

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 物理科

佳作

080116

蒴果僅存

—台灣欒樹蒴果在地面移動情形的研究

學校名稱：新北市永和區秀朗國民小學

作者： 小五 趙適壹 小五 曹峯瑋 小五 劉緯增 小五 楊采庭	指導老師： 曹蔚恆 譚佩明
---	---------------------

關鍵詞：台灣欒樹蒴果、白努利、氣流

# 蒴果僅存—台灣欒樹蒴果在地面移動情形的研究

## 摘要

用自製風洞測試台灣欒樹蒴果，以白努利原理找出構造如何影響移動情形。發現：單邊易受氣流影響，移動距離遠；上反角的角度愈大，距離愈遠。而果皮寬與長的比是展弦比，越大的移動距離越長。表皮越平滑移動距離越長。而且種子的位置會影響重心，愈後方重心偏後移動距離愈長，而偏前，會出現飄動。當氣流通過蒴果表面，上反角大小會影響翼間渦流數量和擺動次數，造成翼面穩定度不同。

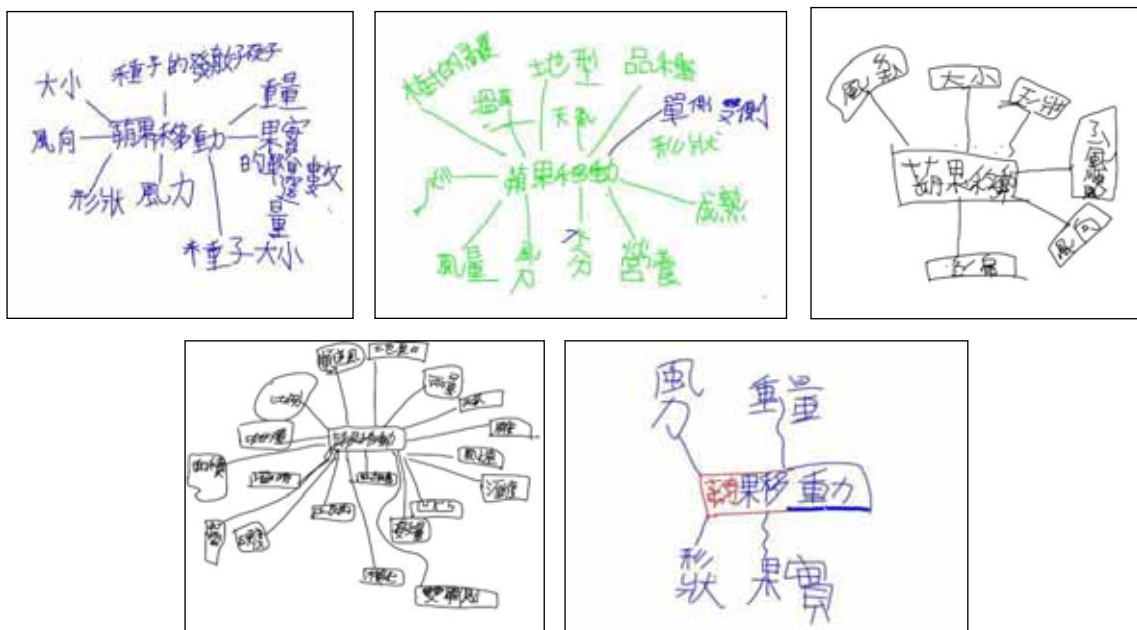
## 壹、研究動機

五年級自然有介紹植物的單元，去校園觀察植物，看到台灣欒樹掉在地上的蒴果被風吹，會飄起來或滾動，有的移動很遠，有的很近。因此蒐集校園、人行道和市立公園等地方的蒴果約 5000 多顆，加以研究是甚麼原因影響蒴果在地面上移動的情形。



## 貳、研究目的

- 一、自製及測試簡易風洞。
- 二、測試單/雙邊種子對蒴果移動情形的影響。
- 三、測試不同果皮角度(上反角)對蒴果移動情形的影響。
- 四、測試不同寬窄(展弦比)對蒴果移動情形的影響。
- 五、測試表面皺折程度對蒴果移動情形的影響。
- 六、測試中軸比例值對蒴果移動情形的關係。
- 七、檢視表面氣流對蒴果移動情形的影響。



## 參、研究設備及器材

蒴果、自製篩選器、自製風洞、風速計、量角器、照相機、攝影機、夾鏈袋、標籤、尺、碼表、奇異筆、線香、酒精燈、打火機、口罩、護目鏡、針線、膠帶。

## 肆、研究過程、結果及討論

### 研究一、自製簡易風洞及測試

簡易風洞分為動力段、整流段、收縮段、測試段，用氣流吹送，測量風速，找出可模仿自然風，製造出飄和滾等效果的風洞。

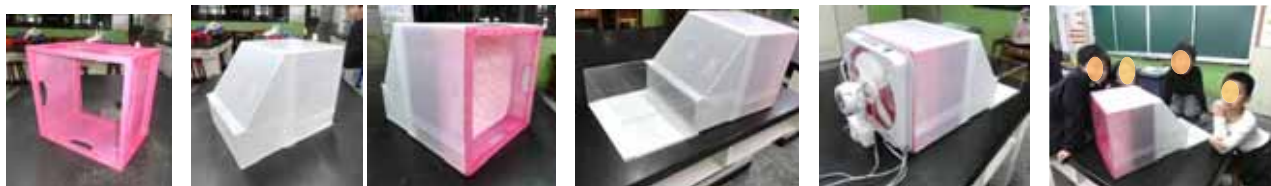
#### 【步驟】

(一) 製作紙箱簡易風洞，並測試風吹情形，找出適合的尺寸和風力效果。



(二) 製作實驗用的簡易風洞

1. 動力段：雙向抽風電扇12吋吹入式的動力
2. 整流段：正方形塑膠箱裡面黏滿珍奶吸管，裝上塑膠瓦楞板外殼。
3. 收縮段：縮小外殼(氣流流動截面積)，提升氣流速度。
4. 測試段：用透明壓克力製作成測試段。

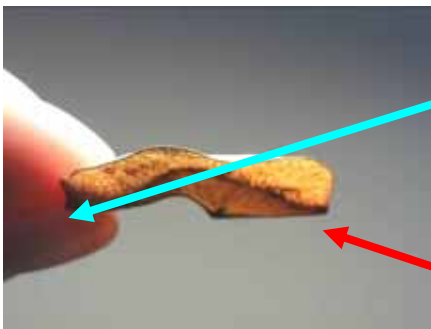
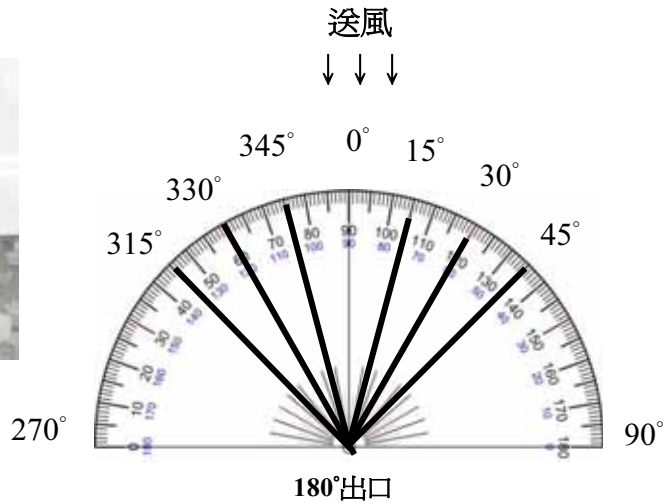


動力段  
寬 40 公分  
高 40 公分

整流段  
寬 30 公分  
高 40 公分

收縮段  
寬 20 公分  
高 40-16 公分

測試段  
寬 40 公分  
高 16 公分



尾部：有弧度的部分

頭部：直線的部分

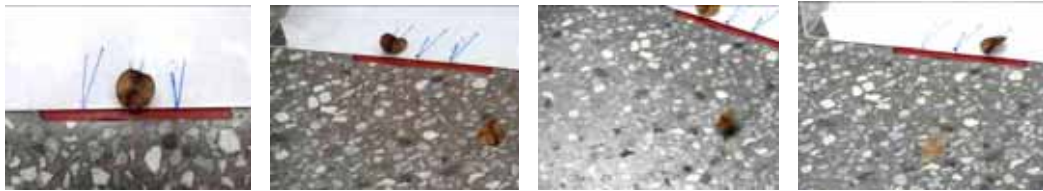


### (三) 風吹效果測試

1. 用篩選器挑選結構類似雙邊種子的蒴果，頭部對準測試段出口中央處，以不同風速各吹15秒，找出可以產生滾或拖行的風速。
2. 用風速計測試10秒適合的風速，得出風速值為1.6 M/S。
3. 再檢驗風洞的風速穩定度：用風速計在2小時內，連續吹實驗適合的風速，每隔5分鐘測試風速10秒，隔一天做一次共5次，檢驗風速變化的情形。
4. 接下來都用1.6 M/S風速分別以0°角吹蒴果頭和尾部記錄距離，去除極端值，做7次取5次。
5. 重複3，以每隔15度從15~345°做實驗，找出距離最長的角度。

風速計



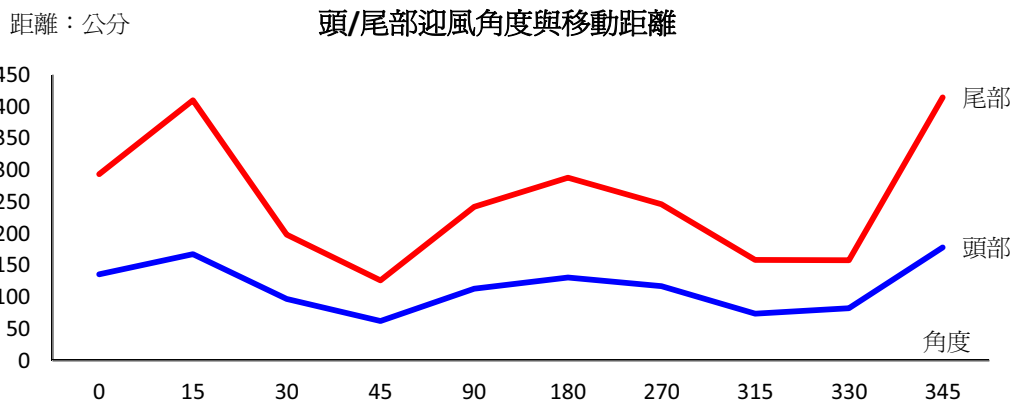


**【結果】**

- (一) 風速2.0 M/S都快速拖行不會滾動，1.6 M/S可產生連續滾或拖，低於1.6 M/S拖行都少於100公分後停止，低於1 M/S不移動。
- (二) 風洞的風速穩定度：發現1小時內的實驗風速都保持在1.6 M/S，但超過1小時開始，風速開始變慢約1.1 M/S，但中間又會回到1.6 M/S，變成忽快忽慢，直到實驗結束，所以實驗決定每次不超過1小時，用1.6 M/S的風速，控制穩定度。
- (三) 移動距離：

