中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組　生物科

030320

「針」有意思！—芸香科金橘葉與莖刺生長空間幾何與特性之探討

學校名稱：高雄市立前金國民中學

作者：	指導老師：
國二 陳咨螢 國二 張峻華 國二 陳宣廷	殷宏良

關鍵詞：金橘、莖刺、空間幾何

摘要

大自然植物生長的機制，往往蘊藏著驚人的幾何原理。本研究以常見的「芸香科金橘」為研究樣本，觀察發現金橘莖刺長於葉腋處，其下是生柄葉及葉片，且彼此成對交錯互生，莖幹中段部位之葉與莖刺生長大小比例明顯較為固定。

本研究藉由規劃便利有效率的編碼規則與標示方法，配合自行改良設計的數位測量儀器，進行金橘葉和莖刺的生長空間幾何之測量，發現金橘葉片長與寬比例近似於黃金比例1.618，葉與莖刺分別以順時 113°與逆時 109°多條螺旋規律生長，且繪製生長空間幾何分布圖，分析發現葉與莖刺生長受緯度之季節日照影響；另透過顯微設備觀察發現兩者均佈滿油腺，經檢測皆具酸性(PH5~6)成分，運用本研究結果建立 3D 模型，可提供後續深入探究與應用之參考。

壹、研究動機

春節前我與家人去採買新年用品，其中有一盆長滿黃澄澄果實的柑橘樹，我忍不住摘下一顆果實嘗嘗，入口的滋味酸酸甜甜的，令人回味無窮。這令喜歡吃橘子的我立刻對柑橘產生強烈的好感及好奇心。年節結束開學返校，在做校園環境整潔時，意外地在校園角落中發現幾棵植栽，上面也結著外型相似柑橘果實。我立刻靠過去伸手想摘一顆，沒想到！手被植物莖上的棘刺刺傷，這一刺痛得我哇哇大叫，也讓我開始注意到那一些不規則排列的刺，並對它們感到好奇。

回想起國一上學期的生物課本曾提過:「植物是靠著莖來輸送養分至各個部位，例如葉、果實。」其內容並沒有提及植物棘刺的相關介紹，於是我詢問自然老師相關問題，了解到芸香科的植物很多都有帶刺，例如金桔、檸檬、柚子……等。同時搜尋了相關書籍與網路資料相關資訊，逐漸對植物棘刺有更進一步了解，也更常注意觀察生活周遭的有刺植物。偶然看到報導提到：「自然界存在許多規律，像是菊石的螺旋有著固定的比例，只是大多人往往無法察覺。」於是；引發我好奇：「柑橘的刺看似亂無章法是否也有一定的規律呢？」、「莖上的刺與葉子的生長分布有何關係？」、「刺像葉子或莖一樣會受到周遭環境影響嗎？」或是「莖上的刺與葉子有何性質可以阻嚇動物啃食？」，因此，我找了社團的同學一同開始著手進行觀察與測量，研究探討有關「金橘棘刺」的大自然奧秘。

貳、研究目的

一、觀察金橘葉與莖刺的生長排列方式。

二、規劃研究樣本各分枝的編碼規則與標示方法。

三、探討分析金橘葉和莖刺的生長空間幾何關係。

四、依據金橘葉與莖刺生長方位之分布情形，繪製生長空間幾何分布圖，並探討其生長模式與環境影響之因素。

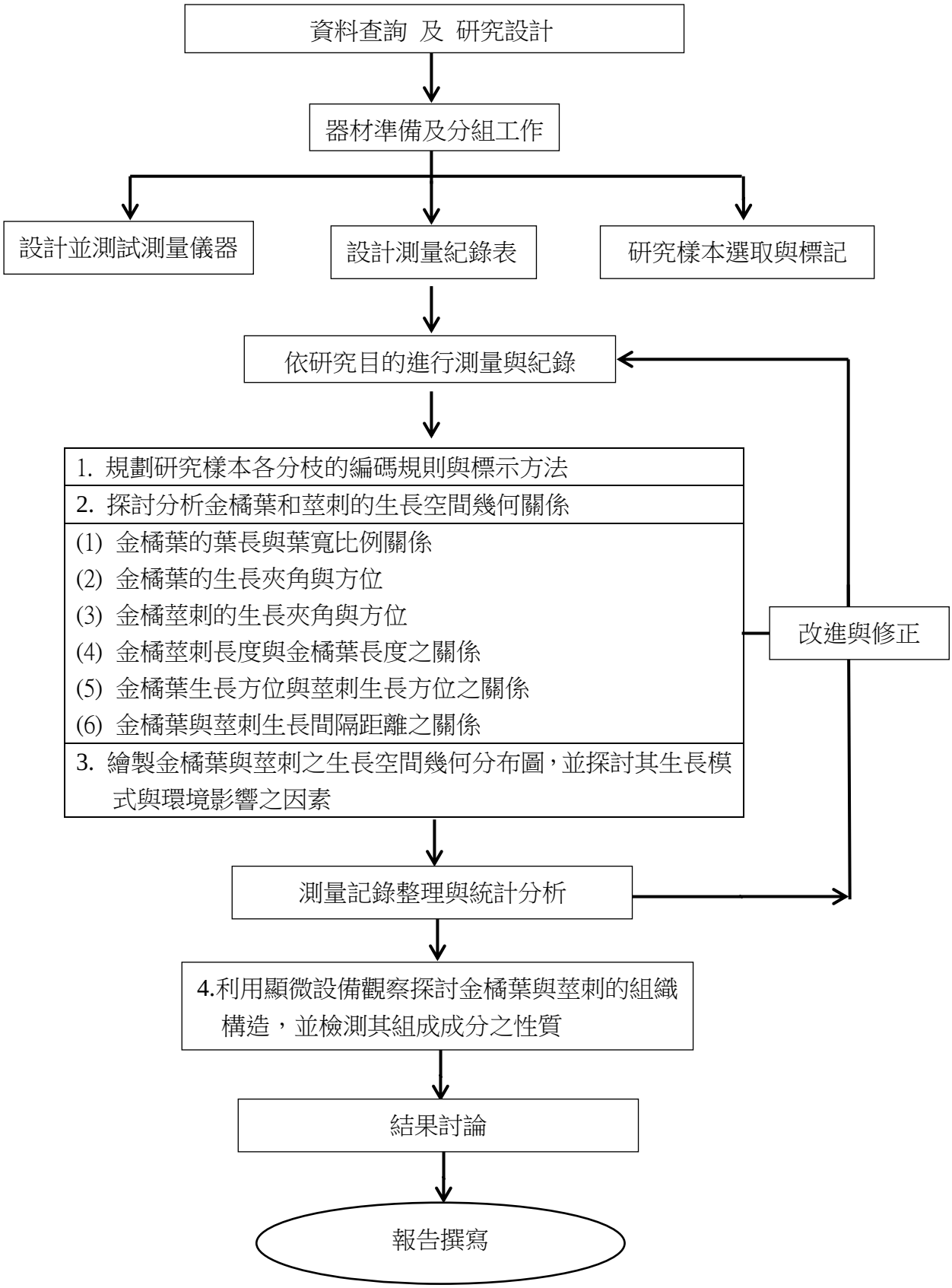
五、利用顯微鏡觀察探討金橘葉與莖刺的組織構造，並檢測其組成成分之性質。

參、研究設備及器材

數位游標尺	數位電子羅盤	數位量角尺
平板電腦	水平儀	全圓分度器
解剖式顯微鏡	複式顯微鏡	顯微投影機
顯微鏡攝影轉接器	數位 PH 計	可夾式顯微放大鏡

肆、研究過程或方法

一、研究架構流程



二、文獻探討

(一) 芸香科

芸香科（科名：Rutaceae）是真雙子葉植物無患子目的一科，約有 160 屬 1700 餘種，廣泛分布於全球熱帶和溫帶地區，中國原生有 29 屬，約 150 種，以南方為多，其型態多數為灌木或喬木。該科的物種有顯著的花盤，萼片和花瓣各 4-5 枚，雄蕊與花瓣同數或為其兩倍，著生於花盤的基部，具有強烈的香氣，全體含有揮發油；葉多為複葉或單身複葉，發達的油腺在葉上常表現為透明的小點。芸香科包括很有經濟價值的柑橘屬，其中有橘子、橙子、柚子以及檸檬...等，柑橘為多年生常綠芸香科柑屬，枝纖細有刺，秋天結果，亦稱為橘。

(二) 金橘(Round Kumquat)

1.學名：*Fortunella japonica*(Thunb.) Swingle

2.科名：芸香科(Rutaceae)金柑屬(*Fortunella*)

3.別名：金柑(遊宦紀聞)，金桔、椯、丸金柑、金棗、牛奶橘、金柑、壽星柑、羅浮柑、圓金柑、圓金橘、四季桔、公孫桔、圓果金柑、酸桔仔

4.原產地：中國大陸東南部

5.葉的特徵：小葉卵狀橢圓形或長圓狀披針形，長4~8 公分，寬1.5~3.5 公分，頂端鈍或短尖，基部寬楔形；葉柄長 0.6~1.0 公分，翼葉(同一葉片，有一前一後、一大一小相連接的型態，有點像葫蘆的形狀)狹至明顯；葉柄與葉片間有關節，單身複葉，表面有許多油腺，有特殊的香氣，如圖 4-2-2a。

6.莖的特徵：小喬木或灌木；樹高2~5 公尺，枝有刺，如圖 4-2-2b。

【圖 4-2-2a：金橘葉長圓狀披針形翼葉】

【圖 4-2-2b：金橘莖枝有刺】

(三) 有刺植物

1. 刺的功用

(1) 防止動物的啃食、踩踏：有些植物會利用身上佈滿的刺來防禦自己避免被其他動物啃食或踩踏。這樣的保護機制已成為普遍植物的特性，金橘即為此類。

(2) 減少水分的蒸散：植物的葉片具有進行光合作用與蒸散作用的功能。其中蒸散作用對於生長在乾燥地區的植物而言反而讓體內水分流失更快速，部分植物進而發展出針狀葉子，以增加存活率。

(3) 增加攀爬能力：有些植物並不像蔓性植物可纏繞生長或具有捲鬚的構造幫忙攀附，於是發展出利刺，利用它來勾住其他物體並佔據有利的生長位置。

(4) 協助種子擴散：植物無法移動，有些植物的種子上具有針刺，可依附在其他動物身上移動，擴大生長範圍。

2. 刺的分類

(1) 葉刺：由葉片變化而成，可防止水分過度蒸發並具有防禦功能。

(2) 葉緣刺：由葉片邊緣形成的針刺狀，可保護中央的果實。

(3) 托葉刺：由托葉演變而來，常成對出現。

(4) 莖刺(枝刺)：由幼枝變態而成的長形刺狀物。位於葉腋，其下是生柄葉及葉片 ，維管組織通連莖的內部，不易折斷，金橘即為此類，如圖 4-2-3a 及圖 4-2-3b。

【圖 4-2-3a：金橘長形刺狀莖刺】

【圖 4-2-3b：金橘莖刺位於葉腋】

(5) 皮刺：由表皮或皮層形成尖銳突起狀物，生長位置不固定，與莖無微管組織相連，質地較柔軟，不易剝落。

(6) 種子刺：由果皮或種子變化而成，主要是依附於其他動物身上以達到散撥種子的目的。

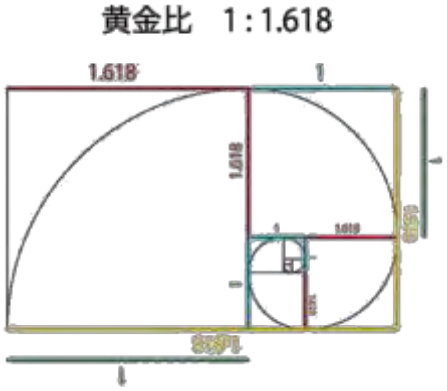
3. 刺的組織構造與成份

植物細小的刺除了細刺以外，有些還有刺毛。刺毛屬於單細胞，遇到壓力時尾部便會脫落，內部空腔將毒液(如組織胺、血清素）注射進皮膚，引起疼痛，其中刺蓮花屬植物便具有這些構造。

平常植物的刺大多由碳酸鈣或矽形成，唯獨刺蓮花屬植物是磷酸鈣。植物運用碳酸鈣或矽讓刺增加其強度，以增加防禦力。

(四) 黃金比例與黃金角

1. 黃金比例：又稱黃金分割，把長度為c 分為兩部份，長度為 a 和 b，也就是說c=a+b，若其比例符合 c/a=a/b，則 a+b:a=a:b 即為黃金比例，大約值則 1.618033988749894848 20……(如圖 4-2-4)黃金分割具有嚴格的比例性、藝術性、和諧性，蘊藏著豐富的美學價值，而且呈現於不少動物和植物的外觀。現今很多工業產品、電子產品、建築物或藝術品均普遍應用黃金分割，展現其功能性與美觀性。



【圖 4-2-4：黃金分割示意圖(來源 https://weiwenku.net/d/102172270)】

2. 黃金角：幾何學中，若構造如下：把長度為c 的圓周分為兩部份，各部份長度為 a 和 b，也就是說c=a+b,而它們的比例符合 c/a=a/b,長度為 b 的弧與圓心所成的角，也就是將圓周長依黃金比例分割成兩段，大弧長所對應的圓心角約為 222.49°，而小弧長所對應的圓心角約為 137.51°稱為黃金角。大自然的機制，蘊藏著驚人的幾何原理! 科學家仔細觀察向日葵籽成長的先後順序，研究它們的相對位置，發現它們繞著一條以 137.5 度角旋轉的螺線生長。而且還從許多植物的葉片生長上發現同樣的 137.5 度角生長規律。按照 137.5 度的排列，能最有效地分享空間，也就是說，此種生長方式可最有效益的共享一個平面，使葉子之間達到最少重疊和最大的透光性。

(五) 油腺(oil gland)

芸香科大多具有強烈的香氣，全體含有揮發油。「油腺」是芸香科植物最顯著的特徵，除了果實外，葉片與花瓣都具有油腺構造，拿著葉片逆光觀察，就會看到在陽光下閃閃發亮的油腺。油腺擠壓後會看到並聞到具有濃烈香氣的液體噴散出來。而這些液體主要成分是「萜類」，又稱為異戊二烯類(C_5H_8)化合物。

萜類在植物的生理中扮演一個相當微妙的角色。它賦予植物特殊的香氣，作為吸引傳粉生物的媒介。且用以阻嚇食草動物並吸引食草動物的寄生蟲天敵，從而作為一種保護功能。因此；萜類是植物保護自己、抵抗食草動物和微生物的傷害的物質。

三、研究設計與操作

(一)研究樣本(金橘樹)種植與照顧

本研究為了探討金橘葉和莖刺的生長空間幾何關係情形，除了原有栽種於戶外的 5 棵金橘樹外，另商請學校同意於戶外庭院種植 5 盆的金橘樹(依序分別編號 A 至 J)，並採輪值照顧方式，固定時間澆水、施肥、疏枝及定時觀察與測量記錄，(如圖 4-3-1a、圖 4-3-1b、圖 4-3-1c)。

