

立體植栽於魚菜共生系統之組裝

學生姓名：林子富、曾翊愷

指導教授：陳志堅博士、鄭國明博士

國立屏東科技大學

生物機電工程系

摘要

本實驗以水耕養殖，光源為 LED 植物生長燈、FML 與陽光混用 24 小時連續光照。實驗蔬菜為青梗白菜 (*Brassica chinensis*)、萵苣 (*Lactuca sativa*) 與空心菜 (*Ipomoea aquatica*)；魚種為鯽魚 (*Carassius auratus*) 與吳郭魚 (*Oreochromis niloticus*)，並使用兩種不同的水耕法。利用植物過濾養殖污水，再將處理過後的水循環回水族箱中，使水質能達到魚類的最佳生長環境。該系統由一個水族箱和水耕植床結合成循環式水耕系統。使用不同的連續光照(LED 及 FML 燈) 分析對植物生長的影響。利用沉水馬達將養殖污水從水族箱抽送至水耕植床，使植床內的植物順利生長。

關鍵字：魚菜共生、水耕養殖、水缸養殖。

一、引言

魚菜共生 (aquaponic) 是一門結合了水產養殖 (aquaculture)、水耕栽培 (hydroponic) 及兩者微生物培養的新型複合式養殖系統，魚菜共生的產出量不僅能與兩者的分別獨立系統媲美，實驗顯示魚菜共生產量比獨立系統更豐碩。其次，魚菜共生能彌補兩者的缺點，傳統水產養殖大多採用流水式，將養殖廢料 (含有大量氮、磷廢物的糞便) 直接排出池外，通常造成河川汙染及傳播疾病。在兩者結合的魚菜共生中，收集的懸浮固體可製作堆肥或養殖蚯蚓，在植床裡溶於水中的氮、磷，可被轉換成植物容易吸收的硝

酸鹽，乾淨的水再回到養殖池，整個系統只需補充蒸發的水量，不僅利用廢料達到產出附加產品的效果，更能免除水耕栽培所需調配養液的困擾。

1.1 魚菜共生原理

魚菜共生是一種模仿自然界的無汙染養殖模式，系統中含有三個部分，分別是水生動物、種植作物及微生物的養殖。水生動物：利用富含養分的魚廢水取代水耕所需的營養液，供給植物生長所需，大約有 70% 的魚類廢棄物為水溶性，來自於魚類透過鰓做氣體交換所排出的氮態廢棄物，而非水溶性的固態氮廢物，則需人工清理，或是依靠生物法去除；種植作物：魚菜共生中的種植作物，並沒有特定種，僅需就溫度方面考量；微生物的養殖：當水中氮態廢棄物濃度過高，可能導致水族生物死亡，所以需要硝化細菌轉化水中氮，硝化菌是一種好氧菌，必須在有氧氣的水中或多空隙的材質生長，是氮循環中淨化水質的重要關鍵。

1.2 實驗動機

世界人口數不斷成長，使得糧食的需求增加，人們對永續地球的觀念更為注重。隨著環保及身體保健的意識抬頭，人們對於植物化肥及畜養所產生的汙染更為關切。土地資源、水資源的不足，農、水產業生產面臨著生態與資源危機，養殖水需藉由大量換水來維持水質，加速水資源耗竭，排出的廢水因富含營養鹽對河川及海洋造成汙染，農耕也因大量化肥導致地力退化，永續生產成為農業的主要問題。而魚菜共生結合了養液栽培技術與水產養殖，是一種讓生物自

己平衡的環保生產模式，比起個別水產養殖與農業耕作更省資源。

本次實驗目標是做出居家型魚菜共生系統，免除一般水耕在種植植物時昂貴的儀器以及化學試劑，並利用潮汐灌溉原理及自製機構種植，目標是避免使用化肥。

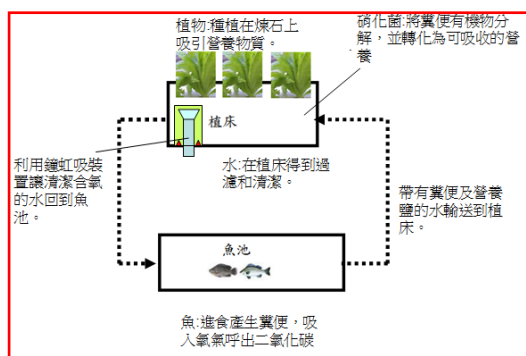


圖 1. 魚菜共生的原理作用過程

1.3 文獻探討

2004 年，Lennard[1]研究魚菜共生，利用硝化菌降低水中氨毒素，實驗中，控制硝化菌生存參數，使硝化作用產生至整個系統平衡需三~四個星期，當硝化作用使水中 pH 值發生改變時，以加入 KOH、CaOH 的方式調節。2011 年，Wicoff 等人[2]以礫石床、浮筏式、NFT（Nutrient Film Technique）等方法架設魚菜共生系統，實驗後，發現 1 公斤魚加上 20 株萵苣為最佳配比，過程中水中的營養鹽較原先減少 80%，而在不同水耕方法中連續水流式礫石植床種的萵苣產能比間歇灌溉系統高出 20%，礫石植床與浮筏式較 NFT 高出 15-20%的效率。實驗證明，NFT 在複合養殖系統中，不論在植物栽培或可溶性廢棄物去除效率來說都是比較沒有效率的。2009 年，Mullen 等人[3]研究營養循環生態與環境的基本概念，探討營養素個體如何（例如，氮氣）循環通過複雜的自然生態系統。為了解決這個問題，以魚菜共生系統為實驗方法，經模擬後。在各種不同的狀況下發現魚、植物的配比，會隨著時間而改變。2012 年，Rakocy[4]研究中，水產養殖及魚菜共生數據比較，魚菜共生中魚群的 FCR（每增重一個單位體重所需的飼料重量）與 NO_3 去除

率都較水產養殖優秀。2004 年，Rakocy[5]中使用 UVI Aquaponic System 種植甜羅勒與黃秋葵，收成量是傳統土耕方式的 3 倍與 18 倍，實驗中從未大量換水僅每隔 3 周添加螯合鐵 3ppm，供應植物生長所需。

二、實驗裝置與方法

2.1 實驗設備

本實驗中魚菜共生系統架構中，主要分四大部分，植栽系統、供水裝置、光源裝置和生態系統，如圖 2 所示：

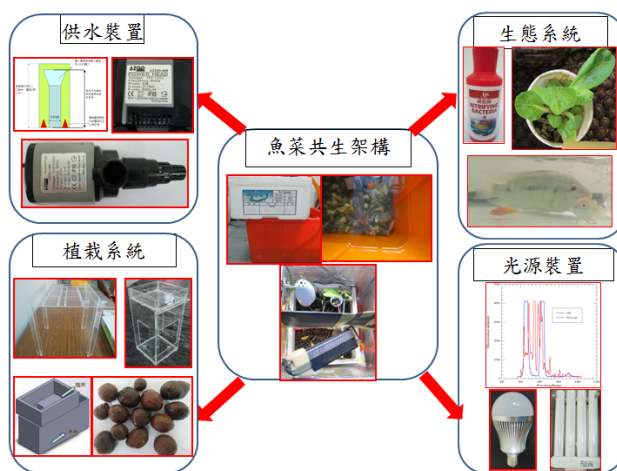


圖 2. 魚菜共生架構圖

2.1.1 植栽系統

植栽系統中含有兩種植床，分別是一號植床與二號植床。一號植床如圖 3 所示，利用潮汐灌溉系統（Ebb-and-flow system）[6]的原理製成，主要由保麗龍箱植床、鐘虹吸裝置及魚缸構成。

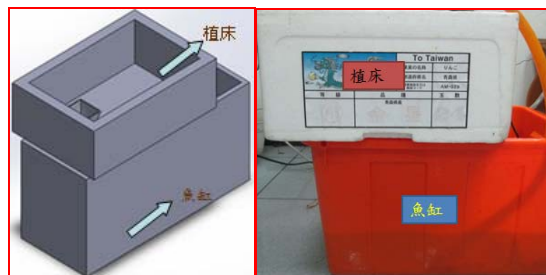


圖 3. 一號植床 Solidworks 設計圖及實體圖

植床二號如圖 4 所示，主要目的為收集魚菜共生中無法分解的廢物、栽種植物及方便清理。植床二號

配水機構如圖 5 所示，使用材料為壓克力，長、寬和高皆為 45cm，給予下方植床輸水的同時，能阻擋留在系統中不溶於水的固形廢料（植物的根系等）。

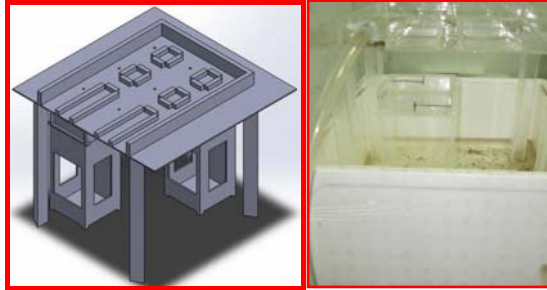


圖 4.植床二號 Solidworks 設計圖及實體圖



圖 5.植床二號配水機構 Solidworks 設計圖及實體圖

圖 6 為二號種植機構的下半部，使用材料為壓克力，長 10cm、寬 10cm、高 35cm，加入少量煉石即可種植，底部 5 個洞能由上而下供水流出。圖 7 為二號種植機構上部，使用壓克力為材料，長、寬和高皆為 10cm，以生化棉播種植物供其生長。

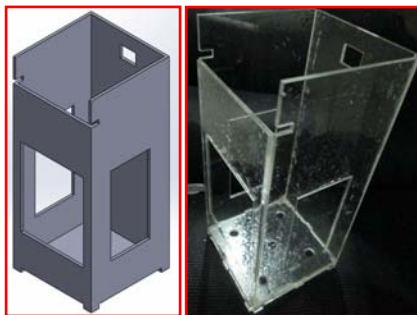


圖 6.植床二號種植機構（下部）Solidworks 設計圖及實體圖

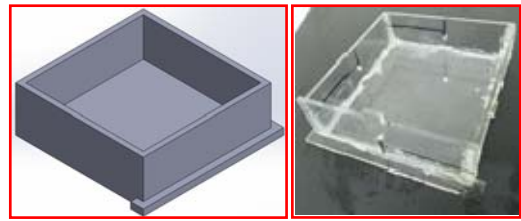


圖 7. 植床二號種植機構（上部） Solidworks 設計圖及實體圖

植物固定於固體介質上[7]，供給養液予植物吸收，魚菜共生中，固體介質本身的多孔隙特性與硝化菌的繁殖特性符合。實驗中使用煉石、珊瑚石及生化棉三種無機固體介質，並加入少量碳化稻。發泡煉石如圖 8，一種特殊的粘土和水後，在 1100℃ 高溫下燒製而成，呈紅褐色的顆粒，表面具有無數獨立的氣孔，可吸附多量的水份而內部仍保有空氣，質地硬而輕，適用於固體介質耕。珊瑚石如圖 9 所示，不僅擁有與煉石相同的效果還會在水中溶出鈣離子，補充系統中缺少的元素。生化棉如圖 10，常用於水族內過濾以及供微生物繁殖。



圖 8.發泡煉石



圖 9. 珊瑚石



圖 10.生化棉

2.1.2 供水裝置

SP602 沉水馬達如圖 11 所示，流量 1200L/hr、揚程 1.3m、供應電壓 100-120V、耗電 11W、尺寸 8cm×4.5cm×3cm，主要供水至一號植床。沉水馬達 SP600 如圖 12 所示，流量 600L/hr、揚程 0.75m、電壓 100-120V、耗電 6W、尺寸 3cm×2.2cm×2cm，主要供水至二號植床。使用尺寸長 1.2m、直徑 1.5cm 的塑膠管供應水份。



圖 11.沉水馬達 SP602



圖 12. 沉水馬達 SP600

鐘型潮汐開關作用原理：由於水進入水箱，水在水箱和潮汐開關內以同樣的速度上升（潮汐開關內的底部是連通的）。虹吸管是通到外部的。水會持續上升到內部的開口端。一旦水位上升到內部的開口端，直接變成溢流排水（同時會將鐘型上端部分空氣帶出，因為空氣在管內流動，也是噪音最大的時候）。

由於水繼續排出，只要進水量大於出水量，必然將內鐘所有空氣排出，這時為大流量排水，快速將桶內所有水排出（一旦開始大量排水，也是聲音最小的時候）。水持續流出，直到水位低到讓潮汐開關吸入空氣，潮汐開關將回歸起始位置。鐘形潮汐開關如圖 13 所示，主要利用水流將空氣帶出密閉的空間內，產生真空而大量排水，當排水大於進水時床內水位會快速下降。

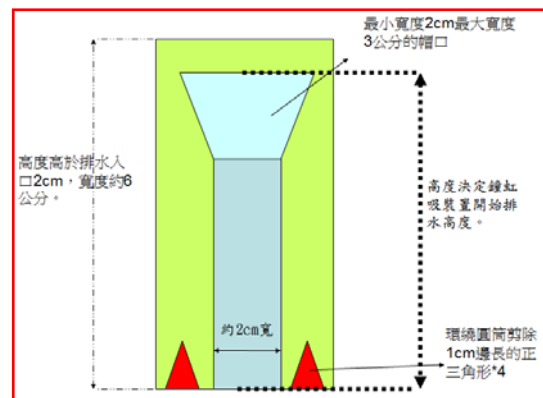


圖 13、鐘型潮汐開關

2.1.3 光源系統

光源射出的光子能量因波長而不同，例如波長 400nm（藍光）的能量為 700nm（紅光）能量的 1.75 倍[8]。但是對於光合作用而言，兩者波長的作用結果則是相同，藍色光譜中多餘不能作為光合作用的能量則轉變為熱量。換言之，植物光合作用速率是由 400~700nm 中植物所能吸收的光子數目決定，而與各光譜所送出的光子數目並不相關。本研究使用 USB2000 微型光纖光譜儀檢測光源光譜，可檢測範圍 200-1100nm，研究中使用植物生長燈如圖 14 所示，以 8 藍 4 紅 LED 配比，肉眼觀察，光顏色趨近紫色。FML 燈管光源如圖 15 所示，消耗功率 27W、顏色 5500K 白光。FML 燈管與植物生長燈光譜如圖 16 所示，FML 燈管涵蓋全光譜，照明效果近於太陽光源。植物生長燈光譜在 400nm~500nm 及 600nm~700nm 間強度最強，對植物的分化、光合作用與光周期效應有顯著影響。

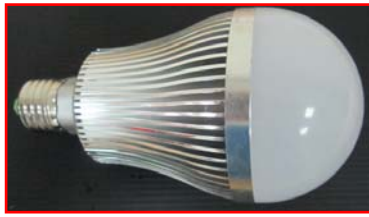


圖 14. LED 植物生長燈



圖 15. FML 燈管

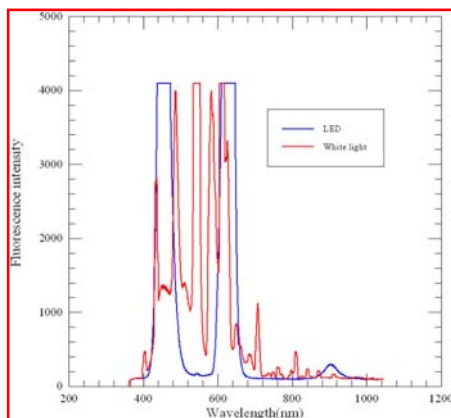
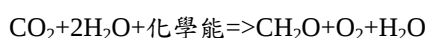


圖 16. LED 植物生長燈與 FML 燈管光譜

2.1.4 生態系統

硝化菌是一種古老細菌，它能利用環境中的天然能量（化學能）作為生存能源[9]，還能將無積碳轉為有機碳用來結構生活細胞，因此能在完全無機的環境中生長及繁衍。硝化菌是利用化學能合成生物物質的自營性細菌，其體內並不合光合色素，故不會行光合作用，但它的化學能合成作用與植物光合作用類似，兩者都能將二氧化碳和水合成醣類，唯一不同的僅在兩者利用的能源不同，其合成化學式為：



硝化作用在魚菜共生中扮演重要的角色，水族生態中並不含有硝化菌屬的食物以及附著物，在研究

中使用硝化菌需採用多孔煉石供其附著繁殖，繁殖硝化菌需在水中丟入含氮物質並使水循環數周，或加入粉狀、液態硝化菌，在硝化作用的同時，需注意水中酸鹼度，硝化菌適合生長在中、弱性的水質中。硝化作用僅是轉換水中高毒性氮，並不具備去除藻類及去除有害細菌的功能，通常建立硝化作用後，水族箱中氮及亞硝酸鹽濃度應下降，硝酸鹽濃度應上升。

硝化作用主要由兩種菌屬建立，（1）亞硝酸菌屬（Nitrosomonas），功用是將水中氮消除（經氧化作用），並生成亞硝酸屬的細菌類，其所為生的食物來源是氮，和氮氧化後生成亞硝酸鹽類。（2）硝酸菌屬（Nitrobacter），將亞硝酸分子（ NO_2 ）再轉化為硝酸分子（ NO_3 ），其主要來源是亞硝酸（其他有機物也有可能），和氧化合後產生硝酸鹽。硝化作用主要分三階段：初期（氮的累積）、中期（亞硝酸鹽的累積）、後期（硝酸鹽的累積）。罐裝硝化菌如圖 17 所示，內含 100ml 液體，主要成份為去離子水與硝化菌種。



圖 17.硝化菌

在種子選用時主要看種子在保存過程中，是否有黴變、發爛、蟲蛀、顏色變暗等情況，當打開種子包有一股酸微味，代表種子已變質，發芽率較偏低，本研究中選用三種生長期較短的植物[10]，萵苣種子如圖 18 所示，（發芽約 3~5 天，收成天數 30-45 天）、青梗白菜種子如圖 19 所示，（發芽約 2~3 天，收成天數 25~30 天）、空心菜種子如圖 20 所示（發芽約 2~3 天，收成天數約 50 天）。



圖 18.萬苳種子



圖 19.青梗白菜種子



圖 20 空心菜種子

2.2 實驗方法

本研究利用魚菜共生原理，探討不同光源和種植方式對植物生長的影響，如圖 21 所示。實驗開始前先養殖硝化菌、育苗、架設植床、光源及調配對照組的養液，完成後，苗與魚放入系統中，測量系統中植物高度與對照組植物的高度做比較測量植物的原則是從植物的地上部測量至葉冠部。系統中 LED 植物生長燈的擺放位置是在保麗龍箱的左邊使用夾式燈座夾在紙板上，光源到植物的距離為 16.5 公分；

FML 日光燈的擺放位置是在保麗龍箱的右邊，光源到植物的距離為 21.5 公分。

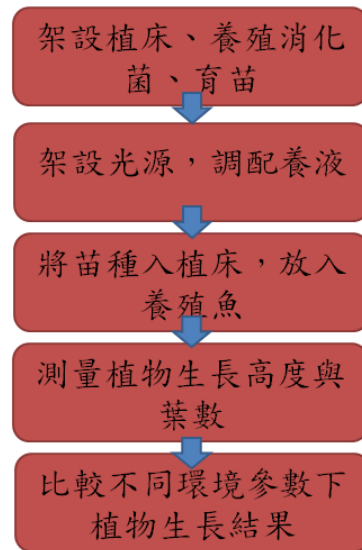


圖 21 實驗方法流程

2.2.1 水循環流程

魚共共生中水循環如圖 22，從魚缸中抽出進入植床的水經過煉石過濾固體廢料及植物吸收硝酸鹽後 [11]，水中有害的物質將減少，再藉由潮汐開關將水排回魚缸，水中硝化菌將魚排放的氮態廢棄物轉化為硝酸鹽，沉水馬達再將水抽回植床形成循環。

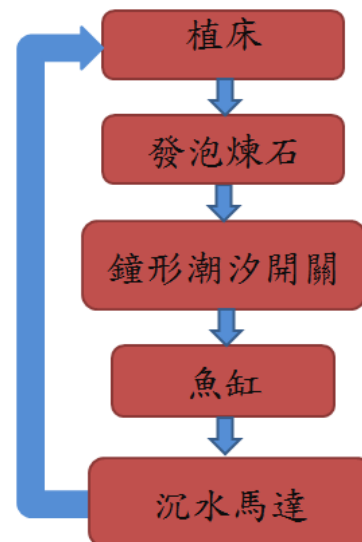


圖 22 水循環流程圖

2.2.2 魚產養殖及 pH 值管理

每日以含量 32%蛋白質的魚飼料及孔雀魚飼料混合餵養，每周使用 pH 試紙測量水中酸鹼值以確定適合魚群生長，水中 pH 值以加水方式調節，[12]吳郭魚生長環境需保持 pH6-8.5，溶氧量不得低於 3ppm，若水中缺氧魚產可能發生浮頭現象，此時需注意供氧量的補充。

2.2.3 魚菜共生實驗

使用水族缸與保麗龍箱，飼養吳郭魚以及鯽魚，實驗前需先建立硝化系統，添入約 30 公升的水，並加入已成功建立硝化系統魚缸的水（或是使用含硝化菌的多孔隙濾材），幫助系統建立時，需丟入含氮物質 10 公克，使用抽水馬達運轉兩星期後，放入 2~3 條魚進入，並栽入 4~5 株植物幫助系統平衡，第三周再放入 4~5 條魚確認系統是否建立成功，完成系統建立後，放上保麗龍箱加工後的植床，加入煉石及珊瑚石作為固定介質，放入育苗完成的空心菜、萵苣及青梗白菜，以黑色隔板隔絕兩種不同光源，於保麗龍箱兩側分別種植，觀察植物生長變化並與養液實驗中的植物比較。

2.2.4 養液實驗

使用花寶二號[13](如圖 23 所示)1 克與水 1000ml 調配水耕養液（稀釋 1000 倍），將溶液倒入容器中，加入固體介質以支撐植物，植入空心菜、萵苣及青梗白菜觀察生長變化，並與魚菜共生中的植物做比較，花寶二號成分比例氮、磷、鉀三要素含量分別為 20:20:20，提供植物自育苗、成長、至開花結果全期所需要營養屬於通用型液肥。



圖 23.花寶 2 號

三、結果與討論

3.1 第一次魚菜共生中種植試驗

本次試驗使用 FML 燈管供光，24 小時連續照射小白菜，實驗期一個月，測試水中養分供給植物生長是否足夠以及系統中存有的問題。測試結果如圖 24 所示，生長高度在 30 天內達到 9.7cm，之後舊葉枯萎導致測得生長高度下降，觀察植物生長過程如圖 25 所示，植物生長緩慢、觀察其外觀葉尖及葉脈黃白化、莖桿瘦弱、推測缺少生長元素為鈣、鉀、氮、鐵 [14]。

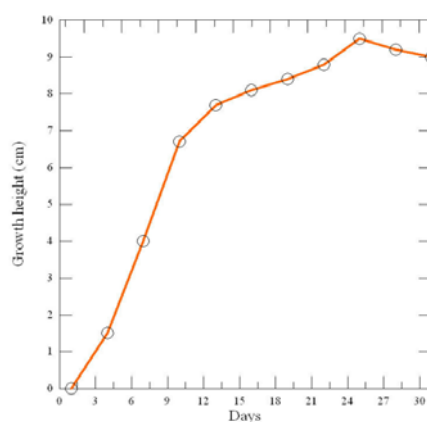


圖 24.30 天內小白菜生長折線圖



圖 25.小白菜種植試驗生長情形

3.2 第二次魚菜共生中種植試驗

本次試驗使用 LED 植物生長燈供應光源，24 小時連續照射青梗白菜，主要測試生長燈在魚菜共生中供給植物生長的效果，以及對系統造成的影響。測試結果如圖 26 所示，生長高度在 30 天後達到 15cm，

觀察植物外觀，如圖 27 所示，僅有些微缺鉀會出現的老葉黃化現象。

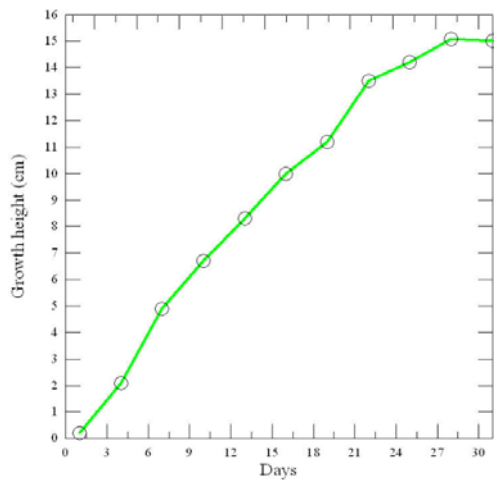


圖 26. 30 天內青梗白菜生長折線圖



圖 27. 青梗白菜種植試驗生長情形

3.3 魚菜共生與水耕養液的栽種結果

將青梗白菜、萵苣與空心菜育苗後種植於水耕植床內，並同時種植相同種類蔬菜於一般水耕養液中，為期二週，每週測量芽長和葉數，並記錄植物生長變化。在觀察植物生長的高度後我們可以從圖 28 及圖 29 中了解到，無論是空心菜、萵苣或青梗白菜魚菜共生系統中的植物生長速度都比養液栽培的植物生長更快。根據行政院農業委員會的資料，空心菜最高可以到 35 公分，萵苣最高可以到 100 公分，而青梗白菜最高可以到 15 公分。從圖上會發現，不管用 FML 照或是植物生長燈照，都沒有達到最高的高度。在植物生長燈這裏，只有空心菜和青梗白菜稍微接近最高

高度的一半而已，而萵苣連一半高度都還達不到，可見萵苣在本實驗是生長較差的。

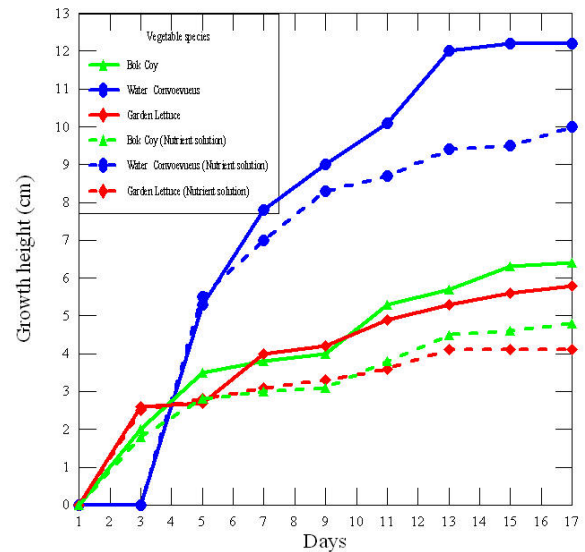


圖 28. 魚菜共生與水耕養液生長折線圖 (FML 光源)

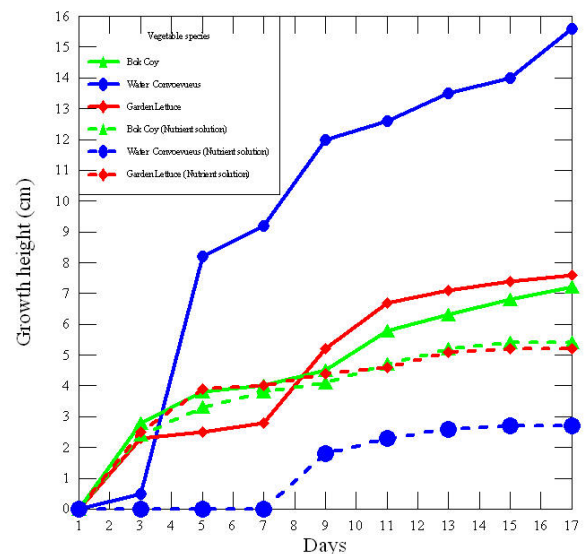


圖 29. 魚菜共生與水耕養液生長比較 (植物生長燈光源)

3.4 自製植床內的種植結果

將青梗白菜、萵苣與空心菜育苗後種植於潮汐灌溉系統 (Ebb-and-flow system) 與自製植床內，為期二週，每週測量芽長和葉數，並記錄植物生長變化。及測量二週後苗與根的生長情況與根長。從實驗數據中可看出空心菜的發芽時間較萵苣及青梗白菜長。

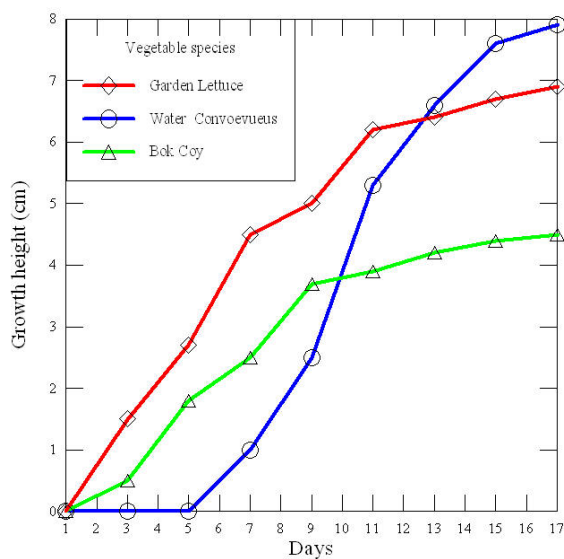


圖 30.自製植床內的種植結果

3.5 不同光源在魚菜共生的種植結果

與3.3同時進行實驗，光源使用FLM燈管與LED植物生長燈，為期二週，每週測量芽長和葉數，並記錄植物生長變化。實驗中同種植物在LED植物生長燈的照射下明顯勝於FML燈，生長最好的是由LED生長燈照射下的空心菜，最差的是FML燈照射的萵苣僅達到5.3cm。

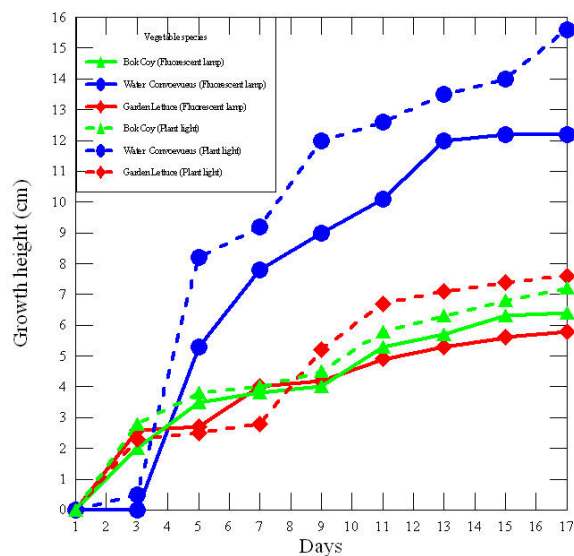


圖 31.自製植床內的種植結果

四、結論

本研究不添加農藥、魚藥、化肥以實驗魚菜共生系統，實驗中控制光源及營養源，觀察植物生長變化，在第一次試種時，硝化作用效果不佳且水中氮源不夠，植物沒有足夠的硝酸鹽可吸收，導致生長緩慢，第二次試種使用LED植物生長燈並在水中添入珊瑚石，本次硝化作用在水中轉化出的硝酸鹽量已足夠植物生長，但水中營養元素缺乏的情形依然存在，植物持續出現老葉黃化的結果。我們從各項實驗結果中得知在魚菜共生中植物長的比水耕養液來的快速，但在魚菜共生中的元素缺乏的現象需要找到與珊瑚石相同，會在水中解離出微量元素的自然產物，就營養成分來看水耕養液各個元素含量較魚菜共生齊全，但與魚菜共生放在同樣的環境下成長，養液容易受到汙染，養液內會產生黴菌的不利於植物生長的因素，所以導致養液內的植物生長較魚菜共生中的差距如此大。實驗中LED植物生長燈的效果較FML光源優，但是LED植物生長燈會令藻類大量繁殖，導致水中氮源被大量吸收導致系統平衡破壞，且在使用LED植物生長燈的實驗中蟲害隨之而來植物莖葉上充滿了蟲卵同時感染褐斑病，葉片產生黃褐色小斑點病葉漸漸枯黃。

五、致謝

本次的研究非常感謝廖士銓學長提攜，還有熱流實驗室的學長們的建言與指導。感謝苗志銘老師實驗室學長提供設備以及張仲良老師實驗室學長們的幫忙。更重要的是，由衷感謝指導教授陳志堅老師的啟發與教導，並為我們提供了良好的研究環境，讓我們學到了知識，掌握了研究的方法，也獲得了實踐鍛鍊的機會，因此讓我們在本次研究中受益良多，謹致謝忱。

六、參考文獻

- [1] Lennard, W. A. 2004. Aquaponics research at RMIT university, Melbourne Australia. Aquaponics Journal, 35, p18-24.

- [2] Wicoff, E. 2011. Development of a simplified commercial-scale aquaponic facility for implementation in northern Uganda, Doctoral dissertation, Kansas State University.
- [3] Hillyer, C. D. (2007). Is aquaponics the future? INFORM-CHAMPAIGN-, 83-85. headquartered in St. Louis, Missouri, USA
- [4] Tidwell, J. (Ed.). 2012. Aquaculture production systems. John Wiley & Sons, USA, pp.343-380
- [5] Rakocy, J. E., Bailey, D. S., Shultz, R. C., & Thoman, E. S. 2004. "Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system." ,Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Tilapia, USA, pp 12-16) .
- [6] 楊明樺，2011，東港生技試驗所水試專訊第 33 期，第 36-38 頁 水產試驗所東港生技研究中心
- [7] 高德錚，1986，水耕栽培-精緻蔬菜生產技術開發，台中區農推專訊，行政院農業委員會台中區農業改良場 56 期。
- [8] 陳加忠，2011，光線光譜與植物光合作用的關係，中興大學生物系統工程研究室。
- [9] 柯清水，2002，硝化細菌與水產養殖，養魚世界雜誌社，台北。
- [10] 蔡尚光，2004，水耕栽培的經營，三刷，淑馨出版社，台北。
- [11] Steven Carruthers ,2011,Aquaponics Simplified, RMIT, Australia.
- [12] Dick Mills 著，錢小玲翻譯，2003 年 7 月，養魚完全指南，貓頭鷹出版社，台北市，第 154-162 頁。
- [13] 高德錚，水耕營養液調配與管理，台中區農業改良場。
- [14] 張庚鵬、李艷琪，植物重要防檢疫病害診斷鑑定技術研習會專刊。

Integration of three-dimensional planting in Aquaponics

Tzufu Lin, Yi Kai Zeng

Department of Biomechatronics Engineering
National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

In this experiment, hydroponic farming, The light source is LED Grow Light, FML Light 24 hours of continuous illumination. Experiment vegetables is Brassica chinensis, Lactuca sativa, and Ipomoea aquatica; Species of fish, Carassius auratus and Oreochromis niloticus, two different hydroponics be used. Use of plant breeding sewage filtration. Then back to the aquarium water cycle after the treatment. So that water can reach the best fish habitat. The system consists of an aquarium and hydroponic planting beds combined into circulating hydroponic system. Using different continuous light (LED lights and FML) analyze the impact on plant growth. The use of pump aquaculture effluent pumped from the aquarium to hydroponic planting beds, making Plants growth best in the beds.

LED 幼教學習發展板的開發

學生姓名：李冠毅、黃健祐、黃宗彥

指導教授：陳志堅博士、鄭國明博士

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

本研究係利用點矩陣 LED、配合 8051 系列單晶片及 74LS138、74LS574、2803、7805 等 IC 配合 Keil μ Vision 2 軟體撰寫程式，利用點矩陣鍵盤輸入，達到操縱點矩陣 LED 的顯示目的。此應用在成人與小孩互動學習之功能教具。LED 幼教學習識字板主要針對 2~4 歲孩童，透過互動式教學的方式，幫助他們學習認識中英文字，讓親子之間的互動更加頻繁。

我們希望使用市面上所販賣之點矩陣 LED 與其他 IC 做結合使其能夠正常顯示；因應目前環保議題逐漸被大眾所重視，以點矩陣 LED 來取代傳統的紙卡，減少資源的浪費，並且達到永續經營的理念；探討如何使用單晶片 IC 並且配合程式語言來達成操控點矩陣 LED 的方法。

關鍵字：點矩陣 LED、89S51 單晶片、幼教教具學習識字板、互動式教學

一、緒論

隨著科技的快速發展、醫療保健體制的完善、以及生活壓力的增加，使得人口老齡化、少子化的問題日趨嚴重，又因不婚不孕主義盛行，生育率下降，小孩們都是每個家長的掌上明珠，所以大多數的父母都非常重視孩子的教育問題。教育是從孩子一出生就開始，許多的專家學者認為，孩子的人格基礎以及智力的發展及培養，皆是在兒童六歲

以前奠定，因此學齡前的教育與孩子一生的學習及人格的發展都有著密不可分的關係，有鑒於此，希望製作一個能在幼童學習成長的路上，與他們互動學習的輔助工具。

現在市面上有許多具有識字功能的產品，如識字紙卡、學習機，甚至連現在幾乎人手一台的平板電腦、手機，都能做到如此的功能。為了因應環保意識的抬頭，LED 幼教學習識字板和傳統識字紙卡的不同，在於能夠減少紙張的使用，並且達到永續經營的理念，還能滿足客製化的需求，擴充內部的資料量，讓孩童學習更多樣。不少父母將科技產品視為幼兒的玩伴，忽略了與小孩互動，參與他們人生重要階段的機會，而且過度的使用這些電子產品占據了太多的時間，甚至會逐漸變成低頭族，無法應對人際關係。與螢幕相處的時間愈長，取而代之的是肥胖率上升、視力不好、專注力下降的問題，所以有些家長不希望幼童太早接觸，能夠適性發展。

我們希望，LED 幼教學習識字板互動的方式為當孩童對於字卡上的圖案有興趣，或是家長、老師想要讓孩童們了解圖案的中英文意思時，可以藉由按鍵的輸入，在顯示幕上顯示其相對應的中英文字，如此不僅可以學習，還能增進親子間的感情。

^[1]1955 年，LED (Light Emitting Diode) 的理論雛型誕生，而隨著照明科技一路演進，全球各地照明大廠爭相投入 LED 照明的商務領域。對長年使用白熾燈的消費者、乃至摩拳擦掌的科技創投家而言，LED 是一種新技術，大眾期待這項新技術會有

破壞性創新，讓既有大廠不在是大廠、讓新興廠商可以稱霸。^[2]LED的發光原理就是將電能轉換為光的過程，將電流通過化合物半導體，通過電子與電洞的結合，過剩的能量將以光的形式釋出，轉換能量成各色可見光。通過LED的正向電流越大，則LED的發光亮度越高，同時，通過LED電流的穩定性將影響LED的發光穩定性。因此，在實用中應採用可以提供精確穩定電流的LED驅動恆流源。點矩陣LED具有效率高、壽命長、反應速度快、環保節能等傳統光源所不及的優點。

2002 年，伍小芹和康耀紅^[3]借助 4 片 CD4094 來驅動 4 塊 8x8 點矩陣 LED。利用單晶片 AT89C51 驅動 LED 數位管顯示的方法很多，但常用的主要是靜態顯示和動態掃描顯示。對於點矩陣 LED 一般都採用掃描式顯示，實際採用的主要有三種方式：點掃描；行掃描；列掃描。採用行掃描或列掃描時，一次驅動一行或一列時需外加驅動電路提高電流，否則 LED 會亮度不足。本次實驗採用列掃描的方式，配合 2803 擴大電流，驅使元件作動。

楊明豐^[4]提到無論使用行掃描將位元組資料送至列或用列掃描將位元組送至行，都必須要有足夠驅動電流，可使用電晶體或緩衝器放大 MCS-51 的埠腳輸出電流。因為每一個 LED 所需的電流為 10mA~30mA，如果以 20mA 計算，則 8 個 LED 及需要 160mA。所以掃描的驅動電流至少要 160mA 以上，才不會造成各行 LED 亮度不均勻的現象。

為了要完整顯示一個國字，需由 16 行 16 列的點矩陣組成，即為 256 個點矩陣，將國字的字形理解為一幅圖像，也就是把每一個點理解為一個像素。如果能顯示一個國字的 LED 點矩陣，也可以顯示 256 像素的圖片。8x8 點矩陣，總共有 64 個點矩陣，所以若要顯示一個完整的國字，需要四塊 8x8 點矩陣拼起來，變成 16x16 點矩陣。

本研究顯示的原理是將 8051 單晶片的埠腳接在 74LS574 栓鎖電路上，當 2803 端的栓鎖電路輸出端埠腳為高電位，而電晶體的栓鎖電路輸出端埠腳為低電位時，則相對應的 LED 就會發亮。從 2010 年董斌^[5]的期刊中，我們參考他的內容，改良了本

次實驗顯示國字的原理，以“大”為例（以圖 1 所示），P2 將 0xfe 及 0xff 的訊號先栓鎖在 74LS574 中，此為行的訊號，之後 P2 再將 0x00 及 0x08 送入 74LS574 中，此時第一列第 9 顆 LED 亮，之後再延時一段時間，直到 16 列全部送完，再重複從第 0 列迴圈開始，即可達到掃描的效果。

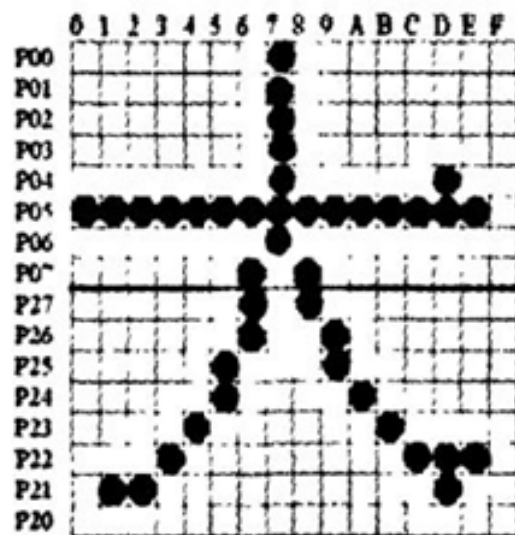


圖1、“大”字造字原理

透過人眼無法辨識的速度掃描，讓眼睛感覺顯示的是一個完整的字，此為人眼的視覺暫留效應。人類視覺暫留的最短時間為 1/24 秒，因此掃描完整個畫面的時間不得大於 1/24 秒，才不會有遺失的感覺，而使畫面產生閃爍的現象。當然如果掃描頻率愈高，愈不會有閃爍的現象，但因掃描頻率太高時，每行所分配到的顯示時間變短，如此將會造成 LED 亮度不足夠的問題。一般而言，選擇 1/48 秒（約 20 毫秒）即可有不錯的顯示結果。

二、實驗裝置與方法

以下介紹本研究所使用之實驗裝置與方法，如圖 2 與圖 3 所示，分別為線路接線圖與實體電路圖，由電源電路、輸入電路、控制電路、顯示電路組合而成。

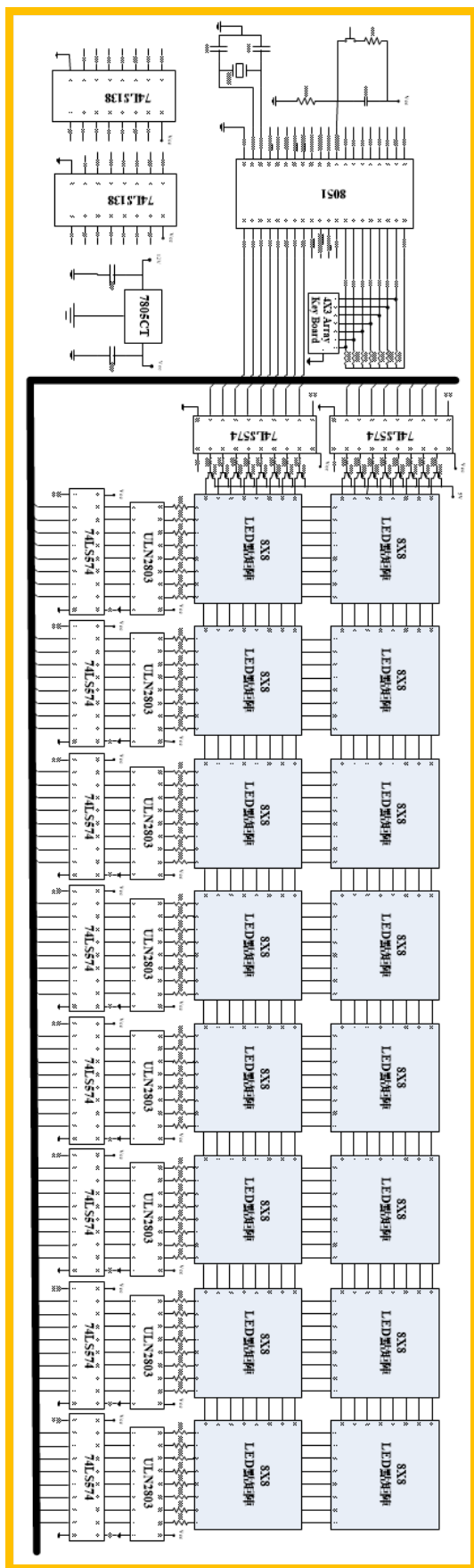


圖 2、線路接線圖

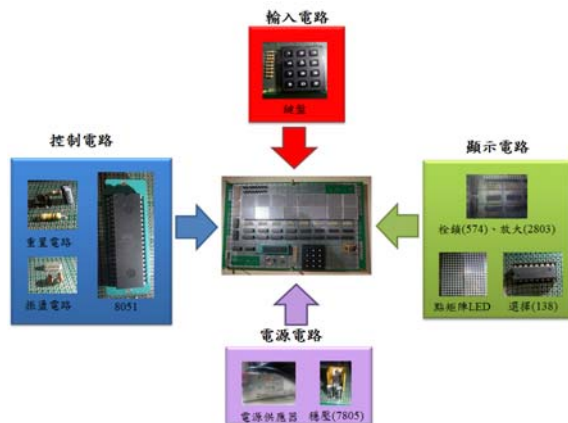


圖 3、實體電路圖

圖 4 為作動流程圖，紫色區塊為電源電路，負責供應系統所需的電流；藍色區塊為控制電路，負責復歸、時間控制以及程式的輸出；紅色區塊為輸入電路，由按壓鍵盤改變輸入內容；綠色區塊為輸出電路，先由 8051 傳資料給 574，再由 138 選擇 574 之輸出，最後再經由 2803 將電流放大，驅動 LED。

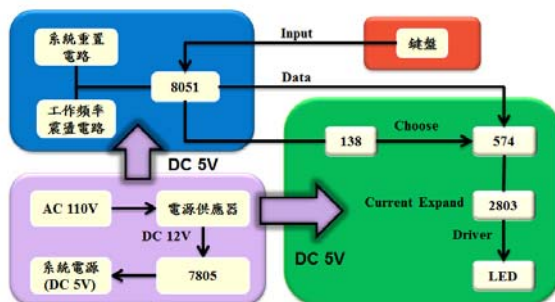


圖 4、作動流程圖

2.1 實驗設備

電源電路為圖 5 所示，接上 AC 110V 的交流電供給電源給電源供應器，再將電源供應器輸出的電壓（DC 12V）經由穩壓 IC7805 穩壓成 5V，提供 V_{CC} 電壓。

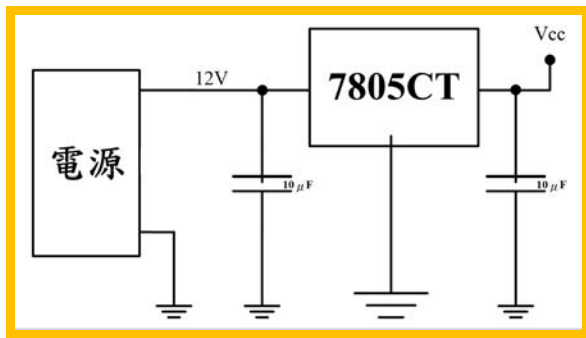


圖 5、電源電路圖

圖 6 為輸入電路圖，使用 4×3 的點矩陣鍵盤（8pin）作為輸入元件。前七支分別接到 8051 的 P0.0、P0.1、P0.2、P0.3、P0.4、P0.5、P0.6，因 P0 均為開汲極（open drain）結構，沒有內部提升電路，為了要輸出 Hi 或 Low 電壓，在接腳接上外部提升電阻器（external pullup），而最後一支腳為接地。未按下時，8051 的 I/O 腳會讀取 High 訊號；當按鈕按下時，8051 的 I/O 腳接地，讀取 Low 訊號。

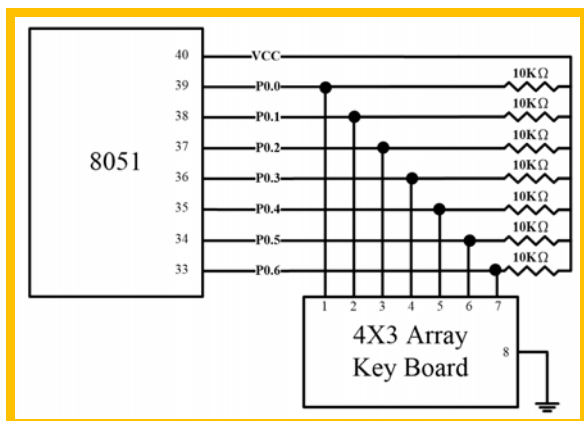


圖 6、輸入電路圖

圖 7 為工作頻率震盪電路圖，在 8051 的第 19 腳和第 18 腳之間須接一個 3.5MHz~12MHz 作為振盪器使用，使用 12MHz 作為振盪元件。

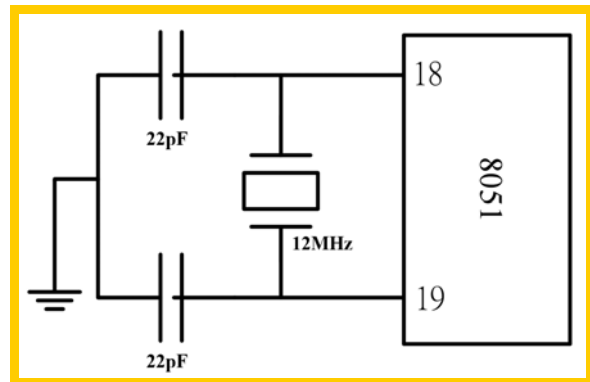


圖 7、工作頻率震盪電路圖

8051 的第九腳為重置輸入腳，此腳內部已有一個 50kΩ~300kΩ 電阻接地，所以只須接一個電容器至 +V_{CC}，即可在電源 ON 時產生開機重置的功能。但是通常會在 RESET 腳用一個 8.2kΩ~10kΩ 電阻接地，以縮減開機重置時間。如圖 8 所示。

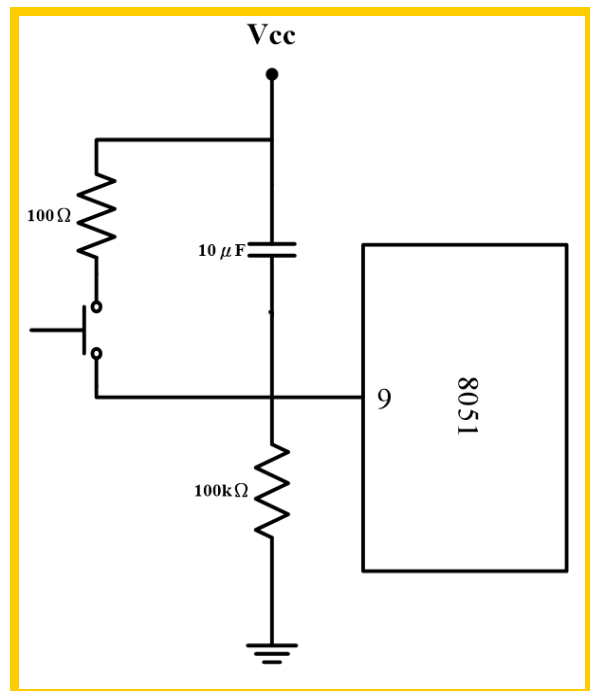


圖 8、系統重置電路圖

圖 9 為資料控制電路圖，將資料栓鎖在 574 內，當 OE 腳接收訊號時，資料會向外傳輸。藉由 138 的輸入端（A、B、C）配合真值表（圖 10），控制 574 的 OE 腳的訊號輸入。

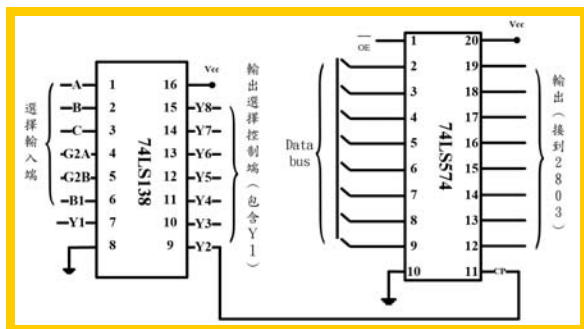


圖 9、資料控制電路圖

Function Tables

DM74LS138

Inputs			Outputs							
Enable		Select								
G1	G2 (Note 1)	C B A	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
X	H	X X X	H	H	H	H	H	H	H	H
L	X	X X X	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L L L	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L L H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L H L	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L H H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	H L L	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	H L H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	H H L	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	H H H	H	H	H	H	H	H	H	H

H = HIGH Level
L = LOW Level
X = Don't Care

Note 1: G2 = G2A + G2B

圖 10、74LS138 真值表

由於原先所供應的電流無法驅動面板上所需的電流量，因此接上 2803 達靈頓元件擴增電流量，解決電流供不應求的狀況，由圖 11 所示。達靈頓放大器為一種直接耦合的放大器，電晶體間沒有加上任何耦合元件而直接串接。此電晶體串接型式最大的作用是提供高電流放大增益。

8×8 點矩陣 LED 為顯示面板的主要核心，可分為共陽極、共陰極兩種形式，我們使用的元件為共陽極型。4 顆 8×8 點矩陣 LED 可構成一個繁體中文字，共使用 4 組 16 顆，可以同時在面板上呈現四個字的繁體中文字，而英文則可以容納 8 字母之單字。

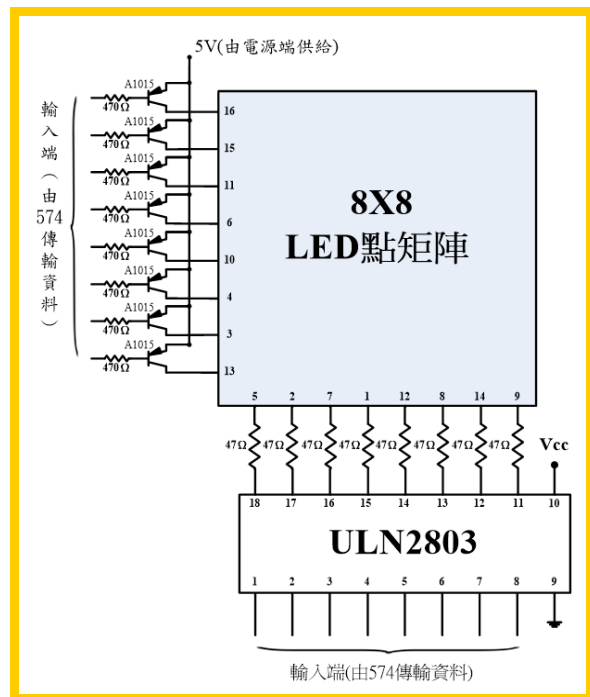


圖 11、電流放大驅動圖

2.2 實驗軟體與流程

2.2.1 實驗軟體

- ATISPPGM 燒錄程式，可以配合燒錄器可以將撰寫完畢的程式燒錄至單晶片中，圖 12 為 ATISPPGM 燒錄程式介面。

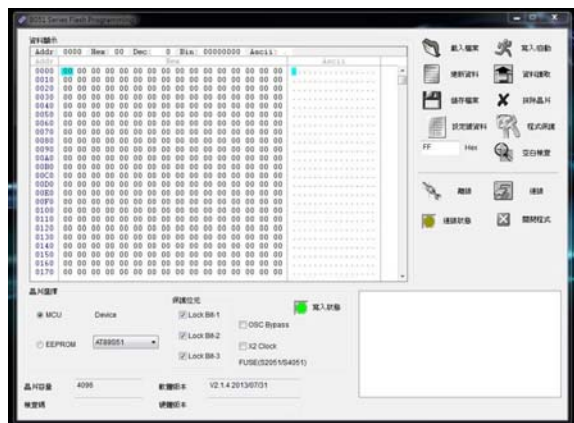


圖 12、燒錄程式介面

- Keil μ Vision 2 是專為 MCS-51 單晶片撰寫控制或應用程式的 C 語言，圖 13 為 Keil μ Vision 2 之介面。

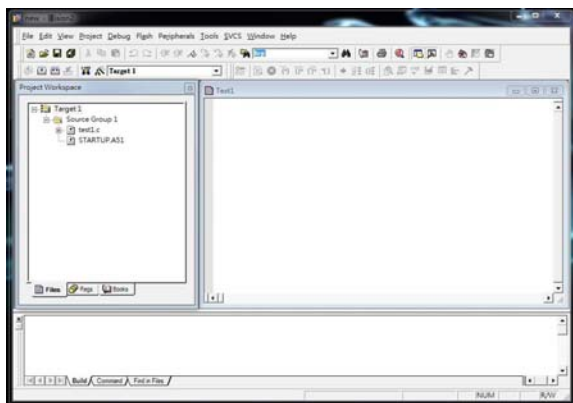


圖 13、Keil µ Vision 2 軟體介面

2.2.2 程式流程圖

- a. 圖 14 為主程式流程圖，程式開始運作後將所有變數歸零，鍵盤被按壓時會得到回傳數值，當鍵盤被按壓三次時，將三次所得到的數值加總，並且傳入掃描顯示副程式驅動 LED 顯示。

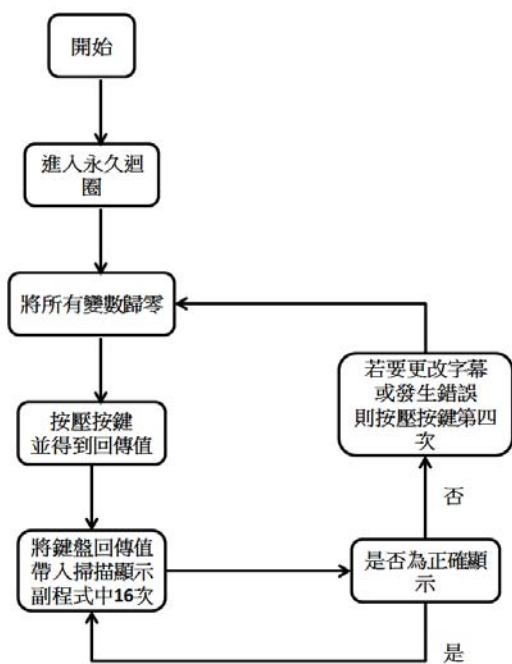


圖 14、主程式流程圖

- b. 圖 15 為副程式流程圖（掃描）將主程式所得到的數值傳入後得到相對應的字型碼後，將字型碼傳入 LED 顯示幕中使其驅動。

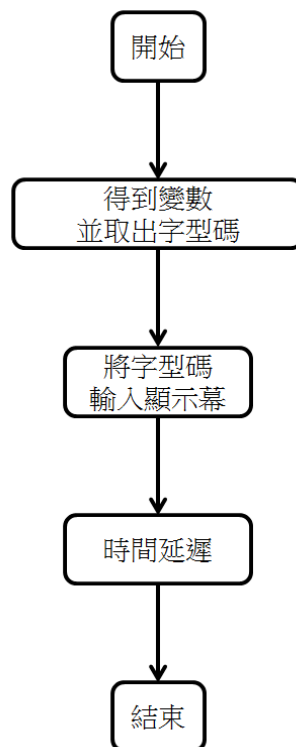


圖 15、副程式流程圖（掃描）

三、結果與討論

3.1 麵包板測試

圖 16 為本研究初期測試使用的電路，當麵包板上能夠正確顯示完整的兩個字後，以此電路為基礎，完成成品。

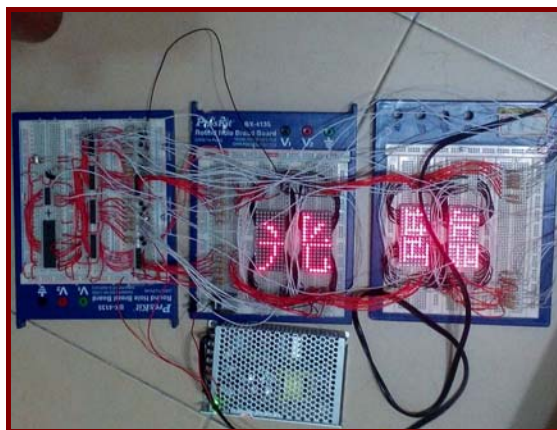


圖 16、麵包板測試硬體接線圖

3.2 探討輸入元件指撥開關與鍵盤的不同

最初嘗試使用的輸入元件為指撥開關，因本研究針對的族群為幼童，指撥開關每個按鍵並無

明顯的區別，幼小孩童使用時會比較困難，若改使用點矩陣鍵盤作為輸入端，鍵盤上每個按鍵都有其對應的數字，孩童較容易辨認。選擇性上，指撥開關的選擇組合有限，只能用八個按鍵去做變化；而點矩陣鍵盤則可以按照寫入的程式、使用者意願、以按鍵及按壓的次數作不同的組合變化。指撥開關操作時，當使用者撥動單一按鍵，有可能會連同其它的按鍵也不小心被撥動，而造成輸入錯誤；相較之下，改使用鍵盤不僅面積較大，而且按鍵間隔分明又有數字輔助，將改善此問題。綜合以上幾點，以及鍵盤能被接受的程度較高、變化多，所以本實驗的輸入元件最後採用的是點矩陣鍵盤。輸入源的比較由表 1 所示。

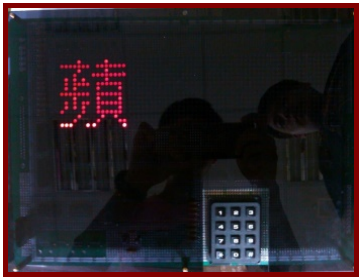
表 1

元件	指撥開關	點矩陣鍵盤
圖片		
選擇性	少 (2^8)	多 (12^n)

3.3 一字與四字的比較

當完成四字同時顯示後，比較只顯示一個字的顯示，結果如表 2 所示。以亮度來說，當顯示一個字時其亮度偏亮，而在顯示四字時亮度則相對較暗。對於這個問題，可能是因為顯示越多字時，Vcc (5V) 能夠供應的電流不足所導致。以穩定度來說，顯示四個字時，字體顯示的穩定性比顯示一個字的時候來的低，極大可能的原因為當顯示字數變多時，同時要掃描 LED 數量變多，以至於程式運算時間拉長，造成字體的閃爍不穩定。

表 2

一字	
四字	

3.4 顯示方式結果

以下將展示當字數超過面板所能負荷之字數時所使用的顯示方式。圖 17 為字體由右向左移時，一次移動單字母(英文) (8 排 LED) 跑馬燈的流程圖；以及將所有字幕一次變換，以達到同時顯示大於四字字幕的方式 (圖 18)。



圖 17、一次移動單字母(英文)跑馬燈示意圖

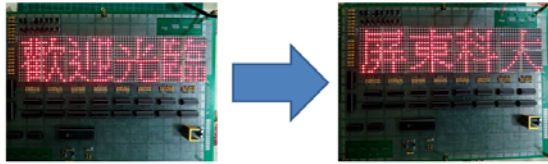


圖 18、一次性變換字幕之示意圖

3.6 配合鍵盤使用顯示中英文字

本研究預設的編號為三碼，當使用者輸入後，第一碼決定顯示語言為中文或是英文，後兩碼決定顯示字幕的內容，最後按下重置按鈕，清除字幕並回到最初始狀態，表 3 為配合鍵盤顯示的學習字卡對照表，此外擴充的容量以外接的記憶體容量多寡決定。

表 3

編號	1. 英文	2. 中文
01		
02		
03		
04		
05		

06		
07		
08		
09		

3.7 有無壓克力板的顯示差異

當完成顯示字幕的功能後，發現顯示字的光源太過分散，以至於其呈現的效果不盡理想，經過測試後發現具有透光性且深色系的壓克力板可以有效的集中光源，使顯示的字體更加清晰，所以本研究最後決定採用該壓克力板加強顯示效果。表 4 為有無壓克力板的比較圖。

表 4

無壓克力板	
有壓克力板	

四、結論

面臨時代的變遷，少子化的現象逐漸鮮明，家長對於兒童的互動與教育更是格外的重視，故本研究以 2-4 歲幼童之教具為目標，希望藉由家長按壓按鍵的方式帶領孩子學習，使孩童們認識中英文字，達到互動學習的效果，進而拉近大人與孩童之間的關係。本研究以能夠使用矩陣式鍵盤為輸入端，並能清楚顯示出四個繁體字的點矩陣數量作為呈現，此外在顯示端上覆蓋一層具有透光性且暗色系壓克力板，以減少 LED 的亮光對眼睛上的負擔。另外在使用穩壓電路將電源 DC12V 穩壓為 DC5V 時，曾經發生過 IC 因為過熱而燒毀的情形，根據實際的測試發現，IC 之所以會過熱的原因，是因為系統所提供的電流過大所致，但此情形並不會使 IC 在瞬間燒掉，而是溫度會慢慢升高，因此我們在穩壓 IC 上加裝散熱片，使其不會因為溫度過高而燒毀。測試中，當電源開通時，會發生即使沒有傳入訊號給 LED，LED 也會自己發亮，對於此問題我們去了解得知，當電路產生迴路並且通過 LED 時，就會產生在沒有輸入訊號也會發亮的狀況，因此我們的解決方法是：在開機時，預先將高電位訊號送入 LED 中形成一個遮罩的作用，使雜訊不會再出現。最後本研究期望未來能以增加聲音的功能為目標，先將錄製好的音檔儲存在外部記憶體內，透過按壓按鍵，呼叫程式將音檔撥放，希望透過聽覺的輔助，增加孩童學習的多樣性，同時也建立起大人與小孩之間的溝通橋樑。

五、誌謝

本次的研究我們要感謝邱顯丞學長以及林宗宏學長們的協助，也很感謝實驗室學長們的建言與指導。感謝蔡沛偉老師在我們需要協助的時候指點迷津。感謝鄭國明老師，總是不厭其煩地予我們解惑，因此讓我們在本次研究中受益良多。最後特別感謝指導教授陳志堅老師的啟發與教導，不僅讓我們學會如何分工完成成品，更掌握了如何去規劃研究的架構方法，我們在其中也獲得了不少的實踐鍛鍊，謹致謝忱。

六、參考文獻

- [1] 陶曉嫻，2012，全球 LED 照明產業現況，工業技術與資訊，第 246 期，第 24-27 頁。
- [2] 路秋生，2009，LED 照明與應用，燈與照明，第 33 卷，第 4 期，第 24-28 頁。
- [3] 伍小芹、康耀紅，2002，利用 CD4094 芯片驅動點矩陣 LED，現代計算機（專業版），第六卷。
- [4] 楊明豐，2003，8051 單晶片設計實務 組合語言版，基峰資訊股份有限公司。
- [5] 董斌，2010，四字 LED 點矩陣顯示屏的製作，ELECTRONICS DIY，第一卷。

The Development of the LED Childhood Learning Board

Guan Yi Li, Chyen Yu Huang, Tsung Yan Huang
Department of Biomechatronics Engineering
National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

The experiment which is used LED matrix, 89s51 microchip, 74LS138, 74LS574, 2803, 7805 and use Keil μ Vision 2 write Programs, through Matrix keyboard input the data then control the Matrix LED display. The interactive and learning aid is a application which is used between adult and children. The learning board is for children who is preschool or start learning recently, through this interactive learning, help the children know the Chinese and English, let the interactive between parents and children can be more frequently. We expect matrix LED can display combines with IC (Integrated Circuits) correctly; Nowadays, at the environmental has been gradually emphasized by people, we've replaced tradition card with matrix

LED, then can reduce wastes resources, and achieve sustainable operation; Investigate how to use signed-chip and program language control the Matrix LED

Keywords: 8×8 dot matrix LED, AT89S51 microcontroller, The baby teaching aid, Learning board

致冷晶片在水族箱上之恆溫應用

學生姓名：朱庭佑

指導老師：陳志堅博士、鄭國明博士

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

在炎炎夏日與天寒地凍的冬天，水族箱的水溫都會因天氣的轉變有很大的變化，以致於有些不能耐高溫或是受不了溫度變化太大的魚類都會相繼死亡，故本專題係以致冷晶片為主軸，用純電路方式來控制，其中包含了系統自動化的感測與溫度控制兩個項目，在感測方面使用防水型熱敏電阻來進行偵測水中的溫度，並利用穩壓電路搭配可變電阻來設定需要的溫度，最後用IC比較器做為加溫或降溫控制的依據，目的是讓水族箱內的水保持在恆溫的狀態。

關鍵字：恆溫、致冷晶片、熱敏電阻、加溫。

一、引言

1834年法國鍊匠帕爾帖（Jean Charles Athanase Peltier）發現在兩種不同金屬接合的線路上通入電流，其中一接點會放熱而另一接點則會吸熱，而放熱或吸熱大小會由電流的方向與大小來決定，也為此發佈了帕爾帖效應（Peltier effect），此效應為日後研發致冷晶片的基礎。但是當時並無今日發展快速的半導體工業，科學家無法利用帕爾帖效應來研發創造新的產品。直到1960年，靠著半導體工業的配合，致冷晶片與發電晶片才問世〔1〕。

熱電效應（thermoelectric effect），如圖1所示，是一個由溫差產生電壓的直接轉換，反之亦然。熱電裝置兩端有溫差時會產生一個電壓，當一個電壓施加於此裝置，也會產生一個溫差。此效應可用來產生電能、測量溫度、冷卻或加熱物體。因為加熱與致冷端決定施加的電流方向，熱電裝置讓溫度控制變得非常容易〔2〕。

帕爾帖效應發現100多年來並未獲得實際應用，因金屬半導體的帕爾帖效應不彰。直到上世紀90年代，原蘇聯科學家約飛的研究表明，以碲化鉍為基的化合物是最好的熱電半導體材料，從而出現了實用的半導體致冷元件也就是熱電致冷器（thermoelectric cooler），簡稱TEC。

TEC套件可作為中央處理器（central processing unit）和圖形處理器（graphics processing unit）的散熱器，半導體致冷片具有以下優勢：（1）可以把溫

度降至室溫以下；（2）精確溫控（使用閉環溫控電路，精度可達 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ）；（3）高可靠性（致冷組件為固體器件，無運動部件，壽命超過20萬小時，失效率低）；（4）沒有工作噪音。