次數 迎風角度	距離					平均
	頭朝0度	113	143	156	168	
頭朝15度	161	159	213	201	103	167.4
頭朝30度	77	90	134	72	110	96.6
頭朝45度	55	43	59	71	82	62.0
頭朝90度	190	33	87	166	89	113.0
頭朝180度	188	81	122	103	159	130.6
頭朝270度	194	67	78	145	100	116.8
頭朝315度	42	56	92	87	90	73.4
頭朝330度	78	79	68	96	89	82.0
頭朝345度	173	184	177	190	165	177.8

次數 迎風角度	距離					平均
	尾朝0度	123	200	192	175	
尾朝15度	179	278	321	270	164	242.4
尾朝30度	83	86	74	78	184	101.0
尾朝45度	44	54	53	83	86	64.0
尾朝90度	223	50	84	178	110	129.0
尾朝180度	280	82	128	129	167	157.2
尾朝270度	223	50	84	178	110	129.0
尾朝315度	72	40	118	143	51	84.8
尾朝330度	81	79	37	114	69	76.0
尾朝345度	162	258	293	288	181	236.4



**【討論】**

風洞啟動約5秒加速轉動，接著才是持續穩定的風速吹送，所以風吹時間設定為15秒。以1.6 M/S的風速吹蒴果，尾部移動距離幾乎都大於頭部。尾部15°(頭部對中央處，尾部朝內15度)距離最長的。

**研究二、測試單/雙邊種子對蒴果移動情形的影響**

一瓣果皮長著兩顆種子，但單顆也非常多，單、雙邊種子對移動情形有甚麼影響呢？

**【步驟】**

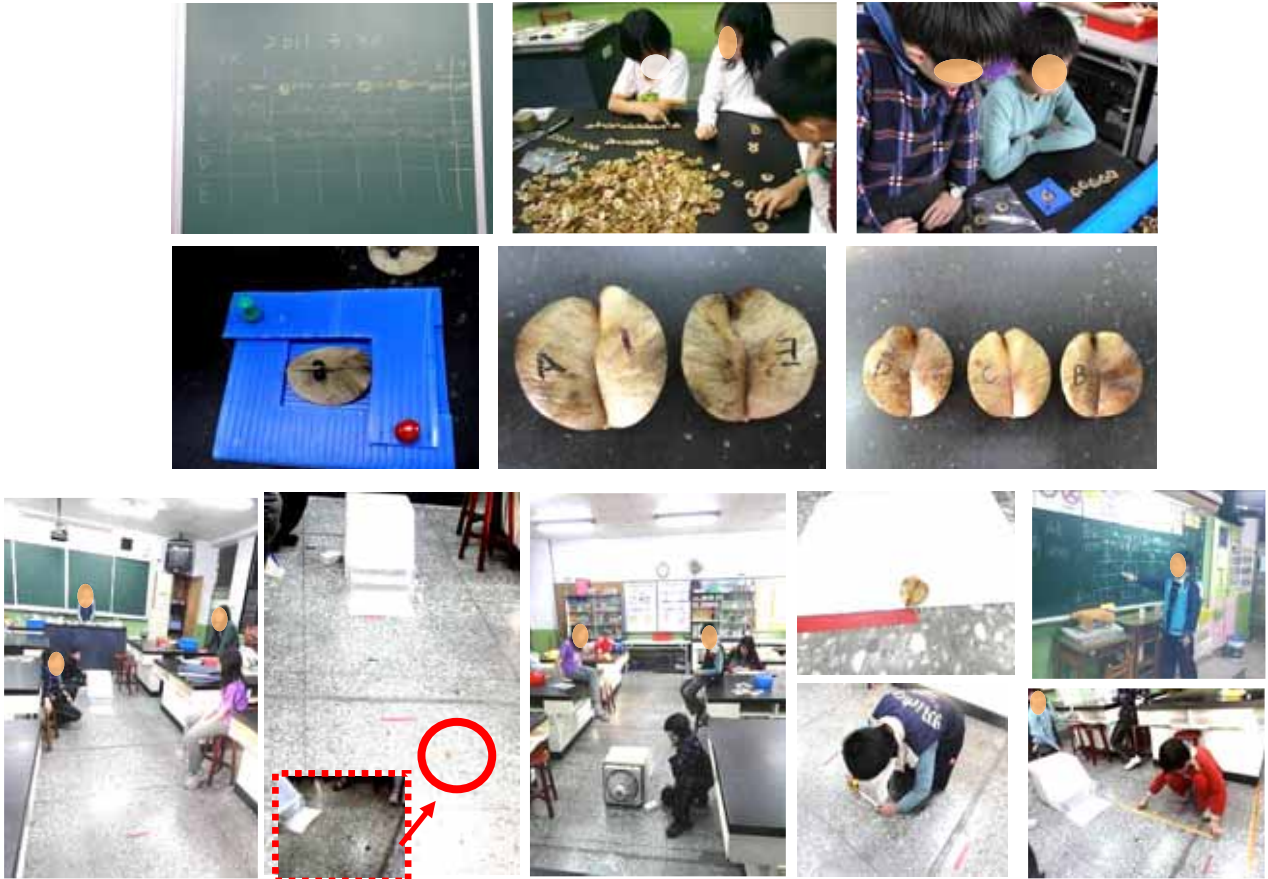
- (一) 從100片果皮中用篩選器挑選結構類似，具有兩側種子的蒴果各5顆。
- (二) 先將風洞放在桌子邊緣高75cm，用1.6 M/S的風速吹尾部15°有兩側種子的A蒴果，紀錄空

中墜落移動距離與模式。

(三) 再把風洞放在地上用1.6 M/S的風速吹尾部15°有兩側種子的A蒴果，紀錄地面移動距離與模式。

(四) 重複 (二)~(四)，再做另外B~E的蒴果，**做9次去除極端值取7次。**

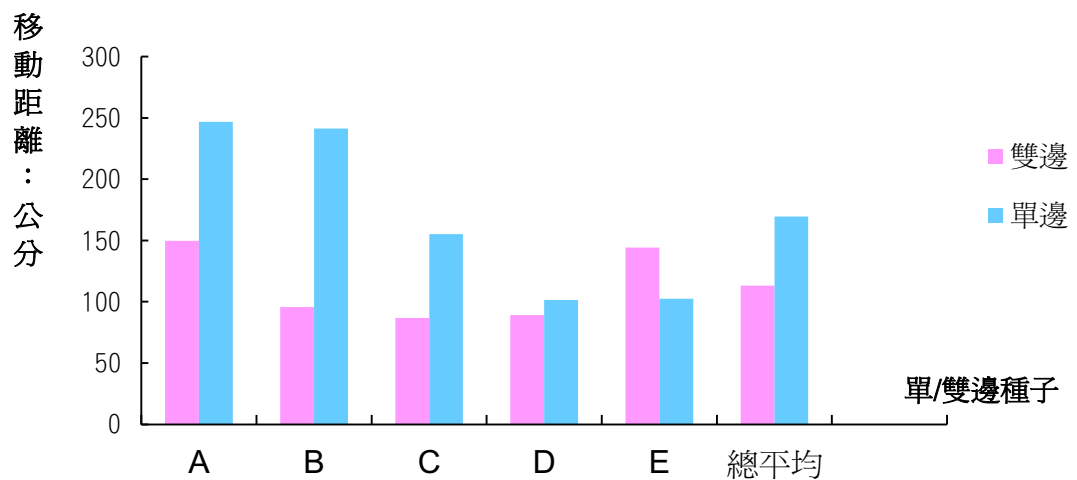
(五) 拿掉A~E右邊種子剩左邊，重複(二)~(四)做單側的實驗。



【結果】

(一) 移動距離

單/雙邊種子與移動距離關係圖



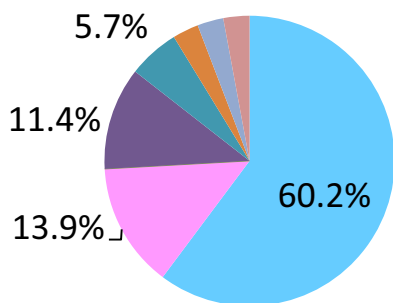
移動結果		1	2	3	4	5	6	7	平均	距離總平均(公分)	
單/雙邊種子	雙邊種子	A	125	149	242	150	100	139	143	149.7	113.1
			∅	∅	∅	∅	—	∅	∅		
		B	105	90	94	95	109	89	88	95.7	
			○	∅	∅	○	—	○	—△		
		C	88	74	87	83	89	86	101	86.9	
	—		○	∅	∅	∅	∅	∅			
	D	72	65	93	100	127	81	86	89.1		
		∅	—	∅	∅△	∅△	∅	∅			
	E	114	112	72	131	217	232	132	144.3		
		∅	∅	—	∅	○—	○△	∅			
單邊種子	A	265	250	281	272	85	275	300	246.9	169.5	
		∅	∅	∅	—	○	—	—			
	B	281	210	279	286	276	164	194	241.4		
		—	∅	—	∅	∅	—	∅			
	C	142	103	163	175	136	176	192	155.3		
		∅	∅	∅	△	∅	∅	—△			
	D	100	111	93	100	95	117	94	101.4		
		—	∅	—	∅	—	△	—			
	E	125	85	78	96	86	74	173	102.4		
		∅△	—	—	—	—	∅	∅			

備註：1.下方格為移動方式滾動為○，飄動為△，拖行為—，翻動和拖行為∅

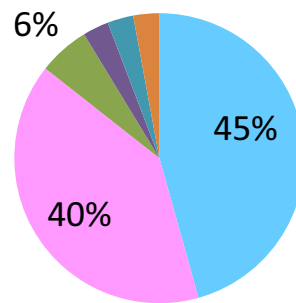
(二)移動模式比率

移動模式		翻動 +拖行 ∅	拖行 —	飄動 △	滾動 ○	翻動 +拖行 +飄動 ∅△	拖行 +飄動 —△	滾動 +飄動 ○△	滾動 +拖行 ○—
單/雙邊種子	雙邊種子	次數	21	5	0	4	2	1	1
	機率	21/35	5/35	0/35	4/35	2/35	1/35	1/35	1/35
單邊種子	次數	16	14	2	1	1	1	0	0
	機率	16/35	14/35	2/35	1/35	1/35	1/35	0/35	0/35

雙邊種子移動模式比率



單邊種子移動模式比率

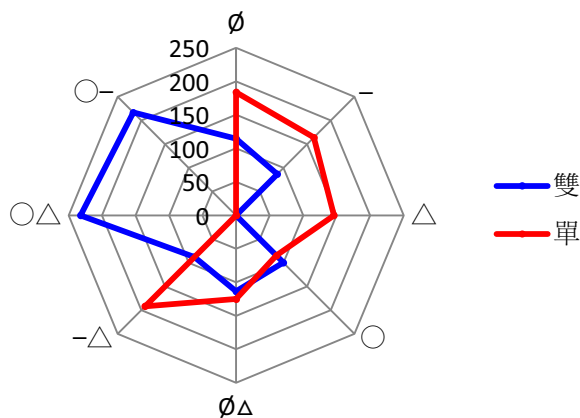


■ ∅ ■ — ■ △ ■ ○ ■ ∅△ ■ —△ ■ ○△ ■ ○—

(三)移動模式與距離長短的比較

移動模式		翻動 +拖行 ∅	拖行 —	飄動 △	滾動 ○	翻動 +拖行 +飄動 ∅△	拖行 +飄動 —△	滾動 +飄動 ○△	滾動 +拖行 ○—
單/雙邊種子									
雙邊種子	次 數	21	5	0	4	2	1	1	1
	總 距 離	2399	434	0	363	227	88	232	217
	平均距離(公分)	114.2	86.8	0	99.8	113.5	88	232	217
單邊種子	次 數	16	14	2	1	1	1	0	0
	總 距 離	2940	2298	292	85	125	192	0	0
	平均距離(公分)	183.8	164.1	146	85	125	192	0	0

