

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生活與應用科學(一)科

第三名

(鄉土)教材獎

082803

「沼氣」與「廚餘」關係的 AI 探討

學校名稱：臺南市安平區億載國民小學

作者： 小五 鍾亭羽 小六 陳致穎 小六 林子淮 小六 宋季達	指導老師： 許惠芳 林嘉鈴
---	---------------------

關鍵詞：沼氣、廚餘、mblock 積木程式

摘要

有臭臭味的天然沼氣是一種混合氣體，其產生與**廚餘和甲烷菌的厭氧化學反應**有關，屬於生物化學的一部分。在甲烷菌吞噬廚餘的過程當中，可以將廚餘轉換成可利用的**天然沼氣** (主要是**甲烷**)，是較為環保且潔淨的**再生能源**。沼氣是看不見的氣體，若無特殊的器具，是無法知道在沼氣生成時，周遭的環境發生了哪些變化。因此我們利用人工智慧(AI)軟體 - mblock 編輯程式，加上編寫**甲烷和廚餘酸鹼(pH)值的量測程式**，**監控收集沼氣時的實際狀況**，判斷沼氣收集的時機。透過數據的分析，定義出沼氣最佳的生成條件。實驗的結果顯示，發現在沼氣生成的過程中，**廚餘會先酸化，pH 值會先降低**，然後趨於穩定。在我們的測試中，澱粉含量較高的廚餘搭配購買的粉體菌組合，可以產生最多的甲烷。

壹、研究動機

在一次的電視新聞報導當中，看到了一個特別的化學現象。原來我們吃剩的廚餘和動物的排泄物，經過細菌分解後，可以轉變成可以利用的再生能源天然氣，俗稱沼氣。只要在氧氣缺乏的密閉空間當中，某些特別的細菌，就會將廚餘分解成沼氣，並且可以供給火力發電廠作發電的燃料使用。在報導中有提到，若要加快廚餘產生沼氣的時間，必須要控制好**沼氣生成時的廚餘pH值和溫度**。剛好在**五年級下學期自然課程(水溶液的性質)[1]**這個單元有教到**酸鹼值**。且在**五年級上學期電腦課也上過「Scratch」學習如何寫程式**，之後接觸到科展，我們就以之前的經驗，進階學習AI「mblock」程式設計，本文利用AI科技，製作一個可以有**智慧的量測廚餘pH值和沼氣濃度分析設備**，並深入探討**細菌分解廚餘的秘密**。未來希望能將分析的數據回饋給家用或大型的沼氣發電廠，提升其**燃料(即甲烷)**的生產效率，進而提升**沼氣發電廠的發電效率**。

貳、研究目的

- 一、原理分析: 設計適當的分析裝置(實驗一)，用以探討甲烷菌的厭氧反應特性。
- 二、量儀製作:利用現代資訊科技，自製可長時間紀錄數據的生物化學分析儀器。(實驗二~四、十一)
- 三、分析實驗: 進行 6 組實驗(實驗五~十)，觀察六種廚餘搭配黑雞肥和馬桶化糞粉體菌在進行生物化學反應時，廚餘 pH 值、甲烷濃度隨時間的變化，找出最合適生成甲烷的廚餘和菌體搭配。
- 四、燃氣測試: 觀察並收集甲烷氣體時的氣體壓力和甲烷濃度變化(實驗十二、十三)。並進行點火燃燒，證明所收集到的氣體是可以做為燃料的甲烷氣體。(實驗十四)

參、研究設備及器材

一、研究設備:

(一)原理分析:

甲烷菌在缺氧的環境當中會進行厭氧反應，將廚餘或有機物廢物分解成沼氣。其主要反應分為三個步驟如下表。在沼氣生成的過程當中，會先將澱粉或纖維素類廚餘水解成葡萄糖，再將葡萄糖酸化產生乙酸，最後生成甲烷和二氧化碳。<取自: 厭氧反應/維基百科[2]>所以我們決定找含有豐富纖維素的水果和葉菜類食材，以及含豐富澱粉的米飯和薯條，作為我們模擬廚餘的材料。

步驟	作用	生物化學反應式
1	水解	$(C_6H_{10}O_5)_n$ (澱粉/纖維素) + nH_2O (水) \rightarrow $nC_6H_{12}O_6$ (葡萄糖)
2	乙(醋)酸化	$C_6H_{12}O_6$ (葡萄糖) \rightarrow $3 CH_3COOH$ (乙酸)
3	甲烷生成	CH_3COOH (乙酸) \rightarrow CH_4 (甲烷) + CO_2 (二氧化碳)

然而甲烷菌必須要在缺氧的環境下才能存活，我們在<行政院沼氣發電推動網[3]>的網站發現，家禽的糞便中也會有厭氧菌，因此我們選用黑雞肥當作我們菌體的來源。但動物的肥料都有臭臭的味道，我們希望能有聞起來不會臭的厭氧菌來源，以免在學校做實驗時，隔壁班的同學過來抗議，所以我們選用了市面上買的到馬桶化糞粉體菌作為另一種厭氧菌的來源。<取自:甲烷菌/百度百科[4]>甲烷細菌生長在河湖淤泥

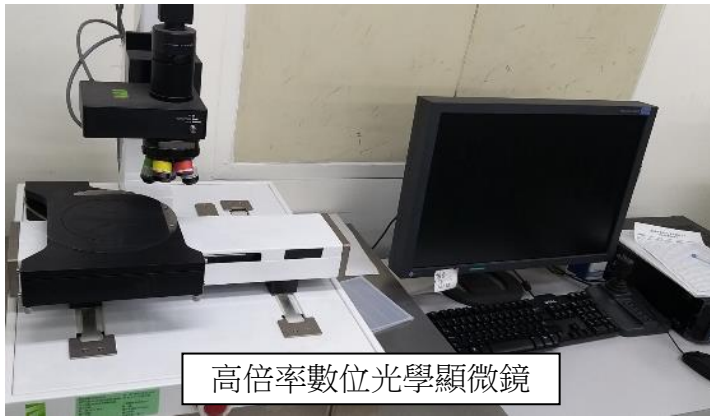
、沼澤地、水稻田以及人和動物的腸道，甚至在植物體內都有甲烷細菌存在，分布廣泛但不易培養。我們在想，湖底也是有厭氧菌啊，也不會臭啊，現在的科技進步，會不會厭氧菌是可以買得到的?正好在上網找資料時，找到可以消化糞便和臭味的馬桶化糞粉體菌。就想說值得一試，就買來當另一個活菌來源。

甲烷菌在產生沼氣時，pH 值會產生變化，但沼氣生成的生物化學反應時間很長，要記錄整個厭氧反應過程中 pH 值與甲烷濃度關係是很不容易，必須要製作可以長時間紀錄甲烷濃度和 pH 值的分析儀器。<取自:mblock 積木程式網站[5]、pH 值量儀使用範例[6]、自製氣體監視器教學網站[7]>因此我們跟老師學習，自製可以長時間記錄 pH 值和沼氣濃度的儀器。其中包含: mblock 積木程式的使用、pH 值量儀校正、量測氣體電阻轉換成甲烷濃度的方法、excel 的方程式輸入。

另外，我們希望能夠加速沼氣的產生，所以在我們的儀器中，加入一個攪拌裝置，在厭氧反應的過程中，持續的攪拌廚餘和菌體，希望可以加速甲烷菌的生物化學反應。<攪拌裝置製作方式參考:123 desk 簡易 3D 繪圖軟體[8]、Ultimaker Cura 3D 打印轉檔軟體[9]、mblock 步進馬達控制積木程式[10]>我們跟學校創意教室的老師學習了 3D 打印機的操作的製作，有的同學負責 3D 電腦繪圖，有的同學負責設計攪拌裝置，有的負責鑽孔，有的負責組裝，有的負責寫 mblock 積木程式。

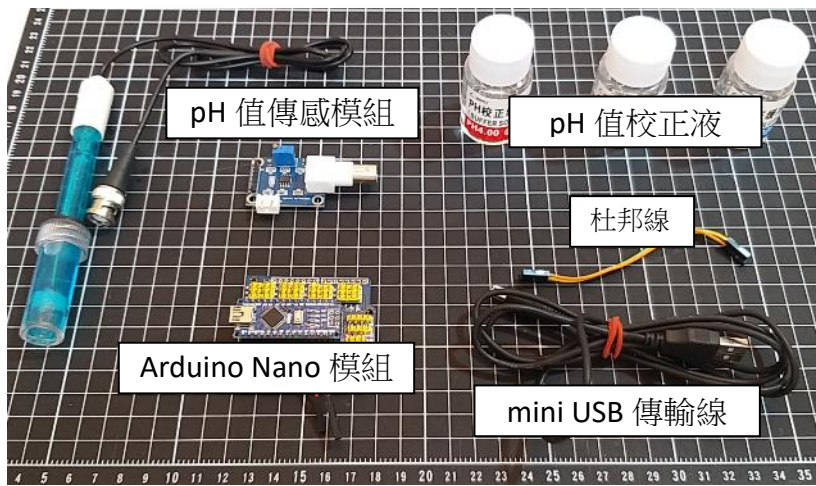
在產生沼氣的同時，氣體會膨脹。<取自: 畜牧場沼氣利用/行政院水質保護網[11]>氣體容器膨脹就可能會有沼氣洩漏的情況發生，所以我們也製作了一個可以量測氣壓的量儀，監控沼氣收集時的氣體壓力。<氣壓量儀製作參考: GY68 量儀 mblock 積木程式[12]>在收集沼氣之前，我們會先通空氣進入沼氣收集瓶內，一段時間後，確認沼氣收集瓶的氣壓沒有下降，確認密封良好，才開始進行沼氣收集實驗。

【實驗一】觀察活菌之研究設備及器材

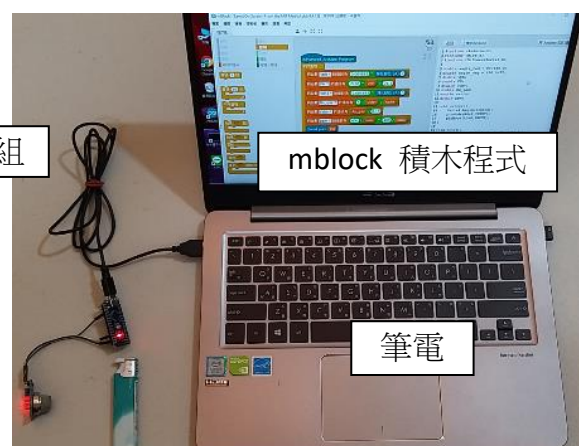
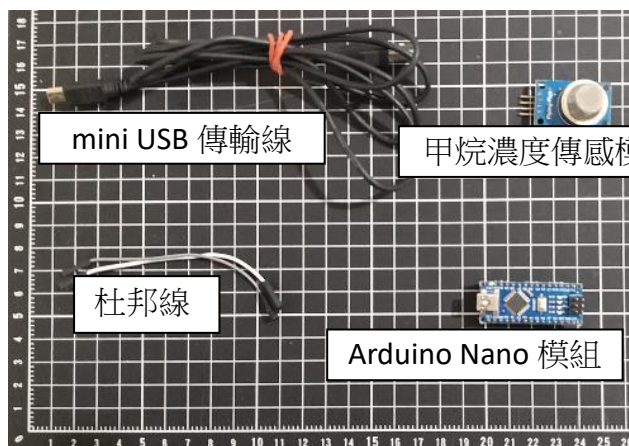


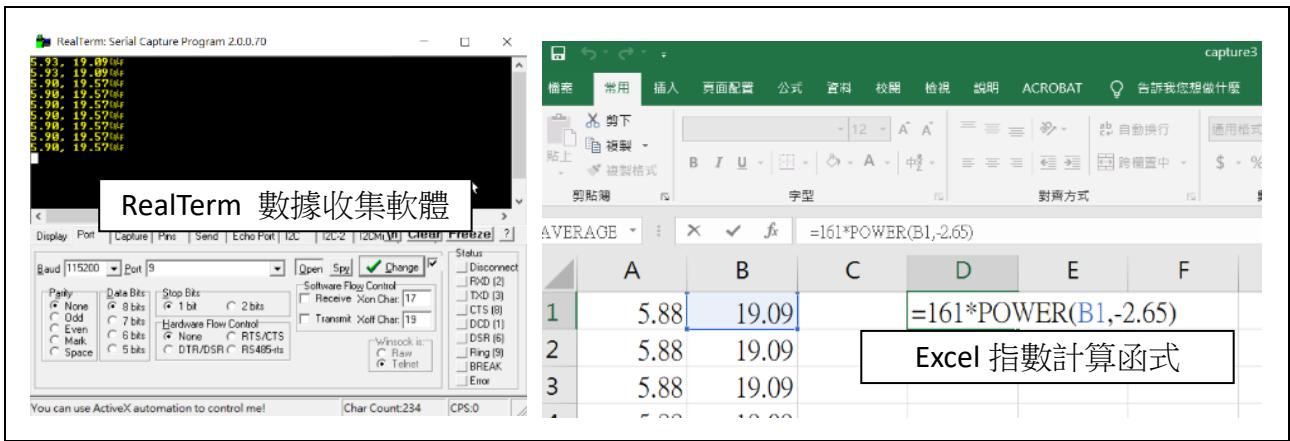
(二)、量儀製作:

【實驗二】pH 量儀製作材料

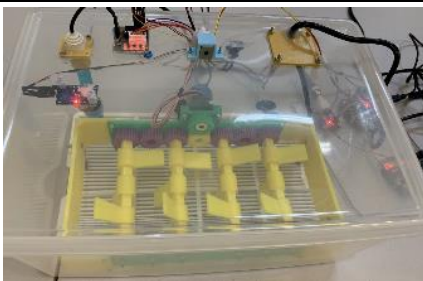


【實驗三】甲烷濃度量儀製作材料

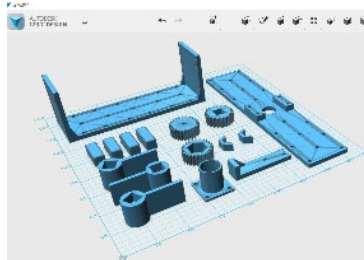




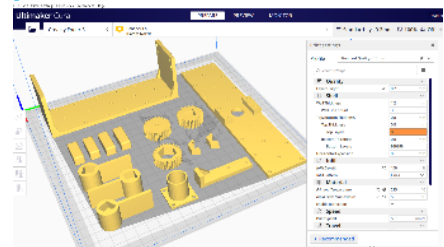
【實驗四】第一階段沼氣分析設備製作材料



第一階段沼氣分析設備成品



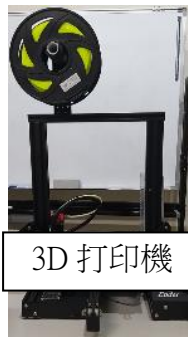
123D Design 繪圖軟體



Ultimaker Cura 3D 打印軟體



密封箱



3D 打印機



電鑽



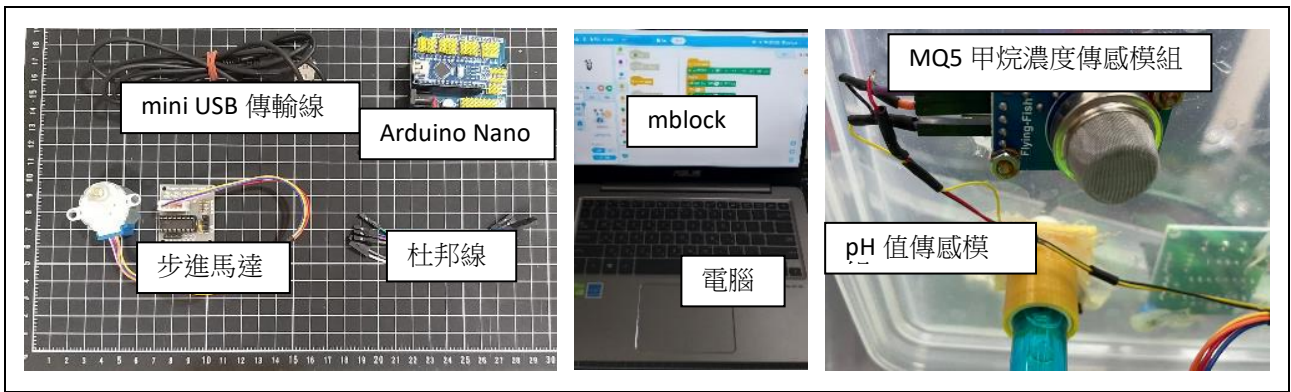
400W 焊接機



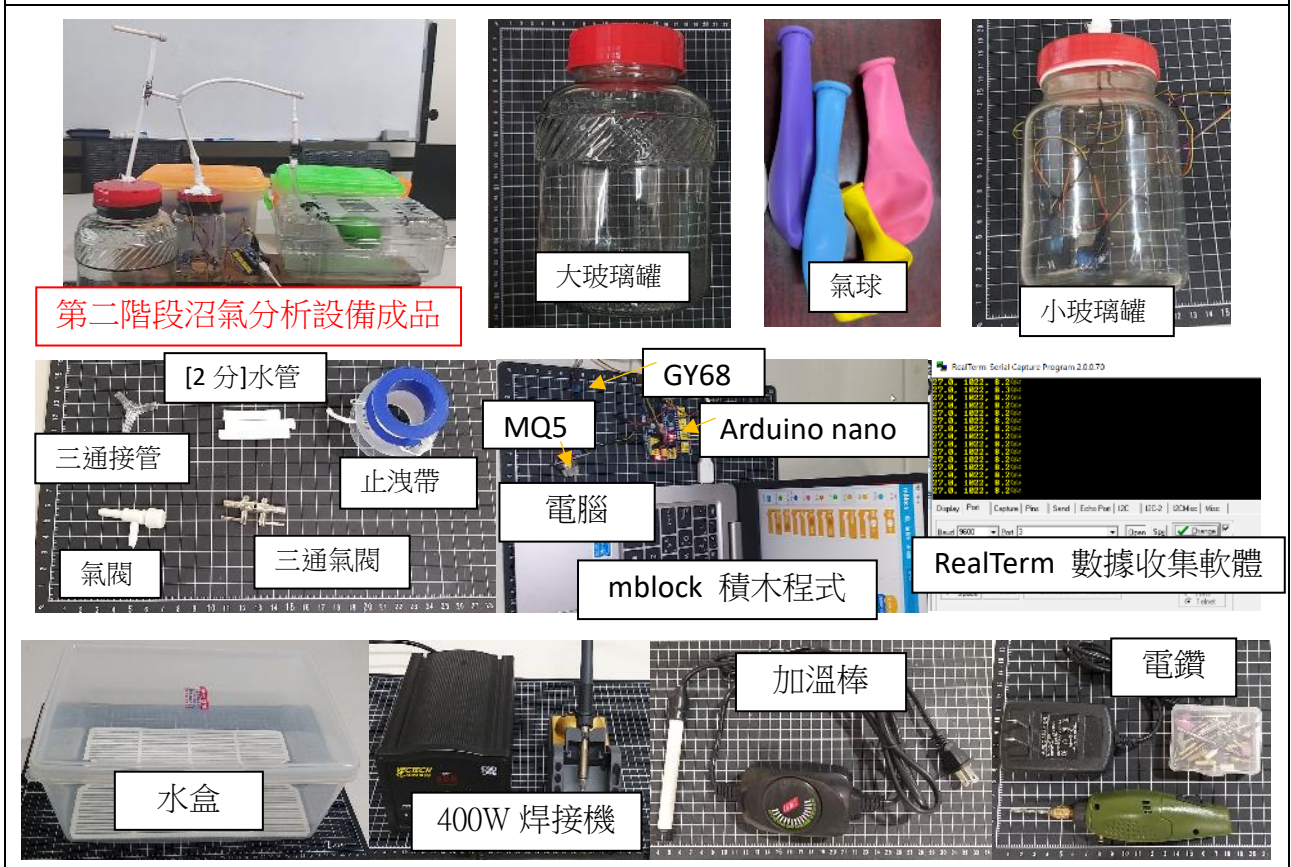
加溫棒



矽橡膠



【實驗十一】第二階段沼氣分析設備製作材料



二、菌體來源和廚餘材料:

【實驗五~十】第一階段沼氣分析工具及材料



【實驗十二~十三】第二階段沼氣分析工具及材料

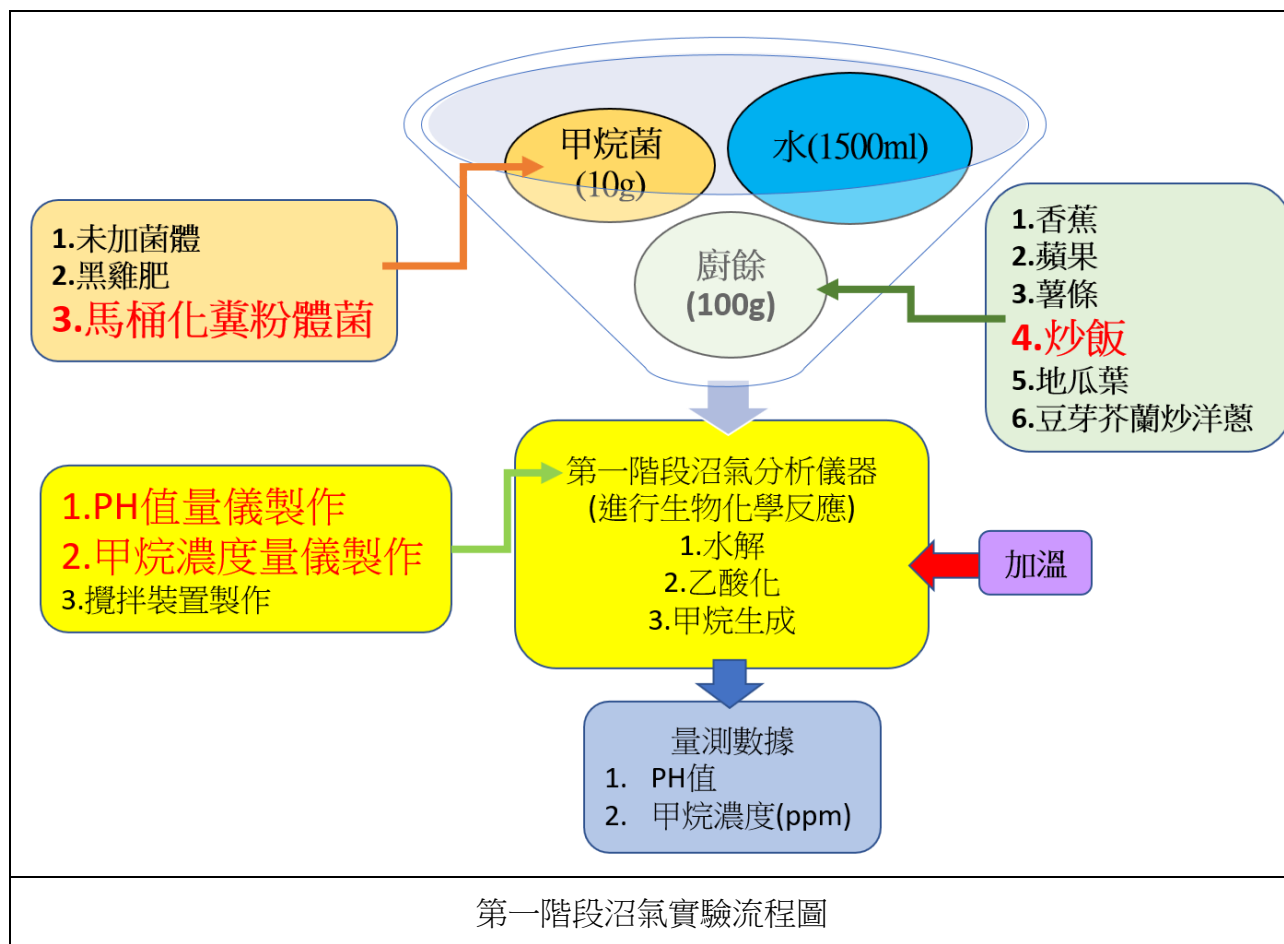


【實驗十四】燃氣測試材料



肆、研究過程或方法

一、第一階段沼氣實驗



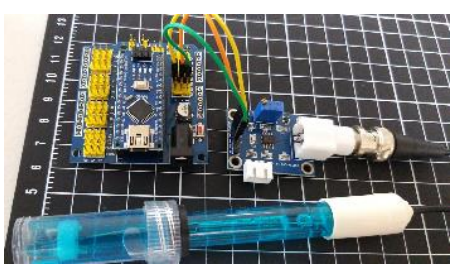
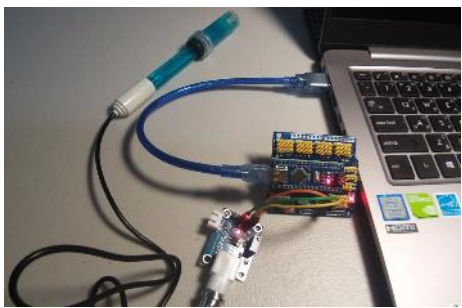

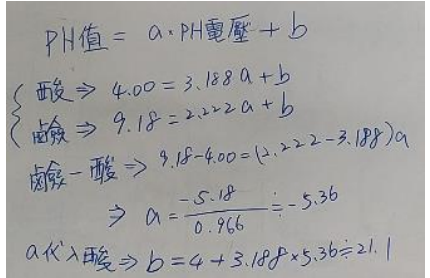
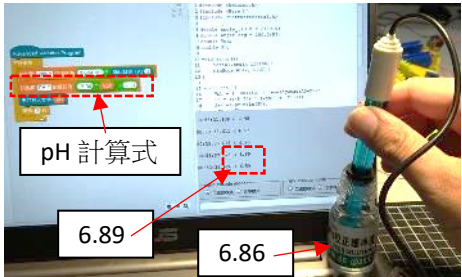
(一)、實驗前活菌確認

實驗目的: 一般**甲烷菌**的取得是利用動物糞便或是湖底淤泥作為**培養**，但是市售的**馬桶化糞粉體菌**是否如包裝說明一樣有很多的活菌，較少文獻描述，故先在**第一階段沼氣分析實驗**前觀察活菌。


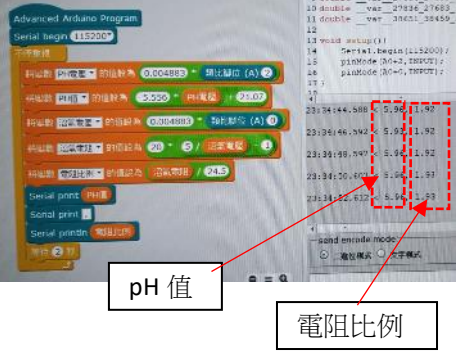
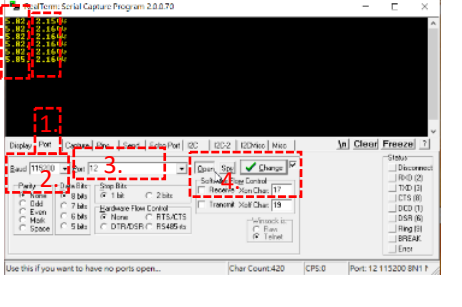
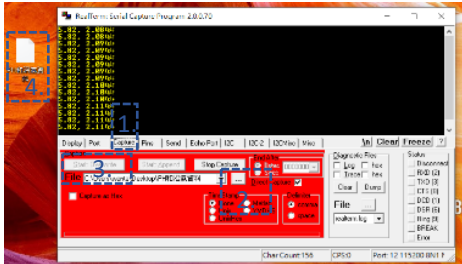
【實驗一】觀察活菌(推測馬桶化糞粉體菌是一種甲烷菌)。	
過程或方法	照片
利用顯微鏡觀察[馬桶化糞粉體菌]樣品，在相同位置、不同時間(隔一分鐘)拍兩張圖片。如右邊(圖左)和(圖右)白色虛線圈圈內的物體有明顯移動的現樣，推測為活菌運動現象。	

(二)、第一階段沼氣分析儀器製作

實驗目的:製作 pH 值【實驗二】和甲烷濃度【實驗三】量儀，並製作一自動攪拌裝置【實驗四】，確保廚餘、水和菌體均勻混合。

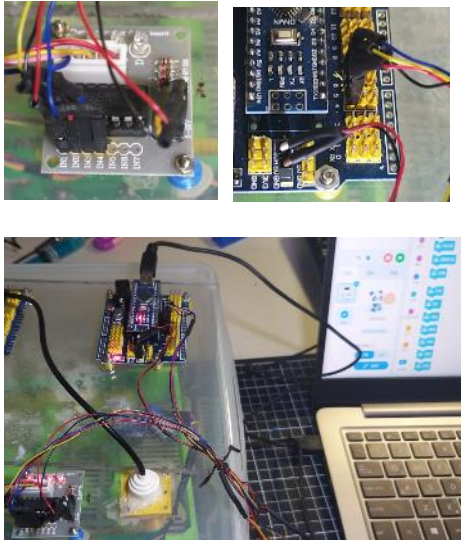

【實驗二】pH 量儀製作		
步驟	過程或方法	照片
1	<p>將 Arduino Nano 與 pH 值傳感模組電路相連接。</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ [pH 腳位 PO] 連接[Arduino 腳位 A2] ✓ [pH 腳位 Vcc] 連接[Arduino 腳位 5V] ✓ [pH 腳位 GND] 連接[Arduino 腳位 GND] 	
2	將 Arduino Nano 透過 USB 傳輸線與電腦相連接。	
3	用 mblock 積木程式讀取[A2 腳位類比訊號]，其中[pH 電壓]=0.00488x[A2 腳位的類比訊號]。而 $0.00488 = 5 \div 2^{10}$ 是量測 pH 值電壓的係數。	
4	<p>將[pH 值傳感器]放置於偏酸(pH4.00)和偏鹼(pH9.18)的校正液內，測量到[偏酸的 pH 電壓 3.19]、[偏鹼的 pH 電壓 2.22]。再利用二元一次方程式求解，得[pH 值計算式]。</p> $PH 值 = -5.36 \times [PH 電壓] + 21.1$	
5	將[步驟四]求得的[pH 計算式]寫入 mblock 積木程式中，再用偏中性的校正液(pH6.86)測試。結果量測值為 pH6.89，與校正液的誤差 $6.89-6.86=0.03$ ，約 $0.03 \div 6.86 = 0.43\%$ 。	

