

中華民國第 61 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

團隊合作獎

082911

口罩「國家隊」→「地球環保隊」—自製 PLA
口罩與收集全分解制度

學校名稱：裕德學校財團法人新北市裕德高級中等學校

作者： 小五 謝丞喆 小五 江奕勳 小五 吳泉孟 小五 謝其臻 小五 林筱映 小五 辛晴芷	指導老師： 賴明遠
---	------------------

關鍵詞：聚乳酸 PLA、不織布、收集全分解制度

摘要

疫情導致醫療口罩需求與丟棄暴增，讓石化塑膠污染日趨嚴重。我們從自製聚乳酸 PLA 環保口罩過程中，發現新創減塑、友善地球元素可能性。首先改裝棉花糖機、自製鑿孔鐵罐頭加上 5 克重 PLA 粒子加熱抽短纖維；篩選幾種加熱器具實驗後，用離子夾模擬熱黏合法的「熱軋」模式成功將短纖維→不織布；以自製 PLA 不織布當口罩本體，搭配鈕扣型耳掛(布縫橡皮筋)兼具舒適、牢靠度與可重複再使用。與國家隊口罩實驗比較，發現外層撥水性與內層透氣性都較佳。

為了讓口罩「國家隊」晉升為「地球環保隊」，本研究以日常生活用簡單工具自製口罩、檢測並規劃符合 PLA 特性的全分解制度，減少塑料泛濫對於地球的負擔。期望達到「**口罩保護人類、人類愛護地球**」的雙贏境界。

Abstract

The epidemic has led to a large number of discarded the surgical masks, and it has been resulted more and more serious pollution of petrochemical plastic. From the process of making our own polylactic acid PLA environmental masks, we discovered the possibility of creating new, plastic-reducing and eco-friendly. First, refit the cotton candy machine, self-made the perforated iron cans, and add 5 grams of PLA chips to heat the staple fibers; after select several heating appliances, the Ion clamp simulation bonding method is simulated by the ion clamp, and the PLA staple are successfully combined to be Non-woven fabric; The self-made PLA non-woven fabric are used as the mask body with button-type ear hooks, which are comfortable, reliable and eco-friendly. By the experiment we made, compared with the national team masks, it has found that the water repellency of the outer layer and the air permeability of the inner layer are better.

In order to promote the “National Team” to the “Earth Environmental Protection Team”, our research uses simple tools for daily life to make PLA masks, test and plan a set of recycling systems that meet PLA characteristics and indeed reduce the burden of plastic flooding how on the planet. To achieve“masks protect human, human cherish the Earth”.

壹、研究動機

2019 爆發的新冠肺炎直到現在 2021 都還是非常嚴重，人類除了勤洗手之外，最重要的是戴醫療口罩來保護自己和週遭人們。曾經印象非常深刻的一幕是在自然課時，老師播放了一段影片看到一隻海龜因鼻孔插入**塑膠吸管**差點死亡，令我們十分震撼！現在，很容易就可以發現與觀察到被丟棄的口罩在海灘和海裡到處都是，甚至有位**法國**的阿伯說：「廢棄口罩可能已經比水母還多(以前有無限隻水母在海裡漂來漂去，參考資料 1)」。而大量口罩所使用的原料幾乎都是塑膠，包含 PP 和 PE(不織布)、PET 和 PU(耳掛)、PVC(鼻樑)等(參考資料 2)，這些口罩的產品部件都屬於一次性使用，用完即丟！完全不能回收！只能焚燒造成空氣污染或是變成垃圾直接丟進海裡。如果不解決這個逐漸變嚴重的問題，相信很快地就會再次親眼目睹誤食口罩的無辜動物瀕臨死亡可怕的一幕！

這一幕讓我們產生了研究動機，思考用 **PLA** 來取代目前口罩用的塑料。這是一種由玉米纖維製成的生物可分解材料，中英文名叫做聚乳酸 **PLA(Poly Lactic Acid)**，它可以在大概半年到一年的期間在土壤裡自然分解成 $H_2O + CO_2$ (參考資料 3)。如果回收後以焚燒方式處理，也不需要擔心像傳統塑膠 PP、PE、PET、PU 和 PVC 一樣燃燒後會排放有害氣體(參考資料 4)。因此，我們先找文獻進行認識與研究有關於不織布的製程原理與方法，挑選日常生活用的簡單工具，透過多項實驗 DIY 自製 **PLA** 口罩。再與市售國家隊的口罩實驗比較，針對內、外層、耳掛和鼻樑部件，分別做**檢測實驗**。最後，我們團隊成員們試著針對 **PLA** 的分解特性，思考如何規畫和建立一套較可行的口罩收集全分解制度，期望能真正達成**零廢棄塑料**，確實減少地球的負擔，達到「**口罩保護人類、人類愛護地球**」的雙贏境界。

貳、研究目的

一、以環保原料聚乳酸 PLA 與日常生活用簡單工具，自製研發口罩實驗。

- (一)加熱 PLA 粒子進行抽短纖維實驗。
- (二)加熱加壓 PLA 纖維製成不織布實驗。
- (三)自製口罩耳掛實驗。
- (四)自製口罩鼻樑實驗。
- (五)以市售口罩為對照例完成 PLA 口罩內、中、外層實驗。

二、與市售國家隊相比較，自製 PLA 口罩的檢測實驗。

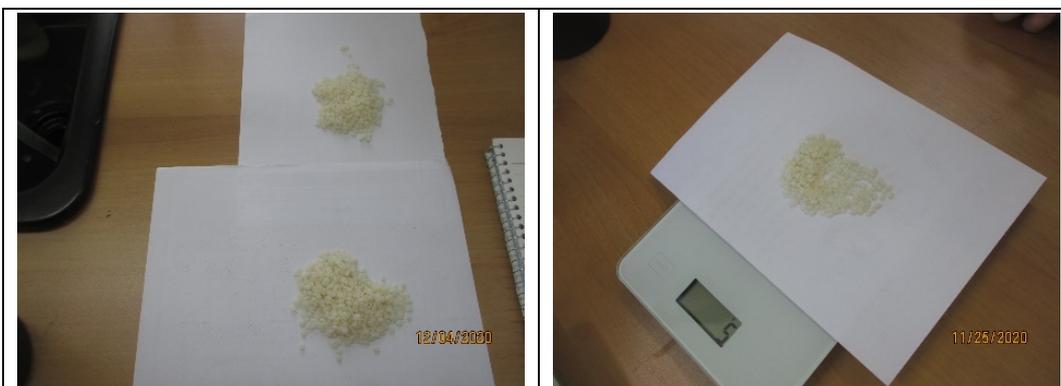
- (一)(外層)撥水性實驗。
- (二)(內層)透氣性實驗。
- (三)(耳掛)舒適度實驗。
- (四)(鼻樑)舒適度實驗。
- (五)成本分析。

三、建立 PLA 口罩全分解制度，有效自然分解地球零負擔。

- (一)調查目前臺灣塑膠的回收情況。
- (二)自製 PLA 口罩降解實驗。
- (三)依 PLA 特性規畫口罩全分解制度

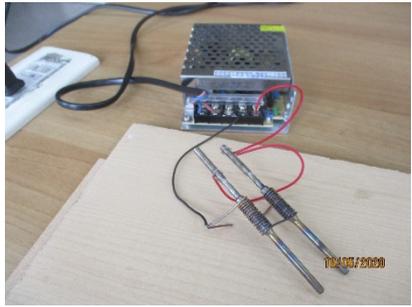
參、研究設備及器材

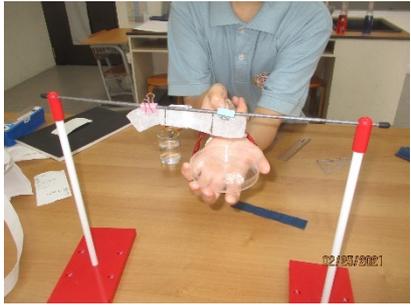
一、環保原料聚乳酸 PLA 粒子和取得來源：



NatureWorks LLC.

二、日常生活用簡單工具：

		
<p>預熱塞+交流變直流電轉換器</p>	<p>12V 車用直流電池</p>	<p>三用電錶</p>
		
<p>3D 列印筆</p>	<p>電鑽+鑽頭+鐵製空罐頭</p>	<p>裁縫用椀子</p>
		
<p>紙板收集器</p>	<p>家用棉花糖機+測溫槍</p>	<p>梳子</p>
		
<p>家用護貝機+鋁箔紙</p>	<p>家用電磁爐+鐵鍋+玻璃微波盒</p>	<p>家用吹風機</p>

		
<p>棉布手套</p>	<p>離子夾</p>	<p>布(耳掛部分)</p>
		
<p>橡皮筋</p>	<p>鈕扣+棉線+魔鬼氈</p>	<p>家用封口機</p>
		
<p>實驗架+夾子+培養皿</p>	<p>3ml 細針筒</p>	<p>水箱+紙杯</p>
		
<p>加熱板+小燒杯</p>	<p>有機土壤</p>	<p>肥料</p>

肆、研究過程或方法

這兩年新冠肺炎疫情肆虐人類，臺灣靠著口罩國家隊成功守護健康，請問大家知不知道口罩是用什麼原料製造的？(參考資料2)。答案令人驚訝的是，口罩所使用的原料幾乎都是塑膠，包含PP和PE(不織布)、PET和PU(耳掛)、PVC(鼻樑)等。這麼複雜的組合加上可怕的病毒，相信沒有一家資源公司敢分拆回收吧！如此一來，又是進焚化爐，產生的毒氣既污染空氣又不環保。有沒有兼具人民健康與地球環保兩全其美的方法呢？讓我們繼續看下去.....。

研究目的：自製PLA口罩

- (1)抽短纖維實驗：
 - 實驗①預熱塞+交直流電轉換器。
 - 實驗②3D列印噴頭或3D列印筆。
 - 實驗③改裝棉花糖機+自製鑿孔鐵罐頭+紙板收集器。
- (2)不織布實驗：
 - 實驗①護貝機冷、熱護貝裝置。
 - 實驗②電磁爐+鐵鍋+玻璃微波盒。
 - 實驗③吹風機+冷護貝。
 - 實驗④離子夾。
- (3)自製口罩耳掛實驗：
 - 實驗①粗棉線+橡皮筋+膠帶。
 - 實驗②細棉線+橡皮筋。
 - 實驗③中棉線綁辮子+加大橡皮筋。
 - 實驗④鈕扣型耳掛+橡皮筋。
 - 實驗⑤布縫橡皮筋。
 - 實驗⑥鈕扣型耳掛+布縫橡皮筋。
- (4)自製口罩鼻樑實驗：
 - 實驗①3D列印筆+一般口罩鼻樑。
 - 實驗②3D列印筆+尺。
 - 實驗③3D列印筆+鼻樑凹槽。
 - 實驗④3D列印筆+兩把尺間隔0.5cm。
- (5)自製口罩內、中、外層實驗：

研究目的：與口罩國家隊比較檢測實驗

- (1)外層撥水性實驗
 - 實驗①毛細現象實驗。
 - 實驗②噴水實驗。
 - 實驗③噴霧實驗。
- (2)內層透氣性實驗
 - 實驗①不透水實驗。
 - 實驗②蒸氣透過實驗。
- (3)耳掛舒適度實驗
 - 自製耳掛實驗①~⑥優點整理。
- (4)鼻樑舒適度實驗
 - 實驗①單雙芯鼻樑舒適度實驗。
- (5)成本分析：

研究目的：建立PLA口罩全分解制度

- (1)調查目前臺灣塑膠的回收情況。
- (2)自製PLA口罩降解實驗。
- (3)依PLA特性規畫口罩全分解制度。

結論
未來展望

心智圖(一)

動機 → 不希望悲劇重演，所以我們使用一種「耳掛」→ 用鈕扣，軟布，橡皮筋製作
綠色塑膠聚乳酸，PLA

PLA → 原料為玉米澱粉，具有可自然分解的特性 → 可重複使用，成本為 2.4元(2條)

自製 PLA 短纖維 → 我們想利用家用工具製作 PLA 短纖維
① 預熱塞無法達到 → 我們用自製鑿孔罐頭，改造棉花糖機，5g, 10g 的 PLA 175℃ (100℃) 加熱並射出纖維。
② 3D 列印筆粗細不一，結果和發現：10g 的 PLA 易糾結，之後以 5g 為主。

自製 PLA 不織布 → 我們想用日常用具模擬「熱風和熱軋」
① 護貝機 (熱軋) ③ 吹風機 + 護貝機 (熱風和熱軋)
結果：成膜 原因：滾輪轉速慢/固定 因安全疑慮，中止實驗
② 電磁爐 (熱軋) ④ 離子夾 (熱軋) 結果：成不織布 原因：溫度固定，速度固定
原因：無滾動

