

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

佳作

030322

天然水草缸可行性之探討

學校名稱：宜蘭縣立礁溪國民中學

作者： 國一 盧家雯 國二 游家菁 國一 陳翊寬	指導老師： 陳柏羽 黃品臻
---	-----------------------------

關鍵詞：水族箱、水草、硝化菌

壹、摘要

本研究探討「天然水草缸」是否能捨棄傳統配備，利用水草缸自身機制達到平衡。我們建立「養水作業流程」，亞硝酸菌（*Nitrosomonas*）6 週的時間可培養完成，硝酸菌（*Nitrobacter*）8 週能培養完成。但 NO_3^- 無法被分解。為了降低 NO_3^- 濃度，研究水草淨化水質能力，發現「優勢水草種植面積 70 % + 水草修剪 + 每週換水 = 高效能過濾器」方式取代圓桶過濾器。水草缸可增加魚類的耐寒能力。我們分析飼料成分，希望透過平日餵食取代外加水草液肥，但發現水草液肥並沒有考慮餵食飼料的問題，氮磷會重複補充。飼料中並無水草所需的鐵與微量元素，無法餵食取代施肥，並提出補充「非完全肥料」的概念。最後重新建立「高效能天然水草缸」，觀察歸納出天然水草缸與標準配備水草缸之間的優缺點比較。

貳、研究動機：

擁有一個綠意盎然、生氣蓬勃的水族箱是每個人的夢想，但昂貴的設備與藥劑耗材使身為學生的我們望之卻步。由於曾經在生物課本上學到生態系中的物質循環，使我們想到是否可以建立自給自足的天然水草缸，使一般消費者可以用花最少的錢卻能擁有一個美麗的水草世界。

參、研究問題：

一、研究如何在「天然水草缸」中建立一個穩定水族生態的流程與時間

- (一) 研究如何建立設缸初期養水的標準作業流程
- (二) 觀察與測量硝化系統建立的時間
- (三) 研究硝化系統穩定之後不同品種的水草與藻類的生長情形

二、天然水草缸是否能在捨棄傳統水草缸配備（二氧化碳鋼瓶、過濾器、加溫器）的條件下長期運作？

- (一) 是否可以完全利用水中生物呼出的二氧化碳取代二氧化碳鋼瓶？
- (二) 是否可以完全利用水草取代過濾器？
- (三) 魚類是否能在天然水草缸中度過冬天？

三、天然水草缸是否利用飼料或水中生物的排泄物取代肥料與養分長期運作？

- (一) 分析常見飼料與液肥成分，並且測量不同品牌的飼料在天然水草缸中餵食之後 NO_3^- 與 PO_4^{3-} 濃度
- (二) 餵食固定品牌飼料後，以不同施肥方式提供水草養分，測量水中 NO_3^- 與 PO_4^{3-} 濃度，並觀察水草成長情形。

四、天然水草缸運作歷程難易度之探討

- (一) 長期觀察紀錄天然水草缸的運作情形
- (二) 比較天然水草缸與標準配備水草缸的優缺點

肆、研究設備及器材：

DO 溶氧計、CO₂ 測試劑、NH₃ 測試劑、NO₂⁻測試劑、NO₃⁻測試劑、水族箱、各式水草、圓桶過濾器、加溫器、CO₂ 鋼瓶

伍、研究方法：

一、研究如何在「天然水草缸」中建立一個穩定水族生態的流程與時間

(一) 研究如何建立設缸初期養水的標準作業流程

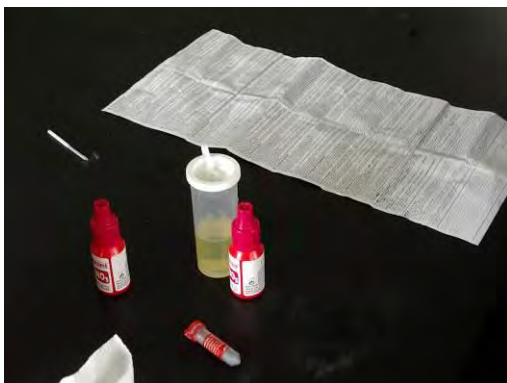
將底土放入大型塑膠箱後，加入水並種植水蘊草，種植面積約 30%，並從實驗過程中整理歸納出一套「天然水草缸」的養水流程

(二) 觀察與測量硝化系統建立的時間

- 1.在「天然水草缸」設置完之後，放入 10 隻紅鼻剪刀，每天固定投入 0.2 公克的飼料餵養。
- 2.每週測量 NH₃、NO₂⁻、NO₃⁻濃度，並觀察水色與魚類適應情形，藉以推測硝化系統建立情形。

(三) 研究硝化系統穩定之後不同品種的水草與藻類的生長情形

「天然水草缸」硝化系統運作穩定之後（約 6 個月，此時 NO₃⁻濃度約 12mg/l），移除內部水蘊草與魚類，在半日照的環境下分別種植不同品種的水草，種植面積提高為約 60%，觀察不同品種的「天然水草缸」中水草與藻類成長情形。一個月後測量 NO₃⁻濃度、水草生長高度、根系成長情形、水底透視深度、出現藻類的品種



硝酸鹽濃度測試



測水中氮的濃度

二、天然水草缸是否能在捨棄傳統水草缸配備（二氧化碳鋼瓶、過濾器、加溫器）的條件下長期運作？

（一）是否可以完全利用水中生物呼出的二氧化碳取代二氧化碳鋼瓶？

（二）是否可以完全利用水草取代過濾器？（水草與硝化菌之比較）

1.先在不同的 2 尺水族箱中分別種植不同品種水草，種植面積為 60%，使水草穩定成長後，放入混養魚種（孔雀魚、紅茶壺、紅鼻剪刀、荷蘭鳳凰）各 3 隻，每日投入飼料 0.4 公克，進行為期兩個月實驗觀察。



溶氧量測試

2.觀察不同品種水草缸在加入與不加入 CO₂ 狀態下，各種水草光合作用與生長的情形。

3.比較不同品種天然水草缸與配備過濾器的無水草缸之 NO₂⁻、NO₃⁻ 濃度與觀察水色，推測水草過濾系統運作情形



準備實驗的各種水草



實驗室各式水草缸

（三）魚類是否能在天然水草缸中度過冬天？

在冬天時，將 7 種不同品種的魚類放入密植大水蘭的天然水草缸，比較在天然水草缸與無配備加溫器的無水草缸下的成長情形

三、天然水草缸是否利用飼料或水中生物的排泄物取代肥料與養分長期運作？

（一）分析常見飼料與液肥成分，並且測量不同品牌的飼料在天然水草缸中餵食之後 NO₃⁻ 與 PO₄³⁻ 濃度

1.收集不同成分的飼料與液肥，分析其內容物的差別。

2.在天然水草缸種植 60%面積的綠菊花，每天投入不同品牌飼料 0.4 公克餵食水中 12 隻魚類後，測量水中 NO₃⁻ 與 PO₄³⁻ 濃度，並觀察水中油膜與藻類成長情形。

