

屏東縣第 61 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：你「浮」不「浮」～ 紙船載重能力之探討

關 鍵 詞： 紙船、浮力、表面張力

編號：A2062

你「浮」不「浮」 ～ 紙船載重能力之探討

摘要

本研究主要探討影響紙船載重能力的因素，發現讓紙船不沉入水的原因除了自身的浮力外，液體的表面張力也是重要的關鍵。

我們以西卡紙作為實驗紙材，是因為它的孔隙小且表面光滑，紙船不易因為毛细現象而吸水增加重量，影響載重能力。接著探討紙船的其他變因，發現「船底形狀」、「船體比例」、「船身表面塗料」都會稍微影響載重能力。船底為圓形的載重效果最差，而底面寬大、高度低的船體載重效果最好，船身表面塗上膠類及油類等塗料稍微增加載重量。

除了紙船的因素外，溶液這個變項也是我們探討的主題。水溫對載重能力的影響很大，紙船的載重力隨著水溫增加而變差。紙船在酸性溶液的載重力比鹼性溶液稍差，在水中加入酒精和沙拉油後，會使紙船的載重力下降。

壹、研究動機

記得小時候曾到台南的白河遊玩，當地盛產蓮花，我除了賞蓮、吃蓮花大餐外，讓我印象最深刻的是，竟然有人可以坐在大王蓮裡，體驗「漂浮」在水上的感覺，而且還是體型很壯的大人，讓我非常驚訝！又聯想到四年級自然課的「浮力實驗」，老師帶領我們進行「油土載重比賽」，大家分組將油土捏成不同形狀的船，看看哪一艘船可以裝較多的彈珠，雖然每組的油土塊大小重量都相同，但每艘船因造型不同，船身的油土厚薄也不一樣，所以不易判斷究竟是什麼原因影響船隻的載重能力。因此，我們決定加以改良，用紙張來做船，這樣船身的厚度就會相同。而不同形狀的紙船載重能力會一樣嗎？有沒有讓紙船載重力增加的方法呢？老師鼓勵我們自己動手做做看，於是，我們決定透過不同的實驗，一起去尋找答案。

貳、研究目的

- 一、探討不同紙張種類對紙船載重能力的影響。
- 二、探討不同船底形狀對紙船載重能力的影響。
- 三、比較不同船體比例對紙船載重能力的影響。
- 四、比較不同塗料對紙船載重能力的影響。
- 五、探討不同水溫變化對紙船載重能力的影響。
- 六、比較不同溶液對紙船載重能力的影響。













參、研究設備及器材

一、研究器材：

			
電子秤	電磁爐	溫度計	攪拌棒
			
小湯匙	燒杯	水槽	1 立方公分小積木

			
吹風機	鋼碗	刷子	冰塊

二、實驗物品及材料：

			
牛皮紙	圖畫紙	丹迪紙	西卡紙
			
厚紙板	雲彩紙	瓦楞紙	魔力方格紙
			
影印紙	食鹽	砂糖	醋



酒精



小蘇打粉



石灰粉



檸檬酸



沙拉油



白膠



保麗龍膠



凡士林



蠟燭



指甲油



亮光漆



噴漆

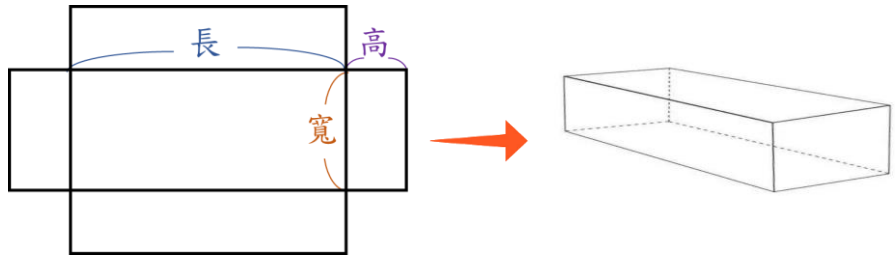


油漆

肆、研究過程與方法

一、 實驗裝置：

(一) 紙船製作方法：以長方體紙船為例，在紙上畫出展開圖，將展開圖剪下來，沿著摺線對摺，接合處用膠帶在紙船外緣黏貼，讓它牢固沒有縫隙。(如下圖)