未來展望
· 複合材料結合
· PLA 解決 PLA
· 本身易裂特點
· 「口罩保護人類，人類愛護地球」

「分解」 → 把一般口罩和 PLA 不織布內外層放進土、肥料土、對照組。PLA 有明顯的裂解

鼻樑 → 用 3D 列印筆製成，製作成較單薄 → 會比較不易撕裂

PLA → 由玉米澱粉製成
① 預熱塞
② 3D 列印
③ 修改裝用棉花糖機
④ 護貝機
⑤ 電磁爐
⑥ 吹風機 + 護貝機
可重複使用
鈕扣 + 橡皮筋 + 布

回收制度 → 進行中, 人人有責

發現 → PLA 有較脆的性質

舒適性 → 凹凸不平的部分會不舒適, 眼鏡不會起霧

鼻樑 → 3D 列印筆, PLA 原料, 實驗
① 取一般鼻樑立在桌上 (較窄)
3D 列印筆沿著一般鼻樑製作 PLA 鼻樑
② 將一般的尺放在桌上
3D 列印筆沿著尺製作 PLA 鼻樑
③ 一般雙芯鼻樑平躺在桌上
3D 列印筆沿著雙芯鼻樑內的凹槽製作 PLA 鼻樑
④ 將兩把尺放在一起，中間相距 0.5 cm
3D 列印筆沿著兩把尺的中間製成 PLA 鼻樑
較容易固定形狀

材料 → 3D 列印筆, PLA 原料

實驗 → 失敗的原因：形狀不規則, 成功的原因：較容易固定形狀

3D 列印 → 分解後轉化成水和二氧化碳

地球環保隊

一) 口罩本體 → PLA 纖維 - 棉花糖機 5g PLA, PLA 不織布 - 離子夾, 撥水性實驗, 透氣性實驗, 不透水實驗, 蒸氣透過實驗, 舒適性 - 眼鏡起霧實驗

二) 耳掛 → 鼻樑: PLA 細條 (3D 列印筆), 舒適性: 眼鏡起霧實驗, 一開始我們認為橡皮筋是彈性很好，又是天然材質，比起現在口罩的耳掛 (PU) 好，又能克服 PLA 俱彈性的問題，但後來發無法回收，所以選擇橡皮筋重複利用。以下是實驗的過程 1~6

三) 回收制度

自製 PLA 口罩與回收制度

材料	固定方式	予適度	牢固度
1 粗棉線纏繞	膠帶 (圖 1)	耳朵會痛 X	容易鬆脫 X
2 細棉線纏繞		耳朵會痛 X	
3 粗棉線 + 粗橡皮筋	針線縫	無改善?	牢固
4 布以保麗龍膠固定 (圖 2)		彈性變差不舒適	
5 長度比橡皮筋長的棉布		改善許多 (佳) ✓	
6 棉布 + 布套 (圖 3)	改可拆式 (鈕扣)	佳 ✓✓	牢固方便 + 可重複用 O

圖 1: 粗棉線纏繞
圖 2: 布以保麗龍膠固定
圖 3: 布套可隨橡皮筋伸縮時完整包覆 → 舒適

心智圖(二)

自制PLA口罩與建立其收集分解制度

抽短纖維

- 失敗 自製棉花糖機 —— 預熱塞未能到達其溫度標準
- 失敗 3D列印機/筆 —— 3D列印使用的噴頭不夠細
- 成功 改進市售棉花糖機 —— 我們替換了原裝轉盤換成了打了洞的罐頭

壓不織布

- 失敗 護貝機 —— 無法準確控制溫度
- 失敗 電磁爐 —— 玻璃微波爐無移動PLA短纖維
- 失敗 吹風機 —— 人員安全疑慮
- 成功 離子夾 —— 可以完善控制溫度

撥水實驗

- PLA 毛細現象 —— PLA不織布吸水量較一般口罩少
- PLA 噴霧實驗 —— PLA不織布流下來的水量較一般口罩多

透氣實驗

- 一樣 不透水實驗 —— 雙方皆具備高不透水性
- PLA 蒸氣透過 —— 上方鋪有PLA不織布的燒杯內含水量較鋪有一般口罩的燒杯少

成本計算

- 口罩本體: $PLA \text{ 粉子 } 170 \div 1000 = 0.17$, $0.17 \times (5+10) = 2.55 \text{ 元}$
- 耳掛: $0.4 \times 4 + 0.65 \times 2 + 0.14 \times 2 = 3.18 \text{ 元}$ → 因會重複利用PLA以成本會下降
- 鼻架: $PLA \text{ 原料 } 3 \div 100 = 0.03$, $0.03 \times 7 = 0.09 \text{ 元}$, $2.55 + 0.09 = 2.64 \text{ 元}$

對照組 國家隊

第35天 肥料棉機(模擬堆肥) 有機土

第42天 開始碎裂

第49天 碎成更多片(面積變)

第58天 顏色變深 第60天 盆裏變硬 無法觀察

第67天 減少92.5%

第74天 減少50%

第81天 減少52.59%

第88天 減少50%

國家口罩隊+地球環保隊 降解實驗

特殊發現

有機土的土壤原本跟肥料+有機土的土一樣多但過一天土就減少

結論

國家隊和對照組都不變,肥料+有機土減少,有機土減少50%,雖然實驗尚未結束但已經我們要的效果,也就是分解

地球環保隊

自制PLA口罩回收制度

國家隊	PLA	2m	4m
國家隊	PLA	30ml	39ml
國家隊	PLA	90ml	90ml
國家隊	PLA	91ml	93ml

1. 第一個實驗,兩個杯子都沒有滴水,所以PLA/國家隊不織布不滴水。
2. 在第二個實驗時,兩個杯子一開始的冰一樣多,但PLA剩的水卻比國家隊少,所以PLA透氣性較佳

蒸氣透過實驗 - 我們拿兩個杯子,裡面裝水後,利用橡皮筋把PLA/國家隊不織布綁上。放上加熱板,結果顯示,PLA不織布較國家隊不織布,擁有較好的透氣性。

政府建立口罩回收制度

企業提供回收獎勵

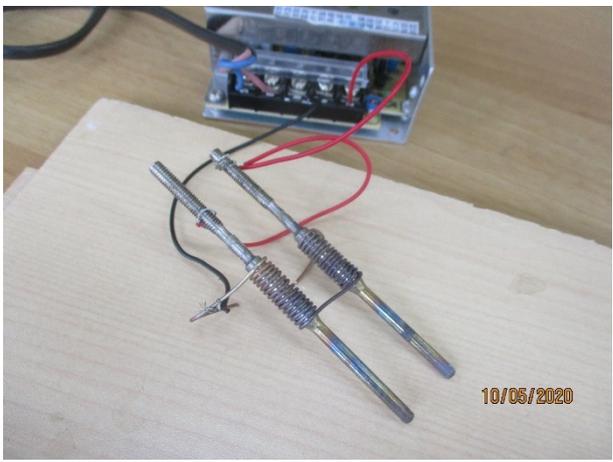
在各縣市建立一個(政府)企業(PLA)回收場地,專門處理PLA口罩本體,加速自然分解。
 $CO_2 + H_2O$

未來展望 - 我們誠懇希望大人們能幫助我們將口罩國家隊、中層熔噴技術改良運用在PLA,政府建立PLA回收制度,企業提供回收獎勵,居民支持PLA回收。

伍、研究結果與討論

一、以環保原料聚乳酸 PLA 與日常生活用簡單工具，自製研發口罩實驗

(一)加熱 PLA 粒子進行抽短纖維實驗：

實驗 1 自製棉花糖機	 <p>08/07/2020</p>	 <p>10/05/2020</p>
	①想法源自暑假輔導課，加熱白糖→熱糖漿 透過馬達旋轉穿過濾網→成絲冷卻棉花糖。	②組裝預熱塞+交流變直流電轉換器當作自製棉花糖加熱器，結果溫度始終上不去。
失敗 檢討改進	(1)PLA 熔點 175°C(參考資料 3)，我們的預熱塞通電加熱最高只達 100°C左右。	
	(2)因為無法熔化 PLA 粒子，只好再想另一種加熱方法，至少要 > 175°C以上。	

實驗 2 3D 列印裝置		 <p>02/23/2021</p>
	①想法源自市面流行的 3D 列印機，其原料就是 PLA，但直徑最小噴頭 0.3mm > 絲。	②另一款稱為 3D 列印筆，直徑最小筆頭 0.4mm > 絲，也是不符合實驗需求。
失敗 檢討改進	(1)我們發現平常口罩戴久產生毛刺大小的細絲，才是符合抽短纖維的尺寸。	
	(2)3D 列印筆雖然沒用上，但是後來變成我們自製 PLA 鼻樑的重要工具。	

實驗 3 改裝家用棉花糖機



①將空鐵罐頭洗淨→畫兩條直徑相交圓心→電鑽鑿洞。

②用橇子將空鐵罐左右隔1cm、上下隔0.5cm鑿洞。

③機器預熱→空鐵罐內裝PLA 粒子→旋轉甩出收集。

實驗數據		PLA 重量	機器預熱	機器溫度	旋轉甩出收集時間
	第 1 次	5g	2 分 30 秒	400°C	2 分 0 秒
第 2 次	10g	2 分 0 秒	500°C	3 分 0 秒	

檢討改進
與小結

(1)PLA 重量 10g 雖然得到較多絲，但容易糾結，所以每次實驗仍以 5g 為主。
(2)重覆多次收集 PLA 短纖維，用梳子排整齊，準備進行下一階段不織布實驗。



5g 成功 PLA 短纖維



10g 失敗 PLA 短纖維

(二)加熱加壓 PLA 纖維製成不織布實驗：

- 1.想法取自(參考資料 5)。
- 2.選擇在學校最有可能進行的實驗方法來自製不織布。
- 3.選擇適合的日常生活用簡單工具來模擬「熱風」和「熱軋」裝置。

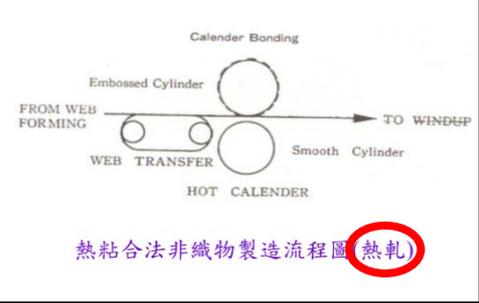
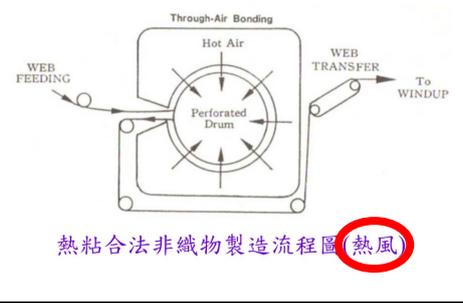
非織物 (Non-Woven Fabric)

- * 「非織物」又名「不織布」顧名思義為非經一般紗線織造程序所製成的材料。
- * 不織布為利用各種物理、化學方法將纖維固定結合成布片棉網狀之材料。

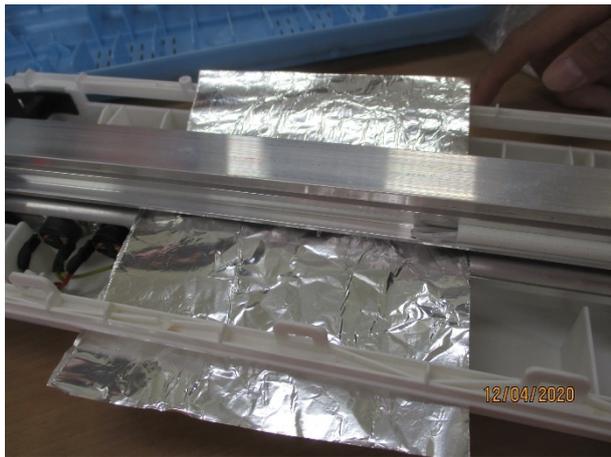
- 非織物常見製造方法**
- * 紡粘法 (Spun-Bond)
 - * 熔噴法 (Melt Blown)
 - * 水針法 (Water-Lace)
 - * 針軋法 (Needle Punch)
 - * 化學粘合法 (Chemical Bond)
 - * 熱熔粘合法 (Thermal Bond)

熱粘合法(Thermal Bond)

