

摘要

本研究透過文獻探討與訪談後，期望建構一個能在校園水生池進行的永續蜆魚菜共生系統，透過實驗與文獻得知，一個 50000 公升的校園水生池蜆魚菜系統，等同於一棵成年樟樹的固碳量，且養蜆能避免水生池綠水的發生，有助於學生學習觀察，且亦能通入水泥廠收集之二氧化碳，提高蜆產量與存活率；即便死去的蜆殼也能成為土壤改良劑改善校園種植環境。此外，本研究亦針對虹吸系統、二氧化碳發生系統、水耕植棉進行改良，提共未來相關實驗與校園種參考利用。

壹、動機

在去年花蓮縣小論文比賽中，我們以初探花蓮產業減緩溫室效應之可行性為題進行探究，發現能透過立川魚場養蜆，以及台泥廠的二氧化碳收集與微藻養殖，來強化蜆的生物固碳的作用，蜆的生物固碳最大的好處就是天然無污染，但因為只是文獻的整理與簡單的實驗，對於是否可行我們仍舊好奇。正好本校的水生池已乾枯許久，近日學校終於申請經費想要重建水生池，我們想了解如何應用我們文獻探討的結果，結合水生池進行魚菜蜆的共生，一來美化學校環境、二來充實學校教學資源、三來結合花蓮產業進行環保無污染的固碳，並配合康軒版自然科五上第二單元「植物世界面面觀」、第三單元「水溶液」以及六下第三單元「生物與環境」，透過以上自然課程的學習，我們了解環境的改變與生物的生長息息相關，也透過生物之間的化學作用，使得世界能永續發展。

貳、研究目的與架構

一、了解蜆、菜、魚養殖與魚菜共生系統、以及其對固碳之貢獻

(一)透過文獻了解固碳作用、魚菜共生系統

(二)透過訪談立川魚場了解蜆養殖

(三)透過訪談奇萊美地了解菜養殖

(四)透過訪談水培所了解魚養殖

二、製作適合養殖蜆類的魚菜共生系統

(一)改良現有魚菜共生系統

(二)製作適合蜆養殖的魚菜共生系統

三、蜆魚菜共生系統在校園環境之應用

(一) 二氧化碳投入對蜆生長與水質的影響

(二) 蜆對水質穩定的影響

(三) 蜆土改劑顆粒大小對土壤 pH 值與植物生長的影響

(四) 改良式育苗介質對植物生長的影響

參、研究流程



圖 1 研究流程圖

肆、研究設備與器材

一、虹吸鐘製作材料

表 1 虹吸鐘材料

			
無喇叭口(PVC 管)	喇叭口(1/2 轉 1 英吋)	喇叭口 (1/2 轉 1 又 1/4 英吋)	1 英吋有牙接頭
			
1/2 英吋 PVC 管	沉水馬達	1 英吋銅牙彎頭	

二、魚菜共生系統

表 2 魚菜共生系統材料

植栽槽	養殖槽
塑膠箱(長 75 cm*寬 50 cm*高 20 cm)	魚缸(長 90 cm*寬 60 cm*高 90 cm)
介質材料：煉石、陶石	吳郭魚：平均體長 6 cm、平均重量 250g
小白菜苗	蜆：3.3g

三、硝化作用檢測試劑及工具

表 3 檢測工具

八合一水質測驗筆	TDS 筆	試管架	CO ₂ 藥錠	API 淡水測試組
50ml 燒杯	10ml 量筒	滴管	試管	硝酸鹽測試劑

四、其他

表 4 其他工具

系統製作工具	鋸子、電動鑽孔器、1/2 英吋鐵管、束線帶
二氧化碳發生器工具	寶特瓶、風管、三通、細化器、矽力康
研究用工具	筆記本、照相機、攝影機

伍、文獻探討

一、生物固碳作用

觀察自然界的碳循環機制，科學家發現其中大大小小的生物，能發揮意想不到的儲碳與固碳作用。陸地上最大的碳庫－森林，林中的樹木就是很重要的固碳生物。『樹木本身具有光合作用的特性，吸收大氣中的二氧化碳並釋出氧氣，雖然同時也會因呼吸作用排出二氧化碳，光合作用會將碳元素在樹木體內轉化為有機形式加以固定，經過時間累積而形成木材組織。』(註一) 海洋中，能固碳的生物也不少，例如：海藻雖小，吸碳能力超強！所有海藻相加吸收的碳量，相當於四個亞馬遜雨林。海藻光合作用時，會製造氧氣吸收二氧化碳，地球上 50% 的氧氣都是藻類製造的。

文蛤的殼的主要成分是碳酸鈣，殼是利用水中的鈣離子與二氧化碳製成，因而固碳。『台灣文蛤產業每年至少可以固定一萬公噸的二氧化碳。』(註二) 這也對減碳貢獻了一份心力。

『磷蝦日間於表層行光合作用、將二氧化碳轉為有機物的浮游植物被磷蝦帶到深海消化。未能吸收的有機物隨磷蝦糞便沉入海底，成為生物幫浦。』(註三)

這些磷蝦最後會成為大型鯨魚的食物來源，而『大型鯨魚一生的儲碳量非常可觀，好如一棵泅泳海中的大樹！大型鯨魚一生平均從大氣吸收 33 公噸的二氧化碳，死後軀體與吸收的碳便沉入並深藏海底，封存幾個世紀。』(註四)

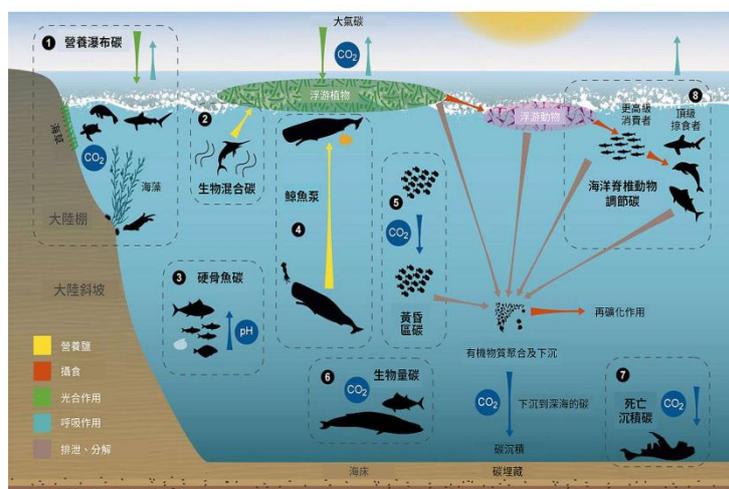


圖 2 海洋生物固碳示意圖

若我們能善加利用這些能夠固碳的生物，牠們會將碳移除到自然界的碳匯中，以下是我們將他們的固碳能力配合其生長週期與生物體大小，換算後整理出來的表格。從表中可以發現，最微小的藻類是固碳效果最好的一群，其次是文蛤，再來才是藍鯨和樹木，而經過調查發現，花蓮本地就有水泥廠使用其所產生之二氧化碳養殖微藻進行固碳，以及養殖與文蛤同是二枚貝類的黃金蚬產業，蚬生長亦需要以微藻為食，若有效串聯花蓮的在地產業即能拉起一條固碳供應鏈。

