

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：環境科學

作 品 名 稱：整合型水族養殖系統研究與開發

得 獎 獎 項：佳作

學校 / 作者：臺北市立明倫高級高級中學 張瀨云

作者簡介



我叫張潯云，是一個對任何事情都保有好奇心態的人，對我而言，人如果缺乏好奇心的話，就會把一切事物視為理所當然，假如人人都如此的話，那社會就不會進步了。很高興能參與這項活動，從整個做科展當中，我學習到許多，尤其是如何進行實驗分析、處理資料及報告的統整能力，也讓我體會到其實研究這檔事是很快樂的，雖然實驗過程當中會遇到許多的瓶頸，以及面臨到會有許多腦細胞受盡折磨的可能，但是當看到實驗成功那瞬間的成就感，真的覺得一切都很值得。

整合型水族養殖系統之研究與開發

Research and development of Integrated System of Aquatic Breeding

摘要

本研究主要的目的是在開發二氧化碳製造、過濾與循環的整合型水族養殖系統。二氧化碳的產製是以基於發酵原理，並搭配具有純化二氧化碳作用的水濾裝置，發酵環境溫度以水族箱內的水來維持，循環過程中並搭配外部過濾器，所有容器均由保特瓶改裝完成，整合成一套價廉、環保且具有高效率的水族養殖系統。

由實驗結果可得知，二砂糖發酵對於二氧化碳產生率而言，其最佳發酵環境溫度範圍 25 ~35 ，一般水族箱的水溫即可保持在此一溫度範圍。過濾系統則使用光電比色計與一般市售過濾器相比較，亦有令人滿意的效果。本實驗除了研究以二砂糖發酵之外，還希望更進一步地朝向廚餘減量方面開發其他發酵材料，希望能為環保盡一份心力。

Abstract

The purpose of this study is to develop an integrated system of aquatic breeding with the functions of producing carbon dioxide, filtering and circulating, where carbon dioxide is produced based on fermentative theorem and purified by the water filtering; the environmental temperature of fermentation is maintained by the water in the aquarium and circulating is through an external filter. All the containers are made of PET bottles and thus integrated a cheap, environmentally friendly and high efficient system of aquatic breeding.

According to the experimental result, for the producing rate of carbon dioxide, the best fermentative temperature of **NO.2** granulated sugar is 25 ~35 . With a photocell colorimeter to compare the function of the self-made filter with that of the filters on the market, one can find it's comparable. In addition to the fermentation of **NO.2** granulated sugar, the study is also expected to develop other fermentative materials to reduce kitchen waste for environmental protection.

壹、前言

隨著台灣地區經濟快速地發展與生活水準的提升，國人對於家中水族造景的需求量也越來越高。一般造景的水族箱通常是以水草與小型魚類為主角，要讓這些水草健康成長，就必須提供足夠的照明、養分與二氧化碳（carbon dioxide, CO₂）以利光合作用的進行；若要同時照顧到小型魚類的飼養，則過濾與循環設備亦不可或缺。目前水草養殖通常是以二氧化碳鋼瓶作為氣源，此氣源還需搭配複雜昂貴的壓力調節裝置，此外，目前國人居住空間狹小，一旦發生二氧化碳大量洩漏，將會造成缺氧的危險。目前的過濾裝置主要分為頂置型與外掛式為主，水的循環與流向均難以控制。基於上述理由，本研究試圖開發出一套低壓力供氣、費用低廉、高效率，且具有廢棄物回收與再利用機制的整合型水族養殖系統。本研究基於發酵原理來開發二氧化碳產生器，利用水族箱水溫維持適當的發酵溫度，並利用外部循環過濾器以及氣體純化水濾裝置，達到水族箱水質淨化以及二氧化碳純化的目的，將上述各部元件加以分析實驗與整合，開發出一套具備二氧化碳供氣、水質過濾與循環三合一的整合型水族養殖系統。

貳、研究方法或過程

本研究採用理論分析與實驗研究兩方面進行，首先針對二氧化碳產生的原理及溫度壓力對於二氧化碳溶解度的影響等方面進行相關理論分析，其次再針對過濾器等水族養殖器材與二氧化碳生成器整合的可能性加以探討，確立相關研究方向；並以實驗驗證的方式驗證相關假設，以確立本研究成果的性能與可行性。

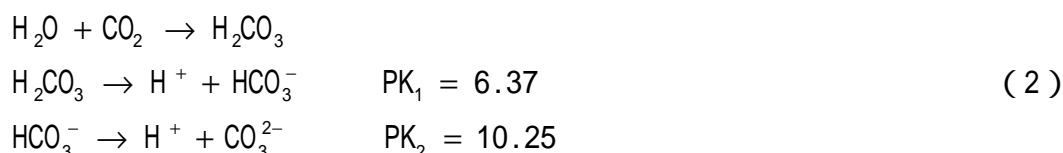
一、理論分析

（一）二氧化碳產生原理與對水草的影響

酵母（yeast）與糖產生發酵反應可以產生二氧化碳，而酵母與可發酵的醣類混合之後，在 27~38 之間有極佳的反應效率，但是溫度達到 60 以上時，酵母菌將會死亡[1]，因此必須注意發酵過程的溫度。酵母在有氧發酵的過程中，酵母菌會進行出芽生殖，並產生二氧化碳；而在無氧發酵過程中，利用酵母將糖轉換成酒精並產生二氧化碳，無氧發酵的化學反應式如下[2]：



在水族箱中添加二氧化碳除了可以控制水質的酸鹼度之外，主要目的在於提供水草行光合作用以產生氧氣及葡萄糖。溶於水中的二氧化碳會與水作用形成碳酸（ H_2CO_3 ）。碳酸在水中會解離成 HCO_3^- 及 CO_3^{2-} 放出 H^+ 而使得 pH 值有下降的趨勢，水族業者[3]建議水草養殖時的 pH 值最佳值約在 6.8，以維持適當的二氧化碳溶解量（約 30ppm）供水草行光合作用[4-6]。二氧化碳在水中的反應式如下：

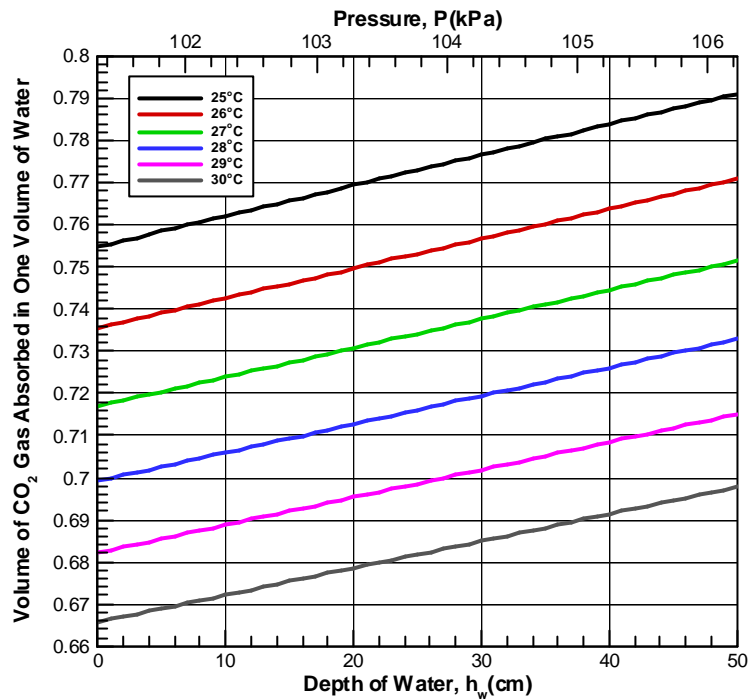


（二）二氧化碳的溶解度

二氧化碳在水中的溶解度視溫度及壓力而定，溫度越高，則溶解度越低；壓力越大，則溶解度也越大。基於此一理由，只要加大二氧化碳存在的壓力以及降低溶劑溫度，即可提升二氧化碳的溶解度[7,8]。表一為 ASHRAE（二）所提供不同的溫度與壓力狀態下二氧化碳溶解度，經由此一關係表可以將一般水族常用的溫度與水深壓力範圍，利用曲線繪製軟體的多項式回歸功能[9,10]，將該表中的數值轉換成圖一所示的溫度壓力與溶解度關係圖。

表一 單位體積的水中可溶入的二氧化碳體積與溫度、壓力關係一覽表[1]

溫度 ()	絕對壓力 (kPa)										
	101.3	170.3	239.2	308.2	377.1	446.1	515	584	652.9	721.9	790.8
0	1.71	2.9	4	5.2	6.3	7.4	8.6	9.7	10.9	12.2	13.4
4.4	1.45	2.4	3.4	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.2	10.3	11.3
10	1.19	2	2.8	3.6	4.4	5.2	6	6.8	7.6	8.5	9.5
15.6	1	1.7	2.3	3	3.7	4.3	5	5.7	6.3	7.1	7.8
21.1	0.85	1.4	2	2.5	3.1	3.7	4.2	4.8	5.4	6.1	6.6
26.7	0.73	1.2	1.7	2.2	2.7	3.2	3.6	4.1	4.6	5.2	5.7
32.2	0.63	1	1.5	1.9	2.3	2.7	3.2	3.6	4	4.5	4.9
37.8	0.56	0.9	1.3	1.7	2	2.4	2.8	3.2	3.5	3.9	4.3



