

國立勤益科技大學

冷凍空調與能源系碩士班

碩士論文

太陽能電池應用於魚菜共生系統  
之建構與測試

研 究 生：蕭志欣

指 導 教 授：許守平 博士

共同指導教授：余光正 助理教授

中 華 民 國 九 十 九 年 六 月

# 博碩士論文授權書

(國科會科學技術資料中心版本 93.2.6)

本授權書所授權之論文為本人在 國立勤益科技 大學(學院) 冷凍空調與能源 系所

組 98 學年度第 二 學期取得 碩 士學位之論文。

論文名稱：太陽能電池應用於魚菜共生系統之建構與測試

同意  不同意 (政府機關重製上網)

本人具有著作財產權之論文全文資料，授予行政院國家科學委員會科學技術資料中心、國家圖書館及本人畢業學校圖書館，得不限地域、時間與次數以微縮、光碟或數位化等各種方式重製後散布發行或上載網路。

本論文為本人向經濟部智慧財產局申請專利(未申請者本條款請不予理會)的附件之一，申請文號為：\_\_\_\_\_，註明文號者請將全文資料延後半年再公開。

同意  不同意 (圖書館影印)

本人具有著作財產權之論文全文資料，授予教育部指定送繳之圖書館及本人畢業學校圖書館，為學術研究之目的以各種方法重製，或為上述目的再授權他人以各種方法重製，不限地域與時間，惟每人以一份為限。

上述授權內容均無須訂立讓與及授權契約書。依本授權之發行權為非專屬性發行權利。依本授權所為之收錄、重製、發行及學術研發利用均為無償。上述同意與不同意之欄位若未鈎選，本人同意視同授權。

指導教授姓名：許守平、余光正

研究生簽名：蕭志欣  
(親筆正楷)

學號：B 97/6/03  
(務必填寫)

日期：民國 99 年 7 月 14 日

1. 本授權書 (得自 <http://sticnet.stic.gov.tw/sticweb/html/theses/authorize.html> 下載或至 <http://www.stic.gov.tw> 首頁右下方下載) 請以黑筆撰寫並影印裝訂於書名頁之次頁。
2. 授權第一項者，請確認學校是否代收，若無者，請個別再寄論文一本至台北市(106-36)和平東路二段 106 號 1702 室 國科會科學技術資料中心 黃善平。  
(本授權書諮詢電話:02-27377606 傳真:02-27377689)

本案依據教育部國家圖書館 85.4.19 台(85)圖編字第 712 號函辦理。

附件四 授權書樣本

## 博碩士論文電子檔案上網授權書

(提供授權人裝釘於紙本論文書名頁之次頁用)

本授權書所授權之論文為授權人在 國立勤益科技大學(學院) 冷凍空調與能源 系所取得 碩 士學位之論文。

論文題目：太陽能電池應用於魚菜共生系統之建構與測試

指導教授：許守平、余光正

茲同意將授權人擁有著作權之上列論文全文(含摘要)，非專屬、無償授權國家圖書館及本人畢業學校圖書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或其他各種數位化方式將上列論文重製，並得將數位化之上列論文及論文電子檔以上載網路方式，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

- 讀者基於非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文，應依著作權法相關規定辦理。

授權人：

簽名：蕭志欣 中華民國 99 年 7 月 14 日

國立勤益科技大學  
冷凍空調與能源系碩士在職專班  
論文口試委員會審定書

本校 冷凍空調與能源系碩士班 蕭志欣 君

所提論文 太陽能電池應用於魚菜共生系統之建構與測試

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

口試委員：胡耀祖 \_\_\_\_\_

趙有光 \_\_\_\_\_

許守平 \_\_\_\_\_

指導教授：許守平 余光正 \_\_\_\_\_

系(所)主管：駱文傑 \_\_\_\_\_

中華民國 99 年 6 月 12

太陽能電池應用於魚菜共生系統  
之建構與測試

**The Establishment and Testing for Applications of  
Solar PV in an Aquaponic System**

研 究 生：蕭志欣

指 導 教 授：許守平 博士

共同指導教授：余光正 助理教授

國立勤益科技大學  
冷凍空調與能源系碩士班  
碩士論文

A Thesis

Submitted to

National Chin-Yi University of Technology  
In Partial Fulfillment of the Requirements  
for the degree of  
Master of Science

in

Department of Refrigeration, Air-Conditioning  
and Energy Engineering

June 2010

Taiping, Taichung, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年六月

# 太陽能電池應用於魚菜共生系統之建構與測試

研究生：蕭志欣

指導教授：許守平 博士

共同指導教授：余光正 助理教授

國立勤益科技大學冷凍空調與能源系碩士班

## 摘要

本研究嘗試將屬於再生能源之太陽能電池，搭配高效能直流無刷供水幫浦之節能技術，應用於精緻農業之水耕栽培系統中，建立植物栽培與複合養殖環境之魚菜共生試驗模組，並藉理論分析與實驗測試，探討太陽能電池實際使用於精緻農業上之可行性，以及環境參數對實際魚產與蔬果收穫量的影響。

本研究系統應用最符合經濟效益之機電設備及環控技術，並利用水耕栽培的方式種植蔬菜，同時配合魚產養殖的模式，以達到節能減碳、生態平衡及資源再利用的境界，創造出消耗最少的能源而生產出有機無毒食物之生活環境。

實驗結果顯示，在有限的空間以及能源使用之下，只要做好結構的安排設計，以及有效的能源控制，確實可以達到目標。

就魚菜共生的系統裡，水耕之植物根部吸收養分亦同時也可達到淨化水質之功能，且在適當環境之光合作用下，亦能獲得淨化室內空氣品質之效益。

綜合以上所述，相關技術配合與實驗測試結果，本研究確實可行，可將冷凍空調與能源技術之應用，跨領域與精緻農業做為結合，為競爭激烈的冷凍空調市場找到出新的方向。

**關鍵詞：**太陽能電池、魚菜共生、水耕栽培。

# **The Establishment and Testing for Applications of Solar PV in an Aquaponic System**

**National Chin-Yi University of Technology  
Department of  
Refrigeration, Air-Conditioning and Energy Engineering**

## **Abstract**

This study is aimed at exploring the feasibility of applying renewable energy to post-modern agriculture. This research utilized solar PV system and DC driver high-efficiency water pumps to set up hydroponics and aquaponics, which is a symbiotic cultivation of plants and aquatic animals in a reciprocity environment.

This study shows that the electrical equipment and the environment control technology adopted in the aquaponic system are economical. The experiment data shows that , with hydroponics and auqaponics, energy is saved, ecological equilibrium is maintained and resources are reused.

**Key words : Solar PV 、 Aquaponic System 、 Hydroponics**

## 誌謝

首先要感謝我的指導教授 許守平博士及余光正老師，在研究所二年的學習過程之中，不斷的帶給我們新的觀念，在職進修除了把書讀好以及家庭照顧好之外，最重要的就是要將所學變成自己或是公司的利基，增加在市場上的競爭力，並且發掘及創造出新的商機；因此，在實驗研究魚菜共生的這段時間，我也買了一塊農地(2500 平方公尺)，實際的進行小規模的田間實驗，時常做到晚上 00:00，雖然很累但是很高興，因為理論與實務確實是可以聯結的，魚菜共生所種出來的草莓，比普通化學液肥水耕的草莓好吃，而且經過巧妙的設計與控制，無需農藥及生長激素的夏日草莓也實驗成功了，這是多麼令人振奮的結果啊！

還有來自工研院的老師:胡耀祖博士、簡國祥博士、張鈺炯博士，無私的教導我們最新技術，讓我們有幸接觸一般人不易得知的新知識。

以及系上主任駱文傑博士與教過我們的老師王輔仁博士與管衍德博士的教導與關懷，使我們可以在勤益的二年之中快樂的學習與成長。

最後要感謝我生命中最重要的人，從小到長期培育我的爸爸和媽媽，還有老婆(玫燕)與兩位可愛的小朋友(好安、辰安)，感謝他們長久以來給予無限的關懷、鼓勵與支持。

這是我的第二個碩士學位，也非常感謝我在國立雲林科技大學企業管理研究所的指導教授，現任系主任兼所長的耿筠博士支持、鼓勵我朝向自己想要的目標前進。

也感謝農委會舉辦漂鳥計畫，我參加過台中區農改場的漂鳥營(白鷺營)、種苗改良場的築巢營(設施栽培班)、苗栗區農改場的築巢營(草莓栽培技術班)，使我在進行魚菜共生研究之實驗時能夠快速上手。

此份榮耀將呈獻給家人，與教導過我的師長，以及共同學習成長的同學和學長及學弟們，衷心的感謝！

蕭志欣 謹誌於國立勤益科技大學冷凍空調與能源系(所)

中華民國 99 年 6 月



# 目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	vi
圖目錄	vii
一、緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機及研究目的	2
1.3 研究範圍界定	3
1.4 研究流程	4
二、文獻探討	6
2.1 太陽能電池的種類	6
2.2 水耕栽培	10
2.3 植物生長要素	13
2.4 水產養殖之水質處理方法	16
2.5 硝化作用	17
2.6 魚菜共生系統	19
三、研究系統之建構	21
3.1 太陽能電池系統之建構	25
3.2 魚菜共生系統之建構	28
3.3 太陽能電池與魚菜共生系統之控制系統	34
3.4 實驗方法	36

四、研究結果與分析	48
4.1 研究資料分析	48
4.2 研究結果	55
五、結論與建議	64
5.1 研究結論	64
5.2 本研究之貢獻	66
5.3 後續研究建議	67
5.4 研究限制	67
參考文獻	68
附表一	70



## 表目錄

表 2-1 太陽能電池不同材料之製作方法與發電效率·····	6
表 2-2 各種能源設備之能源轉換過程與轉換效率·····	9
表 2-3 水耕各種栽培介質之特性·····	10
表 2-4 水耕與土耕栽培的比較·····	12
表 2-5 各元素對植物生長之主要作用·····	14
表 3-1 太陽能電池應用於魚菜共生系統所需儀器及設備表·····	23
表 3-2 短期蔬菜土壤診斷適宜參考·····	31
表 3-3 水耕栽培液之電導度值之合適範圍·····	32
表 3-4 水中的溶氧量與溫度間關係·····	33
表 3-5 數位照度計之規格·····	38
表 3-6 數位二氧化碳測試器之規格·····	43
表 3-7 數位氧氣分析儀之規格·····	44
表 3-8 數位酸鹼度計之規格·····	45
表 3-9 數位電導度計之規格·····	46
表 4-1 水耕栽培作物後續實驗之成果比較表·····	58
表 4-2 太陽能電池應用於魚菜共生系統所需要之設備與費·····	61
表 4-3 使用一般電力之水耕設備系統所需要之設備與費用·····	62

## 圖目錄

圖 1-1 研究流程圖	5
圖 2-1 太陽與各種能源之間的轉換關係	8
圖 2-2 水耕栽培固定方式之分類	11
圖 2-3 土壤生態系知氮素循環系統	13
圖 3-1 太陽能電池應用於室內植栽之魚菜共生系統之模型側視圖	24
圖 3-2 本研究所使用之太陽能電池及規格圖	27
圖 3-3 魚菜共生系統控制設備實體圖	27
圖 3-4 魚菜共生系統示意圖	29
圖 3-5 太陽能電池之控制電路配置圖	35
圖 3-6 數位照度計	38
圖 3-7 實驗組魚菜共生系統及對照組之實體圖	41
圖 3-8 數位二氧化碳測試器	43
圖 3-9 數位氧氣分析儀	44
圖 3-10 數位酸鹼度計	45
圖 3-11 數位電導度計	46
圖 3-12 魚菜共生系統魚產重量與植物光照度數據量測圖	47
圖 4-1 照度(Lux)與太陽能電池對鉛蓄電池充電之記錄曲線圖	49
圖 4-2 照度(Lux)與太陽能電池直接供應馬達運轉之記錄曲線圖	50
圖 4-3 照度(Lux)與太陽能電池對鉛蓄電池充電並供應馬達運轉之記錄曲線圖	50
圖 4-4 照度(Lux)與整體電路系統之記錄曲線圖	51
圖 4-5 實驗組(魚菜共生)之記錄曲線圖	53
圖 4-6 對照組(單魚缸養殖)之記錄曲線圖	53
圖 4-7 對照組(單水耕種菜)之記錄曲線圖	54
圖 4-8 實驗組與對照組之魚與菜記錄曲線圖	54

圖 4-9 太陽能發電設施之照片	56
圖 4-10 控制電路系統之照片	56
圖 4-11 魚菜共生系統之照片	57
圖 4-12 單魚缸養殖系統之照片	57
圖 4-13 單水耕種植蔬菜系統之照片	58
圖 4-14 光照時間與光照強度(Lux)與室內環境栽培之示意圖	60
圖 4-15 光照時間與光照強度(Lux)與戶外環境栽培之示意圖	60
圖 4-16 後續實驗實驗組與對照組水耕栽培作物之照片	60



# 一、緒論

## 1.1 研究背景

在地球上人類人口數越來越多的情況下，對於食物以及消耗能源的需求越來越大，但是地球地底下所剩下的石油卻不多了；根據聯合國人口基金會的統計，現今世界人口維持在 62.8 億左右，比 1960 年多了 30 億人口，幾乎是增加了一倍的數量。

因此人口快速增加所衍生的問題，例如：糧食、能源、水資源、生態環境等都將成為人類與萬物能否永續生存下去的重要的課題。

能源的運用對於國家及社會與生活品質的進步具有相當大的貢獻，但是過度的能源開發，如石油及煤礦的開採及不當的水力發電設備，也對環境及生態造成極大的污染、破壞與傷害。

我國地處北迴歸線是屬於亞熱帶氣候，因此四季分明，可以依據作物對溫度之適應及需求，全年度都可以生產不同的經濟作物與糧食。但是我國已經進入開發國家，人事工資成本很高，以及可用耕地面積皆知不大而採用密集式的農業生產方式，更由於消費者對農作物外觀與品質的要求、以及農民對高產量及高利潤較需求下，必須借重大量的化學肥料、農藥等的幫助以增加產量，因此造成農田地力的衰退與地下水污染問題的發生。

台灣在每年 2~3 月期間，氣溫適合各種葉菜類作物的生長，因此大量的產出造成供過於求的狀況使得菜價暴跌，常常在電視上看到 5 塊錢一顆高麗菜的新聞；但是在颱風或是豪雨之侵襲的季節，就會看到蔬菜一斤幾百元，吃菜比吃肉還貴的情形發生，就是因為蔬果之供銷不穩定，因此台灣有一句非常貼切的民間諺語：「菜金菜土」，其意思就是蔬菜有時賤價如地上的泥土，有時候蔬菜卻昂貴如黃金一般的價格。

## 1.2 研究動機及研究目的

近年來由於溫室效應而導致天氣狀況的異常，許多地區由原本的水鄉澤國變成乾旱地帶，中國大陸華南地區更在今年(2010)出現了百年一見的大旱災，使一座供應民眾及動物生存的大型湖泊變成乾渴之地，而同時間竟然在華北地區出現了強風暴雨及雪災，導致人民糧食及農作物短缺以及牲畜死亡，生活用水只能靠貨車或是人力及獸力運水供給，偏遠地區更是連基本飲用的水量都不足。

水耕栽培的技術[12]除了能夠以最少的用水量，在自然氣候條件不良的環境條件下，生產出日常生活所需的農作物和藥草及香料等高級藥材之外，還可以生產出所謂能源作物的栽培，也就是生質能源所使用的作物，將植物光合作用所吸收的二氧化碳及養份，轉換為低分子的碳水化合物，並且從中提煉出生質柴油及甲烷等燃料，可以同時解決食物及燃料的問題。

但是精密的水耕栽培設備及其控制裝置，需要消耗不少的電力能源需求，而傳統的地面栽培可以說是完全不需電力的，也就是說目前一般市面所使用的水耕栽培設備在節能減碳方面還有努力的空間。

如何能夠達到克服天氣狀況的異常，在自然氣候條件不良的環境條件下，生產出日常生活所需的農作物以及魚蝦等食物，無需使用外部電力公司燃燒煤礦而產生的電力，而只有使用太陽能電池所產生的電力來進行水耕栽培設，就是本研究所要探討的目的之一。

本研究也將進行太陽能電池應用於魚菜共生系統上的經濟效率之分析，以往的太陽能電池系統其建置成本過高，若無政府的獎/補助，一般民眾幾乎不會自行建置使用太陽能電池系統，本研究也將使用網路上可以購買到之平價化產品，再加以組合及分配之後進行成本分析，使得未來有意願投入使用太陽能電池應用的學術單位甚至一般民眾，能夠確實知道使用太陽能電池的成本以及其投資報酬率，或是設備回收年限，此為本研究之另一目的。

### 1.3 研究範圍界定

本研究主要是以使用一般市面就可取得之平價太陽能電池，經過本研究自行設計之電路，以時序控制器做為其電力之儲存與電力之釋出，作為魚菜共生系統之全部動力來源。

基於節能減碳之大目標與前題之下，本研究所設計使用之材料皆為環保可再生使用或是重複利用之材質，希望系統成功建立之後可以作為有意願朝此方向研究之學術單位或是相關業者的參考依據。

本研究之建置範圍於太陽能電池部份，因為考量實驗場所之能源產生穩定度以及場地之空間限制，因此選用單晶矽太陽能電池作為電力之產生源，並且以一般市面容易取得之鉛酸電池，以及自行改裝之不斷電時序控制器，做為太陽能電池產生的電力之儲存與釋放。

於魚菜共生系統部份，魚產養殖部份考慮到其養殖之難易度以及食物之耗取量，因為飼料投放量需要充足才能使硝化菌經硝化作用，而產出足夠之硝酸鹽供應水耕植物生長，因此選用養殖容易與食量較大之吳郭魚或是尼羅河紅魚。水耕果菜植物部份，主要考量因素為植物之生長環境要求與其生長時間週期，必須選擇一年四季之溫度條件下皆可生長而且其成熟所需天數較短的作物，因此選擇以萵苣[3]作為水耕種植之作物。

本研究所涉及之範圍有太陽能電池的利用，以及水產養殖技術與水耕栽培技術，甚至包括了硝化菌養成的技術，為了不使研究範圍擴大而失去本研究之重點，特別將本研究範圍界定。

研究時間為中華民國九十九年一月中旬至三月，實驗地點為南投縣南投市，實驗所在之建築物為四樓之樓房，採光位置為東西向方位，周圍 100 公尺之內無大型建築物影響或遮蔽其太陽能電池所需之光源。



## 1.4 研究流程

在研究之程序上，本研究首先以節能減碳應用再生能源的方式，與天候環境劇烈變化而導致糧食短缺做為本研究所要解決之問題，再者以創新之作法將現行已經成熟之太陽能電池技術，應用在不同產業之上，以祈求創造出更多的產業價值與經濟效益。整理程序流程如圖 1-1 所示。

第一步驟為確定研究之動機，在當前地球暖化而引發氣候異常變化，而導致生活所必需品之糧食與農作物生產不足，在乾旱的情況下已經使得原本水量充沛之稻作與蔬菜水果產區停擺，其引發之問題非常嚴重。