(二) 餵食固定品牌飼料後，以不同施肥方式提供水草養分，測量水中 NO_3^- 與 PO_4^{3-} 濃度，並觀察水草成長情形。

1. 每天投入固定品牌的飼料 (SPC) 0.4 公克到飼養不同施肥方式的水草缸中，分別測量水中 NO_3^- 與 PO_4^{3-} 濃度，並觀察水草成長情形。

四、天然水草缸運作歷程難易度之探討

1. 在 2 尺天然水草缸種植 80% 面積的大水蘭與 10% 面積的小寶塔，每天投入 SPC 飼料 0.8 公克餵食水中 60 隻魚類 (紅蓮燈 4 隻、紅茶壺 15 隻、孔雀魚 35 隻、紅鼻剪刀 4 隻、珍珠鬍子 2 隻)、30 隻黑殼蝦與 10 隻蘋果螺。

2. 自製鐵肥: 先取取 7.4g 的 $\text{EDTA-2Na-2H}_2\text{O}$ 溶於 200cc 的純水中, 再將 5.5g 的 $\text{FeSO}_4-7\text{H}_2\text{O}$ 溶於 200cc 純水中, 最後將以上兩種溶液混在一起即完成。配置後的鐵肥以每 10 公升水量搭配 1cc 的方法來添加鐵肥, 本水草缸 60 公升的水量加入 6cc 鐵肥。

3. 以一年時間分別觀察天然水草缸運作情形，並記錄 NO_2^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 濃度、藻類蔓延與魚類成長情形





4. 依據實驗記錄比較天然水草缸與傳統水草缸兩者的優缺點，並歸納出天然水草缸的使用限制

陸、研究結果與討論：


一、研究如何在「天然水草缸」中建立一個穩定水族生態的流程與時間

(一) 研究如何建立設缸初期養水的標準作業流程





天然水草缸養水作業流程

養水步驟	操作原理	相片
放入底土	底土材質為田土，是為了增加底床養分的多樣性	
底土表面覆蓋黑土	黑土降酸能力好，可以抑制設缸初期水中的 NH_3 濃度	
黑土表面覆蓋水草砂	水草砂必須事先清洗，洗淨表面沾附的石灰質，防止底土飛揚，水中養分過剩，使藻類大量蔓延	
種植水中草	種植優勢水草，可大量吸收水草缸中的 NO_3^- ，成為水中過濾器	

<p>洗池</p>	<p>防止種植水草過程中，揚起的底土，透過洗池可以大量減少水中有機物質</p>	
<p>放入漂浮性水草</p>	<p>於設缸初期水中草尚未穩定成長時，利用漂浮水草吸收水中養分，藉以抑制藻類。</p>	
<p>放入浮葉型水草</p>	<p>利用浮葉型水草遮蔽面積，控制入射光線量，防止藻類蔓延。</p>	
<p>倒入魚缸舊水舊濾材</p>	<p>倒入了 1.5 公升運作良好的過濾器內之污水，作為底床細菌的引種之用</p>	

<p>每日洗池 5 分鐘</p>	<p>換水補充水中各類元素，更可防止水中藻類蔓延。</p> <p>(右圖為楊明柳水草已經成長穩定，不需要漂浮性水草阻擋光線也能抑制藻類蔓延)</p>	
------------------	--	--

設缸初期與後期藻類比較

	
<p>綠菊花水草缸（設缸初期）：水中分佈些微藻類情形</p>	<p>綠菊花水草缸（設缸後期）：水中藻類減少，清澈情形</p>
	
<p>小寶塔水草缸（設缸初期）：水中分佈些微藻類情形</p>	<p>小寶塔水草缸（設缸後期）：水中藻類減少，清澈情形</p>

【結果討論】

1. **培養時間遠多於普通水族箱**：本實驗耗費極長的時間測試，因為九道養水流程只要其中任何一個細節沒有做好，就會使箱內水質形成綠水，導致生態系瓦解。
2. **掌握季節，冬天設缸**：根據本實驗心得發現冬天設缸有許多好處，因為陽光較弱，藻類不易大

