中華民國第52屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組　生活與應用科學科

第三名

030804

尋找最死心蹋地黏著你的環保膠

學校名稱：南投縣立營北國民中學

作者：	指導老師：
國二 李佑萱 國二 李佑葶 國二 魏崇祐	鄭俊楠

關鍵詞：黏著力、環保膠、澱粉

摘要

我們將澱粉、高筋麵粉及糯米粉製作成環保膠，測試不同反應條件下黏著力的變化。發現澱粉環保膠的最佳黏著力的反應條件為：攪拌時間達九分鐘、水對澱粉的質量比為 5:12、氫氧化鈉濃度為 3.42%、反應溫度控制在 35℃、硼砂濃度 0.225%，製成的環保膠在木頭的表面具有最大的黏著力，單位面積可達 30.97 公斤重，我們將環保膠黏著在金屬、壓克力、玻璃表面發現加入洗衣精對黏著力有明顯的改善。將木頭表面在一百八十目的砂紙磨擦後，環保膠可達其最大的黏著狀態。

我們在顯微鏡下觀察澱粉粒子的變化，發現加了氫氧化鈉的澱粉其網狀型結構會隨著時間的增加而漸漸吸水膨脹，攪拌九分鐘時網狀型結構最密，這時候的黏著力也會因為網狀形結構的膨脹因而上升。

壹、研究動機

現在環境保育的問題非常重要，化學藥劑圍繞在我們的生活中，膠水也是其中之一，膠水是生活中常使用的黏著劑，它的成分主要成份是聚乙烯醇，是一種人工合成的水溶性塑膠，它是石油的化學產物，使用後易汙染環境，不易被環境中的生物分解。[1]

在我們消耗它這麼快的同時， 為了環保的理念，我們開始著手思考製造能夠有相同效益卻不傷害環境的「環保膠」，因此我們選用澱粉、高筋麵粉和糯米粉，這些易取得甚至能夠食用的材料來調配有較高黏性卻又環保的環保膠。觀察澱粉粒子在不同環境的水溶液中膨潤變化情形，藉由拉力試驗，找出最有黏著力的膠水配方比例。

其實環保膠之所以會有黏性原因是澱粉粒子中的高分子，在水中會產生氫鍵，彼此交互吸引，吸附周邊的水分子，進而形成網袋型結構，使溶液糊化，糊化後的溶液可幫助膠水的高分子鏈與木塊纖維素分子鏈緊密結合，加上膠水中高分子的糾纏效果而產生更加的黏性。[2]

環保膠成本便宜而且製作快速又能保護地球。現在大家最關心的議題，莫非是保護地球讓我們的下一代能夠繼續傳承下去，最直接的就是從生活中小的事情上做起。我們的理念是慢慢一點一滴的把我們生活中轉換成能和地球和平共處的，由最平凡簡單的膠水做起。

貳、研究目的

一、　攪拌時間對環保膠黏著力的影響

用 1 分鐘、3 分鐘、5 分鐘、7 分鐘、9 分鐘、20 分鐘，以相同的水粉比、常溫等控制變因，找出最佳黏著力。

二、　水對粉的比例對環保膠黏著力的影響

用 0.8 克、1 克、1.5 克、2 克、2.5 克、3 克的水對 1 克的粉末，以常溫、時間、等控制變因，找出最佳黏著力。

三、　氫氧化鈉濃度對環保膠黏著力的影響

用 0.91 %、1.78 %、3.42 %、6.36 %、11.2 %，以相同的水粉比、溫度等控制變因，找出最佳黏著力。

四、　溫度對環保膠黏著力的影響

用 25℃、35℃、45℃、55℃，以相同的水粉比、氫氧化鈉濃度等控制變因，找出最佳黏著力。

五、不同黏著面性質對環保膠黏著力的影響

用壓克力板、玻璃、金屬、木頭，以相同的水粉比、氫氧化鈉濃度等控制變因，並加入洗衣精試驗，找出最佳黏著力。

六、介面活性劑(洗衣精)克數對環保膠黏著力的影響

用 0.1 克、0.2 克、0.3 克的洗衣精，以相同的水粉比、溫度等控制變因，找出最佳黏著力。

七、硼砂克數對環保膠黏著力的影響

用 0.02 克、0.04 克、0.14 克、0.24 克、0.34 克，以相同的水粉比、氫氧化鈉濃度等控制變因，找出最佳黏著力。

八、砂紙係數對環保膠黏著力的影響

用 40 目、100 目、180 目、240 目的砂紙將木塊表面平，以相同的水粉比、氫氧化鈉濃度等控制變因，找出最佳黏著力。

九、 比較環保膠及市售膠水的黏著力

用環保膠、米糊、膠水、白膠、保麗龍膠、強力膠，以木塊面積、溫度等控制變因，找出最佳黏著力。

參、研究設備及器材

一、　用品:

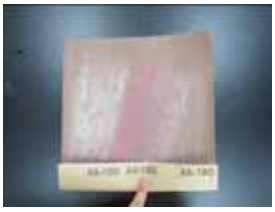
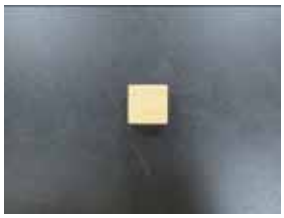
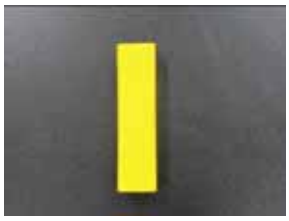
(一) 砂紙 40 目(圖一)
(二) 砂紙 100 目(圖二)
(三) 砂紙 180 目(圖三)
(四) 砂紙 240 目(圖四)
(五) 木塊第一代(圖五)
(六) 木塊第二代(圖六)
(七) 木塊第三代(圖七)
(八) 木塊第四代(圖八)
(九) 洋眼釘(圖九)
(十) 拉力測試儀(圖十)
(十一) 大型水桶(圖十一)
(十二) 定滑輪(圖十二)
(十三) 鐵線(圖十三)
(十四) 可旋拉鉤(圖十四)
(十五) 水管(圖十五)

二、　藥品:

(一) 洗衣精(妙管家)(圖十六)
(二) 氫氧化鈉溶液(圖十七)
(三) 澱粉(圖十八)
(四) 高筋麵粉(圖十九)
(五) 糯米粉(圖二十)
(六) 硼砂(圖二十一)

三、　器材:

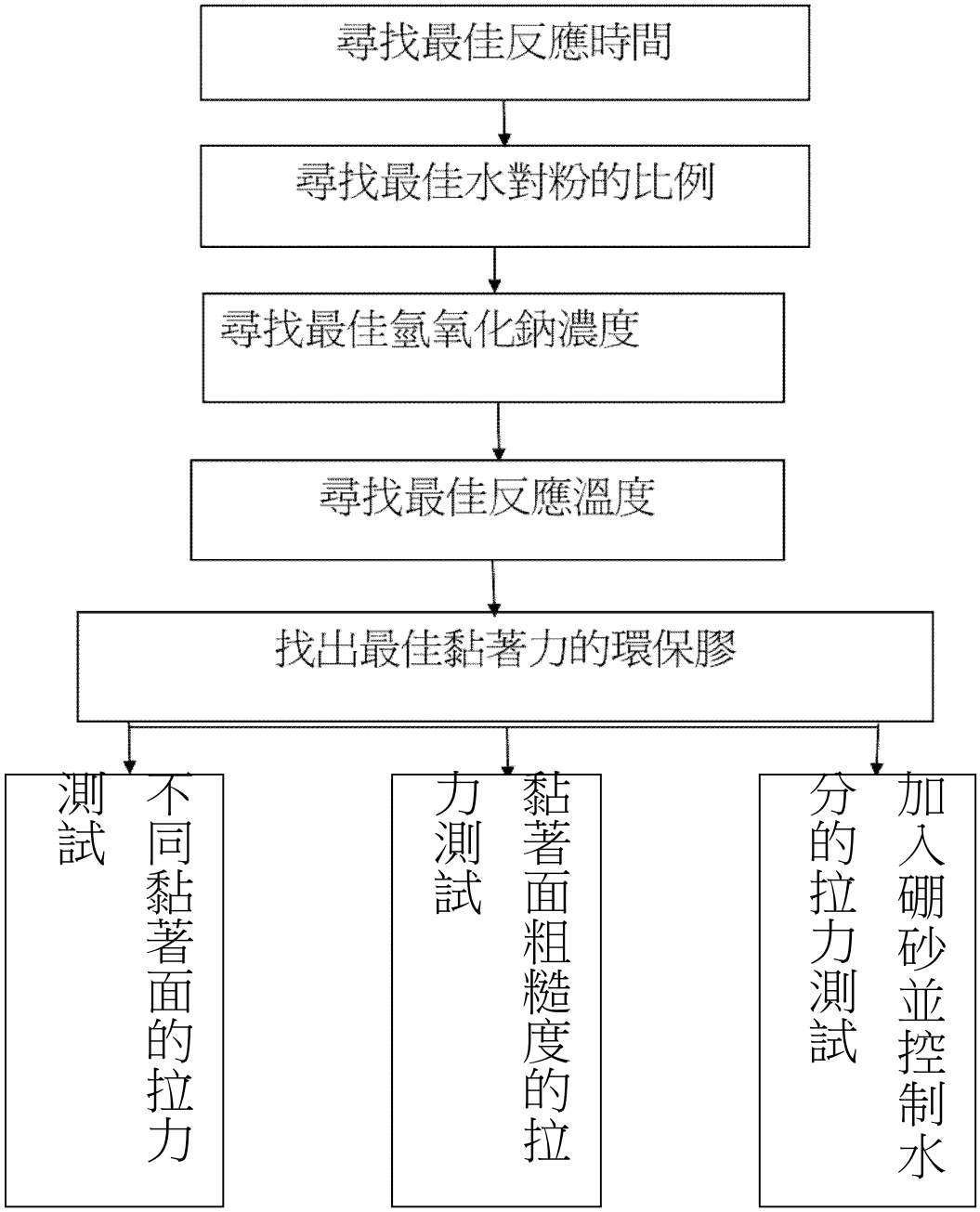
(一) 電子天平(圖二十二)
(二) 鑽孔機(圖二十三)
(三) 恆溫槽(圖二十四)
(四) 攪拌機
(五) 體重機
(六) 烘乾機

