

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

030113

葉落知多少—葉子掉落樣態之分析與探討

學校名稱：金門縣立金寧國民中學

作者： 國三 何柏廷 國三 李晏婷 國三 周鈺紫	指導老師： 陳正宏 唐啟惠
---	-----------------------------

關鍵詞：旋轉、轉動慣量、葉子

摘要

本研究在探討影響葉子掉落樣態的因素，以不同條件的紙片模擬自然界的各種葉子，並以不同的擺放方式模擬葉子掉落瞬間可能的角度，將每次實驗過程錄影後，格放錄影畫面進行分析與量測。研究結果發現紙片的長寬比、質量以及擺放方式都會影響紙片掉落的樣態，並能從本研究的結果，推論至真實葉子掉落樣態的預測。

壹、研究動機

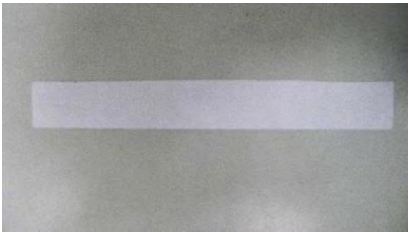
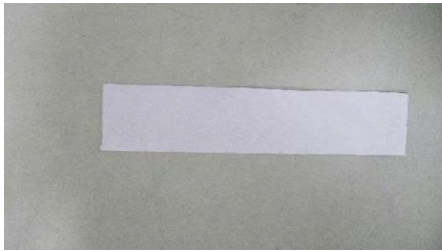
在我們教室外，有一片竹林，當葉子枯萎被風吹落時，我們被它不斷旋轉的樣子吸引，我們很好奇為什麼竹葉會這樣子落下來？其他的葉子會這樣子掉落嗎？於是我們開始探討這個實驗。由於葉子的質量不固定，而且會因時間而散失水分影響實驗數據，幾次嘗試失敗後我們決定改用不同的紙片代替葉子進行實驗。






貳、研究目的

- 一、探討紙片的擺放方式如何影響掉落的樣態。
- 二、探討紙片的長寬比如何影響紙片掉落的樣態。
- 三、探討紙片的重量如何影響紙片掉落的樣態。

參、實驗器材

影印 白紙 2×15		影印 白紙 2.5×12	
------------------	---	--------------------	--

影印 白紙 3×10		影印 白紙 6×5	
象牙 卡紙 2×15		相機、腳架、電子天平	

肆、研究設計與步驟

一、研究設計

我們觀察各種葉子的掉落，認為可能會影響葉子掉落樣態的原因大致上有長寬比例、質量以及掉落時與地面的角度等因素。我們將紙片面積固定為 30cm^2 ，以不同長寬比進行實驗，並且改變紙片釋放時擺放的方式、更換不同的紙張(質量不同)來針對不同的變因作探討。在每一次實驗過程中以相機將紙片掉落的畫面錄下來，之後利用每格錄影畫面 $1/30$ 秒的特性，以及事先佈置在畫面中的高度表尺，格放計算紙片掉落時旋轉的圈數、時間、高度等數據，以便仔細觀察每一次實驗時葉子掉落的樣態，並且能夠計算掉落時紙片的自旋旋轉速度(角速度)，以及掉落的平均速度。

二、實驗步驟

(一)紙片不同擺放方式掉落樣態的探討

- 1.將影印紙裁剪成寬 2cm、長 15cm 的大小。
- 2.將紙片以短軸垂直地面的方式釋放，用相機記錄過程。
- 3.重覆步驟 2 十次。
- 4.回放錄影畫面觀察並記錄結果。
- 5.將紙片改以水平放置的方式釋放，重覆步驟 2~4。
- 6.將紙片改以長軸垂直地面的方式釋放，重覆步驟 2~4。

(二)不同長寬比的紙片掉落樣態的探討

- 1.將影印紙裁剪成寬 2.5cm、長 12cm 的紙片。
- 2.將紙片以水平放置的方式釋放，用相機記錄過程。



- 3.重覆步驟 2 十次。
- 4.回放錄影畫面觀察並記錄結果。
- 5.將紙片裁剪成 3×10cm 的大小，重覆步驟 2~4。
- 6.將紙片裁剪成 5×6cm 的大小,重覆步驟 2~4。

(三)不同質量的紙片掉落樣態的探討

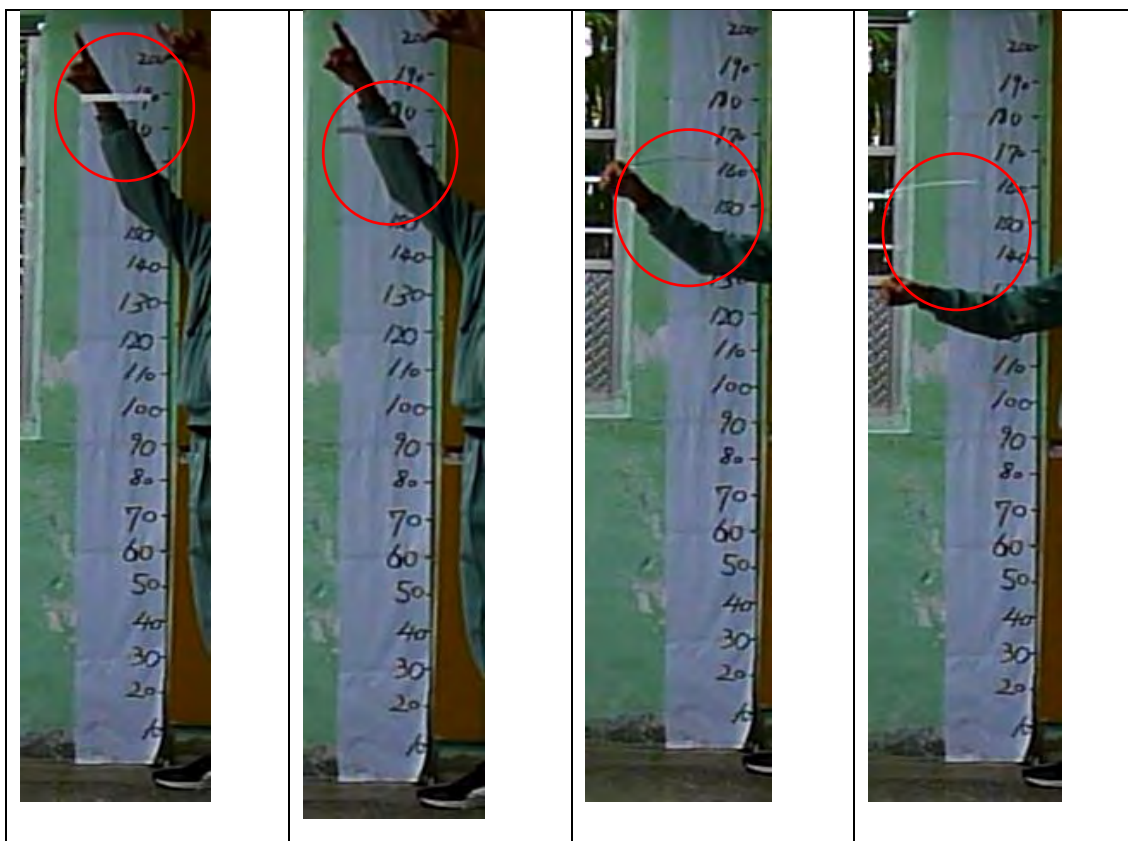
- 1.將象牙卡紙裁剪成寬 2cm、長 15cm 的紙片。
- 2.將紙片以水平放置的方式釋放，用相機記錄過程。
- 3.重覆步驟 2 十次。
- 4.回放錄影畫面觀察並記錄結果。

備註：因空氣溼度可能會影響本實驗的結果，每次實驗前均需紀錄當日溼度，操作時的溼度大致在 50%~70%之間。紙片的質量影印紙約 $0.223\text{g}\pm 3\%$ 、象牙卡紙約為 $0.496\text{g}\pm 5\%$ 的範圍內。

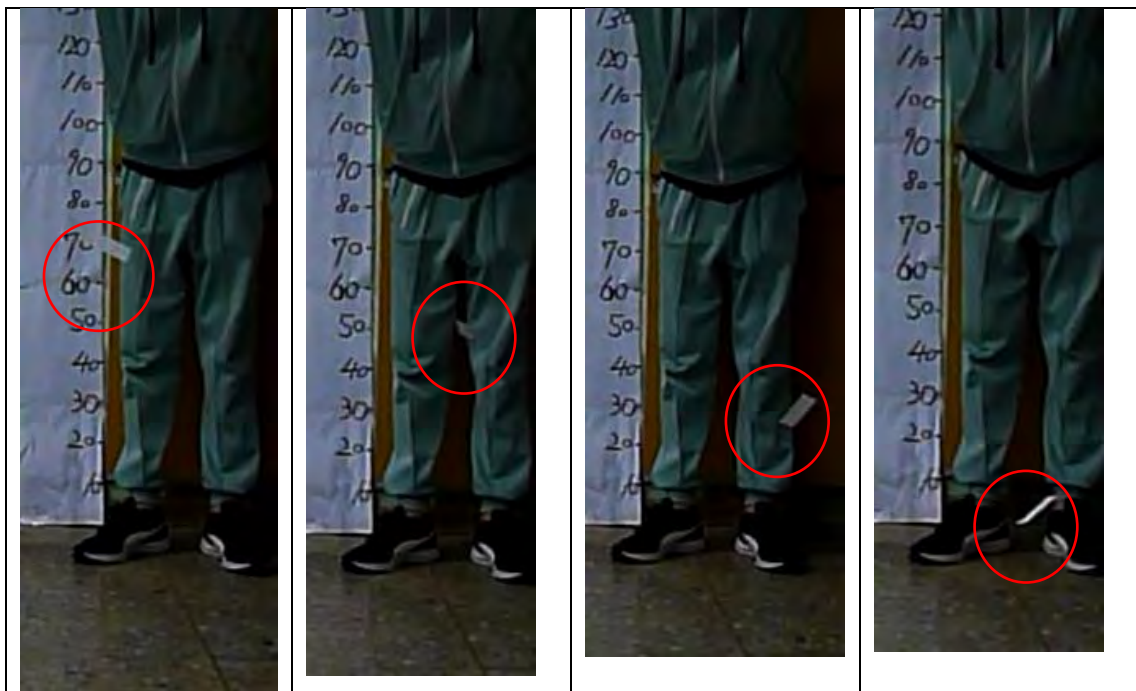
伍、研究結果

一、我們分析了將近上百個錄影畫面，發現紙片掉落時的樣態很複雜，我們將這些樣態大致區分為四種，分別說明如下：

(一)自旋：自旋是紙片以長軸為自轉軸旋轉，在錄影的格放畫面中會看到一亮一暗交錯出現，自旋的樣態也是引發我們探討這個實驗的原因。



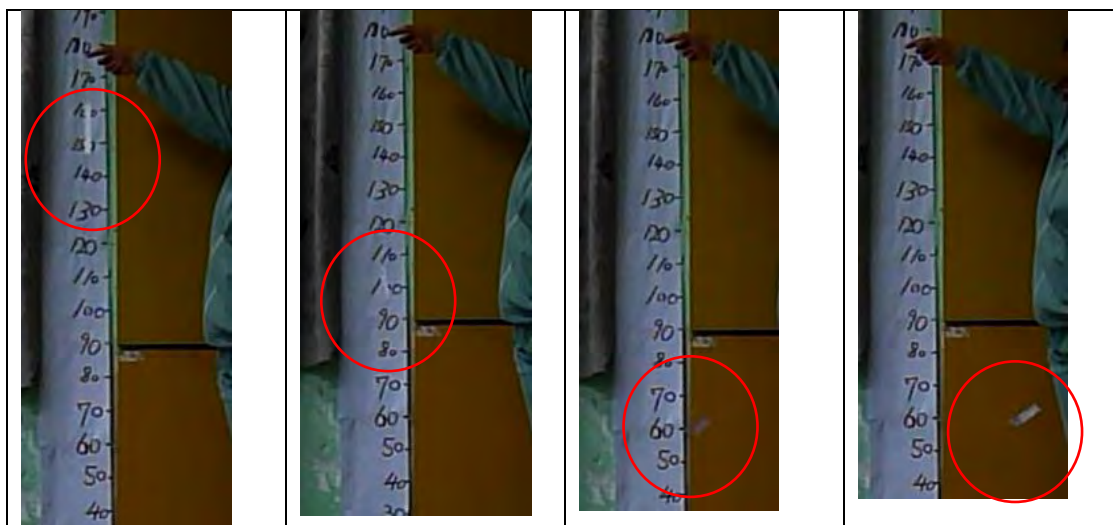
(二)進動現象：進動是自轉物體的自轉軸又繞著另一軸旋轉的現象。在錄影的格放畫面中會看到紙片在自旋的同時又繞著一條軸線公轉，且當自轉軸(通常是長軸)傾斜角度愈大，進動的旋轉半徑愈小同時掉落速度會加快。



