

心裡有數的捕蠅草

投稿類別：生物類

篇名：心裡有數的捕蠅草

作者：

游兆中。私立葳格高級中學。普一甲班

指導老師：

蔡佳蓉老師

壹 • 前言

一、研究動機

日常生活中我們都曾經看過或使用過許許多多的陷阱，如捕獸器、捕鼠夾、捕蟲燈、蟑螂屋、黏蠅板等。這些都是人類經過漫長思考和創意才發明出來的東西。但你可以想像嗎？植物在很久以前就已經演化出這種神奇的捕獵裝置來捕捉昆蟲，以彌補它們處於惡劣環境下養分吸收不足的問題。

從書籍中得知，許多種植物如豬籠草、毛氈苔、捕蟲樹等，皆具有捕食的功能。其中，對我最有吸引力的就是捕蠅草，因我常在花市中看到它，偶爾也戳它一下欣賞它敏捷的動作，令我倍感好奇的是：它為什麼能像具有神經一般可以迅速地閉合？這種罕見的植物構造和功能，引發我探究它的興趣，因此我想要深入了解它們捕蟲的原理。

二、研究方法

自行養殖捕蠅草、觀察與拍照記錄，配合學校圖書館的館藏圖書及網路蒐尋的相關文獻資料，並利用鄰近大學圖書館的資料庫搜尋美日等國研究期刊，整理、歸納、分析而成。以下內容將從捕蠅草的種類、構造、生活史介紹起，進而探討捕蟲的目的與機制。

貳 • 正文

一、捕蠅草的種類

捕蠅草的英文名字是 Venus Fly Trap (女神的蒼蠅陷阱)[1]因捕捉獵物的葉片有如具有濃密睫毛的女神眼睛而得名。捕蠅草的學名是 *Dionaea muscipula* [2]，在自然界中只有一屬一種，但近年來由於人為因素不斷大量繁殖，從中培養出不少奇異造型的變異個體，比如說超大型捕蠅草，其捕蠅夾約 4.5cm，遠大於一般品種的 3.5cm。

二、捕蠅草的構造

捕蠅草的捕蟲夾是葉子的變形，葉片由中央長出，是屬於輪生葉，以蓮座狀的叢生形式生長於葉子的頂端，由兩片腎形裂片構成。這兩片裂片則由葉片的主葉脈連接在一起，中央的扁平或細長形狀是屬於葉柄，這種形狀的葉柄也因為長得像葉子，所以也可稱作假葉。捕蟲夾的內側多為紅色或橙色甚至為紫色，主要

受消化腺體內花青素成分的影響。捕蠅草的綠色葉片可以進行光合作用，自行製造養分，捕食昆蟲只是為了補充土壤中缺乏的營養。這種葉子擁有「捕蟲」的特殊功能，屬於變態葉中的捕蟲葉。捕蠅草的根部短小不發達，主要功能就是吸收水分。捕蠅草的莖接連著葉柄很不明顯，在地下生長並發育出的鱗莖屬於變態莖的一種。

三、捕蠅草的生活史與繁殖

(一) 捕蠅草的生活史

春天時，捕蠅草會從土壤中長出寬胖的葉子，隨著周圍氣溫的上升，土表也長滿了一整圈的葉子(圖 1A，自行拍攝)，緊接著會抽出長長的花梗，然後開出一朵朵的白色花朵(圖 1B，[3])，這時大約是夏初了。等到花期結束後，經過授粉的花會結出一粒粒如芝麻大小的黑色種子(圖 1C，[3])，之後捕蠅草便因消耗過多養分而開始枯萎。而沒有開花的捕蠅草會在夏季時長出跟春天不同型態的葉子，夏季長出的葉子(圖 1D，自行拍攝)比春季的要來得長且直立於空中。當秋天來臨時，隨著日照時間縮短，捕蠅草的葉子也會開始變短，好像整株縮水似的，其實土壤底下的葉柄基部正在儲存養分準備過冬，這時地下的鱗莖會膨脹得非常厲害。等到冬天一來，捕蠅草便會以鱗莖的方式過冬，等待下一個春季的來臨。[3]

