

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

佳作

082902

有「膠」無痕-乾式膠帶的製造

學校名稱：國立臺南大學附設實驗國民小學

作者：	指導老師：
小五 鄭靖潔	蔡岱芬
小六 吳柏儒	林士揚
小六 王奕詠	

關鍵詞：壁虎膠、白膠、極性塑膠

摘要

市售膠帶為了讓黏性增加會塗上黏膠。本次科展我們研究製作可重複用無殘膠的乾式膠帶，其實驗分為如何製作乾式膠帶，以及比較校內樹葉、生活用品與塑膠材質為模版製作的膠帶。實驗結果發現便宜的白膠可做為乾式膠帶的主要原料；而表面越光滑平整的樹葉所製作出的膠帶掛重會越重；生活用品以塑膠材質做出的膠帶掛重最好；我們也發現塑膠模版分子含有氧原子或具極性所製作的膠帶掛重較高，其中又以聚乳酸（PLA）作為模版所製作的乾式膠帶掛重最佳，單位面積掛重為 $415\text{g}/\text{cm}^2$ 。為了取得方便，我們以聚碳酸酯（PC）為模版，將白膠加入適量過濾水所製作的膠帶掛重最高（單位面積掛重 $>541.83\text{g}/\text{cm}^2$ ），最後我們也將所製作的膠帶成功黏貼在鐵櫃、冰箱、白板、磁磚上掛重。

壹、研究動機

每次看到壁虎可以輕鬆的在天花板來去自如的移動，就非常嚮往壁虎克服地球引力自在的爬行。有一天我們把白膠塗在食指上，經過 5 至 10 分鐘後白膠乾掉形成一片厚厚的膜，這層膜摸起來軟軟的、乾乾的、透明的，讓我們驚訝的是還可以黏在玻璃上，非常的神奇，經過和老師的討論，老師說這個也許可以做為科展的主題。

於是我們查閱相關資料，得知乾式膠帶的概念是在 1990 年代，一位研究生物力學的教授，研究了壁虎的運動方式，發現壁虎在垂直表面的附著力和移動能力很特殊，他們用電子顯微鏡去看發現壁虎腳有數十億個匙突，在受到下壓力時可以產生一大片區域內的附著力，也就是以凡得瓦力產生了強大的吸引力。仿壁虎腳的膠帶是在 2003 年之後開始有了發展，是經過多年研究壁虎腳的剛毛結構後所產生的膠帶，除了模仿壁虎腳以外，其他的乾式膠帶也大部分是學習生物的表面黏著機制而發展出進一步的黏著應用，像是模仿章魚的吸盤，模仿貽貝化學結構的沾黏設計（鍾宜璋，2019）。仿生乾式膠帶的黏著力可以來自凡得瓦力、靜電力、毛細力、真空吸力等等，各種黏著力量可能各有不等的貢獻，這讓我們非常的好奇，因此這次科展就以無殘膠的乾式膠帶為研究主題。

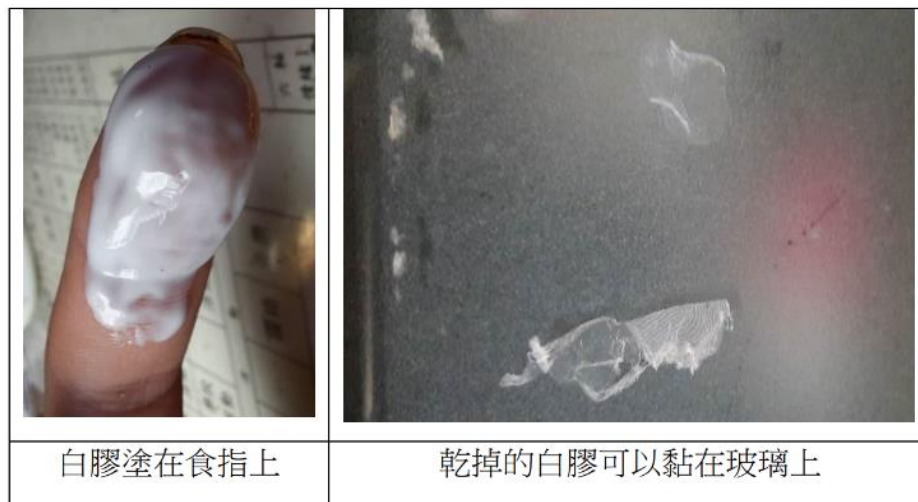


圖 1 研究動機來源

貳、研究目的

- 一、探索生活中常見各種膠體材質製作的乾式膠帶。
- 二、以校內各種樹葉作為乾式膠帶的模版，比較哪一種樹葉製作的膠帶掛重情形較佳。
- 三、利用生活中常見用品為模版來製作乾式膠帶，比較哪一種生活用品製作的膠帶掛重情形較佳。
- 四、蒐集各種常見塑膠材質作為模版製作乾式膠帶，比較哪一類塑膠製成的膠帶掛重情形較佳。
- 五、比較乾式膠帶在不同牆面材質的載重效果。



圖 2 研究架構圖

參、研究設備及器材

實驗過程中用到的研究設備和器材如表 1 所示。

表 1 研究設備和器材

實驗項目	設備與器材
一、各種材質製作膠體的實驗	白膠、膠水、保麗龍膠、醬糊(香梅糊)
二、以樹葉為模版的實驗	福木葉、構木葉、變葉木葉、馬拉巴栗葉、茄苳葉、大葉欖仁葉
三、以生活用品為模版的實驗	載玻片、鋁箔、光碟片、投影膠片、塑膠盒蓋、上釉瓷器
四、以塑膠材質為模版的實驗	聚碳酸酯 (PC)、聚苯乙烯 (PS)、聚對苯二甲酸乙二醇酯 (PET)、聚丙烯 (PP)、均聚聚丙烯 (PPH)、高密度聚乙烯 (HDPE)、聚乳酸 (PLA)
五、各種牆面載重的實驗	玻璃、鐵櫃、冰箱、白板、瓷磚
六、各實驗共用器材及設備	砝碼、電子磅秤、烘箱、厚度計、光學顯微鏡、手機微距鏡、透氣膠帶、無痕掛勾、洗潔精、冰棒棍木片、夾鏈袋、手套

肆、研究過程與結果

實驗一 探索各種材質製作的乾式膠帶

(一) 實驗目的：

探索各種製作乾式膠帶的材質，材質包括：白膠、膠水、保麗龍膠和醬糊（香梅糊），以福木葉片正面為底模版，均勻抹上 0.5g 的膠體於 $2 \times 3 \text{cm}^2$ 的葉面上，陰乾後觀察膠帶的吸附力，以及顯微鏡下的膠帶表面結構。

(二) 實驗器材：

福木樹葉、白膠、膠水、保麗龍膠、醬糊（香梅糊）、透氣膠帶、磅秤、3M 掛勾、砝碼。

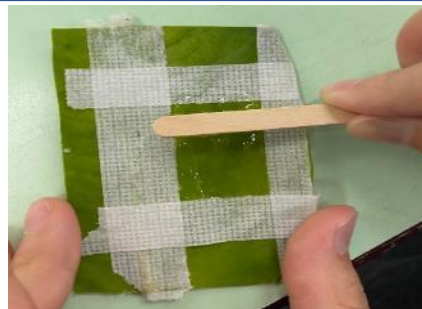
(三) 實驗步驟（圖 3）：

1. 摘取福木樹葉，用清水洗淨，再將葉子擦乾。
2. 在福木樹葉正面貼上 $2 \times 3 \text{cm}^2$ 範圍透氣膠帶，儘量避開中間粗葉脈部分。

3. 四種膠體製作材質：白膠、膠水、保麗龍膠、醬糊（香梅糊），分別各取 0.5g 並使用冰棒棍木片均勻抹在 $2 \times 3 \text{cm}^2$ 的葉面上。
4. 待四種膠體陰乾後小心脫模，將 4 種不同膠體製成的膠帶進行牆面吸附。
5. 將膠帶吸附於乾淨玻璃牆面上，用力按壓 10 秒鐘。
6. 如果可以吸附在玻璃上，將掛鉤貼上，再次按壓 10 秒鐘。
7. 將砝碼掛在掛鉤上，懸掛砝碼進行掛重實驗。
8. 紀錄最後膠帶掉下時的砝碼重量。
9. 反覆進行同樣的掛重實驗共 3 次，計算平均值。
10. 運用顯微鏡觀察四種膠帶的表面結構。



福木葉貼上 $2 \times 3 \text{cm}$ 範圍的膠帶



均勻塗抹膠體在葉面



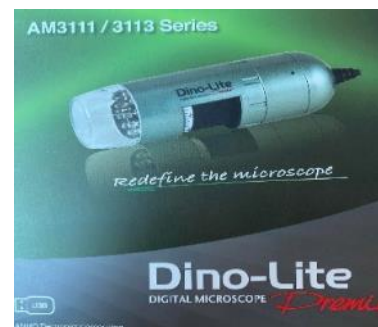
白膠、膠水、保麗龍膠、醬糊（香梅糊）分別各取 0.5g 均勻抹在葉面上



陰乾脫模的膠帶



懸掛砝碼掛重



顯微鏡觀察膠帶結構

圖 3 不同膠體製作及實驗過程

(四) 實驗結果：

1. 不同材質製作的膠帶，以「白膠」作為膠帶材質，可吸附於玻璃牆面，吸附效果佳，平均掛重 30g；「膠水」作為膠帶材質，可吸附於玻璃牆面，吸附效果不佳，平均掛重 13g；「保麗龍膠」與「醬糊（香梅糊）」作為膠帶材質，無法吸附於玻璃牆面，立刻掉落。綜上可發現「白膠」作為膠帶的吸附力最佳，是製作膠帶的良好材質（表 2、圖 4）。
2. 用顯微鏡觀察 4 種不同膠體的膠帶結構，放大 200 倍發現「白膠」與「膠水」紋路較為細緻，「保麗龍膠」有許多大顆的氣泡，至於「醬糊（香梅糊）」則有不均勻的表面結構（圖 5）。

表 2 四種膠體的掛重量測記錄

掛重量測次數	膠體材質			
	白膠	保麗龍膠	膠水	醬糊（香梅糊）
第 1 次 (g)	28	×	10	×
第 2 次 (g)	20	×	24	×
第 3 次 (g)	40	×	6	×
平均掛重 (g)	30	×	13	×