* 本法主要先將熱可溶性短纖維鋪疊成棉網狀，再將棉網利用熱風或熱軋的方式將棉網軋合固著形成片狀不織布棉網。



實驗 1 護貝機



①模擬「熱軋」，鋁箔紙包覆纖維通過護貝機。

②通過熱壓滾輪→膜;冷壓滾輪→維持原狀。

失敗

檢討改進

(1)護貝機熱壓溫度上升很快,不易控制;冷壓溫度完全無法改變 PLA 纖維狀態。

(2)我們試著快速切換熱冷鍵找出纖維→不織布的模式,但是因為護貝機滾輪的速度很慢且固定,所以不是溫度過高→膜;就是溫度過低→維持纖維狀態。

實驗 2 電磁爐



①模擬「熱軋」，玻璃微波盒重壓鋁箔紙纖維。

②設定煎炒模式、400W、溫度 60°C→120°C。

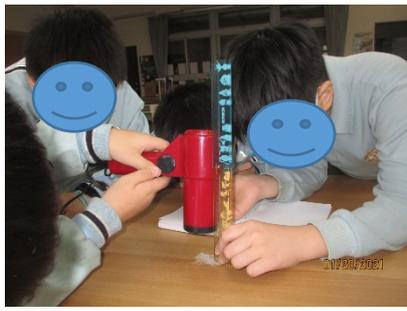
失敗

檢討改進

(1)不同的實驗時間從 10 秒→1 分鐘,結果都呈膜狀。

(2)這個實驗雖然模擬「熱軋」,但實際只有熱和玻璃微波盒重力、無橫向的移動,所以不管如何調整電磁爐溫度或是實驗時間,結果都呈膜狀,不成功。

實驗 3 吹風機 + 護貝機



- ①利用吹風機模擬「熱風」;護貝機模擬「熱軋」,看看組合實驗能否成功。
- ②我們緊盯熱風→纖維的狀態,只要一發現有熔化情形,立即停止熱風送進冷護貝。

實驗數據

	吹風機熱風火力	時間	距離	熔化情形
第1次	中	90秒	15公分	X
第2次	中	14秒	10公分	X
第3次	中	57秒	5公分	X
第4次	大	44秒	5公分	X
第5次	大	15秒	5公分	X
第6次	大	180秒	3公分	X
第7次	大	90秒	1公分	O
第8次	大	23秒	0.5公分	O

檢討改進

- (1)在最後2次實驗成功送進冷護貝,但結果都呈現半膜狀態。
- (2)當熱風接近測試者手部時,有危險之虞,安全第一立即終止實驗。

實驗 4 離子夾



- ①模擬「熱軋」,離子夾刷鋁箔紙包覆的纖維。
- ②當溫度 100°C 並快速刷過可製成不織布。

檢討改進

- (1)因為離子夾的溫度穩定,且容易控制移動速度快慢,是成功的2項因素。

與小結

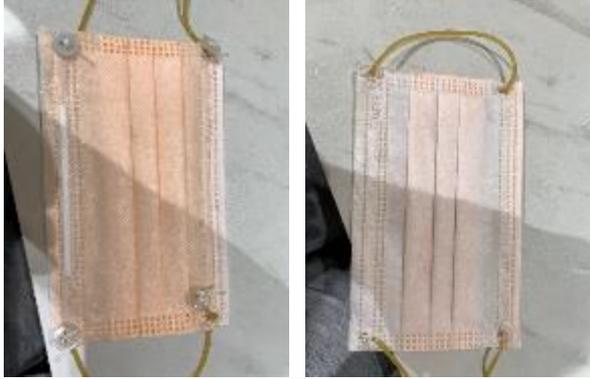
- (2)在學校實驗室裡,模擬「熱軋」比「熱風」較容易製成不織布。

(三)自製口罩耳掛實驗：

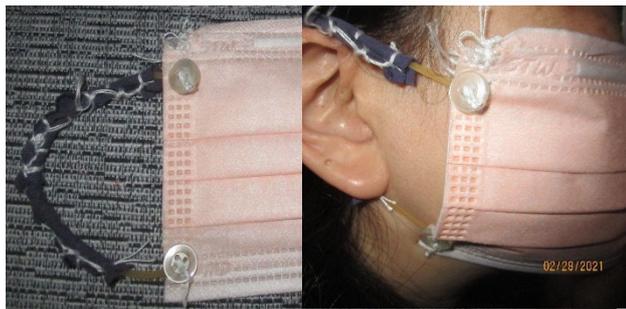
實 驗 1		
	材料	橡皮筋+粗棉線+膠帶。
	方式	粗棉線繞橡皮筋，膠帶黏線與口罩。
	檢討 改進	(1)膠帶黏不緊。 (2)口罩戴久了容易鬆脫。

實 驗 2		
	材料	橡皮筋+細棉線+裁縫針。
	方式	細棉線緊繞橡皮筋，縫線頭與口罩。
	檢討 改進	(1)改善膠帶黏不緊缺點。 (2)口罩戴久了耳朵不舒服。

實 驗 3		
	材料	加大橡皮筋+中棉線。
	方式	棉線綁辮子方式繞橡皮筋，加大橡皮筋頭打結與口罩連接。
	檢討 改進	(1)改善口罩戴久耳朵不舒服。 (2)橡皮筋頭打結會花較多時間。

實 驗 4		
	材料	橡皮筋+鈕扣+細棉線+裁縫針。
	方式	耳掛接頭縫上鈕扣，方便裝與卸下。
	檢討 改進	(1)比起魔鬼氈，鈕扣牢靠度。 (2)口罩戴久了耳朵不舒服。

實 驗 5		
	材料	橡皮筋+布+細棉線+裁縫針。
	方式	布縫在橡皮筋上，再縫在口罩上。
	檢討 改進	(1)選擇像袖口比較柔軟的布。 (2)布比棉線包覆橡皮筋戴起來舒適。

實 驗 6		
	材料	橡皮筋+布+鈕扣+細棉線+裁縫針。
	方式	布改採回針法縫在橡皮筋上，可稍微移動但不脫落，耳掛接頭縫上鈕扣。
	檢討 改進	(1)綜合實驗 1→5 最舒適的耳掛。 (2)口罩本身與耳掛成為獨立的個體。

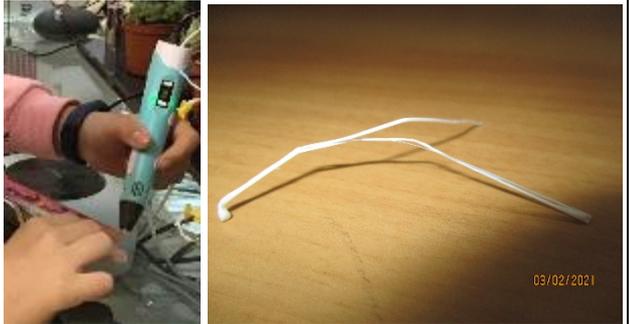


小結：

- (1)實驗 1→6 過程中，我們團隊成員們大家集思廣益不斷地檢討改進，希望將耳掛做到最完善。
- (2)選擇橡皮筋是因為屬於天然橡膠材質，比現在市售口罩耳掛採 PET+PU 環保許多。但是依 (參考資料 7)橡皮筋屬於不可回收物，為了避免浪費資源，建議採鈕扣設計方便重複使用。
- (3)我們會在目的三、規畫 PLA 口罩收集全分解制度中詳盡介紹如何利用有機土壤或是堆肥狀態土壤，將口罩全分解、耳掛再利用。

(四)自製口罩鼻樑實驗：

實 驗 1		
	方式	(1)取一般口罩微彎鼻樑立在桌上。 (2)3D 列印筆沿著微彎鼻樑製作 PLA 鼻樑，等 PLA 凝固後取下來。
檢討 改進	(1)失敗。 (2)取下來改變形狀時容易斷裂。	

實 驗 2		
	方式	(1)將一般的尺放在桌上。 (2)3D 列印筆沿著尺製作 PLA 鼻樑，等 PLA 凝固後取下來。
檢討 改進	(1)失敗。 (2)取下來改變形狀時容易斷裂。	

實 驗 3		
	方式	(1)取一般口罩鼻樑平躺在桌上。 (2)3D 列印筆沿著鼻樑內凹槽製作 PLA 鼻樑，等 PLA 凝固後取下來。
檢討 改進	(1)失敗。 (2)取下來改變形狀時容易斷裂。	

實 驗 4		
	方式	(1)將兩把尺平放在桌上，中間間隔大約 0.5cm。 (2)3D 列印筆沿著兩把尺凹槽製作 PLA 鼻樑，等 PLA 凝固後取下來。
檢討 改進	(1)成功。 (2)取下來改變形狀時不斷裂。	



小結：

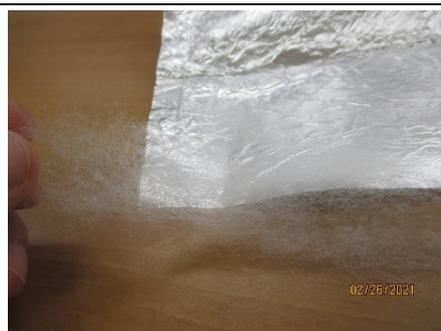
- (1)實驗 4 雖然成功，多次彎合仍顯現 PLA 較脆性質。
- (2)為了配合我們一開始設定的整片不織布口罩一起回收的研究目標，及改善 PLA 材料本質較脆特性。(參考資料 4、13)我們團隊的共識是在未來朝天然植物纖維(例如：棉、麻、羊毛、蠶絲等以大自然可分解為主)+PLA 的複合材料，強化其耐外力拉伸、抵抗變形的特性，做為接下來研究方向。

(五)以市售口罩為對照例完成 PLA 口罩內、中、外層實驗：



國家隊醫療口罩產品示意圖

自製 PLA 口罩



- 1.熔噴不織布(參考資料 6)。
- 2.熔融態高分子體藉高壓通過極細噴嘴後高速噴出，具靜電功能負責過濾病毒和細菌，涉及專利和專業知識。



內層較薄，為了適應透氣性

中層熔噴，我們小學生無法完成

外層較厚，為了符合撥水性



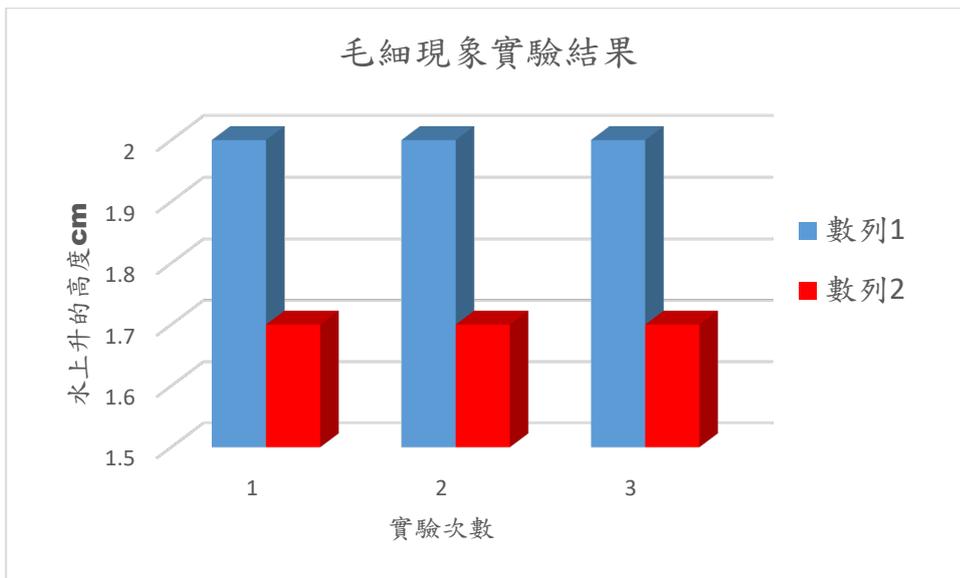
(1)搭配鈕扣型耳掛，加上自製鼻樑並以家用封口機將內、外層黏合即完成實驗。

(2)外層撥水性、內層透氣性實驗將以國家隊口罩作為實驗比較對象，下一階段進行。

二、與市售國家隊相比較，自製 PLA 口罩的檢測實驗

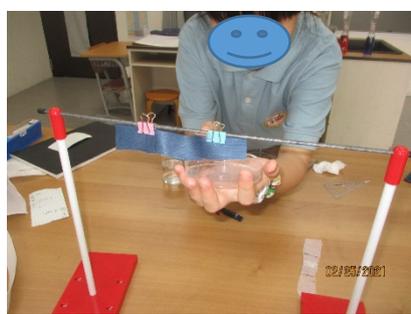
(一)(外層)撥水性實驗：

實 驗 1 毛 細 現 象 實 驗				
	(1)想法取自(參考資料 8)國小四下自然課第二單元水的移動、活動一毛細現象實驗。			
	(2)圖左藍色國家隊口罩外層、圖右白色 PLA 口罩外層。			
	(3)量取相同長度、夾在同樣高度、經歷固定時間後尺量水的上升高度，重覆做 3 次實驗。			
	實驗數據		第 1 次	第 2 次
	國家隊	2.0 cm	2.0 cm	2.0 cm
	★ PLA	1.7 cm	1.7 cm	1.7 cm
檢討改進	(1)國家隊口罩的 3 次實驗數據都大於 PLA。			
與小結	(2)由此結果，表示自製 PLA 口罩外層的毛細現象不明顯。			



