

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

第一名

030209

「層」次「分」明—濃度與色素吸附力關係之
探討

學校名稱：新北市立福和國民中學

作者： 國二 鮑思在 國二 涂昕佑 國二 莊騏睿	指導老師： 林雅雯 丁亦男
---	-----------------------------

關鍵詞：色層分析、吸附力、水合離子

得獎感言

科展六〇，層次分明

從來不曾想到，我們竟有此榮幸，與各地菁英踏上全國舞台，展開激烈競爭，並成功的以首獎之姿，為國中的科展之路，帶來最璀璨的結局。

回溯著這一年多的艱辛挑戰，從題目的找尋、資料的搜集、實驗的設計、裝置的改良，再到說明書中數據的整理、文字的運用、邏輯的掌握，以及最終海報的編排、口頭報告的演練，每一步都歷歷在目。

從校內科展、市展到國展，在這段漫長的路途中，不知經歷多少個費盡心思撰寫說明書的夜晚，多少個罄盡全力投入實驗室的週末，又不知有多少次被日以繼夜的忙亂反噬。還好這條跌宕起伏的道路上，有老師們鼎力的指導、鼓勵，以及許多貴人的相助，協助我們一步一步奠定成功的基石。萬分感謝你們的付出，使我們三人獲益匪淺，得以一路過關斬將，突破重重考驗，勇往直前。每一場試煉，都是無價的人生經驗。

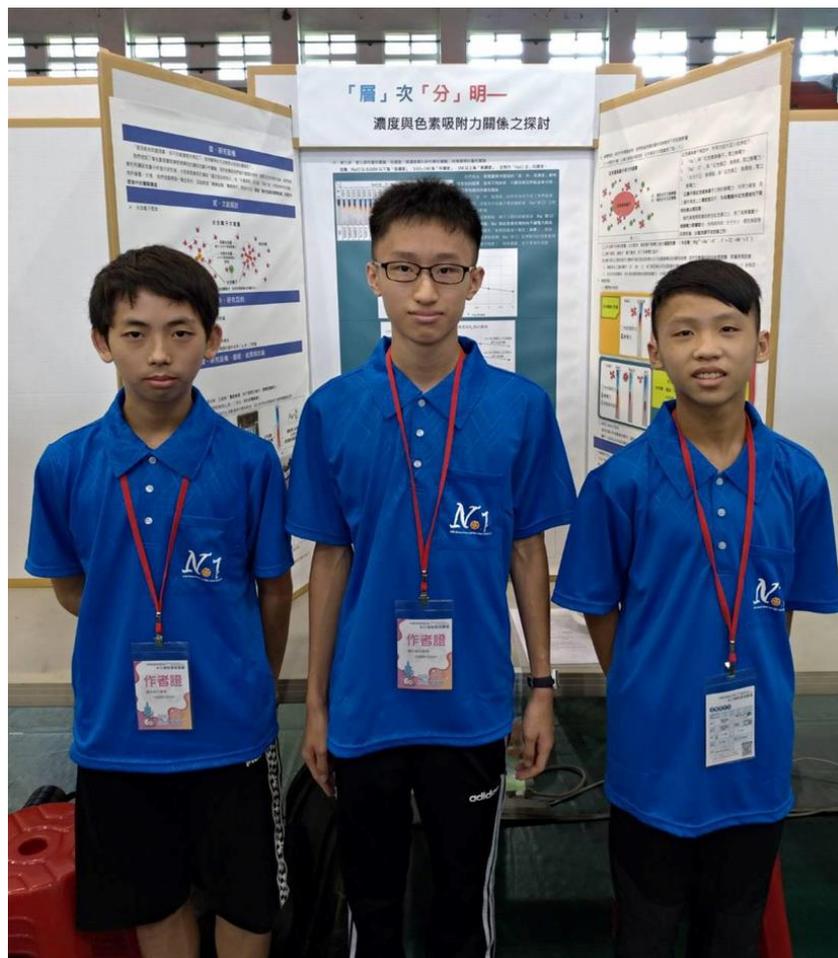
國展評審那兩天，懷著忐忑的心步入比賽會場，深怕一次不慎口誤，使師長的期待歸於徒然；深怕一個反應不及，使過往的努力付諸東流。驀然，我們想起了一路上理化知識的精進、科學方法的學習，以及對於自己「更上一層樓」的渴望。沿途披荊斬棘，堅持到這勝利的前夕，正該是大方展現成果之時！我們要證明科學於我們不僅僅是熱愛，更是一路走來不變的信念。於是，在我們走到展板前方那一刻，緊張感全然煙消雲散。我們以最自信、堅定的態度，對評審們述說著那見證我們成長的研究歷程。

最後評審們給予了我們的作品最高的肯定。煌煌燈光下，當頒獎典禮主持人宣告著我們脫穎而出的榮耀，頃刻間，心中只有滿滿的喜悅與感激！那些日子的孜孜矻矻，終於使一切都值得，使一切都圓滿成功。

經歷這場科學盛會，飽覽學術堂奧，收穫了不凡的成就，這一段旅程將會是珍貴且美好的回憶。



國展培訓



與展板合影



上台領獎

摘要

本實驗藉由濾紙色層分析法，以水性黑色顏料為混合物，探討各種沖提液在不同濃度下對色素吸附力的影響，並得知鹽類是鑑別展開距離的關鍵溶質。我們也發現，以氯化鈉為沖提液，「低、中、高濃度」都有其各自的區間，並有不同斜率。斜率的改變，是由於正、負離子互相吸引程度不同，而導致靜電力的消長。只要找到濃度區間交界點並做分段，就可得到極佳的線性關係，並且可以應用於未知濃度的檢測。

最後我們發展出解釋模型，根據「水合離子」的性質、條件，可說明沖提液中的離子在本層析實驗中的關鍵作用；也能完整解釋離子種類、濃度、帶電量多寡所造成的影響。

壹、研究動機

「是否能在知道溶質，但不知道濃度的情況下，使用簡易的方法檢測出溶液的濃度呢？」在查閱許多資料後，我們知道測量溶液的濃度有很多方法，例如滴定法、分光光度法等，皆可以進行濃度測量。但這些實驗需要專業設備、專業操作，在普及性方面尚有不足之處。

後來我們想到了曾在數理營隊課程裡學到的濾紙色層分析實驗。在當時，我們已了解到色素可以用不同濃度的鹽水進行層析，經圓形濾紙擴散展開出不同大小的色素同心圓。我們覺得這或許能幫助我們進行濃度的檢測。

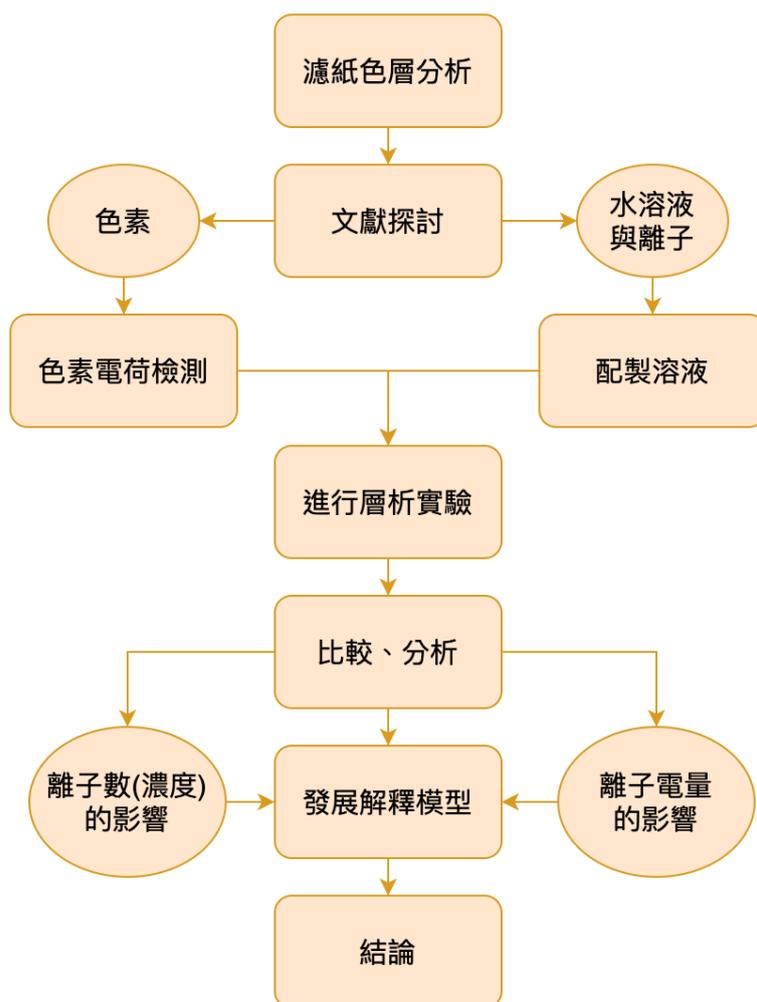
而我們查閱以往的科展作品後，發現曾利用濾紙色層分析進行研究者，大多都是應用於濾紙「鑑別混合物成分」的功能，而鮮少對「沖提液條件的改變」有所著墨。於是我們在校內科展時，以理化課常見的水溶液進行研究，針對「沖提液的各種不同條件」與「濾紙層析的色素展開距離」進行**量化**探討，並將圓形濾紙改為裁切成長條濾紙進行實驗，以便有明確的色素展開距離數據。配製的溶液為重量百分濃度，範圍涵蓋了 NaCl 的溶解度。另外，也針對「糖鹽混合液」進行吸附檢測。此階段我們得到：鹽類溶液濃度與色素吸附力存在一定的線性關係、糖水分離色素的效果很差、影響色素展開距離的關鍵是**鹽類**溶質，而**白糖**含量並不**影響最終展開距離**等實驗結果。

市展時，我們為將研究貼近真實運用範圍，將配製的重量百分濃度降至 0.5%~2.5% 區間。發現以不同正、負離子為操縱變因，濃度差所造成的展開距離差異皆會隨之改變，但**到底是離子的種類、離子個數還是離子電量造成影響？**仍需釐清。另外，本階段數據與校內科展時所做的高濃度範圍相比較，雖都有極佳線性關係，但**斜率卻不同！**且沖提液在濃度 0 和 0.5% 之間的展開差異比例遠大於 0.5%~2.5% 之間，似乎有我們繼續進行延伸實驗的空間。

基於以上的發現與困境，加上已學習了體積莫耳濃度的概念，在國展階段的實驗設計上，我們將配製的濃度單位由重量百分濃度（%）改為體積莫耳濃度（M），以期有效控制變因為單純的離子數相同或帶電量相同，並易於分析數據。此外，為了儘可能減少誤差，實驗裝置由原先的開放系統改為密閉；沖提液體積由 3.5mL 增至 50mL；並增加層析濾紙長度；測量方式也由鉛筆劃記改為拍照讀取。而為了增快實驗速率，我們採用定量分注器用以稀釋沖提液，並同時以同一沖提液做五組數據。此一階段我們想更進一步釐清的問題有：

- 一、色素是否帶電？若有，帶何種電性？
- 二、酸、鹼性是否影響展開距離？
- 三、色素拖曳現象是由何種因素造成？
- 四、離子數、離子電量對展開距離的影響。
- 五、食鹽水於低濃度（0.1M 以下）、中濃度（0.1~1M）、高濃度（1M 以上）區間的數據是否存在不同的斜率？影響因素為何？

為了解決以上問題，我們設計了一連串的實驗，開始進行研究。見下圖（一）。



圖（一）

貳、文獻探討

一、濾紙色層分析原理（取自參考資料三）

層析法（chromatography）是利用化合物在靜相與流動相之間的分配差異以分離混合物的方法。將混合物試樣點附在靜相上，以液體展開劑作為流動相，透過毛細作用由下往上移動。由於不同的化合物與靜相之吸附力和流動相間溶解度的差異，當展開劑上升、流經所吸附的試樣點時，對靜相吸附力弱的物質移動快，對靜相吸附力強的移動慢。由於各種物質移動的速率不同，使混合物最後在靜相層上分開，達到分離目的。一個化合物在層析片上上升的高度與沖提液上升高度的比值，是化合物在該分析條件下的特性參數，稱為 R_f 值。利用 R_f 值，可以判斷兩化合物是否為相同的化合物。

二、水合離子概念：

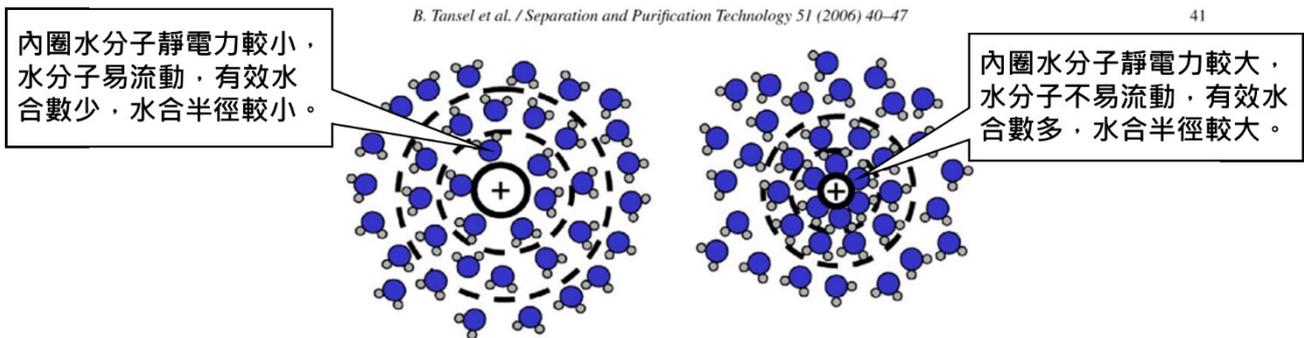


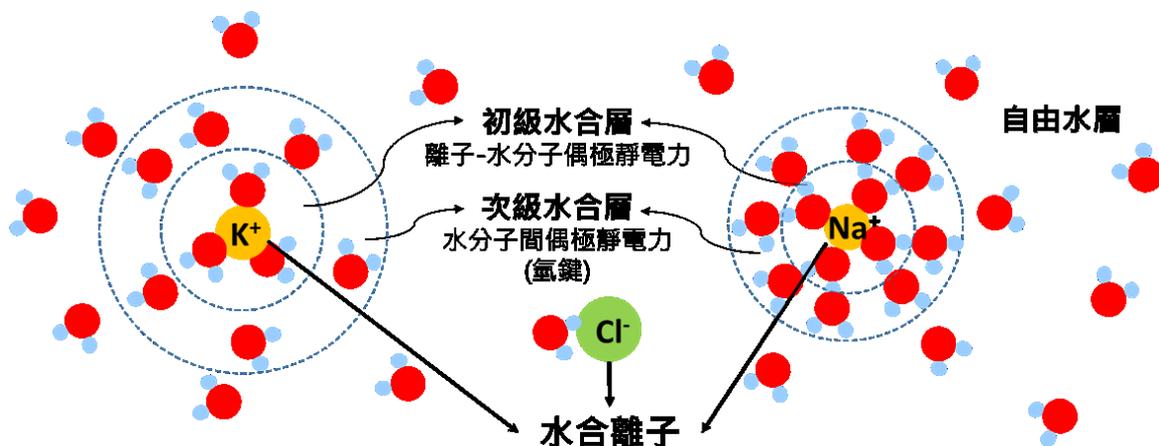
Fig. 1. Schematic representation of hydration shells around a large and a small ion. Inner and outer circles represent the primary and secondary hydration shells, respectively.

