

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030316

微薇旋風自飄揚—大花紫薇多型性種子飛行模
式之探究

學校名稱：南投縣立大成國民中學

作者： 國一 李承典 國一 涂安琪 國一 彭上瑤	指導老師： 梁敏芳 賴靈恩
---	-----------------------------

關鍵詞：大花紫薇、多型性種子、飛行模式

摘要

大花紫薇果實有 4-7 個蒴室，6 蒴室果實最常見，種子具多種形態，依種子與翅膀比例分成 1:0、1:1、1:2、1:3 與 1:4 五種類型，發現翅的比例越長種子較小、較薄、重量較輕，翅的寬度則相近。種子飛行模式具規律性，分成二個時期：墜落期與旋轉期，墜落期越短，越早發生轉折點，代表越早開始旋轉緩降，滯空時間也較長。在種子散佈方面，發現 1:2、1:3 與 1:4 種子因翅的旋轉而有緩降現象，散佈較為集中。在發芽率中發現 1:0 種子多不發芽，翅越長的種子其發芽率越高，最高可達高達 96%。由此推測翅長越長的種子可散佈的距離較遠，也較易發芽，而種子較重且無翅的種子，其種皮較厚可等待更久的時間再發芽，可降低種內競爭壓力。

壹、研究動機

秋天時，我們在校園裡發現大花紫薇一直有種子飄落下來，種子落下時會邊飛邊轉，十分優美，引發了我們的好奇心。摘下長在枝條上的果實進行觀察，將果實剝開後發現果實分成六個蒴室，每個蒴室裡的種子排的很整齊，幾乎沒有縫隙，但似乎有一定規律堆疊。撿拾落下的種子發現種子的個體間差異頗大，有些具有翅的構造，有些則翅的構造短小，甚至有些完全不具有翅的構造，為甚麼同一顆果實產生的種子外型差異這麼大呢？這樣的差異對種子的散布會有甚麼影響呢？與其生殖策略又存在著甚麼關聯呢？

我們查詢了關於飛行性種子與翅果的相關研究，有探討單翅種子(大葉桃花心木)的飛行原理與散佈，槭樹、黃杞翅果的飛行模式，台灣欒樹蒴果的果瓣對種子擴散模式的研究等，資料相當豐富，但同一種植物的種子具有多種外型，而有不同的生殖策略，這樣探討較為少見。因此，我們以大花紫薇為研究主題，探討其種子的型態差異、散佈方式與發芽率的關聯。

貳、研究目的

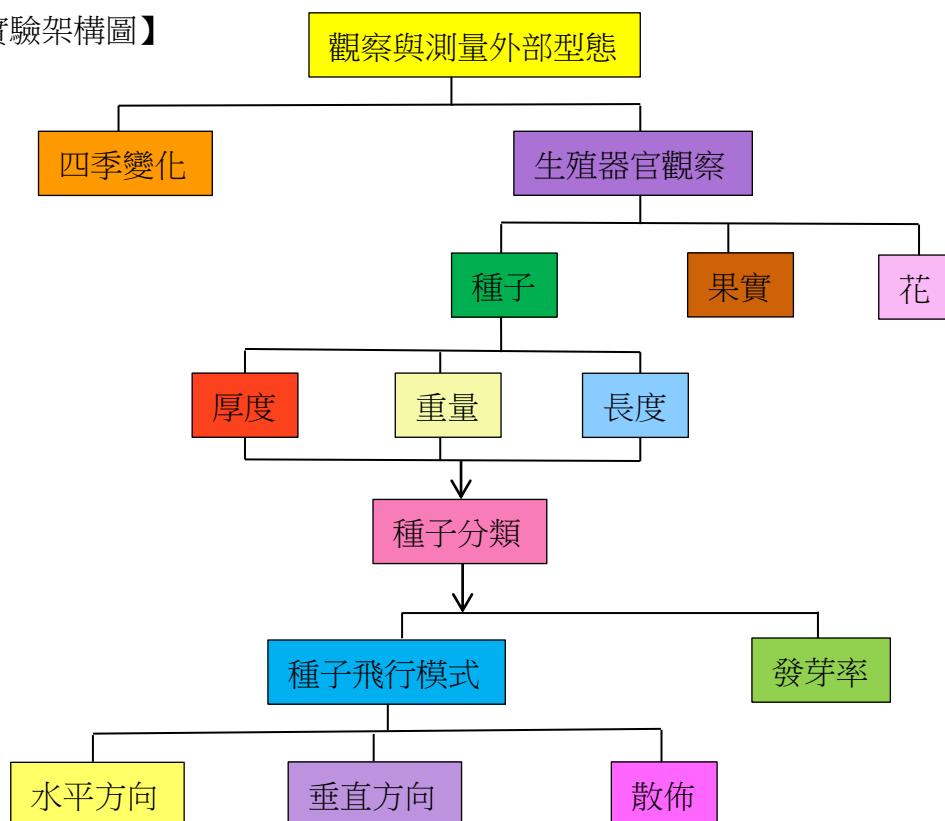
- 一、觀察大花紫薇的外觀型態
- 二、分析大花紫薇種子的型態及分類
- 三、分析不同類型種子的飛行模式(水平方向及垂直方向)
- 四、分析不同類型種子在不同高度落下的散佈情形
- 五、分析不同類型種子的發芽情形

參、實驗器材

大花紫薇果實(200 顆)、電子秤(精確值小數點後三位)、游標尺、螺旋測微器、手持顯微鏡、高速攝影機(Nikon J1、Nikon J5、Nikon V1、Sony DSC-RX10M2)、軌跡追蹤軟體(Tracker)、方格紙、350cm 鋁梯、鐵棒、鐵網、雷射筆、夾鏈袋、乾燥箱

肆、實驗方法

【實驗架構圖】



一、觀察大花紫薇的外觀型態

我們自 2020 年 9 月至 2021 年 5 月觀察大花紫薇的外部型態與四季中的變化，並進行花、果實、種子的顯微觀察。我們每個月以相機記錄植株的外型變化，並在其開花時，摘取花朵，以觀察其花瓣、萼片、雄蕊、雌蕊的構造，並以顯微鏡觀察胚株、花粉的型態。並將為成熟與成熟的果實解剖，觀察胚株的與種子的分佈情形。

二、分析大花紫薇種子的型態及分類

我們選取 100 顆果實，將其中 50 顆用來測量種子的外部型態，分別測量種子重量、全長、種子長度、寬度、種子厚度、翅的厚度並計算展弦比。我們將種子編號，用電子天平測量其重量、用游標尺測量種子全長、種子長度，用螺旋測

微器測量種子厚度及測量翅的厚度(離肋最遠的部位)(圖 1)。我們計算翅長的方法是將種子全長減去種子長(翅長=種子全長-種子長)，接著我們以翅長和種子長的比例做為分類標準，將種子分為五種型態，分別稱為第一型至第五型種子，每種類型測量至少 100 顆。

【表 1】種子分類標準

比值	第一型	第二型	第三型	第四型	第五型
	1:0	1:1	1:2	1:3	1:4
翅長/種子長	無翅	0.5-1.4	1.5-2.4	2.5-3.4	3.5-4.4

另外取 50 顆果實，分析每個果實的蒴室數量，並將每一蒴室中的種子依順時針方向依序排列取出，測量每顆種子的種子長與翅長的比例，進行分類，計算每一蒴室中各類型種子的數量、百分比及每顆果實的種子總量和比例(圖 2)。



【圖 1】種子形質分析



【圖 2】每蒴室中種子依序排列

三、分析不同類型種子水平方向的飛行模式

我們設計拍攝種子飛行的裝置，先架設測量板，測量板的高度為 110 公分，在測量板表面貼上白紙，在白紙上畫記比例尺(10cm)，以便於後續的分析。我們同時以兩部相機 (SONY RX 100-III)分別由上往下拍攝種子落下時水平方向的軌跡變化，及在測量板前方 2 公尺處紀錄垂直方向的種子飛行軌跡，相機開啟高速攝影的模式(每秒錄製 960 張相片)並以 Tracker 軟體追蹤種子的飛行軌跡(如圖 3、圖 4)。

四、分析各類型種子不同高度落下的散佈情形

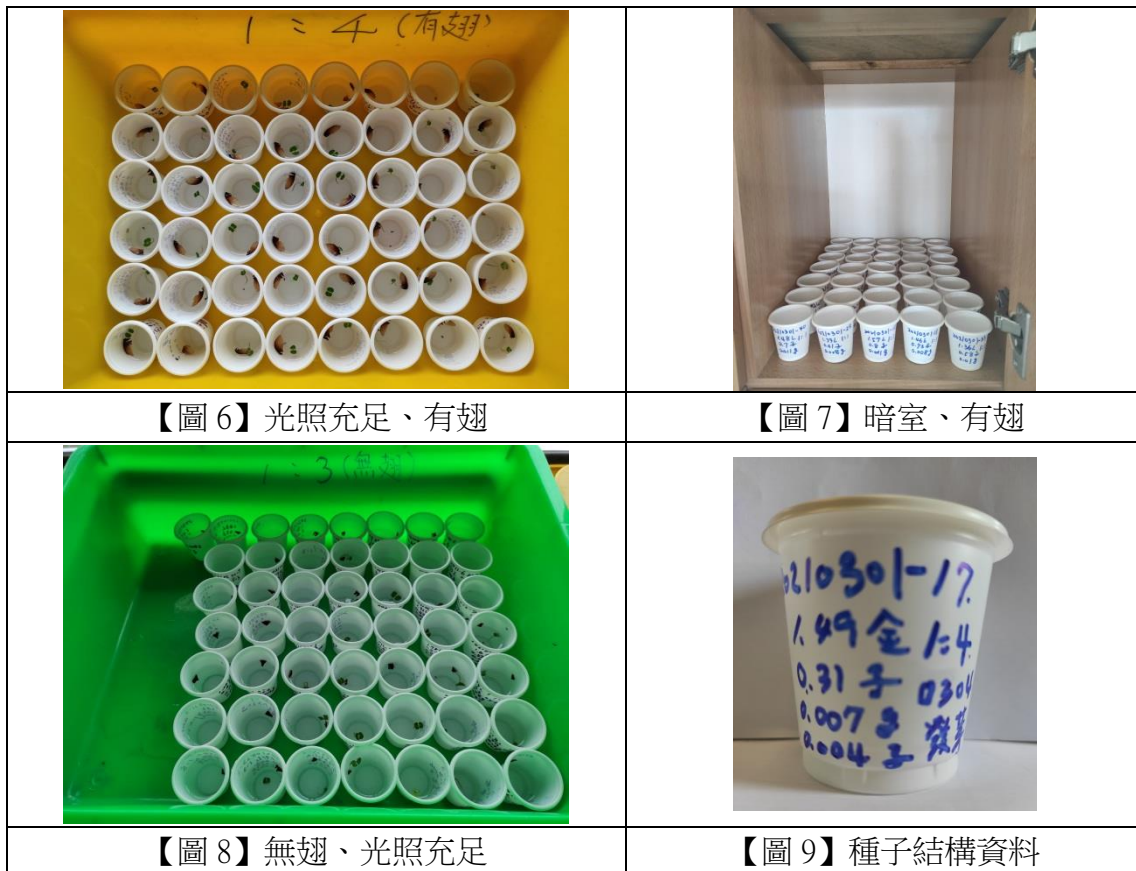
我們選取各類型重量相近的種子各 20 顆進行散佈距離的實驗，架設鋁梯作為實驗裝置，在梯子上標示 50cm、100cm、150cm、200cm、250cm、300cm 模擬種子在大樹的不同高度，中間架網子、上貼白紙穿小洞，地面擺放白紙上，白紙上畫有座標，以雷射筆光穿越洞口定位，在不同高度讓種子自洞口落下(如圖 5)，以相機記錄種子掉落的位置，並電腦分析各種子的座標，並計算種子與原點的距離。



五、分析各類型種子的發芽情形

我們選取各類型種子 150 顆，分三組實驗，第一組將各類型種子在光線充足下的環境中進行發芽實驗(如圖 6)；第二組將種子放入暗室中，隔絕光線進行發芽實驗(如圖 7)；第三組將各類型種子剪去翅僅留種子部分，與第一組的發芽環境相同(如圖 8)。

我們先將各類型種子測量其種子全長、種子長度、種子重量(如圖 9)，第三組特別將種子薄翅剪掉僅留種子部分，測量純種子的重量。在培養杯中加入 20 毫升的清水，連續觀察 15 天，紀錄種子發芽的情形，種子發芽的定義是胚根的長度超過 0.5cm，計算各類型種子的發芽率。



伍、實驗結果

一、觀察大花紫薇的外觀型態

大花紫薇為雙子葉植物綱，桃金娘目，千屈菜科，紫薇屬。在台灣廣被用於行道樹，株高 8-15 公尺。大花紫薇四季會有不同的變化，春天會冒出紅褐色的嫩芽；夏天會開出紫紅色的花；秋天葉子會漸漸轉紅，果實開始成熟呈現乾果的狀態，冬天葉子會落光果實裂開種子開始掉落(如圖 10)。



【圖 10】大花紫薇的四季變化

(一) 大花紫薇花的構造

大花紫薇約在 4 月長出花苞，花期 5 月~9 月；大花紫薇花為總狀花序、圓錐狀排列，花形大，開放徑約 6-8 公分，紫紅色花瓣 6-7 片，花瓣邊緣呈波狀，萼片淡綠色，一朵大花紫薇裡約有 134 枚雄蕊，花粉整體呈圓形，表面無明顯紋路；雌蕊一枚，呈瓶狀，柱頭墨綠色花柱細長，下方子房內有多顆胚珠(如圖 11)。



【圖 11】大花紫薇花的構造

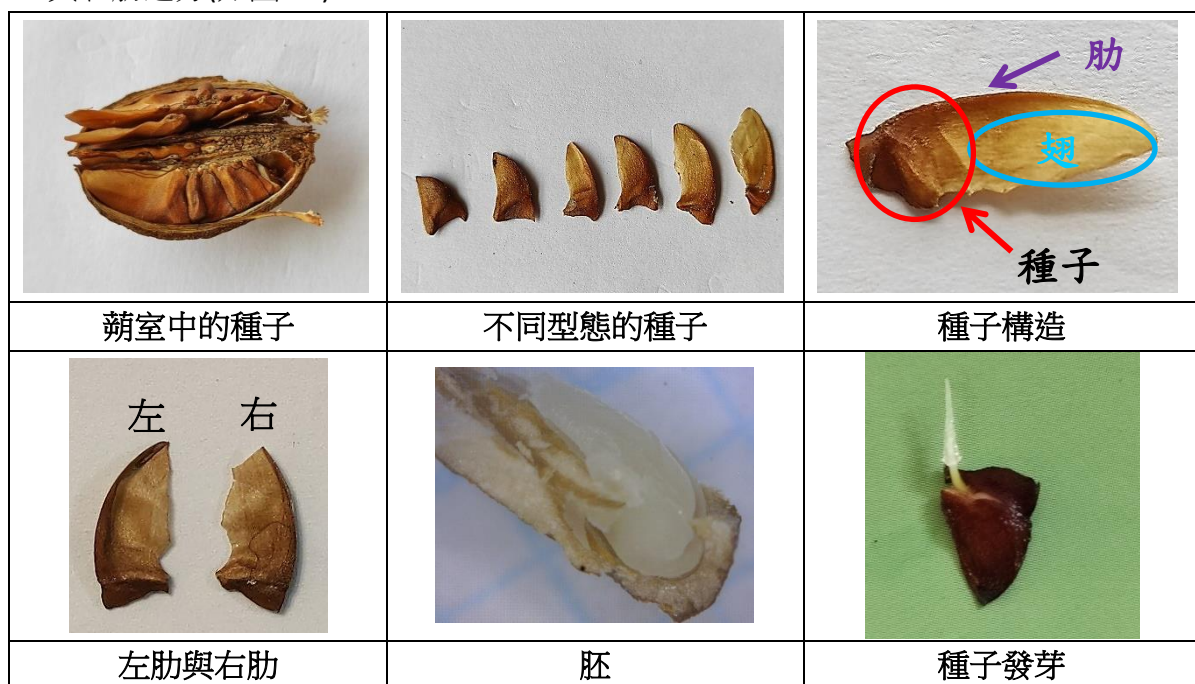
(二) 大花紫薇的果實與種子

大花紫薇的果期為 10-12 月，未成熟的果實呈綠色，切開後有綠色未成熟種子，種子排列緊密，果實成熟後，果皮轉變為暗褐色，外層木質化，成熟的果實呈橢圓形，直徑為 2 至 3.5 公分，完全成熟後會裂開，內分成 4-7 蒴室，每一蒴室內藏許多種子(如圖 12)。