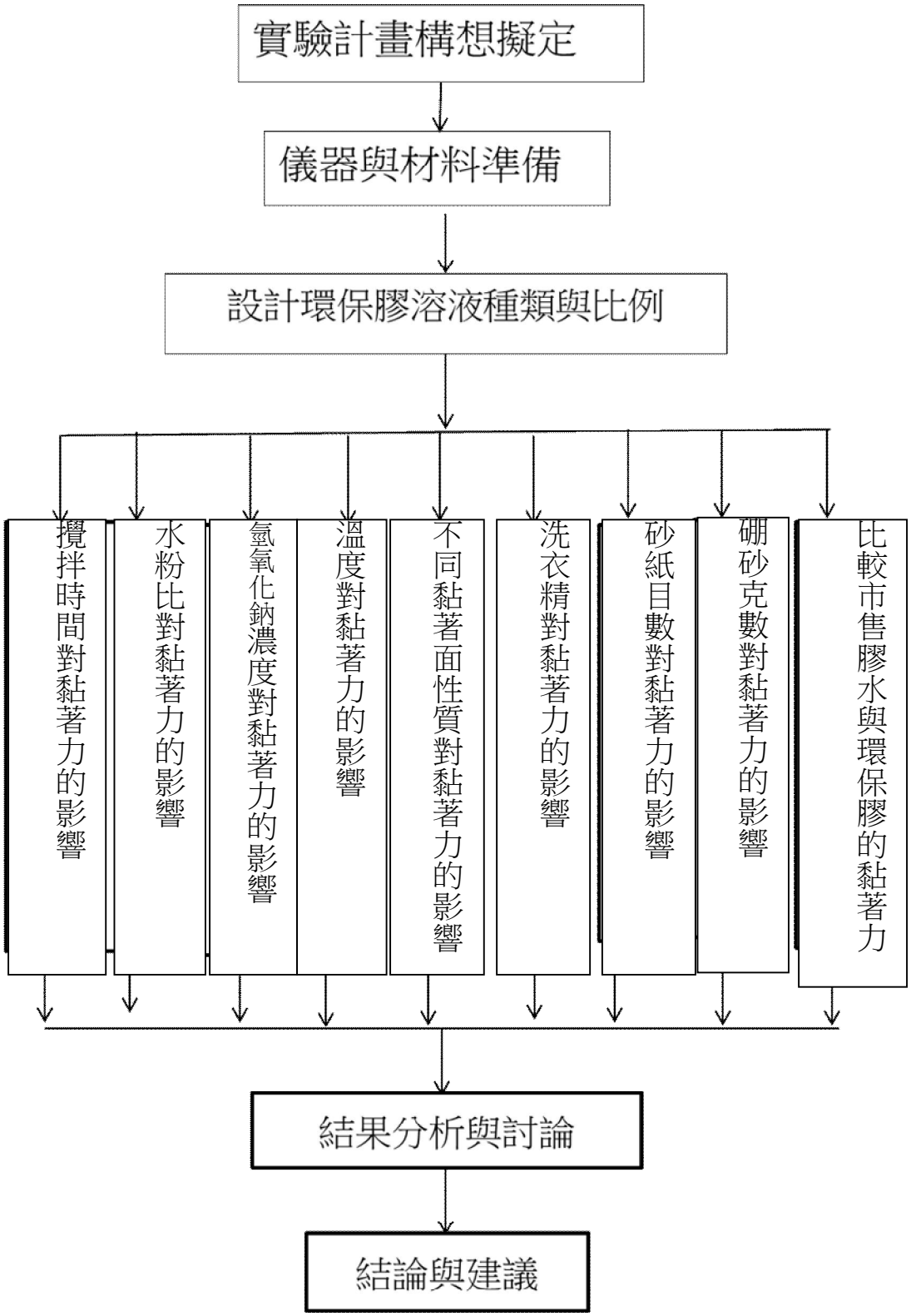
		
圖一、砂紙 40 目	圖二、砂紙 100 目	圖三、砂紙 180 目
		
圖四、砂紙 240 目	圖五、木塊第一代	圖六、木塊第二代
		
圖七、木塊第三代	圖八、木塊第四代	圖九、洋眼釘

圖十、拉力測試儀	圖十一、大型水桶	圖十二、定滑輪
圖十三、鐵線	圖十四、可旋拉鉤	圖十五、水管
圖十六、洗衣精 (妙管家)	圖十七、氫氧化鈉溶液	圖十八、澱粉
圖十九、高筋麵粉	圖二十、糯米粉	圖二十一、硼砂
圖二十二、電子天平	圖二十三、鑽孔機	圖二十四、恆溫槽

肆、研究過程或方法

尋找環保膠最佳反應條件的推理步驟:




實驗計畫構想擬定
儀器與材料準備
設計環保膠溶液種類與比例
攪拌時間對黏著力的影響
水粉比對黏著力的影響
氫氧化鈉濃度對黏著力的影響
溫度對黏著力的影響
不同黏著面性質對黏著力的影響
洗衣精對黏著力的影響
砂紙目數對黏著力的影響
硼砂克數對黏著力的影響
比較市售膠水與環保膠的黏著力
結果分析與討論
結論與建議