*本示意圖未按實際比例繪製。

圖（二）

（一）水分子會在離子周圍對齊，形成水合層。帶正電的離子（如 Na^+ ）吸引水分子的負偶極（氧元素）；帶負電的離子（如 Cl^- ）吸引水分子的正偶極（氫元素）。

水合離子示意圖



★鉀水合離子水合數較少，水合半徑較鈉水合離子小。

圖（三）

(二) 初級水合層內的水分子與正離子間以離子-偶極靜電力結合且水分子間透過氫鍵有序排列，而較小的正離子可更牢固地保持水分子的穩定。氫鍵越有序排列，不同層的水分子間越容易形成氫鍵，進而幫助其周圍的水分子形成網狀結構，而使得水較不易流動，如圖（二）所示。

(三) 水合半徑取決於中心離子的電荷及其離子半徑，電荷數相同的 Na^+ 和 K^+ ， Na^+ 半徑較小，對水的靜電力較大，因此水合數較多，水合半徑反而較 K^+ 大；而質量相近的 Na^+ 和 Mg^{2+} ， Na^+ 電荷較少，對水的靜電力較小，因此水合數較少，水合半徑較 Mg^{2+} 小。負離子（如 Cl^- ）的電子數較多，無空軌域，離子半徑較大。其與水分子通常靠弱靜電力或氫鍵作用形成水合負離子，且水合數較少，因此水合半徑較小，如圖（三）所示。

三、靜電力：

兩帶電體間的吸引力或排斥力，會與兩帶電體所帶電荷量的乘積成正比，而與彼此間距離平方成反比，這種作用力稱為靜電力或庫侖作用力。帶電體所帶的電荷稱為電量（ Q ），單位為庫侖（ C ）。

四、科展作品分析

以關鍵字「層析」於「科展群傑廳」搜尋的 28 篇作品中，有 20 件是將色層分析法運用於成分鑑別或萃取，高中多用薄層層析法 TLC（Thin Layer Chromatography），如 59 屆得獎作品「酯類代謝於花粉萌發及花粉管生長所扮演的角色」，即以 TLC 做重要油脂的定序與定量；56 屆得獎作品「茶蠶砂萃取物之成分分析與活性探討」，以 TLC 與高效液相色譜儀（HPLC），觀察與分析茶蠶砂中可能之化合物含量分布。

而國中、小作品大部分用濾紙層析法，如 57 屆得獎作品「聖誕紅-oh~葉!--聖誕紅苞葉變色與葉綠素含量的研究」，即以濾紙層析法做葉綠素的分離檢測。比較特別的是 42 屆得獎作品「當我們『聚』在一起—談膠體溶液的凝析現象及應用」，利用氫氧化鐵膠體粒子吸附正電荷之特性，來吸附重金屬離子，再以濾紙來層析，將重金屬與水分離。51 屆作品「廢絲襪也有春天—絲襪的回收再利用」，以絲襪為材料自製 TLC 片。而 47 屆「眼見不為憑：光合色素的濾紙層析分離」、46 屆「顏色跑跑跑」，實驗有多項操縱變因，如：不同紙質、不同沖提液（或不同混合比例）、溫度與時間等變因。根據這些資料，更有利於掌握實驗時的控制變因。

綜合所有與層析相關的科展作品後，我們發現：曾利用濾紙色層分析進行研究者，多僅應用於濾紙「鑑別混合物成分」或「分離萃取」的功能，而鮮少對「沖提液的條件」有所著墨。於是，我們想要開發一種全新的、能夠跨越「專業設備、專業操作」限制的方法，透過「層析色素的展開距離」來測定沖提液中的鹽類濃度。

參、研究目的

一、利用簡易的濾紙層析法測定溶液濃度

(一) 探討沖提液中的離子數（濃度）對色素吸附力的影響

(二) 探討沖提液中離子帶電多寡對色素吸附力的影響

(三) 探討酸、鹼沖提液對色素吸附力的影響

(四) 探討沖提液在低、中、高濃度區間數據的不同斜率關係，並尋找濃度區間交界點

二、根據「水合離子」性質，解釋離子種類、濃度與帶電量對層析結果（ R_B 值）之影響

肆、研究設備及器材

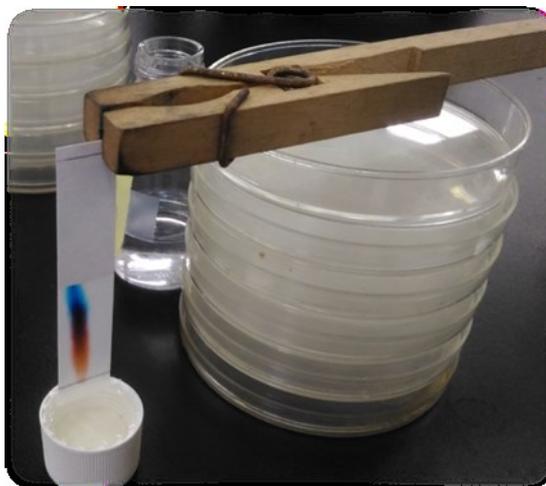
一、實驗器具：

燒杯、量筒、定量瓶、滴管、攪拌棒、電子秤（0.01g）、分注器、電源供應器、檢流計、定性1號濾紙、黑色顏料（筆樂水洗彩色筆 PG9222）、實驗裝置（一）、實驗裝置（二）、金屬電極、碼表

二、實驗藥品與市售運動飲料：

氟化鈉（NaF）、氯化鈉（NaCl）、溴化鈉（NaBr）、碘化鈉（NaI）、碳酸鈉（ Na_2CO_3 ）、硫酸鈉（ Na_2SO_4 ）、硝酸鈉（ NaNO_3 ）、硝酸鉀（ KNO_3 ）、氯化鉀（KCl）、氯化銨（ NH_4Cl ）、氯化鎂（ MgCl_2 ）、氟化鉀（KF）、溴化鉀（KBr）、碘化鉀（KI）、*純水（ H_2O ）、白糖（ $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ）、舒跑、舒跑S、FIN、寶礦力水得

*純水使用泰山淨之水，以4.5V外接電源、電極距離8.8mm測量純水與自來水導電度分別為 $3.0\mu\text{A}$ 、 $13.0\mu\text{A}$ 。



原始實驗裝置（一）



修正後實驗裝置（二）

伍、研究過程或方法

一、色層分析原理（本實驗定義）

- (一) 「濾紙色層分析」是利用沖提液對「混合物中各物質」吸附力不同，在濾紙上有不同展開距離，用以分離或純化混合物。而鹽類沖提液中的離子對「不同顏色的色素」有不同吸附力（即靜電吸附力），因此在本實驗中，將黑色顏料點在濾紙上，用沖提液展開後，會被大致分離為黃、紅、藍三種顏色。
- (二) 用鉛筆（原子筆含有色素，會影響實驗結果）在濾紙下端劃記起始線、上端劃記終止線，再將黑色顏料點在起始線上，濾紙垂直浸入沖提液（不高於顏料點），色素會被溶解，隨毛細現象向上移動。
- (三) 在色素分離結束後，除了可以觀察到黑色顏料主要被分離為黃、紅、藍三種顏色，也可發現紅、黃色素分布在濾紙中下端，而藍色素總是被吸附到濾紙頂端。

二、名詞定義

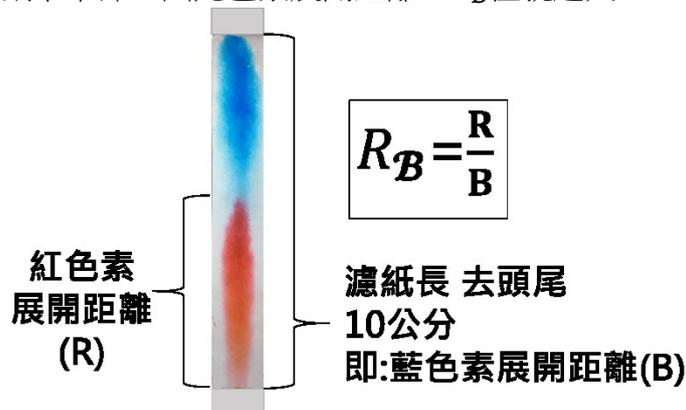
- (一) R_B 值（ R ：Red； B ：Blue）：紅色素展開距離（簡稱展開距離）與藍色素展開距離的比值定義為*「 R_B 值」。

R_B 值可表示沖提液的溶質對紅色素的吸附力（簡稱色素吸附力）大小。

*若以一般層析實驗的「 R_f 值」定義，應是用「紅色素的展開距離」（以濃度最濃的位置為展開距離）與「沖提液移動距離」比值為計算之。惟我們觀察「沖提液」至終止線的數據，線性關係明顯不如「藍色素」至終止線的數據。因此，我們自行定義「 R_B 值」進行本實驗的數據換算。示意圖見圖（四）。

- (二) R_B 值越大，代表展開距離越大。而該種沖提液中的溶質對紅色素的吸附力越**小**，因為沖提液中的溶質對色素而言，是一種「向下的吸附力」。

因此，在沖提液非純水時，濃度越小，前述「向下的吸附力」就越小，較無法將色素吸附在濾紙下半部，因此色素展開距離、 R_B 值就越大。



圖（四）

三、層析實驗步驟—裝置（二）

- (一) 在 1000 毫升大燒杯中注入適量沖提液。
- (二) 以紙板、鐵片、磁鐵固定濾紙於適當的高度。
- (三) 架設光源，以清楚拍攝「沖提液的上升高度」。
- (四) 將濾紙垂直浸入沖提液，液面不高於顏料點。裝置可同步進行五組層析實驗。
- (五) 濾紙裁切尺寸：12cm×1.5cm 長條狀
 下端 1cm 處用鉛筆畫線作為起始線；上端 1cm 處用鉛筆畫線作為終止線
 色素量：以水性黑色顏料在起始線上點 5 次。
- (六) 濾紙垂直浸入沖提液，液面不高於顏料點。
- (七) 層析高度將抵達終止線時，以手機連拍，藍色素皆被吸附至終止線後，停止拍照。
- (八) 截取沖提液至終止線、藍色素至終止線之照片，並設定照片固定高度。
- (九) 於照片上測量並記錄展開距離數值。
- (十) 計算平均展開距離、 R_B 值。五組展開距離中，取數值居中的三組平均。

四、兩種裝置比較如表（一）：

表（一）		
	原始實驗裝置（一）	修正後實驗裝置（二）
長條濾紙裁切尺寸	8cm×1.5cm	12cm×1.5cm
容器密閉	無	有
起始線與濾紙下端距離	0.7cm	1cm
終止線與濾紙上端距離	0.3cm	1cm
色素量	水性黑色顏料點 5 次	
展開距離測量	鉛筆劃記	拍照讀取
一次可做幾組數據	一組	五組

五、第一階段實驗—校內科展

(一) 概述：此階段進行了重量百分濃度 5%、10%、15%、20%、25% 的氯化鈉、氯化鉀、硝酸鈉、硝酸鉀、白糖水溶液與糖鹽混合液之層析實驗。實驗使用裝置 (一)。

(二) 研究結果：實驗數據見表 (二)，折線圖見圖 (五)。展開距離單位：cm

表 (二)								
	NaCl		KCl		NaNO ₃		KNO ₃	
	展開距離	R_B 值	展開距離	R_B 值	展開距離	R_B 值	展開距離	R_B 值
5%	5.20	0.743	5.10	0.743	6.50	0.929	5.30	0.757
10%	4.10	0.586	4.50	0.643	6.20	0.886	4.80	0.686
15%	3.20	0.457	3.80	0.543	5.40	0.771	4.50	0.643
20%	2.40	0.343	2.70	0.386	5.30	0.757	4.00	0.571
25%	2.20	0.314	2.20	0.314	4.80	0.686	3.80	0.543
斜率	-2.20		-2.17		-1.23		-1.09	
R^2 值	0.955		0.987		0.957		0.984	
Xg 糖 + 10g 鹽水 5%								
糖 (g)			0.5		1		1.5	
展開距離 (cm)			5.20		5.20		5.20	

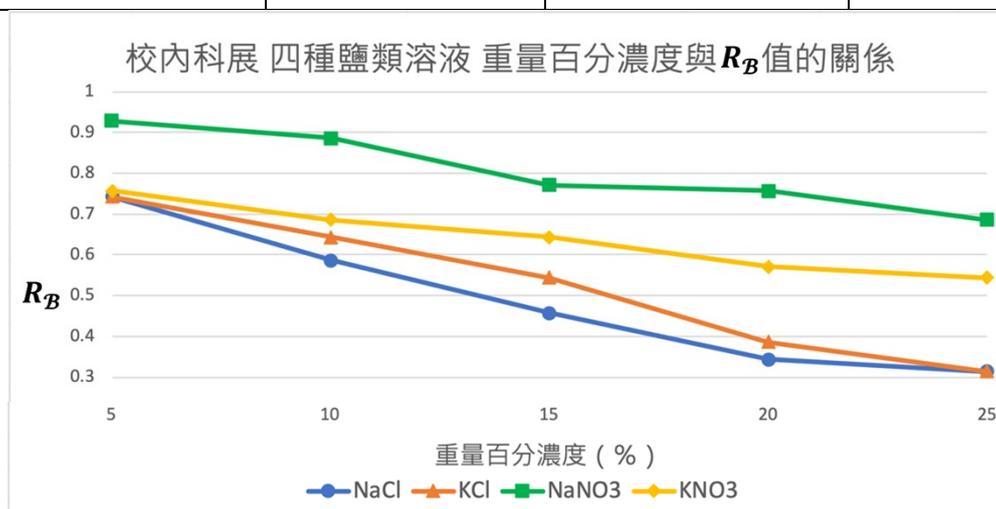


圖 (五)

