

南亞技術學院教師專題研究計畫  
成果報告

\*\*\*\*\*

利用魚菜共生系統建立低碳生態之技術探討

\*\*\*\*\*

計畫編號：教專研 106P-003

計畫類別：個別型計畫

執行年度：106 年度

執行期間：106 年 1 月 1 日至 106 年 12 月 31 日

計畫主持人：曾慧娟

執行單位：化妝品應用系

執行單位審查：同意結案不同意結案 簽名：

(審查人不得與計畫主持人相同)

中華民國一〇六年十二月三十一日

## 利用魚菜共生系統建立低碳生態之技術探討

曾慧娟

化妝品應用系

### 摘要

魚菜共生系統(Aquaponics)是由水產養殖(Aquaculture)與水耕栽培法(Hydroponics)所共同結合。它是一種將養魚和植物栽種同時養殖培育的方法，即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，達到資源循環再利用之低碳生態圈。

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，在兩個月栽種期間，比較蔬菜種類其高度、寬度、外觀 顏色、肥沃度等影響。另外，調整各項影響因素，測試魚菜共生系統之關鍵控制影響步驟，如 pH 值、導電度(EC)、硝酸根離子濃度( $\text{NO}_3^-$ )、溶氧量(DO)等影響因素，找出建構利用魚菜共生系統建立低碳生態之最適化技術條件。

### 壹、緒論

#### 一、研究動機

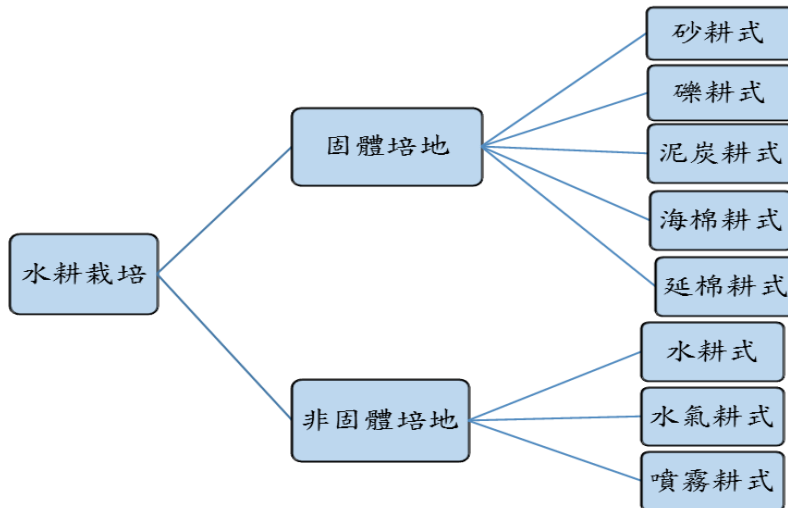
現今人們最不放心的食品因蟲害、農藥、運送途中的問題等，因此魚菜共生系統將是本實驗最先探討的問題之一，讓安全的食材與不會對地球造成汙染能達到平衡，如何能夠達到克服天氣狀況的異常，在自然氣候條件不良的環境條件下，生產出日常生活所需的農作物以及魚蝦等食物，無需使用外部電力公司燃燒煤礦而產的電力，而只有使用太陽能電池所產生的電力來進行土耕栽培，就是本實驗所要探討的目的。

### 貳、文獻回顧

#### 二、研究計畫之背景及目的

近 10 年來，對能源的需求量快速擴增；而石化能源之天然蘊藏量有限、全球暖化效應、各國預期石化燃料價格逐漸高漲以及各國能源自主的政策下，尋求替代能源日益迫切，生質能的開發應用，成為關注的焦點[1]。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。

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。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。

