

臺灣二〇〇七年國際科學展覽會

科 別：植物學

作品名稱：台灣珍稀水生蕨類槐葉蘋形態、生活史及
生存環境的研究

學校 / 作者：新竹市立建功高級中學 駱為家

作者簡介



我是駱為家，從小就對大自然有濃厚的興趣，對各種事物也都很好奇。由於小學就讀新竹市實驗高中國小部的資優班，從國小四年級就開始參加科展，也找到我的興趣。做科展就是需要敏銳的觀察力和耐心，還有不怕困難的衝勁。一路步步高昇，在國小時我得過市賽的第一名和第二名，上了國中繼續再接再厲，終於參加全國科展，並榮獲全國科展生物組第一名。藉由參加這個比賽，參賽者可以互相切磋琢磨，吸取他人的長處、開拓視野。比賽的過程中當然是相當緊張的，能得獎當然很高興，但是最重要的是過程，我體驗到當研究生的辛勞，也學到很多東西，希望以後能繼續努力，更上一層樓！

Life Form, Life History and Living Environment of *Salvinia natans*

(A Floating Fern)

Abstract

Salvinia natans, a floating fern without roots, grows in low elevation fresh water wetlands of Taiwan, and is a critically endangered precious Taiwanese native species.

This research investigates the life form, life history, and living environment of *Salvinia natans*. Our experiments show that we can differentiate *Salvinia natans* and *Salvinia molesta*, two easily mixed up species. The shape of matured floating leaves of *Salvinia natans* is elliptical and smaller, while it is twin-ear shape and larger for *Salvinia molesta*. Also, they can be distinguished by their leaf hairs. The hairs of *Salvinia natans* are tufted and separated at the tips, while the hairs of *Salvinia molesta* form an 'eggbeater' shape at the tip. When these two species lived together, *Salvinia molesta* grew in a rate of 11.6 cm²/week and will replace all *Salvinia natans* eventually. This shows the profound impact of invasion of *Salvinia molesta*.

From the data of 2-year phenology observation, we concluded that budding took place from Mar. to Nov., growing and reproducing from Mar. to Dec., decaying from Dec. to Feb. (sporocarps were born in this period), and sporocarps matured from Dec. to May.

There are two reproduction strategies: sexual reproduction (intergametophytic mating), and asexual propagation (by terminal and axillary growth).

After investigating the environment factors (illuminance, air temperature, water temperature, humidity, pH), we found that ex situ conservation for *Salvinia natans* requires 1) indirect sunshine, 2) unpolluted water (pH 6.5 ~8), and 3) good ventilation.

Key words: *Salvinia natans*, sporocarp, gametophyte

台灣珍稀水生蕨類槐葉蘋形態、生活史及生存環境的研究

摘要

槐葉蘋(*Salvinia natnas*)生長於台灣低海拔淡水濕地，目前已列為嚴重瀕臨滅絕的台灣原生物種，為不具有根的植物，是世界珍稀的漂浮型水生蕨類。

本研究是探討槐葉蘋形態、生活史及生存環境因子，實驗發現可藉由成熟浮水葉外部形態特徵來區別槐葉蘋與外來種之人厭槐葉蘋(*Salvinia molesta*)；槐葉蘋成熟浮水葉呈橢圓形，葉上毛被物是叢生且分岔，人厭槐葉蘋成熟浮水葉呈雙耳形，葉上毛被物則像打蛋器。當兩物種共存於同一個環境空間時，人厭槐葉蘋以平均 $11.6 \text{ cm}^2/\text{week}$ 的生長率將槐葉蘋完全取而代之，顯示人厭槐葉蘋之入侵對槐葉蘋生存影響之深遠。

經由兩年的槐葉蘋物候觀察，發現 3~11 月為抽芽成長期、3~12 月為成熟繁殖期、12 月~隔年 2 月為冬枯期及孢子囊果出現期，12 月~隔年 5 月為孢子囊果成熟開裂期。

其繁衍策略可分為無性繁殖（頂芽及側芽生長）及有性生殖（異配子體交配）。

探討環境因子（光照度、氣溫、濕度、水質、水溫、pH 值）分析結果，適合槐葉蘋生存環境的條件為(1)陽光間接照射（半遮蔭，遮蔭度 58.33%）、(2)乾淨未受污染的水質(pH 6.5~8)、(3)通風性良好。生長環境符合以上條件即可達到移地保育的目的。

關鍵詞：槐葉蘋、孢子囊果、配子體

壹、前言

槐葉蘋(*Salvinia natans*)屬於水生薄囊蕨類，槐葉蘋科槐葉蘋屬，本科在全世界僅有此一屬，而本屬在台灣僅有槐葉蘋一種。槐葉蘋的莖細長，每節長出三枚葉，其中二枚橢圓形浮水葉為對生，葉脈為網狀；一枚沈水葉呈鬚根狀，孢子囊果長在沈水葉基部。分布於熱帶、亞熱帶地區水域，在台灣低海拔淡水濕地，尤其台北、基隆等地區的池塘、水田^(五、六、七)。

蕨類植物雖然已經演化出根、莖、葉和維管束等適應陸地生活的構造，也具有產生孢子的孢子囊以及保護精子、卵及受精卵的特殊生殖構造（藏精器、藏卵器）。不過精子與卵仍需以水為媒介，才能完成受精作用，因此只能生長在比較潮溼的地區^(十)。孢子為蕨類除了營養繁殖之外的另一個主要繁殖體。未成熟的孢子囊通常是淡綠色的，成熟時則會轉為淡褐色，甚至是深黑色。孢子的顏色通常為褐色，但也可能是綠色、黃色、黑色的，依物種而有所差異^(八)。

漂浮型水生蕨類槐葉蘋的構造比陸生蕨類特別，是不具有根的植物。植物學家所依據的理由為：（一）槐葉蘋屬屬於真蕨類植物，而真蕨類的孢子囊主要長在葉片上、（二）槐葉蘋孢子囊果長在此根狀結構上，而蕨類的根不可能長出任何和孢子囊有關的構造。解剖學上的證據也支持此根狀構造不是真正的「根」^(一)。

此物種染色體套數 $2n = 18$ ，為 2 倍體，是可行有性生殖的，孢子形態屬於異形孢子，孢子囊果剖開即可辨別是大孢子囊或小孢子囊，有羽狀外膜保護著。小孢子囊內可成熟的孢子有 64 顆；而大孢子囊可成熟的孢子卻只有 1 顆。每個雄配子體有 4 個藏精器，內各有 1 隻精子，當精子進入雌配子體的藏卵器內與卵子受精後，將成長為一個新的孢子體^(十八)。

漂浮型水生蕨類除了可以用上述有性生殖的方式傳宗接代之外，最常見的繁殖方式，稱為「裂殖」，即植物體不斷地分支，也不斷地斷裂，來產生的新個體，這亦是所謂的「無性繁殖」。水生蕨類因為隨水漂流，不知身歸何處，加上淺水環境較不穩定，容易乾涸，裂殖可在短時間內大量製造下一代，是最有效率的繁殖方式^(五)。

蕨類在其繁衍過程中，需要周遭微環境水分作為其授精的媒介，同時對於棲地各類環境因子的作用及環境的變異具有相當高度的敏感性，如氣候、水質對水生蕨類生長皆是很重要的因素^(十四、十五、十七)。

槐葉蘋於 1915 年由 Yaichi Shimada 在麻豆採集到物種，製成標本收藏於台灣林業試驗所植物標本館內，過去在台灣低海拔水域四處可見，是淡水沼澤、濕地的指標植物。目前由於

台灣的水域環境多遭污染或開發利用，在野外已極少見。1996 年一篇文獻指出外來種人厭槐葉蘋(*Salvinia molesta*)已入侵台灣，資料證實它在國外某些國家已造成水庫、湖泊優養化(eutrophication)等生態破壞問題^(一、三)，侵略性之強由此可見，這也是在珍稀水生蕨類中槐葉蘋被列為嚴重瀕臨滅絕^(四)的主要因素之一。

槐葉蘋的文獻資料於 1911 年由日本第一位女科學博士 Kono Yasui 僅對槐葉蘋配子體形態有詳細記載^(十八)，其餘文獻只限於外部形態的記錄^(二、六、七)。從參觀之前科展和我所作的市調中，發現由於原生物種很難採集，再加上不易找到其他的參考文獻，大多數人不但將兩物種的身分長期混淆了，更將鬚根狀的沈水葉誤認為根；加上人厭槐葉蘋容易培育，並且冒名為原生種在花市、水族館被販賣著，無意間人厭槐葉蘋被大量培育在水生池裡，因此另一場生態浩劫是否已經形成（圖 28、圖 29）？

本研究主要針對槐葉蘋的形態、構造、生活史及生存環境因子等做有系統的探討，讓槐葉蘋的相關資料得以更完整記錄，並探討槐葉蘋的生長與環境因子間的關係，以作為規劃一個簡易且節能的生態缸之基礎，讓槐葉蘋能成為庭園植物的新寵兒，進而達到移地保育的目的。

在進行主題研究之前，首先必須釐清槐葉蘋與人厭槐葉蘋兩者形態、構造上的差異，使得辨認兩物種時能有完整的文獻資料來參考。如此即可解決兩物種被混淆的問題，再比較兩物種生存競爭的能力，其目的為證明人厭槐葉蘋是水生植物的殺手，同時呼籲保育槐葉蘋之重要性。

貳、研究材料與方法

一、材料

1. 本實驗是以台灣原生槐葉蘋作為研究的主要對象，人厭槐葉蘋為比對的對象。槐葉蘋植株係於 2002 年自南投農委會特生中心與 2004 年自新竹市陽光國小等處取得，並移至新竹縣竹東鎮自宅庭院培育在 49×39×13.5cm 之不透明塑膠盆內，用礦泉水補充水分，維持水位在 10cm 高。人厭槐葉蘋取樣自新竹市實驗中學校園水生池。
2. 實驗用水樣取自新竹縣尖石鄉泉水、新竹縣竹東鎮二重埔泉水、悅氏礦泉水、酸性水及鹼性水（Panasonic TK745 電解水分離機）、新竹市實驗中學水生池的水、新竹市科學園區靜心湖的水、新竹市聖經書院前客雅溪的工業廢水、新竹市金山面柯子湖溪下游的家庭廢水。

二、槐葉蘋與人厭槐葉蘋形態與構造的比較

本實驗使用光學顯微鏡(Leica Dialux 20)、解剖顯微鏡(Leica Wild M8)、數位相機(Nikon Coolpix 4500)。以顯微鏡觀察兩物種之浮水葉、沈水葉、莖、孢子囊果、孢子囊等之形態與構造，並進一步比對文獻資料，加以比較其特徵及功能。將葉片染色，以石蠟切片法⁽⁺⁾觀察各部位的內部構造，並拍照記錄。最後歸納所有資料整理成圖表格式，作為辨識兩物種的參考。

三、槐葉蘋與人厭槐葉蘋生存競爭能力的比較

取 49×39×13.5 cm 長方形塑膠盆一個，以保麗龍板等分成 6 格（每格 22×10.5 cm），其中兩格培育槐葉蘋，另兩格培育人厭槐葉蘋，每格植株的面積佔各格面積的 $\frac{1}{2}$ ，為對照組。另外兩格同時培育槐葉蘋與人厭槐葉蘋，其數量各佔各格面積的 $\frac{1}{4}$ 。每週觀察一次，以數位相機(Nikon Coolpix 4500)拍照並記錄。

四、槐葉蘋生活史的探討

1. 槐葉蘋物候週期的觀察

在新竹縣竹東鎮自宅庭院中，從 2003 年 11 月到 2006 年 3 月，每星期觀察並記錄浮水葉之抽芽、成長、成熟、冬枯的日期，及孢子囊果之出現、成長、成熟、開裂的日期。

2. 槐葉蘋無性繁殖的觀察

將長方形水盆用保麗龍板等分成 6 格，加水至 10 cm 高，在每一格各放入 1 株成熟的 5 輪葉槐葉蘋，每天觀察、記錄一次浮水葉從抽芽至成熟（約 1.2×0.8 cm）及沈水

葉的成長及側芽生長位置與成長情況，並以數位相機拍照及記錄。

3. 槐葉蘋有性生殖的探討

在透明的塑膠培養盒(114×86×65 mm, Phytatray II, Sigma)，加入 2cm 厚泥土，並以水拌成泥濘狀，上面放一片約與過濾膜一樣大小的瓦片，待瓦片吸水溼潤後，再取成熟的孢子囊果，以解剖顯微鏡(Leica Wild M8)剝開取出小孢子囊約 160 顆及大孢子囊約 50 顆，一起直接播撒於直徑 47mm、孔徑 0.45 μ m 的過濾膜(membrane filter, Gelman Lab.)上，將其放置於瓦片上，蓋上蓋子。共播撒 20 盒，置於室溫 23 ~ 30 $^{\circ}$ C 培育。每天以日光燈連續照射，光照期為每天 12 小時，光照強度約 24 μ mole m⁻²s⁻¹，每週加水一次以保持溼潤，透過解剖顯微鏡觀察孢子發育的情況，並以數位相機拍照並記錄。

