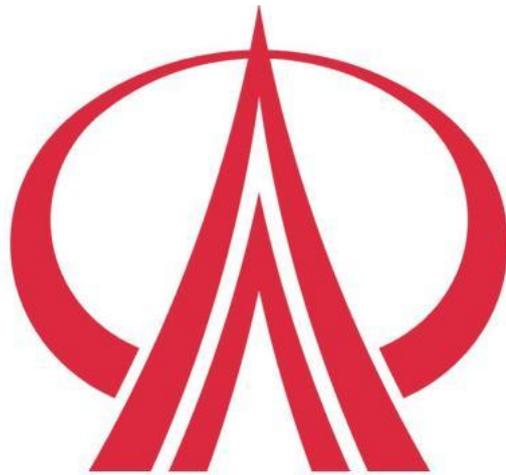


能源與材料科技系  
實務專題論文

太陽能電池結合魚菜共生系統之評估



指導老師： 陳志義 副教授

能材三乙	BB102086	鍾育嫻
能材三乙	BB102063	黃婉綾
能材三乙	BB102067	李昱鋁

修 平 科 技 大 學

中 華 民 國 105 年 5 月 25 日

## 致 謝

首先要感謝我的指導教授 陳志義 老師，在這一年學習過程之中，不斷的帶給我們新的觀念，在學校修除了把書讀好以及人際關係之外，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。

這一年多我學到了很多，也感謝蕭志欣 老師指導我們搭建魚菜共生的系統，學會如何互相幫忙如何安慰，即使遇到了挫折，我們都一起度過了，一起走過了這最艱難的時刻，一開始完全不懂的我們，根本不知道這實驗的意義跟實驗到底在做甚麼，而經過了陳志義老師細膩得教導，不厭其煩的，讓我們知道這實驗原來如此的不簡單，要讓魚跟菜共存必須要控制好每一個小細節，只要有一點閃失我們可能要從新來過，這也間接訓練我們對事情的細膩程度。每個組員的互相提攜，互相包容，利用鼓勵代替責罵，我知道實驗很辛苦但我們做到了。

## 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模組，並藉理論分析與實測 試，探討太陽能電池實際使用於精緻農業上之可行性，並利用土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。

就魚菜共生的系統裡，土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。

# 目 錄

致 謝 .....	I
摘 要 .....	II
目 錄 .....	III
圖目錄 .....	V
表目錄 .....	VII
1. 前言 .....	1
1.1 研究動機與目的 .....	2
2. 文獻回顧 .....	3
2.1 水耕栽培設施 .....	3
2.1.1 水耕與土耕比較 .....	4
2.2 植物生長要素 .....	6
2.3 水產養殖之水質處理法 .....	9
2.4 硝化作用 .....	10
2.5 太陽能電池 .....	13
2.5.1 太陽能電池材料種類 .....	13
2.5.2 使用太陽能之優缺點 .....	14
2.5.3 太陽能與能源之間的轉換 .....	15
2.6 魚菜共生 .....	17
2.7 實驗條件 .....	19
3. 研究方法 .....	23
3.1 實驗器材與藥品 .....	23
3.1.1 太陽能系統之器材 .....	23
3.1.2 魚菜共生系統之器材 .....	24

3.1.3 測量魚池中水質之器材和藥品： .....	26
3.2 魚菜共生結合太陽能系統之步驟.....	29
4. 結果與討論 .....	32
4.1 清水耕、魚池耕、土耕之蔬菜成長比較.....	32
4.2 栽種期滿兩個月，蔬菜收成日 .....	35
4.3 pH、EC、NO <sub>3</sub> 、DO 之分析說明採樣品、分析過程? .....	38
5. 結論 .....	47
參考文獻 .....	48
附錄一、105 工程學院實務專題海報 .....	49

## 圖目錄

圖一、水耕在培設施分類.....	3
圖二、土壤生態系之氮素循環系統.....	6
圖三、太陽與各能源轉換之過程.....	16
圖四、魚菜共生簡易循環圖.....	18
圖五、本研究所使用之 (a)太陽能電池 (b)規格圖.....	23
圖六、(a) 控制電量器 (b) 蓄電池 實景圖.....	24
圖七、(a) 500L PU 水桶 (b) 菜盆 (c) 過濾水盒.....	25
(d) 沉水馬達(e) 水管 (f) 打氧氣機 (g) 礫石.....	25
圖八、pH 計.....	28
圖九、EC 計.....	28
圖十、UV 光譜儀測 NO <sub>3</sub> .....	28
圖十一、1 M HCL.....	28
圖十二、太陽能電池之控制電路配置圖.....	29
圖十三、示意圖 (a) 清水耕 (單獨)(b) 魚菜系統之魚池耕、土耕.....	31
圖十四、(a)清水耕種 (b)魚菜系統：土耕、魚池耕 實景圖.....	32
圖十五、栽種一個月之實景圖 (a)清水耕 (c) 魚池耕 (e) 土耕.....	34
一個月半 之實景圖 (b)清水耕 (d) 魚池耕 (f) 土耕.....	34
圖十六、收成土耕蔬菜.....	35
圖十七、收成菊苣.....	35
圖十八、清洗土、礫石.....	35

圖十九、秤重菊苣約 457.5g.....	35
圖二十、測量菊苣成長長度.....	35
圖二十一、測量菊苣成長寬度.....	35
圖二十二、(a) 清水耕 (b) 土耕 之實景圖.....	37
火焰菜 (c) 清水耕 (d) 土耕 之採收量圖.....	37
紅萵苣 (e) 清水耕 (f) 土耕 之採收量圖.....	37
大陸妹 (g) 清水耕 (h) 土耕 之採收量圖.....	37
菊苣 (i) 清水耕 (j) 土耕 之採收量圖.....	37
圖二十三、火焰菜在每週 (a) 平均高度(cm) (b)平均葉數(片)之變化	40
圖二十四、紅萵苣在每週 (a) 平均高度(cm) (b)平均葉數(片)之變化	41
圖二十五、大陸妹在每週 (a) 平均高度(cm) (b)平均葉數(片)之變化...	42
圖二十六、菊苣在每週 (a) 平均高度(cm) (b)平均葉數(片)之變化.....	43

## 表目錄

表一、水耕各種栽培介質之特性.....	4
表二、水耕與土耕栽培的比較 <sup>[4]</sup> .....	5
表三、主要元素與微量元素.....	7
表四、硝化作用效率與各項環境因子而受到的影響.....	11
表五、各種類之製作方法與發電效率.....	14
表六，使用太陽能之優缺點 <sup>[11]</sup> .....	15
表七、各種能源設備之能源轉換過程與轉換效率.....	16
表八、溫度與水中的氧的飽和量之關係（氣壓 760mm 下）.....	22
表九、測量菜苗的平均長度(cm).....	32
表十，栽種一個月，三種栽種方式比較之蔬菜成長高度。.....	33
表十一、量測數據整理，pH、EC、NO <sub>3</sub> 、DO。.....	38
表十二、各蔬菜在三種耕種之平均總重與平均根重之數據.....	44

## 1. 前言

因在地球上人類人口數越來越多的情況下，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。

加上台灣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。但是台灣已經進入開發中國家，人事工資成本很高，且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，進而造成農田地力的衰退與地下水污染問題的發生。

近年來由於溫室效應而導致天氣狀況的異常，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。

又在現今農藥氾濫的狀況下，注意飲食健康的我們，有沒有想過在那些葉子上，殘留了多少對我們身體有害的農藥呢？除了擔心蔬果的農藥殘留問題之外，如果說自己種植蔬菜，既不用擔心農藥的問題又可以享用難得的田園樂趣，還可以吃得既健康又安心。印象中的菜園通常需要一塊土地，大多數人根本不可能擁有任何土地，即使很幸運的擁有一片地，在插秧前的前製過程太繁瑣。

不過幸運的是，近年來以人力來改變植物的自然生長環境的設施園藝，發展蓬勃迅速，其中的水耕栽培法是最受矚目的一種無土栽培法。因不需要施肥除草管理及設施都相當簡單，且更重要的是沒有土壤為介質，病蟲害的發生機率大幅度減少，不需要噴灑農藥，因此發展適合家庭菜園的新興栽培法，尤其對於一地難求的都市人，提供了夢想成真的可能性，意義更是匪淺。

## 1.1 研究動機與目的

現今人們最不放心的食品因蟲害、農藥、運送途中的問題等，因此魚菜共生系統將是本實驗最先探討的問題之一，讓安全的食材與不會對地球造成汙染能達到平衡，而我們的栽培技術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分，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。

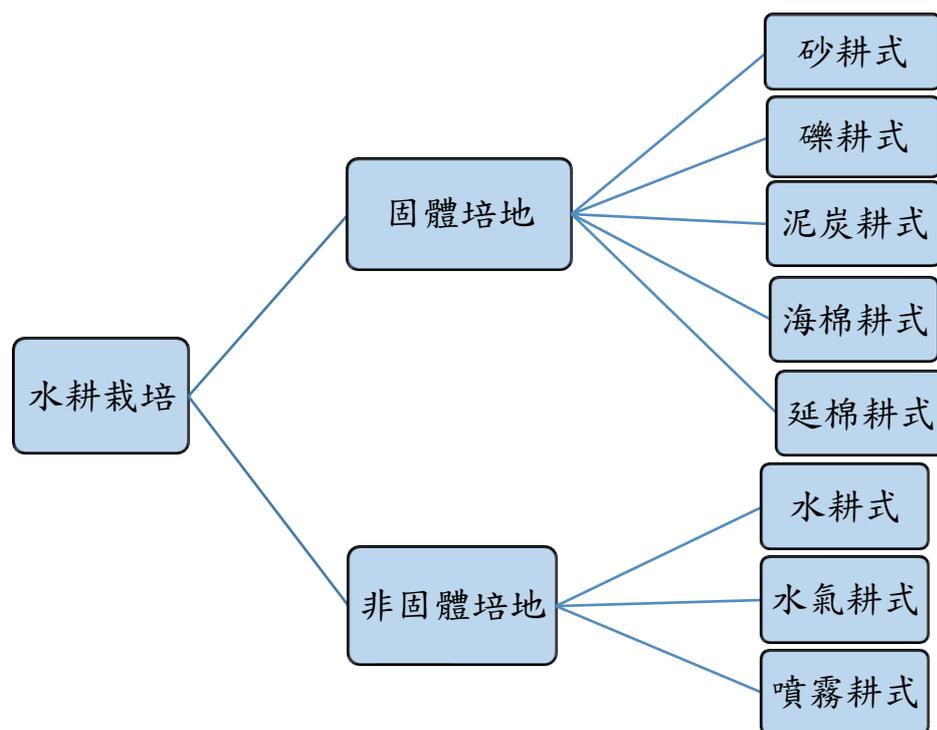
如何能夠達到克服天氣狀況的異常，在自然氣候條件不良的環境條件下，生產出日常生活所需的農作物以及魚蝦等食物，無需使用外部電力公司燃燒煤礦而產的電力，而只有使用太陽能電池所產生的電力來進行土耕栽培，就是本實驗所要探討的目的。