（×：表示膠帶無法吸附於玻璃牆面上）

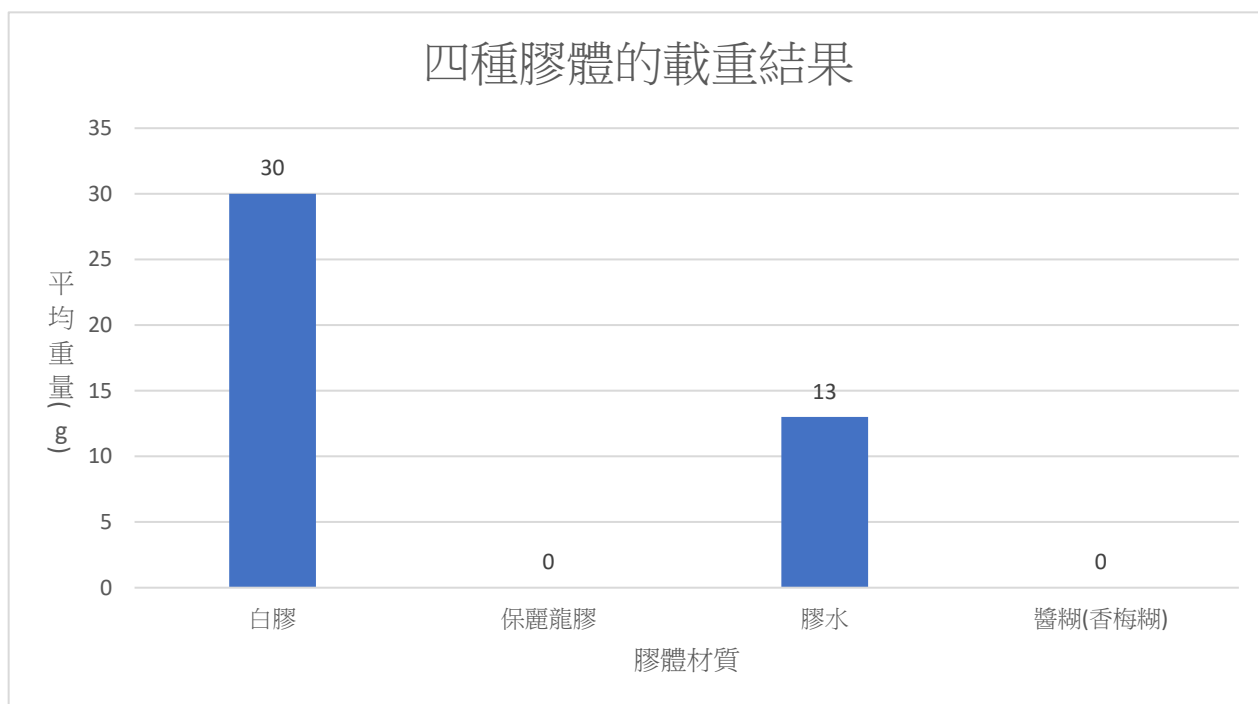


圖 4 四種膠體的掛重量測記錄

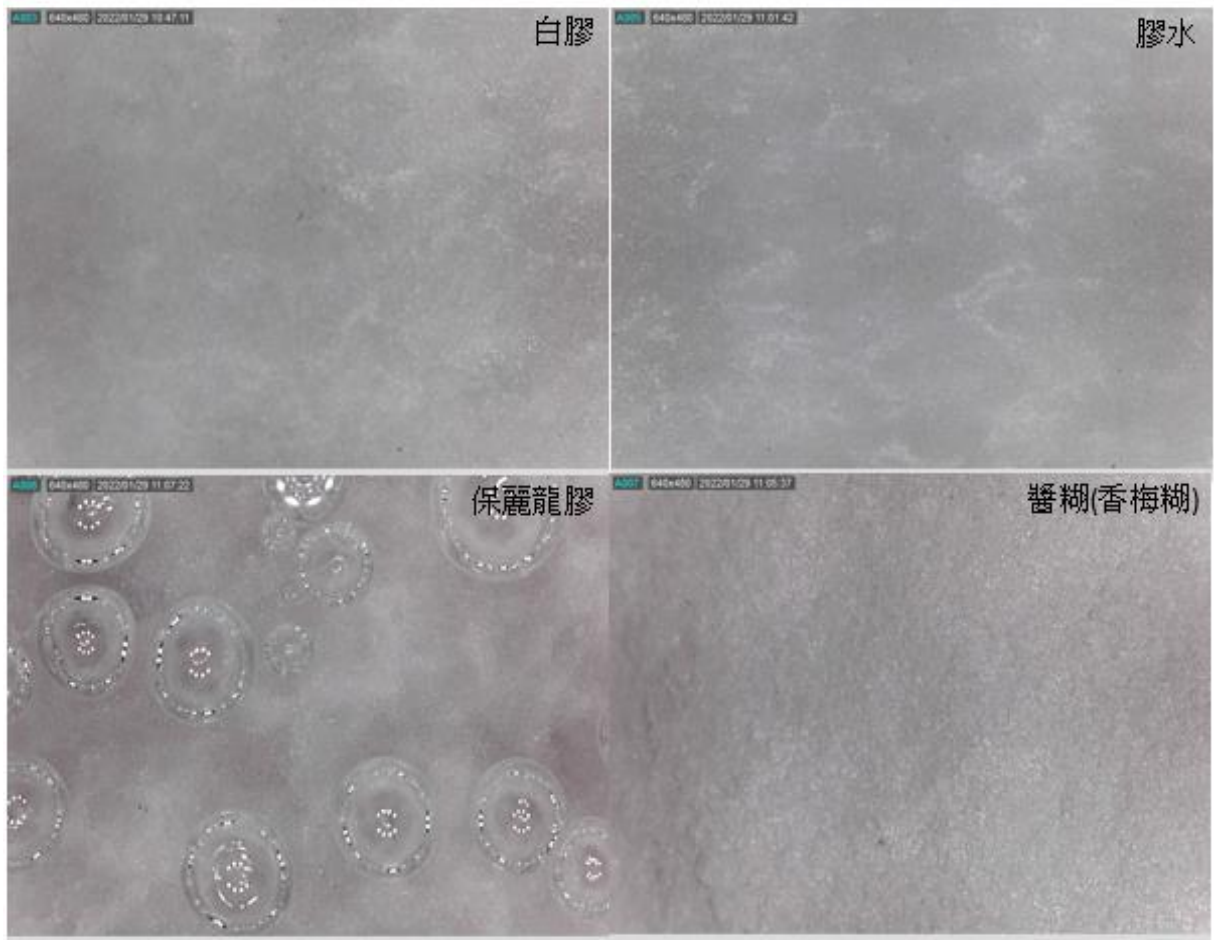


圖 5 顯微鏡下四種膠體製成的膠帶表面

(五) 困難解決：

1. 剛開始膠體從葉面脫模，常會遭遇破裂無法完整脫模的問題，所以我們試著在葉面塗上脫模劑（洗碗精：水的體積比為 1：10），待其乾燥後再均勻抹上膠體，才能順利脫模成功。
2. 可將膠體先於烘箱 35 度 C 烘烤半個小時，再取出陰乾 1-2 天脫模，若直接在烘箱烘烤超過 1 小時會降低吸附力，使乾燥後的膠體完全無法吸附在玻璃上。
3. 玻璃上的灰塵會影響膠體的吸附力，因此每次進行掛重實驗前都先以酒精棉片擦拭乾淨，以順利進行掛重實驗。
4. 膠體脫模後不易辨別正面與反面，因此先以小圓貼紙貼在反面的右上角標示，以區別正反面，將正面吸附於玻璃上進行實驗。

5. 玻璃牆面以自然教室的小型儲物櫃玻璃門作為牆面，然在懸掛砝碼的過程中，砝碼可能會碰觸玻璃牆面影響掛重結果，所以改將整個儲物櫃往外移動，膠帶吸附於玻璃的最下方，使砝碼能完全懸空的懸掛，測得準確的掛重力。

實驗二 比較各種校內樹葉為模版製作的乾式膠帶

(一) 實驗目的：

由於實驗一發現白膠以福木為模版製作的乾式膠帶可以吸附於玻璃牆面，所以實驗二將以校園內常見的樹葉作為模版，均勻塗抹白膠製作膠帶，並觀察膠帶的掛重力。

(二) 實驗器材：

福木葉、構樹葉、變葉木葉、馬拉巴栗葉、茄苳葉、大葉欖仁葉、白膠、透氣膠帶、電子磅秤、無痕掛勾、砝碼。

(三) 實驗步驟（圖 6、圖 7）：

1. 我們在校園內採集六種不同的樹葉：福木葉、構樹葉、變葉木葉、馬拉巴栗葉、茄苳葉、大葉欖仁葉，並且使用微距鏡觀察樹葉表面形貌。
2. 我們先用清水清洗新鮮樹葉並擦乾，再用稀釋過的洗碗精塗抹於葉片表面上，使其容易脫模。
3. 使用透氣膠帶在葉片上黏貼出一個 $2 \times 3 \text{cm}^2$ 長方形的區域，此為做乾式膠帶的塗膠面積。在每片葉子的塗膠面積上塗抹 0.5g 之白膠，並使用冰棒棍木片均勻塗平。
4. 將所有塗好白膠之葉片放入烘箱中，設定溫度 35 度，30 分鐘後取出並換邊烘乾，總共烘乾 1 小時，將烘乾後的葉片取出，將膠帶背面先做上標記（貼小圓貼紙）後小心脫模，收入夾鏈袋中保存。
5. 利用厚度計量測得乾式膠帶厚度。
6. 用光學顯微鏡觀察膠帶表面。
7. 用無痕掛勾黏貼於乾式膠帶的背面，將要黏貼膠帶的玻璃表面擦拭乾淨，以去除灰塵及髒污。
8. 將各種葉子模板之乾式膠帶用力黏壓於玻璃表面，並確定已平整黏貼於玻璃表面。
9. 以 2 克砝碼一個個接著吊掛於掛鉤上，測試可承受之重量，每掛滿 20 克後換成一個 20 克之砝碼，並重新接著以 2 克砝碼一個個吊掛，重複循環至膠帶脫落為止，計算可承受之砝碼總克數，實驗重複三次並記錄。

	
<p>以透氣膠帶圍成的塗白膠區域</p>	<p>塗抹白膠後於烘箱烘乾</p>
	
<p>塗抹 0.5 克之白膠</p>	<p>測量乾式膠帶之厚度</p>
	
<p>將乾式膠帶壓黏於玻璃表面</p>	<p>將乾式膠帶壓黏於金屬表面</p>

圖 6 以葉片為模版的乾式膠帶製作過程




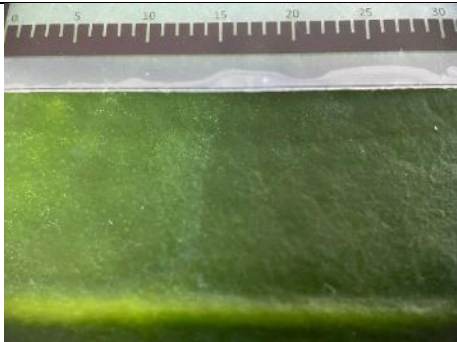


圖 7 乾式膠帶掛重實驗

(四) 實驗結果：

1. 我們使用微距鏡來觀察葉子表面，發現以下的不同（圖 8）：

- (1) 構木：葉子上有一點一點細毛狀的凹凸不平。
- (2) 福木：葉子較硬挺，表面光滑但有一些小洞。
- (3) 變葉木：有明顯的葉脈，表面上有許多大的凹洞。
- (4) 馬拉巴栗：葉片柔軟，葉脈很密集，一直延伸。
- (5) 茄苳：葉子上有小洞，葉脈明顯。
- (6) 大葉欖仁：很大一片，葉脈很明顯。

