

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學科(二)

探究精神獎

082915

大蜆神威-初探蜆在魚菜共生系統中的應用

學校名稱：國立東華大學附設實驗國民小學

作者： 小六 劉芊妤 小六 王穎柔 小六 王苡澄	指導老師： 周子宇 周曉郁
---	-----------------------------

關鍵詞：黃金蜆、魚菜共生、固碳作用

摘要

本研究透過文獻探討與訪談後，透過開發黃金蜆的功能，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，且通過實驗可知，若通入二氧化碳，還能提高蜆的存活率；即便死去的蜆殼也能成為土壤改良劑改善校園種植環境；使用蜆殼也能燒製成市售的蔬果清潔劑。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，提供未來相關實驗與校園種植參考利用。

壹、動機

在去年的小論文比賽中，我們以初探故鄉產業減緩溫室效應之可行性為題進行探究，發現能透過「OO」魚場養蜆，以及水泥廠的二氧化碳收集與微藻養殖，來強化蜆的生物固碳作用，蜆的生物固碳最大的好處就是天然無污染，但因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，結合水生池進行蜆魚菜的共生，一來美化學校環境、二來充實學校教學資源、三來結合故鄉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「OO」魚場了解蜆養殖

(三)透過訪談「XXXX」有機農場了解菜養殖

(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) 蜆對水質酸鹼值穩定的影響

(三) 蜆土改劑顆粒大小對土壤 pH 值與植物生長的影響

(四) 蜆蔬果清潔劑對蔬菜清潔度的影響

(五) 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：平均重量 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
噴槍	鐵湯匙			

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。

『磷蝦為了躲避掠食者於晚上才至海表層覓食，這使得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，磷蝦成為將碳運往海地的生物幫浦。』(註三)

而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，好比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)

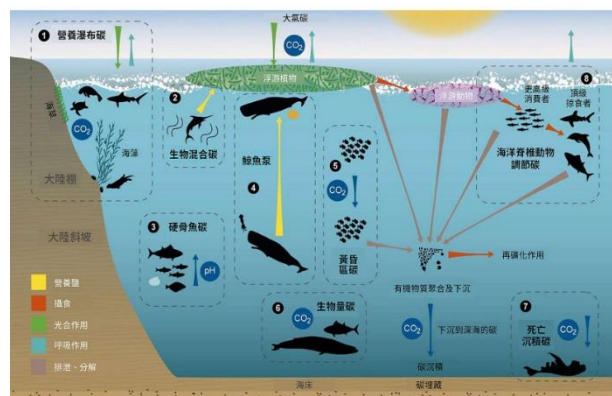


圖 2 海洋生物固碳示意圖

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，以下是我們將牠們的固碳能力配合其生命長度與生物體大小，換算成每年每公斤生物固定碳量，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，家鄉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(註三)	光合作用(註六)
每年吸收二氧化碳量(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)(註七)

(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)「OO」漁場-蜆養殖訪談


表 6 蜆養殖訪談紀錄

照片	照片
	
Q1	<p>請問「OO」漁場是如何養殖黃金蜆?</p>
A1	<p>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。</p>
Q2	<p>我們養殖的黃金蜆死亡，可能造成的原因?</p>
A2	<p>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。</p>
Q3	<p>黃金蜆有哪些死亡徵兆?</p>
A3	<p>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)。</p>

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鯛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)「XXXX」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本縣科展應用科學科「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。	
2	沉澱桶採用重力沉澱方式，且內部放置毛刷阻礙沉澱物上浮，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	ㄇ型虹吸以一寸 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ㄇ型虹吸，就能引發虹吸現象。	
5	水從虹吸區下水回魚缸，待植床區水位低於ㄇ型虹吸開口處則虹吸停止，開啟另一個循環。	

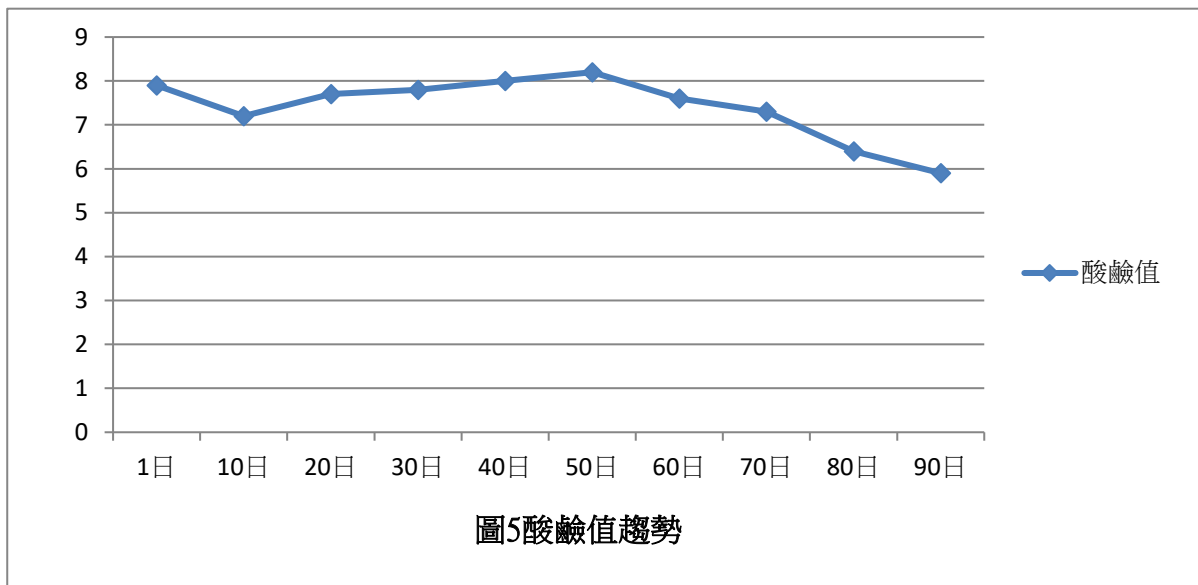
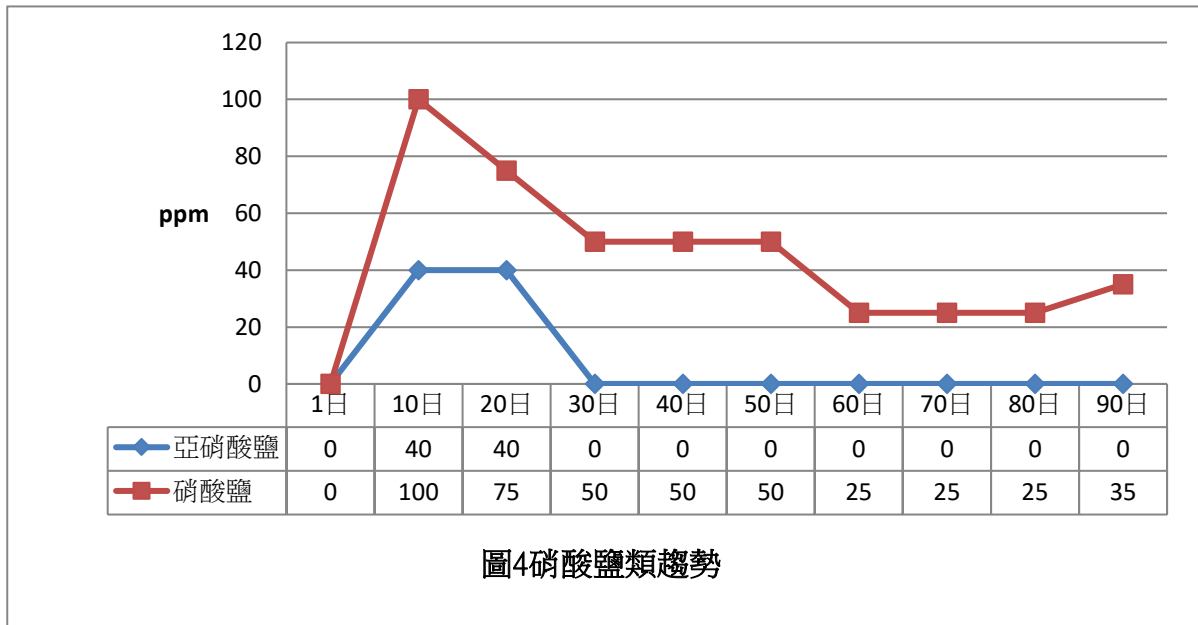
(三)比較鐘型虹吸與ㄇ型虹吸優缺點

