

投稿類別：化學類

篇名：色層分析之食品色素檢測

作者：

李沛恩 私立光仁高中 二年級 忠班
曾鈺傑 私立光仁高中 二年級 忠班
李宥萱 私立光仁高中 二年級 忠班

指導老師：

陳信誠

壹、前言

一、研究動機

本研究在尋找適合的主題時，想起《選修化學 I（全）物質與能量》第一章提到的色層分析實驗：若以濾紙作為固定相，水或酒精作為移動相，當溶劑沿著濾紙向上移動時，不同色素因吸附力不同，上升速度與距離也會不同，最終在紙上形成不同顏色的分佈（張煥宗等，無日期）。然而，這些內容多半僅停留在文字與理論說明，缺乏實際操作與觀察的機會。因此，我們決定設計一項與色層分析相關的實驗，透過實際操作與數據紀錄，探討不同色素及展開液對毛細現象結果的影響。

在查找過去有關色層分析的實驗時，研究者發現有人將其應用於筆跡測量，這讓研究者聯想到先前的蘇丹紅食品安全事件。當時辣椒粉、咖喱粉等食品被檢測出含蘇丹紅成分，且攝取可能危害健康，這使食品色素安全議題受到重視。因此，研究者希望將色層分析實驗與此事件結合，探討是否能用色層分析方式對其成分進行初步測量，提升對食品安全的關注。

二、研究目的

- (一) 不同的展開液對彩色筆色層分析所造成的影響
- (二) 不同顏色的彩色筆色素上升情形有什麼差異
- (三) 不同品牌的辣椒粉的色層分析結果是否會相同

貳、文獻探討

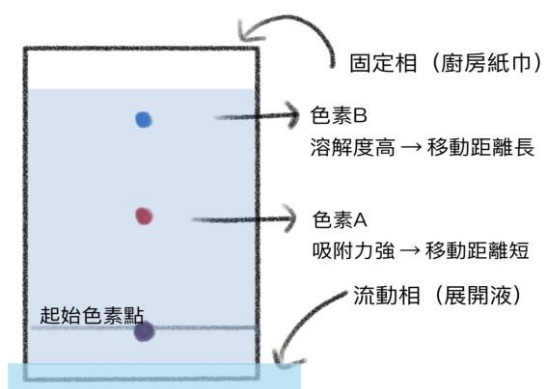
一、色層分析原理

「層析術包含一組完全不同而重要的分離方法，使科學家可以分離、單離、及鑑定十分接近之複雜混合物的成分」（Skoog・West，1982）。而本實驗屬於紙色層分析，這是利用不同物質在「固定相」與「移動相」之間附著力的差異來進行分離的方法，固定相為本實驗中用到的介質；移動相為向上爬的溶劑，當色素位於起始點，展開液也隨著介質上升時，色素會受到兩種作用力的影響：

- (一) 色素對固定相的吸附作用
- (二) 色素對流動相的溶解度與親和力

若色素對固定相吸附力強，容易停留在起點附近，移動距離較短，若對流動相親和力強，則易溶於溶劑，移動距離較長，遠離起點。

圖一：色層分析原理示意圖



圖一資料來源：研究者自行繪製

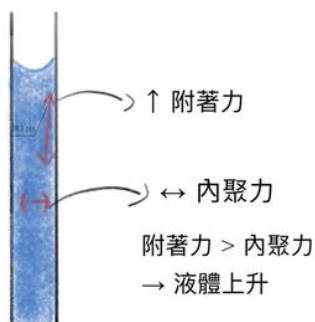
二、毛細現象與表面張力

(一) 毛細現象是指液體在細小管道或多孔介質中，因分子間作用力，使液體能在無外力下克服地心引力從縫隙間向上爬升的現象，其形成與表面張力有關。

(二) 表面張力是液體表面分子因內聚力產生的收縮趨勢。液體表面分子受力不均，形成向內收縮，使液體維持表面形狀並抵抗外力。

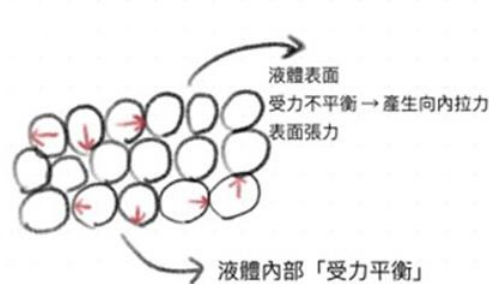
本實驗中，濾紙與廚房紙巾纖維間的孔隙可產生毛細作用，展開液便可藉表面張力與附著力沿介質上升，產生色層分析現象。《科學學習遊戲·化學篇》(福島葉子，2001)中指出：「不同色素性質不同，上升速度有差異，因此逐漸分離形成不同顏色。」，藉此研究者得知不同溶劑因分子結構不同，表面張力也不同，因此其毛細上升速度與展開結果會有所差異，進而影響色層分離效果與移動速率。