表 5 各類生物固碳能力比較

	藍鯨	樹	文蛤	藻類
固碳的方式	以大量的磷蝦為食(註五)	光合作用	固碳成為殼體(註六)	光合作用(註七)
吸收二氧化碳量(公克)/每公斤生物重	186	10	216	1600~2000
固碳能力排名	3	4	2	1

二、魚菜共生系統

(一) 魚菜共生

魚菜共生(Aquaponics)又稱養耕共生，是由水產養殖(Aquaculture)結合水耕栽培法(Hydroponics)形成自然生態的互利共生系統。

我們只要給魚吃飼料，魚的排泄物就可以透過硝化菌分解轉換成蔬菜要的氮肥(硝酸鹽)，供應給植栽槽的蔬菜。同時，植栽槽介質中的硝化菌會將魚池內的水淨化，重新供給魚使用，是一種互利共生的生態系統。



圖 3 圖解魚菜共生系統(王斯韻，2015)(註八)

(二) 虹吸鐘魚菜共生系統

虹吸鐘魚菜共生系統主要分為兩個部分：上層植栽槽（種菜）、下層養殖槽（養魚）。上層箱設有虹吸鐘，並鋪上提供系統中硝化細菌與微生物生長所使用的介質，稱為介質床，介質床是植物吸收硝酸鹽之處。

虹吸鐘可分為四個部分：喇叭口、內管、外管及排水口，而內管及外管都有打洞，讓水可以通往喇叭口，利用虹吸現象啟動虹吸鐘。虹吸現象是因為容器內的壓力不同，造成流體流動的現象。容器內兩端水面高度不同時，水面較高的一端，水會自動流向水面較低的一端，也就是說水由壓力大的一端，流向壓力小的一端。直到兩邊大氣壓力相等時，容器內的水面變成相等高度，水就會停止流動。

系統中的虹吸鐘會產生虹吸潮汐，使上層箱水位到達一定高度才會排水，以達到灌溉與讓植物根部呼吸的目的。下層箱則設有抽水馬達，將魚產出的含氮廢物，抽到上層箱，再藉由虹吸鐘的排水回到下層箱，達到一個封閉的循環系統。此系統只需要投入飼料給予充足的陽光與補充蒸發的水分，即能成為一個小型生態系不停運作。

(三) 硝化作用

硝化作用是養魚是否成功的重要關鍵，魚呼吸與排泄物中都會排放出含氮廢物，含

氮廢物會由異營菌轉化成 NH_3 ， NH_3 在水中累積過多會對魚造成傷害甚至死亡。而植物根部只能吸收轉換成 NO_3^- 型態的含氮物質，無法直接吸收 NH_3 。因此需要硝化菌中的兩種菌屬:亞硝酸菌屬以及硝酸菌屬，先由亞硝酸菌屬將 NH_3 先轉為 NO_2^- ，再由硝酸菌屬轉為最後的 NO_3^- ，才可讓植物吸收，同時也讓魚不會一直處在 NH_3 含量過高的環境裡。這樣不斷循環的過程就叫「硝化作用」，成功的硝化作用可將 NH_3 含量降至 0ppm~0.2ppm 左右。

三、訪談

(一) 立川漁場-蜆養殖訪談

表 6 蜆養殖訪談紀錄

照片	照片
	
Q1	請問立川漁場是如何養殖黃金蜆?
A1	以斜面方式挖掘養殖池，將池稱為「上游」和「下游」，並在中間隔一個網子；上游處養魚，以製造出養分養殖藻類，並吞食大型藻類與水草，使微藻能成為優勢種；下游處養殖黃金蜆，並以上游的藻類為食，且利用水中二氧化碳結合鈣離子形成蜆殼，藉此固碳。
Q2	我們養殖的黃金蜆死亡，可能造成的原因?
A2	1.缺乏微藻餓死。2.水中大型藻類太多，堵塞濾食管撐死。 3.水質遭受汙染。4.水溫不適合，超過 30 度或低於 20 度。 5.水若優養化會導致水體缺氧，使蜆缺氧而死。
Q3	黃金蜆有哪些死亡徵兆?
A3	1.鑽出覆土。2.閉鎖肌無力開殼。3.敲擊蜆殼，碰撞的蜆殼聲音聽起來是空心的。4.有白半透明的物體環繞在四周(撐死的特徵)。

Q4	如何養殖黃金蜆能減少黃金蜆的死亡率?
A4	<ol style="list-style-type: none"> 1.不要養殖會食用黃金蜆的魚類，例如:鯉魚、烏鰡等。 2.可利用打氣機及過濾器把氧氣打入水中。 3.定時換水(每次換 1/3 的水)。 4.水中的藻類要足夠，水體顏色要是清澈的綠。 5.水溫要介於 15 度至 32 度之間。 6.覆土最少要五公分以上。 7.水要曝氣最少兩天(也可以用打氣機運作半天代替)。
Q5	如何辨識黃金蜆是否健康?
A5	一般來說健康的黃金蜆會在十分鐘內鑽入沙子中，而不健康的黃金蜆可能耗時更久才鑽或者都不鑽沙。
Q6	我們在來的路上有看到一座蜆殼山，為什麼有這麼多的蜆殼堆積在那邊呢?
A6	因為我們的工廠製作蜆精，蜆殼是廢棄物，又沒有辦法有效處理，只能推放在原處，對我們而言是個困擾。

(二) 水培所-魚養殖訪談

表 7 魚養殖訪談紀錄

照片	照片
	
Q1	請問魚菜共生系統最主要的概念是什麼?
A1	魚菜共生最主要的概念是魚隻取食餌料後，排出氨氮類廢物，氨氧化菌會將氨氮類廢物分解成亞硝酸鹽，亞硝酸氧化菌會將亞硝酸鹽分解成硝酸鹽，而硝酸鹽最後被植物吸收利用。

Q2	請問魚菜共生系統較適合養哪一種魚？哪一些菜？
A2	魚菜共生系統適合養殖鯽科魚類像是吳郭魚或理科魚類，如：鯉魚、鯽魚及鱸魚。魚菜共生系統適合種植十字花科、菊科及茄科植物。
Q3	請問可以用什麼監測指標來測量水質？
A3	可以用水溫、溶氧、pH 及氨氮、亞硝酸來測量水質。
Q4	請問一天大約要投餵多少飼料？
A4	每日投餵量大約是魚隻體重的 3%。
Q5	請問黃金蜆的放養密度大約是多少？
A5	黃金蜆的放養密度大約為 40 顆/平方公尺。

(三) 奇萊美地-菜培育訪談

表 8 菜培育訪談紀錄

照片	照片
	
Q1	請問冬天時，哪些植物較適合以水耕種植？
A1	花椰菜、高麗菜、小白菜、茼蒿、萵苣。
Q2	請問較適合蔬菜生長的酸鹼值為何？
A2	蔬菜喜歡中性或弱鹼性。
Q3	請問花蓮的土質主要的酸鹼值為何？
A3	花蓮的土較鹼，且美崙地區較多砂礫。
Q4	請問長期使用魚菜共生的水來種菜，是否對其生長有所影響？
A4	因為花蓮水質偏鹼性，用魚菜共生的水種植蔬菜，對土壤酸鹼值較無影響。
Q5	請問較適合蔬菜生長的溫度範圍是多少？
A5	20~30 度。