【實驗三】 甲烷濃度量儀製作

步驟	過程或方法	照片
1	將 Arduino Nano 與 MQ5 甲烷濃度傳感模組電路相連接。 ✓ [MQ5 腳位 A0] 連接[Arduino 腳位 A0] ✓ [MQ5 腳位 Vcc] 連接[Arduino 腳位 5V] ✓ [MQ5 腳位 GND] 連接[Arduino 腳位 GND]。	
2	將 Arduino Nano 透過 USB 傳輸線與電腦相連接。也同時依照【實驗二】的步驟，把[pH 值傳感模組]電路接上。	
3	在【實驗二】mblock 程式中，加入沼氣[電阻比例]量測程式。 $[\text{沼氣電壓}] = 0.004883 * [\text{A0 類比訊號}]$ $[\text{沼氣電阻}] = 20 \times \left(\frac{5}{[\text{沼氣電壓}]} - 1 \right)$ $[\text{電阻比例}] = \frac{[\text{沼氣電阻}]}{24.5}$ ※此公式參考 MQ5 甲烷量測手冊	
4	下載[RealTerm]免費序列埠監控程式，執行後： 1.點選[Port] 2.[Baud]調整到[115200]←mblock 的默認 Baud 3.選擇[Port]到[Arduino nano]的位置(這次是 12) 4.點選[Open] 和[Charge] 完成後就可以監控[pH 值]和[電阻比例]	
5	儲存[pH 值]和[電阻比例]成文字檔，紀錄其數據。 1.點選[Capture] 2.選取[...]紀錄檔案的數據。 3.選取[Start Overwrite] 4.點選後，數據就會存在文字檔中	

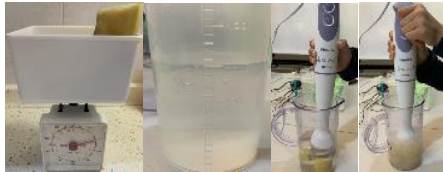

6	<p>將[電阻比例]轉換成[沼氣濃度]。其步驟如下:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.用 Excel 開啟[pH 值]和[電阻比例]的文字檔數據。 2.在 D1 儲存格內寫入沼氣濃度公式如下: $[\text{沼氣濃度}] = 161 \times [\text{阻值比例}]^{-2.65}$ ※公式參考 MQ5 甲烷濃度量測手冊 3.用 Excel 將[D 欄儲存格]全部換算成[沼氣濃度]，其中[B 欄儲存格]代表[阻值比例]。 	
---	---	--

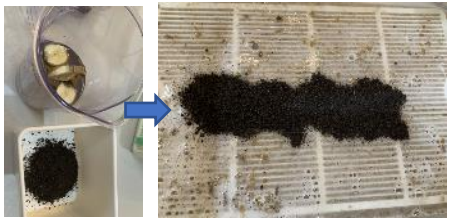

【實驗四】第一階段沼氣分析設備製作		
步驟	過程或方法	照片
1	<p>攪拌器製作步驟:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.在 Softonic 官網下載 AutoDesk 123D Design 免費 3D 繪圖軟體，並安裝在電腦上。 2.繪製好攪拌器 3D 零件 CAD 後，存檔成 [.stl]檔案。 3.利用 Ultimaker Cura 3D 打印軟體，將[.stl]轉檔成 3D 打印機專門的檔案。 4.透過打印機將攪拌器零件打印出來。 5.將攪拌器組裝起來。 	
2	<p>沼氣分析設備組裝步驟:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.在密封箱上鑽孔，讓[MQ5 甲烷濃度傳感模組]和[pH 值傳感模組]可以鎖在上面，並讓 [MQ5 甲烷濃度傳感模組]、[pH 值傳感模組]、[加溫棒]和[步進馬達]的電線可以拉出密封相。 2.用矽橡膠把鑽孔部分的空隙填補起來。 	


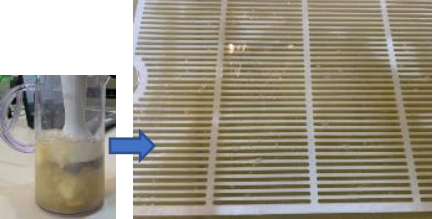
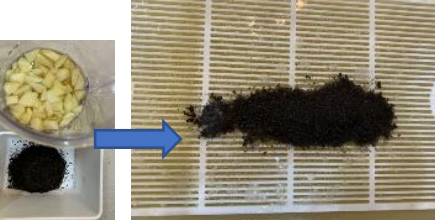
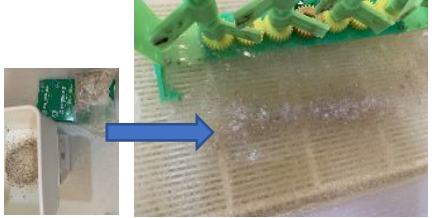
3	<p>[步進馬達]電路連接步驟</p> <p>將 Arduino Nano 與 uln2003 步進馬達驅動器電路相連接。</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ [uln2003 腳位 5V] 連接[Arduino 腳位 5V] ✓ [uln2003 腳位 GND] 連接[Arduino 腳位 GND]。 ✓ [uln2003 腳位 IN1] 連接[Arduino 腳位 4] ✓ [uln2003 腳位 IN2] 連接[Arduino 腳位 5] ✓ [uln2003 腳位 IN3] 連接[Arduino 腳位 6] ✓ [uln2003 腳位 IN4] 連接[Arduino 腳位 7] ✓ 將 Arduino Nano 透過 USB 傳輸線與電腦相連接。 	
4	<p>利用 mblock 編寫 uln2003 步進馬達驅動程式。馬達轉動步驟如下： 正轉 1 圈→停 1 秒→反轉 1 圈→停 1 秒(不斷重複)</p>	

(三)、第一階段沼氣分析實驗





實驗目的:觀察六種廚餘搭配黑雞肥和馬桶化糞粉體菌的 pH 值和甲烷濃度隨時間的變化。



【實驗五】香蕉廚餘搭配黑雞肥和馬桶化糞粉體菌測試		
步驟	過程或方法	照片
1	準備帶皮香蕉 100g，加入 300ml 的水。利用攪拌器將帶皮香蕉攪拌成泥。	
2	<p>【實驗五之一】香蕉未加菌體實驗:</p> <p>將帶皮香蕉泥倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml.，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗二】步驟 4 和 5。</p>	

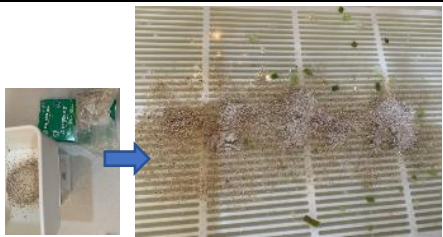
3	<p>【實驗五之二】香蕉加黑雞肥實驗: 將帶皮香蕉泥和黑雞肥倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗二】步驟 4 和 5。</p>	
4	<p>【實驗五之三】香蕉加馬桶化糞粉體菌實驗: 將帶皮香蕉泥和馬桶化糞粉體菌倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗二】步驟 4 和 5。</p>	


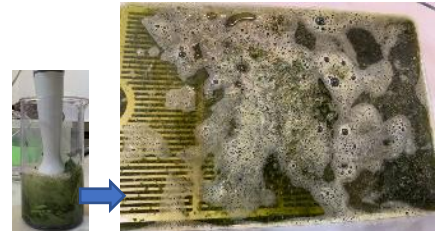
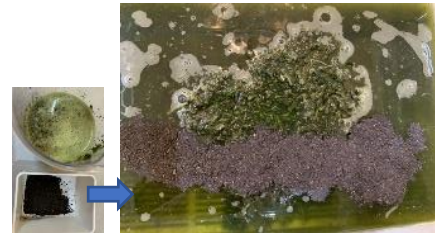
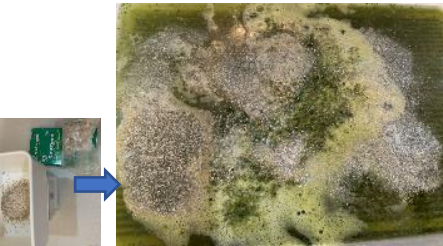
【實驗六】蘋果廚餘搭配黑雞肥和馬桶化糞粉體菌測試		
步驟	過程或方法	照片
1	<p>準備去皮蘋果 100g，加入 300ml 的水。利用攪拌器將去皮蘋果攪拌成泥。</p>	
2	<p>【實驗六之一】蘋果未加菌體實驗: 將去皮蘋果泥倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗三】步驟 4 和 5。</p>	
3	<p>【實驗六之二】蘋果加黑雞肥實驗: 將帶皮蘋果泥和黑雞肥倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗三】步驟 4 和 5。</p>	
4.	<p>【實驗六之三】蘋果加馬桶化糞粉體菌實驗: 將帶皮蘋果泥和馬桶化糞粉體菌倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗三】步驟 4 和 5。</p>	

【實驗七】薯條廚餘搭配黑雞肥和馬桶化糞粉體菌測試		
步驟	過程或方法	照片


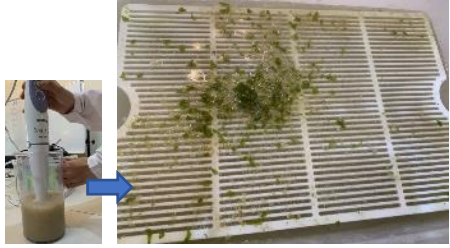
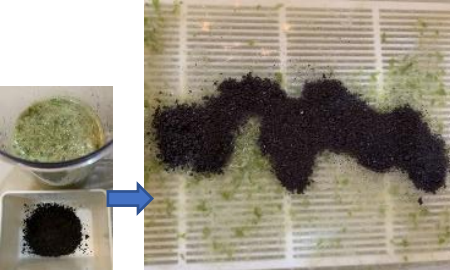
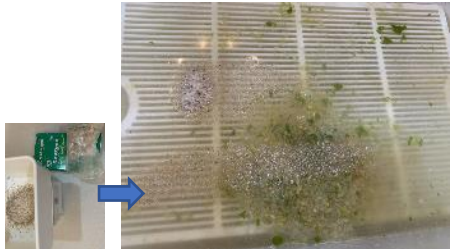
1	準備薯條 100g，加入 300ml 的水。利用攪拌器將薯條攪拌成泥。	
2	【實驗七之一】薯條未加菌體實驗: 將薯條泥倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗三】步驟 4 和 5。	
3	【實驗七之二】薯條加黑雞肥實驗: 將薯條泥和黑雞肥倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗三】步驟 4 和 5。	
4.	【實驗七之三】薯條加馬桶化糞粉體菌實驗: 將薯條泥和馬桶化糞粉體菌倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗三】步驟 4 和 5。	

【實驗八】炒飯廚餘搭配黑雞肥和馬桶化糞粉體菌測試		
步驟	過程或方法	照片
1	準備炒飯 100g，加入 300ml 的水。利用攪拌器將炒飯攪拌成泥。	
2	【實驗八之一】炒飯未加菌體實驗: 將炒飯泥倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗三】步驟 4 和 5。	
3	【實驗八之二】炒飯加黑雞肥實驗: 將炒飯泥和黑雞肥倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗三】步驟 4 和 5。	

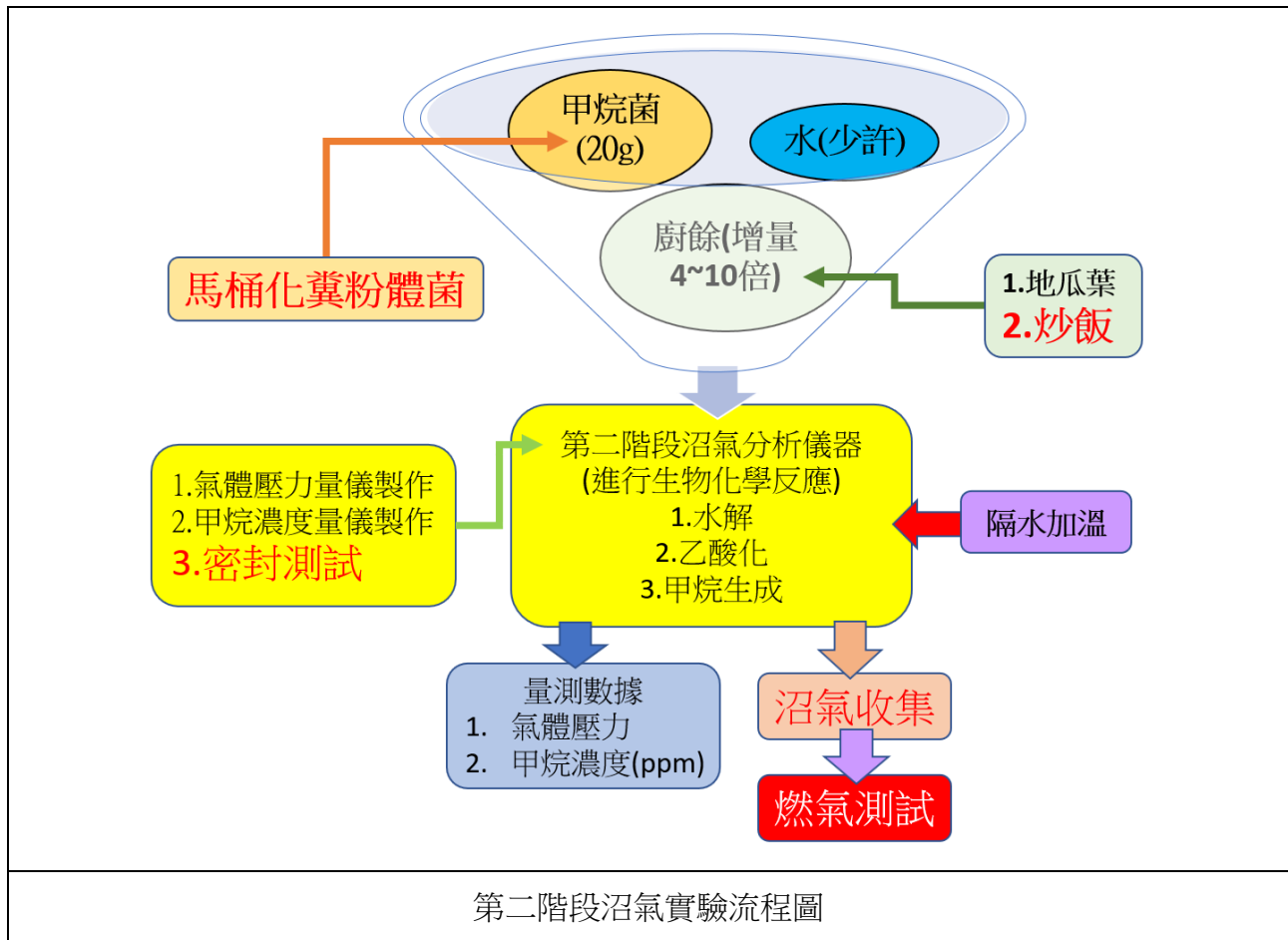
4.	<p>【實驗八之三】炒飯加馬桶化糞粉體菌實驗: 將炒飯泥和馬桶化糞粉體菌倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗三】步驟 4 和 5。</p>	
----	--	--