一、攪拌時間對環保膠黏著力的影響

(一) 分別將澱粉、高筋麵粉及糯米粉，每杯五克以電子天平量出六杯。

(二) 用一分鐘、三分鐘、五分鐘、七分鐘、九分鐘、二十分鐘，為操縱變因。

(三) 加入五克的水攪拌。

(四) 貼上標籤，靜置風乾，並拉力測驗。

二、水對粉的比例對環保膠黏著力的影響

(一)分別將澱粉、高筋麵粉及糯米粉，每杯一克以電子天平量出六杯。

(二)用 0.8g、 1g、 1.5g、 2g 、2.5g、 3g 的水為操縱變因。

(三)加入一克的粉後攪拌五分鐘。

(四) 貼上標籤，靜置風乾，並拉力測驗。

三、氫氧化鈉濃度對環保膠黏著力的影響

(一) 分別將澱粉、高筋麵粉及糯米粉，每杯五克以電子天平量出五杯。

(二) 用 0.91% 、1.78% 、 3.42% 、 6.36% 、11.2 % 為操縱變因。

(三) 先攪拌九分鐘再攪拌二十分鐘，時間一到即停止。

(四) 貼上標籤，靜置風乾，並拉力測驗。

四、溫度對環保膠黏著力的影響

(一) 將澱粉，每杯五克以電子天平量出四杯。

(二) 用 25℃、35℃、45℃、 55℃為操縱變因。

(三) 加入 1.4 克的液態鹼(1.78%)，攪拌九分鐘。

(四) 貼上標籤，靜置風乾，並拉力測驗。

五、不同黏著面性質對環保膠黏著力的影響

(一) 將澱粉、高筋麵粉及糯米粉，每杯五克以電子天平量出 4 杯。

(二) 加入 0.7 克的液態鹼及 12 克的水，攪拌九分鐘。

(三) 以不同介面性質(壓克力板、玻璃、金屬、木頭)分別塗上環保膠。

(四) 貼上標籤，靜置風乾，並拉力測驗。

六、洗衣精重量對環保膠黏著力的影響

(一) 分別將澱粉、高筋麵粉及糯米粉，每杯五克以電子天平量出三杯。

(二) 洗衣精濃度 0.562%、1.117%、1.667%操縱變因，加 0.7 克的液態鹼，攪拌九分鐘。

(三) 貼上標籤，靜置風乾，並拉力測驗。

七、表面粗糙度對環保膠黏著力的影響

(一) 將澱粉、高筋麵粉及糯米粉，每杯五克以電子天平量出 4 杯。

(二) 用 40 目、100 目、180 目、240 目的砂紙磨平的木頭表面粗糙度為操縱變因。

(三) 加入 1.4 克的液態鹼及 12 克的水，攪拌九分鐘。

(四) 以不同砂紙係數的木塊分別塗上環保膠。

(五) 貼上標籤，靜置風乾，並拉力測驗。

八、硼砂濃度對環保膠黏著力的影響

(一) 將澱粉、高筋麵粉及糯米粉，每杯五克以電子天平量出五杯。

(二) 以硼砂濃度 0.112%、0.225%、0.784%、1.337%及 1.884%為操縱變因。

(三) 加入 1.4 克的液態鹼及 12 克的水，攪拌九分鐘。

(四) 攪拌八分鐘時加入硼砂。

(五) 貼上標籤，靜置風乾，並拉力測驗。

九、比較環保膠及市售膠水的黏著力

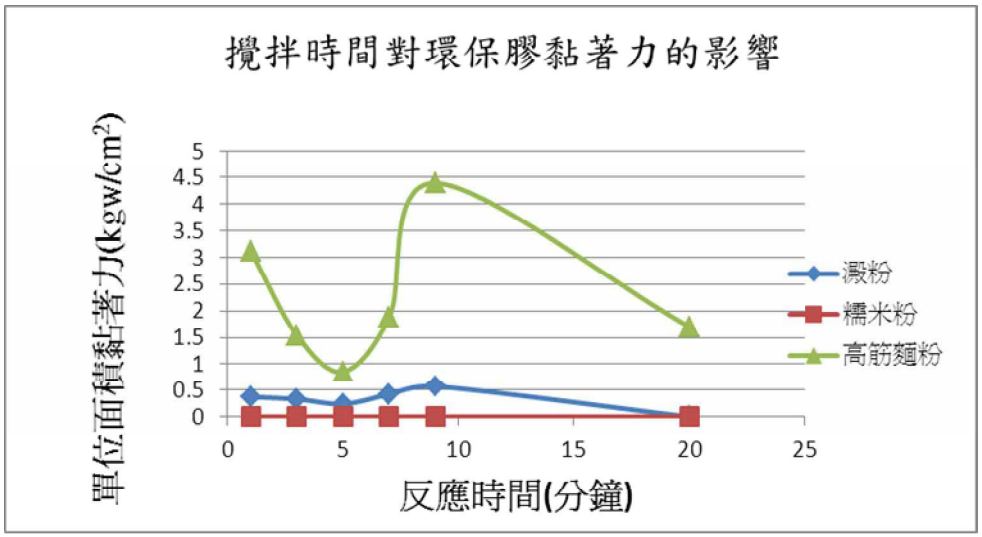
(一) 將環保膠、米糊、膠水、白膠、保麗龍膠、強力膠均勻塗於木塊。

(二) 貼上標籤，靜置風乾，並拉力測驗。

伍、研究結果

一、攪拌時間對環保膠黏著力的影響

在圖二十六到圖二十八中，觀察各種粉末溶液攪拌情形可以明顯看出高筋麵粉相較與澱粉及糯米粉明顯顯得較為濃稠，其黏著力表現得較其它兩種溶液好。在高筋麵粉方面，可以看出在一到五分鐘，隨著反應時間增加黏著力會下降，在五分鐘以後，隨著時間的增加黏著力也開始增加。但時間繼續增加，黏著力反而下降。澱粉的黏著力沒有特別突出的表現，不過黏著力的趨勢和高筋麵粉一樣，同樣在五分鐘以後，隨著時間的增加黏著力也開始增加，但在九分鐘以後，時間繼續增加，則黏著力反而下降。糯米粉方面，由於在實驗的風乾過程中，未經過任何人工觸碰即自動脫落，故將它記為零。



圖二十五、粉末在常溫、水對粉的比例為 1:1、不加氫氧化鈉、不加洗衣精及不加硼砂、黏著面粗糙度(使用 180 目砂紙磨平)，攪拌形成環保膠測試其黏著力。

各式粉末攪拌後如圖圖二十六至圖二十八

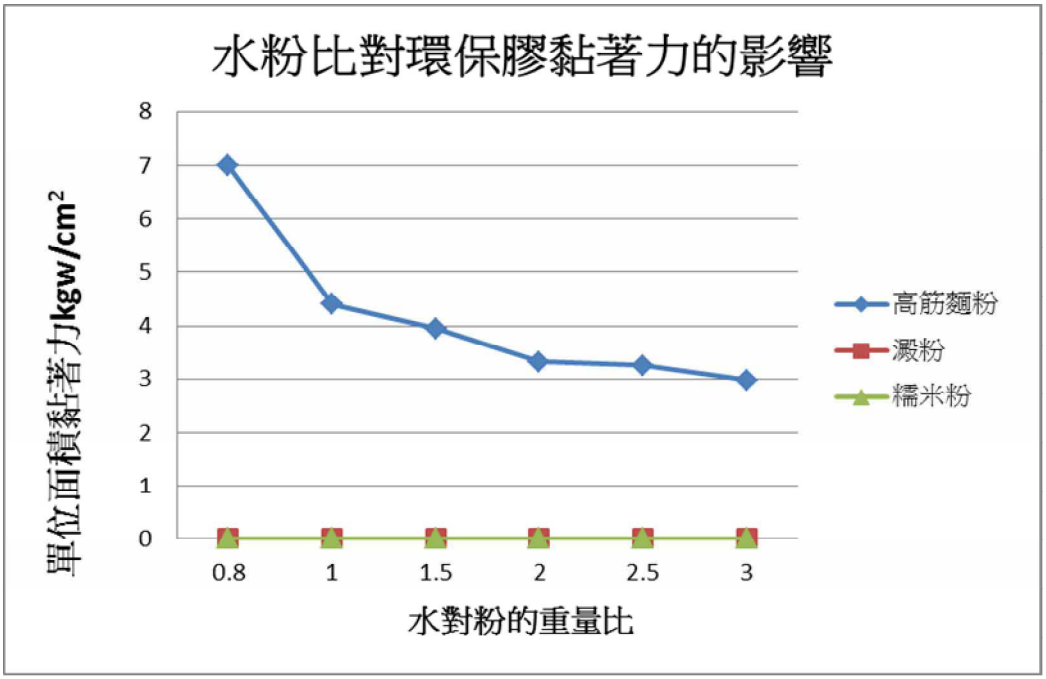
圖二十六、 澱粉溶液攪拌九分鐘，澱粉溶液部分分解。	圖二十七、 高筋麵粉溶液攪拌九分鐘，膠水溶液呈現濃稠狀，黏著力最高。	圖二十八、 糯米粉溶液攪拌九分鐘，攪拌後仍有許多未分解的白色粉末，黏著力最低。

二、水對粉末的重量比對環保膠黏著力的影響

在圖二十九中，高筋麵粉與水的重量比 0.8：1 有最好的黏著力，且是這組實驗中表現最好的，逐漸增加水的比例會使得黏著力下降快速。

澱粉及糯米粉方面，由於在實驗的風乾過程中，未經過任何人工觸碰即自動脫落，故將它記為零。

從圖三十到圖三十五中，很清楚的能夠觀察到當水粉比的比值越來越大時，溶液逐漸的稀薄，黏著力也逐漸下降。



圖二十九、粉末在 25℃、攪拌九分鐘、不加氫氧化鈉、不加洗衣精及不加硼砂、黏著面使用 180 目砂紙磨平，攪拌成環保膠測試黏著力。

由圖三十到圖三十五可看出環保膠逐漸稀薄:

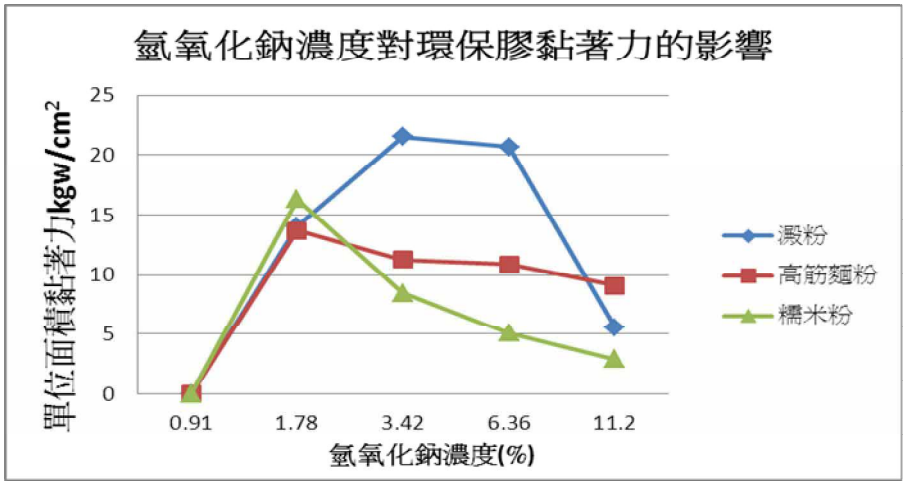
圖三十、0.8g 的水加高筋麵粉 1g。有較高的黏著力。	圖三十一、1g 的水加高筋麵粉 1g。	圖三十二、1.5g 的水加高筋麵粉 1g。	圖三十三、2g 的水加高筋麵粉 1g。	圖三十四、2.5g 的水加高筋麵粉 1g。	圖三十五、3g 的水加高筋麵粉 1g。膠水最稀。黏著力低

