

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

最佳團隊合作獎

030122

馬桶的肚量『溶』的下衛生紙嗎？

學校名稱：屏東縣立明正國民中學

作者： 國二 翁之晴 國二 李佳蓁 國二 黃亦學	指導老師： 沈 驗 范杏旻
---	-----------------------------

關鍵詞：衛生紙、流量、裂解度

摘要

衛生紙到底丟不丟馬桶?丟可能會堵住馬桶但可減少疾病的散播及垃圾的清理問題因此本研究針對抽取式、捲筒式、輕便包和濕式衛生紙的纖維結構、密度、長度、吸水性、乾濕支撐力等特性逐一探討，希望找出與衛生紙裂解度最有相關的因子，進而研究水溫、衛生紙的張數、摺疊次數及擦完含水量不同的排泄物後對馬桶水流量的影響，藉以判斷衛生紙該怎麼用才不會堵住馬桶，結果發現：

抽取式衛生紙三張以下或摺疊次數為3次時較不會塞住馬桶。衛生紙纖維密度會影響吸水性、潮濕時的支撐力，進而影響裂解度，然而裂解度和衛生紙沖出馬桶的時間有顯著的相關，我們推測纖維密度是影響衛生紙會不會堵住馬桶的重要因素。

衛生紙的裂解度在室溫(25°C)時裂解度較低。

壹、研究動機

最近新聞報導最引人注目的話題是：「衛生紙到底可不可以丟進馬桶？會阻塞馬桶嗎？」這勾起我們的好奇心，因為我們從小就被灌輸「不能把衛生紙丟進馬桶裡」的觀念，但是在歐美許多國家衛生紙都是直接丟入馬桶的，這樣一來可以減少衛生紙帶來的大量垃圾，二來可以減少廁所放置垃圾桶所帶來的髒亂、異味和傳染病散佈的衛生問題，第三則可以省掉清理廁所需的清潔費，既然好處這麼多，那為何多數人還是不敢將衛生紙丟馬桶呢?主要原因是擔心馬桶被堵住，而且台灣的下水道系統並不完善，處理沖下馬桶的廢棄物恐怕要花更多人力財力去處理，所以丟與不丟都有其優缺點，於是我們決定要深入了解衛生紙的各種特性和馬桶會不會堵住的物理現象，來提供大家解決對衛生紙到底能不能丟馬桶的疑慮。

同學的旅遊經驗告訴我們，香港的家庭廁所是不放垃圾桶的，所以衛生紙直接丟馬桶是自然而然的動作，台灣每年的衛生紙銷售量高達14.6億噸，直接沖入馬桶的只有4.8%，垃圾處理費也高達6億7千萬元(蔡振明，2008^{參考一})

如果可以進一步了解衛生紙的組成、物理性質、可以沖走衛生紙又不會堵住馬桶的水流量，進而改進衛生紙的製作方式和樣式，減少衛生紙的用量及沖水量，為了保護自然界珍貴的森林和水資源，因此我們希望找出最恰當的使用衛生紙的方法，提供國人使用衛生紙習慣的一些新思維，替地球的健康盡一份心力。

貳、文獻探討及名詞解釋

一、衛生紙

英文名叫 tissue paper，放在衛生間的衛生紙叫 toilet paper，主要供人們生活日常衛生之用，所以在紙業同行用語通常叫生活用紙，是人民生活中不可或缺的紙種之一。它們通常由棉漿、木漿、草漿、廢紙漿製造，質量好的衛生紙都是由原生木漿製成，它跟一般紙的製造流程差不多，只是**要求製造成極薄極脆弱，這樣的目的是當遇到水就會爛掉，達到環保的目的**。一般紙張的特性是在長度方向的強度較高（垂直於皺紋方向），以提高舒適感。因此建議使用時讓此方向承受主要的應力。



二、衛生紙和面紙的區別

面紙和衛生紙在品質上主要區別在於：

面紙：一般具有**濕韌強度**（一種代表紙張在完全潤濕狀態下的韌性指標）、用來清潔臉、手等人體部位，故較重視觸感，要求質柔不破，能夠較快地吸水且不解成碎紙屑，質量較好的面紙，具有一定的濕強度，在正常使用時，不會發生分解成碎紙屑的現象。

衛生紙：一般不允許具有濕韌性，以防止在使用後紙張不易分解而堵塞衛生化糞池。衛生紙主要針對在衛生間如廁後清潔使用，**要求紙張有一定的耐破性，並且遇水易於分解，不會造成化糞池堵塞**。由纖維交織而成的，在吸收了一定的水份及擦拭後，纖維間的鏈結被破壞，會形成一片片的小紙屑^{參考2}。

三、馬桶流量：

常用的一段式省水馬桶獲得省水標章標準是依每次馬桶沖水量分為金級及普級。金級每次沖水量須在 4.8 公升以下。普級每次沖水量須在 6 公升以下。馬桶尿液殘留測試之稀釋倍數須在 100 倍以上。排水閥平均**每秒沖水量須在 1.6 公升以上之測試**，所以以普及來計算，每沖水一次的時間約 3.75 秒（省水標章資訊網^{參考3}）。

四、相關研究：

（一）每年沖掉了六億（作者：蔡振明《中國時報》。97 年 3 月 2 日）

根據生態學者陳玉峰等人的研究，我國每人每天平均使用的「廁所衛生紙」約為抽取式衛生紙九抽，換算約合 15.11 公克，全國二千三百萬人，每天的「廁所衛生紙」可達 340 公噸之多，國人大多習慣把這些衛生紙丟在廁所的垃圾桶，形成棘手的垃圾——因為它不像一般紙類，所以無法回收。每公噸清運及處理費約需 4600 元，全國每天即高達 157 萬元，每年約近 6 億元之多！

(二)國內家庭污水管徑至少 7.5 公分，丟入衛生紙絕不會阻塞。

(作者為建築師、台灣衛浴文化協會名譽理事長^{參考 4})

從馬桶排水管技術面來探討，國內公寓住宅廁所排糞管均設計 10 公分直徑的污水管，水平坡度都在百分之一左右。節水馬桶按一次沖下 6 公升水，如家中廁所位置與污水垂直幹管水平距離超過 5 公尺以上，可能較易阻塞，只有多按一次水即可。基本上公寓住宅的水平污水管不超過 5 公尺，6 公升沖水是可以將衛生紙沖下去的。

(三)我們的調查:一般非省水馬桶每次沖水量約 12~14 公升，每沖水一次的時間約 7.5~8.5 秒，我們調查了學校 25 間廁所的馬桶沖水時間平均約 10 秒，每次要消耗約 16 公升的水，學校人數眾多，耗水量相當驚人，建議學校減少馬桶的沖水量應該是省水很重要的一環，所以希望我們的研究可以提供學校省水的參考。

五、名詞解釋:

(一)裂解度:衛生紙由較短纖維交織而成的，在吸收了一定的水份及擦拭後，纖維間的鏈結被破壞，會形成一片片的小紙屑，纖維並沒有溶解，只是分散開來，所以用『裂解度』來表示衛生紙遇水後纖維容不容易分散開來的程度。

計算方法:

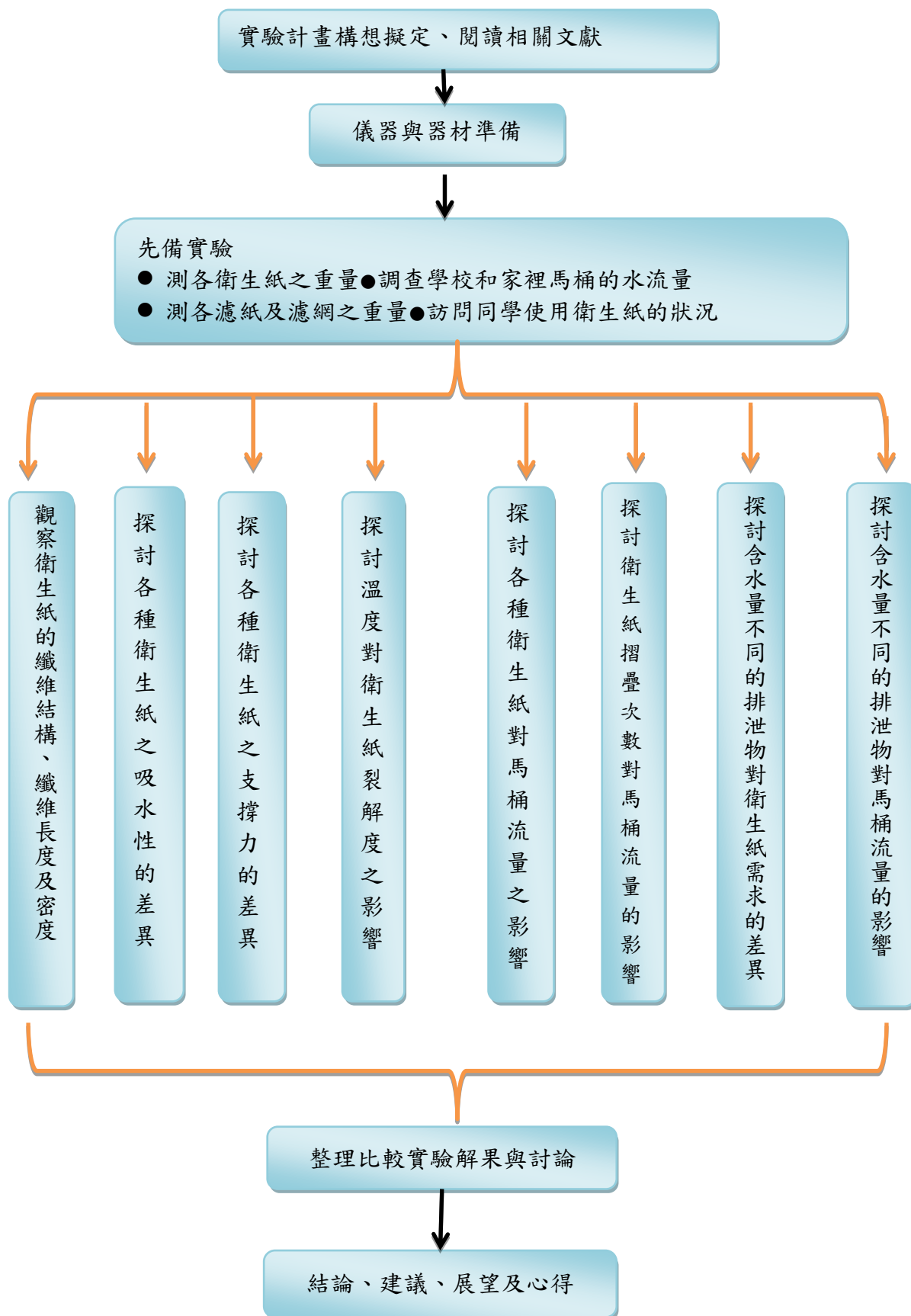
1. 將一張衛生紙和濾紙秤重(W1)，衛生紙放入裝有 100 公克水的燒杯中。
2. 以打蛋器攪拌十秒，再以濾網以及濾紙過濾裂解不完全的衛生紙。
3. 最後將濾紙(含裂解不完全的衛生紙)烘乾秤重(W2)。
4. 計算衛生紙的裂解度 $(W1 - W2) / W1 * 100\%$ 。

(二)張數:研究中的張數是指抽數的意思，一抽為極薄的兩張密合而成。

參、研究目的

- 一、了解並比較各種型式衛生紙的纖維結構、長度及密度。
- 二、了解並比較各種型式衛生紙的吸水性。
- 三、探討乾和濕對各種型式衛生紙支撐力的影響。
- 四、探討水的溫度對衛生紙裂解度的影響。
- 五、比較各種型式的衛生紙對馬桶水流量的影響。
- 六、探討衛生紙摺疊次數對馬桶水流量的影響。
- 七、比較含水量不同的排泄物對衛生紙需求量的影響。
- 八、模擬含水量不同的排泄物和衛生紙對馬桶水流量的影響。

肆、研究流程



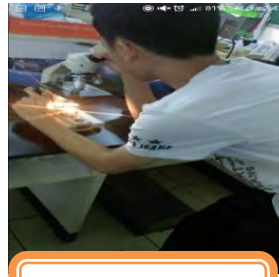
伍、研究器材及設備

水管、漏斗、塞子	陶瓷纖維網、酒精燈、三腳架	滴管、溫度計、玻璃棒	魚飼料、加熱攪拌器	鐵架、紅色染色劑
				
燒杯、標籤紙	複式顯微鏡	尺、塑膠桶	剪刀、鑷子	蓋玻片、載玻片
				
手錶	電子天平	漏斗、量筒	大夾子、長尾夾	打蛋器
				
白、杵	濾紙	濾網(大和小)	硬幣、砝碼	橡皮筋、灑水器
				
各種抽取式衛生紙及其代號				
抽 A(舒☆)	抽 B(春☆)	抽 C(倍☆☆)	抽 D(得☆)	抽 E(五☆☆)
				
濕式衛生紙	平板衛生紙	捲筒式衛生紙	輕便包衛生紙	
				

陸、研究過程與方法

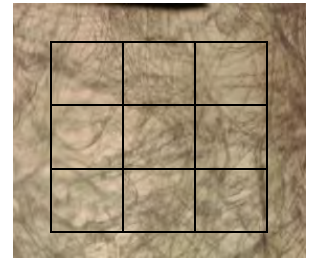
一、觀察並比較各種型式衛生紙的纖維結構、密度及長度

- (一) 以複式顯微鏡觀察各種類之衛生紙的纖維，拍照並比較之。
- (二) 繪製 3*3 的方格，套在照片上(如右圖)，隨機取纖維數量少、中、多三格，算出單位面積的纖維數量的平均。