■ 國家隊口罩
■ 自製 PLA 口罩

實 驗 2 噴 水 實 驗



(1)圖左藍色國家隊口罩外層、圖右白色 PLA 口罩外層，各平均分成 3 等分。

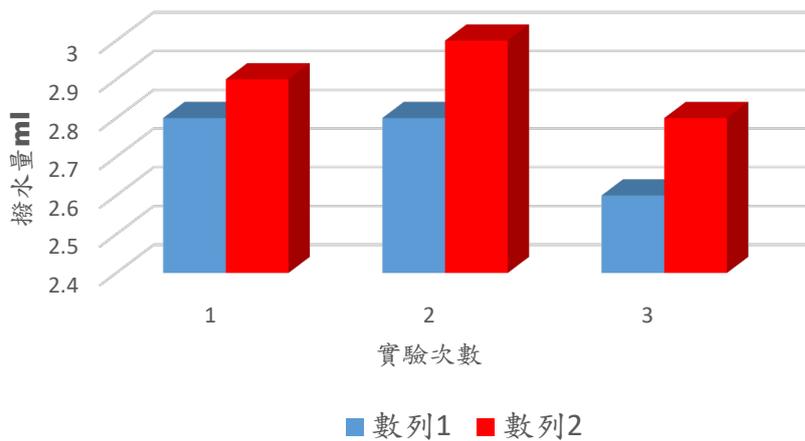
(2)分別在每個等分上平均噴灑細針筒 3 ml 的水量，下面以培養皿承接流下來的水。每次實驗結束後再以空針筒吸回，計算並記錄每次流下來的水量。

		第 1 次	第 2 次	第 3 次
實驗數據	國家隊	2.8 ml	2.8 ml	2.6 ml
	★ PLA	2.9 ml	3.0 ml	2.8 ml

檢 討 改 進
與 小 結

- (1)國家隊口罩的 3 次實驗數據都小於 PLA。
- (2)由此結果，表示自製 PLA 口罩外層的撥水性較強。
- (3)另外發現，口罩外層的撥水特性與四年級自然課學過的蓮葉效應相吻合
(參考資料 9)國小四上自然課第二單元水中生物、科學閱讀「蓮葉效應」。

噴水實驗結果



■ 國家隊口罩
■ 自製 PLA 口罩

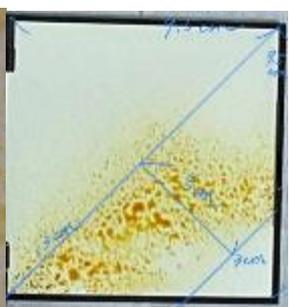
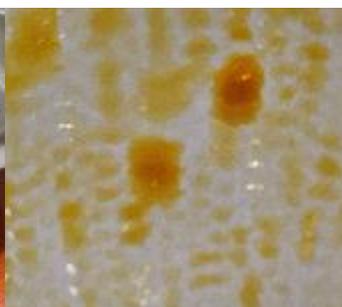
實驗 3 噴霧實驗



(1)為了更真實地模擬口罩外層阻擋口沫的撥水特性，改良上一個「噴水實驗」進行「噴霧實驗」，圖左 1 肉色國家隊口罩外層、圖左 2 白色 PLA 口罩外層，尺寸都是 17.5x12cm。

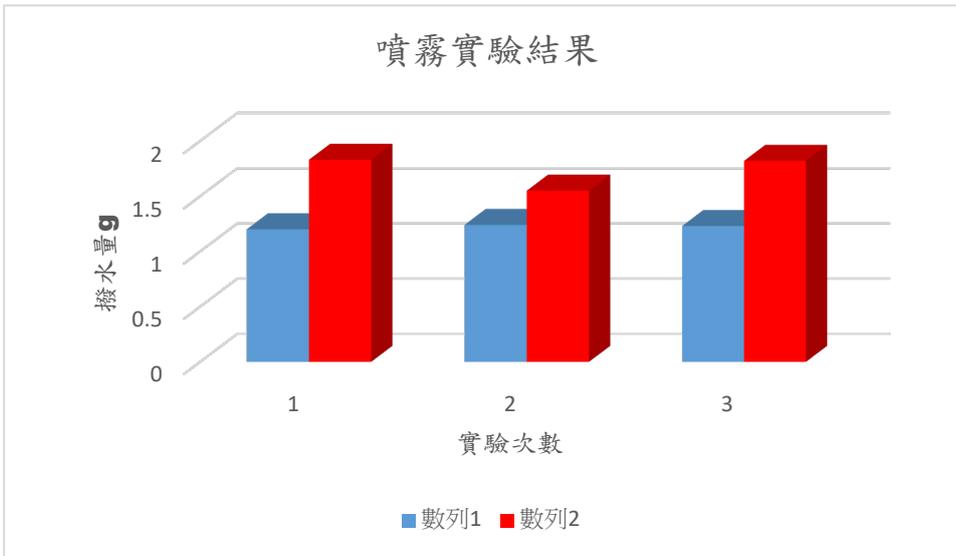
(2)分別用同一噴瓶、固定距離平均噴灑 3.5g 藥局市售優碘溶液，下面以不銹鋼盆承接流下來的溶液。每次實驗結束後再以電子磅秤秤重，記錄每次流下來的優碘溶液重量。

(3)(參考資料 10)研究顯示，打噴嚏一次最多產生 3500 顆飛沫微粒，平均半徑大約 500 微米(0.05cm)，估算口罩能遮蔽 95% 的全部飛沫圓球體積= $0.95 \times 3500 \times \frac{4}{3} \pi (0.05)^3 \approx 1.75 \text{cm}^3$ ，水的密度 1g/cm^3 ， $1.75 \text{cm}^3 \times 1 \text{g/cm}^3 = 1.75 \text{g}$ ，假設每個人每次平均打噴嚏兩次，口罩外層承接飛沫總重量大約是 $1.75 \text{g} \times 2 = 3.5 \text{g}$ ，以此數據作為本次「噴霧實驗」的起始溶液重量。



實驗數據		第 1 次	第 2 次	第 3 次
	★ 國家隊 ★ PLA	1.20g	1.24g	1.23g
	1.83g	1.55g	1.82g	

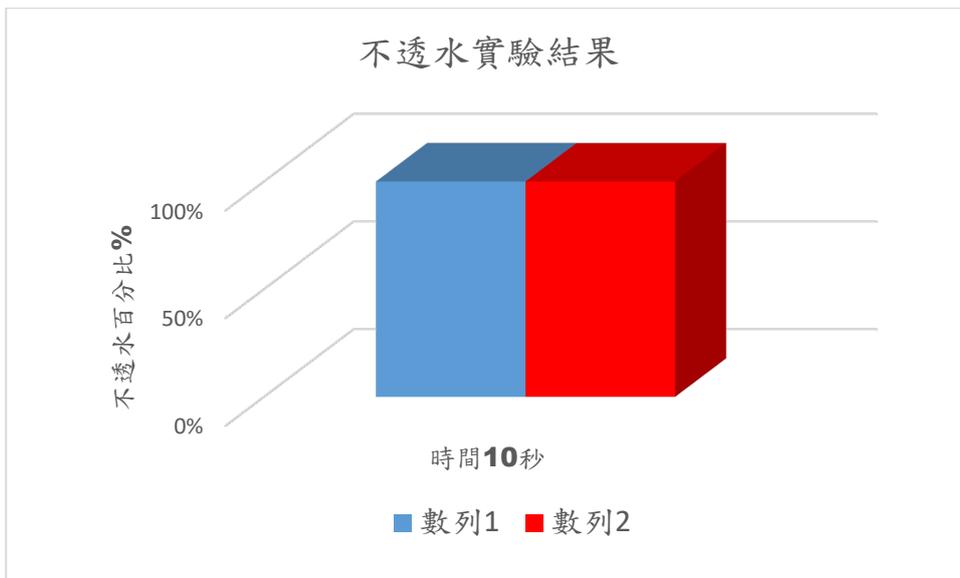
檢討改進 與小結	(1)國家隊口罩的 3 次實驗數據都小於 PLA。
	(2)由此結果，表示自製 PLA 口罩外層的撥水性較強，較能夠阻擋飛沫傳播。



■ 國家隊口罩
■ 自製 PLA 口罩

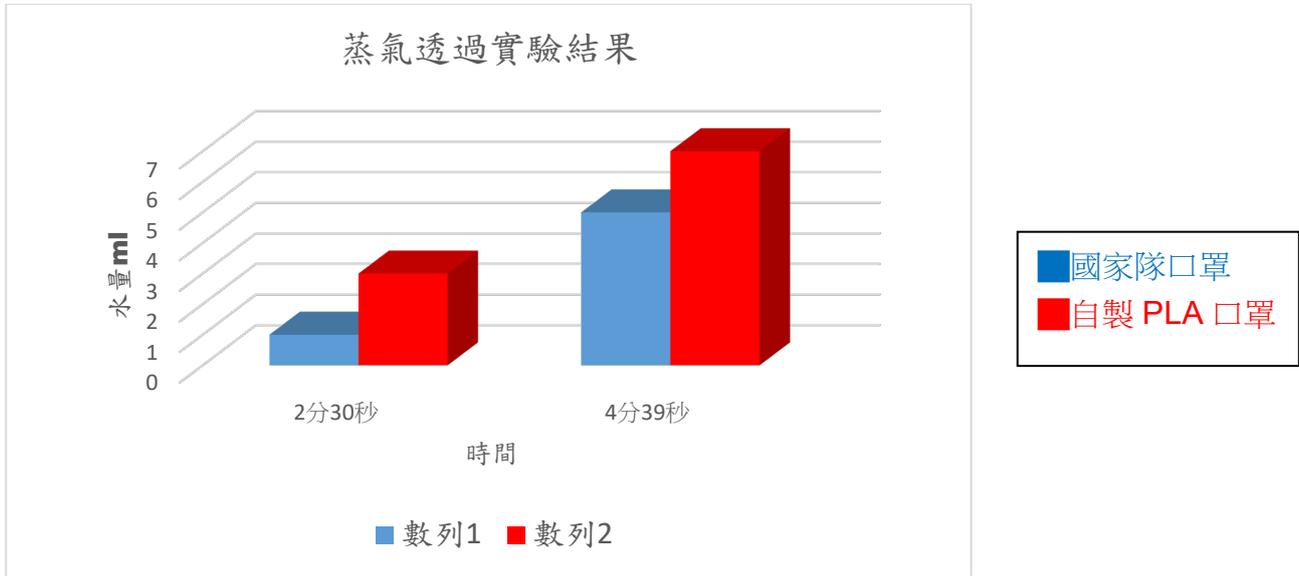
(二)(內層)透氣性實驗：

實 驗 1 不 透 水 實 驗			
	<p>(1)左圖藍色是國家隊口罩內層、右圖白色是 PLA 口罩內層。</p> <p>(2)分別用橡皮筋綁在裝滿水的紙杯上，倒置大約 10 秒後發現兩杯水都沒滴下來。</p>		
	<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">檢討改進 與小結</td> <td>(1)由此結果，表示國家隊和自製 PLA 口罩內層的不透水性都很高。</td> </tr> <tr> <td>(2)這個實驗結果，可以幫助我們在下一個實驗中確定蒸氣通過比例的正确性。</td> </tr> </table>	檢討改進 與小結	(1)由此結果，表示國家隊和自製 PLA 口罩內層的不透水性都很高。
檢討改進 與小結	(1)由此結果，表示國家隊和自製 PLA 口罩內層的不透水性都很高。		
	(2)這個實驗結果，可以幫助我們在下一個實驗中確定蒸氣通過比例的正确性。		



實 驗 2 蒸 氣 透 過 實 驗				
	<p>(1)藍色是國家隊口罩最內層、白色是 PLA 口罩最內層。</p> <p>(2)相同大小燒杯各放入相同高溫 100ml 的熱水，立即橡皮筋綁上內層，同時放上加熱板。</p> <p>(3)仔細觀察記錄①燒杯上冒煙量②熱水下降後高度變化③相對應的時間④其他特殊變化。</p>			
	實驗數據	燒杯上冒煙量	2 分 30 秒	4 分 39 秒
	國家隊	多	99 ml	95 ml
	★ PLA	多	97 ml	93 ml
檢討改進	<p>(1)國家隊口罩的 2 次實驗數據都大於 PLA，表示相同條件下自製 PLA 口罩內層蒸氣通過較多，透氣度較佳。</p>			

與小結	(2)值得觀察的是右圖，當實驗結束一段時間後，我們要收器材時發現自製 PLA 口罩內層有些微裂痕，國家隊口罩則沒有，這也證明(參考資料 4)中提到 PLA 具有材質較脆的本質特性。
-----	--



(三)(耳掛)舒適度實驗：

依據本次科展作品說明書前面第 14、15 頁關於(四)自製口罩耳掛實驗中的研究結果，這裡將耳掛的改良過程與實際戴起來舒適度的優缺點整理如下：

實驗 1		<p>(1)粗棉線纏繞橡皮筋，戴起來的舒適度：中等。</p> <p>(2)膠帶黏合粗棉線和口罩本體：不好。</p>
實驗 2		<p>(1)細棉線纏繞橡皮筋，戴起來的舒適度：較差。</p> <p>(2)針縫細棉線和口罩本體：佳。</p>
實驗 3		<p>(1)中棉線纏繞大橡皮筋，戴起來的舒適度：中等。</p> <p>(2)大橡皮筋會造成口罩本體和臉的密合度：較差。</p> <p>(3)綁大橡皮筋和口罩本體：不好。</p>