圖一 單位體積的水可溶入二氧化碳的體積比例圖

雖然降低溫度可以增加二氧化碳溶解度，但是實際使用上有其困難，因為與水草混養的小型魚類溫度必須維持在 25~30 的範圍左右，由於冬天氣溫降低，因此要使用加溫器提升水溫，由此可見，利用降溫來提升二氧化碳溶解度是不易達成的。而利用提升壓力與延長氣泡在水中存在的時間來達到提高二氧化碳溶解度，則是另一種較可行的方式：二氧化碳由水底出氣上升，此時氣泡所承受的壓力最高，隨著氣泡逐漸上升到水面，氣泡所受到的壓力逐漸下降，如果能讓氣泡停留在水中較長的時間或是說上升的過程較為緩慢，就可以達到較大的存在壓力與較長溶解時間的雙重目的。基於此一理由，可利用兩種方式達到提升溶解度的目的：1. 二氧化碳供氣管線出口越接近水族箱底部，可以得到較高的出氣壓力，可得到較佳的溶解度。2. 出氣口接上氣泡石或是陶瓷分配器等多孔性材料，讓二氧化碳出氣氣泡細化，使得上升到水面的時間得以延長，此外細化後的氣泡與水有更大的接觸面積，亦可有助於增加氣體的溶解度。

一般水族業者常用 pH 值作為水中溶入二氧化碳量是否足夠的指標，事實上這個方式並不正確，因為水的碳酸鹽硬度 (KH, °dKH) 也會影響 pH 值與溶入水中的二氧化碳的關係。如表二所示，以 pH 作為含量指標時，必須再對照水中的碳酸鹽硬度加以修正，一般水草養殖適合的二氧化碳溶入量為 5~15mg/L，即表中綠色的範圍。

表二 碳酸鹽硬度、pH 值與二氧化碳溶入關係一覽表

	KH \ pH	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0
硬度 偏低	0.5	15	9.3	5.9	3.7	2.4	1.5	0.93	0.59	0.37	0.24	0.15
	1.0	30	18.6	11.8	7.4	4.7	3.0	1.85	1.18	0.74	0.47	0.30
	1.5	44	28	17.6	11.1	7.0	4.4	2.8	1.76	1.11	0.70	0.44
	2.0	59	37	24	14.8	9.4	5.9	3.7	2.4	1.48	0.94	0.59
	2.5	73	46	30	18.5	11.8	7.3	4.6	3.0	1.85	1.18	0.73
	3.0	87	56	35	22	14	8.7	5.6	3.5	2.2	1.4	0.87
	3.5	103	65	41	26	15.4	10.3	6.5	4.1	2.6	1.64	1.03
硬度 適中	4.0	118	75	47	30	18.7	11.8	7.5	4.7	3.0	1.87	1.18
	5.0	147	93	59	37	23	14.7	9.3	5.9	3.7	2.3	1.47
	6.0	177	112	71	45	28	17.7	11.2	7.1	4.5	2.8	1.77
	8.0	240	149	94	69	37	24	14.9	9.4	6.9	3.7	2.4
硬度 偏高	10	300	186	118	74	47	30	18.6	11.8	7.4	4.7	3.0
	15	440	280	176	111	70	44	28	17.6	11.1	7.0	4.4
	20	590	370	240	148	94	59	37	24	14.8	9.4	5.9
CO ₂ : mg/L, 碳酸鹽硬度 (KH): °dKH, 最佳水草適用範圍 5~15mg/L												

(三) 過濾系統

水族所使用的過濾器主要有外掛式與頂置式兩大類，近年來又推出價格較昂貴的外循環式。不論何種形式過濾器，其基本原理就是讓水通過不同的多孔性與吸附材料來攔阻水中的雜質，藉以維持養殖用水的潔淨度。因此要提升過濾器的性能，就必須慎選過濾材料以及水流的均勻度。在使用相同的過濾材料條件之下，如果能讓水均勻通過過濾材料，也就是水與材料接觸有最大的面積，即可得到較佳的過濾效果。

二、成品與實驗裝置製作

本研究試圖開發出一套整合型水族養殖設備，目的就是要能提供一套二氧化碳生成、水質過濾以及循環三合一的功效。基於文獻中提到的最佳發酵溫度在 27~38 之間有極佳的反應效率，台灣地區夏季氣溫通常都能符合此一範圍，但是冬季溫度則不利於發酵，因此在天氣寒冷時，適度加溫是不可或缺的。水族箱水溫一般都維持在 25~30 之間，因此可利用水族箱的水來維持發酵溫度，為減少額外電力的消耗與設備的複雜化，外部維持發酵溫度的水必須再經過一個自製的過濾器，同時達到水質淨化的目的，過濾後的水再回到水族箱中，達到循環與增加溶氧的效果。本系統基於環保的概念，所有容器均以回收的保特瓶製成。以下各節將針對各部分元件的製作進行介紹。

（一）發酵瓶裝置

如圖二所示，為發酵瓶構造示意圖。發酵瓶是採用回收的保特瓶改裝而成，將瓶蓋鑽孔之後，安裝供氣連接管與熱電耦線，以便連接軟管出氣與監測發酵溫度。瓶蓋連接排氣管與熱電耦線處必須使用環氧樹脂或瞬間膠密封，以避免洩漏。完成 24 小時之後，以空氣壓縮機充氣加壓，進行探漏作業。排氣管必須連接逆止閥，以免發酵過程結束時，因為壓力下降導致水族箱內的水回流到發酵瓶中。加裝關斷閥則是為了控制出氣量與檢修設備時關斷之用。

（二）水濾裝置製作

如圖三所示，為發酵系統的水濾裝置。在無氧發酵過程中會產生酒精，酒精變成蒸汽之後會隨著二氧化碳進入水族箱，由於酒精在水中的溶解度很大，因此在出氣管線中設置水濾裝置攔截大多數的酒精蒸汽，此一裝置有純化二氧化碳的作用。水濾裝置以保特瓶製成，發酵產生的氣體通入水濾裝置的底部，氣體經由瓶底上升到液面，這個過程會讓大多數的酒精蒸汽與少量的二氧化碳氣體溶入水中，使得連結到水族箱中的二氧化碳更為純淨。使用一段時間之後，必須更換瓶中的水，以維持水濾性能。

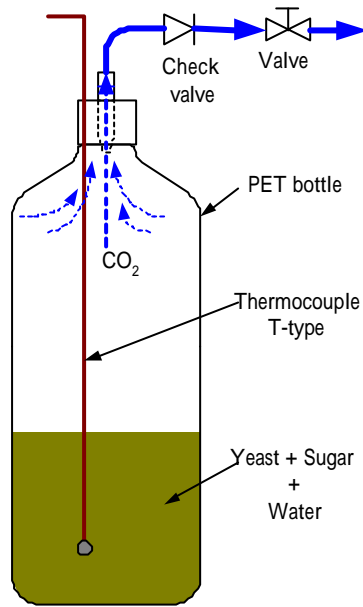
（三）保特瓶過濾器

如圖四所示，為保特瓶過濾器構造示意圖。過濾瓶是採用回收的保特瓶改裝而成，將瓶蓋鑽兩個孔之後，裝上適當長度的連接管，其中一支連接管接上橡膠軟管通到瓶底，形成一個瓶底到瓶頂較長的水流路徑，瓶內並填充剪裁成小塊的過濾材料，增加水流與濾材的接觸面積，提升過濾效果。這種過濾器可以視需要進行串聯，利用兩個以上裝置與不同的濾材，達到最佳的過濾效果。

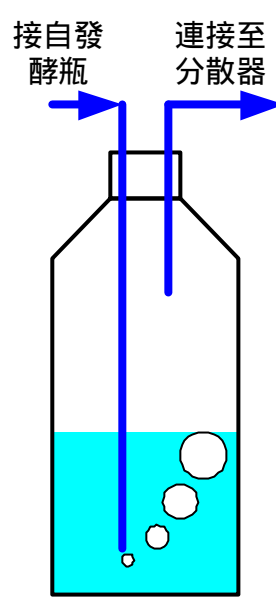
（四）整合型水族養殖系統

如圖五所示為本研究所開發的整合型水族養殖系統。整個系統可分為二氧化碳生成器（發酵瓶與水濾裝置）與水質淨化（沈水泵浦與保特瓶過濾器）兩大部分，二者之間是以一個具有保溫功能的熱交換器連結，穩定發酵溫度。發酵所產生的二氧化碳經由水濾裝置純化之後，再提供水族箱內的水草使用。沈水泵浦將箱內的水循環到發酵瓶周遭，利用水溫穩定發酵的環境溫度之後，再流到保特瓶過濾器進行過濾，隨後流回水族箱，水的流向與操作型態可透過 $V_1 \sim V_3$ 閥門的開啟與關斷來達成。回流管與沈水泵浦的位置可以隨意調整，提供箱內最佳

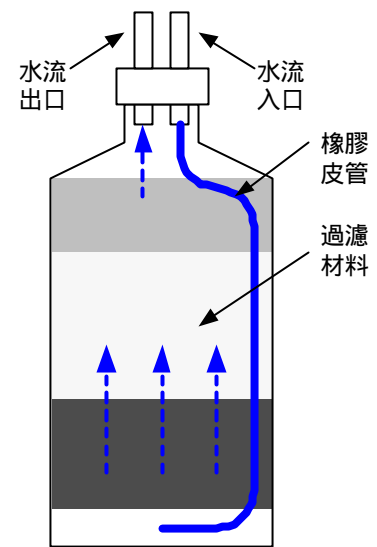
的循環與過濾的配置。本系統主要具備價格低廉、操作安全、廢棄物回收以及可調整性佳等優點。



