

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

佳作

030305

巢居穴處—蟲菌穴分布特性與影響因素分析

學校名稱： 新竹縣立成功國民中學

作者： 國二 林宥丞 國二 李宥勳 國二 汪祐丞	指導老師： 莊麗頤
---	------------------

關鍵詞： 蟲菌穴、蟎、樹冠層

巢居穴處—蟲菌穴分布特性與影響因素分析

摘要

為了解蟲菌穴分布特性與影響因素，我們以四十種木本植物為研究對象，先觀察各種葉片是否有蟲菌穴及數量多寡、歸納出六種類型、確認內部構造，並確認穴居生物以蟎類為主；再分析親緣關係、不同脈型的影響；最後探討不同葉片大小、樹冠層高度及內外層、葉片成熟度等因素對蟲菌穴數量及型態的影響。結果發現，並非所有木本植物有蟲菌穴，脈型的影響較親緣關係明顯。平行脈都沒有蟲菌穴；側脈有較多分岔，蟲菌穴數也較多。種間葉片面積大小與蟲菌穴數無明顯相關。但小葉欖仁和茄苳的主脈長度與蟲菌穴數量皆呈顯著正相關。樹冠層越高、越外側，則蟲菌穴數越少。茄苳幼與成葉的蟲菌穴數也有顯著差異。茄苳葉在不同時期及不同部位的蟲菌穴型態都不相同。

壹、前言

一、研究動機

在專題課程中，老師讓我們觀察校園植物葉片的各種型態，我們偶然發現小葉欖仁葉片葉面的主脈及側脈交界處有突起的構造，翻至葉背則像是覆蓋著毛的小孔穴（圖 1~2），好奇心驅使我們採了一些葉子回到實驗室用顯微鏡觀察，居然還發現裡面有蟎待在孔穴中（圖 3）。查閱相關文獻後，發現其構造叫做「蟲菌穴」，是樹和蟎類共生的結果，樟樹、茄苳、臺灣欖樹等喬木，也都有此構造，十分驚奇！在臺灣，關於蟲菌穴的研究寥寥無幾，所以我們想要找出不同樹種產生蟲菌穴的型態、數量，以及葉脈脈型、葉片面積、不同樹冠層等變因對蟲菌穴的影響，藉此對樹木與節肢動物的共生有更深入的了解，並期待研究成果能為森林保護、病蟲害防治以及生態保護工作提供更有價值的研究數據支持。

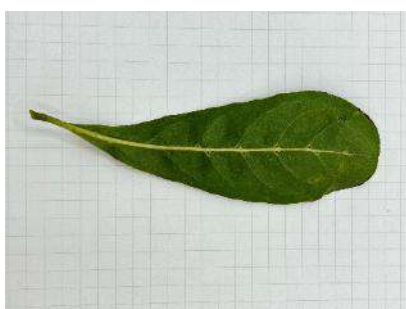


圖 1 小葉欖仁葉片



圖 2 蟲菌穴構造



圖 3 有蟎在其中

（圖片來源：研究者自行拍攝）（圖片來源：研究者自行拍攝）（圖片來源：研究者自行拍攝）

二、研究目的

（一）觀察蟲菌穴的多樣性與基本描述

1. 觀察 40 種木本植物葉片，記錄蟲菌穴的有無與數量多寡。
2. 分析 40 種木本植物葉片上蟲菌穴的外觀特徵並進行分類。
3. 觀察不同類型的蟲菌穴橫切面，確認內部構造特徵。
4. 觀察蟲菌穴中「蟲」的種類，並初步了解蟲菌穴的功能。

（二）分析植物的親緣性及脈型等特徵，與蟲菌穴類型的關聯性

1. 比較同科不同屬植物之間蟲菌穴類型的異同，分析植物親緣關係對蟲菌穴的影響。
2. 分析不同葉脈型態與蟲菌穴類型之間的關聯。

（三）探討葉片特徵與環境因子對蟲菌穴分布特性的影響

1. 探討不同種植物葉片面積大小對蟲菌穴數量的影響。
2. 探討同種植物葉片大小(主脈長短)對蟲菌穴數量的影響。
3. 探討同種植物不同樹冠層高度的葉片蟲菌穴數量變化。
4. 探討同種植物樹冠層內與樹冠層外的葉片蟲菌穴數量變化。
5. 探討不同葉片成熟度（幼葉與成葉）的蟲菌穴數量差異。
6. 探討同種植物在不同時期與不同部位的蟲菌穴構造差異。

三、文獻回顧

（一）蟲菌穴（Domatia）

蟲菌穴（Domatia）是植物上特定的微小凹陷結構，通常形成於位於被子植物的葉背，部分有毛叢包裹或遮蓋，部分有真菌共生其中。蟲菌穴的形成是植物與蟎類之間互利共生關係的結果，蟲菌穴提供棲息地來保護捕食性蟎類避免天敵危害，而捕食性蟎類幫助植物遠離被食植性蟎類取食之苦。而食菌性蟎類則靠著進食植物體上的真菌孢子和菌絲，協助植物抵禦有害的病原體，保護植物健康（林試所-幸福森活，2023 年 8 月 30 日）。

臺灣植物中，樟科樟屬、茜草科、豆科、杜英科、金縷梅科、莢蒾屬、茄苳及臺灣欒樹等分類群或樹種，都發現具有蟲菌穴構造（林試所-幸福森活，2023 年 8 月 30 日）。

（二）蟲菌穴（Domatia）的不同類型

根據 Robbrecht(1987)指出，熱帶木本茜草科植物的蟲菌穴類型分為：

1. 毛叢生型 (Tuft-domatia)：毛叢聚集區域 (如 *T. capensis*)。
2. 毛囊袋型 (Hairy pocket-domatia)：形成毛囊狀結構 (如 *T. yangambiensis*)。
3. 纖毛坑型 (Ciliate pit-domatia)：具纖毛的穴狀結構 (如 *T. pallens*)。
4. 介於坑型和隱窩型之間的過渡型 (Intermediate type)：結構介於坑穴與隱穴之間 (如 *T. coriacea*)。
5. 隱窩型 (Crypt-domatia)：完全隱蔽的洞穴結構 (如 *T. biafrana*)。

Bong-Gyu Kim和Issakwisa Bernard Ngondya(2010)在五種山茱萸屬植物中觀察到了袋狀 (Pocket domatia)、簇狀 (Tuft domatia) 和簇狀-袋狀 (TuftPocket) 三種類型的蟲菌穴。

(三) 脈系 (venation) 或脈型 (vein-type)

葉脈 (vein) 是指葉片中具有輸導與支持作用的維管束組織。通常中間最粗大明顯的是「主脈」，由它岔出的「側脈」，貫通側脈之間的是「細脈」(廖仁滄，2014)。

脈系或脈型，即排列方式又分為平行脈與網狀脈。單子葉植物通常是平行脈；雙子葉為網狀脈。平行脈又分直出平行脈、側出平行脈與射出平行脈；網狀脈又分羽狀網狀脈、掌狀網狀脈和三出脈等脈型。

直出平行脈是指葉脈皆由底部至尖端延伸及所有的側脈都和主脈平行；羽狀平行脈則是除了主脈以外的葉脈互相平行；射出平行脈則是葉脈以輻射狀向外延展且相互平行。

網狀脈又分為羽狀網狀脈、掌狀網狀脈和三出脈等脈型。羽狀網狀脈是最常見的一種網狀脈形式，它有許多側脈由主脈長出。掌狀網狀脈有多條主脈由葉柄末端生長，而三出脈則是指葉脈為三分叉的形狀。



圖 4 各種葉脈脈型圖(圖片來源：研究者根據本研究物種自行繪製)

貳、研究設備及器材

一、生物材料

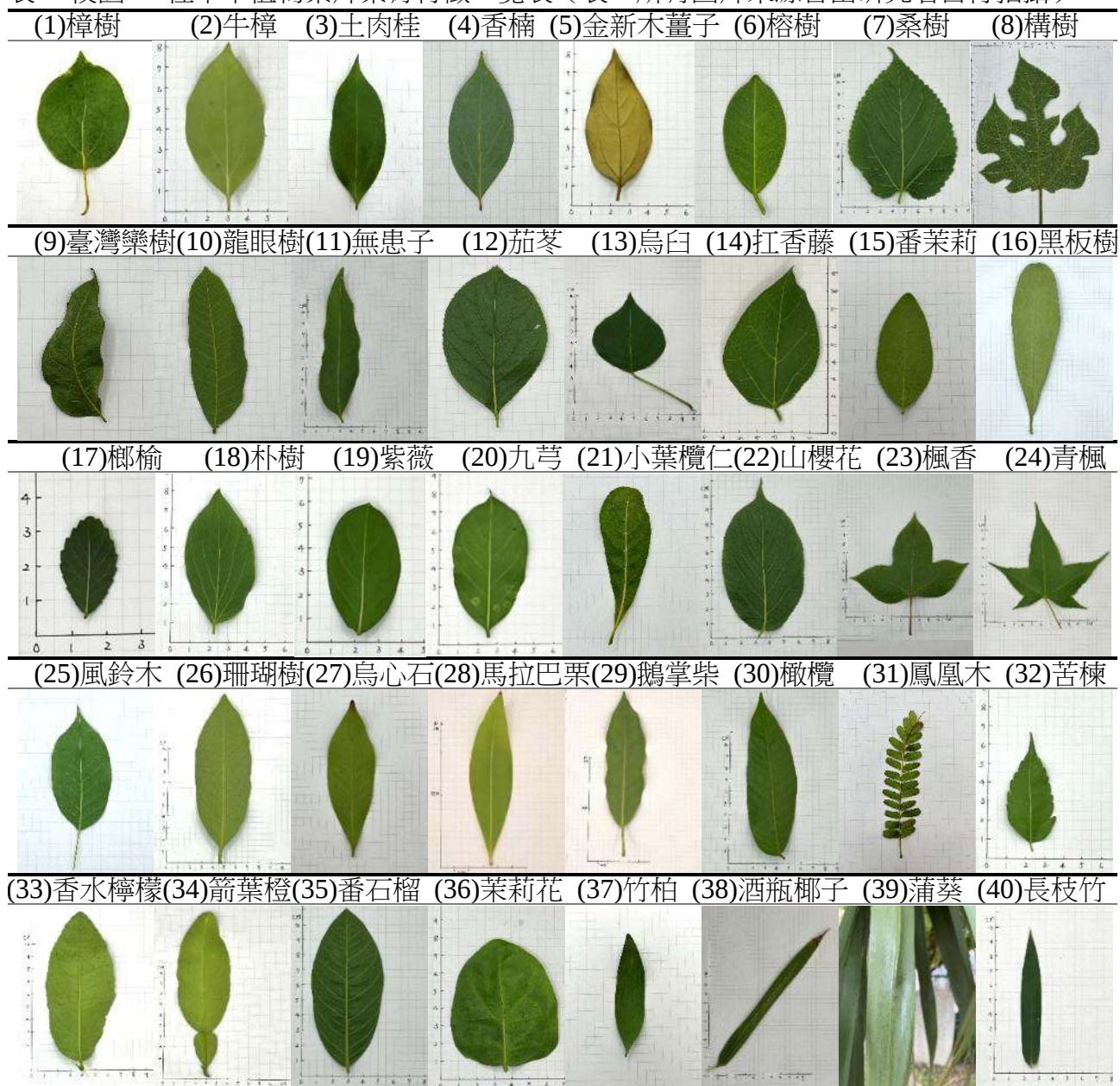
本研究的樹種，採集地包括本校、鄰近學校校園及鄰近公園的喬木 38 種與 2 種灌木，一共 40 種木本植物，物種資訊如表 1 所示。再放上葉片葉背的照片（如表 2），來比較其特徵。

（一）40 種木本植物的分類與葉片葉背特徵

表 1 40 種木本植物分類與脈型一覽表(扛香藤與番茉莉為灌木，其餘為喬木或小喬木)

物種名稱、學名	科屬別	葉脈	物種名稱、學名	科屬別	葉脈
竹柏 <i>Podocarpus macrophyllus</i>	羅漢松科 竹柏屬	平行脈	番石榴 <i>Psidium guajava</i>	桃金娘科 番石榴屬	網狀脈 羽狀脈
蒲葵 <i>Livistona chinensis</i>	棕櫚科 蒲葵屬	平行脈	小葉欖仁 <i>Terminalia mantaly</i>	使君子科 欖仁屬	網狀脈 羽狀脈
酒瓶椰子 <i>Hyophorbe lagenicaulis</i>	棕櫚科 酒瓶椰子屬	平行脈	紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i>	千屈菜科 紫薇屬	網狀脈 羽狀脈
長枝竹 <i>Bambusa dolichoclada</i>	禾本科 竹屬	平行脈	九芎 <i>Lagerstroemia subcostata</i>	千屈菜科 紫薇屬	網狀脈 羽狀脈
樟樹 <i>Cinnamomum camphora</i>	樟科 樟屬	網狀脈 三出脈	臺灣欒樹 <i>Koelreuteria henryi</i>	無患子科 欒樹屬	網狀脈 羽狀脈
牛樟 <i>Cinnamomum kanehirae</i>	樟科 樟屬	網狀脈 三出脈	龍眼樹 <i>Dimocarpus longan</i>	無患子科 龍眼屬	網狀脈 羽狀脈
土肉桂 <i>Cinnamomum osmophloeum</i>	樟科 樟屬	網狀脈 三出脈	無患子 <i>Sapindus mukorossi</i>	無患子科 無患子屬	網狀脈 羽狀脈
香楠 <i>Machilus zuihoensis</i>	樟科 楨楠屬	網狀脈 三出脈	青楓 <i>Acer serrulatum</i>	無患子科 楓屬	網狀脈 掌狀脈
金新木薑子 <i>Neolitsea sericea var. aurata</i>	樟科 木薑子屬	網狀脈 三出脈	苦楝 <i>Melia azedarach</i>	楝科 楝屬	網狀脈 羽狀脈
桑樹 <i>Morus spp.</i>	桑科 桑屬	網狀脈 羽狀脈	香水檸檬 <i>Citrus medica</i>	芸香科 柑橘屬	網狀脈 羽狀脈
榕樹 <i>Ficus microcarpa</i>	桑科 榕屬	網狀脈 羽狀脈	箭葉橙 <i>Citrus hystrix</i>	芸香科 柑橘屬	網狀脈 羽狀脈
構樹 <i>Broussonetia papyrifera</i>	桑科 構屬	網狀脈 羽狀脈	茄苳 <i>Bischofia javanica</i>	大戟科 重陽木屬	網狀脈 羽狀脈
榔榆 <i>Ulmus p0arvifolia</i>	榆科 榆屬	網狀脈 羽狀脈	烏臼 <i>Sapium sebiferum</i>	大戟科 烏臼屬	網狀脈 羽狀脈
朴樹 <i>Celtis sinensis</i>	榆科 朴屬	網狀脈 三出脈	扛香藤 <i>Mallotus repandus</i>	大戟科 野桐屬	網狀脈 三出脈
山櫻花 <i>Prunus campanulata</i>	薔薇科 梅屬	網狀脈 羽狀脈	橄欖 <i>Canarium album</i>	橄欖科 橄欖屬	網狀脈 羽狀脈
茉莉花 <i>Jasminum sambac</i>	木犀科 茉莉花屬	網狀脈 羽狀脈	烏心石 <i>Michelia compressa</i>	木蘭科 烏心石屬	網狀脈 羽狀脈
風鈴木 <i>Handroanthus impetiginosus</i>	紫葳科 風鈴木屬	網狀脈 羽狀脈	鳳凰木 <i>Delonix regia</i>	豆科 鳳凰木屬	網狀脈 羽狀脈
番茉莉 <i>Tabernaemontana divaricata</i>	夾竹桃科 番茉莉屬	網狀脈 羽狀脈	馬拉巴栗 <i>Pachira aquatica</i>	梧桐科 瓜栗屬	網狀脈 羽狀脈
黑板樹 <i>Alstonia scholaris</i>	夾竹桃科 黑板樹屬	網狀脈 羽狀脈	楓香 <i>Liquidambar formosana</i>	蕁樹科 楓香屬	網狀脈 掌狀脈
珊瑚樹 <i>Viburnum odoratissimum</i>	五福花科 莢迷屬	網狀脈 羽狀脈	鵝掌柴 <i>Schefflera arboricola</i>	五加科 鵝掌藤屬	網狀脈 羽狀脈

表 2 校園 40 種木本植物葉片葉背特徵一覽表（表 2 所有圖片來源皆由研究者自行拍攝）



二、實驗設備與器材

(一) 實驗設備與器材

表 3 實驗設備與器材一覽表

器材名稱	數量	器材名稱	數量	器材名稱	數量
複式顯微鏡	1 台	花剪	1 支	蓋玻片	1 盒
解剖顯微鏡	3 台	樹枝剪(長)(短)	2 支	載玻片	1 盒
手機拍照顯微鏡	1 台	30 公分直尺	2 把	單面刀	3 片
手機（拍照用）	1 台	活頁方格紙	1 包	滴管	1 支
筆記型電腦	1 台	A4 紙	2 張	切割墊	2 片
照度計	1 台	針筒用針頭	1 支	50ml 燒杯	1 個



圖 5 複式顯微鏡



圖 6 解剖顯微鏡



圖 7 手機顯微鏡



圖 8 照度計



圖 9 樹枝剪

(圖片來源：圖 5~圖 9 皆由研究者自行拍攝)

參、研究過程或方法

一、研究架構

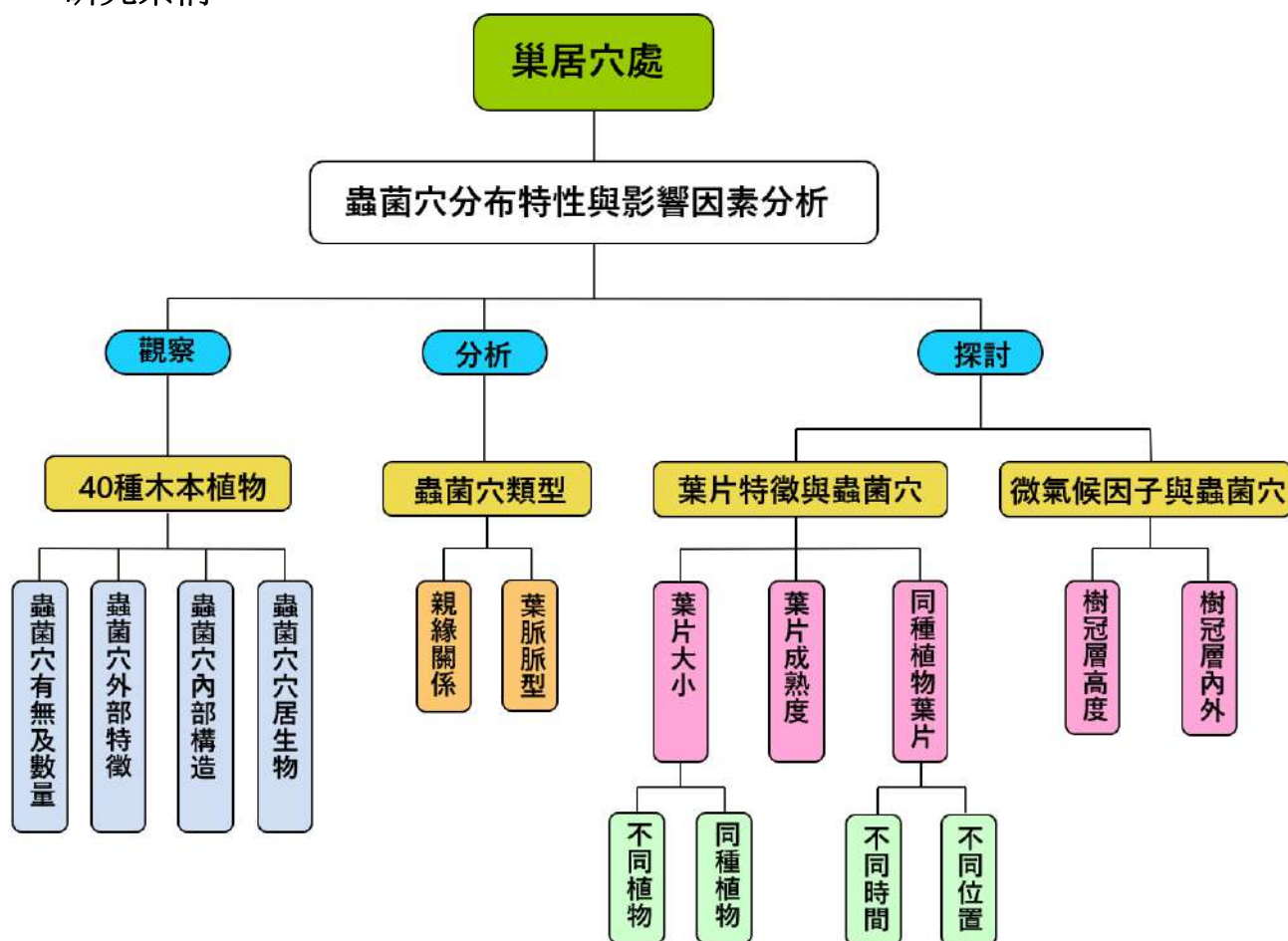


圖 10 研究架構圖 (圖片來源：研究者自行繪製)

二、研究過程

本研究的研究過程分為「觀察」、「分析」與「探討」三大部分，各項的實驗步驟說明如下：

(一) **觀察**蟲菌穴與基本描述：觀察蟲菌穴的數量→外觀→型態→內部構造→蟲的種類

【實驗 1-1】 觀察 40 種木本植物葉片，記錄蟲菌穴的有無與數量多寡。

1. 選定校園與鄰近公園中的40種木本植物，以花剪摘取至少20片葉片備用。
2. 使用解剖顯微鏡觀察植物葉背表面是否有蟲菌穴，計數數量並拍照紀錄。

【實驗 1-2】 分析蟲菌穴的外觀特徵並進行分類。

1. 使用解剖顯微鏡與複式顯微鏡觀察植物葉背的蟲菌穴型態特徵。
2. 拍照記錄並依據文獻的蟲菌穴類型將觀察到的蟲菌穴進行分類。

【實驗 1-3】 觀察蟲菌穴橫切面，確認內部構造特徵。

1. 使用徒手切片法製作蟲菌穴的橫切面切片。
2. 使用複式顯微鏡觀察不同蟲菌穴類型的內部構造特徵並比較異同。

【實驗 1-4】 觀察蟲菌穴中「蟲」的種類，初步了解蟲菌穴的功能。

1. 使用解剖顯微鏡與複式顯微鏡觀察居住於蟲菌穴內的蟲的特徵。
2. 使用5c.c.針筒的針頭，使穴中的蟲移動，確認蟲的型態，並拍照或錄影。
3. 查閱圖鑑、網路、文獻等，以確認蟲的種類或名稱。

(二) 分析比較植物的親緣性及脈型等特徵，與蟲菌穴類型的關聯性

【實驗 2-1】 分析樹種間親緣關係與蟲菌穴的類型的關係

1. 確認40種木本植物的生物分類階層分類與親緣關係。
2. 分析樹種間親緣關係與蟲菌穴類型的關係，了解植物親緣性對蟲菌穴的影響。

【實驗 2-2】 分析不同葉脈脈型與蟲菌穴類型的關係

3. 取校園中的40種木本植物葉片，觀察各葉片的葉脈脈型，拍照記錄。
4. 分析不同脈型的葉片形成蟲菌穴的類型、位置與數量等關係。

(三) 探討葉片特徵與環境因子對蟲菌穴分布特性的影響

【實驗3-1】 探討不同植物間的葉片面積大小，對蟲菌穴數量的影響

1. 以AreaCalculator程式（劉語芯，2023）來計算葉片面積，步驟如下：
 - (1) 準備面積為 $12\text{cm} \times 16\text{cm} = 192\text{cm}^2$ 及 $15\text{cm} \times 20\text{cm} = 300\text{cm}^2$ 大小的紙張。
 - (2) 將要計算面的葉片放在白紙上攤平拍照，避免產生陰影。
 - (3) 以手機正對白紙拍照，再剪掉其餘背景，讓畫面只剩下 192cm^2 或 300cm^2 大小。
 - (4) 開啟 AreaCalculator 對照片進行分析，會得到葉片與背景顏色的比例數值。
 - (5) 將其數值乘以 192cm^2 或 300cm^2 ，就可以得到葉片總面積。
2. 計算每一物種15片葉片面積的平均值後，分析葉片面積與蟲菌穴數量的關係。