顯微鏡的觀察

計算纖維密度



- (三) 將各種衛生紙泡在水中，以玻棒攪拌，用滴管吸取一滴屑碎，製成玻片標本，以顯微測微器量其 10 根纖維的長度，平均之。

二、探討並比較各種型式衛生紙的吸水性

- (一) 把各種衛生紙裁成相同大小(8×5cm)且夾在玻璃棒上。
- (二) 再將衛生紙的末端泡入加紅色染色劑的水中一公分(裝置如右圖)。
- (三) 一分鐘後取出衛生紙，計算染液上升的高度，重複做 3 次，比較其平均上升的高度。



衛生紙吸水性的觀察

三、探討乾和濕對各種型式衛生紙支撐力的影響

- (一) 用大夾子夾住衛生紙的兩端，並將砝碼吊在夾子的其中一端逐一掛上，直到衛生紙斷裂，如【裝置一】，最後再將所有砝碼的重量加總，重複三次，計算其平均至小數點後一位。
- (二) 潮濕衛生紙因無法用上述方法測試，因此改成將剪好大小的衛生紙，套在大塑膠針筒上，將針筒以鐵架固定，如【裝置二】將衛生紙噴濕(註1)，逐一放入硬幣到被噴濕的衛生紙上直到衛生紙破裂，最後再將所有硬幣秤重，重複三次，計算其平均至小數點後一位。
- (三) 改用大口徑的燒杯代替針筒，將剪好大小的衛生紙，套上燒杯，將衛生紙噴濕，逐一置入硬幣直到衛生紙破裂，最後再將所有硬幣秤重，重複三次，計算其平均至小數點後一位。比較不同的衛生紙面積，其支撐力的差異。

裝置一



裝置二



註1: 將灑水器裝滿水，用鐵架固定高度，噴水時壓到底噴三下，讓衛生紙均勻噴上水

四、探討水的溫度對衛生紙裂解度的影響

- (一)將一張衛生紙秤重(W1)，放入裝有 100 公克水的燒杯中，將燒杯加熱至所需的溫度(如右圖)。
- (二)將加熱完的燒杯和衛生紙以打蛋器攪拌十秒，再以濾網以及濾紙過濾裂解不完全的衛生紙。
- (三)最後將濾紙(含裂解不完全的衛生紙)烘乾秤重(W2)。
- (四)計算衛生紙的裂解度 $(W1 - W2) / W1 * 100\%$ 。
- (五)不同型式衛生紙分別做 10°C、20°C、25°C(室溫)、30°C、40°C、50°C 的裂解度，每個溫度重複三次，計算其平均至小數點後一位。



加熱過程

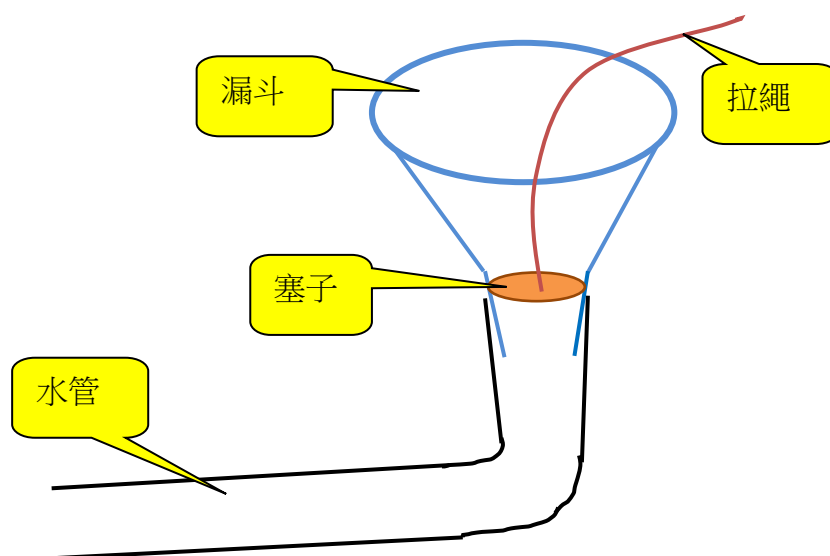
五、探討各種型式的衛生紙對馬桶水流量的影響

- (一)將模擬馬桶的漏斗(註2)先用塞子塞住，並接上管子。
- (二)加入 1000 毫升的水於漏斗中，放入一張衛生紙。
- (三)用打蛋器均勻地攪拌 10 秒(一般馬桶沖水時，約 10 秒的漩渦)，攪拌完畢，拔起塞子，計算漏斗中的水流完的時間。
- (四)重複上述步驟 5 次，最後計算總平均。
- (五)重複以上步驟，完成不同型式的衛生紙的流量測定。

使用打蛋器攪拌，
模擬馬桶漩渦



註 2: 漏斗直徑 20cm，出水口直徑 5cm，傾斜約 45°，約家用馬桶的一半大小。



六、探討衛生紙摺疊次數對馬桶水流量的影響

- (一)將漏斗的孔以塞子塞住，並接上水管，再加入 1000 毫升的水。
- (二)將 1 到 6 張的編號抽 B(春☆)衛生紙分別摺 1 次、2 次、3 次。
- (三)將摺好衛生紙，分別置入水中，用打蛋器均勻地攪拌 10 秒，攪拌完畢拔起塞子，計算漏斗中的水流完的時間。
- (四)每種摺法重複 5 次，最後計算總平均。



模擬馬桶沖水裝置

七、實驗含水量不同的排泄物對衛生紙需求量的影響

- (一)先將魚飼料(註3)磨成粉末狀，再加入不同毫升的水，調配成不同比例的模擬排泄物(便秘時-乾燥、正常、拉肚子時-水狀)。
- (二)接著將其均勻塗抹於同一實驗者的虎口上(模擬肛門)，以捲筒式衛生紙及春☆抽取式衛生紙，用按壓的方式將模擬的排泄物所含的水分吸乾，紀錄吸乾排泄物水分所需的衛生紙的折疊數。
- (三)每一種含水量不同排泄物重複做三次後，計算其平均。

註3:飼料含有一些有機養分和纖維，類似大便的成分，所以用飼料來模擬大便

八、實驗含水量不同的排泄物和衛生紙對馬桶水流量的影響

- (一)製作三種含水量不同比例的排泄物。
- (二)由實驗七的結果得知不同含水量的排泄物所需的折疊數的衛生紙。
- (三)將衛生紙及其排泄物放入事先塞入塞子的漏斗中，加入 1000 毫升的水。
- (四)用打蛋器均勻地攪拌 10 秒(模擬沖水時造成的漩渦)，攪拌完畢，拔起塞子，計算漏斗中的水流完的時間。
- (五)以捲筒式衛生紙及春☆抽取式衛生紙測試並比較之。



摺疊衛生紙的狀況



模擬衛生紙擦拭大便的情形



用魚飼料模擬大便

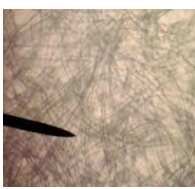
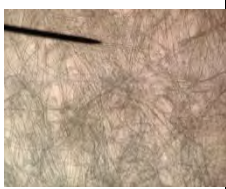

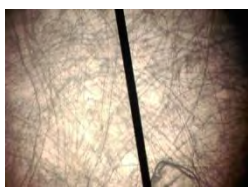

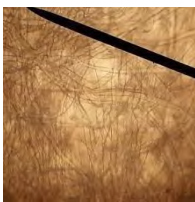


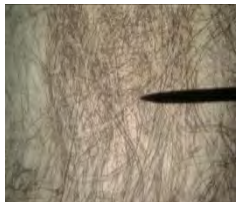
柒、研究結果與討論

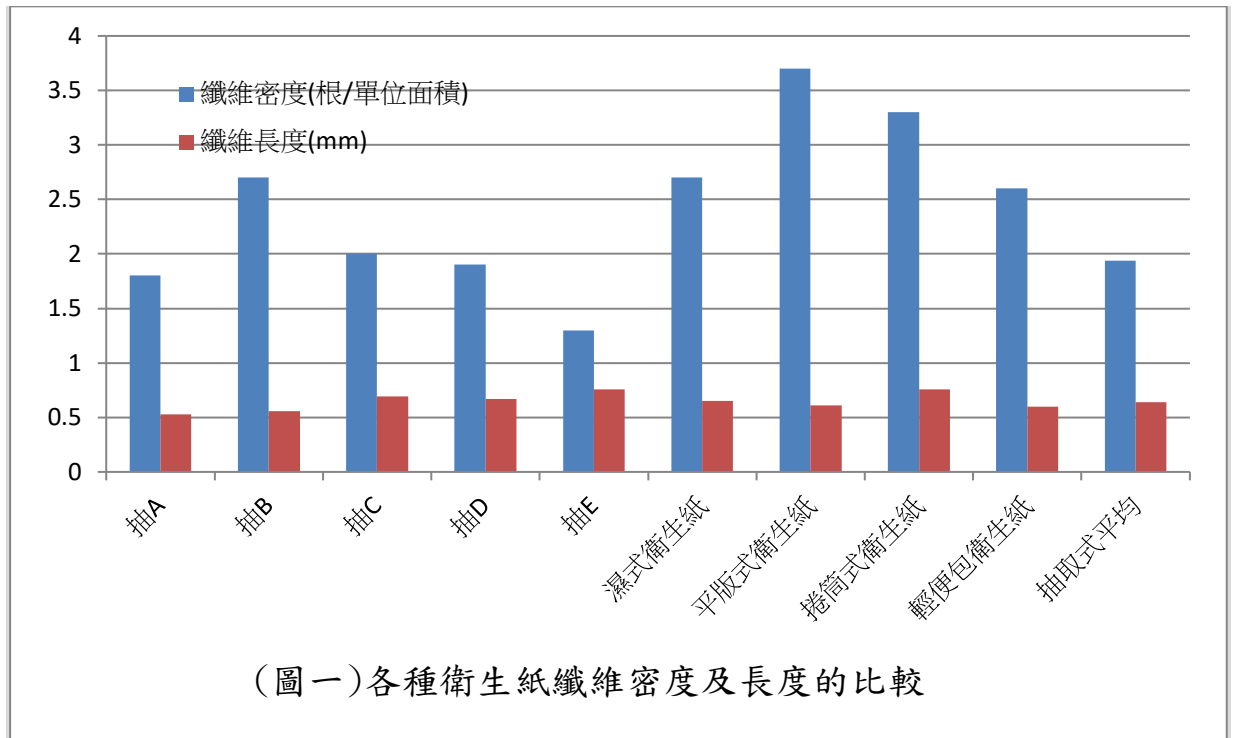
一、了解並比較各種型式衛生紙的纖維結構及密度

纖維結構是影響衛生紙的拉力、支撐力及遇水是否容易解體的重要因素，構成衛生紙的纖維有長纖維和短纖維，下表(一)是各種型式衛生紙纖維結構的顯微構造圖及纖維密度(根/單位面積)和纖維長度的比較，將各種衛生紙的纖維密度和長度的關係做成圖形比較，則如圖(一)所示。

表(一)：各種型式衛生紙的纖維構造及纖維密度的比較 (倍數:200*3.5X)

最大用紅色表示，最小用藍色表示

衛生紙型式	抽 A	抽 B	抽 C	抽 D	抽 E
纖維結構					
纖維密度(根/單位面積)	1.8	2.7	2.0	1.9	1.3
纖維長度(mm)	0.53	0.56	0.69	0.67	0.76
衛生紙型式	濕式衛生紙	平版式衛生紙	捲筒式衛生紙	輕便包衛生紙	抽取式平均
纖維結構					1.94
纖維密度(根/單位面積)	2.7	3.7	3.3	2.6	
纖維長度(mm)	0.65	0.61	0.76	0.6	0.64

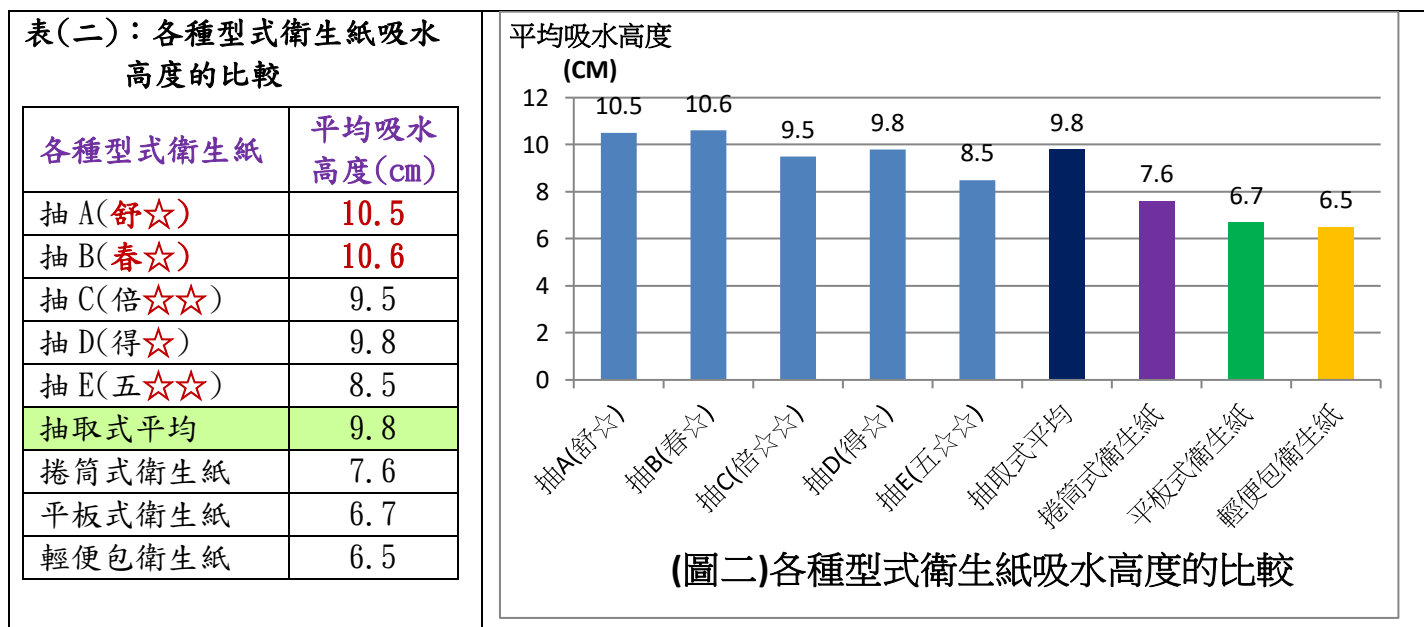


◎結果與發現:

- 經過顯微鏡的觀察結果，各種衛生紙纖維的密度(數量/單位面積)由 3.7 到 1.3，相差約 3 倍，其密度由多到少依序為：
【平版式衛生紙 > 捲筒式衛生紙 > 濕式 > 輕便包 > 抽取式衛生紙平均】。
- 抽取式衛生紙的纖維密度(數量/單位面積)由多到少依序為：
【抽 B > 抽 C > 抽 D > 抽 A > 抽 E】
- 我們發現每種衛生紙的纖維都很均勻的分散，但排列並不規律，纖維間有許多空隙，推測這些空隙可以讓水分子附著上來，產生毛細現象，與衛生紙的吸水性有關，當然也會影響衛生紙吸水後是否容易裂解的性質。
- 纖維的長度會影響衛生紙的支撐力及裂解度，各種衛生紙的纖維長度差異不大，由 0.76~0.53mm，其纖維長度由多到少依序為：
【捲筒式衛生紙 > 濕式 > 抽取式衛生紙平均 > 平版式衛生紙 > 輕便包】
- 抽取式衛生紙的纖維長度由多到少依序為：
【抽 E > 抽 C > 抽 D > 抽 B > 抽 A】
- 抽 E 的密度小、纖維長，預測其吸水性佳韌性好，捲筒式密度大、纖維長，預測其吸水性較差但韌性好，是不是這樣，將由以下的實驗來證實。

二、了解並比較各種型式衛生紙的吸水性

衛生紙的吸水性可能影響其裂解情形，而且可能和是否容易堵住馬桶有關，因此我們選了最常用的抽取式的四個品牌和其他三種型式(捲筒式、平板式和輕便包)的衛生紙來做吸水性的比較，結果如下表(二)及圖(二)所示：



◎結果與發現：

1. 由表(二)發現吸水高度是【**抽取式** > 捲筒式 > 平板衛生紙 > 輕便包衛生紙】。
2. 抽取式衛生紙的平均吸水度都較高(8.5~10.6 cm)，其吸水高度由高到低依次是【**抽 B** > 抽 A > 抽 D > 抽 C > **抽 E**】。
3. 其他型式的衛生紙吸水度較差，吸水高度由 6.5~7.6 cm。
4. 最常用的抽取式衛生紙感覺較堅固，實驗結果竟然吸水性最強，這與實驗(一)纖維的密度測量結果正好相反，也就是吸水性最強的抽取式，其纖維密度最低，纖維空隙大，毛細現象最明顯，水分子最容易上升；平板衛生紙吸水性較差，其纖維密度最大，水分子上升較慢。
5. 由實驗(一)(二)發現**衛生紙纖維密度越小其吸水性有較強的現象，這與我們預測的結果接近。**
6. 衛生紙的吸水性是否會影響其拉力而破裂分解(以下稱裂解)呢?我們將在以下的實驗一一探討。

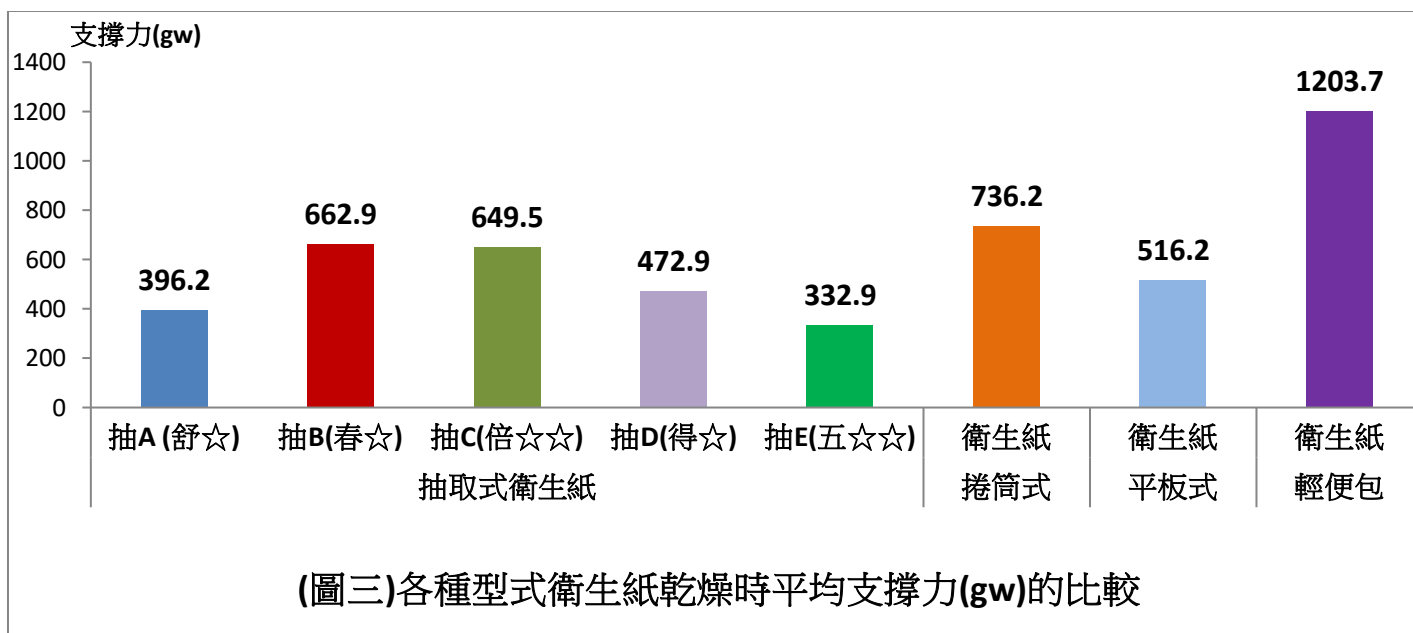
三、探討乾和濕對各種型式衛生紙支撐力的影響

衛生紙的支撐力會影響使用的方便性及遇水容易裂解的程度，所以我們做了乾燥時的支撐力比較，也將衛生紙噴水，想要了解衛生紙遇水時的支撐力會改變多少，結果如下表(三)與圖(三)所示：

表(三):各種型式衛生紙在乾燥時支撐力的比較

(衛生紙大小 8x5 cm，最大支撐力用紅色表示，最小用藍色表示)

重量(gw)/ 型式	輕便包 衛生紙	平板式 衛生紙	捲筒式 衛生紙	抽取式衛生紙				
				抽 A (舒☆)	抽 B (春☆)	抽 C (倍☆☆)	抽 D (得☆)	抽 E (五☆☆)
第一次	1250.3	606.2	756.2	456.2	506.2	546.2	406.2	316.2
第二次	1210.5	536.2	766.2	366.2	806.2	656.2	526.2	356.2
第三次	1150.4	406.2	686.2	366.2	676.2	746.2	486.2	326.2
平均值	1203.7	516.2	736.2	396.2	662.9	649.5	472.9	332.9



◎結果與發現:

- 各種型式的衛生紙乾燥時的支撐力，實驗結果由高而低依次是【**輕便包衛生紙**>捲筒式>平板式>抽取式(平均 502.88g)】。
- 抽取式衛生紙乾燥時的平均支撐力較低(平均 502.88g)，其支撐力 332.9~662.9g 重，由高而低依次是【**抽 B(春☆)**>抽 C(倍☆☆)>抽 D(得☆)>抽 A (舒☆)>抽 E(五☆☆)】。
- 其他型式的衛生紙乾燥時平均支撐力較好，可支撐 516.2~1203.7g 重。

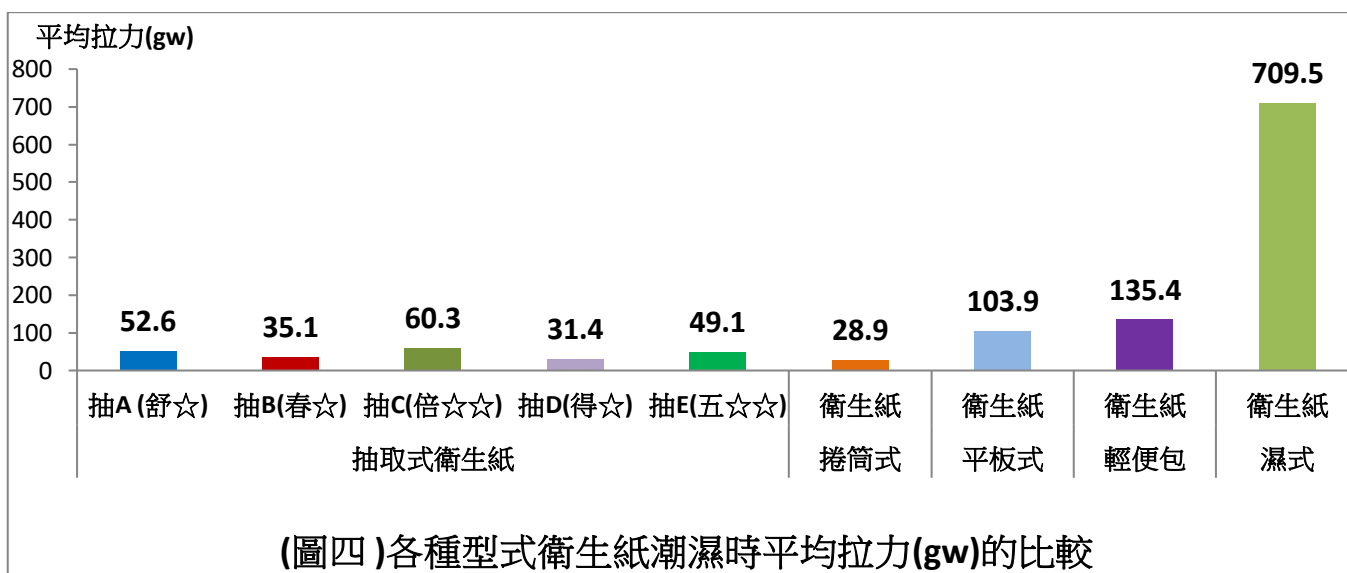
- 由表(二)和表(三)的結果大致可以看出吸水性較好的抽取式衛生紙，其支撐力較差，而吸水性是最差的輕便包的衛生紙其支撐力最強。
- 纖維最短的輕便包衛生紙支撐力最好，而纖維最長的抽E支撐力最差，這與我們預估的結果相反，或許是纖維長度差異不大，所以實驗結果支撐力與差異較大的纖維密度和吸水性有關。

綜合由以上三個實驗發現最常用的抽取式衛生紙，其纖維密度低，吸水性強而乾燥時支撐力較差；輕便包衛生紙吸水性最差，乾燥時支撐力最好，那吸水後的支撐力會變的如何呢?就讓我們繼續研究下去吧!接著就來比較看看噴濕後的支撐力了。

表(四):各種型式衛生紙在潮濕時支撐力的比較

(衛生紙大小 8x5 cm，最大支撐力用紅色表示，最小用藍色表示)

重量(gw)/ 型式	濕式 衛生紙	輕便包 衛生紙	平板式 衛生紙	捲筒式 衛生紙	抽取式衛生紙				
					抽 A (舒☆)	抽 B (春☆)	抽 C (倍☆☆)	抽 D (得☆)	抽 E (五☆☆)
第一次	506.2	109.3	101.7	22.7	48.8	41.4	64.2	22.6	49.1
第二次	866.2	112.9	97.6	37.7	52.3	30.4	60.0	41.4	56.3
第三次	756.2	110.6	112.5	26.4	56.6	33.7	56.8	30.1	41.8
平均值	709.5	135.4	103.9	28.9	52.6	35.1	60.3	31.4	49.1



◎結果與發現:

1. 各種型式的衛生紙潮濕時的支撐力都比乾燥時減輕許多，乾燥時各種衛生紙的支撐力差異不大，但潮濕後的支撐力可差異到5-6倍之多，實驗結果其潮濕時的支撐力由高而低依次是
【濕式衛生紙 > 輕便包衛生紙 > 平板式 > 抽取式(平均 45.7g) > 捲筒式】
2. 抽取式衛生紙的潮濕時平均支撐力較低，由 31.4~60.3g 重，依次是
【抽 C(倍☆☆) > 抽 A(舒☆) > 抽 E(五☆☆) > 抽 B(春☆) > 抽 D(得☆)】。
3. 如果不包含濕式衛生紙的話，其他型式的衛生紙潮濕時支撐力較好(捲筒式例外)，由 28.9~135.4g 重。
4. 濕式衛生紙在使用時便覺得不易撕破，果然其的支撐力是其他型式衛生紙的 5 倍~20 倍，因此也最不容易裂解(裂解實驗時它都沒裂掉，因此沒列入紀錄)，有添加加強濕劑，性質接近面紙。
5. 抽取式衛生紙在乾和濕的時候，支撐力都較其他型式衛生紙差，捲筒式的衛生紙乾的時候支撐力沒有很差，但潮濕後支撐力變最差，容易裂解，最建議在廁所使用了。