模式與距離長短

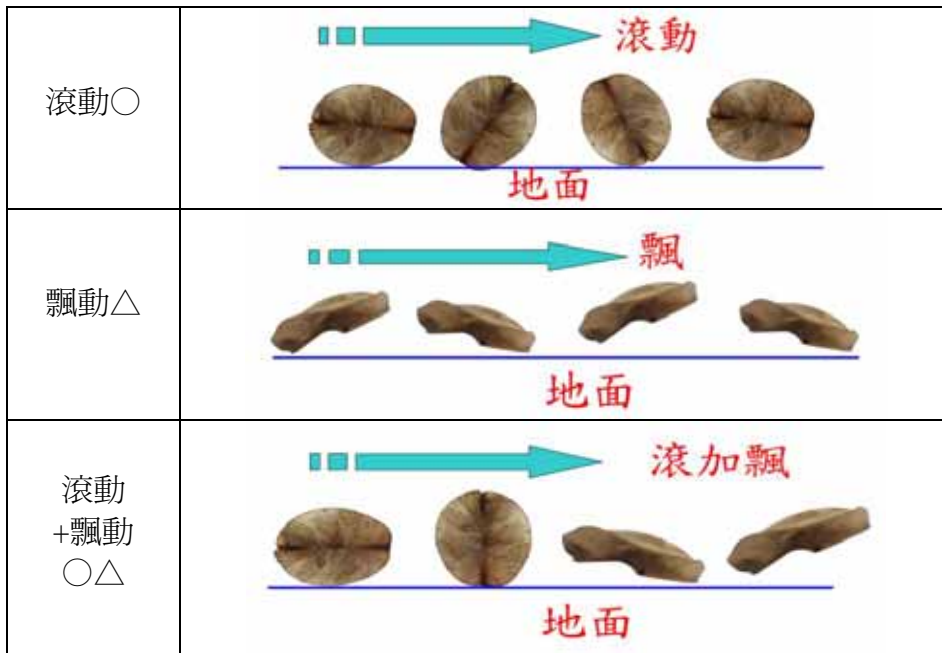


【討論】

- (一) 空中墜落移動距離：每組落點離桌邊都在 10 公分內，單雙邊墜落點距離幾乎一樣，差距最多不超過 5 公分，模式都是沒翻滾滑下來著地，但是地面移動的情形差別明顯，所以決定用地面移動情形作為紀錄。
- (二) 經過挑選的同一果皮移動時，發現有 2 種以上模式出現，推測主要是因為果皮為大自然的產物，無法控制到每個部位完全相同，即使每次都盡量挑選類似結構，並用穩定的風吹，還是多少受到本身結構、表皮平滑等等些微差異的影響，造成模式有多樣的情形。
- (三) 距離：單邊比雙邊長，重量不相等的單邊種子蒴果移動遠。
- (四) 模式：單/雙邊都以翻動和拖行複合方式最多，而雙邊又比單邊多；其次是拖行，單邊多於雙邊。滾動次數少，但雙邊比單邊多。不同模式與距離：單邊在多數模式比雙邊遠，除了滾動例外，推論是因為雙邊重量比較均衡利於滾動。
- (五) 蒴果只要翻面朝上，只會拖行，移動距離短。
- (六) 種子容易脫落變單邊，而且收集的蒴果中單邊遠多於雙邊，因此用單邊種子進行實驗。
- (七) 從觀察中歸納出基本移動模式如下表格：







### 研究三、測試不同果皮角度(上反角)對蒴果移動情形的影響

收集到的蒴果有兩瓣、三瓣、四瓣，看到不同大小角度，因三瓣最常見，所以用三瓣果比較不同的上反角移動的情形。



#### 【步驟】

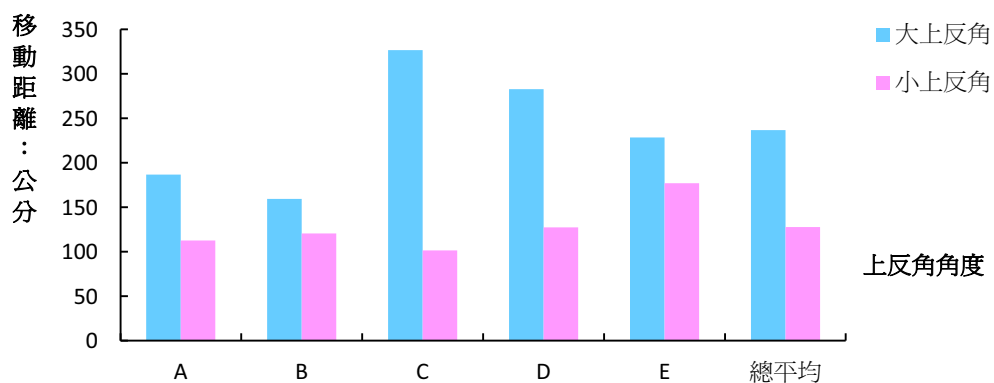
- (一) 從100片果皮中挑選結構類似、用量角器測量挑選大和小的上反角並有單側種子的蒴果各5個。
- (二) 先用1.6 M/S風速在桌上同時吹A大和小上反角尾部15°，紀錄空中墜落移動距離和模式。
- (三) 再用1.6 M/S風速在地上同時吹尾部15°A大、小上反角並記錄地面移動情形。
- (四) 重複(三)，交換A大/小的位置再做並記錄。
- (五) 重複(二)~(四)，做A大/小做9次去除極端值取7次。
- (六) 重複(二)~(五)，做其他四組。

上反角角度	A	B	C	D	E
大上反角	40°	40°	50°	40°	40°
小上反角	30°	30°	左 20°、右 30°	30°	30°



【結果】  
(一) 移動結果

上反角與移動距離關係圖



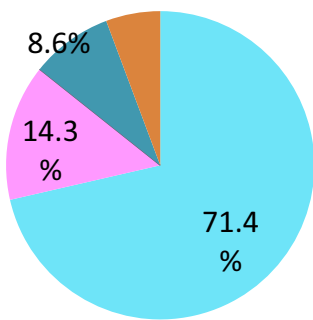
移動結果		1	2	3	4	5	6	7	平均	距離總平均(公分)		
不同上反角	大上反角	A	130	203	118	161	163	240	292	186.7	236.8	
		40°	∅✓	∅✓	∅✓	∅✓	∅△✓	∅△✓	∅△✓			
		B	122	134	150	139	145	271	155			159.4
		40°	∅✓	∅✓	∅✓	∅✓	∅✓	∅△✓	∅✓			
		C	392	322	306	347	283	284	353			326.7
	50°	—△✓	—✓	∅✓	—✓	∅✓	—	—✓				
	D	338	295	227	323	229	270	297	282.7			
	40°	∅✓	—✓	∅✓	—✓	∅✓	∅✓	∅✓				
	E	208	200	233	247	245	204	263	228.6			
	40°	∅✓	∅	∅✓	∅✓	∅✓	—✓	∅✓				
小上反角	A	194	90	118	97	93	96	101	112.7	127.9		
	30°	∅△	∅	∅△	∅	∅	∅	∅				
	B	103	117	120	96	91	168	150			120.7	
	30°	∅△	∅	∅	∅	∅	—	—△				
	C	100	120	110	88	105	87	100			101.4	
左20°、右30°	∅	∅	∅	—	∅	—✓	∅					
D	105	128	101	108	226	146	78	127.4				
30°	∅	∅	∅	∅	—△	∅	—					
E	188	186	153	184	183	162	184	177.1				
30°	—	∅✓	∅	∅	∅	∅	∅					

備註：1. 打✓的是先被吹離風洞的蘋果。

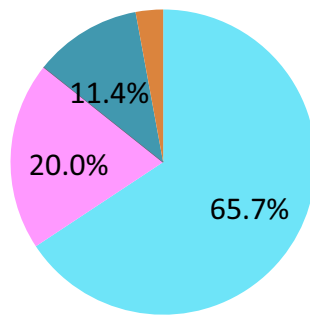
(二)移動模式比率和離開風洞快慢比率

移動模式		翻動+ 拖行 ∅	拖行 —	飄動 △	滾動 ○	翻動+ 拖行+ 飄動 ∅△	拖行+ 飄動 —△	滾動+ 飄動 ○△	滾動+ 拖行 ○—	先被 吹離 風洞
大/小上反角	次數	23	7	0	0	4	1	0	10	33
	機率	23/35	7/35	0/35	0/35	4/35	1/35	0/35	10/35	33/35
		65.7%	20%	0.0%	0.0%	11.4%	2.9%	0.0%	29.0%	94.3%
小上反角	次數	25	5	0	0	3	2	0	25	2
	機率	25/35	5/35	0/35	0/35	3/35	2/35	0/35	25/35	2/35
		71.4%	14.3%	0.0%	0.0%	8.6%	5.7%	0.0%	71.0%	5.7%

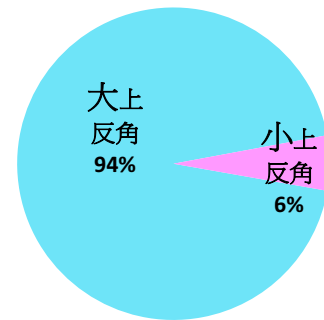
小上反角移動模式比率



大上反角移動模式



先離開風洞機率

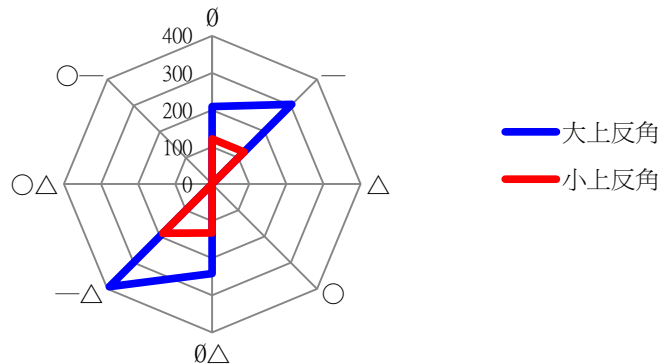


■ ∅   
 ■ —   
 ■ △   
 ■ ○   
 ■ ∅△   
 ■ —△   
 ■ ○△   
 ■ ○—

(三)移動模式與距離長短的比較

移動模式		翻動+ 拖行 ∅	拖行 —	飄動 △	滾動 ○	翻動+ 拖行+ 飄動 ∅△	拖行+ 飄動 —△	滾動+ 飄動 ○△	滾動+ 拖行 ○—
大上反角	次 數	23	7	0	0	4	1	0	0
	總 距 離	4803	2128	0	0	966	392	0	0
	平均距離(公分)	208.8	304	0	0	241.5	392	0	0
小上反角	次 數	25	5	0	0	3	2	0	0
	總 距 離	3056	609	0	0	397	376	0	0
	平均距離(公分)	122.2	121.8	0	0	132.3	188	0	0