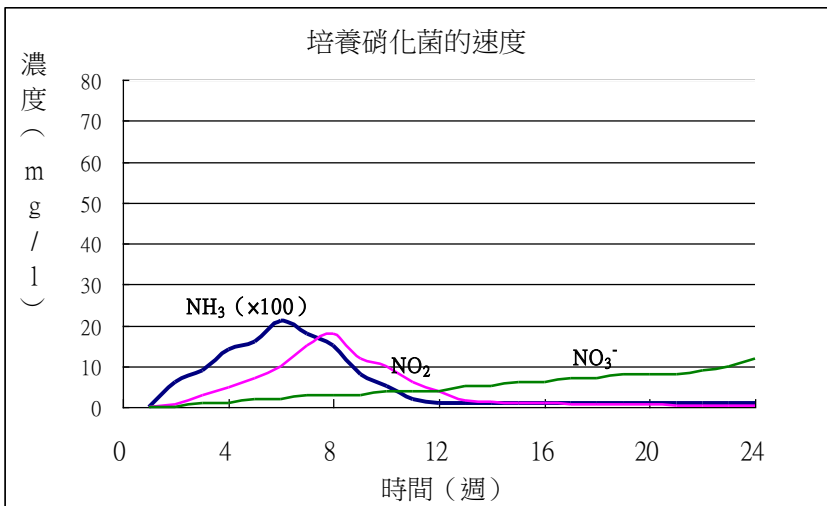
量繁殖，而且水溫不會太高，水草成長良好更有抑制藻類繁殖的功能。

(二) 觀察與測量硝化系統建立的時間

	NH ₃ 濃度 (ppm)	NO ₂ ⁻ 濃度 (ppm)	NO ₃ ⁻ 濃度 (ppm)	水色 觀察	魚類耐受情形
開始實驗	0.00	0	0	清澈	放入 10 隻健康紅鼻剪刀
第 1 週	0.00	0	0	清澈	10 隻存活
第 2 週	0.06	0.6	1	有些模糊	1 隻死亡，9 隻存活
第 3 週	0.09	2.8	1	比第 2 週模糊	1 隻死亡，8 隻存活
第 4 週	0.14	4.8	2	比第 3 週模糊	1 隻水黴病，8 隻存活
第 5 週	0.16	6.9	2	比第 4 週模糊	2 隻死亡，6 隻存活
第 6 週	0.21	10.0	3	最模糊	1 隻開始立鱗病，6 隻存活
第 7 週	0.18	15.0	3	最模糊	1 隻嚴重立鱗病，6 隻存活
第 8 週	0.15	18.0	3	最模糊	1 隻死亡，5 隻存活
第 9 週	0.08	12.0	3	最模糊	5 隻存活，食慾差
第 10 週	0.05	10.0	4	最模糊	5 隻存活，食慾差
第 11 週	0.02	6.0	4	最模糊	5 隻存活，食慾差
第 12 週	0.01	4.0	4	最模糊	5 隻存活，食慾尚可
第 13 週	0.01	1.6	5	最模糊	5 隻存活，食慾尚可
第 14 週	0.01	1.2	5	最模糊	5 隻存活，食慾漸好
第 15 週	0.01	1.0	6	有些模糊	5 隻存活，食慾好
第 16 週	0.01	0.9	6	開始轉為清澈	5 隻存活，食慾好
第 17 週	0.01	0.8	7	比第 16 週清澈	5 隻存活，食慾好
第 18 週	0.01	0.7	7	比第 17 週清澈	5 隻存活，食慾好
第 19 週	0.01	0.6	8	比第 18 週清澈	5 隻存活，食慾好，看到人出現聚集現象

第 20 週	0.01	0.5	8	清澈	5 隻存活，食慾好，聚集現象明顯
第 21 週	0.01	0.3	8	清澈	5 隻存活，食慾好，聚集現象明顯
第 22 週	0.01	0.3	9	清澈	5 隻存活，食慾好，聚集現象明顯
第 23 週	0.01	0.3	10	很清澈	5 隻存活，食慾好，聚集現象明顯
第 24 週	0.01	0.3	12	非常清澈	5 隻存活，食慾好，聚集現象明顯

【圖形分析】



【結果討論】

1. 「天然水草缸」培養硝化菌時間必須很長：從本實驗數據看出亞硝酸菌（Nitrosomonas）需要 6 週的時間可培養完成，硝酸菌(Nitrobacter)則必須 8 週後才能培養完成。水草缸的水色要能完全清澈也需要 20 週的時間，比起有過濾系統的水族箱的培養時間（大約 2 週）增加非常多。
2. 從實驗可以看出消除亞硝酸所耗的時間大於消除氨所用的時間，這是因為硝酸菌(Nitrobacter)對亞硝酸的氧化能力比不上亞硝酸菌（Nitrosomonas）對氨的氧化能力，亞硝酸濃度降低之後，魚類的存活率大幅提昇。

(三) 研究硝化系統穩定之後不同品種的水草與藻類的生長情形

	水蘊草	小寶塔	綠菊花	楊明柳	金魚草	大水蘭	象耳瀉澤	鐵皇冠	小榕
NO ₃ ⁻ (ppm)	7	9	10	6	8	7	12	18	20
水草生長高度 (cm)	35	38	22	40	20	28	6	4	3
根系生長 60 株總長度 (cm)	182	152	108	223	無根系	131	90	78	63
水中藻類繁殖情形	些微	些微	些微	幾乎沒有	幾乎沒有	幾乎沒有	些微	嚴重	嚴重
水底透視深度 (cm)	40	40	40	50	50	50	40	30	20
出現藻類的種類	剛毛藻	剛毛藻	剛毛藻 絲藻	剛毛藻	剛毛藻	剛毛藻	剛毛藻 絲藻	褐藻 剛毛藻 絲藻	黑毛藻 剛毛藻 絲藻 綠斑藻

備註： 1.水蘊草 *Elodea densa* (Planch.) Casp. 2.小寶塔 *Limnophila* sp 3.綠菊花 *Cabomba caroliniana*.4.楊明柳 *Najas graminea* 5.金魚草 *Ceratophyllum demersum* 6.大水蘭 *Vallisneria gigantea* 7.象耳瀉澤 *Echinodorus cordifolius*.L. 8. 鐵皇冠 *Microsorium pteropus* 9.小榕 *Anubias barteri* var. *nana*

【結果討論】

- 1.不同品種水草的成長情形：實驗結果發現水蘊草、楊明柳、金魚藻種植完之後即可迅速成長，綠菊、小寶塔與大水蘭必須等到水質清澈之後才會開始迅速成長。
- 2.成長越迅速的水草抑制藻類的功能越好：從「水草生長高度」與「根系生長」兩項數據可以發現，成長越好的水草缸中藻類出現的種類與數量越少，並且可以有效降低 NO₃ 的濃度。水草的成長的確可以抑制藻類的發生，但必須是在水草已經穩定成長之後才有功效。
- 3.如何協助水草抑制藻類的方法：藻類所有擁有的光合色素種類比水草多，使藻類可以適應大部分的光線。在一般環境下，藻類比水草佔有絕對優勢。所以本實驗才會採用光譜最為齊全的太陽光當作光源，觀察水草與藻類的成長情形。以下為抑制藻類的方法：
 - (1) 利用優勢水草佔地盤：優勢水草易於發根，較容易攻佔底床。

- (2) 設缸初期的藻類控制：利用漂浮性植物分佈的比例控制入射光線可控制水中藻類的蔓延。
利用密植優勢水草（面積必須達 70% 以上）大量吸收水中硝酸鹽類可抑制藻類成長。
- (3) 設缸初期加強換水頻率：設缸初期頻繁換水或「洗池」可大幅降低因種植水草時揚起的土壤使水中養分過於充足，而導致藻類大量繁衍的後果。
- (4) 人工與生物的藻類控制：早期藻類會成長較快，必須利用人工方式與除藻生物幫助水草取得優勢，等水草成長完成之後，才能放入魚類

二、天然水草缸是否能在捨棄傳統水草缸配備（二氧化碳鋼瓶、過濾器、加溫器）的條件下長期運作？

(一) 比較外加與無外加二氧化碳情形下，不同水草缸成長情形

(二) 比較不同水草種類的水草缸與配有過濾器的水族箱過濾效果之比較

1. 外加 CO₂ (60ppm)

	水蘊草	楊明柳	小寶塔	綠菊花	金魚草	大水蘭	小榕	小對葉	紅蝴蝶	小噴泉
相片										
每週成長高度 (cm)	12	15	9	7	9	10	0.6	6	8	8
成長型態描述	成長迅速	成長迅速	葉面較寬 莖較粗	成長略迅速	成長迅速	成長迅速	顏色較為翠綠	成長略迅速	成長明顯迅速	成長明顯迅速
NO ₂ ⁻ (ppm)	0.4	0.2	0.5	0.8	0.5	0.3	1.2	0.9	0.5	0.8
NO ₃ ⁻ (ppm)	16	13	18	24	23	10	36	20	16	18
開燈時 DO 值 (ppm)	7.3	7.3	6.8	6.2	7.0	7.4	5.2	6.1	7.3	7.1
關燈時 DO 值 (ppm)	4.2	3.5	5.1	5.3	4.2	5.1	5.0	5.0	3.8	4.2
光合作用現象	大量氣泡	大量氣泡	氣泡多	有氣泡	大量氣泡	大量氣泡	無氣泡	有氣泡	大量氣泡	有氣泡
藻類附著現象	無藻類	無藻類	無藻類	無藻類	無藻類	無藻類	少量綠斑藻	無藻類	無藻類	沒有黑毛藻