第二步驟為找出研究之目的，為減少地球暖化因此要減少對燃燒煤礦而生產出的電力消耗，因此選擇完全使用太陽能轉換出來的電力；另外將以耗水量極少，幾乎沒有任何水資源浪費，並且可以產生經濟效益之魚菜共生系統做為解決糧食短缺的方法。

第三步驟為文獻探討，可以藉由已經成熟的文章及技術經驗，作為本研究之重要參考依據，以增加實驗建置之信度與效度。

第四步驟為研究範圍與方法確立，因為本研究之範圍牽涉太廣，含太陽能電池的利用、水產養殖技術與水耕栽培技術、硝化菌養成；若無規劃出確切之研究範圍將使容易失去研究之焦點，因此必須明確其所使用之方法與研究之範圍。

第五步驟為建立本研究之系統結構，將太陽能電池與水產養殖和水耕栽培系統做為連結，並且不斷的進行修正，使得產出結果可以符合預期之設定。

第六步驟為研究結果分析，將實驗所產生出來的數據以及衍生出來的問題，以圖例及表格的方式顯示，並且用文字描述出圖表所展現出的意義。

第七步驟為本研究之結論與建議，將本研究所產生的結果作一整體性的結論之後，讓有意願朝此方向繼續研究之學術單位或是相關業者作為參考依據與建議。

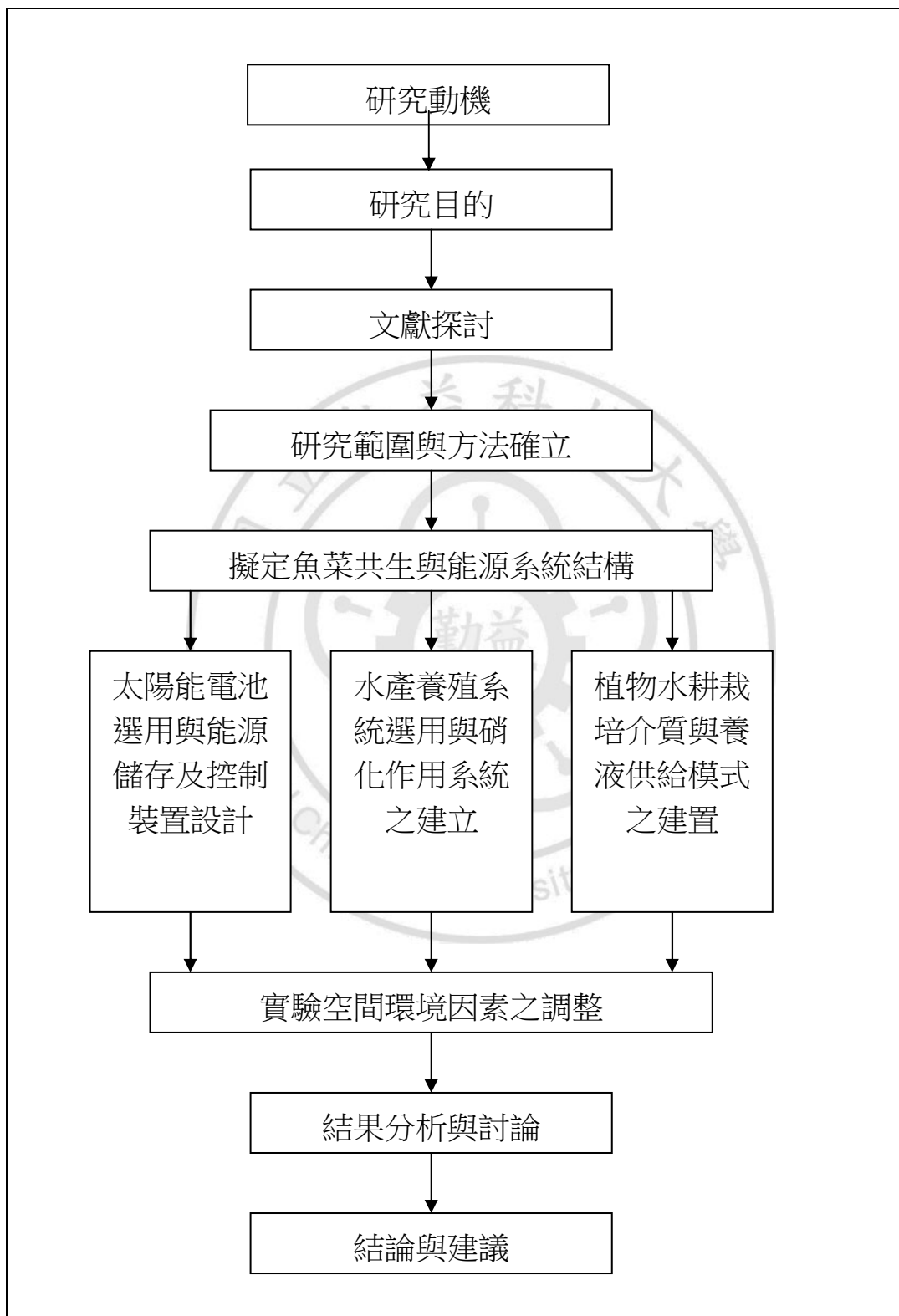


圖 1-1 研究流程圖

## 二、文獻探討

### 2.1 太陽能電池的分類

太陽能電池(Solar cell)又稱為光伏電池(Photovoltaic cell)，其乃利用太陽光照射在半導體光電材料上，由太陽輻射提供的能量造成電子流動而直接轉化成電能。太陽能電池將光能變換為電能之轉換率高低決定於太陽能電池之性能與所用材料，目前太陽能電池晶片的轉換效率最高可達 35%，一般則介於 10% 到 18% 之間。

#### 2.1.1 太陽能電池所用材料分類

製造太陽能電池以目前之技術與成本考量，通常採用以下材料：(1)單晶矽，(2)多晶矽，(3)非晶矽，(4)薄膜式，(5)集光式，(6)其他材料：碲化鎘 (CdTe)、二硒化銦 (CuInSe<sub>2</sub>) 及砷化鎵 (GaAs)。其製作方法與發電效率如表 2-1 所示。

表 2-1 太陽能電池不同材料之製作方法與發電效率

名稱	製作方法	發電效率
單晶矽	將二氧化矽純化成矽晶胚，再形成完美的晶格後切割成晶圓，加入不純物磷或硼形成 p-n 連結。	15~17%
多晶矽	又稱為鑄錠晶片，由熔解之矽澆鑄在矩形鑄模所形成的矽錠切割而成，在澆鑄過程形成多結晶而非單結晶。	14~16%
非晶矽	將沉積一非晶矽薄層於玻璃或是塑膠基座上，使用之矽量只有多晶矽的 1/50~1/100。	5%~7%
薄膜式	從一純矽的融化池中緩慢拉出一張細薄的矽紙或矽帶，這作法可以省去切割的損失。	11~15%
集光式	利用透鏡或是反射器將陽光集中在小的單晶矽或是多晶矽太陽能電池上。	N/A
其他材料	碲化鎘 (CdTe)、二硒化銦 (CuInSe <sub>2</sub> ) 及砷化鎵 (GaAs)	20%以上

資料來源：陳維新，能源概論[1]

## 2.1.2 使用太陽能之優缺點

### 使用太陽能之優點：

- (1) 太陽能可以當作為永久性的能源，可以說是取之不盡。
- (2) 太陽能到處都有，不需要運輸，只要位處於南北緯 50~60 度以內的地區，都有豐富的太陽能可以利用。
- (3) 太陽能使用時不會帶來污染，也不產生二氧化碳，是屬於一種清潔的能源。
- (4) 太陽能的利用，不會額外的增加地球的熱負荷。

### 使用太陽能之缺點：

- (1) 太陽照射到地球表面之能量密度低。
- (2) 太陽能是間歇性的能源，在白天才有能量產出，夜晚則無能量產出，陰雨天及早晨與黃昏時段其能量產出都不多。
- (3) 相較於化石燃料，現階段設置費用與投資成本仍較高，民眾接受度不高。

陳維新[1]舉例，太陽能量常數為  $1353 \text{ W/m}^2$ ，若假設太陽輻射到達地面的平均能量為  $600 \text{ W/m}^2$ ，其相當於  $1520 \text{ Btu/ft}^2$ ，而某國之總面積為  $3.615 \times 10^6$  平方英里，以平均日照 8 小時計，某國一年之間可以得到太陽能總量為  $5.6 \times 10^{19} \text{ Btu}$ 。

某國在 1996 年的總能源消耗量為  $9.38 \times 10^{16} \text{ Btu}$ ，該能源消耗量僅約為太陽能量照射到此一表面的  $1/600$  而已！換言之，如果某國能夠在固定的地表或海面上自太陽能中取得 0.16% 的能量，就已經足夠全國之能量所需。由於某國為世界上能源消耗之最大國，若以全球平均能源消耗量計算，則太陽能所佔的能源比重將會更高。

### 2.1.3 太陽能與能源之間的轉換

能源具有很多樣之型式，可以彼此進行轉換，太陽與各種能源之間的轉換關係，如圖 2-1 所示。太陽發出輻射與熱量，地球接受其一部份之能量，地表的植物經過光合作用將能量吸收部份變成動物的食物，後來都儲藏於地底，數萬年後變成化石燃料，人類取出後燃燒化石燃料，將化學能轉換為熱能，有一部份使用於渦輪機，將熱能變成動能，於發明發電機之後再將動能轉換為電能，經過傳輸線路與多次變壓器，最後才進入我們使用的設備負載中，其各種能源設備之能源轉換過程與轉換效率，如表 2-2 所示。

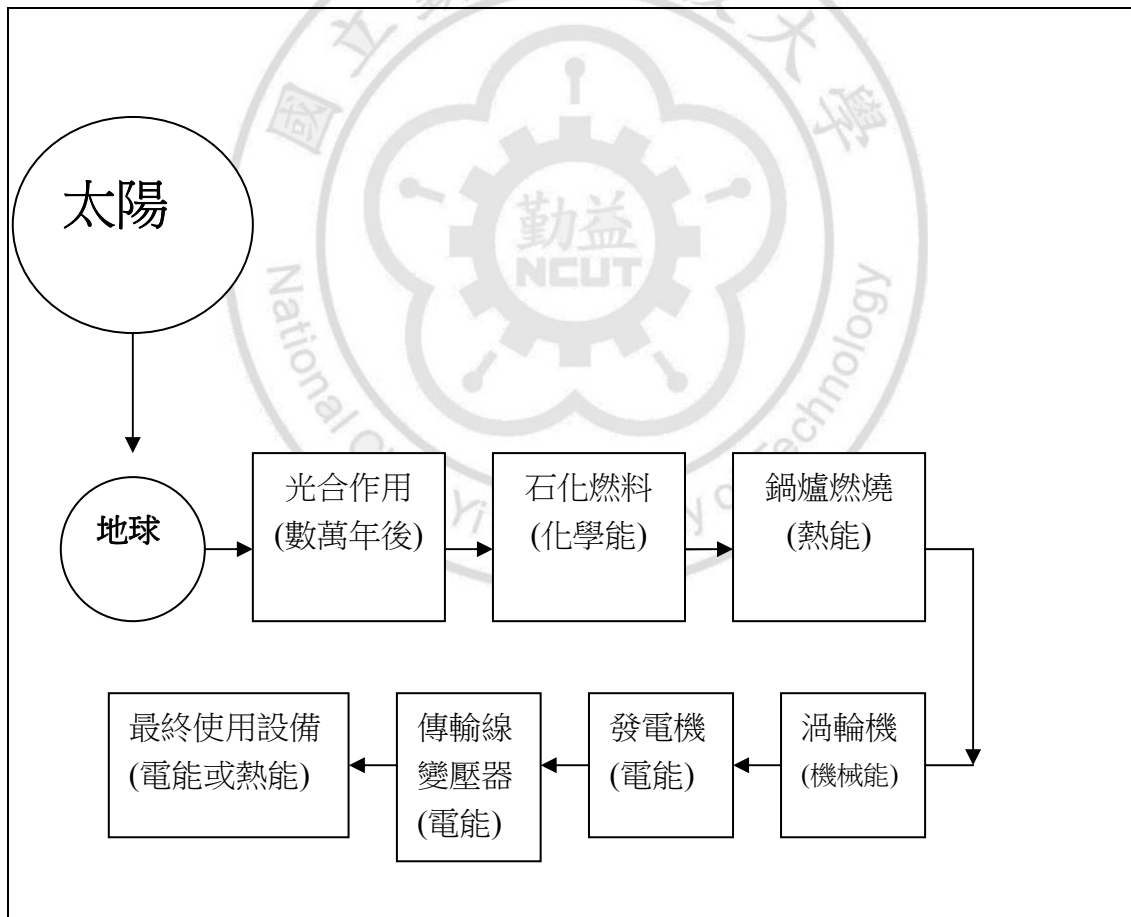


圖 2-1 太陽與各種能源之間的轉換關係

表 2-2 各種能源設備之能源轉換過程與轉換效率

名稱	能源轉換過程	效率
發電機	機械能 → 電能	70~99%
電動馬達	電能 → 機械能	50~90%
燃氣工業爐	化學能 → 熱能	70~95%
風力發電機	機械能 → 電能	35~50%
石化燃料電廠	化學能 → 熱能 → 機械能 → 電能	30~40%
核電廠	核能 → 熱能 → 機械能 → 電能	30~35%
汽車引擎	化學能 → 熱能 → 機械能	20~30%
日光燈管	電能 → 光能	20%
白熾燈	電能 → 光能	5%
太陽能電池	光能 → 電能	5~28%
燃料電池	化學能 → 電能	40~60%

資料來源: Hinrichs and Kleinbach, 2006. [21]

乍看之下使用太陽能電池的效率似乎很低(轉換效率只有 5~28%)，但若由總體效率的角度來看就不算低了。

如以使用白熾燈泡為例:傳統之化石燃料電廠(轉換效率取 40%)發電，再經過長距離的電力線路傳送與變壓器轉換(轉換效率取 90%)，最後使用了白熾燈泡(轉換效率取 5%)，將三項轉換效率相乘之後得到之總體效率為:

$$( 0.4 \times 0.9 \times 0.05 ) = 0.018 = 1.8\%$$

經由以上換算方式可知，轉換效率是越高越好，而轉換次數是越少越好，如此才能提升總體效率。因此若能直接利用太陽能電池所產生的電能，減少轉換次數，及搭配使用高效率直流電設備，即可將太陽能電池所產生之效益發揮至最大。

## 2.2 水耕栽培的種類

### 2.2.1 水耕栽培設施

水耕栽培設施大約可以分為：滲液式、薄膜流層式、點滴灌溉式、噴霧式…等類型，而且各式之設計在水位高低、流量、保溫隔熱、操作時序等都不相同。水耕栽培設施之控制系統包括：溫度(°C)、濕度(%RH)、光線照度(Lux)、光照時間(hr)、養液之溶氧度(DO)值、酸鹼度(pH)值、電導度(EC)值、水流量、水位高度、運作時程…等。

提供植物根部之固定之介質計有：土壤、砂、石礫、泥炭土、泥炭土苔、蛭石、珍珠石、發泡煉石、岩綿、木屑、蛇木、水草、稻殼、炭化稻殼及海綿等等。其水耕各種栽培介質之特性，如表 2-3 所示。

表 2-3 水耕各種栽培介質之特性

	介質種類	介質特性
無機質	砂(粒徑 3mm 以下)	海砂之塩分高濃度高，開始使用時會吸收大量之磷及鉀離子。
	礫(粒徑 3mm 以上)	
	發泡煉石	粒徑多種，主要用於花卉類栽培。
	炭化稻殼	保水性良好，鹼性，可溶出鉀離子。
	岩 棉	鹼性，CEC 小，可溶出鈣、鎂離子。
	蛭 石	中性至鹼性，可交換鈣、鎂離子多。
	海 棉	量輕、價格便宜，可用於育苗、定植。
有機質	泥岩土苔	酸性，CEC 大，可交換性，鎂離子多。
	稻 殼	初期吸水性差，可溶出油質、磷及鉀離子，而氮素之交換性高。
	樹 皮	含錳離子多需經數月間之成熟後始能使用。

資料來源：丘應模，清潔蔬菜[7]

蔡尚光[4]水耕栽培的魅力表示，水耕栽培又稱為養液栽培(Nutriculture)，包含固體栽培與非固體栽培這二種方式，其分類由圖 2-2 所示。

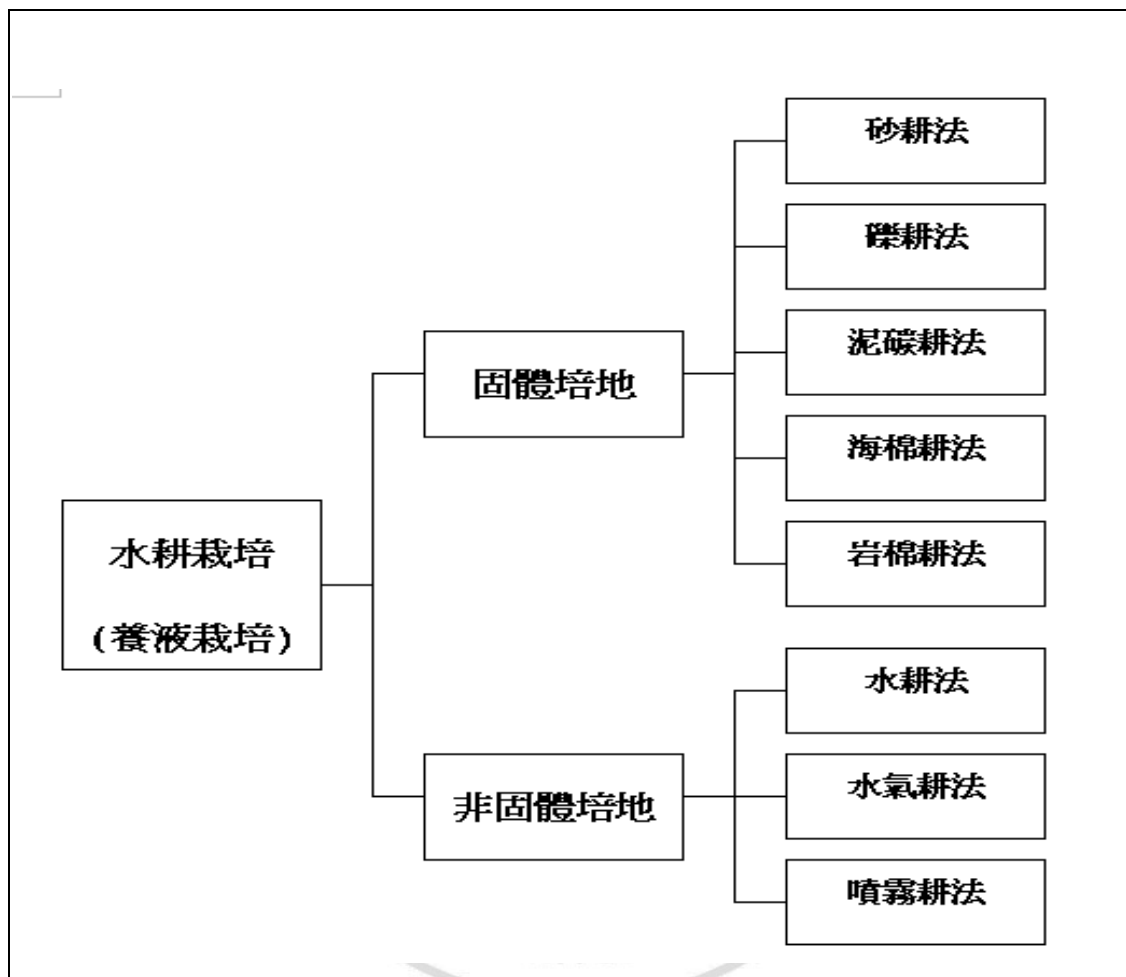


圖 2-2 水耕栽培固定方式之分類

### 2.2.2 水耕與土耕比較

傳統的植物栽培方法稱之有土栽培法，就是將植物種子/幼苗栽種於土壤中，由土壤提供植物根部之固定與生長必需之營養素。而水耕栽培為無土栽培法之一種，就是不使用土壤作為栽培介質，而將植物體所需之各種營養成分直接調配於水中(養液)，並利用介質將植物體固持於水面，使植物根部直接吸收水中之營養成分的栽培法[15]。水耕與土耕栽培的比較，如表 2-4 所示。