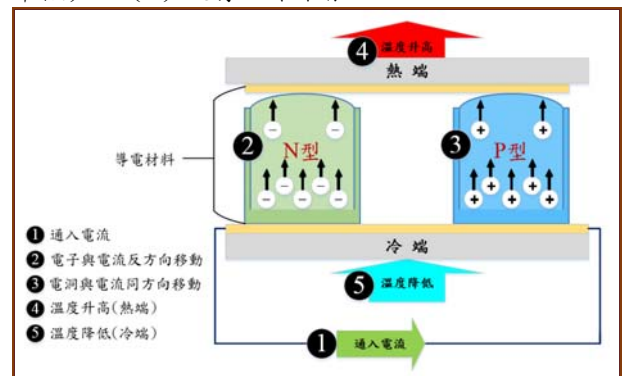


圖1、熱電效應

2007年，練宥宏〔3〕以致冷晶片裝設PWM溫控套件來製作冷敷裝置，並利用繼電器的ON/OFF來控制致冷晶片的開或是關，以調節數袋內的溫度。2008年，陳力維〔4〕以壓克力為材料製作簡易型魚缸，並將致冷晶片安裝於其上，最後以電子原件組合出恆溫魚缸。2012年，田源〔5〕由AVR32開發板設計模糊水溫控制器，以市售加熱棒做快速且穩定的溫度調節。2014年，陳力維〔6〕以致冷晶片與恆溫加熱器，並以Arduino撰寫程式方式製作恆溫魚缸。由文獻中可以發現，大部份的研究都使用致冷晶片作為冷卻裝置，加溫方面則是使用加熱器作為升溫的裝置，並以撰寫程式做為控制的方式，最後再以加工的方式把致冷晶片安裝在魚缸上。

本專題藉由熱電效應的原理，經由在電路上的電流方向交換，就能使裝置在不改變配置下進行致冷晶片吸熱與放熱的方向轉換，達到升降溫的效過，在機構設計方面為了製作出簡易方便的裝置，所以把致冷晶片安裝在外掛濾水器上，免去了繁瑣的加工過程，進而達到自動化的恆溫簡易裝置。

二、研究內容與方法

本專題以市售容易取得的零件製作簡易的純電

路，整個實驗分為電路設計與裝置設計，電路部分包括感測與控制兩大部分，熱敏電阻作為感測元件，依熱敏電阻的特性來做溫度的檢測，控制的部分則是用一顆 IC 比較器作為主軸，設計出致冷晶片加溫或降溫的控制，目的是讓魚缸中的水能維持在恆定的溫度。

機構架構部分如圖 2 所示，由致冷晶片搭配散熱鰭片與散熱風扇組成加熱冷卻裝置如圖 3 所示，加熱冷卻裝置會設置在外掛濾水器的出水口處，對水進行升溫與降溫。在本次實驗中致冷晶片扮演了相當重要的角色，使用致冷晶片就包含降溫與升溫的作用，主要是利用熱電效應的原理，當要定義致冷晶片的冷端與熱端是由通入電流的方向來決定的，配合電路的設計就可以讓水溫高於設定的溫度時致冷晶片進行致冷；溫度過低時開始升溫。

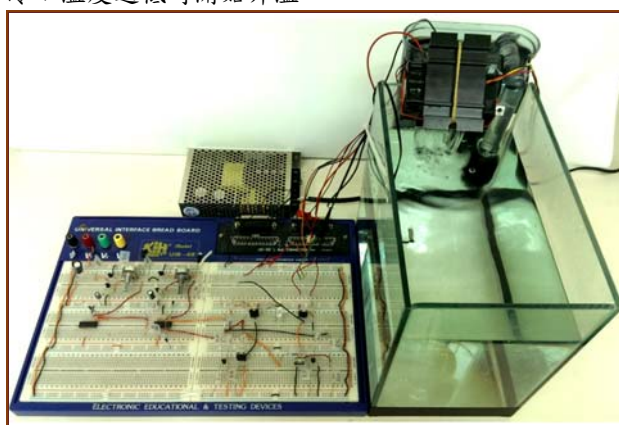


圖 2、機構架構



圖3、加熱冷卻裝置

2-1 實驗器材

2-1.1 電源輸入裝置-電源供應器

電源供應器如圖 4 所示，其工作是將外部輸入的交流電（110V）轉換為電子零件使用的直流電，透過橋式整流與濾波電容，轉換為平整的直流電，此過程稱 AC/DC。不同的電源供應器具有不同電壓與電流的規格，本次實驗所使用的規格為電壓 12V，電流 8A。

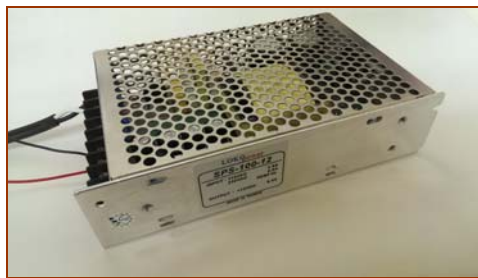


圖 4、電源供應器

2-1-2 加熱與冷卻裝置-致冷晶片

熱電致冷晶片為一種電能與熱能的轉換器如圖 5 所示。本實驗使用的型號為 TEC-12706，電壓 12V，最大電流 6A，最大溫差 68°C，最大致冷力 53.3W。



圖5、致冷晶片

加熱與冷卻裝置-散熱鰭片

散熱器為被動性散熱原件如圖 6 所示，以導熱性佳、質輕、易加工之鋁金屬製成。

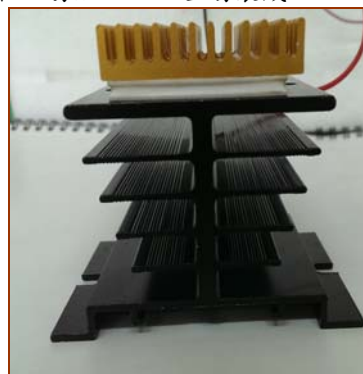


圖6、散熱鰭片

加熱與冷卻裝置-散熱風扇

散熱風扇如圖 7 所示，是一種通過電力來驅動扇葉旋轉，來達到使空氣加速流通的散熱作用，本次使用的規格為 40mm×40mm×10mm，電壓 12V，電流 0.08A。



圖 7、散熱風扇

2-1.3 水族設備-水族箱

本次實驗使用的是一尺水族箱尺寸 30cm×15cm×25cm，為觀賞用如圖 8 所示，專門飼養水生動植物的容器，通常至少有一面為透明的玻璃或高強度的塑料。水族箱的種類有很多變化，由簡單的只飼養一條魚的小魚缸，到複雜得需要配備精密支援系統的生態模擬水族箱。



圖8、水族箱

水族設備-外掛式濾水器

濾水器如圖 9 所示，其中的抽水部份會把魚缸水抽到濾盒內，當水流過濾水棉後，以瀑布般的方式把水流回魚缸，其主要的功用在於過濾水中的雜質。



圖9、外掛式濾水器

2-1.4 感測元件-熱敏電阻

熱敏電阻為一種傳感器電阻，其特點是大部分

的熱敏電阻都是負溫度係數，此類電阻值隨溫度的上升而下降，本實驗使用的規格在 25℃ 時電阻值為 10KΩ。防水熱敏電阻線如圖 3 所示，線長約 50cm 經過防水處理 可以直接浸泡於水中使用，通常用於量測水溫，電線耐溫範圍-55℃ 至 125℃。



圖 3、防水熱敏電阻線

感測元件-熱電偶溫度感測器

本實驗利用熱電偶 K 型如圖 10 所示，作為溫度感測元件。熱電偶之原理將二種不同性質金屬端點連接形成一閉迴路時，且在兩個接合點間給予溫度差，則在金屬線的兩端會產生熱電動勢，其輸出訊號為一直流電壓，透過 A/D 專換器如圖 11 所示，轉換成數位訊號，並透過軟體演算，轉變成實際溫度值，而這種溫度差所造成的熱電壓效應的原理為塞貝克效應如圖 12 所示。西元 1823 年德國科學家塞貝克（Thomas Johann Seebeck）發現在銅及鉍兩種不同金屬相接合成的線路上，當兩接點之間的溫度不同時，會產生電位差而出現電流，引發磁場改變，使指南針偏轉，此為「塞貝克效應」。

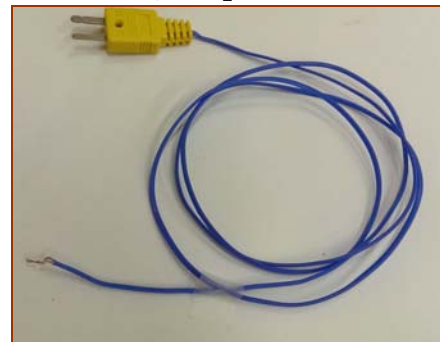


圖10、熱電偶K型



圖11、DE-305數字掌上型溫度錶

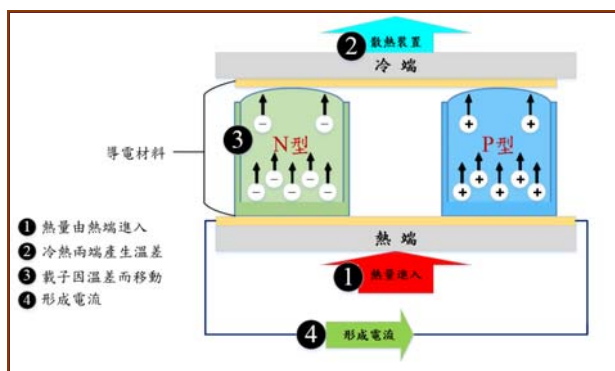


圖 12、溫差發電

2-2 電子電路

2-2.1 電路圖

實驗所使用的電路如圖 13 所示，可分為四個部分，第一部分為穩壓電路由兩組 TL431 與其週邊電阻輸出一穩定電壓，作為溫度設定電路與提供非反向放大器的輸入電壓；第二部分為溫度感測電路，由熱敏電阻與非反向放大器得到溫度對應的電壓；第三部分則是比較器電路，依第一部分溫度設定與第二部分感測溫度對應的電壓做比較，比較出來的結果關係著致冷晶片做動與否；第四部分是控制電路，此電路會以場效應電晶體的特性做為致冷晶片加溫或致冷的關鍵。

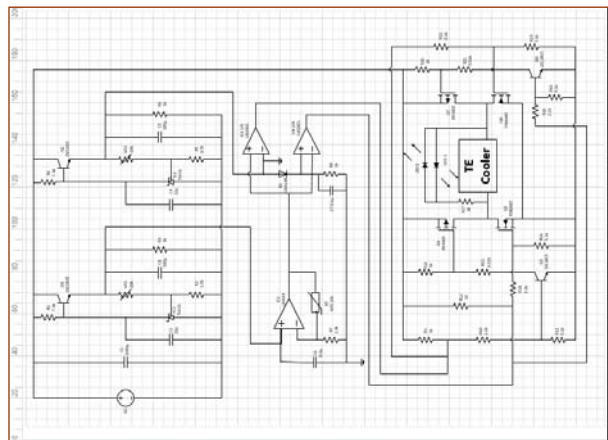


圖 13、完整電路圖

2-2.2 穩壓電路

使用 TL431 精密參考電壓 IC 與電晶體 Q1 如圖 14 所示，和可變電阻 VR1 組成了簡單可調式電源 Va。此電路主要功用是得到一個穩定電壓，給反向放大器當作輸入電壓。

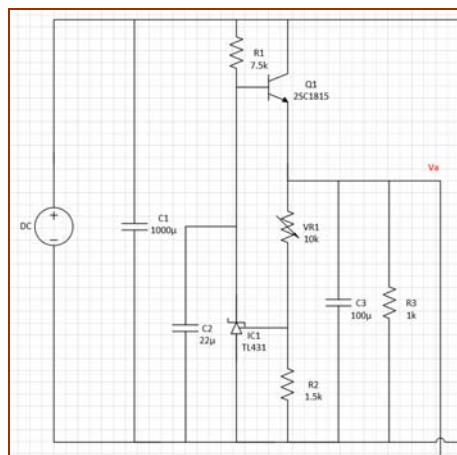


圖 14、穩壓電路 1

穩壓電路 2 如圖 15 所示，使用 TL431 精密參考電壓 IC、電晶體 Q2 和可變電阻 VR2 組成了簡單可調式電源 Vb，此電路主要功用是溫度設定的控制電路。依照熱敏電阻對溫度的電阻值變化，可以計算出可變電阻 VR2 調控電阻值所對應的設定溫度如表 1 所示，最後標示在可變電阻上如圖 16 所示。

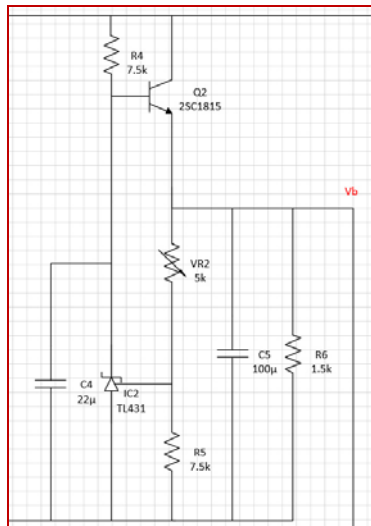


圖 15、穩壓電路 2

表 1、設定溫度對應電阻表

溫度	電阻	溫度	電阻
22°C	4.09 KΩ	27°C	2.4 KΩ
23°C	3.43 KΩ	28°C	2.25 KΩ
24°C	3.03 KΩ	29°C	2.1 KΩ
25°C	2.82 KΩ	30°C	1.9 KΩ
26°C	2.56 KΩ		

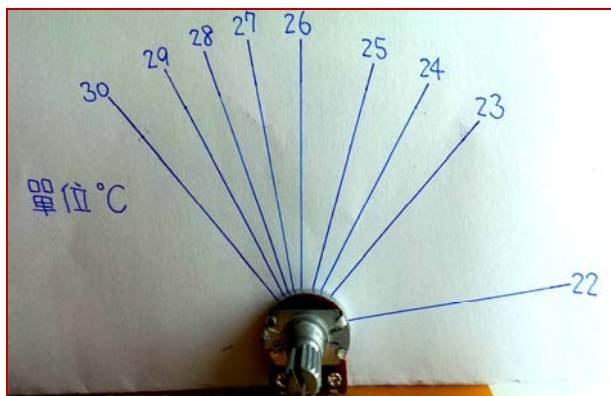


圖 16、設定溫度可變電組實體圖

2-2.3 感測電路

非反向放大器如圖 17 所示，其特點是輸入阻抗高，其電路的電壓放大變數 A_v 也僅由外接電阻決定。

$$V_{out} = V_{in} \times \left(\frac{R2 + R1}{R1} \right)$$

電路輸入為 V_a ，而輸出 V_c 會在低溫時因為熱敏電阻的特性電壓會變大相反的 V_c 會在高溫時電壓小，當要改變熱敏電阻對溫度的敏感度可以調整 $R7$ 的電阻值 [7]。

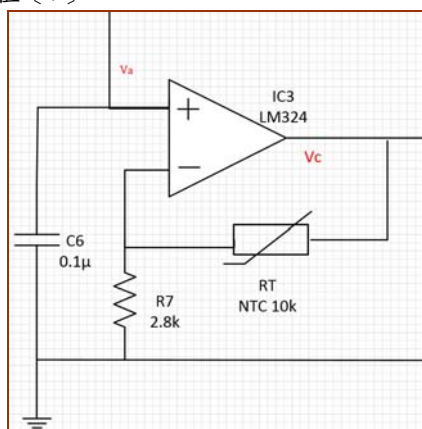


圖 17、非反向放大電路

2-2.4 比較器電路

IC4 比較器及週邊迴路組成兩組電壓比較電路如圖 18 所示，當正輸入端電壓高於負輸入端電壓時運算放大器輸出高電位。

致冷晶片要加熱或要致冷間的設定電壓因為一個稽納二極體所以差了 0.7V，作動的條件是感測電壓大於設定電壓致冷晶片會加熱；感測電壓小於設定電壓減掉 0.7V 則會致冷，介與兩者之間則不會致冷也不會加熱，而加這顆稽納二極體的原因有兩個，一是因為水溫的控制是一個範圍而非一個溫度，其二由於熱敏電阻的數值並不會相當穩定需要一點緩衝空間，如果把溫度設定為一個數值，電路方面會因為熱敏電阻的波動而一直切換，以致於電子元件的燒毀 [8]。

對於 V_b 溫度設定電路因為一顆稽納二集體的關係，所以得出來的是兩個電壓值分別是圖 18 中 a 點電壓 V_b 與 b 點電壓 $V_b - 0.7V$ 這兩個電壓，其中因為相差了 0.7V 所以在電路設計中把 25°C 作為一個基準溫度，當設定了 25°C 那代表致冷晶片在 26°C 以上開始致冷，在 24°C 以下開始加溫，換句話說致冷晶片在 24°C 到 26°C 範圍之間是不作動的。

因為熱敏電阻的特性曲線是非線性如圖 19 所示，在設定溫度範圍中，並非兩度之間都是相差 0.7V，溫度越大 0.7V 涵蓋的溫度範圍越小，溫度越小 0.7V 涵蓋的溫度範圍越大，所以在設定 25°C 的範圍剛好是 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，而本次實驗的工作溫度範圍熱敏電阻的特性曲線如圖 20 所示，雖然不是線性卻也非常接近，故範圍都會有些微誤差但接近 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

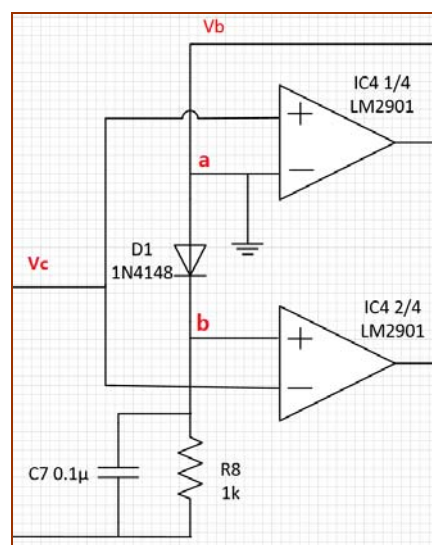


圖 18、比較器電路

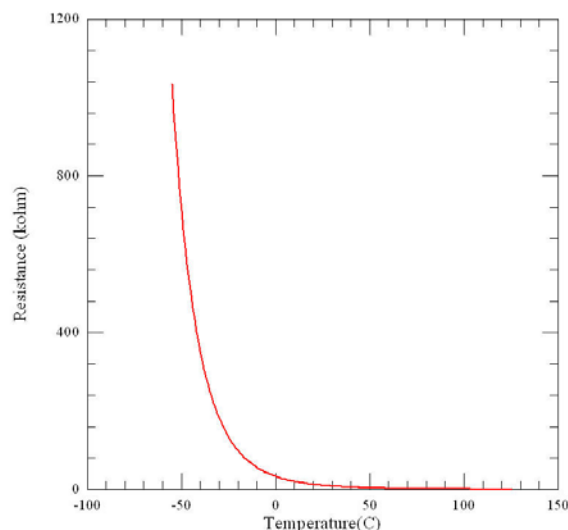


圖 19、熱敏電阻特性曲線

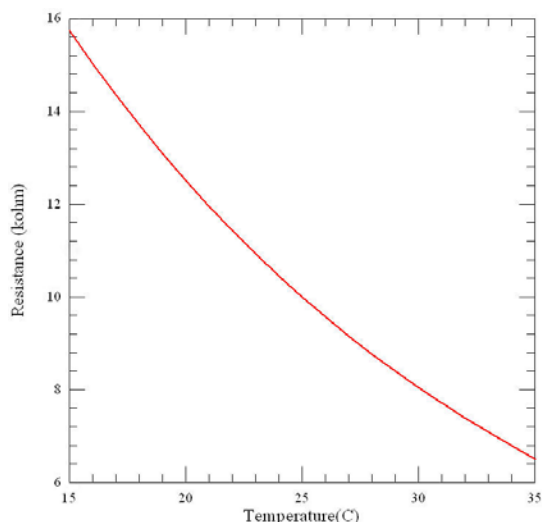


圖 20、工作範圍內熱敏電阻特性曲線

2-2.5 致冷晶片控制電路

在致冷晶片控制電路中，場效應電晶體 IRF4905 Q4、Q7 如圖 21 所示，為 P 通道增強型 MOSFET 輸入控制電壓 VGS 與輸出電壓 VDS，必須加上負電壓，才能吸引 N 型基體的電洞，場效應電晶體 P0804BT Q5、Q8，是 N 通道增強型 MOSFET 輸入控制電壓 VGS 與輸出電壓 VDS，必須加上正電壓，才能吸引 N 型基體的電子，而 NPN 型雙極性電晶體的正常工作狀態下，基極接面-射極接面處於順向偏壓狀態，而基極接面-集極則處於逆向偏壓狀態。本電路是依照電晶體的這些特性所組成的。

經過控制電路的設計，電路中的電流會隨著感測的水溫與設定溫度的設定，來決定電路中電流的方向，進一步控制致冷晶片的加熱或冷卻，當要將水加熱時致冷晶片的下端會處於熱面上端則進行排冷如圖 22 所示；當要將水冷卻則上端與下端會顛倒，由下端處於冷面將水降溫，而上端將進行散熱的工作如圖 23 所示。

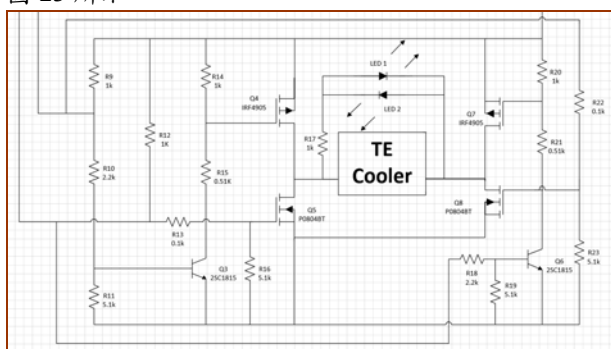


圖 21、致冷晶片控制電路

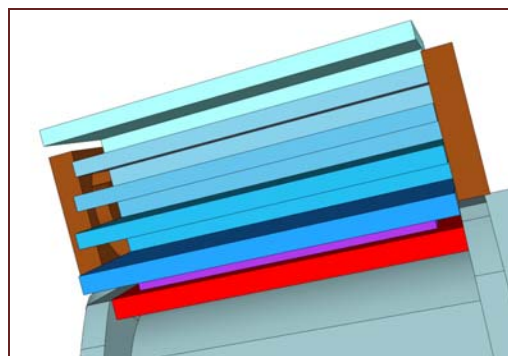


圖22、升溫示意圖



圖23、降溫示意圖

2-3 實體電路

實體電路圖如圖 24 所示，由電阻、熱敏電阻、可變電阻、電容、穩壓 IC、放大 IC、比較 IC、場效應電晶體，LED 與致冷晶片所組成。

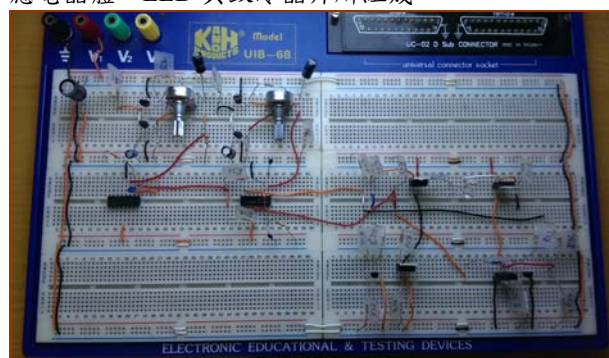


圖 24、實體電路

2-4 機構設計

機構設計以繪圖軟體 SketchUp 繪製示意圖如圖 25 所示，使用外掛式過濾器為裝置的主體，在出水口的地方加裝致冷晶片與散熱鰭片的組合，並加裝軸流式風扇來幫助致冷晶片散熱，機構實體如圖 26 所示，其中黃色散熱鰭片會直接與水接觸進行溫度的傳導，這也是本實驗控制水溫的關鍵；黑色散熱鰭片則是與空氣接觸，用來幫助致冷晶片進行散熱或吸熱，讓致冷晶片的冷面與熱面保持一定的溫差，來達到升溫與降溫更好的效率。

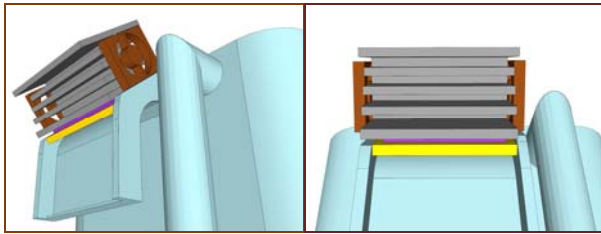


圖 25、機構示意圖



圖 26、機構實體圖

2-5 實驗流程

首先，由 TL431 與可變電阻組成溫度設定的控制電路，會依照可變電阻的電阻值大小對應出設定溫度的電壓值，再由熱敏電阻感測水族箱的水溫，從水溫中熱敏電阻會反應出一定的電阻值，由非反向放大器把電阻的訊號轉換成電壓訊號，經過比較器與溫度設定的電壓做比較，當非反向放大器輸出的電壓超過溫度控制電路設定的電壓，致冷晶片控制電路會讓致冷晶片的冷面朝水的方向，將水進行降溫，反之，當非反向放大器輸出的電壓低於設定電壓減 0.7V 致冷晶片控制電路就會讓致冷晶片的熱面朝水的方向，將水進行加熱，當介於兩者之間則不會做動，而熱敏電阻會不斷的偵測水溫，讓水溫的感測與製冷晶片的控制如圖 27 所示，一同進行來達到自動化的目的。

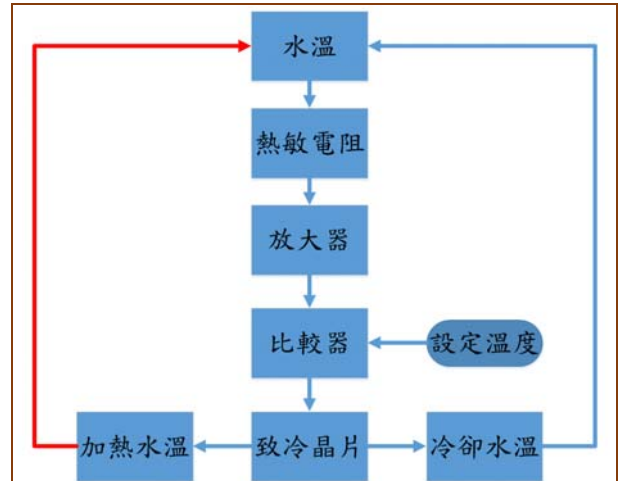


圖 27、恆定溫度流程圖

三、結果與討論

3-1 降溫與風扇配置

為了研究風扇最佳的散熱方式，以致冷晶片冷卻水溫的效率來當做指標，最後參考效率高的來做為機構的散熱風扇配置方式。本次實驗分別以風扇吹向散熱鰭片進行散熱如圖 28 所示、風扇以吸的方式對散熱鰭片進行散熱圖 29 所示、風扇以一吹一吸對散熱鰭片進行散熱圖 30 所示，與致冷晶片和風扇都不做動四組來測試。測試方式：使用一個 5 公升保麗龍裝滿 36°C 的水以每組測試一個小時，並以五分鐘以熱電偶量測溫度一次的方式進行。實驗結果如圖 31 所示，以降溫方面最好的風扇配置為對散熱鰭片一吹一吸，最差配置為不使用風扇，最後機構選用吸加吹的原因是它的散熱比較好，效率也比較高，所以它能把水降到比較低的溫度。

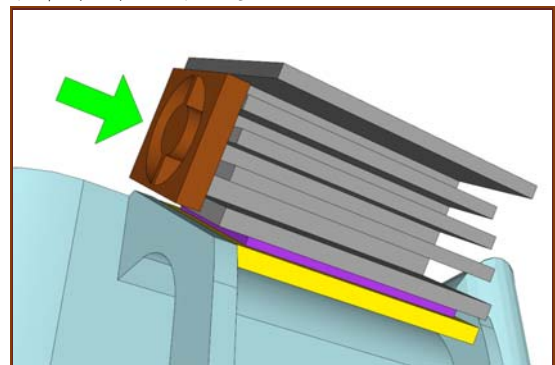


圖 28、風扇以吹散熱

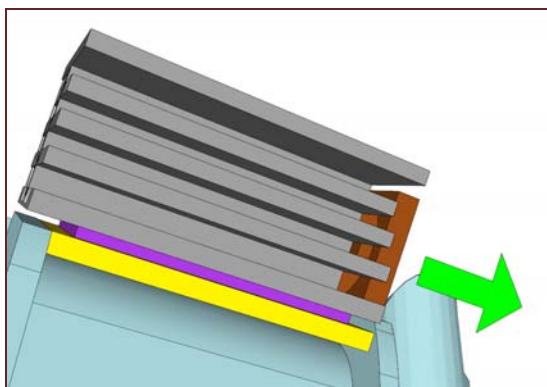


圖 29、風扇以吸散熱

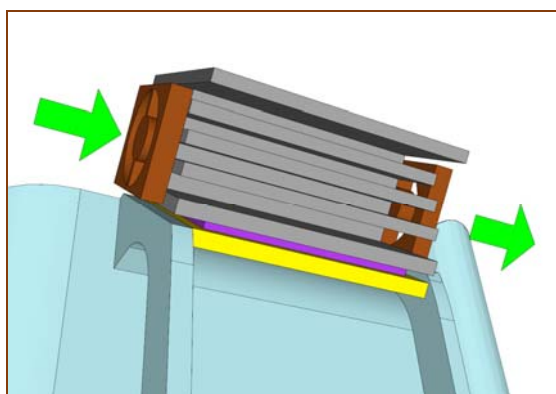


圖 30、風扇以一吹一吸散熱

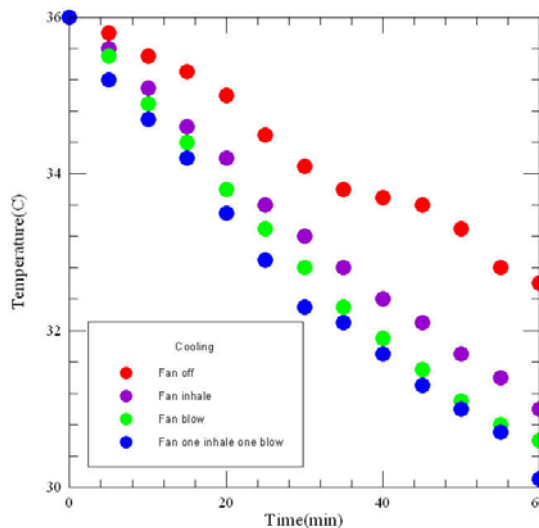


圖 31、降溫曲線圖

3-2 升溫測試

為了瞭解使用致冷晶片裝置進行加溫與未使用裝置之下水溫的差異，所以進行此實驗。測試方式：用一個 5 公升保麗龍裝滿 16°C 的水，每組測試一個半小時，並以五分鐘以熱電偶量測溫度一次的方式進行。實驗結果如圖 32 所示，使用致冷晶片裝置進行加溫能一個半小時升溫 10.3°C，當不使用裝置下一個半小時僅升溫 2.4°C，兩者之間相差了 7.9°C。從結

果得知使用了致冷晶片裝置升溫效率比沒有使用的提升 3.2 倍。

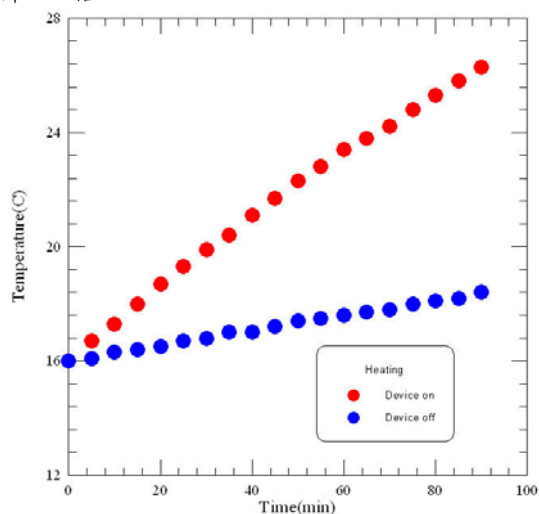


圖 32、升溫曲線圖

3-3 無負載測試

為了探討致冷晶片裝置在無負載，也就是負責升溫與降溫直接接觸水的散熱鰭片，如果把水排除直接接觸空氣，則測得散熱鰭片的溫度是如何。測試方式：致冷晶片分別以風扇吹散熱鰭片、風扇吸散熱鰭片、風扇一吹一吸對散熱鰭片，來進行降溫與升溫的動作。實驗結果如表 2 所示，以風扇吸散熱鰭片散熱的降溫效果最差，所得到的降溫結果與室內溫度幾乎相同，原因是致冷晶片熱面太高溫以至於冷面溫度無法下降，這也代表用風扇吸散熱鰭片的散熱效果是最差的，而在升溫方面的結果正好相反，散熱比較好的反而無法達到較高的溫度，由結果可知散熱能力對降溫方面的影響是很顯著的，但在加溫部分散熱則會有反效果。

在本次專題中因為要加溫的對象是水體，而致冷晶片的熱面以散熱鰭片直接對水進行熱的傳導，故熱面的溫度只會比水溫高一點，依照致冷晶片的溫差原理，熱面的溫度越低溫則冷面也會越低溫，所以防止致冷晶片冷面結霜如圖 33 所示，和讓冷面溫度提高加強升溫的效果，最後機構選用吸加吹的風善配置，其原因是用於降溫時的散熱比較好，能把水降到比較低的溫度，在加溫時也能幫助冷面排冷，不至於冷面結霜。

表 2、空載測試表

	風扇 吹散熱	風扇 吸散熱	風扇 一吹一吸
降溫	17.4°C	25.6°C	16.8°C
升溫	110°C	112°C	106°C



圖 33、結霜圖

3-4 恆溫測試

對於本專題的目的系統自動化來進行實驗，為了測試本裝置能否正確的判斷水的溫度與致冷晶片能否正確的作用。實驗方法：使用一尺水族箱裝滿約 10 公升的水，在室溫下分別設定 20℃、24℃、28℃ 與 30℃，進行實驗以 30 分鐘以熱電偶量測溫度一次的方式進行，若 30 分鐘溫度無明顯變化則實驗終止。

實驗結果在設定溫度為 20℃ 的實驗中如圖 34 所示，高溫時降溫的變化比較明顯，隨著溫度越低，每次降溫的幅度也變得越低，在到達 21.5℃ 時溫度就維持不變，無法降溫到設定溫度 20℃，而另外三組實驗如圖 35 所示，都能依照所設定的溫度進行升溫或降溫到達設定溫度範圍中，並保持在恆溫狀態。

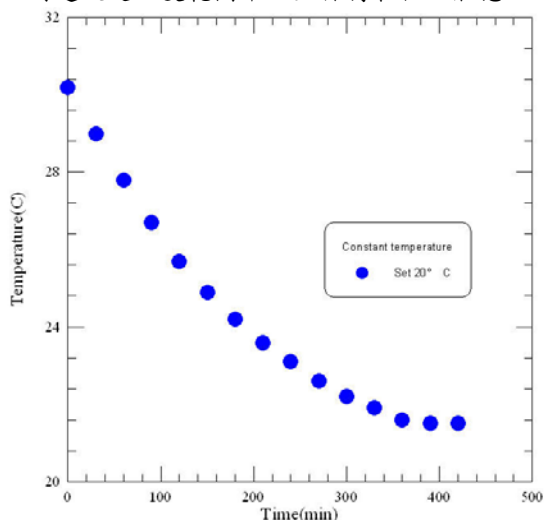


圖 34、設定 20℃ 之降溫曲線圖

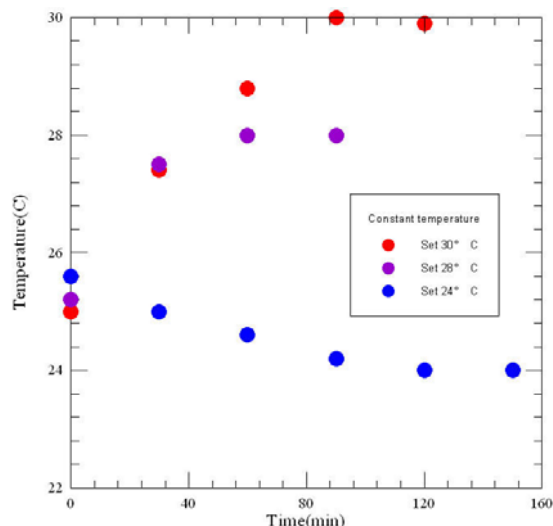


圖 35、恆溫曲線圖

3-5 與市售裝置比較

本專題使用致冷晶片做為加熱與冷卻的硬體與一般市售依照作用分為冷卻機和加熱器來做比較，以冷卻器如表 3 所示，雖然降溫能力是高於致冷晶片的但他需要消耗更高的電能與冷媒，而加熱器方面如表 4 所示，除了有安全顧慮外效能與耗電都與致冷晶片差不多。致冷晶片的優勢在於加溫與冷卻可以單一硬體，也不需要冷媒，最重要的是成本可以比較低，致冷晶片恆溫系統的成本約為新台幣 900 元，市售的冷卻機與加熱器的價錢為新台幣 9500 元，是以使用致冷晶片的成本 10 倍以上。

表 3、致冷晶片與冷卻機比較

	致冷晶片	冷卻機
耗電	約 80W	約 200W
效能	低	高
消耗	無	冷媒
價錢	NT300	NT9000

表 4、致冷晶片與加熱器比較

	致冷晶片	加熱器
耗電	約 80W	約 70W
效能	略低	略高
消耗	無	無
安全	無顧慮	有顧慮
價錢	NT300	NT500

四、結論

專題設計致冷晶片裝置，依照電路中熱敏電阻的感測與比較器對設定溫度的判斷，能將水溫自動恆定在設定的範圍內，機構設計在風扇散熱方面，依照實驗的結果採用一吹一吸方式對散熱鰭片進行散熱能得到的效率最高，也可以把水降到比較低的溫度，由

無負載測試結果中了解，影響致冷晶片降溫能力的是致冷晶片熱面的散熱，當散熱越好致冷晶片越能達到較低的溫度，在實驗過程中水族箱的水會被環境影響達到熱平衡，當致冷晶片降溫的能量等於環境平衡的能量時，水中的溫度就會保持不變，這就是裝置降溫的極限溫度。在衡溫測試實驗中得到的最低水溫為22°C；而升溫方面致冷晶片的效能會比降溫好很多，經實驗驗證對於低水溫使用裝置加熱比沒使用的效率高3.2倍，也可以到達很高的溫度，並參考魚類適合的環境溫度24°C到28°C，當總節這兩點得到了本電路的設定溫度範圍由22°C至30°C，最後以本專題的致冷晶片恆溫裝置與市售能達到相同功能的產品做比較，使用致冷晶片的缺點在於升降溫的效率不如市售產品，而優勢在於加溫與冷卻可以單一硬體，不需要使用冷媒，最重要的是成本比市售的低很多。

五、誌謝

感謝專題的指導老師陳志堅教授在這一年中循循善誘的督促與教導著我，專題這一路道阻且長，當走到了盡頭驀然回首發現了這一路走來我並不孤單，許多支持我與幫助我的人，其中又以黑夜降臨時那佇立不搖的明燈廖士銓學長最令我印象深刻，在我人生最黑暗想要放棄時指引著我的方向，學長教會我的不止是專業知識更是做人與做事的態度，我很感謝陳志堅老師、鄭國明老師、廖士銓學長與各位實驗室學長的鼎力相助讓我能順利的完成專題。在此致上誠摯的謝意。

六、參考文獻

- 〔1〕黃振東、徐振庭，2013，”材料科技：熱電材料”，科學發展，486，pp: 48-53。
- 〔2〕Daniel, D. P., 1995, “A-2 Thermoelectric phenomena. CRC Handbook of Thermoelectrics,” CRC Press LLC.
- 〔3〕練宥宏，2007，以利用熱電致冷的冷敷裝置之製作與性能測試，大同大學。
- 〔4〕陳力維，2008，電子式半導體恆溫魚缸之研究，市立松山工農。
- 〔5〕田源，2012，適用於水族養殖的水溫變化量可控之模糊控制器，國立東華大學。
- 〔6〕陳力維，2014，以模糊理論為基礎的電子式恆溫魚缸之設計與實現，中洲科技大學。
- 〔7〕楊棧雲、林光謙、楊伏夷，2008，電子學（上冊）（第八版），台灣培生教育出版股份有限公司。
- 〔8〕Richard, C. D., James, A. S., 2010, “Introduction to Electric Circuits,” John Wiley & Sons.

Application of thermoelectric cooler on thermal control
in an aquarium

Chu, Ting-You

Department of Biomechatronics Engineering
National Pingtung University of Science and
Technology

Abstract

This study use thermoelectric cooler and electronic component to manufacturing, which contains the system automation of measure temperature and control water temperature two projects, the measure temperature use of waterproof thermistor to detect the water temperature and using the voltage regulator circuit with a variable resistor to set the required temperature, the heating or cooling as a basis for the final control of the comparator IC, let the aquarium is kept at a constant temperature state.

Keywords: temperature, Thermoelectric cooler, thermistors, heating.

紙基晶片之蛋白質濃度定量檢測

學生：吳冠樺、林信宏

指導老師：陳志堅博士、鄭國明博士

國立屏東科技大學

生物機電工程系

摘要

本研究是為參考哈佛 Whitesides 團隊的實驗中，所研究的便攜式紙晶片，並製作出容易檢測的單層式紙晶片，以及可以利用少許測物檢測多種樣本的多層式紙晶片。使用蠟筆繪製出流道，再利用蠟的特性，創造出完全疏水性的紙基平台，使待測物可以藉由親水性的特性，沿著所設計的流道，流至各個不同的檢測區，進而進行多樣性的檢測。而在每個設定的檢測區，可以放置不同濃度的樣本，當待測物與檢測的樣本進行反應後，會發生顏色變化，使用比色法分析，即可得知測物的濃度。此研究有準確、反應快速、成本低，且不需昂貴儀器的優點。

關鍵字: Paper-based、紙晶片、疏水性、比色法

果，並轉以灰階值及 RGB 三值，利用曲線圖的關係呈現，這樣就可知結果與濃度是否吻合。2008 年，Whitesides 團隊 Martinez 等人[1]調配出人工尿液，利用紙基微流體裝置檢測葡萄糖和蛋白質，並利用手機裡的照相功能和掃描機，反應結果用 Adobe Photoshop 軟體將其結果數值化。2009 年，Whitesides 團隊 Carrilho 等人[2]利用 Phaser 8560N 噴蠟式印表機製做紙基微流體裝置，先在電腦繪製流道，用 Phaser 8560N 噴蠟式印表機印出，再用加熱機加熱，讓蠟融化使蠟能融入紙基材料內，形成一個疏水性的壁，讓檢測液只能在設計好的通道內流動，並可以成功應用於蛋白質和葡萄糖檢測。2010 年，Whitesides 團隊 Martinez 等人[3]製作出多層式紙基微流體裝置，並成功檢測出葡萄糖和蛋白質。

一、引言

本系統採用對於運行多個基於紙張的微流體裝置同時檢測，拍照手機或便攜式掃描儀，用於顏色轉換的數值，相關聯的強度於每個比色測定，該測定的結果分別為通過比較顏色的強度量化，在每個測定中使用的那些校準曲線的制定。目前的分析系統過於昂貴、龐大、複雜，並依賴於有一定基礎設施的國家中，此裝置可以幫助位於人跡罕至區域，以及開發中國家沒有足夠的訓練有素的醫務人員系統分析和分發到交通不便的地區為那些人民進行醫療。

本研究藉由紙基材料基於親水性紙張，通道的微流體裝置，由疏水性聚合物壁劃分與成像設備（相機電話或便攜式掃描儀）能夠定量的微流體系統的測色結

二、理論分析

首先以電腦繪圖軟體繪製流道，使用印表機印製於棉紙上，經過裁剪後，用蠟筆將流道塗滿，用加熱機烘烤紙晶片，使蠟融化到紙張纖維，利用膠帶黏貼製作出多層式紙晶片，最後使用受檢測體測試。

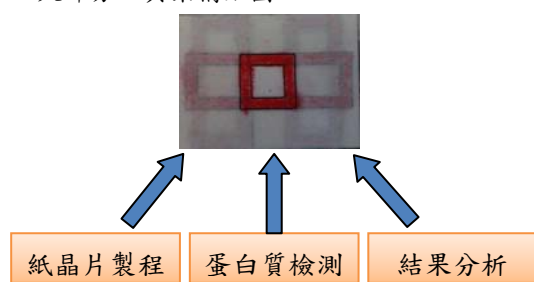
本研究為模擬人體尿液中蛋白質的含量超出標準值，其代表人體出現腎臟方面的疾病。本實驗使用牛血清蛋白（BSA）與四溴酚藍（TBPB）化學反應後，其反應原理是基於四溴酚藍（TBPB）的蛋白質的非特異性結合。TBPB 通過靜電（磺酸酯）和疏水性（聯芳基醌甲基化物）相互作用的組合，與蛋白結合。當結合時，苯酚在 TBPB 脫質子化，其顏色從黃色到藍色，利用調整牛血清蛋白（BSA）濃度的高低，

由檢測區來觀察其濃度變化與呈色的關係。

分析多層式紙晶片檢測區，將其結果擷取色塊，利用Borland C++ Builder 附屬程式Open CV軟體轉灰階值以及RGB值，再使用Grapher軟體作各別的曲線圖，藉此可以比較出較適用於濃度與呈色變化關係的趨勢線。

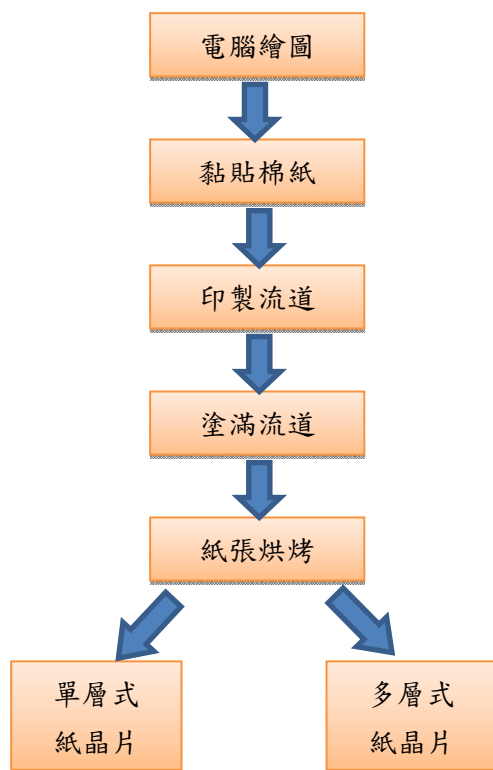
三、實驗設備與方法

本研究多層式紙晶片影像分析 BSA 濃度可分為三大部分，其架構如圖一。



圖一、紙晶片架構圖

3.1 紙晶片製程



圖二、紙晶片製作流程圖

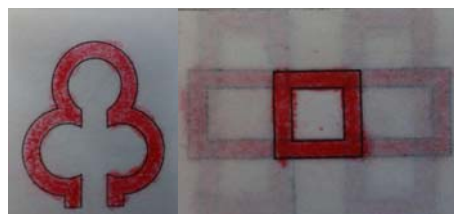
圖二為紙晶片製作流程圖，在製作紙晶片前，

先利用電腦繪圖軟體 SolidWorks 和 AutoCAD 分別繪製出單層式紙晶片和多層式紙晶片，而尺寸為4cm×3cm 再印出前，先將機械棉紙裁成 A4 大小如圖三 (b)，將裁好的機械棉紙下方墊一張 A4 紙，在邊緣用膠帶黏合，此作法是為了避免在影印過程中，造成印表機卡紙。將以設計好的流道利用噴碳式印表機印出於棉紙上如圖三 (a)，使用蠟筆再已印好的流道範圍塗滿蠟，塗滿後剪下，用加熱機進行加熱如圖三 (c)，用 95℃、烘烤 3~4 分鐘，使蠟融化，讓蠟油能融入紙張纖維，而形成阻擋親水性流體的邊界，也就是疏水性的壁膜，使得待測物只能在親水性通道內流動，製作完成的單層式紙晶片如圖四 (a)，製作完成的多層式紙晶片如圖四 (b)。

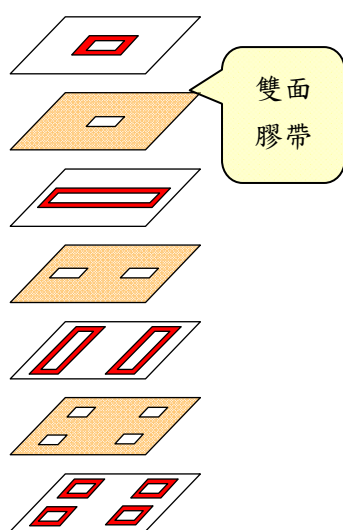
單層式紙晶片和多層式紙晶片的製作差別在於多層式紙晶片層與層之間需要使用雙面膠帶黏合如圖五，其目的有二，一為製造出上層至下層間的親水性通道，使其能通過流道到達檢測區，二為防止待測液從各層之間的縫隙中滲出。



圖三、(a) 噴碳式印表機、(b) 機械眠紙、(c) 加熱機



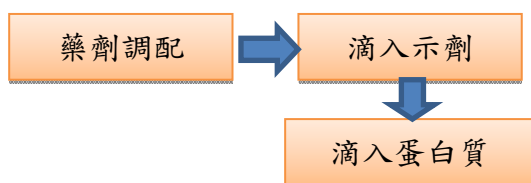
圖四、(a) 單層式紙晶片、(b) 多層式紙晶片



圖五、多層式紙晶片黏法示意圖

3.3 蛋白質檢測

如圖六所示，蛋白質反應大致分為三個步驟。



圖六、蛋白質檢測流程圖

3.3.1 藥劑調配

紅墨水：

首先以 DI Water 滴入容器中，滴入紅墨水原液如圖八（a），滴入適當的量達到適當的濃度極可。

四溴酚藍調配：

本實驗需要濃度 9mM 的四溴酚藍溶液，利用 95% 的乙醇當溶劑進行調配如圖八（b），我們利用重量莫耳濃度公式如圖七，計算出我們所需四溴酚藍的克數如圖八（c），來調配出需要的濃度。

$$\begin{aligned} \text{重量莫耳濃度} &= \frac{\text{當量數(克g)}}{\text{液體體積(L)}} \\ &= \frac{\text{重量(W)}}{\text{分子量}} \div \text{液體體積(L)} \end{aligned}$$

圖七

檸檬酸緩衝液調配：

本實驗需要 pH 1.8 的檸檬酸緩衝液，利用 92% 的水及 8% 的乙醇當溶劑進行調配，加入檸檬酸緩衝液原液如圖九（a），來調配出需要的濃度。

蛋白質調配：

本實驗需要蛋白質調配的濃度為 0.38μM、0.75μM、1.5μM、7.5μM、50μM、75μM 的蛋白質溶液，利用 DI water 當溶劑進行調配，我們利用重量莫耳濃度公式去計算出我們所需蛋白質的克數如圖九（b），來調配出需要的濃度。



圖八、(a) 紅墨水原液、(b) 優質酒精、(c) 四溴酚藍

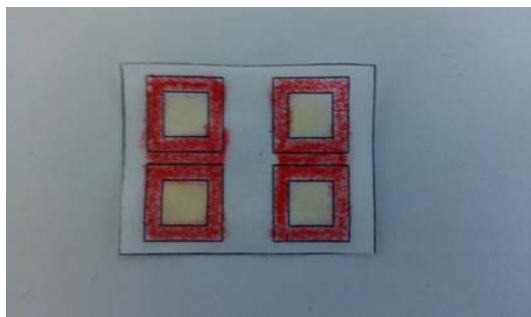


圖九、(a) 檸檬酸緩衝液、(b) 牛血清蛋白 (BSA)

3.3.2 檢測步驟

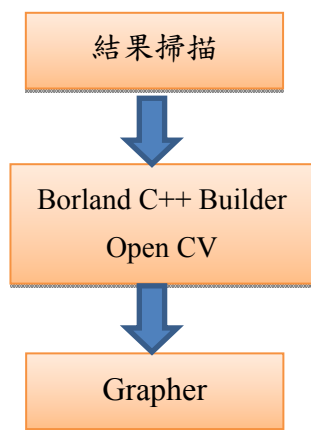
首先用移液器吸取 1.0μl 檸檬酸緩衝液，滴至蛋白質檢測區使其乾燥，再吸取 0.5μl 四溴酚藍溶液，滴至蛋白質檢測區使其乾燥，尚未反應的四溴酚藍呈

黃色如圖十，將多層式紙晶片的第四層與黏好的前三層黏合。



圖十、未反應的四溴酚藍滴定圖

3.4 結果分析



圖十一、結果分析流程圖

結果分析流程如圖十一，將蛋白質反應結果與色票一起利用掃描機掃描，掃描機如圖十二（a），色票的用途在於環境的改變，而其成像會有亮度及色差不同的問題，本研究運用色票白色區塊與色區塊的 RGB 三值，理論中的 RGB 三值是為定值不變，利用數值改變，進行「補償」的作用，目的是使得每次的實驗，都能有相同的環境參數，不會因環境不同而改變，色票如圖十二（b）。



圖十二、(a) 掃描機、(b) 色票

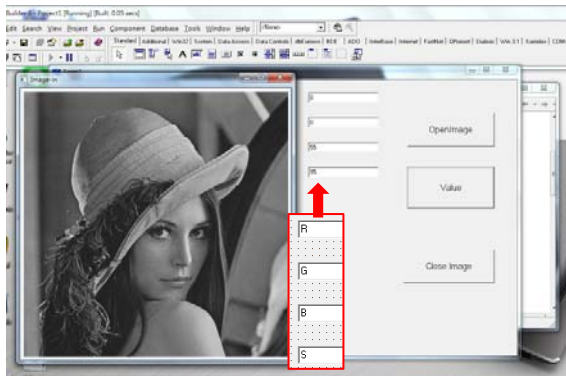
結果掃描完後，先從多層式紙晶片的反應區，切割出所要的反應區塊如圖十三，利用 Borland C++ Builder OpenCV 軟體分析出灰階值及 RGB 值，以 RGB 轉換 Gray 公式撰寫灰階值程式，公式如下：

$$\text{Gray} = 0.299 \times \text{Red} + 0.587 \times \text{Green} + 0.114 \times \text{Blue}$$

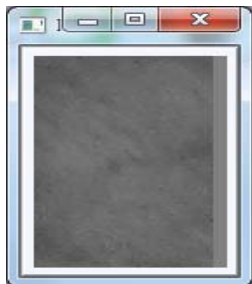
進行灰階值轉換程式如圖十四，轉換成灰階影像如圖十五，再使用 Borland C++ Builder OpenCV 軟體去得到灰階值，分析出 R、G、B、S 四種數值，S 是灰階值平均值，而灰階平均值就是繪製趨勢圖的特徵值，程式作用方式是根據所要分析的圖像，進行每個點 R、G、B 值的累加總合，最後除於圖像上總有的點數，就可以得到灰階值平均值 S。



圖十三、反應區塊

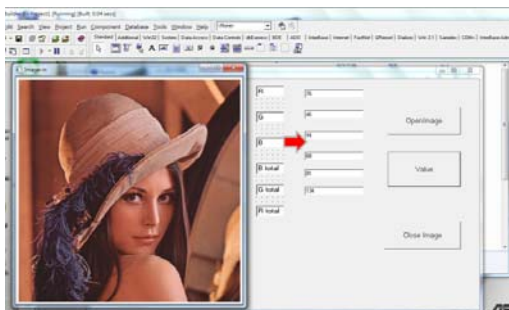


圖十四、灰階值轉換程式



圖十五、灰階影像

進行 RGB 轉換程式如圖十六，轉換成 RGB 影像如圖十七，再使用 Borland C++ Builder OpenCV 軟體去做 R、G、B 值轉換，會分析出 R、G、B、 R_{avg} 、 G_{avg} 、 B_{avg} 六種數值，而 R_{avg} 就是 R 值平均值， G_{avg} 就是 G 值平均值， B_{avg} 就是 B 值平均值，這三個 RGB 平均值可以繪製出三種曲線，比較這三種曲線可以分析出較適合於本實驗的趨勢線。作用方式是根據所要分析的圖像，進行每個點 R 值、G 值、B 值各別的累加總合，最後各別除於圖像總共的點數，就可以得到 R 值平均值、G 值平均值、B 值平均值。



圖十六、RGB 轉換程式



圖十七、轉換成 RGB 影像

使用 Excel 表格統計各個濃度的數值後，由於每次實驗，環境中的光亮度都會影響到實驗數值，所以必須利用「補償公式」，將每次環境設為相同的條件，這樣比對出來的才會準確。

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \times 255$$

X：原本樣本值

X'：補償後的數值

X_{max}：環境中的最大值

X_{min}：環境中的最小值

圖十八、補償公式

補償後的數值利用 Grapher 軟體繪製曲線圖，觀察灰階值與蛋白質濃度的關係圖。

四、結果與討論

4.1 紙晶片製程

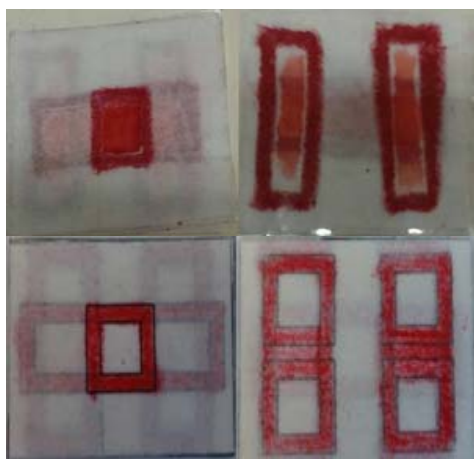
本研究一開始採用蠟筆在棉紙手繪紙晶片道，加熱後滴入紅墨水觀察其流動變化，單層式紙晶片如圖十九 (a)，多層式紙晶片如圖二十 (a)，因為是手繪流道，每次製作流道大小都會不一樣，利用電腦繪圖軟體繪製流道，使流道為一定的規格，再使用蠟筆把流道填滿，紙晶片加熱後，滴入紅色墨水，觀察其流動變化，單層式紙晶片如圖十九 (b)，多層式紙晶片如圖二十 (b)。

使用電腦繪圖軟體繪製流道，可以使流道為相同尺寸，由於還是採用人工塗蠟，導致臘無法均勻分

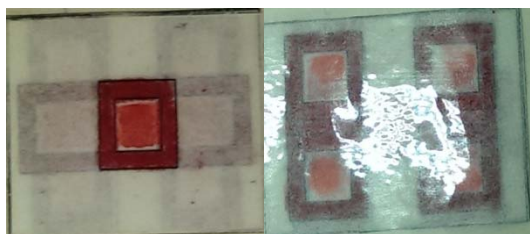
佈在紙基材上，經過加熱蠟融化不能平均於邊界上，使得流道會因為蠟油太多而檢測區能檢測的範圍縮小，進而影響檢測液在檢測區反應的量，而影響實驗結果，為了解決此問題本實驗將原來流道的設計放大 1.2 倍，來減少因為受到蠟不均勻的影響，而影響到檢測液在檢測區反應的量，放大 1.2 倍多層式紙晶片結果如圖二十一。



圖十九、(a) 手繪單層式紙晶片結果圖、(b) 電繪單層式紙晶片結果圖



圖二十、(a) 手繪多層式紙晶片結果圖、(b) 電繪多層式紙晶片結果圖

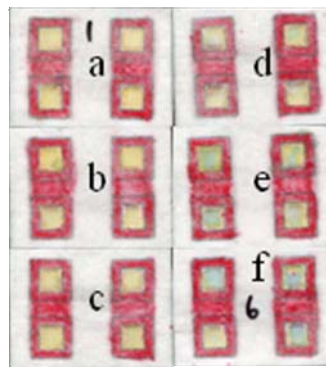


圖二十一、放大 1.2 倍多層式紙晶片結果圖

4.2 蛋白質檢測

本實驗檢測 0.38 μ M、0.75 μ M、1.5 μ M、7.5 μ M、

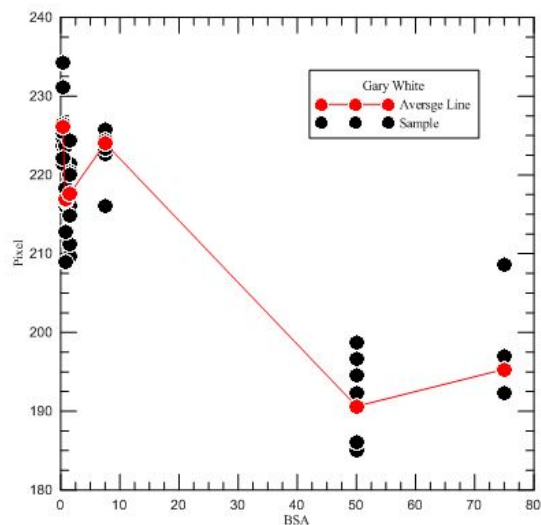
50 μ M、75 μ M 蛋白質溶液與四溴酚藍產生化學反應，其結果如圖二十二，由實驗結果發現蛋白質濃度為 0.38 μ M、0.75 μ M、1.5 μ M 與四溴酚藍試劑反應，其結果用肉眼看不出有明顯的呈色變化，而蛋白質濃度為 7.5 μ M、50 μ M、75 μ M 可以看出與四溴酚藍試劑有明顯的呈色變化，也可以濃度的不同判斷其顏色的深淺。



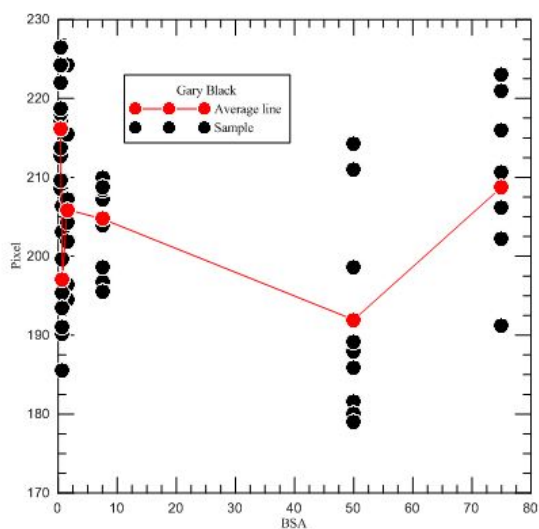
圖二十二、(a) 0.38 μ M 結果圖、(b) 0.75 μ M 結果圖、(c) 1.5 μ M 結果圖、(d) 7.5 μ M 結果圖、(e) 50 μ M 結果圖、(f) 75 μ M 結果圖

4.3 影像分析

本研究以黑色為背景和白色為背景來掃描蛋白質反應區，用 Borland C++ Builder OpenCV 軟體轉換，將其轉換的數值用 Excel 表格統計，將相同濃度下各個濃度相近的數值以平均的方式作特徵值，用 Grapher 製作曲線結果，並經比較後選擇最符合曲式的曲線圖得到 R-squared 值。

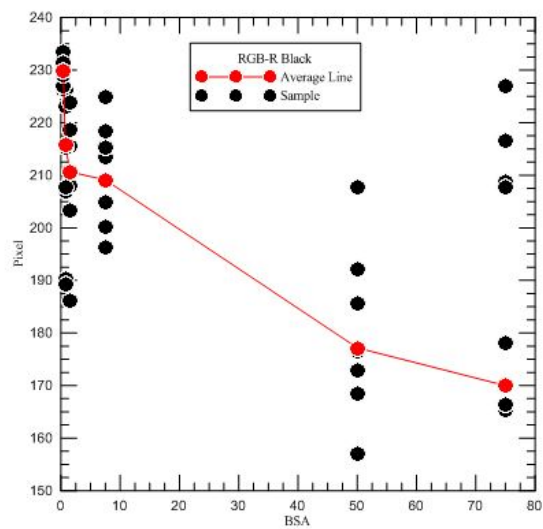


圖二十三、白色為底色之灰階值曲線圖



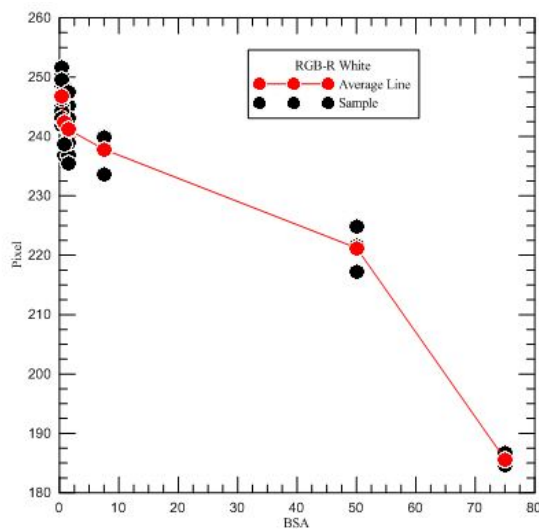
圖二十四、黑色為底色之灰階值曲線圖

轉換灰階值數值以白色為底色之灰階值曲線如圖二十三，黑色為底色之灰結值曲線如圖二十四，，經比較後其曲線結果皆不符合趨勢，其重線性太低，所以不採用。

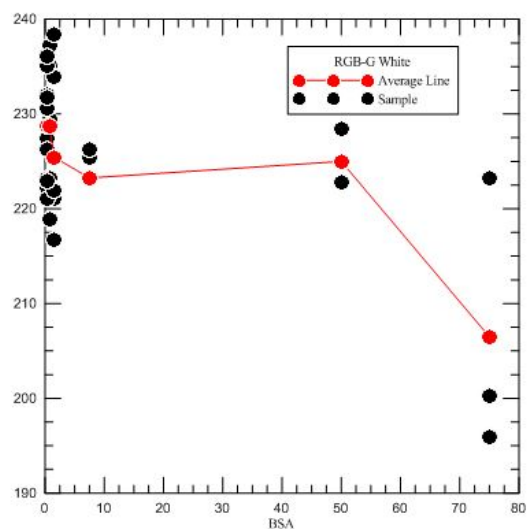


圖二十六、黑色為底色 RGB 之 R 值曲線圖

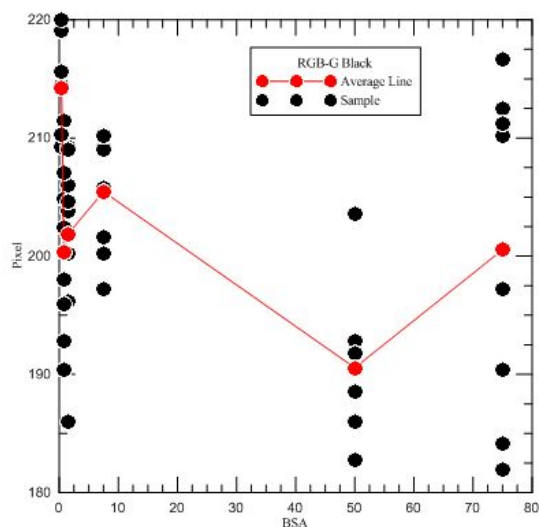
轉換 RGB 數值取 R 值比較，以白色為底色 RGB 之 R 值曲線如圖二十五，黑色為底色 RGB 之 R 值曲線如圖二十六，經比較後兩者曲線都有明顯趨勢線且重線性較高。



圖二十五、白色為底色 RGB 之 R 值曲線圖

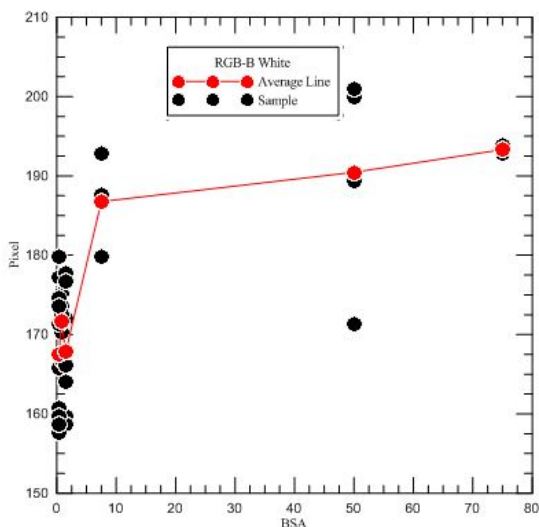


圖二十七、白色為底色 RGB 之 G 值曲線圖

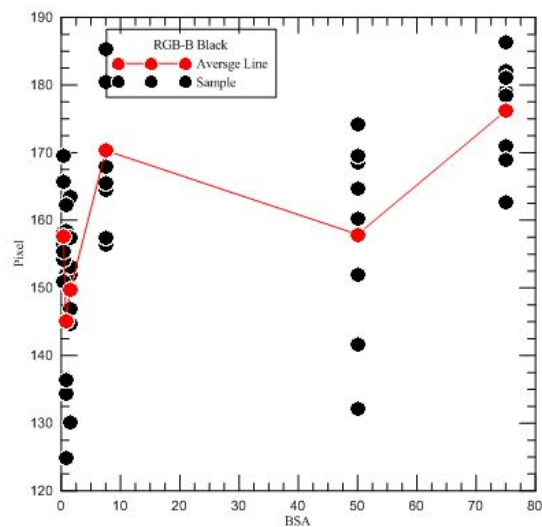


圖二十八、黑色為底色 RGB 之 G 值曲線圖

轉換 RGB 數值取 G 值比較，以白色為底色 RGB 之 G 值曲線如圖二十七黑色為底色 RGB 之 G 值曲線如圖二十八，經比較後其曲線結果皆不符合趨勢，其重線性太低，所以不採用。



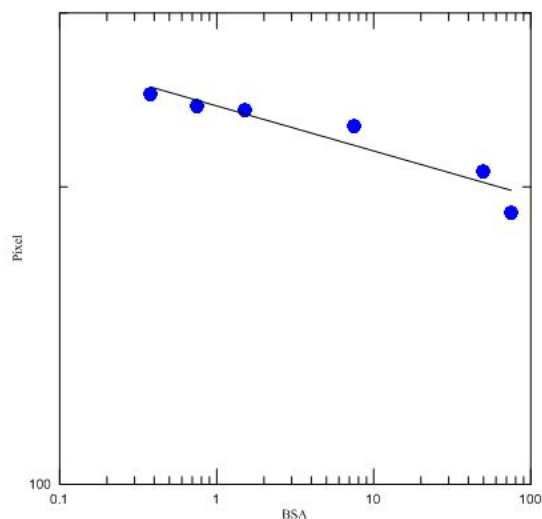
圖二十九、白色為底色 RGB 之 B 值曲線圖



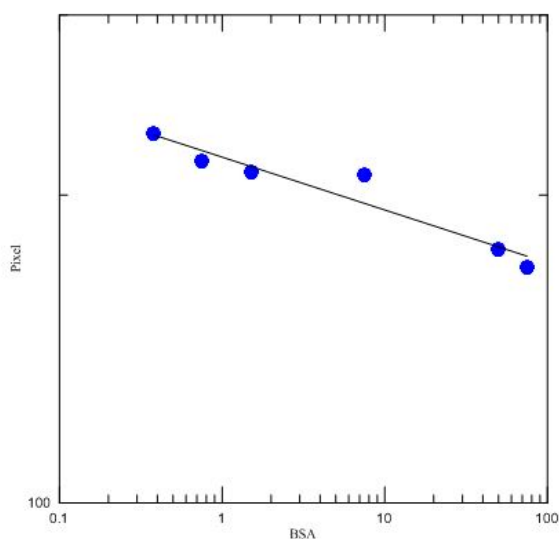
圖三十、黑色為底色 RGB 之 B 值曲線圖

轉換 RGB 數值取 B 值比較，以白色為底色 RGB 之 B 值曲線如圖二十九，黑色為底色 RGB 之 B 值曲線如圖三十，經比較後其曲線結果皆不符合趨勢，其重線性太低，所以不採用。

將有符合趨勢的結果圖取 Log 得到 R-squared 值為，以白色為底色 RGB 之 R 值曲線圖，如圖三十一，得到的 R-squared 為 0.89501，以黑色為底色 RGB 之 R 值，如圖三十二，得到的 R-squared 為 0.92351。



圖三十一、白色為底色 RGB 之 R 值 R-squared 圖



圖三十二、以黑色為底色 RGB 之 R 值 R-squared 圖

經比較後，以黑色為底色 RGB 之 R 值曲線圖中的 R-Squared 為 0.92351 為最適合，所以得出其特徵方程式，如圖三十三。這樣我們透過程式所得到 Pixel 值，代入此特徵方程式，即可得到該測定實驗的蛋白質(BSA)濃度。那當知道濃度後，就可以對應到腎臟疾病，如腎病綜合徵(蛋白質>35μM)、蛋白尿(10μM<蛋白質<35μM)及腎小管性蛋白尿(蛋白質<10μM)以及微量白蛋白尿(0.3μM<蛋白質<3μM)。

Eqnaion :

$$\ln(\text{BSA}) = (5.383793173 - \ln(\text{Pixel})) / (0.0516527503)$$

如圖三十三、特徵方程式

五、結論與建議

在紙晶片製程上，人工手繪與電腦繪圖的差異在於人工手繪無法每次都有相同規格，使得做為疏水性的壁模無均勻分布，蠟量太少容易滲出，但太多導致檢測區範圍太小無法有效的進行呈色反應。經由電腦繪製流道的邊界，雖然流道還是採用人工塗蠟，但已顯著降低失敗率。

蛋白質用不同濃度的檢測，可以看出其明顯的呈色變化，但僅知道濃度越高，反應區顏色越深，濃度

越低，反應區顏色變化不大，無法用肉眼觀察其濃度與顏色變化的直接關係，所以透過影像分析來得知其相對關係。

由轉灰階值與 RGB 的結果圖比較後，以黑色為底色 RGB 之 R 值曲線圖中的 R-Squared 為 0.92351，最為接近理想 R-Squared 值。而透過程式得到 Pixel 值後，即可由特徵方程式得到對應的蛋白質(BSA)濃度，就可知該測試者是否有腎臟方面的疾病，也可對應出是屬於何種腎臟疾病。

六、致謝

本專題能順利完成，由衷感謝陳志堅老師在實驗期間不厭其煩的指導我，及鄭國明老師在我遇到困難時，適時給予方向與建議，也感謝謝清祿老師在影像分析上，給我們專業的指導，感謝實驗室學長在專題製作期間不斷的給予鼓勵及指導，讓我們在專題過程中獲益良多，最後對曾給予許多我寶貴意見的老師或同學，致上最深的謝意。

七、參考文獻

- [1] "Simple Telemedicine for Developing Regions: Camera Phones and Paper-Based Microfluidic Devices for Real-Time, Off-Site Diagnosis", Martinez, A.W., **2008**, *80*, 3699-3707
- [2] "Understanding Wax Printing - A Simple Micropatterning Process for Paper-Based Microfluidics", Carrilho, E, **2009**, *81*, 7091-7095.]
- [3]"Electrochemical Sensing in Paper-Based Microfluidic Devices", Nie, Z., Nijhuis, C.A., Gong, J., Chen, X., Kumachev, A., Martinez, A.W., Narovlyansky, M., and Whitesides, G.M., Lab on a Chip, **2010**, *10*, 477-483.
- [4] 徐曉珮，劉震昌，2009，「數位影像處理」

The microfluidic paper-based chip devices rapid detection of glucose and protein

Kuan-Hua Wu, Hsin-Hung Lin

Department of Biomechatronics Engineering
National Pingtung University of Science and
Technology

Abstract

In this study, we were designed a microfluidic chip based on paper. Two kinds of chip were made, one of the chips was single layer chip, and another was multilayer. The paper chips were portable and easy to manufacture. All process of making paper chips was almost the same, we printed the flow channel on special paper by wax, it was created flow channel and detection zone. We were dried same concentration of detection reagents on detection zone, it can test different concentration of samples. When the samples were injected on the paper chip, it will show the testing result by colors. All the results were analyzed by colorimetric. After the analysis, we can obtain the concentration of testing sample. Finally the chips were accurate, fast response, low cost, and without expensive instruments.