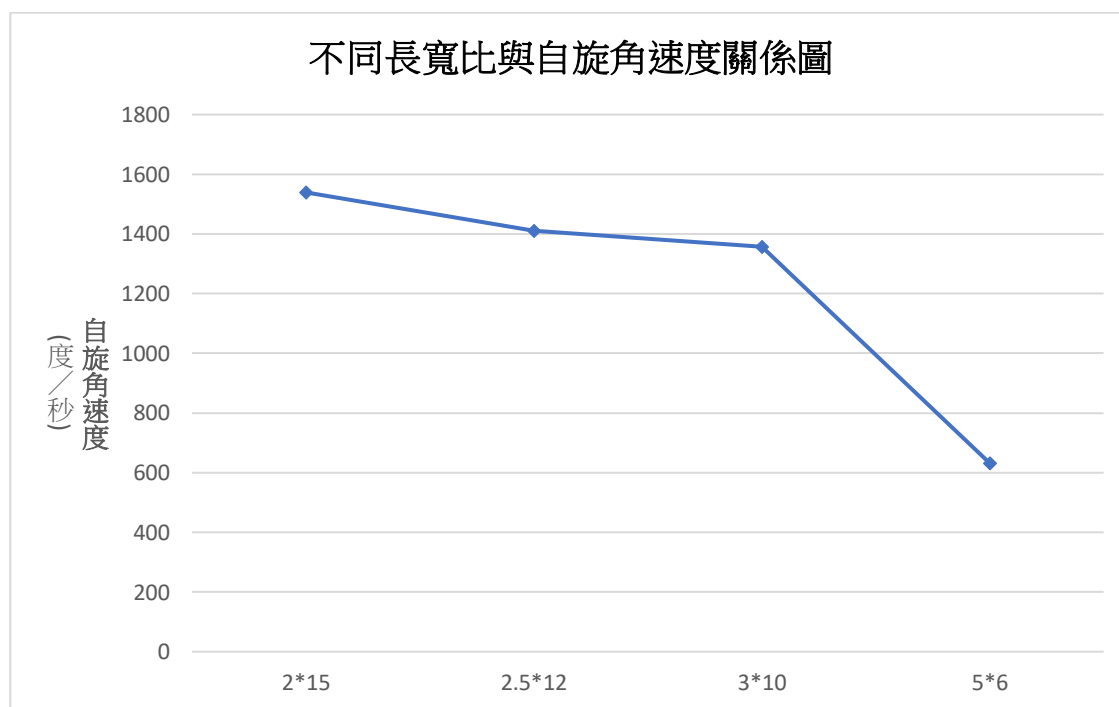
(三)不規則擺盪：通常是紙片水平擺放的實驗中出現，紙片會以左右晃動的方式掉落。擺盪時間不一，一旦某次擺盪劇烈使得紙片翻轉，之後就會開始以自旋的樣態掉落。



(四)最速落徑：又稱最速降線，通常是紙片以長軸垂直地面擺放的實驗中出現。紙片會先以自由落體快速下降一段距離後向左右偏向，之後因紙片呈現水平狀態而可能以自旋或擺盪的樣態繼續掉落。