表 2-4 水耕與土耕栽培的比較

項目	水耕栽培	土壤栽培
介質的消毒	利用蒸氣、藥劑或換水，自動消毒，亦可拋棄，勞力小。	使用蒸氣、藥劑、機器，須龐大勞力與時間。
施肥	自動控制，均一合理，用量安定，節省肥料。	變動性大，施肥不勻，且易引起局部性生理欠乏症。
栽植密度	進行人工環境調節，可增加栽植株數。	受土壤的肥沃度及光量等環境因素限制。
雜草防除	無此需要。	定期必須進行噴藥或人力拔除。
土壤病害	栽培介質經消毒殺菌，不易發生土壤性病害，可達到不噴或少噴農藥的目的。	土壤傳導性病原、線蟲、昆蟲媒介，小動物多，作物受害程度較大，且農藥用量高。
連作障害	無	有
水分管理	水分自動循環供給，水分檢出，調節裝置均可自動化。	土壤條件不同，構造、保水力不均勻，水分不易控制。
產物品質	果實堅脆，纖維質少，保存期長，耐運送，富高度市場性。	元素不足所造成之軟腐，空洞果多，酸度高，且不耐運送。
衛生情況	產品潔淨無污染，收穫後立即可出貨，鮮度高。	與地面接觸多，農藥、污染大，清潔安全度上堪慮，且清洗費時。
作業時間	可自動化進行，大面積栽培只需少數勞力。	須中耕、除草、灑水、施肥、噴藥等，時間浪費大。
收量情形	可以設施技術或植物工場形式進行，收量穩定、多產。	受天候影響，收量不穩定，品質亦不均勻。
介質耐久性	使用清潔無菌無土介質，換替輕鬆容易。	同一作物，同一地點，會有連作困難，處理上繁雜。
播種方式	以人工或自動化進行，省時，省力，且節省種子用量，發芽均勻，生長穩定。	播種時間較難控制，種子費用提高，發芽不均，生長較不整齊。

資料來源:蔡尚光，水耕栽培的經營[6]

## 2.3 植物生長要素

蔡尚光[6]在水耕栽培的經營一書中表示，植物所需要的營養成分有：氮(N)、磷(P)、鉀(K)、鈣(Ca)、鎂(Mg)、硫(S)、鐵(Fe)、銅(Cu)、硼(B)、錳(Mn)、鋅(Zn)、鉬(Mo)……等十多種無機元素，以及碳(C)、氫(H)、氧(O)依不同組合鍵結所產生的各種有機成分。

這些營養成分內容會依各個不同的吸收型態，加上植物的光合成作用，產生足以供應植物生長的各式營養、能源；在水耕栽培之作業中，培養液(又稱營養液)，即是利用各種不同化合物，在水中溶入這些養分，達到使植物均勻吸收的目的，而這些離子狀態的成分，也就是一般傳統土壤中，經微生物分解後，植物所吸收到的相同營養。土壤生態系知氮素循環系統如圖 2-3 所示，而傳統之水耕營養液則以直接供應氮、磷、鉀等元素。

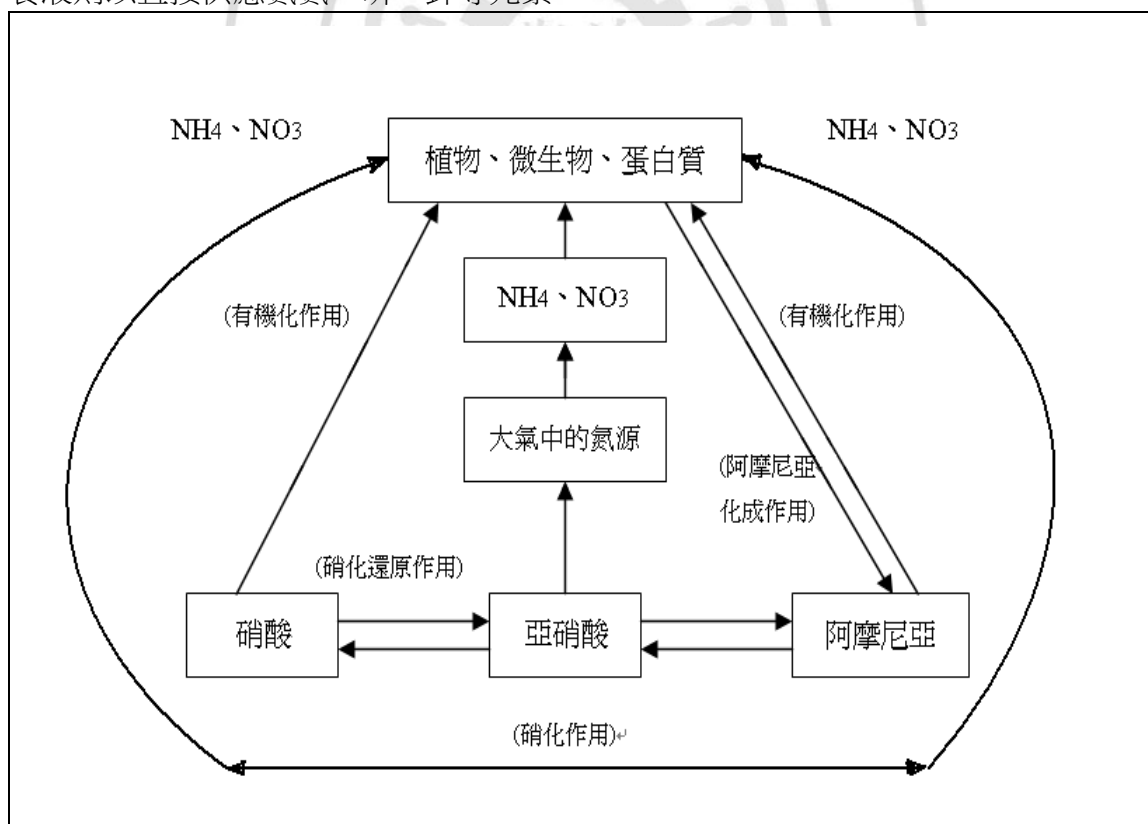


圖 2-3 土壤生態系知氮素循環系統

資料來源：蔡尚光，水耕栽培的經營[6]

水耕蔬菜生長所需之營養元素是屬於以人工調配的合成肥料[7]，因此在養液配方成分調配之好與壞將會直接的影響到植物未來之生長的狀況。

維持植物所需營養要素有 16 種，其中以碳、氫、氧、氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫等九種元素稱為主要元素或巨量元素，而將鐵、錳、銅、鋅、鉬、硼、氯等七種稱元素稱之為微量元素。其各元素對植物的生長與其主要作用，如表 2-5 所示：

表 2-5 各元素對植物生長之主要作用

項目	元素名稱	主要作用
1	碳 (C)	為植物體內全部有機物之組成物之一。
2	氫 (H)	與碳素共同組成植物體內之有機物，且在植物根系與土壤粒子間進行陽離子交換時扮演重要角色。
3	氧 (O)	為組成植物體內之有機物成份之一，且在植物根系與土壤粒子間進行陰離子交換時扮演重要角色。植物體進行有氧呼吸時，擔任氫離子之中間接受者。
4	氮 (N)	為組成植物體內之有機化合物之構成物之一，此有機化合物包括氨基酸、蛋白質、核酸和葉綠素。
5	磷 (P)	亦為組成植物體內之有機化合物之構成物之一，此有機化合物包括磷醣類、核酸、磷脂類。
6	鉀 (K)	其主要作用為輔梅或促成酶素動作之啟動者，且蛋白質合成過程中需要相當量的鉀。
7	鈣 (Ca)	具有強化細胞壁之作用，鈣離子在細胞膜之離子通透性具有載運作用，同時亦為構成酵素之組成分之一。
8	鎂 (Mg)	是組成葉綠素之重要結構物，且鎂亦為酵素作鍵之啟動者。
9	硫 (S)	其主要作用為參與植物體內一些有機化合物之合成。例如氨基酸、蛋白質、輔梅 A 及部分維生素。
10	鐵 (Fe)	為構成葉綠素之組成分子之一，當植物體進行光合作用及呼吸作用時擔任載用電子之工作，亦構成部分酵素之組成分子。

11	錳 (Mn)	以酵素啟動者之地位存在於植物體合成脂肪酸之代謝過程及植物體合成之過程中，且錳亦直接參與光合作用中促成水之分解釋氧氣之步驟及參與葉綠素之合成步驟。
12	銅 (Cu)	它的任務之一為電子載送者，亦為部分酵素之組成分子之一。
13	鋅 (Zn)	參與植物體內生合成荷爾蒙之步驟，亦擔任一些去氫酶之啟動者。
14	鉬 (Mo)	在植物體內硝酸轉化成氨的過程中擔任墊子載送者，而且鉬亦為豆科植物進行固氮作用時不可或缺之元素。
15	硼 (B)	參與植物體篩管之運輸碳水化合物之步驟。
16	氯 (Cl)	以酵素啟動者之地位存在於植物進行光合作用之過程中，使水(H <sub>2</sub> O)分解而釋放氧氣(O <sub>2</sub> )。

資料來源:台中區農業改良場 [17]



## 2.4 水產養殖之水質處理方法

水產養殖環境[2]之溫度是支配水產生命特性與變化之重要因素之一，水中之魚類，其屬於冷血動物，溫度之稍微改變將對魚類的新陳代謝產生極大影響；因此，當水產養殖環境之溫度升高時，動物整體的活動力將會升高，其水產養殖環境之溫度與魚類之新陳代謝速率大約呈現指數變化關係。

一般而言，每升高 10°C 會加倍魚類的新陳代謝速率，魚類新陳代謝速率的增加將導致魚類對水中之氧氣需求的增加[10]。但是，水中溶氧的飽和濃度卻會與水中之溫度成反比關係。蔡尚光[4]表示，當水溫從 16°C 變化到 30°C 時，水中溶氧的飽和濃度將從 9.85ppm 降至 7.52ppm。就是因為水體溫度的升高會增加魚類的新陳代謝速率與對水中之氧氣需求的增加，但卻會減少水體中的溶氧量或飽和濃度，因此，水產養殖環境之水中溫度高於某一臨界值時，將會使養殖之魚類生存的非常困難，也就是說非常容易造成魚類死亡。

當水產養殖環境之水體中營養成分過多，而引發大量藻類的成長，其即稱為「優養化」。此一狀況長時間不去處理將會日益嚴重，將會使養殖之魚類因為缺氧以及藻類毒害而大量死亡。

在水產養殖環境之水質酸化方面，其水質之酸鹼度(pH 值)是水中化學反應及水中生物生存的重要控制因子之一，當水質之酸鹼度(pH)值改變時，馬上遇到的就是水中離子型態的改變，同時沈積於水產養殖環境之底泥中的金屬元素亦較易釋放出來而造成養殖魚類之毒害。水產養殖環境之水體的酸鹼度降低，較敏感之浮游生物和水中生植物會迅速死亡，造成水產養殖環境之整體食物鏈的破壞，而導致養殖魚類之的危機。當水質之酸鹼度(pH)小於 5 時，魚類便會死亡。水質之酸鹼度(pH)若降至 4.5 時，魚卵便無法孵化，同時也會影響鰓的交換作用，此時連生命力較強的魚種(如吳郭魚)都無法繼續存活下去。

## 2.5 硝化作用

黃宇宏[14]在養殖廢水氨氮去除速率之探討中表示，在生物濾材硝化能力比較實驗中，多孔煉石組去除銨態氮( $\text{NH}_3$ )的能力較佳，菌養成的時間比生化培菌球組快 2 天。在去除亞硝酸鹽( $\text{NO}_2$ )的能力也是多孔煉石組較佳，菌養成的時間在添加生物製劑的實驗中比生化培菌球組的快 2 天，在未添加生物製劑的實驗中比生化培菌球組的快 10 天。而添加生物製劑後，多孔煉石組去除銨態氮( $\text{NH}_3$ )的時間比沒添加生物製劑的快 2 天，去除亞硝酸鹽( $\text{NO}_2$ )的時間比沒添加生物製劑的快 4 天，而生化培菌球組有添加生物製劑去除銨態氮( $\text{NH}_3$ )的時間比沒添加生物製劑的快 2 天，去除亞硝酸鹽( $\text{NO}_2$ )的時間比沒添加生物製劑的快 12 天。

當水中的氨濃度達到水族生物致命濃度時，對於任何一種水族生物而言，結果可能都是死亡。但如果水中含有足夠數量的硝化細菌不斷地解除及轉換水中的氨，穩定整個水族生態平衡系統，將可以使水中生物安全地生活於水產養殖環境之中。

硝化細菌是一種好氧細菌[11]，必須在有氧氣的水中或砂礫中生長，並且在氮循環與水質淨化過程中為極其重要的關鍵。硝化細菌包括形態互異類型的一種桿菌、球菌以及螺旋型細菌，屬於絕對自營性微生物的一類，包括兩個完全不同代謝菌群：

(1)亞硝酸菌屬(Nitrosomonas)：在水中生態系統中將氨( $\text{NH}_3$ )消除(經氧化作用)並生成亞硝酸的細菌類；亞硝酸菌屬細菌，一般被稱為"氨的氧化者"，因其所維生的食物來源是氨，氨和氧化合所生成的物質就足以使其生存。

(2)硝酸菌屬(Nitrobacter)：可將亞硝酸分子( $\text{NO}_2$ )氧化再轉化為硝酸分子( $\text{NO}_3$ )的細菌類。硝酸菌屬細菌，一般被稱為"亞硝酸的氧化者"，因其所維生的食物來源是亞硝酸(其他有機物也有可能)，它和氧化合可產生硝酸。

因這些硝化細菌能將水中的有毒的化學物質如：氨( $\text{NH}_3$ )和亞硝酸( $\text{NO}_2$ )加以分解去除，故有淨化水質的功能。硝化細菌在水質 pH 中性、弱鹼性的環境下發揮效果最佳，在酸性水質中發揮效果最差。

光合成菌，又稱 B 菌、光合成紅菌。適用於各種海水的水質處理輔助，光合成菌是一種水中微生物，因為具有光合色素，包括細菌葉綠素和類胡蘿蔔素等，而呈現淡粉紅色，光合成菌能在厭氧和光照的條件下，利用水產養殖環境之中的氫進行不產生氧的光合作用。

光合成菌可以在某些污染之水產養殖環境下生存，並且擔負著重要的淨化水產養殖環境水質之角色。但只有在生存環境和污染物質符合其生理、生態特性時，才會發揮其作用，否則很難獲得預期。例如在無光或者有氧環境下，光合細菌就很難發揮效果。

在水產養殖環境中由於高密度之魚產養殖[13]，或是投餌過多而造成的飼料過剩堆積、水產魚類生物的排泄物…等，往往都會造成水產養殖環境之底層有機物堆積過多而造成嚴重的污染狀況。經水產養殖環境之底部上的微生物將有機質分解，會釋放出一些對水族生物有毒的物質，例如：氨、亞硝酸及硫化氫等等。當這些分解產物的濃度增加時，就會導致水族生物中毒死亡。

李遠豐在有機農法中表示，長時間的積水使厭氣性的硫酸還原菌大量繁殖，產生硫化氫而造成的爛根，光合成菌利用硫化氫、二氧化碳、水，變為醣類及硫酸根，減少爛根的機會。

水產養殖環境之中若存在光合成菌，它將那些有機質或硫化氫等物質加以吸收利用，而使耗氧的微生物因缺乏營養而轉為弱勢，因而降低發生有毒分解產物的條件，而且水產養殖環境之中的水質也藉以得到淨化，而促使養殖的水產生物得以健康的成長。

## 2.6 魚菜共生系統

由於氣候變遷劇烈及環境過度開發，現代農業生產面臨著生態與資源的危機，水的污染和土壤的污染事件也時有所聞，不僅讓很多漁產資源面臨危害，而種植蔬果也因化肥的大量運用導致土壤嚴重退化，可持續性成為當前農業生產的主要問題。

傳統農業生產中養殖漁業是用水量較大的產業，部份養殖業者係採取抽地下水的方式來節省水費，而過度抽取地下水卻造成地層下陷，當遇到重大天災(如八八風災)時便造成嚴重的傷害。而且是以池水或自然水體為生產場所，它的生產性污染也是極大，再加上工業污染與化肥農藥的污染，使得水成為地球污染的重要傳播者，從而又導致漁產的污染，所以現在看似許多地方有豐富的淡水資源，但許多水體已不再適合魚的養殖。

養魚種菜原本是兩項分離的農業技術，但採用魚菜共生方法實現了兩者間的互動組合，形成了共同促進與效益疊加的效果，同時更重要的是，它是一項綜合效益最高的純有機耕作模式，種菜不需再施肥，養魚不需常換水，是一種資源節省型的可迴圈有機耕作模式，魚排泄的廢水及飼料殘渣是蔬菜生長的最好養料，而蔬菜的根系與微生物群落又是水質處理淨化的最佳生物過濾系統，三者所建立的生態關係(植物-微生物-魚)，實現了養魚種菜的可永續循環，是生態農業中一種最完美的結合。

魚菜共生系統(Aquaponics)是由水產養殖(Aquaculture)的這個字和水耕栽培法(Hydroponics) 所共同結合的。魚菜共生系統是一種將養魚和植物(通常是菜蔬)同時養殖培育的方法。也就是說：將魚類排放之物體及殘餘之飼料經由硝化系統轉換後，成為供給植物成長所需要之養份，而植物再經過根部的養份吸收及過濾後，將魚產養殖水給清潔處理再返回魚池之中，做為一種互惠共生之循環。