探討以柳橙果皮取代雲芝液態培養基 之碳源及其多酚抗氧化成份分析

學生姓名：陳珮臻

指導老師：李柏旻

國立屏東科技大學

生物機電工程系

摘要

柳橙產量近十年平均 18.8 萬公噸，通常僅取用果肉榨取果汁食用，果皮佔全果重約 1/3，但果皮卻沒有加以利用，果皮內的許多有效成分也被隨之丟棄，造成許多農業廢棄物產生。柳橙果皮含有大量纖維，在環境中很難自行分解。雲芝為白腐真菌，具有降解木質纖維素的特性，同時醱酵液中所含的多酚及多醣具有抗氧化的功效。

本實驗將雲芝液態培養基添加粒徑 7 mm² 柳橙果皮取代原培養基之碳源，以原培養基及無碳源做為對照組，採用添加柳橙果皮 1:1 取代、柳橙果皮全取代做為實驗組，同時進行液態培養，探討柳橙果皮的添加對雲芝菌絲生長之影響，檢測醱酵液內之多酚和多醣含量，並對醱酵液之多酚抗氧化成分含量進行分析。

實驗數據顯示，雲芝醱酵液中的多酚含量以柳橙果皮 1:1 取代原培養基之碳源在第 9 天時為最高，增加了 23.1%；多醣含量則以柳橙果皮全取代原培養基之碳源在第 9 天時為最佳，增加了 404.8 %。因此，從實驗結果可得知，柳橙皮全取代原培養基之碳源不但可有效處理柳橙果皮的廢棄問題，相較於其他處理方式更能縮短時間，並且達到取得抗氧化物質之成效，未來可將其進一步應用於保健機能性食品上。

關鍵字：柳橙果皮、雲芝、液態培養、多酚、抗氧化

一、研究目的

1.1 前言

台灣盛產柑橘類，是台灣產量最大並且分布最廣之果樹^[1]，其中柳橙(*Citrus sinensis*)之產量為柑橘類水果之冠，根據行政院農業委員會農糧署農業統計年報及農情報告指出，近十年以來年產量平均為 18.8 萬公噸^{[2][3][4]}，柳橙產區主要分布台南、嘉義、雲林、南投等縣市。柳橙食用方式多為鮮食，或榨取新鮮果汁作為產品銷售，而殘留的柳橙果皮無銷售價值，造成食品工廠及一般傳統市場的負擔。果皮佔全果重約 1/3，通常採用棄置或掩埋的方式做堆肥，但果皮堆肥需經醱酵腐熟，過程中會產生惡臭氣體，因而造成環境汙染^[5]。另外，由於柳橙果皮含有大量纖維，在環境中很難自然分解，任其腐敗也會招致蚊蠅滋生，影響環境。

雲芝是分布廣泛的菌種，屬於木材腐朽菌，具有破壞木質素、降解纖維素的特性，並可將其轉換為生存所需之葡萄糖碳源，碳源對於微生物生長十分重要，其主要作用為構成細胞物質和供給菌種所需要的能源，並產出機能性代謝物^[6]。

由於柑橘類果皮含有豐富的多酚類化合物，果皮的總多酚含量是果肉的 4 到 5 倍，其中柳橙果皮的總多酚僅次於文旦柚及茂谷柑^[7]，同時，柳橙果

皮具有很高的碳源，柳橙果皮含碳量為 40.31 %，含氮量為 1.12 %^[8]，可見其碳源充足，具有取代培養基碳源之可行性。

因此本實驗使用柳橙果皮取代雲芝液態培養基之碳源，柳橙果皮添加至培養基不但可節省培養基原料成本，更可提高農業廢棄物的利用率，有效的以生物性方式分解柳橙果皮，並提供雲芝生長所需之營養，藉以產出多醣及多酚等抗氧化成分。

1.2 文獻回顧

農業廢棄物之特徵^[9]為量大、價格低廉，目前處理方式並無法提高其價值，反之若與真菌同做醱酵培養，可藉由真菌之代謝產生高經濟價值的二次代謝物，且由於農業廢棄物容易取得，若能應用於大型液態培養中，取代高單價的培養基材料便能有效降低生產製造成本。

柑橘類果皮已被研究證實^[10]，柑橘類果皮中多甲氧基類黃酮(PMFs)含量比果肉多，具有抗發炎與抗腫瘤生成特性，具有其利用價值。

根據 Zia-ur-Rehman^[11]的研究中提到，柑橘皮中含有許多的抗氧化物質，例如：多酚、類黃酮、黃烷酮等多酚化合物，其果皮萃取液能有效清除自由基，甚至比人工合成的抗氧化劑高出 8 到 10 倍的效能。

根據《茸類克服癌症：靈芝、舞茸、椎茸、巴西磨菇的免疫效果以及在治療現場應用的情況》^[12]書中提到，靈芝可依照其顏色區分為青芝、紅芝、黃芝、白芝、紫芝、黑芝，其中的青芝即是雲芝(*Trametes versicolor*)又名彩絨革蓋菌、雜色雲芝、彩絨菌、瓦菌。自古以來被視其為一種珍貴藥材，其功效為抗癌、抗腫瘤、降血壓，並可以舒緩疼痛。

生物體的產物可分為一次代謝物(primary metabolite)及二次代謝物(secondary metabolite)，一次代謝物可維持生物體的運作，而二次代謝物不具有維持生物體的功能，但由於這些二次代謝物不易以化學方式合成，因此更具有經濟價值^[13]。液態培養通常只能得到生產的一次代謝物，具有生物活性的二次代謝物卻很難取得，而醱酵液中的多醣體屬於一次代謝物，萜類化合物及多酚類化合物則是屬於二次代謝之產物^[14]，通常對動物具有機能性，成分大多具有抗癌、提升免疫、抗自由基、抗衰老等功效。

多醣體(polysaccharides)是由多種單醣類結合而成，而多醣類會因其種類、化學結合方式、分子大小與性質有所差異。其具有免疫生理活性，主要是因為含有 β -D 葡聚醣，更有研究指出對於動物有強烈免疫刺激能力^[15]。醱酵液中萜類物質具有抗腫瘤之功效；酚類物質、多醣體和超氧歧化酵素皆具有抗發炎與抗氧化等功效^[16]。

目前我國「健康食品管理法」當中，所公告的功效評估包含免疫調節、護肝、延緩老化等，其中被列為有效的保健成份便含有多醣體、粗多醣、類

黃酮素、總多酚等物質^[17]。

二、研究內容與方法

2.1 材料介紹：柳橙果皮、雲芝

2.1.1 柳橙果皮

本實驗所使用之柳橙果皮取自屏東市建國市場(貨源取自鳳山農會果菜批發市場)，其販售之新鮮柳橙產地來自雲林及台南；品種為甜橙。

根據(林, 2011 年)^[18]所做的香蕉假莖實驗結果顯示，粒徑尺寸位於 5 mm 到 10 mm 之範圍，雲芝降解木質纖維素的效果最佳，且醱酵液之多醣產出也是最高。因此使用規格 7 mm²之鑽孔器將柳橙果皮取至實驗所需之粒徑 7 mm²。

2.1.2 雲芝

此次實驗採用之雲芝菌種為 *Trametes versicolor* (BCRC 35253)，係購自食品工業發展研究所之生物資源保存及研究中心，經生物資源中心提供之培養基資訊，進行篩選、以 9cm 平板純化繼代後之菌絲體為實驗菌株，於 27℃ 震盪培養箱環境下保存，雲芝繼代與保存之培養基採用食工所提供之 PDA 培養基。

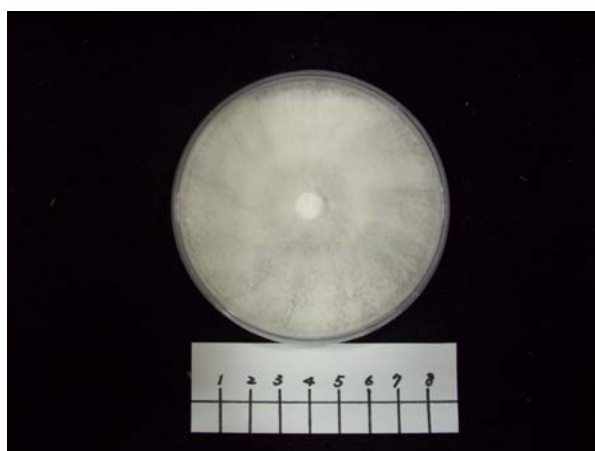


圖 1 雲芝 *Trametes versicolor* (BCRC 35253) 繼代培養固態平板

三、研究方法與步驟

3.1 實驗流程架構

本實驗對於柳橙果皮前處理的方式如下，實驗過程約使用 2-3 公斤之柳橙果皮，由市場取回之果皮需立即刮除榨汁後的剩餘果肉，放入烘箱內以 60℃ 環境乾燥至衡重，取出後以鑽孔器取至實驗所需粒徑規格 7 mm²。

此實驗將原培養基及無碳源之培養基做為對照組，以柳橙果皮 1:1 取代及柳橙果皮全取代原培養基碳源做為實驗組加以比較，並於液態培養基接

菌後的第 3、6、9、12 天抽取其醱酵液進行多醣及多酚的含量檢測，加以探討醱酵液的抗氧化能力。

實驗流程架構如圖 2 所示。

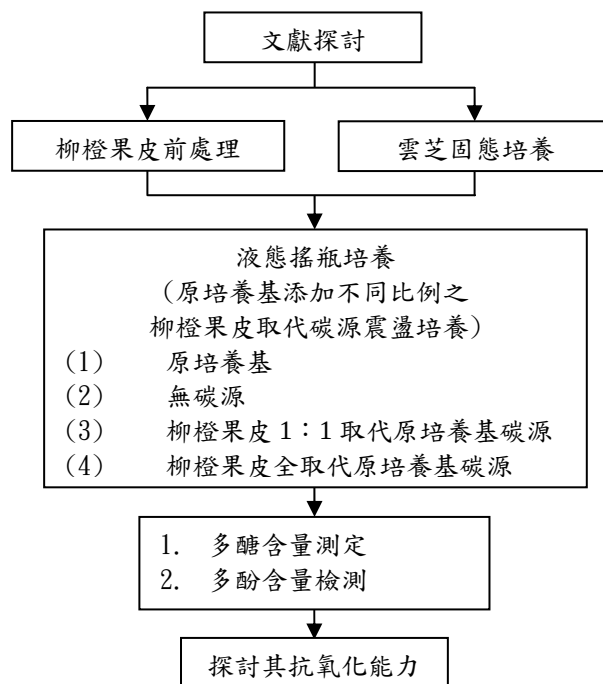


圖 2 雲芝液態培養實驗流程圖

3.2 栽培方法

3.1.1 雲芝液態培養

液態培養之優點為生產時間短、環境易控制、產量大且生產品質一致、不受天候限制、減少人力，並可降低對環境的傷害，不易使菇類發生變異^[19]。

本實驗之雲芝培養基採用 PDB 培養基，並添加柳橙果皮取代原培養基之碳源。培養方法為，使用 250 ml 之錐形瓶，將配製之液態培養基皆定量至 200 ml，並將柳橙果皮依照其取代比例添加至培養基中，使用高壓滅菌釜以 120 °C 滅菌 20 分鐘後取出，放置無菌操作台使其冷卻。使用酒精燈將錐形瓶以旋轉方式燒燙瓶口及瓶頸部分藉此達到防止雜菌污染，並將繼代培養的雲芝固態平板以接種環接種至液態培養基，以震盪培養箱於 120 rpm、27 °C 之環境中培養。

原培養基係指馬鈴薯葡萄糖瓊脂培養基 (Potato Dextrose Broth, PDB) 其碳源為葡萄糖，實驗代號為 P1；無碳源培養基是將原培養基之碳源去除，不添加葡萄糖及柳橙果皮，實驗代號為 P2；將柳橙果皮與葡萄糖以重量比 1:1 方式取代原培養基之碳源，實驗代號為 P3；添加柳橙果皮全取代原培養基之碳源(葡萄糖)之重量，實驗代號為 P4。

詳細液態培養基組成如下表 1 所示。

表 1 雲芝液態培養基組成 (g/L^{-1})

	原培養基 (P1)	無碳源 (P2)	1:1 (P3)	全取代 (P4)
Glucose	20.0	0.0	10.0	0.0
Orange peel	0.0	0.0	10.0	20.0
Potato	200.0	200.0	200.0	200.0
Peptone	5.0	5.0	5.0	5.0
K_2HPO_4	1.0	1.0	1.0	1.0
KH_2PO_4	0.025	0.025	0.025	0.025
MgSO_4	0.5	0.5	0.5	0.5
CaCl_2	0.002	0.002	0.002	0.002

3.3 多醣含量萃取與分析^[20]

此實驗係採用醇析法以及苯酚硫酸法 (Dubois, 1956) 進行多醣檢測，方法如下：

- (1) 抽取濾液 2 ml 加入四倍體積的 95 % 之乙醇，以 4 °C 靜置一天。
- (2) 以 12,000 rpm 離心 6 分鐘。
- (3) 使用 75 % 乙醇沖洗並再次離心，重複三次。
- (4) 放入烘箱中以 60 °C 乾燥 1 小時。
- (5) 加入蒸餾水還原為取樣容積，離心 10 分鐘後抽取 1 ml 上清液。
- (6) 加入 1 ml 的 5 % 之苯酚，並於 10 秒內將 5 ml 的濃硫酸加入。
- (7) 搖勻靜置 20 分鐘後，放入恆溫水浴槽以 25 °C 水冷 10 分鐘。
- (8) 放入分光光度計，以波長 490 nm 測量其吸光值。
- (9) 使用葡萄糖做標準品建立標準曲線，將吸光值帶入換算多醣含量，單位為 mg / ml。

圖 3 為苯酚硫酸法進行多醣檢測之示意圖。

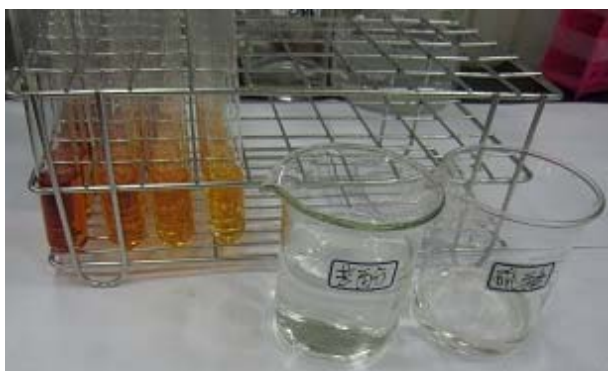


圖 3 以苯酚硫酸法進行多醣檢測示意圖

3.4 酚類檢測^[21]

本實驗方法係參照 (Salatino and Woisky, 1998) 之方法，方法如下：

- (1) 取濾液 0.1 ml，依序加入 2.8 ml 的蒸餾水、2 ml 的 2 % 之 Na_2CO_3 以及 0.1 ml 的 50 % 之 Folin(福林)試劑混和均勻。
- (2) 放置於 27 °C 室溫 30 分鐘，待其完全反應。
- (3) 放入分光光度計中，以波長 750 nm 進行分析。
- (4) 以沒食子酸 (Gallic acid) 做標準曲線，換算酚類含量，單位為 mg / ml。

圖 4 為分光光度計進行多酚含量檢測示意圖。



圖 4 以分光光度計進行多酚含量檢測示意圖

四、結果與討論

如圖 5 所示，在雲芝原培養基 (P1) 液態培養至第 12 天時，由於放置於震盪培養箱，雲芝生長時受到培養時的轉速影響產生剪切力^[22]，使得菌絲分裂後形成菌絲球狀，其菌絲球完整且光滑，並有中小型菌絲球飄浮，目測菌絲球總數約有 4-5 顆。



圖 5 雲芝原培養基(P1)
第 12 天培養情形

相較而言，圖 6 所示之雲芝無碳源培養基(P2)至第 12 天時，由於此培養基沒有添加葡萄糖，雲芝失去重要碳源，對於其菌絲生長受到影響，無法獲得所需之能源，因此其菌絲球相對較小，且菌絲球僅形成 1-2 顆，生長狀況並不佳。



圖 6 雲芝無碳源培養基(P2)
第 12 天培養情形

圖 7 所示為柳橙果皮以重量比 1:1 取代原培養基之碳源(P3)至第 12 天時，其菌絲球數量多、且看得出許多小型菌絲球漂浮，但柳橙果皮仍有剩餘部分在搖瓶底部尚未被分解完全。



圖 7 柳橙果皮 1:1 取代培養基(P3)
第 12 天培養情形

圖 8 所示為將柳橙果皮全取代原培養基之碳源(P4)至第 12 天時，其菌絲球生長狀況良好，可看出大小菌絲球已佈滿培養液近乎達到飽和，且柳橙果皮僅剩 2-3 塊尚未完全分解。由此可得知，雲芝可完全分解柳橙果皮，轉換為其生長所需之要素，因此以柳橙果皮全取代原培養基之碳源是可行的。



圖 8 柳橙果皮全取代培養基(P4)
第 12 天培養情形

實驗結果如下圖 9 與圖 10 所顯示，雲芝醱酵液中的多醣在第 6 到 9 天皆呈現上升趨勢，尤其以柳橙果皮全取代原培養基之碳源(P4)成長更是明顯，在第 9 天時，多醣含量達到 5.346 mg/ml，相較於原培養基增加了 404.8 %；將柳橙果皮以重量比 1:1 取代原培養基之碳源(P3)雖然成長幅度不如全取代(P4)培養基，多醣含量有 2.891 mg/ml，相較於對照組之原培養基及無碳源培養基仍有明顯成長。而多酚含量檢測結果則是以柳橙果皮 1:1 取代原培養基之碳源在第 9 天時達到最高產量 2.467 mg/ml，相較於原培養基增加了 23.1%。

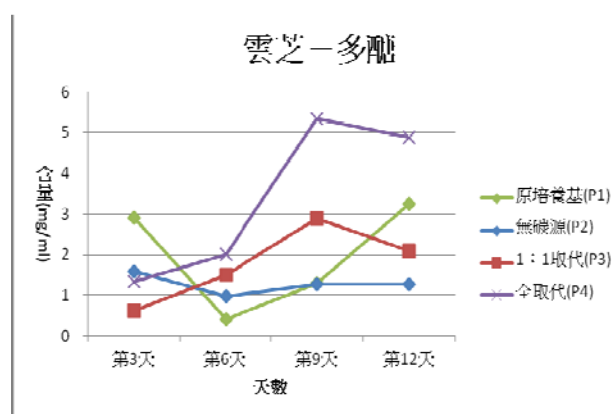


圖 9 多醣含量檢測

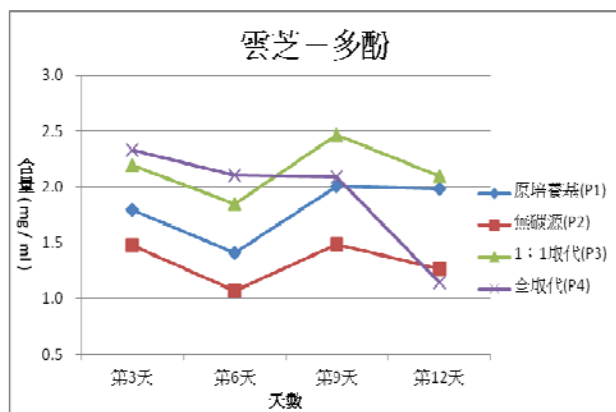


圖 10 多醣含量檢測

雲芝醱酵液中多醣及多酚檢測之含量數據詳如下表 2 及表 3 所示。

表 2 多醣含量檢測數據 (mg/ml)

雲芝-多醣				
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天
原培養基(P1)	2.909	0.406	1.298	3.241
無碳源(P2)	1.583	0.976	1.265	1.277
1:1 取代(P3)	0.616	1.502	2.891	2.083
全取代(P4)	1.325	2.007	5.346	4.883

表 3 多酚含量檢測數據(mg/ml)

雲芝-多酚				
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天
原培養基(P1)	1.794	1.412	2.004	1.984
無碳源(P2)	1.475	1.069	1.484	1.265
1:1 取代(P3)	2.194	1.848	2.467	2.098
全取代(P4)	2.332	2.103	2.090	1.142

五、結論

由實驗結果顯示，實驗組添加柳橙果皮取代雲芝液態原培養基之碳源與對照組原培養基相比較可得知，柳橙皮全取代雲芝原培養基之碳源，藉由雲芝可以生物性方式分解柳橙果皮，不但可有效處理柳橙果皮的廢棄問題，醱酵液中更是含有高含量的多醣，可藉由液態培養達到取得抗氧化物質之最好成效，在未來可應用於保健機能性食品上。

在實驗過程中，曾使用樟芝做為目標菌種。但由於樟芝具有寄主專一性^{[23][24]}，對於柳橙果皮之降解纖維素的成效不彰，多醣及多酚含量也無明顯增加，因此雲芝是較符合本實驗之處理柳橙果皮、解決農業廢棄物問題的目標菌種。

另外，由於本實驗係添加柳橙果皮，因此在多醣含量檢測中所使用之酒精醇析法，果皮所含有之果膠成份^[25]遇到酒精會被析出成果凍狀。因此為避免多醣檢測受到果膠之影響，本實驗利用高速離心機將抽取之醱酵液離心後取上清液，再進行酒精醇

析法便可克服此問題。但果膠也具有澄清液體或果汁的功效，可取代化學添加之澄清劑，若能將果膠以其他方式分離出來便可完全利用柳橙果皮，並且應用範圍更加廣泛。

六、致謝

首先要感謝李柏旻老師，提供了良好的研究設備及優良的實驗環境，以及專業的指導並藉由問題激發思考，而得以確認實驗方向。除此之外還要感謝學長們的幫助，協助改善實驗設計以及使用實驗器材方面的問題，在與各位學長們討論交流時，可以很明顯的了解自己不足、需改善的地方。

七、參考文獻

1. 柑橘類果皮加工利用，2008，台灣柑橘產業發展研討會專刊。
2. 行政院農委會 100 年 7 月第 229 期期刊。
3. 農情報告資源網
http://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp，103 年 2 月檢索。
4. 農業統計年報，2012，行政院農業委員會，第 81 頁。
5. Gamal A. El-Sharnouby, 2013, Conversion of Processed Citrus Wastes into Nutritional Components, J Food Process Technol 4: 259.
6. 陳玟吟，2013，「以高粱酒糟液態培養雲芝其發酵物之探討」，碩士論文，國立宜蘭大學食品科學系。
7. 莊月雀，2004，「台灣產柑橘類果實機能性成份之研究」，碩士論文，國立中興大學，食品科學系碩士班。
8. 蘭子平，邱德敏，雷光東，2013，「柑橘皮渣中碳氮比的測定」，內江師範學院學報，第 28 卷，第 10 期，第 28-30 頁。
9. 黃秀鳳，盧虎生，朱鈞，1999，農業有機廢棄物處理與應用，中華生質能源學會，台北，第 67-74 頁。
10. C-S Lai, S Li, C-Y Chai, C-Y Lo, C-T Ho, Y-J Wang* and M-H Pan, Inhibitory effect of citrus 5-hydroxy-3,6,7,8,3',4'-hexamethoxyflavone on 12-O-tetradecanoylphorbol 13-acetate-induced skin inflammation and tumor promotion in mice. 2007, Carcinogenesis, 28:2581-2588, (NSC 95-2313-B-022-003-MY3 and NSC 95-2321-B-022-001).

11. Zia-ur-Rehman, 2006, Citrus peel extract – A natural source of antioxidant, Food chemistry 99 pp.450-454.

12. 林占山, 2011, 「以香蕉假莖成份培養基對誘導雲芝產生 Laccase 及胞外多醣體之探討」, 碩士論文, 國立屏東科技大學, 生物機電工程系碩士班。

13. 林嘉隆, 2006, 培養條件對雲芝菌絲體生長與多醣體生成的影響, 碩士論文, 私立東海大學, 化學工程研究所。

14. 鄭雅今, 古國隆, 2007, 「質譜在植物防禦素研究上之應用」, 碩士論文, 國立嘉義大學, 應用化學系。

15. 高鈺宸, 2013, 「以香蕉假莖粉末取代培養基主碳源對雲芝產出物做為飼料之可行性之探討」, 碩士論文, 國立屏東科技大學, 生物機電工程系碩士班。

16. 蔣雅慧, 2005, 「添加物對樟芝菌絲與抗氧化活性生成之影響」, 碩士論文, 東海大學, 化學工程學系。

17. 農業生技產業季刊, 2005 年第三期, 財團法人生物技術開發中心, 第 1-6 頁。

18. 水野卓, 廖梅珠譯, 2002, 茸類克服癌症: 靈芝、舞茸、椎茸、巴西磨菇的免疫效果以及在治療現場應用的情況, 青春出版社。

19. 農業生技產業季刊, 2005 年第一期, 財團法人生物技術開發中心, 第 23-25 頁。

20. Dubois M, Gilles KA, Hamilton KJ, Rebers PA, and Smith F, 1956, Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal Chem 28:350-6.

21. Salatino A., Woisky R., 1998, Analysis of propolis: some parameters and procedures for chemical quality control. Journal of Apicultural Research 37: 99-105.

22. 陳書豪, 2006, 探討樟芝的溫度變化對液態發酵與固態發酵生產三萜類與多醣體之影響, 碩士論文, 國立中央大學, 化學工程與材料工程研究所。

23. 張中姿, 2002, 「樟芝菌絲體之甲醇萃取部分對人類肝癌細胞株(HepG2)生長抑制作用的機轉探討」, 碩士論文, 國立台灣大學, 生物化學暨分子生物學研究所。

24. Lee I.H., Huang R. L., Chen C. T., Chen H. C., and Lu M. K., "Antrodia camphorate polysaccharides

exhibit anti-hepatitis B virus effects, FEMS Microbiology", Vol.209. pp. 63-67, 2002。

25. 徐壽昱, 2010, 「利用耐高溫酵母菌發酵纖維素及柳丁皮廢棄物之研究」, 碩士論文, 大同大學生物工程系研究所。

附錄

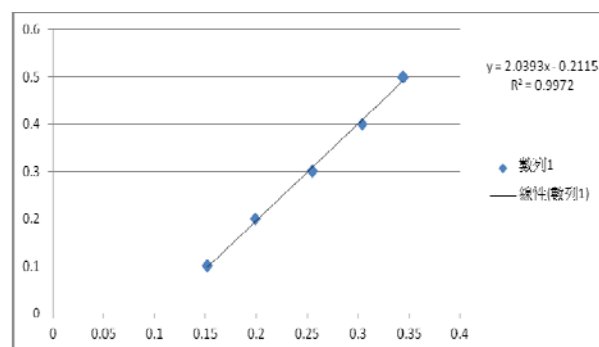


圖 3.1 多醣之標準品檢量線

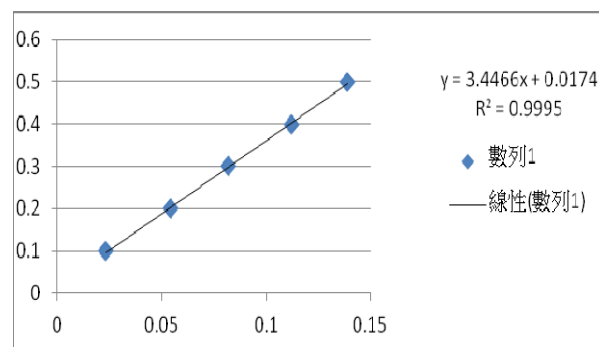


圖 4.1 多酚之標準品檢量線

Explore orange peel replace carbon versicolor liquid medium and its antioxidant polyphenol component analysis

Keyword : Orange peel 、Versicolor 、Liquid medium 、polyphenol 、antioxidant

Pei-chen Chen

Po-min Li

Department of Biomechatronics Engineering
National Pingtung University of Science and
Technology

Abstract

Orange production in the last decade an average 188,000 tonnes , the common use for orange is for its juice , and peel the total fruit weighs about 1/ 3 , however, the peel is being wasted and so are the effective compounds in it , which therefore, produces a lot of agriculture waste . Orange peel contains a lot of fiber , it is difficult self-decomposition in the environment . Versicolor is a white rot fungus , has the characteristics of lignocellulose degradation , polyphenols and polysaccharides in the fermentation liquid contained antioxidant effect .

This test is to add orange peel (7 mm²) as medium to *Trametes versicolor* , and is to perform liquid state fermentation , of which are to be divided to control group (original medium and no carbon source) and experiment group (1:1 replaced and complete replaced) . It is to discuss the effect to the growth of Mycelium after adding orange peel , also to inspect the amount of polyphenol and the polysaccharide in the fermentation liquid , and the antioxidant of fermentation liquid .

The result shows that , the amount of polyphenol in the fermentation liquid is the highest when replacing the original medium of carbon with 1:1 at the 9th day , increase of 23.1% ; meanwhile, the amount of polysaccharide in the fermentation liquid is the highest when replacing the original medium of carbon medium completely is the highest at the 9th day , an increase of 404.8% .

Therefore, from the experimental results that , replacing the original medium of carbon medium completely not only can effectively deal with the problem of waste orange peel , compared to other ways to shorten the time better than , and to Achieve results and reach the antioxidant substances , in the future it can be further used in health care on functional foods .

利用香蕉假莖替代太空包中之木屑成分

一 以珊瑚菇進行實際栽種

國立屏東科技大學 生物機電工程系

指導教授：李柏旻

學生：黃勤中 B10044019

蔡進成 B10044028

楊居翰 B10044041

摘要

近年來環保意識逐漸抬頭，間接影響木材產量與木屑成本，而製作太空包時，木屑占其總量約 90%，以木材製作太空包的產業每年產值約 50-100 億，約有 2 億個太空包需求，大約是 6 千立方公尺的木材，等於要砍 64 萬棵的樹木。因此積極的尋找能夠取代太空包中木屑的替代品，將會是永續發展的重要課題。

在台灣香蕉是主要的經濟作物之一，全台種植面積約 11 千公頃，屏東地區種植面積約 3.2 千公頃。香蕉為一年生果樹，香蕉收穫後的假莖被廢棄或者焚燒，造成資源的極大浪費；香蕉假莖的成分中，木質素成份含量相當的高，在蕈類的生長中，木質素扮演著重要的角色，因此我們藉由香蕉假莖替代木屑製作太空包，以防止過度砍伐和降低生產成本。

本實驗以珊瑚菇為例，至太空包中添加不同比例的香蕉假莖檢測出菇前後之碳氮比，選擇其最佳的混合比例。根據本實驗結果顯示，香蕉假莖取代太空包木屑是可行的，未來可能朝全面取代太空包木屑的方向發展。

關鍵字：香蕉假莖、太空包、珊瑚菇、農業廢棄物再利用。

一、前言

香蕉是一年生的果樹，為台灣主要的經濟作物之一。由於台灣處於亞熱帶地區，氣候利於香蕉的生長，因此台灣各地區都可以週年生產，香蕉收穫後的假莖被廢棄或焚燒，造成資源的極大浪費^[1]；其中假莖的木質素成份含量相當的高，在蕈類的生長中，木質素扮演著重要的角色，因此我們藉由香蕉假莖替代木屑製作太空包，以防止過度砍伐^[2]和降低生產成本。

二、研究目的

太空包香菇的生產，最主要的材料就是木屑。因近年來香菇的銷量與需求量的增加^[3]，再加上木材來源限制較多，導致生產成本逐漸增加，因此本實驗希望以香蕉假莖替代太空包中之木屑，藉由添加不同比例香蕉假莖至太空包中，檢測出菇前後之碳氮比，並評估出菇後之總重量，選擇其最佳混合比例。

三、實驗材料與方法

3.1 實驗材料

3.1.1 珊瑚菇菌種

金頂側耳(*Pleurotus citrinopileatus*)俗稱珊瑚菇，又稱為黃金菇、金頂蘑、榆黃蘑、玉皇蘑、玉皇菇等，

隸屬於真菌類之擔子菌綱(*Basidiomycetes*)、同擔子菌亞綱(*Homobasidiomycetidae*)、傘菌目 (*Agaricales*)、側耳科 (*Pleurotaceae*)、側耳屬 (*Pleurotus*)，其子實體外形像珊瑚因而得名，為黃白側耳的相似種，但體型較小，顏色則更加鮮豔。主要分布於中國大陸東北地區，多生於榆、棟、胡桃等闊葉樹的枯木或倒木上，在雲南則多生於核桃樹、柳樹的倒木上，故在當地俗稱為核桃菌、柳樹菌、楊柳菌。其子實體叢生，菇傘黃色至鮮黃色，表面光滑，近漏斗形，邊緣內捲；菌褶延生，白色，不分岔，不等長；菇柄偏生，白色至淡黃色，與基部相連；菌肉白色^[4]；其在生長階段的培養料碳氮比為 40:1 最佳^[5]。本專題使用之菌種為自行篩選菌種，菌種(圖 1)來源取自內埔傳統市場。



圖 1 珊瑚菇子實體

3.1.2 珊瑚菇培養基組成

3.1.2.1 PDA 固態培養基

馬鈴薯葡萄糖瓊脂培養基^[6] (Potato Dextrose Agar, PDA) 可使菌種生存及持續生長，並且提供所需之營養源及有利的生長環境。

表 1 PDA 固態培養基成分(g/L)

成分	含量
馬鈴薯	200
葡萄糖	20
瓊脂	20

3.1.2.2 珊瑚菇麥粒培養

太空包接種前，可利用其他基質進行菌絲大量繁殖，選用紅小麥進行麥粒培養(表 2)以利菌絲生長後方便觀察

表 2 麥粒培養基成分(%)

成分	比例
小麥	95.2
葡萄糖	2.4
碳酸鈣	2.4

3.1.3 香蕉

香蕉(*Musa sapientum* L.)為高大之草本單子葉植物，芭蕉科(*Musaceae*)，芭蕉屬(*Eumusa*)，別名金蕉、芎蕉、芭蕉、甘蕉，主要用途為食用、藥用及觀賞^[7]；台灣氣候非常適宜香蕉生長，其中以北蕉為台灣最重要栽培種，統計近幾年來香蕉的產量^[8]約為 30 萬公噸(表 3)。本實驗採屏東地區一般北蕉(*Musa 'PeiChiao'*)品種。

表 3 香蕉年產量

年份	產量(公噸)
98 年	172,550
99 年	287,895
100 年	305,740
101 年	295,265

3.1.4 太空包基質

木屑及香蕉假莖為太空包主要的基質成分，該部分是含碳素(Carbon)較高者，也就是纖維素、木質素、半纖維素等含量高的物質；此外菇類生長還需要的養分為氮素(Nitrogen)，這個部分可用米糠及玉米粉來做補充添加^[9]。本實驗主要以香蕉假莖與黑板樹木屑為主要基質。

3.1.4.1 木屑

來源以黑板樹(*Alstonia scholaris*) 為主，其樹幹挺直，樹冠傘蓋，樹皮灰褐色，側枝輪生，掌狀複葉，葉輪生，倒披針形或倒軟形，葉面深綠色，葉背淺白色，全緣，具乳汁(有毒)，樹皮上佈滿明顯的皮孔；主要用途為行道樹；其中木屑纖維素含量 45%，木質素含量 25%，半纖維素含量 25%^[10]；本次實驗來源由日月潭農場提供。



圖 2 基質-黑板樹木屑

3.1.4.2 香蕉假莖

香蕉植株主要特徵為，高約 260-280 公分，莖周約 70-80 公分，假莖形似圓柱；本實驗使用部位為假莖(圖 3)所示。

由於香蕉植株型態巨大，又為一年一期作物因素，經統計全世界被丟棄的香蕉廢棄物每年多達兩千萬噸，其中往往也伴隨著大量纖維廢棄物的產生，一般蕉農採收後皆將其棄置田內或做堆肥作用，不僅處理方式粗糙更可能會因假莖內部含水率高，在田埂間任意腐爛進而造成環境汙染等危害。因此，如何以符合成本之方式，將農業廢棄物轉換成可利用之資源，替代珊瑚菇太空包中之木屑，為本實驗目的；此法除了可以

減少廢棄物產生，使香蕉全株均能達到最大之應用效益，更可提升農業廢棄物的利用價值。假莖的主要構成為纖維素，占總量的 55.591%，木質素含量 8.742%，半纖維素含量 17.378%^[1]；本次實驗來源由台灣香蕉研究所提供。



圖 3 新鮮香蕉假莖

3.2 實驗設計與方法

香蕉假莖添加:以重量百分比依比例空白組、25%、50%、75%以及完全取代木屑。

實驗方法: 以空白組及實驗組進行製作太空包，並比較走菌滿包所需時間；檢測走菌前後之碳氮比進行三重複。

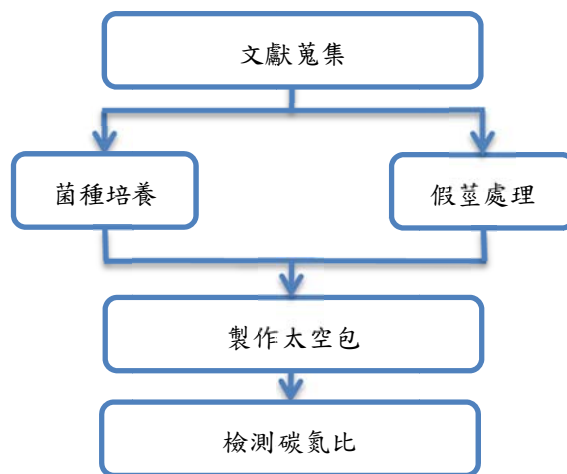


圖 4 香蕉假莖替代太空包中之木屑實驗架構圖

四、實驗流程

4.1 菌種培養

4.1.1 珊瑚菇篩菌以平板培養，步驟如下：

1. 將欲取菌之工具，如解剖刀、鑷子及白金鉤，分別在酒精燈上以火焰燒紅後，淬入70%酒精冷卻，上述步驟反覆至少三次。
2. 將欲取菌之珊瑚菇從菇傘中央剝開，避免使菌傘表面碰到剝開的菌塊，以免雜菌污染。
3. 以解剖刀在菌塊中央取菌數塊，然後用鑷子或白金鉤取下一塊菌塊放入培養皿中，使菌塊直接接觸到或者最好半插入培養基，然後封起來於恆溫中培養。取菌接種工具以接種一次為原則，若覺沒有碰到任何可能污染的地方，則可多接種一兩次，若有碰觸到除了培養基以外的其他地方，則應利用酒精燈再次殺菌後再行取菌肉，以減少污染^[11]。

分離後之平板應放置於恆溫箱中培養，觀察菌絲是否從菌肉中長出及觀察有無其他細菌或黴菌污染，若只從菌肉中長則持續觀察至開始旺盛時（亦即剛長出時生長速度慢，但三天之後，菌絲生長情形有明顯變化，則表示進入旺盛時期），此時即可進行大量的繁殖。

4.1.2 以麥粒大量繁殖珊瑚菇菌絲，麥粒培養基製作方法如下：

1. 浸泡：將小麥置於清水中浸泡至麥粒吸飽水分，以手指搓無實心感覺為準，含水量約為50%。
2. 燒煮：將浸泡過的麥粒放入100℃沸水中燒煮25-30分，至麥粒無白心時即可。
3. 裝瓶：將煮好的麥粒濾去多餘水分，隨即按比例拌入碳酸鈣和葡萄糖，然後裝入菌種瓶內。裝量約為瓶高的1/2，每瓶乾樣裝量150g左右。
4. 滅菌：採用高溫高壓滅菌釜，在壓力1.5 kg.cm²、攝氏溫度121度下，保持1.5-2小時。
5. 接種：菌種瓶冷卻後在無菌操作台內接入瓊脂菌

絲塊。

6. 培養：接種後置於攝氏27度培養室培養，待菌絲萌發、生長，待菌絲長滿瓶後，即可進行太空包接種。

4.2 香蕉假莖前處理

由於新鮮的香蕉假莖含水量高達90%以上，為了替代太空包中之木屑成分，本實驗對香蕉假莖進行了分段、榨汁、乾燥及粉碎四個步驟：

1. 分段：新鮮的香蕉假莖裁切至適當大小，以利於榨汁機作業大小為主。
2. 榨汁：將分段後的香蕉假莖利用榨汁機榨汁，經過這個階段後的含水率約為30%。
3. 乾燥：選擇空曠通風處，將榨汁完的蕉假莖放置陽光下曬乾，使其完全乾燥。
4. 粉碎：以粉碎機粉碎，並以24 mesh的篩網過篩以利菌絲獲得生長所需之養分。



圖5 處理後香蕉假莖粉末

4.3 製作太空包

1. 材料過篩：一般木屑往往會摻雜小木塊及較尖硬雜物，若不過篩清除，則將來裝入塑膠包時可能將塑膠袋刺破而增加雜菌污染機會。
2. 材料混合：依表4配方均勻混合，並添加蒸餾水使其含水率達60%。
3. 裝袋壓包：混合之材料，裝入P.P.塑膠袋中壓緊，並在中心打洞，以利於殺菌後之接種及通氣，壓包完成後在袋口處裝上一個P.P.塑膠瓶頸，並塞緊棉栓。

- 殺菌：高溫高壓滅菌釜是採密閉式，所以內部水蒸氣因壓力上升而能使水蒸氣溫度達到 121℃，維持 1.5-2 小時殺菌後，待釜內溫度降至 60℃即可取出再冷卻至 30℃左右，迅速接種。
- 接種：將棉塞拔開，立即加入一些新鮮無雜菌的原種，接種時應儘量避免可能的污染機會。
- 培養：將接種完之太空包移入培養室培養，使其菌絲得以順利生長，一般維持 60%相對濕度即可。
- 出菇：待菌絲長滿太空包之後並且菌絲由白色轉為褐色，則可將棉塞拿掉甚至於塑膠包自頂部切平，此時通氣量要夠，而且相對濕度必須維持 80%以上，否則剛長出來的菇蕾會乾枯無法持續生長。打開後若是日夜溫差大，則較容易刺激出菇，而且產量也較大。

表 4 瑚菇太空包添加假莖成分各比例配方 (g/包)

	無添加	1:3	1:1	3:1	全取代
木屑	176	132	88	44	0
假莖	0	44	88	132	176
米糠	10	10	10	10	10
玉米粉	10	10	10	10	10
葡萄糖	2	2	2	2	2
碳酸鈣	2	2	2	2	2

4.4 碳氮比檢測

碳氮比，是指有機物中碳的總含量與氮的總含量的比即為碳氮比。一般用“C/N”表示。適當的碳氮比例，有助於微生物發酵分解。此實驗以總碳滴定法及凱氏測氮法分別檢測總碳及總氮。

4.4.1 總碳檢測

根據 CNS 標準總號 CNS8032，標準類號 K9072 為分析依據，將濃硫酸加入過量重鉻酸鉀溶液中，將溶液中的有機物質氧化，並以硫酸亞鐵銨溶液滴定，即可由消耗之硫酸亞鐵銨量求得有機物含量^[12]。

- 取 0.03 g 已烘乾之檢測物(粉狀)於三角瓶中
- 加入 10 ml 1 N 之重鉻酸鉀溶液於瓶中
- 加 20 ml 濃硫酸沿管壁緩慢加入
- 輕搖，使樣品在硫酸中均勻混和
- 置於 80℃烘箱保溫 30 分鐘
- 取出冷卻至室溫後加入蒸餾水 100 ml
- 加入 85% 磷酸 5 ml
- 加二苯胺磺酸鈉指示劑兩滴
- 以 0.5 N 硫酸亞鐵銨滴定至透明綠(由黃褐色轉為藍紫色後至透明綠終止)

總有機物測定公式：

$$\text{有機物}\% = \frac{10 \times (1 - \frac{S}{B}) \times 0.67}{\text{樣品重}}$$

S:樣品滴定 ml 數

B:空白組滴定 ml 數

總碳計算公式

$$\text{總碳素}\% = \frac{\text{有機物}\%}{1.72}$$

4.4.2 總氮檢測

根據 CNS 標準總號 CNS8449，標準類號 N4085 為分析依據，利用濃硫酸溶液分解樣品，再使用蒸餾的方法使其產生氮氣，再來使氮氣溶於水中，最後利用鹽酸滴定後算出其氮的含量。

- 秤取 1 g 樣品倒入 250 ml 分解管
- 加入一尾匙分解促進劑
- 加入 10 ml 濃硫酸
- 置於凱氏氮分解爐以漸進加溫至 390℃並持續加熱 6 小時
- 加入 50 ml 蒸餾水
- 於凱氏氮蒸餾機蒸餾 5 分鐘
- 蒸餾後之蒸餾液加入 20 ml 硼酸指示劑
- 以 0.1 N 鹽酸滴定

總氮計算公式：

$$\text{總氮素(\%)} = \frac{N \times T \times M \times \text{定量數}(50) \times 100}{W \times B \times 1000}$$

N:標準酸濃度

T:滴定數(ml)

M:氮的分子量 14.01

W:樣品重(g)

V:蒸餾水定量數(ml)

B:取用之硼酸指示劑(ml)

五、結果與討論

香蕉假莖添加以重量百分比依比例空白組、25%、50%、75%以及完全取代木屑經由總碳滴定法以及凱氏測氮法檢測出其碳氮比後發現空白組、25%、75%以及完全取代木屑之碳氮比為 30.49-33.57，唯獨添加假莖比例 50%之碳氮比為 41.51，高於其他比例。

表 4 珊瑚菇太空包接種前之總碳

	重覆一	重覆二	重覆三	平均總碳(%)
0%	11.7	11.23	11.12	11.35
25%	10.9	9.9	11.2	10.67
50%	14.2	15.1	14.3	14.53
75%	11.21	11.25	10.99	11.15
100%	11.5	10.8	12.95	11.75

表 5 珊瑚菇太空包接種前之總氮

	重覆一	重覆二	重覆三	平均總氮(%)
0%	0.35	0.35	0.35	0.35
25%	0.35	0.35	0.35	0.35
50%	0.35	0.35	0.35	0.35
75%	0.35	0.35	0.35	0.35
100%	0.35	0.35	0.35	0.35

表 6 珊瑚菇太空包接種前之碳氮比

	總碳(%)	總氮(%)	碳氮比(C/N)
0%	11.35	0.35	32.43
25%	10.67	0.35	30.49
50%	14.53	0.35	41.51
75%	11.15	0.35	31.86
100%	11.75	0.35	33.57

依菌絲分布於太空包速度來看，添加假莖比例 50%其走菌時間最短，因此可以確定太空包之碳氮比越高，走菌所需時間越短，而且利用香蕉假莖替代太空包中之木屑成分是可行的。

走菌過程



圖 6、接種五天



圖 7、接種十天



圖 8、走菌十五天



圖 10、市售珊瑚菇太空包



圖 9、走菌二十天



圖 11、自製珊瑚菇太空包

表 7 各比例太空包菌絲分布完成天數(單位：天)

樣品	一	二	三	四	五	平均
0%	18	18	20	15	17	17.6
25%	25	24	22	26	25	24.4
50%	12	15	14	15	16	14.4
75%	21	22	20	23	20	21.2
100%	16	14	16	18	15	15.8

與市售太空包進行出菇比較

六、結論

1. 木屑添加假莖任何比例菌絲均能生長，並能完整走菌。
2. 碳氮比 40 之珊瑚菇太空包走菌速度比碳氮比 30 之珊瑚菇太空包來的快。
3. 由實驗得知菌絲生長速度最快之碳氮比為 40，與文獻相符。
4. 進行出菇後，與市售珊瑚菇太空包相比，出菇時間較長，其原因可能為配方比例不同。

七、參考文獻

1. 韋傳寶、王吉文，2008，香蕉假莖纖維成分的分析，中國林副特產 01

2. 洪輝祥，2008，香菇代價知多少，屏東環保聯盟
3. 陳錦桐、石信德、陳繹年、安寶貞，2012，菇類產業發展，菇類產業發展研討會專刊
4. 梁志欽、吳秋曄，2002，金頂側耳 *Pleurotus citrinopileatus* Sing.栽培條件之研究，台灣農業化學與食品科學 40(6)：401-406
5. 劉文華，孫艷霞，李威，陳江霞，王星繞，李紅，2009，榆黃蘑栽培技術規程，遼寧省質量技術監督局
6. 李國陽，2010，教育性觀賞兼食用菇之開發，南台科技大學
7. 施名南，陳國雄，張義弘，1982，台灣青果名錄-香蕉，農林廳種苗改良繁殖場編，台中，第 5-8 頁
8. 行政院農業委員會農糧署，2011，主要農產品產消及進出口量，農糧統計書刊
9. 行政院農委會，2013，菇類木屑太空包之製作，菇類栽培方式
10. 黃銘祥，2011，木質纖維素液相重組之研究，逢甲大學化學工程學系，碩士論文
11. 陳啟楨，2002，菇類的栽培與發酵技術，南台科技大學化工系
12. Bernie B. Bernard, Heather Bernard, and James M. Brooks. , *Determination Of Total Carbon, Total Organic Carbon And Inorganic Carbon In Sediments* , TDI-Brooks International/B&B Laboratories Inc. College Station, Texas 77845

**Using banana pseudostem alternative sawdust
composition of cultivation bag—The actual use of
Pleurotus citrinopileatus cultivation**

Qinzhong Huang, Jincheng Tsai, Chuhan Yang

Advisor: Pomin Li

Department of Biomechatronics Engineering
National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

In recent years, the rising awareness of environment protection have indirect effects on wood production and costs. Sawdust account for 90% of the total weight of the cultivation bag. The production value of cultivation bag is about 5 to 10 billion and its demand is about 200 million bags per year, which is equal to 6,000 cubic meters of wood or 640 thousands of trees. Therefore, looking for the substitutes of the sawdust of the cultivation bag is an important topic for the environment and the sustainable development. Banana is one of the main economic crops which cultivated area is about 3.2 hectares in Pingtung and 11 thousand hectares in Taiwan. Banana is an annual crop, after the harvest, the residual pseudostems of banana are usually discarded or burned that causes a great waste of resources. The pseudostem is rich in lignin which plays an important role in mushroom growth. It can prevent deforestation and reduce production costs through replaces wood with pseudostem in cultivation bag.

This study took *Pleurotus citrinopileatus* as example. Different proportions (25, 50, 75 and 100 %) are utilized to replace sawdust with pseudostem for making cultivation bag. The carbon-nitrogen ratio and total weight of fruiting body were assessed to conclude the optimum mixing ratio of the cultivation bag. The result show that the banana pseudostem provide an alternative to sawdust for the cultivation bag. Therefore, full replacements of sawdust with banana pseudostem

have great potential capacities in the future.

Keywords: Banana pseudostem, cultivation bag,
Pleurotus citrinopileatus, agricultural waste recycling

香蕉果實添加至培養基對 *Clostridium acetobutylicum* 產生質丁醇之探討

國立屏東科技大學 生物機電工程系

指導教授：李柏旻

學生：施登原 B10044018

李承威 B10044024

陳冠邑 B10044047

摘要

節約能源、回收再利用的環保概念漸漸受到重視，未利資源的轉換成為生質能源的應用越來越普遍。生質能源最有發展潛能的為丁醇，丁醇為一種再生能源，以能源趨勢來說，丁醇可比較現今生質能源主軸乙醇，多產生 25% 的能量，且丁醇的性質較乙醇更接近汽油，較容易與汽油相混及不容易腐蝕管線和相混分層的問題。醇類在轉換成能量後產物只有水和二氧化碳，不會產生對環境有害的副產品及污染。但因目前科技技術處理純化丁醇困難，若撇開純化問題，丁醇在新能源開發上，是很有發展潛能的。

科技的發展始終來自於人性，現今科技讓許多農業逐漸走向自動化，使得農產品產量大幅提升，其中過剩及品質較差的農產品，若能回收再利用，則更符合現階段的環保意念。在台灣內外銷的蔬果中，最大宗農產品為香蕉，根據統計近幾年來香蕉的產值約為 30 萬公噸，賣相不好被淘汰的三級品也相當的龐大，農糧署預估每年將近有 10% 的三級品被淘汰及產量過剩而增加許多農業廢棄物。

由於香蕉富含充足的碳源，且碳源與丁醇產值有直接關係，故本實驗以 *Clostridium acetobutylicum* 厭氧菌之培養基進行改良，利用均質機粉碎香蕉果實，

以對照組、2%、6%、18% 四種不同香蕉果實添加量至液態培養基，利用 ABE 發酵以批次培養的方式，固定發酵週期時間 120 小時，探討添加香蕉至液態培養基之 ABE 發酵產物丙酮、乙醇、丁醇產值，以氣相層析儀分析結果發現，2% 香蕉添加量有較高的丁醇累積量，及其有添加香蕉至培養基有助於減緩反應速率，使得菌體活性較不容易因產物丁醇續速增加而造成抑制，且比較對照組，添加香蕉果實之培養基在發酵週期 120 小時後，丁醇產量仍有增加的趨勢，故添加三級品香蕉果實至培養基是有助於 ABE 發酵之丁醇生成的。

實驗結果得知，添加 2% 的香蕉果實在 120 小時得到 8.78 g/L 的丁醇最高產量，提升了 3% 的產量且得到 3.25 g/L 的最高丙酮產量，提高了約兩倍，添加 6% 的香蕉果實在 96 小時得到 0.415 g/L，提高 7% 產量。

關鍵字: *Clostridium acetobutylicum*、厭氧發酵

一、前言

隨著時代進步，人們大量使用石化能源，使地球資源漸漸耗竭，環境汙染越來越嚴重，人們才慢慢發

現到保護環境的重要性。生質能源，是利用生物轉換，代謝之產物可能產生固、液、氣體的三種產物，大部分利用這種新生物質作生物質燃料。而在現今因石化能源上漲及能源安全的需要，生質能源也越來越受到重視，將其廣泛運用，符合現代的環保概念。

現今許多農業逐進走向機械化自動化的時代，以減少人力資源去生產農業產品，使得農業量產化及低成本化，以至於在生產季節過剩的農產品或者品質較差的，在早期的處理方式是以堆肥的方式處理，但因廢棄物被分解速度太慢，效果不彰，而在近幾年來，有人以農產品過剩為由，開發生質酒精，以農業廢棄物進行發酵工程生產，目的是為了降低使用地球的石化能源，逐步走向環保節能再利用的概念。

二、文獻回顧

2.1 ABE 發酵介紹

所謂的 ABE 發酵，即為利用菌株 *Clostridium acetobutylicum* 產生丙酮 (Acetone)，丁醇 (Butanol)，及乙醇 (Ethanol)。在傳統的 ABE 發酵之中，*Clostridium acetobutylicum* 會先製造出丁酸、丙酸、乳酸和乙酸，經過俗稱「蝴蝶」位移的代謝途徑後，丁醇、丙酮、異丙醇和乙醇產出，而主要產物還是以丙酮、乙醇、丁醇為主軸。(吳孟隆，2013)

Clostridium acetobutylicum 能生產丁醇最主要的原因是本身有特定的代謝途徑，能利用環境中的碳源進行多項代謝反應，並在代謝時產生丁醇。而在早期工程師發現，ABE 發酵在發酵溶液中，若丁醇含量超過 1%，會抑制菌種生長，而後工程師改良以菌體固定化的方式，其丁醇產量仍低於 25%，在這方面一直沒有技術的突破。

而後改良 ABE 發酵，利用兩種菌株 *Clostridium tyrobutyricum* 和 *Clostridium acetobutylicum* 進行連續式固定化培養，丁醇產率可以達到 42%，原因是其中一種微生物能把氫氣和丁酸產物最大化，另一種微生物則能把丁酸轉變成丁醇。和傳統 ABE 發酵程序比較，改良式的 ABE 發酵，消除了乙酸、乳酸、丙酸、

丙酮、異丁醇和乙醇的產出，只產生氫氣、丁酸、丁醇和二氧化碳，因此丁醇的產量可以倍數增加。

2.2 厭氧菌介紹

厭氧生物，是指一種不需要氧氣生長的生物，而通常都是細菌為主。它們大致上可以分為三種：嚴格厭氧菌、微耗氧厭氧菌及耐氧厭氧菌。

2.2.1 嚴格厭氧菌

當菌種暴露在有氧氣的環境之下，菌體會休眠或死亡，這種生物稱為嚴格厭氧菌，嚴格厭氧菌以無氧呼吸生存，在有氧的環境下，嚴格厭氧生物會出現缺乏超氧化物歧化酶及過氧化氫酶的情況，這些酶是可以幫助移走在專性厭氧生物細胞內的致命的超氧化物。

2.2.2 微耗氧厭氧菌

此菌是可以在有氧的環境中，利用環境中的氧氣進行有氧呼吸。但當在沒有氧氣的環境下，牠們部份會進行發酵，而部份進行無氧呼吸。環境中的氧氣及發酵物質的濃度是影響轉換作用的關鍵。

2.2.3 耐氧厭氧菌

耐氧厭氧菌是可以在有氧氣的環境下生存，對於環境中的氧氣比較其嚴格厭氧菌有較高耐受性，但是它們發酵產物的主軸除非特別要求，不然並不會是以有氧的環境下的產物為主軸。

本實驗 *Clostridium acetobutylicum* 為嚴格厭氧菌，據文獻中瞭解 *Clostridium acetobutylicum* 在有氧環境下有產內生孢子的現象，若接菌實驗進行太久，此時內生孢子會產生保護菌體，並且直到適合厭氧的生長環境，才會恢復其原來特性，故為非常好操作的嚴格厭氧菌株。

2.3 影響厭氧微生物分解之因素

2.3.1 pH 值

pH 值是一種重要的環境控制參數，以維持菌種能在最適宜的 pH 條件下生長若 pH 值過高或過低會造成菌種生長抑制，而本實驗 *Clostridium acetobutylicum* 菌株之最適 pH 值為 6.5~7 之間。

2.3.2 溫度

厭氧菌在醱酵之操作溫度上，一般可分為低溫中溫及高溫菌三個適合生長範圍。

嗜冷厭氧菌:菌體生長環境溫度小於 20℃，處於較低溫狀態，稱之嗜冷厭氧菌。

嗜溫厭氧菌:菌體生長環境溫度介於 20~45℃，處於一般常溫下範圍，稱之嗜溫厭氧菌。

嗜熱厭氧菌:生長溫度大於 45℃處偏向較高溫環境下生長菌群，一般於赤道附近多屬菌種較多。

由於台灣位於亞熱帶地區，全年平均溫度在 30℃左右，故最適合中溫菌生存，因此本實驗採用嗜溫厭氧菌 *Clostridium acetobutylicum* 作為生產丁醇之胞器。(紀奕全，2011)

2.4 生物反應器

生物反應器的操作方式大致上可分為三類。批式培養、連續式培養、半連續式之饋料式培養。

2.4.1 批式培養：

指培養基以及菌種同一時間一起加入容器培養，直到醱酵過程結束，中間除了 pH 值的控制、空氣的進入及排出外，無營養源及物料的交換，可排除環境因素及溫度和 pH 值變動影響，所以批式培養有較高穩定性。

2.4.2 連續式培養：

指有添加新的培養基與容器中醱酵液以同流速進行交換，並同時以相同的速度取出醱酵液，使得容器中之醱酵液容量不變，這樣做法可使得菌種不斷有新的營養源添加，以及醱酵液產物之濃度、pH 值、菌體濃度、生長速度能維持穩定，甚至能易於需求來控制生長濃度。

2.4.3 半連續式培養：

又稱饋料批式醱酵，方法介再批式醱酵及連續式醱酵之間的一種醱酵技術，指微生物在批式醱酵時，以某種方式對反應系統補加一定營養源或物料的培養技術。透過半連續式培養操作，可使反應系中營養源濃度保持較長時間，保持菌體對數生長期進而達到提高產率的目的。

本實驗的是為了得到最佳添加香蕉果實量有最

好的丁醇產質，故採以批式培養，因此方式有較高穩定性及較固定的實驗數據。

2.5 *Clostridium acetobutylicum* 介紹

Clostridium acetobutylicum，為一種格蘭氏陽性芽孢桿菌（以下簡稱菌 *C. acetobutylicum*），其以厭氧醱酵液體主要產物有丙酮(Acetone)、丁醇(Butanol)、乙醇(Ethanol)，故又稱 ABE 醱酵，其醱酵產生的氣體包含了氫氣及二氧化碳。*Clostridium acetobutylicum* 厭氧菌為嚴格厭氧菌，生長時不需要有氧氣的存在，但 *C. acetobutylicum* 在有氧的情況下會形成內孢子(endospores)，菌體變成橢圓形，可保存數年，等待有良好的厭氧環境下就會繼續生長，是一株容易操作的菌株，圖 1 為孢子形成歷程。

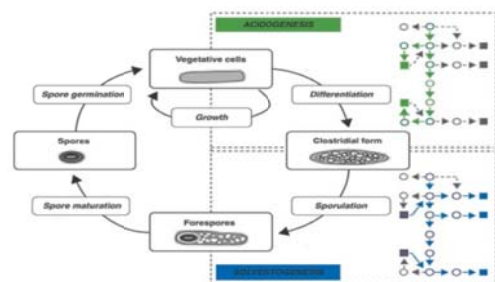


圖 1 為 *Clostridium* 菌屬之孢子行程圖

(本圖參照探討以離子液體[Hmim][PF6]進行萃取醱酵來提升 *Clostridium acetobutylicum* 產丁醇之研究文獻)

2.6 培養基成分對於 *Clostridium acetobutylicum* 代謝產物分析

2.6.1 碳源

以文獻得知，葡萄糖、澱粉對於生成丁醇、丙酮、乙醇有極大的關係，這些我們稱為培養基中的碳源，碳源是所有生物細胞的生命骨架主要成份，以碳源及其他化合物為原料，合成胞體所需的各種物質。

2.6.2 氮源

其中蛋白質在培養基中做為氮源的角色，對於菌的生長也有一定的關係，在這方面的培養基添加，對於產氣量也有一定的影響因素。(紀奕全，2011)

2.6.3 香蕉

台灣香蕉，屬於芭蕉科芭蕉屬的香蕉，其品種又分為

南蕉與北蕉，最常見的品種為是兩百多年前由大陸華南地區引進的「北蕉」學名為Musa 'Tai Chiao No. 1'，從北蕉組織培養苗篩選出來的「台蕉1 號」與「寶島蕉」，因北蕉在台灣已經在地化，所以又稱之為「本土蕉」或「土蕉仔」。本實驗採自屏東地區一般北蕉品種。以下為香蕉平均成分含量表。：

香蕉在台灣相當有農業經濟價值，統計近幾年來香蕉的產量約為 30 萬公噸，被淘汰的三級品也相當的龐大，農糧署估計每年有近 10% 的三級品。(行政院農業委員會農糧署，2011)

表 1 台灣 Musa 'Tai Chiao No. 1' 香蕉各年產量

年份	產量(公噸)
98 年	172,550
99 年	287,895
100 年	305,740
101 年	295,265

表 2 台灣 Musa 'Tai Chiao No. 1' 香蕉成分

成分	含量(g)
水分	77.3
碳水化合物	23.5
蛋白質	1.3
纖維	1.6
脂肪	0.2

三、研究目的

本實驗目的是運用這些三級品香蕉果實添加至

厭氧菌 *Clostridium acetobutylicum* 培養基中，以添加香蕉果實增加碳源的方式，藉由 ABE 發酵來探討其產出最終目標產物丁醇為主要目的。

四、實驗材料與方法

4.1 實驗材料

4.1.1 *Clostridium acetobutylicum*

本專題使用之菌株為 BCRC10640 購自食品工業發展研究所菌種中心



圖 2 為 *Clostridium acetobutylicum* 菌株平板培養圖

4.1.2 培養基組成

表 3 為 *Clostridium acetobutylicum* 固態平板培養基成分

成分	濃度(g/L)
Beef extract	10
peptone	10
NaCl	5
Glucose	5
Yeast extract	3
CH ₃ COONa	3
Soluble starch	1
Agar	18

表 4 為 *Clostridium acetobutylicum* 液態醱酵培養基成分

成分	濃度(g/L)
Glucose	70
CH ₃ COONH ₄	2.2
Yeast extract	1.5
K ₂ HPO ₄	0.5
KH ₂ PO ₄	0.5
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.2
MnSO ₄ · 7H ₂ O	0.01
FeSO ₄ · 7H ₂ O	0.01
NaCl	0.01
香蕉	依比例添加

4.2 實驗設計與方法

培養基 pH 值: 6~7

培養溫度: 37 °C

香蕉果實添加: 以重量百分比依比例空白組、2%、6%、18%

實驗方法: 以空白組及實驗組進行三重複共 12 瓶

培養時間: 以批次醱酵進行 120 Hr

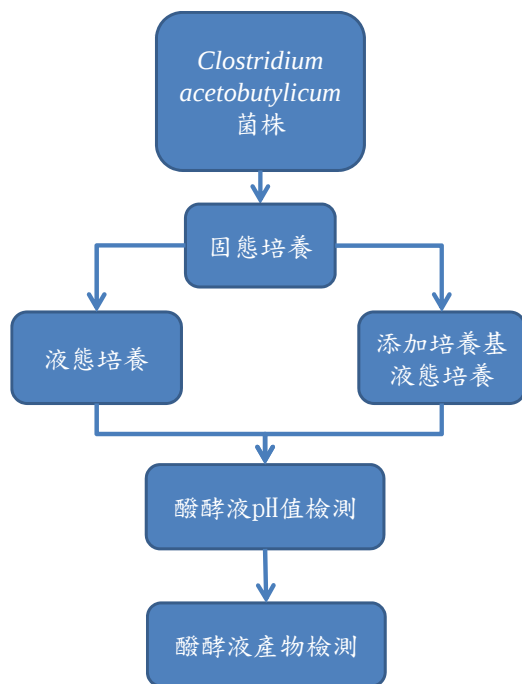


圖 3 *Clostridium acetobutylicum* 菌產丁醇實驗設計流程

4.2.1 ABE 分析

ABE 醱酵成分分析使用 Shimadzu 氣相層析儀 (Shimadzu Chromatography GC-2014)，設定偵測分析的載流氣體為氮氣，分析儀器為 GC-FID (Flame ionization detection)，酮類測定：丙酮 (Acetone)，醇類測定：丁醇 (Butanol)、乙醇 (Ethanol)。液體樣本需經過離心，使可進行分析。(吳孟隆，2013)