紙船製作圖

(二) 紙船載重測量：將紙船平放於水槽中，再放入量測物，平均擺放在船內，保持船體平穩，邊放邊計數，直到紙船沉入水中即停止測量。

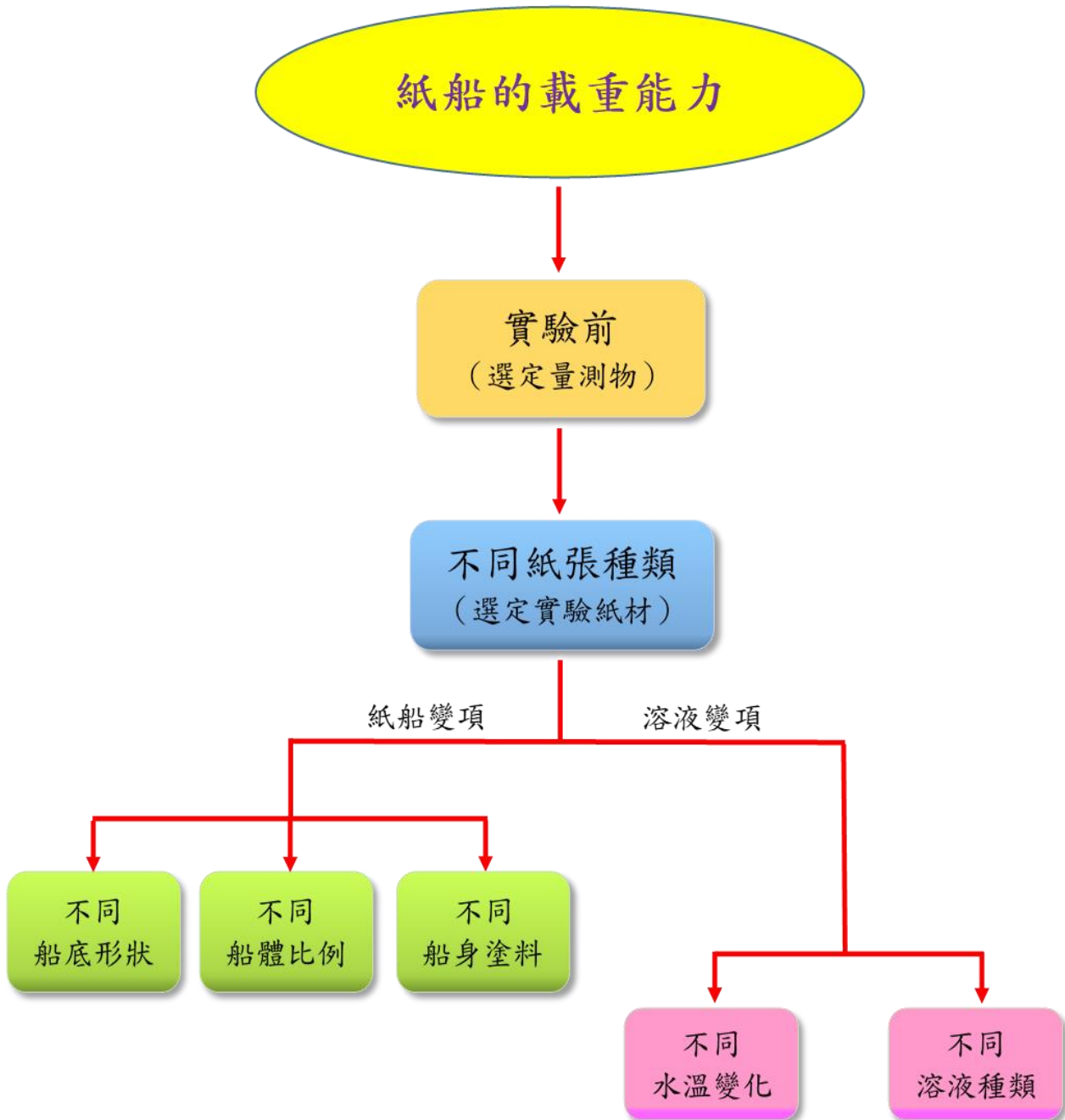
(三) 量測物選定：實驗前，我們先分別比較各量測物的優缺點，摘要如下：

量測物名稱	平均重量	優點	缺點
 彈珠	5.3 公克	<ul style="list-style-type: none"> 容易取得 	<ul style="list-style-type: none"> 容易滾動，會讓船身容易傾斜。 重量略重。
 1 元硬幣	3.8 公克	<ul style="list-style-type: none"> 容易取得 可平放，不會滾動 	<ul style="list-style-type: none"> 硬幣重量略重，容易因擺放位置而讓船身傾斜。
 1 立方小積	0.98 公克	<ul style="list-style-type: none"> 教學教具，容易取得 可平放，不會滾動 單一小積木重量輕，可量測較細微的重量變化 	<ul style="list-style-type: none"> 因重量較輕，測量時需花多一點時間



根據結果，1 立方公分小積木具有「易取得、不滾動、重量輕」等優點，可以一個一個慢慢疊放，觀察細微重量增加的變化，因此我們決定以『1 立方公分小積木』作為本次研究的量測物。

(四) 研究流程：根據研究目的，規劃實驗架構流程，如下圖：



二、 實驗過程與討論：

依據研究目的，我們規劃六個實驗，並將過程與討論記錄下來，內容摘錄如下：

研究一：不同紙張種類對紙船載重能力的影響？

不同紙張種類的材質會影響紙船載重的能力嗎？我們選了「牛皮紙、影印紙、圖畫紙、丹迪紙、西卡紙、厚紙板、雲彩紙、瓦楞紙及魔力方格紙」等來比較。

一、實驗步驟

- (1) 在不同種類的紙上畫出邊長 10 公分正方形及高 2 公分的立體紙船展開圖。
- (2) 剪好展開圖摺成立體紙船，用膠帶黏貼接合處，並檢查是否有縫隙。
- (3) 將紙船輕放於水槽中，再平均擺放 1 立方公分小積木，直到紙船沉入水中即停止測量，並將小積木與紙船的總重量記錄下來。
- (4) 重複上述步驟，測定三次 (A. B. C) 取平均值。