圖二：毛細現象示意圖



圖二資料來源：研究者自行繪製

圖三：表面張力示意圖



圖三資料來源：研究者自行繪製

三、參考資料探討

在研究者查尋資料的過程看到了用簡易方式測量辣椒油中的蘇丹紅成分(袁晨等，2008)，網站上提到了使用一小塊打印紙、一支鋼筆和少量的酒精以毛細現象原理來檢測辣椒油中是否含有蘇丹紅這項人工色素。研究者以此為靈感來源，設計一個更適合高中生，甚至一般民眾都可自行在家輕易檢測的方法(實驗C)。

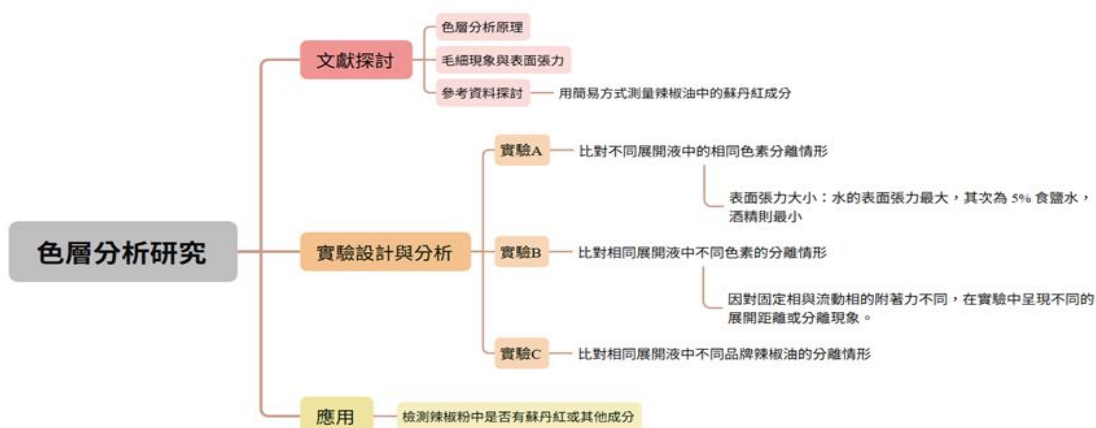
四、類似實驗論文論證(實驗C)

在尋找相關論文來證明研究者的實驗時，研究者找到《化妝品中色素成分分析方法之建立》（陳信豪，2020）一文，在該論文的結論處指出：「利用 LC-MS/MS 建立化粧品中 18 種色素檢驗方法，針對標示不清或無標示成分之產品可進行快速篩檢分析」該論文的結論證明化粧品中的色素成分能透過色層分析技術進行檢測與辨識，且可進一步判斷產品中所含物質的安全性與成分來源。雖然 LC-MS/MS 與研究者使用的色層分析方法在器材與精確度上並不相同，但兩者皆利用物質在介質中的移動差異進行分離與辨識。因此，透過此研究可間接佐證，色層分析可藉由色素移動差異的對比，判斷辣椒粉或其他產品中是否含有額外色素。

參、研究方法

一、研究架構圖

圖四：色層分析研究之研究架構圖



圖四資料來源：研究者自行整理

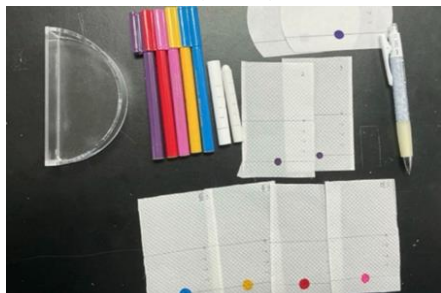
二、研究設備及器材

表一：實驗 A~C 使用器材

	實驗 A	實驗 B	實驗 C
廚房紙巾（畫記刻度）	✓	✓	
濾紙（畫記刻度）			✓
75%酒精	✓		✓
自來水	✓	✓	
食鹽	✓		
半圓形容器	✓	✓	✓
彩色筆（紅黃粉藍）		✓	
彩色筆（紫）	✓		
辣椒粉（三個不同品牌）			✓
電子天平	✓		✓
量筒	✓	✓	✓