(三) 結論：

1. 鹽類溶液部分，四組圖表 R^2 值皆達到 0.95 以上。
初步研究顯示，溶液濃度與色素吸附力存在一定的線性關係。
2. 糖水分離色素的效果很差。
3. 影響色素展開距離的關鍵是鹽類種類和重量百分濃度大小，與白糖含量無關。

六、第二階段實驗—市內科展

(一) 概述：我們將溶液濃度降低了十倍，並且針對白糖與氯化鈉、溴化鈉、碘化鈉、碳酸鈉、硫酸鈉、硝酸鈉、氯化鉀、氯化銨等八種鹽類溶質，以及低濃度糖鹽混合液進行層析實驗。實驗使用裝置（一），每種濃度都進行三次層析。

(二) 研究結果：實驗數據見表（三）、表（四）、表（五），折線圖見圖（六）。

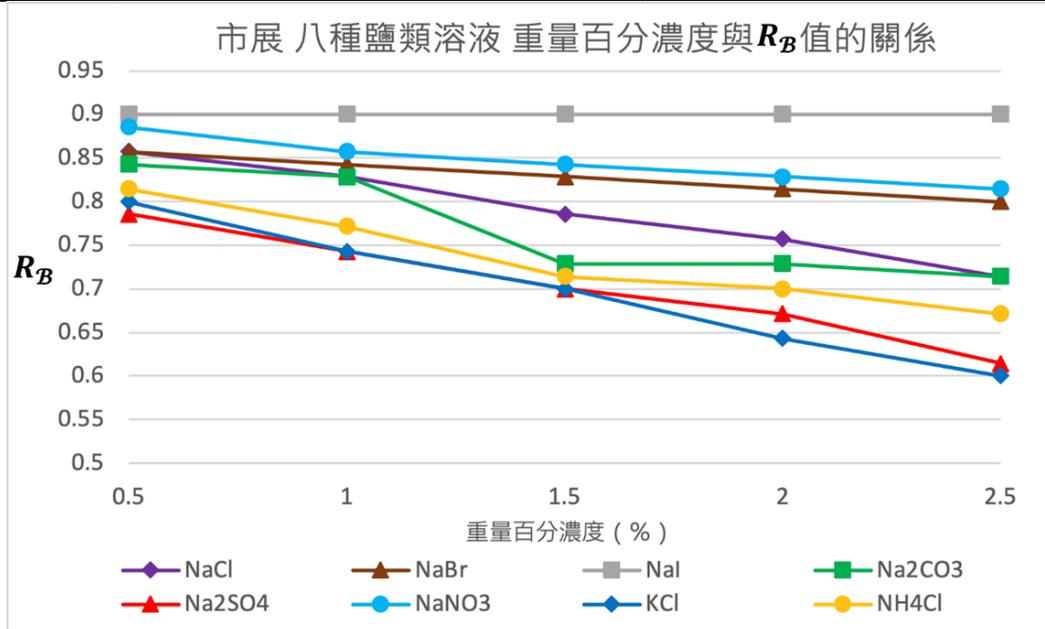
平均展開距離單位：cm

表（三）								
	NaCl		NaBr		NaI		NaNO ₃	
	三次展開 距離平均	R_B 值	三次展開 距離平均	R_B 值	三次展開 距離平均	R_B 值	三次展開 距離平均	R_B 值
0.5%	6.00	0.857	6.00	0.857	6.30	0.900	6.20	0.886
1.0%	5.80	0.829	5.90	0.843	6.30	0.900	6.00	0.857
1.5%	5.50	0.786	5.80	0.829	6.30	0.900	5.90	0.843
2.0%	5.30	0.757	5.70	0.814	6.30	0.900	5.80	0.829
2.5%	5.00	0.714	5.60	0.800	6.30	0.900	5.70	0.814
斜率	-7.14		-2.86		0		-3.43	
R ² 值	0.995		1.00		—		0.973	
	Na ₂ CO ₃		Na ₂ SO ₄		KCl		NH ₄ Cl	
	三次展開 距離平均	R_B 值	三次展開 距離平均	R_B 值	三次展開 距離平均	R_B 值	三次展開 距離平均	R_B 值
0.5%	5.90	0.843	5.50	0.786	5.60	0.800	5.70	0.814
1.0%	5.80	0.829	5.20	0.743	5.20	0.743	5.40	0.771
1.5%	5.10	0.729	4.90	0.700	4.90	0.700	5.00	0.714
2.0%	5.10	0.729	4.70	0.671	4.50	0.643	4.90	0.700
2.5%	5.00	0.714	4.30	0.614	4.20	0.600	4.70	0.671
斜率	-7.14		-8.29		-10.00		-7.14	
R ² 值	0.836		0.992		0.998		0.959	

註：由於各濃度的碘化鈉水溶液平均展開距離都相同，無鑑別度，另進行了重量百分濃度 20% 碘化鈉水溶液的層析實驗，發現展開距離即有明顯差異。

表(四)								
溶液	NaCl	NaBr	NaI	NaNO ₃	Na ₂ CO ₃	Na ₂ SO ₄	KCl	NH ₄ Cl
線性關係	有	有	(註)	有	不佳	有	有	較不佳

表(五)			
「100g 的 0.5%NaCl+Xg 糖」(各物質比例:「水:NaCl:糖=99.5:0.5:X=199:1:2X」)			
糖的質量(g)	1	2	3
三次展開距離平均(cm)	6.00	6.00	6.00
0.5%氯化鈉水溶液加糖與否的層析時間比較			
沖提液種類	0.5%NaCl		0.5%NaCl+3g 糖
層析時間	458 秒		517 秒



圖(六)

(三) 結論：

1. 每種鹽類溶液皆有「濃度越高，向下吸附力越大，展開距離小」的趨勢。
(碘化鈉不明顯)
2. 碳酸鈉(鹼性鹽)、氯化銨(酸性鹽)水溶液的濃度與色素吸附力較沒有明顯線性關係。我們推測溶質解離後的水解反應改變溶液的 pH 值，而影響實驗結果。
3. 氯化鈉水溶液加糖後的層析時間較沒加糖的久，顯示可能可以用「層析時間」長短來判斷「糖」的濃度。又校內科展與本次實驗中，不論加糖多少，對於原氯化鈉水溶液的最終展開距離結果並無影響。我們根據結果推測：糖只會改變層析時間，而不會影響展開距離與 R_B 值。(理由：糖為非電解質)

七、【實驗一】色素電荷檢測

(一) 研究目的：測試紅、藍色素是否具離子性質。

(二) 研究步驟：

1. 準備數張 3cm×1cm 測試用濾紙。
2. 用水性黑色筆在濾紙正中央點 5 次。
3. 於濾紙兩端先後滴取適量純水、1M NaOH、1M HCl 與 1M NaCl，分別使色素稍微向一端擴散。
4. 以 12V 的外加電壓測試 5 分鐘，如圖(七)。

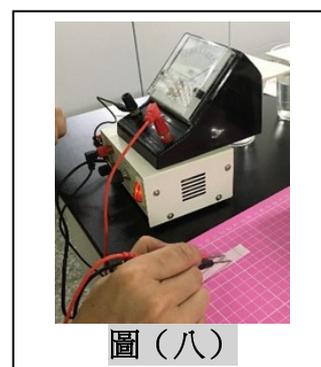


八、【實驗二】層析濾紙在距離起始線不同高度的導電度檢測

(一) 研究目的：測試層析濾紙上各高度的濃度是否一致。

(二) 研究步驟：

1. 準備 0.1M NaCl 進行層析後的濾紙（不點色素）。
2. 在濾紙不同高度處以 4.5V 外接電源檢測導電度（電極距離 8.8mm），如圖(八)。



九、【實驗三】純水的層析實驗

(一) 研究目的：探討以純水為沖提液，而沒有其它離子干擾時的色素層析現象。

(二) 研究步驟：以裝置(二)進行純水的層析。計算平均展開距離（五取三平均）。

十、【實驗四】氯化鈉、氯化鎂的層析實驗

(一) 研究目的：探討鹽類溶液**濃度**、**正離子所帶電荷多寡**對色素吸附力的影響。

(二) 研究步驟：

1. 配製 0.1M、0.2M、0.3M、0.4M、0.5M、0.6M、0.8M、1M 氯化鈉、氯化鎂水溶液。
2. 以裝置(二)進行層析實驗。計算平均展開距離（五取三平均）、 R_B 值。

十一、【實驗五】低濃度、高濃度氯化鈉的層析實驗

(一) 研究目的：探討 NaCl 在**低濃度**、**中濃度**與**高濃度**的 R_B 值是否存在不同的**斜率**。

(二) 研究步驟：

1. 配製 0.005M、0.01M、0.015M、0.02M、0.025M、0.03M、0.04M、0.06M、0.08M 與 2M、3M、4M、5M 的氯化鈉水溶液。
2. 以裝置(二)進行層析實驗。計算平均展開距離（五取三平均）、 R_B 值。

十二、【實驗六】各種鹽類的層析實驗

(一) 研究目的：

1. 探討鹽類溶液**濃度**對色素吸附力的影響。
2. 比較**帶電量相同的正、負離子**對色素吸附力的影響。

(二) 研究步驟：

1. 配製 0.2M、0.4M、0.6M、0.8M、1M 的氟化鈉、溴化鈉、碘化鈉、氟化鉀、氯化鉀、溴化鉀、碘化鉀水溶液。(氟化鈉溶解度不高，僅做 0.2M、0.4M)。
2. 以裝置(二)進行層析實驗。計算平均展開距離(五取三平均)、 R_B 值。

十三、【實驗七】運動飲料的離子濃度探討

(一) 已知條件：

1. 校內科展與市展時的推論：**糖不會影響展開距離與 R_B 值**。
2. 在市售運動飲料中，含量占大多數的離子為 Na^+ ，少量者為 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 。
3. 各運動飲料濃度。見表(六)：

運動飲料	舒跑	舒跑 S	FIN	寶礦力水得
正離子粒子濃度 (mM/L)	21.60	20.15	未標示	26.65
醣類濃度 (g/100mL)	6.8	4.3	4.4	6.6

(二) 研究步驟：進行運動飲料的層析實驗。計算平均展開距離(五取三平均)。

十四、【實驗八】氫氧化鈉與鹽酸的層析實驗與色素變色測試

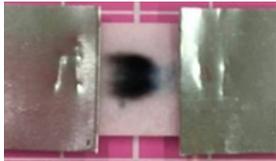
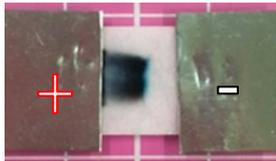
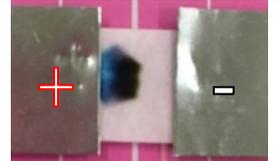
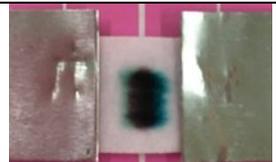
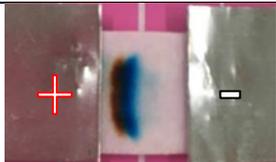
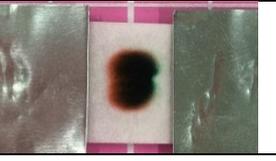
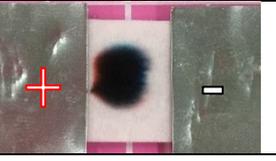
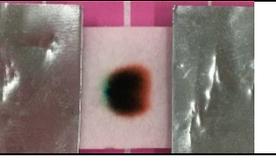
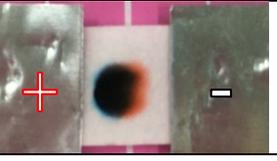
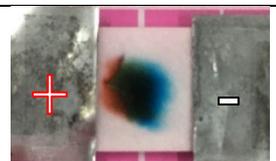
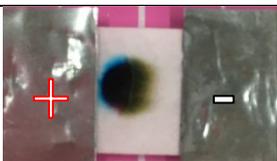
(一) 研究目的：探討**酸、鹼性**沖提液對色素吸附力的影響。

(二) 研究步驟：

1. 配製 1M NaOH 與 1M HCl，以裝置(二)進行層析。
2. 拍照記錄**色素展開過程**。
3. 利用 NaCl 層析實驗後，各色素已大致分離之濾紙，以 1M NaOH 與 1M HCl 連續滴數滴做變色測試。

陸、 研究結果與討論

一、【實驗一】色素電荷檢測結果，如表（七）所示。

表（七）			
純水			
色素：左紅右藍		色素：左藍右紅	
			
未通電	通電 12V	未通電	通電 12V
1M NaOH			
色素：左紅右藍		色素：左藍右紅	
			
未通電	通電 12V	未通電	通電 12V
1M HCl			
色素：左紅右藍		色素：左藍右紅	
			
未通電	通電 12V	未通電	通電 12V
1M NaCl			
色素：左紅右藍		色素：左藍右紅	
			
未通電	通電 12V	未通電	通電 12V

(一) 由以上的實驗發現，通電後藍、紅色素皆向左移向正極，故兩者皆帶負電，紅色素移動比藍色素明顯，故推論電量大小：紅色素>藍色素。

(二) 以 1M NaOH 為電解液電解，兩者移動皆變快。我們推論色素為弱酸形成的鹽類，在水中會部分解離成帶負電的色素離子 A^- 。

(三) 在 NaOH 中，色素將大部分以 A⁻ 形態存在，靜電力大增，移動加速。

(四) 雖然電解於正、負極會產生新物質，可能導致色素被氧化還原，但我們以多種電解液進行測試後，都得到「藍、紅色素皆帶負電」，且「電量紅色素>藍色素」的結果。

二、【實驗二】層析濾紙在不同高度的導電度檢測結果，如表（八）所示：

表（八）			
離起始線的高度 (cm)	1	5	9
電流大小 (mA)	0.36	0.32	0.28
圖片			

實驗證明：電解質水溶液在不同高度的層析濾紙上存在濃度差，越高處的電解質濃度越稀，故層析濾紙上帶負電的色素會因正離子的向下靜電力（下方較濃，淨力向下）而產生色素拖曳現象。