### 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。

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。

表二、水耕與土耕栽培的比較

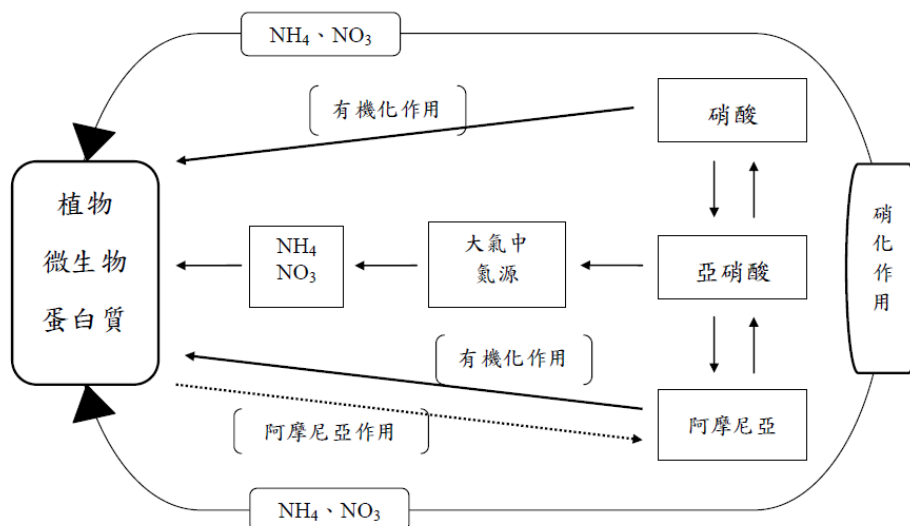
項目	水耕栽培	土壤栽培
介質的消毒	利用蒸氣、藥劑或換水，自動消毒，亦可拋棄，勞力小	使用蒸氣、藥劑、機器，須龐大勞力與時間
施肥	自動控制，均一合理，用量安定，節省肥料	變動性大，施肥不勻，且易引起局部性生理缺乏症
栽植密度	進行人工環境調節，可增加栽植株數	受土壤的肥沃度及光量等環境因素限制
雜草防除	無此需要	定期必須進行噴藥或人力拔除
土壤病害	栽培介質經消毒殺菌，不易發生土壤性病害，可達到不噴或少噴農藥的目的。	土壤傳導性病原、線蟲、昆蟲媒介，小動物多，作物受害程度較大，且農藥用量高。
連作障害	無	有
水分管理	水分自動循環供給，水分檢出，調節裝置均可自動化	土壤條件不同，構造、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。

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，土壤生態系知氮素循環系統。



圖二、土壤生態系知氮素循環系統

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、鉬、硼、氯等七種稱元素

稱之為微量元素，如表三所示。

表三、七種微量元素

	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。
微量元素	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。
	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。
	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。

元 素	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惟一金屬元素，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。

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。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 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。

### 2.4.1 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)。如表四所示，各種類之製作方法與發電效率。



表四、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

#### 2.4.2 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。如表五所示。

表五 使用太陽能之優缺點

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，正是各種職務利用光合作用把太陽能轉變成化學能在植物體內處存下來，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，如表六所示。

表六、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 %

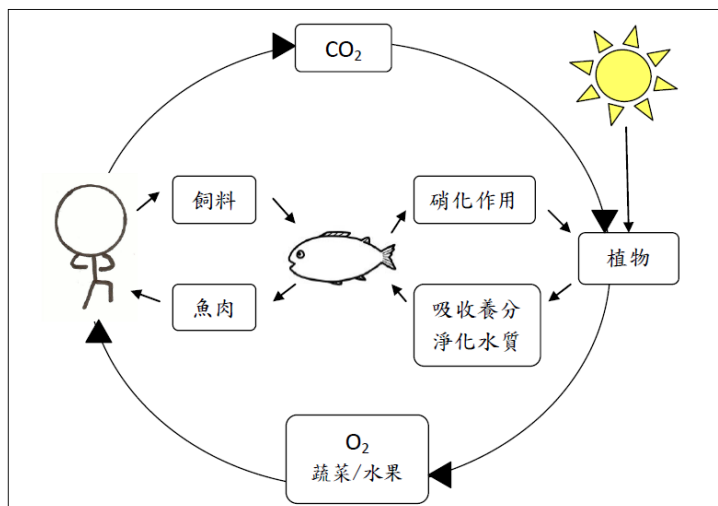
風力發電機	機械能 → 電能	35 ~ 50 %
石化燃料電廠	化學能 → 熱能 → 機械能 → 電能	30 ~ 40 %
核電廠	核能 → 熱能 → 機械能 → 電能	30 ~ 35 %
汽車引擎	化學能 → 熱能 → 機械能	20 ~ 30 %
日光燈管	電能 → 光能	20 %
白熾燈	電能 → 光能	5 %
太陽能電池	光能 → 電能	5 ~ 28 %

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公頃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，如圖四所示。



圖四、魚菜共生簡易循環圖

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。

### 參、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。

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角度約為  $160^\circ$ ，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  $30^\circ$ ，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。



