

# 屏東縣第 65 屆國中小學科學展覽會

## 作品說明書

科別：物理科

組別：國小

作品名稱：樹大招風--颱風樹倒物理性原因探究

關鍵詞：樹倒原因 颱風與樹木 極端氣候

編號：A2003

## 目錄

### 摘要

壹、研究動機	-----	1
貳、研究目的	-----	2
參、研究工具	-----	3
肆、研究流程與方法	-----	4
伍、結果與討論	-----	6
陸、結論	-----	23
柒、參考資料	-----	24

## 樹大招風--颱風樹木倒塌物理性原因探究

### 摘要

本次研究分幾方面探討樹木在颱風中倒塌的原因，(一)首先在風速方面的關係，颱風風速越強烈，樹木倒塌越多。(二)其次樹木本身因素方面的影響，相同條件下 1. 樹葉較多的樹，比沒有樹葉的樹更容易被連根拔起，樹葉量越多越易倒。2. 樹根越淺比樹根越深越容易倒。3. 樹根分布範圍小比範圍大更易倒。4. 根深度相同，樹身高比樹身矮的樹更容易被吹倒。(三)此外在土壤影響方面：1. 相同條件下，土壤含水飽和度愈大愈易倒。2. 細塵土比礫石、沙子及混和的土壤易倒。(四)另外在樹木所站的位置上影響方面，1. 密集度大的林區在颱風中，前排的樹木受力較大越容易倒，2. 間距較大的樹木比間距小的樹木倒塌率較大，3. 山頂及迎風面的樹木比背風面及底部的樹更易傾倒，4. 樹木若有高大且寬的矩形屏障物後，則不易被吹倒。但若屏障物不夠高或是流線型邊緣，那麼風也是會越過或沿著屏障邊緣吹倒樹木。(五)最後在地形影響上，喇叭開口及平行開口的二邊有山夾擊的山谷，風從寬開口灌進去，狹窄風口處風速會變大，窄口處的樹比寬口處容易倒；平行開口的樹，則前面先倒。

## 壹、研究動機：

大家都知道樹大招風這句成語，樹木越大所受的風力越大，極端氣候颱風強度越來越強，樹木遭受倒塌的風險也越來越大，山陀兒來襲，我們校園也因山陀兒颱風，大樹一半嚴重受損，甚至連根拔起，俗話說得好「樹頭站得穩，不怕樹尾做風颱」，於是我們想了解樹木會在颱風中倒塌原因是什麼？樹與風的關係為何？



## 貳、研究目的

- 一、了解樹木在颱風中倒塌的因素有那些？
- 二、颱風的風速與樹木倒塌可能關係。
- 三、樹木受力面積（樹葉）、根的深度、根分布的範圍大小、樹身的高度與樹倒的可能關係。
- 四、土壤的顆粒性質與含水飽和度會不會影響樹倒？
- 五、颱風中樹木站的位置環境與樹倒塌關係。
- 六、地形地勢和樹木倒塌有無關係？

### 參、研究工具

電風扇、尺、吹風機、竹籤、牙籤、氣球底座、黏土、粉彩紙、礫石、沙子、細塵土

				
氣球底座	電風扇	粉彩紙	尺、原子筆	黏土

				
礫石	尺	沙子	細塵土	竹籤牙籤

		
各種砂石及細土	樹枝無樹葉插土	模型樹之一

## 肆、研究流程與方法

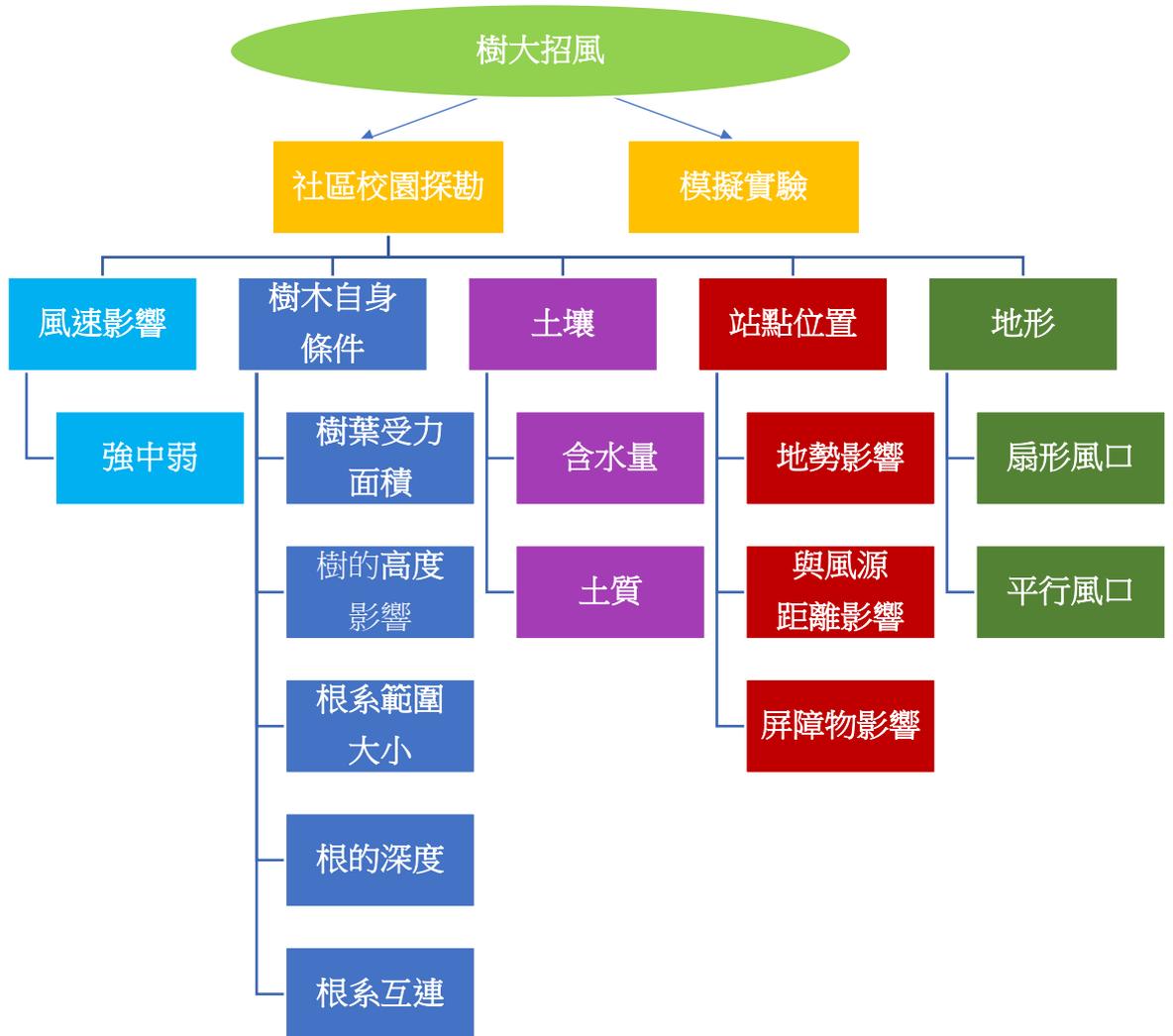
首先我們先調查山陀兒颱風後，校園、附近社區、街道樹木倒塌的情形，做一初步的了解樹木倒塌的情形，再來用模擬的方式探討樹木倒塌的物理成因。颱風是大尺度的風力現象，颱風中樹木倒塌的因素有很多，如樹枝受損、樹幹斷裂、樹身傾斜、及連根拔起，但因使用風扇模擬風力，條件有限，只就我們現有設備及材料製作模型，從風力強度、樹木本身條件、土壤、樹木站立的位置環境、地形，模擬風與樹木倒塌的關係，颱風樹倒的模式有很多種，我們只將其分成傾斜及全倒，因無法達到樹幹斷裂的程度，所以不討論此狀況，另外樹木生病屬生物上不在此討論範圍。

