

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生物科

080308

花朵裡的秘密

—從校園植物探討花蕊形態與授粉機率的關係

學校名稱：臺北市士林區士林國民小學

作者： 小五 彭子衡 小五 劉思妤 小五 沈毓蓁 小五 何品潔 小五 劉品慧	指導老師： 柯孟昌 張喬茵
---	-----------------------------

關鍵詞：花粉、柱頭、授粉機率

摘要

我們調查校園花朵花蕊生長形態、柱頭與花粉特徵、花絲花柱長度比，並製作小麥、美洲合歡、大花咸豐草、孤挺花四種花朵花柱模型進行授粉模擬實驗，探討花蕊形態與授粉機率的關係。我們得到以下結論：

1. 觀察 12 種植物花蕊結果，柱頭的形態與花粉的形態可歸納為三種配對組合。
2. 花柱與花絲的相對高度是決定花朵授粉方式的重要因素。花柱比花絲高有利於異花授粉；花絲比花柱高有利於自花授粉。
3. 某些花蕊周圍的附屬構造，對授粉機率有明顯的影響，如：小麥的內、外穎。模擬實驗發現：增加穎的構造較不含穎的模型提高約 2.2 倍的授粉機率。
4. 不同的花序也會影響花朵的授粉機率。模擬美洲合歡聚合成花團的頭狀花序 (6 朵) 授粉機率會較單一朵花提高約 2 倍。

壹、研究動機

記得三年級「植物的身體」單元中我們學到花的基本構造時只知道植物開花是為了繁殖，懵懵懂懂的過了兩年後，這學期上到「植物面面觀」這個單元時，才認識植物要成功的繁衍下一代，必須經歷許多重要的階段，通過層層的考驗。課本中有三頁的篇幅介紹各種植物傳播種子的方法，看來，為了讓下一代有適合的生長環境，各種植物可是絞盡腦汁呢！在讚嘆之餘，我們卻想到，如果植物不能順利的授粉，怎麼會展開後續的繁殖過程呢？有些植物花開很多，有些一株只開一兩朵，植物又是如何費盡心思的成功傳播花粉呢？也許花粉太小，不易觀察，課本中沒有詳細的介紹，卻也成為我們想要自我挑戰，進一步探尋原因的動力。

貳、研究目的

- 一、調查校園中可見的開花植物花朵。
- 二、觀察並分析各種花朵雌蕊柱頭和花粉的形態特徵。
- 三、觀察開花過程中花絲與花柱相對位置改變的情形，並於雌蕊成熟時，測量花絲與柱頭間的垂直高度。
- 四、製作四種花朵柱頭的模型，探討花蕊形態與授粉之間的關係。
 - (一)依據實際放大比例調整花粉與柱頭模型間的垂直距離，探討花粉和柱頭相對高度與授粉方式間的關係。
 - (二)改變花粉與柱頭模型間的水平距離，探討距離遠近對於授粉機率的影響。
 - (三)模擬小麥內、外穎構造的模型，探討花蕊周圍附屬構造對授粉機率的影響。
 - (四)模擬美洲合歡頭狀花序的模型，探討花朵排列方式對授粉機率的影響。
- 五、實驗過程中，將實驗結果與前人相關研究比對，並修正實驗設計，印證模型的真實性。

參、研究設備及器材

一、實驗設備和材料

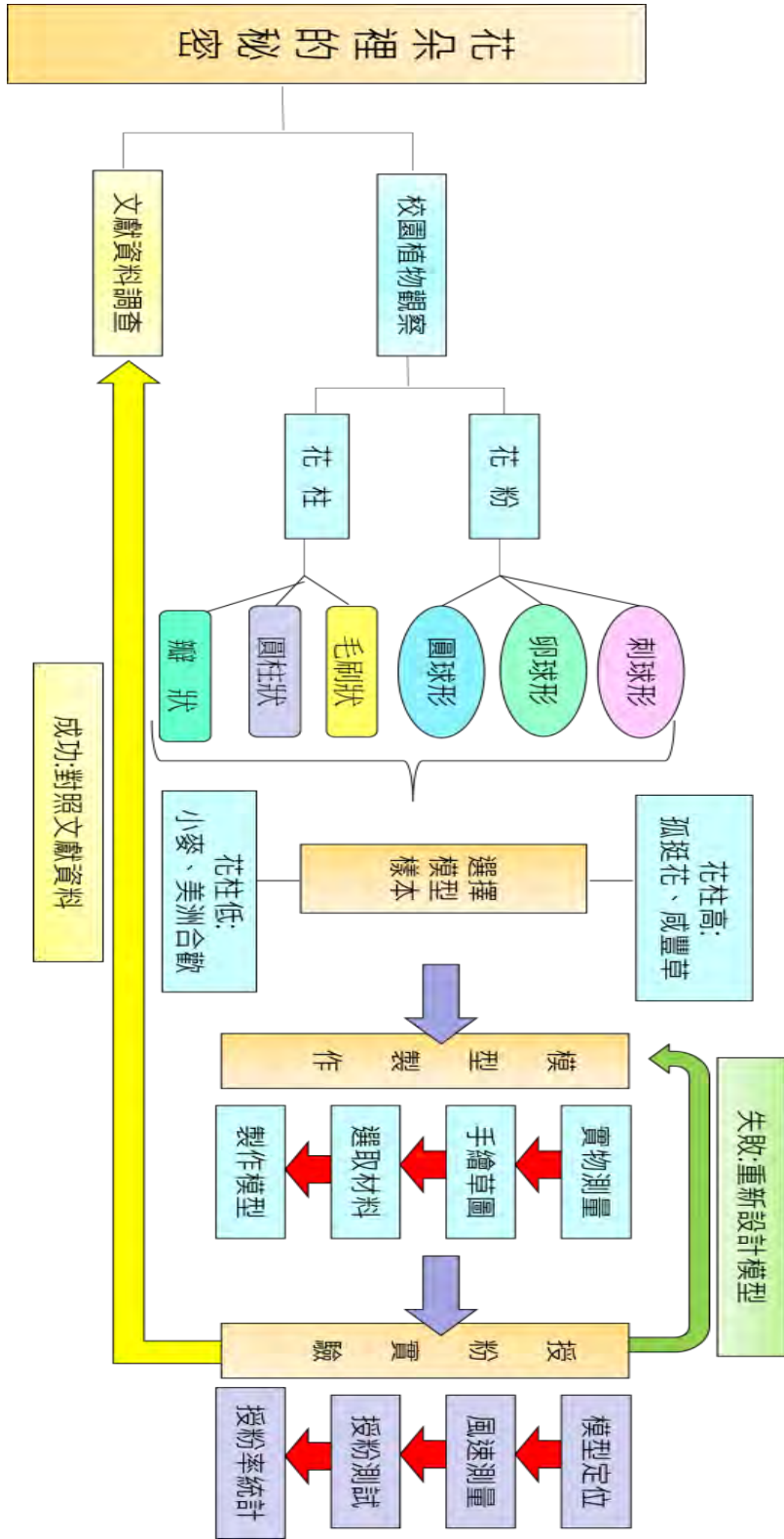
- (一)設備：解剖刀、滴管、手機、相機、標籤紙、複式顯微鏡、解剖顯微鏡、拭鏡紙、切割板、載(蓋)玻片。
- (二)材料：花朵樣本、調查記錄表、密封袋、鑷子、簽字筆、杯子、夾鏈袋。

二、模型製作和材料:

- (一)設備：尺、手機、吹風機、羽球拍、塑膠濾網、剪刀、小帳篷。
- (二)耗料：鋪棉布、毛根、棉花、熱熔膠、保麗龍膠、保麗龍球 (0.2 cm)、木質底板、凡士林、塑膠束、包紙鐵絲、棉線。

肆、研究過程和方法

研究架構圖



一、調查校園中可見的開花植物花朵的過程和方法:

- (一)我們先調查共 20 種校園中可見的開花植物，並拍照記錄。
- (二)查閱植物圖鑑或上網查詢相關網站，辨識開花植物的名稱及其隸屬的科別，整理於調查表中。
- (三)經學校同意後採集花朵樣本。為防止採集時花粉交叉污染以及避免樣本壓損，將各種樣本分別置入充滿氣的鼓脹夾鏈袋中密封，帶回實驗室進行後續觀察。

二、觀察並比較各種花朵花蕊生長形態與柱頭、花粉特徵的過程和方法:


- (一)從花朵上挑取柱頭和花粉樣本，製作成玻片樣本。使用解剖顯微鏡 40 倍率觀察雌蕊柱頭，並利用複式顯微鏡 250 倍率觀察雄蕊花粉，觀察同一朵花的柱頭以及花粉的形態。
- (二)拍照記錄這些植物柱頭和花粉形態，依照花粉大小相近（介於 30~80 μm ）、柱頭形態不同，與花柱、花絲相對位置不同等條件，篩選出小麥、美洲合歡、大花咸豐草、孤挺花四種植物製作柱頭放大模型。

三、觀察花絲與花柱相對位置改變的情形並測量花絲與柱頭間的垂直高度的過程和方法:

- (一)為了觀察開花過程中，小麥與孤挺花的花絲與花柱生長情形，我們從小麥與孤挺花含苞開始，每天定時小麥與孤挺花的生長變化。當花瓣微開，露出花蕊時，每天用數位相機拍攝記錄花絲與花柱生長的情形，透過照片分析雄蕊與雌蕊相對位置的變化、雄蕊與雌蕊各別成熟的時間。
- (二)待雌蕊表面沾粘了花粉或明顯分泌黏液黏液時，代表雌蕊已成熟可接受花粉，此時測量兩者的相對高度，以此比例作為後續授粉模擬實驗時，花粉與柱頭垂直距離的參考基準。

四、製作植物花柱頭的放大模型，探討不同柱頭形態、花柱與花絲長度不同對於花朵授粉成功機率的過程和方法:

- (一)比對小麥、美洲合歡、大花咸豐草、孤挺花四種植物柱頭的照片，確定花柱模型的外觀形狀，利用棉布等材料製作約放大 50 倍的柱頭模型。
- (二)依據各種柱頭表面特性，以毛根、毛線、鋪棉布等材料仿製柱頭表面的形狀與質地。小麥與孤挺花柱頭模型表面塗上凡士林以模擬柱頭表面分泌的黏液。
- (三)選用直徑約 2 mm 大小的保麗龍球模擬放大約 50 倍後的植物花粉。
- (四)將四種植物的花蕊置於刻度切割墊上測量長度，記錄相對位置與垂直高度的距離，以決定後續進行授粉模擬實驗時花粉與柱頭擺放的相對高度。
- (五)依據比例繪製各種柱頭模型設計圖，選擇適當材料製作模型，如下表：

植物模型	小麥	美洲合歡	大花咸豐草	孤挺花
特徵描繪	柱頭表面有許多羽狀細毛，具有黏液。	柱頭呈舌瓣狀，彼此聚集纏繞呈團狀。	柱頭呈兩分歧，表面有許多棘刺，呈毛刷狀。	柱頭成熟後多呈三裂，少數呈圓形，具有黏液。
設計圖				
模型照片				

(六)授粉實驗操作：

1. 參照各種植物柱頭與雄蕊花粉間的相對位置與垂直高度距離，依據放大後比例將羽球拍擺放在距離柱頭適當垂直高度上。
2. 將 2000 顆保麗龍球置於羽球拍上，利用吹風機從側下方 45° 往斜上方製造氣流，將保麗龍球吹向柱頭模型。
3. 吹送的同時，以手機 APP 程式 ZephyrFree WindMeter 測量風速，將風速固定為 12~ 14 m/s 之間，持續吹送 5 秒，此時，2000 顆花粉均已吹離球拍，再關閉吹風機開關。
4. 改變球拍與柱頭模型間的距離，分別進行近距離 (1 cm)、中距離 (10 cm)、遠距離 (20 cm)三組實驗，以推估植物自花授粉與異花授粉的成功機率。
5. 利用毛刷將沾附在柱頭模型頂端的保麗龍球收集於塑膠盤上計算數量，以下列公式算出授粉機率。


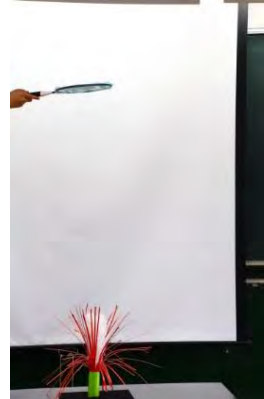

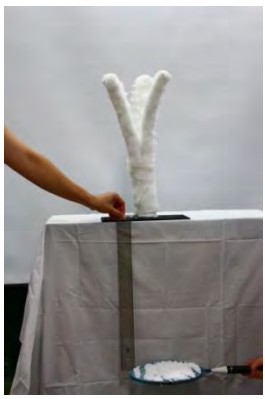
$$\text{授粉機率} = \frac{\text{沾附於柱頭上顆數}}{\text{花粉總數 (2000 顆)}} \times 100\%$$

