

附錄三：適用於國高中的學習單

自製常用的黏合劑並測試其黏合效果

你曾經使用漿糊和透明膠水黏貼紙張嗎？你用過口水沾濕郵票再貼在信封上嗎？你知道漿糊和透明膠水及郵票黏合劑如何製作嗎？本學習單描述三種黏合劑的製作方法和過程，提供給國高中教師的教學參考，作為學生自製黏合劑的動手做教材。製作黏合劑有三種：(1)白色漿糊（使用玉米粉和水）、(2)甜味膠水（使用玉米粉、蔗糖、阿拉伯膠粉及水）、以及(3)透明膠水（使用聚乙烯醇和水）；並以定性和定量測試方式，比較這三種自製黏合劑和兩種市售黏合劑對紙張和木材的黏合效果。

■ 藥品與器材

一、製作黏合劑

玉米粉 13 公克/組、蔗糖 30 公克/組、阿拉伯膠粉 2 公克/組、聚乙烯醇（細顆粒）15 公克/組、冰棒棍 4 支/組、有把手小鋼杯（約 200 毫升）3 個/組、廚房用量杯（100 或 200 毫升）1 個/組、廚房用量匙（1 套有 4 支）4 套/班（或直接使用攜帶型電子秤稱重）、廚房用溫度計（數位）6 支/班、電磁爐 2 台/班、不鏽鋼大水盤 2 個/班、不鏽鋼水壺（1.0-2.0 公升）1 個/班、不鏽鋼杯（0.6-1.0 公升）1 個/班、自來水（裝在保特瓶中）100 毫升/組、工作手套 1 雙/組、滴管（3 毫升）1 支/組、防腐劑（如 2% 苯甲酸鈉溶液）200 毫升/班、衛生紙 1 包/組，如圖 1 所示。



圖 1：製作黏合劑需用器材、材料和藥品（左）；加熱裝置和不鏽鋼具（中和右）

二、測試黏合劑的黏合效果

市售透明膠水 1 瓶/組、自製透明膠 少量/組、自製甜味膠水 少量/組、自製白色漿糊 少量/組、市售白色漿糊 1 瓶/組、影印紙（A4）1 張/組、冰棒棍 18 支/組、吹風機 3 支/班、

電線延長線 3 條/班、長尾夾 (No. 224 或 No. 225) 20 支/組、直尺 1 支/組、原子筆 (或鉛筆) 1 支/組、迷你螺絲起子盒 (6 支) 1 盒/組、橡皮筋 15 條/組、衛生紙 2 張/組、數位電子拉力秤 (行李秤) 1 台/2 組、支撐架 (如雙 A 鋁梯) 1 座/2 組、粗塑膠線 (或粗棉線) 1 條/2 組、S 型金屬掛勾 1 個/2 組、粗木棍 (直徑或邊寬約 2.0-2.5 公分)、1 根/2 組，如圖 2 所示。



圖 2：測試黏合劑的黏合效果需用器材和材料，定性比較用（左）；定量比較用（中和右）

■ 實驗步驟

實驗一：製作白色漿糊

1. **初步混合：**(1)用量匙量取 1 大匙 (平匙約 8.8 公克) 的玉米粉，放入一個有把手小鋼杯中，(2)用量杯量取約 50 毫升的熱自來水，倒入杯中，用冰棒棍攪拌均勻，如圖 3 所示。
〔註 1：熱水使玉米粉的澱粉糊化，方便後續溶解。註 2：平匙是指用量匙量取細粒或粉末時匙內容物是平的，可用直の木棒除去多餘部分，即得到一平匙。〕



圖 3：玉米粉加入熱水中並攪拌

2. **間接加熱：**(1)放一個大水盤在電磁爐上，在大水盤中加入約 2 公分高的自來水。(2)放上述的小鋼杯在大水盤上，(3)在小鋼杯內插入一支廚房用溫度計。(4)打開電磁爐的電源。(5)在沸騰的熱水浴中間接加熱約 3 分鐘，如圖 4 所示。〔註 1：若溫度高於 95°C，關閉電源停止加熱。註 2：若無溫度計測量溫度，務必留意大水盤內一定要有水。此時小鋼杯內

的溫度不會超過 100°C。]



圖 4：放小鋼杯在熱水浴中間接加熱

3. **趁熱攪拌：**(1)關閉電源，戴工作手套，取出小鋼杯，如圖 5 左所示。(2)放小鋼杯在桌上，立即趁熱攪拌內容物直到混合均勻。(3)靜置冷卻後呈現白色糊狀物，如圖 5 右所示。〔註：若要長期存放黏合劑，可加入 0.5-1.0 毫升的防腐劑（如 2% 苯甲酸鈉溶液）。〕

