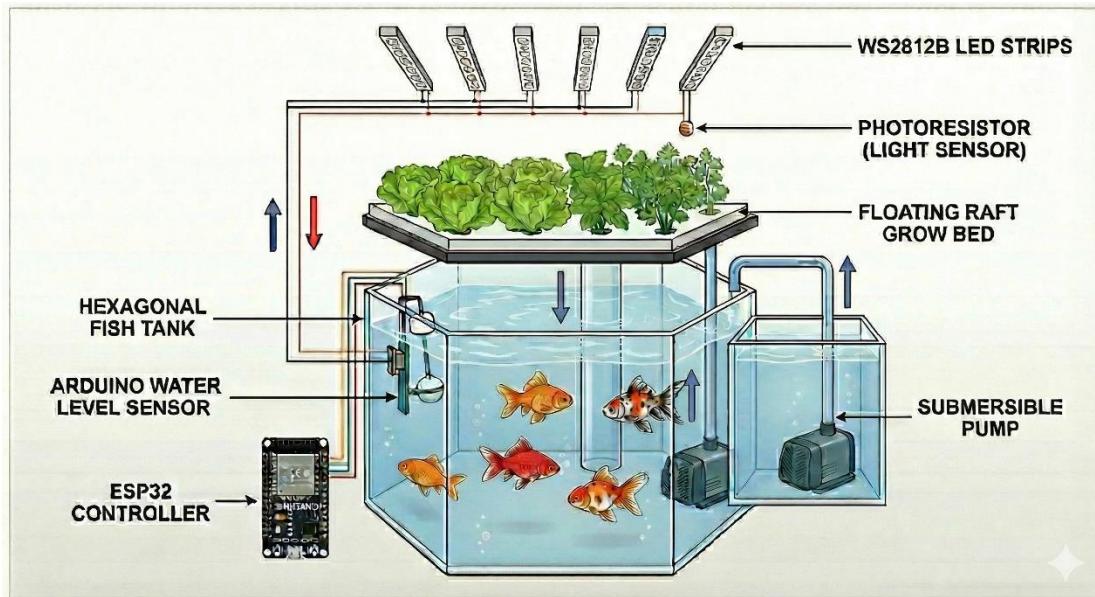


IoT 智慧魚菜共生系統實作應用



課程學生：

化工系 112032027 沈家瑜

工科系 112011229 陳妤蓁

指導老師與輔導老師：

許素朱老師

劉士達老師

黃致傑老師

目錄

| | |
|---------------------|----|
| 壹、研究動機與目的 | 3 |
| 一、研究動機 | |
| 二、研究目的 | |
| 貳、魚菜共生介紹 | 4 |
| 一、歷史 | |
| 二、原理 | |
| 三、虹吸現象 | |
| 四、魚菜共生系統類別 | |
| 五、臺灣魚菜共生案 | |
| 六、魚菜共生養殖指標 | |
| 參、魚菜共生裝置造型 | 12 |
| 肆、物聯網創意互動感測設計 | 14 |
| 伍、心得 | 20 |
| 陸、資料來源 | 21 |

壹、研究動機與目的

一、研究動機

在 113 學年下學期，我們協助科技藝術中心舉辦的「萬聖—互動詭鬼節」活動場勘時，初步認識了園區內的《魚菜星球—魚菜共生體驗農場》。我們發現園區內具有良好的環境條件與豐富的學習資源，園區內已有三種運用科學與物理結構的魚菜共生系統（浮筏式、管耕式、介質床），且在查找魚菜共生系統發展史後，發現過往在改良魚菜共生系統時，較多是以大規模及商業化為目標進行改良，而自動化的系統則多以定期餵食、補水為主要改良方向，正好本次活動會運用到物聯網系統連結各展品間的互動性，我們便希望能運用過往在「數位自造創意設計與實踐」課程中所學的數位自造與微電子相關技術，為小叮噹樂園打造第四種魚菜共生系統，希望打破僅是定時功能的魚菜共生系統，能夠利用物聯網（IoT）完成智慧感測監控的魚菜共生系統，如此一來便能以手機或電腦遠端監控魚菜共生系統的即時情況。

我們選擇以物聯網(IoT)設計魚菜共生系統，IoT 智慧系統對於魚菜共生的生長情況提供了高效率、數據化管理等優勢。傳統上利用物理原理進行養殖；透過 IoT 技術能夠監測、蒐集數據，且經過數據分析後，針對分析結果來調整生長環境。

物聯網技術本身的優勢為可客製化自身需求設計系統，包括自動化與最佳化流程的選擇，符合近代市場上偏好大規模生產、商業化的需求。

二、研究目的

藉由此自主學習計畫，我們期望能達到以下目標：

(一)探索魚菜共生系統

於此自主學習課程，學習魚菜共生的基本知識，包括其發展歷史與架構原理。在基礎知識上，研究延伸實作應用的成品。

(二)學習物聯網應用與系統整合

以微控制器（MCU）ESP32，由水位感測器、光敏電阻進行遠端監控。配合 VSCode 與 Github Copilot 的 AI 輔助工具，設計傳送感測資料的 MQTT 通訊協定，與控制補水系統及 led 燈條開關的

WebSocket 的連線途徑，實現魚菜共生系統的機制。

(三) 製作智慧魚菜共生系統

結合數位自造技術，以考慮理論與實作的差異為主，嘗試製作可展示的 IoT 魚菜共生系統。希望藉由此自主學習計畫，引起校園內實作課程的風氣。

貳、魚菜共生介紹

一、歷史

目前西方國家可追溯到最早的魚菜共生歷史，是位於中南美洲的阿斯特克人（Aztecs）或當地原住民所發展的浮園耕作法（又稱奇南帕；chināmitl）。¹ 以水草、樹枝、泥土等材料在湖面上製作漂浮的小島，種植蔬果等作物，而湖中的水生生物與礦物可提供蔬果所需的養分。在亞洲國家，中國、泰國、印尼等地區則時常採取將稻作與魚、鴨、田螺等生物與農作物共同養殖。²