陸、研究過程與方法

研究一、製作適合養殖蜆類的魚菜共生系統

實驗一、改良現有魚菜共生系統

(一)實驗構想

我們參考了學長姐在第五十六屆花蓮縣科展應用科學科「魚菜樂悠悠」的作品，學長姊的研究建議未來製作魚菜共生設備，需考慮過濾區要和植床區分開，且最好能使用沉澱桶，較易於排除雜質維持水質穩定；並且鐘型虹吸製作維護不易應要能進行改良，能更有效確保種植區潮汐的維持。為了檢測整體過濾系統效果，我們以水質試紙進行檢驗。

(二)魚菜共生過濾循環與虹吸製作流程

表 9 魚菜共生過濾循環與虹吸製作方法

步驟	製作過程	照片
1	將魚水以馬達從三尺魚缸中引至鐵架上層沉澱桶，且內部放置毛刷阻礙沉澱物上浮。	
2	沉澱桶採用重力沉澱方式，底部入水頂部出水，沉澱桶底部有水閘打開即能排出沉澱物。	
3	從沉澱桶頂部出水引至作物槽，作物槽使用塑膠腳踏墊製作隔板，隔開虹吸區與煉石種植區。	

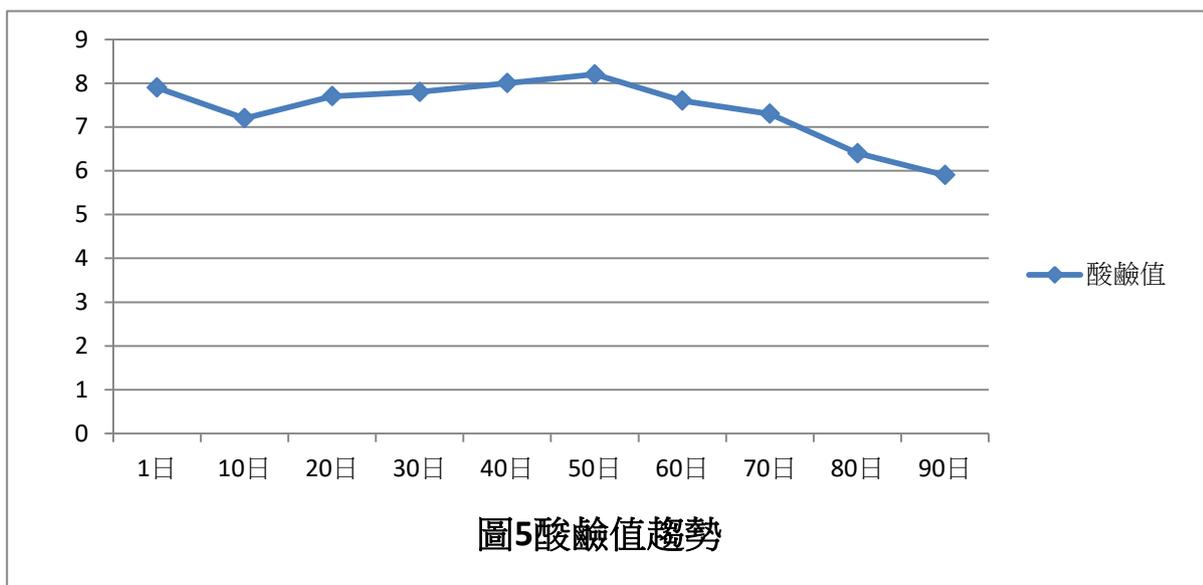
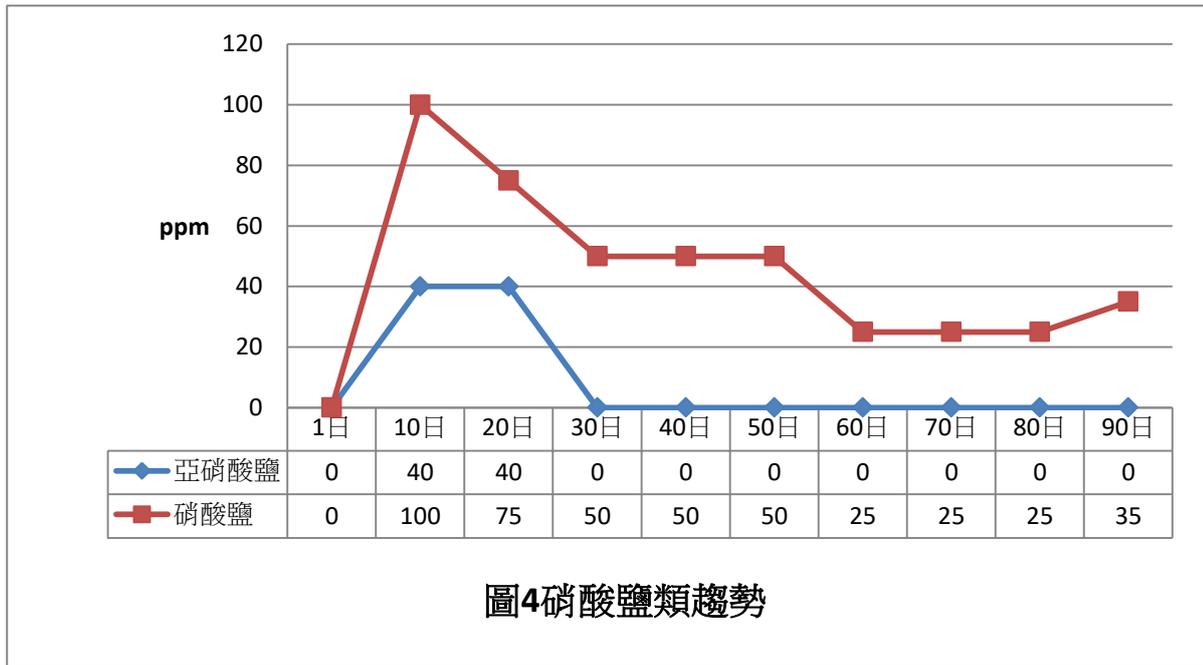
4	<p>∩型虹吸以一吋 PVC 水管製作，連接兩個 L 型水管，並於植床挖洞使水管連結植床區，當水淹過∩型虹吸，就能引發虹吸現象。</p>	
5	<p>水從虹吸區下水回魚缸，待植床區水位低於∩型虹吸開口處則虹吸停止，開啟另一個循環。</p>	

(三)比較鐘型虹吸與∩型虹吸優缺點

表 10 鐘型虹吸與∩型虹吸比較表

	鐘型虹吸	∩型虹吸
照片		
優點	<p>有虹吸鐘保護虹吸設備，不容易吸入雜物造成虹吸停止。</p>	<p>製作簡易，且虹吸形成條件簡易，容易調整與維修。</p>
缺點	<p>製作需有專業的水管裁切設備，且虹吸形成之條件複雜，不易除錯，若要調整，只能打開鐘型上蓋，但修理時能作業的空間太小。</p>	<p>沒有虹吸鐘保護虹吸設備，容易吸入雜物造成虹吸停止，應可以用水槽隔離的方式克服。</p>

(四)結果分析與討論



1. \sqcap 型虹吸比起鐘型虹吸製作簡易，以往學長姊的作品還須請工友伯伯幫忙切割水管，我們只需要一把線鋸與即可製作。
2. \sqcap 型虹吸，虹吸無法進行時，僅需要調整入水端的角度，使吸水端不要平貼水面，就能吸入空氣，讓氣壓平衡使虹吸能正常停止，開啟新的虹吸循環。
3. 沉澱桶使用毛刷過濾，就不需要像學長姐使用白棉等耗材，且打開排汙閥就能將沉澱廢物排出，可以永續利用且不需清洗白棉，減低養殖負擔。
4. 設缸後，因硝化作用還未建立，亞硝酸鹽與硝酸鹽升高，30日之後建立起穩定的硝化作