大/小上反角移動模式與距離比較圖



## 【討論】

- (一) 空中墜落移動距離：每組大小上反角墜落點距離幾乎一樣都約在 20 公分，模式還是直接滑下來著地，大上反角都先出發，但地面移動的情形差別更明顯，蒴果分布的遠近跟地面移動情形有密切相關，因此以後的實驗都只採用地面移動的結果，作為探討蒴果分布的根據。
- (二) 距離：大上反角比小的長很多。
- (三) 離開的快慢：大上反角先離開比率高達 94.3%。
- (四) 模式：大/小都以翻+拖最普遍，其次是拖，再來是「翻+拖+飄」，最後是「拖+飄」。
- (五) 不同模式與距離：大上反角都比小的長。
- (六) 平放在桌面上時，果皮可以立起的，角度必 $\geq 40^\circ$ ，只能平放的必 $\leq 30^\circ$ ，初步篩選用這個方法快速有效率。
- (七) 把中軸相對，比較長度、中軸比例做篩選，再用篩選器挑選長度、大小，檢查種子位置，可將不變變因控制得很好，區分實驗組和對照組。

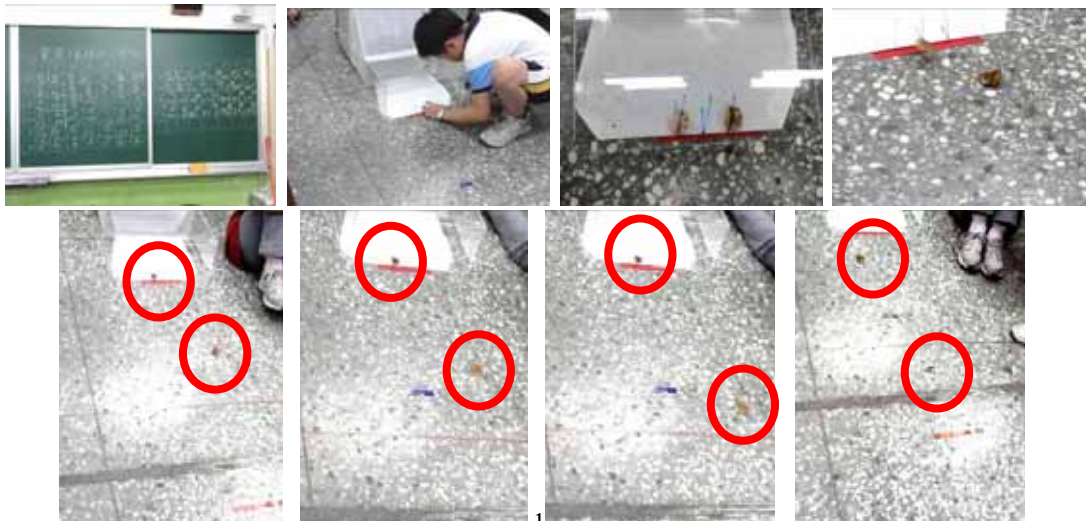
## 研究四、測試不同寬窄(展弦比)對蒴果移動情形的影響

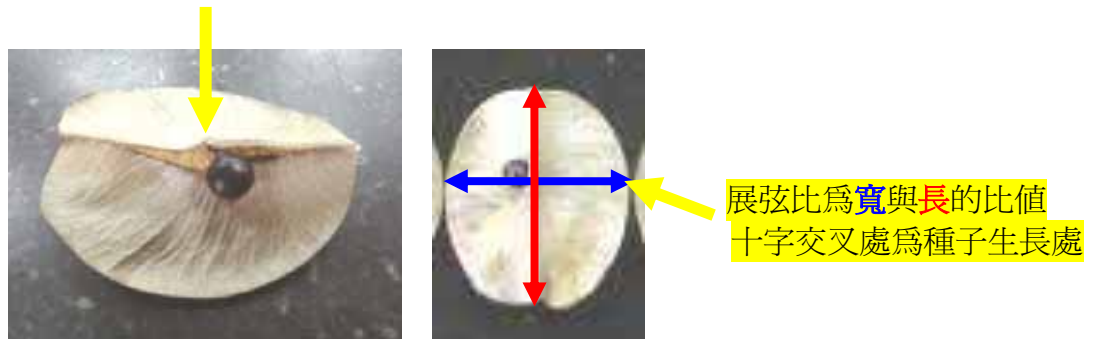
等長的蒴果有不同的寬窄，越寬(翼展越大)代表  $AR = S/C$  展弦比值越大，那麼不同的寬窄對移動有什麼影響？

### 【步驟】

- (一) 從100片果皮中挑選結構類似、用尺測量寬和窄計算展弦比並有單側種子的蒴果各5個。
- (二) 用1.6 M/S的風速同時吹尾部15°寬和窄(A大/小)的蒴果一次，記錄距離、模式、順序。
- (三) 重複 (二)，交換A大/小的位置再做並記錄。
- (四) 重複以 (二)、(三)，做A大/小做9次去除極端值取7次。
- (五) 重複以 (二)、(三)、(四)，做其他四組並記錄。

不同的蒴果		A	B	C	D	E
大	寬	3.4	3.4	3.2	3.3	3.2
	長	3.5	3.7	3.7	3.5	3.9
	展弦比	0.97	0.92	0.941	0.943	0.82
小	寬	3.1	2.8	3	3.2	2.7
	長	3.9	3.3	3.6	3.4	3.9
	展弦比	0.79	0.84	0.83	0.86	0.69

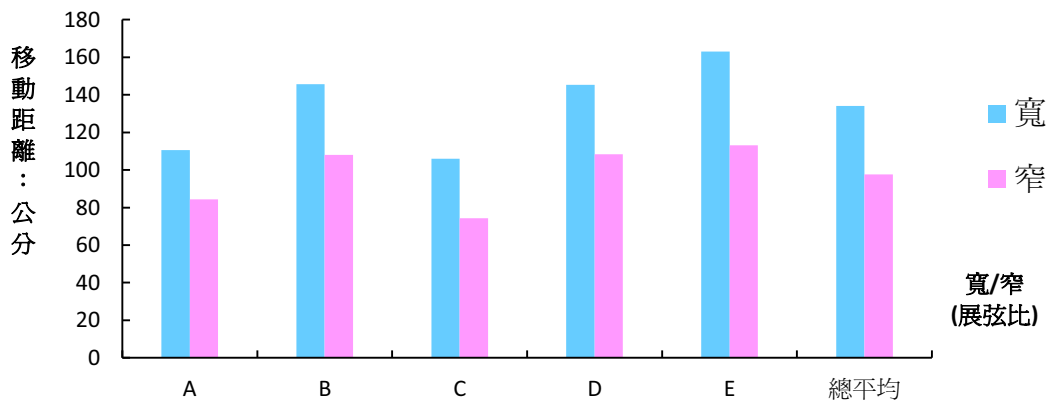




【結果】

(一) 移動結果

寬/窄(展弦比)與移動距離關係圖



移動結果		1	2	3	4	5	6	7	平均	距離總平均(公分)	
寬	A	228	84	78	71	83	80	150	110.6	134.1	
	0.97	○	∅	∅✓	—	—	∅	∅△			
	B	140	127	136	200	127	207	83			145.7
	0.92	∅✓	∅✓	∅△	○△✓	○✓	∅○	∅			
	C	104	82	83	131	130	133	79			106.0
	0.941	○	∅	∅	—	○	—	∅			
D	141	110	167	156	161	159	123	145.3			
0.943	∅	—∅✓	∅	—∅✓	∅✓	∅	∅				
E	221	200	79	254	200	73	115	163.1			
0.82	—✓	—✓	∅	○	—	∅	—○—				
窄	A	105	48	97	84	81	82	93	84.3	97.6	
	0.79	∅✓	—✓	∅	∅✓	∅✓	∅✓	∅✓			
	B	117	69	100	139	63	137	131	108.0		
	0.84	∅	○	∅✓	∅	○	∅✓	∅✓			
	C	72	72	76	75	82	72	72	74.4		
	0.83	∅✓	∅✓	∅✓	∅✓	∅✓	∅✓	∅✓			
D	102	116	81	117	107	145	90	108.3			
0.86	∅✓	—∅	∅✓	—∅	∅	∅✓	—✓				
E	133	118	102	122	118	119	80	113.1			
0.69	∅	∅	∅✓	∅✓	∅✓	∅✓	—○—✓				

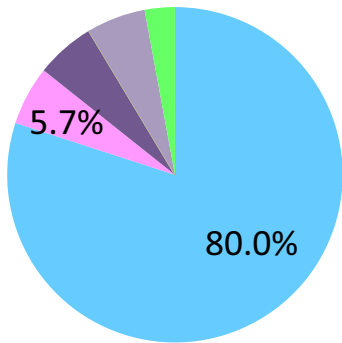
(二)移動模式比率和離開風洞快慢比率

移動模式		翻動+拖行 ∅	拖行 —	飄動 △	滾動 ○	翻動+拖行+飄動 ∅△	拖行+飄動 —△	滾動+飄動 ○△	滾動+拖行 ○—	翻動+滾動 ∅○	拖行+翻動 —∅	拖行+滾動+拖行 —○—	先被吹離風洞
寬	次數	16	7	0	5	2	0	1	0	1	2	1	10
	機率	16/35	7/35	0/35	5/35	2/35	0/35	1/35	0/35	1/35	2/35	1/35	10/35
		45.7%	20.0%	0.0%	14.3%	5.7%	0%	2.9%	0.0%	2.9%	5.7%	2.9%	29.0%
窄	次數	28	2	0	2	0	0	0	0	0	2	1	25
	機率	28/35	2/35	0/35	2/35	0/35	0/35	0/35	0/35	0/35	2/35	1/35	25/35
		80.0%	5.7%	0.0%	5.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.7%	2.9%	71.0%

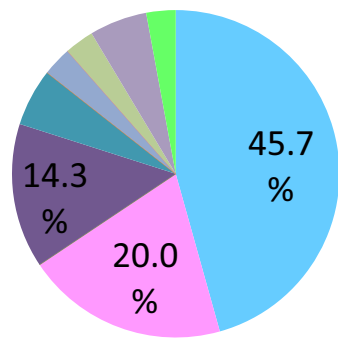
(三) 移動模式與距離長短的比較

移動模式		翻動+拖行 ∅	拖行 —	飄動 △	滾動 ○	翻動+拖行+飄動 ∅△	拖行+飄動 —△	滾動+飄動 ○△	滾動+拖行 ○—	翻動+滾動 ∅○	拖行+翻動 —∅	拖行+滾動+拖行 —○—
寬	次數	16	7	0	5	2	0	1	0	1	2	1
	總距離	1739	1039	0	843	286	0	200	0	207	266	115
	平均距離(公分)	108.7	148.4	0	168.6	143	0	200	0	207	133	115
窄	次數	28	2	0	2	0	0	0	0	0	2	1
	總距離	2834	138	0	132	0	0	0	0	0	233	80
	平均距離(公分)	101.2	69	0	66	0	0	0	0	0	155.3	80

