

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

高中-化學科

科 別：化 學 科

組 別：高 中 組

作品名稱：揭開變色龍的神秘面紗

關 鍵 詞：吸收度、比爾定律、Rka

編 號：040212

學校名稱：

國立虎尾高級中學

作者姓名：

黃惠慈、黃郁婷、顏宗源、梁博智

指導老師：

張志豪、劉水德



揭開變色龍的神秘面紗

一、摘要：

在酸鹼滴定反應中，我們經常利用指示劑的顏色變化來決定滴定終點，不同類型的酸鹼滴定，必須選用不同變色範圍的指示劑。雖然我們可以用肉眼判斷顏色的變化，進而求得指示劑大約的 pK_a 值，但誤差可能會很大。在本次研究中，我們利用光度計儀與 pH 儀，針對指示劑在不同 pH 值時，與某特定波長的吸收度變化關係，來正確求得其 pK_a 值，並得知指示劑在變色過程中所轉移出的氫離子數目。同時，我們亦針對課本中所描述的天然指示劑^{1,2}（紫色甘藍菜、玫瑰花、老薑汁、波斯菊）去研究其變色特性。

二、研究動機：

上課時，老師說指示劑通常是一種有機酸，或有機鹼，它們都有一個通性，就是本身的型式會隨著水溶液 pH 值改變，平衡反應式為：



（ HIn ：指示劑， K_a ：酸解離常數 $= [H^+] \cdot [In^-] / [HIn]$ ）^{3,4} HIn 與 In^- 各有其特定顏色，我們可以籍由顏色變化決定終點。而每一種指示劑都有特定的變色範圍，如甲基橙（變色範圍 $pH=3\sim5$ ），酸性為橙色，鹼性為紅色，由方程式(1)中得知 K_a （酸解離常數） $= [H^+] \cdot [In^-] / [HIn]$ ，我們將等式兩邊同取(-log)，就可得 $pH = pK_a + \log ([In^-] / [HIn])$ ，若我們能測得指示劑在不同 pH 值與所對應的 $\log ([In^-] / [HIn])$ 之值，就可以瞭解指示劑的 pK_a 與指示劑所解離的 H^+ 離子數（理論上應為 1）。

而老師說學校正好有光度計儀與 pH 儀，可利用吸收度正比莫耳濃度（比爾定律）的原理³，利用光度計儀測定 $([In^-] / [HIn])$ 的比值，於是我們選定了七種指示劑（甲基橙、溴瑞香草酚藍、酚酞、紫色甘藍菜、玫瑰花、老薑汁與波斯菊）來研究。

三、研究目的：

- （一）利用光度計找出指示劑各種顏色時的最大吸收度的波長，並選定實驗測定波長。
- （二）測定常見酸鹼指示劑，在不同 pH 值時於某一特定波長吸收度的變化。
- （三）測定天然指示劑（紫色甘藍菜、玫瑰、老薑汁、波斯菊）在不同 pH 值時於某特定波長吸收度的變化。