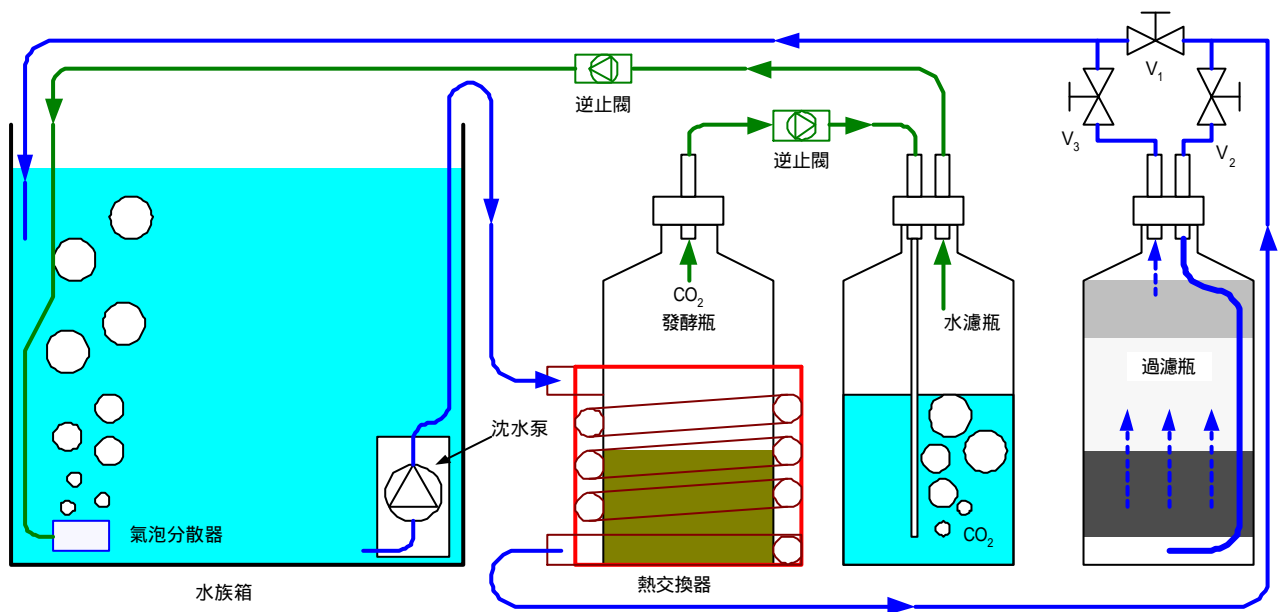
圖二 發酵瓶構造圖



圖三 水濾裝置示意圖



圖四 自製式過濾器裝置示意圖



圖五 整合型水族養殖系統

三、實驗設計

雖然由參考文獻可以得知最佳的發酵溫度範圍，但是酵母的種類繁多，發酵的基材也會影響發酵的效果，因此本研究首先針對各種不同溫度條件以及酵母比例進行發酵實驗評估，

確立最佳的二氧化碳生成狀況作為系統控制的重要參數。如果最佳發酵溫度範圍在 25~30 的溫度範圍，本研究所提出的利用外循環方式維持發酵環境溫度的假設即可成立，由於外循環必須用到箱內沈水泵浦，為避免額外電力的浪費，循環水進入以回收保特瓶自製的過濾系統進行水質淨化之後，再回到水族箱中，因此過濾器的性能也必須進行實驗評估。經由上述實驗過程來驗證本系統的可行性。

（一）二砂糖發酵對於二氧化碳產生率的影響實驗

本研究欲探討酵母的不同比例、環境溫度與二氧化碳生成量的關係，酵母比例區分為高比例與低比例兩組。實驗系統圖如圖六所示，實驗照片則請參照附錄所示。實驗過程分述如下：

1. 高比例酵母發酵實驗（A1、B1、C1）（A2、B2、C2）（A3、B3、C3）

- （1）三個相同發酵瓶分別放入 100g 二砂糖和 100 cc 的水，攪拌均勻之後，分別置入 5g (SampleA)、10g (SampleB)、15g (SampleC) 酵母，接著封閉發酵瓶，並置入恆溫水槽中保持發酵的環境溫度。
- （2）整個實驗過程的環境溫度分別控制在 25 ~50 ，每隔 5 進行一次 23 小時的發酵實驗。發酵環境溫度以資料擷取器（data logger）配合電腦進行資料蒐集與監控。
- （3）二氧化碳氣體以排水集氣法蒐集（雖然二氧化碳會溶於水，但是此一方法仍是蒐集較純氣體的方式），每個實驗樣本最大蒐集量為 3000 cc，每小時記錄一次，夜間則以 DV 進行定時攝影記錄。
- （4）記錄發酵前後排水集氣槽的 pH 值，以了解二氧化碳溶入水中的狀況。
- （5）重複相同實驗三次。（分別標示 A1~A3、B1~B3、C1~C3）

2. 低比例酵母發酵實驗（A4、B4、C4）（A5、B5、C5）（A6、B6、C6）

- （1）三個相同發酵瓶分別放入 100g 二砂糖和 100 cc 的水，攪拌均勻之後，分別置入 1g (SampleA)、2g (SampleB)、3g (SampleC) 酵母，接著封閉發酵瓶，並置入恆溫水槽中保持發酵的環境溫度。
- （2）其他實驗步驟同高比例酵母發酵實驗（2）（4）步驟（溫度上限控制在 45 ）。
- （3）重複相同實驗三次（分別標示 A4~A6、B4~B6、C4~C6）

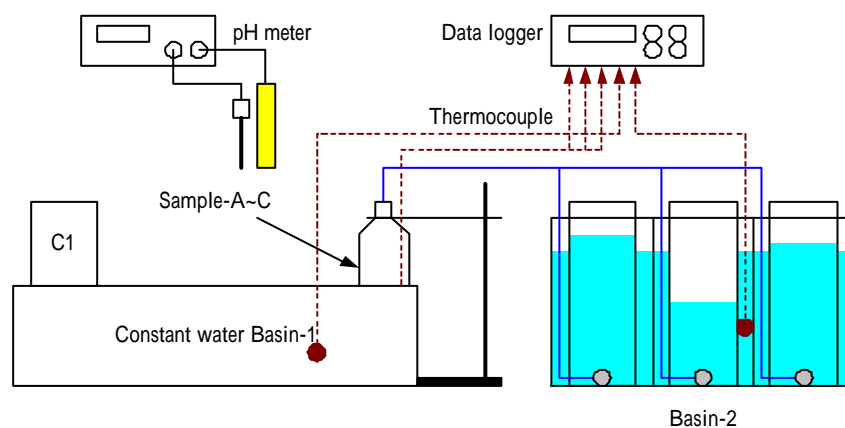
(二) 自製式過濾器實驗設計

為了驗證本研究所提出自製式過濾器的性能，本研究使用相同的泥土加入水中作為過濾器實驗樣本，實驗組為自製保特瓶過濾器（編號 Filter-2，沈水泵浦耗電 12W），對照組為外掛式過濾器（編號 Filter-1，自身泵浦耗電量 10W），兩過濾器使用相同材質與數量的濾材（白棉），使用光電比色計對過濾前後實驗樣本加以比對與定量，最後以穿透度百分比（Transmittance, %T）作為性能評估依據，本實驗的光電比色計為電機式儀表，為方便讀值與強化精確度，故將電機式儀表改裝成直流數位毫伏表，設定調整穿透率 100%T 時為 300mV，由電壓大小即可轉換成穿透度。實驗照片則請參照附錄所示。而實驗過程分述如下：

1. 將泥土經過 1.5 \times 1.5mm 孔徑紗網篩選後，選取 1.5kg 放入 20 公升的水中，攪拌均勻之後靜置一小時，然後抽取上層（水面下 20cm）9000cc 置入實驗容器之中。
2. 將實驗樣本取樣，並與清水調成不同比例的濃度，變換光電比色計不同濾光片，尋求最大增益的濾光片。
3. 由實驗容器中央水面下（5cm）抽取 6cc 以光電比色計進行穿透率量測，作為未過濾前的初始定量。
4. 運轉過濾器，每小時以相同方式取樣進行穿透率量測，實驗時間為 23 小時（下午一點到隔日中午十二點），夜間無法記錄時，則以多項式回歸的方式估算。

(三) 整合型水族養殖系統實驗設計

依據圖五組合成整合型水族養殖系統，發酵材料是以酵母與二砂糖 1:10 的比例進行實驗（二砂糖 100g，水 100 cc，酵母 10g），並實際接到一只已經養殖燈科等小型魚類與水草的水族箱，經過五天連續的測試，每十二小時測試一次水族箱的 pH 值與 KH 值，藉以瞭解本系統的應用於實際系統的可行性。