【實驗九】地瓜葉廚餘搭配黑雞肥和馬桶化糞粉體菌測試		
步驟	過程或方法	照片
1	<p>準備地瓜葉 100g，加入 300ml 的水。利用攪拌器將地瓜葉攪拌成泥。</p>	
2	<p>【實驗九之一】地瓜葉未加菌體實驗: 將地瓜葉泥倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗三】步驟 4 和 5。</p>	
3	<p>【實驗九之二】地瓜葉加黑雞肥實驗: 將地瓜葉泥和黑雞肥倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗三】步驟 4 和 5。</p>	
4	<p>【實驗九之三】地瓜葉加馬桶化糞粉體菌實驗: 將地瓜葉泥和馬桶化糞粉體菌倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗三】步驟 4 和 5。</p>	

【實驗十】豆芽芥蘭炒洋蔥廚餘搭配黑雞肥和馬桶化糞粉體菌測試

步驟	過程或方法	照片
1	準備 <u>豆芽芥蘭炒洋蔥</u> 100g，加入 300ml 的水。利用攪拌器將 <u>豆芽芥蘭炒洋蔥</u> 攪拌成泥。	
2	<p>【實驗十之一】<u>豆芽芥蘭炒洋蔥未加菌體實驗</u>:</p> <p>將<u>豆芽芥蘭炒洋蔥泥</u>倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗三】步驟 4 和 5。</p>	
3	<p>【實驗十之二】<u>豆芽芥蘭炒洋蔥加黑雞肥實驗</u>:</p> <p>將<u>豆芽芥蘭炒洋蔥泥</u>和<u>黑雞肥</u>倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗三】步驟 4 和 5。</p>	
4.	<p>【實驗十之三】<u>豆芽芥蘭炒洋蔥加馬桶化糞粉體菌實驗</u>:</p> <p>將<u>豆芽芥蘭炒洋蔥泥</u>和<u>馬桶化糞粉體菌</u>倒入[第一階段沼氣分析設備]，總水量加至 1500ml，置入[第一階段沼氣分析設備]，進行測試。測試方式如【實驗三】步驟 4 和 5。</p>	

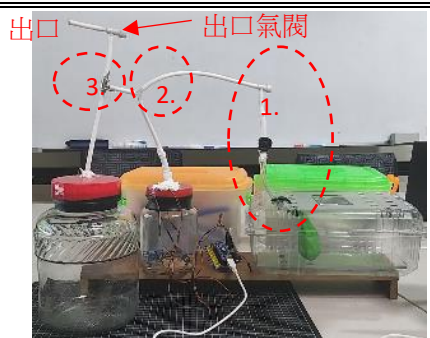

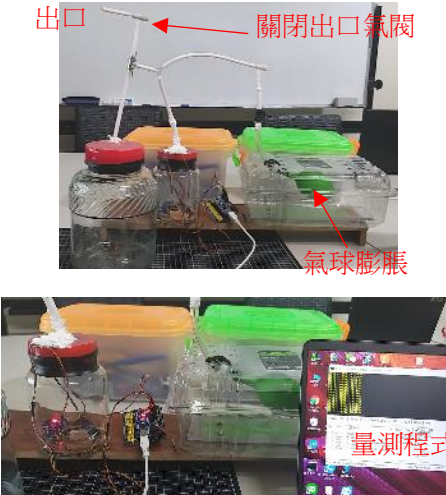
二、第二階段沼氣實驗



(一)、第二階段沼氣分析儀器製作

實驗目的: 製作量測沼氣濃度和氣體壓力的量儀


【實驗十一】第二階段沼氣分析設備測試		
步驟	過程或方法	照片
1	量測密封瓶製作: 1.將小玻璃瓶的上蓋鑽兩個孔，一個孔讓氣管通過，另一個孔讓 MQ5 和 GY86 的訊號線通過，然後用矽橡膠封住。 2.將 MQ5 和 GY68 置入小玻璃瓶，用止洩帶纏繞小玻璃瓶瓶口，然後旋上蓋子，並用黑色電氣膠帶密封。	
2	廚餘密封瓶製作: 1.將大玻璃瓶上蓋鑽一個孔，讓氣管通過。 2.蓋上密封內蓋，用止洩帶纏繞大玻璃瓶瓶口，然後旋上蓋子，並用電氣膠帶密封。最	

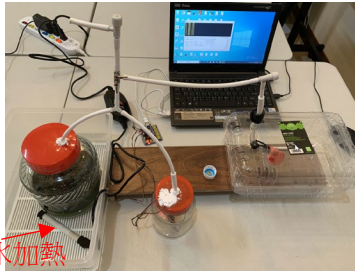
	後用矽橡膠封住。	
3	<p>第二階段沼氣分析設備組裝:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.將氣球連接在管路末端，再接氣閥和管路 2.三通管分別接上通往氣球、小玻璃瓶和三通閥的管路 3.三通閥分別接上通往三通管、出口氣閥和大玻璃瓶的管路。 	
4.	<p>編寫 mblock 量測積木程式:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.甲烷濃度量測程式:同【實驗三】。 2.GY-68 大氣壓力和溫度量測程式:mblock5 有支援 GY68 大氣壓力模組，直接從積木群中拖曳壓力積木和溫度積木到程式內既可。 	
5	<p>密封測試:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.從氣體出口吹氣至氣球膨脹，並關上出口氣閥。 2.用[RealTerm]免費序列埠監控程式，監控[第二階段沼氣分析設備]是否為完全密封，方法同【實驗三】。本次測試氣球內的氣體壓力為 1070(百帕)，持續 1 小時，壓力不變，密封效果良好。此時瓶外的大氣壓力是 1024 (百帕)。 	


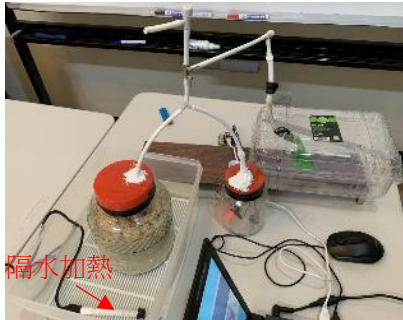
(二)、第二階段沼氣分析實驗

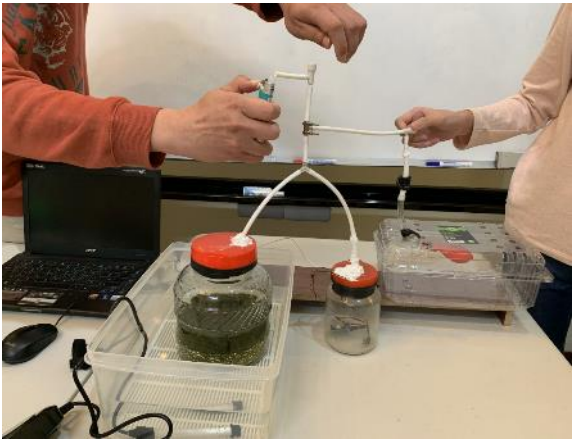
實驗目的: 1.收集沼氣，

2.燃氣測試。

【實驗十二】第二階段地瓜葉加馬桶化糞粉體菌測試		
步驟	過程或方法	照片
1	將地瓜葉(約 400g，加少許水打成泥)和馬桶化糞粉體菌(20g)攪拌後倒入[第二階段沼氣分析設備]的[大玻璃瓶] (約 1/2 瓶)內，再將[大玻璃瓶]密封。	

2	將密封好的[大玻璃瓶]，放至水箱內進行隔水加熱(加熱至 34℃)，進行測試。	
---	--	---

【實驗十三】第二階段炒飯加馬桶化糞粉體菌測試		
步驟	過程或方法	照片
1	將炒飯(約 1000g，加少許水打成泥)和馬桶化糞粉體菌(20g)攪拌後倒路入[第二階段沼氣分析設備]的[大玻璃瓶] (約 3/4 瓶)內，再將[大玻璃瓶]密封。	
2	將密封好的[大玻璃瓶]，放至水箱內進行隔水加熱(加熱至 34℃)，開始進行測試。將沼氣收集到氣球內。	

【實驗十四】燃氣測試	
過程或方法	照片
將打火機置於沼氣出口氣管前點火，然後將沼氣出口前氣閥打開。	

伍、研究結果

一、第一階段沼氣分析結果(六種廚餘搭配黑雞肥和馬桶化糞粉體菌測試結果)

【實驗五】香蕉廚餘搭配黑雞肥和馬桶化糞粉體菌測試結果

結果					圖表																				
<p>【實驗五之一】香蕉未加菌體(對照組): 測試時間:50000 秒(約 13~14 小時)，溫度:34℃。</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>監控數據</th> <th colspan="2">pH 值</th> <th colspan="2">甲烷濃度(ppm)</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">量測值</th> <th>最大</th> <th>最小</th> <th>最大</th> <th>最小</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5.11</td> <td>3.37</td> <td>31.37</td> <td>1.89</td> </tr> <tr> <td>發生時間(秒)</td> <td>0</td> <td>50000</td> <td>29060</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>					監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)		量測值	最大	最小	最大	最小	5.11	3.37	31.37	1.89	發生時間(秒)	0	50000	29060	0		
監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)																						
量測值	最大	最小	最大	最小																					
	5.11	3.37	31.37	1.89																					
發生時間(秒)	0	50000	29060	0																					
<p>【實驗五之二】香蕉加黑雞肥: 測試時間:50000 秒(約 13~14 小時)，溫度:34℃。</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>監控數據</th> <th colspan="2">pH 值</th> <th colspan="2">甲烷濃度(ppm)</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">量測值</th> <th>最大</th> <th>最小</th> <th>最大</th> <th>最小</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5.14</td> <td>3.45</td> <td>48.11</td> <td>1.86</td> </tr> <tr> <td>發生時間(秒)</td> <td>0</td> <td>50000</td> <td>25650</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>					監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)		量測值	最大	最小	最大	最小	5.14	3.45	48.11	1.86	發生時間(秒)	0	50000	25650	0		
監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)																						
量測值	最大	最小	最大	最小																					
	5.14	3.45	48.11	1.86																					
發生時間(秒)	0	50000	25650	0																					
<p>【實驗五之三】香蕉加馬桶化糞粉體菌: 測試時間:50000 秒(約 13~14 小時)，溫度:34℃。</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>監控數據</th> <th colspan="2">pH 值</th> <th colspan="2">甲烷濃度(ppm)</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">量測值</th> <th>最大</th> <th>最小</th> <th>最大</th> <th>最小</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5.11</td> <td>3.69</td> <td>62.54</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>發生時間(秒)</td> <td>0</td> <td>50000</td> <td>24198</td> <td>130</td> </tr> </tbody> </table>					監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)		量測值	最大	最小	最大	最小	5.11	3.69	62.54	0.6	發生時間(秒)	0	50000	24198	130		
監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)																						
量測值	最大	最小	最大	最小																					
	5.11	3.69	62.54	0.6																					
發生時間(秒)	0	50000	24198	130																					
<p>【分析】：</p> <ol style="list-style-type: none"> 加入馬桶化糞粉體菌的沼氣最大值是 62.54ppm，分別較未加菌體(31.37ppm)和加黑雞肥(48.11ppm)的沼氣多了 99.36%和 29.99%。沼氣濃度先上升，再後降。 pH 值隨時間增加而下降。 																									

【實驗六】蘋果廚餘搭配黑雞肥和馬桶化糞粉體菌測試結果

結果					圖表																					
<p>【實驗六之一】蘋果未加菌體(對照組): 測試時間:50000 秒(約 13~14 小時), 溫度:34°C。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>監控數據</th> <th colspan="2">pH 值</th> <th colspan="2">甲烷濃度(ppm)</th> </tr> <tr> <td>量測值</td> <td>最大</td> <td>最小</td> <td>最大</td> <td>最小</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>4.31</td> <td>3.63</td> <td>25.62</td> <td>1.70</td> </tr> <tr> <td>發生時間(秒)</td> <td>0</td> <td>50000</td> <td>48374</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>					監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)		量測值	最大	最小	最大	最小		4.31	3.63	25.62	1.70	發生時間(秒)	0	50000	48374	0		
監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)																							
量測值	最大	最小	最大	最小																						
	4.31	3.63	25.62	1.70																						
發生時間(秒)	0	50000	48374	0																						
<p>【實驗六之二】蘋果加黑雞肥: 測試時間:50000 秒(約 13~14 小時), 溫度:34°C。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>監控數據</th> <th colspan="2">pH 值</th> <th colspan="2">甲烷濃度(ppm)</th> </tr> <tr> <td>量測值</td> <td>最大</td> <td>最小</td> <td>最大</td> <td>最小</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>4.36</td> <td>2.58</td> <td>50.50</td> <td>1.50</td> </tr> <tr> <td>發生時間(秒)</td> <td>0</td> <td>50000</td> <td>31074</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>					監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)		量測值	最大	最小	最大	最小		4.36	2.58	50.50	1.50	發生時間(秒)	0	50000	31074	0		
監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)																							
量測值	最大	最小	最大	最小																						
	4.36	2.58	50.50	1.50																						
發生時間(秒)	0	50000	31074	0																						
<p>【實驗六之三】蘋果加馬桶化糞粉體菌: 測試時間:50000 秒(約 13~14 小時), 溫度:34°C。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>監控數據</th> <th colspan="2">pH 值</th> <th colspan="2">甲烷濃度(ppm)</th> </tr> <tr> <td>量測值</td> <td>最大</td> <td>最小</td> <td>最大</td> <td>最小</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>4.32</td> <td>2.26</td> <td>35.17</td> <td>1.58</td> </tr> <tr> <td>發生時間(秒)</td> <td>0</td> <td>50000</td> <td>26098</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>					監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)		量測值	最大	最小	最大	最小		4.32	2.26	35.17	1.58	發生時間(秒)	0	50000	26098	0		
監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)																							
量測值	最大	最小	最大	最小																						
	4.32	2.26	35.17	1.58																						
發生時間(秒)	0	50000	26098	0																						
<p>【分析】:</p> <ol style="list-style-type: none"> 加入黑雞肥的沼氣最大值是 50.50ppm, 分別較未加菌體(25.62ppm)和加馬桶化糞粉體菌(35.17ppm)的沼氣多了 116.63%和 57.80%。沼氣濃度先上升, 再下降。 pH 值隨時間增加而下降。 																										