三、【實驗三】純水的層析結果，見表（九）：

表（九）				
次數	1	2	3	平均
展開距離(cm)	9.00	9.00	9.05	9.02

五、【實驗四】氯化鈉、氯化鎂的層析結果

(一) 中濃度氯化鈉層析結果，見表（十）：

表（十）									
濃度 (M)		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
展開距離 (cm)	1	8.20	7.50	7.20	6.90	6.70	6.50	6.10	5.50
	2	8.20	7.35	7.25	7.00	6.70	6.80	6.15	5.40
	3	8.15	7.35	7.15	6.70	6.60	6.60	6.00	5.35
	平均	8.18	7.40	7.20	6.87	6.67	6.63	6.08	5.42
R_B 值		0.818	0.740	0.720	0.687	0.667	0.663	0.608	0.542
圖表斜率		-0.27							

(二) 氯化鎂層析結果，見表(十一)：

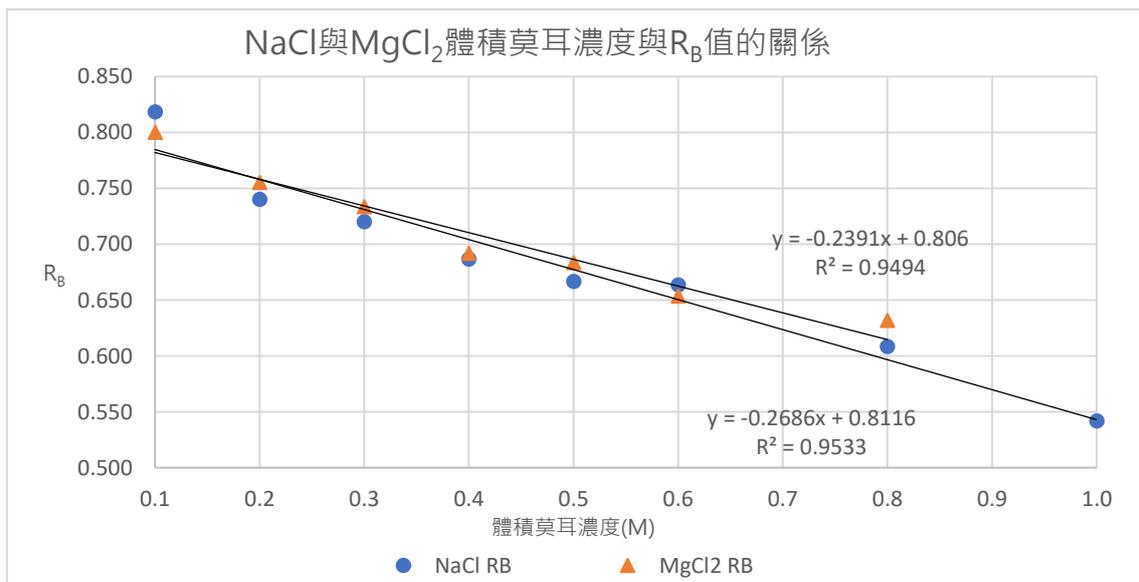
表(十一)								
濃度 (M)		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8
展開距離 (cm)	1	8.00	7.50	7.35	6.85	6.80	6.50	6.35
	2	8.00	7.65	7.35	6.90	6.85	6.50	6.35
	3	8.00	7.50	7.30	7.00	6.85	6.60	6.30
	平均	8.00	7.55	7.33	6.92	6.83	6.53	6.32
R_B 值		0.800	0.755	0.733	0.692	0.683	0.653	0.632
圖表斜率		-0.24						

註：氯化鎂 1M 數據有誤差（平均展開距離同 0.8M），故不採計此數據。

(三) 兩者比較：分別固定正、負離子濃度，如表(十二)及表(十三)所示。

趨勢線圖表見圖(九)、圖(十)

表(十二)								
[NaCl]=[MgCl ₂] (M) (左 NaCl 右 MgCl ₂)								
0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	



圖(九)

表 (十三)				
$[\text{Cl}^-]=0.2\text{M}$	$[\text{Cl}^-]=0.4\text{M}$	$[\text{Cl}^-]=0.6\text{M}$	$[\text{Cl}^-]=0.8\text{M}$	$[\text{Cl}^-]=1.0\text{M}$
$[\text{Na}^+]=2[\text{Mg}^{2+}]$	$[\text{Na}^+]=2[\text{Mg}^{2+}]$	$[\text{Na}^+]=2[\text{Mg}^{2+}]$	$[\text{Na}^+]=2[\text{Mg}^{2+}]$	$[\text{Na}^+]=2[\text{Mg}^{2+}]$
(左 NaCl 右 MgCl_2)				

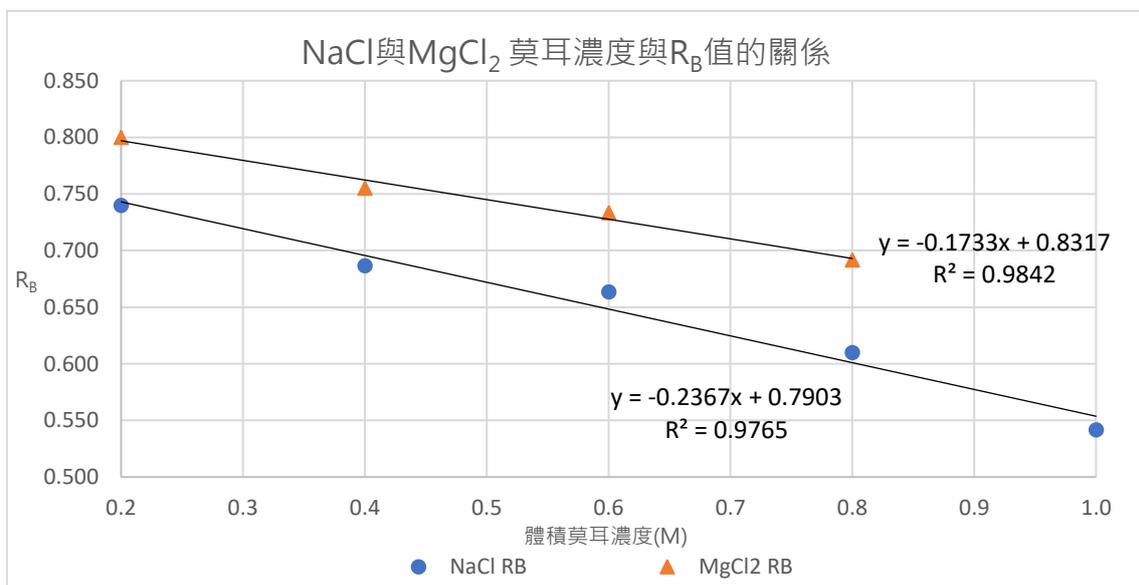


圖 (十)

六、【實驗五】【實驗六】低濃度、高濃度氯化鈉與其它各種鹽類的層析結果

(一) 低濃度氯化鈉層析結果，見表 (十四)：

表 (十四)										
濃度 (M)		0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.04	0.06	0.08
展開距離 (cm)	1	8.90	8.80	8.70	8.55	8.45	8.30	8.40	8.10	8.05
	2	8.85	8.85	8.80	8.55	8.55	8.50	8.30	8.20	8.10
	3	8.95	8.75	8.70	8.55	8.50	8.40	8.40	8.20	8.10
	平均	8.90	8.80	8.73	8.55	8.50	8.40	8.37	8.17	8.08
R_B 值		0.890	0.880	0.873	0.855	0.850	0.840	0.837	0.817	0.808
圖表斜率		-1.08								

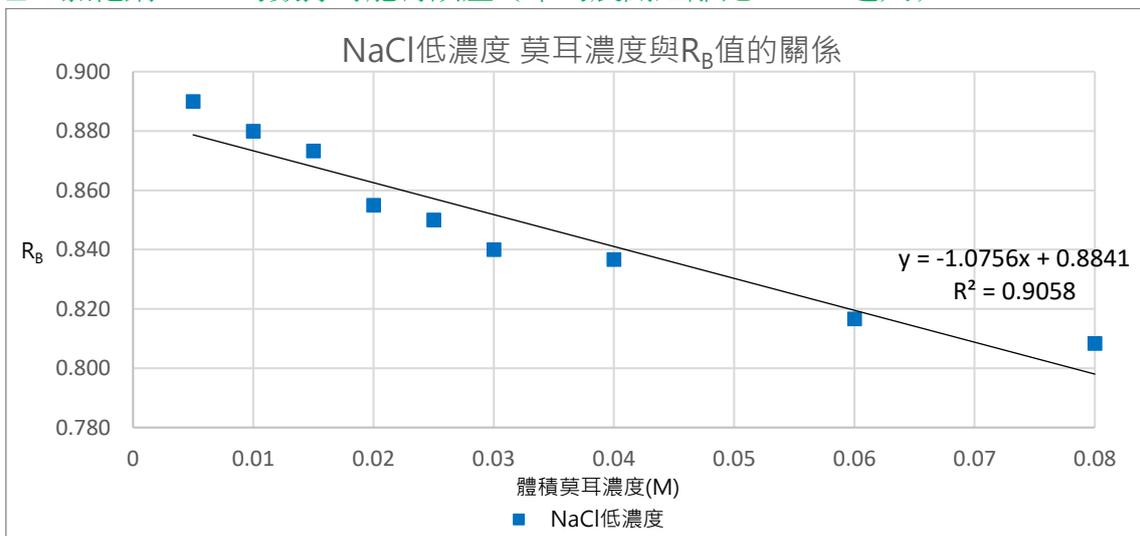
(二) 高濃度氯化鈉層析結果，見表（十五）：

表（十五）					
濃度 (M)		2.0	3.0	4.0	5.0
展開距離 (cm)	1	4.90	4.00	3.15	2.70
	2	4.90	4.00	3.30	2.50
	3	4.85	3.95	3.10	2.40
	平均	4.88	4.02	3.18	2.53
R_B 值		0.488	0.402	0.318	0.253
圖表斜率		-0.07			

(三) 比較：如表（十六）所示。趨勢線圖表見圖（十一）、圖（十二）

表（十六）																					
NaCl 低、中、高濃度層析結果比較(M)																					
純水	0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.040	0.060	0.080	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.800	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000
0%	0.029%	0.058%	0.088%	0.117%	0.146%	0.175%	0.234%	0.351%	0.468%	0.582%	1.161%	1.734%	2.300%	2.920%	3.428%	4.535%	5.641%	10.842%	15.710%	20.310%	24.637%

註：氯化鈉 0.1M 的數據可能有誤差（平均展開距離比 0.08M 還大）。



圖（十一）

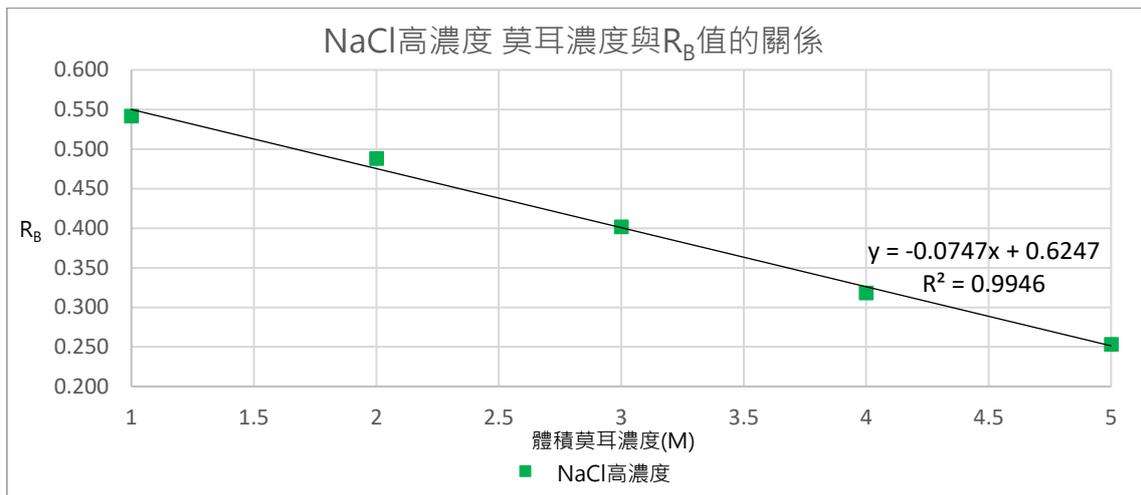


圖 (十二)

經過我們的觀察，修正了氯化鈉的「低、中、高濃度」定義。見表 (十七)。

NaCl 低、中、高濃度區間定義的修正			
	低濃度	中濃度	高濃度
修正前	0.1M 以下	0.1~1M	1M 以上
修正後	0.03M 以下	0.03M~1M	

新定義以 0.03M 以下為「低濃度」；0.03~1M 為「中濃度」；1M 以上為「高濃度」，並製作了「NaCl 全」的趨勢線圖表。見圖 (十三)：

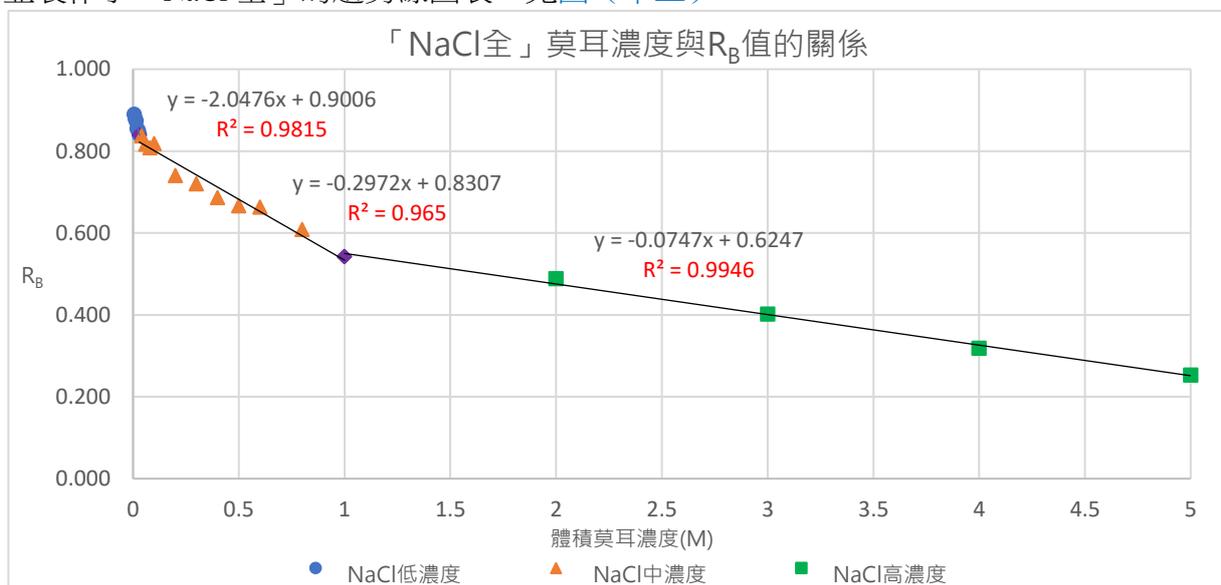


圖 (十三)