實驗 4		<p>(1)為了達成 PLA 口罩本體完整回收、耳掛再利用、及方便口罩使用者等目標，本次實驗研發出耳掛縫上 4 顆鈕扣、口罩本體 4 邊開口。兼具牢固性、戴上脫下方便性、和環保性。</p> <p>(2)鈕扣型耳掛搭配口罩本體：最佳組合。</p>
---------	---	--

實驗 5		<p>(1)本次實驗發現找一塊像衣服袖口較柔軟、天然素材製成的布，縫在橡皮筋外圍，比起無論粗、中、細棉線包覆橡皮筋戴起來更舒適。</p> <p>(2)柔軟的布搭配橡皮筋：最佳組合。</p>
---------	---	--



小結：綜合以上優點，選擇實驗 4、5 中最佳組合，成為本次科展報告的自製口罩耳掛。

(四)(鼻樑)舒適度實驗：

我們依照國家隊口罩鼻樑比較圖，試著去自製單、雙芯 PLA 鼻樑。



實驗 1	
材料	3D 列印筆製造單、雙芯 PLA 鼻樑。
方式	實際找一位戴眼鏡的同學分別測試。
檢討與小結	<p>(1)單、雙芯的牢固性相差不大。</p> <p>(2)雙芯(較粗)鼻樑確實不容易起霧。不過眼鏡起霧的因素很多，本實驗無法證明雙芯(較粗)鼻樑必能改善起霧。</p>

(五)成本分析：

①本體		<p>PLA 粒子：1kg≐170 元。</p> <p>內層大約使用 5g、外層大約使用 10g。</p> <p>$170/1000 \times (5g+10g) = 2.55$ 元。</p>
②鼻樑		<p>PLA 線材：1m≐3 元。</p> <p>一個鼻樑大約使用 3cm 的 PLA 線材。</p> <p>$3/100 \times 3 = 0.09$ 元。</p>
③耳掛		<p>棉布：30x2=60cm²≐0.14 元。</p> <p>橡皮筋：1 條≐0.65 元。</p> <p>1cm 直徑鈕扣：1 顆≐0.4 元。</p> <p>2 條 x(0.14+0.65+0.4x2)=3.18 元。</p>

小結：(1)一個自製 PLA 口罩成本①本體+②鼻樑+③耳掛=2.55+0.09+3.18=5.82 元。

不過，因為耳掛重複供個人使用，以平均用 10 次為例，成本降為 0.318 元。

因此，一個自製 PLA 口罩成本：2.55+0.09+0.318=2.958 元。

(2)目前市售國家隊口罩一個 5 元，估算六折成本 3 元與自製 PLA 口罩不相上下。

(3)若能經由機器提高效率大量生產 PLA 口罩，成本還能再降低。

(4)第三世界國家物資缺乏，可在家自製初階防護口罩，能夠降低疫情擴大機率。

三、建立 PLA 口罩全分解制度，有效自然分解地球零負擔

(一)調查目前臺灣塑膠的回收情況：

1 號 PET (聚對苯二甲酸乙二酯)：大部分寶特瓶都使用 1 號塑膠。

2 號 HDPE (高密度聚乙烯)：材質較厚、硬，容器上多用來盛裝乳製品、清潔液等，堅固又耐熱。

3 號 PVC (聚氯乙烯)：耐熱度很差，一般製造必須添加安定劑，通常為重金屬，可見於盛裝洗碗精、漱口水等。

4 號 LDPE (低密度聚乙烯)：可與食物接觸，常被製成塑膠袋、保鮮膜、醫療器具、藥品包裝袋。

5 號 PP (聚丙烯)：常見的塑膠容器，外觀上較為不透明或半透明，材質也較硬。

6 號 PS (聚苯乙烯)：保麗龍，很難分解的塑膠，也很難再製成其他有用的產品。

7 號 OTHER (其他)：若非上面 6 種塑膠，就會被歸類到 7 號。

取自(參考資料 11)

回收的塑膠送去哪裡:交給上游廠商再製造，過程如下

細分類後之各類塑膠瓶將分別被壓縮打包，載往再生處理廠，經過粉碎、清洗、乾燥等過程後，其中的 PET 材質可直接運往下游的再生工廠或紡織廠，進行抽絲及紡織等再生製品的生產；其餘的材質如 PVC、PE、PP、PS 等，還需先送到造粒廠，經造粒後製成二次塑膠原料，然後這些再生原料經射出成型或壓模等過程後，就可製成各式塑膠產品。其中的造粒工廠，往往依據下游再生工廠的需求或訂單，加以配料造粒，包括視需要攙配部分新料等，而白料與色料的分別造粒處理，也有利於後端的再生利用，這需要在回收場及粉碎廠時就先加以分離，通常白料的價錢會比色料來得高。在粉碎廠的生產流程，PET 的粉碎過程通常是獨立的一條生產線，保證

不會與其他材質有混料的情否則於後端抽長纖或抽聚酯短纖棉時，會發生斷線的狀況。至於其他材質則可於不同時段交替共用一條生產線。
資料取自(新北市土城區盈嘉清潔公司)



- 1.由上述資料 PLA 會分類第 7 號 other(其他)，會被交給誰？送去哪裡？現有資料裡面完全沒提到。
- 2.或許如圖這個場景，掩沒在茫茫塑海裡？或是，和一般石化塑膠一起焚燒？如此一來，豈不枉費 PLA 能夠自然全分解、且不留下任何污染的特性。

3.我們真的希望能以綠色塑膠 PLA 全面取代石化塑膠來製造口罩，同時建立一套收集全分解制度，除了 PLA 口罩外，目前 PLA 的相關產品也建議一併納入：例如裝雞蛋的塑膠殼、部分冷食的餐具和吸管等…刻不容緩。讓用過的 PLA 在適當環境下分解成水和二氧化碳，另一方面再多種樹吸收二氧化碳，使地球環境更永續。

(二)自製 PLA 口罩降解實驗：

實 驗 1 P L A □		
	①圖右到左分別是有機土壤、有機土壤+肥料(模擬堆肥狀態)、對照組。	②圖上到下分別是 PLA 和國家隊口罩外、內層，剪成正方形，邊長：4cm。

罩
降
解
實
驗

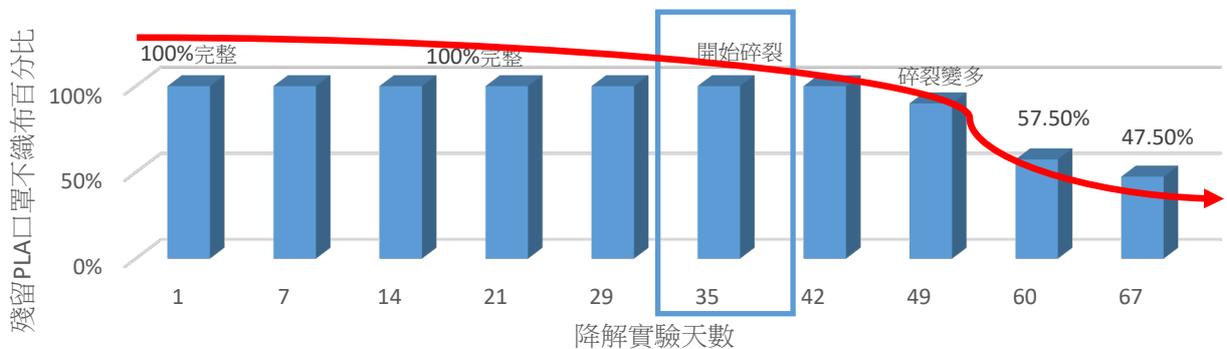


③我們戴手套，將兩種口罩共 4 個樣本放入土中，覆蓋一層土，方便每週鏟子取出觀察記錄一次：大小、顏色或其他變化…。

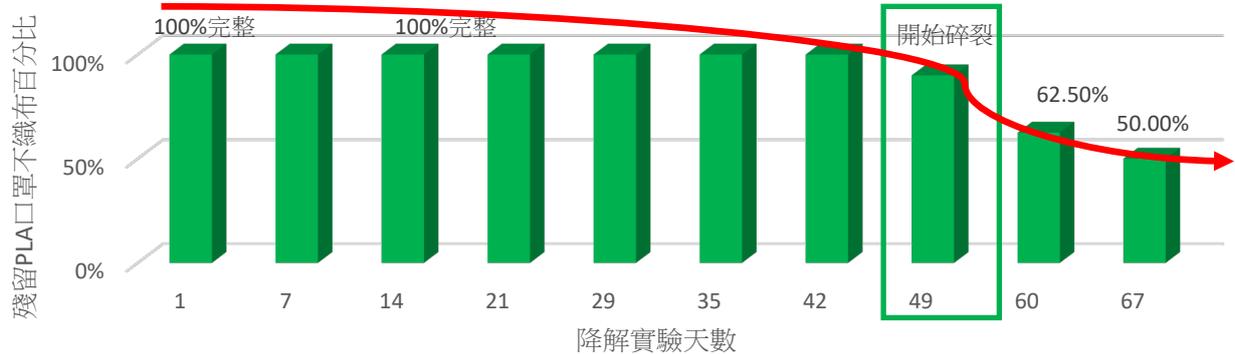
④平常都置於教室外窗台，模擬大自然的天气情况。對照組都壓上墊片，避免被風吹走。

<p>實驗結果</p> <p>從右到左分別是</p> <p>有機土壤、</p> <p>有機土壤+肥料</p> <p>(模擬堆肥)、</p> <p>對照組。</p>	第 7 天		第 14 天		第 21 天	
	第 29 天		第 35 天		第 42 天	
	第 49 天		第 60 天		第 67 天	

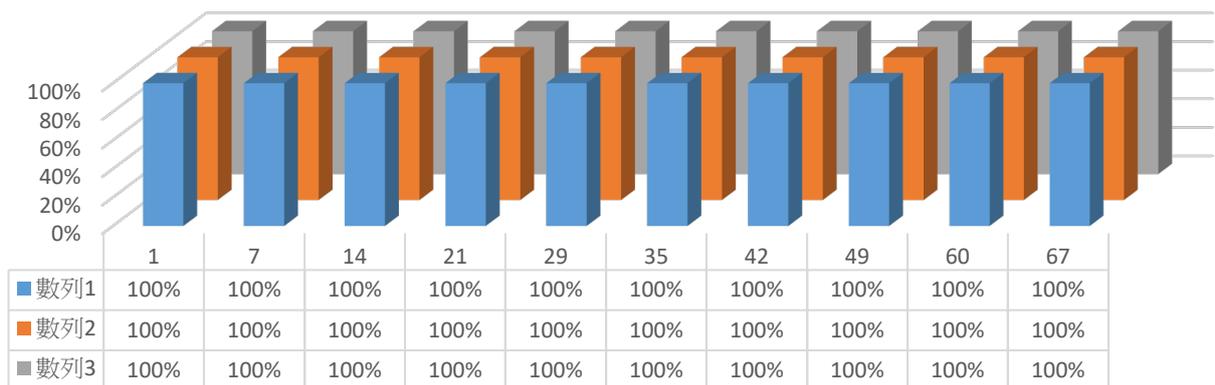
有機土+肥料(模擬堆肥):PLA口罩降解實驗



有機土:PLA口罩降解實驗



國家隊口罩與所有對照組的降解實驗



實驗過程

(1)有機土壤在模擬大自然的天氣情況下，土壤容易流失，實驗大約三週後就流失將近一半的土壤。有機土壤+肥料反而因為空氣中水分或雨水將土壤+肥料穩固住，因此流失較少。

發現與討論

(2)有機土壤+肥料容易招惹蚊蟲，而且會散發臭味。有機土壤無此情況。

(3)PLA 口罩分別在有機土壤+肥料第 35 天、有機土壤第 49 天後開始產生裂解，為了計算降解的百分比，我們採取了兩種自己創新的方法：

- ①手動離心機法(下圖左)，目的是盡量去除 PLA 不織布上面的泥土，又兼顧不破壞不織布的碎片，以提高下一階段的準確度。
- ②手動拼圖法(下圖中和右)，類似考古學家抽絲剝繭的手法，將通過手動離心機殘留的 PLA 不織布碎片，透過拼圖組合並繪製在實驗日誌上，再以面積法計算降解的百分比。



小結：(1)國家隊口罩和所有對照組的不織布從頭到尾都保持 100%，完全不分解。

(2)PLA 口罩分別在有機土壤+肥料第 35 天、有機土壤第 49 天後開始產生裂解，雖然開始裂解的時間相差兩週，但是第 67 天降解率均達到 50% 以上。

(3)這個降解實驗會持續進行中，除了驗證比較(參考資料 3)中提到 PLA 全分解所需要的時間外，也希望日後能依照實驗條件、結果規畫精準的 PLA 口罩全分解場。