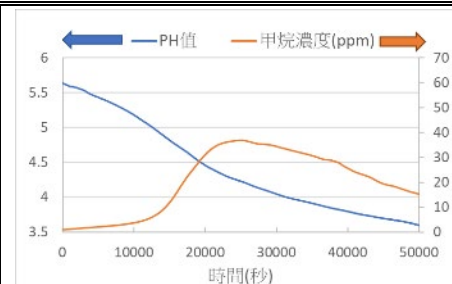
【實驗七】薯條廚餘搭配黑雞肥和馬桶化糞粉體菌測試結果

結果					圖表																					
<p>【實驗七之一】薯條未加菌體(對照組): 測試時間:50000 秒(約 13~14 小時), 溫度:34°C。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>監控數據</th> <th colspan="2">pH 值</th> <th colspan="2">甲烷濃度(ppm)</th> </tr> <tr> <td>量測值</td> <td>最大</td> <td>最小</td> <td>最大</td> <td>最小</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>5.80</td> <td>5.15</td> <td>15.91</td> <td>1.18</td> </tr> <tr> <td>發生時間(秒)</td> <td>10418</td> <td>50000</td> <td>21946</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>					監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)		量測值	最大	最小	最大	最小		5.80	5.15	15.91	1.18	發生時間(秒)	10418	50000	21946	0		
監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)																							
量測值	最大	最小	最大	最小																						
	5.80	5.15	15.91	1.18																						
發生時間(秒)	10418	50000	21946	0																						

【實驗七之二】薯條加黑雞肥:

測試時間:50000 秒(約 13~14 小時), 溫度:34℃。

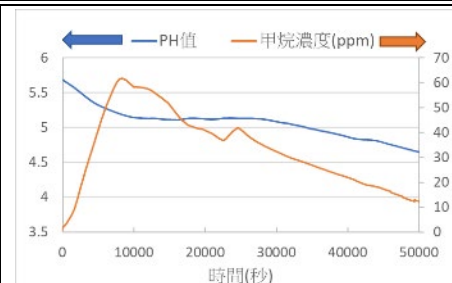
監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)	
量測值	最大	最小	最大	最小
	5.64	3.57	36.87	1.02
發生時間(秒)	0	50000	24976	0



【實驗七之三】薯條加馬桶化糞粉體菌:

測試時間:50000 秒(約 13~14 小時), 溫度:34℃。

監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)	
量測值	最大	最小	最大	最小
	5.68	4.65	61.70	1.22
發生時間(秒)	0	50000	8300	0



【分析】:

- 1.加入馬桶化糞粉體菌的沼氣最大值是 61.70ppm，分別較未加菌體(15.91ppm)和加黑雞肥(36.87ppm)的沼氣多了 287.81%和 67.34%。沼氣濃度先上升，再下降。
- 2.未加菌具體的實驗，pH 值變化最小(最大-最小=0.65)。加入黑雞肥 pH 值變化最大(最大-最小=2.07)。

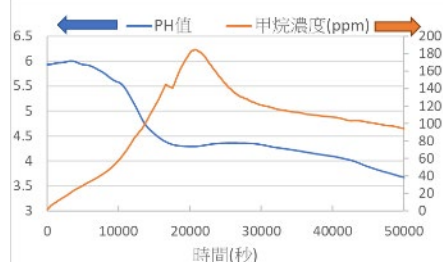
【實驗八】炒飯廚餘搭配黑雞肥和馬桶化糞粉體菌測試結果

結果					圖表	
【實驗八之一】炒飯未加菌體(對照組):						
測試時間:50000 秒(約 13~14 小時), 溫度:34℃。						
監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)			
量測值	最大	最小	最大	最小		
	5.96	4.18	24.76	1.27		
發生時間(秒)	0	40248	18092	0		
【實驗八之二】炒飯加黑雞肥:						
測試時間:50000 秒(約 13~14 小時), 溫度:34℃。						
監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)			
量測值	最大	最小	最大	最小		
	5.89	3.15	29.85	1.61		
發生時間(秒)	0	23370	32100	0		

【實驗八之三】炒飯加馬桶化糞粉體菌:

測試時間:50000 秒(約 13~14 小時), 溫度:34℃。

監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)	
量測值	最大	最小	最大	最小
	6.00	3.66	184.70	1.37
發生時間(秒)	3266	50000	20786	0



【分析】:

- 1.加入馬桶化糞粉體菌的沼氣最大值是 184.70ppm，分別較未加菌體(24.76ppm)和加黑雞肥(29.85ppm)的沼氣多了 645.96%和 518.76%。沼氣濃度先上升，再下降。
- 2.未加菌體的 pH 值先下降，在 20000 秒後 pH 值變化不大。黑雞肥實驗的 pH 值先下降後緩升。

【實驗九】地瓜葉廚餘搭配黑雞肥和馬桶化糞粉體菌測試結果

結果					圖表																					
<p>【實驗九之一】地瓜葉未加菌體(對照組):</p> <p>測試時間:50000 秒(約 13~14 小時), 溫度:34℃。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>監控數據</th> <th colspan="2">pH 值</th> <th colspan="2">甲烷濃度(ppm)</th> </tr> <tr> <th>量測值</th> <th>最大</th> <th>最小</th> <th>最大</th> <th>最小</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>5.68</td> <td>5.19</td> <td>24.05</td> <td>1.14</td> </tr> <tr> <td>發生時間(秒)</td> <td>35420</td> <td>10796</td> <td>29388</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>					監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)		量測值	最大	最小	最大	最小		5.68	5.19	24.05	1.14	發生時間(秒)	35420	10796	29388	0		
監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)																							
量測值	最大	最小	最大	最小																						
	5.68	5.19	24.05	1.14																						
發生時間(秒)	35420	10796	29388	0																						
<p>【實驗九之二】地瓜葉加黑雞肥:</p> <p>測試時間:50000 秒(約 13~14 小時), 溫度:34℃。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>監控數據</th> <th colspan="2">pH 值</th> <th colspan="2">甲烷濃度(ppm)</th> </tr> <tr> <th>量測值</th> <th>最大</th> <th>最小</th> <th>最大</th> <th>最小</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>5.66</td> <td>5.33</td> <td>24.53</td> <td>1.38</td> </tr> <tr> <td>發生時間(秒)</td> <td>38246</td> <td>8892</td> <td>30908</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>					監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)		量測值	最大	最小	最大	最小		5.66	5.33	24.53	1.38	發生時間(秒)	38246	8892	30908	0		
監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)																							
量測值	最大	最小	最大	最小																						
	5.66	5.33	24.53	1.38																						
發生時間(秒)	38246	8892	30908	0																						
<p>【實驗九之三】地瓜葉加馬桶化糞粉體菌:</p> <p>測試時間:50000 秒(約 13~14 小時), 溫度:34℃。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>監控數據</th> <th colspan="2">pH 值</th> <th colspan="2">甲烷濃度(ppm)</th> </tr> <tr> <th>量測值</th> <th>最大</th> <th>最小</th> <th>最大</th> <th>最小</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>5.54</td> <td>5.06</td> <td>76.26</td> <td>1.19</td> </tr> <tr> <td>發生時間(秒)</td> <td>0</td> <td>11018</td> <td>14548</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>					監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)		量測值	最大	最小	最大	最小		5.54	5.06	76.26	1.19	發生時間(秒)	0	11018	14548	0		
監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)																							
量測值	最大	最小	最大	最小																						
	5.54	5.06	76.26	1.19																						
發生時間(秒)	0	11018	14548	0																						
<p>【分析】:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 加入馬桶化糞粉體菌的沼氣最大值是 76.26ppm，分別較未加菌體(24.05ppm)和加黑雞肥(24.53ppm)的沼氣多了 217.09%和 210.88%。 																										

2. 沼氣濃度先上升，再下降。pH 值得變化不大，再 5.1~5.8 之間變化。

【實驗十】豆芽芥蘭炒洋蔥廚餘搭配黑雞肥和馬桶化糞粉體菌測試結果

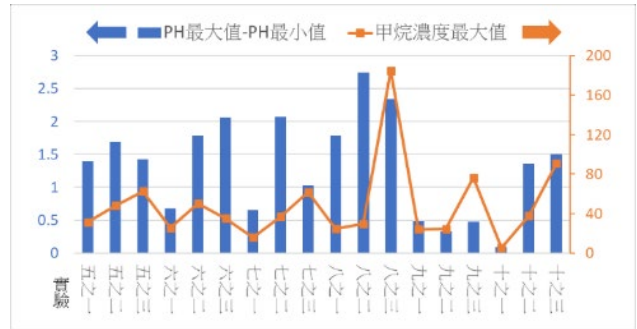
結果					圖表																				
<p>【實驗十之一】豆芽芥蘭炒洋蔥未加菌體(對照組): 測試時間:50000 秒(13~14 小時)，溫度:34°C。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>監控數據</th> <th colspan="2">最大 pH 值</th> <th colspan="2">甲烷濃度(ppm)</th> </tr> <tr> <td rowspan="2">量測值</td> <th>最大</th> <th>最小</th> <th>最大</th> <th>最小</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5.51</td> <td>5.42</td> <td>5.46</td> <td>1.25</td> </tr> <tr> <td>發生時間(秒)</td> <td>0</td> <td>50000</td> <td>34864</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>					監控數據	最大 pH 值		甲烷濃度(ppm)		量測值	最大	最小	最大	最小	5.51	5.42	5.46	1.25	發生時間(秒)	0	50000	34864	0		
監控數據	最大 pH 值		甲烷濃度(ppm)																						
量測值	最大	最小	最大	最小																					
	5.51	5.42	5.46	1.25																					
發生時間(秒)	0	50000	34864	0																					
<p>【實驗十之二】豆芽芥蘭炒洋蔥加黑雞肥: 測試時間:50000 秒(13~14 小時)，溫度:34°C。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>監控數據</th> <th colspan="2">pH 值</th> <th colspan="2">甲烷濃度(ppm)</th> </tr> <tr> <td rowspan="2">量測值</td> <th>最大</th> <th>最小</th> <th>最大</th> <th>最小</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5.75</td> <td>4.39</td> <td>37.78</td> <td>1.17</td> </tr> <tr> <td>發生時間(秒)</td> <td>50000</td> <td>15724</td> <td>23842</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>					監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)		量測值	最大	最小	最大	最小	5.75	4.39	37.78	1.17	發生時間(秒)	50000	15724	23842	0		
監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)																						
量測值	最大	最小	最大	最小																					
	5.75	4.39	37.78	1.17																					
發生時間(秒)	50000	15724	23842	0																					
<p>【實驗十之三】豆芽芥蘭炒洋蔥加馬桶化糞粉體菌: 測試時間:50000 秒(13~14 小時)，溫度:34°C。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>監控數據</th> <th colspan="2">pH 值</th> <th colspan="2">甲烷濃度(ppm)</th> </tr> <tr> <td rowspan="2">量測值</td> <th>最大</th> <th>最小</th> <th>最大</th> <th>最小</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5.30</td> <td>3.38</td> <td>90.96</td> <td>1.30</td> </tr> <tr> <td>發生時間(秒)</td> <td>0</td> <td>20108</td> <td>26620</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>					監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)		量測值	最大	最小	最大	最小	5.30	3.38	90.96	1.30	發生時間(秒)	0	20108	26620	0		
監控數據	pH 值		甲烷濃度(ppm)																						
量測值	最大	最小	最大	最小																					
	5.30	3.38	90.96	1.30																					
發生時間(秒)	0	20108	26620	0																					
<p>【分析】：</p> <ol style="list-style-type: none"> 加入馬桶化糞粉體菌的沼氣最大值是 90.96ppm，分別較未加菌體(5.46ppm)和加黑雞肥(37.78ppm)的沼氣多了 1565.93%和 140.76%。沼氣濃度先上升，再下降。 未加菌體的 pH 值得變化不大，再 5.42~5.51 之間變化。 																									

【實驗五~十】[pH 最大值-pH 最小值]和[甲烷濃度最大值]比較

【分析】

1. 【實驗十之一】[pH 最大值-pH 最小值]的數值最小(只有 0.09)，代表 pH 值變化最小，證明在這一組實驗當中並無明顯乙酸化反應，所以導致最大沼氣濃度最低(只有 5.46ppm)。
2. 在菌體的比較當中，六組廚餘測試，有五組是馬桶化糞粉體菌所產生的沼氣較多，代表馬桶化糞粉體菌中的甲烷菌，對於廚餘轉化成甲烷的能力較佳。
3. 馬桶化分粉體菌加炒飯所產生的最大沼氣量最多(184.6ppm)。

比較圖

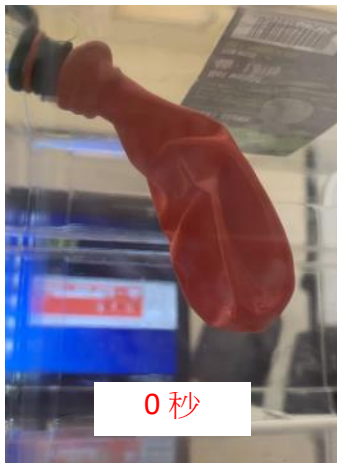
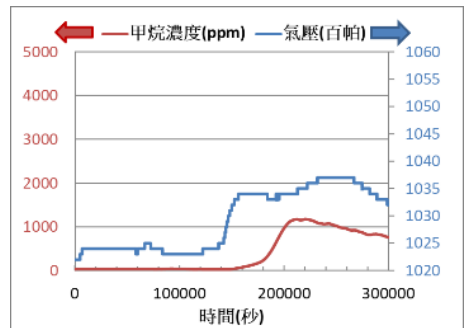


【說明】：1. 實驗五:香蕉，實驗六:蘋果，實驗七:薯條，實驗八:炒飯，實驗九:地瓜葉，實驗十:豆芽芥蘭炒洋蔥。
2. 實驗的[之一]代表:未加菌，實驗的[之二]代表:加黑雞肥，實驗的[之三]代表:加馬桶化糞粉體菌。

二、第二階段沼氣分析結果(增量地瓜葉和炒飯廚餘搭配增量馬桶化糞粉體菌測試結果)

