



探究與實作分享

「波以耳的五彩溶液」

教師 謝道任

國立科學工業園區實驗高級中學

教育部高中化學學科中心

taotao@nehs.hc.edu.tw



掃描QRcode，

下載最新電子檔

前言

教師好比是「廚師」，因為廚師將各種食材加在一塊兒可以變出一道佳餚，而教師如果把相關的教材加以整合與設計，那麼肯定可以吸引學生，共同完成每一節精彩的課程。這次我將選修課程中有關「酸鹼指示劑」的實驗，由探究與實作的觀點出發，從幾個面向，包括：收集與閱讀資料、主題自生活取材、選擇好用的工具、具備基本實驗能力、培養邏輯與判斷力等方面進行說明與分享，老師們可以參酌並設計成適合自己教學現場的教材。附帶一提，課程名稱「波以耳的五彩溶液」，乃是取自化學學科中心2007高中生「化學創意實驗闖關比賽」複賽題目「五彩溶液」，化學學科中心總能提供非常多有用的資源與教材。

波以耳的五彩溶液

主要內容：

- 一、自製酸鹼指示劑（35分鐘）
- 二、酸鹼指示劑的顏色變化（25分鐘）
- 三、簡單任務（40分鐘）
- 四、終極挑戰（50分鐘）

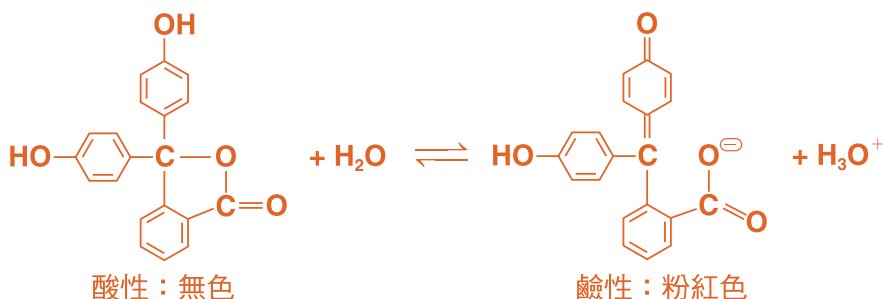
實驗時間：2～3節課

相關課程：基礎化學(二) 第一章 常見的化學反應「酸鹼反應」

一、採集校園植物自製酸鹼指示劑

原理與概念

一些弱酸性或弱鹼性的有機天然或合成色素，其結構在不同的pH值範圍內會顯現不同的顏色，可用來判定溶液的酸鹼性，這一類物質稱為酸鹼指示劑。例如：酚酞（Phenolphthalein）在酸中呈無色、在鹼中呈紅色（如圖一）。



▲ 圖一：「酚酞指示劑」的結構式與變色情形。



欲探究與實作，先收集與閱讀資料

酸鹼指示劑的發現有點偶然，請看下面這則小故事：

在十七世紀，農人知道泥土的酸鹼性與農作物的生長有密切的關係，所以常把泥土放進嘴裡，藉以分辨酸鹼性，但卻因此常常生病，甚至死亡。

波以耳（1627～1691，英國）是一位認真的科學家，他努力地研究，試圖找出辨別土壤酸鹼性的方法，不過都以失敗告終。

有一天早晨，波以耳收到一束朋友送來的紫羅蘭花，他順手將花放在實驗室的桌上並準備繼續研究，卻在傾倒鹽酸時不慎將酸沫濺到紫色花瓣上，他心疼之餘趕緊用清水沖洗。奇蹟發生了！他發現紫色花瓣變成了紅色！接著他以其他酸液測試也得到相同的結果。他想：既然酸液可以改變紫羅蘭花瓣的顏色，那麼鹼液是否也能使花的顏色改變呢？實驗結果證明的確如此。

除了紫羅蘭花，他也嘗試其他植物，例如：玫瑰花瓣、地衣、五倍子等，以萃取汁液的方式製成各種試劑或將紙浸泡後烘乾製成試紙，用來分辨酸鹼性。其中至今人們用了三百多年的「石蕊試劑」便是從「地衣類」萃取而得的。（改寫自：平常中包含了深奧——生活化學的故事，黃一敏著，凡異出版社，1999/12/29）

互動式投影片

教師事先做好題目的投影片（如圖二：播放每個題目時，按一下才會出現答案和相關圖片），接著讓同學閱讀學習單上的故事，再以搶答的方式進行活動。規則是必須等待教師唸完題目並喊出「請搶答」後，知道答案的組別派一人舉手搶答，萬一無法判斷誰快誰慢，則以猜拳決定，答對者給予小禮物與積分。其他題目整理如下，教師們也可以自由發揮：