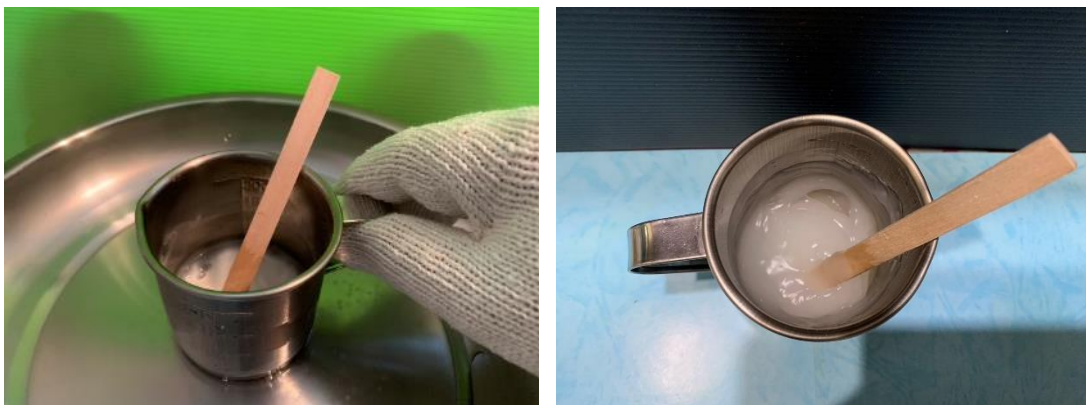


圖 5：戴工作手套取出小鋼杯（左）；趁熱攪拌後呈現白色糊狀物（右）

實驗二：製作甜味膠水

1. **初步混合：**(1)用量匙量取 1 又 1/2 茶匙（平匙約 4.5 公克）的玉米粉，放入一個有把手小鋼杯中。(2)用量杯量取約 50 毫升的熱自來水，倒入杯中，立即用冰棒棍攪拌均勻。(3)再加入 2 大匙的（平匙約 30 公克）蔗糖，攪拌均勻。(4)然後加入 1 茶匙（平匙約 2.0 公克）的阿拉伯膠粉，用冰棒棍靠著杯壁擠壓膠狀懸浮物，使之分散並且攪拌直到溶解，如圖 6 所示。