【圖 12】大花紫薇果實構造

每一蒴室內種子會緊密貼合在一起，每室種子拆開依順序排列，發現每室種子數量為 11-38 顆種子，整顆果實的種子數量因蒴室的多寡與大小而有差異，約有 120-250 個種子。種子構造分為三個部分：種子、翅、肋。但種子有多種形態，有的種子無翅但厚實，有的種子翅短小，有些則翅長但種子比例小，肋痕有左肋與右肋之分(如圖 13)。



【圖 13】大花紫薇種子構造

二、分析大花紫薇種子的型態及分類

(一)實驗一：各類型種子外部形質分析

1. 種子全長(含翅)

大花紫薇種子的全長約為 1.2-1.9 公分，平均值大小依序為第四型(1:3) > 第五型(1:4) > 第三型(1:2) > 第二型(1:1) > 第一型(1:0)(圖 14)。經單因子變異數分析後發現第三型種子(1:2)與第五型(1:4)種子的種子全長無顯著差異，第三型種子全長大於第一型(1:0)與第二型種子(1:1)，具有顯著性，第四型種子(1:3)最長與第三型種子有顯著差異(表 2)。

【表 02】種子全長的單因子變異數分析表(LSD)

種子全長	平均數	標準差	顯著性
1 : 0	1.20	0.170	<0.001*
1 : 1	1.42	0.218	<0.001*
1 : 2	1.71	0.258	—
1 : 3	1.88	0.246	<0.001*
1 : 4	1.79	0.201	0.305

*表示 P<0.05

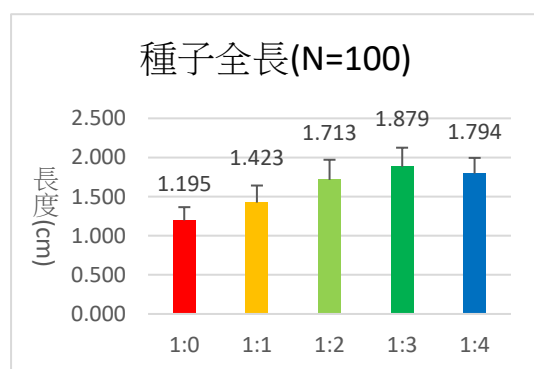
2. 種子長度

大花紫薇種子的種子長約為 0.37-1.20 公分，平均值大小依序為第一型(1:0) > 第二型(1:1) > 第三型(1:2) > 第四型(1:3) > 第五型(1:4) (圖 15)。經單因子變異數分析後發現各類型種子的種子長有顯著差異(表 03)。

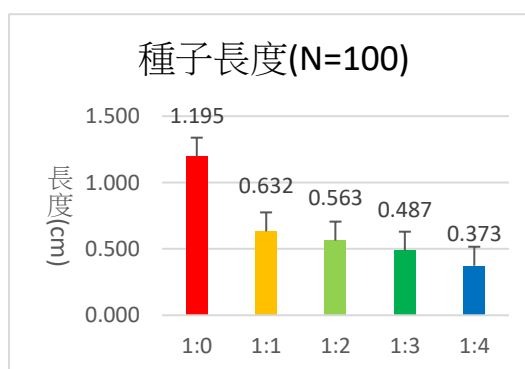
【表 03】種子長的單因子變異數分析表(LSD)

種子長度	平均數	標準差	顯著性
1 : 0	1.20	0.170	<0.001*
1 : 1	0.63	0.138	<0.001*
1 : 2	0.56	0.0937	—
1 : 3	0.49	0.0767	<0.001*
1 : 4	0.37	0.0524	<0.001*

*表示 P<0.05



【圖 14】種子全長比較圖



【圖 15】種子長度比較圖

3. 種子寬度

種子寬度以種子翅最寬部位做測量，因第一型(1:0)無翅故測量種子(本身最寬部分)。每種比例的種子寬度並無太大差異，大約分布在 0.753~0.858 公分之間，數值皆很相近。(圖 16)

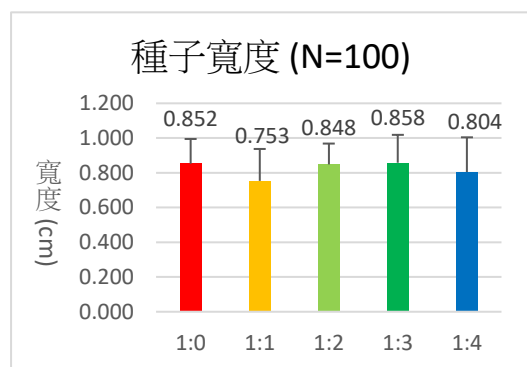
4. 種子重量(含翅)

大花紫薇種子的種子重約為 0.010-0.014 公克，平均值大小依序為第一型(1:0) > 第二型(1:1) > 第三型(1:2) > 第四型(1:3) > 第五型(1:4) (圖 17)。經單因子變異數分析後發現第一型(1:0)重量最重，第五型(1:4)最輕，第三型(1:2)種子與第一型和第二型具有顯著差異，但與第四型和第五型種子沒有顯著差異。(表 4)

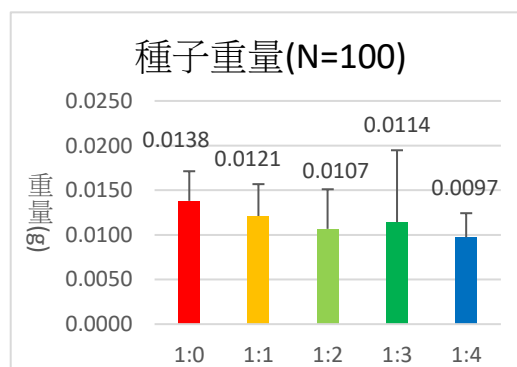
【表 04】種子重量的單因子變異數分析表(LSD)

種子重量	平均數	標準差	顯著性
1 : 0	0.014	0.0033	<0.001*
1 : 1	0.012	0.0036	0.022*
1 : 2	0.011	0.0035	—
1 : 3	0.011	0.0027	0.260
1 : 4	0.010	0.0027	0.160

*表示 P<0.05



【圖 16】種子寬度比較圖



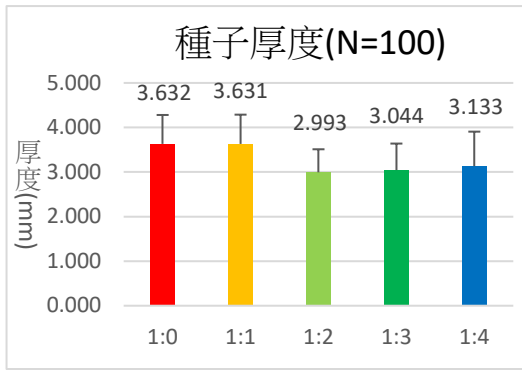
【圖 17】種子重量比較圖

5. 種子厚度

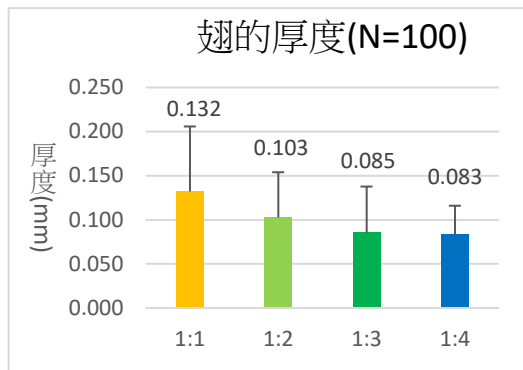
種子的平均厚度約為 3.0-3.6 公分，厚度依序為第一型(1:0) > 第二型(1:1) > 第五型(1:4) > 第四型(1:3) > 第三型(1:2) (圖 18)。其中以第一型(1:0)、第二型(1:1)種子的厚度較厚，但種子的表面不規則且具有斜度，易造成測量誤差，因此不做單因子變異數分析。

6. 翅的厚度

種子翅的平均厚度約為 0.08-0.13 公分，依序為第二型(1:1) > 第三型(1:2) > 第四型(1:3) > 第五型(1:4) (圖 19)，翅長的比例越長，翅的厚度越薄，但因翅的表面厚薄不均，易造成測量誤差，因此不做單因子變異數分析。



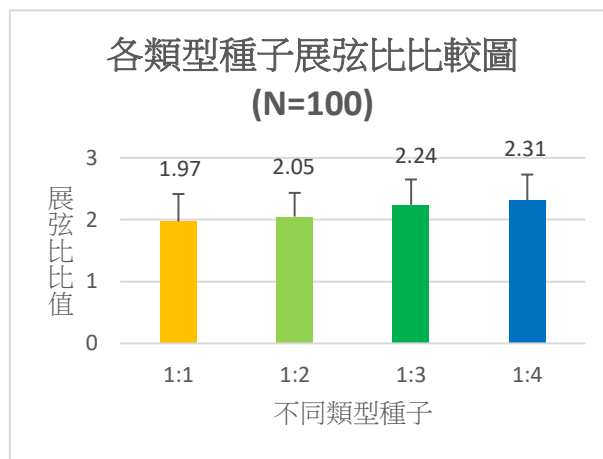
【圖 18】種子厚度比較圖



【圖 19】薄翅厚度比較圖

7. 種子展弦比

展弦比的計算方法為將展(種子全長)/弦(種子寬度) (圖 20)，第一型(1:0)僅有種子而無翅的構造，無法旋轉緩降，故不計算。發現第二型(1:1)與第三型(1:2)的展弦比的數值相近，第四型(1:3)與第五型(1:4)相近 (圖 20)。經單因子變異數分析後發現第四、第五型種子的展弦比大於第二、第三型，第三型種子與第二型種子相近，但與第四和第五型種子具有顯著差異。(表 05)



【圖 20】種子各比例之展弦比較圖

【表 05】展弦比的單因子變異數分析表(LSD)

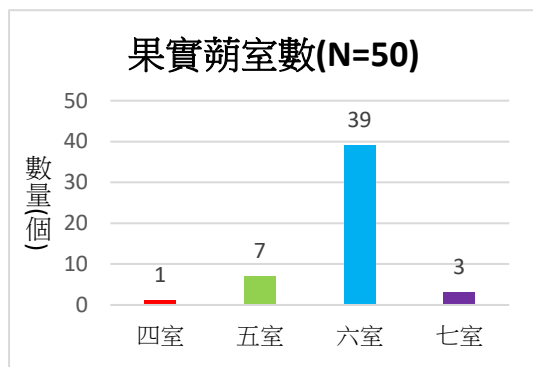
展弦比	平均數	標準差	顯著性
1:2	1:0	—	—
	1:1	1.97	0.445
	1:2	2.05	0.383
	1:3	2.24	0.410
	1:4	2.31	0.418

*表示 P<0.05

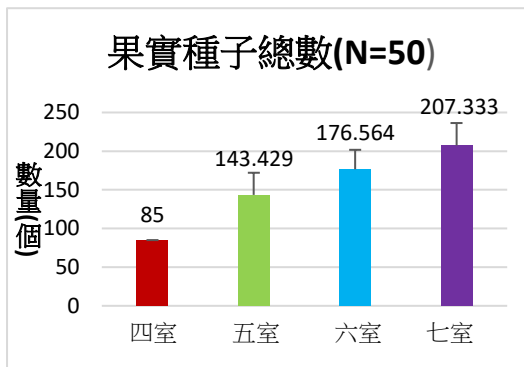
(二)實驗二：果實中種子數量及種子比例

1. 果實中蒴室數量與種子總數

我們取 50 顆果實，以蒴室為單位，蒴室數量為 4-7 個，其中以 6 蒴室的比例最多(78%)，4 蒴室比例最少僅有一顆果實(2%) (如圖 21)。統計每顆果實所含種子數量，平均約為 85-207 顆種子，我們發現蒴室數量越多，果實內的種子數量也越多，果實中種子總數依序為 7 蒴室 > 6 蒴室 > 5 蒴室 > 4 蒴室(如圖 22)。



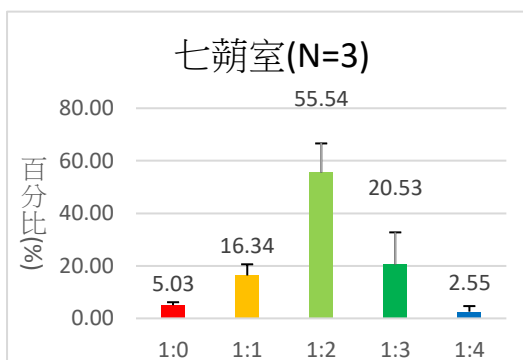
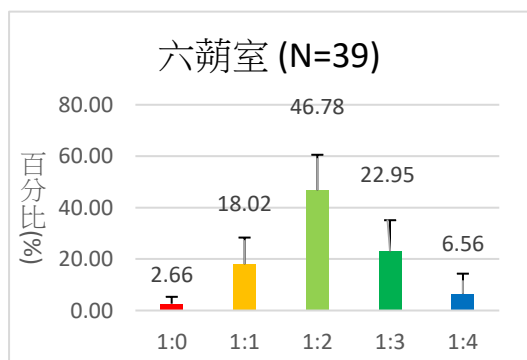
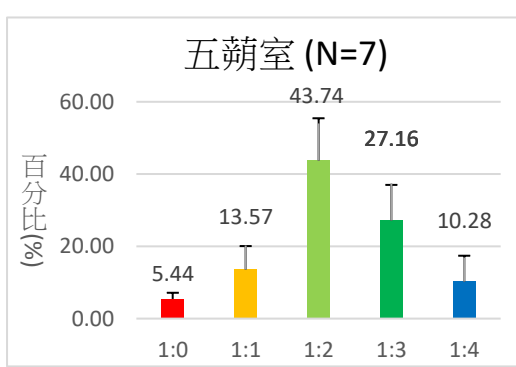
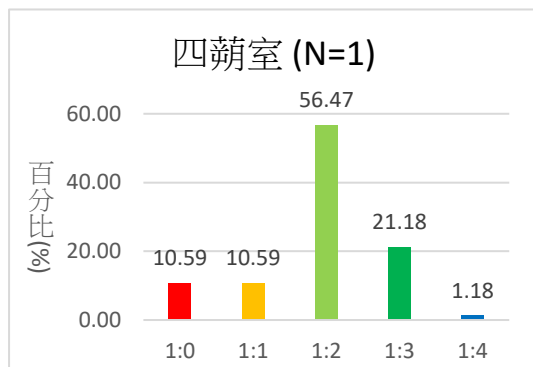
【圖 21】果實數室數比較圖



【圖 22】不同蒴室數果實的種子總數

2. 不同蒴室數量果實中各類型種子的比例

我們將果實依照蒴室數量分四組，分別分析在四室、五室、六室與七室的果實中，各類型種子的數量及百分比。各類果實的種子分析結果皆顯示以第三型(1:2)的種子的數量最多(43.7~56.5%)，第一型(1:0)種子的比例通常最少(僅四蒴室的果實例外)約佔 5%，各類型種子在果實中所佔的比例大小，依次為的三型(1:2) > 第四型(1:3) > 第二型(1:1) > 第五型(1:4) > 第一型(1:0)。



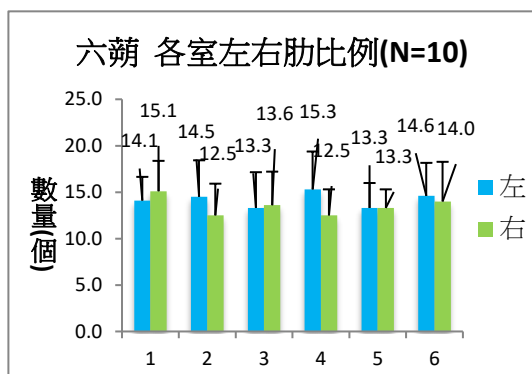
【圖 23】不同蒴室數量果實的各類型種子數量比較圖

我們從每一蒴室中各比例種子的數量來看，每一蒴室的差異性不大。多以第三型(1:2)和第四型(1:3)的比例最高，但有些蒴室沒有第五型(1:4)的種子，但每一蒴室皆有第一型(1:0)的種子。而從種子排列發現，中央一定是第一型(1:0)的種子，依次為第二型(1:1)、第三型(1:2)、第四型(1:3)的種子交錯排列，而兩側的種子翅最長，通常是第四型(1:3) 或第五型(1:4)的種子。(如圖 24)

