

自製常用的黏合劑並測試其黏合效果

楊水平

國立彰化師範大學化學系

yangsp@cc.ncue.edu.tw

摘要：本文介紹三種適合學生自行製作的黏合劑(白色漿糊、甜味膠水及透明膠水)並測試其黏合效果。這些黏合劑的製作過程簡單，材料取得容易且安全，適合在家中或學校進行。本實驗設計特色包括：變更傳統黏合劑的配方，鼓勵學生動手實作；使用家用產品，材料方便取得；操作過程簡易且低危險性，包括初步混合、間接加熱及趁熱攪拌三大步驟；透過加熱和攪拌，加速聚合物的溶解速率；讓學生體驗製作生活用品的樂趣；提供教學指引，呼應自然科學領域的學習重點；並提供課堂討論及延伸探究與實作的問題，激發學生求知求解的學習動機。

■ 簡介

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？本文描述三種黏合劑的製作方法和過程，提供給國小、國中及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，定性測試適用於國小，而定性和定量測試適用於國高中。

本文的實驗設計特色為：(1)變更三種傳統黏合劑的配方和製作方式，有助於學生親自動手做；(2)製作三種黏合劑均為結合日常生活的家庭實驗，幾乎使用家用產品，方便在五金百貨賣場、書局文具行、食品材料行、超市、藥局及網路商店(阿拉伯膠和聚乙烯醇)等處購得，而且使用的家用產品具低危險性；(3)這些家庭實驗的操作過程簡易不複雜，分為三大步驟進行：初步混合、間接加熱及趁熱攪拌，方便在家中或在學校的教室或實驗室進行；(4)以加熱和攪拌方式，加速聚合物的溶解速率，縮短製作的時間；(5)讓學生親自感受動手製作生活用品的樂趣；(6)作者提供教學取向的資料，包括呼應自然科領域綱要的學習表現和學習內容以及教學指引，作為教師教學設計的參考；以及(7)提供一些課室討論的問題和延伸探究與實作的問題，激發學生進一步求知求解的學習動機。

■ 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。

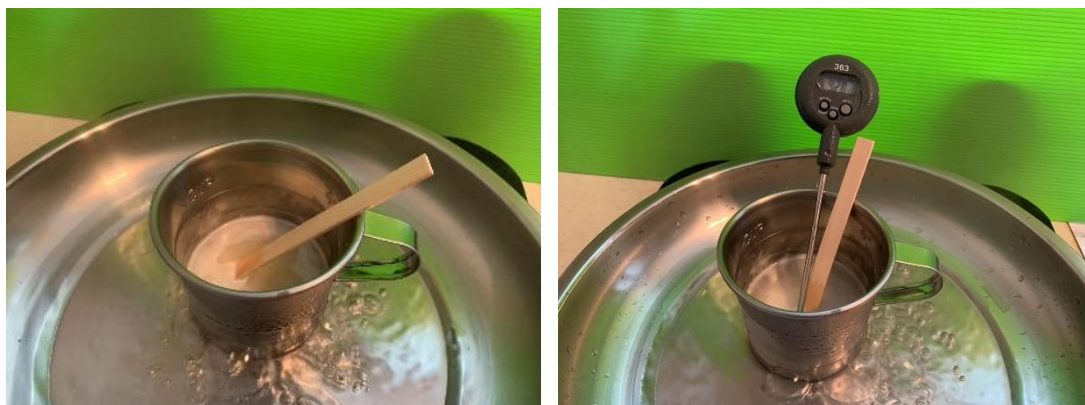


圖 7：內容物在沸騰水中間接加熱

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。

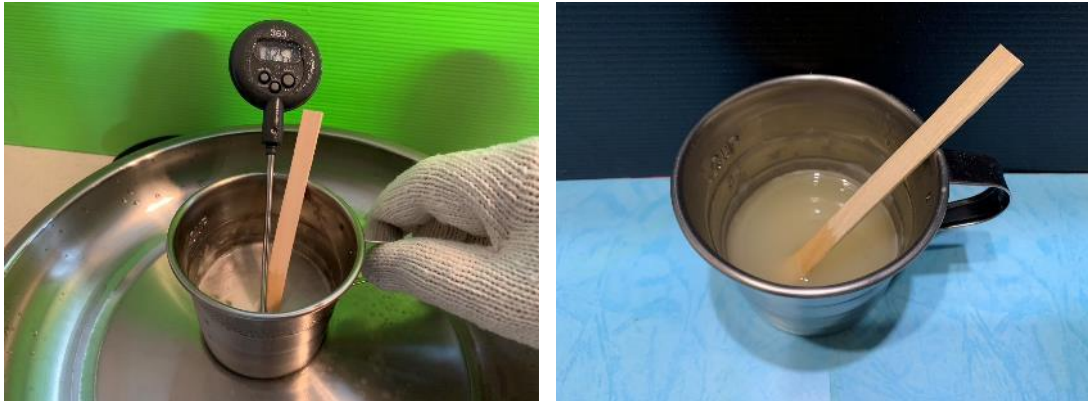


圖 8：戴工作手套取下小鋼杯（左）；趁熱攪拌後呈現半透明的黏稠液體（右）

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紙張。(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。〕

