

2022 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 060014

參展科別 植物學

作品名稱 槭樹翅果成熟過程中單、雙翅差異性探討

得獎獎項

就讀學校 臺北市立麗山高級中學

指導教師 郭瓊華、金佳龍

作者姓名 林楷原

關鍵詞 槭樹翅果、飛行傳播、成熟過程

作者簡介



我是臺北市麗山高中 21 屆的學生林楷原，從小就喜歡觀察自然中的事物，在高一進入了生物專題並開始進行關於槭樹翅果的研究，並持續學習關於科學實驗方法以及報告的知識與技巧，並幸運的獲得參加國際科展的機會。這段過程雖然十分辛苦，但是是其他高中生不一定有機會經歷的寶貴經驗，也非常感謝一路上幫助並提供建議給我的師長們與同學，也感謝實驗室願意借用設備與場地供我進行實驗，令我能順利完成每個部份的數據收集。

摘要

具翅植物是一種成功適應散播的果實。槭樹果實會成對的在樹上生長，並在成熟後分開單獨落下。本研究欲了解槭樹果實成熟過程中的各階段變化、以及探討翅果單、雙翅在傳播效率上的差異性，並配合物理方面的分析。實驗結果發現單翅果之水平位移量、滯空時間、角速度皆較雙翅果大，且會受到康達效應作用，以終端速度掉落，雙翅果呈等加速度運動，故在傳播效率方面單翅果優於雙翅果。而在成長過程中槭樹翅果一開始是由合生心皮雌蕊發育而來，在成熟後產生離層，只透過心皮間柱與枝條相連，之後當心皮間柱斷裂時，雙翅果分離形成單翅果。由雙翅果較低的角速度推測其在生長過程中較為穩定。本實驗了解了槭樹翅果單翅及雙翅在不同時期對繁衍的優勢。

Abstract

The samara is a winged achene that successfully adapts to dispersal. The fruits grow on the tree in pairs and fall separately after maturation. The purpose of this study is to understand the changes in the various stages of the maturation process of samara, and to explore the differences in the transmission efficiency of single and paired wings with the physical methods. The experimental results show that the single samaras' horizontal displacement, time in the air and rotational speed are larger than those in pairs, and they will be affected by the Coanda effect, falling at the terminal velocity. The paired samaras dropping at uniform acceleration motion, so in terms of transmission efficiency single samara is better than paired. In the maturation process, samaras are developed from syncarpous pistil, after maturation they generate abscission layer and connected to branches only with the carpophore. When the carpophore brokes, the paired samara will turn into single. It is inferred from the lower rotational speed of paired samaras that it is more stable during the maturation process. In this experiment, the advantages of single samara and paired samara of maple to reproduction in different periods were learned.

壹、前言

一、研究動機

大自然中植物藉由果實及種子來繁衍後代，在果實及種子成熟後，便會離開母體，經過發芽、生根，成長至成熟的植株。植物藉由果實與種子的特性傳播到適合生長的地點，並擴展整個族群的範圍。果實與種子的傳播方式通常與其外型有關。有些果實發育出翅狀物；有些種子頂端有冠毛；有些種子有細刺或倒鉤依附在動物上；有些有特殊氣味或鮮明色彩吸引動物食用…。

具翅植物是一種成功適應散播的果實，其本身的翅狀物可以增大風阻，提供升力，抵抗重力的下拉作用力。台灣具翅果實共有 39 科 73 屬 159 種，依照果實型態不同可分為翅果、分離翅果、假翅果、聚合翅果、翅狀胞果、葉狀蓇葖果、具翅莢果、具翅蒴果、具翅瘦果與似具翅蒴果等 10 大類，約占台灣維管束植物的 6% 左右。(陳以臻，2011) 本實驗所選擇的槭樹便是屬於分離翅果。

秋天是楓紅變色的季節，許多人常看到紅似火的楓葉，但隨著楓葉一起成熟的還有在風中跳躍、翩翩起舞的槭樹翅果，那在空中旋轉的樣子非常吸引我。每次看到果實落下時，總是單一落下，但在樹上發育時，卻是成雙成對的發育，經搜尋文獻後，已有前人將槭樹翅果的掉落飛行階段分為自由落體期、減速期和緩飛期，並分析翅果的平均大小比例(朱家慧、賴彥臻，2017)。但是我卻有個疑問，為甚麼翅果成對的生長，再於成熟後分開落下，而不是從始至終皆由單翅或雙翅生長呢？

二、研究目的

- (一) 探討槭樹翅果單、雙翅的傳播效率差異
- (二) 了解槭樹翅果在成熟過程中的變化
- (三) 探討槭樹翅果單、雙翅對成熟前後的優劣之別

三、研究問題

- (一) 槭樹翅果單、雙翅的掉落狀況有何差別？
- (二) 槭樹果實成熟過程中的變化為何？
- (三) 槭樹翅果單、雙翅在成熟前後有甚麼效用？

貳、研究方法與過程

一、研究物種

(一) 實驗物種：槭樹 (*Acer serrulatum Hayata*)

槭樹又稱青楓，主要分布於中低海拔闊葉林。葉對生，呈掌狀深 5 裂，葉緣鋸齒狀。果實兩兩成對生長。花有蜜腺以吸引蟲蚊協助授粉。屬於雙性花，受粉後由雌蕊子房形成雙翅果。



圖 1 槭樹 (*Acer serrulatum Hayata*)