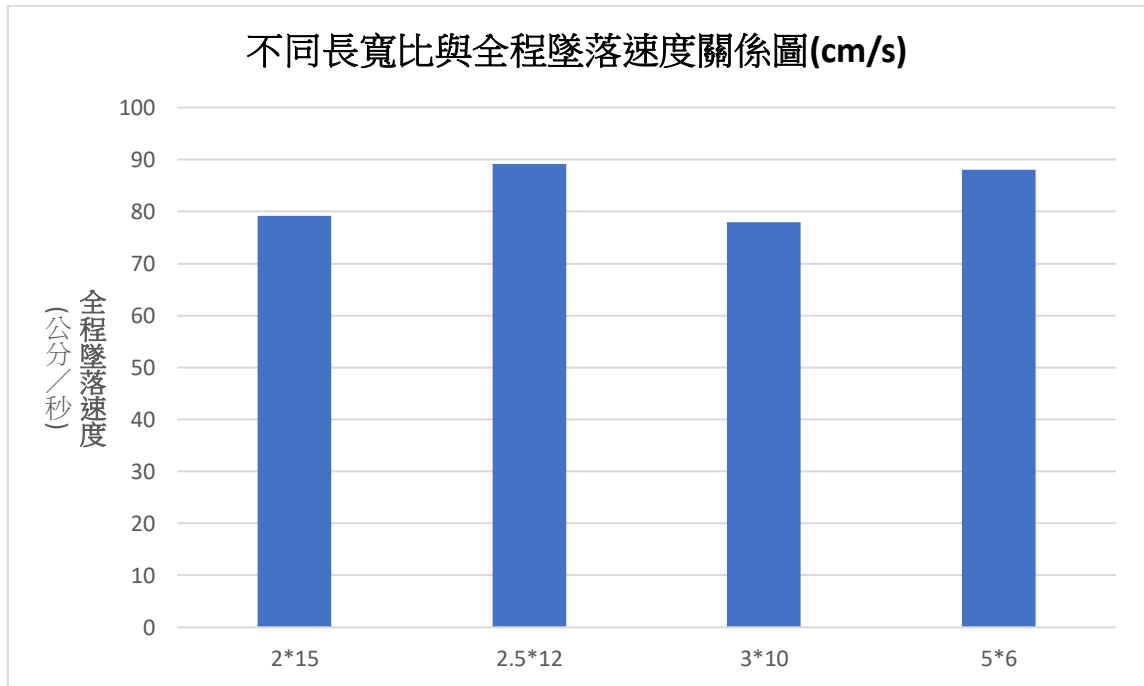


二、以不同長寬比為操縱變因探討自旋角速度的差別：



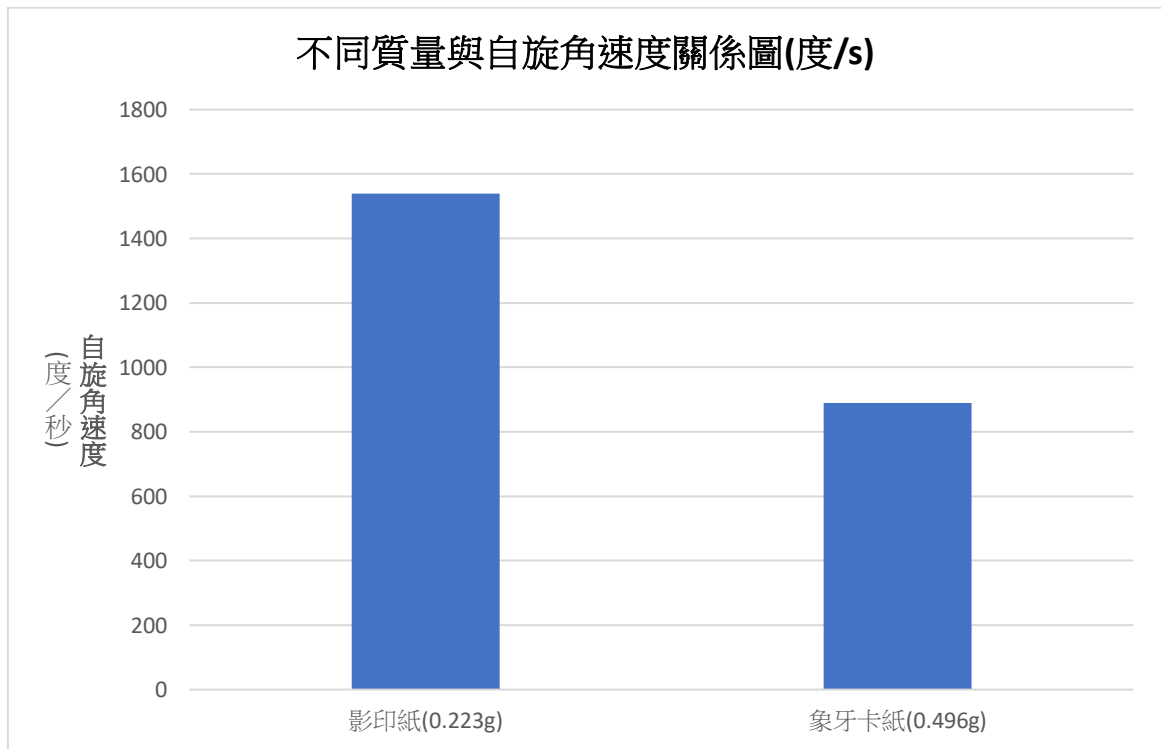
由上圖可知，長寬比會影響自旋角速度。長、寬越接近，自旋角速度越慢。

三、以不同長寬比為操縱變因探討全程墜落速度的差別：



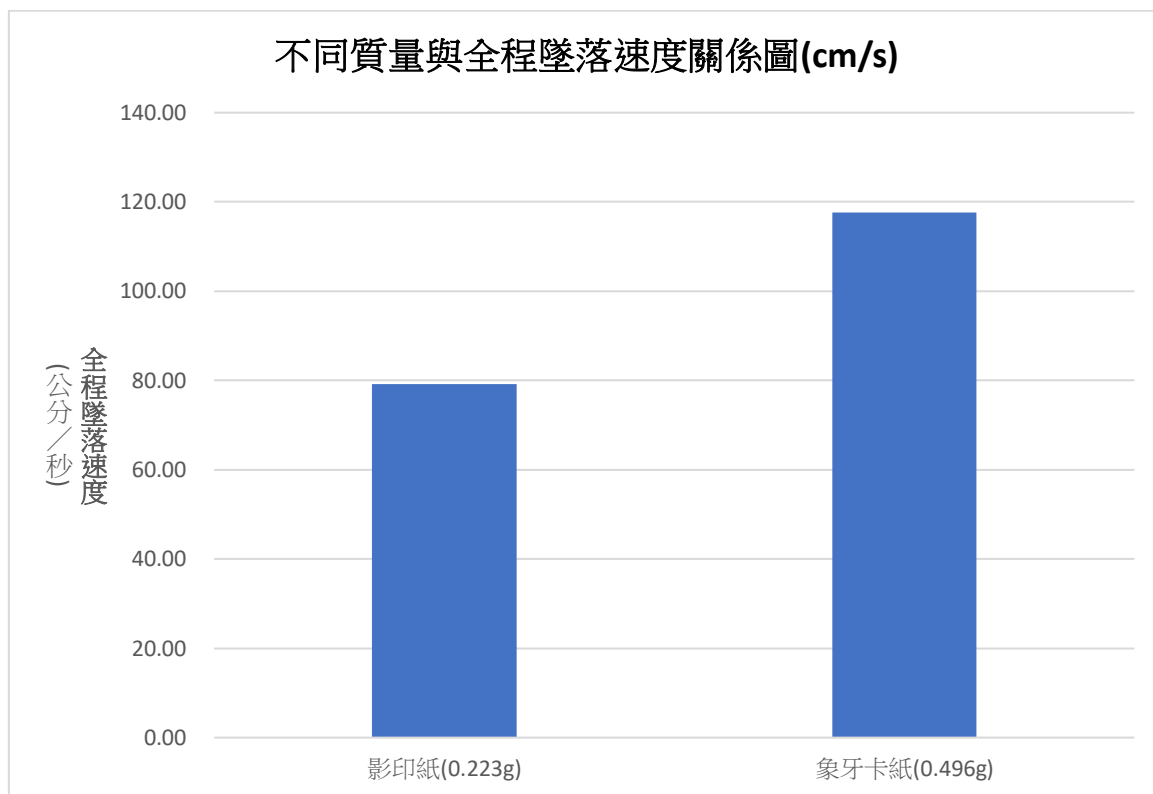
由上圖可知，長寬比對全程墜落速度的影響並不明顯。

四、以不同質量為操縱變因探討自旋角速度的差別：



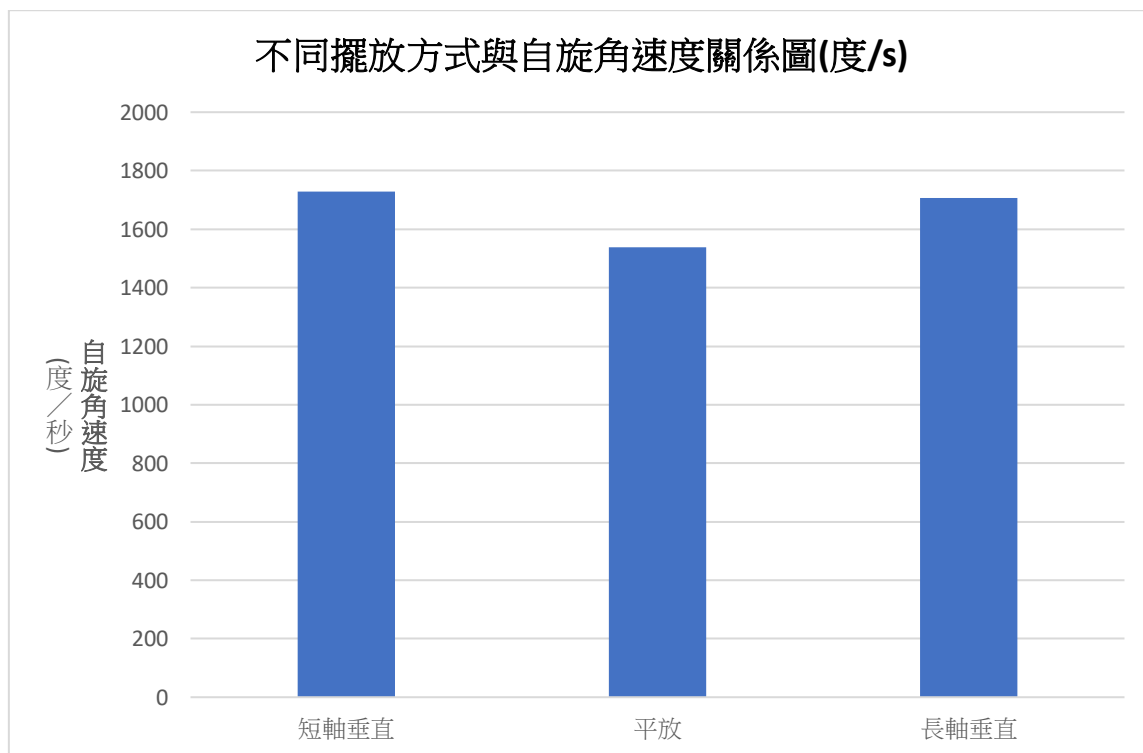
由上圖可知，質量會影響自旋角速度的快慢，而質量越大，角速度則越慢。

五、以不同質量為操縱變因探討全程墜落速度的差別：



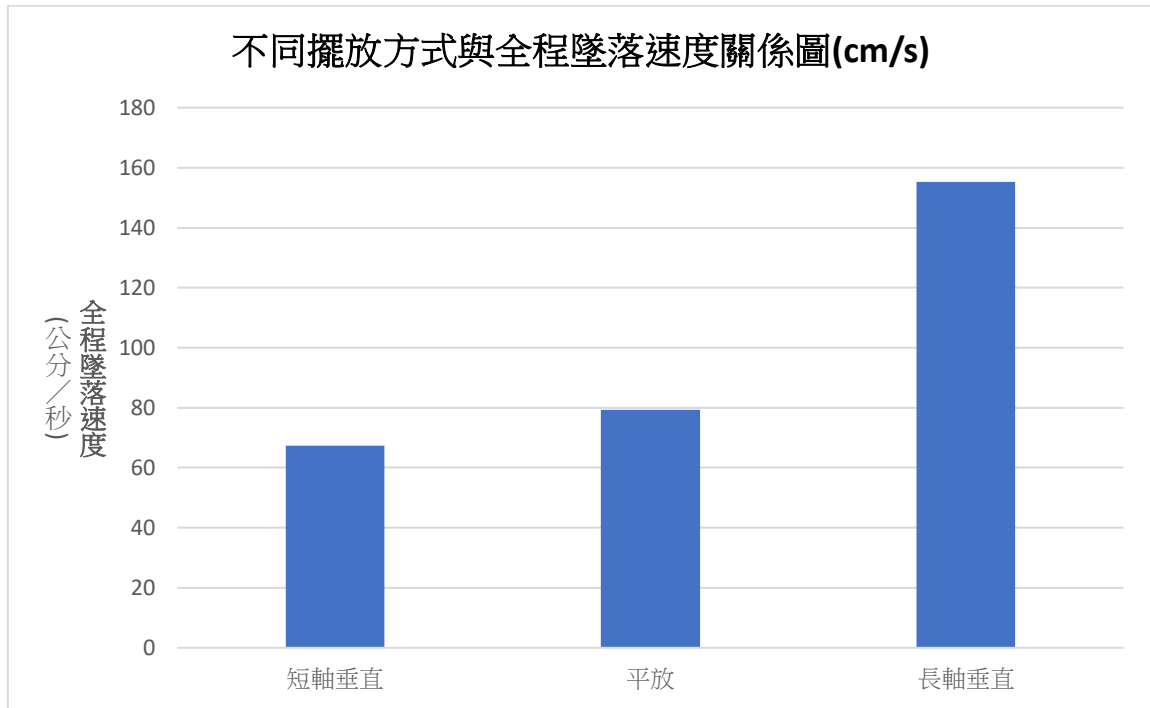
由上圖可知，質量會影響全程墜落速度的快慢，質量越大，全程墜落速度則越快。

六、以不同擺放方式為操縱變因探討自旋角速度的差別：



由上圖可知，改變擺放方式對於自旋角速度並沒有太大的影響。

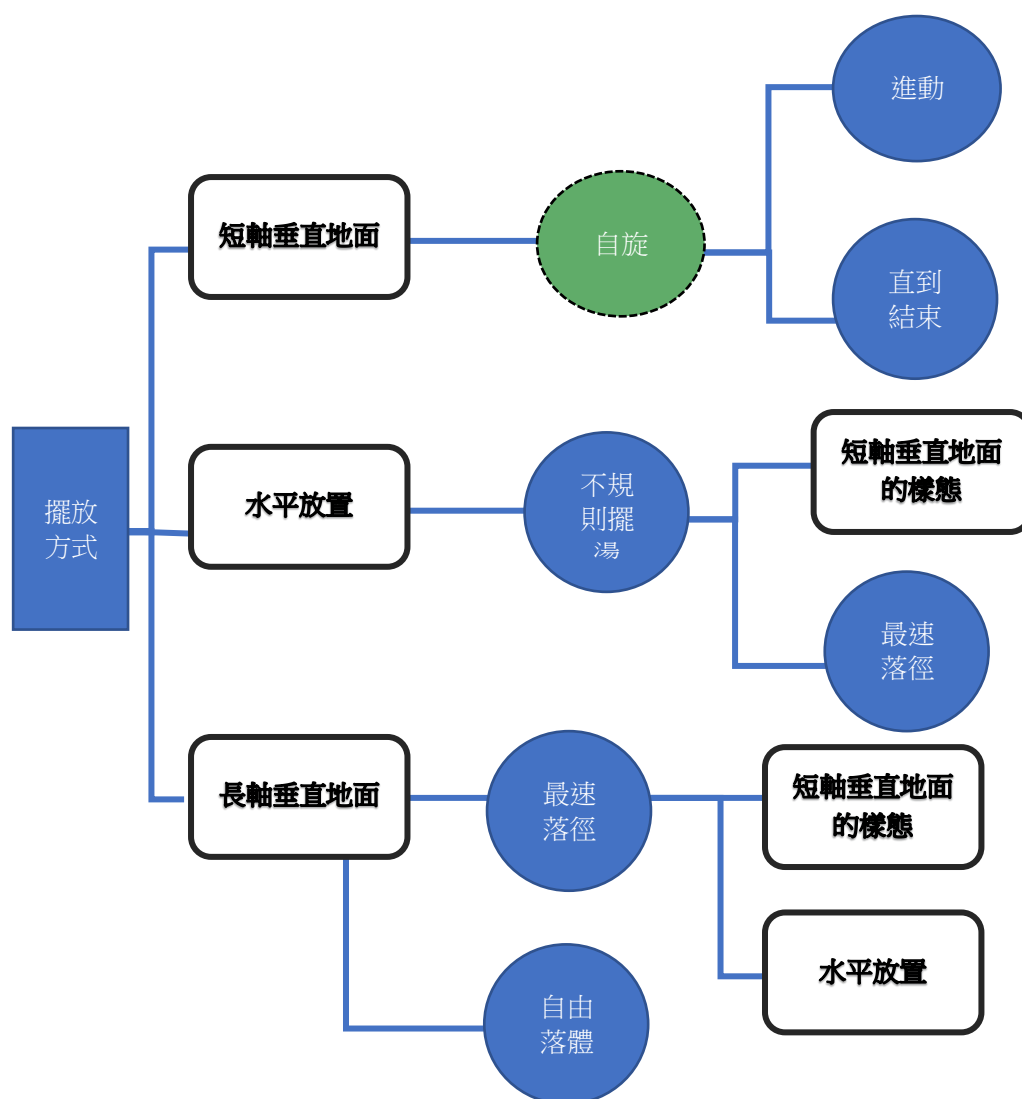
七、以不同擺放方式為操縱變因探討全程墜落速度的差別：



由上圖可知，長軸垂直地面的全程墜落速度明顯較快，而其餘兩者並沒有太大差距。

陸、討論

一、觀察每次錄影畫面紙片的掉落樣態，我們歸納出各種擺放方式下，紙片掉落過程中可能的掉落樣態及出現順序，如下圖：



(一)、以短軸垂直地面釋放紙片時，紙片會立刻以長軸為自轉軸進入自旋狀態(短軸方向旋轉)，當旋轉軸稍微傾斜時，紙片就會開始進動狀態，在自旋同時整張紙片也繞著一條垂直地面的軸線旋轉，隨著自轉軸傾角增加，旋轉的半徑會縮小掉落速度會加快，極少數實驗中紙片的自轉軸沒有傾斜，一直以自旋的方式到結束。

(二)、以水平放置時，釋放的一開始紙片會先左右不規則擺盪，若擺盪過程中的某一瞬間短軸垂直地面，則會進入短軸垂直地面的掉落樣態；若是擺盪至長軸垂直地面，就會以最速落徑的方式掉落(機會極少)。

(三) 以長軸垂直地面釋放紙片時，會先以自由落體的方式掉落，但因紙片非剛體，掉落過程一有彎折就會使紙片受力轉向，長軸會從原來的垂直地面快速成平行地面狀態，此時依短軸是否垂直地面而接續不同的掉落樣態。僅有一次紙片是直接以自由落體掉

落至地面。

- 二、水平放置時，會先不規則擺盪，因為在這個階段合力矩處於不穩定狀態。合力矩不穩定是因為紙片同時受到多個力的作用，包括重力(向下)、浮力(向上)、風阻(向上)，在多力作用下形成不穩定的合力矩，使得紙片處於旋轉方向不確定的擺盪狀態。
- 三、在重力作用且忽略摩擦力及各種阻力的情況下，直立放是 3 種擺放方式中阻力最小的，沒有不穩定形成的力矩，符合最速落徑的條件，直立放時，會先滑落至水平再自轉或進動。
- 四、我們將紙片定義出長短軸，紙片受到重力(地心引力)有力矩時，為了保持平衡，紙片自轉，已能造成最少能耗轉動，轉動慣量較小的長軸，其轉動慣量會大於長軸當自轉軸的轉動慣量，所以，自轉時邊常較長的轉動慣量大，不易轉動，因此我們在實驗過程中，紙片自旋都是短軸轉動(以長軸作為自轉軸)，只有 6x5 的紙片的自旋樣態較少出現。
- 五、實驗結果發現，長寬比愈小時，短軸自旋的角速度愈小。因為我們使用面積相同的紙片，當長寬比愈小時，紙片寬度愈大，此時紙片的轉動慣量增加。由轉動慣量的定義 $I=mr^2$ 可知，轉動慣量與旋轉半徑的平方成正比，而當轉動慣量增加時，會較不易轉動。由 $v=\omega r$ 和 $k=\frac{1}{2}mv^2$ 得知， $k=\frac{1}{2}mr^2\omega^2$ ， mr^2 定義為 I ，由以上得知， I 和 ω 成反比，所以轉動慣量越大，角速度越小。
- 六、由研究結果中可發現，相同條件下，象牙卡紙掉落的全程平均速度會大於影印紙，這是因為象牙卡紙比影印紙的擺盪時間更長的關係。