表 10 鐘型虹吸與ㄇ型虹吸比較表

	鐘型虹吸	ㄇ型虹吸
照片	 <p data-bbox="459 1899 544 1937">(註八)</p>	
優點	有虹吸鐘保護虹吸設備，不容易吸	製作簡易，且虹吸形成條件簡易，容易調整與

	入雜物造成虹吸停止。	維修。
缺點	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。	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。

(四)結果分析與討論



1. ㄇ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. ㄇ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，且打開排汗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


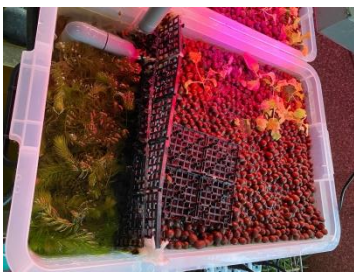

本實驗共分兩個部分，A 初探適合蜆養殖的魚菜共生系統 B 擴大蜆養殖面積的魚菜共生系統

(一)實驗構想

根據和「OO」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「OO」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

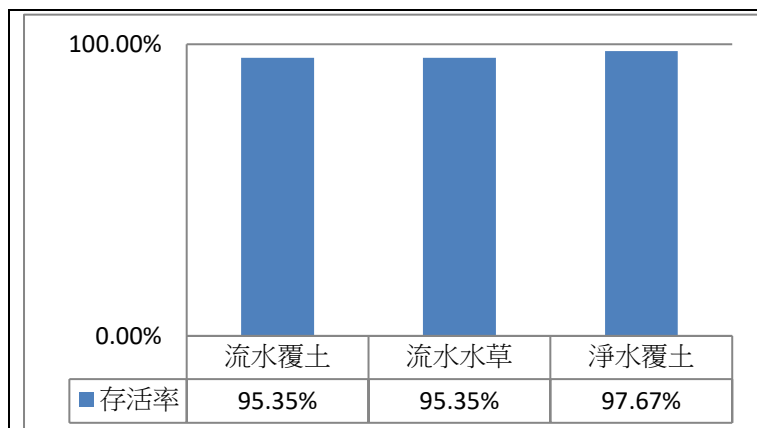


圖 6 不同養殖方式對蜆存活率影響

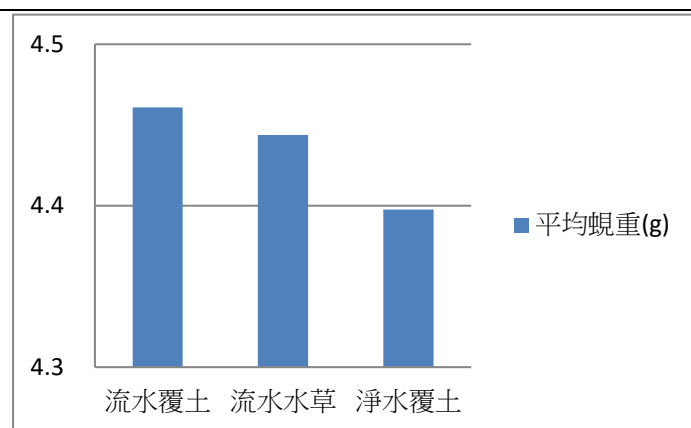


圖 7 不同養殖方式對平均蜆重的影響

1. 從兩個長條圖可看出不論在存活率或平均蜆重，蜆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，在本研究的蜆魚菜共生系統中，都能提供穩定的水質與足夠的食物供蜆生長。
3. 平均蜆重差不到 0.1 公克誤差極小，可知不論何種養殖方式，在本研究的蜆菜魚共生系統中，皆能提供相同數量的微藻供其生長。
4. 在未來建構各校的蜆魚菜共生系統，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蜆，未來要養殖的校園水生池約有 50000 公升的水量，約可養殖 90 公斤的蜆，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。因此蜆池 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，養殖蜆的缸體，在我們養殖的二個月中，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 12 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 13 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>

(二)結果分析與討論

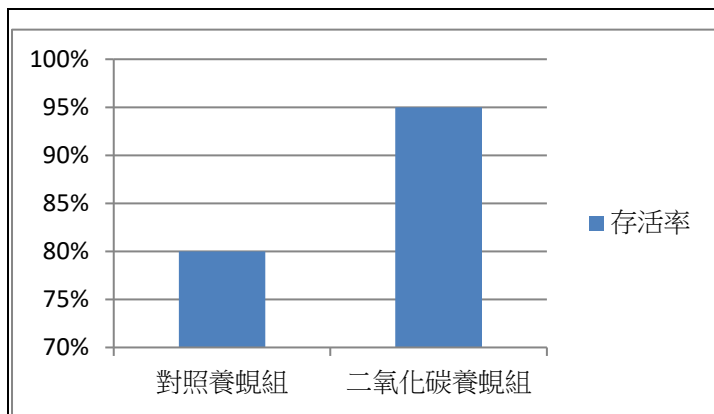


圖 8 二氧化碳養殖對蜆存活率影響

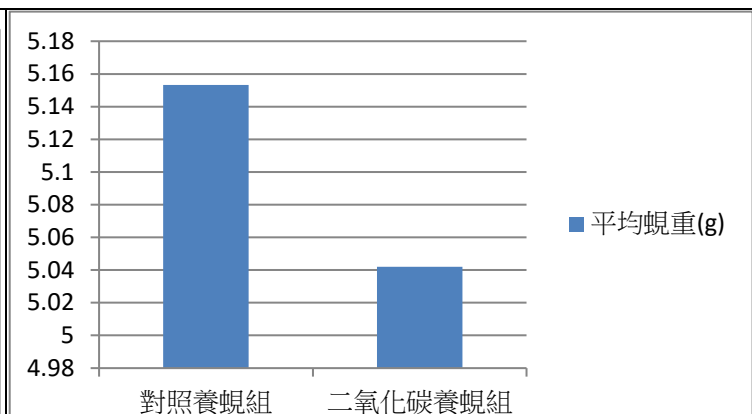


圖 9 二氧化碳養殖對平均蜆重的影響

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。

C. 水體能見度檢測技術

(一) 實驗構想

根據第四十八屆全國科展地球科學與生物科參展作品「蜆然不是蓋的一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，本研究除了用蜆來固碳外，更重要的是用來減低校園水生池綠水產生可能，畢竟提升水體能見度才能發揮教學功能。為了找到能更