【實驗3-2】 探討同種植物的葉片大小(主脈長度)，對蟲菌穴數量的影響

1. 採集小葉欖仁與茄苳不同大小的葉片各60片葉片備用。
2. 測量葉片的主脈長度及蟲菌穴數，並分析不同葉片大小與蟲菌穴數量的關係。

【實驗3-3】 探討不同樹冠層高度的葉片，對蟲菌穴數量的影響

1. 實驗植株選用校內樹冠層高度變化最大的小葉欖仁與茄苳做為實驗對象。
2. 小葉欖仁分別採摘2樓、3樓、4樓高度的葉片，各10片（如圖11）。
3. 茄苳分別採摘1樓、2樓、3樓高度的葉片各10片（如圖12）。
4. 觀察並計數每片葉片上的蟲菌穴數量並記錄。

【實驗3-4】 探討樹冠層內與樹冠層外的葉片，對蟲菌穴數量的影響

1. 實驗植株選用可比較樹冠層高度與內外變化的小葉欖仁與茄苳做為實驗對象。
2. 測量並確認樹冠層內的照度在2000Lux以內、樹冠層外的照度超過20000Lux。
3. 採摘兩種樹種同樣高度樹冠層內與樹冠層外的大小相近的葉片各20片。
4. 觀察並計數每片葉片上的蟲菌穴數量並比較其差異。

【實驗3-5】 探討茄苳的幼葉與成葉，對蟲菌穴數量的影響

1. 採摘校內蟲菌數最多的茄苳成株成葉與80-100cm高的幼株幼葉（圖13）各10片。
2. 觀察並計數每片葉片上的蟲菌穴數量並比較其差異。

【實驗3-6】 觀察茄苳葉片在不同時期與不同部位的蟲菌穴構造差異

1. 採摘茄苳樹上的成葉10片與80-100cm高的茄苳幼株（圖13）的幼葉10片。
2. 觀察並計數每片葉片上不同時期生長以及不同部位的蟲菌穴。
3. 分析蟲菌穴不同時期及不同部位的構造差異。



圖11 小葉欖仁



圖12 茄苳樹



圖13 茄苳幼株

（圖片來源：研究者自行拍攝）（圖片來源：研究者自行拍攝）（圖片來源：研究者自行拍攝）

肆、研究結果

一、觀察蟲菌穴與基本描述

【實驗 1-1】 觀察 40 種木本植物葉片，記錄蟲菌穴的有無與數量多寡。

(一) 觀察 40 種木本植物是否有蟲菌穴的紀錄

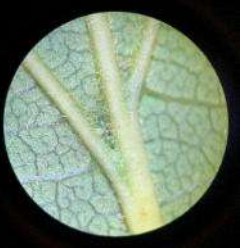
表 4 40 種木本植物葉背有無蟲菌穴的記錄表

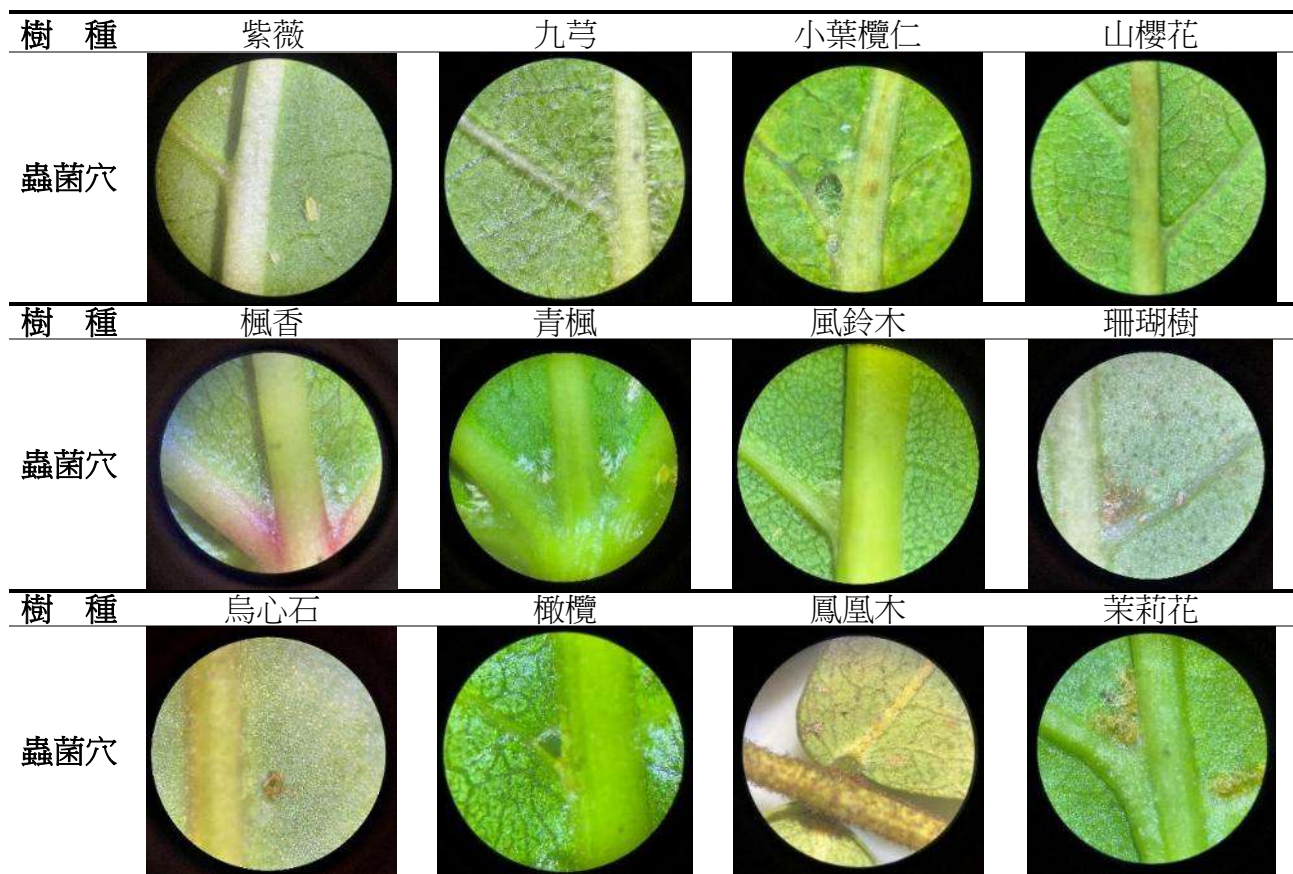
植物名與有無蟲菌穴記錄	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	樟樹	牛樟	香楠	土肉桂	金新木薑子	榕樹	桑樹	構樹	臺灣欒樹	龍眼樹	無患子	茄苳	烏臼	扛香藤	番茉莉	黑板樹	榔榆	朴樹	紫薇	九芎
	○	○	○	×	×	×	○	×	○	×	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○
植物名與有無蟲菌穴記錄	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	小葉欖仁	山櫻花	楓香	青楓	風鈴木	珊瑚樹	烏心石	馬拉巴栗	鵝掌柴	橄欖	鳳凰木	苦楝	香水檸檬	箭葉橙	番石榴	茉莉花	竹柏	蒲葵	酒瓶椰子	長枝竹
	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	×	×	×	×	○	×	×	×	×

由上表可知，40 種木本植物中，有 23 種有蟲菌穴，17 種沒有蟲菌穴。

(二) 以 40X 解剖顯微鏡觀察有蟲菌穴的樹種紀錄(40X，解剖顯微鏡)

表 5 23 種有蟲菌穴的樹種觀察記錄表（表 5 所有圖片來源皆由研究者自行拍攝）

樹 種	樟樹	牛樟	香楠	桑樹-闊卵葉
蟲菌穴				
樹 種	桑樹-掌狀裂葉	臺灣欒樹	茄苳	扛香藤
蟲菌穴				
樹 種	番茉莉	黑板樹	榔榆	朴樹
蟲菌穴				



(三) 計算每一樹種的平均蟲菌穴數量

表 6 40 種木本植物葉片平均蟲菌穴數一覽表

號	物種名	計數葉片數(N)	主脈長(cm)	葉片面積(cm ²)	平均蟲菌穴數(個)
01	打香藤	15	6.5	21.40	36.47
02	茄苳	135	10.8	40.06	29.95
03	桑樹_掌狀裂葉	15	15.9	80.31	20.20
04	青楓	15	9.3	36.74	19.73
05	榔榆	15	5.4	10.75	13.73
06	風鈴木	15	10.5	39.42	12.40
07	臺灣欖樹	15	7.4	13.82	11.40
08	番茉莉	15	5.8	13.70	11.20
09	山櫻花	15	7.6	15.87	10.00
10	九芎	15	7.0	17.60	9.07
11	珊瑚樹	15	9.1	25.20	8.87
12	茉莉花	15	7.7	39.00	8.67
13	桑樹_闊卵葉	15	10.6	45.31	7.87
14	楓香	15	9.5	32.37	7.20
15	小葉欖仁	165	5.9	10.91	6.60
16	紫薇	15	5.1	11.90	3.60
17	樟樹	15	4.8	8.81	2.80
18	黑板樹	15	12.9	34.18	2.30
19	朴樹	15	6.7	14.00	2.13
20	牛樟	15	6.8	27.00	2.07
21	香楠	15	7.2	14.87	1.80
22	鳳凰木	15	1.5	1.92	1.00
23	橄欖	15	12.8	39.68	0.40
24	烏心石	15	7.4	13.95	0.13
25	土肉桂、金新木薑子、榕樹、構樹、龍眼樹、無患子、烏臼、馬拉巴栗、鵝掌柴、苦楝、香水檸檬、箭葉橙、番石榴、竹柏、蒲葵、酒瓶椰子、長枝竹				0

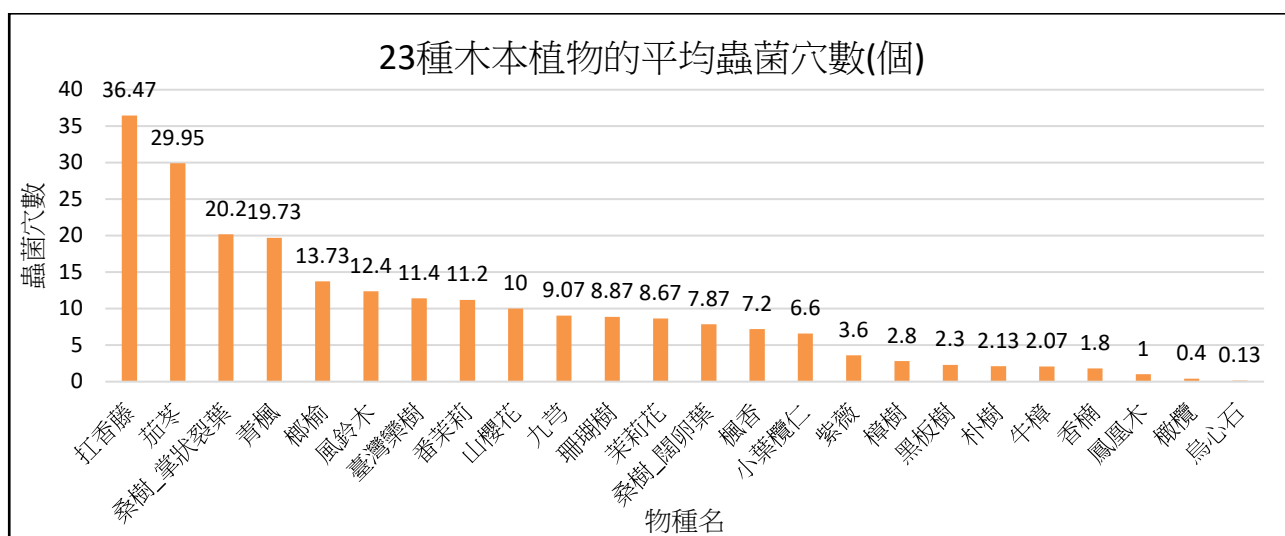


圖 14 23 種木本植物葉片平均蟲菌穴的數量統計圖（圖片來源：研究者自行繪製）

（四）實驗結果

根據觀察結果，我們依據蟲菌穴的有無，把樹種分成三類：

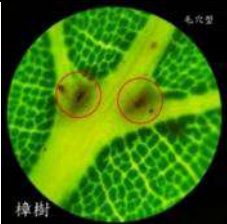
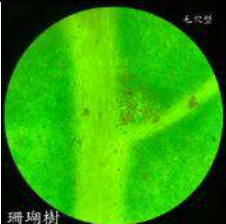
- 每片葉子都有蟲菌穴的樹種**：扛香藤、茄苳、桑樹_掌狀裂葉、青楓、榔榆、風鈴木、臺灣欒樹、番茉莉、山櫻花、九芎、珊瑚樹、茉莉花、桑樹_闊卵葉、楓香、小葉欖仁、紫薇、樟樹、朴樹、牛樟、香楠、鳳凰木，共 **20 種** 木本植物。
- 部分葉片有蟲菌穴的樹種**：烏心石、黑板樹和橄欖，共 **3 種** 木本植物。
- 無蟲菌穴的樹種**：土肉桂、金新木薑子、榕樹、構樹、龍眼樹、無患子、烏臼、馬拉巴栗、鵝掌柴、苦楝、香水檸檬、箭葉橙、番石榴、竹柏、蒲葵、酒瓶椰子、長枝竹，共 **17 種** 木本植物。

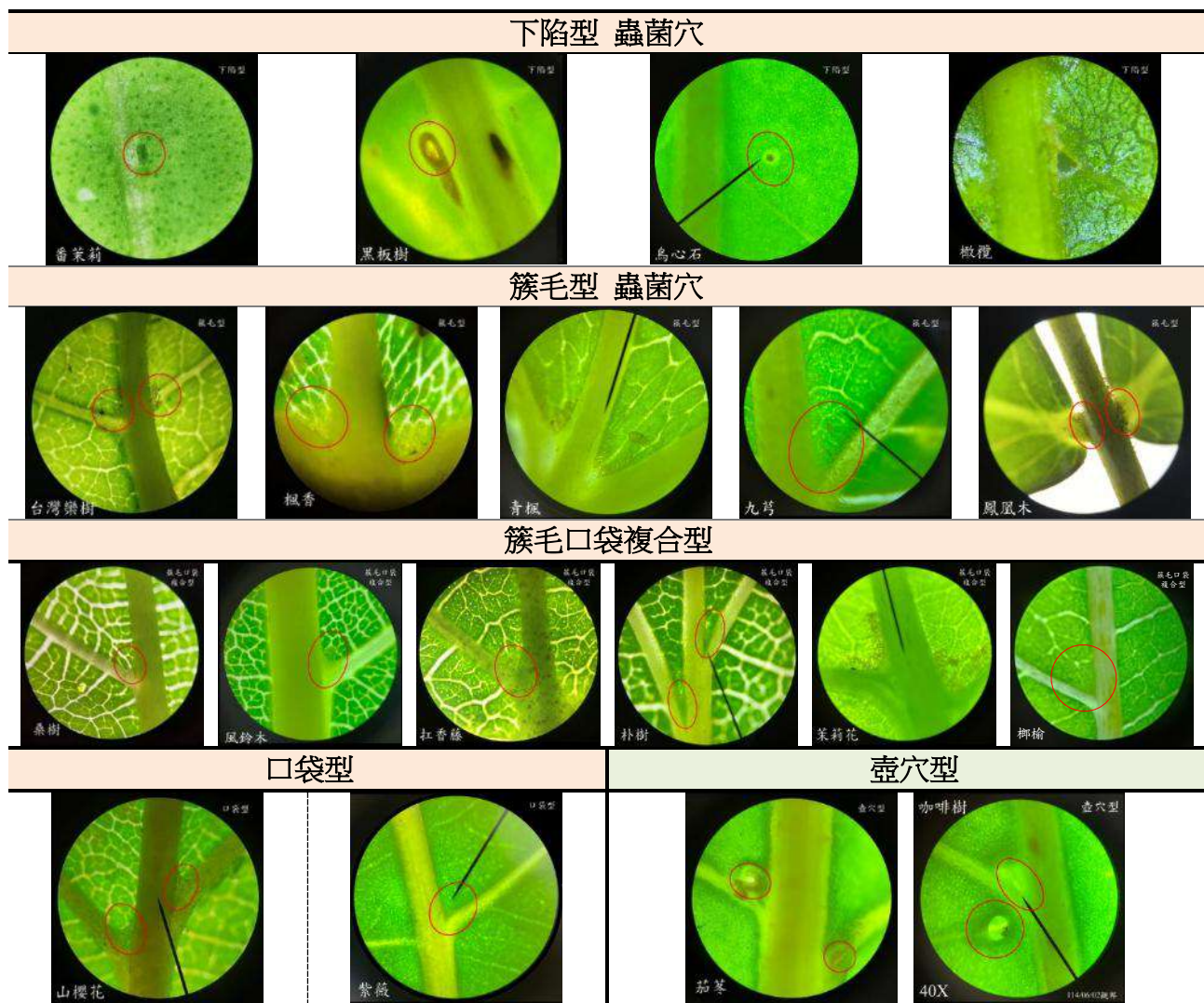
蟲菌穴數以**扛香藤**的最多（36.47 個）；次之的是**茄苳**（29.95 個），而茄苳最大值 73 個蟲菌穴，非常驚人。此外，**鳳凰木**固定都是 1 個；**烏心石**最少，只有 0.13 個。比較特別的是，**桑樹的掌狀裂葉（20.2）和闊卵葉（7.87）的平均蟲菌穴數量也有明顯差異。**

【實驗 1-2】 分析蟲菌穴的外觀特徵並進行分類

（一）實驗記錄（40X，複式顯微鏡）

表 7 23 種木本植物蟲菌穴的特徵記錄表（表 7 所有圖片來源皆由研究者自行拍攝）

毛穴型 蟲菌穴				
				
樟樹	牛樟	香楠	小葉欖仁	珊瑚樹



(二) 實驗結果

根據 Robbrecht(1987)區分的毛叢生型、毛囊袋型、纖毛坑型、介於坑型和隱窩型之間的過渡型、隱窩型，這五種蟲菌穴，以及 Bong-Gyu Kim 和 Issakwisa Bernard Ngondya(2010)在五種山茱萸屬植物中觀察到袋狀、簇狀和簇狀-袋狀三種類型，再加上我們自己觀察到的樣態，我們最後決定將其分為六種蟲菌穴，分別為：毛穴型、口袋型、壺穴型、下陷型、簇毛型以及簇毛口袋複合型，以下是各種蟲菌穴之特徵：

1. **毛穴型**：蟲菌穴平整，有開口，穴中有毛的構造，葉片正面相對應處有凸起狀態，可得知是一個囊狀結構，屬於這類蟲菌穴的植物有：樟樹、牛樟、香楠、小葉欖仁、珊瑚樹。其中，樟樹、牛樟和小葉欖仁的毛穴又屬於穴中有毛的型態；而香楠和珊瑚樹則屬於穴外有毛覆蓋的型態。
2. **口袋型**：在主葉脈和副葉脈交界處延伸出蹼狀物，掩蓋部分葉肉，形成口袋之形狀內部，屬於這類蟲菌穴的植物有：山櫻花、紫薇。

3. **壺穴型**：蟲菌穴凸起且有開口，形成一個壺狀結構，葉片正面相對應處有凸起狀態，內部是空腔，屬於這類蟲菌穴的植物有：茄苳、咖啡樹。

(註:114/06/02 觀察到咖啡樹有壺穴型蟲菌穴，其餘變因分析未列入本次研究中。)

4. **下陷型**：蟲菌穴無囊狀結構，及為單純下陷而形成蟲菌穴，內部無毛，屬於這類蟲菌穴的植物有：蕃茉莉、黑板樹、烏心石、橄欖。
5. **簇毛型**：完全無下陷或囊狀結構，只有大量的毛覆蓋葉脈交界處而形成蟲菌穴，屬於這類蟲菌穴的植物有：臺灣欒樹、楓香、青楓、九芎和鳳凰木。
6. **簇毛口袋複合型**：除了口袋狀構造，袋口通常還有毛覆蓋，屬於這類蟲菌穴的植物有：桑樹、風鈴木、扛香藤、朴樹、茉莉花和榔榆。

【實驗 1-3】觀察蟲菌穴橫切面，確認內部構造特徵

(一) 實驗記錄 (100X，複式顯微鏡)

表8 不同蟲菌穴類型的橫切面記錄（表8所有圖片來源皆由研究者自行拍攝）

樹種	小葉欖仁__毛穴型	山櫻花__口袋型	茄苳__壺穴型
蟲菌穴			
樹種	蕃茉莉__下陷型	臺灣欒樹__簇毛型	榔榆__簇毛口袋複合型
蟲菌穴			

(二) 實驗結果

在切片觀察下可以發現下陷型和毛穴型都具有洞的構造，且毛穴型的蟲菌穴外側有明顯的毛的構造；簇毛型和簇毛口袋複合型也具有毛的構造，但兩者的毛皆不在洞裡。其中簇毛口袋複合型還同時具有口袋型的構造，口袋型則可發現蟲菌穴的構造明顯蓋住部分葉肉，最後在壺穴型的蟲菌穴中可發現蟲菌穴有凸起並有腔室的構造。

由於簇毛型與簇毛口袋型有時不易區分，藉由切片觀察，可更明確確認蟲菌穴的型態。

【實驗 1-4】觀察蟲菌穴中「蟲」的種類，初步了解蟲菌穴的功能

(一) 實驗記錄

表 9 觀察蟲菌穴中的蟲記錄表 (表 9 所有圖片來源皆由研究者自行拍攝與繪製)

蛛形綱 捕植蟎類			
			
小葉欖仁 捕植蟎	樟樹 捕植蟎	香楠 溫氏捕植蟎	茄苳 捕植蟎
			
橄欖 捕植蟎	楓香 卵形捕植蟎	楓香 捕植蟎	桑樹闊卵葉 捕植蟎
			
榔榆 捕植蟎	扛香藤 捕植蟎	青楓 捕植蟎	茉莉花 捕植蟎
蛛形綱 葉蟎類			
			
臺灣欖樹 二點葉蟎	珊瑚樹 二點葉蟎	九芎 二點葉蟎	紫薇 二點葉蟎
蛛形綱 節蟬類		昆蟲綱	
			
茄苳 節蟬	橄欖 節蟬	榔榆 薊馬幼蟲	楓香 薊馬
昆蟲綱			
			
風鈴木 蚜蟲	臺灣欖樹 蚜蟲	桑樹掌狀葉 桑木蝨	橄欖木蝨

（二）研究結果

由觀察記錄可知，蟲菌穴內大部分居住的是蟎類，其中已確定的物種有溫氏捕植蟎、卵形捕植蟎和二點葉蟎，穴中也常發現有卵在裡面。此外，在較厚的茄苳與橄欖葉上有發現節蟬的蹤跡；而簇毛型蟲菌穴或在主脈與側脈交界處，則容易發現蚜蟲、桑木蝨、木蝨、薊馬等昆蟲。

★ 觀察小結：

總結實驗1-1~1-4，有蟲菌穴的樹種裡以扛香藤的平均蟲菌穴數最多，烏心石最少。單葉達最高量的茄苳。蟲菌穴類型有毛穴型、口袋型、壺穴型、下陷型、簇毛型以及簇毛口袋複合型六種型態，穴中生物以蟎類為主，捕植蟎最多、食植蟎其次，少部分有昆蟲的蹤跡。