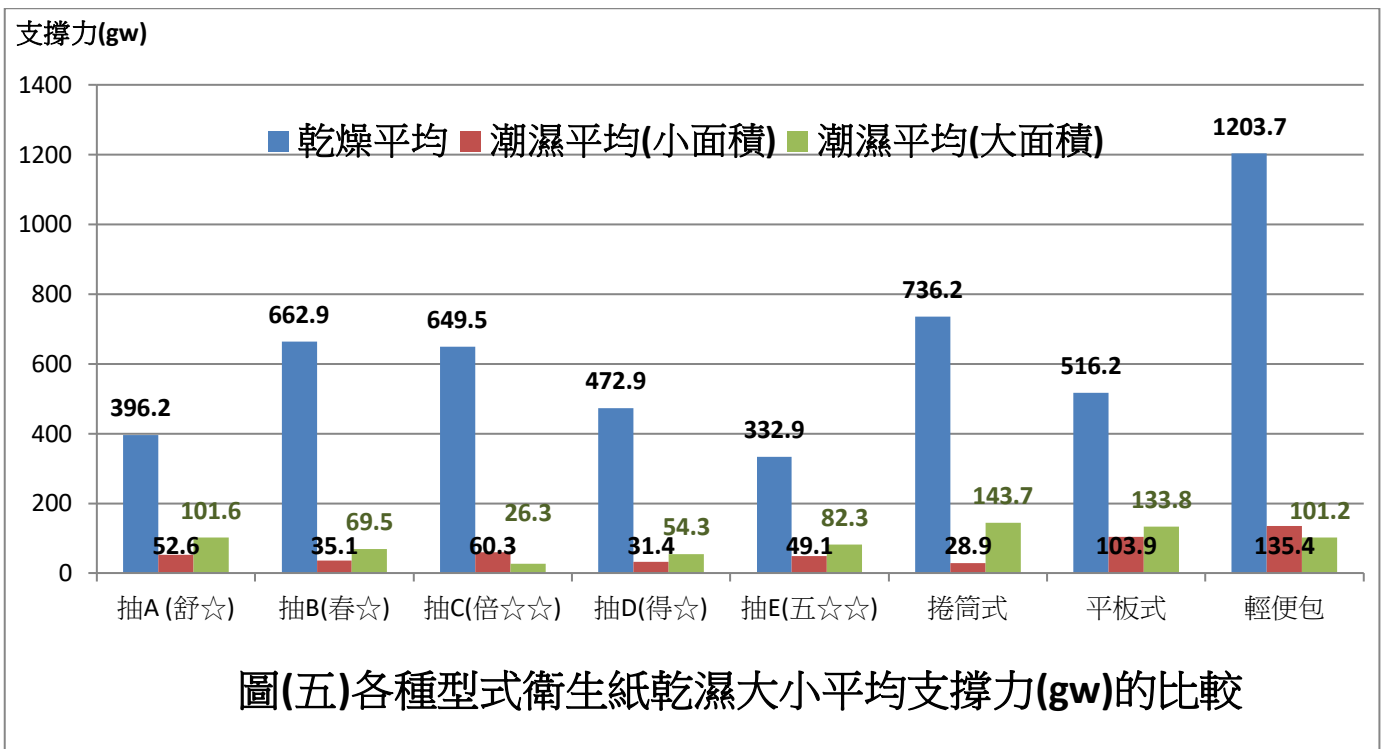
衛生紙潮濕時的支撐力都明顯的下降很多(低於乾燥時的 1/10)，甚至無法用乾燥式的測量方法，改成套在燒杯上測其支撐的力，考慮圓形燒杯上的支撐力是來各個方向, 和乾燥時的測法只有測上下方向的支撐力不同，因此我們除了比較乾濕不同的支撐力外，我們在潮濕的情況下也比較不同面積大小的支撐力，這兩種比較結果如下表(五)和表(六)。

表(五):潮濕時，各種型式衛生紙在大燒杯(口徑 7.5cm)上的支撐力比較，最大支撐力用紅色表示，最小用藍色表示

重量(gw)/ 型式	輕便包 衛生紙	平板式 衛生紙	捲筒式 衛生紙	抽取式衛生紙				
				抽 A (舒☆)	抽 B (春☆)	抽 C (倍☆☆)	抽 D (得☆)	抽 E (五☆☆)
第一次	96.3	136.4	146.1	94.6	69.1	26.4	49.8	78.8
第二次	72.3	136.4	132.6	115.5	61.2	18.7	54.3	71.2
第三次	134.1	128.6	152.3	94.8	78.1	33.7	58.7	96.6
平均值	101.2	133.8	143.7	101.6	69.5	26.3	54.3	82.3

表(六):乾燥、潮濕、面積大小不同時，各種型式衛生紙支撐力比較

重量(gw)/型式	輕便包衛生紙	平板式衛生紙	捲筒式衛生紙	抽取式衛生紙				
				抽 A (舒☆)	抽 B (春☆)	抽 C (倍☆☆)	抽 D (得☆)	抽 E (五☆☆)
乾燥平均	1203.7	516.2	736.2	396.2	662.9	649.5	472.9	332.9
潮濕平均 (小面積)	135.4	103.9	28.9	52.6	35.1	60.3	31.4	49.1
潮濕平均 (大面積)	101.2	133.8	143.7	101.6	69.5	26.3	54.3	82.3
潮濕後減少 的支撐力	90%	80%	96%	87%	95%	91%	93%	85%



◎結果與發現:

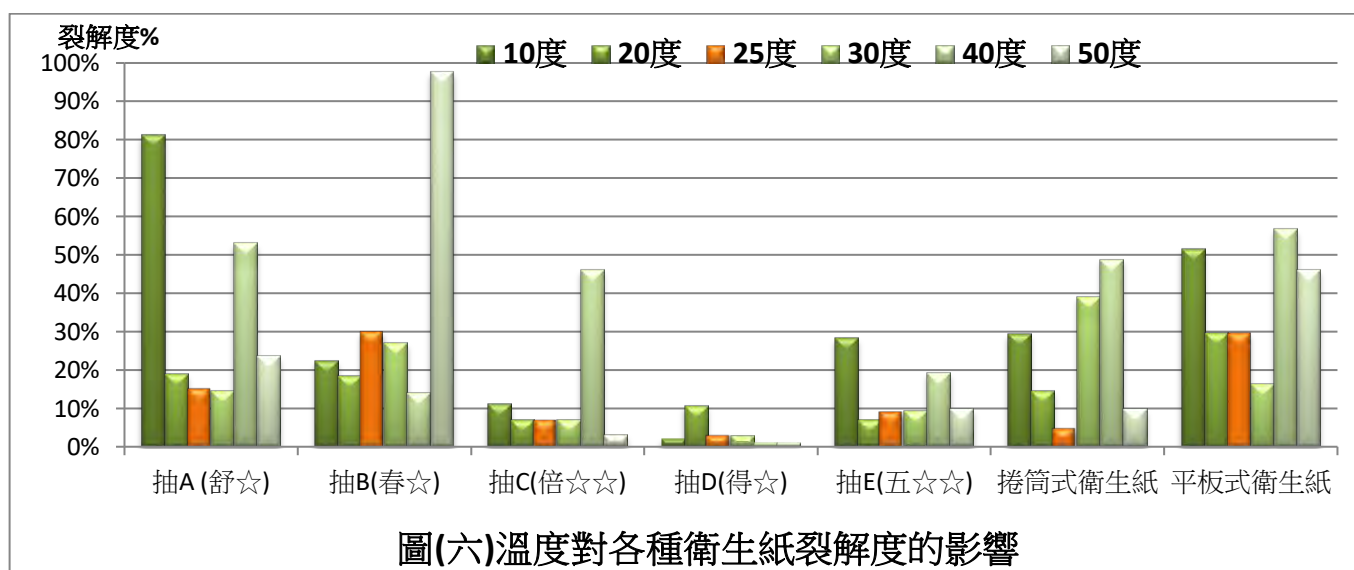
1. 實際操作實驗時就發現衛生紙沾水後，幾乎裂解到無法估算支撐力，改用小燒杯及用噴槍噴濕衛生紙後由表(六)發現其支撐力都減少 80%以上，容易吸水的捲筒和抽 B(春☆)其支撐力減少最多(96%和 95%)。
2. 原以為面積變大，其支撐力會變小，但表(六)結果卻是支撐力會變大(只有抽 C(倍☆☆)變小)。
3. 抽取式衛生紙吸水性佳，遇水容易裂解，適合廁所使用直接丟入馬桶，乾燥時輕便包衛生紙最不易破，可代替面紙使用。

四、探討水的溫度對衛生紙裂解度的影響

在日本流行溫水的免治馬桶，在臺灣冬夏的水溫也是有差異的，尤其北部差異更大，因此我們想要了解溫度是否會影響衛生紙的裂解度，在不同的溫度下衛生紙的裂解情形如下表(七)和圖(六)所示，裂解度最高用紅色表示：

表(七)不同的溫度下各種型式衛生紙的裂解情形 (室溫 25 度)

型式/溫度	10 度	20 度	25 度	30 度	40 度	50 度
抽 A (舒☆)	81.06%	18.94%	15.15%	14.39%	53.03%	23.48%
抽 B(春☆)	22.31%	18.46%	30.00%	26.92%	13.85%	97.69%
抽 C(倍☆☆)	11.00%	7.00%	7.00%	7.00%	46.00%	3.00%
抽 D(得☆)	1.94%	10.68%	2.91%	2.91%	0.97%	0.97%
抽 E(五☆☆)	28.24%	6.87%	9.16%	9.16%	19.08%	9.92%
捲筒式衛生紙	29.27%	14.63%	4.88%	39.02%	48.78%	9.76%
平板式衛生紙	51.35%	29.73%	29.73%	16.22%	56.76%	45.95%



◎結果與發現：

- 實驗後發現，各種衛生紙的裂解度在室溫(25°C)時裂解度都較低，抽 A (舒☆)、抽 E(五☆☆) 和抽 D(得☆)在低溫時有較高的裂解度，抽 B(春☆)、抽 C(倍☆☆) 捲筒式衛生紙、平板式衛生紙則在較高溫時有較大的裂解度。
- 在室溫下裂解度較大的前三名依序為

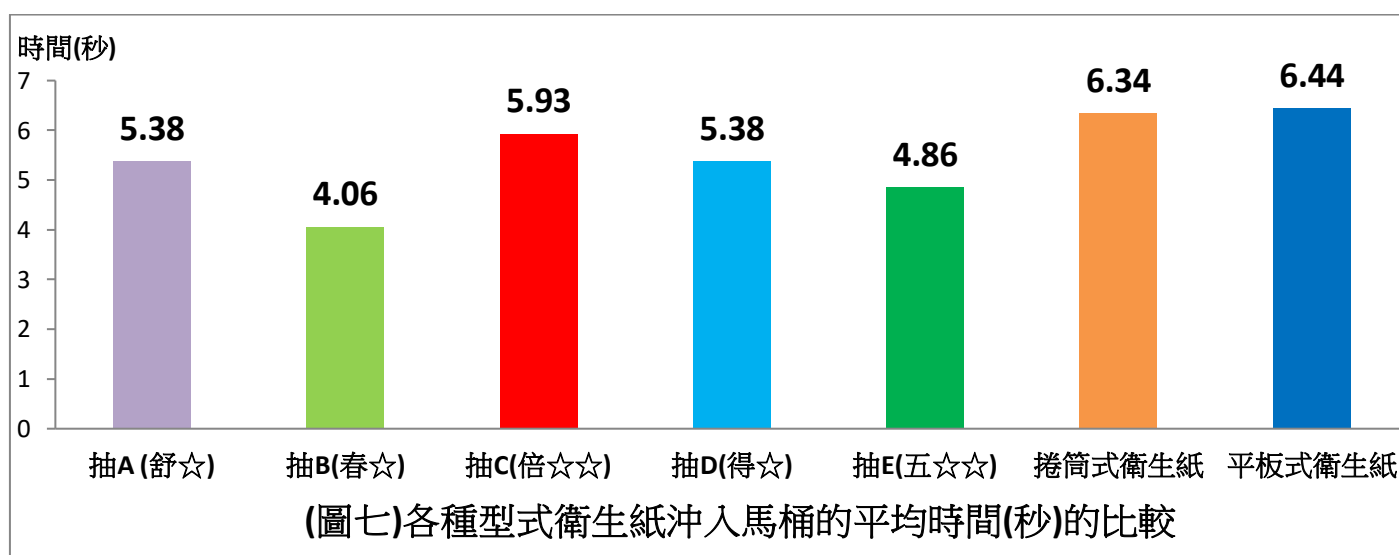
【抽 B(春☆) > 平板式衛生紙 > 抽 A (舒☆)】。

五、比較各種型式的衛生紙對馬桶水流量的影響

衛生紙丟入馬桶後是否會影響水流量？如果水流量變小，可能比較容易造成馬桶的堵塞，下表為沖入一公升的水，水全部流出水管所需要的時間(秒)，時間越長表示流量越小，馬桶也就越容易堵住，實驗結果如下表(八)和圖(七)所示，紅色表示時間最長，藍色表示時間最短：

表(八):各種型式的衛生紙和一公升的水沖出馬桶所需的時間(秒)