取 6 顆雌配子體，經鍍金膜處理後，以掃描式電子顯微鏡(Hitachi S2400)觀察孢子的形態。

五、新竹地區的環境因子與槐葉蘋生長之關係

1. 光照度強弱與槐葉蘋生長之關係

取 49×39×13.5 cm 長方形塑膠盆兩個，以保麗龍板將每個塑膠盆等分成九宮格，加水至 10 cm 高，每格中放入 3 株成熟健康的 5 輪葉槐葉蘋，並以三格為一組來編號。第一組不罩紗網，第二組罩一層，第三組罩兩層，第四組罩三層，第五組罩四層黑色紗網（養殖蘭花用）。以照度計(Digital Lux Meter, TES 1330)測量於清晨、正午及傍晚，分別測量各組紗網下的光照度(LUX)。每週記錄一次各組的植株生長情況。

2. 不同的水質與槐葉蘋生長之關係

將十個容量 1000 cc 的燒杯分別裝入新竹市科學園區實驗小學水生植物池的水（水池）、新竹縣竹東鎮二重埔泉水、新竹縣尖石鄉泉水、酸性水及鹼性水（國際牌電解水分離機 TK745）、悅氏礦泉水、自來水、湖水（新竹科學園區靜心湖水）、工業廢水（取樣自新竹市聖經書院前之客雅溪）、家庭廢水（取樣自新竹市金山面柯子湖溪下游）各 1000 cc，用廣用試紙測量各燒杯內水樣的酸鹼值，在每個燒杯放入 3 株健康的 5 輪葉槐葉蘋。每週記錄一次植株生長情況。

3. 通風性與槐葉蘋生長之關係

取 3 個大型觀察箱(29.5×19×18 cm)，加水至 10 cm 高，每個觀察箱各放入 3 株健康的 5 輪葉槐葉蘋後，分別置放於戶外（院子內，通風性良好，直接暴露在陽光下）、牆邊下（院子內，通風性良好，陽光間接照射）、室內（陽台，通風性不佳，只照射

到一部份的陽光)，每週記錄一次植株生長情況，並以溫濕度計、照度計測量這三種環境的溫度、相對濕度及光照度。

4. 槐葉蘋在不同的季節生長情況的觀察

取 49×39×13.5 cm 長方形塑膠盆以保麗龍均分為六格，每格各培育 2 株 5 輪葉槐葉蘋植株，共 12 株。觀察浮水葉由新芽成長為成熟葉（長約 1.0×0.8cm）之成長情況及植株生長的數量。在 2004 年春天（3~5 月）、夏天（6~8 月）、秋天（9~11 月）、冬天（2004/12~2005/2 月）各進行一次上述的生長觀察，並記錄氣溫、相對濕度、水溫及 pH 值。

六、規劃一個適合槐葉蘋生存環境的生態缸

1. 準備一個魚缸(30cm L × 18cm W × 23cm H)，魚缸底部舖一層約 0.5cm 厚的泥土，再一層約 0.5cm 厚的細石，水位加至 15cm 高，並種植數株水蘊草，放入幾株槐葉蘋，最後放入幾隻蓋斑鬥魚。取一段長約 50cm 長的透明塑膠管，彎成 S 形，並以吸盤固定於魚缸之一側，塑膠管的一個管口位於缸內接近水底處，另一個管口則位於缸外，成為一個自製的水位高度控制器。
2. 取一個 1500 cc 的寶特瓶，在約於高度 1/2 處切成瓶口與瓶身兩截，瓶口用海綿塞住後以漏斗狀塞入瓶身，組合成一體。加入培養土，土內埋一條棉繩，一端放入水中，另一端埋在培養土內，利用毛細現象讓培養土保持一定的濕度，種入鐵線蕨，放入魚缸內。
3. 取一個塑膠容器(18cm L × 18cm W × 23cm H)作為蓄水容器。
4. 取一個透明玻璃瓶(7cm L × 6cm W × 14cm H)，依序放入中型鵝卵石、細石頭（裝入茶包袋中）、竹炭粒（裝入茶包袋中），瓶口以海綿塞住，於瓶蓋鑽兩個 ϕ 6cm 的孔，各穿入透明塑膠管一根後，以保麗龍膠將瓶蓋的兩個洞口密封，並將瓶身與瓶蓋組合為一簡易的濾水器，以廣用試紙量測並記錄水質酸鹼度(pH 值)。

參、結果

一、槐葉蘋與人厭槐葉蘋形態與構造的比較

整個植株的比較：槐葉蘋與人厭槐葉蘋植株皆具有輪生的三枚葉片，其中兩枚為對生的浮水葉，另一枚為呈鬚根狀的沈水葉。沈水葉為變態葉，它的形態類似根，卻又具有葉的構造（有葉綠體，圖 13）。

表 1. 槐葉蘋與人厭槐葉蘋各部位比較

部位	槐葉蘋	人厭槐葉蘋	備註	
浮水葉	成熟葉葉形	全緣，呈橢圓形，上表面綠色，下表面褐綠色	雙耳形，上表面綠色，下表面綠色	圖 13~ 圖 16
	葉子的構造	具中肋，網狀脈，有氣室	具中肋，葉片內部是網狀脈，外部是游離脈，有氣室	
	成熟葉大小(mm)			圖 1、圖 2
	平均值(長*寬)	(10.42 * 7.57)	(16.80 * 20.65)	
	面積(mm ²)	82.17	378.12	圖 3、圖 4
	長寬比平均值	1.37	0.86	
	葉上毛被物	由 3~4 根毛被物叢生且分岔，一根毛被物約由 5~7 個細胞組成，排列井然有序	通常會有一根總柄，總柄上會分岔成 3~4 根分支毛，分支毛的頂端會接合，形成打蛋器的形狀排列井然有序	圖 14、圖 17、圖 18
沈水葉	葉形	鬚根狀	鬚根狀	圖 19
	葉子的構造	具有葉綠體、維管束，氣室較少	具有葉綠體、維管束呈圓形排列，氣室較多	
	葉柄平均直徑(mm)	0.4	1.29	圖 5
	平均分枝數(枝)	9	22	圖 6
	毛被物平均長度(mm)	7.3	10.7	
	葉寬平均值(mm)	0.17	0.3	
	莖	毛被物	較長、密	較短、稀疏
構造		有氣室及維管束	有氣室及維管束	
維管束排列		圓形	馬蹄形	
莖平均直徑(mm)		0.84	1.18	
孢子囊果	排列	1~3 顆簇生在沈水葉基部	互生成葡萄串一串串長在沈水葉基部	圖 21
	毛被物	較粗、短、稀疏	較細、長、密	
	形狀	圓形	橢圓形	
	大小(mm)	長： 1.41-2.25 寬： 1.26-2.03	長： 1.87-2.89 寬： 1.32-2.36	
孢子囊	長/寬平均值	1.11	1.25	
	形狀	大孢子囊 橢圓形 小孢子囊 圓形	大孢子囊 圓形 小孢子囊 圓形	圖 22
	顏色	白底上有褐色網狀格子	白色	
	大小(μm)	460	314	231 137

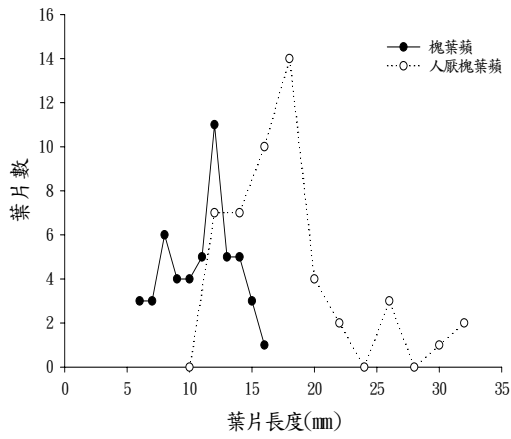


圖 1. 槐葉蘋與人厭槐葉蘋浮水葉長度

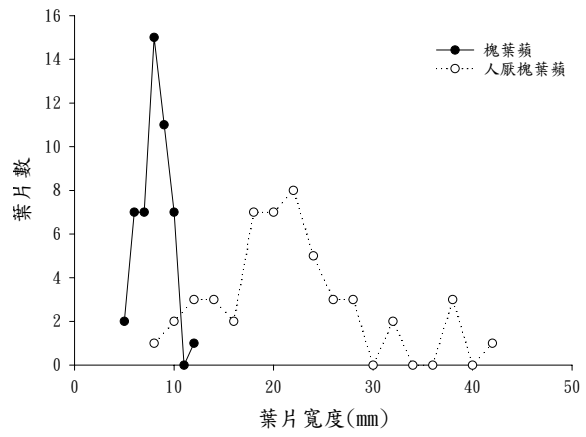


圖 2. 槐葉蘋與人厭槐葉蘋浮水葉寬度

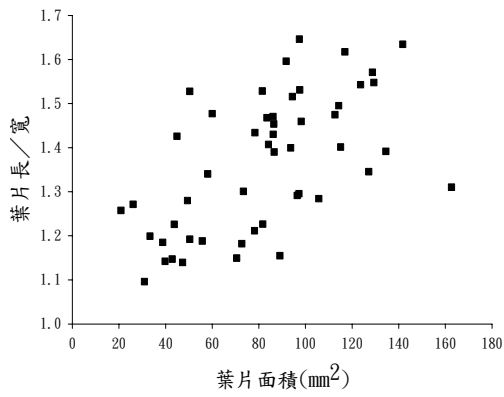


圖 3. 槐葉蘋浮水葉面積與長寬比之關係

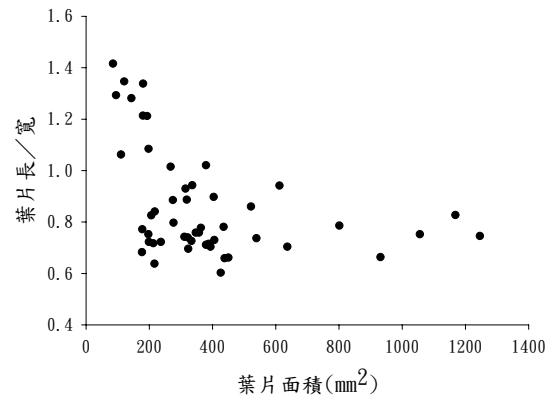


圖 4. 人厭槐葉蘋浮水葉面積與長寬比之關係

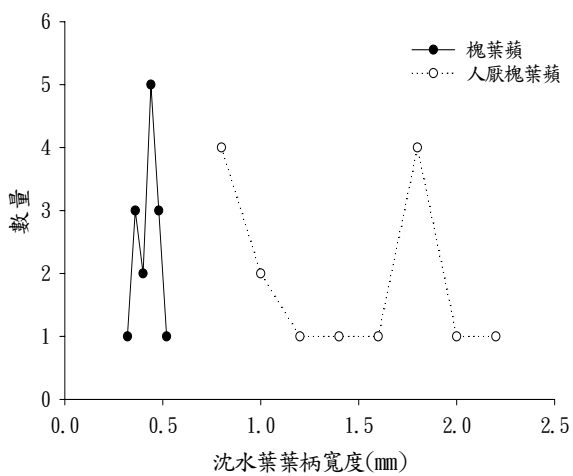


圖 5. 沈水葉葉柄寬

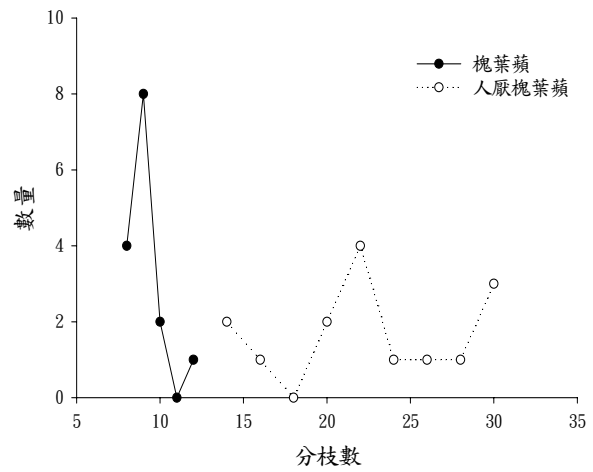


圖 6. 沈水葉分枝數

二、槐葉蘋與人厭槐葉蘋生存競爭能力的比較 (圖 23)

表 2. 生存競爭能力比較

週次	對照組		競爭組				
	n(%)	m(%)	n+m(%)				
一	50	50	25	+	25	=	50
二	85	85	42	+	43	=	85
三	89	90	42	+	47	=	89
四	93	94	31	+	62	=	93
五	95	98	24	+	71	=	95
六	98	100*	16	+	80	=	96
七	100	100*	10	+	90	=	100
八	100*	100*	5	+	95	=	100
九	100*	100*	2	+	98	=	100
十	100*	100**	0	+	100	=	100

註： 培育箱面積 $22 \times 10.5 = 231 \text{cm}^2$

n = 槐葉蘋植株面積 / 培育箱面積 (%)

m = 人厭槐葉蘋植株面積 / 培育箱面積 (%)

* 植株重疊 5% 以下

** 植株重疊 10% 以下

第二週：對照組與競爭組植株所佔有之面積均由原本總面積 ($22 \times 10.5 \text{cm}$) 的 50% 各增加至 85%，同時競爭組人厭槐葉蘋與槐葉蘋植株所佔的面積比仍保持 1:1。