二、實驗流程

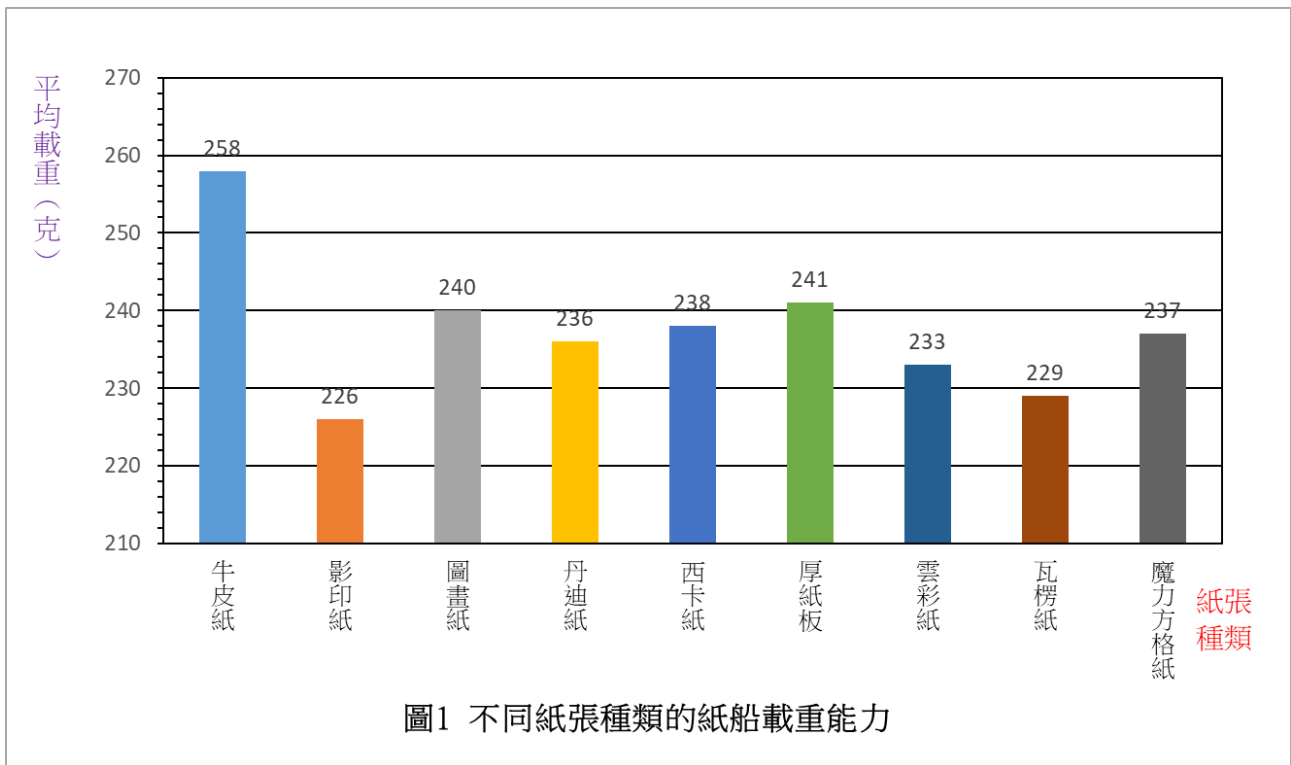


三、實驗結果

不同紙張種類對紙船載重的影響實驗結果如下：

表 1 不同紙張種類的紙船載重能力

紙張種類	A 載重(克)	B 載重(克)	C 載重(克)	平均載重(克)	排序
牛皮紙	261	255	258	258	1
影印紙	223	230	225	226	9
圖畫紙	238	242	240	240	3
丹迪紙	234	238	236	236	6
西卡紙	236	238	240	238	4
厚紙板	237	241	245	241	2
雲彩紙	231	232	236	233	7
瓦楞紙	223	230	234	229	8
魔力方格紙	232	245	234	237	5



四、實驗結果討論

(1) 從表1中，我們發現不同紙張種類的紙船，載重能力由多到少依序是：

牛皮紙>厚紙板>圖畫紙>西卡紙>魔力方格紙>丹迪紙>雲彩紙>瓦楞紙>影印紙。

(2) 紙船載重除了受「浮力」的影響外，紙張吸附水後，也會產生「毛細現象」。因此紙張薄、孔隙較粗大的紙張，如影印紙，載重能力較差；相反地，紙張厚、孔隙細小、表面光滑的紙張，如厚紙板、西卡紙等，載重能力較佳；而牛皮紙韌性夠，是強度最高的紙張，載重能力最好。

(3) 我們想從上面不同種類的紙張中，選定一種作為接下來實驗的紙材。排名第一的牛皮紙雖然載重力最好，但是船身會逐漸凹陷變形，在沉入水之前已經不像船的形狀；排名第二的厚紙板因紙張較厚不好摺，如果要摺成不同形體的紙船難度也較高；排名第三的圖畫紙毛細現象比較明顯，容易吸水增加船身的重量。考慮以上的因素，所以選用本次實驗排序第四，紙面防水、載重能力也佳的「西卡紙」，作為接下來實驗的紙材。

研究二：不同船底形狀對紙船載重能力的影響？

在我們確定以西卡紙作為接下來實驗的紙材後，我們想要改變實驗一的其他變因。在實驗一裡，紙船的船底形狀都是正方形，如果我們將船底改成其他形狀，且體積都相同，哪一種紙船的載重比較多呢？以實驗二來探討不同船底形狀對紙船載重的影響。

一、實驗步驟

- (1) 在西卡紙上分別畫出底面積為 100 平方公分的長方形（長 20 公分、寬 5 公分）、正方形（邊長 10 公分）、三角形（底 20 公分、高 10 公分）、菱形（對角線 20 公分、10 公分）及圓形（半徑 5.6 公分），高為 2 公分的紙船展開圖。
- (2) 剪好展開圖摺成立體紙船，用膠帶黏貼接合處，並檢查是否有縫隙。
- (3) 將紙船輕放於水槽中，再平均擺放 1 立方公分小積木，直到紙船沉入水中即停止測量，並將小積木與紙船的總重量記錄下來。
- (4) 重複上述步驟，測定三次（A. B. C）取平均值。