表 5 ABE 測定的分析條件

型號	SHIMADZU GC-2014
Column	不鏽鋼材質， SHINCARBON ST 80/100 mesh， 4M x 3mm (日本，信和化學製)
Detector	FID
Inject temp.	120°C
Oven temp.	50°C for 3 min and then increased by 20°C/min to 190°C
Detect temp.	250°C
Carrier gas	氮氣

4.2.2 厭氧恆溫醱酵培養示意圖

將平板培養好之菌株接至 1 L 的液態培養基中並以氮氣進行 20 分鐘洗瓶至厭氧狀態，而後將洗瓶完成之液態培養瓶放置於 37°C 恆溫培養箱中。

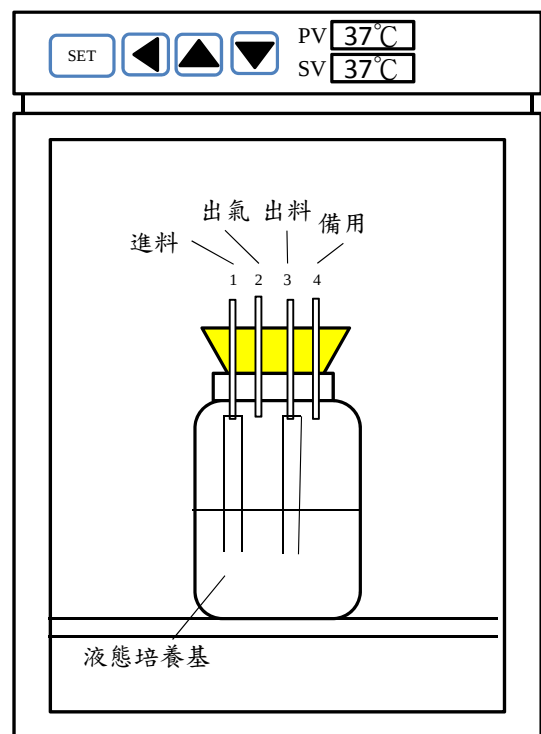


圖 4 為厭氧恆溫醱酵培養示意圖

五、實驗流程

5.1 菌株培養

將從食工所購得之菌株已固態平板馴養至穩定後再以液態培養依不同百分濃度添加 2%、6%、18% 的香蕉進行 120 小時的批式培養。

5.2 發酵成分分析

每 24 小時抽取 10 mL 發酵液以 pH 計測得發酵液 pH 值。

取 1.5 mL 發酵液以離心機在 13000 rpm 離心 10 分鐘，取上清液經 0.22 μm 過濾膜過濾，以 5 μL 針筒抽 1 μL 發酵液以氣相層析儀進行分析。

六、結果與討論

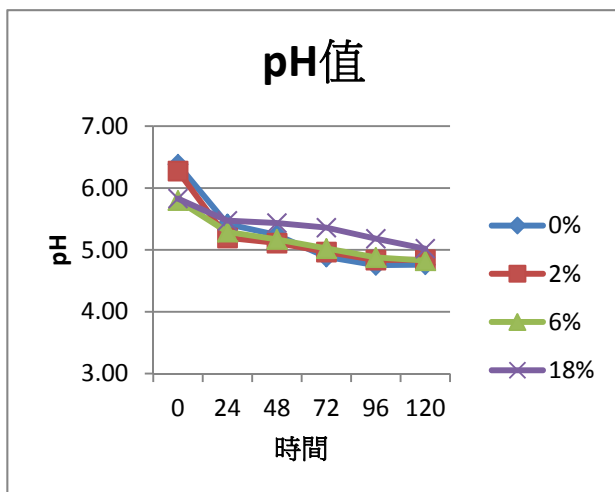


圖 5 為 pH 值比較圖

添加香蕉至培養基中使得液態培養基的 pH 起始值比未添加香蕉的培養基更接近於酸性，在 24 小時發酵後未添加香蕉的培養基反應速率較快，容易造成菌體活性被抑制，24 小時後因菌株開始代謝產物平衡 pH 值，因此 pH 值變化的幅度較為趨緩。

而添加 18% 香蕉果實的培養基因為相較濃度較高，分解反速率較慢，因此發酵時間較為延長。

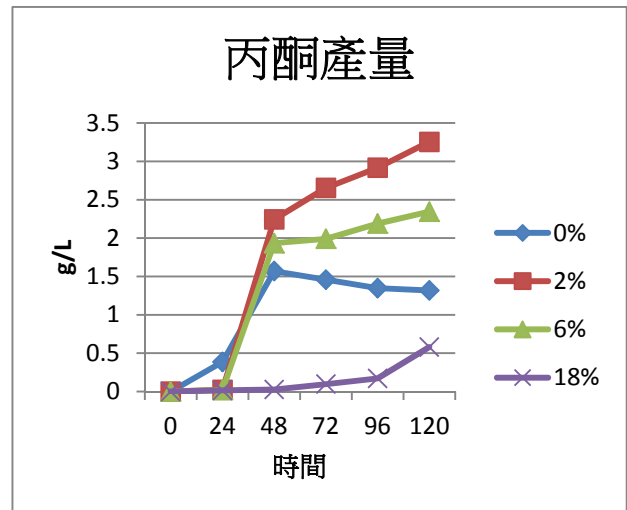


圖 6 為丙酮產量比較圖

在 0 至 24 小時時菌體在適應期，丙酮產率沒有明顯變化，在 24 小時後菌體進入對數生長期而開始有大量丙酮產生，而添加 2% 濃度香蕉之發酵液在 120 小時時達到 3.25 g/L 最高產量。

而其中添加 18% 濃度香蕉的發酵液因反應速率較為緩慢並沒有明顯的丙酮生成。

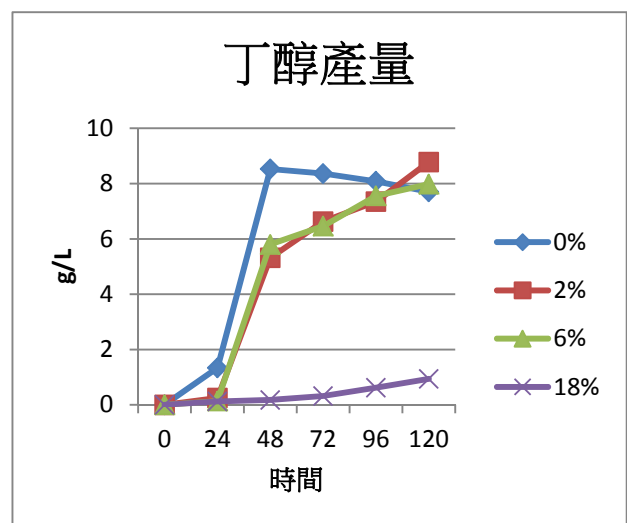


圖 7 為丁醇產量比較圖

在 0 至 24 小時時菌體還在適應期並沒有明顯的丁醇生成，在 24 小時後菌體進入對數生長期釋出大量未解離酸，此時菌體開始將丁酸轉化為丁醇平衡 pH 值，而在添加 2% 濃度香蕉之發酵液在 120 小時時達到 8.78 g/L 最高丁醇產量。

未添加香蕉果實之發酵液因為在 48 小時時反應速率太快使菌體達到飽和濃度而產生抑制現象。

添加 18%濃度香蕉的醱酵液因反應速率較為緩慢，因此丁醇產量上升較為緩慢。

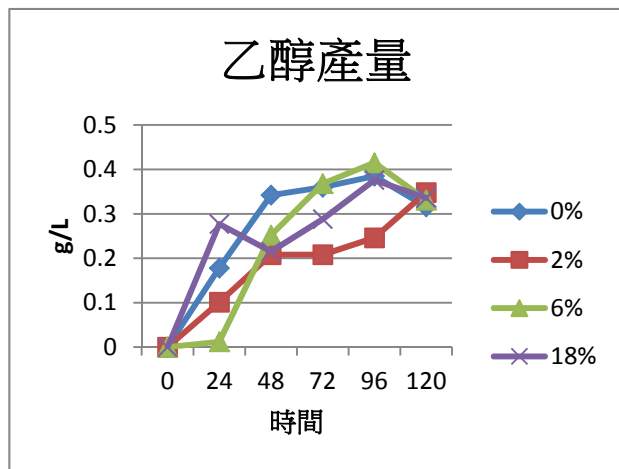


圖 8 為乙醇產量比較圖

以圖表得知，添加 6%的香蕉果實在 96 小時得到最高產量 0.415 g/L，比較空白組提高 7%產量。但未添加香蕉果實與添加香蕉果實之乙醇總產量較低，故回收利用率較低，但可以確定添加香蕉果實能使乙醇產量增加。

實驗結果得知，添加 2%的香蕉果實在 120 小時得到 8.78 g/L 的丁醇最高產量，提升了 3%的產量且得到 3.25 g/L 的最高丙酮產量，提高了約兩倍，添加 6%的香蕉果實在 96 小時得到 0.415 g/L，提高 7%產量。

七、結論

- 1.添加適量香蕉有助於提高丙酮與丁醇的產量。
- 2.若未來改以連續進流式添加香蕉果實醱酵培養方式可使反應速率降低使菌體較不容易被代謝產物丁醇抑制失去活性，而提高整體丁醇產率。
- 3.在未來農業未利用資源上能有較高的處理效率。

八、參考文獻

甘嘉玲，2010，生質丁醇純化之製程設計，東海大學化學工程與材料工程學系，碩士論文。

李宜珈，2011，醋酸根離子與疊氮化鈉對 *Clostridium acetobutylicum* 生產 butanol 影響之探討，東海大學化學工程與材料工程學系，碩士論文。

紀奕全，2011，混合菌之丁醇醱酵，逢甲大學環境工程與科學學系，碩士論文。

行政院農業委員會農糧署，2011，主要農產品產消及進出口量，農糧統計書刊。

吳孟隆，2013，探討以離子液體[Hmim][PF6]進行萃取醱酵來提升 *Clostridium acetobutylicum* 產丁醇之研究，中央大學化學工程與材料工程學系。

N. Qureshi, L.L. Lai, H.P. Blaschek, 2004, Scale-Up of a High Productivity Continuous Biofilm Reactor to Produce Butanol by Adsorbed Cells of *Clostridium Beijerinckii*, Food and Bioprocess Processing 82:164-173.

Pingyi Zhang, Roy L. Whistler, James N. BeMiller, Bruce R. Hamaker, 2005, Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility—a review, Carbohydrate Polymers 59:443-458.

Liew Shiao Tsuey, Arbakariya Bin Ariff, Rosfarizan Mohamad, Raha Abdul Rahum, 2006, Improvements of GC and HPLC Analyses in Solvent(Acetone-Butanol-Ethanol) Fermentation by *Clostridium saccharobutylium* Using a Mixture of Starch and Glycerol as Carbon Source, Biotechnology and Bioengineering 11:239-298.

Silviya Elanthikkal, Unnikrishnan Gopalakrishnapanicker, Soney Varghese, James T Guthrie, 2010, Cellulose microfibrils produced from banana plant wastes: Isolation and characterization,

Carbohydrate Polymers80:852-859.

Yu-Sin Jang , Alok Malaviya , Changhee Cho ,
Joungmin Lee , Sang Yup Lee , 2012 , Butanol
production from renewable biomass by clostridia ,
Bioresource Technology123(C2):653-663.

Harinder Singh Oberoi , Simranjeet Kaur Sandhu ,
Praveen V. Vadlani , 2012 , Statistical optimization of
hydrolysis process for banana peels using cellulolytic
and pectinolytic enzymes , Food and Bioproducts
Processing90:257-265.

Yao Li , Chengrong Qin , Yanping Lei , 2012 , The
Study of Enzyme Hydrolysis Saccharification Process of
Stems and Leaves of Banana , Energy
Procedia16:223-228.

Hetty van der Wal , Bram L.H.M. Sperber , Bwee
Houweling-Tan , Robert R.C. Bakker ,
Willem Brandenburg , Ana M. López-Contreras , 2013 ,
Production of acetone , butanol , and ethanol from
biomass of the green seaweed *Ulva lactuca* ,
Bioresource Technology128:431-437.

Adriano Pinto Mariano , Marina O.S. Dias , Tassia L.
Junqueira , Marcelo P. Cunha , Antonio Bonomi ,
Rubens Maciel Filho , 2013 , Utilization of pentoses
from sugarcane biomass: Techno-economics of biogas vs.
butanol production , Bioresource
Technology142:390-399.

Lin Li , Hongxia Ai , Shexi Zhang , Shuang Li , Zexin
Liang , Zhen-Qiang Wu , Shang-Tian Yang , Ju-Fang
Wang , 2013 , Enhanced butanol production by
coculture of *Clostridium beijerinckii* and *Clostridium*
tyrobutyricum , Bioresource Technology143:397-404.

N. Qureshi , M.A. Cotta , B.C. Saha , 2013 ,
Bioconversion of barley straw and corn stover to butanol
(a biofuel) in integrated fermentation and simultaneous
product recovery bioreactors , Food and Bioproducts
Processing.

Jagdish Gabhane^a , S.P.M. Prince William , Abhijit
Gadhe , Ritika Rath , Atul Narayan Vaidya , Satish
Wate , 2014 , Pretreatment of banana agricultural waste
for bio-ethanol production:Individual and interactive
effects of acid and alkali pretreatments with autoclaving ,
microwave heating and ultrasonication , Waste
Management34:498-503.

McCoy *et al.* , 2014 , BCRC Strain Collection Catalog
& Shopping cart ,
Clostridium acetobutylicum McCoy *et al.*

**Use agricultural resources(Musa 'Tai Chiao No.
1'Banana) added to the culture medium of
Clostridium acetobutylicum to produce Butanol yield**

Abstract

With environmental awareness, the concept of energy conservation through recycling has been increasing. Butanol is the most development potential in renewable energy which producing energy more 25% and properties close to gasoline which more easily mixed with gasoline and not easily corroded pipelines and mixed layered than ethanol.

Banana dominates the export and domestic market of Taiwan. According to statistics of the past 5 years, an estimate of 300,000 tons of bananas is produced annually which make its yield the highest among all the pomological products in Taiwan. 10% are found to be below par in the midst of commercialization.

With these being said, culture medium can be added 2% 、6% 、18% with different quantities of discarded banana waste to culture *Clostridium acetobutylicum*, to analyze the yield of butanol.*Clostridium acetobutylicum* can used the banana fruit high composition of carbon, vitamins, minerals and trace metals content. Hence, it is proven that carbon has a direct relation to the yield of butanol . During this process, acetone, ethanol and butanol are produced.we use ABE fermentation batch culture by way of fixed fermentation cycle time of 120 hours, and finally we used the gas chromatography to identify the yield of butanol.

Experimental results show that adding banana fruit of 2% in 120 hours to get 8.78 g / L of butanol and 3.25 g / L of acetone highest yield,and added banana in medium can help to slow down the reaction rate, reducing *Clostridium acetobutylicum* activity was inhibited by

butanol.

However, ethanol production in each group was not a big difference, so adding banana fruit to enhance the ethanol production did not significantly help.

Keywords: ABE fermentation (acetone Acetone, Butanol Butanol,

Ethanol Ethanol fermentation), bananas, *Clostridium acetobutylicum*, anaerobic fermentation

應用虛擬儀控技術於溫室微氣候調節之設計與實現

Design and Implementation of Environment Control Technique Based on Virtual Instrumentation
LabVIEW for Greenhouse Application

曾開誠 黃偉智

指導老師：張仲良

國立屏東科技大學
生物機電工程系

摘要

本專題選用 LabVIEW 虛擬儀控技術進行植物栽培箱內各環境因子參數(比如溫度、濕度與光度)調整,並且使用 Protel 軟體繪製與製作系統周邊電路板來連結電腦控制端與系統作動端之設計,試驗結果顯示在半密閉式植物栽培箱中,經由本文所提出之系統進行環境因子控制可維持溫室內外溫差 1°C ,濕度 $\pm 10\%$,光度部分可增加 $50\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,此外,介面中亦加入影像擷取裝置,方便使用者觀察環境內部植物生長狀況。

一、前言

台灣四面環海,不只有著豐富的地理環境,更有獨特的氣候變化,且在每年夏秋季節間常會有颱風出境,而台灣早期以農業最為大宗,而自然災害常造成農作物收成不佳,進而造成莫大的糧食危機。許多年來,許多學者與專家陸續提出許多的方法來克服環境極端變化所帶來的農作物災害。方煒(1998)於 1998 年說明溫室環控之重點在於協調地控制作物生長之微氣候,使作物能成功地生長與繁殖。而黃世忠(1999)提到利用電腦圖形控制的模式來控制溫室內的程式控制器及環控設施,以達到溫室環境自動控制的目的。由此可得知,溫室環境圖控在台灣的發展並不算晚,但在控制的方法上卻有所不同。黃世忠藉由 PC 上的通訊程式與 PLC 上的主程式構成的圖控程式,建立了人機介面,進而達到自動控制溫室內氣候環境的目的。張建興(2003)藉著網路圖形監控系統的力量,把畜舍的控制延伸至網路上,不論是透過桌上型 PC、筆記型電腦甚至隨身攜帶的 PDA,都可以達到監控的目的。陳麗新(2004)透過設施內穩定的氣候狀態及可預期的生長時間,調節農產品產量及產期,使農民能以最低的生產成本,獲得最高的收益。余等(2007)所研究設計的「室內植物栽培環控系統」,是一個集合室內溫室,整合機電、生物與環境而成的最新系統。設計上所使用的設備與控制元件,在軟、硬體各介面整合時的優劣決定系統的成敗;室內植栽系統工程由提高使用

效率,增進農產品品級,無藥栽培,水霧耕栽培,調節季節性植物生長資源,以增加經濟效益。因此,本文將系統的研究設計著重於環境的控制,而溫室環控工程為其中重要的一環。姚等(2007)研製一網路化電力即時監控系統,透過虛擬儀錶之人機介面,使用者可於工作現場直接監控電力負載,達到電力品質分析的要求,亦可於 Client 端,透過瀏覽器,經過驗證登入手續後,進入本系統之人機介面。湯等(2009)以 LabVIEW & DAQ 卡整合溫度與溼度控制電路作環境之控制,並結合電磁閥與風扇及發熱源(燈泡)作溫溼度的即時控制。在灌溉方面是以電磁閥控制水源以滴灌之方式作灌溉,可有效管理植物生長。楊等(2012)尋求更合理的運轉設定,以圖控程式建立一個圖形介面的溫室環控系統,配合溫室環控設備進行試驗。圖形介面包括環境狀態顯示面板、控制面板及溫室模型面板。透過資料擷取模組擷取感測訊號及傳輸控制訊號,能將量測之溫度、相對濕度、太陽輻射及設備運轉情形即時顯示在圖形介面上,同時將量測值及控制歷程記錄存檔。

由上可得知在溫室內種植植物可使植物避免許多外界因素影響(如:病蟲害、風災、水災與日夜溫差等),為此在台灣使用溫室已不為稀奇,但在溫室調節氣候技術上卻有許多不同的方法。

本專題研究主要目的乃是希望透過簡易操作的環境控制方法,針對半密閉式的溫室系統環境控制提供一個解決方案,而會選用 LabVIEW 作為程式設計原因為 LabVIEW 可讓我們學習到如何設計人性化人機介面且透過程式撰寫達到環境監控之目的,且在完成溫室部分後可將兩者合一,達到使用虛擬儀控技術來控制溫室環境。

二、研究內容與方法

2.1 微氣候溫室設計雛型

本專題設計一套圖控式人機介面,功能包含顯示溫度、濕度與光度值,並可設置自動控制中各環境因子的期望上\下限,搭配 NI myRIO 將各因子轉為數

值後顯示於由 LabVIEW 所撰寫出的人機介面(GUI)上，再將判斷其數值過高、正常或過低，根據其判斷後程式將作出不同動作，使其環境因子回到正常值。

2.2 系統硬體架構

2.2.1 植物栽培箱

溫室系統材質採用保麗龍箱內置空間為 56 公分 x37 公分 x24 公分。選用保麗龍箱原因為：在工廠由發泡膠粒加熱射出成型，尺寸可塑性高，因為性質隔熱，所以有一定的保溫功能(如圖二所示)。在保麗龍箱內部放置密林作為植物植栽區，上部以導光膜(FSII-5,210 μ m)覆蓋，選用導光膜環境光度均勻化。

2.2.2 環境監控模組

其功能為監控溫室內各參數，以 NI myRIO 作為核心將資料傳至 LabVIEW 做參數處理後顯示於人機介面中，其中選用包含以下：

(A) NI myRIO

採用 NI myRIO 為控制核心，其功能有 NI myRIO 是一種創新的軟硬體平台，可以幫助學生「實作工程」，更快設計出實用的系統。NI myRIO 搭載最新的 Zynq 整合式系統單晶片(SoC)，同時配備雙核心 ARM® Cortex™-A9 處理器與 FPGA，並且共有 28,000 個可設定的邏輯單元、10 個類比輸入通道、6 個類比輸出通道、音訊 I/O 通道，以及高達 40 個數位輸入/輸出(DIO)通道。NI myRIO 的設計與價位非常適合學術使用者，此外還有堅固的機殼版本，其中配備內建 WiFi、3 軸式加速規與數個可設定的 LED。

(B) 溫度感測器

採用 LM35DZ 作為溫度感測器

LM35 有單電源和雙電源兩種接法，正負雙電源的供電模式可提供負溫度的測量，單電源模式在 25°C 下電流約為 50mA，非常省電，本設計採用的是單電源的接法。其輸入電壓為 5V，輸出為 1°C $\equiv$ 10mV。

(C) 濕度感測器

採用 AM2001 作為主要濕度感測器

其輸入電壓為 5V

輸出為 1V ~ 3V

精準度為 $\pm 3\%$

檢測範圍為 0% ~ 100%RH。

(D) 光度感測器

Spectrum 公司的 LightScout PAR 光量子傳感器可以測量對植物生長影響較高的 400~700nm 光波長，其產品規格如下：

Range 0-2500 μ Mol/ms, $\pm 5\%$

Excitation Voltage 3.0-5.0 VDC

Sensor Output 0-2.5V

Linear: $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} = V \times 1000$

2.2.3 環境控制模組

其功能為當環境各參數過高/過低後系統可將其以下制動器作動，其選用包含以下：

(A) 風扇

於植物栽培箱兩側採用 12V 直流風扇，一為進風口，另一為出風口，搭配繼電器調整其開關。

(B) 超音波霧化器

採用直流 24V 超音波霧化器，搭配繼電器調整其開關。

2.2.4 光照模組

選用 LED 光照模組，其燈光為紅燈，其光譜能量值接近光合作用效率曲線，是植物生長的理想光源，尤其對綠色植物具有顯著效果，光照波長為 600~700 μ m，補光為 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

2.2.5 CCD 影像模組

使用 Ktnet 公司生產的 USB 網路攝影機，其免驅動，靜態 2000 萬像素，動態 500 萬像素。

2.2.6 周邊控制電路

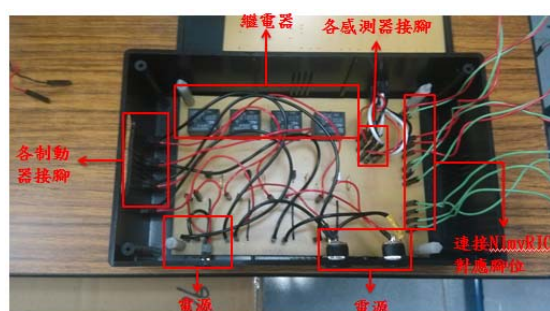
(A) 整體系統電路

採用 Protel 繪製電路板，作為感測器與制動器跟 NI myRIO 之連結，其整合包含各繼電器、各致動器接腳、各感測器接腳與外部電源(如圖三所示)。其中外部電源包含：

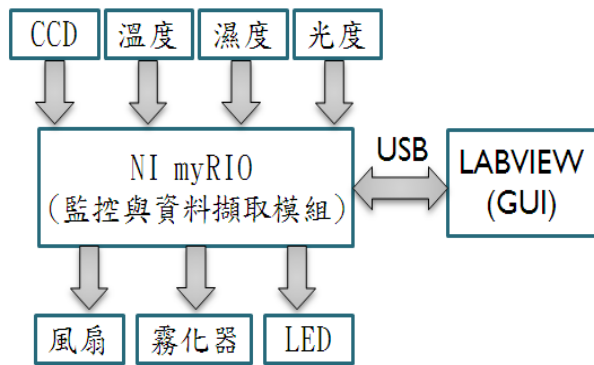
(a) AC110V 轉 DC24V 變壓器供給超音波霧化器

(b) AC110V 轉 DC12V 變壓器供給風扇

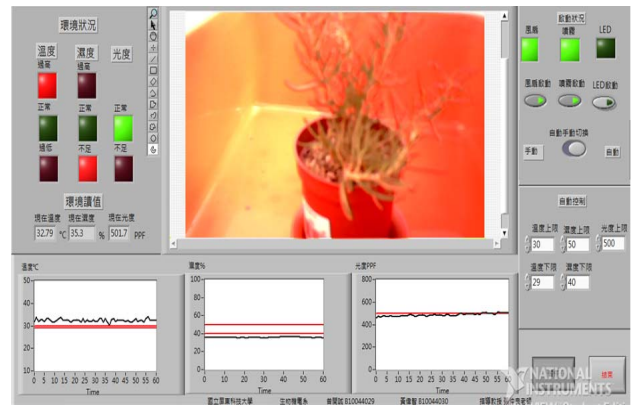
(c) 電源供應器調整為 DC20V 供給 LED



圖一 整體系統電路規劃



圖二、系統規劃示意



圖三、LabVIEW 人機介面

2.3 系統軟體設計與規劃

2.3.1 人機介面規劃

本系統使用 LabVIEW2013 規劃出人機介面(如圖四所示)，其功能包含

(A) 環境狀況

位於人機介面左上區塊。當溫度、濕度與光度在自動模式中大於、介於與小於使用者設定上限/下限程式會顯示其過高、正常與過低。在燈號下方顯示現在環境讀值其中包含現在溫度、現在濕度與現在光度。

(B) 啟動狀況

位於人機介面右上區塊。當各制動器(風扇、霧化與 LED)開啟/關閉將以燈號開/關表示，在手動模式中可依使用者需求開/關各致動器。手/自動切換，可依使用者選擇自動模式操作程式。

(C) 自動控制

使用者輸入各環境因子之上限/下限後，程式將依照其輸入控制環境參數，以此作為致動器啟動/關閉之依據。

(D) Real-time 環境讀值圖表

系統將所接收到的類比訊號轉為數值與設定之上下限數值即時顯示於各圖表中，其中 X 軸為時間軸以 60 秒為顯示週期，時間到即馬上更新，Y 軸為顯示環境讀值範圍。

(E) CCD 畫面

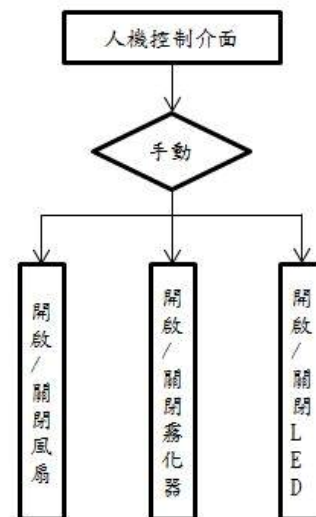
當程式起動後將開始驅動 NI myRIO 接收 CCD 影像且顯示於 monitor block。

2.3.2 程式設計流程

由子程式所擷取到的三組 AnalogIn，經由程式轉換為數值資料並顯示於人機介面上，並與所設定之上限、下限值比較，若讀取到的數值大於設定上限，則呼叫 NI myRIO 執行動作，讓 DigitalOut 輸出一+5V 至指定數位通道，啟動繼電器控制制動器動作。程式作動流程如圖五所示。

(A)手動模式

手動模式下，當按下儀控介面上制動器開關，則讓 DigitalOut 輸出一+5V 至指定數位指定通道上的繼電器激磁來啟動制動器動作，使用者選擇手動模式後可直接開啟/關閉各制動器。

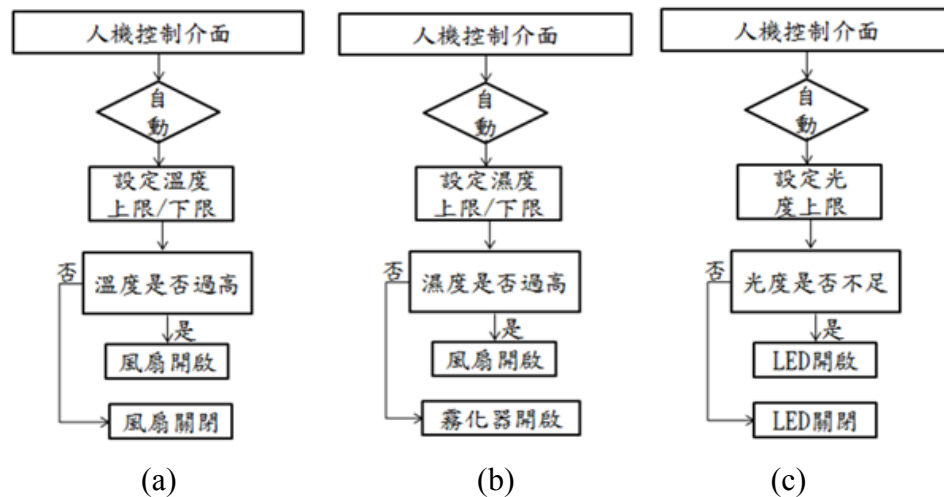


圖四、手動模式控制流程

(B)自動模式

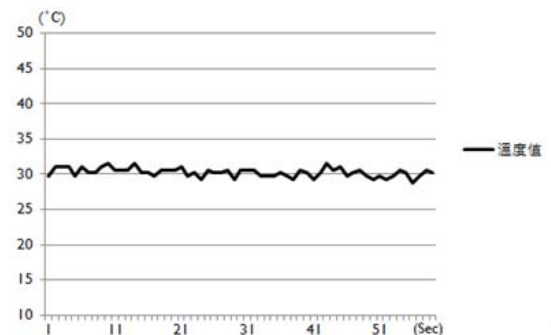
選擇自動模式須先各別設定溫度、濕度之上限與下限，光度部分只須設定光度上限，下限則在程式內部預設 30ppf 夜晚開啟 LED 之光度。

控制部分當讀取到的數值與所設定上下限做比較，當數值超過上下限環境狀況燈號及立即



圖五、自動模式作動流程

顯示，當溫度值超過上限值則透過 NI myRIO 的 DigitalOut 送出一+5V 訊號，使指定通道上的繼電器激磁來啟動風扇。當濕度值超過上限值則透過 DigitalOut 送出一+5V 訊號，使指定通道上的繼電器激磁來啟動風扇，若低於下限值則送出+5V 訊號，使指定通道上的繼電器激磁來啟動霧化器。當光度低於上限值，則透過 DigitalOut 送出一+5V 訊號，使指定通道上的繼電器激磁來啟動 LED，若低於下限值則送出一+5V 訊號，使指定通道上的繼電器激磁來關閉 LED。



六、溫度曲線(手動模式)

三、結果與討論

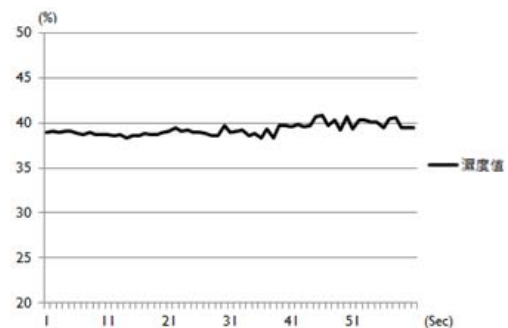
本專題所設計之溫室內部環境空間可供使用者進行監測與控制，透過以手動與自動實驗測試內部溫度、濕度與光度三項變數變化。

3.1 手動測試實驗

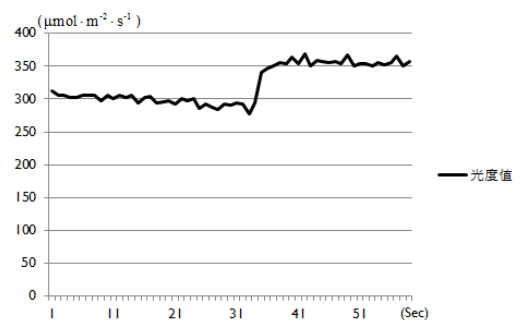
在中午進行測試。前 30 秒為各致動器關閉，後 30 秒為各致動器開啟前 30 秒之平均溫度 30.4°C，平均濕度 38.8%，平均光度 229 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。後 30 秒之平均溫度 30.0°C，平均濕度 39.6%，平均光度 348 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。圖七至圖九分別表示手動模式下溫度、濕度與光度測試圖表。

3.2 自動測試實驗

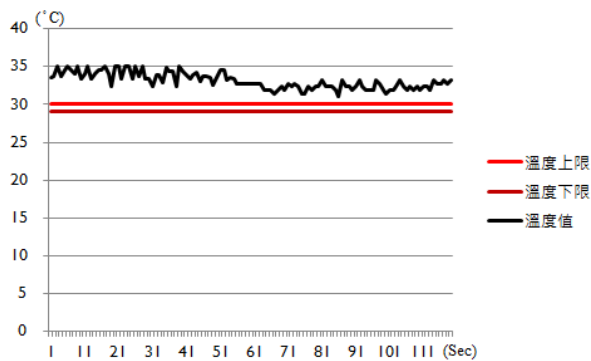
在中午進行測試。設定溫度上限 30°C，濕度上限 55%，光度上限 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，設定溫度下限 29°C，濕度下限 55%。平均溫度 33.1°C，平均濕度 43.5%，平均光度 369.6 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。圖十至圖十二分別表示自動模式下溫度、濕度與光度曲線變化。



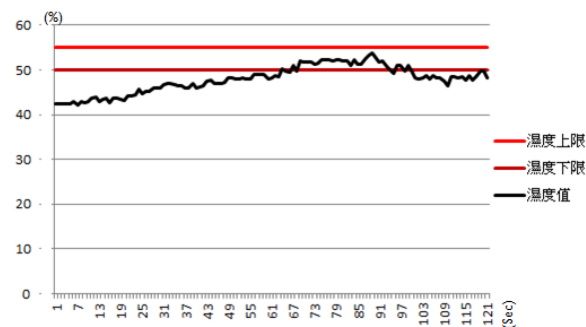
圖七、濕度曲線(手動模式)



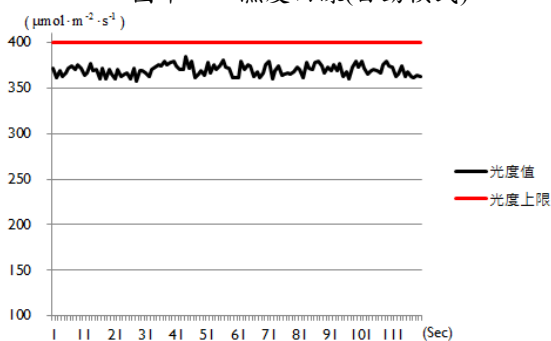
圖八、光度曲線(手動模式)



圖九、溫度曲線(自動模式)



圖十一、濕度曲線(自動模式)



圖十二、光度曲線(自動模式)

由兩實驗中可得知

- (1) 本專題 LabVIEW 實際連至硬體部分完成且手動與自動可正確開關。
- (2) 溫度控制並無因制動器開/關而造成明顯變動
- (3) 濕度可控制在範圍值中，且在開啟超音波霧化器時可造成濕度確實上升，在自動實驗中當環境溼度低於下限值時，系統在第 66 秒將環境濕度調整回正常範圍內，且持續至 98 秒環境濕度再次下降時系統再啟動霧化器使環境濕度調整為正常。
- (4) 光度在開啟/關閉相差大約 $50\sim60\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

四、結論

以下針對本專題在實作過程中所遭遇之問題以及瓶頸進行探討。

- (1) 致動部分：本專題所使用 LabVIEW 撰寫出一套人機介面，透過 NI myRIO 數據擷取卡讀取各感知器讀值並顯示於人機介面上，能立即反應現場環

境狀況是否達到預期，控制部分設置自動\手動的切換，能正確控制各至動器的作動，並以虛擬燈號顯示是否正常從動。

- (2) 監測部分：從最後的實驗結果來看，本專題在調控溫度部分並無太大成效，但其中原因也並非出於系統或程式上，若使用其他大功率致動器進行實驗，將可更順利地降低溫度。另外光度部分由於只使用 LED 燈管兩條，只能使光度值開啟/關閉相差 $50\sim60\text{ppf}$ 。雖然在專題最後呈現上與原先計畫不同，但也作為虛擬儀控與自動化環境監控之基礎。

- (3) 完成後成本：使用實驗室採購之 NI myRIO 數據擷取卡價格為兩萬，而植物架結構所花費為五百元內，感測模組花費為兩千元以內，致動器模組(風扇與霧化器)花費三百元內，光照模組使用實驗室提供之燈條價格為四千元。

五、致謝

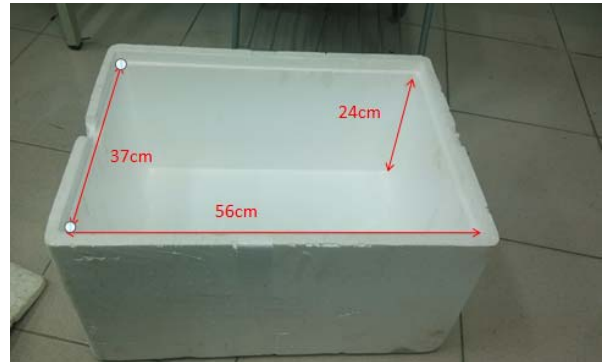
1. 非常感謝指導老師張仲良的細心教導，從每個禮拜的 meeting 中漸漸將專題從無到有，按部就班的將進度完成，且在我們遇到困難瓶頸時適時指點使我們豁然開朗。還有在實驗室中的各位學長，黃逸鳴學長指導我們 LabVIEW 軟體設計與 Protel 電路設計方向，使專題能夠如期完成。

六、參考文獻

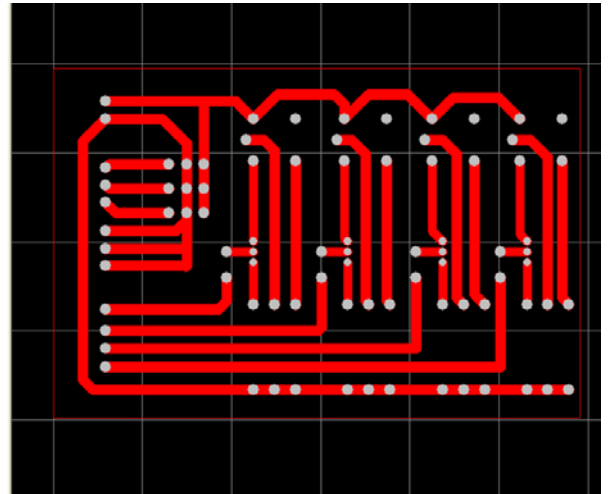
- [1] 郭義祥，2009，花卉培植溫室環境控制系統之研製，碩士論文，國立虎尾科技大學。
- [2] 徐永成，2008，智慧型環境控制系統之開發，碩士論文，屏東科技大學。
- [3] 黃世忠，1999，電腦圖控於溫室環控之應用，碩士論文，國立中興大學。
- [4] 張建興，2003，網路圖形監控系統與無線溫度感測在畜舍環控之應用，碩士論文，國立中興大學。
- [5] 陳麗新，2004，行動溫室環控系統之研究，碩士論文，國立中興大學。
- [6] 余光正、許守平、林泰誠、謝式鴻，2007，室內植物栽培環控系統之設計，全國學術研討會論文集，國立勤益科技大學。
- [7] 湯瑋傑、石勝元、楊景博、李榮豪、張紘豪、陳卿德，2009，南亞機械專題製作競賽，自動化溫室環境監控系統。
- [8] 方煒，1998，溫室環境控制工程，種苗生產自動化技術通訊，第三期 98008 號。種苗生產自動化技術服務團，台北：財團法人農業機械化研究發展中心。
- [9] 楊清富、林聖泉，2012，LabVIEW 圖控程式應用於溫室環控之研究，臺南區農業改良場研究彙報第 59 號。

- [10] NI RIO 入門指南，2014。（資料來源：
<http://www.ni.com/myrio/zht/>）
- [11] 賴秋庚 曾炅文，LabVIEW 環境與介面卡於控制器之設計探討，2003，國立勤益技術學院電機工程系。
- [12] 陳加忠，智慧植物工廠與設施農業，2012，中興大學。
- [13] 黃彥碩、陳冠宇、黃允芃，2011，行動式遠端監控之溫室環境管理系統，高雄海洋科技大學。
- [14] 李政益，2007，以 LabVIEW 為基礎進行系統設備之整合設計與實現，碩士論文，台北科技大學。
- [15] 吳柏青，張邦彥，周立強，2011，半開放式棚架溫室之模組化環境控制箱開發，宜蘭大學生物資源學刊，第 7 期第 49~62 頁。
- [16] 邱永賢，2009，應用 LabVIEW PDA 模組於導航系統之建構，碩士論文，逢甲大學。
- [17] 廖志乾，2000，利用 LabVIEW 環境設計直流電動機轉速監控系統之研究，碩士論文，國立海洋大學。
- [18] 張進欽，2009，應用 LabVIEW 虛擬儀控於機載控制系統之建構，碩士論文，逢甲大學。
- [19] 林姍昀，2013，應用 LabVIEW 虛擬儀控於自動追蹤及定位系統之建構，碩士論文，逢甲大學。
- [20] 李紹誠，2009，應用 LabVIEW 虛擬儀控於雷射動態追蹤系統之建構，碩士論文，逢甲大學。
- [21] 和之光，2010，應用 LabVIEW 虛擬儀控於雷射影像追蹤系統之建構，碩士論文，逢甲大學。
- [22] J. Engg. Res. Technol ,2013 Devendra Samrit, Mayur Parate, Nitin Gawai, "Development of data acquisition and greenhouse control system, vol.2, iss. 4
- [23] Chen. Chiung Hsing, Chen. Guan Yu, and Chen. Jwu Jenq, 2011, Greenhouse Environment System Based on Remote Control ,ICCEES'
- [24] H.Mirinejad,S.H.Sadati,S.Hasanzadeh,A.M.Shahri and M.Ghasemian ,2008,Design and Simulation of an Automated System for Greenhouse using LabVIEW,American-Eurasian J.Agric.& Environ.Sci.

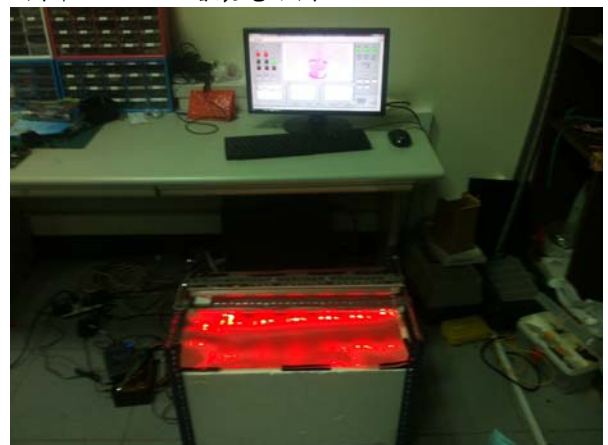
附錄：



圖十三 保麗龍箱(56 公分 x37 公分 x24 公分)



圖十四 Protel 繪製電路圖



圖十五 系統整體連接圖



圖十六 超音波霧化器、光量子計與 CCD 擺放位置

Design and Implementation of Environment Control
Technique Based on Virtual Instrumentation LabVIEW
for Greenhouse Application

Kai-Cheng Tseng and Wei-Chih Huang
Advisor: Chung-Liang Chang

Department of Biosystems Engineering
National Pintung University of Science and
Technology

Abstract

This study proposes an environmental control method based on virtual instrumentation technique to regulate environmental parameters, such as temperature, humidity and luminosity in greenhouse. Also, the Protel software is utilized to draw and layout the peripheral circuits. Test results show the environmental values can maintain the certain range by utilizing the manual operation. Besides, the cultivator can observe the plant growth through image capture device. The proposed technique is a feasible tool for using the greenhouse environmental control in the future.

多段式 LED 立體水耕植物栽培箱設計與製作

胡謙道、鍾沂穎、吳怡潔

指導老師：張仲良

國立屏東科技大學

生物機電工程系

摘要

本專題旨在設計與製作一個小型植物栽培箱，內部包含了多段調光控制器、散熱風扇、PIC18F4520 單晶片、養液循環裝置、微控制器。LED 燈板包含了紅光 640 nm(波峰值)、淺綠光 500 nm(波峰值)及紫外光 400 nm(波峰值)，並可透過調光控制器可切換出十段不同光質強度比例的組合。本系統主要核心處理器為 PIC18F4520 單晶片，可監測溫度、濕度、養液電導值 EC 及酸鹼度 pH，並將數值顯示在液晶顯示板(LCD)上，可以讓使用者知道目前的內部環境狀況，進一步調整，使植物維持在良好的環境下生長。本實驗使用紅蘿蔓作為對象進行栽培，溫度 21~23°C、濕度為 60~70%、EC 值為 150~200 ms/m、pH 值為 5.5~6.0，生長情況良好且葉面可順利轉成紅褐色。

一、引言

1.1 研究動機與目的

近年來，糧食短缺的問題逐漸被重視，植物工場也逐漸興起，但完成此工場都是需要較大的空間去進行，並不是每個人都可以輕鬆執行，因此，我們的專題研究內容主要在於如何讓每個家庭都可擁有自己的植物工場，也能當個科技農夫，所以我們將其工場小型化，變成一個小型的栽培箱，而由於室外的環境因素改變較

多且不易控制，相對的室內則容易許多，可以讓環境更接近我們所希望的情況，進而讓植物在我們所預設的狀況下生長。而植栽箱內之植栽床的四周則用黑色壓克力圍起，不透光的性質讓內部環境不受外界其他光源的影響。

1.2 參考文獻

紅蘿蔓(Red romaine)屬半結球萵苣，栽種適溫:10~20°C，收成天數約 40 天，栽培適期為 10 月至隔年 2 月(鄭志玄、周榮華，2011 年)。

植物工場為採用室內生產，使作物獨立於外界環境的一種設施栽培模式，在監控作物的生長及環境狀態（如光照、溫度、濕度、二氧化碳濃度、養分及水）的同時，精密調控其環境條件，並預測生長趨勢，使週年生產得以落實(楊玉婷，2011 年)。

植物栽培箱除了可以種植一些平常所食用的植物以外，也可以種植一些香料或是會散發香氣的植物，更能讓人們滿足自行動手種植的樂趣，而且不需要花費太多時間或心力在上面，而植物栽培箱通常與植物工場大致上相似，但是會更加簡單化及小型化(駱文傑、徐志璋，2013 年)。

PIC 不是單純的功能堆積，而是從實際出發，靠發展多種型號來滿足不同層次的應用要求，而其引腳具有防瞬態能力，通過限流電阻可以

接至 220V 交流電源，可直接與繼電器控制電路相連，還有精簡化的指令及睡眠和低功耗模式(曾百由，2006 年)。

養液栽培法不用土壤，而用化學藥品製成養液的栽培作物方法，故稱化學栽培法，亦名為無土栽培或水耕栽培。養液培養法的種類分為水耕法、礫耕法及砂耕法，而我們所使用的是水耕法(高德錚，1988 年)。

養液 pH 的管理。一般而言，培養液之 pH 由 5.5~6.5 為適宜範圍。水中之 EC 值最好為 200~300ms/m 之間，較適合作物生長。養液適合溫度為 18℃，每 4-5 周更換一次，以免造成養液汙染和根系分泌有害物質的累積(高德錚，2011 年)。

紫外光源對植物的分化與氣孔的調節十分重要。葉綠素吸收少，阻止莖伸長。紅色光源葉綠素吸收率低，對光合作用與光周期效應有顯著影響。但綠光對作物生長型態較無顯著影響，但可增加葉子的色澤(Kendrick, 1986)。

二、研究內容與方法

2.1 植栽架設計目標

本機構朝向將整體小型化、操作簡易化、作物多樣化等目標。為了讓每個人或家庭都可擁有自己的植物栽培箱，我們將整體小型化，讓每個人及家庭都可擁有自己專屬的植物栽培箱。也讓使用者能容易的上手並熟練，將操作的方式簡易化，讓每個人都能得心應手。

且植栽架不應該只有單一特定作物的生產，可依照各種植物不同的生長環境自行調整燈光及養液，配合多種植物的栽培。

2.2 系統架構之規劃

栽培箱本身有三層，最底層為養液槽，第二層為植栽床，最上層則為燈板跟電路板以及操控設備的放置位置，底層及上層部分都有使用鋁

板作支撐，燈板直接鎖在鋁板，養液槽則是直接放置於鋁板之上。栽培架上有旋鈕及 LCD 顯示板，使用電腦將程式寫入燈板電路後，利用旋鈕就可以進行十段的調光，而 LCD 則會顯示當前內部的環境因子(pH、EC、溫度及濕度)，方便使用者得知內部環境值狀況(如圖 2.所示)。

2.2.1 主體架構

整體的材質使用角鋼組成，因為角鋼具有容易拆裝、加工容易、尺寸可依照需求訂製且可靠性高等優點，

2.2.2 植栽床及養液槽設計

一般植物工廠大多都使以保麗龍製成植栽床及養液槽，而我們植栽床及養液槽都是選用壓克力，因為壓克力跟保麗龍比起來較為耐熱，而壓克力本身也有加工容易、價格便宜、不易損壞，容易清洗等優點。

2.2.3 養液循環之設計

將沉水馬達放置在養液槽內進行抽水，利用水管連接到第二層的位置將養液輸送到植栽床，在植栽床的底部則有水管連接到養液槽，利用水本身的流動將其流回養液槽完成一個循環。

2.2.4 調光控制器

使用傳輸介面:RS232 to USB 人機介面，在由人機介面透過藍芽與燈板連接，可調控 10 迴路(圖 8.)，每迴路本身都可控制三種燈色，包含了紅光、淺綠光、紫外光。調整亮度由軟體(3 迴路記憶人機程式)介面控制，可調控數值範圍為 0~255 之間，0 為不亮，255 則為最亮，可將此設置存檔，建立資料庫使用。註：此程式由實驗室提供。

2.4 環境監測程式的設計與撰寫

植物生長環境因素包含了溫度、濕度、pH、EC 等，所以我們利用單晶片 PIC18F4520 與軟體(MPLAB IDE v8.90)進行程式的撰寫以及感測器的外接。我們只需將感測器接上後所讀取到的電壓值進行數值的轉換，再來傳輸到 LCD 顯示板上顯示讀值。

2.4.1 溫度感測器

使用 LM35DZ 來做為主要溫度感測器(圖3.)，其線性輸出為 $1^{\circ}\text{C} \div 10\text{mV}$ ，此元件有兩種電源輸入：單電源輸入：偵測範圍 $2^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ ；雙電源輸入：偵測範圍 $-55^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ ；搭配 LM324N 高通濾波器讓輸出濾掉低頻訊號，使其數值較準確。

2.4.2 濕度感測器

本實驗所採用濕度感測器型號為 AM2001(圖4.)，輸入電壓為直流 5 伏特。其線性輸出為 1V-3V 精準度為 $\pm 3\%$ ，檢測之數值範圍為 0%-100%RH。

2.4.3 pH 感測器

pH 感測器由實驗室所提供(圖5.)，輸入電壓為直流 +5V，測量範圍：0-14PH，測量溫度：0-60 $^{\circ}\text{C}$ ，精度： $\pm 0.1\text{pH}(25^{\circ}\text{C})$ 。

2.4.4 EC 感測器

測量範圍為 0.1us~199.9ms，由實驗室所提供，如(圖6)所示。

2.4.5 電路圖

我們使用 PIC18F4520 單晶片做為電路系統之核心，並使用 7805 保持 5V 穩壓供電，再來綠色部分是此次實驗所需之感測器，而最右邊則是液晶顯示器(LCD)。首先我們在溫度感測器上外接了一個訊號放大器，使得溫度之數值變化更為穩定，降低感測器誤判的風險。再來下面三個分別是濕度感測器，pH 感測器，EC 感測

器(圖 7.)。

三、實驗結果與討論

3.1 植物栽培箱

植物栽培箱的最下層為養液槽，中間層為植栽床，最上層則是電路系統的放置處，另外植栽床兩側與最上層都有散熱風扇(圖 1.)。

3.2 系統測試

感測器接上後也已經完成測試，皆能讀取所需的環境因子，但 pH 及 EC 的小數點後無法正確顯示(圖 12.)，暫時用其他儀器測量。養液循環及風扇的部分都為全天候運轉。目前栽培箱內部之環境因子實驗設定為：溫度 $21 \sim 23^{\circ}\text{C}$ 、濕度為 60~70%、EC 值為 150-200ms/m、pH 值為 5.5~6.0。

3.3 實驗規劃

預計進行三次的實驗。第一次實驗在植栽箱內種植，種植 24 天後收成。第二次實驗則另外在室外種了一組對照組與植栽箱內的做比較。但由於連續幾日的大雷雨造成室外的植物被摧毀，實驗在第 13 天終止。第三次實驗則是將室外的對照組移到溫室內，避免再次發生雷雨摧毀植物的情況，而其光來源是太陽光。此次實驗還在進行當中。

3.4 實驗材料

本次專題共進行 3 次實驗，皆為種植紅蘿蔓，以下為種植時所使用到的材料(圖 9)。

- (1). 紅蘿蔓種子。
(農友種苗股份有限公司、型號 LS-001)
- (2). 水耕海綿。
- (3). 花寶一號養液(1g/1000ml)
- (4). 鑷子。
- (5). 盆子。

3.5 實驗步驟

step1.先將紅蘿蔓種子用鑷子放進水耕海綿裡；
step2.使用 RO 水浸泡海綿 24 小時；
step3.放入暗房等待種子發芽；
step4.將發芽種子擺入燈光下待根細長成；
step5.再將海綿連同植物放入保麗龍中；
step6.利用調光介面調整燈光配比(表1.)，並加入定時裝置，設定每亮20小時關閉4小時；
Step7.加入養液馬達 24 小時循環；
Step8.待植物成長 24 天後收成；

3.6 實驗結果

總共進行了三次的種植實驗，前兩次的種植已經結束，第三次仍在進行當中。

3.6.1 第一次試種實驗

第一次實驗在植栽箱內種植，種植 24 天後收成。量測的數據包含葉長、葉寬、根長及葉片數(圖 13.)，還有鮮重(圖 14.)及乾重(圖 15.)。

3.6.2 第二次試種實驗

第二次實驗則額外在室外種了一組對照組與植栽箱內的做比較。但由於連續幾日的大雷雨造成室外的植物被摧毀，實驗在第13天終止，只有記錄到葉片數量比較的部分。(圖 14..)

3.6.3 第三次試種實驗

第三次實驗則是將室外的對照組移到溫室內，避免再次發生雷雨摧毀植物的情況，而其光來源是太陽光。此次實驗還在進行當中。

四、結論

4.1 機構部分

發現燈板與栽培床之間的高度稍嫌不足，導致植物生長到一定程度時會使植物受到壓迫，若提高 5~10 公分即可解決此問題。

4.2 電路系統

在風扇 24 小時運轉的途中，發現並不能非常好的將溫度控制在一定範圍，若能搭配 PIC 寫入程式，配合溫度感測器進行風扇的開關，將能讓植物有更良好的生長環境。

4.3 種植實驗

紫外光可抑制植物的徒長，也能使紅蘿蔓在生長過程中有轉紅的現象(8~15 天)，但隨著植物的成長卻又逐漸轉回綠色。

將栽培箱所種出的結果與室外對照組進行比較，發現無論是葉片數葉寬或是轉色跡象都是室內較佳，另外對照組的莖部有徒長的現象。

五、致謝

非常感謝張仲良老師在整個專題製作過程中的指導與協助，不管我們遇到什麼困難老師總會耐心的提出建議和方向，也謝謝國豐學長以及其他實驗室學長教導我們許多知識，感謝瑋特老師、清祿老師借烘箱給我們使用，最後當然要感謝所有組員的團結和努力，才能完成這一次的專題發表。

六、參考文獻

- [1] 黃逸鳴、洪國豐、張仲良，2013 年，微感測風溫調節人機技術於植物栽培系統設計與實現。
- [2] 張光璧、蔡松林、黃宇謙、張仲良，2013 年，立體式水耕植物栽培架製作與多色光於波士頓萵苣生長型態與研究。
- [3] 戴振洋，2005 年，蔬菜育苗之穴盤種類與特性。
- [4] 馮丁樹，2006 年，網室及養液栽培裝置，國立台灣大學生物產業機電工程學系。
- [5] 蔡致榮，2009 年，栽培環境調控與植物

健康管理，花卉健康管理研討會。

- [6] 吳柏青、張邦彥、周立強，2011 年，半開放式棚架溫室之模組化環境控制箱開發，宜蘭大學生物資源學刊第七期。
- [7] 周長吉，2010 年，現代溫室工程，化學工業出版社。
- [8] 陳明周，2003 年，自製電路驅動單晶片 PIC16F877。
- [9] 張仲良，2012 年，植物環控裝置，發明專利。
- [10] 曾百由，2006 年，微處理器原理與應用 C 語言與 PIC18 微控制器，五南出版。
- [11] F. Hahn, 2011, Fuzzy controller decreases tomato cracking in greenhouses, Computers and Electronics in Agriculture。
- [12] 楊玉婷，2011，全球立體農業與植物工廠發展趨勢。
- [13] 駱文傑、徐志璋，2013 年，小型植物栽培環境控制箱的建構與分析。
- [14] 鄭志玄、周榮華，2011 年，自動化 LED 植物工廠。

附 錄



圖 1.植物栽培箱圖



圖 2.機構設計圖

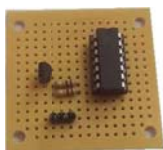


圖 3. 溫度感測器



圖 4. 濕度感測器



圖 5. pH 感測器



圖 6. EC 感測器

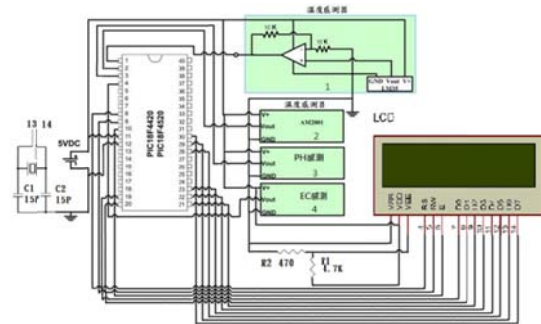


圖 7. 電路圖



圖 8. 調光介面



圖 9. 海綿、花寶 1 號、盆子



圖 10. 第一次試種實驗(1-7 株)



圖 11. 第一次試種實驗(8-13 株)



圖 12. LCD 顯示

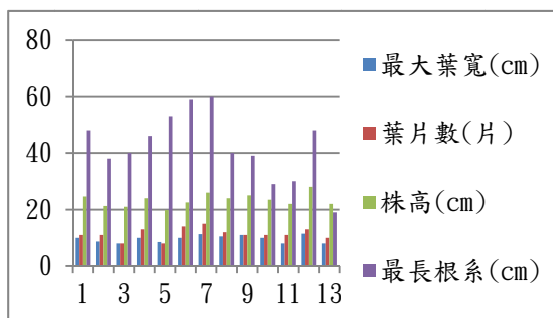


圖 13. 第一次實驗統計

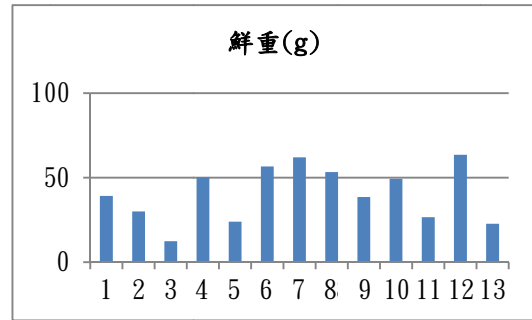


圖 14. 第一次實驗鮮重

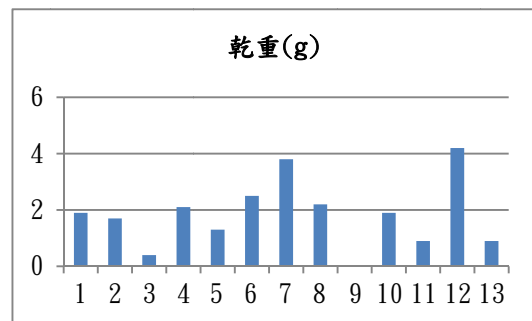


圖 15. 第一次實驗乾重

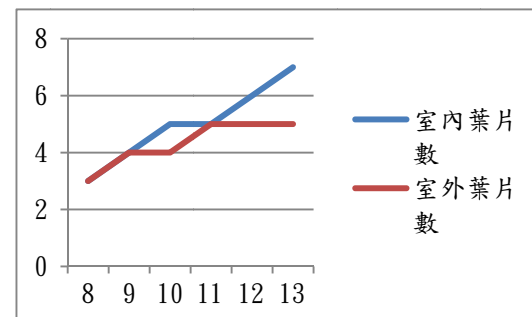


圖 14. 第二次實驗葉片數比較

表 1. 實驗步驟之燈光配比

	天數	燈比(R:C:UV)
Exp.1	01-03 天	120:80:0
	04-14 天	140:100:10
	15-24 天	100:120:30
Exp.2、3	01-14 天	140:100:10
	15-25 天	100:120:30

(單位: $\mu\text{mol/s/m}^2$)

Chamber

Yi-Ying Zhong, Chen-Tao Hu, and Yi-Jie Wu

Advisor: Chung-Liang Chang

Department of Biomechatronics
Engineering National Pingtung University of
Science and Technology

Abstract

The topic is to design and implement a plant cultivation chamber which contains a LED dimming controller, cooling fan, PIC18F4520 microcontroller, and environmental factor monitoring module. LED light board contains red light with wavelength 640 nm (peak), green light with 500nm (peak) and UV light with 400 nm (peak). and through the dimming controller can be switched out of The ten segments of different LED light density ratio can be set by the user through wireless Bluetooth module from the personal computer.

The environmental factor monitoring module can monitor temperature, humidity, nutrient solution EC conductivity and pH value. These values are displayed on the liquid crystal display panel (LCD) and allow user to observe the current status of the internal environmental factors. Experiment result shows a good flash mass and dry mass under the temperature 21-23°C, humidity of 60%-70%, EC value of 150-200 ms/m, pH of 5.5-6.0 for red romaine cultivation.