圖 2 槭樹花序



圖 3 未成熟果序



圖 4 已成熟果序

二、實驗架構圖：本實驗分為兩部分，分別為槭樹單、雙翅果的傳播效率以及生長階段比較

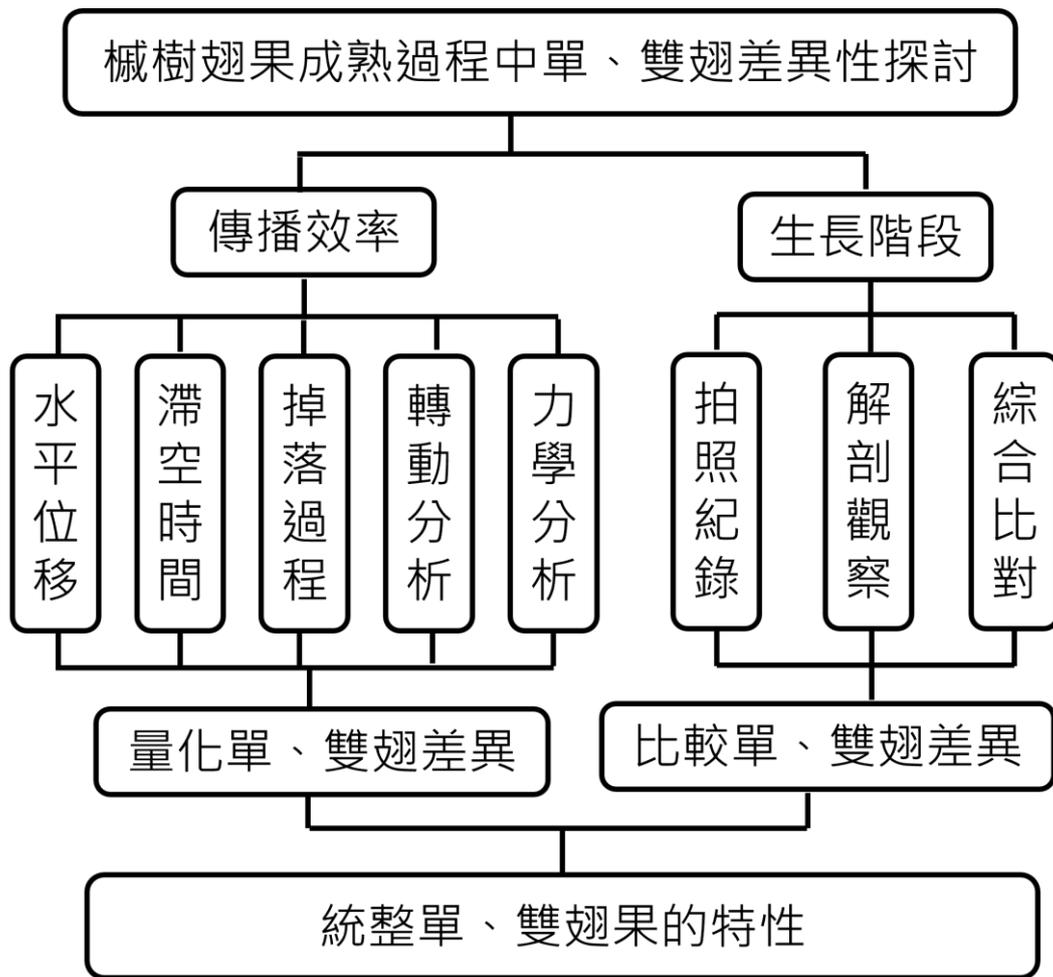


圖 5 實驗架構圖

三、研究方法

(一) 傳播效率指標

1. 測量水平位移

(1) 實驗器材

為了模擬自然中翅果傳播的狀況，使用電風扇用以產生側向的風，並測量單翅果及雙翅果在受到水平方向風之後的位移量。原本欲使用三台小電風

扇(如圖作為風的來源，但因為風力不均、受風會成分成三段，加上自然中的風是整個氣團之移動，故改使用一台直徑 115 公分的大電風扇作為風的來源，將翅果從離地 2.5 公尺，離風扇上緣 60 公分處投放，並將風扇風速調整至 2.8~3 m/s。



圖 6 三台小電風扇疊放



圖 7 大電風扇

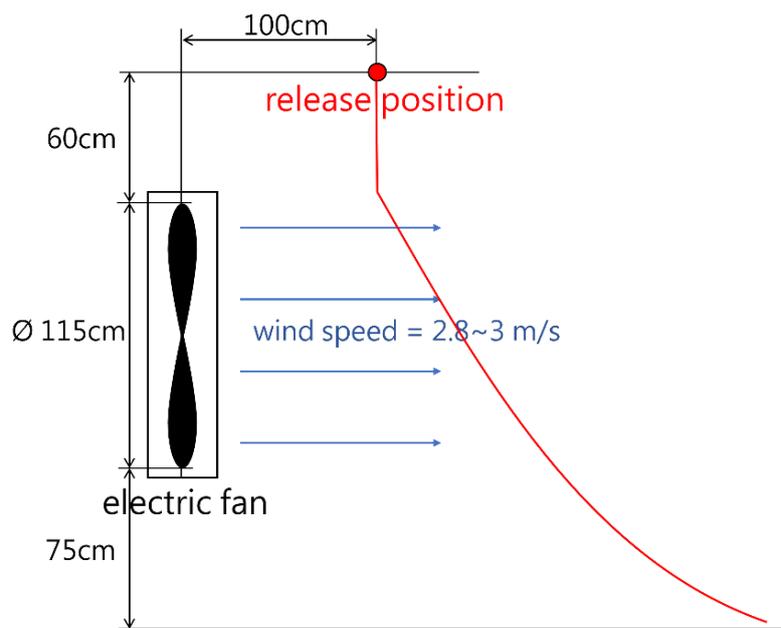


圖 8 水平位移測量裝置圖

(2) 實驗流程

將翅果投放後，使用預先置於地上的捲尺測量翅果的水平位移，並比較單翅果及雙翅果的差異。

2. 測定滯空時間與掉落速度

(1) 實驗器材

使用鋁擠型架設一組 3 公尺高的支架，並選定 2.6 公尺高的地方作為投放翅果的位置，高度的選擇原因是為了模擬槭樹的平均高度，盡量還原自然中的狀態。因實驗前期嘗試測定翅果掉落時間時，用手投擲容易導致翅果初始角度不同，所以使用樂高積木製作了遙控投放器，並架於離地 2.6 公尺處的投放點。

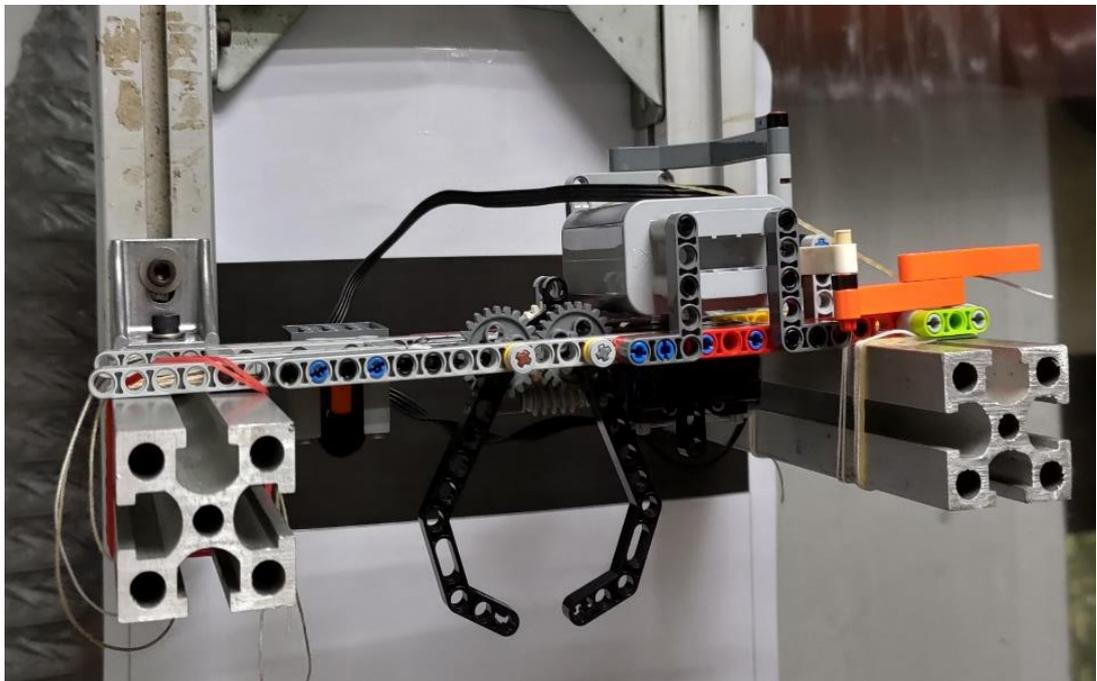


圖 9 樂高遙控投放器

(2) 實驗流程

爬上梯子將翅果夾上之後回到地面，一手控制遙控器投放翅果，另一手同時按下碼表計時，待翅果落地停止計時，即得出單翅果及雙翅果的滯空時間，再經過換算後得到平均掉落速度進行比較。