柒、結論與心得

- 一、紙片掉落的樣態主要受到長寬比、擺放方式、質量的影響。
- 二、不同長寬比會影響紙片自旋的角速度大小；當長寬比很接近時紙片不容易有穩定的自旋樣態，大多是不規則的擺盪翻轉。
- 三、紙片的擺放方式會決定釋放瞬間的掉落樣態。
- 四、紙片的質量主要影響掉落速度，也會使得紙片較不易自旋。
- 五、本實驗的分析探討對自然界的葉片掉落有不錯的預測效果。我們可以知道教室外的竹葉會不斷旋轉是因為它的長寬比懸殊，在短軸方向容易自旋；日本櫻花因為它的長寬比接近且花瓣輕薄，造成它不規則的掉落樣態，而有片片飛舞的迷人效果。

捌、參考資料

康軒版國中自然與生活科技第五冊第 3 章「功與能」

【評語】 030113

實驗的變因分析與探討很清楚，利用模型試驗可使控制變因做得更好。雖然描述狀態很清楚，但如果能數量化數據以圖表分析，會更有價值。

壹、研究動機

我們好奇為什麼竹葉會如此落下來？其他的葉子會這樣子掉落嗎？



貳、研究設計

將紙片面積固定為 30cm^2 ，以不同長寬比進行實驗，並且改變紙片釋放時擺放的方式、更換不同的紙張來針對不同的變因作探討。在每一次實驗過程中以相機將紙片掉落的畫面錄下來，之後利用每格錄影畫面 $\frac{1}{30}$ 秒的特性，以及事先佈置在畫面中的高度表尺，格放計算紙片掉落時旋轉的圈數、時間、高度等數據。接著採集面積約為 30cm^2 的葉子，將紙片剪成與葉子的比例、形狀相同，進行實驗。

參、實驗步驟

一、紙片不同擺放方式掉落樣態的探討

- (一) 將影印紙裁剪成 2×15 的大小。
- (二) 將紙片以平放、短軸垂直地面、長軸垂直地面的方式釋放，用相機記錄過程。
- (三) 重覆步驟(二)各十次。
- (四) 回放錄影畫面觀察並記錄結果。

二、不同長寬比的紙片掉落樣態的探討

- (一) 將影印紙裁剪成 3×10 、 2.5×12 、 5×6 的紙片。
- (二) 將紙片以水平放置的方式釋放，用相機記錄過程。
- (三) 重覆步驟(二)十次。
- (四) 回放錄影畫面觀察並記錄結果。

三、不同質量的紙片掉落樣態的探討

- (一) 將象牙卡紙裁剪成 2×15 的紙片。
- (二) 將紙片以水平放置的方式釋放，用相機記錄過程。
- (三) 重覆步驟(二)十次。
- (四) 回放錄影畫面觀察並記錄結果。

四、仿造葉子的紙片掉落樣態的探討

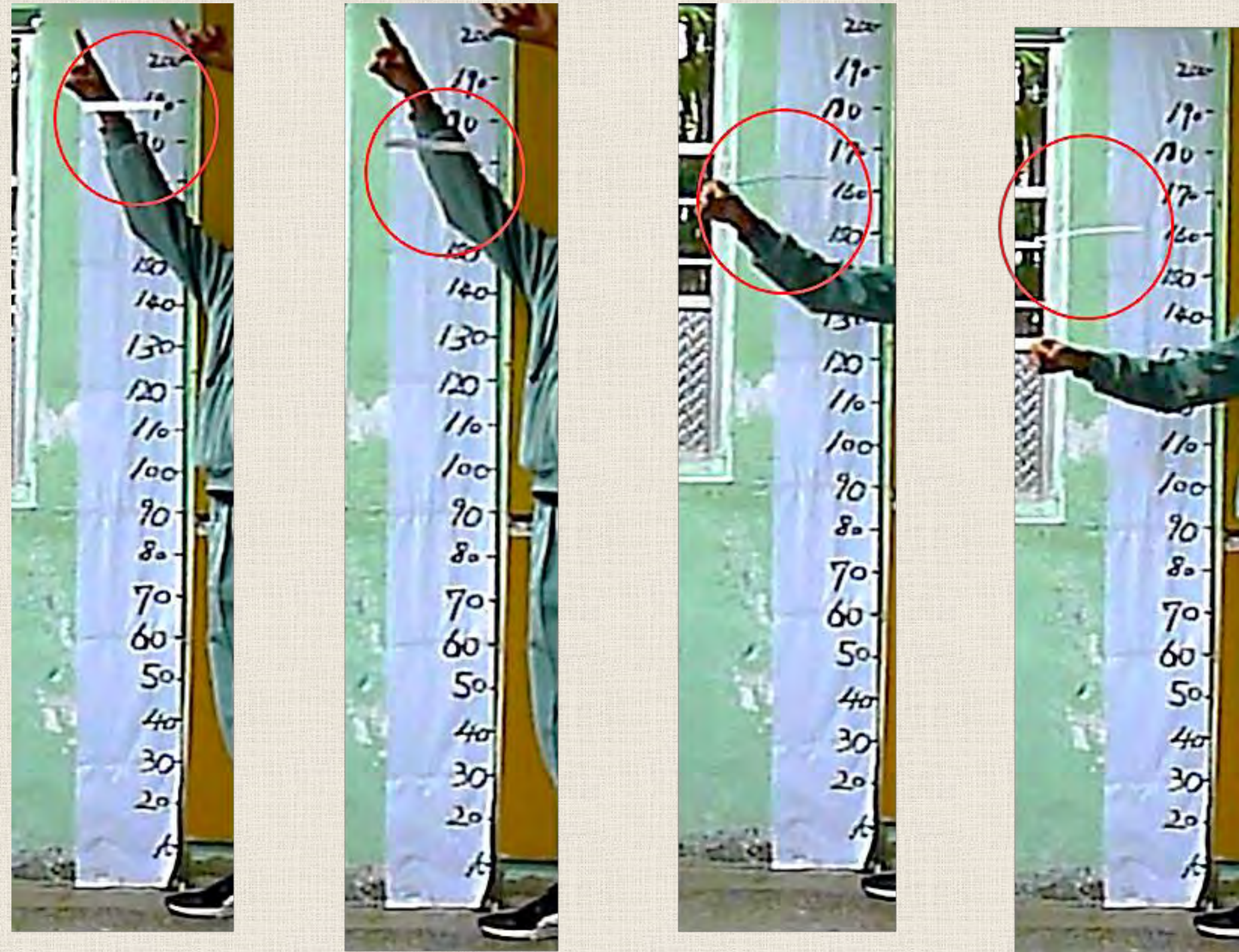
- (一) 重複上述一、二、三。

備註：因空氣溼度可能會影響本實驗的結果，每次實驗前均需紀錄當日溼度，操作時的溼度大致在 $50\% \sim 70\%$ 之間。紙片的質量平均值 $\pm 5\%$ 的範圍內。