在 1970 年代，首次出現「魚菜共生」（Aquaponics）一詞，由來自美國維京群島大學（University of Virgin Islands），又有美國魚菜共生之父之稱的 James Rakocy³ 博士，名下其中一位學生所發明。在此之前，關於魚菜共生的研究皆以「整合系統」（integrated systems）稱呼。

同一時期，James Rakocy 博士與研究夥伴共同研發「重複循環水產養殖系統」（Recirculating Aquaculture Systems），⁴ 其亦被視為深水栽培的前身。以解決水中硝酸鹽離子過多的問題。透過此系統進行以浮筏式為基礎的大規模養殖實驗，包括吳郭魚、水生植物、西洋菜等。

1980 年代中期，北卡羅萊納州立大學的 Mark McMurtry 博士與 Doug Sanders 教授等合作夥伴共同研究以砂石為基底的綜合水產蔬菜養殖系統（Integrated Aqua-Vegeculture System，簡稱 iAVs），⁵ 為第一座

¹ All Aquaponics, “The History of Aquaponics”, <https://allaquaponics.com/the-history-of-aquaponics/>, accessed December 23, 2025.

² 同前註。

³ 美國魚菜共生之父 James Rakocy 博士訪談譯文，PeoPo 公民新聞，2014 年 7 月 10 日，<https://www.peopo.org/news/248477>。檢索日期：2025 年 12 月 23 日。

⁴ 同前註。

⁵ Palm, Harry W. et al, 《The Forgotten History of Aquaponics》, iAVs, 2024, 〈The Forgotten

封閉迴路式魚循環系統。同時，美國麻塞諸塞州的 Amherst 學院開發出第一套商業型魚菜共生系統。

在 1990 年代早期，的美國密蘇里州 Speraneo 夫婦⁶ 基於 iAVs 的構造進行改良，發展新的技術——潮汐栽培法(flood-and-drain system)，影響近代的商業型、家用型與教育用的魚菜共生系統。

來到網際網路盛行的千禧年代，世界各地的資訊互相流通，隨著網路上的論壇分享及發達的物流系統，以微電子技術與感測器監測的自動化物聯網魚菜共生系統愈為普遍。

二、原理

魚菜共生(Aquaponics)如同其名結合了水產養殖(aquaculture)及水耕(hydroponics)的特性，讓魚類及植物共同生長在一個系統之中，將魚的排泄物轉換成可提供植物生長的養分。

魚菜共生系統的結構主要由養殖池、抽水馬達、生化過濾槽及栽培植床，藉由抽水馬達及虹吸現象，讓水流不斷地在系統內循環：

抽水馬達將養殖槽內的魚類毒性排泄物氨，抽至生化過濾槽內，並同時過濾固體排泄物，再由生化過濾槽內的硝化菌進行硝化反應，將氨氧化形成亞硝酸離子，最終形成硝酸根離子，成為植物可以吸收的營養鹽，營養鹽再隨著水流流進栽培植床內澆灌植物，讓廢棄的排泄物得以被利用作為養分來源，並減少排泄物對於造成的毒性。魚菜共生系統中的水循環可以有效地減少水的使用量，達到節省水資源的功效，同時以植物降低有毒廢物並淨化水質，對於追求環保與節能有相當的益處。⁷

三、虹吸現象

魚菜共生系統為一種水耕系統，系統內的植物對於營養的傳輸扮演著重要角色，因此植床水位的高低必須嚴加控管，為了可以快速方便的控制水位，大多數魚菜共生系統內皆有可以控制水位高低的虹吸管（亦

History of Aquaponics〉, <https://iavs.info/the-forgotten-history-of-aquaponics/>, accessed December 23, 2025.

⁶ 同前註。

⁷ “What is Aquaponics and How Does it Work?” Go Green Aquaponics, May 13, 2025 https://gogreenaquaponics.com/blogs/news/what-is-aquaponics-and-how-does-it-work?srslid=AfmBOore8bUFKm3qcjv4_wsNO8sUOJocnRPgcaoYaxAZiEZ4UYL7I-cS accessed December 23, 2025

稱為虹吸鐘），此為利用重力以及壓力等物理原理，不須耗電殼可以排出多餘的水分，具有節省能源的功能。⁸ 虹吸現象⁹ 是利用空氣中的大氣壓力，以及液體本身的重力之間力的相差大小來推動液體。圖 1 為本系統中的魚菜共生示意圖，紅色箭頭為壓力，當綠色箭頭為重力。水進入外管內，大氣壓力及水壓使水流進內管，在內管上方形成一封閉空間，此時內管的水體受到的壓力由大氣壓力減少至封閉空間之氣壓，水體受到重力作用而開始下流，直到外管的壓力與內管壓力達平衡，水便不再流動，藉此控制水位高低。¹⁰

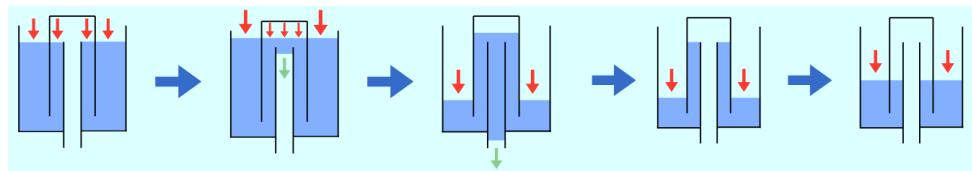


圖 1、魚菜共生系統內虹吸管示意圖

四、魚菜共生系統類別

(一)管耕式 (Nutrient-Film-Technique (NFT))

⁸ “What is a Bell Siphon and Why We Use it in Aquaponics,” Go Green Aquaponics <https://gogreenaquaponics.com/blogs/news/what-is-bell-siphon-and-why-we-use-it-in-aquaponics?srsltid=AfmBOorTDjyW9kQ-4kkvsbZrauhM1NU3irSnS-DUtmNr4lwFDIzZvBci> accessed December 23, 2025

⁹ “虹吸現象”維基百科. <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%99%B9%E5%90%B8> 檢索日期 2025 年 12 月 23 日