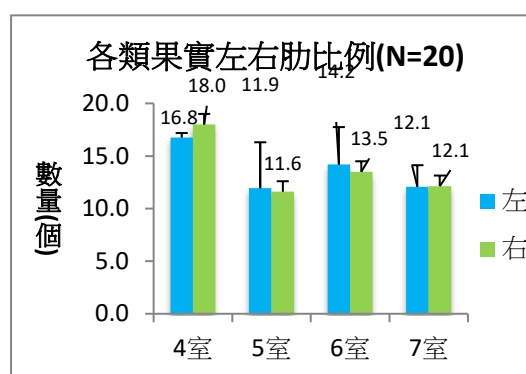


【圖 24】一蒴室中各類型種子排列情形

而種子有左肋與右肋之分，再選取 20 顆果實，以蒴室為單位排列，統計各蒴室中左肋與右肋的種子數量及平均值。以最多數的六蒴室果實為例，蒴室中左肋與右肋種子數量上差異不大，再比較不同蒴室數量的果實，左肋與右肋數量也很相近。(圖 25、圖 26)



【圖 25】六蒴果實各室左右肋比較圖



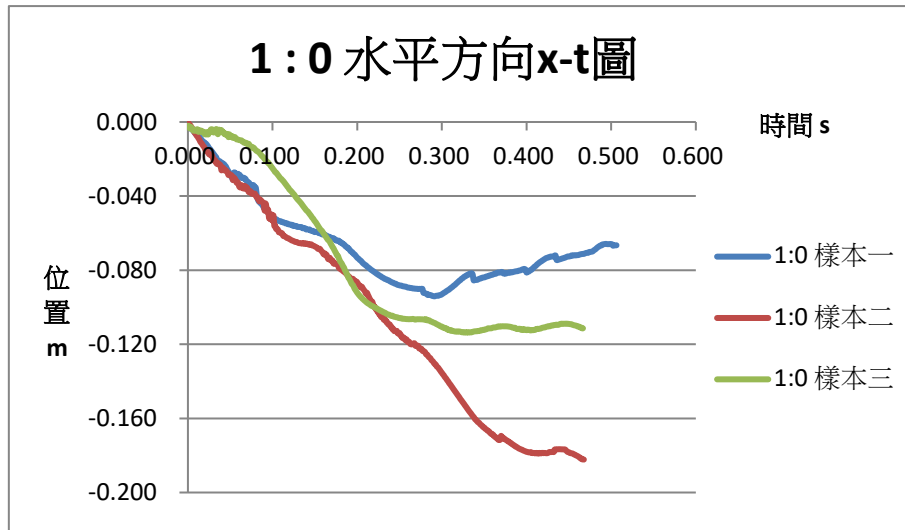
【圖 26】不同蒴室果實左右肋比較圖

三、分析不同類型種子的飛行模式

五種類型種子挑選左肋及右肋各 5 顆，測量其薄翅長度、種子長度、種子寬度及重量，每顆種子拍攝兩次飛行實驗，以 Tracker 軟體分析其飛行模式。我們取各類型種子的三次飛行結果，同時分析其水平與垂直方向的軌跡。

(1) 第一型種子(1:0)

水平方向飛行軌跡分析，由圖 27 發現第一型(1:0)種子，在掉落時有時可能會偏向某一側或翻轉，但沒有旋轉的現象。三個樣本的飛行時間差異不大，約為 0.47 秒，沒有週期性旋轉。(表 06)

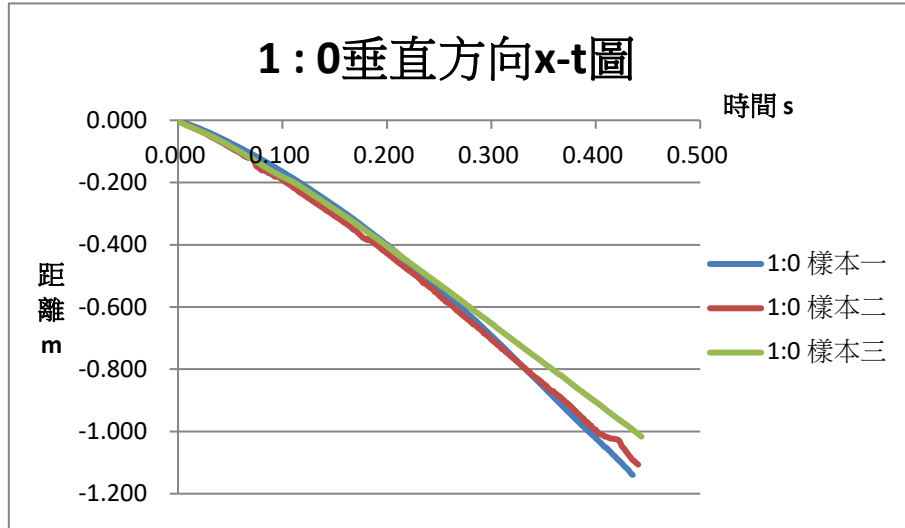


【圖 27】 1:0 種子水平方向 x-t 圖



【圖 28】 1:0 種子水平方向飛行過程截圖，無旋轉

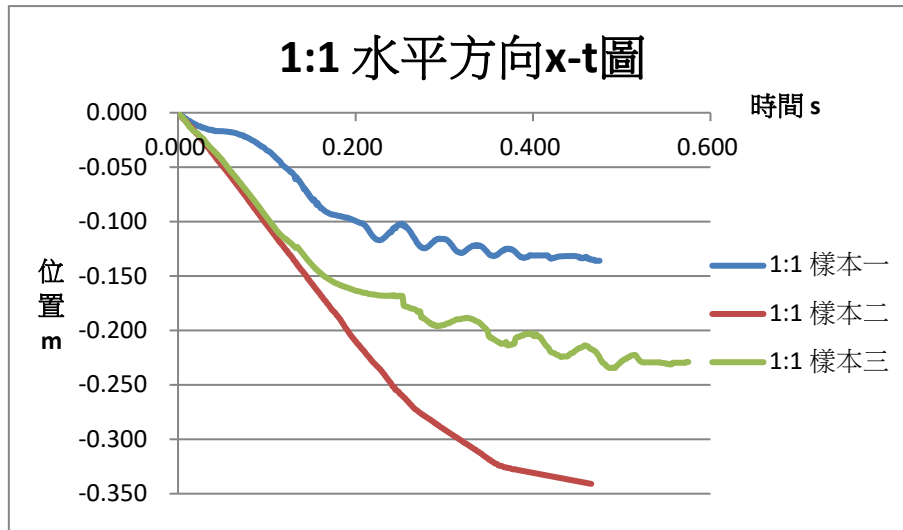
在垂直方向飛行軌跡，由從圖 29 可知，種子以接近自由落體的方式掉落，圖形呈現二次函數的曲線，飛行時間約為 0.44 秒。(表 07)



【圖 29】 1:0 種子垂直方向 x-t 圖

(2) 第二型種子(1:1)

水平方向飛行分析，三個樣本中只有樣本三略有旋轉情形，因此樣本三的飛行時間比其他兩個無旋轉的長，飛行時間 0.47-0.48 秒，平均為 0.475 秒。樣本三的飛行時間 0.51 秒，約在 0.25 秒時開始旋轉，落地前旋轉 6 圈，旋轉週期 0.054 秒。(表 06、圖 30、圖 31)

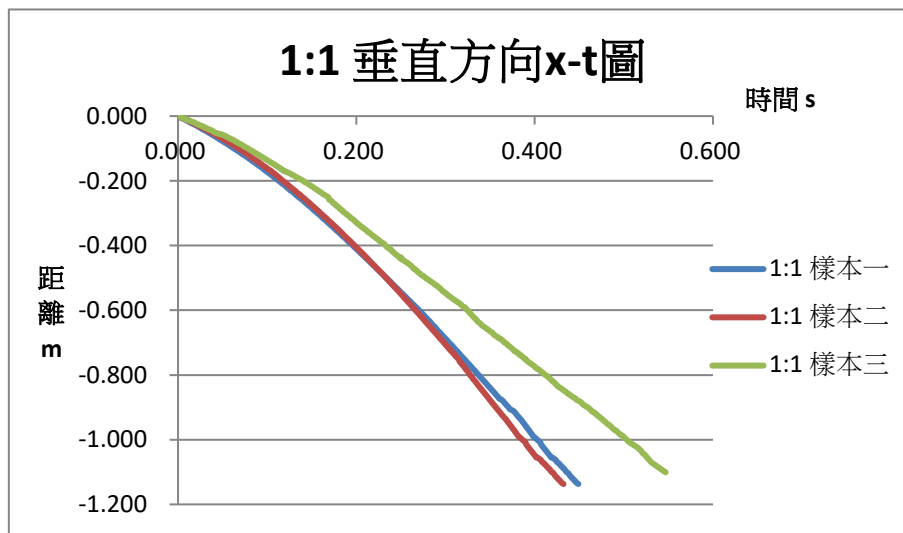


【圖 30】1:1 種子水平方向 x-t 圖



【圖 31】1:1 種子旋轉情況的截圖，旋轉一圈約需 0.018 秒

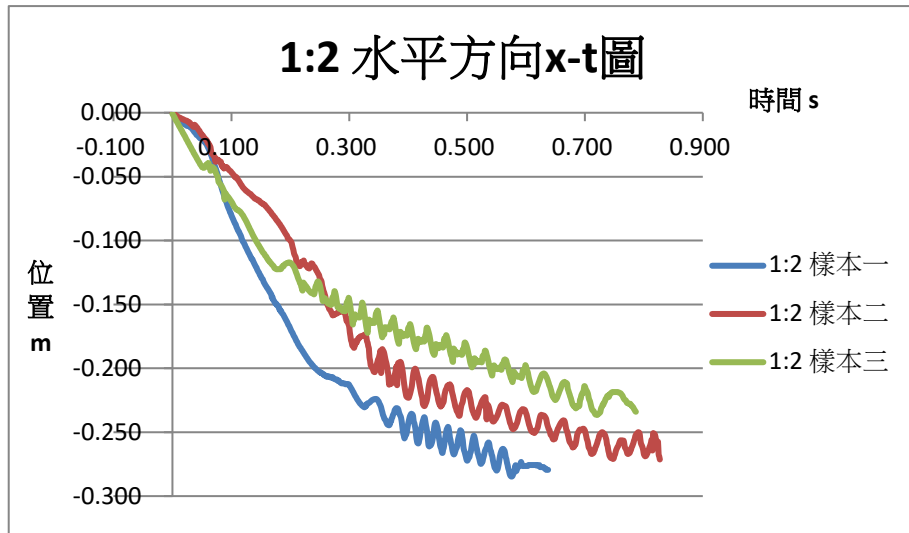
垂直方向飛行分析，由圖 32 可發現樣本一與樣本二種子接近自由落體的方式掉落，呈現二次曲線，飛行時間分別為 0.45、0.43 秒，樣本三在快落地前雖有旋轉，但沒有明顯的轉折點，飛行時間 0.55 秒。(表 07)



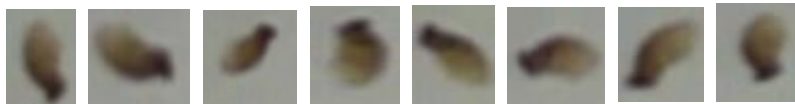
【圖 32】1:1 種子垂直方向 x-t 圖

(3) 第三型種子(1:2)

水平方向飛行分析，第三型(1:2)種子的飛行皆有旋轉情形，飛行時間分別為 0.64-0.83 秒，依次為樣本二>樣本三>樣本一；旋轉圈數 11-18 圈，依次為樣本三>樣本二>樣本一，旋轉週期平均約為 0.031 秒。(表 06、圖 33、圖 34)

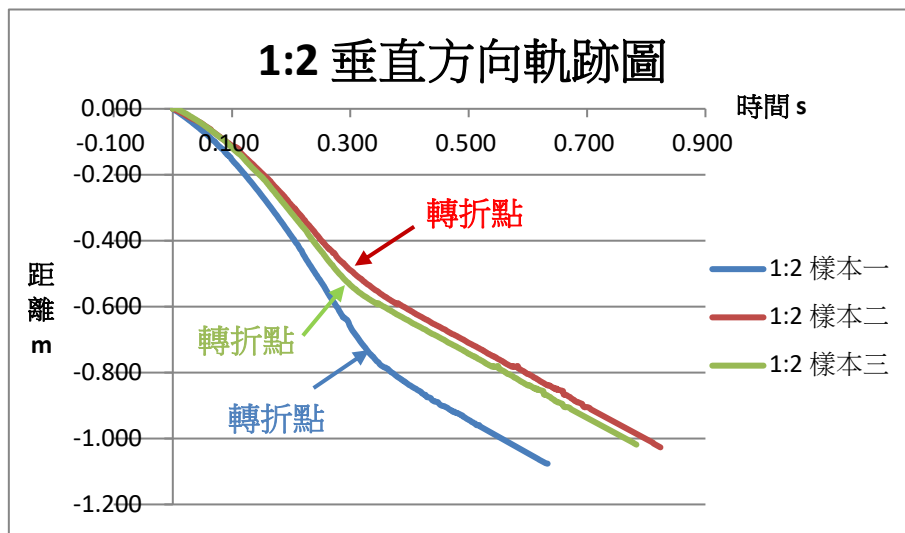


【圖 33】1:2 種子水平方向 x-t 圖



【圖 34】1:2 種子旋轉情況的截圖，旋轉一圈約需 0.031 秒

垂直方向飛行分析，三個樣本皆有轉折點的出現，轉折點前圖形呈現二次曲線，種子以類似自由落體方式運動，轉折點後接近斜直線，代表種子接近等速落下。樣本二出現轉折點的時間最早，約在 0.28 秒時發生，代表墜落期較短飛行時間最長，墜落期平均為 0.30 秒，飛行時間為 0.63-0.82 秒，依次為樣本二>樣本三>樣本一。(表 07、圖 35)

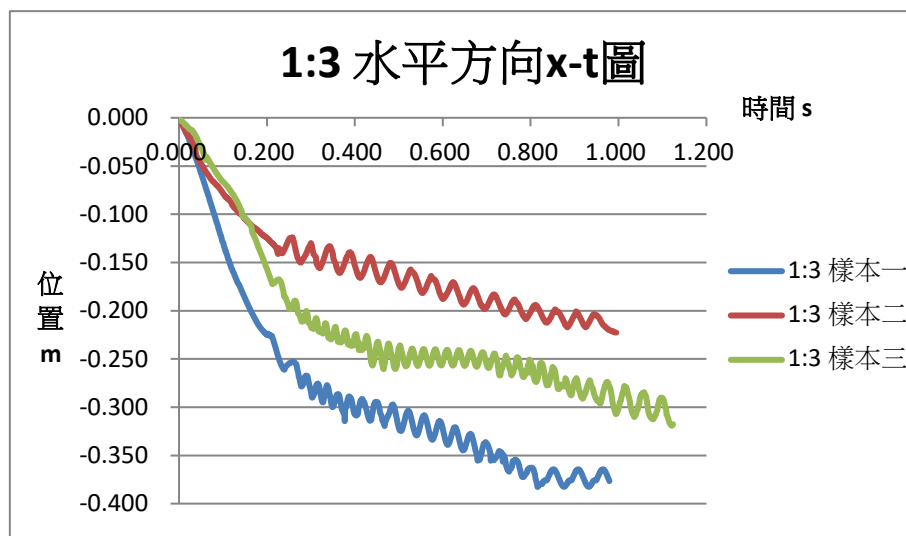


【圖 35】1:2 種子垂直方向 x-t 圖

(4) 第四型種子(1:3)

平方向飛行分析，第四型(1:3)種子的飛行皆有旋轉情形，飛行時間分別

為 0.98-1.12 秒，平均為 1.03 秒，依次為樣本三>樣本二>樣本一；旋轉圈數 18-28 圈，依次為樣本三>樣本二>樣本一，旋轉週期皆約為 0.037 秒。(表 06、圖 36、圖 37)