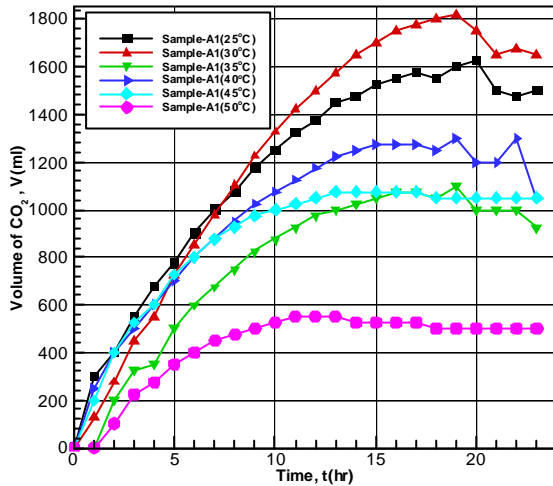
圖六 二氧化碳產生率的影響實驗設備系統圖

參、研究結果與討論

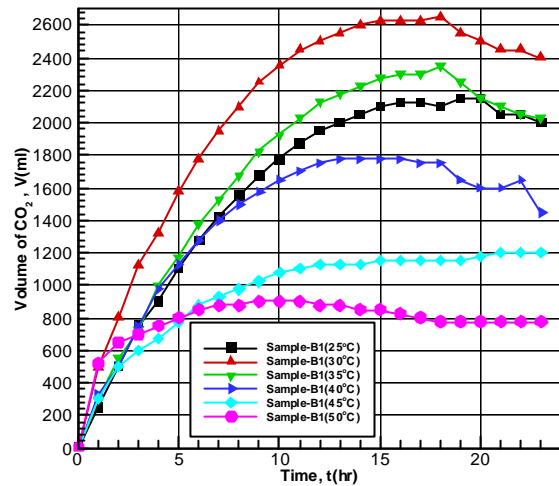
一、實驗結果

(一) 高比例酵母發酵對於二氧化碳產生率的影響實驗結果

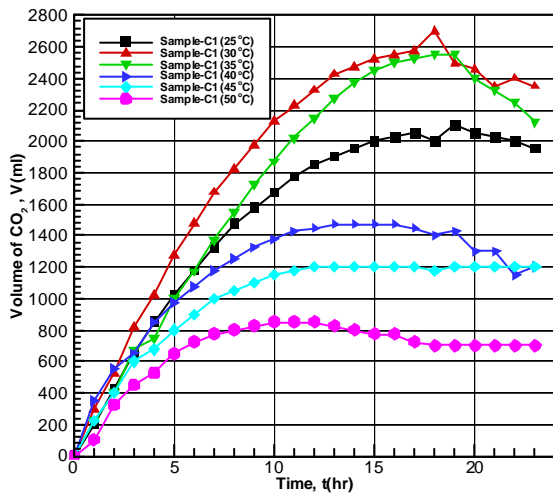
1. 第一次實驗結果



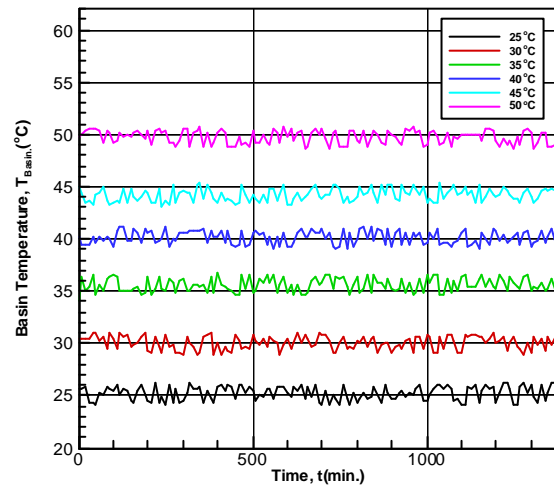
圖七(a) 樣本 A1 在各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖



圖七(b) 樣本 B1 在各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖



圖七(c) 樣本 C1 在各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖



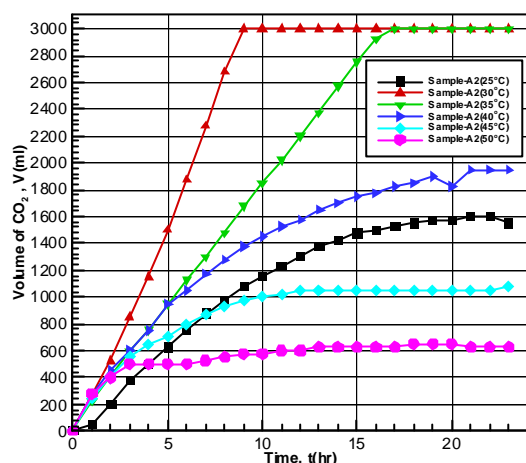
圖七(d) 恆溫水槽各種溫度監控圖

表三 砂糖各種溫度發酵過程排水集氣水槽 pH 變化一覽表（第一次實驗）

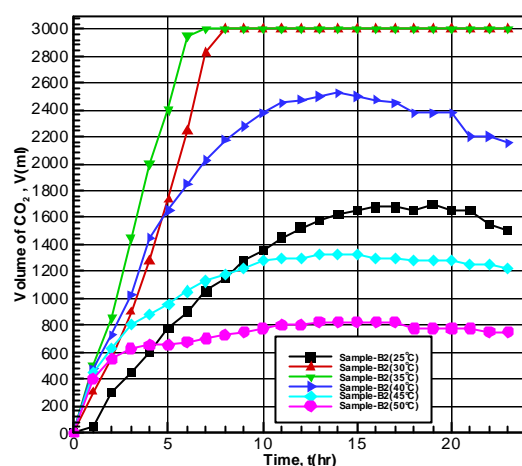
發酵環境溫度	25			30			35			40			45			50		
樣本編號																		
排水集氣起始 pH 值	7.75	7.56	7.57	7.43	7.80	7.79	7.80	7.43	7.42	7.45	6.40	6.34	6.34	5.86	5.64	5.64		
排水集氣結束 pH 值	5.34	5.28	5.36	5.38														

註：25 ~40 實驗時三樣本共用一個排水集氣水槽（集氣容器仍為三個），因此僅有一個 pH 值數據，後來為了了解各種不同比例的酵母對於生成量與溶解到水中的變化，變更為三個相同容積的排水集氣水槽。

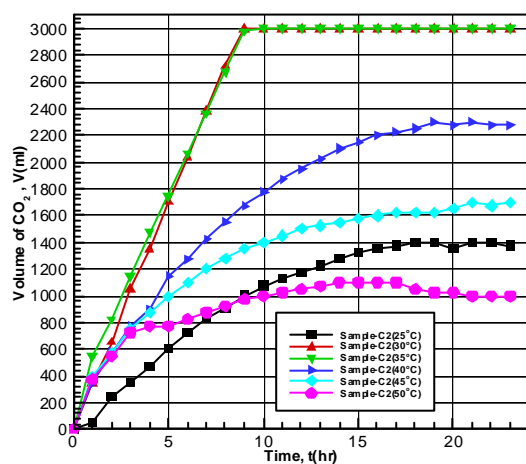
2.第二次實驗結果



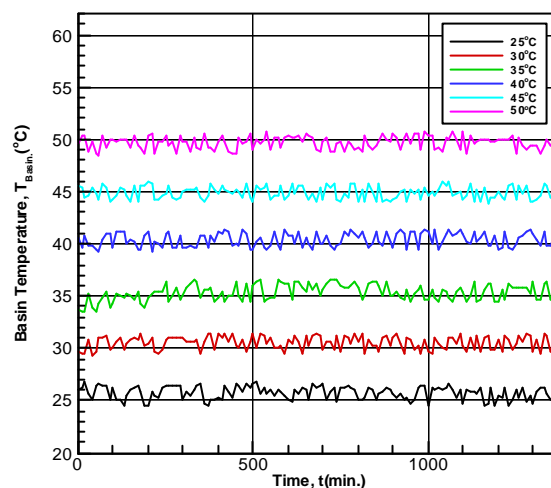
圖八(a) 樣本 A2 在各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖



圖八(b) 樣本 B2 在各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖



圖八(c) 樣本 C2 在各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖

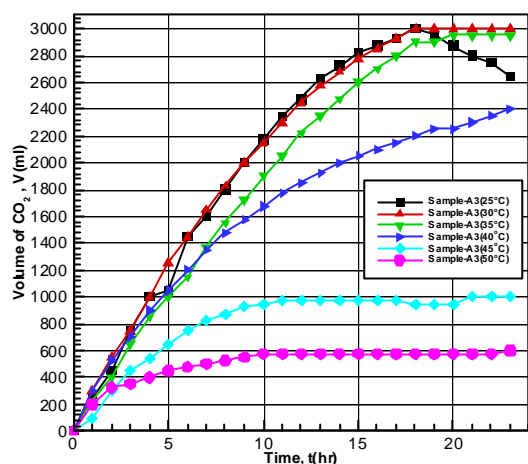


圖八(d) 恆溫水槽各種溫度監控圖

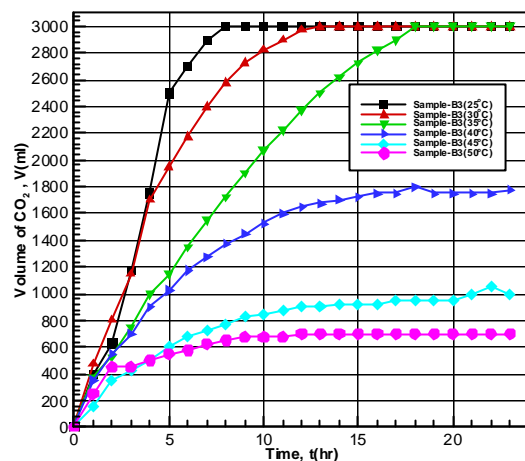
表四 砂糖各種溫度發酵過程排水集氣水槽 pH 變化一覽表（第二次實驗）

發酵環境溫度	25			30			35		
樣本編號	A2	B2	C2	A2	B2	C2	A2	B2	C2
排水集氣起始 pH 值	7.03	7.06	7.16	7.74	7.62	7.69	7.40	7.40	7.39
排水集氣結束 pH 值	5.87	5.28	5.54	5.40	5.14	5.48	5.57	5.32	5.52
發酵環境溫度	40			45			50		
樣本編號	A2	B2	C2	A2	B2	C2	A2	B2	C2
排水集氣起始 pH 值	7.14	7.18	7.08	7.42	7.48	7.41	7.42	7.56	7.61
排水集氣結束 pH 值	5.48	5.30	5.43	5.51	5.46	5.46	5.70	5.56	5.52