表一資料來源：研究者自行整理

圖五：研究設備器材圖



圖五資料來源：研究者自行拍攝

圖六：實驗 C 器材圖



圖六資料來源：研究者自行拍攝

三、研究過程及方法

(一) 實驗 A：比對不同展開液造成的影響

操縱變因：展開液種類（水、5%食鹽水、酒精）

控制變因：彩色筆種類與顏色（紫色）、介質（廚房紙巾）、容器、液面高度、彩色筆點的位置、起始線與終點線位置

應變變因：色素在不同展開液中的分離情形

實驗前，研究者準備水、酒精及 5%食鹽水，各取 17 毫升置於半圓形容器中。在廚房紙巾底部上方 1 公分劃起始線，距底部 4 公分劃終點線，每隔 1 公分作觀察標準。於起始線中央以同一支紫色彩色筆重複按壓三次上色，乾燥後將三張紙分別放入溶液中（液面不得高於起始線），觀察色素上升距離與時間，並錄影紀錄數據。

(二) 實驗 B：比對不同色素的上升情形

操縱變因：彩色筆的顏色（紅、粉、黃、藍）

控制變因：介質（廚房紙巾）、展開的液體（水）裝展開液的容器、展開液在容器中的液面深度、彩色筆在廚房紙巾上點的位置、起始線與終點線的位置

應變變因：不同色素的分離情形

研究者在 4 張廚房紙巾底部上方 1 公分劃起始線，距底部 4 公分劃終點線，每隔 1 公分作觀察標準。紙上分別以 4 種彩色筆重複按壓三次上色，乾燥後將 4 張紙放入溶液（液面不超過起始線），觀察色素上升距離與時間，並以錄影紀錄。

(三) 實驗 C：比對不同辣椒粉的分離情形

操縱變因：辣椒粉的品牌

控制變因：介質（濾紙）、展開的液體（75%酒精）、裝展開液的容器、展開液在容器中的液面深度和質量、辣椒油在廚房紙巾上點的位置、起始線與終點線位置、辣椒粉質量

應變變因：不同品牌辣椒油的分離情形

由實驗 B 可以得知，相同成分的色素會有相同的色層分析結果，於是研究者購買了三種不同品牌的辣椒粉，各取 3 公克加入 17 毫升酒精調製成溶液，攪拌均勻後靜置沉

澱。使用滴管各取 0.5 毫升上層清澈溶液，滴在濾紙起始線上，並放入展開液中觀察展開現象。本次研究者改變展開液種類，選用辣椒粉能溶解的酒精。最後將 3 張濾紙分別放入裝好溶液的容器內，並於起始點中央滴上清澈辣椒粉溶液，觀察其上升距離與時間，並以錄影方式紀錄數據。

肆、研究分析與結果

一、實驗 A

表二：實驗 A 色素展開數據表

單位：s（秒）

A1	1cm	2cm	3cm	4cm
水	34.61	74.08	132.35	214.50
5%食鹽水	34.93	62.45	123.21	217.29
酒精	37.95	83.03	168.22	285.37

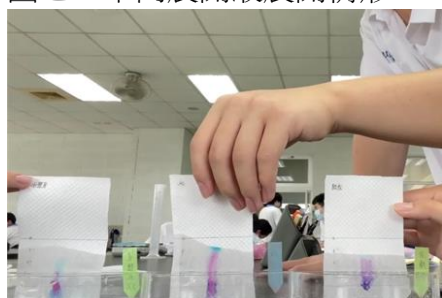
A2	1cm	2cm	3cm	4cm
水	28.22	70.55	117.84	202.98
5%食鹽水	21.95	63.61	143.67	207.94
酒精	24.01	79.25	159.14	281.31

A3	1cm	2cm	3cm	4cm
水	26.11	80.36	133.33	222.01
5%食鹽水	27.45	59.47	123.41	214.52
酒精	21.49	83.55	151.89	292.00

A 平均值	1cm	2cm	3cm	4cm
水	29.65	75.00	127.84	213.16
5%食鹽水	28.11	61.84	130.10	213.25
酒精	27.82	81.94	159.75	286.23

