

十二年國民基本教育  
自然科學領域教學模組  
研發模式與示例研發計畫  
104 年成果報告

(五)

高中組

主題

「微生物產氫」暨「厭氧發酵產氫實驗」  
探究課程

委辦單位：教育部國民及學前教育署

承辦單位：國家教育研究院

計畫主持人：國家教育研究院曾世杰副院長

國立臺灣師範大學科學教育研究中心張俊彥主任

共同主持人：國立臺中教育大學科學教育與應用學系黃鴻博教授

國家教育研究院黃茂在副研究員

國家教育研究院吳文龍助理研究員

中華民國 105 年 3 月 31 日

## 『微生物產氫』教學示範模組

### 一、目的

了解微生物產氫之原理，並能操作微生物產氫之實驗，並能分析實驗結果。

### 二、原理

微生物產氫之原理，係利用微生物之代謝作用，將有機物分解為氫氣。此過程可分為兩階段：第一階段為水解酸化階段，將有機物分解為簡單有機物；第二階段為產氫階段，將簡單有機物分解為氫氣。此過程需在厭氧環境下進行，且需控制溫度、pH值等參數。

### 三、實驗器材

器材名稱	規格/數量	備註
反應器	1台	容量 2L
攪拌器	1台	容量 2L
溫度控制器	1台	容量 2L
氣體收集瓶	2個	容量 1L
氣體計	1個	容量 1L
其他器材	若干	如：試管、移液管、燒杯等

### 四、實驗步驟

1. 準備反應器：將反應器清洗乾淨，並消毒。
2. 加入底物：將底物加入反應器中。
3. 加入菌液：將菌液加入反應器中。
4. 密封反應器：將反應器密封，並檢查氣密性。
5. 控制溫度：將反應器放入溫度控制器中，並設定溫度。
6. 收集氣體：將氣體收集瓶連接到反應器上，並收集氣體。
7. 測量氣體：使用氣體計測量氣體體積。
8. 分析結果：分析實驗結果，並討論產氫效率。

# 目 次

一、基本資料	1
1.1 教學主題	1
1.2 研發團隊	1
1.3 內容綱要	1
二、設計理念	2
2.1 課程發展背景	2
2.2 課程設計可融入之領域科目	2
三、模組架構	3
3.1 單元教學活動設計架構	3
四、模組設計特色	4
五、教學活動	5
5.1 教學素材	5
5.2 教學設計	7
5.3 教學評量	9
六、教學資源	11
6.1 學生自主學習資源	11
七、試教成果	12
7.1 教學內容	12
7.2 教學活動紀錄	15
7.3 教學特色	17
7.4 教學成效	18
八、教學模組設計檢核表	21

## 圖 目 次

圖 3-1 模組設計架構圖	3
圖 4-1 模組設計特色	4
圖 7-1 引導式雙向教學模式	15
圖 7-2 分組合作學習	15
圖 7-3 課堂發表與競賽	16
圖 7-4 專家講座	16
圖 7-5 校外教學	16
圖 7-6 教師教學評鑑	18

## 表 目 次

表 1 學生回饋整理	19
表 2 對議題「信心」程度前後測分析表	20
表 3 題組測驗前後測成對樣本 t 考驗	20

# 一、基本資料

## 1.1 教學主題：「微生物產氫」暨「厭氧發酵產氫實驗」探究課程

## 1.2 研發團隊

◎指導教授：

張俊彥 國立臺灣師範大學科學教育中心主任

◎教材編撰、試教、修訂：

林唯穎 國立苗栗高級農工職業學校生物科教師

林孟郁 國立苗栗高級農工職業學校冷凍空調科教師

## 1.3 內容綱要

本課程教學模組內容為最具發展潛力之氫氣能源議題，並以「微生物產氫」主題進行深入探討，利用本課程開發之實驗教具，採「探究式教學法」之教學策略，進行「厭氧發酵產氫實驗操作」教學活動。

本課程適用對象為高中職學生，實驗器具與材料簡單易得，課程可融入於高中職「生物」、「化學」教學，以單元課程的形式讓學生修習，或融入現行的專題製作課程中進行主題研究，適合高中職學生操作且成功率高。

本課程教材、教具、實驗操作手冊與教學光碟發展齊全，並有對應之探究式教學教案、學習單與評量供教學使用利於推廣，教師可視需求靈活調整教學策略，學生經過實作探究學習，更能激發學習興趣內化所學。

## 二、設計理念

### 2.1 課程發展背景

氫氣是地球上存在最多的元素之一，在石化能源日益枯竭的今天，氫能源相對顯得取之不盡、用之不竭。氫氣的熱值很高，是汽油的 3 倍，天然氣的 3.5 倍。氫氣在燃燒後的副產物只有水，不會產生任何溫室效應氣體或破壞自然的物質，因此被譽稱為綠色能源。近年來隨著氫燃料電池的發展進步，使得氫能轉換成電能或動能的效率大大提升，現有以石化能源為基礎的設施，皆能輕易的轉成氫能設施，增強了氫能實際應用的便利性。使得氫氣能源備受國際矚目，學者們更預言 21 世紀將是『氫能源』的世紀。

目前全球商業化氫氣的年產量超過 3,600 萬噸，其中 4% 是由電解水法得到，其餘多是用熱化學法從石油、煤、天然氣等石化燃料轉化製得。熱化學法需要消耗大量的礦物資源及能源，同時會產生破壞地球的污染物。電化學法雖沒有污染的顧慮，但效率低、耗能高，並不符合經濟效益。相較前兩者，生物法產氫同時有乾淨、節能、不消耗資源等優點，是一種符合永續發展的方法，是近年來研究的主軸。

所謂微生物產氫法主要藉由特定微生物發酵培養，而伴隨氫氣的生成的製氫方式。微生物產氫主要可分為光合作用與醱酵作用兩大類，前者乃是以藻類或藍綠細菌等藉由吸收光能而進行水的分解以產生氫氣，後者則利用光合菌或厭氧菌進行有機物的醱酵轉換以產生氫氣，又可分為光醱酵作用及厭氧醱酵作用兩類。其中厭氧發酵產氫的原料來源豐富，且無需光源，可以全天候進行。其過程中不伴隨氧的產生，氫氣純化的效率較高，且具有可常溫、常壓進行、能耗低、環保等優勢，所以成為國內外重點研究的產氫製程方向。

### 2.2 課程設計可融入之領域科目

「微生物產氫」暨「厭氧發酵產氫實驗」探究課程為 8 堂課的單元式課程，可利用融入式課程的方式併至相關課程，亦可獨立成主題式的課程開設社團進行教學。其中「微生物產氫」課程中的基礎知識包含了微生物的基礎生物學、發酵之基礎原理與氫氣能源的相關課題，可融入於一般高中職的「基礎生物」與「基礎化學」課程。而「厭氧發酵產氫實驗」探究課程，則可融入於高職農、工科之「專題製作」課程。實驗課程中無需操作精密儀器，各項設備組裝容易，操作步驟簡單，菌種可在校園內輕易採集，適合高中職學生操作。從菌種採樣、厭氧培養、氫氣純化、收集氫氣、至最後氫氣的應用皆可由學生親自操作。課程架構完整，能幫助學生建構進行科學實驗的完整思路。本課程研究議題新穎，能讓對科學研究有興趣的學生深入鑽研探討，是很好的「科展研究」題材。