二、實驗流程

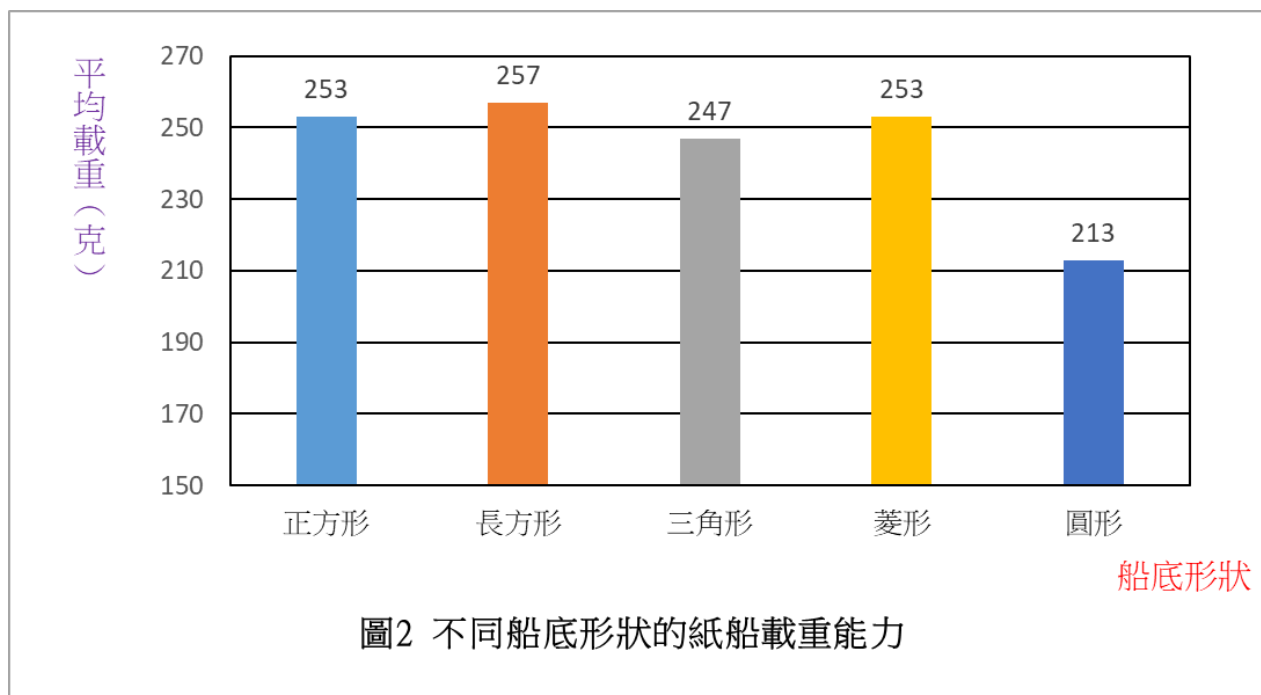


三、實驗結果

不同船底形狀對紙船載重的影響實驗結果如下：

表 2 不同船底形狀的紙船載重能力

船底形狀	船體圖片	A 載重(克)	B 載重(克)	C 載重(克)	平均載重(克)
正方形(10*10)		251	250	259	253
長方形(20*5)		260	259	253	257
三角形(20*10/2)		248	247	247	247
菱形(20*10/2)		250	249	261	253
圓形(5.6*5.6*3.14)		205	228	205	213



四、實驗結果討論

- (1) 從表 2 中發現，當紙船的船底面積都是 100 平方公分時，形狀是正方形、長方形、三角形及菱形的載重力都很接近，只有圓形的載重力明顯下降。
- (2) 紙船的體積都是 200 立方公分，所以浮力是 200 公克，即使是載重最少的圓形紙船，也能承載約 213 公克的重量。我們推估紙船的載重能力除了受到「浮力」的影響外，在沉入水前，船身周圍的水因為「表面張力」的關係不會馬上淹進船裡，所以船的載重量大於 200 公克；而底面積是圓形時，周長約只有 35 公分，是所有形狀裡周長最小的，所以所受的表面張力較小，因此載重能力比其他船型略差。
- (3) 根據實驗結果，底面積為長方形紙船的載重力比其他形狀好，所以接下來的實驗都以長方體作為紙船的形狀。

研究三：不同船體比例對紙船載重能力的影響？

在體積相同，船底形狀也相似的情況下，不同長、寬、高的長方體紙船會有不一樣的載重能力嗎？以實驗三來探討不同船體比例對紙船載重能力的影響。

一、實驗步驟

- (1) 在西卡紙上畫出不同長、寬、高且體積為 200 立方公分的長方體紙船展開圖。
- (2) 剪好展開圖摺成立體紙船，用膠帶黏貼接合處，並檢查是否有縫隙。
- (3) 將紙船輕放於水槽中，再平均擺放 1 立方公分小積木，直到紙船沉入水中就停止測量，並將小積木與紙船的總重量記錄下來。
- (4) 重複上述步驟，測定三次 (A. B. C) 取平均值。