第五週：對照組與競爭組植株所佔有之面積增加約為 95%，而競爭組人厭槐葉蘋與槐葉蘋植株所佔的面積比變為 3:1。

第七週：對照組與競爭組植株所佔有之面積增加約為 100%，而競爭組人厭槐葉蘋與槐葉蘋植株所佔的面積比變為 9:1。

第十週：對照組與競爭組植株有明顯重疊的現象，顯示生存的空間不足，而競爭組已經完全被人厭槐葉蘋植株所佔據。

對照組槐葉蘋平均生長率 $16.57 \frac{\text{平方公分}}{\text{週}}$ ，人厭槐葉蘋平均生長率 $19.33 \frac{\text{平方公分}}{\text{週}}$ ；而競爭組的兩物種培育在同一空間時，人厭槐葉蘋以平均 $11.6 \frac{\text{平方公分}}{\text{週}}$ 的生長率佔據所有空間，槐葉蘋因而喪失生存空間而全部死亡。

三、槐葉蘋生活史的探討

1. 槐葉蘋物候週期的觀察

自 2003 年 11 月起觀察至 2006 年 3 月止，共計 2 年 5 個月（爲了印證孢子囊果的出現與氣溫有關，故觀察時間超過一年）。浮水葉的抽芽期爲 2003 年 11 月與 2004 年 3~11 月（平均氣溫 22.0°C）、2005 年 3~10 月（平均氣溫 22.4°C），成長與成熟期爲 2003 年 11~12 月與 2004 年 3~10 月（平均氣溫 23.0°C）、2004 年 11~12 月與 2005 年 3~10 月（平均氣溫 24.2°C），冬枯期爲 2003 年 11 月中旬至 2004 年 2 月（平均氣溫 16.5°C）、2004 年 12 月至 2005 年 2 月（平均氣溫 16.1°C）。孢子囊果出現期爲 2003 年 11 月中旬至 2004 年 3 月（平均氣溫 16.5°C）、2004 年 12 月至 2005 年 3 月（平均氣溫 16.0°C），成長期爲 2003 年 11 月中旬至 2004 年 4 月（平均氣溫 17.5°C）、2004 年 12 月至 2005 年 4 月（平均氣溫 17.3°C），成熟期爲 2003 年 12 月至 2004 年 5 月（平均氣溫 19°C）、2004 年 12 月中旬至 2005 年 5 月（平均氣溫 18.7°C），開裂期爲 2004 年 1~6 月（平均氣溫 20.2°C）、2005 年 1~6 月（平均氣溫 20.0°C）。

表 3. 槐葉蘋的物候週期¹（圖 24）

Year	2003		2004		2005		2006					
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Month	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
氣溫(°C)	22.1 21.8 22.4	16.9 18.7 15.9	14.9 14.7 16.4	16.6 14.7 16.4	17.6 16.0 17.5	21.7 22.3	26 25.8	27.6 27.7	28.3 28.8	28.5 28.4	26.4 27.9	22.6 24.8
浮水葉 抽芽期	=====				=====							
成長期	=====				=====							
成熟期	=====				=====							
冬枯期	=====		=====									
孢子囊果 出現期	=====		=====									
成長期	=====		=====									
成熟期	=====		=====									
開裂期	=====		=====									

根據觀察槐葉蘋物候週期共 2 年 5 個月的結果，在每年的 3~11 月是進行無性繁殖的時期，本實驗也發現冬枯期（無法進行無性繁殖機制時）約在每年的 11 月中旬至隔

¹以新竹爲觀察地點，氣溫資料來源爲中央氣象局網頁

年的 2 月中旬。實際發生的日期與氣候溫差（ $3^{\circ}\text{C}\sim 6.5^{\circ}\text{C}$ ）有很大的關係。其中 2003 年與 2005 年孢子囊果皆出現在 11 月中旬，此時 11 月與 12 月的溫差約 5.2°C 與 5.6°C ；而 2004 年孢子囊果則出現在 12 月，該月與隔年 1 月的溫差為 4°C ，由此可知孢子囊果的出現與氣候溫差有很大的關係。

2. 槐葉蘋無性繁殖的觀察

(1) 槐葉蘋的頂芽生長點（圖 25）

槐葉蘋的浮水葉由母株頂端抽芽（芽長約 $0.3\times 0.2\text{cm}$ ）成長至展開的成熟葉（葉長約 $1.2\times 0.8\text{cm}$ ）共需 9 天，平均成長率為 0.087 平方公分/天 。此時沈水葉長度約為 1.8cm 。沈水葉的幼芽被 2 片浮水葉的幼芽包住，必須等這 2 片幼芽（葉長約 $0.3\times 0.2\text{cm}$ ）伸展開後（約需 1 天）才能清楚看見沈水葉的幼芽，沈水葉的幼芽成長成鬚根狀的形態（葉長約 0.3cm ）約需 3 天，而鬚根狀的沈水葉長度與水的深淺成正相關。

(2) 槐葉蘋的側芽生長點（圖 26）

槐葉蘋頂芽成長至 5 輪葉之後的植株由側芽生長點以互生的生長方式抽出新芽。此階段側芽與頂芽生長點新芽的成長形態是一樣的。側芽長至 5 輪葉以上，會因母株的成熟枯萎或外力因素的干擾，會以裂殖方式脫離母株，成為一棵新的植株，並繼續行無性繁殖，裂殖是槐葉蘋增加植株數量最有效率的繁殖方式。

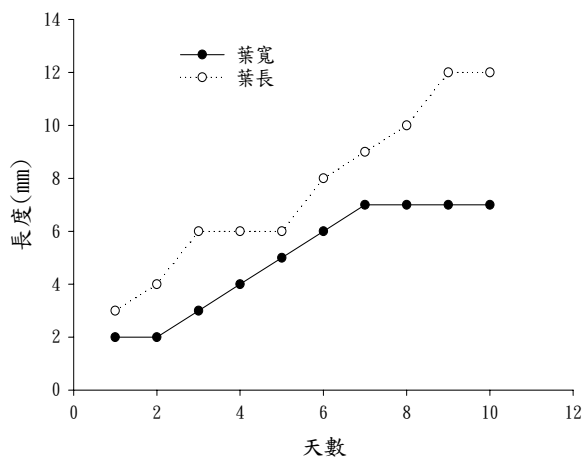


圖 7. 浮水葉生長過程

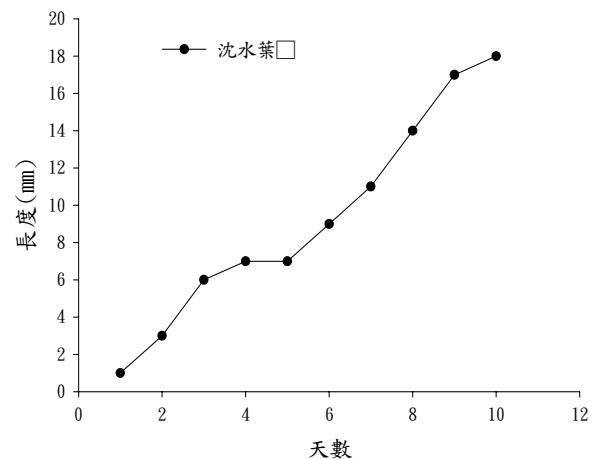


圖 8. 沈水葉生長過程

3. 槐葉蘋有性生殖的探討 (圖 27)

槐葉蘋的孢子囊果成熟後，經過 1~2 週就會開裂，大、小孢子囊培育於同一個環境下，大孢子囊成熟後 5~7 天會開裂呈三角形，再過兩週後長成成熟的扇形配子體，其上均勻佈滿內凹的藏卵器。小孢子囊在孢子囊果開裂後，經過約一個月即長成成熟配子體，其上有圓形且凸出的藏精器。雌配子體受精後，約兩週便長出一片似圓形的初生葉（約長 0.32 cm、寬 0.3 cm），初生葉並無維管束，也無毛被物，一天後會裂開呈荷葉形，有一根葉柄連接配子體；約再五天後，在初生葉缺口處抽出新芽，長出第一對互生的浮水葉（約長 0.2 cm、寬 0.15 cm），且不具有沈水葉。自第二對浮水葉開始則都是對生。在第二對浮水葉（約長 0.23 cm、寬 0.2 cm）長出的同時，鬚根狀的沈水葉卻只長出一根，在第三對（約長 0.3 cm、寬 0.23 cm）、第四對浮水葉（約長 0.33 cm、寬 0.26 cm）長出時，鬚根狀的沈水葉都只長三根。約再過三週後，成長至第 5~6 對浮水葉（約長 0.38 cm、寬 0.3 cm）時，配子體及初生葉因功成身退皆因枯萎而脫離植株，之後幼苗便成爲一棵新的植株，繼續行無性繁殖。

四、新竹地區的環境因子與槐葉蘋生長之關係探討

1. 光照度的強弱與槐葉蘋生長之關係

(1) 本實驗所觀察的環境條件如下表：

	平均氣溫 (°C)	平均水溫 (°C)	相對濕度 (%)	平均光照度 (LUX)	平均生長率 (片/天)
無紗網	27.7	25.8	78.7	10357.2	3.23
一層紗網	27.7	25.8	78.7	5489.4	5.64
二層紗網	27.7	26.0	78.7	2486.6	11.04
三層紗網	27.7	26.5	78.7	1011.4	3.13
四層紗網	27.7	26.5	78.7	366.6	-0.71

註 1：觀察期為 2004/7/28~2004/9/25

註 2：光照測量時間 am 6:00、am 8:00、pm 12:00、pm 3:00、pm 6:00

(2) 由槐葉蘋平均生長率來看生長狀況的優劣順序為：「二層紗網」>「一層紗網」>「無紗網」>「三層紗網」>「四層紗網」。

(3) 依平均生長率與光照度的比對結果，適合槐葉蘋生長的平均光照度為 2486.6 LUX。

(4) 由本實驗可知，槐葉蘋適合在陽光間接照射的環境生長。

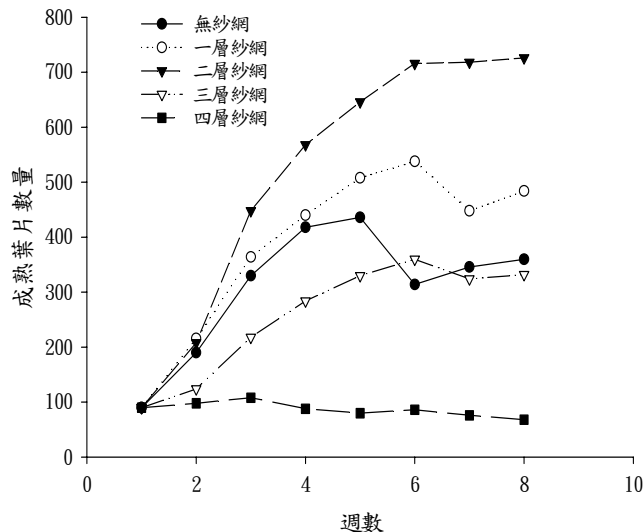


圖 9. 光照強弱與生長之關係

2. 不同的水質對槐葉蘋生長之關係

(1) 將所有取樣的水質在常溫下用廣用試紙測量其 pH 值，其結果為尖石鄉泉水 (6.8~7.5)、二重埔泉水(6.5~7.3)、湖水(6.3)、礦泉水(7~8)、鹼性水(8.0)、酸性水(6.0)、水池水(6.0)、自來水(7.0~8.0)、工業廢水(5.0)、家庭廢水(6.5)。

(2) 依存活率結果得知，適合槐葉蘋生長的水質排列次序是：尖石鄉泉水>二重埔泉水>礦泉水>鹼性水>酸性水>湖水>水池水>自來水>工業廢水>家庭廢水。用尖石鄉泉水、二重埔泉水、礦泉水培育的植株都較健康；以尖石鄉泉水及二重埔泉水所培育的植株新芽抽最多。以家庭廢水和工業廢水來培育槐葉蘋，前者於二個星期、後者於三星期即全部死亡。由此可知槐葉蘋適合在 pH 值 6.5~8.0 的淡水且無化學污染的水質中生長。

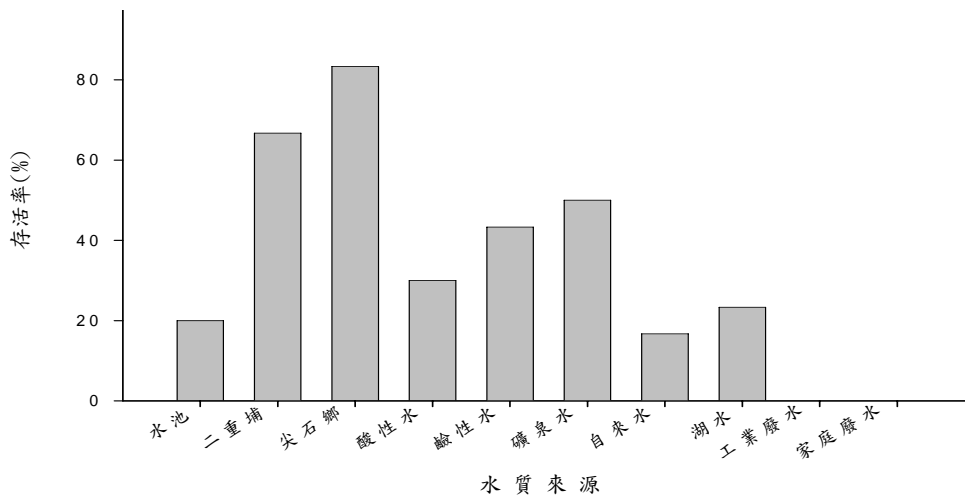


圖 10. 不同水質與槐葉蘋生長之關係

3. 通風性與槐葉蘋生長之關係

(1) 本實驗所觀察的環境條件如下表：

	平均氣溫(°C)	平均水溫(°C)	相對濕度(%)	平均光照度(Lux)	生存週數
戶外	24.5	23.8	72.6	13338	5
室內	26.0	25.5	79.0	3804	6
院子牆邊	22.8	22.3	77.2	9394	NA*