### 三、模組架構

#### 3.1 單元教學活動設計架構

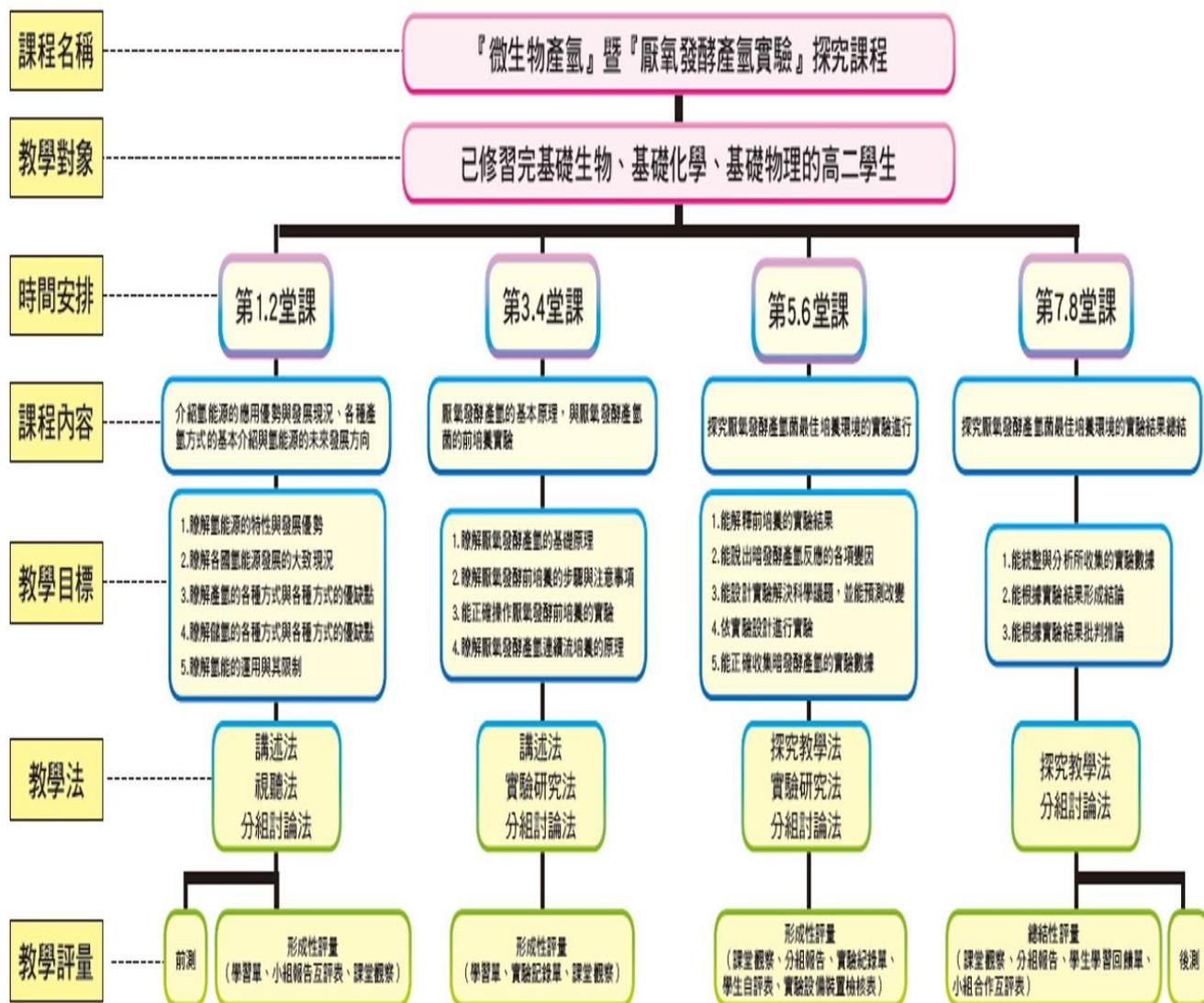


圖 3-1 模組設計架構圖

## 四、模組設計特色

本教學模組各單元內容獨立完整，讓教師可視需求靈活調整探究式教學策略，且學生在學習過程中可經由實作來內化所學知識，並在實驗探索之歷程，培養掌握研究方法、設計科學實驗、統整與分析資料、形成數據、批判及推論、形成結論及預測改變等能力指標，並且養成主動積極思考與解決能力，進而激發學習興趣。



圖 4-1 模組設計特色

## 五、教學活動

### 5.1 教學素材：學生課程活動學習單

#### 1 教學活動二 厭氧發酵產氫菌前培養實驗記錄

##### 一、厭氧發酵產氫的基本原理

1. 請寫出厭氧發酵反應的三個階段名稱。

---

---

2. 請寫出氫氣可在厭氧發酵的三個程序中，哪個階段生成？

---

---

3. 請寫出可進行厭氧發酵產氫的微生物是屬於哪些屬的細菌？

---

---

4. 請寫出厭氧發酵產氫前培養的培養液中，哪個離子可直接與氫氣的生成？

---

---

5. 厭氧發酵產氫前培養的培養液中添加了厭氧指示劑，請問溶液呈現何種現象時，表示培養液處於非厭氧的狀態？

---

---

6. 寫出在本課程中，是以何種方式去除甲烷菌，使厭氧發酵反應停留在產氫的階段？

---

---

7. 請寫出實驗操作中，有哪些步驟是為了要將培養基維持在厭氧狀態？

---

---

##### 二、厭氧發酵產氫菌之採集

採集日期：\_\_\_\_\_ 天氣：\_\_\_\_\_

採集地點週邊環境描述：\_\_\_\_\_

##### 三、樣本加熱處理

將採集之樣本加熱至 100°C，20~30 分鐘。

加熱之目的：\_\_\_\_\_

##### 四、厭氧發酵產氫菌之前培養

培養基成分：

將處理後的樣本放入初培養基中，曝氣 5 分鐘。

曝氣的目的為\_\_\_\_\_

3 教學活動一 分組報告之互評表

第 組 報告主題：						
評分向度	劣		普通		優	總分
報告內容切題程度	1	2	3	4	5	
報告內容豐富程度	1	2	3	4	5	
報告內容正確程度	1	2	3	4	5	
主講者講述清楚有條理	1	2	3	4	5	
主講者對報告內容了解程度	1	2	3	4	5	
主講者台風	1	2	3	4	5	
組員合作默契	1	2	3	4	5	

第 組 報告主題：						
評分向度	劣		普通		優	總分
報告內容切題程度	1	2	3	4	5	
報告內容豐富程度	1	2	3	4	5	
報告內容正確程度	1	2	3	4	5	
主講者講述清楚有條理	1	2	3	4	5	
主講者對報告內容了解程度	1	2	3	4	5	
主講者台風	1	2	3	4	5	
組員合作默契	1	2	3	4	5	

第 組 報告主題：						
評分向度	劣		普通		優	總分
報告內容切題程度	1	2	3	4	5	
報告內容豐富程度	1	2	3	4	5	
報告內容正確程度	1	2	3	4	5	
主講者講述清楚有條理	1	2	3	4	5	
主講者對報告內容了解程度	1	2	3	4	5	
主講者台風	1	2	3	4	5	
組員合作默契	1	2	3	4	5	