詳細操作步驟如下表所示：



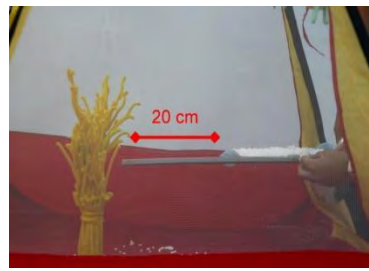
1.在小麥、孤挺花柱頭模型表面塗上凡士林，模擬柱頭表面黏液



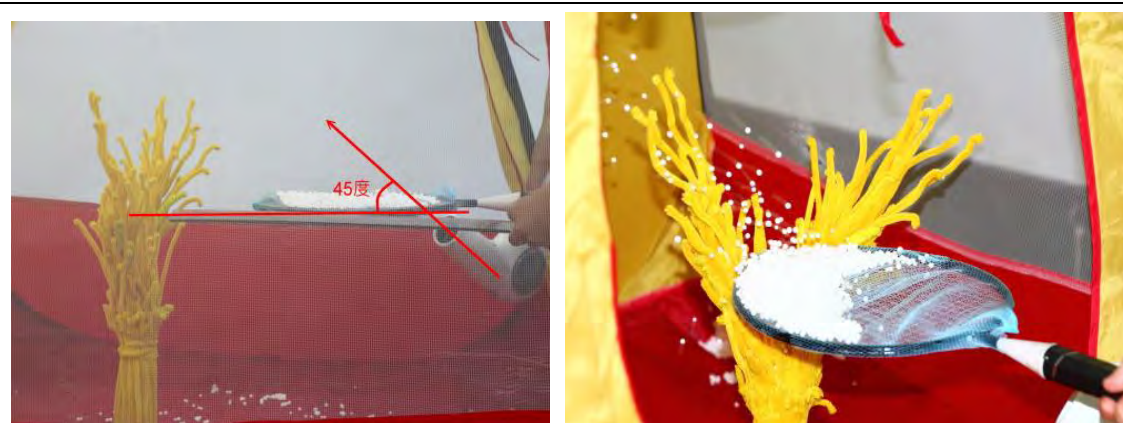
2. 依花絲與花柱的長度比將羽球拍 (花粉)置於距離柱頭適當垂直高度上

			
小麥 柱頭上方 30 cm	美洲合歡 柱頭上方 135 cm	大花咸豐草 柱頭下方 10 cm	孤挺花 柱頭下方 50 cm

3. 依實驗步驟改變花粉與柱頭模型間的水平距離

		
近距離 (1 cm)	中距離 (10 cm)	遠距離 (20 cm)

4. 利用吹風機從側下方 45° 往上吹 5 秒，將保麗龍球吹向柱頭模型



5.利用毛刷將模型上保麗龍球刷下，集中於鐵盤中計算數量



伍、研究結果

一、校園花朵調查結果

經過我們的調查後選擇九月至隔年二月間學校容易觀察到的花朵進行採集，並依據各種開花植物隸屬的科別整理於實驗紀錄表中，調查結果整理如下表 1 和表 2。

表 1 校園常見植物花朵的調查結果

植物	1.桂花	2.四季秋海棠	3.翠蘆莉	4.小麥
花朵的外型照片				

植物	5.大花咸豐草	6.蟛蜞菊	7. 黃鵪菜	8.美洲合歡
花朵的外型照片				
植物	9.豔紫荊	10.杜鵑花	11.矮仙丹	12.繁星花
花朵的外型照片				
植物	13.蕎麥	14. 麝香百合	15.長穗木	16.重瓣朱槿
花朵的外型照片				

植物	17. 馬纓丹	18. 莎草	19. 美人蕉	20. 孤挺花
花朵的外型照片				

表 2 校園開花植物的花朵採集樣本與分科表


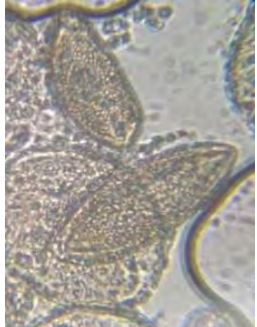
花朵樣本照片					
名稱	1. 麝香百合	2. 豔紫荊	3. 美洲合歡	4. 繁星花	5. 仙丹
分科	百合科	豆科	豆科	茜草科	茜草科
花朵樣本照片					
名稱	6. 小麥	7. 大花咸豐草	8. 螳螂菊	9. 黃鶴菜	10. 輪傘莎草
分科	禾本科	菊科	菊科	菊科	莎草科




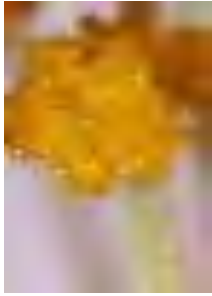
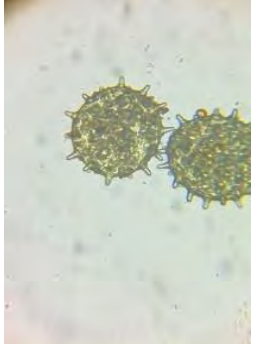
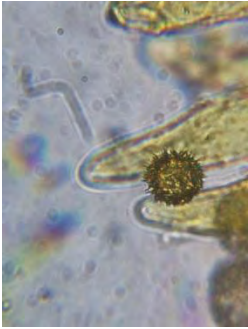

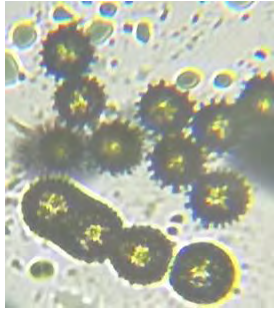
花朵樣本照片					
名稱	11. 蕎麥	12. 翠蘆莉	13. 杜鵑花	14. 馬纓丹	15. 長穗木
分科	蓼科	爵床科	杜鵑花科	馬鞭草科	馬鞭草科
樣本花朵照片					
名稱	16. 四季秋海棠	17. 重瓣朱槿花	18. 桂花	19. 孤挺花	20. 美人蕉
分科	秋海棠科	錦葵科	木樨科	石蒜科	美人蕉科

二、校園中各種開花植物柱頭與花粉形態觀察結果

- (一) 剔除花粉不易觀察的花朵樣本後，我們選取十二種樣本，在放大倍率 40 倍的解剖顯微鏡下觀察並拍攝雌蕊柱頭，利用複式顯微鏡，於 250 倍的放大倍率下，雄蕊花粉形態。觀察結果整理如表 3：

表 3 柱頭與花粉形態觀察結果

名稱	1.小麥 (禾本科)	2.美洲合歡 (豆科)	3.仙丹 (茜草科)	4. 蕎麥 (蓼科)
雌蕊 柱頭 放大 倍率 40 倍				
雄蕊 花粉 照片 放大 倍率 250 倍				
名稱	5. 孤挺花 (石蒜科)	6. 麝香百合 (百合科)	7. 豔紫荊 (豆科)	8. 杜鵑花 (杜鵑花科)
雌蕊 柱頭 放大 倍率 40 倍				
雄蕊 花粉 照片 放大 倍率 250 倍				

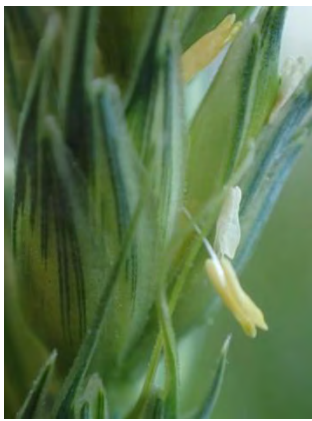


名稱	9. 大花咸豐草 (菊科)	10. 螳螂菊 (菊科)	11. 輪傘莎草 (莎草科)	12. 重瓣朱槿 (錦葵科)
雌蕊 柱頭 放大 倍率 40 倍				
雄蕊 花粉 照片 放大 倍率 250 倍				

(二) 由實驗結果中我們大致可將雌蕊柱頭和雄蕊花粉的形態做以下分類：

柱頭形態	花粉形態	植物種類
舌瓣狀	圓球形	小麥、美洲合歡、仙丹、蕎麥
圓柱狀	卵球形	孤挺花、麝香百合、豔紫荊、杜鵑花
毛刷狀	刺球形	大花咸豐草、螳螂菊、輪傘莎草、重瓣朱槿

三、開花過程中花絲與花柱相對位置的變化與垂直高度差的觀察結果

(一)觀察小麥花朵成長的過程，開花初期雄蕊花絲會突出於穎之外，不過當基部的柱頭成熟後，雄蕊就被蓋在穎內，雌蕊柱頭幾乎只能接受自花雄蕊產生的花粉，拍照記錄如下：

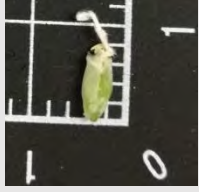
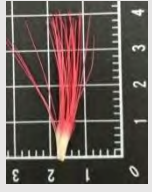
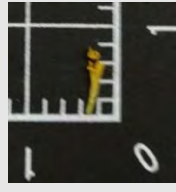






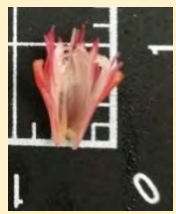
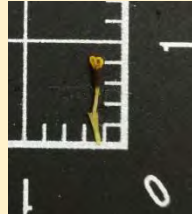

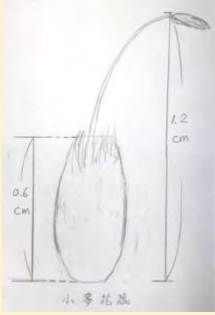
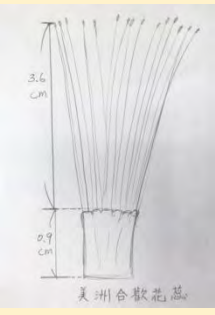
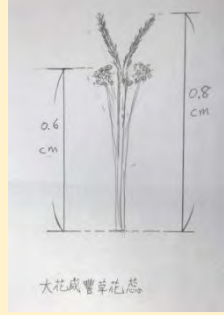
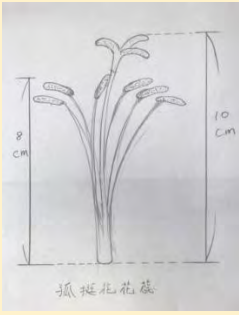
		
剛開花時雄蕊露出	雌蕊成熟，雄蕊被穎蓋住	授粉後顏色逐漸轉黃

(二)觀察孤挺花開花過程中花蕊的變化，初開時，雄蕊已經成熟，未成熟的雌蕊呈圓柱狀；當雌蕊逐漸成熟時會呈現三裂瓣狀，表面產生黏液。但此時留在雄蕊上花粉剩不多了，成長記錄如下表：

		
剛開花時雄蕊花粉囊飽滿，花粉先成熟。這時柱頭還未成熟，呈短小圓柱狀。	雌蕊逐漸形成三裂瓣，同時向外伸展。突出於花瓣外，雄蕊花粉開始隨風飄散了。	成熟的雌蕊向上突起，與雄蕊的距離越來越遠，此時雄蕊大部分花粉已飄散殆盡。

(三)比較花絲與花柱的垂直高度差，在水平切割板上測量四種植物花絲與花柱的長度，結果如表 6：

表 6 測量花絲與花柱的長度關係表

植物	I.小麥	II.美洲合歡	III.大花咸豐草	IV.孤挺花
單一朵花外觀				
花絲測量照片				
花柱測量照片				
手繪花絲花柱比值	 小麥花蕊	 美洲合歡花蕊	 大花咸豐草花蕊	 孤挺花花蕊

(四) 經測量後，我們發現小麥、美洲合歡兩種參考資料中提到傾向自花授粉為主的植物，花絲明顯較長，花絲長度除以花柱長度的比值較大，美洲合歡比值約可高達 4。

(五) 文獻紀錄指出大花咸豐草與孤挺花這兩種以異花授粉為主的植物，花絲會比花柱短，花絲長度除以花柱長度的比值則相當接近，測量及計算結果如表 7 與圖 1 所示。

表 7 四種植物的花絲和花柱比值 (花絲長度除以花柱長度)

名稱	小麥	美洲合歡	大花咸豐草	孤挺花
花絲	1.26 cm	3.66 cm	0.68 cm	8.08 cm
花柱	0.64 cm	0.89 cm	0.91 cm	10.1 cm
比值	1.97±0.22	4.11±0.46	0.75±0.19	0.80±0.19

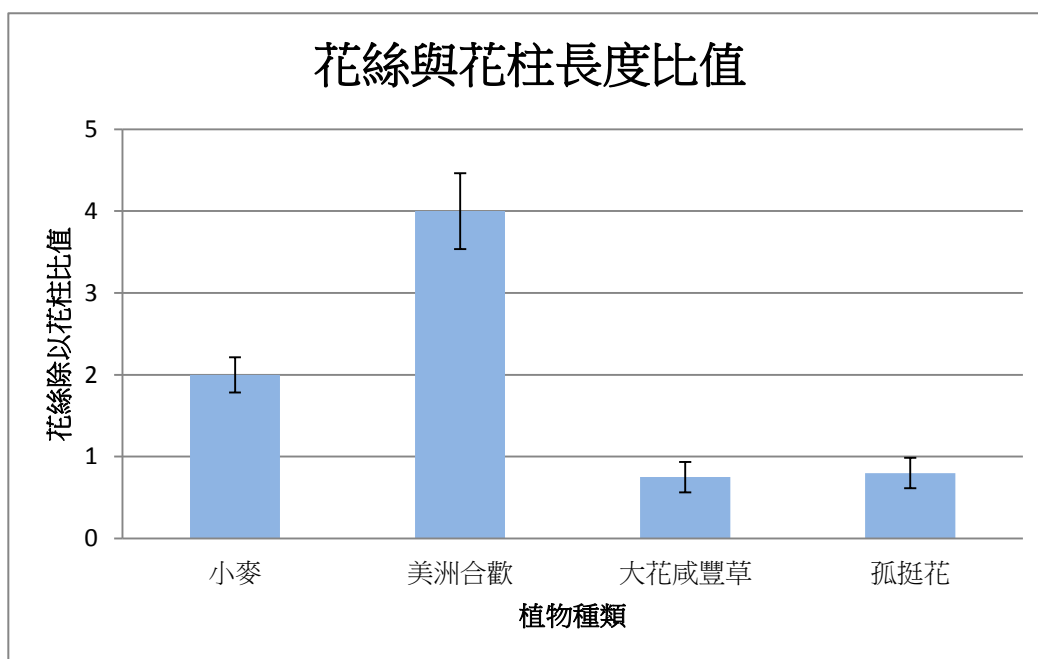


圖 1 四種植物的花絲和花柱長度比例圖

四、製作小麥、美洲合歡、大花咸豐草與孤挺花四種柱頭模型，與模擬授粉成功機率的實驗結果。

(一) 觀察測量並記錄四種植物花蕊構造的大小後，我們先訂出放大製作模型規格的尺寸表，以利後續模型製作參考。模型規格尺寸表記錄如表 8：

表 8 四種植物的花柱模型尺寸表

構造	花 柱			
植物	I.小麥	II.美洲合歡	III.大花咸豐草	IV.孤挺花
花柱	寬 2 mm	寬 2 mm	寬 1 mm	寬 3 mm
大小	長 6 mm	長 9 mm	長 8 mm	長 10 mm
模型	寬約 10 cm	寬約 10 cm	寬約 5 cm	寬約 15 cm
尺寸	長約 30 cm	長約 45 cm	長約 40 cm	長約 50 cm