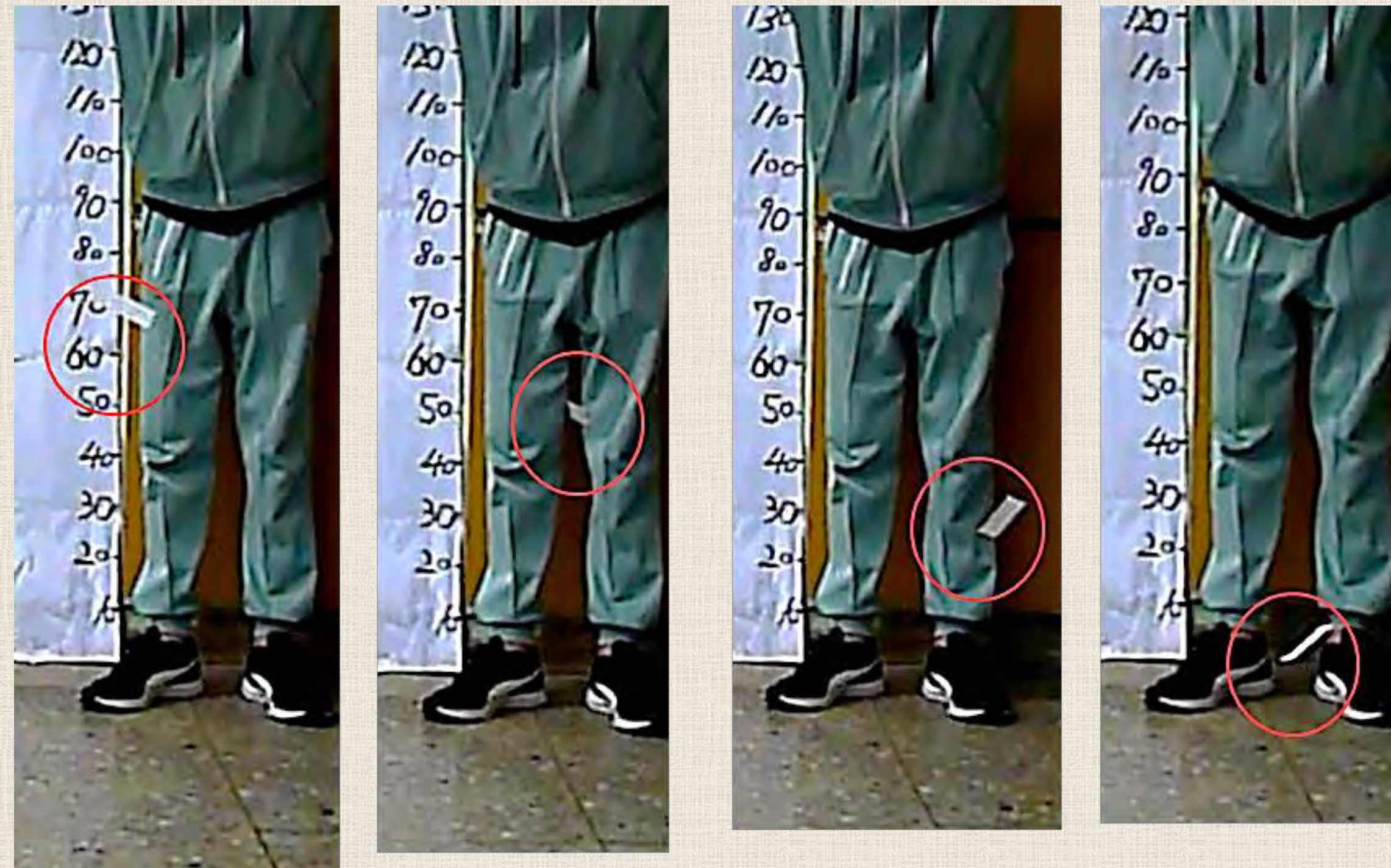
肆、研究結果

一、擺盪方式

(一) 自旋：自旋是紙片以長軸為自轉軸旋轉，在錄影的格放畫面中會看到一亮一暗交錯出現，自旋的樣態也是引發我們探討這個實驗的原因。



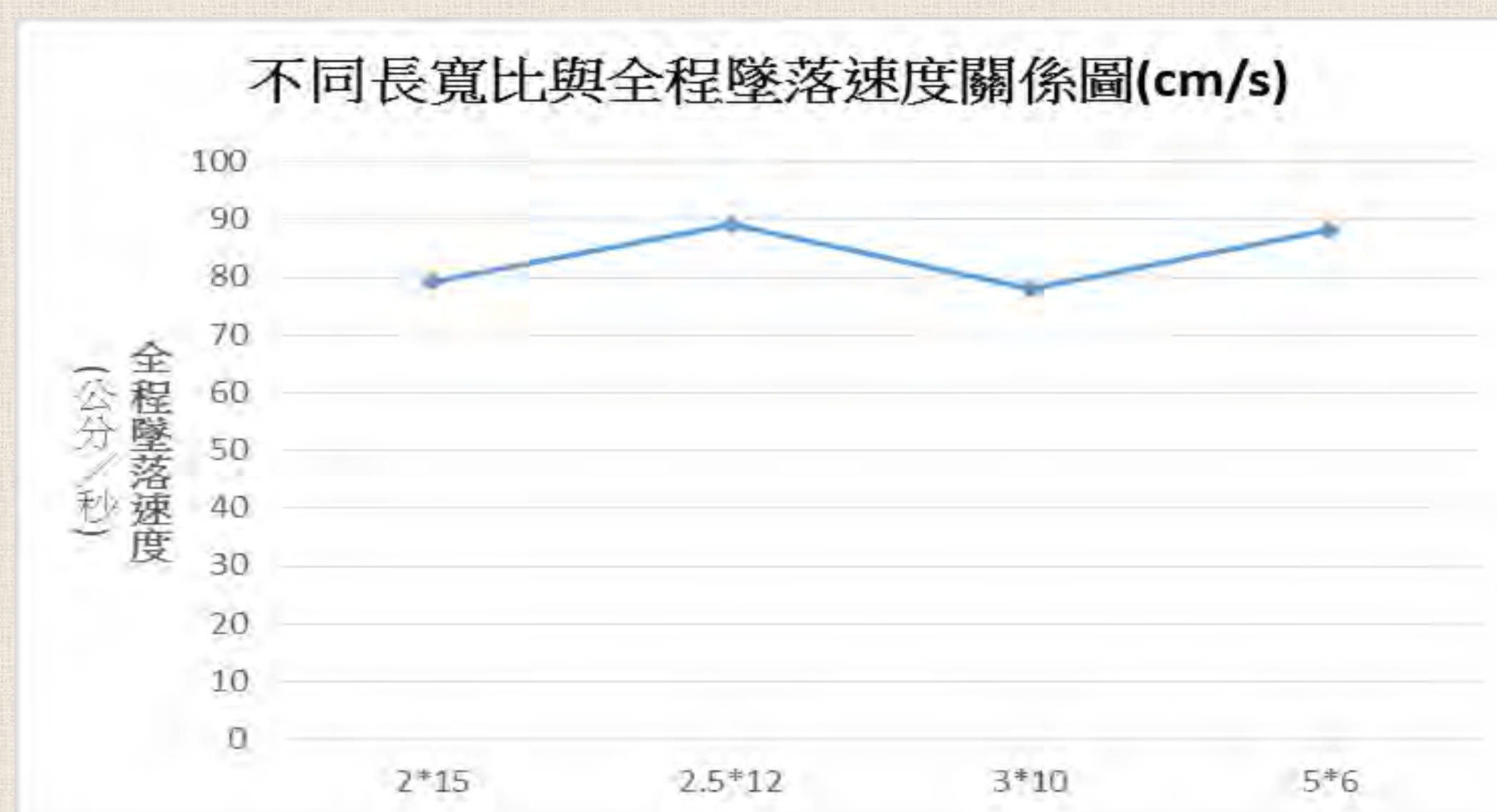
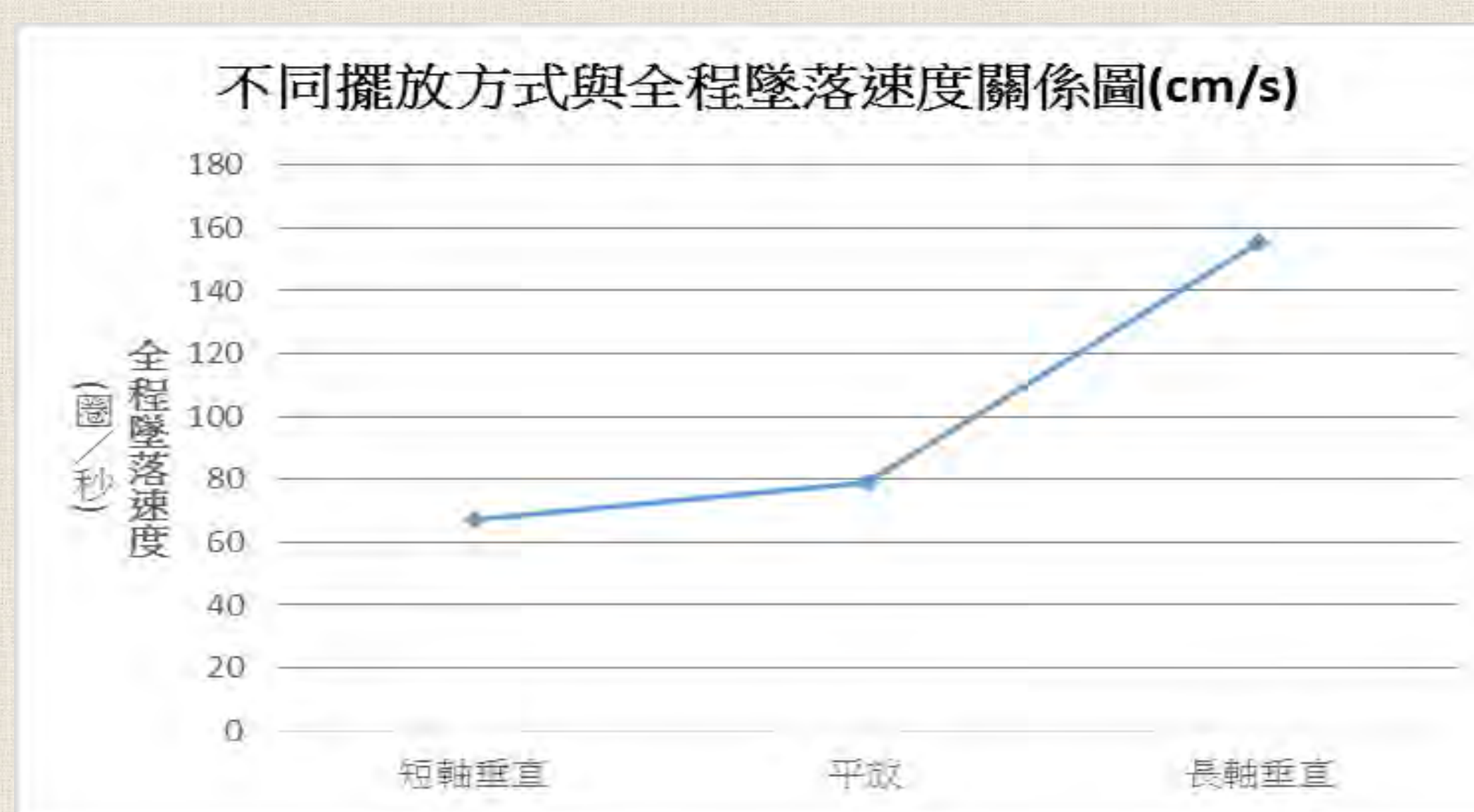
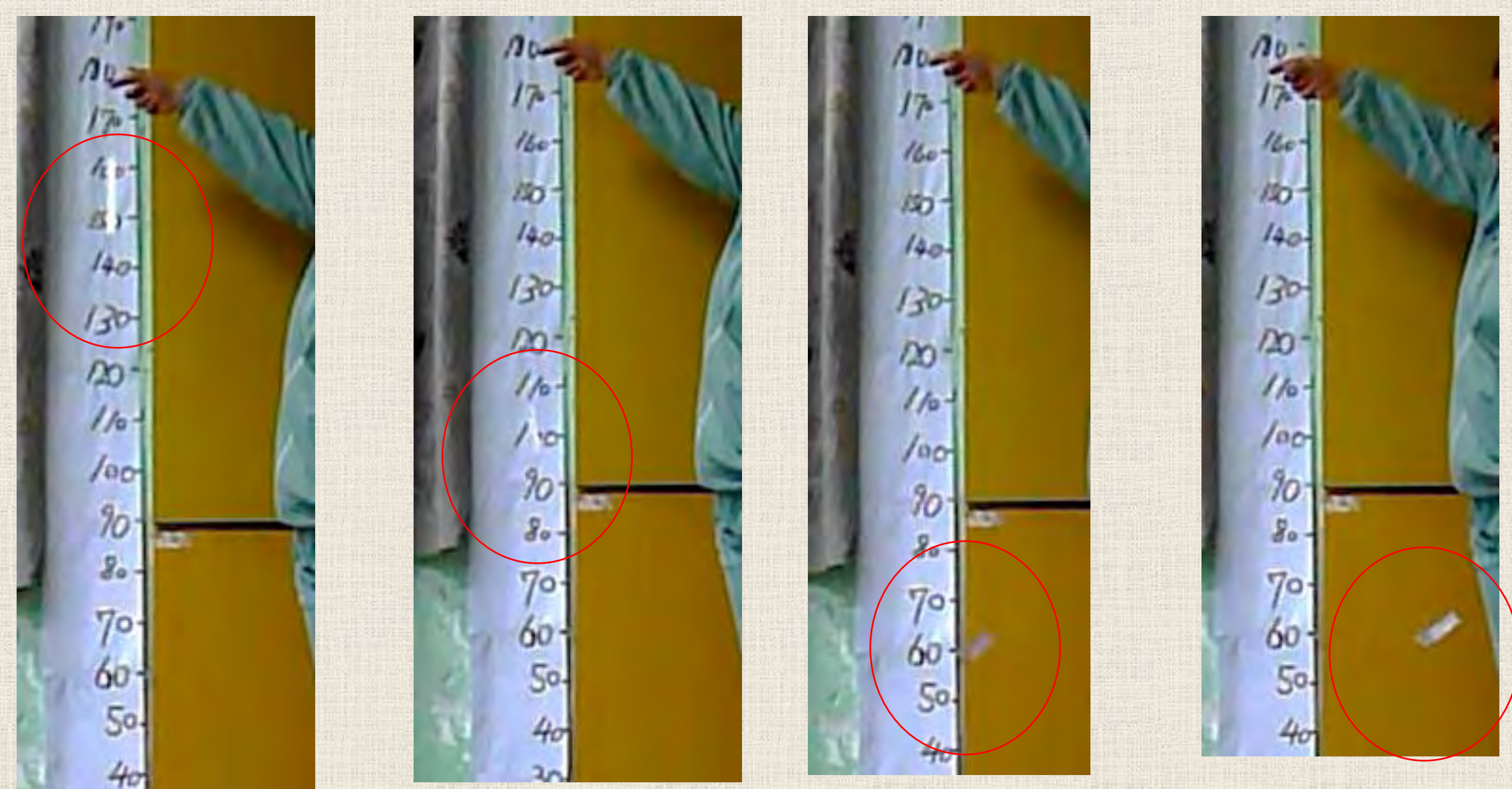
(二) 進動：進動是自轉物體的自轉軸又繞著另一軸旋轉的現象。在錄影的格放畫面中會看到紙片在自旋的同時又繞著一條軸線公轉，當自轉軸(通常是長軸)傾斜角度愈大，進動的旋轉半徑愈小同時掉落速度會加快。



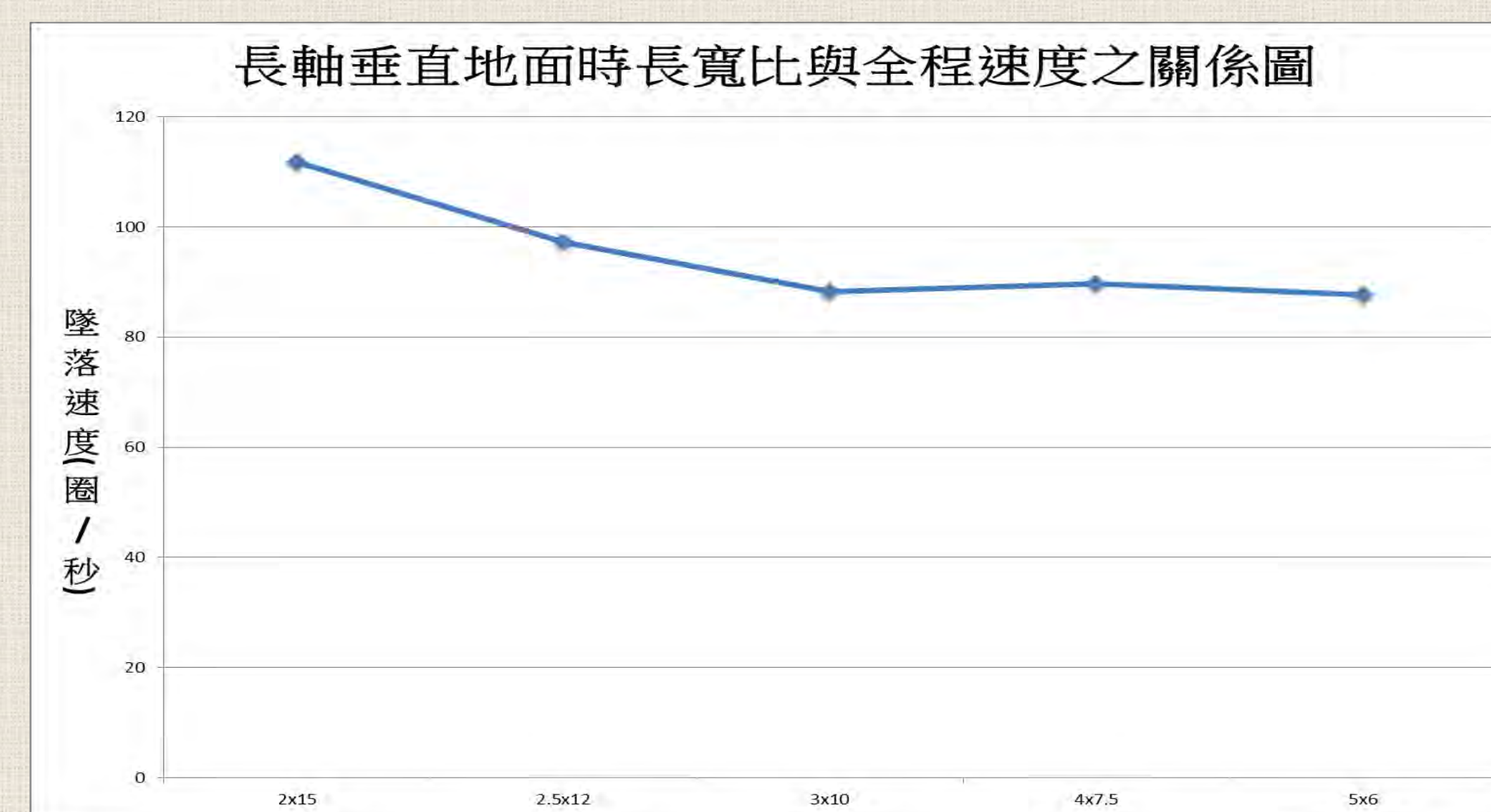
(三) 不規則擺盪：通常是紙片水平擺放的實驗中出現，紙片會以左右晃動的方式掉落。擺盪時間不一，一旦某次擺盪劇烈使得紙片翻轉，之後就會開始以自旋的樣態掉落。