半自走式迷你堆高機雛型設計與實現

學生姓名: 陳彥弘、吳彥廷

指導教授: 張仲良 博士

國立屏東科技大學

生物機電工程系

摘要

本專題已完成一台可以尋跡前進的半自走搬運車，控制核心選擇Arduino 單晶片，藉由感測器CNY70 偵測黑色膠帶的反射訊號，經由7404傳輸至Arduino 單晶片，由程式進行邏輯判斷後，驅動馬達並進行搬運車前進、左右轉等動作。車上搭配光感測器與超音波感測器判斷前方物體是障礙物還是貨物，如是障礙物時，則執行避障功能。

1. 前言

在現今的社會中，許多設備現今都已朝向自動化的方式處理，以快速、有效率的自動化方式去減少重複性的勞力，用有限的時間與精神去開發更為有實際價值產品才能提高生活之水平。整合與程式撰寫等不同領域知識的結合。本研究主要是以自走式搬運推高機選為研究方向，作為行走間對循跡自走車的技術在未來必定能使人的生活越來越便利，更能減少許多的人力及物力，是相當具有發展性的。

許多學者開始進行自走車的研究，如使用影像技術以及模糊控制器去實現自走車之即時物體辨識與追蹤。整體架構分為四個系統，分別為影像處理系統、微控制器處理系統、結構及動力驅動系統、無線傳輸系統，整合四個系統與電腦端，透過無線傳輸，做物體位置判別及控制命令的判斷(陳俊嘉，2006 年)。

具校正功能之競速自走車是一個具備循跡與節能的競速型輪型機器人。它能事先校正並正規化所有光感測器的類比值，彌補光感測器彼此之間的特性差異，後續配合一次線性內插法或二次曲線內插法，便能精確偵測軌跡路徑的位置(林谷鴻，2010 年)。

關於自走車的文獻相當多，主要文獻可依照功能來分類為避障偵測(林泰宏，2005 年)，自動停車(張世傑，2003 年)，路徑及軌跡跟隨(何育昕，2005 年)。

在未來科技會不斷的進步，相對人類也會越來越依賴機器，所以也可以利用機器來替代人類去達成許多的事情，所以在一些比較危險的地方所應用到的機械也會相對增加許多了。

2. 研究動機與目的

在工廠倉庫的貨物儲存管理系統上，由於庫存型態多樣化，市場競爭激烈，加上人工成本上漲，操作工人難求，此種以人工作業的堆高機和固定式輸送帶為主的傳統物料搬運方式，在現今的環境下，已難以滿足需求。

由於微處理機的普及、通訊技術的進步、即時控制軟體的發展及誘導導引技術的應用，隨著科技的進步，許多資訊產品的設計已逐漸朝向自動化之趨勢，而在產業界的工廠皆以自動化

為導向，進而達到無人化工廠的目標。

本專題目的在於研究與發展適用於此工廠自動搬運的系統需求的無人搬運車技術。

3. 研究方法與材料

我們選擇 Arduino 微處理晶片來控制並執行尋跡的功能。車體功能:指定搬運貨物區塊、避障和軟體控制自走。

- (1)擬訂好題目與實體架構開始選擇所需要的材料，首先利用麵包板、電源供應器、電表，測試馬達電路是否能運作，因為馬達電路電流、電壓會影響馬達是否正常運作。
- (2)學習 Arduino 使用方法、程式編寫使用方法，熟悉燒錄方法，寫好程式燒入 Arduino，測試是否能依據我們的設計正常運作。
- (3)完成後將電路移到一般電路板上，連接馬達與電路板並修改自走車電池裝置，最後做整體測試校正與外部包裝。

表一、材料清單

材料	
1.電源 12V	10.光感測器
2.六角板手	11.5V 穩壓 IC
3.切割機	12.反相 IC
4.電源開關	13.壓克力板/鋁板
5.微動開關	14. Arduino UNO
6.電鑽	15.手推車風輪
7.超音波模組	16.升降馬達
8.L293 馬達驅動 IC	17.鍵盤滑軌 2 個
9.L298 馬達驅動模組	18.L 鐵

電源 12V 經由控制板上的 L298 與 L293 可供不同電壓值給馬達，而控制板所需的電可經由 5V 穩壓 IC 供給，切割機、電鑽則用於車體鋁擠型、壓克力板修改尺寸，車床、鑽床、電焊則用於車體風輪固定套件與後輪軸鐵桿製而

成，鍵盤滑軌用於前方升降機構作上下運動，而超音波模組是裝置於前方升降機構用來避障與感測貨物。

3.1 機構設計與規劃

底盤以鋁擠材料及木板做為底板架構。固定前輪馬達後插入風輪並以六角板手固定。後輪則是以可轉相風輪固定，如圖 1 所示。

車頭架構以兩個 30cm 滑軌為主要的搬運主軸，鎖在左右兩邊的角鐵上，並以三個 21.5x5.5cm 角鐵作為前叉。以煞車線作為繩索，固定在工程塑膠，且搭配強力馬達來驅動，上面連接一個定滑輪使繩索固定易滑動。而升降台放置超音波可感測前方是否有障礙物或是貨物，三個輪子組成的車身，連接推高機構在前方，以角鐵固定，如圖 2 所示。

在結合升降機構固定在身體內，而車頭下方並排三個光感測器可用來循著黑膠帶行走，如圖 3 所示。

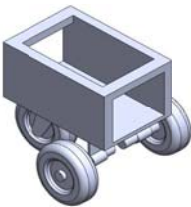


圖 1、車身機構

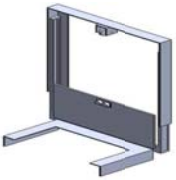


圖 2、車頭升降機構

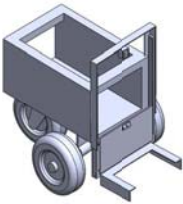


圖 3、車體整體

3.2 系統架構

車子行走時依據光感測器數據回傳到 Arduino 判斷是否行走有偏移，當有偏移時進行路進修正，如圖 4 所示。

利用光感測器與超音波感測器進行感測，Arduino 控制板接收超音波與光感測器回傳之數據，判別數據後，當光感測器偵測為 111 視為貨物，若不是則為障礙物，如圖 5 所示。

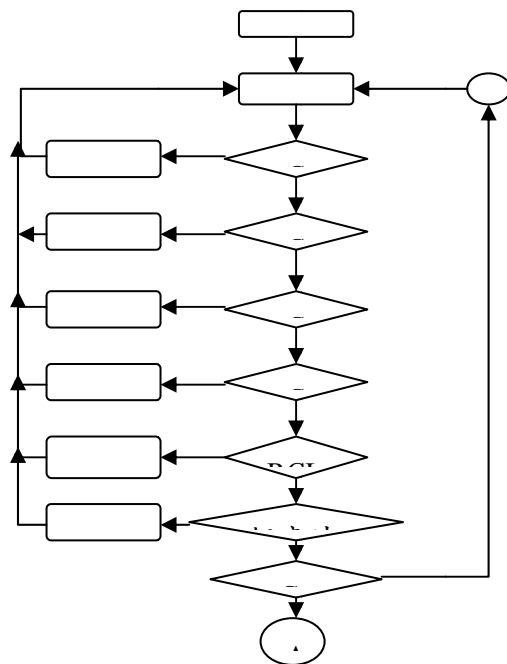


圖 4、車子行走系統架構流程圖

3.2.1 硬體模組說明

a. CNY70 光感測器

CNY70 紅外線光反射器電路的感測原理，動作原理如下述：直流電源+5V 經由排阻 300Ω 限制電流後，供應光 LED 穩定電流，可穩定且持續發出紅外線不可見光。當 CNY70 前放置一反射物，如用手去遮蓋等，光 LED 所發射的不可見光經

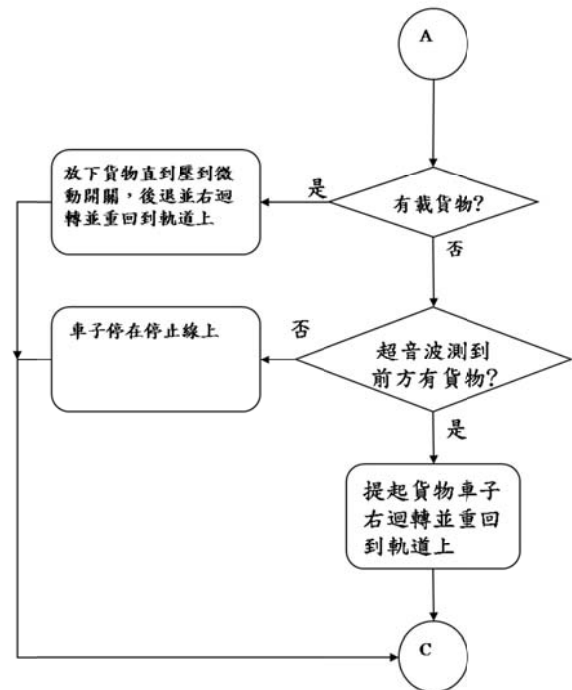


圖 5、升降台系統架構流程圖

反射物反射至光電晶體接收，會因內部 NPN 電晶體導通而變為低電位，再將此訊號接至反相 IC，當電位低於 2.5V 時，反相 IC 輸出 HIGH 電位，當電位高於 2.5V 時，反相 IC 輸出 LOW 電位。如圖 6 所示。

b. ARDUINO 控制板

DC(直流)外部電源輸入：透過 USB，可以提供 5V 的電源，但當我們設計的功用，不再只是靜態時，或是電壓要求較高時，就需要有獨立或較高壓的電源提供。它的輸入電壓建議是 7V~12V，但它最大範圍可以由 6V~20V。

電源供應：主要是用來提供我們設計的電路上，所需的電源。它提供了 3.3V 和 5V。當接上 3.3 V 時，最大電流為 50mA(毫安培)，當接上 5 V 時，不管是用 USB 電源，或是外部電源，這個針腳都可以提供 5V 的電源，如圖 7 所示。

c. 超音波感測器[7]

人耳可以聽見的波動，其頻率約在 16Hz 到 20KHz 之間，如果“波動”的頻率高於此範圍，則人類則無法聽見，特稱之為超音波。

距離量測之超音波感測器，乃是利用超音波感測器之發射器發出超音波至接收器收到由目標物體反射之回映所需的時間(t) 來獲得被測物與測量源之間的距離。

如圖 8 所示。

d. L298 馬達驅動模組[8]

L298，具有驅動能力強，發熱量低，抗干擾能力強的特點，但是為了避免穩壓晶片損壞，當使用大於 12V 驅動電壓的時候，要使用外置的 5V 邏輯供電。驅動板能同時驅動兩個直流電機，分別實現對馬達正反轉、加減速的控制。完成向前、向後、左轉和右轉等各種組合運動。PWM 輸入端，控制馬達的轉動與停止，也能用於 PWM 控制調速。也就說，對這個輸入端輸入一定頻率的脈衝，當為高電壓時，電機轉動，為低電壓時，電機停止轉動。一定頻率的脈衝，電機一段時間內轉動一段時間內停止轉動。



圖 6、光感測器



圖 7、Arduino



圖 8、超音波感測器

3.2.2 軟體程式

我們以 arduino 軟體製作控制介面。Arduino 是一塊基於開放原始碼發展出來的 I/O 介面控制板，並且具有使用類似 java,C 語言的開發環境，讓使用者可以快速使用 Arduino 語言與 Flash 或 Processing...等軟體，作出互動作品。Arduino UNO 板的優勢在於，使用者可以自行燒錄 USB 序列轉換控制器的韌體。

馬達驅動電路部分：

L298 與 Arduino UNO 板上的 PIN5、PIN6、PIN9、PING10 連接，電腦由 Arduino 控制介面輸出訊號經由 Arduino UNO 板，Arduino UNO 板判別訊號後，輸出 PIN5、PIN6、PIN9、PING10 腳位之電壓，來驅動 L298 控制馬達轉速以及正反轉，以程式指令 analogWrite 來控制配合 PWM 輸出，當程式 analogWrite (150)時所對應的電壓值剛好是和我們車子行走速度。

```
if (SEN1 == HIGH && SEN2 == LOW && SEN3 == HIGH)
{
    analogWrite(Motor11, 150);
    analogWrite(Motor12, 0);
    analogWrite(Motor11, 150);
    analogWrite(Motor12, 0);
}
else if (SEN1 == HIGH && SEN2 == HIGH && SEN3 == LOW)
{
    analogWrite(Motor11, 150);
    analogWrite(Motor12, 0);
    analogWrite(Motor11, 0);
    analogWrite(Motor12, 0);
}
else if (SEN1 == LOW && SEN2 == HIGH && SEN3 == HIGH)
{
    analogWrite(Motor11, 0);
    analogWrite(Motor12, 0);
    analogWrite(Motor11, 150);
    analogWrite(Motor12, 0);
}
else if (SEN1 == HIGH && SEN2 == LOW && SEN3 == LOW)
{
    analogWrite(Motor11, 150);
    analogWrite(Motor12, 0);
    analogWrite(Motor11, 100);
    analogWrite(Motor12, 0);
}
else if (SEN1 == LOW && SEN2 == LOW && SEN3 == HIGH)
{
    analogWrite(Motor11, 100); //
```

圖 9、輪子馬達程式

程式中當光感測器感測到 101，此時 Arduino 判斷為 HIGH、LOW、HIGH，這是由 L298 馬達模組控制的車輪馬達，會以我們要的正常速度向前行走。當向右偏移時 Arduino 判斷為 HIGH、HIGH、LOW 或是 HIGH、LOW、LOW，此時馬達做轉差向左修正動作，當向左偏移時 Arduino 判斷為 LOW、HIGH、HIGH 或是 LOW、LOW、HIGH，此時馬達做轉差向右修正動

作。

感測器狀況 (RCL)	自走車狀況	對策	處理情況	
			左輪	右輪
010	只有C感測到線，代表車子剛好在適當位置上	前進	前進	前進
001	只有L感測到線，代表車子太偏導引線的左邊	向右修正	前進	停止
100	只有R感測到線，代表車子太偏導引線的右邊	向左修正	停止	前進
011	RC感測到線，代表車子微偏導引線的左邊	前進	前進	前進
110	LC感測到線，代表車子微偏導引線的右邊	前進	前進	前進
111	RCL皆感測到線，代表車子在停止線上			
101	不可能發生	X	X	X

圖 10、光感測器邏輯判斷

升降馬達部分:

升降馬達連接於 Arduino PIN7、PIN8 的接腳透過光感測器與超音波感測器偵測訊號還傳到 Arduino 板上判別，若是為貨物則驅動 L293 來控制升降馬達，以程式指令 digitalWrite(HIGH 或 LOW)來輸出電壓控制馬達正反轉。

```

if(cdd == HIGH)
{
  digitalWrite(MotorC1, LOW);
  digitalWrite(MotorC2, HIGH);
  delay(2000);
  while(cdd == HIGH)
  {
    cdd = digitalRead(CCT);
  }
  digitalWrite(MotorC1, LOW);
  digitalWrite(MotorC2, LOW);
}
else
{
  digitalWrite(MotorC1, LOW);
  digitalWrite(MotorC2, LOW);
}

```

圖 11、升降馬達程式

執行搬起貨物 digitalWrite(MotorC1, HIGH)、digitalWrite(MotorC2, LOW)，執行放下貨物 digitalWrite(MotorC1, LOW)、digitalWrite(MotorC2, HIGH) 壓到微動開關後馬達停止。

3.3 周邊電路

在電路板中包括：電池、1KΩ 電阻、反相 IC、5V 穩壓 IC 及馬達驅動 IC 製成，當電路通以

5V 的訊號電壓時，馬達驅動 IC (VCC1, 5V;VCC2, 12V)將會啟動，便藉由 Arduino 控制馬達驅動 IC 輸出電壓值來控制馬達轉速。如圖 12。

Arduino 控制電路圖中 DC 供給直流 12V 給 5V 穩壓器便會產生 5V 電壓驅動電路元件，上方負端接地則接一起。微動開關置於升降滑軌下方，他的接腳對應到 Arduino PIN13，超音波避障模組 2 個，接腳對應到 Arduino PIN1、PIN0、PIN11、PIN12，L298 大功率馬達模組的接腳對應到 Arduino PIN5、PIN6、PIN9、PIN10，L293 小功率升降馬達驅動 IC 接腳對應到 Arduino PIN7、PIN8，最後是 3 顆光感測器接腳分別對應到 Arduino PIN2、PIN3、PIN4，如圖 13。

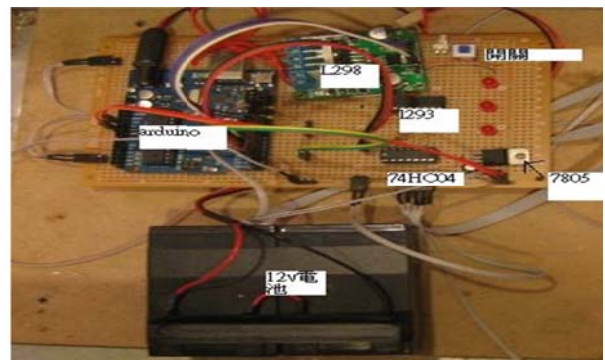
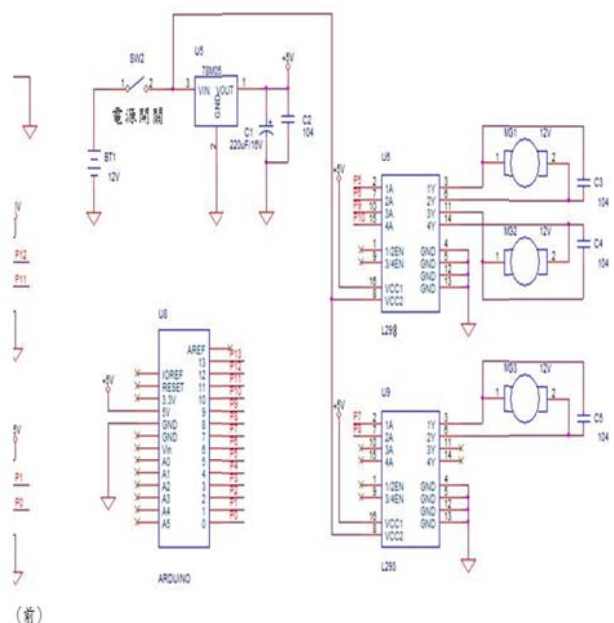


圖 12、Arduino 控制電路



(前)

圖 13、Arduino 控制電路圖

3.4 實驗結果

3.4.1 路徑規劃

我們的路徑規劃主要分兩個，第一個是我們將路線規劃起點、區域 A、區域 B、區域 C 及區域 D，此時我們將貨物藉由自走堆高機搬運到我們指定的區域，

另一個路線規劃是設 A、B 區為取貨區，C、D 區為置貨區，然後車子從起點到取貨區取貨載到置貨區放貨。

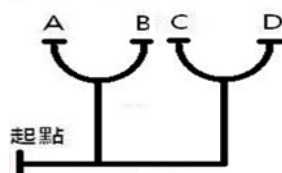


圖 14、簡易路徑圖



圖 15、實際路徑圖

3.4.2 系統測試

因使用鋁擠型與壓克力板作為車體主幹，好處在於剛性夠、修改尺寸方便、便於拆裝等優點。馬達方面固定方式也要更加探討，車頭升降機構因為升降馬達關係所以載物重量有限。車子整體零件剛開始必須選用好，假如一開始沒想好步驟與材料很容易買錯材料導致浪費錢。

程式方面：

使用 Arduino 控制，開始時可手動選定貨物搬運的區塊，行走時藉由車底下三顆光感測器循著膠帶行走，行走過程中設有避障功能，也就

是說當三顆光感測器所測的數值不是 111 時，此時車頭的超音波感測器所感測到的物體一律視為障礙物而車子停止行走，待前方物體移開才繼續向前行走，當車子行走到我們所要的區塊時，貨物台前方設有停止線，此時三顆光感測器判斷為 111，前方的物體就為貨物進行搬運，搬運後車子在自行回到出發點等待下個指令。

3.4.3 結論

車子馬達裝設於車頭，可在車頭設置比較重的載具，車輪也挑選胎紋較深的輪子，可增加抓地力減少有幅度路面的不穩定。兩個路徑規劃分別做四次行走測試，結果都依我們的功能做動，送貨成功率 100%，取貨成功率 100%。

4. 結果與討論

第一次直線行走：

剛做好完成直線測試，發現車子速度過快，之後調整車子 PWM 的控制數值，數值為 150 符合我們所需要的適當速度。

第二次指定區域搬運：

一開始先指定要到的區域，但在轉彎時有時候會轉向問題，所以我們調整 CNY70 與轉差的方式修改，經過修改後可以進行正常轉向。

本研究已完成一半自走式迷你堆高機離型設計與實現，經由 Arduino 控制板與感測器、驅動電路相溝通後可依照使用者所下達之指令完成搬運貨物、避障等功能。在未來繼續發展可參考實驗結果與討論中的缺失進行修改與克服。

車體行走時不能過快，因位在轉彎處有可能過快導致感測器還來不及反應導致車子開出線外。

致謝

這項專題能夠順利的完成，最想感謝的是指導

教授張仲良在專題題材上的建議、研究方向以及一步一步的帶領我們，讓我們這一年半來學習到方向與知識。也相當感謝同學間平常的討論與探討，讓我們能順利完成機構的部分。最後感謝父母的支持與研究室學長的不吝指導指導與幫助，有了學長的意見與細心指導指導令我們的專題更加完善。

5.參考文獻

- [1] 黃宏彥、余文俊、楊國輝編著，感測器原理與應用電路實習，高立圖書有限公司，1999 年。
- [2] 蔡朝陽，電工實習（四），全華科技圖書股份有限公司，1994 年。
- [3] 鄧錦城編著，Arduino 單晶片實作寶典，益眾資訊有限公司，2000。
- [4] 朱賢儒，2011 年，SolidWorks 2011 設計入門經典教材，上奇。
- [5] 超圖解 Arduino 互動設計入門，作者：趙英傑，出版社：旗標出版日期：2013/04/03
- [6] 曹永忠、許智誠、蔡英德，Arduino 自走車設計與製作：The Design and Development of a Robot-Car by Arduino Technology，渥瑪數位有限公司，2013 年。
- [7] 超音波感測器 HC-SR04 介紹
<http://coopermaa2nd.blogspot.tw/2012/09/hc-sr04.html>
- [8] L298 馬達驅動模組介紹，PDF
https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf

附錄

1. 實體圖：

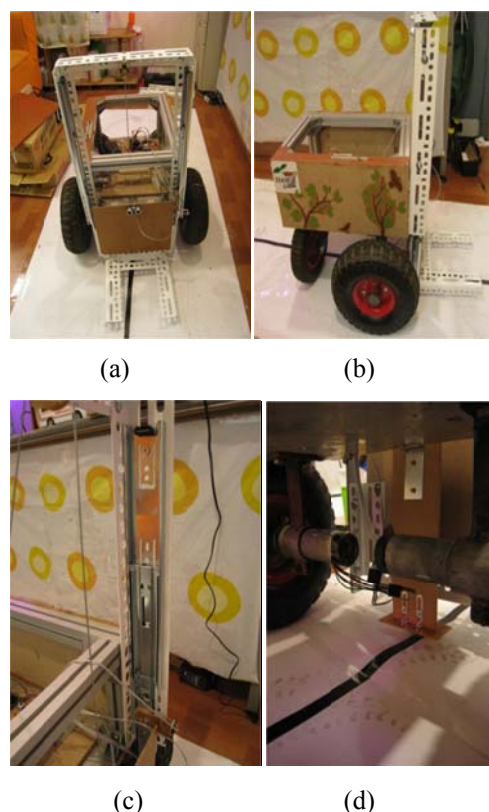


圖 16、(a)前視圖.(b)側視圖.(c)升降滑軌.(d)馬達底盤

Design and Implementation of a semi-controlled mini-powered stacker
Yan-Hong Chen, Yan-Ting Wu, Song Ho Xuan
Advisor: Chung-Liang Chang

National Pingtung University of Science and Technology, Department of Biomechanical Engineering

Abstract

In this project, the prototype semi-controlled mini-stacker is designed which can follow black electrical tape. The stacker is equipped with Arduino micro-controller board, ultrasonic

sensors, light sensors which to detect the obstacles. The experiment results demonstrate a good performance regarding the path following of the stacker. It is proven to have educational significance, and also is a technical pioneering indicator.

保溫控制箱研製與試驗

學生:蘇信豪、黃于哲、蔡宗翰

指導老師:吳瑋特

國立屏東科技大學

生物機電工程系

一、摘要

本專題先經過實用性的構想，材料的選購及模型的設計在進行實作，其中測試致冷晶片在箱內之溫度變化情形，並且分析致熱曲線溫度變化。

散熱裝置與外部的隔熱棉也是專題重點，在整體製作完成後，開始進行實際測試，常溫下，可使箱內在 1 小時內達到 63°C 的溫度。

二、研究動機

在野外露營、野餐時，如果有一個攜帶方便以及可以保溫的裝置，即可隨手把食物放入其中進行加溫，來滿足個人需求。剛開始我們參考國內外保溫箱的相關資料與影片，並藉由實務專題模擬測試進而製作出保溫控制箱，因此需要瞭解致冷晶片的特性、電子電路、模型結構、軟體應用，並且整合大學至今的能力來完成此專題，以提供使用者便利之用途。

三、試驗設備與材料

◆ 使用軟體:Solidwork、Arduino

Solidwork 是一款可以繪製 2D 與 3D 的軟體，然而大部分都是在零件環境下繪製 3D 模型，而我們使用它來繪製保溫箱模型。

Arduino，是一個開放原始碼的單晶片微電腦，它使用了 Atmel AVR 單片機，採用了基於開放原始碼的軟硬體平台，構建於開放原始碼 simple I/O 介面板，可以使用 Arduino 語言與 Macromedia Flash、Processing、Max/MSP、Pure Data 和 SuperCollider 等軟體，結合電子元件，例如開關或感測器或其他控制器件、LED、步進馬達或其他輸出裝置，作出互動作品。Arduino 也可以獨立運作成為一個可以跟軟體溝通的介面。

◆ 使用工具

1. 雷射雕刻機型號：LaserproMercury II
2. 電源供應器：12V 10A
3. 桌上鑽床：最大轉 14000rpm，夾頭能力 0.5~4mm
4. 資料擷取器：型號 2645A

◆ 使用材料:

表 1 材料一

	材料名稱	規格/用途
1.	壓克力	30cm*30cm*0.3cm
2.	隔熱棉	保溫、保冷
3.	熱電偶	量測溫度型號: E

4.七段顯示器

七段顯示器，其內部結構是由八個發光二極體所組成，為七個筆畫與一個小數點，依順時針方向為 A、B、C、D、E、F、G 與 DP 等八組發光二極體之排列，用以顯示 0~9 數字。

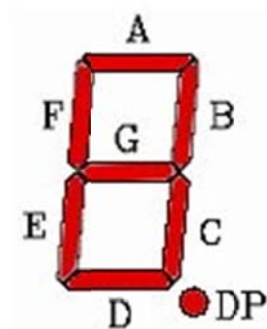


圖 1 七段顯示器示意圖

5.LM35 溫度感測器

LM35 溫度感測器，其輸出電壓與攝氏溫標呈線性關係，當 0°C 時輸出為 0V，每升高 1°C，輸出電壓增加 10mV。在常溫下，LM35 不需要額外的校準處理即可達到 $\pm 1/4^\circ\text{C}$ 的準確率。

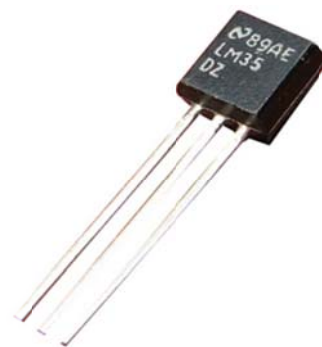


圖 2 LM35 溫度感測器

6.Arduino UNO

Arduino UNO 是一個使用 ATMEGA328 晶片的控制面板。它有 14 個輸出引腳，6 個模擬輸入，一個 16 MHz 的陶瓷諧振器，一個 USB 接口，一個電源插座，一個 ICSP 頭，和一個復位按鈕，而電源的輸入電壓在 7~12V 之間，輸出電壓。



圖 3 Arduino R3

7.水冷式散熱裝置

採用的為一體式水冷 Seidon 120V，其純銅製水冷頭提供最佳散熱效能，並且採用微流道技術、水冷液預先填充及封裝、強大且耐用的水幫浦，可有效散熱和維持穩定的水溫和水循環。



圖 4 水冷裝置實體圖

8.致冷晶片

致冷晶片是一塊N型半導體和一塊P型半導體材料連成電偶對，在這個電路中接通直流電流後，則會產生冷熱端，吸收熱量和放出熱量的大小由電流大小來決定，晶片兩面的溫差受到電流大小影響，越大則溫差越大，而最大溫差在 68°C 範圍。

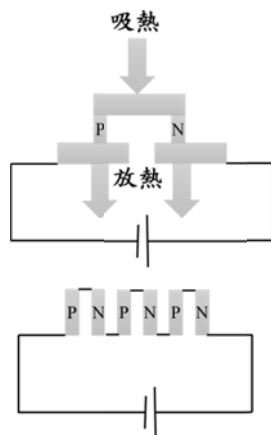


圖 5 致冷晶片示意圖



圖 6 致冷晶片實體圖

9.三段式切換開關

電源經由正負兩電線輸入進去，並由開關來選擇切換冷/熱端，藍色虛線為切換線，切換後藉由兩條實體綠線來改變正負方向。

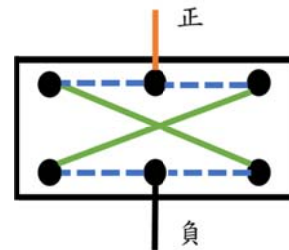


圖 7 三段式開關電路圖

四、試驗流程

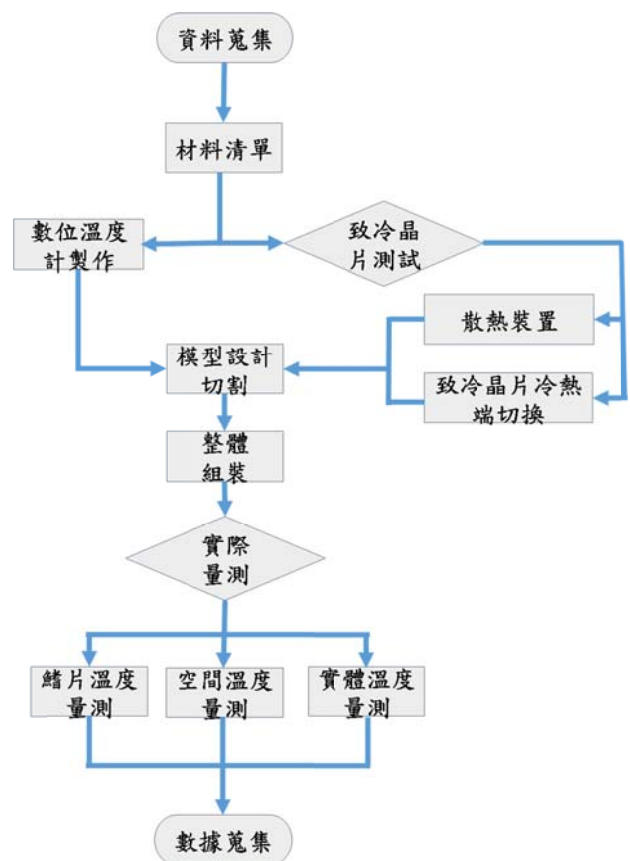


圖 8 流程圖

➤ 溫度面板

將 Arduino R3 輸出訊號腳接於四位七段顯示器上，而接收訊號端連接於 LM35 溫度感測器之訊號腳，並且供應溫度感測器 5V 電壓。

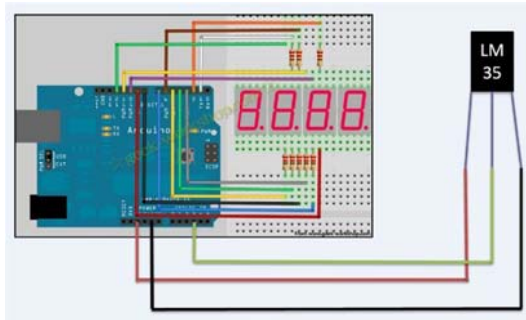


圖 9 數位溫度計線路圖

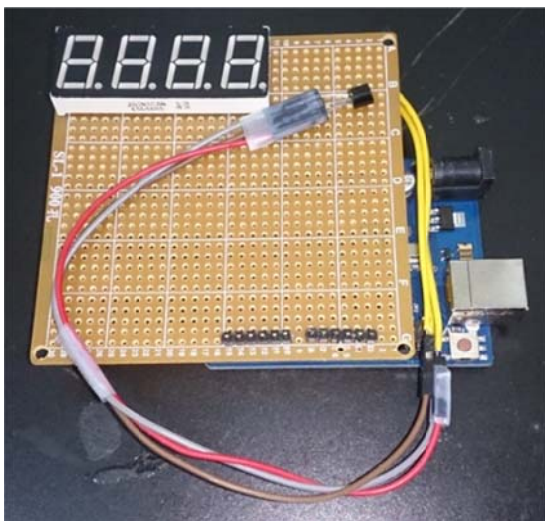


圖 10 數位溫度計實體圖

➤ 致冷晶片冷熱切換

電源經由正負端輸入進去，並由開關來選擇切換冷/熱端，綠色為切換線，切換後藉由兩條實體黑線來改變正負方向。

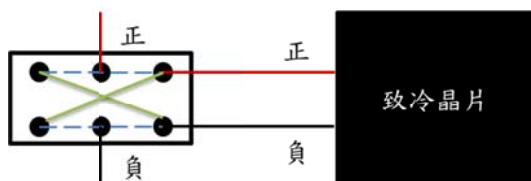


圖 11 冷熱切換電路圖

➤ 散熱裝置

中間(白色)部分為致冷晶片，經由前面(灰色)散熱鰭片將此面溫度傳遞致箱內，而後面(銅色)分水頭則是讓水流進流出，藉由散熱水將此面溫度帶走，而不會讓溫度積於此面上，達到我們要的溫度傳導及對流的效果。

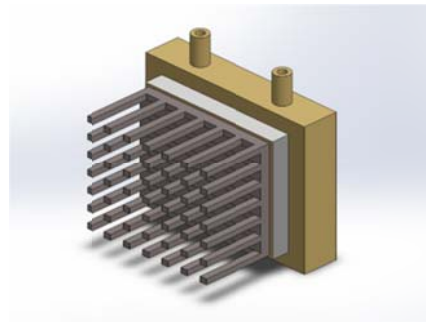


圖 12 冷熱裝置及散熱組裝圖



圖 13 散熱裝置實體圖

➤ 致冷晶片測試

使用 12V 的水冷式散熱裝置，加裝於致冷晶片上試驗，供給它 12V 之電壓與 9A 之電流，並將溫度計置於散熱鰭片上量測之溫度數據與曲線圖如下。

● 量測結果

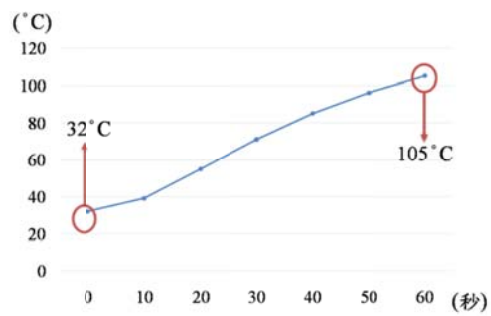


圖 14 致熱曲線圖

表 2 溫度與時間數據

時間(秒)	溫度(°C)
0	32
10	39
20	55
30	71
40	85
50	96
60	105

五、模型架構

在考量攜帶情形下，容易造成碰撞或摔落而破裂，因此我們設計一個組裝式模型，並經由 solidr work 繪製而成，在物體遇到壓力較大的狀態下導致分解而不會破裂，（如圖六），後續只需要將它拼組起來在上點黏著劑即可再次使用，內部的導風管則是補助箱內的空氣對流而設計，用來增加溫度的散播速度。

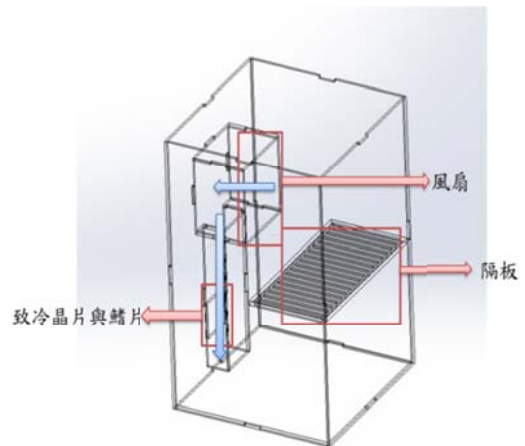


圖 15 模型設計圖

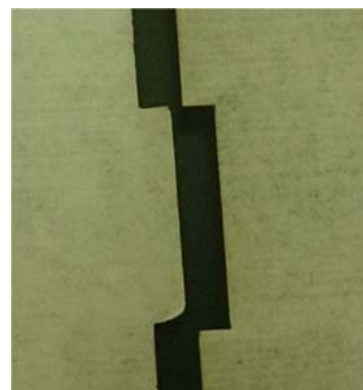


圖 16 組合槽孔

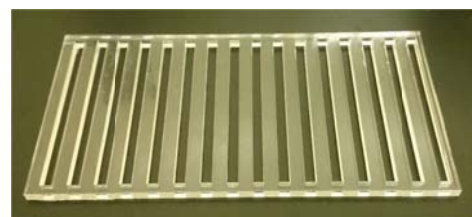


圖 17 隔板



圖 18 導風管

六、結果與討論

在整體模型組裝完成後，我們開始測試致熱空間的效果，以下是我們測試出來溫度的數據。從數據我們得知，在致熱的狀態下，溫度可以在1小時達到63°C，並且發現，空間溫度一開始有較快的上升，當達到55°C後開始趨緩，並且以每10分鐘平均上升2度，因此推論，空間溫度前面上升較快，而後則開始趨緩。

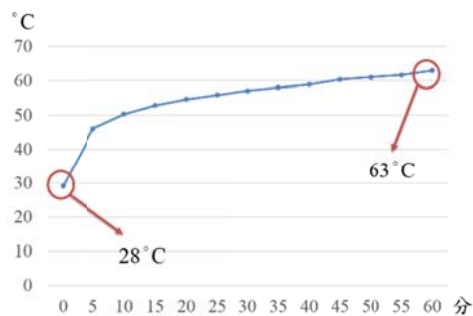


圖 19 致熱空間溫度

表 3 致熱空間數據

時間(分)	溫度(°C)
0	29
10	50
20	55
30	57
40	59
50	61
60	63

接著，我們將實體物體放入其中，並測試上下層的物體溫度，一開始使用壓克力板，並以堆疊方式墊高物體，另外在底層也放置相同物體，測試數據如下，從數據上得知，以隔板來墊高比以壓克力堆疊的保溫效果來的佳，因此推測，因隔板有間隙所以空氣對流較良好，溫度傳遞也更佳。

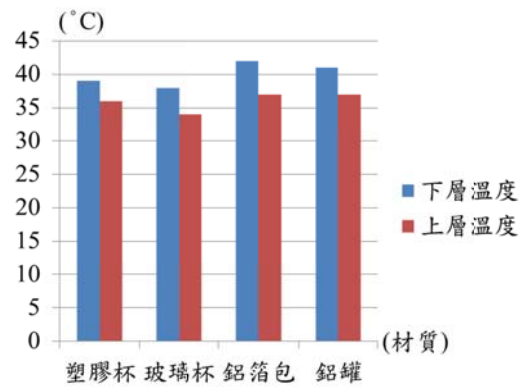


圖 20 堆疊物體溫度

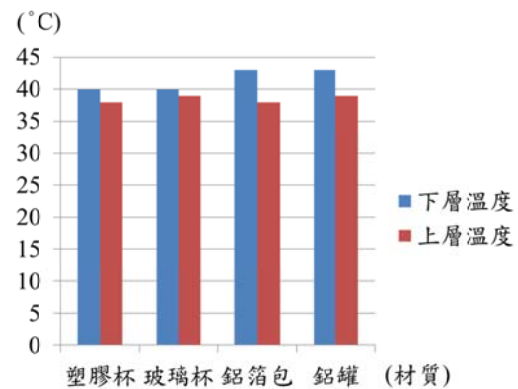


圖 21 隔板物體溫度

不同的材質於空間溫度的比較數據之下，無論是上層或下層，隔板的方式相對的比堆疊的方式效果較佳，因此可以得知，隔板與堆疊的熱阻抗不一樣，亦是影響空間溫度的因素。

表 4 數據比較

材質	位置	隔板	堆疊
塑膠杯	上層	40°C	39°C
	下層	38°C	36°C
玻璃杯	上層	40°C	38°C
	下層	39°C	34°C
鋁箔包	上層	43°C	42°C
	下層	38°C	37°C
鋁罐	上層	43°C	41°C
	下層	39°C	37°C

七、結論

1. 無論是利用隔板或堆疊的方式測試上下層溫度，可以從中發現，下層溫度都會比上層高。
2. 在內部空間之溫度不只有對流層面會影響，其中熱阻抗也是影響溫度的關鍵。
3. 雖然測得的數據晶片有很高的溫度(105°C/min)，但是從內部空間溫度(63°C/hr)可以得知，致冷晶片無法發揮百分之百的熱效率，並將溫度給導熱出來。

八、心得與感想

本次的專題製作當中，有許多的東西是我們沒有經歷過的，一開始必須摸索與研究，當遇到困難時，適時的和組員一起討論，並且找尋相關的資料解決問題，有時組員們難免會起爭執，但是學長總會在旁教導我們，所以我們也很感謝學長的帶領，才有此次專題的成果。

因此我們學到了很多知識，和一般課程不同，它是把理論實現化，從實務中學習解決問題的能力。而團隊溝通也是組員們學習的課題之一，專題讓我們更了解一個團隊是如何的順利工作，過程雖然艱辛，投入許多時間和精神，但是我們收益良多，所學與經驗值得回味。

九、致謝

本專題感謝指導老師吳瑋特老師以及學長們的幫助與指導，在專題上遇到困難時給予適時的幫助，一同討論專題實驗中的疑難雜症，並且提供有效的方法和經驗；也感謝同為專題生的同學，在實驗室裡操作設備上遇到問題時的不吝指教，而在某種機緣下實為難得可貴，誠心感謝你們的幫助使本組的研究有更佳的進展和成效，沒有大家的熱心協助，就不會有今日的研究成果。

十、未來規劃

1. 將加熱時間縮短，且提高內部空間溫度之效果。
2. 致冷晶片可以切換冷熱，後續改良為兩用式。
3. 尋找體積較小且效果較好的散熱器，使保溫箱體積可以縮小。
4. 內部空氣對流進行改良，使上層與下層的溫度接近或相同。

十一、參考文獻

〔1〕Arduino 中文社區

<http://www.arduino.cn/forum.php>

〔2〕Arduino 軟體

<http://arduino.cc/en/Main/Software>

〔3〕溫度顯示器

<https://www.slanla.com/?blog&item=6941344F434433746C715852347364736C38324F4E413D3D>

〔4〕Arduino 入門教學-簡單溫度計

<http://www.geek-workshop.com/thread-1277-1-1.html>

〔5〕Arduino 學習筆記 13-4 位數位管碼

<http://www.geek-workshop.com/thread-82-1-1.html>

〔6〕MOBILE 論壇正負交換的開關 p.2

<http://www.mobile01.com/topicdetail.php?f=214&t=266339>

〔7〕基於 Protues 的 Arduino 學習筆記 01-Arduino UNO 實驗板設計

<http://www.arduino.cn/forum.php?mod=viewthread&tid=3167>

〔8〕陳柏任、林尚樸、潘盈助，2010，高雄縣高英高級工商職業學校,節能減碳環保冰箱，P8

十二、附錄

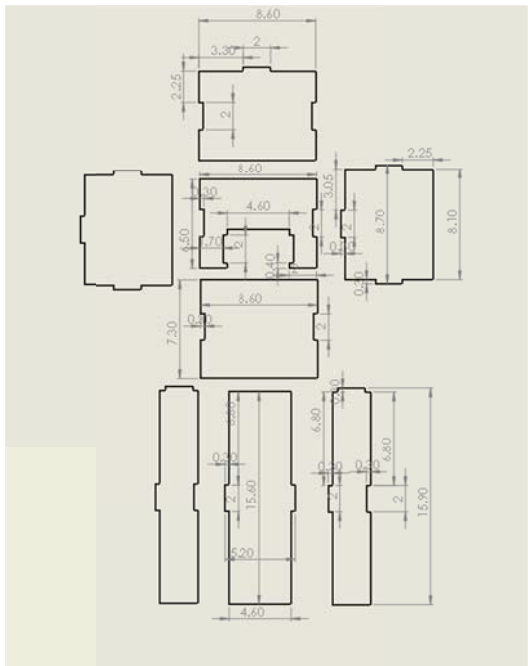


圖 22 導風管工程圖

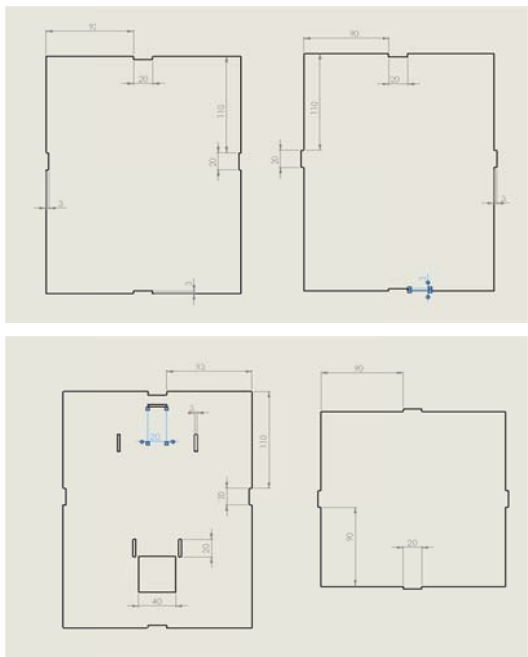


圖 23 外殼工程圖

The Study Development and Test Thermal Insulation Control Box

Student : Xin-Hao Su, Yu-Che Huang, Zong-Han Cai

Doctor : Wei-Te Wu

Department of Biomechanics Engineering
National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

The study first practical conception, material selection and design of models to make real progress, including test cold chips temperature changes inside the case to analysis of heating curves by temperature changes.

Cooling system with external thermal insulation cotton is also thematic focus, at overall production is completed, begin actual tests. At room temperature, makes boxes at 63 ° c temperature reached in 1 hour.

具安全指示燈自行車安全帽之實作

學生姓名：練進祿、邱郁翔、林敬

指導老師：吳瑋特 教授

國立屏東科技大學

生物機電工程系

摘要

本專題主要使用 Arduino 微處理器搭配感測元件來驅動兩組燈號，一組置於自行車龍頭上，藉以提醒駕駛者，另一組則透過藍芽模組將訊號傳送至安全帽後方的警示燈號，藉此達到無線安全警示燈作用。首先無線傳輸方面針對距離、角度、障礙物做訊號傳輸測試，再依自行車煞車系統之特性，選用磁簧開關來感應煞車動作，並探討其他用路人對於警示燈裝置於安全帽後方及自行車座椅下方能見度的差別。

關鍵詞：自行車、安全帽、方向燈、無線傳輸

鑑定事故慢車（輛）較 100 年成長 1.75 倍。

而交通部運輸研究所「我國道路交通安全改善方案之可行性與有效性問卷調查分析」，調查對象包含警察單位、交通局處單位、以及交通安全領域的專家學者，受訪者認為既可行又有效之方案為：「立法規定自行車需裝設頭燈與尾燈等照明設備」及「立法規定騎乘自行車須配戴安全帽」。

以安全帽搭配警示燈方案來改善自行車交通安全，其可行性及有效性是有待商議的，因此我們以上述資料做為依據，推論此方案是有效的且值得一試的。

二、研究內容與方法

一、前言

台灣有自行車王國的美譽，過去人們將自行車視為代步工具，而現今社會環保意識與健康議題逐漸受到重視，加上政府近年持續推廣自行車運動，使得自行車騎士與日俱增，根據教育部於自行車道規劃建置辦理情形報告中表示國內自行車規律運動人口達 245 萬人，由於自行車人口增加快速，事故率也明顯增加。

台北市政府警察局統計，102 年違反道路交通管理事件慢車（輛）[1]較 100 年成長 3.2 倍且 102 年的

2.1 材料與設備

1.ARDUINO 控制板

廠商：ARDUINO

型號：UNO R3

特性：Arduino UNO R3 控制板核心是以 ATmega328 型號的微控制器作為 Arduino 與電腦 USB 溝通的序列轉換介面。其優勢在於使用者可以自行燒錄 USB 序列轉換控制器的韌體，也因控制板的電路設計圖為開放式，所以能另外添購其他功能的相容板來搭配，並達到個人要求的功能。



圖一 ARDUINO 控制板

2.藍芽模組

廠商：廣州匯承信息

型號：HC-05

工作頻率：2.4~2.48GHz

傳輸距離：有效距離 10 公尺

輸入電壓：3.3~4.2V



圖二 藍芽模組

3.磁簧開關

總長：44mm

玻璃尺寸：14*2mm

特性：以磁石之磁場將磁簧管做接近作動，由磁簧管為主體將機械的動作轉換為電子訊號之裝置，以低成本及使用方法簡易是其主要特點。



圖三 磁簧開關

4.CO₂ 雷射雕刻機

廠牌：LASER PRO

型號：LASER ENGRAVING MACHINE
III MERCURY



圖四 CO₂ 雷射雕刻機

5.3D 印表機

廠牌：XYZprinting

型號：da Vinci 1.0



圖五 3D 印表機

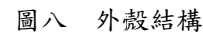
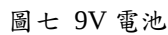
6.方向燈開關

廠牌：SYM



圖六 方向燈開關

廠牌：SONY



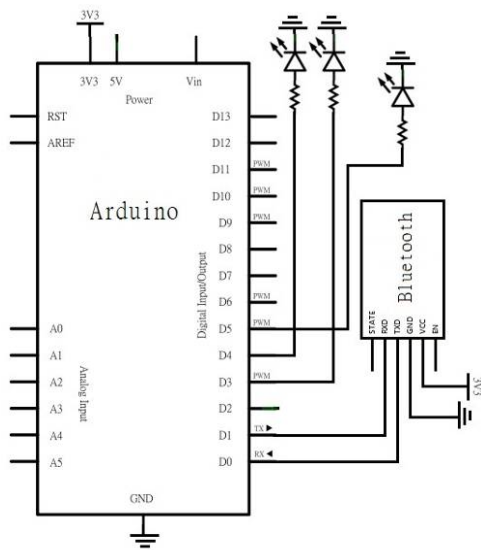
控制盒本體是使用繪圖軟體 Solid works 設計外型，考量到必須安裝電池、藍芽模組及控制板，所以中間主體盒必須分兩層來設計。兩旁則是設置數顆 LED 電路的方向燈，外型方面為節省空間及維持一定可見度，所以設計為錐體並也模仿國外具有導航功能的 Hammerhead 單車用配備。

在規劃各個模組安裝完成後的線路時，發現結構強度也是需考量的問題之一，因此重新設計外型圖並將各素材更改為卡榫式，經過黏合固定後使我們的主體盒更堅固。而除了耐震動的功能外，雨中防水的功能也成了設計的重點之一。但礙於電池為可更換式的型態，無法將主體盒封死，最後選擇在主體盒上蓋經由熱容膠將縫隙填滿並在四周設置鎖點。如此一來同時具有結構強度與防水功能的主體盒即完成。

2.3-1 龍頭主體盒電路圖規劃

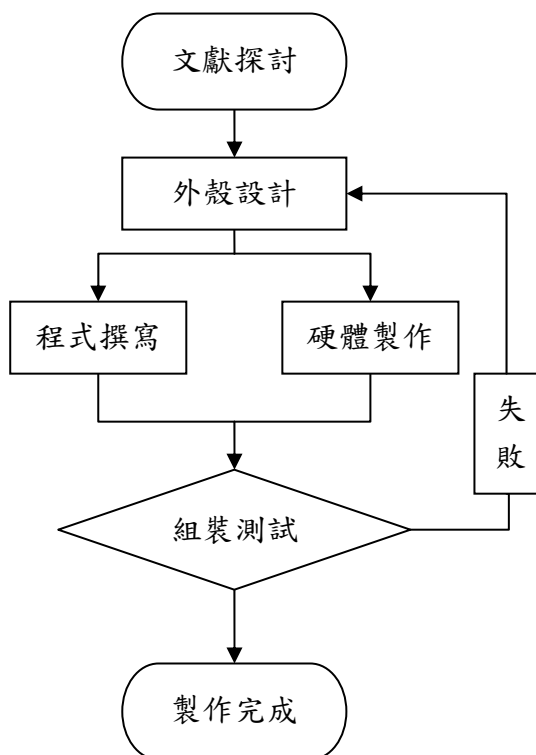
2.3-2 安全帽主體盒電路圖規劃

當龍頭主體盒輸出 3.3V 給藍芽，並利用 TX、RX 傳送訊號至安全帽主體盒，安全帽主體盒會由控制指令閃爍警示燈（如圖十）。



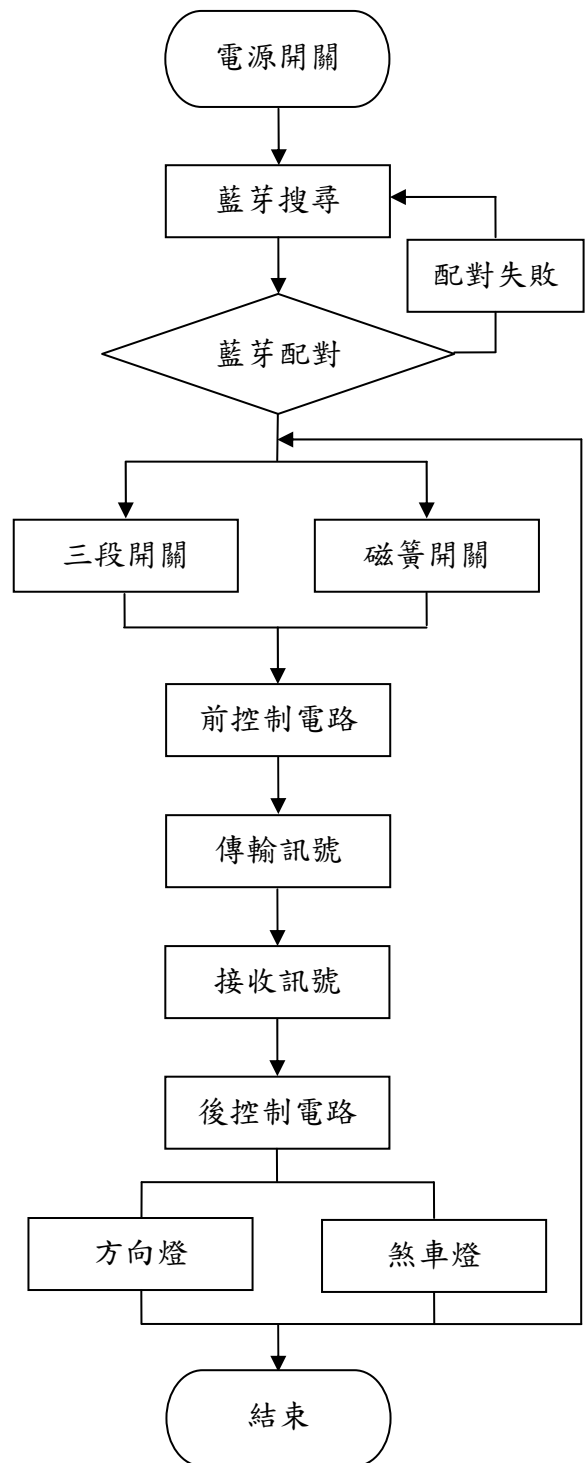
圖十 安全帽主體盒

2.4 設計流程圖



圖十一 設計流程圖

2.5 操作流程圖

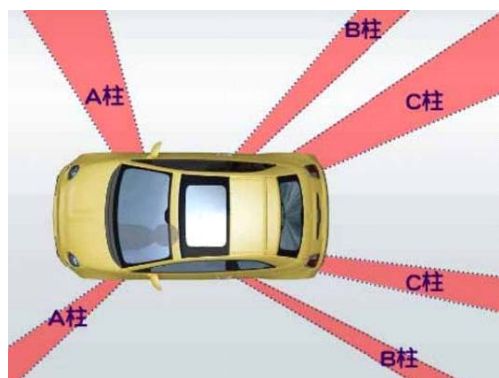


圖十二 操作流程圖

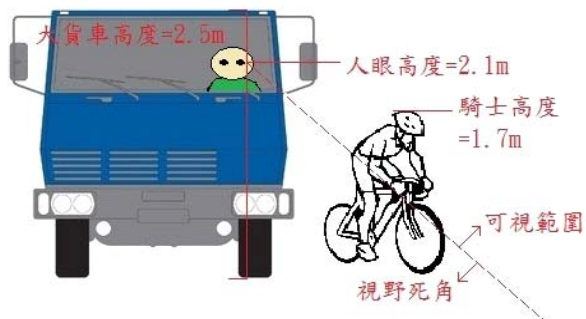
2.6 車輛視野死

駕駛者無法直接看到或透過後視鏡間接看到的視野區域即稱為「視野死角」，往往視野死角也是發生車禍傷害的主要原因。

汽車種類繁多，容易因車體結構造成視野死角，例如車子本身的 A 柱、B 柱及 C 柱，一般研究內容多會依據上視圖來探討（如圖十三），卻常忽略了車體高度也是重要的因素之一。以貨車為例：貨車駕駛的視野死角有高度的變化（如圖十四），若騎士將警示燈設置於座椅下方，容易因視野死角遮擋而造成貨車駕駛忽略；若將警示燈設置於安全帽後方，對貨車駕駛而言則在可視範圍內，且近來自行車車體大小也因攜帶方便性而有縮小的趨勢，如此警示燈高度越低，是否越有可能造成汽車駕駛忽略呢？



圖十三 上視視野死角



圖十四 高度影響之示意圖

三、結果與討論

3.1 專題實體

圖十五為龍頭主體盒完成圖，圖十六為實際安裝圖，其下方為固定支架，設計為可拆式方便攜帶，另外三段開關外殼較特殊，壓克力材質較難做出小體積、多角度之外殼，故使用 3D 印表機製作外殼（如圖十七），煞車燈部分是利用煞車系統鋼索特性，配合磁簧開關及強力磁鐵（如圖十八、十九）。



圖十五 龍頭主體盒



圖十六 實際安裝圖



圖十七 三段開關及其外殼



圖十八 磁簧開關（未作動）



圖十九 磁簧開關（作動）

圖二十為安全帽主體，主體盒固定在安全帽後方，設計為可拆式方便更換電池。



圖二十 安全帽主體

3.2 成果展示

圖二十一為右方向燈作動圖，當開關往右撥，龍頭主體盒閃爍右方向燈提醒騎士燈號作動中，安全帽主體盒也會閃爍右方向燈告知後方用路人其動向。



圖二十一 右方向燈作動

圖二十二為左方向燈作動圖，當開關往左撥，龍頭主體盒閃爍左方向燈提醒騎士燈號作動中，安全帽主體盒也會閃爍左方向燈告知後方用路人其動向。



圖二十二 左方向燈作動

圖二十三為煞車燈作動圖，當磁簧開關感應到煞車動作，安全帽主體盒即使煞車燈作動，以警示後方用路人其動向。



圖二十三 煞車燈作動

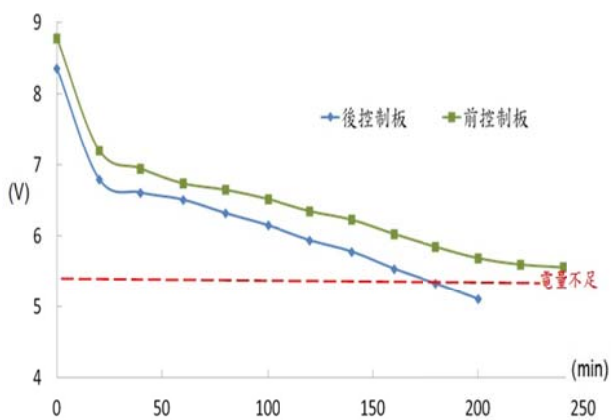
圖二十四為煞車燈與方向燈同時作動圖，程式碼經過測試改善，以達到同時作動，避免煞車燈與方向燈發生衝突或失靈。



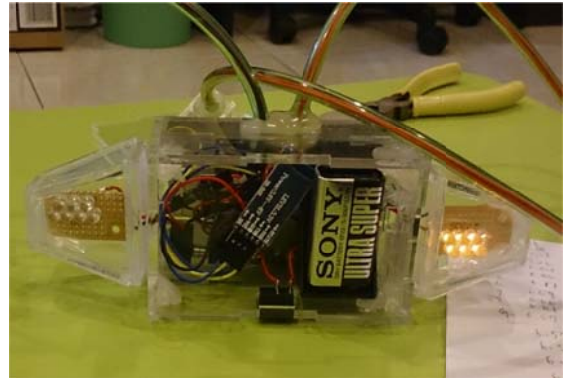
圖二十四 煞車燈與方向燈同時作動

3.3-1 續航力測試：

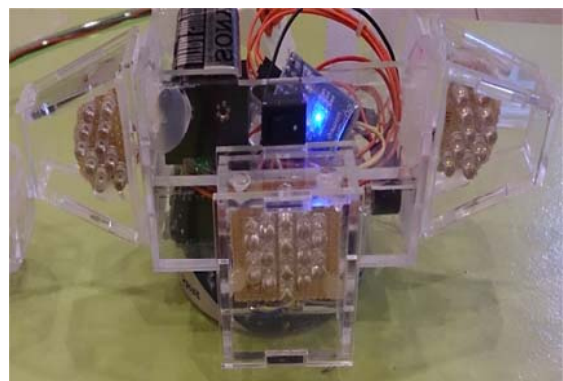
龍頭主體盒與安全帽主體盒之電池皆在電力充足的狀態下進行測試，每 20 分鐘撥動一次方向燈開關，觀察其方向燈亮度，並以三用電表量測電壓值，直至無法驅動方向燈號，共測試三次。藍芽初始進行配對時，即會造成電池電壓降低 1 至 2 伏，當配對成功後電壓值則開始緩慢地減少。安全帽主體盒因電壓降到約 5.2 伏，則亮度已不明顯；當降至約 5.11 伏時，即無法驅動方向燈號，因此判定電池電壓大約降到約 5.2 伏為電量不足（如圖二十五），但電池即可在燈號亮度微弱時提早更換。



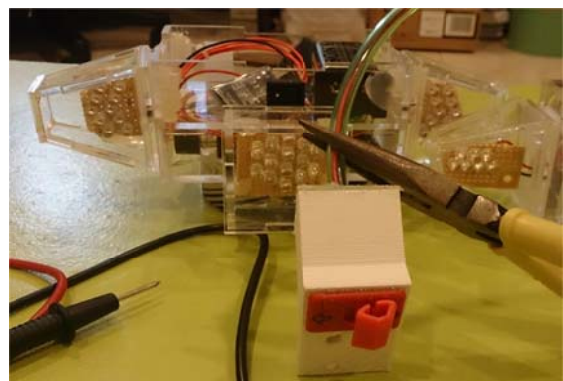
圖二十五 續航力測試



圖二十六 電力充足時 LED 亮度(右側)



圖二十七 電力減弱時 LED 亮度(右側)



圖二十八 電力耗盡時 LED 亮度(右側)

3.3-2 視野死角

本測試分別以轎車、休旅車及大貨車進行模擬測試，測試自行車經過汽車左右兩側時，汽車駕駛易因為 A 柱及自體車身高度所產生的視野死角，而造成無法看到自行車警示燈的高度位置（礙於車輛限制，故將汽車固定於原地，自行車行駛來模擬測試）。

首先模擬自行車經過轎車旁邊時，轎車駕駛者分別由駕駛座觀看左、右前方，可發現當警示燈設置於安全帽上相較於自行車座椅下方，較快出現於駕駛者視線內且較為明顯（如圖二十九、三十）。



圖二十九 轎車右側視野死角測試



圖三十 轎車左側視野死角測試

模擬自行車經過休旅車旁邊時，休旅車駕駛者分別由駕駛座看向左、右前方，可發現當警示燈設置於安全帽上，較快出現於駕駛者視線內且較為明顯。（如圖三十一、三十二）



圖三十一 休旅車右側視野死角測試



圖三十二 休旅車左側視野死角測試

模擬自行車經過大貨車旁時，大貨車駕駛者由駕駛座看向左前方可發現其視野死角，因自身車體高度的增加，而更加劇，故當警示燈設置於安全帽上較為明顯。（如圖三十三、三十四）



圖三十三 大貨車左側視野死角測試角度 1



圖三十四 大貨車左側視野死角測試角度 2

四、結論

本專題利用藍芽模組無線傳輸訊號，以 Arduino 為核心成功製作出智慧型安全帽，並有以下結論：

1. 安全帽主體盒不可過大、過重，考慮到安全帽空間有限與實用性問題，主體盒體積必須盡可能縮小，避免壓迫頭部空間而感到不適及長時間負重對頸部造成傷害。
2. 磁簧開關必須配合磁鐵利用煞車鋼索測試出適當的距離、角度，以避免煞車燈作動失靈。
3. 視野死角隨高度變化，由測試結果可以判定本專題與坐墊下方的警示燈相較之下能見度提高。

五、致謝

感謝指導老師吳瑋特老師與實驗室所有學長們，適時的給予我們幫助，從未接觸過相關控制板的我們遇上很多瓶頸，簡單的線路問題、不難的程式問題都能夠困擾我們非常長的時間，甚至測試許久的成果不夠完善，要更換零件從頭來過，導致信心頓失，所幸學長也適時給予鼓勵與建議，一步一步解決問題。

六、參考文獻

〔1〕「台北市交通統計月報地 306 期」，台北市交通局

〔2〕孫駿榮、吳明展、盧聰勇，2013，「最簡單的互動設計 Arduinou 一試就上手」，基峯資訊股份有限公司，台北，第 10-3

〔3〕李仁輔，2009「磁性感測器討論報告」，南台科技大學

〔4〕張勝雄等，2011，「交通運輸部研究所道路交通事故特性與對策比較研究」，MOTC-IOT-99-SEB007，交通部運輸研究所

〔5〕林豐福、裕世祥，2013，「交通運輸部研究所腳踏車肇事特性分析及因應措施」，MOTC-IOT-92-SAA06，交通部運輸研究所

〔6〕盧泓元、蕭文君、楊嵐皓、王昱智，2009，「2009 年全國飛信杯應用創意設計比賽無線 LED」

〔7〕Cooper Maa 部落格

<http://coopermaa2nd.blogspot.tw/2011/03/irremote.html>

〔8〕Choyi 利用藍牙模組達到兩台 arduino 互相通訊
<http://choyihsu.blogspot.tw/2012/12/arduino.html>

附錄

9.1 附錄一（傳送程式碼）

```
constintbuttonPinA = 4;
constintbuttonPinB = 5;
constintbuttonPinC = 6;
constintledPinL=8;
constintledPinR=9;
intbuttonStateA = 0;
intbuttonStateB = 0;
intbuttonStateC = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(buttonPinA, INPUT);
  pinMode(buttonPinB, INPUT);
  pinMode(buttonPinC, INPUT);
  pinMode(ledPinL, OUTPUT);
  pinMode(ledPinR, OUTPUT);
}
void loop()
{
  intbuttonStateA = digitalRead(buttonPinA);
  intbuttonStateB = digitalRead(buttonPinB);
  intbuttonStateC = digitalRead(buttonPinC);
  if(buttonStateA == HIGH){
    Serial.println("1");
    Serial.println("8");
    if(buttonStateC==HIGH){
      Serial.println("1");
      Serial.println("3");
    }
    if(buttonStateC==LOW){
      Serial.println("1");
      Serial.println("8");
    }
    if(buttonStateA == HIGH){
      digitalWrite(ledPinL, HIGH);
      delay(350);
      digitalWrite(ledPinL, LOW);
      delay(350);
    }
  }
  else if(buttonStateB == HIGH){
    Serial.println("2");
```

```
    Serial.println("8");
    if(buttonStateC==HIGH){
      Serial.println("2");
      Serial.println("3");
    }
    if(buttonStateC==LOW){
      Serial.println("2");
      Serial.println("8");
    }
    if(buttonStateB == HIGH){
      digitalWrite(ledPinR, HIGH);
      delay(350);
      digitalWrite(ledPinR, LOW);
      delay(350);
    }
  }
  else if(buttonStateC == HIGH){
    Serial.println("3");
    Serial.println("7");
    if(buttonStateA==HIGH){
      Serial.println("3");
      Serial.println("1");
    }
    if(buttonStateA==LOW){
      Serial.println("3");
      Serial.println("7");
    }
    if(buttonStateB==HIGH){
      Serial.println("3");
      Serial.println("2");
    }
    if(buttonStateB==LOW){
      Serial.println("3");
      Serial.println("7");
    }
    delay(350);
  }
  else{
    Serial.println("9");
    delay(350);
  }
}
```

9.2 附錄二(接收程式碼)

```
constintledPinA=4;
constintledPinB=5;
constintledPinC=6;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ledPinA, OUTPUT);
  pinMode(ledPinB, OUTPUT);
  pinMode(ledPinC, OUTPUT);
}
booleanledA;
booleanledB;
#define DELAY_A 350
#define DELAY_B 350

voidshowLedA(){
  if(ledA == false){
    digitalWrite(ledPinA, LOW);
  }
  else{
    unsigned long t = millis();
    if(t / DELAY_A % 2 == 0)
      digitalWrite(ledPinA, LOW);
    else
      digitalWrite(ledPinA, HIGH);
  }
}

voidshowLedB(){
  if(ledB == false){
    digitalWrite(ledPinB, LOW);
  }
  else{
    unsigned long t = millis();
    if(t / DELAY_B % 2 == 0)
      digitalWrite(ledPinB, LOW);
    else
      digitalWrite(ledPinB, HIGH);
  }
}

void loop() {
  if(Serial.available()){
```

```
    unsigned char charreceived = Serial.read();

    switch(charreceived){
      case '1':
        ledA = true;
        ledB = false;
        Serial.println("1");
        break;
      case '2':
        ledA = false;
        ledB = true;
        Serial.println("2");
        break;
      case '7':
        ledA = false;
        ledB = false;
        break;
      case '8':
        digitalWrite(ledPinC, LOW);
        break;
      case '9':
        ledA = false;
        ledB = false;
        digitalWrite(ledPinC, LOW);
        Serial.println("9");
        break;
      case '3':
        digitalWrite(ledPinC, HIGH);
        Serial.println("3");
        break;
      default:
        break;
    }

    Serial.flush();
  }
  delay(10);
  showLedA();
  showLedB();
}
```

Implemented the bicycle helmet with safety indicator
lamp

Students: Jin-Lu Lian, Yu-Hsiang Chiu, Jing Lin

Advisor: Dr. Wei-Te Wu

Department of Biomechatronics Engineering
National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

This topic is mainly used Arduino microprocessor and sensing elements to drive two set of lights, one set mounted on the bicycle stem to remind the driver, the other set signal to the warning lights what behind helmet via Bluetooth module, then achieve wireless security warning lights. At first, we test about distance, angel, obstacles for wireless transmission, then according the features of bicycle break system to optional magnetic reed switch to sense the action of braking and explore the difference of the places where behind helmet and under the seat about the visibility of warning light to the road users.