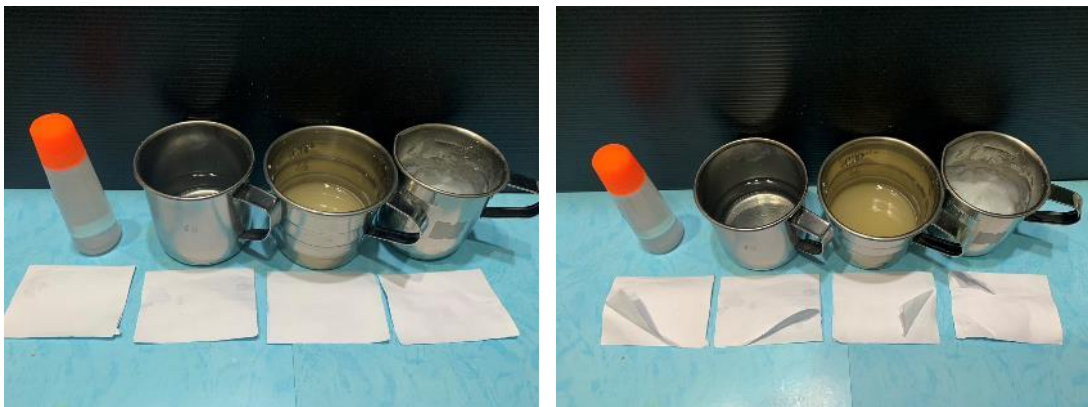


圖 13：依序放置已塗抹黏合劑的小紙張（左）；依序放置已測試黏合效果的小紙張（右）

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。

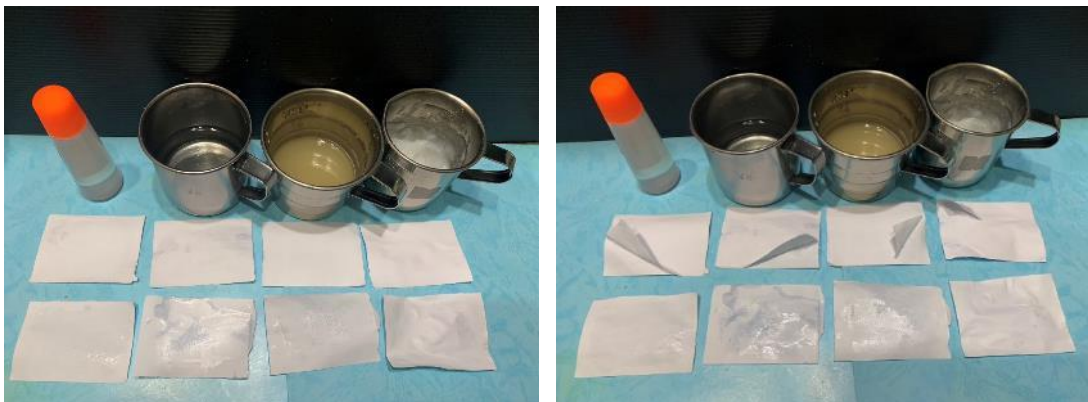


圖 14：依序放置塗抹黏合劑的小紙張（左）；依序放置小紙張沾水後測試其黏性強弱（右）

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。〕

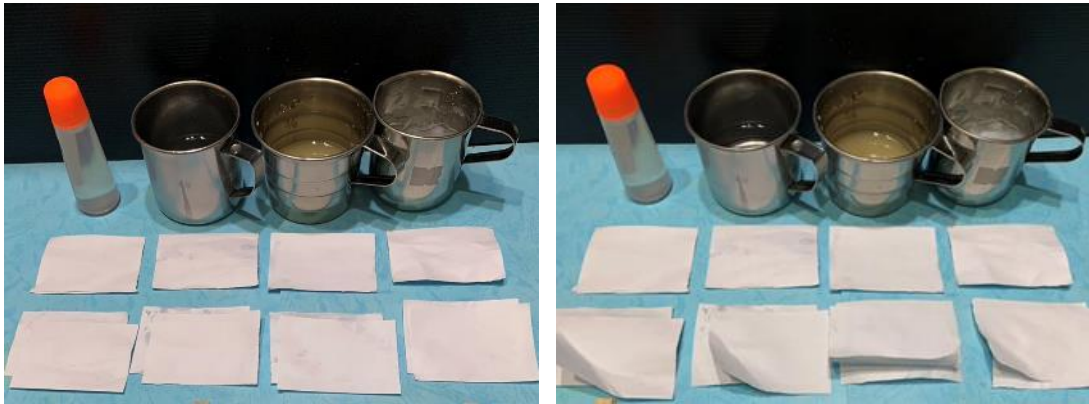


圖 15：依序放置小紙張貼上沾水在黏合劑（左）；依序放置貼上紙張測試黏合效果（右）

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。

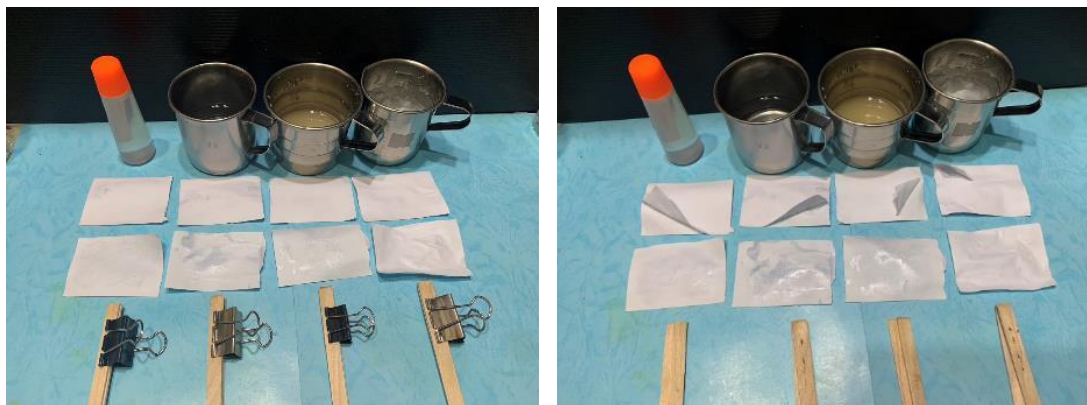


圖 16：依序放置沾黏合劑並夾緊的成對冰棒棍（左）；依序放置已測試黏合效果的成對冰棒棍（右）。

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。〕

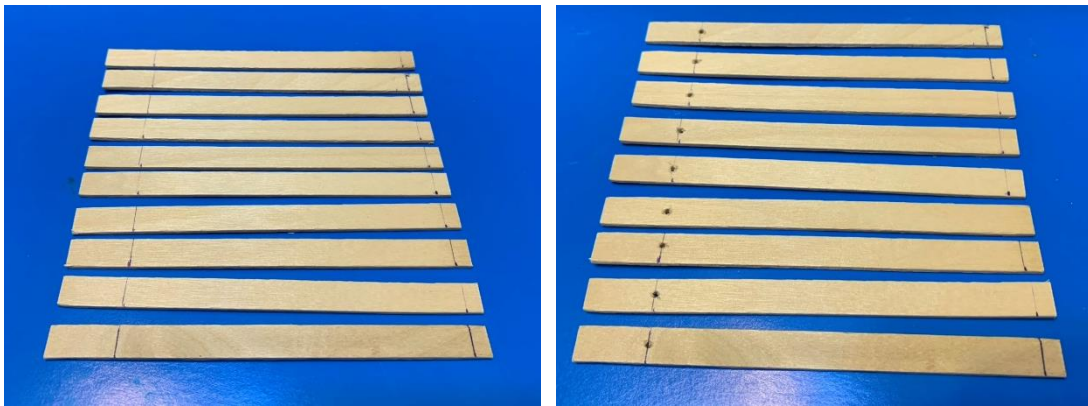


圖 18：在冰棒棍的兩端畫線（左）；在冰棒棍的一端 2.0 公分處鑽孔（右）

- 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。〕

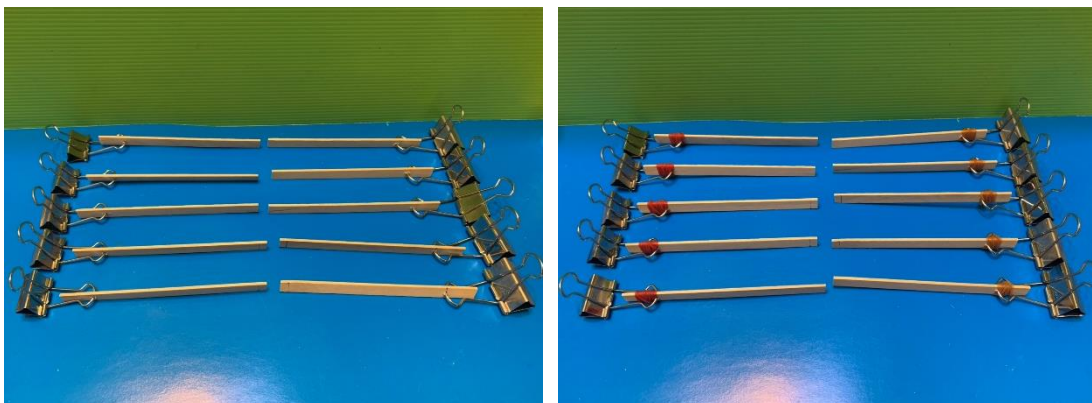


圖 19：在冰棒棍的孔洞套上長尾夾（左）；在冰棒棍的鑽孔旁用橡皮筋纏繞綁緊（右）

- 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)

