

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 理化科

第一名  
最佳創意獎

031628

色彩變變變--自製重金屬檢測試紙及檢測流程研究

學校名稱：彰化縣立陽明國民中學

作者：	指導老師：
國一 周鎂岑	蘇淑貞
國一 白旻昇	蔡名峯

關鍵詞： 重金屬離子、顯色劑、檢測試紙

## 摘要

重金屬離子具高毒性，是水汙染的檢測重點。一般檢測單位常以昂貴儀器進行測定，未配備貴重儀器的實驗室則常藉重金屬陽離子與某些陰離子生成沉澱反應或重金屬陽離子與某些錯合劑生成錯離子反應的方式來測定，但這些化學分析方法操作步驟繁複困難且均須於實驗室中進行。本研究基本上以重金屬陽離子生成有色的沉澱反應及有色的錯離子形成反應為基礎，研發出檢測試紙。利用重金屬檢測試紙的顯色，簡單快速地分析出水溶液中的重金屬離子種類，成為可攜帶、可在實驗室外操作特性的重金屬定性試紙。本研究並依據實驗結果，歸納出  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 、 $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ 、 $\text{Co}^{2+}$  等七種重金屬離子的檢測流程，並可利用多種檢測試紙來測試同一種重金屬離子，更提昇了鑑別的準確度。

## 壹、研究動機

第一次使用石蕊試紙檢測水溶液的酸鹼性是在小學的自然實驗，雖然這是一個很簡單的實驗，但卻引起我極高的興趣，當時我就很好奇為什麼顏色可以判定酸鹼？等我上了國中，請教自然科老師瞭解變色的原理之後，常思考如何將試紙變色的方法應用在其他物質的鑑別？重金屬離子是水汙染中的劇毒汙染物，而大肚溪沿岸有許多的電鍍工廠，排放含重金屬離子的廢水，時有所聞，如圖所示為彰化縣環保局所設立的水質監測點，對河川汙染進行長期監測。因此，是否可應用試紙的顏色，來鑑別重金屬離子的想法。雖然現行重金屬離子的分析可使用貴重儀器來分析或在實驗室中利用離子沉澱分析，錯離子形成等方法來鑑別。但本研究所研發的試紙檢測法則只須幾滴樣品溶液配合數張檢測試紙就能鑑別重金屬離子。就如同當初第一次見到石蕊試紙神奇地測定出溶液的酸鹼性，我也想研究出神奇的檢驗試紙可以檢驗出重金屬離子，為家鄉的環境盡一份心力，並效法柯南科學辦案精神，讓重金屬的汙染無所遁形。



圖 彰化縣環境保護局牛稠子排水水質監測點

## 貳、研究目的

- 一、探討重金屬離子與顯色劑溶液的顯色反應。
- 二、探討重金屬離子與染有顯色劑的潤溼試紙的顯色反應。
- 三、探討重金屬離子與染有顯色劑的乾燥試紙的顯色反應。
- 四、探討顯色劑的最佳濃度條件。
- 五、探討檢測試紙可檢測的重金屬離子最低濃度。
- 六、檢測試紙檢測流程建立。
- 七、特定重金屬離子檢測試紙設計。

## 參、研究設備及器材

### 一、器材

(一) 電子天秤(精確至 0.001g)	(二) 烘箱	(三) 濾紙	(四) 吹風機
(五) 剪刀	(六) 量筒	(七) 量瓶	(八) 燒杯
(九) 滴管	(十) 試管	(十一) 試管架	(十二) 通風櫥
(十三) 活性碳口罩	(十三) 護目鏡	(十四) 橡膠手套	(十五) 實驗衣

### 二、藥品

(一) 硝酸銀 ( $\text{AgNO}_3$ )	(二) 硝酸亞錳 ( $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ )	(三) 硝酸鉻 ( $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ )
(四) 硝酸銅 ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ )	(五) 硝酸鐵 ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ )	(六) 硝酸鉛 ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ )
(七) 硝酸亞鈷 ( $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ )	(八) 硝酸鎘 ( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ )	(九) 硝酸鋅 ( $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ )
(十) 硝酸亞鎳 ( $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ )	(十一) 硝酸汞 ( $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ )	(十二) 硝酸鉀 ( $\text{KNO}_3$ )
(十三) 硫化鈉 ( $\text{Na}_2\text{S}$ )	(十四) 硫氰化鉀 ( $\text{KSCN}$ )	
(十五) 黃血鹽 ( $[\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6]$ )	(十六) 赤血鹽 ( $[\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6]$ )	
(十七) 二苯卡巴脲 (diphenylcarbazide , $(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH})_2\text{CO}$ )	(十七) 二苯卡巴脲 (diphenylcarbazide , $(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH})_2\text{CO}$ )	
(十八) 二甲基乙二醛二肟 (Dimethylglyoxime)	(十九) 一亞硝基 萘酚 (一-Nitroso-naphthol)	

### 三、實驗安全注意事項

- (一) 實驗過程指導老師均在現場，確實遵守實驗安全規範。
- (二) 重金屬廢液均回收集中儲存，依實驗室廢棄物處理法，統一交由環保單位處理。

## 肆、研究方法

### 一、研究原理

#### (一) 利用重金屬陽離子與無機陰離子生成有色沉澱反應。

1. 意義：不同的兩種電解質溶液混合時，陽離子與陰離子互相吸引形成的化合物，若其在水中溶解度小，則析出沉澱，此稱為離子沉澱反應。

2. 如  $\text{AgNO}_{3(\text{aq})}$  和  $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$  相混合。

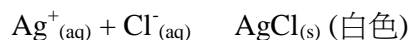
(1) 溶液中的  $\text{Na}^+_{(\text{aq})}$  和  $\text{NO}_3^-_{(\text{aq})}$  形成之離子化合物  $\text{NaNO}_3$  溶解度大，在水中可以較高濃度的  $\text{Na}^+_{(\text{aq})}$  和  $\text{NO}_3^-_{(\text{aq})}$  存在，所以不生沉澱。

(2) 溶液中的  $\text{Ag}^+_{(\text{aq})}$  和  $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$  形成之離子化合物  $\text{AgCl}$  溶解度小，在水中只能以極小濃度的  $\text{Ag}^+_{(\text{aq})}$  和  $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$  存在，所以產生沉澱。

(3) 反應方程式： $\text{AgNO}_{3(\text{aq})} + \text{NaCl}_{(\text{aq})} \rightarrow \text{AgCl}_{(\text{s})} + \text{NaNO}_{3(\text{aq})}$

(4) 離子方程式： $\text{Ag}^+_{(\text{aq})} + \text{NO}_3^-_{(\text{aq})} + \text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})} \rightarrow \text{AgCl}_{(\text{s})} + \text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{NO}_3^-_{(\text{aq})}$

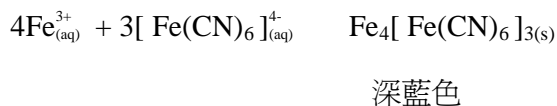
(5) 淨離子方程式：將未參與沉澱反應的離子去除的方程式。



#### (二) 利用重金屬陽離子與無機陰離子生成有色錯離子反應。

例如  $\text{Fe}^{3+}$  與黃血鹽、硫氰化鉀可生成有色反應，其原理分別為：

1. 含三個結晶水的亞鐵氰化鉀晶體  $[\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$  通常叫做黃血鹽。鐵鹽溶液與亞鐵氰化鉀溶液反應可生成亞鐵氰化鐵 ( $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ ) 的深藍色沉澱，即俗稱的普魯士藍 (Prussian blue)。



2. 鐵離子與硫氰化鉀 ( $\text{KSCN}$ ) 反應可生成血紅色的硫氰化鐵錯離子。



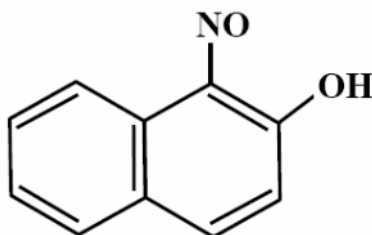
### (三) 利用重金屬陽離子與有機沉澱劑生成有色沉澱反應。

許多有機沉澱劑已用於無機物的重量分析上。有機沉澱劑有兩種類型，其中一類型可形成微溶性的非離子錯合物，稱為配位化合物（coordination compounds）；另一類型所形成之產物的結合鍵是離子性的，即有機沉澱劑與無機物間形成離子化合物。

有機沉澱物可形成微溶性配位化合物，它至少含有兩個官能基，每一官能基均可提供一電子對，以和陽離子鍵結。這些官能基所在的位置，可使反應後形成五元環或六元環。可形成此類型的錯合物的試劑，稱為鉗合劑（chelating agents）；其與陽離子的產物，稱為鉗合物（chelates）。本研究所使用的——亞硝基——萘酚即為有機沉澱劑：

#### 1. ——亞硝基——萘酚

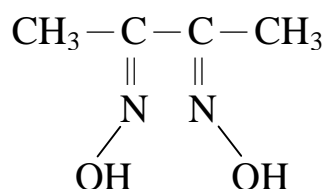
——亞硝基——萘酚（Nitroso-naphthol）此化合物是最早被發現（1885年）具有選擇性的有機沉澱劑之一，其結構式為：



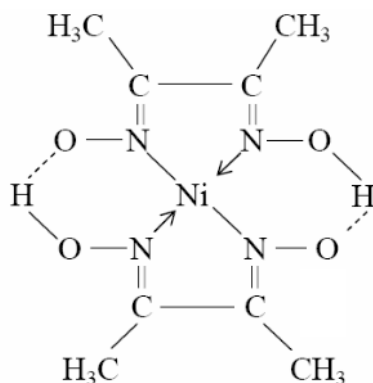
此試劑與鈷（Ⅱ）反應形成中性的鈷（Ⅲ）鉗合物。

#### 2. 二甲基乙二醛肟

二甲基乙二醛肟（Dimethylglyoxime）有機沉澱劑中具有非常的特異性者，為二甲基乙二醛肟，其結構為：

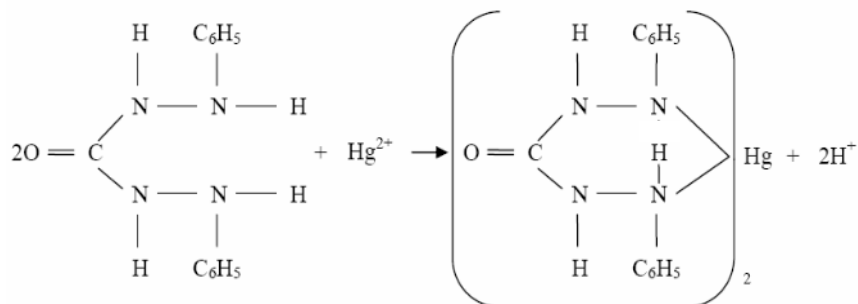


二甲基乙二醛二肟鎳為鮮紅色化合物，其結構為：



(四) 利用重金屬陽離子與有機化合物生成有色錯合物。

汞離子與二苯卡巴脲 [ diphenylcarbazide,  $(\text{C}_6\text{H}_5\text{NHNH})_2\text{CO}$  ] 形成深紫色錯合物。其反應為：



## 二、研究步驟

### (一) 藥品處理及配製

1. 將配製重金屬離子及顯色劑所需的鹽類，分別置於烘箱內，調節烘箱溫度為  $60^\circ\text{C}$ ，乾燥 6 小時。
2. 烘乾後之重金屬鹽類溶於水，配製成 1000 毫升重金屬離子的濃標準液（如下表）並貯放於冰箱中，供稀釋之用。

離子	$\text{Cr}^{3+}$	$\text{Mn}^{2+}$	$\text{Fe}^{3+}$	$\text{Co}^{2+}$	$\text{Ni}^{2+}$	$\text{Cu}^{2+}$	$\text{Zn}^{2+}$	$\text{Ag}^+$	$\text{Cd}^{2+}$	$\text{Hg}^{2+}$	$\text{Pb}^{2+}$
濃度 (ppm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

3. 配製 1000 毫升顯色劑溶液（如下表）。

顯色劑	黃血鹽	硫化鈉	赤血鹽	鉻酸鉀	硫氰化鉀	二甲基乙二醛二肟	— 亞硝基 — 萘酚	二苯卡巴脲
濃 度 (M)	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	0.05	0.05	0.05

## （二）實驗過程

- 8 種顯色劑溶液分別置於 8 支試管中，再分別滴定一滴重金屬離子溶液，觀察 8 種顯色劑與 11 種重金屬離子溶液反應呈色情形。
- 裁剪濾紙成方塊狀再浸於顯色劑中，取出再滴入一滴重金屬離子溶液，觀察試紙變色情形。
- 同上，但染有顯色劑的試紙先置於烘箱內，調節烘箱溫度 50℃，烘乾 1 小時，製備成乾燥試紙，分別滴入一滴重金屬離子溶液，觀察變色情形。
- 固定可產生顯色反應的重金屬離子溶液濃度，改變試紙上的顯色劑濃度，記錄顯色效果最佳的顯色劑濃度。
- 固定顯色劑最佳顯色濃度條件，降低重金屬離子濃度，直到顯色無法鑑別為止，記錄重金屬離子，可顯色的最低濃度。
- 依據各離子與各顯色劑的呈色圖，歸納檢測流程圖，並測試檢驗流程圖之可行性，由甲同學配製未知溶液，乙同學檢驗，驗證流程之可行性。
- 依據顯色流程圖，裁剪試紙併貼之後，設計成可攜帶之試紙。