(三)依 PLA 特性規畫口罩全分解制度：



- (1) 每個人的 PLA 口罩用完後，先將耳掛的鈕扣解開，收好準備下次重複使用。
- (2) 再將 PLA 口罩本體丟入家庭、教室或各樓層的專用收集箱。
- (3) 最後集中在各大樓、學校、機關行號的大型專用收集箱，環保公司定期收取。
- (4) 回收後的 PLA 口罩降解實驗，模擬堆肥的狀態能加速裂解的作用。無論是有機土或模擬堆肥的條件下，目前做到第 67 天降解率均達到 50% 以上。
- (5) 為了解決大家對於收集與降解過程中被病毒感染的疑慮，我們找到(參考資料 12)提到「病毒絕對寄生特性：大多數病毒缺乏酵素系統，在寄主細胞外無法進行代謝作用及繁殖等生命現象，也無法自行運動，必須依靠寄主細胞繁殖而無法獨立生存。」因此，加強收集與降解工作人員的必要防護外，其他無需過多擔心。
- (6) 為了鼓勵大家能熱烈支持收集用完的 PLA 口罩，可以結合悠遊卡，每次回收都能累積點數。在愛護地球的同時，也為自己累積獲利。對於悠遊卡廠商也能增加能見度、市佔率與知名度，共同善盡企業責任和愛護地球。



陸、結論

一、以環保原料聚乳酸 PLA 與日常生活用簡單工具，自製研發口罩實驗：

- 1.經多種實驗，以改裝棉花糖機、自製鑿孔鐵罐頭(PLA 粒子最多 5g)等完成抽短纖維實驗。
- 2.經多種實驗，以離子夾模擬熱黏合法的「熱軋」模式(控溫 100°C左右)可製成不織布。
- 3.經多種實驗，以鈕扣型耳掛(布縫橡皮筋)搭配口罩本體兼具舒適、牢靠度與可重複再使用。

二、與市售國家隊相比較，自製 PLA 口罩的檢測實驗：

- 1.經毛細現象、噴水和噴霧實驗數據證明，自製 PLA 口罩外層的撥水性較強。
- 2.經實驗數據證明，市售國家隊和自製 PLA 口罩內層都具有高不透水性，後者透氣度更佳。
- 3.經實驗證明，鈕扣型耳掛(布縫橡皮筋)和雙芯鼻樑都有較佳的舒適度。
- 4.經成本分析，市售國家隊和 PLA 口罩成本接近，後者自製優勢能助落後國家減緩疫情。

三、建立 PLA 口罩全分解制度，有效自然分解地球零負擔：

- 1.落實臺灣塑膠回收制度，將 PLA 相關產品都納入**收集全分解制度**，讓環保塑膠零污染。
- 2.依降解實驗結果規畫精準的 PLA 口罩**全分解場**。

柒、未來展望

在這次科展研究過程中，無論是自製鼻樑或透氣性實驗中，我們都發現 PLA 較脆、易裂的本質特性。(參考資料 4、13)中有提到 PLA 複合洋麻纖維、植物纖維的特性，結合 PLA 成為複合材料來改善其本質特性所衍生出來的缺點，是接下來我們團隊成員們要再繼續努力的共識方向，以及要花較長時間去持續觀察並記錄 PLA 口罩降解程度變化的實驗結果數據。

當社會常常在討論很多限制塑膠政策的時候，例如限制使用塑膠吸管、禁用或少用塑膠袋等；當社會每天都在關注今天臺灣有幾位確診人數？與全世界其他國家疫情發展的時候，我們卻悄悄地發現石化塑膠污染問題在另一戰場嚴重爆發……隨著疫情愈來愈嚴重，使用與丟棄的口罩也愈來愈多，造成地球承擔的廢棄塑膠愈來愈加劇。因此，我們團隊成員們訂定了這個科展研究主題，延續口罩「**國家隊**」這兩年來守護臺灣人民健康的重大貢獻，從小我提

昇到「**地球環保隊**」的**大我**境界。我們的科展研究只是一個開端，主要目的是為了驗證日常生活用簡單工具就可以 DIY 自製 PLA 環保口罩，並建立一套收集全分解制度，能確實有效減少廢棄塑料對於地球的負擔。我們團隊誠懇希望推廣這個理念讓大人們認同與採用：(1)口罩國家隊將中層熔噴技術改良運用在 PLA；(2)政府單位幫忙建立 PLA 口罩收集全分解制度、企業界協助提供收集獎勵、民眾落實執行廢棄 PLA 口罩的收集，三管齊下，真正有效提升 PLA 廢棄口罩的收集效率，經過自然全分解後讓地球零負擔。期待達到「**口罩保護人類、人類愛護地球**」的雙贏境界。

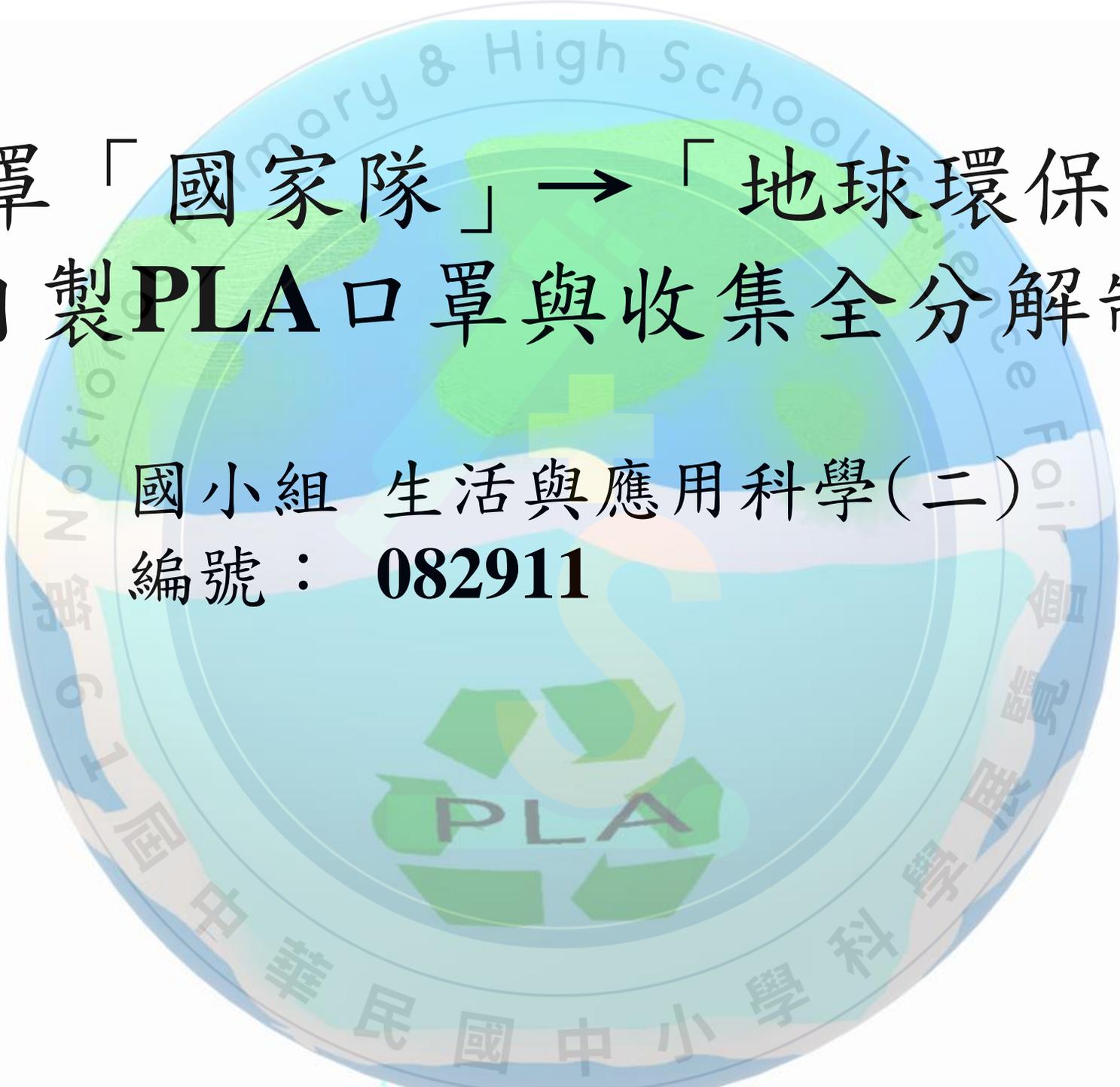
捌、參考資料

- 1.天下雜誌 CSR@天下網站，口罩快比水母多，新冠疫情產生的塑膠垃圾快要淹沒海洋、殺死生物，2020。
- 2.國家衛生研究院電子報，小口罩大學問，831 期，2020。
- 3.中華民國紡織業拓展會，生物可分解性纖維～環保紡織品競爭力市場現況與發展趨勢，經濟部國際貿易局，2008。
- 4.國立交通大學機械工程學系碩士論文，陳立偉，保壓過程之模溫控制對於聚乳酸／洋麻纖維和聚乳酸／蒙脫土射出成形品的高次構造形成之影響，2009。
- 5.認識織物，材質應用課程，取自 <https://denny.77bbs.com/material/pdf>，2014.10.5。
- 6.熔噴聯盟，認識熔噴不織布，取自 <https://meltblown.com.tw>，2020。
- 7.台中市政府環境保護局資源回收網，資源回收物品查詢：213 橡皮筋 rubber band 為不可回收物品，請直接交付垃圾車收運，<https://recycle.epb.taichung.gov.tw/recycling/resource.asp>，2021。
- 8.國民小學四年級下學期自然與生活科技課本，第二單元：水的移動、活動一毛細現象實驗，南一書局，2020。
- 9.國民小學四年級上學期自然與生活科技課本，第二單元：水中生物、科學閱讀：自然界中的奇妙現象－蓮葉效應，南一書局，2019。
- 10.長庚醫訊，長庚大學呼吸治療學系萬國華教授，從 COVID-19 談「飛沫」對人體的健康威脅與預防，第四十一卷第 3 期，2020.3.1。
- 11.端傳媒，回收塑膠真的再利用了嗎？<https://theinitium.com/article/20180730taiwan-pts-plastic-recycle/>，2018.7.30。
- 12.高級中學生物課本，第三單元：演化與多樣的生物、探討活動 3-2 病毒是否為生物，龍騰文化，2020。
- 13.國民小學五年級上學期自然與生活科技課本，第二單元：植物世界、活動一植物的構造與功能，南一書局，2019。

【評語】 082911

1. 主題具環保性，小朋友能瞭解口罩使用後可能會造成的環境問題。
2. 研究者從材料、製造、效果到分解回收，實驗探討完整。
3. 建議實驗設計仍須考量口罩過濾效力、氣密性、阻抗性等條件。
4. 建議可先分析口罩的組成及優劣條件說明，而全口罩自製太過複雜粗糙，可以針對部份結構做深入探究即可。
5. 建議〔伍研究結果與討論〕中的部份內容應移至〔肆研究過程或方法〕中。
6. 建議如考量到自製，過程中的衛生清潔度及實用精緻性應再加強。
7. 參考資料格式可參考 APA6 的格式。

作品簡報



口罩「國家隊」→「地球環保隊」
- 自製**PLA**口罩與收集全分解制度

國小組 生活與應用科學(二)
編號： **082911**

研究動機

Q1 2015年哥斯大黎加紀錄片海龜鼻孔被插入石化塑膠吸管



<https://www.natgeomedia.com> 國家地理雜誌

Q2 2020年天下雜誌提到海洋廢棄口罩比水母多



他發現一些常見的海洋垃圾中開始出現廢棄的口罩

<https://www.taqhsa.org.tw/article/182>

Q3 口罩就是石化塑膠製造而且組成非常複雜



解決策略

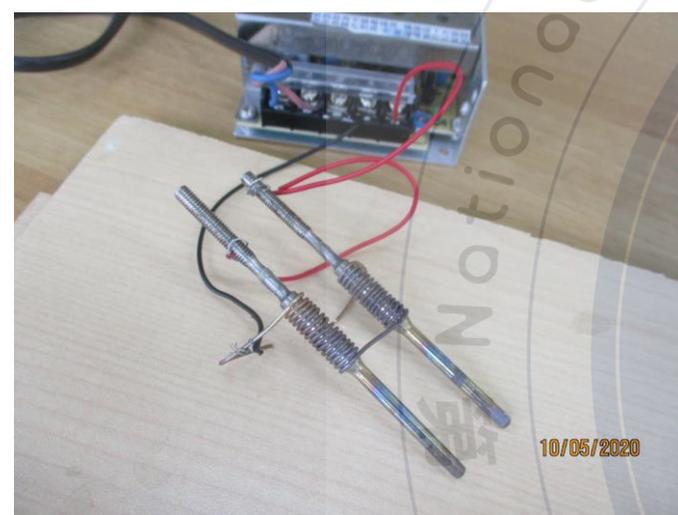
聚乳酸PLA，在土壤裡自然分解成 $H_2O + CO_2$ 。

研究目的

- (一) 環保原料PLA自製研發口罩實驗。
- (二) 自製PLA口罩的檢測實驗。
- (三) 建立PLA口罩收集全分解制度。

自製(一)PLA短纖維實驗

1. 柴油車引擎**預熱塞**，但因溫度不足以熔化**PLA失敗**。
3. 改造**棉花糖機**和打洞**鐵罐頭**，加熱**PLA**粒子後**成功**射出短纖維。