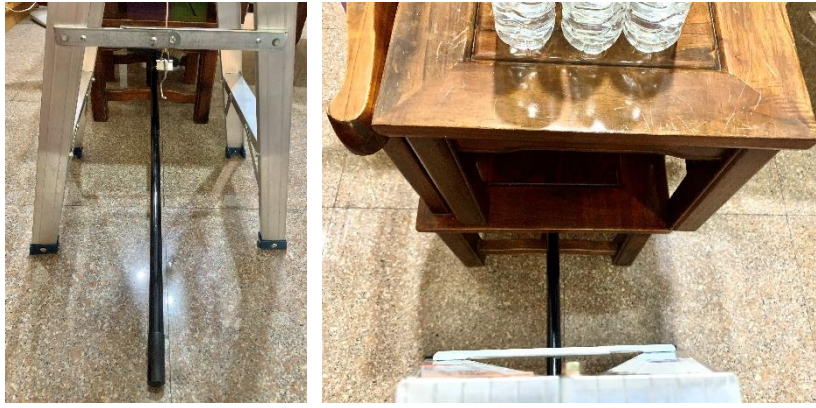


圖 22：放置一支粗木棍在掛勾的下方（左）；粗木棍的一端放在重物的下方（右）

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、黏合劑的液滴形狀

五種黏合劑在滴落前的液滴形狀：市售透明膠水呈現鳥蛋形，自製透明膠水呈現細長形，而自製甜味膠水、自製白色漿糊及市售白色漿糊呈現半固體且形狀不固定，黏住冰棒棍而不滴落，如圖 24 所示。

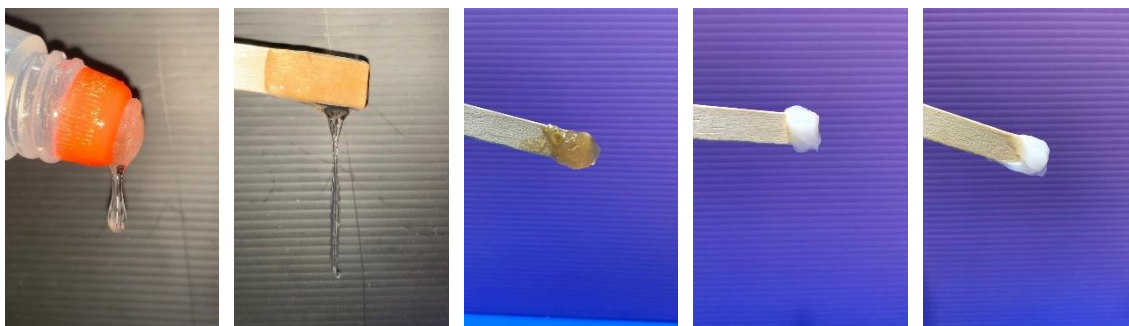


圖 24：五種黏合劑在滴落前的液滴形狀，由左而右排列順序如前所述

五種黏合劑的滴落頻率：市售透明膠水的滴落頻率較低，自製透明膠水的頻率較高，而自製甜味膠水、自製白色漿糊及市售白色漿糊黏住冰棒棍以致滴落頻率極低。由此可見，自製透明膠水比市售透明膠水具有較高的黏性（液滴滴落前形成明顯的細長液絲），其它三種黏合劑的黏度比液體狀的透明膠水大很多。

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

由表 1 得知，(1)四種黏合劑與紙張的黏合效果：市售透明膠水、自製透明膠水及自製白色漿糊呈現很好，而自製甜味膠水呈現為好。(2)在黏合劑塗抹在紙張上之後，先乾燥再用手指沾水，用手指感受黏性強弱（類似郵票用手指沾口水）：市售透明膠水、自製透明膠水及自製白色漿糊比自製甜味膠水為佳。(3)接續(2)之後，黏貼另一紙張再乾燥，撕開紙張，測試黏合效果（類似郵票沾口水黏貼在信封上）：市售透明膠水、自製透明膠水及自製白色漿糊比自製甜味膠水為佳。(4)黏合劑與木材的黏合效果：市售透明膠水和自製透明膠水比自製白色漿糊和自製甜味膠水更好。

三、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 (Shen et al., 2001; da Silva et al., 2006)。

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，沒有找到市售甜味膠水。本實驗用黏合劑黏合兩支冰棒棍的長度為 0.50 cm，冰棒棍的寬度為 0.95 cm，黏貼面積為 $0.95 \text{ cm} \times 0.50 \text{ cm} = 0.48 \text{ cm}^2$ 。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。在此兩表中，試驗 1 和 2 為塗抹黏合劑均在冰棒棍畫線面，而試驗 3 和 4 為均塗抹在非畫線面。

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	10.2	13.6	0.0	8.5	9.2	8.3	5.0	61%
2	15.1	17.6	0.0	15.5	10.6	11.8	7.1	60%
3	8.4	9.1	0.0	7.6	11.1	7.2	4.3	59%
4	10.9	10.1	0.05	9.2	9.0	7.9	4.4	56%
M	11.2	12.6	0.025	10.2	10.0	---	---	---
SD	2.8	3.9	0.050	3.6	1.0	---	---	---
CV	25%	31%	200%	35%	10%	---	---	---

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 ($0.3 \text{ g} + 8.5 \text{ g} + 13.4 \text{ g} = 22.2 \text{ g}$)。事實上，總重只有 0.022 kg，比實際的剪切力差很多，可略而不計。

表 2b：定量測試五種黏合劑的剪切強度 (單位：MPa, kg/cm^2)

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	21.5	28.6	0.0	17.9	19.4	17.5	10.6	61%
2	31.8	37.1	0.0	32.6	22.3	24.8	14.8	60%
3	17.7	19.2	0.0	16.0	23.4	15.2	8.9	59%
4	22.9	21.3	0.21	19.4	18.9	16.5	9.3	56%
M	23.5	26.5	0.053	21.5	21.0	---	---	---
SD	6.0	8.1	0.105	7.6	2.2	---	---	---
CV	25%	31%	200%	35%	10%	---	---	---

註：M、SD 及 CV 的定義，如表 2a 所述。

由表 2a 和 2b 得知，五種黏合劑對木材的黏合剪切力約在 10.0-12.6 kg 之間，剪切強度在 21.0-26.5 MPa 之間，除自製甜味膠水之外。自製甜味膠水幾乎對木材沒有黏合力，其原因可能是它含有易吸水的蔗糖以致不易乾燥。自製透明膠水對木材的黏合力和黏合強度均大於市售透明膠水；自製白色漿糊與市售白色漿糊的黏合力和黏合強度大致相同。