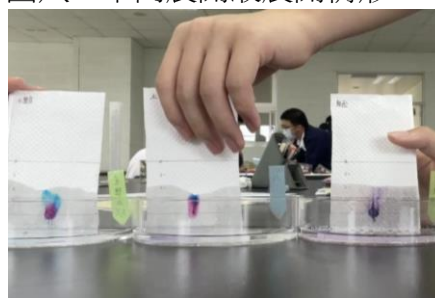
表二資料來源：研究者自行整理

圖七：不同展開液展開情形



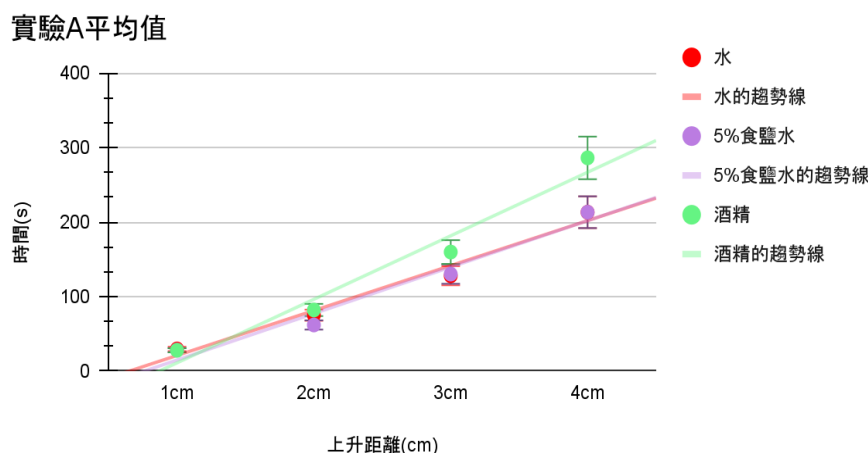
圖七資料來源：研究者自行拍攝

圖八：不同展開液展開情形



圖八資料來源：研究者自行拍攝

圖九：三種不同展開液色素展開情形趨勢線



圖九資料來源：研究者自行整理

毛細現象和表面張力之間的關係：液體同時具有「液體和物體間的附著力」及「液體分子間因內聚力產生的表面張力」，因此能在無外力作用下克服地心引力，沿物體縫隙向上爬升。毛細現象和色素在溶液中的溶解度之間的關係：色素需先溶解於溶液中，才能隨液體沿介質上升。因此，溶解度較高的色素較容易隨液體移動，上升速度較快；反之，溶解度較低的色素則較不易移動，上升速度較慢。

研究者根據實驗 A 的數據觀察到在 1~2cm 時，三種液體上升時間大致相同，在 3cm 時酒精與水、5%食鹽水相比稍慢，到了 4cm 時酒精所需的時間與其他兩種液體相比更是多出許多。研究者推測這可能與酒精的揮發速度、表面張力及在溶液中的溶解度有關。首先第一個可能的原因是酒精在空氣中揮發的速度較快，這可能導致酒精在還未上升至 3、4cm 時就已部分揮發，使上面無法補足足夠的酒精，且此情況會隨著高度增加更加明顯。第二個可能的原因是酒精表面張力較低，因此毛細上升能力較弱，加上酒精揮發度較高，可能導致上升過程中溶劑量減少，使展開速度變慢導致其。第三個可能的原因是因為色素在酒精中的溶解度較低，因而使其在毛細現象中的上升速度較慢。

根據實驗數據可以得知，水和 5%食鹽水的數據很接近，但仍有著些微差異。雖然在 1~2cm 時 5%食鹽水上升的速度較快，然而到了 3~4cm 時水上升的速度卻變得比 5%食鹽水還要快。研究者推測這是因為食鹽水溶解了食鹽，使水分子間的作用力產生變化，影響其表面張力，導致食鹽水的上升速度相較於水略慢。

同時研究者也計算不同溶液中色素的移動速率（以 4cm 為基準），水約為 0.0188 cm/sec，5%食鹽水約為 0.0188 cm/sec，75%酒精約為 0.0140 cm/sec，這也與表面張力大小有關。

總結以上的討論，研究者推測水的表面張力最大，其次為 5% 食鹽水，酒精則最小。而色素在溶液中的溶解度，水較高，食鹽水次之，酒精較低。

二、實驗 B

表三：實驗 B 不同色素展開數據表

單位：s（秒）

色層分析之食品色素檢測

B1	1cm	2cm	3cm	4cm
紅	27.37	53.71	146.16	218.31
粉	38.31	74.18	196.20	332.95
黃	30.26	83.66	158.04	235.51
藍	31.88	38.37	95.06	186.74