圖 6：在杯中依序加入熱水、玉米粉、蔗糖及阿拉伯膠粉並分別攪拌之

2. **間接加熱**：與【實驗一】的步驟 2 相同，小鋼杯中的內容物在熱水浴中加熱約 3 分鐘，如圖 7 所示。

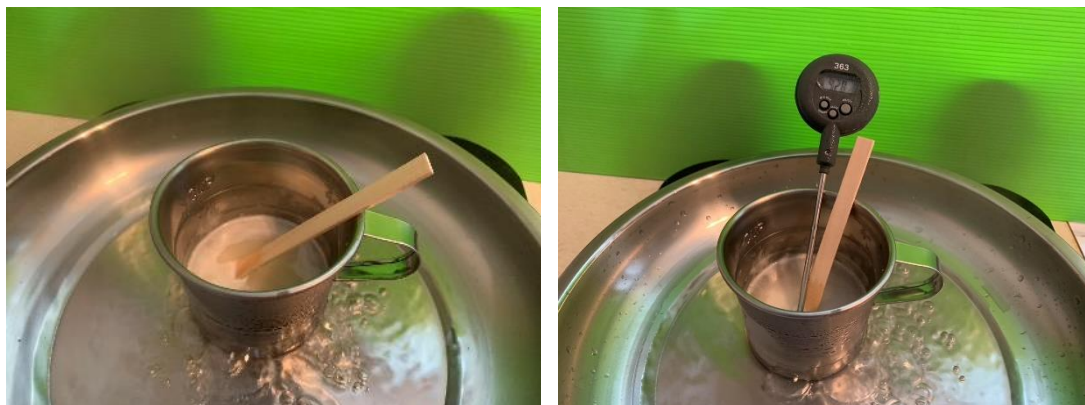


圖 7：內容物在沸騰水中間接加熱

3. **趁熱攪拌**：與【實驗一】的步驟 3 相同，如圖 8 所示。靜置冷卻後呈現半透明的黏稠液體。

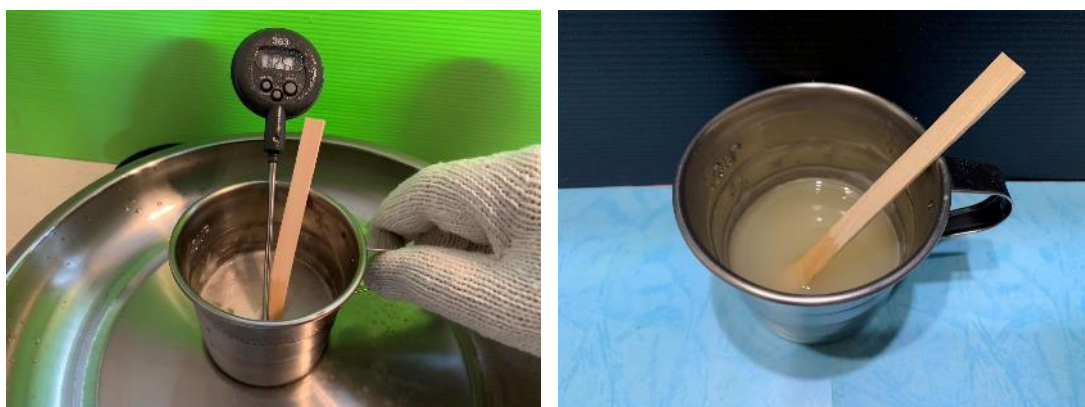


圖 8：戴工作手套取下小鋼杯（左）；趁熱攪拌後呈現半透明的黏稠液體（右）

實驗三：製作透明膠水

1. **初步混合**：(1)用量匙量取 3 茶匙（平匙約 10.5 公克）的聚乙烯醇（PVA），加入一個有把手的小鋼杯中。(2)用量杯量取約 20 毫升的室溫水，倒入杯中，用冰棒棍攪拌促使顆粒盡可能分開。(3)再加入約 70 毫升的熱水，立即用冰棒棍快速攪拌，避免顆粒黏在一起，如

圖 9 所示。〔註 1：先用室溫水再用熱水，室溫水使 PVA 顆粒分開而不易結塊。若直接使用熱水，容易造成顆粒黏在一起。註 2：若遇到結塊的情形，可用冰棒棍靠杯壁擠壓結塊促使分散，也可在後續的間接加熱延長加熱時間。註 3：不同廠牌的 PVA 聚合度和解醇度有差異，以致結塊的程度不同且大小不一。〕



圖 9：在杯中依序加入聚乙烯醇、室溫水及熱水並攪拌之

2. **間接加熱**：與【實驗一】的步驟 2 相同，如圖 10 所示。〔註：若間接加熱 3 分鐘後仍有結塊的情形，可延長加熱的時間。〕



圖 10：內容物在沸騰水中間接加熱

3. **趁熱攪拌**：與【實驗一】的步驟 3 相同，如圖 11 左和右所示。當攪拌時溶液會發生很多氣泡，但在靜置冷卻後逐漸變成透明澄清液體。〔註 1：若仍有結塊或有未完全溶解的情況，可關掉電源，一手握住小鋼杯另一手用冰棒棍靠著杯壁擠壓促使分散，並激烈地快速攪拌（小心避免溶液不慎逸出）直到溶解。註 2：當冷卻過程時溶液變得更黏稠時，趁機快速攪拌並擠壓結塊，可加速溶解。註 3：若攪拌一段時間後仍未完全溶解，可加入約 20 毫升的熱水，重複步驟 2（間接加熱）。若仍未完全溶解，再重複之。〕



圖 11：戴工作手套取出小鋼杯（左）；趁熱攪拌，靜置後呈現透明的黏稠液體（右）

實驗四：測試黏合劑的黏合效果

一、定性測試黏合效果

1. 在桌上放置四種黏合劑，由左而右依序排列：(1)市售透明膠水、(2)自製透明膠水、(3)自製甜味膠水、及(4)自製白色漿糊，如圖 12 所示。



圖 12：排列四種黏合劑，以便測試其黏合效果

2. **定性測試黏合劑對紙張的黏貼效果：**(1)取 1 張 A4 紙，撕成 16 等分（每小張大小為 A4 的 1/16）。(2)先取 4 小張紙，分別用冰棒棍沾濕上述四種黏合劑（市售透明膠水、自製透明膠水、自製甜味膠水及自製白色漿糊），均勻地塗抹在每一小紙張的一面形成約 1 公釐的薄層（塗抹一次或兩次，看起來濕濕的）。(3)再取 4 紙小張紙，分別貼在剛剛塗抹黏合劑的小紙張上。(4)再用冰棒棍適度地擠壓多餘的黏合劑並用衛生紙擦掉。(5)依序放置已塗抹黏合劑的小紙張在四種樣品前面，如圖 13 左的第二排。(6)以自然乾燥（24 小時）慢速或用吹風機快速吹乾這些小張紙。(7)用雙手撕開小紙張，定性測試其黏合效果。(8)依序放置在四種樣品前，如圖 13 右的第二排。〔註：乾燥的小張紙會變硬。〕