3. 分析掉落過程

(1) 實驗器材

放置腳架在距投放器約三公尺處，並使用手機(選擇 4K,120fps，雖可將幀數提升至 240fps，但畫面過於模糊，難以準確找出翅果位置)拍攝翅果被投放後的掉落過程，在架上布置拍攝背景，原本使用黑白相間的格紋紙作為背景，但會導致影像中翅果在通過顏色轉換區域時變非常模糊，後來改使用黑色吸光布作為背景後，影像較為清晰。在距投放架 1.5 處裝一條 LED 燈管，以增加翅果與背景的對比度。



圖 10 黑白格紋背景



圖 11 黑色吸光布背景

(2) 實驗流程

將拍攝完的影像匯入 Tracker 程式進行分析，點出每幀翅果的所在位置，獲得翅果掉落過程的位置與速度連續變化，並進行單翅果與雙翅果的比較。

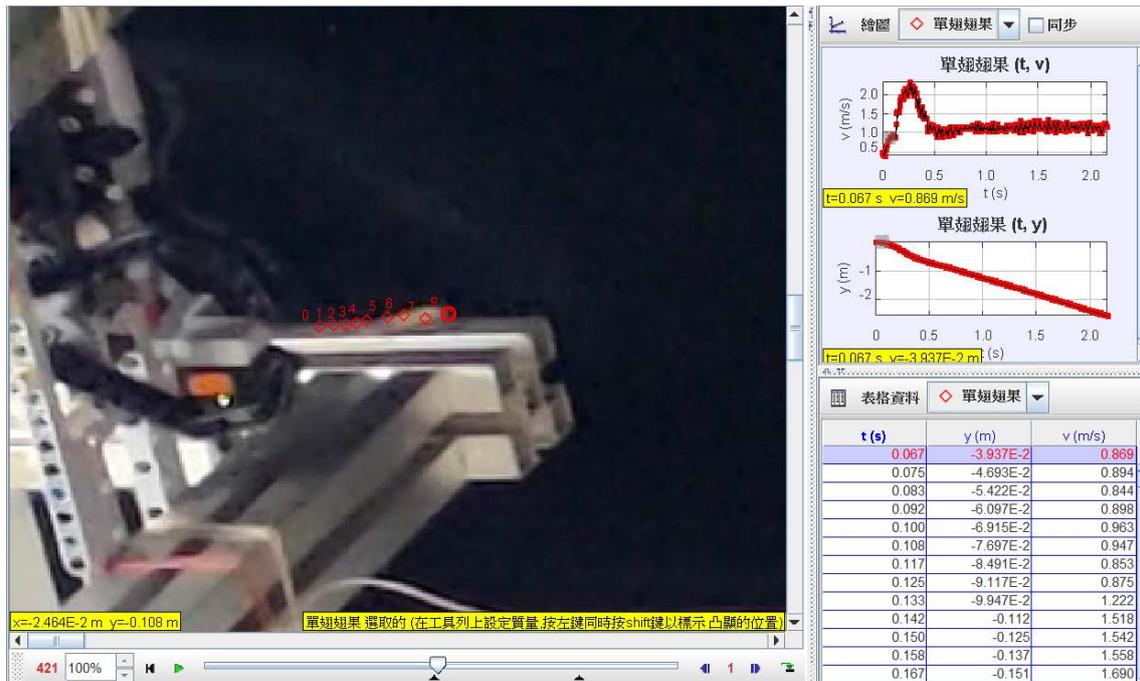


圖 12 Tracker 程式

4. 分析轉動運動

(1) 實驗器材

向實驗室借用高速攝影機拍攝槭樹翅果的掉落過程，雖然可以獲得品質非常好的影像，但受限於攝影機的上下視野範圍，最大僅 40 至 50 公分，無法拍攝翅果掉落的全程，故用於比較單翅果及雙翅果的角速度(轉動速度)，攝影機光源採用 LED 燈板。



圖 13 高速攝影機



圖 14 LED 燈板

(2) 實驗流程

高速攝影機匯出的影像是以每幀的圖片呈現，從中選出翅果分別與攝影機角度為 0° 、 90° 、 180° 與 270° 的畫面，紀錄每 $1/4$ 圈翅果所經過的幀數，再換算為角速度。高速攝影機所拍攝的影像也有經過 ImageJ 程式，匯出成影片格式，並將單翅果及雙翅果的細部掉落過程相互比較。

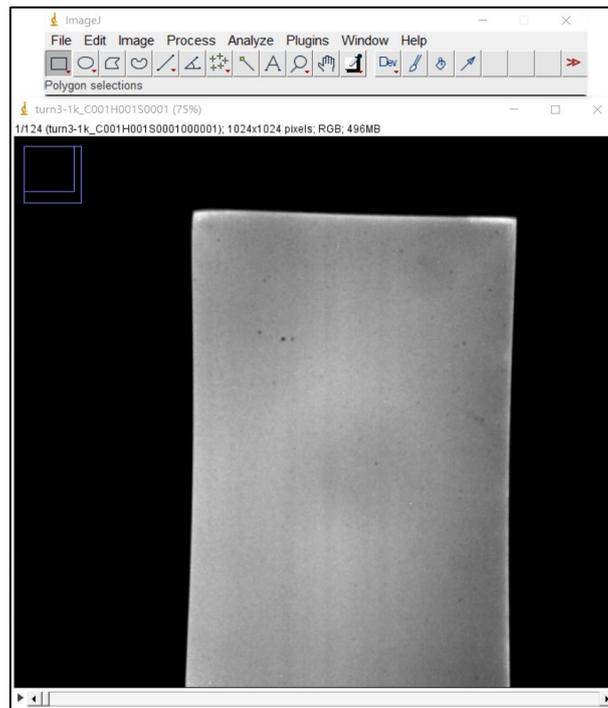


圖 15 ImageJ 程式

(二) 生長階段指標

1. 觀察槭樹翅果成熟過程

從 2021 年 3、4 月的槭樹花期開始觀察，持續到 11 至 12 月，採集不同生長階段的翅果進行拍照留存。拍照方式採用手機直接拍攝樹上的翅果。

2. 解剖觀察

使用解剖顯微鏡觀察摘取下來翅果的細部結構，並用顯微鏡鏡頭拍攝翅果的細部構造，加上所需的結構長度測量。

3. 綜合比對

參照文獻所提及的植物結構以及其他具翅植物的內容，比較槭樹翅果與其異同，並推測生長的形式與原理。

參、研究結果與討論

一、單、雙翅果傳播效率比較

(一) 水平位移比較

實驗結果如下圖 16 所示，測量單翅果及雙翅果各 30 個，實驗顯示受到側向風的吹拂後，皆有產生水平方向的位移，分別為單翅果 219.03 ± 5.48 公分與雙翅果 38.77 ± 0.42 公分，顯示單翅果有較大的水平位移。經 T 檢定發現具有顯著差異 ($p < 0.00001$)。