(四) 分析實驗所得數據求出各種指示劑的 pK_a 值所解離 H^+ 數，並與已知文獻比較之。

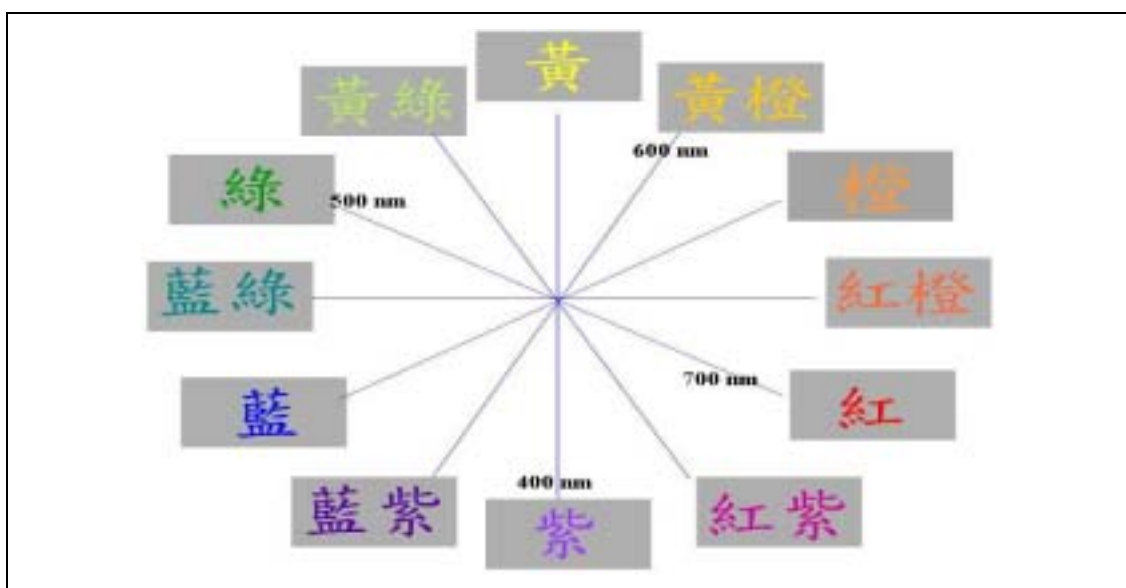
四、研究設備與藥品：

(一) 儀器：光度計儀、pH 儀、石英光度管、攪拌器與攪拌石、燒杯、試管、塑膠滴管。

(二) 藥品：酚酞、甲基橙、溴瑞香草酚藍指示劑、硫酸、氫氧化鈉、磷酸鈉、醋酸鈉、硝酸銨、pH 7.0、pH 4.0、pH 10.0 的校正緩衝溶液、紫色甘藍菜、紅玫瑰、老薑汁、波斯菊)。

五、研究過程：

(一) 先決定實驗時指示劑的酸性或鹼性顏色，選定之後，再根據下圖一找出各種指示劑顏色的互補色最大吸收波長，各種指示劑波長選擇如下。酚酞^{3,4} (鹼性紅色：最大吸收波長 520 nm)；甲基橙^{3,4} (酸性紅色：最大吸收波長 520 nm)；溴瑞香草酚藍指示劑^{3,4} (鹼性藍色：最大吸收波長 620 nm)；紫色甘藍菜 (酸性紅色：最大吸收波長 530 nm)；玫瑰 (鹼性黃褐色：最大吸收波長 430 nm)；老薑汁 (鹼性黃色：最大吸收波長 410 nm)；波斯菊 (酸性黃色：最大吸收波長 490 nm)。



圖一：各種可見光的波長，在對稱位置互為互補色，如黃色與紫色為互補色。

(二) 配製 0.1M NaOH 溶液 300 ml 於燒杯中，滴入數十滴酚酞指示劑，加入攪拌石，置於攪拌器上，並插入已校正完畢的 pH 儀，此時測定溶液在 520 nm 的吸收度，使吸收度值介於 1.5 附近。裝置如下圖二、三。

- (三) 此時加入磷酸鈉，使磷酸鈉的濃度為 0.1 M，讓溶液具有緩衝能力，並以 10 M、1 M 硫酸溶液滴入，慢慢下降溶液的 pH 值，並量測每一個 pH 值的吸收度，若要調高 pH 值，則以 10 M、1 M 氫氧化鈉溶液滴入。注意：所加入酸或鹼的體積要控制於 6 ml 以下，使整杯溶液的體積變化不超過 2 %，以維持指示劑的整體濃度。



圖二：pH 儀與指示劑溶液裝置



圖三：光度計儀

- (四) 記錄每一個 pH 值與對應的吸收度，操作約為 6 個 pH 值範圍，間隔約為 0.3 個 pH 值。
- (五) 整理所得數據並做圖，求出酚酞的 pK_a 值所解離 H^+ 數。
- (六) 重複操作指示劑溴瑞香草酚藍指示劑、甲基橙、紫色甘藍菜汁、紅玫瑰花汁。
- (七) 紫色甘藍菜汁、紅玫瑰花汁、老薑汁、波斯菊的取得參考文獻¹。

六、研究結果：

(一)酚酞：

酚酞的顏色變化由酸性至鹼性分別為無色→粉紅→紅色(如右圖),我們選定 520 nm 做為吸收波長,量測吸收度與 pH 值的變化關係,並整理數據如表一.,而後分析數據作圖,圖 1-1 : pH 值 vs. 吸收度。圖 1-2 : $\log([In^-]/[HIn])$ vs. pH 值,由圖 1-2 得知線性回歸線為 $y = 9.3876 + 0.8288x$, 截距為 9.4, 斜率為 0.83, 與 $pH = pK_a + \log([In^-]/[HIn])$ 比較,截距相當於 pK_a , 斜率相當於解離 H^+ 數。得知酚酞 $pK_a = 9.4$, H^+ 轉移數約為 1 個。吸收度與 $[In^-]$ 、 $[HIn]$ 相對濃度關係的推導式如下推導式一所示。