三、氫氧化鈉濃度對環保膠黏著力的影響

我們使用 0.8 克的水對 1 克的澱粉加氫氧化鈉攪拌，發現澱粉溶液較濃稠，難以攪拌，為了改善此現象，我們逐漸增加水對粉重量的比例到 12:5。

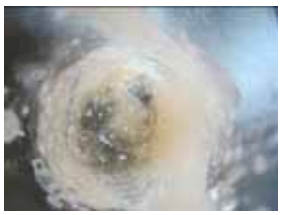
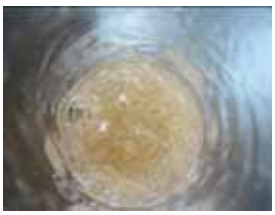
圖三十六中，當氫氧化鈉比例在 0.91%~3.42%時，黏著力隨著氫氧化鈉的比例增加而增加，且在 3.42%時，具有最高的黏著力；而氫氧化鈉濃度在 3.42%~11.2%時，黏著力隨著氫氧化鈉比例增加而開始下降。

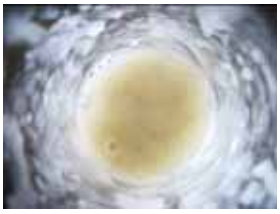
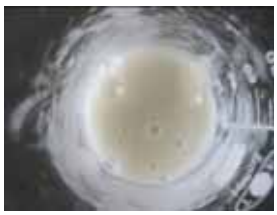
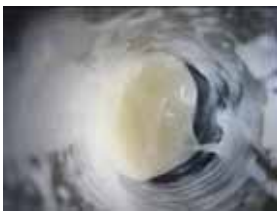
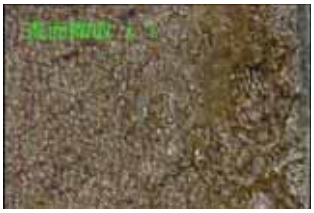
在糯米粉及高筋麵粉方面，圖三十六中，當氫氧化鈉比例在 0.91%~1.78%時，黏著力隨著氫氧化鈉濃度增加而快速增加；當氫氧化鈉濃度大於 1.78%，黏著力隨著氫氧化鈉濃度的增加而下降。



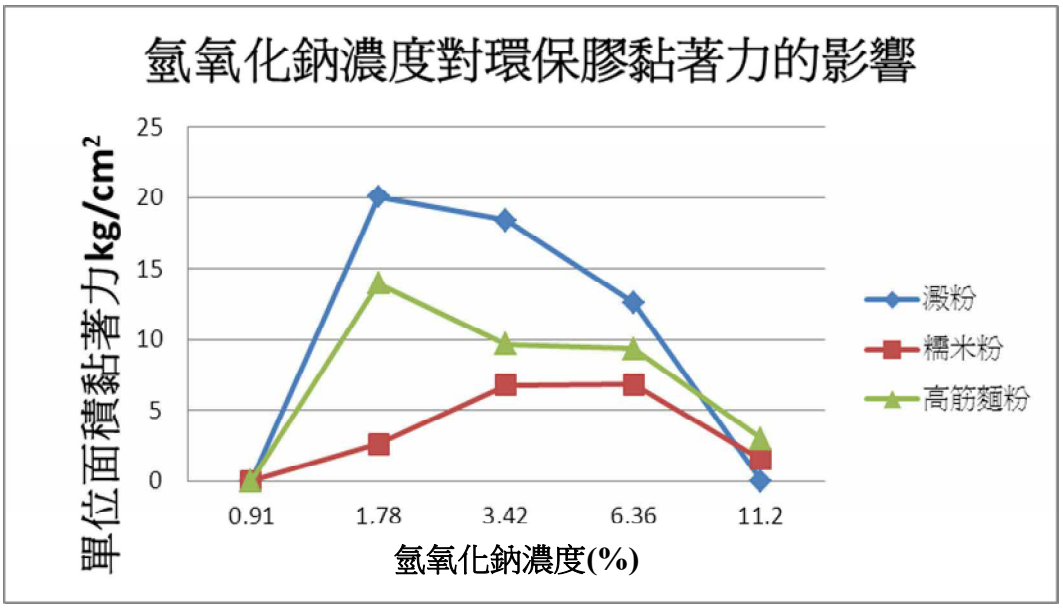
圖三十六　粉末在常溫、水對粉的比例為 12:5、攪拌 9 分鐘、不加洗衣精及不加硼砂、黏著面使用 180 目砂紙磨平，攪拌成環保膠測試黏著力。

圖三十七至圖四十四為澱粉膠加鹼攪拌後的膠水及拉力試驗後的木頭表面：

			
圖三十七、澱粉膠，鹼量 1.78%，鹼量不足，仍有白色顆粒，黏著力較弱	圖三十八、澱粉膠，鹼量 3.42%，最佳反應量，有最強黏著力	圖三十九、澱粉膠，鹼量 6.36%，反應過度，膠水呈透明狀。	圖四十、澱粉膠，鹼量 11.2%膠水呈最透明狀，有最弱黏著力。
圖四十一、澱粉膠，鹼量 1.78%(試拉後木頭表面)仍有白色粉末	圖四十二、澱粉膠，鹼量 3.42% (試拉後木頭表面)，反應完全，有最強黏著力	圖四十三、澱粉膠，鹼量 6.36%(試拉後木頭表面)，反應過度，黏著力弱。	圖四十四、澱粉膠，鹼量 11.2%(試拉後木頭表面)，反應過度，黏著力弱。

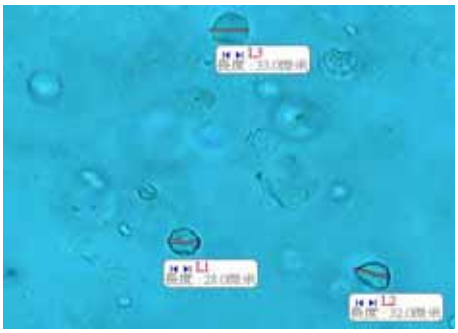
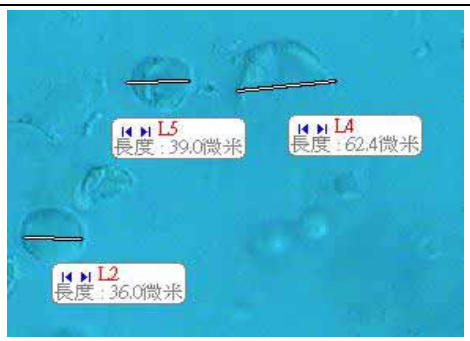
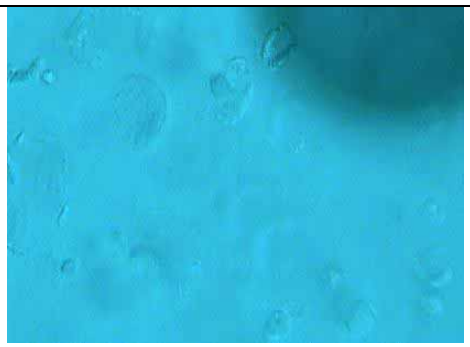
			
圖四十五、 高筋麵粉，鹼量 1.78%，有最強黏著力	圖四十六、 高筋麵粉，鹼量 3.42%	圖四十七、 高筋麵粉，鹼量 6.36%	圖四十八、 高筋麵粉鹼量 11.2%，黏著力最弱
圖四十九、 高筋麵粉，鹼量 1.78%(拉膠後木頭表面) ，有最強黏著力	圖五十、 高筋麵粉，鹼量 3.42%(拉膠後木頭表面)	圖五十一、 高筋麵粉，鹼量 6.36%(拉膠後木頭表面)	圖五十二、 高筋麵粉，鹼量 11.2%(拉膠後木頭表面)，黏著力最弱
			
圖五十三、糯米粉，鹼量 1.78%，有最強黏著力	圖五十四、糯米粉，鹼量 3.42%	圖五十五、糯米粉，鹼量 6.36%	圖五十六、糯米粉，鹼量 11.2%，黏著力最弱
			
圖五十七、澱粉 1.78%(拉膠後木頭表面) ，有最強黏著力	圖五十八、澱粉 3.42%(拉膠後木頭表面)	圖五十九、澱粉 6.36%(拉膠後木頭表面)	圖六十、澱粉 11.2%(拉膠後木頭表面)，黏著力最弱

我們嘗試將攪拌時間延長到 20 分鐘，結果如圖六十一，對照圖三十六發現，各種膠水最大黏著力皆下降。反應過程中，澱粉粒子的顯微鏡照片如圖六十二~圖六十五，觀察澱粉粒子的膨脹情形。一到九分鐘網狀型結構逐漸膨脹，二十分鐘時，此結構已崩解明顯。