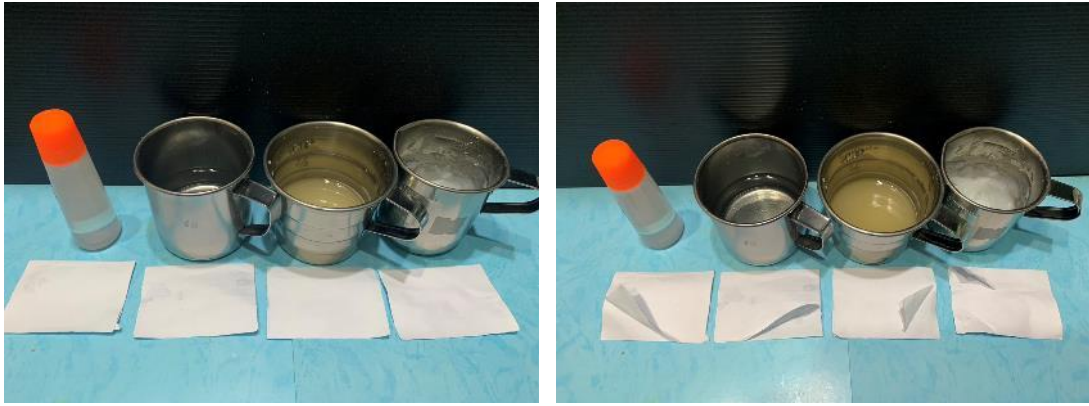


圖 13：依序放置已塗抹黏合劑的小紙張（左）；依序放置已測試黏合效果的小紙張（右）

3. **定性測試黏合劑沾水後的黏性強弱：**(1)取 4 張小張紙，分別用冰棒棍沾濕四種黏合劑(市售透明膠水、自製透明膠水、自製甜味膠水及自製白色漿糊)，均勻地塗抹在每一小紙張的一面形成約 1 公釐的薄層薄層(塗抹一次或兩次，看起來濕濕的)。(2)依序放置在四種樣品前，如圖 14 左的第三排。(3)以自然乾燥慢速或用吹風機快速吹乾這四張小張紙。(4)再用手指沾水(或沾口水)塗抹在已乾燥的黏合劑上，用手指感覺其黏性強弱。(5)依序放置在四種樣品前，如圖 14 右的第三排。

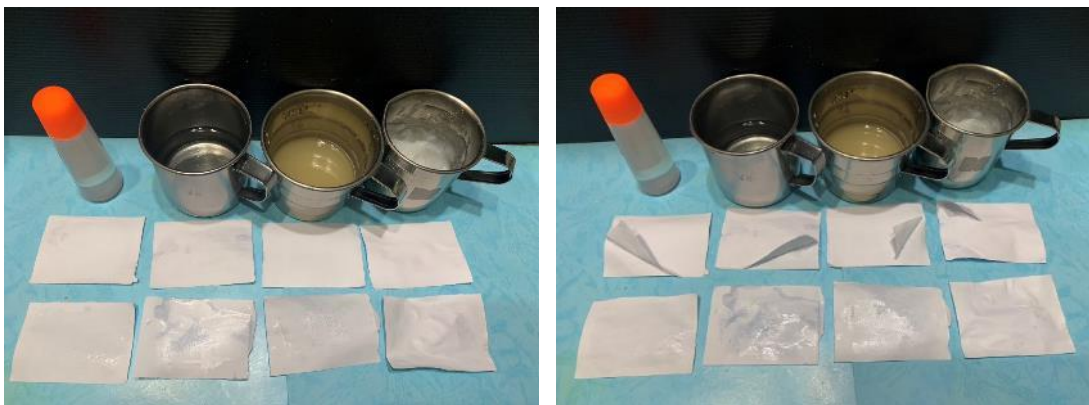


圖 14：依序放置塗抹黏合劑的小紙張（左）；依序放置小紙張沾水後測試其黏性強弱（右）

4. **定性測試黏合劑沾水後對紙張的黏合效果：**(1)續用步驟 3 已沾水的四張小張紙。(2)用另外的四張小張紙，黏貼在剛剛沾水的小紙張上(必要時，自然乾燥或吹風機吹乾)，如圖 15 左的第三排。(3)用雙手撕開小紙張，測試其黏合效果。(4)依序放在四種樣品前，如圖 15 右的第三排。〔註：乾燥的小張紙會變硬。〕