此次實驗，除第一個實驗使用大、中、小三種不同轉速之外，其餘皆使用單一轉速：大(輕颱等級)，進行實驗操作。研究分二大部份：1：實際調查部分：在颱風過後，調查校園及社區樹倒的情形，將其拍照並將樹木倒塌情形進行分類。2 模擬實驗部分：風速大小部份、樹自身因素部份、土壤部份、樹所站位置部分、地形影響部分。實驗方法主要以電扇最大風速吹，樹則是自行製作，土壤及沙皆為學校內及附近工地。因實驗項目多，所以研究方法與細部過程皆放在各實驗結果與討論中。

蒲氏風力級數

強度	風級	風速
(無風)	1 級	0 -1.5 (m/s)
(輕風)	2 級	1.6 -3.3 (m/s)
(微風)	3 級	3.4 -5.4 (m/s)
(和風)	4 級	5.5 -7.9 (m/s)
(清風)	5 級	8.0 -10.7 (m/s)
(強風)	6 級	10.8 -13.8 (m/s)
(疾風)	7 級	13.9 -17.1 (m/s)
輕度颱風	8 級	17.2 -20.7 (m/s)
	9 級	20.8 -24.4 (m/s)
	10 級	24.5 -28.4 (m/s)
	11 級	28.5 -32.6 (m/s)
中度颱風	12 級	32.7 -36.9 (m/s)
	13 級	37.0 -41.4 (m/s)
	14 級	41.5 -46.1 (m/s)
	15 級	46.2 -50.9 (m/s)
強烈颱風	16 級	51.0 -56.0 (m/s)
	17 級	56.1 -61.2 (m/s)
	>17 級	>61.2 (m/s)

研究流程圖：



## 伍、結果與討論

### ● 實際調查部分：

#### 方法與流程：

首先颱風後調查校園及社區樹倒的情形，將其拍照並將樹木倒塌情形做一分類。

#### 結果與討論：

颱風中樹木受損的方式大概可分為樹枝樹葉吹落、樹幹折斷、樹身傾斜、連根拔起等狀態。

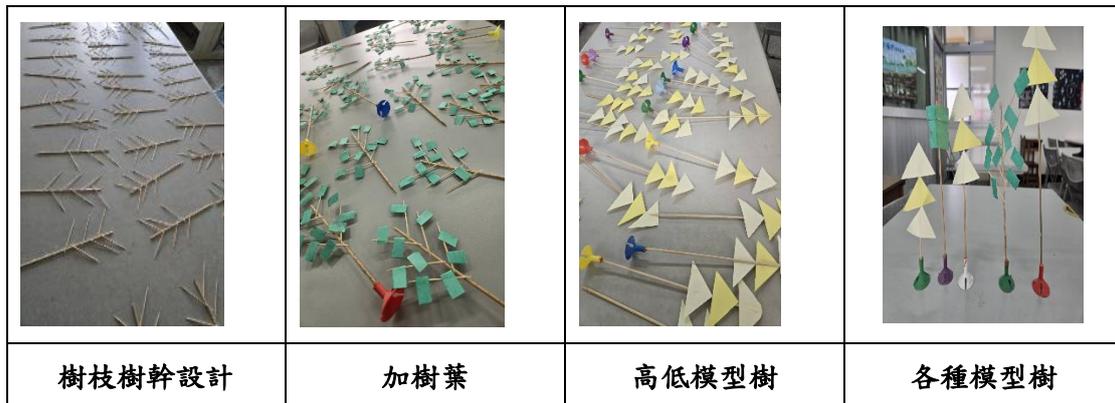


### ● 模擬實驗部分：

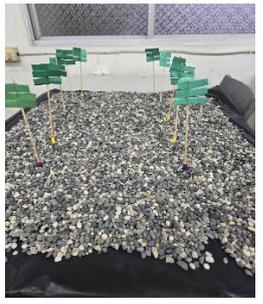
#### 實驗前準備

首先利用長短竹籤、牙籤、名片紙分別製作高、矮各種樹木模型，並在竹籤上每一公分畫記號，再來用塑膠箱裝滿不同顆粒的塵土、沙子、礫石、混合土當成土地，最後用電風扇模擬颱風。

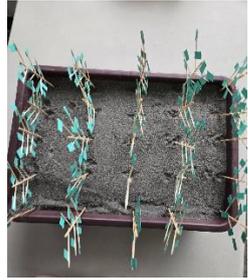
#### 1. 利用竹籤、牙籤、色紙，製作各種模型樹。



#### 2. 用塑膠箱裝滿不同顆粒的塵土、沙子、礫石、混合土當成土地

			
各種土壤	電風扇當風源	試看看	標刻度

### 3. 最後用電風扇模擬颱風。

		
俯視圖	實驗場域	模擬實驗

#### 一、風速的影響

#### 實驗(一)、風速對樹木倒塌的關係

#### 實驗流程：

取 75 棵模型樹，分成 3 組，每組 25 棵，樹葉為三角形，每棵樹葉總面積 41.25 平方公分，將其分別插入裝滿礫石的塑膠箱中，用風扇在距離 60 公分中以低、中、高風速分別吹之，分別計算傾倒及全倒的棵數並算出倒塌率。

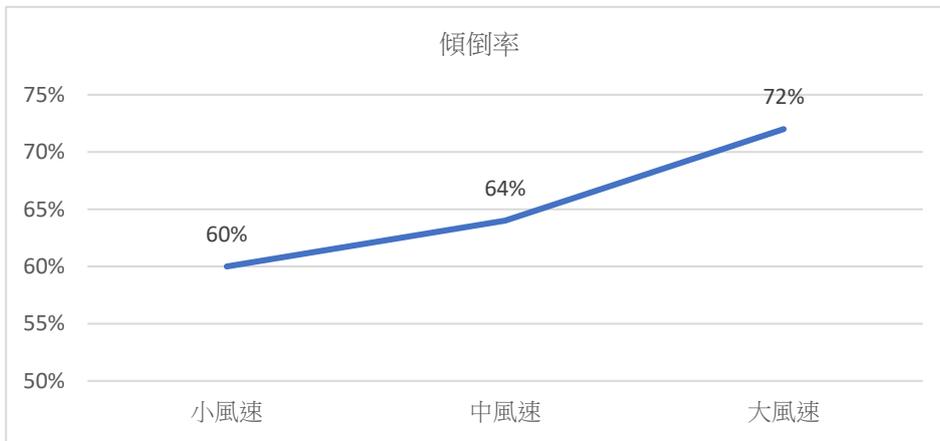
			
未吹前	最小風速倒塌率 60%	中等風倒塌率 64%	強風倒塌率 72%

#### 結果：

我們根據資料知風扇轉速：風速 1610RPM 約相當於 23.5 公尺/秒為大風，風速 1543RPM 為中風，風速 1479RPM 為小風。轉速愈大，則風速愈大，風力也愈大。下表為三種不同風速吹襲之下，樹木全倒與半倒之記錄表。