(二) 改變花粉與柱頭模型間的水平距離，再進行授粉模擬實驗，模擬授粉實驗結果如表 9：

表 9 四種植物在不同水平距離的授粉實驗結果

距離 1 cm		I.小麥(含穎)	II.美洲合歡(多朵)	III.大花咸豐草	IV.孤挺花
近 距 離 設 定	1.第一次測試(顆數)	564	733	35	20
	2.第二次測試(顆數)	615	915	43	22
	3.第三次測試(顆數)	638	841	47	17
	三次測試平均(顆數)	606	830	42	20
	平均授粉機率	30.3±1.33%	41.5±3.23%	2.1±0.21%	1.0±0.08%
距離 1 0 cm		I.小麥(含穎)	II.美洲合歡(多朵)	III.大花咸豐草	IV.孤挺花
中 距 離 設 定	1.第一次測試(顆數)	60	371	54	42
	2.第二次測試(顆數)	65	404	50	36
	3.第三次測試(顆數)	76	389	61	49
	三次測試平均(顆數)	67	388	55	42
	平均授粉機率	3.4±0.29%	19.4±0.58%	2.8±0.2%	2.1±0.23%
距離 2 0 cm		I.小麥(含穎)	II.美洲合歡(多朵)	III.大花咸豐草	IV.孤挺花
遠 距 離 設 定	1.第一次測試(顆數)	52	192	31	22
	2.第二次測試(顆數)	61	157	26	15
	3.第三次測試(顆數)	48	185	24	18
	三次測試平均(顆數)	54	178	27	18
	平均授粉機率	2.7±0.24%	8.9±0.65%	1.4±0.12%	0.9±0.12%

- (三) 近距離時，美洲合歡模型授粉機率高達 41.5%，其次是小麥 30.3%，孤挺花的授粉機率最低為 1.0%。中距離時，小麥的授粉機率明顯大幅減少，美洲合歡的授粉機率亦減少；但大花咸豐草與孤挺花在中距離下的授粉機率最高。遠距離時，四種植物的授粉機率亦隨距離改變而減少。
- (四) 改變花粉與柱頭模型間距離，美洲合歡授粉機率都高於其他三種花柱模型的授粉機率，顯示美洲合歡柱頭除了能接受自花花粉，亦能接受來自其他花朵花粉。
- (五) 孤挺花與大花咸豐草，在花粉與柱頭模型相距 10 cm 時授粉機率較 1 cm 時高，顯示這兩種植物花蕊構造較有利於接受來自其他花朵的花粉。相關數據如圖 2, 3, 4 所示。

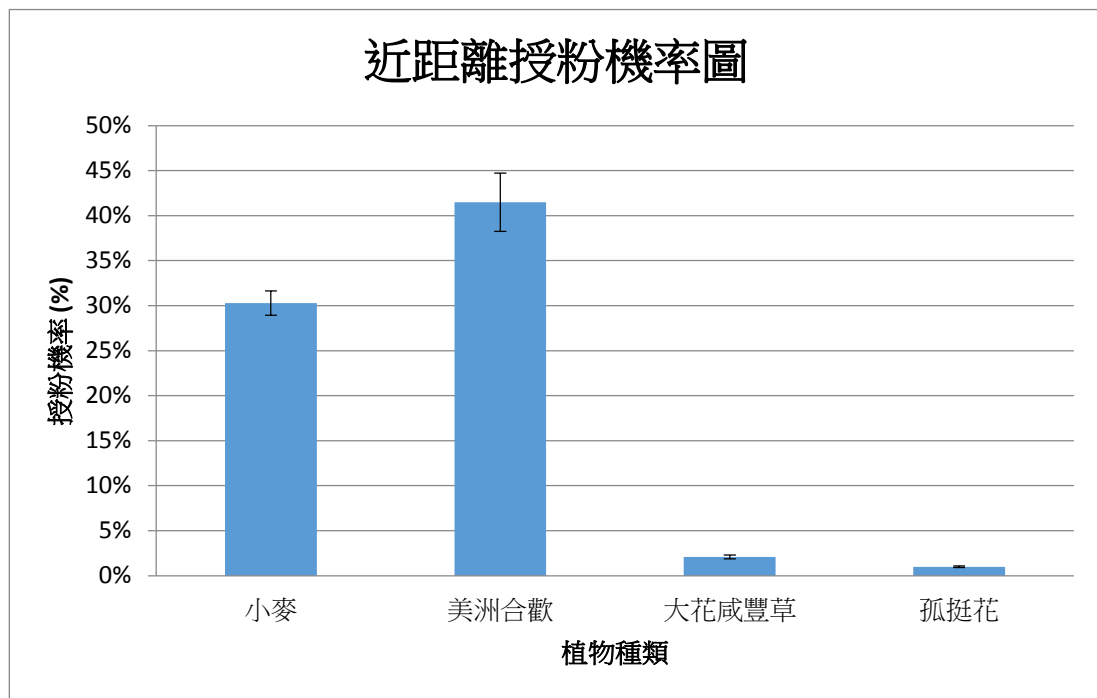


圖 2 近距離(1cm)下四種植物的授粉機率圖

授粉成功率：美洲合歡 (41.5%) > 小麥(30.3%) > 大花咸豐草 (2.1%) > 孤挺花 (1.0%)

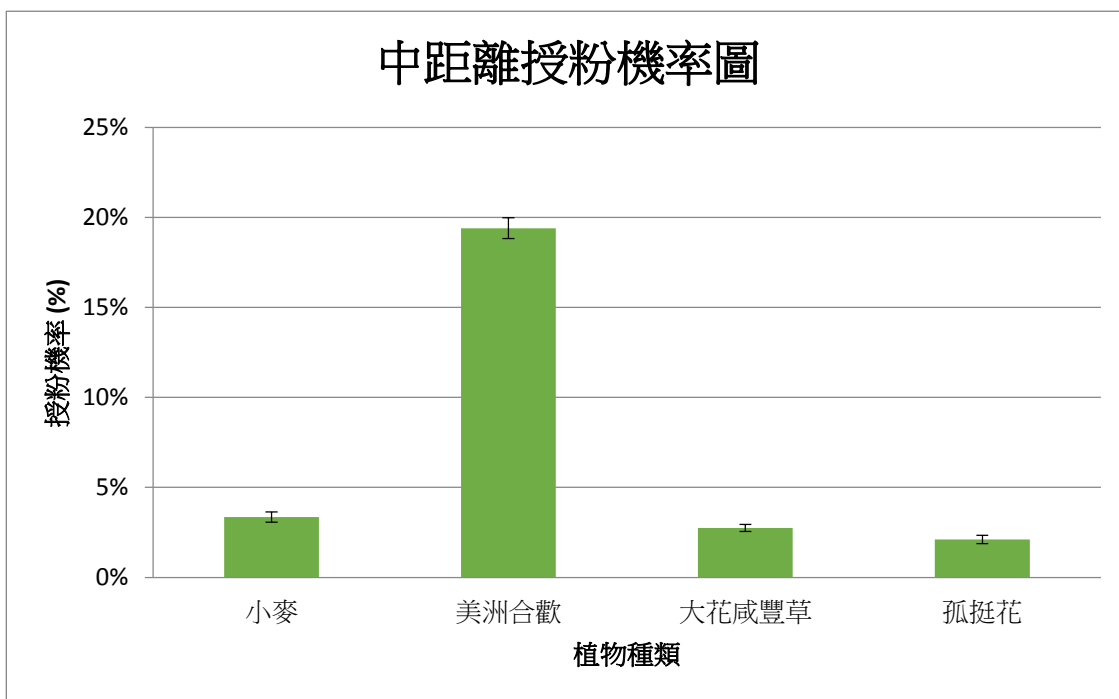


圖 3 中距離(10cm)下四種植物的授粉機率圖

授粉機率：美洲合歡 (19.4%) > 小麥 (3.4%) > 大花咸豐草(2.8%) > 孤挺花 (2.1%)

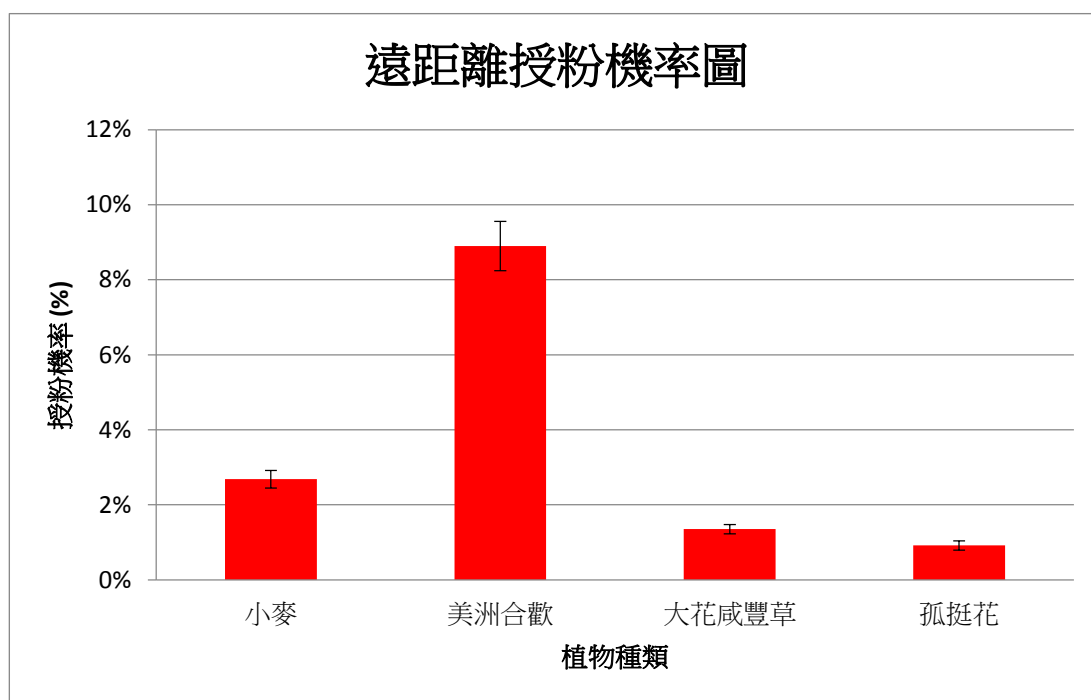


圖 4 遠距離(20cm)下四種植物的授粉機率圖

授粉機率：美洲合歡 (8.9%) > 小麥 (2.7%) > 大花咸豐草 (1.4%) > 孤挺花 (0.9%)

(六) 我們比較了單純的小麥雌蕊模型與加上模擬小麥穎的構造的模型間的授粉成功機率，含穎的小麥模型授粉的成功機率較不含穎的小麥高出約 2.2 倍，如圖 5-1。含穎的小麥模型隨著距離的增加，授粉成功率也很明顯的跟著下降了。因此我們推測小麥花蕊的構造有利於近距離的授粉，如圖 5-2。