【實驗十二】增量地瓜葉(400g)搭配增量馬桶化糞粉體菌(20g)測試結果

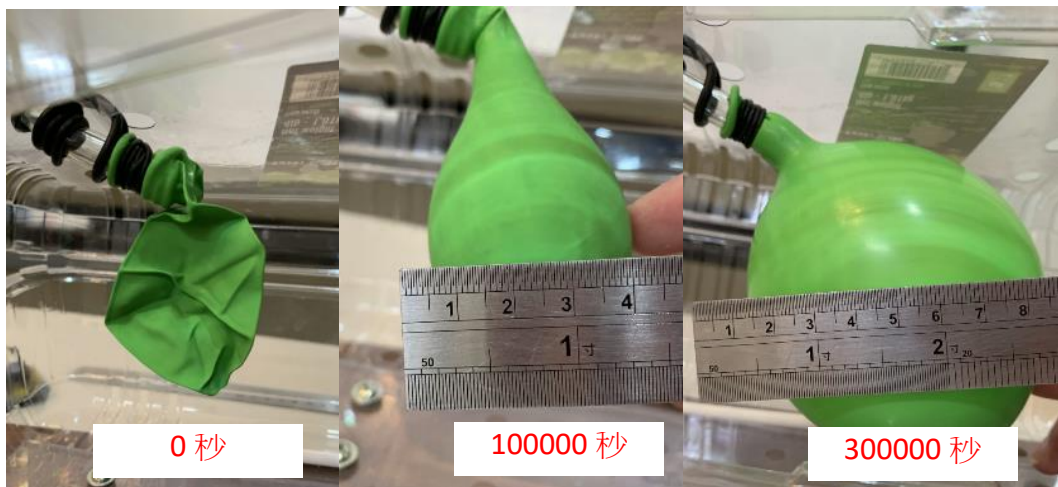
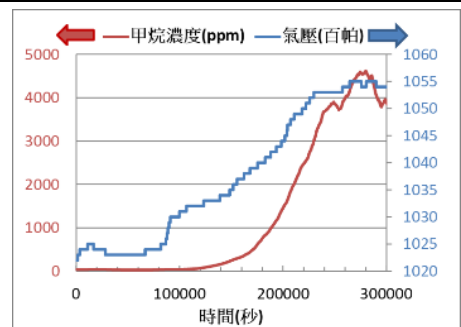
結果					圖表	
測試時間:300000 秒(3~4 天)，溫度:34℃。						
監控數據	氣壓(百帕)		甲烷濃度(ppm)			
量測值	最大	最小	最大	最小		
	1037	1022	1175	32		
發生時間(秒)	231906	0	220261	0		



【分析】：【實驗九之三】[地瓜葉(100g)搭配馬桶化糞粉體菌(10g)] 的最大沼氣濃度發生時間是 14548 秒，比【實驗十二】[增量地瓜葉(400g)搭配增量馬桶化糞粉體菌(20g)] 的最大沼氣濃度發生時間 220261 秒，快了 14 倍以上。這可能是因為第一階段沼氣量測儀器有攪拌裝置，讓馬桶化糞粉體菌和地瓜葉泥混合較好，生物化學反應較為均勻的關係。隨著時間的增加，收集的沼氣也變多，在 30 萬秒時，收集沼氣的氣球直徑大約是 5 公分(如上圖左)。

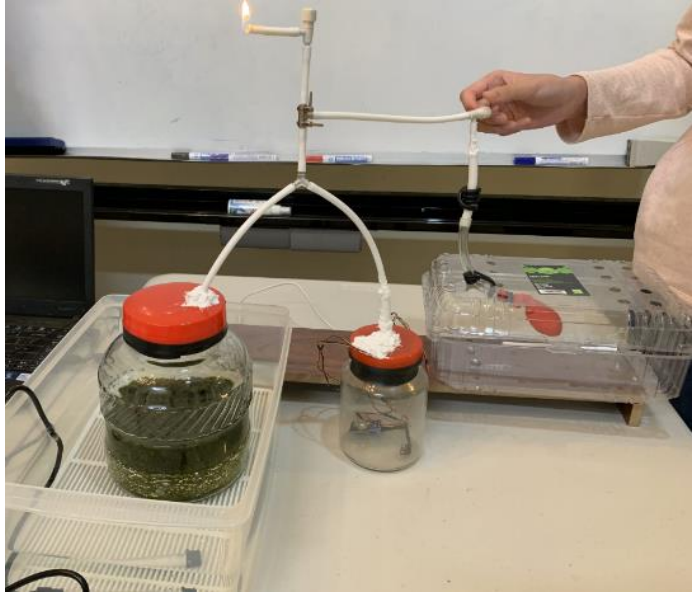
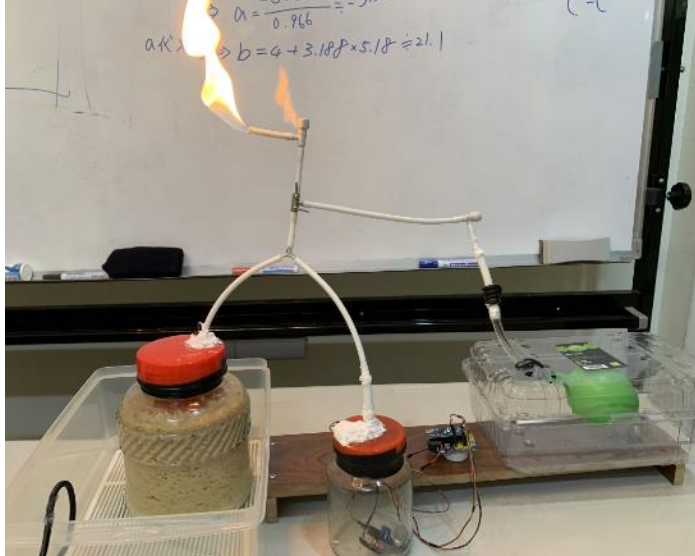
【實驗十三】增量炒飯(1000g)搭配增量馬桶化糞粉體菌(100g)測試結果

結果		圖表		
測試時間:300000 秒(3~4 天)，溫度:34°C。				
監控數據	氣壓(百帕)		甲烷濃度(ppm)	
量測值	最大	最小	最大	最小
	1055	1022	4614	34
發生時間(秒)	264406	0	280081	0



【分析】：【實驗八之三】[炒飯(100g)搭配馬桶化糞粉體菌(10g)] 的最大沼氣濃度發生時間是 20783 秒，比【實驗十三】[增量炒飯(1000g)搭配增量馬桶化糞粉體菌(100g)] 的最大沼氣濃度發生時間 280081 秒，快了約 13.5 倍。這可能是因為第一階段沼氣量測儀器有攪拌裝置，讓馬桶化糞粉體菌和炒飯廚餘的混合較好，生物化學反應較為均勻的關係。隨著時間的增加，收集的沼氣也變多，在 30 萬秒時，收集沼氣的氣球直徑大約是 7.5 公分(如上圖左)。

【實驗十四】燃氣測試

結果	圖表
<p>【實驗十二】增量地瓜葉(400g)搭配增量馬桶化糞粉體菌(20g)燃氣測試</p> <p>【分析】:進行點火測試，先用打火機點火，再將沼氣出口處的氣閥打開。發現氣球內收集到的氣體是可以點燃的，證明收集到了沼氣，但是火量較小。</p>	
<p>【實驗十三】增量炒飯(1000g)搭配增量馬桶化糞粉體菌(100g) 燃氣測試</p> <p>【分析】: 進行點火測試，先用打火機點火，再將沼氣出口處的氣閥打開。發現氣球內收集到的氣體是可以點燃的，證明收集到了沼氣。而炒飯廚餘收集到的沼氣是較多的，點起來的火焰也較大。</p>	

陸、討論

- 一、從我們收集的資料中有提到，沼氣的產生與甲烷菌的厭氧化學反應有關，在甲烷菌吞噬廚餘的過程當中，會有酸化反應產生乙酸。在第一階段沼氣測試的 18 組實驗中，有 12 組的[pH 最大-pH 最小]數值大於 1，這表示我們有三分之二的測試有明顯的酸化反應。
- 二、【實驗十之一】豆芽芥蘭炒洋蔥不加菌的[pH 最大-pH 最小]數值最小，代表 pH 值變化最小，證明在這一組實驗當中並無明顯乙酸化反應，所以導致最大沼氣濃度最低。
- 三、在菌體的比較當中，六組廚餘測試，有五組是馬桶化糞粉體菌所產生的沼氣較多，代表馬桶化糞粉體菌對於廚餘轉化成甲烷的能力較佳。
- 四、在甲烷菌吞噬廚餘的過程當中，會先進行水解反應，將纖維素或澱粉分解成葡萄糖。在甲烷在馬桶化糞粉體菌的測試中，加炒飯所產生的最大沼氣量最多(高達 184.6ppm)。而炒飯大部分的成分是澱粉，推測這是因為馬桶化糞粉體菌對於澱粉的水解能力較佳，產生的葡萄糖較多，進一步產生較多的沼氣。
- 五、第一階段沼氣分析設備在量測沼氣濃度的變化方面，有先上升後下降的趨勢。我們推測濃度會下降的原因，是因為第一階段沼氣分析設備的密封性不佳，導致沼氣外洩，致使沼氣濃度下降。故在第二階段沼氣分析設備，有特別加強設備的密封性。另外，還有一個比較複雜的原因，就是甲烷菌的活性受到廚餘變質的影響，導致生物化學反應的情況改變，進而影響沼氣生成的速率。
- 六、甲烷菌的厭氧反應屬於生物化學反應，反應速率較慢，若無長時間記錄整個化學變化的過程，易導致錯失紀錄最大沼氣濃度的時機。我們透過現代化 AI 科技，製作可以長時間記錄甲烷濃度和 pH 值的分析儀器。對於分析和了解整個化學變化的過程，有相當有利。
- 七、比較第一階段沼氣測試【實驗八之三】[炒飯加馬桶化糞粉體菌]和第二階段沼氣測試【實驗十三】[增量炒飯加馬桶化糞粉體菌]的沼氣濃度隨時間變化結果。發現【實驗十三】[增量炒飯加馬桶化糞粉體菌]的最大沼氣濃度 4614(ppm)是【實驗八之三】[炒飯加馬桶化糞粉體菌]25 倍。沼氣濃度會增加的主要原因有兩個。一個原因是[第二階段沼氣測試儀器]的密封性較佳，沼氣較不易散失到大氣中。另一個原因是[第二階段沼氣測試]

的炒飯質量較多，所以產生的甲烷濃度也較高。

八、比較第一階段【實驗八之三】和第二階段【實驗十三】沼氣測試發生最大沼氣濃度的時間。【實驗八之三】最大沼氣濃度發生的時間在 20786 秒，比【實驗十三】最大沼氣濃度發生的時間在 280081 秒，快了約 13.5 倍的時間，可以快速比較何種材料組合，能產生較多的甲烷。這可能是因為第一階段沼氣量測儀器有攪拌裝置，讓馬桶化糞粉體菌和炒飯的混合較好，有助於加快找到最適合產生沼氣的甲烷菌與廚餘種類搭配。

柒、結論

沼氣生成屬於生物化學的厭氧反應，甲烷菌會先將澱粉或纖維素水解成葡萄糖，再將葡萄糖酸化產生乙酸，最後生成甲烷和二氧化碳。由於生物化學反應的時間很長，不易測量和分析。我們先透過第一階段沼氣分析量儀，從六種食材搭配兩種甲烷菌來源的組合中，篩選出炒飯廚餘和馬桶化糞粉體菌組合能生的沼氣濃度最高。再利用第二階段沼氣分析量儀，收集增量炒飯廚餘和馬桶化糞粉體菌組合的沼氣，進行燃氣測試，最後成功產生火焰。

我們利用資訊科技，增編積木程式，讓量儀可以長時間的紀錄pH值和沼氣濃度等數據，並進一步探討細菌分解廚餘的秘密，這是要邁入AI智能科技的第一步。人類為了生活上的便利，發展了核能和燃煤等對於環境破壞極大的不潔能源，對生態的破壞越來越嚴重。不久的將來，我們想要再精進編寫AI程式的技能，讓這些數據更有智慧的被利用。希望未來能利用這些數據，設計一個加速沼氣生物化學反應的家電，只要把吃剩的廚餘放到該家電內，就可以產生沼氣，用來燒開水、煮飯，甚至燃氣發電，為國內的綠能發展，盡一份小小的力量。

捌、參考文獻資料

1. 自然與生活科技五下，南一出版社，2021。
2. 厭氧消化/維基百科，網址：
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%8E%AD%E6%B0%A7%E6%B6%88%E5%8C%96>
3. 行政院沼氣發電推動網，網址：

<https://www.biogas.com.tw/>

4. 甲烷菌/百度百科，網址:

<https://baike.baidu.com/item/%E7%94%B2%E7%83%B7%E8%8F%8C>

5. mblock 積木程式網站，網址:

<https://mblock.makeblock.com/zh-cn/download/>

6. pH 值量儀使用範例，網址

<https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-ph-meter>

7. 自製氣體監視器教學網站，網址:

<http://www.powenko.com/wordpress/%E8%87%AA%E8%A3%BD%E6%B0%A3%E9%AB%94%E7%9B%A3%E8%A6%96%E5%99%A8%EF%BC%8C%E9%81%BF%E5%85%8D%E6%B0%A3%E7%88%86%E4%BA%8B%E4%BB%B6%E5%92%8C%E7%93%A6%E6%96%AF%E7%88%86%E7%82%B8%E3%80%82/>

8. 123 desk 簡易 3D 繪圖軟體網站，網址:

<https://autodesk-123d.en.softonic.com/download>

9. Ultimaker Cura 3D 打印轉檔軟體網站，網址:

<https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura>

10. mblock 積木程式控制步進馬達教學網站，網址:

<https://openhome.cc/Gossip/CodeData/mBlockArduino/mBlockArduino16.html>

11. 畜牧場沼氣利用/行政院水質保護網，網址:

https://water.epa.gov.tw/Page1_2.aspx

12. GY68 mblock 擴展積木程式，網址:

<https://sites.google.com/mail.shses.chc.edu.tw/science/%E7%A8%8B%E5%BC%8F%E7%A9%8D%E6%9C%A8%E4%BB%8B%E7%B4%B9>

【評語】 082803

1. 實驗前，先觀察樣品「馬桶化糞粉體菌」，是否有很多的活菌，符合科學研究的程序。
2. 針對研究的題目製作許多量測工具，實作相當完整，實驗數據亦完整。有推得 pH 值計算公式。具備科學研究實事求是之精神。
3. 本作品很貼近生活的應用，相當符合鄉土教材的概念，以及俱備實用價值。
4. 作品標題有言及 AI 探討，但作品說明書中，與 AI 相關內容嫌少，未來或許可再深化此部分之論述。

作品簡報

作品名稱：「沼氣」與「廚餘」關係的AI探討

科別：生活與應用科學科(機電與資訊)

組別：國小組

前言

• 研究發想：

在新聞報導中，看到了一個特別的化學現象。原來我們吃剩的**廚餘**，經過**細菌分解**後，**會轉變成可以利用的再生能源(天然氣)**，可以供給火力發電廠作發電的燃料使用。若要加快沼氣產生的時間，要控制好環境的pH值和溫度。

• 課程延伸：

1. 五年級下學期自然與生活科技〈南一版第三單元-水溶液的性質〉有教到**酸鹼值**。
2. 五年級上學期電腦課也用過〈Scratch〉學習如何寫程式。
3. 接觸到科展，我們就進階學習「mblock」程式設計。