種類	葉片(巨觀)	葉片(微觀)
構木		
福木		

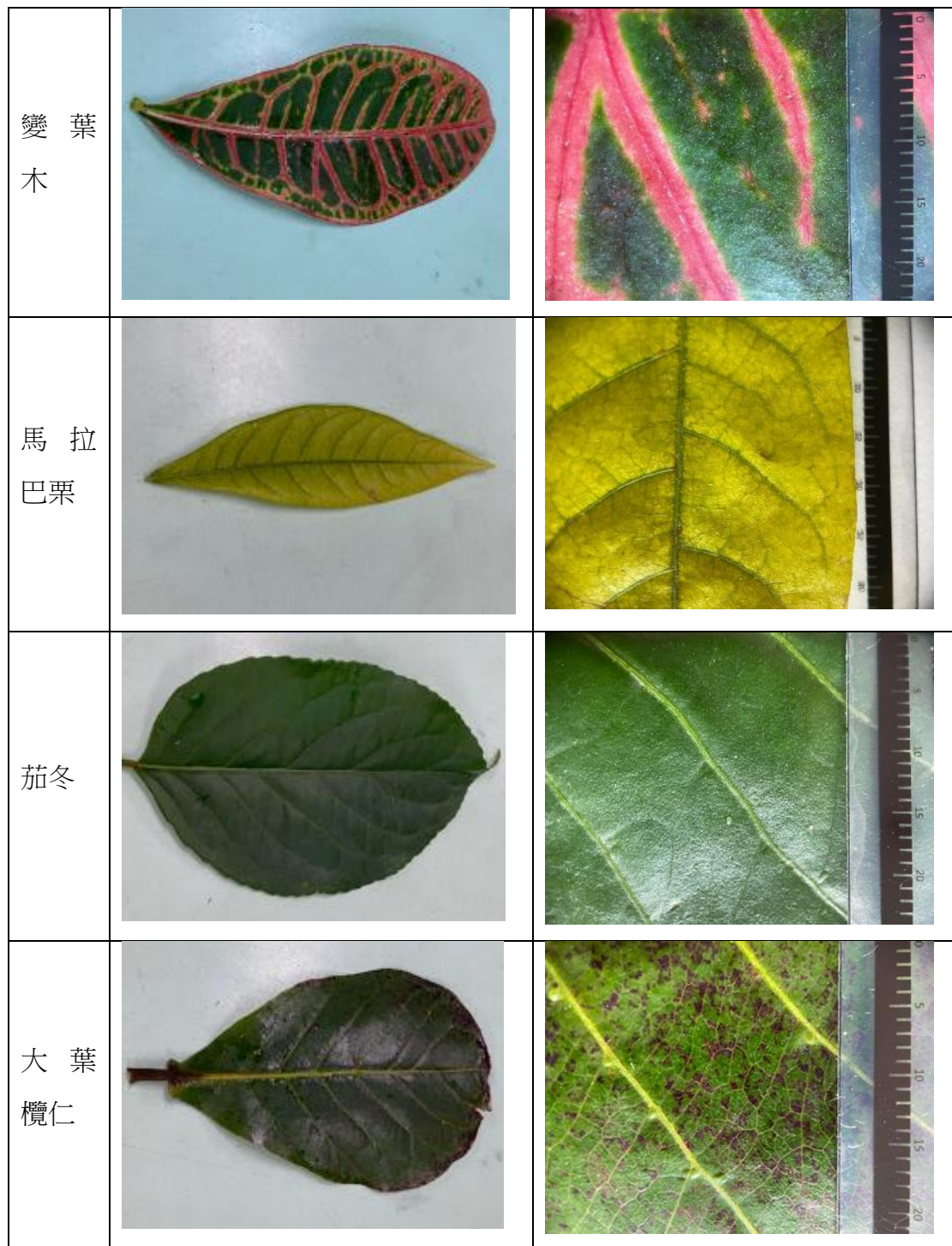


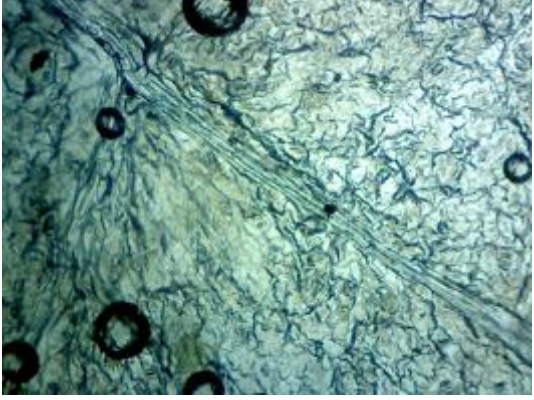
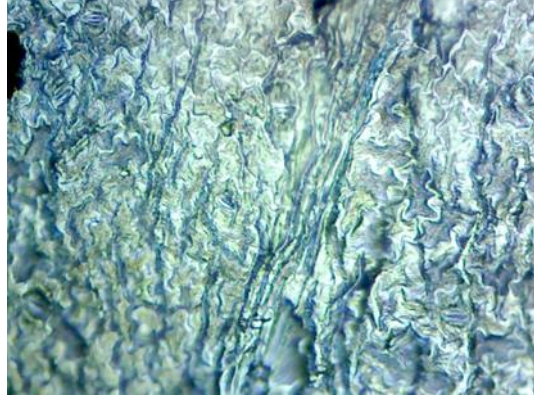
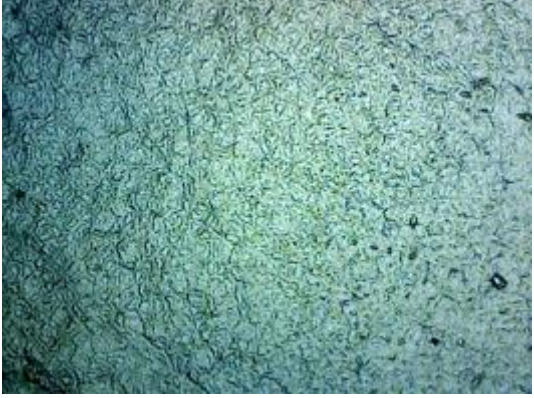
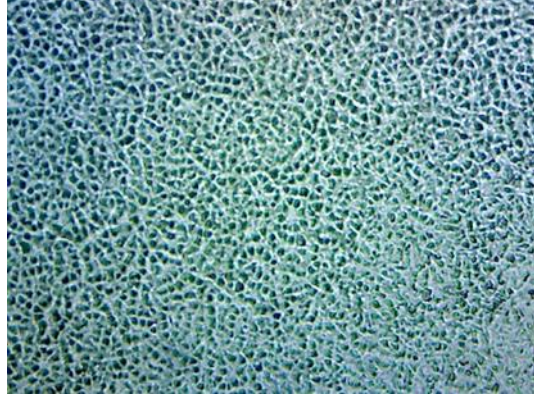
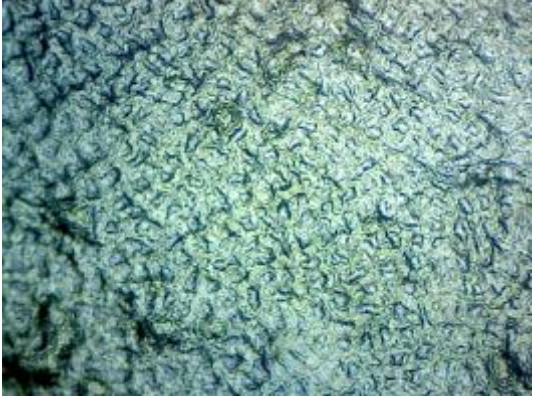
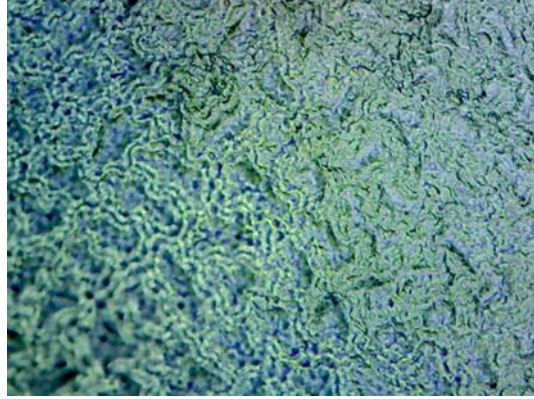
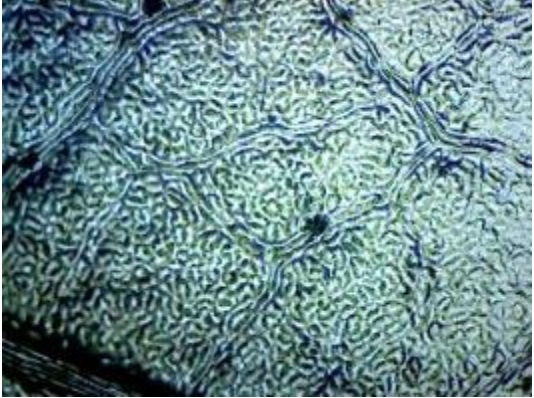
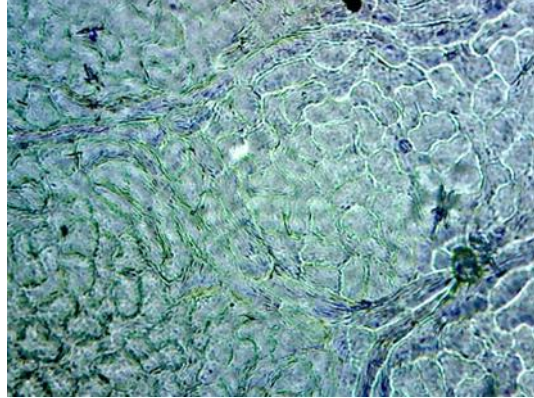
圖 8 手機和手機微距鏡觀察樹葉表面

2. 膠帶面之觀察結果，我們使用光學顯微鏡來觀察以葉子為模版之膠帶表面，發現以下的不同（圖 9）：

- (1) 構木：膠帶表面的凹凸不規則，葉脈所形成之凹凸很明顯。
- (2) 福木：膠帶表面的凹凸較為細緻，而且形狀規則。
- (3) 變葉木：膠帶表面的凹凸形狀較為規則，但較福木的凹凸更為粗大。
- (4) 馬拉巴栗：膠帶表面的凹凸較為細緻，而且形狀規則。

(5) 茄苳：膠帶表面的凹凸不規則，葉脈所形成之凹凸很明顯。

(6) 大葉欖仁：膠帶表面的凹凸不規則，葉脈所形成之凹凸非常粗大。

種類	以低倍鏡觀察 (4*20x)	以高倍鏡觀察 (10*20x)
構木		
福木		
變葉木		
馬拉巴栗		

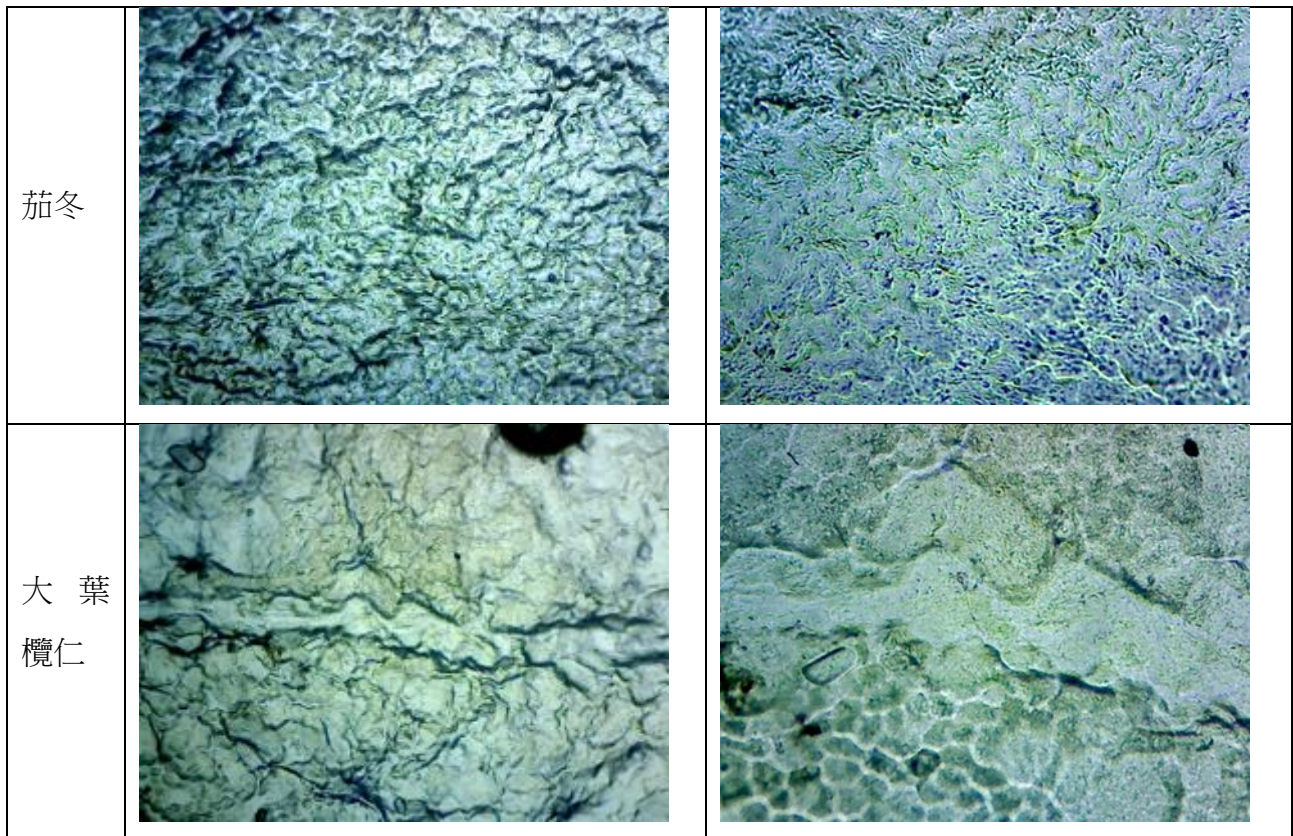


圖 9 光學顯微鏡觀察以葉片為模版製作之乾式膠帶表面

2. 以葉片為模版之膠帶掛重結果，我們發現以葉子為模版製作的乾式膠帶黏性都不是太好，其中第一次掛種較好的是福木與馬拉巴栗為模版製作的膠帶，可以掛重 10 克，馬拉巴栗製作的膠帶平均掛種是 12 公克；其次福木製作的膠帶，平均掛重約 5 至 6 克；構樹和變葉木為模版製作的膠帶，可以黏在玻璃上但不太能掛重，最多為 2 至 4 克；以茄苳與大葉欖仁製作的膠帶則是完全不能掛重，一放上砝碼就會脫落（表 3、圖 10）。

表 3 以樹葉為模版之乾式膠帶掛重量測記錄

掛重量測次數	葉片種類					
	構樹	福木	變葉木	馬拉巴栗	茄苳	大葉欖仁
第 1 次 (g)	2	10	0	10	×	×
第 2 次 (g)	4	2	2	14	×	×
第 3 次 (g)	0	4	0	12	×	×
平均掛重 (g)	2	5.33	0.67	12	×	×

(×：表示乾式膠帶無法吸附於玻璃上)

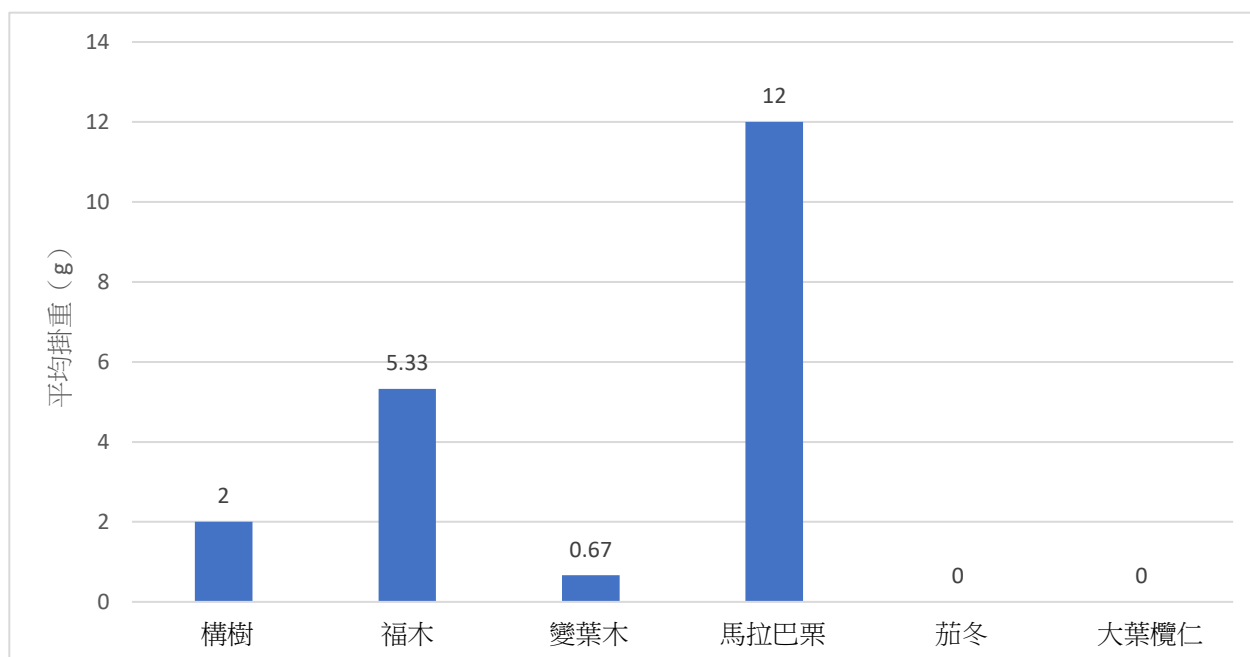


圖 10 以樹葉為模版之乾式膠帶平均掛重量測記錄

(五) 困難解決：

1. 在製作以葉子為模版的膠帶，我們遇到的困難是發現若烘乾時間過久，葉子會乾裂而困難脫模，有些葉子也會捲曲變形造成膠帶不平整，所以我們將烘乾時間調整為一小時，沒有完全乾的部分以陰乾的方式處理，這樣就可以維持膠體的完整性。
2. 我們也嘗試使用葉面具疏水性的荷葉與芋頭葉為模版製作乾式膠帶，因荷葉與芋頭葉的疏水性，白膠塗在葉面上不用塗上洗碗精即可脫模，但乾式膠帶無法掛種。當我們塗上洗碗精於荷葉與芋頭葉上，因為兩種葉面都有奈米尺度結構，白膠乾掉後並無法順利脫模會黏在葉子上。