6 小組整體合作互評表

評估向度	優 (四分)	良 (三分)	可 (二分)	差 (一分)	組員姓名			
蒐集整理資料能力	搜集資料	搜集許多資料，全部都跟題目有關。	搜集一些基本的資料，大部分都跟題目有關。	搜集很少資料，少數跟題目相關。	沒有搜集資料，即使有，也跟題目無關。			
	選擇資料	全部搜集到的資料，都經理解後，作出恰當的篩選。	大部分資料內容都經理解後才作出篩選。	不太理解搜集到的資料內容，只要主題與研習題目相關便抄錄下來。	完全沒有看搜集到的資料，便當作自己的成果呈交。			
	分類整理	所有有用的資料都經分類、整理（撮要、做筆記、記重點、定標題等）。	大部分資料都經分類、整理（撮要、做筆記、記重點、定標題等）。	只對少部分資料分類、整理（撮要、做筆記、記重點、定標題等）。	所有資料都沒有分類、整理（撮要、做筆記、記重點、定標題等）。			
	表達成果	完全用自己的文字或方式表達，絕無盲從抄錄資料。	大部分用自己的文字或方式表達，只抄錄很少資料。	很少用自己的文字或方式表達，大部分都是抄錄或改動別人的資料。	所有文字或圖片都從別人文章或網頁中抄錄下來，作為己用。			
協作能力	融洽相處	從不和組員爭拗；總是為整隊設想一個公平的決定。	很少和組員爭拗；通常能考慮所有人的意見。	有時和組員爭拗；通常站在自己朋友的一邊，卻不考慮其他人。	經常和組員爭拗；要別人跟著他的方式去做。			
	主動參與	完成指派的工作，完全不用別人的提醒或催促。	通常都能完成分配好的工作，很少要別人提醒或催促。	很少主動去做分配好的工作，經常要其他人提醒或催促。	只是倚賴別人去完成，自己根本沒做任何工作。			
團隊精神	工作計畫	積極主動參與實驗在預計的時間內完成有關工作。	在實驗進行中有參與實驗的操作，但沒有認真觀察反應的變化。	開始有嘗試跟著去做，但卻未能堅持到底。	根本沒作參與實驗。			
		總分						

## 5.2 教學設計：單元教學活動設計

### 二、微生物產氫之教案內容

#### (一) 單元教學活動設計

單元教學活動設計			
單元名稱	「微生物產氫」暨「厭氧發酵產氫實驗」探究課程		
設計動機	氫能源被譽為 21 世紀最乾淨清潔且最具潛力的綠色能源。本課程先建立學生對氫能源的發展優勢、發展現況與未來應用等相關議題之基本認識，並選擇一最符合環保與資源永續利用原則之產氫方式～微生物產氫，讓學生進一步深入探討。利用本校先前開發之微生物產氫教學模組之實驗教具，並依循探究式教學法的理論與原則，進行厭氧發酵產氫實驗課程的教案設計。其教學目標為培養學生的科學素養，包括培養學生掌握研究方法、進行研究設計、統整與分析資料、批判推論及形成結論預測改變的能力，並期望啟發學生主動積極思考與解決問題的能力。		
教材來源	◎氫能 新文京出版社 毛宗強 ◎氫能技術 五南書局 曲新生 ◎產氫與儲氫技術 五南書局 曲新生 ◎氫能源概念 五南書局 王萃華 ◎自編教材		
學習目標	1. 能說出瞭解氫能源的發展優勢與各國氫能源發展的現況。	教學班級	高二社團
	2. 能說出各種產氫方式的優缺點。	班級人數	
學習目標	3. 能說出各種儲氫方式的優缺點與氫能未來之開發方向。	教學時間	(8 節) 400 分鐘
	4. 瞭解各種微生物產氫方式之優缺點。		
學習目標	5. 能說出厭氧發酵產氫的基本原理。	任課教師	林唯顯
	6. 能依照厭氧發酵產氫的實驗流程與操作技巧進行實驗。		
學習目標	7. 能統整與分析厭氧發酵產氫之實驗資料。	任課教師	林唯顯
	8. 能對厭氧發酵產氫之實驗結果進行批判推論與形成結論預測改變。		
教學方法	講述法、視聽法、詰問法、討論法、實驗研究法、歸納法、探究式教學法。	任課教師	林唯顯
學生性質	已修習完成 ◎高一基礎化學 ◎高一基礎生物 ◎高一基礎物理		
教學資源	筆記型電腦、單槍投影機、投課講義、海報紙、厭氧發酵產氫實驗模組		

單元目標	具體目標
一、認知方面：	
1. 瞭解氫能源的特性與發展優勢。	1-1 能說出氫的物理與化學特性。 1-2 能列出至少 3 點氫能源的優勢。
2. 瞭解各國氫能源發展的大致現況。	2-1 能列出 3 個發展氫能源的國家與其具體成果。 2-2 能舉出 3 個台灣發展氫能源的研究單位。 2-3 能說出 1 個台灣的特定單位研究氫能源的主題。
3. 了解產氫的各種方式與各種方式的優缺點。	3-1 能寫出 5 種常用的理化產氫方法。 3-2 能寫出 3 種生物產氫方法。 3-3 能分別列出 3 種理化產氫與生物產氫的優缺點比較。
4. 了解儲氫的各種方式與各種方式的優缺點。	4-1 能列出 2 種現今常用的儲氫方式，並說明其優缺點。 4-2 能列出 2 種新的儲氫方式，並說明其優缺點。
5. 瞭解氫能的運用與其發展方向。	5-1 能舉出 3 種應用氫能源的例子。 5-2 能列出 3 種氫能源應用的困難處。
6. 瞭解厭氧發酵產氫的基本原理。	6-1 能說出厭氧發酵反應的 3 階段流程。 6-2 能指出氫氣在厭氧發酵反應的哪個階段產出。
7. 了解厭氧發酵前培養的步驟與注意事項。	7-1 能說出厭氧發酵前培養的所有步驟。 7-2 能說出厭氧發酵前培養的所有步驟的操作注意事項。 7-3 能說出厭氧發酵前培養的所有步驟的原理。
8. 了解厭氧發酵產氫連續流培養的原理。	8-1 能說出厭氧發酵產氫連續流培養各部裝置的名稱。 8-2 能說出厭氧發酵產氫連續流培養各部裝置的用途。
二、技能方面：	
9. 能解釋前培養的實驗結果	9-1 能正確觀察前培養的實驗結果。 9-2 能上台說明本組的前培養實驗。 9-3 能比較各組的前培養實驗結果，並訂出結論。
10. 能說出暗發酵產氫反應的各項變因	10-1 能正確觀察各組前培養示範樣本之產氫情況。 10-2 能討論歸納出暗發酵產氫反應的各項變因。
11. 能設計實驗解決科學議題，並能預測改變。	11-1 能訂出暗發酵反應適當的操縱變因，同時說出相對應的控制變因。 11-2 能依照所設計的操縱變因，提出合理的假設，預測應變變因的變化。

活動二：厭氧發酵產氫菌的前培養實驗 實施時間：100分				
實施方式	過程	時間 (分鐘)	器材	理由
教師講解	一、教師說明 教師解釋厭氧發酵產氫的原理、培養基的成分、前培養實驗的詳細步驟與注意事項。	15	電腦、 單槍投影機、 powerpoint、 實驗記錄單	培養學生思考與專心聆聽的能力，以進行下一步之實驗操作。
分組進行 實驗操作	二、實驗操作 1. 班上分為6組，依小組討論之結果找尋適當的採樣地點，進行採樣後帶回實驗室。 2. 各組將所採集之樣本，以中火煮至冒小泡後，關小火繼續煮15分鐘後關火，待冷卻。  3. 在前培養基中加入5%冷卻後之樣本，以氮氣曝氣5分鐘。 4. 將培養瓶置入水浴槽，以37°C培養。 	60	厭氧產氫菌前培養實驗模組（採樣瓶、瓦斯爐、鍋子、培養瓶、前培養基、氮氣、恆溫水浴槽）、實驗記錄單	訓練學生操作實驗器具，與確實的依步驟進行實驗操作的能力，並學習如何與同學分工合作。
觀察紀錄	三、實驗觀察紀錄 教師說明觀察實驗結果之注意事項。各組派人每天進行觀察，記錄產氫菌生長的情形。	15	實驗記錄單	訓練同學正確記錄實驗結果之能力，並培養作實驗記錄的習慣。

