

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學(三)科
佳作

033002

氣曝曝-生物曝氣法進行酸菜水降解可行性之探討

學校名稱：嘉義市立民生國民中學

作者： 國二 謝宇筑 國一 林育萱 國一 蘇意慈	指導老師： 闕宏軒 謝佳蓉
---	-----------------------------

關鍵詞：酸菜水、生物曝氣法

摘要

酸菜水農業生產過程中產生的副產品在醃漬酸菜過程中，土壤被廢水污染嚴重鹽化，付出慘重成本。本研究利用接觸曝氣法來嘗試解決酸菜醃製廢液中的汙染物，分別探討曝氣槽形狀、濾材種類以及複合式曝氣裝置，並加入枯草桿菌來探討 pH 值、濁度、COD、污泥產生量的變化與差異。研究結果發現無論哪種槽體在不添加濾材下表面積與細菌依附空間不足，無降解作用發生；矩形槽適合採用平板形濾材，圓形槽適合採用 K1 濾材；而我們研發的複合式曝氣裝置無論是在 COD、濁度以及污泥產生量都是表現最佳的。

壹、前言

一、研究動機

參觀酸菜園途中，我們發現在製作酸菜時，必須加入大量的鹽，而這樣會產生大量的酸菜水，酸菜水為酸性且含有大量鹽分的液體，以前的農民都會將酸菜水排放到河流，導致附近的農田被污染、土壤中的鹽分嚴重超標，而不能種植，政府也意識到了這個問題，所以近年來的酸菜水都交由政府處理，即使這樣，目前卻只有將酸菜水濃縮後曝曬成粗鹽，把粗鹽加水稀釋再拿去當作肥料種植這種方法，但這樣就還需要大量的水才能處理。於是，我們想要將酸菜水經過處理，把處理後乾淨的高濃度鹽水曝曬成粗鹽並拿去重複製作酸菜，這樣就可以有效的減少下次製作酸菜時加入的鹽量。

二、研究目的

【研究一】：曝氣槽形狀對於酸菜水降解作用的影響

【研究二】：添加枯草桿菌對於酸菜水降解作用的影響

【研究三】：濾材種類對於酸菜水降解作用的影響

■子實驗一：圓形曝氣槽加入不同濾材於酸菜水降解作用的影響

■子實驗二：矩形曝氣槽加入不同濾材於酸菜水降解作用的影響

【研究四】：複合式曝氣裝置對於酸菜水降解作用的影響

【研究五】：各曝氣裝置對於酸菜水降解後 COD 以及污泥產生量分析

三、 文獻回顧

(一) 雲林大埤-酸菜園故鄉的窘境

1.大埤酸菜歷史

雲林縣大埤鄉為台灣中部之一鄉村部落，百年來在農稻閒期種植的芥菜已成為當地獨特的傳統作物。在政府推動「一鄉一特色」產業運動下，大埤鄉的芥菜發展為獨具特色的「酸菜」。酸菜就是包心芥菜製成的醃漬菜，俗諺：「六月芥菜假有心」，恰恰說明芥菜只適合冬天種植栽培的特性，一是夏天種植，芥菜會開花，影響菜葉生長，二是冬天下雨機率低，有利採收工作。因此，除了冬季種植芥菜外，當地農民其餘時間主要以稻米為主要農作物。芥菜苗移植到田裡栽植，成長約 70 天左右就可採收。傳統酸菜製作正好配合芥菜收穫期，大約落在農曆一月左右。

2.酸菜製作方法

芥菜在採收後會先在田間曝曬一天，使其軟化。裝桶醃漬時，必須將芥菜分層疊放入桶中，注意不能重疊疊壓，一層粗鹽一層芥菜每一層之間撒上適量粗鹽，由桶底逐層疊高至桶滿，最上面覆蓋一層塑膠布，再用水泥板壓實，以利水分流出。氣溫高時，等待約 1 個多月就能聞到酸菜的獨特香醃味道飄來，那時就表示製作完成了。經過這一過程的酸菜，可以貯藏一年而不會腐爛變質。



▲芥菜在採收後會先曝曬，自然軟化。(圖片來源：微笑台灣 天下雜誌 雲林款款行)



▲隨處可見醃製的酸菜桶，酸溜溜的味道處處可聞。(圖片來源：Newtalk 新聞大魯行腳)



▲芥菜種植與酸菜製作 (照片來源：作者參觀酸菜文化館了解酸菜醃漬過程親自拍攝)

3.醃製廢液造成嚴重環境汙染

在參觀酸菜文化園區時，發現早期農民為了醃製酸菜在田間自行闢製了大量的水泥桶來醃製酸菜，其醃漬後廢棄率高達 60%。在解說人員詳細的介紹下，我們了解酸菜水是充滿雜質與污染物質的汙水，雖是農業生產過程中產生的副產品，但卻對於環境反而構成了嚴重的負擔。因為高鹽度的鹵水排放到灌溉渠道流入土地，因此造成了土地鹽化問題，居民們長期以來也一直在面臨酸菜醃漬廢液和剩餘殘渣處理的挑戰。

民國 83 年大埤鄉公所爭取經費、公司合作取得土地，成立污水處理與統一管理汙水之專業區域，提供鄉民租用醃漬酸菜集中管理，酸菜專區已使用先進的「隧道式太陽熱能蒸發結晶設施」來處理廢液。即使處理過後，回收的鹽仍需要花費不少成本進行棄置，假如倒到田野或水裡又會造成周遭居民的困擾，因此，酸菜廢液的處理和資源化利用問題變得日益嚴峻。

(二) 汙水處理的方法

參訪酸菜文化園區以及酸菜水儲存放置區後，我們決定要嘗試解決這個問題，在提出幾個可行性方案後，我們決定採用生物曝氣法來進行研究觀察。

1. 汙水處理的方法

汙水包含生活污水以及工業廢水。汙水處理是採用物理、生物及化學方法對廢汙水進行處理來分離水中的固體污染物並降低水中的有機污染物和營養物質，減輕廢汙水對環境的汙染。

汙水處理通常包括三個階段，稱為一級，二級和三級處理。

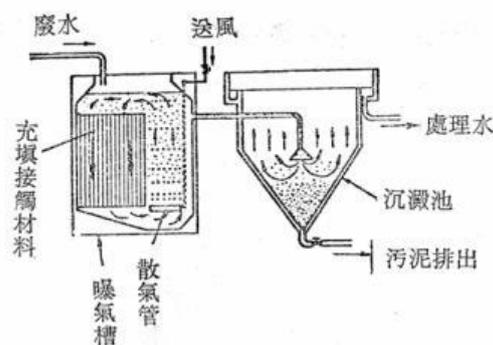
一级處理 (初级處理)	(1)目的是去除污水中的浮渣、顆粒和可沉澱的懸浮固體。 (2)主要利用物理作用，如格柵、砂石箱和初沉池等。 (3)可去除約 60%的懸浮固體，以及 30%的 BOD(生化需氧量)。
二级處理 (次级處理)	(1)目的是將污水中的有機化合物分解為無機物。 (2)主要採用生物法，如 活性污泥法 、 生物膜法 、 曝氣法 、 滴濾法 等，利用 加入氧氣與微生物的代謝作用來分解有機物 。 (3)沉降池內的污泥可以用來發酵，製造甲烷，發酵後的污泥可作肥料，有時稱「生物固體」(biosolids)。 (4)可去除約 85%的 BOD 和懸浮固體。
三级處理 (深度處理)	(1)目的是徹底去除殘留的無機物、營養鹽和病原體。 (3)包含沙濾、活性碳化解毒素、微藻生物清除重金屬。

2.接觸曝氣法

(1)接觸曝氣法的原理與特性

根據歐陽嶠暉(經濟部工業污染技術防治小組出版品，接觸曝氣處理法之設計、操作管理)文章提到接觸氧化法(contact aeration)乃將曝氣槽內之接觸材料浸於水中，並在槽內給予充分曝氣，使流入的廢水充分攪拌循環流動，而與接觸材料相觸。經一段時間後，**接觸材料表面開始生長附著生物污泥(微生物)而形成生物膜**，利用該**生物膜**在好氧狀態下**吸附、氧化廢水中有機物質**的處理方法。

生物處理法為有機廢水最主要之處理方式，為了供應廢水中有機物被好氧性微生物氧化分解過程中所需消耗之氧量，因此曝氣系統即成為生物處理之心臟。



▲圖：接觸曝氣槽示意圖(圖片來源: 經濟部工業污染技術防治小組歐陽嶠暉)

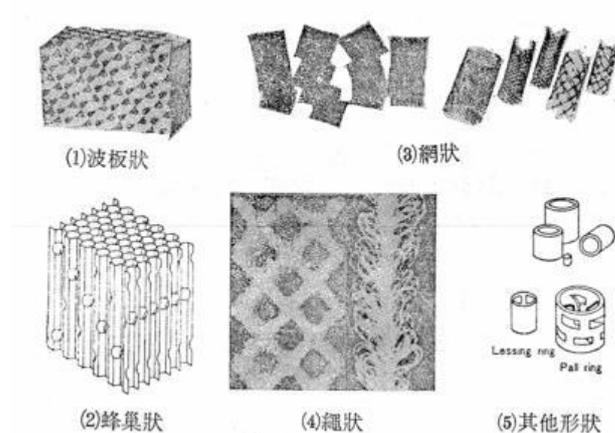
(2)曝氣槽與生物濾材

(2.1)曝氣槽形狀

曝氣槽會影響接觸材料與廢水的接觸程度，一般來說曝氣槽的形狀有：矩形槽以及圓形槽兩種，為了使廢水可與接觸材料充分接觸以達安定之處理水。

(2.2)生物濾材

接觸材料應具有強度高、比重小、孔隙率以及表面積大的特性，以利生物膜容易附著。濾材形狀種類多一般分為波板狀、蜂巢狀、網狀、繩狀、其他形狀…等。本研究將針對矩形槽以及圓形槽搭配一般常見的球狀濾材(K1)以及牡蠣殼來進行研究觀察。



▲圖：生物濾材種類(圖片來源: 經濟部工業污染技術防治小組歐陽嶠暉)

(3.1) K1 濾材

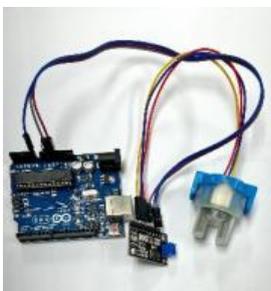
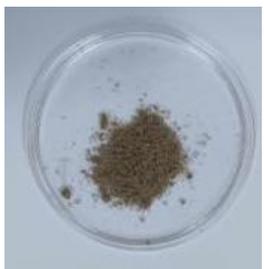
K1 中空且四周齒輪特殊形狀和輕質使其在水中能夠自由流動，同時提供了大量的表面積，有利於有利於硝化菌和其他微生物附著和生化過濾。

(3.2)本研究濾材選擇：本研究因為將一般大型的生物曝氣裝置小型化，因此在球狀濾材的選擇上以目前市面上易取得的新型生物活性載體 **K1**，其優點為表面積大，有利於微生物附著生長。在平板狀濾材則選用生物廢棄牡蠣殼，其優點是牡蠣殼為多孔隙濾材且其成分為碳酸鈣可以改善酸菜水的 pH 值。

(三)降解作用與化學需氧量 COD

- 1.降解：是有機化合物分子中的碳原子數目減少，亦是指將複雜的有機物分解為較簡單的分子或元素的過程。降解物最終要被分解成二氧化碳和水才能稱為降解。在自然界中，降解可以發生在土壤中，由微生物分解有機物，或在水中，由氧化反應分解有機物。降解可以是生物性的（由微生物執行）或非生物性的（例如化學反應）。
- 2.化學需氧量（COD）：COD 表示氧化水中有機和無機化合物所需的總氧量。它是間接衡量廢水中有機含量的指標。

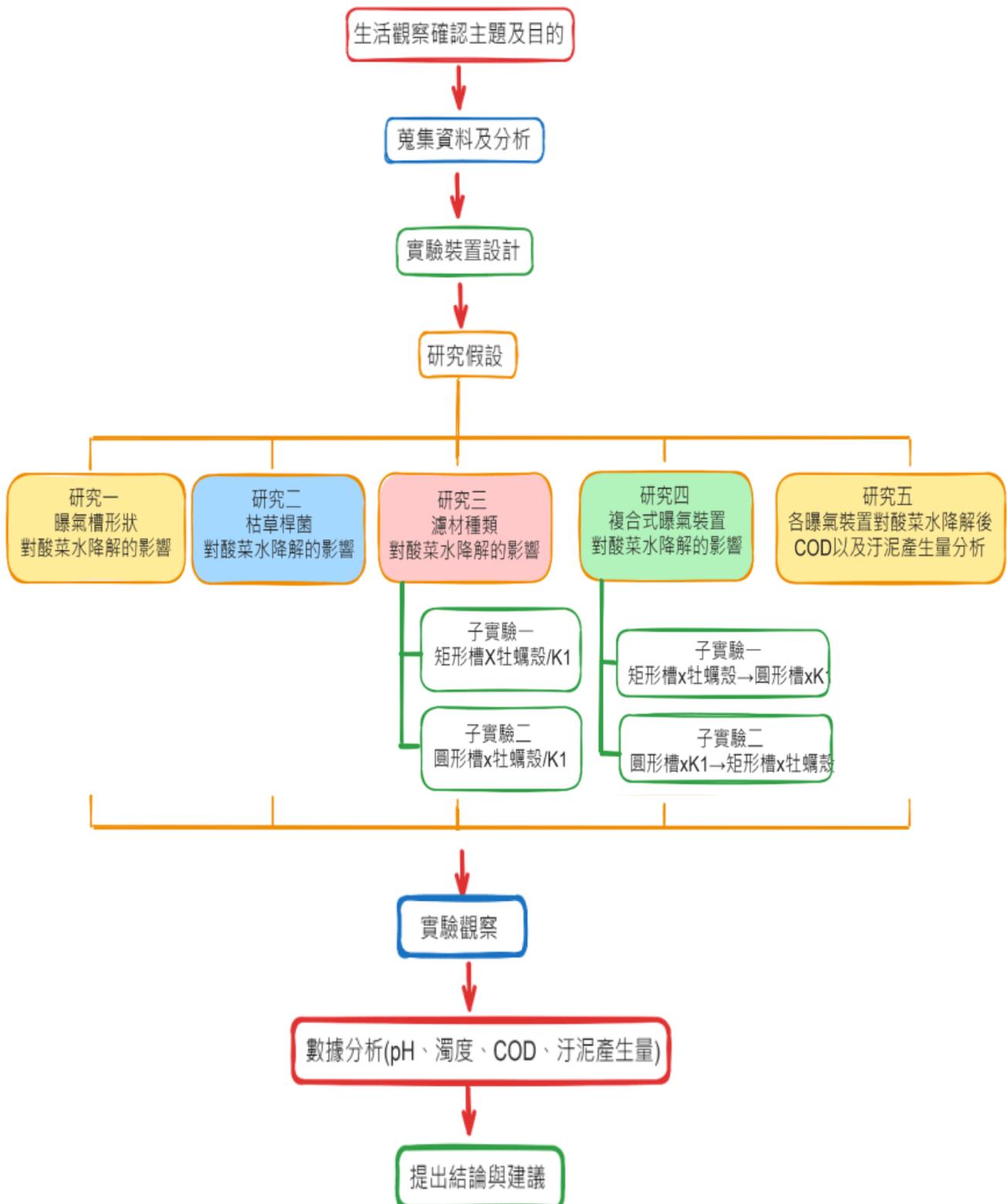
貳、研究設備及器材

名稱	酸菜水	大水桶	分流裝置	抽水馬達
照片				
用途	實驗	集水回流	分流、養蝦	抽水
名稱	生物濾材 K1	牡蠣殼碎片	圓形槽	矩形槽
照片				
用途	汙泥附著	汙泥附著	曝氣	曝氣
名稱	pH 檢測器	濁度檢測器	鹽度計	磅秤
照片				
用途	檢測 pH 值	檢測濁度	檢測鹽度	秤汙泥重量
名稱	COD 檢測劑	過濾紙	枯草桿菌	烘箱
照片				
用途	檢測 COD	過濾	微生物添加	乾燥泥餅