備註：1. 大水蘭 *Vallisneria gigantea* 2. 楊明柳 *Najas graminea* 3. 小寶塔 *Limnophila sp* 4. 綠菊花 *Cabomba*

caroliniana. 5.金魚草 *Ceratophyllum demersum* L. 6.大水蘭 *Vallisneria gigantean* 7.小榕 *Anubias barteri* var. *nana* 8.小對葉 *Bacopa monnieri* 9.紅蝴蝶 *Rotala macrandra* 10.小噴泉 *Crinum calamistratum*

2.以生物呼出 CO₂ 的取代 (18ppm)

	水蘊草	楊明柳	小寶塔	綠菊花	金魚草	大水蘭	小榕	小對葉	紅蝴蝶	小噴泉
每週成長高度 (cm)	8	10	7	5	7	7	0.5	4	3	4
成長型態描述	成長迅速	成長迅速	葉面較窄 莖較細	成長較慢	成長迅速	成長迅速	顏色偏深綠	成長較慢	成長停滯	成長停滯
NO ₂ ⁻ (ppm)	0.5	0.2	0.6	1.0	0.6	0.4	1.4	1.2	1.3	1.0
NO ₃ ⁻ (ppm)	18	15	20	26	26	12	36	22	18	20
開燈時 DO 值 (ppm)	6.9	7.0	6.0	5.8	6.8	7.2	5.2	6.0	5.8	5.2
關燈時 DO 值 (ppm)	4.1	3.5	5.0	5.1	4.1	5.0	5.0	4.8	3.7	4.2
光合作用現象	大量氣泡	大量氣泡	氣泡多	有氣泡	大量氣泡	大量氣泡	無氣泡	有氣泡	大量氣泡	有氣泡
藻類附著現象	無藻類	無藻類	絲藻 剛毛藻	絲藻 剛毛藻	無藻類	絲藻 剛毛藻	綠斑藻 很明顯	絲藻 剛毛藻	黑毛藻 絲藻	黑毛藻 很明顯

備註:1.大水蘭 *Vallisneria gigantea* 2.楊明柳 *Najas graminea* 3.小寶塔 *Limnophila* sp 4.綠菊花 *Cabomba caroliniana*. 5.金魚草 *Ceratophyllum demersum* L. 6.大水蘭 *Vallisneria gigantean* 7.小榕 *Anubias barteri* var. *nana* 8.小對葉 *Bacopa monnieri* 9.紅蝴蝶 *Rotala macrandra* 10.小噴泉 *Crinum calamistratum*

【結果討論】

(一) 比較外加與無外加二氧化碳情形下，不同水草缸成長情形

1.並非每種水草都能在無外加 CO₂ 狀態下成長：

(1) 實驗發現大部分水草在外加 CO₂ 狀態成長都明顯加速，其中紅蝴蝶、小噴泉兩種水草差異最大，

可見此兩種水草最需要額外添加 CO_2 。小榕水草的成長並沒有過於顯著的不同，但是在葉面顏色上，外加 CO_2 顯得較為翠綠而且葉面上較少綠斑藻。

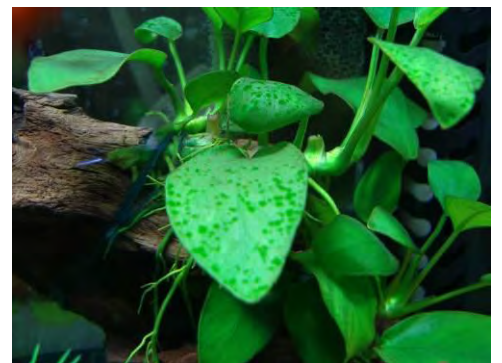
(2) 無論是否外加 CO_2 皆成長迅速的水草：水蘊草、楊明柳、大水蘭、金魚草。

2. 外加 CO_2 可在開燈時增加溶氧量：除了小榕以外，所有水草在外加 CO_2 的情況下都能增加水中 DO 值。實驗發現越是仰賴 CO_2 的水草（紅蝴蝶、小噴泉）開關燈後的 DO 值差異越大。

3 大量密植的水草缸中，水草夜晚的呼吸作用有可能造成魚類缺氧：楊明柳在關燈時的 DO 值只有 3.5ppm，造成荷蘭鳳凰常發生「浮頭」的缺氧情形。但同為成長迅速的大水蘭，開燈時的 DO 值幾乎與楊明柳相同，但關燈時還能維持一定溶氧量。

4. 沒有外加二氧化碳的天然水草缸藻類容易蔓延：實驗發現二氧化碳濃度低的魚缸，藻類容易大量蔓延。所以必須嚴格控制燈光照射時間。而且不要太強，以防止藻類增長。

5. 天然水草缸可種植低 CO_2 需求的水草：實驗發現大水蘭對 CO_2 的利用效率非常高，即使在 1~10ppm 的低 CO_2 濃度水中，照光之後的光合作用仍然能產生大量氣泡。



綠斑藻

6. 水族箱中碳源的提供來源：

(1) 當飼料被微生物分解時，也會產生二氧化碳

(2) 使用中等硬度的水，也可以提供碳源。但硬度過高，容易造成生物脫鈣作用。

(二) 比較不同水草種類的水草缸與配有過濾器的水族箱過濾效果之比較





1. 優勢水草過濾效果最強，過濾效果等同於過濾器：楊明柳與大水蘭在外加 CO_2 條件下的過濾效果勝過配備過濾器的水族箱 ($\text{NO}_2^- = 0.5\text{ppm}$ 、 $\text{NO}_3^- = 18\text{ppm}$)，大水蘭甚至在沒有外加 CO_2 的情況下過濾效果還是優於過濾器，因為大水蘭的根系可以吸收過濾器無法過濾到的底床部分。

2. 水草成長面積越大，根系分佈越廣，過濾效果越好：實驗發現根系分佈越廣的水草， NO_3^- 濃度越低。其中金魚草雖然可以將 NO_2^- 濃度維持在較低濃度，但由於沒有根，所以 NO_3^- 濃度偏高。此外硝化菌可以生長在水草表面，可增加水族箱中硝化菌生長的立體面積。所以隨著水草成長高度與成長面積的