¹⁰ ”How to Make a Bell Siphon & How Bell Siphons Work” <https://www.youtube.com/watch?v=Ia1BQFTaG7c> accessed December 23, 2025



圖 2、管耕式魚菜共生系統(作者於小叮噹科學主題樂園內自行攝影)

管耕式魚菜共生系統(又稱薄膜養液式)是將植栽種植於傾斜的管道中。由於管內僅需維持淺層水流，形成如同水膜般的流動狀態，因此整體用水量極低。這種持續且快速流動的水循環，不僅能顯著提升水中溶氧量，亦能高效地輸送養分供給植物，同時達到淨化水質的效果。

此系統的優點在於營養傳輸效率高、耗水量低、溶氧量豐富且節省空間；然而，其缺點亦不容忽視，包括根系容易堵塞管道、僅適用於小型植栽，以及系統對設備依賴度高，一旦幫浦故障，植栽便會面臨快速失水枯萎的風險。¹¹

(二)深水栽培式 (Deep Water Culture, DWC)

¹¹ Tim Adelmann ,”What is the Hydroponic Nutrient-Film-Technique (NFT)”, January 28, 2023
<https://hydroplanner.com/blog/hydroponic-nutrient-film-technique-nft> accessed December 23, 2025



圖 3、深水栽培式魚菜共生系統

(圖片連結 <https://gogreenaquaponics.com/blogs/news/tips-to-keep-your-aquaponics-system-running-strong>)

深水栽培系統(Deep Water Culture, DWC)亦稱為浮筏式系統，其特點是將植栽定植於保麗龍浮板上，使其漂浮於水體較深的大型水槽水面。此設計讓植物根部全時浸泡於水中，不僅能確保持續且充足的水分供應，根系亦能發揮過濾作用，協助淨化水質並維持植床潔淨。

然而，由於深水槽內的水體流動性不如管耕式(NFT)強烈，導致水中溶氧量相對較低。因此，系統必須額外設置空氣幫浦進行曝氣，以提高溶氧量，維持硝化菌活性及植物根部的呼吸需求。其主要優點在於水體緩衝能力大、供水穩定，極為適合種植生長週期短且快速的葉菜類植物。¹²

(三)介質床 (Media Bed)

¹² “What is the Raft System of Aquaponics?,” Go Green Aquaponics, December 5, 2025, https://gogreenaquaponics.com/blogs/news/what-is-a-raft-based-aquaponics-system?srsltid=AfmBOopRZkAacURm1gdpiL_TIA0wPUunFFpsCrtMOfwAe9iXyeIOQoxX accessed December 23, 2025



圖 4、介質床栽培式魚菜共生系統

(圖片連結 <https://urbanfishfarmer.com/aquaponics-technology-different-systems-used-modern-aquaponics/>)

介質床栽培系統（Media-based System）係於植床中填充大量多孔隙介質，如發泡煉石、礫石或火山岩。介質發揮了類似傳統土壤的功能，不僅為植物根系提供穩固的支撐力，其豐富的孔隙更成為硝化菌的理想生長的，有利於進行硝化作用以轉化養分，同時兼具物理過濾、淨化水質之效。

由於具備良好的根系支撐力，此系統適用於大多數的植物種類。其缺點在於介質與發達的根系容易導致內部縫隙過於緊密，阻礙水流循環，進而導致床體內部的溶氧量相對較低。¹³

五、臺灣魚菜共生案例

隨著國際浪潮，臺灣亦有許多魚菜共生農場、食農教育場所與相關管理與推廣組織。以下列舉三項臺灣著名的案例：

(一) 高雄旗山 思原魚菜共生農場¹⁴

思原魚菜共生農場以永續、循環經濟為主旨，經營耕地與餐廳。農場主人羅條原於民國 108 年 5 月以自行研發的「生態植栽桶」得到國際發明獎環境能源發明的金牌獎。

¹³ “What Is A Media Bed Aquaponics System?,” Go Green Aquaponics, November 14, 2025, <https://gogreenaquaponics.com/blogs/news/aquaponics-systems-what-is-a-media-based-aquaponics-system?srslid=AfmBOorx5j1aKzB6cvzCNo-Syz3iLMoOptAOUmEle-HwvTMlpH08j> accessed December 23, 2025

¹⁴ 〈臺灣之光！思原魚菜共生農場「生態植栽桶」國際發明獎大放異彩！〉，農業部，2019 年 5 月 14 日，https://fae.moa.gov.tw/theme_data.php?theme=news&sub_theme=hot_news&id=117，檢索日期 2025 年 12 月 23 日

(二) 新竹新豐 小叮噹科學樂園魚菜星球¹⁵

小叮噹科學主題遊樂園的「魚菜星球」區域以環境教育為主軸，為受到環保署官方認證的民間企業教育場所。以魚菜共生的方式種植芋頭、小白菜、香蕉等蔬果，結合餐桌、水族箱造景，向園區的遊客介紹魚菜共生的各種形式與呈現。

(三) 雲林 新湖農場¹⁶

雲林縣的新湖農場主要銷售經加工處理的美生菜，該農場與當地的褒忠鄉公所合作，將剩餘的加工剩菜用於漁業養殖。將魚塭所使用過的水作為農田、溫室裡作物的肥料，植物的根可以淨化水質，淨化的水重複循環利用，導回魚塭。該魚菜共生魚塭溫室受循環台灣基金會肯定，被納為台灣循環產業案例，並進一步出成譯本，收錄到國際資料庫。

六、魚菜共生養殖指標

魚菜共生系統的成功關鍵在於維持魚類、作物、硝化菌三者間的平衡。以下針對系統中重要的五項指標進行討論：

(一) 溶氧量

溶氧量是維持魚類生命的即時關鍵指標，在開放池面雖有自然溶入的氧氣，但在高密度養殖系統中常顯不足。通常系統最佳溶氧量應維持在 5~8 mg/L 的範圍內；儘管鯉魚與吳郭魚能短暫忍受 2~3 mg/L 的低氧環境，但為確保系統的安全生存環境，溶氧量仍需高於此限制範圍。並且可透過幫浦使水流流動，或利用空氣幫浦打入氣泡，避免魚隻在數小時內因缺氧而死亡。

