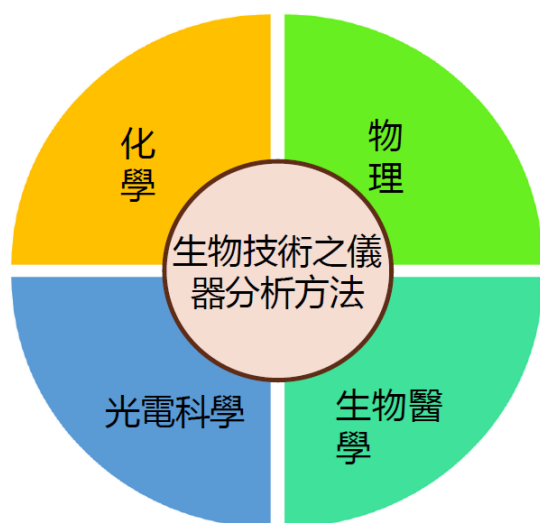


(以螢光照相系統組裝學習光學儀器分析原理與方法/ Learn the analytic principles and methods of optical instruments by assembling a fluorescent imaging system)

一. 本文 Content

1. 研究動機與目的 Research Motive and Purpose

生物技術之儀器分析方法為一門跨領域的課程，它不僅結合了基礎物理、化學與光電科學的基礎，並且這個技術可以應用到各種學術、食品化學與生物醫學等領域 (圖一)。本課程的修課對象主要是針對一般理工科系的學生與生物醫學等領域的學員，藉以充足他們在基礎儀器分析理論的背景知識外，我們更加強化這些技術在各種領域裡的學習與相關應用。



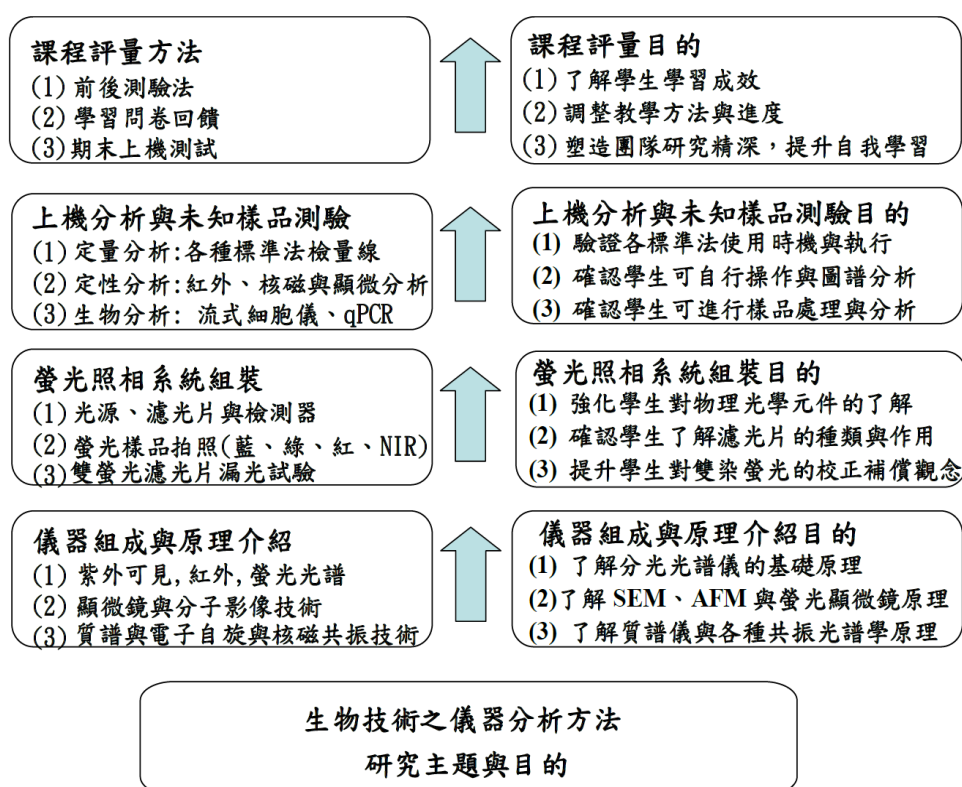
圖一、生物技術之儀器分析方法課程所涵蓋的領域範圍。

在以往的上課經驗中，生物技術之儀器分析方法主要以傳統教材配合口頭傳授的教學方式進行，我們時常觀察到學生在學習進階層次的分析應用遇到相當的瓶頸。就如同在學習共軛焦顯微鏡與流式細胞分析法時，儘管這些儀器分析理論基礎源自於簡單的分光與螢光光度計，因為學生對基礎光源與濾光片種類等背景知識較為薄弱，在更進階儀器設定上如：雙螢光染色樣品之螢光校正補償法與干擾排除則較難以理解。探究其學習成效不佳的原因，可能來自於學生對於儀器基礎光學元件例如：光源、光柵、菱鏡與濾光片和光電倍增器等缺乏背景知識理解。為了讓學生在學習基礎光學儀器原理有更好的成效，我們利用組裝的螢光照相系統，協助教導基礎物理光學儀器元件認識，讓學生以實作方式深入了解激發光源種類(如雷射、LED 燈、汞燈與鹵素燈源等)與不同激光波長(UV、藍、綠、紅、短 NIR 與長 NIR 等光源)、濾光片轉盤中不同類型濾光片(如：窄波濾光片、截止濾光片、長波通/短波通濾片與各種反射鏡等)、濾光片譜圖與濾光原理等知識。利用不同波長的螢光物質，進行單螢光與混合螢光樣品進行拍照，讓學生學習操作以不同濾光片進行成相與干擾結果，以了解不同濾光片在不同濾光帶寬長短下是否有漏光與背景干擾等問題。利用實地操作的教學策略法，使學生了解各種應用型分析儀器的基礎理論與進階分析功能，學生了解濾光片的特性後，可以依自己的研究需求向光學公司訂製適合研究的濾光片，此教學策略確實提升學生在使用這些研究工具有更具精確性與廣用度。