2. 市售**3D列印筆**成品太粗**失敗**，後來改製作鼻樑。

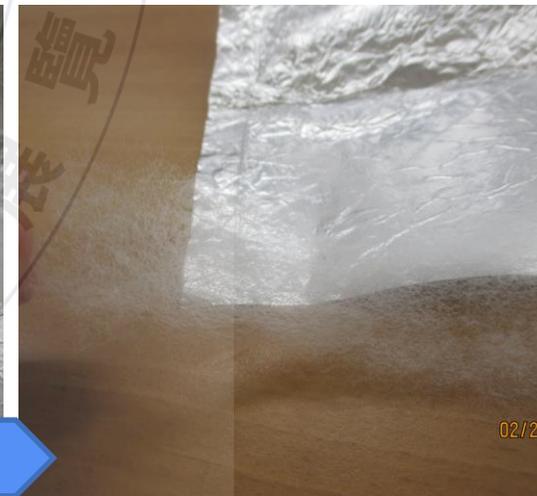


自製(二)PLA不織布實驗

1. **護貝機**因溫度會持續升高 2. **電磁爐**只有玻璃保鮮盒重力 3. **吹風機**和**護貝機**的組合因
且滾輪速度固定而**失敗**。 無法橫向移動而**失敗**。 實驗安全疑慮而**立即中止**。



4. 最後我們用**離子夾**模擬**熱軋**製作不織布，溫度和速度皆可控制，是實驗**成功**因素。



自製(三)耳掛實驗

	包覆橡皮筋的材質	固定方式	舒適性	牢固度
1	粗棉線纏繞	膠帶	耳朵會痛	容易鬆脫
2	細棉線纏繞	針線縫	耳朵會痛	牢固
3	粗棉線+粗橡皮筋	針線縫	無改善	牢固
4	用布包覆耳掛的中心	針線縫	彈性變差，不舒服	牢固
5	比橡皮筋長一點的布套	針線縫	改善許多	牢固
6	比橡皮筋長一點的布套	可拆式(鈕扣)	佳	牢固+方便+可重複使用