增加，水中的 NO_2^- 、 NO_3^- 濃度下降速度會更快。

3. **水草過濾必須搭配水草修剪工作**：水草高度過長或老葉過多，若無修剪，會阻礙生長並滋生藻類，過濾效果會降低。
3. **修剪水草可將水族箱中的含氮廢物移出**：本實驗後續研究，將大水蘭密植在 $\text{NO}_2^- = 0.8\text{ppm}$ 、 $\text{NO}_3^- = 18\text{ppm}$ 的環境下，發現大水蘭每成長 10 公分水草， NO_2^- 、 NO_3^- 濃度大約可以下降 2ppm，代表每修剪 10 公分的大水蘭就可以將水族箱內含氮廢物移除一部份。
4. **優勢水草種植面積 70%+水草修剪+一週一次換水=高效能過濾器**：實驗發現若能擴大種植面積，且定期修剪、維持水草成長狀態與控制藻類，其實密植水草的方式是可以取代過濾器的。

(三) 比較天然水草缸與配有加溫器的水族箱不同魚類存活情形

		珍珠小鬍子	斑馬魚	紅鼻剪刀	紅蓮燈	孔雀魚	一眉道人	荷蘭鳳凰
相片								
耐寒極限溫度	水草缸	12°C	12°C	15°C	15°C	12°C	20°C	15°C
	無水草缸	18°C	15°C	25°C	22°C	15°C	28°C	22°C
15°C 活動力	水草缸	強	強	稍弱	稍弱	強	死亡	強
	無水草缸	中等	稍弱	佈滿白點病	佈滿白點病	稍弱	死亡	佈滿白點病

【結果討論】

1. **水草缸可增加魚類的耐寒能力**：斑馬魚、珍珠鬍子與孔雀魚皆可以承受寒流來襲時的低溫，即使不使用加溫器，皆可安然度過，唯一受影響的是活動力會降低。至於紅鼻剪刀、一眉道人與紅蓮燈則會依個體的強弱決定存活，但可以確定的是水草缸皆能讓魚類所承受的低溫極限下降。



低溫下得白點病的紅蓮燈

2.天然水草缸具有抑制白點病的功能：比較裸缸與天然水草缸中的魚類，在水溫過低時，皆會出現白點病，但裸缸中的魚白點病會一直惡化下去，最後白點會佈滿魚身，最後死亡。但天然水草缸中的魚類幾乎不會出先白點病，即使出現白點，數量也不會太多。

三、天然水草缸是否利用飼料或水中生物的排泄物取代肥料與養分長期運作？

(一) 分析常見飼料與液肥成分，並且測量不同品牌的飼料在天然水草缸中餵食之後 NO_3^- 與 PO_4^{3-} 濃度

市售品牌	A 牌	B 牌	C 牌	D 牌
售價	50 元	160 元	200 元	380 元
主要成分	澱粉	澱粉	魚粉	大豆濃縮蛋白 (SPC)
碳水化合物	24%	30%	20%	10%
蛋白質	30%	35%	40%	50%
脂肪	42%	33%	28%	20%
NH_3 濃度 (ppm)	0.01	0.02	0.02	0.03
NO_2 濃度 (ppm)	0.3	0.4	0.6	0.7
NO_3^- 濃度 (ppm)	12.0	15.0	21.0	28.0
PO_4^{3-} 濃度 ppm	2.1	2.3	3.2	4.6
水中油膜	很多	多	少	少
藻類成長情形	極少	較少	較多	多

(二) 餵食固定品牌飼料後，以不同施肥方式提供水草養分，測量水中 NO_3^- 與 PO_4^{3-} 濃度，並觀察水草成長情形。

肥料種類	傳統液肥 (無排泄物)	飼料 (無排泄物)	傳統液肥 + 魚類排泄物	魚類排泄物	魚、蝦、螺 排泄物	魚、蝦、螺 排泄物 硫酸鎂+微量元素
NO_2 濃度 (ppm)	0.4	0.9	0.6	0.7	0.7	0.7
NO_3^- 濃度 (ppm)	35.0	30.0	38.0	28.0	18	20

PO ₄ ³⁻ 濃度 (ppm)	7.0	9.0	7.5	4.6	3.3	3.4
綠菊花 每週成長高度 (cm)	7	3	7	5	6	7
藻類情形	多	多	最多	適中	少	少

【結果討論】

1. 飼料成分分析：

- (1) 在經過比對成分與售價之間的關係後，發現水族飼料中蛋白質含量越高，售價也越高。脂肪與碳水化合物含量高的，售價較低。
- (2) 實驗發現蛋白質含量越高的飼料，NO₂⁻與 NO₃⁻的濃度越大，經查證文獻指出只有蛋白質與氮磷肥的衍生有密切關係，一般脂肪與碳水化合物並不涉及氮磷肥的形成。
- (3) 經實驗發現，NO₃⁻幾乎為 PO₄³⁻的 6 倍。可見魚類對於飼料中氮的利用率較低，探究其原因可能是因為魚類與蝦類的鱗片與骨骼成長皆需要磷，所以攝取量較高。

2. 飼料成分並不足以提供水草全部養分：

- (1) 實驗發現底床沉積的飼料、植物殘骸與水中生物的排泄物都有助於形成硝酸鹽類。硝酸鉀為提供植物需求最大的二大元素包含氮肥與鉀肥，所以短時間內的確可以使用飼料中成分當作水草養分。
- (2) **蛋白質含量越多的飼料，提供水中氮磷養分越多，添加液肥就必須減量：**水草缸每天所需要氮磷肥與餵魚所投入的飼料量有著密切的關連，必須先測量水中的 NO₃⁻與 PO₄³⁻濃度，再決定每日施肥的量與液肥的種類。
- (3) **建立「非完全肥料」的概念：**從實驗數據發現有餵食飼料的水草缸，若再增加水草液肥，會出現養分過量的情形，不但無助於水草生長，更會助長藻類成長。而此情形並非將水草液肥減量這麼簡單，因為將水草液肥減量，只是可以將與飼料成分重複的養分減量而已，但其他飼料中沒有的營養元素也跟著被減量，所以應該建議調製專門針對有固定生物飼養數量的魚缸設計的水草液肥。
- (4) **添加液肥與除藻劑的迷思：**一般液肥是將水草成長過程所需的所有養分全部添加進去，並沒有考

慮到使用者平時餵養魚類時的飼料也有相同成分。卻仍然全部補強「完全」肥料，易造成藻類大幅滋生，實驗發現當磷酸鹽濃度超過 4ppm，藻類成長速度快速。磷酸鹽濃度超過 5ppm 時，將無法有效控制藻類滋生。然而當藻類滋生時，再鼓勵使用者添加除藻劑，反而影響了水草與硝化菌成長，藻類蔓延因此更為嚴重。