表一. 酚酞 (Abs (520 nm) : 吸收度, $[In^-]$ 、 $[HIn]$: 相當於莫耳濃度)

pH 值	Abs (520 nm)	$[In^-]$	$[HIn]$	$[In^-]/[HIn]$	$\log([In^-]/[HIn])$
7.34	0.053	0.053	1.327	0.0399	-1.3986
7.74	0.054	0.054	1.326	0.0407	-1.3901
8.07	0.062	0.062	1.318	0.0470	-1.3275
8.24	0.068	0.068	1.312	0.0518	-1.2854
8.4	0.083	0.083	1.297	0.0640	-1.1939
8.54	0.104	0.104	1.276	0.0815	-1.0888
8.74	0.156	0.156	1.224	0.1275	-0.8947
8.86	0.243	0.243	1.137	0.2137	-0.6702
8.94	0.284	0.284	1.096	0.2591	-0.5865
9.09	0.408	0.408	0.972	0.4198	-0.3770
9.28	0.58	0.58	0.8	0.7250	-0.1397
9.48	0.77	0.77	0.61	1.2623	0.1012
9.68	0.945	0.945	0.435	2.1724	0.3369

9.88	1.12	1.12	0.26	4.3077	0.6342
10.07	1.22	1.22	0.16	7.6250	0.8822
10.25	1.29	1.29	0.09	14.3333	1.1563
10.42	1.34	1.34	0.04	33.5000	1.5250
10.62	1.37	1.37	0.01	137.0000	2.1367
10.82	1.38	1.38	0		
11.03	1.38	1.38	0		
11.23	1.38	1.38	0		
11.73	1.38	1.38	0		

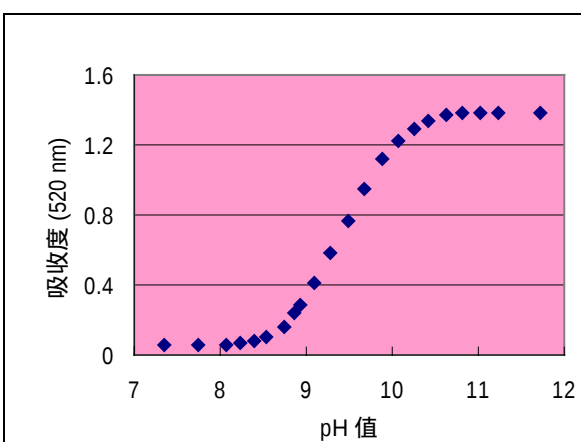


圖 1-1：酚酞 pH 值 vs. 吸收度

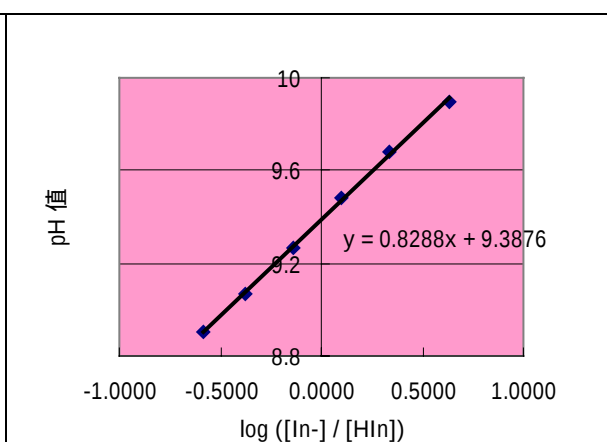


圖 1-2：log([In⁻]/[HIn]) vs. pH 值

已知 $A = \epsilon b C$ (ϵ ：莫耳吸收係數， b ：光徑， C ：莫耳濃度)，且吸收度具有加成性。



$$K_a = ([\text{H}^+] \cdot [\text{In}^-]) / [\text{HIn}] , \quad \text{pH} = \text{p}K_a + \log ([\text{In}^-] / [\text{HIn}])$$

	$\text{HIn} \leftrightarrow$	$\text{H}^+ +$	In^-	
$\text{p}K_a - \text{pH} > 2$	C		0	$A_A = \epsilon_A \cdot b \cdot C$
pH 接近 $\text{p}K_a$	C_A		C_B	$A = \epsilon_A \cdot b \cdot C_A + \epsilon_B \cdot b \cdot C_B$
$\text{pH} - \text{p}K_a > 2$	0		C	$A_B = \epsilon_B \cdot b \cdot C$