型式/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
抽 D(得☆)	5.45	4.46	5.87	5.51	5.63	5.38
抽 C(倍☆☆)	6.46	5.19	6.94	5.17	5.87	5.93
抽 B(春☆)	4.49	4.08	3.62	3.71	4.38	4.06
抽 A(舒☆)	6.35	5.03	5.14	4.99	5.38	5.38
抽 E(五☆☆)	4.69	5.23	4.71	5.24	4.43	4.86
捲筒式衛生紙	6.18	7.19	5.91	6.21	6.22	6.34
平板式衛生紙	5.53	6.68	6.84	6.52	6.64	6.44



◎結果與發現:

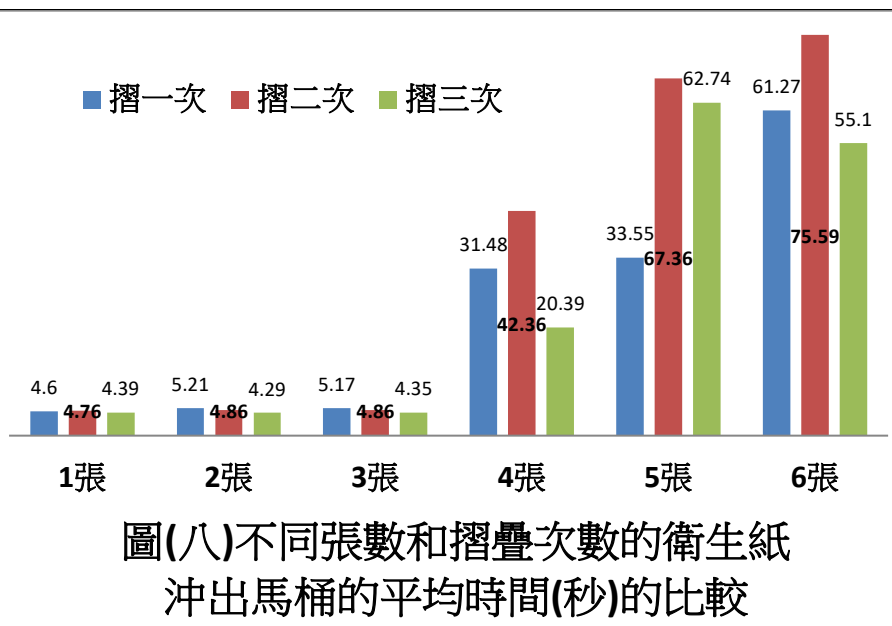
1. 抽取式衛生紙沖出馬桶的時間較其他形式的衛生紙短(4.06~5.93 秒)，依時間由長到短依次是 **【抽 C > 抽 D = 抽 A > 抽 E > 抽 B】**，也就是**抽 B**沖出馬桶所需的時間最短，馬桶較不易堵住。
2. 其他型式的衛生紙沖出馬桶的時間較長(6.34~6.44 秒)，依時間由長到短依次是 **【平板式 > 捲筒式】**。
3. 抽 B(春☆) 潮濕時支撐力低，常溫最容易裂解，可能與其最容易沖出馬桶有關。

六、探討衛生紙張數和摺疊次數對馬桶水流量的影響

一般人使用衛生紙都有折疊的習慣，也常有人會好幾張衛生紙一起用，無形中浪費許多資源，因此我們想了解摺疊次數對馬桶的水流量的影響，找出最適合的張數和摺疊次數，提供大家使用衛生紙的參考，以下以抽 B (春☆) 衛生紙做為實驗材料(由以上實驗得知其具有乾燥時支撐力較佳、遇水裂解迅速、易沖走等特性)，所得的結果如下表(九)和圖(八)所示。

表(九):摺疊次數和馬桶水流量的關係 (單位:秒)

張數/ 摺疊 次數	摺一 次	摺二 次	摺三 次
1 張	3.6	4.76	4.39
2 張	5.21	4.86	4.29
3 張	5.17	4.86	4.35
4 張	31.48	42.36	20.39
5 張	33.55	67.36	62.74
6 張	61.27	75.59	55.1



◎結果與發現:

1. 當衛生紙張數為 1 到 3 張時，水流順暢，水流時間差異不大，但 4 張以後，水流時間明顯增加 16~38 秒，像馬桶被堵住了，所以建議一次用衛生紙不宜超過三張。
2. 當衛生紙摺疊次數為 3 次時，水流完的時間會比前兩次來的短，因為體積越小，就越不容易堵住，建議使用時，可先將衛生紙摺疊成較小的體積後再沖入馬桶。
3. 使用少於 3 張衛生紙時，摺疊次數不影響衛生紙沖出馬桶的時間(表九)，但超過 3 張，摺疊 2 次的時間竟然增加了，摺疊 3 次的時間反而又減少了，我們推測摺疊次數影響衛生紙的體積，也影響裂解的速度，摺疊越多次，體積小容易沖走，減少沖水時間；但裂解度可能因浸水速度慢而降低，增加沖出馬桶的時間；摺疊兩次，裂解度的效應大過體積效應，所以時間變長，摺疊 3 次，體積效應大過裂解度效應，所以時間反而縮短了。

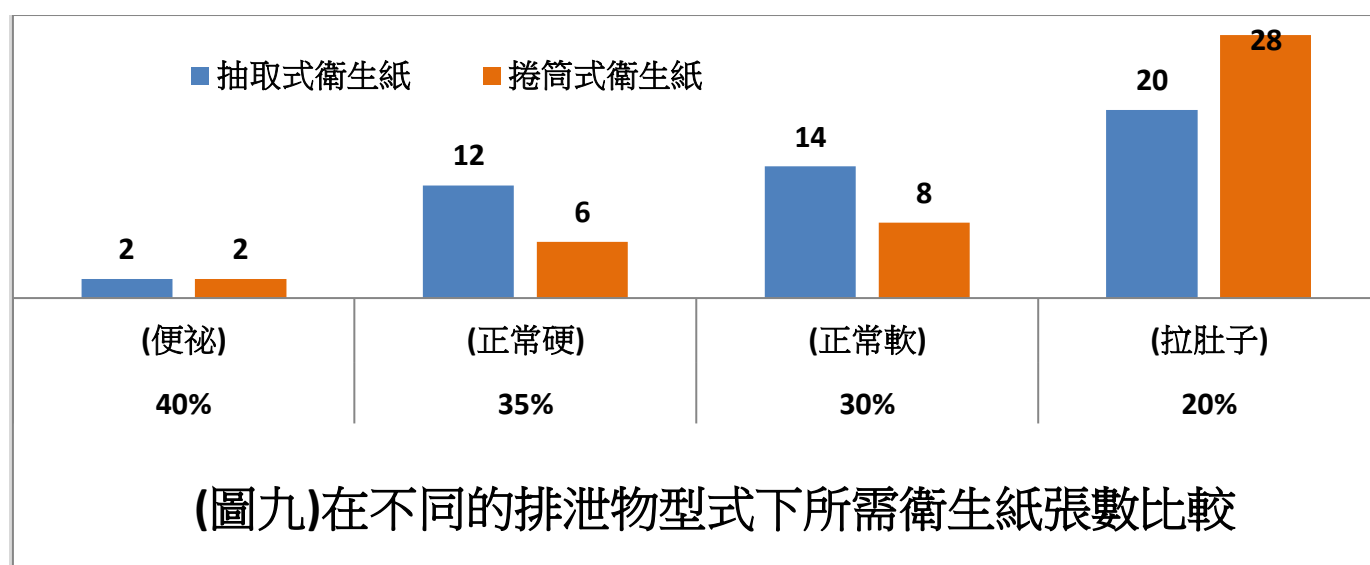
4. 實驗中摺疊 1-3 次，都是丟入 4 張後，衛生紙沖出馬桶的時間突然增加很多，感覺 3~4 張間似乎有一個剛好可以堵住馬桶的衛生紙張數的臨界點，有點像馬路上的車流量，好像車子多到某一個程度就會塞車一樣，衛生紙塞馬桶竟也有這種現象，這是我覺得很有趣的發現。

七、比較含水量不同的排泄物對衛生紙需求量的影響。

排泄物的含水量會隨身體狀況有所不同，所以用魚飼料和水依不同比例調出四種排泄物形式：便秘時—40%、正常較硬—35%、正常較軟—30%、拉肚子時—20%，這四種情形對衛生紙的需求量如何呢？為了知道實際的使用情況，我們就進行了此實驗來幫助了解。我們選了抽取式和捲筒式來做比較，結果如下表(十)和圖(九)所示：

表(十):兩種衛生紙在不同的排泄物型式下所需衛生紙張數比較 (一張代表擦一次)

抽取式衛生紙					捲筒式衛生紙				
次數/比例	40% (便秘)	35% (正常硬)	30% (正常軟)	20% (拉肚子)	次數/比例	40% (便秘)	35% (正常硬)	30% (正常軟)	20% (拉肚子)
第一次	2 張	12 張	14 張	24 張	第一次	2 張	6 張	8 張	32 張
第二次	2 張	14 張	16 張	22 張	第二次	2 張	8 張	6 張	24 張
第三次	2 張	12 張	12 張	14 張	第三次	2 張	6 張	8 張	26 張
平均	2 張	12 張	14 張	20 張	平均	2 張	6 張	8 張	28 張



◎結果與發現:

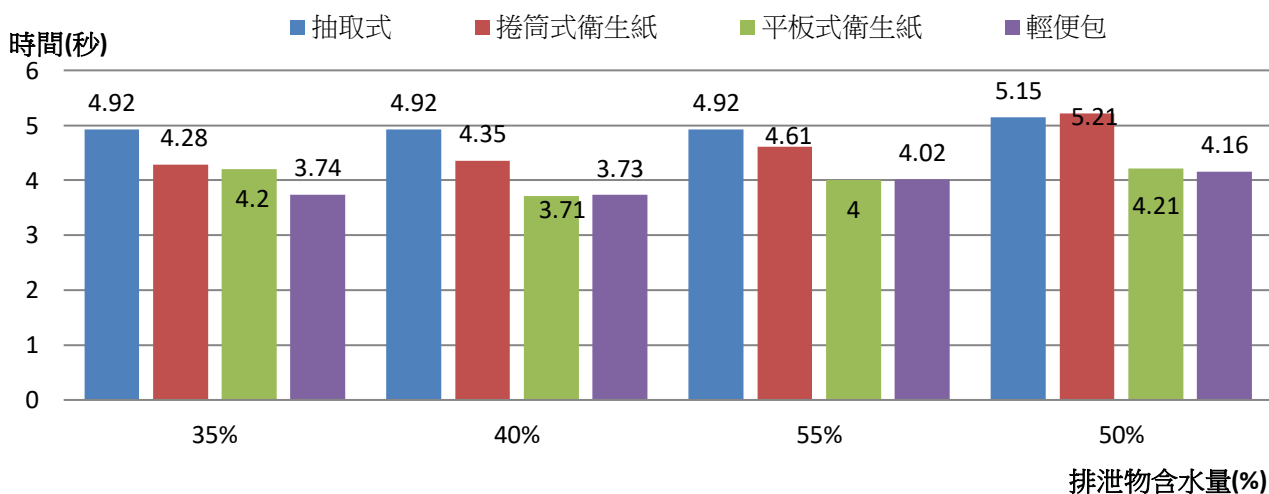
1. 根據這個實驗，我們發現若是排泄物的含水量少時，捲筒式所需的紙量比較少，拉肚子時抽取式的所需的紙量比較少。
2. 一般使用衛生紙時大都摺疊兩次(相當四張衛生紙的厚度)，所以依圖(九)發現抽取式衛生紙在便秘時用一張就夠了，正常硬時用三張，正常軟時用四張，拉肚子時用五張，因為四張以上時有可能塞住馬桶，所以建議摺小一點再丟入馬桶。
3. 由表(二)、表(三)得知捲筒式衛生紙其吸水性較差，乾燥時支撐力較好，所以排泄物較乾時期使用的張數也較少，便秘時用一張，正常硬和正常軟時用兩張，但由表三發現其遇水裂解度高，所以拉肚子時竟然需要七張這麼多。

八、模擬含水量不同的排泄物和衛生紙對馬桶水流量的影響

排泄物的型式會影響衛生紙的使用張數，和衛生紙一起沖入馬桶時也會影響馬桶的水流量，影響情形如何呢?由以下的實驗結果表(十一)及圖(十)來說明。

表(十一):不同型式的排泄物加入衛生紙一起沖水所需的時間(秒)

型式/比例	35%	40%	55%	50%
抽取式	4.92	4.92	4.92	5.15
捲筒式衛生紙	4.28	4.35	4.61	5.21
平板式衛生紙	4.20	3.71	4.00	4.21
輕便包	3.74	3.73	4.02	4.16



圖(十)各種衛生紙和各種排泄物一起沖入馬桶所需的時間(秒)

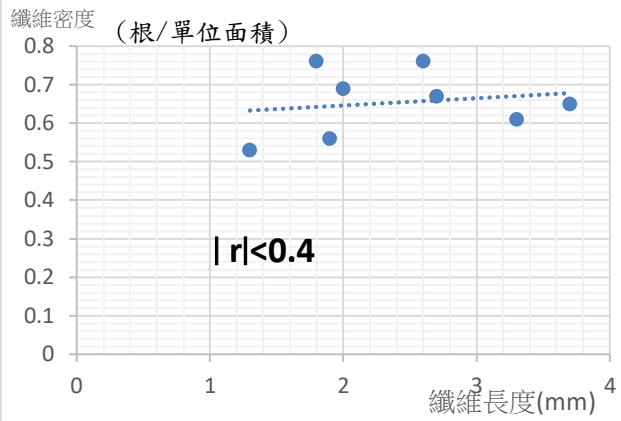
◎結果與發現：

1. 排泄物較乾時(50%)，各種型式的衛生紙對水流量的影響差異不大，**排泄物越乾，水流量有減少的現象**，排泄物沖出馬桶所需的時間較長，堵住馬桶的機率會變高。
2. 以抽取式為例，表(九)中，沒含排泄物的衛生紙沖完水的時間是3.6秒，加上乾燥的排泄物時間會延長1~2秒。

