖 5-4-5

(三) 討論

1. 參考資料提到 PP 和 PS 最容易熱塑成形製成產品，在此研究中也發現這兩種塑號的確較易受溫度影響其特性
2. 我們發現環境對塑膠的影響是冷凍 ≥ 照光 > 受熱 > 冷藏。可見要夠低溫或是有光照對塑膠影響才明顯。參考資料得知光會使塑膠內部產生化學反應使塑膠特性改變，例如變硬；而光照過久也會使塑膠表面受傷，產生「缺口效應」變得脆裂，如同人類皮膚曬傷會龜裂。由此可推論，過冷也會使皮膚龜裂，所以低溫應會影響塑膠表面 (龜裂) 或結構 (變硬、彈性變差)，使其強硬度改變。

五、探討不同熱處理方式對塑膠的影響

在熱處理下，塑膠真的會「釋放」出物質？會傷害生物嗎？我們準備四種不同熱處理實驗組（圖 5-5-1），設計兩個實驗探知以上問題。

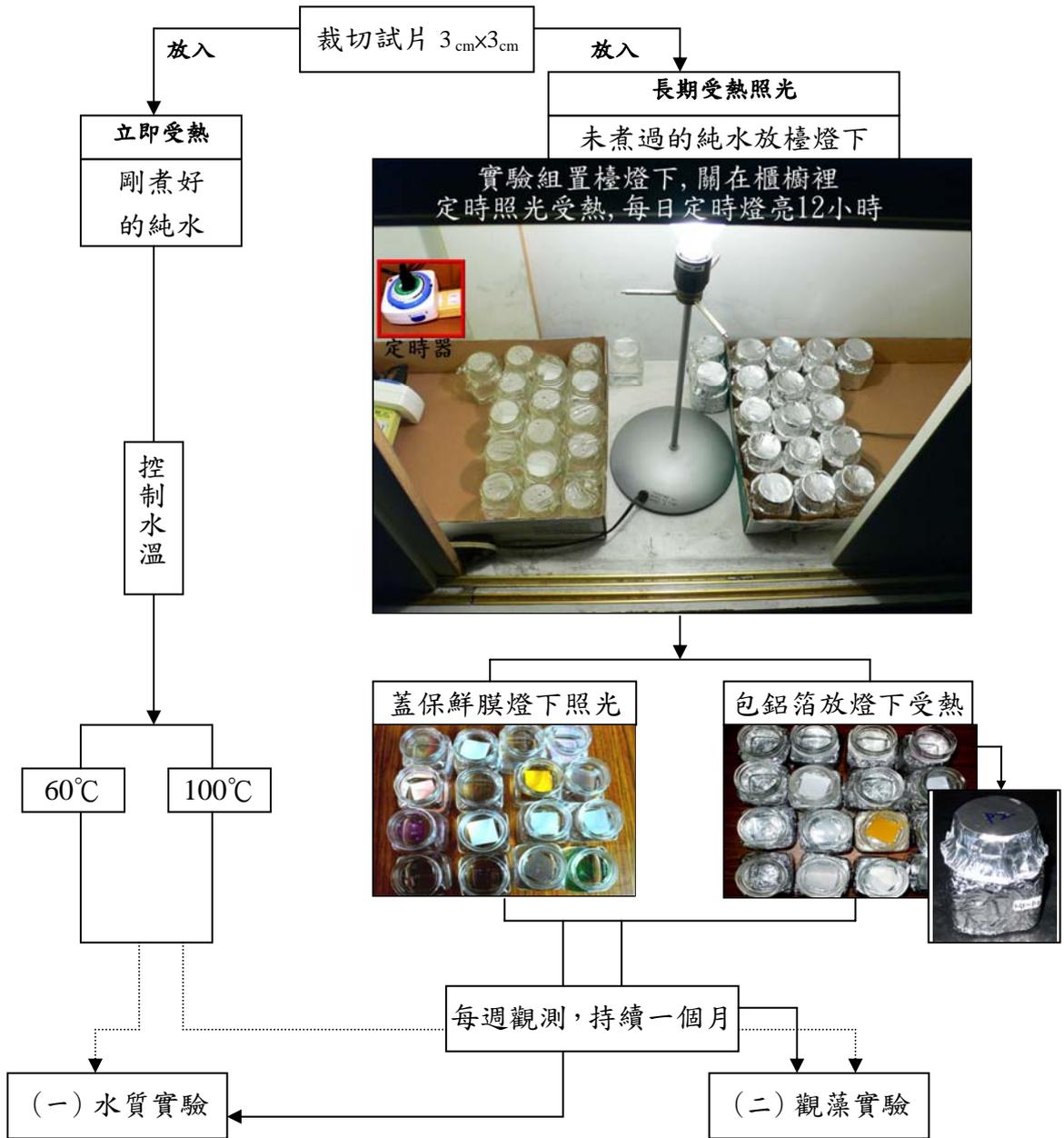


圖 5-5-1

(一) 比較加熱、長期照光受熱後的各塑號試片對水質的影響

1.原理：如果塑膠受熱有釋放出離子在水中，便會提高水中的導電度，使其電阻（水阻值）降低。利用TDS水質測定器測量受熱塑膠在純水中造成的水阻值，其值越低代表塑膠釋放離子的程度越大。