(照片來源：作者親自拍攝)

參、研究過程或方法

一、 研究流程與架構



(流程圖圖片來源：作者親自繪製製作)

二、檢測儀器

為了觀察方便，本研究曝氣系統採開放性裝置，不像一般曝氣裝置為密封性，因此為了避免因環境溫度、光線等變化影響實驗數據，因此在 pH 以及濁度監測採 Arduino pH 檢測器與濁度計，並每小時即時記錄一次，求平均作為每日平均 pH 值。

(一)pH 監測：

```
#define SensorPin A0          //pH meter Analog output
to Arduino Analog Input 0
#define Offset 0.33          //deviation compensate
#define LED 13
#define samplingInterval 20
#define printInterval 800
#define ArrayLenth 40       //times of collection
int pHArray[ArrayLenth];    //Store the average value of
the sensor feedback
int pHArrayIndex = 0;

double avergearray(int* arr, int number){
    int i;
    int max,min;
    double avg;
    long amount=0;
    if(number<=0) {
        Serial.println("Error number for the array to
        avraging!\n");
        return 0;
    }
    if(number<5) { //less than 5, calculated directly
    statistics
        for(i=0;i<number;i++) {
            amount+=arr[i];
        }
        avg = amount/number;
        return avg;
    }else {
        if(arr[0]<arr[1]) {
            min = arr[0];max=arr[1];
        }
        else {
            min=arr[1];max=arr[0];
        }
        for(i=2;i<number;i++) {
            if(arr[i]<min) {
                amount+=min; //arr<min

                min=arr[i];
            }else {
                if(arr[i]>max) {
                    amount+=max; //arr>max
                    max=arr[i];
                }else {
                    amount+=arr[i]; //min<arr<=max
                }
            }
        }
        avg = (double)amount/(number-2);
    }
    return avg;
}

void setup(void) {
    pinMode(LED,OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("pH meter experiment!"); //Test the
    serial monitor
}
```

```
void loop(void) {
    static unsigned long samplingTime = millis();
    static unsigned long printTime = millis();
    static float pHValue,voltage;
    if(millis()-samplingTime > samplingInterval) {
        pHArray[pHArrayIndex++]=analogRead(SensorPin);
        if(pHArrayIndex==ArrayLenth)pHArrayIndex=0;
        voltage = avergearray(pHArray, ArrayLenth)*5.0/1024;
        pHValue = 3.5*voltage+Offset;
        samplingTime=millis();
    }
    if(millis() - printTime > printInterval) { //Every
    800 milliseconds, print a numerical, convert the state
    of the LED indicator
        Serial.print("Voltage");
        Serial.print('\t');

        Serial.print(voltage, 2);
        Serial.print('\t');
        Serial.print("pH value");
        Serial.print('\t');
        Serial.println(pHValue, 2);
        digitalWrite(LED,digitalRead(LED)^1);
        printTime = millis();
    }
}
```

(二)濁度檢測器與程式

```
void setup() {
    Serial.begin(9600); //Baud rate: 9600
}

void loop() {
    int sensorValue = analogRead(A0);
    float voltage = sensorValue * (5.0 / 1024.0);
    Serial.print("turbidity");
    Serial.print('\t');
    Serial.println(voltage);
    delay(500);
}
```

(三)COD 監測

照片				
步驟		拿出 COD 檢測計，並拉開包裝線	擠出空氣，吸取樣本	對照圖表，紀錄

(四)泥餅製作(計算汙泥量)

照片			
方法	收集實驗後的酸菜水	抽氣機過濾	秤重計算

(五)槽體製作

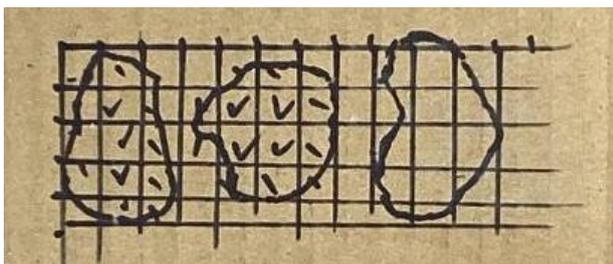
照片			
步驟	塑膠盒測量相同高度進行打洞	濾網上膠作為保留水位高度	安裝於層架上

(三)~(五)(照片來源：作者親自拍攝)

(六)牡蠣殼濾材選定

測試 K1 濾材在曝氣槽中的滾動速度以及 K1 表面積大小
得出單一片牡蠣殼投影面積為 9 平方公分最適合。

因此，我們將牡蠣殼敲碎，進行過篩。



(照片來源：作者親自拍攝)



(照片來源：指導老師拍攝)

(七)定義本研究總水體與菌種的比例

1. 進行專家訪談時得知，污水中有機物和其他污染物的濃度如果過高可能會造成微生物活性抑制曝氣系統的代謝能力，影響生物處理效果。其二，我們在生物濾材方面採用牡蠣殼，為了理解 pH 偏鹼的牡蠣殼在曝氣系統中對 pH 的影響，因此本研究將酸菜水進行 9 倍稀釋，即 10 公升自來水+1.25 公升的酸菜水，將我們所取回的酸菜水稀釋為 pH7。所需稀釋液體積 = $(9 - 1) * 1.25L = 8 * 1.25L = 10L$ 。再加上在管線中流動與槽體中稀釋酸菜液總水體共 14 公升。
2. 根據(阿嬤的醃酸菜—醃漬液的再利用，科展第 51 屆)中提到，酸菜醃製液其 pH 值可降到 3~4，為高鹽鹵汗水，因此添加的菌種必須有強耐受性，能耐酸鹼且生長速度快，代謝活性強，能迅速建立優勢群落，因此我們選擇採用對 pH、溫度、鹽度等環境因子，能形成芽孢抗逆性強的枯草桿菌來做為菌種。我們所取得的枯草桿菌每克有 $1 * 10^8 cfu$ 。所以一公升水體添加 0.1 克。

肆、研究結果

【研究一】：曝氣槽形狀對於酸菜水降解作用的影響？

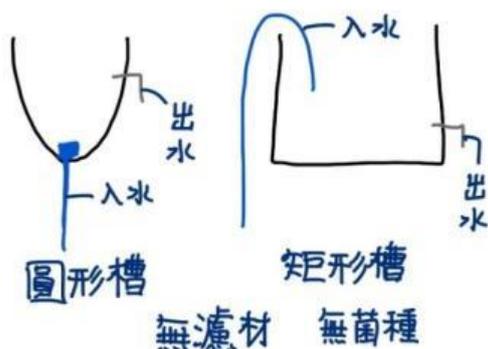
一、實驗想法：

在進行文獻探討以及專家訪談後，我們先試作一組圓形槽曝氣裝置，發現圓形槽中的水流是上下流動。但我們認為不同水流動方式可能會有不一樣的結果，因此我們加入了矩形槽的裝置。首先在實驗一我們只單純討論不同的曝氣槽形狀在**不加入濾材與菌種**，只給予打氣的情況下，酸菜水的降解效果如何？

二、本項實驗變因

▼曝氣槽裝置示意圖與實際裝置圖

1. 操作變因：曝氣槽形狀（圓形槽、矩形槽）（圖片與照片來源：作者親自繪製與拍攝）

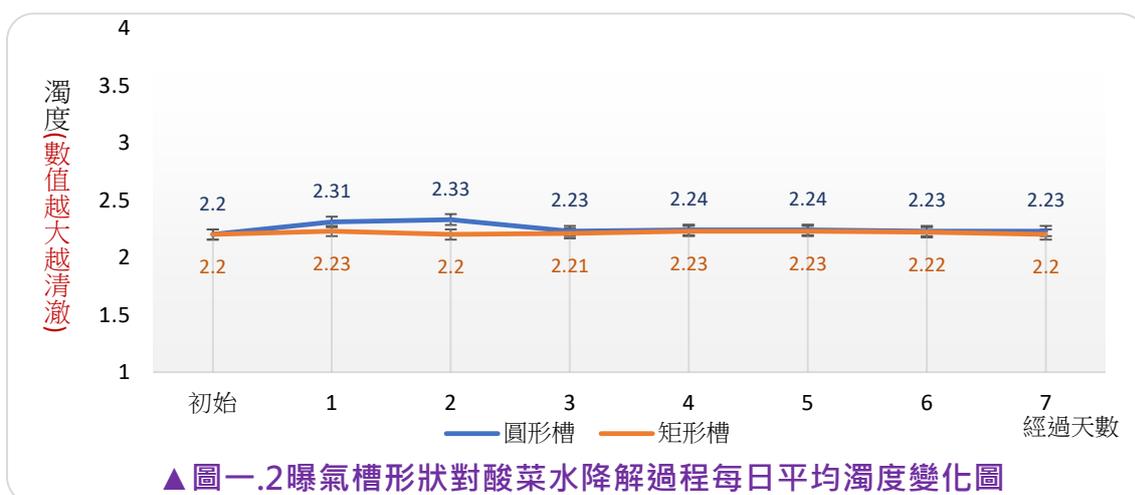


2. 應變變因：水質變化 (pH、濁度變化)
3. 控制變因：①水量、②紀錄時間、③進氣量

三、實驗記錄

▼表一：槽體形狀對於酸菜水降解過程 pH 與濁度每日平均變化表(不添加菌種)

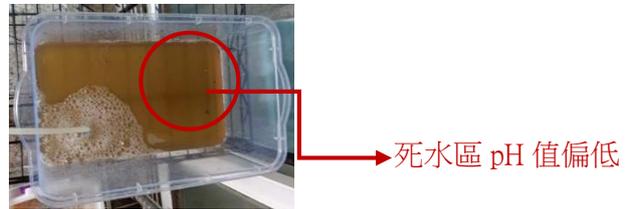
pH 變化			濁度變化		
	圓形槽	矩形槽		圓形槽	矩形槽
初始	7	7	初始	2.2	2.2
Day1	7.03	7.03	Day1	2.31	2.23
Day2	6.94	6.92	Day2	2.33	2.2
Day3	6.96	6.9	Day3	2.23	2.21
Day4	7.01	6.96	Day4	2.24	2.23
Day5	6.98	6.95	Day5	2.24	2.23
Day6	6.99	6.98	Day6	2.23	2.22
Day7	7.01	6.98	Day7	2.23	2.2



四、 討論

1. 由表一，槽體形狀對於酸菜水降解過程 pH 與濁度每日平均變化表(不添加菌種)得知，在不添加任何濾材與菌種下，當初始 pH 為 7 時，僅以不同槽體形狀進行回流時無論是圓形槽或是矩形槽 pH 值幾乎沒有太大變化。
2. 由表一，槽體形狀對於酸菜水降解過程 pH 與濁度每日平均變化表(不添加菌種)得知，在不添加任何濾材下，當初始濁度為 2.2 時，僅以不同槽體形狀進行回流無論是圓形槽或矩形槽濁度變化也不大。
3. 值得注意的是，圓形槽因為屬於中心曝氣氣流，整個槽體完全曝氣，pH 值偏高。而矩形槽因為會有曝氣的死水區，測量中也發現曝氣區的 pH 值會偏高，死水區 pH 偏低。

(照片來源：作者親自拍攝)



【研究二】：添加枯草桿菌對於酸菜水降解作用的影響？

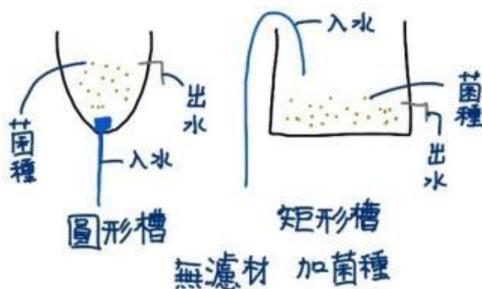
一、 實驗想法：

在實驗一中我們確定，不論是哪一種槽體在不添加濾材與微生物，只給予打氣的情況下，降解作用都非常的差，pH 幾乎無變化，濁度、污水的顏色上都幾乎沒有改變，而且酸菜水的臭味就算經過一週仍然非常的濃重。因此，研究二中我們分別針對不同槽體探討如果不添加濾材，在給予打氣下添加微生物(枯草桿菌)對於酸菜的降解會有什麼變化？

二、本項實驗變因

1.操作變因：曝氣槽形狀

▼曝氣槽裝置示意圖與實際裝置圖
(圖片與照片來源：作者親自繪製與拍攝)



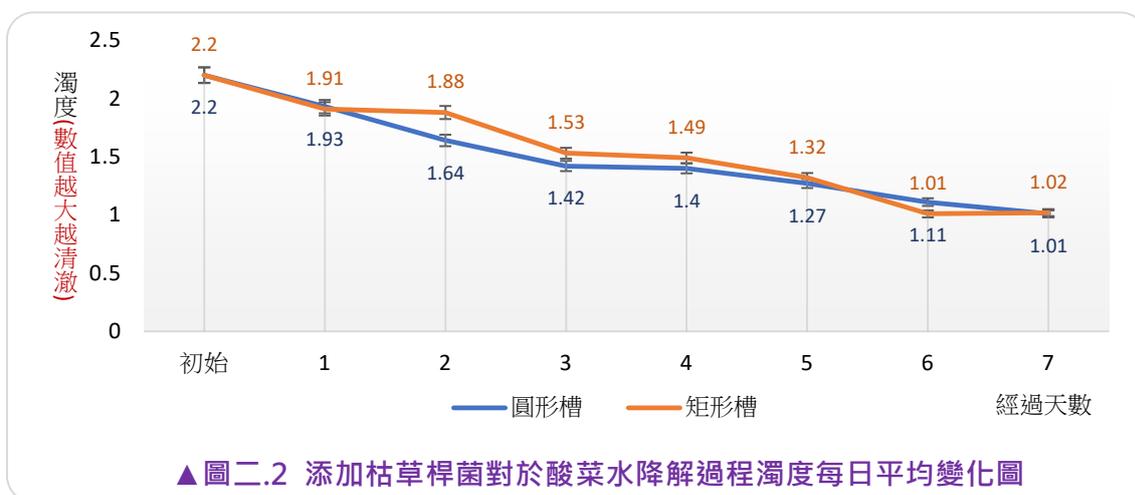
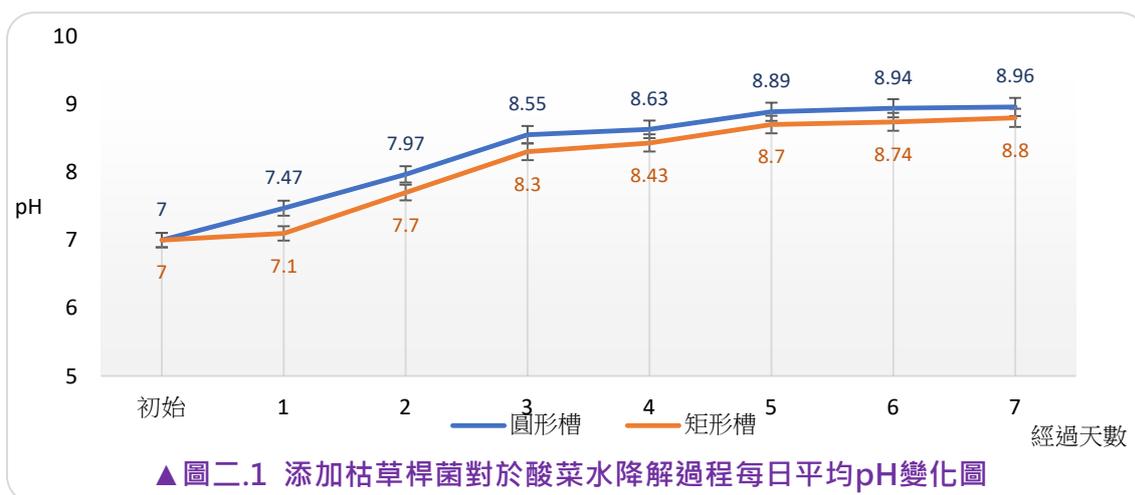
2.應變變因：水質變化（pH、濁度變化）