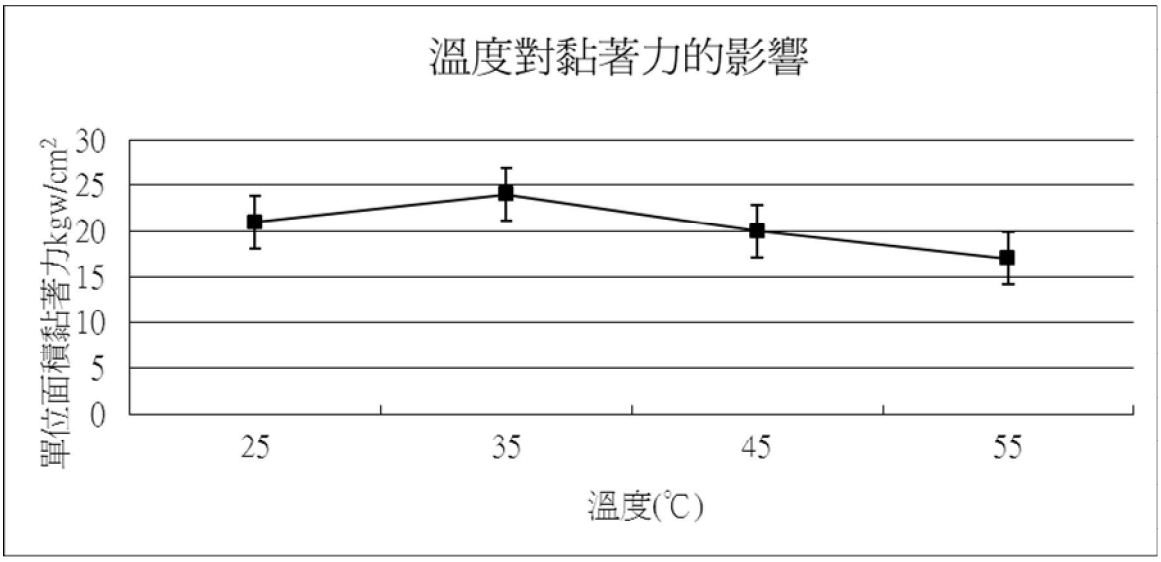
圖六十一、氫氧化鈉濃度對環保膠黏著力的影響

粉末在常溫、水對粉的比例為 12:5、攪拌 20 分鐘、不加洗衣精及不加硼砂、黏著面使用 180 目砂紙磨平，攪拌成環保膠測試其黏著力。

	
圖六十二、1 分鐘時澱粉粒子的照片，黑色區域為粒子中結晶區部分。	圖六十三、澱粉粒子在七分鐘時吸水的網狀結構圖。
	
圖六十四、九分鐘時多數的澱粉粒子已形成基本的網狀結構。黏著力最強。	圖六十五、20 分鐘時膠水溶液中含已崩解與少量未崩解網狀結構的澱粉粒子。黏著力已開始下降。

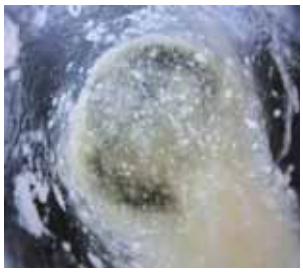
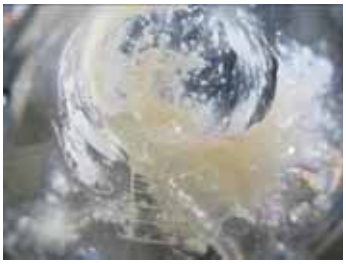
四、溫度對環保膠黏著力的影響

在圖六十六中可以發現，在溫度範圍 25℃~35℃，黏著力隨著溫度升高而升高；溫度範圍 35℃~55℃期間，黏著力隨著溫度升高而下降。



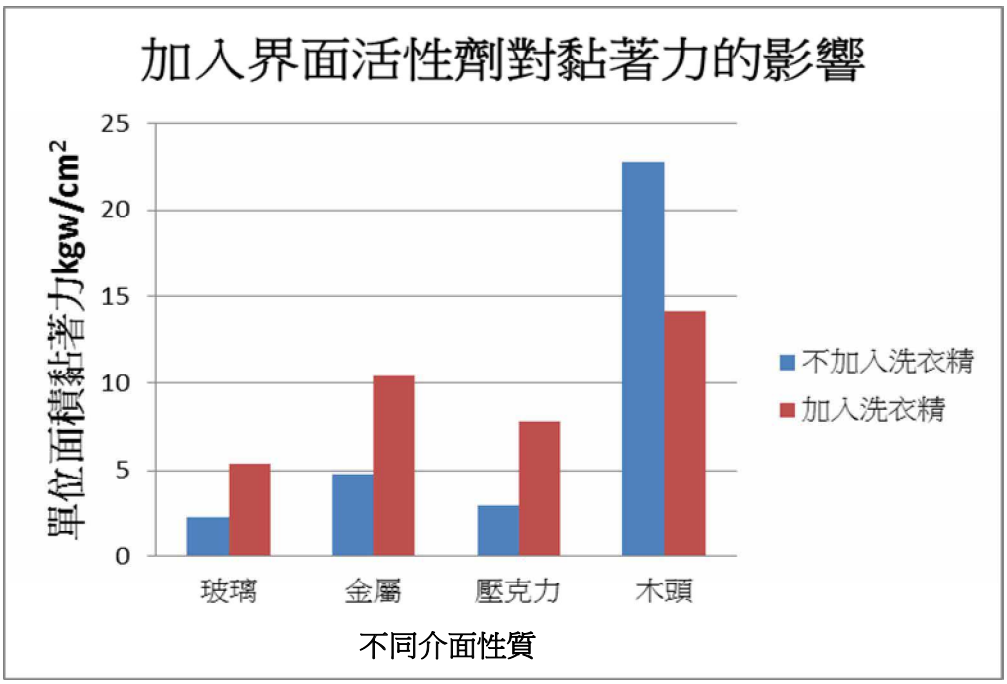
圖六十六、溫度對澱粉膠黏著力的影響，澱粉在水對粉的重量比例為 12:5、攪拌九分鐘、不加洗衣精及不加硼砂、黏著面使用 180 目砂紙磨平，攪拌成環保膠測試黏著力。

圖六十七至圖七十為反應後膠水的圖片。

			
圖六十七、澱粉膠在 25℃下反應，膠水白色顆粒仍多，黏著力較低	圖六十八、澱粉膠在 35℃下反應後，黏著力最高。	圖六十九、澱粉膠在 45℃下反應。	圖七十、澱粉膠在 55℃下反應後，膠水呈現最透明，黏著力最低

五、加入洗衣精對黏著力的影響

在圖七十一中，當不添加洗衣精時，黏著力大小依序為: 木頭、玻璃、金屬、壓克力板。當添加洗衣精時，對玻璃、金屬、壓克力板黏著力有明顯的提升，而對木頭的黏著力反而下降。



圖七十一、加入洗衣精對不同表面黏著力的影響。
澱粉粉末在 25℃溫，1.78%氫氧化鈉、水對粉的比例為 12:5、攪拌九分鐘、不加洗衣精及不加硼砂、黏著面使用 180 目砂紙磨平，攪拌成環保膠測試黏著力。

六、洗衣精重量對環保膠黏著力的影響

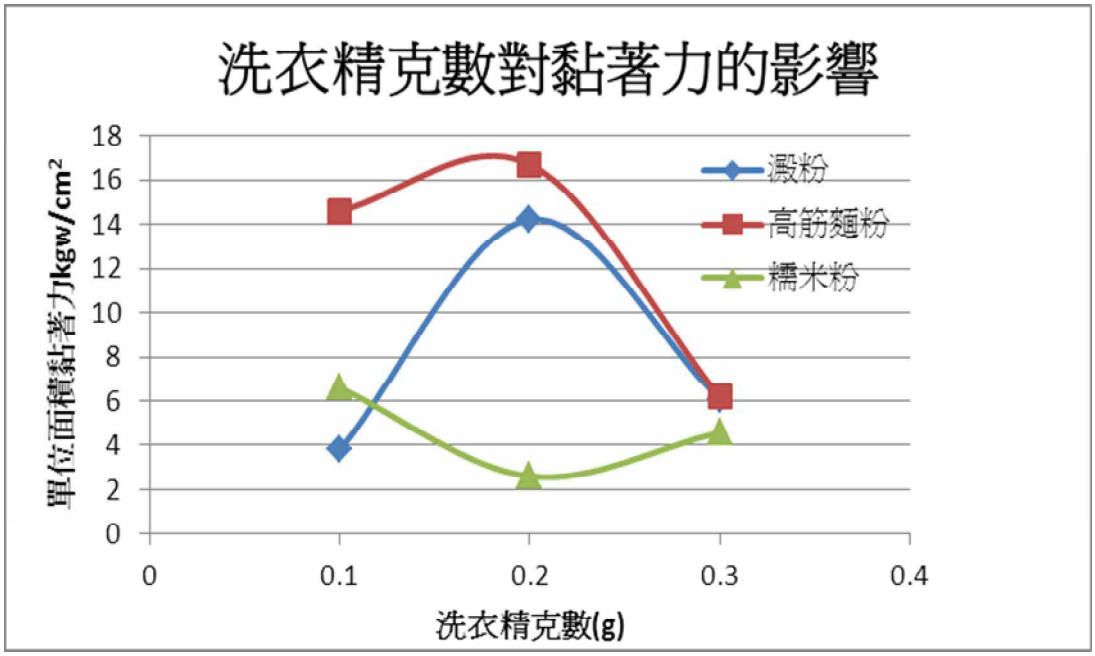
為了改善黏著劑對不同表面的黏著力效果，我們嘗試加入洗衣精(因為洗衣精中含有界面活性劑)。