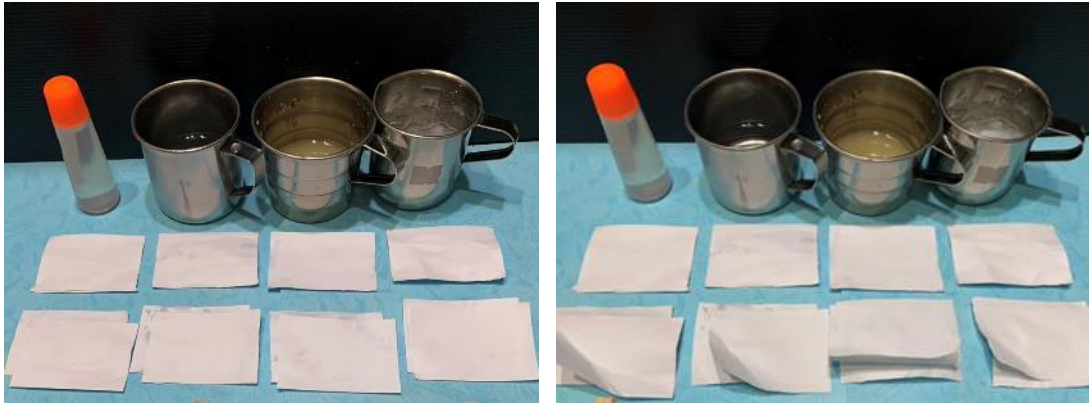


圖 15：依序放置小紙張貼上沾水在黏合劑（左）；依序放置貼上紙張測試黏合效果（右）

5. **定性測試黏合劑對木材的黏合效果：**(1)取 8 支冰棒棍，以兩支成對的方式分別沾濕四種不同的黏合劑（市售透明膠水、自製透明膠水、自製甜味膠水及自製白色漿糊）。(2)首先分別塗抹四種黏合劑在成對的冰棒棍一面的一半長度（形成約 1 公釐的薄層，看起來濕濕的，不要塗抹過多或太少），然後分別合併成對的冰棒棍。(3)分別使用長尾夾夾緊成對合併的冰棒棍。(4)用衛生紙擦去被擠出多餘的部分。(5)放置這四組成對的冰棒棍在四種黏合劑樣品前，如圖 16 左的第四排的位置。(6)以自然乾燥慢速（24 小時）或用吹風機快速吹乾方式，乾燥四組冰棒棍之間的黏合劑。(7)用雙手的手指撥開冰棒棍的黏合端，測試其黏合效果。(8)分別放置已撥開的四組冰棒棍在四種樣品前，如圖 16 右的第四排。

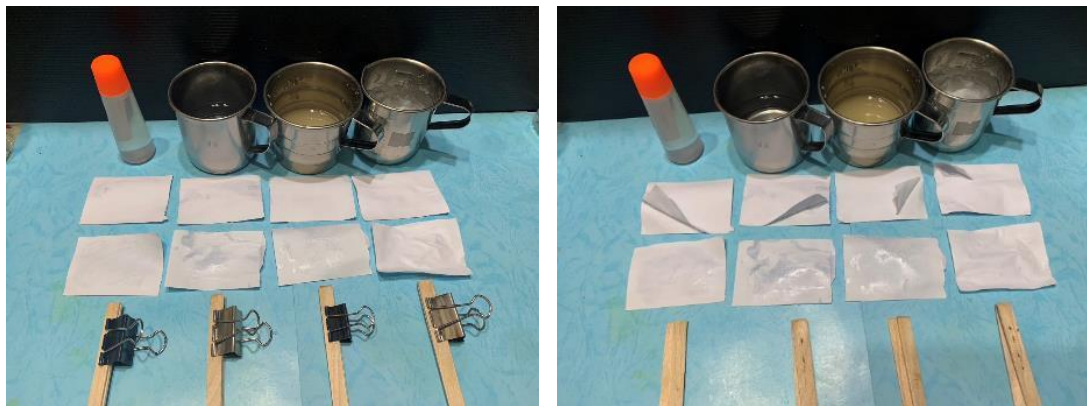


圖 16：依序放置沾黏合劑並夾緊的成對冰棒棍（左）；依序放置已測試黏合效果的成對冰棒棍（右）。

二、定量測試黏合效果

1. 在桌上放置五種黏合劑，由左而右依序排列：(1)市售透明膠水、(2)自製透明膠水、(3)自製甜味膠水、(4)自製白色漿糊、及(5)市售白色漿糊，如圖 17 所示。