## 2. 文獻回顧

### 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。<sup>[1]</sup>

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，其水耕栽培設施分類，如圖一所示。



圖一、水耕在培設施分類

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。其表一所示，水耕各種栽培介質之特性。<sup>[2]</sup>

表一、水耕各種栽培介質之特性

介質種類		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。
	碳化稻穀	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。
	海綿	質量輕、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。
	稻穀	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。

### 2.1.1 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。水耕與土耕栽培的比較，如表二所示。<sup>[3]</sup>

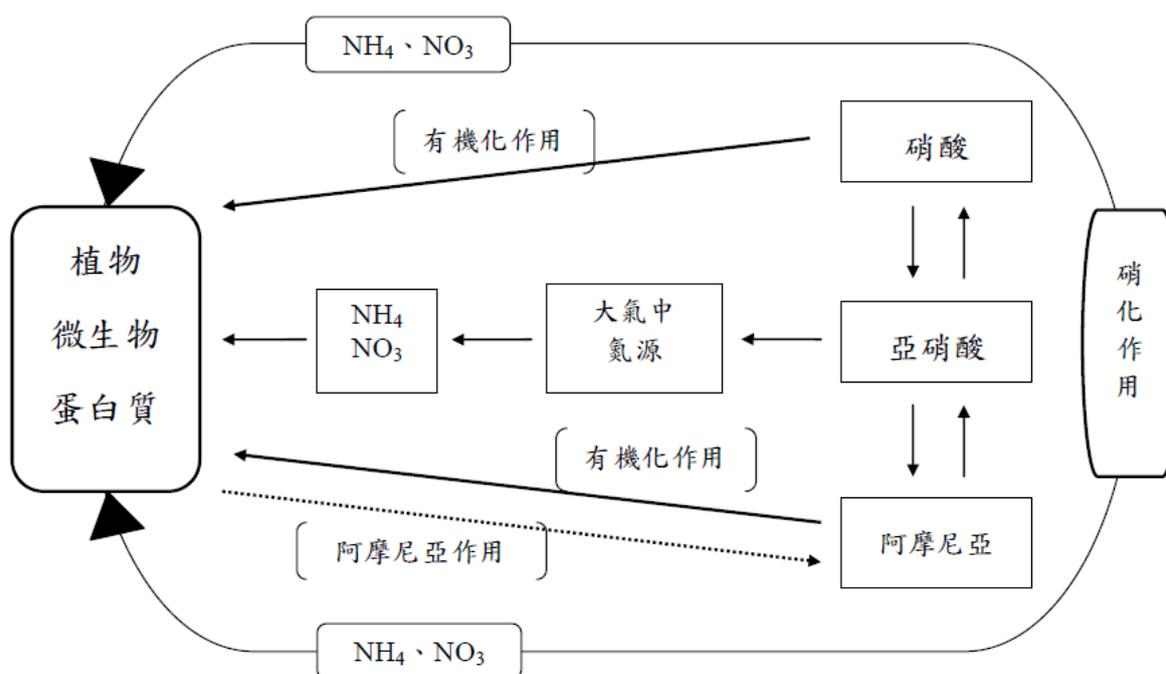
表二、水耕與土耕栽培的比較 [4]

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缺乏症
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、汙染大，清潔安全度堪慮，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

## 2.2 植物生長要素

由於一般植物不能正常生長於純空氣或水中，必須賴無機礦物元素之供給，才能維持均衡之生育。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。<sup>[4]</sup>

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。傳統之水耕營養液則以直接供應氮氮、磷、鉀等元素。如圖二所示，土壤生態系之氮素循環系統。



圖二、土壤生態系之氮素循環系統

維持植物所需營養要素有 16 種，其中被稱為主要元素(巨量元素)是以碳、氫、氧、氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫等九種元素，而將鐵、錳、銅、鋅、鈾、硼、氯等七種稱元素稱之為微量元素，如表三所示。<sup>[5]</sup>

表三、主要元素與微量元素

	元素名稱	主要作用
主要元素	碳 (C)	為植物體內全部有機物之組成物之一。
	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。
	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。
	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。
	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。
	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。
	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。
	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。
	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。
微量元素	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。

量 元 素	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。
	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。
	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。
	硼 (B)	參與植物體篩管之運輸碳水化合物之步驟。
	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> )。

土壤中所含的許多元素中，一般以氮最易缺乏，NO<sub>3</sub><sup>-</sup>及NH<sub>4</sub><sup>+</sup>為氮的有效吸收態，植物之生長，顯著的受有效氮濃度多寡而支配，在生長過程中，缺氮最早的徵兆為老葉黃化，植株生育受限制；反之，若過多則營養過旺，有礙開花、結果及種子發育。

例如：磷的有效吸收態為H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>及HPO<sub>4</sub><sup>-2</sup>，若缺乏則植株矮化，葉片顏色轉紅或紫。鉀、鈣、鎂則是以本身的離子態，由根自土壤中吸收。鎂為綠色植物所必須，是構成葉綠素分子中唯一的金屬元素，硫的有效態為SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>，植物若缺硫，則葉色淡綠甚至轉黃，即所謂的萎黃病(Chlorosis)，此種病徵為黃化現象初現於幼葉部位。

植物營養所需的大量元素，是植物本身結構，或新陳代謝中所必須的構成分子。而微量元素則多是做為特殊酶系統中的重要成分，此等元素參與觸媒作用，如鐵、銅、鋅等為某些酵素之輔成基，亦有為酵素之致活劑者，故其需量極微。至於植物營養中的其它元素，發現於灰分中，僅可能對某些種類植物，或某種特殊情形所需要，如鈷、鈉、硒、鋁、矽等。

## 2.3 水產養殖之水質處理法

水產養殖環境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。<sup>[6]</sup>

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<sup>[7]</sup>。但是，水中溶氧的飽和濃度卻會與水中之溫度成反比關係。蔡尚光先生<sup>[2]</sup>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。

## 2.4 硝化作用

在人為養殖系統中，由於放養了高密度的水族生物、投餵大量的飼料，而促使水中的有毒的氨、氮和亞硝酸鹽持續累積，濃度上升，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。<sup>[8]</sup>

硝化細菌是一種好氧細菌<sup>[9]</sup>，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。

硝化作用所得的反應熱，僅有少部份，約5~14%被硝化細菌所利用，其餘以熱量方式散發至水體中。硝化作用的效率會因為環境因子，如溶氧、pH值、溫度等，而受到影響，如表四所示。

表四、硝化作用效率與各項環境因子而受到的影響

<p>硝化細菌抑制因子</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 有機污染：硝化細菌只能利用無機營養鹽，不能分解及利用有機廢物；大量的有機污染會直接或間接抑制硝化菌的生長。此外，有機污染也會干擾硝化細菌對養份的趨向性。</li> <li>2. 競爭性排除作用：水中有機廢物，會導致大量腐生細菌族群增生，對硝化菌產生空間的競爭，競爭性排除作用常發生於過濾器內部。當過濾器運轉初期有機物在過濾上層被攔截住，因此容易滋生腐生菌。但當過濾器運轉一段長時間，堆積有機質越多，容易侵入並污染過濾器下層。腐生細菌向下漫延時，相對地會與硝化細菌競爭，進而排除硝化細菌。</li> <li>3. 強光照射的危害：硝化細菌並無光合色素，所以不能利用光能來作合成作用，並且反而會受到強光照射的傷害。光線會對硝化細菌的生長及繁殖有或多或少的傷害，生態上硝化細菌有避光現象。另外，紫外線會使硝化細菌傷害或死外。</li> <li>4. 抑制劑危害：抑制劑指會抑制硝化反應或降低硝化作用的化學物質。</li> </ol>
<p>硝化細菌與附著底質</p>	<p>硝化細菌在適合環境下，可供附著的底質越多，硝化菌的數量越多。</p> <p>一般水體中，僅有少數硝化菌懸浮。硝化菌可附著於任何固體表面，但有腐生菌大量生長的有機沉積物、長滿矽藻的表面及光度太強的物體表面，均會抑制硝化菌附著。硝化細菌在水族缸的棲所，最主要為底砂床及過濾系統。過濾系統提供了附著的表面積以及水流帶動了營養、D.O.、氮源、CO<sub>2</sub>等維生物質可利用。想要增加硝化細菌棲所：1.增加底硝 2.慎選濾材，選用適當過濾器。</p>
<p>硝化細菌與氮化作用</p>	<p>硝化細菌是一大群具有分解有機物能力的有機營養菌，尤其指腐生細菌，能分泌體外酵素，消化外界有機物質。消化細菌分泌胞外酵素，降解體外大分子有機質，再利用滲透作用，將小分子吸收至體內充作營養物質。</p>
<p>適合硝化細菌與氮化作用的環境</p>	<p>消化菌能將有機質分解礦化，並因此得到養份。適合消化細菌生長範圍，T=20~35℃，pH值4-10、D.O.依據不同種類硝化菌決定。分裂速度快，25℃時，好氧型約20~30分鐘分裂一次。</p> <p>氮化作用：含氮有機物在微生物作用下，釋放出氮的過程稱為氮化作用。溫度到45℃前，溫度越快、氮化作用越強；</p>