問題3、農夫為什麼要吃泥土？

問題4、波以耳偶然間發現什麼花的花瓣沾到鹽酸而變色？

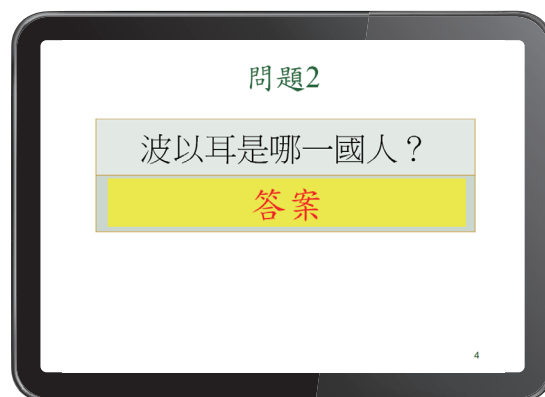
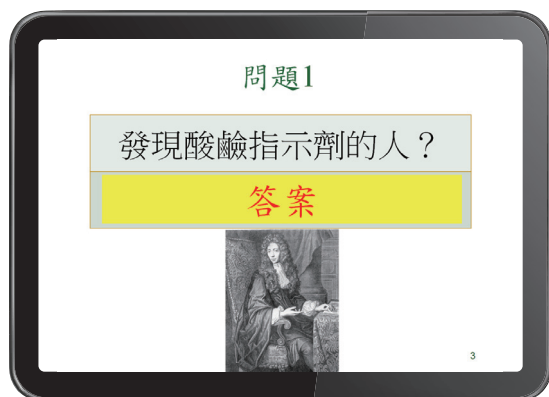
問題5、紫羅蘭花瓣沾到鹽酸會從紫色變成什麼色？

問題6、石蕊試劑是從什麼萃取得到的？

如此不僅能提升學生的專注力，也比平鋪直敘更容易炒熱氣氛，讓學習更有效率。再來就可以開始讓學生動手做實驗。

步驟說明

- (1)在校園中，採集一種非綠色的植物（花或果實）。
- (2)將適量的有色植物用手撕碎，放入研鉢中以杵搗爛，再加入3 mL酒精，使色素溶出。
- (3)以滴管將色素溶出液傾析吸出，放在試管中，貼上標籤便完成了自製的酸鹼指示劑。



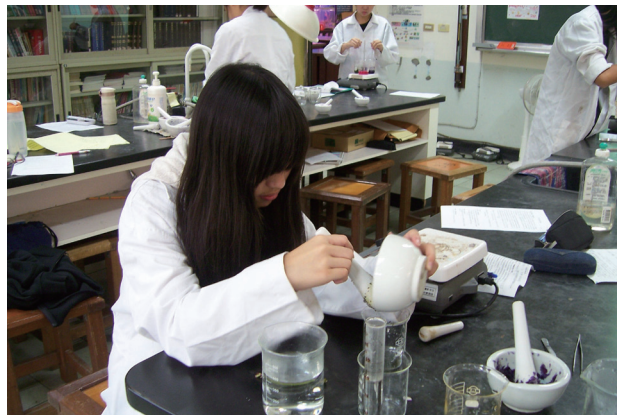
圖二：有獎搶答的題目投影片示例。

進行探究與實作，可以自生活取材

其實人人都可以是波以耳。最初我請各組自行準備一種花或果實來做實驗（除了紫甘藍菜、紅鳳菜以外，因為太常見），但是學生往往不是忘記帶，就是要上課了才急急忙忙在學校中採集。後來我乾脆順勢而為，在搶答活動結束後，請各組派一人5~10分鐘內至校園內安全地採集一種或數種非綠色的植物。這樣一來學生會仔細地在校園內蒐尋，比起由教師提供素材，學生會更想嘗試各種有顏色的花或果實，同時也會抱怨說其實校園的花很少，而最常用的是大花咸豐草、朱槿、牽牛花等。學生都愛搗爛植物這個步驟（圖三），可能是平時不太用到研鉢和杵吧！而用乙醇溶出色素（圖四），省去加熱萃取的步驟，快又有效率，而且順便也讓同學知道實驗室常用的酸鹼指示劑都是以酒精加水稀釋配成的。

在實驗記錄方面，「指示劑最微妙的是顏色判讀，資料上寫的「青藍」、「藍綠」，我根本無法從字面上區別。」學生常常對於要寫「紅色」還是「粉紅色」而傷腦筋，於是準備色鉛筆，讓學生以最接近的顏色或疊色塗在框框裡，精準又方便（圖五）！「原本以為地瓜葉容易受葉綠素影響，沒想到過濾後得到美麗的酒紅色，