【圖 4-3-1a：校園內金橘植栽】

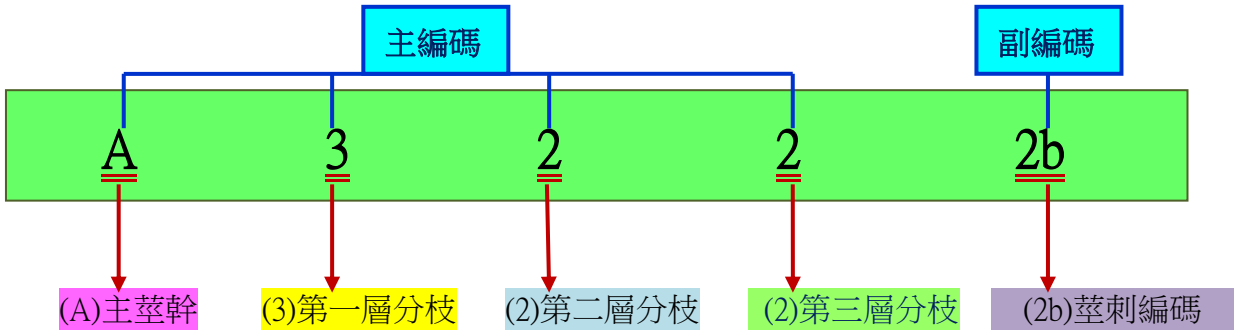
【圖 4-3-1b：校園戶外庭院金橘盆栽】

【圖 4-3-1c：定時澆水及季節疏枝】

(二) 規劃研究樣本各分枝的編碼規則與標示方法

本研究樣本(金橘樹)受到細心照料，故枝葉繁茂，不易進行逐一測量操作，因此；為了便於研究測量與對照分析比較，研究者選取樣本中適當枝條上的葉和莖刺進行標示編碼，其編碼規則及操作步驟說明如下：

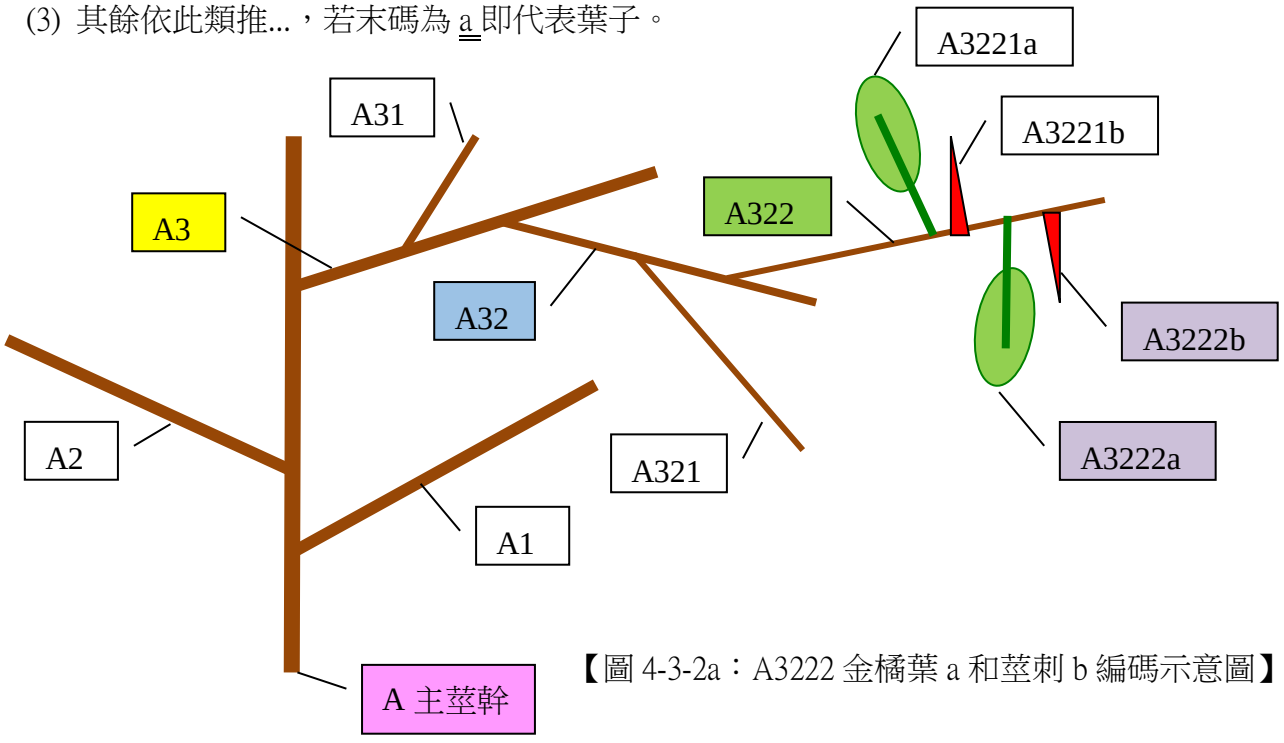
1. 編碼規則：將樣本(金橘樹)依序編號 A~J，以主莖幹 A 為例，其由下而上之第一層分枝依序標示為 A1、A2、A3...，而 A3 上靠近主莖幹 A 由近而遠之第二層分枝依序標示為 A31、A32、A33...，而 A32 上靠近第一層分枝 A3 由近而遠之第三層分枝依序標示為 A321、A322、A323...，其餘依此類推...；此外，如 A322 上靠近第三層分枝 A32 由近而遠之第一片葉子則標示為 A3221a、第一根莖刺標示為 A3221b、第二片葉子標示為 A3222a、第二根莖刺標示為 A3222b、其餘依此類推...，在此以編碼 A3222b 為例，如下圖 4-3-2a，說明如下：



(1) 主莖幹(A) 之第一(3)、二(2)、三 (2) 層分枝編碼 A322：即為該測量樣本之「主編碼」。

(2) 莖刺編碼 2b：即為該測量樣本之「副編碼」。

(3) 其餘依此類推...，若末碼為 a 即代表葉子。



【圖 4-3-2a：A3222 金橘葉 a 和莖刺 b 編碼示意圖】

2.操作步驟：

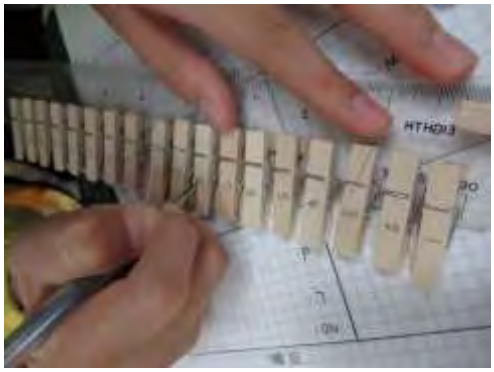
(1) 依編碼規則於木夾上填寫樣本(金橘樹)之主編碼，如圖 4-3-2b。

(2) 依序於木夾上填寫觀測樣本葉子及莖刺標示「副編碼」最後一碼編號數字，以方便重複使用，如圖 4-3-2c。

(3) 將填妥的木夾依待測樣本(金橘樹)逐一夾置於相對應的分枝，如圖 4-3-2d，主編碼夾於主莖幹分枝上，如圖 4-3-2e，副編碼夾於葉子與莖刺上，如圖 4-3-2f。

(4) 將待測樣本(金橘樹)之編碼填寫於觀測紀錄表上，如圖 4-3-2g。

【圖 4-3-2b：填寫主編碼】



【圖 4-3-2c：填寫副編碼數字】

【圖 4-3-2d：樣本逐一以木夾編碼】

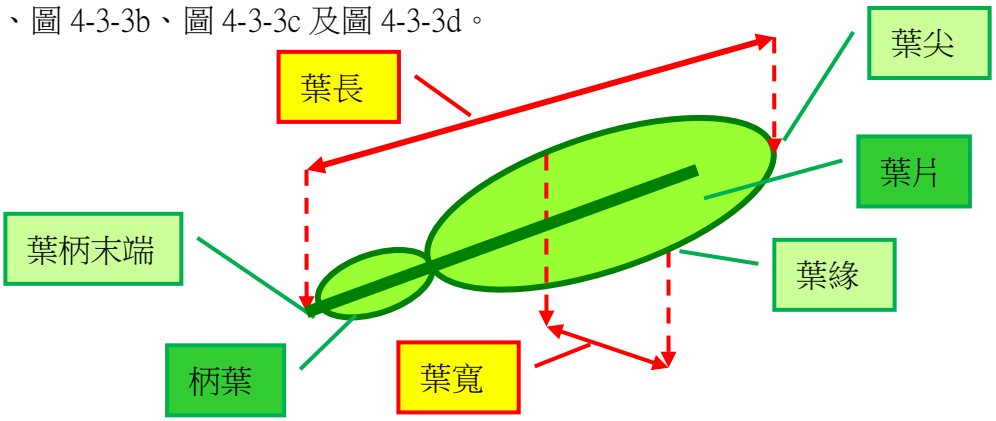
【圖 4-3-2e：主莖幹分枝夾主編碼】

【圖 4-3-2f：葉子與莖刺夾副編碼】

【圖 4-3-2g：填寫於觀測紀錄表】

(三) 金橘葉長度與寬度及莖刺長度之測量

本研究為了探討金橘葉及莖刺的生長幾何與黃金比例之關係，使用數位游標尺，準確值至 0.1mm，逐一測量樣本(金橘樹)之葉片長度(葉尖至葉柄末端)與寬度(兩側葉緣最寬處) ，如圖 4-3-3 及相對應之莖刺(刺尖至莖幹相接處)之長度，並進行記錄與分析，如圖 4-3-3a、圖 4-3-3b、圖 4-3-3c 及圖 4-3-3d。



【圖 4-3-3：金橘葉長度與寬度示意圖】

【圖 4-3-3a：測量金橘葉長度】

【圖 4-3-3b：測量金橘葉寬度】

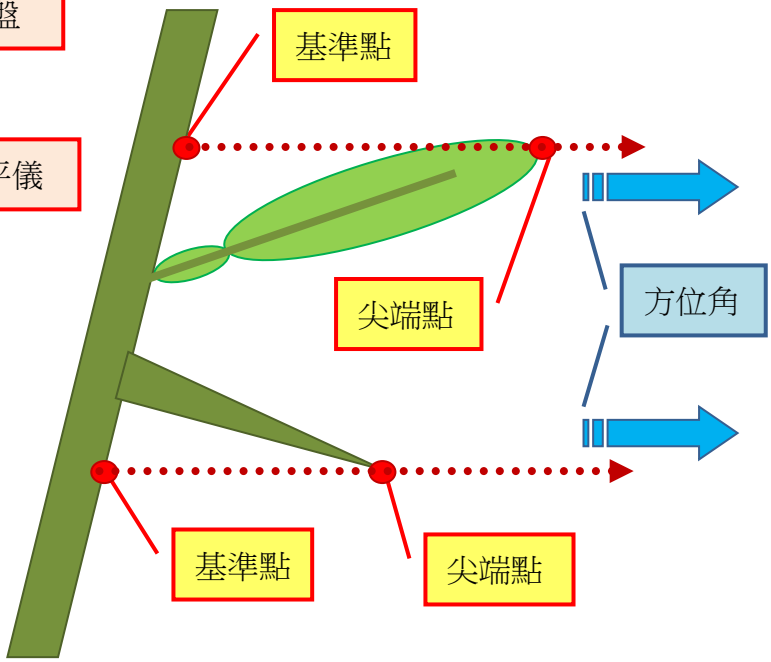
【圖 4-3-3c：測量金橘莖刺長度】

【圖 4-3-3d：填寫於觀測紀錄表】

(四) 金橘葉與莖刺生長空間方位角之測量

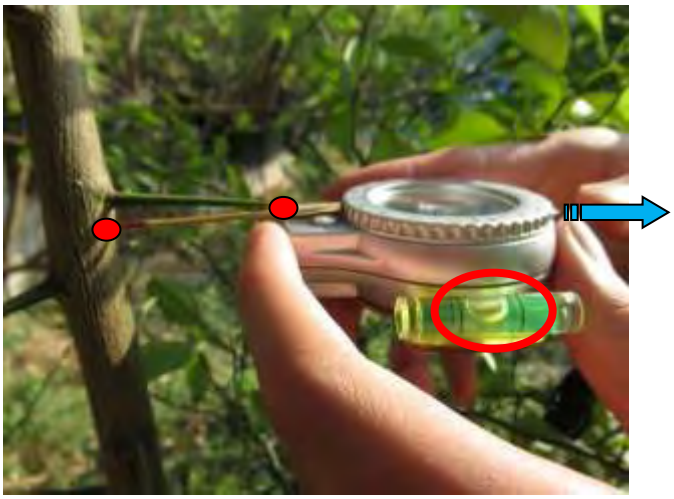
本研究為了探討金橘葉及莖刺的生長幾何與環境空間之關係，利用數位羅盤及水平儀(準確值至 1.0˚)，自行改良設計方位測量裝置，如圖 4-3-4a；以主莖幹分枝為基準點(葉或莖刺與莖幹相接點之正上方或正下方)，量測基準點與金橘葉或莖刺尖端點之水平線朝向之方位，如圖 4-3-4b，將數位羅盤之方位指針緊貼於金橘葉或莖刺的尖端點上，調整數位羅盤方位指針尖端抵住主莖幹分枝的基準點位置，直到水平儀標示兩點成水平線(即氣泡位於標線中心位置) ，如圖 4-3-4c、圖 4-3-4d，記錄數位羅盤所顯示之方位角，此即為樣本(金橘樹)之葉子及相對應之莖刺的方位角，逐一操作並進行觀察記錄與分析。

【圖 4-3-4a：改良方位角測量裝置】



【圖 4-3-4b：方位角測量示意圖】

【圖 4-3-4c：方位指針貼緊尖端點】

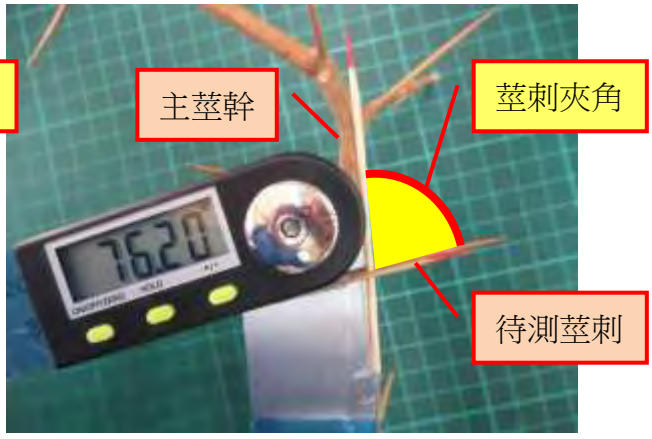


【圖 4-3-4d：調整基準點與尖端點水平】

(五) 金橘葉與莖刺生長夾角之測量

本研究為了探討金橘葉及莖刺的生長夾角(葉柄與莖幹的夾角及莖刺與莖幹的夾角)之關係，利用數位量角器(準確值至 0.1°)，自行改良設計夾角測量裝置(於數位量角器兩量尺上加裝基準指針與測量指針，如圖 4-3-5a，將基準指針貼齊樣本主莖幹，打開數位量角器，使測量指針貼齊待測樣本莖刺，即可測量讀取莖幹上的莖刺生長夾角，如圖 4-3-5b。

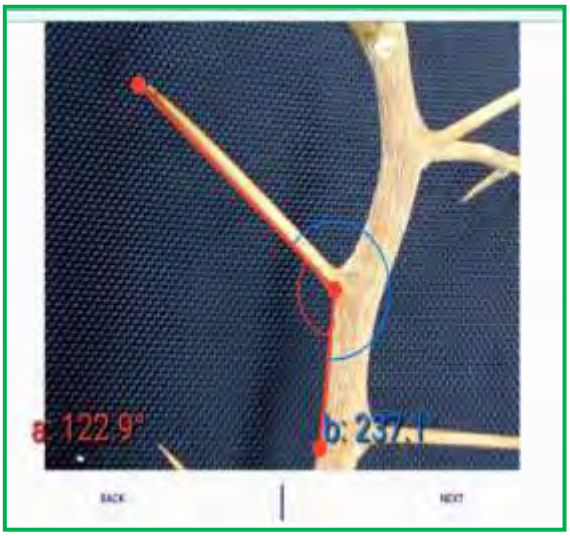
【圖 4-3-5a：改良數位量角器】



【圖 4-3-5b：莖刺生長夾角測量】

針對研究樣本相對應各編碼的金橘葉及莖刺兩兩組別生長間距若太密集，則不便使用改良的數位量角器進行測量，因此；研究者另透過平板電腦或智慧型手機，運用 Angulus 及 Protractor 兩項 APP 程式，如圖 4-3-5c，逐一拍照並精確測量金橘葉及莖刺的生長夾角(準確值至 1.0°)，並進行觀察記錄與分析，如圖 4-3-5d 及圖 4-3-5e。