由表 2a 和 2b 得知，針對不同的試驗（塗抹方式），市售白色漿糊對木材的黏合力和黏合強度的變異係數（CV）較小（ $10\% \leq CV < 20\%$ ），數據中度集中；市售透明膠水的變異係數大（ $20\% \leq CV < 30\%$ ），數據明顯分散；自製透明膠水、自製甜味膠水及自製白色漿糊的變異係數很大（ $CV \geq 30\%$ ），數據非常分散，顯示塗抹方式對木材的黏合效果有非常明顯的差異。再者，針對不同黏合劑，四種試驗（塗抹方式）對木材的黏合力和黏合強度的變異係數都很大（ $CV \geq 30\%$ ），數據波動劇烈，顯示不同種類的黏合劑對木材的黏合效果有明顯的差異。文獻（Kinloch, 1987; Dillard & Pocius, 2002）指出：影響黏合強度的關鍵因素有五項：黏合劑性質（類型、黏度、化學鍵結能力）、被黏物特性（材質、表面粗糙度、極性）、表面處理（清潔度、預處理、乾燥程度）、加工條件（施膠厚度、壓力、固化時間與溫度）、黏附力與內聚力（接觸緊密度與膠體本身結構），其中有多項影響黏合強度的因素造成實驗的控制變因（操作條件一致）不易，導致數據分散程度很高。此外，本實驗以吹風機吹乾塗抹的黏合劑，定量測試五種黏合劑的剪切力分別為 21.8、7.5、2.1、17.6 及 23.3 kg（依表 2a 的順序），與自然乾燥有很大的差異。

■ 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. 國小學生避免獨自使用加熱裝置。
4. 國小學生動手做家庭實驗時需要家長或教師的監督。
5. 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。

■ 原理和概念

一、黏合劑和被黏物

黏合劑（Adhesive）又稱為黏著劑、膠水及糊劑等，是指塗在兩個物體的表面上的任何非金屬物質，用於黏合被黏物在一起並防止它們分離。黏合劑可以是天然的，也可以是合成的（Ebnesajjad., 2008）。事實上，有數百種製作黏合劑的配方，例如：用於細木鑲嵌的膠原蛋白膠，用於標籤紙粘貼的特殊配方。黏合劑的成分有很多種，例如：由麵粉、明膠、蛋白、牛奶或樹脂製成的（Ebnesajjad, 2008; Pizzi & Mittal, 2011）。以下僅就本實驗所用黏合劑的材料，描述其成分和性質。

（一）玉米粉的成分和性質

玉米粉（Corn Flour）和玉米澱粉（Corn Starch）不同，兩者都來自玉米。玉米粉是由整顆玉米粒研磨而成的，其主要成分有碳水化合物（約 70-80%，主要是澱粉）、蛋白質（約 7-

9%)、脂肪 (約 1-3%)、維生素與礦物質 (少量)，其用途有玉米餅、烘焙、濃湯的製作。而玉米澱粉是從穀粒的胚乳中獲得的，其用途有勾芡、增稠、炸物的製作。

一般而言，玉米籽粒中含有 25-30% 直鏈澱粉 (amylose) 和 70-75% 支鏈澱粉 (amylopectin)。高直鏈澱粉的玉米含有 50% 以上的直鏈澱粉。直鏈澱粉加熱後可形成較硬的凝膠，適合增強食品的結構，如玉米餅或麵包。高支鏈澱粉加熱後形成較黏稠、柔軟的質地，適用於勾芡和糊化，如製作濃湯、醬料或糯米類點心。若使用糯玉米 (waxy Corn) 製成的玉米粉，支鏈澱粉含量可達 100%，適合製作更黏稠的食品，如湯品增稠劑 (Bertoft, 2017; Luo, 2022)。

玉米澱粉在冷水中不溶解。當玉米澱粉加入冷水時，它會形成顆粒懸浮在水中，並且會沉澱到底部。這是為什麼在加熱之前，通常會先混合玉米澱粉和冷水，形成澱粉漿，這樣可以避免結塊。當玉米澱粉漿在熱水中加熱時，它會吸水溶脹 (swelling)，並會開始膠化 (gelatinization)，形成濃稠的糊狀物或漿狀液體 (Altay & Gunasekaran, 2006)。澱粉糊化是在水和熱的作用下，澱粉分子間的氫鍵 (hydrogen bonding) 斷裂，使氫鍵位置 (羥基氫和氧) 與更多的水結合。這使得澱粉顆粒不可逆地溶解在水中。未變性的天然澱粉在 55°C 時開始溶脹，其他類型則在 85°C 時開始溶脹 (Altay & Gunasekaran, 2006; Tester & Morrison, 1990)。

直鏈澱粉的溶解性：直鏈澱粉在冷水中不會完全溶解，而是形成懸浮液；在熱水中 (約 70-90°C 以上) 可部分溶解，加熱時分子鏈開始舒展並分散，形成膠狀液體，其結構式如圖 16 左所示。支鏈澱粉的溶解性：支鏈澱粉在冷水中幾乎不溶，只能懸浮。由於高度分支結構，它在加熱後比直鏈澱粉更容易吸水溶脹，其結構式如圖 16 右所示 (BYJU'S, 2025; Hoover, 2001; Jane et al., 1999)。從結構式觀之，直鏈澱粉和支鏈澱粉分子具有非常多的羥基 (-OH)，有助於對水的溶解度以及其與紙張和木材的黏合。

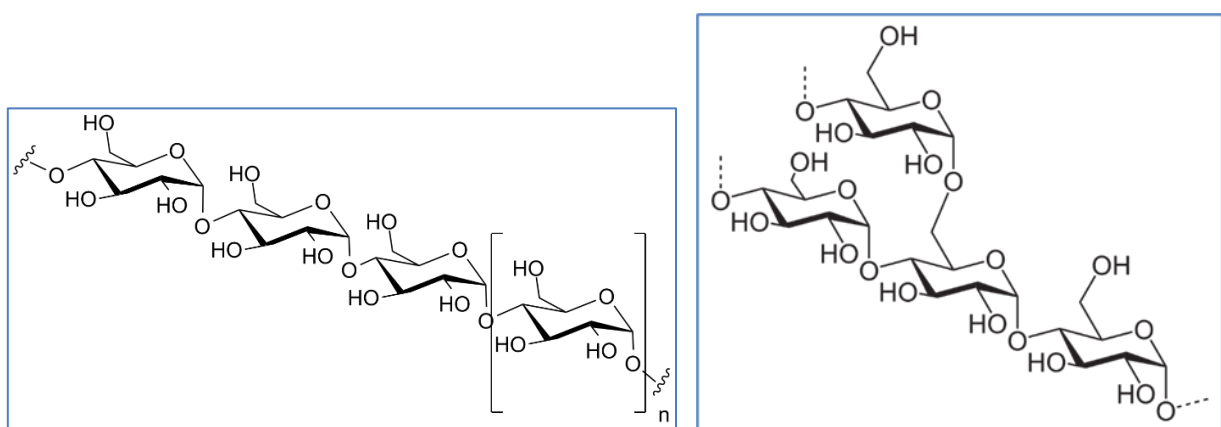


圖 16：直鏈澱粉 (左) 和支鏈澱粉 (右) 的分子結構式。支鏈澱粉具有直鏈和許多的側鏈。葡萄糖單元以線性方式以 $\alpha(1 \rightarrow 4)$ 糖苷鍵連接。在側鏈的起點處，發生的分支帶有 $\alpha(1 \rightarrow 6)$ 糖苷鍵，從而產生可溶性分子。