活動四：厭氧發酵產氫最佳產氫條件之結論形成與實驗檢討 實施時間：100分																																
實施方式	過程	時間 (分鐘)	器材	理由																												
分析資料	一、產氫數據分析 各組將整理出的厭氧發酵產氫連續流實驗數據，填寫在黑板的表格中。 <table border="1" data-bbox="1288 494 1624 630"> <thead> <tr> <th></th> <th>第一組</th> <th>第二組</th> <th>第三組</th> <th>第四組</th> <th>第五組</th> <th>第六組</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>操縱變因</td> <td>溫度 25</td> <td>溫度 35</td> <td>碳糖</td> <td>鳳梨皮</td> <td>轉速 4</td> <td>轉速</td> </tr> <tr> <td>控制變因</td> <td>基質 轉速</td> <td>基質 轉速</td> <td>溫度 轉速</td> <td>溫度 轉速</td> <td>溫度 基質</td> <td>溫度 基質</td> </tr> <tr> <td>產氫量</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	第六組	操縱變因	溫度 25	溫度 35	碳糖	鳳梨皮	轉速 4	轉速	控制變因	基質 轉速	基質 轉速	溫度 轉速	溫度 轉速	溫度 基質	溫度 基質	產氫量							15	實驗記錄單	培養學生統整分析實驗數據的能力。
	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	第六組																										
操縱變因	溫度 25	溫度 35	碳糖	鳳梨皮	轉速 4	轉速																										
控制變因	基質 轉速	基質 轉速	溫度 轉速	溫度 轉速	溫度 基質	溫度 基質																										
產氫量																																
形成結論	二、形成結論 依據各組提供的數據，分組進行討論訂出結論，並依照實驗記錄單的引導形式，分享在黑板上。	15	實驗記錄單	培養學生依照科學數據形成結論的能力																												
同儕分享	三、同儕分享 各組針對實驗過程進行討論。針對本組的實驗結果、過程中所遭遇之困難、缺失、注意事項與解決策略方法等項目，上台進行分享。 	30	海報紙、麥克筆	培養學生批判與推斷的能力，訓練學生發表與傾聽的能力。																												
教師總結	四、教師總結 教師針對各組同學的報告內容，進行綜合的總結。	10																														
小組回饋	五、小組回饋 完成合作互評表與學習回饋單，對本課程給予回饋。	20	合作互評表、學習回饋單	對本課程的學習成效給予評量。																												

## 5.3 教學評量：學生課程前後測試題

### (二) 微生物產氫探究課程學習單

#### 1 課程前後測試題

##### 探究能力表微測驗

高瞻計畫生質能源課程實驗班的同學您好：

本份試卷主要檢測同學們『微生物產氫』實驗探究課程的學習成效，請同學看完每一題後，勾選最適合的答案，此份問卷無標準答案，請認真回答。

能力指標	探究能力表徵	非常認同	認同	沒意見	不認同	非常不認同
課程議題興趣	1. 非常想更進一步地瞭解「氫能源的優勢、發展現況與未來展望」。	<input type="checkbox"/>				
	2. 我想更進一步瞭解「氫氣的生產、儲存與應用方法」。	<input type="checkbox"/>				
	3. 我想更深入瞭解「微生物產氫的類型、原理與發展現況」。	<input type="checkbox"/>				
	4. 我想更瞭解「厭氧發酵產氫實驗的原理與裝置操作流程」。	<input type="checkbox"/>				
議題信心程度	5. 我有信心在學習的過程中，能完全瞭解「厭氧發酵產氫實驗的原理」。	<input type="checkbox"/>				
	6. 我認為在未來的課程中，我能夠成功地「操作厭氧發酵產氫實驗」。	<input type="checkbox"/>				
	7. 我有信心能實際運用所學的「氫能源相關知識」於日常生活或課程學習中	<input type="checkbox"/>				
議題關心程度	8. 不論高瞻實驗班之課程的內容簡單或困難，我都有把握能學會。	<input type="checkbox"/>				
	9. 我會刻意留意氫能源的新聞時事與論文。	<input type="checkbox"/>				
學習動機	10. 我會優先選擇以氫能源為動力的產品。	<input type="checkbox"/>				
	11. 氫能源生產的系統化研究是重要的	<input type="checkbox"/>				
	12. 我認為學「『微生物產氫』暨『厭氧發酵產氫』實驗探究課程」很重要，因為在日常生活中可用到。	<input type="checkbox"/>				
	13. 我認為學「『微生物產氫』暨『厭氧發酵產氫』實驗探究課程」很重要，因為可以刺激我的思考。	<input type="checkbox"/>				
	14. 我認為在「『微生物產氫』暨『厭氧發酵產氫』實驗探究課程」中學習解決問題的方法是很重要的。	<input type="checkbox"/>				
	15. 我認為在「『微生物產氫』暨『厭氧發酵產氫』實驗探究課程」中參與科學探究活動是很重要的。	<input type="checkbox"/>				
	16. 我認為學「『微生物產氫』暨『厭氧發酵產氫』實驗探究課程」能滿足自己的好奇心是很重要的。	<input type="checkbox"/>				

##### 微生物產氫課程測驗

#### 選擇題

1. 下列何項不是氫能源的優點？  
(A) 產能值高 (B) 乾淨無污染 (C) 來源廣泛且再生性強 (D) 生產成本低。
2. 下列何種方式是現今主要商業化生產氫氣的方式？  
(A) 光合產氫 (B) 甲烷重組產氫 (C) 污泥發酵產氫 (D) 綠藻產氫。
3. 下列何者是氫能源使用後的產物？  
(A) 二氧化碳 (B) 甲烷 (C) 氧氣 (D) 水。
4. 下列對於氫能源安全性的描述，你認為何者最正確？  
(A) 不安全，因氫燃點低 (B) 不安全，因氫氣很輕 (C) 安全，因氫氣很容易往高處飄 (D) 安全，因氫氣不易自燃。
5. 對於氫能源發展，在技術上最大的困難應該是？  
(A) 氫氣原料的取得 (B) 氫氣轉換成能源的方法 (C) 氫氣的儲存與輸送的方式 (D) 使用氫氣產生出廢棄物的後續處理。
6. 下列哪一項不是用微生物產氫法的好處？  
(A) 生產成本低廉，技術純熟 (B) 具有再生性，取之不盡用之不竭 (C) 不需高溫高壓的環境，減少能源消耗 (D) 產氫微生物分布廣泛取得容易，潛力無限。
7. 以光合菌產氫因需要光源進行光合作用，故會受到夜間無光源的限制。下列何種產氫微生物是不會有此限制？  
(A) 微藻類 (B) 藍綠菌 (C) 厭氧菌 (D) 酵母菌。
8. 下列那個作法可以將採集到的厭氧污泥去甲烷化？  
(A) 靜置一晚 (B) 加熱處理 (C) 冷凍 12 小時 (D) 用濾紙過濾。
9. 進行厭氧發酵產氫實驗時，培養基中需加入何種離子，才能輔助厭氧菌中的氫化酵素進行化學作用？  
(A) 鐵 (B) 鎂 (C) 碘 (D) 鉀。
10. 厭氧發酵過程中所生產的氫氣，是在厭氧發酵的三個階段中，那個階段出現的？  
(A) 水解 (B) 酸化 (C) 甲烷化 (D) 甲基化。
11. 厭氧產氫的實驗中，氫氣純化瓶的設計原理為何？  
(A) 利用 NaOH 吸附二氧化碳，將 CO<sub>2</sub> 去除 (B) 利用 NaOH 吸附甲烷，將甲烷去除 (C) 利用 CuSO<sub>4</sub> 吸附二氧化碳，將 CO<sub>2</sub> 去除 (D) 利用 CuSO<sub>4</sub> 吸附甲烷，將甲烷去除。