快測量水質之法，使用光度計和四十八屆科展所使用光敏電阻進行對比，若兩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。

(二) 實驗設計

表 14 體能見度檢測技術實驗設計

	步驟一	步驟二	步驟三
照片			
說明	仿製四十八屆全國科展，光敏電阻測量座台。分別使用光敏電阻（web bit）、光度計進行綠水樣本的量測	使用 Brita 濾水壺過濾綠水樣本。	以同樣步驟與器材再測過濾後的綠水樣本。

表 15 類計數工具的比較

	光敏電阻（Web Bit） 單位:lux	光度計 單位:lux
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
缺點	需使用筆電調教	使用前無法進行調校

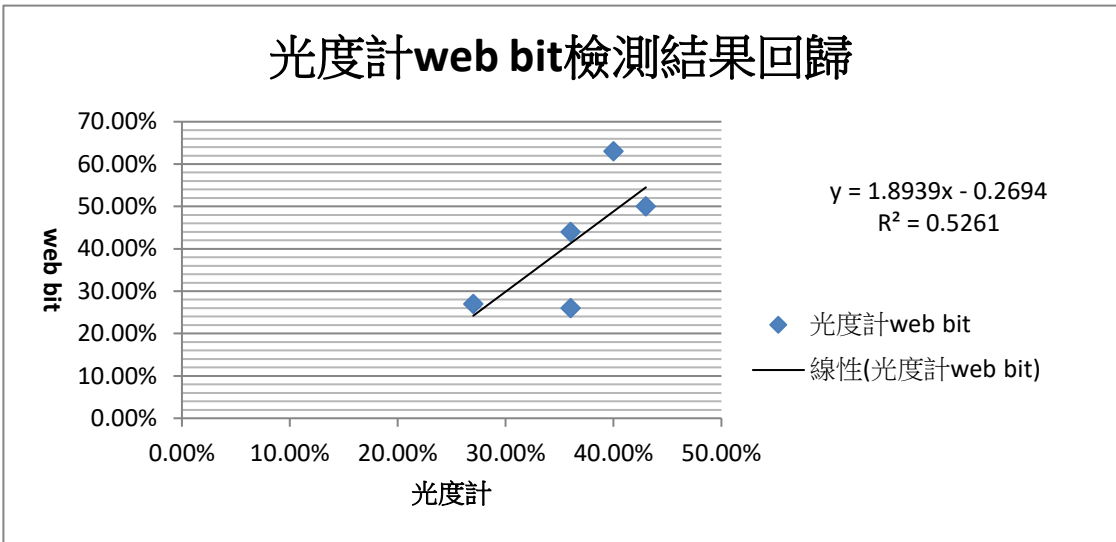


圖 10 Web Bit 檢測結果回歸

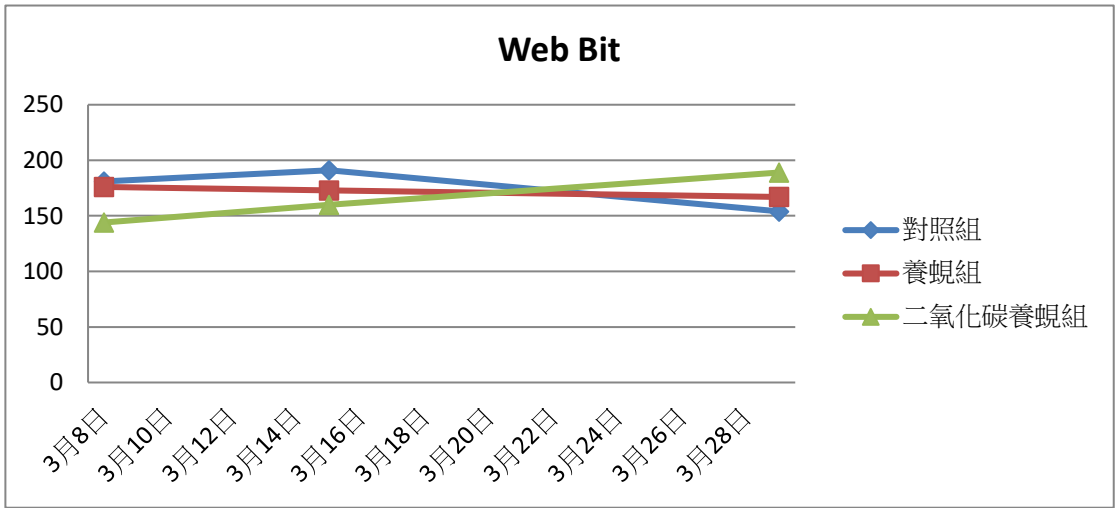


圖 11 Web Bit 測量水樣之比較(單位:lux)

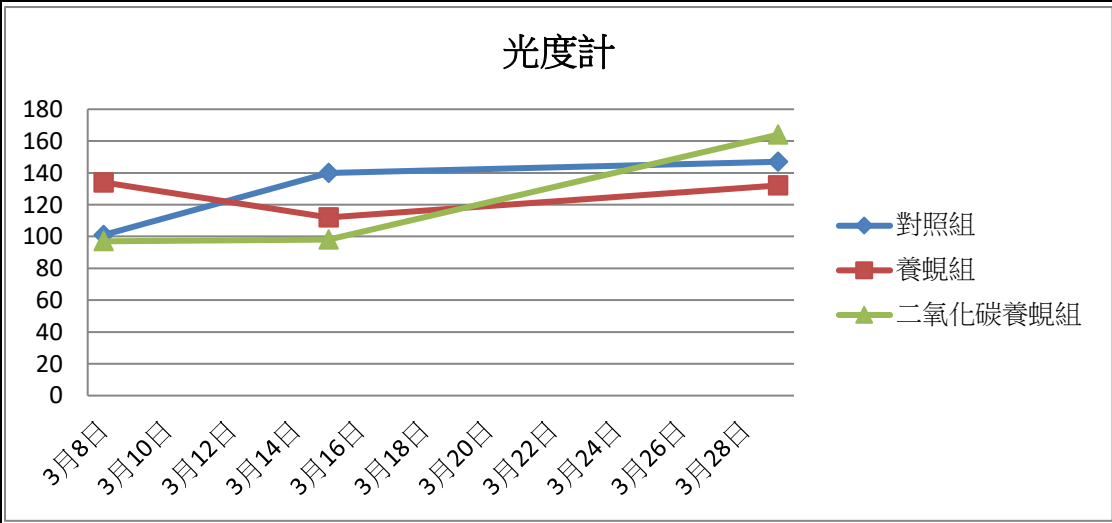


圖 12 光度計測量水樣之比較(單位:lux)

1. BRITA 濾水壺的淨水實驗中，將兩者靜水百分比繪製成回歸圖。從回歸模型來看，web bit 對光度計的判定係數(R^2)為 0.53，已達中度解釋力，在目前的檢驗方法下，兩者可說有類似的表現。
2. 從實際的實驗測試來看，兩種測量濁度的方式趨勢不全然相同，但卻仍穩定在一個類似的區間中
3. 基於以上證據，仍無法判定兩者的優劣，但基於結果差不多這點，光度計比之 Web Bit 更易於操作，我們推薦是更適合國小科展的研究工具。