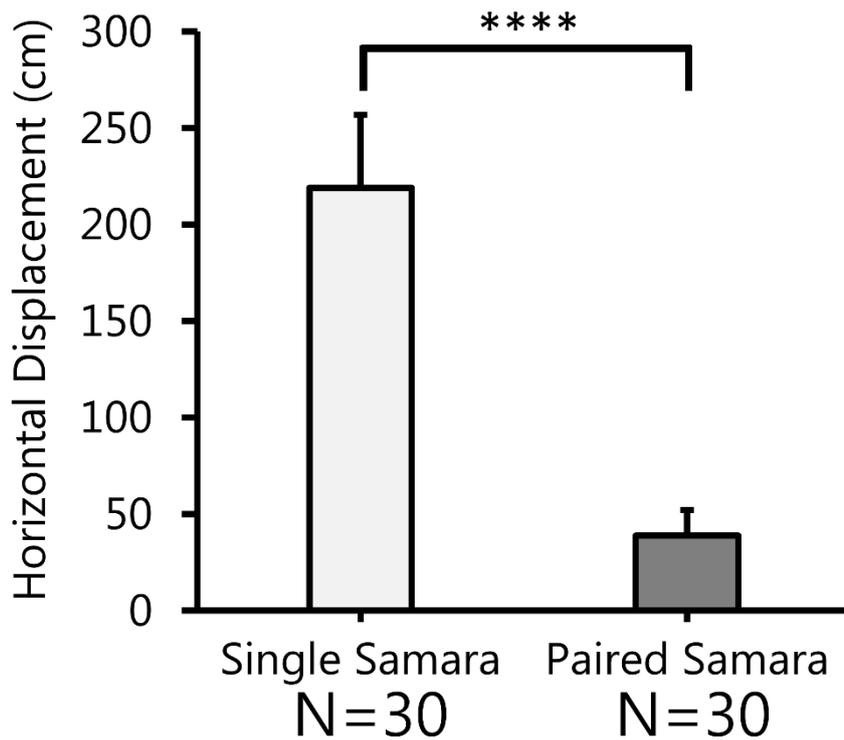


圖 16 單、雙翅果水平位移量比較圖

這一部分的實驗模擬槭樹翅果在自然中的傳播距離，在同樣狀況下，單翅果較雙翅果有更大的水平位移量，故在傳播時可以傳播得更遠。

(二) 滯空時間與平均掉落速度比較.

實驗結果如下圖 17 與圖 18 所示，投放單翅果 90 個、雙翅果 30 個，所測量出的滯空時間分別為單翅果為 2.44 ± 0.04 秒與雙翅果為 1.00 ± 0.01 秒，經過換算後得到掉落平均速度分別為單翅果為 1.09 ± 0.02 公尺/秒與雙翅果為 2.62 ± 0.02 公尺/秒，顯示單翅果在空中停留時間較長，相對平均速度較低，雙翅果則反之。經 T 檢定後發現具有顯著差異($p < 0.00001$)。

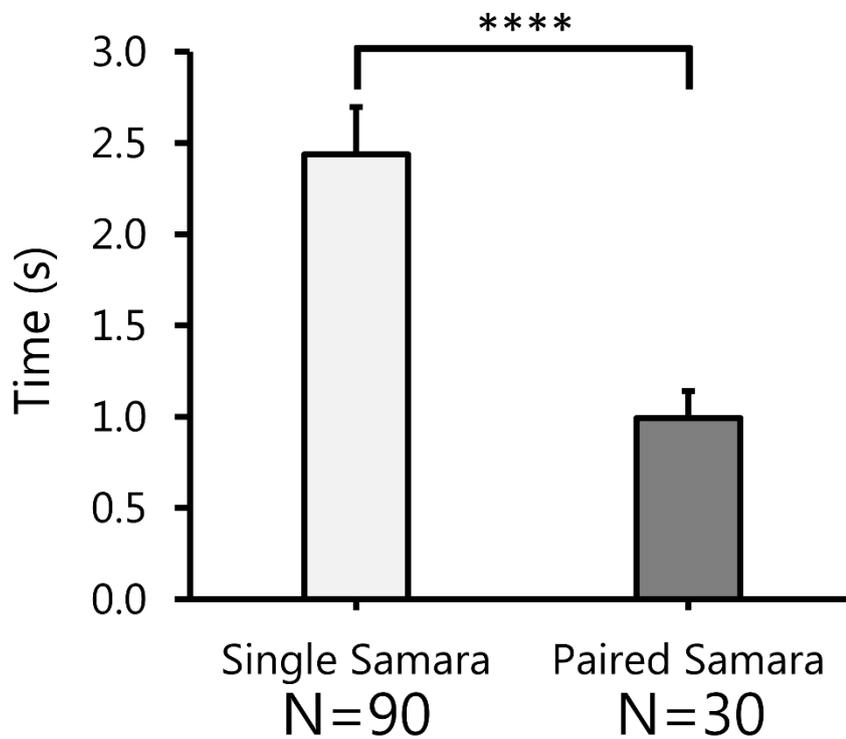


圖 17 單、雙翅果滯空時間比較圖

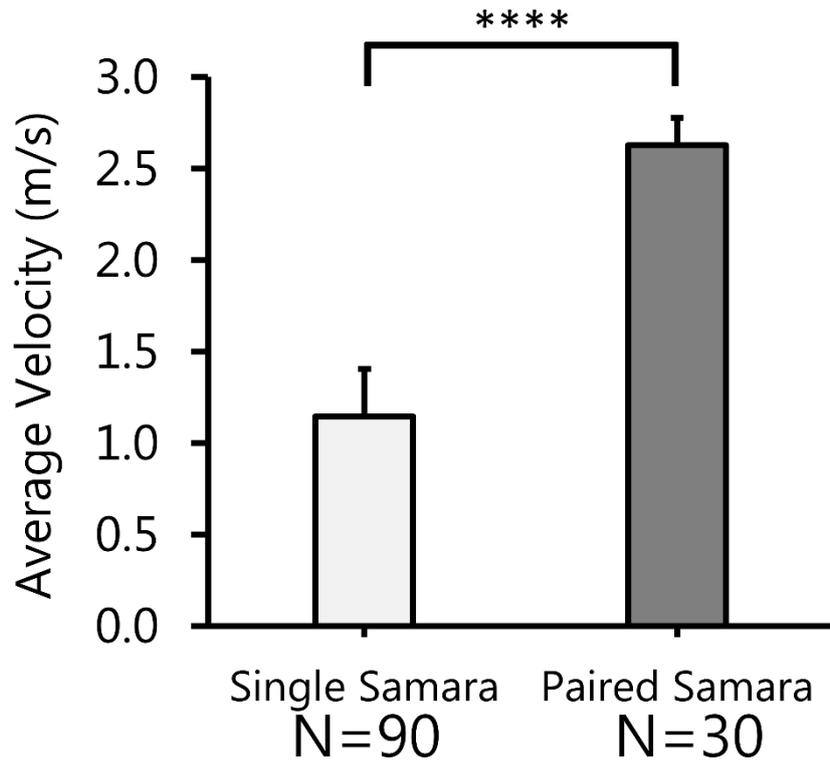


圖 18 單、雙翅果平均速度比較圖

單翅果的滯空時間較雙翅果長，受風的時間也相對較長，且因雙翅果較快的落下速度，導致向下的慣性較大，而造成單翅果較雙翅果更容易受到環境中的風影響而飄飛離母體，協助其種子傳播，避免與母株競爭養分。其中單翅果個體間的滯空時間差異較大，最快掉落的翅果約 2 秒就從投放處掉落至地上，但也有單翅果可以在空中停留 3.2 秒。推測這可以篩選出在傳播上更有優勢的個體，滯空時間越長，就更有辦法飄到距離母樹更遠的地方，減少同一區域的養分爭奪。