## 伍、研究結果

### 一、重金屬離子與顯色劑溶液反應結果

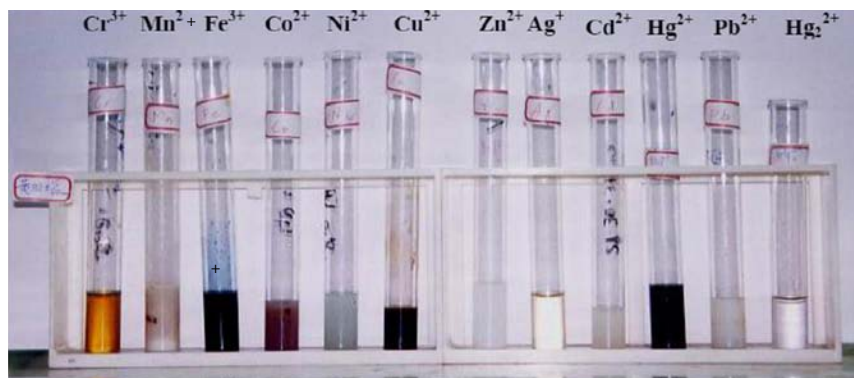
表 1 十一種重金屬離子與八種顯色劑反應結果

顯色劑 離子 1000 ppm	黃 血 鹽 (0.5M)	赤 血 鹽 (0.5M)	鎳 酸 鉀 (1.0M)	硫 氰 化 鉀 (1.0M)	硫 化 鈉 (1.0M)	二 二 甲 基 乙 炔 (0.05M)	二 苯 基 巴 比 脲 (0.05M)	一 亞 基 二 苯 基 酚 (0.05M)
$\text{Cr}^{3+}$	黃 褐	綠	褐	無	粉 藍	淡 綠	紫 紅	棕 黑
$\text{Mn}^{2+}$	白	褐	黑 褐	淡 紅	淡 棕	粉 紅	紫 紅	褐
$\text{Fe}^{3+}$	藍	藍	橙	血 紅	黑	褐	黃	棕
$\text{Co}^{2+}$	土 黃	褐	黑	淡 紅	黑	褐	紫 紅	褐
$\text{Ni}^{2+}$	淡 綠	棕	褐	綠	黑	粉 紅	紫	褐
$\text{Cu}^{2+}$	褐	棕	褐	綠	黑	棕	褐	褐
$\text{Zn}^{2+}$	白	紅 棕	黃	無	白	無	褐	褐
$\text{Ag}^{+}$	白	綠	磚紅	無	黑	無	褐	褐
$\text{Cd}^{2+}$	白	棕 綠	黃	無	黃	無	紫	褐
$\text{Hg}^{2+}$	藍	白	橙	無	灰	無	紫 藍	褐
$\text{Pb}^{2+}$	白	棕 綠	黃	無	黑	無	紫	褐

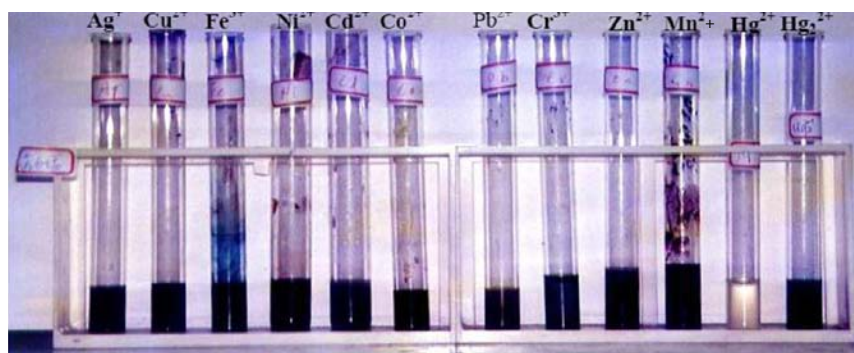




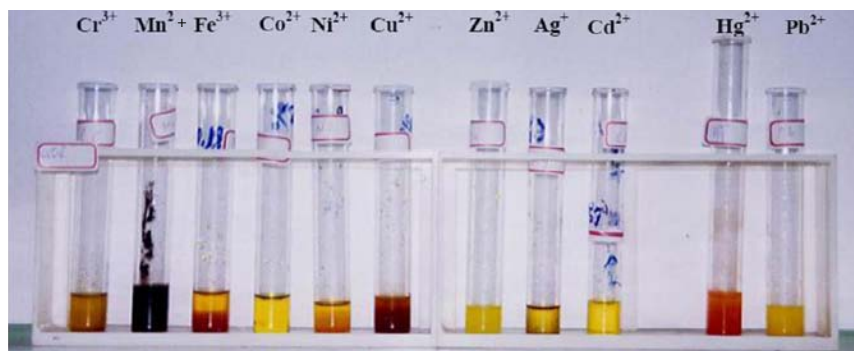
圖一 重金屬離子(1000 ppm)的顏色



圖二 重金屬離子(1000 ppm)與黃血鹽(0.5M)反應的顏色變化



圖三 重金屬離子(1000 ppm)與赤血鹽(0.5M)反應的顏色變化



圖四 重金屬離子(1000 ppm)與鉻酸鉀(1.0M)反應的顏色變化



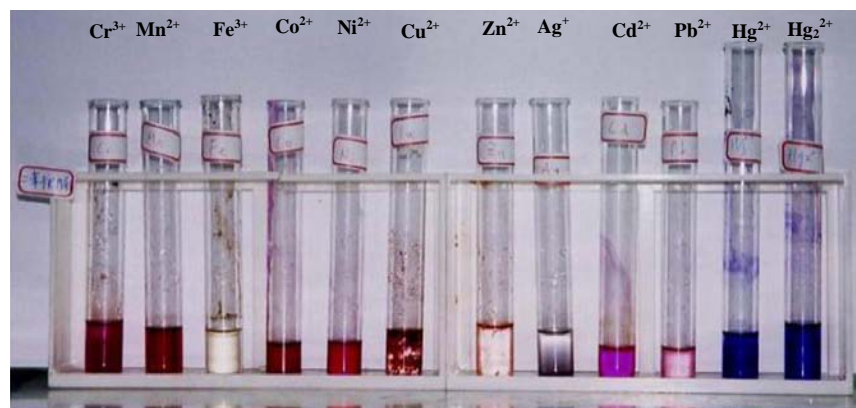
圖五 重金屬離子(1000 ppm)與硫氰化鉀(1.0M)反應的顏色變化



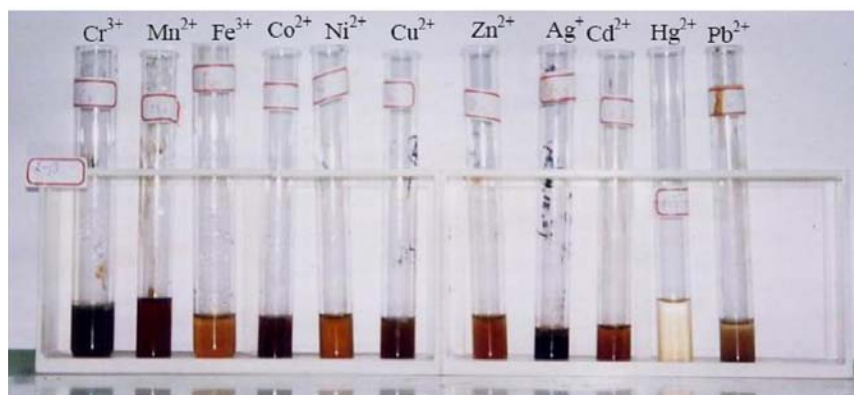
圖六 重金屬離子(1000 ppm)與硫化鈉(1.0M)反應的顏色變化



圖七 重金屬離子(1000 ppm)與二甲基乙二醛二肟(0.05M)反應的顏色變化



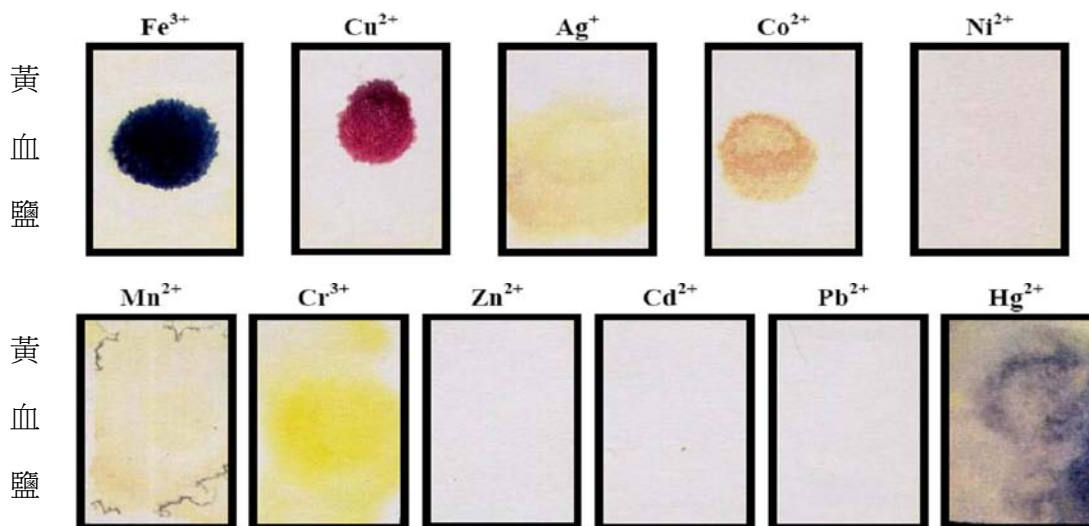
圖八 重金屬離子(1000 ppm)與二苯卡巴脲(0.05M)反應的顏色變化



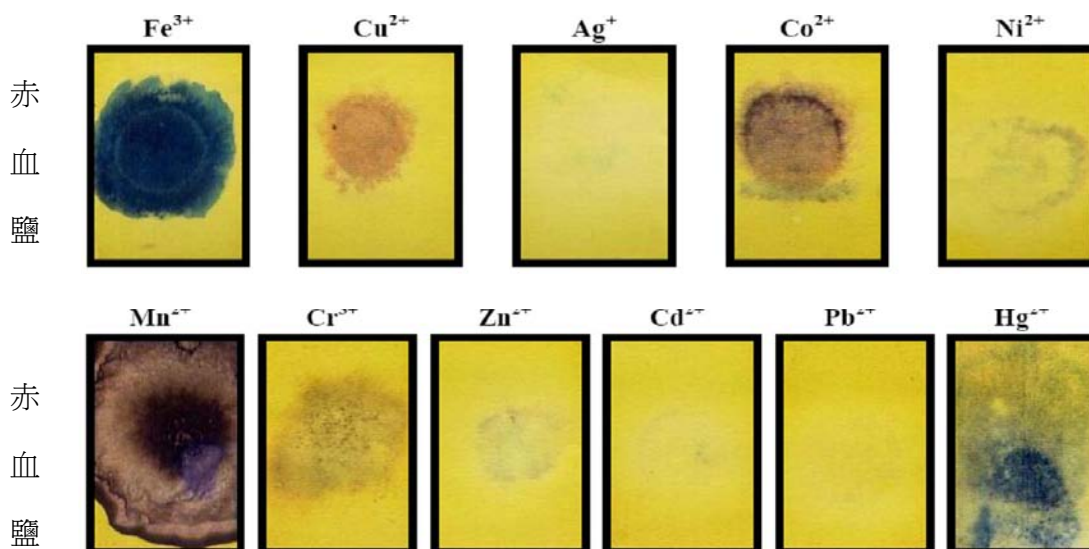
圖九 重金屬離子(1000 ppm)與 4-亞硝基- 萘酚(0.05M)反應的顏色變化