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：在五個燒杯中，分別放入 500 毫升 RO 水與 2 開殼、2 閉殼(以膠水黏合)、4 開殼、4 閉殼、0 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

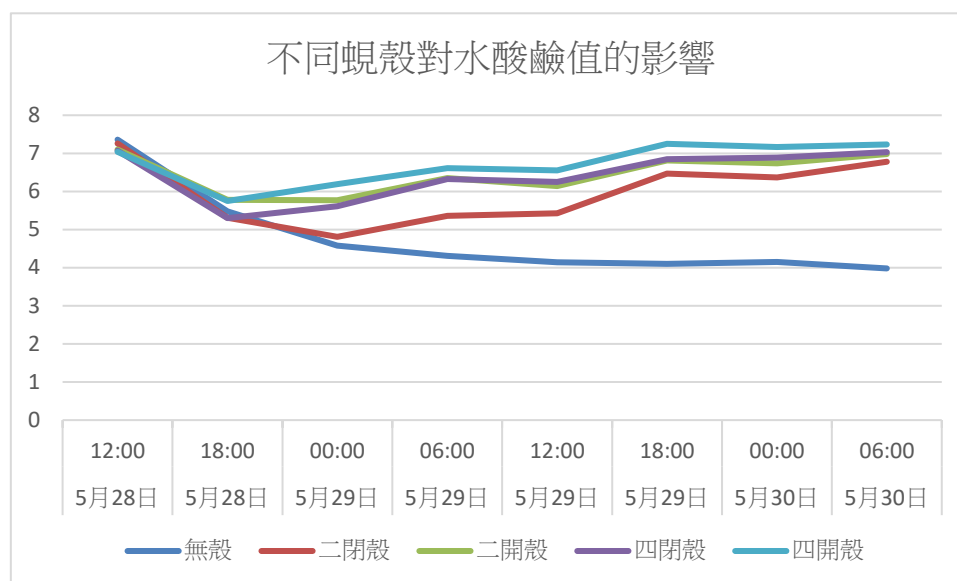


圖 13 不同蜆殼對水酸鹼值的影響

- 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.從實驗組的變化亦可推知，2 開與 4 閉的蜆殼效果類似，可推知不管蜆殼體的正反面都有阻止水體酸化的效果，
- 5.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，一個打開的蜆殼效果等同於一隻活蜆，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 16 土改劑實驗流程

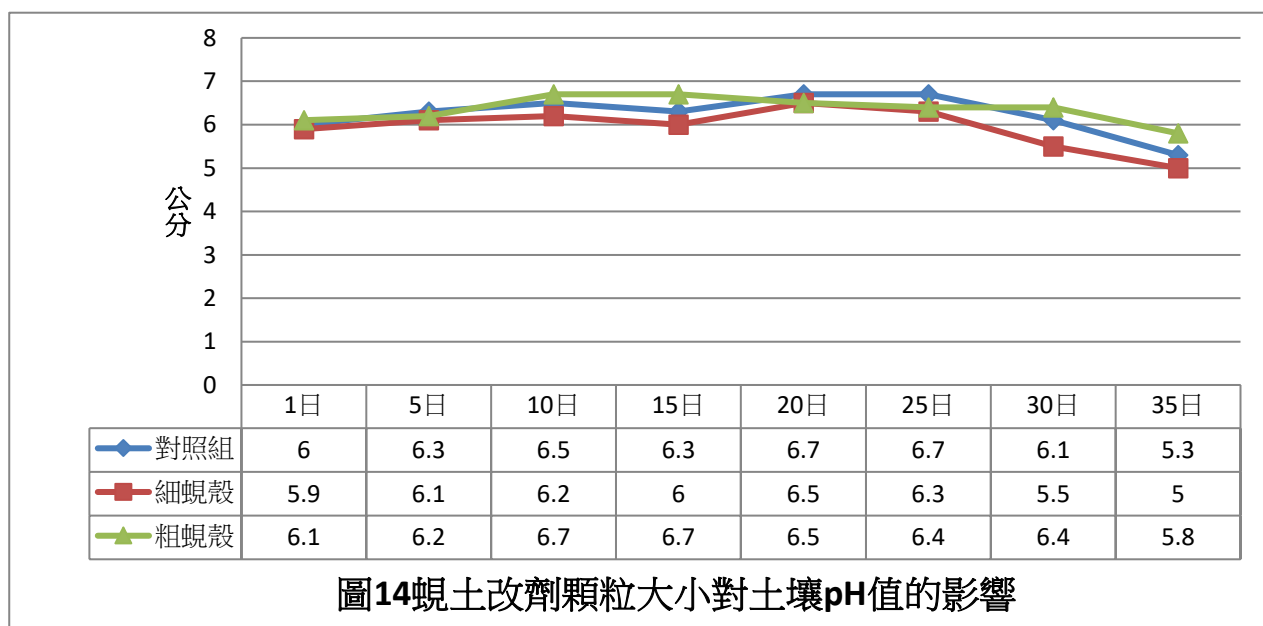


步驟一、將蜆殼以廚餘機磨碎成粉末，再使用 120 目篩網篩成大顆粒與小顆粒。

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。

步驟三、並以無加入蜆殼組進行對照。

(三)結果與討論



- 1.三組皆呈現先升後降的趨勢，pH 質比較大致上粗蚬殼組>對照組>細蚬殼組。
- 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，而粗蚬殼的土壤改良劑能減緩此一趨勢。
- 3.細蚬殼組除了沒有效果外，甚至和對照組相同，我們推估是因為蚬殼粉太細，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.上推論可知粗蚬殼土改劑可以較長時間留在表土層，提升使用效率。

實驗六、蚬蔬果清潔劑對洗滌蔬果的影響

(一)實驗構想

我們在網路上搜索，發現有很多標榜天然貝殼粉、北寄貝殼粉製作的蔬果清潔劑產品，再經過訪談，魚場的專家建議我們可以試試自己製作類似的產品，於是我們根據產品銷售網頁的 pH12 以及鍛燒幾個字的線索推斷，該產品應該是透過高溫將蚬殼(碳酸鈣)燒製成氧化鈣的過程，因此我們進行了以下實驗

(二)實驗設計

表 17 蔬果清潔劑實驗設計

		
<p>步驟一</p>	<p>透過五分鐘、四分鐘、三分鐘、二分鐘、一分鐘的鍛燒時間燒製 5 公克的蚬殼，找出合適的清潔劑製作時間，並與市售貝殼蔬果清潔粉比較。</p>	
<p>步驟二</p>	<p>準備五個燒杯，一為 1000ml 清水對照組，其餘兩個為一組都按市售清潔劑的建議比例，泡成 1000ml 清潔劑，並放入金針花進行清潔比較</p>	
<p>步驟三</p>	<p>準備五個燒杯，一為 1000ml 清水對照組，其餘兩個為一組都按市售清潔劑的建議比例，泡成 1000ml 清潔劑，並放入蘋果進行清潔比較</p>	