註：觀察期為 2004/9/1~10/14；*持續健康成長

(2) 戶外組於第五週植株全數死亡，室內組於第六週植株全部死亡。由此可知槐葉蘋需要陽光卻又不可直接照射的環境，再比對院子牆邊組有平均 0.31^片/天成長率，由此可知槐葉蘋需要通風性良好且陽光間接照射等條件的環境，故以牆邊或樹蔭下最為適合，其次為室內（通風性不良、陽光間接照射），最差的是戶外（通風性良好、陽光直接照射）。

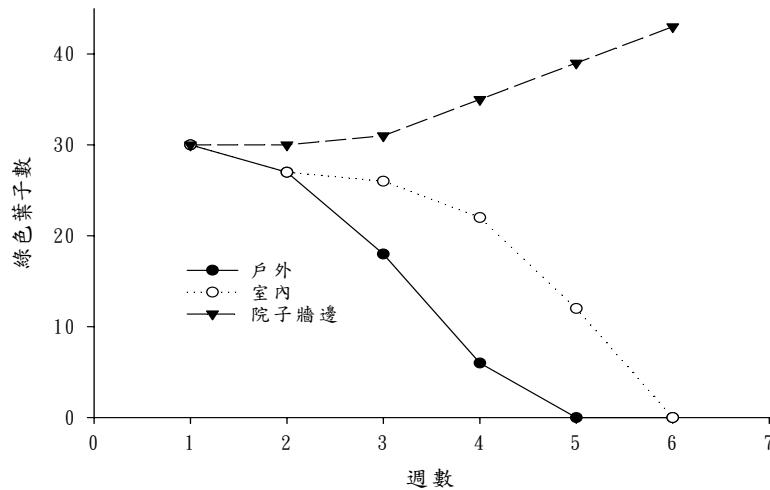


圖 11. 通風性對生長之關係

4. 槐葉蘋在不同季節生長情況的觀察

(1) 本實驗之環境條件如下表：

	春	夏	秋	冬
月份	3~5	6~8	9~10	11~2
平均氣溫(°C)	21.8	28.1	23.6	16.0
平均水溫(°C)	20.6	26.2	21.7	15.4
相對濕度(%)	82.7	78.0	73.3	78.3
pH	7.8	7.9	8.0	8.0

註：觀察期 2004/3/1 ~ 2004/2/28

(2) 觀察槐葉蘋在四季中由新芽至成熟葉（長約 1.0×0.8cm）的成長情況及植株生長的數量結果如下：

浮水葉抽芽速度依序為秋天（平均抽芽率 2.97 片/天）> 夏天（平均抽芽率 2.81 片/天）> 春天（平均抽芽率 1.08 片/天）> 冬天（平均抽芽率 0.92 片/天）。

浮水葉生長速度依序為秋天（平均生長率 9.08 片/天）> 夏天（平均生長率 8.34 片/天）> 春天（平均生長率 6.30 片/天）> 冬天（平均生長率 3.51 片/天）。

沈水葉生長速度依序為秋天（平均生長率 1.43 mm/天）> 夏天（平均生長率 0.90 mm/天）> 春天（平均生長率 0.81 mm/天）> 冬天（平均生長率 0.76 mm/天）。

由此可知浮水葉生長率與抽芽率呈正相關，而鬚根狀的沈水葉長度與水的深度呈正相關。

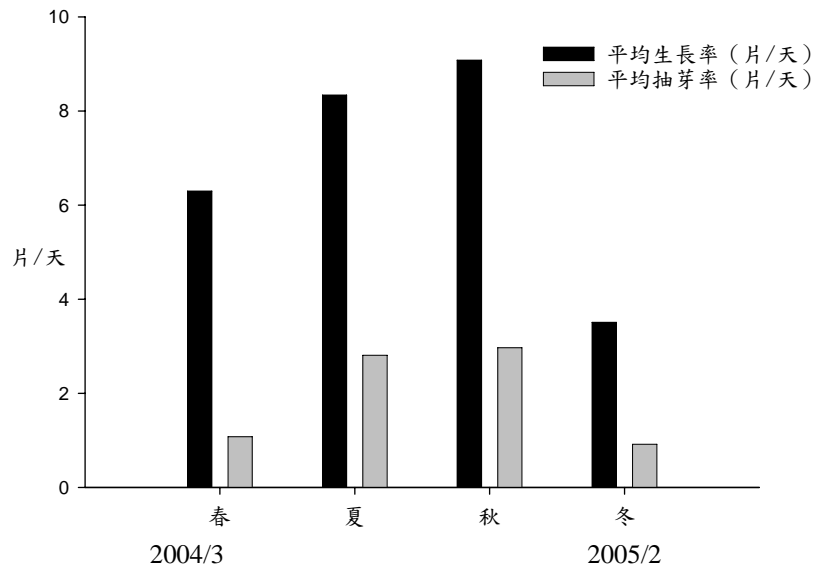


圖 12. 槐葉蘋在不同季節生長情況的觀察

5. 規劃一個適合槐葉蘋生存的生態缸

本生態缸是應用前一項研究所探討之槐葉蘋生存條件的結果與節能的理念所規劃而成。

將生態缸放置於通風良好、靠牆邊的戶外庭園，自製簡易的水質過濾器（利用虹吸現象與連通管原理）與水位高度控制器。取代傳統插電的濾水器，過濾器內的鵝卵石、細石頭可增加水中的離子量，竹炭粒(pH 9~9.5)具多孔隙，可降低自來水的含氯量，同時改善雨水(pH 6 → pH 7.2)、自來水(pH 7 → pH 8)的酸鹼值。並利用鐵線蕨營造遮蔭的效果（遮蔭度 58.33%，平均光照度 4587.5 LUX），提供符合槐葉蘋生長條件的環境。埋在鐵線蕨土裡的棉繩，一端沈在水池裡，利用毛細現象，吸水保持土壤濕潤。再配合完整生態食物鏈【槐葉蘋與水蘊草（生產者）→ 孑孓（初級消費者）→ 蓋斑鬥魚（次級消費者）→ 細菌（分解者）→ 礦物質及含氮物質（接著再回到生產者，繼續循環)】，結合成一個完善的生態缸（圖 30）。

肆、討論

一、槐葉蘋與人厭槐葉蘋形態、構造與生存競爭能力

人厭槐葉蘋的幼年期與槐葉蘋的成長期，浮水葉面積比約為 1:1，且外部形態不易分辨（圖 3、圖 4、圖 15、圖 16），因此就得由浮水葉葉上毛被物形態來辨識兩物種（表 1、圖 14），或藉由成熟期槐葉蘋浮水葉面積增加時長寬比呈等比例增加（圖 3、圖 15），因此葉形自幼年期至成熟期皆保持呈橢圓形形態；而人厭槐葉蘋浮水葉面積增加時長寬比會減少（圖 4、圖 16），最後寬度比長度長，葉形由幼年期的橢圓形變成雙耳形，等特徵來辨識。

但兩物種構造關係卻常被忽略了，人厭槐葉蘋成熟的浮水葉面積為槐葉蘋的 4.6 倍，當然氣室數量也比較多，更特別的是人厭槐葉蘋葉上毛被物長到第 4 節細胞便有類似人類手指關節的構造，可向內彎曲結合成一個打蛋器狀的毛被物（圖 18），一根根毛被物站在浮水葉上面，井然有序、結構完整，因此排水、載重能力都比槐葉蘋浮水葉叢生分岔（圖 14）的毛被物來得好。人厭槐葉蘋的莖和沈水葉的氣室數量是槐葉蘋的 1.75 倍及 1.28 倍，這些先天構造上的優勢，更讓兩物種共同生存在一個環境時，人厭槐葉蘋即使在擁擠的生存空間，依然保有平均 $11.6 \frac{\text{平方公分}}{\text{週}}$ 的生長率，且葉片會沿著中肋摺合像一艘船，佔據所有的水面，將槐葉蘋的葉片壓在水面下，最後槐葉蘋也因此全部死亡，故兩物種的形態、構造與生存競爭能力是有因果關係的。

若能以外部形態再配合構造上最顯著的差異——人厭槐葉蘋莖的維管束呈馬蹄形排列，槐葉蘋則呈圓形排列，則可更準確的區分兩物種。就不會發生如以前科展將外來種當原生種研究，而做出槐葉蘋的有性生殖退化了的錯誤推論。

二、槐葉蘋的生活史與環境因子

槐葉蘋的繁衍方式有無性繁殖與有性生殖，這兩種方式的進行受到季節影響。由物候觀察的結果發現，在新竹地區，4~10 月（平均氣溫 22~26°C）是無性繁殖最旺盛期，而 1~3 月（平均氣溫 14.5~16.5°C）則是有性生殖最旺盛期。冬天溫差在 3°C 以上時，會出現孢子囊果，同時也是浮水葉的冬枯期，停止無性繁殖，開始有性生殖。再比對圖 12 由平均生長率判斷出一年四季中槐葉蘋生長趨勢為秋天（ $9.08 \frac{\text{片}}{\text{天}}$ ）>夏天（ $8.34 \frac{\text{片}}{\text{天}}$ ）>春天（ $6.30 \frac{\text{片}}{\text{天}}$ ）>冬天（ $3.51 \frac{\text{片}}{\text{天}}$ ）。再比對槐葉蘋的生存與環境因子的關係，可由圖 9、圖 10、圖 11 的生長率（ $77.3 \frac{\text{片}}{\text{週}}$ ）與存活率（83.3%）得知槐葉蘋的無性繁殖適合在乾淨無污染的水質（pH6.5~8）、陽光間接照射且通風良好（光照度約

為 4587.5LUX、相對濕度 73.2~78.7%、平均氣溫 23.6~27°C) 的環境中生長。由此可知，環境因子與槐葉蘋的無性繁殖有密切的關係，而有性生殖則與氣候溫差及季節性有關。

槐葉蘋的染色體為 $2n = 18$ ，是 2 倍體。人厭槐葉蘋的染色體則為 $2n = 45$ ，為 5 倍體，故槐葉蘋的有性生殖是人厭槐葉蘋無法做到的。除此之外，槐葉蘋的扇型雌配子體之**內凹型藏卵器**、**荷葉形初生葉**及**第一輪浮水葉為互生**等，這些都是非常獨特且首見的特徵。一般蕨類植物由孢子體發育出來的初生葉與爾後長出來的葉片形態是一致的，而槐葉蘋孢子體的初生葉葉片形態(荷葉形)與爾後植株長出來葉片的形態(橢圓形)完全不同，這情況可否推論為「返祖現象」(圖 27)。

在培養孢子時，通常每週加水一次以保持培養盒內的濕度，有一次因故隔兩週才加水，結果所有等待受精的雌、雄配子體集體死亡，由此可知濕度(保持在 95% 以上)對槐葉蘋配子體的受精過程是很重要的。

三、槐葉蘋的保育

人厭槐葉蘋約在 1959 年入侵 Kariba 湖(位於非洲肯亞、尚比亞和辛巴威交界處)，由最初的一小片族群，到了 1962 年，其侵佔的面積竟廣達 1,000km²，嚴重妨害水庫的諸多功能，甚至影響到居民生活。其他國家地區也逐漸傳出災情(印度、南非、澳洲、東南亞、...)。於是許多國家都展開防治工作，防治方法有下列三種，其一為化學防治法：選了 61 種化學藥品，最後僅巴拉刈(Paraquat)有效，但成本昂貴且對環境有傷害而放棄。其二為人工物理防治法：人工、機械採收及以圍籬圍住等三種方法，皆因抵擋不住超強的繁殖力而宣告失敗。三為生物防治法：生物學在巴西里約找到新品種昆蟲(Crytobagus Salvinia Calder and Sands)，雖未能讓人厭槐葉蘋徹底消失，但已達成共存的平衡狀態。雖然成功，但還是擔心有影響生態系平衡的疑慮^(一)。

反觀槐葉蘋，已達到嚴重瀕臨滅絕的地步，除了保育在農委會特有生物中心以外，我想讓它能成為庭園的一員。於是以適合槐葉蘋生存環境因子為基礎與節能理念來規劃一個生態缸並可美化環境。首先以一般家庭很容易取得的自來水，配合自製的過濾器(內含竹碳粒 pH 9~9.5)，來降低自來水的含氮量，讓水質能符合槐葉蘋所需(pH 6.5~8)。並利用鐵線蕨營造遮蔭的效果(遮蔭度 58.33%，平均光照度 4587.5 LUX)，再配合完整生態食物鏈【槐葉蘋與水蘊草(生產者)→子孓(初級消費者)→蓋斑鬥魚(次級消費者)→細菌(分解者)→礦物質及含氮物質(接著再回到生產者，繼續循環)】，結合成一個完善的生態缸(圖 30)。如此即可達到槐葉蘋移地保育的目的。