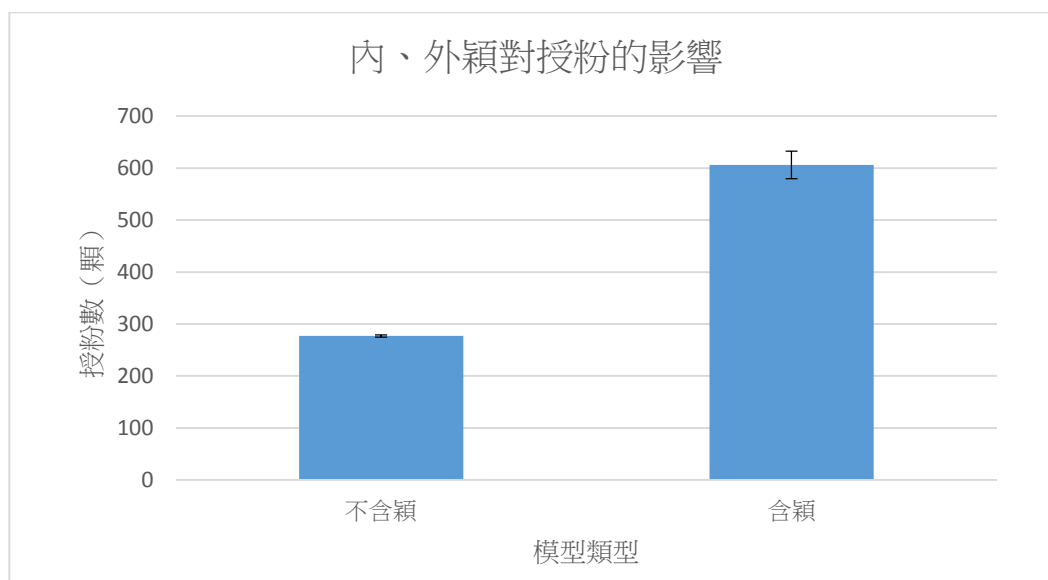


圖 5-1 內、外穎對小麥授粉機率的影響圖

含穎的小麥模型約增加 2.2 倍的授粉成功機率。

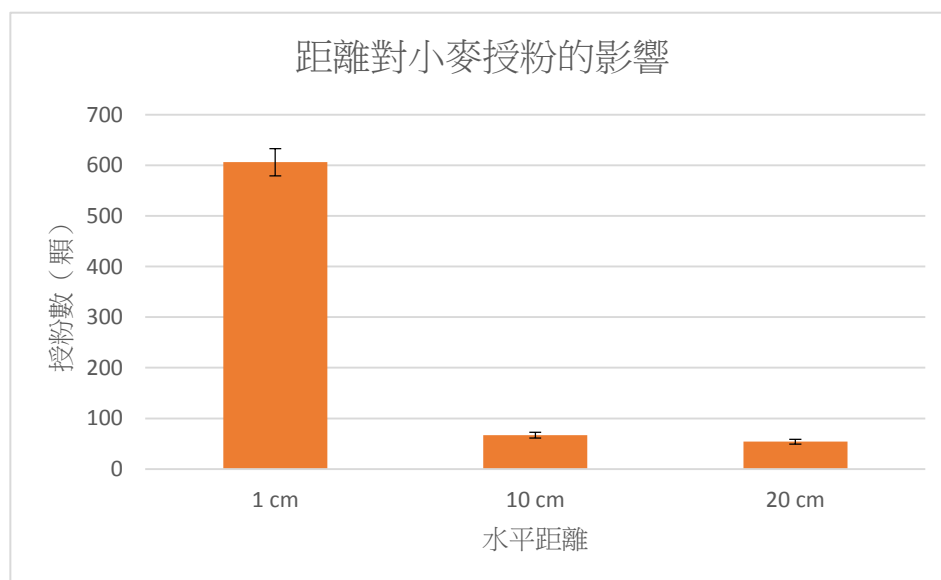


圖 5-2 不同水平距離下，含穎小麥授粉機率圖

隨著水平距離增加，小麥模型授粉成功機率明顯下降。

(七)我們模擬美洲合歡由許多小花聚合成花團的特徵進行單一花朵與花團授粉機率的比較，實驗結果顯示聚合的花團授粉成功機率約是單一花朵模型的 2 倍。隨著距離的增加，授粉的成功機率也逐漸下降。這個變化趨勢與小麥類似，都是適合近距離授粉的形態，如圖 6。

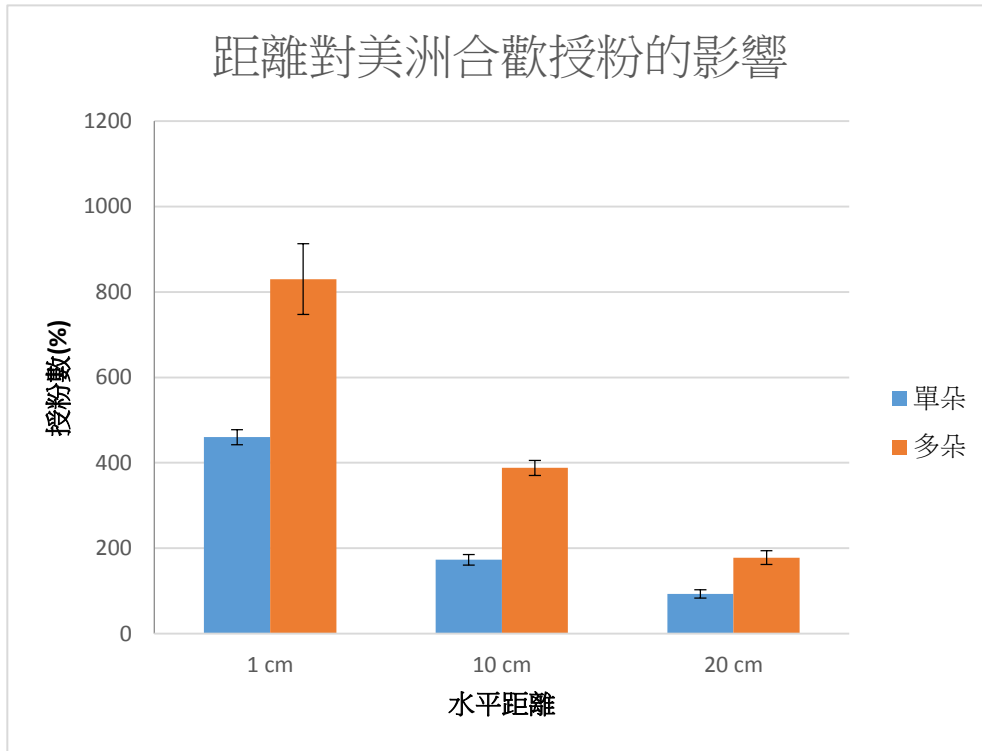


圖 6 美洲合歡授粉機率圖

聚合花團的美洲合歡授粉成功機率增加約 2 倍

(八)大花咸豐草的實驗結果發現，隨著花蕊水平距離的改變，授粉機率的變化並不明顯，不過，水平距離 10 cm 的間距授粉機率較高。由於大花咸豐草是由許多的管狀花與周圍的舌狀花組成的。因此，我們推測中距離的咸豐草花粉傳播至鄰近管狀花雌蕊柱頭，形成異花授粉的機會最高，如圖 7。

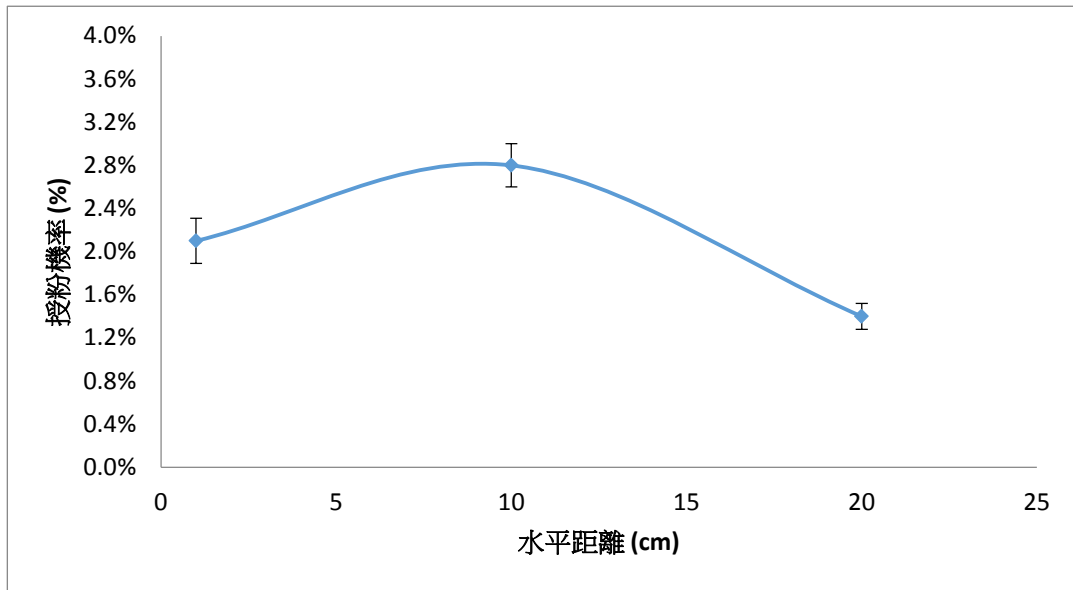


圖 7 大花咸豐草授粉機率圖

(九)我們進行孤挺花授粉模擬實驗時，發現孤挺花柱頭的特殊構造，在近距離的實驗中花粉沾附在柱頭上的比例明顯較低，反而在水平距離拉長為 10 cm 後，授粉的成功機率明顯提高了。這樣的結果意味著孤挺花柱頭的構造以及雌蕊與雄蕊的相對位置不利於自花授粉，反而較容易黏附在距離較遠的柱頭上，如圖 8。

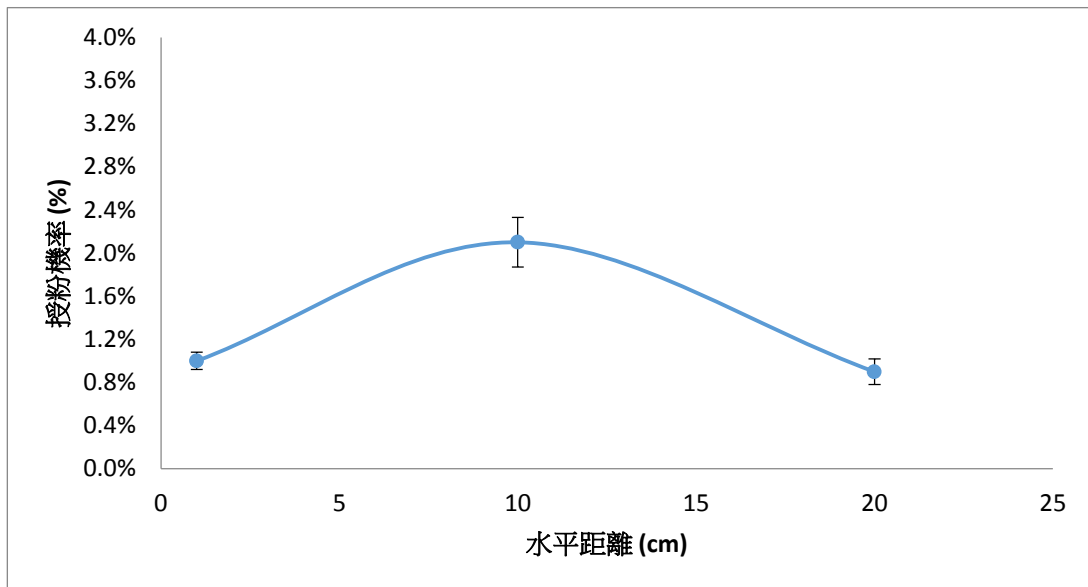


圖 8 孤挺花授粉機率圖

陸、討論

第一部分:校園植物觀察

- 一、從校園常見植物的花蕊與花粉構造的觀察，我們發現植物的柱頭大致可分為毛刷狀、圓柱狀、瓣狀（如小麥、美洲合歡）。而花粉的形狀也可大致區分為圓球形、刺球形、卵球形等。經過歸納後，我們發現花粉形狀與柱頭的有一定的配對規則：
 - (一)毛刷狀的柱頭通常花粉呈刺球形。
 - (二)圓柱狀柱頭的花朵花粉則是卵球形的。
 - (三)雌蕊柱頭為瓣狀的花朵，通常花粉細小，呈現光滑的圓球狀。
- 二、毛刷狀的柱頭例如大花咸豐草、蟛蜞菊等柱頭表面具有許多毛狀的突出構造，花粉呈刺球形，這些突起能增加表面的摩擦力，配合上柱頭毛刷狀的突起構造，增加了花粉黏著在柱頭上面的機率。
- 三、具圓柱狀柱頭的花朵像孤挺花、香水百合等，柱頭在成熟後明顯向外突出，高過周圍花粉囊的高度，這樣的生長方式反而有利於接受來自其他花朵的花粉，不利於自花授粉。而柱頭雖然表面光滑，但會分泌黏液藉此提高花粉沾粘的機率。花粉外型為細長的卵球形或橢圓形可降低漂浮時的空氣阻力，讓花粉在空中傳播距離更遠。
- 四、瓣狀型的柱頭（如小麥、美洲合歡）表面有許多舌瓣狀或絲狀的構造，瓣狀或絲狀構造之間空隙可以讓花粉卡在空隙之間，幫助捕捉更多的花粉。它們的花粉囊有些呈單獨的圓球狀，有些表面有棘刺，由3~5個花粉囊聚集在一起。但囊內的花粉多細小，呈現圓球狀，在輕微的振動下，花粉就相當容易掉落到周圍。
- 五、花朵的成長過程我們觀察到某些花朵例如孤挺花，會讓雄蕊與雌蕊發育成熟時間的不同，花朵初開時，雄蕊會先成熟產生花粉。當自花的雌蕊的柱頭發育成熟時，雄蕊的花粉早已飄散到其他地方，如此就使得自花授粉的發生率降低。這印證我們在相關資料中查詢到的結果，園藝學家若想保留良好的品種，還得在雌蕊成熟前先想辦法留存花粉。