25 棵樹	轉速	小	中	大
	樹倒情形	數量	數量	數量
	全倒	7	7	13
	半倒	8	9	5
	合計	15	16	18
	傾倒率	60%	64%	72%

風力大小與樹木倒塌率關係圖



#### 討論：

我們得到風速愈大愈強，則樹木傾倒數量愈多，二者成正相關。上述實驗發現風最小時，全倒7棵、半倒8棵，共計15棵，合計傾倒率60%。風速中時，全倒仍為7棵、半倒9棵，共計16棵受影響，合計傾倒率64%。但當風速最大時，則全部倒增加到13棵、半倒5棵，共計18棵受影響，合計傾倒率72%。推測上述原因應是風(空氣分子)雖然肉眼看不見，但風仍是一種實體物質，所以風會流動，就代表有一股外在力量讓風移動。因此當風流動愈快時，代表推動風(空氣分子)的外在推力愈大，也就更容易吹倒障礙物。

#### 二、樹木自身條件的影響

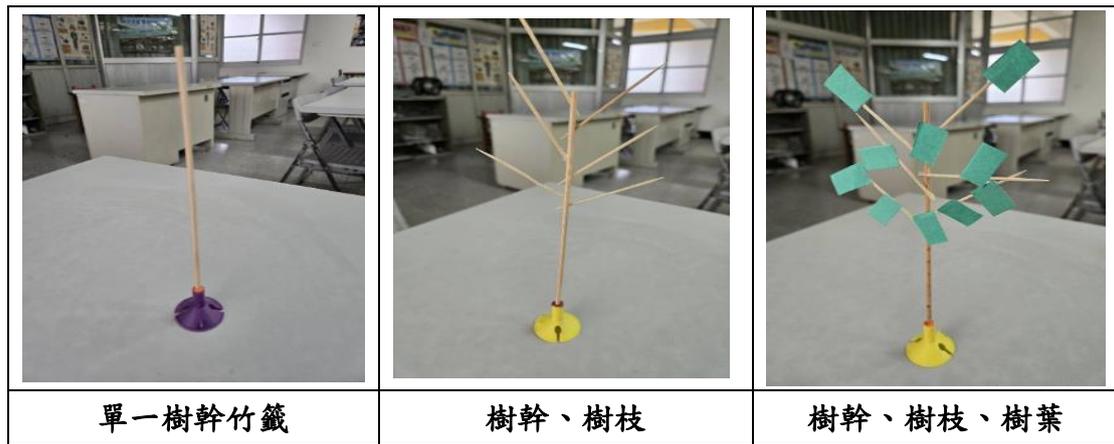
##### ● 實驗(一)之一、受力面積與樹木倒塌的關係

只有樹幹、無樹葉、無樹枝 加黏土使其重量一致：只有樹幹受力

#### 實驗流程：

分別取長25公分長的75支竹籤分別製成3組不同的模型樹，一組只有樹幹，一組有樹幹及樹枝，另一組有樹幹、樹枝及樹葉，因重量不同，所以加黏土使其重量一致，每組樹木各25棵，分成5行，每行5棵將其分別插入裝滿沙土的塑膠箱中深入土3公分，電風扇在距離60公分處，用最大轉速風速，各吹1分鐘，分別計算其倒塌的樹木棵數並計算其倒塌

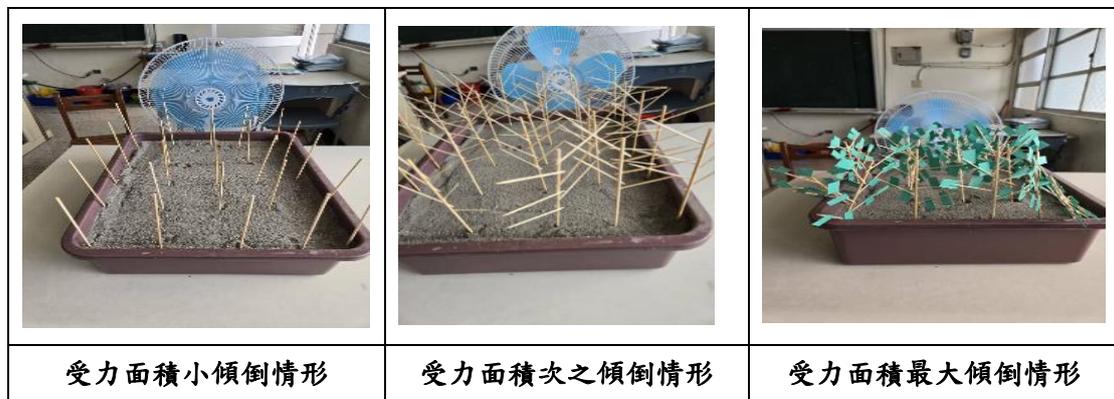
率。



### 結果

#### 受力面積與倒塌的關係(每組 25 棵)

	樹幹	樹幹樹枝	樹枝樹幹樹葉
全倒	0	5	8
傾斜	0	3	8
樹木受影響合計	0	8	16
傾倒與全倒率	0%	12%	64%



### 討論：

我們發現只有樹幹時，25 棵樹，全部都未被吹倒；有樹枝時則有 3 棵傾斜、5 棵全倒；而樹木有樹葉時，有 8 棵傾斜、8 棵全倒，共有 16 棵受影響，這代表只有樹幹時，原因推測幾乎沒有受力面積，也就對樹無感；只有樹幹及樹枝時，有些影響。但有樹葉時，倒塌數量高於其它 2 種。顯示當受力面積大時，樹木較易倒塌。所以初步證明當有樹葉時會比光禿樹幹及樹枝更容易被吹倒，代表的意義是樹的受力面積大小的概念。

- 實驗(一)之二、葉片受力面積與樹木倒塌的關係  
比較葉片受力面積大小受風力影響的程度

實驗流程：

本實驗有二個，第一個為前面實驗(一)之一，一片三角形葉子面積 13.75 平方公分 \*3=41.25 平方公分。第二個實驗的步驟與第一個實驗相同，但葉片改為矩形，一片矩形樹葉面積為 2.2\*1.3=2.86 平方公分\*10 片=28.6 平方公分。