2. 研究問題 Research Question

使用儀器分析方法，在生物技術與醫學上的檢測與應用為目前學術研究、產業開發與臨床醫學重要的熱門課題。在儀器分析技術中，吸收與螢光光譜法為常用的檢測技

術，其相關對應的儀器設備包含有：紫外-可見分光光譜儀、紅外光譜儀與螢光光譜儀等。使用這些光譜法，可進一步的應用於生物技術分析與醫學檢驗，更進一步的儀器與技術應用則包含有：Elisa 酵素免疫分析法、高效能液相層析法、共軛焦螢光顯微法、流式細胞法、及時定量 PCR、螢光冷光照相系統等（圖二）。本教學實踐計劃主要改善生物技術之儀器分析方法的教學現場，在傳統以課堂講授方式所遇到學習成效不佳等問題。藉由此創新教學研究計劃，我們將帶領學員由基礎光學元件認識、儀器組裝，最後以實際儀器操作，樣品上機分析與小組研究等一系列應用性課題。在課程中，我們將以螢光照相系統的拆解元件認識為此課程核心，引導學生由基礎物理光學了解組成光譜儀器所需的光源種類、光學元件(如:稜鏡、光柵與各種濾光片組)與其 CCD 陣列探測器等用途。學習了解這些元件的特性與功用，來強化學生對濾光片基礎知識的了解。學生可由不同濾光片圖譜，了解各種濾光原理與特性，徹底落實由基礎光學原理知識到應用分析儀器之訓練課程，克服傳統的儀器分析教學現場缺點(如:學生僅能由教科書去了解儀器分析的基礎知識，對儀器更完整細節與實際的分析執行能力則較為薄弱)。利用以上光譜基礎原理的導入，進一步的應用於生物樣品分析，以量測生物樣品上的吸收與螢光訊號，並作為有效定性與定量工具。本課程中儀器分析訓練的重點在於如何正確選擇標定螢光物的激發與放射光波長，利用設計其相符合的濾光片組，以達成正確的分析目的。在先前開課的教學現場裡發現，學生在學習以上相關分析技術的瓶頸點，主要來在於對基礎光學元件與光譜學的背景知識了解不足。為此，我們向下紮根，培育理工科系大學生，從基礎物理元件、物理化學光譜學，到生物技術分析法等相關應用層次主題，來做更深入的課程設計。



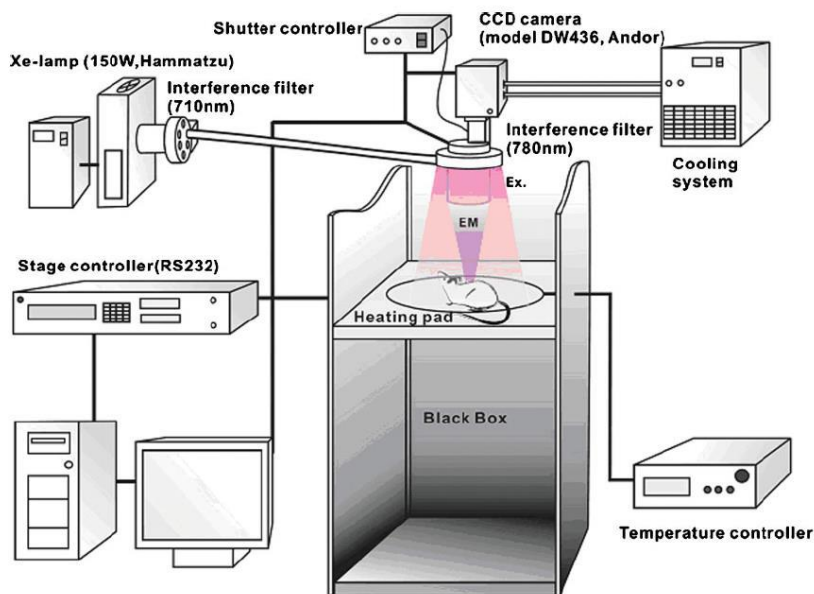
圖二、生物技術之儀器分析方法的研究主題、問題與目的。

我們也邀請了相關師資，來強化基礎科學的背景知識到進階應用，藉由螢光照相系統的元件認識，學員可以深入探索光學元件、光源設計、濾光片設計組裝與選擇、濾光片圖譜測量與箱體和濾光片的漏光測試，最後經由不同波長螢光物的拍照與成相，確認學員對光學元件與濾光片的運作已有完整的了解。在課程中，我們以分組實驗模式來進行分

析探索研究，以在地農民種植的薑黃，利用溶劑萃取、光譜分析與螢光影像分析法，並以 HPLC 來進行薑黃素與類薑黃素的分離，利用校正檢量線來定量薑黃素的含量。我們藉由此創新教學策略，確實使學生由基礎背景知識，到高階儀器應用有深入的體驗與了解，此教學方法解決了學用落差的問題，並培育國家未來在化學、食品與生技醫藥分析上之專業人才。

### 3. 文獻探討 Literature Review

由於光學成像技術在所有的分子影像學上具備多種優勢，光學元件價格合理並容易取得。因此，部分光學分析方法已經可以取代現有昂貴且操作繁雜的同位素標定、核醫放射造影和磁共振成像(MRI)技術等。利用光學分析與成相造影技術已廣泛用於基礎學術研究與生技醫藥開發研究，並發展出相關的光譜分析儀與光學照相系統。紫外-可見分光光譜儀為實驗室中常用的分析與定量儀器，此儀器可以廣泛用於各種物理化學光譜學與相關藥物純度與定量分析。利用螢光與冷光光譜法可以對生物樣品進行更微量的定量工作，而光學成相技術也可以適用於大型生物樣品檢測。儘管光學成相技術分析具快速與便利性，然而可見光源通常會受到光子訊號在生物組織中傳播衰減的影響。如此，在活體組織中通常具較差的信噪比與組織的自發螢光效應。另外，長時間高功率的光子照射組織亦會產生大量的熱量，造成生物分子熱損傷與螢光光熱漂白現象。先前研究論文中開發了一套光學影像照相系統，利用組裝基礎光學元件與濾光片設計，可以做為一套多功能螢光冷光照相系統(圖三)。以近紅外光(NIR)波段的螢光分子作為探針，經由在 700-1000 nm 波長範圍的近紅外光區，對血液與組織樣品相對較低的吸收，可以有效降低生物體內在背景值干擾，這技術在生物樣品的激光成像為重要的研究策略。



圖三、自製螢光、冷光照相系統之結構示意圖，此儀器由中興大學物理系鄭建宗教授協助架設。

圖為使用自製的螢光、冷光照相系統進行樣品分析與生物樣品成相之整體儀器構造圖，此儀器為中興大學物理系鄭建宗教授協助設計與組裝，儀器中光源部份使用了一個 100W 的氙氣燈與干涉濾光片作為激發光源。這個成像傳感器是一種電荷耦合器件 (CCD)相機，其感光晶片可冷卻至相對低溫並進行長時間曝光累積訊號。利用濾光片轉