(二) pH 值

pH 值對於魚菜共生系統中的作物吸收與硝化菌活性具有決定性

¹⁵小叮噹「魚菜星球」獲認證，新竹縣政府環境保護局，2018 年 9 月 7 日，

<https://www.hcepbcc.com/modules/news/article.php?storyid=42>，檢索日期 2025 年 12 月 23 日

¹⁶褒忠循環農業大突破 魚菜共生獲列國際循環經濟資料庫，農業剩餘資源資訊平臺，2024 年 11 月 30 日，<https://agricycle.tier.org.tw/News/More/710d95c8acd740378deb030f00293cc8>，檢索日期 2025 年 12 月 23 日

影響，當 pH 值處於 6.0~6.5 時，作物對所有養分的吸收效率最高。若偏離此 pH 值範圍可能導致鐵、磷、鎂等微量元素不足，且當 pH 值低於 6.0 時，硝化菌的轉化效率將大幅衰退，進而累積具有毒性的氨。因此系統的水體 pH 值需維持在 6~7 的範圍內，一旦系統環境過酸或過鹼，將危害到整個生態系統。

(三) 水溫與魚種選擇

水溫會直接影響系統效能與溶氧量，應控制在 18~30°C，符合魚類、作物與硝化菌的生長需求。在高溫時需要特別加強打氣以補足下降的溶氧，低溫時則可能導致硝化菌停止代謝或魚隻死亡，故應依氣候選擇合適魚種，如適溫 12~30°C 的美洲大口鱸、耐受力強且適溫 16~35°C 的吳郭魚，或是適溫 20~25°C 且具觀賞價值的錦鯉，挑選適當的廣溫性魚種來降低環境劇烈變化帶來的風險。

(四) 氮化合物指標

系統中的氮循環數據是監控魚隻健康的指標，由魚體排出或分解的排泄物所產生的氨濃度若達到 1.0 mg/L，便會傷害魚類神經與鰓部功能；而亞硝酸離子濃度若超過 0.25 mg/L 則會削弱魚隻的血液攜氧能力，甚至在 0.5~2.0 mg/L 時導致快速死亡；相對而言，硝酸鹽對魚類毒性較低且為植物主要養分，理想濃度應維持在 5~150 mg/L 的範圍內，確保植物生長並維持水質平衡。

(五) 硝化菌管理與系統平衡

硝化菌是將有毒氨轉化為硝酸鹽的核心，其最佳生長條件為溫度 25~30°C、pH 值 7.5~8.0 及溶氧 2~5 mg/L。且因其具有避光性，在黑暗環境下生長更佳，可在養殖系統中配置大量表面積的固定物供其附著繁殖。可藉由檢測水中氨與亞硝酸濃度來間接觀察硝化菌的活性，在平衡系統中，兩者濃度應常保在 0~1 mg/L，若數值升高，通常反映出水質過濾器效能不足、魚群養殖密度過高或溫度過低影響了細菌代謝。

七、魚菜共生系統

在綜合比較三種系統的養殖方式後，我們決定以浮筏式作為本次魚菜共生的系統，預計將在寒假完成實體裝置製作。

考量到管耕式的系統結構較複雜、水流較小，難以控制其穩定流動，容易因疏忽導致植物枯死；介質床系統則需要大量的固體材料，在整理及照護時需耗費心力避免介質造成管線堵塞。而浮筏式系統擁有大量的水體，可以有效減緩水中因溫度、酸鹼值改變造成的衝擊，因此成為我們的最終選擇。

然而浮筏式系統本身面臨缺乏介質層進行過濾，且無法像管耕式利用水流落差自然增加溶氧量的問題，我們決定將在系統內加裝過濾棉等設備，攔截水中的固體廢棄物，並額外增加曝氣系統，提升水中溶氧量，以確保硝化菌可以正常分解營養鹽，完善整體系統的運作。

參、魚菜共生裝置造型

我們以一個魚缸作為整體魚菜共生系統的本體，ESP32 作為微控制器，獨立架設在另一個防水盒內，連結魚缸中的偵測水位高低的 Arduino 水位感測器，且 ESP32 也連結到以繼電器作為開關的抽水馬達，從另外一個水缸將水抽到魚缸內進行補水。本系統的植床採用浮筏式，並在植床上方架設 WS2812B LED 燈條作為植物補光燈，以光敏電阻作為光線感測器。

以下為該魚菜共生系統之模擬圖，我們先以 Gemini 繪製示意圖，並在寒假期間完成實體裝置製作。

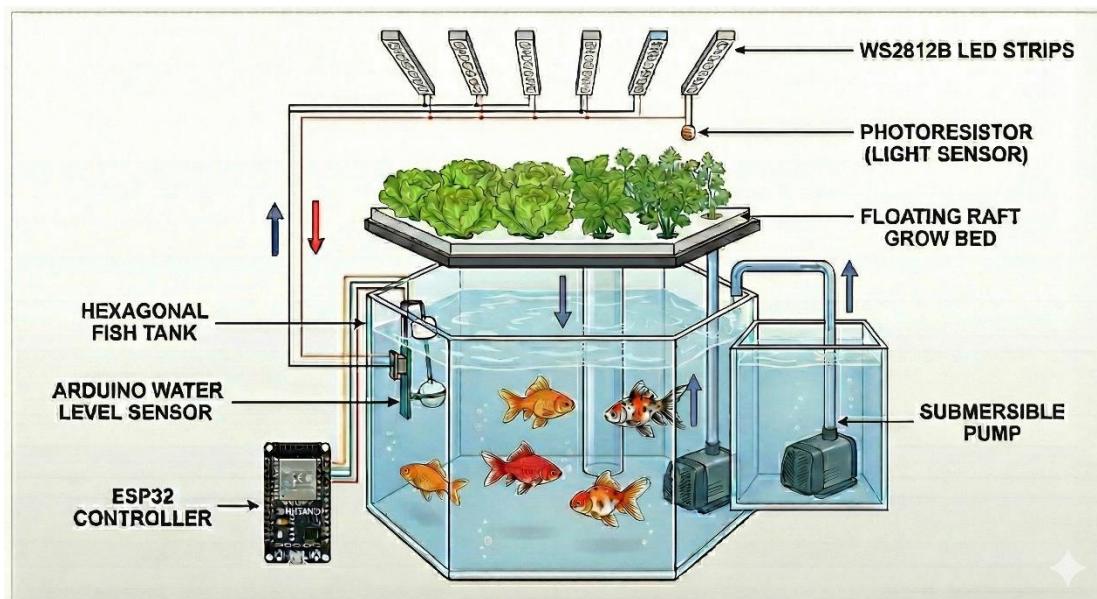


圖 5、魚菜共生系統模擬圖 (使用 Gemini 繪製)