二、分析比較植物的親緣性及脈型等特徵，與蟲菌穴類型的關聯性

【實驗 2-1】分析樹種間親緣關係與蟲菌穴的類型的關係

(一) 繪製二分岔檢索表

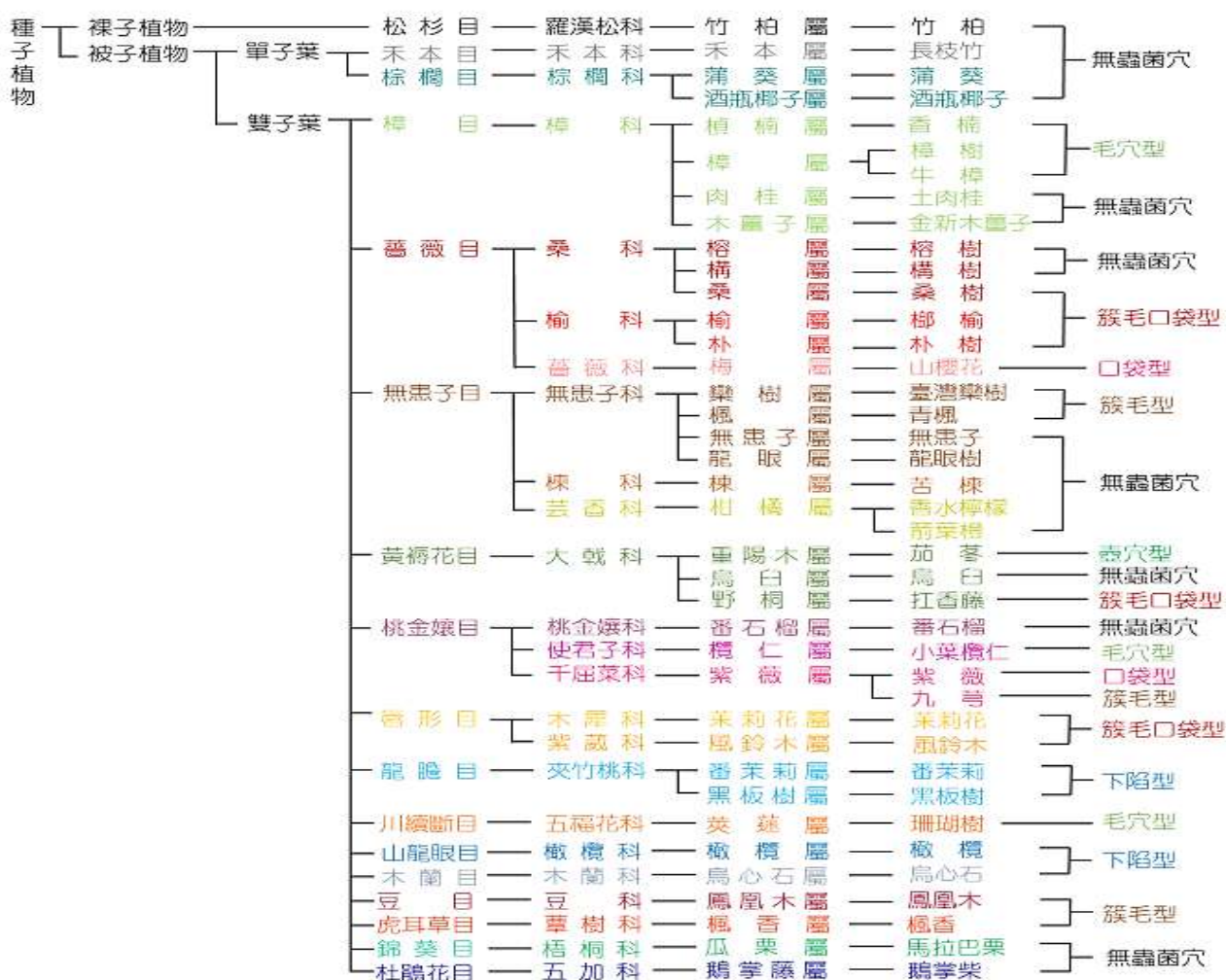


圖15 40種木本植物親緣關係與菌穴特徵二分岔檢索表（圖片來源：由研究者自行繪製）

(二) 分析結果

1. 裸子植物和被子植物的單子葉植物沒有蟲菌穴。
2. 樟目樟科樟屬的樟樹、牛樟以及楨楠屬的香楠有毛穴型蟲菌穴構造，但樟樹、牛樟的蟲菌穴為穴中有毛的毛穴型構造；而香楠的蟲菌穴為穴外有毛覆蓋的毛穴型構造。同為樟科的土肉桂及金新木薑子則無蟲菌穴。
3. 薔薇目的桑科和榆科，有蟲菌穴的植物都是簇毛口袋型；薔薇科的山櫻花是口袋型。
4. 無患子目無患子科的台灣欒樹與青楓是簇毛型；脣形目的茉莉花和風鈴木是簇毛口袋型。龍膽目夾竹桃科的蕃茉莉和黑板樹都為下陷型。
5. 黃蘗花目大戟科和桃金娘目的蟲菌穴型態差異比較大，沒有一致性。

綜合以上，蟲菌穴類型和植物的分類階層僅少數有關聯性，推測可能還跟葉脈脈型、葉片質地、厚薄等因素有關。

【實驗 2-2】 分析不同葉脈脈型與蟲菌穴類型的關係

(一) 實驗記錄

表10 各樹種蟲菌穴樹與脈型紀錄表（網狀脈包含：三出脈、羽狀脈和掌狀脈）

樹種名	樟樹	牛樟	香楠	土肉桂	金新木薑子	桑樹闊卵葉	桑樹掌狀裂葉
菌穴數	2.8	2.07	1.8	0	0	7.87	20.2
類型	毛穴型	毛穴型	毛穴型	無	無	簇毛口袋	簇毛口袋
脈型	三出脈	三出脈	三出脈	三出脈	三出脈	羽狀脈	掌狀脈
樹種名	榕樹	構樹	榔榆	朴樹	山櫻花	茉莉花	風鈴木
菌穴數	0	0	13.73	2.13	10	8.67	12.4
類型	無	無	簇毛口袋	簇毛口袋	口袋型	簇毛口袋	簇毛口袋
脈型	羽狀脈	羽狀脈	羽狀脈	三出脈	羽狀脈	羽狀脈	羽狀脈
樹種名	臺灣欒樹	青楓	龍眼樹	無患子	苦楝	香水檸檬	箭葉橙
菌穴數	11.4	29.4	0	0	0	0	0
類型	簇毛型	簇毛型	無	無	無	無	無
脈型	羽狀脈	掌狀脈	羽狀脈	羽狀脈	羽狀脈	羽狀脈	羽狀脈
樹種名	小葉欖仁	紫薇	九芎	番石榴	馬拉巴栗	鵝掌柴	鳳凰木
菌穴數	6.6	3.60	9.07	0	0	0	1
類型	毛穴型	口袋型	簇毛型	無	無	無	簇毛型
脈型	羽狀脈	羽狀脈	羽狀脈	羽狀脈	羽狀脈	羽狀脈	羽狀脈
樹種名	扛香藤	茄苳	烏白	番茉莉	黑板樹	烏心石	橄欖
菌穴數	36.47	29.95	0	11.2	2.3	0.13	0.40
類型	簇毛口袋	壺穴型	無	下陷型	下陷型	下陷型	下陷型
脈型	三出脈	羽狀脈	羽狀脈	羽狀脈	羽狀脈	羽狀脈	羽狀脈
樹種名	竹柏	蒲葵	酒瓶椰子	長枝竹	楓香	珊瑚樹	
菌穴數	0	0	0	0	7.2	8.87	
類型	無	無	無	無	簇毛型	毛穴型	
脈型	平行脈	平行脈	平行脈	平行脈	掌狀脈	羽狀脈	

(二) 實驗結果

由上表的記錄結果，我們可以發現：

1. 平行脈的竹柏、蒲葵、酒瓶椰子與長枝竹，葉片都沒有蟲菌穴。
2. 網狀三出脈的樟樹、香楠、牛樟都有毛穴型蟲菌穴；扛香藤和朴樹則有簇毛口袋型蟲菌穴，但土肉桂和金新木薑子沒有蟲菌穴。
3. 掌狀脈的楓香、青楓都有簇毛型蟲菌穴；而掌狀裂葉型桑葉有簇毛口袋型蟲菌穴。
4. 桑樹葉有分為掌狀裂葉型和括卵型兩種，掌狀裂葉型屬於網狀掌狀脈，闊卵型則是網狀羽狀脈，但蟲菌穴皆是簇毛型，且掌狀裂葉的蟲菌穴數量較多。
5. 屬於網狀羽狀脈的木本植物則有的有蟲菌穴、有的沒有蟲菌穴。再仔細觀察，會發現有些側脈沒有分岔且平行於其他側脈的羽狀脈，例如：黑板樹、烏心石，不是每片都有蟲菌穴，而龍眼樹、馬拉巴栗，完全沒有蟲菌穴，其他側脈彎曲或有較多分岔的植物葉片，蟲菌穴數也相對較多。所以蟲菌穴形成與數量和脈型有相關性。

★ 分析小結

綜合實驗 2-1 和 2-2，我們發現葉脈脈型容易影響蟲菌穴的形成與數量，以網狀脈中的側脈彎曲或有較多分岔的羽狀脈、掌狀脈及三出脈最容易形成蟲菌穴；平行脈或側脈沒有分岔且平行於其他側脈的羽狀脈，則沒有蟲菌穴。故蟲菌穴形成和脈型的關聯性比親緣關係大。

三、探討葉片特徵與環境因子對蟲菌穴分布特性的影響

【實驗 3-1】探討不同種植物的葉片面積大小，是否影響蟲菌穴的數量

(一) 實驗記錄

表11 各樹種葉片面積和蟲菌穴數量

物種名	葉面積 (cm ²)	穴數 (個)	物種名	葉面積 (cm ²)	穴數 (個)	物種名	葉面積 (cm ²)	穴數 (個)
扛香藤	21.40	36.47	小葉欖仁	10.91	6.60	龍眼樹	56.75	0
茄苳	40.06	29.95	紫薇	11.90	3.60	無患子	30.89	0
桑樹-掌狀裂葉	80.31	20.20	樟樹	8.81	2.80	烏白	26.56	0
青楓	36.74	19.73	黑板樹	34.18	2.30	馬拉巴栗	38.13	0
榔榆	10.75	13.73	朴樹	14.00	2.13	鵝掌柴	59.20	0
風鈴木	39.42	12.40	牛樟	27.00	2.07	苦楝	9.79	0
臺灣樂樹	13.82	11.40	香楠	14.87	1.80	香水檸檬	48.126	0
番茉莉	13.70	11.20	鳳凰木	1.92	1.00	箭葉橙	51.03	0
山櫻花	15.87	10.00	橄欖	39.68	0.40	番石榴	36.33	0
九芎	17.60	9.07	烏心石	13.95	0.13	竹柏	12.16	0
珊瑚樹	25.20	8.87	土肉桂	19.77	0	蒲葵	198.40	0
茉莉花	39.00	8.67	金新木薑子	15.28	0	酒瓶椰子	27.77	0
桑樹-闊卵葉	45.31	7.87	榕樹	13.50	0	長枝竹	10.59	0
楓香	32.37	7.20	構樹	184.14	0			

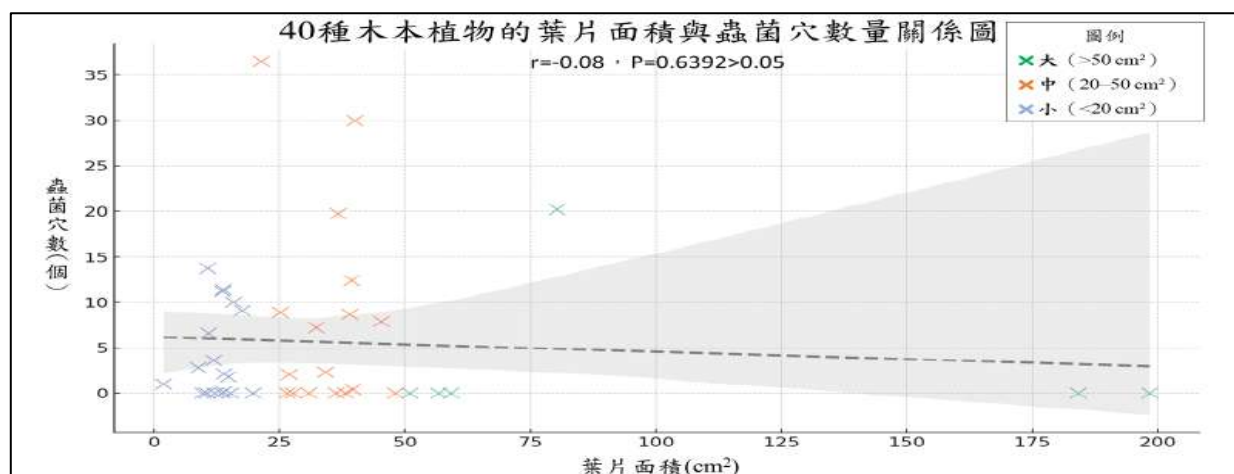


圖 16 不同樹種的葉片面積與蟲菌穴數散布圖（圖片來源：由研究者自行繪製）

（二）實驗結果

利用上述數據計算葉片面積與蟲菌穴數之間的皮爾森相關係數為-0.08，表示葉片面積越大樹種，蟲菌穴數略微趨向於較少，但這趨勢極不明顯。P 值為 $0.6392 > 0.05$ ，表示此相關性在統計上不顯著。換句話說，不能確定葉片面積與蟲菌穴數之間有真正的線性關係。也就是「種間的葉片面積大小」與「蟲菌穴數」之間並無明顯相關。

【實驗 3-2】探討同一種植物的不同葉片大小（主脈長度），對蟲菌穴數量的影響

由於計算每一片葉片面積非常耗時，因此我們計算小葉欖仁與茄苳各30組的主脈長度與葉片面積的皮爾森相關係數，結果小葉欖仁的 $r=0.9130$ 且 $p < 0.001$ ；茄苳的 $r=0.8254$ 且 $p < 0.001$ ，顯示小葉欖仁與茄苳兩者的主脈長度與葉片面積之間有非常顯著的正相關。所以我們用主脈長度來探討對蟲菌穴數的影響。

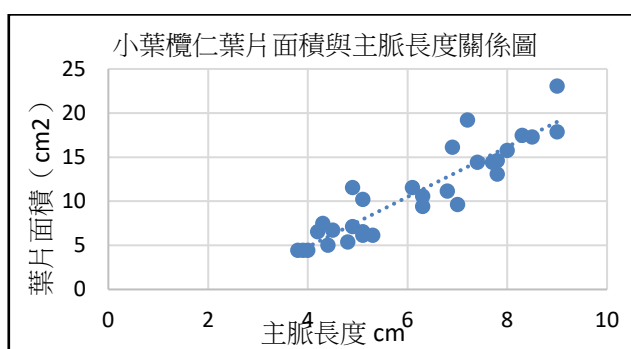


圖17 小葉欖仁葉片面積與主脈長度關係圖
（圖片來源：由研究者自行繪製）

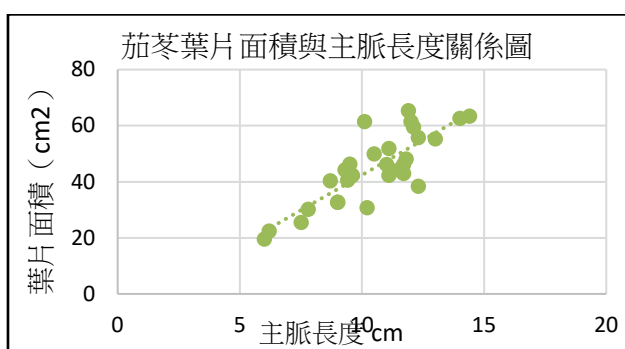


圖18 茄苳葉片面積與主脈長度關係圖
（圖片來源：由研究者自行繪製）

（一）實驗記錄

1. 小葉欖仁葉片大小與蟲菌穴數的紀錄

表 12 小葉欖仁葉片大小與蟲菌穴數的紀錄表

編號	主脈 (cm)	穴數 (個)	編號	主脈 (cm)	穴數 (個)	編號	主脈 (cm)	穴數 (個)	編號	主脈 (cm)	穴數 (個)	編號	主脈 (cm)	穴數 (個)
----	------------	-----------	----	------------	-----------	----	------------	-----------	----	------------	-----------	----	------------	-----------

1	1.2	2	11	4.2	4	21	4.8	5	31	5.4	9	41	6.8	10	51	7.8	8
2	2.4	1	12	4.3	1	22	4.9	5	32	5.6	6	42	6.9	8	52	8.0	10
3	2.6	1	13	4.4	7	23	4.9	10	33	5.8	4	43	6.9	7	53	8.3	9
4	3.1	7	14	4.5	12	24	5.1	2	34	5.9	8	44	7.0	6	54	8.3	9
5	3.2	4	15	4.6	7	25	5.1	3	35	5.9	9	45	7.0	7	55	8.5	9
6	3.8	5	16	4.6	5	26	5.1	6	36	6.1	6	46	7.2	9	56	8.8	10
7	3.9	8	17	4.7	7	27	5.2	7	37	6.1	9	47	7.4	5	57	9.0	9
8	4.0	3	18	4.7	5	28	5.2	8	38	6.1	7	48	7.7	10	58	9.0	12
9	4.0	4	19	4.7	6	29	5.3	7	39	6.3	10	49	7.8	11	59	9.2	10
10	4.1	1	20	4.7	6	30	5.3	10	40	6.3	9	50	7.8	10	60	9.5	10

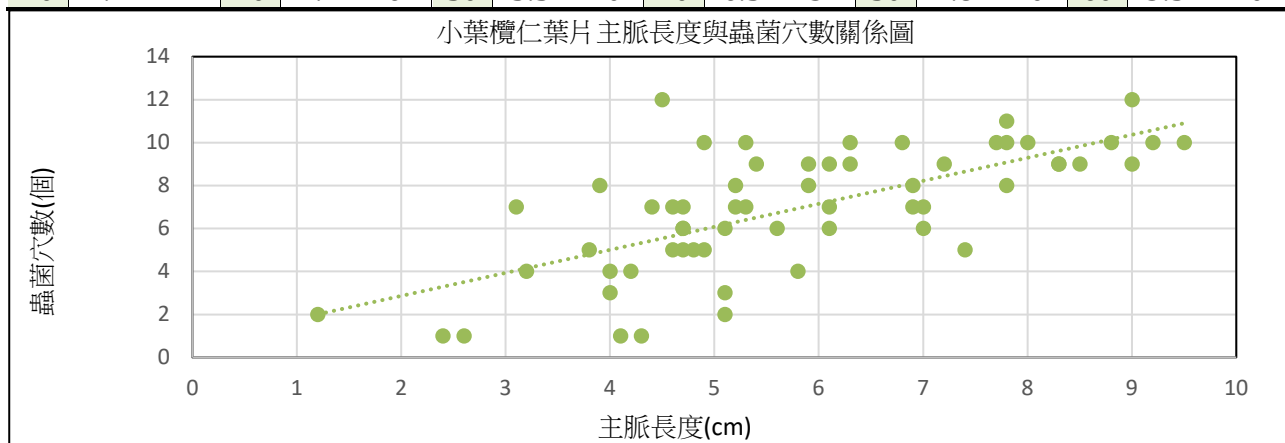


圖19 小葉欖仁主脈長度與蟲菌穴數關係圖（圖片來源：由研究者自行繪製）

2. 茄苳葉片大小與蟲菌穴數的紀錄

表13 茄苳葉片大小與蟲菌穴數的紀錄表

編號	主脈 (cm)	穴數 (個)	編號	主脈 (cm)	穴數 (個)	編號	主脈 (cm)	穴數 (個)	編號	主脈 (cm)	穴數 (個)	編號	主脈 (cm)	穴數 (個)	編號	主脈 (cm)	穴數 (個)
1	3.2	0	11	4.5	6	21	6.2	8	31	8.6	31	41	10.5	24	51	12.9	42
2	3.2	0	12	4.7	7	22	6.4	7	32	8.7	26	42	10.5	41	52	13.0	31
3	3.5	1	13	4.8	8	23	6.5	7	33	8.8	22	43	10.8	45	53	13.1	38
4	3.6	3	14	4.8	7	24	6.6	6	34	9.4	28	44	11.3	31	54	13.8	35
5	3.9	5	15	5.2	9	25	6.6	13	35	9.5	33	45	11.6	38	55	14.0	44
6	3.9	4	16	5.6	5	26	7.4	16	36	9.5	16	46	11.7	31	56	14.0	37
7	4.0	3	17	5.8	9	27	7.5	13	37	9.5	25	47	11.7	36	57	14.4	40
8	4.2	3	18	6.0	6	28	7.8	15	38	9.6	30	48	11.9	32	58	14.4	34
9	4.3	5	19	6.0	9	29	7.9	9	39	10.3	27	49	12.5	34	59	14.7	48
10	4.3	5	20	6.2	8	30	8.5	10	40	10.5	31	50	12.5	39	60	14.9	41

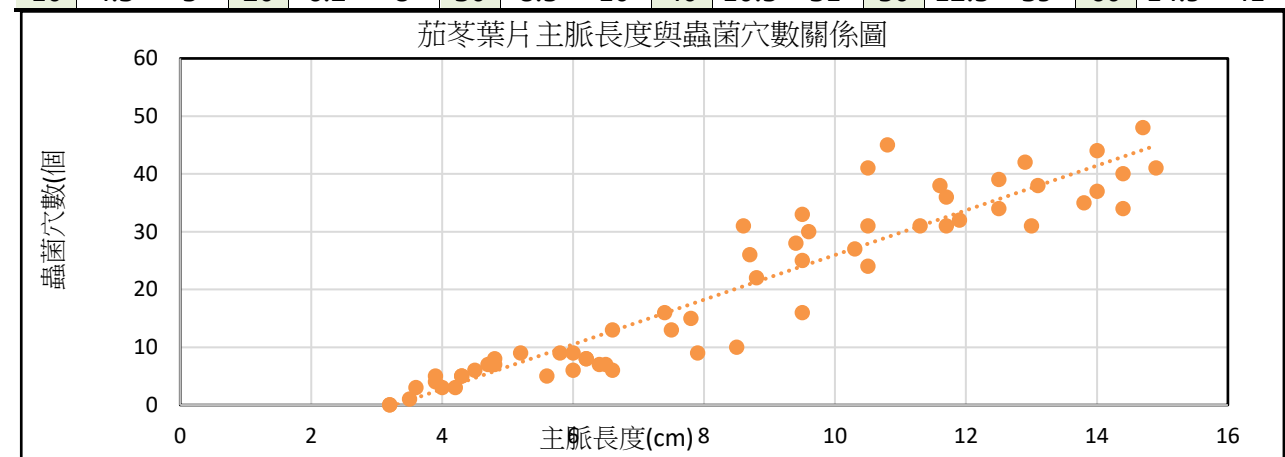


圖20 茄苳主脈長度與蟲菌穴數關係圖（圖片來源：由研究者自行繪製）

（二）實驗結果

1. 小葉欖仁：

由表 12 得知，皮爾森積差相關係數為 0.689，表示主脈長度與穴數之間有中等到強的正相關。決定係數 $R^2=0.475$ ，表示主脈長度能解釋 47.5% 的變異。由圖 19 可知，**小葉欖仁的主脈長度與蟲菌穴數量呈現正相關**，即主脈越長，蟲菌穴數量越多。

2. 茄苳：

(1) 由表 13 的得知，皮爾森積差相關係數為 0.946，表示主脈長度與穴數之間有極強的正相關。決定係數 $R^2=0.894$ ，表示主脈長度可以解釋 89.4% 的穴數變異，說明兩者的關聯性非常強。由圖 20 可知，**茄冬葉的主脈長度與蟲菌穴數量呈明顯的正相關**，即主脈越長的葉片，其蟲菌穴數量越多。

(2) 主脈小於 6 cm 時，蟲菌穴數量相對較少，集中在 0~10 個之間。主脈超過 8 cm 後，蟲菌穴開始大幅增加，變異性變大，少數葉片的蟲菌穴數量高達 40 個以上。

3. 總結：

不管是小葉欖仁或是茄苳，主脈長度與蟲菌穴數量皆呈明顯的正相關，推測是因為年紀越大的葉子主脈長度越長，蟲菌穴數量也隨之增加，且茄苳蟲菌穴增加的幅度大於小葉欖仁蟲菌穴增加的幅度。

【實驗3-3】探討不同樹冠層的葉片，對蟲菌穴數量的影響

(一) 實驗記錄

1. 小葉欖仁

表 14 不同冠層高度的小葉欖仁葉片與蟲菌穴數量紀錄表(葉片面積：cm²)

編號	2F-1	2F-2	2F-3	2F-4	2F-5	2F-6	2F-7	2F-8	2F-9	2F-10	平均
葉片面積	23.04	19.2	17.28	14.4	14.59	16.12	11.14	11.52	13.05	11.52	15.186
蟲菌穴數	9	9	9	10	11	7	10	7	10	5	8.7
編號	3F-1	3F-2	3F-3	3F-4	3F-5	3F-6	3F-7	3F-8	3F-9	3F-10	平均
葉片面積	17.86	6.72	4.42	4.42	15.74	7.1	9.41	14.4	17.47	10.56	10.81
蟲菌穴數	12	12	5	4	10	10	10	5	9	9	8.6
編號	4F-1	4F-2	4F-3	4F-4	4F-5	4F-6	4F-7	4F-8	4F-9	4F-10	平均
葉片面積	9.6	6.53	10.18	6.53	7.49	6.14	6.14	4.99	5.38	4.42	6.74
蟲菌穴數	7	4	2	3	1	10	6	7	5	8	5.3