**題組題**

**題組 1**

關於氫能源實際的應用，已從早期以氫氣為燃料高科技的航空工業，演變至現今以氫氣為能量載體，進行能量轉換（例如：將氫氣通入燃料電池轉成電力）的新概念，加深了氫氣使用的便利性。

- ( ) 1. 下列何種氫能源轉換的方式，可以使得氫氣的使用更便於用在現今的產品上，因此深具發展潛力？  
 (A) 通入燃料電池轉為電力 (B) 直接燃燒產生熱能 (C) 進行氧化反應產出化學能 (D) 併入金屬後釋出電子轉成電力。
- ( ) 2. 現階段，汽車業已經發展出能使用氫能源為動力來源的各式產品。你認為未來 10 年內，家庭擁有氫能汽車的機率高嗎？(A)0% (B)20% (C)50% (D)80%。
3. 呈上題，試著說明你判斷的理由？\_\_\_\_\_

**題組 2**

右圖為厭氧發酵產氫連續流實驗中，氣體純化裝置的構造圖。

1. 請問甲乙兩處連接孔，何處是連接氫氣純化分離瓶，接收氣液分離後的氣體？\_\_\_\_\_
2. 請說明你判斷的理由？\_\_\_\_\_



**題組 3**

下列各圖片為厭氧發酵產氫連續流的實驗裝置。



甲、厭氧發酵槽 乙、氫氣純化瓶 丙、氣液分離瓶 丁、基質槽 戊、攪動幫浦

1. 請以代號排出厭氧發酵產氫連續流裝置的先後順序。\_\_\_\_\_
2. 請問那個裝置可以放置在水浴槽中，以便控制產氫菌生長的溫度。\_\_\_\_\_

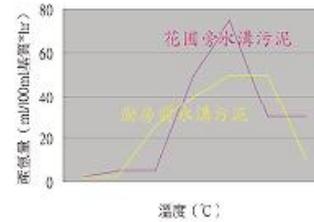
**題組 4**

當經濟部提出 3 年微生物產氫計畫，預計耗資 3 億資金。依照你查詢的資料顯示，若要生產同樣的氫氣量，以丙烷進行蒸氣重組法製氫，3 年只花 1 億，遠低於微生物產氫計畫的預算。法案還是在專家學者的討論下投下贊成票。

- ( ) 1. 你認為專家可能基於下列何者理由，通過這項法案？  
 (A) 微生物產氫為較新的知識，國家計畫較支持新科技，捨棄舊科技。  
 (B) 蒸氣產氫技術較不成熟，產氫量低；微生物產氫技術較成熟，較有產氫潛力。  
 (C) 蒸氣產氫所用的原料多為不可再生，且生產過程會造成污染。  
 (D) 牽扯到能源議題，再多錢的計畫都會通過。
2. 如果你是決策者之一，試問你會投贊成票或是反對票？請寫出 2 點最主要的原因。

**題組 5**

小閻以濃度 20g/L 的蔗糖為基質，進行厭氧發酵產氫實驗，實驗結果如下圖。請問



1. 依照本實驗結果可推論，影響厭氧發酵產氫量的因素有哪些？  
 \_\_\_\_\_
2. 小金看過小閻的實驗結果後，訂出以下實驗條件：以花園旁水溝污泥中的厭氧菌，嘗試用不同水量稀釋鳳梨汁為基質，置於 35°C 下發酵。請問：  
 ①小金想解決的問題為何？  
 (A) 不同濃度的基質對產氫量的影響。  
 (B) 不同種類的厭氧菌對產氫量的影響。  
 (C) 不同種類的基質對產氫量的影響。  
 (D) 不同發酵溫度對產氫量的影響。
- ②請依照下列選項進行作答。(a) 基質種類 (b) 發酵溫度 (c) 不同污泥的採樣點  
 (d) 基質濃度 (e) 產氫量的多寡。  
 試問小金的實驗設計中，A. 操縱變因為何？\_\_\_\_\_  
 B. 控制變因為何？\_\_\_\_\_  
 C. 應變變因為何？\_\_\_\_\_

## 六、教學資源

### 6.1 學生自主學習資源

- 1.從從唐從聖-日本氫能車原理 <https://www.youtube.com/watch?v=BtKwl4ygbrs>
- 2.從從唐從聖-氫氣儲存原理 <https://www.youtube.com/watch?v=VpdoVhIfgKM>
- 3.經濟部能源局 能源知識庫 <http://km.twenergy.org.tw/>
- 4.逢甲大學綠色能源發展中心資訊網站  
<http://www.greenenergy.fcu.edu.tw/wSite/mp?mp=303103>
- 5.苗栗農工生質能源新興課程-微生物產氫暨厭氧發酵產氫實驗教學  
[https://www.youtube.com/watch?v=pg\\_nEfGRJic&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=pg_nEfGRJic&feature=youtu.be)

# 七、試教成果

## 7.1 教學內容

在課程實施之前教師先依照探索式教學的方式設計教材教案，請專家學者幾次修正之後，編制較完整之教材。課程正式實施，需先實施 40 分鐘左右的前測，瞭解學生之探究能力與「『微生物產氫』暨『厭氧發酵產氫』」實驗課程之先備知識；第一次上課即進入「微生物產氫基礎課程」，教師先以引導式探索的方式，給予學生「微生物產氫」之基礎概念，並將國內外氫氣使用之產業經驗介紹給學生，再讓學生分組討論「產氫」方式之後推派代表上台報告。

第二次課程為實驗，先以成大之暗發酵產氫裝置說明課程目的，然後請學生外出採集污泥，回來後先描述、撰寫採集污泥週遭的環境，說明實驗操作流程及添加量的多寡，以圖說明第一天至第五天的狀況，注意泡泡的變化，交代課後觀察、記錄及其注意事項，到講台前裝 450cc 的培養基，開始觀察及記錄。

第三次實驗課程一開始先請同學將觀察培養了一個星期的菌，並將每天的照片放在一起比較、觀察有何不同，再介紹燃料電池的整個構造，教師請學生將小組的答案貼在黑板，將各組有的共同性答案先找出（歸納），然後教師會一一探討各組不同的答案，教師會對小組提供的答案，會提出反問，及引導學生回答，教師歸納出學生可操作的變因（7 點），亦提供學生沒回答到的方法。