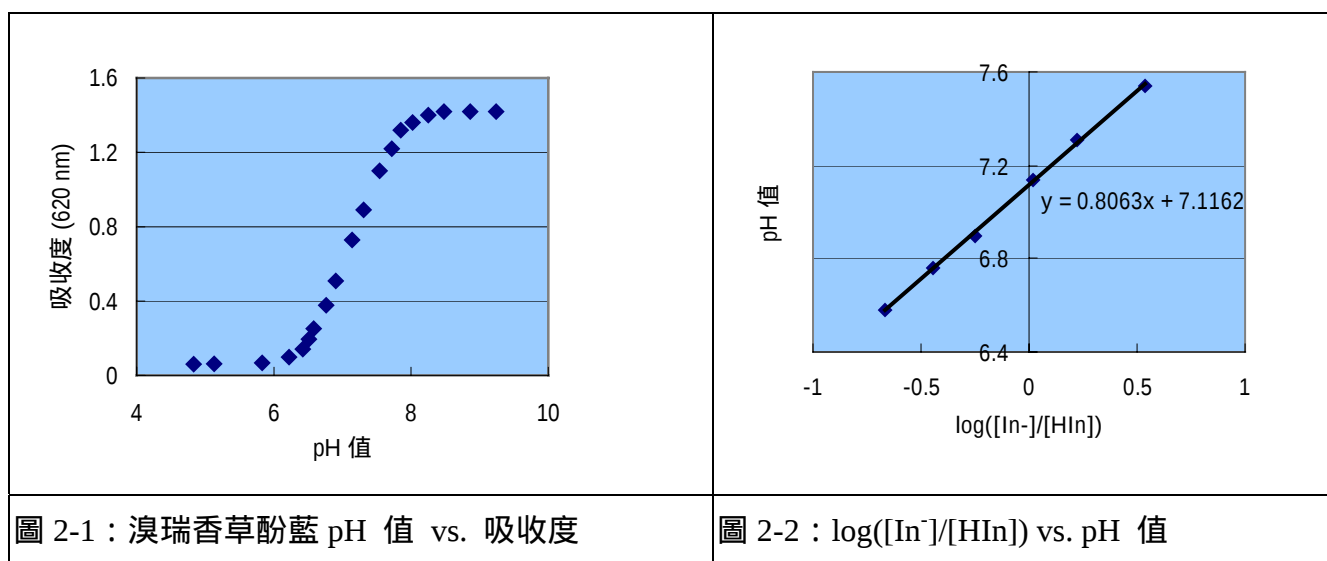
ϵ_A ：HIn 的莫耳吸收係數， ϵ_B ：In⁻ 的莫耳吸收係數，且 $C_A + C_B = C$ ，

$$\text{可推得 } (A - A_A) / (A_B - A) = C_B / C_A$$

(推導式一)