伍、結論

槐葉蘋具有輪生的三枚葉，其中兩枚為對生的浮水葉，另一枚為沈水葉。成熟的浮水葉（平均約 10.42x7.57mm）呈橢圓形全緣，具中肋為網狀脈，葉上毛被物是叢生且分岔，具有排水能力，也具有氣室的構造。沈水葉為鬚根狀（平均約 9 支），整束有葉柄（直徑約 0.4mm）連接於莖節上，其功能為保持整顆植株的平衡，構造上具有葉綠體（為證明沈水葉是「葉」而不是根的證據）、維管束及氣室，莖（直徑約 0.84mm）為橫走莖，構造上具有氣室、維管束呈圓形排列，孢子囊果是簇生於沈水葉基部，呈圓形（長寬比約為 1.1），毛被物疏而粗且短。大孢子囊（直徑約 460 μm ）呈橢圓形，表面呈白底上有褐色網狀格子。小孢子囊（直徑約 314 μm ）呈圓形，為褐色。浮水葉、沈水葉、莖皆具有氣室，其功能是讓植株漂浮於水面。氣室周圍的薄壁細胞是氣室一旦受傷害，可作為防堵作用，避免傷害擴大。沈水葉與莖維管束中的木質部是輸送水分和礦物質給中肋再給葉脈，葉片行光合作用後，製造的養分再由韌皮部運輸，提供整顆植株養分。

由 2003 年 11 月至 2006 年 3 月於新竹地區進行槐葉蘋物候週期觀察得知，浮水葉於 3 月~11 月為抽芽、成長期，3~12 月為成長、繁殖期，是為無性繁殖期。在 4~10 月（平均氣溫約 22~26°C）時，是無性繁殖最為旺盛的時期。12 月起逐漸減弱至隔年 2 月完全冬枯，直至 3 月無性繁殖機制會再出現，共十個月為一個週期。12 月至隔年 2 月為冬枯期且孢子囊果出現期，1~6 月為孢子囊果成熟、開裂期，是為有性生殖期，共七個月為一個週期。在 1~3 月（平均氣溫約為 14.5~16.5°C）是有性生殖最旺盛的時期，但 2003 及 2005 年孢子囊果開始出現於 11 月中旬（平均氣溫分別為 22.1°C 及 22.4°C）與 12 月（平均氣溫分別為 16.9°C 及 15.9°C），溫差分別為 5.2°C 及 6.5°C。而 2004 年孢子囊果開始出現於 12 月（平均氣溫 18.7°C）與 11 月（平均氣溫 21.8°C）溫差約 3°C。由此可知，當平均氣溫由 22.1°C 降為 17.2°C（溫差 4.9°C）時，會影響槐葉蘋無性繁殖機制而無法進行，此時孢子囊果出現，開始進行有性生殖，取代無性繁殖。因此本研究首次發現，孢子囊果的出現與溫差有正相關。

槐葉蘋的無性繁殖是增加植株數量的主要方式，可分為頂芽生長點及側芽生長點兩類，頂芽生長點指的是從母株頂端長出的新芽，它維持整棵母株的成長，沒有裂殖現象，只有老葉死、新葉生的成長循環。側芽生長點指的是在母株橫走莖上的節，由浮水葉的葉腋向左或向右呈互生方式抽出的新芽，新芽生長到五輪葉以上就會裂殖成為一個新植株，繼續行無性繁殖；但若生長環境過於擁擠時，裂殖現象就不會出現。

槐葉蘋的有性生殖很特別，是屬於異型孢子（小孢子與大孢子）異配子體交配，大孢子經過三週培養後，長成成熟的扇形雌配子體，其上均勻佈滿內凹的藏卵器；小孢子經過一個月培養後，長成成熟的雄配子體，其上長出圓形凸出的藏精器。雌配子體受精後由初生葉發成一棵新植株（約 5 輪葉）約需 6 週的時間。我是首先將槐葉蘋的無性繁殖及有性生殖兩者世代交替的過程，以圖表方式詳細的描繪出槐葉蘋的生活史（圖 27）。

用槐葉蘋的生長率及存活率高低來比對所需環境因子的條件，槐葉蘋無論在生長最快的秋季（平均氣溫 23.6°C、水溫 21.7°C、相對濕度 73.3%）或最慢的冬季（平均氣溫 16.0°C、水溫 15.4°C、相對濕度 78.3%），皆需要培育在半遮蔭且通風性良好（平均氣溫約 23.6~27°C、相對濕度約 73.3~78.3%、光照度約 4587.5 LUX、遮蔭度 58.33%）、乾淨未污染的淡水水質（pH 值為 6.5~8）等條件的環境中，槐葉蘋即可以平均 9.08 片/天的生長率生長。無論是在人工濕地、水生池或生態缸，槐葉蘋皆可被保育下來，同時亦可達到保育原生種之目的。

陸、參考文獻

- 一、 牟善傑 1996 水生生態系的殺手—人厭槐葉蘋 自然保育季刊 第 16 期 p.38 ~ 45
- 二、 林春吉 2002 臺灣水生植物 1 初版 台北 田野影像出版社 p.207
- 三、 林敬舒 2001 台灣濕地雜誌 社團法人台灣濕地保護聯盟 25
- 四、 郭城孟 1997 台灣稀有及瀕危植物之分級 彩色圖片(II) 初版 台北 行政院農委會 p.162
- 五、 郭城孟 2001 蕨類入門 初版 台北 遠流出版社 p.172 ~ 173
- 六、 郭城孟 2001 蕨類圖鑑 初版 台北 遠流出版社 p.402
- 七、 黃朝慶 李松柏 1999 台灣珍稀水生植物 初版 台中 清水鎮牛罵頭文化協進會 p.20 ~ 21
- 八、 黃曜謀 2003 蕨類孢子的收集與保存 台灣林業科學 18 期第一卷 p. 75~79
- 九、 楊冠政 2001 基礎生物 第六版 台北 龍騰文化事業股份有限公司 p.64~65
- 十、 楊遠波 劉和義 呂勝田 1977 台灣維管束植物簡誌 第一卷 行政院農委會
- 十一、 蔡淑華 1975 植物組織切片技術綱要 初版 台北 茂昌圖書有限公司 p.113~119
- 十二、 鍾楊聰、葉開溫、崔文慧、徐歷鵬 2005 生物學(上冊) 第六版 台北 台灣培生教育出版股份有限公司 p.732 ~ 737
- 十三、 鍾楊聰、葉開溫、崔文慧、徐歷鵬 2005 生物學(下冊) 第六版 台北 台灣培生教育出版股份有限公司 p.980
- 十四、 Coelho, F. F. 1999. Density-dependent Morphological Plasticity in *Salvinia auriculata* Aublet. *Aquatic Botany* 66: p.275 ~ 279
- 十五、 Coelho, F. F. 2005. Persistence Strategy of *Salvinia auriculata* Aublet in Temporary Ponds of Southern Pantanal, Brazil. *Aquatic Botany* 81: p.347 ~ 350
- 十六、 J.E. 2003 異種入侵 國家地理雜誌 Vol. 3 No. 7 寰宇地理誌專欄
- 十七、 Julien, M. H. 2002. 2 Floating Fern (*Salvinia*). P.22, 23
- 十八、 Yasui, K. 1911. On the Life-history of *Salvinia natans*. *Annals of Botany* 25: p.470 ~ 483

柒、附圖

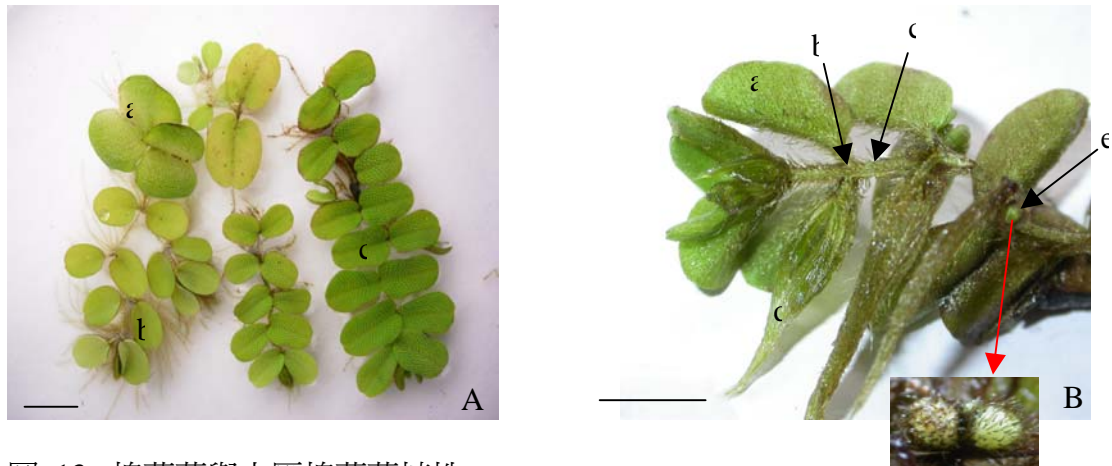


圖 13. 槐葉蘋與人厭槐葉蘋植株 (Scale bar = 10 mm)

A. 人厭槐葉蘋 (a: 成熟葉; b: 初生葉; c: 槐葉蘋)

B. 槐葉蘋的各部構造 (a: 浮水葉; b: 節; c: 莖; d: 沈水葉; e: 孢子囊果)

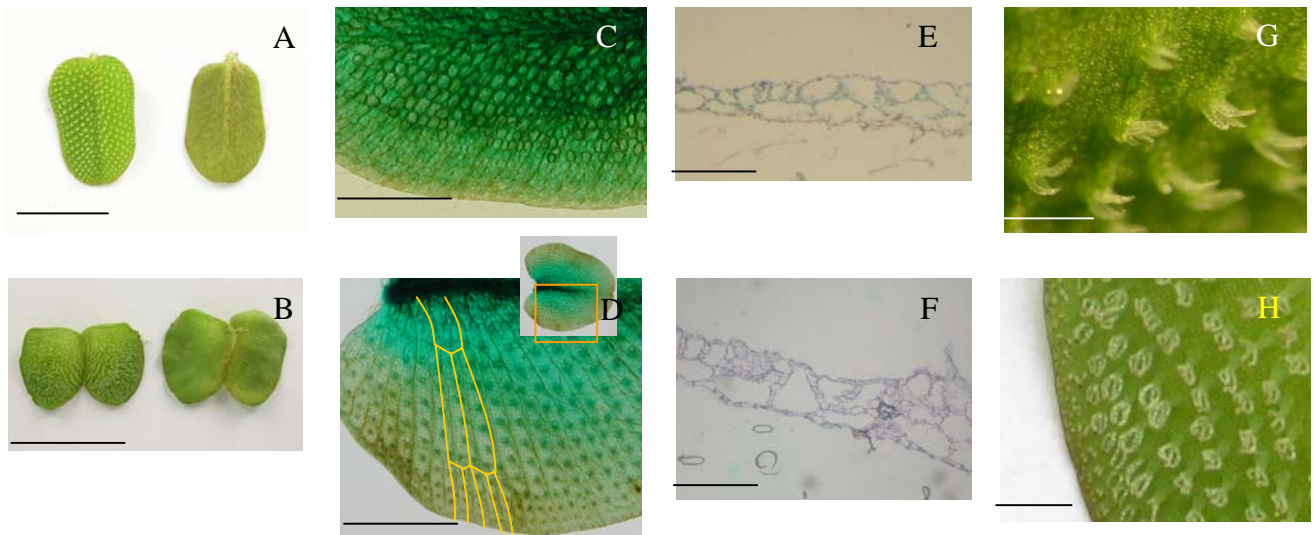


圖 14. 槐葉蘋與人厭槐葉蘋浮水葉

A、槐葉蘋浮水葉正面及背面(Scale bar = 10 mm)；B、人厭槐葉蘋浮水葉正面及背面(Scale bar = 20 mm)；C、槐葉蘋的葉脈(Scale bar = 2.5 mm)；D、人厭槐葉蘋的葉脈(Scale bar = 5 mm)；E、槐葉蘋浮水葉的氣室(Scale bar = 0.5 mm)；F、人厭槐葉蘋浮水葉的氣室(Scale bar = 0.5 mm)；G、槐葉蘋的葉上毛被物(Scale bar = 0.25 mm)；H、人厭槐葉蘋的葉上毛被物(Scale bar = 0.25 mm)。