盤設計，可將不同干涉濾光片覆蓋於鏡頭前，用以收集螢光發射光。利用鄭建宗教授設計的照相系統，進一步的進行各種螢光樣品的拍照測試，結合了各部份光學元件的拆解與摸索，讓學生更深入了解光源、傳感器與其對應的濾光片組對螢光成相的影響。學員可以學習對濾光片的光學圖譜分析，配合螢光物質的吸收圖譜與螢光圖譜來進行濾光片設計，並最佳化激發與發射光濾光片組，課程中學習檢視來自不同發射光之螢光物在不同種類濾光片下(如窄波濾光片或長波通濾光片)可能產生的圖譜重疊與漏光效應。在長波段近紅外光區因具備有高組織穿透度，先前的研究已論證：利用不同類型的近紅外光螢光探針，可以有效作為生物體內的造影，並發展相關光學成像分析技術。其中，利用合成法來控制奈米粒子的組成成分與成長尺寸可產生各種不同發射螢光，其具有高量子產率與高的光穩定性。相關量子點產品已使用於發展生物免疫分析、癌症檢體檢測、活體成像以及成像引導手術技術。吖啶菁綠 (ICG)為一種近紅外光染劑，該染劑已獲得美國食品和藥物管理局批准，適用於臨床人體光學成像以及皮膚病和癌症的治療。ICG 不僅具有高生物相容性與低毒性，其光學特徵在於長波段的螢光激發和發射峰在近紅外光區段（例如：800 nm 激光；820 nm 發射光），如此可以減少生物樣品拍攝下的背景干擾。為了增加 ICG 在生物體內的穩定性，避免螢光分子與血液中的蛋白結合和生物降解效應，各種改善策略如 ICG 封裝於各種有機與無機奈米顆粒中。我們先前研究了利用多孔性奈米矽球來覆載 ICG 染劑，使用各種儀器分析方法針對此奈米材料之物理化學性質進行表徵。利用電子顯微技術顯示出此奈米粒子大小約為 100 奈米左右，且具有規則六角孔洞排列。進一步，藉由光譜分析法，可以了解材料具有的化學官能基、與螢光藥物(如:阿黴素)。共軛焦螢光顯微鏡分析則可論證奈米粒子主要經由胞飲作用進入細胞，並累積於胞飲體中。利用免疫螢光染色法則進一步的指出，此設計具有可控制釋放阿黴素等功能，並進一步誘導細胞凋亡效應。結合了以上光譜分析法與生物分析法，我們可以豐富此課程的教學現場，利用這些基礎的發光奈米材料為分析模型，經由課堂上儀器原理介紹結合儀器組裝、材料合成、鑑定與生物分析等議題來活化教學，以達到即學即用目的。

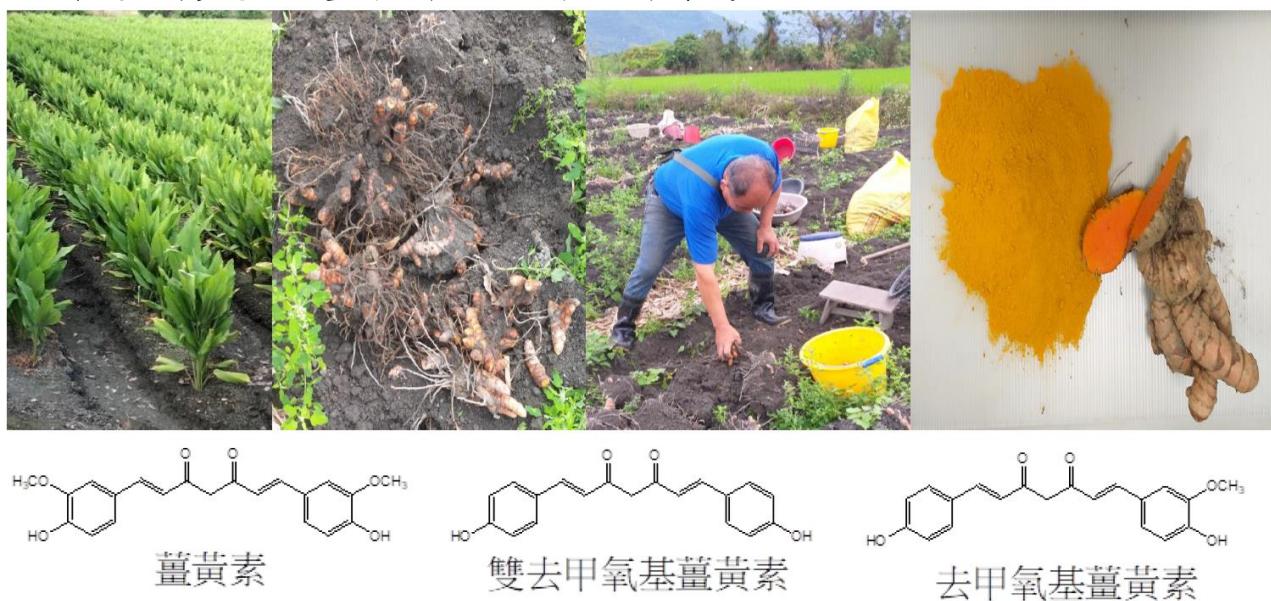
#### 4. 教學設計與規劃 Teaching Planning

本教學設計與規劃將由招募研究參與學生並簽署同意文件，以光譜分析學概論作為開場，介紹基礎物理與化學光譜分析原理，並配合 JoVE-Education 影片觀看，強化學生對儀器分析有更深入的理解。學生可以先由影片中的講解與相關的研究演示影片，對整個儀器的原理、構造與相關的分析方法有初步的了解，對未來進一步的實作課程的進行，可以更加的加深學習成效（圖四）。