Poly / Mono	GE15W12V(m)		
Parameters	Symbol	Typ	Unit
Maximum power	Pmax	15	W
Maximum power voltage	Vpm	17.5	V
Maximum power current	Ipm	0.86	A
Open circuit voltage	Voc	21.5	V
Short circuit current	Isc	0.97	A
Module efficiency	ηm	>15.5	%
Test conditions			
Irradiance : 1000W/m <sup>2</sup>		Module Temp : 25 °C	
Size (mm) : 330 x 430 x 25			

(a)

(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

有(a) 5000L 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 如圖七



(a)



(b)



(c)



(d)

圖七、(a) 5000L PU 水桶 (b) 菜盆 (c) 過濾水盒 (d) 沉水馬達

### 3.1.3 測量魚池中水質之儀器

- A. pH 計 器材如圖八所示。
- B. 電導度計器材如圖九所示。
- C. UV 光譜儀測器材如圖十所示。



圖八、pH 計



圖九、EC 計



圖十、UV 光譜儀測 NO<sub>3</sub>

### 肆、結果與討論

#### 4.1 清水耕、魚池耕、土耕之蔬菜成長比較

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。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)，如表七所示。

表七、栽種前測量菜苗的平均長度(cm)

	清水耕	魚池耕	土耕
火焰菜	5.4	5.2	5
紅萵苣	3.4	3.5	2.8
大陸妹	6.2	6.5	6.4
菊苣	8.9	9.5	7.2



(a)



(b)