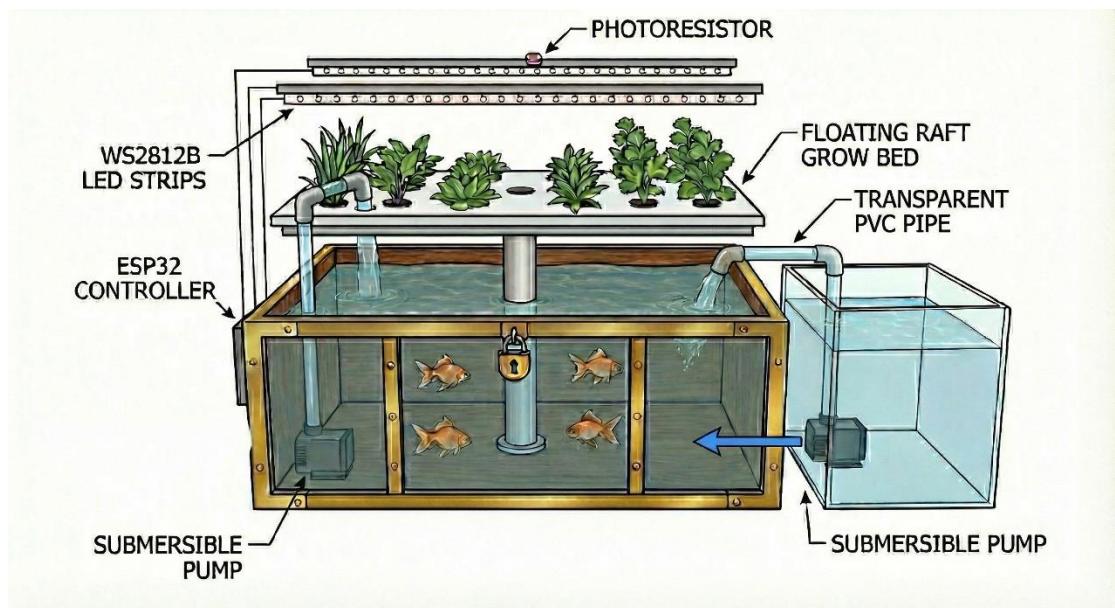


圖 6、已造型設計的魚菜共生系統模擬圖 2(使用 Gemini 繪製)

目前計畫魚菜共生系統所使用的魚缸造型參考以下範例。圖 7 為工具箱造型的魚缸，展現創客的手作 DIY 精神，並預計將魚缸造景與五金工具結合，設計一款具工業風的特色的生態景觀，工具箱是代表修繕與建造的載體，在此作為缸體的構造，讓原本具有機械性的零件轉為孕育生命的基地，將 maker 的精神應用在機械電路之外，融合創意成為生態的建構者，完成科技以及農業的跨界合作。



圖 7、工具箱造型魚缸

(圖片連結 <https://www.pinterest.com/pin/1128644356630531560/>)

肆、物聯網創意互動感測設計

一、IoT 智慧魚菜共生系統互動感測設計

我們以水位感測器與光敏電阻為感測元件，結合 MQTT(Message Queuing Telemetry Transport)及 WebSocket 的通訊架構，設計可即時回

傳資料並遠端互動控制的魚菜共生系統。

二、光敏感測器

光敏電阻之電阻值隨外界光線強弱而改變，利用此特性，配合固定電阻 10k 的分壓電路，藉此感測環境的明暗。當天氣為陰天時，自動開啟植物燈幫系統打光，晴天與夜晚則植物燈維持關閉。當光敏電阻所讀取的數值在臨界範圍 1500-3800 之間，ESP32 回傳需要「建議開燈」的提示，可在手機、電腦等訂閱端的網頁介面上顯示提示以及控制燈光開關。

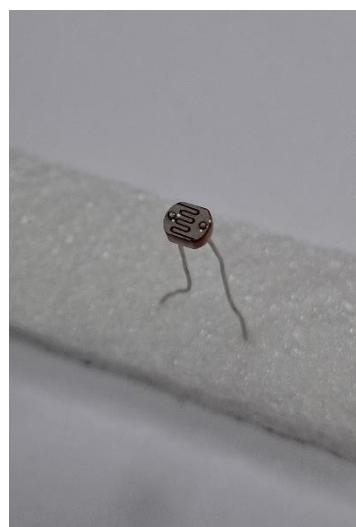


圖 8、該系統所使用之光敏電阻

三、水位感測器

以水位感測器測量水位高低，測量範圍內 0~4 公分，利用 ESP32 回傳水位數值至 MQTT broker，在讀取至網頁上顯示水位高低，並在低水位時回傳低水位的訊號。使用者可以利用手機或電腦的網頁介面操作繼電器，將繼電器作為抽水馬達的開關，進而控制抽水馬達加水，在加水時讓燈條隨之亮起。