圖四、生物技術之儀器分析方法課程的教學設計與規劃。

在課程中利用分組研究，並結合在地農民種植的薑黃題材進行相關研究與分析。在田間採收的薑黃經由切片、乾燥後並打成細粉，學生利用酒精萃取與薄層和管柱層析法來分離三種異構物，並以高效能液相層析來定量薑黃素與兩種類薑黃素的含量(圖五)。利用螢光照相系統的各元件的組裝，加強學生對光源、濾光鏡與檢測器等光學元件的認識。利用紫外-可見分光光度計與螢光光譜儀量測，可獲得待測物質的吸收強度測試，並找到螢光物質的最佳激發與放射光波長，進一步選擇與訂作濾光片種類來進行螢光樣品的拍照，此學習過程讓學生對激發與發射光濾光片種類有更深入的認識。課程中，我們將介紹顯微影像技術的種類，利用光學顯微鏡進行細胞形態的觀察，而奈米級解析度的電子與原子力顯微鏡，適用於更小的奈米粒子與細菌的拍照測試，我們也利用這些顯微鏡技術來進行珊瑚骨針的鑑種。另外，在不同儀器對化學與生物樣品的製備，與前處理過程步驟，亦在此課程中進行詳細介紹。學員學習以螢光照相系統進行拍照並奠定其光學基礎。利用選擇不同發射光波段的螢光樣品，學生藉由測量吸收光譜、螢光光譜並挑選適當濾光片進行相關螢光拍照測試，學習分別以吸收光法與螢光光譜法來製做檢量線，以決定薑黃素的濃度。期中，利用近紅外光 ICG 造影劑系統具備有低能量與高穿透性，其非常適合進行生物樣品長時間拍照觀察，並研究體內奈米粒子之生物分佈，解決組織自發螢光等干擾問題，這些結果也在我們課程中進行介紹，使學生了解分子影像技術在波長選擇的重要性。我們進一步介紹螢光顯微鏡與流式細胞儀的操作與濾光選擇方法，最後進行多色拍照疊圖，來論證此部分的教學成效。



圖五、結合在地農民種植的薑黃題材進行相關萃取、分離與分析定量研究。

課程中，學員依主題內容做相關文獻資料查找、分工研讀、組員討論並訂定研究設計與方法來進行實地研究探討。在實際研究上則包含了樣品萃取、定性與定量分析實驗，充分展現出小組分工合作的團結精神。學員在除了利用 HPLC 分析法決定花蓮種植薑黃中指標成分(薑黃素)的含量，並以 DPPH 分光光譜法和電子自旋共振光譜(ESR)法來分析抗氧化能力。利用電子顯微鏡法，學習觀察奈米粒子的形態學。利用螢光照相系統、螢光顯微鏡法進行樣品細胞拍照與螢光呈色，進一步以流式細胞儀進行細胞標的薑黃素螢光物分析，學員經由討論與上機測試決定出最佳的分析條件。課程中，我們邀請海生館宋秉鈞研究員前來共同參與指導，探討海洋天然物的萃取與分析方法。

## 5. 研究設計與執行方法 Research Methodology



在這個課程中，我們進行幾項創新教學設計，利用組裝螢光照相系統作為出發，並進行螢光與冷光的拍照，使學生深入了解各種光學元件的作用原理。由於光學照相系統具備有價格合理、高通量篩選、無輻射、容易操作與螢光、冷光雙拍照功能等優勢，其很適合作為學習光譜分析教材工具。學生可以藉由各種光學元件與濾光片組合的摸索，並經由各種螢光樣品拍照，深入了解濾光片的濾光作用模式。另一方面，課程中結合了分組研究，引導學生利用當地的研究議題，以儀器分析方法來找到最佳的答案。我們藉由此創新課程設計，強化學生基礎背景知識，增加師生互動機會與改善教學品質。此教學實踐計劃內容包含有：課堂原理講授、儀器組裝、上機分析與分組研究等部份，我們分別規劃了幾項重要的項目，其詳細研究設計與執行方法茲分述如下：

**儀器組成與原理介紹：**這個部份主要介紹儀器基本系統如：液流系統(利用流體將生物待測物依序送至測量區進行檢測)、光學系統(利用光源、透鏡、濾光鏡與反射鏡等進行待測樣品激發並收集其散色光與螢光進行檢測)與電子系統(檢測器偵測到的光子訊號轉換放大為電訊號等)。另外，我們也對儀器訊號放大原理如線性放大器與對數放大器作基本介紹。在完成儀器基礎組成元件介紹後，我們將對個別儀器的分析原理、分析方法與圖譜解釋作更細部的講解。

**螢光照相系統組裝：**利用簡單的螢光照相系統拼裝與拍照，學生學習裝載激光濾光片(置於光源前)與放射光濾光片(置於 CCD 檢測器前)，利用在傳統吸收光譜儀與螢光光譜儀測得的個別樣品光學圖譜，學員可構想如何設定其相對應的照相系統濾光片組，並探討各種濾光片的優缺點：如收光效率高與收光範圍專一度等與濾光片選擇是否對不同種類螢光會有螢光圖譜重疊等問題。

**上機分析與未知樣品檢測：**在未知樣品上機實測，我們將選擇幾項市面上常見的幾種非類固醇鎮痛解熱藥(如:Acetaminophen)與薑黃萃取物來進行成份分離與有效成份濃度定量分析，學生學習如何最佳化分離條件，並利用檢量線來決定未知物濃度。在吸收光譜與紅外光譜上機課程上，學生學習這些分子的電子吸收圖譜與分析其相對應震動官能基團。在電子顯微鏡上機分析上，學生須學習樣品固定前處理與乾燥等前處理步驟，進一步藉由金屬濺鍍以增加其樣品導電度。在螢光顯微鏡與流式細胞儀訓練中，學員學習單染螢光與雙染螢光進行細胞分析，完成在雙染螢光拍照下的光學校正補償工作。

**課程評量方法：**此部份則包含每個課程主題內容的課前與課後測驗、學生學習問卷調查表、相關實驗報告、學生出席率統計表與教師教學評量等部分。

## 6. 教學暨研究成果 Teaching and Research Outcomes

### (1) 教學過程與成果

本教學實踐執行主要以分組研究來進行，每組人數約六人共有九組，每一組則分別選出一位組長且每一實驗長桌分前後兩排，每組坐成一排，可以方便實驗藥品共享，亦可以跟其他組別有互動與作相關討論。課前主要由授課老師就實驗細節進行相關解說，老師亦可協助學生講解各種儀器設備的構造與相關使用方法(圖六)。