在大部份的魚菜共生系統裡，將魚產養殖箱裡的水經由管子輸送，經過特殊的栽培介質來種植蔬菜水果。植物在吸引完魚類所排放及浪費的飼養份之後，再透過這種介質過濾及完成硝化程序經由栽培槽再滴進魚產水族箱，水滴下降之距離及產生的氣泡使養殖水暴露於空氣中，使養殖箱裡的水有足夠之含氧量。

魚菜共生系統可以是一個小的孔雀魚水族箱搭配種植芽菜或是萵苣的盆栽一樣簡單，或者是用水耕草莓或長期作物在50公噸的水池養鱒魚一樣錯綜複雜。唯一的輸入是養殖魚類所餵食的飼料，和植物之幼苗，養殖的魚苗，被蒸發而失去的水，以及使用循環幫浦使水暴露於空氣中的少量電力。

而魚菜共生模式是結合了工廠化養殖與無土栽培蔬菜技術，是高科技的有機結合所形成的邊緣優勢與綜合累加效益，比單獨的養殖與種菜更省空間與資源，更省設備與成本管理投入。

更為重要的是生產的蔬菜與魚皆為有機魚與有機蔬菜，在市場上極具競爭力，是符合現代食品消費趨勢的一種最好生產模式。

### 三、 研究系統之建構

本研究系統之建構總共分為四個部份，第一部分為太陽能電池系統之建構，第二個部份為魚菜共生系統之建構，第三個部份為太陽能電池與魚菜共生系統之控制系統，第四個部份為實驗方法。

本研究所謂之「太陽能電池應用於魚菜共生系統」，係建立一個完全以太陽能電池做為動力，將水產養殖與水耕栽培融合在一起的複合式生態養殖栽培系統。

此複合式系統包含太陽能電池(Solar P.V)、能源儲存及釋放系統、水循環系統、水產養殖及過濾系統、水質轉換之硝化系統、水耕栽培系統;將以上之設備及系統完全融合之後，就可以進行以太陽能電池應用於魚菜共生系統之整體運作。

太陽能電池的應用，是一種環保無污染以及愛地球之能源應用；而魚菜共生系統是一種將養魚和植物同時養殖培育的方法，將魚類所排泄物以及飼料殘渣等有機物，經過循環系統之硝化作用而產生之無機物營養鹽，富含是植物蔬菜水果生長所需的營養元素，而蔬菜的根系與微生物硝化作用之環境，又是水質處理與淨化的天然最佳生物過濾系統，三者所建立的互生關係:( 植物 - 微生物 - 魚 )，實現了養魚與種菜可以同時進行，並且需要的能源最少，是生態農業中一種最完美的結合。

本研究利用自然界之太陽光的能量，經過太陽能電池轉換能量以產生電力，以提供魚菜共生系統運作之動能，並且將魚類排放之物體及殘餘之飼料經由硝化系統轉換後，成為供給植物成長所需要之養份，而植物再經過根部的養份吸收及過濾後，將魚產養殖水經過清潔處理再返回魚池之中，做為一種互惠共生之循環模式。

魚菜共生(Aquaponics)系統這個字，是由水產養殖(Aquaculture)和水耕栽培法(Hydroponics) 這二個字所共同結合的。在大部份的魚菜共生系統裡，將魚產養殖箱裡的水經由管子輸送，經過適當的栽培介質來種植蔬菜水果或是花卉。

植物在透過硝化程序之後將吸收魚類所排放及浪費的飼料養份，再經由栽培槽之介質以及植物之根部過濾之後，將乾淨之水份引進魚產水族箱之中，利用位差之距離使水滴下降而產生氣泡與水花，而使養殖水系統暴露於空氣之中，讓養殖箱裡的水含有足夠之含氧量，以提供魚類以及植物根部之健康生長。

所以魚菜共生系統可以是一個小型的孔雀魚水族箱，搭配種植芽菜或是萵苣的盆栽一樣簡單，或者是利用水耕栽培種植大量草莓等作物，搭配在50公噸的水池中養鱒魚一般的錯綜複雜。

本系統唯一的人工輸入是養殖魚類所餵食的飼料，和植物之幼苗，養殖的魚苗，和被蒸發及植物蒸散而失去的水份；而利用循環幫浦使水系統流動並且暴露於空氣中的少量電力，則是全部由太陽能電池提供。

太陽能電池(Solar P.V)是採用 DC12V, 15W 之模組，能源儲存及釋放系統是組合 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器，以及 DC12V 7AH 之鉛蓄電池，水循環系統則利用 DC12V 之直流無刷馬達幫浦，水產養殖及過濾系統是採用長 60cm\*寬 30cm\*高 40cm 之強化玻璃水族缸，水質轉換之硝化系統與是以發泡煉石作為介質、水耕栽培系統採用長 60cm X 寬 45cm X 高 15cm 之塑膠培植槽。

本系統需要考慮之因素如下所述：

- (1)空氣：空氣之溫度(日夜溫差 $^{\circ}\text{C}$ )、濕度(%RH)、二氧化碳濃度(ppm)、風速(m/s)。
- (2)陽光：照度(Lux)、光照時間(hr)。
- (3)水質：水溫( $^{\circ}\text{C}$ )、電導度 EC: (mS/cm)、酸鹼度(PH)、溶氧量 DO(ppm)。
- (4)電力：太陽能電池之效率(%)、鉛蓄電池之容量(AH)。

太陽能電池應用於魚菜共生系統所需儀器及設備如表 3-1 所示：

表 3-1 太陽能電池應用於魚菜共生系統所需儀器及設備表

項次	儀器及設備名稱	規格/尺寸
1	太陽能光伏電池( Solar PV )	DC 12V , 15W
2	直流無刷馬達幫浦	DC 12V , 15W
3	鉛蓄電池	DC 12V , 7AH
4	直流定時器 DC 12V , 24H Type	DC 12V , 24H Type
5	交流沉水馬達幫浦	AC 110V , 100W
6	強化玻璃水族箱	60cm X 30cm X 40cm
7	水族箱過濾器	20cm X 10cm X 15cm
8	水耕養液儲存桶	60cm X 40cm X 40cm
9	植物培植槽	60cm X 45cm X 15cm
10	水耕介質(發泡煉石)	直徑 0.6cm ~ 1.1cm
11	給水管路	透明管材，直徑 1cm
12	酸鹼度(pH)測試器	0 ~14pH ± 0.1
13	電導度(EC)測試器	0~20EC ± 1%
14	溶養量(DO)測試器	0 mg/L ~20.0mg/L
15	氨/銨 NH <sub>3</sub> 測試劑	0~5 mg/l
16	亞硝酸鹽 NO <sub>2</sub> 測試劑	0.1~5 mg/l
17	硝酸鹽 NO <sub>3</sub> 測試劑	0~15ppm
18	直流電壓錶	DC 0V~20V
19	直流電流錶 1	DC 0~1A 解析度 0.01A
20	直流電流錶 2	DC 0~5A 解析度 0.1A

將以所述上之太陽能電池(Solar P.V)、DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器、以及鉛蓄電池、水循環系統之直流無刷馬達幫浦、水產養殖及過濾系統之強化玻璃水族缸、水質轉換之硝化系統、水耕栽培採用之塑膠培植槽…等相關設備組合建置之後，就成為太陽能電池應用於室內植栽之魚菜共生系統之模型，如圖 3-1 所示。

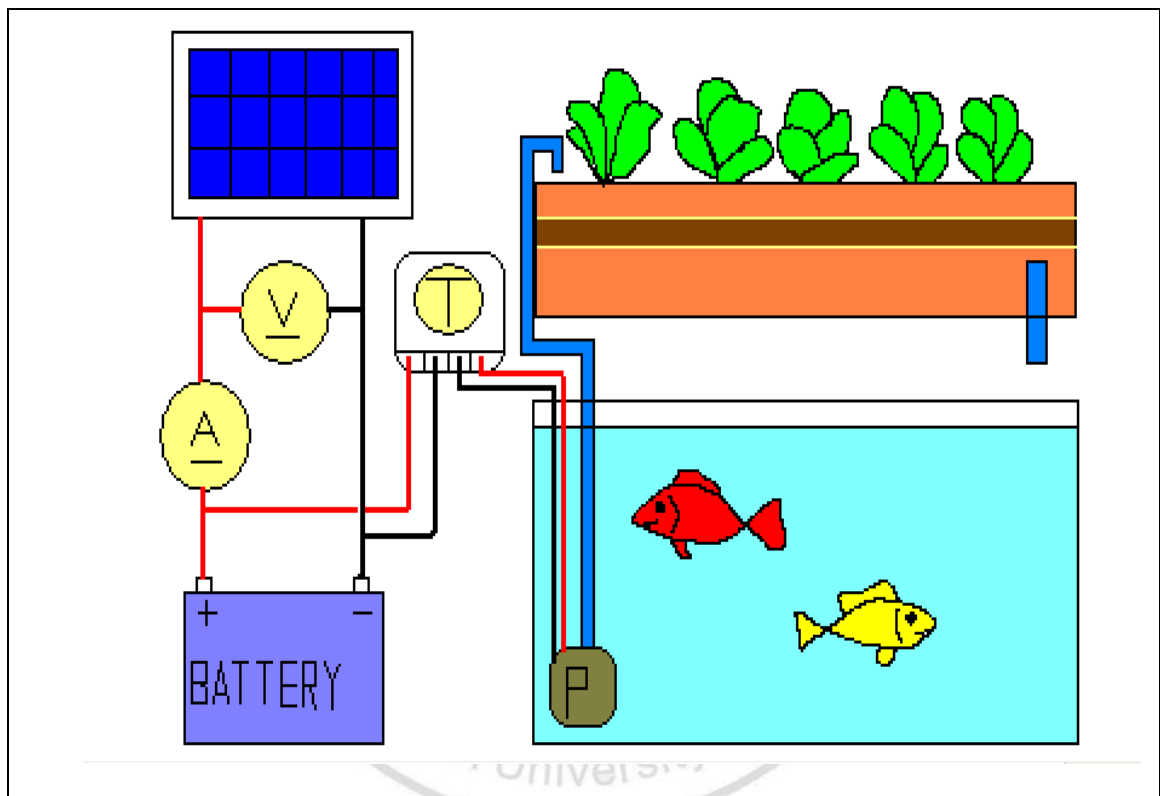


圖 3-1 太陽能電池應用於室內植栽之魚菜共生系統之模型側視圖

### 3.1 太陽能電池系統之建構

太陽能電池( Solar P.V )的應用，是一種環保無污染以及愛地球之能源應用，利用自然界之太陽光的能量，經過太陽能電池轉換能量以產生電力，以提供魚菜共生系統運作之動能，由於本研究之目的之一為進行太陽能電池應用於魚菜共生系統上的經濟效率之分析，以往的太陽能電池 其建置成本過高，若無政府的獎/補助，幾乎不會有一般民眾自行建置使用太陽能電池系統，本研究也將使用網路上可以購買到之平價化產品，再加以組合及分配之後進行成本分析，使得未來有意願投入使用太陽能電池應用的學術單位甚至一般民眾，能夠確實知道使用太陽能電池的成本以及其投資報酬率，或是設備回收年限。

因此基於經濟效率之考量，太陽能電池的應用與其附屬設備，將採用最低能源消耗之前題，以及最經濟低成本的方式，作為所有設備之選擇與採購標準。太陽能電池是採用 DC12V,15W 之模組，能源儲存及釋放系統是組合 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器，以及 DC12V 7AH 之鉛蓄電池，本研究所使用之太陽能電池及規格如圖 3-2 所示。

太陽能電池之安裝位置，是在建築物頂樓沒有陰影之遮蔽處，可接受太陽能光照射之角度約為  $160^\circ$ ，夏季時陽光照射之有效時間由 AM 08:00 ~ PM 06:00，冬季時陽光照射之有效時間由 AM 09:00 ~ PM 05:00，面板水平面朝向南方約  $30^\circ$ ，目的是提高整年度之發電效率，以及可以使太陽能電池面板上之灰塵自然透過雨水而沖洗乾淨，因為灰塵的累積對太陽能電池之發電效率影響非常的大。

太陽能電池透過  $1.25\text{mm}^2 \times 2\text{C}$  之電纜線，將直流電傳送至室內之能源儲存及釋放系統模組，能源儲存及釋放系統模組是組合 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器，以及 DC12V 7AH 之鉛蓄電池，以及電壓錶、電流錶、二極體等設備，魚菜共生系統控制設備實體圖，如圖 3-3 所示。

電力由太陽能電池輸入至室內之能源儲存及釋放系統模組時，首先會經過電壓錶與電流錶，以利研究實驗時之數據抄錄，再來為了防止電流逆流因此需要經過一個二極體的保護，電流經過二極體後同時進到 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器，以及 DC12V 7AH 之鉛蓄電池之中。

當白天太陽光照度很強，而 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器之時序控制輸出為 OFF 時，99%以上之電力能量都輸入到 DC12V 7AH 之鉛蓄電池內，進行電力儲存作業。

當白天太陽光照度很強，且 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器之時序控制輸出為 ON 時，電流將流向電組比較少的地方，也就是 DC12V 15W 之直流無刷馬達幫浦，進行水流循環的動作，以供應魚產養殖及過濾系統、水耕栽培系統所需要的水份及養份。

當夜晚沒有太陽光照度，而 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器之時序控制輸出為 OFF 時，將由 DC12V 7AH 之鉛蓄電池輸出不到 0.1%的電力，進行 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器之運轉驅動能源。

當夜晚沒有太陽光照度，且 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器之時序控制輸出為 ON 時，99%以上之電力將流向 DC12V 15W 之直流無刷馬達幫浦，進行水流循環的動作，以供應魚產養殖及過濾系統、水耕栽培系統所需要的水份及養份。

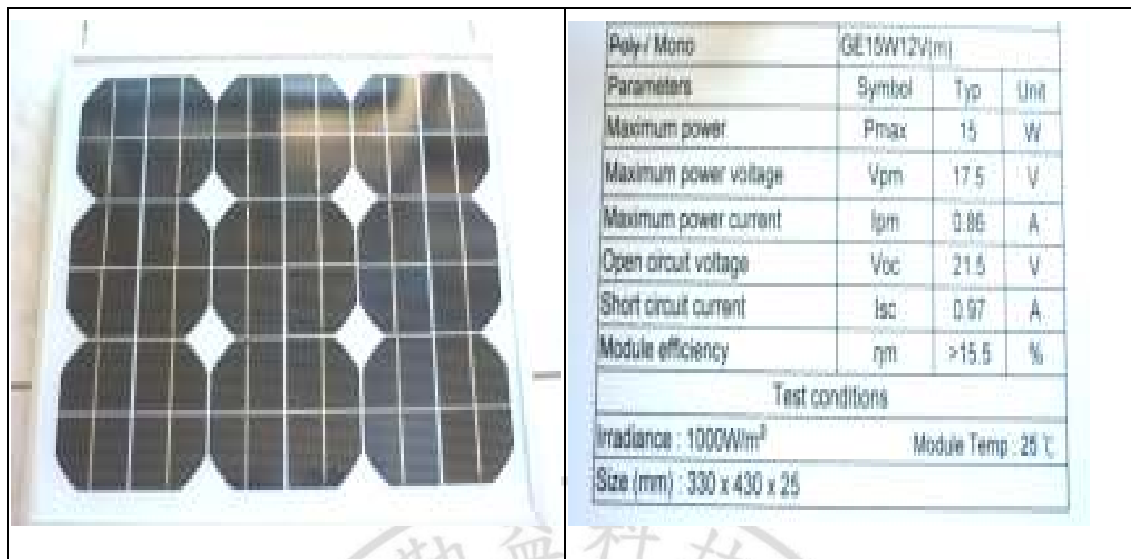


圖 3-2 本研究所使用之太陽能電池及規格圖

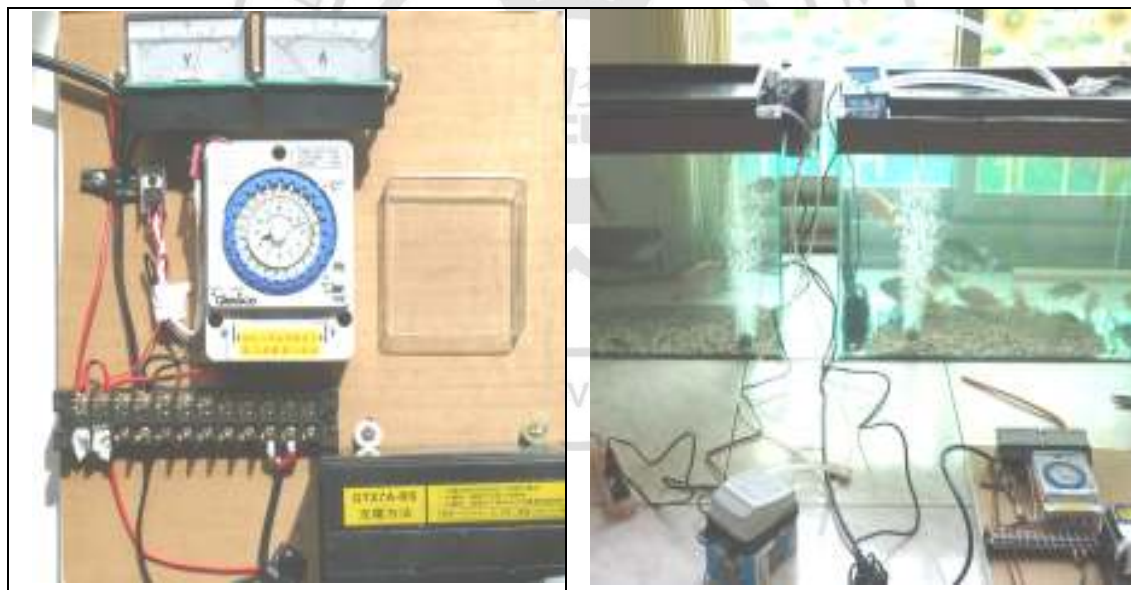


圖 3-3 魚菜共生系統控制設備實體圖



## 3.2 魚菜共生系統之建構

魚菜共生系統是一種將魚產養殖和植物培育同時進行的方法，將魚類所排泄物以及飼料殘渣等有機物，經過循環系統之硝化作用而產生之無機物營養鹽，富含是植物蔬菜水果生長所需的營養元素，而蔬菜的根系與微生物硝化作用之環境，又是水質處理與淨化的天然最佳生物過濾系統，三者之間所建立的互生關係：( 植物 - 微生物 - 魚 )，實現了養魚與種菜可以同時進行，並且需要的能源最少，是生態農業中一種最完美的結合。

本系統包含：魚產養殖及過濾系統、水耕栽培系統、水質轉換之硝化系統、水循環系統；將以上設備及系統完全融合之後，即可進行魚菜共生系統之整體運作。

在魚產養殖部份，採用長 60cm X 寬 30cm X 高 40cm 之強化玻璃水族缸，主要飼養魚種為吳郭魚以及尼羅紅魚(與吳郭魚同種)，實驗初期以放養 10 隻為基準，每日固定以海豐 0.1mm 之魚飼料進行餵養，並且記錄其生長狀況及存活率。