具雨滴偵測功能之自動化遮雨棚

王泓文、林建呈、蔡東桓

指導教授：吳瑋特 老師

國立屏東科技大學

生物機電工程系

摘要

本研究主要透過薄膜阻抗式雨滴感測器、Arduino Nano 控制板與伺服馬達結合，將其判定遮雨棚啟動與收回時機。其中薄膜阻式雨滴感測器由正負兩電極組成，以特定感測雨滴滴落雨水量使電阻產生改變而輸出電壓，將所輸出的電壓訊號利用 Arduino Nano 控制板作為訊號處理與邏輯判斷，藉由電壓訊號之大小判定是否啟動自動化遮雨棚。然而自動化遮雨棚則利用透明壓克力為基材，因壓克力具有輕巧、低成本且易加工等特性，故作為本研究之材料。另外為減少自動化遮雨棚電子零件遇水損壞或故障等維修時之不便，進而設置可以拆卸更換與維修零件的防水措施，讓自動化遮雨棚功能更加完善並能透過定期修繕達到延長裝置使用年限之效果。綜合上述所需器材與方法，可設計出極便利性、低成本、具快速啟動與遲延收回之自動化遮雨棚裝置。

關鍵字:薄膜阻抗式雨滴感測器、Arduino Nano 控制板、伺服馬達、自動化遮雨棚。

一、研究背景與動機

台灣屬海島型氣候故容易在午後發生雷陣雨現象，此時段亦是一般上班族及學生在外活動的時間，一場突如其來的大雨常使大眾晾至戶外衣物來不及收回而淋濕，藉此便開始思考著如何將遮雨棚智能化並達到自動控制之功能，同時也能讓我們的生活更加

便利，此為動機之一。

目前大多數居家住宅窗戶皆有安置遮雨棚(板)如：採光罩、鐵皮板等兩者皆採用固定安裝式(圖 1)，此種方式不僅不易收納且又占空間並遮住光線透射，無法達到節省空間、節省能源等環保特性。另外一種則是手動安裝式(圖 2)，雖可收納又能節省空間但因需人工手動調整，故無法達到智能化開啟或關閉遮雨棚，然而上述兩者皆有不足之處，藉此衍生出自動化遮雨棚為動機之二。



圖 1、固定式安裝式



圖 2、手動安裝式

二、研究目的與方法

由於台灣天氣現象不穩定，有許多地區頻頻有陣雨發生，因此可利用具雨滴偵測功能之自動化遮雨棚進行環境的監測，當感測器接觸雨滴時便將遮雨棚自動開啟，達到預防陽台濕滑或保持陽台上衣物不受雨水淋濕之狀況。

將所學之專業知識運用於實務專題中，不足之處則另尋其他相關資訊並綜合上述技術與知識逐一完成實務專題，亦可於製作專題過程中加強實作經驗提升自我競爭力。

三、材料與設備

1. 薄膜阻抗式雨滴感測器

薄膜阻抗式雨滴感測器(圖 3)主要是由電極、基板、引線和感濕高分子膜所組合而成，利用在電極與電極之間一定的間距來感測雨滴對電阻改變進而使輸出之電壓產生變化，且能依據雨滴滴落之雨水量來更準確判斷電壓之變化，最後透過微控制器作訊號處理及邏輯判斷再將訊號擷取傳送出去。



圖3、薄膜阻抗式雨滴感測器

2. Arduino Nano 控制板

廠牌：Arduino

型號：Nano

Arduino 為一塊基於開放原始碼發展出來之 I/O 介面控制板，並具有似於 java 與 C 語言的開放環境讓使用者更容易上手。Arduino 可分為硬體和軟體兩大部分，硬體部分是一個約手掌大小之控制板(寬 70mm*高 54mm)核心使用八位元 ATMEGA8 系列的微控制器，提供數位及類比輸入/輸出端可接上不同的電子裝置，並支援 USB 資料傳輸可外接電源(5V~9V)或 USB 電源來使用；軟體部分使用的 IDE 及電路設計圖則可以從官方網站下載。Arduino 種類可分為 Arduino UNO、Arduino Mega、Arduino Mini、Arduino Nano 等等，功能上皆略為相同，其中選用具體積小、節省空間之 Nano 控制板(圖 4)。

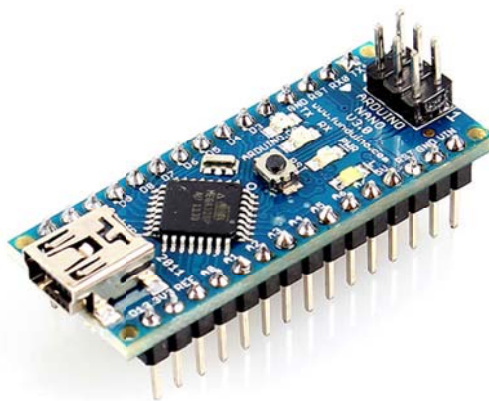


圖 4、Arduino Nano 控制板

3. 伺服馬達

廠牌: Tower Pro

型號: SG90

馬達為將電能轉換為機械能之驅動元件，於工廠自動化中扮演著十分重要的角色，其種類可由結構上和控制方法上分成直流馬達、交流馬達、伺服馬達(圖 5)及步進馬達，其中伺服馬達具有升溫慢、輸出扭力大及控制精度較佳之特性，且屬於閉迴路系統故不易受到干擾，同時也可藉由控制旋轉的角度使物體旋轉或結合機構運作故選擇此馬達。



圖 5、伺服馬達



圖 7、 CO_2 雷射雕刻機

4.透明壓克力板

廠牌：聖揚壓克力廠

壓克力(圖 6)具有輕巧、低成本且易加工等特性。



圖 6、透明壓克力板

6.斷電開關

其為兩段式開關(圖 8)，主要功能為電路之導通及切斷。

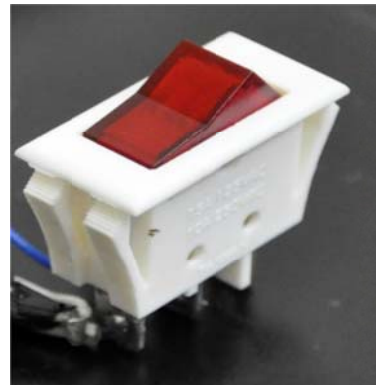


圖 8、斷電開關

5. CO_2 雷射雕刻機

廠牌：Laser Pro

型號：Laser Engraving Machine III Mercury

雷射雕刻機(圖 7)是利用高功率密度的雷射光束掃描材料表面，在極短時間內將材料加熱到數千至上萬攝氏度，使材料熔化或汽化，再用高壓氣體將熔化或汽化物質從切縫中吹走，達到切割材料之功能。

7.5V 電源變壓器

由電源插座 110V 轉換為 5V(圖 9)。



圖 9、5V 電源變壓器

四、研究方法與步驟

4-1.研究方法流程圖

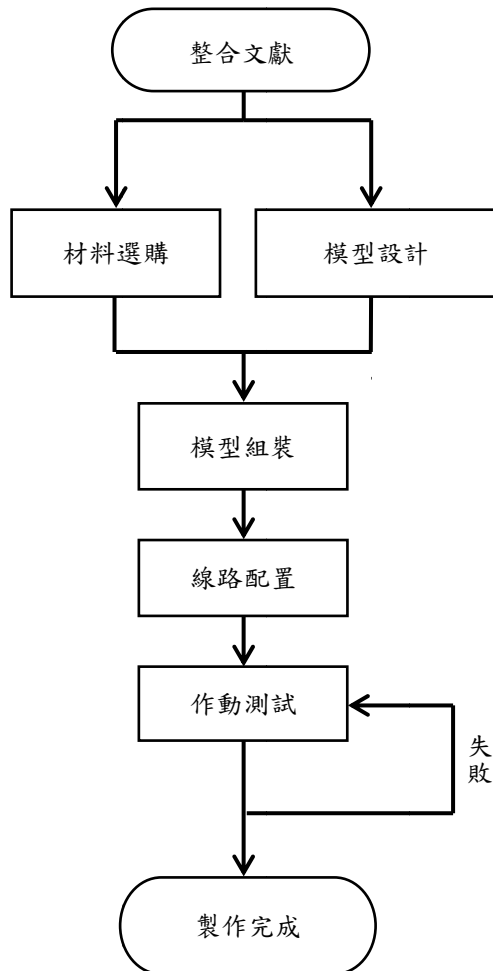


圖 10、製作流程圖

4-2雨滴感測器感測方式與訊號傳遞

利用所選擇之薄膜阻抗式雨滴感測器作為接收器，以雨滴對電阻的改變進而使輸出之電壓產生變化，再將訊號擷取傳遞至Arduino Nano控制板，利用此訊號使控制板判斷出是否為作動依據。然而為了防止單感測器所產生的誤判故增設雙感測器，並以必須同時兩塊接觸到雨水方能做動之規則，此為避免因感測器誤判而導致遮雨棚無故開啟之現象。此外於感測器加設防護措施及紋路(圖11)，其目的為防止鳥類排泄物等不明異物直接滴落在感測器而觸發遮雨棚作動，因此

透過紋路板的區隔防止異物直接接觸，再者利用防護措施的傾斜度使水滴能夠快速地滑落感測區，藉此避免水滴殘留於感測器上導致遮雨棚在停雨時仍舊開啟的情況發生。

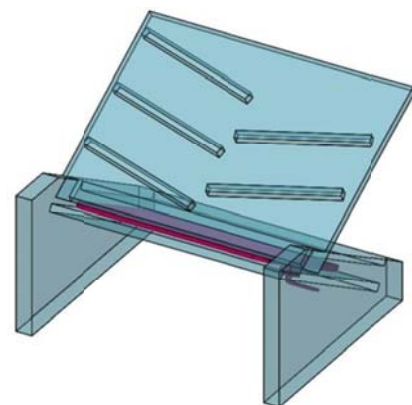
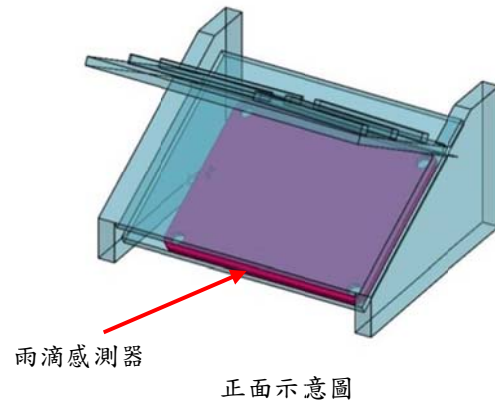


圖11、雨滴感測器及防護措施

4-3程式碼撰寫

經由程式碼的撰寫讓Arduino Nano控制板接收雨滴感測器之訊號，再將其轉換至類比訊號並且透過Nano控制板進行判斷及處理，最終把訊號傳遞至伺服馬達進而控制遮雨棚之作動(圖12)。

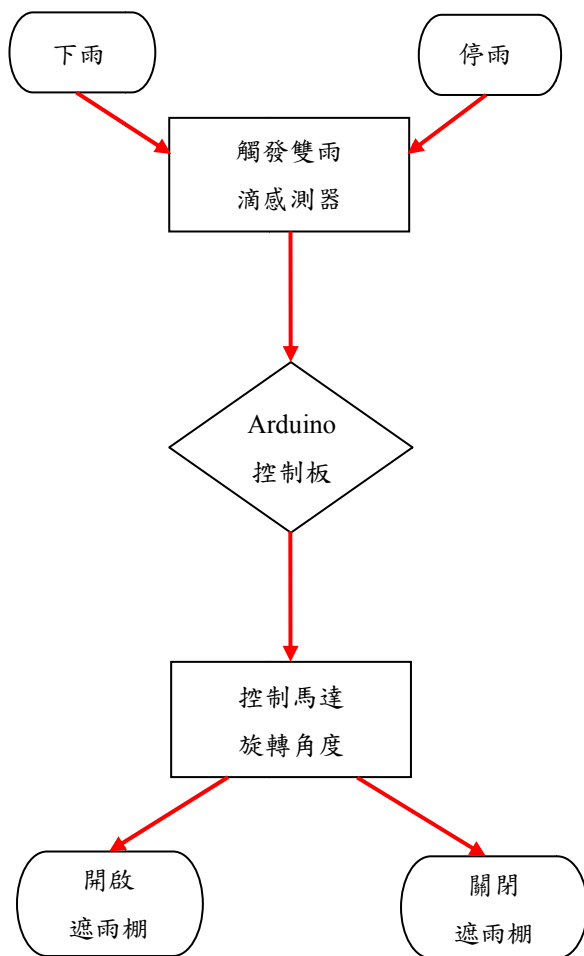
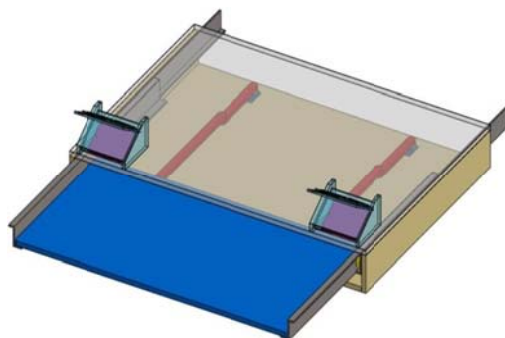


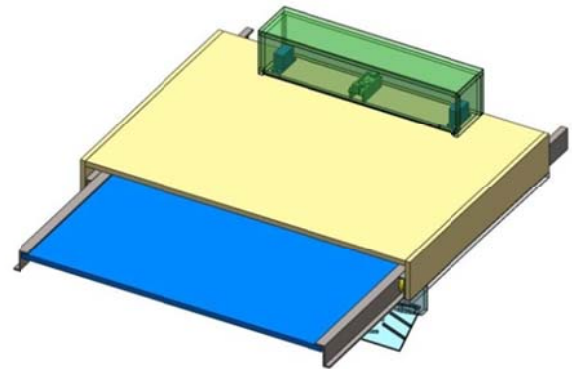
圖 12、作動流程圖

4-4 模型構造設計

選定使用之元件後，利用solidworks以1：1比例畫出設計構想圖，並以壓克力作為基材使用CO₂雷射雕刻機進行切割將各組件組合起來，以下為經過多次修正改良後所設計出之模型架構圖（圖13）。



正面示意圖



反面示意圖

圖13、模型架構圖

此模型主要以左右兩側板內側裝置滑軌(圖14)，利用滑軌的軌道做為遮雨板之作動軌跡，同時也藉此來減少遮雨板推出時之摩擦力及側推力過大的問題，而內部滾輪裝置也能使遮雨板作動更為順暢平穩。

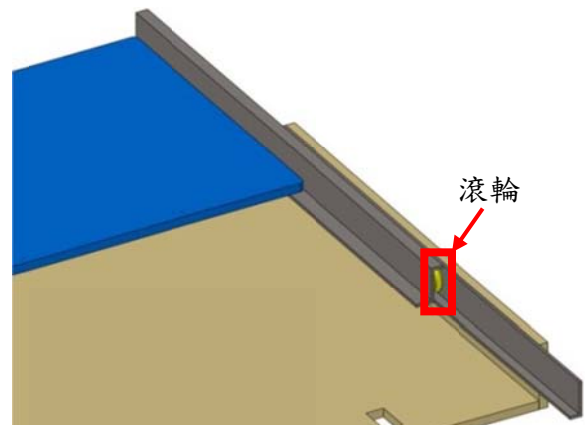


圖14、滑軌示意圖

遮雨板的作動搭配連桿機構運動方式設計，並利用長短軸緊密結合(圖15)當雙伺服馬達旋轉時同時帶動長短軸進行遮雨板伸出與收回，為將遮雨板完全伸出因此需將短軸、長軸以及兩側板之比例準確計算。

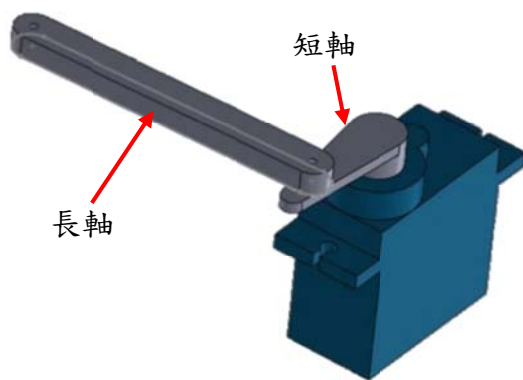
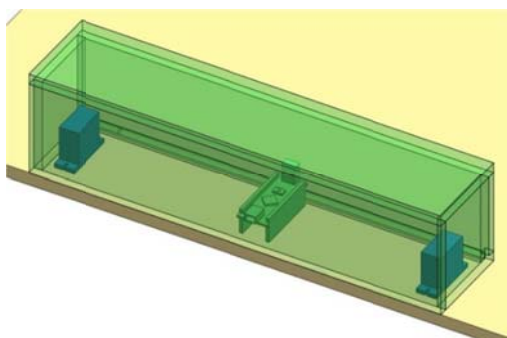
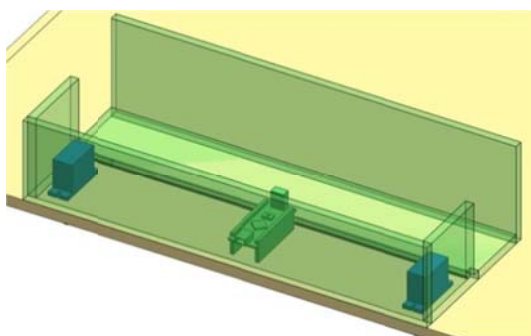


圖15、長短軸與伺服馬達

由於整體作動上需使用電力的供應與線路的配置，因此特別加設防水機構以避免雨水直接接觸造成電路故障及安全疑慮，同時為方便維修人員維修故在防水措施上設計出可掀開之蓋板(圖16)。



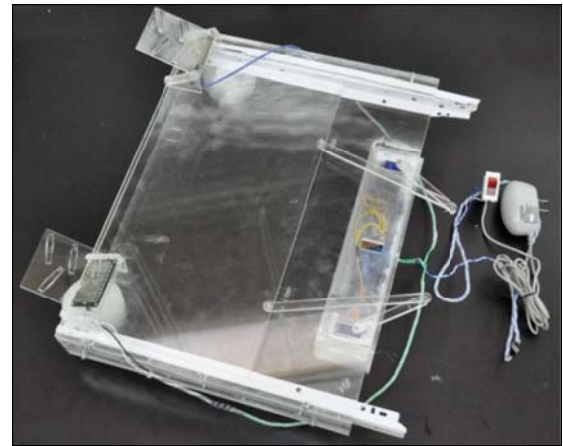
展開前示意圖



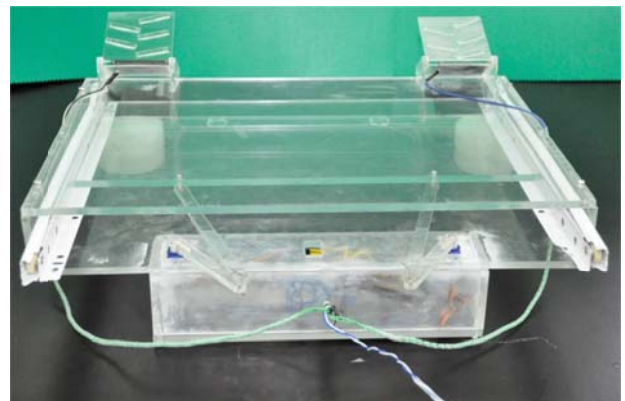
展開後示意圖

圖16、防水措施

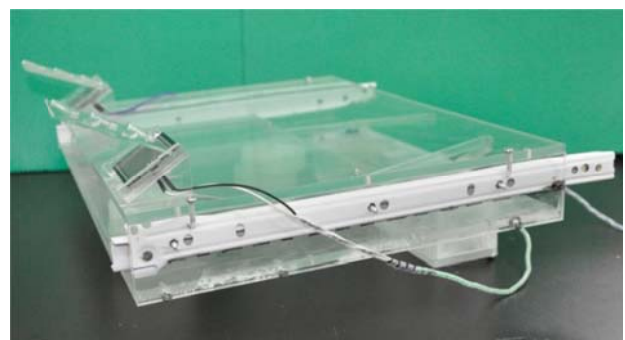
最後統整上述構造將製作出整體模型實體(圖17)其中以5V電源變壓器作為供應電源，且為避免在機械故障進行維修時，所造成的人身安全疑慮，故於電源與線路中加裝一斷電開關。



俯視圖



後視圖



側視圖

圖17、具雨滴偵測功能之遮雨棚實體圖

五、研究結果

雨水量測試

利用微量滴管吸取固定水量滴至感測器上進行七次實驗，每次以 20 μ l 為一單位逐次增加至 200 μ l，再將其數據加以分析與比對並計算出平均值(表一、圖 18)，從中得知當水量漸增時電壓會相對的下降。而本次專題所設定作動電壓值為 2.5V，當低於該電壓值時遮雨棚會開啟，高於該電壓值時則反之，此電壓值可依照當地氣候狀況自行設定作為遮雨棚作動時機之依據。

表一、雨水量測試數據表

次數 水量(μ l)	1	2	3	4	5	6	7	平均值(V)
20	2.99	3.04	3.35	2.99	3.35	3.08	3.03	3.12
40	2.64	2.60	2.66	2.60	2.83	2.71	2.67	2.67
60	2.47	2.42	2.42	2.45	2.52	2.49	2.47	2.46
80	2.27	2.29	2.29	2.35	2.34	2.36	2.35	2.32
100	2.21	2.21	2.16	2.26	2.21	2.22	2.21	2.21
120	2.15	2.18	2.12	2.18	2.15	2.13	2.13	2.15
140	2.11	2.13	2.08	2.12	2.09	2.08	2.09	2.10
160	2.07	2.06	2.04	2.06	2.06	2.04	2.04	2.05
180	2.04	1.99	2.01	2.01	2.03	2.01	2.00	2.01
200	1.99	1.97	1.98	1.97	1.99	1.95	1.97	1.98

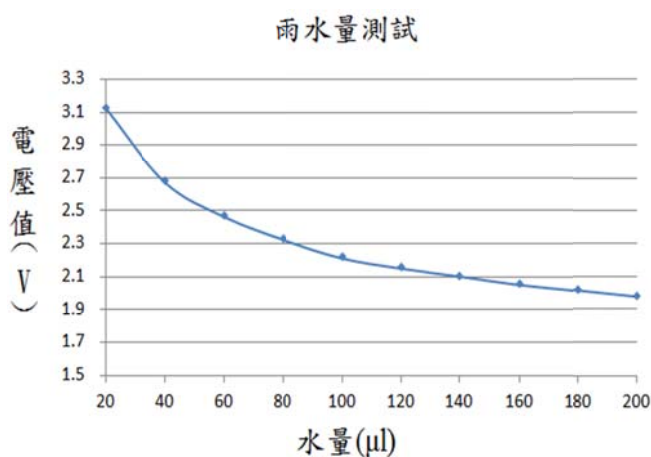


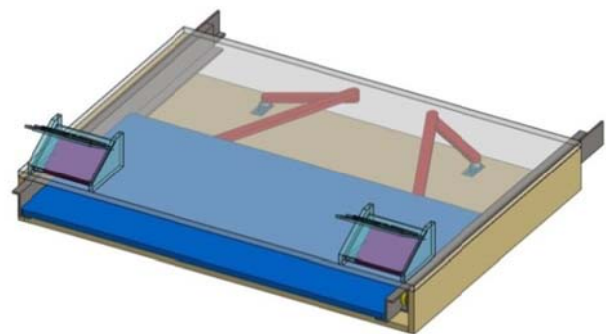
圖 18、雨水量測試曲線圖

馬達角度測試

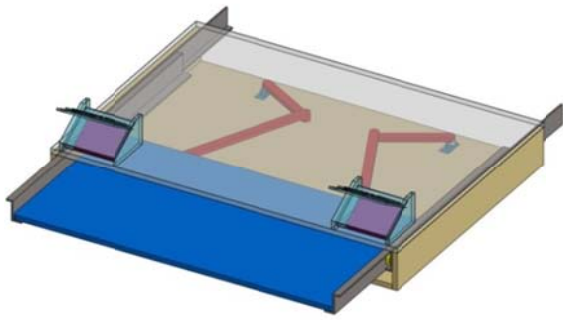
利用 Arduino Nano 控制板程式碼的撰寫，使伺服馬達能夠依據設定之旋轉角度進行旋轉測量其伸長量(表二)，以每 20 度記錄一次共計 10 次。由此數據可得知各旋轉角度之伸長量，並藉由該表做為比對依照各個裝設地點的不同而自行設定馬達旋轉角度來控制其伸長量 (圖 19)。

表二、馬達旋轉角度數據表

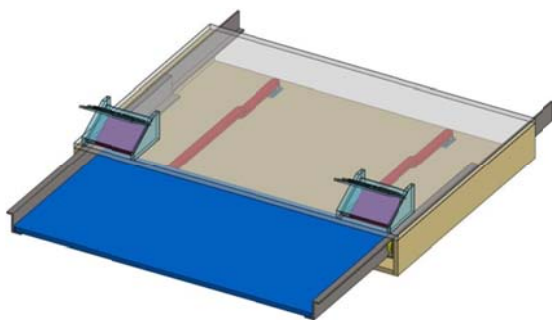
角度(度)	伸長量(cm)
0	0
20	2
40	3.5
60	5
80	7
100	9
120	10.5
140	12.5
160	14
180	16



旋轉 60°



旋轉 120°



旋轉 180°

圖 19、馬達旋轉角度之伸長量

六、結論

本專題透過 Arduino Nano 控制板接收雨滴感測器之訊號進而控制伺服馬達作動，亦自製出具雨滴偵測功能之自動遮雨棚。並有以下結論：

1. 利用 Arduino Nano 控制板接收並擷取其類比訊號，將其數據整合後控制馬達動力之輸出。
2. 作動方式是由兩端輸出搭配長短軸連桿及滑行對設計出四連桿機構，使遮雨棚作動時減少摩擦力，讓整體運作更為順暢平穩。
3. 本次專題以壓克力板作為基材故整體強度有限，往後可使用較堅硬材料例如：鋼材及鋁材，藉此提升整體強度並增加其擋雨面積。

七、心得感想

從一開始懵懵懂懂的我們接觸專題後學習到許多專業知識，在這段期間努力朝向共同目標前進透過分工合作一步步將專題製作完成。過程中雖有發生意見不合與面臨瓶頸等的問題，但經過多次的溝通與嘗試，最後都能逐項克服並找出解決方法，這些都讓我們學有所獲且成長了不少。

八、致謝

本次專題能夠順利完成，首先誠摯的感謝專題指導教授吳璋特老師，在一路上遇到困難時，給予適當的幫助並提供儀器與機具使用，同時感謝實驗室裡的毓澤學長，不時給予意見並督促專題進度，面臨問題時分享自己的經驗談並協助我們順利解決難關，十分慶幸有學長的帶領作為典範，不僅將實務專題順利完成從中也學會做人的態度與團隊重要性，本次學習獲益良多對於人生又往前邁向一步。

九、參考文獻

[1] rduino介面控制板簡介 參考網址：

<http://icerc.tnssh.tn.edu.tw/download/epaper/epaper43/20091130.pdf>

[2] Arduino使用參考手冊及官方網站 參考網址：

www.arduino.cc

[3] 伺服馬達 VS 步進馬達的原理與差別 參考網址：

<http://www.sunholy.com.tw/epaper/NO.103/103.pdf>

[4] 伺服馬達控制實作

[5] 馬達控制系統的原理與應用

[6] 許煜政: '薄膜阻抗式車窗雨滴感測之初探', 明志科技大學機械學系, 2007

[7] 張舜長: '模糊控制器實現自動雨刷控制系統', 大葉大學車輛工程研究所, 2005

[8] 葉難-Arduino練習 參考網址:
<http://yehnan.blogspot.tw/2012/02/arduino.html>

[9] 楊志成: '自動雨刷系統之設計與控制', 臺北科技大學車輛工程系所學位論文, 2010

[10] 翰可國際股份有限公司 參考網址:
http://www.skwentex.com/tw/product_info.aspx?PID=27

[11] 大面積雨滴感測器模組 參考網址:
<http://goods.ruten.com.tw/item/show?21303030780962>

十、附錄

Automation rain shed with raindrop detection

Student : Hun-Wen Wang
Chien-Cheng Lin
Tung-Huan Tsai

Doctor : Wei-Te Wu

Department of Biomechatronics Engineering
National Pingtung University of Science and
Technology

Abstract

This study mainly through a combination of the thin-film moisture sensing, Arduino Nano control board and servo motor to determine the rain shed's actuation timing. The thin-film moisture sensing is mainly composed by two electrodes side by side; this structure can change its output voltage with the amount of contact between the raindrops. However, we are going to use acrylic as a substrate, because acrylic has lightweight, low-cost and easy processing characteristics to manufacture automation rain shed as the material of this study. In addition to reduce the automation rain shed electronic parts exposed by moisture or inconvenience fault, thus we develop a protective measures to help us repair them, let the automation rain shelter function more smoothly, also it can prolong the life by regular maintenance. Based on the above of described we can design an automation rain shed with convenience, low cost, fast start and delay recovery.

Keyword: thin-film moisture sensing , Arduino Nano control board, servo motor, automation rain shelter.

智能型熱水瓶

學生姓名：張廷瑋、彭龍輝、王喜慶

指導教授：吳瑋特 老師

國立屏東科技大學

生物機電工程系

摘要

本專題利用薄型電阻式壓力感測器、Arduino Uno 控制板與儲水桶，並結合熱水瓶等相關硬體設備，設計出具有自動補給功能與防空燒之熱水瓶。電阻式壓力感測器原理作為熱水瓶偵測內容量之基礎，當壓力感測器所輸出壓力值越小時，經由 Arduino Uno 訊號處理與邏輯判斷後，自行啟動補水機制由儲水桶補給水量至熱水瓶中，達到隨時皆有熱水可使用之情形。另外為防止儲水桶水量不足無法自行補給情形下，而導致熱水瓶內容量缺乏發生本體空燒之現象並設置自動斷電進行防止熱水瓶空燒功能，達到雙重保障安全無疑慮。綜合本專題所使用儀器與方法，設計出安全性高、便利性佳，具智能自動補給功能與防空燒熱水瓶。

關鍵字：薄型電阻式壓力感測器、Arduino Uno 控制板、OPA 線性反向電路。

一、研究背景與動機

現今高科技自動化蓬勃發展「科技使終來自於人性」，由於現代人生活過於繁忙易疏忽生活居家安全加上講求生活品質的同時，高科技產品不斷推陳出新，凡舉例生活家電用品(如電視、冷氣機、洗衣機、飲水機、**熱水瓶**)，當此類產品持續推出新功能、新機種、訴求居家生活安全性、節能省電、便利性、提升美感設計，綜合上述條件再比較市面上家庭常用之單槽式熱水瓶無智能化自動補水機制，因此當熱水殆盡時，則無法立即使用熱水，嚴重者將發生熱水瓶空燒等意外。

目前市售上一般家庭常用之單槽式熱水瓶幾乎皆有利利用斷電防止空燒以免住家發生意外，然而卻無法達到隨時皆有熱水可使用之情形。有鑑於此，增添儲水桶設計可自動補給功能，如此一來熱水瓶不僅可以備不時之需並藉此以達到省時、便利之訴求。

二、研究材料與設備

➤ 薄型壓力感測器

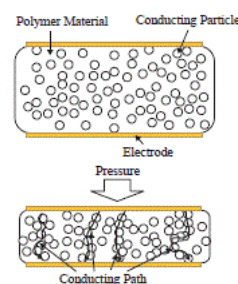
廠牌: UNEO

型號: GS25-100N



圖一、薄型壓力感測器

薄型壓力感測器其感測機制主要來自於複合式壓阻材料，壓阻材料的組成主要為聚合物塑料（Silicon 或 PET）內混合可導電的物質（碳黑）所構成，內部導電物質因為壓力壓合後產生形變而聚集，在上下電極間產生了導電路徑(Conducting Path)，因此內部的電阻值降低。當壓力不斷地增加，導電路徑也隨之增加，所以壓力越大，電阻越小(圖二)。



圖二、壓力感測器內部電阻值的變化

➤ OPA 運算放大器(HA17741)

廠牌: RENESAS

型號: HA17741



圖三、OPA(HA17741)

➤ Arduino LCD

廠牌: Arduino

型號: HD44780 16x2 LCD

HD44780 相容的 2x16 LCD 可以顯示兩行訊息每行 16 個字元，它可以顯示英文字母、希臘字母、標點符號、數學符號，以及訊息捲動(往左和往右捲動)、顯示游標和 LED 背光等。



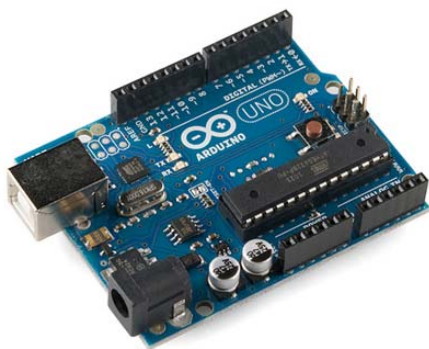
圖四、Arduino LCD

➤ Arduino Uno 控制板

廠牌: Arduino

型號: Uno

Arduino Uno 是基於 Atmel ATmega328 的微控制板，具有 14 組數位輸出/入腳位，以及 6 組類比腳位，可以用來控制周邊、監測感應器數值，供電部份可選擇由 USB 直接提供電源，或者使用 AC-to-DC adapter 及電池作為外部供電。



圖五、Arduino Uno

➤ 伺服馬達

廠牌: Tower Pro

型號: MG90S

使用 4.8V，轉動角度最大 180 度，工作扭矩 2Kg/cm。



圖六、伺服馬達

➤ 加熱管

廠牌: 博恩

型號: 加熱管



圖七、加熱管

➤ 止水閥

廠牌: I-house

型號: 球塞接頭 2 分牙 3 分管



圖八、止水閥

- 溫度開關
廠牌：威訊
型號：5112F 溫度開關



圖九、溫度開關

- 壓克力板
廠牌：聖揚壓克力廠



圖十、壓克力板

- 鋁擠型
廠牌：光鈦
型號：FT4040



圖十一、鋁擠型

- CO₂ 雷射雕刻機
廠牌：Laser Pro
型號：Laser Engraving
Machine III Mercury



圖十二、CO₂ 雷射雕刻機

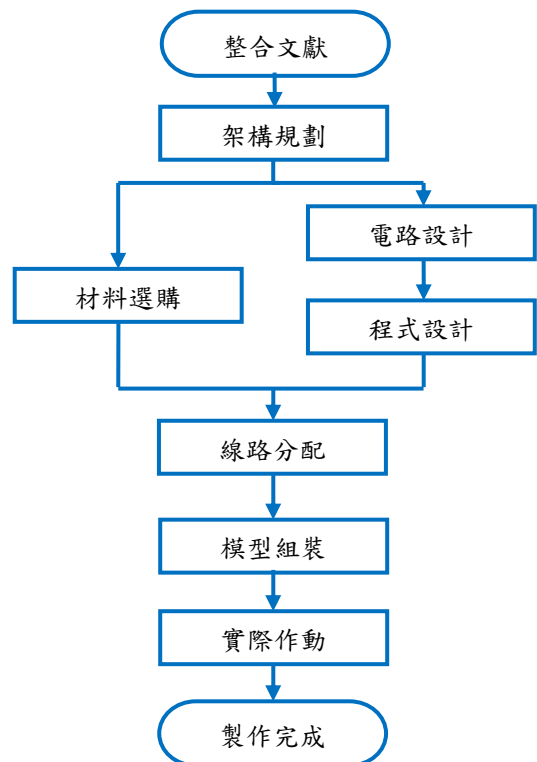
三、研究方法與步驟

3.1 智能型熱水瓶基本概略：

整體系統流程及訊號控制來源由壓力感測器偵測水量，並由 Arduino 程式判斷當下水量的多寡決定止水閥啟動時機，達到自動加水及防空燒目的。

3.2 整體架構設計：

經由參考相關文獻後，設計出適當的架構尺寸並利用繪圖軟體 Solidworks 繪製大致設計圖，後續著手選擇恰當之材料，最後決定好線路的分配以及程式的設定並組裝完成(圖十三)。

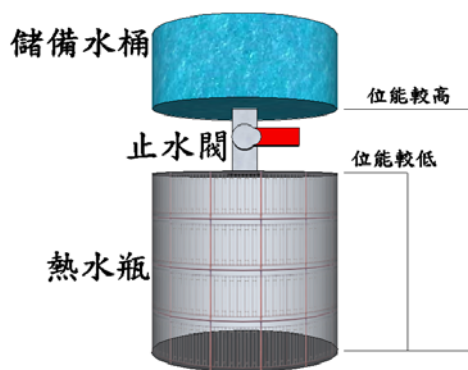


圖十三、製作流程圖

3.2.1 儲水桶擺放方式：

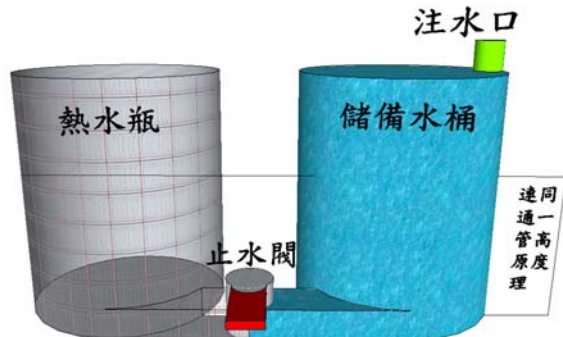
依儲水桶和熱水瓶擺放的位置可區分為直立式和平臥式兩種。

- 直立式：將儲水桶擺放至熱水瓶上方，利用水位能高度差的原理導引自來水進行熱水瓶煮沸之動作(圖十四)。



圖十四、直立式

- 平臥式：將儲水桶擺放於跟熱水瓶同一高度，利用連通管原理將儲水桶的自來水引入熱水瓶並進行煮沸之動作(圖十五)。

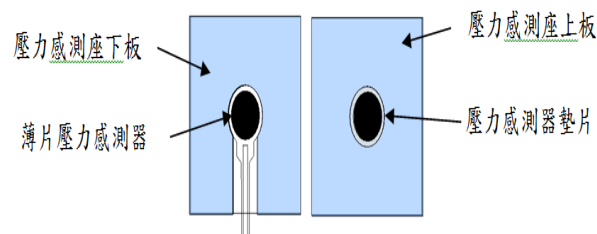


圖十五、平臥式

最終選擇利用「直立式」來做為整體架構設計，因直立加水方式利用高水位能將儲備水引入桶內比起平臥式利用連通管原理加水之水量來的多，且較不易佔據空間，故選擇直立式為本專題設計。

3.2.2 壓力感測方式：

藉由熱水瓶內熱水的重量判別水量的多寡，因此設計上下板施壓於壓力感測器進行訊號輸出之測試(圖十六)。



圖十六、壓力感測上下版設計圖

3.2.3 模型架構：

- 初步模型架構：

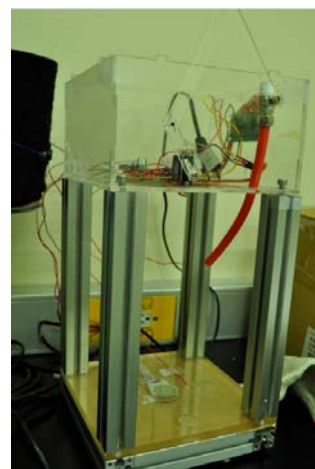
整體架構之雛形系利用壓克力組裝完成(圖十七)，其後發現四根支柱過於脆弱，無法支撐儲備水桶重量，因此必須改善此缺點。



圖十七、初步模型架構

- 改善模型架構方式：

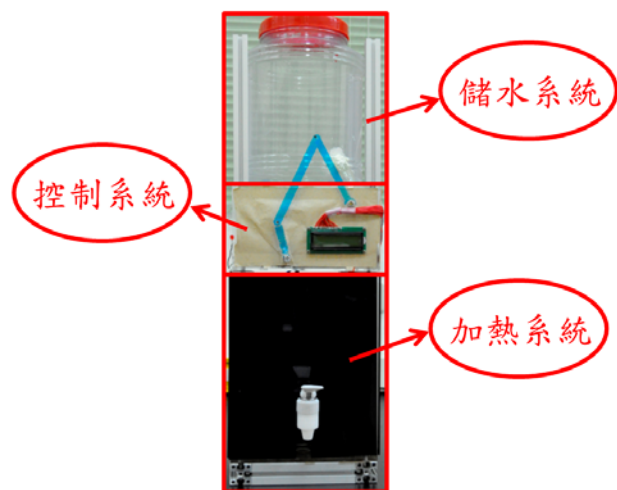
將原先四根為壓克力材質的支柱更改為鋁擠型材料(圖十八)，其材料特性堅硬、穩固且重量輕，因此為本次實驗整體的主要架構。



圖十八、改善模型架構

3.3 模型主要系統：

此實驗將分為三大系統(圖十九)，由上而下依序為儲水系統、控制系統以及加熱系統之部分。



圖十九、模型系統圖

3.3.1 儲水系統：

儲水系統主要是在控制系統上方放置一個儲水桶(圖二十)，並在儲水桶旁加工製造一個可以輸出水量的導管，利用此管亦可將儲備水引入熱水瓶內。



圖二十、儲水系統

3.3.2 控制系統：

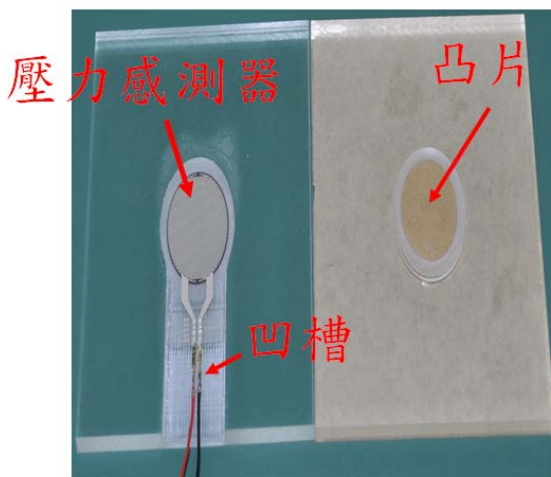
控制系統主要是為了可以在熱水瓶少水時，藉由壓力感測器與 Arduino Uno 控制板的結合，再經由程式判斷驅動止水閥，由儲水桶引進儲備水至熱水瓶補給。

3.3.2.1 壓力感測器負載平臺設計與測試：

由文獻得知本實驗所試用的薄型電阻式壓力感測器其感測機制主要來自於複合式壓阻材料，壓力越小則電阻越大，反之壓力越大電阻越小。而為了使壓力感測器能準確偵測到負載的重量，因此設計此負載平臺。

➤ 壓力感測器之負載平臺設計：

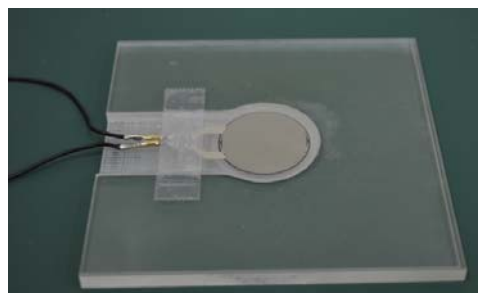
首先將壓力感測器夾於兩片壓克力之間，但其壓克力設計一凹槽一凸之型狀，其面積大小剛好為壓力感測器聚合物塑料之面積，以利於壓力感測器能完全承受負載之重力(圖二十一)。



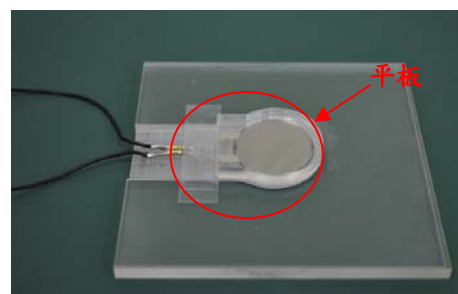
圖二十一、壓力感測器之負載平臺

➤ 增設平板設計與比較：

若只將上述兩塊平臺直接量測，發現輸出數據較不趨近於線性，其原因判斷為兩塊壓克力間距離太近導致壓力分布不均，使感測器無法完全感測到其重力，因此增加平板進行測試(圖二十二、二十三)。



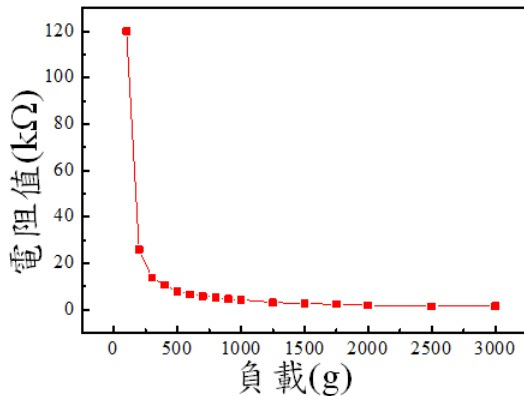
圖二十二、不含平板實體圖



圖二十三、含平板實體圖

3.3.2.2 壓力感測器之線性輸出電路設計：

壓力感測器屬於一個複合式壓組材料，其電阻輸出曲線(圖二十四)，為一個非線性曲線，較不適合作為訊號參考指標，故將其轉換成線性曲線，較有利於訊號讀取的判別性。

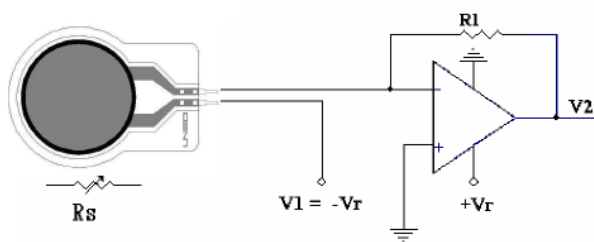


圖二十四、壓力感測器負載-電阻值曲線圖

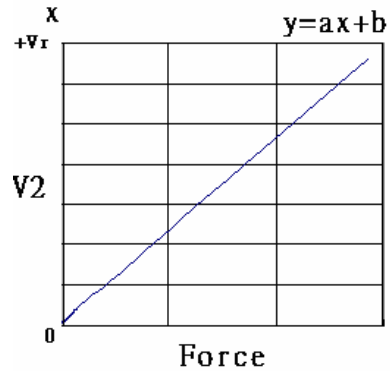
比較文獻中所提到的各個參考電路，依據每個電路進行實際測試，並比較各電路的輸出訊號值判斷與分析，找出最利於本實驗之電路。在各電路配置過程中，將利用不同的配電阻以及不同的負載進行單一因子測試，配置出電路最佳狀態之輸出訊號，用於Arduino軟體做一個結合之應用。

➤ 反相運算放大器電路：

由文獻得知其配置一個反相運算放大器（OPA），配線電路(圖二十五)，得到的電壓輸出線性變化相對於應用力之輸入(圖二十六)。



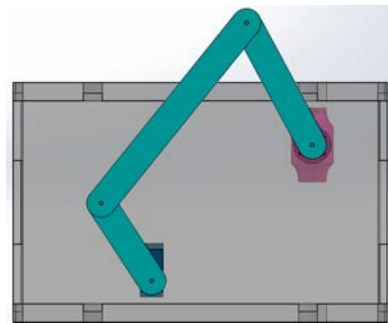
圖二十五、配線電路



圖二十六、電壓輸出線性變化相對於應力之輸入

3.3.2.3 驅動止水閥架構設計：

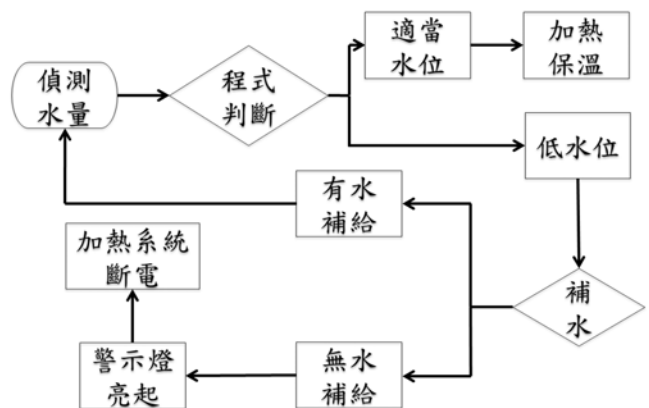
將儲備水從儲水桶引入熱水瓶，必須利用止水閥來進行入水量的控制，因此設計四連桿機構驅動止水閥開關，使用連桿的原因為考慮到機構發生問題，如生鏽、斷裂或驅動馬達無法帶動等情形，可立即改為手動控制，一來不用擔心機器方面的意外，再者達到雙重保護之效果(圖二十七)。



圖二十七、四連桿模擬圖

3.3.2.4 程式設計與構想：

整體系統主要控制取決於訊號輸入後程式的判斷，此實驗系利用 Arduino 來進行系統之判斷，並進行伺服馬達角位的控制，圖二十八為實驗的系統控制流程圖。

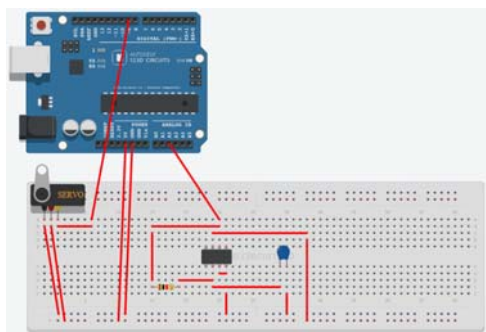


圖二十八、系統控制流程圖

➤ 控制電路設計：

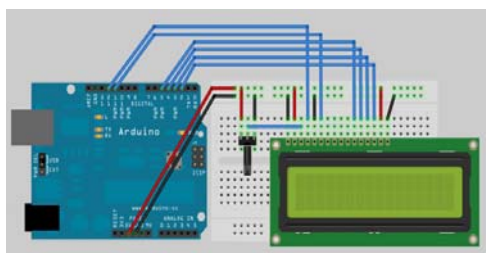
利用麵包板測試構想電路，首先將電路分為兩個部分，其一為伺服馬達作動部分，其二為 LCD 水位顯示部分，確定後再將其線路焊接於電路板上。

1. 利用 OPA 將壓力感測器以線性的方式輸出，再由 Uno 板讀取其訊號，並輸出訊號控制伺服馬達之作動(圖二十九)。



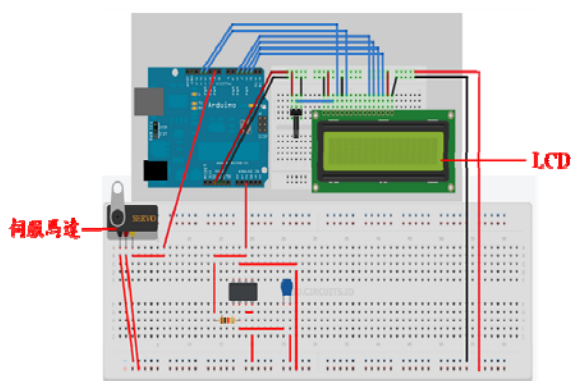
圖二十九、馬達作動配線圖

2. 將 Uno 讀取的訊號電壓，並經由程式及公式轉換成水量值，再利用 LCD 顯示其水位(圖三十)。



圖三十、LCD 作動配線圖

3. 綜合上述兩部分之電路將其結合，作為實驗之控制電路(圖三十一)。



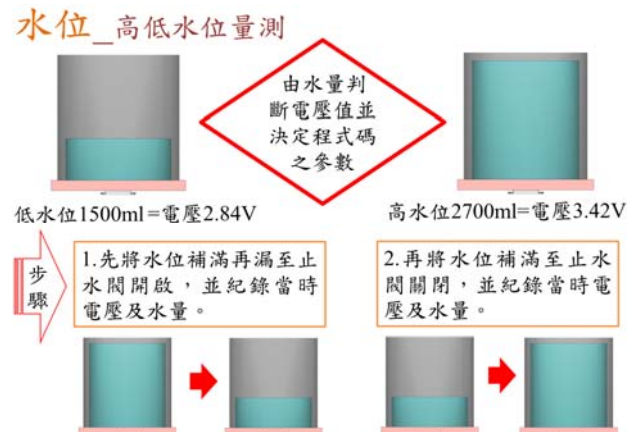
圖三十一、整體控制電路圖

3.3.2.5 整體驅動設計與作動模擬：

➤ 高低水位量測方式：

為取決止水閥的開啟與關閉，必須定義高低水位，因此進行實驗判斷水位對應的輸出電壓值作為程式碼之參數。

首先將水位補滿(第一次補滿大於 2700ml)後漏至止水閥開啟，並紀錄當時電壓及水量，再將水位補滿至止水閥關閉，並紀錄當時電壓及水量，如此反覆測試模擬實際使用之狀況(圖三十二)。

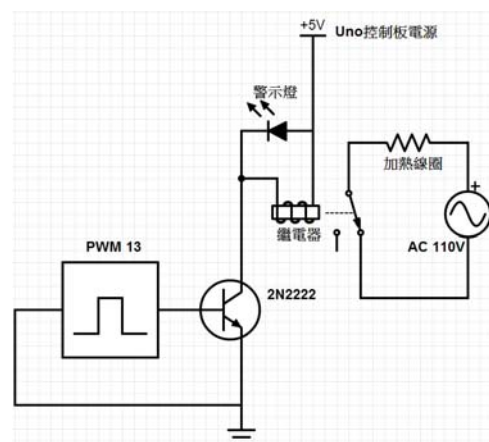


圖三十二、模擬示意圖

3.3.2.6 斷電系統與加水警示燈：

一開始設計利用壓力式感測器判斷熱水瓶內的水量，再由程式控制止水閥是否將儲水桶內的水引入並煮沸，而我們主要設計理念就是預防熱水瓶空燒，若儲水桶內水亦無水時，必須自動停止加熱。

依以上狀況設計出補水警示燈提醒使用者需立即補充儲水桶水量及自動斷絕加熱系統之總電源，設計電路圖(圖三十三)。



圖三十三、警示燈及加熱系統斷電電路圖

3.3.3 加熱系統：

加熱系統主要是為了將熱水瓶內部的水加以煮沸，以達到可以飲用的狀態。

3.3.3.1 加熱速率測試：

選擇內部加熱管作為加熱裝置，其原因為內部加熱較於安全，並對其進行從常溫加熱至沸騰的速率測試(圖三十四)。



圖三十四、內部加熱管安裝圖

3.3.3.2 溫度開關電路測試：

溫度開關的功能是當溫度低於下限時，此時溫度開關開啟電流通過(圖三十五)，當溫度開關到達上限時。則溫度開關關閉電流不通過(圖三十六)，使得溫度能達到恆溫的效果，所以將其加進電路中可使熱水不會一直持續在高溫沸騰的狀態並具有控溫之效果。

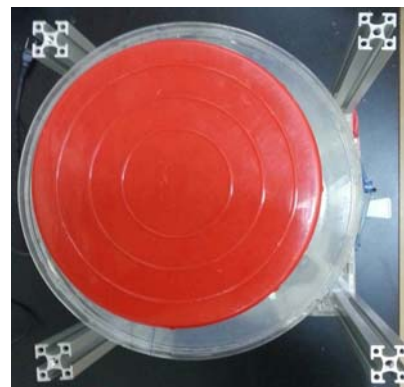


圖三十五、溫度開關導通



圖三十六、溫度開關不導通

3.4 整體架構實體圖：



圖三十七、俯視圖



圖三十八、右側視圖

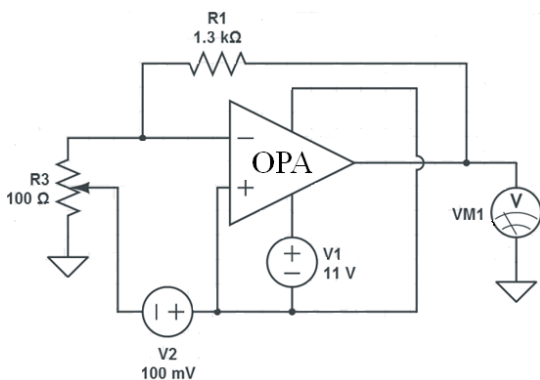


圖三十九、前視圖

四、結果與討論

4.1 壓力感測器之線性輸出電路：

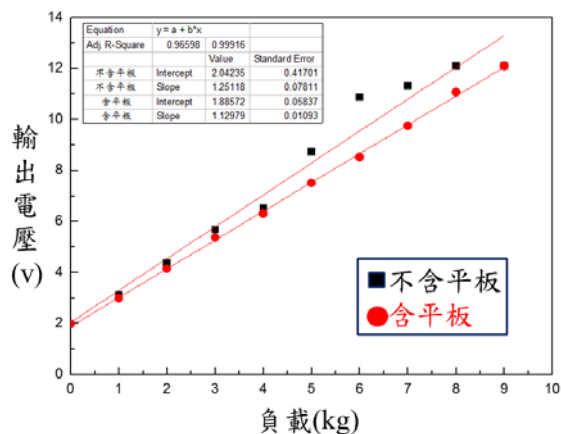
將改善後的電路圖(圖四十)，進行負載為 0kg 到 9kg(間隔為 1kg)並以不含平板與含平板所量測出的電壓的實驗做比較(圖四十一)，經過實驗測試後所得數據(表一)。



圖四十、配置構想電路圖

表一、實驗數據表

負載重 (kg)	不含平板 輸出電壓(V)	含平板 輸出電壓(V)
0	1.984	1.984
1	3.103	2.972
2	4.356	4.136
3	5.678	5.368
4	6.516	6.298
5	8.728	7.500
6	10.869	8.522
7	11.310	9.751
8	12.091	11.074
9	12.091	12.091



圖四十一、實驗曲線圖

由以上的曲線圖可以發現，含平板所做出的電壓數據繪製而成之曲線，較不含平板繪製之曲線趨近線性，因此含平板設計較適合用於本專題中。

4.2 驅動止水閥架構：

利用繪圖軟體 SolidWorks 繪製出所構想的四連桿機構後，利用 CO₂ 雷射雕刻機將我們壓克力板裁切成適當的大小之後安裝於控制系統上(圖四十二)。



圖四十二、連桿實際圖

4.3 高低水位量測：

為了驅動止水閥必須定義高低水位，因此進行實驗做為控制止水閥的依據，所得實驗數據(表二)。

表二、高低水位量測數據表

	低水位 電壓(V)	低水位 水量(ml)	高水位 電壓(V)	高水位 水量(ml)
實驗一	2.85	1400	3.42	2658
實驗二	2.85	1470	3.44	2686
實驗三	2.85	1378	3.45	2758
實驗四	2.85	1542	3.44	2570
實驗五	2.84	1508	3.41	2634
平均	2.85	1460	3.43	2661
誤差	±0.01	±40	±0.01	±39

4.4 加熱速率測試：

為了瞭解加熱管的加熱速率，進行實驗並記錄高水位 2700ml 從常溫加熱至沸騰所需的時間，所得實驗數據(表三)，而由表亦可計算出實際加熱管之加熱功率約為 9kW。

表三、加熱速率實驗數據表

	加熱前 水溫	加熱後 水溫	所需時間
實驗一	20 ° C	100 ° C	00:44:25
實驗二	22 ° C	100 ° C	00:42:28
實驗三	22 ° C	100 ° C	00:44:35
實驗四	21 ° C	100 ° C	00:44:40
實驗五	22 ° C	100 ° C	00:44:50
平均	21.4 ° C	100 ° C	00:44:11

五、結論

本專題結合壓力感測器以及 Arduino Uno 控制板，製造出可自動加水及防空燒的智能型熱水瓶，並有以下結論：

- 1.利用 Arduino 判別其當時水位，並決定是否自動加水或停止加熱，以防止空燒情形，故為安全之考量。
- 2.原先支架部分使用壓克力材質因其較於脆弱，應改用強度較強的材料作為支架如鋁擠型，使之更趨於穩固。
- 3.將壓力感測器利用 OPA 反向放大電路作線性輸出，以利 Uno 控制板讀取其訊號。

六、心得感想

在此次的專題過程中學習到很多，不僅僅是技術層面上的應用或是團隊之間合作皆獲益良多。當面臨瓶頸與意見分歧時，該如何溝通及有效解決皆是一門學問。在不斷的失敗過程中，將累積錯誤的經驗化為成長的動力，使我們邁向新的里程碑。

七、致謝

經過一年的時間，從專題小組成立至專題順利完成，首先要感謝吳瑋特老師，給予我們專題建議及目標，其次要感謝學長們及其他的專題生，不管遇到什麼問題總是能相輔相成、克服困難，特別感謝帶領我們這組的毓澤學長，不僅犧牲自己課餘時間指導我們，也在我們面臨瓶頸時，給予我們諸多寶貴的意見，並且時時督促小組進度直到專題完成，而我們也透過此次的實務專題從中獲益良多，並藉此檢視自己大學

所學之成效，在此獻上萬分感謝。

八、參考文獻

- [1] Arduino 使用參考手冊及官方網站。參考網址：
<http://www.arduino.cc/>
- [2] Arduino 官方網站-相關硬體設備。參考網址：
<http://arduino.cc/en/Main/Products>
- [3] UNEO 壓力感測器 GS25-100N 型號規格。
http://www.ucctw.com/ucctw/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=1&Itemid=116&lang=en
- [4] 工業材料雜誌第 287 期。參考網址：
<http://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=8999>
- [5] 台中精機官網。參考網址：
http://www.or.com.tw/web/customer/technology_garden.php?TechnologySeriesID=3&TechnologyCategoryId=15&TechnologyCategorySecondID=14&TechnologyPageID=166&CreatedDate=2011-06-20
- [6] 中時電子報。參考網址：
<http://www.chinatimes.com/realtimenews/20131218005093-260405>
- [7] 自由電子報。參考網址：
<http://www.libertytimes.com.tw/2005/new/aug/17/today-int4.htm>
- [8] 電熱水瓶與開飲機的維修保養。參考網址：
<http://wais.ee.kuas.edu.tw/energyworld/powerworld/main/chap03-power/practice/safety/safe7-11.htm>
- [9] 壓力感測器與控制實驗系統_卓傑企業有限公司。
- [10] 環球股份有限公司官方網站。參考網址：
http://www.uneotech.com/ucctw/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=66&Itemid=103&lang=en

附錄

Intelligent Electric Water Boiler

Ting-Wei Chang

Lung-hui Peng

Hsi-ching Wang

Wei-Te Wu

Department of Biomechatronics Engineering
National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

The study electric water boiler combined resistance of pressure sensor, Arduino Uno control board and storage tank to design a electric water boiler have automatic water supplying and prevent air burning.

The resistance of pressure sensor's principle is measure water volume, When output value of pressure is low, Arduino Uno will deal with the signal and transform, then the storage tank give the water into water boiler, finally hot water can reach the situation of use at any time.

In addition to prevent the shortage of water storage tank can't supply their own case, leading to a lack of capacity thermos air burning of the body occurred, so we set a automatically power-off function to prevent air burning reach to double safety.

Composite all instruments and methods should be designed safely and convenient with intelligent automatic supplying function and prevent air burning's water boiler.

不同養源以及光源對植物的影響

王盛皇 涂立唐

指導老師 苗志銘教授

國立屏東科技大學

生物機電工程系

摘要

現今土地利用大多用於建造高樓大廈、住宅及工業上，而農業用地日益減少，但是糧食需求卻節節升高，所以希望透過水耕多層化栽培，來改進農用地不足的問題；水耕栽培年產量約為傳統溫室 14 倍，且只有 3% 的水資源流失，比傳統農業更省水且高產量。

本實驗最初之設計是採魚菜共生 (Aquaponics)，Aquaponics 同時結合了水產養殖 (Aquaculture) 與水耕栽培 (Hydroponics) 兩種模式。

在實驗中發現魚菜共生的方式實驗變數過多，所以加入了化學調配養液做為作物養源及另外一組燈源，簡化實驗變數間的影響，從中了解種植效果不佳之原因，故實驗也從最初的魚菜共生改變到針對不同養源以及光源對植物的影響。

實驗結果發現雖然化學養源的各種生長元素都充足，但是給予充裕養源，不一定對植物生長有正面的影響，過多反而會對植物造成傷害。

植物光源部分依據文獻資料，主要影響的因素有光量子、光強度、光譜三種；經過試驗後發現燈組在光譜皆相同，而光量子與光強度分佈不均；與燈組光譜在不同燈光位置，會有不同光譜，而光量子與光強度分佈均勻的情況下；此兩者不同燈源下，所種出的植物差異甚小，因此我們推測植物生長不一定三種條件

都要滿足，未來我們會進行更多試驗，更深入探討燈源及養源對於植物的影響。

一、引言

現今的土地利用，大多用於建造高樓大廈、住宅及工業上，在農業用地卻日益減少，所以希望透過水耕多層化栽培，來改進農用地不足的問題；土耕需要大量人力、物力，相對而言水耕栽培年產量約為傳統溫室 14 倍，且只有 3% 的水資源流失，更比傳統農業更省水且高產量。

現在土地污染越來越嚴重，從最近新聞報導的某大廠排出的重金屬廢水及近年來爆發的食安問題，讓消費者越來越重視自己食品安全；室內種植所用的水耕栽培，因為種植在室內，故不受外界環境所影響，且害蟲問題較下較不嚴重，因此不需噴灑藥劑，農藥殘留更是不會發生，但是水耕更需要注重養液的調配，如果調配技術不成熟，可能導致硝酸鹽在植物體內殘留累積，食用後會對人體造成傷害。

另外土耕需定期除草，要保持良好種植環境相對不易；水耕則沒有除草方面問題，養分方面依靠養液供給也能均勻配給，讓作物穩定成長，土耕由於受到光源的限制，只能進行平面栽種；水耕則能利用多層栽培及人工光源技術達到立體式種植提高栽培面積，能在空間使用上發揮到極致，解決土地不足的問題，我

們研究主要針對不同養源以及光源對植物的影響，並探討不同水耕養液成分及不同光源對於作物會有何種影響。

二、實驗材料

2.1 立體式植栽架建構材料

	材料名稱	規格
1	鐵管支架	直徑 25mm 長:160cm×4 支 200cm×10 支 110cm×6 支
2	水管	PVC 2 in 管
3	植栽床	保麗龍包覆 PVC 膜
4	水耕浮板	2cm×2cm 48 孔/片
5	遮陰網	鑲銀反光條
6	玻璃水缸	915mm×460mm×615mm
7	抽水馬達	1596 升/小時 揚程 215cm

2.2 設施栽培設備

	材料名稱	規格
1	燈管	老師提供 廠商提供
2	水耕海綿	25mm×25mm×25mm
3	養液	花寶 2 號 20:20:20 吳郭魚之排泄物
4	種子	小白菜 (農友種苗股份有限公司)

2.3 電控設備

	材料名稱	規格
1	無熔絲開關	AC110v, 15A, 60Hz
2	緊急按鈕	按壓式
3	手/自動選擇開關	三段式開關
4	手動按鈕	二段式開關
5	程式控制	學長設計

2.4 環境評估測試設備

	材料名稱	規格
1	水質感測器	pH(酸鹼)感測器 EC(電導度)感測器 ORP(氧化還原電位) 感測器 DO(溶氧量)感測器
2	光譜儀	MK350
3	光量子感測器	3415F
4	照度感測計	TES-1339
5	監控攝影機	UPG650

三、研究方法與內容

本實驗最初之設計是利用魚菜共生 (Aquaponics) 中的浮筏式植栽床為設計主軸，但是在實驗中發現魚菜共生的方式實驗變數過多，例如養源供給不足及燈具效能不佳之問題，所以加入了化學調配養液做為作物養源及另外一組燈源，簡化實驗變數間的影響，從中了解種植效果不佳之原因。

故實驗也從最初的魚菜共生改變到針對不同養源以及光源對植物的影響，原先實驗數據紀錄採每天利用手持儀器測量水質，對於長期試驗及數據紀錄非常不便，所以與實驗室學長合作開發出自動化監控系統，達到24小時全天候監測，並且搭配鏡頭及網路遠端操作，能夠透過手機遠端監控，並探討水耕的養液成分及不同光源對於作物會有何種影響，會在後面做更詳細的介紹。

實驗整體結構由玻璃水缸、立體層架、植栽床、LED燈具及PVC管道所組裝而成。使用鐵管與扣件組成兩層植栽床作為立體式植栽架；植栽床採用保麗龍盒搭配PVC膜所構成，主要作為栽種植物使用(圖1、2)；LED燈具提供植物所需的光源部分，目前燈具採用了兩種：一、單一混光模組(廠商提供，圖3)，二、多

波段混光模組(張仲良老師商借，圖4)，可自由利用紅、藍、白三種光源進行混色；PVC管道部分，透過管道達到水循環及供給養源之目的，目前主要分為靜態水種植、間斷供水循環與24小時水循環三種。

實驗系統整體建構完成後，首先採用魚菜共生方式進行作物養源供給並利用廠商所提供的光源模組，進行了三組種植試驗後卻發現未如預期，經過討論之後，發現主要原因在於養源及光源，由於魚菜共生之養源變化過大，所以後面採用添加化學水耕養源來進行試種，並與系上張仲良老師商借不同燈具來進行對照，將養源條件固定，來尋找是光源或是養源不足而影響了作物生長。

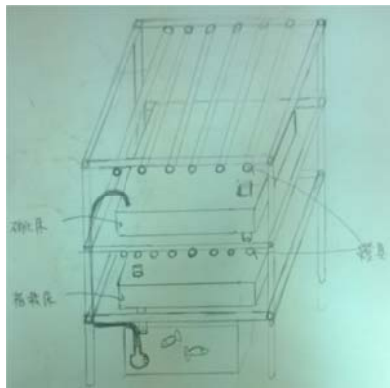


圖 1. 製作前結構草圖



圖 2. 初步完成結構



圖 3. 廠商提供



圖 4. 老師提供

四、結果與討論

4.1 不固定燈源，養源不固定(魚排泄物作為養源)條件下栽種試驗：

依照最初實驗設計，運用玻璃缸中魚排泄物的水，對植物做養源供給，但裡面的養源，植物不能直接吸收，需經由硝化菌來做轉換，將水中氨氮轉化成亞硝酸鹽再轉成硝酸鹽，植物才能攝取吸收。

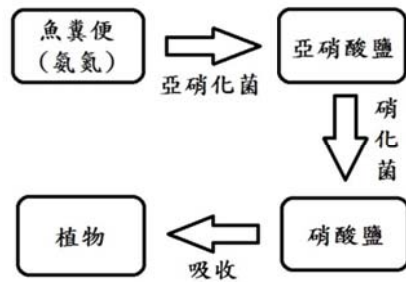


圖 5. 硝化過程

4.1.1 第一次試種，一組燈源，廠商提供：

在第一批種植後(圖 6)，發現種出來的效果不佳，討論後，我們發現植物最重要的是光、空氣、水以及養份，所以我們先探討燈光的，並做了些量測，發現廠商所提供的燈具組在光的分布與照度上對葉菜類來說不充足，故又做了第二次實驗。



圖 6. 單層燈具(第一次試種)



圖 7. 雙層燈具(第二次試種)

4.1.2 第二次試種，兩組燈源，廠商提供，交錯並排供給光源：

我們第二次試種(圖 7)是將光的部分做加強，將原先只有一組燈光加至兩層，並量測其分佈與照度，但種植成果後卻也與先前一樣，葉菜生長不張，故我們對其水中養分做其探討，並添加微量元素做第三次試種。



圖 8. 缺鉀症狀

4.1.3 第三次試種，兩組燈源，添加微量元素：

發現用魚排泄物作為養源的變數太多，主要牽扯在硝化作用，變更植物供給養源方式再經過兩次的栽種後，發現燈光問題可能不是影響植物生長不佳的主要因素。

尋找資料後發現先前兩次的種植，植物所出現的病徵(圖 8、圖 9)，剔除光源不足所產生的白化問題後，發現是缺少某些微量元素所產生的病害，因此我們在第三次試種中(圖 10)，試著添加微量元素，以不影響魚的生長為主，但成效依舊不佳，添加微量元素後，依舊出現病徵。



圖 9. 缺鈣症狀



圖 10. 第三次試種

4.1.4 三次試種總結：

綜合三次試種實驗數據分析後，發現以魚的排泄物作為養源的不確定性過高，除了本身硝化作用是否良好及燈光條件外，也會受到水流的影響，在三次種植試驗中皆採用 24 小時不間段的抽水循環，流量過高，可能也是導致硝化菌來不及進行反應，硝化作用不完全，水中的氨氮濃度過高，水質劣化，且水中養源不足並缺少微量元素，植物生長不良。發現養源的不確定性及水流問題後做了下列改進：

(1) 自動化監控系統

原先我們數據紀錄採每天使用手持儀器定時定點測量水質，非常的不方便且無法準確了解水質變化，所以與學長合作開發出自動化監控系統(圖 11)，達到 24 小時全天候監測來了解更細微的水質變化，並且搭配鏡頭及遠端操作，可直接透過手機就能夠遠端監控。



圖 11. 自動化監控系統

(2) 新硝化方式: 獨立硝化桶

基於原先目標養源採用天然方式供給，不使用任何化學藥品做為添加，所以微量元素的來源，使用不同的礦石補充，我們把礫耕床移除並在魚缸旁邊另外搭配了一個新硝化桶(圖 12)，裡面添加了含鐵的陶瓷環、能淨化水質和補充多種礦物質的麥飯石、以及發泡煉石，來當作讓硝化菌的生存、淨水環境。

由於硝化桶放置於地面，所以增加了一台新的沉水馬達在桶子內，水先由魚缸抽至硝化桶，再由硝化桶抽至植栽床，再流回魚缸內

形成循環。



圖 12. 硝化桶(黑桶)

(3) 改變抽水間格

不間斷抽水可能導致沒有時間行硝化反應，所以藉由自動監控系統，調整抽水間格，讓水能夠沉靜一段時間，讓硝化菌附著並且進行硝化作用，還可將雜質沉澱於硝化桶中。

(4) 增加新的 LED 燈

為善用空間，在上層增加了新的 LED 燈光(圖 4)，此燈光為張仲良老師所開發之的燈管，有紅、藍、白三色，能夠進行混光的功能，可進行燈源的多樣化試驗。

4.2 增加不同燈源，改善前三次試種之缺陷，進行新的種植試驗：

上層增加了多混光 LED 燈組，下層的植栽床持續原先之設計能持續比較改變系統硬體架構前後與改善硝化作用方式，試驗在同樣水質下多混光燈組與廠商提供的燈組進行光源比較，達到多重試驗，減少實驗流程時間。

經過前三次種植試驗缺點改進之後，發現水質 EC 有逐漸升高的趨勢，對應的植物在中前期的發育是良好的，證明補充礦石以及延長水靜置時間是有效果的，但是 EC 最終上升到 0.5 ds/m 之後就無法在上升了，植物的中後期需要的養份持續增加，在養源供給不足的情況下，又開始出現病徵(圖 13)。



圖 13. 第四次試種

4.3 固定養源(化學養液)下載種試驗，分析光源變化。

在前幾次種植出來的結果，發現魚菜共生模式的養源供給，在硝化作用中所轉換的養源不足以提供植物生長所需，就算添加微量元素，由於無法得知微量元素本身在養源中的比例，就算添加了，對於植物生長不一定會有正向幫助，因此我們採用純養液的方式試種，來單純化實驗的方式，進行燈源間的比較，養液配方我們選用氮磷鉀同比例的花寶 2 號，在每種元素都充足的情況下，觀察其生長情形，並比較在相同養源下，不同種類之燈具影響(圖 14、15)。



圖 14. 廠商提供燈具(養液栽種)



圖 15. 老師提供燈具(養液栽種)

此次種植試驗，我們採用養液栽培，一開始實驗設計是提供植物充足養分，因此就給予同比例之氮、磷、鉀，實驗後發現由於所提供磷肥、鉀肥過多，以至於植物對鈣肥吸收的抑制，因而引發病症，經過這次的試驗，了解不同植物對於養源吸收需求會有不同，不能一味添加，過多也是對植物有害。

在這次種植試驗我們也對整體實驗設備做加強及改進，雖然透過自動化監控系統進行設備控制及環境感測，但是為了避免在電腦壞掉的情況下，無法讓設備持續運作，我們進行了手/自動切換設計及製作(圖 16)，可選擇切換為手動操控，並在電路中加裝安全裝置來保護設備穩定運轉。



圖 16. 手、自動切換控制

4.4 不同養源、光源總結：

4.4.1 魚菜共生模式，養源狀態持續變化，受硝化作用影響：

實驗結果發現，硝化作用對於魚排泄物轉換效率太差，導致水中養源不足，氨氮濃度

過高，PH 值下降快速，水質產生惡臭，植物生長極差，且水中會有微量元素缺乏之現象，如果不額外添加的話無法補充，植物會出現許多病徵。

4.4.2 養液，養源狀態穩定，可依比例供給

使用花寶二號，氮:磷:鉀比例為 20:20:20，做為養液來源，實驗結果顯示，因為是調配好的配方，水中養源充足，且 PH 值穩定性較好，植物生長也較為良好，但是養源充足，導致磷肥過多會抑制鈣肥吸收，所以還是出現一些病徵。

主要是因為離子具有拮抗性，每種植物所吸收的離子並不一定，EC 會變得十分難以調整，故種植完每一批植物後需重新更換養液，與魚菜共生相比較為耗水。

	魚菜共生	養液
養分	低	高
PH 穩定性	差	佳
植物生長	差	佳
節水效果	佳	差
困難度	高	低

4.4.3 光源比較

廠商燈組：

廠商提供的燈具，無法做變色調整，單一層光強度約只有 5000Lux，故使用兩層燈做為補強，光強度約 10000Lux，光譜十分平均(圖 17)，光強度與光量子的均勻度非常差，植物差異性較大。



圖 17. 不同位置之光譜圖

張仲良老師提供燈具：

搭配自動控制或手動控制，可以變色調整，紅、藍、白光皆可任意調整，並可作更多多樣化試驗，但是光譜在不同點的位置十分不均勻(圖 18)，而光強度與光量子均勻度較佳，植物差異性相對來說較小，不過光強度與光量子遠小於廠商燈組，植物的生長情形卻沒有很大的差異性，可以讓我們在後續研究去探討，光譜、光強度、光量子、均勻度之間的關係。

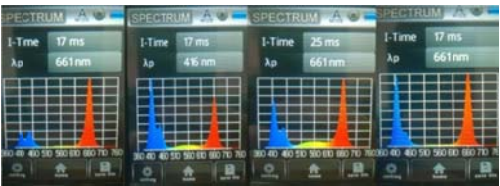
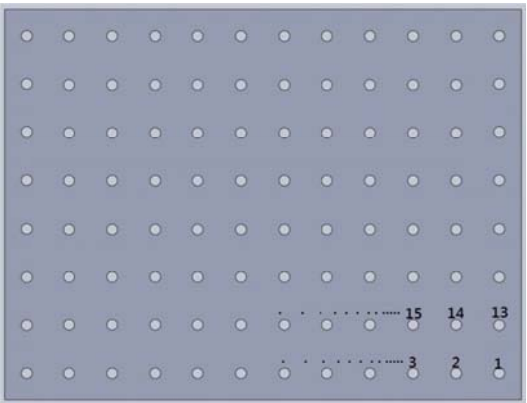
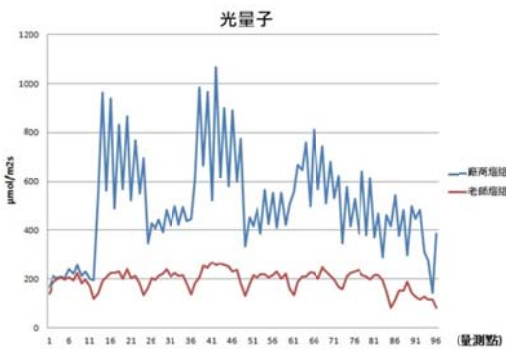


圖 18. 不同位置量測之光譜圖



定義量測位置圖



兩組燈具光量子分佈比較圖



兩組燈具光強度分佈比較圖

	廠商燈管	老師提供燈具
光強度(Lux)	高	低
光量子 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)	高	低
光譜均勻度	佳	差
光強度、光量子均勻度	差	佳
植物差異性	大	小
植物生長(養液)	相同(圖 14、15)	

五、結論

本專題原先是導入魚菜共生的概念，希望利用魚所排泄的糞便，經過硝化作用轉換，讓植物能夠吸收成長，利用不要的排泄物來供給植物所需，這種藍色經濟是未來發展的趨勢，但後來發現在室內建立這套系統，對於植物來說，養源卻不足以提供植物，因此我們使用化學養源做比較，發現雖然化學養源的各種生長元素都充足，但是給予充裕養源，不一定對植物生長有正面的影響，過多反而會對植物造成傷害。

植物光源部分依據文獻資料，主要影響的因素有光量子、光強度、光譜三種，經過試驗後發現廠商所提供燈組在任一點，光譜皆相同，而光量子 and 光強度卻分佈不均；而張老師

所提供燈組，光譜在量測時因為燈光位置差異，因而有不同光譜，不過其光量子與光強度分佈均勻；在兩者不同燈源下，我們所種出的植物卻差異甚小，因此我們推測植物生長不一定三種條件都要滿足，未來我們會進行更多的種植試驗，更深入探討燈源及養源對於植物的影響。

在室內進行水耕栽培，不僅大大降低了灌溉用水的浪費，也相對於室外環境更加穩定，栽種面積也能透過立體式植栽架大大增加栽種面積，因為生長環境穩定，所以對於天災風險大大降低，對農業可帶來更大效益並降低風險，並能利用電腦監控系統，監測其生長情形，依據需求記錄養液使用情形，養液一發生狀況，可同步在監控系統中立即得知，這樣能讓農民減輕農務負擔，透過手機或電腦就能即時了解作物的生長情形。

這次的專題經過數月的研究後，學習到了很多相關知識，對於植物、電控、程式…等，所應用的幾乎都是在大學這幾年所學習的，目前利用小型的水耕立體式結構進行各種的種植試驗，發現還有更多因素需要去考量，才能達到實驗的目的，未來假如要擴大化生產時會遇到更多問題，還需進行更深入的研究及探討，希望這次的實驗結果，對於農民能有更進一步的幫助。

六、致謝

感謝苗志銘老師以及學長們這一年來的指導，當我們實驗失敗而不知道方向時給予建議，也教導我們許多大學生應當具備的特質如：遇到問題如何解決、如何找尋資源、團隊分工的精神等，感謝。

七、參考文獻

- [1]楊明樺、鄭金華。Aquaponics 養殖雨水耕
復合系統簡介。水產試驗所東港生技研究中
心。
- [2]台灣養耕共生協會
[http://twaquaponics.blogspot.tw/2013/07/
/avata.html](http://twaquaponics.blogspot.tw/2013/07/avata.html)
- [3]陳保基。2012。雲彰黃金廊道農業新方案及
調整耕作制度活化連續農地計畫。農委會。
- [4]刘瀛弢。2011。农业先进仪器设备与方法。
科学出版社。
- [5]马希荣。2009。现代设施农业。宁夏人民出
版社。
- [6]蔡尚光。2012。現代田園與養液栽培。淑馨
出版社。

The Influence of different Sources and Light on Plant Growth

ShengHuang Wang
LiTang Tu
Dr. Jr-Ming Miao

Today most of the land use for the construction of skyscrapers, residential and industry, arable land is less than before. However, demand for food has been rising. We hope through the hydroponic of multilayer to improve arable land shortage.