2. 茄苳

表 15 不同冠層高度的茄苳葉片與蟲菌穴數量紀錄表 (葉片面積：cm²)

編號	1F-1	1F-2	1F-3	1F-4	1F-5	1F-6	1F-7	1F-8	1F-9	1F-10	平均
葉片面積	19.5	22.38	25.5	30.12	41.52	46.23	40.55	62.53	42.95	55.24	38.652
蟲菌穴數	9	8	13	15	16	25	28	37	36	31	21.8
編號	2F-1	2F-2	2F-3	2F-4	2F-5	2F-6	2F-7	2F-8	2F-9	2F-10	平均
葉片面積	59.52	48	38.4	30.72	55.68	42.24	44.16	63.36	46.08	65.28	49.34
蟲菌穴數	18	9	11	6	20	14	23	25	23	20	16.9
編號	3F-1	3F-2	3F-3	3F-4	3F-5	3F-6	3F-7	3F-8	3F-9	3F-10	平均

葉片面積	40.32	44.16	32.64	61.44	49.92	61.44	42.24	32.64	51.84	46.08	46.272
蟲菌穴數	10	12	14	15	5	5	7	6	11	13	9.8

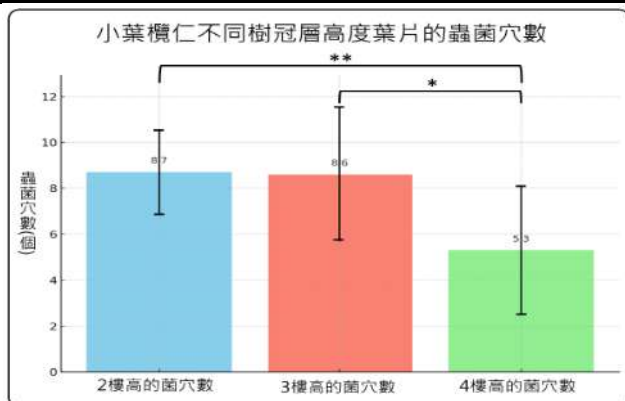


圖 21 小葉欖仁不同樹冠層高度的蟲菌穴數
(圖片來源：由研究者自行繪製)

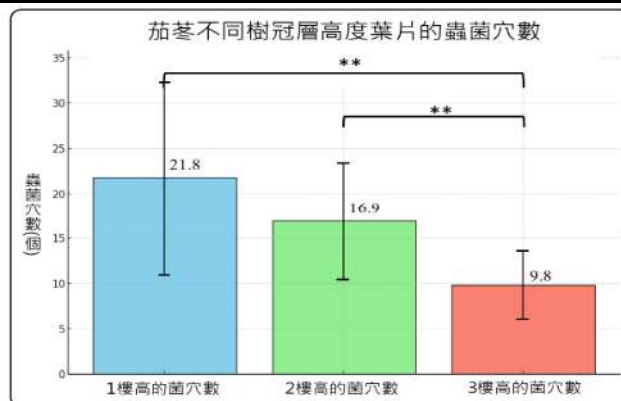


圖 22 茄苳不同樹冠層高度的蟲菌穴數
(圖片來源：由研究者自行繪製)

(二) 實驗結果

數據顯示，**樹冠層的葉片高度對蟲菌穴數有明顯的影響**，小葉欖仁的葉片在2樓和3樓高度的蟲菌穴數無顯著差異，但2樓和4樓、以及3樓和4樓的蟲菌穴數就有顯著差異；茄苳則更顯著，1樓和3樓、2樓和3樓皆有顯著差異。**故樹冠層越高，則蟲菌穴越少。**

【實驗3-4】 探討樹冠層內與樹冠層外的葉片，對蟲菌穴數量的影響

(一) 實驗記錄

表16 小葉欖仁與茄苳在樹冠層內（低照度）及樹冠層外（高照度）外的蟲菌穴數記錄表

小葉欖仁的蟲菌穴數																						
編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均	SD
高照度	2	11	4	6	5	3	8	2	8	12	12	3	4	11	5	7	4	4	2	7	6.0	3.37
低照度	9	7	4	9	10	7	6	4	6	6	4	8	5	7	6	5	6	6	7	10	6.6	1.85

茄苳的蟲菌穴數																						
編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均	SD
高照度	30	27	28	23	31	38	44	33	29	35	32	36	40	35	43	44	36	36	27	45	34.6	6.37
低照度	44	29	39	29	42	51	60	46	60	63	73	56	52	48	51	27	58	56	44	51	49.0	11.94

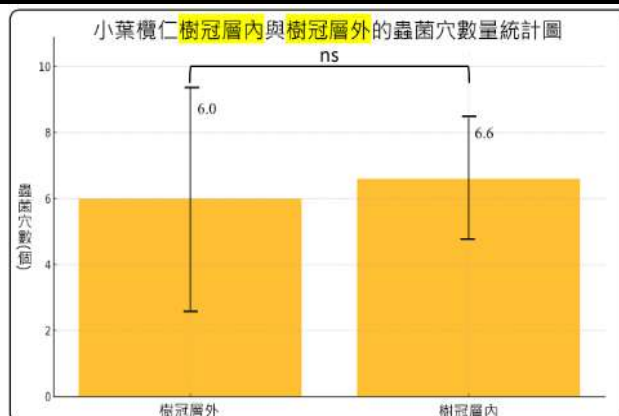


圖23 小葉欖仁不同樹冠層內外的蟲菌穴數
(圖片來源：由研究者自行繪製)

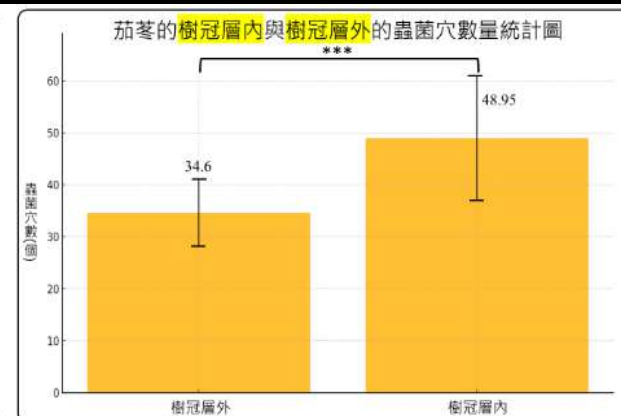


圖24 茄苳不同樹冠層內外的蟲菌穴數
(圖片來源：由研究者自行繪製)

(二) 實驗結果

1. 根據統計， $p=0.491>0.05$ ，表示小葉欖仁在高照度與低照度條件下的蟲菌穴數沒有顯著差異，也就是小葉欖仁樹冠層內外的蟲菌穴數變化不明顯。
2. 根據統計， $p=0.0000517<0.001$ ，表示茄苳在高照度與低照度條件下的蟲菌穴數有極顯著差異。也就是說，茄苳樹冠層內（低照度）的蟲菌穴數顯著高於樹冠層外（高照度）的數量。

★ 3-3和3-4實驗小結

比較實驗3-3和3-4，小葉欖仁的葉片在2樓和3樓高度的蟲菌穴數無顯著差異，但2-3樓和4樓的蟲菌穴數才有顯著差異，而樹冠層內外變化也不明顯；茄苳則無論樹冠層內外或高度，皆有顯著差異，可見微氣候因子對茄苳蟲菌穴的數量影響更大。

【實驗3-5】 探討同種植物中的幼葉與成葉，對蟲菌穴數量的影響

(一) 實驗記錄

表 17 茄苳的幼株嫩葉與喬木成葉的蟲菌穴數量紀錄表(主脈長度：cm、葉片面積：cm²)

喬木成葉	成-1	成-2	成-3	成-4	成-5	成-6	成-7	成-8	成-9	成-10	平均
主脈長度	6	6.2	7.5	7.8	9.5	9.5	9.4	14	11.7	13	9.46
葉片面積	19.5	22.38	25.5	30.12	41.52	46.23	40.55	62.53	42.95	55.24	38.652
蟲菌穴數	9	8	13	15	16	25	28	37	36	31	21.8
幼株嫩葉	嫩-1	嫩-2	嫩-3	嫩-4	嫩-5	嫩-6	嫩-7	嫩-8	嫩-9	嫩-10	平均
主脈長度	8	8.7	8.3	8.5	9.7	8.5	9.2	10	12	12.1	9.5
葉片面積	23.04	30.72	34.56	28.8	40.32	24.96	32.64	40.32	51.84	55.68	36.288
蟲菌穴數	7	5	5	6	3	5	8	10	8	12	6.9

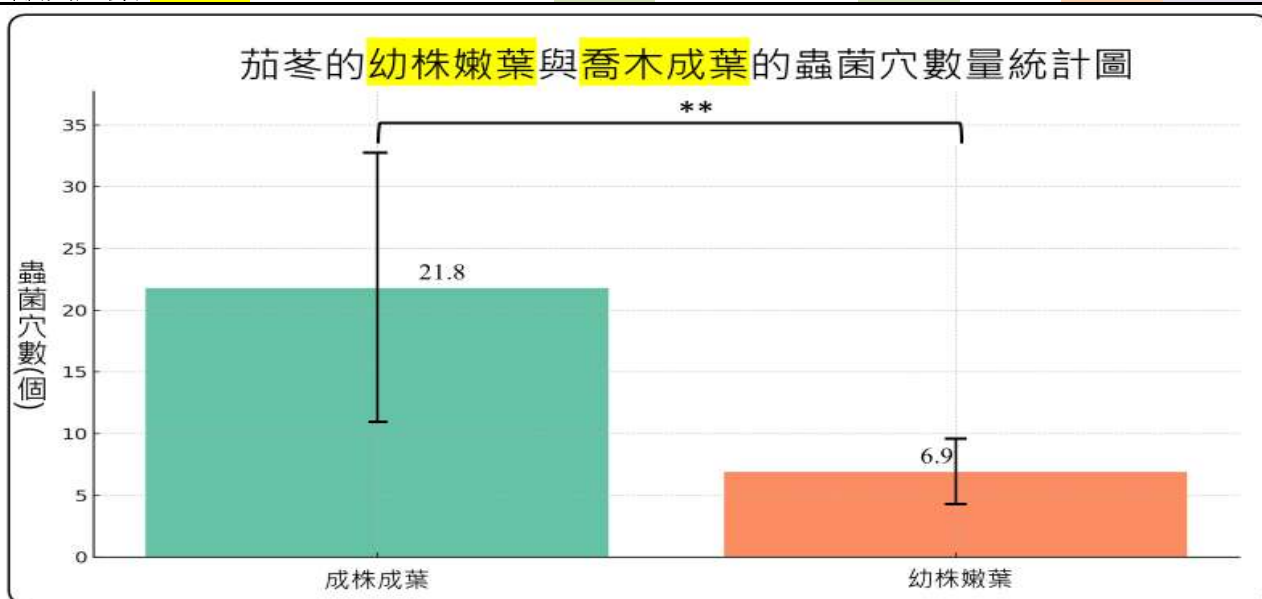


圖25 茄苳的幼株嫩葉與喬木成葉的蟲菌穴數量統計圖（圖片來源：由研究者自行繪製）

（二）實驗結果

我們發現茄苳樹的幼株嫩葉蟲菌穴數量明顯少於成株成葉的葉蟲菌穴數量，故蟲菌穴數目可能和葉片成熟度有關，**葉片越成熟，蟲菌穴數量越多**。

若考量葉片面積大小的成葉與嫩葉比較，例如 40.55 cm² 的 7 號成葉與 40.32cm² 的 5 號與 8 號嫩葉，蟲菌穴數分別為 28 及 3、10 個，數量差異很大；而 55.24 cm² 的 10 號成葉與 55.68cm² 的 10 號嫩葉，蟲菌穴數為 31 和 12，也有超過 2 倍的落差。但相對面積比較小的兩種葉片，像是 2 號成葉與 1 號嫩葉，面積為 22.38 和 23.04 cm²，蟲菌穴數為 8 和 7 個，就幾乎沒差。

【實驗3-6】觀察茄苳葉片在不同時期與不同部位的蟲菌穴構造差異

（一）實驗記錄

1. 不同時期（幼株幼葉與成株成葉）的蟲菌穴構造差異

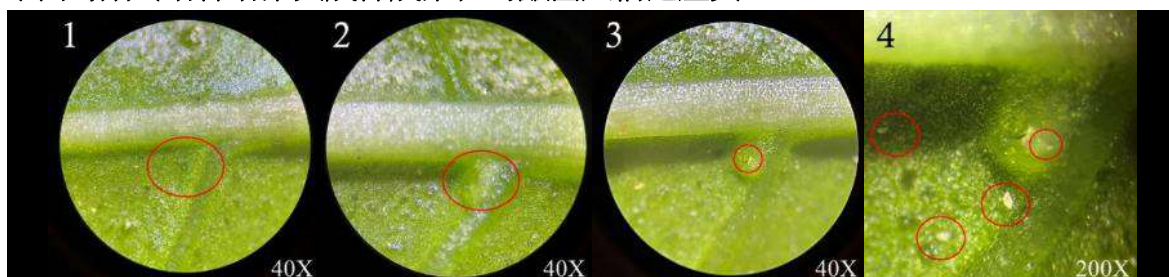


圖 26 幼株幼葉主脈的蟲菌穴形成初期到成熟期示意圖

（圖片來源：研究者自行拍攝與繪製）

幼葉主脈的蟲菌穴形成初期，在主脈和側脈交會處有腺點和輕微的隆起（圖 26-1）；接著主脈和側脈交會處的隆起小丘逐漸凸起膨大（圖 26-2）；然後膨大處成壺穴狀，並產生一個開口（圖 26-3）。成熟期，形成壺穴型蟲菌穴，並有蟎的幼蟲出現（圖 26-4）。

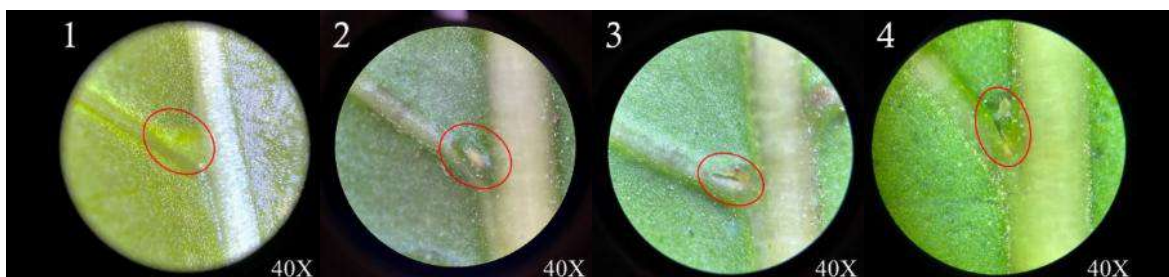


圖 27 成株成葉主脈的蟲菌穴形成初期到成熟期示意圖

（圖片來源：研究者自行拍攝與繪製）

成葉主脈的蟲菌穴形成初期，在主脈和側脈交會處有輕微隆起（圖 27-1）；接著隆起處逐漸凸起膨大（圖 27-2），然後形成壺穴狀開口（圖 27-3）；最後壺穴型蟲菌穴形成，並有蟎的幼蟲出現（圖 27-4）。

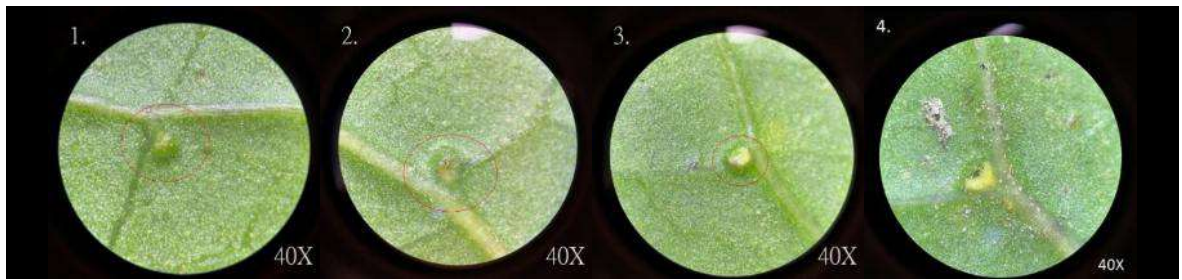


圖 28 成株成葉側脈的蟲菌穴形成初期到成熟期示意圖
(圖片來源：研究者自行拍攝)

成葉側脈的蟲菌穴形成初期，在主脈和側脈交會處有輕微的隆起（圖 28-1），接著隆起部位的組織顏色變白（圖 28-2）；然後形成橢圓形開口、內部形成空腔（圖 28-3）。蟲菌穴形成，有蟎從蟲菌穴中跑出來（圖 28-4）。

2. 不同部位的蟲菌穴構造差異(拍照記錄)

(1) 主脈與側脈交會處

(2) 側脈及細脈交會處

(3) 細脈上

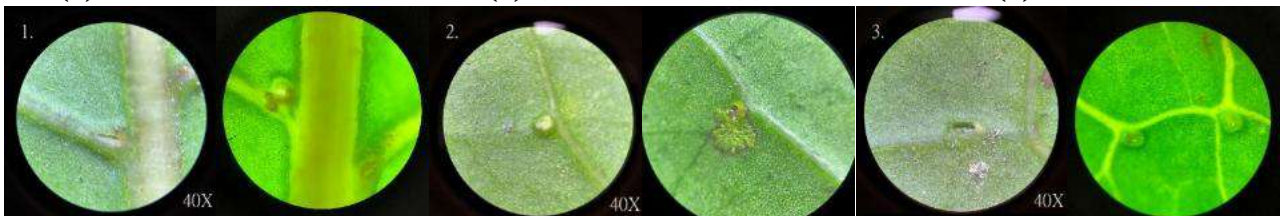


圖29 主脈側脈交會的蟲菌穴

圖30 側脈及細脈交會的蟲菌穴

圖31 細脈上的蟲菌穴

(圖片來源：研究者自行拍攝)

(圖片來源：研究者自行拍攝)

(二) 實驗結果

1. 茄苳嫩葉：

- (1) 幼葉只有主脈與側脈交會處有凸起的壺穴型蟲菌穴，側脈及細脈則皆無蟲菌穴。
- (2) 幼葉的蟲菌穴為翠綠色，與成葉組織變色變硬的蟲菌穴不同。

2. 茄苳成葉：

- (1) 茄苳的成葉主脈與側脈交會處、側脈與細脈交會處及細脈上，皆有蟲菌穴。
- (2) 主脈及側脈交界處之蟲菌穴組織硬化、變色現象及凸起最為明顯，以凸起的壺穴型蟲菌穴為主，開口為橢圓形裂縫狀。
- (3) 側脈與細脈交界處之蟲菌穴組織硬化、變色現象及凸起較主脈之蟲菌穴不明顯，形狀多為三角形或圓形，型態介於壺穴型和下陷型之間，有點像火山口，開口為圓形。
- (4) 細脈的蟲菌穴沒有長在交界處，而是直接長在葉脈上，蟲菌穴組織硬化、變色現象及凸起最不明顯且開口最大，為橢圓形開口，型態為下陷型。

3. 總結：

茄苳葉片在不同時期的蟲菌穴其生長部位與型態都不同。茄苳成熟葉上不同部位形成的蟲菌穴構造也有很大的型態差異。

★ 探討小結

歸納實驗 3-1~3-6 的結果，我們發現「種間的葉片面積大小」與「蟲菌穴數」之間並無明顯相關，但種內的葉片面積大小，以實驗對象小葉欖仁和茄苳來說，「主脈長度」與「蟲菌穴數」皆呈明顯的正相關。樹冠層的高度與內外層對蟲菌穴數也有明顯影響，小葉欖仁到 4 樓高度蟲菌穴才顯著減少，樹冠層內外變化也不明顯；茄苳則無論樹冠層內外或高度，皆有顯著差異，可見微氣候因子對茄苳蟲菌穴的數量影響更大。所以最後實驗 3-5~3-6 就針對茄苳的蟲菌穴進行深入觀察，發現茄苳葉片在不同時期的蟲菌穴其生長部位與夠造型態都不同，而成熟葉上不同部位形成的蟲菌穴構造也有很大的型態差異。

伍、討論

一、探討校園中的40種木本植物蟲菌穴的有無

我們的研究結果中有 17 種樹種沒有蟲菌穴，除了確認脈型中的平行脈完全沒有蟲菌穴，我們猜測，蟲菌穴的形成與數量可能還與下列因素有關：葉片的化學成分（如單寧、精油等防禦機制）、葉片的厚度與質地、環境因素（如溫度、濕度、日照、降水）、昆蟲與真菌的偏好以及樹種的生態適應性等。

（一）葉質

研究材料中，葉片為革質的有土肉桂、榕樹、龍眼樹、無患子、鵝掌柴、香水檸檬、箭葉橙；紙質的有苦楝、烏臼和馬拉巴栗；葉背有毛的有金新木薑子、構樹、番石榴。因此葉質為革質、葉片較厚且葉面油亮，或者葉背有葉毛覆蓋，可能較不容易形成蟲菌穴。

（二）葉片的化學成分

上述紙質中的苦楝葉片有苦楝素、烏臼有單寧酸，屬於植物防衛用化學成分；香水檸檬和箭葉橙葉片（圖 32）則有葉油和濃郁香味，可能這些化學成分都是不易形成蟲菌穴的原因。

（三）造瘿昆蟲

此外，榕樹和土肉桂都有蟲瘿，可能也是原因之一。我們發現榕樹葉上有榕管蓟馬（圖 33）。榕管蓟馬是一種造瘿昆蟲，以吸食葉的汁液為食，並於葉背形成許多凹陷的紫紅色斑點，取食導致葉捲曲、變黃、變硬，最終脫落（根葉病蟲害智能決策管理系統，2024）。可能因為榕管蓟馬在生態系統中較強勢，所以葉片並未演化出蟲菌穴。

另外，土肉桂不是每一片葉片都有有蟲菌穴，長期觀察後發現到有些葉片有蟲癭造成的凸起物（圖34-35），在顯微鏡下看到像是蟲菌穴的構造，其實也是造癭昆蟲造成的。「臺灣生命大百科」網站中，Jhih-Rong Liao（2017）也提到「江原鈍綫蟎（一種捕植蟎）佔據虎皮楠木蟲的蟲癭」的現象，所以我們才會誤認蟲癭留下的巢是蟲菌穴。



圖32 箭葉橙葉的腺點



圖33 榕管薊馬與蟲癭



圖34 土肉桂的扭曲葉



圖35 蟲癭造成的穴

（圖32~35圖片來源：皆由研究者自行拍攝）

二、觀察校園中40種木本植物葉片上的蟲菌穴類型與特徵

在進行蟲菌穴的觀察與分類時，我們也先對照了英文文獻，再把蟲菌穴分成**毛穴型**、**口袋型**、**壺穴型**、**下陷型**、**簇毛型**以及**簇毛口袋複合型**等六種，**毛穴型**又可再細分為**穴中有毛次型**與**穴外有毛次型**兩種。在涂芳瑜（2011）的「台灣被子植物之葉部蟲室研究」中指出，調查台灣本島具有蟲室之27科49屬60種被子植物，發現蟲室有腺窩、口袋狀、毛叢、邊緣反捲、腺窩-毛叢複合形、口袋狀-毛叢複合形、邊緣反捲-毛叢複合形、腺窩-口袋狀複合形、葉柄翼反捲等，共九種型態。此結果與我們的研究不符，我們認為可能原因有：

- （一）觀察的樹種不夠多，不具代表性；
- （二）邊緣反捲或葉柄翼反捲使否有可能是造癭昆蟲造成，而不是蟎類的蟲菌穴？
- （三）腺點與腺窩的混用與誤用。

所謂**腺點**，是植物用來分泌甜液，吸引螞蟻或昆蟲採食的下凹圓形狀構造，以避免其他昆蟲傷害葉片。通常小而點狀的分泌結構，稱為「**腺點**」（圖36-37）；而較大、突起的分泌結構，則稱為「**腺體**」（圖38-39）。而蟲菌穴是植物葉脈交界處特化出來的腔室，提供蟎類住所，而捕植蟎類則會捕捉食植蟎或其他初級消費者，讓植物不受到攻擊。**腺窩**和蟲菌穴，指的是同樣的構造，但常和腺點混淆。