2.方法

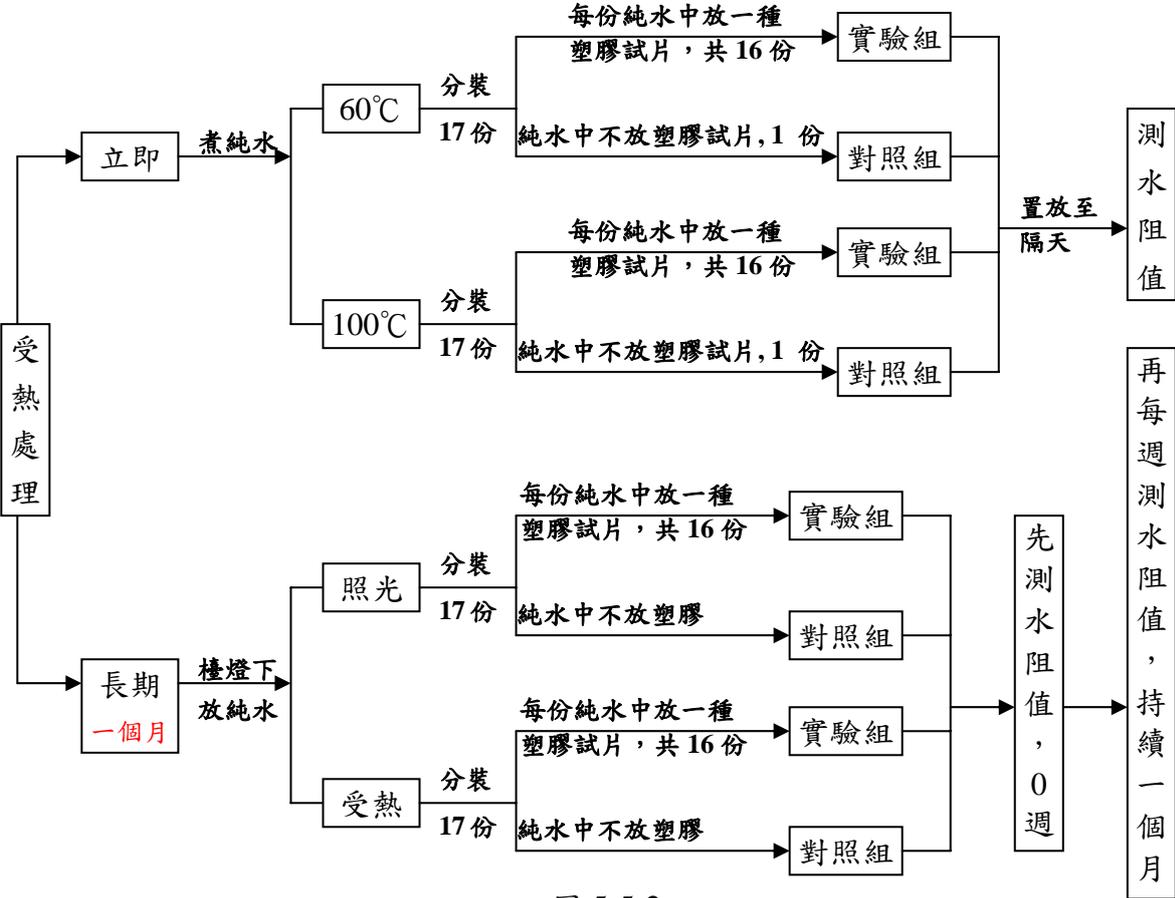


圖 5-5-2

3.結果：

(1) 熱水對塑膠的影響：

① 實驗組的水阻值皆 < 對照組，代表塑膠加熱水會釋放出離子。

② 大部份試片 60°C 和 100°C 的水阻值相近；只有 PET 盒狀和 LDPE 蓋狀有明顯差距，顯示此兩種塑膠在較高溫水中才會釋放出較多離子。

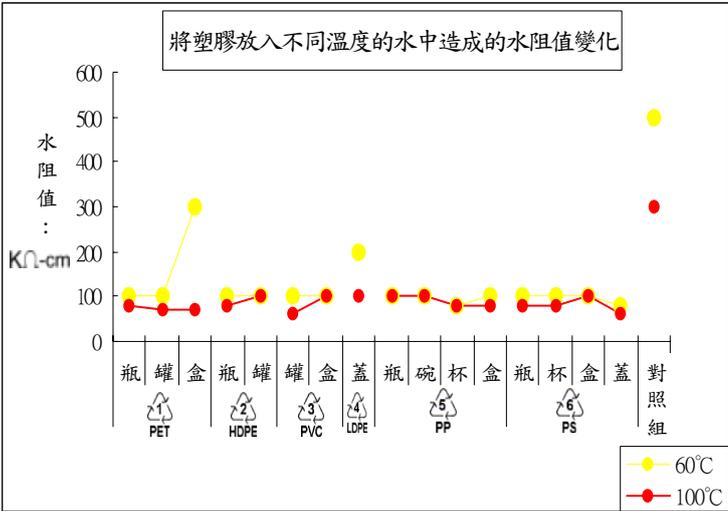