捌、綜合討論

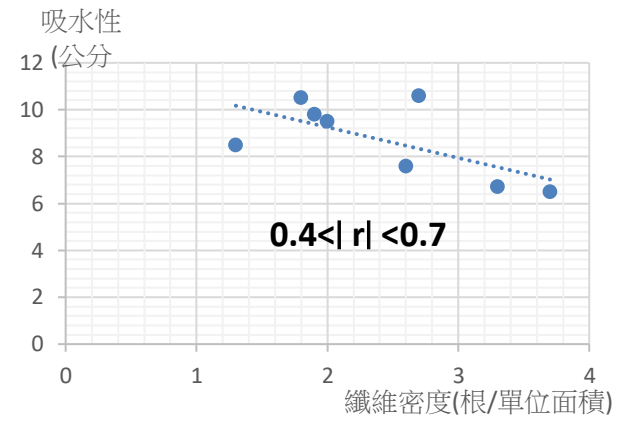
- 一、將可能會堵住馬桶的衛生紙物理特性整理如下表(十二)，試著分析各物理量的相關程度，如圖(十一)~圖(十八)，希望找出與馬桶流量有相關的物理量，作為改善衛生紙製作方式的參考。

實驗/品牌	抽 A	抽 B	抽 C	抽 D	抽 E	平板式衛生紙	捲筒式衛生紙	輕便包
纖維結構及密度 (根/單位面積)	1.8	2.7	2.0	1.9	1.3	2.6	3.3	3.7
纖維長度	0.76	0.67	0.69	0.56	0.53	0.76	0.61	0.65
吸水性(公分)	10.5	10.6	9.5	9.8	8.5	7.6	6.7	6.5
乾燥支撐力(gw)	87	95	91	93	85	96	80	90
潮濕支撐力(gw) 小面積	52.6	35.1	60.3	31.4	49.1	103.9	28.9	135.4
潮濕支撐力(gw) 大面積	101.6	69.5	26.3	54.3	82.3	133.8	143.7	101.2
裂解度(% (室溫 25 度)	1.12	0.91	0.93	1.00	1.19	0.39	0.52	
流量(馬桶) (秒)	5.38	4.06	5.93	5.38	4.86	6.34	6.44	



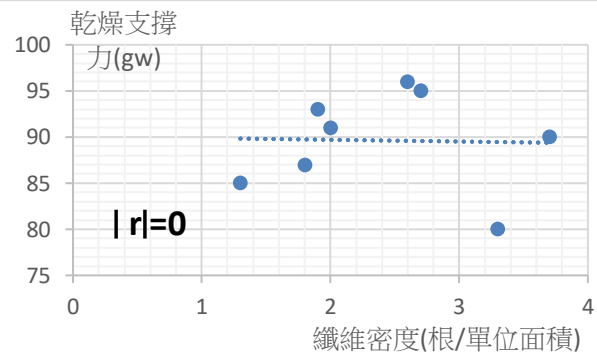
(圖十一)纖維密度與纖維長度的關係

說明:兩者相關性不明顯($|r| < 0.4$)^{參考六}。



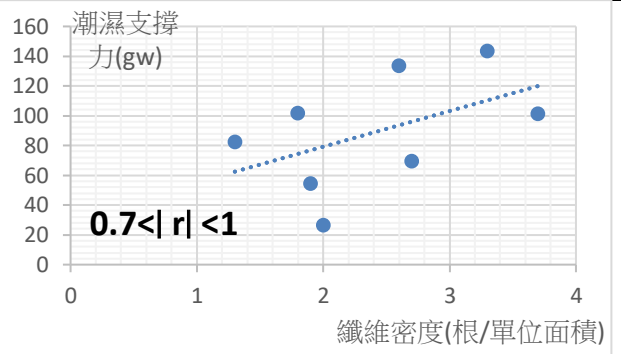
(圖十二)纖維密度與吸水性的關係

說明:兩者負相關性明顯($0.4 < |r| < 0.7$)。纖維密度大,其吸水性較差;纖維密度小,其吸水性較好。



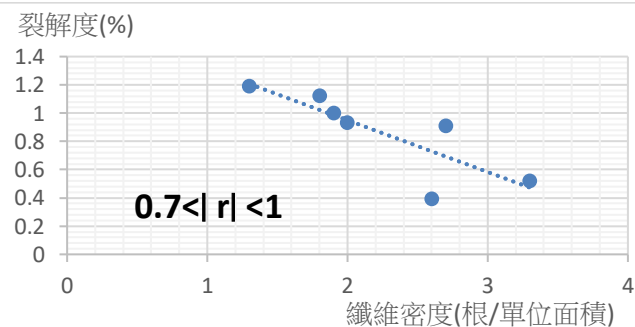
(圖十三)纖維密度與乾燥支撐力的關係

說明:兩者相關性不明顯($|r| = 0$)。



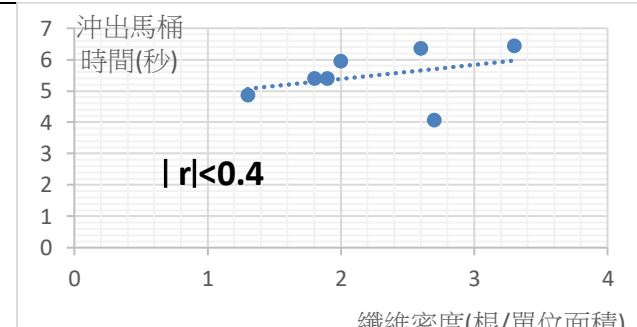
(圖十四)纖維密度與潮溼支撐力的關係

說明:兩者正相關性高度明顯($0.7 < |r| < 1$)。纖維密度大,其潮濕支撐力較好;纖維密度小,其潮濕支撐力較差。



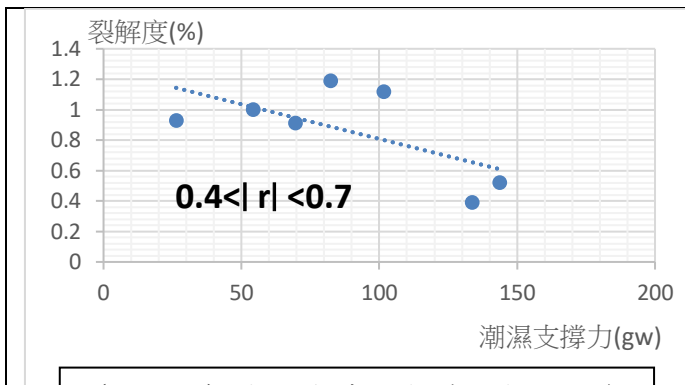
(圖十五)纖維密度與裂解度的關係

說明:兩者負相關性高度明顯($0.7 < |r| < 1$)。纖維密度大,其裂解度較差;纖維密度小,其裂解度較好。



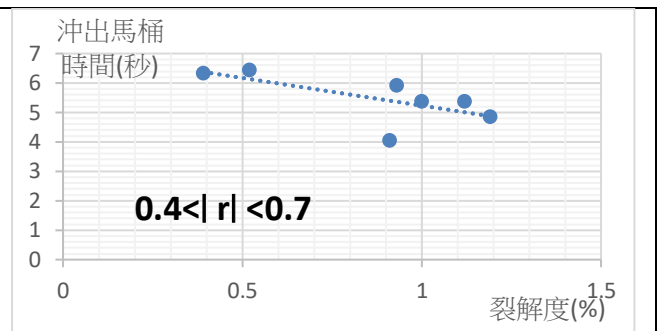
(圖十六)纖維密度及沖出馬桶時間的關係

說明:兩者相關性不明顯($|r| < 0.4$)



(圖十七) 潮濕支撐力與裂解度的關係

說明:兩者負相關性明顯($0.4 < |r| < 0.7$)。
潮濕支撐力大，其裂解度較差；
潮濕支撐力小，其裂解度較好。



(圖十八) 裂解度及沖出馬桶時間的關係

說明:兩者負相關性明顯($0.4 < |r| < 0.7$)。
裂解度較好，沖出馬桶時間較短；
裂解度較差，沖出馬桶時間較長。

二、纖維長度和其他物理量的相關性都不明顯，所以沒有將圖形呈現出來，由文獻探討中知道面紙纖維較長，所以支撐性較佳，遇水不易裂解，容易堵住馬桶，但衛生紙的纖維短，易裂解，不易堵住馬桶，然而實驗結果發現衛生紙的纖維長短和吸水性、裂解度關係都不明顯，**推測是衛生紙的纖維長度變化不大，所以無法精確測量出其對吸水性和裂解度的影響，或者纖維小於某一長度就不會影響其裂解度了。**

一、綜合上面圖表，發現衛生紙纖維密度會影響吸水性(圖十二)和潮濕時的支撐力(圖十四)，所以會影響裂解度(圖十五)，而裂解度會影響衛生紙沖出馬桶的時間(圖十八)，因此我們推測纖維密度是影響衛生紙會不會堵住馬桶的重要因素。

玖、結論

- 一、我們發現每種衛生紙的纖維都很均勻的分散，但排列並不規律，纖維間有許多空隙，推測這些空隙可以讓水分子附著上來，產生毛細現象，與衛生紙的吸水性有關，當然也會影響衛生紙吸水後是否容易裂解的性質。
- 二、各種衛生紙纖維的密度，相差較大，約3倍，其密度最大的是**平版式衛生紙**，**最小的是抽E**；而纖維長度則差異不大。
- 三、吸水性實驗發現**衛生紙纖維密度越小其吸水性有較強的現象**。吸水性最強的抽取式，其纖維密度最低，平板衛生紙吸水性較差，其纖維密度最大，
- 四、由表(二)和表(三)的結果大致可以看出**吸水性較好的抽取式衛生紙，其乾燥時支撐力較差**，如**輕便包的衛生紙吸水性是最差**，然而其**支撐力最強**。

- 五、最常用的抽取式衛生紙感覺較堅固，測出支撐力並沒有比較強，抽 B 和捲筒式的是支撐力較好的。
- 六、捲筒衛生紙和抽 B 其潮濕時支撐力減少最多(96%和 95%)。
- 七、抽取式衛生紙，適合廁所使用直接丟入馬桶，乾燥時輕便包衛生紙最不易破，可代替面紙使用。
- 八、各種衛生紙的裂解度在室溫(25°C)時裂解度都較低，在室溫下裂解度較大的前三名依序為【抽 B(春☆)>平板式衛生紙>抽 A (舒☆)】
- 九、抽取式衛生紙沖出馬桶的時間較短(4.06~5.93 秒) ，其他型式的衛生紙沖出馬桶的時間較長(6.34~6.44 秒)。
- 十、我們發現抽取式衛生紙沖出馬桶的時間較短，可能是吸水性佳，潮濕時支撐力較小，所以遇水容易裂解，馬桶的水流量較大，故比較不容易堵住馬桶。
- 十一、當衛生紙張數為 1 到 3 張時，水流順暢，水流時間差異不大，但 4 張以後，水流時間明顯增加 16~38 秒，像馬桶被堵住了，所以建議一次用衛生紙不宜超過三張。
- 十二、當衛生紙摺疊次數為 3 次時，水流完的時間會比前兩次來的短，因為體積越小，就越不容易堵住，建議先將衛生紙摺疊成小體積後再沖入馬桶。
- 十三、一般使用衛生紙時大都摺疊兩次(相當四張衛生紙的厚度)，所以依圖(九)發現抽取式衛生紙在便秘時用一張就夠了，正常硬時用三張，正常軟時用四張，拉肚子時用五張，因為四張以上時有可能塞住馬桶，所以建議摺小一點再丟入馬桶。
- 十四、由(表二)、表(三)得知捲筒式衛生紙其吸水性較差，乾燥時支撐力較好，所以排泄物較乾時，其使用的張數也較少，便秘時用一張，正常硬和正常軟時用兩張，但由表(四)發現其遇水裂解度高，所以拉肚子時竟然需要七張這麼多。
- 十五、各種衛生紙性質有些差異，擦拭物較乾時適合用捲筒式和輕便式，較濕時適用抽取式，無論哪一種，使用少量時，都不容易堵住馬桶。

拾、心得與未來展望

當初看到衛生紙丟不丟馬桶的新聞，想深入了解，上網查詢資料，卻找不到想要的答案，問老師後，意外的成了我們科展的題目，也成就了今日的結果。從中，我們體會到親自透過實驗解開疑惑的成就感。若未來有機會更深入研究此實驗，以管徑大小更合適的模擬馬桶進行實驗，其實驗結果之數據或許能明顯看出其差異。

希望未來能有更深入的探討，並依實驗結果製作出我們心目中理想的衛生紙—吸水性強、支撐力好、易裂解、舒適性高、大小適中，提供衛生紙工廠的配方參考，為環保貢獻一份心力。

拾壹、參考文獻資料

- 一、<http://www.twwiki.com/wiki/%E8%A1%9B%E7%94%9F%E7%B4%99>
- 二、蔡振明。(2008)。每年沖掉了六億元。《中國時報》。97年3月2日
- 三、請問廁所用的捲筒衛生紙可以直接丟到馬桶裡嗎？
<https://tw.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080602000015KK07882&>
- 四、衛生紙絕不會阻塞（作者為建築師、台灣衛浴文化協會名譽理事長，
<https://zh-tw.facebook.com/ntpu.sociology/posts/178219702237618>）
- 五、留言追追追。<http://tw.myblog.yahoo.com/jason-smile/article?mid=8191&prev=8353&next=8166>。（檢索日期 2009/01/19）
- 六、wiki.mbalib.com/zh-Tw/相關係數