(四) 最速落徑：又稱最速降線，通常是紙片以長軸垂直地面擺放的實驗中出現。紙片會先以自由落體快速下降一段距離後向左右偏向，之後因紙片呈現水平狀態而可能以自旋或擺盪的樣態繼續掉落。

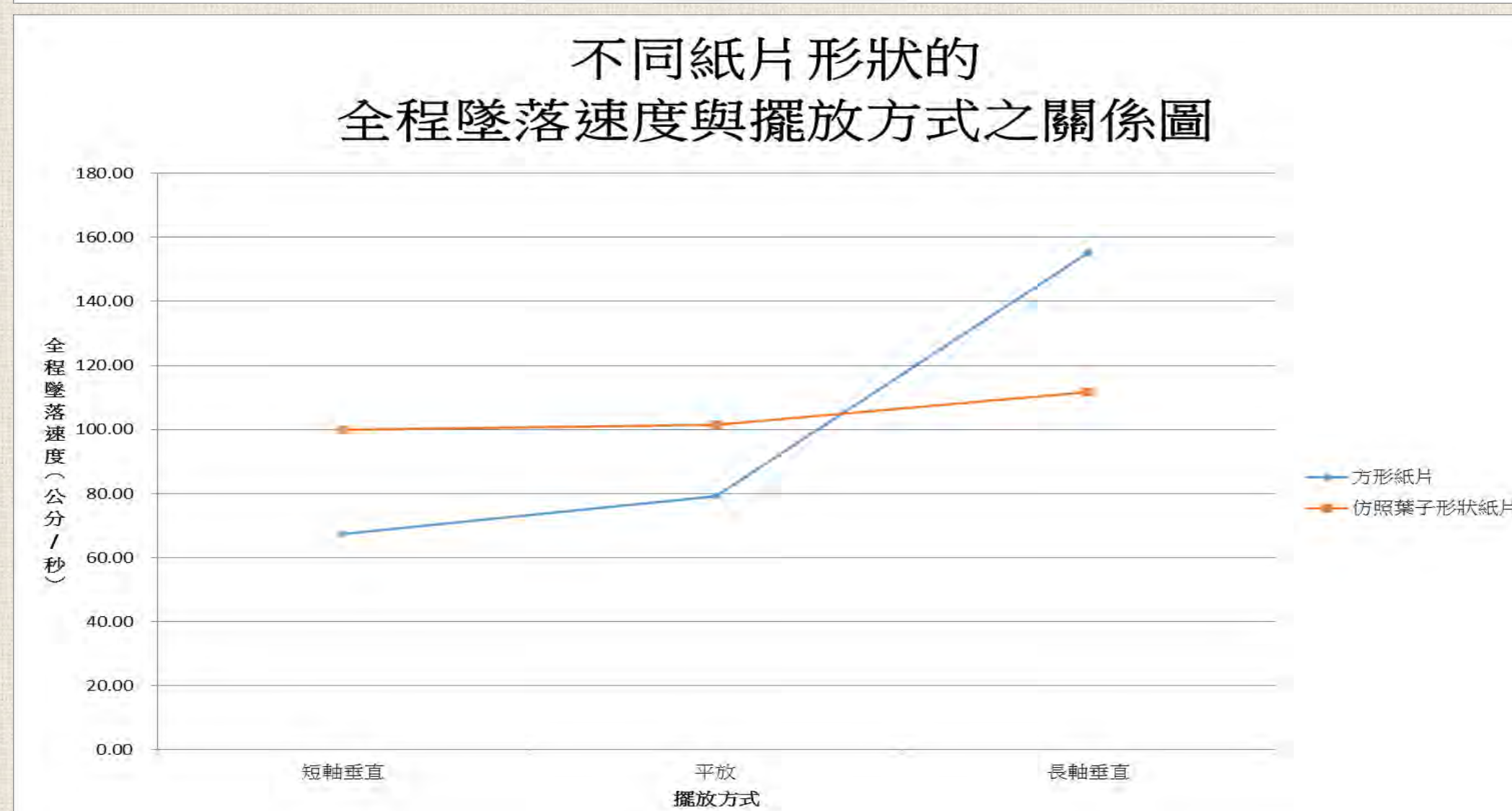
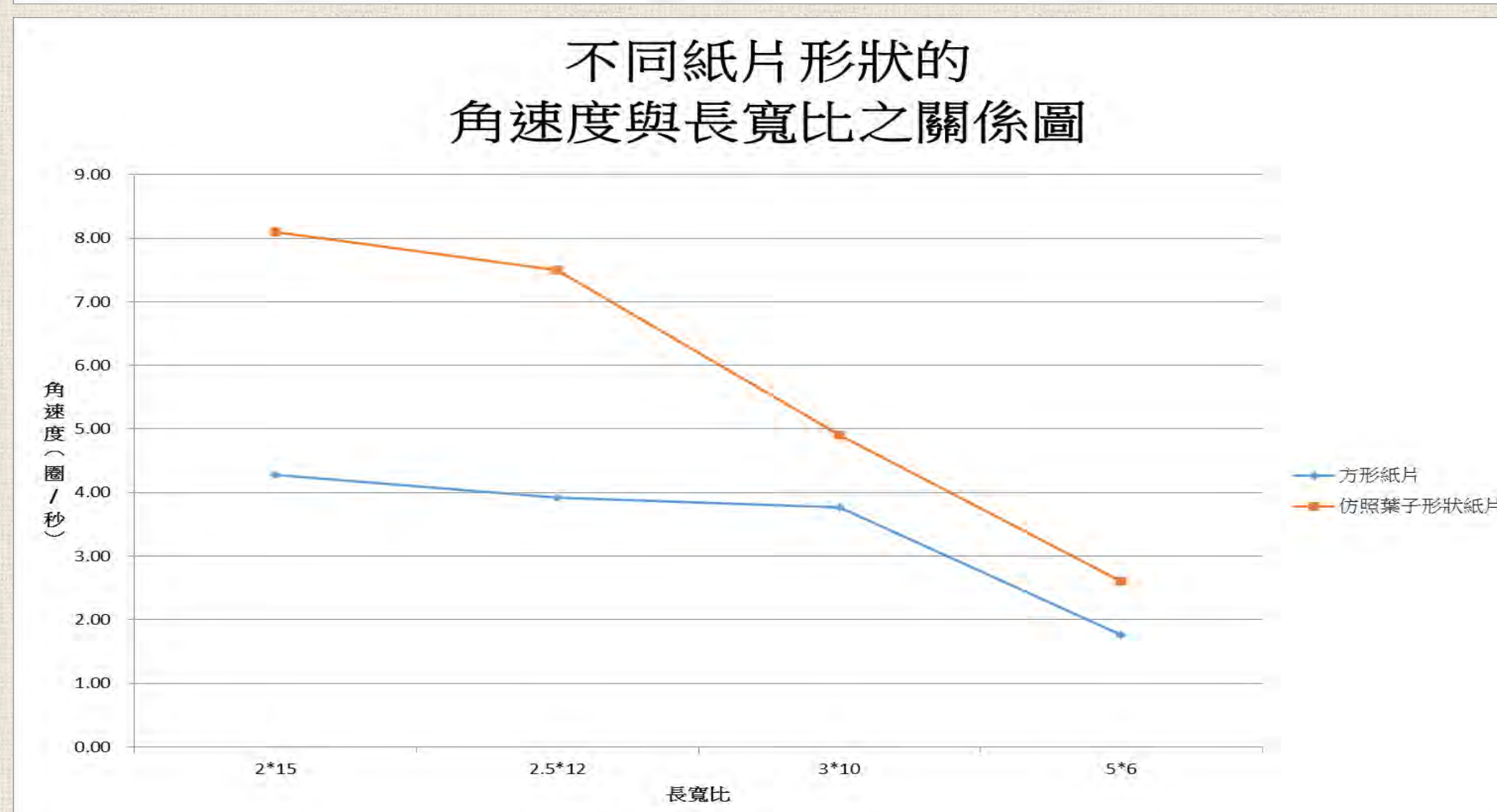
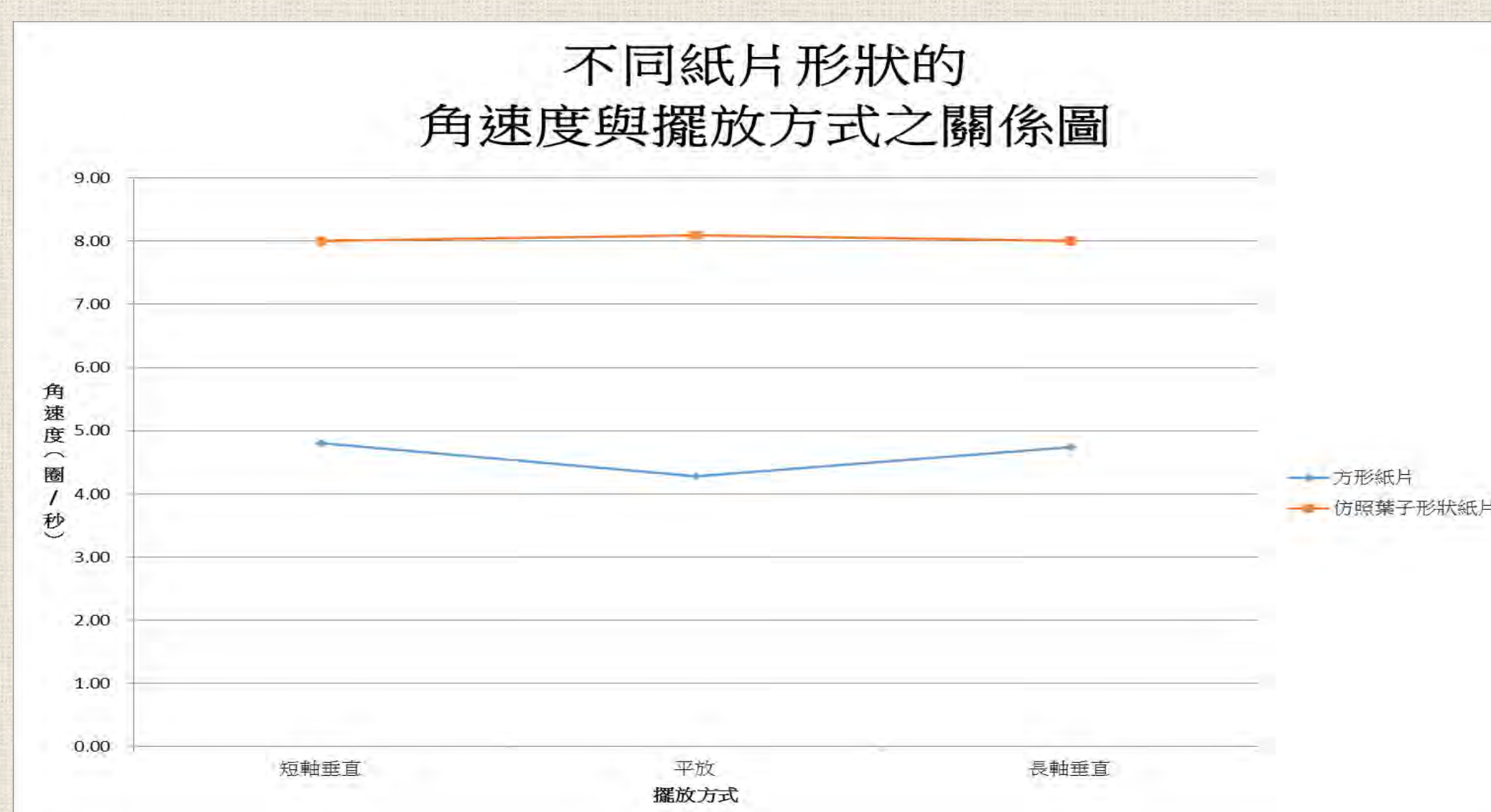