3.控制變因：①水量、②枯草桿菌添加 ③進氣量

三、實驗記錄

▼表二：添加菌種對於酸菜水降解過程 pH 與濁度每日平均變化表

	pH 變化			濁度變化	
	圓形槽	矩形槽		圓形槽	矩形槽
初始	7.0	7.0	初始	2.2	2.2
Day1	7.47	7.1	Day1	1.93	1.91
Day2	7.97	7.7	Day2	1.64	1.88
Day3	8.55	8.3	Day3	1.42	1.53
Day4	8.63	8.43	Day4	1.4	1.49
Day5	8.89	8.7	Day5	1.27	1.32
Day6	8.94	8.74	Day6	1.11	1.01
Day7	8.96	8.8	Day7	1.01	1.02



四、討論

1. 由表二，添加菌種對於酸菜水降解過程 pH 與濁度每日平均變化表得知，添加枯草桿菌之後，無論哪一種槽體形狀進行回流，pH 值都明顯上升，且最高達 pH 值 8 以上。**實驗發現，進行生物曝氣法添加枯草桿菌可以有效幫助改善水中 pH 值。**
2. 在濁度的表現上，隨著曝氣時間越久，水質越發混濁，且顯示水中應該有懸浮物(或絮團)產生。實驗中發現，無論哪種槽體都只有一些小浮渣，沒有明顯的污泥產生清洗時也只有容器底部與邊緣感覺滑滑的而已。推測其原因，**僅水循環不加濾材的情形下水中懸浮無依附物質，無法附著形成污泥。**

【研究三】：濾材種類對於酸菜水降解作用的影響

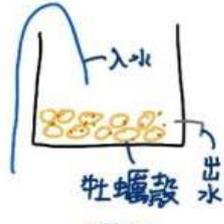
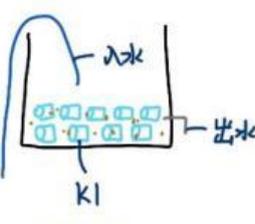
一、實驗想法：

在研究一中，我們發現在不加入任何濾材且單純使用打氣方式對酸菜水進行降解實驗，結果並不理想。研究二中，加入枯草桿菌後 pH 有明顯變化，但是卻沒有污泥產生。因此本研究將分別針對矩形槽以及圓形槽添加不同的生物濾材來探討生物濾材對於酸菜水降解作用的影響。

■子實驗一：矩形曝氣槽加入不同濾材於酸菜水降解作用的影響

二、本項實驗變因

- 1.操作變因：濾材種類：設為生物濾材牡蠣殼、K1

	生物濾材：牡蠣殼	生物濾材：K1
矩形槽與不同濾材裝置示意圖		

▲曝氣槽裝置示意圖與實際裝置圖
(圖片與照片來源：作者親自繪製與拍攝)

- 2.應變變因：水質變化



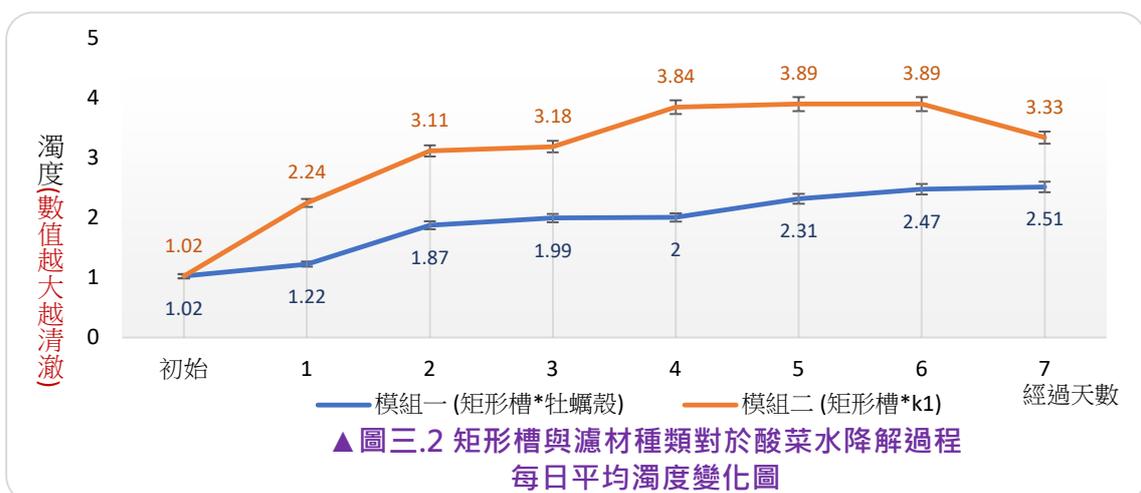
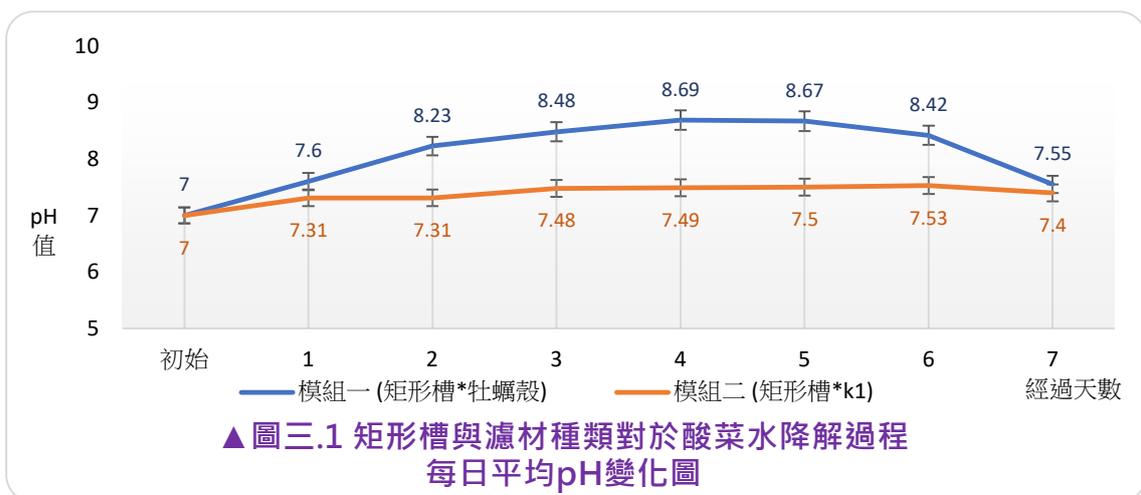
產生超多泡泡

- 3.控制變因：①曝氣槽形狀，設為矩形槽、②水量，設為 10 公升水+1.25 公升酸菜水、
③記錄時間、④枯草桿菌

三、實驗記錄

▼表三.1：矩形槽與濾材種類對於酸菜水降解過程每日平均 pH 與濁度變化表

經過 天數	平均 pH		平均濁度(透光度)	
	模組一 矩形槽*牡蠣殼	模組二 矩形槽*k1	模組一 矩形槽*牡蠣殼	模組二 矩形槽*k1
初始	7	7	1.02	1.02
Day1	7.6	7.31	1.22	2.24
Day2	8.23	7.31	1.87	3.11
Day3	8.48	7.48	1.99	3.18
Day4	8.69	7.49	2	3.84
Day5	8.67	7.5	2.31	3.89
Day6	8.42	7.53	2.47	3.89
Day7	7.55	7.4	2.51	3.33



四、討論

- 1.由表三.1 矩形槽與濾材種類對於酸菜水降解過程每日平均 pH 與濁度變化表得知，模組一（矩形槽*牡蠣殼）初始 pH 值為 7，經過 24 小時後，上升至 7.6，再經過 24 小時，逐漸升為 8.23，隨後緩慢上升，最高達 8.69，直到第 7 天降為 7.55。
- 2.模組二（矩形槽*K1）初始 pH 值為 7，經過 24 小時後，上升至 7.31，再經過 24 小時，仍維持在 7.31，隨後皆穩定在 7.5 左右。
- 3.由表三.1：矩形槽與濾材種類對於酸菜水降解過程每日平均 pH 與濁度變化表得知，模組一（矩形槽+牡蠣殼）初始濁度（透光度）為 1.02，經過 24 小時後，上升至 1.22，再經過 24 小時，逐漸升為 1.87，隨後緩慢上升，直到第 7 天皆無下降，維持在 2.51 左右。
- 4.模組二（矩形槽*K1）初始濁度（透光度）1.02，經過 24 小時後，上升至 2.24，再經過 24 小時，逐漸升為 3.11，隨後升至 3.89，直到第 7 天降至 3.33。

■子實驗二：圓形曝氣槽加入不同濾材於酸菜水降解作用的影響

一、本項實驗變因

- 1.操作變因：濾材種類(生物濾材 K1、牡蠣殼)

	生物濾材：K1	生物濾材：牡蠣殼
矩形槽與不同濾材裝置示意圖		



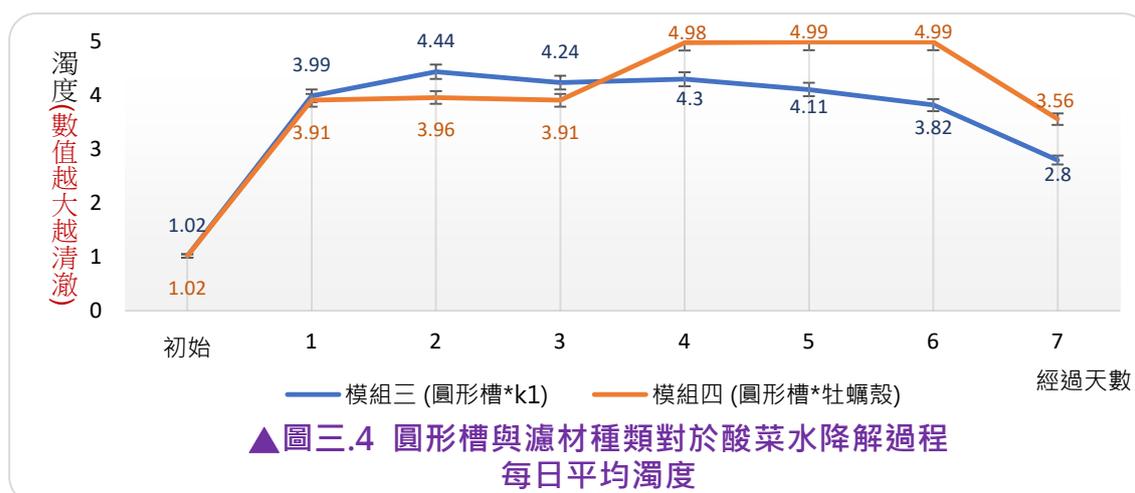
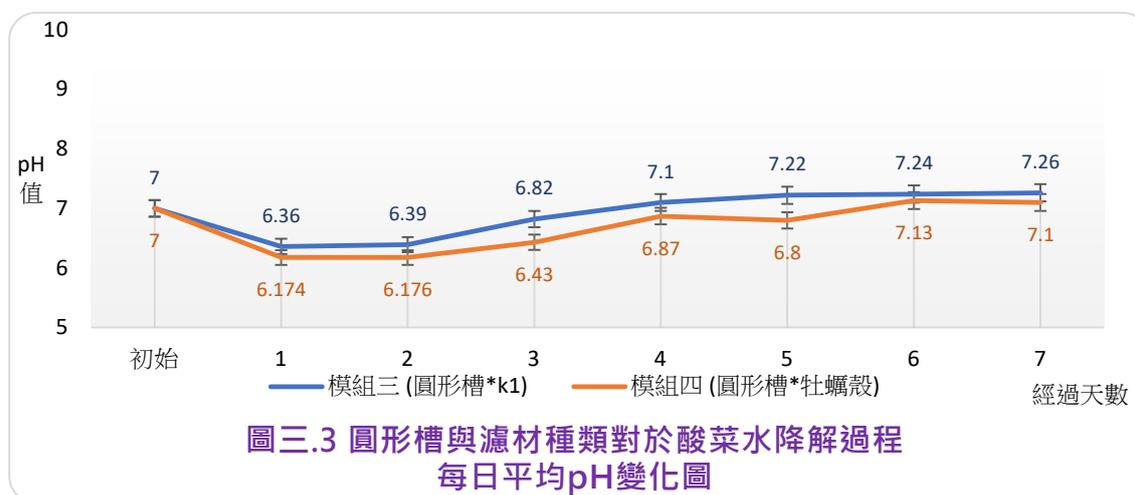
▲曝氣槽裝置示意圖與實際裝置圖
(圖片與照片來源：作者親自繪製與拍攝)

- 2.應變變因：水質變化 (pH、濁度變化)
- 3.控制變因：①曝氣槽形狀 (圓形槽) ②水量 ③紀錄時間

二、實驗記錄

▼表三.3：圓形槽與濾材種類對於酸菜水降解過程的每日平均 pH 濁度變化紀錄表

經過 天數	平均 pH		平均濁度(透光度)	
	模組三 圓形槽*k1	模組四 圓形槽*牡蠣殼	模組三 圓形槽*k1	模組四 圓形槽*牡蠣殼
初始	7	7	1.02	1.02
Day1	6.36	6.174	3.99	3.91
Day2	6.39	6.176	4.44	3.96
Day3	6.82	6.43	4.24	3.91
Day4	7.1	6.87	4.3	4.98
Day5	7.22	6.8	4.11	4.99
Day6	7.24	7.13	3.82	4.99
Day7	7.26	7.1	2.8	3.56



三、討論

- 1.由表三.2 圓形槽與濾材種類對於酸菜水降解過程的每日平均 pH 濁度變化紀錄表得知，模組三（圓形槽*K1）初始 pH 值為 7，經過 24 小時後，下降至 6.36，再經過 24 小時，逐漸升為 6.39，隨後以曲線形上升，直到第 7 天升到 7.26。
- 2.模組四（圓形槽*牡蠣殼）初始 pH 值為 7，經過 24 小時後，下降至 6.174，再經過 24 小時，逐漸升為 6.176，到了第四天，上升為 6.87，第五天略為下降到 6.8，隨後又上升至 7.1 左右。
- 3.由表三.2 圓形槽與濾材種類對於酸菜水降解過程的每日平均 pH 濁度變化紀錄表得知，模組三（圓形槽*K1）初始濁度（透光度）為 1.02，經過 24 小時後變成了 3.99，再經過 24 小時升到了 4.44，接著開始逐漸下降，至第七天時已降至 2.8。
- 4.模組四（圓形槽*牡蠣殼）初始濁度（透光度）為 1.02，經過 24 小時後，升高至 3.91，再經過 24 小時後逐漸上升為 3.96，而在第四到六天，則維持在 4.99 左右，後第七天降至 3.56。

5.分析比較模組一~模組四發現，矩形槽(模組一、二)適合以牡蠣殼做為濾材，在 pH 與濁度上的表現會較佳。而圓形槽(模組三、四)則適合以 K1 作為濾材。



羽膠狀黏滯性汙泥

6.實驗觀察發現，K1 與牡蠣殼這兩種濾材所產生的汙泥型態不同，以 ▲▼(照片來源：作者親自拍攝) K1 作為濾材所形成的汙泥是一種黏滯性強的汙泥，摸起來明顯感覺有生物膜(像果凍)；而以牡蠣殼作為濾材所形成的汙泥是一種細砂質地的汙泥(像泥漿)。



細砂質地汙泥
(像泥漿)

【研究四】：複合式曝氣系統對於酸菜水降解作用的影響

一、實驗想法：

在研究三中，我們發現牡蠣殼作為生物濾材時分解蛋白質的功效極高(產生極多木糖)，但汙泥產生量卻是 K1 較佳，為了加快酸菜水降解效果，因此我們設計兩道式工法

的複合式曝氣裝置，以矩形槽加入牡蠣殼濾材作為分解蛋白質、圓筒槽加入 K1 濾材產生汙泥，並以不同的曝氣順序來進行實驗。

二、假設：複合式曝氣裝置對於酸菜水的降解效果優於單一曝氣裝置

三、本項實驗變因

1. 操作變因：複合式曝氣系統的曝氣順序

	模組五 矩形槽*牡蠣殼→圓形槽*K1 濾材	模組六 圓形槽*K1→濾材矩形槽*牡蠣殼
裝置示意圖 (曝氣順序)	<p>第一道曝氣(矩形槽+牡蠣殼) 第二道曝氣(圓形槽+K1) ①用抽水機將酸菜水抽至上方 ②第一道曝氣 ③第二道曝氣 ④分流沉澱 ⑤流回收集槽 複合式 模組五</p>	<p>第一道曝氣(圓形槽+K1) 第二道曝氣(矩形槽+牡蠣殼) ①用抽水機將酸菜水抽至上方 ②第一道曝氣 ③第二道曝氣 ④分流沉澱 ⑤流回收集槽 複合式 模組六</p>
實際裝置圖		