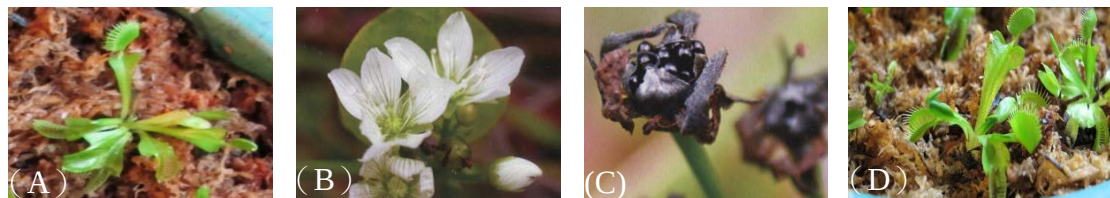


圖 1 (A)長滿一整圈的捕蠅草 (B)捕蠅草的花 (C)捕蠅草的種子 (D)捕蠅草夏天的葉子。(資料來源：A、D，自行拍攝；B、C，[3])

(二) 捕蠅草的繁殖

捕蠅草一年只有對昆蟲優惠一個時段，因為它需要昆蟲來幫它授粉。它開出高莖的鮮花，使其遠離底下的陷阱，讓昆蟲在這裡可以安心地吸食花蜜，作為回報。而它們讓昆蟲活著離開，主要的目的就是要牠們傳播花粉，盡點義務。但這只是片刻的停戰，等到花期一結束，一切又恢復原狀，捕蠅草繼續大開殺戒。此外，捕蠅草還會無性生殖，利用埋藏在地表下的白色鱗莖(圖 2，自行拍攝)，等成長到一定尺寸，就可以自行繁衍出另一個個體。[4]



圖 2 紅色圈點處是捕蠅草的鱗莖。(資料來源：自行拍攝)

四、捕蠅草捕蟲的原因

捕蠅草生長的地方通常在土壤沼澤附近，由於土質貧瘠，酸鹼值約在 $\text{pH}=5\sim6$ 之間，又缺乏氮、磷元素，為了補充養分，捕蠅草必須利用巧妙的機關進行獵捕，並直接將獵物分解吸收，如此，才使得捕蠅草可以在惡劣的環境下生存。[4]

五、捕蠅草捕蟲的機制

首先，捕蠅草為了使自己非常有吸引力，它在每一片葉子的邊緣上利用蜜腺滲出甜甜的花蜜來吸引昆蟲，但是來訪的昆蟲都沒有留意到腳下的陷阱。捕蟲夾整面分布了無柄腺[4]，無柄腺是用來消化昆蟲和吸收養分的部位，一般呈紅色，越接近葉子邊緣無柄腺就越少。葉緣上有睫毛狀的刺毛，刺毛的基部有分泌腺，會分泌出黏液，用來防止昆蟲掙脫。捕蟲夾的表面會有 3 至 4 根感覺毛(sensory hair)(圖 3，自行拍攝)，用肉眼即可看到。只要獵物碰到第一根感覺毛，計時就開始了。當然，捕蠅草為了確定真的有獵物在捕蟲夾上走來走去，捕蠅草會給它 20 到 30 秒左右的時間，這是為了確認真的有獵物，而不是對被風亂吹的粉屑產生反應的機制，只要它在這 20 到 30 秒內又碰到第二根感覺毛或同一根感覺毛被碰觸兩次，就在第二次被敲擊的瞬間，捕蟲夾會以不到 20 分之 1 秒的速度緊閉，獵物通常凶多吉少。蟲子能不能活命的關鍵在於捕蟲夾閉合後空隙的大小，如果獵物體積龐大或是太小或許還能掙脫，但大多數都會被困在這個像鐵窗的監獄，獵物越是掙扎，只會不斷增加觸碰感應毛的機會，使捕蟲夾越關越緊，最後一命嗚呼。幾天之後，陷阱重開，這時只會剩下一個獵物的空心外殼，接著就是等待下一個倒楣鬼。[4]

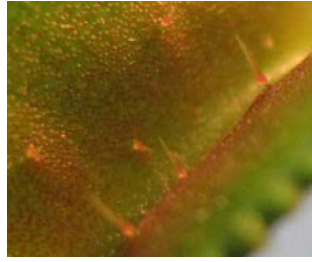


圖 3 捕蠅草上捕蟲夾的感覺毛。(資料來源：自行拍攝)