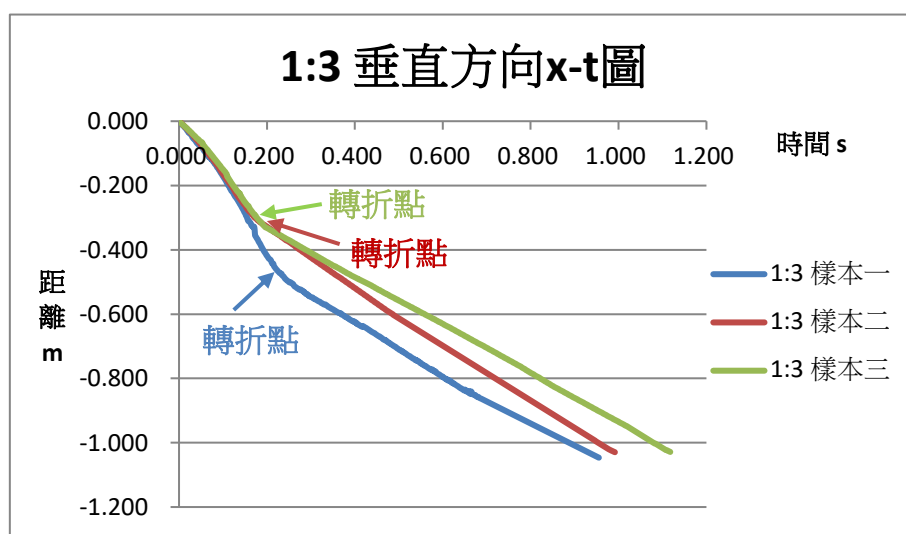


【圖 36】 1:3 種子水平方向 x-t 圖



【圖 37】 1:3 種子旋轉情況的截圖，旋轉一圈約需 0.037 秒

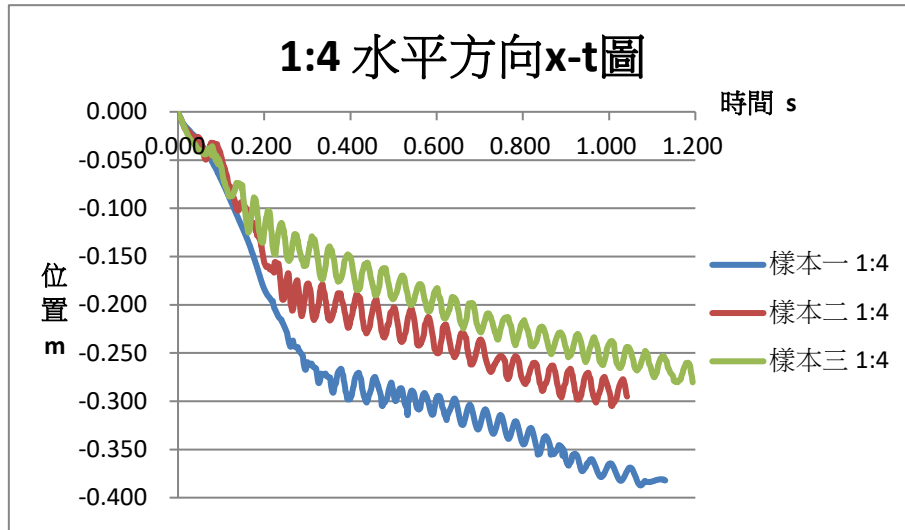
垂直方向飛行分析，三個樣本皆有轉折點的出現，轉折點前圖形呈現二次曲線，種子以類似自由落體方式運動，轉折點後接近斜直線，代表種子接近等速落下。三個樣本的轉折點出現時間接近，約在 0.21 秒時發生，墜落期平均為 0.22 秒，飛行時間為 0.96-1.12 秒，平均為 1.02 秒，依次為樣本三>樣本二>樣本一。(表 07、圖 38)



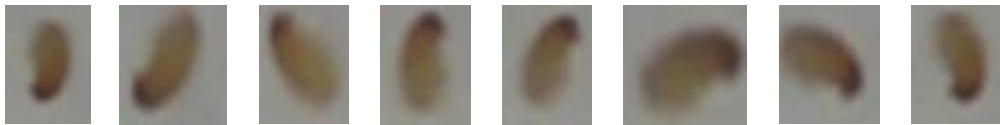
【圖 38】 1:3 種子垂直方向 x-t 圖

(5) 第五型種子(1:4)

平方向飛行分析，第五型(1:4)種子的飛行皆有旋轉情形，飛行時間分別為 1.03-1.19 秒，平均為 1.12 秒，依次為樣本三>樣本一>樣本二；旋轉圈數 19-29 圈，依次為樣本三>樣本二>樣本一，旋轉週期約為 0.040 秒。(表 06、圖 39、圖 40)

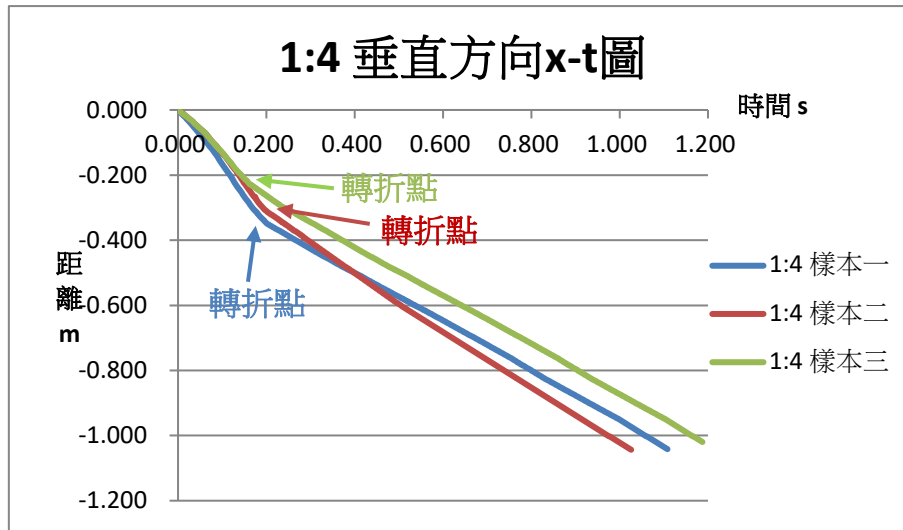


【圖 39】 1:4 種子水平方向 x-t 圖



【圖 40】 1:4 種子旋轉情況的截圖，旋轉一圈約需 0.039 秒

垂直方向飛行分析，三個樣本皆有轉折點的出現，轉折點前圖形呈現二次曲線，種子以類似自由落體方式運動，轉折點後接近斜直線，代表種子接近等速落下。三個樣本的轉折點出現時間略有差異，約在 0.16-0.23 秒時發生，依次為樣本三>樣本二>樣本一，樣本三最早開始轉動，墜落期平均為 0.20 秒，飛行時間為 1.03-1.19 秒，平均為 1.11 秒，依次為樣本三>樣本一>樣本二。(表 07、圖 41)



【圖 41】1:4 種子垂直方向 x-t 圖

【表 06】五種比例種子水平方向飛行比較

	樣本	墜落期	旋轉期	飛行時間	旋轉數	旋轉周期
第一型 (1:0)	樣本一	0.461		0.461		
	樣本二	0.468	無法旋轉	0.468	無法旋轉	無法旋轉
	樣本三	0.467		0.467		
	平均值	0.465		0.465		
第二型 (1:1)	樣本一	0.475	無法旋轉	0.475	無法旋轉	無法旋轉
	樣本二	0.466	無法旋轉	0.466	無法旋轉	無法旋轉
	樣本三	0.253	0.322	0.575	6	0.0537
	平均值	0.398	0.107	0.505		0.0179
第三型 (1:2)	樣本一	0.324	0.314	0.638	11	0.029
	樣本二	0.271	0.556	0.827	16	0.035
	樣本三	0.242	0.544	0.786	18	0.030
	平均值	0.279	0.471	0.750	15	0.031
第四型 (1:3)	樣本一	0.239	0.74	0.979	18	0.041
	樣本二	0.226	0.769	0.995	20	0.038
	樣本三	0.22	0.904	1.124	28	0.032
	平均值	0.228	0.804	1.033	22	0.037
第五型 (1:4)	樣本一	0.25	0.88	1.13	19	0.046
	樣本二	0.208	0.819	1.027	22	0.037
	樣本三	0.154	1.04	1.194	29	0.036
	平均值	0.204	0.913	1.117	23.3	0.040

【表 07】五種比例種子垂直方向飛行比較

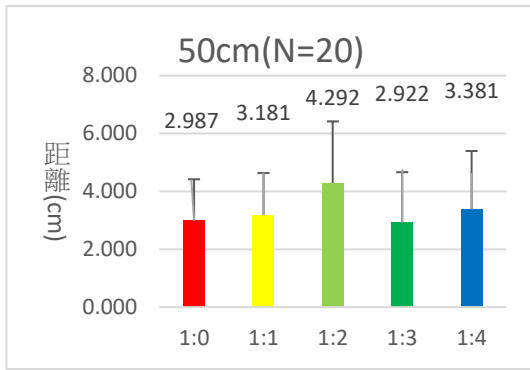
	樣本	墜落期	旋轉期	飛行期
第一型(1:0)	樣本一	0.436		0.436
	樣本二	0.442	無法旋轉	0.442
	樣本三	0.444		0.444
	平均值	0.441		0.441
第二型(1:1)	樣本一	0.449	無法旋轉	0.449
	樣本二	0.432	無法旋轉	0.432
	樣本三	0.547	無法判斷	0.547
	平均值	0.476		0.476
第三型(1:2)	樣本一	0.332	0.301	0.633
	樣本二	0.279	0.545	0.824
	樣本三	0.288	0.495	0.783
	平均值	0.300	0.447	0.747
第四型(1:3)	樣本一	0.223	0.732	0.955
	樣本二	0.226	0.766	0.992
	樣本三	0.204	0.914	1.118
	平均值	0.218	0.804	1.022
第五型(1:4)	樣本一	0.228	0.88	1.108
	樣本二	0.207	0.819	1.026
	樣本三	0.156	1.032	1.188
	平均值	0.197	0.910	1.107

四、分析不同類型種子在高度落下的散佈情形

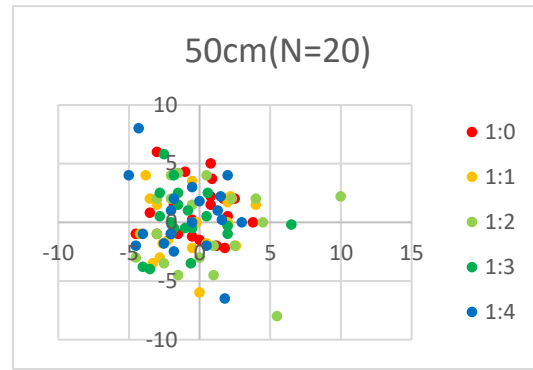
我們模擬大樹的不同高度，從 50cm、100cm、150cm、200cm、250cm 到 300cm 來進行實驗。選取各類型種子 20 顆在無風的室內進行散佈距離的實驗。

(一)50 公分

由圖 42 的結果可發現，在 50 公分的高度，所有種子皆無法旋轉緩降，且高度小，因此各類型種子散佈距離皆相近，平均距離在 3.0-4.3 之間，圖 43 顯示各類型種子的散播情形，分散的情形皆在座標原點附近，沒有偏離到某一區域的現象。各類型種子的最大、最小距離、平均距離(如表 8)。



【圖 42】50 公分不同比例種子比較圖



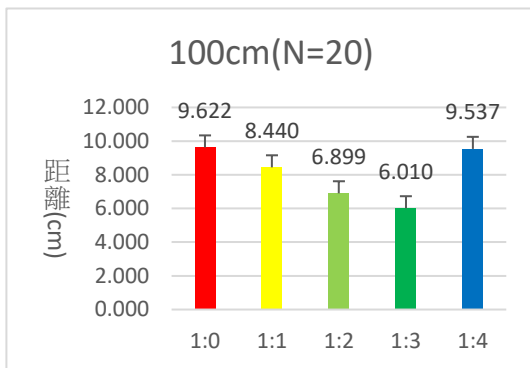
【圖 43】50 公分不同比例種子分佈情形

【表 8】50 公分散佈範圍與平均值

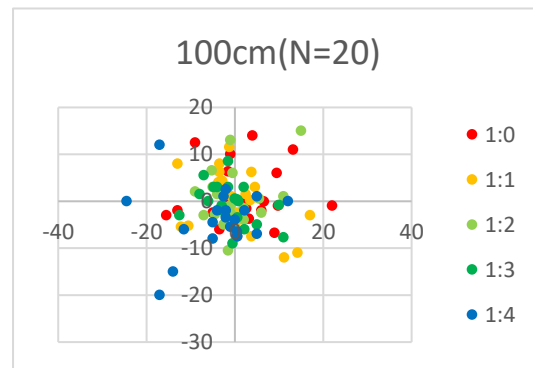
型態	散佈範圍(cm)	平均值(cm)
第一型 1:0	0.539~6.708	2.987±1.432
第二型 1:1	0.200~6.000	3.181±1.454
第三型 1:2	1.581~10.239	4.292±2.128
第四型 1:3	0.707~6.503	2.922±1.742
第五型 1:4	0.707~6.503	3.381±2.014

(二)100 公分

由圖 44 的結果可發現，在 100 公分的高度，部分種子有旋轉緩降的現象，散佈距離的平均值為 6.0-10.0 公分。依次為第一型>第五型>第二型>第三型>第四型，從飛行實驗中可知第三至五型種子皆在 110 公分的高度有緩降的現象，因此第三、第四型種子散佈距離較小，可能與種子旋轉緩降有關。各類型種子的散佈情形、最大距離、最小距離、平均距離(如表 9、圖 45)。



【圖 44】100 公分不同比例種子比較圖



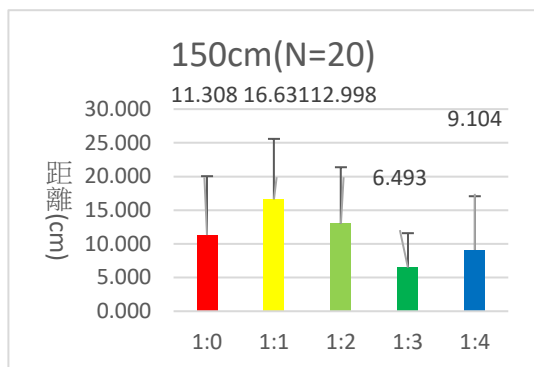
【圖 45】100 公分不同比例種子分佈情形

【表 9】100 公分散佈範圍與平均值

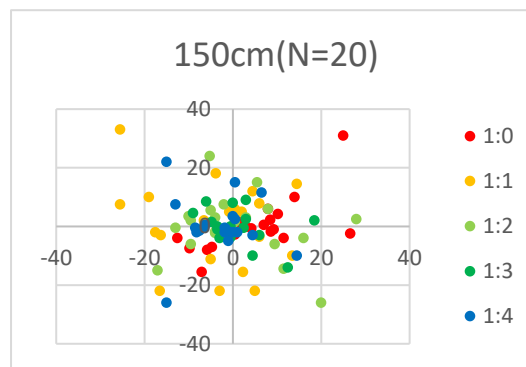
型態	散佈範圍(cm)	平均值(cm)
第一型 1:0	1.700~22.023	9.622±5.279
第二型 1:1	1.281~17.962	8.440±5.213
第三型 1:2	1.414~21.213	6.899±4.439
第四型 1:3	0.500~13.427	6.010±3.666
第五型 1:4	2.693~26.249	9.537±7.374

(三)150 公分

由圖 46 的結果可發現，在 150 公分的高度，第三至五型種子有旋轉緩降的現象，散佈距離平均值為 6.5-16.6 公分。依次為第二型>第三型>第一型>第五型>第四型，以第四、第五型種子散佈距離較小，在飛行實驗中發現第四、第五型種子的飛行時間最長，滯空最久緩降效果最佳，可能和這種現象有關。各類型種子的散佈情形、最大距離、最小距離、平均距離(如表 10、圖 47)。