圖 17：排列放置五種黏合劑，以便測試其黏合效果

- 取 10 支冰棒棍，分別在一端 2.0 公分處和在另一端 0.5 公分處，用筆畫一條直線，如圖 18 左所示。然後，在 2.0 公分處的中間位置，用迷你螺絲起子盒鑽一小孔，如圖 18 右所示。〔註 1：鑽孔的大小約與長尾夾尾柄的鋼絲粗細相同，孔洞不宜過大而造成在後續測試時冰棒棍裂開。註 2：鑽孔時宜先用最細的螺絲起子，再逐次使用次大者。〕

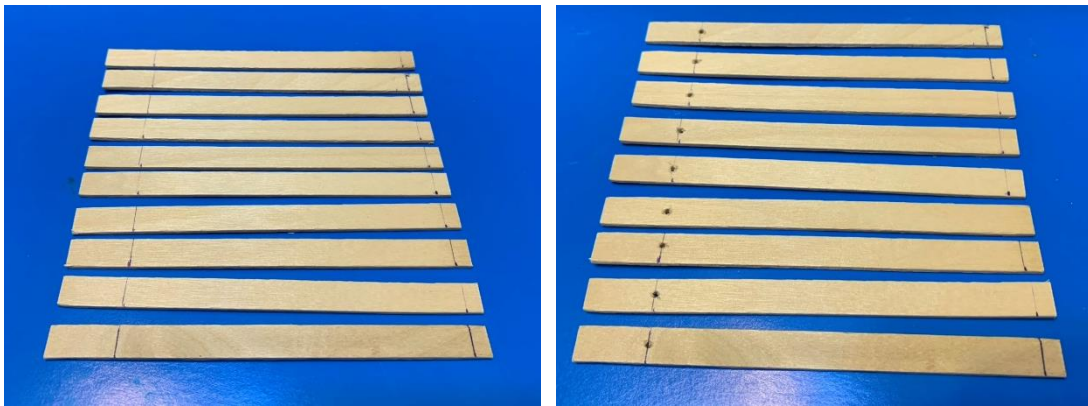


圖 18：在冰棒棍的兩端畫線（左）；在冰棒棍的一端 2.0 公分處鑽孔（右）

- 取下長尾夾的一條尾柄鋼絲，插入冰棒棍的孔洞，此鋼絲再套入長尾夾的夾體鋼片，形成一個掛勾。然後兩兩成對排列在一起，如圖 19 左所示。在冰棒棍靠近鑽孔旁，用橡皮筋以繞圈方式綁緊冰棒棍。然後兩兩成對排列在一起，如圖 19 右所示。〔註：綁緊冰棒棍的用意是在後續試時防止冰棒棍在孔洞處裂開。〕