用亞硝酸鹽含量降為 0，於 40 日後投入蜆類，因缸中的微早被蜆濾食後，再增生會消耗水中肥份，因此硝酸鹽含量再次降低，60 日後維持平衡，且仍有剩餘，可以成為種植蔬菜的養分。

5. 從酸鹼值的變化可以看出，設缸後酸鹼值不斷在下降，符合水體會酸化的假設，而蜆的存在會成為水質的緩衝劑，這在後面的實驗會做更詳細的驗證。

實驗二、製作適合蜆養殖的魚菜共生系統

(一)實驗構想

根據和立川漁場第三代蔡先生的訪談，我們打算透過馬達和過濾槽的分隔，來模擬立川漁場斜面蜆池的設計，也避免在有靜水域的魚缸，蜆會有缺乏食物的問題；但之後去了水培所聽取該所專員的建議，流水不易於培養微藻，為此我們多建置了補水系統，並在補水區養蜆，想比較靜水區與流水區對蜆生長的影响。

(二)實驗設計

表 11 蜆養殖槽設計

	流水區覆陶土	流水區水草	靜水區覆陶土
照片			
說明	以陶土為底土養蜆， 平均蜆重 3.3g。	不覆土， 以水草覆蓋其上。	補水系統覆陶土， 以魚水補水施肥。

(三)結果分析與討論

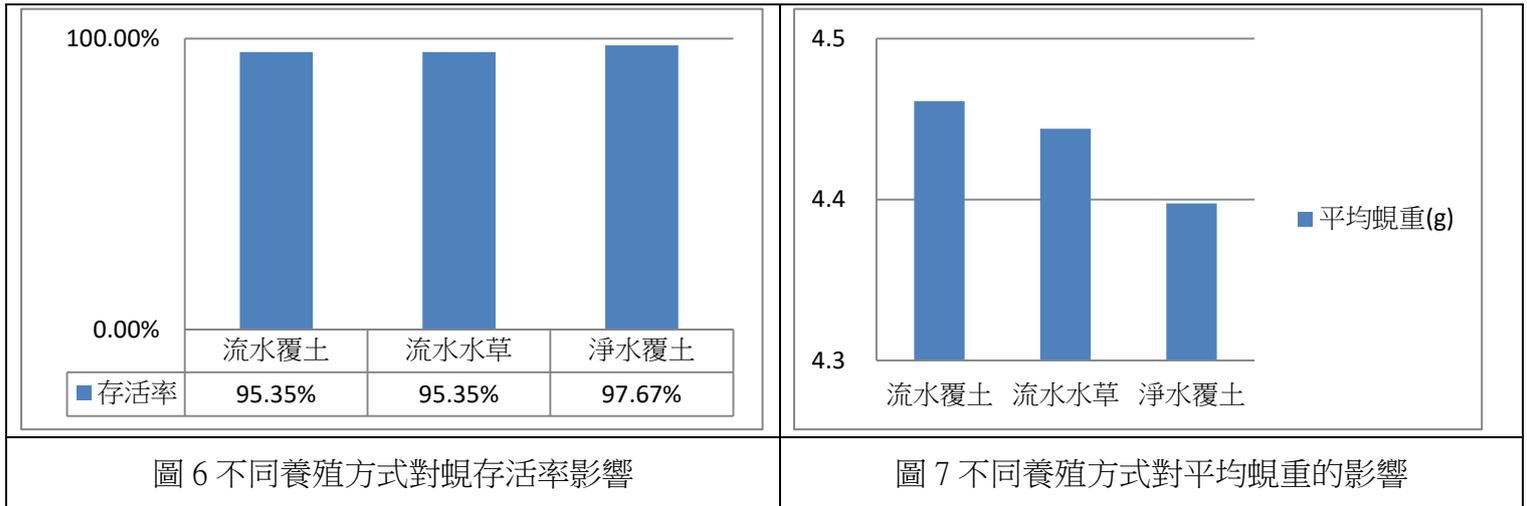


圖 6 不同養殖方式對蚬存活率影響

圖 7 不同養殖方式對平均蚬重的影響

1. 從兩個長條圖可看出不論在存活率或平均蚬重，蚬皆不會因養殖方式不同而有所差異。
2. 存活率差 2%，多死一隻可視為較弱個體的損傷，可知不論何種養殖方式，在本研究的蚬魚菜共生系統中，都能提供穩定的水質與足夠的食物供蚬生長。
3. 平均蚬重差不到 0.1 公克誤差極小，可知不論何種養殖方式，在本研究的蚬菜魚共生系統中，皆能提供相同數量的微藻供其生長。
4. 在未來建構各校的蚬魚菜共生系統，可依據觀察或是造景等需求不同進行養殖布置。
5. 本系統在 270 公升的水量下，約可支持養殖半公斤的蚬，未來要養殖的校園水生池約有 50000 公升的水量，約可養殖 90 公斤的蚬，一年約可提供 144 公斤的固碳量，全國約有 3000 間中小學，若有一半的學校具有水生池，則一年約有 200 噸的固碳量；以校園常見的樟樹來換算，一顆胸徑 47 公分高十一公尺的樟樹，其含碳量為 150 公斤。因此蚬池 200 噸的固碳量等於種了約 1400 顆成年的樟樹。(註九)
6. 根據我們的觀察，養殖蚬的缸體，在我們養殖的六個月中，水質都清澈見底，在水生池進行應用時，可以滿足校園觀察水生生物的需求，而不會因為長時間照光而有綠水遮蔽觀察視線的問題。

研究二、蜆魚菜共生系統在校園環境之應用

實驗三、二氧化碳投入對蜆生長與水中藻類的影響

(一)實驗構想

這次的研究中，我們希望能讓透過蜆養殖進行生物固碳作用在校園中的實踐，從「研究一」的結果顯示，蜆菜魚共生若能在全國校園水生池進行生物固碳，則其固碳數量會相當可觀，在固碳的過程中要是能通入台泥廠產生的二氧化碳，是否能加速固碳呢？本實驗想要了解二氧化碳對蜆生長的影響，並於實驗發展過程中，進行檢測技術與二氧化碳產生設備之改良，以下的實驗會分為三個部分描述：

A.二氧化碳產生設備 B.二氧化碳對蜆生長的影響 C.水體能見度檢測技術。

A.二氧化碳產生設備

去年我們在小論文比賽中曾試著探討高濃度二氧化碳環境飼養蜆的效果，但因為我們使用了二氧化碳錠，過程中，我們發現二氧化碳錠會增加水體的 TDS，並且堵塞蜆的濾食管，促使蜆類的死亡。因此本次研究中，我們亦試著開發能穩定製造二氧化碳的研究工具來進行實驗，以下是我們歷代改良工具的演進。