實驗三 比較各種生活用品為模版製作的乾式膠帶

(一) 實驗目的：

由於實驗二葉子作為模版發現福木因表面較硬挺與光滑平整，所以作為模版的乾式膠帶是實驗過數種葉子第一次掛重較佳的。因此實驗三希望利用常見平整的生活用品為模板，嘗試看看白膠在這些用品形成乾式膠帶的可行性。

(二) 實驗器材：

載玻片、鋁箔、光碟片、投影膠片、塑膠盒蓋、上釉瓷器、白膠、透氣膠帶、電子秤、3M 掛勾、砝碼。

(三) 實驗步驟：

1. 首先尋找較平整的生活用品：載玻片、鋁箔、光碟片、投影膠片、塑膠盒蓋、上釉瓷器（圖 11）。







		
載玻片	鋁箔	光碟片
		
投影膠片	塑膠盒蓋	上釉瓷器

圖 11 六種生活用品

2. 將上述六種生活用品以清水清洗乾淨後，以擦拭紙將多餘水份擦乾。
3. 調配脫模劑（水：清潔劑的體積比為 10：1），利用棉花棒將脫模劑均勻塗抹到六種生活用品上。
4. 等待數分鐘後，脫模劑乾掉，裁剪透氣膠帶，將透氣膠帶分別黏貼到六種生活用品的平整面上，所黏貼圍成的面積為 $2 \times 3 \text{cm}^2$ 。
5. 將六種生活用品依序放置到電子秤上，以冰棒棍沾白膠到透氣膠帶黏貼圍成的面積內，白膠重量約為 0.5 克重。
6. 利用冰棒棍將六種生活用品上的白膠盡量塗抹均勻，而後將載玻片、鋁箔、光碟片三種模版放置到溫度為 35°C 的烘箱中烘乾 30 分鐘，之後取出置於大氣環境中陰乾。投影膠片、塑膠盒蓋、上釉瓷器三種模版則直接置於大氣環境中陰乾。

- 將乾掉的白膠連同透氣膠帶從六種生活用品上撕下，乾掉白膠黏貼生活用品那一面為正面，接著以剪刀剪裁掉透氣膠帶，使乾掉的白膠面積為 $2 \times 3 \text{cm}^2$ 。
- 利用厚度計量測以六種生活用品為模版所製作的乾式膠帶厚度，並求得平均厚度值（圖 12）。





			
透氣膠帶黏貼	秤重 0.5g 白膠	冰棒棍塗抹均勻	膠體厚度計量測

圖 12 膠體製作與厚度計量測

- 將面積為 $2 \times 3 \text{cm}^2$ 的乾式膠帶的正面黏貼到擦拭乾淨的玻璃上，利用市售掛勾膠條黏貼到乾式膠帶的反面，用手指用力壓緊 10 次，再將塑膠掛勾黏到掛勾膠條上。
- 將砝碼掛上塑膠掛勾上，量測以六種生活用品為模版所製作的乾式膠帶的掛重，並求得平均掛重值（圖 13）。

			
乾式膠帶黏貼到玻璃上	掛勾膠條黏貼到乾式膠帶	塑膠掛勾黏到掛勾膠條上	砝碼掛上塑膠掛勾測掛重

圖 13 掛重實驗過程

（四）實驗結果：

- 利用常見且表面平整的生活用品為模版，嘗試看看白膠在這些用品形成乾式膠帶的可行性。本次實驗烘箱加大氣陰乾和直接大氣陰乾的乾式膠帶外觀相似都很平整，且白膠做的乾式膠帶用手觸摸完全沒有殘膠殘留。
- 表 4 為六種生活用品所做的乾式膠帶厚度量測的記錄，由此表可知不論是烘箱加大氣陰乾和直接大氣陰乾的乾式膠帶厚度皆很相似。

3. 表 5 則是六種生活用品所做的乾式膠帶掛重量測的記錄，表中可以發現烘箱加大氣陰乾的乾式膠帶以光碟片所製作的乾式膠帶掛重平均可達 146g，而載玻片所製作的乾式膠帶當掛上 2g 砝碼，乾式膠帶無法吸附於玻璃上。而鋁箔製作的乾式膠帶掛重平均只有 8.6g。
4. 表 5 也可發現直接大氣陰乾的乾式膠帶塑膠類的生活用品（投影片與塑膠盒蓋）的平均掛重皆>600g;而用上釉瓷器製作的乾式膠帶平均掛重約 217g。
5. 由上述 3 和 4 發現不論是烘箱加大氣陰乾或直接大氣陰乾所製作的乾式膠帶，塑膠類生活用品為模版的乾式膠帶掛種都較佳。

表 4 以生活用品為模板之乾式膠帶厚度量測記錄

厚度量測次數	生活用品					
	烘箱加大氣陰乾			直接大氣陰乾		
	載玻片	鋁箔	光碟片	投影膠片	塑膠盒蓋	上釉瓷器
第 1 次 (mm)	0.54	0.25	0.36	0.28	0.26	0.41
第 2 次 (mm)	0.28	0.25	0.28	0.34	0.26	0.35
第 3 次 (mm)	0.34	0.21	0.26	0.33	0.28	0.41
平均厚度 (mm)	0.39	0.24	0.30	0.32	0.27	0.39

表 5 以生活用品為模板之乾式膠帶掛重量測記錄

掛重量測次數	生活用品					
	烘箱加大氣陰乾			直接大氣陰乾		
	載玻片	鋁箔	光碟片	投影膠片	塑膠盒蓋	上釉瓷器
第 1 次 (g)	×	10	198	>600	>600	360
第 2 次 (g)	×	10	140	600	>600	180
第 3 次 (g)	×	6	100	580	>600	210
平均掛重 (g)	×	8.6	146	>600	>600	217

(×：表示乾式膠帶無法吸附於玻璃上)

實驗四 比較常用塑膠材質為模版製作的乾式膠帶

(一) 實驗目的：

由實驗三日常用品材質為模版所製作的乾式膠帶發現塑膠材質作為模版的膠帶掛重較佳。所以實驗四希望探討常見塑膠材質為模版，嘗試看看白膠在常用塑膠材質形成乾式膠帶的可行性。

(二) 實驗器材：

聚碳酸酯（PC）、聚苯乙烯（PS）、聚對苯二甲酸乙二醇酯（PET）、聚丙烯（PP）、均聚聚丙烯（PPH）、高密度聚乙烯（HDPE）、聚乳酸（PLA）、白膠、透氣膠帶、電子秤、3M掛勾、砝碼

(三) 實驗步驟：

1. 首先尋找生活常用塑膠材質：聚碳酸酯（PC）、聚苯乙烯（PS）、聚對苯二甲酸乙二醇酯（PET）、聚丙烯（PP）、均聚聚丙烯（PPH）、高密度聚乙烯（HDPE）、聚乳酸（PLA）（圖 14）。在這些塑膠材質上可以找到各自的材質標章（圖 15），而聚碳酸酯（PC）則是因為查資料發現光碟片的基材為聚碳酸酯（PC）。








			
PC	PS	PET	PPH
			
PP	HDPE	PLA	

圖 14 常用塑膠材質



	
PET 材質標章	PLA 材質標章

圖 15 PET 與 PLA 的材質標章

- 將上述七種日常用塑膠以清水清洗乾淨後，以擦拭紙將多餘水份擦乾。
- 調配脫模劑（水：清潔劑的體積比 = 10：1），利用棉花棒將脫模劑均勻塗抹到聚碳酸酯（PC）、聚苯乙烯(PS)、聚對苯二甲酸乙二醇酯（PET）、聚丙烯（PP）、均聚聚丙烯（PPH）、高密度聚乙烯（HDPE）、聚乳酸（PLA）的平整面上。
- 經數分鐘後，待脫模劑乾掉，裁剪透氣膠帶，將透氣膠帶分別黏貼到聚碳酸酯（PC）、聚苯乙烯（PS）、聚對苯二甲酸乙二醇酯（PET）、聚丙烯（PP）、均聚聚丙烯（PPH）、高密度聚乙烯（HDPE）、聚乳酸（PLA）的平整面上，所黏貼圍成的面積為 $2 \times 3 \text{cm}^2$ 。
- 將七種日常用塑膠依序放置到電子秤上，以冰棒棍沾白膠到透氣膠帶黏貼圍成的面積內，秤白膠重量約為 0.5 克重（圖 16）。

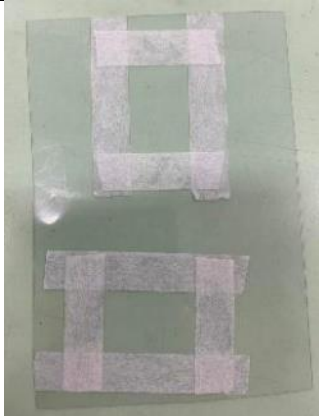


		
透氣膠帶黏貼	秤重 0.5g 白膠	冰棒棍塗抹均勻

圖 16 膠體製作過程

- 利用冰棒棍將七種日常用塑膠上的白膠盡量塗抹均勻，置於大氣環境中直接陰乾。
- 將乾掉的白膠連同透氣膠帶從七種日常用塑膠上撕下，乾掉白膠黏貼日常用塑膠那一面為正面，接著以剪刀剪裁掉透氣膠帶，使乾掉的白膠面積為 $2 \times 3 \text{cm}^2$ 。

8. 利用厚度計量測以七種日常用塑膠為模板所製作的乾式膠帶厚度，並求得平均厚度值。
9. 將面積為 $2 \times 3 \text{cm}^2$ 的乾式膠帶的正面黏貼到擦拭乾淨的玻璃上，利用市售掛勾膠條黏貼到乾式膠帶的反面，用手指用力壓緊 10 次，再將塑膠掛勾黏到掛勾膠條上。
10. 將砝碼掛上塑膠掛勾上，量測以七種日常用塑膠為模板所製作的乾式膠帶的掛重，並求得平均掛重值（圖 17）。

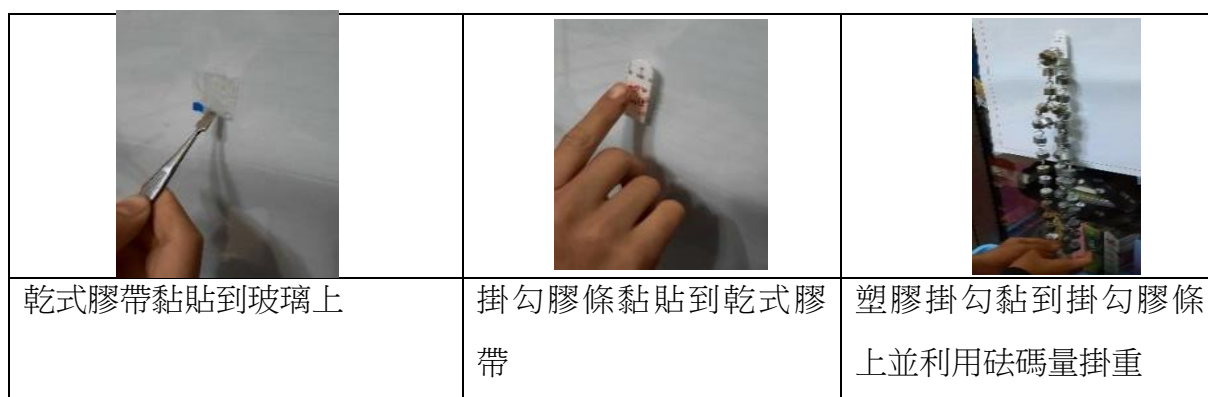


圖 17 掛重實驗過程

（四）實驗結果：

1. 實驗四希望探討常見塑膠材質為模版，嘗試看看白膠在這些塑膠上形成乾式膠帶的可行性。本次實驗直接大氣陰乾後的乾式膠帶外觀相似都很平整，呈透明狀，且白膠做的乾式膠帶用手觸摸完全沒有殘膠殘留。
2. 表 6 為七種日常用塑膠所做的乾式膠帶厚度量測的記錄，由表 6 可知在日常用塑膠上直接陰乾製作的乾式膠帶平均厚度皆很相似。