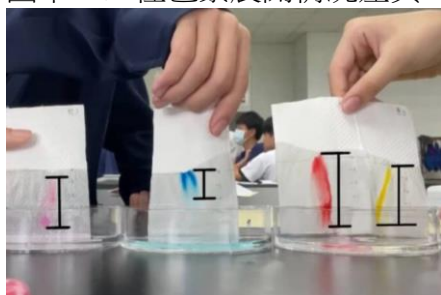
B2	1cm	2cm	3cm	4cm
紅	16.82	42.76	127.19	213.37
粉	35.16	81.09	200.22	375.90
黃	35.37	76.89	113.58	213.70
藍	11.31	30.01	88.65	195.08

B3	1cm	2cm	3cm	4cm
紅	26.71	70.00	118.99	195.45
粉	33.68	92.30	202.22	406.61
黃	27.09	80.36	149.81	234.19
藍	14.51	39.47	109.48	202.75

B 平均值	1cm	2cm	3cm	4cm
紅	23.63	55.49	130.78	209.04
粉	35.72	62.52	199.55	371.82
黃	30.91	80.30	133.81	227.80
藍	19.23	35.95	97.73	194.86

表三資料來源：研究者自行整理

圖十：四種色素展開情況差異



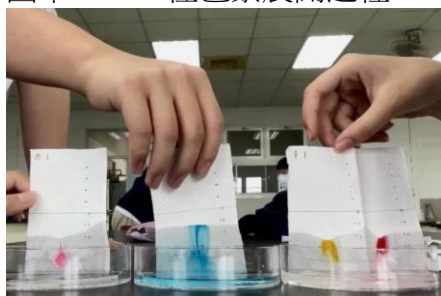
圖十資料來源：研究者自行拍攝

圖十一：各色素展開情形



圖十一資料來源：研究者自行拍攝

圖十二：四種色素展開過程



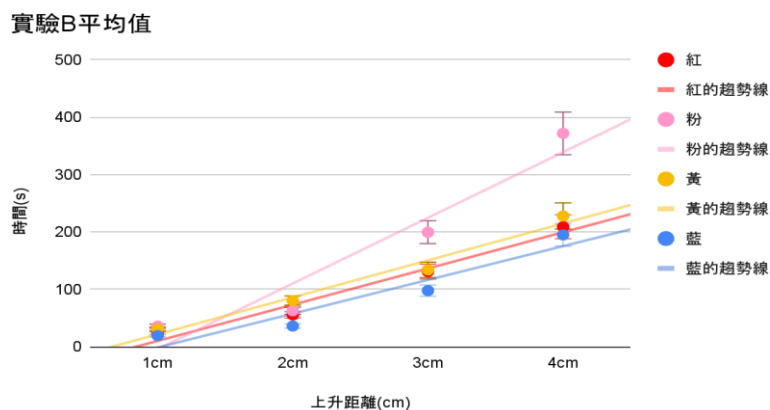
圖十二資料來源：研究者自行拍攝

圖十三：四種色素展開情形



圖十三資料來源：研究者自行拍攝

圖十四：四種色素展開情形趨勢線



圖十四資料來源：研究者自行整理

之前的實驗 A 和實驗 B 中，研究者挑選了紫色彩色筆，發現其經毛細現象後會析出紅色和藍色，兩者延展速度不同，若以顏色為重點觀測，可能會有測量誤差。因此，研究者在實驗前，先將手邊所有彩色筆進行毛細現象小實驗，找出沒有明顯析出分層與混色的彩色筆，以減少後續實驗觀察與測量的不確定性。

從實驗數據可觀察四個顏色的爬升速度：藍色最快，紅色次之，黃色第三，粉色最慢。色素對展開液附著力越大，上升速度與距離越快，代表對介質附著力較小，不易停留在原處；反之，附著力越小，上升速度與距離越慢，色素較易停留。

同時，研究者計算了不同色素的平均移動速率：紅色 0.0191 cm/sec，黃色 0.0176 cm/sec，藍色 0.0205 cm/sec，粉色 0.0108 cm/sec。

實驗結果顯示：

- (一) 藍色對水附著力較大，對廚房紙巾附著力較小，色素大幅移動至終點。
- (二) 紅、黃色對水與廚房紙巾附著力較接近，色素較均勻分佈在起點到終點之間。
- (三) 粉色對水附著力較小，對廚房紙巾附著力較大，色素大多停留在起點附近。