	<p>最適溫度 30~35°C，pH4-10，最佳 pH=7。消化細菌中，能進行氨化作用者，稱為氨化細菌（amminifyingbacter），能將蛋白質分解成氨（蛋白質 → 胺基酸 → 氨）。</p> <p>水體中氨來源一是魚類排泄物，另一是氨化細菌進行氨化作用。氨化細菌附於有機物質如糞便、殘餌上，將有機氮化合物轉化為氨。氨為劇毒物，在低濃度（&lt; 0.05ppm）時，會使魚活力減弱，食慾降低。高濃度（&gt; 0.5ppm），急速中毒，魚隻死亡。</p>
氨對魚類的毒害	<p>氨會干擾魚類的滲透壓調節系統，破壞魚鰓黏膜，降低紅血球攜帶氧氣功能。氨為親脂性分子，分子易穿透細胞膜、滲透至魚體細胞內，因此外界 NH<sub>3</sub> 濃度高，魚體容易累積 NH<sub>3</sub> 在體內。</p>
NH <sub>3</sub> 與 pH 值	<p>氨在水中呈現兩種不同形式，分子態 NH<sub>3</sub> 與離子態 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>。其濃度總和稱總氨量。其中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 為親水性，不會由水體滲進魚體中，較安全。會影響水體中兩者的比例，正常狀況下，pH 值越高，NH<sub>3</sub> 比例越高。</p>

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氨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<sup>[10]</sup>，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。

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。

雖然換水能夠降低養殖系統的含氮廢物，但長期而言，這不是一個生態上永續經營的方式，因此使用循環水系統是現代科技化養殖的趨勢。就循環水養殖系統來說，水中含氮廢物的處理更顯重要，如何在密閉式的水體當中有效的降低氨氮和亞硝酸鹽將是養殖成敗與否的關鍵。在養殖的設備上，要有硝化細菌的過濾裝置，才能將養殖水中有毒的氨氮和亞硝酸鹽有效的降至安全範圍。

## 2.5 太陽能電池

太陽能電池(Solar cell)又稱光伏電池(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。<sup>[11]</sup>

### 2.5.1 太陽能電池材料種類

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)。如表五所示，各種類之製作方法與發電效率。

表五、各種類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

### 2.5.2 使用太陽能之優缺點

太陽輻射到地球大氣層的能量僅為其總輻射能量(約為  $3.75 \times 10^{26}$  W) 的 22 億分之一，但已高達 173,000 TW ( $1T = 10^{12}$ )， $1.73 \times 10^{17} W = 1.73 \times 10^{14} Kw$ 。也就是說太陽每秒鐘照射到地球上的能量就相當於 500 萬噸煤，遠遠超過地球上一天所使用的能量。使用太陽能優缺點，如表六所示。

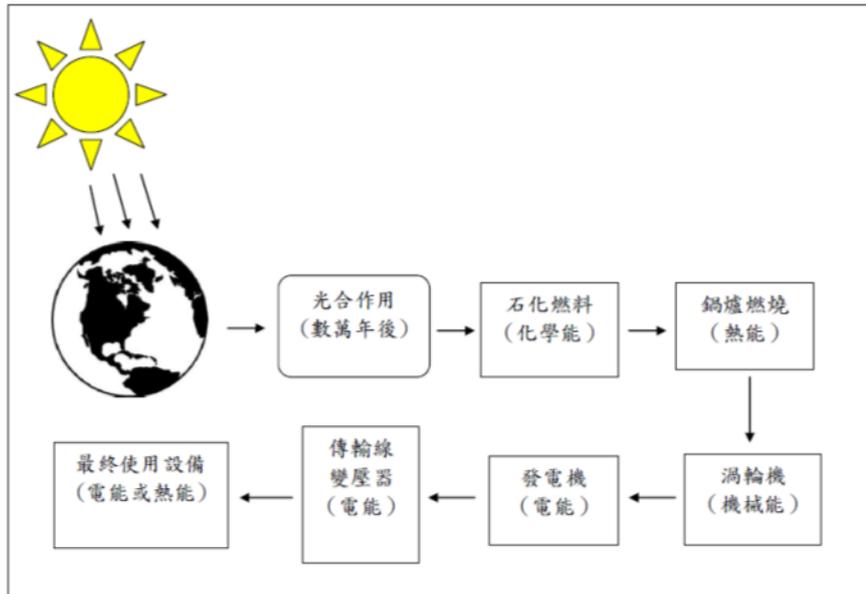
表六，使用太陽能之優缺點<sup>[11]</sup>

優點	缺點
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 太陽能屬於再生能源，且永久性。</li> <li>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。</li> <li>3. 太陽能使用時不會產生汙染和 CO<sub>2</sub>，是屬於一種乾淨的能源。</li> <li>4. 太陽能的利用，是不會額外的增加地球的熱負荷。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 太陽照射到地球表面之能量密度低。</li> <li>2. 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，屬於是間歇性的能源。</li> <li>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。</li> </ol>

### 2.5.3 太陽能與能源之間的轉換

能源可產生各種能量（如熱量、電能、光能和機械能等），是能夠直接取得或者藉由加工、轉換而取得有用的各種能源。

太陽能是最直接的能源，除了直接輻射外，還為風能、水能、生物能和礦源能源等地產生提供基礎。人類所需能量的絕大部分都直接或間接地來自太陽，正是各種植物利用光合作用把太陽能轉變成化學能在植物體內儲存下來，煤炭、石油、天然氣等化石燃料也是由古代埋在地下的動植物經過漫長的地質年代形成，它們實質上是由古代生物固定下來的太陽能。此外，水能、風能、波浪能、海流能等也都是由太陽能轉換來的。



圖三，太陽與各能源轉換之過程

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，如表七所示。

表七、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 %

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。

以使用白熾燈泡為例:傳統化石燃料電廠發電(轉換效率取40%)，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，再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。

## 2.6 魚菜共生

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。是一種將養魚和植物(通常是蔬菜)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。

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，不僅讓很多魚產資源面臨危害，而種植蔬果也因化學肥料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。

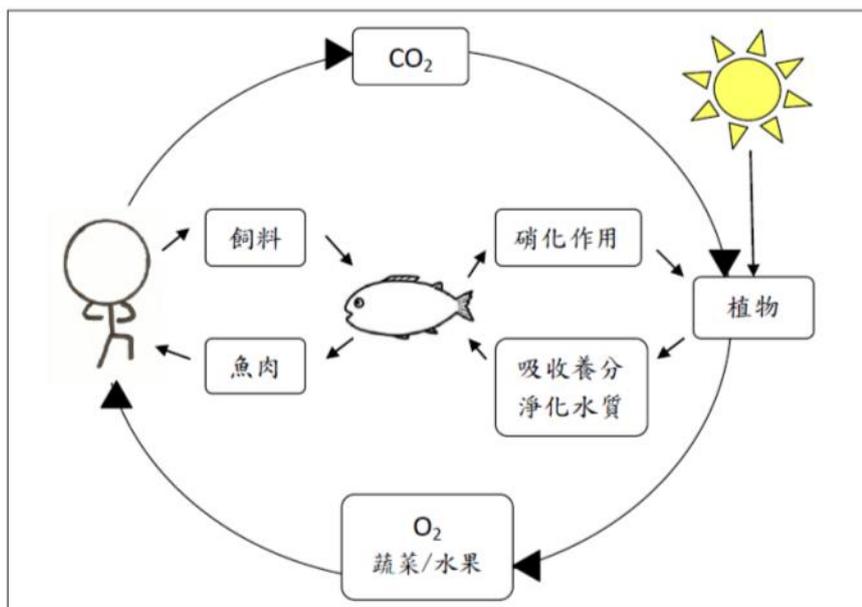
養魚種菜原本是兩項分離的農業技術，但採用魚菜共生方法實現了兩者間的互作組合，形成了共同促進與效益疊加的效果，更重要的是，它是一項綜合效益最高的純有機耕作模式，種菜不需再施肥，養魚不需常換水，是一種資源節省型的可回圈有機耕作模式，魚排泄的廢水及飼

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。

在大部份的系統裡，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。

魚菜共生系統可簡單一個小的孔雀魚水族箱搭配種植短期蔬菜盆栽一樣簡單，或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，和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、資源、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，如圖四所示。



圖四、魚菜共生簡易循環圖

## 2.7 實驗條件

魚菜共生條件，分為三部分，土耕、魚池與水質：

### 1. 土耕：

#### (1.) 合理選擇植物和安排間距：

在生長期較長的植物(茄子)中間種植生長期較短的蔬菜(沙拉用綠葉蔬菜)。在大型結果植物之間連續補植萵苣等嫩葉蔬菜能夠營造自然遮蔭條件。請記住：在一般情況下，魚菜共生系統中綠葉植物與包括西紅柿、黃瓜和辣椒等一些最流行的果實類蔬菜一起栽培效果極好。

#### (2.) 確保通風和水循環：

這意味著需要使用水泵和氣泵，讓水體含有充足的溶解氧並流動，從而確保養殖動物、細菌和植物的健康。請記住：電費是該系統的一項主要開支，因此應當明智地選擇水泵和電源，如有可能，應考慮太陽能發電。

### 2. 魚池：

#### (1.) 審慎選擇飼養池：

魚池是魚菜共生單位的重要組成部分。任何魚池最好為圓形，池底平坦或呈錐形，以便保持清潔。請記住：盡量使用耐用的塑料或玻璃缸水箱。

#### (2.) 不要使魚池過度擁擠：

將放養密度保持在較低水平能夠有助於魚菜共生系統的管理，避免衝擊和失敗。建議的放養密度為 20 kg /1000L，這仍將留有大量栽培植物的空間。請記住：較高的放養密度可在同樣空間裡生產較多的食品，但也將需要採取更加積極的管理。