## 二、重金屬離子與染有顯色劑的潤濕試紙的顯色結果

### (一) 黃血鹽(0.5M)與十一種重金屬離子(1000 ppm)的反應結果

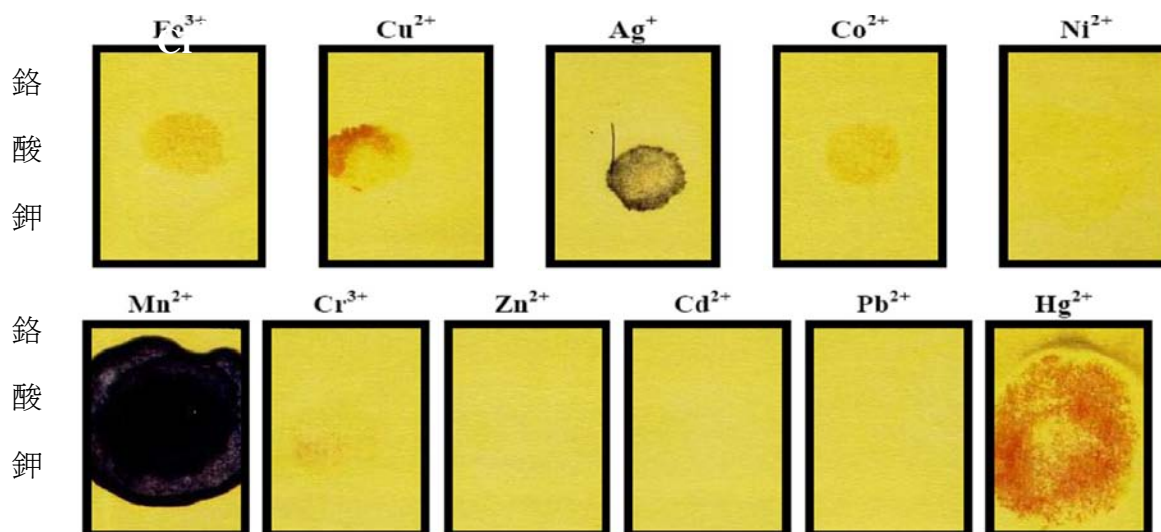


### (二) 赤血鹽(0.5M)與十一種重金屬離子(1000 ppm)的反應結果

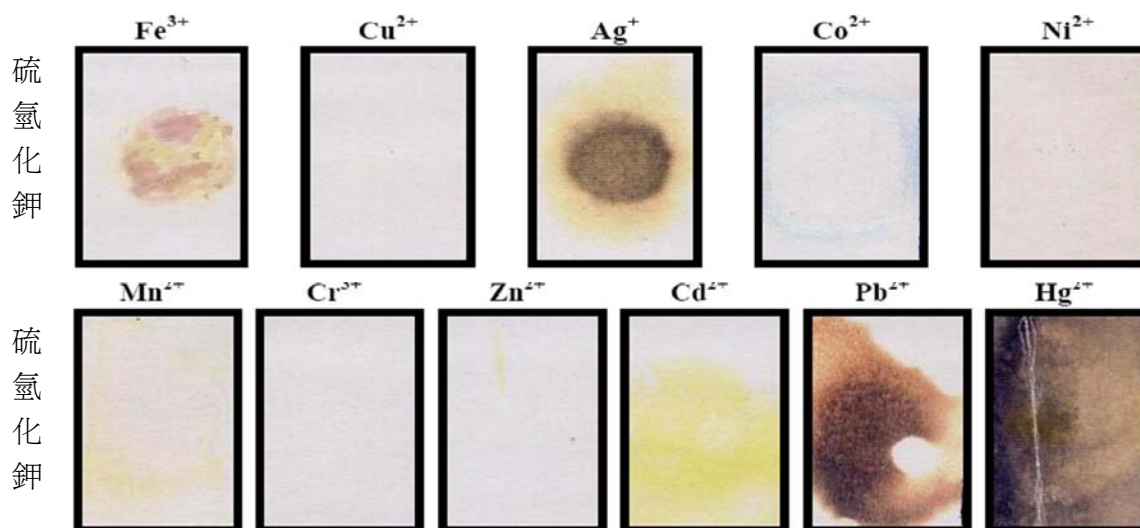




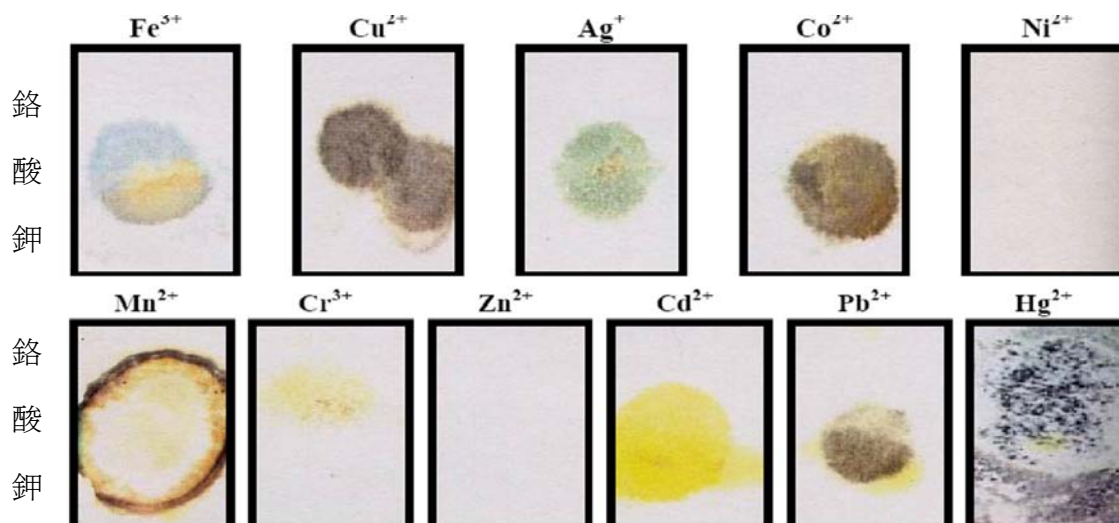
(三) 鉻酸鉀(1.0M)與十一種重金屬離子(1000 ppm)的反應結果



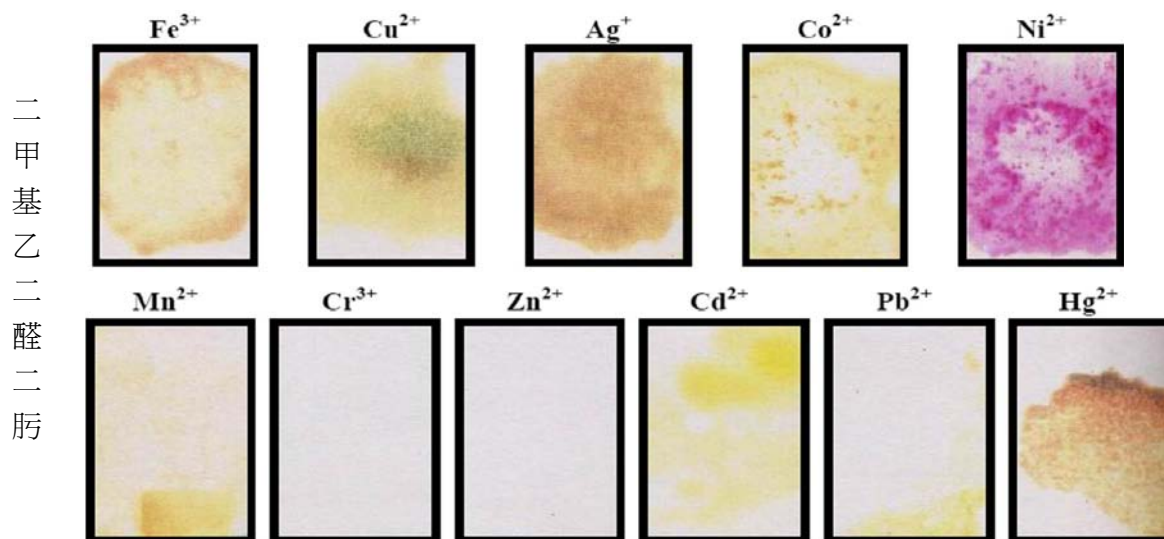
(四) 硫氰化鉀(1.0M)與十一種重金屬離子(1000 ppm)的反應結果



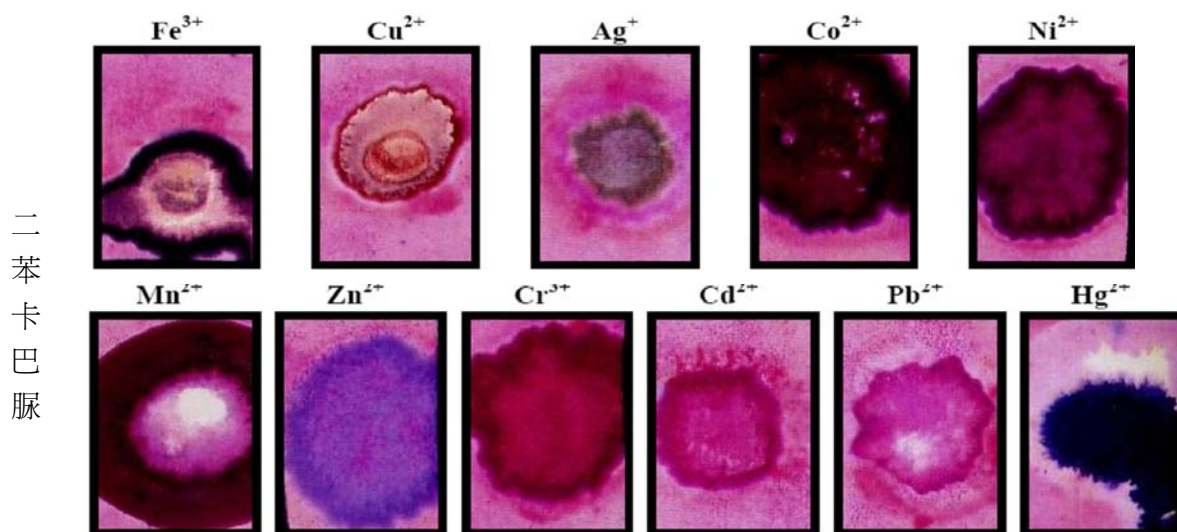
(五) 硫化鈉(1.0M)與十一種重金屬離子(1000 ppm)的反應結果



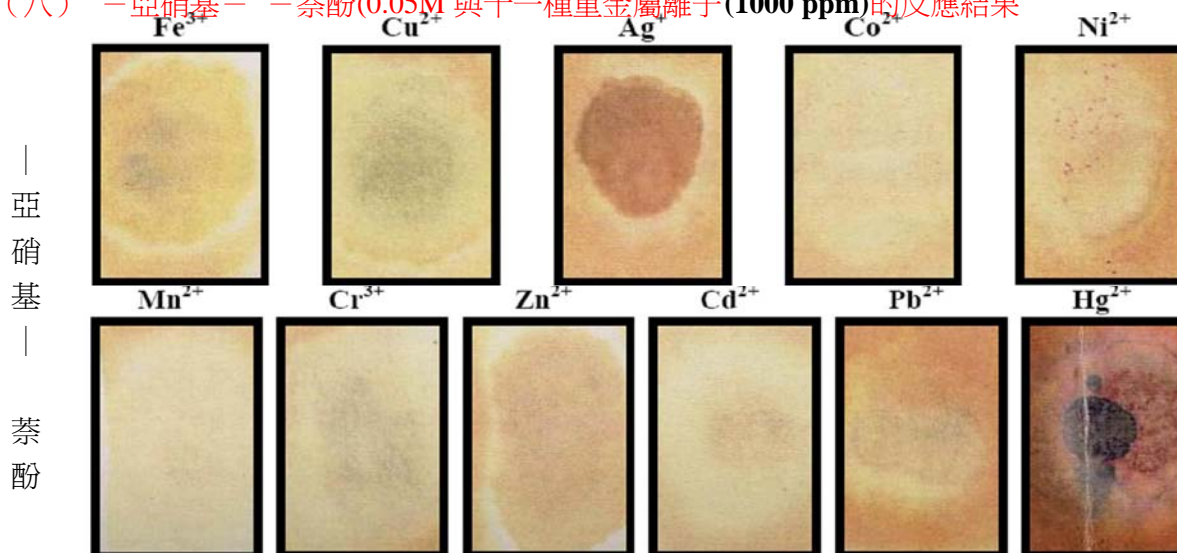
(六) 二甲基乙二醛二肟(0.05M)與十一種重金屬離子(1000 ppm)的反應結果