在水耕種植蔬菜系統部份，採用 60cm X 寬 45cm X 高 15cm 之塑膠培植槽，水質過濾及植物支撐部份以直徑 0.6cm ~ 1.1cm 之發泡煉石做為介質。發泡煉石為高溫燒結之材質，因其密度接近 1 與水相近，部份發泡煉石會沉浮於水中，故設計時發泡煉石之放置量要遠高於系統之最高水位，才能使植物固定而不致因水位變化而移動其根部組織，且發泡煉石可維持水耕種植蔬菜系統根部之透氣性與排水性，並增加魚產養殖部份空氣的滲透。

在水質轉換之硝化系統部份，發泡煉石也是硝化菌進行硝化作用的合適環境，因此可以達到循環式水耕的灌溉方式以及兼顧水質過濾之目的。

在水耕栽培之循環水系統部份，參考高德錚博士於台中區農業改良場開發之動態浮根式水耕栽培技術，並且融合礫耕栽培技術而成，並且以市面現有的塑膠

盒當作植物栽培床，利用時間控制及虹吸管之原理造成本系統之循環水的流動，以植物栽培床內水位高低變化之方式，避免植物根部一直沉浸於水中而造成爛根，而且由於栽培床內水位高低變化之方式而增加溶氧量，使得植物根部能夠獲得更多的氧氣。

在水循環系統部分，使用 12V 之直流無刷馬達沉水泵浦作為出回水動力來源，系統管路則採直徑 1cm 之透明管材，並藉由地心引力高低位差的概念，將系統循環水收集回魚產養殖部份之強化玻璃水族缸，以形成一個互惠共生又環保省能的迴路。

將以上之設備及系統(魚產養殖及過濾系統、水耕栽培系統、水質轉換之硝化系統、水循環系統)完全融合之後，即形成一套完整之魚菜共生系統，其系統循環之示意圖，如圖 3-4 所示。

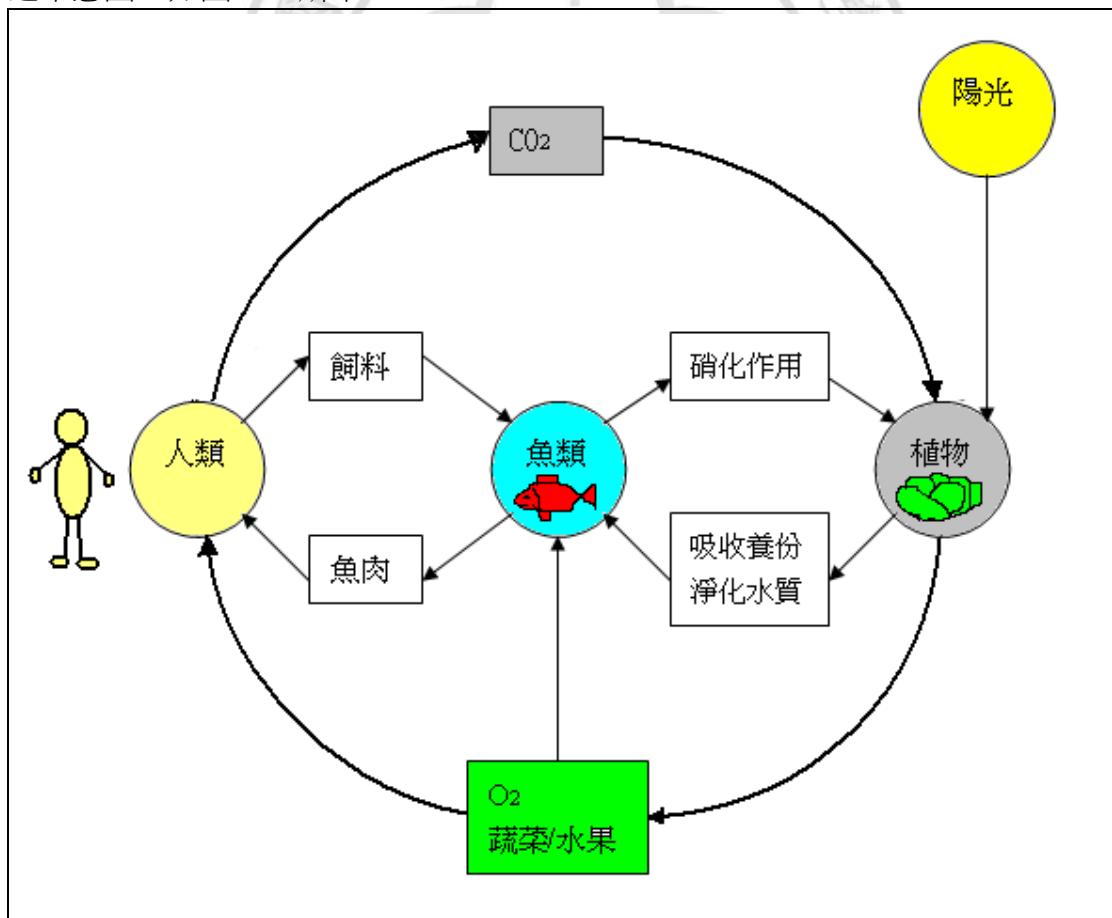


圖 3-4 魚菜共生系統示意圖

### 3.2.1 魚菜共生系統之栽培環境與水質

魚菜共生系統技術的發展，利用水耕栽培的技術，來做為高經濟作物栽培方式，水耕栽培之方式，不需藉由土壤來供給植物養分與作為根部之支撐，而是將作物根部固定於介質材料之上，使植物直接的攝取養分與水分，供給植物生長，因此又稱為養液栽培或是無土栽培法。

目前之魚產養殖，大部分都是採用循環水養殖，並以定量飼料投放方式，因此會在養殖過程中衍生出相關問題，例如飼料中所含物質以及魚群的排泄物，或是吃不完的殘餘飼料等，將會造成池中的養殖水受到汙染，並且會消耗掉水中的溶氧量和改變其水質之酸鹼度，其中又以魚類的排泄物對於水質的影響最大。

連啟超 [9]表示，植栽及複合養殖之環境達到養殖與栽培的複合功能，以及創造生態互補的結合；因為兩者都使用循環水的方式栽培與養殖，所以在複合養殖（Aquaponics）的前提下，對於其系統之水質的相關參數，施作人員必須具備相當程度的認知與了解，才得以順利進行。

方煒 [10]表示，一般飼養的魚種分為海水魚以及淡水魚兩大類，且依魚種的不同，其養殖水質之水溫範圍於 24°C ~ 28°C 之間是比較適合的。高德錚(1986，水耕栽培-精緻蔬菜生產技術之開發)[8]表示，水耕栽培之植物也是依作物種類的不同，而有相對應的水溫值，以蔬菜類作物之水耕栽培來說，建議的水耕栽培水溫範圍大約在 23°C ~ 27°C 之間。

以下將對於魚菜共生系統水質之：酸鹼度(pH) 、電導度(EC) 、溶氧量(DO)等相關參數做一說明。

### 3.2.1.1 魚菜共生系統水質之酸鹼度

水耕栽培之植物根部，所能接受的酸鹼值有一定的範圍，酸鹼值過高或過低，將會使得根部在養份和水分的吸收，形成抑制的作用，因此對於植物的生長是不利的，魚菜共生系統魚產養殖的排泄物，或是吃不完的殘餘飼料以及植物根部所分泌出的有機酸，都會使得魚菜共生系統水質酸鹼值產生變化的情形；當酸鹼值過高時，植物所需之微量元素如：磷、鐵、錳的吸收會受到抑制，而酸鹼值過低時，巨量元素之鈣、鎂、鉀易有化學沉澱現象，根部吸收將受到阻礙。

蔡尚光[5]在植物工場中表示，在酸鹼值 5.5~6.5 之間的弱酸溶液，較適合於植物的生長。方煒[11]表示，魚類養殖時，酸鹼度的維持應在 6~9.55 之間。酸鹼度也會影響到肥料元素之有效度，如表 3-2 所示。

表 3-2 短期蔬菜土壤診斷適宜參考

等級	低	稍低	適宜	稍高	高
酸鹼值	< 5.0	5.0~6.0	6.0~6.5	6.5~7.0	>7.0
電導度值	<0.14	0.14~0.2	0.2~0.4	0.4~0.52	>0.52
有機質	<1.4	1.4~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	>4.0
有效磷	<46	46~66	66~132	132~172	>172
交換性鎂	<105	105~150	150~240	240~312	>312
交換性鈣	<1000	1000~1428	1428~2142	2142~2785	>2785
交換性鉀	<88	88~125	125~250	250~325	>325

資料來源：農委會，農業築巢營課程講義[16]

### 3.2.1.2 魚菜共生系統水質之電導度

電導度為代表水耕栽培之液體中全體鹽類濃度的數值，蔡尚光(1989，水耕栽培的魅力)表示，但只有量測水耕栽培液之電導度無法知到液體中不同元素成分的高低狀況，當水耕栽培液體中存在的養分濃度高時電導度也高，且從數值之變化中可了解植物吸收的情形，大部分時候水耕栽培液之電導度(EC)值與酸鹼度(pH)值呈反比現象。

電導度，通常簡稱為 EC (Electrical Conductivity)，其單位通常用 mS/cm，依作物類別與生育時期不同，水耕植物適合的電導度範圍而有變化，如表 3-3 所示，一般水耕栽培液之電導度值範圍在 0.7~2.0(mS/cm)，且電導度值會隨著水溫度的變化而存在差異性。

我們常用的自來水，因為消毒殺菌或是沉澱過濾的因素，裡頭會添加一些化學物質，因此電導度 EC 值在 20°C 時量測值約為 0.2mS/cm，使用上要加以調製處理或是放置幾天與加強曝氣，如果直接使用於魚菜共生系統魚產養殖時，魚群有可能在天之內全數死亡。

表 3-3 水耕栽培液之電導度值之合適範圍

作物種類	合適之電導度(mS/cm)
草莓	0.7
萵苣	0.8
蕃茄	1.1
菠菜	1.1
茼蒿	2.0

資料來源:張祖亮，養液栽培之應用技術[15]

### 3.2.1.3 魚菜共生系統水質之溶氧量

在魚菜共生系統魚產養殖時，養殖水中的溶氧量會因存在的微生物與魚類的呼吸代謝作用，造成消耗水中氧氣的情形，並因此結合產生氨氮廢物(NH<sub>3</sub>)，由資料可知，水中含氧量與溫度存在一反比關係；蔡尚光(1989，水耕栽培的魅力)[4]表示，當水中的溫度越高時，水中的含氧量相對減低，水中的飽和溶氧量為而在不同溫度下呈現的關係，如表 3-4 所示。

在魚菜共生系統之水耕植物方面，植物根部的呼吸作用也需氧氣，所以植物之根部藉由水分吸收的同時，吸收氧氣提供根部呼吸之用，而在不同的生育時期所需的耗氧量也就不同，如果培養液中溶氧量(DO)值，長期在 1.5ppm 以下時就會造成根部腐爛枯死；若是魚產養殖時水中的溶氧量不足或是氨氮成分過高，經常為魚產養殖失敗常見的原因之一。

在魚菜共生系統之水中溶氧量的高低，不管對於魚產養殖或者水耕植物來說，都擁有對於氧氣的需求，因此溶氧量的維持與控制對於魚菜共生系統是非常重要的。

表 3-4 水中的氧氣飽和量與溫度間關係（氣壓 760mm 下）

溫度(°C)	氧含量 O <sub>2</sub> (ppm)
12	10.75
14	10.28
16	9.85
18	9.45
20	9.1
22	8.72
24	8.42
26	8.11
28	7.81
30	7.52

資料來源:蔡尚光，水耕栽培的魅力[4]

### 3.3 太陽能電池與魚菜共生系統之控制系統

本節之實驗只有對水的循環系統方面進行控制，以 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器採開關式控制，設定計時器控制啟動與停止時間，來達成 DC12V 15W 之太陽能光伏電池是模組對 DC12V 7AH 之鉛蓄電池之電力儲存，以及對 DC12V 15W 之直流無刷馬達幫浦之電力釋放，並且同時達到魚產養殖系統溶氧量之控制目的，太陽能電池 之控制電路配置如圖 3-5 所示。

水耕栽培之循環水系統部份，參考高德錚博士於台中區農業改良場開發之動態浮根式水耕栽培技術，並且融合礫耕栽培技術而成，利用 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器進行時間控制，每啟動 15 分鐘停止 45 分鐘，做為循環週期，運轉時植物栽培床內水位高漲，當水位高於特殊設計之出水排放口時，利用虹吸管之原理造成本系統內之循環水的流動，將快速排水到最低水位，如此一來植物栽培床內不斷的產生水位之高低變化，就可以增加溶氧量，使得植物根部能夠獲得更多的氧氣，並且避免植物根部一直沉浸於水中而造成爛根。

植物栽培床內部放置高度約 10cm 之多孔性發泡煉石，發泡煉石搭配硝化菌進行硝化作用，並且有固定植物根部及過濾水質之作用，其去除銨態氮的能力以及去除亞硝酸鹽的能力很好，優於一般之生化過濾棉。

魚產養殖缸部份，採用長 60cm X 寬 30cm X 高 40cm 之強化玻璃水族缸，放置於植物栽培床之下方，也是利用地心引力，將植物栽培床所過濾排放出來的水，透過滴淋以及水衝擊的方面增加曝氣度及溶氧量，使得水族缸內的魚群有乾淨且氧氣充足的水質可用，以減少高密度養殖所容易造成的魚群緊迫及死亡。魚產養殖餵食的部份，採用人工餵食，每天固定以餵食 6 公克的飼料，魚群吃不完剩下的殘餘飼料就進入過濾系統以自然分解，因此當硝化系統反應不良時會使水質產生異味及水體顏色變的混濁，若不趕緊增加硝化菌以及光合成菌之數量以及溶氧量以改善水質，就會引起敗缸而造成快速且大量之魚群死亡。

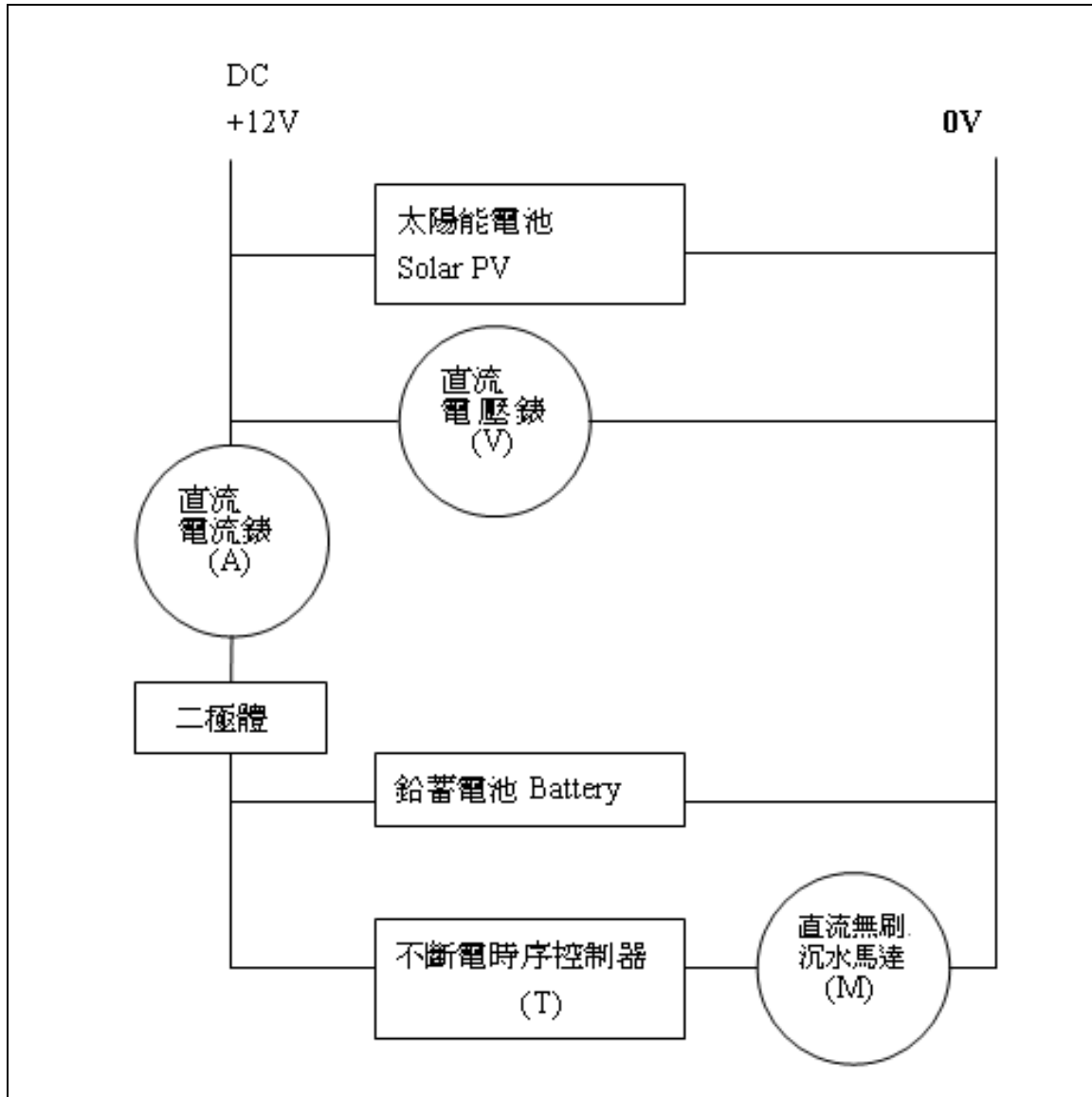


圖 3-5 太陽能電池之控制電路配置圖



### 3.4 實驗方法

本節之實驗方法分為二項步驟，第一項步驟為太陽能電池應用之實驗步驟，第二項步驟為魚菜共生系統之實驗步驟。

#### 3.4.1 太陽能電池應用之實驗步驟

本部份之實驗採用 DC12V, 15W 之太陽能電池模組，能源儲存及釋放系統是組合 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器，以及 DC12V 7AH 之鉛蓄電池。

太陽能電池之安裝位置，是在建築物頂樓沒有陰影之遮蔽處，可接受太陽能光照射之角度約為 160°。

太陽能電池透過電纜線，將直流電傳送至室內之能源儲存及釋放系統模組，能源儲存及釋放系統模組是組合 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器，以及 DC12V 7AH 之鉛蓄電池，以及電壓錶、電流錶、二極體等設備。

電力由太陽能電池輸入至室內之能源儲存及釋放系統模組時，首先會經過電壓錶與電流錶，此為本節實驗及記錄之重點。太陽能電池應用實驗步驟如下所示：

(1) 當白天太陽光照度很強，而 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器之時序控制輸出為 OFF 時，99%以上之電力能量都輸入到 DC12V 7AH 之鉛蓄電池內，進行電力儲存作業；觀察及記錄其電壓錶與電流錶之數據變化。

(2) 當白天太陽光照度很強，且 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器之時序控制輸出為 ON 時，電流將流向電組比較少的地方，也就是 DC12V 15W 之直流無刷馬達幫浦，進行水流循環的動作，以供應魚產養殖及過濾系統，觀察及記錄其電壓錶與電流錶之數據變化。