表 6 七種日常用塑膠所做的乾式膠帶厚度量測記錄

厚度量測 次數	日常用塑膠						
	直接大氣陰乾						
	PC	PS	PET	PP	PPH	HDPE	PLA
第 1 次 (mm)	0.20	0.44	0.30	0.28	0.41	0.23	0.30
第 2 次 (mm)	0.21	0.45	0.28	0.34	0.40	0.22	0.30
第 3 次 (mm)	0.23	0.44	0.22	0.33	0.42	0.27	0.38
平均厚度 (mm)	0.21	0.45	0.30	0.27	0.41	0.24	0.33

3. 表 7 則是七種日常用塑膠所做的乾式膠帶掛重量測的記錄，表中可以發現以聚碳酸酯（PC）、聚對苯二甲酸乙二醇酯（PET）、聚乳酸（PLA）三者所製作的乾式膠帶首次掛重皆可達 2000g 重以上。

表 7 七種日常用塑膠所做的乾式膠帶掛重量測記錄

掛重量測 次數	日常用塑膠						
	直接大氣陰乾						
	PC	PS	PET	PP	PPH	HDPE	PLA
第 1 次 (g)	2137.5	351.5	2486	440.2	80	501.5	2490
第 2 次 (g)	740.5	521.5	300	390.6	46	422	2161.5
第 3 次 (g)	461	622.5	460	310.8	60	365	1410.14
平均掛重 (g)	1112.8	498.4	1082.0	380.5	62	429.5	2020.5

- 由表 7 及圖 18 可發現日常塑膠所製作的乾式膠帶以聚乳酸 (PLA) 的掛重最佳，第一次掛重可達 2490 克，而第二次與的三次掛重減少最少，以乾式膠帶面積 6cm²，可得單位面積掛重為 415g/cm²。
- 以聚乳酸 (PLA) 為模版所製作的乾式膠帶可掛 3 瓶 650 毫升的礦泉水(見圖 19)。

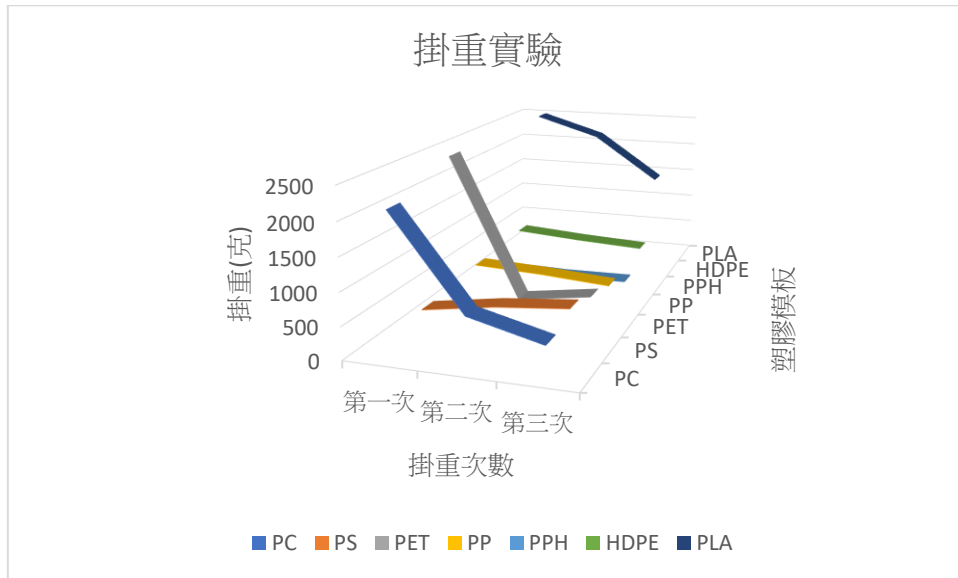


圖 18 七種常用塑膠所做的乾式膠帶之掛重結果



圖 19 用聚乳酸(PLA)模版所製作的乾式膠帶掛礦泉水

6. 雖然前述實驗以聚乳酸（PLA）為模版所製作的乾式膠帶掛重最佳，然而因我們的膠帶需要表面平整的模版，而回收的平整聚乳酸（PLA）塑膠目前只在少許的裝蛋蛋盒有看到(通常於有機食品商店比較可能取得)。相較於回收聚乳酸（PLA）塑膠，學校和家中有很多不用及廢棄的光碟片，其基材為聚碳酸酯（PC），非常容易取得，所以我們利用生活常見容易取得的聚碳酸酯（PC）為模版進行改善乾式膠帶掛重實驗。取用不同重量的白膠以聚碳酸酯（PC）為模版製作乾式膠帶，並量測其厚度及掛種，實驗結果如下表 8 與 9。我們發現乾式膠帶厚度會隨白膠增加而變厚。而膠帶掛重則以 0.2 克和 0.5 克的白膠所製作的膠帶掛重較以 0.8 克和 1.0 克的白膠製作的膠帶佳。

表 8 不同白膠重量以聚碳酸酯（PC）為模板所做的乾式膠帶之厚度量測記錄

掛重量測次數	模版材質：聚碳酸酯（PC）			
	白膠 0.2g	白膠 0.5g	白膠 0.8g	白膠 1.0g
第 1 次（mm）	0.19	0.20	0.74	0.72
第 2 次（mm）	0.12	0.21	0.51	0.8
第 3 次（mm）	0.19	0.23	0.37	0.5
平均厚度（mm）	0.166	0.213	0.54	0.673

表 9 不同白膠重量以聚碳酸酯（PC）為模板所做的乾式膠帶的掛重量測記錄

掛重量測次數	模版材質：聚碳酸酯（PC）			
	白膠 0.2g	白膠 0.5g	白膠 0.8g	白膠 1.0g
第 1 次（g）	2511.5	2137.5	683	585
第 2 次（g）	1707.0	740.5	715	850
第 3 次（g）	1290	461	720	1004.5
平均掛重（g）	1836.1	1112.8	706	813

7. 我們也嘗試利用聚碳酸酯（PC）為模版製作的乾式膠帶進行不同溫度(60°C、40 °C、32°C、-20 °C)處理 30 分鐘，其中 60°C、40 °C、32°C 是利用烘箱加熱，而-20 °C 則是利用冷凍冰櫃，並量測其在玻璃的掛重，實驗結果如下表 10。

表 10 聚碳酸酯（PC）為模版所做的乾式膠帶經不同處理溫度的掛重量測記錄

掛重量測次數	模版材質：聚碳酸酯（PC）				
	60°C	40°C	35°C	32°C	-20°C
第 1 次（g）	×	×	198	340	510
第 2 次（g）	×	×	140	540	544.5
第 3 次（g）	×	×	100	480	160
平均掛重（g）	×	×	146	453.33	404.8

（×：表示膠體無法吸附於玻璃牆面上）

我們發現處理溫度高(60 °C 與 40°C)乾式膠帶無法掛任何重量，而將乾式膠帶於 35°C、32°C 與-20°C 處理則膠帶可以掛重，我們推測是膠帶內部含水量的影響。

8. 為了探討含水量對膠帶掛重的影響，我們將白膠加入一定量過濾水攪拌均勻(白膠:水重量比=10:1、10:2、10:3、10:4)，並利用聚碳酸酯（PC）為模版，直接大氣陰乾，製作乾式膠帶，之後量測其對玻璃的掛重，實驗結果如下表 11，由表中可以發現白膠:水重量比=10:2 的膠帶掛種最重，即使掛完實驗室所有的砝碼(3251g)，仍可吸附於玻璃牆面上(單位面積掛重>541.83g/cm²)。

表 11 不同水含量的白膠以聚碳酸酯（PC）塑膠所做的乾式膠帶掛重量測記錄

掛重量測次數	模版材質：聚碳酸酯（PC）			
	白膠:水 10:1	白膠:水 10:2	白膠:水 10:3	白膠:水 10:4
第 1 次（g）	1142	>3251	1667.5	392.5
第 2 次（g）	1327	>3251	1466.5	1354
第 3 次（g）	1349.5	>3251	1198	1015
平均掛重（g）	1272.8	>3251	1444	920.5

實驗五 比較乾式膠帶在不同牆面材質的載重效果

（一）實驗目的：

由實驗四得知白膠加水製作乾式膠帶可以改善其掛重，特別是白膠:水的重量比為 10:2 時，以聚碳酸酯（PC）為模版，直接大氣陰乾所製作的膠帶掛重效果最好。因此

我們用這個比例自製膠帶，測試吸附於不同牆面材質的載重效果，實驗採用生活中常見的牆面材質包括：鐵櫃、冰箱、白板與瓷磚。

(二) 實驗器材：

鐵櫃、冰箱、白板、瓷磚、白膠、透氣膠帶、電子秤、3M 掛勾、砝碼。

(三) 實驗步驟：

自製乾式膠帶實驗步驟同前述(見實驗四)，將自製膠帶吸附於玻璃、鐵櫃、冰箱、白板與瓷磚上，並測量載重效果(圖 20)，其中吸附牆面為玻璃的實驗為實驗四加水改良自製膠帶的掛重實驗。




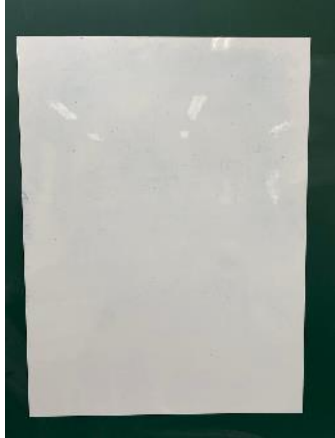

		
玻璃	鐵櫃	冰箱
		
白板	瓷磚	

圖 20 不同吸附牆面材質

(四) 實驗結果：

1. 掛重實驗結果與實驗四玻璃牆面吸附材質相比較，掛重結果統整在表 12。由表中可發現玻璃、鐵櫃、冰箱、白板與瓷磚五種牆面材質的掛重效果以玻璃材質最佳，可以載重高達 3251g 以上，其次為冰箱牆面，平均載重可達 3056g，再其次為浴廁磁磚牆面，平均載重可

達 2259.33g，至於鐵櫃和白板平均載重都未達 1000g。由此可見自製膠帶吸附於玻璃、冰箱和磁磚都可以達到 2200g 以上的良好載重效果，我們自製膠帶的面積為 6cm²，經計算膠帶在冰箱和磁磚材質單位面積掛重分別為 509.3 g/cm²與 376.6g/cm²，尤以在玻璃材質的掛重效果最佳，單位面積掛重可高達>541.83g/cm²。

表 12 不同牆面材質的乾式膠帶掛重量測記錄

掛重量測次數	牆面材質				
	玻璃	鐵櫃	冰箱	白板	磁磚
第 1 次 (g)	>3251	1462	4137.5	224	2761
第 2 次 (g)	>3251	767	1746.5	297	1969
第 3 次 (g)	>3251	621.5	3284	161.5	2048.5
平均掛重 (g)	>3251	950.17	3056	227.33	2259.33
單位面積掛重(g/cm ²)	>541.83	158.36	509.3	37.9	376.6

伍、討論

一、白膠的主要成分為聚醋酸乙烯酯（圖 21）和水，聚醋酸乙烯酯化學式(C₄H₆O₂)_n 是一種有彈性和極性的合成聚合物，由過醋酸乙烯酯的聚合而製備的，聚醋酸乙烯酯在水中為乳劑形式，作為多孔材料，廣泛地用於黏合木頭或其他材料（維基百科，2022）。我們在實驗中發現白膠於某些材質（例如：塑膠）乾燥翻模後，於玻璃牆面具有良好的吸附效果。

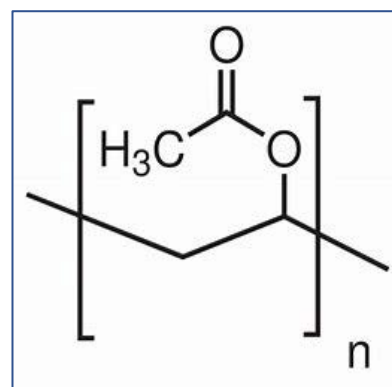


圖 21 聚醋酸乙烯酯分子結構

二、原先以為利用葉片表面的紋路可以製作出類似壁虎腳膠帶的效果，但是結果和預期的並不一致，我們發現葉片紋路越明顯，葉脈越粗大，或表面越不規則的，黏性就越差，像是茄苳和大葉欖仁的模版；而葉脈較為細緻，凹凸不那麼巨大，形狀較為規則的馬拉巴栗和福木的模版，就還有一些黏著力和可以承受一些重量。推測葉子的紋路越大，葉脈的部分會明顯凸起，製作出的乾式膠帶就無法黏在接觸表面，也就不太能掛重。