(七) 二苯卡巴脲(0.05M)與十一種重金屬離子(1000 ppm)的反應結果

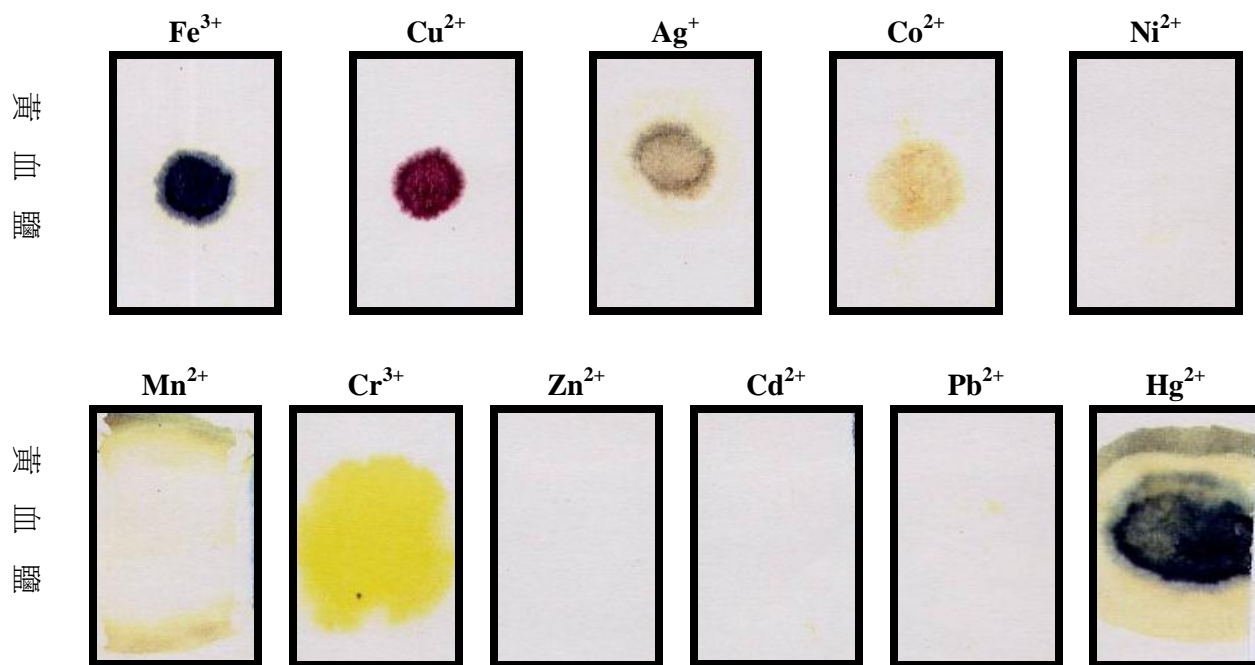


(八) —亞硝基— 萘酚(0.05M)與十一種重金屬離子(1000 ppm)的反應結果

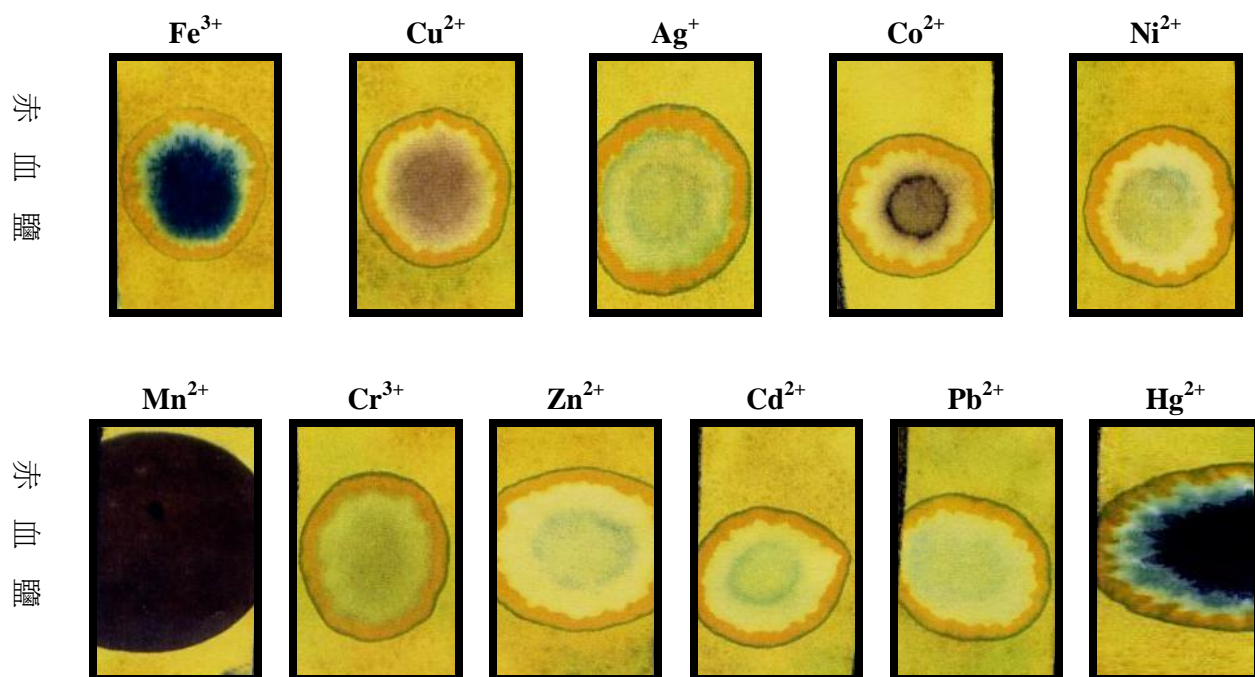


### 三、重金屬離子與染有顯色劑的乾燥試紙的顯色結果

#### (一) 0.5M 黃血鹽試紙與十一種重金屬離子(1000 ppm)的反應結果

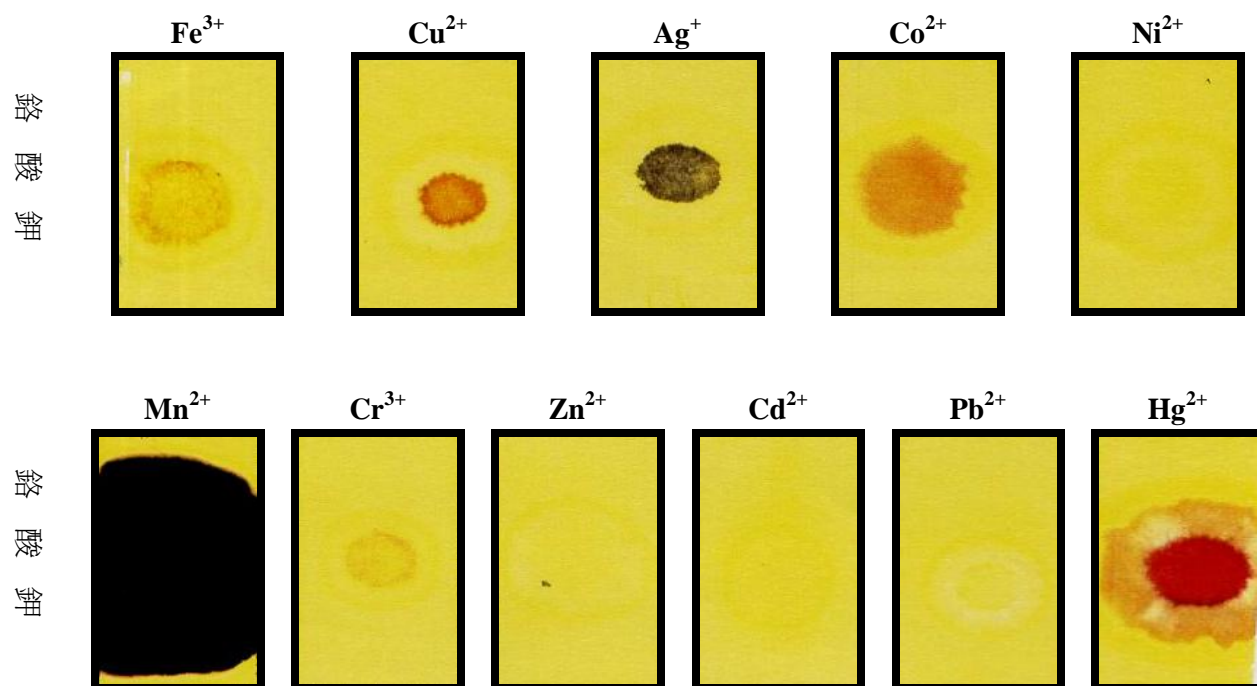


#### (二) 0.5M 赤血鹽試紙與十一種重金屬離子(1000 ppm)的反應結果

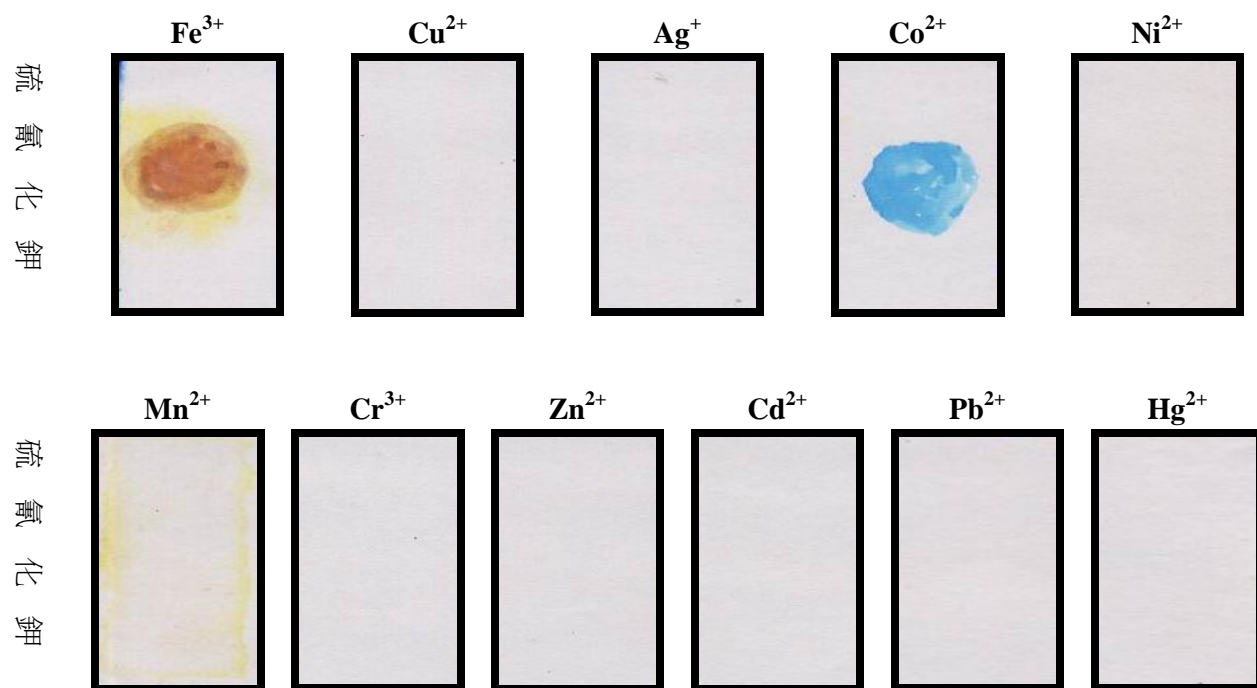




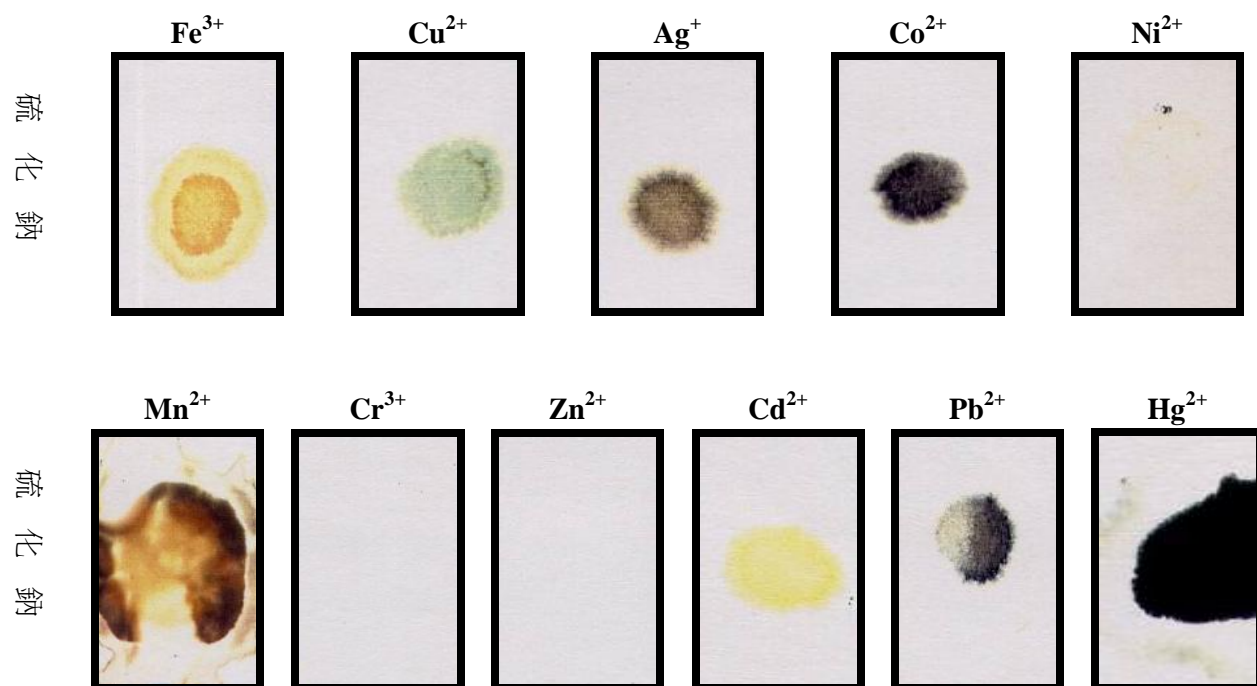
(三) 1.0M 鉻酸鉀試紙與十一種重金屬離子(1000 ppm)的反應結果



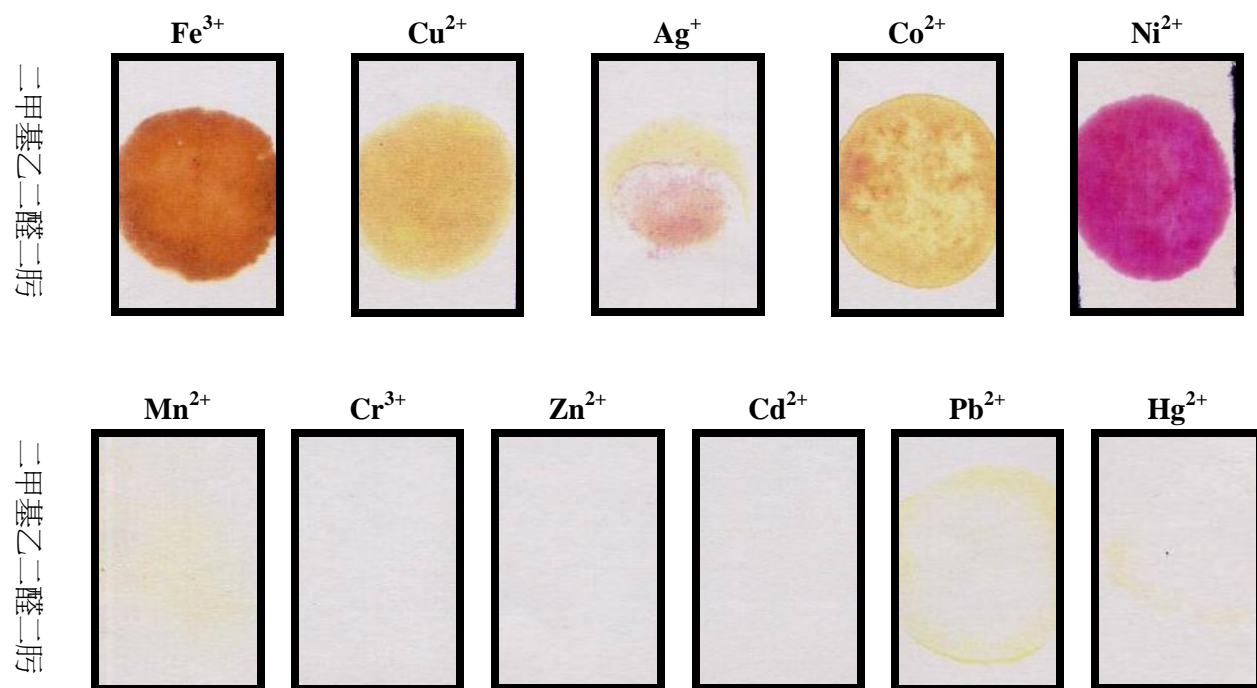
(四) 1.0M 硫氰化鉀試紙與十一種重金屬離子(1000 ppm)的反應結果



(五) **1.0M** 硫化鈉試紙與十一種重金屬離子(1000 ppm)的反應結果

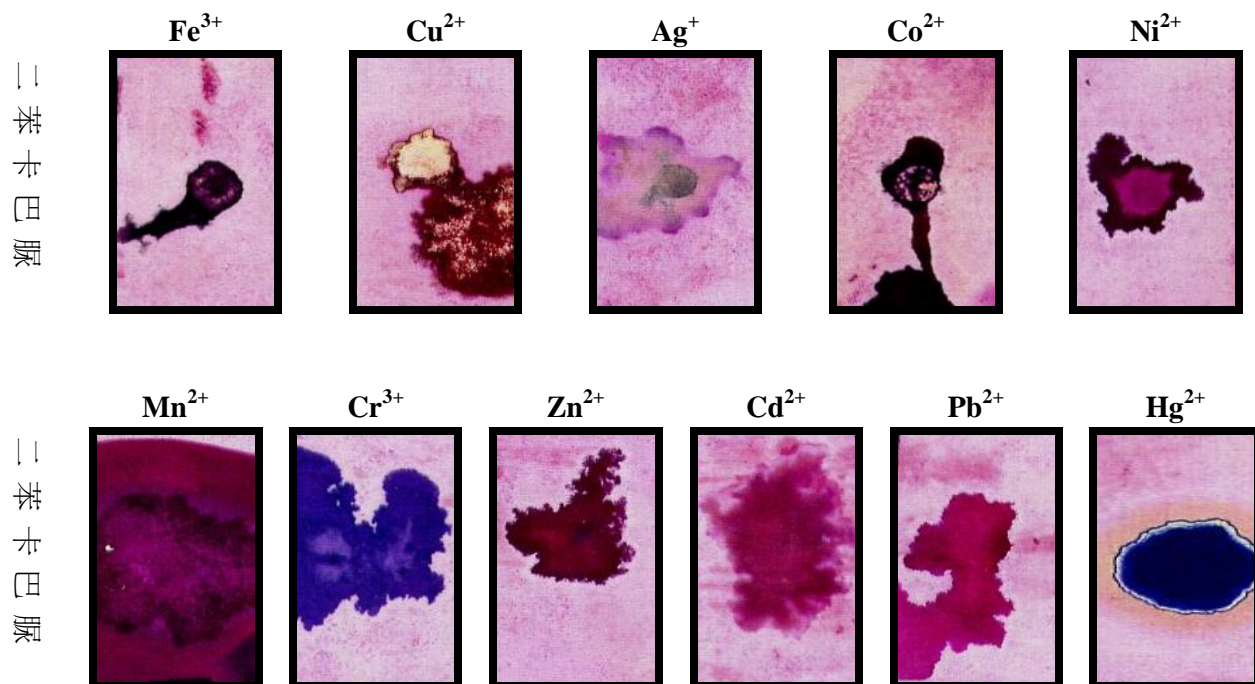


(六) **0.05M** 二甲基乙二醛二肟試紙與十一種重金屬離子(1000 ppm)的反應結果

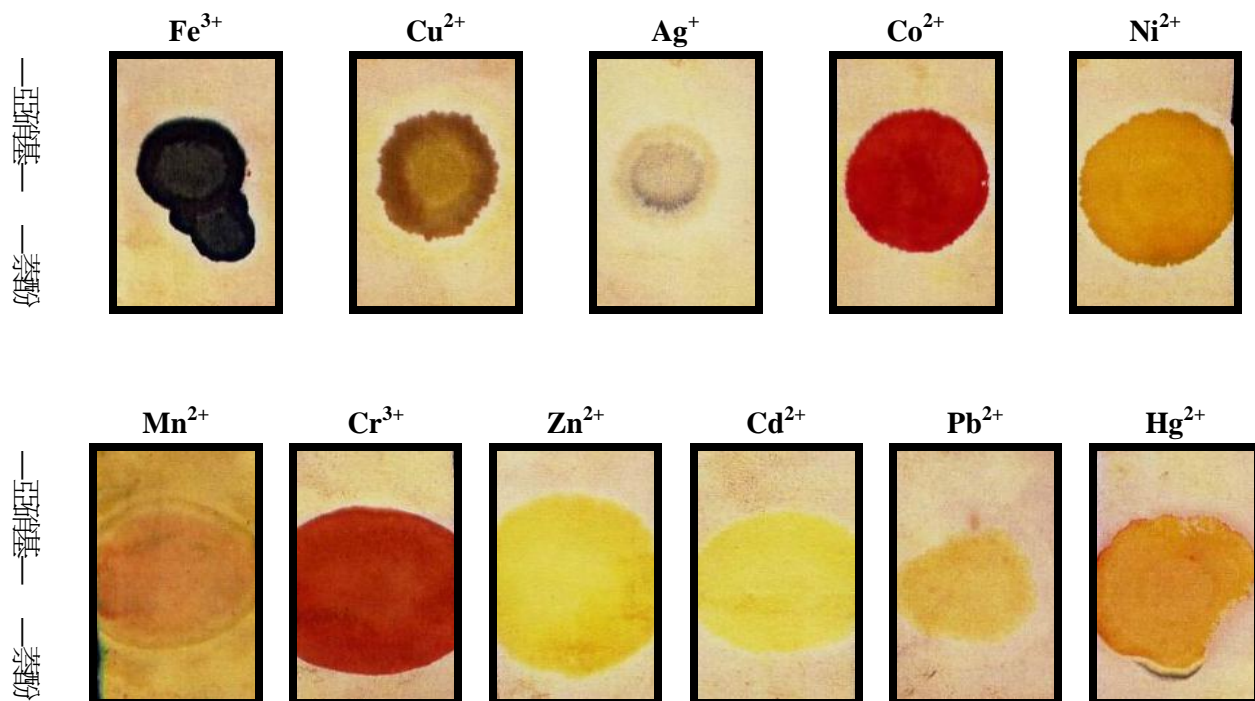




(七) **0.05M** 二苯卡巴脲試紙與十一種重金屬離子(1000 ppm)的反應結果



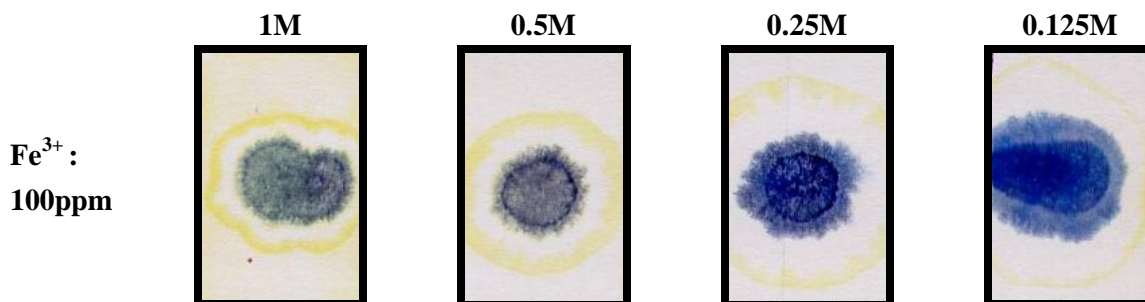