(3.) 保持良好水質。水是魚菜共生系統的關鍵：

它是將所有基本營養物質輸送到植物的媒介，為魚類提供生境。五項主要參數對於監視和控制水質至關重要：溶解氧（5 mg/L）、pH 值（6~7）、溫度（18~30°C）、總氮和水鹼度。請記住：水化學看似複雜，但藉助通用測試套件，實際管理工作相對簡單。

(4.) 避免過度飼餵，並清除任何剩餘食物：

廢物和吃剩的食物對水生動物危害極大，因為它們會在系統中腐爛。腐爛的食物會引起疾病，並耗用所有溶解氧。請記住：每天投餵動物，但在 30 min 後應清除任何吃剩的食物，並對第二天的投餵量作出相應調整。

(5.) 保持動植物間的平衡：

採用批量耕作系統有助於確保水生動物和蔬菜的穩定收成，維持生產水平，保持魚和植物間的平衡。請記住：確保幼小植物和魚類的來源至關重要，因此必須在規劃階段考慮供應問題。

### 3. 水質：

(1.) 酸鹼值（pH）：

pH 值被認為是一個重要的變數，因為它控制著許多其它有關水質的變數。其中一個最重要的變數就是硝化作用。當水中的 pH 值達到 7.5 或是更高時，硝化作用的效率最高，若 pH 值降到 6 以下時，硝化作用則停止。

硝化作用是一種產生酸性(acid)，且持續弱化鹼性的作用。因此，pH 值必須每天測量，加入  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  和  $\text{KOH}$  來中和酸性。pH 值同時影響水中養份的可溶性，而對養份可溶性最優化的 pH 值是 6.5 或是再稍微低一點。硝化作用和養份可溶性這兩者必須取得平衡，所以在魚菜共生系統中，pH 值維持在 7 是最理想的。倘若 pH 值過高，養份將沉澱而無法溶入水中，植物將呈現營養不良狀態，影響到作物的生長和收成；但 pH 酸鹼值過低，水中的氮將會累積到一個對

魚有毒性的程度，不同的養份將沉澱而無法溶入水中，對植物的生長和產出帶來不利影響。因此，務必監控水中 pH 酸鹼值。

### (2.) 電導度 (EC) :

電導度，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，一般短期蔬菜土耕之電導度值範圍在 0.2 ~ 0.4 (mS/cm)，且電導度值會隨著水溫度的變化而存在差異性電導度是在農業領域中可代表水質、泥土或其他介質的相關性質，是代表在一定體積內溶液內離子的導電能力。當可移動而帶正負電的離子愈多，導電能力就越強，而電阻值就會減少，因此電導值就愈高，當電導值太高時，作物就處於不易吸收營養的狀態，導致作物生產力下降。出現的症狀是葉片末端或邊緣變成焦黑狀，嚴重時造成落葉與枯萎。對作物而言，灌溉水源本所含的離子或一些有機肥所分解出來的離子，都會影響到電導值，所以，檢測水質和適量添加肥料是很重要的。

### (3.) 氮肥 (NO<sub>3</sub>) :

當魚類排遺、水草死亡或是飼料腐敗，就會在液化作用後會產生含氮廢物，以氨 (NH<sub>3</sub>) 或銨 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 的形式存在於水中，上述兩樣物質對生物是劇毒，其在水質中的含量不能過高。然而這些廢物卻是植物營養來源，但是植物不能直接吸收，而是需要被轉化的其他分子，如：硝酸鹽 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)，這時硝化菌有不可或缺的地位。氮的系統利用硝化菌的培養，轉換為毒性低的硝酸鹽 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)，硝酸鹽對水中生物的傷害降低許多，不過 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 仍具毒性，濃度控制在約 0~ 40ppm 對魚類和植物最合適。魚菜共生就是利用氮循環，硝化菌可將氨分解為硝酸鹽後，再將硝酸鹽提供作為植物生長所需的養分，而植物過濾後的水回饋給魚池，如此循環讓整體循環生生不息。

#### (4.) 溶氧量 (DO)：

溶解氧 (Dissolved Oxygen) 是指溶解於水中分子狀態的氧，即水中的  $O_2$ ，用 DO 表示。溶解氧是水生生物生存不可缺少的條件。溶解氧的一個來源是水中溶解氧未飽和時，大氣中的氧氣向水體滲入；另一個來源是水中植物通過光合作用釋放出的氧。

溶解氧隨著溫度、氣壓、鹽分的變化而變化，一般說來，溫度越高，溶解的鹽分越大，水中的溶解氧越低；氣壓越高，水中的溶解氧越高。溶解氧除了被通常水中硫化物、亞硝酸根、亞鐵離子等還原性物質所消耗外，也被水中微生物的呼吸作用以及水中有機物質被好氧微生物的氧化分解所消耗。

因此說溶解氧是水體的資本，是表示水體自淨能力的。天然水中溶解氧近於飽和值(9 ppm)，藻類繁殖旺盛時，溶解氧含量下降。水體受有機物及還原性物質污染可使溶解氧降低，對於水產養殖業來說，水體溶解氧對水中生物如魚類的生存有著至關重要的影響，當溶解氧低於 4mg/L 時，就會引起魚類窒息死亡，對於人類來說，健康的飲用水中溶解氧含量不得小於 6 mg/L。當溶解氧 (DO) 消耗速率大於氧氣向水體中溶入的速率時，溶解氧的含量可趨近於 0，此時厭氧菌得以繁殖，使水體惡化，所以溶解氧大小能夠反映出水體受到的污染，特別是有機物污染的程度，它是水體污染程度的重要指標，也是衡量水質的綜合指標。因此，水體溶解氧含量的測量，對於環境監測以及水產養殖業的發展都具有重要意義。

表八、溫度與水中的氧的飽和量之關係 (氣壓760mm下)

溫度 $^{\circ}C$	氧含量 $O_2$ (ppm)	溫度 $^{\circ}C$	氧含量 $O_2$ (ppm)
12	10.75	26	8.11
16	9.85	28	7.81
20	9.1	30	7.52
24	8.42		

### 3. 研究方法

#### 3.1 實驗器材與藥品

##### 3.1.1 太陽能系統之器材

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提，以及經濟低成本的方式，作為所有設備之選擇與採購標準。太陽能電池是採用 DC 12V，15W 之模組，能源儲存及釋放系統是組合 DC 12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器，及 DC 12V，7AH 之鉛蓄電池，本實驗所使用之太陽能電池及規格如圖五所示。



(a)

Poly/ Mono		GE15W12V(m)	
Parameters	Symbol	Typ	Unit
Maximum power	P <sub>max</sub>	15	W
Maximum power voltage	V <sub>pm</sub>	17.5	V
Maximum power current	I <sub>pm</sub>	0.86	A
Open circuit voltage	V <sub>oc</sub>	21.5	V
Short circuit current	I <sub>sc</sub>	0.97	A
Module efficiency	η <sub>m</sub>	>15.5	%
Test conditions			
Irradiance : 1000W/m <sup>2</sup>		Module Temp : 25 °C	
Size (mm) : 330 x 430 x 25			

(b)

圖五、本研究所使用之 (a)太陽能電池 (b)規格圖

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，可接收太陽能光照射角度約為 160°，夏季時陽光照射之有效時間由 AM 8:00 ~ PM 6:00，冬季時陽光照射有效時間由 AM 9:00 ~ PM 5:00，面板水平朝向南方約 30°，目的是提高整年度的發電效率，以及可以使太陽能電池面板上的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的發電效率影響非常大。

太陽能電池透過 1.25mm<sup>2</sup> × 2C 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式組合 DC 12V 驅動之 24 小時不斷電時序控制器，以及 DC 12V，7AH 之鉛蓄電池，以及電壓表、電流表、二極體等設備，魚菜共生系統控制設備實體圖，如圖六所示。



(a)



(b)

圖六、(a) 控制電量器 (b) 蓄電池 實景圖

當白天太陽光照度很強，而 DC 12V 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% 以上電力能量都輸入到 DC 12V，7AH 之鉛蓄電池內，進行電力儲存作業。

### 3.1.2 魚菜共生系統之器材



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

圖七、( a ) 500L PU 水桶 ( b ) 菜盆 ( c ) 過濾水盒

( d ) 沉水馬達 ( e ) 水管 ( f ) 打氧氣機 ( g ) 礫石

### 3.1.3 測量魚池中水質之器材和藥品：

在魚菜共生中，因為是個循環系統，魚池中的水質是重要的部分，必須固定時間進行檢測，檢測部分有 pH 值、EC 值、NO<sub>3</sub> 值。以下介紹檢測使用的器材及藥品。

#### 1. pH 計 之操作步驟：

- (1) 打開電源
- (2) 將 pH 電極和溫度棒用蒸餾水清洗，且擦乾後放入標準液 7.01 溶液中。
- (3) 按 CAL 鍵，自動尋找校正液 7.01 顯示面板上會出現 NOT READY 閃爍，進行校正中。
- (4) 等待顯示面板上會出現 CFM 閃爍，按下 CFM 鍵，即第一點校正完畢。
- (5) 將 pH 電極和溫度棒用蒸餾水清洗，在擦乾，放入標準液 4.01 溶液中主機自動尋找校正液 4.01 顯示面板上會出現 NOT READY 閃爍，進行校正中。
- (6) 等待顯示面板上會出現 CFM 閃爍，按下 CFM 鍵，即校正完畢。
- (7) 將 pH 電極和溫度棒用蒸餾水清洗，在擦乾，放入魚池撈起的 100ML 測試液進行檢測。器材如圖八所示。