(圖片來源：Amylose 3Dprojection. <https://reurl.cc/WA5qxO> 和 Amylopectin.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Amylopectin>)

(二) 蔗糖的性質

蔗糖 (Sucrose) 是由葡萄糖和果糖組成的一種雙糖。它天然存在於植物中，是白糖、砂糖及冰糖的主要成分。它的分子式為 $C_{12}H_{22}O_{11}$ ，其分子結構式如圖 17 所示。蔗糖對水溶解度為 2.01 g/mL (20°C)，在高溫下不會熔化。相反地，它在 186°C 時分解形成液態焦糖。從結構式觀之，蔗糖分子具有 8 個羥基，有助於對水的溶解度和幫助具有極性聚合物溶於水。

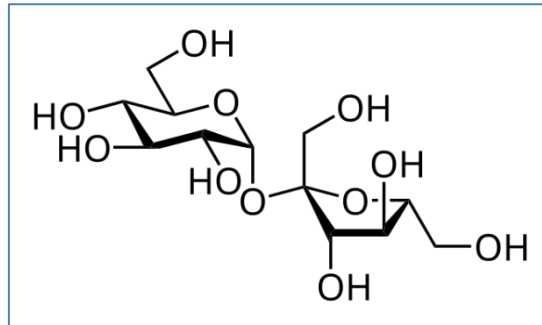


圖 17：蔗糖的分子結構式，由葡萄糖和果糖組成，兩者以 $\alpha(1\rightarrow4)$ 糖苷鍵連接。

(圖片來源：Sucrose. <https://reurl.cc/oVnZyQ>)

(三) 阿拉伯膠的成分和性質

阿拉伯膠 (Gum arabic) 是從阿拉伯相思樹的樹脂中提取的有機混合物，它的主要成分包含 80-90% 多醣類 (polysaccharides)、1-3% 糖蛋白 (glycoproteins) 及 1-2% 礦物質 (minerals)。多醣類含有阿拉伯半乳聚醣 (arabinogalactan)、鼠李糖 (rhamnose) 及葡萄糖醛酸 (glucuronic acid)。阿拉伯半乳聚醣，又稱為半乳阿拉伯聚醣 (galactoarabinan)，主要由 20-30% 阿拉伯糖 (arabinose) 和 5-15% 半乳糖 (galactose) 組成 (Musa, et al., 2019)，其分子結構式如圖 18 所示。從結構式觀之，這些多醣類和單糖具有非常多的羥基，使得阿拉伯膠能完全溶於冷水和熱水，形成穩定的溶液，並且有助於與紙張和木材的黏合。

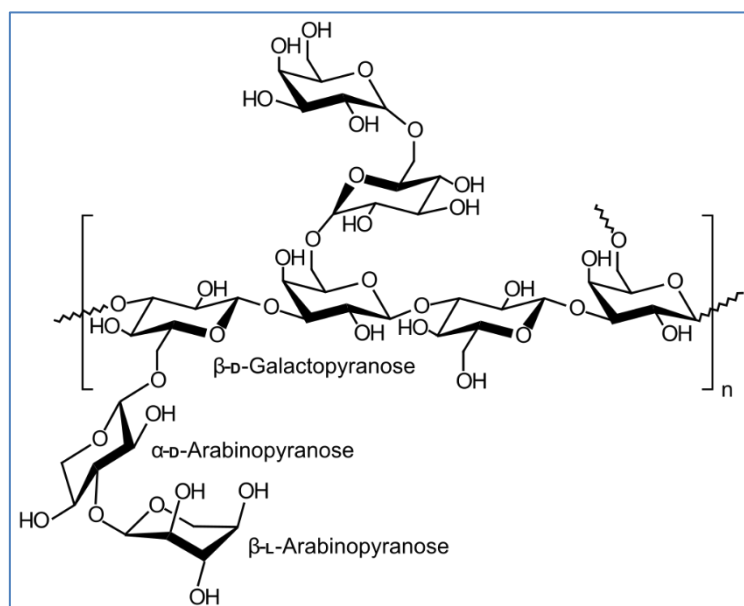


圖 18：阿拉伯半乳聚糖的結構式，橫向直鏈為半乳糖以 $\beta(1\rightarrow3)$ 糖苷鍵連接，上方連接兩個半乳糖，下方連接兩個阿拉伯糖。

(圖片來源：Arabinogalactan. <https://en.wikipedia.org/wiki/Arabinogalactan>)

(四) 聚乙烯醇的性質和用途

聚乙烯醇 (Polyvinyl alcohol, PVA) 是一種由乙烯醇 (vinyl alcohol) 單體的有機合成聚合物，其單體和聚合物的分子結構式，分別如圖 19 左和右所示。從結構式觀之，聚乙烯醇分子具有非常多的羥基，提高對水的溶解度以及其與紙張和木材的黏合。聚乙烯醇是無色 (白色) 且無味的固體物質，因其具有高水溶性和黏性，通常用作木材的黏合劑和密封劑，也用於造紙和紡織經紗上漿、各種塗料和 3D 列印材料。水溶性較高的 PVA (如用於洗滌劑的 PVA)，可易於生物降解 (Chiellini et al., 2003; RawChemicalMart, 2025)。

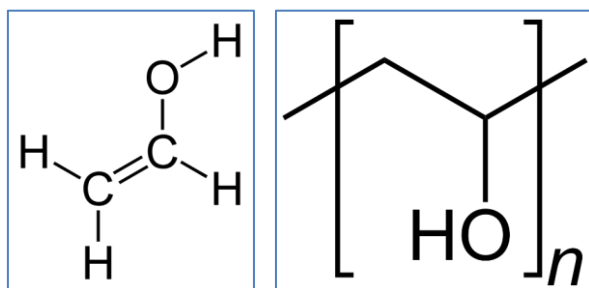


圖 19：聚乙烯醇的分子結構式 (右)，由聚乙烯醇單體以共價鍵連接形成聚合物 (左)。

(圖片來源：Vinyl alcohol. https://en.wikipedia.org/wiki/Vinyl_alcohol 和 https://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_alcohol)

聚乙烯醇的玻璃轉化溫度在 $60-85^{\circ}\text{C}$ 之間。聚乙烯醇的聚合度 (polymerization degree) 是指分子鏈中乙烯醇單元數目佔整個分子結構單元總數的百分比，分為四種：超高聚合度 (分子量 $250,000-300,000\text{ g/mol}$)、高聚合度 ($170,000-220,000\text{ g/mol}$)、中聚合度 ($120,000-150,000\text{ g/mol}$) 及低聚合度 ($25,000-35,000\text{ g/mol}$) (ChemicalBook, 2025)。較低聚合度 PVA (DP 200-500，分子量 $10,000-25,000\text{ g/mol}$) 具有好的水溶解性，適用於製作膠水、紡織上漿 (RawChemicalMart, 2025)。而聚乙烯醇的醇解度 (alcoholysis degree) 是指分子鏈中重複單元的數目，分為三種：完全醇解 ($98-100\%$)、部分醇解 ($87-89\%$) 及醇解度 78% (ChemicalBook, 2025)。在聚乙烯醇的產品牌號中，前面數字為聚合度的千或百位數字，而後面數字為醇解度，例如：聚乙烯醇 17-99 表示聚合度為分子量 1.7k ，醇解度為 99% (ElephChem, 2025)。