(八) **0.05M** —亞硝基— —萘酚試紙與十一種重金屬離子(1000 ppm)的反應結果



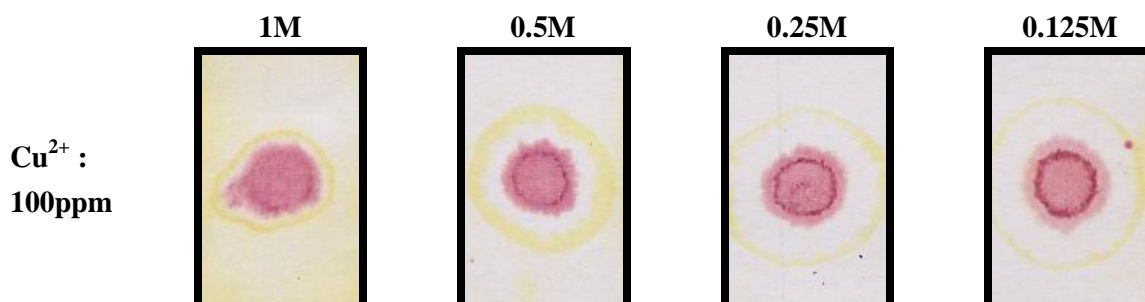
#### 四、固定重金屬離子濃度（100ppm），改變顯色劑濃度，顯色結果

##### （一）不同濃度的黃血鹽和 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 的顯色結果

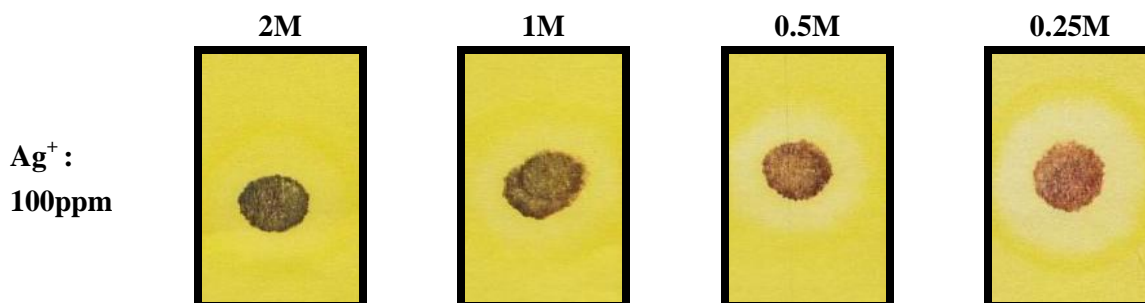
###### 1. 100ppm $\text{Fe}^{3+}$ 與不同濃度黃血鹽的顯色結果



###### 2. 100ppm $\text{Cu}^{2+}$ 與不同濃度黃血鹽的顯色結果

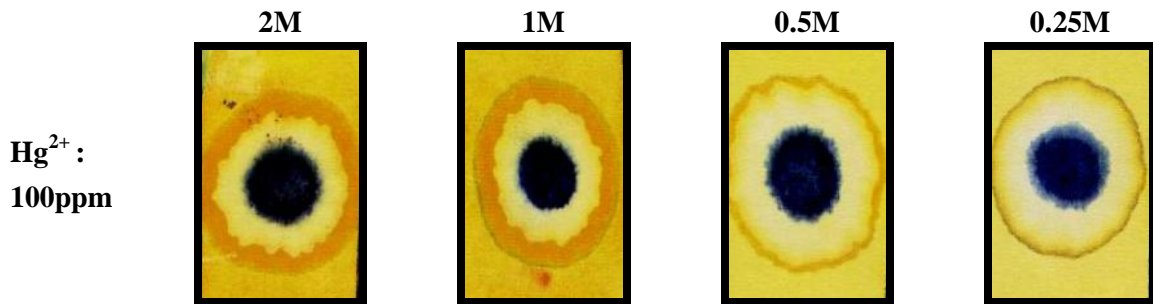


##### （二）不同濃度的鉻酸鉀和 100ppm $\text{Ag}^+$ 的顯色結果

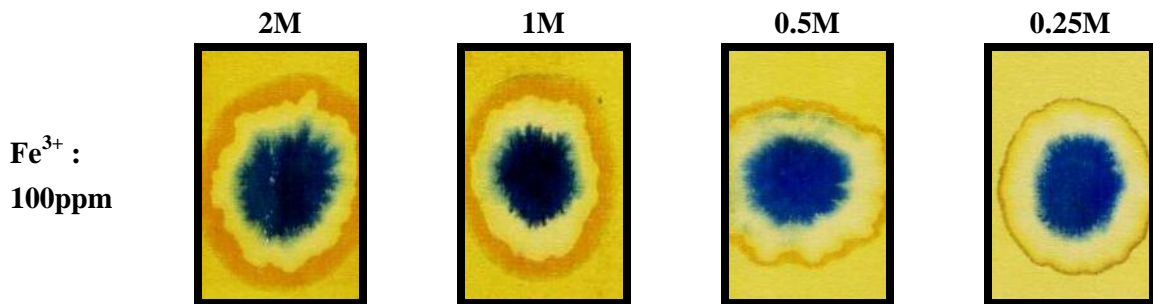


(三) 不同濃度的赤血鹽和  $\text{Hg}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  的顯色結果

1. 100ppm  $\text{Hg}^{2+}$  與不同濃度赤血鹽的顯色結果

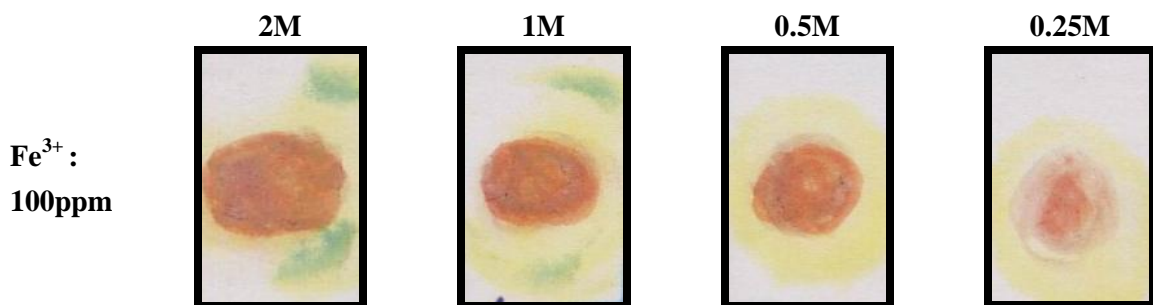


2. 100ppm  $\text{Fe}^{3+}$  與不同濃度赤血鹽的顯色結果

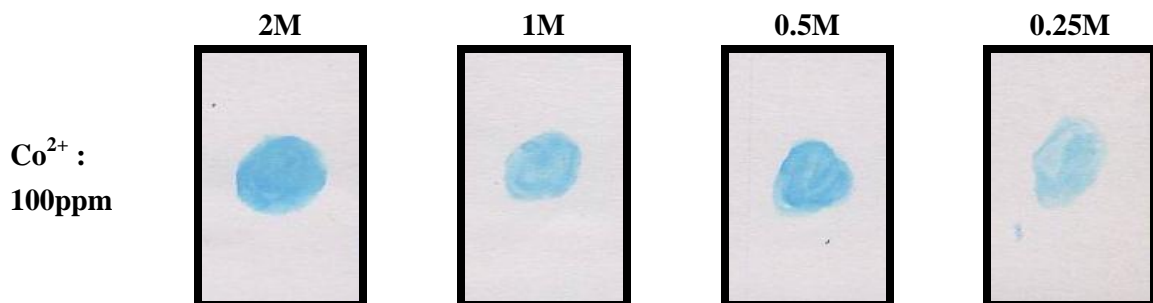


(四) 不同濃度的硫氰化鉀和  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Co}^{2+}$  的顯色結果