(3) 當夜晚沒有太陽光照度，而 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器之時序控

制輸出為 OFF 時，將由 DC12V 7AH 之鉛蓄電池輸出不到 0.1%的電力，進行 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器之運轉驅動能源，觀察及記錄其電壓錶與電流錶之數據變化。

(4) 當夜晚沒有太陽光照度，且 DC12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器之時序控制輸出為 ON 時，99%以上之電力將流向 DC12V 15W 之直流無刷馬達幫浦，進行水流循環的動作，以供應魚產養殖及過濾系統，觀察及記錄其電壓錶與電流錶之數據變化。

#### 3.4.1.1 實驗測試

為了解太陽能電池模組與能源儲存及釋放系統之相關因素，將以電力之儲存及釋放與太陽光照度這兩大因素，做為實驗測試之紀錄項目，電力之儲存及釋放因素方面包括：輸入之電壓與電流值二項指標，紀錄採定期的人工抄錄方式進行，儀器為指針型電壓與電流錶，其詳細儀器之規格如表 3-1 所示。

太陽光照度因素方面，必須記錄之數值為當不同之太陽光照度變化時，太陽能電池對於附屬設備之輸出能量之紀錄，因為環境地點以及設備之因素，其紀錄範圍由 6,000Lux 到 90,000Lux 之間。

紀錄模式共有三種包括：模式一、太陽光照度與太陽能電池對鉛蓄電池充電之紀錄，模式二、太陽光照度與太陽能電池直接供應馬達運轉之紀錄，模式三、太陽光照度與太陽能電池同時對鉛蓄電池充電並供應馬達運轉時之紀錄。

另光照部份，使用型號 LX-107 照度計，如圖 3-6，其詳細儀器之規格如表 3-5 所示，可量測範圍達 100000Lux，符合量測需求。



圖 3-6 數位照度計

表 3-5 數位照度計之規格

項次	規格	範圍與內容	備註
1	品名/型號	照度計/ LX-107	
2	範圍	0 ~100,000 LUX	
3	精確度	±(5%+2 位數)	反應時間 0.4sec
4	解析度	2	
5	電源	DC 9V	9V 方型電池
6	操作環境	溫度：0°C ~50°C 溼度：<80%RH	

### 3.4.2 魚菜共生系統之實驗步驟

本部份之實驗分為實驗組與對照組，實驗組部份為魚菜共生系統，對照組部份分為單獨魚產養殖系統與單獨水耕種植蔬菜系統。

#### 3.4.2.1 實驗組-魚菜共生系統

實驗組魚菜共生系統之魚產養殖部份，採用長 60cm X 寬 30cm X 高 40cm 之強化玻璃水族缸，主要飼養魚種為吳郭魚以及尼羅紅魚(與吳郭魚同種)，實驗初期以放養 10 隻為基準，每日固定以海豐飼料(0.1mm)之魚飼料進行餵養，並且記錄其生長狀況及存活率。

魚菜共生系統之水耕種植蔬菜系統部份，採用 60cm X 45cm X 高 15cm 之塑膠培植槽，水質過濾及植物支撐部份以直徑 0.6cm ~ 1.1cm 之發泡煉石做為介質，發泡煉石為高溫燒結之材質，其密度接近 1 與水相近，因此有的發泡煉石會沉浮於水中，因此發泡煉石之放置量要遠高於系統之最高水位，才能使植物固定而不致因水位變化而移動其根部組織，發泡煉石可維持水耕種植蔬菜系統根部之透氣性與排水性，並增加魚產養殖部份空氣的滲透，發泡煉石也是硝化菌進行硝化作用的合適環境，因此可以達到循環式水耕的灌溉方式以及兼顧水質過濾之目的。

水耕栽培之循環水系統部份，參考高德錚博士於台中區農業改良場開發之動態浮根式水耕栽培技術，並且融合礫耕栽培技術而成，並且以市面現有的塑膠盒當作植物栽培床，利用時間控制及虹吸管之原理造成本系統之循環水的流動，以植物栽培床內水位高低變化之方式，避免植物根部一直沉浸於水中而造成爛根，而且由於栽培床內水位高低變化之方式而增加溶氧量，使得植物根部能夠獲得更多的氧氣。

水循環系統部分，使用 12V 之直流無刷馬達沉水泵浦作為出回水動力來源，系統管路則採直徑 1cm 之透明管材，並藉由地心引力高低位差的概念，將系統循環水收集回魚產養殖部份之強化玻璃水族缸，以形成一個互惠共生又環保省能的迴路。

因設備建置於室內之落地玻璃窗旁，日照時間只有 4 個小時，且室內之光線照度遠低於戶外之光線照度，會影響到植物的光合作用速率，基於節能減碳之前題下，將不進行配置人工光源，而在第二次實驗時，改變其系統之放置位置，以促進植物之生長速度與品質。實驗組魚菜共生系統及對照組之實體圖，如圖 3-7 所示。

#### 3.4.2.2 對照組-單獨魚產養殖系統

對照組之單獨魚產養殖系統部份，採用長 60cm X 寬 30cm X 高 40cm 之強化玻璃水族缸，主要飼養魚種為吳郭魚以及尼羅紅魚(與吳郭魚同種)，實驗初期以放養 10 隻為基準，每日固定以海豐 0.1mm 之魚飼料進行餵養，並且記錄其生長狀況及存活率。

水循環系統部分，使用 AC 110V 之交流電沉水泵浦作為出回水動力來源，將魚缸之養殖水送入過濾槽進行雜質過濾與硝化作用後，並藉由地心引力高低位差的概念，將系統循環水收集回魚產養殖部份之強化玻璃水族缸。

### 3.4.2.3 對照組-單獨水耕種植蔬菜系統

對照組之單獨水耕種植蔬菜系統部份，採用長 60cm X 寬 45cm X 高 15cm 之塑膠培植槽，以及 60cm X 40cm X 40cm 水耕養液儲存桶，水質過濾及植物支撐部份以直徑 0.6cm ~ 1.1cm 之發泡煉石做為介質，發泡煉石為高溫燒結之材質，其密度接近 1 與水相近，因此有的發泡煉石會沉浮於水中，因此發泡煉石之放置量要遠高於系統之最高水位，才能使植物固定而不致因水位變化而移動並傷害其根部組織，發泡煉石可維持水耕種植蔬菜系統根部之透氣性與排水性，因此可以達到循環式水耕的灌溉方式之目的。

水耕栽培之循環水系統部份，參考高德錚博士於台中區農業改良場開發之動態浮根式水耕栽培技術，並且融合礫耕栽培技術而成，並且以市面現有的塑膠盒當作植物栽培床，利用時間控制及虹吸管之原理造成本系統之循環水的流動，以植物栽培床內水位高低變化之方式，避免植物根部一直沉浸於水中而造成爛根，而且由於栽培床內水位高低變化之方式而增加溶氧量，使得植物根部能夠獲得更多的氧氣。



圖 3-7 實驗組魚菜共生系統及對照組之實體圖

#### 3.4.2.4 實驗測試

為了解室內魚菜共生系統環境之相關因素，將以氣體因素與水質因素兩大類，做為實驗測試之紀錄項目，氣體因素方面包括：溫度、溼度和二氧化碳濃度值三指標，紀錄儀器則使用紅外線二氧化碳測試器，型號 TES-1370，如圖 3-8，其詳細儀器之規格如表 3-6 所示，內含二氧化碳、溫度、溼度紀錄功能，可長時間連續紀錄監測值。

水質因素方面，參考數值包括有：水質溶氧量(DO)值、酸鹼度(pH)值、水質電導度量(EC)值和水溫，當作量測時的紀錄數據，水質監測過程採每天定期的人工採樣方式進行。

水質溶氧量記錄之儀器採用手持式數位水質溶氧量測試器，型號為 DO-5509 如圖 3-9，其詳細儀器之規格如表 3-7 所示，作為水質溶氧量測；

酸鹼度記錄之儀器採用手持式數位酸鹼度計，型號 PH-0511 如圖 3-10，其詳細儀器之規格如表 3-8 所示，作為水質 pH 值量測；

電導度記錄之儀器採用手持式數位電導度計，型號 EC-5061 如圖 3-11，其詳細儀器之規格如表 3-9 所示，作為水質電導度量測之用；

量測間隔時間為每天早上 8 點取樣一次，實驗紀錄以一個月的時間，當作一生長週期的紀錄結果，魚菜共生系統魚產重量與植物光照度數據量測，如圖 3-12 所示。



圖 3-8 數位二氧化碳測試器

表 3-6 數位二氧化碳測試器之規格

項次	規格	範圍與內容	備註
1	品名/型號	二氧化碳測試器/ TES-1370	
2	範圍	二氧化碳：0~6000ppm 溫度：-20°C~ +60°C 溼度：10% RH ~ 95%RH	
3	精確度	二氧化碳：在 101.4kPa 大氣壓力或 25°C 下±3%讀值或±50ppm 溫度：±0.5°C 溼度：±3%RH	反應時間 二氧化碳：<10min 溫度：10°C /2sec
4	解析度	0.1	
5	電源	DC 1.5V*6	AAA 電池
6	操作環境	溫度：5°C~ 99°C 溼度：10% RH ~ 90%RH	





圖 3-9 數位氧氣分析儀

表 3-7 數位氧氣分析儀之規格

項次	規格	範圍與內容	備註
1	品名/型號	氧氣分析儀/ DO-5509	
2	範圍	氧氣:0%~100% 溶氧:0 mg/L ~20.0mg/L 溫度:0°C~50°C	
3	精確度	氧氣: ±7% 溶氧: ±0.4 mg/L 溫度: ±0.8°C	反應時間 0.4sec
4	解析度	0.1	
5	電源	DC 9V	9V 方型電池
6	操作環境	溫度: 0°C ~ 50°C 溼度: <80%RH	



圖 3-10 數位酸鹼度計

表 3-8 數位酸鹼度計之規格

項次	規格	範圍與內容	備註
1	品名/型號	酸鹼度計/PH-0511	
2	範圍	0~14 PH	溫度:0~60°C
3	精確度	±0.1 +1 位數	溫度:0.8°C
4	解析度	0.1	
5	電源	DC 9V	9V 方型電池
6	操作環境	溫度: 0~50°C 溼度: <90%RH	



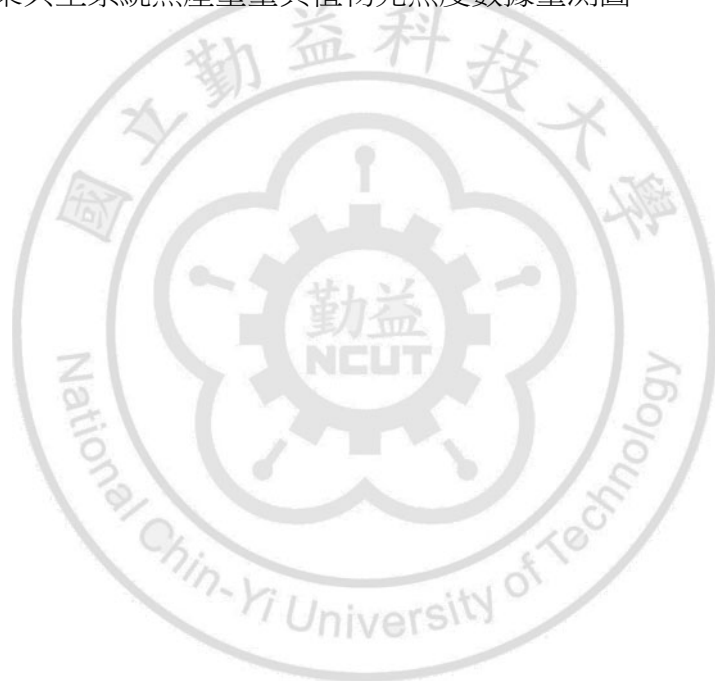
圖 3-11 數位電導度計

表 3-9 數位電導度計之規格

項次	規格	範圍與內容	備註
1	品名/型號	電導度計/EC-5061	
2	範圍	0~20 EC	溫度:0~60°C
3	精確度	±1% FS	溫度:0.8°C
4	解析度	0.1	
5	電源	DC 9V	9V 方型電池
6	操作環境	溫度: 0~50°C 溼度: <90%RH	



圖 3-12 魚菜共生系統魚產重量與植物光照度數據量測圖



## 四、研究結果與分析

### 4.1 研究資料分析

本節將太陽能電池應用與魚菜共生系統分別進行探討與分析，太陽能電池應用之探討與分析方面著重於電力能源之輸入與輸出之現象解釋，而魚菜共生系統之探討與分析方面著重於魚類之生長情形與蔬菜之成長速度進行探討。

#### 4.1.1 太陽能電池 應用之探討與分析

太陽光之照度(Lux)與光照時間(H)，是直接影響到太陽能電池之輸出功率之主要因素，一天之中除了早晨日昇與黃昏日落所造成的太陽光之照度改變之外，晴天時雲朵飄過而造成暫時之遮敝也會使輸出電量大幅滑落，陰天時整個白天太陽光之照度也許都不到晴天時 50%的電力輸出，因此平常時白天之電力儲存就非常重要，而光照不足或是夜晚時電力的輸出控制更是直接影響到魚菜系統之生物存活的關鍵因素。

如圖 4-1 所示，照度與太陽能電池對鉛蓄電池充電之記錄曲線圖中可以看到，太陽光照度越大時，太陽能電池輸出至鉛蓄電池的電壓越高，可由 13.4V 提昇至 14.5V，其輸出至鉛蓄電池的電流量也由 6,000 Lux 時的 0.06A 提昇至 90,000Lux 時的 0.68A，經由圖形之輸出曲線可以看出，太陽光照度與輸出至鉛蓄電池之電力呈現出之線性曲線幾乎為正比之關係。

照度與太陽能電池直接供應馬達運轉之關係，如圖 4-2 所示，由圖中可以發現到，當太陽能電池直接供應馬達運轉時，其輸出至鉛蓄電池的電流量也由 6,000 Lux 時的 0.04A 提昇至 90,000Lux 時的 0.48A，其電流與照度還可以看出略為呈現出正比之關係，但是在電壓之部分則呈現出一段非常大之落差，尤其是在 23,000 Lux 附近電壓是由 15V 瞬間降低至 10V，但是電流也由 0.12A 提高至 0.18A，將電壓(V)電流(A)與兩者相乘，得到之電功率(W)皆為 1.8W;經過實驗現場不斷反複之

檢查與分析之後，發現到原來是直流無刷馬達之關係，雖然當輸入電壓正常，但是輸入電流太小時雖然也有消耗電力，但是馬達沒有運轉，直到電流輸入超過 0.18A 時，馬達才開始運轉，將水輸送到魚菜共生系統內。

當太陽能電池同時對鉛蓄電池充電並供應馬達運轉時，其記錄之曲線如圖 4-3 所示，由圖中可以看出，只有當太陽光照度低於 12,000Lux 之時，輸出之電流略低於太陽能電池對鉛蓄電池充電時 0.01A 之外，其餘數據皆為相同，因此可以研判出，當太陽能電池同時對鉛蓄電池充電並供應馬達運轉時，其輸出之主要電力大部分為鉛蓄電池所吸收，並且透過鉛蓄電池達到穩定電壓與電流之作用，可以使馬達輸出之能量更穩定，減少因為太陽光源之變化，而衝擊到魚菜共生系統內水量的平衡，因為水量太大會造成植物根部與介質(發泡煉石)之磨擦，而導致植物根部受傷，嚴重者還會導致斷根或是爛根而使植物死亡。