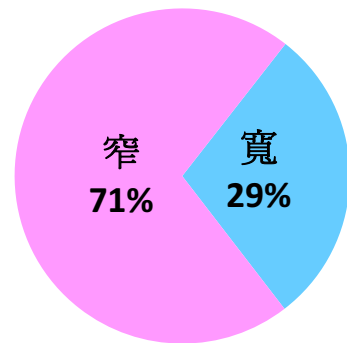
窄的移動模式比率



寬的移動模式比率

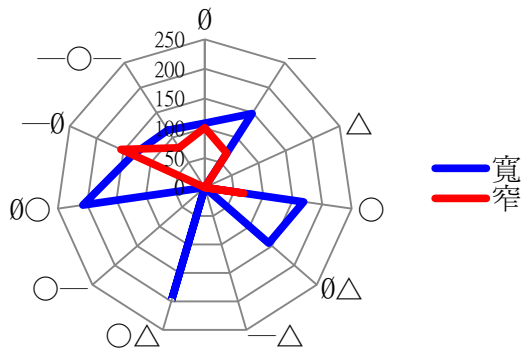


先離開風洞比率



■ ∅ ■ — ■ △ ■ ○ ■ ∅△ ■ —△ ■ ○△ ■ ○— ■ ∅○ ■ —∅ ■ —○—

不同寬窄(展弦比)移動模式與距離比較圖



## 【討論】

- (一) 距離：寬的(展弦比大)距離較遠，代表展弦比大的蒴果有較大的升力較遠。
- (二) 離開的快慢：窄的先離開比率較高，起步快，代表窄的(展弦比小)阻力小，能快速出發。
- (三) 模式：寬(8種)比窄(5種)多，兩者都以「翻+拖」比率最高，寬的出現「滾」、「拖」的比率比窄的多，但寬的(45.7%)在此模式比窄的(80%)少，接近研究二單側種子(45.7%)。
- (四) 不同模式與距離：寬的比窄的遠，但在「翻+拖」差距很小，可能是在於「滾+飄」與「翻+滾」寬的移動特別長。此外窄的在(先拖再翻)模式平均距離反而超過寬的。

## 研究五、測試表面皺折程度對蒴果移動情形的影響

蒴果表面凹陷皺折程度有明顯不同，跟高爾夫球表面類似，球上的凹洞產生推力可以球飛的更遠，那蒴果皺折程度對移動情形有什麼影響？



### 【步驟】

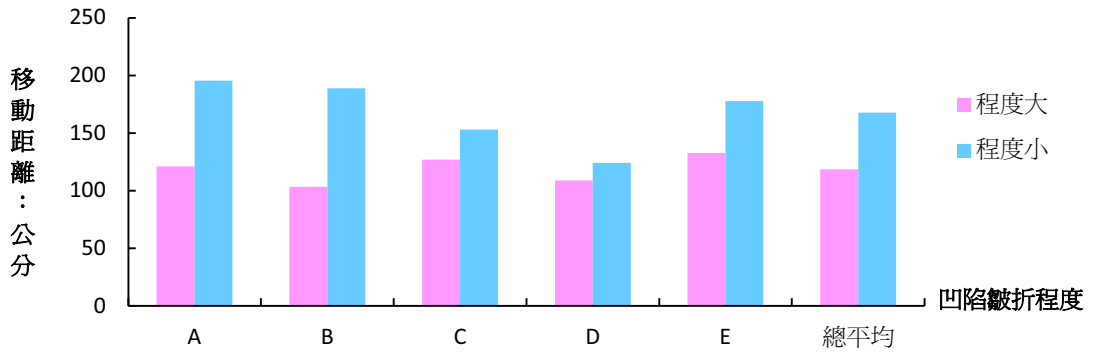
- (一) 從100片果皮中挑選結構類似、皺折程度大、小，有單側種子的蒴果各5個。
- (二) 用1.6 M/S的風速同時吹尾部15°程度的蒴果一次並記錄。
- (三) 重複(二)，交換A大/小的位置再做一次，並記錄。
- (四) 重複(二)、(三)，做A大小做9次去除極端值取7次。
- (五) 重複(二)、(三)、(四)，再進行其他四組，並記錄。

### 【結果】

#### (一) 移動結果

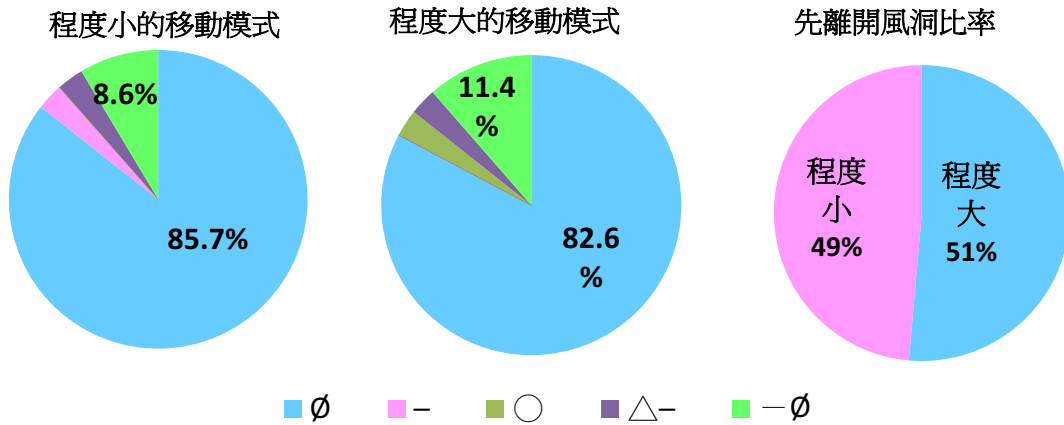
移動結果 凹陷皺折程度		移動結果							平均	距離總平均(公分)
		1	2	3	4	5	6	7		
大	A	138	126	116	149	51	147	120	121.0	118.5
		△-✓	∅	∅	∅✓	-∅	∅	∅✓		
	B	116	124	100	85	105	99	94	103.3	
		∅	∅	∅✓	∅✓	∅✓	∅	∅		
	C	107	127	127	110	100	196	121	126.9	
		∅	∅	∅✓	∅✓	∅	○	∅✓		
	D	124	66	83	108	120	130	130	108.7	
		∅	-∅✓	-∅	∅✓	∅✓	∅✓	∅✓		
	E	121	162	147	145	161	140	52	132.6	
		∅✓	∅	∅✓	∅	∅✓	∅✓	-∅		
小	A	368	142	142	205	219	140	152	195.4	167.8
		△-	∅✓	∅✓	∅	-∅✓	∅✓	∅		
	B	185	167	202	180	213	200	174	188.7	
		∅✓	∅✓	∅	∅	∅	∅✓	∅✓		
	C	146	149	119	140	135	153	228	152.9	
		∅✓	∅✓	∅	∅	∅✓	∅✓	-		
	D	143	113	111	116	141	122	123	124.1	
		∅✓	∅	-∅✓	∅	∅	∅	∅		
	E	183	149	150	186	156	263	157	177.7	
		∅	∅✓	∅	∅✓	∅	∅	-∅✓		

表面凹陷皺折程度與移動距離關係圖



(二) 移動模式比率和離開風洞快慢比率

移動模式 凹陷皺折程度		移動模式					先被吹離風洞
		翻動+拖行 ∅	拖行 —	滾動 ○	拖行+飄動 △—	拖行+翻動 -∅	
大	次數	29	0	1	1	4	18
	機率	29/35	0/35	1/35	1/35	4/35	18/35
		82.6%	0.0%	2.9%	2.9%	11.4%	51.4%
小	次數	30	1	0	1	3	17
	機率	30/35	1/35	0/35	1/35	3/35	17/35
		85.7%	2.9%	0.0%	2.9%	8.6%	48.6%

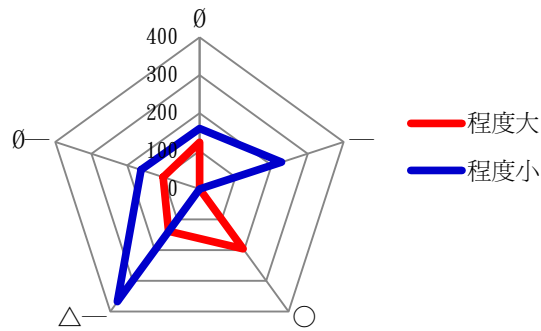


(三) 後半部的三角形凹陷皺折程度移動模式與距離長短的比較

移動模式 不同凹陷皺折程度		移動模式				
		翻動+拖行 ∅	拖行 —	滾動 ○	拖行+飄動 △—	拖行+翻動 -∅
大	次數	29	0	1	1	4
	總距離	3561	0	196	138	252
	平均距離(公分)	122.8	0	196	138	100.8
小	次數	30	1	0	1	3
	總距離	4769	228	0	368	487
	平均距離(公分)	159	228	0	368	162.3



不同的凹陷皺折程度移動模式與距離比較圖



### 【討論】

- (一) 距離：凹陷皺折程度小距離比程度大的長，容易分布到較遠的地方。
- (二) 離開的快慢：大和小的差別只有 2.8%，所以起步快慢無明顯差別。
- (三) 模式：大和小的模式不多，都以「翻+拖」比率最高，均超過 80%以上，再來「拖+翻」居第二，其他模式只出現 1 次，沒有明顯差別。
- (四) 不同模式與距離：程度小的移動距離都明顯長很多，除了滾例外。

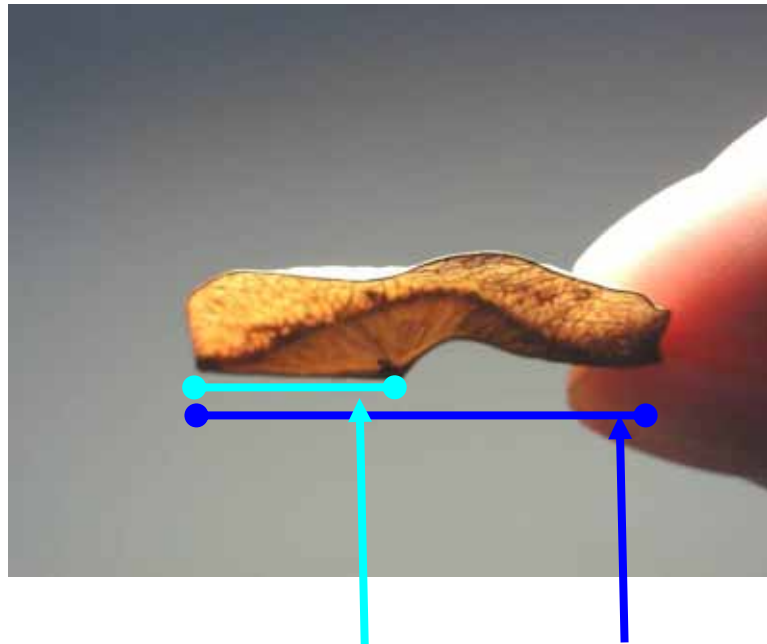
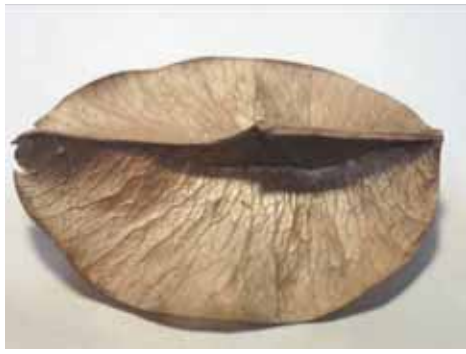
### 研究六、測試中軸比例值對蒴果移動情形的影響