(五) 被黏物的成分和性質

木材是造紙的基本材料，其成分是由約 50% 纖維素 (cellulose)、約 25% 木質素 (lignin) 及 20% 半纖維素 (hemicellulose) 以及少量的蛋白質、樹脂、脂肪等組成。紙張可直接由原始木纖維製成或經過化學精煉以去除木質素和其他可溶成分の木纖維製成 (Netramai et al.,

2016)。纖維素是一種有機化合物，其分子式為 $(C_6H_{10}O_5)_n$ ，其分子結構式如圖 20 所示。纖維素是地球上最豐富的有機聚合物，木材含有 40-50%纖維素。從結構式觀之，纖維素具有非常多的羥基，增加對水的親水性，能與水很好地相互作用 (Etale, 2023)。但是纖維素分子結構特殊不易糊化，以致不溶於水。

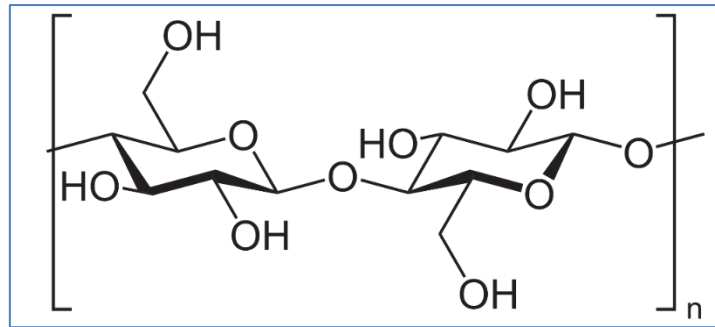


圖 20：纖維素的分子結構式，由數以百計到數以千計的葡萄糖以 $\beta(1\rightarrow4)$ 連接的直鏈組成的多醣 (圖片來源：Cellulose. <https://en.wikipedia.org/wiki/Cellulose>)

半纖維素 (Hemicellulose) 是多種雜聚物 (heteropolymers) 之一，由包括木糖 (xylose)、阿拉伯糖 (arabinose)、葡萄糖 (glucose)、甘露糖 (mannose) 及半乳糖 (galactose) 單體組成，例如：阿拉伯木聚醣 (arabinoxylan)，其分子結構式如圖 21 所示。半纖維素與纖維素一起存在於幾乎所有陸生植物的細胞壁中。半纖維素的支鏈長度比纖維素短。從結構式觀之，半纖維素具有非常多的羥基，對水的親水性良好 (Ebringerová & Heinze, 2000)。

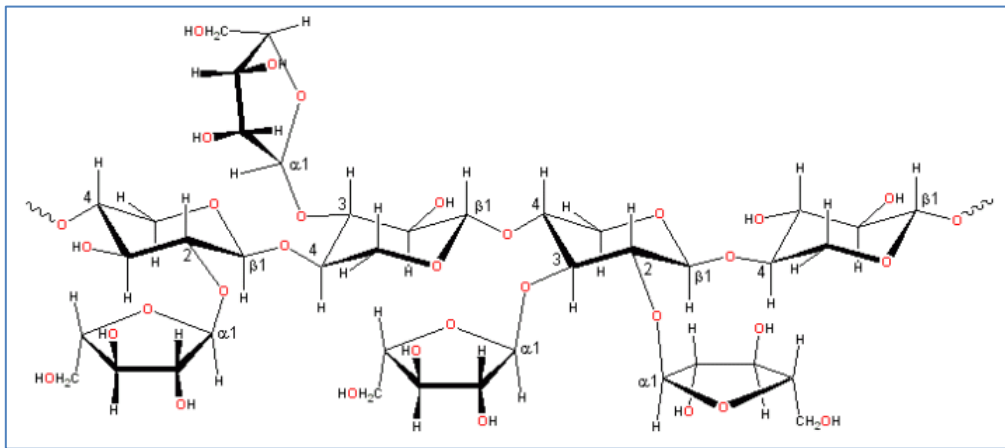


圖 21：阿拉伯木聚醣 (一種半纖維素) 的分子結構式，橫向直鏈為木糖之間以 $\beta(1\rightarrow4)$ 糖苷鍵連接，在直鏈的上方和下方的阿拉伯糖與直鏈的木聚以 $\alpha(1\rightarrow2)$ 或 $\alpha(1\rightarrow3)$ 方式的糖苷鍵連接。(圖片來源：Hemicellulose. <https://reurl.cc/NbkGbe>)

二、黏合原理

黏合劑的黏合原理基於多種機制，主要機制有四種：黏附 (adhesion)、內聚 (cohesion)、潤濕性與表面能 (wetting and surface energy) 及固化與硬化 (curing and setting)。詳述如下：
(一)黏附：是指黏合劑與被黏物之間的作用力，主要有三：(1)機械嵌鎖：黏合劑滲入被黏物表

面的微細孔隙或凹凸結構；(2)化學鍵結：黏合劑與被黏物之間形成共價鍵或離子鍵；以及(3)靜電吸引力：兩者之間產生靜電吸引力，如氫鍵和凡得瓦力 (3M, 2025)。(二)內聚力：指黏合劑本身的內部強度，確保本身不易分裂，主要有三：(1)聚合物鏈纏繞：黏合劑中的高分子長鏈相互纏繞；(2)交聯作用：某些黏合劑在固化過程中會形成交聯結構；以及(3)黏彈性 (viscoelasticity)：許多黏合劑具有黏性與彈性的雙重特性，使其能夠吸收應力而不易破裂 (Caltagirone et al., 2024)。(三)表面能與潤濕性，主要有三：(1)表面能：被黏物的表面能越高，黏合劑越容易附著；(2)潤濕性：潤濕性越好，黏合效果越佳；以及(3)表面處理：清潔、粗化或塗佈底漆可提高黏附效果 (Mapari et al., 2021)。(四)固化與硬化，主要有三：(1)黏合劑內的溶劑揮發使之乾燥並固定；(2)熔融的熱熔膠冷卻後凝固形成黏結力；以及(3)某些黏合劑透過聚合、交聯或吸收水分等方式固化 (Pizzi & Mittal, 2003)。

三、熱水浴間接加熱

熱水浴 (Hot water bath) 是一種用於間接加熱物質的實驗室或烹飪技術。它的裝置是由一個裝有要加熱的敏感物質的較小容器放置在一個裝著熱水的較大容器中。熱水浴的運作方式是利用熱水包圍待加熱的物質，使其間接受熱，而不是直接接觸熱源，以避免過熱或燒焦 (Inter-Fridge, 2025)。熱水浴的原理是透過對流傳熱來提供均勻且溫和的加熱，熱水浴溫度最高可達 100°C，若溫度高達 100°C 或更高時，使用油浴或沙浴 (Furniss et al., 1996)。