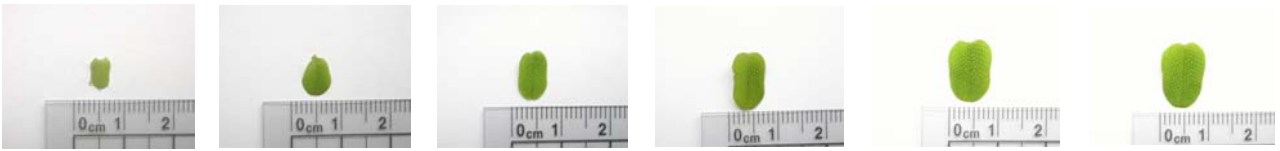


圖 15. 槐葉蘋浮水葉葉片成長比例

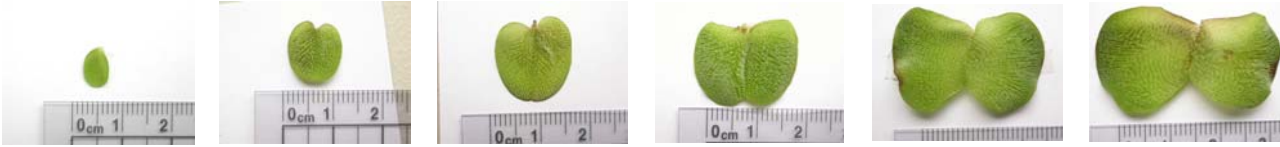


圖 16. 人厭槐葉蘋浮水葉葉片成長比例

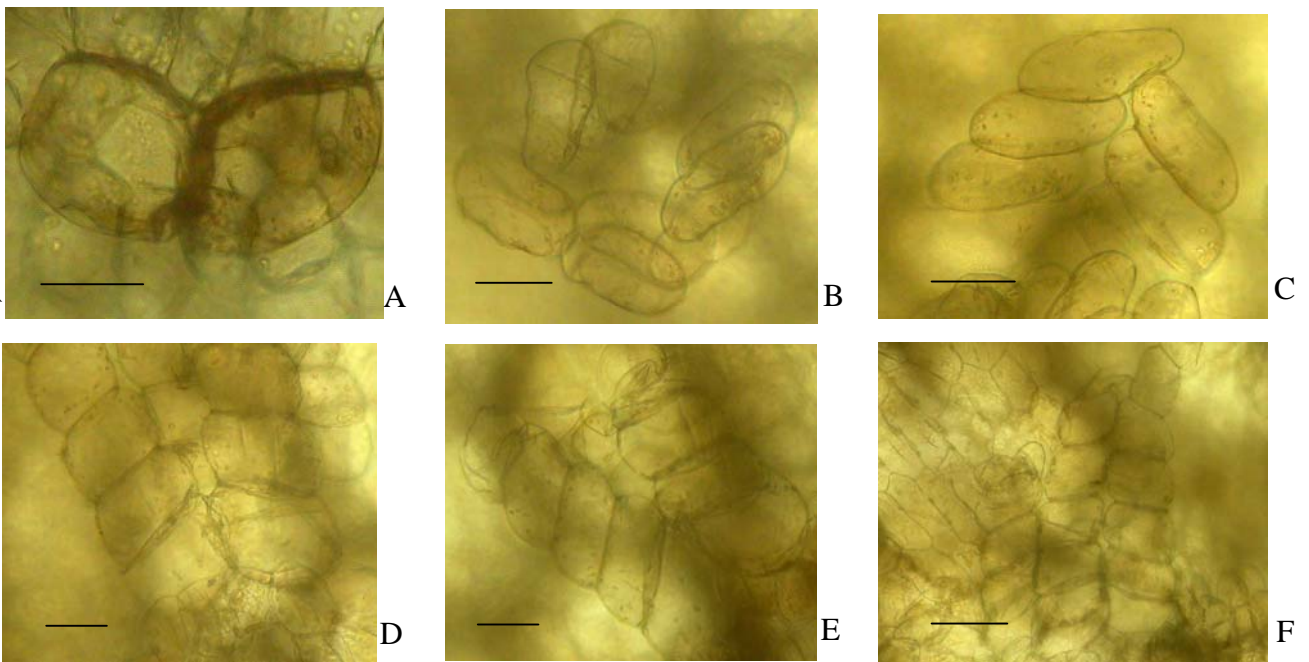


圖 17. 槐葉蘋浮水葉上毛被物生長發育過程 A→F (Scale bar = 0.1 mm)

A、長出 1 節細胞； B、長出 2 節細胞； C、長出 3 節細胞； D、長出 4 節細胞； E、長出 5 節細胞； F、長出 6、7 節細胞，叢生並分岔。

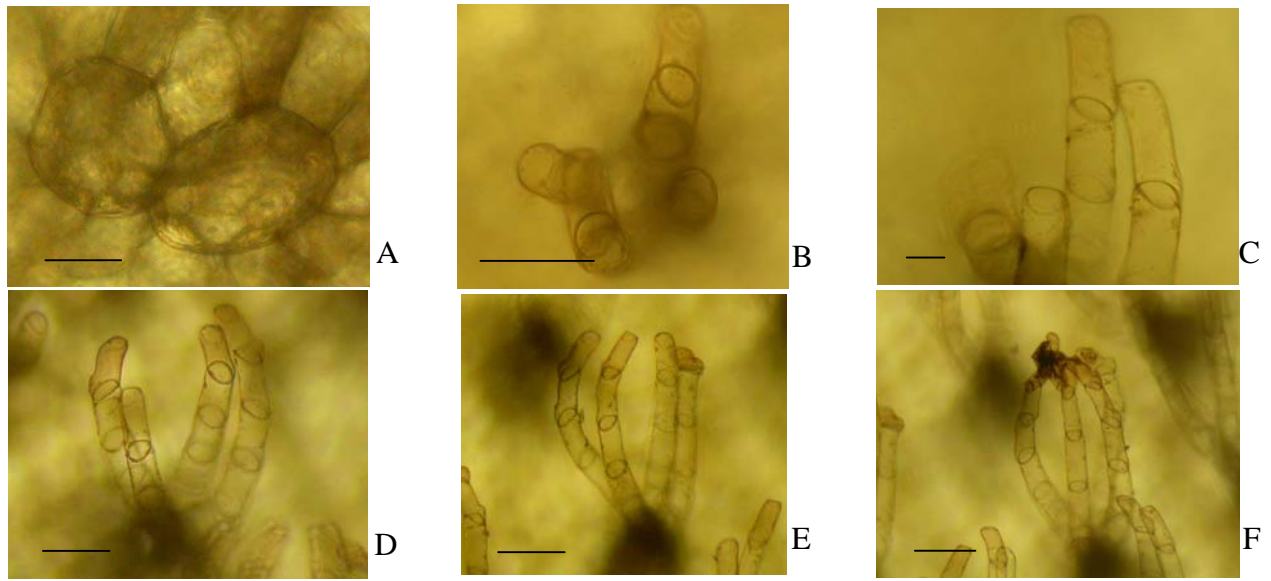


圖 18. 人厭槐葉蘋浮水葉上毛被物生長發育過程

A、毛被物長出 1 節細胞(Scale bar = 0.1 mm)； B、長出 2 節細胞(Scale bar = 0.1 mm)； C、長出 3 節細胞(Scale bar = 0.1 mm)； D、長出 4 節細胞，並開始向內彎曲(Scale bar = 0.5 mm)； E、繼續向內彎曲(Scale bar = 0.5 mm)； F、向中間接合成一個打蛋器的形狀(Scale bar = 0.5 mm)。

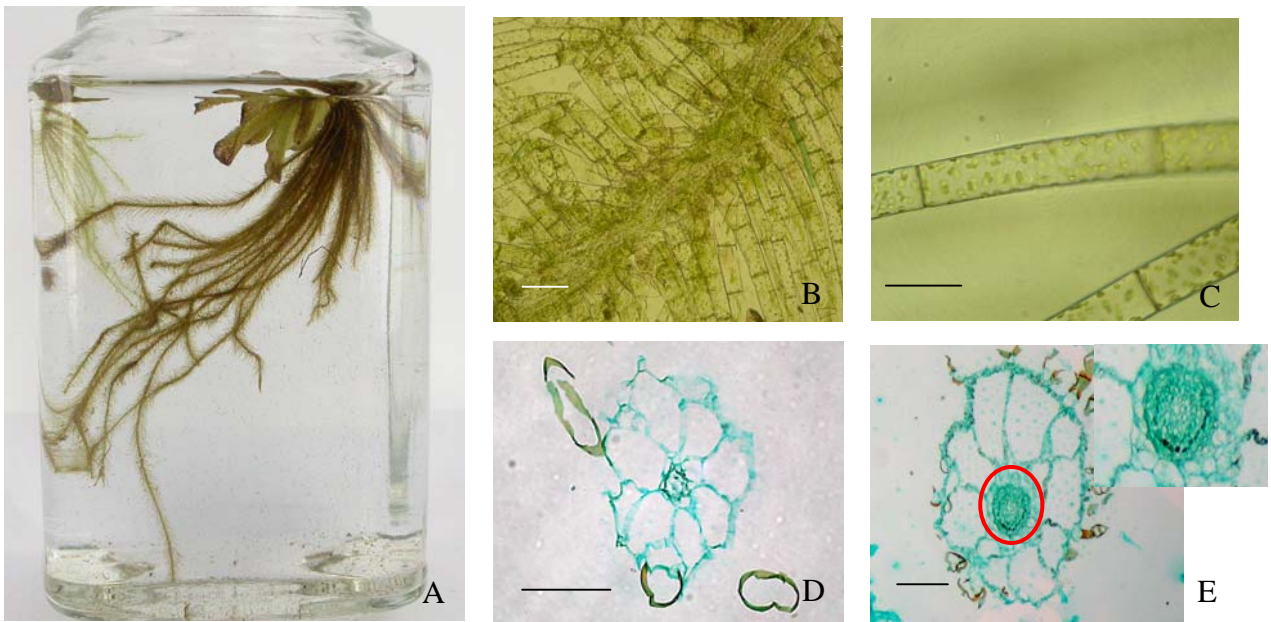


圖 19. 沈水葉構造圖

A. 人厭槐葉蘋及槐葉蘋沈水葉的比較； B. 槐葉蘋沈水葉的葉綠體(Scale bar = 0.5 mm)； C. 槐葉蘋沈水葉毛被物的葉綠體(Scale bar = 0.5 mm)； D. 槐葉蘋沈水葉橫切面(Scale bar = 0.1 mm)； E. 人厭槐葉蘋沈水葉橫切面(Scale bar = 0.1 mm)。

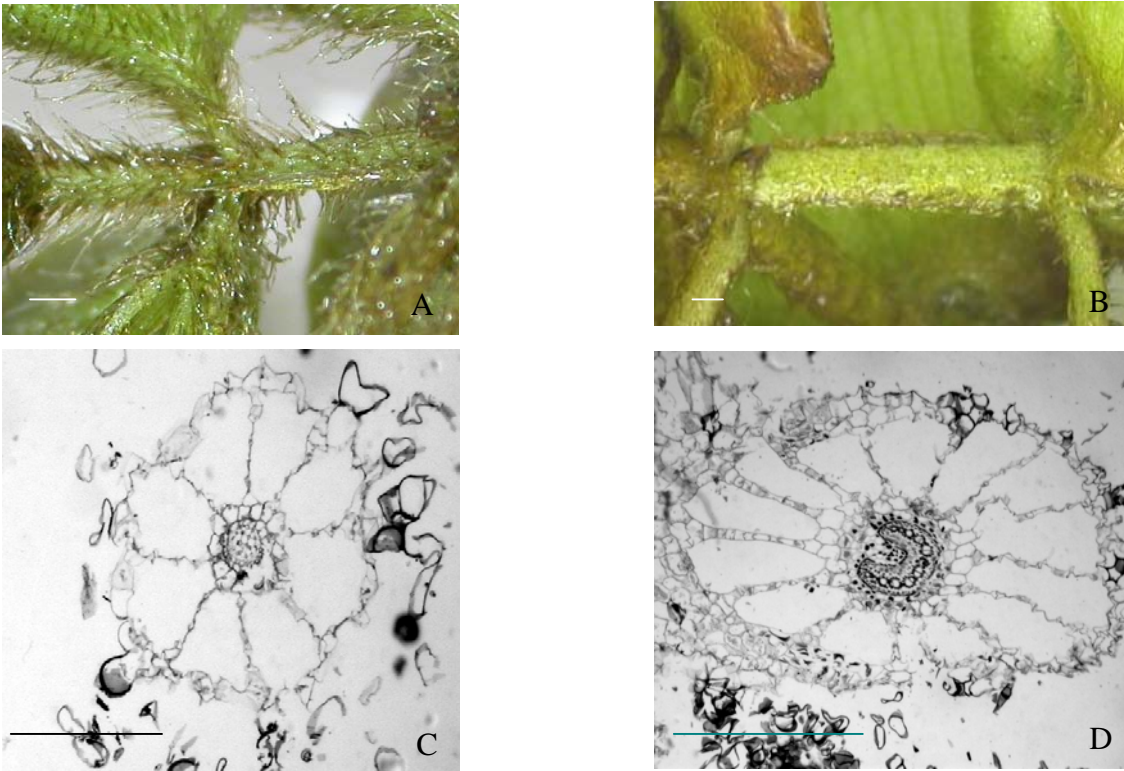


圖 20. 莖的形態比較 (Scale bar = 0.5 mm)

A. 槐葉蘋莖的外觀；B. 人厭槐葉蘋莖的外觀；C. 槐葉蘋莖的橫切面，維管束為圓形排列，氣室數量比人厭槐葉蘋少；D. 人厭槐葉蘋莖的橫切面，維管束為馬蹄形排列，氣室數量較多。



圖 21. 孢子囊果的形態 (Scale bar = 1 mm)