我們推論：每種鹽類沖提液的「低、中、高濃度」都有其各自的區間，並有不同斜率。只要找到交界點並做分段，就可得到極佳的線性關係。惟我們礙於研究時間的限制，未能針對本研究中的其它溶液進行低、高濃度的層析實驗，找出各自的濃度區間交界點。

然而，「低、中、高濃度」的斜率差異原因為何？我們推測，在低濃度時，沖提液中各離子之間距離較遠， Na^+ 與 Cl^- 之間幾乎不會互相影響。然而從中濃度區間開始，離子之間距離漸減， Na^+ 與 Cl^- 互相吸引程度增加，正離子對紅色素作用的向下靜電力因此降低，「濃度增加」導致的「展開距離減少幅度（即斜率）」趨緩。在1M以上的高濃度區間， Na^+ 與 Cl^- 互相吸引的現象變得穩定（達最大吸引程度），斜率最緩，且不再有所改變。

(四) 氟化鈉層析結果，見表(十八)：

表(十八)			
濃度 (M)	0.2	0.4	
展開距離 (cm)	1	7.65	6.90
	2	7.60	7.00
	3	7.50	6.80
	平均	7.58	6.90
R_B 值	0.758	0.690	
圖表斜率	-0.34		

(五) 溴化鈉層析結果，見表(十九)：

表(十九)						
濃度 (M)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	
展開距離 (cm)	1	7.35	6.90	6.90	6.70	6.30
	2	7.40	6.90	6.85	6.70	6.35
	3	7.60	7.10	6.80	6.50	6.20
	平均	7.45	6.97	6.85	6.63	6.28
R_B 值	0.745	0.697	0.685	0.663	0.628	
圖表斜率	-0.24					

(六) 碘化鈉層析結果，見表(二十)：

表(二十)						
濃度 (M)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	
展開距離 (cm)	1	8.15	7.90	7.90	7.60	7.45
	2	8.10	7.95	7.80	7.60	7.20
	3	8.10	8.00	7.80	7.30	7.25
	平均	8.12	7.95	7.83	7.50	7.30
R_B 值	0.812	0.795	0.783	0.750	0.730	
圖表斜率	-0.10					

(七) 氟化鉀層析結果，見表(二十一)：

表(二十一)						
濃度 (M)		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
展開距離 (cm)	1	6.20	5.50	5.15	4.30	4.00
	2	6.10	5.35	4.95	4.20	4.20
	3	6.40	5.40	5.00	4.10	4.00
	平均	6.23	5.42	5.03	4.20	4.07
R_B 值		0.623	0.542	0.503	0.420	0.407
圖表斜率		-0.28				

(八) 氯化鉀層析結果，見表(二十二)：

表(二十二)						
濃度 (M)		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
展開距離 (cm)	1	7.05	5.60	5.50	5.45	4.70
	2	7.00	5.80	5.40	5.30	4.65
	3	7.00	5.70	5.60	5.50	4.40
	平均	7.02	5.70	5.50	5.42	4.58
R_B 值		0.702	0.570	0.550	0.542	0.458
圖表斜率		-0.26				

(九) 溴化鉀層析結果，見表(二十三)：

表(二十三)						
濃度 (M)		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
展開距離 (cm)	1	7.30	6.80	6.20	5.85	5.40
	2	7.40	6.90	6.20	5.90	5.90
	3	7.30	6.55	6.35	5.90	5.55
	平均	7.33	6.75	6.25	5.88	5.62
R_B 值		0.733	0.675	0.625	0.588	0.562
圖表斜率		-0.22				

(十) 碘化鉀層析結果，見表(二十四)：

表(二十四)						
濃度 (M)		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
展開距離 (cm)	1	7.80	7.10	6.80	6.80	6.70
	2	7.75	7.30	6.85	6.80	6.75
	3	7.80	7.10	6.75	6.65	6.80
	平均	7.78	7.17	6.80	6.75	6.68
R_B 值		0.778	0.717	0.680	0.675	0.668
圖表斜率		-0.13				

(十一) 比較：如表(二十五)、表(二十六)、表(二十七)所示。

趨勢線圖表見圖(十四)、圖(十五)。

表(二十五)				
Na^+				
$\text{F}^- \text{Cl}^- \text{Br}^- \text{I}^-$	$\text{F}^- \text{Cl}^- \text{Br}^- \text{I}^-$	$\text{Cl}^- \text{Br}^- \text{I}^-$	$\text{Cl}^- \text{Br}^- \text{I}^-$	$\text{Cl}^- \text{Br}^- \text{I}^-$
0.2M	0.4M	0.6M	0.8M	1.0M

表(二十六)				
K^+				
$\text{F}^- \text{Cl}^- \text{Br}^- \text{I}^-$				
0.2M	0.4M	0.6M	0.8M	1.0M

觀察：展開距離明顯 $\text{I}^- > \text{Br}^- > \text{Cl}^- > \text{F}^-$ ，且越濃時差異越大。

表 (二十七)				
Cl ⁻ Br ⁻ I ⁻				
Na ⁺ K ⁺	Na ⁺ K ⁺	Na ⁺ K ⁺	Na ⁺ K ⁺	Na ⁺ K ⁺
0.2M	0.4M	0.6M	0.8M	1.0M

(每格順序為 NaCl、KCl、NaBr、KBr、NaI、KI。)

觀察：展開距離明顯 Na⁺>K⁺。

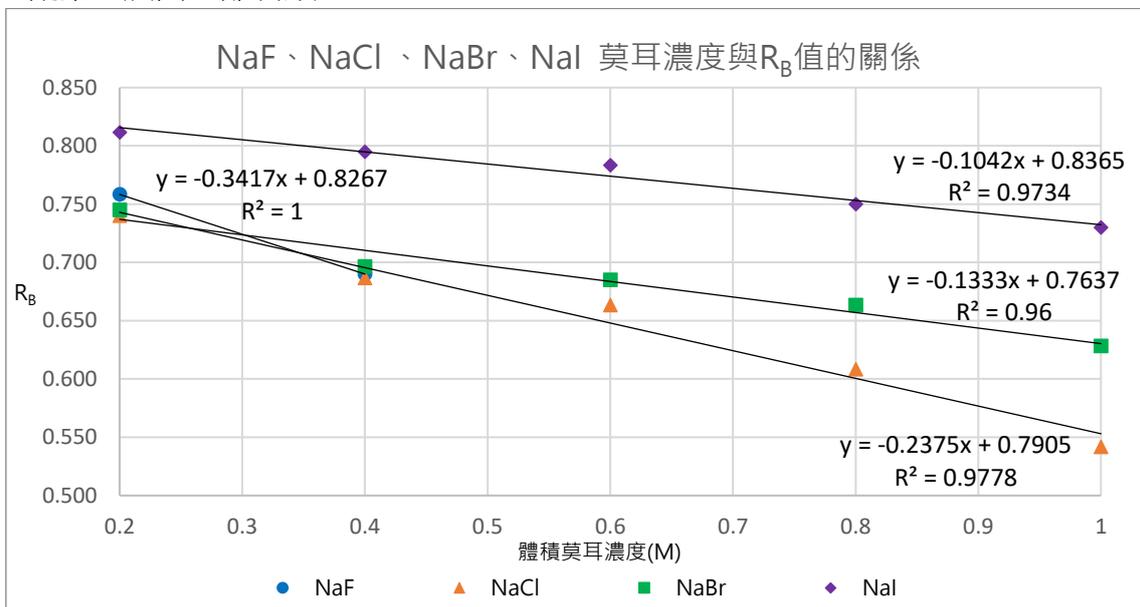


圖 (十四)

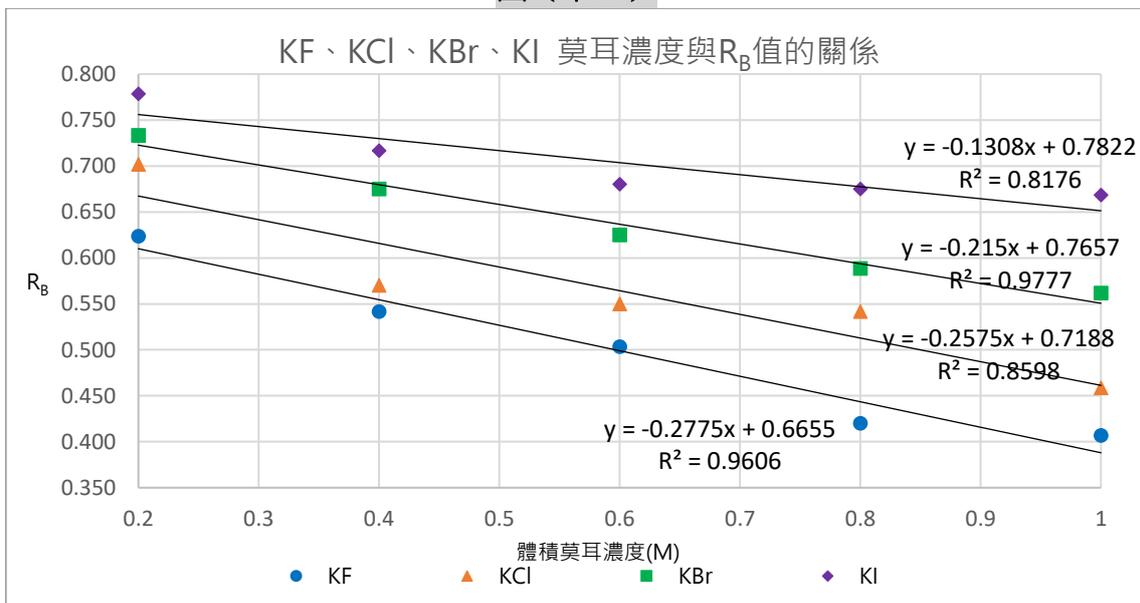


圖 (十五)

1. 固定 $[\text{Na}^+]$ 、 $[\text{K}^+]$ ，比較展開距離： $\text{I}^- > \text{Br}^- > \text{Cl}^- > \text{F}^-$
2. 固定 $[\text{Cl}^-]$ ，比較展開距離： $\text{Na}^+ > \text{K}^+$ 。
3. 觀察以上兩圖，線性關係不佳者，原因可能是：
 - (1) 數據有誤差。
 - (2) 濃度區間交界點位於 0.2M~1M 之間。

七、【實驗七】運動飲料的層析結果與其離子濃度分析：實驗數據見表（二十八）

表（二十八）					
沖提液	展開距離				正離子粒子濃度 (mM/L)
	1	2	3	平均	
舒跑	8.80	8.80	8.80	8.80	21.60
舒跑 S	8.80	8.80	8.80	8.80	20.15
FIN	8.85	8.65	8.65	8.70	未標示
寶礦力水得	8.80	8.65	8.55	8.67	26.65

1. 「舒跑」與「舒跑 S」濃度相近，而平均展開距離皆為 8.80cm。
2. 濃度較高的「寶礦力水得」，平均展開距離為 8.67cm。符合本實驗「濃度越高，展開距離越小」的趨勢。
3. 我們推測運動飲料 FIN 的濃度介於兩「舒跑」系列飲料與「寶礦力水得」之間。

八、【實驗八】氫氧化鈉與鹽酸的吸附與色素變色測試結果

(一) 1M NaOH 層析過程分析：如表（二十九）所示。

表（二十九）													
以 1M NaOH 為沖提液，每間隔 1 分鐘拍攝一張照片的層析狀況													
													

可以發現，紅色素在吸附過程中，會緩緩產生一道像疏水物質或沉澱物的平行線，再慢慢向上拉成三角形的色帶。進一步做了不同濃度的層析測試後，發現當濃度越稀時，類似沉澱的狀況會越快消失。

我們推測，NaOH 層析實驗中，濾紙上出現的平行線很可能就是疏水物質經與水分子作用後，產生規則化排列，疏水端因此互相靠攏，而形成此類似沉澱的現象。

(二) 1M HCl 層析：如表 (三十) 所示。

表 (三十)				
1M HCl	1M NaOH	1M NaCl	1M KCl	純水
				

以 1M HCl 為沖提液的層析實驗中，上端的藍色素並未完全變色，此現象與實驗二都顯示層析濾紙在不同垂直高度有濃度差存在。

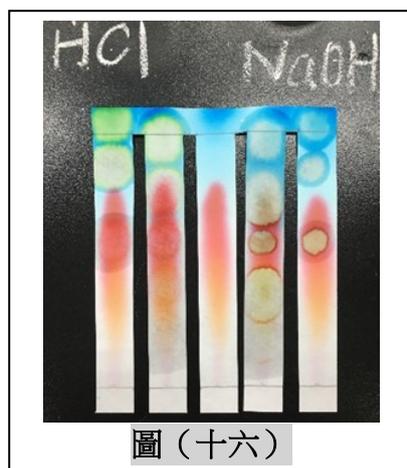
紅色素在酸中以 HA 形態存在時，仍受向下靜電力作用，展開距離較水中為小。我們由此判斷紅色素為極性分子。

綜合所有結果，酸、鹼沖提液對色素層析各有不同的影響因素。推論酸性鹽 (NH_4Cl)、鹼性鹽 (Na_2CO_3) 層析的 R_B 值數據線性關係較差，為「酸鹼值」影響所導致。故本實驗以展開距離鑑定濃度的方法較適用於中性鹽。