表 13 二氧化碳產生器的演進

	第一代 二氧化碳錠	第二代 簡易二氧化碳發生器	第三代 改良型二氧化碳發生器	第四代 改良型二氧化碳發生器修正版
照片				
優點	使用方便，直接投入水中即可。	製作簡單，僅需一個氣瓶即可完成。	能透過氣壓原理，將試劑慢慢反應。	改良後細化器能長時間(>一週)運作。
缺點	實測後，會堵塞蜆濾食管造成死亡。	會一次將試劑反應完畢，無法持久。	二氧化碳細化器容易堵塞。	細化器可能容易泡爛需更換。

B.二氧化碳對蜆生長的影響

在文獻探討中，我們發現花蓮的產業之間能相互連結進行固碳產業鏈，水泥業的碳捕抓技術產生二氧化碳養殖微藻，微藻又可以增進黃金蜆生長，但沒有文獻可以支持在二氧化碳環境促進微藻生長下，是否會對蜆或水質產生影響。因此，本實驗想驗證二氧化碳通入水體養殖微藻與蜆，對於蜆與水質的影響。

(一)實驗設計

表 14 實驗缸設置

			
<p>步驟一、準備三個實驗缸，注入 RO 水，並使用內置氣舉式過濾器－「水妖精」過濾，養水一週後待缸壁長藻，再放入黑金剛螺清藻後，等水質穩定再放入蜆進行實驗。</p> <p>步驟二、將蜆放入實驗缸中，並使用二氧化碳發生器，灌入二氧化碳，每週使用三種藻類測量方式測量水體能見度，以及水質試紙監控水質。</p> <p>步驟三、另外兩組一為有蜆無二氧化碳組；一為無蜆無二氧化碳組，進行三者對照。</p>			
<p>照片</p>			
<p>二氧化碳</p>	<p>×</p>	<p>×</p>	<p>○</p>
<p>蜆</p>	<p>○</p>	<p>×</p>	<p>○</p>

C.水體能見度檢測技術

根據第四十八屆全國科展地球科學與生物科參展作品「蜆然不是蓋的—台灣蜆淨化水質的研究」其中提到，他們使用濁度來代表水質淨化程度，亦使用太陽能光電板來進行檢測，其作品被評審認定為具有其獨創與便利性；但根據我們的訪談與文獻來看，臺灣蜆其實是一種環境指標生物，其對淨水的貢獻很低，甚至可以說如果水質不佳，則嬌貴的黃金蜆很容易造成集體死亡，黃金蜆所能過濾者只有水中之微藻，本研究除了用其來固碳外，更重要的是來減低校園水生池綠水產生可能，畢竟提升能見度才能發揮其教學功能。為了找到能更快測量水質之法，使用 TDS 筆與光度計和四十八屆科展所使用光敏電阻進行對比，若三者所測得之數據相近，則未來實驗可採用更快速的做法完成研究。

表 12 藻類計數工具的比較

	光敏電阻 (Web bit) 單位:lux	光度計 單位:lux	TDS 筆 單位:ppm
照片			
優點	於使用前進行調校	可直接讀數，不需複雜電腦校正	插入水中即可得到讀數
缺點	需使用筆電調教	使用前無法進行調校	使用前無法進行調校

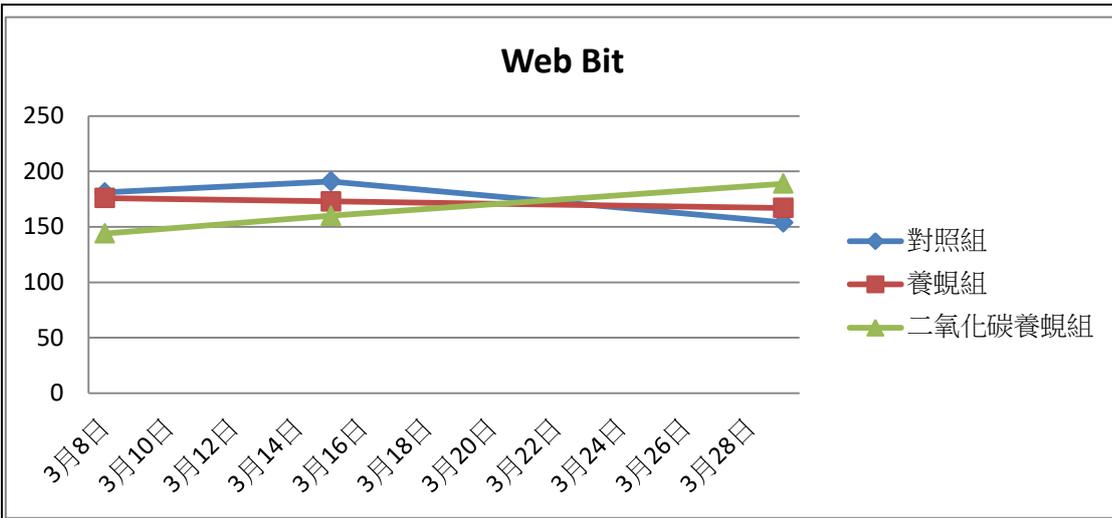


圖 8 Web Bit 測量水樣之比較(單位:lux)

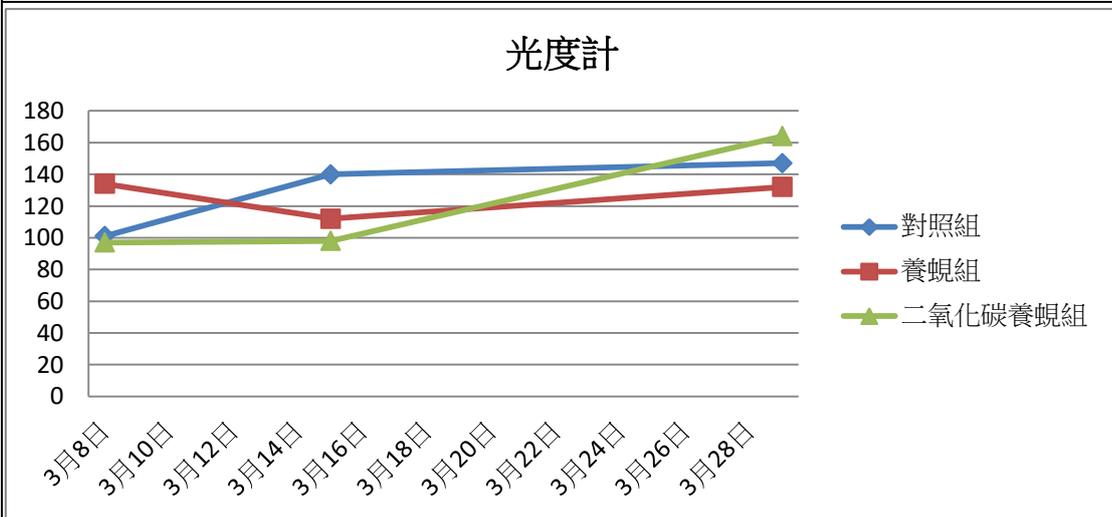


圖 9 光度計測量水樣之比較(單位:lux)