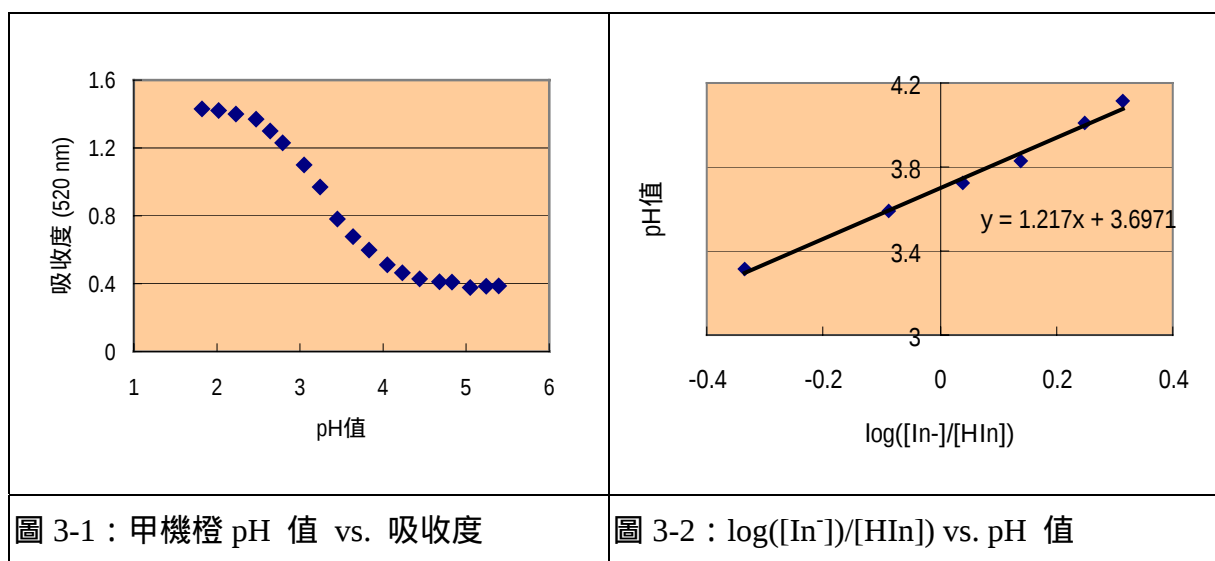
(二) 溴瑞香草酚藍

溴瑞香草酚藍的顏色變化由酸性至鹼性分別為黃色→綠紅→藍色（如右圖），我們選定 620 nm 做為吸收波長，量測吸收度與 pH 值的變化關係，並整理數據（表格省略），而後分析數據作圖，圖 2-1：pH 值 vs. 吸收度，圖 2-2： $\log([In^-]/[HIn])$ vs. pH 值。由圖 2-2 得知線性回歸線為 $y = 7.1162 + 0.8063x$ ，截距為 7.1，斜率為 0.81，與 $pH = pK_a + \log([In^-]/[HIn])$ 比較，截距相當於 pK_a ，斜率相當於解離 H^+ 數。溴瑞香草酚藍 $pK_a = 7.1$ ， H^+ 轉移數約為 1 個。



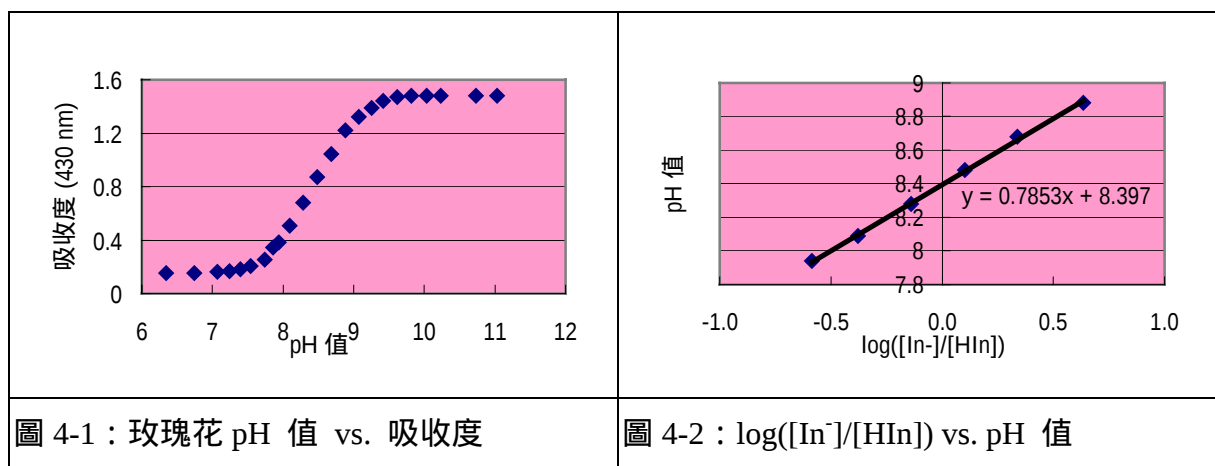
(三) 甲基橙

甲基橙的顏色變化由酸性至鹼性分別為紅色→橙紅→黃色（如右圖），我們選定 520 nm 做為吸收波長，量測吸收度與 pH 值的變化關係，並整理數據（表格省略），而後分析數據作圖，圖 3-1：pH 值 vs. 吸收度，圖 3-2： $\log([In^-]/[HIn])$ vs. pH 值。由圖 3-2 得知線性回歸線為 $y = 3.6971 + 1.217x$ ，截距為 3.7，斜率為 1.22，與 $pH = pK_a + \log([In^-]/[HIn])$ 比較，截距相當於 pK_a ，斜率相當於解離 H^+ 數。得知甲基橙 $pK_a = 3.7$ ， H^+ 轉移數約為 1 個。



(四) 玫瑰花

玫瑰花色素的顏色變化由酸性至鹼性分別為橙色→橙黃色→深褐色（如右圖），我們選定 430 nm 做為吸收波長，量測吸收度與 pH 值的變化關係，並整理數據（表格省略），而後分析數據作圖，圖 4-1：pH 值 vs. 吸收度，圖 4-2： $\log([In^-]/[HIn])$ vs. pH 值。由圖 4-2 得知線性回歸線為 $y = 8.397 + 0.7853x$ ，截距為 8.4，斜率為 0.79，與 $pH = pK_a + \log([In^-]/[HIn])$ 比較，截距相當於 pK_a ，斜率相當於解離 H^+ 數。得知玫瑰花色素的 $pK_a = 8.4$ ， H^+ 轉移數約為 1 個。