最後將照度與整體電路系統全部的設備之記錄曲線，都匯整成為一張圖型之方式呈現，以方便進行不同實驗模式時之數據比較，如圖 4-4 所示。

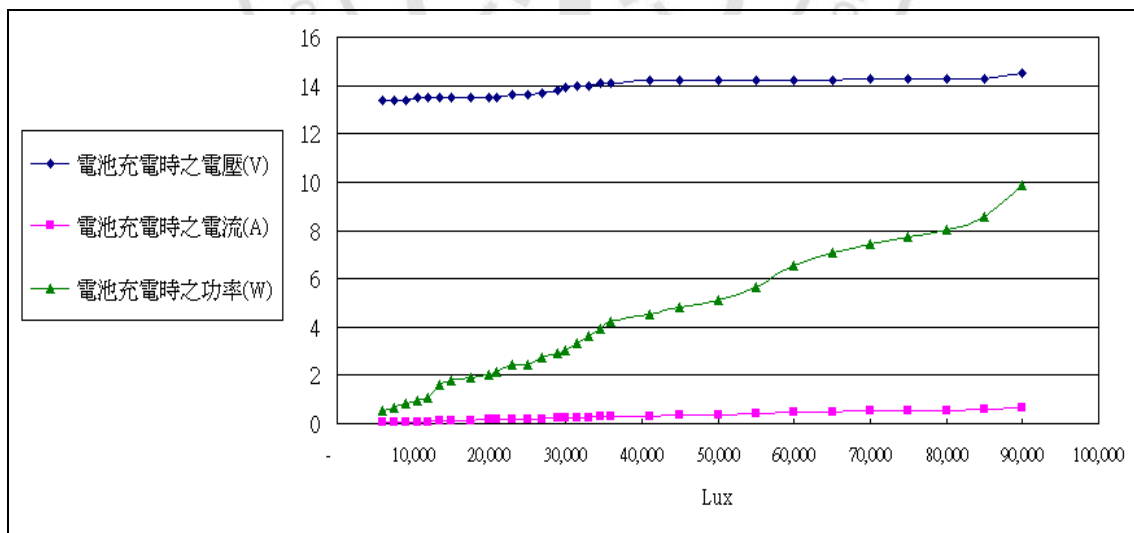


圖 4-1 照度(Lux)與太陽能電池對鉛蓄電池充電之記錄曲線圖

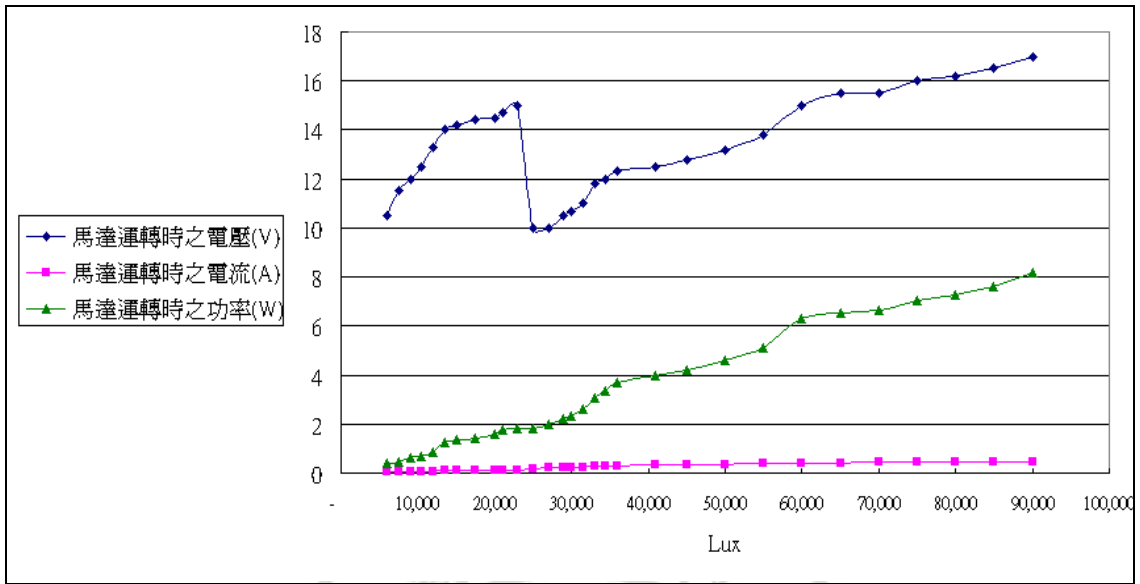


圖 4-2 照度(Lux)與太陽能電池直接供應馬達運轉之記錄曲線圖

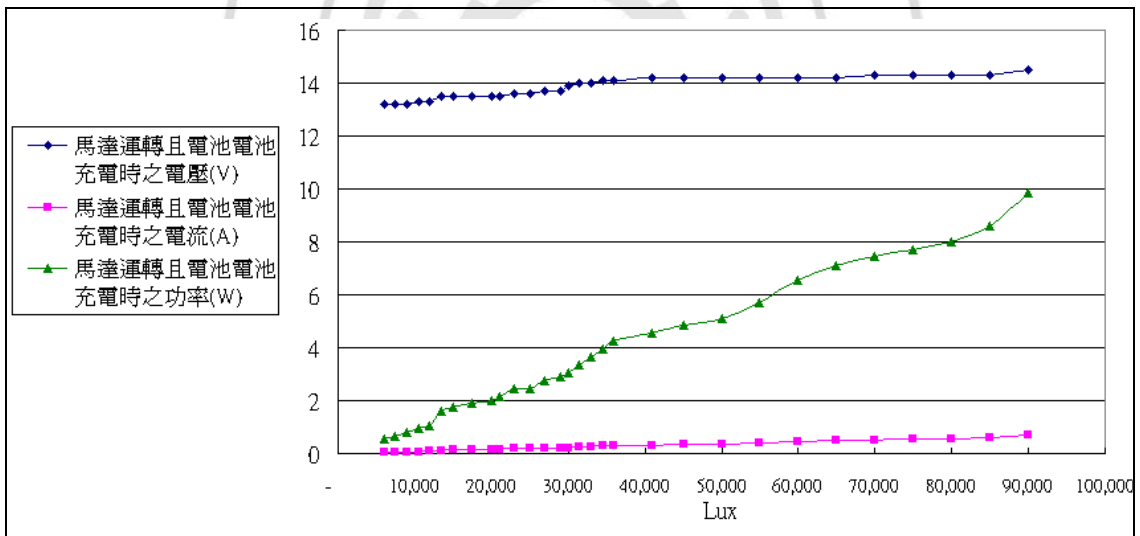


圖 4-3 照度(Lux)與太陽能電池對鉛蓄電池充電並供應馬達運轉之記錄曲線圖

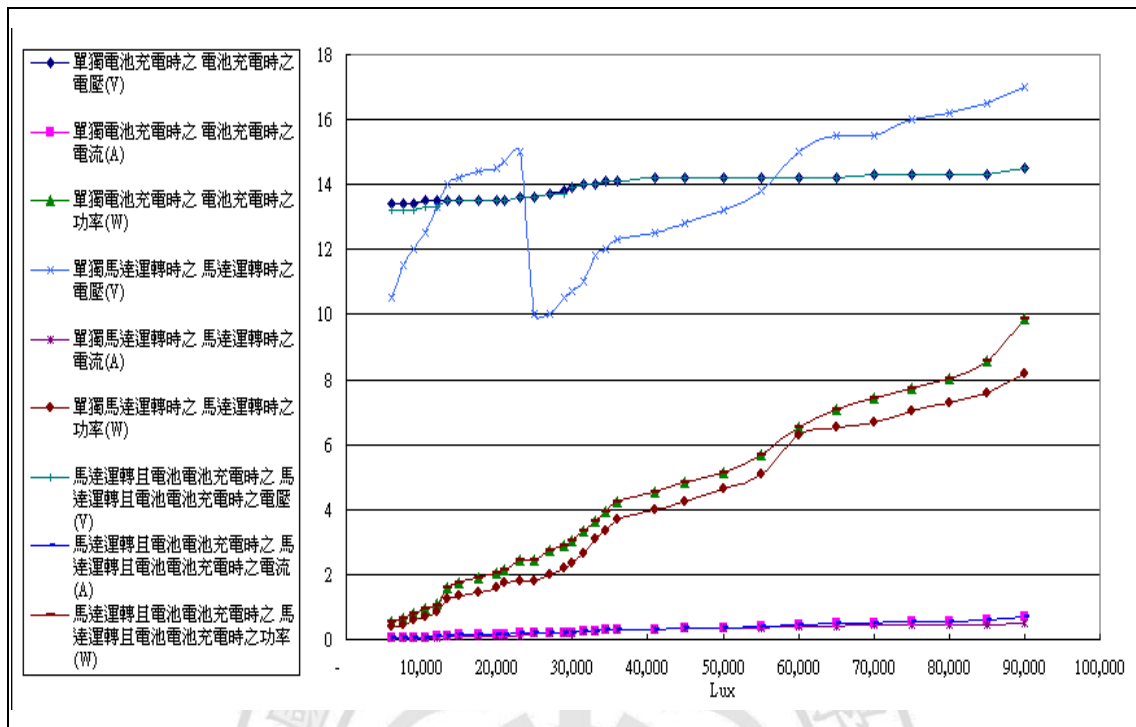


圖 4-4 照度(Lux)與整體電路系統之記錄曲線圖





#### 4.1.2 魚菜共生系統之探討與分析

魚菜共生系統之探討與分析著重於魚類之生長情形與蔬菜之成長速度方面進行探討。

由圖 4-5 實驗組(魚菜共生)之記錄曲線圖可以看到，魚菜共生組之蔬菜高度是隨著實驗天數而增長由 7cm 長至 29cm，而酸鹼度 pH 值則是在 7.2 至 8 之間，含氧量 DO 值也是在 7 ppm 至 7.9 ppm 之間，電導度 EC 值在由 0.3 mS/cm 緩升至 0.6 mS/cm 之間，並無劇烈之變化，但是魚產養殖部分之數量就有明顯減少之差異，水中也有放置硝化菌群進行硝化作用， $\text{NO}_2$ 、 $\text{NO}_3$ 、 $\text{NH}_3$  之濃度也在安全範圍內，但是魚群數量有可能是水溫過低或是魚隻互咬攻擊之因素，而在 30 天內由 10 隻吳郭魚減少至 3 隻吳郭魚存活率只有 30%。

而對照組(單純魚產養殖)之記錄，如圖 4-6 所示，而酸鹼度 PH 值則是在 7.5 至 8.1 之間，含氧量 DO 值也是在 6.9 ppm 至 7.9 ppm 之間，電導度 EC 值在由 0.3 mS/cm 緩升至 0.5 mS/cm 之間，並無劇烈之變化，但是魚產養殖部分之數量就有更為明顯減少之差異，水中同樣也有放置硝化菌群進行硝化作用， $\text{NO}_2$ 、 $\text{NO}_3$ 、 $\text{NH}_3$  之濃度也在安全範圍內，但是魚群數量卻大減，在 30 天內由 10 隻吳郭魚減少至 3 隻吳郭魚，存活率只有 10%。

另外對照組(單獨水耕種菜)之記錄方面，如圖 4-7 所示，對照組之蔬菜高度是隨著實驗天數而增長由 7cm 長至 33cm，酸鹼度 pH 值則是在 6.9 至 7.8 之間逐日呈現出水質酸化現象，含氧量 DO 值也是在 6.9 ppm 至 7.6 ppm 之間，電導度 EC 值則一直維持在 0.9 mS/cm，並無劇烈之變化。

最後由圖 4-8 實驗組與對照組之魚與菜記錄曲線圖可以看出，魚產養殖方面實驗組的 30%存活率勝於對照組之 10%存活率;蔬菜培育方面則是對照組之 33cm 勝於實驗組之 29cm。

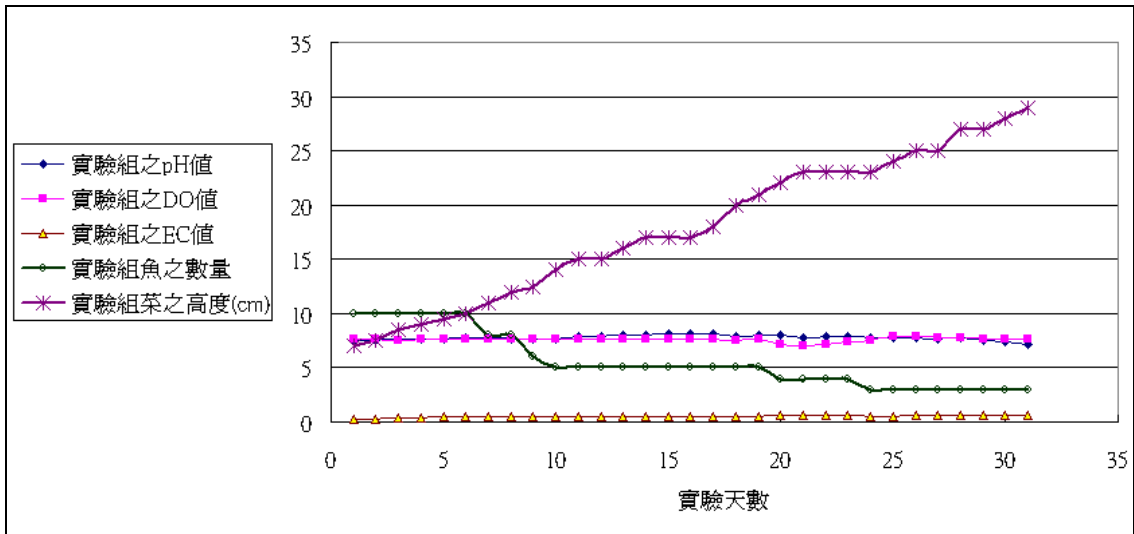


圖 4-5 實驗組(魚菜共生)之記錄曲線圖

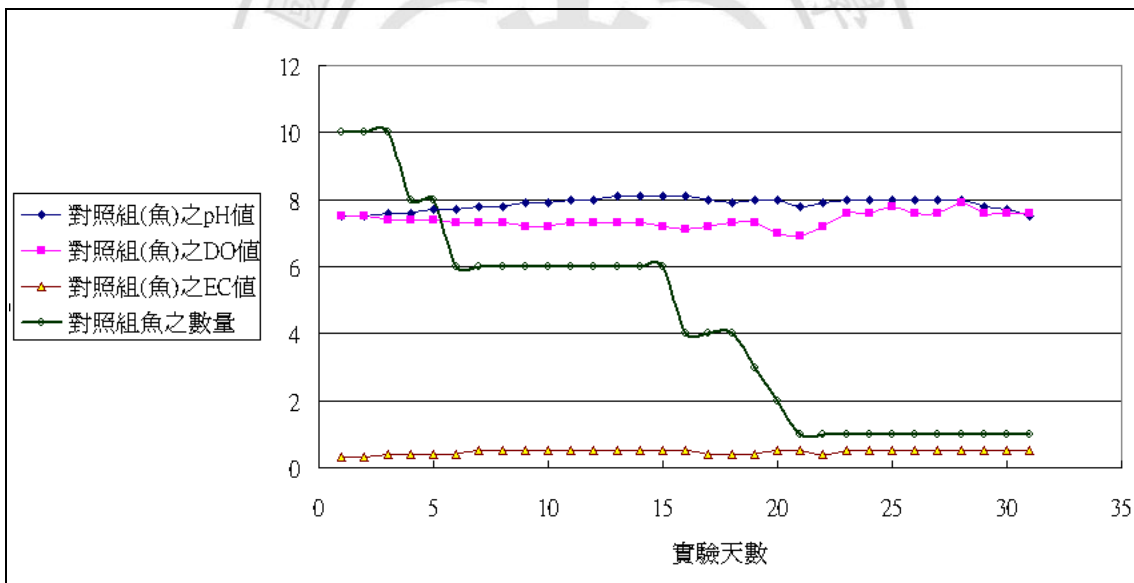


圖 4-6 對照組(單純魚產養殖)之記錄曲線圖

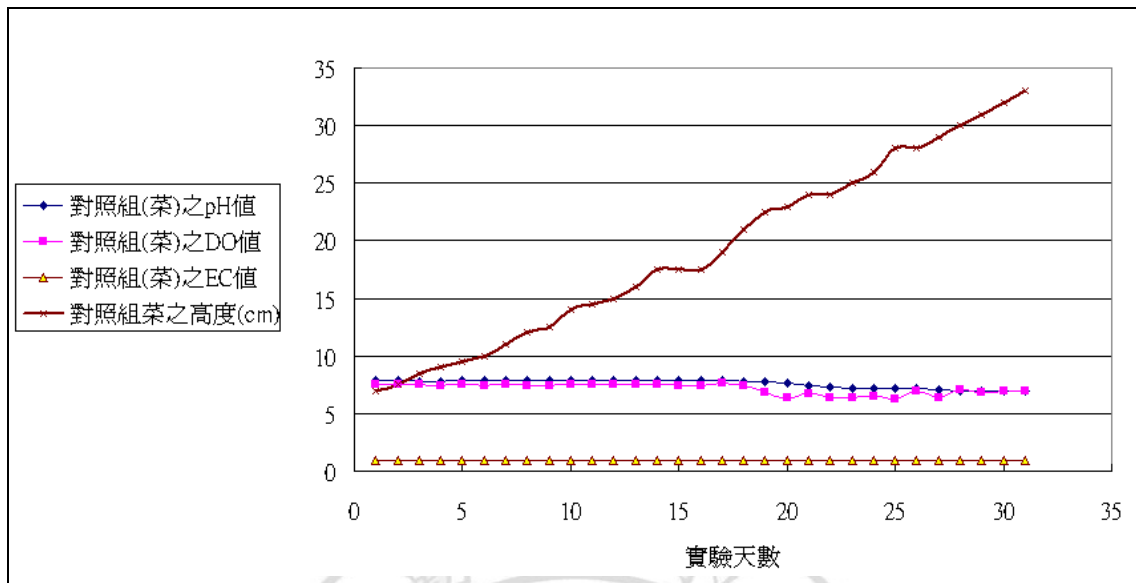


圖 4-7 對照組(單獨水耕種菜)之記錄曲線圖

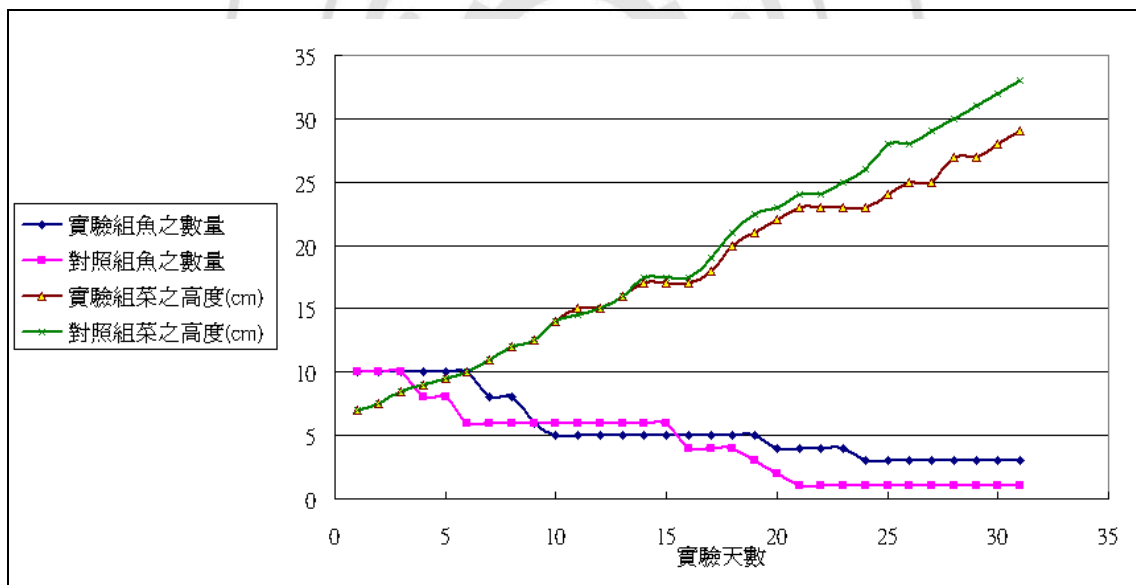


圖 4-8 實驗組與對照組之魚與菜記錄曲線圖

## 4.2 研究結果

本研究之結果包括三大部份，第一部份為太陽能電池應用於室內植栽之魚菜共生系統之產出結果分析，第二部份為光照控制對蔬菜成長之影響，第三部份為太陽能電池應用於魚菜共生系統上的經濟效益分析。

### 4.2.1 太陽能電池 應用於室內植栽之魚菜共生系統之產出結果分析

在上一節之資料分析發現，魚產養殖方面:實驗組的 30%存活率勝於對照組之 10%存活率;而蔬菜培育方面:則是對照組之 33cm 勝於實驗組之 29cm。

如上一節之資料分析結果，可以證明魚菜共生系統是可以增加魚產養殖之產量的，但是魚菜共生系統因為養液濃度比較低，因此可以提供給植物生長的養份會比傳統水耕栽培之化學肥料之營養成份少，但是差距並不大只有 10%左右，考慮到魚菜共生系統是利用魚類所排放之物體及殘餘之飼料經由硝化系統轉換後，成為供給植物成長所需要之養份，而植物再經過根部的養份吸收及過濾後，將魚產養殖水給清潔處理再返回魚池之中，做為一種互惠共生之循環模式。

因此在整體魚貨及蔬菜產出效率以及肥料與飼料之投資成本上，魚菜共生系統是遠優於傳統之魚產養殖和水耕栽培的;若是再加上有機種植與無毒養殖的附加價值，其魚菜共生系統之經濟效益更是傳統之魚產養殖和水耕栽培之數倍獲利。