布套可隨橡皮筋伸縮完全包覆、非常舒適

鈕扣裝卸、方便個人重複使用



自製(四)鼻樑實驗

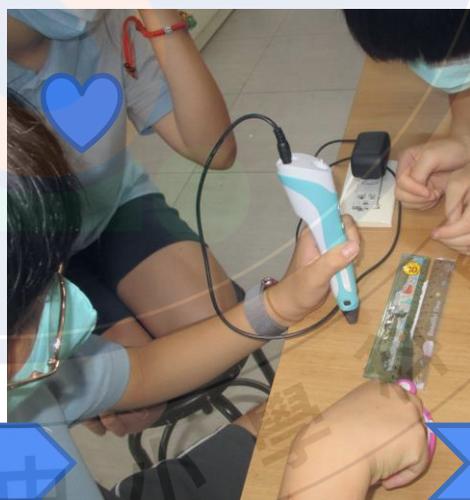
1.3D列印筆沿著微彎鼻樑製作PLA鼻樑，結果斷裂**失敗**。

2.3D列印筆沿著一把尺製作PLA鼻樑，結果斷裂**失敗**。

3.3D列印筆沿著鼻樑內的凹槽製作PLA鼻樑，結果斷裂**失敗**



4.最後以3D列印筆沿著平放桌上間隔約0.5cm的兩把尺，**成功**完成不易斷裂PLA鼻樑。

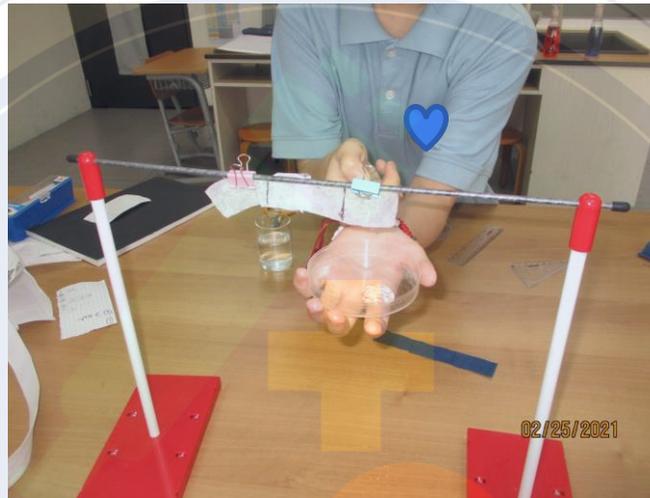


檢測(一)撥水性實驗

1. 毛細現象實驗



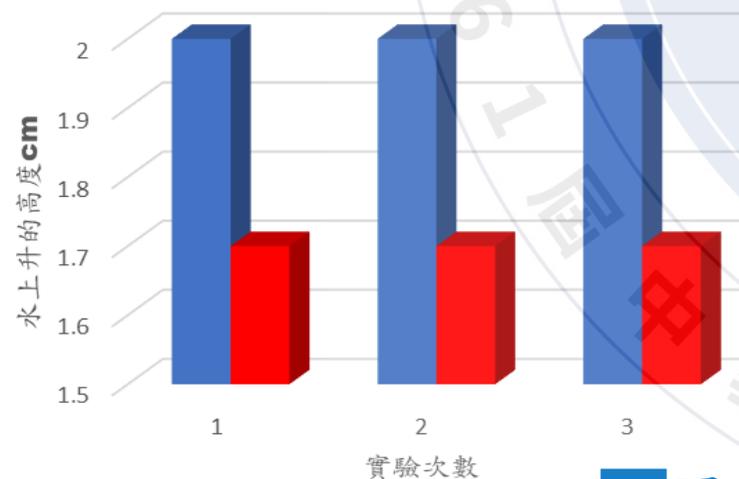
2. 噴水實驗



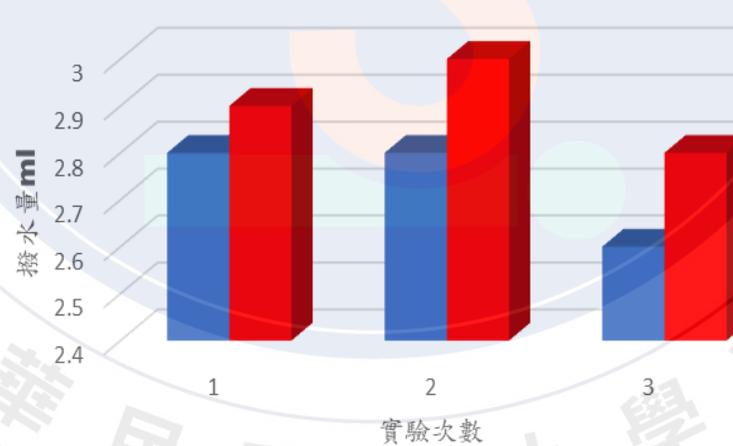
3. 噴霧實驗



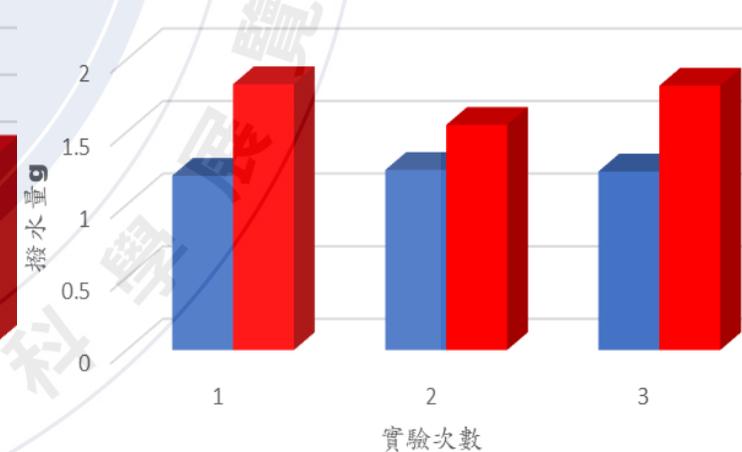
毛細現象實驗結果



噴水實驗結果



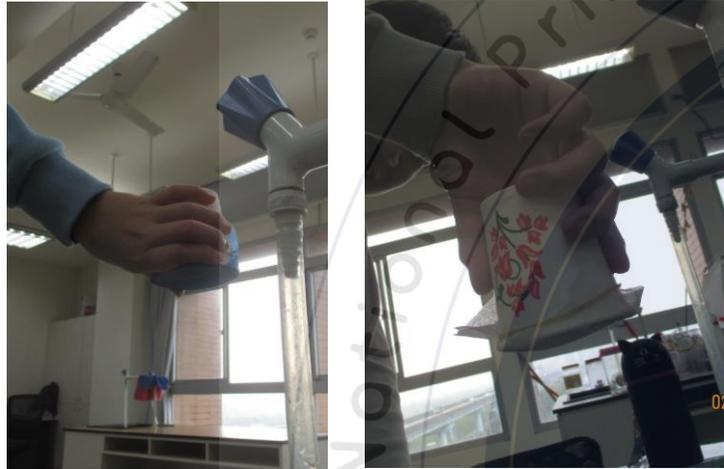
噴霧實驗結果



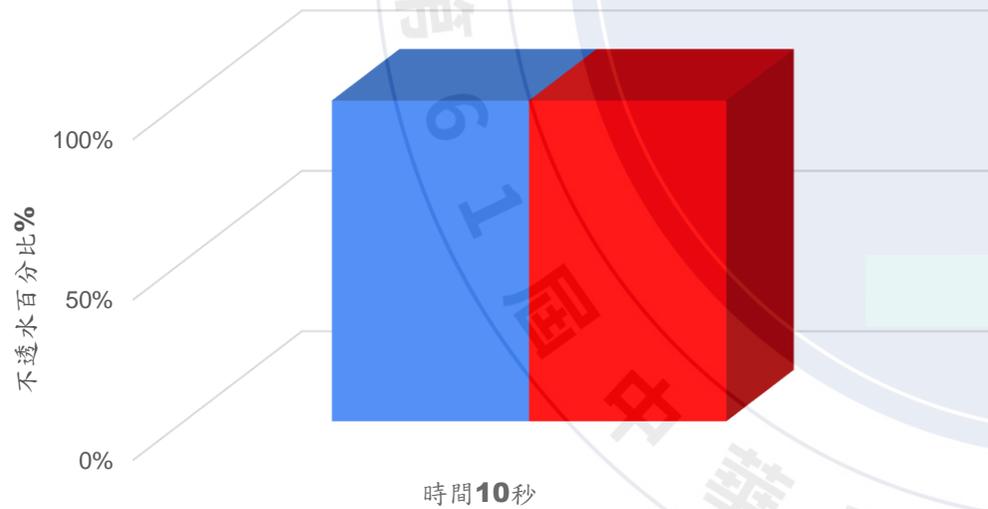
■ 國家隊口罩 ■ 自製PLA口罩

檢測(二)透氣性實驗

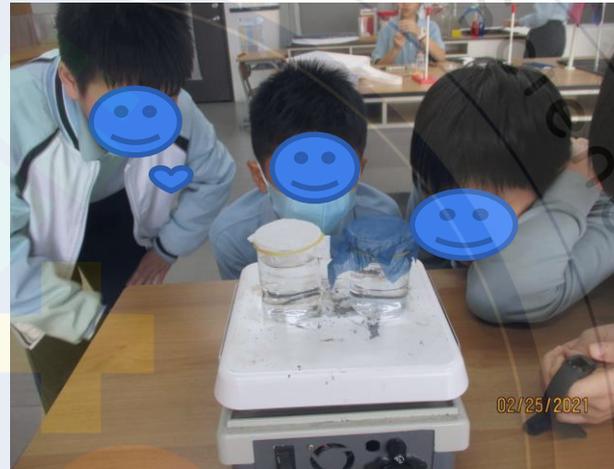
1. 不透水實驗



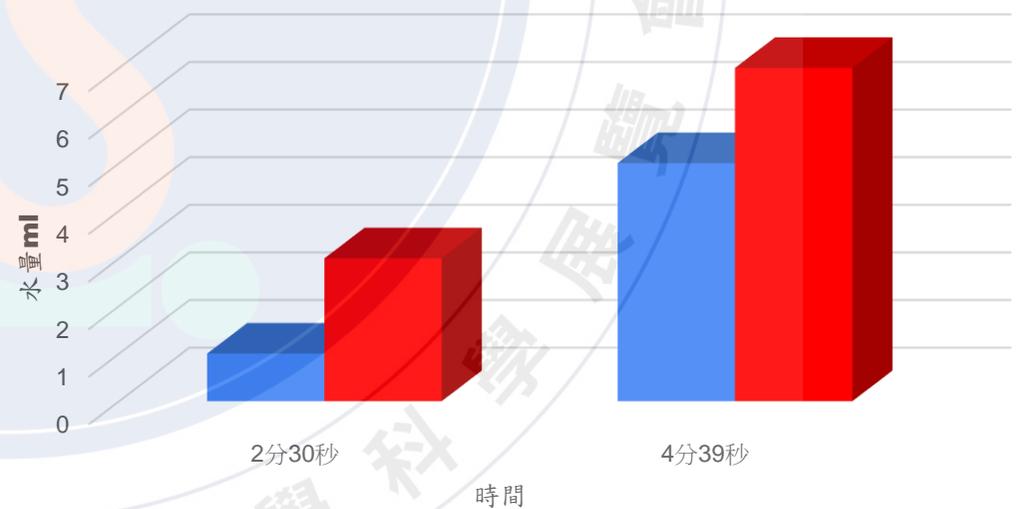
不透水實驗結果



2. 蒸氣透過實驗



蒸氣透過實驗結果



■ 國家隊口罩 ■ 自製PLA口罩

臺灣塑膠回收 現況與建議

1號PET (聚對苯二甲酸乙二酯)
通常製成寶特瓶、工程用塑膠。

2號HDPE (高密度聚乙烯)
通常製瓶盛裝清潔劑、乳製品。

3號PVC (聚氯乙烯)
通常製成人造皮、鼻樑片。

4號LDPE (低密度聚乙烯)
通常製成塑膠袋、保鮮膜。

5號PP (聚丙烯)
通常製成塑膠容器、塑膠餐具。

6號PS (聚苯乙烯)通常製成保麗龍。

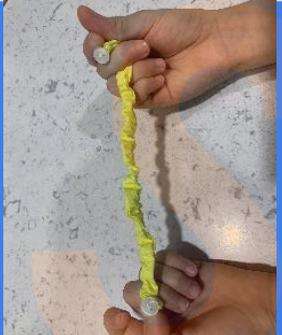
7號OTHER(其他)不屬於上述1→6號。

建議將PLA單獨列為一類

PLA(聚乳酸)

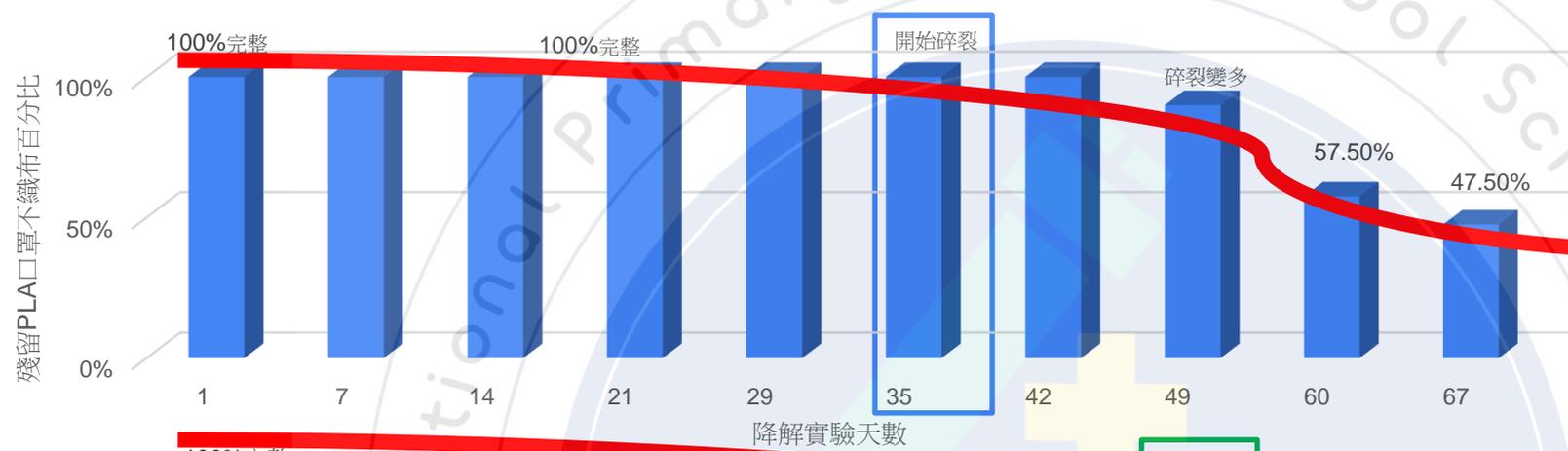
包括口罩本體、裝雞蛋塑膠殼、部分冷食餐具和吸管等...在適當環境下能夠完全分解成水和二氧化碳。

PLA口罩成本分析

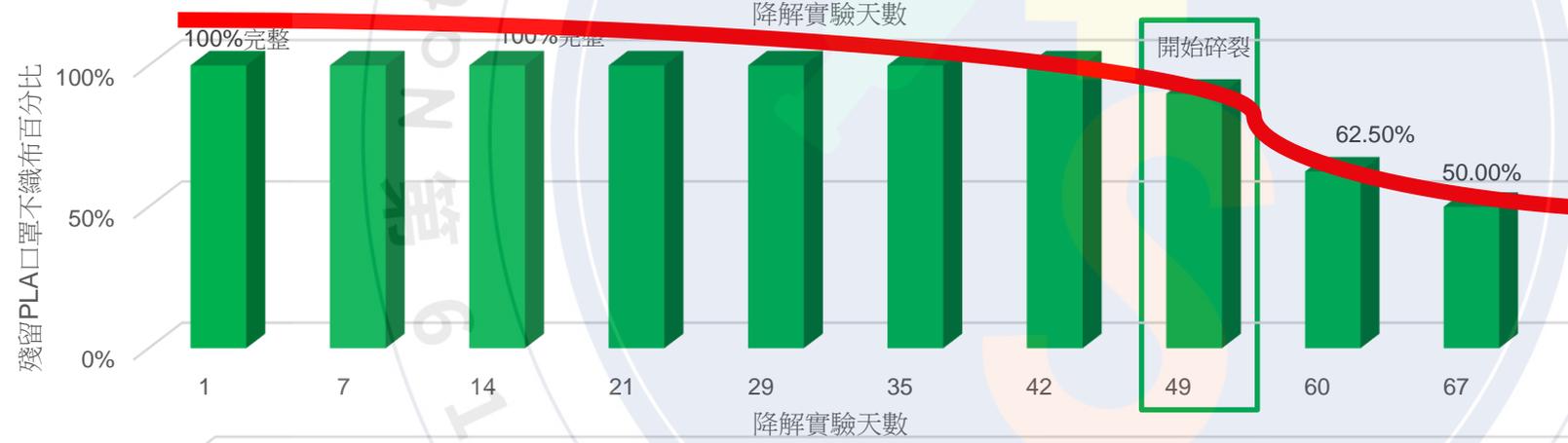
① 本體		<p>PLA粒子：1kg≐170元。 內層大約使用5g、外層大約使用10g。 $170/1000 \times (5g+10g) = 2.55$元。</p>
② 鼻樑		<p>PLA線材：1m≐3元。 一個鼻樑大約使用3cm的PLA線材。 $3/100 \times 3 = 0.09$元。</p>
③ 耳掛		<p>棉布：30x2=60cm²≐0.14元。 橡皮筋：1條≐0.65元。 1cm直徑鈕扣：1顆≐0.4元。 2條x(0.14+0.65+0.4x2)=3.18元。</p>

- 1.成本：①本體+②鼻樑+③耳掛=2.55+0.09+3.18=5.82元。
- 2.耳掛重複供個人使用，以10次為例，成本降為0.318元。
- 3.一個自製PLA口罩成本：2.55+0.09+0.318=2.958元。
- 4.目前市售國家隊口罩一個大約5元，估算六折成本3元。
- 5.機器大量生產，PLA成本可再下降。**成本接近市售口罩**
- 6.第三世界國家物資缺乏，可在家自製初階防護口罩，降低疫情擴大機率。

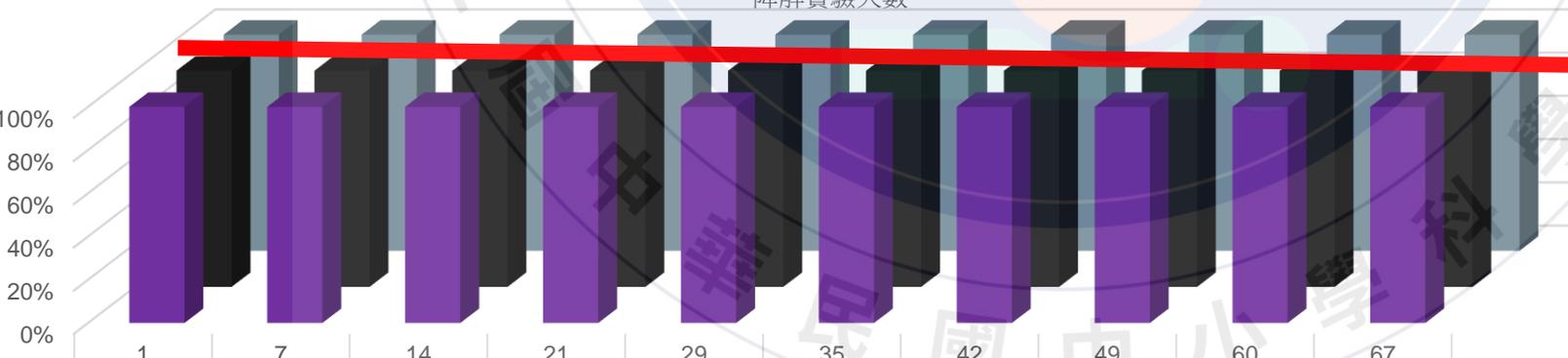
收集全分解(一) PLA降解實驗



模擬堆肥狀態下：
PLA口罩降解趨勢



有機土壤狀態下：
PLA口罩降解趨勢



模擬堆肥狀態下：
有機土壤狀態下：
國家隊口罩**無**降解

對照組狀態下：
PLA口罩**無**降解
國家隊口罩**無**降解

結論

一、自製PLA口罩實驗

- 1.改良棉花糖機抽短纖維
- 2.離子夾熱軋不織布
- 3.重複使用鈕扣型耳掛

二、與國家隊檢測實驗

- 1.自製PLA撥水性佳
- 2.自製PLA透氣性高
- 3.自製PLA舒適度好
- 4.成本相近且可家中自製

三、PLA收集全分解制度

- 1.建議納入PLA所有產品
- 2.期望可建立PLA全分解場

未來展望

【持續研發】

- 複合洋麻纖維
天然植物性纖維
- 熔噴不織布
改良運用

【三管齊下】

- 全分解制度
政府建立全分解場
- 收集獎勵
企業提供獎勵
- 實際執行
居民配合與支持



參考文獻

中小學課本

- ◆國民小學四年級下學期自然與生活科技課本，第二單元：水的移動、活動一毛細現象實驗，南一書局，2020。
- ◆國民小學四年級上學期自然與生活科技課本，第二單元：水中生物、科學閱讀：自然界中的奇妙現象 - 蓮葉效應，南一書局，2019。
- ◆國民小學五年級上學期自然與生活科技課本，第二單元：植物世界、活動一植物的構造與功能，南一書局，2019。
- ◆高級中學生物課本，第三單元：演化與多樣的生物、探討活動3-2病毒是否為生物，龍騰文化，2020。

科學期刊論文

- ◆國家衛生研究院電子報，小口罩大學問，831期，2020。
- ◆中華民國紡織業拓展會，生物可分解性纖維～環保紡織品競爭力市場現況與發展趨勢，經濟部國際貿易局，2008。
- ◆國立交通大學機械工程學系碩士論文，陳立偉，保壓過程之模溫控制對於聚乳酸 / 洋麻纖維和聚乳酸 / 蒙脫土射出成形品的高次構造形成之影響，2009。
- ◆長庚醫訊，長庚大學呼吸治療學系萬國華教授，從COVID-19談「飛沫」對人體的健康威脅與預防，第四十一卷第3期2020.3.1。

媒體報導

- ◆天下雜誌CSR@天下網站，口罩快比水母多，新冠疫情產生的塑膠垃圾快要淹沒海洋、殺死生物，2020。
- ◆端傳媒，回收塑膠真的再利用了嗎？<https://theinitium.com/article/20180730taiwan-pts-plastic-recycle/>，2018.7.30

網路資源

- ◆認識織物，材質應用課程，取自<https://denny.77bbs.com/material/pdf>，2014.10.5。
- ◆熔噴聯盟，認識熔噴不織布，取自<https://meltblown.com.tw>，2020。

政府公開資訊

- ◆台中市政府環境保護局資源回收網，資源回收物品查詢：213橡皮筋rubber band為不可回收物品，請直接交付垃圾車收運，<https://recycle.epb.taichung.gov.tw/recycling/resource.asp>，2021。



口罩保護人類、人類愛護地球
謝謝評審聆聽，敬請批評指教