二、實驗流程






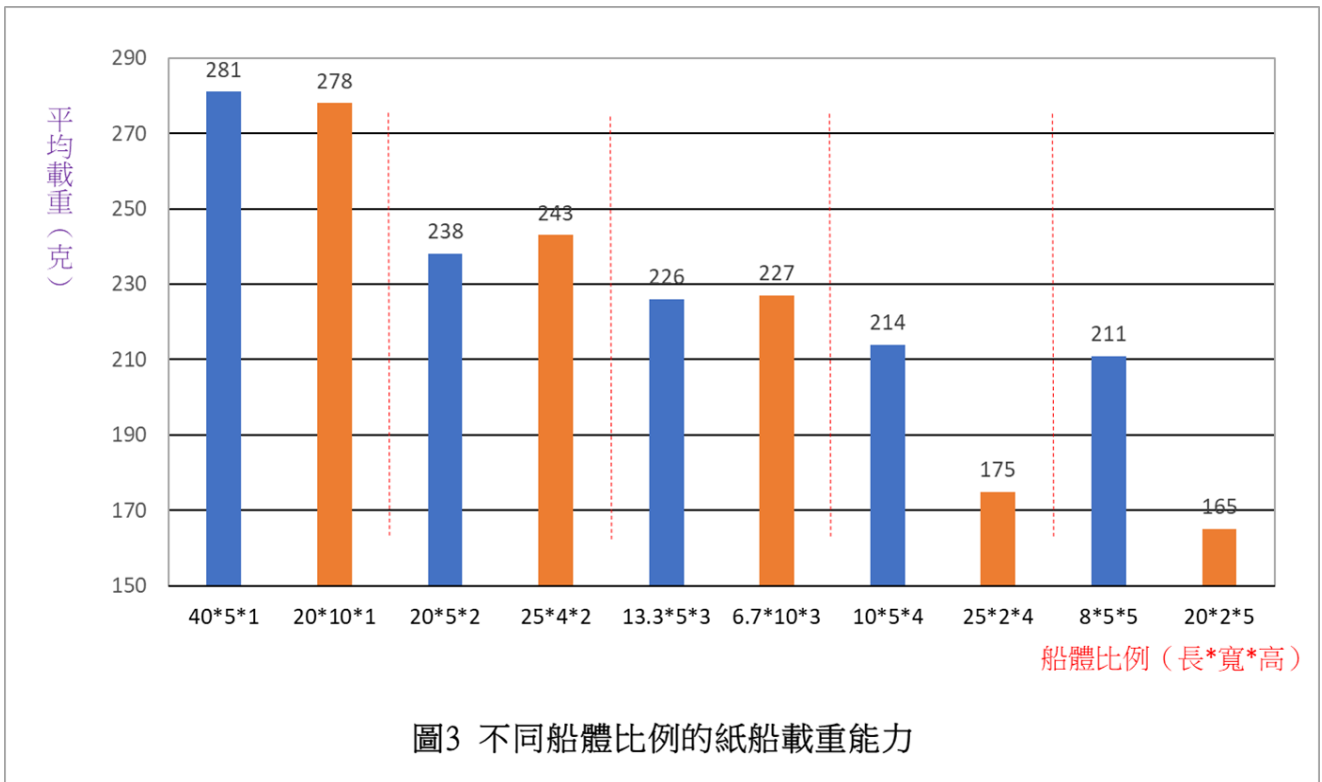
三、實驗結果

不同船體比例對紙船載重能力的影響實驗結果如下：

表 3 不同船體比例的紙船載重能力

長方船體比例 (長*寬*高)	船體圖片	A 載重(克)	B 載重(克)	C 載重(克)	平均載重(克)
40*5*1		276	288	278	281
20*10*1		280	276	279	278
20*5*2		250	233	232	238
25*4*2		244	236	250	243
13.3*5*3		242	215	220	226
10*6.7*3		216	198	238	227
10*5*4		220	211	211	214

長方船體比例 (長*寬*高)	船體圖片	A 載重(克)	B 載重(克)	C 載重(克)	平均載重(克)
25*2*4		182	164	178	175
8*5*5		207	211	214	211
20*2*5		161	166	168	165



四、實驗結果討論

- (1) 同一種高度，我們設計了「瘦長型」及「胖寬型」兩種不同的比例。我們發現船體的長、寬、高比例不同，載重能力有明顯差異。從圖 3 中，藍色長條圖代表「瘦長型」，橘色長條圖代表「胖寬型」，當紙船的體積相同，載重量由多到少都是高度 1 公分>2 公分>3 公分>4 公分>5 公分，也就是高 1 公分的紙船載重量最多，高 5 公分的紙船載重量最少。
- (2) 從表 3 可看出，當紙船寬度只有 2 公分時，載重量都不到 200 克，是因為底面積比例瘦長，當高度增加時，船身很容易重心不穩而翻船。
- (3) 紙船體積都是 200 立方公分時，底面積越小，船身與水接觸時所產生的「表面張力」也比較小，所以載重力較差；相反地，當底面積越大，船身與水接觸時所產生的「表面張力」也就越大，所以載重力明顯較佳。

研究四：不同塗料對紙船載重能力的影響？

在船體的長、寬、高大小都相同時，如果在船身外面、船底等會與水接觸的表面，塗上不同的塗料會影響紙船的載重能力嗎？以實驗四來比較不同塗料對紙船載重能力的影響。

一、實驗步驟

- (1) 在西卡紙上畫出長 20 公分、寬 5 公分、高 2 公分的長方體紙船的展開圖。
- (2) 剪好展開圖摺成立體紙船，用膠帶黏貼接合處，並檢查是否有縫隙。
- (3) 準備「白膠、保麗龍膠、凡士林、蠟油、指甲油、亮光漆、噴漆、油漆」等不同塗料，分別均勻地塗在船身及船底等會與水接觸的的表面。
- (4) 等塗料乾了以後，將紙船輕放於水槽中，再擺放 1 立方公分小積木，直到紙船沉入水中即停止測量，並將小積木與紙船的總重量記錄下來。
- (5) 重複上述步驟，測定三次 (A. B. C) 取平均值。