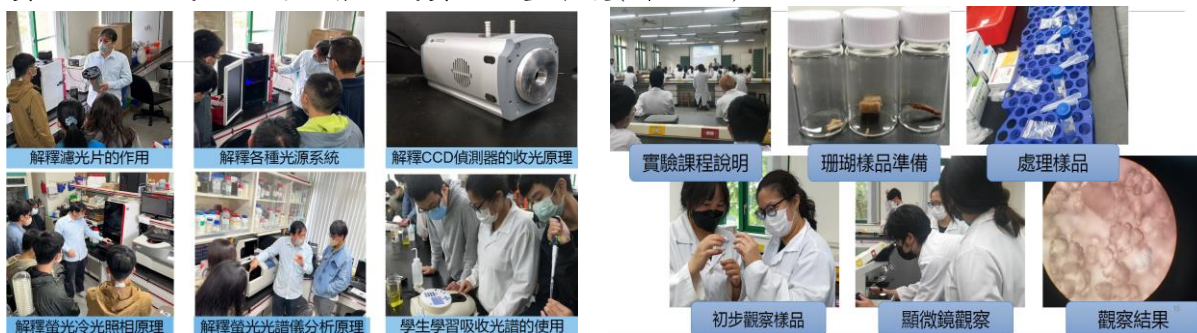
圖六、課程中分組研究活動的進行場景，課程中主要由授課老師來進行相關講解與協助。

學生藉由結合花蓮在地的農特產-薑黃，將其經由有機溶劑萃取出來後，由薄層層析法初步來分離萃取液的色素成分，並學習找出最佳的分離條件。學生進一步以高效液相層析(HPLC)來更加精細的分離薑黃萃取液的主要成分。如此循序漸進學習，使學生能更加瞭解儀器操作，並結合在地農產品的開發，來達到學用合一目的。由於薑黃萃取液包含有薑黃素與其它的類薑黃素，學生初步以分光光度計來定量出薑黃萃取液中的薑黃色素含量，學習製作檢量線與內、外標準法來定量薑黃色素的含量(圖七)。



圖七、結合在地農民種植的薑黃，來進行相關課程分析的主題活動。

在螢光照相系統的組裝課程中，學生可以了解螢光照相系統組裝所需零組件包含了：(1)暗箱：系統暗箱具備有電腦軟體控制之五孔濾鏡轉盤，內部則安裝有白光、藍光(460 nm)、綠光(535 nm)、紅光(635 nm)、短 NIR (660 nm)與長 NIR (775 nm)的 LED 燈激發光源；(2)濾光片：設計有 525BP20、605BP40、705BP40、715BP30 與 837BP46；(3) CCD：具有冷卻功能與光圈調整功能等。在螢光樣品的拍照選擇上，我們以不同波段之激發光染劑作為代表如：Cy2、Cy3、Cy5、Cy5.5、薑黃素與 ICG 等，學生首先將利用光譜儀測量這些染劑的光學吸收性質，並學會如何以外標準法來進行定量工作。利用螢光光譜儀量測最佳激發與發射光位點，以照相系統選擇適當光源與濾光片進行拍照，討論不同帶寬或使用長通濾光片，在不同螢光混合物成相上是否會造成螢光重疊干擾(圖八-左)。



圖八、(左圖)螢光照相系統組裝介紹與螢光樣品拍照，(右圖)珊瑚骨針的鑑種。

課程中邀請來自屏東海生館-宋秉鈞 研究員，為學生們講述有關海洋生物、海洋天然物開發及屏東墾丁特有的珊瑚養殖及復育，讓學生一方面能更加認識及辨別各種珊瑚的方法，利用各種顯微鏡設備可用於海洋珊瑚骨針的鑑種(圖八-右)。

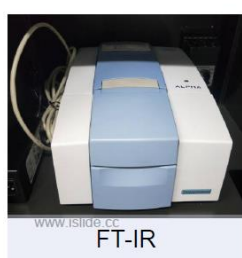


圖九、各種分析課程主題包含有吸收光譜、螢光光譜、紅外光譜與高效能液相層析法等。



在高效能液相層析的學習過程中，我們以薑黃酒精萃取液，利用薄層層析與高效能液相層析術，進行樣品異構物分離。以甲醇-氯仿為流動相並在矽膠板上初步可以分離出三種極性不同的異構物，極性最小的為 Curcumin(最不水溶)，其次為 Demethoxycurcumin，而最大極性則為 Bis-dimethoxycurcumin。組員學習如何最佳化層析分離條件，包含管柱選擇、動相比例調整與梯度層析法。利用紫外可見光檢測器進行薑黃素含量定量，學習以標準品去作出相關檢量線(圖九)。由於薑黃本身是一種香料、色素和防腐劑，它也是一種營養化合物，據報導薑黃素對癌症、發炎與退化性等多種疾病皆具有治療效用，在印度已使用了數百年。在抗氧化上，薑黃素可以有效提供氫原子給 DPPH 自由基，進一步形成安定的自由基加成物，以達成其抗氧化作用。DPPH 由於具有奇數電子，在 517 nm 處顯示出很強的吸收帶，其溶液呈現深紫色，而 DPPH 進一步與可提供氫原子的抗氧化物混合後，形成還原形式 DPPH-H 吸收並隨著電子配對而消失顏色。在分光光度計學習的課程中，學員可以藉由測量 517 nm 吸收變化來定量抗氧化活性。另外，在電子自旋共振光譜儀的主題活動中，我們研究了分離的薑黃異構物對自由基清除的能力。此部份除了讓學生了解電子自旋共振光譜儀(ESR)的儀器原理，與其用來分析具未成對電子的自由基樣品。學員將利用 ESR 儀器來觀察超精細分裂效應的產生，並了解鄰近核自旋量子數對其分裂峰分裂的影響。最後，我們以芬頓反應誘導產生氫氧與超氧自由基，利用抗氧化物與自旋捕捉試劑的引入，以分析自由基的清除能力(圖十)。

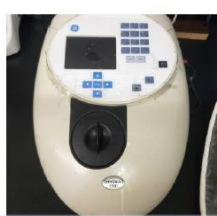
	測驗名稱
第一次測驗	薑黃素紅外光譜分析技術(FT-IR)
第二次測驗	薑黃萃取實驗 薄層層析(TLC)-高效能液相層析(HPLC)
第三次測驗	分光光度計-標準曲線法
第四次測驗	感應耦合電漿質譜儀(ICP-MS)
第五次測驗	螢光光譜、電子順磁共振儀 (ESR/EPR)