中軸前半段(從蒴果中軸前端至種子附著點為止)的長短有明顯不同，種子的位置(重心)前後不同，是否對移動情形有影響？

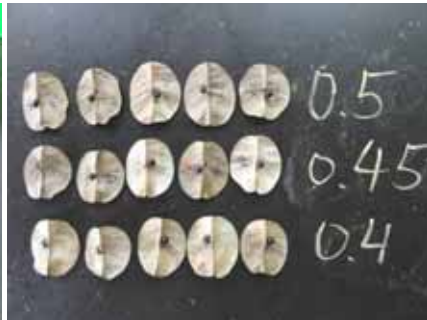
#### 【步驟】

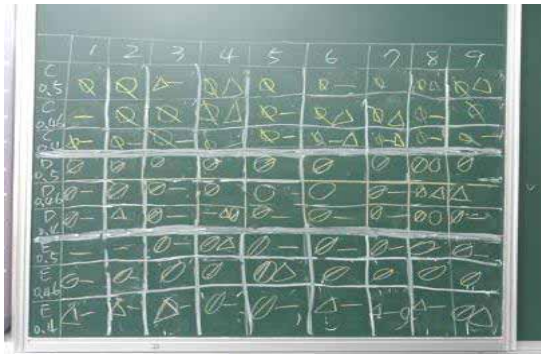
- (一) 隨機挑選結構左右對稱、沒有破損、大小不同的蒴果500片。
- (二) 以尺和放大鏡測量前半段中軸長、全中軸長，計算中軸比例值(前半段中軸長/中軸全長)，並紀錄。
- (三) 統計總平均值為 0.46，將比值大、中、小定為  $\geq 0.5$ 、 $=0.46$ 、 $\leq 0.4$  三類。
- (四) 從 100 片果皮中用篩選器挑選結構類似、挑選出大、中、小三類並有單側種子的蒴果各 5 個。
- (五) 用 1.6 M/S 的風速同時吹尾部 15 度大、中、小三類(A大/中/小)一次並記錄。
- (六) 重複(五)，交換A大/中/小位置再做一次(交換方法如圖)，並記錄。
- (七) 重複(五)、(六)，去除極端值，做 11 次取 9 次。
- (八) 重複(五)、(六)、(七)，再做其他四組，並記錄。

第1、4、7次	A大	A中	A小
第2、5、8次	A小	A大	A中
第3、6、9次	A中	A小	A大



中軸比例值=前半段中軸 / 中軸全長



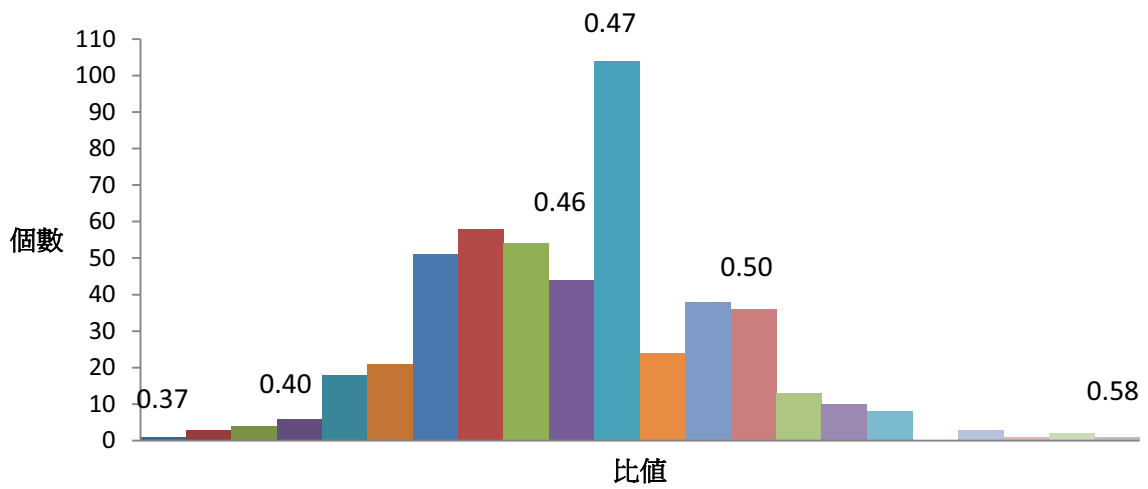


**【結果】**

(一) 中軸比例值統計

中軸比例值	個數	中軸比例值	個數	中軸比例值	個數
0.37	1	0.45	54	0.53	8
0.38	3	0.46	44	0.54	0
0.39	4	0.47	104	0.55	3
0.40	6	0.48	24	0.56	1
0.41	18	0.49	38	0.57	2
0.42	21	0.50	36	0.58	1
0.43	51	0.51	13	比例值總平均	總數
0.44	58	0.52	10	0.46	500

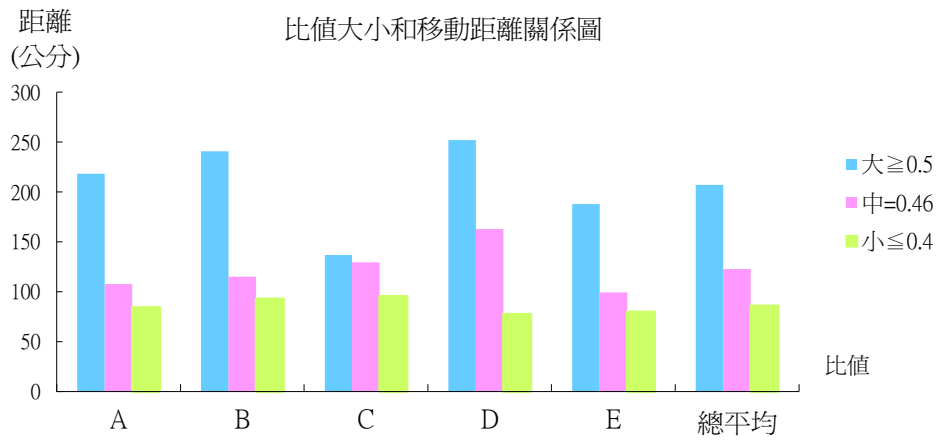
中軸比例值個數統計



(二) 移動結果

移動結果		1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均	距離 總平均 (公分)		
大 ≥0.5	A	225	213	289	250	216	100	139	208	325	218.3	207.1		
		∅ ✓✓✓	∅- ✓✓✓	∅- ✓✓✓	∅- ✓	∅- ✓✓✓	∅△ ✓	- ✓	∅ ✓✓✓	∅○ ✓✓✓				
	B	279	214	253	224	225	265	201	207	300	240.9			
		∅- ✓	∅ ✓	∅ ✓	∅ ✓	∅ ✓	∅- ✓✓✓	∅ ✓✓	∅ ✓	∅- ✓				
	C	117	120	72	144	138	250	109	139	142	136.8			
		∅ ✓✓✓	∅ ✓✓	△- ✓✓✓	∅△ ✓✓	∅ ✓✓	○ ✓✓✓	∅ ✓✓	∅△ ✓	∅△ ✓✓✓				
	D	318	327	209	340	213	230	203	213	214	251.9			
		- ✓✓✓	- ✓✓✓	∅- ✓✓✓	∅△ ✓✓✓	∅- ✓✓	∅- ✓	∅- ✓✓✓	∅- ✓✓	∅- ✓✓✓				
	E	206	187	210	200	167	179	204	134	202	187.7			
		∅ ✓✓	∅ ✓	∅ ✓✓	∅ ✓✓	∅ ✓	∅ ✓	∅ ✓	∅○ ✓✓	∅ ✓				
	中 =0.46	A	70	105	112	109	83	130	115	126	120		107.8	122.9
			∅ ✓	∅- ✓	∅- ✓	∅- ✓✓	- ✓	∅- ✓✓✓	∅- ✓✓✓	∅- ✓	∅- ✓			
B		113	109	91	131	116	113	104	116	143	115.1			
		∅△ ✓✓	∅- ✓✓	∅- ✓✓✓	∅- ✓✓	∅△ ✓✓	∅- ✓✓	∅△ ✓✓	∅△ ✓✓	∅- ✓✓✓				
C		50	132	183	196	120	131	104	117	132	129.4			
		- ✓	∅ ✓	∅ ✓	∅△ ✓	∅- ✓	∅△ ✓✓	∅△ ✓	∅- ✓✓	∅ ✓				
D		350	107	200	182	120	120	127	130	129	162.8			
		∅- ✓✓	∅ ✓✓✓	∅ ✓✓	∅ ✓	∅△ ✓✓✓	∅ ✓	∅ ✓	∅ ✓✓✓	∅ ✓✓✓				
E		94	85	105	93	123	123	106	94	70	99.2			
		∅- ✓✓✓	∅ ✓✓✓	∅- ✓✓✓	∅- ✓	○ ✓✓✓	○ ✓✓✓	∅- ✓✓	∅△ ✓✓✓	△ ✓✓✓				
小 ≤0.4		A	72	91	82	86	94	77	100	65	92	84.3	85.9	
			∅△○ ✓✓	∅- ✓✓	∅- ✓✓	∅- ✓✓✓	∅- ✓✓	- ✓✓	∅△ ✓✓	- ✓✓	∅- ✓✓			
	B	101	100	100	81	80	105	71	96	103	93.0			
		∅- ✓✓✓	∅- ✓✓✓	∅- ✓✓	∅- ✓✓✓	∅- ✓✓✓	∅△ ✓	∅○ ✓	∅- ✓✓✓	∅- ✓✓				
	C	90	92	85	101	100	125	81	89	95	95.3			
		∅- ✓✓	∅- ✓✓✓	∅- ✓✓	∅- ✓✓✓	∅- ✓✓✓	∅△ ✓	∅△- ✓✓✓	∅- ✓✓✓	∅- ✓✓				
	D	65	63	67	106	108	77	56	62	93	77.4			
		△- ✓	△- ✓	△- ✓	∅- ✓✓	∅- ✓	△- ✓	△-∅ ✓✓	△- ✓	○△ ✓				
	E	84	69	78	75	90	89	93	49	90	79.7			
		∅- ✓	△ ✓✓	∅- ✓	-∅△ ✓✓✓	∅- ✓✓	∅- ✓✓	∅- ✓✓✓	∅○ ✓	∅- ✓✓				