三、利用平整的生活用品為模版，以白膠做為膠體在這些用品上形成乾式膠帶以烘箱加大氣陰乾和直接大氣陰乾的乾式膠帶外觀相似都很平整，且白膠做的乾式膠帶用手觸摸完全沒有殘膠殘留，所以以白膠做成的乾式膠帶黏貼原理並不是一般膠水的黏貼原理。不論是烘箱加大氣陰乾和直接大氣陰乾的乾式膠帶，其掛重較佳的模版是塑膠類的光碟片、投影膠片、塑膠盒蓋；非塑膠類的模版平均掛重表現較差，推測原因可能是塑膠的成分造成的影響。

四、直接大氣陰乾的掛重較烘箱加大氣陰乾的乾式膠帶掛重較佳，可能的原因是乾式膠帶含水量多寡的差異。直接大氣陰乾的乾式膠帶可能含水量較烘箱加大氣陰乾的乾式膠帶多，所以掛重較重。

五、利用七種日常用塑膠材質為模版製作的乾式膠帶，外觀都很平整，且用手觸摸完全沒有殘膠殘留，且可黏貼在平整面上。我們去搜尋七種日常用塑膠的特性(分子式、結晶性、熔點與是否具極性)，並與表 7 各類塑膠的掛重結果統整在下表 13。可以發現日常用塑膠有無結晶與熔點高低並不會影響乾式膠帶的掛重，反而是塑膠分子式和有無極性會與乾式膠帶的掛重有關，當所用的塑膠模板分子含有氧原子或具極性，例如：聚碳酸酯（PC）、聚對苯二甲酸乙二醇酯（PET）、聚乳酸（PLA）所製作的乾式膠帶掛重均較高。

表 13 七種日常用塑膠的掛種與特性

	日常用塑膠						
	PC	PS	PET	PP	PPH	HDPE	PLA
平均掛重 (g)	1112.8	498.4	1082.0	380.5	62	429.5	2020.5
分子式	$(C_{16}H_{14}O_3)_n$	$(C_8H_8)_n$	$(C_{10}H_8O_4)_n$	$(C_3H_6)_n$	$(C_3H_6)_n$	$(C_2H_4)_n$	$(C_3H_4O_2)_n$
結晶性	無	無	半結晶	結晶	結晶	結晶	半結晶
熔點(°C)	250	160	260	165	165	142	180
極性	極性	弱	極性	無	無	無	極性

六、一般清潔劑的分子是一端為親水端，一端為親油端，當脫模劑（稀釋的清潔劑）塗在極性高分子上，脫模劑的親水端會吸附在極性塑膠上(如圖 22)，清潔劑分子層會排列較整齊，而脫模劑的親水端並不會吸附在非極性塑膠上(如圖 20)，清潔劑分子層排列較混亂。當塗上白膠（聚醋酸乙烯酯）時，因白膠分子式為 $(C_4H_6O_2)_n$ ，亦屬於極性分子，白膠分子會在空間按一定取向排列，乾式膠帶在極性塑膠上形成時其與玻璃間的吸附力也會較在非極性塑膠上形成時大，所以乾式膠帶在極性塑膠上形成時的掛重也較大。

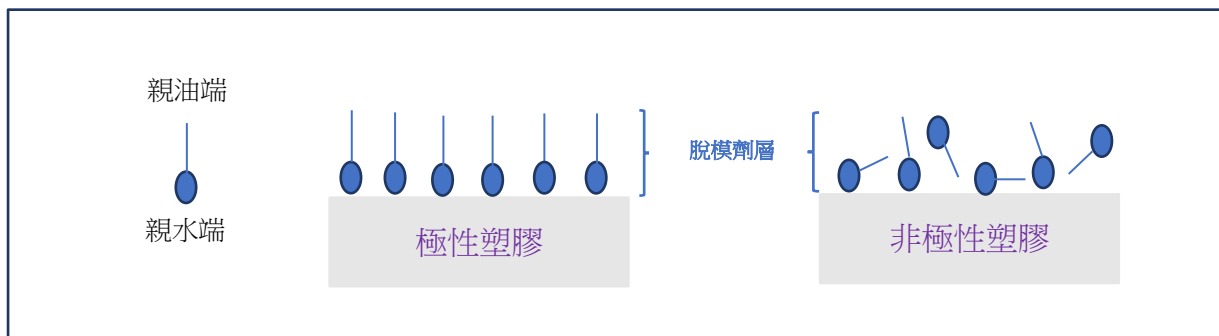


圖 22 脫模劑(清潔劑)分子在極性與非極性塑膠模版示意圖

七、不同白膠重量以聚碳酸酯（PC）為模版製作的乾式膠帶，以 0.2 克的白膠所製作的乾式膠帶掛重最佳，但因 0.2 克白膠製作的膠帶厚度太薄不易從模板取下(常會破掉)，所以我們製作乾式膠帶的白膠最佳重量為 0.5 克。

八、乾式膠帶經不同處理溫度會影響其掛重，處理溫度高(60°C 與 40°C)的膠帶含水量低，乾式膠帶觸摸起來乾乾的，掛重不佳。而雖然-20°C 低溫處理會使膠帶內部水分減少，但-20°C 的膠帶置於室溫下會因表面低溫凝結水滴使膠帶軟化而具有掛重能力。

九、以聚碳酸酯（PC）為模版，將白膠加入一定量過濾水攪拌，當白膠:水重量比=10:2 時膠帶掛重最高(>3251g，單位面積掛重>541.83g/cm²)，主要原因是當白膠含適當含水量可使膠帶軟化與玻璃牆接觸面積可以更多吸附力更強，如下圖 23 所示。含水量較多的膠帶較軟比較能貼合玻璃表面的凹凸部位，所以掛種高。但含水量太多可能讓自製膠帶內含白膠比例變少(白膠較稀)，所以乾式膠帶的掛重也不佳。

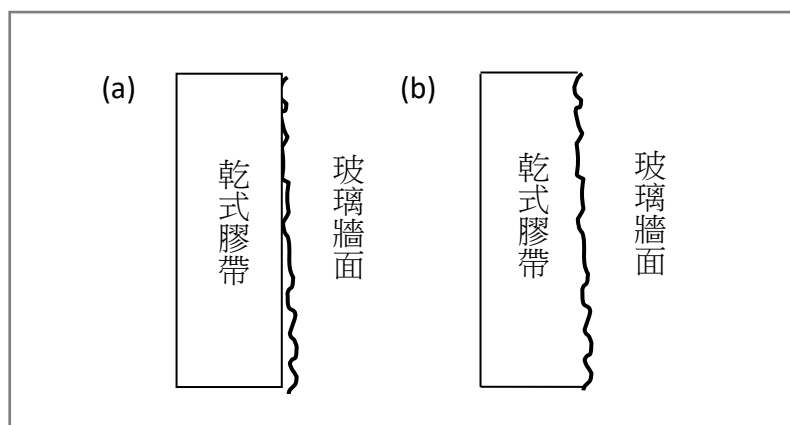
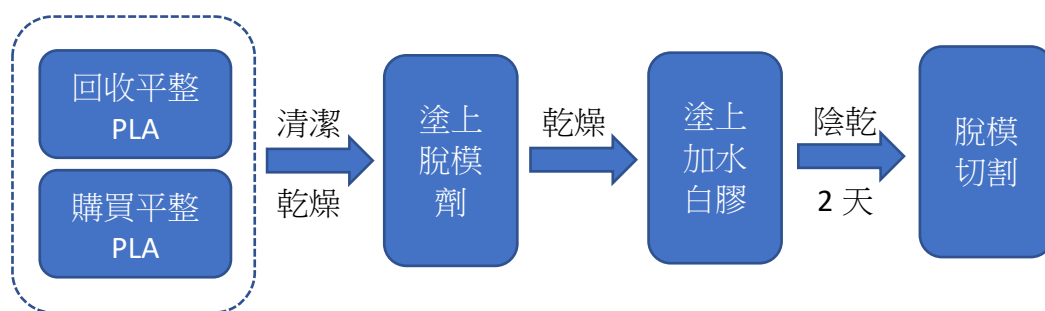


圖 23 (a)含水量較低乾式膠帶

(b)含水量較高乾式膠帶吸附玻璃牆面顯示與玻璃表面不同接觸面積

十、雖然我們最佳掛重的自製乾式膠帶是利用加入一定量過濾水的白膠並以生活容易取得的聚碳酸酯（PC）為模版所做的膠帶，但我們推測如果自製乾式膠帶是使用加入一定量過濾水的白膠並搭配聚乳酸（PLA）為模版，所製作出的乾式膠帶掛重將更好，但因平整聚乳酸（PLA）回收取得不易，所以以下是我們規劃的聚乳酸（PLA）模版之乾式膠帶量產流程圖。其中聚乳酸（PLA）模版的收集我們將分為回收平整 PLA（可回收 PLA 蛋盒，每個蛋盒平整面積約為 25cm^2 ）與購買平整 PLA 模版（網路售價: NT\$7 元/ 25cm^2 ），若所收集的 PLA 模版面積為 1200cm^2 ，同時陰乾時間 2 天，則平均每天可量產 100 片面積為 $2\times 3\text{cm}^2$ 的乾式膠帶，而過度使用損壞的 PLA 模版則可以進行堆肥循環再分解。



十一、不同牆面材質會影響乾式膠帶的載重效果，以玻璃的黏著力最好，其次是冰箱，浴室磁磚，而鐵櫃和白板的黏著度較差。我們推測不同表面的黏著力及載重效果和牆面材質表面粗糙與否有關。表面越不粗糙越光滑，自製膠帶與牆面材質接觸面積會越大，膠帶經按壓後與牆面會越伏貼，兩者間的附著力也會增加，掛重也會越重。實驗結果顯示膠帶在玻璃牆面掛重最高，我們以手觸摸比較五種材質的表面光滑程度，發現玻璃表面最不粗糙最光滑，自製膠帶掛重效果最好。鐵櫃表面有部分有風化生鏽，白板經使用後導致兩者表面均較玻璃粗糙，因而使得自製膠帶與鐵櫃及白板表面伏貼度下降，造成膠帶掛重較差。

十二、我們去查網路資料了解至少有三家商業化公司有生產壁虎膠帶(Gecko tape)，第一家是 NANOGRIPTECH，使用微機電製程。第二家是日東電工(Nitto Denko)使用奈米碳管(CNT)做剛直物。第三家是 Felsuma 使用軟/硬複合材料的結合概念，製作成 Geckskin 墊料，是將一種由柔軟彈性材質，織入由 Kevlar 或碳纖維製成的堅硬布料。我們嘗試寄 email 給三家公司的客服部門詢問售價，有兩家公司回覆(Nitto Denko 與 Felsuma 公司)，日東電工

(Nitto Denko)告知我們目前已不生產壁虎膠帶(我們推測是奈米碳管價格太高，使得產品售價太高市場接受度不佳，CNT 網路售價約 600 元/cm²)，而 Felsuma 公司客服則給我們相關產品的售價連結。下表 14 為我們的最佳掛重乾式膠帶與 Nitto Denko 與 Felsuma 公司的膠帶掛重及售價比較。從表中可發現我們的自製膠帶每平方公分的掛重較 Nitto Denko 與 Felsuma 公司佳，同時每片成本不到 0.1 元。

表 14 我們的最佳掛重乾式膠帶與商用膠帶的比較

乾式膠帶種類	掛重	售價或成本(元)
Nitto Denko 公司	500g/cm ²	成本高已不生產
Felsuma 公司	32g/cm ²	每片售價 18 元~240 元(最便宜到最貴)
我們的膠帶	>541.83g/cm ²	<0.1 元(每片成本)

陸、結論

- 一、我們可利用不同模版材質以白膠製作出低成本並可調控不同掛重的乾式膠帶，膠帶可從每平方公分掛重數克至數百克。而白膠做的乾式膠帶用手觸摸完全沒有殘膠殘留，其黏貼原理和一般膠水的黏貼原理不同，製作乾式膠帶的膠體中，以「白膠」的吸附力最佳，是製作乾式膠帶的良好材料。
- 二、以葉子為模版製作的乾式膠帶黏性都不是太好，葉片紋路越明顯，葉脈越粗大，或表面越不規則的，膠帶黏性就越差。
- 三、以生活用品作為模版，直接大氣陰乾與烘箱加大氣陰乾的乾式膠帶厚度約在 0.24~0.39mm，不論是直接大氣陰乾或烘箱加大氣陰乾的乾式膠帶，其掛重以塑膠類的模版所製作的乾式膠帶較佳，直接大氣陰乾的乾式膠帶掛重較烘箱加大氣陰乾的乾式膠帶佳的原因可能是乾式膠帶內的含水量。
- 四、本次科展實驗我們回收日常用的塑膠材料作為模版製作乾式膠帶，賦予回收塑膠材料新應用價值，自製的乾式膠帶掛重以塑膠模版分子含有氧原子或具極性，例如：聚碳酸酯

(PC)、聚對苯二甲酸乙二醇酯 (PET)、聚乳酸 (PLA) 所製作的乾式膠帶掛重較高；日常用塑膠若為非極性塑膠則所製做的乾式膠帶掛重較低。

五、聚乳酸 (PLA) 作為模版所製作的乾式膠帶掛重最佳，第一次掛重可達 2490 克，單位面積掛重為 $415\text{g}/\text{cm}^2$ ；且聚乳酸 (PLA) 作為模板所製作的乾式膠帶第一次、第二次及第三次掛重衰減最少。