A. 槐葉蘋；B. 人厭槐葉蘋。

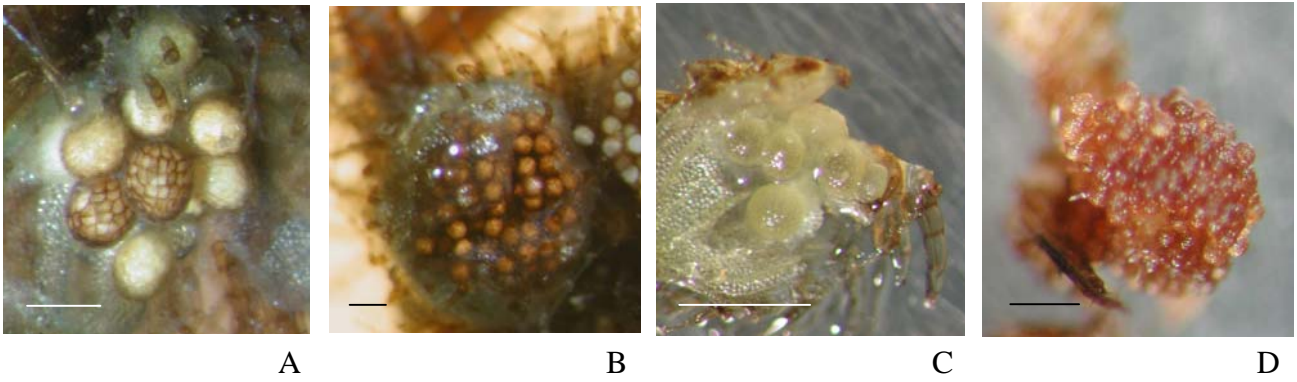


圖 22. 孢子囊的形態 (Scale bar = 0.5 mm)

A. 槐葉蘋大孢子囊；B. 槐葉蘋小孢子囊；C. 人厭槐葉蘋大孢子囊；D. 人厭槐葉蘋小孢子囊。

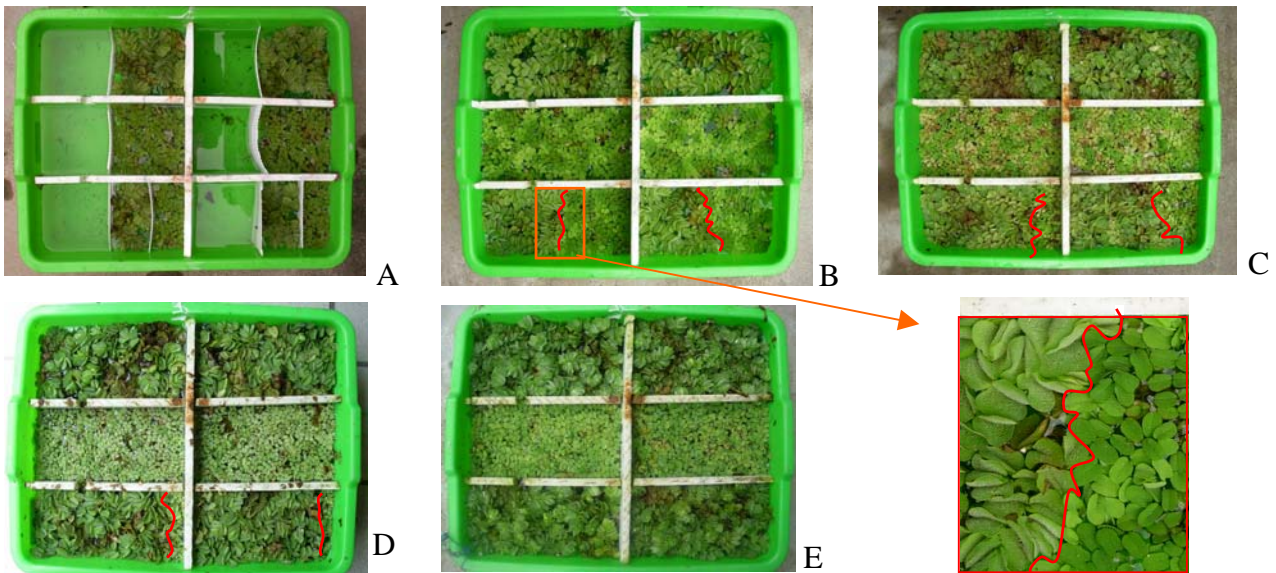


圖 23. 生存競爭實驗

A、實驗開始； B、第二週，對照組的人厭槐葉蘋、槐葉蘋所佔的面積約為各格的 85%，競爭組人厭槐葉蘋與槐葉蘋的面積比約為 1：1； C、第五週，對照組的人厭槐葉蘋、槐葉蘋均佔滿各格面積，競爭組的人厭槐葉蘋、槐葉蘋的面積比約為 3：1； D、第七週，對照組的人厭槐葉蘋、槐葉蘋仍然佔滿各格，競爭組的人厭槐葉蘋、槐葉蘋的面積比約為 9：1； E、第十週，對照組的人厭槐葉蘋、槐葉蘋仍然佔滿各格，競爭組則全被人厭槐葉蘋所佔滿。

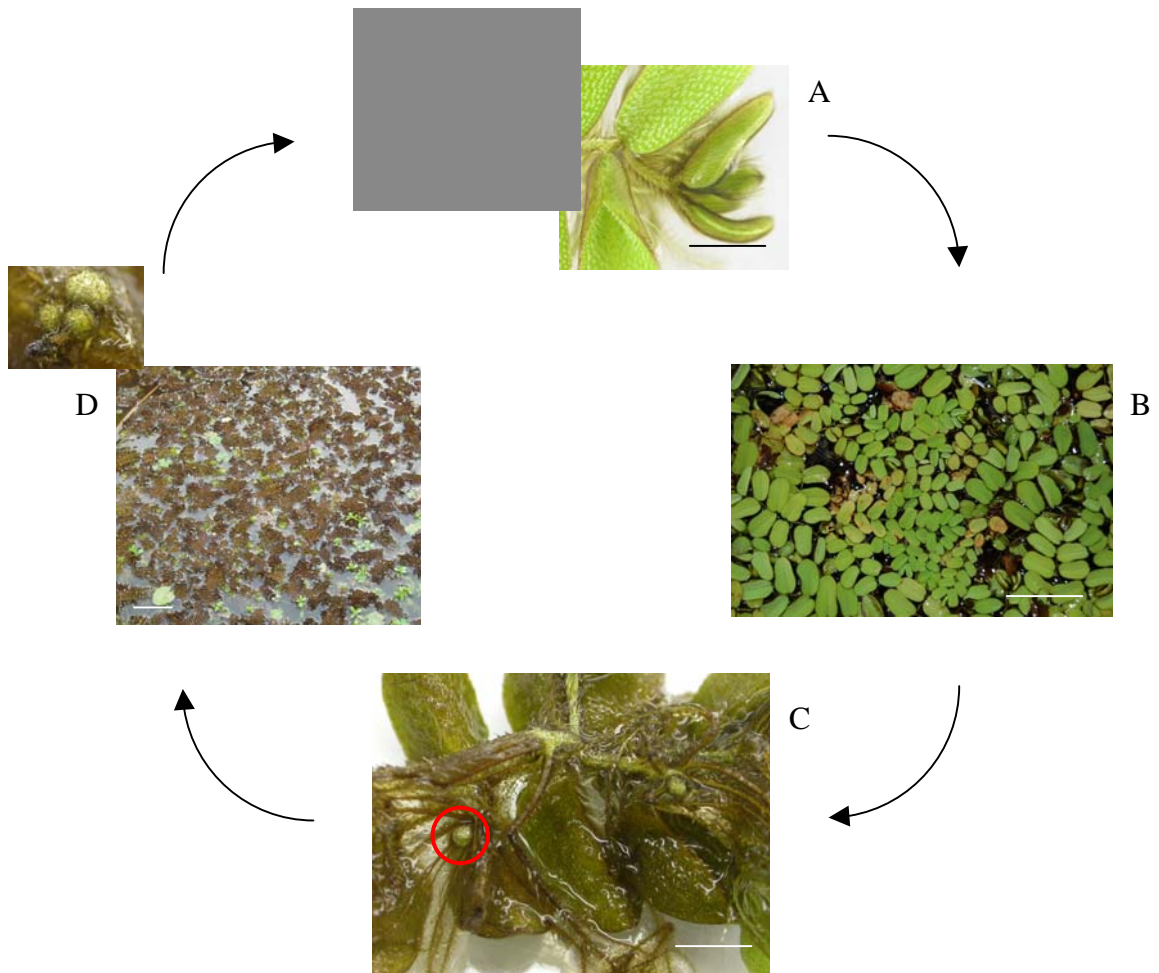


圖 24. 槐葉蘋的物候週期

A、春季，抽出新芽(Scale bar = 5 mm)；B、夏季，成長、繁殖(Scale bar = 20 mm)；C、初秋成長、繁殖，秋末長出孢子囊果(Scale bar = 5 mm)；D、冬季，植株有冬枯現象，孢子囊果成熟(Scale bar = 50 mm)。

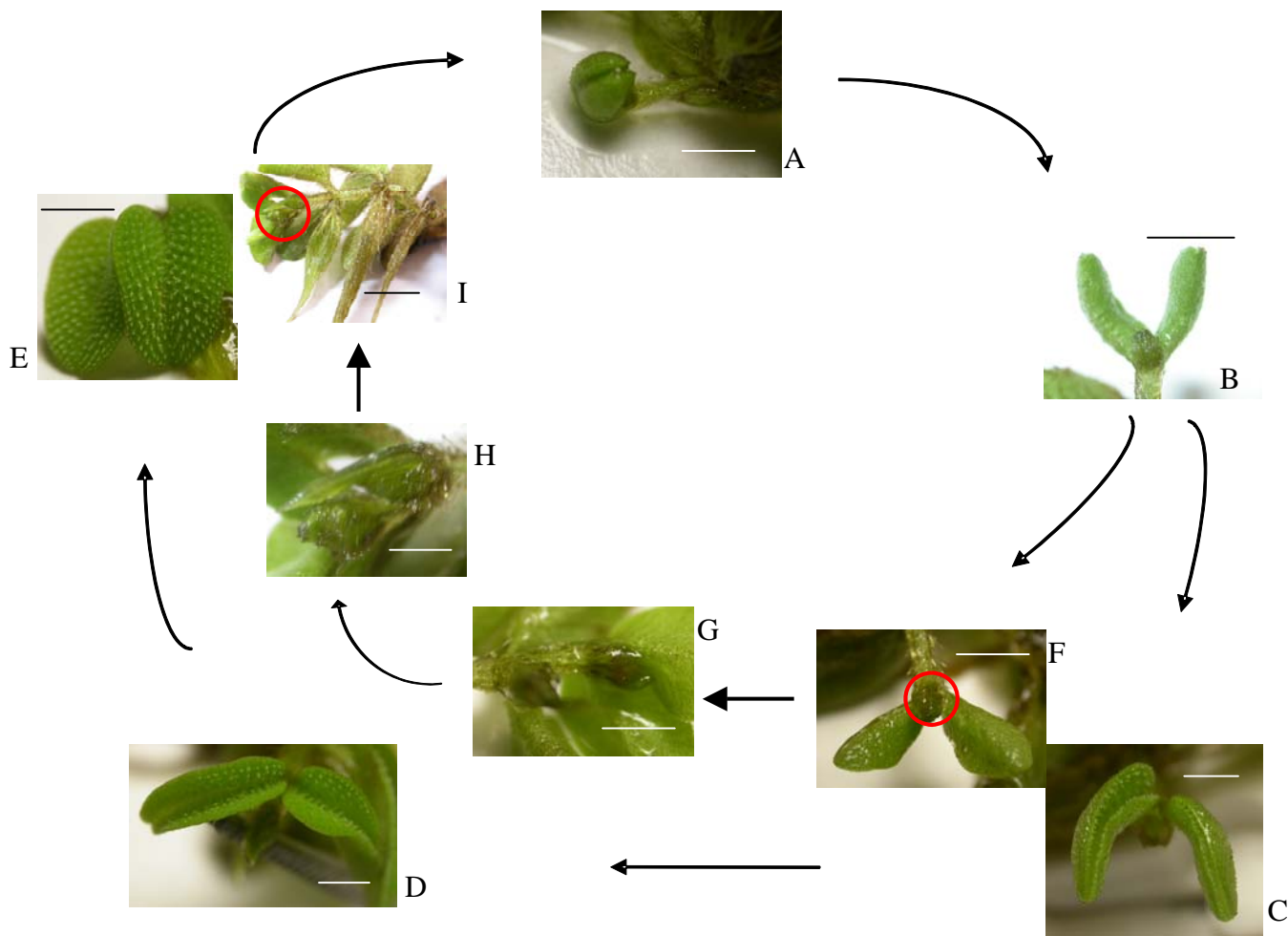


圖 25. 槐葉蘋頂芽與側芽成長圖

A、浮水葉新芽(Scale bar = 2.5 mm)；B、浮水葉成長，同時也漸漸展開(Scale bar = 5 mm)；C、浮水葉成長變慢，葉子漸漸展開(Scale bar = 5 mm)；D、浮水葉葉長、葉寬都繼續成長(Scale bar = 5 mm)；E、浮水葉寬成長緩慢，長度繼續成長(Scale bar = 5 mm)；F、浮水葉展開，沉水葉的芽呈現，芽繼續成長，葉柄變長(Scale bar = 5 mm)；G、沈水葉的芽繼續成長，並長出鬚根狀葉，葉柄繼續成長(Scale bar = 5 mm)；H、沈水葉的葉柄停止成長，鬚根狀葉繼續成長(Scale bar = 5 mm)；I、沉水葉繼續成長(Scale bar = 10 mm)。