(五) 紫色甘藍菜汁

紫色甘藍菜色素的顏色變化由酸性至鹼性分別為紅色→紫色→藍色→綠色→黃色（如右圖），我們選定 520 nm 做為吸收波長，並發現吸收度先下降後上昇，研判應該有兩個 pK_a ，量測吸收度與 pH 值的變化關係，並整理數據（表格省略），而後分析數據作圖，圖 5-1：pH 值 vs. 吸收度，圖 5-2： $\log([In^-]/[HIn])$ vs. pH 值。得知紫色甘藍菜色素 $pK_{a1} = 3.1$ ， H^+ 轉移數約為 1 個， $pK_{a2} = 9.7$ ， H^+ 轉移數約為 1 個， H^+ 轉移數約為 1 個。

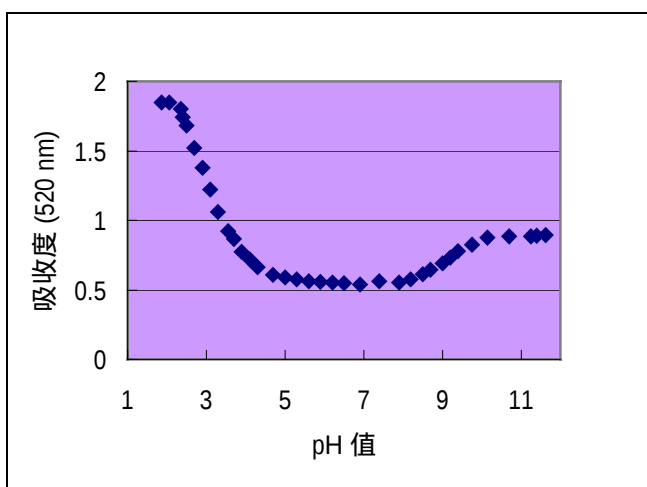


圖 5-1：甘藍菜 pH 值 vs. 吸收度

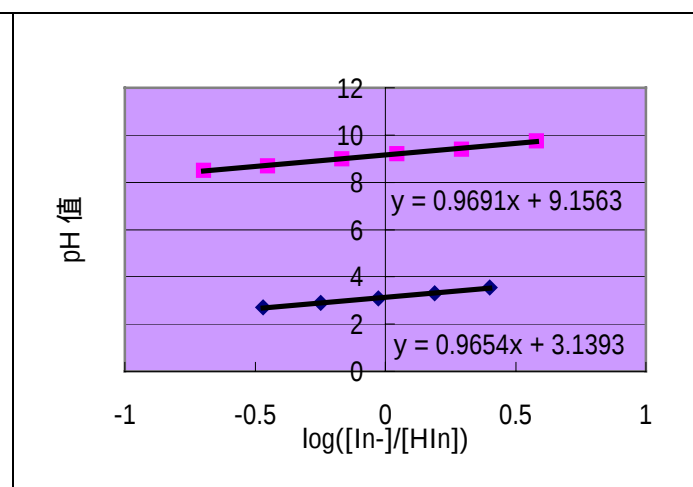


圖 5-2： $\log([In^-]/[HIn])$ vs. pH 值

(六) 老薑汁

薑汁色素的顏色變化由低 pH 至高 pH 值分別為無色→淡黃色→黃色（如右圖），我們選定 410 nm 做為吸收波長，量測吸收度與 pH 值的變化關係，並整理數據（表格省略），而後分析數據作圖，圖 6-1：pH 值 vs. 吸收度，圖 6-2： $\log([In^-]/[HIn])$ vs. pH 值。由圖 6-2 得知線性回歸線為 $y = 9.470 + 1.198x$ ，截距為 9.470，斜率為 1.198，與 $pH = pK_a + \log([In^-]/[HIn])$ 比較，截距相當於 pK_a ，斜率相當於解離 H^+ 數。得知玫瑰花色素的 $pK_a = 9.470$ ， H^+ 轉移數約為 1 個。