【圖 46】150 公分不同比例種子比較圖



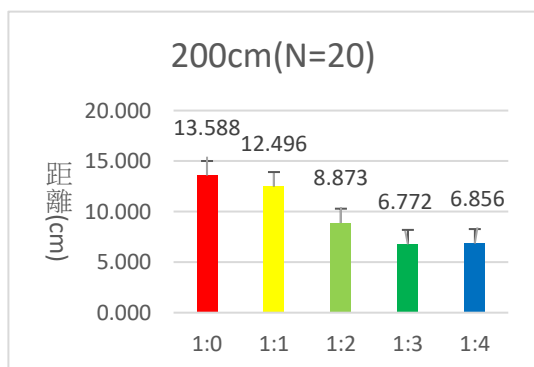
【圖 47】150 公分不同比例種子分佈情形

【表 10】150 公分散佈範圍與平均值

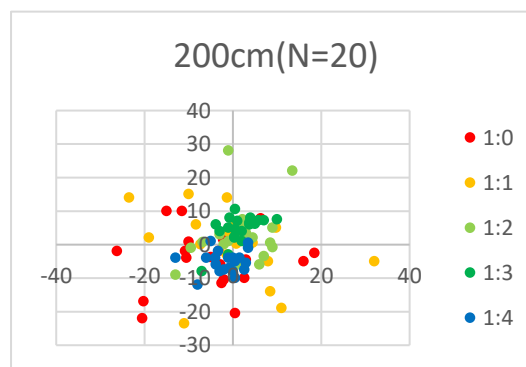
型態	散佈範圍(cm)	平均值(cm)
第一型 1:0	2.121~39.825	11.308±8.738
第二型 1:1	5.064~41.704	16.631±8.953
第三型 1:2	1.676~32.802	12.998±8.377
第四型 1:3	0.500~56.143	11.160±14.510
第五型 1:4	1.803~30.017	9.104±7.966

(四)200 公分

由圖 48 的結果可發現，在 200 公分的高度，第三至五型種子有旋轉緩降的現象，散佈距離的平均值為 6.8-13.6 公分。依次為第一型>第二型>第三型>第五型>第四型，以第四、第五型種子散佈距離較小，隨著高度增加，第四、第五型的種子因具有良好的緩降效果，落下時不易偏離，散佈距離最短。各類型種子的散佈情形、最大距離、最小距離、平均距離(如表 11、圖 49)。



【圖 48】200 公分不同比例種子比較圖



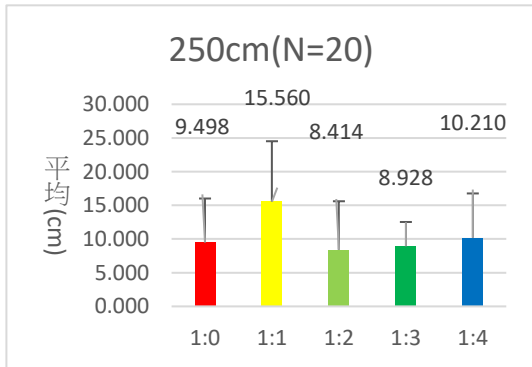
【圖 49】200 公分不同比例種子分佈情形

【表 11】200 公分散佈範圍與平均值

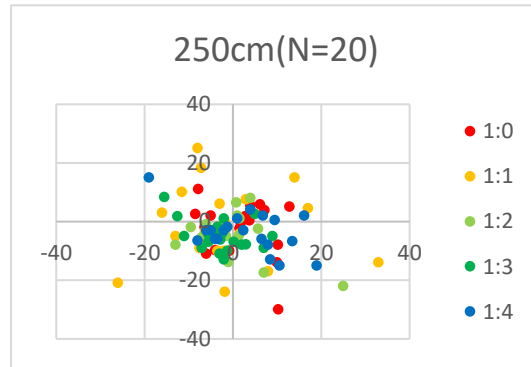
型態	散佈範圍(cm)	平均值(cm)
第一型 1:0	2.663~30.071	13.588±7.575
第二型 1:1	0.825~32.388	12.496±8.818
第三型 1:2	1.414~28.018	8.873±6.789
第四型 1:3	2.040~12.500	6.772±2.999
第五型 1:4	3.536~14.422	6.856±3.000

(五) 250 公分

由圖 50 結果可發現，在 250 公分的高度，第三至五型種子有旋轉緩降的現象，散佈距離平均值為 8.4-15.6 公分。依次為第二型>第五型>第一型>第四型>第三型，以第三、第四型種子散佈距離較小，第三至五型種子有緩降功能，散佈距離較小，但第五型種子有少數個體較分散，造成平均距離變大(圖 51)。各類型種子的散佈情形、最大距離、最小距離、平均距離(如表 12、圖 51)。



【圖 50】250 公分不同比例種子比較圖



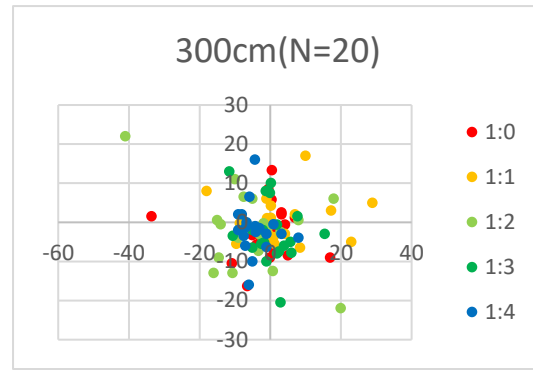
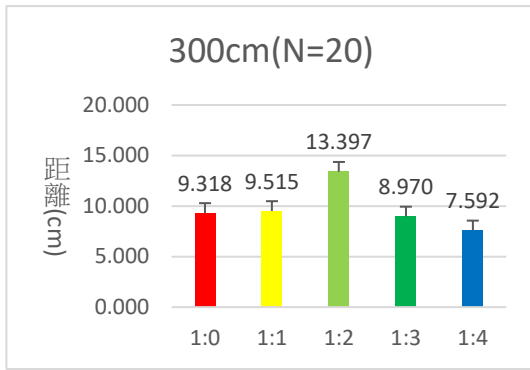
【圖 51】250 公分不同比例種子分佈情形

【表 12】250 公分散佈範圍與平均值

型態	散佈範圍(cm)	平均值(cm)
第一型 1:0	1.868~31.719	9.498±6.516
第二型 1:1	1.800~35.847	15.560±8.954
第三型 1:2	1.803~33.302	8.414±7.192
第四型 1:3	2.236~17.582	8.928±3.602
第五型 1:4	1.414~24.207	10.210±6.556

(六) 300 公分

由圖 52 的結果可發現，在 300 公分的高度，第三至五型種子有旋轉緩降的現象，散佈距離的平均值為 7.6-13.4 公分。依次為第三型>第二型>第一型>第五型>第四型，以第四、五型種子散佈距離較小，第三至五型種子有緩降功能，但第三型種子有少數個體較分散，造成平均距離變大(圖 53)。各類型種子的散佈情形、最大距離、最小距離、平均距離(如表 13、圖 53)



【圖 52】300 公分不同比例種子散佈比較圖

【圖 53】300 公分不同比例種子分佈情形

【表 13】300 公分散佈範圍與平均值

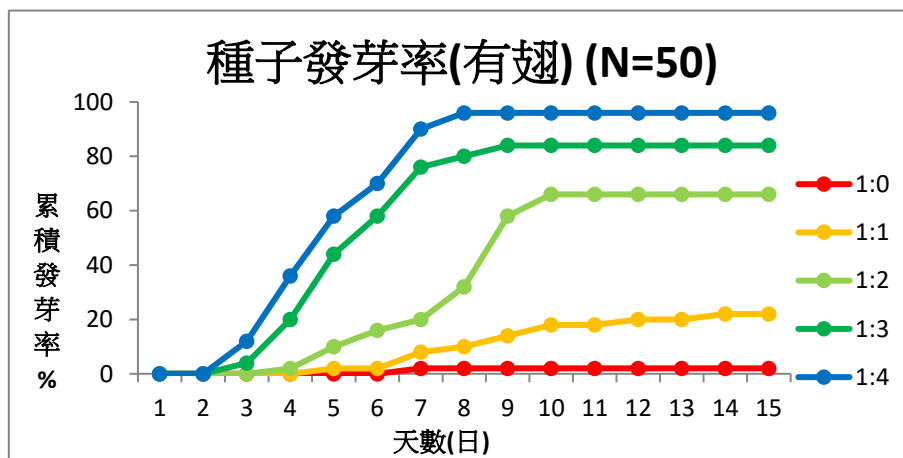
型態	散佈範圍(cm)	平均值(cm)
第一型 1:0	2.010~33.534	9.318±7.267
第二型 1:1	1.118~29.428	9.515±7.943
第三型 1:2	1.825~46.530	13.397±10.199
第四型 1:3	2.088~20.718	8.970±4.427
第五型 1:4	1.118~17.088	7.592±3.992

由以上的結果我們發現，第一型和第二型的種子因為無法旋轉，飛行結果多以直接自由落體，第三、四、五型的種子如果沒有旋轉或重心偏離，飛行結果也會和第一、二型種子差不多；當高度漸漸增高的時候，種子的翅膀越長（第三、四、五型）飛得越穩定，散佈得越密集。

五、分析不同類型種子的發芽情形

(一)第一組：光照、有翅

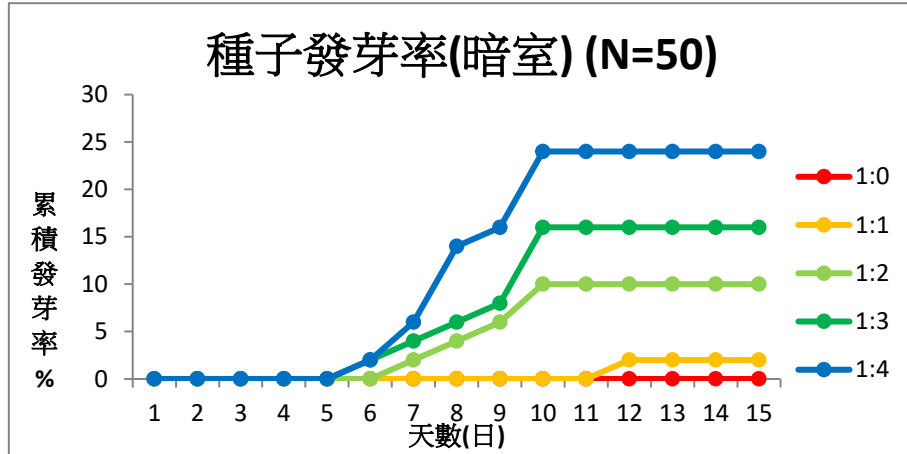
觀察各類型種子的發芽情形，累積發芽率第五型(1:4) > 第四型(1:3) > 第三型(1:2) > 第二型(1:1) > 第一型(1:0)，第五型(1:4)發芽率最高(96%)，發芽也最快只需 3-8 天即發芽結束，第一型(1:0)發芽率最低，僅一顆種子發芽(2%)。(如圖 54)



【圖 54】各類型種子發芽率(光照、有翅)

(二)第二組：暗室、有翅

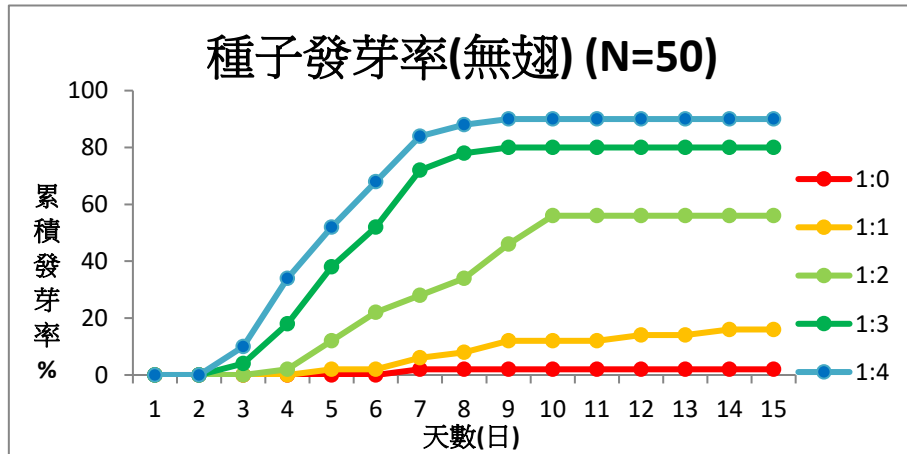
連續 15 天觀察各類型種子的發芽情形，我們發現累積發芽率是第五型(1:4) > 第四型(1:3) > 第三型(1:2) > 第二型(1:1) > 第一型(1:0)，在暗室的種子，發芽時間較晚，數量上也比在正常光照下少很多，顯示光照有促進發芽的效果。發芽率仍然是第五型(1:4)最多(24%)，第一型(1:0)則無發芽的情況，第二型(1:1)發芽率也僅有 2%。(如圖 55)



【圖 55】各類型種子發芽率(暗室、有翅)

(三)第三組：無翅、光照充足

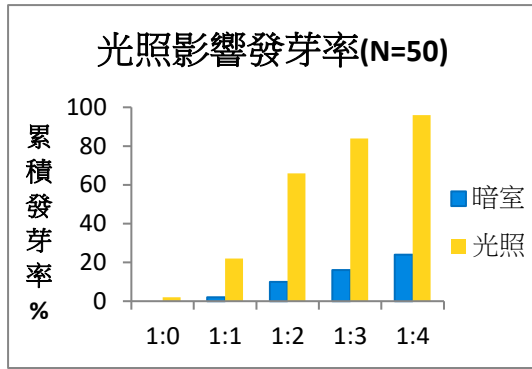
無翅種子的發芽率，第五型(1:4) > 第四型(1:3) > 第三型(1:2) > 第二型(1:1) > 第一型(1:0)，仍是第五型(1:4)發芽率高(96%)，發芽最快，第一型種子也僅一顆發芽，發芽的趨勢和有翅組類似。(如圖 56)



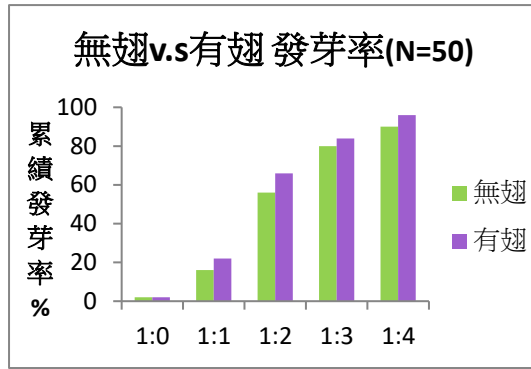
【圖 56】各類型種子發芽率(無翅)

我們比較正常光照與暗室的發芽率(如圖 57)，發現在暗室的發芽率，無論是哪種類型的種子明顯都比正常光照低很多，以第五型(1:4)為例，光照組發芽率是 96%、暗室則是 24%。

另外發芽率是否與種子的完整性有關，比較無翅與有翅種子的發芽率，發現有受損的種子，發芽率比完整種子低(如圖 58)。

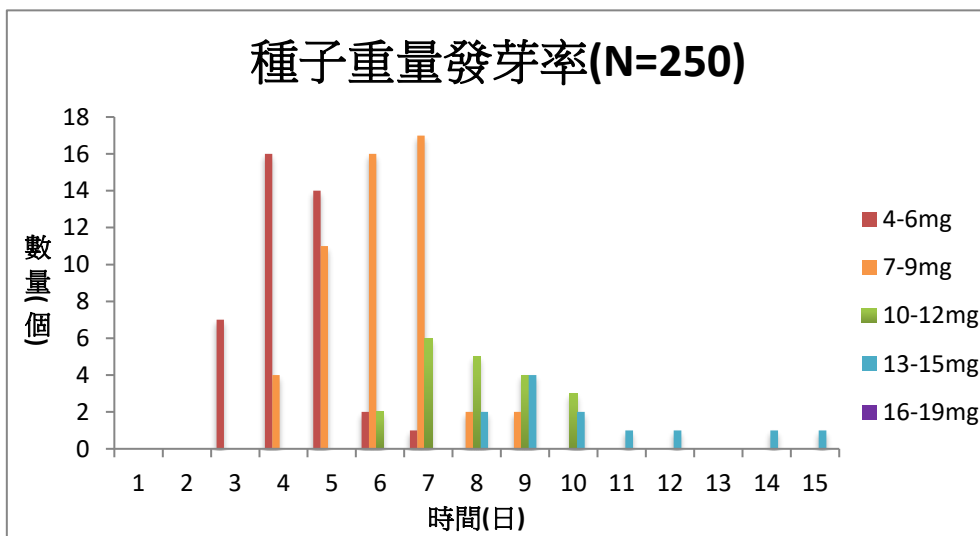


【圖 57】光照與暗室發芽率比較圖



【圖 58】無翅與有翅種子發芽率比較圖

在觀察記錄過程中，我們還發現種子的重量與發芽速率有關。將五種比例的 250 顆種子，以種子(無翅)的重量重新分為五種類型：4-6mg、7-9mg、10-12mg、13-15mg、16-19mg。由圖 59 可發現，種子重量越輕，越早發芽。重量類型 4-6mg 發芽時間為 3-7 天，7-9mg 為 4-9 天，10-12mg 為 6-10 天，13-15mg 為 8-15 天，而 16-19mg 則無發芽，可見種子重量與發芽率可能有關。