(三) 用 NaCl 層析實驗後，色素已大致分離之濾紙進行色素變色測試，如圖 (十六)：

右一、右二以 1M NaOH 連續滴數滴做變色測試，發現三色素皆不變色，但滴下鹼液後，紅色素明顯被向外排斥成同心圓，推論紅色素與鹼反應產生疏水性之類沉澱物。

左一、左二以 1M HCl 連續滴數滴做變色測試，發現只有藍色素變綠色，色素形成同心圓，且色差不明顯。

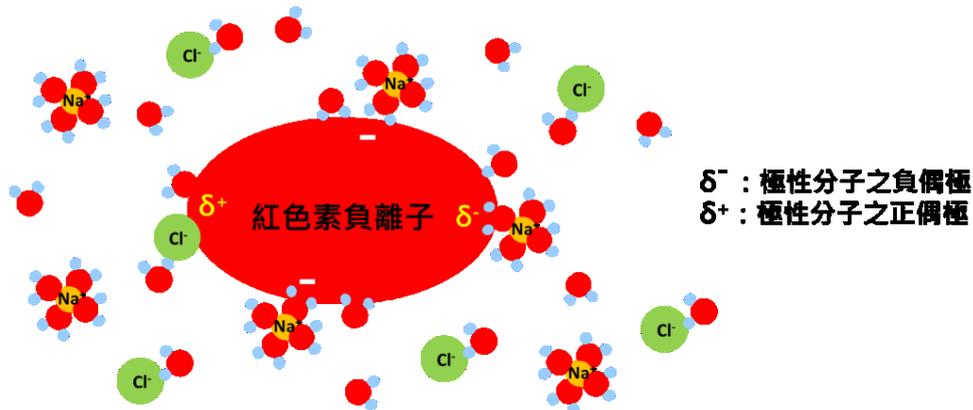


九、解釋模型：綜合所有實驗結果，我們推論色素的層析現象會受下列幾項因素影響

(一) 色素的分離：

1. 以氯化鈉為沖提液時，紅色素受力示意圖見圖(十七)：

紅色素負離子受力示意圖



圖(十七)

2. 紅色素負離子模型中，作用力由大至小依序如下：

- (1) 「Na⁺」與「紅色素負離子」間之靜電力。
- (2) 「Na⁺、Cl⁻」與「紅色素正、負偶極」間之靜電力。
- (3) 「水分子正、負偶極」與「紅色素正、負偶極」間之靜電力。

正離子與紅色素負離子之間的靜電力，作用力最強，加上層析高度上之濃度差因子，為本實驗中紅色素被向下吸附的最主要因素。

3. 藍色素展開距離始終在紅色素之上，除了其帶電量少，受靜電力影響較小，尚有其他如：分子大小、極性強弱等因素影響，故藍色素不在討論之列。

(二) 水合離子本身的影響：水合數多，會對離子靜電力產生遮蔽效應。見表(三十一)。

(水合數：Mg²⁺>Na⁺>K⁺；F⁻>Cl⁻=Br⁻>I⁻)

(三) 離子濃度：濃度大，離子數多，向下淨靜電力越大。

(四) 離子與水之間的吸引力關係可能加強或破壞水分子由氫鍵構成的網狀結構，因而改變層析時的水流流速，影響色素的展開距離：

1. 根據食品化工資料顯示：Cl⁻、Br⁻、I⁻、K⁺能阻礙水形成氫鍵的網狀結構，導致水的流速變快，而Na⁺、Mg²⁺、F⁻則相反。
2. 從實驗記錄發現，在同濃度下層析時間中位數：
 - (1) NaCl > KCl （記錄區間 0.005M~0.03M 皆吻合）
 - (2) NaCl = MgCl₂ （記錄區間 0.2M、0.4M、1M 吻合，0.6M、0.8M 時間接近）結果也與第 1 點的資料大致吻合。

依此判斷，KCl 為沖提液時，水與色素移動的速率差變大，水移至色素前端，抑制色素上升，因此展開距離變小。

表 (三十一)

Table 4.2 Hydrated radii and Hydration Numbers of Ions in Water (Approximate)

Ion	Bare ion radius (nm)	Hydrated radius (nm)	Hydration number (± 1)	Lifetime/exchange rate (s)
H ₃ O ⁺	—	0.28	3	—
Li ⁺	0.068	0.38	5	5×10^{-9}
Na ⁺	0.095	0.36	4	10^{-9}
K ⁺	0.133	0.33	3	10^{-9}
Cs ⁺	0.169	0.33	1	5×10^{-10}
Be ²⁺	0.031	0.46	4 ^a	10^{-3}
Mg ²⁺	0.065	0.43	6 ^a	10^{-6}
Ca ²⁺	0.099	0.41	6	10^{-8}
Al ³⁺	0.050	0.48	6 ^a	0.1-1
Cr ³⁺	0.052	—	6 ^a	>3 hrs
OH ⁻	0.176	0.30	3	—
F ⁻	0.136	0.35	2	—
Cl ⁻	0.181	0.33	1	$\sim 10^{-11}$
Br ⁻	0.195	0.33	1	$\sim 10^{-11}$
I ⁻	0.216	0.33	0	$\sim 10^{-11}$
NO ₃ ⁻	0.264	0.34	0	—
N(CH ₃) ₄ ⁺	0.347	0.37	0	—

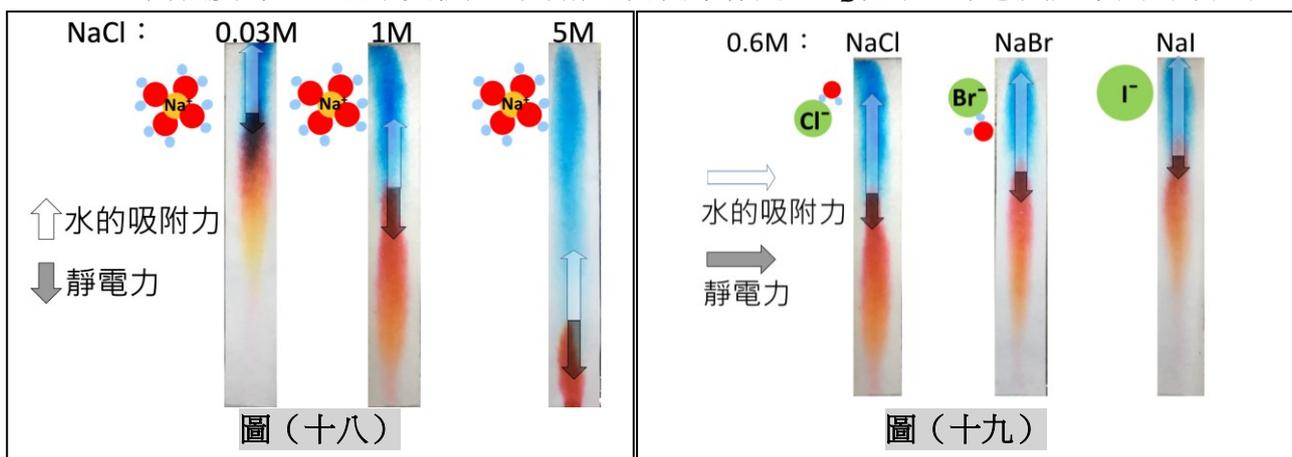
The hydration number gives the number of water molecules in the primary shell (Fig. 3.4), though the total number of water molecules affected can be much larger and depends on the method of measurement. Similarly, the hydrated radius depends on how it is measured. Different methods can yield radii that can be as much as 0.1 nm smaller or larger than those shown. Table compiled from data given by Nightingale (1959), Amis (1975), Saluja (1976), Bockris and Reddy (1970), and Cotton and Wilkinson (1980).

^aNumber of water molecules forming a stoichiometric complex with the ion—for example, [Be(H₂O)₄]²⁺.

十、驗證理論：

(一) 氯化鈉為沖提液：說明濃度的影響

高濃度時，紅色素受較大的淨靜電力向下作用， R_B 值小。示意圖如下圖 (十八)。



(二) 氯化鈉、溴化鈉、碘化鈉比較：說明水合數的影響

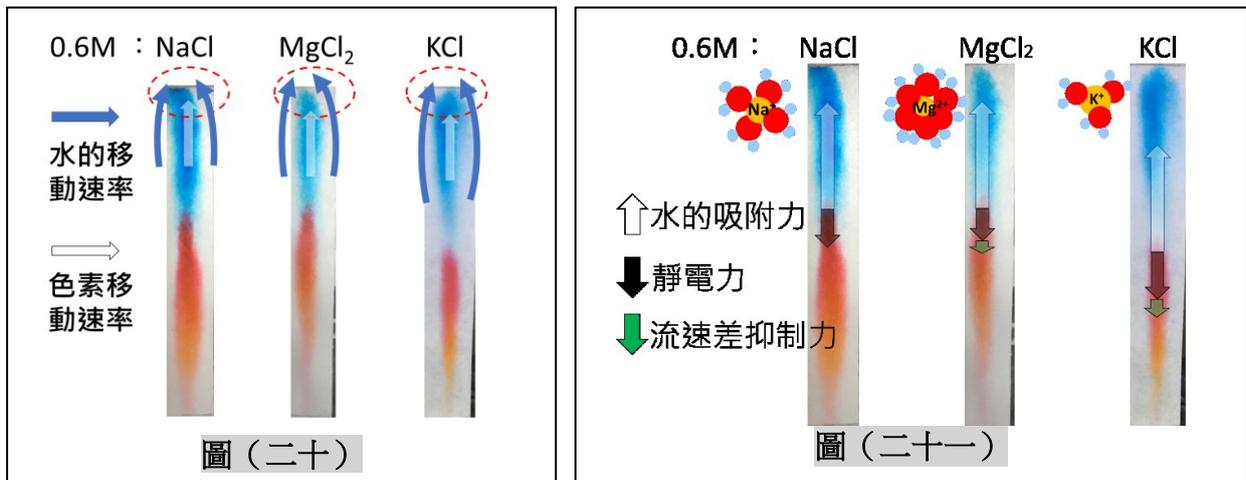
同濃度的 NaCl、NaBr、NaI 相比較，負離子的大小 $F^- < Cl^- < Br^- < I^-$ ，但因水合數 $F^- > Cl^- = Br^- > I^-$ ，造成 I^- 的靜電力最大，最容易對 Na^+ 向下靜電力產生抵銷影響，致使 NaI 之向下淨靜電力最小， R_B 值最大。示意圖如上圖 (十九)。

(三) 氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂比較：說明水合數、濃度、水流流速的影響：

1. K^+ 相對於 Na^+ 可增加水的流動性，故相同負離子的鉀鹽為沖提液時，容易發生「藍色素比沖提液慢到達終止線」的情形，濃度越高越明顯。
也因為如此，水會移動至藍色素前端，使上、下濃度差更明顯，抑制色素上升。
這導致 KCl 吸附時間大於 NaCl，且最終展開距離降低。
2. 另外，鉀水合離子電荷密度最大，且水合數最少，向下靜電力會最大。最終，同濃度 KCl 之 R_B 值都比 NaCl 還低。
3. $MgCl_2$ 溶液中，雖然 Mg^{2+} 降低水流流速，但因為有兩個 Cl^- ，故 $MgCl_2$ 溶液中水的流動性會比 NaCl 好，但比 KCl 差，故 $MgCl_2$ 為沖提液時，也會有「水抑制色素上升」的狀況。

但是， Mg^{2+} 水合數為 6 個水分子（最多），向下的靜電力小（推測與 Na^+ 相近），離子與色素更容易向上移動。兩項效應抵消之下，導致最終展開距離與 NaCl 幾乎相同。根據實驗數據， $[Mg^{2+}] = [Na^+]$ 時， R_B 值十分接近； $[Cl^-]$ 相同時，則鈉水合離子有較大電荷密度，且離子數又較多，故 NaCl 向下之淨靜電力較大， R_B 值較小。

4. NaCl、KCl、 $MgCl_2$ 三種沖提液比較示意圖，見圖（二十）、圖（二十一）。



(四) 氫氧化鈉為沖提液：

查詢色層分析相關資料顯示：

層析的展開距離，混合物中的「疏水性物質>親水性物質」，且 Na^+ 和 OH^- 都是水合數較多的離子。故其在水中對色素造成的向下靜電力較弱，導致 1M NaOH 的展開距離大於各種鹽類。

柒、結論

- 一、鹽類是鑑別展開距離的關鍵溶質，且趨勢「濃度愈高，向下吸附力愈大，展開距離愈小」。而糖只會改變層析時間，不會影響展開距離與 R_B 值。
- 二、本實驗所用紅、藍色素皆帶負電，電量大小：紅色素>藍色素。且紅色素為極性分子。
- 三、正離子對紅色素負離子的向下靜電力會導致色素拖曳現象。
- 四、我們推論每種鹽類沖提液的「低、中、高濃度」都有其各自的區間，並有不同的斜率。斜率的改變，是由於層析過程中正、負離子互相吸引程度不同，而導致靜電力的消長。作用力消長的關鍵點，即為濃度區間交界點。進行分段後，可得到極佳的線性關係。
- 五、運動飲料的成分多元，即使糖的濃度差異極大，相同正離子粒子濃度下，依然有相近的展開距離。故可借由明確表列成分的品牌，推測未明確表列成分濃度之品牌的正離子總濃度。
- 六、酸、鹼沖提液對層析的影響因素繁多。我們推論，酸性鹽（ NH_4Cl ）、鹼性鹽（ Na_2CO_3 ）層析的 R_B 值數據線性關係較差，為「酸鹼值」影響所導致。故本實驗以展開距離鑑定濃度的方法較適合應用於中性鹽。
- 七、色素在鹽類沖提液中層析的現象，受下幾項因素影響：
 - (一) 水合離子本身的影響：水合數多，會對離子靜電力產生遮蔽效應。帶電量多或離子半徑小的正離子反而因水合數多，而遮蔽效應更明顯。
 - (二) 離子濃度：濃度愈大，離子數愈多，向下淨靜電力愈大，展開距離愈小。
 - (三) 水流流速：
 Cl^- 、 Br^- 、 I^- 、 K^+ 能阻礙水形成氫鍵的網狀結構，導致水的流速變快，移至色素前端，使上、下濃度差更明顯，抑制色素上升，因此展開距離變小。
- 八、固定「正離子濃度」的層析實驗中，向下淨靜電力大小比較： $\text{K}^+ > \text{Na}^+ \cong \text{Mg}^{2+}$ 因此同濃度的鈉鹽、鉀鹽和鎂鹽進行層析時，展開距離大小為： $\text{K}^+ > \text{Na}^+ \cong \text{Mg}^{2+}$ ，且濃度愈濃，差異愈大。而鋰鹽價格昂貴，無法購得，若有機會測試，可以了解是否具有同族的趨勢。
- 九、負離子對正離子的向下靜電力產生抵銷影響的程度： $\text{I}^- > \text{Br}^- > \text{Cl}^- > \text{F}^-$ 因此同濃度的鹵鹽進行層析，展開距離大小為： $\text{I}^- > \text{Br}^- > \text{Cl}^- > \text{F}^-$ ，且濃度愈濃，差異愈大。
- 十、我們發現：以往的科展作品中，曾利用濾紙色層分析進行研究者，大多都僅應用於濾紙「鑑別混合物成分」或「分離萃取」的功能。而我們的研究特色在於「改變沖提液的條件」，並可以完整地解釋各種因素帶來的影響，且能透過「層析色素的展開距離」進行中性鹽類溶液未知濃度的檢測。

捌、參考資料及其他

一、紙色層分析法-維基百科，自由的百科全書。

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%BA%B8%E8%89%B2%E8%B0%B1%E6%B3%95>

二、薄層層析法-維基百科，自由的百科全書。

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%96%84%E5%B1%82%E8%89%B2%E8%B0%B1%E6%B3%95>

三、層析法。國立臺灣大學化學系，大學化學實驗一暨實驗二，第二版，國立臺灣大學出版中心：台北，民國九十五年。

<https://www.ch.ntu.edu.tw/~genchem99/doc/demonstration/chromatography.pdf>

四、水分。蔡敏郎教授（106年）。食品化學（進）課程講義。國立臺灣海洋大學食品科學系。

https://fs.ntou.edu.tw/ezfiles/21/1021/attach/78/pta_20462_1236251_76853.pdf

五、Chapter4. Intermolecular and Surface Forces. 3rd edition,

DOI: 10.1016/B978-0-12-375182-9.10004-1 Copyright©2011, Elsevier Inc.