(三)結果分析與討論

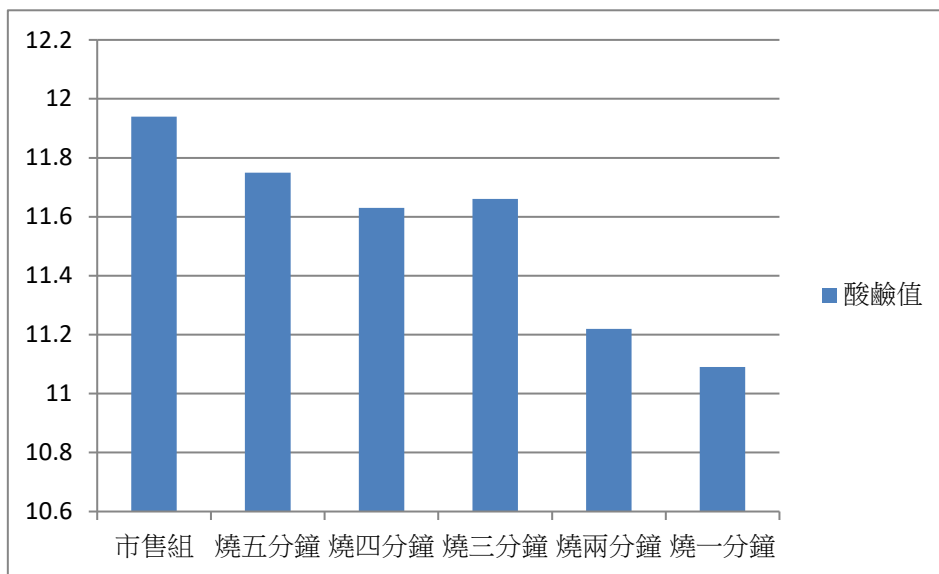


圖 15 不同燒製時間蜆殼粉對酸鹼值的影響

- 1.由結果可知鍛燒三分鐘以上的效果差不多，皆能產生市售產品類似的效果，唯若想提高酸鹼值劑量需進行調整。
- 2.從金針花的清洗結果來看，肉眼可辨識自製清潔劑的效果優於市售組優於清水組。
- 3.從蘋果的清洗結果來看，肉眼甚至無法辨識有無加入清潔劑的差異，不論是有放蘋果還是沒放蘋果，放置的結果皆為表面懸浮白色結晶物，表示和有沒有放蔬果無關。
- 4.對照該產品的產品宣傳圖，市售清潔劑將一些家用蔬果泡入後，會泛起白色結晶，但經實驗證明白色結晶物是該清潔粉放入水中後的自然現象，不能當作清潔依據。
- 5.在不能檢驗水質的狀態下我們初步的結論是表層太乾淨的蔬果類用該清潔劑效果不顯著，而髒污較多的乾貨類用此清潔劑有一定效果，但仍有待進一步實驗驗證。
- 6.鍛燒蜆殼理論上會生成二氧化碳，若設備允許，應使用抽風設備並於出風口處使用澄清石灰水捕捉二氧化碳以期能再次固碳。

實驗七、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 18 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

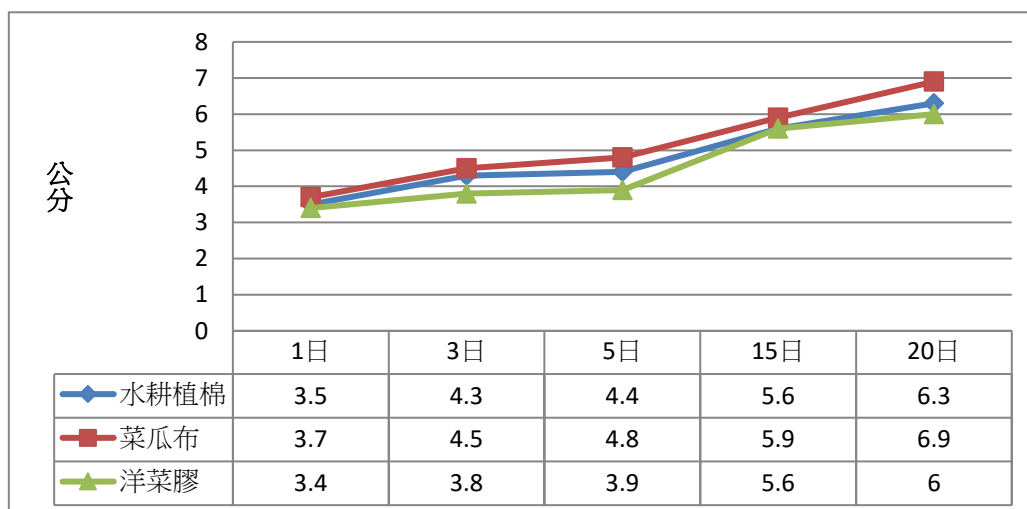


圖 16 不同水耕介植對植物生長影響

- 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。




B.不同比例的洋菜膠對植物生長的影響

(一)實驗構想

根據以上實驗的結果，我們進行了進一步的實驗驗證，想明白當降低洋菜膠洋菜比例是否提升植物的生長率。

(二)實驗設計

表 19 不同比例洋菜膠設置

		
<p>步驟一</p>	<p>洋菜製作：準備三個 1000ml 燒杯，將 1000g 水煮沸後融入 10 克(1%組)、7.5 克(0.75%組)、5 克(0.5%組)，放涼後結成洋菜膠，裁成水耕籃大小。</p>	
<p>步驟二</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，便移植到洋菜膠上，。</p>	
<p>步驟三</p>	<p>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>	

(三)結果分析與討論

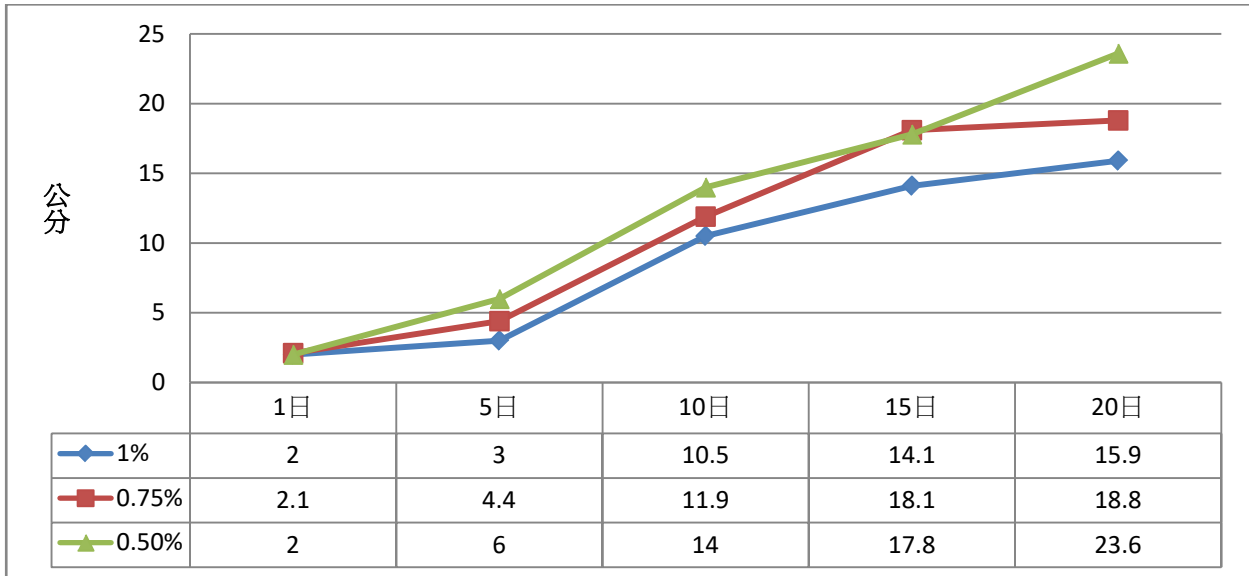


圖 17 不同比例洋菜膠對植物生長的影響

- 1.小白菜生長速度：0.5%>0.75%>1%組，但大致長度與趨勢皆相同。
- 2.此結果和假設相同，洋菜比例越低，根系應該更容易突破栽培介質，取得營養。
- 3.但不建議再降低比例，因為 0.5%組的洋菜已不容易成型，再降低比例會使得苗無法固定。