在圖七十二中發現，高筋麵粉有最好的黏著力。

高筋麵粉及澱粉，在洗衣精添加量為 0.1~0.2 克，黏著力隨著洗衣精克數增加而增加在添加量 0.2~0.3 克期間，黏著力隨著洗衣精克數增加而減少。

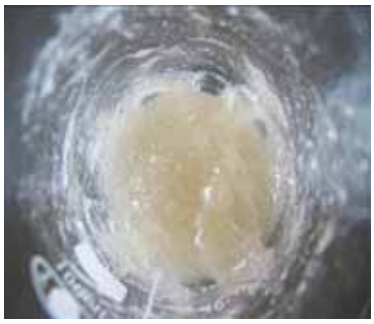
而糯米粉方面，洗衣精添加的量在 0.1 克時黏著力越大；而添加量在 0.1~0.2 克間，隨著添加量的增加，黏著力開始下降，下降到 2.6kgw/cm^2；而在洗衣精添加量在 0.2~0.3 克間，黏著力隨著洗衣精添加量增加而增加。

反應過程後糊狀物，如圖七十三到七十五。



圖七十二、為洗衣精克數對黏著力的影響。各種粉末在常溫、水對粉的比例為 12:5、攪拌九分鐘、不加硼砂、黏著面使用 180 目砂紙磨平，形成環保膠測試黏著力。

澱粉膠中添加洗衣精的攪拌結果，如圖七十三到圖七十五。

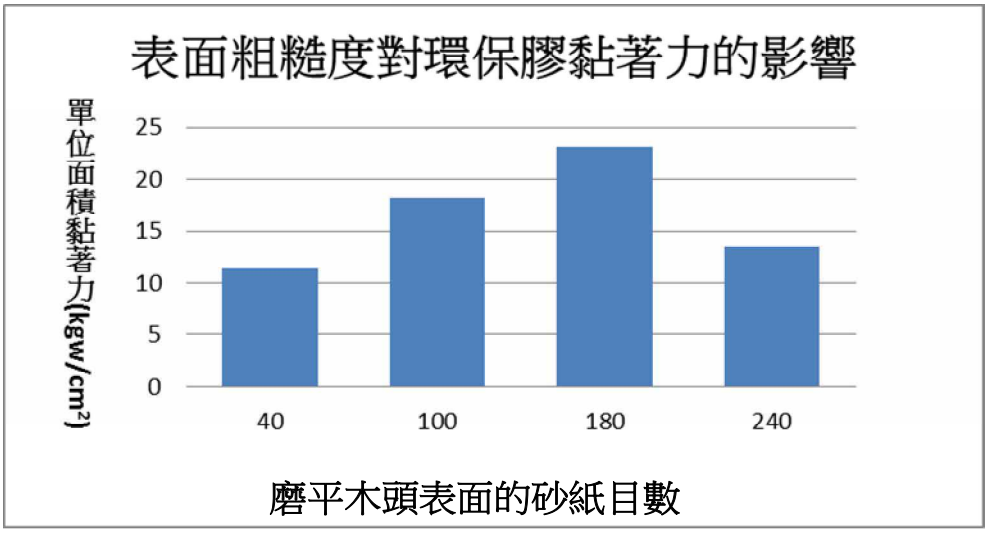
		
圖七十三、 添加 0.1g 洗衣精在澱粉膠中	圖七十四、 添加 0.2 克洗衣精在澱粉膠中，有最好的黏著力。	圖七十五、 添加 0.3 克洗衣精在澱粉膠，黏著力較差。可看出膠水溶液最透明

圖七十六到圖八十三為不同黏著面經拉力測試後的表面黏膠分布情形：

圖七十六、玻璃表面澱粉膠未加洗衣精，黏著力次之。	圖七十七、金屬表面澱粉膠未加洗衣精(中間白色部分為膠) 。	圖七十八、壓克力表面澱粉膠未加洗衣精。黏著力最小。	圖七十九、木頭表面澱粉膠未加洗衣精。黏著力最大
圖八十、玻璃表面澱粉膠有加洗衣精，黏膠附著面積較廣。	圖八十一、金屬表面澱粉膠有加洗衣精，黏膠附著面積較廣。	圖八十二、壓克力表面澱粉膠有加洗衣精，黏膠附著面積較廣。	圖八十三、木頭表面澱粉膠有加洗衣精。

七、表面粗糙度對環保膠黏著力的影響

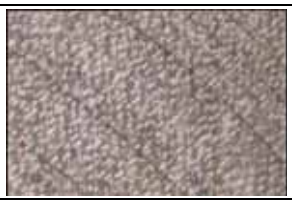
我們使用上述結果的最佳條件，使用不同目數的砂紙將木頭表面磨平，在將環保膠黏著在不同的粗糙表面測試黏著力的大小。



圖八十四、表面粗糙度對環保膠黏著力的影響。

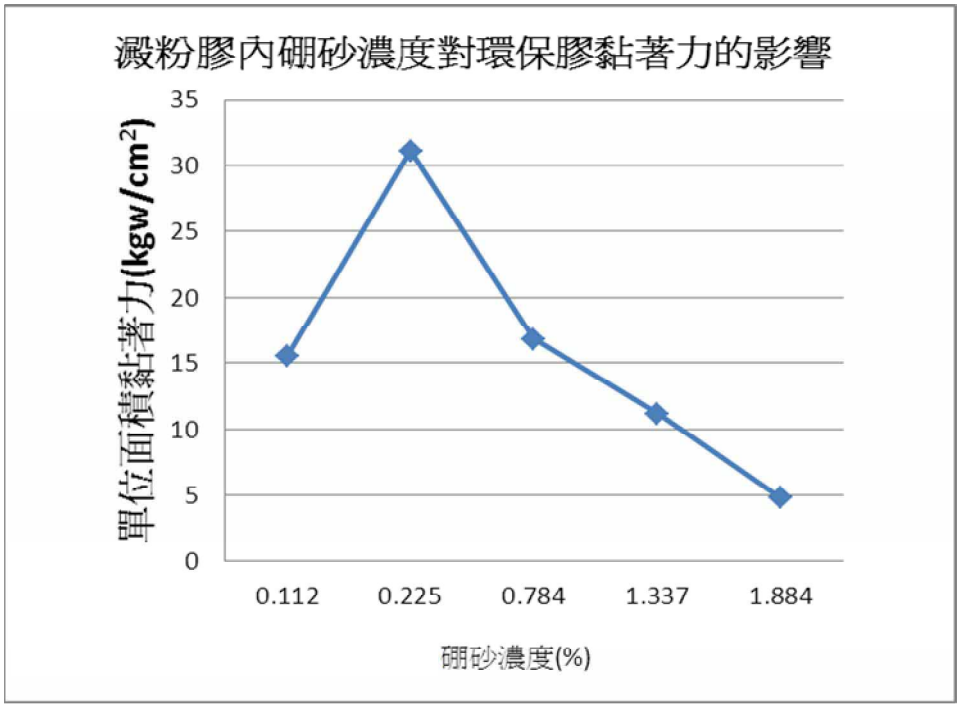
澱粉膠中加入氫氧化鈉 3.42%，在 35℃、攪拌九分鐘、不加洗衣精、形成環保膠測試黏著力。

圖八十五到圖九十二為木頭表面粗糙程度及拉力測試後表面。

			
圖八十五、使用 40 目砂紙磨平之表面	圖八十六、使用 100 目砂紙磨平之表面	圖八十七、使用 180 目砂紙磨平之表面	圖八十八、使用 240 目砂紙磨平之表面
圖八十九、40 目澱粉膠，具有最弱的黏著力。	圖九十、使用 100 目砂紙磨平之表面，黏著力次之。	圖九十一、使用 100 目砂紙磨平之表面，澱粉膠具有最好的黏著情形。	圖九十二、使用 240 目砂紙磨平之表面，澱粉膠較難滲入表面縫隙

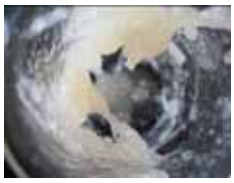
八、硼砂克數對環保膠黏著力的影響

依據結果三中，我們發現膠的黏著力與網狀型結構間的吸引力有很大的關係，所以我們參考中部某大學的資料，嘗試加入硼砂增加網狀型結構間的吸引力，找出澱粉膠中最佳的硼砂量。