結果

高度(cm)	16								
轉速	小			中			大		
28.6 平方公分	樹倒情形	數量	百分比	樹倒情形	數量	百分比	樹倒情形	數量	百分比
	全倒	0	0	全倒	1	4	全倒	4	16
	半倒	5	20	半倒	7	28	半倒	8	32
傾倒率			20%			32%			48%

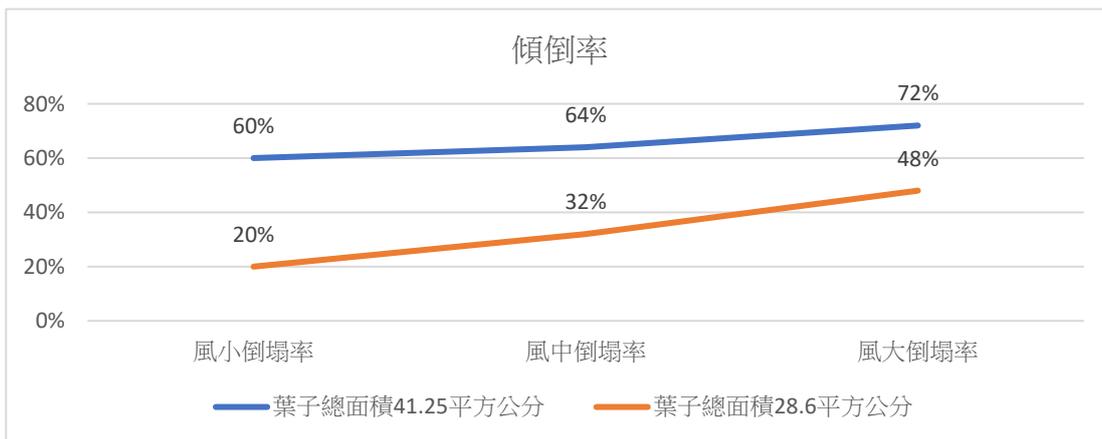
高度(cm)	16								
轉速	小			中			大		
41.25 平方公分	樹倒情形	數量	百分比	樹倒情形	數量	百分比	樹倒情形	數量	百分比
	全倒	7	28%	全倒	7	28%	全倒	13	52%
	半倒	8	32%	半倒	9	36%	半倒	5	20%
傾倒率			60%			64%			72%

			
41.25 平方公分	風速小倒塌率 60%	風速中倒塌率 64%	風速大倒塌率 72%

			
28.6 平方公分	風速小倒塌率 20%	風速中倒塌率 32%	風速大倒塌率 48%

風速等級	風小倒塌率	風中倒塌率	風大倒塌率
41.25 平方公分	60%	64%	72%
28.6 平方公分	20%	32%	48%
葉面積大小倒塌率比較	面積大>面積小	面積大>面積小	面積大>面積小

樹木受力面積與倒塌率關係圖



討論：

根據上述結果，在相同等級風速下，我們發現樹葉面積愈多，表示樹木受力越多，傾倒的樹愈多。一棵矩形葉子的樹總面積為 28.6 平方公分，小、中、大不同風速下，樹的傾倒率分別為 20%、32%、48%；一棵三角形葉子的樹總面積為 41.25 平方公分，在小、中、大不同風速下，樹的傾倒率分別為 60%、64%、72%。再由上表可知葉面積大的倒塌率>葉面積小的倒塌率。所以本次實驗進一步的證明：當葉子愈多時，代表葉子面積愈多，也代表受力面積愈大，所以承受的總力愈大，樹就愈易傾倒。

● 實驗（二）、根的深度與樹木倒塌的關係

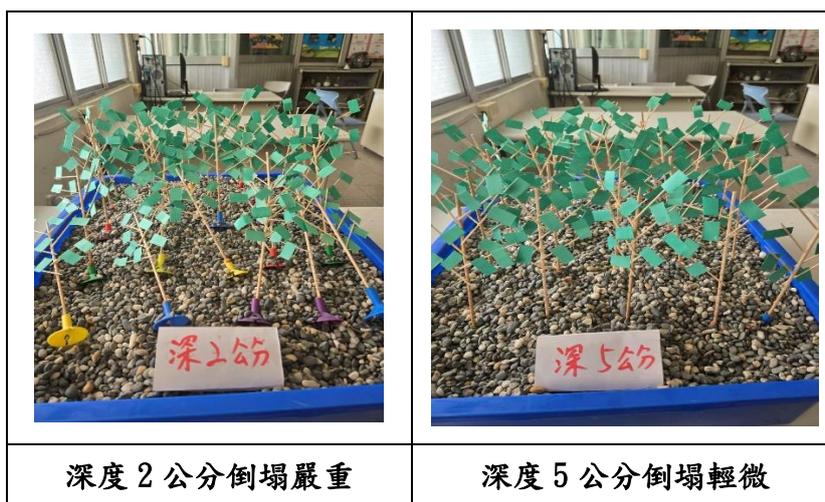
實驗流程：

取 25 棵模型數樹木，將其分 2 組，一組入土 2 公分，另一組入土 5 公分，分別用最大風速各吹 1 分鐘，下表為實驗記錄：

結果

樹根深淺與倒塌率統計表

高度(cm)	15					
深度(cm)	2			5		
	樹倒情形	數量	百分比	樹倒情形	數量	百分比
25 棵	全倒	9	36	全倒	0	0
	半倒	8	32	半倒	4	16
	總樹倒率	68%		總樹倒率	16%	



深度 2 公分倒塌嚴重

深度 5 公分倒塌輕微

討論：

我們發現當有樹葉時，深度 5 公分，25 棵時，無全倒現象，傾斜 4 棵，未倒 21 棵，倒塌率為 16%。另外深度 2 公分，25 棵時，開始有全倒現象 9 棵，傾倒 8 棵，倒塌率 68%。未倒 8 棵，未倒率 32%。

所以我們發現有樹葉時，深度 5 公分與 2 公分比較時，5 公分的倒塌率相對低。由以上結果可知樹根愈深，則愈不容易被風吹倒。證明「根深蒂固」的成語是古人智慧結晶，因為根愈深，則與土壤愈緊密，抓地力也愈強，也就愈就穩固，不輕易被外力所擊倒。

● 實驗（三）、樹木高度與樹倒塌的關係

實驗流程：

取樹身高度分別為 12 公分及 25 公分不同的樹木模型，各 10 棵。其葉片數相同、樹幹粗細一樣及其它條件一致，將其分 2 組：左排高、右排矮及左排矮、右排高，二組所有樹入土皆 3 公分，分別用最大風速各吹 1 分鐘，下表為實驗記錄：