FT-IR



HPLC



分光光度計



ICP MS

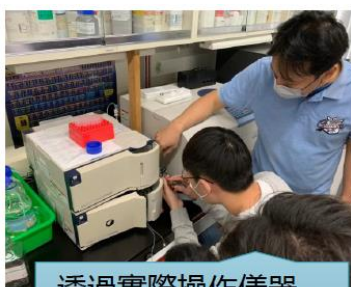


ESR

圖十、課程中進行相關主題的前後測驗，用來評估此教學策略的成效。

在課堂講授上，我亦鼓勵學生要有發問與發言的勇氣，凡事有任何的疑惑與課程建議都樂意同學提出進行課程內容改善與進度調整。另外，我們也利用前、後測驗的方式與學習問卷調查表來做為教學回饋的改善。此課程將以引導式教學來帶領學生如何學習偵探精神，啟發逆向思考思維，發現問題並解開問題的關鍵點，培養學生自我學習研究動機，並具備獨立思考與問題解決等能力(圖十一)。





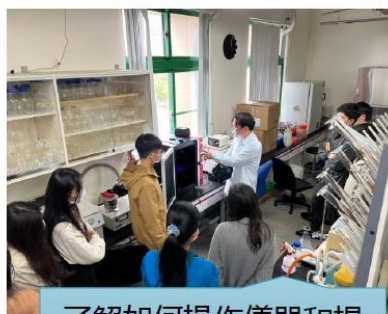
透過實際操作儀器，  
促進了對儀器的應用



增加對科學的批判性  
思考



吸引學生的好奇心，  
並增強信心



了解如何操作儀器和提  
升解決問題的能力。



利用表單及時得知學生常錯  
問題，使師生交流更順暢

圖十一、強化學生學習動機與自我學習的能力，在教師帶領下來進行相關教學實踐活動，並利用學習表單來得到相關學習問卷回饋。

## (2) 教師教學反思

誠摯的感謝教育部在計畫經費的支持，得以推動此教學實踐課程的進行。在此，我們已結合了校內相關儀器資源的整合，提供給學員充實的主題與學習環境，課程內容具備了多樣與實用性，範圍包含了：基礎物理化學、藥物鑑定、食品分析、生醫光電學、分子影像學與相關生化分析和醫學檢驗技術等。利用分析樣品的上機測試，除了進行基本的定性分析外，學員也學習以內標準法、外標準法與標準添加法來進行未知濃度定量，以更嚴謹的上機檢視方式，以確保學生對於課程單元確實已經了解。儘管設計此課程訓練操作顯得繁雜艱辛，結合這些特色課程安排，確實已擴展學生相關分析知識與技能的精進。學生在接受完這些相關訓練，具備更多元化的升學與就業競爭力，經由引入在地題材的分析議題，學生以分組進行了實作探索，並藉由書籍閱讀、文獻導讀與網路查找相關文獻，學生已進行最佳化研究步驟與方法探索。由課程中，我學到了對學生的耐心和理解是非常重要的。每個學生都有自己的學習風格和進步的步伐，有些人可能需要更多的指導和解釋，而有些人可能更加獨立。在助教方面，他們學會了適應不同的學生個性與需求，課程中協助教師確保每個學生都能夠得到相當的協助和鼓勵。在實驗課程開始之前，必須事先準備好必要的材料和儀器，並確保實驗室的人員安全和學生秩序。在實驗過程中，需要更清晰地解釋每個步驟和實驗原理，並且追蹤與回報學生的狀況，利用組織和溝通能力，有助於學生們更容易理解和應用所學的知識。最後，雖然課程人數將近 60 人有點吃力，然而好的動線規劃也讓學習活動可以順利完成，並且看學生們提高對求知的動力與研究的投入，老師與助教們也感到非常的開心！

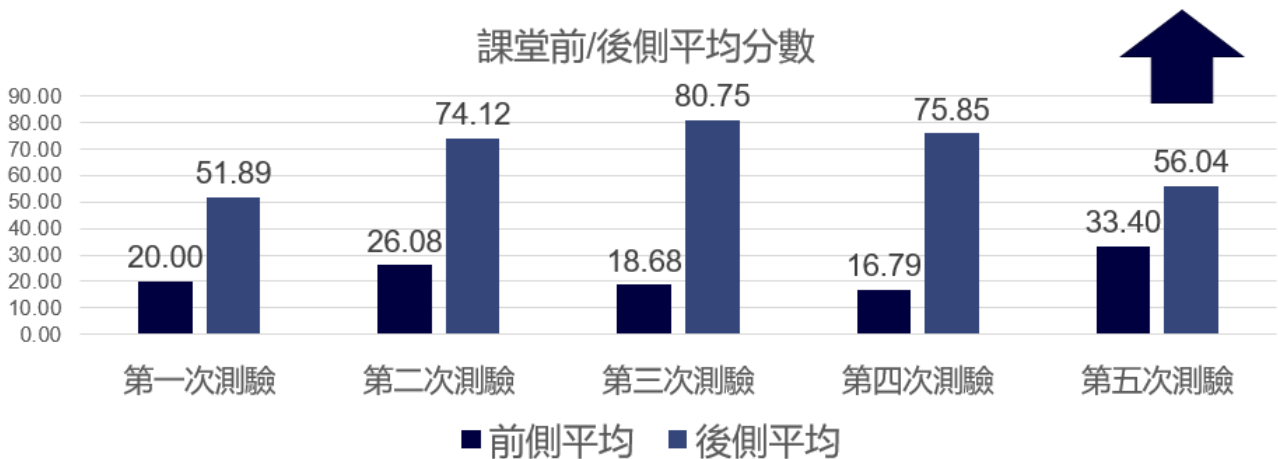
## (3) 學生學習回饋

課堂前/後測採 Google 表單，問題內容主要是以選擇題與問答題為主，表單可以立即統計出學生常錯的題目，更能掌握學生在哪方面知識需要充足，進而在課堂中進行加強，解決學生基礎觀念疑惑，加深學習的印象，並提升整體學習成效(圖十二)。