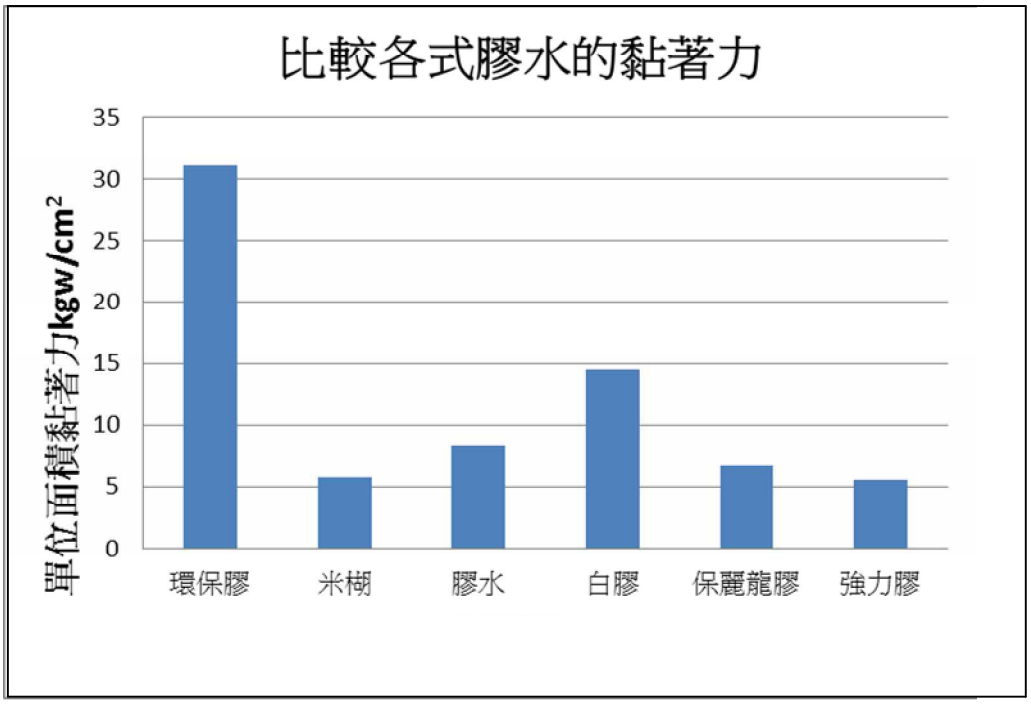


圖九十三、硼砂濃度對環保膠黏著力的影響。澱粉膠中加氫氧化鈉 3.42%，在 35℃、攪拌九分鐘、不加洗衣精、黏著面使用 180 目砂紙磨平，攪拌成環保膠測試黏著力。

圖九十四至圖九十八為澱粉膠加入硼砂後的結果：

				
圖九十四、在澱粉膠內硼砂濃度0.112%，膠水顯得較稀。	圖九十五、在澱粉膠內硼砂濃度0.225%時有最佳的黏著力。	圖九十六、在澱粉膠內硼砂濃度0.225%，膠水變得變得較黏稠。	圖九十七、在澱粉膠內硼砂濃度1.337%。	圖九十八、在澱粉膠內硼砂濃度1.884%時有最低的黏著力，膠水已呈現黏土。

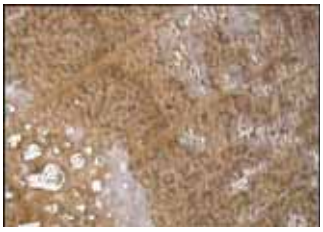
九、比較環保膠及市售膠水的黏著力我們使用最佳的反應條件製作出的環保膠，與市售膠水比較(如圖九十九)。



圖九十九、自製環保膠，比較環保膠及市售膠水的黏著力。

如圖一百、最佳反應條件，澱粉加入 0.04 克的硼砂(0.225%)、0.7 克的氫氧化鈉(1.78%)、35℃攪拌 9 分鐘且，木頭表面使用 180 目的砂紙磨平，製成的環保膠在木頭上的黏著力可達 31.1 kgw/cm^2。

圖一百至圖一百零五為市售各種膠水拉力試驗後表面：

圖一百、環保膠	圖一百零一、米糊	圖一百零二、膠水
		
圖一百零三、白膠	圖一百零四、保麗龍膠	圖一百零五、強力膠

陸、討論

一、攪拌時間對環保膠黏著力的影響

在圖二十五中，高筋麵粉是所有粉末種類中表現最好的，在九分鐘時有最好的黏著力，這是因為反應初期的一到五分鐘，剛接觸水時，高筋麵粉相較於澱粉及糯米粉，其組成中含有較多的蛋白質，蛋白質結構中的胺基與羧基在中性溶液中有兩種基團與木頭中的纖維素分子鏈上的羥基（-OH）產生分子間氫鍵而互相吸引，因而黏住[2]，在圖二十七中可看出高筋麵粉已將環境中的水分吸盡，溶液呈現濃稠狀態；而隨著反應時間的增加，水分逐漸被澱粉分子吸收後而膨大，外圍的水分逐漸減少，造成氫鍵及靜電力減少，到達五分鐘時，有最弱的黏著力；在五分鐘以後，隨著時間的增加，黏著力也開始增加，是因為高筋麵粉中的澱粉分子的網狀形結構，因為吸水而越張越大，外部的水量越來越少，造成澱粉粒子漸漸擁擠在一起，而逐漸流動減緩，所以出現了澱粉糊液的黏性，促使澱粉與木塊間的黏著力逐漸上升。9~20 分鐘時，黏著力隨時間增加逐漸下降，這是因為網狀形結構隨時間增加，造成吸收水分過而多逐漸被破壞，因而黏著力下降。

澱粉的黏著力略大於高筋麵粉，這是因為澱粉成分中多數直鏈性分子，反應時間 1~9 分鐘時，澱粉粒子的糊化膨潤速度大於糯米粉粒子，所以與木頭的黏著力較高；在 5~9 分鐘時，隨著時間的增加黏著力也開始增加，是因為澱粉的網袋形結構越來越大，外部的水分隨著時間的增加而減少，澱粉粒子流動緩慢，澱粉糊液的黏性逐漸增加所造成。9~20 分鐘時，黏著力隨時間增加逐漸下降，是因為網狀形結構隨時間增加，吸收水分過多逐漸被破壞，造成黏著力下降。

糯米粉方面，在反應時間 1~20 分鐘時，隨著時間的增加，糯米粉中的粒子多數仍屬於結晶狀態，溶液中仍有許多白色的粉末(如圖二十八)，這代表糯米粉中的澱粉粒子結晶區尚未被破壞，無法形成網狀形結構，當糯米膠沾黏於木塊表面，經乾燥後，仍保持糯米粉末狀態，造成膠體與木塊貼合性差。

二、水對粉末的重量比對環保膠黏著力的影響

在圖二十九中，高筋麵粉與水在重量比 0.8：1 有最好的黏著力，這是因為高筋麵粉其組成中有較多的蛋白質成分，額外提供了膠體分子鏈與木塊纖維素鏈上的羥基（-OH）產生分子間氫鍵而互相吸引，所以是這組實驗中最黏著力好的。

高筋麵粉隨著粉末量的添加而黏著力逐漸下降，乃因溶液中水量逐漸增加，造成澱粉周邊水量太多，水分子使得澱粉分子間的距離增加，黏著力因而下降，隨著水量的增加，澱粉粒子即使形成了網狀形結構，也無法讓黏著力有效上升。

三、環保膠內氫氧化鈉濃度對黏著力的影響

圖三十六中，攪拌 9 分鐘後的澱粉膠，氫氧化鈉濃度為 0.91%~3.42%時，黏著力隨著氫氧化鈉的比例增加而增加，是因為粉末粒子中的結晶區部分，隨著鹼量增加，破壞澱粉顆粒結晶區域的緻密結構越快速，使澱粉越易膨脹，增快糊化速率[3]，快速形成網狀形結構的量越多，黏著力就越強，在 3.42%時，此結構吸水量達到最多，網狀形結構排列緊密，故具有最高的黏著力(如圖六十四)，我們利用顯微鏡觀察到澱粉粒子在鹼液中吸

水膨脹的情形，如圖六十二到圖六十五，發現澱粉的粒子隨鹼量增加一直在增大，在圖六十五中甚至還發現一部分的粒子網狀形結構因為吸水過多而破裂；而氫氧化鈉濃度在3.42%~11.2%時，黏著力隨著氫氧化鈉濃度的增加而逐漸下降，這是因為過多的鹼液，加速澱粉粒子網狀形結構的崩解，使結構內的水釋放出來，過多的水稀釋了溶液的黏性，使得黏著力又開始下降。