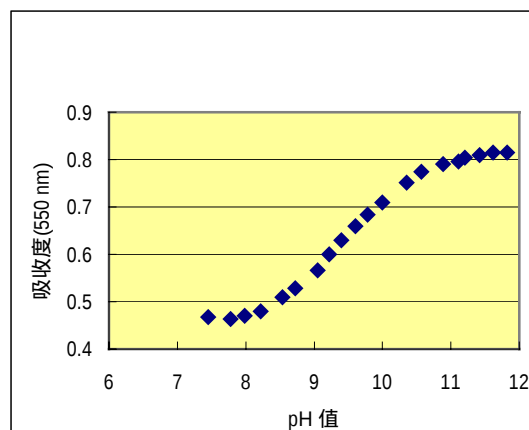
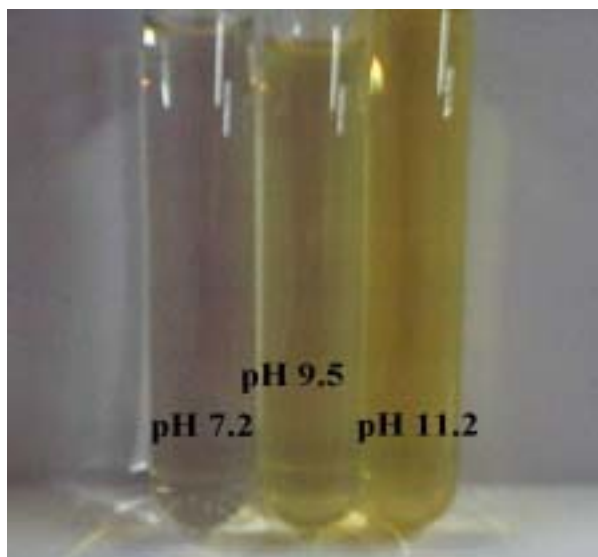


圖 6-1：老薑 pH 值 vs. 吸收度

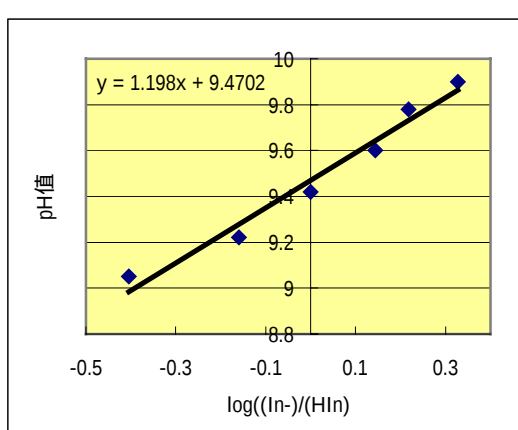


圖 6-2： $\log([In^-]/[HIn])$ vs. pH 值

(七) 波斯菊花汁

波斯菊花色素的顏色變化由酸性至鹼性分別為黃色→橙色→紅色（如右圖），我們選定 490 nm 做為吸收波長，量測吸收度與 pH 值的變化關係，並整理數據（表格省略），而後分析數據作圖，圖 7-1：pH 值 vs. 吸收度，圖 7-2： $\log([In^-]/[HIn])$ vs. pH 值。由圖 6-2 得知線性回歸線為 $y = 7.77 + 1.286x$ ，截距為 7.77，斜率為 1.286，與 $pH = pK_a + \log([In^-]/[HIn])$ 比較，截距相當於 pK_a ，斜率相當於解離 H^+ 數。得知波斯菊花汁色素的 $pK_a = 7.77$ ， H^+ 轉移數約為 1 個。

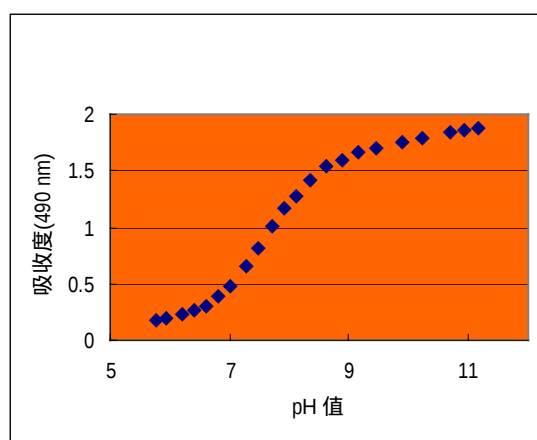
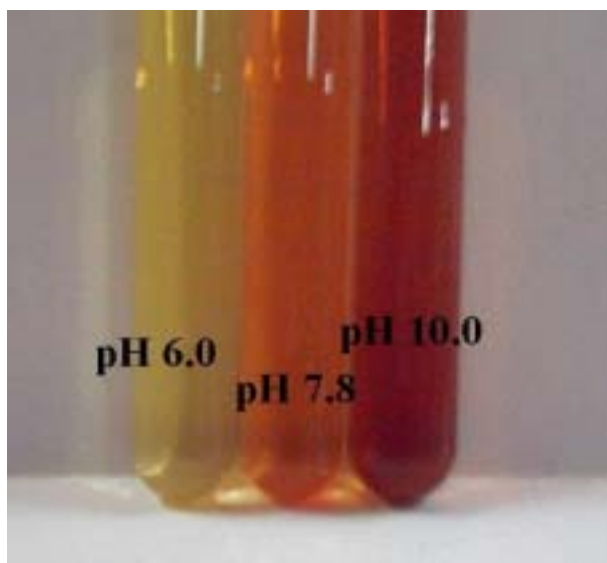