(▲圖片與照片來源：作者親自手繪與拍攝)

2. 應變變因：水質變化 (pH、濁度變化)

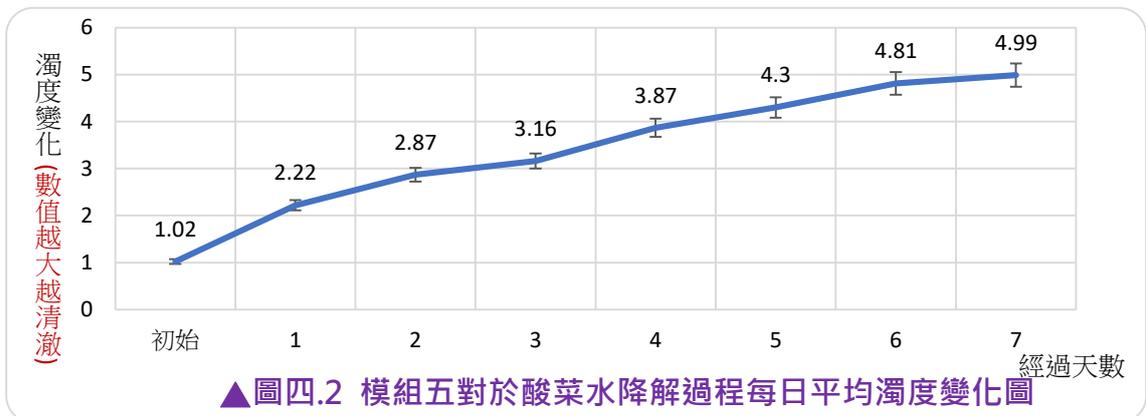
3. 控制變因：濾材種類、濾材表面積、觀察記錄時間、馬達進氣量、總水量

四、實驗記錄

▼表四.1：模組五裝置對於酸菜水降解過程每日平均 pH 與濁度變化表

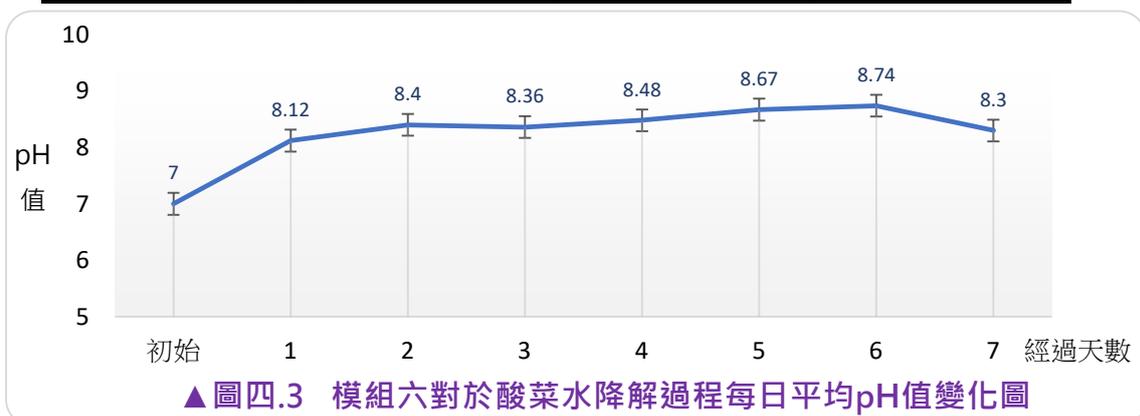
平均 pH 值		平均濁度(透光度)	
初始	7	初始	1.02
Day1	7.96	Day1	2.22
Day2	7.72	Day2	2.87
Day3	8.53	Day3	3.16
Day4	8.16	Day4	3.87
Day5	8.99	Day5	4.3

Day6	8.48	Day6	4.81
Day7	7.57	Day7	4.99



▼表四.2：模組六裝置對於酸菜水降解過程每日平均 pH 與濁度變化表

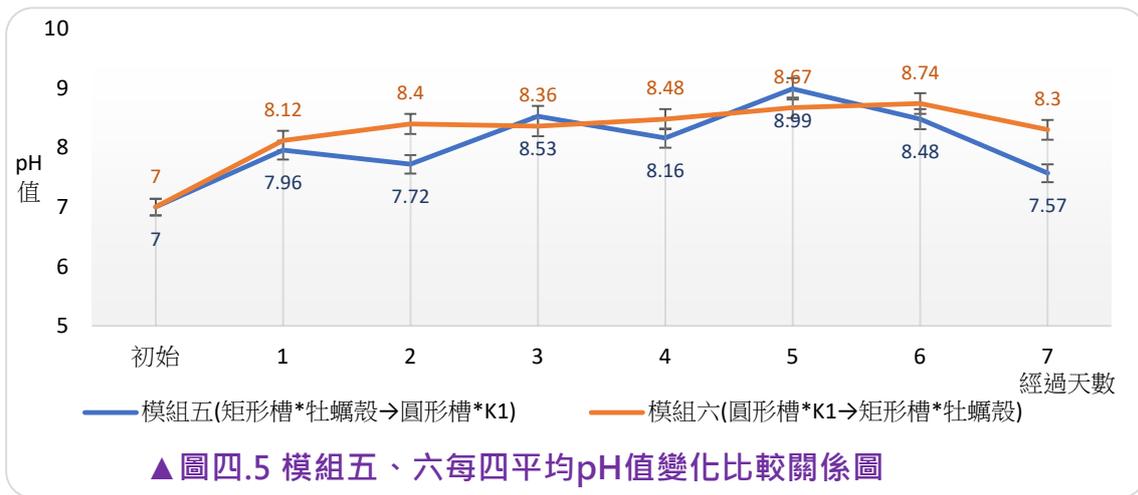
平均 pH 值		平均濁度(透光度)	
初始	7	初始	1.02
Day1	8.12	Day1	1.53
Day2	8.4	Day2	1.85
Day3	8.36	Day3	1.95
Day4	8.48	Day4	2.07
Day5	8.67	Day5	2.18
Day6	8.74	Day6	2.48
Day7	8.3	Day7	2.79





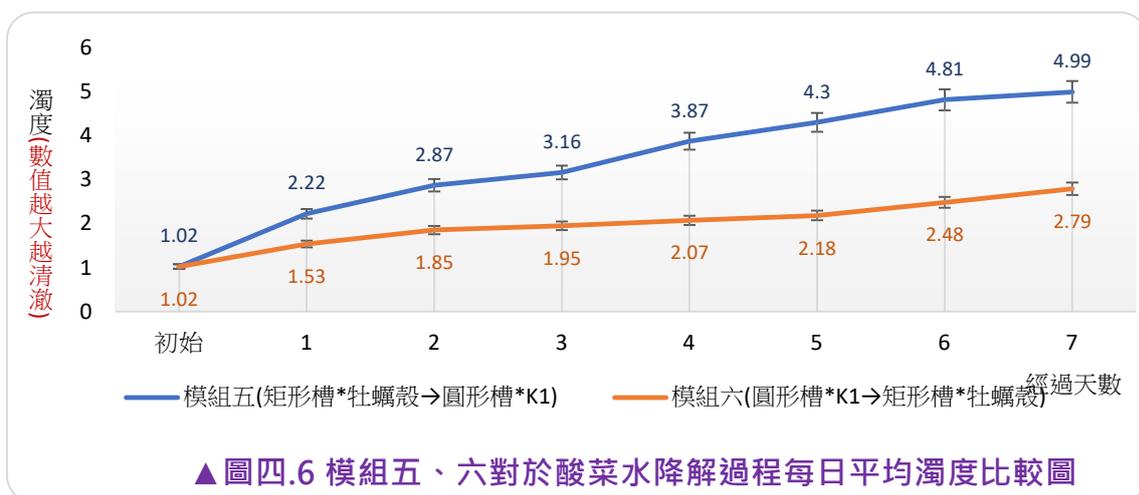
五、 討論

1. 由表四.1 模組五對於酸菜水降解過程每日平均 pH 變化表可得知，模組五初始 pH 值 7，經過 24 小時後，上升至 7.96，再經過 24 小時，略為下降至 7.72，隨後皆在 8 到 9 跳動，直到第 7 天降至 7.57。
2. 由表四.1 模組五對於酸菜水降解過程每日平均濁度（透光度）變化表可得知，模組五初始濁度（透光度）1.02，經過 24 小時後，上升至 2.22，再經過 24 小時，升至 2.87，隨後穩定上升，直到第 7 天升至 4.99。
3. 由表四.2 模組六對於酸菜水降解過程每日平均 pH 變化表可得知，模組六初始 pH 值 7，經過 24 小時後上升至 8.12，再經過 24 小時上升到 8.4，隨後在緩慢上升，直到第 7 天達 8.74，第七天降為 8.3。
4. 由表四.2 模組六對於酸菜水降解過程每日平均濁度（透光度）變化表可得知，模組五初始濁度（透光度）1.02，經過 24 小時後上升至 1.53，再經過 24 小時上升至 1.85，隨後逐步上升，直到第 7 天達 2.79。
5. 由圖四.5 模組五、六每日平均 pH 值變化比較圖，發現 pH 值皆在經過一天後大幅上升，顯示在曝氣系統的作用下，枯草桿菌迅速改善酸菜水的 pH 值，成為系統中的強勢菌種來改善水質。模組六在第二天後呈現穩定現象，但模組五卻略有起伏，推測是因為在模組五進行過中遇到兩次明顯的天氣變化，氣溫不穩定導致枯草桿菌調節能力受到影響。



▲圖四.5 模組五、六每四平均pH值變化比較關係圖

6. 由圖四.6 模組五六每日平均濁度變化比較圖發現，隨著曝氣系統運作時間增加，所測得的濁度數值越大，顯示水質越清澈。分析發現模組五的清澈程度大於模組六，推測其原因是本研究所採用的濁度計僅能針對系統水進行表面監測，而在**模組五**的系統中，酸菜水在經過第一道曝氣槽(矩形槽*牡蠣殼)時，產生細砂質地的汙泥，在經過第二道曝氣槽(圓形槽*K1 濾材)時進行吸附、下沉，因此到分流槽時表面水較為清澈；而**模組六**的系統中，酸菜水先經過(圓形槽*K1 濾材)曝氣槽，先進行吸附，產生黏滯性的膠狀汙泥，再經過(矩形槽*牡蠣殼)，因此到分流槽時表面水仍有許多絮團，因此清澈度不佳。



▲圖四.6 模組五、六對於酸菜水降解過程每日平均濁度比較圖

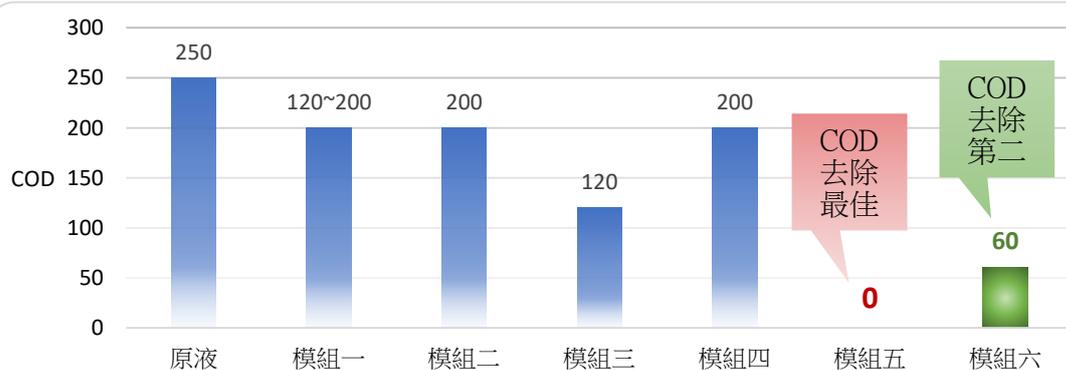
【研究五】各曝氣系統對酸菜水降解後 COD 以及污泥產生量分析

一、 想法：

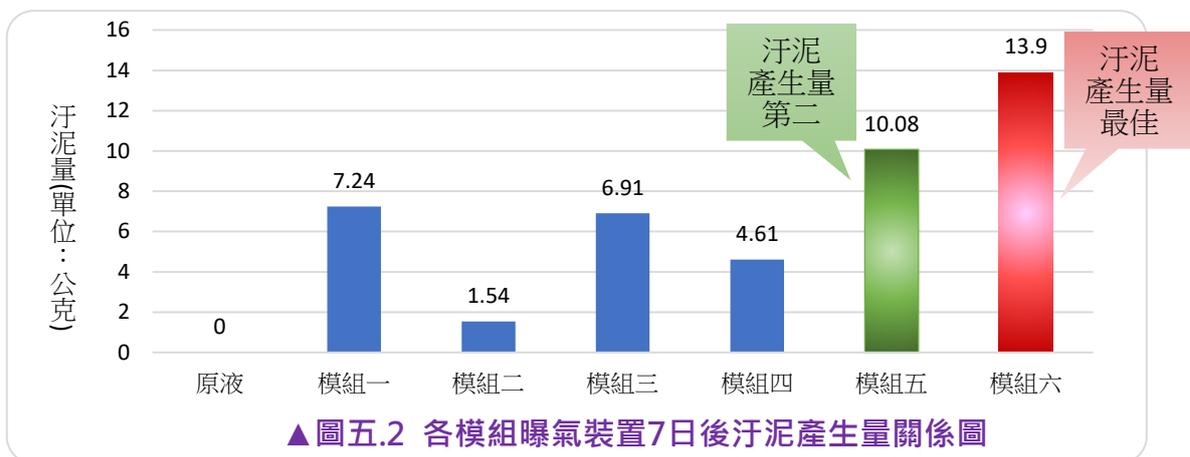
- (1) COD（化學需氧量）是以化學方法測量水樣中有機物被強氧化劑氧化時所消耗之氧的相當量，用來衡量水中有機物含量的指標。在接觸曝氣法與枯草桿菌的作用下，酸菜水中的有機物質會被微生物降解為二氧化碳和水等較為穩定的無害物質，從而降低水中的 COD 值。隨著降解的進行，COD 值會逐漸下降，代表有機物質的去除效果。
- (2) 在實驗中，對於水中所產生的絮團我們採用 arduino 濁度計作為監測儀器，但是這種濁度計僅能在表面進行監測，無法判斷附著在濾材上達足夠重量而脫落沉澱的污泥，因此我們將曝氣後的水溶液利用濾紙抽氣製作泥餅，進行秤重來計算產生的污泥量。

▼表五 各模組系統對酸菜水降解後 COD 以及污泥產生量分析紀錄表

	對照組	實驗組					
曝氣系統	原液	模組一	模組二	模組三	模組四	模組五	模組六
		矩形槽 *牡蠣殼	矩形槽 *K1	圓形槽 *K1	圓形槽 *牡蠣殼	矩形槽 *牡蠣殼 ↓ 圓形槽 *K1 濾材	圓形槽 *K1 濾材 ↓ 矩形槽* 牡蠣殼
	250 以上	120~200	200	120	200	0	60
COD mg/L							
污泥量	0g	7.24g	1.54g	6.91g	4.61g	10.08g	13.9g