第二部分:模擬授粉實驗

- 一、在做完單純的花粉與柱頭的模擬實驗後，我們發現小麥自花授粉機率遠比查到的資料少很多，經過討論，推測可能忽略了花蕊周圍的某些構造。在小麥花蕊的外圍會有內外兩層蓋狀的構造，稱為內穎與外穎。我們懷疑這樣的構造對自花授粉的機率有著不可忽視的影響。模擬具有穎的構造實驗結果顯示，小麥成功授粉的機率提高為 2.2 倍，內穎與外穎的功能不單純只有保護花蕊，對於植物自花授粉的成功率也扮演重要角色。
- 二、美洲合歡的花朵會聚合成花團，在植物學上稱為頭狀花序。這樣的生長方式提供植物什麼樣的好處呢？我們分析了美洲合歡單一朵花與聚合成花團的實驗結果發現，聚合成花團後，授粉的成功機率較單一朵花提高了約 2 倍，在模擬實驗中，受限於模型尺寸，我們只進行六朵花團的實驗，然而，實際觀察美洲合歡的花團大約由 40~70 朵花構成，因此我們推測，實際授粉成功的機率應該遠高於 2 倍以上。
- 三、經過分析後發現自花受粉植物花柱通常短小，花柱與花絲比值相當高，我們推測短小的花柱會固定在花朵基部，不會因為風或昆蟲造成的振動而晃動改變位置，有利於花粉掉落時能成功的黏附在柱頭上。異花授粉的花朵在雌蕊成熟後花柱會比花絲來得長，花朵上的雄蕊花粉不容易往上飄動沾粘在柱頭上，反而挺出於花瓣外的柱頭有助於接收風或昆蟲從其他花朵上帶來的花粉，增加異花授粉的成功機率。
- 四、在我們結果中，大花咸豐草的授粉機率較實際資料低，我們推測因花粉模型無法完全模擬刺球型的構造，在實驗中可能降低了授粉的成功率。此外，大花咸豐草是重要的蜜源植物，管狀花聚合成的花團會讓昆蟲在不同的管狀花中吸食花蜜同時黏附花粉，將花粉傳播到其他花朵的柱頭上。
- 五、自花授粉與異花授粉各有優、缺點，自花授粉的植物授粉機率高，也能保有原本適應環境的良好品種。不過當環境一改變，使得它們無法適應時，恐怕就會發生大量滅亡的慘劇了。而異花授粉的植物雖然授粉機率較低，但能產生較多樣化的下一代，當環境變遷時，還會有某一部份能夠適應新的環境，繼續繁衍下一代。某些植物則採取自花授粉與異花授粉並行的方式，既能快速的繁殖跟自己基因組合相似後代，

也能兼顧下一代基因組合的多樣化。

六、除了花蕊構造與相對位置外，我們也發現花瓣的構造與相對位置也是影響授粉成功率的關鍵因素之一，這是我們日後還想再設計模型進行實驗觀察的研究方向。

七、從校園開花植物調查、採集、觀察與分析，再利用簡易模型進行實驗，探討植物自花授粉與異花授粉的情形，在實驗過程中必須不斷的修正、反覆測試。模型約以實物放大 50 倍製作，我們先以電風扇實驗測試結果不佳，再換以吹風機測試，才能模擬出較符合真實現象的實驗探討。

柒、結論

- 一、經校園植物花朵調查與分析：柱頭形態相似的植物，花粉形態也十分相似。由觀察結果可歸納為三種配對組合。因此，即便花朵外觀不同，為了達到最佳的授粉效率，微觀下的花蕊形態會越相近。
- 二、分析花朵標本的花柱與花絲長度比例，自花授粉的植物花柱較短小，花絲長度較長，有利於接受本身的花粉。異花授粉的植物花柱長度較花絲長，可避免自身的花粉沾粘至柱頭上有效的授粉部位。
- 三、從模擬授粉機率的實驗結果發現與文獻資料相符：小麥屬於高度自花授粉的植物，美洲合歡兼具自花授粉與異花授粉，咸豐草與孤挺花則為異花授粉植物。顯示我們的柱頭模型是分析柱頭形態與表面質地對授粉機率影響的有效擬真模型。
- 四、模擬實驗結果顯示異花授粉植物花柱位置高於花絲，不利於接受近距離的花粉，而以中距離（10 cm）的授粉成功機率最高。證實花粉與柱頭的相對高度差對植物授粉方式有決定性的影響。
- 五、在小麥柱頭模型上增加植物內、外穎後，發現小麥自花授粉機率提高為 2.2 倍，可見內、外穎等花蕊周圍的附屬構造，除提供保護功能，亦是提高自花授粉成功率的重要構造。
- 六、從美洲合歡多朵花呈頭狀花序模擬授粉實驗中，發現授粉機率較單朵模型提高約 2 倍，表示各種植物的花序排列，是考量授粉方式後所做出的最佳抉擇。

捌、參考資料

- 一、張永仁(2009)。野花入門：張永仁的野花觀察筆記。台北市：遠流出版社。
- 二、沈競辰(民 92)。花與授粉的觀察事典。台中市：晨星出版社。
- 三、施炳霖、李伯宏、曾澤翔、劉叡園、張惠雯(民 96)。誰來做媒—花粉和柱頭形態研究。第四十七屆中小學科學展覽作品說明書。
- 四、謝建智、李心如、蔡佩芳、牛文俐、陳麗存、邱怡萱(民 93)。花粉的萌發與傳播。第四十四屆中小學科學展覽作品說明書。
- 五、探索花花世界網路圖鑑—農業兒童網。
http://kids.coa.gov.tw/view.php?func=kids_learning&category=A02&id=41
- 六、國立自然科學博物館。認識植物—傳播與繁殖。
http://web2.nmns.edu.tw/botany/know/know5_01.php

【評語】 080308

1. 觀察校園開花植物的柱頭與花粉形態，用心製作模型探討花蕊型態與授粉之間的關係，主題明確，觀察及記錄仔細，值得嘉許。但部分實驗操作面較為簡略，可再進行思考減少干擾層面。
2. 在探討自花授粉與異花授粉時，建議加入授粉者因素。

壹、研究動機

三年級「植物的身體」單元中我們學到花的基本構造，這學期上到「植物面面觀」這單元時，認識各種植物傳播種子的方法，看來，為了讓下一代有適合的生長環境，各種植物可是絞盡腦汁呢！

有些植物花開很多，有些一株只開一兩朵，植物又是如何費盡心思的成功傳播花粉呢？也許花粉太小，不易觀察，課本中沒有詳細的介紹，卻也成為我們想要自我挑戰，進一步探尋原因的動力。

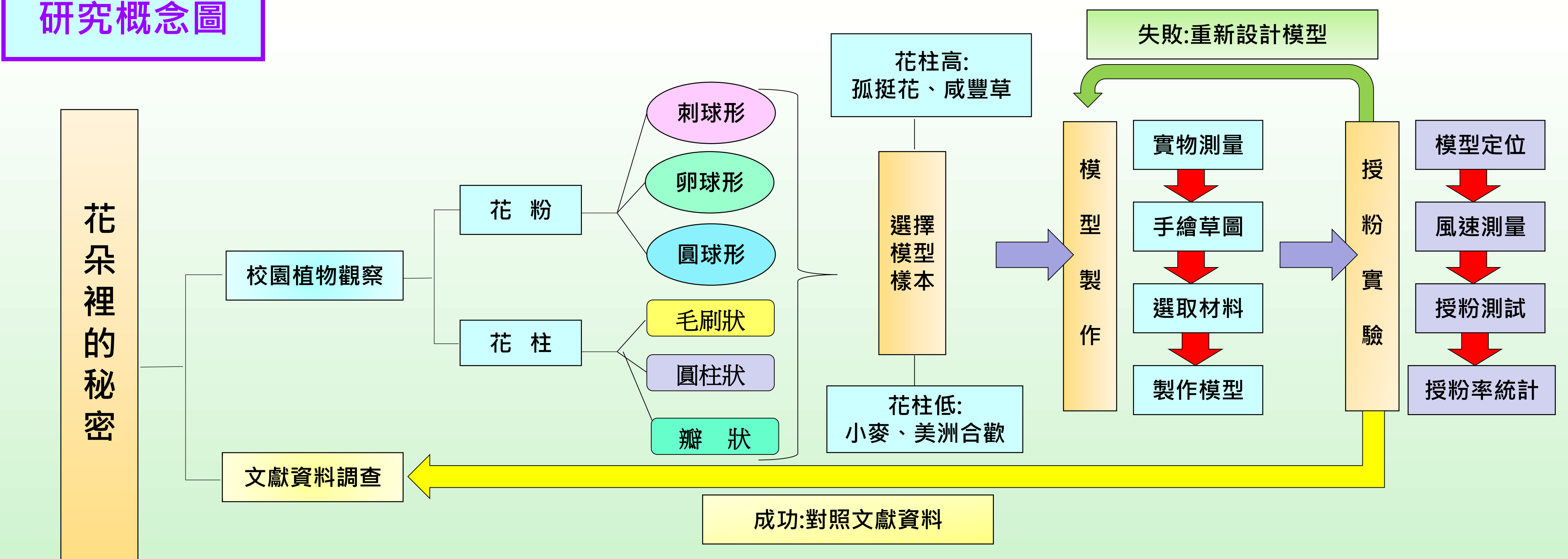
貳、研究目的

- 一、調查校園中可見的開花植物花朵。
- 二、觀察並分析各種花朵雌蕊柱頭和花粉的形態特徵。
- 三、觀察開花過程中花絲與花柱相對位置改變的情形，並於雌蕊成熟時，測量花絲與柱頭間的垂直高度。
- 四、製作四種花朵柱頭的模型，探討花蕊形態與授粉之間的關係。
 - (一)依據實際放大比例調整花粉與柱頭模型間的垂直距離，探討花粉和柱頭相對高度與授粉方式間的關係。
 - (二)改變花粉與柱頭模型間的水平距離，探討距離遠近對於授粉機率的影響。
 - (三)模擬小麥內、外穎構造的模型，探討花蕊周圍附屬構造對授粉機率的影響。
 - (四)模擬美洲合歡頭狀花序的模型，探討花朵排列方式對授粉機率的影響。
- 五、實驗過程中，將實驗結果與前人相關研究比對，並修正實驗設計，印證模型的真實性。

參、研究設備及器材

一、花朵觀察設備和材料						二、花朵模型製作和材料				
解剖刀	標籤紙	滴管	切割板	手機	相機	毛根	鋪棉布	保麗龍膠	保麗龍球	砂紙
挑針	載玻片	顯微鏡	放大鏡	蓋玻片	拭鏡紙	棉線	棉花	羽球拍	不織布	塑膠束
花朵	夾鏈袋	鑷子	手機 APP	吹風機	小帳篷	包紙鐵絲	塑膠網	泡棉	泡棉棒	凡士林

研究概念圖



肆、研究過程和方法

第一部分:花朵形態觀察及模型製作:

第二部分:授粉模擬實驗操作:

採集觀察

- 採集校園中20種植物花朵。
- 觀察花粉與柱頭形態。
- 觀察花朵生長過程。

條件篩選

- 花柱、花絲相對位置不同
- 柱頭形態不同
- 花粉大小相近 (介於30~80 μm)

決定模型

- 自花授粉: 小麥、美洲合歡
- 異花授粉: 大花咸豐草、孤挺花

- 在小麥、孤挺花柱頭模型表面塗上凡士林，模擬柱頭表面黏液
- 先裝滿一瓶小保麗龍球(約 2000 顆)，再倒到球拍上，模擬花粉
- 依花絲花柱長度比將羽球拍上的保麗龍球(花粉)置於距柱頭適當垂直高度
- 依實驗步驟改變花粉與柱頭模型間的水平距離

授粉機率 = $\frac{\text{沾附於柱頭上顆數}}{\text{花粉總數 (2000 顆)}} \times 100\%$

小麥	美洲合歡	大花咸豐草	孤挺花
柱頭上方	柱頭上方	柱頭頂端下方	柱頭下方
30 cm	135 cm	10 cm	50 cm

伍、研究結果

一、柱頭與花粉形態與生長過程觀察結果

(一)依顯微鏡下觀察結果，可將柱頭和花粉的形態做以下三種配對分類：

名稱	1.小麥 (禾本科)	2.美洲合歡 (豆科)	3.仙丹 (茜草科)	4.蕎麥 (蓼科)	名稱	5.孤挺花 (石蒜科)	6.麝香百合 (百合科)	7.蠶紫荊 (豆科)	8.杜鵑花 (杜鵑花科)	名稱	9.大花咸豐草 (菊科)	10.蟛蜞菊 (菊科)	11.輪傘莎草 (莎草科)	12.重瓣朱槿 (錦葵科)
雌蕊柱頭					雌蕊柱頭					雌蕊柱頭				
雄蕊花粉照片					雄蕊花粉照片					雄蕊花粉照片				
柱頭—舌瓣狀 花粉—圓球形				柱頭—圓柱狀 花粉—卵球形				柱頭—毛刷狀 花粉—刺球形						

(二)觀察小麥與孤挺花兩種不同授粉方式的植物開花過程中花絲與花柱相對位置變化：

小麥

孤挺花

					
剛開花時雄蕊露出，但只能維持約 30 分鐘。	雄蕊萎縮，很快被穎蓋住，此時雌蕊已經成熟。	授粉後顏色逐漸轉黃，雌蕊子房逐漸膨大。	剛開始雄蕊花粉囊飽滿，花粉先成熟。這時柱頭還未成熟，呈短小圓柱狀。	雌蕊逐漸形成三裂瓣，向外伸展，突出花瓣外。雄蕊花粉開始隨風飄散。	成熟的雌蕊向上突起，與雄蕊的距離越來越遠，雄蕊大部分花粉已飄散殆盡。