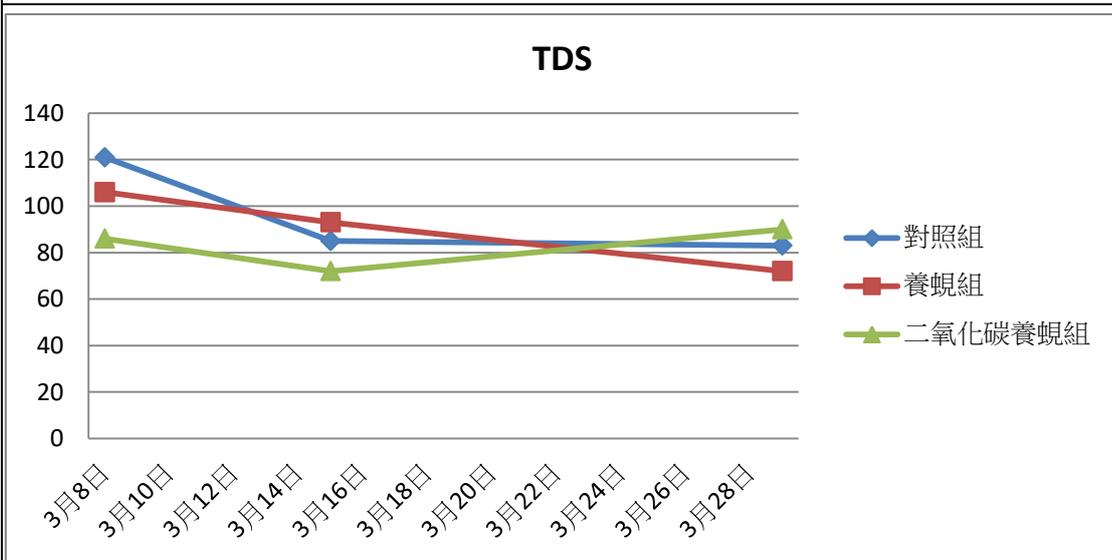


圖 10 TDS 筆測量水樣之比較(單位 ppm)

1. 從結果來看三種測量濁度的方式趨勢不全然相同，但可以看出使用 lux 的兩種方式有較類似的結果。
2. 根據文獻 TDS 和水中的無機鹽類與鈣鎂離子相關，而藻類的增生會吸收水中鹽類與離子，這些離子的降低會使 TDS 降低，因此三種水體 TDS 都呈現下滑現象。
3. 採用 lux 當作劑量單位，較有助於討論水體的混濁程度，且光度計比之 Web Bit 更易於操作，是更適合國小科展的研究工具。

(二)結果分析與討論

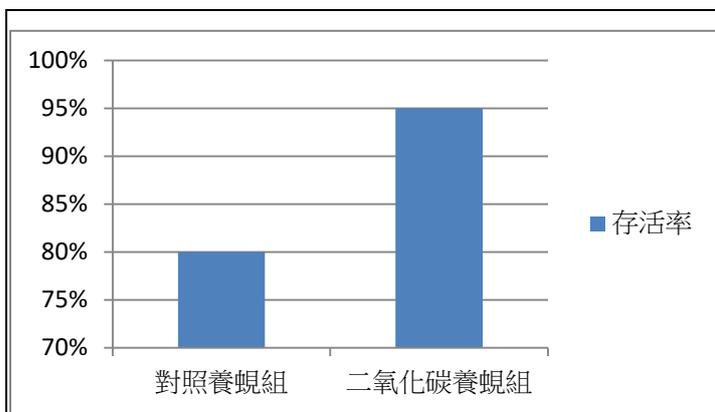


圖 11 二氧化碳養殖對蜆存活率影響

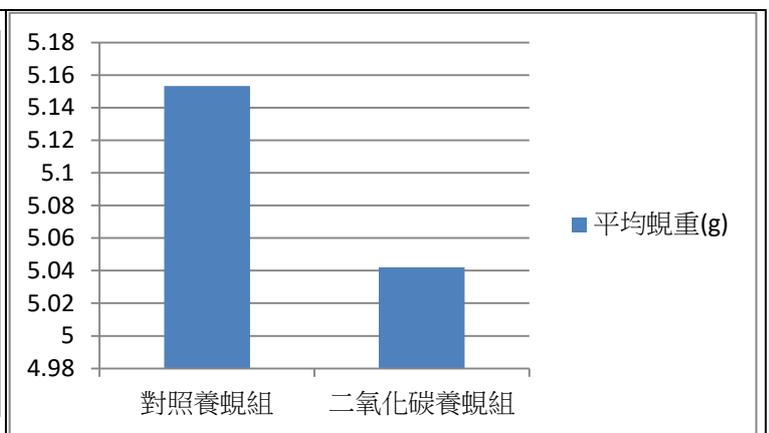


圖 12 二氧化碳養殖對平均蜆重的影響

1. 二氧化碳養蜆組存活率顯著優於對照養蜆組，兩組間的平均蜆重差約 0.1g。
2. 在存活率上，可知二氧化碳的加入不會造成水質的問題影響蜆的存活率，從水質試紙的檢測也看不出差異，因此我們推論因為二氧化碳的加入，提升了微藻的生產率，讓蜆得到充分的養料穩定生長。
3. 在平均蜆重上，因為對照組在實驗中期就已經有四隻蜆死亡，因此，二氧化碳組等於是用相同的基礎生產力多養了四隻蜆，因此在平均蜆重上略輸對照組。
4. 本實驗所設置的缸體，其基礎生產力應只能養活 15 隻以下的蜆，未來的研究，可在相同的實驗條件中，各養十五隻蜆，看看二氧化碳的投入是否對蜆的增重有所影響。

實驗四、蜆對水質穩定的影響

(一)實驗構想

根據文獻探討，魚菜共生系統的硝化作用，雖然能將氨類廢物轉換成毒性較低的硝酸鹽類，菜也會吸收硝酸鹽成為其養分，但根據「研究一」的結果，顯示長時間養殖水會有酸化的問題；而在訪談中我們也知道多數葉菜類皆不喜歡酸性環境；同樣的吳郭魚也比較喜歡微鹼性環境。根據文獻蜆殼的成分為碳酸鈣，其應有助於水體成為緩衝溶液，因此本實驗希望能驗證蜆在水體中對於水溶液的緩衝能力。