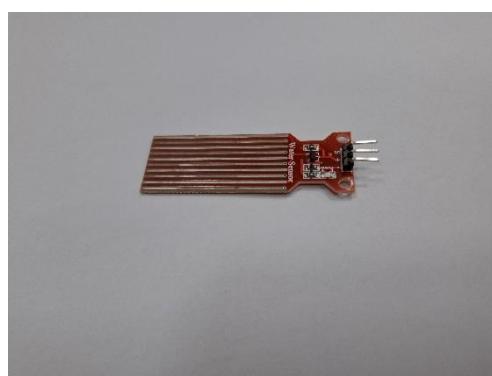


圖 9、水位感測器

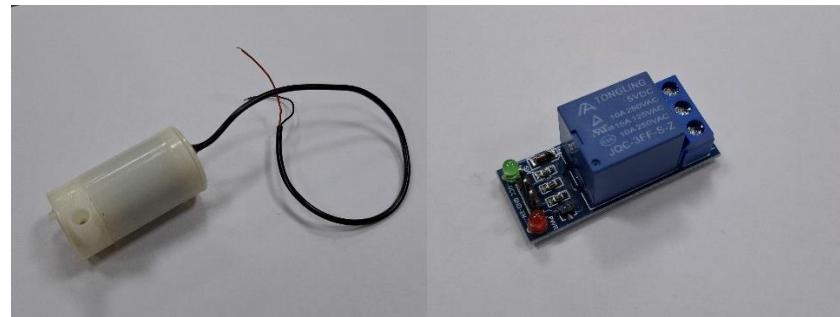


圖 10、(左)抽水馬達(右)繼電器

圖 11 為系統接線示意圖，其中水位感測器的訊號端(S)接到 ESP32 GPIO 34；光敏電阻則以分壓方式接線，一端接 3.3V，另一端接到 GPIO 32，同時從 GPIO 32 拉一個 $100\text{k}\Omega$ 的下拉電阻到 GND。WS2812B LED 燈條的資料輸入端接到 GPIO 25；繼電器資料輸入端接到 GPIO 24，燈條與繼電器的電源正極(VCC)使用 5V 供電，負極(GND)與 ESP32 共地。

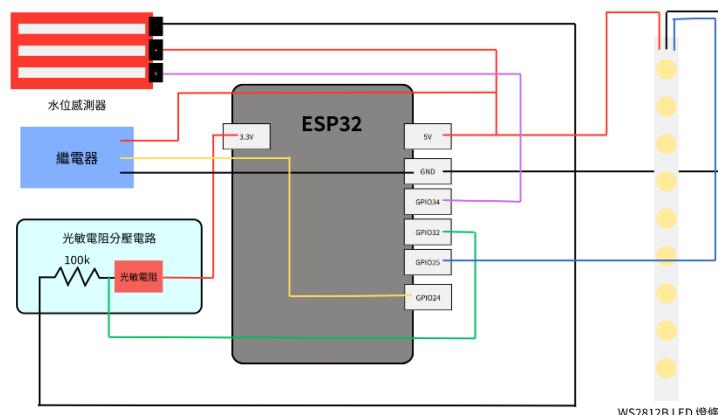


圖 11、以 ESP32 為核心的電路接線示意圖，實際腳位配置與圖中配置未必相同(作者以 Canva 繪製)

四、網頁 WebSocket 互動

該 IoT 智慧魚菜共生系統以 MQTT 與 WebSocket 作為通訊架構，並透過 JavaScript 執行環境 Node.js 啟動器進行整合管理。在前端的設計網頁顯示監測水位高低，透過手機監控並遠端操控抽水馬達的開關。

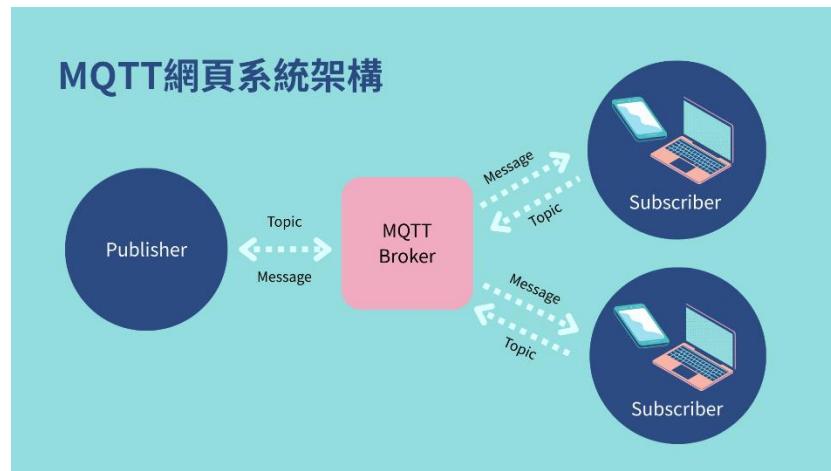


圖 12、MQTT 網頁系統架構(以 Canva 繪製)

MQTT 為一輕量型通訊協定。如圖 11 所示，在資源與頻寬有限的情況下，Publisher 將資料發布至 MQTT Broker，而 Broker 負責依主題(Topic)轉送資料給已訂閱該主題的 Subscriber，因此資訊可在裝置間互通訊。而使用 WebSocket 在 TCP 連線建立雙向通訊通道，客戶端與伺服端間以此通道互相發送資料，適合即時性的互動。

此魚菜共生系統的 MQTT 架構以 ESP32 作為 Publisher，將感測的水位與光照數值發布至 MQTT broker。MQTT broker 依照主題，如水位、光線狀態等，將蒐集的數值資料傳送到如手機等已訂閱主題的裝置，並透過 Node.js 伺服器接收資料，在裝置上的互動頁面顯示偵測的水位與光照數值。亦可透過互動頁面發出控制指令，該指令再經由 WebSocket 傳送至 Node.js 中介伺服器，向 ESP32 回傳須執行的指令動作，控制抽水馬達、燈光的開關。



圖 13、魚菜共生系統互動網頁

我們使用 VSCodeVisual (Studio Code) 中的 AI 輔助工具 GitHub

Copilot，在代理模式（Agent Mode）的功能下，編寫較為複雜的程式碼。以 MQTT 傳送感測器的數值資料，由 WebSocket 處理互動控制的動作，並以 Node.js 進行資料處理與控制動作的整合管理。