六、Significance of hydrated radius and hydration shells on ionic permeability during nanofiltration in dead end and cross flow modes. Separation and purification technology 51 (2006) 40-47.

七、酯類代謝於花粉萌發及花粉管生長所扮演的角色。高中植物學科。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會。

八、聖誕紅-oh~葉!--聖誕紅苞葉變色與葉綠素含量的研究。國中生物科。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會。

九、"白丁"的「胺」身立命之謎。國中化學科。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會。

十、茶蠶砂萃取物之成分分析與活性探討。高中農業與食品學科。中華民國第 56 屆中小學科學展覽會。

十一、廢絲襪也有春天—絲襪的回收再利用。高中生活與應用科學科。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會。

十二、眼見不為憑：光合色素的濾紙層析分離。高中生物科。中華民國第 47 屆中小學科學展覽會。

十三、顏色跑跑跑。國小自然科。中華民國第 46 屆中小學科學展覽會。

十四、當我們「聚」在一起—談膠體溶液的凝析現象及應用。高中化學科。中華民國第 42 屆中小學科學展覽會。

- 十五、 以濾紙色層分析法研究鐵族氯化物錯離子之穩定性。高中化學科。中華民國第 22 屆中小學科學展覽會。
- 十六、 國中自然與生活科技課本第三冊。翰林出版。
- 十七、 國中自然與生活科技課本第四冊。翰林出版。
- 十八、 國中自然與生活科技課本第五冊。翰林出版。

玖、 未來展望

- 一、對更多種鹽類沖提液進行層析實驗，驗證我們提出的解釋模型。
- 二、未來可以透過更精密的儀器，來確定黑色顏料中的各色素成分，驗證我們提出的解釋模型。
- 三、我們希望可以透過選擇單一成分的色素，來簡化實驗，並做出特定鹽類的檢量線，以更加經濟、準確的方式來測定各種中性鹽的濃度。

【評語】 030209

該作品能夠以簡單的器材，非常具創意的發想與實驗設計，表現出多層次的化學原理，在表現了層析現象的同時，亦同時融入多元作用力於層析現象中(例如電荷靜電力、偶極吸引力、氫鍵等)。

該實驗原創性佳，討論內容豐富，利用簡單材料與試劑，無須使用複雜科研儀器、設備，憑藉創意與巧思藉由層析實驗演示物質彼此間多重交互作用力，具體說明了表現有趣多元的化學現象不一定需要昂貴、不易取得之器材或許多花費。

壹、研究動機

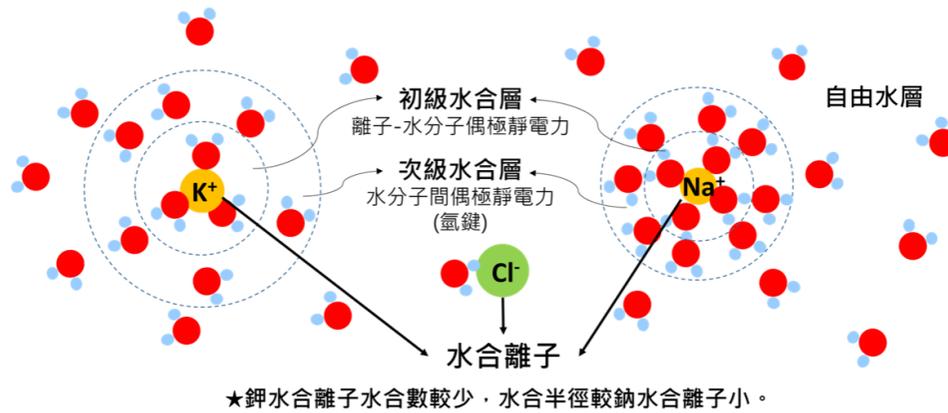
「是否能在知道溶質，但不知道濃度的情況下，使用簡易的方法檢測出溶液的濃度呢？」

我們想到了曾在數理營隊課程裡學到的濾紙色層分析實驗，或許能幫助我們進行濃度的檢測。查閱以往的科展作品後，我們發現曾利用濾紙色層分析進行研究者，大多都是應用於濾紙「鑑別混合物成分」或「分離萃取」的功能，而鮮少對「沖提液條件的改變」有所著墨。於是，我們想要開發一種全新的，且能跨越「專業設備、專業操作」限制的方法，透過「層析色素的展開距離」來測定沖提液中的鹽類濃度。

貳、文獻探討

➤ 水合離子概念：

水合離子示意圖



參、研究目的

一、利用簡易的濾紙層析法測定溶液濃度

- (一) 探討沖提液中的離子數 (濃度) 對色素吸附力的影響
- (二) 探討沖提液中離子帶電多寡對色素吸附力的影響
- (三) 探討酸、鹼沖提液對色素吸附力的影響
- (四) 探討沖提液在低、中、高濃度區間數據的不同斜率關係

二、根據「水合離子」性質，解釋離子種類、濃度與帶電量對層析結果 (R_B 值) 之影響

肆、研究設備、過程、結果與討論

一、流程圖：見下圖 (一)

二、自製實驗裝置：見下圖 (二)

三、名詞定義：見下圖 (三)

四、校內科展與市展實驗的結論

- (一) 鹽類是鑑別層析色素展開距離的關鍵溶質，且趨勢「濃度愈高，向下吸附力愈大，展開距離愈小」。
- (二) 加糖只會改變層析時間，而不會影響展開距離與 R_B 值。(理由：糖為非電解質)
- (三) 碳酸鈉 (鹼性鹽)、氯化銨 (酸性鹽) 水溶液的 R_B 值數據線性關係較差，因此我們推測酸鹼值也會影響實驗結果。

圖 (一)	圖 (二)	圖 (三)
	圖 (四)	圖 (五)

五、色素電荷檢測、層析濾紙在距離起始線不同高度的導電度檢測：實驗照片見圖 (四)、圖 (五)

色素電荷檢測				層析濾紙導電度檢測			
1M NaOH				離起始線的高度 (cm)	1	5	9
色素：左紅右藍		色素：左藍右紅		電流大小 (mA)	0.36	0.32	0.28
未通電	通電 12V	未通電	通電 12V				

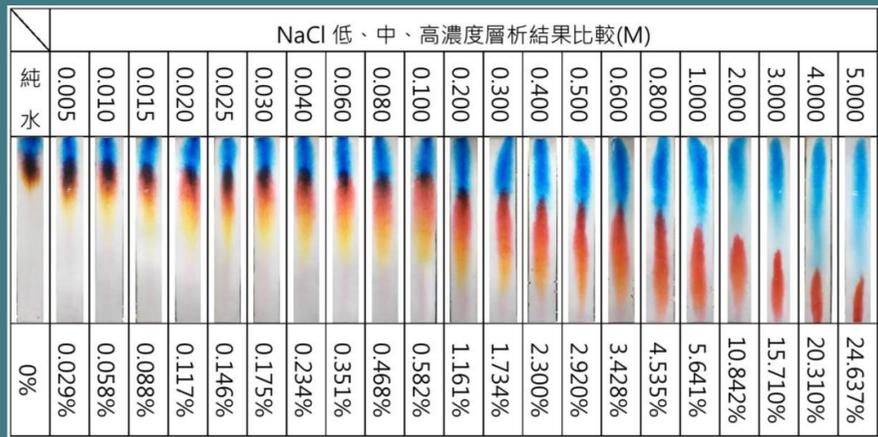
(一) 通電後藍、紅色素皆向左移向正極，故兩者皆帶負電，紅色素移動比藍色素明顯，推論電量大小：紅色素 > 藍色素。

(二) 我們推論色素為弱酸形成的鹽類，在水中會部分解離成帶負電的色素離子 A^- 。

(三) 電解質水溶液在不同高度的層析濾紙上存在濃度差，越高處的電解質濃度越稀，故層析濾紙上帶負電的色素會因正離子的向下靜電力而產生色素拖曳現象 (下方較濃，淨力向下)。

六、氯化鈉、氯化鎂的層析實驗、低濃度、高濃度氯化鈉的層析實驗、各種鹽類的層析實驗

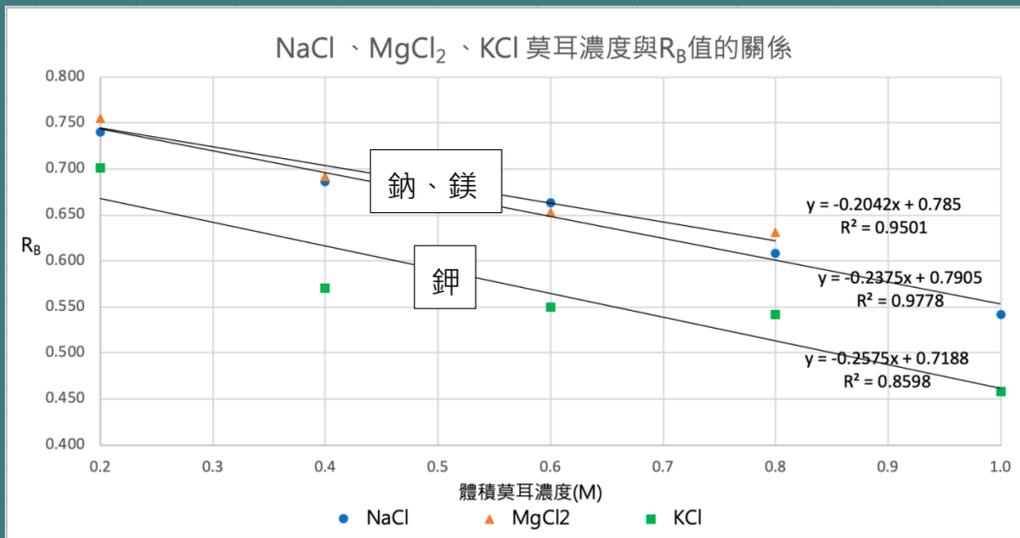
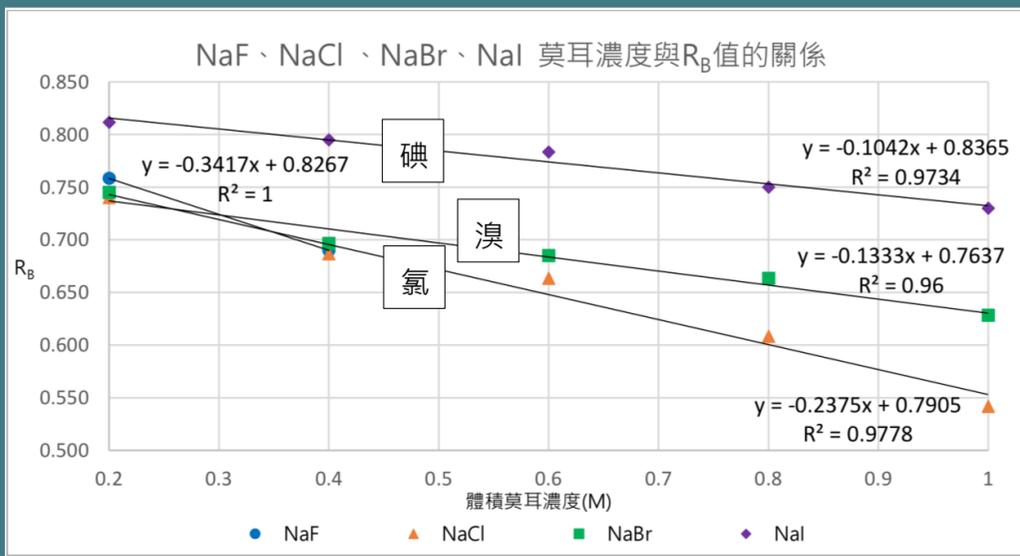
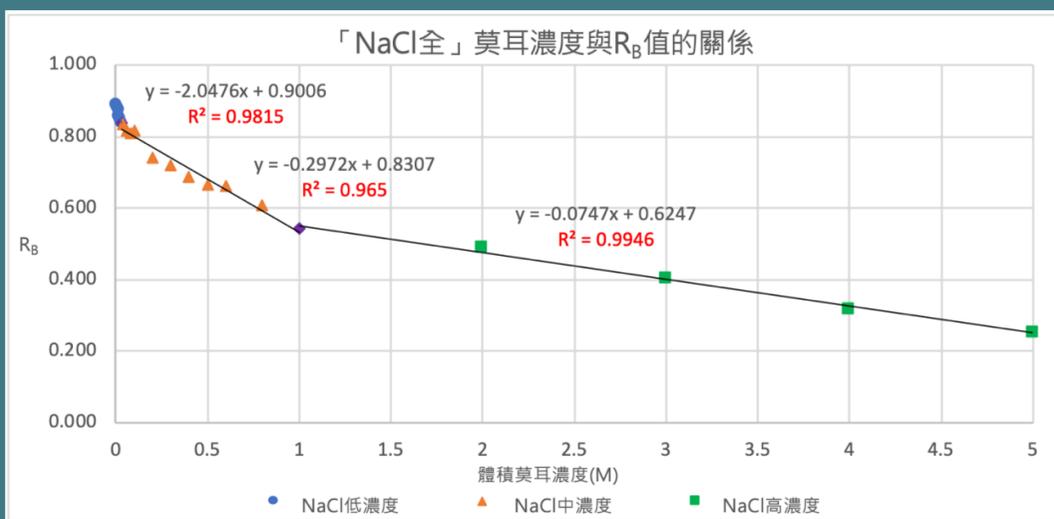
定義：NaCl 以 0.03M 以下為「低濃度」，0.03~1M 為「中濃度」，1M 以上為「高濃度」，並製作「NaCl 全」的圖表。