【圖 4-3-5c：Angulus 及 Protractor APP 程式】



【圖 4-3-5d：APP 程式測量莖刺的生長夾角】

【圖 4-3-5e：使用 Angulus 及 Protractor APP 程式測量樣本金橘葉與莖刺的生長夾角測量】

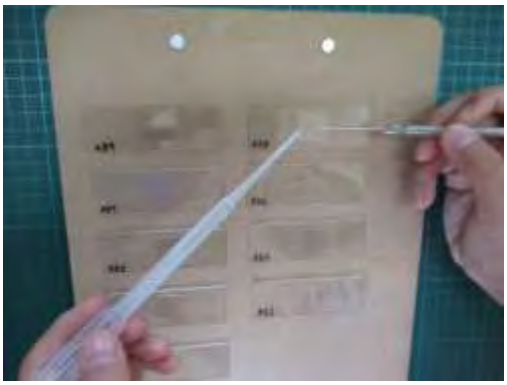
(六) 探討金橘葉與莖刺生長間隔距離之關係

本研究使用數位游標尺(準確值至 0.1mm)，逐一測量樣本(金橘樹)同一編碼主莖幹分枝上之各組(葉子與莖刺)間之生長間隔距離，並進行記錄與分析。

(七) 利用顯微設備觀察探討金橘葉與莖刺的組織構造

本研究為了探討金橘葉與莖刺的組織構造，採葉片與莖刺的外皮組織及內部組織製作玻片標本，如圖 4-3-7a 及圖 4-3-7b，利用顯微投影器檢測標本如圖 4-3-7c，並使用智慧型手機搭配可夾式顯微鏡頭，進行樣本之外皮組織之觀察與攝影，如圖 4-3-7d，莖刺的外皮組織及內部組織玻片標本則透過複式顯微鏡進行觀察、繪圖與攝影，如圖 4-3-7e，另將樣本葉片與莖刺的外皮組織透過解剖式顯微鏡進行觀察、繪圖與攝影，如圖 4-3-7f。

【圖 4-3-7a：製作樣本玻片標本】



【圖 4-3-7b：製作樣本玻片標本】

【圖 4-3-7c：顯微投影器檢測標本】

【圖 4-3-7d：手機顯微鏡頭攝影標本】

【圖 4-3-7e：複式顯微鏡觀測標本】

【圖 4-3-7f：解剖式顯微鏡觀測標本】

(八) 檢測金橘葉與莖刺組成成分之性質

本研究採樣金橘葉與莖刺各 10g，清洗乾淨晾乾後，各使用乙醇 100ml 浸泡 3 日後，採隔水加熱方式，取得金橘葉與莖刺的溶縮萃取液，如圖 4-3-8a、圖 4-3-8b 及圖 4-3-8c。使用數位 PH 計分別進行其酸鹼性之檢測，以探討金橘葉與莖刺組成成分之性質，如圖 4-3-8d。

【圖 4-3-8a：浸泡萃取】【圖 4-3-8b：隔水加熱】

【圖 4-3-8c：過濾】【圖 4-3-8d：PH 計檢測】

伍、研究結果與討論

一、觀察金橘葉與莖刺的生長排列方式

本研究於實際測量之前，針對測量樣本(金橘樹)莖刺及葉子外觀、生長部位與分佈狀況，進行初步之觀察，並依據觀察結果選定各樣本合適的莖幹分枝進行分類與編碼，以避免造成研究的控制變因誤差太大，有利後續各項測量工作之進行。

【結果討論】本研究觀察金橘葉與莖刺的生長排列方式結果有以下幾點：

(一)金橘樹莖刺長於葉腋處，其下是生柄葉及葉片，且彼此成對交錯互生，如圖 5-1a&b。

【圖 5-1a：莖刺長於葉腋處，其下生葉片】

【圖 5-1b：莖刺與葉片成對生長】

(二)金橘樹萌芽上端處至主莖幹上半部約 1/3 處，葉子生長較快速，而幼枝則剛變態為莖刺芽，其未完全成長至正常尺寸大小，與中下段的尺寸明顯差異大，不適宜取樣該處之樣本進行測量，如圖 5-1c。

【圖 5-1c：主莖幹上端處之剛變態的莖刺芽】

(三)金橘樹主莖幹中段部，莖刺生長趨於成熟，葉子與莖刺之生長大小比例明顯較為固定，因此；本研究之取樣皆以主莖幹中段分枝(第一分枝編碼為 4~6)為測量樣本，如圖 5-1d。

【圖 5-1d：主莖幹中段分枝之葉子與莖刺】

(四)金橘樹主莖幹下半段部位，莖刺生長已完全，並有明顯木質化現象，而其相對應的葉片大多已脫落，只留下葉炳末端連接痕跡，故此部位亦不適宜取樣進行測量，如圖 5-1e&f。

【圖 5-1e：主莖幹下半段部位無葉片】

【圖 5-1f：葉炳末端連接痕跡】

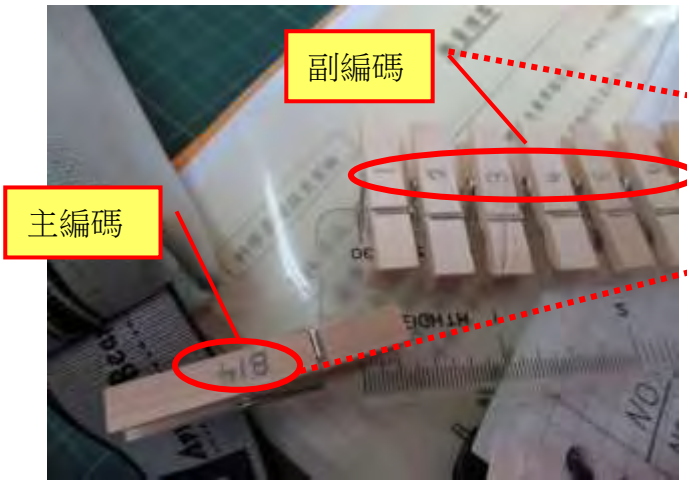
(五)金橘樹上端開花結果處，則大多只長有葉片 ，而無生長莖刺，如圖 5-1g&h。

【圖 5-1g：開花部位有葉片無莖刺】

【圖 5-1h：結果部位有葉片無莖刺】

二、規劃研究樣本各分枝的編碼規則與標示方法

本研究為了清楚辨別測量樣本(金橘樹)莖刺及葉子的相對位置關係，故設計規畫於各選定的測量樣本主幹上依序編號 A~J，各層分枝由下而上，由近(靠近主幹)而遠依序編號，並將主編碼填寫於 1 個木夾上，夾置於該測量樣本之莖幹分枝上，另依據該分枝上的每組相對應的葉子及莖刺的副編碼順序，逐一填寫於木夾上，再依序夾置於該測量樣本之每組相對應的葉子及莖刺上，如圖 5-2a 及圖 5-2b，此編碼方式搭配木夾使用有以下幾項優點：



【圖 5-2a：編碼搭配木夾使用】

【圖 5-2b：編碼木夾夾置於測量樣本】

(一) 依據編碼標示即可明確顯示各研究樣本葉子及莖刺的相對位置，便於觀察記錄及後續方位測量之分析比較。

(二) 於木夾上填寫樣本(金橘樹)莖幹編號及各分層分枝編碼，並夾置於相對應的分枝上，可有效避免於研究測量時，造成測量對象錯誤，導致相對位置進行比較分析時發生混淆之情形。

(三) 每次測量完一組樣本葉子及莖刺，即可取下其「副編碼」木夾子，便於測量者可以清楚且正確的依序進行測量工作之進度，如因故而暫停測量時，仍可於下次測量時迅速明確接續上次測量位置，讓測量工作更加有效率且更方便與準確。

(四) 依序於木夾上填寫觀測樣本葉子及莖刺標示編碼之「副編碼」木夾子，可方便重複使用，並節省填寫時間。

(五) 建議保留測量樣本莖幹分枝上的「主編碼」木夾子，以作為日後重覆核對確認數據誤差太大或補測遺漏之數據資料之用。

三、探討分析金橘葉和莖刺的生長空間幾何關係

(一) 探討金橘葉的葉長與葉寬比例關係

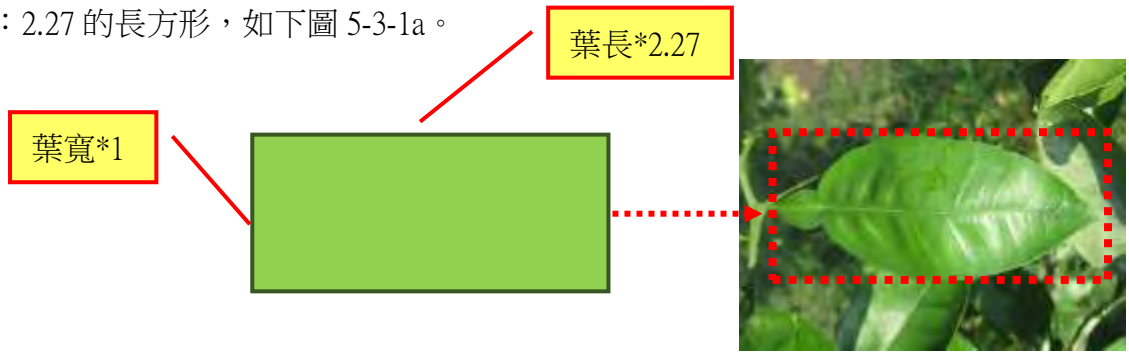
本研究為了探討金橘葉及莖刺的生長幾何與黃金比例之關係，使用數位游標尺，準確值至 0.1mm，逐一測量樣本(金橘樹)之葉子長度(葉尖至葉柄末端)與寬度(兩側葉緣最寬處) ，並進行記錄與分析，其結果如下：表 5-3-1a。

【表 5-3-1a：金橘葉的葉長與葉寬比例統計表】

莖幹編號	平均葉長 mm	葉長總平均 mm	平均葉寬 mm	葉寬總平均 mm	葉長/葉寬 (平均)	葉長/葉寬 (總平均)
A	93.7		39.4		2.38	
B	102.8		43.4		2.37	
C	87.5		36.8		2.38	
D	110.2		47.3		2.33	
E	89.9	96.9	41.6	42.7	2.16	2.27
F	91.1	(σ ：±8.3)	42.1	(σ ：±3.1)	2.16	(σ ：±0.1)
G	95.6		44.0		2.17	
H	98.9		44.5		2.22	
I	109.6		45.9		2.39	
J	89.3		41.8		2.14	

【結果討論】

1. 經由本研究測量 10 件樣本統計結果，金橘葉的葉長與葉寬比例約為 2.27，即相當於寬與長比 1：2.27 的長方形，如下圖 5-3-1a。

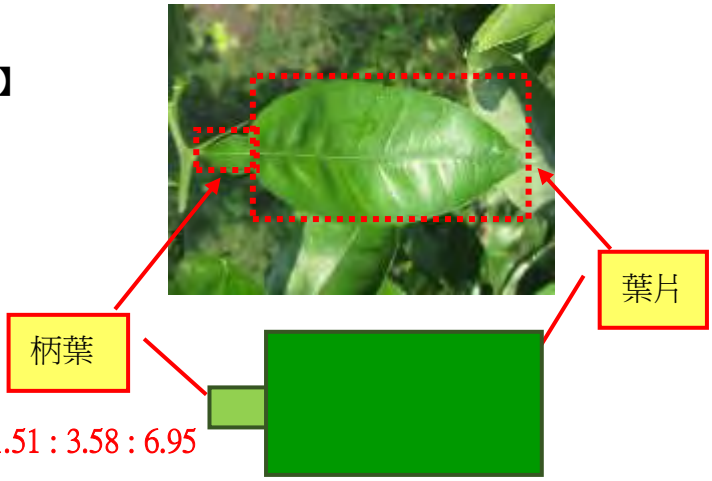


【圖 5-3-1a：金橘葉的葉長與葉寬比例示意圖】

2. 本研究另比較金橘葉的翼葉(柄葉與葉片)之長度與寬度大小之比例，進行測量記錄與分析，其結果為：柄葉寬：柄葉長：葉片寬：葉片長 = 1 : 1.51 : 3.58 : 6.95 如下：表 5-3-1b，另作等比例長方圖比較如下圖 5-3-1b。

【表 5-3-1b：金橘翼葉長與葉寬比例統計表】

項目	平均值
葉片長：柄葉長	4.60
葉片寬：柄葉寬	3.58
葉片長：葉片寬	1.93
柄葉長：柄葉寬	1.51



※柄葉寬：柄葉長：葉片寬：葉片長 = 1 : 1.51 : 3.58 : 6.95

【圖 5-3-1b：金橘翼葉長與葉寬比例示意圖】

3. 若將金橘葉之柄葉長度扣除，只保留葉片的長度，再與寬度(兩側葉緣最寬處)進行測量記錄與分析，其結果如下：表 5-3-1b。

【表 5-3-1b：金橘葉的葉片長與葉寬比例統計表】

莖幹編號	平均葉片長 mm	平均葉片寬 mm	葉片長/葉片寬(總平均)
A	64.5	39.4	1.639 (σ ：±0.0006)
B	71.1	43.4	
C	60.3	36.8	
D	77.5	47.3	
E	68.2	41.6	
F	69.0	42.1	
G	72.1	44.0	
H	72.9	44.5	
I	75.2	45.9	
J	68.5	41.8	

由測量結果得知：金橘葉的葉片長與葉片寬比例為 1.639，近似於黃金比例 1.618，以下將兩者等比例大小之長方圖比較如下圖 5-3-1c。

【圖 5-3-1c：金橘葉的葉片比例與黃金比例示意圖】

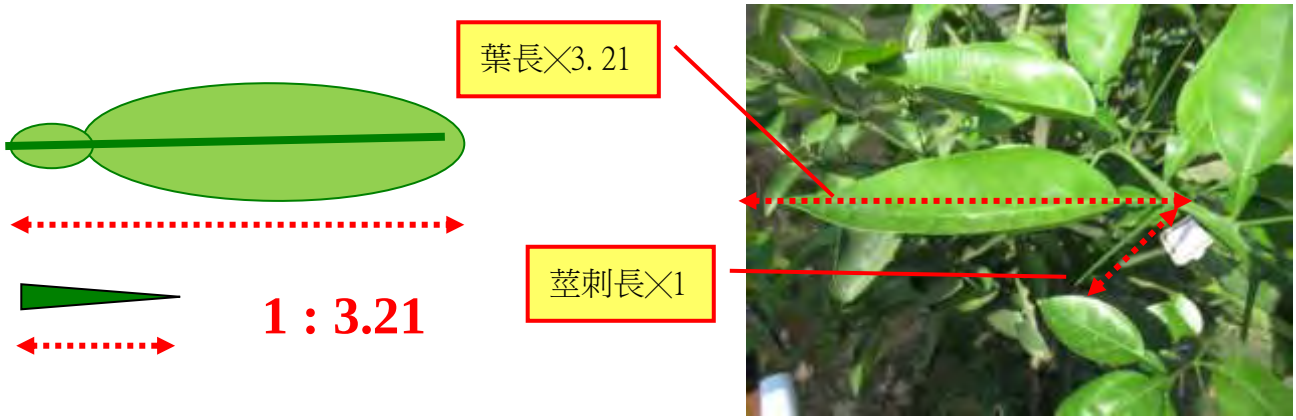
(二) 探討金橘葉長度與莖刺長度之關係

本研究為了探討金橘葉及莖刺的生長幾何比例之關係，使用數位游標尺，準確值至0.1mm，逐一測量樣本(金橘)葉長度(葉尖至葉柄末端)與莖刺長度(刺尖至莖幹相接處)，並進行記錄與分析，其結果如下：表 5-3-4a。