柒、結論

- 1.本改良式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，更適合於國小生維護使用。且本系統可依設置區域，進行不同方式的養鰓設置，並在 50000 公升的水量下一年約可固定一棵成年樟樹十年的固碳量。水體長時間進行菜魚共生會有水質酸化的問題，但鰓殼可減緩酸化的問題。
- 2.Web Bit 對光度計的回歸具有中度解釋力，因其簡易設置的優點，適合取代 Web Bit 成為水體濁度測試。
- 3.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。
- 4.鰓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，平均鰓重則相同，二氧化碳的導入有助於提升鰓的存活率。

- 5.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。
- 6.蜆殼清潔劑和市售的貝類清潔劑有類似的效果，但是否能清潔則需進一步驗證。
- 7.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或0.5%的洋菜膠為佳。

捌、未來研究建議

- 1.應培養綠水進行長時間的蜆濾水實驗，本研究期間共有五個以上的缸體，但有蜆在其中沒有一個缸體形成綠水，建議可以先培養出綠水再用 WEB BIT 與光度計來測定蜆的濾水能力。
- 2.蜆殼清潔劑在本實驗中不論是肉眼的清潔效果還是酸鹼度，皆以到達市售商品水準，但仍應就農藥殘留量做更多的化學檢測，檢驗其效果。
- 3.土改劑雖然可以測量維持酸鹼度的效果，但沒有測量對不同植物的種植效果，有待更進一步實驗驗證。
- 4.菜瓜布和洋菜膠在小白菜的實驗中都有好的種植效果，但有待驗證不同植物的種植情形。

玖、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。網頁式期刊。

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/>。(檢索日期：2022/09/24)

註六、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。

註七、王斯韻(2015)。魚菜共生。台北：城邦文化。

註八、魚菜共生虹吸鐘組裝 DIY <https://www.xuehua.tw/a/5ec8c8f7228ce2c7e86ff294?amp=1>(檢索日期：2023/06/14)

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>

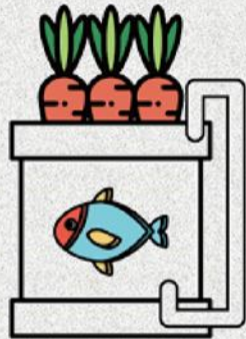
【評語】 082915

此研究探討黃金蜆，加入魚菜共生系統中的可行性。研究發現，蜆不僅可以穩定 pH 值，也能在提升二氧化碳的水中提高存活率，提供固碳的不同想法。魚菜共生的主題，這幾年有許多篇研究討論，作者能由蜆的加入，進一步提升固碳的應用，創新想法與環保概念值得嘉許。建議所實驗設計可以再系統性的整理，嘗試建立不同型態的共生模組，可實際將系統建立並持續觀察，探討蜆與魚菜共生之間的平衡與水質改變，並進一步討論作物的生長情形。

作品海報



大鰓神威



— 初探鰓在魚菜共生系統中的應用

壹、研究動機

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，發現能透過立川漁場養蜆，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，也透過生物間的化學作用，使得世界能永續發展。

貳、研究目的與架構

- 了解魚菜共生系統與魚菜共生系統以及其對固碳之貢獻
 - 透過文獻了解固碳作用、魚菜共生系統
 - 透過訪談立川漁場了解蜆養殖
 - 透過訪談水培所了解魚養殖
 - 透過訪談奇萊美地了解菜養殖
- 製作適合養殖蜆類的魚菜共生系統
 - 改良現有魚菜共生系統
 - 製作適合蜆養殖的魚菜共生系統
- 魚菜共生系統在校園環境之應用
 - 二氧化碳投入對蜆生長與水質的影響
 - 蜆對水質穩定的影響
 - 蜆土改劑顆粒大小對土壤酸鹼值與植物生長的影響
 - 改良式育苗介質對植物生長的影響

參、研究流程



肆、研究設備與器材

一、口型虹吸製作材料

無喇叭口(PVC管)	喇叭口(1/2 轉 1 英寸)	喇叭口 (1/2 轉 1 又 1/4 英寸)	1 英寸有牙接頭
1/2 英寸 PVC 管	沉水馬達	1 英寸銅牙彎頭	

二、魚菜共生系統、硝化作用檢測試劑及工具

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：平均蜆種 3.3g

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	硝化作用測試劑

表 4 其他工具

系統製作工具	錫子、電動鑽孔器、1/2 英寸鐵管、束綁帶
二氧化碳發生器工具	寶特瓶、風管、三通、細化器、砂力康
研究用工具	筆記本、照相機、攝影機

伍、研究過程與方法

一、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！所有海藻吸收的碳量相加，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。

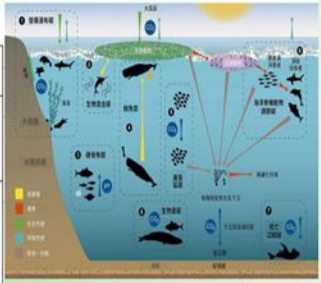
『磷蝦日間於表層行光合作用、將二氧化碳轉為有機物的浮游植物被磷蝦帶到深海消化。未能吸收的有機物隨磷蝦糞便沉入海底，成為生物幫浦。』(註三)

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，好比一棵洄游海中的大樹！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)

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蜆產業，蜆生長亦需以微藻為食，若有效串聯花蓮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

	藍螺	樹	文蛤	藻類
固碳的方式	以大量的磷蝦為食(註五)	光合作用	固碳或為殼體(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



海洋生物固碳示意圖

(二) 魚菜共生

魚菜共(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。



(三) 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。

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。

(四) 硝化作用

硝化作用是養魚是否成功的重要關鍵，魚呼吸時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 NH₃，NH₃ 在水中累積過多會對魚造成傷害，甚至死亡。而植物根部也只能吸收轉換成 NO₃⁻ 型態的含氮物質，無法直接吸收 NH₃。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 NH₃ 先轉為 NO₂⁻，再由硝酸菌屬轉為最後的 NO₃⁻，才讓植物吸收，同時也讓魚不會一直處在 NH₃ 含量過高的環境裡。這樣不斷循環的過程就叫做硝化作用，成功的硝化作用可以將 NH₃ 含量降至 0ppm~0.2ppm 左右。