而將『地瓜葉指示劑』滴入酸、鹼後，那瞬間的顏色變化帶給我們驚喜以及永恆的愉悅。」、「自製的酸鹼指示劑有種神秘感，因加入酸鹼後可能出現意想不到的顏色。」學生們興奮說著。



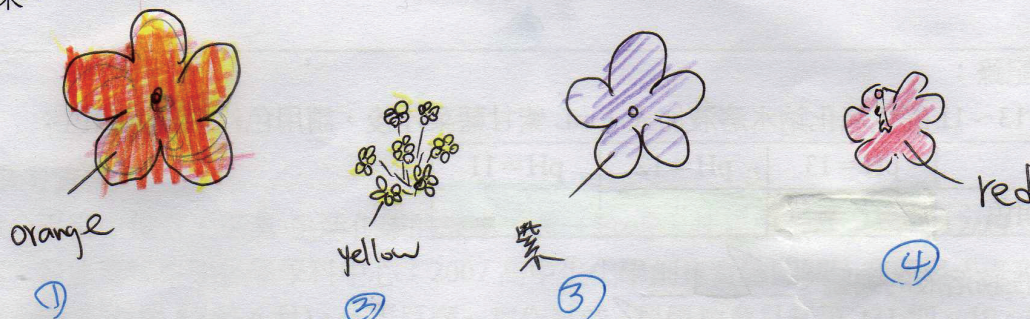
圖三：學生以研鉢和杵將植物搗爛。



圖四：各種自製的酸鹼指示劑。

※實驗記錄：

- 1.請畫下各組摘到的有色植物（花或果實），註明它的顏色；若知道它的學名也一併寫下來。



- 2.請問植物的色素酒精溶出液呈什麼色？請用色鉛筆在框框中塗上顏色：



圖五：自製酸鹼指示劑的實驗記錄。



二、酸鹼指示劑的顏色變化

原理與概念

如圖六列出實驗室常用的酸鹼指示劑及其變色情形，以甲基紅為例，其變色pH範圍為4.2～6.3，表示在pH=4.2以下呈現紅色、在pH=6.3以上呈現黃色；在此範圍內則為紅、黃兩色之混合色（橙色），而常用的「廣用指示劑」則是由多種酸鹼指示劑混合而成的。

指示劑 / pH	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	指示劑顏色與變色範圍
甲基橙					紅	橙										紅 (3.2 ~ 4.4) 黃
甲基紅					紅	橙	黃									紅 (4.2 ~ 6.3) 黃
石蕊					紅	橙	黃	綠	藍							紅 (4.5 ~ 8.3) 藍
溴瑞香草酚藍							黃	綠	藍							黃 (6.0 ~ 7.6) 藍
酚紅								黃	橙	紅						黃 (6.8 ~ 8.4) 紅
酚酞										無	紫	紅				無 (8.2 ~ 10.0) 紫紅
茜素黃 R											黃	橙	紅			黃 (10.1 ~ 12.0) 紅

圖六：實驗室常用的酸鹼指示劑及其變色情形。

選擇好用的工具進行探究與實作

「調色盤」真的很方便，白色為底顯色一目瞭然，容易清洗且易擦乾。此時當學生滴加甲基紅、酚酞這類常用的酸鹼指示劑時，並不覺得特別，但看到自製的酸鹼指示劑也會變色就覺得很神奇（圖七）。除了酸、鹼外，代表中性的水加到酸鹼指示劑中的顏色亦須記錄下來，這樣便能了解在pH值變色範圍內「混色」的概念了（圖八、九）。透過這個實驗，以真實化學藥品與自製的酸鹼指示劑相比，前者單純而靈敏，學生自然就能體會科學帶來的便利性與準確性，「原本不熟悉的變色情況，在親自動手做實驗後，變得較容易記得，且更能熟悉實驗技巧。」酸鹼指示劑的顏色變化不再只是冷冰冰的書上圖片，印象也就更深刻了。

步驟說明

- (1) 在調色盤中，分別滴上鹽酸、水、氫氧化鈉水溶液各2滴。
- (2) 在上述三種液體中，分別再滴加1～2滴甲基紅指示劑，觀察並記錄各呈現什麼顏色。
- (3) 重複步驟(1)、(2)，改滴加酚酞、溴瑞香草酚藍指示劑及自製的酸鹼指示劑，觀察並記錄各呈現什麼顏色。