六、適當含水量可使膠帶軟化與玻璃牆接觸面積可以更多，掛重可以增加，例如：以聚碳酸酯 (PC) 為模版，將白膠加入一定量過濾水攪拌，當白膠:水重量比=10:2 時膠帶掛重最高($>3251\text{g}$ ，單位面積掛重 $>541.83\text{g}/\text{cm}^2$)，甚至較廠商發表的乾式膠帶掛重表現還好(例如日東(Nitto)電工 2015 年發表奈米碳管乾式膠帶，負重 $500\text{g}/\text{cm}^2$)。

七、我們的自製乾式膠帶可吸附在日常生活中常見的牆面材質包括：玻璃、鐵櫃、冰箱、白板，而自製膠帶與瓷磚牆面材質表面是否粗糙會影響自製膠帶的吸附力及掛重能力。以聚碳酸酯 (PC) 為模版，白膠:水的重量比為 10:2 的自製膠帶在磁磚的掛重可達到 2259.33g ，在冰箱上的掛重可達 3056g ，而在玻璃表面上的掛重甚至可達 3251g 以上的良好載重效果。

柒、參考文獻

毛英清 (1978)。極性及非極性分子的研究。第 18 屆全國中小學科展作品。

米三正信 (2004)。圖解生活化學世界。新北市：世茂。

林子捷、陳柏丞、吳楷銘、鍾宜璋 (2020)。仿生黏著設計及應用。化工，**67** (3)，9-27。

花岡邦明 (2006)。要命的清潔劑。台北市：新苗文化。

維基百科 (2022)。聚醋酸乙烯酯。2022 年 1 月 30 日，取自

<https://reurl.cc/VjMadY>

鍾宜璋 (2019)。向大自然界點子－仿生乾式膠帶。科學發展，**562**，64-69。

王雅諭(2020)。壁虎膠帶的商業化。2020 年 3 月 16 日，取自

<https://blogcastle.lib.fcu.edu.tw/archives/6036>

紡拓會市場開發處(2015)。仿生學：大自然的科學啟發高科技機能性成衣的設計。2015 年 9 月，取自

[http://monitor.textiles.org.tw/doc/%E5%B0%88%E9%A1%8C%E5%A0%B1%E5%91%8A\(%E7%B6%B2%E7%AB%99%E7%94%A8\)/20150915.pdf](http://monitor.textiles.org.tw/doc/%E5%B0%88%E9%A1%8C%E5%A0%B1%E5%91%8A(%E7%B6%B2%E7%AB%99%E7%94%A8)/20150915.pdf)

【評語】 082902

本作品以白膠做為乾式膠帶主要原料具有其新穎性，結合仿生學之自然覺知體驗從生活出發觀察壁虎的匙突，符合 108 課綱。學術或市場上均已有不錯的乾式膠帶研究與開發的成品，於實驗設計時建議乾式膠帶主要用途是重複使用性優先或是載重優先。乾式膠帶載重測試時建議個別取三片試驗後取其平均值，並測試其重複使用的次數與黏貼時間，將有助於呈現乾式膠帶之實用性。

作品簡報

有「膠」無痕

- 乾式膠帶的製造

國小組 生活與應用科學科(二)

研究動機

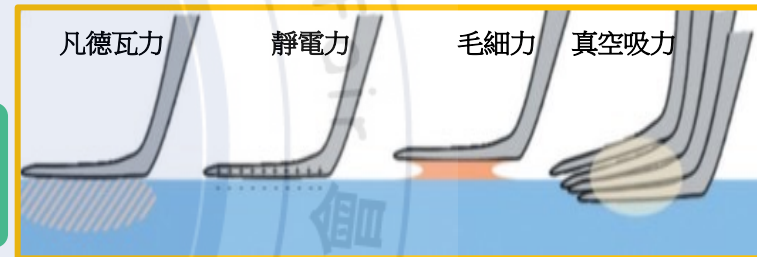
看到壁虎能克服地心引力爬牆

壁虎腳有數十億個匙突，受到下壓力時可產生附著力

仿壁虎腳的膠帶是研究壁虎腳的剛毛結構後所產生的

乾式膠帶的黏著力可來自凡得瓦力，靜電力，毛細力，真空吸力

發現白膠塗在手指也能做出可黏的乾式膠帶，好奇能否用做出類似的乾式膠帶



研究架構及方法



實驗一 探索各種材質製作的乾式膠帶

白膠、膠水、保麗龍膠、香梅糊



實驗二 比較校內樹葉為模版製作的乾式膠帶

福木、構木、變葉木、馬拉巴栗、茄冬、大葉欖仁

實驗三 比較生活用品為模版製作的乾式膠帶

載玻片、鋁箔、光碟片、投影膠片、塑膠盒蓋、上釉瓷器



實驗四 比較塑膠材質為模版製作的乾式膠帶

PC、PS、PET、PP、PPH、HDPE、PLA

實驗五 乾式膠帶在不同牆面材質的載重效果

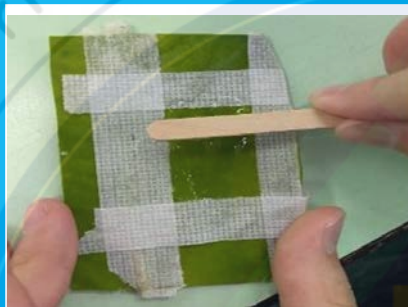
玻璃、鐵櫃、冰箱、白板與瓷磚



實驗一 探索各種材質製作的乾式膠帶



福木葉貼上2*3公分範圍的膠帶



均勻塗抹膠體在葉面上



白膠、膠水、保麗龍膠、醬糊各取0.5克均勻抹在葉面上

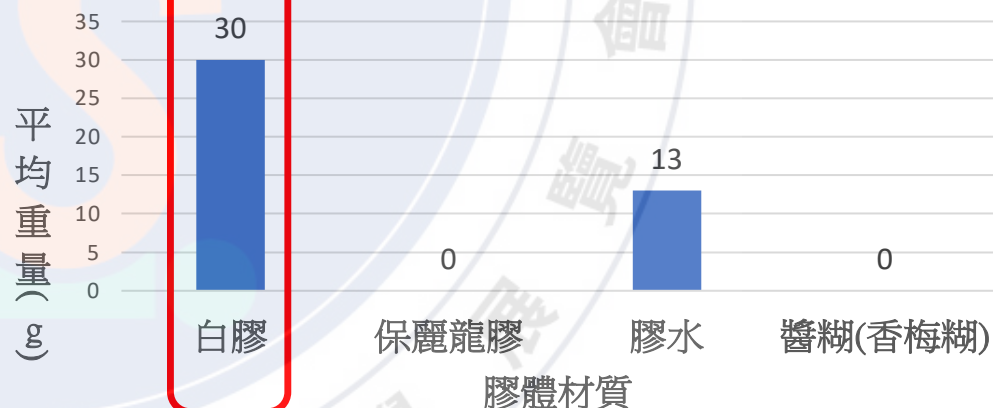


陰乾脫模的膠帶



懸掛砝碼掛重

四種膠體的載重結果



困難及解決

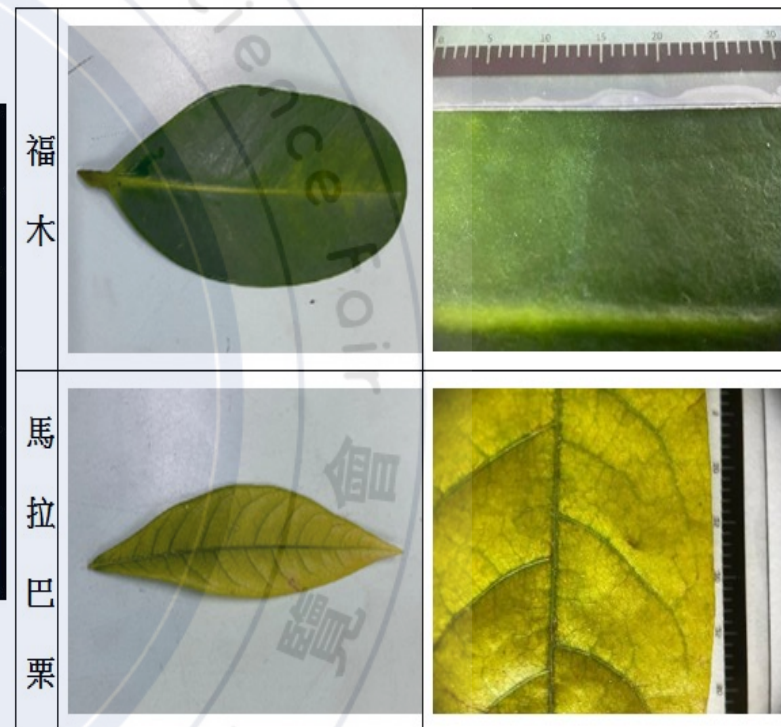
葉面脫模常會破裂 → 在葉面塗上脫模劑（洗碗精：水的體積比為1：10）

用**白膠**做出的膠體吸附力最佳，是製作膠帶的良好材質

實驗二 比較各種校內樹葉為模版製作的乾式膠帶

掛重量測次數	葉片種類					
	構樹	福木	變葉木	馬拉巴栗	茄苳	大葉欖仁
第1次 (g)	2	10	0	10	×	×
第2次 (g)	4	2	2	14	×	×
第3次 (g)	0	4	0	12	×	×
平均掛重 (g)	2	5.33	0.67	12	×	×

(×：表示乾式膠帶無法吸附於玻璃上)

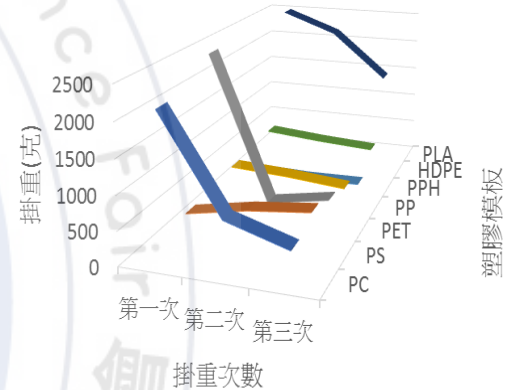


表面越光滑平整的樹葉製作出的膠帶掛重會越重

- ◆ 我們也嘗試使用具疏水性的荷葉與芋頭葉為模版製作乾式膠帶，白膠塗在葉面上不用預塗上脫模劑即可脫模，但**乾式膠帶無法掛重**。
- ◆ 當我們塗上脫模劑於荷葉與芋頭葉上，因為兩種葉面都有奈米尺度結構，白膠乾掉後並**無法順利脫模**會黏在葉子上。

實驗三/四 比較各種生活用品/常用塑膠材質 為模版製作的乾式膠帶

生活用品中以塑膠材質做出的
的膠帶掛重最好

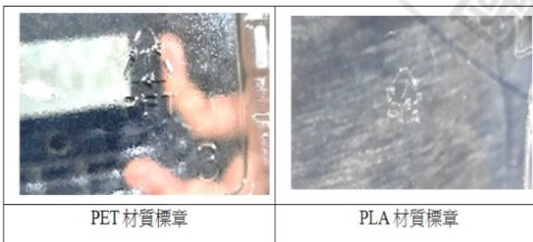


掛重量測次數	生活用品					
	烘箱加大氣陰乾			直接大氣陰乾		
	載玻片	鋁箔	光碟片	投影膠片	塑膠盒蓋	上釉瓷器
第1次 (g)	×	10	198	>600	>600	360
第2次 (g)	×	10	140	600	>600	180
第3次 (g)	×	6	100	580	>600	210
平均掛重 (g)	×	8.6	146	>600	>600	217

(×：表示乾式膠帶無法吸附於玻璃上)

塑膠好

聚乳酸 (PLA) 作為模
板所製作的乾式膠帶掛
重最佳，掛重最佳為
415g/cm²。



掛重量測 次數	日常用塑膠						
	直接大氣陰乾						
	PC	PS	PET	PP	PPH	HDPE	PLA
第1次 (g)	2137.5	351.5	2486	440.2	80	501.5	2490
第2次 (g)	740.5	521.5	300	390.6	46	422	2161.5
第3次 (g)	461	622.5	460	310.8	60	365	1410.14
平均掛重 (g)	1112.8	498.4	1082.0	380.5	62	429.5	2020.5

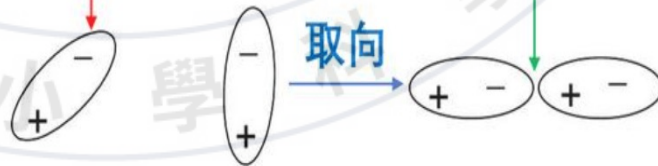
日常用塑膠

	PC	PS	PET	PP	PPH	HDPE	PLA
平均掛重 (g)	1112.8	498.4	1082.0	380.5	62	429.5	2020.5
分子式	$(C_{16}H_{14}O_3)_n$	$(C_8H_8)_n$	$(C_{10}H_8O_4)_n$	$(C_3H_6)_n$	$(C_3H_6)_n$	$(C_2H_4)_n$	$(C_3H_4O_2)_n$
結晶性	無	無	半結晶	結晶	結晶	結晶	半結晶
熔點(°C)	250	160	260	165	165	142	180
極性	極性	弱	極性	無	無	無	極性