高樹與矮樹間隔種植，如下圖位置：

結果：

樹高矮與倒塌率統計表

	高的樹(左)25cm	百分比	矮的樹(右)12cm	百分比
全倒	6	60%	0	0

半倒	1	10%	0	0
合計	3	70%	0	0%

樹高矮與倒塌率統計表

	矮的樹(左)12cm	百分比	高的樹(右)25cm	百分比
全倒	0	0	1	10%
半倒	0	0	2	20%
合計	0	0%	0	30%

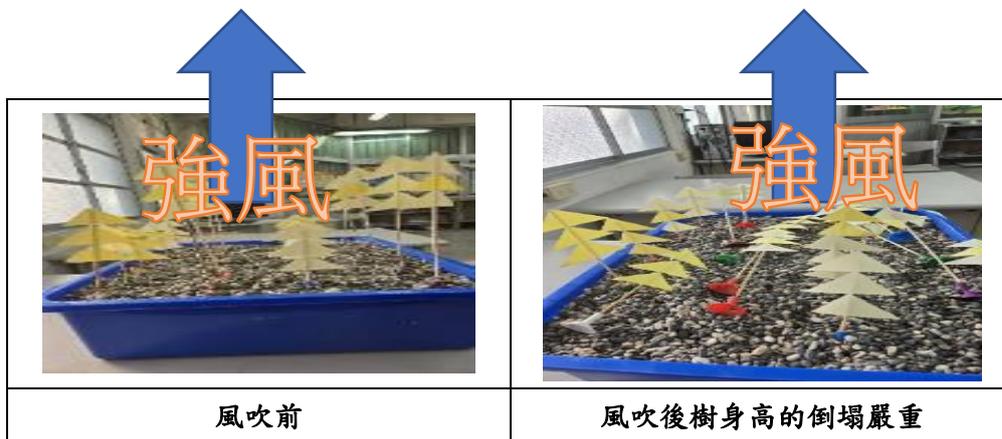
H: 高樹、S: 矮樹，x: 樹全倒、o: 樹傾斜

H	S	H	S
H	S	H	S
o			
H	S	H	S
x		x	
H	S	H	S
x		x	
H	S	H	S
x		x	

樹高與樹矮傾倒位置圖一

S	H	S	H
S	H	S	H
S	H	S	H
	o		
S	H	S	H
			o
S	H	S	H
	o		x

樹高與樹矮傾倒位置圖二



討論:

本實驗有二個不同排列方式，發現在其他條件相同時，會因高度不同而產生不同結果，高度愈高愈易被吹倒。左側高樹 25 公分時，全部傾倒占比 60%、半倒占比 10%、合計 70%；右側矮樹 12 公分時，全倒占比 0、半倒占比 0。另一種組合為左側矮高度 12 公分時，全倒占比 0、半倒占比 0；右側高度 25 公分

時，全倒占比 10%、半倒占比 20%、合計 30%。會有此情形發生，主要原因是樹愈高則重心愈高，重心愈高則愈不穩，愈不穩則愈易被推倒。另外還有一個解釋原因是力矩的槓桿原理觀念，以樹根部為支點，樹愈高表示力臂愈長，力臂愈長代表施力愈可以愈小愈省力，即可達到旋轉的效果。但因為樹不會被旋轉，樹只好被折斷、吹倒。

● 實驗（四）、根生長的範圍與樹木倒塌的關係

實驗流程：

取同一高度的樹木，同一葉片數同、一重量、其它條件一樣，分 2 組各 25 棵，分別裝上直徑 4 公分及 3 公分的不同面積的氣球底座，模擬根系範圍，2 組分別用最大風速各吹 30 秒，下表為實驗記錄：



根分布範圍與倒塌率統計表

實驗結果：單位：公分

入土深度	3					
	3			4.5		
分布直徑	樹倒情形	數量	百分比	樹倒情形	數量	百分比
25 棵	全倒	3	12%	全倒	0	0
	半倒	10	40%	半倒	6	24%
	合計	13	52%	合計	6	24%

討論：

我們以底座模擬為樹的根系分布面積，有分布直徑為 3 及 4.5 公分二種。發現直徑 4.5 公分的樹，全倒占 0%、半倒占 24%，合計 24%；直徑 3 公分全倒占 12%，半倒占 40%，合計 52%。由上表得知根系分布面積愈大(直徑為 4.5 公分)，傾倒情形比根系分布面積愈小(直徑為 3 公分)少。可推測根系分布面積愈大愈不容易被風吹倒。

● 實驗（五）樹木的根系根根相連是否比獨立的根系較不容易倒塌

實驗流程：

取 4 棵相同的模擬樹木分成 2 組，每棵根用鐵絲加長，一組根相連另一組根沒有相連，分別入土 3 公分，且用最大風速各吹 1 分鐘。

結果：

根系相連者 2 棵皆沒倒塌，而根系獨立不相連者，倒下一棵，由此可發現，倘若樹木根系若糾結在一起，如同彼此增加了根系的範圍，而根系範圍越大，樹木較不容易倒塌。

			
根系獨立	根系相連	根系獨立的倒下一棵	根系相連較不易倒塌

### 討論

倘若樹木的根能若能互相連接，那麼就可相互依靠，增加根系的範圍，防止被吹倒的機率，但靠太近可能互相搶營養，長不好或增加罹病風險，所以樹木間最好有適當的距離，可相互間互靠，但又不影響彼此的生長，但是生物方面的因素不在此次考慮範圍。

### 三、土壤性質的影響

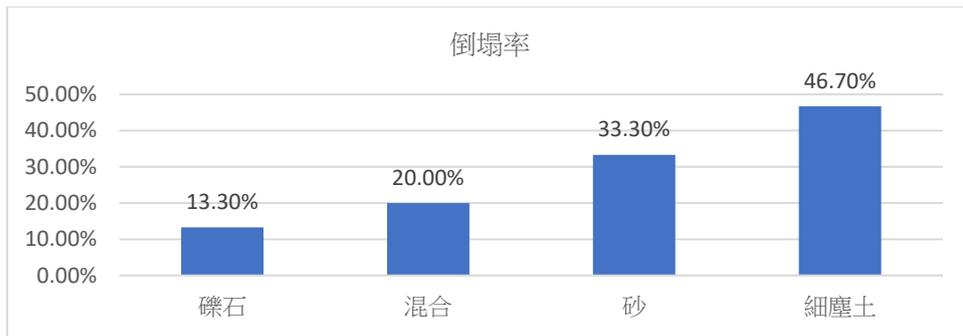
#### ● 實驗（一）、土壤顆粒大小與樹木倒塌的關係

##### 實驗流程：

取同一高度的樹木，同一葉片數同、一重量、其它條件一樣 15 棵，取 4 個長方形容器分別裝上礫石、沙子、細土 3 種不同性質的土壤及各三分之一的混合土壤，4 組分別用最大風速各吹 1 分鐘，比較其倒塌情形，如下表

##### 結果：

	礫石	混合	砂石	細塵土
未倒	13	12	10'	8
半倒	2	2	5	6
全倒	0	1	0	1
倒塌率	13.3%	20.0%	33.3%	46.7%



			
礫石地	砂地	細塵土	混合
↓	↓	↓	↓
			
礫石組 倒塌率:13.3%	沙子組 倒塌率:33.3%	細塵土組 倒塌率:46.7%	混合土組 倒塌率: 20.0%

#### 討論：

在沙子中，樹 5 棵半倒。在細塵土中，樹 6 棵半倒 1 棵全倒。在礫石中，樹只有 2 棵半倒，其餘未倒。混合半倒 2 棵 1 棵全倒，其餘未倒。這代表樹在砂與塵土中固定力量不夠強大，導致易被吹倒。礫石及混合則較不受影響。推測其原因為礫石比重比較大，所以不易被揮動，因此推測礫石對樹的固定效果大。而砂粒及塵土因顆粒比重小，容易被撼動。