圖七：學生使用調色盤做實驗。



圖八：學生有系統地記錄實驗結果。



※實驗記錄：

請用色鉛筆塗上顏色。

	滴加鹽酸 (酸性)	滴加水 (中性)	滴加氫氧化鈉水溶液 (鹼性)
甲基紅			
酚酞	無色	無色	
溴瑞香草酚藍			
① 自製酸鹼指示劑			
② 菊花			
③ 大花咸豐草			

圖九：學生針對酸鹼指示劑的顏色變化所做的色鉛筆記錄。

三、簡單任務：利用「比色法」判斷溶液的pH值

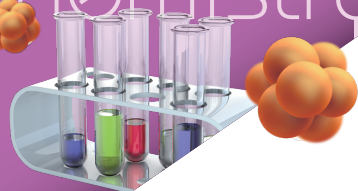
步驟說明

- (1)取0.1 M氫氧化鈉水溶液中5 mL加入1 mL紫甘藍菜汁。
- (2)以10 mL量筒取0.1 M氫氧化鈉水溶液1 mL，加水稀釋成10 mL，取其中5 mL加入1 mL紫甘藍菜汁。
- (3)承上，取剩餘的氫氧化鈉水溶液1 mL，加水稀釋成10 mL，取其中5 mL加入1 mL紫甘藍菜汁。
- (4)抽籤領取「任務溶液」，加入1 mL紫甘藍菜汁後比對顏色，確認「任務溶液」pH值。

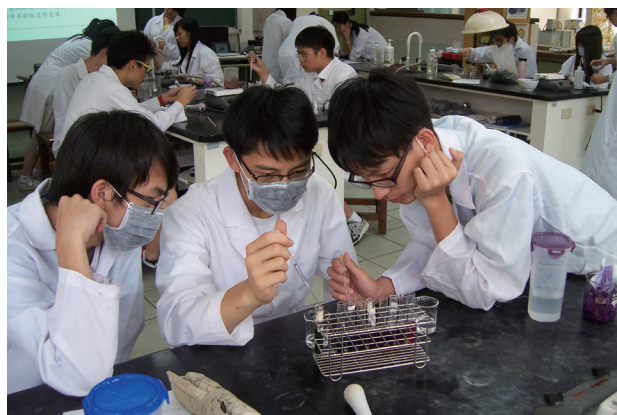
進行探究與實作時，須具備基本實驗能力

這個實驗的設計類似化學學科中心2007高中生「化學創意實驗闖關比賽」複賽題目「五彩溶液」，只是酸鹼指示劑直接選用生活中易取的「紫甘藍菜汁」。紫甘藍菜汁在酸性下顏色大致為紅色系，並不容易分辨，因此在配製酸性的任務溶液時，以pH=1或2較佳；鹼性溶液顏

色如圖十所示，有黃、綠、藍綠等鮮明的顏色，因此將0.1 M氫氧化鈉水溶液（pH=13）稀釋10倍，重複此動作，即可得pH=12、11的標準溶液，這個過程可訓練學生稀釋溶液的技巧以及計算pH和pOH間的關係。教師事先煮好紫甘藍菜汁：取適量紫甘藍菜撕碎，加適量熱水煮沸或至菜葉變白，冷卻後先傾析再過濾，密封冷藏保存，但不宜過久，以免發霉變質。再配好數管不同pH值溶液（pH=1~2或11~13）裝在試管內封口，可避免空氣中的二氧化碳破壞極稀薄的鹼性溶液。各組在未知溶液中加入紫甘藍菜汁，在溶液背後襯一張白紙比對（圖十一、十二），判斷其pH值寫在學習單上，待全部組別完成後立即公布答案，答對者獲得積分。學生說：「按照老師的方法配出很美的彩虹漸層，但靠近中性的顏色都差不多……我們成功地比對出未知溶液的pH值哦！非常繽紛色彩的實驗～」藉由這個實驗傳授「比色」的概念，也作為之後終極挑戰的暖身賽。



圖十：紫甘藍菜汁作為酸鹼指示劑。



圖十一：學生進行比色實驗。

※實驗記錄：

pH=13~11 的氫氧化鈉水溶液加入 1 mL 紫甘藍菜汁後，請用色鉛筆塗上顏色：

	pH=13	pH=12	pH=11
顏色	黃綠	淺綠	藍綠

本組任務溶液的編號：丁

請問「任務溶液」的 pH 值 = 11

圖十二：學生的色鉛筆記錄用以比對未知溶液的 pH 值。

四、終極挑戰：化學尋寶——酸鹼篇

步驟說明

如圖十三：有七支試管裝有未知溶液，分別貼有 A~G 等標籤（如下表）。其中 A、B 為紅色，C、D 為黃色，E、F、G 為無色。已知試管內溶液體積約有 2 mL，各溶液可能是 0.1 M 的鹽酸或 0.1 M 的氫氧化鈉，若有顏色則表示另加了數滴指示劑（均只有一種指示劑），試辨別試管 A~G 中的成分及其酸鹼性。溶液用完恕不補充。（參考：蕭次融（2000）。化學反應——實作試卷。科學教育月刊第 231 期 p.19。）