圖36 風鈴木的腺點



圖37 番茉莉的腺點



圖38 山櫻花的腺體



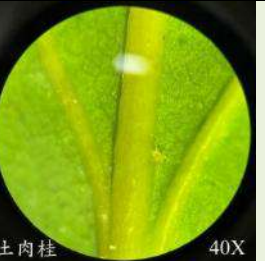
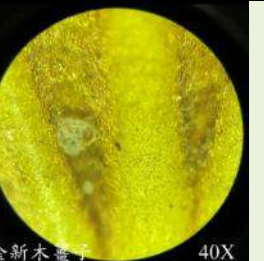
圖39 烏臼的腺體

（圖36~39圖片來源：皆由研究者自拍攝）

三、分析植物親緣性與蟲菌穴類型的關聯性

Nishida等人(2006)針對樟科植物的蟲菌穴進行解剖研究，發現樟科植物的蟲菌穴分成開口狹窄且有絨毛的袋型、開口較寬且有絨毛的毛穴型、開口寬且無絨毛的毛穴型以及開口非常寬且無絨毛的碟型等四種類型，且食植蟎與捕植蟎所使用的穴居結構不同，主要解剖學差異在於邊緣組織的發育。由於我們的同科的研究材料中只有樟科比較多，有樟樹、牛樟、土肉桂、香楠和金新木薑子五種同科不同屬的植物，但也只發現兩種類型的蟲菌穴(表18)。

表18 不同樟科植物有無蟲菌穴及其構造比較（表18所有圖片來源皆由研究者自行拍攝）

樟樹、牛樟(毛少)	香楠	土肉桂	金新木薑子
			
穴中有毛的毛穴型蟲菌穴。	穴外有毛覆蓋的毛穴型蟲菌穴。	無蟲菌穴，但有蟎蟲在葉背主脈基部。	葉背布滿金色茸毛，無蟲菌穴，有網狀物。

四、探討各種喬木葉片蟲菌穴中的「蟲」的種類

西田佐知子(2004)的研究發現蟲菌穴有分成：住蟎蟲的蟲菌穴和住蟎蟲的蟲菌穴，而葉片上常見的蟲則有蚜蟲、葉蟎、介殼蟲、黑翅蕈蚋、薊馬、小葉蟬等。我們的研究發現居住於蟲菌穴中的以捕植蟎為主，食植蟎其次，但未觀察到居住蟎蟲的蟲菌穴。

此外，本研究因對蟎蟲的研究尚未有時間深入探討，所以也無法完全確認捕植蟎與食植蟎居住的蟲菌穴差異，期望未來能對此議題及蟎類生活史有更加深入的研究。

五、分析不同葉脈脈型與形成蟲菌穴的關係

研究結果發現，屬於平行脈的葉片都沒有蟲菌穴；網狀脈的側脈若過於整齊且相互平行，則也無蟲菌穴；網狀脈的側脈分岔與交界越多，蟲菌穴數量也就越多；我們還發現，茄苳除了在葉脈交界處有蟲菌穴，在葉肉上亦有蟲菌穴形成，是值得後續深入研究之處。

六、分析葉片面積和蟲菌穴數量關係

Biddick(2022)進行了20種西太平洋的喬木與灌木在投資蟲菌穴與葉片大小的相關性研究。結果顯示，大葉物種比小葉物種產生更多的穴居。然而，在同一物種的個體中，穴居植物的產量並不一定與葉面積成比例，在觀察到的 20 個物種中，只有 7 個物種的蟲菌穴數量與葉子大小有關，其中一種 (*Elaeocarpus dentatus*) 意外地表現出了相反的關係。此研究與我們的

結果相符。

種內葉片大小與蟲菌穴數量關係的研究中，我們只選擇了小葉欖仁和茄苳兩種葉片進行觀察，發現不管是小葉欖仁或是茄苳，主脈長度與蟲菌穴數量皆呈明顯的正相關。這與Biddick(2022)提出「在每片葉子的平均蟲菌穴數量較多的物種中，蟲菌穴與葉片尺度的關係通常更強」的研究結果相符。

七、探討不同樹冠層高度與內外層的葉片對蟲菌穴的影響

我們的研究結果顯示，樹冠層葉片高度及內外層對蟲菌穴數有明顯影響，樹冠層越高、越外層，蟲菌穴越少。透過觀察發現，樹冠層越高的葉片面積越小、越厚，同時也照射到更多陽光，較為乾燥、炎熱。而蟲菌穴內的蠕蟲較喜歡涼爽、潮濕的地方，因此樹冠層越高、越外層的葉片，越不適合形成蟲菌穴。Situngu & Barker (2017)的研究結果也表明，蠕蟲更喜歡樹冠下部區域的葉子，而避開頂部的葉子，以避免暴露在更惡劣的氣候條件下。

八、探討不同葉片成熟度對蟲菌穴的影響

由於蟲菌穴為植物自己生成的，而非蠕蟲從外部破壞，所以成熟度較高的葉片通常有較多的時間來形成蟲菌穴；成熟度較低則相反。我們觀察到雖然茄苳的幼株的幼葉與成株的成葉面積差不多，但是成葉的蟲菌穴數量明顯大於幼葉，故蟲菌穴會隨著葉片成熟度而增加。

九、探討茄苳葉片在不同時期與不同部位的蟲菌穴構造差異

我們的研究表明，茄苳葉片在不同時期的蟲菌穴其生長部位與構造型態都不同，成熟葉上不同部位形成的蟲菌穴構造也有很大的型態差異。我們猜測，可能因為葉片的厚度、硬度及水分含量的變化而有所不同，進而影響蟲菌穴的形成和形狀。此外，光照、濕度和氣候變化等氣候因素也可能影響蟲菌穴。觀察過程中我們就發現一個特殊的現象，茄苳的蟲菌穴穴口像是長了極小的蘚類在上面，而且只有很少的蟲菌穴長出這樣的構造(如圖 40)。經過查詢，這構造應該是一種地衣。如果枝條多、濕度無法及時排除，就會長出來，在樹木病害中，以向南面比較容易發生。而目前沒有這種地衣與蟲菌穴共生的相關文獻研究。或許，這又將是一個值得探討的新的研究議題。



圖 40 地衣與蟲菌穴
(圖片來源：研究者自行拍攝)

陸、結論

由本研究的十二項實驗可歸納出以下幾點結論：

一、觀察蟲菌穴的多樣性與基本描述

- (一) 40 種木本植物中，有蟲菌穴的樹種以扛香藤的平均蟲菌穴數（36.47 個）最多，茄苳其次（29.95），單一葉片蟲菌穴達最高數量的是茄苳（73 個）。
- (二) 蟲菌穴類型有毛穴型、口袋型、壺穴型、下陷型、簇毛型以及簇毛口袋複合型，六種型態。
- (三) 穴中生物以蟎類為主，捕植蟎最多、食植蟎其次，少部分有昆蟲的蹤跡。

二、分析植物的親緣性及脈型等特徵，與蟲菌穴類型的關聯性

- (一) 蟲菌穴類型和植物的分類階層僅少數有關聯性。
- (二) 蟲菌穴的形成和脈型的關聯性比親緣關係大。網狀脈中，側脈彎曲或有較多分岔的羽狀脈、掌狀脈及三出脈最容易形成蟲菌穴；平行脈以及側脈沒有分岔且平行於其他側脈的羽狀脈，則沒有蟲菌穴。

三、探討葉片特徵與環境因子對蟲菌穴分布特性的影響

- (一) 「種間的葉片面積大小」與「蟲菌穴數」之間無明顯相關。種內相較，則小葉欖仁和茄苳的主脈長度與蟲菌穴數量皆呈明顯的正相關。
- (二) 樹冠層的高度與內外層對蟲菌穴數也有明顯影響，小葉欖仁到 4 樓高度蟲菌穴才顯著減少，樹冠層內外變化也不明顯；茄苳則無論樹冠層內外或高度，都有顯著差異，可見微氣候因子對茄苳蟲菌穴的數量影響更大。
- (三) 茄苳葉片在不同時期的蟲菌穴其生長部位與夠造型態都不同，而成熟葉上不同部位形成的蟲菌穴構造也有很大的型態差異。

綜上所述，我們發現蟲菌穴分布的特性與脈型、主脈長度、葉片成熟度等葉片特徵有關；而影響蟲菌穴形成與數量的因素中，以樹冠層的高度與內外層對蟲菌穴數量上有顯著差異。

柒、參考文獻資料

一、照片與圖片：

圖 1～圖 40，以及表 2、表 5、表 7、表 9、表 18 中的照片，皆由研究者自行拍攝及繪製。

二、文獻資料：

- Biddick, M. (2022).** Scale-dependent trends in the investment of leaf domatia. *Biological Journal of the Linnean Society*, 135(2), 235–241. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blab154>
- Kim, B.-G., & Ngondya, I. B. (2011).** Life on leaves: Which type of domatia in *Cornus* species is most preferred by foliar mites? *Journal of Agriculture & Life Science*, 45(3), 19–23. <https://www.koreascience.kr/article/JAKO201136435619993.page>
- Nishida, S., Tsukaya, H., Nagamasu, H., & Nozaki, M. (2006).** A comparative study on the anatomy and development of different shapes of domatia in *Cinnamomum camphora* (Lauraceae). *Annals of Botany*, 97(4), 601–610. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl009>
- Robbrecht, E. (1987).** Tropical woody Rubiaceae: Characteristic features and progressions. *Contributions to a new subfamilial classification* (pp. 49–50). *Opera Botanica Belgica* (Vol. 1). National Botanic Garden of Belgium. <https://doi.org/10.2307/4110534>
- Situngu, S., & Barker, N. (2017).** Position, position, position: Mites occupying leaf domatia are not uniformly distributed in the tree canopy [Master's thesis, University of Pretoria]. <http://hdl.handle.net/2263/57723>
- Jhih-Rong Liao (2017)。江原鈍綏蟎佔據虎皮楠木蟲的蟲癭。臺灣生命大百科。取自：https://taieol.tw/muse/digi_object/8e2f49d931fea886592214958eab6a55
- 西田佐知子(2004)。葉上 の 小 器 官 「ダニ 室」 。取自 <https://www.num.nagoya-u.ac.jp/outline/staff/nishida/laboratory/research/nishida2004.pdf>。
- 林試所-幸福森活(2023 年 8 月 30 日)。微觀森林小宇宙－植物也會養寵物？取自：<https://www.facebook.com/tfri.coa>
- 陳文華(2009 年 12 月)。葉蟎類。植物保護圖鑑系列 19，52-56。
- 葉士財、郭建志、廖君達、柯文華、白桂芳、張致盛(2012 年 4 月)。中部地區柿樹科果樹病蟲害圖說。取自行政院農業委員會臺中區農業改良場。
- 農業病蟲害智能決策管理系統(2024)。病蟲害清單/榕管薊馬。取自：<https://azai.tari.gov.tw/search/bug/detail?id=877>
- 廖仁滄(2014)。六脈神鑑—植物葉脈種類。國立自然科學博物館管訊，318，第七版。
- 廖治榮、何琦琛、柯俊成(2023)。臺灣植綏蟎(蟎婢亞綱:中氣門目)分類學的里程碑與未來方向。台灣昆蟲 Formosan Entomol. 43，15-23。
- 廖治榮、何琦琛、柯俊成(2024)。氣候變遷下捕植蟎生物防治的挑戰與未來方向。台灣農業研究，73，3，153-168。取自: [https://doi.org/10.6156/JTAR.202409_73\(3\).0001](https://doi.org/10.6156/JTAR.202409_73(3).0001)
- 臺灣生物多樣性網路(2025 年 05 月 30 日)。取自：<https://www.tbn.org.tw/>
- 劉語芯(2023)。AreaCalcuator。取自：<https://github.com/yusinliu822/AreaCalculator>

【評語】 030305

1. 此研究以校園與周邊地區 40 種木本植物為對象，系統性觀察葉片上的蟲菌穴形態與分布，並進行與葉脈形態、葉片大小、葉齡、樹冠層位置與植物分類間的關聯分析，研究主題具生物共生與在地生態學的价值。
2. 研究方法具備完整性，樣本分類與資料蒐集良好，圖表製作清楚易讀，且能搭配適當的統計檢定說明趨勢，展現出良好的資料處理能力。不過建議可將部分重複數據整理至附錄，以提升正文的流暢性。
3. 在蟲菌穴形態與數量分析方面，部分資料如茄苳的單葉穴數最高達 73 個，卻僅報告平均數而未呈現變異程度，可能導致誤解數據分布情形。建議補充標準差或中位數，並強調資料異質性對解釋結果的重要性。
4. 關於樹種間的差異分析，目前報告未能清楚區分跨物種與單一物種內部的分析邏輯，例如整體相關性不顯著但部分樹種顯現明顯趨勢，建議可進一步釐清比較層級，以避免數據詮釋混淆。
5. 此研究強調葉脈形態對蟲菌穴數量的影響高於植物親緣性，然而部分例外情形如不同掌狀脈或三出脈植物表現差異甚大，顯示可能還受葉質、環境或昆蟲行為等因素影響。建議未來可進一步設計控制實驗以釐清多重因子的交互作用。

6. 在共生生物的觀察上指出以捕植蟎為主，但未對不同型態穴結構是否提供不同程度的保護或偏好進行深入分析，若能針對穴型與特定生物間的互動關係進行測試，將大幅提升生態層面的深度與解釋力。

作品海報



巢居穴處——

蟲菌穴分布特性與影響因素分析

摘要

為了解蟲菌穴分布特性與影響因素，我們研究**40種木本植物**，**觀察**其葉片是否有蟲菌穴、歸納出六種類型、確認內部構造與穴居生物以蟎類為主；再**分析**親緣關係、不同脈型的影響；最後**探討**不同葉片大小、樹冠層高度及內外層、葉片成熟度等因素對蟲菌穴數量及型態的影響。**結果發現**，並非所有木本植都都有蟲菌穴，**脈型的影響較親緣關係明顯**。**平行脈都沒有蟲菌穴**；側脈有較多分岔，蟲菌穴數也較多。種間葉片面積大小與蟲菌穴數無明顯相關。但**小葉欖仁和茄苳的主脈長度與蟲菌穴數量皆呈顯著正相關**。**樹冠層越高、越外側，則蟲菌穴數越少**。茄苳幼葉與成葉的蟲菌穴數也有顯著差異。茄苳葉片在不同時期及不同部位的蟲菌穴型態都不相同。

壹、研究動機

在專題課中，我們發現校園植物的小葉欖仁葉面的主脈及副脈交界處有突起的構造，翻至葉背則像是覆蓋著毛的小孔穴（圖1～2），用顯微鏡觀察還發現裡面有「蟎」（圖3）。查閱文獻後，發現其構造叫做「**蟲菌穴**」，於是決定研究它。



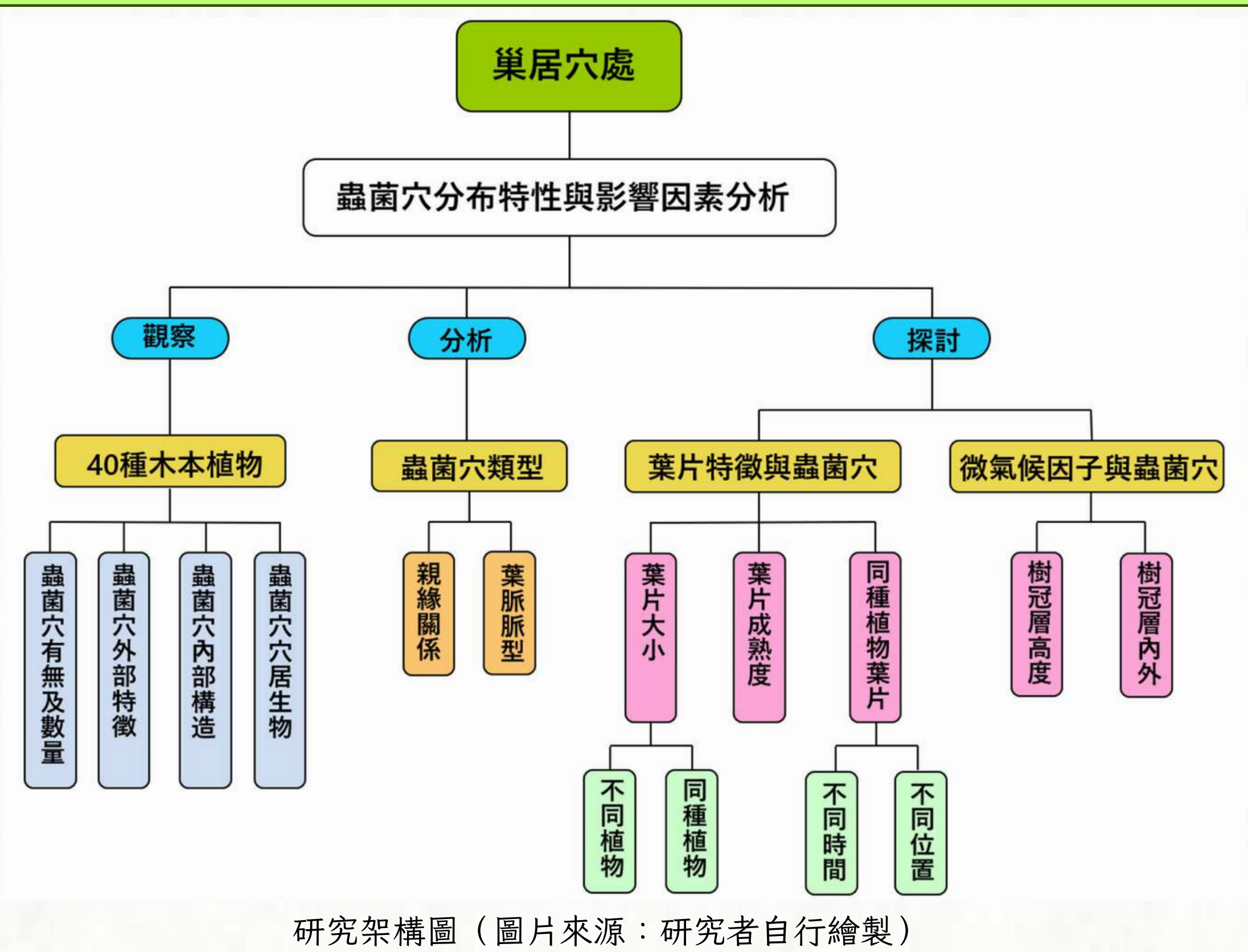
圖 1 小葉欖仁葉片

圖 2 蟲菌穴構造

圖 3 有蟎在其中

（圖1~3 由研究者自行拍攝）

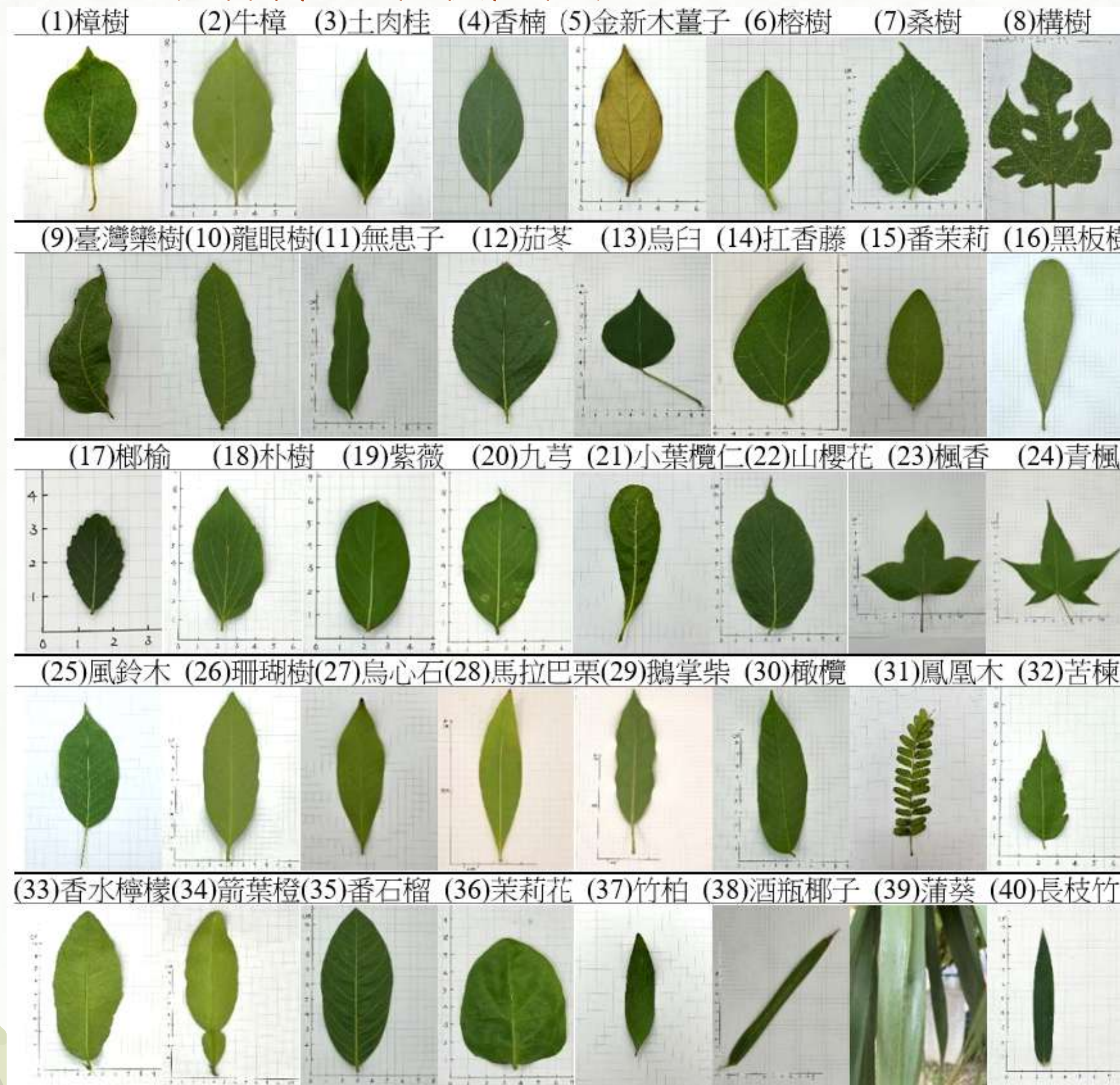
貳、研究目的與研究架構



研究架構圖（圖片來源：研究者自行繪製）

參、研究設備及器材

一、生物材料:40種校園植物



（圖片來源：研究者自行拍攝）

二、主要實驗器材

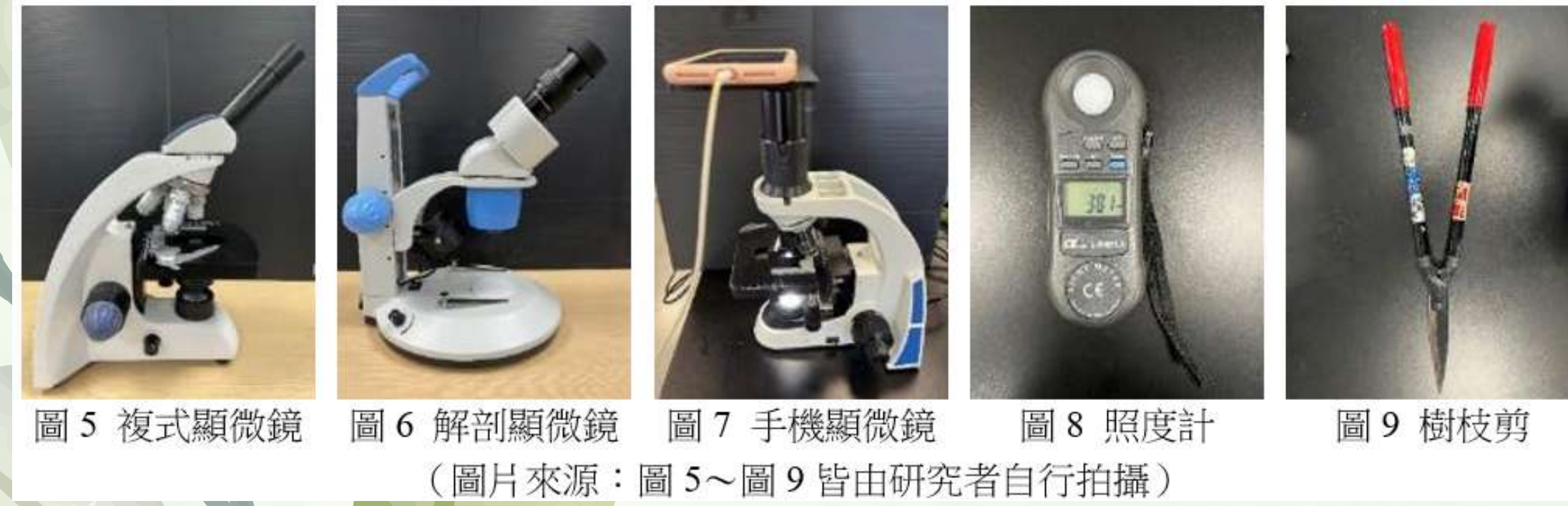


圖 5 複式顯微鏡

圖 6 解剖顯微鏡

圖 7 手機顯微鏡

圖 8 照度計

圖 9 樹枝剪

（圖片來源：圖 5～圖 9 皆由研究者自行拍攝）

肆、研究過程或方法

觀察

- 【實驗1-1】觀察40種木本植物葉片，記錄蟲菌穴的數量多寡
- 【實驗1-2】觀察蟲菌穴的外觀特徵並進行分類
- 【實驗1-3】觀察蟲菌穴橫切面，確認內部構造特徵
- 【實驗1-4】觀察蟲菌穴中「蟲」的種類，初步了解蟲菌穴功能