圖十二、課程評量方式採用課堂前/後測驗，並以 Google 表單來統計成績分布。

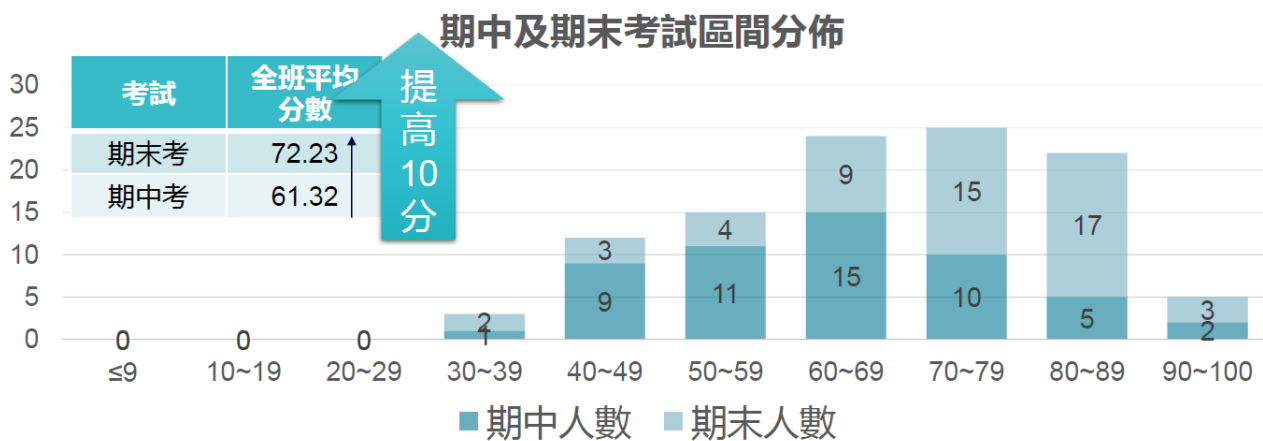
同學們過去雖然曾經修過基礎的相關課程與實驗，但在前測分數表現上可以發現學生對相關儀器分析的背景知識還是嚴重地缺乏。在每個單元的前測成績表現上顯得極為不理想，可能原因為學生過往沒有機會可以實地的去拆解儀器，來了解每個元件的構造與功能。因此，學生對於整體儀器分析的基礎原理與相關進階應用了解程度較低，但經由本次的課程設計與改善後，學生可以更深了解儀器的整體知識與技能，並且在後測成績結果已有顯著的提升(圖十三)。



圖十三、利用此創新教學法在課堂前-後測全班平均分數表現皆有顯著的提升。

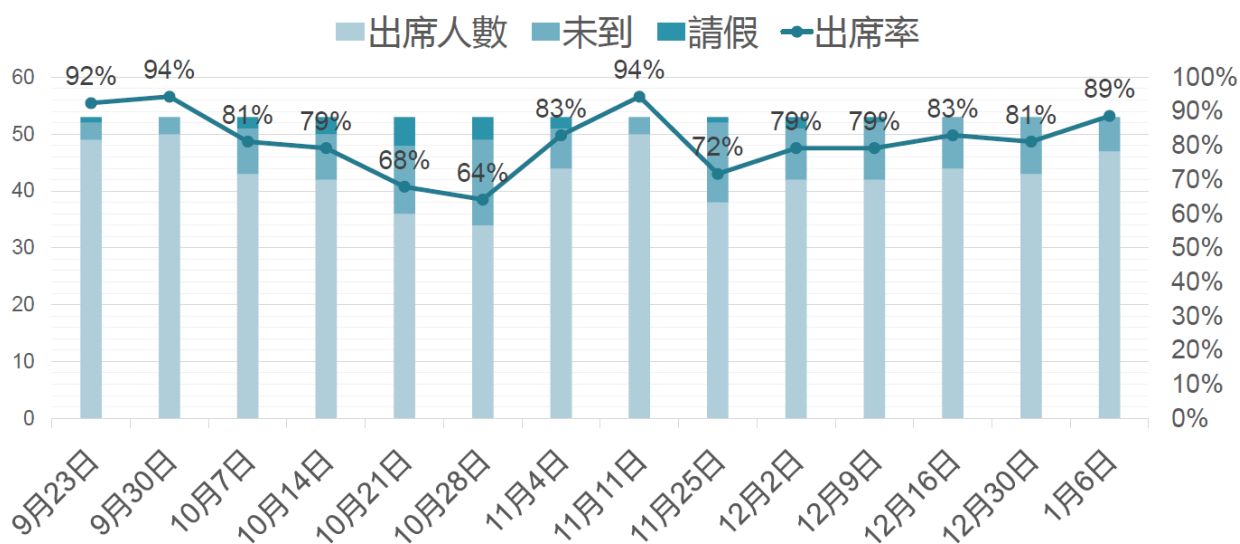
在課程中的期中考試同學分數分布平均落在 60~79 分，我們在後續也持續給予學生學習上的輔導與加強改善方案，除了助教協助學生解決課堂上的疑問以外，授課老師也藉由學生給予的學習回饋意見調查表來進行課程進度快慢的調整，讓每個學生有機會藉由儀器實地摸索與操作，來更深入對儀器的分析原理與應用有更深入的了解。經由整個課程的學習，我們也觀察到學生確實在成績上有實質的進步，在期末考的整體成績表現亦有明顯的上升，分數多分布在 70~89 分，全班平均分數已上升了 10 分之多(圖十四)。





圖十四、修課學生的期中及期末考試成績區間分佈圖。

我們也統計了在本課程中學生出席率的狀況，在這個圖表中顯示出學生對此課程的參與度極高，大多數時候皆可以維持在八到九成的出席率。由此，我們可以推論出經由課程的實作儀器分析策略，確實是可以吸引學生提高學習的意願，課程中也增加了師生互動的機會，學生可以藉由與老師互相討論與學習並與同儕間的互相教學，確實已有效提升學生對專業課程的學習興趣(圖十五)。



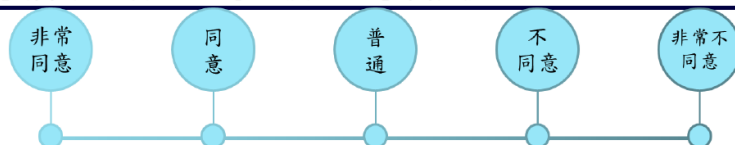
圖十五、在本課程中學生的出席統計紀錄圖。

在整個上課的過程中，我們也針對了每個主題設計了相關的實作活動，並給予學生相關的教學回饋問卷調查。從這個教學回饋問卷調查中，我們可以了解學生在課堂上對基礎原理的介紹與實地操作上的學習狀況進行進一步的改善，確認學生在上完這個主題後是否確實有學習到相關的知識與技能。另外，我們也可以了解這樣的教學方式對學生的學習負擔與相關上課時間控管是否恰當，我們也經由不斷的調整上課節奏與進行方式來活絡整個教學現場，使學生可以在一個他喜歡且願意學習的情境下來提升整體學習的效能(表一)。