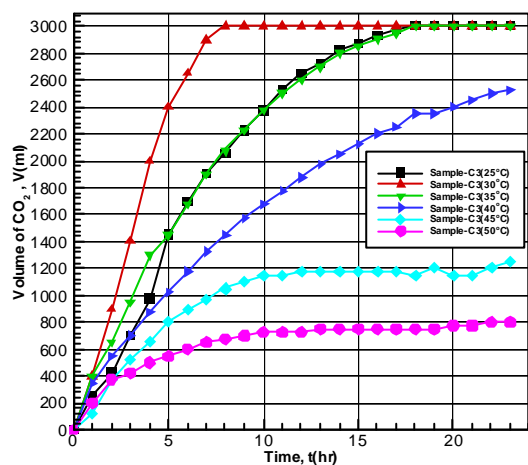
3.第三次實驗結果



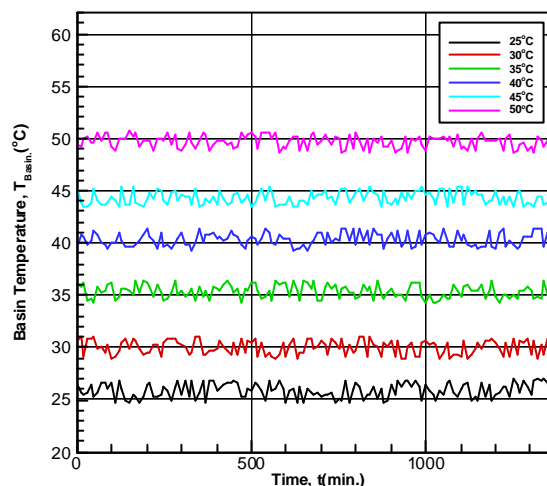
圖九(a) 樣本 A3 在各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖



圖九(b) 樣本 B3 在各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖



圖九(c) 樣本 C3 在各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖



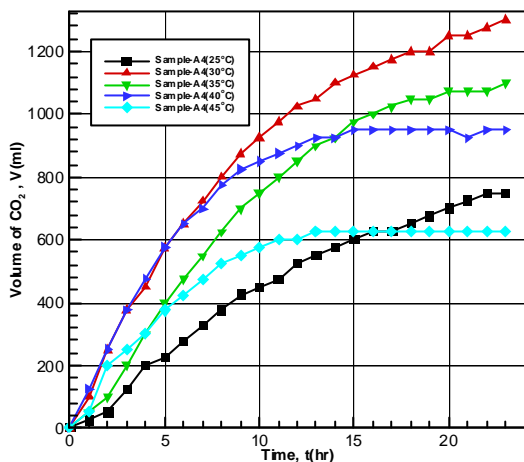
圖九(d) 恆溫水槽各種溫度監控圖

表五 砂糖各種溫度發酵過程排水集氣水槽 pH 變化一覽表 (第三次實驗)

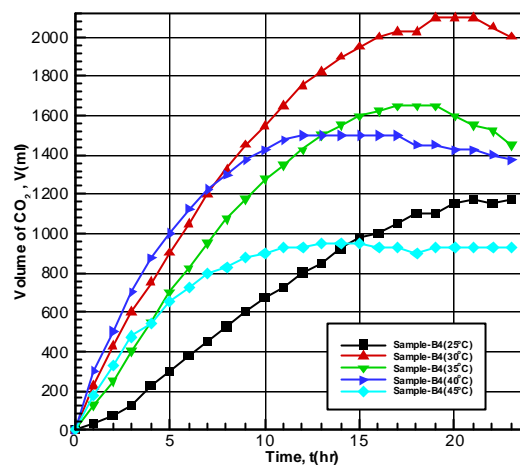
發酵環境溫度	25			30			35		
樣本編號	A3	B3	C3	A3	B3	C3	A3	B3	C3
排水集氣起始 pH 值	7.64	7.42	7.46	7.74	7.62	7.69	7.20	7.26	7.31
排水集氣結束 pH 值	5.32	5.09	5.30	5.40	5.14	5.48	5.37	5.28	5.32
發酵環境溫度	40			45			50		
樣本編號	A3	B3	C3	A3	B3	C3	A3	B3	C3
排水集氣起始 pH 值	7.23	7.28	7.24	7.41	7.48	7.48	7.68	7.69	7.66
排水集氣結束 pH 值	5.46	5.39	5.35	5.60	5.53	5.46	5.81	5.70	5.55

(二) 低比例酵母發酵對於二氧化碳產生率的影響實驗結果

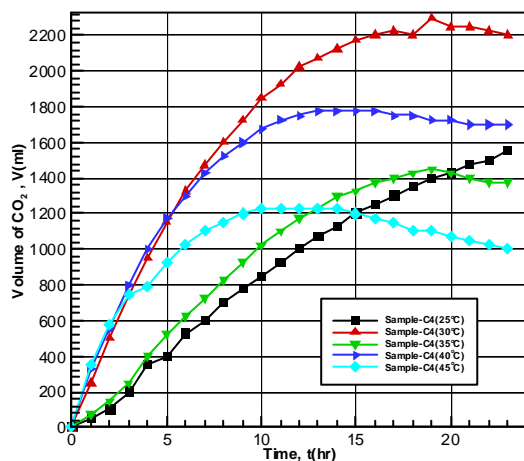
1. 第一次實驗結果



圖十(a) 樣本 A4 在各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖



圖十(b) 樣本 B4 在各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖

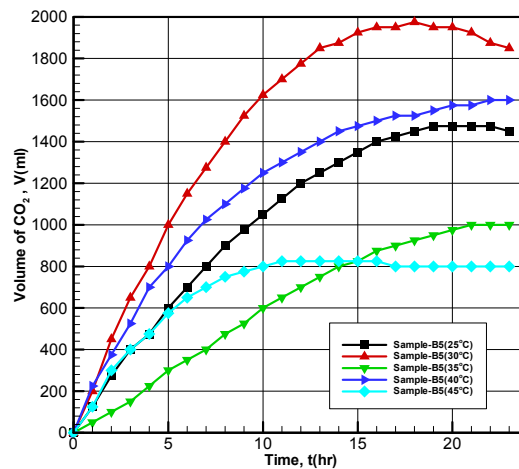
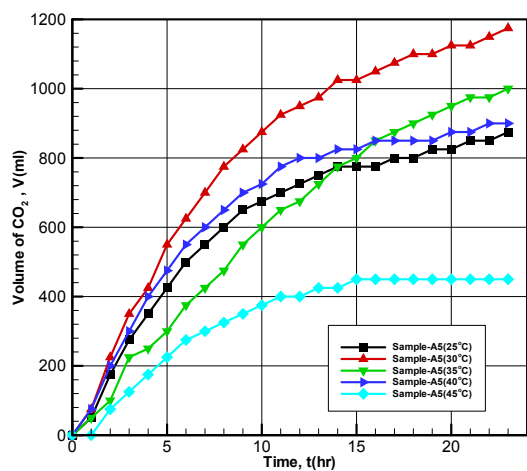


圖十(c) 樣本 C4 在各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖

表六 低酵母各種溫度發酵過程排水集氣水槽 pH 變化一覽表 (第一次實驗)

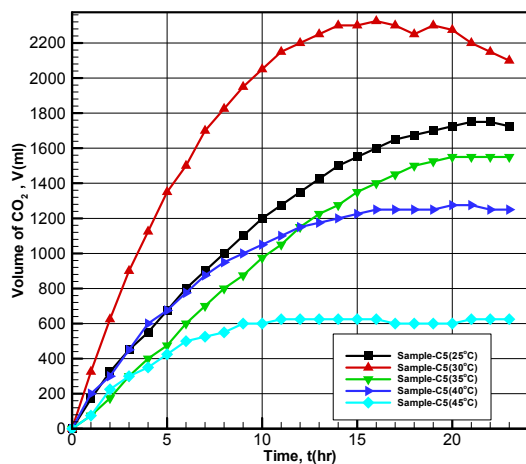
發酵環境溫度	25			30			35		
樣本編號	A4	B4	C4	A4	B4	C4	A4	B4	C4
排水集氣起始 pH 值	7.56	7.57	7.56	7.59	7.59	7.56	7.50	7.61	7.54
排水集氣結束 pH 值	5.77	5.70	5.66	5.63	5.53	5.44	5.72	5.56	5.58
發酵環境溫度	40			45					
樣本編號	A4	B4	C4	A4	B4	C4			
排水集氣起始 pH 值	7.64	7.61	7.59	7.45	7.50	7.50			
排水集氣結束 pH 值	5.59	5.47	5.43	5.77	5.66	5.56			

2.第二次實驗結果



圖十一(a) 樣本 A5 在各種溫度下的 CO₂生成量比較圖

圖十一(b) 樣本 B5 在各種溫度下的 CO₂生成量比較圖

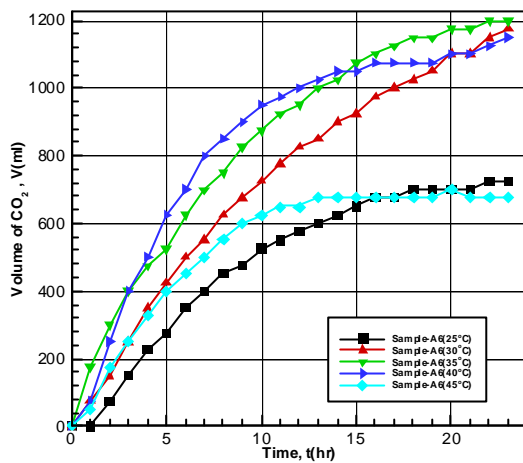


圖十一(c) 樣本 C5 在各種溫度下的 CO₂生成量比較圖

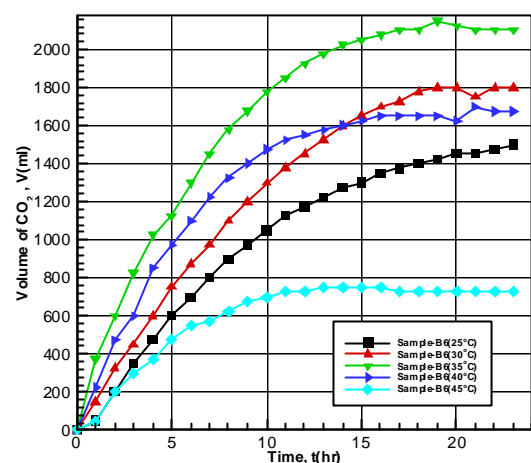
表七 低酵母各種溫度發酵過程排水集氣水槽 pH 變化一覽表（第二次實驗）

發酵環境溫度	25°C			30°C			35°C		
樣本編號	A5	B5	C5	A5	B5	C5	A5	B5	C5
排水集氣起始 pH 值	7.59	7.62	7.58	7.50	7.53	7.53	7.53	7.68	7.68
排水集氣結束 pH 值	5.56	5.54	5.48	5.60	5.50	5.38	5.63	5.70	5.48
發酵環境溫度	40°C			45°C					
樣本編號	A5	B5	C5	A5	B5	C5			
排水集氣起始 pH 值	7.73	7.66	7.61	7.63	7.60	7.59			
排水集氣結束 pH 值	5.62	5.53	5.56	5.98	5.69	5.72			