▲圖五.1 各模組曝氣裝置7日後最終COD值關係圖

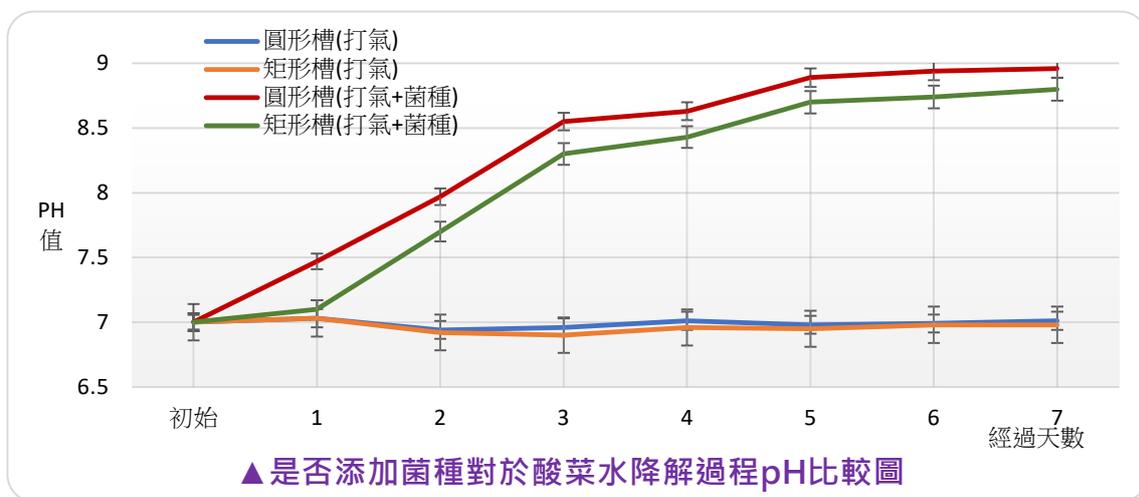


二、討論

1. 圖五.1 各模組曝氣系統 7 日後最終 COD 值關係圖，發現原液的 COD 為 250mg/L 以上，模組一為 200mg/L，模組二為 120~200 mg/L，模組三為 120mg/L，模組四為 200mg/L，模組五降到 0mg/L 為 COD 去除效果最佳，模組六為 60mg/L 為 COD 去除效果第二。
2. 分析單一曝氣系統(模組一~模組四)與複合式曝氣系統(模組五~六)對於去除 COD 的結果，發現經過兩道曝氣系統的效果皆優於單一道曝氣系統，且降解後的酸菜水顏色從深咖啡綠變為清澈的微黃色，推測是因為酸菜水廢液中的色素物質、有機物被好氧微生物代謝利用、分解、氧化降低了廢液中的色度。
3. 圖五.2 各模組曝氣系統 7 日後汙泥產生量關係圖，得知原液無任何汙泥量，模組一為 7.24g，模組二為 1.54g，模組三為 6.91g，模組四 4.61g，模組五汙泥產生量第二多為 10.08g，模組六汙泥產生量最多為 13.9g。
4. 分析單一曝氣系統(模組一~模組四)與複合式曝氣系統與(模組五~六)汙泥產生量，發現無論是模組五或模組六的複合式曝氣系統其汙泥產生量皆高於模組一~四的單一曝氣系統，表示酸菜水在經過二道曝氣系統之後有機物以及營養鹽(硝酸鹽)，在好氧下被微生物同化、轉化為活性污泥。
5. 實驗中，原本預測若 COD 越低，則汙泥產生量會越多，然實驗結果發現模組五 COD 降為 0mg/L，汙泥量只有 10.08g；而模組六 COD 為 60mg/L，汙泥量卻高達 13.9g，推測是因為酸菜水先經過(圓形槽*K1)的曝氣槽產生膠狀汙泥，吸附效果佳，再到(矩形槽*牡蠣殼)槽調節，最後到達分流槽沉澱，因此汙泥產生量較多。

伍、討論

1. 從研究一得知，在不添加任何菌種與生物濾材的情況下，只單純對酸菜水進行打氣，無論是 pH 值或濁度變化都不大，也無任何汙泥產生，顯示菌種與生物濾材對於酸菜水降解是必要的。
2. 分析研究一和研究二添加菌種對於酸菜水降解過程 pH 變化得知，添加枯草桿菌之後，無論哪一種槽體形狀進行回流，pH 值都明顯上升，且最高達 pH 值 8 以上。表示，進行生物曝氣法添加菌種可以有效幫助改善水中 pH 值。



3. 研究二中的濁度明顯增加，但卻沒有明顯的汙泥產生，推測其原因，僅水循環不加濾材的情形下水中懸浮無依附物質，無法附著形成汙泥。
4. 研究三，模組一是以矩形槽搭配牡蠣殼做為濾材，實驗結果發現，pH 值上升偏鹼，推測是枯草桿菌與產生作用。
5. 模組二為矩形槽加入 K1 作為濾材，實驗過程中發現 K1 易產生生物膜會有堵塞現象，但 pH 仍然上升，且有泡泡殘渣少，推測可能是矩形槽體不利於 K1 滾動。
6. 模組三是以圓形槽搭配 K1 做為濾材，實驗結果發現，pH 值先降再回到偏中性，因為 K1 為中性，推測是枯草桿菌作用讓 pH 值回升。K1 塑膠中心可以產生部分厭氧效果，產生少量厭氧菌碰撞催生新鮮表面積與殘渣。其 pH 變化與模組五略為相同都是先鹼後酸，但是變化幅度低很多，推測是因為有機酸不被牡蠣殼中和所以汙泥產量變少。

7. 實驗觀察發現，K1 與牡蠣殼這兩種濾材所產生的汙泥型態不同，以 K1 作為濾材所形成的汙泥是一種黏滯性強的汙泥，摸起來有生物膜(像果凍)；以牡蠣殼作為濾材所形成的汙泥是一種細砂質地的汙泥(像泥漿)。

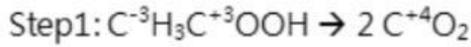


▲(照片來源：作者親自拍攝)

8. 模組四為圓形槽加入牡蠣殼做為濾材，因為中心氣流，所以是一組氧氣多的牡蠣殼，因此較慢產生厭氧菌，僅有牡蠣殼的表面積產生耗氧菌，因此 pH 穩定的慢慢偏酸，且有大部分木糖轉成厭氧菌。
9. 分析比較模組一~模組四發現，矩形槽(模組一、二)適合以牡蠣殼做為濾材，在 pH 與濁度上的表現會較佳。而圓形槽(模組三、四)則適合以 K1 作為濾材。
10. 模組五為複合式曝氣裝置，由矩形槽加入牡蠣殼做為第一道曝氣，再經過由圓形槽加入 K1 濾材做為第二道曝氣，K1 長耗氧菌牡蠣殼長厭氧菌，耗氧菌長得較快先分解，後三天長厭氧菌，因此 pH 呈現先鹼後降酸，實驗過程中發現先產生大量泡，之後水變清，表示木糖作用時同時分解顏色蛋白(即酸菜水中的糖在生物曝氣過程中氧化分解大分子的顏色蛋白)。
11. 模組五的 pH 變化由 7-8.99 時，推測是枯草桿菌大量利用氧氣分泌蛋白質分解酶與表面素，這部份在實驗中發現產生大量菌體沉澱與泡泡黏液可證明。之後 pH8.99-7.57 這是因為乳酸菌或厭氧菌分解木糖產生沉澱，即酒精發酵或醋酸發酵(厭氧) 在牡蠣殼毛細孔作用。

陸、結論

1. 接觸曝氣法通過增加水中的氧氣濃度，促進了酸菜水中有機物質的降解過程。在這個過程中，pH 值可能會發生變化，而 COD 值則會隨著有機物質的降解而下降。這種水處理技術可以有效改善酸菜水的品質，減少對環境的污染。
2. 酸菜水降解的過程中，pH 值會發生變化。在好氧狀態下，氨 (NH_3) 被硝化細菌轉化為亞硝酸鹽 (NO_2^-) 和硝酸鹽 (NO_3^-)。這個過程消耗了氫離子 (H^+)，導致 pH 升高。且隨著有機物的分解產生二氧化碳 (CO_2)，溶解在水中形成碳酸 (H_2CO_3)，進一步解離為氫離子和碳酸氫根 (HCO_3^-)，使 pH 值下降。
3. 在厭氧狀態下，發酵產生，微生物分解有機物產生有機酸(如乙酸、乳酸)，這些酸性產物會使 pH 值降低，即有機物 \rightarrow 有機酸+ H_2 + CO_2 。但厭氧發酵的後期 pH 值可能會上升。
4. 分析單一曝氣系統(模組一~模組四)與複合式曝氣系統(模組五~六)對於去除 COD 的結果，發現經過兩道曝氣系統的效果皆優於單一道曝氣系統，且降解後的酸菜水顏色從深咖啡綠變為清澈的微黃色，推測是因為酸菜水廢液中的色素物質、有機物被好氧微生物代謝利用、分解、氧化降低了廢液中的色度。
5. 分析單一曝氣系統(模組一~模組四)與複合式曝氣系統與(模組五~六)污泥產生量，發現無論是模組五或模組六的複合式曝氣系統其污泥產生量皆高於模組一~四的單一曝氣系統，表示酸菜水在經過二道曝氣系統之後有機物以及營養鹽(硝酸鹽)，在好氧下被微生物同化將有機物和營養鹽吸收利用，並代謝轉化為活性污泥。
6. 酸菜水中的物質有乳酸、醋酸(乙酸)、木糖，在經過生物曝氣系統處理後，含碳物質(C)和含氮(N)的會被分解成硝酸鹽 (NO_3^-)，細菌代謝大量碳來產生菌體。
7. 假設，酸菜水中的 COD 是由乳酸 ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$)，會產生 3CO_2 ，且乳酸完全氧化會產生二氧化碳 (CO_2) 和水 (H_2O)，則氧化反應如下： $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3+3\text{O}_2\rightarrow 3\text{CO}_2+3\text{H}_2\text{O}$ 。另外根據(林翰璘，2020，創新水科技網，淺談 COD)中提及每 mol 氧化會等於 64g COD。



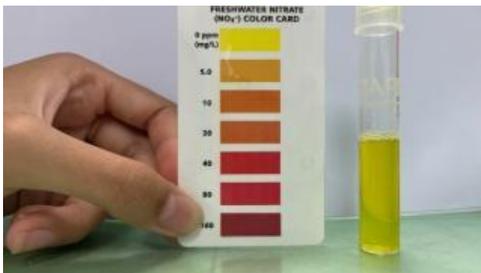
其中一個 C^{-3} 到 C^{+4} ，加上另一個 C^{+3} 到 C^{+4} ，共 8 個電子轉移

Step2: $8 e^- \text{ eq} \times 8 \text{ g } (e^- \text{ eq})^{-1} = 64 \text{ g}$

----->所以每 mol(或 60 g)乙酸的 COD 也是 64 g

一般 BOD/COD 比率為 0.6，因此每分解 64mg COD 約莫產生 38.4mg 的 BOD，也就是約略 60 毫克的乳酸被分解。

8. 根據科展(阿嬤的醃酸菜一醃漬液的再利用，第 51 屆科展)，硝酸鹽的含量應該遠大於乳酸，但我們的模組五 COD 變 0，代表只消耗了一部分的硝酸鹽，應該還有硝酸鹽殘留，於是我們再針對模組六(COD=60)處理後的酸菜水進行硝酸鹽測定，結果發現經過模組六處理後的酸菜水硝酸鹽餘量為 0，推測是通過反硝化作用(denitrification) 把硝酸鹽(NO_3)還原為氮氣(N_2)



(照片來源：作者親自拍攝)

9. 酸菜水在經過我們設計的曝氣處理後，僅需要一周就可以將 COD 降為 0~60mg/L，表示有效降低汙染。將處理前、後的酸菜水利用鹽度計檢測，發現酸菜水中的鹽度不變，因此只要將水分蒸發後可以再取得乾淨的粗鹽，方便農民循環利用。
10. 模組六硝酸鹽為 0，符合環保署放流水硝酸鹽氮標準 50 以內。
11. 我們研發的複合式曝氣裝置在汙泥產生量的表現也是最佳，汙泥經過乾燥處理後可以做為魚蝦的飼料，達完全利用。
12. 我們設計的複合式曝氣裝置，無論是在 pH 調節、濁度、汙泥等，都可以在一周內達到一定的效果，若能提供給小型酸菜工廠在放流酸菜醃製廢水前先進行處理，可以變免環境汙染。

柒、參考文獻資料

1. <https://www.moa.gov.tw/ws.php?id=2504100>，應用液化澱粉芽孢桿菌 PMB01 防治作物土壤傳播性病害
2. 接觸曝氣處理之設計、操作管理，經濟部工業污染技術防治小組歐陽嶠暉
3. 生物處理上曝氣方式新觀念的介紹，嵇本賢、呂仲凱
4. <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawSingle.aspx?pcode=O0040054&flno=60>，法規名稱：水污染防治措施及檢測申報管理辦法 EN，法規類別：行政 > 環境部 > 水質保護目第 60 條
5. 廢水生物處理程序常見問題實務探討，財團法人台灣產業服務基金會 張聖雄工程師、陳見財資深經理，經濟部工業局永續發展組陳良棟科長
<https://proj.ftis.org.tw/eta/epaper/PDF/ti045-3.pdf>
6. 廢水處理生物單元，<http://ms01.dahan.edu.tw/~hsvan/class-file/wastewater-10613.pdf.pdf>
7. 科展作品阿嬤的醃酸菜—醃漬液的再利用，第 51 屆科展，
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/080828.pdf>

【評語】 033002

本作品運用生物曝氣法進行酸菜水 COD 降解可行性評估。研究方法分析不同形狀槽體、不同的濾材，檢測濁度、pH 比較污染物降解的變化情形。因為是生物曝氣法，是否有同時監測水中溶氧量？建議應說明模廠實驗的尺寸，槽體的尺寸及體積，以及曝氣位置的設計，因為都可能影響到整體生物處理的效率，同時枯草桿菌的添加量，是否有比較不同濃度時的差異？建議設計一個沉澱池收集污泥、評估 COD 檢測的變異性，提供幾項量化的指標：濾材填充率、COD 去除率、有機負荷($\text{kg-COD}/\text{m}^3\text{-day}$)並針對生物膜的觀察。請說明污泥量的分析方法？牡蠣殼再利用的經濟影響，建議可說明研究結果的未來應用。

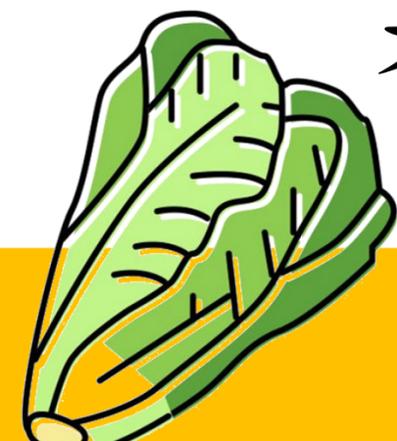
作品簡報



『氣曝曝』

~運用生物曝氣法進行酸

菜水降解可行性之探討~



摘要

酸菜水是農業生產過程中產生的副產品，在醃漬酸菜過程中土壤被廢水污染嚴重鹽化，付出慘重成本。本研究利用接觸曝氣法來嘗試解決酸菜醃製廢液中的汙染物，分別探討曝氣槽形狀、濾材種類以及複合式曝氣裝置，並加入枯草桿菌來探討pH值、濁度、COD、汙泥產生量的變化與差異。研究結果發現無論哪種槽體在不添加濾材下表面積與細菌依附空間不足，無降解作用發生；矩形槽適合採用平板形濾材，圓形槽適合採用K1濾材；而我們研發的複合式曝氣裝置無論是在COD、濁度以及汙泥產生量都是表現最佳的。

研究動機

我們發現製作酸菜必須加入大量的鹽，產生的酸菜水為酸性且含有大量有機物及鹽分液體，農民會將酸菜廢水排放到河流，導致農田嚴重汙染、土壤中的鹽分嚴重超標不能種植，原來美味的背後要付出如此慘痛的代價。目前政府將酸菜水濃縮曝曬成粗鹽，再進行稀釋當作肥料種植。於是，我們想如果將酸菜水經過處理去除有機物，乾淨的高濃度鹽水即可曝曬成粗鹽並拿去重複製作酸菜，這樣就可以有效的減少下次製作酸菜時加入的鹽量，而廢水處理過程中產生的汙泥也可用來做為魚蝦飼料。



▲茶葉在採收後會先曬曬，自然軟化。
(圖片來源：微笑台灣 天下雜誌 雲林款款行)