二、實驗流程

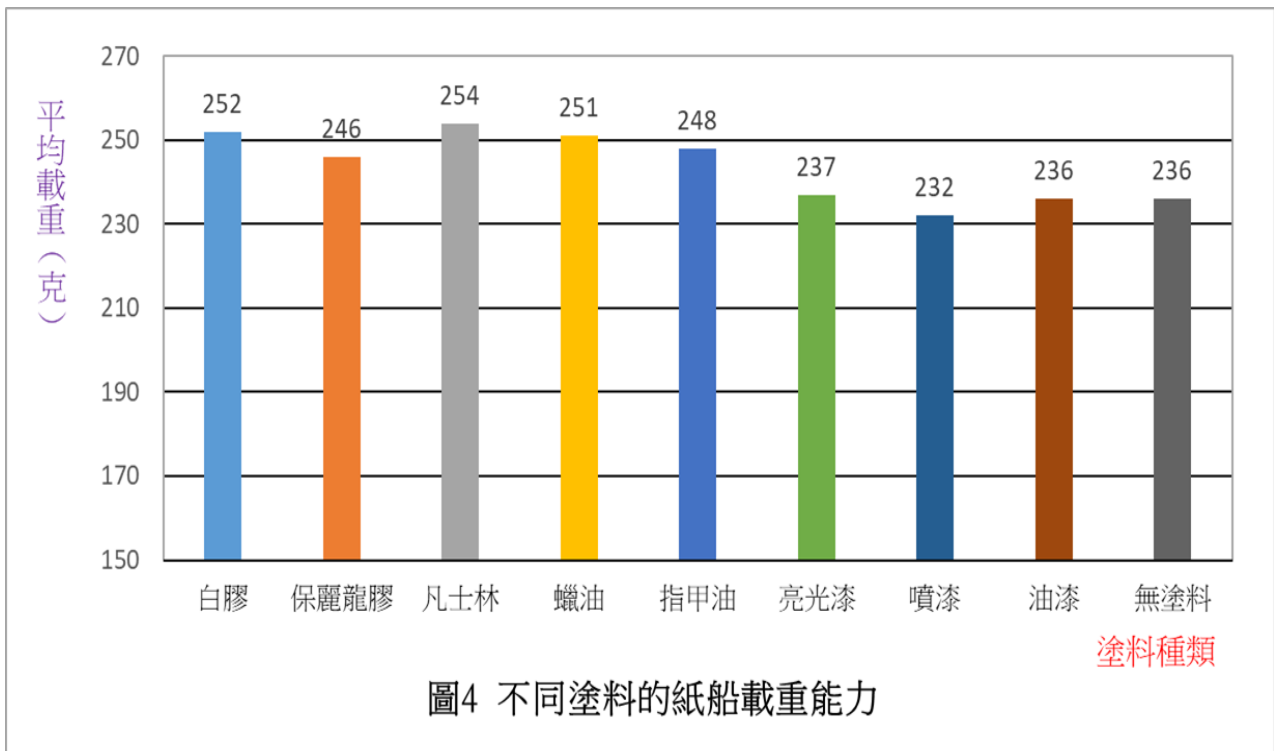


三、實驗結果

不同塗料對紙船載重能力影響的實驗結果如下：

表 4 不同塗料的紙船載重能力

塗料種類	A 載重(克)	B 載重(克)	C 載重(克)	平均載重(克)
白膠	252	250	255	252
保麗龍膠	242	246	250	246
凡士林	253	251	257	254
蠟油	246	255	252	251
指甲油	248	246	250	248
亮光漆	235	241	236	237
噴漆	230	234	232	232
油漆	238	237	234	236
無塗料	240	233	236	236



四、實驗結果討論

- (1) 我們發現在船身外表與船底塗上不同的塗料，載重能力略有差異。從表 4 中，以無塗料的紙船能載重 236 克為對照組，當船體都相同時，表面塗上「白膠、保麗龍膠、凡士林、蠟油、指甲油」等膠類及油類等塗料，紙船的載重都可以達到 246 克以上，載重能力略為增加，其中以凡士林的效果最好；而「亮光漆、噴漆、油漆」等漆類塗料的載重，和無塗料的沒有太大差異。
- (2) 無論有沒有塗料，紙船載重量都超過浮力的 200 公克，我們認為也是受到表面張力的影響。從結果來看，不同塗料的紙船，載重能力有些微的差距，塗上漆類的紙船在塗料風乾後，表面都平整光滑；而塗上膠類及油類的紙船在塗料風乾後，表面顯得有點凹凸不平整，我們推測這些不平整的表面讓紙船的表面張力略為增加，所以會比表面平滑的紙船多了一點載重力。

研究五：不同水溫變化對紙船載重能力的影響？

我們都知道，船隻在海上航行時，會進入不一樣溫度的海域，可能會經過溫暖的赤道，也可能會經過寒冷的北極，那船隻的載重力會受到水溫的影響嗎？如果將紙船放在不同溫度的水中，載重能力會一樣嗎？以實驗五來探討不同水溫變化對紙船載重能力的影響。

一、實驗步驟

- (1) 在西卡紙上畫出長 20 公分、寬 5 公分、高 2 公分的長方體紙船的展開圖。
- (2) 剪好展開圖摺成立體紙船，用膠帶黏貼接合處，並檢查是否有縫隙。
- (3) 利用溫度計，分別準備「0 度、4 度、10 度、30 度、50 度、70 度、90 度」等不同溫度的清水，將紙船輕放於水槽中，平均擺放 1 立方公分小積木，直到紙船沉入水中即停止測量，並將小積木與紙船的總重量記錄下來。
- (4) 重複上述步驟，測定三次 (A. B. C) 取平均值。

二、實驗流程

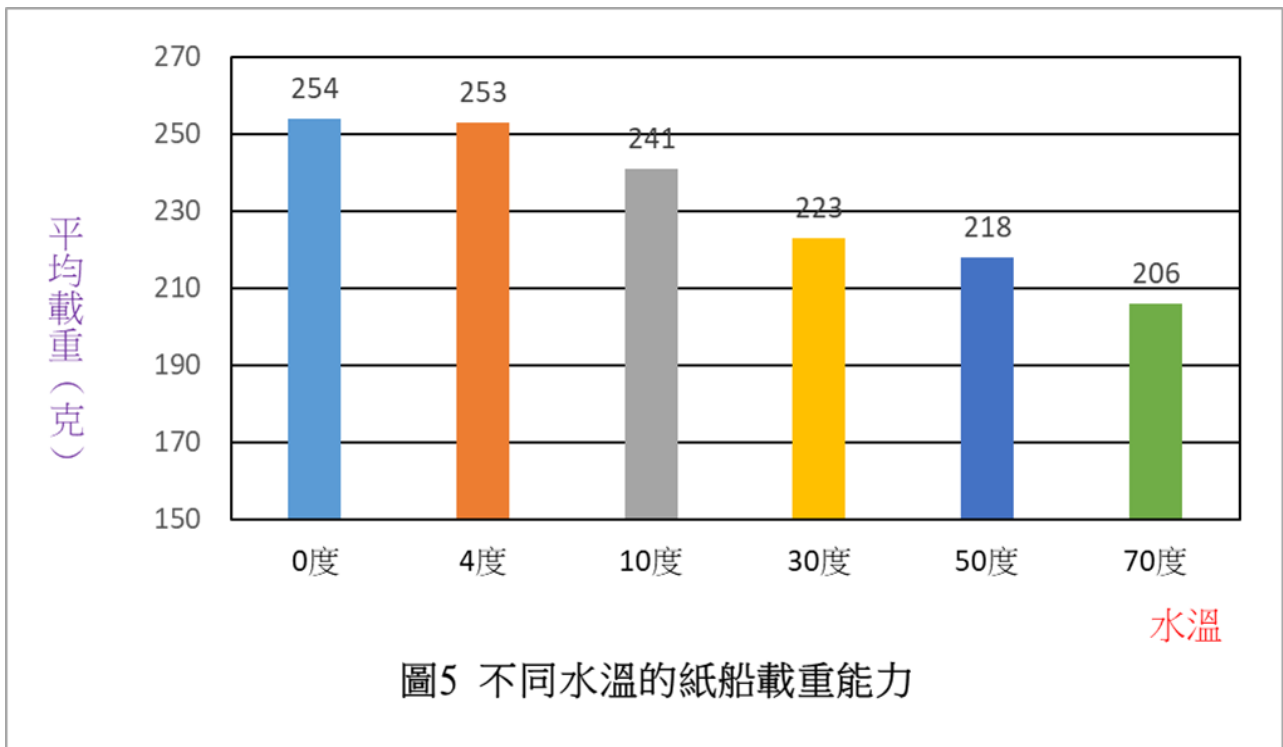


三、實驗結果

不同水溫變化對紙船載重能力的影響實驗結果如下：

表 5 不同水溫的紙船載重能力

清水溫度	A 載重(克)	B 載重(克)	C 載重(克)	平均載重(克)
0 度	247	247	267	254
4 度	248	254	257	253
10 度	239	242	241	241
30 度	220	229	220	223
50 度	211	223	219	218
70 度	194	217	207	206