【圖 59】各種重量類型種子發芽率比較

陸、討 論

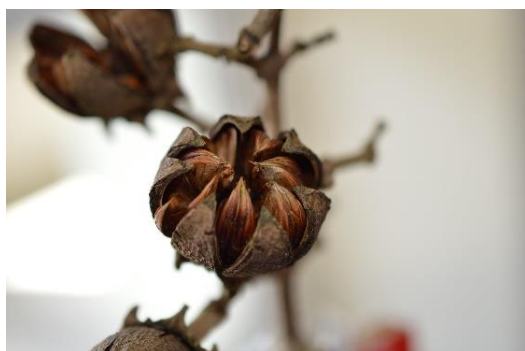
一、大花紫薇的果實與種子的特性

大花紫薇的果實為蒴果，由數個雌蕊合生而成，成熟時會縱向開裂，由 4 到 7 個蒴室組成，每個蒴室有 11-38 顆種子，每個果實有 120-250 顆種子(圖 15、圖 16)，每個果實含有大量的種子，填充在其中的種子具有許多不同型態，可將果實的空間發揮到最大(圖 60)。

我們依據種子長與翅長的比例分類，分成五種型態，以第三型(1:2)和第四型(1:3)的數量最多，合計占比 70%以上(圖 23)，第一型種子(1:0)數量少占比僅約為

5%，但在每個蒴室中皆有 1~3 顆這種型態的種子，且分布在蒴室的中央(圖 24)，這類型種子數量雖少，重量卻最重，將其種皮剖開皆有種仁、胚芽等構造，並非發育失敗的種子(圖 61)。第三、四、五型的種子(1:2、1:3、1:4)，具有翅的構造，展弦比的比值較大(圖 20)，適合借助風力擴散飛翔，具有擴散性；而第一型種子的重量最重(圖 17)，不具翅的構造僅能散佈在母樹周圍，不具擴散性；第二型種子(1:1)大部分的種子不宜擴散，僅少數個體具緩降能力(約為 15%)，但受限於外型緩降效果也不佳(圖 30、圖 32)。

各類種子的特性為第一型(1:0)和第二型(1:1)的種子重量較重、厚度大，翅的厚度也較厚；第三型(1:2)、第四型(1:3)、第五型(1:4)種子，隨著翅長比例加大時，種子的重量、厚度、翅的厚度都會下降(圖 14、15、16、17、18、19)。這樣的個體差異，可能有助於種子在適應環境時，有更多樣的散佈方式，重量偏重無翅的類型散播範圍較近，而重量輕且翅偏長的種子，有機會擴散到遠方。



【圖 60】果實中填滿種子



【圖 61】第一型 1：0 種子與胚

二、種子的多型性與飛行能力的探討

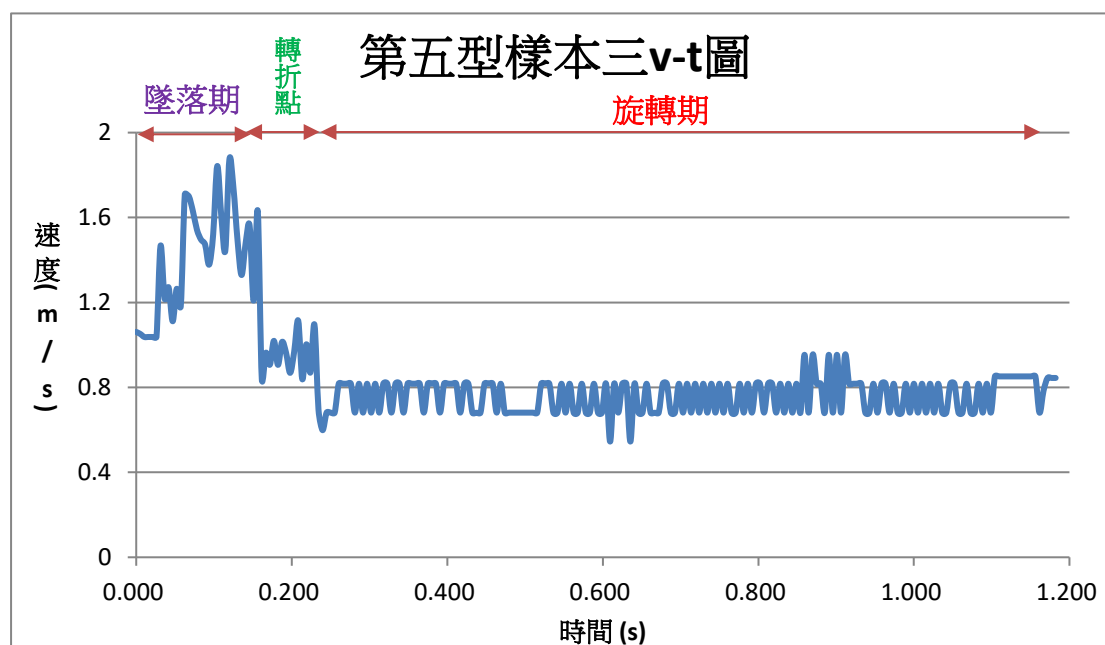
植物種子或果實的二型性(dimorphism)或多型性(polymorphism)是指在同一棵植株上生長有兩種(或多種)形態結構、生理、生態學特性等方面有很大差異的種子或果實。具有多型性種子的植物中，一般產生一類適宜擴散和另一類不適宜擴散的種子，適宜擴散的種子一般個體較大、不休眠、對光不敏感；不適宜擴散的種子個體小、具有休眠特性，有些種類還有其他類型。這種現象在菊科植物、藜科、十字花科等較為常見，有些菊科植物(如 *Leontodon longirostris*、*Senecio vulgaris*) 在頭狀花序上，中間花種子(central achene)偏小、顏色淺、有冠毛、不休眠，邊花種子(peripheral achene)則種子較大、顏色深、無冠毛、休眠。蒼耳(*Xanthium pennsylvanicum*)則是在上位和下位產生的種子對光線的反應不同。有些植物則是在不同季節產生的種子顏色、重量有差異(如 *Halopyrum mucronatum*)。(李等，2006)

而大花紫薇的種子的外型差異頗大，我們將其種子分為五類，其中無翅的第一型種子，不會旋轉，散佈的範圍也小，翅長(1:1)的第二型種子少部分具有較佳的飛行力，大部分種子則無法成功旋轉緩降，擴散距離有限。而具有較長翅葉構造的類型，在飛行模式的實驗中皆能旋轉緩降，增加其在空中滯留的時間，在自然環境下可散佈到較廣的範圍，且從實驗中發現，其翅長越長的種子，越能穩定

緩降，飛行時間就越長。由以上的發現，我們認為第一型(1:0)屬於不宜擴散的種子，第二型(1:1)種子多數擴散範圍小，少數具緩降能力，而第三、四、五型種子則屬於適宜擴散的種子。

在我們的飛行實驗中發現，翅長的比例須達(1:2)以上種子才具有穩定的緩降效果，且翅越長越能延長其滯空時間(表 6、7；圖 33、35、36、38、39、41)，以水平和垂直方向同步攝影分析的結果發現，當水平方向的種子開始規律旋轉，垂直方向軌跡開始出現轉折點(圖 35、38、41)，從二次曲線轉換成斜直線，也就表示種子的運動狀態，由接近自由落體的等加速運動，轉換為接近等速運動。以種子受力的情形來看，種子主要受到重力、升力與阻力，重力使種子向下運動，因種子的特殊形狀，有肋痕的構造使其重心偏向翅的一側，使施力矩大於抗力矩開始轉動，並因種子表面與氣流形成的空氣阻力共同形成升力，阻抗重力作用，所以在種子穩定旋轉之後，種子的受力漸達到平衡，而以接近等速的方式落下(劉等，2011、蔡，2012、蔡等，2019)。

我們將第五型種子樣本三的垂直方向運動分析，做成速度-時間關係圖，可發現種子的下落速度一開始會漸漸增加(墜落期)，開始轉動之後速度開始下降(轉折點)，最後會接近等速的狀態(旋轉期)。在第三、四、五型種子的垂直方向的運動分析，都有一致的結果，且越早出現轉折點的種子，終端速度越小，滯空時間就越長。



【圖 62】第五型樣本三 v-t 圖

三、種子的散播距離

種子旋轉的目的是為了延長停留在空中的時間，在實驗過程中我們發現，無外力影響下，種子水平位移的距離很小，散播的範圍隨著高度增加，無翅型的種子散播距離較大，長翅型種子比較穩定，散播距離較短(表 9、10、11、12、13、14；圖 42-53)。大花紫薇種子，藉由旋轉延長落地時間，能增加種子藉由風吹拂

飄到遠處之機率，而且旋轉速度越快，則下落時間越長，這個現象與直昇機在一定風力範圍內可垂直升降的原理類似。其他會旋轉落下的種子曾被研究的有槭樹（朱等，2013）及桃花心木（蔡，2012）等，它們皆為單翅構造，在掉落時會旋轉，掉落的過程可分為數個時期，速度的變化不一，我們將大花紫薇分成了兩個時期分別是墜落期和旋轉期，而且翅短的種子較不旋轉，幾乎是自由落體墜地，而翅葉長的種子就有較多的旋轉時間，可以增加滯空的時間。

四、各型態種子與發芽率

在發芽率的實驗中，我們發現大花紫薇種子的發芽條件與光線有關係，在有光的條件下發芽率較佳，第三至五型的種子發芽率高於 50%(如圖 54)，且皆具有明顯的翅，且在飛行實驗中有穩定緩降的效果，屬於適宜擴散的種子，且沒有休眠的現象；而第一型種子(1:0)幾乎不發芽，第二型種子(1:1)的發芽率也很低，但其種子重量卻偏重，顯示這些類型的種子，可能處於休眠狀態，仍在等待發芽的時機，屬於不適宜擴散的種子，能增加該地區的種子庫數量。

另外我們將種子的翅剪除後，依重量重新分類，發現重量越輕的種子越快發芽，最重的種子組都不發芽(圖 59)，我們依種子翅長與種子長比例的分法，也發現到翅長比例高的種子重量較輕，對應其高發芽率，可推測翅長越長種子可散播的距離較遠，也較易發芽，而種子較重無翅的種子，因其厚度偏厚可等待更久的時間再發芽，可錯開發芽的時間，有助於降低種內競爭的壓力。

柒、結 論

- 一、大花紫薇四季會有不同的變化，花瓣有 6-7 片，約有 134 個雄蕊，雌蕊呈瓶狀，果實到秋天時會乾裂，果實分成 4-7 個蒴室，每個蒴室的種子數量約 11-38 顆種子，果實的種子總數量約 120-250 個種子，六蒴的果實最為常見。
- 二、種子分為五種型態翅膀越長、種子越小、翅越薄、重量也變輕，每一蒴室中各類型種子，以第三型(1:2)與第四型(1:3)最多。
- 三、種子飛行模式具有一定規律性；將飛行時間分成兩個時期：墜落期和旋轉期，第一型(1:0)的種子因無翅，無旋轉期；第二型(1:1)雖有翅，但多數不大會旋轉；第三至五型種子皆能旋轉緩降。
- 四、垂直方向的飛行分析，第一型(1:0)種子以自由落體的方式落下，呈現二次曲線的圖形；第三至五型種子，會出現轉折點，轉折點前是二次曲線，轉折點後是斜直線，種子以等速度落下。
- 五、在不同高度的散佈實驗中發現，第一型、二型種子，隨高度增加，散佈距離較大，第三、四、五型種子則較穩定降落。
- 六、發芽率實驗中發現，種子發芽與光線和重量有關，種子較輕且在有光的環境較易發芽。

捌、參考文獻

- 一、朱家慧、賴彥臻。2017。槭動心旋－槭樹翅果飛行模式之研究。第 57 屆中小學科學展覽會作品說明第一型(1:0)書。
- 二、蔡亞婷。2012。不對稱之美---大葉桃花心木種子飛行軌跡的分析。2012 年台灣國際科學展覽會優勝作品專輯。
- 三、劉又瑄、蔡亞婷、駱宥辰。2011。飄飄何所似-以單翅種子飛行原理進行飛播造林的研究。第 51 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四、蔡孟桂、王好睿、郭睿洋。2019。旋機妙算－不對稱飛行種子建模之研究：以桃花心木種子為例。第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 五、李傳偉，劉小京等。2006。植物種子二形性(多形性)研究進展。生態學報 第 26 卷 第四期。
- 六、郭華仁。2015。種子學。台大出版中心。

【評語】 030316

1. 本研究探討大花紫薇種子的多種形態功能並依種子與翅膀比例分成 1:0、1:1、1:2、1:3 與 1:4 五種類型，就飛行模式、飛行能力和發芽率做有系統的探討，整個研究過程、實驗設計與數據的呈現，令人印象深刻。
2. 可加入大花紫薇原生種的地理環境分析，搭配種子多型性飛行方式，探討其演化策略。
3. 發芽實驗結果顯示，不管有無光照下(第一與二組)，第五型(1:4)發芽率最高(96%)，發芽也最快只需 3-8 天即發芽結束，顯然有長翅膀對發芽有重大影響，惜作者未針對此新創見翅膀越長為何發芽率越高與發芽速度越快做進一步實驗。
4. 部分實驗結果表達讓人不易了解，如實驗五(光照對各型種子發芽率影響)的圖 56，為何第三組無翅膀(應該是定義為第一型)，但是還有第五型~第二型的發芽率存在？
5. 種子散佈實驗中，可能只是作者在室內架梯所得到的結果，若在戶外自然環境之下，風力恐會大大影響實驗結果。且依大花紫薇樹冠開展程度來看，無風狀態的模擬，有翅的種子散佈位置結果似乎也未脫離其樹冠涵蓋範圍，結果是否適合解釋種子實際飛行散佈狀況，以及多型性種子產生的原因，可以再深入思考。
6. 無參考比例的照片應該標示比例尺(如圖 13)，才知道實際大小為多少。