前端網頁同樣以 AI 工具輔助進行設計與規劃，在魚菜共生系統的網頁畫面中，互動頁面是以魚缸的造型作為發想，並加上魚隻游動及水草擺動的動態效果，提供使用者更好的介面操作體驗，同時能夠更直觀地聯想到該系統所監控的環境狀態。

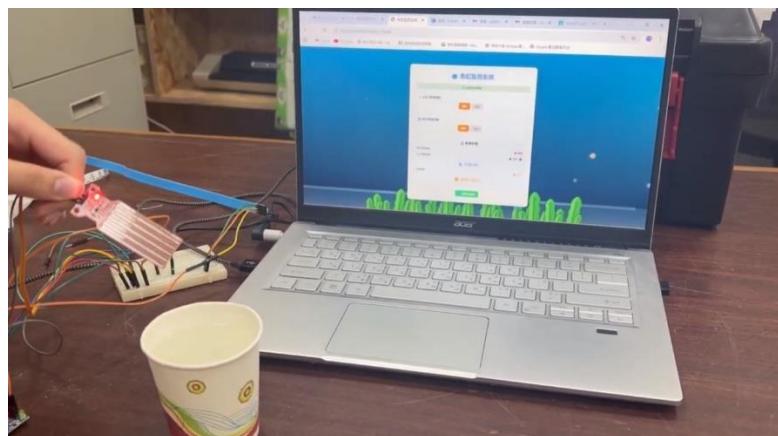
在網頁的功能配置上，設有用於植物補光的 LED 燈條控制，以及控制抽水馬達開啟與關閉的按鈕，並在頁面上的對話框下半部分顯示魚菜共生系統內的各個感測器所讀取的數值與運作狀態，如水位高低或環境的光照狀態等資訊，即時掌握系統的運行狀態。此前端網頁設計為整合監測與控制功能的操作頁面，實現整體系統之實用性與互動性。

以下為系統所使用的感測器與互動頁面測試影片連結：

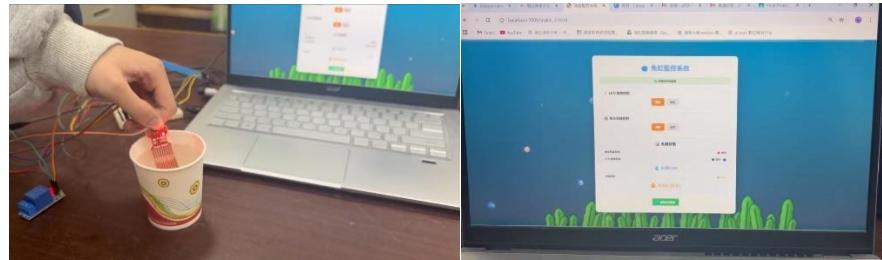
https://drive.google.com/drive/folders/1aG6TXIL-8XUzAoWP3B9I5SbK_CpG78bw

一、水位感測器測試

Step 1：水位感測器尚未放入水中，網頁上呈現低水位



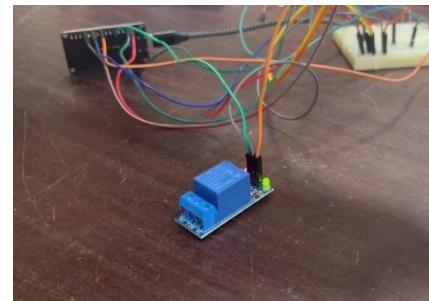
Step 2：水位感測器放入水中，且網頁上顯示感測到高水位



Step 3：將水位感測器拿出，顯示低水位。此時在網頁上開啟繼電器，即抽水馬達的開關

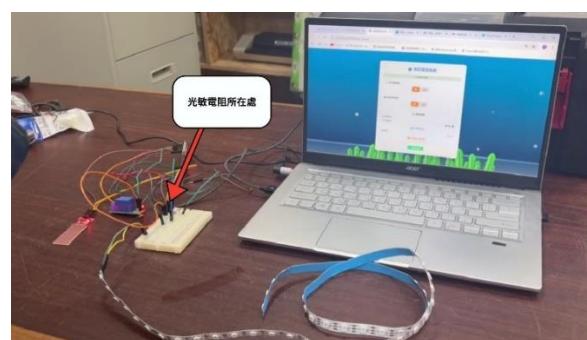


Step 4：繼電器亮起綠燈，表示開啟，若裝上抽水馬達則馬達可啟動進行補水



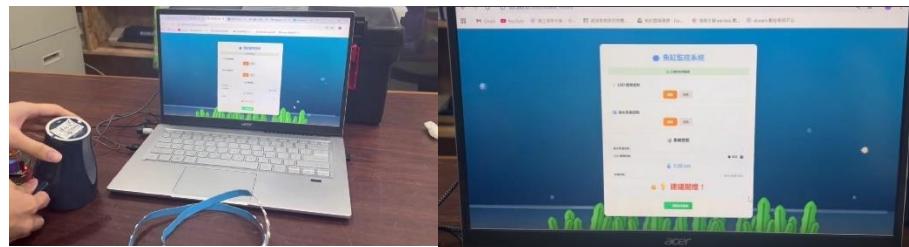
二、光敏電阻測試

Step 1：光敏電阻目前尚未被遮蔽，網頁將顯示提示為白天

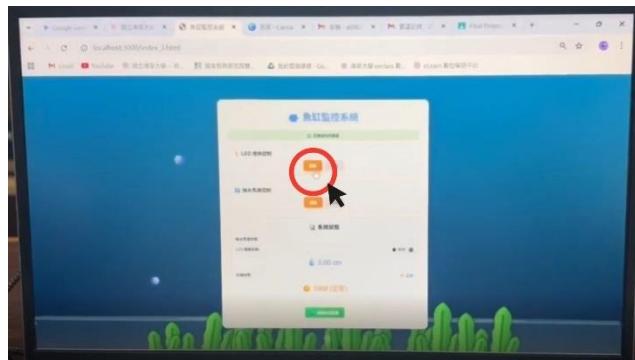


Step 2：光敏電阻被遮蔽(測試中以杯子遮掩光線)，網頁提示建議開

燈



Step 3：在網頁上開啟 Led 燈條



Step 4：作為植物補光燈的燈條亮起(圖中燈光與實際情況有色差)