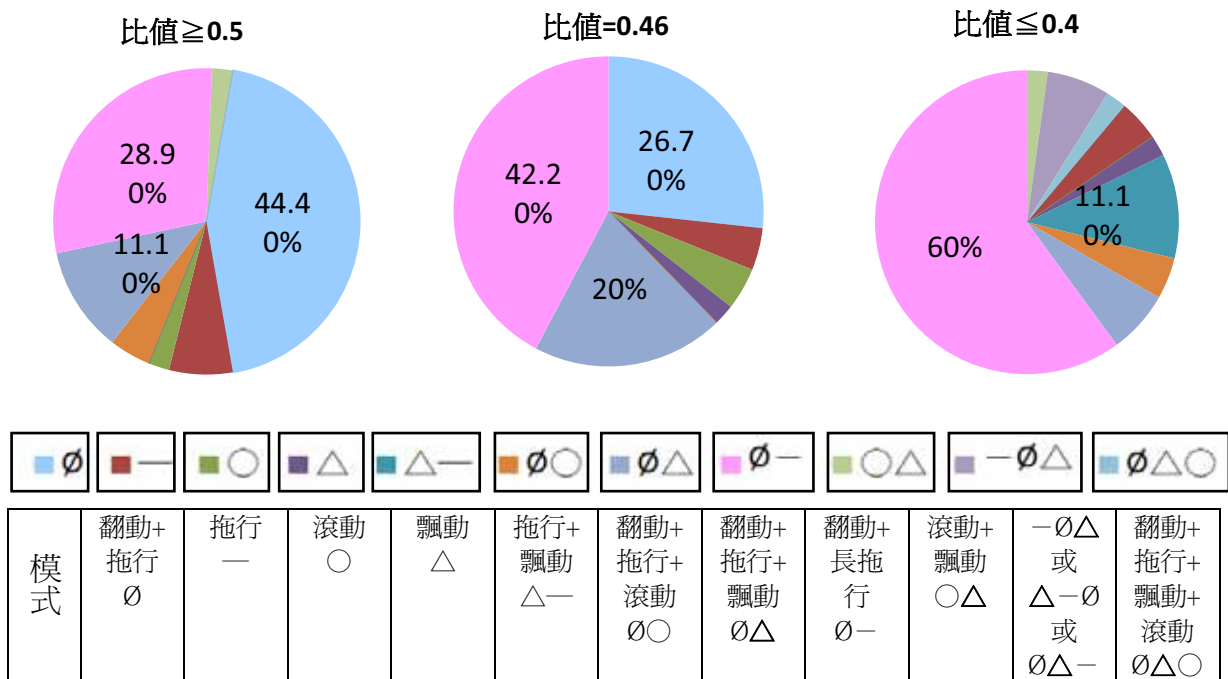
備註：1. 打✓的是最快被吹離風洞的蒴果，✓✓次快，✓✓✓最慢。

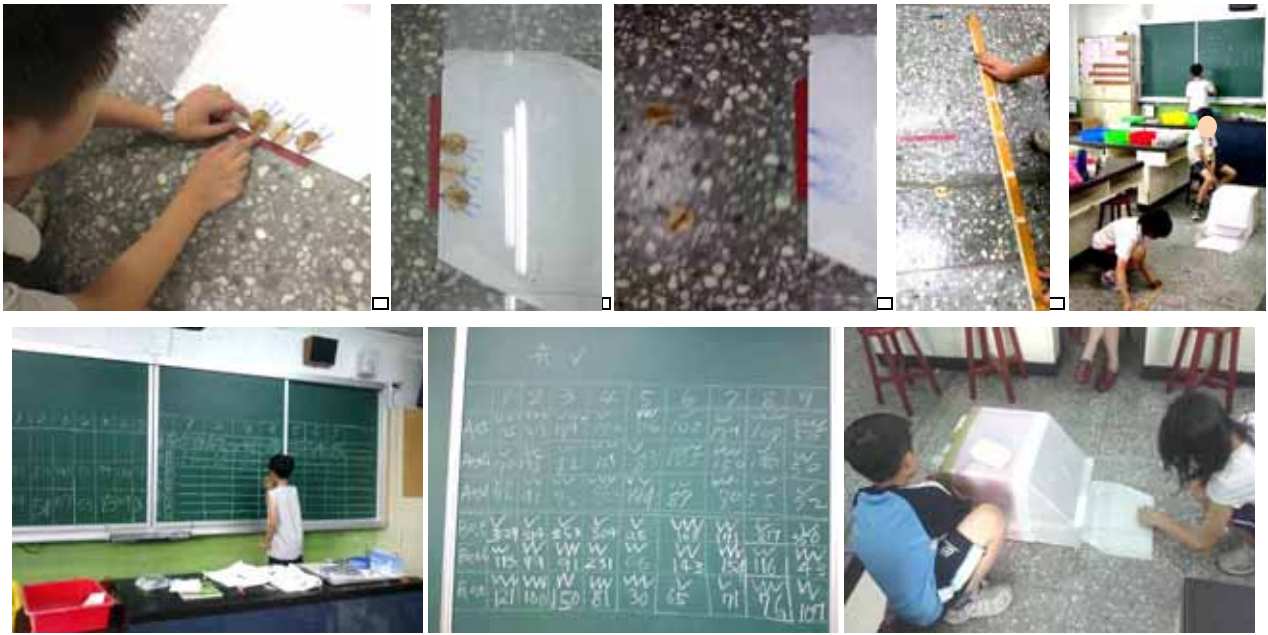


(三)移動模式比率

移動模式		翻動+拖行 $\emptyset$	拖行 —	滾動 $\bigcirc$	飄動 $\triangle$	拖行+飄動 $\triangle$ —	翻動+拖行+滾動 $\emptyset\bigcirc$	翻動+拖行+飄動 $\emptyset\triangle$	翻動+長拖行 $\emptyset$ —	滾動+飄動 $\bigcirc\triangle$	— $\emptyset\triangle$ 或 $\triangle$ — $\emptyset$ 或 $\emptyset\triangle$ —	翻動+拖行+飄動+滾動 $\emptyset\triangle\bigcirc$
大 $\geq 0.5$	次數	20	3	1	0	0	2	5	13	1	0	0
	機率	20/45 44.4%	2/45 6.7%	2/45 2.2%	0/45 0%	0/45 0%	0/45 0%	9/45 11.1%	13/45 28.9%	1/45 2.2%	0/45 0%	0/45 0%
中 =0.46	次數	12	2	2	1	0	0	9	19	0	0	0
	機率	12/45 26.7%	2/45 4.4%	2/45 4.4%	1/45 2.2%	0/45 0%	0/45 0%	9/45 20%	19/45 42.2%	0/45 0%	0/45 0%	0/45 0%
小 $\leq 0.4$	次數	0	2	0	1	5	2	3	27	1	3	1
	機率	0/45 0%	2/45 4.4%	0/45 0%	1/45 2.2%	5/45 11.1%	2/45 4.4%	3/45 6.7%	27/45 60%	1/45 2.2%	3/45 6.7%	1/45 2.2%

中軸比例值與移動模式比率關係圖(圖例在下方)

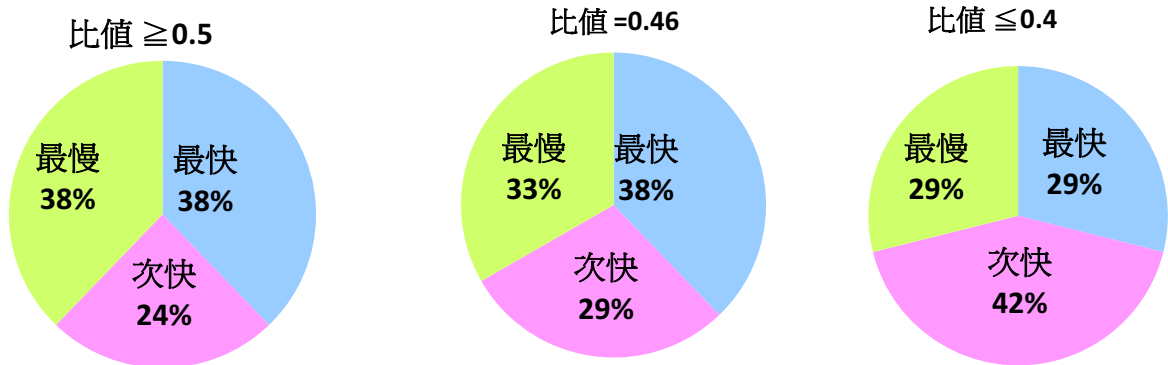




(四)離開風洞快慢的比率

移動模式 中軸比值		最快 離開	次快 離開	最後 離開
		大 ≥0.5	17	11
中 =0.46	次數	17	13	15
	機率	17/45 37.8%	13/45 28.9%	15/45 33.3%
小 ≤0.4	次數	13	19	13
	機率	13/45 28.9%	19/45 42.2%	13/45 28.9%

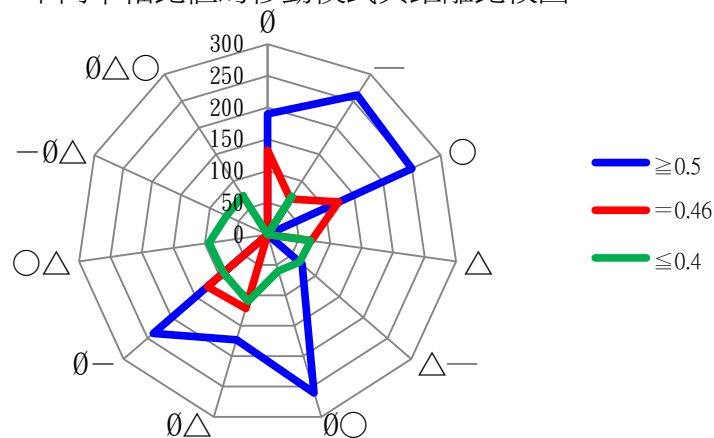
不同中軸比值離開風洞快慢的比率



(五) 移動模式與距離長短的比較

移動模式		翻動+ 拖行 ∅	拖行 —	滾動 ○	飄動 △	拖行+ 飄動 △—	翻動+ 拖行+ 滾動 ∅○	翻動+ 拖行+ 飄動 ∅△	翻動+ 長拖行 ∅—	滾動+ 飄動 ○△	—∅△ 或 △—∅ 或 ∅△—	翻動+ 拖行+ 飄動+ 滾動 ∅△○
大 ≥0.5	次 數	20	3	1	0	1	2	5	13	0	0	0
	總 距離	3796	784	250	0	72	521	865	3094	0	0	0
	平均距離(公分)	189.8	261.3	250	0	72	260.5	173	238	0	0	0
中 =0.46	次 數	12	2	2	1	0	0	9	19	0	0	0
	總 距離	1597	133	246	70	0	0	1094	2389	0	0	0
	平均距離(公分)	133.1	66.5	123	70	0	0	121.6	125.7	0	0	0
小 ≤0.4	次 數	0	2	0	1	5	2	3	27	1	3	1
	總 距離	0	142	0	69	334	120	330	2496	93	212	72
	平均距離(公分)	0	71	0	69	66.8	60	110	92.4	93	70.7	72

不同中軸比值的移動模式與距離比較圖



【討論】

- (一) 中軸比例值：最多的是 0.43 到 0.5 之間，≤0.4 和 ≥0.5 少見。
- (二) 比值總平均是 0.46，用它為中間值【中】，≤0.4 和 ≥0.5 作為【小】和【大】，分為三類。
- (三) 距離：【大】>【中】>【小】，比值越大容易移動到較遠的地方。
- (四) 離開的快慢：【大】和【中】的比率很相近，區別不明顯，但比【小】的高 9%，【小】大多是次快離開，【中】應該是起步快慢的分界，【大】於較快離開，【小】於則較慢。
- (五) 模式：有兩種主要移動模式在消長，【大】以「翻+拖」不會出現飄為主、「翻+長拖行」為次要，【小】的反過來，並有飄或滾；而【中】則是「翻+拖」、「翻+長拖行」和「滾+拖+飄」平分秋色。
- (六) 不同模式與距離：【大】只要在含有翻、拖或滾，距離一定會明顯長於【中】和【小】；但只要出現飄動都會明顯短於【小】。
- (七) 中軸比例值愈大，起步愈快，移動距離愈遠，多以翻、拖和滾為主，不易飄。