作品簡報



國中組生物科

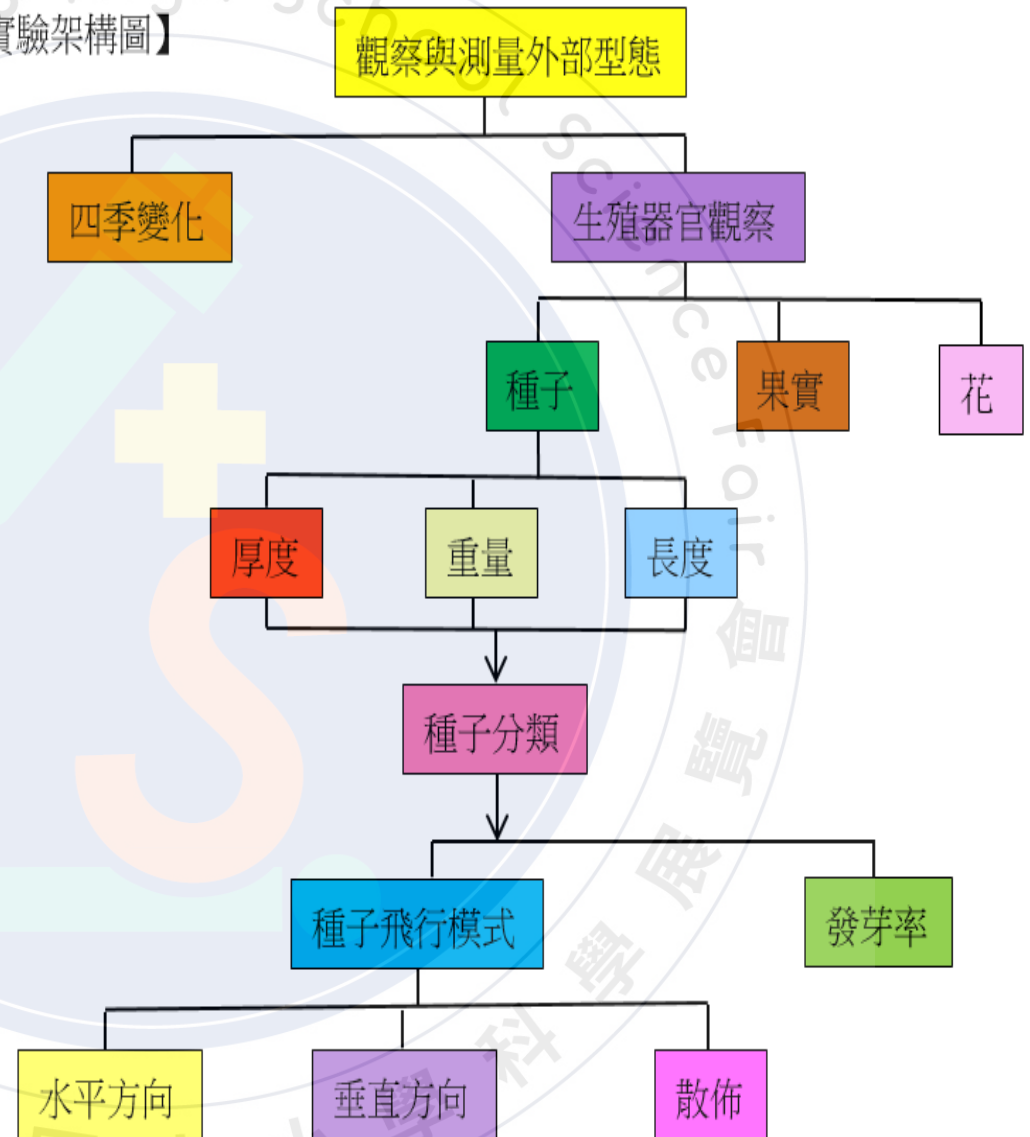
紫薇旋風自飄揚

—大花紫薇多型性種子飛行模式之探究

前言

【實驗架構圖】

- 大花紫薇能產生多型性的種子，李等(2006)提出了植物種子二形性(多形性)研究的進展，但多以草本植物為主。
- 飛行性種子(或翅果)有較多的研究，劉等(2011)、蔡(2012)、朱等(2017)、蔡等(2019)探討單翅種子、大葉桃花心木、槭樹翅果的飛行原理與模式，但對同一物種而有不同的傳播策略則未被探討過。



研究方法

1. 測量種子外部形質與分類

測量種子的全長、種子長、翅長、翅寬、種子厚度、翅厚度、重量、展弦比



依據翅長:種子長的比值，將種子分為五種型態



2. 種子飛行模式的探討

(1) 水平方向(由上往下拍攝)

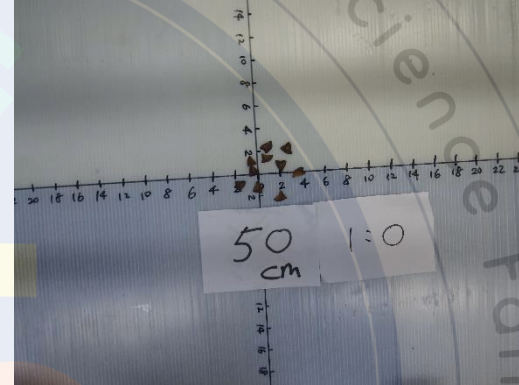
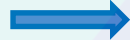


(2) 垂直方向(由前方拍攝)



研究方法

3. 種子散佈距離(高度50、100、150、200、250、300cm)



4. 種子萌芽實驗

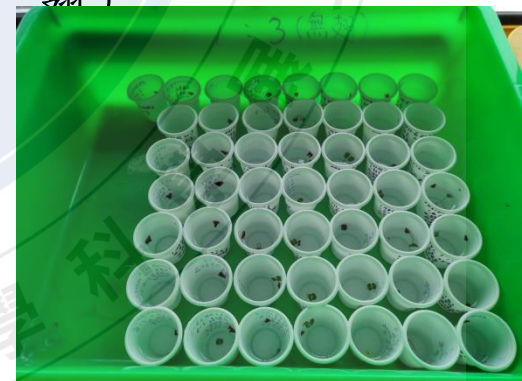
(1) 光照(有翅)



(2) 黑暗(有翅)



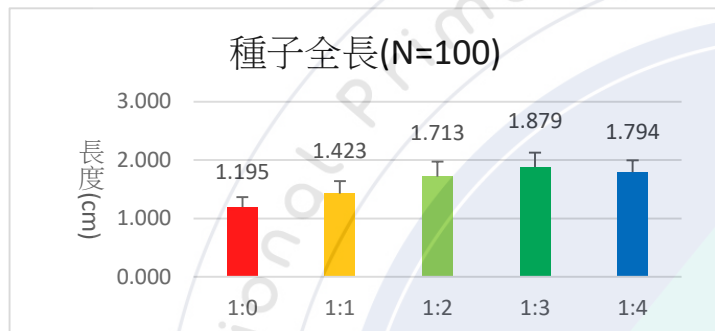
(3) 光照(無翅)



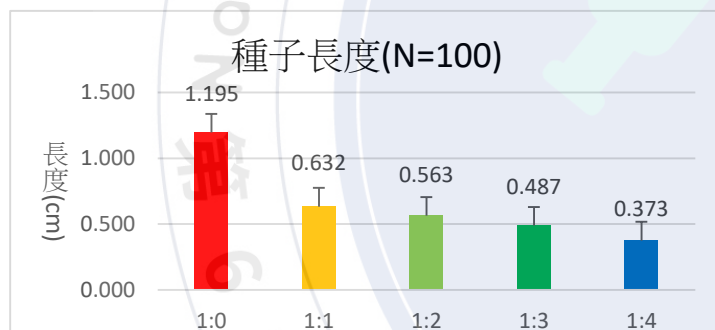
研究結果一

種子形質測量與分類

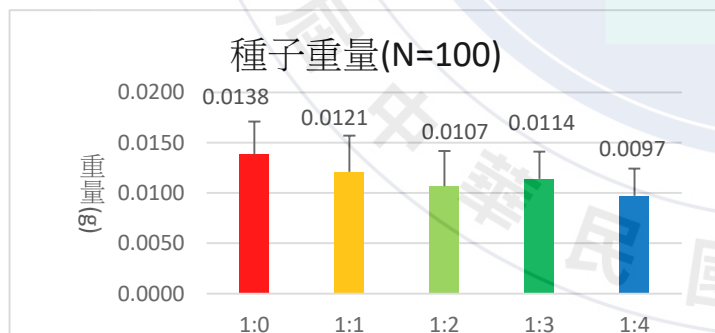
(A)種子全長



(B)種子長



(C)種子重量



(D)展弦比

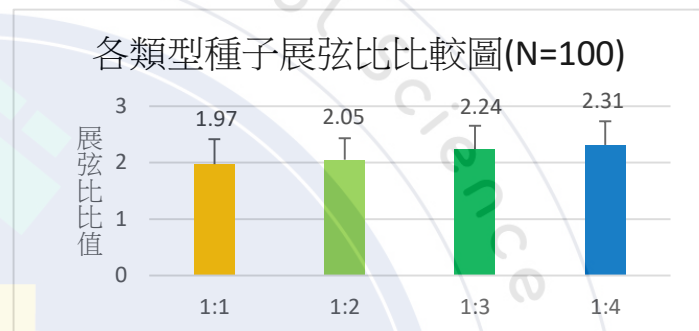


圖1. 各類型種子(A)全長(B)種子長(C)重量(D)展弦比之比較

表1. 第三型與其他類型在全長、種子長、重量、展弦比單因子變異數分析(LSD)

	全長	種子長	重量	展弦比
1 : 2 1 : 0	1.20*	1.20*	0.014*	-
1 : 1	1.42*	0.63*	0.012*	1.97
1 : 2	1.71	0.56	0.011	2.05
1 : 3	1.88*	0.49*	0.011	2.24*
1 : 4	1.79	0.37*	0.010	2.31*

*表示P<0.05

種子長、重量、展弦比差異較大

研究結果一

種子形質測量與分類

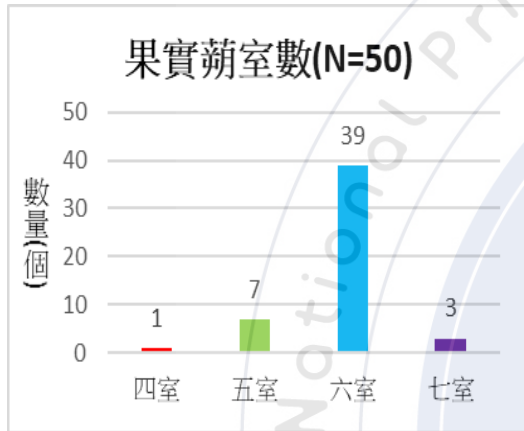


圖2. 果實中的蒴室比例

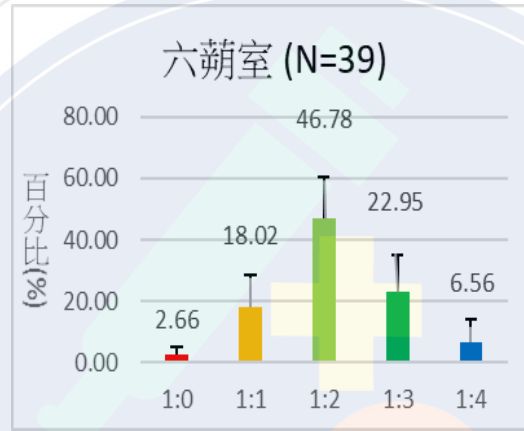


圖3. 各類型種子在果實中的比例

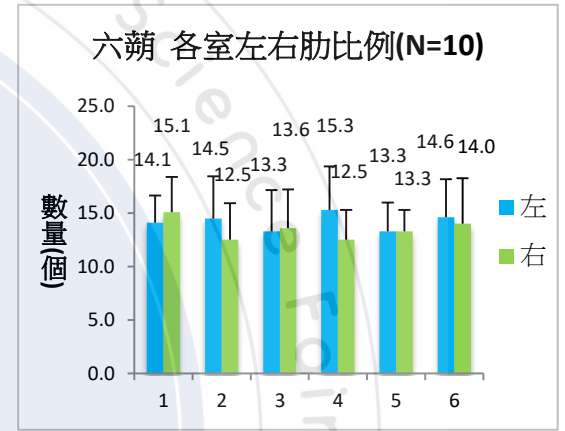
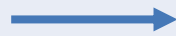