因為本實驗的土壤無法真實模擬，所以採用其他不同性質差異很大的土壤如礫石進行實驗比較。本實驗結果讓我們得到一個結論：樹在土質鬆軟地方(沙土、塵土)就要特別注意颱風來襲時的保護措施。事實上，影響樹會不會被風吹倒的因素是很多個。根據網路參考資料，我們知道不同的土壤會影響樹容不容易被風吹倒，包括：砂土、黏土、壤土、石質土壤、有機土壤、鹽鹼土。總結

的說，土壤的類型會影響樹木的根系發展與穩定性，進而影響樹木在風吹中的抗風能力。壤土通常是最理想的土壤類型，而過於濕潤或排水不良的土壤則會使樹木更容易被風吹倒。

● 實驗（二）、含水量的影響

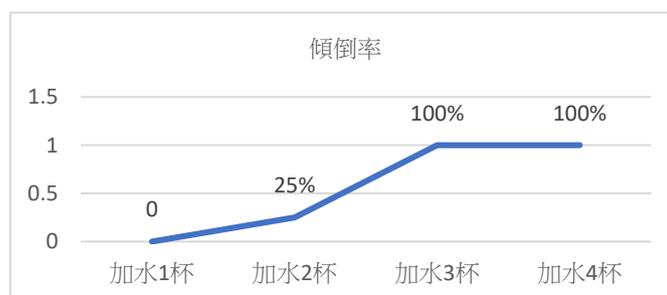
實驗流程：

記錄模擬颱風帶來雨水造成對土壤的影響後的樹傾倒情形：首先將 6 棵樹置於其裝滿砂土的容器中，再將裝滿 170CC 的水 1 杯倒入容器中，接著用電扇強風吹容器裡面的樹 30 秒，記錄樹倒情形。再依序加第 2 杯水倒入容器中，用電扇強風吹再紀錄樹傾倒情形。之後依前述操作流程，加第 3 杯及第 4 杯紀錄樹傾倒情形。

結果：

		加水 1 杯	加水 2 杯	加水 3 杯	加水 4 杯
4 棵	全倒	0	0	3	4
	半倒	0	1	1	0
	合計	0	1	4	4
傾倒率		0	25%	100%	100%

含水量不同的傾倒率



討論：

本實驗中，我們發現電扇的強風帶來雨水時，淹水愈多，則傾倒情形愈嚴重。當加水到 3 杯時，1 棵半倒、3 棵全倒。加水到 4 杯時，4 棵全倒。推測因為水滲入土壤後，導致土質鬆軟，進而使樹木抓地力不足，加上強風吹襲，樹木很容易被吹倒。我們在地就可看到類似情形，在山坡地上，更常因水土保持做得不好，光禿禿的斜坡或者種的樹不多及根系很淺，就常發生土石流或崩塌事情，樹林傾倒嚴重。

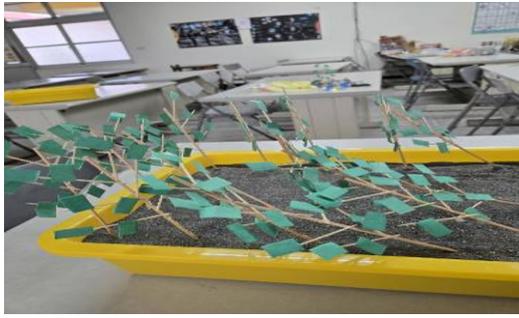
四、樹木所站位置的影響

- 實驗（一）、距風的遠近，樹林中颱風吹襲時，前排的樹木是否比後面的樹較容易倒？

### 實驗流程

取相同共五棵直線排列於容器中，並用最大風速吹 1 分鐘，結束後記錄樹木被吹倒的情形

結果：

	
本次實驗顯示距離風扇較近的先倒	其他實驗也顯示前排易倒
	
探勘時發現靠近路邊倒的較多	探勘時發現檳榔園前排傾斜多

討論：

經過模擬實驗，發現距離風源最近的前排樹木，承受風力襲擊最大，所以最先倒下。而後排距離風源最遠，承受風力最小，風力的襲擊最小，所以最慢倒下甚至不會倒而在。同時在探勘時，也發現路邊檳榔園靠路邊第一排的檳榔樹倒塌比後排嚴重。

我所以們發現在一般平坦地形下，站在前面的樹會傾倒或半倒如上面實地拍照片，也驗證真實颱風天造成樹木傾倒情形。推測原因是前排的樹直接受風力影最大，愈後面的樹受風力愈小。

### ● 實驗（二）有無遮蔽物是否會影響樹木的倒塌？

實驗流程：

首先取 18 棵、樹高 12 公分的樹模型，分成 3 組一組，各組皆直線排列，分別用直徑 12 公分、高 30 公分的圓柱體及籃球當障礙物阻擋風，一組沒有障礙物，各入土 3 公分，電風扇距離 60 公分處正面吹如照片所示，並觀察樹木倒塌情形。

結果：

		
無遮蔽物倒塌情形	有遮蔽物仍會倒塌	籃球為遮蔽物

### 討論

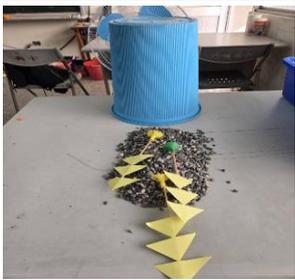
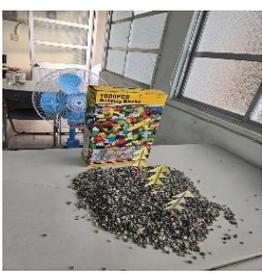
經過測試雖然有圓桶及籃球擋在前方做為遮蔽物，但模型樹木還是會倒，籃球只有一棵未倒，但圓桶遮蔽物似乎有擋風的效果。於是想進一步探討為何有蔽物的的樹物為何仍會傾倒的原因？

- 實驗（三）有蔽物的的樹物為何仍會傾倒？是遮蔽物太小？還是遮蔽物形狀的影響嗎？

### 實驗流程：

基於實驗二之屏障物為圓柱形，因此將屏障物增加了長方體，分別將磚塊、積木外箱、水桶卡式爐外殼置於模型樹的前方，分次依下列方法進行實驗，用電風扇距離 60 公分，用最大風速吹 1 分鐘並觀察其倒塌情形並記錄之，最後置換不同直徑與高的圓形容器，做為遮蔽物，分別觀察不同的屏障物高度範圍、形狀，是否影響屏障效果。積木外箱的長 9 公分方形、寬 5 公分、高 19 公分、卡式爐長 35 公分、高 30 公分、厚 10 公分。