由上列三圖可知：質量、擺放方式會影響全程掉落速度；而長寬比則大致不會影響全程墜落速度。



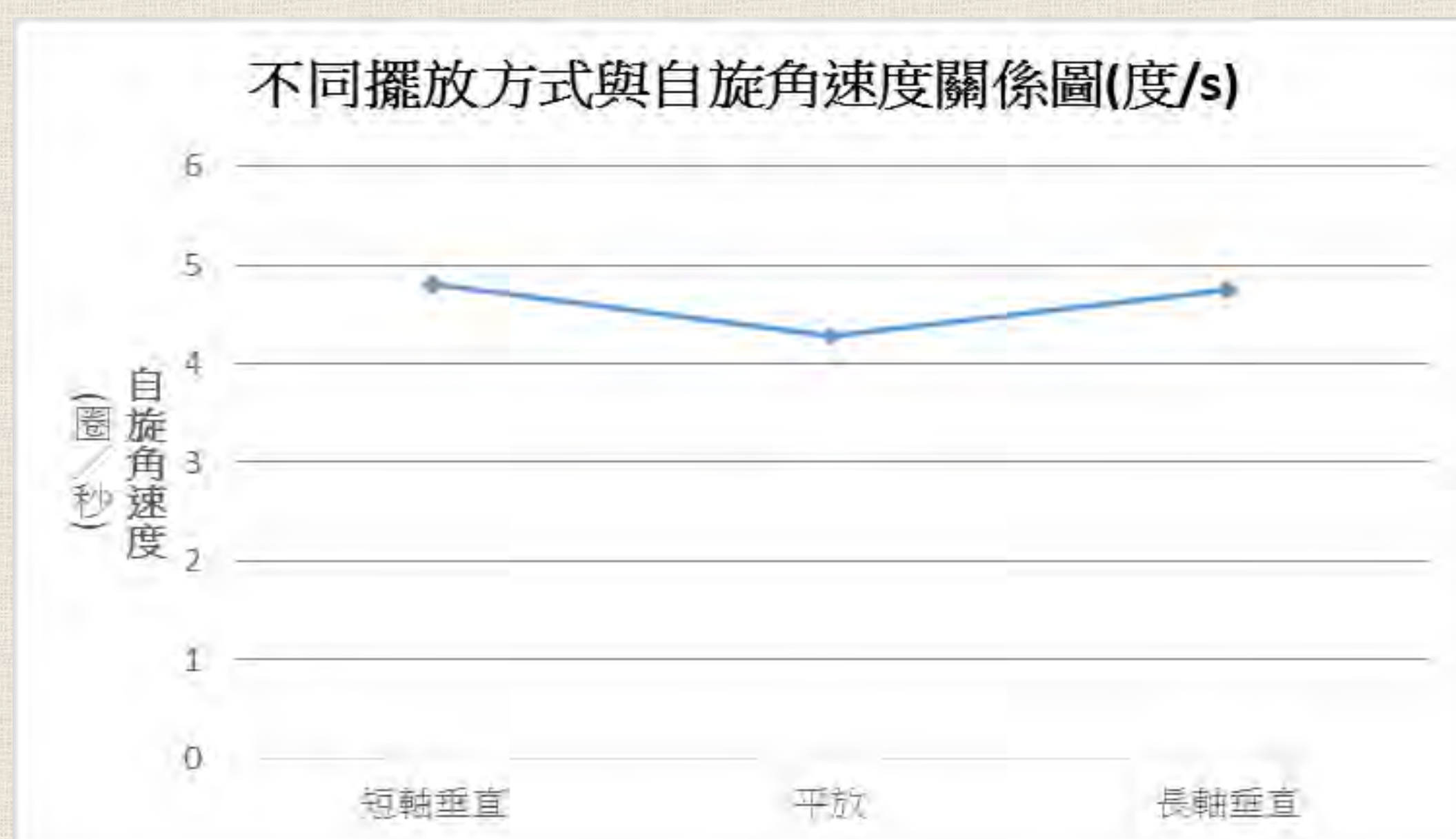
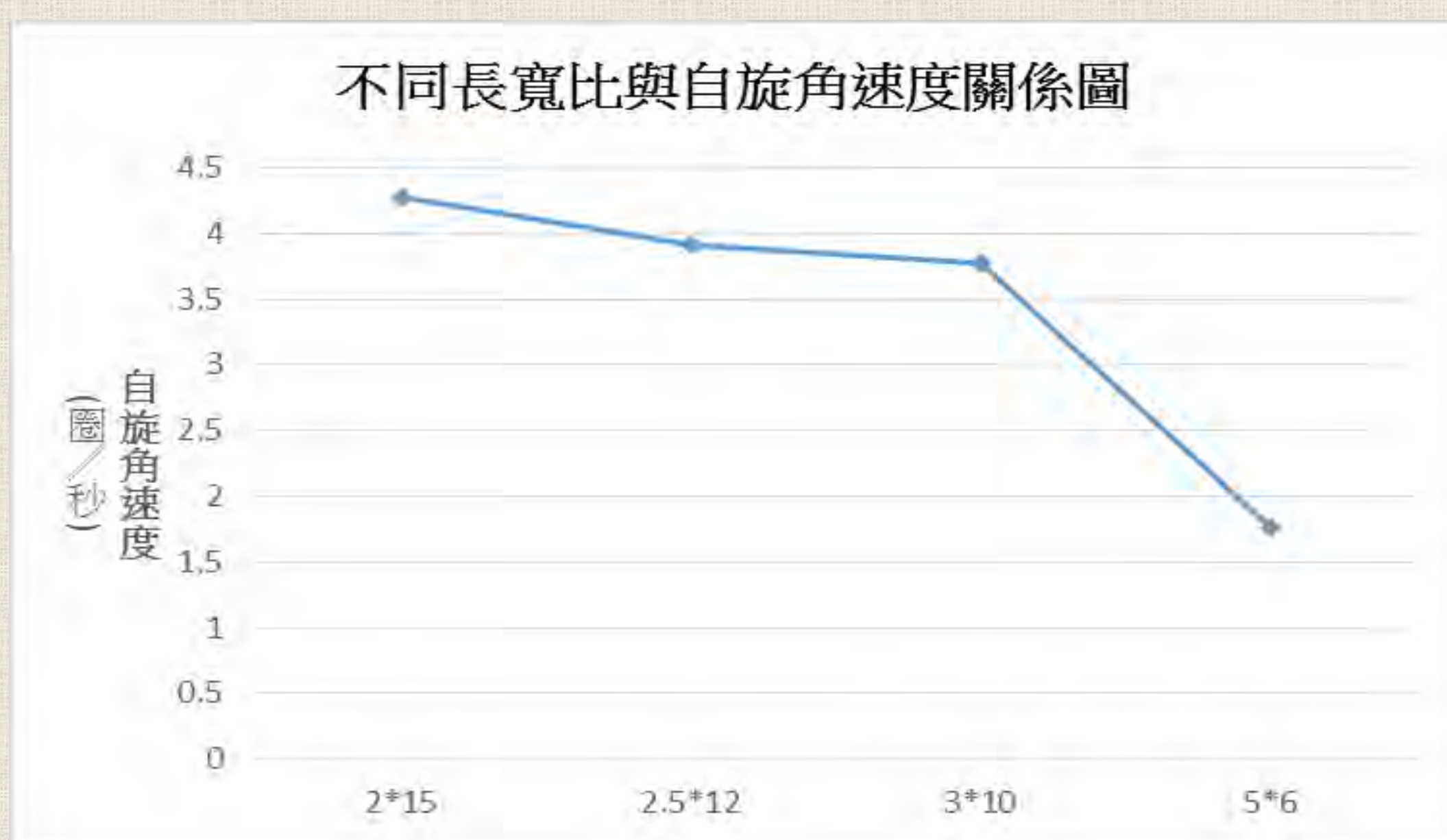
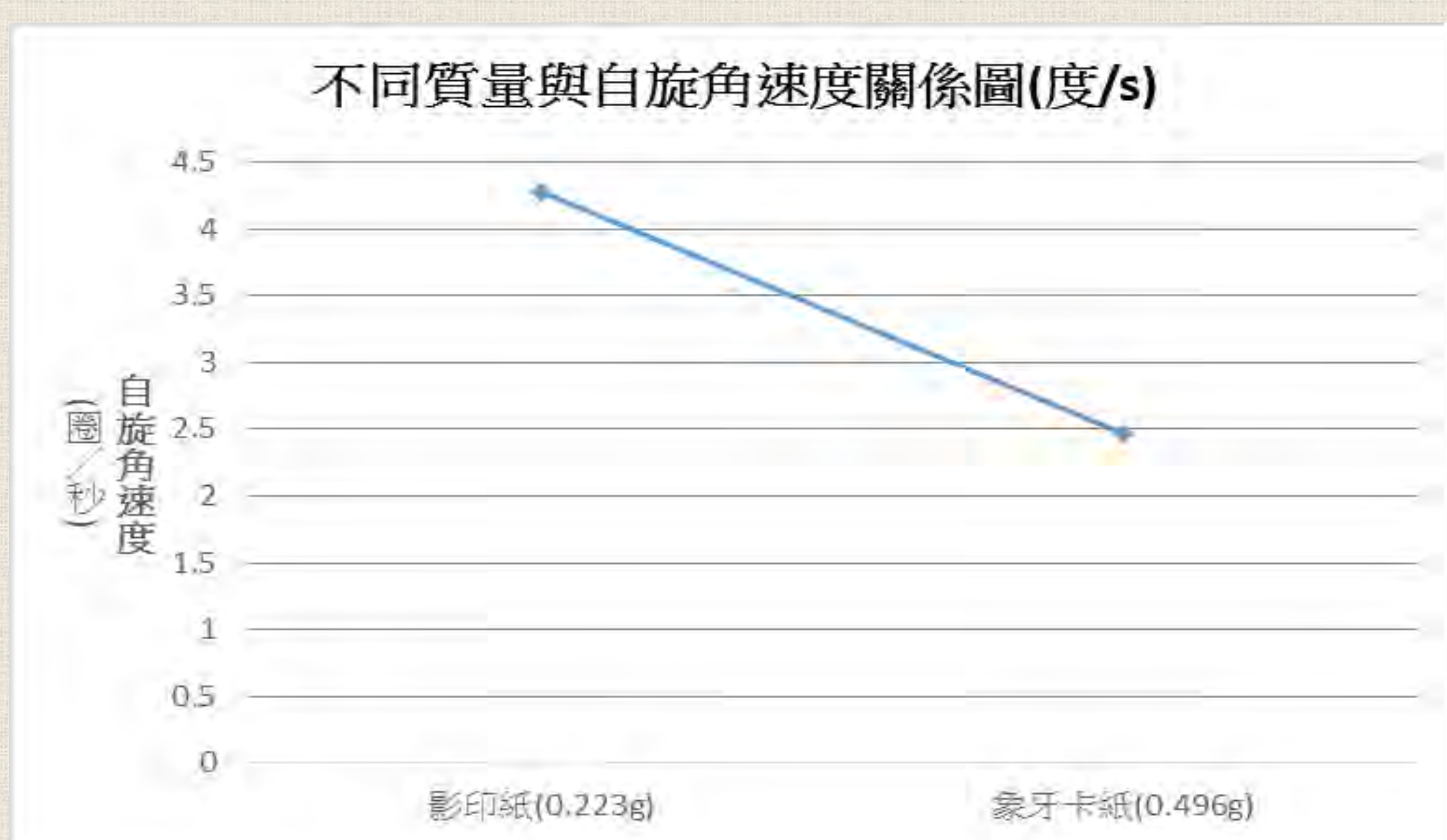
但是發現長軸垂直地面時，長寬比較大的掉落速度較快。