儘管如此，但要能偵測知道 20 到 30 秒內被刺激 2 次，對於不像人類一樣具有大腦的捕蠅草，不可能有神經系統進行感應，那它們究竟是如解決這個問題呢？阿拉巴馬州奧克伍德大學(Oakwood University)的植物生理學家亞歷山大沃爾科夫(Alexander G. Volkov)[5]認為捕蠅草是一種帶電植物，他認為當昆蟲碰到捕蟲夾時，會產生微量電脈衝(electrical impulse)，就是利用此種電荷來幫助捕蠅草進行真假分辨的，昆蟲在捕蟲夾上走動會碰觸到感覺毛不只一次，只要累積足夠的電脈衝，捕蟲夾就會關上。根據他的實驗顯示，電脈衝會沿著葉面內部充滿流體的導管向下傳導，令細胞膜上的小孔撐大，讓細胞液從葉面流出，導致葉子迅速的閉合。從生物電化學的角度來看，捕蠅草的反應可以分成三個階段：(1) 刺激認知、(2) 電訊號傳遞、(3) 導引機械的和生化的響應。當昆蟲觸動感覺毛時，這些機械感測器會產生末梢神經電位，使獨立電波注入，進而活化運動細胞[5]。沃爾科夫研究團隊也發現，若將電荷 13.6 微庫倫(μC)電荷注入於主葉脈與葉子間，可直接活化運動細胞，使捕蟲夾閉合，而無需以機械方式觸發感覺毛(見圖 4)。他們也發現一次注入 13.6 μC 的電荷或是在短時間內累積小電荷脈衝超過相同臨界值時，即可閉合捕蟲夾。此外，在沒有機械刺激情況下，施加電脈衝 1.5 伏特 14 μC (超過臨界值 13.6 μC)只要在 0.3 秒內即可使捕蟲夾成功閉合(見圖 5，[5])。

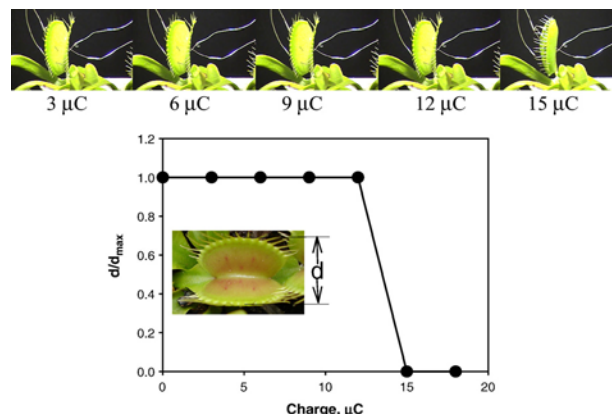


圖 4 顯示 20 秒內每間隔 7 秒注入 3 μC 的電荷，當電荷累積超過臨界值(13.6 μC)時，捕蟲夾便會迅速閉合。 [5]

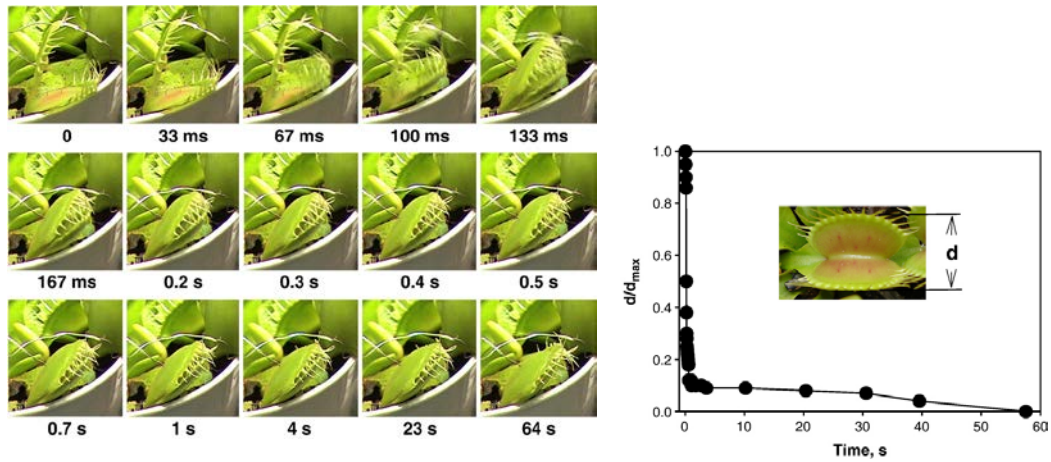


圖 5 顯示在沒有機械式的刺激情況下，施加 1.5 伏特 $14\mu\text{C}$ 的電脈衝，即可在 0.3 秒內使捕蟲夾成功閉合。 [5]