分析

- 【實驗2-1】分析**樹種親緣關係**與蟲菌穴類型的關係
- 【實驗2-2】分析**不同葉脈脈型**與蟲菌穴類型的關係

探討

- 【實驗3-1】探討不同植物間葉片面積大小，對蟲菌穴數量影響
- 【實驗3-2】探討同種植物主脈長度，對蟲菌穴數量的影響
- 【實驗3-3】探討不同樹冠層高度葉片，對蟲菌穴數量影響
- 【實驗3-4】探討樹冠層內與樹冠層外葉片，對蟲菌穴數量影響
- 【實驗3-5】探討茄苳的幼葉與成葉，對蟲菌穴數量影響
- 【實驗3-6】觀察茄苳葉在不同時期與不同部位蟲菌穴構造差異



圖11 小葉欖仁

圖12 茄苳樹

圖13 茄苳幼株

（圖11~13之圖片來源：研究者自行繪製）

伍、研究結果

觀察

- 【實驗 1-1】觀察40種植物，記錄蟲菌穴數量

表 4 40 種木本植物葉背有無蟲菌穴的記錄表

植物名與有無蟲菌穴記錄	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
樟樹	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
牛樟	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
香楠	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
土肉桂	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
金新木薑子	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
榕樹	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
桑樹	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
構樹	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
臺灣樂樹	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
龍眼樹	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
無患子	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
茄苳	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
烏白	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
扛香藤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
番茉莉	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
黑板樹	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
椰樹	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
朴樹	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
紫薇	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
九芎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
小葉欖仁	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
山櫻花	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
楓香	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
青楓	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
風鈴木	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
珊瑚樹	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
烏心石	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
馬拉巴栗	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
鵝掌柴	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
橄欖	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
鳳凰木	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
苦楝	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
香水檸檬	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
箭葉橙	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
番石榴	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
茉莉花	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
竹柏	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
酒瓶椰子	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
蒲葵	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
長枝竹	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

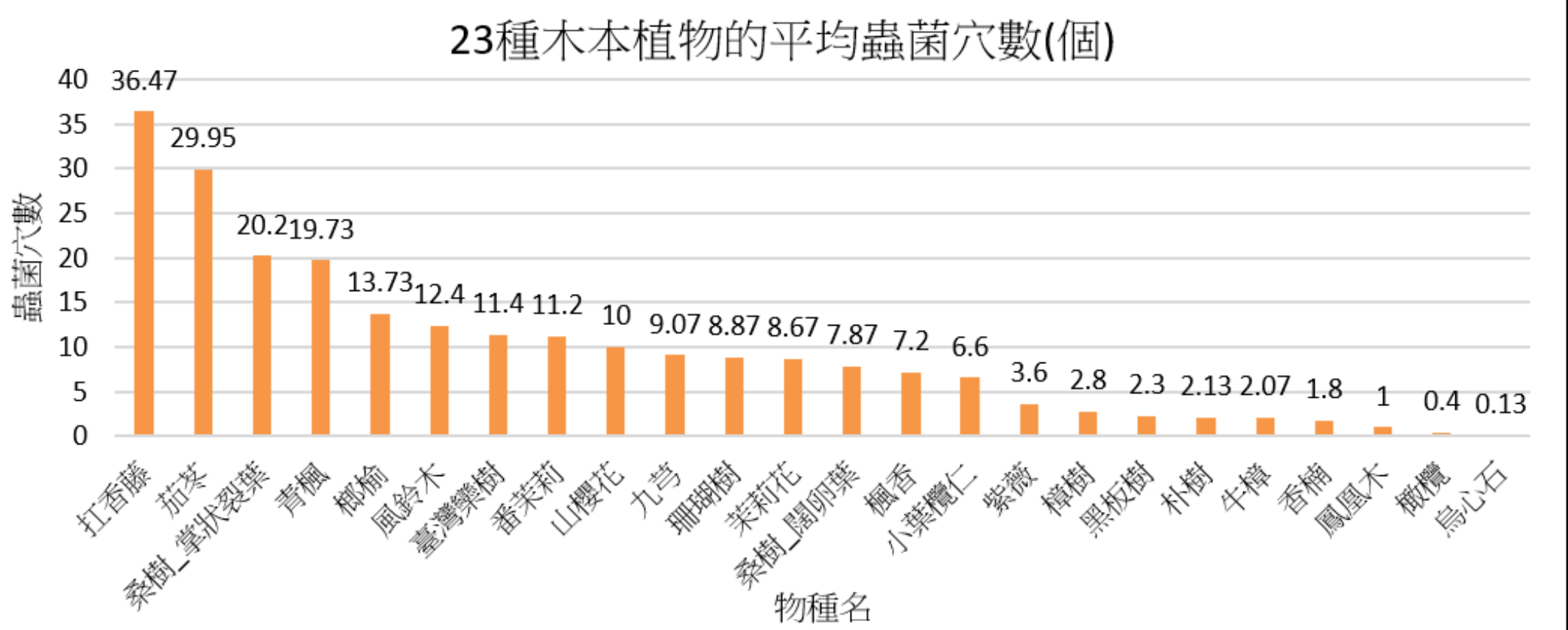
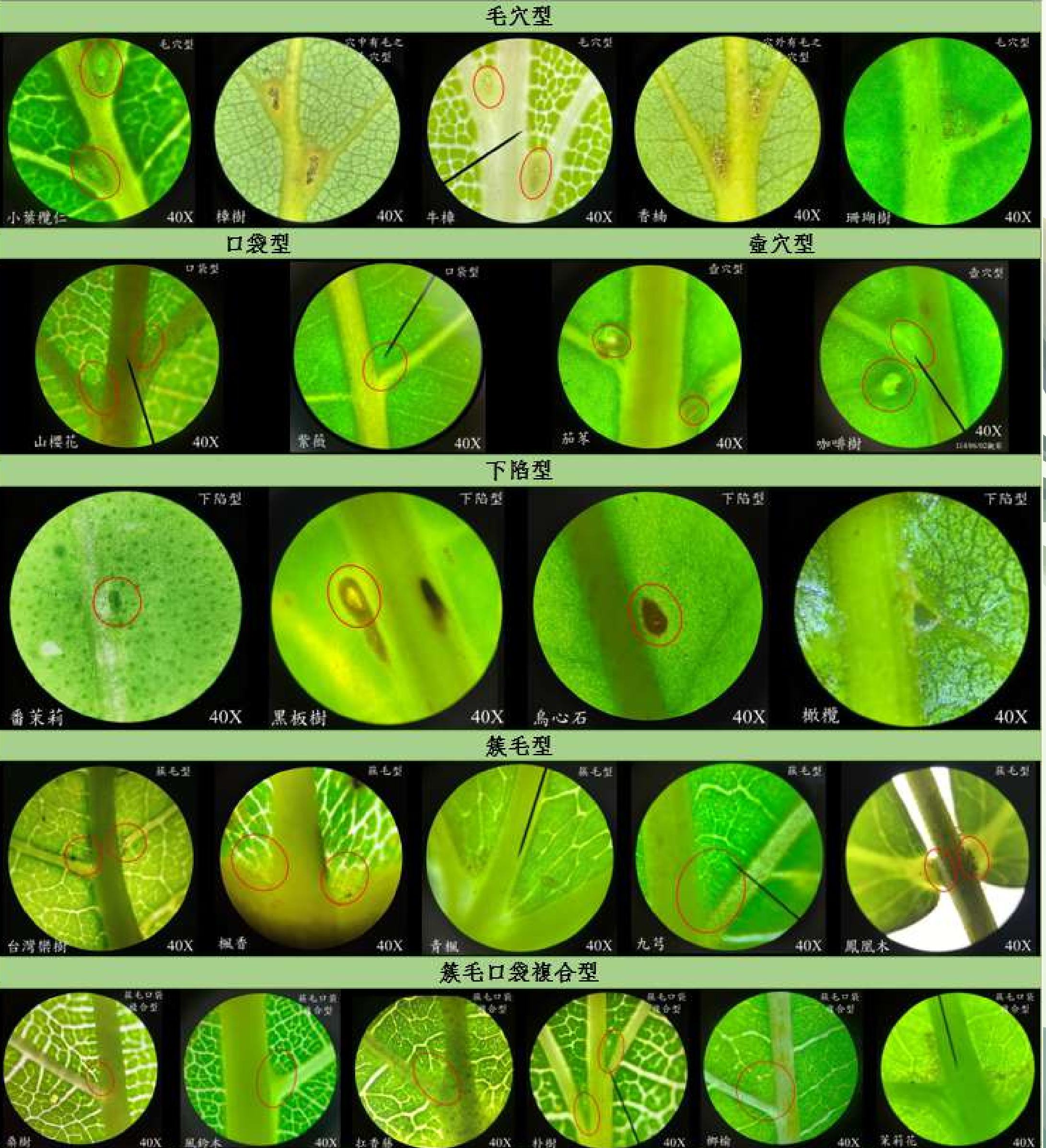


圖 14 23 種木本植物葉片平均蟲菌穴的數量統計圖（圖片來源：研究者自行繪製）

★ 實驗結果

- 1. 每片葉子都有蟲菌穴有20種；部分葉片有蟲菌穴的有3種。
- 2. 扛香藤蟲菌穴數最多；而茄苳最大值73個蟲菌穴，非常驚人。

- 【實驗1-2】分析蟲菌穴的外觀特徵並進行分類



（圖片來源：研究者自行拍攝）

- 【實驗1-3】觀察蟲菌穴橫切面，確認內部構造特徵

表8 不同蟲菌穴類型的橫切面記錄（表8所有圖片來源皆由研究者自行拍攝）



（圖片來源：研究者自行拍攝）

★ 實驗結果

- 簇毛型與簇毛口袋型不易區分，藉由切片觀察，可更明確確認蟲菌穴型態。

【實驗1-4】 觀察蟲菌穴中「蟲」的種類



★ 實驗結果

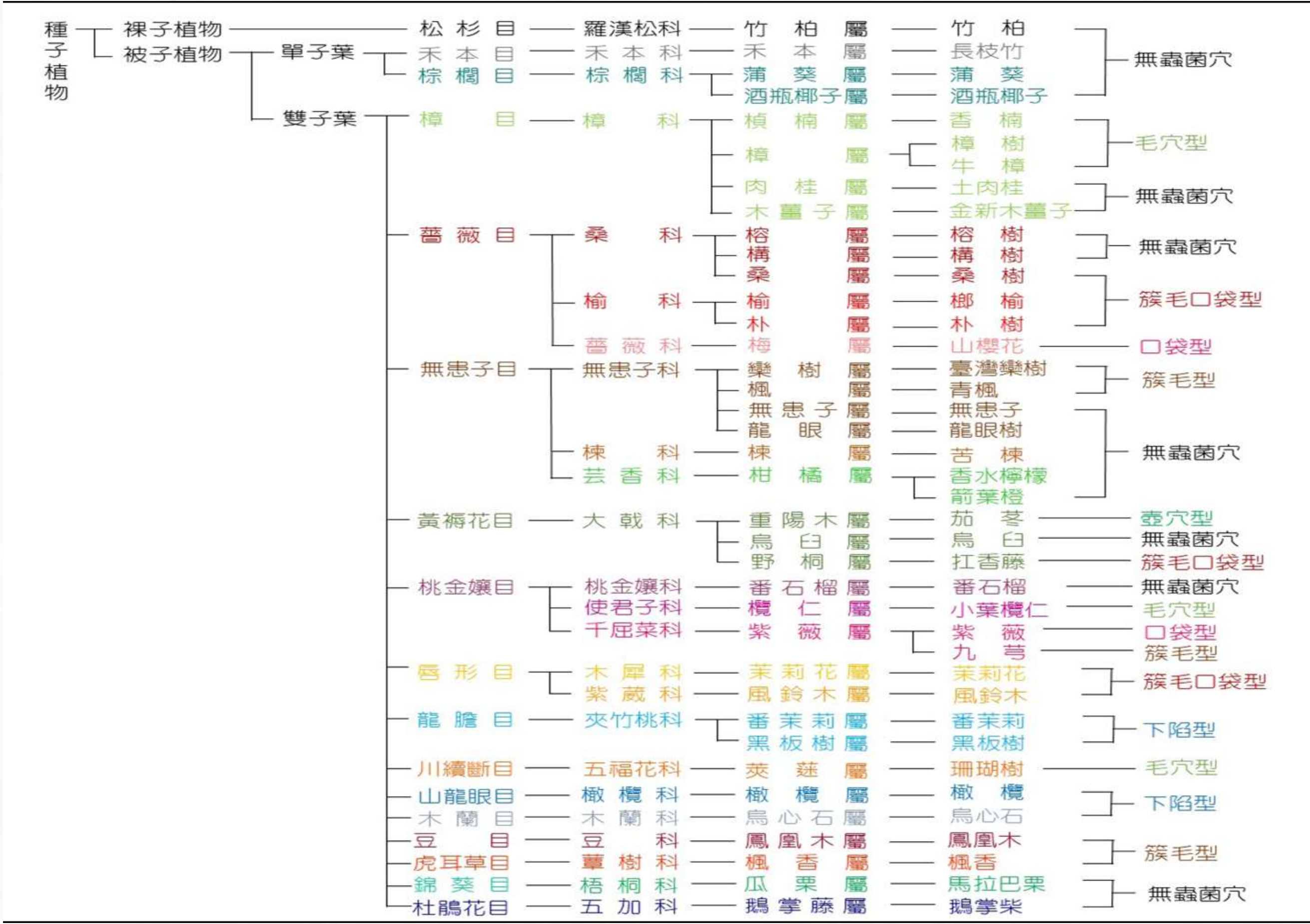
蟲菌穴內大部分居住的是蟎類，已確定的物種有溫氏捕植蟎、卵形捕植蟎和二點葉蟎，穴中也常發現有卵。此外，較厚的茄苳與橄欖葉上有發現節蟬的蹤跡；而簇毛型蟲菌穴或在主脈與側脈交界處，則容易發現蚜蟲、桑木蟲、木蟲、薊馬等昆蟲。

★ 觀察小結

總結實驗1-1～1-4，有蟲菌穴的樹種以扛香藤的平均蟲菌穴數最多，烏心石最少。單葉達最高量的茄苳。蟲菌穴類型有毛穴型、口袋型、壺穴型、下陷型、簇毛型以及簇毛口袋複合型六種型態，穴中生物以蟎類為主，捕植蟎最多、食植蟎其次，少部分有昆蟲的蹤跡。

分析

【實驗2-1】 分析樹種間親緣關係與蟲菌穴的類型的關係



（圖片來源：研究者自行繪製）

★ 實驗結果

蟲菌穴的型態僅在少數的分類階層中具一致性，推測可能還與葉脈型態、葉片質地與厚薄等形態特徵有關。

【實驗2-2】 分析不同葉脈脈型與蟲菌穴類型的關係

表10 各樹種蟲菌穴樹與脈型紀錄表（網狀脈包含：三出脈、羽狀脈和掌狀脈）

樹種名	樟樹	牛樟	香楠	土肉桂	金新木薑子	扛香藤	朴樹
菌穴數	2.8	2.07	1.8	0	0	36.47	2.13
脈型	毛穴型	毛穴型	毛穴型	無	無	簇毛口袋	簇毛口袋
脈型	三出脈	三出脈	三出脈	三出脈	三出脈	三出脈	三出脈
樹種名	小葉欖仁	珊瑚樹	桑樹闊卵葉	桑樹掌狀葉	柳榆	茉莉花	風鈴木
菌穴數	6.6	8.87	7.87	20.2	13.73	8.67	12.4
脈型	毛穴型	毛穴型	簇毛口袋	簇毛口袋	簇毛口袋	簇毛口袋	簇毛口袋
脈型	側脈分岔羽狀脈	側脈分岔羽狀脈	側脈分岔羽狀脈	掌狀脈	側脈分岔羽狀脈	側脈分岔羽狀脈	側脈分岔羽狀脈
樹種名	山櫻花	紫薇	臺灣欖樹	青楓	楓香	九芎	鳳凰木
菌穴數	10	3.60	11.4	29.4	7.2	9.07	1
脈型	口袋型	口袋型	簇毛型	簇毛型	簇毛型	簇毛型	簇毛型
脈型	羽狀脈	羽狀脈	羽狀脈	掌狀脈	掌狀脈	側脈分岔羽狀脈	側脈分岔羽狀脈
樹種名	黑板樹	烏心石	橄欖	番茉莉	茄苳	咖啡	烏白
菌穴數	2.3	0.13	0.40	11.2	29.95	--	0
脈型	下陷型	下陷型	下陷型	下陷型	壺穴型	壺穴型	無
脈型	側脈平行羽狀脈	側脈平行羽狀脈	側脈分岔羽狀脈	側脈分岔羽狀脈	側脈分岔羽狀脈	側脈分岔羽狀脈	側脈分岔羽狀脈
樹種名	龍眼樹	無患子	苦楝	鵝掌楸	馬拉巴栗	香水檸檬	番茉莉
菌穴數	0	0	0	0	0	0	0
脈型	無	無	無	無	無	無	無
脈型	側脈平行羽狀脈	側脈平行羽狀脈	側脈平行羽狀脈	側脈平行羽狀脈	側脈平行羽狀脈	側脈分岔羽狀脈	側脈分岔羽狀脈
樹種名	竹柏	蒲葵	酒瓶椰子	長枝竹	番石榴	榕樹	樟樹
菌穴數	0	0	0	0	0	0	0
脈型	無	無	無	無	無	無	無
脈型	平行脈	平行脈	平行脈	平行脈	側脈分岔羽狀脈	側脈分岔羽狀脈	側脈分岔羽狀脈



（圖片來源：研究者自行繪製）

★ 實驗結果

蟲菌穴的形成與數量受葉脈型態影響，尤其以側脈彎曲或多分岔的網狀脈最多。

★ 分析小結

葉脈脈型對蟲菌穴形成與數量有顯著影響：容易形成蟲菌穴的脈型多屬於網狀脈。不易形成蟲菌穴的脈型為平行脈；側脈平行、無分岔的羽狀脈，幾乎未觀察到蟲菌穴。蟲菌穴的形成與葉脈型的關聯性大於與植物親緣關係的關聯性。