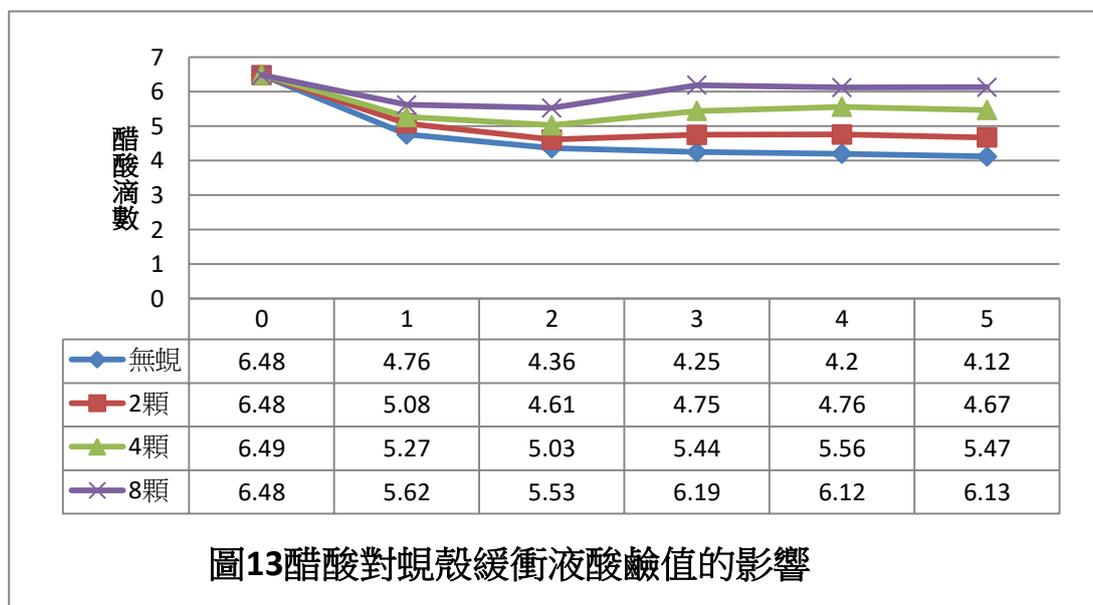
(二)實驗設計

步驟一：在四個燒杯中，各放入 500 毫升 RO 水與 8、4、2、0(對照組)個蜆殼，量測其酸鹼值並記錄。

步驟二：每次加入一滴醋酸靜待六小時後，量測加入後的變化。

步驟三：直到對照組低於 pH4.0 以下，即停止實驗並進行紀錄。

(三)結果分析與討論



1.除了對照組持續下降外，其餘組別，一開始的下降速度低於對照組，且在加入第三滴醋酸後，酸鹼值有明顯回升的趨勢。

- 2.從對照組可得知醋酸能有效降低水的酸鹼值。
- 3.從實驗組的變化可推知，有蜆殼的環境可有效防止水體的 pH 值突然降低，若酸化持續，其溶解出來的碳酸鈣甚至有助於水體的 pH 值回升。
- 4.但換算蜆殼與水體大小後，我們發現正常的水體無法養殖如此多的蜆，應用上的建議是死去的蜆可將死肉吸出避免汙染水源，蜆殼可留在缸中，成為魚缸的底材，能有效維持水體的酸鹼值。

實驗五、蜆土改劑顆粒大小對土壤 pH 值的影響

(一)實驗構想

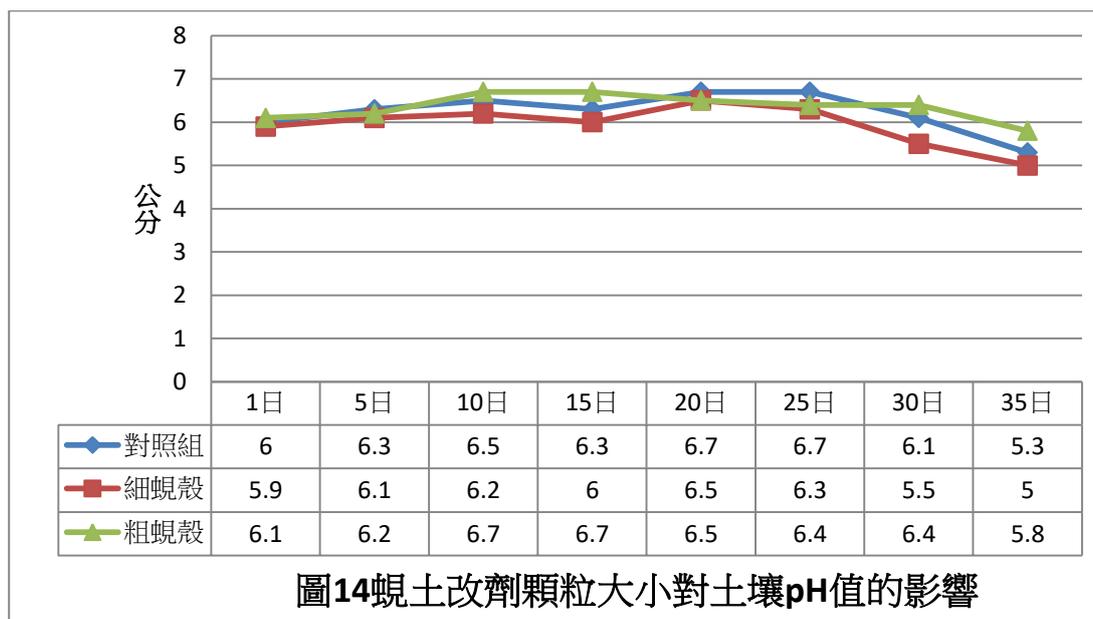
農業用土壤改良劑（本研究稱土改劑）其成分為碳酸鈣或碳酸鎂，其能有效中和土壤中酸性，以利作物生長。而蜆殼的成分大多為碳酸鈣 (>90%)，因此我們認為將蜆魚菜共生系統中，死去的蜆殼搗碎亦能產生土改劑之效用，可以將立川魚場的蜆殼山進行利用，協助廢棄物排除；且本校的水生池直接與土壤接鄰，也需要土改劑維持酸鹼值，以利周遭植物生長。因此本研究假設蜆殼粉能產生土改劑之效果，並研究不同粒徑大小的土蓋劑對於維持土壤 pH 值之效果。

(二)實驗設計

表 15 蜆土改劑實驗流程

		
<p>步驟一、將蜆殼以廚餘機磨碎成粉末，再使用 120 目篩網篩成大顆粒與小顆粒。</p> <p>步驟二、前兩週先將粗顆粒蜆殼放入酸性土 pH6.0 土壤中，量測兩週土質酸鹼度數據後，再種入白菜苗，之後紀錄土質酸鹼度數據；小顆粒組操作亦同。</p> <p>步驟三、並以無加入蜆殼組進行對照。</p>		

(三)結果與討論



- 1.三組皆呈現先升後降的趨勢，pH 質比較大致上粗蜆殼組>對照組>細蜆殼組。
- 2.從先升後降的趨勢看來，植物在生長的過程中的確會造成土壤酸化的問題，而粗蜆殼的土壤改良劑能減緩此一趨勢。
- 3.細蜆殼組除了沒有效果外，甚至和對照組相同，我們推估是因為蜆殼粉太細，第一次澆水後就隨著水流沉澱到盆底，遠離土壤酸鹼儀的檢測區，因此測得數據和對照組相似。
- 4.由以上推論可知粗蜆殼土改劑可以較長時間留在表土層，提升使用效率。

實驗六、改良式栽培介質對植物生長的影響

A.不同栽培介質對植物生長的影響

(一)實驗構想

魚菜共生系統因為採用水耕培養，皆需要栽培介質才能固定植物讓植物生長，但水耕植棉是一種不環保的耗材，無法重複利用，且為塑膠微粒發泡製成無法自然分解。為了達到減碳的目的，在文獻中我們發現一種薄膜栽培技術，他們使用生物膠體製成栽培介質，雖然也

是一次性材料但因為是有機質可以被自然分解，我們遂用洋菜膠進行此一改良；此外，我們發現絲瓜曬成的菜瓜布和水耕植棉都是多孔洞的材料，且可長時間泡水不易腐爛，因此我們也使用菜瓜布來進行比較。