四、影響溶解速率的因素

影響物質的溶解速率的因素有六：(1)溫度：通常較高的溫度會增加固體和液體的溶解速度；(2)攪拌：攪拌有助於分散溶質顆粒，防止表面形成飽和溶液，進而提高溶解速率；(3)溶質的表面積：粒徑越小，表面積越大，溶解速度越快；(4)溶質和溶劑的性質：極性溶質在極性溶劑中溶解得更快，非極性溶質在非極性溶劑中溶解得更快；(5)溶劑黏度：較低的黏度可以實現更快的擴散和溶解，較高的黏度會減慢溶解過程；以及(6)濃度差異：溶質和溶劑之間的濃度差異越大，溶解速率越快。

影響澱粉和聚乙烯醇溶解速率的主要因素有五：溫度、攪拌、顆粒大小、分子結構及溶劑特性。詳細說明如下：(一)溫度：(1)澱粉和 PVA 在低溫時溶解速率較慢，其原因是氫鍵作用限制分子鏈的展開；(2)澱粉顆粒結構加熱在 60-80°C 進行糊化後才能溶解；PVA 在 80-95°C 才能完全溶解，其原因是較強的氫鍵難以在低溫下分散。(二)攪拌：增加攪拌可提高水與澱粉顆粒之間 (或 PVA 顆粒之間) 的接觸，促進溶解速率。(三)顆粒大小：(1)澱粉和 PVA 的顆粒越小表面積越大，溶解速率越快；(2)超音波可破壞澱粉或 PVA 分子顆粒聚集，使其更快分散於溶劑中，加速其溶解。(四)聚合物分子結構：(1)直鏈澱粉具有線性結構，較快溶解；支鏈澱粉結構較緊密，分子間氫鍵作用較強，較慢溶解；(2)高分子量聚乙烯醇具有較強的分子鏈纏

結，溶解速率較慢；低分子量，溶解速率較快。以及(五)溶劑特性：(1)澱粉在酸性或鹼性環境下可能發生降解，提高溶解速率；PVA 在中性或弱酸環境溶解較快；(2)澱粉不易溶於一般有機溶劑；PVA 可溶於乙醇等極性有機溶劑，這些溶劑能削弱 PVA 分子間的氫鍵 (HongRen, 2025; Kodama et al., 2011; Polyva, 2025)。

■ 呼應自科學領域課綱

透過本實驗「自製常用黏合劑並測試其黏合效果」的教學活動，得以呼應《十二年國民基本教育課程綱要 - 國民中小學暨普通型高級中等學校自然科學領域課程綱要》(教育部，2018)中的若干學習重點。本實驗所涵蓋的內容，與各教育階段自然科學領域之學習內容(含其學習說明)部分或完全相符，具高度契合度。以下僅摘要列出對應的學習內容條目，至於完整對應之學習表現與學習內容，詳列於附錄一。

一、國小(第二和三學習階段)學習內容

A. 課題 1：自然界的組成與特性；跨科概念：物質與能量 (INa)

Ina-III-8 熱由高溫處往低溫處傳播，傳播的方式有傳導、對流和輻射，生活中可運用不同的方法保溫與散熱。

B. 課題 2：自然界的現象、規律及作用；跨科概念：交互作用 (Ine)

Ine-II-2 溫度會影響物質在水中溶解的程度(定性)及物質燃燒、生鏽、發酵等現象。

Ine-II-3 有些物質溶於水中，有些物質不容易溶於水中。

二、國中(第四學習階段)學習內容

A. 主題：能量的形式、轉換及流動 (B)；次主題：溫度與熱量 (Bb)

Bb-IV-1 熱具有從高溫處傳到低溫處的趨勢。

B. 主題：物質的反應、平衡及製造 (J)；次主題：水溶液中的變化 (Jb)，化學反應速率與平衡 (Je)

Jb-IV-4 溶液的概念及重量百分濃度 (P%)、百萬分點的表示法 (ppm)。

Je-IV-1 實驗認識化學反應速率及影響反應速率的因素，例如：本性、溫度、濃度、接觸面積及催化劑。

C. 主題：科學、科技、社會及人文 (M)；次主題：科學、技術及社會的互動關係 (Ma)，科學在生活中的應用 (Mc)

Ma-IV-3 不同的材料對生活及社會的影響。

Mc-IV-4 常見人造材料的特性、簡單的製造過程及在生活上的應用。

三、高中必修（第五學習階段必修）學習內容

- A. 主題：物質的反應、平衡及製造 (J)；次主題：水溶液中的變化 (Jb)，化學反應速率與平衡 (Je)
- CJb-Vc-2 定量說明物質在水中溶解的程度會受到水溫的影響。
- CJe-Vc-2 物質的接觸面積大小對反應速率之影響。

四、高中加深加廣選修（第五學習階段選修）學習內容

- A. 主題：物質的組成與特性 (A)；次主題：物質的形態、性質及分類 (Ab)
- Cab-Va-2 不同的官能基會影響有機化合物的性質。
- CJf-Va-2 有機化合物的命名、結構及官能基的檢驗與其用途 烴、鹵化烴、醇、酚、醚、酮、醛、有機酸、酯、胺及醯胺。
- B. 主題：物質的反應、平衡及製造 (J)；次主題：有機化合物的性質、製備及反應 (Jf)
- CJf-Va-4 常見聚合物的一般性質與分類。
- CJf-Va-5 常見聚合物的結構及製備。
- C. 主題：科學、科技、社會及人文 (M)；次主題：科學在生活中的應用 (Mc)
- CMc-Va-5 生活中常見之合成纖維、合成塑膠及合成橡膠之性質與應用。

■ 教學指引和延伸問題

一、教學指引和建議

1. 作者設計「自製黏合劑及測試其黏合效果」的實驗，期望達成三項學習目標：(1)從動手做實驗中，學會三種黏合劑的製作過程和測試黏合效果的操作技巧；(2)在動手做實驗後，理解黏合劑及其黏合原理和概念；以及(3) 樂於動手操作實驗，從中獲得成就感，並進一步激發持續探究與實作的興趣。
2. 強烈地建議本實驗的教學採用「先動手做實驗再理解科學原理」，讓學習者先動手做實驗觀察現象，激發學生對自製黏合劑的好奇心，再回過頭來理解其背後的理論，培養學生對概念的直覺理解，而不是被動接受原理。美國教育家 John Dewey 強調「從做中學」，認為學習應該建立在直接經驗的基礎上，透過反思將經驗轉化為知識，強調在實踐中學習和反思的重要性 (Cloke, 2025)。在巴黎一所大學的幾何光學課程中，採用以實驗為主的教學方法。學生在缺乏理論知識的情況下，透過實驗主導的學習，培養更深的理解和自主性 (Even et al., 2016)。
3. 本實驗在「測試黏合劑的黏合效果」方面，操作難易程度不一，分為定性測試和定量測試