(三) 掉落過程分析

經 Tracker 程式分析單翅果及雙翅果的掉落過程影像後，產出數據如下圖 19 與圖 20，分別為單、雙翅果的位移對時間與速度對時間運動關係圖。

單翅果在被投放後會經過一段自由落體期間，再減速進入緩飛期，呈現速度約 1m/s 的終端速度(Terminal Velocity)，持續的保持這樣的速度直到落至地面。從投放到進入速度穩定的緩飛期大約需要 0.5 秒，不同翅果間會有些微的差異，若將投放距離加長或縮短，會因而改變的只有緩飛期的長短。等速運動在圖 19 中呈現斜直線，而在圖 20 中呈現平行線。

雙翅果在速度對時間運動關係圖(圖 20)中，速度增加的幅度十分穩定，呈現等加速度運動。

單翅果與雙翅果在投放後的 0 至 0.3 秒皆為受空氣阻力的落體運動，但單翅果在 0.3 秒後速度便開始減少減至約 1m/s。根據圖 19，雙翅僅用了 0.7 秒便落至地面，而單翅可以在空中停留 2.2 秒，兩者之間的差異非常的明顯。

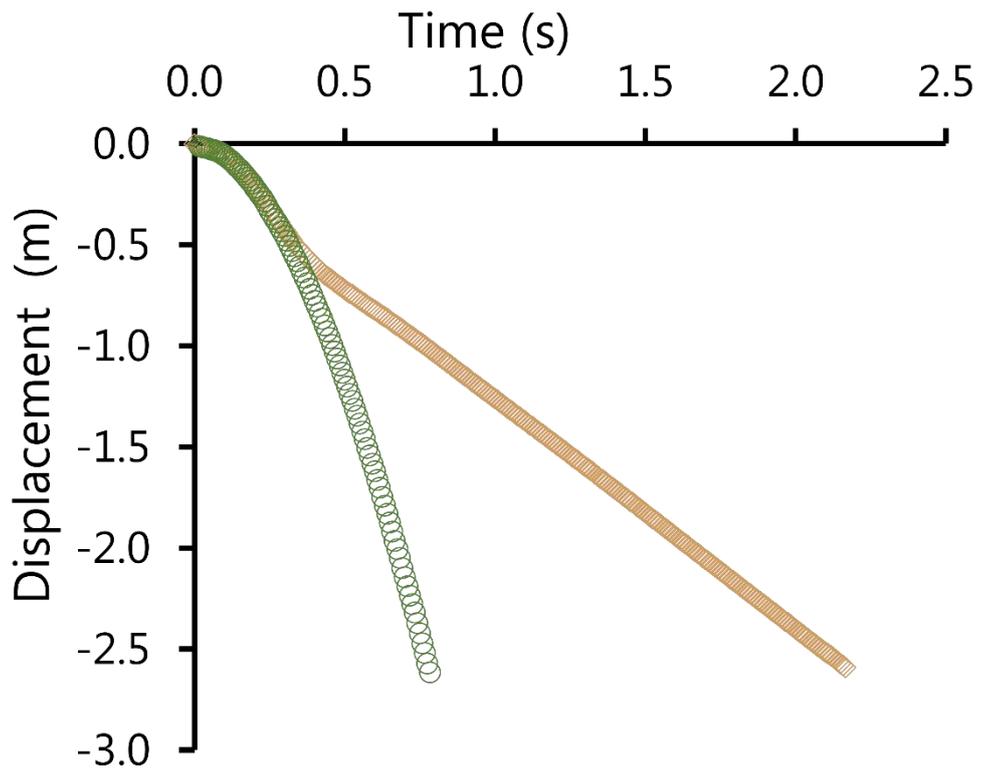


圖 19 單、雙翅果位移對時間運動關係圖

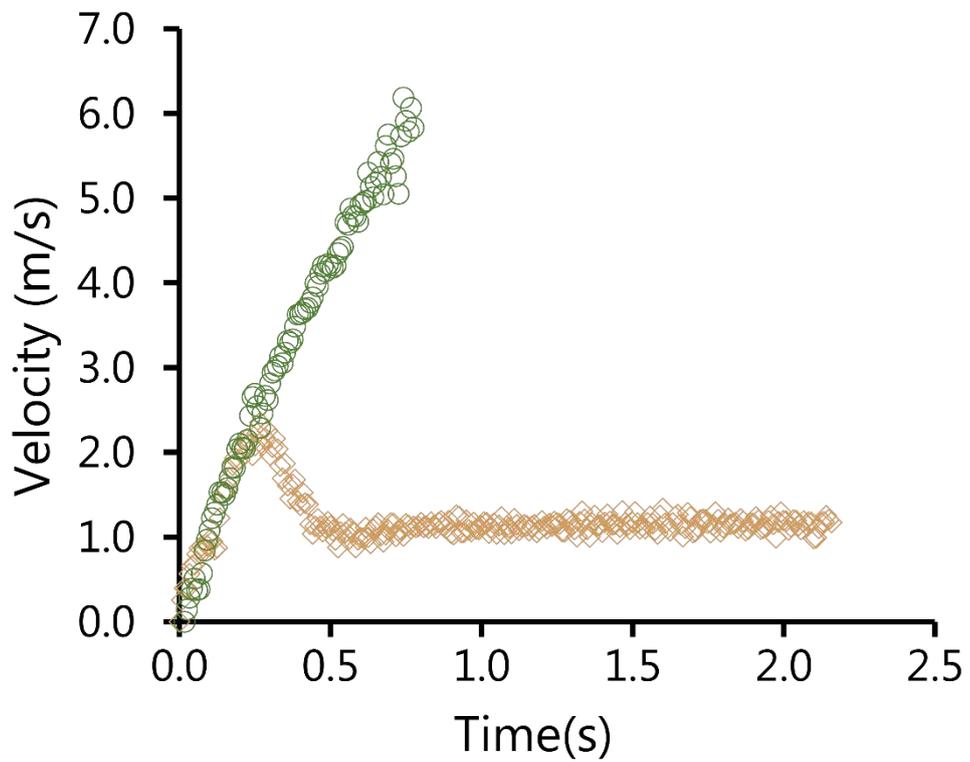


圖 20 單、雙翅果速度對時間運動關係圖

(四) 轉動比較與分析

將高速攝影機所拍攝的單翅果與雙翅果掉落過程影像挑選後，利用攝影機設定的幀率 1000fps，換算出每轉動 1/4 圈翅果所經過的時間，最後換算至單位每分鐘轉動圈數 rpm，單翅果為 1775.15 ± 35.67 rpm，雙翅果為 167 rpm。因雙翅果較速度過小，以高速攝影機的上下視野範圍僅能捕捉到旋轉了 1/4 圈(如圖 22 所示)，故數據沒有誤差值；而單翅果在相同約 20 公分的視野下轉了 5 圈，單翅果的角速度遠大於雙翅果。