二、校外參訪



【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。

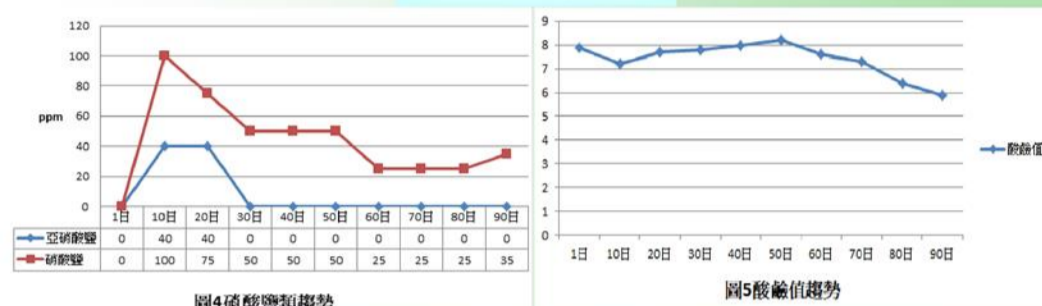
(二) 魚菜共生過濾循環製作流程

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，且內部放置色網阻礙沉澱物上浮。	
2	沉澱桶採用重力沉澱方式，底部人水頂部出水，沉澱桶底部有水管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	口型虹吸以 1 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，當水流過口型虹吸，就能引發虹吸現象。	
5	水從虹吸區下水到魚缸，待植床區水位低於口型虹吸開口處則虹吸停止，開啟另一個循環。	

(三)比較鐘型虹吸與門型虹吸優缺點

	鐘型虹吸	門型虹吸
照片		
優點	有虹吸鐘保護虹吸設備，不容易吸入雜物造成虹吸停止。	製作簡易，且虹吸形成條件簡易，容易調整與維修。
缺點	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。	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。

(四)結果分析與討論



1. 門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. 門型虹吸，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，且打開排汗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日後投入規類，因缸中的微藻被規濾食後，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，而規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】製作適合規養殖的魚菜共生系統

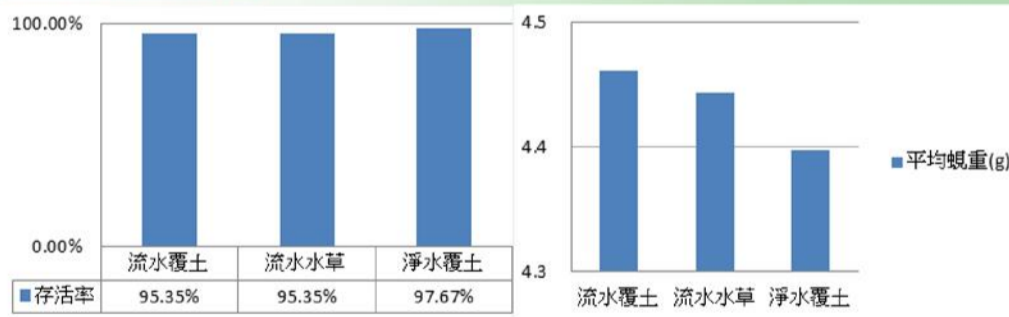
(一)實驗構想

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規池的設計，也避免在有靜水體的魚缸，規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，並在補水區養規，想比較靜水區與流水區對規生長的影响。

(二)實驗設計

	流水區覆陶土	流水區水草	靜水區覆陶土
照片			
說明	以陶土為底土養規，平均規重 3.3g。	不覆土，以水草覆蓋其上。	補水系統覆陶土，以雨水補水施肥。

(三)結果分析與討論



1. 從長條圖可看出不論在存活率或平均規重，規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，在本研究的魚菜規共生系統中，都能提供穩定的水質與足夠的食物供規生長。
3. 平均規重差不到0.1公克誤差極小，可知不論何種養殖方式，在本研究的魚菜規共生系統中，皆能提供相同數量的微藻供其生長。
4. 未來建構各校的魚菜規共生系統，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規，未來要養殖的校園水生池約有50000公升的水量，約可養殖90公斤的規，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。因此規池200噸的固碳量等於種了約1400顆成年的樟樹。(註9)
6. 根據我們的觀察，養殖規的缸體在養殖的六個月中，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】魚菜規共生系統在校園環境之應用

【實驗三】二氧化碳投入對規生長與水中藻類的影響

(一)實驗構想

這次的研究中，我們希望能讓透過規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，規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規生長的影响，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. 二氧化碳對規生長的影响 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規的效果，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，並且堵塞規的濾食管，促使規類的死亡。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，將試膏慢慢反應。	改良後細化器能長時間(>一週)運作。
缺點	置測後，會堵塞規濾食管造成死亡。	會一次將試膏反應完畢，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。

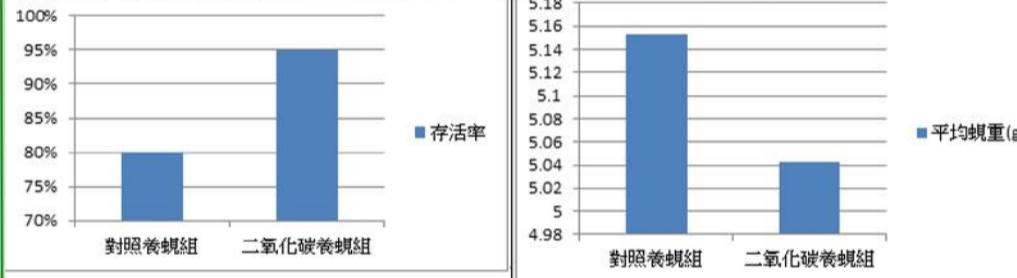
B.二氧化碳對規生長的影响

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規生長，但沒有文獻可以支持在二氧化碳環境促進微藻生長下，是否會對規或水質產生影响。因此，本實驗想驗證二氧化碳通入水體養殖微藻與規，對於規與水質的影响。

(二)實驗設計

照片			
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，再放入黑金剛螺清潔後，等水質穩定再放入規進行實驗。		
步驟二	將規放入實驗缸中，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。		
步驟三	另外兩組一為有規無二氧化碳組；一為無規無二氧化碳組，進行三者對照。		
照片			
二氧化碳	×	×	○
規	×	○	○

(三)結果分析與討論



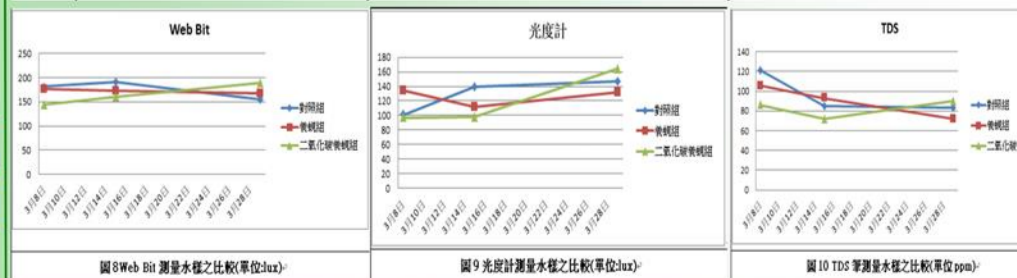
1. 二氧化碳養規組存活率顯著優於對照養規組，兩組間的平均規重差約0.1g。
2. 在存活率上，可知二氧化碳的加入不會造成水質的問題影响規的存活率，從水質試紙的檢測也看不出差異，因此我們推論因為二氧化碳的加入，提升了微藻的生產率，讓規得到充分的養料穩定生長。
3. 在平均規重上，因為對照組在實驗中期就已經有四隻規死亡，因此，二氧化碳組等於是用相同的基礎生產力多養了四隻規，因此在平均規重上略輸對照組。
4. 本實驗所設置的缸體，其基礎生產力應只能養活15隻以下的規，未來的研究，可在相同的實驗條件中，各養十五隻規，看看二氧化碳的投入是否對規的增重有所影响。