3. **飼料必須經過生物分解後，養分才容易被水草吸收：**實驗發現直接以飼料當作肥料效果最差，經過魚類分解後，若能在經過蝦類與螺類分解，水草成長情形會更好，而且藻類也比較不會滋生。
4. **有餵食的水草缸添加微量元素比添加液肥更為重要：**經過分析後發現飼料成分中並沒有提供水草成長的所有養分，因此以長時間運作下飼料無法完全取代液肥與底肥。必須適時添加其他元素，才能有效增進水草成長。經實驗發現利用餵食後魚蝦的排泄物，並搭配添加微量元素與鐵肥，水草成長效果極佳，且有助於藻類控制。
5. **磷酸鹽為影響水草生長與藻類繁殖的重要因素：**磷酸鹽為水草營養生長的主要限制因子(Limiting factor)，當磷酸鹽處於低濃度時，其他養分在充足，都無法促進水草成長。實驗結果發現若能將磷酸鹽控制在 0.5ppm 的範圍，水草成長最好且藻類可獲得良好控制。磷酸鹽濃度超過 2ppm 時，藻類就會迅速成長，但仍能以人工方式控制。但若超過 3ppm，藻類將會大量增生，無法以人工與生物方式除藻控制。
6. **藻類與水草的競爭，必須仰賴利用人為的協助，幫水草贏在起跑點：**當水中硝酸鹽與磷酸鹽濃度超過上述標準時，必須採取以下步驟：
 - (1) 少量多次的換水：降低水中的養分，減少藻類攝取養分的來源。
 - (2) 利用漂浮性水草覆蓋光源壓制藻類迅速蔓延：漂浮性水草為優勢水草吸收水中硝酸鹽與磷酸鹽速度快，可遮住光線，暫時抑制藻類蔓延。
 - (3) 大量密植水草：實驗發現在水族箱內種植超過 80%面積的水草時，水中硝酸鹽與磷酸鹽濃度變化幅度小，藻類不易滋生，只要定期夾除水草細縫中的藻類，將可有效控制藻類。

四、天然水草缸運作歷程難易度之探討

(一) 長期觀察紀錄天然水草缸的運作情形

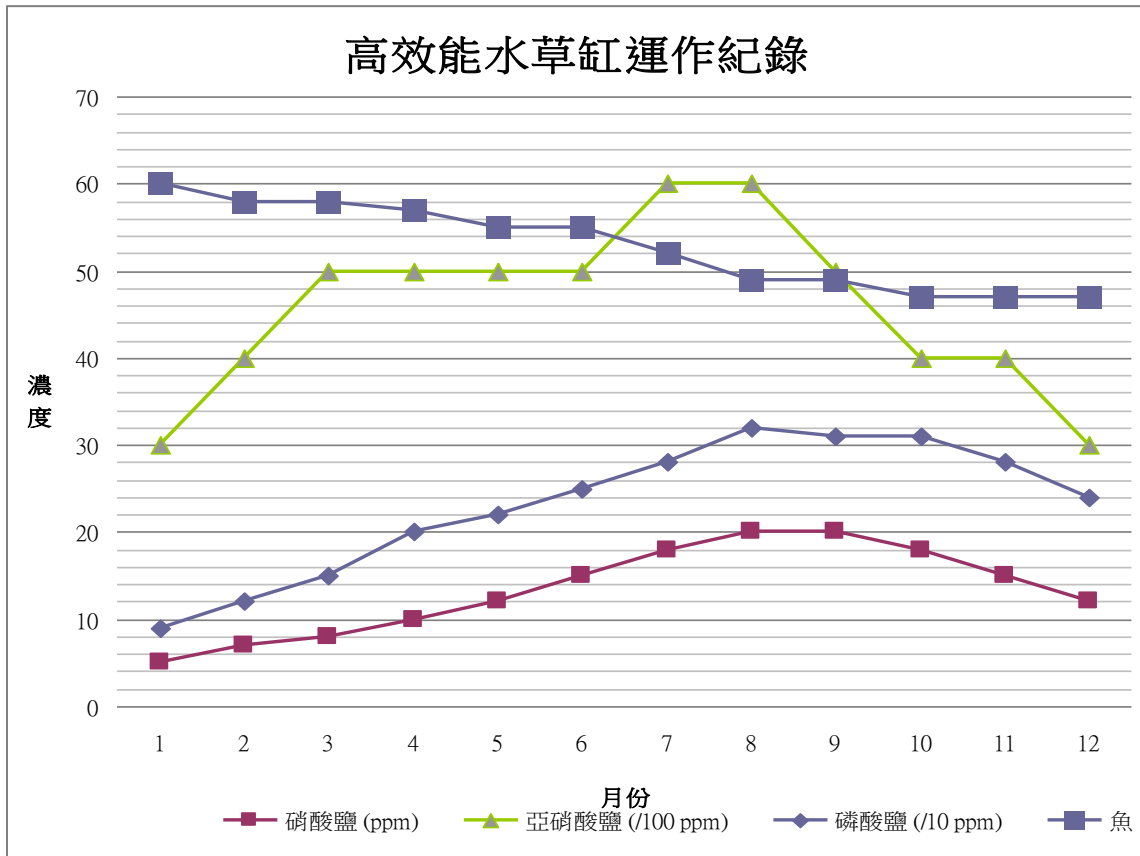
高效能天然水草缸各月份運作紀錄						
	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	魚類成長	出現藻類	說明
2012年1月	0.9	5	0.3	共 60 隻	微孢藻	紅蓮燈 4 隻 紅茶壺 15 隻 孔雀魚 35 隻 紅鼻剪刀 4 隻 珍珠鬍子 2 隻
2012年2月	1.2	7	0.4	共 58 隻 紅蓮燈 1 隻死亡 生產孔雀魚 1 隻死亡	微孢藻	孔雀魚生小魚 20 隻 紅茶壺生小魚 5 隻 (小魚移至他處)
2012年3月	1.5	8	0.5	共 58 隻	微孢藻 原皮藻 綠塵藻	孔雀魚生小魚 6 隻 (小魚移至他處)
2012年4月	2.0	10	0.5	共 57 隻 生產孔雀魚 1 隻死亡	微孢藻 原皮藻 綠塵藻	孔雀魚生小魚 30 隻 紅茶壺生小魚 3 隻 (小魚移至他處)
2012年5月	2.2	12	0.5	共 55 隻 生產紅茶壺 1 隻死亡 生產孔雀魚 1 隻死亡	微孢藻 原皮藻 綠塵藻	孔雀魚生小魚 35 隻 紅茶壺生小魚 20 隻 (小魚移至他處)
2012年6月	2.5	15	0.5	共 55 隻	微孢藻 原皮藻 綠塵藻	孔雀魚生小魚 62 隻 紅茶壺生小魚 25 隻 (小魚移至他處)
2012年7月	2.8	18	0.6	共 52 隻 紅蓮燈 1 隻死亡 紅鼻剪刀 1 隻死亡 生產紅茶壺 1 隻死亡	微孢藻 原皮藻 綠塵藻 剛毛藻	孔雀魚生小魚 20 隻 紅茶壺生小魚 5 隻 (小魚移至他處)
2012年8月	3.2	20	0.6	共 49 隻 生產紅茶壺 1 隻死亡 紅鼻剪刀 1 隻死亡 孔雀魚 1 隻死亡	微孢藻 原皮藻 綠塵藻 剛毛藻	孔雀魚生小魚 23 隻 紅茶壺生小魚 15 隻 (小魚移至他處)
2012年9月	3.1	20	0.5	共 49 隻	微孢藻 原皮藻 綠塵藻 剛毛藻	孔雀魚生小魚 20 隻 (小魚移至他處)
2012年10月	3.1	18	0.4	共 47 隻	微孢藻	季節轉換，折損多