#### 2. 電導度計 之操作步驟：

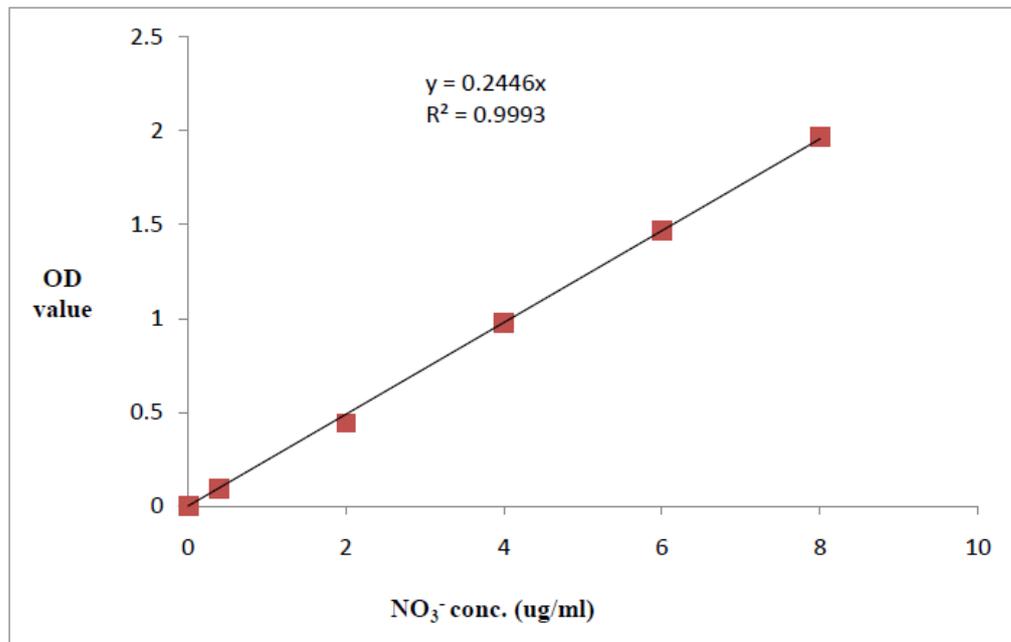
- (1) 開機後，按 CAL 鍵進入校正模式。
- (2) 進入後按 EC 鍵，然後放入 147  $\mu\text{m}$  校正液後，按 CAL 鍵，數秒後，第一階段校正完成。用蒸餾水清洗乙次。
- (3) 畫面自動跳轉為第二階段校正，放入 1413  $\mu\text{m}$  校正液後，按 CAL 鍵，數秒後第二階段校正完成。用蒸餾水清洗乙次。
- (4) 畫面自動跳轉為第三階段校正，放入 12.88 校正液後，按 CAL 鍵，數秒後畫面回檢測畫面。用蒸餾水清洗乙次。
- (5) 放入從魚池撈起的 100 ML 測試液進行檢測。器材如圖九所示。

### 3. UV 光譜儀測

開機後進行將兩槽中放入蒸餾水進行歸零，將B管拿出換成魚池撈起的水。進行檢測，須要 220 nm 跟 275 nm 之值來計算  $\text{NO}_3$  含量。

利用水中硝酸鹽氮檢測方法—分光光度計法實驗 之操作步驟：

- (1.) 取澄清的水樣 50.0 mL，必要時，可先將水樣以  $0.45 \mu\text{m}$  之濾紙過濾；並加入 1 mL 1 M 鹽酸溶液，完全混合均勻。鹽酸如圖十一。
- (2.) 製作一個含空白和至少五種濃度的檢量線，如分別精取 0、1.0、2.0、4.0、7.0 . . . 35.0 mL 等適量硝酸鹽氮中間溶液稀釋至 50.0 mL。
- (3.) 製備檢量線之標準溶液，須與水樣之處理方式相同，加入 1mL 1M 鹽酸溶液，完全混合均勻。
- (4.) 以試劑水將分光光度計歸零或歸 100 % 透光度。
- (5.) 分別讀取檢量線之標準溶液與待測樣品在 220 nm 及 275 nm 之吸光度。
- (6.) 硝酸鹽氮之淨吸光度為 220 nm 之吸光度減 2 倍 275 nm 之吸光度。  
器材如圖十所示。
- (7.) 繪製一淨吸光度與硝酸鹽氮濃度之檢量線。



利用此檢量線計算  $\text{NO}_3$  數值



圖八、pH 計



圖九、EC 計



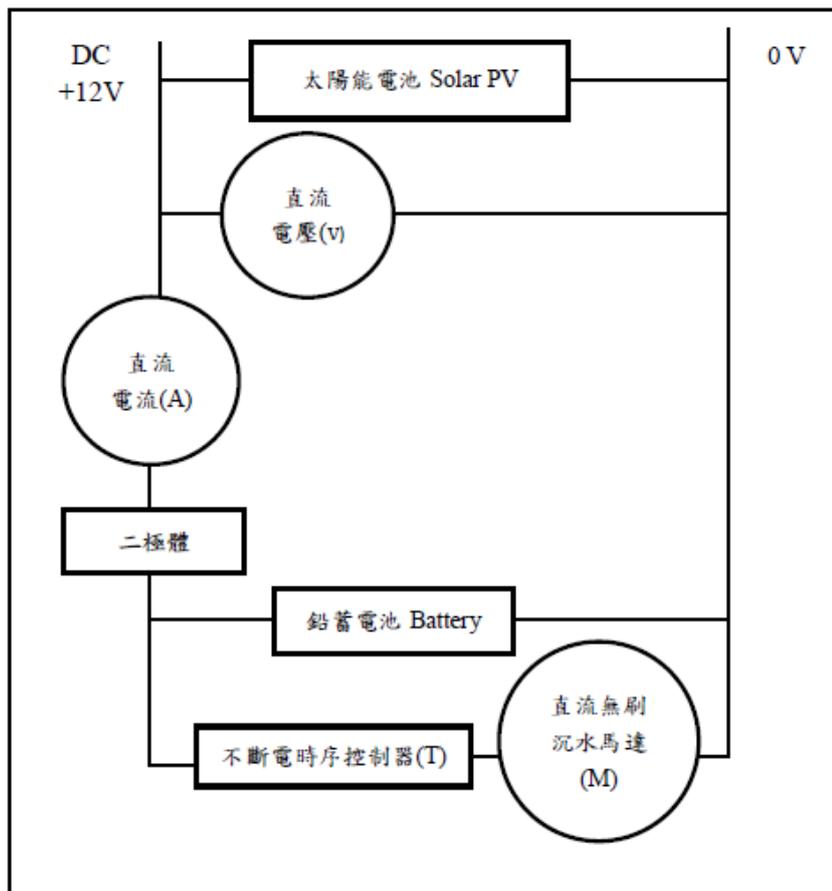
圖十、UV 光譜儀測 NO<sub>3</sub>



圖十一、1 M HCL

### 3.2 魚菜共生結合太陽能系統之步驟

本實驗只有對水的循環系統方面進行控制，以 DC 12V 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於停止時間，來達成 DC 12V，15W之太陽能光伏電池是模組對 DC 12V，7AH之鉛蓄電池之電力儲存，以及對 DV 12V，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，太陽能電池之控制配置，如圖十二所示。



圖十二、太陽能電池之控制電路配置圖

魚菜共生系統之魚產養殖部分，採用500L PU水缸，主要飼養魚種為吳郭魚，實驗初期放養10隻為基準，每日固定以飼料 (0.5 mm)的魚飼料進行餵養，並且記錄其生長狀況及存活率。土耕部分，採用60 cm × 45cm × 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之發泡煉石作為介質，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至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跟不知透氣性與排水性，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。

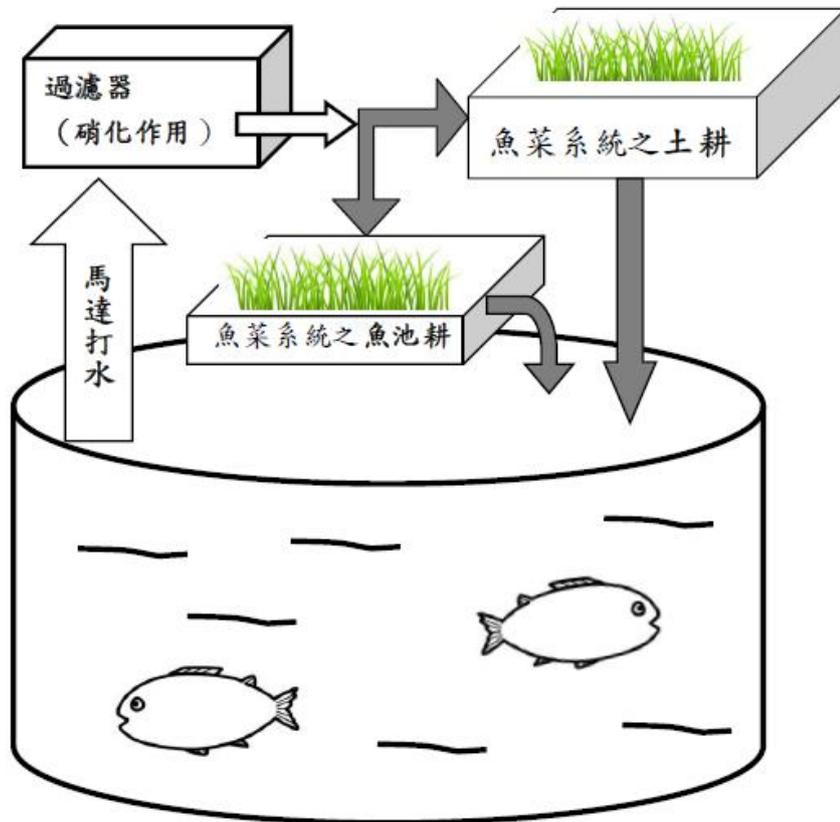
土耕栽培之循環水系統部分，並且融合礫耕栽培技術而成，利用 DC 12V驅動之24小時不斷電時序控制器進行時間控制，循環週期為 15 min/hr，運轉時植物栽培箱內之水位高漲，當水位高於特殊設計之初水排放口時，利用時間控制與虹吸管之原理造成本系統之循環水的流動，避免植物根部一直沉浸於水中而造成爛根，而且由於栽培床內水位高低變化之方式而增加溶氧量，使得植物根部能夠獲得更多的氧氣。

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分之 PU水缸，以形成一個互惠共生又環保省能的迴路。

因設備建置在學校圖書館旁，日照時間只有半天，且因太陽東升西落導致建築物遮蔽，會影響到植物的光合作用速率，基於節能減碳之前提下，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。利用太陽能板以及蓄電池的結合，利用太陽能板白天可以吸收太陽能光來儲存電力在蓄電池中，利於晚上沒有陽光一樣有電可以使用，以免晚上沒有打氧魚會缺氧而死。