二、花絲與花柱長度的比例

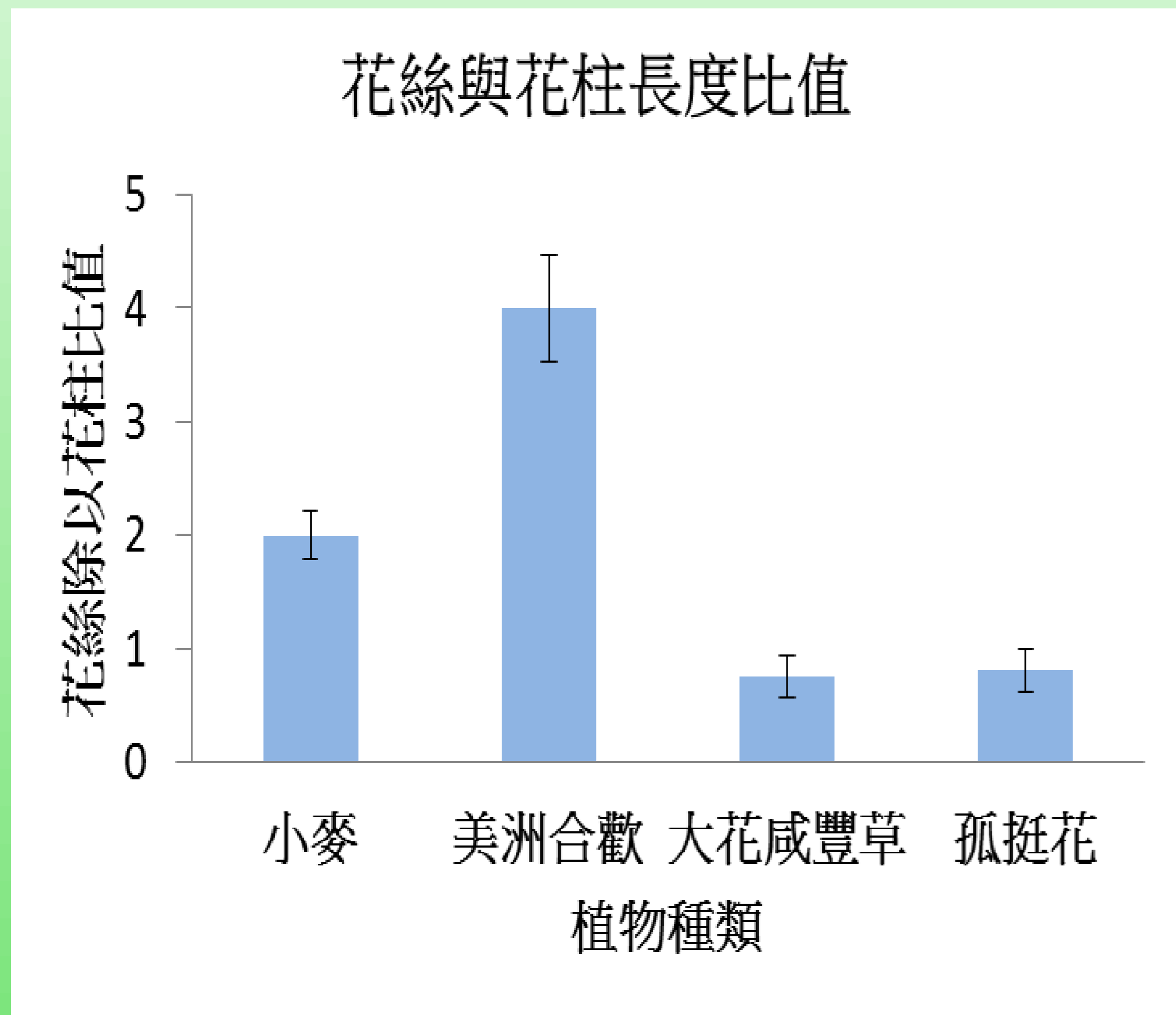
三、測量四種植物花蕊，並依比例放大50倍製作模型

(一)小麥、美洲合歡兩種傾向自花授粉為主的植物，花絲明顯較長，花絲長除以花柱長比值大。

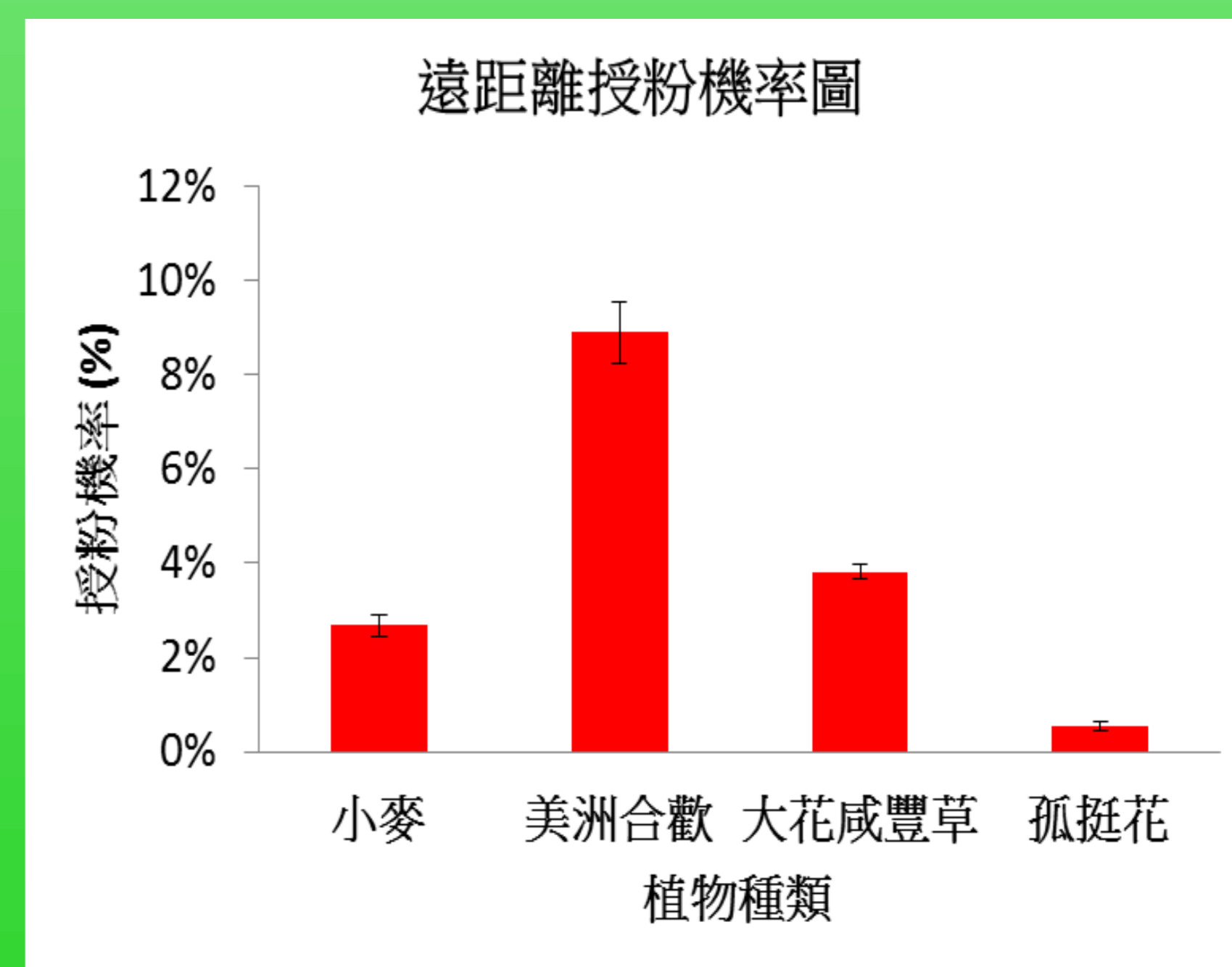
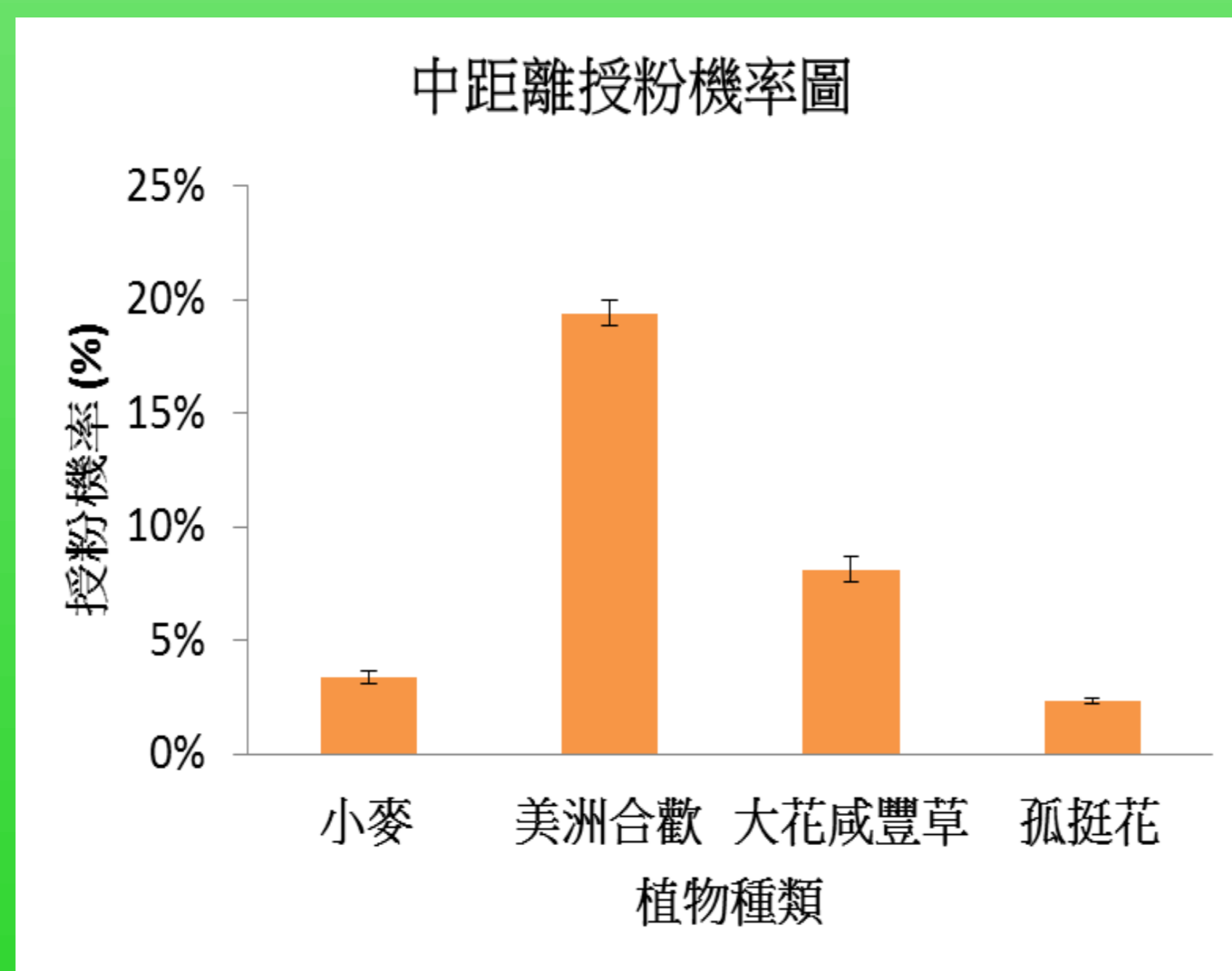
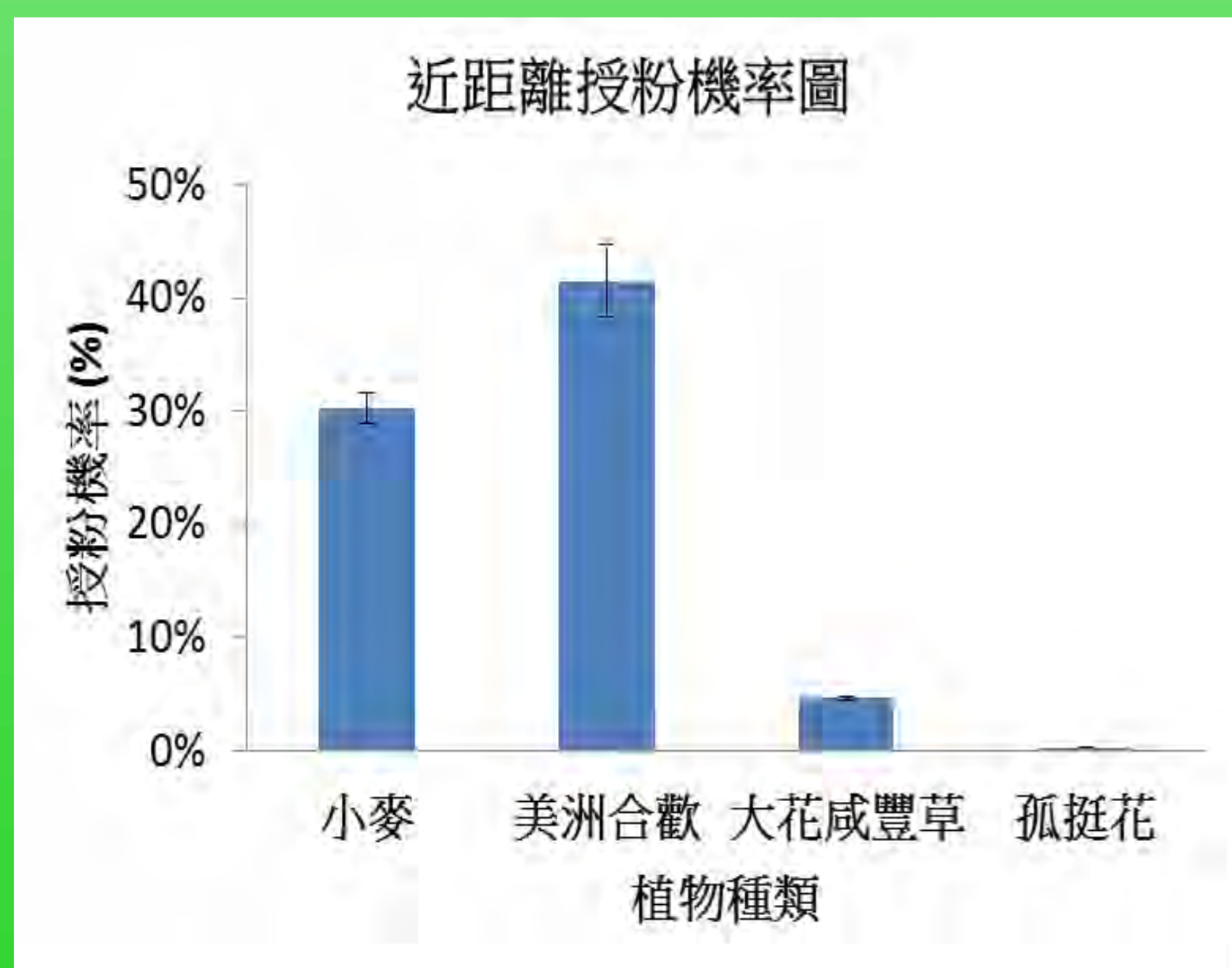
(二)大花咸豐草、孤挺花兩種異花授粉為主的植物，花絲長與花柱長則相當接近。