The experiment was originally designed Aquaponics, it is combined with the aquaculture and hydroponics.

We found Aquaponics is too many experimental variables, so we added chemical nutrition and another set of light to understanding the reasons for

poor planting.

It was found that although the chemical elements to support the growth are abundant but giving sufficient sources is uncertain for a positive effect on plant growth. The source is too much to damage for plant.

Plant sources of literature part on factors is main to the light quantum, light intensity and spectral. After the test, we found that one light in the spectrum is average, but light quantum and light intensity are not average in more measurement point ,Another light are contrary. In the two kinds of light, we found the plant growth is not difference. Therefore, we speculate that the three conditions for plant growth does not necessarily to content, we will conduct more tests and deeply explore the effects of light and a source of support for the plants in the future.

氧化鋅薄膜披覆在光纖端面之光纖感測器量測

學生姓名：陳德謙 吳思衛 黃佳偉

指導老師：許益誠 副教授

國立屏東科技大學

生物機電工程系

摘要

本研究利用光纖研磨系統，以機械加工方式對塑膠光纖端面進行零度角及八度角的研磨。再利用旋轉塗佈法將氧化鋅披覆於光纖端面，並將兩個光纖端面以一定間距對置作為感測區域，藉以分析端面角度、端面間距與氧化鋅薄膜對於光纖感測器之感測斜率、訊號穩定度及感測解析度之影響。本實驗結果顯示八度角端面鍍膜且間距為 1 mm 之光纖感測器有最佳感測解析度為 2.08×10^{-4} RIU

一、緒論

1.1 前言

光纖用一條實心的介質將光線導引到距離很遠的地方，即使管子被彎曲，光依然可以在光纖裡被輸送，由於光在光纖裡不斷反射，光強度損失低，大都損失來在於光纖材料吸收僅有很小的損耗，這個特性使得光纖極適合應用於通訊傳輸上，以及醫療與感測方面。

光纖具有低損耗、高頻寬、不受電磁干擾、尺寸小、重量輕、可靠度高等優點，目前應用在航太、醫學、化學等各領域。有流量感測器、血糖計、水庫水位表、胃內視鏡、壓力感測器、震動感測器等的光纖感測器的應用。

1.2 光纖的構造

光纖的基本原理是利用光訊號在光纖內不斷的產生全反射，達到光訊號有效率的傳輸很長的距離。為使光線能在纖核中傳送，所以纖核部份之折射率，須比外殼之折射率大，才能造成全反射。

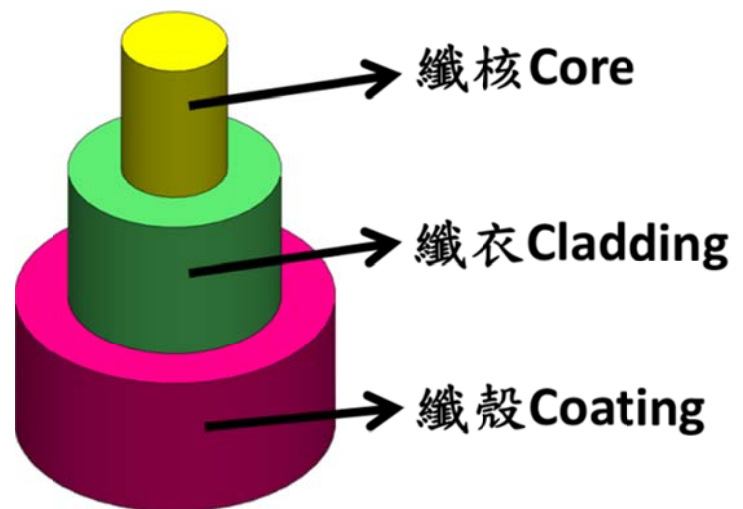


圖 1 光纖基本構造

- (a)纖核(Core)：光纖中傳遞光信號的部份。
- (b)纖衣(Cladding)：被覆在纖核外圍部份。
- (c)纖殼(Coating)：保護在纖衣周圍，以防止損害光纖之纖衣及纖核。

1.3 光纖的材質

每層的材質皆不同且主要功能也不同。Core 的成分多以二氧化矽或石英為主；而 cladding 的材質大多為二氧化矽或有機高分子等。

表 1. 塑膠光纖規格

核心層材料	聚甲基丙烯酸甲酯
核心層材料折射率	1.492
纖衣層材料	氟化樹脂
纖衣層材料折射率	1.402
數值孔径	0.45
直徑(核心層/纖衣層)	0.98 mm/1 mm
入射角	55 度
使用溫度範圍	-20~+70(°C)

1.4 光纖基本原理

光在光纖中是以全反射的方式進行傳遞。當光線在兩種不同介質的介面上行進時，光線遵守 Snell 定理，則會發生反射與折射現象，利用圖 3 來說明全反射。

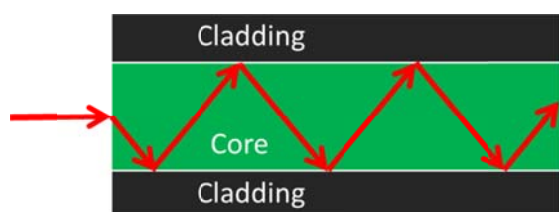


圖 2 光纖內的全反射示意圖

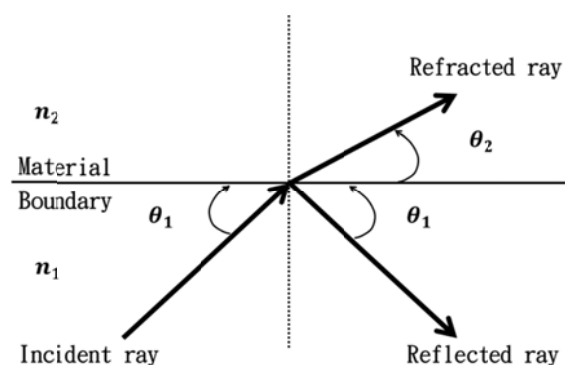


圖 3. Snell 示意圖

Snell 定理公式：

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1)$$

n_1 ：介質 1 的折射率

n_2 ：介質 2 的折射率

θ_1 ：入射角

θ_2 ：折射角

從 Snell 定理可以得知，光線當以某一角度從 n_1 介質射入 n_2 介質($n_1 > n_2$)，當入射角比臨界角大時，就會發生全反射，產生可以將光的入射角度改變 90 度，射回介質。

1.5 氧化鋅親水性

由傅立葉轉換紅外線光譜儀分析證明氧化鋅表面具有路易斯酸基的特性，可以吸附水分子的 OH-基，因此具有親水性質

親水性的意思是「喜歡」水，水面與表面所成的角度為「接觸角」，一般小於 90° ，接觸角較小，水傾向在表面上散開，水分子才能接近親水性表面。[2]

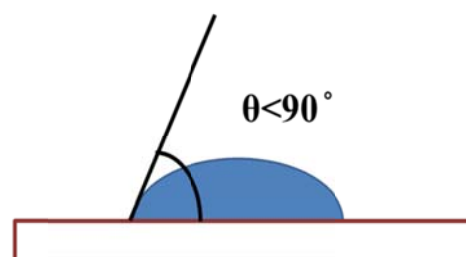


圖 4 親水性示意圖

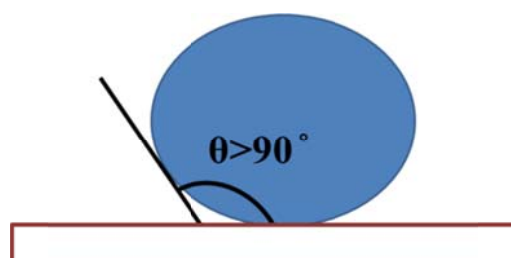


圖 5 疏水性示意圖

1.6 研究動機

因為光纖感測器本身有疏水性，在儀器觀測下，可以觀察到待測液與感測器的感測區會有接觸不良的問題，藉由披覆的方式，改善光纖表面的疏水問題，使得待測液可以在感測區有較好的感測數據。

二、研究內容與方法

2.1 實驗流程

2.1-1 未鍍膜光纖感測器的流程



圖 6 未鍍膜光纖感測器的流程圖

2.1-2 鍍膜光纖感測器流程

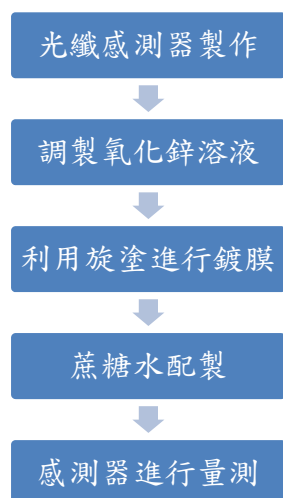


圖 7 鍍膜光纖感測器的流程圖

2.2 端面研磨光纖

(a)取兩段 10 cm, $\varnothing 980/1000\ \mu\text{m}$ 的塑膠光纖，剝除纖殼的部位。

(b)須採用無損傷光纖進行研磨加工，因此檢查纖衣是否有損毀，若有損毀會導致光源散失。

(c)將砂輪研磨片泡水軟化過後，裝置於研磨機，並將光纖呈水平或 8 度角傾斜設置在夾具上，以 200 rpm 轉速進行研磨。

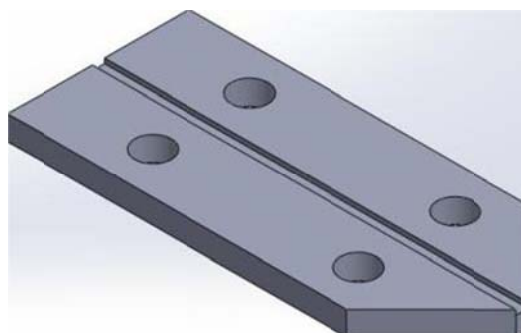


圖 8 研磨夾具示意圖

(d)確定兩段光纖以平整對齊放置，再以號數 600 號及 1200 號的砂輪研磨片進行精加工，最後以鑽石研磨片進行去除毛邊。



圖 9 光纖端面研磨

(e)以非接觸式影像量測儀進行光纖端面平整度的確認。



圖 10 非接觸式影像量測儀

2.3 光纖測器的製作

(a)將研磨完成的光纖或是披覆薄膜完成的光纖，在非接觸式影像觀測儀下，以端面對端面的方式對接，並放置在感測器基座上。

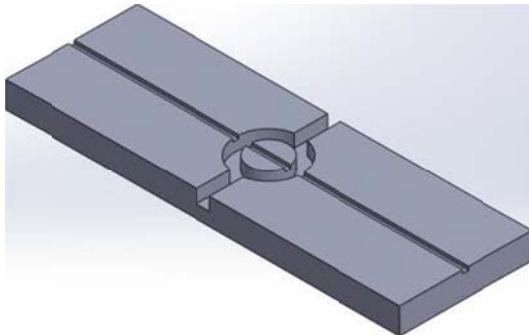


圖 11 感測器基座示意圖

(b)兩端面間的距離 d (如圖 12 所示)取 1mm、2 mm、3 mm 等三組，後滴入適量的黏著劑進行接合。

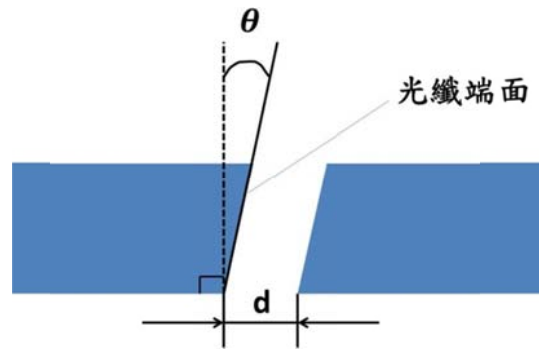


圖 12 角度(θ)和距離(d)示意圖

(c) 將完成的感測器放入烘箱內以攝氏 35 度進行 3 個小時的烘烤。

2.2-3 端面八度角

因為增加導角處理可以提高的反射消耗，達到降低反射光的能量，使反射光無法反射回光源上，減少干擾以使光源穩定。[3]

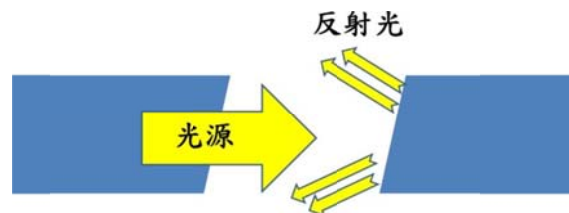


圖 13 八度角端面反射示意圖

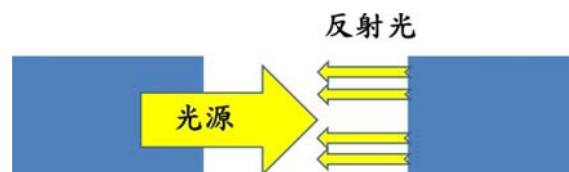


圖 14 零度角端面反射示意圖

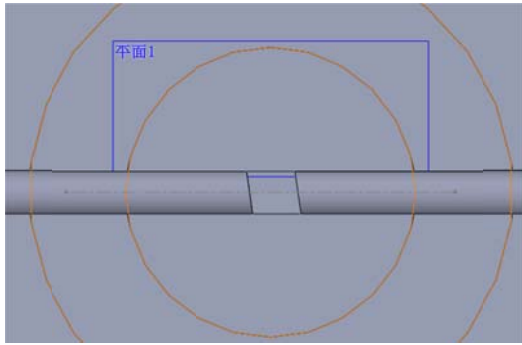


圖 15 八度角擺放示意圖(上視圖)

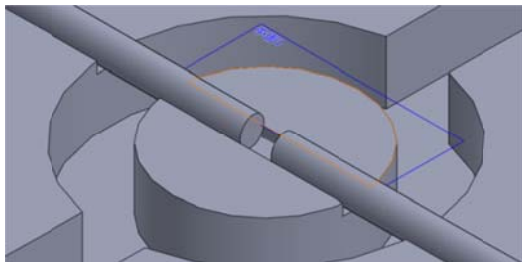


圖 16 光纖擺放示意圖(等角圖)

2.3 氧化鋅溶液的配置

- 以醋酸鋅為溶質，甲醇為溶劑。
- 以 0.44g 醋酸鋅加入甲醇配成 100ml 的溶液。
- 在加熱板上加熱並攪拌至醋酸鋅完全溶解，醋酸鋅初始濃度為 0.02M。
- 加入 0.12g 氫氧化鈉，使溶膠中醋酸鋅與氫氧化鈉莫耳比為 2:3。
- 溫度保持在 58°C，攪拌 2 小時使所有溶質都能夠完全反應溶解。
- 在室溫下靜置 1 小時陳化，增加其黏度，即可得到清澈透明之 ZnO 凝膠。[4]

表 2 氧化鋅配置材料

藥品名稱	英文名稱	分子式	純度
甲醇	Methanol	CH_3OH	99.8 %
氫氧化鈉	Solidum Hydroxide	$\text{Na}(\text{OH})$	96%
醋酸鋅	Zinc Acetate	$\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	99%

2.4 氧化鋅薄膜的塗佈

2.4-1 旋轉塗佈法

透過離心力將多餘的凝膠去除，並得到平整的披覆層。實驗是利用旋轉塗佈機，使凝膠在端面上形成完整的薄膜。

2.4-2 旋轉塗佈的步驟

- 將 ZnO 凝膠導入端面上。
- 以 3000 rpm 旋轉 20 秒。
- 以 65°C 烘烤 20 分鐘、冷卻 5 分鐘，以去除端面上多餘的有機溶劑。
- 重覆(a)~ (c)的步驟四次後，即可得氧化鋅薄膜。

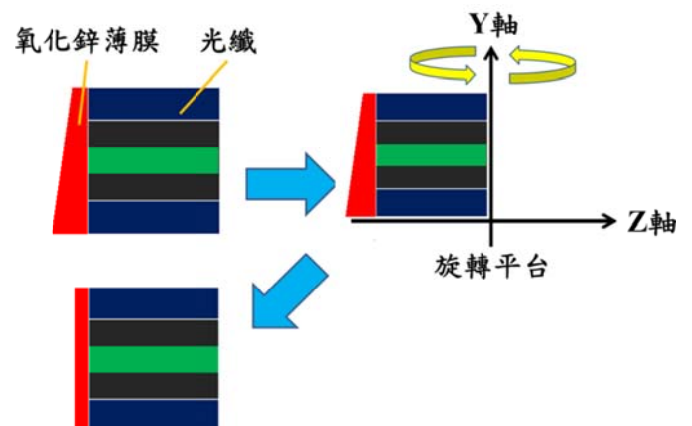


圖 17 旋轉塗佈示意圖

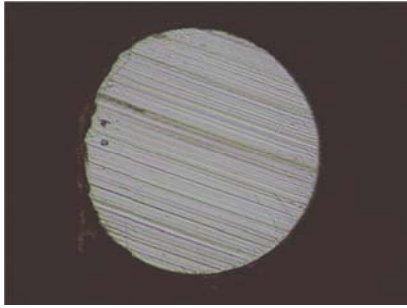


圖 18 研磨後的光纖端面



圖 19 披覆後的光纖端面

2.5 蔗糖水溶液的調配

不同濃度的蔗糖水進行量測，其蔗糖溶液折射率變化為 1.333 至 1.403，蔗糖溶液的折射率和濃度關係如表 3 所示

表 3 光折射率與蔗糖水濃度

折射率	濃度(wt%)
1.333	0
1.343	6.80
1.353	13.25
1.363	19.45
1.373	25.40
1.383	31.05
1.393	36.55
1.403	41.70

2.6 光纖感測器的量測

本實驗自製的光纖感測器，是以機械加工的方式進行光纖端面 0 度及 8 度研磨，利用蔗糖水為待測液，藉此找出氧化鋅薄膜對感測效果的影響。

(a) 首先將感測器設置於感測平台上。

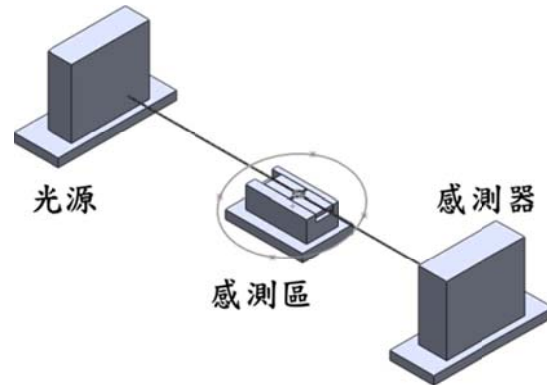


圖 20 光纖感測平台示意圖

(b) 在無光源下對光功率計歸零，並且校正在 1nw 以下。

(c) 將光源開啟，並且先在感測區滴定去離子水，讓光源暖機約 60 分鐘，待訊號穩定後再進行量測。

(d) 每次實驗取 40、50、60 μ L 之蔗糖溶液滴定於感測區上，並儲存完 3 次光強度訊號後將蔗糖溶液移除、清洗，移除完畢後，換下一個不同濃度的蔗糖水進行量測。

表 4. 端面距離與溶液量

端面距離	待測液量
1 mm	40 μ L
2 mm	50 μ L
3 mm	60 μ L

(e) 本實驗利用蔗糖水做為待測液進行測試，實驗時將室內燈光、機器關閉，以降低光線和噪音對實驗的影響。

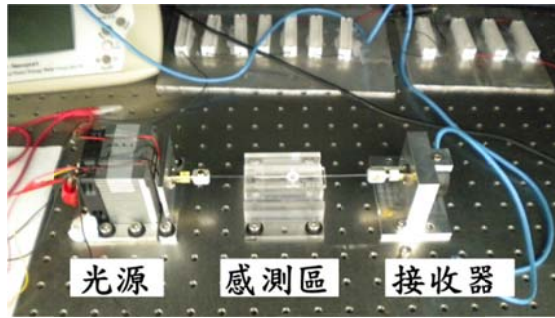


圖 21 光纖量測平台

三、結果與討論

3.1 感測解析度(Sensor Resolution)計算

感測解析度是用於衡量儀器之解析度的重要指標之一，最被接受的定義為：在已知可信度內，測得之分析物數據的最小值，每一階訊號標準差數值的平均值，平均標準差數值表示訊號變動量的誤差，也包含了系統誤差和操作誤差。公式 2 的感測斜率(Slope)是每一階訊號的數值平均值，再利用線性回歸方式求出感測斜率，一般來說感測斜率越大，階梯狀訊號上升幅度也越大，表示感測能力越好。[1]

本研究對光纖進行端面披覆，找出最佳感測斜率

$$S.R. \equiv \frac{3.3 \times STD_{avg}}{Slope} \quad (2)$$

S.R.：感測器解析度

STD_{avg} ：平均標準差

Slope：感測斜率

3.2 分析結果

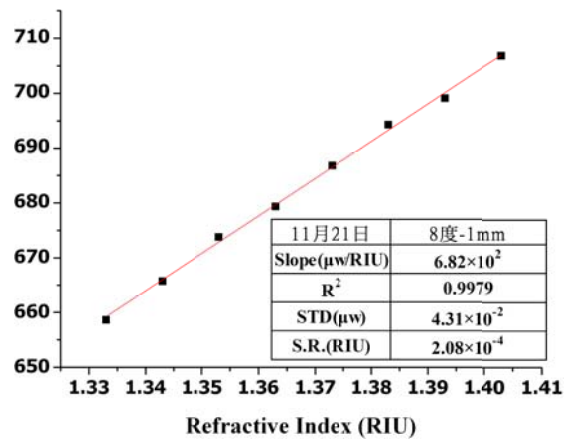


圖 22 量測結果圖

3.3 每個樣本之數據

表 5 每個樣本之 Slope($\mu W/RIU$)

未塗佈感測器		
距離/角度	0 度角	8 度角
距離1 mm	3.49×10^2	3.03×10^2
距離2 mm	4.96×10^2	3.99×10^2
距離3 mm	3.51×10^2	3.45×10^2
塗佈感測器		
距離/角度	0 度角	8 度角
距離1 mm	6.15×10^2	6.82×10^2
距離2 mm	6.33×10^2	4.15×10^2
距離3 mm	5.81×10^2	5.99×10^2

表 6 每個樣本之 R-squared

未塗佈感測器		
距離/角度	0 度角	8 度角
距離 1 mm	0.9949	0.9740
距離 2 mm	0.9871	0.9871
距離 3 mm	0.9991	0.9785
塗佈感測器		
距離/角度	0 度角	8 度角
距離 1 mm	0.9858	0.9979
距離 2 mm	0.9934	0.9822
距離 3 mm	0.9830	0.9972

表 7 每個樣本之 $STD_{avg}(nw)$

未塗佈感測器		
距離/角度	0 度角	8 度角
距離 1 mm	40.2	69.7
距離 2 mm	49.7	41.9
距離 3 mm	37.4	41.2
塗佈感測器		
距離/角度	0 度角	8 度角
距離 1 mm	57.2	43.1
距離 2 mm	61.9	42.6
距離 3 mm	55.9	51.8

表 8 每個樣本之 Sensing Resolution(RIU)

未塗佈感測器		
距離/角度	0 度角	8 度角
距離 1 mm	3.80×10^{-4}	7.60×10^{-4}
距離 2 mm	3.31×10^{-4}	3.47×10^{-4}
距離 3 mm	3.51×10^{-4}	3.95×10^{-4}
塗佈感測器		
距離/角度	0 度角	8 度角
距離 1 mm	3.07×10^{-4}	2.08×10^{-4}
距離 2 mm	3.23×10^{-4}	3.39×10^{-4}
距離 3 mm	3.18×10^{-4}	2.86×10^{-4}

3.4 結果討論

從實驗數據可知：

a. 氧化鋅披覆於光纖端面時：有披覆氧化鋅薄膜的光纖感測斜率會變佳，其中端面 8 度角感測器的平均標準差會較優。

b. 光纖端面角度對感測效果的影響：將光纖端面磨成 8 度角後，端面 8 度角的感測解析度會優於端面 0 度角。

c. 光纖感測器不同距離對感測效果的影響：比較光纖距離為 3 mm 和距離 1 mm，光纖端面未披覆氧化鋅薄膜，端面角度為 0 度角時，3 mm 整體明顯較優。披覆上氧化鋅薄膜之後，端面為 8 度角時，距離 1 mm 較優。比較光纖距離為 2 mm 和距離 1 mm，有披覆氧化鋅薄膜，端面 0 度角的感測器，距離為 2 mm 較優。

四、結論

本研究成功將氧化鋅薄膜披覆於光纖端面，在自製光纖感測器上，利用不同折射率的蔗糖水溶液進行量測，分析氧化鋅薄膜披覆的感測效果。實驗結果顯示，披覆氧化鋅有 Slope 上升，其值為 $6.82 \times 10^2 \mu w/RIU$ 及最佳的感測解析度(Sensing Resolution) 值為 $2.08 \times 10^{-4} RIU$ 。但未披覆具有最佳的平均標準差 STD_{avg} 為 37.4 nw。

五、致謝

本次研究首要感謝指導老師許益誠教授，不時地指導與提供方向，發現問題以利改善，使得本實驗內容更加完善、更具有參考性，也感謝老師針對內容提問並為我們解惑。

再來要感謝實驗室的兩位研究生學長，信宏學長及惟仁學長，感謝學長們分享許多實驗上經驗，教導正確操作儀器的技巧，耐心的陪伴著我們，提醒著過程中可能出現的問題與狀況，使實驗能更順利、得以完成。

最後要感謝李柏旻老師、吳瑋特老師及洪辰雄老師跟其實驗室的各位學長，把儀器出借，讓我們可以安心的配製蔗糖水跟氧化鋅溶液。

六、參考文獻

- [1] 陳志霖 以側向研磨製作不同尺寸之U形光纖感測器及研磨深度對於感測解析度之影響 國立屏東科技大學生物機電工程系
- [2] 邱采薇 親水性氧化鋅鍍著於陽極觸媒層以改善PEMFC 的效能 國立中興大學材料科學與工程研究所
- [3] 黃韋翔 具微型複合天線之積體化鋰酸鋇光電磁場感測器 國立成功大學光電科學與工程研究所。
- 蔡忠育 氧化鋅薄膜之製備與特性分析 國立台北科技大學製造科技研究所。
- [4] 蔡忠育 氧化鋅薄膜之製備與特性分析 國立台北科技大學製造科技研究所。

The measurement of fiber sensor with zinc oxide film coated on fiber end face

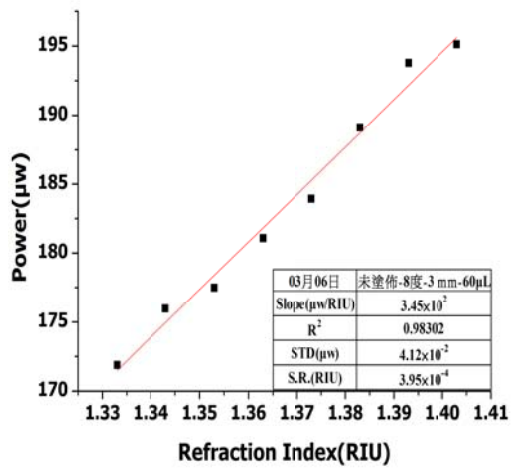
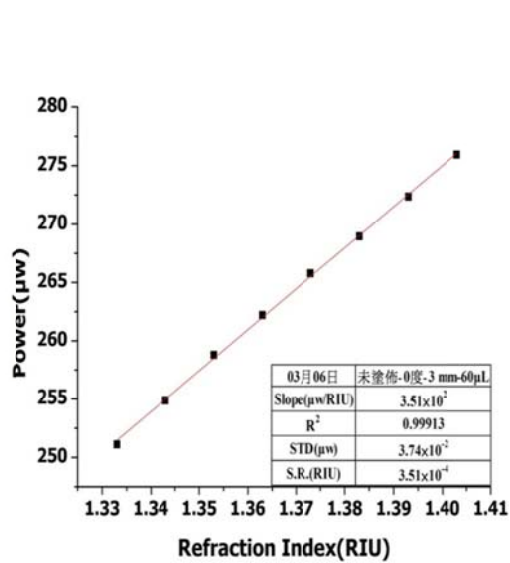
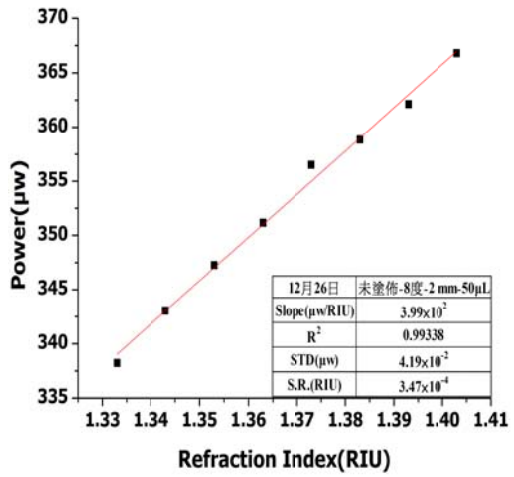
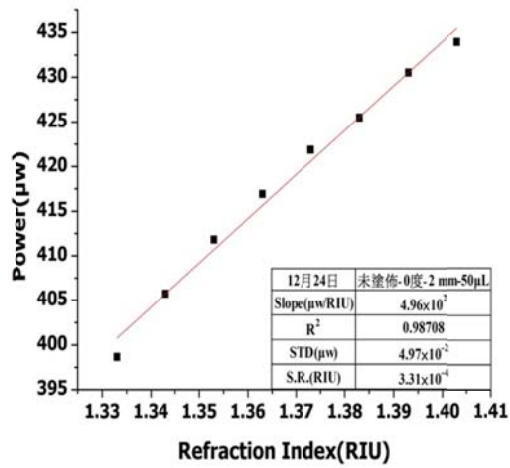
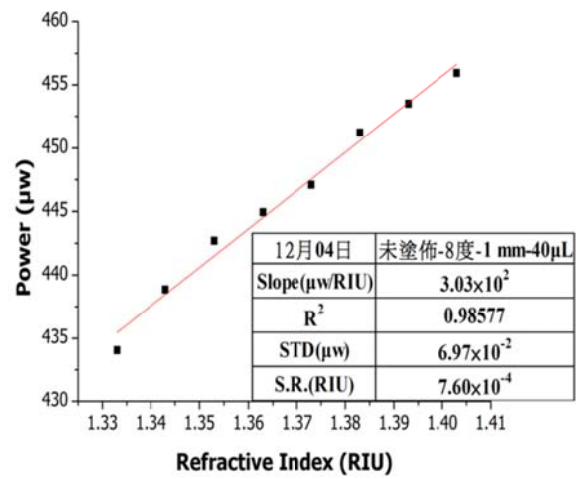
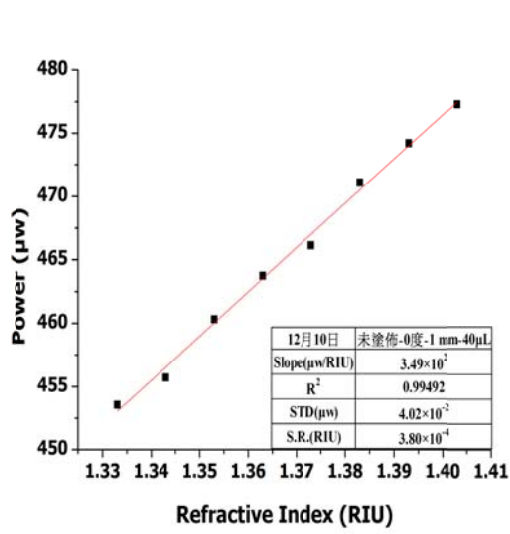
Author : Chen DeCian,
Wu Siwei,
Huang JiaWei

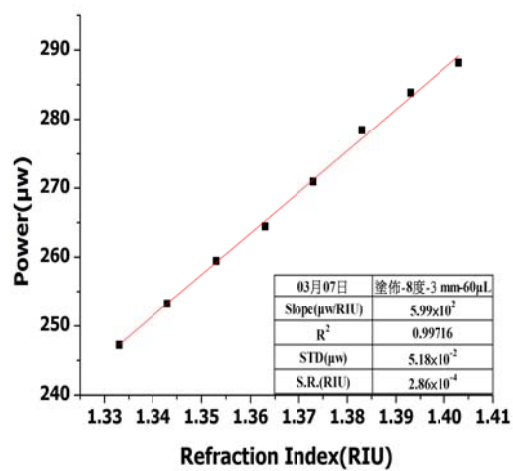
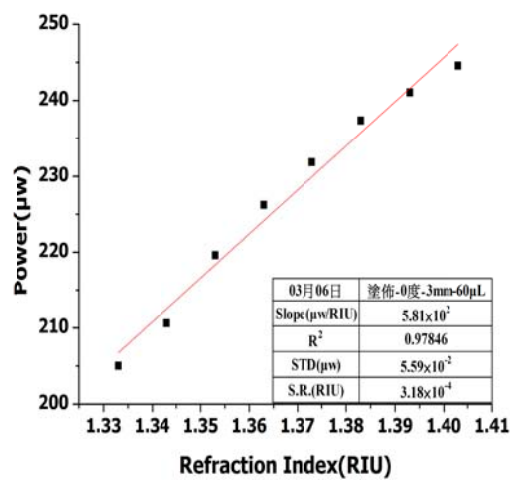
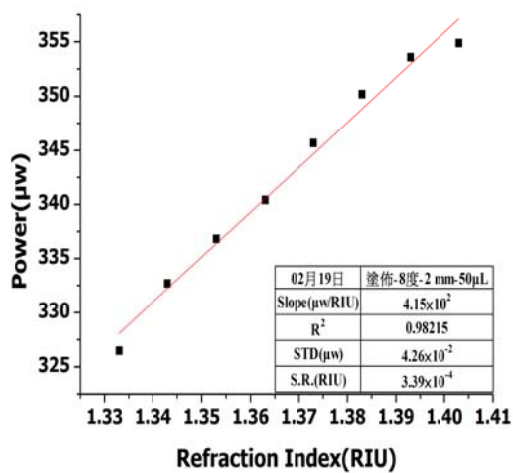
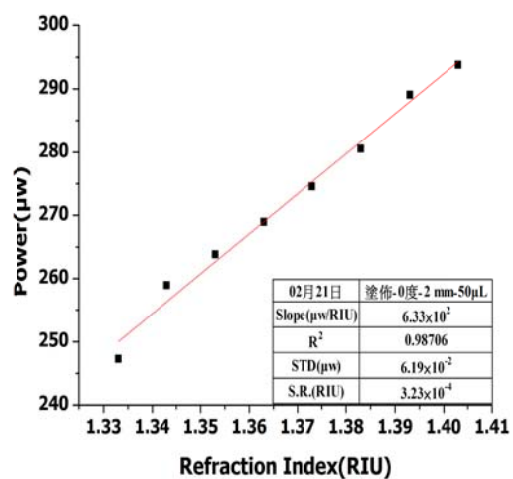
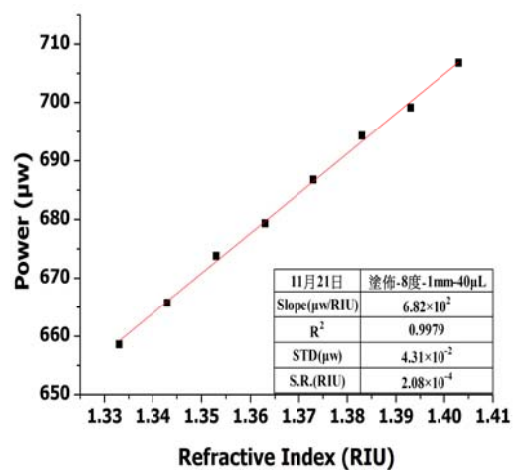
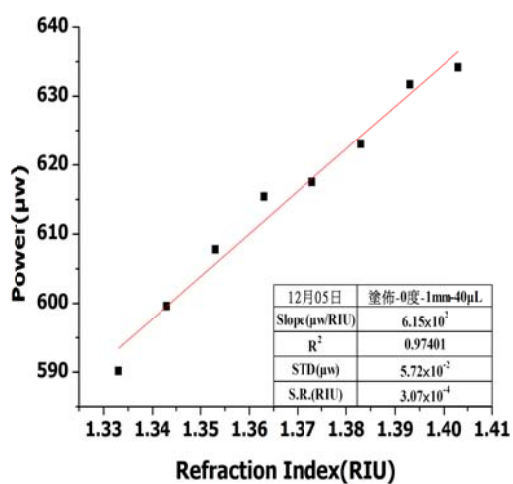
Advisor : Yi-Cheng Hsu

Department of Biomechatronics Engineering,
National Pingtung University of Science and
Technology

The study demonstrates the mechanical processing methods for polishing the end face of plastic optical fiber in the angle of zero and eight degrees employing fiber polishing system. The zinc oxide film is pasted on the fiber end face by spin-coating process. Two fiber end faces are aligned with a specific distance as sensing area. The effect of sensing slope, signal stability, and sensing resolution on fiber sensor with different angle of end face, distance between two end face are also analyzed. The best sensing resolution is 2.06×10^{-4} RIU under the condition that angle of end face of eight degrees, distance between two end face of 1 mm, and zinc oxide film coated.

七、附錄





反射式玻璃管感測器研究與分析

學生姓名： 劉士源 葉承偉 史天麟

指導老師： 許益誠 教授

國立屏東科技大學

生物機電工程系

摘要

研究主要針對玻璃試管做研究，主要目的是探索光源設置位置、接收面的材質和感測器接收的關係，軟體方面使用 SOLIDWORK 建構試管再使用 FRED 軟體做光學分析與模擬各種不同折射率並且分析各折射率之光照度、均勻度做為未來試管使用參考。

一. 前言

光感測器在生活中已經非常普遍使用例如：食品業中的品管檢測、醫療業中的 DNA 檢定、工業中的水平量測、農業溫室中的光感應控制、航運業及能源業中的雷達探測皆有使用到光感測器。

平常生活周遭也有許多例子：像光學滑鼠、投影機及 DVD 播放器中的讀取頭等等物品，因此目前在人們目前的生活中，光感測器已經是非常普及且使用及實用性都相當高的物件。

本研究採用綠光(軟體設定波長為 528nm)利用 LED 具有體積小、發熱量低、耗電量小、壽命長、反應速度快、可平面封裝、易開發成輕薄短小產品等優點，希望藉此實驗改善或提升光感測器之準確及分析效果。[5]

二、文獻探討以及模擬分析流程圖

(一)LED 基礎介紹

LED因使用的材料不同，其內電子、電洞占的能階也有所不同，結合後釋出的光子能量不同，因而產生不同波長的光，也就是不同顏色光，如紅、橙、黃、綠、藍或不可見光等如圖1。[1]

方式	激發源	發光元素與螢光材料	發光原理
單晶型	藍光 LED	InGaN / YAG 黃色螢光粉	以藍光激發螢光粉 (黃色發光)
	紫外光 LED	InGaN / RGB 三波長螢光粉	以紫外光激發
多晶型	藍光 LED 黃綠光 LED 藍綠光 LED 橙光 LED	InGaN GaP AlInGaP	把互補的 2 色光混成一組
	藍光 LED 綠光 LED 紅光 LED	InGaN AlInGaP AlGaAs	把 3 原色光混成一組

圖 1:LED 激發光源對應圖[2]

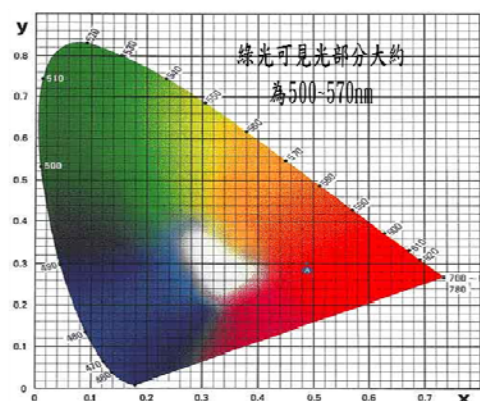


圖 2:LED 波長圖[6]

(二) 光學感測器的定義

光學感測器是利用光敏元件將光訊號轉換為電訊號的感測器。現在的感應波長在可見光波長附近，如紅藍外線等等。光學感測器不只是應用於光的測量，更常用於作為探測元件，組成其它類型的感測器，對非電量（如溫度等）進行檢測，只要將這些非電量轉換為光訊號的變化，便可實現對非電量的檢測。[3]

(三) 光纖感測器與傳統感測器之比較

傳統的感測器，基本都牽涉到電壓或電流的量測，很容易被電磁雜訊及磁場干擾，而光纖感應器較不受電磁雜訊及磁場干擾，故適用於嚴格的環境。光纖徑細質輕，又同一光纖可同時作為感測器與訊號傳導線，故能夠被置於如細小或不容易到達的區域。光纖感測器以光作為激發、傳輸介質，不像傳統感測器使用電流、電壓，故無處觸電的危險，頗為適合醫療上的量測。玻璃光纖與高分子材料有不錯相容性，也具有良好的生物相容性。光纖感測器雖有各種優於傳統感測器的特性，但較為脆弱，且裝置較為不方便。另一方面，用作製造光纖感測器的設備及讀取訊號的儀器價錢通常都相當昂貴。[4]

(四) 模擬分析流程圖

本研究是利用 SOLIDWORK 繪圖軟體建構與模擬試管本體再利用 FRED 光學模擬軟體來建立矩陣式 LED 燈具光源模組，模擬分析流程圖如圖 3：

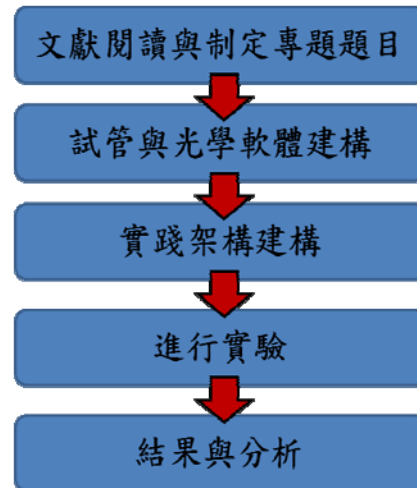


圖 3: 模擬分析流程圖

三、研究之試管模型建立與光場模擬

(一) 試管建立

量取相關數據準備進行繪圖利用 SOLIDWORK 繪圖軟體建構與模擬試管本體如圖 4：

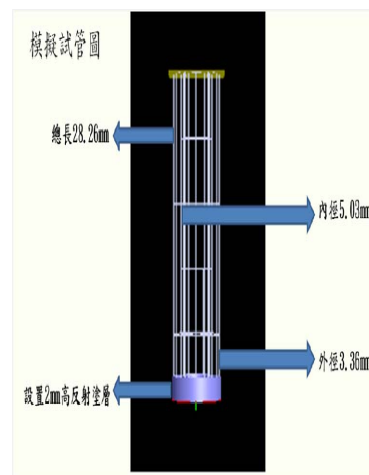


圖 4: 試管本體模擬圖

(二) 模擬試管

設定試管內外的液體，液體高到試管的 3/4 長度，尾端沒有包覆是為了方便觀察，液體寬設為管壁 10 倍厚，如圖 5：

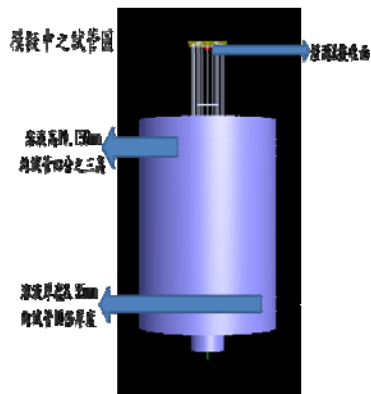


圖 5:模擬試管圖

(三) 參數與場行

本研究軟體輸入之參數光強度為 120
光數量為 50 萬條 折射率則為 1.333、
1.353、1.383、1.403。

本研究所探討之場型有主要針對
Focusing 場形如圖 6 所示。



圖 6:Focusing 場形

下圖 7~8 為例：一顆燈/液體折射率
1.333 為例，其平均照度的分析結果：

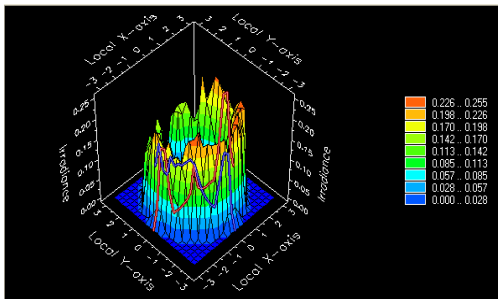


圖 7:平均照度的分析結果 (立體圖)

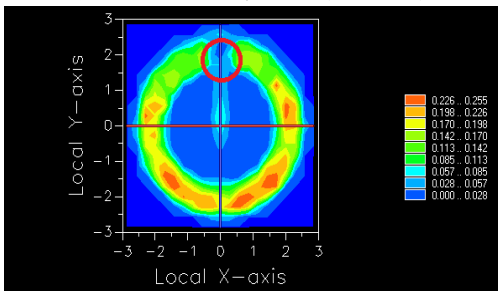


圖 8:平均照度的分析結果 (2D 圖)

四、結果與討論

由圖 9~14 可以得知照度會隨著折射率的
增加而減少。詳細數據見附錄表 1

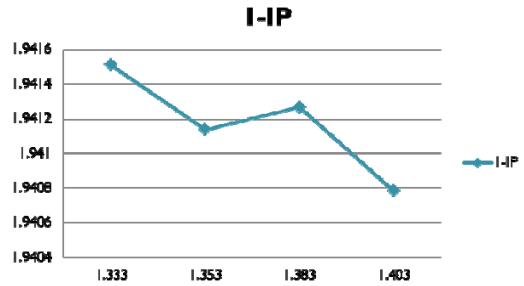


圖 9:1 個燈整體折射率與 Integrated Power 趨勢圖

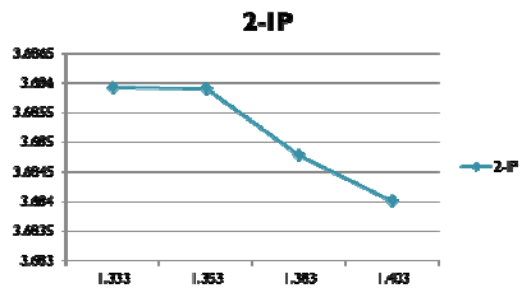


圖 10:2 個燈整體折射率與 Integrated Power 趨勢圖

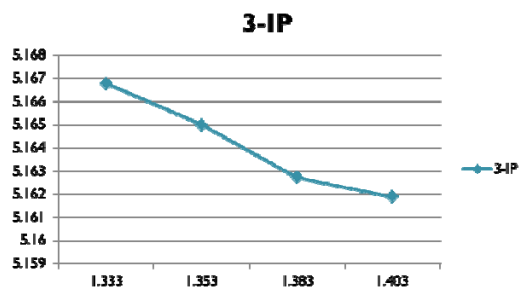


圖 11:3 個燈整體折射率與 Integrated Power 趨勢圖

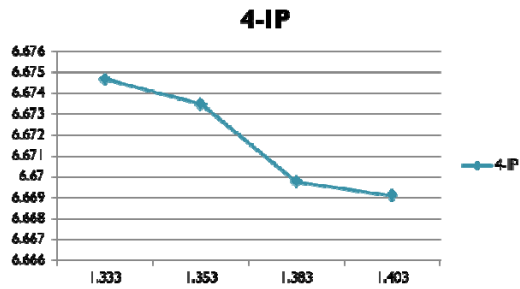


圖 12:4 個燈整體折射率與 Integrated Power 趨勢圖

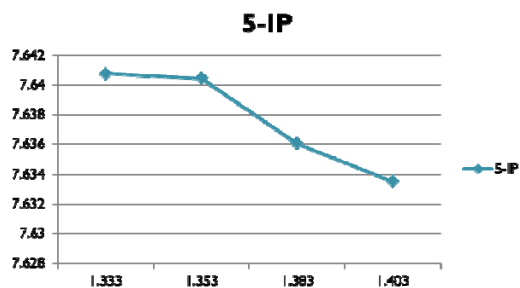


圖 13:5 個燈整體折射率與 Integrated Power 趨勢圖

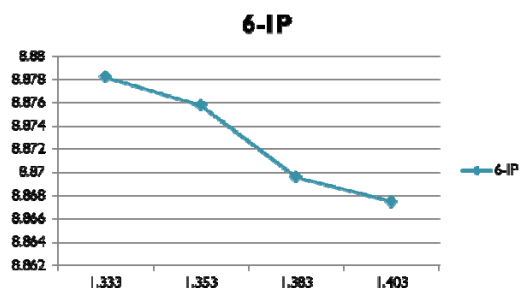


圖 14:6 個燈整體折射率與 Integrated Power 趨勢圖

由圖 9~14 得知整體照度回授率最好的是在一個燈的 1.333 折射率，詳細數據見附錄表 2。

由於一個燈源時光遮的部分最少，這是因為多燈源會遮蓋設定的接收面所以算出來的回授率相比之下會比多燈源還要來的高。

五、結論

利用照度均勻度量測之結果，各燈數量與折射率的折線圖中，觀察不同濃度水折射率對分析面作圖可以看出稀釋水溶液的濃度 Integrated Power 隨其水濃度百分比增加而增加，兩者是成正相關，而之後在光 MAX 的座標上從新設定分析面得到的趨勢也大致相同。

這顯示水中的濃度增加 Integrated Power 隨之減少，而光回授率的部分，是一個燈，折射率 1.333 的回授比率最高。

六、致謝

首先感謝許益誠教授的指導，給我們明確的研究方向，並且教導我們解決軟體上的操作困難及問題排解，藉由操作及文獻查詢之中我們也額外獲得了有關於光學的基本了解；再來感謝鄭惟仁學長，協助我們整體實驗上的操作及解答，有您們的幫忙讓我們的專題得以完工，讓我們學會如何使用操作 FRED 光學軟體，並學習光學上的基礎，讓我們更加的了解光學的問題及相關知識，再一次的感謝許益誠教授及鄭惟仁學長。

七、參考文獻

[1] COMPUND SEMICONDUCTOR TAIWAN

2014 第一期第 34 頁。

[2] 林川發，「發光二極體的照明應用」，

科學發展 2009 年 3 月，435 期

[3]光學感測器的種類 - 南台科技大學知識

分享平台: EshareInfo

[4] 王韋翔 葉威宏，「光纖感測器」，

2007 年 10 月 31 號

[5]和新機電，LED 發光二極體特性介紹

[6]銓州光電，LED 基本介紹

附件 1 模擬數據表

表 1 1~6 個燈的回授功率

回授功率				
燈數	折射率			
	1.333	1.353	1.383	1.403
1	1.941511	1.941137	1.941267	1.940785
2	3.68592	3.68591	3.684779	3.684008
3	5.166778	5.164996	5.162725	5.161891
4	6.674673	6.673493	6.669762	6.669112
5	7.640758	7.640449	7.636051	7.633499
6	8.878231	8.875806	8.869619	8.8675

表 2 1~6 個燈的回授率

	單光源	雙光源	三光源	四光源	五光源	六光源
1.333	1.61790%	1.53580%	1.43521%	1.39055%	1.27345%	1.23308%
1.353	1.61760%	1.53579%	1.43472%	1.39031%	1.27341%	1.23275%
1.383	1.61770%	1.53532%	1.43409%	1.38953%	1.27267%	1.23189%
1.403	1.61730%	1.53500%	1.43385%	1.38939%	1.27224%	1.23159%

附件 2

模擬數據之平均照度圖

單光源

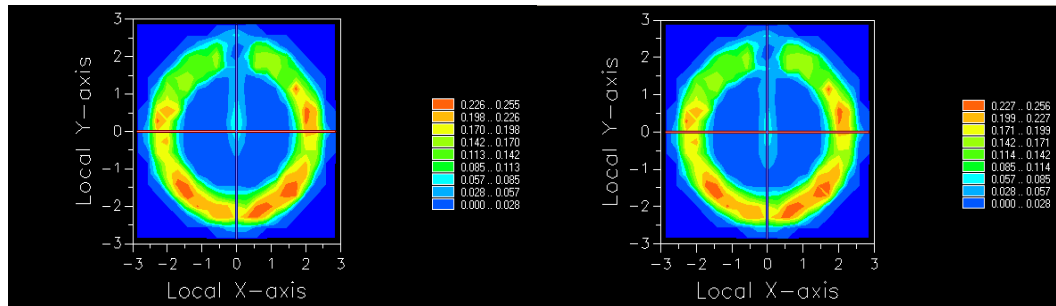


圖 16 1.333 折射率

圖 17 1.353 折射率

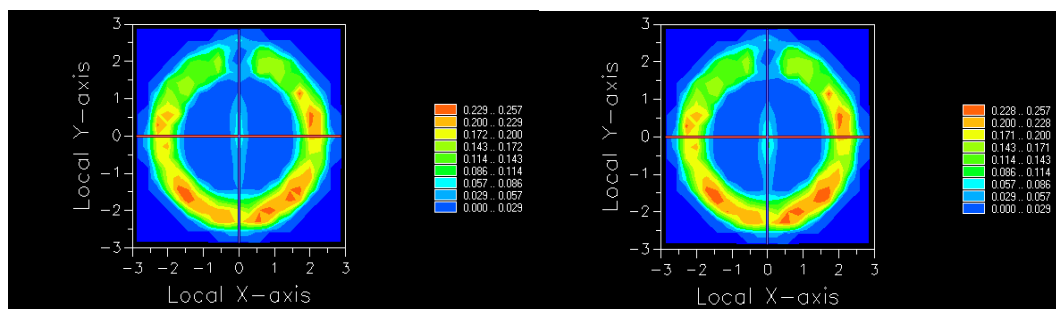


圖 18 1.383 折射率

圖 19 1.403 折射率

兩光源

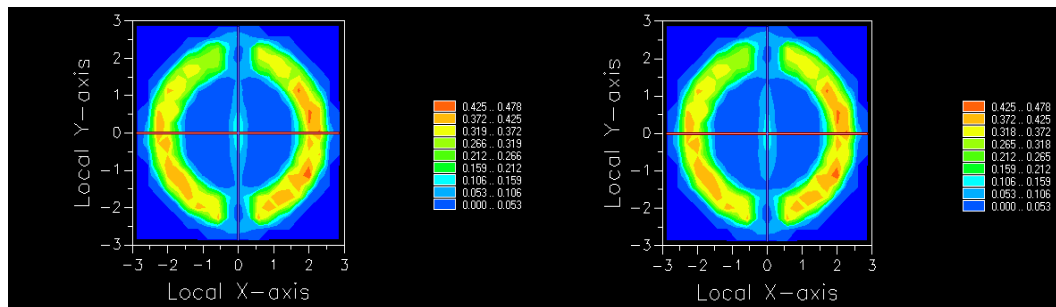


圖 20 1.333 折射率

圖 21 1.353 折射率

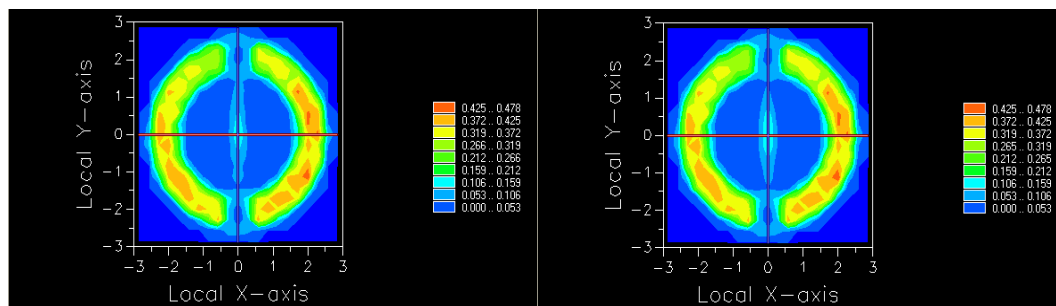


圖 22 1.383 折射率

圖 23 1.403 折射率

三光源

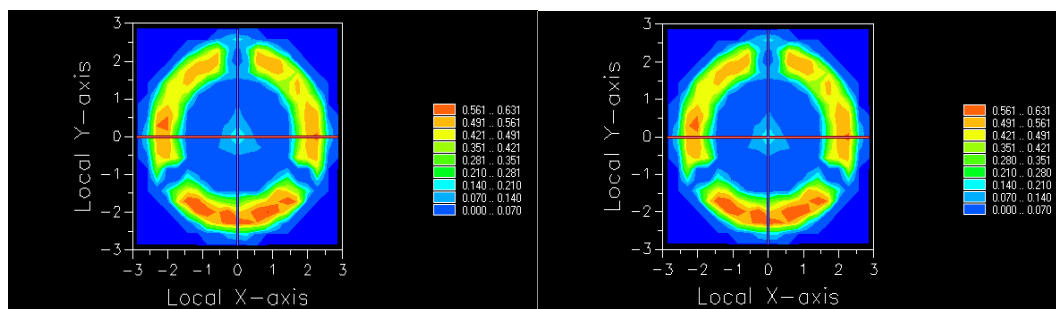


圖 24 1.333 折射率

圖 25 1.353 折射率

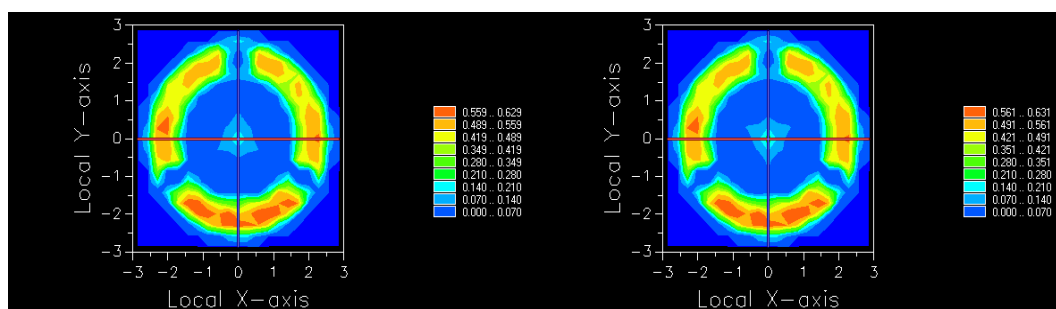


圖 26 1.383 折射率

圖 27 1.403 折射率

四光源

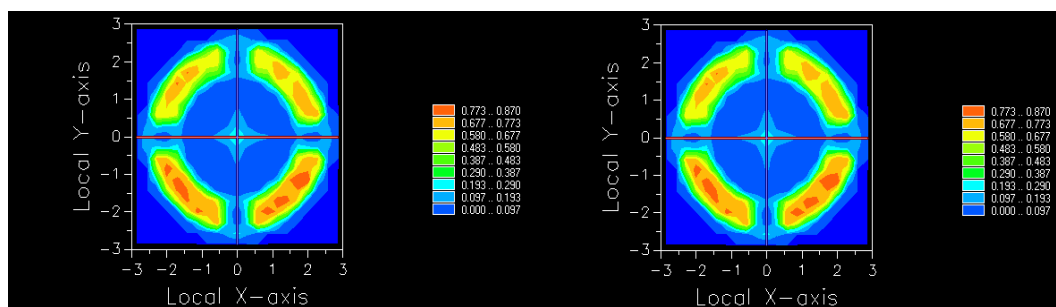


圖 28 1.333 折射率

圖 29 1.353 折射率

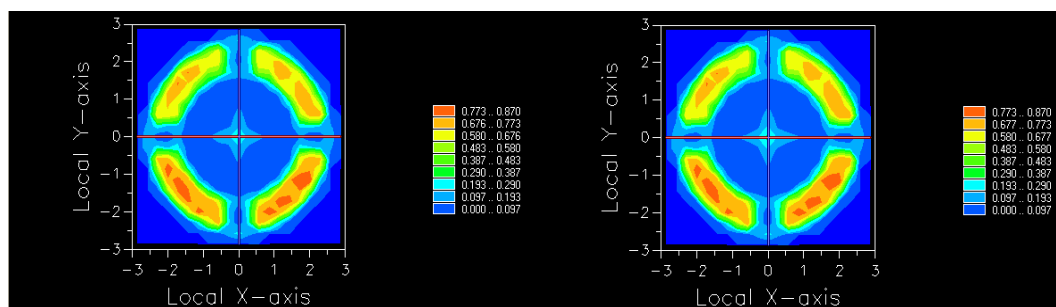


圖 30 1.383 折射率

圖 31 1.403 折射率

五光源

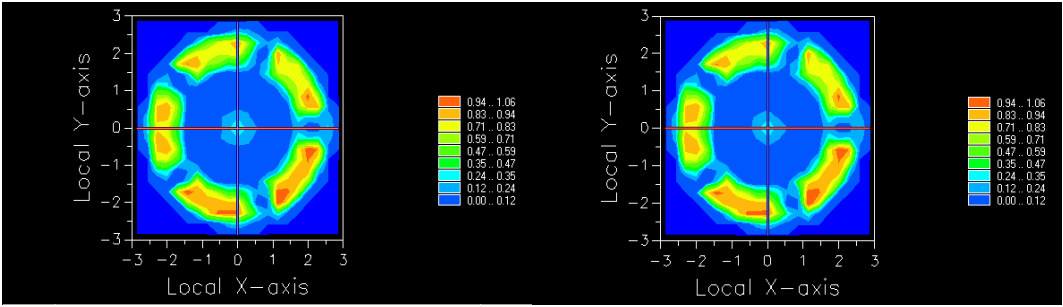


圖 32 1.333 折射率

圖 33 1.353 折射率

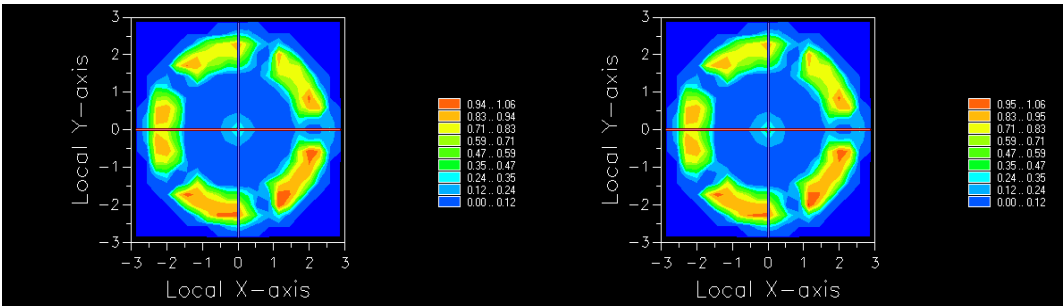


圖 34 1.383 折射率

圖 35 1.403 折射率

六光源

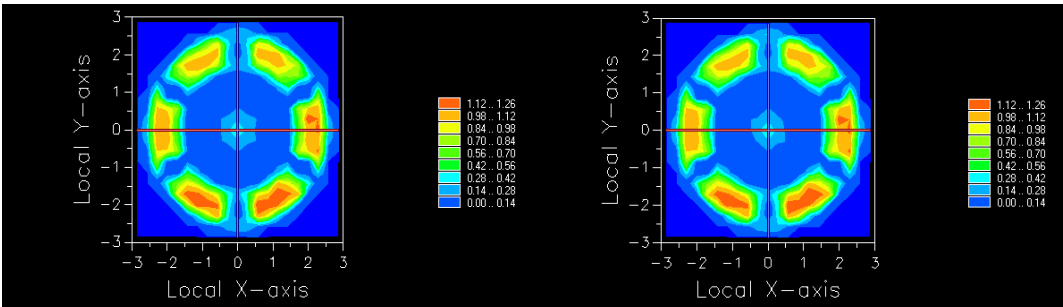


圖 36 1.333 折射率

圖 37 1.353 折射率

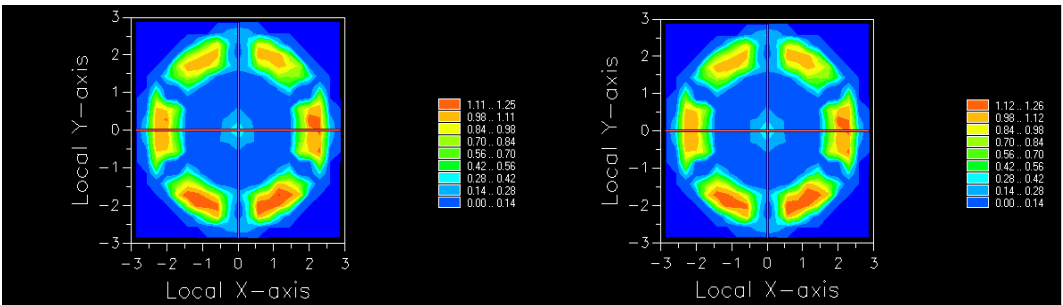


圖 38 1.383 折射率

圖 39 1.403 折射率

Research and analysis on reflective glass tube sensor

SHI-YUAN LIU
CHENG-WEI YE

Advisor : Yi-Cheng Hsu

Department of Biomechatronics Engineering, National
Pingtung University of Science and Technology

Abstract

This research mainly focuses on the glass tube as a refractive index sensor. The goal is to investigate the relationship among positions of the light source, refractive index of the detected specimen, and the reflective power for detecting. The package software Solidworks is used to construct the model of glass tube then use commercial optical software FRED to analyze the reflective power for different specimens. By simulating and analyzing the results of the reflection rate and the distribution in different reflection rate to provide the guideline for the application of glass tube in sensing technology.