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「規然不是蓋的一台灣規淨化水質的研究」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，臺灣規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，則嬌貴的黃金規很容易造成集體死亡，黃金規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



1. 從結果來看三種測量濁度的方式趨勢不全都相同，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。

【實驗四】蛻對水質穩定的影響

(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。根據文獻蛻殼的成分為碳酸鈣，其應有助於水體成為緩衝溶液，因此本實驗希望能驗證蛻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)個蛻殼，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

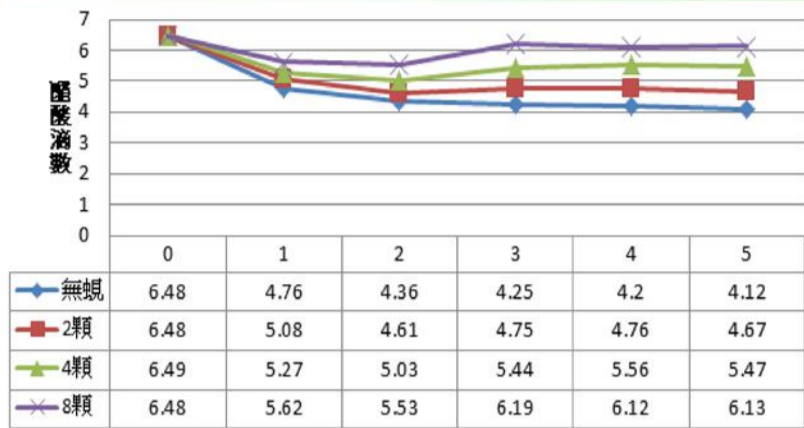


圖13醋酸對蛻殼緩衝液酸鹼值的影響

- 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。
- 從對照組可得知醋酸能有效降低水的酸鹼值。
- 從實驗組的變化可推知，有蛻殼的環境可有效防止水體的酸鹼值突然降低，若酸化持續，其溶解出來的碳酸鈣甚至有助於水體的酸鹼值回升。
- 換算蛻殼與水體大小後，我們發現正常的水體無法養殖如此多蛻，應用上的建議是死去的蛻可將死肉吸出避免汙染水源，蛻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】蛻土改劑顆粒大小對土壤酸鹼值的影響

(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。而蛻殼的成分大多為碳酸鈣(>90%)，因此我們認為將蛻魚菜共生系統中，死去的蛻殼搗碎亦能產生土改劑之效用，可以將立川魚場的蛻殼山進行利用，協助廢棄物排除；且本校的水生池直接與土壤接觸，也需要土改劑維持酸鹼值，以利周遭植物生長。因此本研究假設蛻殼粉能產生土改劑之效果，並研究不同粒徑大小的土改劑對於維持土壤酸鹼值之效果。

(二)實驗設計



步驟一、將蛻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。

步驟二、前兩週先將粗顆粒蛻殼放入酸性土 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。

步驟三、並以無加入蛻殼組進行對照。

(三)結果分析與討論

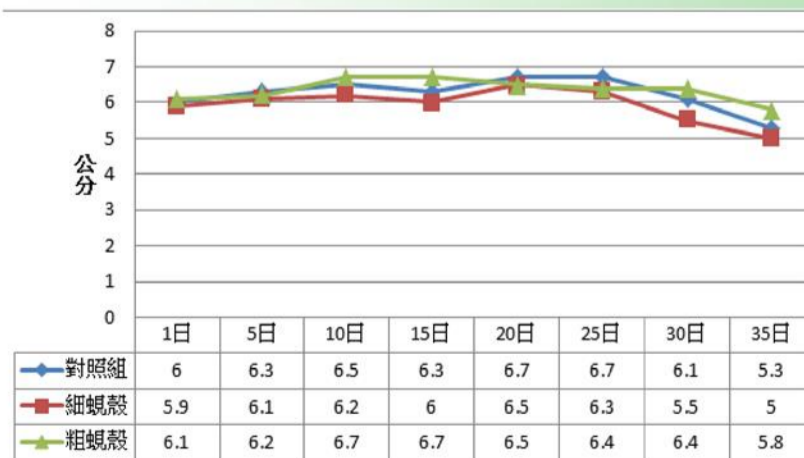


圖14蛻土改劑顆粒大小對土壤pH值的影響

- 三組皆呈現先升後降的趨勢，酸鹼質比較大致上粗蛻殼組>對照組>細蛻殼組。
- 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，而粗蛻殼的土壤改良劑能減緩此一趨勢。
- 細蛻殼組除了沒有效果外，甚至和對照組相同，我們推估是因為蛻殼粉太細，第一次澆水後就隨著水流沉澱到底底，遠離土壤酸鹼儀的檢測區，因此測得數據和對照組相似。
- 由以上推論可知粗蛻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

(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



步驟一、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)，種植於水耕棉孔位上，定時量測葉片生長高度。

步驟二、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。

步驟三、菜瓜布裁成水耕植棉大小，同步驟 1 方式種植白菜苗。

(三)結果分析與討論

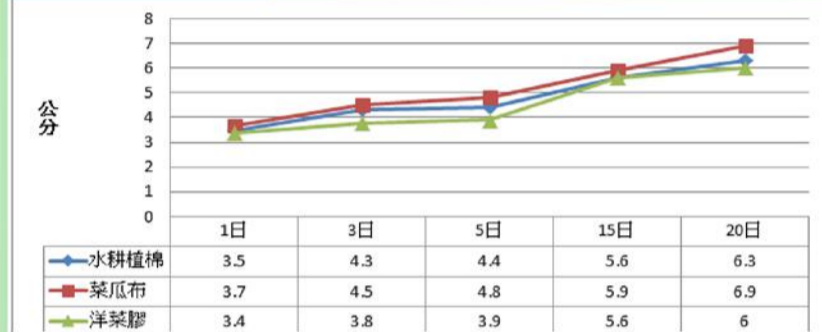


圖15不同水耕介植對植物生長影響

- 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。
- 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。
- 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。

陸、結論

- 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。
- 魚菜共生系統，能有效將生物的代謝物質轉換有機氮肥，提供作物吸收外，亦可養殖微藻，提供蛻生長的養分。
- 改良式門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，小學生也能輕易維護。
- 水體長時間進行蛻菜魚共生會有水質酸化的問題，但蛻殼可以使水體成為緩衝溶液，減緩酸化的問題；蛻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。
- 蛻的死亡率與平均蛻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。
- 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。
- 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，具價格低且容易上手的優點，可提供未來相關研究參考。
- 蛻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，平均蛻重則相同，導入二氧化碳有助於提升蛻存活率。
- 蛻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。
- 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。
- 粗顆粒的蛻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。

捌、參考資料

- 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/indepth-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%81%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%81%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/indepth-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/7