以上魚菜共生分為實驗組，另外增設對照組，其為清水耕與魚池耕，共三種方式。

在魚菜系統下，蔬菜在三種耕作方式示意圖



(a)



(b)

圖十三、示意圖 (a) 清水耕 (單獨) (b) 魚菜系統之魚池耕、土耕

## 4. 結果與討論

### 4.1 清水耕、魚池耕、土耕之蔬菜成長比較

2016/3/3 栽種四種蔬菜菜苗(火焰菜、紅萵苣、大陸妹、菊苣)，為了記錄菜苗成長之變化，栽種前有測量菜苗的平均長度(cm)，如表九所示。

表九、測量菜苗的平均長度(cm)

	清水耕	魚池耕	土耕
火焰菜	5.3	5.1	5
紅萵苣	3.5	3.5	2.7
大陸妹	6.1	6.3	6.3
菊苣	9	9.6	6.1



(a)



(b)

圖十四、(a)清水耕種 (b)魚菜系統：土耕、魚池耕 實景圖

在栽種完一個月，發現清水耕、魚池耕、魚菜共生之土耕（以下簡稱土耕），蔬菜的成長有明顯的變化，不管是在葉片高度、寬度，加上葉片顏色的變化最明顯，例如火焰菜，在種於清水耕中葉片紅色佔比例較多，與栽種那時的菜苗葉顏色差不多；魚池耕中，紅綠色比例差異不大；土耕方面，綠色佔大面積，紅色剩葉片末端。三種耕種方式不同，在各方面之成長有著非常明顯的差異性。以表十一所示。

表十，栽種一個月，三種栽種方式比較之蔬菜成長高度。

	火焰菜	紅萵苣	大陸妹	菊苣
清水耕				
魚池耕				
土耕				

由於選擇種植短期蔬菜，半個月後，再次與3月底測量結果做比較，又多個差異比較，再加上這半個月幾乎大雨不斷，清水耕與魚池耕，這兩者的蔬菜葉子也被大雨打塌了不少；反倒是土耕，雖然葉片被大雨打得稍微變寬，但這次是考驗了蔬菜存活率的關鍵！整理出一個月與一個月半之成長比較。

成長期觀察紀錄，栽種後一個半月



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

圖十五、栽種一個月之實景圖 (a)清水耕 (c) 魚池耕 (e) 土耕  
一個月半 之實景圖 (b)清水耕 (d) 魚池耕 (f) 土耕

## 4.2 栽種期滿兩個月，蔬菜收成日

當日收成，分別採收水耕與土耕蔬菜，土耕採收時比較費力，因為在收成蔬菜的根部抓牢土壤與小石頭，事後量測長、寬、秤重前，會先大致上清洗，以便量測，如圖十六~圖二十一所示。



圖十六、收成土耕蔬菜



圖十七、收成菊苣



圖十八、清洗土、礫石



圖十九、秤重菊苣約 457.5g



圖二十、測量菊苣成長長度



圖二十一、測量菊苣成長寬度



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)

圖二十二、( a ) 清水耕 ( b ) 土耕 之實景圖  
火焰菜 ( c ) 清水耕 ( d ) 土耕 之採收量圖  
紅萵苣 ( e ) 清水耕 ( f ) 土耕 之採收量圖  
大陸妹 ( g ) 清水耕 ( h ) 土耕 之採收量圖  
菊苣 ( i ) 清水耕 ( j ) 土耕 之採收量圖

### 4.3 pH、EC、NO<sub>3</sub>、DO 之分析說明採樣品、分析過程?

pH 檢測為每星期檢測兩次（星期一、四）取魚池裡的水 100 ML 進行檢測

EC 檢測為每星期檢測兩次（星期一、四）取魚池裡的水 100 ML 進行檢測

NO<sub>3</sub> 檢測為每星期檢測一次（星期四）取魚池裡的水 100 ML 進行檢測

表十一、量測數據整理，pH、EC、NO<sub>3</sub>、DO。

理論值	實驗值	實驗值	實驗值
	第一個月	第二個月	第三個月
〈pH〉：6.5 ~ 8.0	7.4	7.7	7.6
〈EC〉：0.2 ~0.4(mS/cm)	0.39	0.38	0.4
〈NO <sub>3</sub> 〉：0 ~ 40 ppm	1.0	1.1	1.1

DO，此實驗採用打氧機以供應魚池氧氣

水產養殖以飼養吳郭魚 12 隻，飼料量 15 g/天

在這項魚菜共生中，使用了三種種植方式：

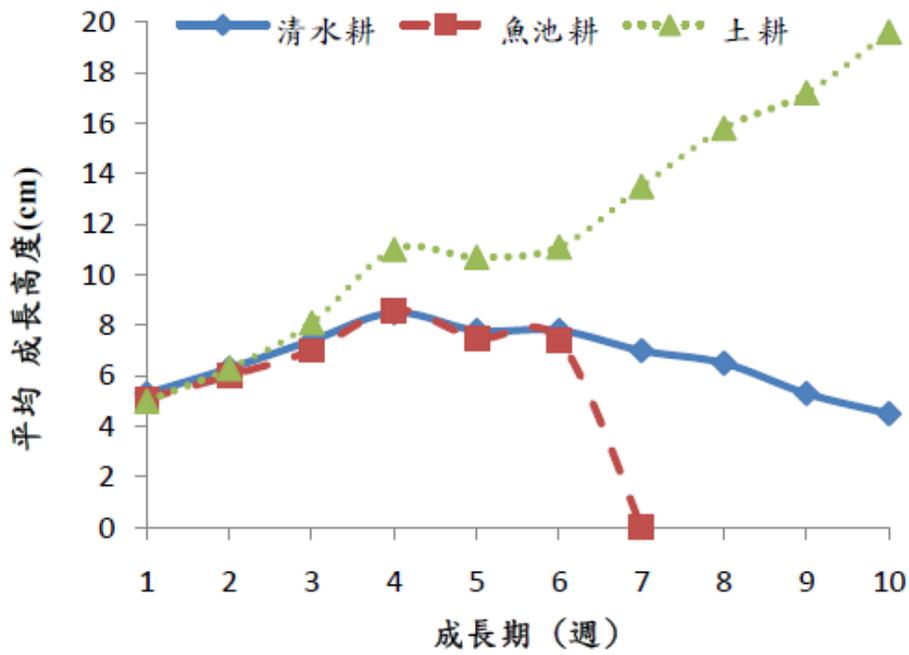
第一種方式：清水耕。水的來源是採用水龍頭打開的自來水，自來水中含有礦物質，不管是動物、植物都是必需之物質。前者提到，鈣在植物方面，具有強化細胞壁之作用，鈣離子在細胞膜之離子通透性具有載運作用，同時亦為構成酵素之組成分之一；而鎂對植物來說，是組成葉綠素之重要結構物，且鎂亦為酵素作鍵之啟動者。

第二種方式：魚池耕。魚的排泄物（或些許魚飼料剩餘），是以氨（NH<sub>3</sub>）或銨（NH<sub>4</sub><sup>+</sup>）的形式存在於水中，上述兩樣物質對生物是劇毒，其在水質中的含量不能過高。而這些廢物卻是植物營養來源，卻因為植物不能直接吸收，才需要被轉化的其他分子，只經硝化系統作用轉換後，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

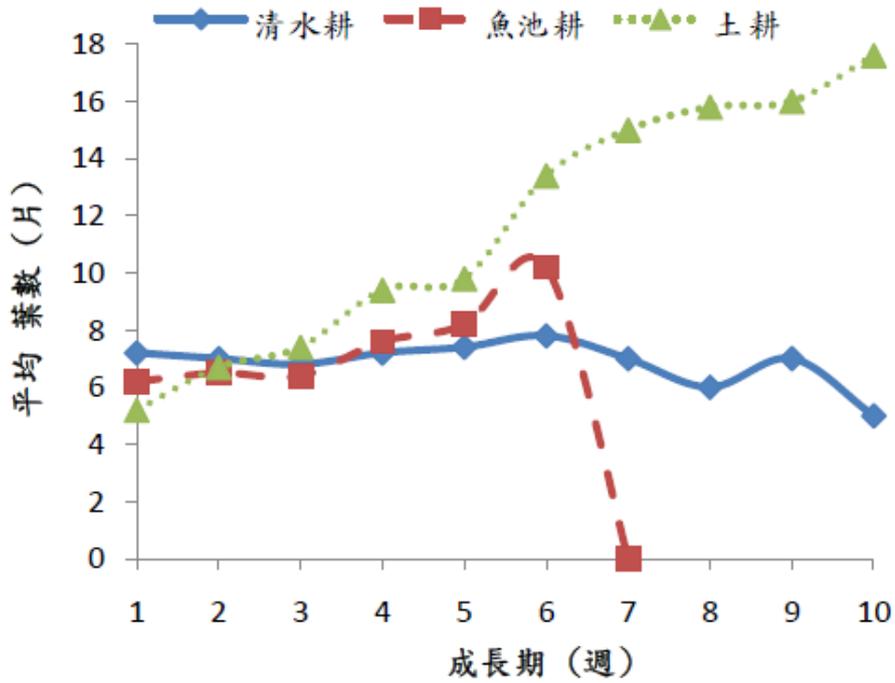
後，將魚產養殖水給清潔處理再返回魚池之中。

第三種方式：魚菜共生之土耕。採用土耕方式，由魚池底下沉水馬達打水經由硝化系統後，澆水至土耕區，讓植物吸收營養，在土耕區上層鋪土，下層有礫石，為了防止菜根長時間泡過多的水已導致爛根，菜盆下有鑽洞，層層過濾後，流出來的水是有清潔過的效果，在落在魚池裡，平衡循環系統。

以上，經過兩個月的種植觀察下，在各方面都有明顯的對比，由於蔬菜種植方面，四種蔬菜各有五株，每週的測量數據並紀錄，總整理出比較。將同一種植物在三種方式下的成長情況，在五株中算取平均值，觀察且發現植物的生長情況（存活率、高度、葉數）：土耕 > 清水 > 魚池耕，如圖二十三、二十四、二十五、二十六所示。