• 研究目的：希望利用AI科技，製作有智慧的pH值和沼氣濃度分析設備。

• 未來發展：

人類為了生活上的便利，發展了核能和燃煤等對環境破壞極大的不潔能源。不久的將來，我們**想發明一個加速沼氣生物化學反應的家電**，只要把吃剩的廚餘放到該家電內，就可以產生沼氣。用來燒開水、煮飯，甚至燃氣發電，**為國內的綠能發展，盡一份小小的力量**。

研究項目

一、原理分析：

探討甲烷菌的厭氧反應特性，**設計適當的分析裝置**。

二、量儀製作：

利用現代AI科技，**自製沼氣分析儀器**。

三、分析實驗：

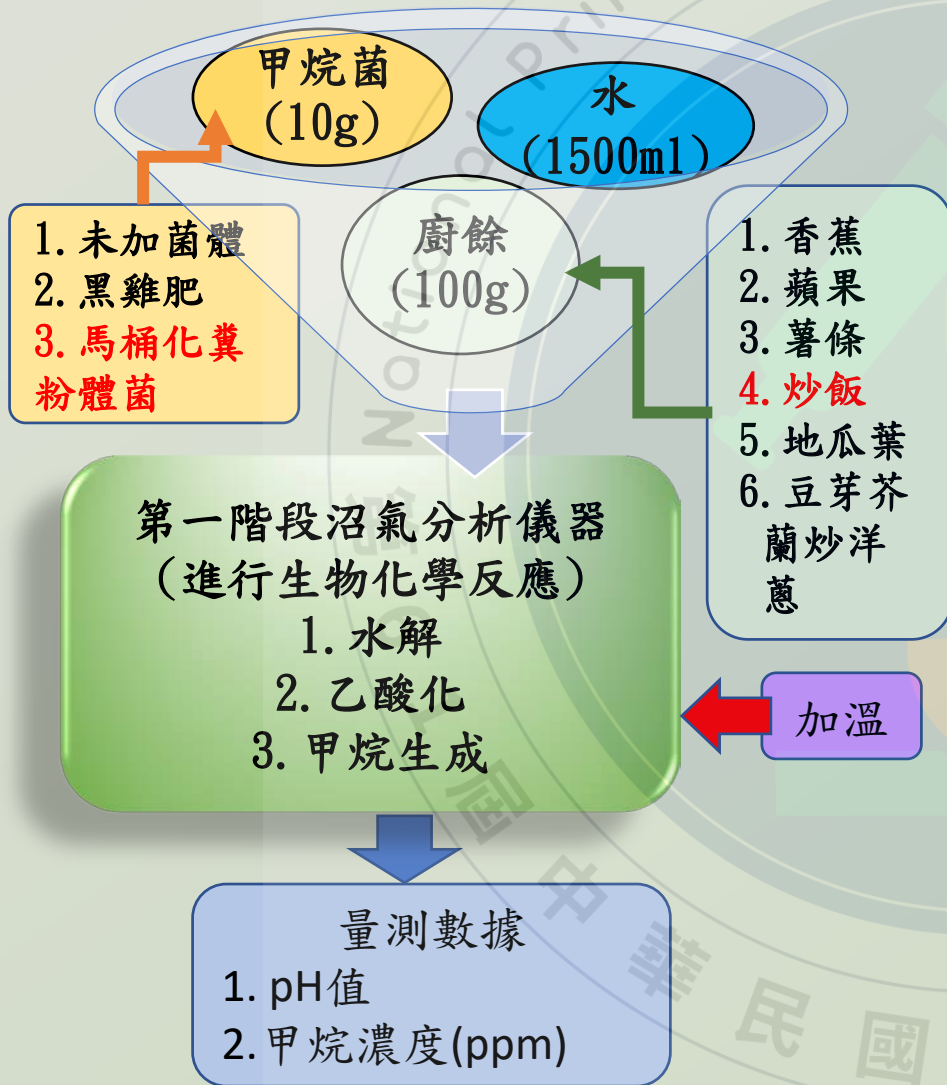
觀察六種廚餘搭配兩種菌體來源在進行生物化學反應時的廚餘pH值和甲烷濃度變化，**找出最合適生成甲烷的廚餘和菌體搭配**。

四、燃氣測試：

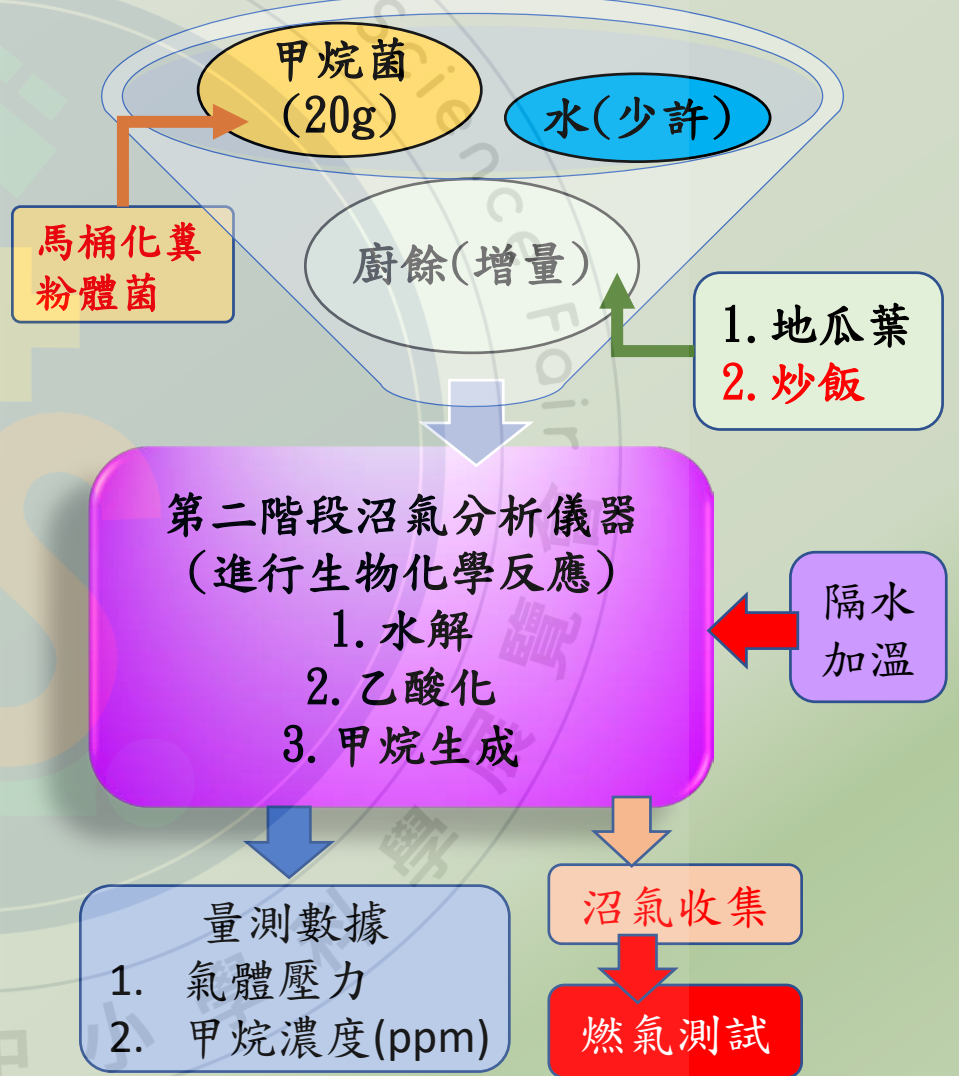
觀察收集甲烷氣體時的氣體壓力和甲烷濃度變化，並**點火燃燒證明**收集到的**氣體是**
可以做為燃料的甲烷氣體。

研究方法

一、第一階段沼氣研究實驗架構



二、第二階段沼氣研究實驗架構



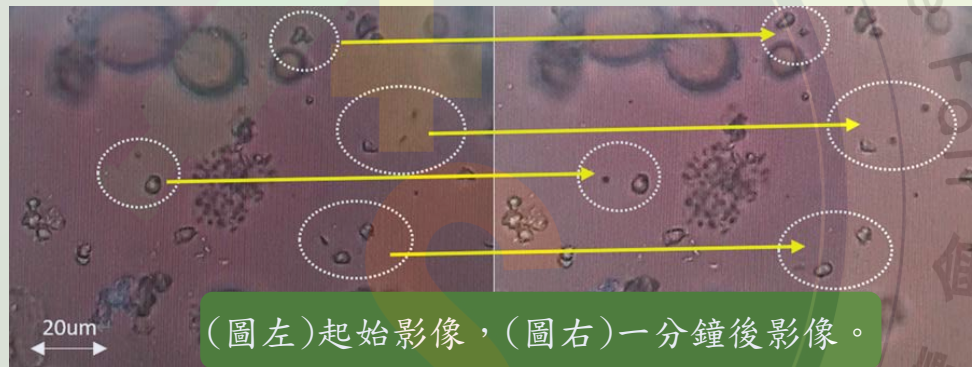
研究結果 (實驗一、活菌觀察 / 實驗二、pH量儀製作)

實驗一、活菌觀察

實驗目的: 利用顯微鏡觀察 [馬桶化糞粉體菌]，是否有活菌運動。

過程	作用	生物化學反應式
1	水解	$(C_6H_{10}O_5)_n$ (澱粉/纖維素) + nH_2O (水) \rightarrow $nC_6H_{12}O_6$ (葡萄糖)
2	乙(醋)酸化	$C_6H_{12}O_6$ (葡萄糖) \rightarrow 3 CH_3COOH (乙酸)
3	甲烷生成	CH_3COOH (乙酸) \rightarrow CH_4 (甲烷) + CO_2 (二氧化碳)

觀察結果: 在相同位置、不同時間(隔一分鐘)拍兩張圖片。如下圖(圖左)和(圖右)白色虛線圈圈內的體有明顯移動的現狀，推測為活菌運動現象。



高倍率數位光學顯微鏡



觀察樣品

實驗二、pH量儀製作

1. pH量儀電路連結



2. 編程量測



校正液	pH值	pH電壓
酸性	4.00	3.188
鹼性	9.18	2.222

3. pH值電性方程式推導

$$pH值 = a \cdot pH電壓 + b$$

$$\begin{cases} \text{酸} \Rightarrow 4.00 = 3.188a + b \\ \text{鹼} \Rightarrow 9.18 = 2.222a + b \end{cases}$$

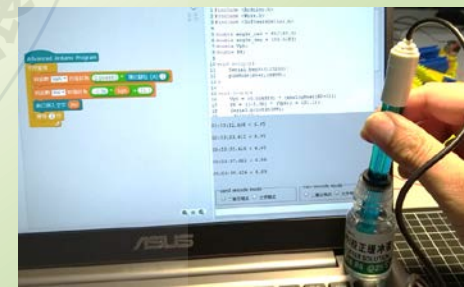
$$\text{鹼} - \text{酸} \Rightarrow 9.18 - 4.00 = (2.222 - 3.188)a$$

$$\Rightarrow a = \frac{-5.18}{0.966} = -5.36$$

$$a \text{代} \text{入} \text{酸} \Rightarrow b = 4 + 3.188 \times 5.36 = 21.1$$

校正液	實際值	量測值	誤差%
中性	6.86	6.89	0.43%

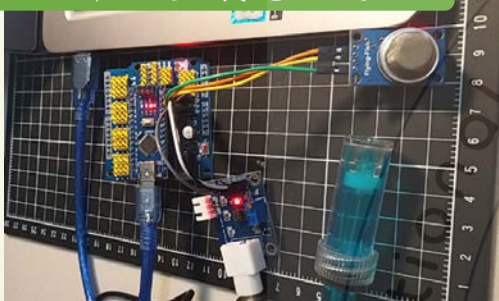
4. 量測結果



研究結果(實驗三/四、第一階段沼氣分析設備製作過程)

實驗三、甲烷量儀製作

1. 甲烷量儀電路連結

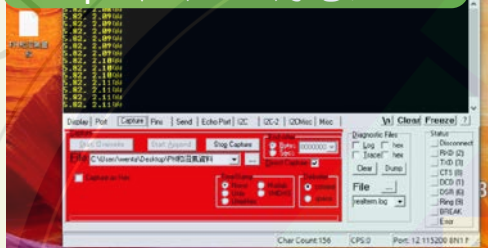


2. 加入沼氣[電阻比例]量測程式

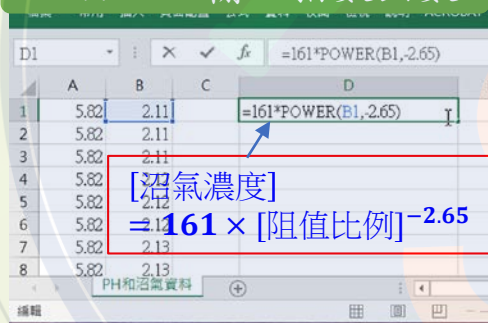


於【實驗二】中加入沼氣
[電阻比例]量測程式。
[沼氣電壓] = $0.004883 * [A0訊號]$
[沼氣電阻] = $20 * \left(\frac{5}{[沼氣電壓]} - 1 \right)$
[電阻比例] = $\frac{[沼氣電阻]}{24.5}$
※公式參考MQ5甲烷量測手冊

3. 利用[RealTerm]紀錄 pH值和沼氣電阻



4. 於Excel輸入指數函數

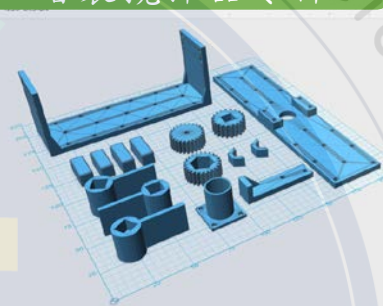


5. 將[電阻比例]換算成 [沼氣濃度]