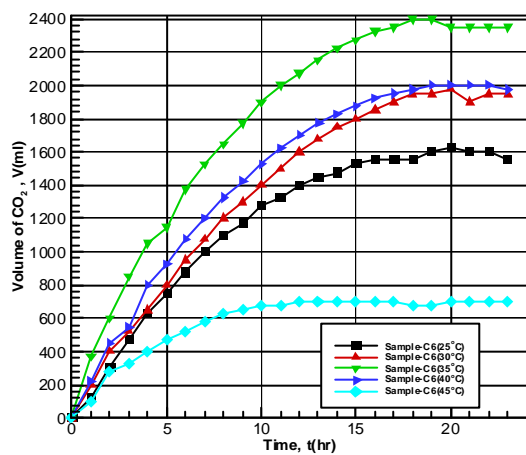
3.第三次實驗結果



圖十二(a) 樣本 A6 在各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖



圖十二(b) 樣本 B6 在各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖



圖十二(c) 樣本 C6 在各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖

表八 低酵母各種溫度發酵過程排水集氣水槽 pH 變化一覽表 (第三次實驗)

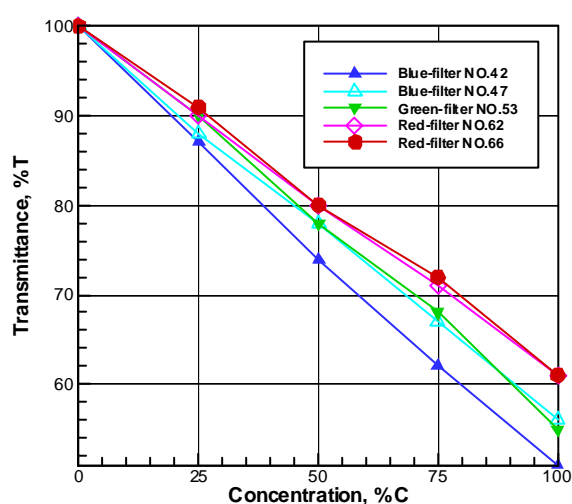
發酵環境溫度	25			30			35		
樣本編號	A6	B6	C6	A6	B6	C6	A6	B6	C6
排水集氣起始 pH 值	7.48	7.52	7.52	7.78	7.63	7.62	7.62	7.60	7.56
排水集氣結束 pH 值	5.64	5.52	5.39	5.58	5.46	5.38	5.57	5.45	5.38
發酵環境溫度	40			45					
樣本編號	A6	B6	C6	A6	B6	C6			
排水集氣起始 pH 值	7.56	7.57	7.57	7.55	7.49	7.51			
排水集氣結束 pH 值	5.60	5.50	5.55	5.69	5.70	5.65			

(三) 自製式過濾器與市售外掛式過濾器性能比較結果

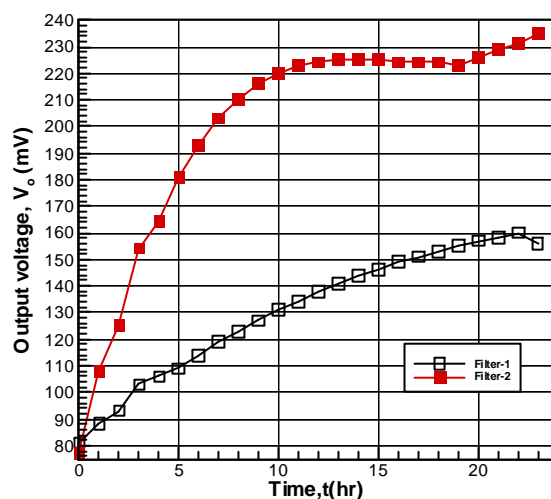
表九 實驗樣本對應各種濾光片的實驗結果一覽表

濃度(0~300mV)	Blue-42	Blue-47	Green-53	Red-62	Red-66
0%	300	300	300	300	300
25%	260	264	269	271	272
50%	221	233	235	240	239
75%	186	201	203	213	217
100%	152	169	164	184	183
濃度(0~100%T)	Blue-42	Blue-47	Green-53	Red-62	Red-66
0%	100	100	100	100	100
25%	87	88	90	90	91
50%	74	78	78	80	80
75%	62	67	68	71	72
100%	51	56	55	61	61

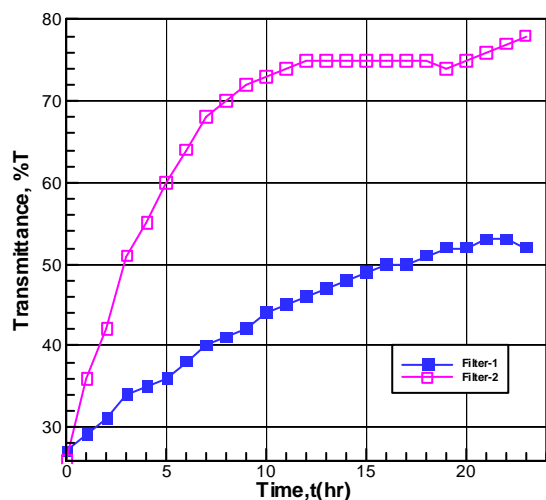
註：由實驗結果發現，藍色 42 號濾光片的增益最高，故本實驗採用藍色 42 號濾光片。



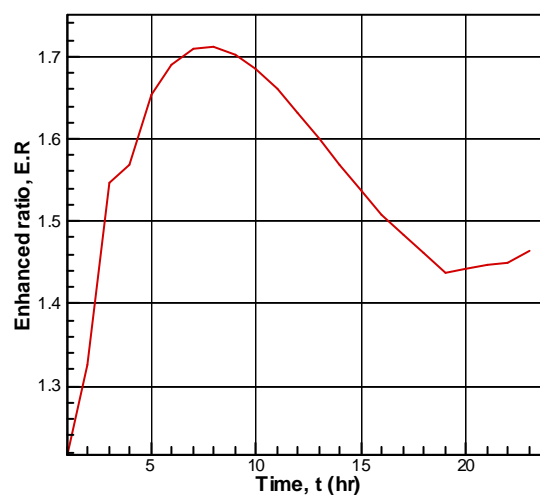
圖十三 實驗樣本對應各種濾光片的實驗結果圖



圖十四 兩種過濾器逐時過濾效果圖（電壓輸出）

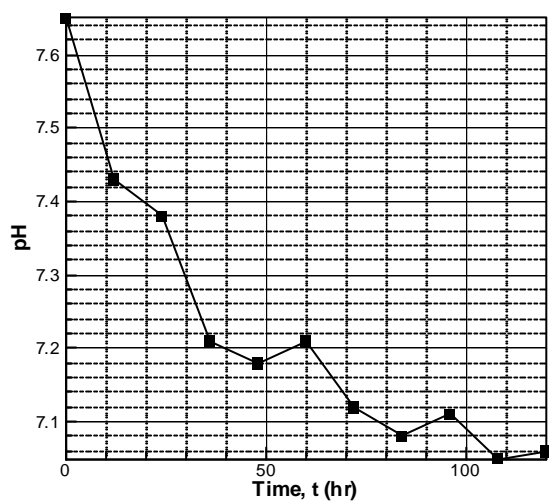


圖十五 兩種過濾器逐時過濾效果圖（穿透率輸出）

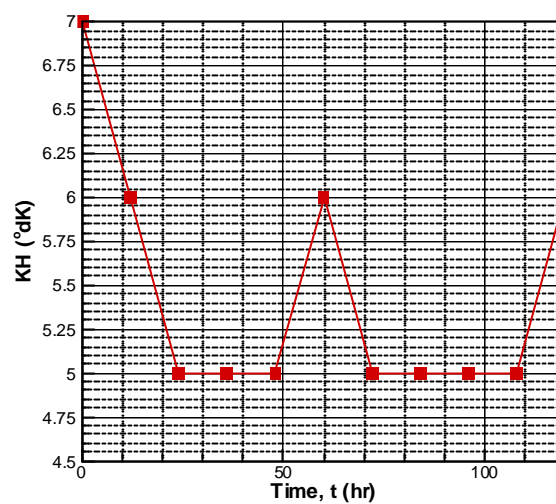


圖十六 保特瓶過濾器逐時過濾效果增進率曲線圖

(四) 整合型水質養殖系統實驗結果



圖十七 水族箱 pH 逐時變化圖



圖十八 水族箱 KH 逐時變化圖

二、結果討論

(一) 高比例酵母發酵對於二氧化碳產生率的影響結果討論

1.第一次實驗結果討論：(A1~C1)