我們推論：每種鹽類沖提液的「低、中、高濃度」都有其各自的區間，並有不同斜率。只要找到交界點並做分段，就可得到極佳的線性關係。

但是「低、中、高濃度」的斜率為何不同？我們推測，在低濃度時，沖提液中各離子間距離較遠，Na⁺與Cl⁻之間幾乎不會互相影響。

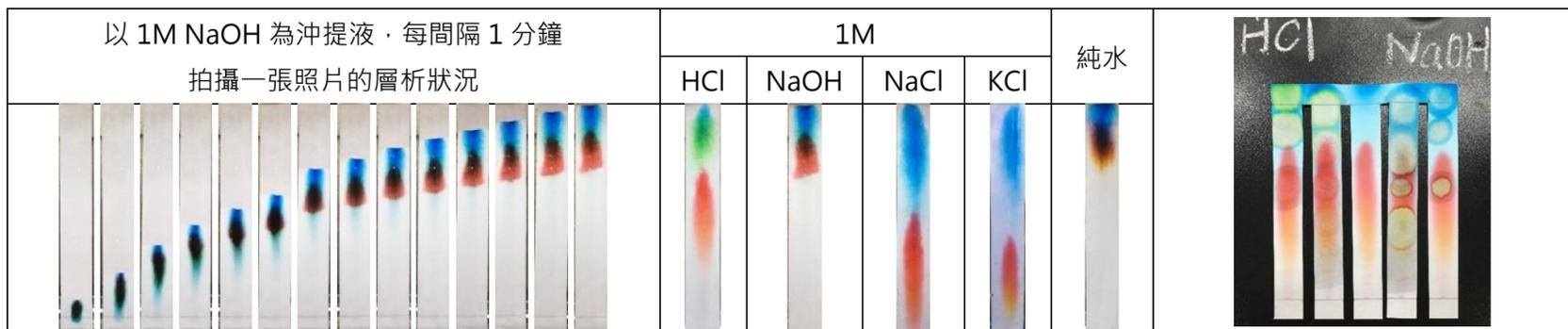
從中濃度區間開始，離子之間的距離漸減，Na⁺與Cl⁻互相吸引程度增加，Na⁺對紅色素作用的向下靜電力降低，「濃度增加」導致的「展開距離減少幅度（斜率）」趨緩。在 1M 以上的高濃度區間，Na⁺與Cl⁻互相吸引的現象變得穩定（達最大吸引程度），斜率最緩，且不再有所改變。



七、運動飲料的離子濃度探討

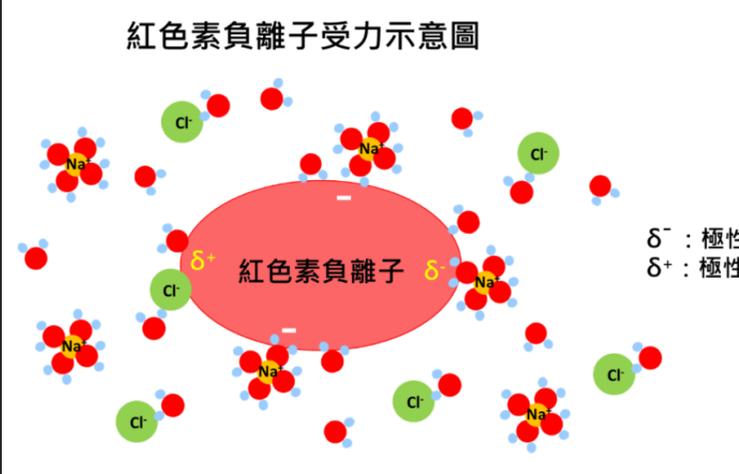
沖提液	展開距離 (cm)				正離子濃度 (mM/L)	醣類濃度 (g/100mL)	說明
	1	2	3	平均			
舒跑	8.80	8.80	8.80	8.80	21.60	6.8	1. 「舒跑」與「舒跑 S」濃度相近，而平均展開距離皆為 8.80cm。 2. 正離子濃度較高的「寶礦力水得」，平均展開距離為 8.67cm。符合本實驗「濃度越高，展開距離越小」的趨勢。 3. 我們推測運動飲料 FIN 的濃度介於兩「舒跑」系列飲料與「寶礦力水得」之間。
舒跑 S	8.80	8.80	8.80	8.80	20.15	4.3	
FIN	8.85	8.65	8.65	8.70	未標示	4.4	
寶礦力水得	8.80	8.65	8.55	8.67	26.65	6.6	

八、氫氧化鈉與鹽酸的吸附與色素變色測試



九、解釋模型：綜合所有實驗結果，我們推論色素的層析現象會受下列因素影響

(一) 色素的分離：以氯化鈉為沖提液時，紅色素受力示意圖見下圖(六)

<p>紅色素負離子受力示意圖</p>  <p>δ⁻：極性分子之負偶極 δ⁺：極性分子之正偶極</p> <p>圖(六)</p>	<p>紅色素負離子模型中，作用力由大至小依序如下：</p> <ol style="list-style-type: none">1. 「Na⁺」與「紅色素負離子」間之靜電力。2. 「Na⁺、Cl⁻」與「紅色素正、負偶極」間之靜電力。3. 「水分子正、負偶極」與「紅色素正、負偶極」間之靜電力。 <p>正離子與紅色素負離子之間的靜電力，作用力最強，加上層析高度上之濃度差因子，為本實驗中紅色素被向下吸附的最主要因素。</p> <p>藍色素展開距離始終在紅色素之上，除了其帶電量少，受靜電力影響較小，尚有其他如：分子大小、極性強弱等因素影響，故藍色素不在討論之列。</p>
---	---

(二) 水合離子本身的影響：水合數多，會對離子靜電力產生遮蔽效應。(水合數：Mg²⁺>Na⁺>K⁺；F⁻>Cl⁻=Br⁻>I⁻)

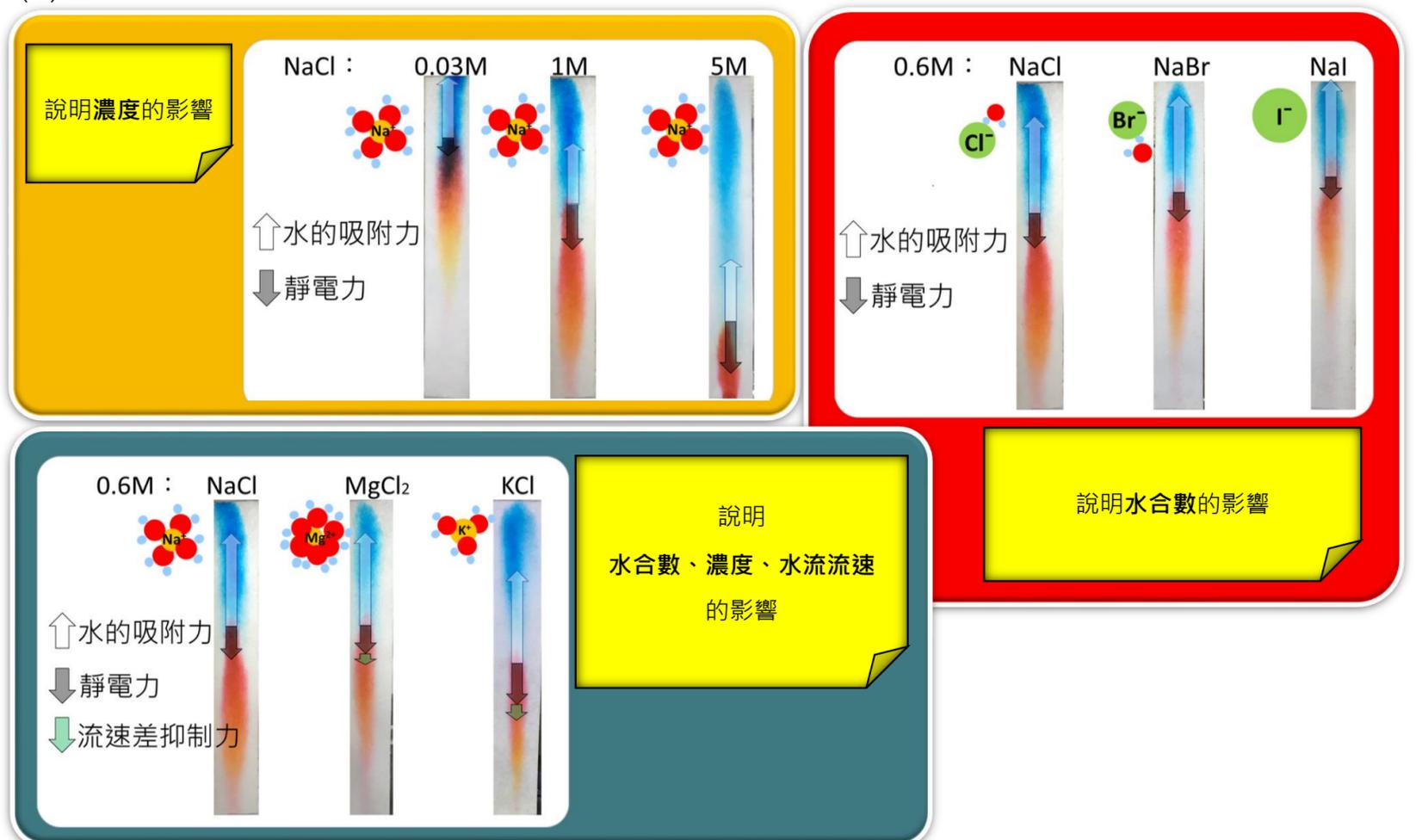
(三) 離子濃度：濃度大，離子數多，向下淨靜電力越大。

(四) 離子與水之間的吸引力關係可能加強或破壞水分子由氫鍵構成的網狀結構，因而改變層析時的水流流速，影響展開距離：

1. 據食品化工資料顯示：Cl⁻、Br⁻、I⁻、K⁺能阻礙水形成氫鍵的網狀結構，導致水的流速變快，Na⁺、Mg²⁺、F⁻則相反。
2. 若水的流速變快，則水與色素移動的速率差變大，水移至色素前端，抑制色素上升，因此展開距離變小。

十、驗證理論：

(一) 鹽類為沖提液



說明濃度的影響

NaCl：0.03M 1M 5M

↑水的吸附力
↓靜電力

0.6M：NaCl MgCl₂ KCl

說明水合數、濃度、水流流速的影響

說明水合數的影響

(二) 氫氧化鈉為沖提液

查詢色層分析相關資料顯示：層析的展開距離，混合物中的「疏水性物質>親水性物質」，且Na⁺和OH⁻都是水合數較多的離子。故其在水中對色素造成的向下靜電力較弱，導致NaOH的展開距離大於各種鹽類。

伍、結論

一、本實驗所用紅、藍色素皆帶負電，電量大小：紅>藍。且紅色素為極性分子。

二、正離子對紅色素負離子的向下靜電力會導致色素拖曳現象。

除此之外，色素在鹽類沖提液中層析的現象，受下幾項因素影響：(一) 水合離子的水合數 (二) 離子濃度 (三) 水流流速

三、鹽類是鑑別展開距離的關鍵溶質，且趨勢「濃度愈高，向下淨靜電力愈大，展開距離愈小」。且每種鹽類沖提液在各自的「低、中、高濃度區間」時，因正、負離子互相吸引程度不同，導致靜電力的消長，而有不同斜率。

四、固定正離子濃度的層析實驗中，向下淨靜電力大小比較：K⁺>Na⁺≅Mg²⁺，因此同濃度時的展開距離Na⁺≅Mg²⁺>K⁺。

負離子對正離子的向下靜電力產生抵銷影響的程度：I⁻>Br⁻>Cl⁻>F⁻，因此同濃度時的展開距離I⁻>Br⁻>Cl⁻>F⁻。

五、運動飲料在正離子總濃度相近時，展開距離也相近，不受醣類濃度影響。故可借由標示明確的品牌，推測未明確標示濃度之品牌的正離子總濃度。

六、我們的研究特色在於「以中性電解質水溶液為沖提液，並改變濃度」，且能透過「色素展開距離」進行未知濃度的檢測。

陸、參考資料

- 一、紙色層分析法-維基百科，自由的百科全書。
- 二、薄層層析法-維基百科，自由的百科全書。
- 三、層析法。國立臺灣大學化學系，大學化學實驗一暨實驗二，第二版，國立臺灣大學出版中心：台北，民國九十五年。
- 四、水分。蔡敏郎教授(106年)。食品化學(進)課程講義。國立臺灣海洋大學食品科學系。
- 五、「白丁」的「胺」身立命之謎。國中化學科。及其它8件色層分析相關科展作品。

- 六、國中自然與生活科技課本 第三冊、第四冊、第五冊。翰林出版。
- 七、Chapter4. Intermolecular and Surface Forces. 3rd edition, DOI: 10.1016/B978-0-12-375182-9.10004-1 Copyright ©2011, Elsevier Inc.
- 八、Significance of hydrated radius and hydration shells on ionic permeability during nanofiltration in dead end and cross flow modes. Separation and purification technology 51 (2006) 40-47.