▲隨處可見醃製的酸菜桶，酸溜溜的味道處處可聞
(圖片來源：Newtalk新聞大魯行腳)

研究目的與流程



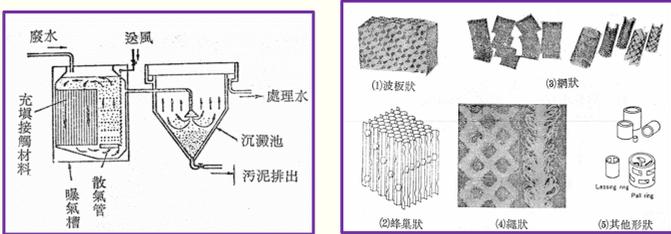
文獻探討

接觸曝氣法

接觸氧化法是将曝氣槽內的濾材給予曝氣，讓廢水充分攪拌循環流動與接觸材料相觸。一段時間後，接觸材料表面會開始附著生物汙泥(微生物)而形成生物膜，利用生物膜在好氧狀態下吸附、氧化廢水中有機物質的處理方法，是廢水最主要之處理方式。

接觸材

接觸材料應有强度高、比重小以及表面積大的特性，以利生物膜容易附著。粒狀濾材對於懸浮物之捕捉力較強，但易阻塞；平板濾材恰好相反。本研究將一般大型的生物曝氣裝置小型化，因此在球狀濾材的選擇目前市面上易取得之新型生物活性載體K1，其優點為表面積大，有利於微生物附著生長。在平板狀濾材選擇上則根據嘉義市科展39屆「蚵殼」好「蠣」害作品中提到牡蠣殼成分為碳酸鈣浸泡水中會析出鈣離子，可改善pH值，於是我們採用生物廢棄牡蠣殼。▼圖：接觸曝氣槽示意圖與濾材種類(圖片來源：經濟部工業汙染技術防治小組歐陽曉暉)



枯草桿菌

是芽孢桿菌屬的一種，為水產養殖上重要的益生菌菌種。枯草桿菌生長的溫度約在30-37°C左右，但孢子可耐熱100°C以上。可以在有或兼性厭氧的環境下成長，對於環境的耐受力很強。在環境惡劣的條件下甚至可以產生內孢子。內孢子



▲圖一.1 曝氣槽形狀對酸菜水降解過程每日平均pH變化圖

COD化學需氧量

是以化學方法測量水樣中有機物被強氧化劑氧化時所消耗之氧的相當量，用來衡量水中有機物含量的指標。在接觸曝氣法與枯草桿菌的作用下，酸菜水中的有機物質會被微生物降解為二氧化碳和水等較為穩定的無害物質，從而降低水中的COD值。隨著降解的進行，COD值會逐漸下降，表明有機物質的去除效果。

研究器材及設備

酸菜水、曝氣模組、pH檢測模組、濁度檢測模組、K1濾材、牡蠣殼濾材、COD檢測劑。

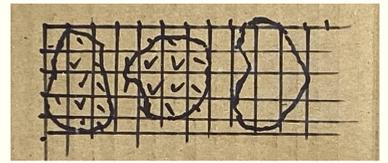


實驗中，對於水中所產生的絮團我們採用arduino濁度計作為監測儀器，但是這種濁度計僅能在表面進行監測，無法判斷附著在濾材上達足夠重量而脫落沉澱的汙泥，因此我們將曝氣後的水溶液利用濾紙抽氣製作泥餅，進行秤重來計算產生的汙泥量。

估算牡蠣殼投影面積



說明：測試K1濾材在曝氣槽中的滾動速度以及K1表面積大小得出單一片牡蠣殼投影面積為9平方公分最適合。因此，我們將牡蠣殼敲碎，進行過篩。



研究結果

研究一 曝氣槽形狀對於酸菜水降解作用的影響？

在進行文獻探討以及專家訪談後，我們先分別試著製作圓形槽以及矩形槽曝氣裝置，發現圓形槽中的水流是上下流動，而矩形槽則集中在某一區域。因此，在研究一中我們只單純討論不同的曝氣槽形狀在不加入濾材與菌種，只給予打氣的情況下，監測pH以及濁度來觀察酸菜水的降解效果如何？

▼曝氣槽裝置示意圖與實際裝置圖(圖片與照片來源：作者親自繪製與拍攝)



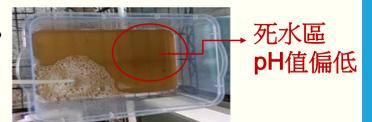
▲圖一.1 曝氣槽形狀對酸菜水降解過程每日平均pH變化圖(只給予打氣)

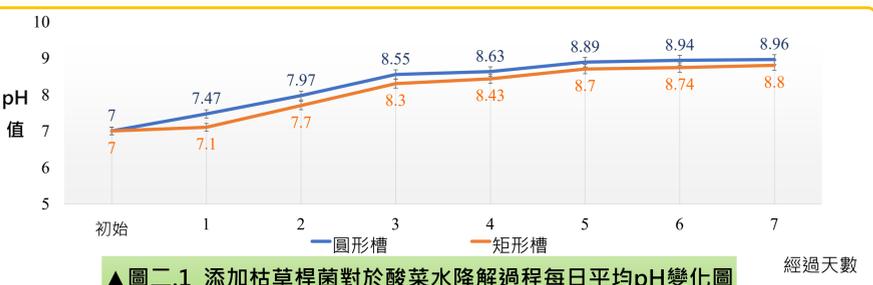
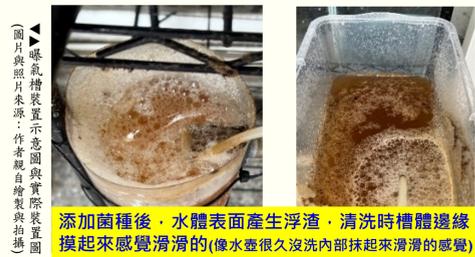
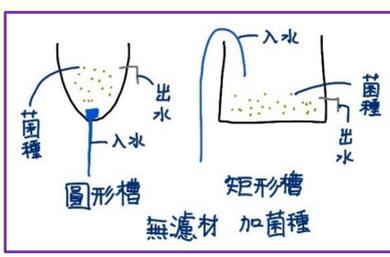


▲圖一.2 曝氣槽形狀對酸菜水降解過程每日平均濁度變化圖

討論

- 由圖一.1與圖一.2.得知，在不添加任何濾材與菌種下，當初始pH為7時，僅以不同槽體形狀進行回流，無論是圓形槽或是矩形槽pH值幾乎沒有太大變化。而濁度變化方面，當初始濁度為2.2時，變化也不大。
- 值得注意的是，圓形槽因為屬於中心曝氣氣流，整個槽體完全曝氣，pH值偏高。而矩形槽因為會有曝氣的死水區，測量中也發現曝氣區的pH值會偏高，死水區pH偏低。





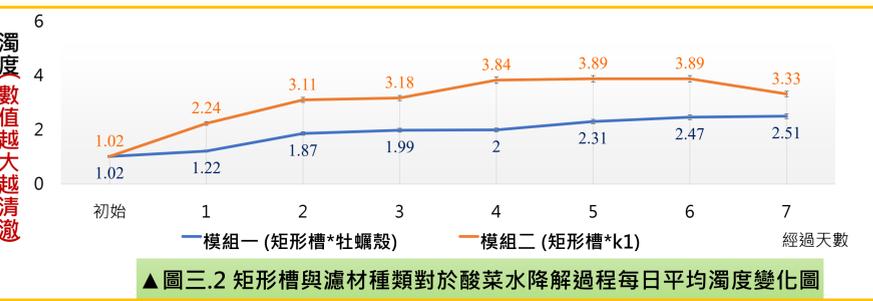
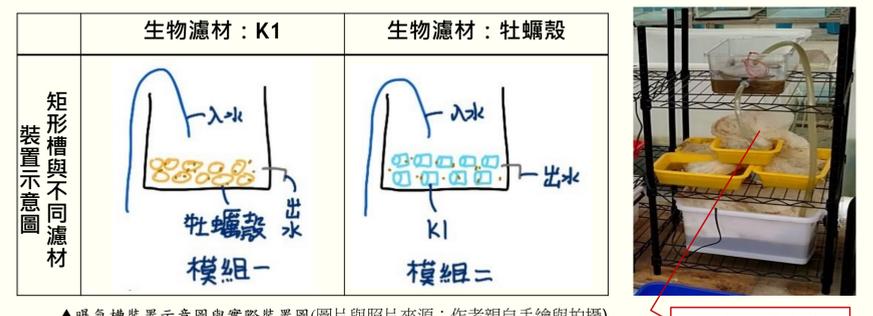
討論

- 1 進行生物曝氣法添加菌種可以有效幫助改善水中pH值。濁度上也明顯增加。
- 2 無論哪種槽體都只有一些小浮渣，沒有明顯的污泥產生。清洗時也只有容器底部與邊緣感覺滑滑的而已。

研究三 濾材種類對於酸菜水降解作用的影響？

在研究一中，我們發現在不加入任何濾材且單純使用打氣方式對酸菜水進行降解實驗，結果並不理想。研究二中，加入枯草桿菌後pH有明顯變化，但是卻沒有污泥產生。因此本研究將分別針對矩形槽以及圓形槽添加不同的生物濾材來探討生物濾材對於酸菜水降解作用的影響。

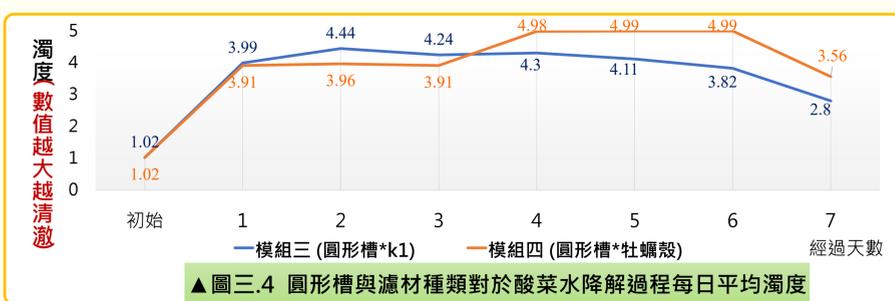
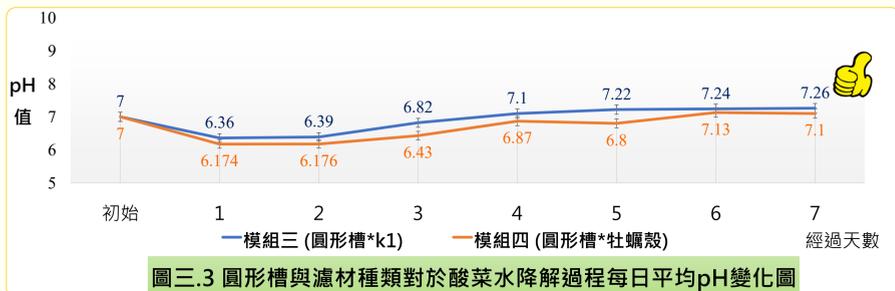
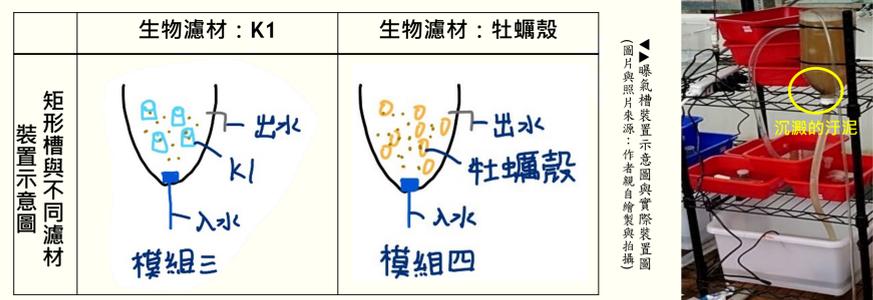
子實驗一 矩形曝氣槽加入不同濾材對於酸菜水降解作用的影響



討論

- 1 模組一是以矩形槽搭配牡蠣殼做為濾材，實驗結果發現，pH值上升偏鹼，推測是牡蠣殼加上枯草桿菌的作用導致。模組二是以矩形槽搭配K1做為濾材，pH值變化不大。

子實驗二 圓形曝氣槽加入不同濾材對於酸菜水降解作用的影響



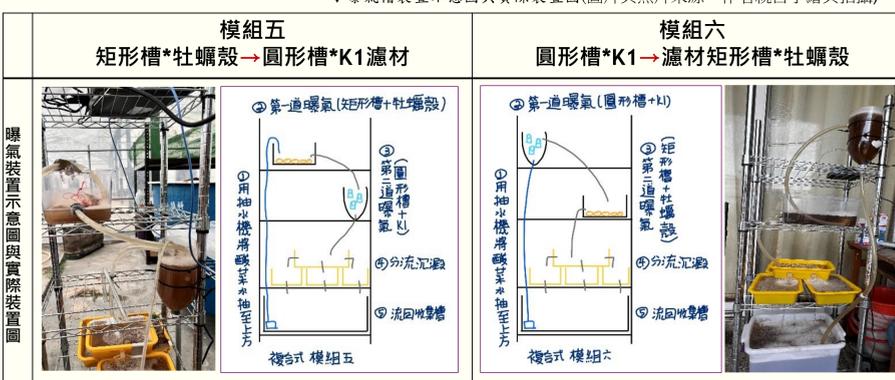
討論

- 1 模組三是以圓形槽搭配K1做為濾材，實驗結果發現，pH值先降再回到偏中性，因為K1為中性，推測是枯草桿菌作用讓pH值回升。
- 2 模組四以圓形槽搭配牡蠣殼做為濾材，pH值先降再稍回升。在濾材種
- 3 在本研究中，若以pH與濁度的表現來討論，矩形槽適合以牡蠣殼作為濾材；圓形槽適合以K1作為濾材。
- 4 實驗觀察發現，K1與牡蠣殼這兩種濾材所產生的污泥型態不同，以K1作為濾材所形成的污泥是一種黏滯性強的羽膠狀污泥；以牡蠣殼作為濾材所形成的污泥是一種細砂質地的污泥。



研究四 複合式曝氣系統對於酸菜水降解作用的影響？

在研究三中，我們發現以K1及牡蠣殼作為濾材時所產生的污泥型態截然不同，羽膠狀污泥容易阻塞，且COD仍然很高；為了加快酸菜水降解效果，因此我們設計兩道式工法的複合式曝氣裝置，以矩形槽搭配牡蠣殼濾材以及圓筒槽加入K1濾材做為曝氣工法，並以不同的曝氣順序來進行實驗。



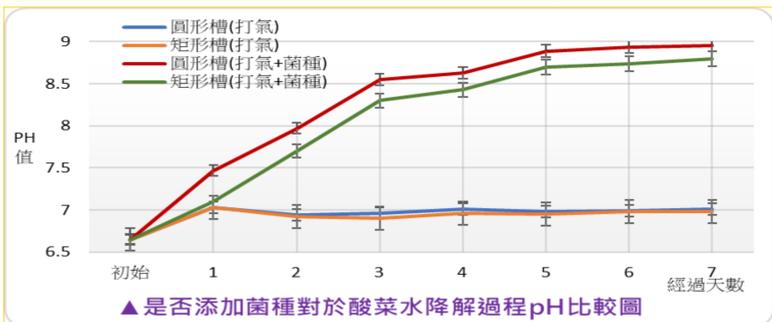
討論

- 1 由圖四.5模組五、六每日平均pH值變化比較圖，發現pH值皆在經過一天後有上升趨勢，模組五的pH值從6.65上升直到第五天的8.99後開始下降，但途中卻有些許波動，推測是因為在實驗期間遇到兩次明顯的天氣變化所導致。而模組六的pH值是從7穩定上升至第六天8.74後下降。



結論及未來展望

1 分析研究一和研究二添加菌種對於酸菜水降解過程pH變化得知，添加枯草桿菌之後，無論哪一種槽體形狀進行回流，pH值都明顯上升，且最高達pH值8以上。表示，進行生物曝氣法添加菌種可以有效幫助改善水中pH值。