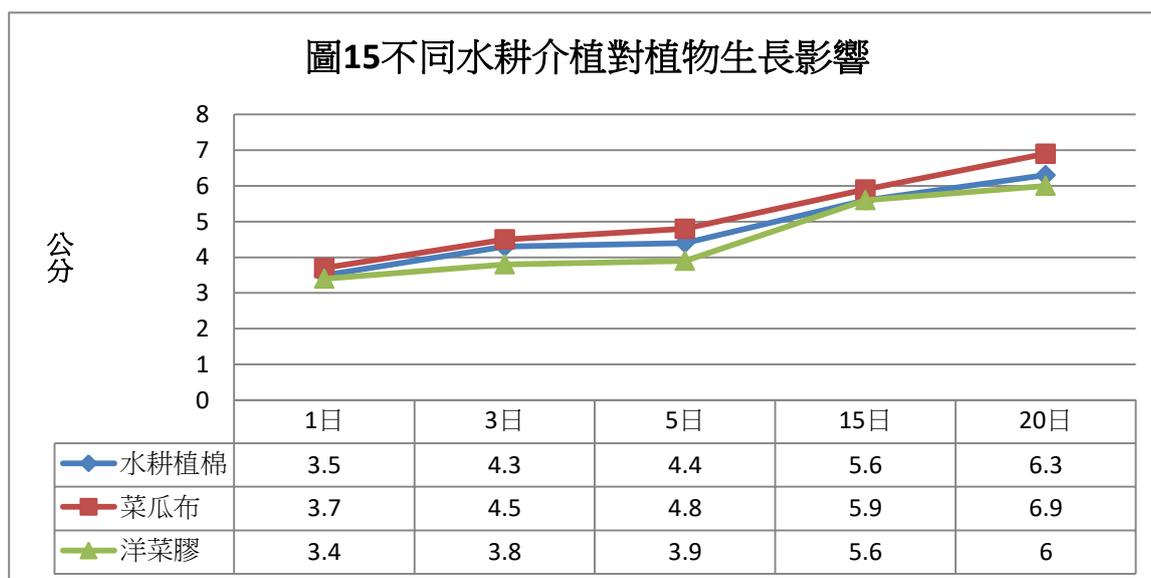
(二)實驗設計

表 15 不同介質設置

		
<p>步驟一</p>	<p>將白菜種子泡在水中，三日後待種皮褪去發芽，移植到衛生紙水盤上待長出第三片小葉，便移植到水耕植棉上，採用平衡抵銷法(counterbalancing method)，種植於水耕機孔位上，定時量測葉片生長高度。</p>	
<p>步驟二</p>	<p>洋菜與水採 1:100 比例，將 1000g 水煮沸後融入 10 克洋菜，放涼後結成洋菜膠，裁成水耕植棉大小，同步驟 1 方式種植白菜苗。</p>	
<p>步驟三</p>	<p>菜瓜布裁成水耕植棉大小，同步驟 1 方式種植白菜苗。</p>	

(三)結果分析與討論

圖15不同水耕介植對植物生長影響



- 1.小白菜生長速度：菜瓜布>水耕植棉>洋菜膠，但大致長度與趨勢皆相同。
- 2.三種介植孔隙率：菜瓜布>水耕植棉>洋菜膠，由結果推估孔隙越多的介質，植物生長速度越快。
- 3.洋菜膠，在初期生長速度皆弱於其他介質，唯有當根系突破膠體後，才會迅速生長，我們推測採用網路上的洋菜果凍比率製作，洋菜膠太過緻密孔隙太低，若能減低洋菜比率可能可以製作出更適合植物生長的洋菜膠。

柒、結論

- 1.在文獻探討中，生物固碳能力以微藻最優，其次是二枚貝類，其有助於校園水生池的生物固碳作用建構。
- 2.魚菜共生系統，能有效將生物的代謝物質轉換有機氮肥，提共作物吸收外，亦可養殖微藻，提共蜆生長的養分。
- 3.改良式U型虹吸具有容易搭建且快速維修的優點，相較於傳統鐘型虹吸，更適合於國小環境使用，讓小學生也能輕易維護。
- 4.水體長時間進行蜆菜魚共生會有水質酸化的問題，但蜆殼可以使水體成為緩衝溶液，減緩

酸化的問題；蜆養殖可以減緩陽光下的綠水問題，提升校園水生池的能見度。

5.蜆的死亡率與平均蜆重在此系統中任一養殖區域皆相當，未來設置時可依照當前設備進行養殖方式變更。

6.光度計適合取代 Web Bit 成為水體濁度測驗；TDS 會因為藻類增生而下降。

7.改良式二氧化碳發生器，能用簡單的寶特瓶與化學藥劑製作，具有價格低且容易上手的優點，可提共未來相關科展研究參考。

8.蜆在二氧化碳缸的死亡率較低，且在水質測量上與一般缸體無異，平均蜆重則相同，二氧化碳的導入有助於提升蜆的存活率。

9.蜆養殖可讓水體成為更好的緩衝溶液，不會因水質酸化或換水震盪造成生物死亡。

10.洋菜膠與菜瓜布都可以取代水耕植棉，減少因養殖造成的碳足跡，但以孔隙大的菜瓜布為佳。

11.粗顆粒的蜆殼較適合作為土壤改良劑，可有效且長時間維持鹼性土壤的狀態。

參考文獻：

註一、林裕仁。森林減碳能力之推算方法。林業試驗所。第 193 期。網頁是期刊。

註二、周昱翰、葉信利。養殖文蛤對鈣之需求及固碳作用。水試專訊。072。47-49。

註三、辛酸蝦生誰人知？固碳、心血管救星多重人設 磷蝦面臨生存危機。

<http://ddpp.ntu.edu.tw/in-depth-coverage/1347-project-1100629-2.html>。(檢索日期 2022/09/24)

註四、海洋儲碳神器！5 個拯救氣候的海洋無名英雄。

<https://www.greenpeace.org/taiwan/update/18715/%E6%B5%B7%E6%B4%8B%E5%84%B2%E7%A2%B3%E7%A5%9E%E5%99%A8%EF%BC%815%E5%80%8B%E6%8B%AF%E6%95%91%E6%B0%A3%E5%80%99%E7%9A%84%E6%B5%B7%E6%B4%8B%E7%84%A1%E5%90%8D%E8%8B%B1%E9%9B%84/>。(檢索日期：2022/09/24)

註五、海洋儲碳神器！5 個拯救氣候的海洋無名英雄。

<https://www.greenpeace.org/taiwan/update/18715/%E6%B5%B7%E6%B4%8B%E5%84%B2%E7%A2%B3%E7%A5%9E%E5%99%A8%EF%BC%815%E5%80%8B%E6%8B%AF%E6%95%91%E6%B0%A3%E5%80%99%E7%9A%84%E6%B5%B7%E6%B4%8B%E7%84%A1%E5%90%8D%E8%8B%B1%E9%9B%84/>

B3%E7%A5%9E%E5%99%A8%EF%BC%815%E5%80%8B%E6%8B%AF%E6%95%91%E6%B0%A3%E5%80%99%E7%9A%84%E6%B5%B7%E6%B4%8B%E7%84%A1%E5%90%8D%E8%8B%B1%E9%9B%84/。(檢索日期：2022/09/24)

註六、辛酸蝦生誰人知？固碳、心血管救星多重人設 磷蝦面臨生存危機。

<http://ddpp.ntu.edu.tw/in-depth-coverage/1347-project-1100629-2.html>。(檢索日期 2022/09/24)

註七、周昱翰、葉信利。養殖文蛤對鈣之需求及固碳作用。水試專訊。072。47-49。

註八、王斯韻(2015)。魚菜共生。台北：城邦文化。

註九、你一年的碳排放量，要用幾棵樹來抵？單木材積及固碳量計算。

<https://case.ntu.edu.tw/blog/?p=37857>