圖 5-5-3

(2) 長期照光受熱對塑膠的影響：

一個月期間內，受熱與照光的塑膠影響水阻值變化的情形

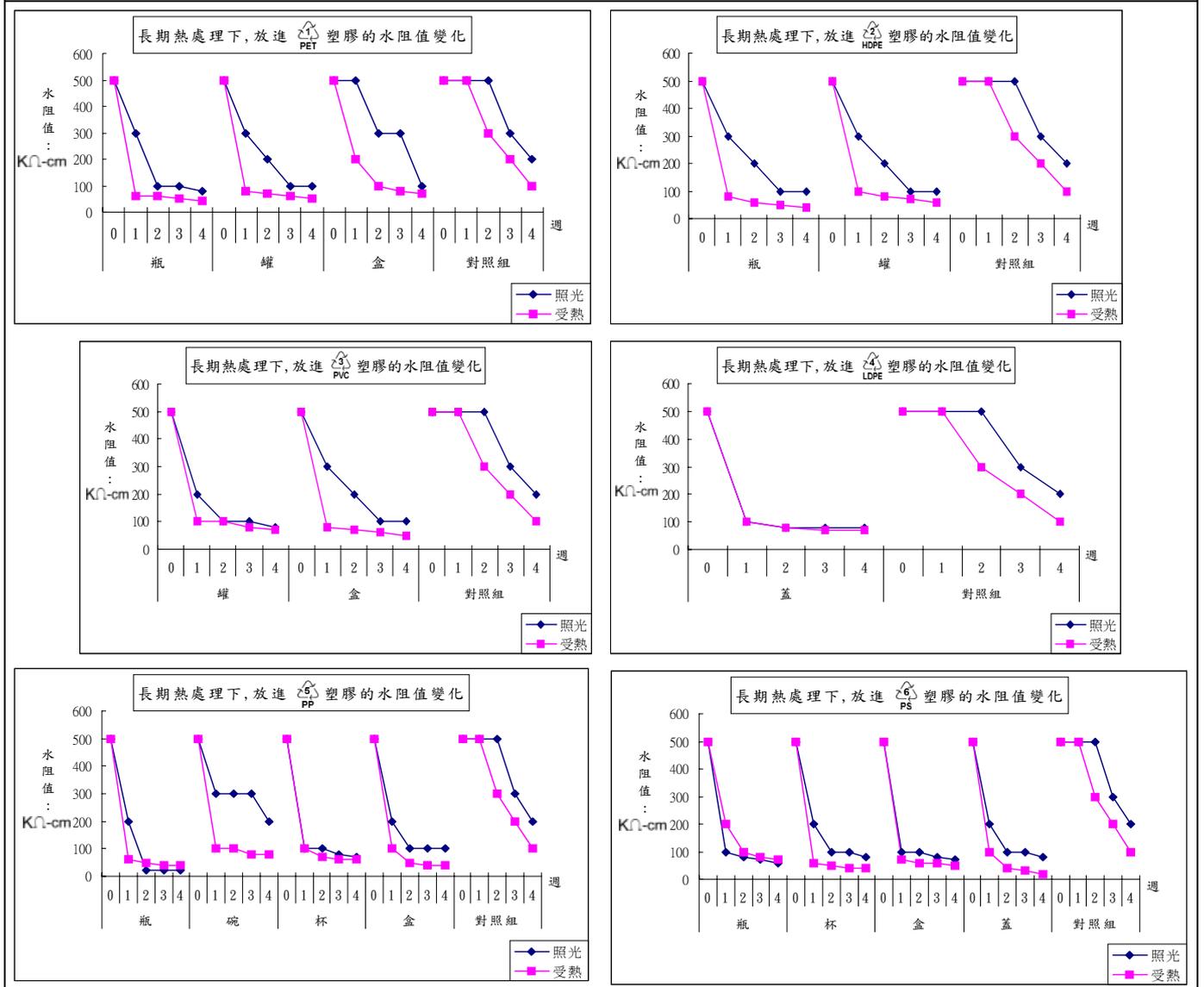


圖 5-5-4

- ①各組水阻值是受熱 < 照光；實驗組皆 < 對照組，代表長期熱處理塑膠會釋放出離子。
- ②實驗組中的水阻值持續一個月的表現多是受熱 < 照光，只有 LDPE、 PP（瓶）、 PS（瓶）除外，顯示沒有光只受熱對塑膠釋放離子的影響較大。
- ③實驗組中只有長期照光的 PET（盒）和 PP（碗）不受影響，其水阻值跟對照組相近。
- ④長期受熱結果，塑膠幾乎都在一週後即大量釋放離子（水阻值狂降 ≤ 100 ），之後趨於穩定，只有 PET（盒）、 PS（瓶）是在兩週後才出現此現象。
- ⑤長期照光結果：有些跟受熱結果相似，也是過一或兩週時水阻值狂降 ≤ 100 ，之後穩定。只有 PET（罐）、 HDPE（瓶罐）、 PVC（盒）是隨著照光時間增長，慢慢釋放離子（水阻值降低速緩）。