▲圖四.6 模組五、六對於酸菜水降解過程每日平均濁度比較圖

討論

分析發現模組五的清澈程度大於模組六，推測其原因是本研究所採用的濁度計僅能針對系統水進行表面監測，而在模組五的系統中，酸菜水先經過第一道曝氣槽(矩形槽*牡蠣殼)時，產生細砂質地的汙泥，再經過第二道曝氣槽(圓形槽*K1濾材)時進行吸附、下沉，因此到分流槽時表面水較為清澈；而模組六的系統中，酸菜水先經過(圓形槽*K1濾材)曝氣槽，先進行吸附，產生黏滯性的膠狀汙泥，再經過(矩形槽*牡蠣殼)，因此到分流槽時表面水仍有許多絮團，因此清澈度不佳。

2 研究二中的濁度明顯增加，但卻沒有明顯的汙泥產生，推測其原因，僅水循環不加濾材的情形下水中懸浮物無依附物質，無法附著形成汙泥。顯示，生物濾材可以讓微生物在濾材表面附著增加微生物總量，形成絮團。

3 在濾材種類對於酸菜水降解作用的影響實驗中發現，以pH與濁度的表現來討論，矩形槽適合以牡蠣殼作為濾材；圓形槽適合以K1作為濾材。推測其原因，圓形槽為中心氣流完全曝氣，在好氧條件下，K1濾材提供了大量的附著表面，供硝化細菌和其他好氧微生物生長。而矩形槽非全面曝氣在厭氧條件下牡蠣殼提供了穩定的附著表面，支持厭氧微生物的生長，且牡蠣殼能夠有效中和酸性，提高pH值。

4 分析單一曝氣系統(模組一~模組四)與複合式曝氣系統(模組五~六)對於去除COD的結果，發現經過兩道曝氣系統的效果皆優於單一道曝氣系統，且降解後的酸菜水顏色從深咖啡綠變為清澈的微黃色，推測是因為酸菜水廢液中的色素物質、有機物被好氧微生物代謝利用、分解、氧化降低了廢液中的色度。

5 分析單一曝氣系統(模組一~模組四)與複合式曝氣系統與(模組五~六)汙泥產生量，發現無論是模組五或模組六的複合式曝氣系統其汙泥產生量皆高於模組一~四的單一曝氣系統，表示酸菜水在經過二道曝氣系統之後有機物以及營養鹽(硝酸鹽)，在好氧下被微生物同化轉化為活性汙泥。

6 實驗中，原本預測若COD越低，則汙泥產生量會越多，然實驗結果發現模組五COD降為0mg/L，汙泥量為10.08g；而模組六COD為60mg/L，汙泥量卻高達13.9g，推測是因為酸菜水先經過(圓形槽*K1)的曝氣槽產生膠狀汙泥，吸附效果佳，再到(矩形槽*牡蠣殼)槽調節，最後到達分流槽沉澱，因此汙泥產生量較多。

7 酸菜水降解的過程中，pH值會發生變化。在好氧狀態下，氨(NH₃)被硝化細菌轉化為亞硝酸鹽(NO₂⁻)和硝酸鹽(NO₃⁻)。這個過程消耗了氫離子(H⁺)，導致pH升高。且隨著有機物的分解產生二氧化碳(CO₂)，溶解在水中形成碳酸(H₂CO₃)，進一步解離為氫離子和碳酸氫根(HCO₃⁻)，使pH值下降。

8 酸菜水在經過我們設計的曝氣處理後，僅需要一周就可以將COD降為0，表示有效降低汙染，將水分蒸發後可以再取得乾淨的粗鹽，方便農民循環利用。

9 我們研發的複合式曝氣裝置在汙泥產生量的表現也是最佳，經過乾燥處理後可以做為魚蝦的飼料，達完全利用。

10 我們設計的複合式曝氣裝置，無論是在pH調節、濁度、汙泥等，都可以在一周內達到一定的效果，若能提供給小型酸菜工廠在放流酸菜醃製廢水前先進行處理，可以變免環境汙染。

參考文獻

- 農業委員會應用液體化糞粉芽孢桿菌PMB01防治作物土壤傳播性病害。農業委員會。取自<https://www.moa.gov.tw/ws.php?id=2504100>
- 歐陽森輝。接觸曝氣處理之設計、操作管理。經濟部工業污染技術防治小組。
- 松本賢、呂仲凱。生物處理上曝氣方式新觀念的介紹。
- 法務部。(n.d.)。水污染防治措施及檢測申報管理辦法(第60條)。法務部全國法規資料庫。取自<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawSingle.aspx?pcode=00040054&fn=60>
- 張聖強、陳見財、陳良棟。廢水生物處理程序常見問題實務探討。財團法人台灣產業服務基金會。取自<https://proj.ftis.org.tw/eta/epaper/PDF/h045-3.pdf>
- 廢水處理生物單元。取自<http://ms01.dahan.edu.tw/~hsvan/class-file/wastewater-10613.pdf.pdf>
- 阿聯的醃菜—醃漬液的再利用(第51屆科展)。取自<https://twsl.ntsec.gov.tw/activity/trace-1/51/pdf/080828.pdf>

研究五

各曝氣系統對酸菜水降解後COD以及汙泥產生量分析

曝氣系統	模組一 矩形槽*牡蠣殼	模組二 矩形槽*K1	模組三 圓形槽*K1
COD (mg/L)	120~200	200	120
COD 檢測結果圖			
汙泥量	7.24	1.54g	6.91g
曝氣系統	模組四 圓形槽*牡蠣殼	模組五 矩形槽*牡蠣殼 ↓ 圓形槽*K1	模組六 圓形槽*K1 ↓ 矩形槽*牡蠣殼
COD (mg/L)	200	0	60
COD 檢測結果圖			
汙泥量	4.61g	10.08g	13.9g



▲圖五.1 各模組曝氣裝置7日後最終COD值關係圖



▲圖五.2 各模組曝氣裝置7日後汙泥產生量關係圖

討論

1 實驗結果發現，模組五在七天後COD降為0(mg/L)，汙泥量為10.08g；模組六COD降至60(mg/L)，汙泥量為13.9g。但我們推測若是讓模組六再運轉幾天，COD也是有可能降至0。

2 在汙泥量上，模組六為13.9公克，推測是因為先經過較容易產生汙泥的組合(圓形槽搭配K1)，這個現象也在模組三可以發現。

	原液
COD (mg/L)	250以上
COD 檢測結果圖	
汙泥量	0g

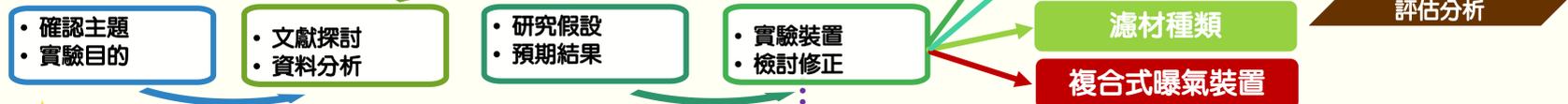
摘要

本研究利用接觸曝氣法來嘗試解決酸菜醃製廢液中的汙染物，分別探討曝氣槽形狀、添加枯草桿菌、濾材種類並研發複合式曝氣裝置來探討pH值、濁度、COD、汙泥產生量的變化與差異。研究結果發現無論哪種槽體在不添加濾材下表面積與細菌依附空間不足，無降解作用發生；矩形槽適合採用平板形濾材，圓形槽適合採用K1濾材；而我們研發的複合式曝氣裝置無論是在COD、濁度以及汙泥產生量都是表現最佳的。酸菜水在經過我們設計的曝氣處理後，約一週就可以將COD降為0，表示有效降低汙染，水分蒸發後可以再取得乾淨的粗鹽，方便農民循環利用。汙泥產生量也是最佳，經過乾燥處理可以做為魚蝦的飼料達完全利用。在放流酸菜醃製廢水前先進行處理，可以避免環境汙染。

研究動機

從家中長輩製作經驗與旅行途中參觀酸菜園區時我們了解製作酸菜必須加入大量的鹽，產生的酸菜水為酸性且含有大量有機物及鹽分液體，早期農民將醃漬酸菜後的廢液傾倒至溝渠土壤，導致惡臭孳生蚊蟲以及土壤鹽化；目前地方政府則以「隧道式日照蒸發結晶」法讓水分自然蒸發，產生的結晶鹽再進行稀釋當作肥料種植。於是，我們想如果將酸菜水經過處理去除有機物，乾淨的高濃度鹽水即可曝曬成粗鹽並拿去重複製作酸菜，這樣就可以有效的減少下次製作酸菜時加入的鹽量，而廢水處理過程中產生的汙泥也可用來做為魚蝦飼料。

研究目的與流程



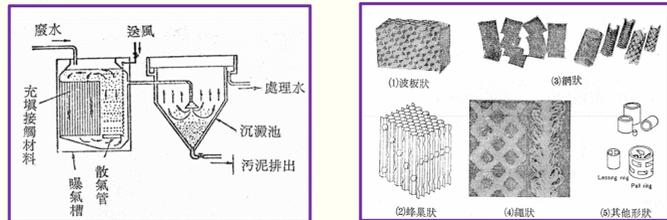
文獻探討

接觸曝氣法

接觸曝氣法將曝氣槽內的濾材給予曝氣，讓廢水充分攪拌循環流動與接觸材料相觸。一段時間後，接觸材料表面會開始附著生物汙泥(微生物)而形成生物膜，利用生物膜在好氧狀態下吸附、氧化廢水中有機物質的處理方法，是廢水最主要之處理方式。

接觸材

接觸材料應有強度高、比重小以及表面積大的特性，以利生物膜容易附著。粒狀濾材對於懸浮物之捕捉力較強，但易阻塞；平板濾材恰好相反。本研究將一般大型的生物曝氣裝置小型化，因此在球狀濾材的選擇目前市面上易取得之新型生物活性載體K1，其優點為表面積大，有利於微生物附著生長。在平板狀濾材選擇上則根據嘉義市科展39屆「蚵殼」好「蠣」害作品中提到牡蠣殼成分為碳酸鈣浸泡水中會析出鈣離子，可改善pH值，於是我們採用生物廢棄牡蠣殼。▼圖：接觸曝氣槽示意圖與濾材種類(圖片來源：經濟部工業污染技術防治小組歐陽曉暉)



枯草桿菌

枯草桿菌是芽孢桿菌屬的一種，為水產養殖上重要的益生菌菌種。枯草桿菌生長的溫度約在30-37°C左右，但孢子可耐熱100°C以上。可以在有氣或兼性厭氧的環境下成長，對於環境的耐受性很強，在環境惡劣的條件下甚至可以產生內孢子，內孢子有非常優異的抗逆性，不但耐高熱與擠壓，更對酸鹼與滲透壓變化具有高度的耐受性。

降解作用

降解作用將複雜的有機物分解為較簡單的分子或元素的過程。降解物最終要被分解成二氧化碳和水。在自然界中，降解可以發生在土壤中，由微生物分解有機物，或在水中，由氧化反應分解有機物。

COD化學需氧量

COD化學需氧量是以化學方法測量水樣中有機物被強氧化劑氧化時所消耗之氧的相當量，用來衡量水中有機物含量的指標。在接觸曝氣法與枯草桿菌的作用下，酸菜水中有機物質會被微生物降解為二氧化碳和水等較為穩定的無害物質，從而降低水中的COD值。隨著降解的進行，COD值會逐漸下降，表明有機物質的去除效果。

研究器材及設備

酸菜水、曝氣模組、pH檢測模組、濁度檢測模組、K1濾材、牡蠣殼濾材、COD檢測劑。



在濁度監測上，我們採用arduino濁度計作為監測儀器，但是這種濁度計是利用透光率和散射率來綜合判斷溶液濁度情況，且僅能在表面進行監測，無法判斷附著在濾材上達足夠重量而脫落沉澱的汙泥，因此我們另外將曝氣後的水溶液利用濾紙抽氣製作泥餅，進行秤重來計算產生的汙泥量。



▲國立中興大學研發設計「隧道式日照蒸發結晶設施」解決酸菜醃漬廢水處理問題(圖片來源：中時新聞(周書聖攝))



▲隨處可見醃製的酸菜桶，酸溜溜的味道處處可聞(圖片來源：Newtalk新聞大魯行腳)

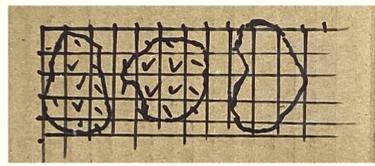


▲酸菜醃漬廢水經過「隧道式日照蒸發結晶設施」所產生的結晶鹽(圖片來源：中時新聞(周書聖攝))

估算牡蠣殼投影面積



說明：測試K1濾材在曝氣槽中的滾動速度以及K1表面積大小得出單一片牡蠣殼投影面積為9平方公分最適合。因此，我們將牡蠣殼敲碎，進行過濾。

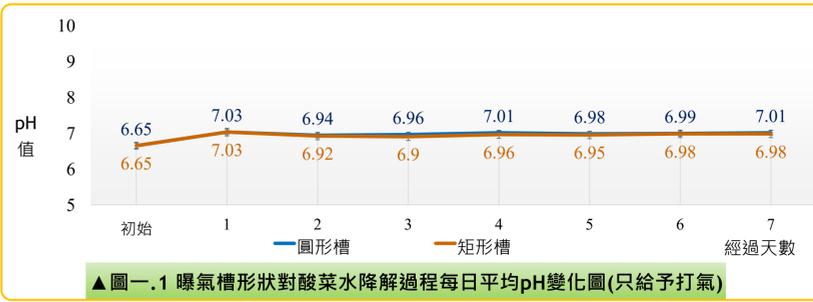
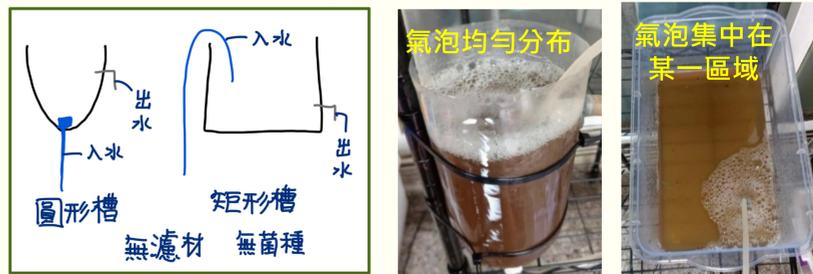


研究結果

研究一 曝氣槽形狀對於酸菜水降解作用的影響？

在進行文獻探討以及實務專家訪談後，我們先分別試著製作圓形槽以及矩形槽曝氣裝置，發現圓形槽中的水流是上下流動，而矩形槽則集中在某一區域。因此，在研究一中我們只單純討論不同的曝氣槽形狀在不加入濾材與菌種，只給予打氣的情況下，監測pH以及濁度來觀察酸菜水的降解效果如何？

▼曝氣槽裝置示意圖與實際裝置圖(圖片與照片來源：作者親自繪製與拍攝)



▲圖一.1 曝氣槽形狀對酸菜水降解過程每日平均pH變化圖(只給予打氣)



▲圖一.2 曝氣槽形狀對酸菜水降解過程每日平均濁度變化圖

討論

1 由圖一.1與圖一.2得知，在不添加任何濾材與菌種下，僅以不同槽體形狀進行回流，無論是圓形槽或是矩形槽pH值幾乎沒有太大變化。而濁度變化方面，當初始濁度為2.2時，變化也不大。

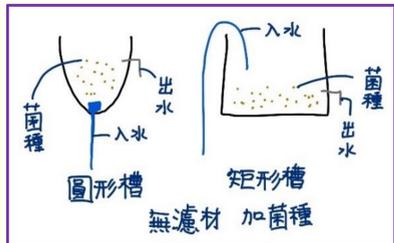


死水區 pH 值偏低

2 值得注意的是，圓形槽因為屬於中心曝氣氣流，整個槽體完全曝氣，pH值偏高。而矩形槽因為會有曝氣的死水區，測量中也發現曝氣區的pH值會偏高，死水區pH偏低。

研究二 添加枯草桿菌對於酸菜水降解作用的影響？

在研究一中我們確定，不論是哪一種槽體在不添加濾材與微生物，只給予打氣的情況下，降解作用都非常的差，pH、濁度、污水的顏色上都幾乎沒有改變，而且酸菜的臭味就算經過一週仍然非常的濃重。因此，我們思考利用添加菌種來迅速建立優勢微生物群落，以提高降解效率。本研究以對環境耐受度高且取得方便的枯草桿菌為添加菌種。