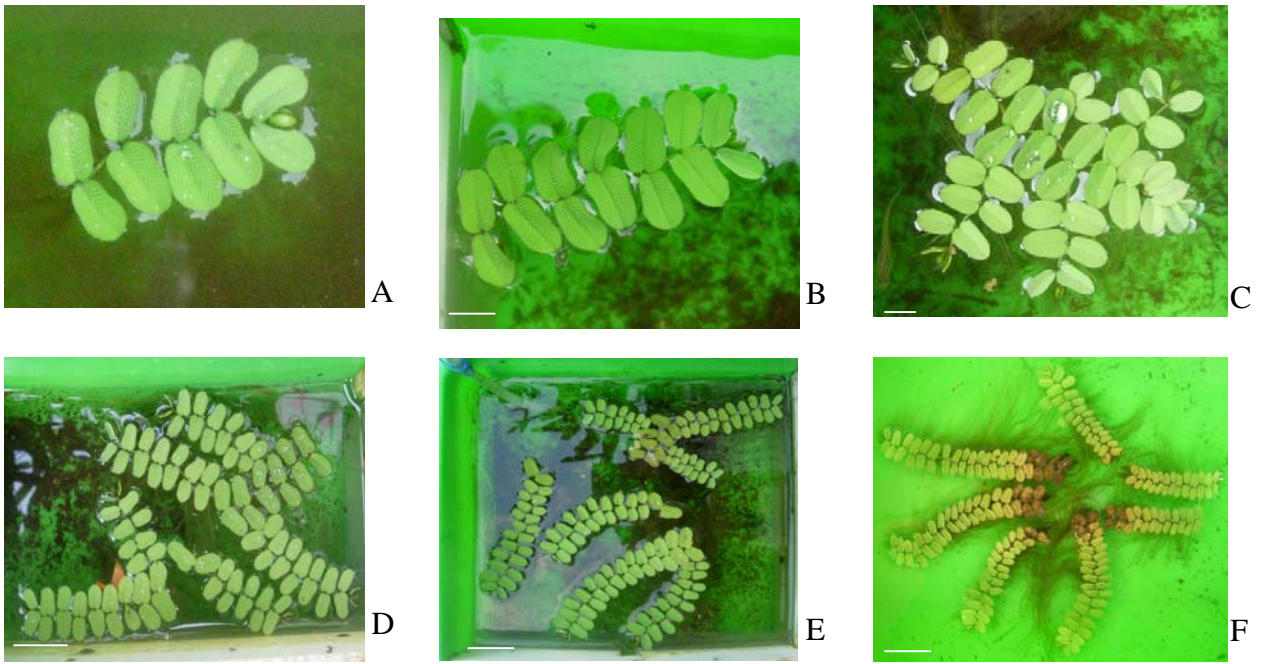


圖 26. 槐葉蘋側芽繁殖圖

A、實驗開始(Scale bar = 10 mm)；B、三天後，頂芽長出兩輪葉(Scale bar = 10 mm)；C 一週後在第三、四、五、六輪葉以互生的方式長出側芽(Scale bar = 10 mm)；D、二週後開始裂殖(Scale bar = 20 mm)；E、側芽裂殖脫離母株(Scale bar = 20 mm)；F、側芽完全裂殖脫離母株，成爲一棵新的植株 (Scale bar = 20 mm)。

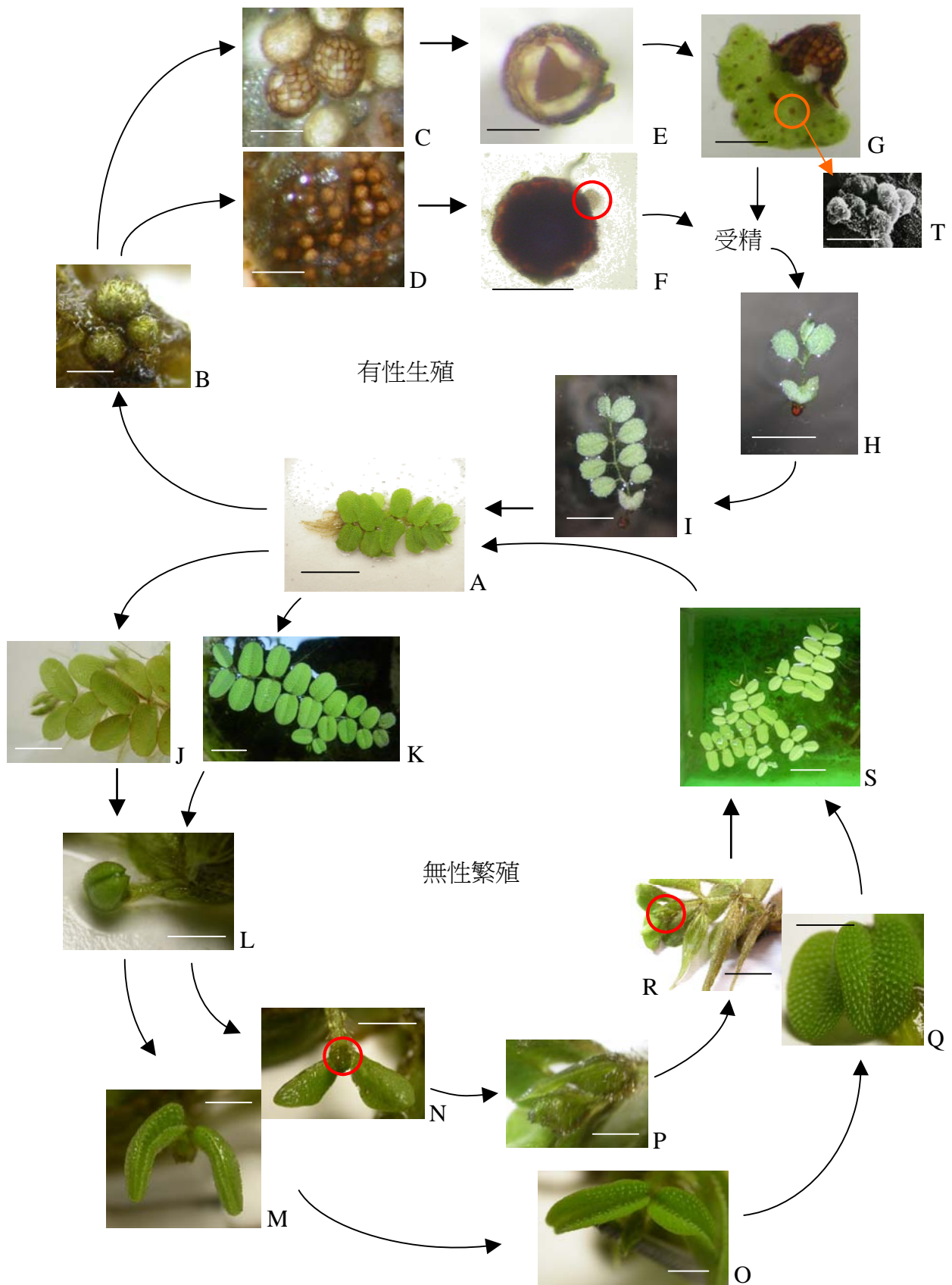


圖 27. 槐葉蘋的生活史

A、成熟植株(Scale bar = 20 mm)；B、孢子囊果成熟(Scale bar = 1 mm)；C、孢子囊果開裂、大孢子囊成熟(Scale bar = 0.5 mm)；D、孢子囊果開裂，小孢子囊成熟(Scale bar = 1 mm)；E、大孢子囊開裂(Scale bar = 0.25 mm)；F、雄配子體上凸起的藏精器(Scale bar = 0.25 mm)；G、雌配子體上內凹的黑色藏卵器(Scale bar = 0.1 mm)；H、第一對浮水葉呈互生，無沈水葉(Scale bar = 5 mm)；I、第二對浮水葉開始葉片呈對生方式成長(Scale bar = 5 mm)；J、頂芽生長點(Scale bar = 10 mm)；K、側芽生長點(Scale bar = 10 mm)；L、新芽(Scale bar = 2.5 mm)；M、浮水葉成長、展開(Scale bar = 5 mm)；N、浮水葉展開，沉水葉的芽呈現(Scale bar = 5 mm)；O、浮水葉葉長、葉寬都繼續成長(Scale bar = 5 mm)；P、沈水葉的葉柄停止成長，鬚根狀葉繼續成長(Scale bar = 5 mm)；Q、浮水葉葉寬成長緩慢，葉長繼續成長(Scale bar = 5 mm)；R、沉水葉繼續成長(Scale bar = 10 mm)；S、成熟植株裂殖成一棵新植株(Scale bar = 20 mm)；T、藏卵器(Scale bar = 100 μ m)。



圖 28. 在花市販賣的人厭槐葉蘋（台北市建國花市）



圖 29. 被人厭槐葉蘋佔據的池塘

A. 台灣大學生科所； B. 新竹市香山國小水生池

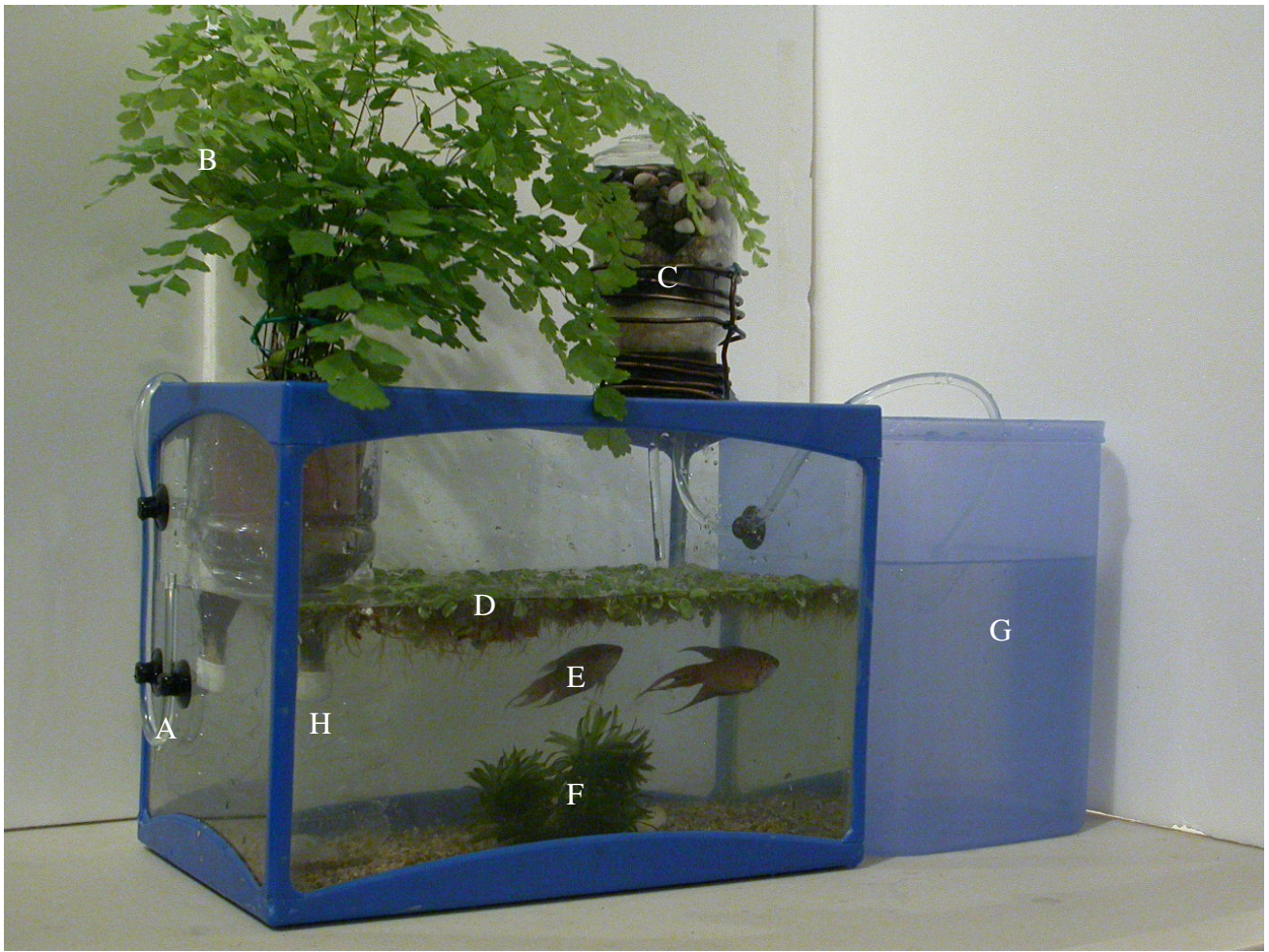


圖 30. 生態缸

A. 水位高度控制器； B. 鐵線蕨； C. 濾水器； D. 槐葉蘋； E. 蓋斑鬥魚； F. 水蘊草； G. 蓄水容器； H. 棉繩

評語

研究內容豐富，嚴整可惜多現象或生活史的描述，建議縮小範圍，針對局部內容進行更深入的機制探討。