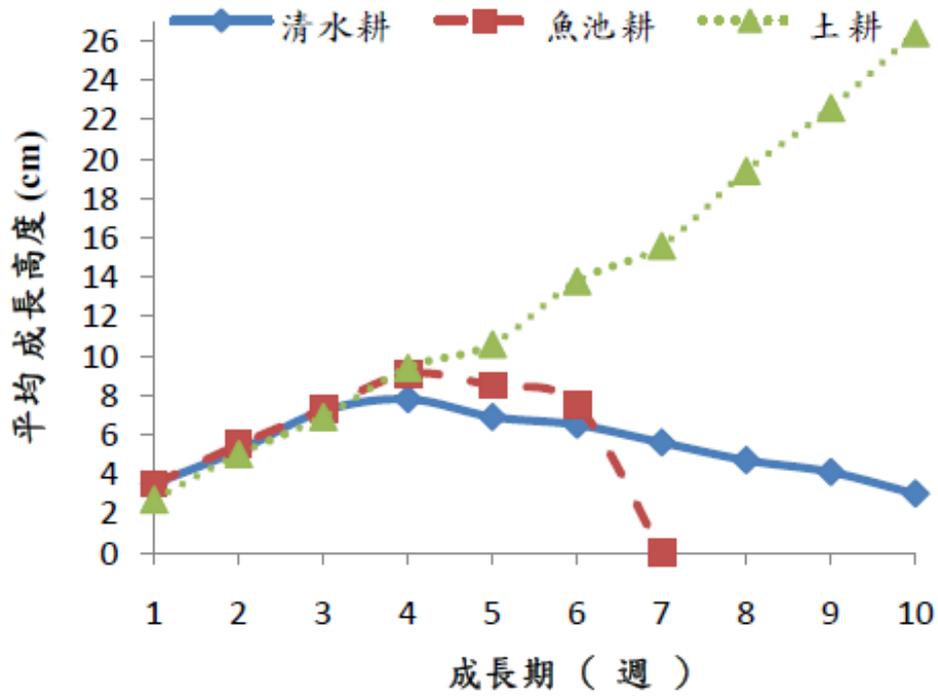


(a)

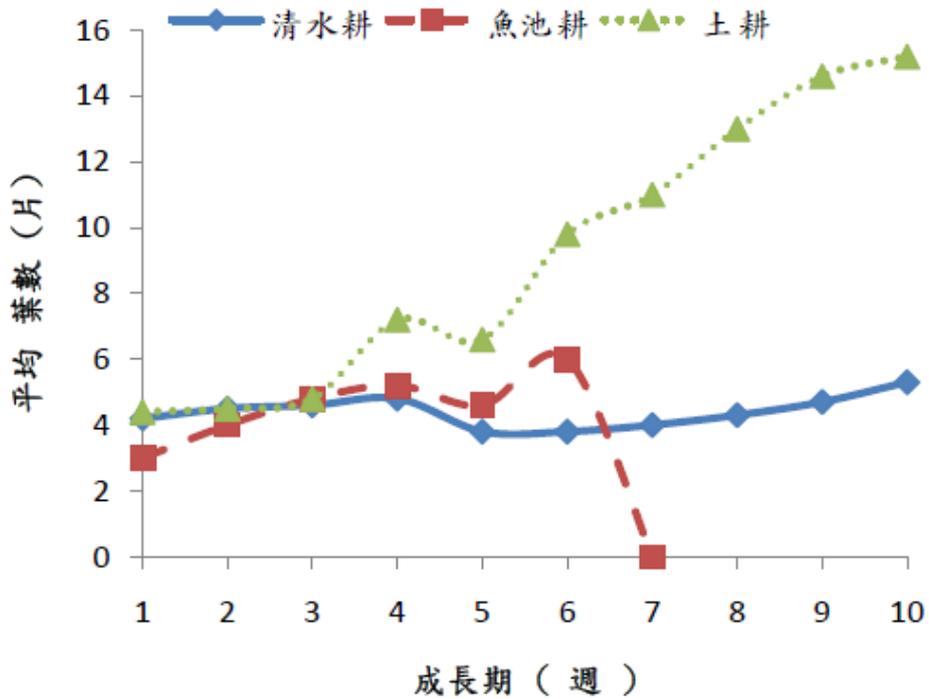


(b)

圖二十三、火焰菜在每週 (a) 平均高度(cm) (b)平均葉數(片)之變化

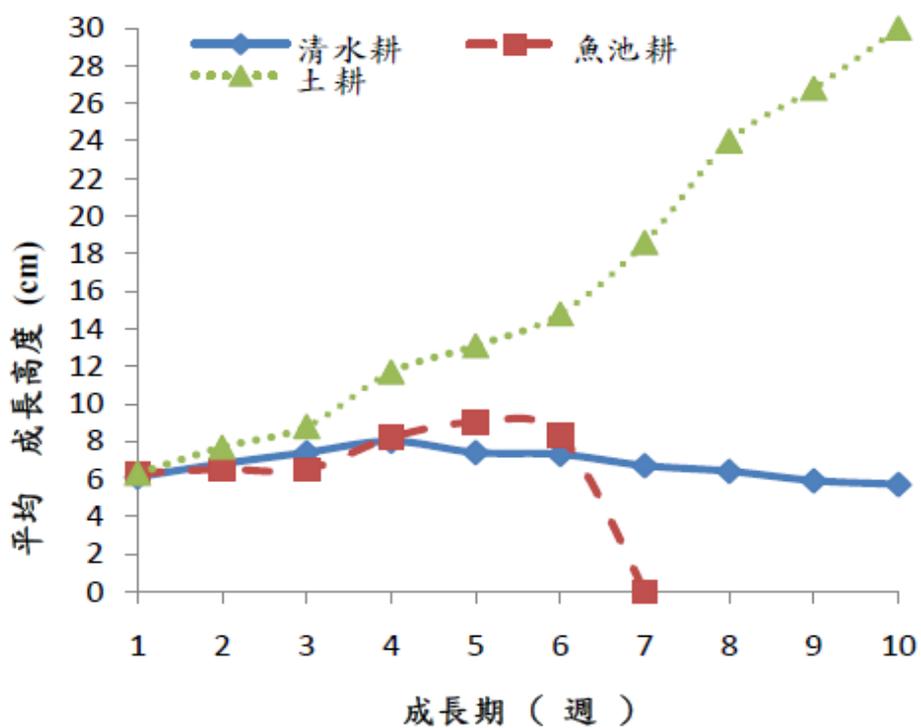


(a)

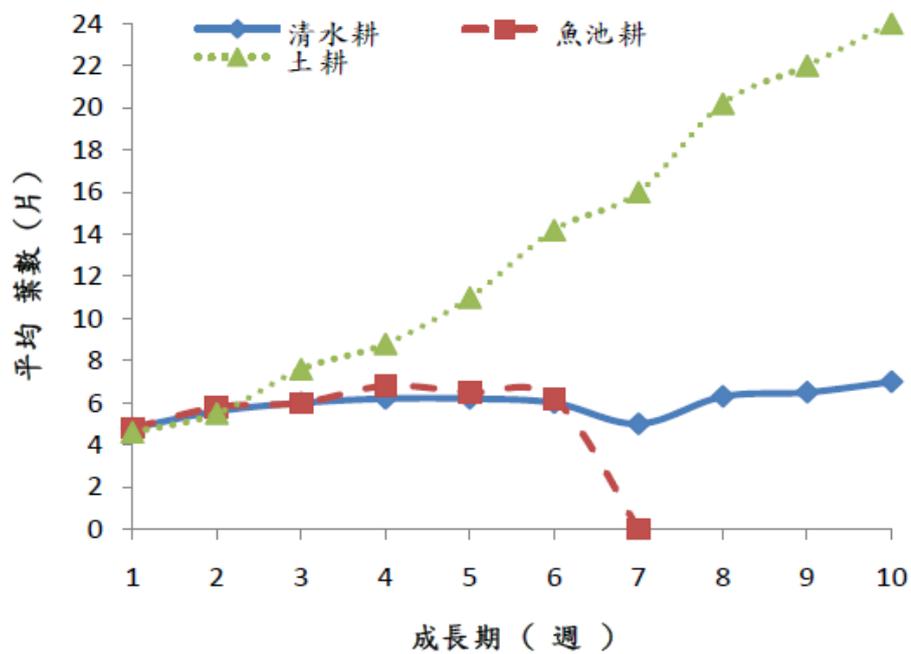


(b)

圖二十四、紅萵苣在每週 (a) 平均高度(cm) (b)平均葉數(片)之變化

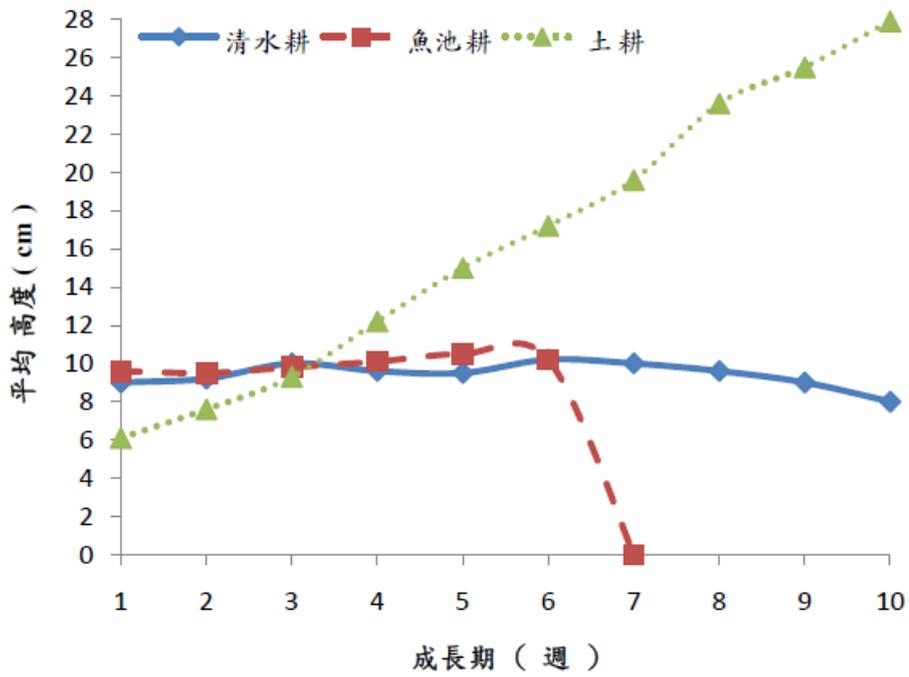


(a)