- (1) 如圖七(a)、(b)、(c)所示，不同比例各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖。無論是 5g、10g、15g (A1、B1、C1) 的酵母粉皆以 30 的發酵環境溫度為最佳值。最大生成量發生在第 18~19 小時之間，最大生成量則是落在 1800~2700 cc 之間，本次實驗最大生成量與酵母比例成正比。
- (2) 如表三所示，本次實驗均能將水槽中的 pH 值降到 6.40 以下。根據水中碳酸鹽硬度測試在 5~6°dKH 之間，對照先前的表二所示水中二氧化碳的溶入量，均已到達過量 (>15mg/L) 的情況。
- (3) 如圖七(d)發酵環境溫度均穩定控制在目標值 ± 0.5 之間，恆溫水槽控制發酵環境溫度在可接受的範圍之內。

2.第二次實驗結果討論：(A2~C2)

- (1) 如圖八(a)、(b)、(c)所示，不同比例各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖。5g (A2) 酵母最佳發酵溫度為 30。10g (B2) 酵母最佳發酵溫度為 35。15g (C2) 的酵母則是在 30~35 之間。最大生成量發生在第 7~9 小時之間，最大生成量則是均超過 3000 cc，本次實驗最大生成量在第 7~9 小時即超過集氣容器最大容量 3000 cc 以上，因此無法比較。若以生成速率來看，10g (B2) 最快到達集氣容器的最大值。
- (2) 如表四所示，本次實驗均能將水槽中的 pH 值降到 5.87 以下。根據水中碳酸鹽硬度測試在 4~5°dKH 之間，對照先前的表二所示水中二氧化碳的溶入量，均已到達過量 (>15mg/L) 的情況。
- (3) 如圖八(d)發酵環境溫度均穩定控制在目標值 ± 0.5 之間，恆溫水槽控制發酵環境溫度在可接受的範圍之內。

3.第三次實驗結果討論：(A3~C3)

- (1) 如圖九(a)、(b)、(c)所示，不同比例各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖。5g (A3) 酵母最佳發酵溫度為 25~30 之間，最大生成量發生在第 18 小時。10g (B3) 酵母最佳發酵溫度為 25，最大生成量發生在第 8 小時，最大生成量超過 3000 cc。15g (C3) 的酵母則是在 30。最大生成量發生在第 8 小時，最大生成量超過 3000 cc。因為 B3 與 C3 在實驗時間內就已經超過集氣容器最大容量 3000 cc 以上，因此無法比較。若以

生成速率來看，10g (B3) 生成速率最快。

(2) 本次實驗均能將水槽中的 pH 值降到 5.81 以下。根據水中碳酸鹽硬度測試在 4~5°dKH 之間，對照先前的表二所示水中二氧化碳的溶入量，均已到達過量 (>15mg/L) 的情況。

(3) 如圖九(d)發酵環境溫度均穩定控制在目標值 ± 1.5 之間，恆溫水槽控制發酵環境溫度在可接受的範圍之內。

(二) 低比例酵母發酵對於二氧化碳產生率的影響結果討論

由於高比例酵母實驗已經發現溫度控制在可接受範圍之內，故在低比例酵母溫度控制實驗時僅作監控，不再顯示溫度控制曲線圖。

1. 第一次實驗結果討論：(A4~C4)

(1) 如圖十(a)、(b)、(c)所示，不同比例各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖。1g (A4) 酵母最佳發酵溫度為 30℃，最大生成量發生在第 23 小時，最大生成量約為 1300 cc。2g (B4) 酵母最佳發酵溫度為 30℃，最大生成量發生在第 19 小時，最大生成量約為 2100 cc。3g (C4) 的酵母亦是在 30℃，最大生成量發生在第 19 小時，最大生成量約為 2300 cc。本次實驗最大生成量與速率發生在 3g (C4)。

(2) 如表六所示，本次實驗均能將水槽中的 pH 值降到 5.77 以下。根據水中碳酸鹽硬度測試在 4~5°dKH 之間，對照先前的表二所示水中二氧化碳的溶入量，均已到達過量 (>15mg/L) 的情況。

2. 第二次實驗結果討論：(A5~C5)

(1) 如圖十一(a)、(b)、(c)所示，不同比例各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖。1g (A5) 酵母最佳發酵溫度為 30℃，最大生成量發生在第 23 小時，最大生成量約為 1180 cc。2g (B5) 酵母最佳發酵溫度為 30℃，最大生成量發生在第 18 小時，最大生成量約為 1980 cc。3g (C5) 的酵母亦是在 30℃，最大生成量發生在第 16 小時，最大生成量約為 2300 cc。本次實驗最大生成量與速率發生在 3g (C5)。

(2) 如表七所示，本次實驗均能將水槽中的 pH 值降到 5.98 以下。根據水中碳酸鹽硬度測試在 4~5°dKH 之間，對照先前的表二所示水中二氧化碳的溶入量，均已到達過量 (>15mg/L) 的情況。

3.第三次實驗結果討論：(A6~C6)

- (1) 如圖十二(a)、(b)、(c)所示，不同比例各種溫度下的 CO₂ 生成量比較圖。1g (A5) 酵母最佳發酵溫度為 35℃，最大生成量發生在第 22 小時，最大生成量約為 1200 cc。2g (B5) 酵母最佳發酵溫度為 35℃，最大生成量發生在第 19 小時，最大生成量約為 2160 cc。3g (C5) 的酵母亦是在 35℃，最大生成量發生在第 18 小時，最大生成量約為 2400 cc。本次實驗最大生成量與速率發生在 3g (C5)。
- (2) 如表八所示，本次實驗均能將水槽中的 pH 值降到 5.70 以下。根據水中碳酸鹽硬度測試在 4~5°dKH 之間，對照先前的表二所示水中二氧化碳的溶入量，均已到達過量 (>15mg/L) 的情況。

在高酵母比例實驗部分，其中第一次實驗的生成量明顯低於第二、三次，經過仔細檢視實驗樣本的各種變因，發現第一次使用的酵母生產日期較早，第二、三次則是較晚 (相同製造日期)，因此酵母的放置時間應該對於發酵效果有相當的影響。其次在高比例酵母實驗可以發現，Sample(B1~3)三次實驗結果有一次高於 Sample(C1~3)，出現酵母比例較低生成量卻反而上升的情形，這可能是因為在 Sample(B1~3)與 Sample(C1~3)的酵母比例已經到達飽和，所以二者實驗結果幾乎沒有差異，甚至發生交錯結果，因此建議最高酵母比例不要超過 Sample(B1~3)，以免浪費。關於二氧化碳生成量曲線在末端常會發生降低的情形，主要是因為排水集氣法會讓部分二氧化碳溶入水中，集氣量越高，二氧化碳的壓力就越大，溶入的情形也就會更嚴重，如果生成率小於溶解率，就會發生明顯的下降趨勢。本實驗氣體蒐集容器最大蒐集量為 3000 cc，超過 3000 cc 即無法計量，因此在曲線中超過的部分則以 3000 cc 水平的狀態呈現。

在低酵母比例實驗部分，二氧化碳生成量、生成速率均與酵母比例成正比在 23 小時的量測時間內二氧化碳集氣量均在最大集氣量 3000 cc 範圍以內，最佳發酵溫度則是落在 30℃。

整體而言，兩種比例各三次的二砂糖發酵實驗的生成量結果有相當的差異，不過整體最佳的溫度範圍落在 25~35℃ 之間，此部分與參考文獻所提到的範圍相當。雖然生成量生成速率與酵母比例大致呈現非線性正比關係，也就是說加兩倍酵母的量，並不會產生兩倍的生成速率與生成量的關係。

（三）自製式過濾器與市售外掛式過濾器性能比較結果討論

如表九與圖十三所示，本過濾器性能實驗適合濾光片選用比較，根據不同濃度的實驗樣本進行五種濾光片穿透率比較，發現藍色 42 號濾光片的增益最高，故本實驗後續部分均採用藍色 42 號濾光片進行逐時過濾效果比較實驗。

如圖十四、十五所示，為市售外掛式過濾器與本研究推出的保特瓶自製過濾器 23 小時逐時過濾效果比較圖。由圖中可以發現，本研究推出的過濾器性能遠高於市售外掛式過濾器。圖十六所示，則為以實驗對照組（外掛式過濾器）為基準的自製保特瓶過濾器性能增進率曲線圖，由本圖可以明顯看出，整個實驗區間保特瓶過濾器均遠高於市售外掛式過濾器，經過 23 小時過濾之後，保特瓶過濾器的效果比市售外掛式過濾器高 47% 的效能。

（四）整合型水質養殖系統實驗結果討論

如圖十七與十八所示為 120 小時水族箱內水的 pH 與 KH 的變化，對照表二可以得知，除了一開始二氧化碳的溶入量較低（ 5mg/L ）之外，其餘範圍大約在 $7\sim 14\text{mg/L}$ 之間，符合一般水草養殖的建議範圍，不過量測的時間不夠長，無法預測長期的變化，以本實驗樣本量，大約可以維持六、七天左右的出氣量。

肆、結論與應用

本研究的目的是要開發一套整合型水族養殖設備。其功能包含二氧化碳生成、高性能過濾與循環三合一的目的。經由發酵實驗與過濾器性能比較確立本裝置的可行性與優越性。本研究歸結四點結論如下：