圖十一、(a)清水耕種 (b)魚菜系統：土耕、魚池耕 實景圖

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。以圖十二、十三所示。

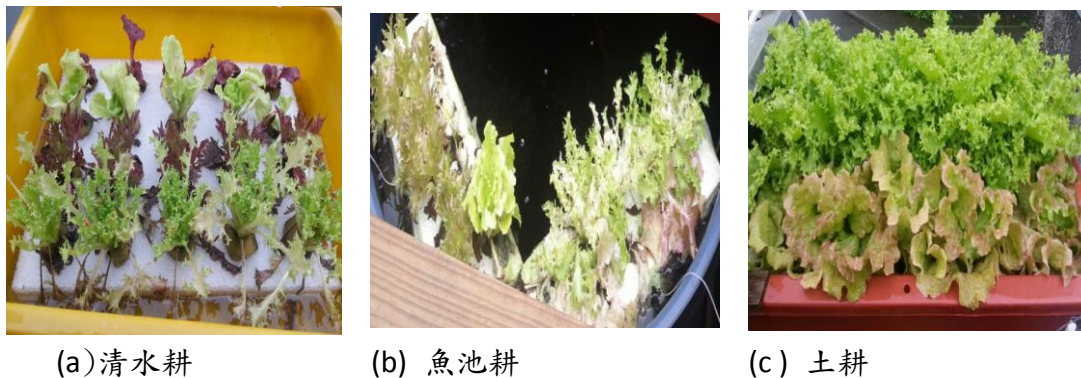


(a)清水耕實景圖



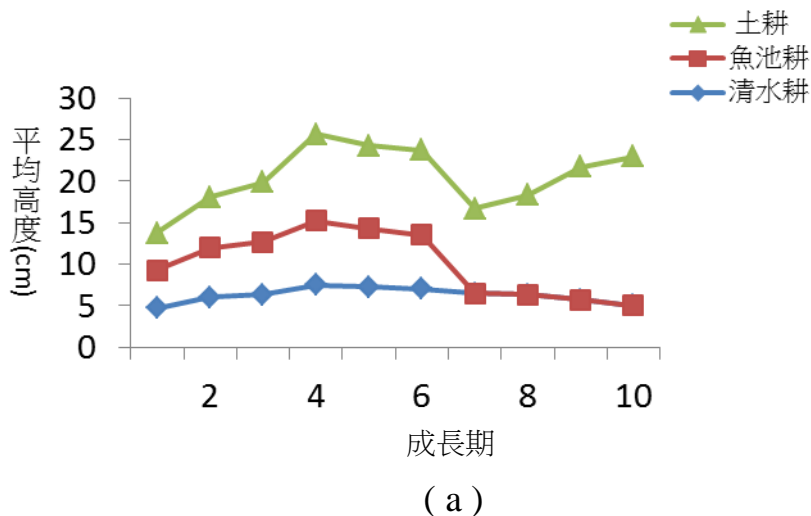
(b)土耕實景圖

圖十二、( a ) 清水耕 ( b ) 土耕 之實景圖

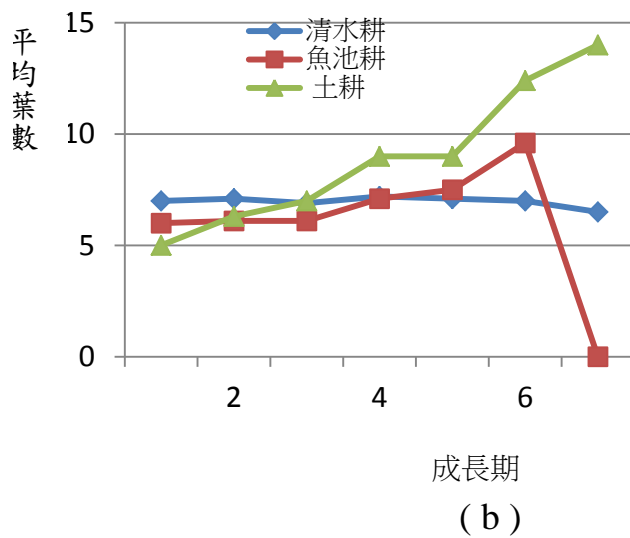


圖十三、栽種一個月半之實景圖 ( a ) 清水耕 ( b ) 魚池耕 (C) 土耕

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。如圖十四火焰菜在每週 (a) 平均高度(cm) (b) 平均葉數(片) 之變化。







圖十四、火焰菜在每週 (a) 平均高度(cm) (b)平均葉數(片)之變化

#### 4.2 太陽能電力之效果

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。

##### (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。

##### (3) 水產養殖部份：

實驗數據可以看出，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:

可在都會區建立魚菜共生系統，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。

## (5)水源需求部份:

魚菜共生系統所需要的水份相當的少，因水體不斷的循環，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:

魚菜共生系統可以產出無毒魚蝦之健康食物，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。

4.3 pH、EC、NO<sub>3</sub>、DO 之分析

由表八可發現在魚菜共生系統建立的低碳生態，是很符合現代社會需求，具相當發展的條件，所需的空間及成本低，且污染少是值得推廣。

表八、量測數據整理，pH、EC、NO<sub>3</sub>、DO

理論值	實驗值(1個月)	實驗值(2個月)	實驗值(3個月)
pH:6.5-8.0	<b>7.35</b>	<b>7.67</b>	<b>7.58</b>
EC:0.2-0.4(ms/cm)	<b>0.37</b>	<b>0.38</b>	<b>0.4</b>
NO <sub>3</sub> :0-40ppm	<b>1.1</b>	<b>1.0</b>	<b>1.1</b>
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8隻，飼料量15 g /天			

## 伍、結論

本研究之太陽能電池應用於魚菜共生系統，是種符合環保愛地球及增進人類食用安全與健康的多重利益。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。在市場上因標榜健康無毒其販售價格較高。

此實驗蔬菜種植利用三種不同耕種方式:清水耕、土耕、魚池耕，經過2個月比較，發現土耕在不管是高度、寬度、外觀(顏色、肥沃度)更勝於其他2者。魚池的養殖密度遠低於一般養殖場可減少空間損耗。

## 致謝

感謝修平科技大學能源與材料系陳志義教授一路上技術協助讓實驗及論文順利完成

本論文已投稿 2017 年生物技術暨生物工程研討會

## 六、參考文獻

1. 蘇遠志、黃世佑編著：微生物化學工程學。華香園出版社 (1997)。
2. 丘應模，“清潔蔬菜”，渡假出版社有限公司(2000)。
3. 蔡尚光，“水耕栽培的魅力”(增訂版)，淑馨出版社(1993)。
4. 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)。
5. 蔡尚光，“水耕栽培的經營”，三刷，淑馨出版社(2004)。
6. 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)。
7. 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)。
8. 方煒、黃孫宏，“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)
9. 黃孫宏，“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)。
10. 葉有仁，“養魚世界雜誌”，2003 年 3 月號。

11. 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)。
12. 陳維新，“能源概論”，三版修定，高立圖書有限公司(2008)。
13. Hinrichs, R.A and Kleinbach, M., Energy : Its Use and the Enviroment, Harcourt Inc.,2006.
14. 蕭志欣，“太陽電池應用於魚菜共生之建構”(2010)