探討

【實驗3-1】 探討種間葉片面積大小，對蟲菌穴數量影響

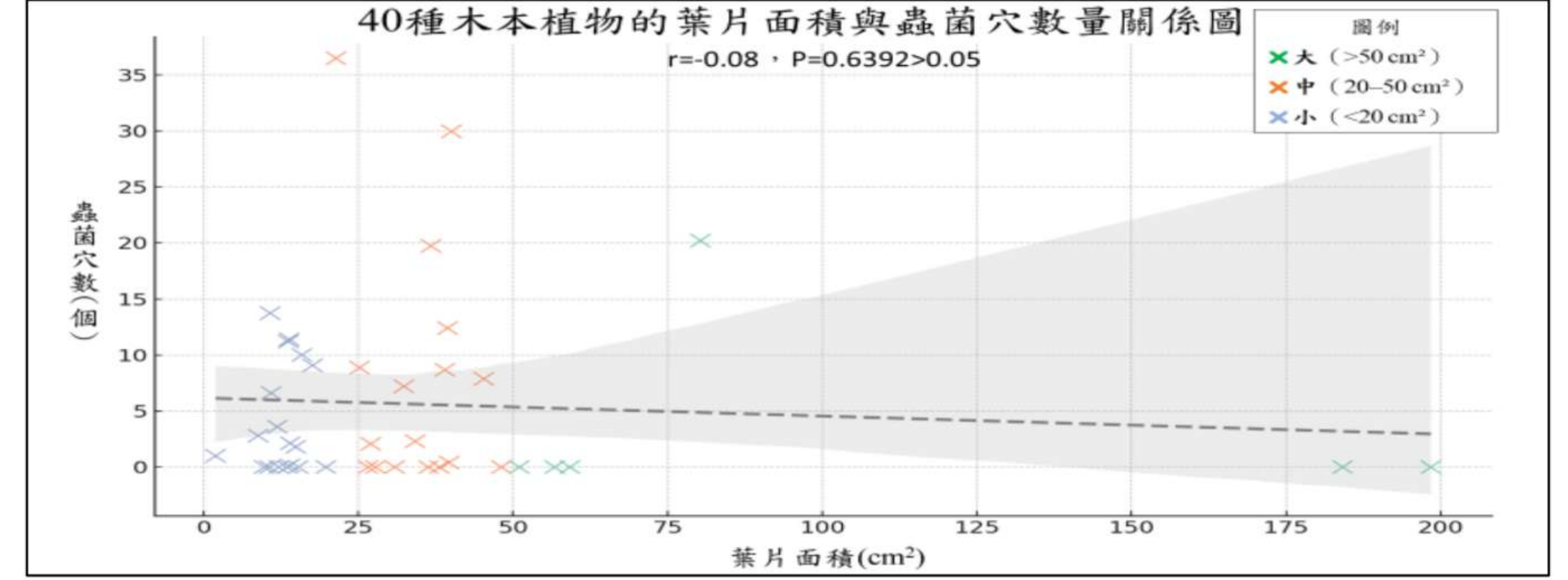


圖 16 不同樹種的葉片面積與蟲菌穴數散佈圖（圖片來源：由研究者自行繪製）

★ 實驗結果 「種間的葉片面積大小」與「蟲菌穴數」之間並無明顯相關。

【實驗3-2】 探討同種植物主脈長度，對蟲菌穴數量的影響

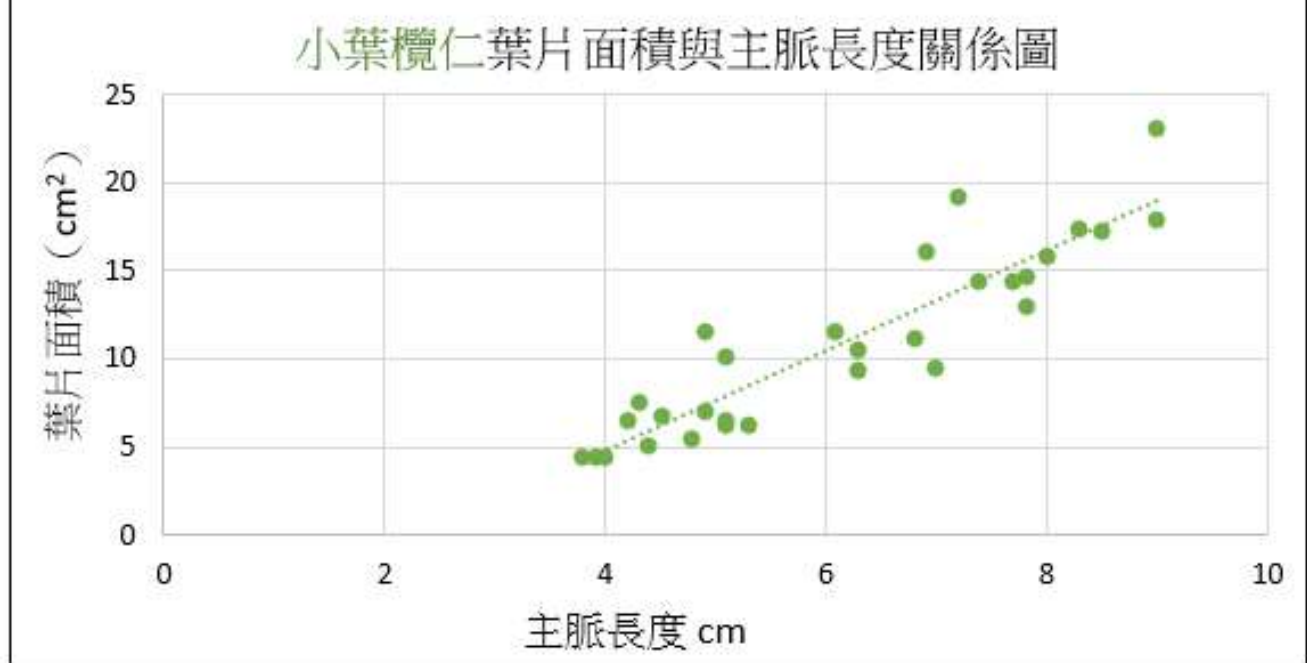


圖17 小葉欖仁葉片面積與主脈長度關係圖（圖片來源：由研究者自行繪製）

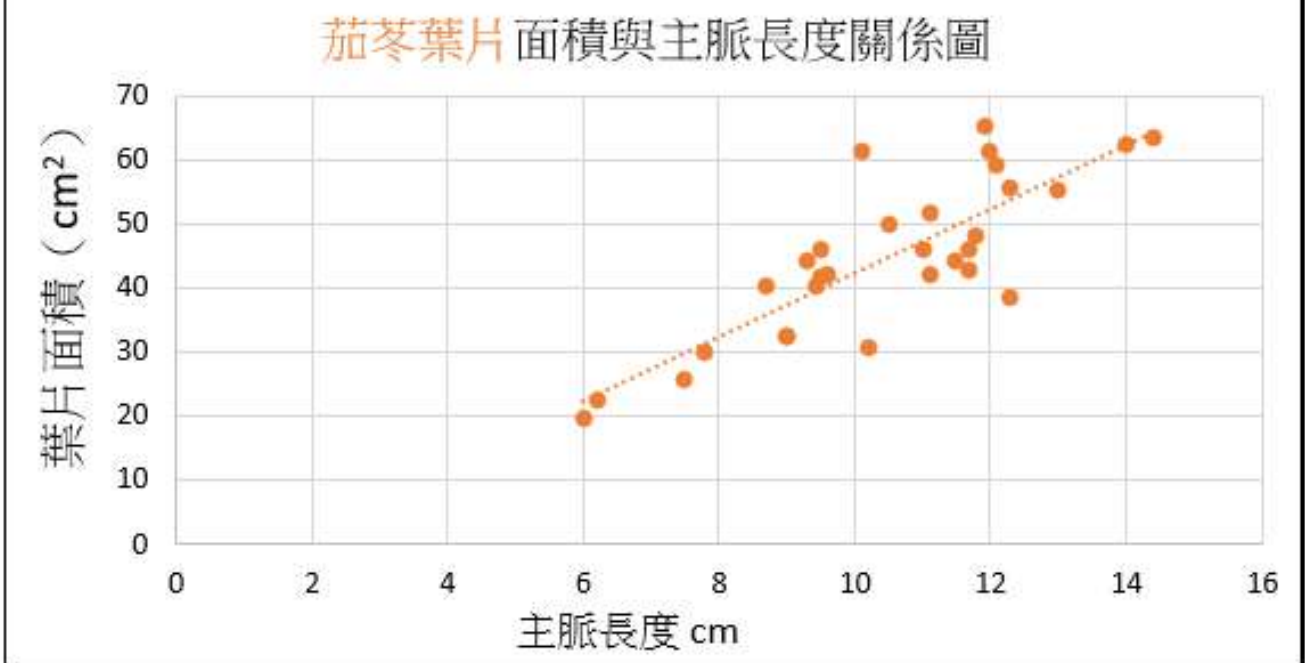


圖18 茄苳葉片面積與主脈長度關係圖（圖片來源：由研究者自行繪製）

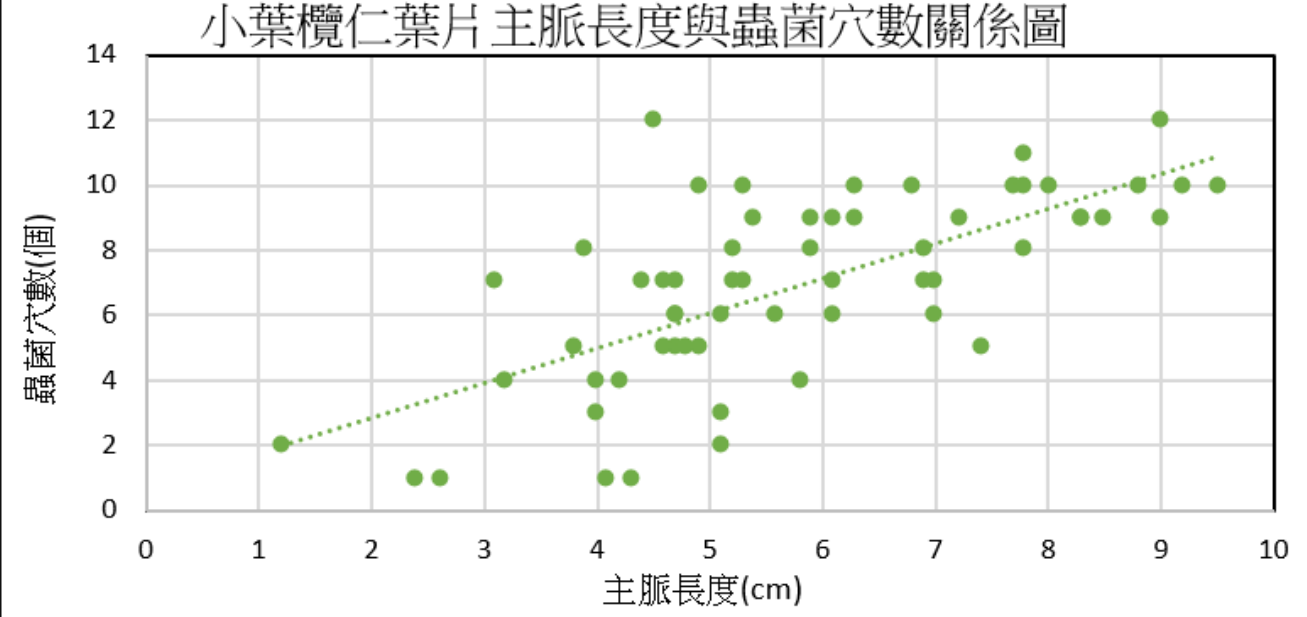


圖19 小葉欖仁主脈長度與蟲菌穴數關係圖（圖片由研究者自行繪製）

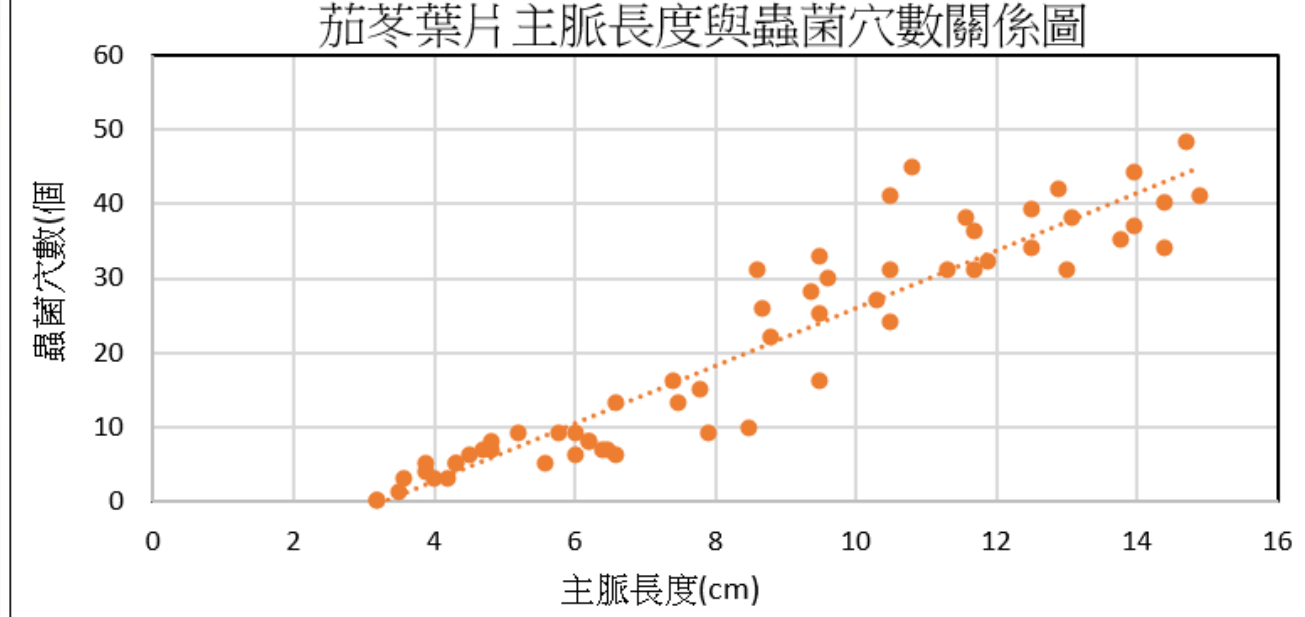


圖20 茄苳主脈長度與蟲菌穴數關係圖（圖片由研究者自行繪製）

★ 實驗結果

- 小葉欖仁主脈長度與蟲菌穴數量呈現正相關，即主脈越長，蟲菌穴數越多。
- 茄苳的主脈長度與蟲菌穴數量呈明顯正相關，即主脈越長，蟲菌穴數越多。
- 小結：不論是小葉欖仁或是茄苳，主脈長度與蟲菌穴數量皆呈明顯的正相關，且茄苳蟲菌穴增加的幅度大於小葉欖仁蟲菌穴增加的幅度。

【實驗3-3】 探討不同樹冠層高度葉片，對蟲菌穴數量影響

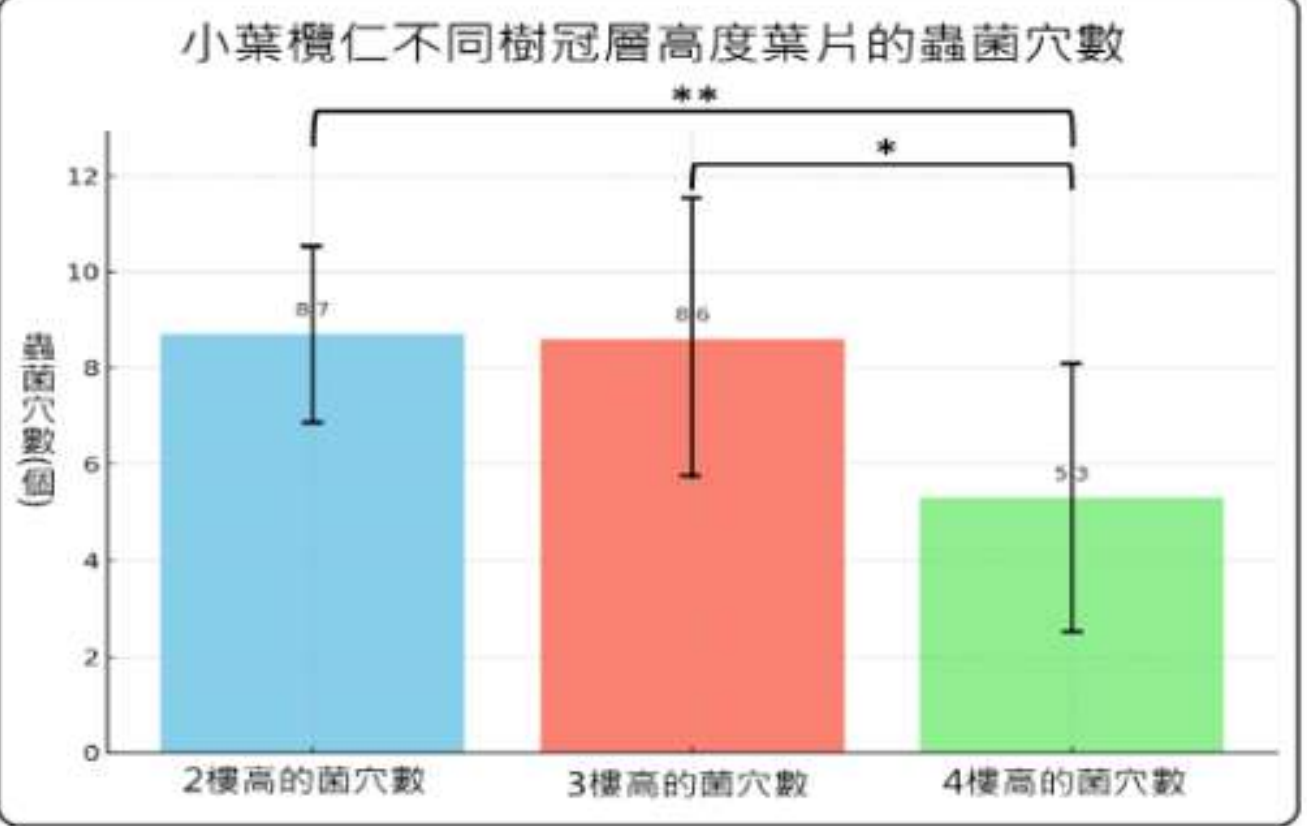


圖 21 小葉欖仁不同樹冠層高度的蟲菌穴數（圖片來源：由研究者自行繪製）

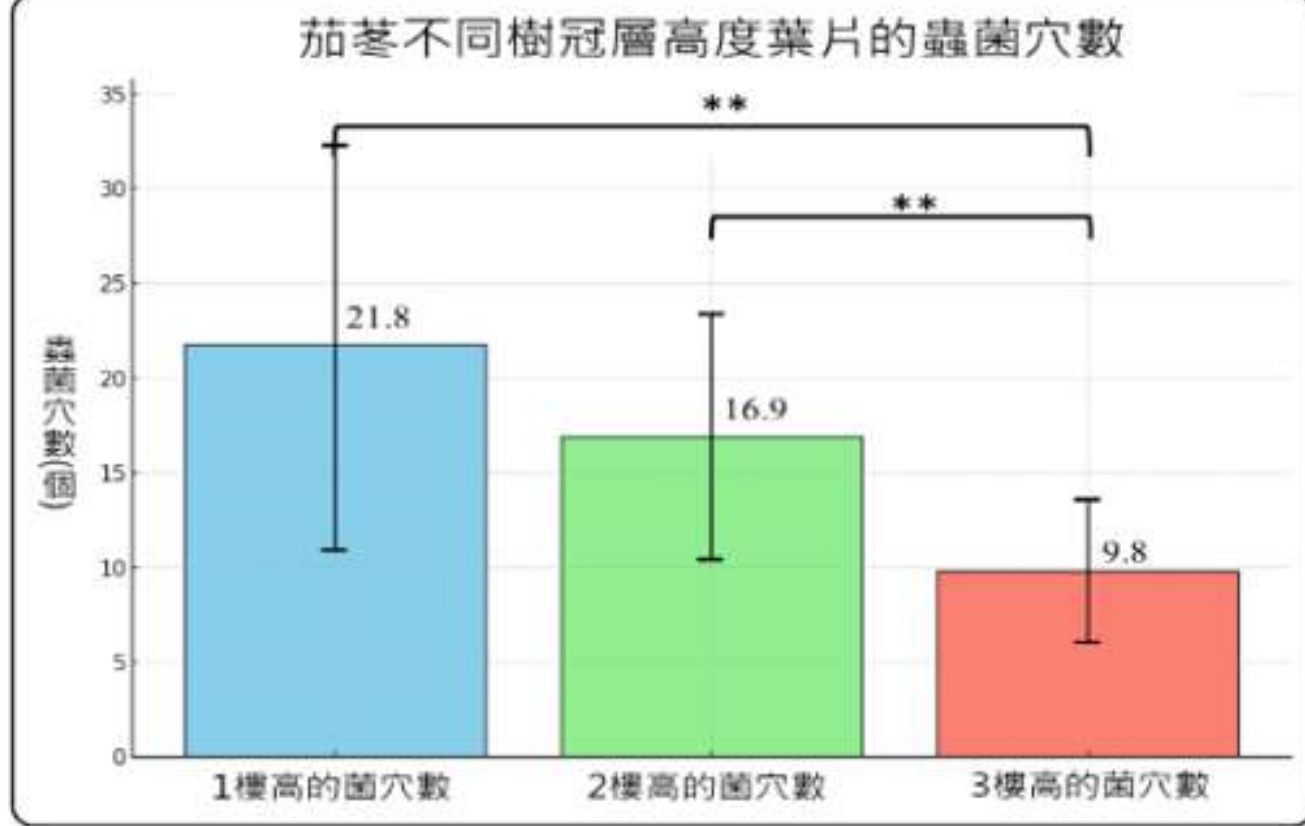


圖 22 茄苳不同樹冠層高度的蟲菌穴數（圖片來源：由研究者自行繪製）

★ 實驗結果 樹冠層高度對蟲菌穴數有明顯影響，樹冠層越高，則蟲菌穴越少。

【實驗3-4】 探討樹冠層內與樹冠層外葉片，對蟲菌穴數量影響

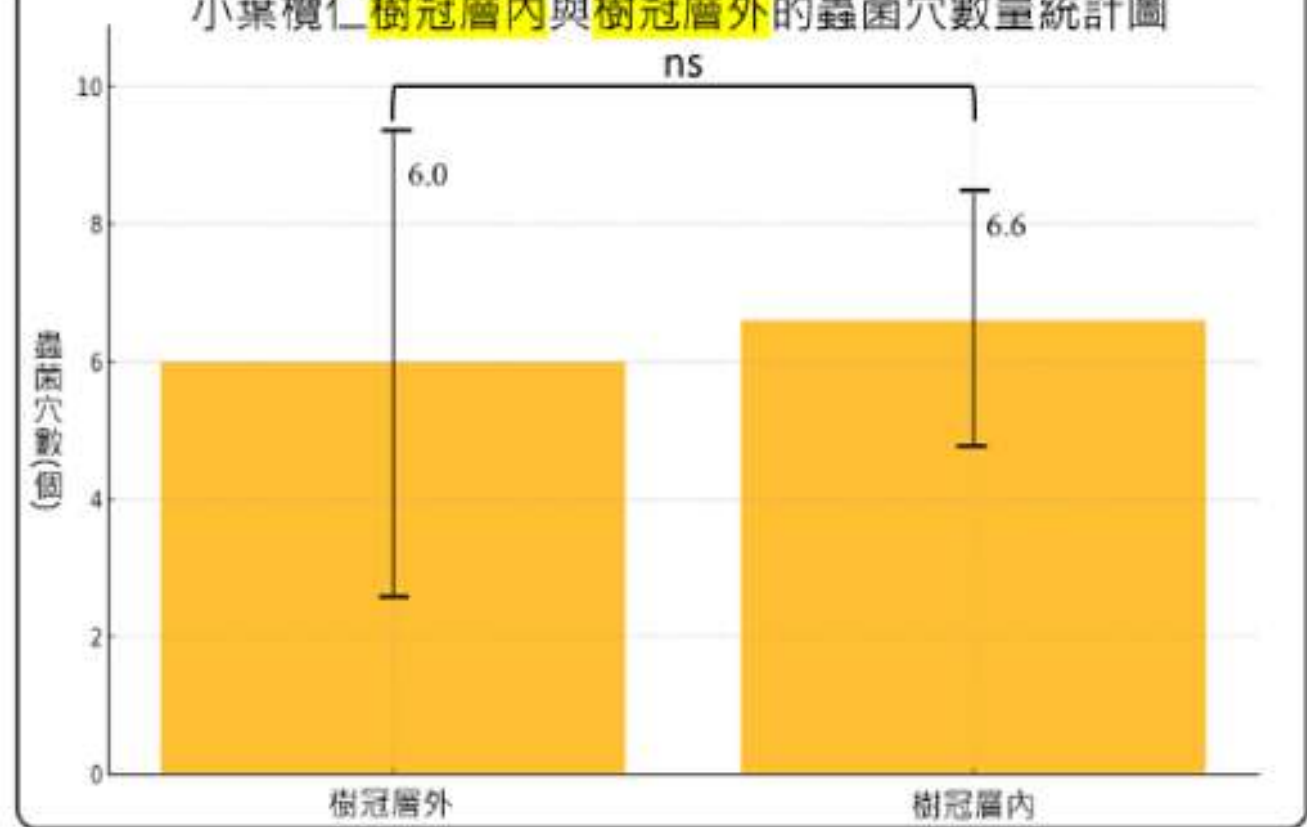


圖23 小葉欖仁不同樹冠層內外的蟲菌穴數（圖片來源：由研究者自行繪製）

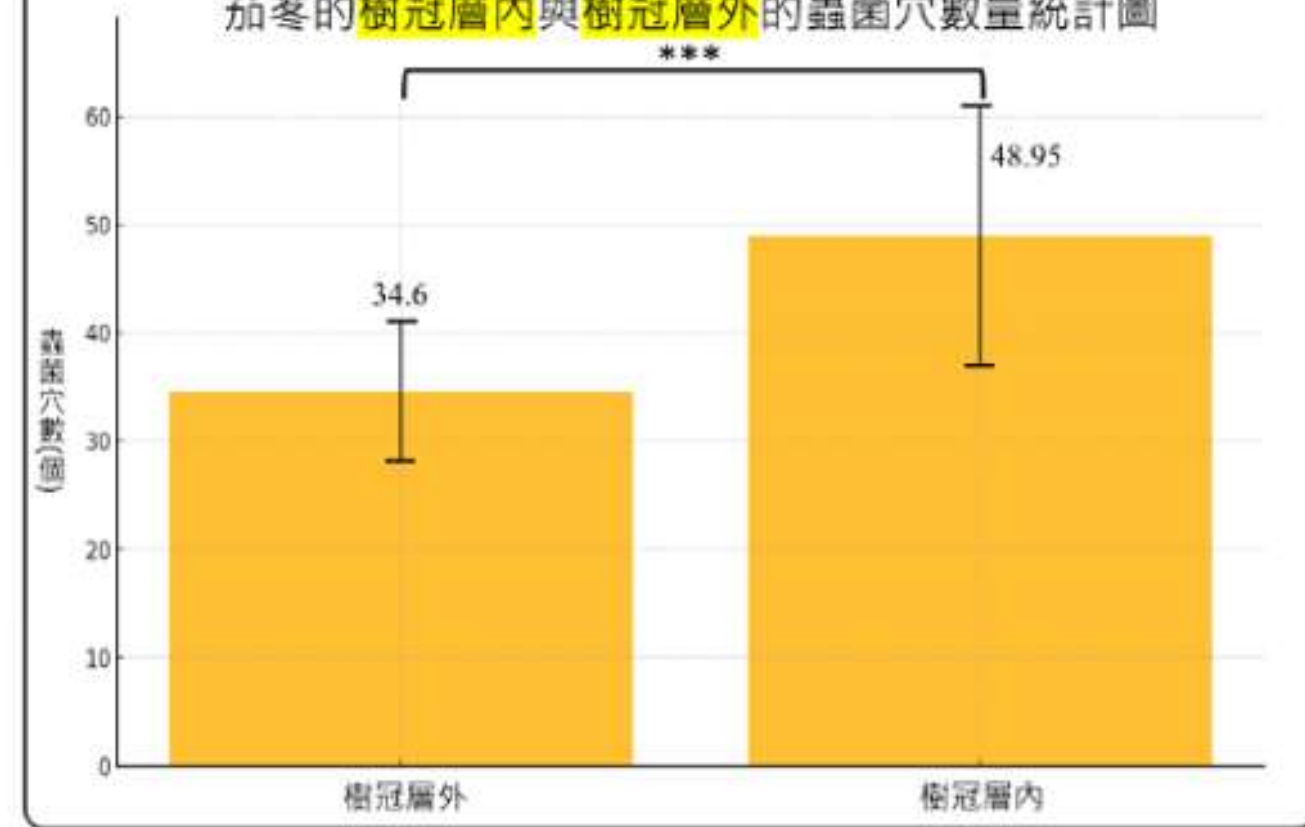


圖24 茄苳不同樹冠層內外的蟲菌穴數（圖片來源：由研究者自行繪製）

★ 實驗結果

- 小葉欖仁樹冠層內外的蟲菌穴數變化不明顯。(p=0.491>0.05)
- 茄苳樹冠層內的蟲菌穴數顯著高於樹冠層外的數量。(p=0.0000517<0.001)