### 結果

		
弧型圓桶無法有屏障效果	底直徑 30 公分高 24 公分的水桶也無法屏障	直徑 30 公分高 36 公分的垃圾桶仍然無法屏障
		
有一棵未倒	風無法越過積木盒	風無法越過卡式爐外殼

討論：

在使用磚塊當屏障物時，3 棵模型樹全部倒下，可見得屏障範圍不夠，所以風越過磚塊吹倒樹木，接著替換積木箱與卡式爐外殼當屏障物時，發現 3 棵模型樹皆未倒，可推測長方形的屏障物若足夠高與寬時，風便無法越過屏障物將樹吹倒。但若屏障物為圓柱體或桶狀物體時，即使屏障物寬和高面積足夠遮蔽模型樹，仍無法提供模型樹屏障效果。

經過測試，發現如上圖，當強風吹向圓柱體的遮蔽物時，風會沿著圓形障礙物體的弧形邊緣邊緣通過障礙物，將樹吹倒。總結來說樹木若站在高大的建築物背後或許能受到正方形及長方形建築物的保護而不會被吹倒，但若是圓形或有弧度的建築邊，能受到的保護較少。

● 實驗（四）相同面積下，樹種植密度(樹間距離)受風力的影響

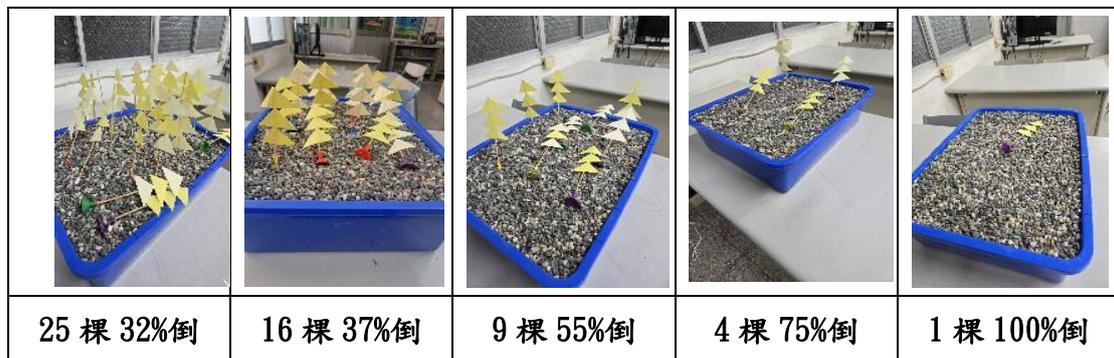
實驗流程：

將模型樹分成分成 1、4、9、16、25 棵，分別組成種植密度不同的正方形，再以 60 公分遠的距離，各吹風扇 1 分鐘，分別計算出倒塌率。

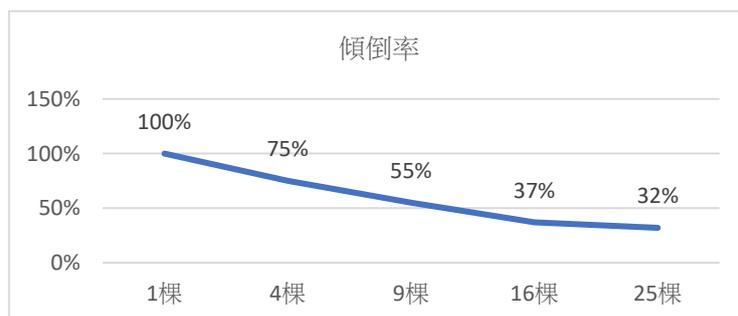
結果

樹木密集度與倒塌率

棵數	1 棵	4 棵	9 棵	16 棵	25 棵
全倒	1	2	4	3	5
半倒	0	1	1	3	3
傾倒率	100%	75%	55%	37%	32%



樹木密集度與倒塌率的關係圖



## 討論

由上述可知在相同面積下，種植不同棵數的的樹，會發現樹種的愈多，也就是種植密度愈高，傾倒百分比愈低且愈前排樹愈易倒。推測原因是樹愈多，代表彼此受遮蔽的面積愈多，愈就是彼此保護效果愈佳，風進來時，受到層層阻礙，就不容易長驅直入，且愈後排的樹愈受到更多的屏障。另外還有當彼此靠近的樹根也愈容易彼此有連結的盤根錯結的現象，也是隱含的另一種互相保護的效果。

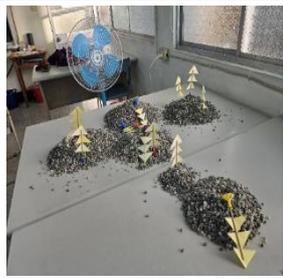
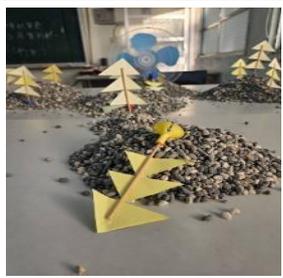
## 五、地形的影響

### ● 實驗(一)、高低起伏的地勢是否影響樹木倒塌?山頂是否較易倒塌?

實驗流程：

礫石分平坦及礫石堆 2 種地勢，土堆組又將礫石分成 5 堆，每堆的頂端及下方接放置模型樹共 12 棵，擺放如照片所示，電風扇在 60 公分處用最大轉速轉吹 1 分鐘。

結果

			
風未吹前	中間受風力較大倒塌較多，石堆頂的模型樹全倒	最後面土堆頂端的模型樹被吹倒，但在其前方的樹木確沒有倒	平坦缺屏障易倒

討論：

當風扇停止時，礫石土堆那組我們發現在離風扇最前，比後方的模型樹倒較多，中間的模型樹比兩邊倒下的多，土堆頂的模型樹木全倒，甚至離風源最遠方的土堆頂的模型樹也倒下，而中間段卻未倒，可推測在山頂上上的樹木缺乏屏障物因此較易被風吹倒。事實上，在山頂、稜線上，很少有高聳的樹，常見到的是箭竹林類或低矮樹叢。平坦那組，模型樹很快全倒，可見得地形有助於抵消風力，沒有屏障比有任何屏障的樹木承受更多風力。