(二) 比較加熱、長期照光受熱後的各塑號試片對藻類的影響

1.原理：如果塑膠受熱使水質變差，便會使水藻枯萎。觀察放有受熱過塑膠的水中的藻類枯萎變化，枯萎越快代表塑膠對其傷害程度越大。

2.方法：

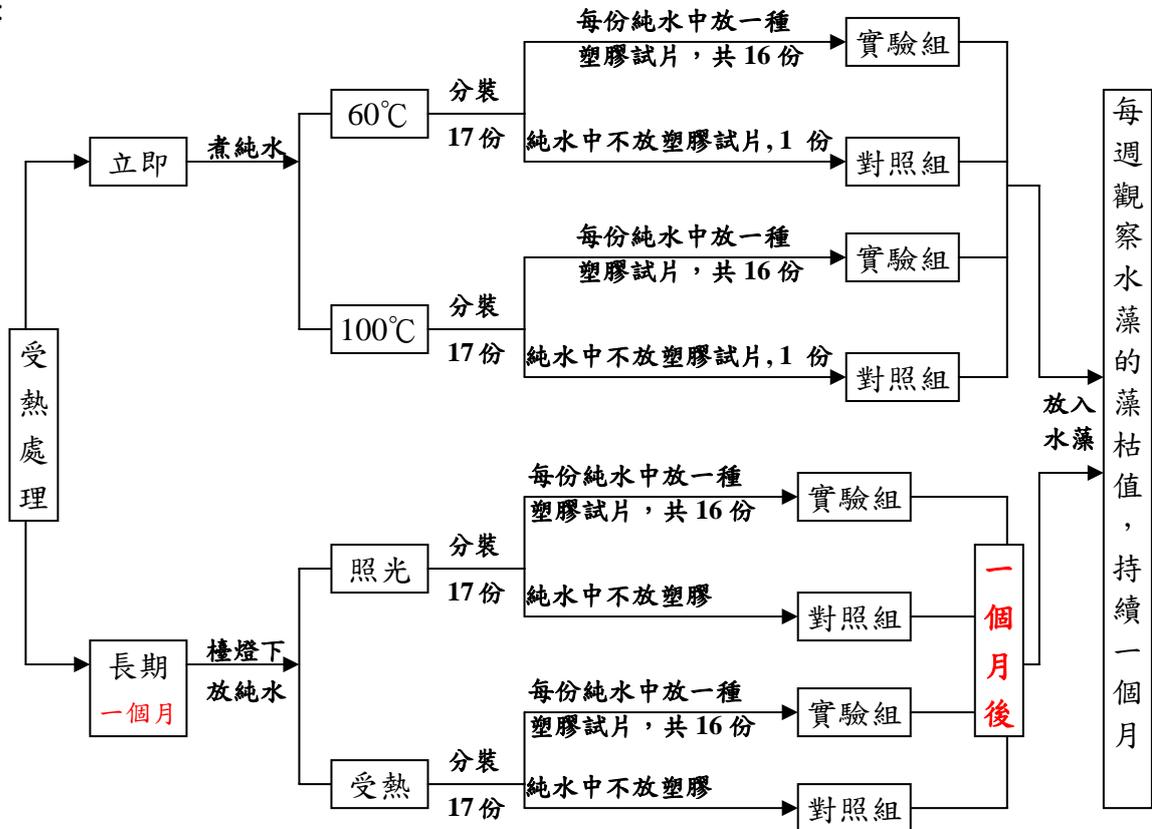
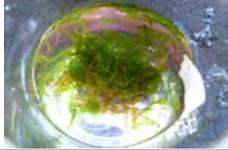