第四次上課為此單元最後一週，教師利用影片先引導出實驗設置過程，在請學生討論前兩上課的實驗及觀察結果，上台分組報告。

### 1. 基礎篇課程內容

<p><b>光合產氫途徑</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>藍綠細菌(cyanobacteria)產氫。</li> </ul> $2 H^+ + 2 e^- + 4 ATP \rightarrow H_2 + 4 ADP + 4 P_i$ <p>氮氣不存在時，固氮酶將不催化固氮作用，轉而催化氫氣生成，因此以藍綠細菌進行產氫應避免氮氣的存在。</p>	<p><b>光合產氫途徑</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>藍綠細菌(cyanobacteria)產氫。</li> </ul> $N_2 + 8 H^+ + 8 e^- + 16 ATP \rightarrow 2 NH_3 + H_2 + 16 ADP + 16 P_i \quad (P_i: \text{phosphate})$ <p><b>N<sub>2</sub>存在時</b>，nitrogenase 催化固氮作用以產生NH<sub>3</sub>，同時產生副產物氫氣，此反應需消耗ATP，所產生的氫氣不會被釋放出，而是藉由氫酶將其氧化以回收能量來供應固氮作用的進行。</p>
<p><b>發酵產氫途徑</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>利用光合菌或厭氧菌進行有機物的發酵轉換以產生氫氣。可分為：             <ul style="list-style-type: none"> <li>S光發酵作用：需藉光能(光合菌)</li> <li>S暗發酵作用：不需光能(厭氧菌)</li> </ul> </li> </ul> <p>發酵產氫為現今微生物產氫研究的重點方法。有學者指出光合菌和厭氧菌兩者的結合，是處理廢水高效率轉換產氫的理想組合。</p>	<p><b>發酵產氫途徑</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>光發酵作用：藉光合菌(<i>Rhodospseudomonas rubra</i>)進行無氧光合作用，以分解有機物，過程中同時提供電子與質子，並產生ATP，以供給Nitrogenase形成氫氣。</li> </ul> $C_6H_{12}O_6 + 6 H_2O \xrightarrow{\text{light energy}} 6 CO_2 + 12 H_2$ $CH_3COOH + 2 H_2O \xrightarrow{\text{light energy}} 2 CO_2 + 4 H_2 \quad (\Delta G^\circ = 18.8 \text{ kJ/mol } H_2)$

## 暗發酵產氫之原理



41

\*

## 暗發酵產氫之菌種

兼性厭氧菌及兼性好氧菌：*Enterobacter* 屬  
*Bacillus* 屬  
專性厭氧菌：*Clostridium* 屬

特性：

1. 後二者處於不利的環境時(如缺乏營養物或溫度過高)，會形成內孢子以抵禦惡劣的環境。
2. 三種暗發酵產氫菌屬中，*Clostridium* 被認為是最有效的產氫菌。

42

\*

## 暗發酵產氫之菌種

*Clostridium* 屬之簡介

1. 絕對厭氧菌，普遍存在於土壤、地下水道、廢棄物、人類和反芻動物的腸道中。
2. 生長的溫度約為25°C-65°C，最適溫度為37°C。
3. 適合生長的酸鹼度為中性。
4. 環境不適合生長時，會形成內孢子進入休眠狀態。

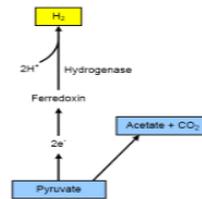
43

\*

## 暗發酵產氫之原理

厭氧菌產氫機制

主要為Fe-Hydrogenase (氫化酵素) 在將丙酮酸轉成醋酸鹽的過程中，為平衡過多的電子而生成的。



44

## 2. 應用篇 課程內容

### 暗發酵產氫之實驗步驟

#### 一、厭氧產氫菌之採樣



厭氧菌的採集與培養

9

### 暗發酵產氫之實驗步驟

#### 二、樣本加熱處理

將採集之樣本加熱處理，加熱至冒小泡後，關至小火繼續煮約15-30分，關火待冷卻。

此步驟可將甲烷菌或其他兼性菌消除，以利厭氧產氫菌進行之效率。

10

### 暗發酵產氫之實驗步驟

#### 二、樣本加熱處理



厭氧菌的採集與培養

11

### 暗發酵產氫之實驗步驟

#### 三、厭氧產氫菌之前培養

1. 以前培養基加入5%加熱處理後的樣本，於37°C、厭氧的環境下培養。
2. 觀察並記錄其生長狀況。
3. 若觀察到有產氫之情形，則可進一步以厭氧發酵培養基，進行連續流之培養。

12

## 暗發酵產氫之實驗步驟

### 前培養基的成分

成分	濃度 (g/l)
Sucrose	15
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1
NaCl	2
MgSO <sub>4</sub>	0.1
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0.5
Resazurin-2127	0.001

13

## 前培養第一天



14

## 前培養第三天



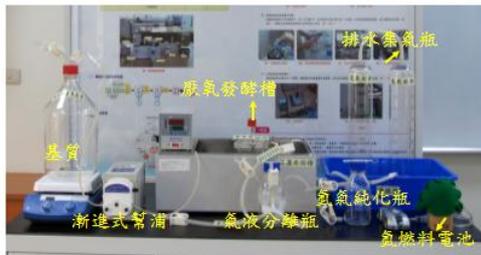
15



16

## 暗發酵產氫之連續流實驗

### 四、厭氧產氫菌之連續流培養



21



22



23

## 暗發酵產氫之實驗步驟

### 五. 收集氫氣與氫能轉換

連接氫氣燃料電池及LED燈泡，驗證產出的氣體是否為氫氣。並以排水集氣法收集氫氣，記錄其產氫量。



24

## 7.2 教學活動紀錄

### 1. 教師引導講述

本課程以探究式教學法為設計主軸，改變傳統講授式單向教學模式，改以引導式雙向教學模式，以培養學生積極思考的習慣與主動探索學習的興趣。



圖 7-1 引導式雙向教學模式

### 2. 分組合作學習

學生透過集體討論方式，並藉由參考書籍的輔助以及教師的引導，深入探討課程並歸納分析，藉助團體討論的過程集體腦力激盪，發揮合作學習的精神。



圖 7-2 分組合作學習

### 3. 課堂發表與競賽

各組在實驗過程中須保持良好的討論與互動，並將實驗結果、所遭遇之困難、缺失、注意事項與解決策略方法等項目，上台與同儕進行分享。其他組同學填寫互評表或提問，並由教師適時給予回饋，進行綜合的總結與補充。

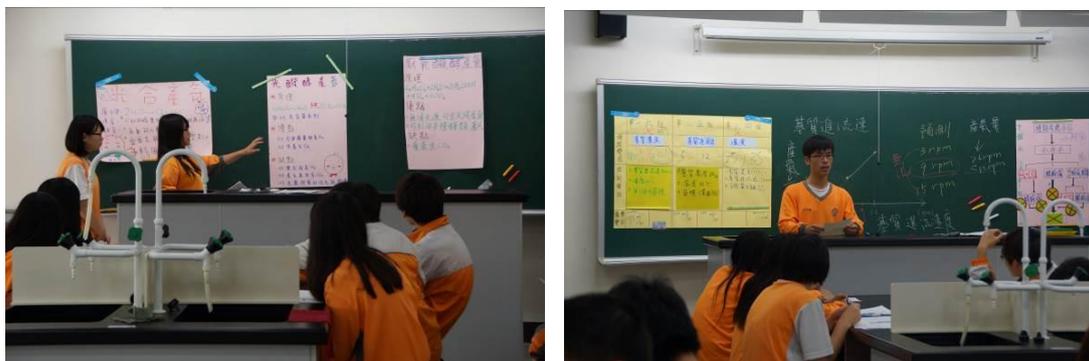


圖 7-3 課堂發表與競賽

### 4. 專家講座

在課程中穿插、安排專家進行課程相關時事的議題分享，透過專家的分享為學生補充課程專業知識並引起主動探索之興趣，並請學生填寫課程學習單，以了解學生對課程的吸收狀況，藉以修正課程難易度。