當昆蟲觸碰上部葉表皮的感覺毛時，捕蠅草便會啟動機械離子通道，並產生末梢神經電位，進而牽引動作電位的運作，使捕蟲夾迅速閉合而捉住獵物，因此除了最小的獵物之外，幾乎無一倖免逃脫。閉合初期，捕蟲夾仍呈半開狀，可能需要幾分鐘的時間才能達到完全閉合。

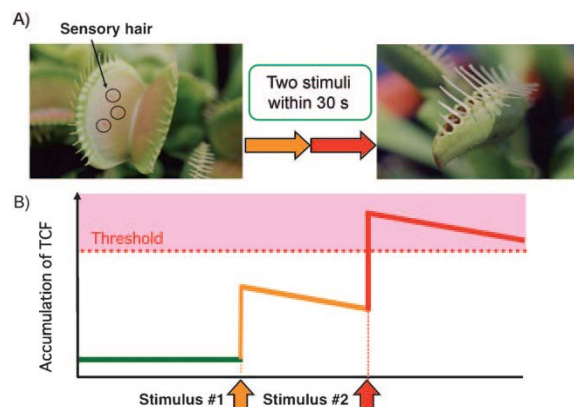


圖 6 (A)為捕蟲夾的閉合運動 (B)捕蠅草中「記憶」作用是歸因於閉合因子(TCF)的累積所造成。 [6]

捕蟲夾的閉合運動一直被認為是一種電生理觸發反應，類似於高等動物中的神經傳導機制。捕蟲過程所顯現的動作電位機制是一種"全有或全無"(all or nothing)過程。從電生理的角度看，鉀離子和鈣離子會參與捕蠅草的動作電位。快速閉合捕蟲夾需要兩個刺激出現在捕蟲夾內部表面的感覺毛上，而且兩個刺激要在相隔 30 秒內出現，捕蟲夾才會閉合(見圖 6A，[6])。瞬間一個單次的刺激，捕蟲夾並不會閉合，主要是防止徒勞無功的封閉陷阱。因此，捕蠅草也被大膽地假設會對第一次的刺激具有「記憶」的功能。

日本東北大學(Tohoku University)的上田實(M. Ueda)教授[6]對此進行了實驗，探索捕蟲夾閉合的機制。他的理論認為某些活性代謝物(bioactive metabolites)參與了這「記憶」的過程。而為了減少實驗時捕蠅草個體間的差異，他以單一株捕蠅草進行大量的繁殖。上田實教授將一個每次受到刺激時會以逐步分泌加以回應的適當代謝物，命名為閉合因子(trap-closing factor 簡稱 TCF)。記憶反應可藉由觸發後所分泌的閉合因子(TCF)加以累積(見圖 6B，[6])。從化學的觀點來看，在受到多次的刺激後，閉合因子會因為累積的分泌物濃度超過閾值(threshold)而觸發離子通道的打開，進而產生動作電位。當獵物踩在捕蠅草的捕蟲夾內大快朵頤時，若一不小心碰觸到第一根感覺毛時，感覺毛會感知有外力的施加，捕蟲夾便開始分泌出特殊的化學物質，這時捕蟲夾還不會立即閉合。但如果獵物在短時間內再次碰觸到感覺毛，使其分泌的化學記憶物質濃度累積超過某個臨界值時，便會使捕蟲夾內部細胞膜小孔被撐大(見圖 7，[3])，驅使細胞液從細胞膜小孔流向捕蟲夾基底，捕蟲夾的內側細胞會因膨壓下降而失去內側細胞的支撐，呈現捕蟲夾向內側倒塌的現象，這就是捕蟲夾閉合捕蟲的機制。

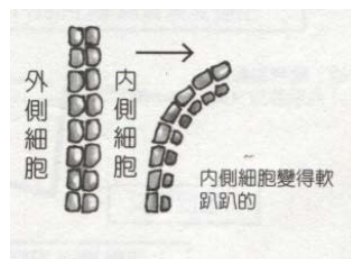


圖 7 捕蟲夾內側細胞的細胞液會因某種化學物質分泌的濃度累積過量而流失，使膨壓降低，造成捕蟲夾閉合。 [3]

上田實教授也藉生物測定的結果驗證並提取這些具有記憶因子的特定生物活性物質，這些記憶物質的化學結構屬於高分子活性多醣體，只要記憶物質的劑量超過臨界值，即使捕蟲夾上的感覺毛沒有受到任何的刺激，捕蟲夾還是會啟動閉合(見圖 8)。[6]