【表 5-3-2：金橘葉的葉長與莖刺長度比例統計表】

莖幹編號	平均葉長 mm	葉長總平均 mm	莖刺長 平均 mm	莖刺長 總平均 mm	葉長/莖刺長 (平均)	葉長/莖刺長 (總平均)
A	93.7		41.6		2.25	
B	102.8		43.4		2.37	
C	87.5		35.0		2.50	
D	110.2		47.3		2.33	
E	89.9	96.9	26.6	32.8	3.38	3.21
F	91.1	(σ ：±8.3)	23.6	(σ ：±10.2)	3.86	(σ ：±0.9)
G	95.6		20.6		4.64	
H	98.9		20.3		4.87	
I	109.6		41.8		2.62	
J	89.3		27.6		3.24	

【結果討論】: 經由本研究測量 10 件樣本測量統計結果，金橘葉的葉長與莖刺長度比例約為 1∶3.21，即莖刺的長度大約相當於葉長的 1 / 3，其相對應比例如下圖 5-3-2 所示。



【圖 5-3-2：金橘葉的葉長與莖刺長度比例示意圖】

(三) 探討金橘葉生長夾角與莖刺生長夾角之關係

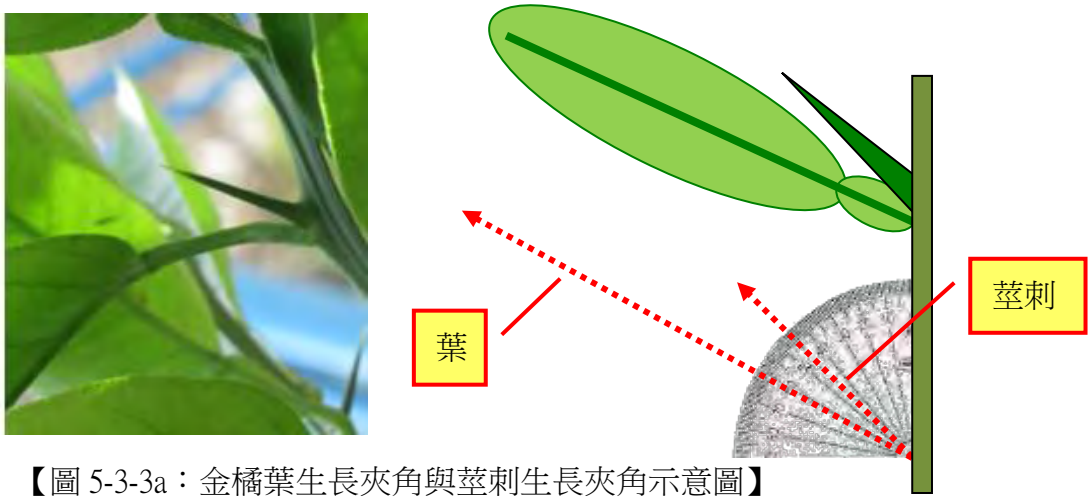
本研究為了探討金橘葉及莖刺的生長夾角(葉柄與莖幹的夾角及莖刺與莖幹的夾角)之關係，利用自行改良設計之數位量角器(準確值至 0.1˚）裝置進行測量，若兩兩組別生長間距若太密集影響測量，則另透過平板電腦或智慧型手機，運用 Angulus 及 Protractor 兩項 APP 程式，逐一拍照並精確測量金橘葉及莖刺的生長夾角(準確值至 1.0˚)，並進行記錄與分析，其結果如下：表 5-3-3。

【表 5-3-3：金橘葉生長夾角與莖刺生長夾角統計表】

莖幹編號	葉夾角平均 ˚	葉夾角總平均 ˚	莖刺夾角平均 ˚	莖刺夾角總平均 ˚	葉生夾角-莖刺夾角 ˚
A	48.7		36.5		
B	62.9		48.9		
C	52.1		41.1		
D	46.3		55.9		
E	75.0	61.0	51.8	47.3	13.7
F	73.3	(σ ：±10.4)	52.3	(σ ：±7.1)	(σ ：±9)
G	69.2		56.5		
H	58.7		46.1		
I	68.7		46.2		
J	54.8		37.7		

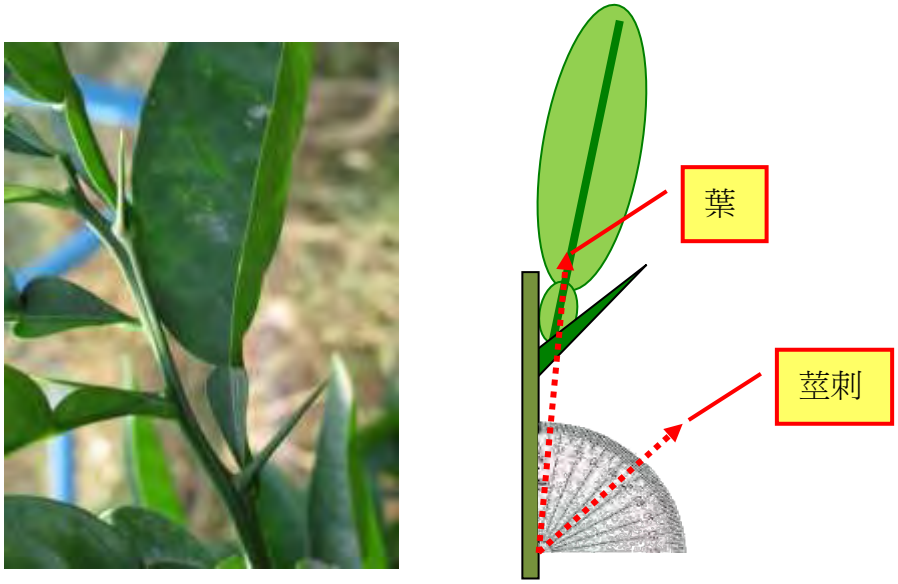
【結果討論】:

1.經由本研究測量 10 件樣本測量統計結果，金橘葉生長夾角平均約為 61.0˚，莖刺生長夾角平均約為 47.3˚，兩者大約相差 13.7˚，其結果顯示，生長於上方的莖刺較為向上傾斜，明顯表現對採食者之警告，以保護其生長於下方的葉片 ，其相對生長夾角如下圖 5-3-3a 所示。



【圖 5-3-3a：金橘葉生長夾角與莖刺生長夾角示意圖】

2.種植於戶外較無灑水疏枝照顧之金橘樹，其金橘葉生長往往會繞過莖刺而幾近貼靠主幹分枝(其生長夾角約 0~1.5°)，如下圖 5-3-3b，研究者判斷其莖刺隱藏於葉片下，當葉片招受外來動物啃食，想必能防不提防地給予很嚴重的傷害經驗，使其能更有效保護本身不再受啃食破壞！

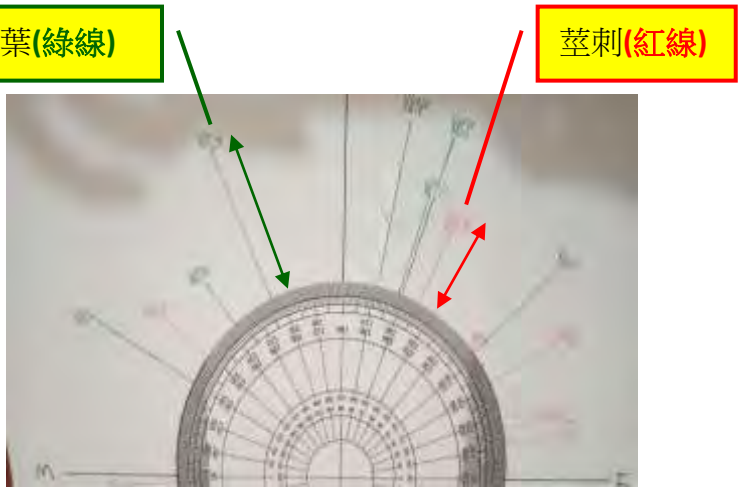


【圖 5-3-3b：戶外金橘葉生長貼靠主幹分枝(生長夾角約 0~1.5°)示意圖】

(四) 探討金橘葉與莖刺的生長方位，並繪製生長空間幾何分布關係圖

本研究為了探討金橘葉及莖刺的生長幾何與環境空間之關係，利用自行改良數位羅盤及水平儀(準確值至 1.0°) 裝置，測量樣本(金橘樹)之葉子(綠線)及相對應之莖刺(紅線)之方位角及長度(線段長)，並繪製於全圓分度表上，如圖 5-3-4a、圖 5-3-4b，因受限於金橘葉生長貼靠主幹分枝(生長夾角約 0°~1.5°)的情形，無法測量其方位角，故以下就能取得完整觀測數據之樣本 F42 進行分析與討論如下：表 5-3-4a 及表 5-3-4 b。

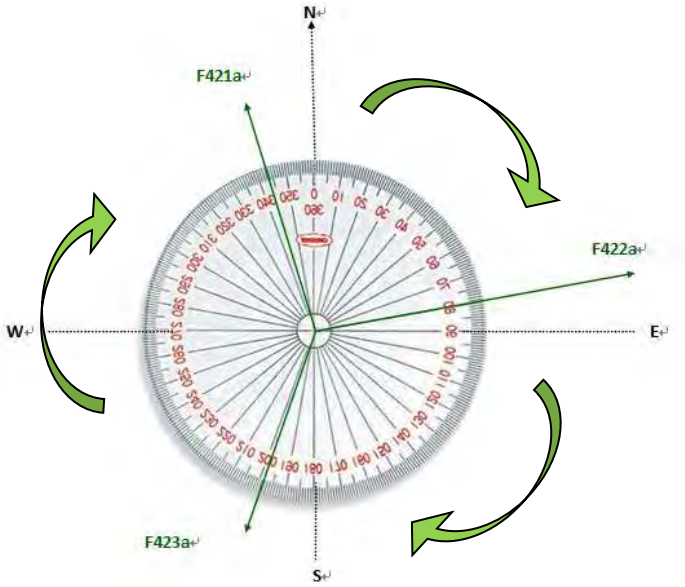
【圖 5-3-4a：繪製全圓分度表】



【圖 5-3-4b：方位角分布全圓分度表】

【表 5-3-4a：金橘葉生長方位角統計表】

主編碼	F42	
副編碼	葉方位角 °	相鄰葉方位角差(平均)°
1a	344	
2a	80	
3a	199	
4a	316	
5a	119	
6a	miss	113
7a	13	(σ：±16.2)
8a	miss	
9a	170	
10a	333	
11a	120	
12a	217	



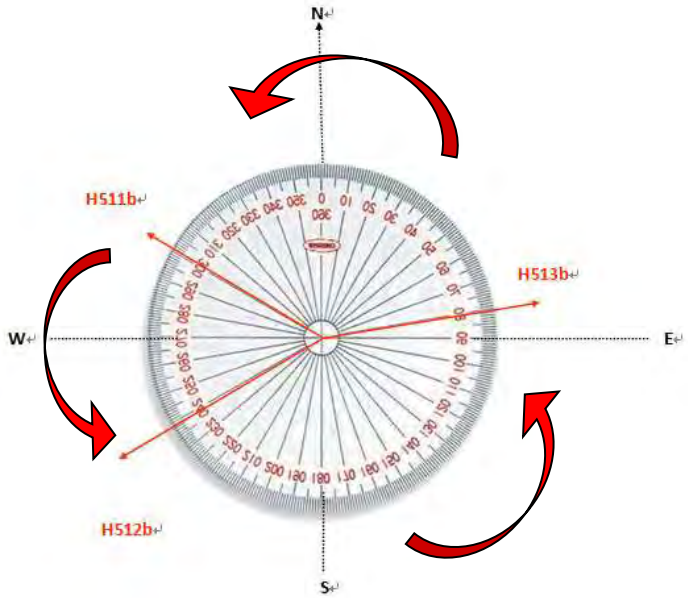
【圖 5-3-4c：金橘葉生長方位示意圖】

【結果討論】：

1. 金橘葉大致以每相鄰三片葉子為 1 組循環，如：(1a.2a.3a)、(2a.3a.4a) 、(3a.4a.5a)...，平均約 113˚順時針螺旋方式依序排列生長，如圖 5-3-4c。

【表 5-3-4b：金橘莖刺生長方位角統計表】

主編碼	F42	
副編碼	莖刺方位角°	相鄰莖刺方位角差°(平均)°
1b	301	
2b	238	
3b	80	
4b	329	
5b	176	
6b	109	109
7b	240	(σ：±18.7)
8b	333	
9b	110	
10b	200	
11b	336	
12b	36	



【圖 5-3-4d：金橘莖刺生長方位示意圖】

2. 金橘莖刺大致以每相鄰三根莖刺為 1 組循環，如：(1b.2b.3b)、(2b.3b.4b)、(3b.4b.5b)...，平均約 109˚逆時針螺旋方式依序排列生長，如圖 5-3-4d。

3.相對應的金橘葉與莖刺(如：F421a 及 F421b)之生長方位，本研究測量結果發現彼此間並無明顯的關係，亦即葉與莖刺是分別由下往上依據各自的規律以多條螺旋方式生長分布，繪製 3D 示意圖，如圖 5-3-4e 及圖 5-3-4f。

【圖 5-3-4e：金橘葉順時螺旋生長 3D 圖】

【圖 5-3-4f：金橘莖刺逆時螺旋生長 3D 圖】

(五) 金橘葉與莖刺生長間隔距離之關係

本研究使用數位游標尺(準確值至 0.1mm)，逐一測量樣本(金橘樹)同一主莖幹分枝上之各組(葉子與莖刺)間之生長間隔距離，並進行分析與討論如下：

1. 各樣本之測量統計結果差異頗大(約相差 7.8mm)，顯現不同植栽個體成長速度並不相同。
2. 根據觀測發現金橘葉為單身複葉，單葉葉柄延伸成葉片狀，且莖刺生長於葉腋處，其下生柄葉及葉片 ，葉與莖刺間並無距離，且葉序彼此成對交錯互生，如圖 5-3-5a。
3. 根據樣本 G41 觀測發現：金橘葉(莖刺)交錯互生之彼此間平均距離約為 6.7mm，而前後兩對互生葉(莖刺)之平均距離約為 20.3mm，比較兩者之平均距離約 1：3.02，如圖 5-3-5a。
4. 金橘葉(莖刺)交錯互生之間隔距離於同一分枝上的前中段明顯較為均勻，而接近分枝末端，其交錯互生之間隔距離明顯逐漸縮短，可推測其部位仍處於生長發育中，如圖 5-3-5b。

【圖 5-3-5a：金橘葉(莖刺)交錯互生與間距離比示意圖】

【圖 5-3-5b：末端間距縮短】

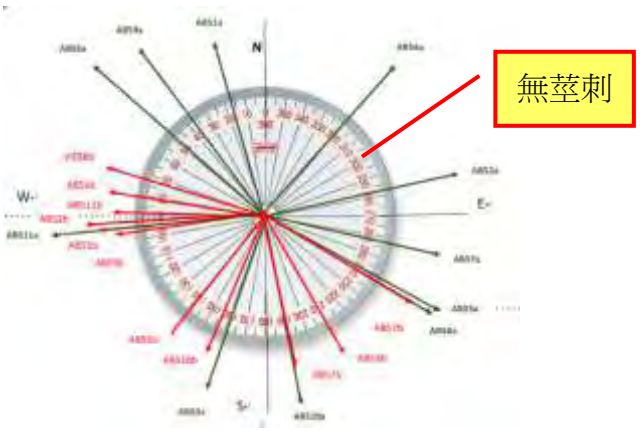
四、依據金橘葉與莖刺生長方位之分布情形，繪製生長空間幾何分布圖，並探討其生長模式與環境影響之因素。