圖 4-9 太陽能發電設施之照片

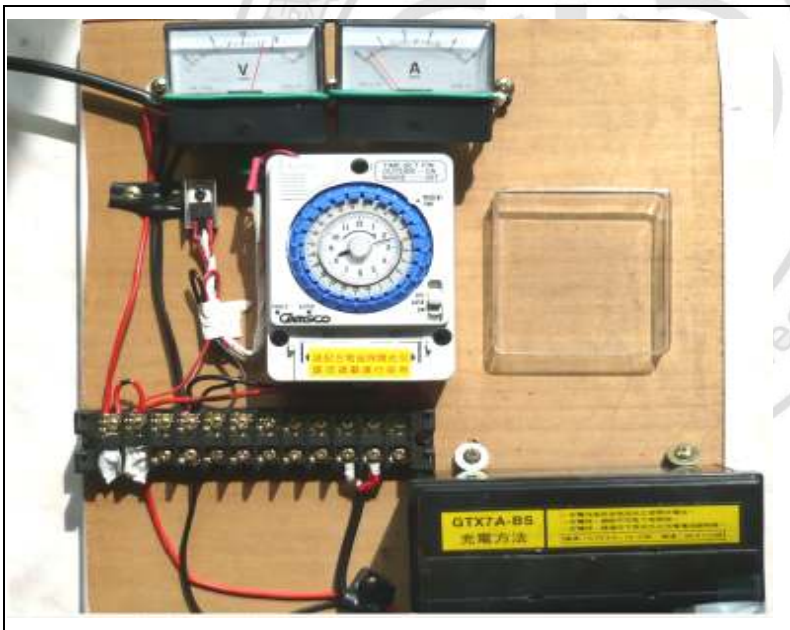


圖 4-10 控制電路系統之照片



圖 4-11 魚菜共生系統之照片



圖 4-12 單純魚缸養殖系統之照片



圖 4-13 單純水耕種植蔬菜系統之照片



## 4.2.2 光照控制對蔬菜成長之影響

本研究利用一般家庭建築物之空間來進行魚菜共生之架構測試，其中於作物栽培之部分與一般溫室之水耕栽培方面並無不同之處，但是必須考慮建築物的遮蔽對於栽培環境所造成的問題如圖 4-14 與圖 4-15 所示，尤其光照與空氣流通量這兩大因素是造成蔬菜收穫好壞之原因。

在魚菜共生與一般水耕栽培之養液濃度(EC 值)接近之下，室內環境栽培之蔬菜生長與收穫量相當接近，如圖 4-8 所示；但是改變其生長環境之光照因素時，其生長與收穫量可是有天壤之別，差異相當之大，如圖 4-16 所示。

水耕栽培作物部份之後續實驗，是將二組養液濃度相同且生長情況相似之水耕栽培作物，實驗組移到戶外半日照處，而另一對照組放在室內落地窗旁之位置，經過 30 天之後採下作物，其水耕栽培作物之高度與重量，由整理後得到表 4-1 之成果可以看出，短日照時間且光照強度不足之對照組，其生長狀況不良徒長且瘦弱，葉面顏色偏白；而放置於戶外半日照處之實驗組，其生長勢旺盛，組織強壯葉面豐滿重量扎實，與對照組形成強烈之對比。

表 4-1 水耕栽培作物後續實驗之成果比較表

	實驗組	對照組
水耕栽培作物之高度(cm)	73	80
水耕栽培作物之重量(g)	172	16



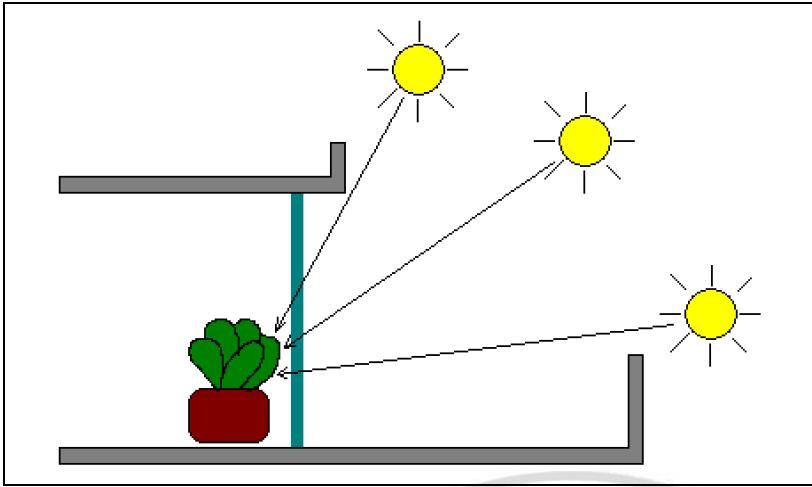


圖 4-14 光照時間與光照強度(Lux)與室內環境栽培之示意圖

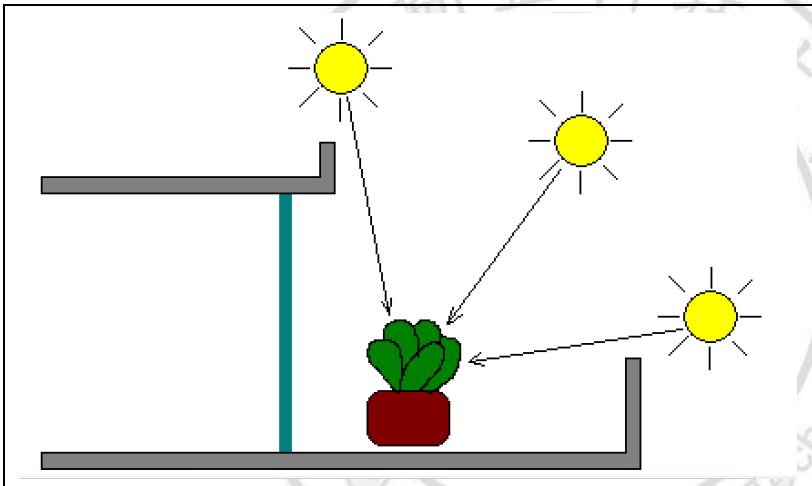


圖 4-15 光照時間與光照強度(Lux)與戶外環境栽培之示意圖



圖 4-16 後續實驗實驗組與對照組水耕栽培作物之照片

### 4.2.3 太陽能電池應用於魚菜共生系統之成本分析

本節將進行太陽能電池應用於魚菜共生系統上的經濟效率之分析，以往的太陽能電池其建置成本過高，若無政府的獎/補助，一般民眾較少自行建置使用太陽能電池系統，而本研究使用網路上可以購買到之平價化產品，再加以組合及分配之後進行成本分析。

太陽能電池應用於魚菜共生系統所需要之設備與費用如表 4-2 所示，使用一般電力之水耕設備系統所需要之設備與費用如表 4-3 所示。

表 4-2 太陽能電池應用於魚菜共生系統所需之設備與費用

項次	設備名稱:	成本費用:
1	太陽能電池 Solar P.V	1,800
2	鉛酸蓄能電池	600
3	不斷電型時間控制器	900
4	直流無刷沉水馬達	700
5	植物栽培槽 20L	300
6	魚產養殖箱 80L	500
7	發泡煉石	500
8	蔬菜種苗	30
9	魚苗	150
10	魚飼料 20Kg(海豐)	1,200
11	水費 0.5 度(14 元/度)	7
	總計	6,887

(以上不包括人力支出及建置費用)

表 4-3 使用一般電力之水耕設備系統所需要之設備與費用

項次	設備名稱:	成本費用:
1	電力電纜線(50 公尺)	1,500
2	無融絲開關及電源插座	500
3	不斷電型時間控制器	900
4	交流電沉水馬達 1/8Hp	1,000
5	植物栽培槽 20L	300
6	養液混合槽 80L	500
7	發泡鍊石	500
8	蔬菜種苗	30
9	肥料 20Kg(勇壯 550)	1,200
10	水費(14 元/度)	7
11	電費 0.5 度(使用 18KWH)	54
	總計	6,491

(以上不包括人力支出及電錶與自來水之建置費用)

太陽能電池應用於魚菜共生系統之建置成本為新台幣 6,887 元，而使用一般電力之水耕設備系統建置成本為新台幣 6,491 元，初期設備成本部份兩者差異金額為 196 元。

若將變動成本併入計算，則使用一般電力之水耕設備系統每個月將多出 54 元之電費，也就是在 4 個月之後將達到平衡，往後反而是使用一般電力之水耕設備系統將耗費更多的電力，使得整體之生產成本增加。

而由於以魚菜共生系統所生產出來的蔬菜水果，是以魚蝦之排洩物或殘留餌料，經過硝化作用後，轉換為蔬菜水果成長所需的養份，因此可將其歸屬於有機肥料種植，其商品價值將高於一般使用化學之水耕作物。

除此之外，魚菜共生系統更可以產出無毒魚蝦之健康食物，其產出之附加價值更是遠優於傳統魚產養殖法。而且其使用之水量極少，養殖過程中無需換水，因為植物根部會過濾水中雜質以及吸收多數的硝酸鹽，除了補充少部份植物成長所吸引以及蒸散的水份，以及養殖水槽蒸發的水份之外，不必像一般養殖業使用大量的水源而且造成地下水超抽以及排出優養化廢水。

綜合以上所述，本研究之太陽能電池應用於魚菜共生系統，是一種符合環保愛地球，以及增進人類食用安全與健康的複合效益，而且還可以增加生產者之收入，因此在實際之使用方面其可行性是相當高的。



## 五、結論與建議

### 5.1 研究結論

本研究嘗試以太陽能電池完全替代電力公司之電力，將其應用在結合環保與安全健康概念的魚菜共生系統，建構出一套可行的架構與運作模式，以及測試出運作時所發生的狀態。

將本研究之成果整理後，得到以下六點之結論。

#### (1)用電需求部份:

魚菜共生系統或是水耕栽培系統，確實是可以用太陽能電池完全替代電力公司之電力，而且其小規模之建置成本並不高，與傳統水耕栽培系統之建置成本差距不大。

#### (2)植物栽培部份:

在合理的餵養量之下，魚菜共生系統的養液濃度略低於傳統水耕栽培之化學養液，導致供給植物生長的養份會略少一些，只有 10%左右之差距。但在營養成份方面，魚菜共生系統較化學之養液肥料成份完整，因此口感及味覺效果很好，最重要的是，魚菜共生系統可標榜健康與無毒，未來在市場上販賣蔬果價格也將會比較高。

#### (3)水產養殖部份:

由本文實驗之數據可以看出，魚菜共生系統所養殖之魚類存活度，遠高於一般水族缸養殖之魚類存活度。

#### (4)土地面積利用部份:

一般在農村的蔬菜生產種植，其土地之成本並不高，若是要在土地價值昂貴寸土寸金之都會區建立魚菜共生系統，卻也未必不可，因為只要利用建築物頂樓或陽台的有限空間，就可以建立一套小型之魚菜共生系統，其生產過程及運輸過程不會增加二氧化碳之排放量，符合環保趨勢，而且又馬上就有新鮮又健康的蔬菜水果或是魚蝦貝類可以享用，甚至還可以當成餐廳行銷的噱頭，因此在土地價值昂貴之都會區建立魚菜共生系統也是可行的。

#### (5)水源需求部份:

魚菜共生系統所需要的水份相當的少，因為水體不斷的循環，魚類排放之物體及殘餘之飼料經由硝化系統轉換後，成為供給植物成長所需要之養份，而植物再經過根部的養份吸收及過濾後，將魚產養殖水清潔處理再返回魚池之中，所消耗的水份只有被蒸發及植物蒸散作用而失去的水份。

#### (6)其他附加效益:

魚菜共生系統更可以產出無毒魚蝦之健康食物，其產出之附加價值更是遠優於傳統魚產養殖法，魚菜共生系統是可以使用最少的運轉電力，以及消耗最少水資源的一種複合式養殖方法。

## 5.2 本研究之貢獻

本研究之測試數字顯示，確實可以將低成本的太陽能電池 應用在供給人類新鮮空氣與新鮮食物的魚菜共生系統，這套系統未來將可以應用在許多傳統農業所不能到達的地方，包括人造新生地、都市大樓的頂樓或陽台、沙漠地區、甚至是太空基地…等人類有辦法到達之處，皆可以實施利用太陽能電池 的魚菜共生系統。

本系統所需要的輸入部份只需要:1. 充足的日照 2. 少許乾淨的水源 3. 足夠的魚蝦飼料，就可以達到提供人類新鮮無毒之蔬菜水果與魚蝦貝類的食物，並且可以不需要任何以燃燒而產出的電力，因此完全沒有使用市電而增加二氧化碳排放的問題，反而可以經由光合作用將二氧化碳轉換成植物的一部份，淨化我們周遭的環境空氣。

因此，本研究之主要貢獻為:增進人類的健康，可以知道自己吃到的東西確實是無毒的、是新鮮的、是有機的食物，而且可以降低大氣中的二氧化碳，也算是為減緩地球暖化盡了一份心力，也呼應了政府節能減碳的政策。

### 5.3 後續研究建議

本研究發現，植物的生長除了養份的供給要充足以及溫濕度要適當之外，光照之強度與照射的時間長短，更是影響植物產量的最主要因素，因此建議後續之研究者可以朝向此一方向研究。

唯不建議使用燃燒煤礦所產生的市售電力，以及高耗能的燈具來進行光照實驗，因為那非常不環保也非常不符合經濟效益。

對於水耕栽培系統是否一定需要在設施環境控制之下的問題，也可以讓後續之研究者提出來探討，因為設施栽培最主要的目的就是提供一穩定的作物生長環境，使得溫度、濕度、空氣循環對流度以及養液濃度之穩定性，不容易因為下雨或是烈日而改變其生長點，其養液之 EC 值、pH 值、DO 值也較不易隨之改變，唯完整的環境控制設備需要耗費大量的能源，才能保持其生長條件之設定，因此其作物產出之經濟效益，必須遠超過投入之設備之成本與消耗之能源費用才行。

### 5.4 研究限制

本研究由於時間與實驗空間以及經費之限制，無法用更長久之時間來進行大規模的實驗，希望若是有研究單位有興趣進行與本文相關之研究者，可以一起配合實驗，讓更多也更精確之研究數據可以呈現出來，以增加我國的人民之福祉與健康，和技術提升帶來更多的經濟繁榮。



## 參考文獻

- [1] 陳維新，2008，能源概論，三版修定，高立圖書有限公司，台北。
- [2] 周玉汶，2005，深層海水廠商最適水產養殖策略之研究，屏東科技大學工業管理系碩士論文。
- [3] 邱偉豪，2008，控制環境內波士頓萵苣立體化栽培之研究，臺灣大學生物產業機電工程學研究所碩士論文。
- [4] 蔡尚光，1993，水耕栽培的魅力(增訂版)，淑馨出版社，台北。
- [5] 蔡尚光，1993，植物工場(修訂版)，淑馨出版社，台北。
- [6] 蔡尚光，2004，水耕栽培的經營，三刷，淑馨出版社，台北。
- [7] 丘應模，2000，清潔蔬菜，渡假出版社有限公司，台北。
- [8] 高德錚，1988，精緻農業水耕栽培，青輔會，台北。
- [9] 連啟超，2008，建構試驗性室內植栽及複合養殖之環境模擬與測試，國立勤益科技大學冷凍空調與能源系碩士論文。
- [10] 方煒，黃宇宏，2008，水質監控-溶氧量測，循環水養殖工程-生物環境控制與系統分析實驗室 <http://www.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/lab551/aqua.htm>
- [11] 葉有仁，養魚世界雜誌，2003年3月號。
- [12] 高德錚，1986，水耕栽培-精緻蔬菜生產技術之開發，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。
- [13] 黃奕熙，1995，循環水過濾式超集約養鰻自動化監控系統之建立，國立台灣大學農業機械工程學系碩士論文。
- [14] 黃宇宏，2000，養殖廢水氨氮去除速率之探討，國立臺灣大學生物產業機電工程學研究所碩士論文。
- [15] 張祖亮，1998，“養液栽培之應用技術”，種苗生產自動化技術通訊，種苗生產自動化技術服務團，3期，pp. 1-12。

- [16]行政院農業委員會苗栗區農業改良場，2009，農業築巢營課程講義。
- [17]行政院農業委員會台中區農業改良場，2007，農民專業訓練課程講義。
- [18]周俊男，2006，太陽能發電整流變流器與市電併聯系統之研製，中原大學電機工程研究所碩士論文。
- [19]王文宏，2005，高效率太陽光電能源轉換系統，元智大學電機工程學系碩士論文。
- [20]Hinrichs,R.A.and Kleinbach,M.,Energy:Its Use and the Enviroment, Harcourt Inc.,2006.



附表一：照度與太陽能電池對鉛蓄電池充電及馬達運轉之記錄表

使用模式	單獨電池充電時之			單獨馬達運轉時之			馬達運轉且電池電池充電時之		
	照度 Lux	電壓(V)	電流(A)	功率(W)	電壓(V)	電流(A)	功率(W)	電壓(V)	電流(A)
6,000	13.4	0.04	0.536	10.5	0.04	0.42	13.2	0.04	0.528
7,500	13.4	0.05	0.67	11.5	0.04	0.46	13.2	0.05	0.66
9,000	13.4	0.06	0.804	12	0.05	0.6	13.2	0.06	0.792
10,500	13.5	0.07	0.945	12.5	0.055	0.6875	13.3	0.07	0.931
12,000	13.5	0.08	1.08	13.3	0.065	0.8645	13.3	0.08	1.064
13,500	13.5	0.12	1.62	14	0.09	1.26	13.5	0.12	1.62
15,000	13.5	0.13	1.755	14.2	0.095	1.349	13.5	0.13	1.755
17,500	13.5	0.14	1.89	14.4	0.1	1.44	13.5	0.14	1.89
20,000	13.5	0.15	2.025	14.5	0.11	1.595	13.5	0.15	2.025
21,000	13.5	0.16	2.16	14.7	0.12	1.764	13.5	0.16	2.16
23,000	13.6	0.18	2.448	15	0.12	1.8	13.6	0.18	2.448
25,000	13.6	0.18	2.448	10	0.18	1.8	13.6	0.18	2.448
27,000	13.7	0.2	2.74	10	0.2	2	13.7	0.2	2.74
29,000	13.8	0.21	2.898	10.5	0.21	2.205	13.7	0.21	2.877
30,000	13.9	0.22	3.058	10.7	0.22	2.354	13.9	0.22	3.058
31,500	14	0.24	3.36	11	0.24	2.64	14	0.24	3.36
33,000	14	0.26	3.64	11.8	0.26	3.068	14	0.26	3.64
34,500	14.1	0.28	3.948	12	0.28	3.36	14.1	0.28	3.948
36,000	14.1	0.3	4.23	12.3	0.3	3.69	14.1	0.3	4.23
41,000	14.2	0.32	4.544	12.5	0.32	4	14.2	0.32	4.544
45,000	14.2	0.34	4.828	12.8	0.33	4.224	14.2	0.34	4.828

50,000	14.2	0.36	5.112	13.2	0.35	4.62	14.2	0.36	5.112
55,000	14.2	0.4	5.68	13.8	0.37	5.106	14.2	0.4	5.68
60,000	14.2	0.46	6.532	15	0.42	6.3	14.2	0.46	6.532
65,000	14.2	0.5	7.1	15.5	0.42	6.51	14.2	0.5	7.1
70,000	14.3	0.52	7.436	15.5	0.43	6.665	14.3	0.52	7.436
75,000	14.3	0.54	7.722	16	0.44	7.04	14.3	0.54	7.722
80,000	14.3	0.56	8.008	16.2	0.45	7.29	14.3	0.56	8.008
85,000	14.3	0.6	8.58	16.5	0.46	7.59	14.3	0.6	8.58
90,000	14.5	0.68	9.86	17	0.48	8.16	14.5	0.68	9.86