【評語】 030122

本作品研討衛生紙在馬桶處理過程，作者探討衛生紙的的纖維結構、密度、長度、吸水性等因子對水分解的影響，及水溫、紙張數之變化，避免馬桶塞住。結果發現纖維密度是馬桶堵塞最重要的因素。本作品考慮各種實驗之相關參數，並進行完整之實驗，結果可以歸納出最佳條件，是一個優良作品。

作品海報

衛生紙到底丟不丟馬桶?丟可能會堵住馬桶但可減少疾病的散播及垃圾的清理問題因此本研究針對抽取式、捲筒式、輕便包和濕式衛生紙的纖維結構、密度、長度、吸水性、乾濕支撐力等特性逐一探討,希望找出與衛生紙裂解度最有相關的因子,進而研究水溫、衛生紙的張數、摺疊次數及擦完含水量不同的排泄物後對馬桶水流量的影響,藉以判斷衛生紙該怎麼用才不會堵住馬桶,結果發現:

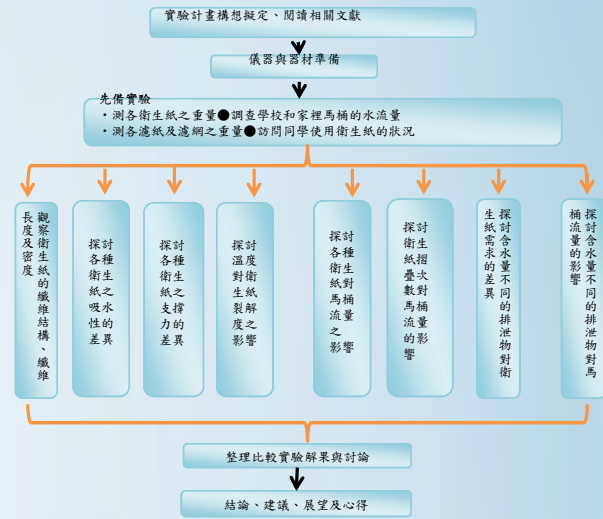
抽取式衛生紙三張以下或摺疊次數為3次時較不會塞住馬桶。衛生紙纖維密度會影響吸水性、潮濕時的支撐力,進而影響裂解度,然而裂解度和衛生紙沖出馬桶的時間有顯著的相關,我們推測纖維密度是影響衛生紙會不會堵住馬桶的重要因素。衛生紙的裂解度在室溫(25°C)時裂解度較低。

壹、研究動機

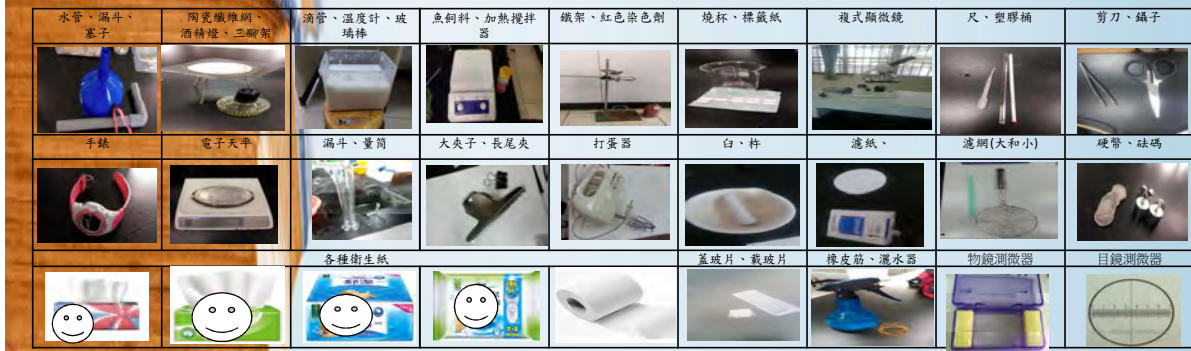
最近新聞報導最引人注目的話題是:「衛生紙到底可不可以丟進馬桶?會阻塞馬桶嗎?」這勾起我們的好奇心,因為我們從小就被灌輸「不能把衛生紙丟進馬桶裡」的觀念,但是在歐美許多國家衛生紙都是直接丟入馬桶的,這樣一來可以減少衛生紙帶來的大量垃圾,二來可以減少廁所放置垃圾桶所帶來的髒亂、異味和傳染病散佈的衛生問題,第三則可以省掉清理廁所所需的清潔費,既然好處這麼多,那為何多數人還是不敢將衛生紙丟馬桶呢?主要原因是擔心馬桶被堵住,而且台灣的下水道系統並不完善,處理沖下馬桶的廢棄物恐怕要花更多人力財力去處理,所以丟與不丟都有其優缺點,於是我們決定要深入了解衛生紙的各種特性和馬桶會不會堵住的物理現象,來提供大家解決對衛生紙到底能不能丟馬桶的疑慮。

台灣每年的衛生紙銷售量高達14.6億噸,直接沖入馬桶的只有4.8%,**垃圾處理費也高達6億7千萬元**(蔡振明,2008^{參考})。如果可以進一步了解衛生紙的組成、物理性質、可以沖走衛生紙又不會堵住馬桶的水流量,進而改進衛生紙的製作方式和樣式,減少衛生紙的用量及沖水量,為了保護自然界珍貴的森林和水資源,因此我們希望找出最恰當的使用衛生紙的方法,提供國人使用衛生紙習慣的一些新思維,替地球的健康盡一份心力

貳、研究流程及目的

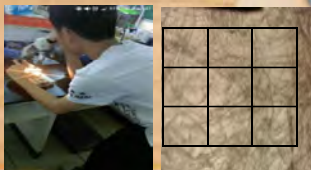


參、研究設備及器材



肆、研究過程或方法

一、觀察並比較各種型式衛生紙的纖維結構及密度。



顯微鏡的觀察 計算纖維密度

二、測試並比較各種型式衛生紙的吸水性。



衛生紙吸水性的觀察

三、測試乾和濕對各種型式衛生紙支撐力的影響。



裝置一 裝置二

四、測試水的溫度對衛生紙裂解度的影響。



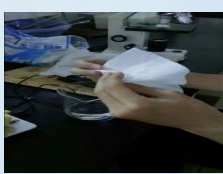
加熱過程

五、測試各種型式的衛生紙對馬桶水流量的影響。



使用打蛋器攪拌 模擬馬桶沖水裝置

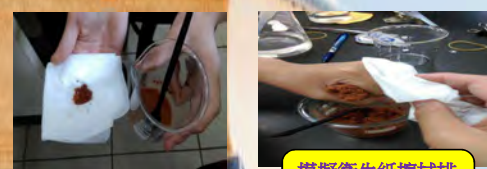
六、測試衛生紙摺疊次數對馬桶水流量的影響。



摺疊衛生紙的狀況

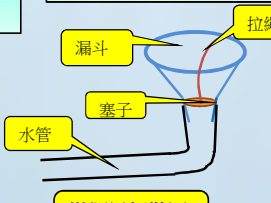
- (一)將漏斗的孔以塞子塞住,並接上水管,再加入1000毫升的水
- (二)將1到6張的抽B(春☆)衛生紙分別摺1次、2次、3次。
- (三)將摺好衛生紙,分別置入水中,用打蛋器均勻地攪拌10秒,攪拌完畢拔起塞子,計算漏斗中的水流完的時間。
- (四)每種摺法重複5次,最後計算總平均。

七、實驗含水量不同的排泄物對衛生紙需求量的影響



用魚飼料模擬排泄物 模擬衛生紙擦拭排泄物的情形

八、實驗含水量不同的排泄物和衛生紙對馬桶水流量的影響。



模擬馬桶裝置

- (一)製作三種含水量不同比例的排泄物。
- (二)由實驗七的結果得知不同含水量的排泄物所需的折疊數的衛生紙。
- (三)將衛生紙及其排泄物放入事先塞入塞子的漏斗中,加入1000毫升的水。
- (四)用打蛋器均勻地攪拌10秒(模擬沖水時造成的漩渦),攪拌完畢,拔起塞子,計算漏斗中的水流完的時間。
- (五)以捲筒式衛生紙及抽B衛生紙(春☆)測試並比較之。

一、了解並比較各種型式衛生紙的纖維結構及密度。

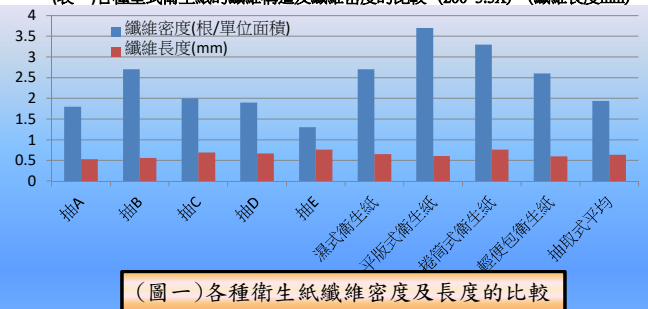
纖維結構是影響衛生紙的拉力、支撐力及遇水是否容易解體的重要因素，構成衛生紙的纖維有長纖維和短纖維，下表(一)是各種型式衛生紙纖維結構的顯微構造圖及纖維密度(根/單位面積)和纖維長度的比較，將各種衛生紙的纖維密度和長度的關係做成圖形比較，則如圖(一)所示。

衛生紙型式	抽A	抽B	抽C	抽D	抽E	濕式衛生紙	平板式衛生紙	捲筒式衛生紙	輕便包衛生紙	抽取式平均
纖維結構										
纖維密度	1.8	2.7	2.0	1.9	1.3	2.7	3.7	3.3	2.6	1.94
纖維長度	0.53	0.56	0.69	0.67	0.76	0.65	0.61	0.76	0.6	0.64

◎結果與發現:

- 各種衛生紙纖維的密度(數量/單位面積)由3.7到1.3，相差約3倍，其密度由多到少依序為：**平板式衛生紙**>捲筒式衛生紙>濕式>輕便包>抽取式衛生紙平均】。
- 抽取式衛生紙的纖維密度(數量/單位面積)由多到少依序為：**【抽B>抽C>抽D>抽A>抽E】**
- 我們發現每種衛生紙的纖維都很均勻的分散，但排列並不規律，纖維間有許多空隙，推測這些空隙可以讓水分子附着上來，產生毛細現象，與衛生紙的吸水性有關，當然也會影響衛生紙吸水後是否容易裂解的性質。
- 纖維的長度會影響衛生紙的支撐力及裂解度，各種衛生紙的纖維長度差異不大，由0.76~0.53mm，其纖維長度由多到少依序為：**【捲筒式衛生紙>濕式>抽取式衛生紙平均>平板式衛生紙>輕便包】**
- 抽取式衛生紙的纖維長度由多到少依序為：**抽E>抽C>抽D>抽B>抽A】**
- 抽E的密度小、纖維長，預測其吸水性佳韌性好，捲筒式密度大、纖維長，預測其吸水性較差但韌性好，是不是這樣，將由以下的實驗來證實。

(表一)各種型式衛生紙的纖維構造及纖維密度的比較 (200*3.5X) (纖維長度mm)



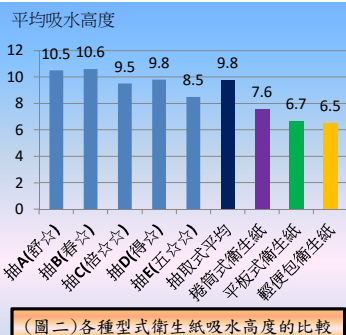
(圖一)各種衛生紙纖維密度及長度的比較

二、了解並比較各種型式衛生紙的吸水性。

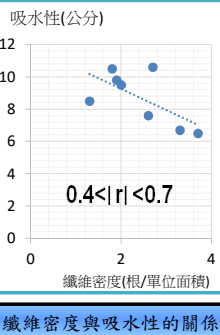
衛生紙的吸水性可能影響其裂解情形，而且可能和是否容易堵住馬桶有關，因此我們選了最常用的抽取式的四個品牌和其他三種型式(捲筒式、平板式和輕便包)的衛生紙來做吸水性的比較，結果如下表(二)及圖(二)所示:

(表二)各種型式衛生紙吸水高度的比較

各種型式衛生紙	平均吸水高度(cm)
抽A(舒☆☆)	10.5
抽B(春☆☆)	10.6
抽C(倍☆☆)	9.5
抽D(得☆☆)	9.8
抽E(五☆☆)	8.5
抽取式平均	9.8
捲筒式衛生紙	7.6
平板式衛生紙	6.7
輕便包衛生紙	6.5



(圖二)各種型式衛生紙吸水高度的比較

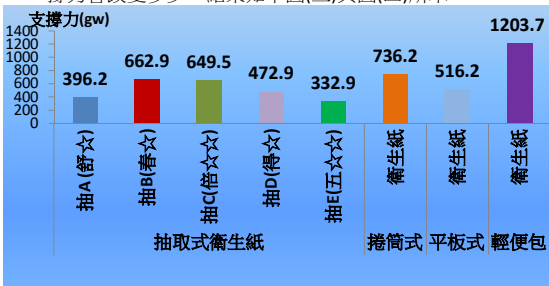


◎結果與發現:

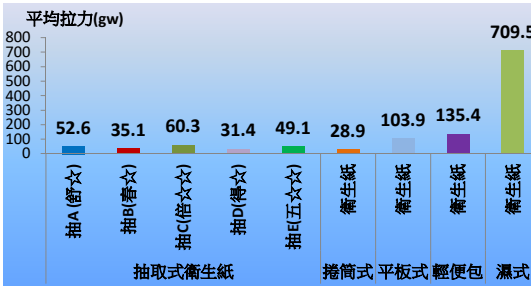
- 由表(二)發現吸水高度是【抽取式>捲筒式>平板衛生紙>輕便包衛生紙】。
- 其他型式的衛生紙吸水度較差，吸水高度由6.5~7.6 cm。
- 最常用的抽取式衛生紙感覺較堅固，實驗結果竟然吸水性最強，這與實驗(一)纖維密度測量結果正好相反，也就是吸水性最強的抽取式，其纖維密度最低，纖維空隙大，毛細現象最明顯，水分子最容易上升。
- 由實驗(一)(二)發現衛生紙纖維密度越小其吸水性有較強的現象，這與我們預測的結果接近。
- 由實驗(一)(二)發現衛生紙纖維密度越小其吸水性有較強的現象，這與我們預測的結果接近。
- 衛生紙的吸水性是否會影響其拉力而破裂分解(以下稱裂解)呢?我們將在以下的實驗一一探討。

三、探討乾和濕對各種型式衛生紙支撐力的影響。

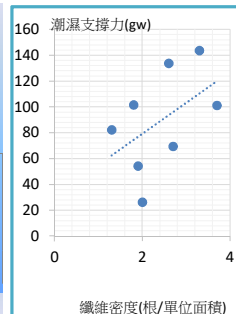
衛生紙的支撐力會影響使用的方便性及遇水容易裂解的程度，所以我們做了乾燥時的支撐力比較，也將衛生紙噴水，想要了解衛生紙遇水時的支撐力會改變多少，結果如下圖(三)與圖(四)所示:



(圖三)各種型式衛生紙乾燥時平均支撐力(gw)的比較



(圖四)各種型式衛生紙潮濕時平均支撐力(gw)的比較



◎結果與發現:

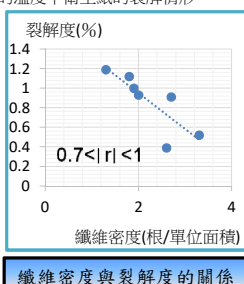
- 各種型式的衛生紙乾燥時的支撐力，實驗結果由高而低依次是【**輕便包衛生紙**>捲筒式>平板式>抽取式(平均502.88g)】。
- 抽取式衛生紙乾燥時的平均支撐力較低(平均502.88g)，其支撐力332.9~662.9g重，其他型式的衛生紙乾燥時平均支撐力較好，可支撐516.2~1203.7g重。
- 由實驗結果大致可以看出**吸水性較好的抽取式衛生紙，其支撐力較差**，而吸水性是最差的輕便包的衛生紙其支撐力最強。
- 實驗發現支撐力與差異較大的纖維密度和吸水性有關，最常用的抽取式衛生紙，其纖維密度低，吸水性強而乾燥時支撐力較差；輕便包衛生紙吸水性最差，乾燥時支撐力最好。
- 衛生紙潮濕後發現其支撐力都減少80%以上，容易吸水的捲筒和抽B(春☆☆)其支撐力減少最多(96%和95%)。
- 各種型式的衛生紙潮濕時的支撐力都比乾燥時減輕許多，乾燥時各種衛生紙的支撐力差異不大，但潮濕後的**支撐力可差異到5~6倍之多**，實驗結果其潮濕時的支撐力由高而低依次是濕式衛生紙>輕便包衛生紙>平板式>抽取式(平均45.7g)>捲筒式。
- 濕式衛生紙在使用時便覺得不易撕破，果然其的支撐力是其他型式衛生紙的5倍~20倍，因此也最不容易裂解(裂解實驗時它都沒裂掉，因此沒列入紀錄)，有添加強濕劑，性質接近面紙。
- 抽取式衛生紙在乾和濕的時候，支撐力都較其他型式衛生紙差，捲筒式的衛生紙乾的時候支撐力沒有很差，但潮濕後支撐力變最差，容易裂解，最建議在廁所使用了。

四、探討水的溫度對衛生紙裂解度的影響。

臺灣冬夏的溫差大，因此我們認為溫度也會影響到衛生紙的裂解度，所以藉由進行以下實驗來測試在不同的溫度下衛生紙的裂解情形。(如下圖六所示):



圖(六)溫度對各種衛生紙裂解度的影響

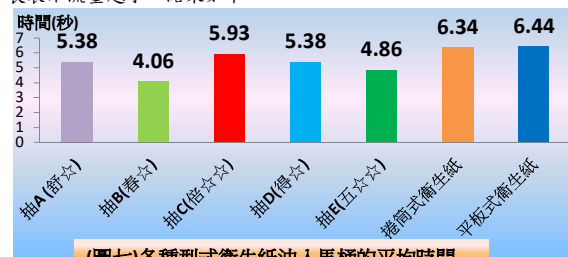


◎問題與討論:

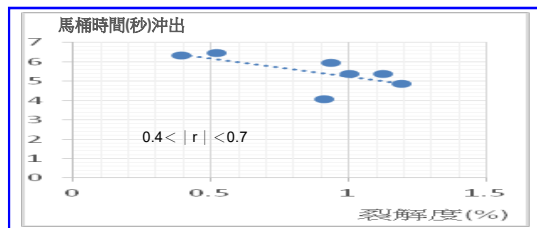
- 實驗後發現，各種衛生紙的裂解度在室溫(25°C)時裂解度都較低，抽A(舒☆☆)、抽E(五☆☆)和抽D(得☆☆)在低溫時有較高的裂解度，抽B(春☆☆)、抽C(倍☆☆)捲筒式衛生紙、平板式衛生紙則在較高溫時有較大的裂解度。
- 在室溫下裂解度較大的前三名依序為【**抽B(春☆☆)**>平板式衛生紙>抽A(舒☆☆)】。

五、比較各種型式的衛生紙對馬桶水流量的影響。

衛生紙丟入馬桶後是否會影響水流量？如果水流量變小，可能比較容易造成馬桶的堵塞，下表為沖入一公升的水，全部流出水管所需要的時間(秒)，時間越長表示流量越小，結果如下：



(圖七)各種型式衛生紙沖入馬桶的平均時間



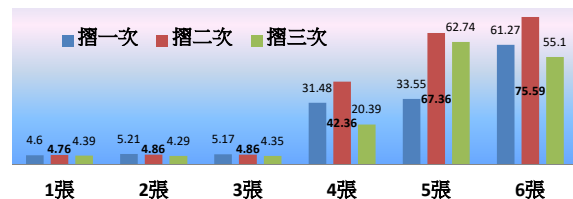
裂解度及沖出馬桶時間的關係

◎問題與討論：

1. 抽取式衛生紙沖出馬桶的時間較短(4.06-5.93秒)，依次是抽A < 抽E < 抽A = 抽D < 抽C，也就是抽B的水流量大，馬桶較不易堵住。
2. 其他型式的衛生紙沖出馬桶的時間較長(6.34-6.44秒)，依次是捲筒式 < 平板式。
3. 我們發現潮濕時支撐力低的，較容易裂解，馬桶的水流量較大，也就比較不容易堵住馬桶。

六、探討衛生紙摺疊次數對馬桶水流量的影響。

一般人使用衛生紙都有折疊的習慣，也常有人會好幾張衛生紙一起用，無形中浪費許多資源，因此我們想了解摺疊次數對馬桶的水流量的影響，找出最適合的張數和摺疊次數，提供大家使用衛生紙的參考，以下以抽B(春☆)做為實驗材料(由以上實驗得知其具有乾燥時支撐力較佳、遇水裂解迅速、易沖走等特性)。



(圖八)不同張數和摺疊次數的衛生紙沖出馬桶的時間

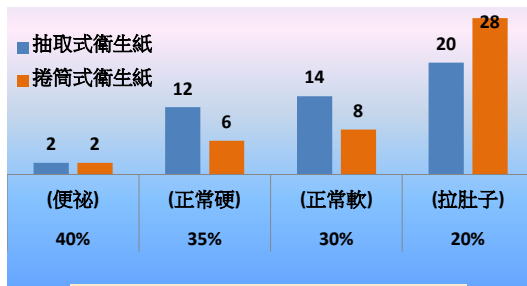
◎問題與討論：

1. 當衛生紙張數為1到3張時，水流順暢，水流時間差異不大，但4張以後，水流時間明顯增加16-38秒，像馬桶被堵住了，所以建議一次用衛生紙不宜超過三張。
2. 當衛生紙摺疊次數為3次時，水流完的時間會比前兩次來的短，因為體積越小，就越不容易堵住，建議使用時，可先將衛生紙摺疊成較小的體積後再沖入馬桶。

七、比較含水量不同的排泄物對衛生紙需求量的影響。

排泄物的含水量會隨身體狀況有所不同，所以用魚飼料和水依不同比例調出四種排泄物形式：便秘時—40%、正常較硬—35%、正常較軟—30%、拉肚子時—20%，這四種情形對衛生紙的需求量如何呢？為了知道實際的使用情況，我們就進行了此實驗來幫助了解。

我們選了抽取式和捲筒式來做比較，下圖是實驗的結果：



(圖九)在不同排泄物所需的衛生紙張數比較

◎問題與討論：

1. 根據這個實驗，我們發現若是排泄物的含水量少時，捲筒式所需的紙量比較少，拉肚子時抽取式的所需的紙量比較少。
2. 一般使用衛生紙時大都摺疊兩次(相當四張衛生紙的厚度)，所以依【圖九】發現抽取式衛生紙在便秘時用一張就夠了，正常硬時用三張，正常軟時用四張，拉肚子時用五張，因為四張以上時有可能塞住馬桶，所以建議摺小一點再丟入馬桶。
3. 捲筒式衛生紙其吸水性較差，乾燥時支撐力較好，所以排泄物較乾時期使用的張數也較少，便秘時用一張，正常硬和正常軟時用兩張，但由表三發現其遇水裂解度高，所以拉肚子時竟需要七張這麼多。

八、模擬含水量不同的排泄物對馬桶水流量的影響。

排泄物的型式會影響衛生紙的使用張數，和衛生紙一起沖入馬桶時也會影響馬桶的水流量，影響情形如何呢？由以下的實驗結果來說明。

表(十一)不同形式的排泄物加入衛生紙一起沖水所需的時間(秒)

型式/比例	35%	40%	55%	50%
抽取式	4.92	4.92	4.92	5.15
捲筒式衛生紙	4.28	4.35	4.61	5.21
平板式衛生紙	4.20	3.71	4.00	4.21
輕便包	3.74	3.73	4.02	4.16

◎問題與討論：

1. 排泄物較乾時，各種型式的衛生紙對水流量的影響差異不大，排泄物越乾，水流量有減少的現象，堵住馬桶的機率會變高。
2. 以抽B(春☆)為例，沒含排泄物的衛生紙沖水的時間是3.6秒，加上乾燥的排泄物時間會延長1~2秒。

陸、結論

- 一、我們發現每種衛生紙的纖維都很均勻的分散，但排列並不規律，纖維間有許多空隙，推測這些空隙可以讓水分子附着上來，產生毛細現象，與衛生紙的吸水性有關，當然也會影響衛生紙吸水後是否容易裂解的性質。
- 二、吸水性實驗發現衛生紙纖維密度越小其吸水性有較強的現象。吸水性最強的抽取式，其纖維密度最低，平板衛生紙吸水性較差，其纖維密度最大。
- 三、由表(二)和表(三)的結果大致可以看出吸水性較好的抽取式衛生紙，其乾燥時支撐力較差，如輕便包的衛生紙吸水性是最差，然而其支撐力最強。
- 四、最常用的抽取式衛生紙感覺較堅固，測出支撐力並沒有比較強，抽B和捲筒式的是支撐力較好的。
- 六、抽取式衛生紙，適合廁所使用直接丟入馬桶，乾燥時輕便包衛生紙最不易破，可代替面紙使用。
- 七、各種衛生紙的裂解度在室溫(25°C)時裂解度都較低，在室溫下裂解度較大的前三名依序為【抽B(春☆) > 平板式衛生紙 > 抽A(舒☆)】。
- 八、抽取式衛生紙沖出馬桶的時間較短(4.06-5.93秒)，其他型式的衛生紙沖出馬桶的時間較長(6.34-6.44秒)。
- 九、我們發現抽取式衛生紙沖出馬桶的時間較短，可能是吸水性佳，潮濕時支撐力較小，所以遇水容易裂解，馬桶的水流量較大，故比較不容易堵住馬桶。
- 十、當衛生紙張數為1到3張時，水流順暢，水流時間差異不大，但4張以後，水流時間明顯增加16-38秒，像馬桶被堵住了，所以建議一次用衛生紙不宜超過三張。
- 十一、當衛生紙摺疊次數為3次時，水流完的時間會比前兩次來的短，因為體積越小，就越不容易堵住，建議先將衛生紙摺疊成小體積後再沖入馬桶。
- 十二、一般使用衛生紙時大都摺疊兩次(相當四張衛生紙的厚度)，所以依圖(九)發現抽取式衛生紙在便秘時用一張就夠了，正常硬時用三張，正常軟時用四張，拉肚子時用五張，因為四張以上時有可能塞住馬桶，所以建議摺小一點再丟入馬桶。
- 十三、由(表二)、表(三)得知捲筒式衛生紙其吸水性較差，乾燥時支撐力較好，所以排泄物較乾時，其使用的張數也較少，便秘時用一張，正常硬和正常軟時用兩張，但由表(四)發現其遇水裂解度高，所以拉肚子時竟然需要七張這麼多。

柒、參考資料

- 一、<http://www.twinkl.com/wiki/%E8%A1%9B%E7%94%9F%E7%B4%99>
- 二、<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2008/10/2008103018413652.pdf>