				紅蓮燈 1 隻死亡 紅茶壺 1 隻死亡	原皮藻 綠塵藻	孔雀魚生小魚 20 隻 紅茶壺生小魚 5 隻 (小魚移至他處)
2012 年 11 月	2.8	15	0.4	共 47 隻	微孢藻 原皮藻 綠塵藻	紅茶壺生小魚 2 隻
2012 年 12 月	2.4	12	0.3	共 47 隻	微孢藻 原皮藻 綠塵藻	紅蓮燈 1 隻 紅茶壺 11 隻 孔雀魚 31 隻 紅鼻剪刀 2 隻 珍珠鬍子 2 隻



高效能天然水草缸經過運作一年後的情形

【數據分析】



(二) 天然水草缸與標準配備水草缸的優缺點比較

	天然水草缸	標準配備水草缸
安全性	1.省電安全，沒有電線走火的危險 2.不用清洗濾材 勝	1.設備多，電器故障與電線走火機率高 2.圓桶過濾器清洗不方便，每3個月更換濾材約300元以上
設備花費	2尺水族箱 800元 燈具 800元 黑土一包 800元 設備總花費：2400元 勝	2尺水族箱 800元 燈具 800元 黑土一包 800元 圓桶過濾器 3000元 二氧化碳鋼瓶 2500元 擴散器 500元 加溫器 1500元 水族冷卻機 15000元 設備總花費：24900元
耗材與電費	飼料費 1罐 150元 自製鐵肥 30元 微量元素 2罐 = 300×2 = 600元 電費 = 0.04 (KW) × 8 (小時) × 2.5 (元/度) × 365 (天) = 292元	飼料費 1罐 150元 二氧化碳補充 4次 = 300×4 = 1200元 液肥 6罐 = 400×6 = 2400元 鐵肥 4罐 = 400×4 = 1600元 微量元素 2罐 = 300×2 = 600元 除藻劑 3罐 = 300×4 = 1200元

	<p>濾材更換 4 次 = 300×4 = 1200 元 水質穩定劑 4 罐 = 400×4 = 1600 元</p> <p>【各式設備電費】 燈具電費 = 0.04 (KW) × 8 (小時) × 2.5 (元/度) × 365 (天) = 292 元 過濾器電費 = 0.03 (KW) × 24 (小時) × 2.5 (元/度) × 365 (天) = 657 元 加溫器或冷卻機電費 = 0.8 (KW) × 24 (小時) × 2.5 (元/度) × 365 (天) = 17520 元</p> <p>一年總花費：1072 元 勝</p>	<p>一年總花費：28419 元</p>
維護特性	時間充裕，喜歡動手維護的人	以設備與電費換取便利性
適合對象	學生、假日有空閒的人、退休人員	上班族
優點	<p>1.省錢、環保</p> <p>2.可使水草愛好者可以更精準的掌握水族箱中的各種參數，未來即使改用外加設備與添加物也可以更為節省用量，將設備用在最有效率之處。</p>	<p>1.省時方便</p> <p>2.種植水草與飼養魚種多元化</p>
缺點	<p>1.種植水草與飼養魚種有所限制</p> <p>2.必須時常觀察運作情形，花費較多時間與精力</p>	<p>1.必須耗費大量經費（設備費、電費、折舊費）</p> <p>2.仍然必須投入相當時間與精神維護</p>

【結果討論】

- 1.天然水草缸無法種植與飼養所有理想中的草種與魚種：天然水草缸沒有自然界環境中有取之不盡，用之不竭的各類元素，也沒有多樣性的生物存在，所以必須種植特定的草種與身體強健的魚種。
- 2.天然水草缸的建議配備：
 - (1) 嚴謹的養水過程：經實驗發現天然水草缸因為沒有配備外加過濾器，所有水中的廢物必須仰賴硝化菌分解，由於實驗過程中發現硝化菌的培養必須經過 6 個月以上才會穩定。
 - (2) 水草種類：密植大水蘭，由於大水蘭為走莖類水草，成長迅速，可以在短時間內佈滿底床，發達的根可以深入密佈於底床內，有根部通過的地方，底床內的 ORP 可以維持在標準值不至於太低與 H₂S 濃度也能維持在 0.2ppm。走莖水草佈滿底床，也可阻擋飼料直接落於底土。
 - (3) 底土：使用燒結後的黑土，可使水質維持在弱酸性，可以抑制氨濃度，也適合水草生長。
 - (4) 飼料：由於天然水草缸是利用飼料與水中生物的廢物當作肥料來源，所以必須搭配自製液肥使用，因此飼料廠牌不能任意更換，否則將影響水草成長與藻類控制。