1. 100ppm  $\text{Fe}^{3+}$  與不同濃度硫氰化鉀的顯色結果

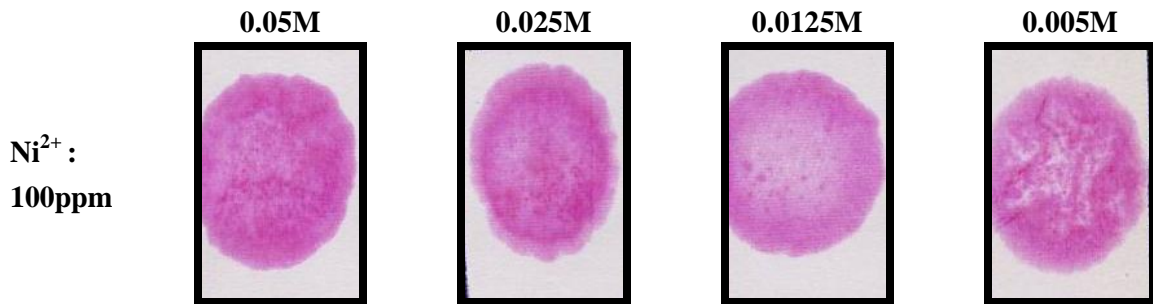


2. 100ppm  $\text{Co}^{2+}$  與不同濃度硫氰化鉀的顯色結果

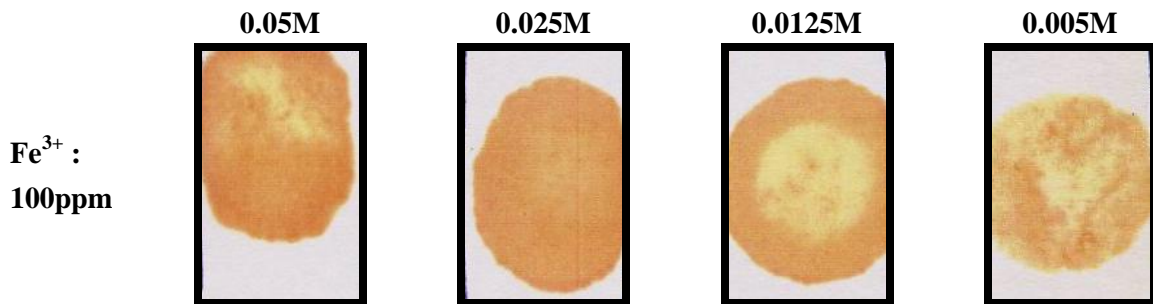


(五) 不同濃度的二甲基乙二醛二肟和  $\text{Ni}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  的顯色結果

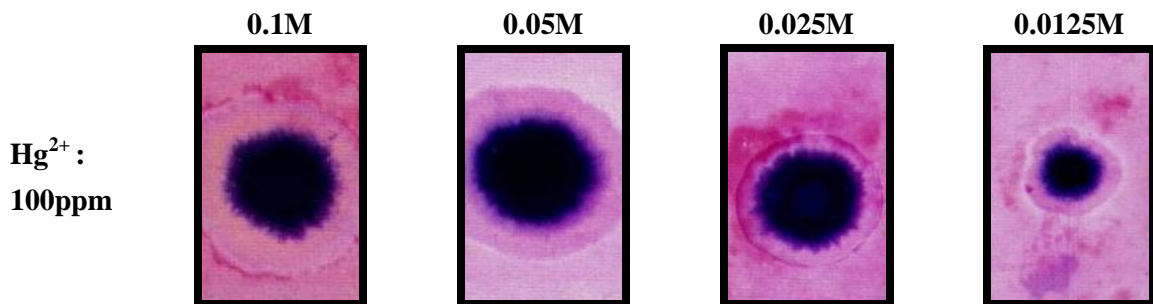
1. 100ppm  $\text{Ni}^{2+}$  與不同濃度二甲基乙二醛二肟的顯色結果



2. 100ppm  $\text{Fe}^{3+}$  與不同濃度二甲基乙二醛二肟的顯色結果



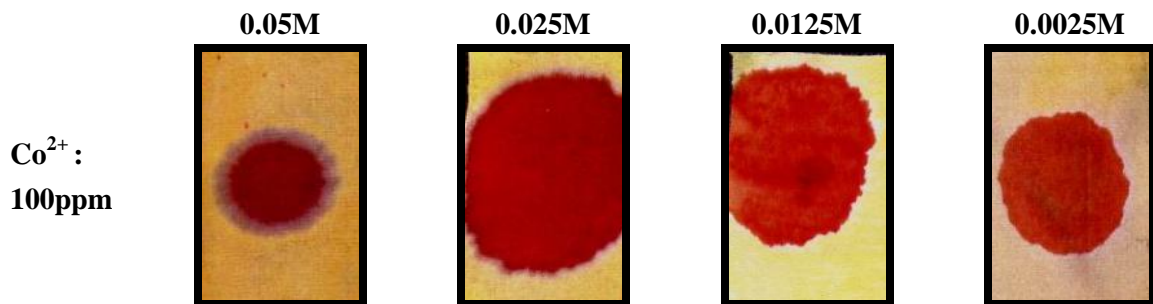
(六) 不同濃度的二苯卡巴脲和 100ppm  $\text{Hg}^{2+}$  的顯色結果



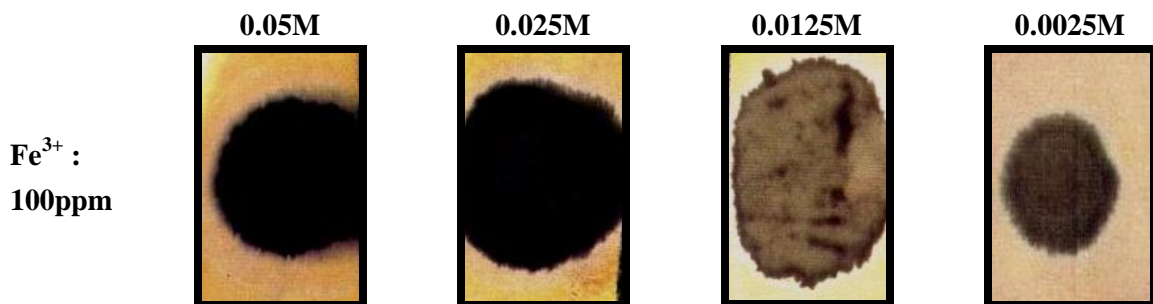


(七) 不同濃度的 —亞硝基— —萘酚和  $\text{Co}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  的顯色結果