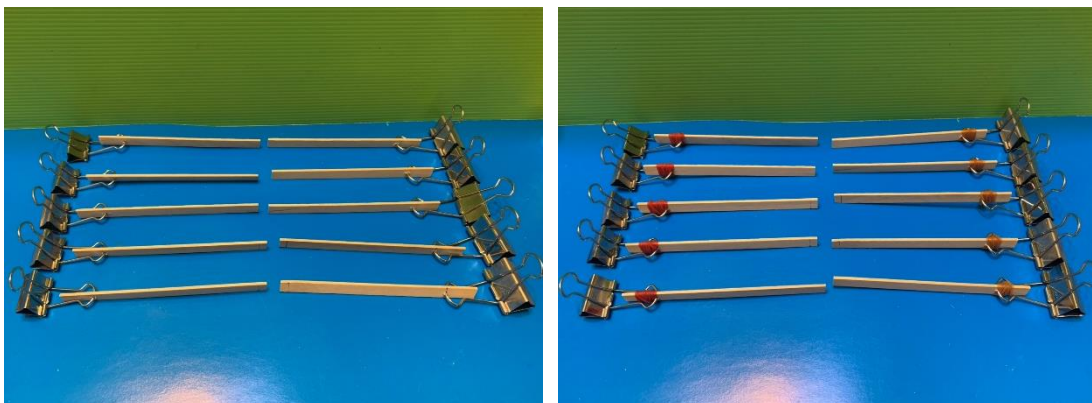


圖 19：在冰棒棍的孔洞套上長尾夾（左）；在冰棒棍的鑽孔旁用橡皮筋纏繞綁緊（右）

- 塗抹黏合劑並乾燥：(1)取五組成對的冰棒棍，在 0.5 公分畫線端的一面，分別塗抹五種

黏合劑 (市售透明膠水、自製透明膠水、自製甜味膠水、自製白色漿糊、及市售白色漿糊) · 使之形成約 1 公釐的薄層。(2)然後黏貼成對冰棒棍的兩端在一起，黏貼長度剛好為 0.5 公分，用長尾夾夾緊。用衛生紙，擦掉多餘的膠水，如圖 20 左所示。(3)為使兩支冰棒棍黏貼成一條直線，先放置成對的冰棒棍在桌角邊的桌面上(長尾夾不可接觸在桌面上)，再稍微鬆開長尾夾，壓下冰棒棍使之成直線，然後夾緊(夾的位置務必在中間位置)，如圖 20 中所示。(4)依序放置這五組待測試冰棒棍在樣品前，如圖 20 右所示。(5)長時間(24 小時)自然乾燥這五組冰棒棍的黏合劑。〔註 1：在後續測試黏合效果後，在畫線端 0.5 公分的另一面，重複塗抹黏合劑並乾燥，進行第二次測試。註 2：若欲重複使用這些冰棒棍，用砂布或刀片刮除殘留的乾固黏合劑。註 3：若欲節省實驗的時間，可增加製作五組冰棒棍，每種黏合劑有兩套。〕



圖 20：成對的冰棒棍塗抹黏合劑後用長尾夾夾緊(左)；黏合成對的冰棒棍成為一條直線(中)；五組測試冰棒棍排列在黏合劑樣品前(右)

5. **組裝定量測試裝置：**(1)用粗塑膠線(或粗棉線)，以纏繞多圈方式綁緊 1 台數位電子拉力秤在支撐架(如雙 A 鋁梯)的上方，如圖 21 左所示。(2)在拉力秤的掛勾上，掛住待測冰棒棍一端的長尾夾，如圖 21 中所示。(3)在冰棒棍下方的長尾夾，放置一個 S 型金屬掛勾，如圖 21 右所示。(4)在 S 型掛勾的下方，放置一支粗木棍，如圖 22 左所示；(5)在粗木棍的一端，放置在重物(如重的椅子加上裝水的保特瓶)的下方，如圖 22 右所示。



圖 21：拉力秤綁緊在支撐架上(左)；拉力秤的掛勾掛上待測冰棒棍的長尾夾(中)；在下方的長尾夾上，放置 S 型掛勾(右)



圖 22：放置一支粗木棍在掛勾的下方（左）；粗木棍的一端放在重物的下方（右）

6. **測試剪切力和剪切強度：**(1)歸零電子拉力秤，並關閉秤重鎖定的功能；(1)放置粗木棍在 S 型掛勾上（作為槓桿的支點），如圖 23 左所示；(2)用手握住粗木棍的一端，首先稍加下壓（作為槓桿的施力點），如圖 23 中所示，此時粗木棍的另一端（重物端）會向上頂住重物（作為槓桿的抗力點）；(3)然後，逐漸增加下壓施力，同時注視拉力秤顯示的重量變化，直到成對冰棒棍的黏合處斷掉，並記錄斷掉時的重量，如圖 23 右所示；(4)計算此黏合劑的剪切力和剪切強度。



圖 23：粗木棍放在 S 型掛勾上（左）；手握住壓粗木棍並下壓施力（中）；同時注視拉力秤顯示的重量變化（右）

■ 實驗結果與討論

一、定性測試黏合劑的黏合效果

定性比較四種黏合劑與紙張的黏合效果以及與木材的黏性強弱，如表 1 所示。黏性強弱和黏合效果分為五等級描述：很好、好、普通、差及很差。

表 1：定性測試黏合劑的黏性強弱和黏合效果

測試項目	市售透明膠水	自製透明膠水	自製甜味膠水	自製白色漿糊
1.與紙張的黏合效果				

2.先乾燥再沾水的黏性強弱				
3.沾水後再黏貼的黏合效果				
4.與木材的黏合效果				

實驗討論：

二、定量測試黏合劑的剪切力和剪切強度

本實驗的定量測試採用剝離黏合力測試 (peel adhesion test)，剝離黏合力是指黏合的物件被破壞時所能承受的應力。剝離黏合力有 90° 和 180° 之分，本實驗採用 180° 剝離力，亦稱剪切力 (shear force)，其單位以公斤 (kg) 表示，亦即當黏合接觸面經過一定時間後在外力作用下黏合劑被破壞所受到的應力，此時上下兩外力大小相等且方向相反，與黏合面平行。剪切強度 (Shear strength) 是指黏合的物件被破壞時，單位黏合面積所能承受的剪切力，其單位以兆帕 (MPa, kg/cm^2) 表示。

本實驗測試的樣本有五種：市售透明膠水、自製透明膠水、自製甜味膠水、自製白色漿糊及市售白色漿糊。定量測試五種黏合劑的剪切力，如表 2a 所示。定量測試五種黏合劑的剪切強度，如表 2b 所示。