3.以人工時間的付出與紀律嚴明的飼養方式取代外加設備與添加物：

想擁有天然水草缸的使用者必須要有以時間與人工換取省錢與安全的心理準備，其中每週必做的工作包括：

- (1) 每週工作：換水 1/3、水草修剪、人工夾除藻類
- (2) 定時定量的餵食工作：每日飼料的投入量必須精確，不能因為魚類群聚索餌一時心軟而多餵一次。

4.夏季的維護策略：

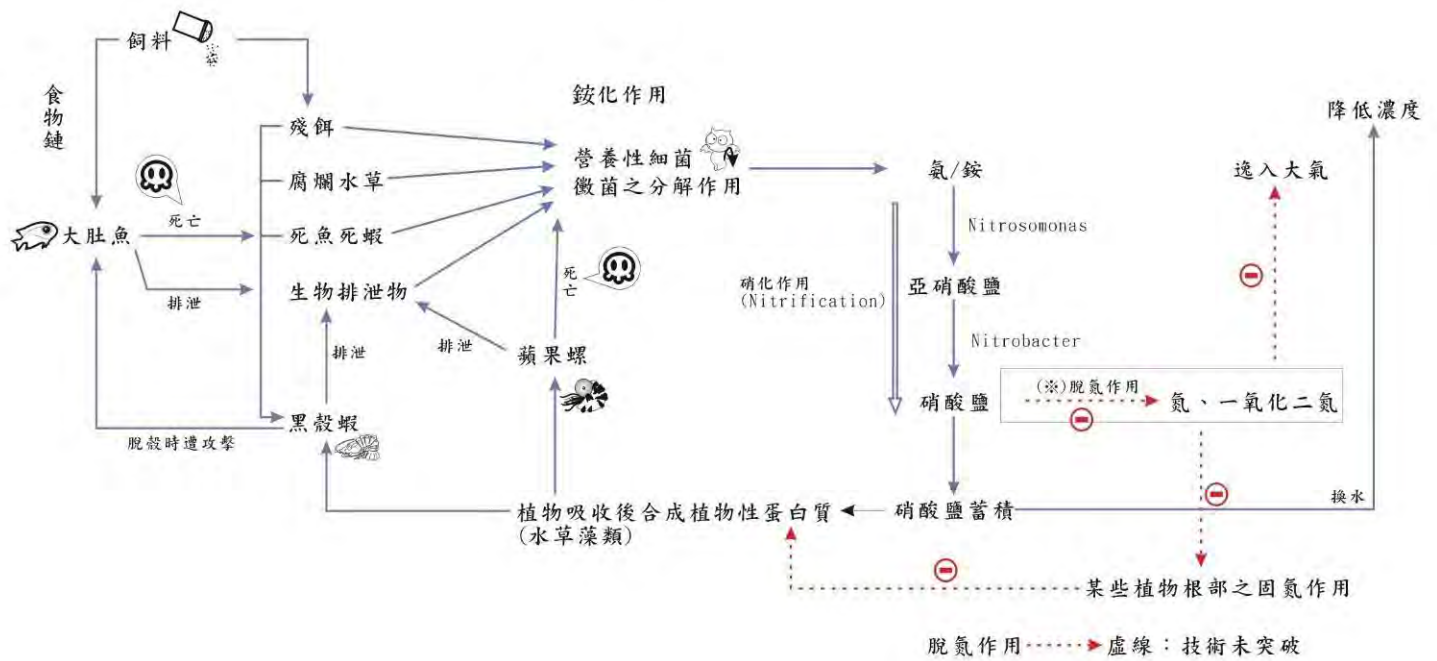
- (1) 增加換水次數：夏天由於水溫過高，水草成長減緩，甚至出現爛葉，水草過濾系統功能降低，水中硝酸鹽濃度提高，也造成藻類蔓延（剛毛藻出現）與魚類死亡率提高。
- (2) 種植浮葉性植物：浮葉性植物成長不受高水溫影響，可在夏天時在水面上放入浮葉性植物（圓心萍、大萍）取代原有水中草的過濾功能。

5. 冬季的維護策略：

- (1) 冬季為水草成長與抑制藻類的最佳季節：在冬天時，可將水草缸中佈滿藻類的老葉淘汰掉，種植新的水草，利用季節低水溫的優勢使水草大量成長，吸收來自於夏天所殘留的硝酸鹽類。
- (2) 密植的水草空間可提供天然的抗生素，可防止低水溫時魚類疾病的蔓延。

柒、結論：

本研究將「天然水草缸」界定為一個完整的生態系，從培養細菌、建立穩定水生環境到研究比較各類型水草淨化水質的功效，進而探討是否可以捨棄傳統昂貴的飼養設備，單只用「天然水草缸」內部的運作達到自給自足的目標，並分析生產者、消費者與分解者之間的運作關係，其中的循環整理如下：



經歷了一段漫長的研究時間，我們仔細觀察與記錄「天然水草缸」內部的運作機制，並建立了養水設缸的流程與一年四季的維護事項，就是希望透過我們的研發心得能降低跨入這個領域的門檻，讓更多的水族愛好者有更環保省錢的選擇，可以沈浸在「天然水草缸」清新活力的氛圍之中。

捌、未來展望：

(一) 培養脫氮細菌

在本實驗中我們必須精準地掌控飼料的用量與維持換水的頻律，而且在夏天水草成長不佳時必須加倍細心維護，才能維持生態的運作。若我們能在底床培養出脫氮細菌，可將底床中的含氮廢物分解成氮氣釋放到空氣中，可以在水草之外再提供一個天然過濾器。

(二) 底床的活化

我們採用的黑土會在一年之後崩解，容易造成底床內部的空間循環不良，甚至可能產生大量的沼氣（ CH_4 與 H_2S ），危及到植物的根系，未來我們希望能建立一個活化底床的方式，讓底部囤積的廢物不只能被水草吸收，更能夠透過物理方式排出，使「天然水草缸」的永續運作。

(三) 自製鐵肥配方改良

我們在實驗四中建置的「高效能水草缸中」，採用了我們自製的鐵肥，成效不錯，但由於 Fe^{2+} 極為容易氧化成為 Fe^{3+} ，所以保存不易。投入水中後的成效與用量尚未能夠精確的掌握。後續將針對自製鐵肥的配製做更精進的改良。

(四) 研發水族精算器

我們曾經針對飼料配方做過精確分析，也曾推算投入多少的飼料，應該會形成多少的硝酸鹽，但當我們實際發現理論值與實際數據相差極大，甚至我們挑選的飼料中已經包含了水草所需要的微量元素，換言之，其實在實驗中我們根本不需要再額外添加市售的微量元素。探究原因可能是飼料一旦進入水族缸中，要透過魚隻、螺類和細菌的層層分解，某些元素（例如硼、鉀、鎂、鋁、硫和碳）經由魚類的鰓部或尿液釋入水中，在這些過程中可能被分解與吸收，導致難以掌握。未來我們將針對微量元素的部分進行追蹤，希望能達到完全不用向外採購與掌握所有水質參數的目標，進而設計出一個水族精算器，將所有環境條件輸入後，即可得到最佳養殖方式，使一般消費者可以更輕鬆維護自己的水草缸。

(五) 第二代高效能天然水草缸

在撰寫本報告的過程中，我們已經投入「**第二代高效能天然水草缸**」的研究，在這個水草缸中我們運用更精確的水質控制技術，並且開始種植高難度的水草，例如在本報告中所無法種植的紅蝴蝶水草，下圖為「**第二代高效能天然水草缸**」研究 3 個月後的相片。希望未來有一天我們能創造一個真正省錢又省時的天然水草缸。



玖、參考資料：

林志修。熱帶魚百科。王家出版社有限公司。1989年9月。

櫻井淳史。世界熱帶魚。藝術圖書公司。1989年1月23日。

Dr. CHRIS ANDREWS, ADRIAN EXELL & Dr. NEVILLE CARRINGTON。觀賞魚疾病診斷與防制。觀賞魚雜誌社。1996年5月15日。

【評語】 030322

優點：

1. 實驗設計可運用到日常生活中的應用。
2. 花費時間建置，努力過程值得肯定。

缺點：

1. 生產者單位時間產氣量與實驗條件宜再調查清楚。