圖 7-1：老薑 pH 值 vs. 吸收度

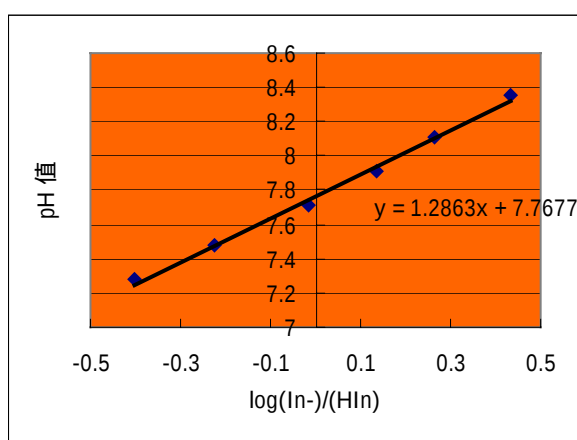


圖 7-2： $\log([In^-]/[HIn])$ vs. pH 值

七、研究結果：

- (一) 我們利用光度計與 pH 儀正確求得各種指試劑的 pKa 值，並計算出指試劑變色過程中所轉移的氫離子數目。
- (二) 紫色甘藍菜推測有兩個 pKa，其解離方程式為 $\text{H}_2\text{In} \rightarrow \text{H}^+ + \text{HIn}^-$ ， $\text{HIn}^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{In}^{2-}$ ， H_2In 為紅色， HIn^- 為藍色，而為 In^{2-} 黃色。

八、討論與結論：

- (一) 天然指試劑有其限制之處：1.是純化的問題，因為指試劑的純度會影響吸收度；2.是保存與處理的問題，我們若將指試劑置於室溫之下，很容易發霉，若保存於冰箱並加入少量酒精，則可以維持半個月左右，所以要保存天然指試劑可能要加入防腐劑或其他添加物。
- (二) 綜合比較：

指試劑名稱	變色範圍	顏色變化（由酸性至鹼性）	pKa	H ⁺ 轉移數目	優缺點
酚酞	8.4 ~ 10.4	無色→粉紅→紅色	9.4	約 1 個	顏色於鹼性時變化明顯，易於保存。
溴瑞香草酚藍	6.1 ~ 8.1	黃色→綠紅→藍色	7.1	約 1 個	顏色於中性時變化明顯，易於保存。
甲基橙	2.6 ~ 4.6	紅色→橙紅→黃色	3.6	約 1 個	顏色於酸性時變化尚明顯，易於保存。
玫瑰花色素	7.4 ~ 9.4	橙色→橙黃色→深褐色	8.4	約 1 個	顏色變化不甚明顯，成本較高且保存不易。
紫色甘藍菜汁	2 ~ 12	紅色→紫色→藍色 →綠色→黃色	3.1 9.7	各約 1 個	顏色變化明顯且多樣，變色範圍廣，成本低但保存不易。

指試劑名稱	變色範圍	顏色變化(由酸性至鹼性)	pKa	H ⁺ 轉移數目	優缺點
老薑汁色素	8.5~ 10.5	無色→淡黃色→黃色	9.5	約 1 個	顏色變化較不明顯，成本低且容易保存。
波斯菊花色素	6 ~ 10	黃色→橙色→紅色	7.8	約 1 個	顏色變化明顯，成本較低且容易保存。

九、參考資料：

- (一) 新教材 高一基礎化學 第三章 物質的變化及其形成 龍騰出版社
- (一) 新教材 高二物質科學化學篇 第八章 酸與鹼 南一出版社
- (二) 田福助譯者(1992 年) 基礎分析化學 第六版(上冊) 第十章中和滴定理論 美亞出版社
- (三) 林敬二、林宗義審譯(1994 年) 儀器分析 第四版 (上冊) 第七、八章分子紫外光/可見光和近紫外光吸收光譜導論與應用 美亞出版社