影像追蹤在羽球訓練之應用

學生姓名：王星萌

葉如群

指導老師：李文宗老師

國立屏東科技大學

生物機電工程系

摘要

影像處理一直以來，時常被利用在我們生活周遭的各種事務上，從尖端的醫療科技一直到普羅大眾最常使用的智慧型手機上，都可以找到影像處理的影子。本次專題中，在 Visual Studio2010 開發環境下應用 OpenCV 函式庫進行程式開發，開發一款在羽球運動的米字步伐訓練中使用影像追蹤進行輔助的程式，其中對於影像追蹤的方式，本文選定 CamShift 演算法，在程式中框選出追蹤目標色塊，找出該顏色的色彩直方圖，將獲得的色彩直方圖做為程式追蹤的樣版，而當程式產生追蹤結果時，程式便會自動對追蹤結果進行記錄與分析。

一、引言

羽球米字步訓練，大多都需要教練的從旁協助進行，而一個教練同時能夠關注到的選手有限，若是需要同時訓練較多的選手，可能會對教練造成龐大的負擔，本次實務專題嘗試以影像追蹤技術針對羽球米字步訓練進行輔助，透過拍攝訓練過程的記錄影片，透過程式對影片進行追蹤與分析，使教練只需要針對分析結果對選手進行指導，不僅可以減少教練的工作量，對於整體的訓練效率也可以達到提升。

在互動式羽球步伐訓練系統之研製(張顥騰)一文[5]中，使用了 LabVIEW 語言進行程式與人機介面的開發，而文中對於米字步踩點與追蹤的判斷依據則是利用了開發者自製的智慧型腳踏墊，在訓練過程中，

透過操作人機介面選擇手動或自動模式，依照模式的不同，訓練過程的踩點順序也會產生變化，並且能夠記錄其訓練過程的反應時間。

在運動視訊場景中動態物件搜尋與追蹤方法(張厥煒)一文[6]中，提到了影像處理在運動場中追蹤移動物件的方法，透過 Canny 邊緣偵測和 Hough 直線偵測，來找出畫面中物體活動場地中標的區域(Region of Interest, ROI)，統計出標的區域的主要顏色成分之後再搭配以 Mean Shift 和 Particle Filter 交互使用的追蹤演算法，對於畫面中移動物體進行追蹤動作。

比較之下智慧型腳踏墊對於場地的要求較低，但是訓練時，佈置智慧型腳踏墊需要較長的準備時間，而腳踏墊的線路可能會對選手的訓練過程造成影響。若是能夠將判斷依據由腳踏墊改成使用影像處理，可以降低對於場地佈置的需求以及對受訓者產生的影響，但同時，場地背景的影響則會提高，該如何克服這些場地的因素，準確的將訓練過程記錄並且分析是我們本次實務專題的最大目標。

二、研究內容與方法

壹、研究內容

1. 米字步：[10]

米字步一般來說預備位置是站在前發球線之後約半步距離，雙腳橫跨中央線，估算前進至網前並舉拍至網前二角落約幾步，大至為二至三步，視個人步伐大小而定，後退則約三至四步，若為奇數則右腳先墊

步，若是偶數則左腳直接跨出，總而言之，就是預備擊球時不論前進或後退，重心都是擺在右腳，並且以側身行進，以上皆以右手持拍者而言，左手反之，所謂米字步便是以此種跑法，練習跑左右二側、四個角落及直前直後八個點形成米字步伐



圖一、米字步踩點位置圖

米字步踩點順序：

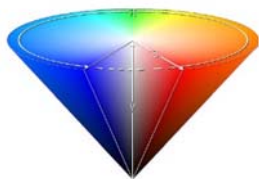
0»1»0»2»0»3»0»4»0»5»0»6»0»7»0»8»0

以此順序進行實際踩點測試

實驗趟數為 5 趟

2. HSV 色彩模型：

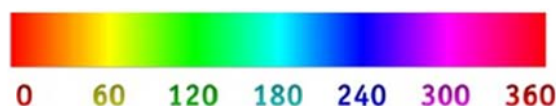
HSV 色彩模型的三項基本屬性為色相(Hue)、飽和度(Saturation)以及明度(Value)，透過這三種屬性可以建構出一個如圖二所示之立體模型，其名稱為 HSV 圓錐，色相(H)被表示為繞圓錐中心軸的角度，飽和度(S)被表示為從圓錐的橫截面的圓心到這個點的距離，明度(V)被表示為從圓錐的橫截面的圓心到頂點的距離。



圖二、HSV 圓錐

2-1. 色相(H)：

即是我們一般所說的顏色，如紅色、藍色等。其定義是從紅色開始繞圓一圈，如下圖所示，依序為黃、綠、青、藍、品紅等顏色。色相在 HSV 圓錐上是圓的角度，範圍從 0° ~ 360° 。旋轉色相一個角度來改變圖片顏色是不少影像特效常用的技巧，如圖三



圖三、色相各角度對應之顏色

2-2. 飽和度(S)：

飽和度指的是色彩的純度，色彩純度越高飽和度就越高，看起來越鮮豔。反之則看起來越灰。在 HSV 圓錐上代表圓的半徑，範圍從 0~1。

2-3. 明度(V)：

又稱為亮度，和灰階的強度概念相似，但定義法並不相同。在 HSV 圓錐上是圓錐從尖端算起的高度，範圍從 0~1。

2-4. RGB to HSV 的轉換如式：

$$MAX = \max(R, G, B)$$

$$MIN = \min(R, G, B)$$

$$H = \begin{cases} 6 + \frac{G - B}{MAX - MIN} \times 60^{\circ} & , \text{if } R = MAX \\ 2 + \frac{B - R}{MAX - MIN} \times 60^{\circ} & , \text{if } G = MAX \\ 4 + \frac{R - G}{MAX - MIN} \times 60^{\circ} & , \text{if } B = MAX \end{cases}$$

$$S = \frac{MAX - MIN}{MAX}$$

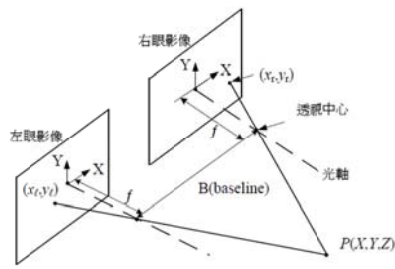
$$V = \frac{MAX}{255}$$

when $R = G = B, H = S = 0$ (此時影像呈現灰階)

RGB 色彩模型採用的是色彩疊加之原理，然而若是我們以顏色作為物件追蹤的判斷依據，此時場地當中的光照與陰影便會對其疊加的結果造成影響，因此我們必須將目標的色彩值以 HSV 色彩模型的方式呈現，HSV 當中得色相值並不會受到光照影響。

3. 雙眼視覺原理

雙眼立體視覺的建利條件為透過兩部攝影機在相同平面，並且鏡頭中心要在相同基準線上，其主要目的為擷取影像中目標物的景深。為了方便測量距離，因此需要先建立立體影像的三維座標模型，如圖四所示，其中雙眼攝影機中心相距 B ，攝影機焦距 f ，在世界座標中假定一點 $P=(X, Y, Z)$ 作為預設目標物所在座標，透過針孔投影的原理會在左眼影像及右眼影像上分別形成點 (x_l, y_l) 與點 (x_r, y_r) 。



圖四、雙眼視覺模型

要獲得物體在影像平面座標中的位置，首先需要相機的內部以及外部參數。

內部參數由相機的焦距 f_x 與 f_y 以及影像的基準點(通常為影像中心) C_x 以及 C_y 組成為一個 3×3 之矩陣：

$$\begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

而外部參數矩陣則是包含各軸上轉換的角度量 r ，以及坐標的平移量 t 所組成，為一個 4×4 之矩陣：

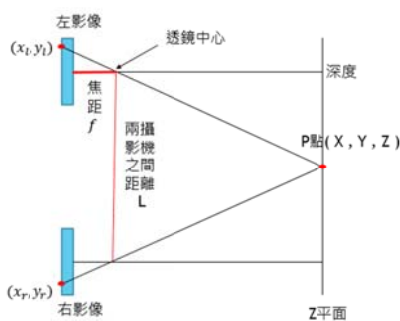
$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix}$$

獲得這兩個參數之後，透過以下轉換公式：

$$s \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

即可獲得物體在影像平面座標中的位置 (u, v) 。

3-1. 物體景深之取得



圖五、物體景深公式示意圖

藉由物體世界座標與左右眼影像的幾何關係求得，圖中P為物體世界座標位置， f 為相機焦距， L 為左右眼影像中心距離，首先先將兩影像中心分別設為世界座標起點，透過相似三角形可以獲得兩式：

$$X = \frac{x_l}{f_x} \cdot Z_l \quad \text{以及} \quad X = \frac{x_r}{f_x} \cdot Z_r$$

而從兩相機與目標坐標P點的位置關係中又可以得到以下兩式：

$$X_r = X_l + L \quad \text{以及} \quad Z = Z_l = Z_r$$

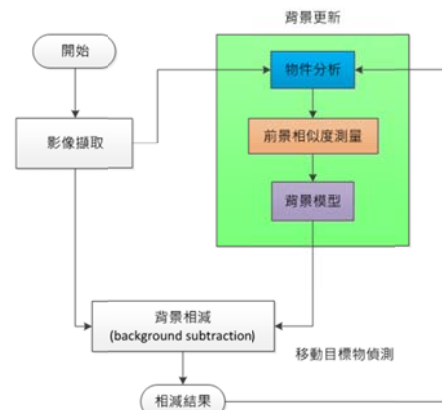
將藉由位置關係所獲得的兩式，套入從相似三角形中獲得的式子中，可以獲得景深：

$$Z = \frac{f_x L}{X_r - X_l}$$

4. 物件追蹤：

4-1. 背景相減法：

背景相減法其原理為利用固定不變的場景做為背景影像模型，再與攝影機取得的每一張影像做強度值相減，根據計算過後所得到的差異值進行判斷，流程如下圖所示，比較差異值與閾值大小，若所得到的差異值大於閾值，代表背景影像與取得的影像有變化，可以視為有物體入侵背景，反之若差異值小於閾值，可以視為背景沒有變化

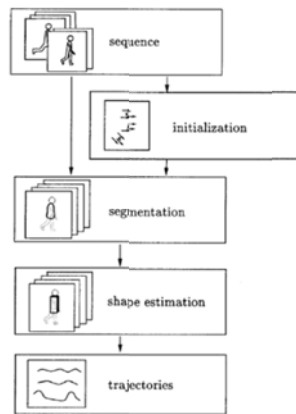


圖六、背景相減法流程圖

4-2. 光流法：

光流的概念是指影像中各個像素在運動時的速度分布，而形成光流的原因是因為物體在三維空間中的運動投影在二維的影像上而造成像素的移動，因此光流擁有物體在當時的速度投影。而光流法的優點在於可以偵測獨立運動的物體而不需要知道拍攝場景的任何訊息。

光流法的使用流程先從連續影像中分割出初始化影像也就是單純背景影像的光流場分佈，接著藉由連續的影像與初始化的背景影像分割出移動的目標物。分割出來的目標物再進行形狀辨識，最後可對此目標物進行路徑追蹤。光流法的流程圖如圖七所示。



圖七、光流法流程圖

4-3. CamShift 演算法：

CamShift 演算法(Continuously Adaptive Mean Shift)改良自 MeanShift 演算法，其意思為持續調整適應的 MeanShift，此法將 MeanShift 演算法改良過後用以追蹤動態影像，而且相較於 MeanShift 演算法，此法不受物體變形或距離變化而造成投影大小變化的影響。

4-3-1. MeanShift 演算原理：

MeanShift 向量告訴我們如何將 MeanShift 窗口的中心重新移動到利用計算得到的窗口重心位置。但同時因為窗口的移動造成了窗口內容的改變，於是我們再作一次剛才重新定位窗口中心的步驟。窗口的中心在不斷重新定位的過程會收斂到使 MeanShift 向量為 0，代表著窗口將不再移動。收斂的位置在窗口中像素分布的局部最大值也就是峰值處。由於“峰值”本身對於尺度的變化較為敏感，因此窗口大小的不同，也會影響到峰值的位置。因此 MeanShift 演算法主要運用在上升峰值的搜索，其呈現效果就是在上升峰值的高峰處進行收斂。

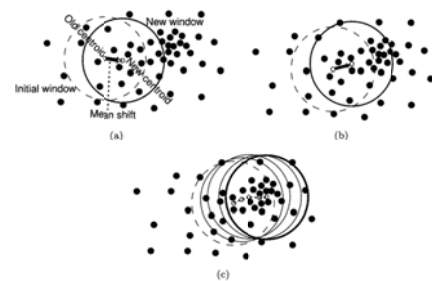
MeanShift 演算步驟：

1. 選擇搜尋視窗，包括視窗的大小與初始位置

2. 計算視窗的平均重心位置

3. 將視窗中心移動至平均重心位置

4. 重複 2 與 3 步驟，直到中心與平均重心位置相同，或是達到計算次數的設定值



圖八、MeanShift 演算示意圖

4-3-2. CamShift 演算原理：

因為目前幾乎所有的 CamShift 演算法之應用都是以 MeanShift 做為追蹤的基礎，而顏色又被當作 MeanShift 演算法之機率分布函數的根據，因此我們一般聽到的 CamShift 演算法，都是以追蹤顏色做為處理目標。

CamShift 的處理過程大致可分為兩部分：前處理為輸入欲追蹤的目標樣板，接下來則是針對輸入的影像進行目標樣板的追蹤。

樣板輸入：

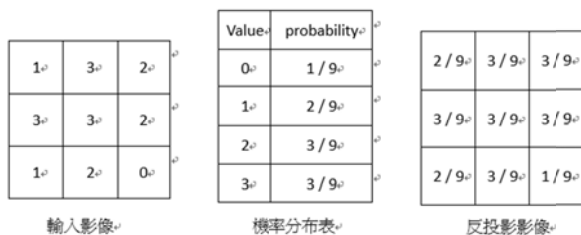
樣板輸入為 CamShift 在開始進行追蹤前的前處理。樣板的選擇方式是在第一張影像上框選要追蹤的區域，此區域的大小、位置及所包含的影像特徵將成為 CamShift 的初始追蹤條件，而區域中包含的影像即為樣板影像。樣板影像的位置與大小決定了 MeanShift 一開始的搜尋位置與範圍以及色彩的機率分布函數。得到樣板影像後的前處理步驟如下：

1. 將影像由 RGB 色彩模型轉換為 HSV 色彩模型。
2. 提出色相頻道並建立一個總直條數 16 個的直方圖。
3. 建立色相之機率分布表，其權重值皆為 1。

樣板影像處理完畢後，即得到了 MeanShift 所要使用的機率分布表。加上搜尋位置與範圍，MeanShift 所需要的資訊就已經完備。接下來就是針對每一張從攝影機擷取入進來的影像進行 CamShift 演算法。

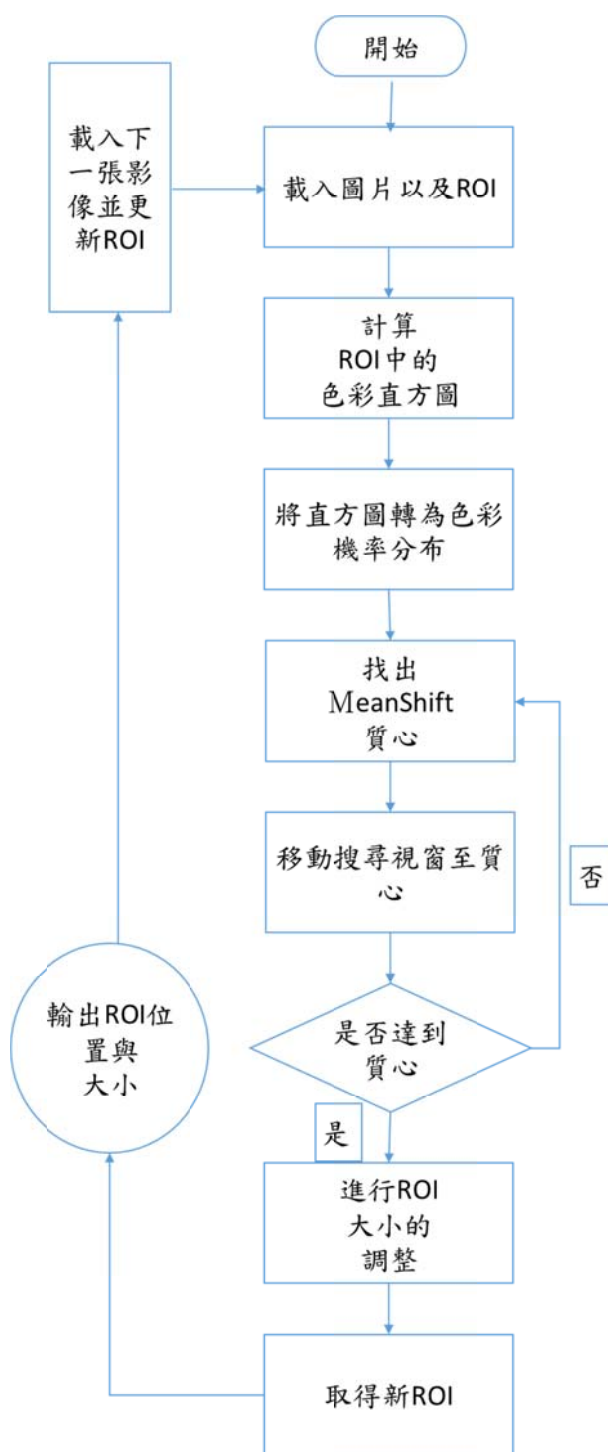
使用 MeanShift 進行目標追蹤：

當有影像輸入時，一開始會將其色彩模型轉換為 HSV 並抽出其色相頻道。接下來針對每個像素的色相值去尋找其相對應之機率分布表上的機率並填在一張新的影像上。此步驟稱為反投影(back projection)。簡單說就是把每一個像素值拿去查表，將所對應到的值填到新的影像中，如下圖所示。



圖九、反投影示意圖

反投影完後所得到的輸出影像為機率分布影像。將此影像帶入 MeanShift 計算收斂點，該收斂點即為搜尋到的目標。最後將 MeanShift 的視窗調整大小後即完成了整個色彩 CamShift 搜尋。每一次的 MeanShift 初始位置皆為上一次 MeanShift 收斂的位置，CamShift 演算法就是根據這樣的流程針對每一張擷取到的連續影像一直不斷的進行 MeanShift 並更新追蹤位置，最後調整視窗大小為下一次追蹤做準備。整個色彩 CamShift 演算法之流程圖如圖十所示。



圖十、CamShift 流程圖

4-4 三種追蹤方式比較與選擇：

	優點	缺點
光流法	不需事先了解環境相關訊息	1. 計算複雜 2. 易受雜訊干擾
背景相減法	可以自行調整適應環境	無法取得目標詳細特徵
CamShift 演算法	不受距離與物體變形影響	1. 複雜的背景與物體導致辨識困難 2. 無法追蹤高速移動中的物體

表一、三種追蹤方式優缺比較

經過比較以及對羽球場地的探勘過後我們決定選擇 CamShift 演算法做為我們的追蹤方式，主要的理由有：

1. 羽球場地背景可能過於複雜—無法使用光流法
2. 我們希望得知受訓者的詳細訊息—無法使用背景相減法
3. 受鏡頭的限制，我們需要從較遠的距離進行拍攝—CamShift 演算法較不受距離影響

貳、研究方法

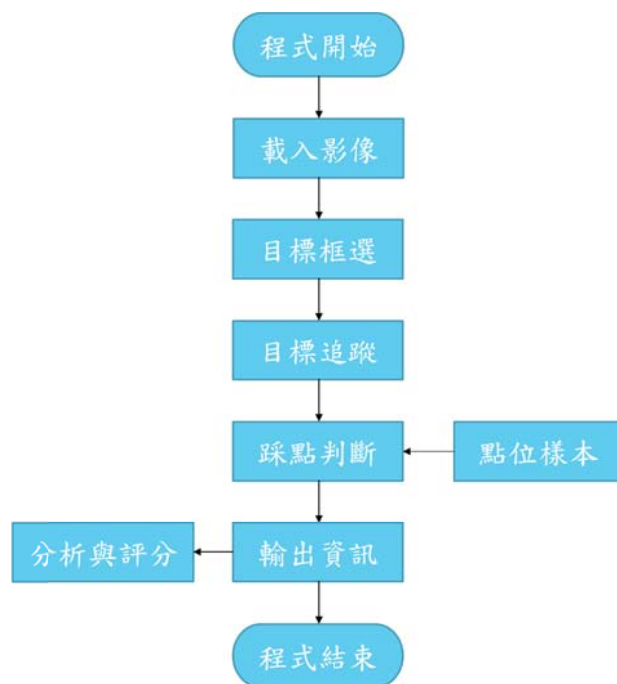
1. 場地與設相機配置

以羽球場的半場作為訓練場地，將筆記型電腦放置在另半場，並且架設網路攝影機在球網的兩端，調整好角度使攝影機可以完整的拍攝整個場地。如圖十一所示：



圖十一、場地與攝影機架設示意圖

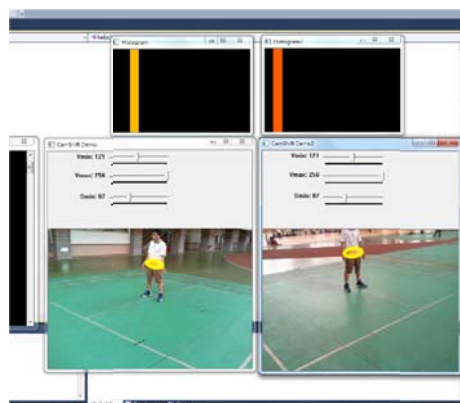
2. 建立程式，其流程圖如圖十二所示：



圖十二、程式流程圖

載入影像與目標圈選

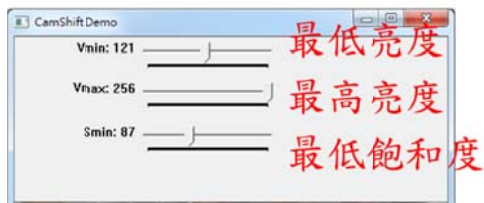
讀入影像之後，先將程式暫停並且進行預追蹤之目標物圈選，圈選完畢後即可獲得該目標物之色彩直方圖。如圖十三所示：



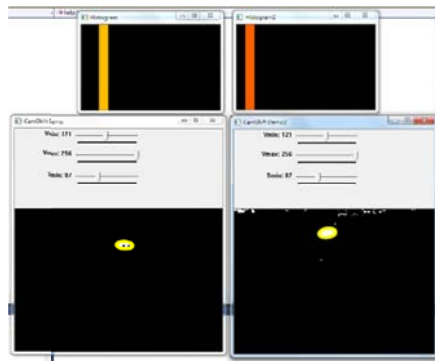
圖十三、目標圈選完畢之程式畫面

目標追蹤

透過進入反向投影模式調整閾值，使程式可以準確判斷目標物的位置，並且過濾掉大部分的雜訊，令追蹤狀態達到誤差最小。如圖十四、十五所示



圖十四、閾值調整



圖十五、反向投影模式

資訊紀錄

將追蹤結果記錄下來，並且以一個 TXT 文件進行輸出，其結果包括：如圖十六所示

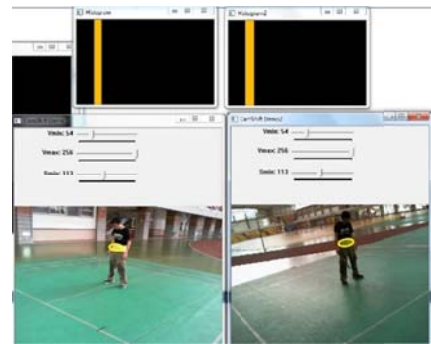
1. 位置以及趟數
2. 反應時間
3. 選手狀態



圖十六、輸出文件

三、結果與討論

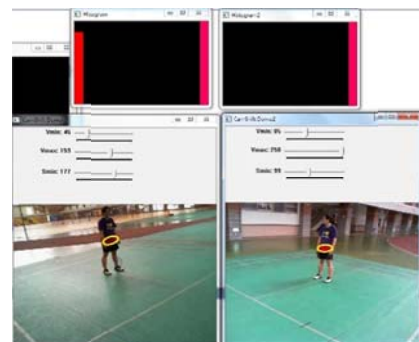
本文選用三種顏色作為追蹤的目標物，分別是紅色、藍色，以及黃色，利用程式將其閾值調整至雜訊最少。如圖十七至十九所示



圖十七、黃色目標物經閾值調整



圖十八、藍色目標物經閾值調整



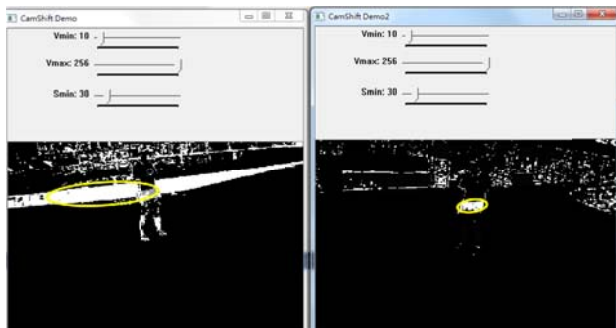
圖十九、紅色目標物經閾值調整

	Vm i n	VM a x	S m i n
黃色左	54	256	113
黃色右	54	256	113
藍色左	22	256	28
藍色右	44	256	28
紅色左	46	159	177
紅色右	85	250	99

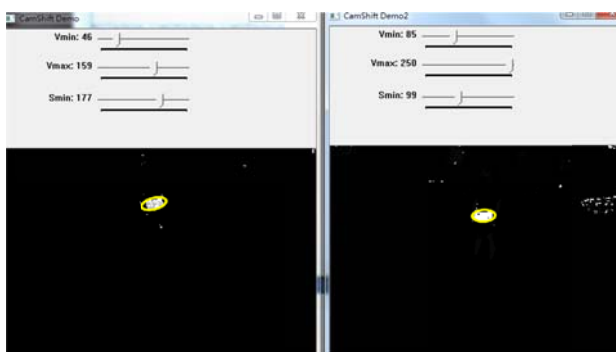
表二、調整後三目標物閾值

背景雜訊之克服

原本使用紅色做為目標物進行追蹤時，背景的干擾過大，但是經過閾值調整過後可以成功克服此方面問題。如圖二十所示



(A)在反投影模式下，未調整閾值前



(B) 在反投影模式下，調整閾值後

圖二十、閾值調整變化圖

記錄結果與分析

將程式所追蹤到的結果，以及對結果的分析，將其輸出成一份 TXT 文件，使教練能夠透過這份文件了解本次訓練過程。

程式追蹤結果與分析：

第一次實驗：

目標反應秒數：2.5s 總趟數：5 趟

平均反應時間：2431.93ms

12 次過慢反應時間 成績為：76

花費秒數：97277.2ms

第二次實驗：

目標反應秒數：3.0s 總趟數：5 趟

平均反應時間：3040.32ms

22 次過慢反應時間 成績為：56

花費秒數：121613ms

根據結果可以得知，本文中所使用的方法可以對羽球的米字步訓練進行追蹤，而在追蹤過程中，也能夠透過程式進行調整，使追蹤效果達到理想狀態，並且能夠成功的針對其追蹤結果進行輸出資訊，而所獲得的資訊能夠了解到選手目前得狀態，使教練能夠針對選手的狀態進行訓練課程與強度的調整，讓訓練效果達到最佳化。

四、結論

經過實驗驗證本系統能夠實現影像追蹤在羽球步伐訓練的應用，提供簡單的架構，以 Webcam 與個人電腦做為硬體設備，透過 CamShift 演算法追蹤目標，並將得到的資訊進行分析。透過調整閾值與目標物顏色的更換，解決顏色重複與背景雜訊的干擾並透過反投影模式來做檢測，有效提高追蹤的準確度。

輸出的資訊讓教練快速的了解選手反應時間與完成次數與動作，減少教練同時訓練多位選手的負擔，教練也可以依照不同的情況去選擇理想反應時間與趟數來達到訓練目的。

但是目前由於設備上的不足，相機鏡頭無法擁有足夠的範圍去針對受訓者的全身進行拍攝，以及電腦硬體無法負荷程式當中某些功能，若是在現在的電腦環境下進行程式的執行，在執行的過程中可能會造成程式的延宕，因而對程式得其他記錄結果造成些許影響，因此我們只能暫時的取消這些功能，期望當我們設備以及電腦硬體都可以完善時，再來對這些功能進行實際測試。

五、致謝

首先，對於能夠完成本次專題，最需要感謝的還是指導老師李文宗老師，由於我們兩人對於程式的相關基礎較為薄弱，所以在完成專題的路上遇到了許多的問題，而老師都可以找到最簡單並且能夠完成目標的方法來對我們進行指導。

另外，學長以及班上的同學們，在我們產生問題時，也會提供自己的看法，使我們在解決問題時擁有更多的選擇，以及在我們低潮時帶給我們鼓勵，使我們更有動力來完成這次的實務專題。

在這一段時間當中，我們從系上的每個老師、學長、同儕們的身上學到了相當多的東西，不論是做事的態度或是對於程式撰寫的相關知識。在此我們兩個獻上最大的謝意。

六、參考文獻

1. Gary Bradski & Adrian Kaebler 著，于仕琪、劉瑞禎譯“學習 OPENCV(中文版)” 清華大學出版社
2. 應用全方位攝影機於空間移動物體偵測 許將豪 程啟正 國立中山大學
3. 即時手勢辨識系統應用於機上盒控制 李經寧 蘇木春 國立中央大學
4. 基于 OpenCV 的 Camshift 跟踪算法的研究 唐佳 武漢理工大學
5. 運動生物力學研究彙刊 互動式羽球步伐訓練系統之研製 張顥騰 吳佩旻 陳億成 王心怡 臺北市立體育學院 慈濟大學
6. 運動視訊場景中動態物件搜尋與追蹤方法 張厥煒 張傑閔 國立台北科技大學資訊工程系
7. 以雙眼立體視覺配合全景式視覺運用於機器人追隨功能 陸冠群 蔡造拓 大同大學
8. 基於雙眼視覺之機器人手掌於物體抓取之實現 陸冠群 莊宇鈞 大同大學
9. 以背景相減法實現工作空間人物存在判定 蔡孟伸 曾怡君 國立臺北科技大學
10. 羽球常識秘訣
http://web.ntpu.edu.tw/~jasonchen/sports_classroom/badminton_classroom/bt_knowledge_and_skills.htm

附錄

The development of Object Tracking for Badminton Training

Xingmeng Wang, Juchun Yeh

Advisor: Dr. Wen-Tzong Lee

Department of Biomechatronics Engineering
National Pintung University of Science and Technology

Abstract

In this work, object tracking method was used to develop a vision analysis system for badminton training. The vision system could help the coach to monitor and analyze the athletes' motion positions. In this vision system, CamShift was selected to be the object tracking algorithm, and a specified color was choose as program tracking target. The program will identify this color's histogram to tracking the athlete's motion. The object tracking system is developed in Visual Studio 2010, and using the OpenCV vision library.

不同介質栽培芽菜於冷凍貨櫃式植物工廠

學生姓名: 崔宗翰 陳佳漢 林子傑

指導老師: 洪辰雄 老師

國立屏東科技大學

生物機電工程系

摘要

本專題實驗目的是以冷凍貨櫃加以改良成適合各種芽菜生長之植物栽培系統，並探討芽菜在不同的介質下(例如:生長介質、環境介質)之生長情況探討。

芽菜在生長過程中，不需要任何光源，故非常適合種植在冷凍貨櫃內。而冷凍貨櫃內可以操控其溫濕度，使溫度保持在植物適合生長的範圍，且不會有病蟲害的影響也不會有黴菌的問題發生。本實驗將微霧機裝設於貨櫃內部，使其噴灑增加濕度，應用於芽菜在生長過程之中。

而在不同的介質下，生長情況亦有所不同，本實驗係研究各種介質對於芽菜的生長在冷凍貨櫃的情況做出探討，並實現只將芽菜送入貨櫃之中，即可進行芽菜栽培生長，的「芽菜工廠」！

關鍵詞: 冷凍貨櫃、芽菜、植物工廠。

一、引言

全球人口以等差速度成長，使得人口密度增加、耕地面積不足，是現今發展農業普遍面臨的問題，若使用設施栽培，便可提高產值、減少土地使用、增加收成率，這些問題自然迎刃而解。但設施栽培的設備及維護費用較高，必須反映在農產品的成本上，消費者未必買單，所以如何能有效的利用設施空間及栽培面積以提高單位面積產能，減少農產品成本，增加獲利，變成現階段農業發展的重大任務。

現今大部分的溫室或植物工廠都採用傳統的固定式混凝土、磚造或鋼構建築方式來進行建造，但這些設施栽培模式都較少考慮到搬移的問題，若能有一種栽培設施不會因為環境因素變動而影響內部農作物，且這套設施還能移動到全球各地，只需要有水與電就能在當地進行栽培，這樣的栽培設施未來發展性肯定充滿前景。

如前段所述，我們可以利用——冷凍貨櫃。冷凍貨櫃本身的成本較一般溫室的建造成本低上許多，維護費用也比同坪數的溫室或植物工廠低，而其堆疊特性不僅可以減少單位面積土地上的使用，甚至它的移動性也能達到『走到哪，種到哪』的理想。

冷凍貨櫃的保溫性佳，環控條件佳，適合改良後，用來種植植物。但冷凍貨櫃因為設計條件的限制，適合種植的植物有限，若拿來栽培植物，則這種植物在生長過程

中，必不需要陽光攝取，所以我們選用——芽菜，芽菜在生長過程中，不需要陽光，只要能提供良好的介質及環境，就可以達到優秀的產量，故此種植物的生長特性非常適合種植在貨櫃中。

二、研究動機

人體活動需要消耗能量，而能量是從食物方面攝取並轉換為各種能量，不同的食物種類，提供著不同的養分，在這之前，健康的食物才是獲得最佳養分的首要條件，食物的安全性一直以來都是全地球人最關注的焦點，畢竟吃得安心，過的才會放心。

然而，在不肖業者的眼裡，金錢才是最關注的焦點，為了獲得更大的利益，使用了非法的化學藥劑或者是偷工減料參雜非法物質，不管消費者的健康。黑心商品不勝枚舉，其中有幾項是最引人關注的黑心產品，例如:2008年中國奶製品污染事件，奶粉中被發現參雜了化工原料三聚氰胺。

台灣也不例外，例如:2011年發生的塑化劑事件，供應商在常見的合法食品添加物「起雲劑」中，使用廉價的工業用塑化劑(非食用添加物)攪節成本。以及2013年的大統食用油造假事件，以低價棉籽油混高級油牟利，橄欖油含量遠不到50%，且還添加「銅葉綠素」調色，銅葉綠素雖然是天然食用色素，但很可能不耐高溫、添加在食用油也可能造成攝取過量及不容易排泄，肝腎也會出現不適現象。

這些黑心食品的事件接二連三的不斷發生，開始讓人探討什麼才是健康的食物，不會被添加非法藥劑以及造假問題，於是想到了有機蔬菜，而所謂的有機食品是可以創造新生命的食物，所有未發芽的種子、豆類、五穀及堅果都有這種特性，一旦在它們發芽之後食用，就可以得到日常生活必需的能量。

在有機蔬菜裡，最為簡單，最容易種植的就是芽菜，芽菜種植只需簡單器具以及約五到六天就可以收成食用，是最快速及最簡便的有機蔬菜，綠豆芽菜的營養包含非常豐富(例如:蛋白質、膳食纖維、維他命A、維他命B2、維他命B5、維他命B17、維他命C、維他命F、鐵、鈣、鎂、鋅、硒、鈉、脂肪、胡蘿蔔素、硫胺素)。然而，在2014年2月14日中時電子報^[1]報導台南仁德一間地下工廠，以及同年中時電子報^[2]報導4月16日苗栗一家地下

工廠，兩家工廠皆為專門生產豆芽菜的廠商，而不肖業者為了使賣相好，大量買進俗稱「保險粉」的工業用漂白劑「亞硫酸鈉」，在豆芽菜出貨前浸泡 10 分鐘，豆芽菜立刻變身，變得非常的白皙，但這種漂白劑，會讓食用者生病，甚至致癌。

三、文獻探討

(一)、冷凍貨櫃製冷機組^{[7][9]}

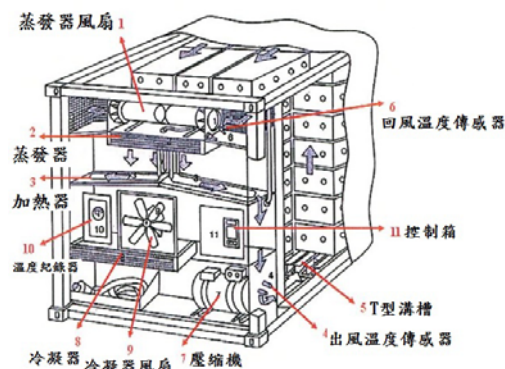


圖 1 冷凍貨櫃製冷機組之基本構造

冷凍貨櫃的製冷機組一般裝置於前方，循環於貨櫃內的冷空氣，藉由蒸發器風扇馬達通過蒸發器進行熱交換，然後通過加熱器、出風口溫度傳感器，由下方出風口進入 T 型溝槽，而冷空氣再藉由 T 型溝槽循環於整個貨櫃內部，當冷空氣與內部的物品進行熱交換後，氣流再由下往上迴流進入蒸發器回風口(圖 1)。

(二)、芽菜

豆芽菜一年四季無論何時均可培養，尤其是在缺乏蔬菜之夏季，相當受到消費者喜愛。培養芽菜所需之溫度以 23 ~ 25 °C 較為合適。

芽菜被微生物污染的情況，被認為來源是從種子開始，可能是因為發芽前不正確的消毒與殺菌，而不是芽菜生產過程中而污染的，此外發芽的過程通常是在潮濕和溫暖的環境，提供了適宜的條件給病原體生長。食品藥物管理局(FDA)建議種子發芽前先行消毒，因為消毒對種子發芽能有效的減少污染，因此在種子進行發芽的前處理對於安全性是非常重要的。

(三)、芽菜的前置處理

芽菜種子本身可能帶病菌或蟲卵，若影響了整個貨櫃內部的芽菜，可能損失慘重，所以在種植前必須做前置作業。並分析內部溫度場是否均勻分佈，配合以上兩項處理結束後再進行冷凍貨櫃的內部栽培，除去人為因素以免造成此設施系統無法栽培的情況，經實驗得知此栽培系統進行的可行性。

種子在購入後放置於溫度 25 °C 下且避免陽光照射的地方，在進行實驗前先以人工肉眼挑選芽菜種子，將壞死、損傷、發霉等之不良劣質芽菜種子先篩選去除(如圖 2 所示)，經選別後之種子再進行處理實驗，以防因芽菜種子之品質而造成實驗的問題產生。

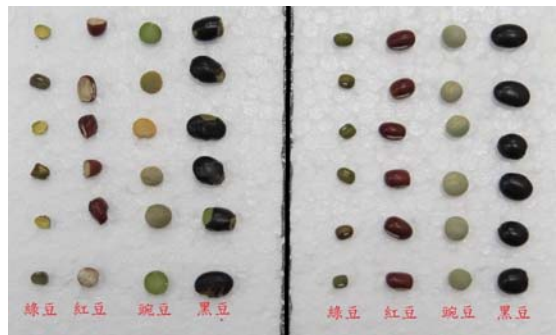


圖 2 豆類篩選；左為劣質品，右為良品

(四)、施壓與不施壓

本實驗分為施壓栽培與正常栽培，在施壓栽培方面，施加壓力時間點為芽菜生長至約 3 cm 最適合進行(如圖 3 所示)此時時間約栽種過後的第 3~5 天(視芽菜種類不同而改變量測時間)左右。



圖 3 施壓栽培(左)與未施壓栽培(右)

四、研究設備

本實驗最主要的這備是改良後冷凍貨櫃，改良後冷凍貨櫃可以控制其室內溫濕度，達成一個恆溫的環境，再藉由不同的栽培介質來進行芽菜之栽培研究，探討芽菜在不同介質生長與生長特性之關係，藉以了解芽菜在何種介質下生長情形最佳。

(一)、栽培設備：

1. 冷凍貨櫃(如圖 4): 其結構為一鋁製材質，規格為 40 呎(長×寬×高為 12.2m×2.44m×2.9m)。
2. 製冷壓縮機(如圖 5、圖 6)。
3. 栽培架(如圖 7): 為充分利空間，以提高生產場地之利用率，可行立體栽培。立體栽培時，可設計固定或活動式多層栽培架。栽培架可用角鋼、木材或竹子製作，可分 4-6 層。層間距離適當，整體結構合理，牢固不變形，能使苗盤擺放達到水平狀態。
4. 選用質輕之塑膠育苗盤(如圖 8)，其規格為長 60 公分、寬 30 公分、高 3 公分，約重 609.43 公克。
5. 微霧機噴淋裝置(如圖 9、圖 10): 高壓噴嘴之材質為銅，牙徑為 10/24 UNC，其型號為 01 - 20，孔徑為 0.2 mm，射程可達 3 公尺，每分鐘流量約 76 C.C.。自動噴淋裝置，控制其間格時間以及噴灑時間，貨櫃

內有灑水孔，噴灑出水為霧狀，有多個灑水孔，此裝置可協助控制貨櫃內之溫度及濕度。

6. 恆溫水槽(如圖 11):Grant LTD6G。

(二)、栽培介質:

1. 培養土(如圖 12):GRAMOFLO 福壽牌固根土。肥料品目:有機質栽培介質。登記成分:全氮 1.3%、全磷酐 0.3%、全氧化鉀 0.3%、有機質 81.1%。水分含量 48.7%、pH 值 7.7、電導度值 1.6dS/m。
2. 紙巾(如圖 13):可立雅廚房紙巾。主要成分:100%原生紙漿。

(三)、環境介質:

1. 流動水及無流動水(如圖 14~圖 16):製作兩不鏽鋼盒(如圖 15)，一個挖五個洞利於排水，另一個無洞為無流動水，放置在由木板製作的木箱裡栽培，並在木箱外套上黑色垃圾袋以免光源照入。
2. 白光綠光(如圖 17):白光 LEDX2、綠光 LEDX3，並連接電源供應器實施照光栽培。
3. 抗菌不鏽鋼盒(如圖 18):為長 34.5cmX 寬 24cmX 高 13cm 的不鏽鋼鐵箱。

(四)、量測設備:

1. 大屏幕 LCD 數位電子溫濕度計 WD-5016(如圖 19):測量範圍 $0^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 、濕度範圍 10%~95%R。
2. 數位電子卡尺(如圖 20):Mitutoyo(日本三豐)，解析度 200mm/0.01mm。
3. 數位電子秤(如圖 21):SHIMADZU LIBROR EB-2200HU。



圖 4 冷凍貨櫃



圖 5 製冷壓縮機



圖 6 製冷壓縮機模組



圖 7 栽培架

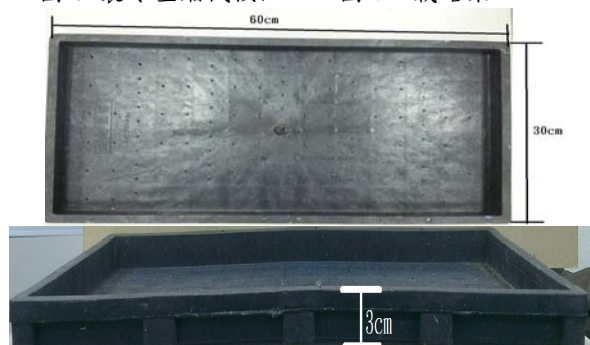


圖 8 育苗盆



圖 9 微霧機噴淋裝置主機



圖 10 噴淋裝置噴水口



圖 11 恆溫水槽



圖 12 固根土



圖 13 可立雅紙巾



圖 14 木箱



圖 15 不鏽鋼盆



圖 16 流動水實驗



圖 17 白光綠光



圖 18 抗菌不鏽鋼盒



圖 19 溫溼度計



圖 20 數位電子卡尺



圖 21 數位電子秤

芽菜一年四季皆可培養生長，並不會受到氣候的影響，而對以現在缺乏蔬菜的夏季來說，相當受到消費者的喜愛，最為重要的是，芽菜所需要的溫度約為室溫 25℃，較適合種植。芽菜的供應量要求增長，是因為芽菜是具有豐富營養的蔬菜，含有蛋白質、碳水化合物、礦物質和維生素。

芽菜最容易種失敗的原因在於種子，故在種植前需消毒與殺菌，消毒完之豆子需進行選豆，選擇外觀良好無損壞之豆子，播種後的發芽過程只需注意避免太過於潮濕，就可種植成功。若太潮濕易產生發霉的現象。芽菜種植的過程大約為以下六項(表 1)：

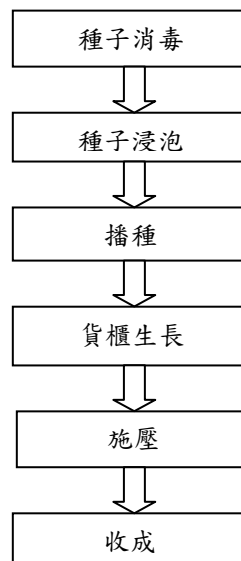


表 1 芽菜處理程序表

一、種子消毒：

熱水速燙：種子表面本身可能帶有病菌，若沒有進行消毒動作，會影響整個育苗盆的芽菜，所以這是種植前必要的前置動作。針對部分皮殼較厚的種子，採用 60℃ 至 80℃ 的熱水燙泡。種子倒入熱水中約五分鐘，可殺死種子外面的病菌又可起到催芽作用。

二、種子浸泡催芽：

溫水浸種法：用溫水浸種 6—12 小時，瀝乾置於容器內。種子催芽為打破種子休眠，創造最佳條件，從而達到適時播種、適時出苗，實現苗齊、苗全、苗壯的目標。

三、播種：

將浸種完並選完豆之良好種子，每盆平均約 250 公克灑落育苗盆中，須注意豆子要平均放置，若太擁擠會導致豆子生長不良。栽培的密度越密雖可以增加單位面積產量，但是會造成生長不齊，不會達到想要的成果。若又過於疏散會使單位面積產量降低，所以根據台南區農業專訊^[13]研究結果，每盤 30cmX60cm 之育苗盆以 250 公克較佳。

四、貨櫃生長：

放置在冷凍貨櫃中，並調整環控設備溫度至 25℃，在芽菜的生長過程中，溫度極為重要，溫度太低會抑制生長，太高溫也會抑制生長更有可能有病害產生。而冷凍貨櫃的控制極為重要，需具備以下的條件：

(一)、溫度：

具備能經常保持室內在控制的範圍內，正負約為 1℃ 左右，可利用通風、噴霧、空調系統等設施，以達到生產

五、研究內容與方法

所要求的適宜溫度。

(二)、濕度:

利用微霧機控制濕度，讓其保持在 75%-85%左右。

(三)、光照:

生產場地的光照條件，與芽菜產品的形態有密切的關係。因為芽菜非常忌諱強光照，故應迴避強光照場所。故室內應保持黑暗或弱光狀態。

(四)、通風:

栽培設施內能進行自然或強制通風，通過對流經常保持室內空氣清新，並使晝夜空氣相對濕度維持在 60~90%，以利豆芽生長。

(五)、水源:

需具有充足水源，水質清潔。本實驗用水為地下水。

五、施壓:

施壓最主要的目的:芽菜在生長中，遇到外力的阻擾或在密集環境內，會因芽菜和芽菜間的擠壓，而釋出乙烯，而乙烯對芽菜來說，是最天然而且最好的生長催化劑，可以使芽菜生長較一般芽菜粗，但因施壓的關係，芽菜可能較短，而施壓栽培的目的在於迎合消費者的需求。

六、收成:

種植約 6 天左右，就可以進行收成，收成後針對生長重量、莖高度、直徑作為探討。葉部與根部不列入記錄，以莖的長度決定本芽菜之長度，並使用游標卡尺量測數據。

六、結果與討論

我們的進行三到四次實驗，每次實驗的每一天隨機抽選 20 株芽菜進行測量，並算出平均值。據文獻探討，以適合芽菜生長環境溫度 25℃、濕度 80%來進行冷凍貨櫃栽培。經實驗各介質數據分析(如圖 22-36)

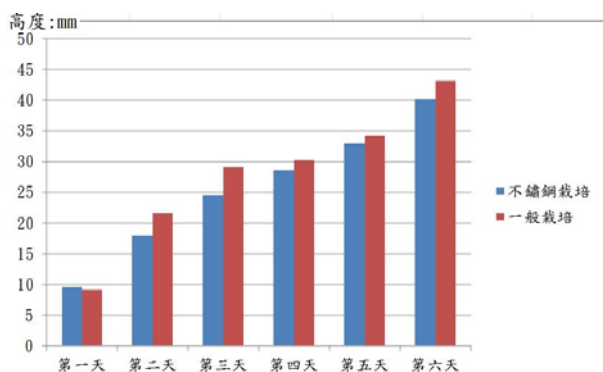


圖 22 抗菌不鏽鋼盒與一般栽培綠豆高度分析

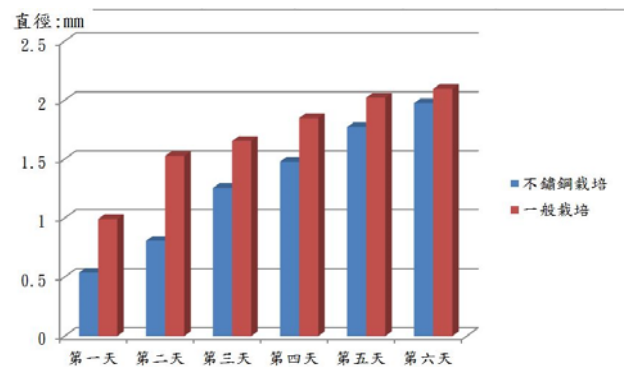


圖 23 抗菌不鏽鋼盒與一般栽培綠豆直徑分析

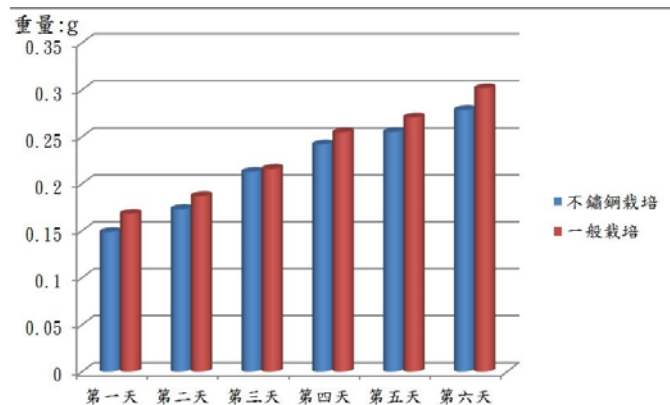


圖 24 抗菌不鏽鋼盒與一般栽培綠豆重量分析

抗菌不鏽鋼與一般栽培，由高度分析圖來看第一天是抗菌不鏽鋼較高但之後是由一般栽培高度一路領先抗菌不鏽鋼，而直徑分析圖來講，一般栽培遙遙領先，直到最後收成時，抗菌不鏽鋼才稍微追上一般栽培，最後是重量分析圖，重量就不像高度，直徑相差很多，是一個很平緩的成長，我們推測是環境影響生長，抗菌不鏽鋼放置於宿舍，宿舍溫度較悶熱，不宜控制溫度，相反的是，一般栽培在冷凍貨櫃，可控制生長條件。

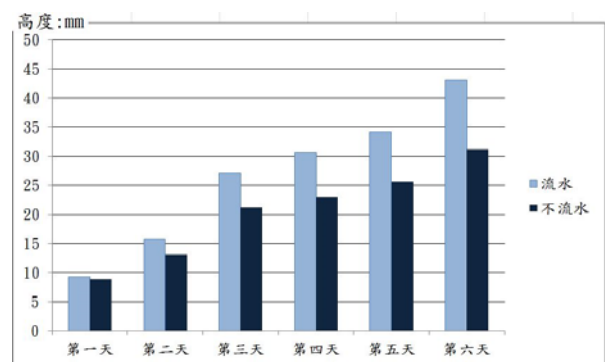


圖 25 流動水與無流動水綠豆栽培高度分析

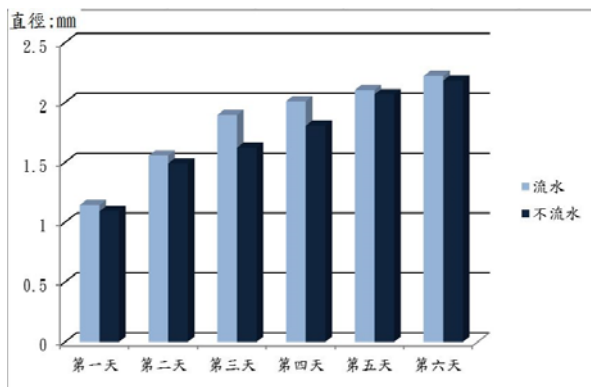


圖 26 流動水與無流動水綠豆栽培直徑分析

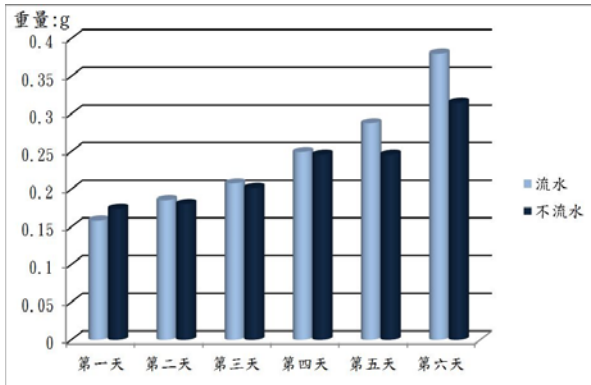


圖 27 流動水與無流動水綠豆栽培重量分析

流動水與無流動水，藉由高度分析圖，可以很明顯的看出流動水生長的非常良好，收成時流動水遠遠高於無流動水，直徑分析度而言，就沒像高度相差甚多，收成時，流動水僅僅略寬於無流動水，最後重量分析圖，相差最多的是在收成的時候，由流動水高於無流動水，我們推測是流動水養分不斷提供，而無流動水並無持續提供養分，才會相差很多。

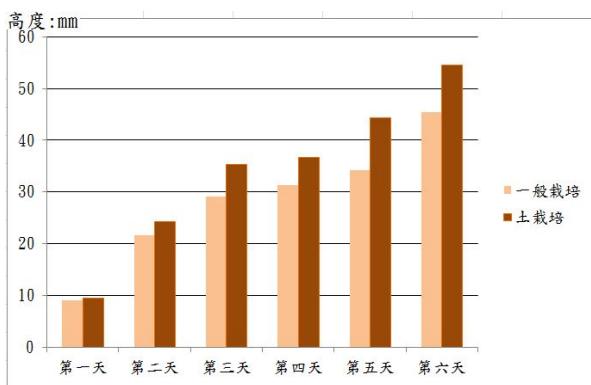


圖 28 冷凍貨櫃一般、土壤栽培綠豆高度分析

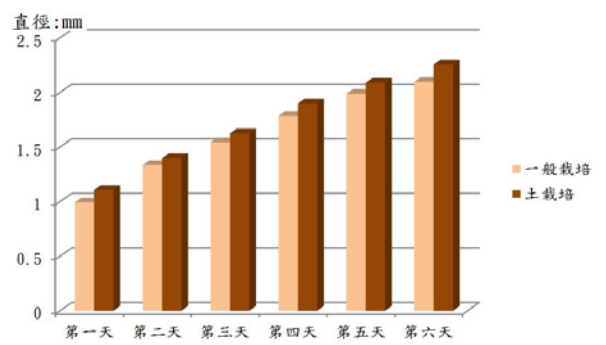


圖 29 冷凍貨櫃一般、土壤栽培綠豆直徑分析

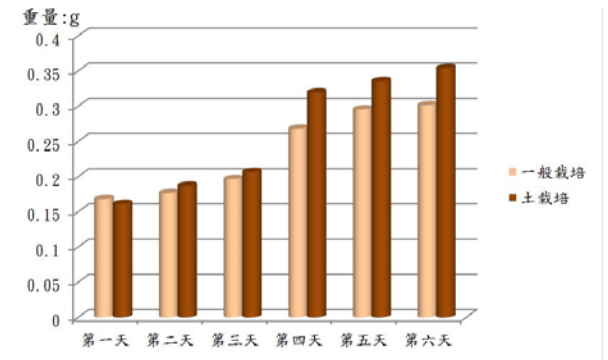


圖 30 冷凍貨櫃一般、土壤栽培綠豆重量分析

一般栽培與土壤栽培，藉由高度分析圖可看出，土壤的高度在第三天就開始高於一般栽培直到收成相差甚多，直徑分析圖，一般栽培與土壤栽培成長的非常平穩，都相差不多，但最後收成時還是由土壤栽培較寬許多，重量分析圖，前三天成長較緩慢，第四天時成長突然遽增，但收成時還是由土壤栽培種許多，我們推測是土壤中含有豐富的養分提供生長所需，可使芽菜成長良好。

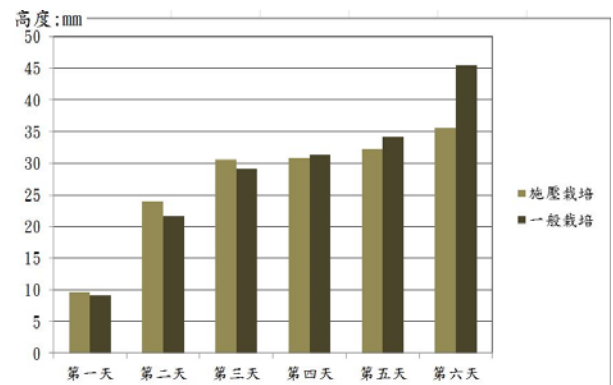


圖 31 冷凍貨櫃一般、施壓栽培綠豆高度分析

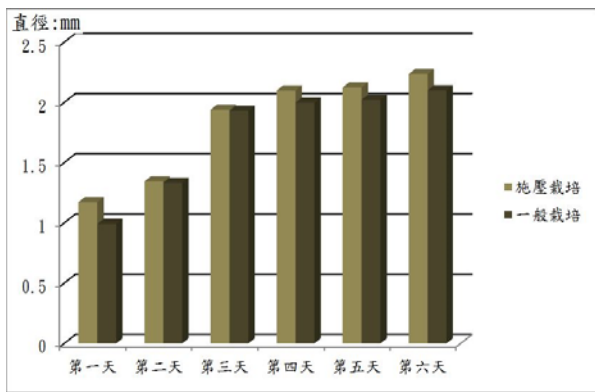


圖 32 冷凍貨櫃一般、施壓栽培綠豆直徑分析

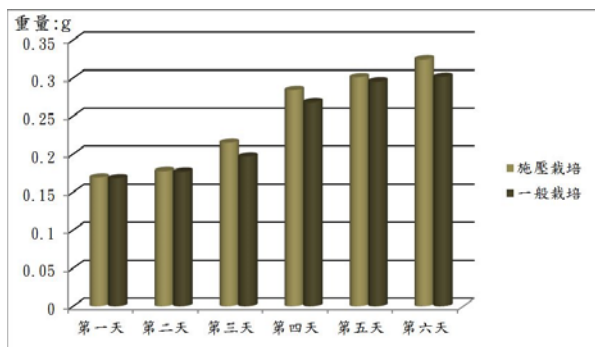


圖 33 冷凍貨櫃一般、施壓栽培綠豆重量分析

一般栽培與施壓栽培，施壓栽培是在約 30mm 左右時進行施壓動作，所以從高度分析圖可看出第三天之後，施壓栽培高度就沒明顯增加，反而是無施壓的一般栽培持續上升，所以在收成時一般栽培高於施壓栽培，直徑分析圖，施壓栽培的直徑到收成時一直都比一般栽培還要粗許多，重量分析圖，也可很明顯看出第三天之後，重量就有明顯的差別，但還是由施壓栽培的芽菜較為重。

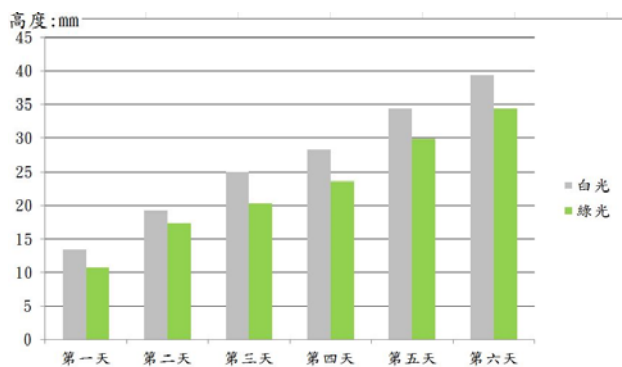


圖 34 冷凍貨櫃白綠光綠豆栽培高度分析

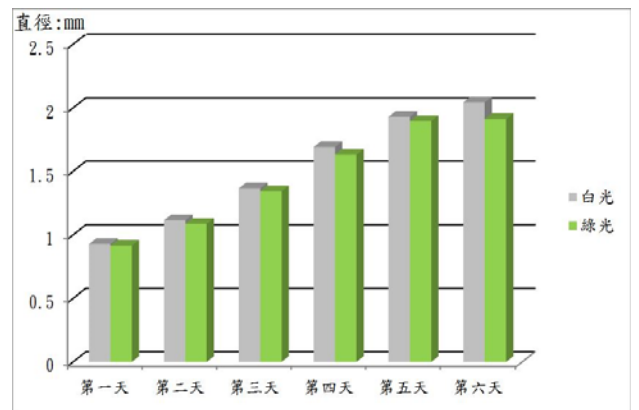


圖 35 冷凍貨櫃白綠光綠豆栽培直徑分析

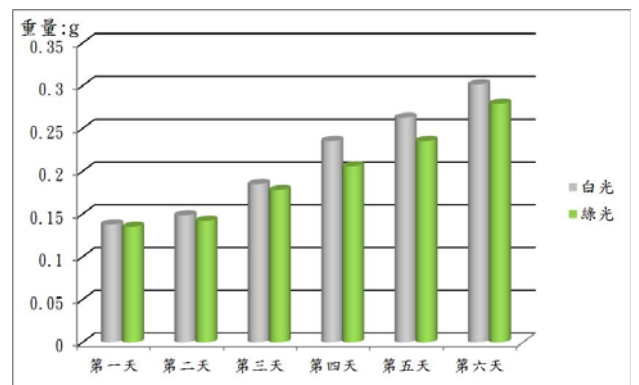


圖 36 冷凍貨櫃白綠光綠豆栽培重量分析

綠光栽培實驗，據文獻探討中的研究結果對芽菜而言，綠光類似無光源，而我們為了比對結果使用白光假設為陽光照射，高度分析圖中可看出白光長得非常良好，幾乎都高於綠光栽培，而直徑分析圖就不像高度分析度相差較多，直到收成時，白光才略寬於綠光，重量分析圖，第三天前成長較緩慢，第四天開始成長就比較快許多，收成時還是由白光栽培重許多。

七、結論

本研究應用冷凍貨櫃進行綠豆芽菜的栽培，來解決耕地面積不足的問題及安全的有機食品，我們以半自動化的方式進行芽菜的栽種，利用微霧機來維持室內濕度、製冷壓縮機進行溫度控制，種植期間我們遇到芽菜發霉及栽培介質、水源、氣候條件的問題，探討許多文獻也嘗試許多的栽培方式，一直不斷的找尋新栽培方式，最終發現利用冷凍貨櫃控制其溫度約 25 °C，濕度約 80%，經分析各介質栽培(如圖 37. 38. 39)施壓栽培(紙巾栽培)，是目前實驗最有效及低成本低勞工的培養方式。

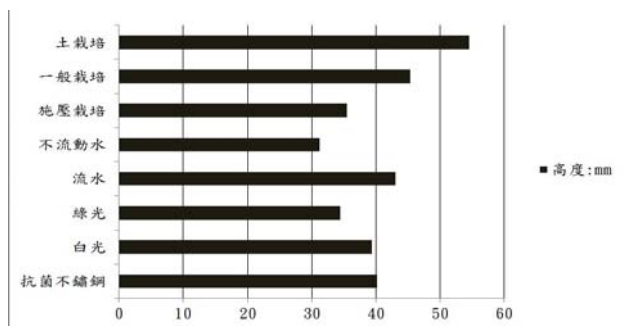


圖 37 各介質栽培高度分析結論表

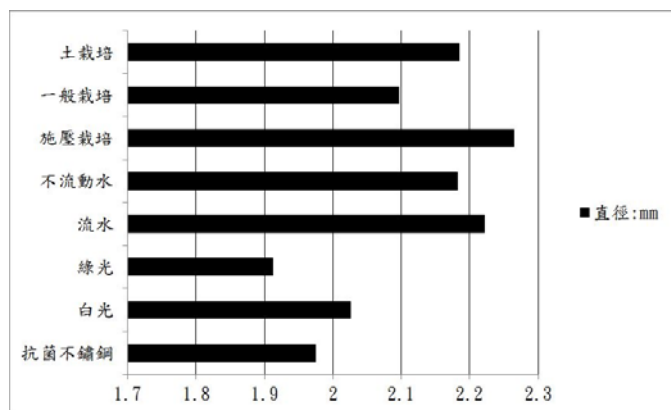


圖 38 各介質栽培直徑分析結論表

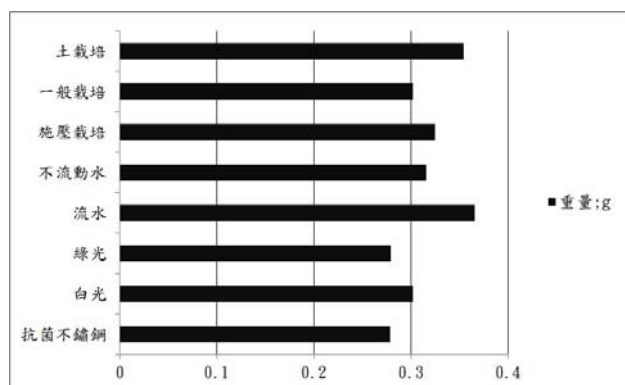


圖 39 各介質栽培重量分析結論表

結合以上各介質數據的分析圖來講解施壓栽培為何是最有效的原因，就高度部分而言，最高為土壤栽培其次為一般栽培及流水栽培，是因只有施壓栽培有做施壓，其他並無做施壓動作，才會比施壓栽培還要高很多，直徑分析圖中，就很容易可以看出，施壓栽培是最粗的栽培方式，其他方式都低於施壓栽培，其次為流水及土壤栽培，重量分析圖，流水及土壤栽培是較重的栽培結果，然後才是我們的施壓栽培。綜合以上結果，可能會說土壤栽培及流水栽培應該才是最好的方法，但土壤栽培需要用到大量的土及芽菜會因土栽培長出側根，側根會攀住泥土，不好收成及不好清理，是耗時又耗勞工，而流水是不斷流水的方式提供養分，非常浪費水資源，是不環保的栽培方式，所以我們才會說施壓栽培才是最有效及低成本低勞工的栽培方式。

八、致謝

首先我們要感謝指導老師，洪辰雄老師，在我們製作專題有問題無法解決的時候，洪老師總是不厭其煩，適時的給予指導與建議，讓進度不至於停滯不前，使我們的專題能夠適時地完成。

其次要感謝實驗室裡的學長，邱馨標學長，能適時地指導我們，讓我們在實驗時更加順暢。最後我們要感謝給予熱心幫忙的同學，在這裡致上我們最深的謝意。

九、參考文獻

- (1) 中時電子報 2014 年 02 月 14 日
(<http://www.chinatimes.com/newspapers/20140214000843-260106>)。
- (2) 中時電子報 2014 年 04 月 16 日
(<http://www.chinatimes.com/realtimenews/20140416004464-260402>)。
- (3) 太平洋有機農藝
(<http://www.kainet.twmail.net/0986899430/recipes.htm>)。
- (4) 台南區農業改良場技術專刊 85-2
(No. 66)(<http://book.tndais.gov.tw/Brochure/tech66.htm>)。
- (5) 台南區農業改良場技術專刊 87-8 (No. 80)—雲嘉南地區紅豆栽培技術
(<http://book.tndais.gov.tw/Brochure/tech80.htm>)。
- (6) 農業委員會臺中區農業改良場—豌豆芽生產技術
(<http://tdares.coa.gov.tw/view.php?catid=2293>)。
- (7) 邱馨標、林郁舜、黃信毓、洪辰雄，冷凍貨櫃式植物工廠進行芽菜栽培之研究，北京科技大學第八屆學術交流研討會碩士論文，屏東科技大學，2013。
- (8) 客家新聞雜誌 307 集，捨高薪，種芽菜。
- (9) 林郁舜，冷凍貨櫃式植物工廠進行綠豆芽菜栽培之研究，碩士論文，屏東科技大學生物機電工程系，2012。
- (10) 陳秉宏，冷凍貨櫃內流場分布對果蔬保鮮影響之研究，碩士論文，屏東科技大學機械工程系研究所，2006。
- (11) 郭明輝，水產品貨櫃裝載實務，2003。
- (12) 農業生產自動化尖兵芽菜生產自動化，台南區農業專訊，1993，第 5 期，6-8。
- (13) 種芽菜，鄭涵睿的創業之路，2011(<http://www.newsmarket.com.tw/blog/2419/>)。
- (14) 蔬菜園—專注於蔬菜技術交流的蔬菜網站—豌豆芽苗菜生產技術
(<http://www.shucaiyuan.com/Technology/7/1042.shtml>)。
- (15) 簡淇明著，芽菜·強身·治百病，青春出版社。

Study on Of Cultivation of Bean Sprouts With Freezer Plant Factory in Different Media

Student name: Tsung-han Tsui
Chia-han Chen
Tzu-chieh Lin

Advisor : Chen-Hsiung Hung

Department of Biomechatronics Engineering
National Pingtung University of Science and
Technology

Abstract

The purpose of the experiment is the topic to be modified into a freezer container for a variety of plant cultivation systems grow sprouts, bean sprouts and explore in different media (eg: growth media, environmental media) the growth of discussion.

In sprouts growth process, it doesn' t need any light, so it fits to plant in freezing containers. Freezing containers can control and contain the right temperature, and doesn' t have disease and bacteria. In our experiment, we set the fog-made machine in the freezing containers, let the machine spray water in sprouts growth process to hold the humidity.

In the following different media, the growth is also different, the experiment is study various media, for the growth of sprouts in freezing containers made to explore and to achieve only put sprouts into containers, the sprouts factory , which can grow up the sprouts in the freezing containers.