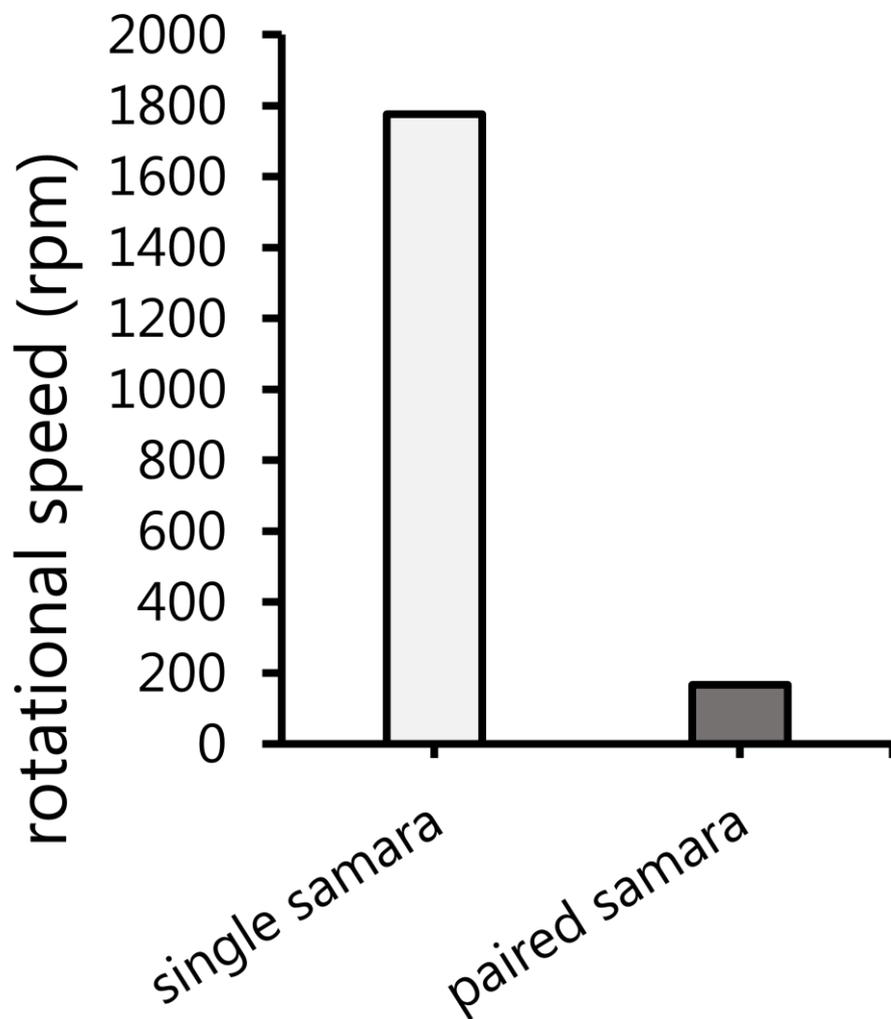


圖 21 單、雙翅果角速度比較

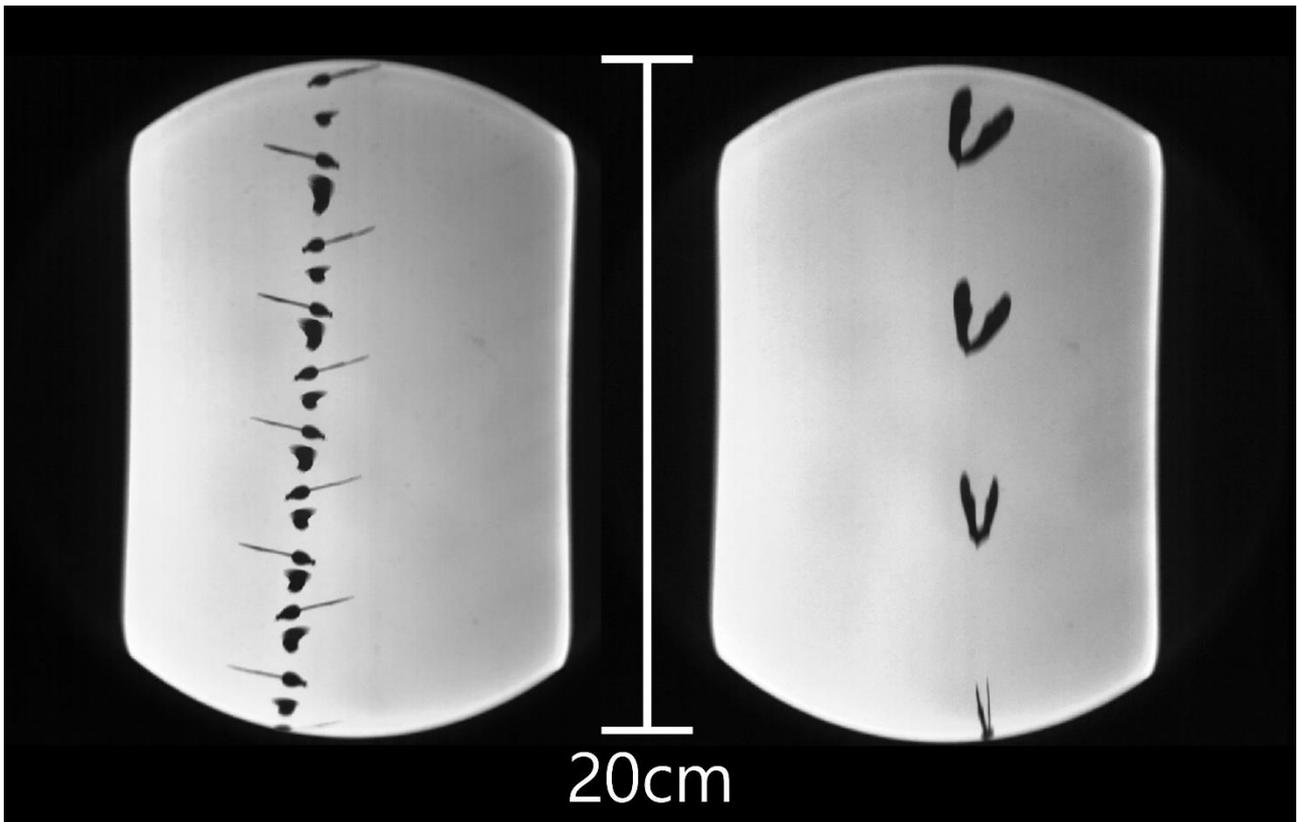


圖 22 槭樹翅果掉落過程疊圖分析

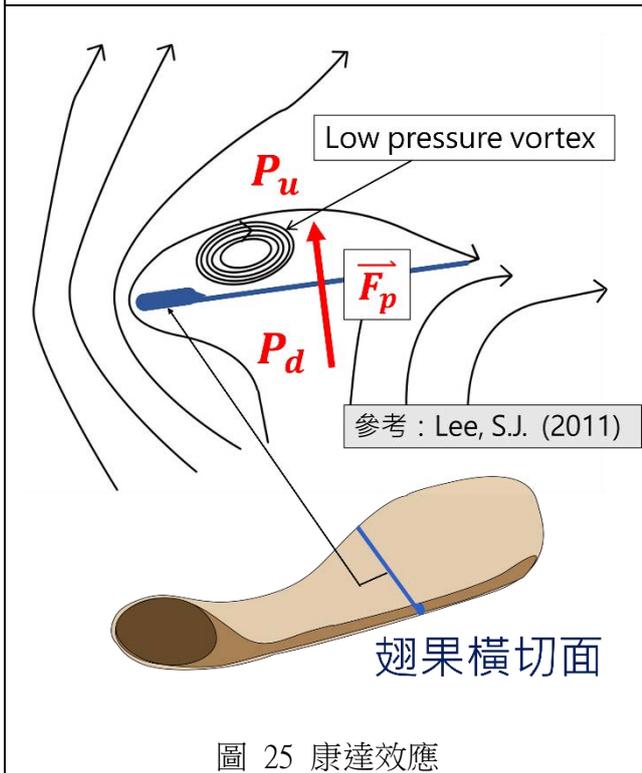
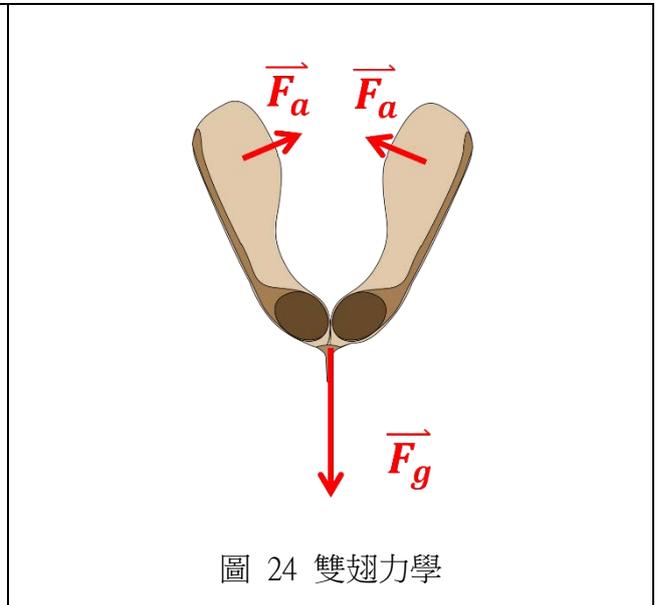
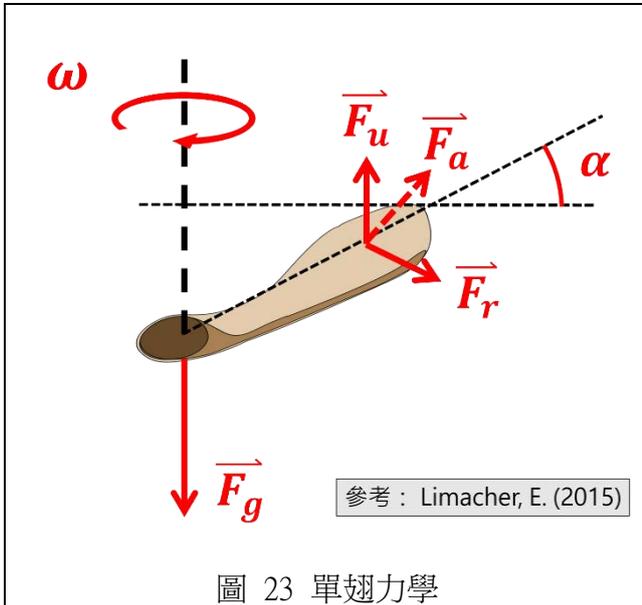
(五) 掉落之力學分析

經文獻參考以及推論，將翅果的掉落過程進行物理量的分析：

如圖 23 所示，單翅果在掉落過程中，因**質心與空氣動力中心不共點**加上質量不均勻，受到空氣阻力後會產生**側向轉矩**，以及向上分力，加上受到**康達效應**作用產生的向上之氣壓梯度力，與重力相抵銷以進行等速度緩慢下落，即為終端速度。

康達效應(Coanda Effect)又稱附壁效應，指流體在碰到阻流體時，會沿著物體的表面進行偏轉。如圖 25 所示，在此實驗中因為槭樹翅果的翅包含一條較厚的肋以及一片薄的翅，造成兩側氣流流量不同而產生低壓渦流(low pressure vortex)，進而產生因氣壓差而出現的氣壓梯度力。

如圖 24 所示，雙翅果的兩翅雖然都能產生力矩，但因其結構幾乎對稱，導致兩側力矩相互抵銷，且空氣阻力與氣壓梯度力也較小，無法與重力相互抵銷，故會呈現受空氣阻力的落體運動。



符號說明：

- ω = 角速度 (rotational speed)
- α = 攻角 (angle of attack)
- \vec{F}_g = 重力 (gravity)
- \vec{F}_a = 空氣阻力 (air resistance)
- \vec{F}_r = 轉動力矩 (rotation moment)
- \vec{F}_u = 向上分力 (upward force)
- P_u = 上壓 (up pressure)
- P_d = 下壓 (down pressure)
- \vec{F}_p = 氣壓梯度力 (pressure gradient force)