本研究利用自行改良數位羅盤及水平儀(準確值至 1.0°)裝置，測量樣本(金橘樹)之葉子(綠線)及相對應之莖刺(紅線)之方位角及長度(線段長)，並繪製於全圓分度表上，分別進行分析與討論如下：

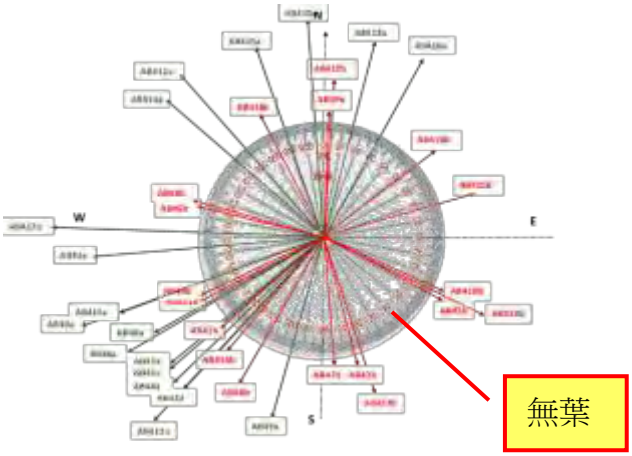
(一) 繪製的 10 棵樣本中，約有 6 棵樣本於偏 N-E 東北方向的莖刺數量明顯較少，如圖 5-4-1，推測生長受到高雄地區緯度之夏季太陽升起與直射方位，如圖 5-4-4，影響其該部位生長激素之關係。

(二) 繪製的 10 棵樣本中，約有 4 棵樣本於偏 E-S 東南方向的葉子數量明顯較少，如圖 5-4-2，推測生長受到高雄地區緯度之冬季太陽升起與直射方位，如圖 5-4-4，影響其該部位生長激素之關係。

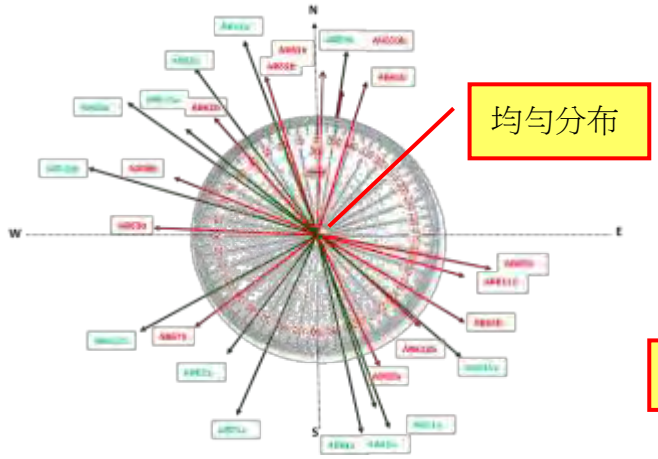
(三) 金橘葉比較均勻分布的方位象限內，其莖刺亦分布較為均勻，如圖 5-4-3。



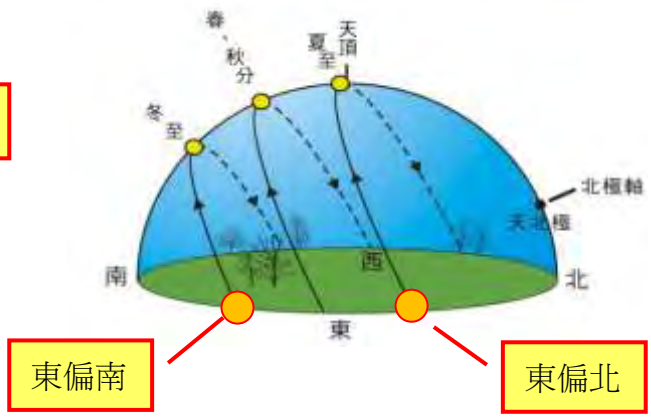
【圖 5-4-1：A53 方位圖】



【圖 5-4-2：E42 方位圖】



【圖 5-4-3：I61 方位圖】



來源：https://www.cwb.gov.tw

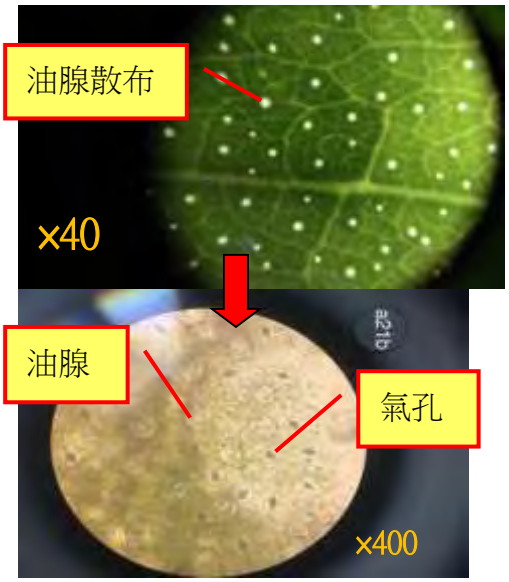
【圖 5-4-4：台灣南部四季太陽軌跡圖】

五、利用顯微設備觀察探討金橘葉與莖刺的組織構造，並檢測其組成成分之性質

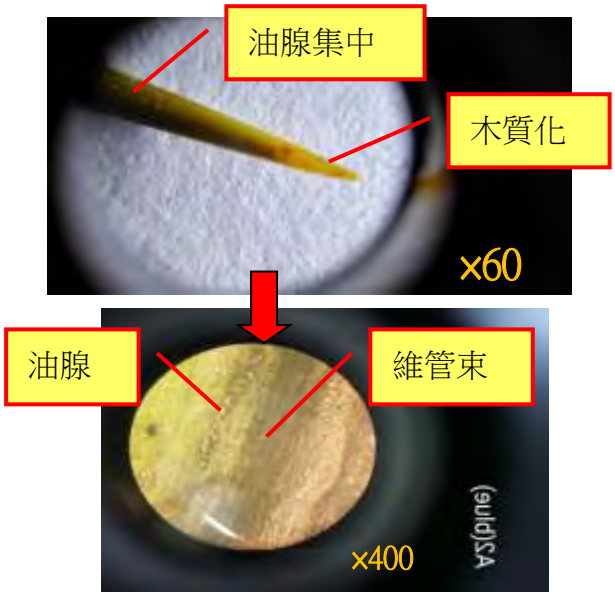
本研究運用顯微設備檢測樣本，觀察繪製並攝影記錄金橘葉與莖刺之組織構造，並溶縮萃取其葉與莖刺之組織液，使用數位 PH 計進行其酸鹼性之檢測，其結果如下：

(一) 金橘葉上均勻布滿了明顯的油腺構造特徵，如圖 5-5-1，其數量所佔區域約為整片葉片之 18.5%(≒151 個 / cm^2，σ：±9.5)，且葉片末端的油腺較為集中(≒216 個 / cm^2，σ：±8.7)。

(二) 金橘莖刺的外表皮呈現縱向平行粗糙皺紋狀，且亦可明顯發現散佈更為集中的油腺構造特徵(≒275 個 / cm^2，σ：±8.3)，且莖刺前端明顯呈現木質化，結構更為堅硬，如圖 5-5-2，可推測若招受動物啃食，必能有效螫傷食草動物，造成嚇阻的效果。



【圖 5-5-1：金橘葉油腺構造】



【圖 5-5-2：金橘莖刺油腺構造】

(三) 分別溶縮萃取金橘葉與莖刺之組織液(10g/100ml)，進行檢測發現金橘葉之組織萃取液呈現酸性(PH 約為 5.62)，如圖 5-5-3a，而金橘莖刺之組織萃取液則呈現弱酸性(PH 約為 6.03)，如圖 5-5-3b；另使用廣用試紙進行重複檢驗，仍呈弱酸性，如圖 5-5-3c。故推測莖刺之組織液(含油腺液)相對含量較少，且金橘樹葉與莖刺之組織液(含油腺液)皆具酸性，足以阻嚇食草動物，具有保護功能。

【圖 5-5-3c：金橘莖刺萃取液廣用試紙檢測】

【圖 5-5-3a：金橘葉萃取液 PH】

【圖 5-5-3b：金橘莖刺萃取液 PH】

陸、結論

一、觀察金橘葉與莖刺的生長方式

金橘樹莖刺長於葉腋處，其下是生柄葉及葉片，且彼此成對交錯互生，萌芽上端處至主莖幹上半部約 1/3 處，葉子生長較快速，且幼枝則剛變態為莖刺，中段部生長大小比例明顯較為固定，下半段部位的莖刺已完全生長，並有明顯木質化現象，其相對應的葉片大多已脫落，而上端開花結果處，則大多只長有葉片，而無生長莖刺。

二、規劃研究樣本各分枝的編碼規則與標示方法

本研究以主、副編碼方式，搭配木夾使用，可明確顯示各研究樣本葉子及莖刺的相對位置，有效避免研究測量時，造成測量對象錯誤，並且如因故而暫停測量時，仍可於下次測量時迅速明確接續上次測量位置，讓測量工作更加有效率且更方便與準確。

三、探討分析金橘葉和莖刺的生長空間幾何關係

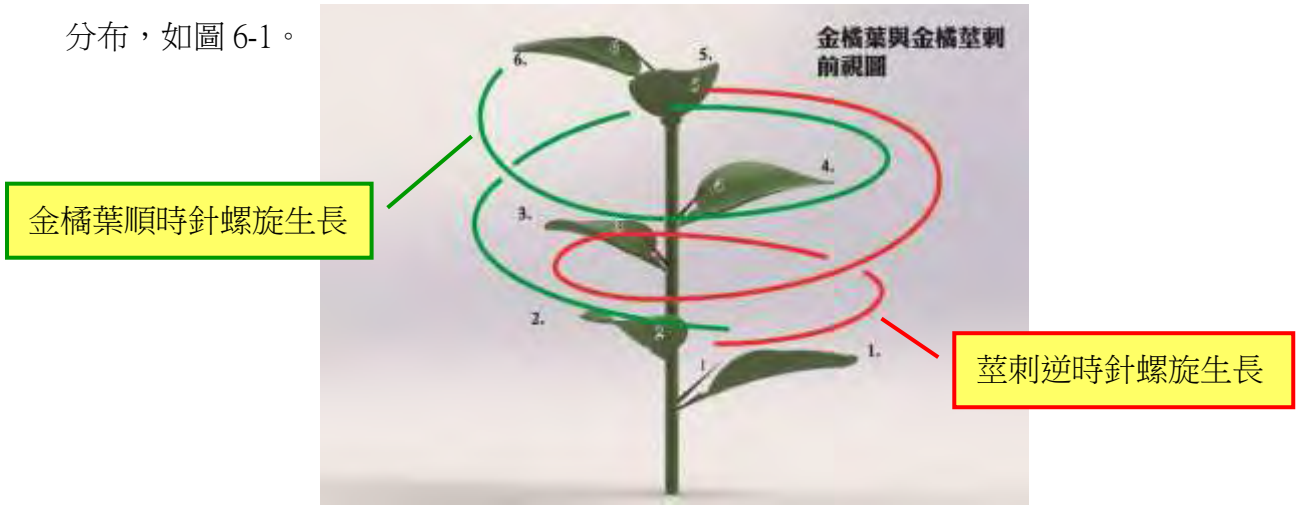
經由本研究測量 10 件樣本統計各項生長空間幾何之結果綜合整理如下表 6-1：

【表 6-1：金橘葉和莖刺的生長空間幾何關係統計表】

葉長：葉寬	柄葉寬：柄葉長：葉片寬：葉片長	葉長：莖刺長	葉生長夾角	莖刺生長夾角
1：2.27	1 : 1.51 : 3.58 : 6.95	1：3.21	61.0° ±10.4	47.3°±7.1
葉生長方位	相鄰三片葉子為 1 組循環平均約 113°順時針螺旋生長		葉與莖刺交錯互生與前後兩對距離	
莖刺生長方位	相鄰三根莖刺為 1 組循環平均約 109°逆時針螺旋生長		1：3.02	

(一) 金橘葉的葉片長與葉寬比例為 1.639，近似於黃金比例 1.618。

(二) 不同樣本個體成長速度並不相同，且葉與莖刺是分別依據各自的循環規律多條螺旋生長分布，如圖 6-1。



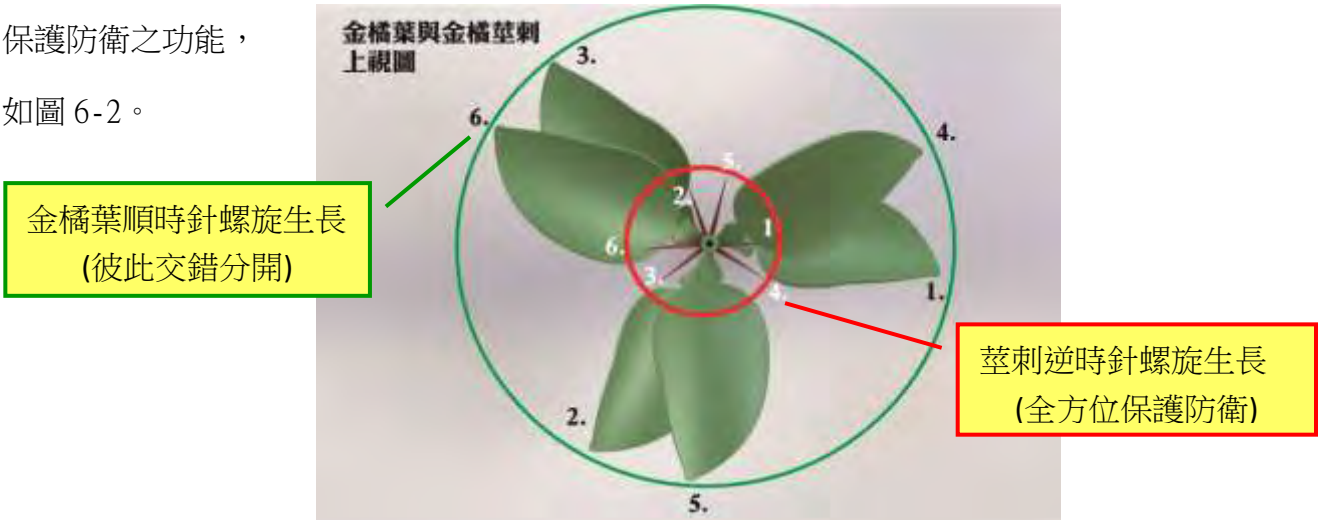
【圖 6-1：金橘葉與莖刺螺旋生長 3D 示意圖】

四、依據金橘葉與莖刺生長方位之分布情形，繪製生長空間幾何分布圖，探討其生長模式與環境影響之因素

植物的生長往往會受到內在基因遺傳與外在環境之影響，依據本研究結果推測金橘葉與莖刺會受到生長地區緯度之季節太陽升起與直射方位，影響其該部位生長激素分泌，造成分布數量明顯偏低，而金橘葉比較均勻分布的方位象限內，其莖刺亦分布較為均勻。