▲曝氣槽裝置示意圖與實際裝置圖(圖片與照片來源：作者親自繪製與拍攝)



▲添加菌種後，水體表面產生浮渣，清洗時槽體邊緣摸起來感覺滑滑的(像水壺很久沒洗內部抹起來滑滑的感覺)



▲圖二.1 添加枯草桿菌對於酸菜水降解過程每日平均pH變化圖



▲圖二.2 添加枯草桿菌對於酸菜水降解過程濁度每日平均變化圖

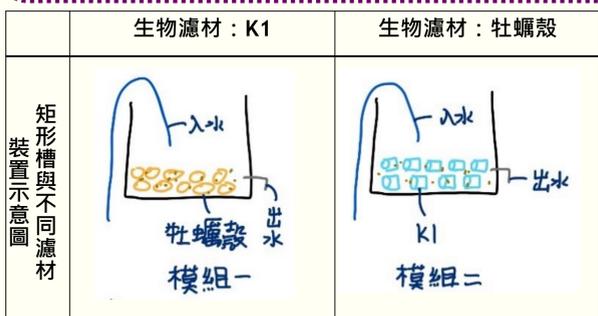
討論

- 1 進行生物曝氣法添加菌種可以有效幫助改善水中pH值。濁度上也明顯增加。
- 2 無論哪種槽體都只有一些小浮渣，沒有明顯的污泥產生。清洗時也只有容器底部與邊緣感覺滑滑的而已。
- 3 顯示，在添加枯草桿菌之後水中微生物產生許多絮絲但無法形成污泥。

研究三 濾材種類對於酸菜水降解作用的影響？

在研究一中，我們發現在不加入任何濾材且單純使用打氣方式對酸菜水進行降解實驗，結果並不理想。研究二中，加入枯草桿菌後pH有明顯變化，但是卻沒有污泥產生。因此本研究將分別針對矩形槽以及圓形槽添加不同的生物濾材來探討生物濾材對於酸菜水降解作用的影響。

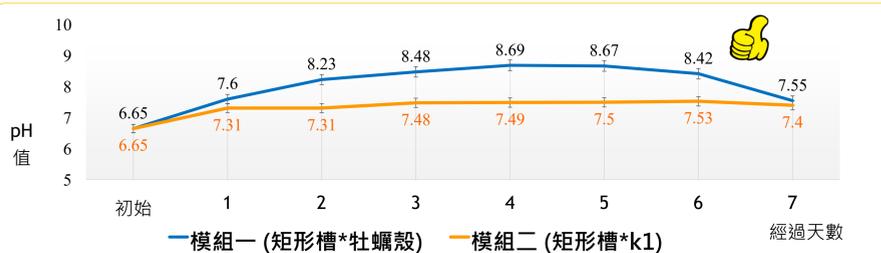
子實驗一 矩形曝氣槽加入不同濾材對於酸菜水降解作用的影響



▲曝氣槽裝置示意圖與實際裝置圖(圖片與照片來源：作者親自繪製與拍攝)



▲產生超多泡泡



▲圖三.1 矩形槽與濾材種類對於酸菜水降解過程每日平均pH變化圖

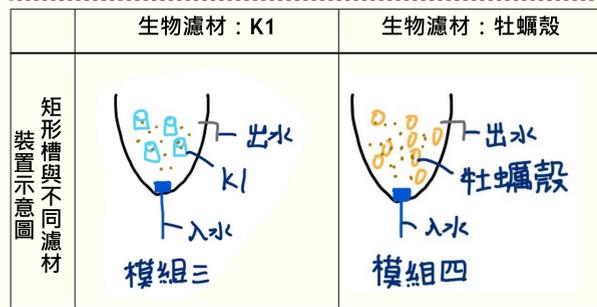


▲圖三.2 矩形槽與濾材種類對於酸菜水降解過程每日平均濁度變化圖

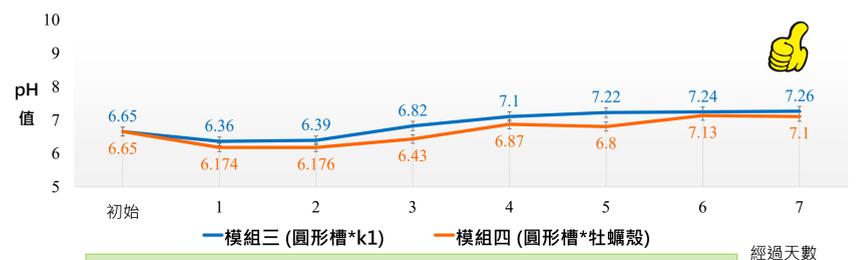
討論

- 1 模組一是以矩形槽搭配牡蠣殼做為濾材，實驗結果發現，pH值上升偏鹼，推測是牡蠣殼加上枯草桿菌的作用導致。模組二是以矩形槽搭配K1做為濾材，pH值變化不大。

子實驗二 圓形曝氣槽加入不同濾材對於酸菜水降解作用的影響



▲曝氣槽裝置示意圖與實際裝置圖(圖片與照片來源：作者親自繪製與拍攝)



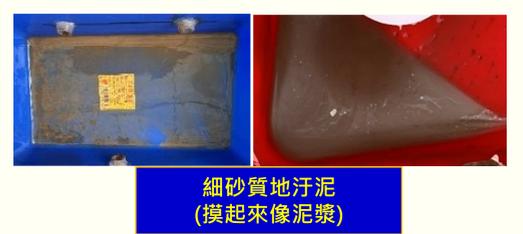
▲圖三.3 矩形槽與濾材種類對於酸菜水降解過程每日平均pH變化圖



▲圖三.4 圓形槽與濾材種類對於酸菜水降解過程每日平均濁度

討論

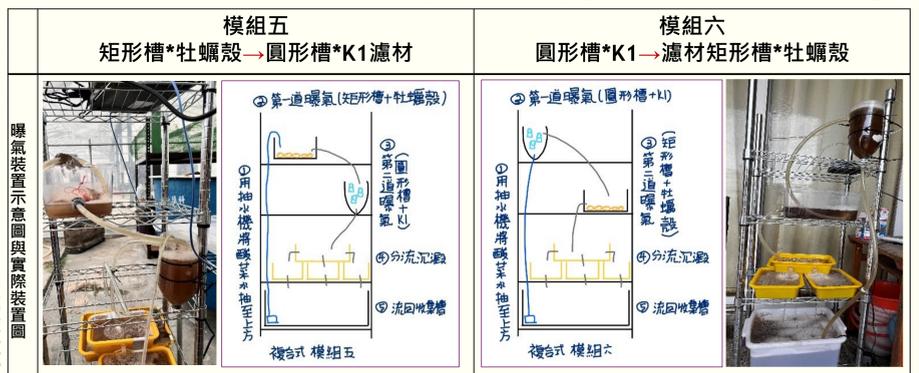
- 1 模組三是以圓形槽搭配K1做為濾材，實驗結果發現，pH值先降再回到偏中性，因為K1為中性，推測是枯草桿菌作用讓pH值回升。
- 2 模組四以圓形槽搭配牡蠣殼做為濾材，pH值先降再稍回升。
- 3 分析比較模組一~模組四發現，矩形槽(模組一、二)適合以牡蠣殼做為濾材，在pH與濁度上的表現會較佳。而圓形槽(模組三、四)則適合以K1作為濾材。
- 4 實驗觀察發現，K1與牡蠣殼這兩種濾材所產生的污泥型態不同，以K1作為濾材所形成的污泥是一種黏滯性強的羽膠狀污泥；以牡蠣殼作為濾材所形成的污泥是一種細砂質地的污泥。



研究四 複合式曝氣系統對於酸菜水降解作用的影響？

在研究三中，我們發現以K1及牡蠣殼作為濾材時所產生的污泥型態截然不同，羽膠狀污泥容易阻塞，且COD仍然很高；為了加快酸菜水降解效果，因此我們設計兩道式工法的複合式曝氣裝置，以矩形槽搭配牡蠣殼濾材以及圓筒槽加入K1濾材做為曝氣工法，並以不同的曝氣順序來進行實驗。

▼曝氣槽裝置示意圖與實際裝置圖(圖片與照片來源：作者親自繪製與拍攝)



▲圖四.5 模組五、六對於酸菜水降解過程每日平均pH比較圖



▲圖四.6 模組五、六對於酸菜水降解過程每日平均濁度比較圖

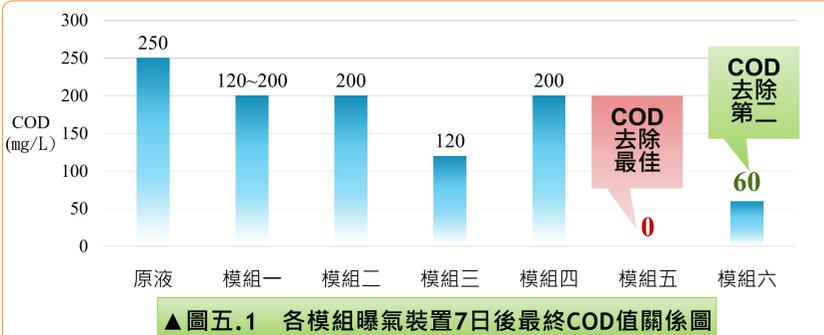
討論

分析發現模組五的清澈程度大於模組六，推測其原因是本研究採用的濁度計僅能針對系統水進行表面監測，而在**模組五**的系統中，酸菜水先經過第一道曝氣槽(矩形槽*牡蠣殼)時，產生細砂質地的汙泥，再經過第二道曝氣槽(圓形槽*K1濾材)時進行吸附、下沉，因此到分流槽時表面水較為清澈；而**模組六**的系統中，酸菜水先經過(圓形槽*K1濾材)曝氣槽，先進行吸附，產生黏滯性的膠狀汙泥，再經過(矩形槽*牡蠣殼)，因此到分流槽時表面水仍有許多絮團，因此清澈度不佳。

研究五

各曝氣系統對酸菜水降解後COD以及汙泥產生量分析

曝氣系統	模組一 矩形槽*牡蠣殼	模組二 矩形槽*K1	模組三 圓形槽*K1
COD (mg/L)	120~200	200	120
COD 檢測結果圖			
汙泥量	7.24	1.54g	6.91g
曝氣系統	模組四 圓形槽*牡蠣殼	模組五 矩形槽*牡蠣殼 ↓ 圓形槽*K1	模組六 圓形槽*K1 ↓ 矩形槽*牡蠣殼
COD (mg/L)	200	0	60
COD 檢測結果圖			
汙泥量	4.61g	10.08g	13.9g



討論

1 實驗結果發現，模組五在七天後COD降為0(mg/L)，汙泥量為10.08g；模組六COD降至60(mg/L)汙泥量為13.9g。但我們推測若是讓

模組六再運轉幾天，COD也是有可能降至0。

2 在汙泥量上，模組六為13.9公克，推測是因為先經過較容易產生汙泥的組合(圓形槽搭配K1)，這個現象也在模組三可以發現。

3 分析單一曝氣系統(模組一~模組四)與複合式曝氣系統(模組五~六)對於去除COD的結果，發現經過兩道曝氣系統的效果皆優於單一道曝氣系統，且降解後的酸菜水顏色從深咖啡綠變為清澈的微黃色，推測是因為酸菜水廢液中的色素物質、有機物被好氧微生物代謝利用、分解、氧化降低了廢液中的色度。

	原液
COD (mg/L)	250以上
COD 檢測結果圖	
汙泥量	0g

4 分析單一曝氣系統(模組一~模組四)與複合式曝氣系統與(模組五~六)汙泥產生量，發現無論是模組五或模組六的複合式曝氣系統其汙泥產生量皆高於模組一~四的單一曝氣系統，表示酸菜水在經過二道曝氣系統之後有機物以及營養鹽(硝酸鹽)，在好氧下被微生物同化轉化為活性汙泥。

結論及未來展望

1 分析研究一和研究二添加菌種對於酸菜水降解過程pH變化得知，添加枯草桿菌之後，無論哪一種槽體形狀進行回流，pH值都明顯上升，且最高達pH值8以上。表示，進行生物曝氣法添加菌種可以有效幫助改善水中pH值。



2 研究二中的濁度明顯增加，但卻沒有明顯的汙泥產生，推測其原因，僅水循環不加濾材的情形下水中懸浮物無依附物質，無法附著形成汙泥。顯示，生物濾材可以讓微生物在濾材表面附著增加微生物總量，形成絮團。

3 在濾材種類對於酸菜水降解作用的影響實驗中發現，以pH與濁度的表現來討論，矩形槽適合以牡蠣殼作為濾材；圓形槽適合以K1作為濾材。推測其原因，圓形槽為中心氣流完全曝氣，在好氧條件下，K1濾材提供了大量的附著表面，供硝化細菌和其他好氧微生物生長。而矩形槽非全面曝氣在厭氧條件下牡蠣殼提供了穩定的附著表面，支持厭氧微生物的生長，且牡蠣殼能夠有效中和酸性，提高pH值。

4 實驗中，原本預測若COD越低，則汙泥產生量會越多，然實驗結果發現模組五COD降為0mg/L，汙泥量為10.08g；而模組六COD為60mg/L，汙泥量卻高達13.9g。推測是因為酸菜水先經過(圓形槽*K1)的曝氣槽產生膠狀汙泥，吸附效果佳，再到(矩形槽*牡蠣殼)槽調節，最後到達分流槽沉澱，因此汙泥產生量較多。

5 酸菜水降解的過程中，pH值會發生變化。在好氧狀態下，氨(NH₃)被硝化細菌轉化為亞硝酸鹽(NO₂⁻)和硝酸鹽(NO₃⁻)。這個過程消耗了氫離子(H⁺)，導致pH升高。且隨著有機物的分解產生二氧化碳(CO₂)，溶解在水中形成碳酸(H₂CO₃)，進一步解離為氫離子和碳酸氫根(HCO₃⁻)，使pH值下降。

6 酸菜水在經過我們設計的曝氣處理後，僅需要一周就可以將COD降為0，表示有效降低汙染，將水分蒸發後可以再取得乾淨的粗鹽，方便農民循環利用。

7 我們研發的複合式曝氣裝置在汙泥產生量的表現也是最佳，經過乾燥處理後可以做為魚蝦的飼料，達完全利用。

8 本研究根據實務專家建議先將酸菜水進行適當稀釋，再運用生物曝氣法進行微生物降解，產生活性汙泥，其方法是可行的。我們推測如果，給予足夠的微生物量、免氣量、時間或許也可以將未稀釋的酸菜水成功降解。

9 我們設計的複合式曝氣裝置，無論是在pH調節、濁度cod、汙泥等，都可以在一周內達到一定的效果，若能提供給小型酸菜工廠在放流酸菜醃製廢水前先進行處理，可以避免環境汙染。

參考文獻

- 農業委員會應用液體肥料芽孢桿菌PMB01防治作物土壤傳播性病害。農業委員會。取自<https://www.moa.gov.tw/ws.php?id=2504100>
- 歐陽曉輝。接觸曝氣處理之設計、操作管理。經濟部工業污染技術防治小組。
- 松本賢、呂仲凱。生物處理上曝氣方式新觀念的介紹。
- 法務部。(n.d.)。水污染防治措施及檢測申報管理辦法(第60條)。法務部全國法規資料庫。取自<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawSingle.aspx?pcode=00040054&fno=60>
- 張聖強、陳見財、陳良棟。廢水生物處理程序常見問題實務探討。財團法人台灣產業服務基金會。取自<https://proj.ftis.org.tw/eta/paper/PDF/h045-3.pdf>
- 廢水處理生物單元。取自<http://ms01.dahan.edu.tw/~hsvan/class-file/wastewater-10613.pdf.pdf>
- 阿聯的醃酸菜—醃漬液的再利用(第51屆科展)。取自<https://twsl.ntsec.gov.tw/activity/trace-1/51/pdf/080828.pdf>