圖十三：教師配製每組七支未知溶液。

※實驗結果：（若為空白表格即可作為學生記錄之用）

編號	A	B	C	D	E	F	G
指示劑	酚酞	酚酞	BTB	甲基紅	—	—	—
酸鹼性	鹼	鹼	酸	鹼	水	NaOH	HCl



進行探究與實作時，還需要邏輯與判斷力

這個實驗是第二部分「酸鹼指示劑的顏色變化」的應用，只要運用酸鹼中和的概念與原理即可判斷，意即：某一試管若盛裝0.1 M鹽酸與2滴酚酞指示劑，溶液呈無色；取上述溶液1滴，再加2滴0.1 M氫氧化鈉水溶液，則溶液將變為紅色。建議做法如下：先以透明的E、F、G三管溶液2滴分別滴入取自四管紅、黃色的溶液1滴，觀察由黃變藍者（C）即可知該管為溴瑞香草酚藍（BTB）的酸性溶液，同時也確認透明三管溶液中F為氫氧化鈉水溶液。接著再用E、G二管溶液2滴分別滴入取自剩下三管紅、黃色的溶液1滴，完全無顏色變化者（E）可判斷為水，則G為鹽酸，更可依顏色變化判斷A、B、D三管盛裝的指示劑與酸鹼性。

學生這樣說：「將七種溶液辨別出來的比賽真是折磨人，到時間快結束前開始瘋狂亂混，並在公布答案後才發現一開始的方向根本錯了！總之，這次的實驗很充實也很家政風（煮菜）。」

若覺得七支未知溶液的難度太高，教師可稍作提示，或以增加試管溶液量、拿掉盛裝水的試管來使挑戰變簡單；若覺得難度應該更高，則可以再增加紅、黃色試管溶液（各二支變成各三支）或限制更少時間因應之。

學習單問題與討論示例

- (1)就好比波以耳無意間發現酸鹼指示劑，是否曾聽過科學上因巧合、誤打誤撞等而發現科學原理的故事？試舉例說明之。
- (2)請問萃取紫甘藍菜汁或其他彩色植物的色素時，除了搗爛外，還可以怎麼做快速得到色素溶液？
- (3)若以濾紙「過濾」出紫甘藍菜汁或其他彩色植物的色素時，相對於傾析法而言，優、缺點分別是什麼？

- (4)在「化學尋寶——酸鹼篇」中，你（妳）們解出試管內含了什麼溶液，所運用的策略和方法為何？

結語

以上為「酸鹼指示劑」相關的教學設計與實施，約為2~3節課的時間，這裡建議的時間僅供參考，可依教師安排的內容增減。學生們非常喜愛這個課程，總是沉浸在多彩的趣味中，過程中也充分展現了科學態度與精神。

這項課程還可以和「生物科」合作呢！類似選修生物上冊探討活動中「光合作用：光合色素的層析分離」之設計，利用丙酮及石油醚作為展開液，將菠菜葉萃取液經濾紙層析而分離出胡蘿蔔素、葉黃素等光合色素。以下提出幾個想法與淺見，若能進一步「小題大作」，也許可以符合107課綱中強調跨科的概念：

- (1)相近顏色的花或果實之色素萃取物經分離後的結果是否類似？
- (2)除了丙酮及石油醚外，其他溶劑的組合及比例之分離效果如何？
- (3)還有其他合適的材質可作為色層分析術之固定相嗎？
- (4)能否進而知道化合物結構與顏色的關聯性？

另外，本實驗所使用的藥品，除了酸鹼指示劑（少量）外，主要是0.1 M的鹽酸和氫氧化鈉溶液，大都取自實驗室用剩的藥品，準備上應該不會增加太多負擔，老師們不用等到107課綱，現在不妨就試試看，運用在目前的教學上，戲法人人會變，巧妙各有不同，相信透過大家集思廣益，教材內容必定能更完備。

圖片來源：

圖二~圖五、圖七~圖十三：謝道任老師提供
(圖二波以耳 <http://web.csulb.edu/~percept/rboyle.html>)