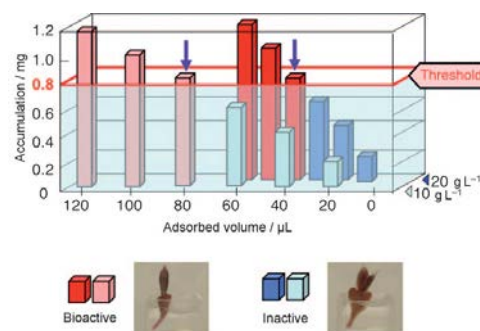


圖 8 捕蟲夾內記憶物質的累積濃度，只要超過臨界值，即使捕蟲夾上的感覺毛沒有受到任何的刺激，捕蟲夾還是會啟動閉合。 [6]

參 ● 結論

1. 辛苦閱讀許多外文文獻資料，保留整理後我歸納出捕蠅草的捕蟲機制是因為獵物碰到了捕蠅草的感覺毛後便施放出一種像神經傳導功能的「電脈衝」，電脈衝會啟動一種特殊化學「記憶」物質的分泌。當其濃度超過臨界值時，會造成捕蟲夾內側細胞膨壓改變，捕蟲夾便迅速閉合，並且分泌出大量的鹽酸將獵物消化。
2. 此外，我也發現可藉由施加(或累積)較高電荷的電脈衝刺激或滴入較高劑量的化學記憶物質使捕蟲夾閉合，而無需觸碰捕蠅草的感覺毛。我想未來也許可以利用類似的電脈衝研究方式，檢視含羞草的垂葉功能。
3. 捕蠅草的捕蟲夾閉合作用，解釋的理由與實驗思考方式非常多種。國外有許多文獻探討，達爾文是首先觀察到捕蠅草的捕蟲夾張開時是呈凸狀曲率，而閉合時呈凹狀曲率；也有人注意到外側的葉面積在閉合期間會擴展；甚至有人認為捕蠅草為雙穩定振動器可以同時打開和關閉……，或許土壤的濕度、酸鹼值、溫度等都是未來可以用來探討捕蟲機制的主題和方向。
4. 藉由這次小論文的撰寫，透過文獻資料的搜尋，原本我以為可以藉由中文書籍及網路資料即可輕易解決心中疑惑。然而過程中，我發現國內的碩博士論文竟然沒有任何一篇有關捕蠅草的論文，所以只好請指導老師指點。老師最後建議我進中興大學圖書館利用更專業的資料庫蒐集相關文獻。資料蒐集後對內容的閱讀與理解，除了努力查字典外，還要請教老師才能理解其意義。一篇小論文寫下來，讓我了解到要獲悉生物的特有現象，不能光從生物學的角度去看，還要利用其他領域的角度去探索，才能深入理解。捕蠅草的捕蟲夾閉合作用的探索，一個看似容易獲得解答的題目，讓我認識到如何利用電學對植物進行試驗，也讓我對生物的電生理有初步的概念。就像義大利的伽伐尼(Luigi Galvani)在 1771 年，發現死青蛙的肌肉接觸電火花時會顫動，從而發現神經元和肌肉會產生電力，進而成為生物電(Bioelectricity)領域先鋒。跨領域知識的學習與應用，似乎是未來探索生物世界的不可或缺的不二法門。

肆 • 引註資料

- [1] 鐘楊聰等(譯) (2005)。生物學上冊 (第六版)。台北市：台灣培生教育。
- [2] 陳書萍(譯) (2010)。生物超感覺的秘密。台中市：晨星出版社。
- [3] 夏洛特 (2007)。食蟲植物觀賞&栽培圖鑑。台北市：商周出版社。
- [4] 維基百科。(2013/3/12) <http://zh.wikipedia.org/wiki/捕蠅草>
- [5] Alexander G. Volkov, T. Adesina, E. Jovanov (2008). Charge induced closing of *Dionaea muscipula* Ellis trap. *Bioelectrochemistry*, 74, 142–7.
- [6] M. Ueda, T. Tokunaga, M. Okada, Y. Nakamura, N. Takada, R. Suzuki, and K. Kondo (2010) Trap-Closing Chemical Factors of the Venus Flytrap (*Dionaea muscipula* Ellis). *ChemBioChem*, 11, 2378-2383.