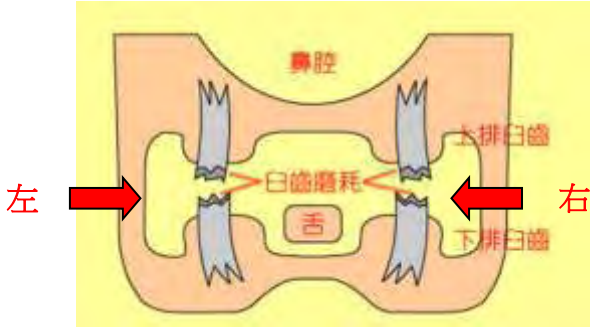
五、探討金橘葉與莖刺生長空間幾何分布與生存策略之關係

(一) 金橘葉及莖刺分別以平均約 113°順時與 109°逆時螺旋生長，結合相對應葉片面積與莖刺長度比例以三組分布情形繪製 3D 上視圖，可發現金橘葉與莖刺的生長空間分布幾乎不重疊，金橘葉彼此交錯分開以獲得較佳的日照(受光)效率，而空隙處均勻分布莖刺，有效提供全方位保護防衛之功能，如圖 6-2。



【圖 6-2：三組金橘葉與莖刺螺旋生長 3D 上視圖】

(二)根據文獻資料記載喜愛啃食金橘的動物：以兔子及鸚鵡為例，按照其嘴部構造與啃食角度，兔子與鸚鵡皆以左右側邊的方式啃食葉片，如圖 6-2 與圖 6-3，而本研究發現金橘葉與莖刺以不重疊的空間分布方式，如圖 6-2，想必可以增加其啃食的困難度，有效提供其嚇阻力。



【圖 6-3：兔子嘴部構造與啃食角度示意圖】

【圖 6-4：鸚鵡啃食葉片角度圖】

來源：http://hanhan.xxking.com/cuni_1intro.html

來源：https://www.omlet.co.uk/guide/budgie_guide/budgie_food/fresh_food

六、利用顯微鏡觀察探討金橘葉與莖刺的組織構造，並檢測其組成成分之性質

金橘葉均勻布滿了油腺構造，約占 18.5%面積比例，且葉片末端的油腺較為集中。金橘莖刺外表皮呈縱向平行粗糙皺紋狀，且散佈著集中的油腺構造特徵，且前端明顯呈現木質化，結構堅硬。金橘葉組織萃取液為酸性(PH：5.62)，莖刺組織萃取液則呈弱酸性(PH：6.03)，推測若受食草動物啃食，必能發揮螫傷功效，並藉由油腺之濃烈香氣液體，提供更多元保護。

七、研究結果應用與展望

(一)建議於後續研究進行比較其他芸香科植物或不同科之有刺植物的葉片與莖刺空間成長分布，分析其與日照(受光)最大效率與防衛保護的關係，並進一步探討是否亦受到葉片面積大小及莖刺長度等因素之影響。

(二)依據本研究樣本「金橘葉與莖刺」生長空間幾何之各項基礎觀察測量數據比例統計結果，如表 6-1，可繪製 3D 透視圖並列印製成各式比例之 3D 模型，如圖 6-5，提供作為後續深入研究探討之參考與應用。

【圖 6-5：金橘葉與莖刺 3D 模型】

柒、參考資料

1. 邱年永等著 (1998)：原色臺灣藥用植物圖鑑，台北南天書局，P.117。
2. 鄭武燦（1994）：台灣植物圖鑑 上冊，國立編譯館主編，P.862
3. 臺灣藥用植物資源名錄（2003）： 行政院衛生署中醫藥委員會，P.276
4. 歐辰雄，何東輯 (1996)：臺灣產芸香科植物介紹，自然保育季刊 14，P.14-16
5. 吳天賞 (1987)：臺灣的芸香科植物，科學月刊 207.02，P.178-184
6. 章錦瑜 (1990)：有刺植物碰不得，鄉間小路，P.26-27
7. 蘇明德 (2018) :「黃金比例」在日常生活中的應用，科學月刊 582.06，P.472-477
8. 芸香科網址 https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%8A%B8%E9%A6%99%E7%A7%91.htm
9. 柑橘科網址 http://kplant.biodiv.tw/%E9%87%91%E6%A9%98/%E9%87%91%E6%A9%.htm
10. 兔子啃食網址 http://wellseen..net/blog/post/26272250-%3C%E5%9C%96%E8%A7%.htm

【評語】030320

這個研究主要是要對金橘葉和莖刺的生長空間進行幾何測量，同學們不但規劃了便利且有效率的編碼規則與標示方法，也自行改良設計的數位測量儀器，最後發現金橘葉片長與寬比例近似於黃金比例 1.618，且葉與莖刺分別以順時 113°與逆時 109°多條螺旋規律生長，並且發現葉與莖刺生長受緯度之季節日照影響。這個研究結果最後建立金橘葉與莖刺的 3D 模型，不過(1)只觀察單一物種比較看不出其特殊之處，建議同樣的分析可以應用來觀察其他有莖刺的物種，應該可以看到莖刺生長與物種環境之間的交互作用。(2)這個研究沒有進一步去對生存策略的假說，期待未來，再設計進一步的實驗來檢測。

作品海報

摘要

大自然植物生長的機制，往往蘊藏著驚人的幾何原理。本研究以常見的「芸香科金橘」為研究樣本，觀察發現金橘莖刺長於葉腋處，其下是生柄葉及葉片，且彼此成對交錯互生，莖幹中段部位之葉與莖刺生長大小比例明顯較為固定。本研究藉由規劃便利有效率的編碼規則與標示方法，配合自行改良設計的數位測量儀器，進行金橘葉和莖刺的生長空間幾何之測量，發現金橘葉片長與寬比例近似於黃金比例1.618，葉與莖刺分別以順時113°與逆時109°多條螺旋規律生長，且繪製生長空間幾何分布圖，分析發現葉與莖刺生長受緯度之季節日照影響；且兩者以不重疊的空間分布方式，以獲得較佳的日照(受光)效率，並有效提供全方位保護防衛之功能。

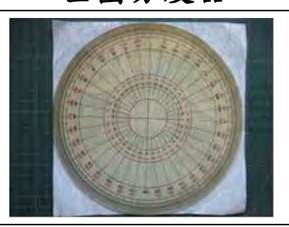
壹、研究動機

某日在校園角落中發現幾棵植栽，上面也結著外型相似柑橘果實。我立刻靠過去伸手想摘一顆，沒想到手被植物莖上的棘刺刺傷，這一刺痛得我哇哇大叫，也讓我開始注意到那一些不規則排列的刺，並對它們感到好奇。生物課本曾提過:「植物是靠著莖來輸送養分至各個部位，例如葉、果實。」其內容並沒有提及植物棘刺的相關介紹，於是我詢問自然老師相關問題，了解到芸香科的植物很多都有帶刺，例如金桔、檸檬、柚子……等。同時搜尋了相關書籍與網路資料相關資訊，逐漸對植物棘刺有更進一步了解，也更常注意觀察生活周遭的有刺植物。偶然看到報導提到：「自然界存在許多規律，像是菊石的螺旋有著固定的比例，只是大多人往往無法察覺。」於是；引發我好奇：「柑橘的刺看似亂無章法是否也有一定的規律呢？」、「莖上的刺與葉子的生長分布有何關係？」、「刺像葉子或莖一樣會受到周遭環境影響嗎？」或是「莖上的刺與葉子有何性質可以阻嚇動物啃食？」，因此，我找了社團的同學一同開始著手進行觀察與測量，研究探討有關「金橘棘刺」的大自然奧秘。

貳、研究目的

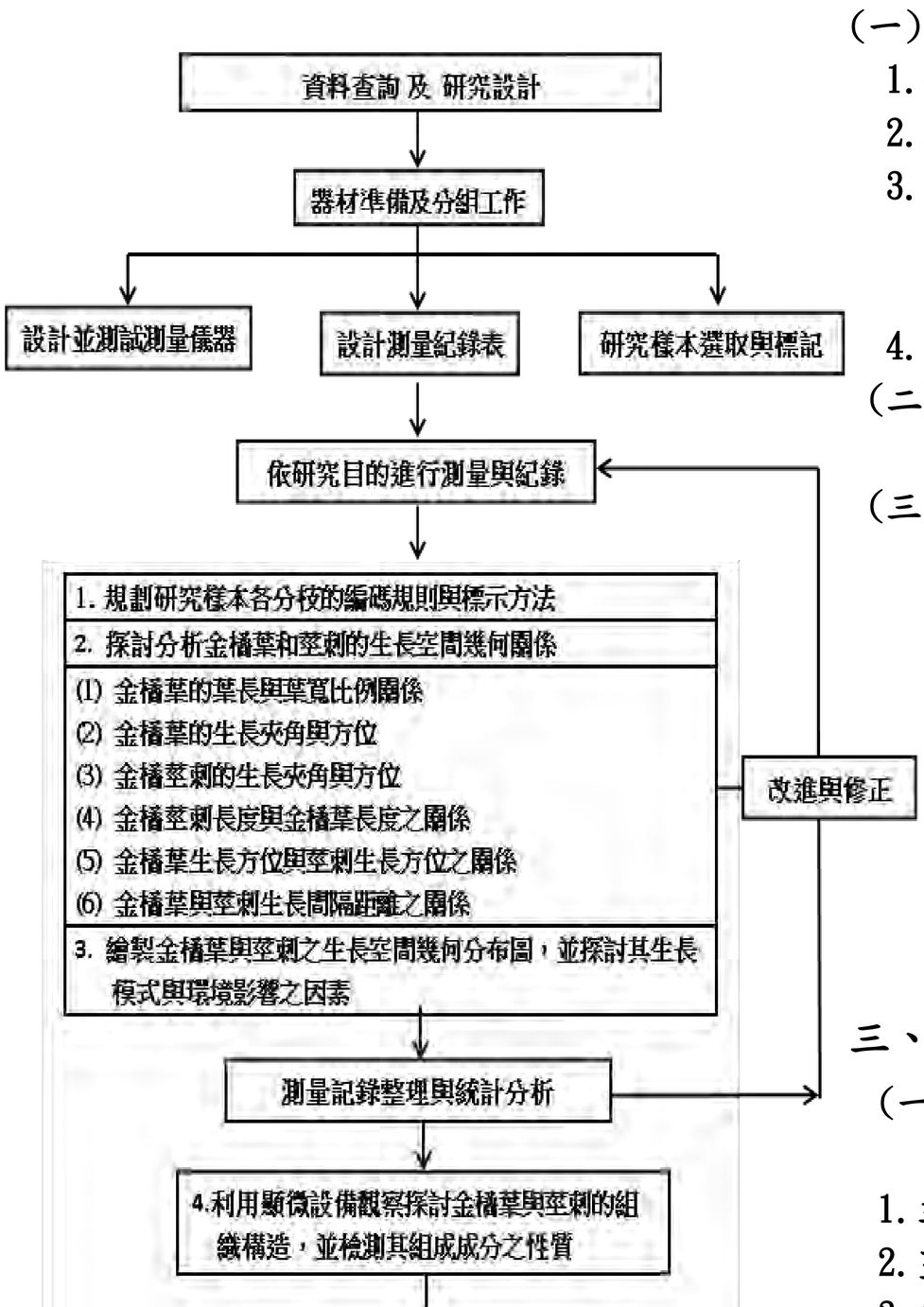
一、觀察金橘葉與莖刺的生長排列方式。
二、規劃研究樣本各分枝的編碼規則與標示方法。
三、探討分析金橘葉和莖刺的生長空間幾何關係。
四、依據金橘葉與莖刺生長方位之分布情形，繪製生長空間幾何分布圖，並探討其生長模式與環境影響之因素。
五、探討金橘葉與莖刺生長空間幾何分布與生存策略之關係。

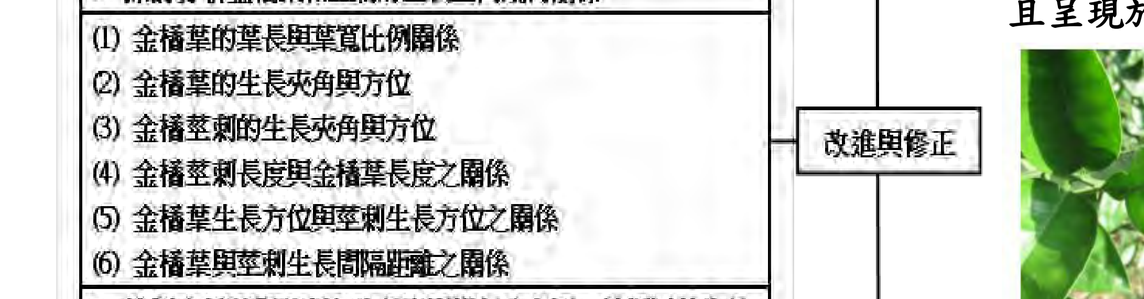
參、研究設備及器材

數位游標尺	數位電子羅盤	數位量角尺	平板電腦	水平儀	全圓分度器
					
解剖式顯微鏡	**複式顯微鏡**	**顯微投影機**	**顯微鏡攝影轉接器**	**數位PH計**	**可夾式顯微放大鏡**

肆、研究過程或方法

一、研究架構流程





二、文獻探討

(一)金橘(Round Kumquat)

1. 學名：*Fortunella japonica* (Thunb.) Swingle
2. 科名：芸香科(*Rutaceae*)金柑屬(*Fortunella*)
3. 葉的特徵：小葉卵狀橢圓形或長圓狀披針形，頂端鈍或短尖，基部寬楔形；翼葉(同一葉片，有一前一後、一大一小相連接的型態；葉柄與葉片間有關節，單身複葉，表面有許多油腺，有特殊的香氣，如圖4-2-2a。
4. 莖的特徵：小喬木或灌木；樹高 2~5 公尺，枝有刺，如圖4-2-2b。

(二)莖刺(枝刺)：由幼枝變態而成的長形刺狀物。位於葉腋，其下是生柄葉及葉片，維管組織通連莖的內部，不易折斷，金橘即為此類。

(三)黃金比例：又稱黃金分割，把長度為 c分為兩部份，長度為a和b ，也就是說 c=a+b，若其比例符合c/a=a/b，則a+b:a=a:b即為黃金比例，大約值則1.61803398……(如圖4-2-4)黃金分割具有嚴格的比例性、藝術性、和諧性，蘊藏著豐富的美學價值，而且呈現於不少動物和植物的外觀。

【圖 4-2-2a：金橘葉長圓狀披針形翼葉】

【圖 4-2-2b：金橘莖枝有刺】

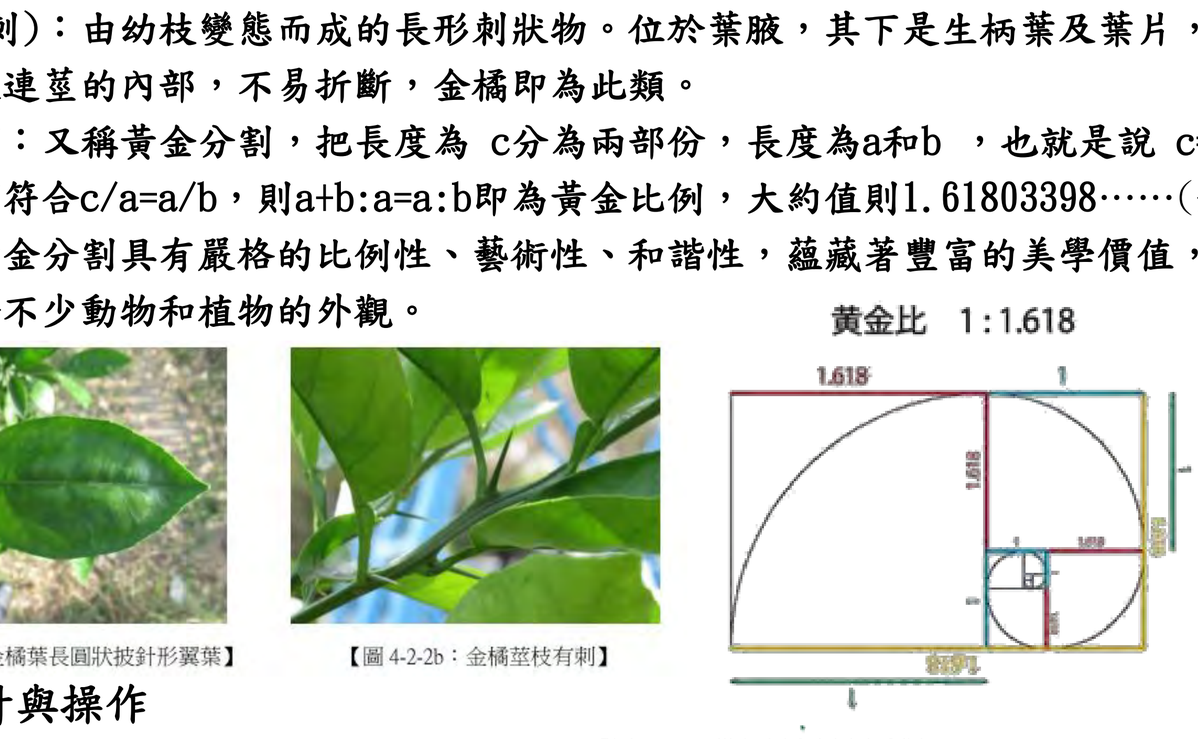
【圖 4-2-4：黃金分割示意圖(來源 https://weiwenku.net/d/102172270)】