圖 5-5-5

3.觀藻計分方式

利用寒假觀察水藻自然生長變化，加上售藻老闆提供的養藻資訊，我們制定「藻枯計分表」，以利觀藻紀錄。

表 5-5-1 藻枯計分表（藻枯值越高代表枯得越嚴重）

類型	表面未枯萎，看背面枯萎量佔全藻片面積			
	未枯萎	枯萎量 < 1/4	枯萎量在 1/2 ~ 3/4	枯萎量 > 3/4
圖示				
藻枯值	0	1	2	3
類型	背面全枯萎，看正面枯萎量佔全藻片面積			
	枯萎量 < 1/4		枯萎量在 1/2 - 3/4	
圖示				
藻枯值	4		5	

4.結果

一個月期間內，各不同熱處理塑膠影響水藻的藻枯值變化

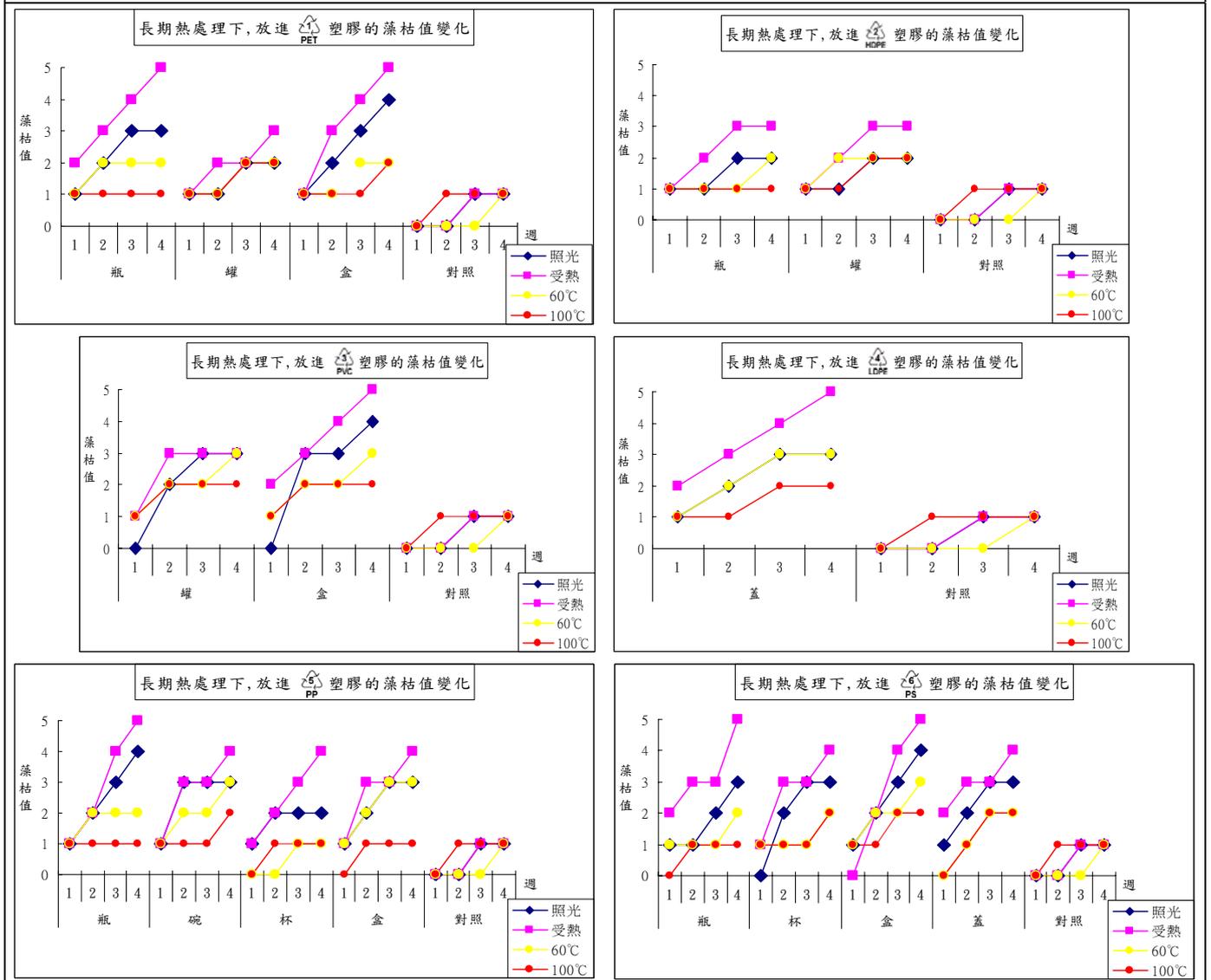
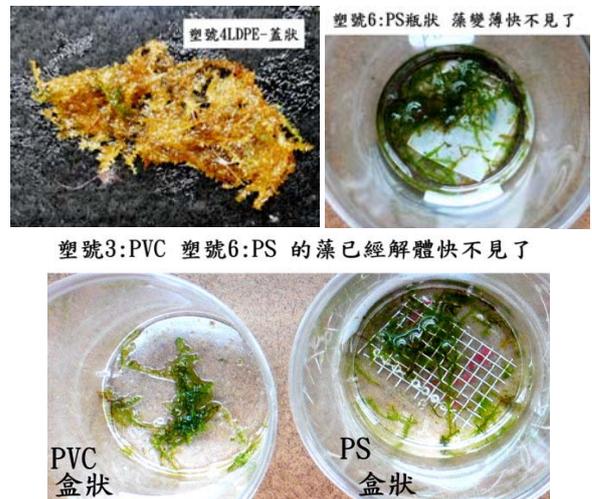