研究七、檢視表面氣流對蒴果移動情形的影響

從資料中發現氣流通過不同物體表面會有不同的速度，所以對氣流通過蒴果表面產生的影響很好奇，所以選擇結果差異較大的不同上反角蒴果，設計煙霧實驗仔細觀察比較。

### 【步驟】

- (一) 初步測試：用線穿過單邊種子蒴果中軸重心旁邊，用膠帶上下固定在風洞出口，分別用白蠟油加熱及30~15枝網綁點燃的線香所產生的煙以1.6M/S的風吹蒴果，用攝影機以及相機拍攝記錄煙霧通過蒴果表面的結果。
- (二) 再用縫衣線穿過上反角C(大/小)，將C大的線後傾15度固定貼在測試段中央處。
- (三) 將15支香綁成一把，點燃產生煙霧，貼在收縮段，組合風洞。
- (四) 用 1.6M/S 的風對尾部 15 度正面吹送氣流煙霧，觀察表面氣流變化，並攝影記錄五分鐘。
- (五) 重複(三)進行 C 小的實驗並記錄。
- (六) 用 Media Player Classic 軟體慢速撥放觀察計算蒴果的擺動幅度和次數。



### 【結果】

#### (一)初步表面氣流情形

#### 初步測試表面氣流情形





正面迎風，上方氣流密集速度快壓力小，下方疏鬆速度慢壓力大有整流現象，產生升力



正面迎風，翼尖氣流剝離產生渦流，產生下壓力量



側面迎風，上方氣流密集速度快壓力小，下方氣流疏鬆速度慢壓力大，翼面產生升力上揚



側面迎風，氣流通過翼面開始剝離，產生渦流上方壓力增加，翼面開始搖擺不穩

手繪上反角表面氣流實驗



大上反角正面迎風，上半部氣流平順服貼未剝離，翼尾產生渦流



大上反角正面迎風，氣流服貼



小上反角正面迎風，上半部產生許多渦流，翼尾上方渦流下壓蒴果尾部，加上前上方氣流密集壓力小使蒴果將側翻










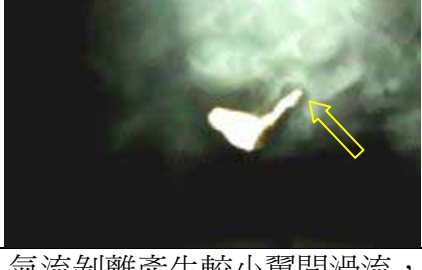



















大上反角側面迎風，上方氣流更密集速度快壓力小使蒴果上揚，又同時產生渦流下壓，和翼面升力對抗，開始搖擺。

其他表面氣流情形



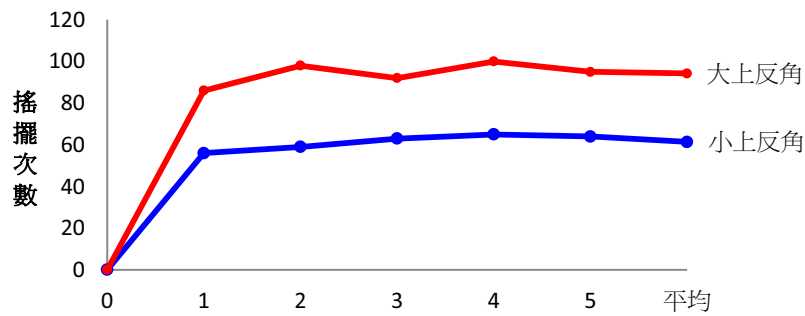
(二)上反角表面氣流情形

C 大上反角正面迎風		
		
氣流沿翼緣通過	與煙接觸氣流沿翼緣通過.	翼緣上半部氣流服貼，前方有局部渦流
		
氣流服貼	上方平順服貼未剝離，翼尾渦流	下半部明顯平順服貼
		
氣流開始分流服貼表面	氣流服貼上快下慢，產生升力	氣流服貼上快下慢
C 大上反角側風		
		
氣流剝離產生較小翼間渦流，輕微不穩定	氣流剝離與翼間渦流，不像小上反角明顯	側風氣流剝離右方渦流
C 小上反角正面迎風		
		
與煙接觸氣流沿翼緣通過	翼尖側面下方氣流開始剝離	翼尖氣流明顯剝離，產生渦流

		
平穩飄動時，僅在翼尾有渦流產生	後方輕微剝離，產生渦流	翼尾氣流有剝離現象，開始有小幅度翻轉
		
恢復平穩時，氣流服貼上下表面，中軸似乎有整流作用	翼尖氣流不穩定，翼尖有氣流剝離及渦流現象	恢復穩定，前方有渦流，翼尖氣流平順
		
遇到一道明顯的氣流	下方氣流平順，上方氣流開始產生剝離現象	翼尖氣流產生明顯剝離現象，開始要翻轉不穩
<b>C 小上反角側風</b>		
		
氣流持續剝離，翼尖上下都有渦流，開始翻轉	氣流持續剝離，產生下方渦流使右翼大角度翻起	翼尖氣流剝離明顯，渦流集中翼尖在下方，翻轉角度變大

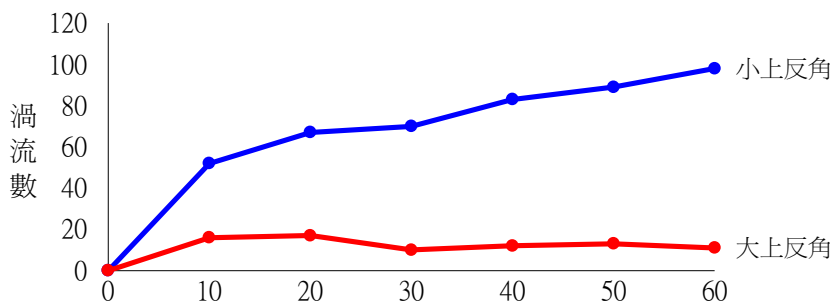
## (二)搖擺情形的比較

不同上反角	每分鐘搖擺次數							平均	搖擺角度
	0	1	2	3	4	5			
小上反角	0	56	59	63	65	64	61.4	10~90	
大上反角	0	86	98	92	100	95	94.2	5~15	



### (三) 產生渦流情形的比較

不同上反角 \ 每 10 秒渦流數	每 10 秒渦流數							
	0	10	20	30	40	50	60	平均
小上反角	0	52	67	70	83	89	98	91.8
大上反角	0	16	17	10	12	13	11	15.8



### 【討論】

- (一) 蠟油煙有惡臭，戴N95口罩也不能忍受。30隻線香煙太多又容易起火，15枝效果最好。
- (二) 線的固定方式也從垂直改為後傾15度比較能平穩迎風。
- (三) 蒴果表面氣流剝離會產生翼間渦流，流速慢壓力較大，造成不穩定。
- (四) 翼尖渦流在上會下壓(飛機會失速)，在側邊會側翻。
- (五) 大上反角搖擺頻率約95次/分，搖擺幅度約5度~15度，翼尖上下氣流伏貼不易剝離不易產生渦流。每10秒鐘渦流約16次（多在翼尾）。上方氣流連續伏貼，流速快壓力小，下方平順距離短、流速慢壓力大，因此升力較大。
- (六) 小上反角搖擺頻率約62次/分，搖擺幅度約10度~90度，氣流在翼面上方產生剝離，翼尖渦流出現次數較多，每10秒鐘渦流約98次，每次有明顯渦流出現就會產生明顯搖擺，造成不穩定，容易產生側翻。

## 伍、結論

**研究一：**以1.6 M/S的風速吹蒴果尾部15°(右15°) 是最佳的迎風位置，接近自然移動的效果。

**研究二：**重量不相等的單邊種子蒴果移動距離比較長，分布較遠。單邊容易拖行；而且單、雙邊都經常出現「翻+拖」，雙邊比例更高。雙邊出現翻、拖和滾比單邊多，也常出現滾和翻。只要滾動時，雙邊距離會領先單邊，也有機會到遠處。

**研究三：**1、大上反角的蒴果移動距離明顯長於小上反角，而且較快離開和分布較遠。

- 2、上反角越大不容易出現快速滾動或翻動的情形，大/小都以「翻和拖」最普遍，角度增加，距離就會增加。

**研究四：**寬的蒴果(展弦比大) 動距離較遠。但窄的(展弦比小)起步速度快先離開風洞。兩者都以「翻動加拖行」最常見。

**研究五：**皺折程度小的移動距離長，容易分布到較遠的地方。離開的快慢無明顯差別，移動模式相似，都以「翻動加拖行」比率最高。

- 研究六：**
- 1、中軸值最多的比例是 0.43 到 0.5 之間， $\leq 0.4$  和  $\geq 0.5$  少見。比值總平均是 0.46，比值大者重心偏後方接近中軸中央，比值小者重心偏前方離中央遠。
  - 2、比值【0.46】是起步快慢的分界，大於較快離開，小於則較慢。
  - 3、比值大者以【滾動+拖行】為主要、【滾動+長拖行】為次要，比值小則反過來。比例大不會出現飄動，比值小會伴隨飄動或滾動；比例中者滾動、拖行、飄動都會出現。
  - 4、比例值愈大，移動距離愈遠，會出現翻動、拖行或滾動，距離明顯大於中和小；但出現飄動時，情形就會相反。

- 研究七：**
- 1、大上反角搖擺頻率較快，搖擺幅度小較穩定，翼尖渦流少，多出現在翼尾，翼尾有渦流有推進作用。
  - 2、小上反角搖擺頻率較慢，搖擺幅度大，翼尖渦流次數多，並會明顯搖擺，造成不穩定，容易產生翻覆。
  - 3、上反角角度會影響渦流形成。不論角度大或小，當側面迎風時會產生翼尖下渦流使翼面下壓力增加，產生大幅度側翻。
  - 4、實驗結果與一般飛機設計原理相似，上反角比較大容易調整機身，會比較平穩。

- 總 結：**
- 1、從實驗中看出蒴果以不同的重量、上反角、展弦比、平滑的表面、重心等，產生不同移動情形，分布到不同區域，避免集中生長。
  - 2、希望下一年實地收集分布到不同遠近的蒴果，測量分析結構以印證我們所發現的結論；並且用煙霧更仔細的研究其他蒴果表面氣流和移動的關係。

## 陸、參考資料及其他

- 1、康軒文教事業主編(民98第6版)。自然與生活科技第五冊。植物世界面面觀(22-36頁)。台北
- 2、南一書局企業股份有限公司主編(民101初版2刷)。自然與生活科技第一冊。植物的身體(第6頁)。台南
- 3、羅家祺(民98)。行道樹圖鑑。台灣樂樹(334-337頁)。台中：晨星出版
- 4、國立臺灣海洋大學環境風洞實驗室(2010/08/20)。新增 碩專班風工程授課講義 <http://wt.hre.ntou.edu.tw/007.htm>。第八章風洞試驗與模擬之之環境風洞設計與特性概述。
- 5、黃柏涵、陳佳瑜、蕭雅馨、陳頌潔(民94)。如鷹展翅上騰 - 重新得力(4-7頁)。高雄市立陽明國民中學。第45屆科展。 <http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/high/0316/031602.pdf>

## 【評語】 080116

1. 種子翼翅的神奇飄移功能總是吸引人們想更進一步了解它們的運動模式，同學們設計了風洞，並就特定的種子翼翅進行分類，並觀測歸納翻、滾、拖、移等不同的運動模式，大量詳細的數據提供了種子翼翅與運動模式的數據。定量分析方面可作為進一步探究的方向。
2. 小組的傳達能力頗佳。