三、研究設計與操作

(一)規劃研究樣本各分枝的編碼規則

將樣本(金橘樹)依序編號A~J，以編碼A3222b為例，如圖4-3-2a，說明如下：

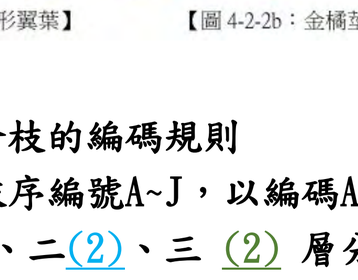
1. 主莖幹(A) 第一(3)、二(2)、三 (2) 層分枝編碼 A322：即該測量樣本「主編碼」。
2. 莖刺編碼(2b)：即為該測量樣本之「副編碼」。
3. 其餘依此類推...，若末碼為a即代表葉子。



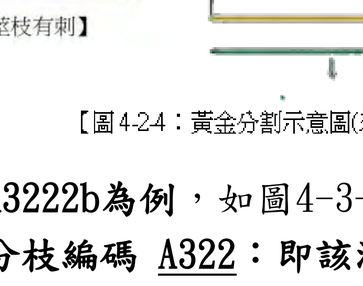
【圖4-3-2a：A3222金橘葉a和莖刺b編碼示意圖】

(二)編碼標示方法

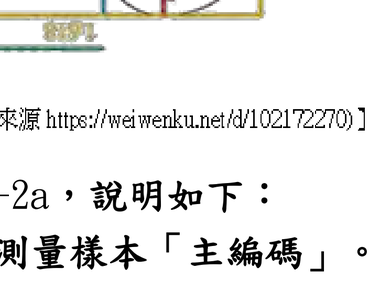
1. 依編碼規則於木夾上填寫樣本(金橘樹)之主編碼，及莖刺標示「副編碼」最後一碼編號數字。
2. 將填妥的木夾依待測樣本(金橘樹)逐一夾置於相對應的分枝，主編碼夾於主莖幹分枝上，副編碼夾於葉子與莖刺上，如圖4-3-2c、d及e。



【圖 4-3-2c：填寫副編碼數字】

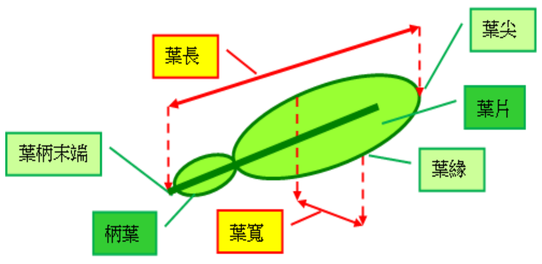


【圖 4-3-2d：樣本逐一以木夾編碼】



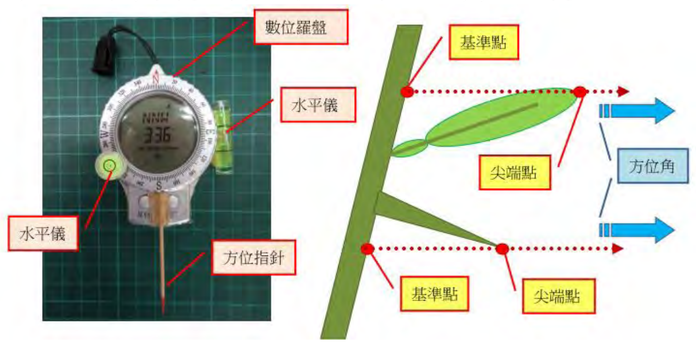
【圖 4-3-2e：主莖幹分枝夾主編碼】

（三）金橘葉長度與寬度及莖刺長度之測量



【圖 4-3-3a：測量金橘葉長度】

（四）金橘葉與莖刺生長空間方位角之測量



【圖 4-3-4c：方位指針貼緊尖端點】

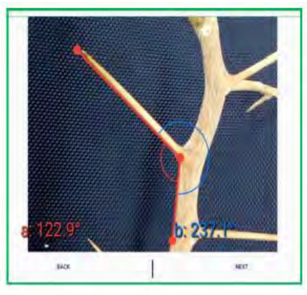
【圖 4-3-4d：調整基準點與尖端點水平】

（五）金橘葉與莖刺生長夾角之測量

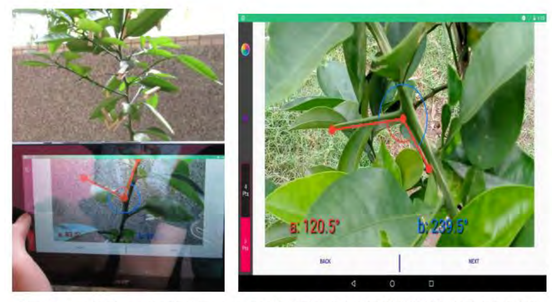
本運用Angulus及Protractor兩項APP程式，逐一拍照並精確測量金橘葉及莖刺的生長夾角(準確值至1.0°)，並進行觀察記錄與分析。

【圖 4-3-5a：改良數位量角器】

【圖 4-3-5b：莖刺生長夾角測量】



【圖 4-3-5d：APP 程式測量莖刺的生長夾角】

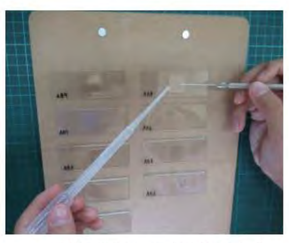


【圖 4-3-5e：使用 Angulus 及 Protractor APP 程式測量樣本金橘葉與莖刺的生長夾角測量】

（六）探討金橘葉與莖刺生長間隔距離之關係

本研究使用數位游標尺(準確值至0.1㎜)，逐一測量樣本(金橘樹)同一編碼主莖幹分枝上之各組(葉子與莖刺)間之生長間隔距離。

（七）利用顯微設備觀察探討金橘葉與莖刺的組織構造



【圖 4-3-7b：製作樣本玻片標本】

【圖 4-3-7d：手機顯微鏡頭攝影標本】

【圖 4-3-7f：解剖式顯微鏡觀測標本】

（八）檢測金橘葉與莖刺組成成分之性質

【圖 4-3-8a：乙醇浸泡樣本】

【圖 4-3-8b：隔水加熱溶】

【圖 4-3-8c：過濾溶縮萃取液】

【圖 4-3-8d：PH 計檢測溶縮萃取液】

伍、研究結果與討論

一、觀察金橘葉與莖刺的生長排列方式

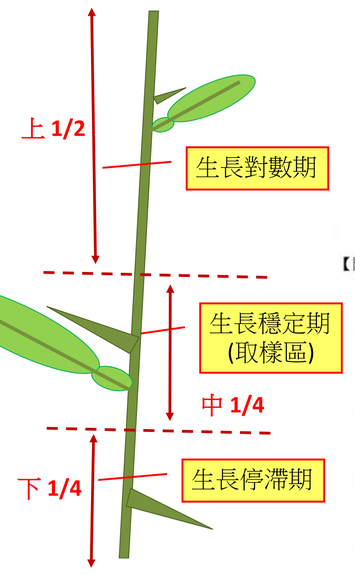
（一）金橘樹莖刺長於葉腋處，其下是生柄葉及葉片，且彼此成對交錯互生，如圖5-1a&b。

（二）金橘樹萌芽上端處至主莖幹上半部約1/2處，葉子生長較快速，而幼枝則剛變態為莖刺芽，其未完全成長至正常尺寸大小，與中下段的尺寸明顯差異大，不適宜取樣該處之樣本進行測量，如圖5-1c。

（三）金橘樹主莖幹中段1/4部位，莖刺生長趨於成熟，葉子與莖刺之生長大小比例明顯較為固定，因此；本研究之取樣皆以主莖幹中段分枝(第一分枝編碼為4~6)為測量樣本，如圖5-1d。

（四）金橘樹主莖幹下半段1/4部位，莖刺生長已完全，並有明顯木質化現象，而其相對應的葉片大多已脫落，只留下葉柄末端連接痕跡，故此部位亦不適宜取樣進行測量，如圖5-1e&f。

（五）金橘樹上端開花結果處，則大多只長有葉片，而無生長莖刺，取樣區段示意圖，如圖5-1g。



【圖 5-1g：取樣區段示意圖】

【圖 5-1a：莖刺長於葉腋處，其下生葉片】

【圖 5-1b：莖刺與葉片成對生長】

【圖 5-1c：主莖幹上端處之剛變態的莖刺芽】

【圖 5-1d：主莖幹中段分枝之葉子與莖刺】

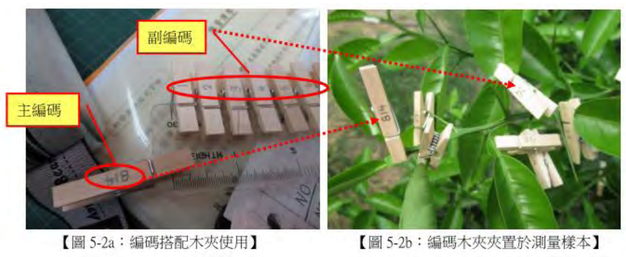
【圖 5-1e：主莖幹下半段部位無葉片】

【圖 5-1f：葉柄末端連接痕跡】

二、規劃研究樣本各分枝的編碼規則與標示方法

（一）依據編碼標示即可明確顯示各研究樣本葉子及莖刺的相對位置，便於觀察記錄及後續方位測量之分析比較。

（二）於木夾上填寫樣本(金橘樹)莖幹編號及各分層分枝編碼，並夾置於相對應的分枝上，可有效避免於研究測量時，造成測量對象錯誤，導致相對位置進行比較分析時發生混淆之情形。



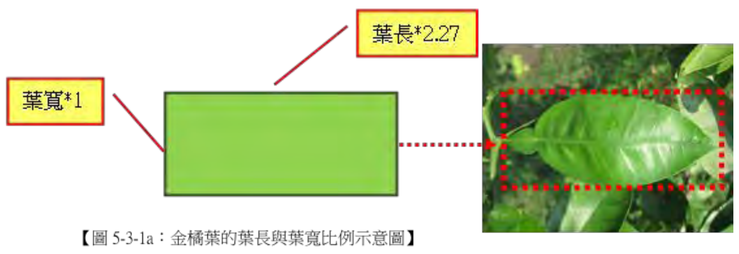
【圖 5-2a：編碼搭配木夾使用】

【圖 5-2b：編碼木夾夾置於測量樣本】

三、探討分析金橘葉和莖刺的生長空間幾何關係

（一）探討金橘葉的葉長與葉寬比例關係

1. 金橘葉的葉長與葉寬比例約為2.27(σ：±0.1)

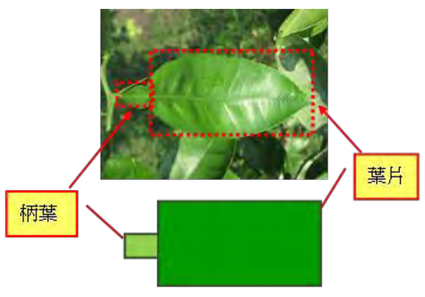


【圖 5-3-1a：金橘葉的葉長與葉寬比例示意圖】

3. 金橘葉的葉片長與葉片寬比例為1.639(σ：±0.0006)，近似於黃金比例1.618

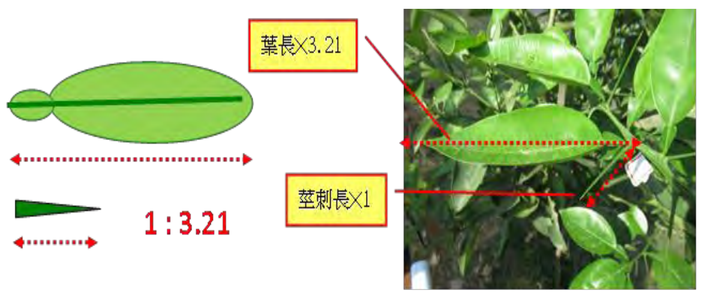
【圖 5-3-1c：金橘葉的葉片比例與黃金比例示意圖】

2. 柄葉寬：柄葉長：葉片寬：葉片長
= 1 ： 1.51 ： 3.58 ： 6.95



【圖 5-3-1b：金橘翼葉長與葉寬比例示意圖】

（二）探討金橘葉長度與莖刺長度之關係

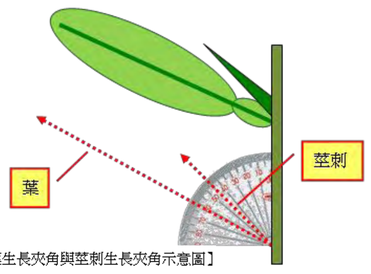


【圖 5-3-2：金橘葉的葉長與莖刺長度比例示意圖】

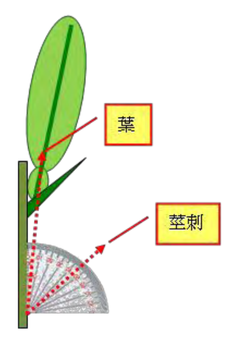
（三）探討金橘葉生長夾角與莖刺生長夾角之關係

1. 金橘葉生長夾角平均約為61.0°，莖刺生長夾角平均約為47.3°，兩者大約相差13.7°(σ：±9)。

2. 種植於戶外較無灑水疏枝照顧之金橘樹，其金橘葉生長往往會繞過莖刺而幾近貼靠主幹分枝(夾角約0~1.5°)。



【圖 5-3-3a：金橘葉生長夾角與莖刺生長夾角示意圖】



【圖 5-3-3b：戶外金橘葉生長貼靠主幹分枝(生長夾角約 0~1.5°)示意圖】

（四）金橘葉與莖刺生長間隔距離之關係

1. 根據觀測發現：金橘葉(莖刺)交錯互生之彼此間平均距離約為6.7㎜(σ：±0.31)，而前後兩對互生葉(莖刺)之平均距離約為20.3㎜(σ：±0.27)，比較兩者之平均距離約1：3.02。