- 一、六次二砂糖發酵實驗最佳發酵的溫度範圍均與參考文獻相當，最佳溫度在 25~35℃，不過二氧化碳生成量差異很大，主要是因為酵母本身屬於生物製劑，定量控制較為困難，另外酵母的放置時間也會影響發酵效果。整體而言，以二砂糖為發酵材料時，酵母比例與二氧化碳生成量呈現非線性正比的趨勢，建議酵母與二砂糖最大的重量比不要超過 1：10。
- 二、絕大多數發酵實驗均能將測試水槽中的 pH 值降到 6.0 以下，但是約在十小時以後就趨近於飽和平衡的狀態。雖然此一讀值配合表二來看，已經達到過量的程度，但是在實際養殖系統的實驗中可以發現，因為水的循環與植物光合作用的消耗，pH 值並不會降到那麼低。
- 三、本系統的外部過濾器屬於外接的形式，因此可以搭配實際水族設備的擺放位置，回流管與沈水泵浦更能搭配箱內擺設以及循環路徑變更的需求。此外可適度串、併連多個不同濾材的保特瓶過濾器，提升過濾器淨化水族箱內水質的性能。
- 四、本研究最後結合發酵瓶、水濾裝置、熱交換器與過濾瓶等元件，實際完成整合型水族養殖設備，利用恆溫水族箱內的水維持發酵環境溫度在 25~30℃ 之間。在台灣夏季期間，可以加裝旁路裝置，讓水不流過熱交換器，縮短循環管路長度，減少泵浦消耗功率，增加過濾器的水流量，提升過濾器性能。

本研究基於發酵原理所開發的二氧化碳生成裝置，能提供低壓供氣，無外洩發生危險之虞，利用隨手可得的材料即可製成此一發酵裝置。為了希望能為環保盡一份心力，本系統所有容器均採用回收保特瓶進行改裝，達到降低成本與資源再利用的目的，並能得到高性能過濾的效果。除了在二砂糖發酵的研究之外，未來還希望更進一步地朝向廚餘減量方面開發其他發酵材料，尤其是含有糖份的水果類廚餘，替廚餘利用開發另一條新的途徑。

伍、參考文獻

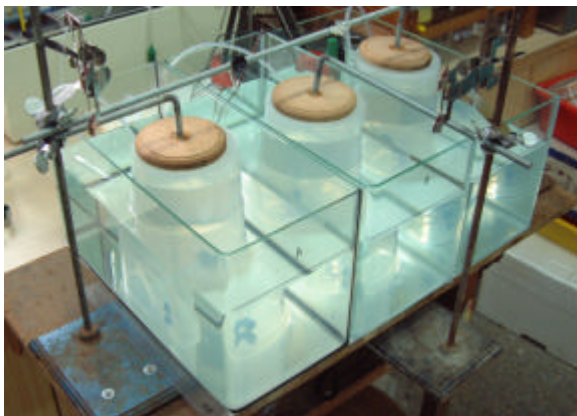
一、主要參考資料 (內文編號標註引述)

- [1] ASHRAE, ASHRAE Refrigeration Handbook, Chapter27 Bakery products, American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers, Inc., pp27.1, 1998.
- [2] ASHRAE, ASHRAE Refrigeration Handbook, Chapter25 Beverages, American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers, Inc., pp25.8, 25.10, 1998.
- [3] 北高雄水族大賣場網頁, 水草缸的十大金科玉律,
<http://www.nkac.com.tw/02product-5-2.htm#top#top>
- [4] 財團法人 工業技術研究院工業安全衛生技術發展中心, 物質安全資料表 - CO₂,
<http://www.iosh.gov.tw/msds.htm>
- [5] 國立海洋大學網頁, 水產品之調氣保存對微生物的抑制效果,
http://www.ntou.edu.tw/fs/relat_page/teacher/process/MA.htm
- [6] 國立台灣大學種子研究室, 光合作用研究史,
<http://seed.agron.ntu.edu.tw/civilisation/PlantHistory/sci-pHotos.htm>
- [7] 武際可, 倒啤酒的學問——兼談空泡問題, 北京大學力學系,
<http://caifeng.blogbus.com/logs/2004/11/498303.html>
- [8] 楊水平(1992), 物質本性如何影響溶解度?, 科學月刊全文資料庫, 期號: 0272,
<http://lib.swsh.tpc.edu.tw/science/二氧化碳 ntent/1992/00080272/0007.htm>
- [9] Golden software Inc. 2-D GrapHing ver.1.32 User guide. Colorado, U.S.A., 1997.
- [10] Amtec Engineering Inc., Tecplot 8.0 User's Manual, Bellevue, Washington, 2000.

(二) 相關參考資料:

- (1) 國立彰化師範大學遠距教師輔導系統 (PCK web) 網站, 二氧化碳,
<http://pck.bio.ncue.edu.tw/pckweb/database/pckchem/new2-3.htm>
- (2) 二氧化碳, <http://peterpan.loxa.edu.tw/ch2air/2-3> 二氧化碳 2teacher.doc
- (3) 廖竟好整理, 酵素的發現, <http://brc.se.fju.edu.tw/protein/character/history/history2.doc>.
- (4) 如何觀察到酵母菌, <http://www.bio.ncue.edu.tw/~8523008/newpage53.htm>
- (5) 邱家玉, 利用單一菌種製造蒸餾米酒,
[http://www.mdais.gov.tw/%A7%DE%B3N%A4%E4%B4%A9/%B9A%B2%A3%A5\[%A4u~%A7Q%A5%CE%B3%E6%A4@%B5%DF%BA%D8%BBs%B3y%A6%CC%B0s.htm](http://www.mdais.gov.tw/%A7%DE%B3N%A4%E4%B4%A9/%B9A%B2%A3%A5[%A4u~%A7Q%A5%CE%B3%E6%A4@%B5%DF%BA%D8%BBs%B3y%A6%CC%B0s.htm)

陸、附錄



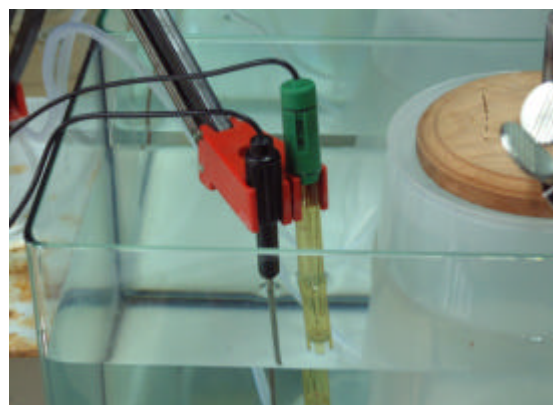
附圖一 CO₂排水集氣裝置



附圖二 恆溫水浴裝置



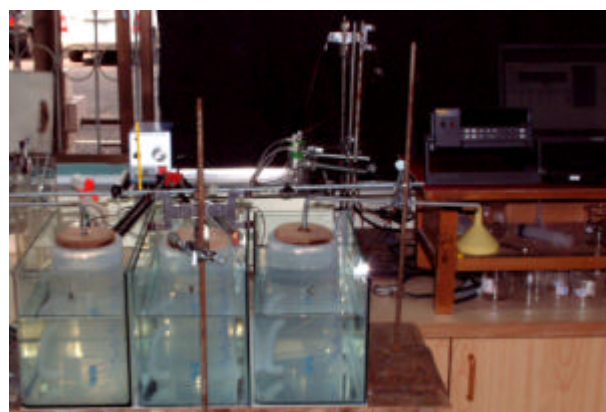
附圖三 pH 儀



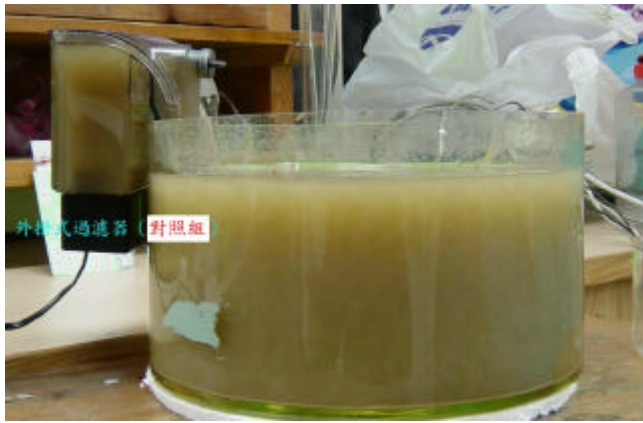
附圖四 pH 儀量測圖 (溫度自動補償)



附圖五 溫度監控裝置 (FLUKE 2620 datalogger)



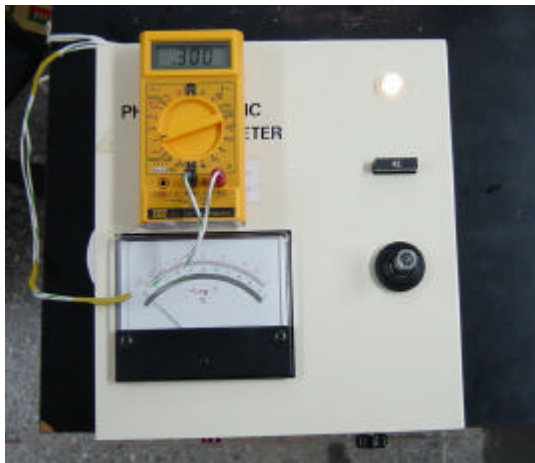
附圖六 實驗設備整體圖



附圖七 過濾器性能測試（外掛式 / 對照組）



附圖八 過濾器性能測試（自製外循環式 / 實驗組）



附圖九 光電比色計



附圖十 光電比色計所附的五種濾光片



附圖十一 整合型水族養殖系統實體圖



附圖十二 保溫熱交換器

評語

1. 水族箱植物生長所需 CO₂ 以有機物酵母發酵現場產生代替鋼瓶 CO₂ 之供應。
2. 設計之發酵瓶、過濾瓶，CO₂ 管線設計合理。
3. 有實用性。