圖 5-5-6

- (1) 四種熱處理造成的藻枯值皆是實驗組 > 對照組，證實熱處理會使塑膠影響水藻枯萎。
- (2) 實驗組中，影響藻枯程度的處理多是長期受熱 > 照光 > 60°C 熱水 > 100°C 熱水；可見影響塑膠的因素是時間 > 溫度。
- (3) 根據養藻資訊，水質變差使藻枯萎，若正面枯萎（藻枯值 > 3），藻會停滯生長且變稀薄而枯死。長期受熱與照光的 PET（瓶、盒）、LDPE、PP、PS 所有塑形和 PVC（盒）的藻枯值 > 3，表示這些塑膠長期熱處理後易傷害水藻。果然不久後，我們發現上述有些藻類已全枯，甚至快不見了（右圖）。



(三) 綜合討論

塑膠受熱會使水阻值降低且加速水藻枯萎。比較各種熱處理方式對塑膠的影響，水阻值和藻枯值的結果都顯示長期受熱（約 33°C）>照光（約 28°C）>60°C 熱水>100°C 熱水。可見「時間」比「溫度」更會影響塑膠。且長期熱處理後的塑膠造成藻枯值>3 的樣本，其水阻值皆<100kΩ。由此可推論「長期受熱的塑膠」釋放越多離子，就越可能傷害生物。

陸、結論與研究價值

一、塑膠的物理特性

塑膠材質軟、有彈性及厚度會增加其受重壓強度及被磨損硬度，且塑形結構性越強，其強、硬度越大。但偏硬或無彈性的  塑形結構性越強，強度越小。

二、塑膠受熱的表現

- (一) 同塑號的各塑形食器燃燒情形相同，只有   無延燃性。要注意  會冒黑煙，且與   一樣遇水成酸性反應。
- (二) 拿塑膠食器接近熱源時要小心：熱烤比熱水更易使塑膠變形； 和  遇熱捲縮變形快，且塑形結構越強變形越嚴重，其他材質則相反。