表 2a：定量測試五種黏合劑的剪切力 (單位：kg)

試驗	市售透明膠水	自製透明膠水	自製甜味膠水	自製白色漿糊	市售白色漿糊	M	SD	CV
1								
2								
3								
4								
M						---	---	---
SD						---	---	---
CV						---	---	---

註：M (Mean) 表示平均值，SD (Standard deviation) 表示標準差，CV (coefficient of variation) 表示變異係數 = (標準差/平均值)*100%。試驗 1-4 的剪切力數值：拉力秤的顯示重量扣掉 1 條橡皮筋、1 個長尾夾及 1 個 S 金屬型掛的總重。

表 2b：定量測試五種黏合劑的剪切強度 (單位：MPa, kg/cm²)

試驗	市售透明膠水	自製透明膠水	自製甜味膠水	自製白色漿糊	市售白色漿糊	M	SD	CV
1								
2								
3								
4								
M						---	---	---
SD						---	---	---
CV						---	---	---

註：M、SD 及 CV 的定義，如表 2a 所述。

實驗討論：

■ 實驗注意和廢棄物處理

1. 在操作實驗時應該注意安全防護，務必戴安全眼鏡和工作手套。
2. 使用的器材和材料沒有危險性，藥品沒有危害性，但仍須小心使用。
3. 所有固體廢棄物可丟棄於一般垃圾桶，所有液體廢棄物可用水沖掉。

■ 課堂討論和探究與實作的問題

一、課堂討論的問題

1. 在初步混合時，在實驗一（製作白色漿糊）和在實驗二（製作甜味膠水）中，為何使用熱水而不使用室溫水？而在實驗三（製作透明膠水）中，為何先使用室溫水再使用熱水而不直接使用熱水？

2. 在實驗二(製作甜味膠水)中,在初步混合時為何在熱水中依序添加並攪拌玉米粉、蔗糖及阿拉伯膠粉?為什麼添加順序不宜相反?

3. 在製作黏合劑的過程中,假如出現結塊的情形,需要如何處理使結塊快速消失?

4. 在製作黏合劑的過程中,在間接加熱之後為何要趁熱攪拌?

5. 在製作黏合劑的過程中,為何使用間接加熱(熱水浴)而不使用直接加熱?

6. 哪些因素影響聚合物的溶解速率？在本實驗中運用哪些作法來加速聚合物的溶解速率？

7. 以分子結構的微觀層次·黏合劑成分(玉米粉的澱粉·阿拉伯膠的阿拉伯半乳聚糖及聚乙烯醇)的分子結構式中的官能基與其性質之間的關連是什麼？

8. 以分子結構的微觀層次·被黏物成分(木材和紙張含纖維素和半纖維素)的分子結構式中的官能基與其性質之間的關連是什麼？

9. 以分子結構的微觀層次·黏合劑成分(玉米粉的澱粉·阿拉伯膠的阿拉伯半乳聚糖及聚乙烯醇)與木材和紙張成分(纖維素和半纖維素)的官能基之間主要的作用力是什麼？

10. 舉出在日常生活中運用黏合劑和黏合原理的實例。

二、探究與實作的問題

1. 探究實驗一（製作白色漿糊）玉米粉與水的混合比例（玉米粉濃度）對黏合效果有何影響？
2. 探究實驗二（製作甜味膠水）阿拉伯膠粉與水的混合比例（阿拉伯膠濃度）對黏合效果有何影響？
3. 探究實驗三（製作透明膠水）聚乙烯醇與水的混合比例（聚乙烯醇濃度）對黏合效果有何影響？
4. 探究實驗二（製作甜味膠水）添加蔗糖的量對黏合效果有何影響？
5. 探究實驗三（製作透明膠水）控制溫度對聚乙烯醇在水的溶解度和溶解速率有何影響？
6. 找出影響聚合物（玉米粉、阿拉伯膠粉及聚乙烯醇）溶於水最關鍵的因素。〔影響因素有：分子結構、溶劑特性、溫度、攪拌條件、顆粒大小以及化學添加劑等。〕
7. 設計並製作一項新的「製作黏合劑」實驗，並在測試後得到很好的黏合效果。〔取自日常生活材料，除本實驗三種黏合劑之外。〕
8. 設計並製作一項新的「測試黏合劑的黏合效果」定量實驗，並試驗其可行性。
9. 改善實驗三（製作透明膠水）在製作過程中的結塊問題，以加速聚乙烯醇的溶解速率。

實驗設計者：楊水平 國立彰化師範大學化學系

文章發佈：《臺灣化學教育》，第 60 期。

期刊網站：<https://chemed.chemistry.org.tw/>