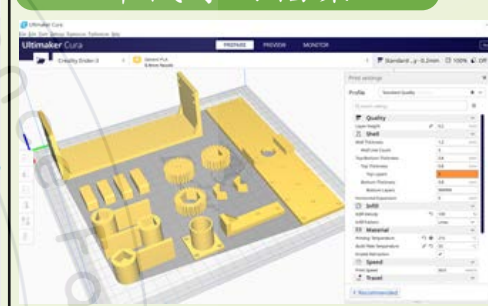


實驗四、第一階段沼氣分析儀製作

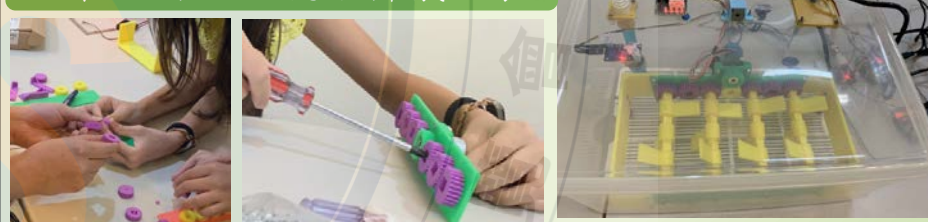
1. 利用123D Design繪製攪拌器零件



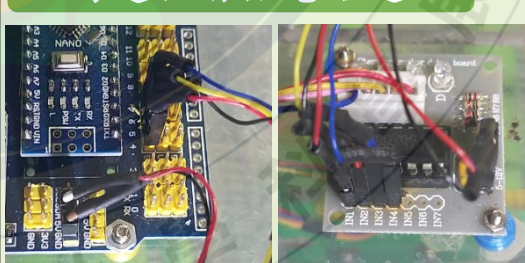
2. 將[.stl]轉檔成3D打印機專用檔案



3. 第一階段沼氣分析儀組裝



4. 馬達驅動器電路連結



Arduino	5V	GND	D4	D5	D6	D7
驅動器	5V	GND	IN1	IN2	IN3	IN4

5. 馬達驅動器程式



正轉1圈→停1秒→反轉1圈→停1秒(不停重複)

研究結果(第一階段沼氣分析實驗-實驗五~七)

實驗目的:觀察六種廚餘搭配黑雞肥和馬桶化糞粉體菌的pH值和甲烷濃度隨時間的變化。



對照組
實驗組

實驗五、香蕉

菌體	測試前	測試後	圖表	量測	pH值		甲烷濃度	
					最大	最小	最大	最小
未加				值	5.11	3.37	31.37	1.89
				秒	0	50000 (~14hr)	29060 (~8hr)	0
黑雞肥				值	5.14	3.45	48.11	1.86
				秒	0	50000 (~14hr)	25650 (~7hr)	0
馬桶化糞粉體菌				值	5.11	3.69	62.54	0.6
				秒	0	50000 (~14hr)	24198 (~7hr)	130

實驗六、蘋果



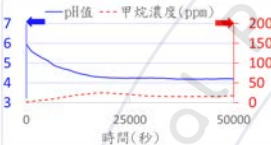


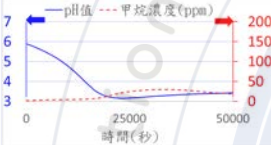


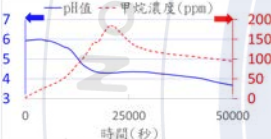
菌體	測試前	測試後	圖表	量測	pH值		甲烷濃度	
					最大	最小	最大	最小
未加				值	4.31	3.63	25.62	1.70
				秒	0	50000 (~14hr)	48374 (~13hr)	0
黑雞肥				值	4.36	2.58	50.50	1.50
				秒	0	50000 (~14hr)	31074 (~9hr)	0
馬桶化糞粉體菌				值	4.32	2.26	35.17	1.58
				秒	0	50000 (~14hr)	26098 (~7hr)	0

實驗七、薯條

菌體	測試前	測試後	圖表	量測	pH值		甲烷濃度	
					最大	最小	最大	最小
未加				值	5.80	5.15	15.91	1.18
				秒	10418 (~3hr)	50000 (~14hr)	21946 (~6hr)	0
黑雞肥				值	5.64	3.57	36.87	1.02
				秒	0	50000 (~14hr)	24976 (~7hr)	0
馬桶化糞粉體菌				值	5.68	4.65	61.70	1.22
				秒	0	50000 (~14hr)	8300 (~2hr)	130

研究結果(第一階段沼氣分析實驗-實驗八~十)



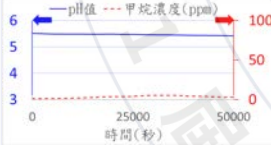


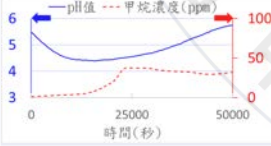

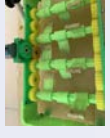
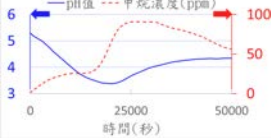
實驗八、炒飯

菌體	測試前	測試後	圖表	量測	pH值		甲烷濃度	
					最大	最小	最大	最小
未加				值	5.90	4.18	24.76	1.27
				秒	0	40248 (~11hr)	18092 (~5hr)	0
黑雞肥				值	5.89	3.15	29.85	1.61
				秒	0	23370 (~6hr)	32100 (~9hr)	0
馬桶化糞粉體菌				值	6.00	3.66	184.6	1.37
				秒	3266s	50000 (~14hr)	20786 (~6hr)	0

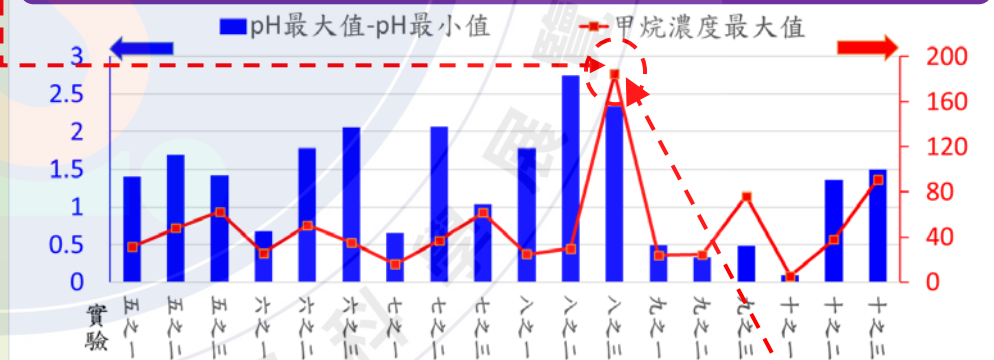
實驗九、地瓜葉

菌體	測試前	測試後	圖表	量測	pH值		甲烷濃度	
					最大	最小	最大	最小
未加				值	5.68	5.19	24.05	1.14
				秒	35420 (~10hr)	10796 (~3hr)	29388 (~8hr)	0
黑雞肥				值	5.66	5.33	24.53	1.38
				秒	38246 (~11hr)	8892 (~2hr)	30908 (~9hr)	0
馬桶化糞粉體菌				值	5.54	5.06	76.26	1.19
				秒	0	11018 (~3hr)	14548 (~4hr)	0

實驗十、豆芽芥蘭炒洋蔥

菌體	測試前	測試後	圖表	量測	pH值		甲烷濃度	
					最大	最小	最大	最小
未加				值	5.51	5.42	5.46	1.25
				秒	0	50000 (~14hr)	34864 (~10hr)	0
黑雞肥				值	5.75	4.39	37.78	1.17
				秒	50000 (~14hr)	15724 (~4hr)	23842 (~7hr)	0
馬桶化糞粉體菌				值	5.30	3.38	90.96	1.30
				秒	0	20108 (~6hr)	26620 (~7hr)	0

[pH最大值- pH最小值]和[甲烷濃度最大值]比較



結論: 1. 馬桶化糞粉體菌+炒飯的沼氣(184.6ppm)最多
2. 推測第一階段沼氣分析裝置的密封性較差, 導至甲烷濃度先升後降。

研究結果(第二階段沼氣分析結果-實驗十一~十四)

實驗十一、第二階段沼氣分析儀製作

1.鑽孔讓訊號線通過，並連接管路

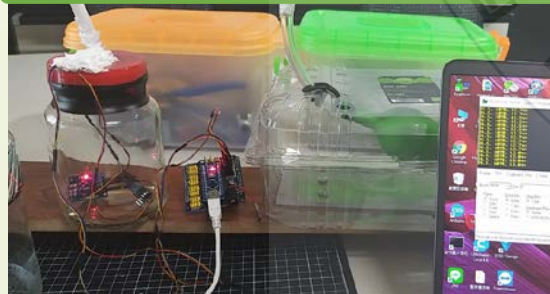


2.編寫氣壓和甲烷濃度量測程式

GY-68 大氣壓力模組
開發人員: TSUNG
I2C介面 更多

Arduino	GY68/MQ5
3V3	Vcc
GND	GND
A4	SDA
A5	SCL
5V	Vcc
GND	GND
A0	A0

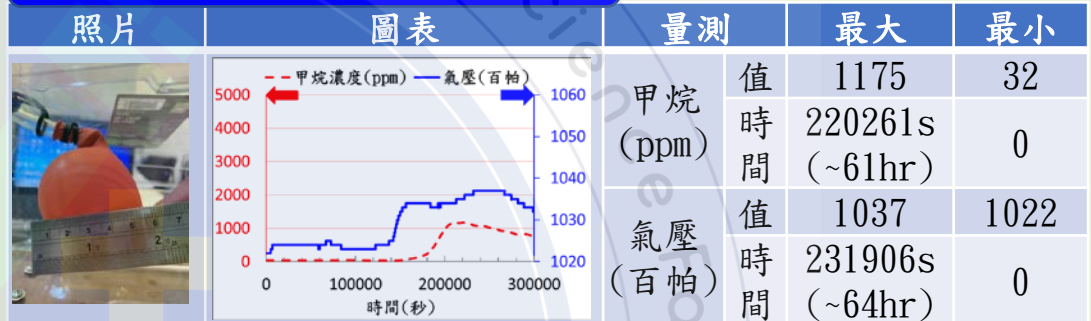
3.密封測試(1070百帕，持壓1小時)



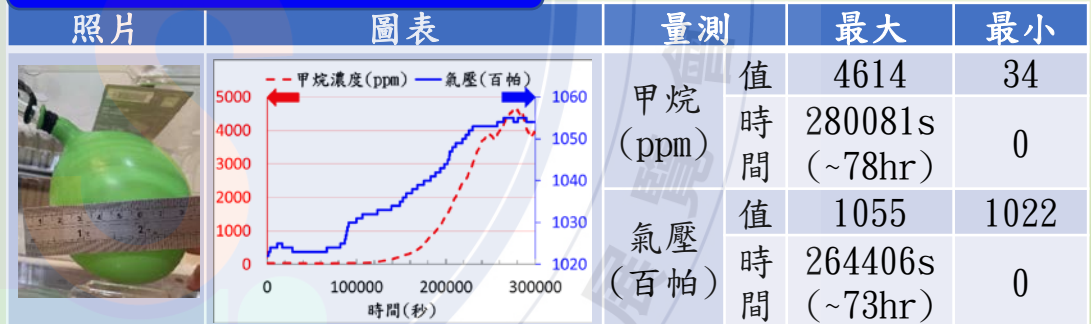
[RealTerm] 監控設備是否全密封。瓶外的大氣壓力是1024(百帕)。

實驗目的: 觀察**增量地瓜葉**和**增量炒飯**搭配**馬桶化糞粉體菌**的氣壓和甲烷濃度隨時間的變化。

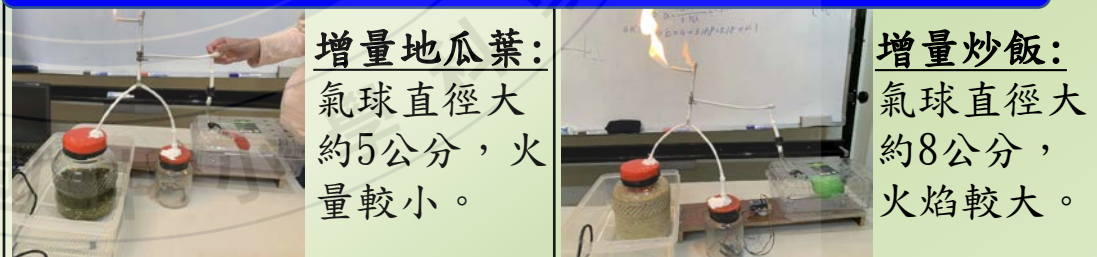
實驗十二、增量地瓜葉



實驗十三、增量炒飯



實驗十四、燃氣測試(增量炒飯的火焰較大)



討論

- 一、自製長時間記錄甲烷濃度和pH值的儀器：對於分析和了解整個生物化學變化的過程，相當有幫助。
- 二、大部分測試有明顯酸化反應：18組實驗中，有12組的[pH最大-pH最小]數值大於1。
- 三、馬桶化糞粉體菌對於廚餘轉化成甲烷的能力較佳：六組廚餘測試中，有五組是馬桶化糞粉體菌所產生的沼氣較多。
- 四、炒飯+馬桶化糞粉體菌產生的最大沼氣量最多：推測是因為馬桶化糞粉體菌對於澱粉的水解能力較佳，進一步產生較多的沼氣。
- 五、第二階段沼氣分析設備，有特別加強設備的密封性：第一階段沼氣分析設備在量測沼氣濃度的變化時，有先上升後下降的趨勢。我們推測濃度會下降的原因，是因為第一階段沼氣分析設備的密封性不佳，導致沼氣外洩，致使沼氣濃度下降。
- 六、成功點燃火焰：[增量炒飯+馬桶化糞粉體菌]的最大沼氣濃度4614 (ppm)是[炒飯+馬桶化糞粉體菌]的25倍。主要原因有兩個：(1)設備密封性較佳，(2)炒飯量較多。
- 七、攪拌裝置使其反應較均勻：第一階段最大沼氣濃度發生的時間比較快，推測可能是因為有攪拌裝置的原因。

結論

• 自製設備的優點(可長時間紀錄沼氣相關數據)

沼氣的產生屬於生物化學的厭氧反應，甲烷菌會先將澱粉或纖維素水解成葡萄糖，再將葡萄糖酸化產生乙酸，最後生成甲烷和二氧化碳。由於**生物化學反應的時間很長，無法用肉眼觀察，不易測量和分析**。我們利用AI科技，**製作可長時間紀錄pH值和沼氣濃度的設備**，並進一步探討細菌分解廚餘的秘密。

• 第一階段沼氣分析量儀(快速篩選廚餘和甲烷菌最佳組合)

先透過**第一階段沼氣分析量儀**，從六種食材搭配兩種甲烷菌來源的組合中，**快速篩選出炒飯和馬桶化糞粉體菌組合**能生成的沼氣濃度最高。

• 第二階段沼氣分析量儀(密封性佳)

利用第二階段沼氣分析量儀，收集增量炒飯和馬桶化糞粉體菌組合的沼氣，進行燃氣測試，最後**成功產生火焰**。

參考文獻

- pH值量儀使用範例，網址：
<https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-ph-meter>
- MQ5氣體偵測器使用手冊。
- 123 desk簡易3D繪圖軟體網站，網址：
<https://autodesk-123d.en.softonic.com/download>
- Ultimaker Cura 3D打印轉檔軟體網站，網址：
<https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura>
- mblock積木程式控制步進馬達教學網站，網址：
<https://openhome.cc/Gossip/CodeData/mBlockArduino/mBlockArduino16.html>.
- GY68 mblock擴展積木程式，網址：
<https://sites.google.com/mail.shses.chc.edu.tw/science/%E7%A8%8B%E5%BC%8F%E7%A9%8D%E6%9C%A8%E4%BB%8B%E7%B4%B9?authuser=0>