實驗結果可觀察到藍色分佈位置較高、紅、黃色較平均地分佈在紙張上、粉色大多停留在起點。

三、實驗 C

在實驗 C 中，因辣椒粉無法溶解於水，因此研究者將展開液改為酒精。在實驗 B 中研究者得知不同色素展開效果不同，但相同色素結果大致相同。研究者以實驗 B 的結果做出推測：即使是不同品牌辣椒粉，只要成分類似，色素分布也會趨近一致。因此，若色素分布或顏色與其他結果差異過大，即可合理懷疑該辣椒粉含有不同成分，像是蘇丹紅成分。

為了印證研究者的假設，研究者購買了三種不同品牌、成分相同(圖十六)且同天開封的辣椒粉，分別溶於酒精中，並用滴管取上方澄清液體作為實驗色素。研究者發

現三種色素在濾紙上的擴散位置大致相同（圖十八～圖二十），但其中一種色素析出的顏色和另兩種略有差異。

圖十五：實驗使用辣椒粉圖



圖十五資料來源：研究者自行拍攝

圖十六：辣椒粉成分圖



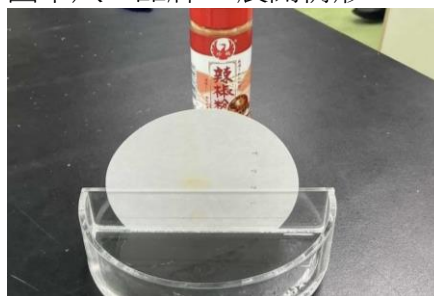
圖十六資料來源：研究者自行拍攝

圖十七：三品牌辣椒粉展開情形



圖十七資料來源：研究者自行拍攝

圖十八：品牌 A 展開情形



圖十八資料來源：研究者自行拍攝

圖十九：品牌 B 展開情形



圖十九資料來源：研究者自行拍攝

圖二十：品牌 C 展開情形



圖二十資料來源：研究者自行拍攝

伍、研究結論與建議

一、不同展開液（流動相）造成的影響（實驗 A）

本實驗探討不同展開液在相同介質上的上升情形，結果顯示，展開液的性質（表面張力與揮發性）會影響毛細現象的上升速度，水和 5% 食鹽水的數據十分接近，但還是看得出其差異，實驗結論如下：

（一）表面張力大小：水的表面張力最大，其次為 5% 食鹽水，酒精則最小

二、不同色素的上升情形（實驗 B）

實驗探討了不同色素在同樣固定相與流動相的展開情形，由實驗結果可得知，色素與介質間的附著力差異會影響其移動速度與分佈，並造成色帶分離的現象。實驗結果如下：

- (一) 色素對於展開液（流動相）的附著力：藍色最大、紅色和黃色次之、粉色最小
- (二) 色素對於廚房紙巾（固定相）的附著力：粉色最大、紅色黃色次之、藍色最小

透過色層分析可確認不同色素，因對固定相與流動相的附著力不同，在實驗中呈現不同的展開距離或分離現象。

三、蘇丹紅食安問題（實驗 C）

研究者希望透過此實驗關注食安問題中的蘇丹紅事件。蘇丹紅是一種色素，由於鮮豔且穩定而被廠商喜愛，但其成分含致癌物質，禁止添加於食品或化妝品中。研究者從實驗 B 得知，不同色素的展開效果不同，因此在實驗 C 中驗證假設：「是否可使用簡易色層分析檢測辣椒粉中的物質？」結果顯示，三個市售不同品牌的辣椒粉展開效果集中於 1 至 4 公分。若要檢測來路不明的辣椒粉，可透過色層分析比較其展開情形與市售樣品差異，若來源不明的辣椒粉與市售樣品在色層分析中的色素展開距離有明顯差異，或析出額外且不同顏色的色素，即可推測其含有額外添加物，進而提升食品安全。

陸、參考文獻

一、袁晨、康师源、段爱红、谭学先、杨东群、袁黎明（2008）。用纸上扩散法快速检测辣椒油中的苏丹红。化学教育,29(5),71 - 72。

<http://www.hxjy.chemsoc.org.cn/CN/abstract/abstract2220.shtml>

二、張煥宗、李弘文、簡敦誠、詹益慈、王宗興、謝義孝、曹雅萍、葉則易、吳德鵬、張明娟（無日期）。**選修化學 I（全）物質與能量**。龍騰文化。

三、福島葉子（2001）。**科學學習遊戲・化學篇**。益智工房。

四、Skoog・West（1982）。**分析化學基本原理**。曉園出版社。

五、陳信豪（2020）。**化粧品中色素成分分析方法之建立**。食品藥物研究年報，11：151-161。