四、實驗結果討論

- (1) 從表 5 中，我們發現不同水溫的紙船載重能力有明顯的差距，載重量由多到少依序是 0 度 \approx 4 度 > 10 度 > 30 度 > 50 度 > 70 度。
- (2) 紙船在不同水溫下載重量都超過浮力的 200 公克，可見也是受到表面張力的影響，而表面張力的大小會因為水溫的不同而改變，載重能力有明顯的差距。從圖 5 可看出，水溫越高，載重能力越差。根據我們查的資料，水溫升高使水分子動能增加，方向不固定，表面張力就變小，所以紙船的載重能力也下降；相反的，水溫降低使得表面張力變大，載重能力也變大。

研究六：比較不同溶液對紙船載重能力的影響？

我們知道當船隻的重量與其排開水重(浮力)達到平衡時，就能浮在水面上航行。如果水槽內的溶液不是清水，而是其他的溶液，紙船載重量會一樣嗎？以實驗六來比較不同溶液對紙船載重能力的影響。

一、實驗步驟

- (1) 在西卡紙上畫出長 20 公分、寬 5 公分、高 2 公分的長方體紙船展開圖。
- (2) 剪好展開圖摺成立體紙船，用膠帶黏貼接合處，並檢查是否有縫隙。
- (3) 準備「清水、糖水、鹽水、醋酸水、檸檬酸水、小蘇打水、石灰水、鮮奶、酒精、沙拉油」等不同水溶液，都調成重量百分濃度為 25% 的液體，將紙船輕放於水槽中，再平均擺放 1 立方公分小積木，直到紙船沉入水中即停止測量，並將小積木與紙船的總重量記錄下來。
- (4) 重複上述步驟，測定三次 (A. B. C) 取平均值。

二、實驗流程



三、實驗結果

不同溶液對紙船載重能力的影響實驗結果如下：

表 6 不同溶液的紙船載重能力

溶液種類	A 載重(克)	B 載重(克)	C 載重(克)	平均載重(克)
清水	252	248	233	244
糖水	249	238	251	246
鹽水	245	250	247	247
醋酸水	250	228	232	237
檸檬酸水	228	241	233	234
小蘇打水	241	245	243	243
石灰水	243	243	239	242
鮮奶	241	238	246	242
酒精	225	229	237	230
沙拉油	206	230	229	222