2. 金橘葉(莖刺)交錯互生之間隔距離於同一分枝上的前中段明顯較為均勻，而接近分枝末端，其交錯互生之間隔距離明顯逐漸縮短，可推測其部位仍處於生長發育中。

【圖 5-3-5a：金橘葉(莖刺)交錯互生與間距離比示意圖】【圖 5-3-5b：末端間距縮短間距離比】

（五）探討金橘葉與莖刺的生長方位，並繪製生長空間幾何分布關係圖

1. 以金橘葉及莖刺編碼由小至大(如：1a→2a，2a→3a)，取兩相鄰方位角差≦180 ° 為其生長方位的排列方向，順時針方向為＋ ；逆時針方向為－ 。

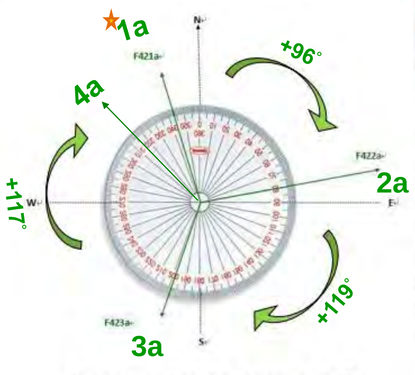
2. 金橘葉大致以每相鄰三片葉子為1組循環，如：(1a. 2a. 3a)、(2a. 3a. 4a) 、(3a. 4a. 5a)… ，平均約113°順時針螺旋方式依序排列生長，如表5-3-4a及圖5-3-4c。

3. 金橘莖刺大致以每相鄰三根莖刺為1組循環，如：(1b. 2b. 3b)、(2b. 3b. 4b)、(3b. 4b. 5b)…，平均約109°逆時針螺旋方式依序排列生長，如表5-3-4b及圖5-3-4d。

4. 相對應的金橘葉與莖刺生長方位，本研究之測量結果發現彼此間並無明顯的關係，亦即葉與莖刺是分別依據各自規律以多條螺旋方式生長分布，如圖5-3-4e及圖5-3-4f。

【表 5-3-4a：金橘葉生長方位角統計表】

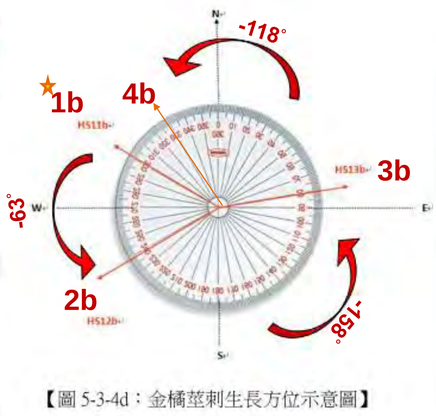
主編碼	F42	
副編碼	葉方位角 °	相鄰葉方位角差(平均)°
★ 1a	344	
2a	80	
3a	199	
4a	316	
5a	119	
6a	miss	113
7a	13	(σ：±16.2)
8a	miss	
9a	170	
10a	333	
11a	120	
12a	217	



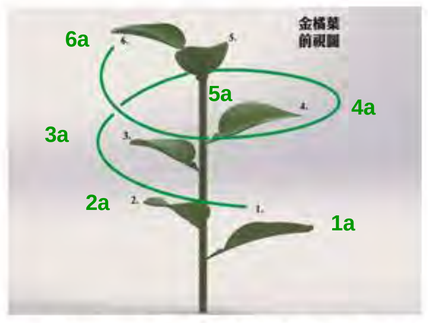
【圖 5-3-4c：金橘葉生長方位示意圖】

【表 5-3-4b：金橘莖刺生長方位角統計表】

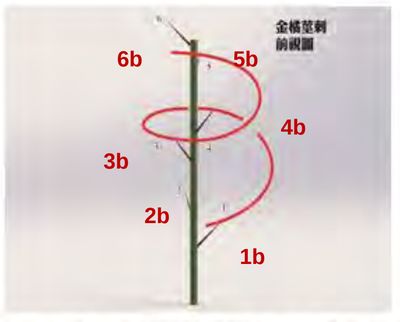
主編碼	F42	
副編碼	莖刺方位角°	相鄰莖刺方位角差°(平均)°
★ 1b	301	
2b	238	
3b	80	
4b	329	
5b	176	
6b	109	109
7b	240	(σ：±18.7)
8b	333	
9b	110	
10b	200	
11b	336	
12b	36	



【圖 5-3-4d：金橘莖刺生長方位示意圖】



【圖 5-3-4e：金橘葉順時螺旋生長 3D 圖】



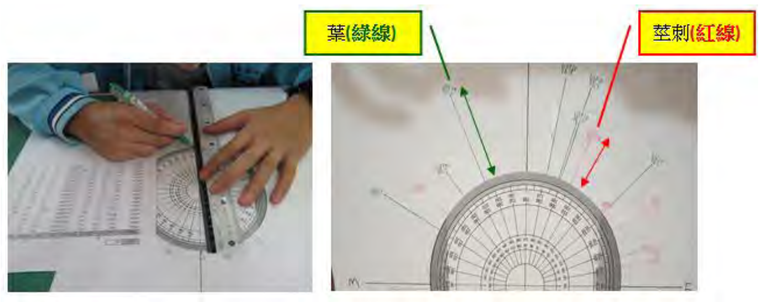
【圖 5-3-4f：金橘莖刺逆時螺旋生長 3D 圖】

四、依據金橘葉與莖刺生長方位之分布情形，繪製生長空間幾何分布圖，並探討其生長模式與環境影響之因素。

（一）繪製的10棵樣本中，約有6棵樣本於偏N-E東北方向的莖刺數量明顯較少，推測生長受到高雄地區緯度之夏季太陽升起與直射方位，影響其該部位生長激素之關係，如圖5-4-1。

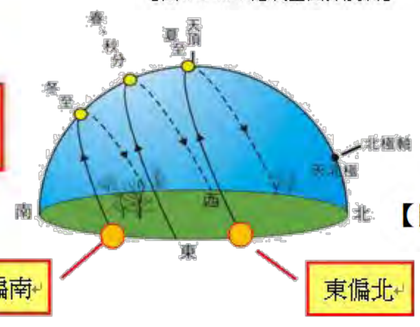
（二）繪製的10棵樣本中，約有4棵樣本於偏E-S東南方向的葉子數量明顯較少，推測生長受到高雄地區緯度之冬季太陽升起與直射方位，影響其該部位生長激素之關係，如圖5-4-2。

（三）金橘葉比較均勻分布的方位象限內，其莖刺亦分布較為均勻，如圖5-4-3。



【圖 5-3-4a：繪製全圓分度表】　【圖 5-3-4b：方位角分布全圓分度表】

【圖 5-4-1：A53 方位圖】　【圖 5-4-2：E42 方位圖】　【圖 5-4-3：I61 方位圖】

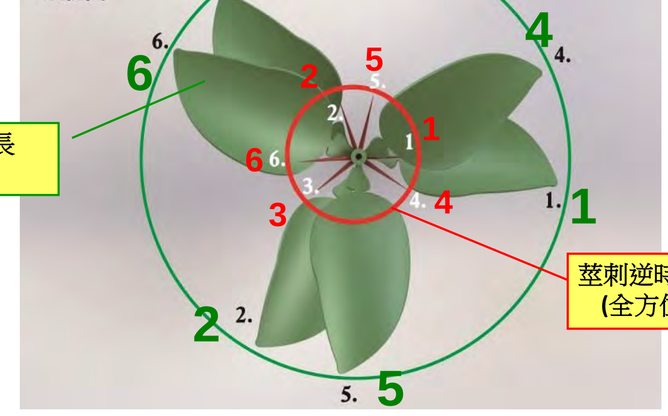


來源：https://www.cwb.gov.tw

【圖 5-4-4：台灣南部四季太陽軌跡圖】

五、金橘葉與莖刺生長空間幾何分布與生存策略之關係

金橘葉及莖刺分別以平均約113˚順時與109˚逆時螺旋生長，結合相對應葉片面積與莖刺長度比例以三組分布情形繪製3D上視圖，可發現金橘葉與莖刺的生長空間分布幾乎不重疊，金橘葉彼此交錯分開以獲得較佳的日照(受光)效率，而空隙處均勻分布莖刺，有效提供全方位保護防衛之功能， 如圖6-2。



【圖6-2：三組金橘葉與莖刺螺旋生長3D上視圖】

陸、結論

一、觀察金橘葉與莖刺的生長方式

金橘樹莖刺長於葉腋處，其下是生柄葉及葉片，且彼此成對交錯互生，萌芽上端處至主莖幹上半部約1/3處，葉子生長較快速，且幼枝則剛變態為莖刺，中段部生長大小比例明顯較為固定，下半段部位的莖刺已完全生長，並有明顯木質化現象，其相對應的葉片大多已脫落，而上端開花結果處，則大多只長有葉片，而無生長莖刺。

二、規劃研究樣本各分枝的編碼規則與標示方法

本研究以主、副編碼方式，搭配木夾使用，可明確顯示各研究樣本葉子及莖刺的相對位置，有效避免研究測量時，造成測量對象錯誤，並且如因故而暫停測量時，仍可於下次測量時迅速明確接續上次測量位置，讓測量工作更加有效率且更方便與準確。

三、探討分析金橘葉和莖刺的生長空間幾何關係

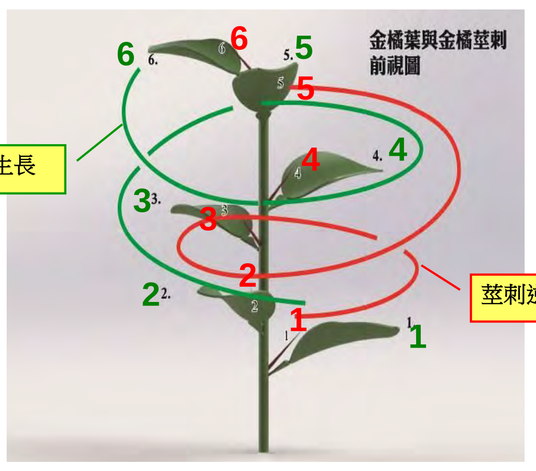
經由本研究測量10件樣本統計各項生長空間幾何之結果綜合整理如下表6-1：

【表6-1：金橘葉和莖刺的生長空間幾何關係統計表】

葉長：葉寬	柄葉寬：柄葉長：葉片寬：葉片長	葉長：莖刺長	葉生長夾角	莖刺生長夾角
1：2.27	1 ： 1.51 ： 3.58 ： 6.95	1：3.21	61.0˚ ±10.4	47.3˚±7.1
葉生長方位	相鄰三片葉子為1組循環平均約113˚順時針螺旋生長		葉與莖刺交錯互生與前後兩對距離	
莖刺生長方位	相鄰三根莖刺為1組循環平均約109˚逆時針螺旋生長		1：3.02	

（一）金橘葉的葉片長與葉寬比例為1.639，近似於黃金比例1.618。

（二）不同樣本個體成長速度並不相同，且葉與莖刺是分別依據各自的循環規律多條螺旋生長分布，如圖6-1。



【圖6-1：金橘葉與莖刺螺旋生長3D示意圖】

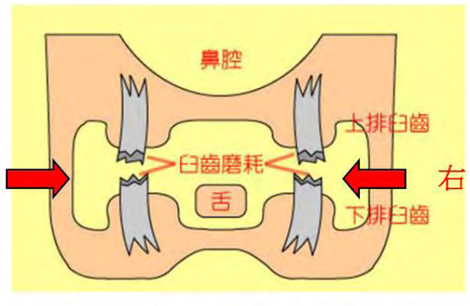
四、依據金橘葉與莖刺生長方位之分布情形，繪製生長空間幾何分布圖，探討生長模式與環境影響之因素

依據本研究結果推測金橘葉與莖刺會受到生長地區緯度之季節太陽升起與直射方位，影響其該部位生長激素分泌，造成分布數量明顯偏低，而金橘葉比較均勻分布的方位象限內，其莖刺亦分布較為均勻。

五、探討金橘葉與莖刺生長空間幾何分布與生存策略之關係

（一）金橘葉及莖刺分別以平均約113˚順時與109˚逆時螺旋生長，結合相對應葉片面積與莖刺長度比例以三組分布情形繪製3D上視圖，可發現金橘葉與莖刺的生長空間分布幾乎不重疊，金橘葉彼此交錯分開以獲得較佳的日照(受光)效率，而空隙處均勻分布莖刺，有效提供全方位保護防衛之功能， 如圖6-2。

(二)根據文獻資料記載喜愛啃食金橘的動物：以兔子及鸚鵡為例，按照其嘴部構造與啃食角度，兔子與鸚鵡皆以左右側邊的方式啃食葉片，如圖6-2與圖6-3，而本研究發現金橘葉與莖刺以不重疊的空間分布方式，如圖6-2，想必可以增加其啃食的困難度，有效提供其嚇阻力。



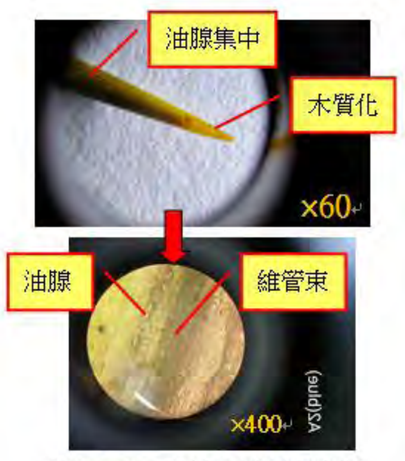
【圖 6-3：兔子嘴部構造與啃食角度示意圖】

來源：http://hanhan.xxking.com/cuni_1intro.html

【圖 6-4：鸚鵡啃食葉片角度圖】

來源：https://www.omlet.co.uk/guide/budgie_guide/budgie_food/fresh_food

【圖 5-5-1：金橘葉油腺構造】



【圖 5-5-2：金橘莖刺油腺構造】

六、利用顯微鏡觀察探討金橘葉與莖刺的組織構造，並檢測其組成成分之性質

金橘葉均勻布滿了油腺構造，約占18.5%面積比例，且葉片末端的油腺較為集中。金橘莖刺外表皮呈縱向平行粗糙皺紋狀，且散佈著集中的油腺構造特徵，且前端明顯呈現木質化，結構堅硬。金橘葉組織萃取液為酸性(PH：5.62)，莖刺組織萃取液則呈弱酸性(PH：6.03)，推測若受食草動物啃食，必能發揮螫傷功效，並藉由油腺之濃烈香氣液體，提供更多元的保護。

七、研究結果應用與展望

(一)建議於後續研究進行比較其他芸香科植物或不同科之有刺植物的葉片與莖刺空間成長分布，分析其與日照(受光)最大效率與防衛保護的關係，並進一步探討是否亦受到葉片面積大小及莖刺長度等因素之影響。

(二)依據本研究樣本「金橘葉與莖刺」生長空間幾何之各項基礎觀察測量數據比例統計結果，如表6-1，可繪製3D透視圖並列印製成各式比例之3D模型，如圖6-5，提供作為後續深入研究探討之參考與應用。

柒、參考資料

1.邱年永等著（1998)：原色臺灣藥用植物圖鑑，台北南天書局，P.117。
2.鄭武燦（1994）：台灣植物圖鑑 上冊，國立編譯館主編，P.862
3.臺灣藥用植物資源名錄（2003）： 行政院衛生署中醫藥委員會，P.276
4.歐辰雄，何東輯（1996)：臺灣產芸香科植物介紹，自然保育季刊14，P.14-16
5.吳天賞（1987)：臺灣的芸香科植物，科學月刊207.02，P.178-184
6.章錦瑜（1990)：有刺植物碰不得，鄉間小路，P.26-27
7.蘇明德（2018）：「黃金比例」在日常生活中的應用，科學月刊582.06，P.472-477
8.芸香科網址https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%8A%B8%E9%A6%99%E7%A7%91.htm
9.柑橘科網址http://kplant.biodiv.tw/%E9%87%91%E6%A9%98/%E9%87%91%E6%A9%.htm
10.兔子啃食網址http://wellseen..net/blog/post/26272250-%3C%E5%9C%96%E8%A7%.htm

【圖 6-5：金橘葉與莖刺 3D 模型】