三、時間與溫度對塑膠的影響

- (一) 時間與溫度都會改變塑膠的物理特性，尤其是強度。短時間內，、 的盒、杯和瓶狀塑形食器，最容易因冷凍或照光影響其特性。
- (二) 時間與溫度都會使塑膠在水中釋放離子，降低水阻值；且加速水藻枯萎。時間對塑膠的影響比溫度更明顯，尤其是長期受熱，多數塑膠只要一週，就會造成水阻值大降；而一個月的時間，有些水藻甚至會因此而枯萎死亡。

「塑膠」是化學家里奧貝克蘭的一件驕傲發明，今年正值塑膠發明的第 100 年。眾所皆知在我們身邊充斥著各式樣的塑膠產品，而塑膠食器與我們生活最相關。綜此研究結果，於下整理一套「塑形密碼」，從表中我們便可提醒那些習慣拿  瓶當水壺的人，要小心別讓它接近熱源（易變形），若放置車內要避免長期受熱照光（易釋放離子、降低硬度）。會建議改用  或  瓶當水壺，因它不易受熱變形，但要小心別著火，否則若延燃，波及旁邊可燃物易釀成火災。

此外，我們還能提醒家人重複使用  罐及  蓋時，要放在陰涼處避免長期受熱； 罐較不受時間與溫度影響，也很適合再重複使用。 食器容易受時間與溫度影響，不適合再重複使用。

所以這套「塑形密碼」是我們最精華的研究價值，它能提供大眾了解各塑號、塑形對其食器的意義，讓塑膠食器在生活中更能被妥善利用。

塑膠食器的塑形密碼																		
生活使用 之參考項目		1 PET			2 HDPE		3 PVC		4 LDPE		5 PP				6 PS			
		瓶	罐	盒	瓶	罐	罐	盒	蓋	瓶	碗	杯	盒	瓶	杯	盒	蓋	
受 力	重壓易壓碎										✓	✓		✓	✓			
	刷洗易磨損			✓				✓	✓							✓	✓	
立 即 受 熱	受 燃	離火後會延燃			✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
		燃燒物呈酸性	✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	烘 烤 60°C	快速變形	✓	✓					✓	✓				✓	✓	✓	✓	
		熱 水 60°C	會變形	✓	✓										✓			
	易釋放離子											✓					✓	
	熱 水 100°C	會變形	✓	✓	✓			✓						✓	✓	✓	✓	
		易釋放離子	✓	✓	✓	✓		✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	長 期 低 溫	冷 凍	會降低受重壓強度			✓					✓			✓			✓	✓
會降低抗磨損硬度											✓	✓						
冷 藏		會降低受重壓強度								✓			✓				✓	
		會降低抗磨損硬度																
長 期 受 熱	會降低受重壓強度									✓			✓			✓	✓	
	會降低抗磨損硬度										✓							
	易釋放離子		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	會傷害藻類		✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
長 期 照 光	會降低受重壓強度									✓			✓			✓	✓	
	會降低抗磨損硬度		✓				✓				✓							
	易釋放離子		✓				✓		✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	
	會傷害藻類				✓			✓		✓						✓		

註：(1) 表中勾選的標準：易壓碎指強度<4；易磨損指硬度<3；烘烤變形指變形率>50%；易釋放離子的標準指水阻值<100kΩ；會傷害水藻指藻枯值≥4。(2)「長期」指一個月的時間。長期受熱溫度範圍約28-30°C，模擬一般炎熱氣候，照光則模擬日照。

柒、參考資料

- 一. 杉本賢司 (民 93)，圖解塑膠新世界。台北縣：世茂。23；96；128。
- 二. 張子成和刑繼剛 (民 92)，塑膠產品設計。台北市：全華。1-1；1-3；8-2。
- 三. 資源回收基管會。台北市：環保署。取自：<http://recycle.epa.gov.tw/>

【評語】 081533 塑形密碼

1. 科學實驗設想適用於日常生活。
2. 內容寫作較謹嚴。
3. 部份原始資料未獲查證。例：電腦印刷稿已具一部份，但其它最原始「手稿」未能呈現。