名稱	小麥	美洲合歡	大花咸豐草	孤挺花
花絲	1.26 cm	3.66 cm	0.68 cm	8.08 cm
花柱	0.64 cm	0.89 cm	0.91 cm	10.1 cm
比值	1.97±0.22	4.11±0.46	0.75±0.19	0.80±0.19

植物模型	小麥	美洲合歡	大花咸豐草	孤挺花
特徵描繪	柱頭表面有許多羽狀細毛，具有黏液。	柱頭呈舌瓣狀，彼此聚集纏繞呈團狀。	柱頭呈兩分歧，表面有許多棘刺，呈毛刷狀。	柱頭成熟後多呈三裂，少數呈圓形，具有黏液。
柱頭形態 放大倍率 40倍				
設計圖				
模型照片				



四、不同水平距離對植物授粉機率的影響



近距離(1cm)下四種植物的授粉機率圖

中距離(10cm)下四種植物的授粉機率圖

遠距離(20cm)下四種植物的授粉機率圖

授粉機率：美洲合歡 (41.5%) > 小麥(30.3%) > 大花咸豐草 (4.6%) > 孤挺花 (0.2%)

授粉機率：美洲合歡 (19.4%) > 大花咸豐草(8.1%) > 小麥 (3.4%) > 孤挺花 (2.3%)

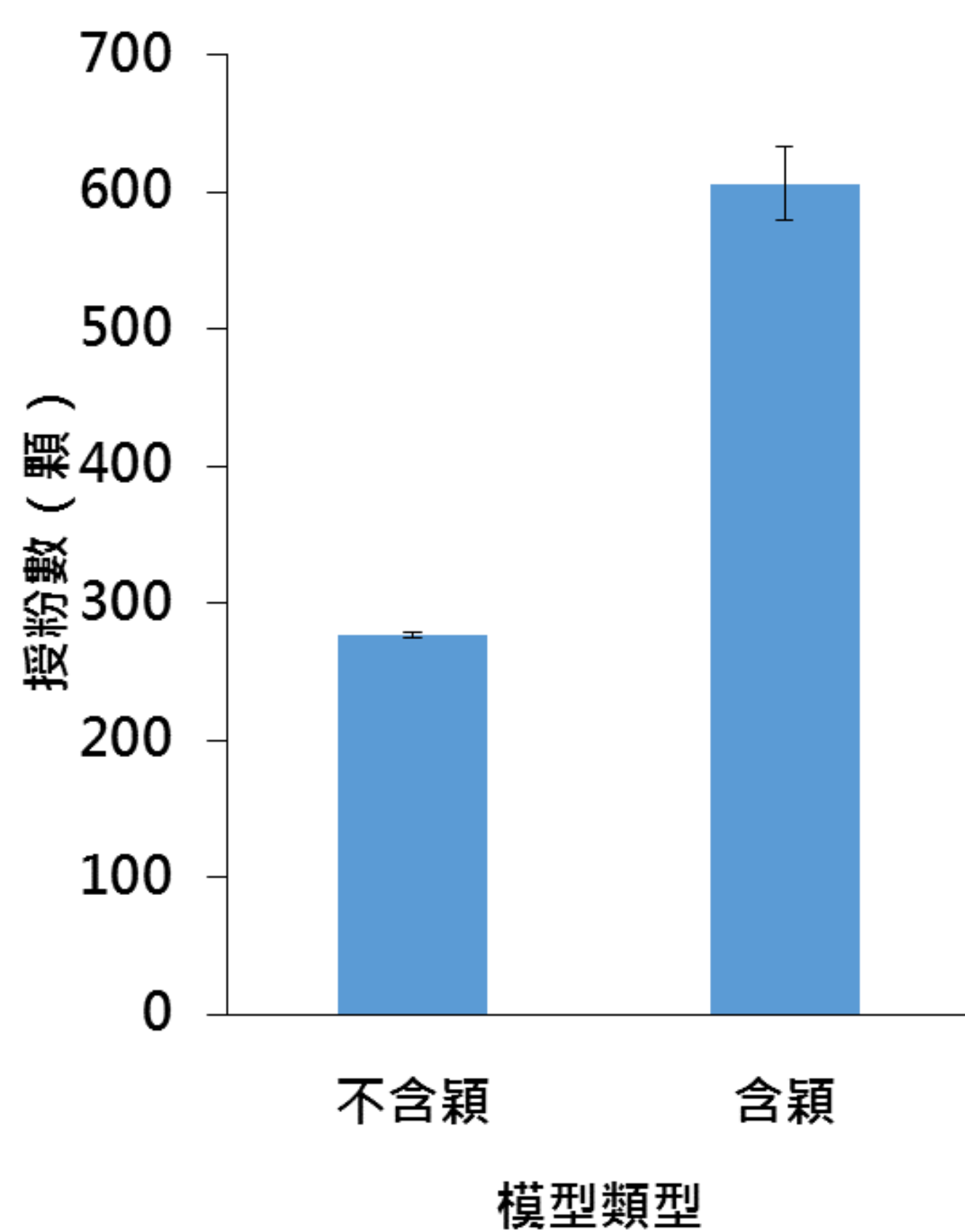
授粉機率：美洲合歡 (8.9%) > 大花咸豐草 (3.8%) > 小麥 (2.7%) > 孤挺花 (0.5%)