1. 100ppm  $\text{Co}^{2+}$  與不同濃度 —亞硝基— —萘酚的顯色結果

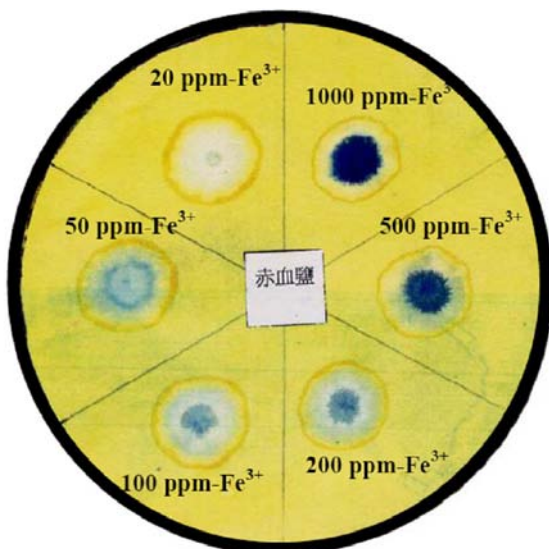


2. 100ppm  $\text{Fe}^{3+}$  與不同濃度 —亞硝基— —萘酚的顯色結果

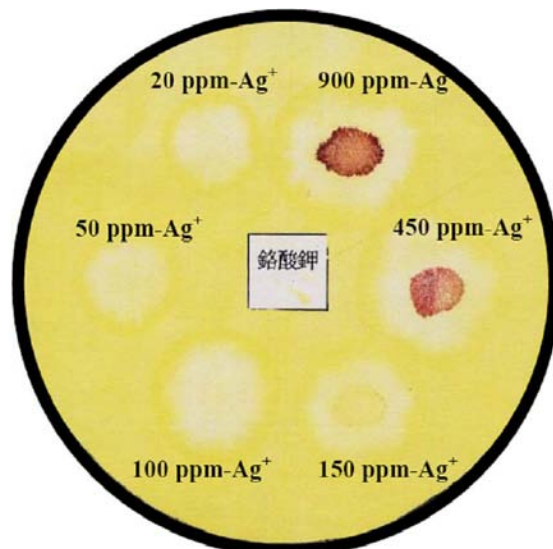


五、重金屬離子可鑑別顯色的最低濃度

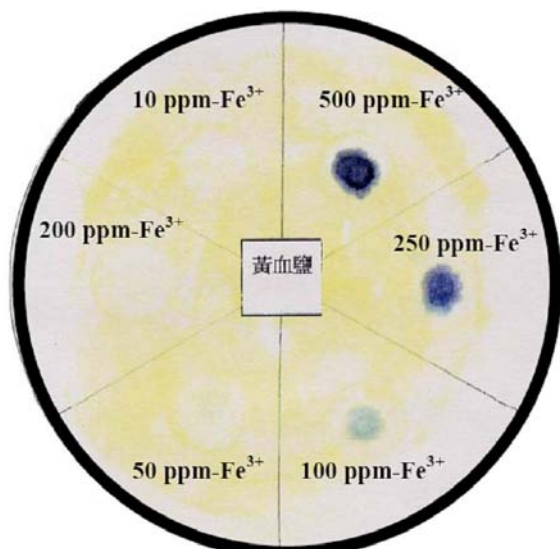
(一) 0.25M 赤血鹽試紙



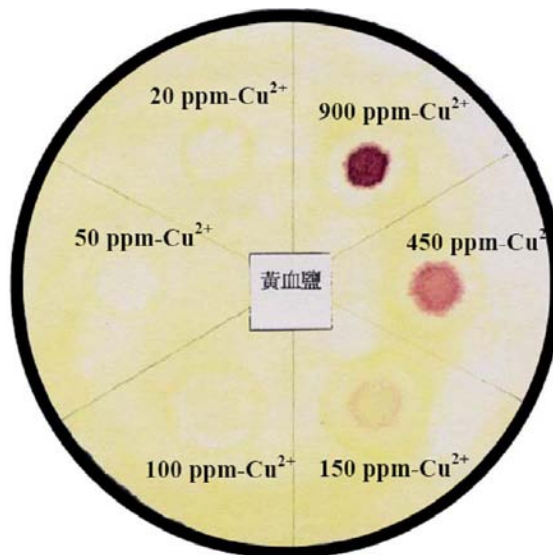
(二) 0.25M 鉻酸鉀試紙



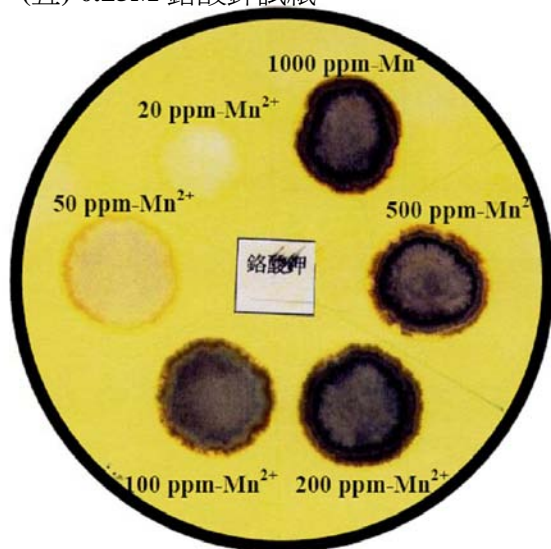
(三) 1M 黃血鹽試紙



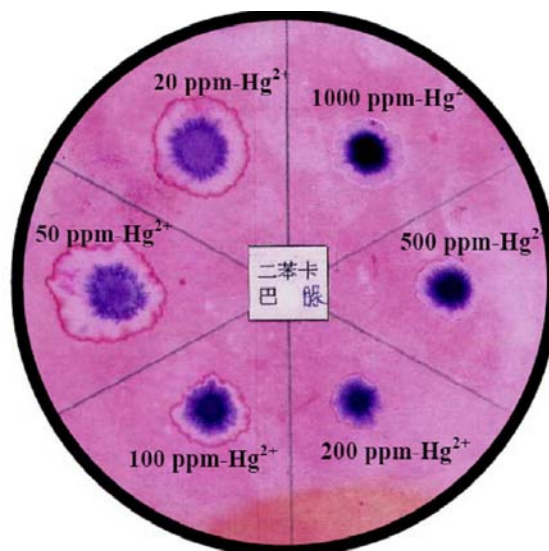
(四) 1M 黃血鹽試紙



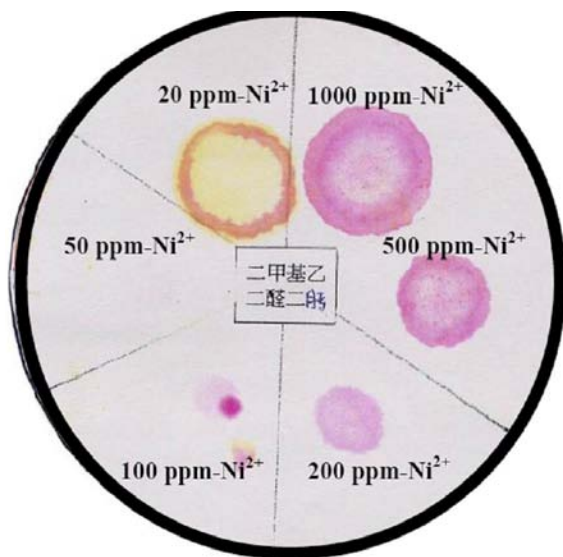
(五) 0.25M 鉻酸鉀試紙



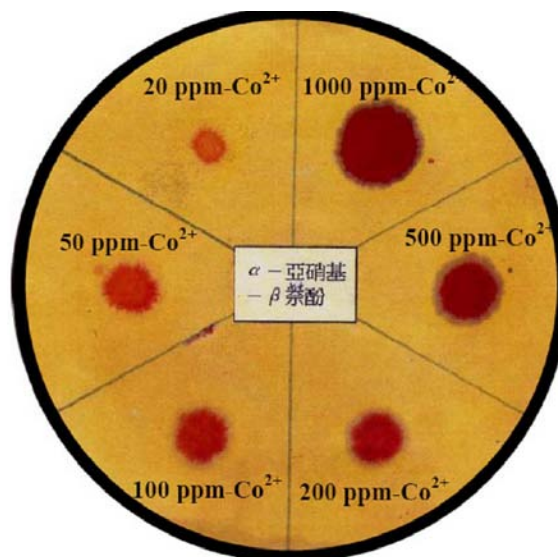
(六) 0.05M 二苯卡巴脲試紙



(七) 0.05M 二甲基乙二醛二肟試紙



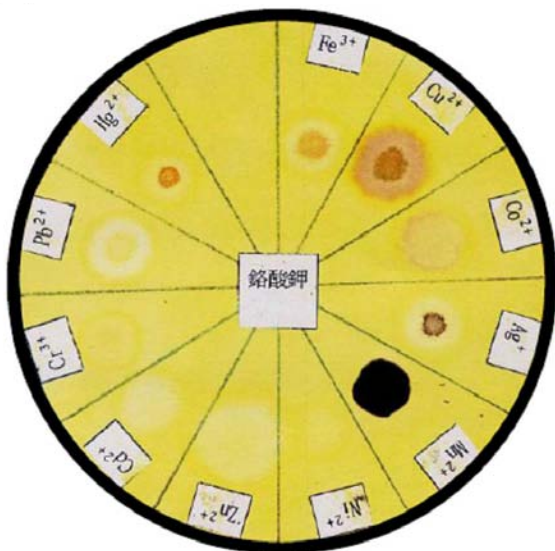
(八) 0.05M  $\alpha$ -亞硝基- $\beta$ -萘酚試紙



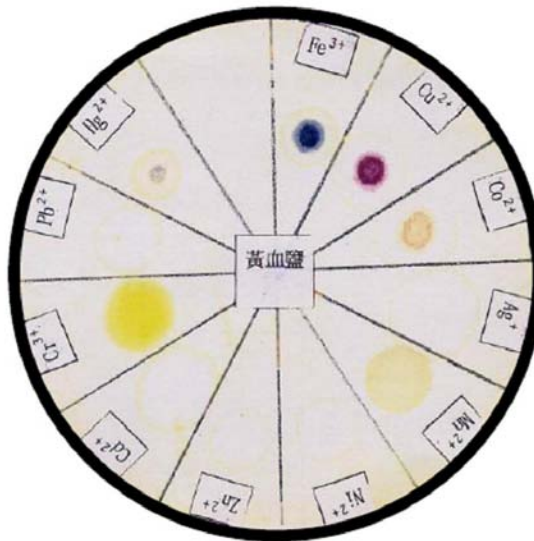


六、11 種重金屬離子與 8 種顯色劑試紙，顯色結果

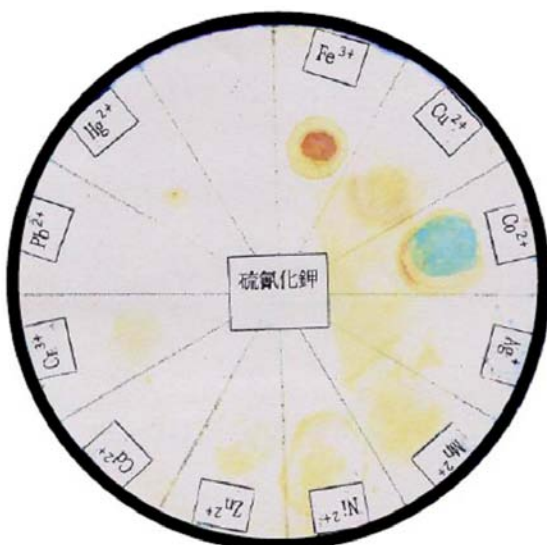
(一) 0.25M 赤血鹽試紙



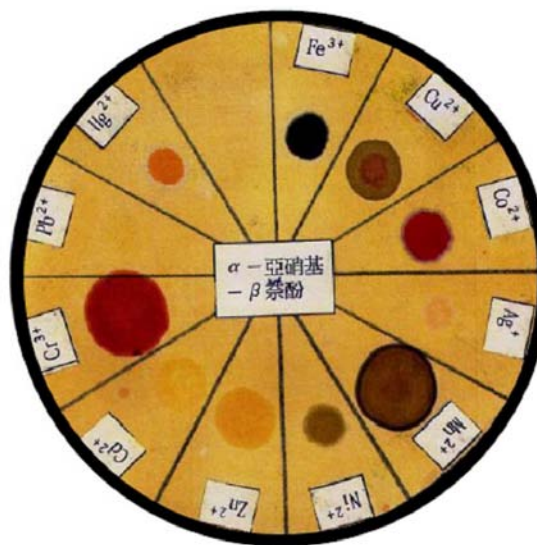
(二) 1M 黃血鹽試紙



(三) 2M 硫氰化鉀試紙



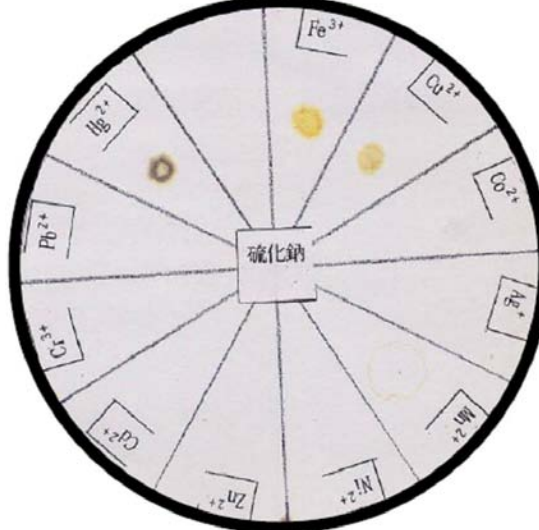
(四) 0.05M - 亞硝基 - 萘酚試紙



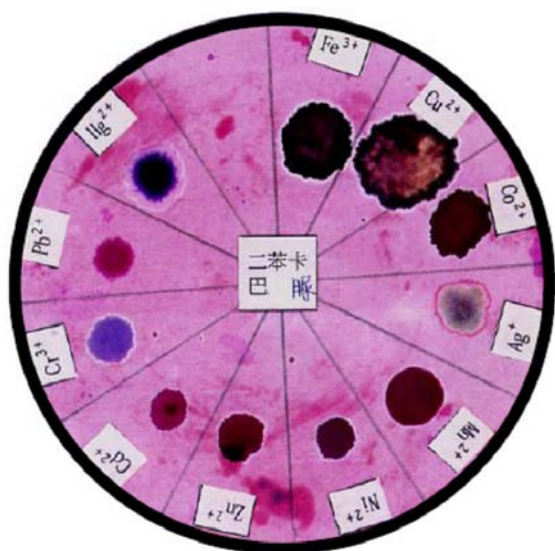
(五) 0.25M 赤血鹽試紙



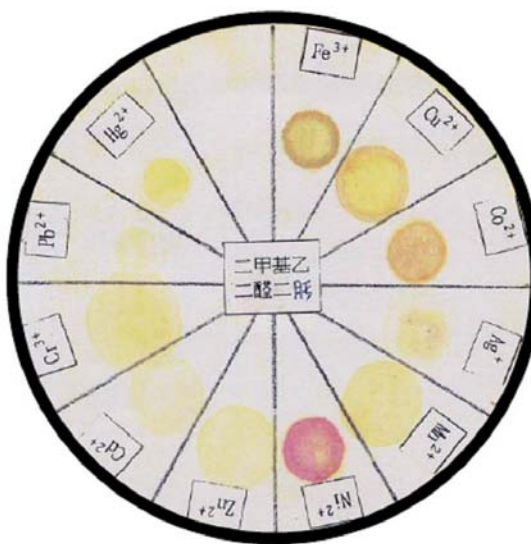
(六) 0.05M 二甲基乙二醛二肟試紙



(七) 0.05M 二苯卡巴脲試紙



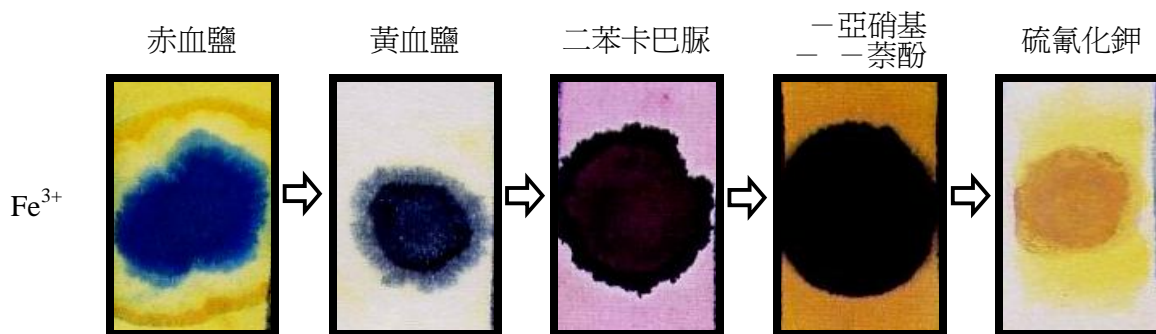
(八) 1.0M 硫化鈉試紙



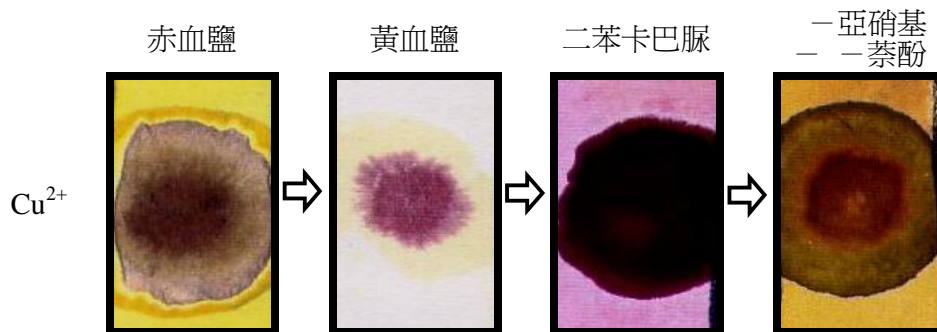
## 七、檢測流程

含單一重金屬離子溶液系統

### (一) $\text{Fe}^{3+}$ 的檢測流程

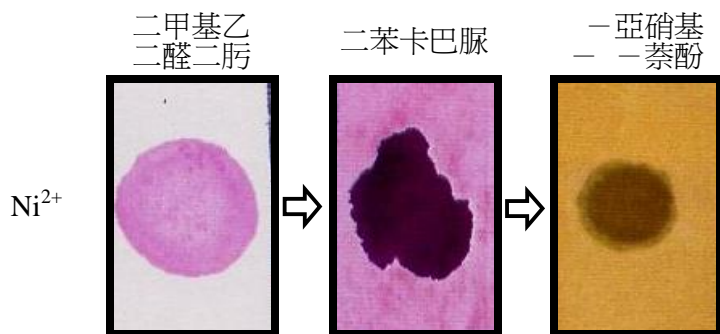


### (二) $\text{Cu}^{2+}$ 的檢測流程

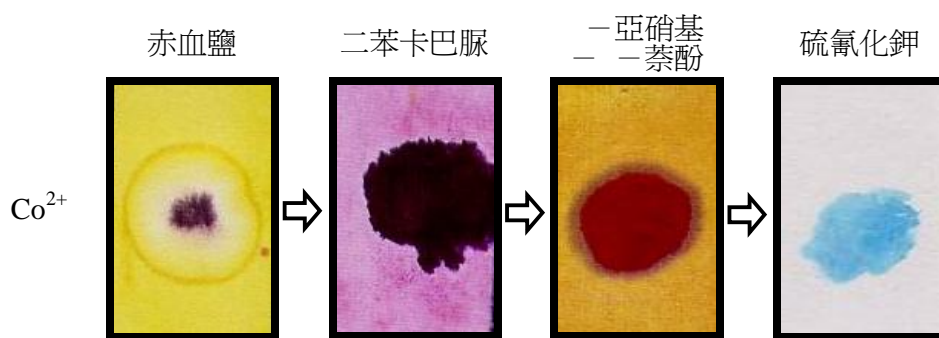




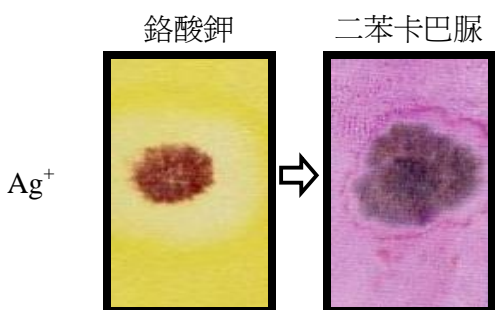
(三)  $\text{Ni}^{2+}$ 的檢測流程



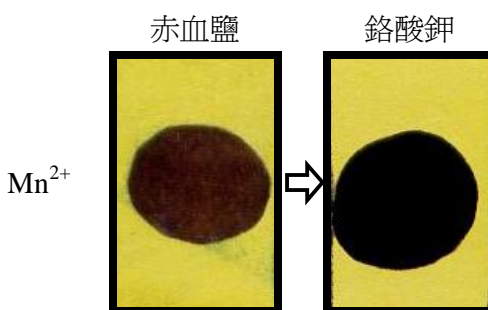
(四)  $\text{Co}^{2+}$ 的檢測流程



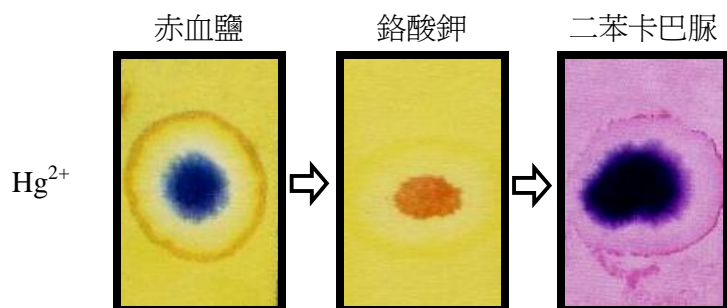
(五)  $\text{Ag}^{+}$ 的檢測流程



(六)  $\text{Mn}^{2+}$ 的檢測流程



(七)  $\text{Hg}^{2+}$ 的檢測流程



## 陸、討論

一、實驗 1 中，8 種顯色劑溶液與 11 種重金屬離子溶液的試管顯色反應結果顯示，黃血鹽與  $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Cu}^{2+}$ ， $\text{Co}^{2+}$ ， $\text{Cr}^{3+}$ ， $\text{Ni}^{2+}$ ， $\text{Hg}^{2+}$  會有顯色反應而與其他離子則呈白色反應。赤血鹽則與  $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Cu}^{2+}$ ， $\text{Co}^{2+}$ ， $\text{Mn}^{2+}$ ， $\text{Hg}^{2+}$  有較明顯變色反應，與  $\text{Pb}^{2+}$  產生白色反應，其他則較不易觀察出。鉻酸鉀溶液與  $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Cu}^{2+}$ ， $\text{Co}^{2+}$ ， $\text{Ag}^{+}$ ， $\text{Mn}^{2+}$  有變色反應，其他不易觀察出。硫氰化鉀與  $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Ag}^{+}$ ， $\text{Co}^{2+}$  輕微變色，但其他則無明顯變色。硫化鈉與  $\text{Cu}^{2+}$  呈黃色反應，與  $\text{Zn}^{2+}$  產生白色反應，與其他離子則多呈黑色或灰色反應。二甲基乙二醛二肟與  $\text{Ni}^{2+}$  產生鮮艷粉紅色反應，與  $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Cu}^{2+}$ ， $\text{Co}^{2+}$  等有輕微變色，但不易觀察，其他則不變色。二苯卡巴脲與  $\text{Hg}^{2+}$  產生鮮艷的藍紫色反應，與  $\text{Ag}^{+}$  生成灰色反應，與  $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Cu}^{2+}$  生成紅褐色反應，與其他離子則生成紫紅反應。—亞硝基—萘酚則與  $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Co}^{2+}$ ， $\text{Cr}^{3+}$ ， $\text{Mn}^{2+}$ ， $\text{Cu}^{2+}$  有褐色反應，與其他離子則不易觀察變色情形。