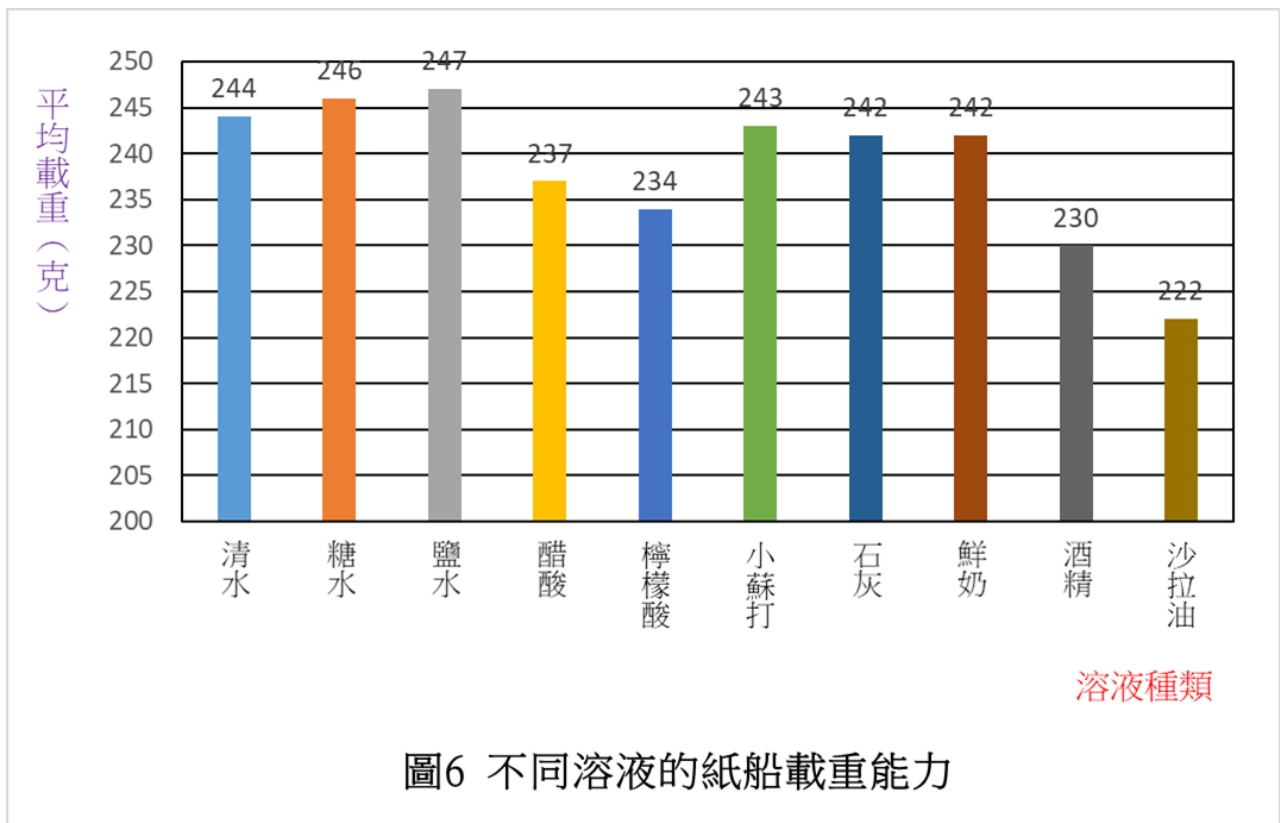


圖6 不同溶液的紙船載重能力

四、實驗結果討論

- (1) 本次實驗的 10 種溶液中，可分成中性的「清水、糖水、鹽水」；酸性的「醋酸、檸檬酸」；鹼性的「小蘇打、石灰」及其他類「鮮奶、酒精、沙拉油」等四種類別，若以清水的 244 公克載重力為對照組，可以發現糖水、鹽水、小蘇打水、石灰水及鮮奶等與清水沒有明顯的差異，而酸性的醋酸水及檸檬酸水載重力比較差，酒精及沙拉油的載重力又更低一些。
- (2) 當紙船放在「醋酸、檸檬酸」等酸性溶液時，載重力比鹼性溶液略差，可以發現紙船放在酸鹼性質不同的溶液中，載重能力略有差異。
- (3) 紙船除了自身的浮力外，船身周圍也受到溶液表面張力的影響。從實驗結果來看，酒精及沙拉油的載重力是測試溶液中最低的兩個，根據我們查的資料，酒精和沙拉油兩者的表面張力比水小，所以載重能力也就比較差。

伍、結論與建議

一、探討不同紙張種類對紙船載重能力的影響。

(一)測量的九種紙材中，以牛皮紙的載重能力最好，厚紙板次之。

(二)我們的實驗以西卡紙作為實驗紙材，是因為它的孔隙小且表面光滑，紙船不易受到毛細現象的影響而吸水增加重量。

二、探討不同船底形狀對紙船載重能力的影響。

(一)當船底形狀是正方形、長方形、三角形及菱形時，載重能力都很接近，只有底面是圓形時，載重力明顯下降。

(二)除了「浮力」以外，紙船的載重力也受到船身周圍溶液「表面張力」的影響，當紙船底是圓形時，它的周長最小，所以船身所受的表面張力較小，因此載重能力比其他船型差。

三、比較不同船體比例對紙船載重能力的影響。

(一)當紙船的體積都相同，底面寬大且船身低的船型載重力較好；而底面瘦長且船身高的船型載重力較差，可見船體高度對紙船載重能力的影響很大。

(二)當紙船的體積都相同，船身越高，底面積就會越小，與水接觸形成的「表面張力」也較小，載重能力明顯比較差。

四、比較不同塗料對紙船載重能力的影響。

(一)紙船塗上膠類及油類等塗料，載重能力略為增加；而漆類塗料則沒有明顯差異。

(二)塗上膠類及油類的紙船，不平整的表面讓紙船的表面張力略為增加，也就比平滑表面的紙船多了一點載重力。

五、探討不同水溫變化對紙船載重能力的影響。

(一)紙船在低水溫的載重能力比高水溫好。

(二)當水溫升高，表面張力變小，紙船的載重能力就會下降；相反的，水溫降低，表面張力變大，載重能力也變大。

六、比較不同溶液對紙船載重能力的影響。

(一)紙船在中性及鹼性溶液的載重能力與清水比較，沒有明顯差異。

(二)紙船放在酸性溶液的載重力比鹼性溶液稍差。

(三)酒精和沙拉油的表面張力比較小，所以紙船在這兩種溶液中的載重力比較差。

綜合上面研究發現，影響紙船載重能力的因素，除了紙船的材質種類外，「船底形狀」、「船體比例」、「船身表面塗料」都會略微影響載重能力。在溶液方面，「水溫」的影響最明顯，水溫越低，載重能力越好；在水中加入酒精、沙拉油等液體，會使載重能力下降。而讓紙船不沉入水的原因除了自身的浮力外，溶液的表面張力也是影響的因素之一。

陸、未來研究方向

- 一、紙船的載重能力與紙材特性、船身外型有相關，我們的研究只做九種不同紙材、船底形狀、船體比例、船身表面塗料等進行研究，未來可以再針對紙船做不一樣的改變，例如：增加不同材質或特殊的船體造型等，觀察對紙船載重能力的影響。
- 二、紙船的載重能力與溶液表面張力也有很大的關係，我們的實驗僅改變水的溫度及溶液種類，然而，將紙船放在不同水量的容器中載重力會一樣嗎？不同濃度的溶液對紙船的載重能力會有影響嗎？都是未來研究可探討的方向。

柒、參考資料

- 一、吳尹傑、吳振華、洪鶴祐、林達（2004）·被忽略的神秘力量—表面張力·臺灣科教館：第44屆中小學科學展覽會。
- 二、臺北市第50屆中小學科學展覽會（2017）·什麼形狀的船載重最多呢？·取自 http://science.hsjh.chc.edu.tw/upload_works/108/ceaf9c4bc35168b52b1fb68c901e8a20.pdf。
- 三、彰化縣第59屆中小學科學展覽會（2019）·水溶液上的載具－影響紙船載重因素之探討·取自 http://science.hsjh.chc.edu.tw/upload_works/108/ceaf9c4bc35168b52b1fb68c901e8a20.pdf。
- 四、邵國志（2001）·肥皂船-表面張力的探討·屏東教大科學教育作品集33,17-26
- 五、陳秋民等（2020）·有趣的力-浮力·載於四下自然與生活科技（14-19頁）·臺南市：翰林出版社。
- 六、楊宗賢（2020）·浮力·阿賢老師教學網·取自 <https://sites.google.com/a/ntjh.ntct.edu.tw/phys-chem-teaching/001ke-wen-nei-rong-yao-dian/02guo-er-xia/023-6-5fu-li>。
- 七、周榮華、邱世彬（2007）·大王蓮靠浮力載重嗎·科技大觀園·取自 <https://scitechvista.nat.gov.tw/c/s9aq.htm>。