圖4. 各蒴室種子左、右肋的比例

發現與探討

種子長度差異大



依翅長:種子長的比值分類為五型

種子重量、展弦比



翅的比例與種子重量影響飛行能力

左肋、右肋



影響重心的位置與旋轉方向

研究結果二

各類型種子的飛行模式

1. 第一型

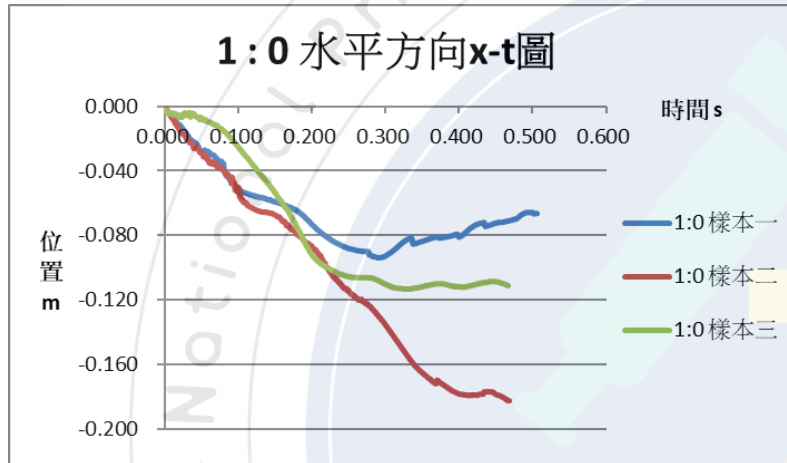


圖5. 第一型種子水平方向x-t圖

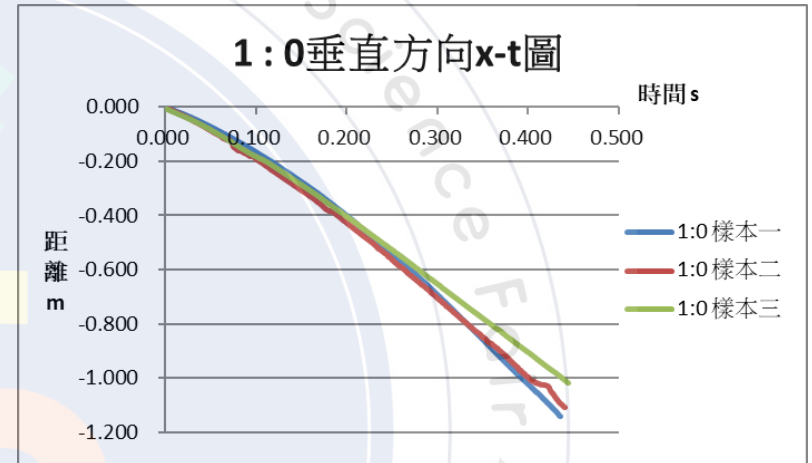


圖6. 第一型種子垂直方向x-t圖

2. 第二型

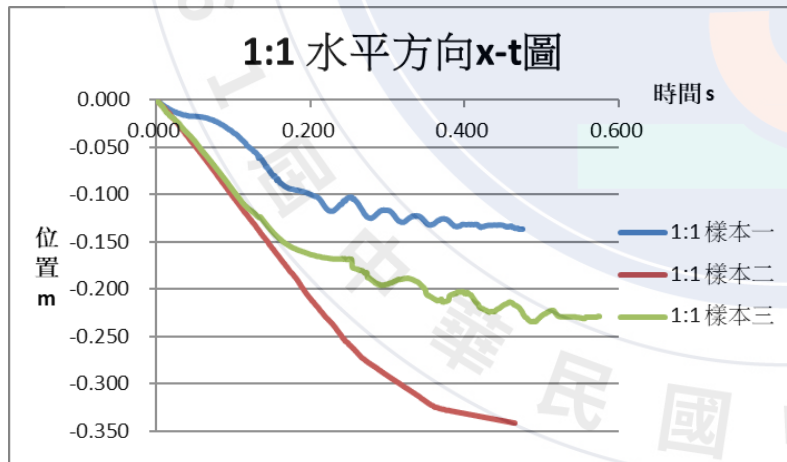


圖7. 第二型種子水平方向x-t圖

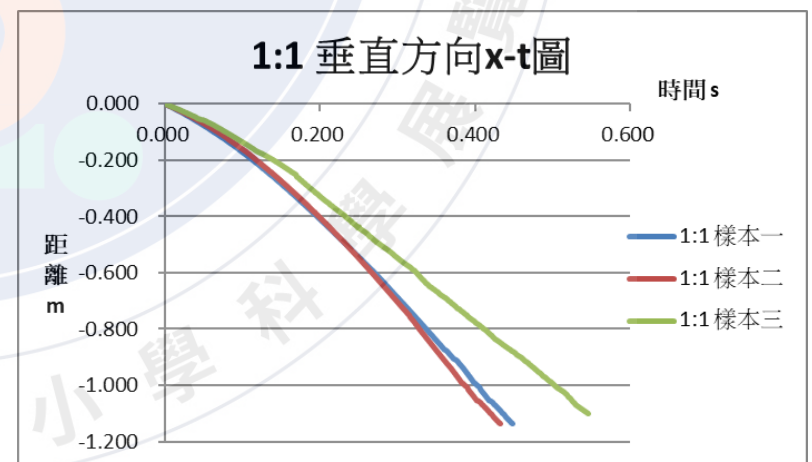


圖8. 第二型種子垂直方向x-t圖

研究結果二

各類型種子的飛行模式

3. 第五型

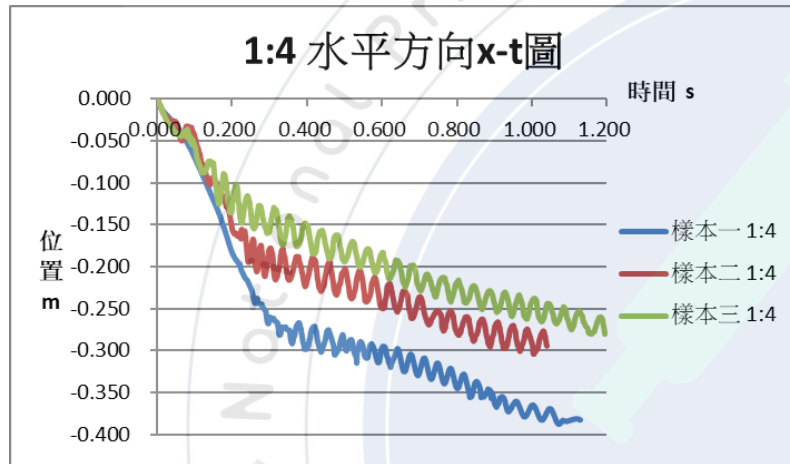


圖9. 第五型種子水平方向x-t圖

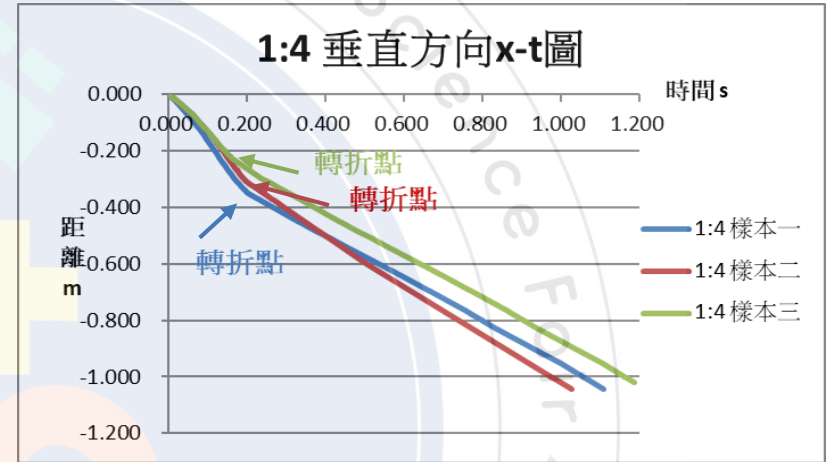


圖10. 第五型種子垂直方向x-t圖

發現與探討：

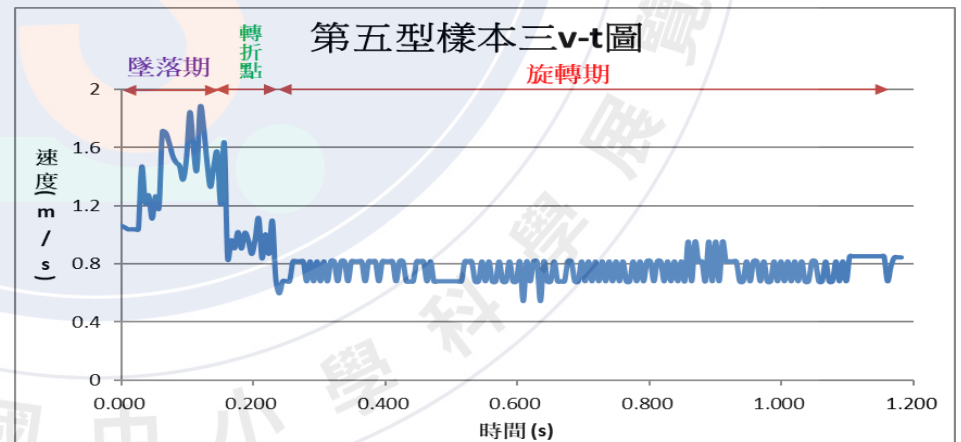
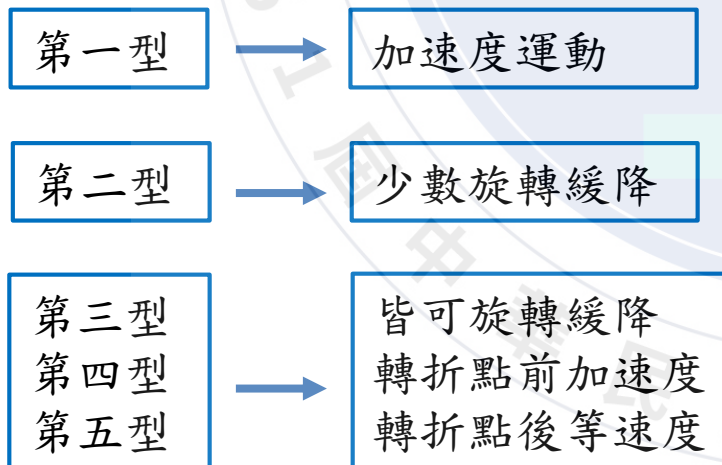


圖11. 第五型種子樣本三垂直方向v-t圖

研究結果三

各類型種子的散佈距離

1.高度50cm

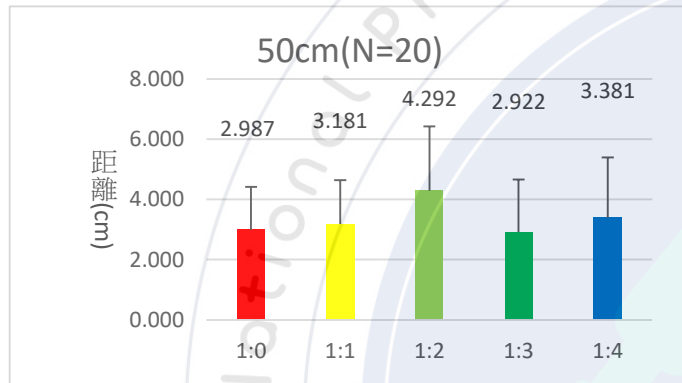


圖12. 50公分不同比例種子散佈距離比較

2.高度200cm

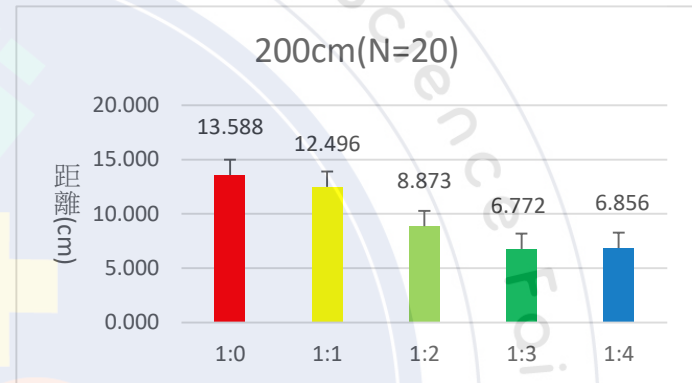
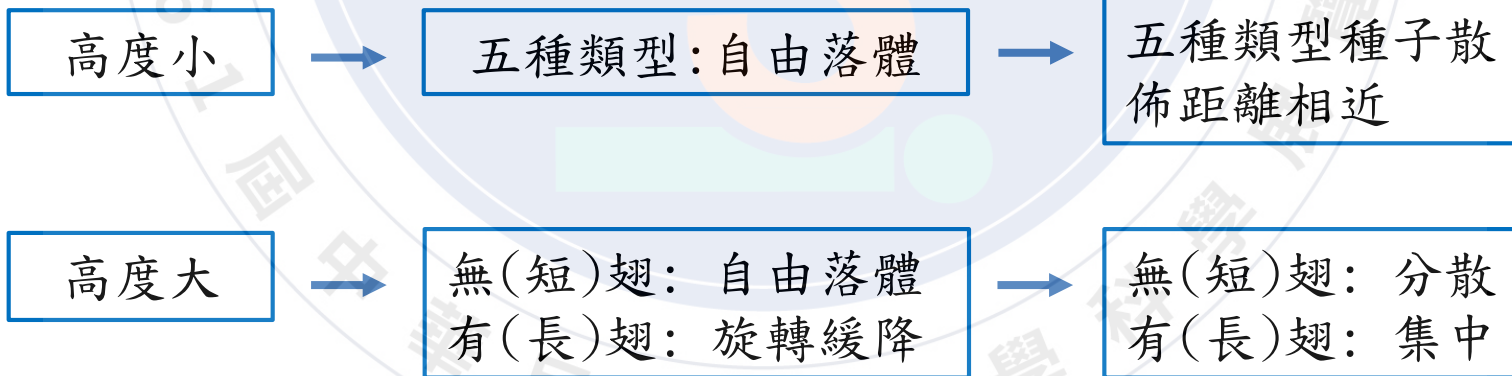


圖13. 200公分不同比例種子散佈距離比較

發現與探討：



研究結果四

各類型種子的發芽情形

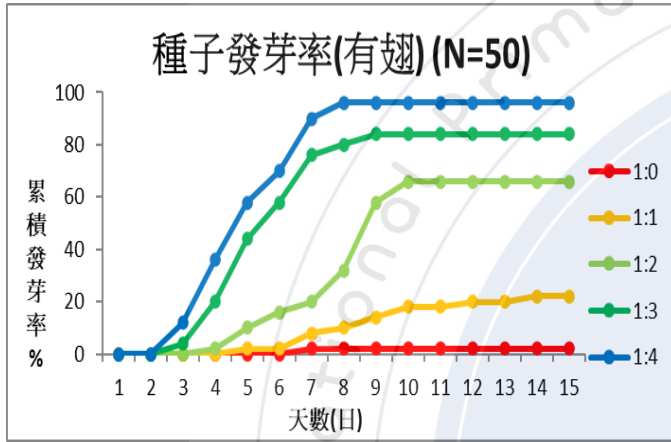


圖14. 各類型種子發芽率(光照、有翅)

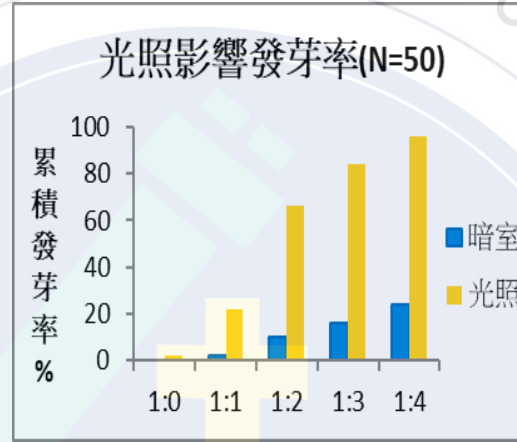


圖15. 光照、暗室種子發芽率

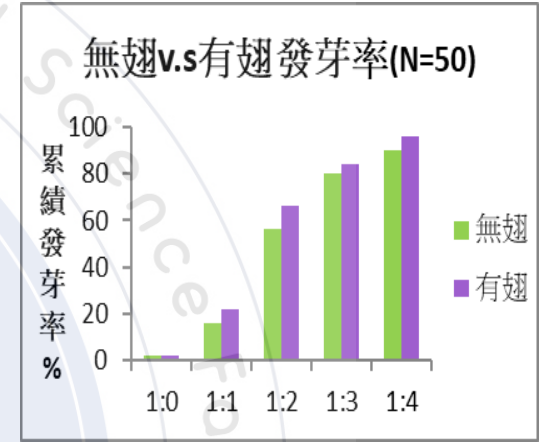
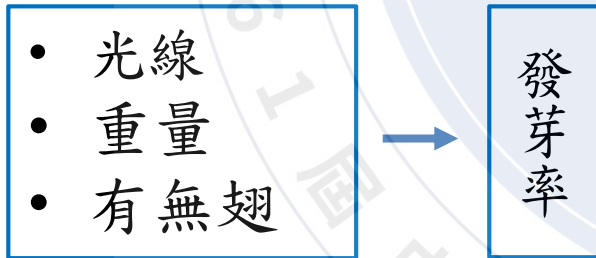


圖16. 有翅、無翅種子發芽率

發現與探討:



有光、輕、具翅發芽率高

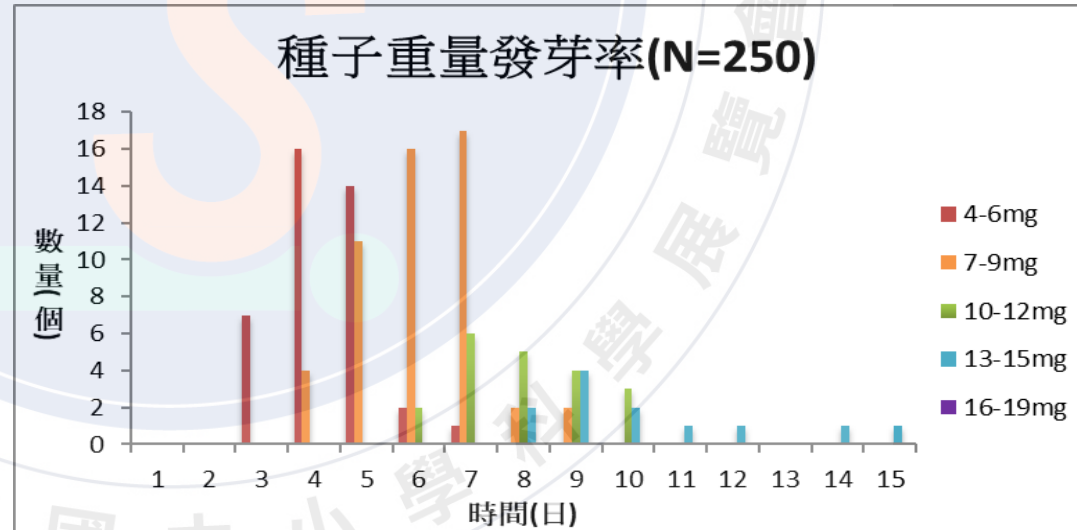


圖17. 五種重量類型種子發芽率比較(無翅)

結論

1. 果實有4-7個蒴室，每蒴室約11-38顆種子，分為五種類型，第三型最多，第一型最少位於蒴室中央；種子翅長比例越大其種子越小、翅較薄、重量較輕。
2. 水平方向的飛行分析：第一型種子，無旋轉期；第二型多數不會旋轉；第三至五型種子皆能旋轉緩降。
3. 垂直方向的飛行分析：第一、二型種子以加速度運動為主；第三至五型種子，會出現轉折點，轉折點前是加速度運動，轉折點後是等速度運動。
4. 散佈實驗中發現，第一、二型種子，隨高度增加，散佈距離較大，第三至五型種子則穩定降落，散佈較為集中。
5. 發芽率實驗中發現，種子的發芽與光線和重量有關，種子較輕且在有光的環境較易發芽。
6. 第一、二型不適宜擴散，有休眠的特性；第三至五型適宜擴散，不休眠發芽率高，可降低種內競爭。

未來展望

1. 大花紫薇種子具有多型性的特徵，表現在形態與生理特性上，我們想進一步探究母樹對子代的生殖策略，如各類種子的能量分配、逆境是否影響母樹產生種子的型態、如何活化休眠種子的機制等。
2. 大花紫薇產生的單翅種子以旋轉方式緩降，無風條件下散佈距離很短，顯示此結構的穩定性佳，可應用於緩降載具的設計。

參考文獻

1. 朱家慧、賴彥臻。2017。槭動心旋—槭樹翅果飛行模式之研究。第57屆中小學科學展覽會作品說明書
2. 蔡亞婷。2012。不對稱之美---大葉桃花心木種子飛行軌跡的分析。2012年台灣國際科學展覽會優勝作品專輯。
3. 劉又瑄、蔡亞婷、駱宥辰。2011。飄飄何所似-以單翅種子飛行原理進行飛播造林的研究。第51屆中小學科學展覽會作品說明書。
4. 蔡孟桂、王好睿、郭睿洋。2019。旋機妙算—不對稱飛行種子建模之研究：以桃花心木種子為例。第59屆中小學科學展覽會作品說明書。
5. 李傳偉，劉小京等。2006。植物種子二形性(多形性)研究進展。生態學報 第26卷第四期。
6. 郭華仁。2015。種子學。台大出版中心。