二、實驗 2 中，潤溼未烘乾的試紙，直接與重金屬離子反應，反應結果顯示，黃血鹽與  $\text{Fe}^{3+}$  產生深藍色反應，與  $\text{Cu}^{2+}$  產生紅棕色反應，與  $\text{Cr}^{3+}$  產生黃色反應，其他則效果不明顯，赤血鹽則與  $\text{Fe}^{3+}$  產生藍綠色反應，與  $\text{Mn}^{2+}$  產生褐色反應，與  $\text{Cu}^{2+}$ ， $\text{Co}^{2+}$  產生較淡褐色反應，其他則效果不明顯，鉻酸鉀與  $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Cu}^{2+}$ ， $\text{Co}^{2+}$  有紅褐色反應，與  $\text{Ag}^{+}$  有明顯磚紅色呈色反應，但反應完之後乾燥變為咖啡色。硫化鈉與  $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Cu}^{2+}$ ， $\text{Ag}^{+}$ ， $\text{Co}^{2+}$ ， $\text{Mn}^{2+}$ ， $\text{Hg}^{2+}$ ， $\text{Pb}^{2+}$  有灰色呈色反應，與  $\text{Cu}^{2+}$  有黃色反應。硫氰化鉀與  $\text{Ag}^{+}$  有灰色反應，與  $\text{Co}^{2+}$  反應乾燥才會出現藍色反應，與  $\text{Pb}^{2+}$ ， $\text{Hg}^{2+}$  有灰褐色反應，與  $\text{Ni}^{2+}$  有鮮粉紅反應，較為特殊，定性鑑別  $\text{Ni}^{2+}$  相當簡易。二苯卡巴脲與  $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Cu}^{2+}$  產生紅褐色反應，與  $\text{Ag}^{+}$  產生灰色反應，與  $\text{Cr}^{3+}$  淡藍色反應，與  $\text{Hg}^{2+}$  明顯鮮藍紫色反應，較為特殊。—亞硝基—萘酚與各離子呈色不明顯，多呈模糊。

三、實驗 3 中，染有顯色劑的試紙烘乾之後再滴入各種離子，反應結果與實驗 2 中結果相似，但呈色較清晰，判斷更為清楚，試紙乾燥之後再反應，顯色劑有效濃度提高，且顯色較不會有擴散現象，而有較佳效果，其中如鉻酸鉀與  $\text{Mn}^{2+}$ ， $\text{Hg}^{2+}$  效果更好，二苯卡巴脲與  $\text{Hg}^{2+}$  呈色更明顯。二甲基乙二醛二肟與  $\text{Ni}^{2+}$  紅色更明顯。黃血鹽與  $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Mn}^{2+}$ ， $\text{Hg}^{2+}$  都改善。—亞硝基—萘酚與  $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Cu}^{2+}$ ， $\text{Co}^{2+}$ ， $\text{Mn}^{2+}$ ， $\text{Cr}^{3+}$  都有呈色反應，不再模糊不

可判斷。

四、由實驗 4 之實驗圖決定各顯色劑之最佳顯色條件如下：黃血鹽 1M，鉻酸鉀 0.25M，赤血鹽 0.25M，二甲基乙二醛二肟 0.05M，硫氰化鉀 2M，二苯卡巴脲 0.05M，—亞硝基—萘酚 0.05M。

五、由實驗 3 之實驗圖，選擇呈色較清晰之組合，降低金屬離子濃度，至顯色不可辨別為止，由顯色圖得知，赤血鹽試紙可鑑別 100ppm 的  $\text{Fe}^{3+}$ ，黃血鹽試紙可鑑別 150ppm 的  $\text{Fe}^{3+}$ ，鉻酸鉀試紙可鑑別 150ppm 的  $\text{Ag}^+$ ，黃鹽試紙可鑑別 150ppm 的  $\text{Cu}^{2+}$ ，鉻酸鉀試紙可鑑別 200ppm  $\text{Mn}^{2+}$ ，二甲基乙二醛二肟可鑑別 50ppm 的  $\text{Ni}^{2+}$ ，二苯卡巴脲試紙可鑑別 200ppm 的  $\text{Hg}^{2+}$ ，—亞硝基—萘酚可鑑別 20ppm 的  $\text{Co}^{2+}$ 。但對其他離子則因呈色不清晰而有較難辨別之困難，其中  $\text{Zn}^{2+}$  與各種試紙均無明顯呈色，因此無法以試紙分析， $\text{Pb}^{2+}$  與各種試紙亦無明顯呈色而無法判斷， $\text{Cd}^{2+}$  滴入硫化鈉試紙中，若不烘乾則無顏色變化，但如果馬上烘乾則有黃色結果，是因產生黃色硫化鎘所致，但黃色反應不是很靈敏，判斷不易，亦難鑑別， $\text{Cr}^{3+}$  與黃血鹽試紙反應亦需馬上烘乾才得以有黃色反應，其他有相似情形者，如  $\text{Co}^{2+}$  與硫氰化鉀試紙反應亦需馬上烘乾才会有水藍色反應結果。而  $\text{Pb}^{2+}$  與鉻酸鉀試紙會產生黃色鉻酸鉛，但試紙底色為黃色，故無法判別，其他顯色劑與  $\text{Pb}^{2+}$  並無明顯呈色，故  $\text{Pb}^{2+}$  的檢驗有困難，曾嘗試在鉻酸鉀黃色試紙先染上紅色色素，但結果仍不可判別，對  $\text{Pb}^{2+}$  無法檢測。

六、8 種顏色劑試紙的顯色結果均已建立，其中硫化鈉試紙與  $\text{Co}^{2+}$  會有水藍色反應結果，但硫化鈉試紙若不是新製的試紙則再現性很差。因此硫化鈉試紙在實用上有困難，需新製之試紙才有效。

七、如果溶液系統只含單一離子或未見干擾離子存在，則可以檢測出  $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Cu}^{2+}$ ， $\text{Ni}^{2+}$ ， $\text{Co}^{2+}$ ， $\text{Ag}^+$ ， $\text{Mn}^{2+}$ ， $\text{Hg}^{2+}$  等七種重金屬離子，其檢驗流程分別為：

$\text{Fe}^{3+}$ ：赤血鹽試紙 黃血鹽試紙 二苯卡巴脲試紙 —亞硝基—萘酚試紙 硫氰化鉀試紙。

$\text{Cu}^{2+}$ ：赤血鹽試紙 黃血鹽試紙 二苯卡巴脲試紙 —亞硝基—萘酚試紙。

$\text{Ni}^{2+}$ ：二甲基乙二醛二肟試紙 二苯卡巴脲試紙 —亞硝基—萘酚試紙。

$\text{Co}^{2+}$ ：赤血鹽試紙 二苯卡巴脲試紙 —亞硝基— —萘酚試紙 硫氰化鉀試紙。

$\text{Ag}^+$ ：鉻酸鉀試紙 二苯卡巴脲試紙。

$\text{Mn}^{2+}$ ：赤血鹽試紙 鉻酸鉀試紙。

$\text{Hg}^{2+}$ ：赤血鹽試紙 鉻酸鉀試紙 二苯卡巴脲試紙。

八、如果水溶液為極複雜離子系統，如 11 種重金屬離子均存在情況下，則產生嚴重干擾，但其中二甲基乙二醛二肟試紙對  $\text{Ni}^{2+}$  顯色具專一性，在判斷  $\text{Ni}^{2+}$  離子並無困難，即使如此複雜之離子系統仍可判別。而硫氰化鉀試紙對  $\text{Fe}^{3+}$  亦具專一性，故為檢測複雜混合液中  $\text{Fe}^{3+}$  的優良試紙。二苯卡巴脲試紙則對  $\text{Hg}^{2+}$  較具特殊顏色，在判別複雜系統中  $\text{Hg}^{2+}$  亦可鑑別。混合液之檢測流程可為：

$\text{Fe}^{3+}$ ：赤血鹽試紙 硫氰化鉀試紙 黃血鹽試紙 —亞硝基— —萘酚試紙。

$\text{Ni}^{2+}$ ：二甲基乙二醛二肟試紙。

$\text{Hg}^{2+}$ ：鉻酸鉀試紙 赤血鹽試紙 二苯卡巴脲試紙。

$\text{Cr}^{3+}$ ：黃血鹽試紙。

九、綜合以上實驗結論，設計成可攜帶式試紙計有  $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Cu}^{2+}$ ， $\text{Ni}^{2+}$ ， $\text{Ag}^+$ ， $\text{Mn}^{2+}$ ， $\text{Hg}^{2+}$ ， $\text{Co}^{2+}$ ，

$\text{Cr}^{3+}$  等檢測試紙，其組合如下：

$\text{Fe}^{3+}$  試紙：由赤血鹽、硫氰化鉀、黃血鹽、—亞硝基— —萘酚等試紙組合而成。

$\text{Cu}^{2+}$  試紙：由赤血鹽、黃血鹽、二苯卡巴脲、—亞硝基— —萘酚等試紙組合而成。

$\text{Ni}^{2+}$  試紙：二甲基乙二醛二肟試紙構成。

$\text{Ag}^+$  試紙：由鉻酸鉀、二苯卡巴脲試紙組合而成。

$\text{Mn}^{2+}$  試紙：由赤血鹽試紙、鉻酸鉀試紙組合而成。

$\text{Hg}^{2+}$  試紙：由鉻酸鉀、赤血鹽、二苯卡巴脲試紙組合而成。

$\text{Co}^{2+}$  試紙：由硫氰化鉀試紙構成。

$\text{Cr}^{3+}$  試紙：由黃血鹽試紙構成。

## 柒、結論

- 一、單一離子系統或較單純的水溶液系統，在定性 100ppm  $\text{Fe}^{3+}$ ，100ppm  $\text{Cu}^{2+}$ ，100ppm  $\text{Ni}^{2+}$ ，20ppm  $\text{Co}^{2+}$ ，100 ppm  $\text{Ag}^{+}$ ，100 ppm  $\text{Mn}^{2+}$ ，20ppm  $\text{Hg}^{2+}$  七種離子具高正確性。
- 二、非常複雜之水溶液（如含 11 種重金屬離子）系統，可定性出  $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Ni}^{2+}$ ， $\text{Hg}^{2+}$ ，亦具高正確性。亦可判斷出  $\text{Cr}^{3+}$ ，但需仔細觀察。
- 三、製作成  $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Cu}^{2+}$ ， $\text{Ni}^{2+}$ ， $\text{Ag}^{+}$ ， $\text{Mn}^{2+}$ ， $\text{Hg}^{2+}$ ， $\text{Co}^{2+}$ ， $\text{Cr}^{3+}$  攜帶式檢測試紙，具實用性，在檢驗時具簡單、快速、可攜帶、可在實驗室外操作之特性，可應用於定性分析。
- 四、檢測試紙可適用在具高污染情況之廢水預分析，在定性上判定之用，或實驗室中需要檢驗某些重金屬離子時之用。
- 五、實驗所依原理為重金屬離子與顯色劑產生有色沉澱反應，或形成有色錯離子來判別。實驗原理與在實驗中進行情況相同，嘗試開發為檢測試紙之後，適用於某些重金屬離子的定性分析。

## 捌、展望

- 一、本研究對於單一離子系統， $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Cu}^{2+}$ ， $\text{Ni}^{2+}$ ， $\text{Co}^{2+}$ ， $\text{Ag}^{+}$ ， $\text{Mn}^{2+}$ ， $\text{Hg}^{2+}$  等的鑑別具實用性。至於含兩種或兩種以上的重金屬離子溶液，尚待更進一步的研究，可針對不同重金屬組合的水溶液進行實驗流程探討歸納，提供具體的分析流程。
- 二、對於多種重金屬離子的混合溶液，以檢測試紙直接鑑別，若無法克服不同離子間的顯色干擾，可嘗試先以管柱分離法，將重金屬離子分離，再進行檢測。
- 三、檢測試紙開發完成之後，可進一步採集工廠廢水，進行真實樣品分析，除確立檢測試紙的實用性，並調查家鄉河川污染現況，為家鄉環境保護貢獻一份心力。

## 玖、參考資料

- 一、彭耀寰、孟憲宏、洪家隆（民 84）。化學實驗。台北市：大中國圖書公司。
- 二、賀孝雍、陶雨台（民 71）。分析化學基本原理。台北市：曉園出版社。
- 三、陳昭雄（民 83）分析化學。台北市：文京出版社。
- 四、國立臺灣師範大學化學系（民 79）。普通化學實驗。台北市：東華書局。
- 五、張哲政（民 96）。化學上。台北縣：龍騰出版社。
- 六、黃長司（民 95）。基礎化學。台北縣：康熹文化出版社。
- 七、陳秋炳（民 96）。基礎化學。台南市：翰林出版社。

**【評語】** 031628

1. 應用離子結合產生色澤的概念，設計出檢驗用試紙，想法創新，議題與環保、鄉土概念相結合。
2. 若能加強試紙的保存性測試實驗，將來在工業上的檢測應用應可相當廣泛。