圖 7-4 專家講座

### 5. 校外教學

於全部課程結束後安排進行校外教學，參觀地點為國內水力、火力及核能發電廠等單位，並請學生填寫心得學習單，讓學生能加深生質能源課程的印象。



圖 7-5 校外教學

## 7.3 教學特色

1.將新興科技融入課程，銜接教科書的基礎理論與生活議題。

本課程將生質能新興科技概念與生活相關的能源議題融入課程，藉以引起學生對新興科技之興趣。探討議題符合本校農工整合之本位特色，讓學生利用校園內可取得之畜產與農業廢棄物原料，進行微生物厭氧產氫發酵實驗。

2.跳脫傳統教學方法，以探究式教學引導學生從做中學。

本課程以探究式教學法為設計主軸，改變傳統講授式單向教學模式，改以引導式雙向教學模式，以學生為主、教師為輔。搭配分組變因設計、實驗操作，以培養學生積極思考的習慣與主動探索學習的興趣，讓學生從做中學，具備解決問題的能力。

3.透過異質性的分組學習進行課程，培養合作學習與問題解決的能力。

依不同科別不同專長的學生加以分組，透過集體討論方式，並藉由參考書籍的輔助以及教師的引導，深入探討課程並歸納分析，能藉助團體討論的過程，集體腦力激盪並發揮合作學習的精神。

4.重視學生知識的建構歷程，透過學習紀錄單、自我檢核表與互評機制，以進行形成性評量。

教師針對課程單元設計完整的活動學習單、自我檢核表與互評機制等課程評量方式，就學生分組討論之情形、上台發表之表現與學生互評、實驗紀錄及學習單等，進行學生的學習過程紀錄與評量，重視學生課堂中的形成性評量。

5.開發類 PISA 試題式的評量工具，量化性的評估學生探究能力的養成。

學生須於課程開始與結束前後填寫前後測驗試題，檢測對於課程知識的瞭解，與學習成效有無提升，並完成學習回饋單，對本課程給予回饋。

## 7.4 教學成效

苗栗農工生質能源「『微生物產氫』暨『厭氧發酵產氫』實驗課程」的教學策略，運用「探究式教學」之模式，目的在於透過國內外經驗的分享與實驗學習的過程，啟發學生主動思考、小組合作及分組報告、蒐集與分析資料、自發性學習及探索相關議題、同儕互評等之能力。以高職二年級各科推薦 2~6 名同學，自願參加「高瞻計畫科學實驗班」的方式，組成 1 個班級，共 31 位學生為樣本，進行為期 4 週，每週二節課之實驗教學。進行課程之前需先針對學生實施 40 分鐘之前測，以瞭解學生探究能力指標及學生對於「微生物產氫」暨「厭氧發酵產氫」實驗課程的先備知識為何？課程結束後進行約 40 分鐘之後測。

### (一) 教師教學評鑑

為評核本教學模組於教學過程上的實際成效，教師開發一系列完整的課程前後測問卷、教師自評表、學生回饋問卷，以檢測學生的學習成效，並安排教師入班觀察，以記錄開發教師的教學情況並給予評鑑回饋，協助課程開發教師修正教學。



圖 7-6 教師教學評鑑

### (二) 學生學習成效

同學須於課程開始與結束前後填寫前後測驗試題，檢測對於課程知識的瞭解，與學習成效有無提升，並完成學習回饋單，對本課程給予回饋。目的在於瞭解運用探究教學策略於「『微生物產氫』暨『厭氧發酵產氫』實驗課程」，學生在「課程議題興趣」、「議題信心程度」、「議題關心程度」及「學習動機」等探究能力表徵及「實驗課程學習成效」之發展是否有顯著之差異。

#### 1. 「質」性測量工具

採學習單、教室觀察、學習回饋記錄、科展作品等質性資料，以輔助研究者瞭解參與課程之學生，在「學習興趣與動機」等探究能力表徵及「實驗課程學習成效」之發展情形。

##### (1) 學習單

依據「『微生物產氫』暨『厭氧發酵產氫』實驗課程」各單元教學之概念架構圖，針對教學中必須習得之科學概念以及與概念有關之活動，設計成學習單，以便觀察學生在此實驗課程之學習態度、學習成效及主動搜尋資料、小組討論的技巧。

##### (2) 教室觀察

教室觀察的目的在於記錄學生在教學模式中應用「主動學習」、「實驗觀察」、「小組討論與歸納」、「口頭報告」等能力的表現情形。為了達成此一目的，研究者除了透過個

人的參與觀察外，亦藉由數位攝影機的紀錄，做為教室觀察的輔助。

### (3)訪談記錄

訪談記錄為檢視與分析學生在「『微生物產氫』暨『厭氧發酵產氫』實驗課程」中，印象最深刻或最好的學習經驗為何？及對於授課教師的教學方法和活動設計有何啟發及科學學習的理解。

表 1 學生回饋整理

<p>請描述在“微生物產氫暨厭氧發酵產氫”的課堂中，你所看到、學習到、體驗到林唯穎老師的教學方法及活動設計。在你的描述中，請說明林老師的課程，如何（以何種形式）啟發或影響你對科學學習的理解，或其他如在知識獲取、生活學習、或思想行動的影響。</p>
<p>林唯穎老師以循序漸進的方法步步縮小範圍至重點，一次給一點一點不全部一次灑光光，因此每次上課都能銜接上次的教學內容，而不會有重複說明一點的缺漏。我喜歡上課能跟老師有互動，而非全部都只聽他一人在講他自己的，這樣一方面能了解學生的學習吸收狀況，另一方面可增加同學們的學習精神或意願，林唯穎老師有做到這點喔！希望林唯穎老師以後，快下課時能丟幾個生活小問題給學生〔有關上課內容〕，使他們能多去尋找或理解所學的東西，能運用在日常生活的哪些小地方，可說是延伸教學〔非強迫式〕，啟發或增加下課的思考時間……。</p>
<p>本次課程使用影片介紹、講義簡介、分組報告、問卷填寫以及實地操作法，實驗前由老師說明氫的型態、如何產氫和未來趨勢；課程活動設計主要以產氫為目標。透過課後的問卷填寫以及實地操作法讓我了解很多，我大部分是由問答填寫來了解氫，自己搜尋資料後，填寫答案，讓我對於氫較有初步的認知；實際操作、組裝，親自動手操做比藉由影片學習來得更有影響力。經過本次實驗後，對於氫能車在未來趨勢讓我很感興趣，這項發現不只可能取代石油，也可能取代電力，如果好好發明研究，在未來便是我們生活的主要來源。</p> <p>林老師上課其實是很有趣的，會讓我們小組討論出各種結果之後，再進行解釋的部份，對我來說是一種很不錯的學習方式，而且實驗真的就是一項非常大的學習動力，畢竟在實際操作之後，才能夠真正深入產氫的課程。</p> <p>除了在課堂上老師利用投影片對氫的講解之外，發下作業讓我們自行查詢資料來填答的部份，比起課堂中聽講來的更快了解，並且在查詢資料的過程中，還能讓自己去思考氫對未來科技當中的利弊，像是氫能車，到底是好？還是不好呢？雖然會因為其特性過於兩極而感到頭痛，不過我還是很期待「氫」這項能源，在未來的發展中會是對我們的地球及人類是有很大幫助的。</p>