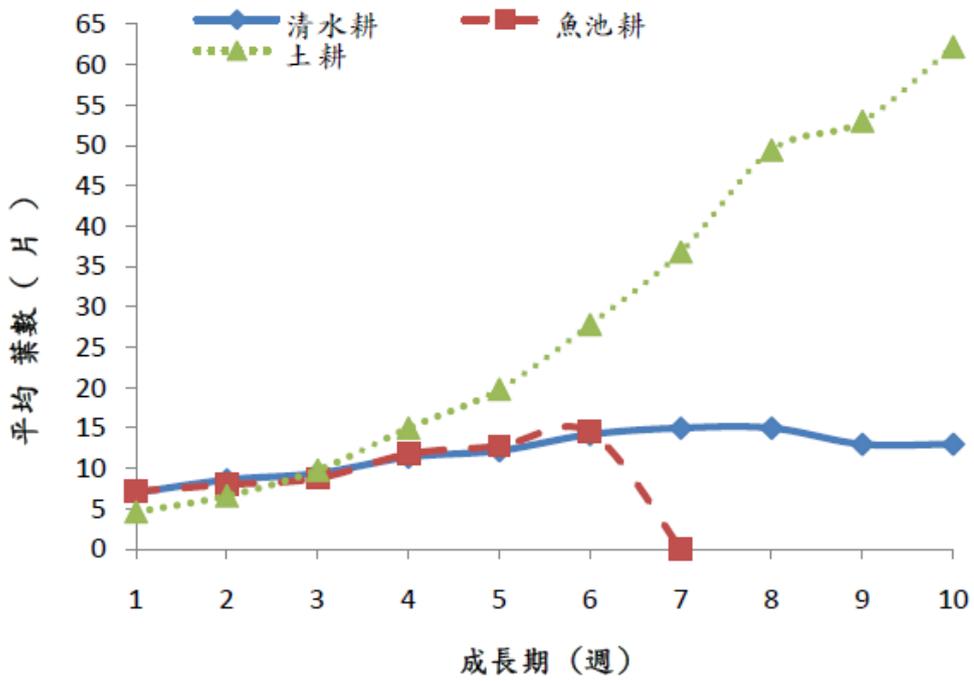


(b)

圖二十五、大陸妹在每週 (a) 平均高度(cm) (b)平均葉數(片)之變化



(a)



(b)

圖二十六、菊苴在每週 (a) 平均高度(cm) (b)平均葉數(片)之變化

收成後，分別秤重各蔬菜在三種耕種之平均總重與平均根重之數據

表十二、各蔬菜在三種耕種之平均總重與平均根重之數據

		火焰菜	紅萵苣	大陸妹	菊苣
清水耕	總重(g)	4.96	1.33	4.6	12.29
	根重(g)	3.1	0.93	2.93	8.94
魚池耕					
土耕	總重(g)	41.05	35.53	151.83	295.27
	根重(g)	4.31	5.69	18.69	28.59

清水耕，只有單純自來水的種植，如以換水或加水，畢竟營養供應有限，只能維持補水機能。

魚池耕，風險偏大，因魚將蔬菜根部誤認為食物，而去吞咬，即時有保護措施，卻無法避免，還是影響蔬菜吸取池中的水分或養分。

土耕，因水循環會將水中魚類的糞便跟沒有吃完的飼料帶上來，形成硝化菌帶給土耕植物養分，再加上培養土本身存有營養，營養度高於清水耕跟魚池耕。

本實驗嘗試以太陽能電池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：

魚菜共生系統與水循環系統，確實是可以以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。但除了額外增設打氧氣機是採用AC。

#### (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% 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。

如在家栽種，蔬菜一個禮拜供應需求量，如何解決？

據財團法人台灣癌症基金會統計，蔬菜的攝取量，大人以4~5份(以上)/天，12歲以下小孩以3份/天，每一份為100g來計算。

以一家四口(大人兩位、小孩兩位)為例：

兩位大人： $(4 \text{ 份} \times 2) \times 100 \text{ g} = 800 \text{ g}$

兩位小孩： $(3 \text{ 份} \times 2) \times 100 \text{ g} = 600 \text{ g}$

相加算出一家人總共攝取蔬菜量 1400 g /天

實驗計算	自家栽種
以面積 $0.54 \text{ m}^2$ 種植 (批式)： 火焰菜： $36.74 \text{ g} \times 5 \text{ 株} = 183.7 \text{ g}$ 紅萵苣： $29.84 \text{ g} \times 5 \text{ 株} = 149.2 \text{ g}$ 大陸妹： $133.14 \text{ g} \times 5 \text{ 株} = 665.7 \text{ g}$ 菊苣： $266.68 \text{ g} \times 5 \text{ 株} = 1333.4 \text{ g}$ 以上總重 = 2332 g (一次收成)	$1400 \text{ g /天} \times 7 \text{ 天} = 9800 \text{ g}$ 算得需要 $0.54 \text{ m}^2$ 在四倍大面積，就可得一家人的一個禮拜蔬菜量。如以漸層式栽種法，收成量會大於批式種植。

## 5. 結論

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，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，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。

此實驗蔬菜種植利用三者不同型態的栽種法，清水耕、魚池耕、土耕，在栽種後的這兩個月中發現了土耕在各方面成長，不管是高度、寬度、外觀(顏色、肥沃度)，更勝於其他兩者。收成後秤重，土耕總重量也大於兩者，舉例菊苣來說，在清水耕重量約 12.3 g，土耕重量約 295.3 g，土耕遠比清水耕高出 24 倍。

魚池中的吳郭魚起初買來約 8 cm，實驗期間兩個月，長度約 18 cm；在一般的養殖場，吳郭魚生產期約六個月，約 12~15 cm 就可市售。在這系統中大幅減少了養殖時間和一些成本，魚池的養殖密度比一般養殖場來的低很多，如設置於家中，可減少許多空間的消耗。

## 參考文獻

- 【1】 丘應模，“清潔蔬菜”，渡假出版社有限公司(2000)。
- 【2】 蔡尚光，“水耕栽培的魅力”(增訂版)，淑馨出版社(1993)。
- 【3】 張祖亮，“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(1998)。
- 【4】 蔡尚光，“水耕栽培的經營”，三刷，淑馨出版社(2004)。
- 【5】 行政院農業委員會台中區農業改良場，農民專業訓練課程講義(2007)。
- 【6】 周玉汶，“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(2005)。
- 【7】 方煒、黃宇宏，“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(2008)  
<http://www.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/lab551/aqua.htm>
- 【8】 黃宇宏，“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(2000)。
- 【9】 葉有仁，“養魚世界雜誌”，2003年3月號。
- 【10】 黃奕熙，“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(1995)。
- 【11】 陳維新，“能源概論”，三版修定，高立圖書有限公司(2008)。
- 【12】 Hinrichs, R.A and Kleinbach, M., Energy: Its Use and the Environment, Harcourt Inc.,2006.

# 附錄一、105 工程學院實務專題海報

## 修平 能源與材料科技系

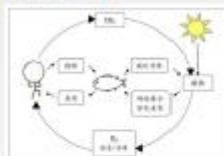
### Department of Energy & Materials Technology

陳寶誠、黃炳坤、李忠誠  
指導老師、陳志義 副教授

#### 太陽能結合魚菜共生系統之評估

#### 簡介

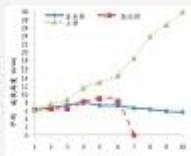
魚菜共生系統(Aquaponics)是由水產養殖(Aquaculture)的建個字和水耕栽培法(Hydroponics) 所共同結合的,是一種將養魚和種植(通常是蔬菜)同時養殖培育的方法,也就是將:將魚類排泄之物質及殘餘之飼料經由硝化系統轉換後,成為供給植物成長所需要之養份,而植物再經過根部的養份吸收及過濾後,將魚類養殖水給清潔處理再送回魚池之中,做為一種互惠共生之循環,如下圖。



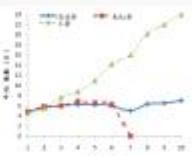
#### 結果與討論

選擇短期蔬菜(火龍果、紅蘿蔔、大陸妹、綠豆)利用不同種植方式做比較,有清水耕、魚菜共生之魚池耕與土耕,在收成後測量每週的平均值(高度、葉數、重量、根重)。

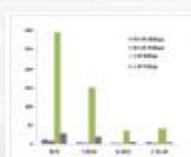
每月測量魚池水中平均數據 pH 值、EC 值、NO<sub>2</sub>-



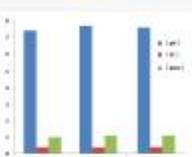
**平均成長高度**



**平均葉數**



**蔬菜收成後重量**



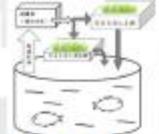
**實驗時期各數據**

#### 實驗方法



#### 清水耕、魚菜共生之魚池耕&土耕 示意圖與實景圖




#### 結論

- ◆ 使用太陽能板發電,符合永續發展概念。
- ◆ 可種短期蔬菜,營養成分足夠,收成便利。
- ◆ 水產養殖,避免密度過高,魚生長快速。
- ◆ 使用水循環系統,水蒸發需固定加水,不需噴灑農藥,免汙染水源。
- ◆ 魚菜共生系統對營養不潔佔大面積土地。

104-105 年度獎勵科技大學及技術學院教學卓越計畫

【專業跨域·務實創新 — 形塑職場五力π型人】