★ 3-3和3-4實驗小結

小葉欖仁葉片在2樓和4樓及3樓和4樓的蟲菌穴數有顯著差異，而樹冠層內外變化不明顯；茄苳則無論樹冠層內外或高度，皆有顯著差異。

【實驗3-5】 探討茄苳的幼葉與成葉，對蟲菌穴數量影響

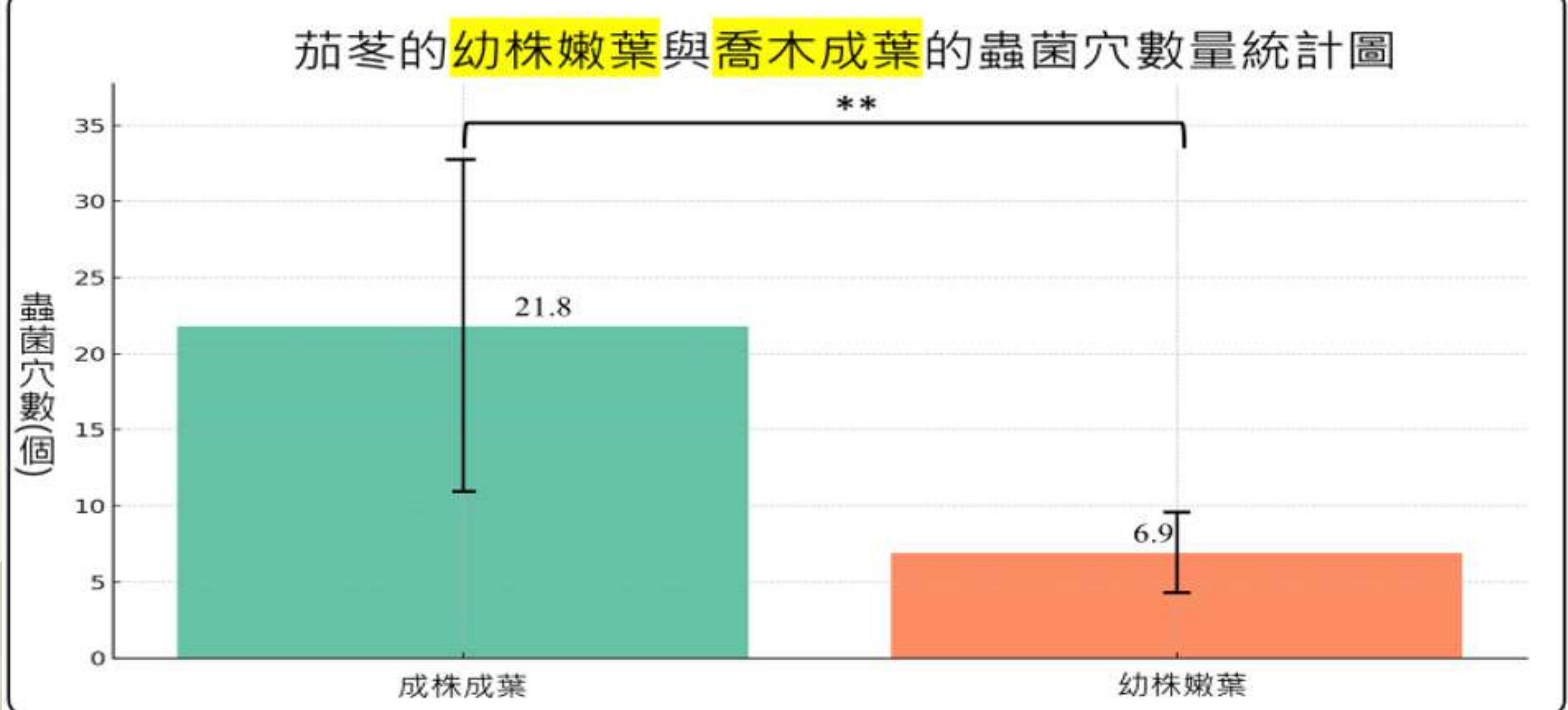
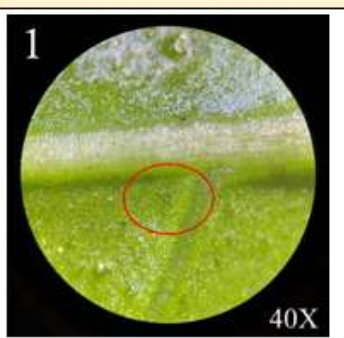
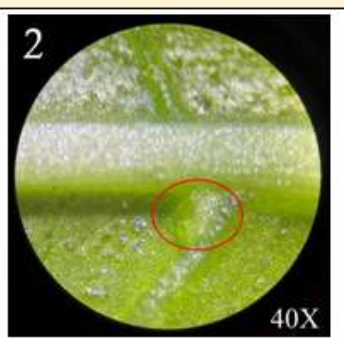
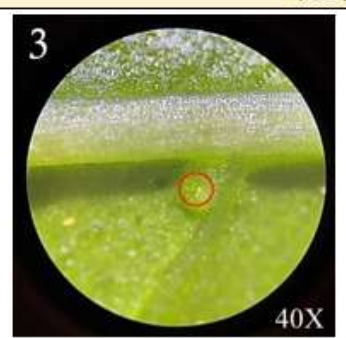
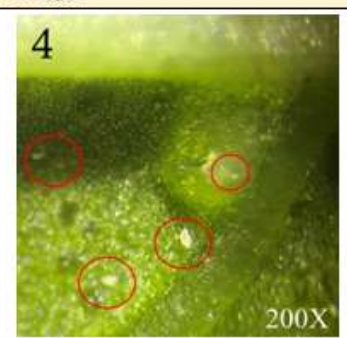
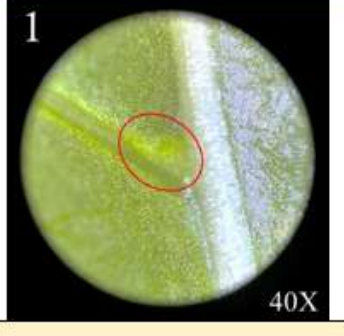
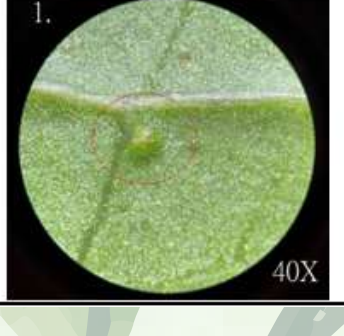
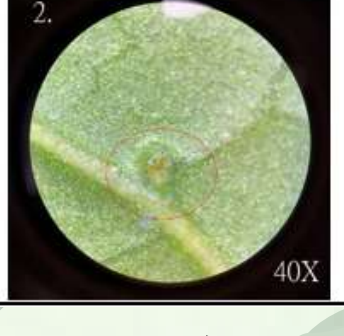
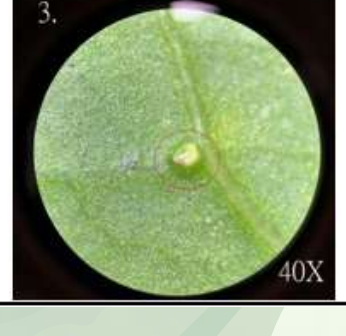


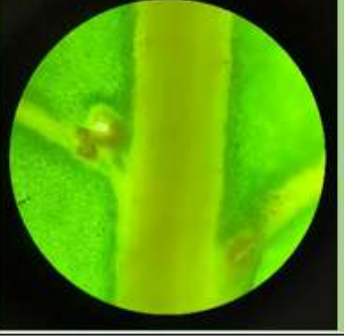
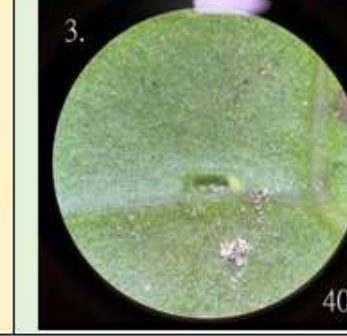
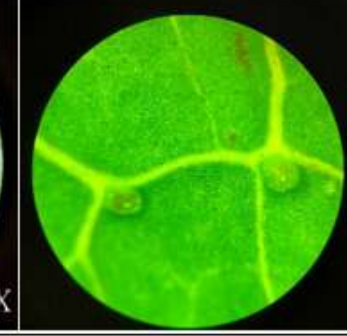
圖25 茄苳的幼株嫩葉與喬木成葉的蟲菌穴數量統計圖（圖片來源：由研究者自行繪製）

★ 實驗結果 蟲菌穴數目和葉片成熟度有關，葉片越成熟，蟲菌穴數量越多。

【實驗3-6】探討茄苳葉不同時期與不同部位蟲菌穴構造差異

幼葉主脈				
				第1期：蟲菌穴形成初期，在主脈和側脈交會處有腺點和輕微的隆起。 第2期：主脈和側脈交會處的隆起小丘逐漸凸起膨大。 第3期：膨大處成壺穴狀，並產生一個開口。 第4期：凸起的壺穴型蟲菌穴形成，並有蟎的幼蟲出現。
				第1期：蟲菌穴形成初期，在主脈和側脈交會處有輕微的隆起。 第2期：隆起部位的組織顏色改變，變白。 第3期：顏色改變的組織形成橢圓形開口，變白的組織形成空腔。 第4期：蟲菌穴形成，有蟎從蟲菌穴中跑出來。
				第1期：蟲菌穴形成初期，在側脈與細脈之交會處有輕微的隆起。 第2期：隆起部位的組織顏色改變，凹下。 第3期：顏色改變的組織形成開口。 第4期：蟲菌穴形成，有蟎從蟲菌穴中跑出來。

2.不同部位的蟲菌穴構造差異

主脈與側脈交會處		側脈及細脈交會處		細脈上	
					

★ 實驗結果

茄苳葉片在不同時期的蟲菌穴其生長部位與構造型態都不同。茄苳成熟葉上不同部位形成的蟲菌穴構造也有很大的型態差異。

★ 探討小結

- 種間比較：葉片面積與蟲菌穴數之間無明顯關聯。
- 種內比較：葉片主脈長度與蟲菌穴數呈明顯正相關。
- 樹冠層影響：
 - 小葉欖仁：至4樓高度蟲菌穴數才明顯減少，樹冠層內外蟲菌穴數量差異不大。
 - 茄苳：不同高度與樹冠層內外的蟲菌穴數量皆有顯著差異，顯示微氣候對茄苳影響較大。
- 茄苳葉片本身的差異：在不同時期與部位所形成的蟲菌穴，位置與型態皆不同，成熟葉不同區域也出現明顯型態差異。

陸、討論

一、觀察蟲菌穴的有無與數量

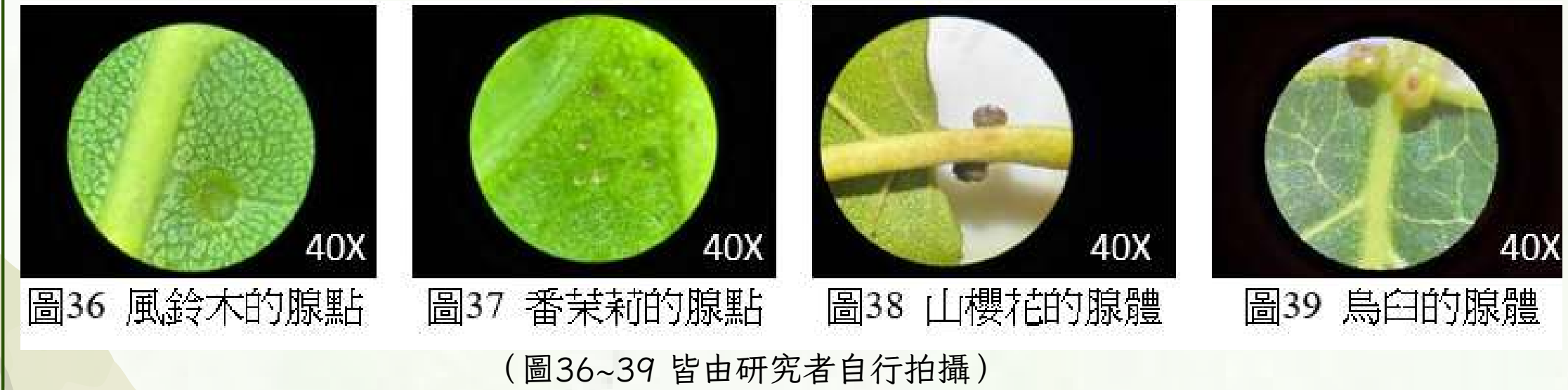
- 我們的研究結果中有17種樹種沒有蟲菌穴，可能原因有：
- 脈型**：平行脈的植物皆無蟲菌穴。
 - 葉質**：葉質為革質、葉片較厚且葉面油亮，或者葉背有葉毛覆蓋，可能較不容易形成蟲菌穴。
 - 葉片的化學成分**：苦楝素、單寧酸、葉油等**化學成分都會使蟲菌穴不易形成**。
 - 造癭昆蟲**：癭昆蟲榕管薊馬在生態系統中較強勢，所以葉片並未演化出蟲菌穴。另外，造癭昆蟲可能造成類似像蟲菌穴的構造。容易**誤認為是蟲菌穴**。



二、觀察蟲菌穴的特徵與類型

- 涂芳瑜（2011）的「台灣被子植物之葉部蟲室研究」指出：蟲室有腺窩、口袋狀、毛叢、邊緣反捲、腺窩-毛叢複合形、口袋狀-毛叢複合形、邊緣反捲-毛叢複合形、腺窩-口袋狀複合形、葉柄翼反捲等，共九種型態。此結果與我們的研究不符，可能是因為：
- （一）觀察的樹種不夠多，不具代表性。
 - （二）葉邊緣或葉柄翼反捲有可能是造癭昆蟲造成，非蟲菌穴。
 - （三）腺點與腺窩的混用與誤用。

所謂腺點，是植物用來分泌甜液，吸引螞蟻或昆蟲採食的下凹圓形狀構造（圖36-37）。而較大、突起的則稱為「腺體」（圖38-39）。**腺窩和蟲菌穴，指的是同樣的構造，但常和腺點混淆。**

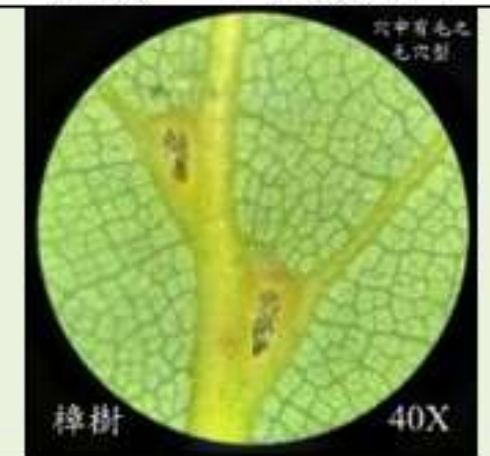
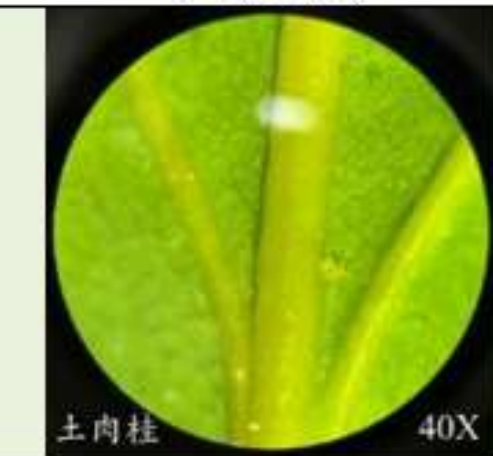
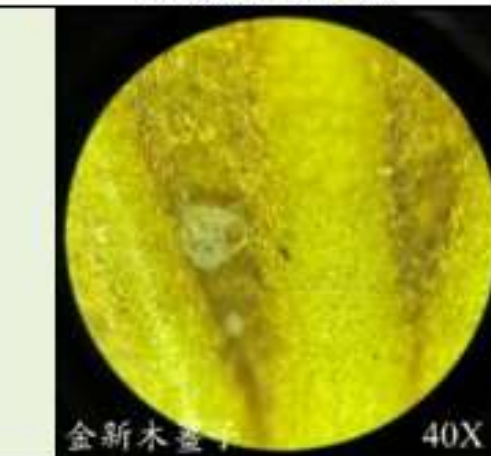


三、觀察蟲菌穴中「蟲」的種類

西田佐知子(2004)的研究發現蟲菌穴有分成住螞蟻的蟲菌穴和住蟎蟲的蟲菌穴。**我們的研究發現居住於蟲菌穴中的以捕植蟎為主，食植蟎其次，但未觀察到居住螞蟻的蟲菌穴。**

此外，本研究因對蟎蟲的研究尚未有時間深入探討，所以也無法完全確認捕植蟎與食植蟎居住的蟲菌穴差異，期望未來能對此議題及蟎類生活史有更加深入的研究。

四、分析親緣性與蟲菌穴類型的關聯性

表18 不同樟科植物有無蟲菌穴及其構造比較（圖片皆由研究者自行拍攝）			
樟樹、牛樟(毛少)	香楠	土肉桂	金新木薑子
			
穴中有毛的 毛穴型 蟲菌穴。	穴外有毛覆蓋的 毛穴型 蟲菌穴。	無蟲菌穴，但有蟎蟲在葉背主脈基部。	葉背布滿金色茸毛，無蟲菌穴，有網狀物。

Nishida等人(2006)針對樟科植物的蟲菌穴進行解剖研究，發現樟科植物的蟲菌穴分成開口狹窄且有絨毛的袋型、開口較寬且有絨毛的毛穴型、開口寬且無絨毛的毛穴型以及開口非常寬且無絨毛的碟型等四種類型，**且食植蟎與捕植蟎所使用的穴居結構不同。我們的研究，只發現兩種類型的蟲菌穴**(表18)。

五、葉脈脈型與蟲菌穴的關係

研究結果發現，**平行脈都沒有蟲菌穴**；網狀脈的**側脈分岔與交界越多，蟲菌穴數量也就越多**；而且茄苳除了在葉脈交界處有蟲菌穴，在葉肉上亦有蟲菌穴形成，是值得後續深入研究之處。

六、葉片面積和蟲菌穴的關係

Biddick(2022)的研究中發現，在同一物種的蟲菌穴數量並不一定與葉面積成比例，此研究與我們的結果相符。

種內葉片大小與蟲菌穴數量關係的研究中，我們選擇了小葉欖仁和茄苳兩種葉片進行觀察，研究結果與Biddick(2022)提出「**在每片葉子的平均蟲菌穴數量較多的物種中，蟲菌穴與葉片尺度的關係通常更強**」相符。

七、樹冠層高度與內外層對蟲菌穴的影響

我們的研究顯示，**樹冠層越高、越外層，蟲菌穴越少**。樹冠層越高的葉片面積越小、越厚，同時也照射到更多陽光，較為乾燥、炎熱。Situngu & Barker (2017)指出，**蟎蟲更喜歡樹冠下部區域的葉子，而避開頂部葉子，以避免暴露在更惡劣的氣候條件下**。

八、葉片成熟度對蟲菌穴的影響

由於蟲菌穴為植物自己生成的，而非蟎蟲從外部破壞，所以成熟度較高的葉片通常有較多的時間來形成蟲菌穴。雖然茄苳幼株的幼葉與成株成葉面積差不多，但是蟲菌穴數量有明顯的差異，**故蟲菌穴會隨著葉片成熟度而增加**。

九、不同時期與不同部位的蟲菌穴構造差異

觀察過程中我們發現了一個特殊的現象，茄苳的蟲菌穴穴口像是長了蘚類在上面，而且只有很少的蟲菌穴長出這樣的構造。經過查詢，**這構造應該是一種地衣**。但目前沒有這種地衣與蟲菌穴共生的相關文獻研究。值得後續研究。



（圖片由研究者自行拍攝）

柒、結論

由本研究的十二項實驗可歸納出以下幾點結論：

一、觀察蟲菌穴的多樣性與基本描述

- 40種木本植物中，以扛香藤的平均蟲菌穴數（36.47）最多，茄苳其次（29.95），單一葉片蟲菌穴最多的是茄苳（73）。
- 蟲菌穴類型有毛穴型、口袋型、壺穴型、下陷型、簇毛型以及簇毛口袋複合型，六種型態。
- 穴中生物以蟎類為主，捕植蟎最多、食植蟎其次。

二、分析親緣性及脈型與蟲菌穴的關聯性

- 蟲菌穴的形成和脈型的關聯性比親緣關係大。

三、探討葉片特徵與環境因子對蟲菌穴分布特性的影響

- 小葉欖仁和茄苳的主脈長度與蟲菌穴數量皆呈明顯的正相關。
- 樹冠層高度與內外層對蟲菌穴數有顯著差異，可見微氣候因子對茄苳蟲菌穴的數量影響更大。
- 茄苳葉片在不同時期的蟲菌穴其生長部位與夠造型態都不同，而成熟葉上不同部位形成的蟲菌穴構造也有很大的型態差異。

綜上所述，我們發現蟲菌穴分布的特性與脈型、主脈長度、葉片成熟度等葉片特徵有關；而影響蟲菌穴形成與數量的因素中，以樹冠層的高度與內外層對蟲菌穴數量上有顯著差異。

捌、參考文獻與資料

一、照片與圖片

- 圖1～圖40，以及表2、表5、表7、表9、表18中的照片，皆由研究者自行拍攝及繪製。

二、文獻資料

- Biddick, M. (2022). Scale-dependent trends in the investment of leaf domatia. Biological Journal of the Linnean Society, 135(2), 235–241. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blab154>
- Kim, B.-G., & Ngondya, I. B. (2011). Life on leaves: Which type of domatia in Cornus species is most preferred by foliar mites? Journal of Agriculture & Life Science, 45(3), 19–23. <https://www.koreascience.kr/article/JAKO201136435619993.page>
- Nishida, S., Tsukaya, H., Nagamasu, H., & Nozaki, M. (2006). A comparative study on the anatomy and development of different shapes of domatia in Cinnamomum camphora (Lauraceae). Annals of Botany, 97(4), 601–610. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl009>
- Robbrecht, E. (1987). Tropical woody Rubiaceae: Characteristic features and progressions. Contributions to a new subfamilial classification (pp. 49–50). Opera Botanica Belgica (Vol. 1). National Botanic Garden of Belgium. <https://doi.org/10.2307/4110534>
- Situngu, S., & Barker, N. (2017). Position, position, position: Mites occupying leaf domatia are not uniformly distributed in the tree canopy [Master's thesis, University of Pretoria]. <http://hdl.handle.net/2263/57723>
- Jhih-Rong Liao (2017)。江原鈍絨蟎佔據虎皮楠木蟲的蟲癭。臺灣生命大百科。取自：https://taieol.tw/muse/digi_object/8e2f49d931fea886592214958eab6a55
- 西田佐知子(2004)。葉上的小器官「ダニ室」。取自<https://www.num.nagoya-u.ac.jp/outline/staff/nishida/laboratory/research/nishida2004.pdf>。
- 林試所-幸福森活(2023年8月30日)。微觀森林小宇宙－植物也會養寵物？取自：<https://www.facebook.com/tfri.coa>
- 陳文華(2009年12月)。葉蟎類。植物保護圖鑑系列 19，52–56。
- 葉士財、郭建志、廖君達、柯文華、白桂芳、張致盛（2012年4月）。中部地區柿樹科果樹病蟲害圖說。取自行政院農業委員會臺中區農業改良場。
- 農業病蟲害智能決策管理系統（2024）。病蟲害清單／榕管薊馬。取自：<https://azai.tari.gov.tw/search/bug/detail?id=877>
- 廖仁滄（2014）。六脈神鑑—植物葉脈種類。國立自然科學博物館資訊，318，第七版。
- 廖治榮、何琦琛、柯俊成(2023)。臺灣植綫蟎(綫蟎亞綱:中氣門目)分類學的里程碑與未來方向。台灣昆蟲 Formosan Entomol. 43，15–23。
- 廖治榮、何琦琛、柯俊成(2024)。氣候變遷下捕植蟎生物防治的挑戰與未來方向。台灣農業研究，73，3，153–168。取自：[https://doi.org/10.6156/JTAR.202409_73\(3\).0001](https://doi.org/10.6156/JTAR.202409_73(3).0001)
- 臺灣生物多樣性網路(2025年05月30日)。取自：<https://www.tbn.org.tw/>
- 劉語芯（2023）。AreaCalciuator。取自：<https://github.com/yusinliu822/AreaCalculator>