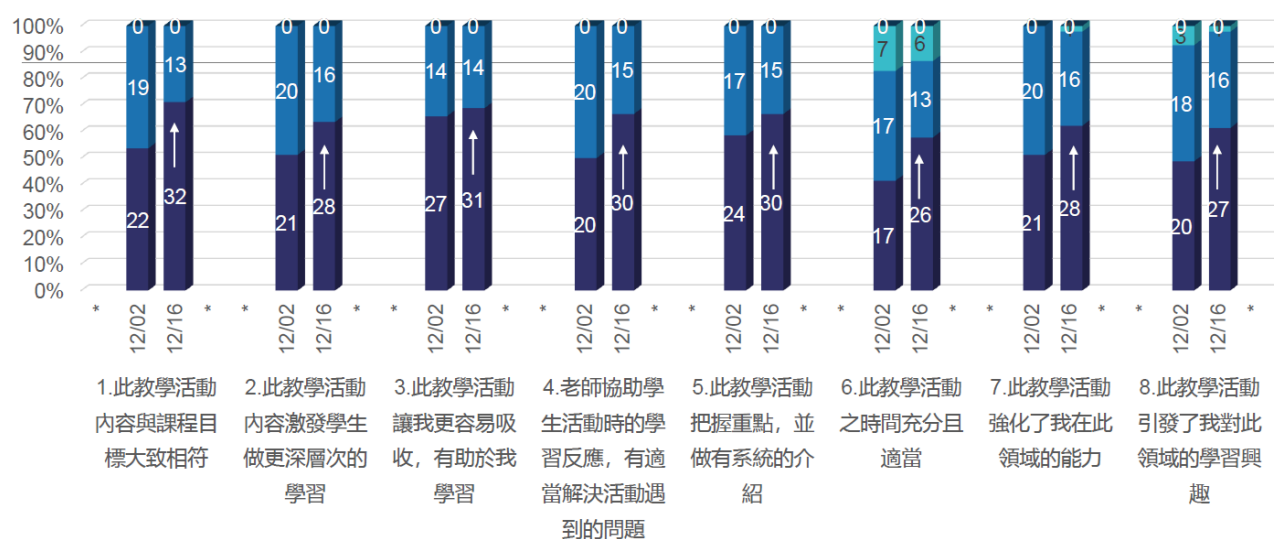
表一、在實作課程學習回饋問卷調查表常設問題。

## 課堂回饋單常設問題

1. 此教學活動內容與課程目標大致相符
2. 此教學活動內容激發學生做更深層次的學習
3. 此教學活動讓我更容易吸收，有助於我學習
4. 老師協助學生活動時的學習反應，有適當解決活動遇到的問題
5. 此教學活動把握重點，並做有系統的介紹
6. 此教學活動之時間充分且適當
7. 此教學活動強化了我在此領域的能力
8. 此教學活動引發了我對此領域的學習興趣



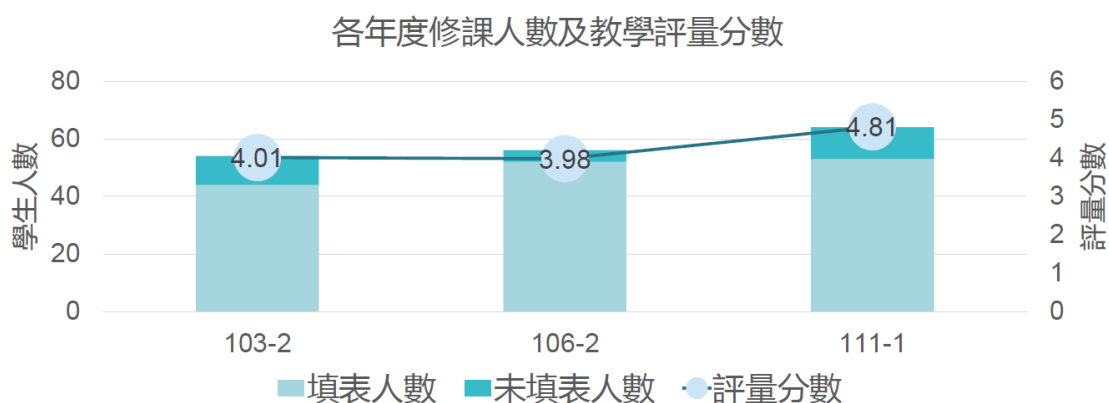
以下為兩次的課程活動意見調查表結果，這個統計顯示出與第一次實作課相比，這 8 項問題在第二次實作課時，學生滿意度(非常同意與同意部分)的每項問題都有顯著的提升，這顯示出課程的調整與改善狀態有逐漸符合學生需求，以目前所得到的教學經驗中在未來開課的經驗上也將愈變愈美好(圖十六)。



圖十六、在實作課程的學習回饋意見調查表統計。

我們也比較了本課程在本次與之前開課的修課人數和教學評量分數關係，本次的開課除了修課人數有所增加外，評量分數也比 106 學年度的 3.98 分上升至 4.81 分(滿分 5 分)，整體提高了將近 0.83 分。這個結果也證明了利用這種授課方法，我們確實有效提升學生的學習成效，也因此學生無論在成績表現上、學習態度上與授課滿意度上確實有實質的提升(圖十七)。





圖十七、本課程年度修課人數以及此課程在本校教學評量分數統計表。

## 7. 建議與省思 Recommendations and Reflections

本次課程結合螢光照相系統的組裝與螢光攝影，學生更可以深入了解各種光譜儀器的基本組成與運作原理。利用各種儀器的上機操作之教學策略，確實有效改善學生學習成效，無論是前後測驗的成績與學生學習意見調查皆顯示出有顯著的成長。由於本次修課學生熱絡，研究所學長姐助教人數略顯不足，未來在規劃實作學習上，除了與校方反應必須限修人數外，我們也可以利用委員建議的方式，訓練修課學生作為小組長或助教，來協助教學實作活動的進行。另外，上機操作由於儀器只有一部，學生分組進行時較容易造成塞機，且上機操作時間需較長，下課時間常受到耽擱，未來進行課程設計需要更有效控管時間。

## 二. 參考文獻 References

1. Near-infrared Mesoporous Silica Nanoparticles for Optical Imaging: Characterization and In Vivo Biodistribution *Adv. Funct. Mater.* **2009**, *19*, 215.
2. Endocytosis and intracellular transport of nanoparticles: Present knowledge and need for future studies *Nano Today*, **2011**, *6*, 176.
3. Well-Ordered Mesoporous Silica Nanoparticles as Cell Markers *Chem. Mater.* **2005**, *17*, 4570.
4. Antimicrobial and anticancer applications and related mechanisms of curcumin-mediated photodynamic treatments *Trends in food science & technology*, **2020**, *97*, 341.