伍、心得

在本次計畫中我們初步認識了魚菜共生系統，在看見水流在系統中循環的過程，聽著小叮噹樂園的郭總充滿熱忱的在向我們分享他在這些年研究魚菜共生系統所學，以及魚菜共生系統帶來的經濟效益以及在這高汙染時代下，魚菜共生系統是如何節省能源、達到環境永續的效果，以及介質床、薄膜養液式、管耕式三種系統間的差異，這也讓我們對魚菜共生系統感到好奇。在探索魚菜共生的歷史後，了解到魚菜共生是一個從數千年前就開始發展的耕作方式，見識到古人在資源有限的環境下，創造出最大效益的智慧。

魚菜共生系統的結構相當簡單，只要一盆栽的菜以及魚缸，就能創

造出新的生態循環。其背後使用的虹吸現象、水循環以及氮循環等原理，皆是在國中小就會學習到的自然知識。透過本次自主學習，我們也重新詳細地複習一次，也希望未來有機會，能夠設計課程，將這些概念推廣到國中小，讓課本上的知識活用，增加國中小學生對課程的理解。

我們也活用了在數位自造課程中所學習的 Arduino 使用技巧，並學習物聯網的系統架構，學習感測器與網路架構的，也讓我對於本課程的熟悉程度更高。

這次的魚菜共生系統實作方面，我們學習了更多關於物聯網的基本架構，包括應用、網路、感知三大層面。在該專題中所使用的為控制(MCU)為 ESP32，可透過 WiFi 與電腦傳輸感測資料，支援各種通訊模式。因為在先前的課程已學習過 Arduino 的應用，這學期我們更著重在如何透過 MQTT 系統與 Websocket 的通訊架構，以 ESP32 建立物聯網環境。

我們最初學習以 ESP32 連結無線路由器的 STA 模式，在連上網際網路的狀態下透過電腦的 Processing 與 ESP32 通訊。接著學習在無網際網路的 AP 模式下，將 ESP32 作為無線路由器來進行通訊。最後以電腦作為 MQTT broker，傳送感測器所量測的數值，並以建立 WebSocket 系統控制 ESP32 所連結的馬達及 Led 燈條。

了解 MQTT 與 WebSocket 的通訊原理後，我們利用 Github Copilot 的 AI 輔助工具，能夠在短時間內得到完整且可執行的程式。儘管我們只理解基本架構原理，但透過 AI 工具，可以依照我們所需要的功能與指令，得到可進行控制的網頁與 Arduino 程式，執行更為複雜的任務。

藉由 AI 工具的幫助，我們能夠以所知的原理為基礎，更輕鬆地完成困難且複雜的專案，並且可以將心力放在創意實踐與解決問題上，進一步優化系統，得到令人滿意的結果。

陸、資料來源

1. All Aquaponics, “The History of Aquaponics”, <https://allaquaponics.com/the-history-of-aquaponics/>, accessed December 23, 2025
2. 美國魚菜共生之父 James Rakocy 博士訪談譯文，PeoPo 公民新聞，2014 年 7 月 10 日，<https://www.peopo.org/news/248477> 檢索日期：2025 年 12 月 23 日

3. Palm, Harry W. et al, 《The Forgotten History of Aquaponics》, iAVs, 2024, 〈The Forgotten History of Aquaponics〉, <https://iavs.info/the-forgotten-history-of-aquaponics/>, accessed December 23, 2025
4. “What is Aquaponics and How Does it Work?” Go Green Aquaponics, May 13, 2025 https://gogreenaquaponics.com/blogs/news/what-is-aquaponics-and-how-does-it-work?srsltid=AfmBOore8bUFKm3qcjv4_wsNO8sUOJocnRPgcaoYaxAZiEZ4UYL7I-cS accessed December 23, 2025
5. “What is a Bell Siphon and Why We Use it in Aquaponics,” Go Green Aquaponics <https://gogreenaquaponics.com/blogs/news/what-is-bell-siphon-and-why-we-use-it-in-aquaponics?srsltid=AfmBOOrTDjyW9kQ-4kkvsbZrauhM1NU3irSnS-DUtmNr4lwFDIzZvBci> accessed December 23, 2025
6. “虹吸現象”維基百科. <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%99%B9%E5%90%B8> 檢索日期 2025 年 12 月 23 日
7. ”How to Make a Bell Siphon & How Bell Siphons Work” <https://www.youtube.com/watch?v=Ia1BQFTaG7c> accessed December 23, 2025
8. “What Is A Media Bed Aquaponics System?,” Go Green Aquaponics, November 14, 2025, https://gogreenaquaponics.com/blogs/news/aquaponics-systems-what-is-a-media-based-aquaponics-system?srsltid=AfmBOorx5j1aKzB6cvzCNo-_Syz3iIMoOpt_AOUmEle-HwvTMlpH08j, accessed December 23, 2025
9. 〈臺灣之光！思原魚菜共生農場「生態植栽桶」國際發明獎大放異彩！〉, 農業部, 2019 年 5 月 14 日 https://fae.moa.gov.tw/theme_data.php?theme=news&sub_theme=hot_news&id=117, 檢索日期 2025 年 12 月 23 日
10. 小叮噹「魚菜星球」獲認證, 新竹縣政府環境保護局, 2018 年 9 月 7 日, <https://www.hcepbcc.com/modules/news/article.php?storyid=42>, 檢索日期 2025 年 12 月 23 日
11. 褒忠循環農業大突破 魚菜共生獲列國際循環經濟資料庫, 農業剩餘資源資訊平臺, 2024 年 11 月 30 日,

<https://agricycle.tier.org.tw/News/More/710d95c8acd740378deb030f00293cc8>，檢索日期 2025 年 12 月 23 日

12. Dominique Guinard/ Vlad Trifa 著，李健榮/ 吳致佑譯，《打造 Web 物聯網：使用 Node.js 與 Raspberry Pi》，碁峰資訊股份有限公司，2017 年