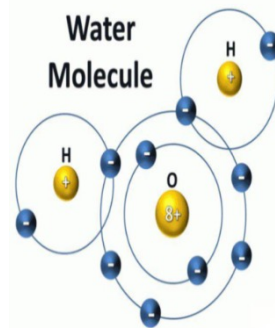
PC、PET、PLA的膠體掛重佳，這三種塑膠的共通點是都含有氧原子，推測是因為氧原子比較容易讓這三種塑膠產生極性。

極性：正負電荷中心不重合
(偶極)

吸引力

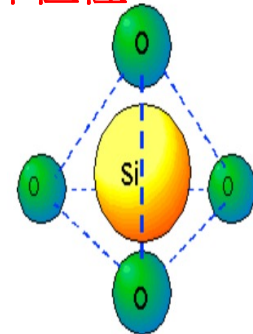


極性

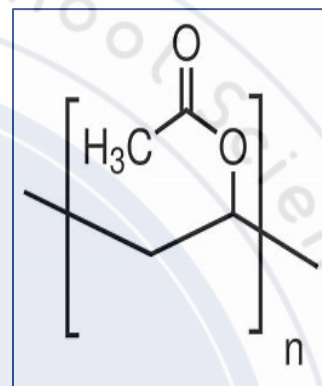
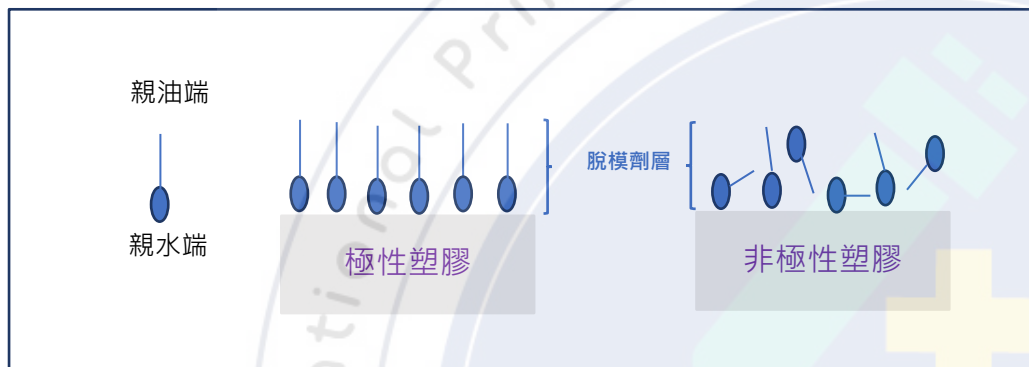


氧較會吸引電子

非極性

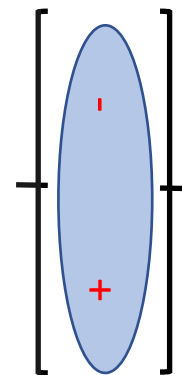


為什麼極性塑膠模版好?



分子式(C₄H₆O₂)_n

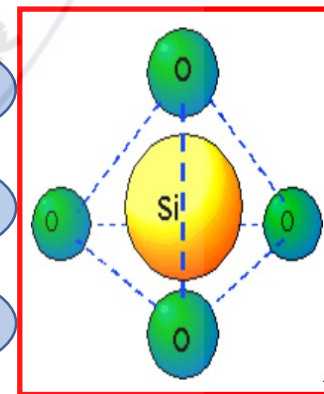
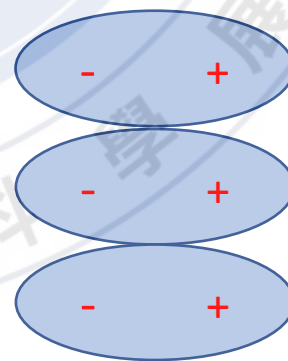
極性單體(monomer)



白膠（聚醋酸乙烯酯）為極性分子

- ◆ 脫模劑分子一端為親水端，另一端為親油端，當塗在極性塑膠上，脫模劑的親水端會吸附在極性塑膠上排列整齊，相較於極性塑膠脫模劑的親水端並不會吸附在非極性塑膠上，清潔劑分子層排列較混亂。
- ◆ 在脫模劑上塗上白膠時，因白膠屬於極性分子，白膠分子會在空間按一定取向排列，乾式膠帶在極性塑膠上形成時其與玻璃間的吸引力也會較在非極性塑膠上形成時大，所以乾式膠帶在極性塑膠上形成時的掛重也較大。

較有取向排列的單一白膠分子(n=3)與玻璃牆黏貼示意圖

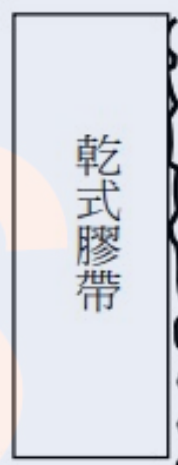


不同水含量白膠的掛重量測（以聚碳酸酯PC為模板）

掛重量測 次數	模版材質：聚碳酸酯（PC）			
	白膠：水 10:1	白膠：水 10:2	白膠：水 10:3	白膠：水 10:4
第1次（g）	1142	>3251	1667.5	392.5
第2次（g）	1327	>3251	1466.5	1354
第3次（g）	1349.5	>3251	1198	1015
平均掛重 （g）	1272.8	>3251	1444	920.5

無加水膠體 & 有加水膠體的比較

白膠無加水



玻璃牆面

白膠加水（10:2）



玻璃牆面

- 白膠沒加水無法使膠體軟化，黏性較差。
- 白膠加水太多，白膠比例被稀釋，黏性隨之下降。
- 適當的含水量白膠：水（10：2）可軟化膠體，含有較多氧原子，比較容易產生極性，與牆面緊密貼合。

實驗五 不同的牆面材質的掛重結果

實驗五 不同牆面材質的掛重結果

掛重量測次數	牆面材質				
	玻璃	鐵櫃	冰箱	白板	磁磚
第1次 (g)	>3251	1462	4137.5	224	2761
第2次 (g)	>3251	767	1746.5	297	1969
第3次 (g)	>3251	621.5	3284	161.5	2048.5
平均掛重 (g)	>3251	950.2	3056	227.3	2259.3
單位面積掛重 (g/cm ²)	>541.8	158.4	509.3	37.9	376.6

我們的膠體適合黏貼在光滑的牆面，黏貼在玻璃與冰箱的掛重 > 500g/cm²，

我們的最佳掛重乾式膠帶&商用膠帶的比較

乾式膠帶種類	Nitto Denko公司	Felsuma公司	我們的膠帶
掛重 (g/cm ²)	500	32	>541.83
售價或成本	成本高 已不生產	每片售價 18-240元 (最便宜到最貴)	<0.1元 (每片成本)

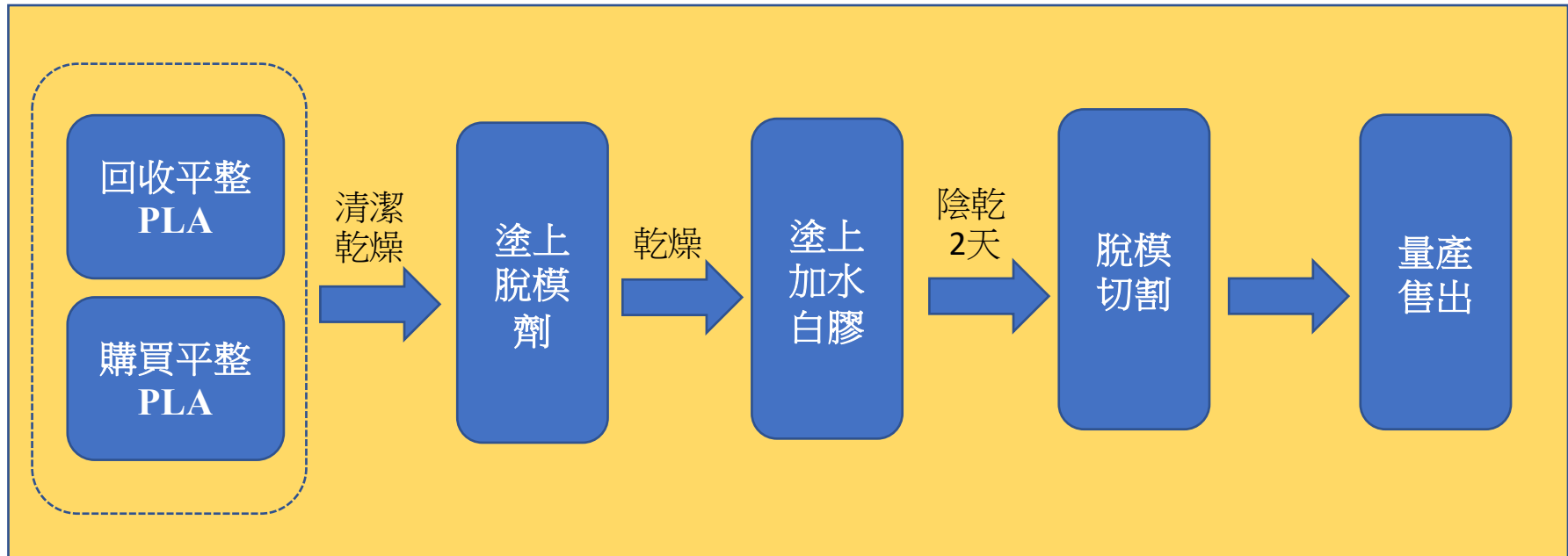
我們的自製膠帶每平方公分掛重較Nitto Denko與Felsuma公司佳，每片成本不到0.1元。

Geckskin 號稱堅固到一塊約 125cm x 75cm 的布料，可以撐得住超過 300 公斤的重量。
此外，當它附著在平滑的表面譬如玻璃時，可以很容易就移開，不會留下殘餘物。Felsuma 公司表示，Geckskin 在衣服、工業與醫療市場上的應用範圍廣泛，潛力無窮。

財經節目 CNN Monday 指名 Geckskin 為 2012 年頂尖科學突破之一；它也是 FabricLink

資料來源：紡拓會市場開發處 (2015)。仿生學：大自然的科學啟發高科技機能性成衣的設計。
 2015年9月，取自 <https://reurl.cc/g2ANVb>

我們規劃的乾式膠帶量產流程圖



- 回收平整PLA（可回收PLA蛋盒，每個蛋盒平整面積約為 25cm^2 ）與購買平整PLA模版（網路售價：NT\$7元/ 25cm^2 ）。
- 若所收集的PLA模版面積為 1200cm^2 ，則平均每天可量產100片面積為 $2\times 3\text{cm}^2$ 的乾式膠帶，而過度使用損壞的PLA模版則可以進行堆肥循環再分解。

結論

- 一、我們可利用不同模版材質以白膠製作出低成本並可調控不同掛重的乾式膠帶，膠帶可從每平方公分掛重數克至數百克。乾式膠帶的製作材料以白膠最佳，白膠做的乾式膠帶完全沒有殘膠殘留，黏貼原理和一般膠水不同。
- 二、以葉子為模版製作的乾式膠帶黏性都不好，葉脈越粗大不規則，掛重越差。
- 三、以生活用品作為模版製作的膠體，其掛重以塑膠類模版所製作的乾式膠帶較佳。
- 四、我們回收日常用的塑膠材料作為模版製作乾式膠帶，賦予回收塑膠材料新應用價值，自製的乾式膠帶掛重以塑膠模版分子含有氧原子或具極性所製作的乾式膠帶掛重較高，例如：聚碳酸酯（PC）、聚對苯二甲酸乙二醇酯（PET）、聚乳酸（PLA）。
- 五、PLA 作為模版所製作的乾式膠帶掛重最佳，乾式膠帶第一次、第二次及第三次掛重衰減最少。
- 六、適當含水量可使膠帶軟化與玻璃牆接觸面積可以更多，當白膠：水重量比=10：2 時膠帶掛重最高（>3251g，單位面積掛重>541.83g/cm²），甚至較廠商發表的乾式膠帶掛重表現佳。
- 七、我們的自製乾式膠帶可吸附在日常生活中常見的牆面材質包括：玻璃、鐵櫃、冰箱、磁磚、白板，牆面材質表面是否粗糙，會影響自製膠帶的吸附力及掛重能力。

參考文獻：毛英清（1978）。極性及非極性分子的研究。第18屆全國中小學科展作品。

王雅諭（2020）。壁虎膠帶的商業化。2020年3月16日，取自<https://blogcastle.lib.fcu.edu.tw/archives/6036>

米三正信（2004）。圖解生活化學世界。新北市：世茂。

林子捷、陳柏丞、吳楷銘、鍾宜璋（2020）。仿生黏著設計及應用。化工，67（3），9-27。

花岡邦明（2006）。要命的清潔劑。台北市：新苗文化。

紡拓會市場開發處（2015）。仿生學：大自然的科學啟發高科技機能性成衣的設計。2015年9月，取自<https://reurl.cc/g2ANVb>

維基百科（2022）。聚醋酸乙烯酯。2022年1月30日，取自<https://reurl.cc/VjMadY>

鍾宜璋（2019）。向大自然界點子—仿生乾式膠帶。科學發展，562，64-69。