## 2. 「量」的測量工具

由任課老師開發之前後測問卷與試題，再由大學校院之指導教授修正後進行施測。測驗題目包括：探究能力表徵評估（情意）、學科認知能力（認知）與探究能力評估（技能）。

### (1)探究能力表徵

- 後測問卷信度分析，具有很好的內部一致性，信度整體而言有提升。
- 前後測進行成對樣本 t 考驗，學生上完課程之後，「對議題之信心程度」與「學習動機」的部分有顯著性的差異。

表 2 對議題「信心」程度前後測分析表

指標 項目名稱	前側		後側		t 值	顯著性
	平均數	標準差	平均數	標準差		
更深入學習厭氧發酵產氫	3.29	0.824	3.58	0.719	0.29	0.071
熟練操作厭氧發酵產氫實驗	3.35	0.550	3.68	0.791	0.33	0.000**
氫能源課程運用於日常生活	3.19	0.703	3.55	0.767	0.36	0.019*
有把握學會高瞻實驗班課程	3.32	0.83	3.29	0.883	-0.03	0.540

(2)學科認知能力與探究能力評估

透過前後測成對樣本 t 考驗之後發現，學生學科知能與探究學習能力的整體成績有顯著提升。

表 3 題組測驗前後測成對樣本 t 考驗

題組 題號	前測		後測		t 值	顯著性
	平均分數	標準差	平均分數	標準差		
題組1(占11分)	6.4194	2.5791	8.0968	1.3255	3.540	0.001**
題組2(占7分)	5.4516	2.2187	6.1613	1.3440	2.276	0.030*
題組3(占7分)	2.4516	2.0791	4.8387	2.4508	5.105	0.000**
題組4(占9分)	3.9032	1.9724	4.0968	1.9724	0.812	0.423
題組5(占16分)	5.9677	3.1356	9.000	4.2426	3.559	0.001**
題組6(占17分)	4.7097	2.2685	6.0968	4.0608	1.889	0.069
總計(共67)	28.9032	8.0637	38.2903	8.6994	5.995	0.000**

此份「『微生物產氫』暨『厭氧發酵產氫』實驗課程」測驗卷總分為 100 分，前後測之題目一致，施測後未給學生正確答案，希望學生能在四周學習的過程中，自行找到正確的解答。前測的分數平均數為 39.90（最低分 9 分，最高分 60 分），後測分數之平均值為 58.71（最低分 40 分，最高分 79 分），測驗分數平均提升 18.81 分。

## 八、教學模組設計檢核表

### 自然科學領域教學模組自我設計檢核表

主題：「微生物產氫」暨「厭氧發酵產氫實驗」探究課程

開發團隊：國立苗栗高級農工職業學校
教學年級：高二      試教地點： <u>生物實驗教室</u>
總節數：8 節
教學目標：利用本課程開發之微生物產氫教學模組實驗教具，依循探究式教學法的理論與原則，進行厭氧發酵產氫實驗課程的教學活動。教學目標為培養學生的科學素養，包括培養學生掌握研究方法、進行研究設計、統整與分析資料、批判推論及形成結論預測改變的能力，並期望啟發學生主動積極思考與解決問題的能力。
教學活動概述： 一、教學活動一：認識氫能源與各種產氫方式 1. 教師說明各種微生物產氫的基本原理。 2. 同學分組查詢參考書籍，針對特定一種微生物產氫方式深入瞭解其原理，並整理此種產氫法的優缺點。 3. 各組將整理出的資料寫在海報紙，上台報告分享，最後由教師針對各組同學報告的結果作綜合的總結。 二、教學活動二：厭氧發酵產氫的前培養實驗 1. 教師說明厭氧發酵產氫的基本原理，並解說厭氧發酵產氫前培養實驗的操作步驟與注意事項。 2. 學生親自操作厭氧發酵產氫前培養的實驗器具，進行厭氧產氫菌的前培養實驗。 三、教學活動三：厭氧發酵產氫連續流培養 1. 各組觀察厭氧產氫菌前培養的實驗結果，並上台發表將各組的實驗結果集結共同討論。 2. 藉由各組的實驗結果，與教師提供之示範實驗數據，分組討論歸納出影響厭氧產氫菌產氫效率的變因。 3. 根據所歸納出的影響變因，各組自訂操縱變因，自行設計實驗。 4. 各組依據所設計之變因，進行實驗以找出最佳的厭氧產氫菌培養條件，並於課後進行實驗數據紀錄。 5. 依據各組記錄之數據，訂出結論並加以說明。

6. 分組討論本實驗之結論與實驗過程的缺失成敗，並提出改進的方案，並進一步針對厭氧發酵產氫法之應用與未來發展進行討論。

#### 四、總結活動

1. 各組能針對本次實驗之結果與實驗缺失與改進方案，上台發表並作經驗分享。

2. 學生評量自己對此課程的瞭解程度與能力，並提供教師回饋以檢視自己的教學技巧、成效與目標達成情況。

向度	對應項目		活動一 認識氫能源與 各種產氫方式	活動二 厭氧發酵產氫 的前培養實驗	活動三 厭氧發酵產氫 連續流培養	備註	
基本理念與課程目標	1. 自發：以學習者為學習的主體，選擇適當的學習方式，促進自我理解，引發學習興趣與動機。		■	■	■		
	2. 互動：學習者應能廣泛運用各種工具，有效與他人及環境正向互動。		■	■	■		
	3. 共好：學習者應參與行動與他人建立適切的合作模式與人際關係，應用所學產生共好的效果。		■	■	■		
	4. 跨領域／科目：考量與其他領域或科目的關係		■	□	■		
核心素養	核心概念	1. 配合學習階段之核心概念	■	■	■		
		2. 具有跨科概念，如：「物質與能量」、「構造與功能」、「系統與模型」、「改變與穩定」、「交互作用」、「科學與生活」、「資源與永續性」。	■	□	■		
	探究能力	思考智能	(1) 想像創造	□	■	■	
			(2) 推理論證	■	■	■	
			(3) 批判思考	■	■	■	
(4) 建立模型			□	■	■		
		(1) 觀察與定題	■	■	■		

向度		對應項目		活動一 認識氫能源與 各種產氫方式	活動二 厭氧發酵產氫 的前培養實驗	活動三 厭氧發酵產氫 連續流培養	備註
	問題 解 決	(2)規劃與探究		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		(3)發現與解決		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		(4)討論與傳達		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	科學的 態度與 本質	1. 培養科學探究的興趣		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		2. 養成應用科學思考與探究的習慣		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		3. 認識科學的本質		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
教學 設 計	自然科 學領域 有效教 學原則	1. 說明學習目標		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		2. 連結過去和現在的經驗		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		3. 依知識或技能水準，適時調整教學		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		4. 教學內容選編或組織具有合理的論述		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		5. 教學內容採用不同表徵(圖像、文字、符號)		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		6. 引發科學思考與探索		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		7. 於教學小段落進行形成性評量		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		8. 適時歸納學習重點		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		9. 澄清科學的另有概念及易錯誤的原因		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		10.提供記憶、思考、實作與解決科學問題的機會		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		11.教導學習或解題策略，精熟學習		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
培養科 學潛能	1. 加入設計元素，保留科學創造的空間		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	2. 引導投入科學志業		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