四、模擬真實葉片形狀之探討關係



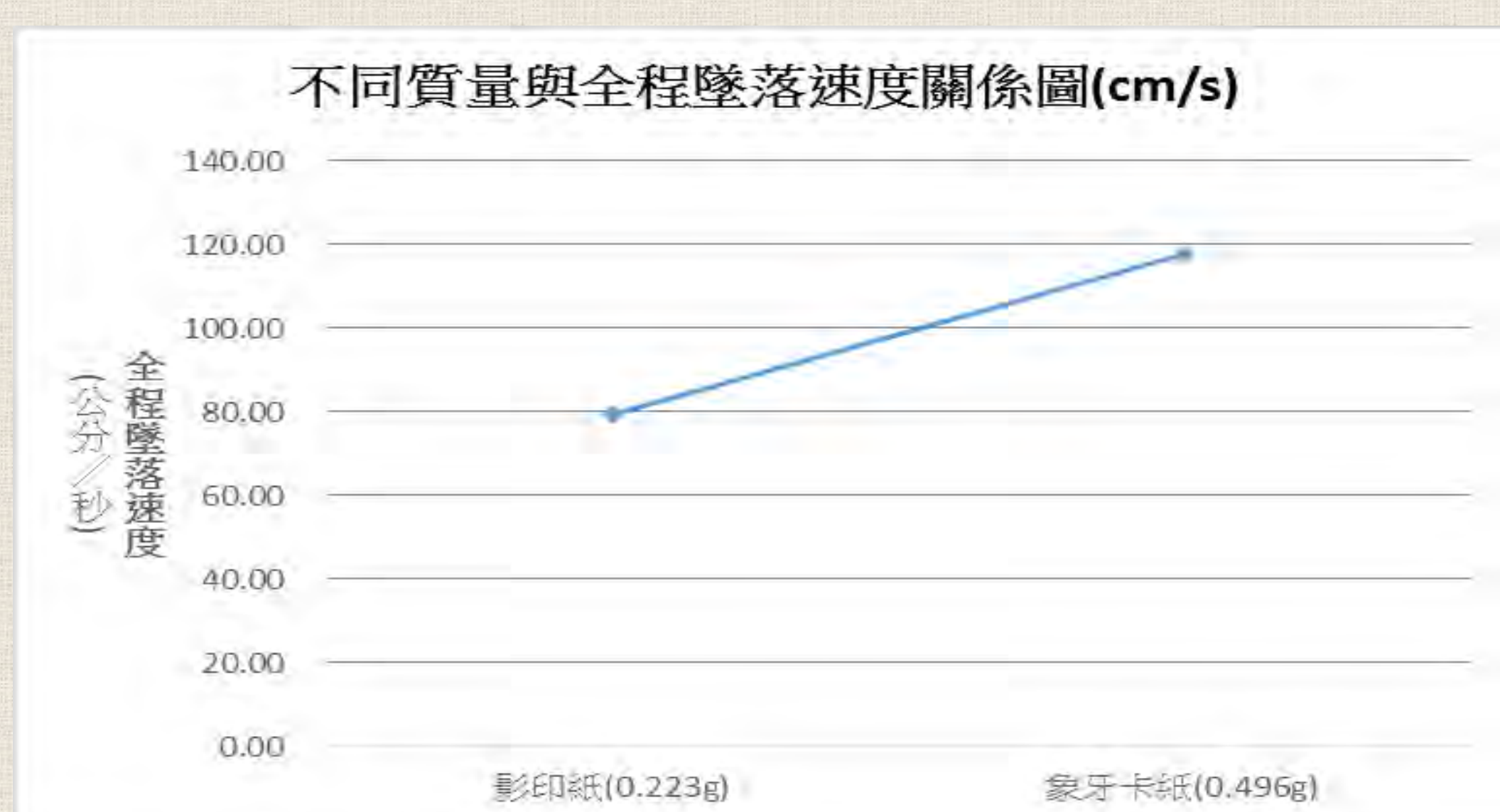
由第一、二圖可知葉片形狀的紙片角速度較大；由第三圖可知短軸垂直及平放是葉片形的紙片掉落較快，長軸垂直是方形紙片掉落較快。

二、自旋角速度的探討關係圖

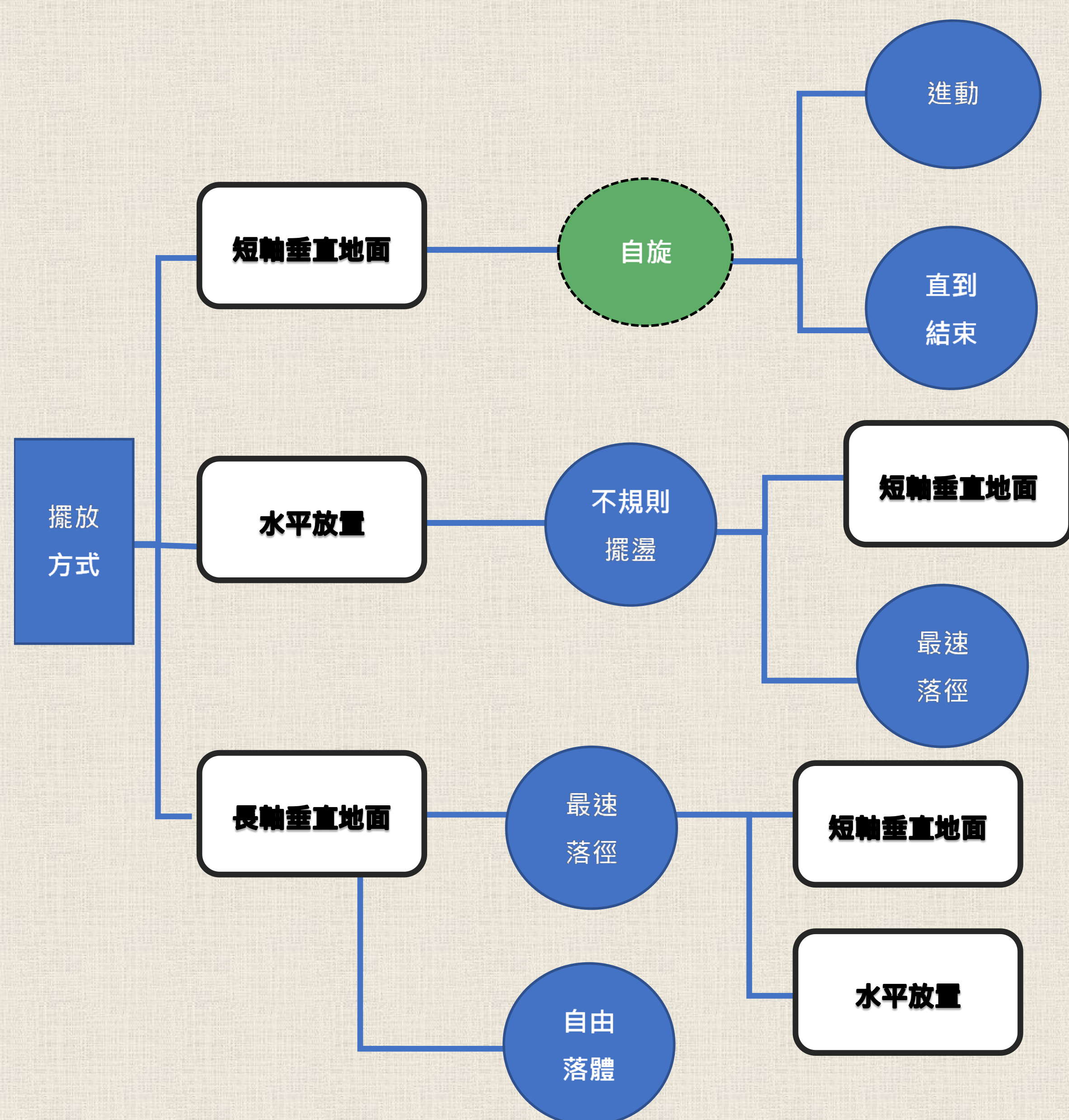


由上列三圖可知：質量、長寬比會影響自旋角速度；擺放方式則大致不會影響自旋角速度。

三、全程墜落速度的探討關係圖



伍、討論



一、擺盪方式統整

(一) 短軸垂直地面釋放紙片時，紙片會立即以長軸為自轉軸進入自旋狀態。當旋轉軸傾斜時，紙片就會開始進動狀態，極少數實驗中紙片以自旋的方式到結束。

(二) 水平放置時，一開始會先左右不規則擺盪，若擺盪過程中的某瞬間短軸垂直地面，則會進入短軸垂直地面的掉落樣態。極少數的機會是擺盪至長軸垂直地面，則以最速落徑的方式掉落。

(三) 以長軸垂直地面釋放紙片時，會以最速落徑的方式掉落，因紙片非剛體，掉落過程一有彎折就會使紙片受力轉向，長軸會從原來的垂直地面快速成平行地面狀態，此時依短軸是否垂直地面而接續不同的掉落樣態。僅有一次紙片是直接以自由落體掉落至地面。

二、水平放置時，會先不規則擺盪，是因為紙片同時受到多個力的作用，在多力作用下形成不穩定的合力矩，使得紙片處於旋轉方向不確定的擺盪狀態。

三、在重力作用且忽略摩擦力及各種阻力的情況下，直立放是三種擺放方式中阻力最小的，沒有不穩定形成的力矩，符合最速落徑的條件，因此會先滑落至水平再自旋或進動。

四、將紙片定義出長短軸，紙片受到重力有力矩，紙片開始自轉。以短軸當自轉軸，其轉動慣量會大於長軸當自轉軸的轉動慣量。因此，自轉時邊長較長的轉動慣量大，不易轉動。只有6×5紙片的自旋樣態較少出現。

五、實驗結果發現，長寬比愈小，短軸自旋的角速度愈小。因為用面積相同的紙片，長寬比愈小，紙片寬度愈大，紙片的轉動慣量增加。由轉動慣量的定義 $I=mr^2$ 可知，當轉動慣量增加，會較不易轉動。由 $v=\omega r$ 和 $K=\frac{1}{2}mv^2$ 得知， $K=\frac{1}{2}mr^2\omega^2$ ， mr^2 定義為 I ，由以上得知，轉動慣量越大，角速度越小。

六、由實驗結果中發現，相同條件下，象牙卡紙掉落的全程平均速度大於影印紙，是因為象牙卡紙比影印紙的擺盪時間更長。

七、模擬葉片且長軸垂直地面時，全程墜落速度會受長寬比影響。長寬比越懸殊，全程墜落速度較快。而平放與短軸垂直地面不影響墜落速度。

八、實驗過程中模擬葉子形狀的自旋角速度較方形紙片大，其歸咎原因為流線型狀的紙片風阻會比較小，而長寬比越小時，模擬葉子形狀的紙片會和方形紙片的角速度越接近，推測長寬比小時短軸較長轉動慣性大，因此風阻影響小。反之長寬比大時，長條紙片慣性小風阻較大。

九、用平放或短軸垂直置放的話，葉子形狀的掉落速度會較方形紙片快。可能是流線型紙片風阻較小所以模擬葉子形狀的紙片掉落較快。但若是用長軸垂直的話葉子形狀的掉落速度會較方形紙片慢。推測是因為流線型紙片容易轉動，所以縮小了在長軸垂直掉落的最速落徑時間，因此推論較方形紙片慢。

陸、結論與心得

一、紙片掉落受到長寬比、擺放方式、質量的影響。

二、不同長寬比影響紙片自旋角速度快慢，長寬比接近時，紙片不容易產生穩定的自旋樣態，大部分是不規則擺盪。

三、紙片的擺放決定釋放瞬間的掉落樣態。

四、紙片的質量影響掉落速度，使得紙片較不易自旋。除此之外直立擺放時，長寬也會影響掉落速度。

五、模擬葉子紙片因為流線型風阻較小有較容易轉動的特性。

六、本實驗探討對自然界的葉片掉落有不錯的預測。可以知道教室外的竹葉不斷旋轉因為它的長寬比懸殊容易自旋；日本櫻花它的長寬比接近且花瓣輕薄，造成不規則的掉落樣態，而有片片飛舞的迷人效果。