圖 26 符號說明

(六) 綜合以上結果，單翅果在傳播效率方面較雙翅果好。

二、槭樹翅果成熟過程各階段觀察

(一) 初果生長期

槭樹果實源自於合生心皮所組成的雌蕊(syncarpous pistil)，由兩側成對長出。

(Spjut, R. W. (1994))，此時期約在每年三到四月。

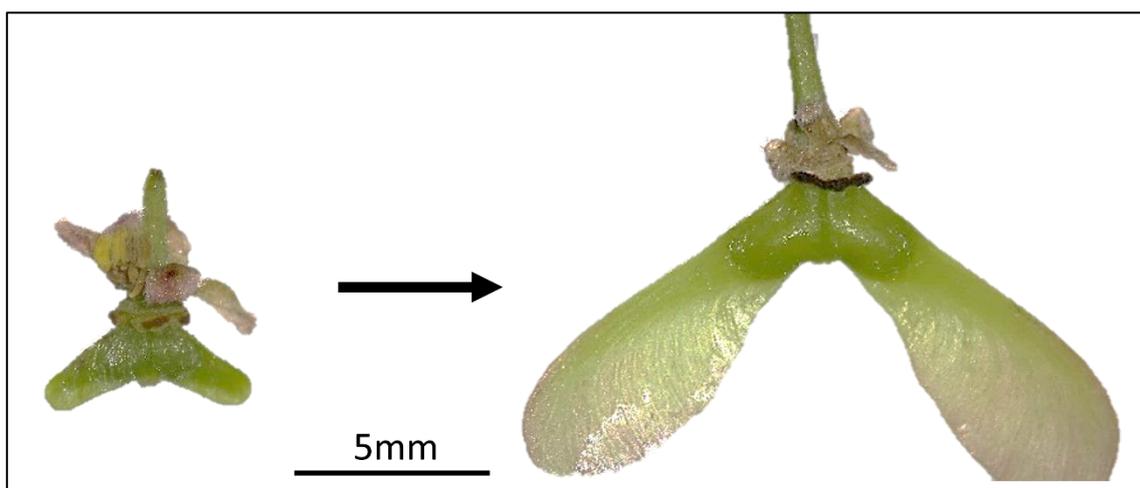


圖 27 槭樹翅果初果變化

(二) 翅果成熟期

由翅的尾端開始向種子端變色，脫水乾燥且由柔韌變為堅硬。此時期約在每年九到十月。

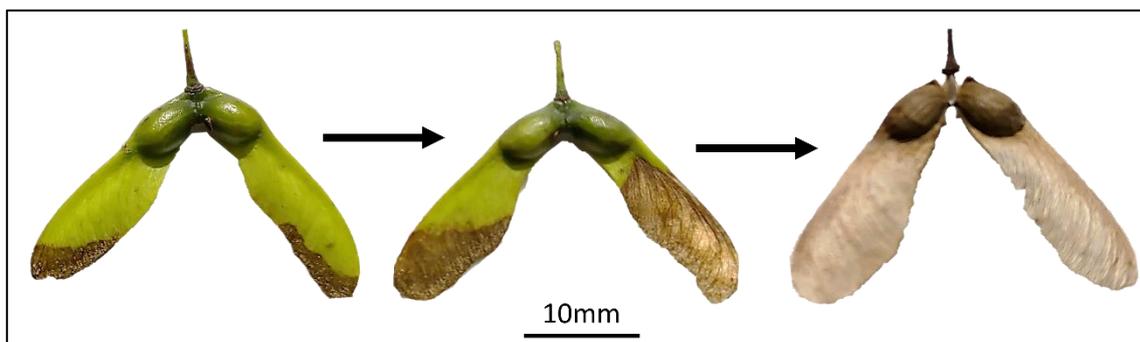


圖 28 槭樹翅果成熟變化

(三) 翅果分裂期

果實在成熟後產生離層(abscission layer)，僅由心皮間柱(carpophore)與枝條相連，容易受風而分離脫落。此時期約在每年十一至十二月。

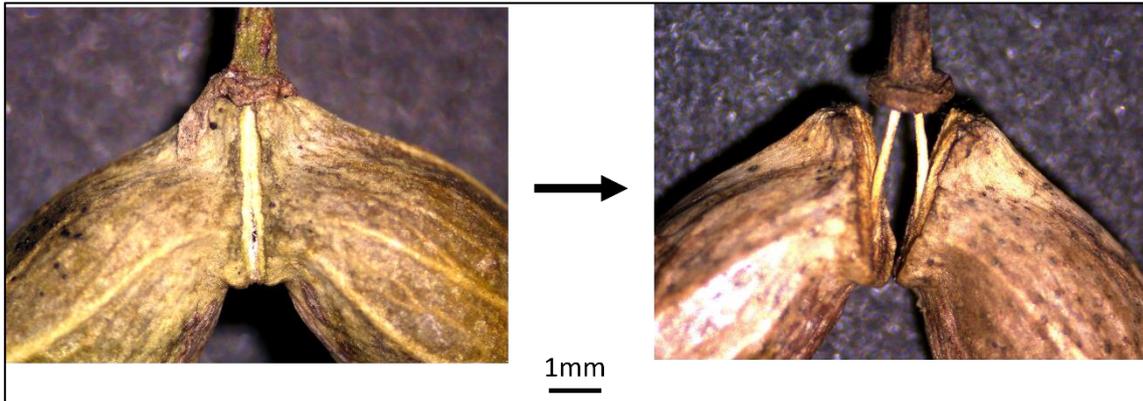


圖 29 槭樹翅果分裂過程

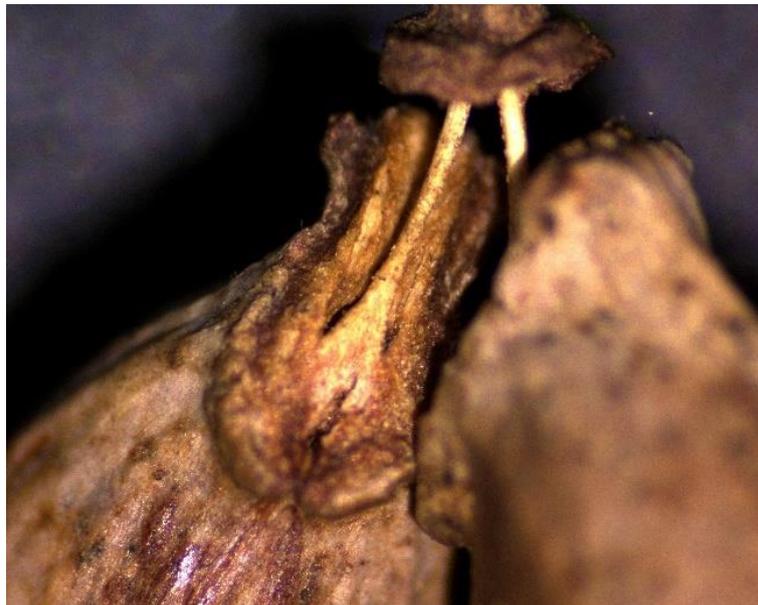


圖 30 心皮間柱特寫

肆、討論

一、根據文獻(陳以臻, 2021), 在臺灣有另外四種同屬於槭樹科(*Acer* L.)的具翅植物擁有相同的翅果生長型態, 皆為成對生長並在成熟後變成不開裂且分離的分果(mericarp), 並分為單翅旋轉落下, 如:

- (一) 樟葉槭 (*Acer albopurpurascens*) (圖 31)
- (二) 臺灣三角楓 (*Acer buerferianum* var. *formosanuum*) (圖 32)
- (三) 尖葉槭 (*Acer kamakamii*) (圖 33)
- (四) 臺灣掌葉槭 (*Acer palmatum* var. *pubescens*) (圖 34)



圖 31 樟葉槭



圖 32 臺灣三角楓



圖 33 尖葉槭



圖 34 臺灣掌葉槭

二、有些具翅種子會被包覆在果實中，成熟前可被保護直到傳播期才會被釋放，如大葉桃花心木(*Swietenia macrophylla* King)，其具翅種子(圖 36)多片單翅的排在果實(圖 35)中。但槭樹翅果本身即為果實，不受保護直接生長，故可能有其他的方式去減少翅果在成熟前被吹落的機率。



圖 35 大葉桃花心木果實



圖 36 大葉桃花心木種子

三、雙翅果具**對稱結構**，且由掉落時**較低的角速度**推論，相對在樹上受風產生的**轉動扭力也會較小**，可能協助其更穩定的生長，較不易在其成熟前就被風吹落而脫離母株而無法傳播，以獲取足夠養分生長到傳播期。

四、由以上結果推論，**雙翅果在成熟期間較單翅果穩定**。

伍、結論

- 一、單翅果有較大的水平位移以及滯空時間，雙翅果掉落速度較快。
- 二、單翅果經自由落體與減速後呈現終端速度，雙翅果呈等加速度運動。
- 三、單翅果有較大的角速度，但雙翅果相對受風轉動小。
- 四、單翅果掉落會產生側向轉矩，並受到康達效應產生的氣壓梯度力與重力相抵消；雙翅果兩翅所受空氣阻力會相抵銷，不足以與重力抗衡。
- 五、在傳播效率方面單翅果優於雙翅果；在成熟過程方面雙翅果較單翅果穩定，各自對此物種的繁殖有不同階段的優勢。

陸、參考資料

- [1] 陳以臻(2011)。臺灣具翅散殖體植物分類研究。屏東科技大學森林系所學位論文。
- [2] 台灣國家公園生物多樣性資料庫與知識平台。青楓。取自 https://npgis.cpami.gov.tw/public/detail/SpeciesDetail.aspx?SP_ID=204426。
- [3] 槭樹。 <http://classweb.loxa.edu.tw/clockloxa/plant/html/r/r003.htm>。
- [4] 朱家慧、賴彥臻(2017)。槭動心旋—槭樹翅果飛行模式之研究。全國中小學科展作品。
- [5] Limacher, E. (2015). Samara-Seed Aerodynamics (Unpublished master's thesis). University of Calgary, Calgary, AB.
- [6] Lee, S.J., Lee, E.J. & Sohn, M.H.(2014) Mechanism of autorotation flight of maple samaras (*Acer palmatum*). *Exp Fluids* 55, 1718.
- [7] Spjut, R. W. (1994) A Systematics Treatment of Fruit Types. The New York Botanical Garden, Bronx, New York 10425, U.S.A.

【評語】 060014

1. 表達能力及對研究動機及實驗內容的認知均佳。
2. 以模型輔助說明，生動有趣，易於瞭解。
3. 研究主題及結果之創新性仍有加強空間。
4. 單翅果滑翔的物理性樣式來源未交代清楚。