在糯米粉與高筋麵粉方面，當氫氧化鈉濃度在 0.91%~1.78%時，黏著力隨著氫氧化鈉的增加而增加，是因為澱粉粒子在液態鹼中膨脹所造成，而下降原因皆是網狀形結構崩解所造成。

在圖六十一中，攪拌 20 分鐘後的澱粉膠，其最大黏著力均下降，是因為崩解的網狀形結構釋放出水分使分子間氫鍵減弱，造成黏著力下降(如圖六十五)。

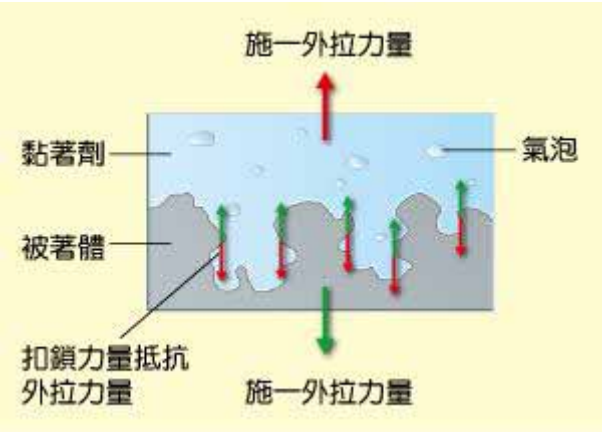
四、溫度對黏著力的影響

在圖六十六中，在溫度範圍 25℃~35℃，黏著力隨著溫度升高而升高，是因為加熱可以促使破壞澱粉中的結晶區，讓分子鏈運動變得柔軟，加速形成包覆水的網狀型結構；溫度範圍 35℃~45℃期間，黏著力隨著溫度升高而下降，則是因為網狀型結構因為分子鏈運動越來越快速，使得澱粉高分子鏈間的吸引力被破壞，水分被釋放出來，因而降低了黏著力；而在 45℃以後，黏著力下降至最低，這也代表了多數的水分已經從分子鏈內被釋放到外部環境，在圖六十七到圖六十九中，可看出澱粉溶液呈現濃稠且不透明狀，對照圖六十六的數據 35℃的黏著力最高，而圖七十中的澱粉溶液多數已經呈現透明狀，這代表了澱粉粒子的網狀結構多數已被破壞。

五、加入洗衣精對黏著力的影響

在圖七十一中，當不添加洗衣精時，黏著力大小依序為: 木頭、玻璃、金屬、壓克力板，是因為木頭內的纖維素分子鏈能與環保膠的澱粉分子鏈相容，產生較多的氫鍵,因此有最佳的黏著力。

我們添加洗衣精改善膠與黏著面的相容性，發現金屬、壓克力板、玻璃皆有提升，這是因為洗衣精內的界面活性劑促進膠與黏著面貼合(如圖七十六到八十三)可以產生扣鎖作用增加黏著力(如圖一百零六)[2]。



圖一百零六 環保膠與木塊表面的扣鎖示意圖

六、環保膠中的洗衣精濃度對黏著力的影響

我們使用上述最佳的反應條件添加洗衣精，在圖七十二中，高筋麵粉有最好的黏著力，是因為洗衣精中的界面活性劑，可以促進膠水與木塊黏著。而高筋麵粉及澱粉，在洗衣精添加量為 0.1~0.2 克，黏著力隨著洗衣精克數增加而增加，主要是因為，洗衣精中的鹼液越多，對粉體中結晶區的破壞越快速，形成澱粉膨脹的速率及數量越多；添加量 0.2~0.3 克期間，黏著力隨著洗衣精克數增加而減少，是因為過量的鹼液造成澱粉網狀型結構破裂，內部的水釋放量增加，釋放越多黏著力越低。在圖七十三至圖七十五中可看出，0.1 克及 0.2 克澱粉溶液呈現白色黏稠狀，但 0.3 克的洗衣精加入，已經使得澱粉溶液呈現透明無色，這代表了澱粉分子的網狀結構大多已經被破壞，整杯溶液多數為直鏈狀的非晶結構，多餘的水分子釋放出來，這會讓黏著力下降。

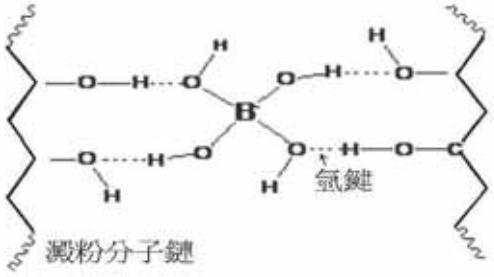
七、表面粗糙度對黏著力的影響

在圖八十四中，我們發現當使用砂紙目數越高磨平木頭表面，則黏著力越高，當使用砂紙目數 180 磨平木塊時達最佳的黏著力，是因為木頭的表面刻痕最適合讓膠滲入表面隙縫，讓膠與木頭接觸面積最大，形成最大的扣鎖能力(如圖九十一)，但當粗糙面太細(240 目)膠反而不易滲入隙縫(如圖九十二)，黏著的接觸面減少，扣鎖程度降低。

八、硼砂克數對環保膠黏著力的影響

在結果一到結果四中，我們發現控制澱粉膠的網狀形結構就可提升黏著力，因此我們參考市售膠水的成分加入硼砂來使澱粉間網狀形結構更緊密，增加氫鍵吸引力。

在圖九十三可發現澱粉膠中硼砂濃度 0.112%~0.225%時黏著力逐漸上升，0.225%時有最佳黏著力，這是因為硼砂可使網狀形結構吸引在一起，增加分子鏈間的氫鍵吸引力(如圖一百零七)[4]，但過多的硼砂使得澱粉分子過度糾纏形成類似黏土的性質，雖然分子間吸引力增加，但反而減低膠對木頭的黏著力。



圖一百零七　硼砂分子與澱粉分子鏈間產生氫鍵，拉近了澱粉分子間的距離

九、 比較環保膠及市售膠水的黏著力

我們使用最佳的反應條件(使用澱粉加入 0.04 克的硼砂(0.225%)和加入 0.7 克(1.78%)的氫氧化鈉溶液，在 35℃下攪拌九分鐘)製作出的環保膠，並比較環保膠及市售各式膠水的黏著力。發現環保膠黏著力為最高(如圖九十九)。

柒、結論與建議

一、尋找最佳攪拌時間的這組實驗中，當攪拌時間為九分鐘時，有最好的黏著力。

二、尋找最佳水粉比的這組實驗中，時間控制在九分鐘，當水粉比為 0.8:1 時，高筋麵粉及澱粉有最好的黏著力。

三、使用結論二條件，再加入氫氧化鈉，所製得的膠水過於濃稠，難以攪拌，必須改以增加水粉比到 12:5，氫氧化鈉濃度 1.78% ，才有最好的黏著力。其中加入鹼可以幫助澱粉粒子的結晶區形成網狀形結構，增加黏著力。

四、尋找最佳溫度的實驗中，延續上述的最佳條件，時間控制在九分鐘、水粉比為 12:5、氫氧化鈉濃度為 1.78% ，當溫度為 35℃時，有最好的黏著力。

五、尋找不同黏著面性質對黏著力的影響，發現黏著力大小依序為木塊、玻璃、金屬、壓克力。加入洗衣精後對玻璃、金屬及壓克力的黏著力皆可提升，這對環保膠的應用性將會增廣。

六、尋找最佳的表面粗糙度的這組實驗中，使用 180 目的砂紙磨平的木塊進行黏著，此時有最好的黏著力。

七、尋找最佳的硼砂克數的這組實驗中，硼砂濃度為 0.225%時有最好的黏著力。

八、與市售膠水比較環保膠的這組實驗中，我們將最佳反應的澱粉膠與米糊、膠水、白膠、保麗龍膠及強力膠相互比較，環保膠有最好的黏著力。

九、我們的實驗就到這裡結束，我們提供多次實驗的結果分享，希望各家工廠能夠使用我們提供的資料，環保膠成本非常便宜，若能應用我們也非常慶幸，這也證明其實環保真的能從身邊做起，也許在未來我們可以打造完全環保的一個世界，讓我們的下一代永遠的延續下去。

捌、參考資料

[1] 膠水的成分 http://tw.knowledge.yahoo.com/question/?qid=1105061602832

[2] 氫鍵 四維公司—黏著劑原理，和美國中 311-3103307-308 自然教學資料 http://ht045.pixnet.net/blog/post/26652867-%E9%BB%8F%E8%91%97%E5%8A%91%E5%8E%9F%E7%90%86---%E5%9B%9B%E7%B6%AD%E5%85%AC%E5%8F%B8

[3] 糊化 http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1005011101441

[4] 變態的膠水---聚乙烯醇與硼砂的交聯作用:http://blog.ncue.edu.tw/yangsp/doc/26876

【評語】030804

1. 能以日常生活中可以輕易取得的食材來研究如何製作出效果良好之環保膠，根據實驗結果可以獲得良好之效果，並可成功應用於數種材質的黏接。

2. 除了黏度之實驗外，也能針對可能因素加以分析，然實驗的設計可以再改善，有助於結論佐證的強化。