◎ 在不同距離下，美洲合歡授粉機率都高於其他花朵，我們可推測美洲合歡聚合成花團排列的方式能顯著地提高授粉機會。

◎ 孤挺花與大花咸豐草，在水平距離10 cm時授粉機率較1 cm時高，顯示這兩種植物花蕊構造有利於異花授粉。

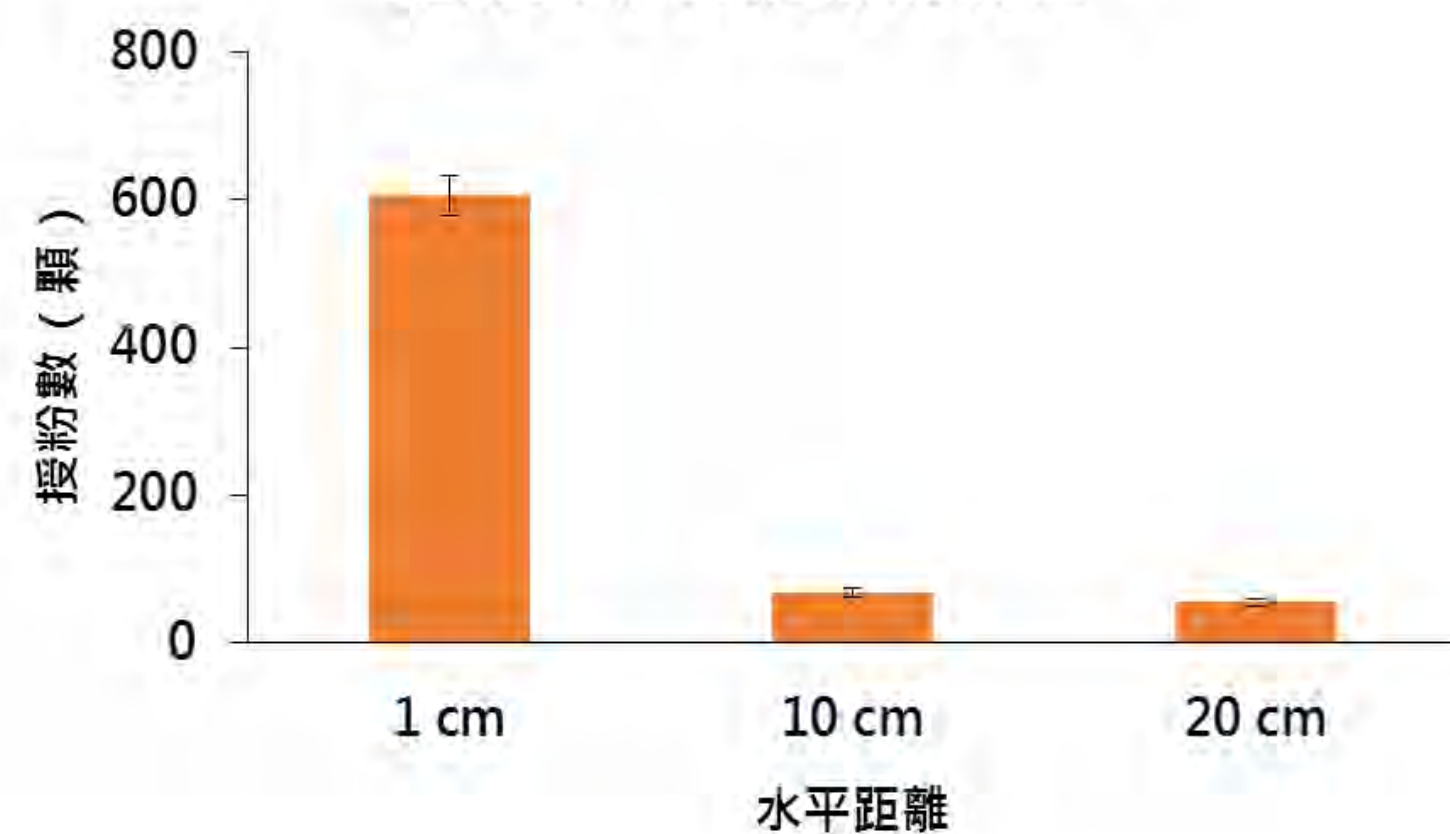
五、不同構造與距離對植物授粉機率的影響

內、外穎對授粉的影響



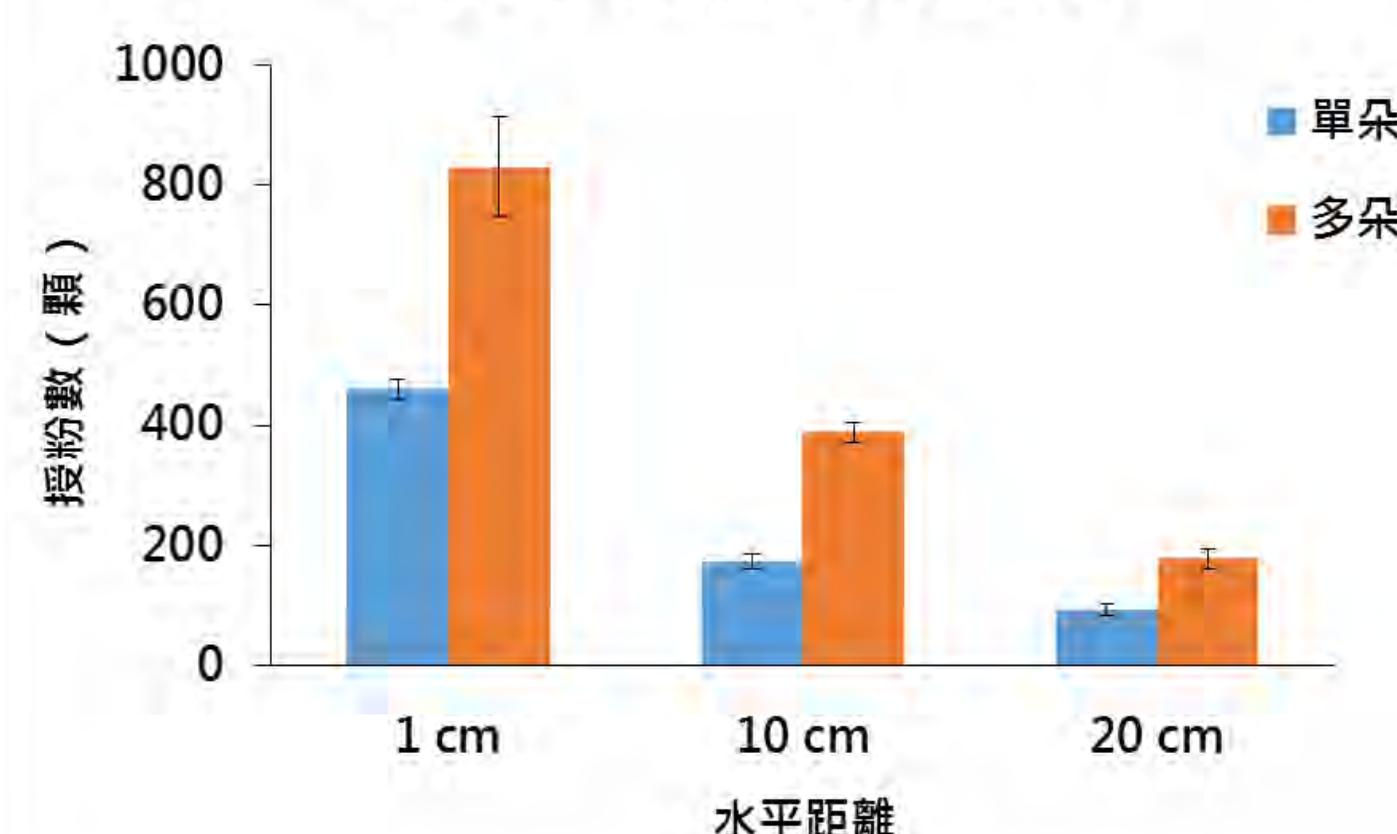
含穎小麥授粉成功機率約增為2.2倍

距離對小麥授粉的影響



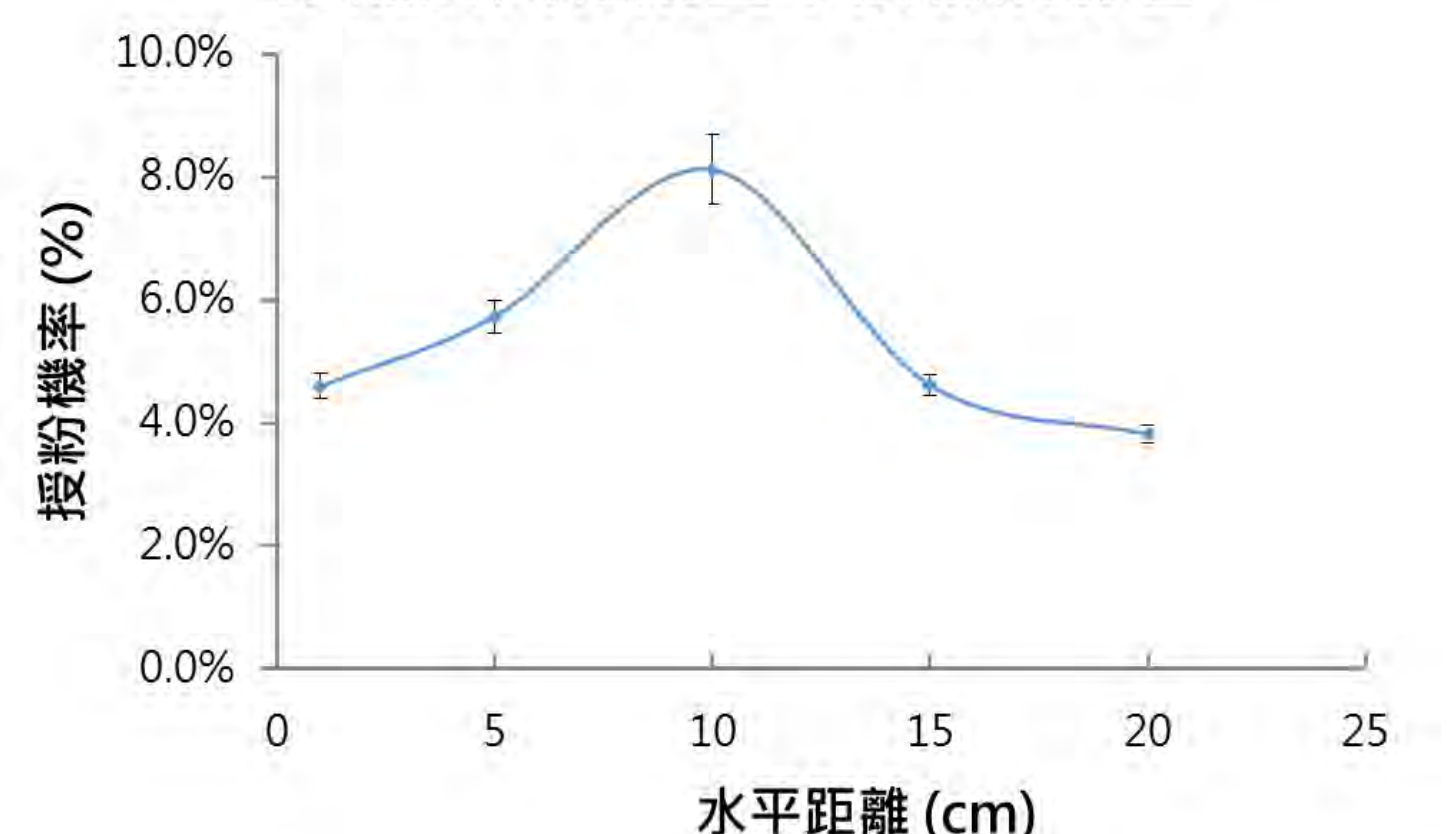
隨著水平距離增加，小麥模型授粉成功機率明顯下降。

距離對美洲合歡授粉的影響



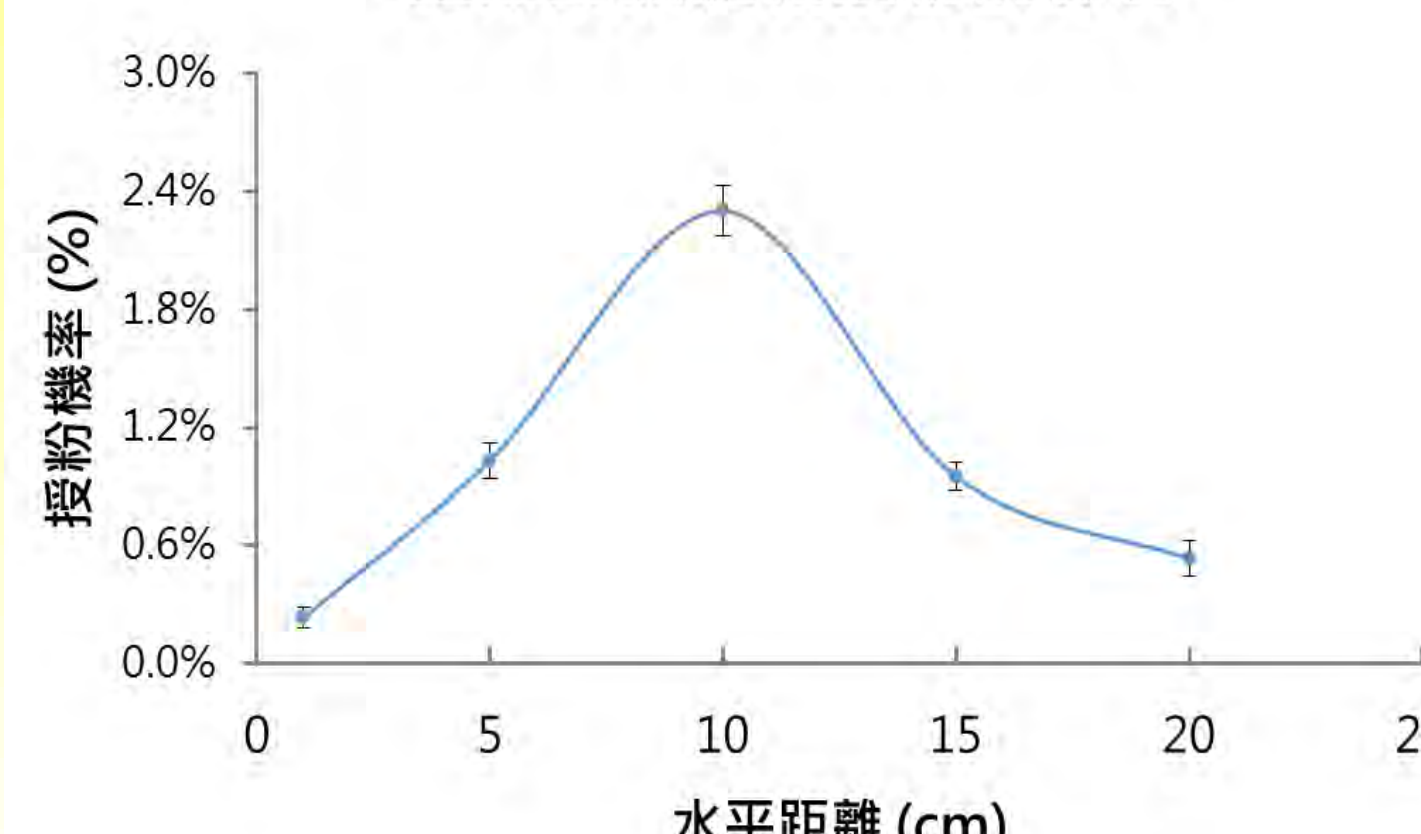
聚合花團的美洲合歡授粉成功機率約增為2倍

距離對大花咸豐草授粉的影響



大花咸豐草在中距離10 cm時授粉機率較高。

距離對孤挺花授粉的影響



孤挺花在中距離10 cm時授粉機率較高。

陸、討論

一、我們發現植物的柱頭與花粉形狀有一定的配對規則：

柱頭	花粉	柱頭特徵
毛刷狀	刺球形	柱頭上的突起構造能增加表面的摩擦力
圓柱狀	卵球形	柱頭成熟後向外突出，有利於接受來自其他花朵的花粉。
瓣狀	圓球狀	瓣狀或絲狀構造之間空隙可讓花粉卡在空隙間，捕捉更多花粉。

二、經過實際觀察與模擬實驗，影響授粉機率因素有以下幾項：

影響因素	實驗觀察結果
花絲花柱長度比	自花授粉植物→花柱短小，利於花粉掉落成功黏附在柱頭上。 異花授粉植物→花柱挺出於花瓣外，利於接收其他花朵的花粉。
花蕊生長過程	異花授粉植物例如孤挺花，雄蕊會較雌蕊先成熟，降低自花授粉的發生率。
花朵附屬構造	具有穎的小麥成功授粉的機率提高為2.2倍，除保護花蕊外，穎對植物自花授粉的成功率也扮演重要角色。
花序排列方式	美洲合歡聚合成花團(六朵)的頭狀花序排列授粉成功機率較單一朵花提高約2倍。

三、大花咸豐草的授粉機率較實際資料低，推測大花咸豐草模擬授粉機率偏低原因：

1. 模型無法完全模擬刺球型的花粉構造。
2. 可能是高度依賴昆蟲傳粉的蟲媒花。

四、在實驗過程中必須不斷的修正、反覆測試。模型約以實物放大50倍製作，我們先以電風扇實驗測試結果不佳，再換以吹風機測試，才模擬出較符合真實現象的實驗探討。

五、在五年級自然課本中對於開花植物會藉由昆蟲等動物幫助傳粉的敘述，常讓我們誤以為蟲媒花只能靠昆蟲幫忙傳粉。但經過一系列實驗後，發現開花植物在演化過程中，可能仍保留借助風力幫助傳播花粉的機制。

柒、結論

一、從模擬授粉實驗結果發現與文獻資料相符：小麥屬高度自花授粉的植物，美洲合歡兼具自花授粉與異花授粉，咸豐草與孤挺花則為異花授粉植物。顯示我們的柱頭模型是有效擬真模型。

二、模擬實驗結果顯示異花授粉植物花柱位置高於花絲，不利於接受近距離的花粉，而以中距離 (10 cm) 授粉成功機率最高。證實花粉與柱頭的相對高度差對植物授粉方式有決定性的影響。

三、在小麥柱頭模型上增加植物內、外穎後，發現小麥自花授粉機率提高為2.2倍，可見內、外穎等花蕊周圍的附屬構造，除提供保護功能外，亦是提高自花授粉成功率的重要構造。

四、從美洲合歡多朵花呈頭狀花序模擬授粉實驗中，發現授粉機率較單朵模型提高約2倍，表示各種植物的花序排列，是考量授粉方式後所做出的最佳抉擇。

捌、參考文獻

- 一、張永仁(2009)。野花入門：張永仁的野花觀察筆記。台北市：遠流出版社。
- 二、沈競辰(民92)。花與授粉的觀察事典。台中市：晨星出版社。
- 三、探索花花世界網路圖鑑-農業兒童網。
http://kids.coa.gov.tw/view.php?func=kids_learning&category=A02&id=41。
- 四、國立自然科學博物館。認識植物-傳播與繁殖。http://web2.nmns.edu.tw/botany/know/know5_01.php。
- 五、J.D. Wild, E. Mayer, G. Gottsberger (2003). Pollination and reproduction of *Tussilago farfara*. Bot. Jahrb. Syst., 124, 273-285.