- 兩部分。作者設計兩份學生動手做學習單，一份學習單包含定性測試適用於國小，另一份包含定性和定量測試適用於國高中，提供給教師教學的參考，分別詳見附錄二和附錄三。
4. 作者提供一些課堂討論的問題和一些延伸探究與實作的問題，這些問題難易程度不一，教師可依照學生的教育學習階段或學生的知識背景作適當的選用。
 5. 本文描述「原理和概念」的內容知識難易程度不一，教師在教學時可依照學生的教育程度或背景知識，斟酌選用合適的內容。
 6. 教師與學生共同討論影響聚合物溶解速率的因素：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，促進學生對物質溶解速率的理解。
 7. 教學建議：在討論黏合劑成分（澱粉、阿拉伯膠及聚乙烯醇）的分子結構式中的官能基與性質之間的關連之前後，讓高中程度的學生以分子結構的微觀層次，畫出黏合劑成分與水之間的物理靜電力，以比較學生對於黏合劑成分溶於水的微觀世界的理解。
 8. 教學建議：以分子結構的微觀層次，在討論黏合劑成分（澱粉、阿拉伯半乳聚醣及聚乙烯醇）與紙張和木材成分（纖維素和半纖維素）之間的作用力後，讓高中程度學生以分子結構的微觀層次畫出黏合劑成分與紙張成分之間的物理靜電力，以評量學生對於黏合原理微觀層次的理解。

二、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醣及聚乙烯醇）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醣及聚乙烯醇）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。

三、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。

■ 附錄

附錄一：呼應自然科課綱：自製常用的黏合劑並測試其黏合效果，[下載檔案](#)。

附錄二：適用於國小的學習單：自製常用的黏合劑並測試其黏合效果，[下載檔案](#)。

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，[下載檔案](#)。

■ 參考文獻

教育部（2018）。十二年國民基本教育課程綱要：國民中小學暨普通型高級中等學校自然科學領域。臺北市：教育部。

3M (2025). How does adhesion work? <https://shorturl.at/gpAND>

Altay, F., & Gunasekaran, S. (2006). Influence of drying temperature, water content, and heating rate on gelatinization of corn starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(11), 4235–4245. <https://doi.org/10.1021/jf052761s>

Bertoft, E. (2017) Understanding starch structure: Recent progress. *Agronomy*, 7(3), 56. <https://doi.org/10.3390/agronomy7030056>

BYJU'S. (2025). Difference between amylose and amylopectin. <https://reurl.cc/p9zoW8>

- Caltagirone, P. E., Cousins, D. S., & Swan, D. et al. (2024). Empirical characterization and modeling of cohesive – to – adhesive shear fracture mode transition due to increased adhesive layer thicknesses of fiber reinforced composite single – lap joints. *Applied Composite Materials*, 31, 1547–1570. <https://doi.org/10.1007/s10443-024-10251-y>
- ChemicalBook (2025). Polyvinyl alcohol: Properties, production process and uses. <https://reurl.cc/74gjMI>
- Chiellini, E., Corti, A., D'Antone, S., & Solaro, R. (2003). Biodegradation of poly (vinyl alcohol) based materials. *Progress in Polymer Science*, 28(6), 963–1014. <https://reurl.cc/o8GAvV>
- Cloke, H. (2025). John Dewey's Learning theory: how we learn through experience. <https://reurl.cc/3603M0>
- Comyn, J. (2021). Introduction to adhesion and adhesives. In *Adhesion science* (2nd ed., pp. 1–22). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/BK9781788018883-00001>
- da Silva, L. F. M., Adams, R. D., & Wang, A. (2006). Single lap joints for the study of adhesive interfaces: Part I. Strength of different adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 26(3), 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2005.04.005>
- Dillard, D. A., & Pocius, A. V. (Eds.). (2002). *Adhesion science and engineering: Surfaces, chemistry and applications* (Vol. 1). Elsevier.
- Ebnesajjad, S. (2008). *Adhesives technology handbook* (2nd ed.). William Andrew Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-081551578-6.50001-4>
- Ebringerová, A., & Heinze, T. (2000). Xylan and xylan derivatives–biopolymers with valuable properties, 1. Naturally occurring xylans structures, isolation procedures and properties. *Macromolecular Rapid Communications*, 21(9), 542–556. <https://reurl.cc/W097z5>
- ElephChem (2025). Degree of polymerization and alcoholysis of polyvinyl alcohol. <https://reurl.cc/Q5yWeb>
- Etale, A., Onyianta, A. J., Turner, R. S., & Eichhorn, S. J. (2023) Cellulose: A review of water interactions, applications in composites, and water treatment. *Chemical Reviews*, 123(5), 2016–2048. <https://reurl.cc/geOQeR>.
- Even, C., Balland, C., & Guillet, V. (2016). Learning through experimenting: An original way of teaching geometrical optics. *European Journal of Physics*, 37(6), 065707. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/37/6/065707>
- Furniss, B. S., Hannaford, A. J., Smith, P. W. G., & Tatchell, A. R. (1996). *Vogel's textbook of practical organic chemistry* (5th ed.). Longman Scientific & Technical.
- HongRen (2025). How to dissolve PVA in water: Is it fully water-soluble? <https://reurl.cc/74gjVd>
- Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, 45(3), 253–267. <https://reurl.cc/vQNAXA>
- Inter-Fridge (2025). The origin and history of Bain-Marie. <https://reurl.cc/WA5q0Z>
- Jane, J., Wong, K. S., & McPherson, A. E. (1999). Branch-structure difference in starches of A- and B-type X-ray patterns revealed by their Naegeli dextrans. *Carbohydrate Research*, 322(1–2), 87–92. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(99\)00207-4](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(99)00207-4)

- Kinloch, A. J. (1987). *Adhesion and adhesives: Science and technology*. Springer Science & Business Media.
- Kodama, I., Shibata, C., Fujita, N., Akiyama, Y., & others. (2011). Starch properties of waxy rice cultivars influencing rice cake hardening. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*, 12(4), 157–162. <https://doi.org/10.11301/jsfe.12.157>
- Luo, L. (2022) What are the Chemicals in Cornstarch? <https://reurl.cc/aZoaLY>
- Mapari, S., Mestry, S., & Mhaske, S. T. (2021). Developments in pressure-sensitive adhesives: A review. *Polymer Bulletin*, 78(7), 4075–4108. <https://doi.org/10.1007/s00289-020-03305-1>
- Musa, H. H., Ahmed, A. A., & Musa, T. H. (2019). Chemistry, biological, and pharmacological properties of gum arabic. In J. M. Mérillon & K. G. Ramawat (Eds.), *Bioactive molecules in food* (pp. 797-814). Springer. <https://reurl.cc/96j13a>
- Netramai, S., Kijchavengkul, T., & Kittipinyovath, P. (2016). Pulp and paper production. In G. Smithers (Ed.), *Reference module in food science* (Chapter 32). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03201-7>
- Pizzi, A., & Mittal, K. L. (Eds.). (2003). *Handbook of adhesive technology* (2nd ed.). CRC Press.
- Pizzi, A., & Mittal, K. L. (Eds.). (2011). *Handbook of Adhesive Technology* (3rd ed.). CRC Press.
- Polyva (2025). Water solubility and dissolution behavior of PVA films. 2025. <https://reurl.cc/2628Qv>
- RawChemicalMart (2025). Polyvinyl alcohol (PVA): The science behind its diverse applications. <https://reurl.cc/L58X69>
- Shen, W. C., Hsiao, K. T., Advani, S. G., & Fodor, R. A. (2001). Peel and shear strength characterization of adhesives for automotive applications. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 21(3), 225–232. [https://doi.org/10.1016/S0143-7496\(00\)00056-0](https://doi.org/10.1016/S0143-7496(00)00056-0)
- Tester, R. F., & Morrison, W. R. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chemistry*, 67(6), 551–557.