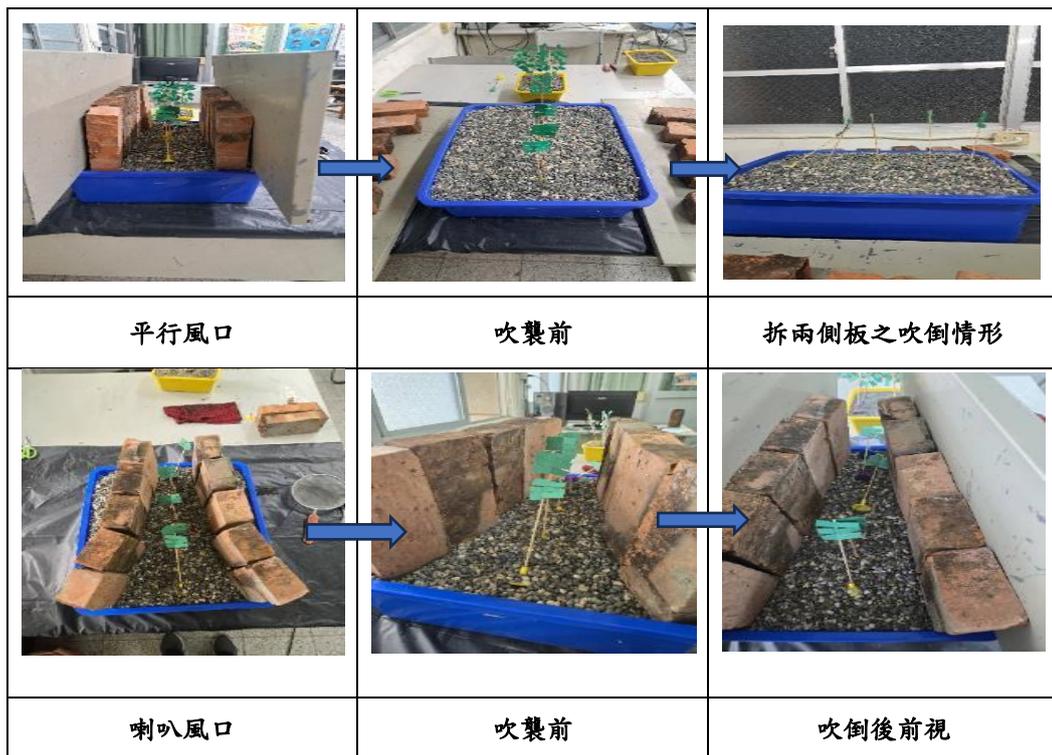
### ● 實驗(二)：喇叭風口與平行風口對樹的影響

實驗流程:於平行的風口裡面，將 5 棵樹平均距離放置如下圖一，再於喇叭的風口裡面，將 5 棵樹平均距離放置如下圖二

結果：

平行與扇行地形通道與倒塌率統計表

風口	平行口	喇叭口
全倒	0	3
半倒	1	0



#### 討論：

我們發現在喇叭風口時，風如果從寬口吹進去，後排的樹會先倒，前排的樹反而沒有倒。而在平行的風口時，則為站在前面的樹先倒，後排的樹則未倒。經過研究原因是風通過風口的量是固定的(電風扇吹的轉速固定，風量固定)，每秒風量=風速\*風口截面積，所以風速與風口截面積成反比。也就是當風口截面積愈來愈狹小時，風速就愈來愈大，代表風力愈強，所以反而是後面的樹先倒。這也代表著當有喇叭風口的地形時，不論是在都市或山裡面，站在後面的人或物都比較有大的可能被強風吹倒吹跑。

## 陸、 結論

樹大招風的原因很多，除了物理因素，還有樹種、樹的病蟲害等問題。本次研究是就物理因素探討，根據實驗結果有以下結論：

- 外力風的部份
  - 風的大小會影響樹是否傾倒及程度，風愈大，風力愈大，樹承受的外力愈大，樹愈容易傾倒。
- 樹本身部份：
  1. 有樹葉的樹受到風力最大，其次是有樹枝，再其次是只有樹幹。因為有樹葉受風力最多，所以傾倒情比其他二種情嚴重。主要原因是樹葉增加受力面積，所以更容易比只有樹幹或有樹幹樹枝倒。
  2. 樹根的深度愈深，愈不容易倒。這就是成語所說「根深蒂固」的概念。根愈深，抓地力愈強，與地更結為一體，就不容易被風吹倒。
  3. 樹愈高，愈容易倒。主要原因在重心愈高，愈不穩，也如同槓桿原理一樣，以地面為支點，樹幹越高，代表施力臂長越省力，不用太大的風力即可吹倒樹木。
  4. 根系範圍愈大愈廣，愈不容易傾倒。主因是根系愈廣，則愈能與土地綁在一起，也就愈不容易被風板倒。
  5. 根系相連愈緊密，愈不容易被風吹倒。概念如團結力量大。彼此互相盤根錯節，形同一體，自然更不容易被吹倒。
- 土壤：
  1. 土質愈細，愈容易傾倒。樹在砂與細塵土中固定力量不夠強大，礫石及混合土壤則較牢固。
  2. 土壤淹水愈多，含水愈多愈飽和，愈容易傾倒。因為水愈多，滲透愈多水到土壤裡面，土質愈鬆軟，樹根愈不穩，風愈大就容易倒。
- 樹木所站位置：
  1. 與風源距離：離風源較近較易倒。
  2. 種植密集度：密集度大的林區在颱風中，前排的樹木受力較大越容易倒，間距較大的樹木比間距小的樹木倒塌率較大。
  3. 屏障物：樹木前方若有夠寬且高的長方形屏障物屏障，那麼即可得到保護，但若屏障物若是有弧度的圓形物體或不夠高，那麼風仍然會沿著有弧度邊緣，越過屏障物吹倒樹木，其受到的保護較少。
- 地形：

風從喇叭風口大的地方吹進去，造成後面窄的地方樹先倒。因為相同的風量，通過的截面積愈小，風速會愈強。所以風從開口灌進去，狹窄風口處風速比較大，窄口處的樹比寬口處容易倒。

## 柒、參考資料

台灣綠屋頂暨立體綠化協會 <http://www.greenroof.org.tw/news-page.php?id=488>

財團法人公共電視文化事業基金會 <https://ourisland.pts.org.tw/content/10311>

ESG 永續學院 [https://edesg.com/%E8%B7%AF%E6%A8%B9%E7%82%BA%E4%BD%95%E5%80%92%E5%A1%8C%EF%BC%9F%E9%97%9C%E6%96%BC%E8%B7%AF%E6%A8%B9%EF%BC%8C%E4%BD%A0%E5%BF%85%E9%A0%88%E7%9F%A5%E9%81%93%E7%9A%84%E5%B0%8F%E7%9F%A5%E8%AD%98/?srsltid=AfmB0orKs8neLC1RpXQ1xfdcwgNmiw\\_5TkUfi4jv\\_DWcJdoHMb6IK23i](https://edesg.com/%E8%B7%AF%E6%A8%B9%E7%82%BA%E4%BD%95%E5%80%92%E5%A1%8C%EF%BC%9F%E9%97%9C%E6%96%BC%E8%B7%AF%E6%A8%B9%EF%BC%8C%E4%BD%A0%E5%BF%85%E9%A0%88%E7%9F%A5%E9%81%93%E7%9A%84%E5%B0%8F%E7%9F%A5%E8%AD%98/?srsltid=AfmB0orKs8neLC1RpXQ1xfdcwgNmiw_5TkUfi4jv_DWcJdoHMb6IK23i)

Chatgpt <https://chatgpt.com/c/67c3c1f3-7820-8000-bab7-a61a327d4666>

Chatgpt <https://chatgpt.com/c/67c3c1f3-7820-8000-bab7-a61a327d4666>