

簡易點滴法辨識普通化合物之 溶解度大小與顏色

理學院 化學系

周治羣 李培華

摘 要

利用點滴法 (Spot test)，將實驗室中常見之 13 種試劑滴在白紙上，藉其彼此間之反應形成有顏色的沉澱，而來辨別化合物之顏色及化合物在水中溶解度的大小。本實驗之設計，除了針對目前高中化學課本第十章有關溶解度定性討論之部份無良好適當之實驗外，另一特色則為本實驗所使用之器材簡單 (白紙與滴瓶)，操作容易 (不須在特定實驗室中進行)，節省時間 (約 10 分鐘可完成)，節省藥品 (只需數滴)，同時教師亦可在課堂上示範操作或將結果利用投影機投射在牆壁或銀幕上，以利教學。

說 明

隨著科學的長足進步，儀器分析的發展更是日新月異，但是由於精密儀器之價格昂貴，保養不易，使其在教學上很難普及，所以傳統的定性分析法，在現階段中學化學的課程中，甚至大學化學之教學上，仍不失其重要性。在中學化學課程裏，對於普通化合物之顏色及其在水中溶解度大小的辨認是必要的，考試常以此為命題對象。在高中化學課本第十章¹，特別列出「普通化合物在水中之溶解度表」來 (表 1)，但是一般學生在學習此一段時，除了死背之外，別無他法，而實驗課本中有關之實驗的過程零亂無章，很難獲得明確而概括之印象，這可能是導致學生學習興趣低落的重要因素。綜觀目前各種實驗課本中有關溶解度方面的實驗計有「溶液中離子間之反應」；「定性分析之設計」；「第二行金屬化合物之溶解度」；「 Ag^+ ， Pb^{2+} ， Hg_2^{2+} 等之分析」及「未知溶液中陰離子之分析」² 共五個，實驗內容均摘自大一普化實驗³ 或大二定性分析實驗課本⁴，不但內容零亂，且操作時間過長 (10 小時)，使用藥品太多。針對以上缺點，本實驗之設計乃利用最少的器材 (滴瓶及白紙)，及最少的藥品，在極短的時間內，以一統整之實驗，同時達到確知化合物溶解度之大小及辨認其顏色之目的，而且本實驗之操作不須在設備良好之化學實驗室中進行，學生可攜帶實驗器材與試劑到教室中，在自己課桌上，即可各自動手操作。同時教師也可利用投影機，一面示範操作，一面將結果投射

在牆壁或銀幕上，以使理論與實驗相配合。

| 陰離子 | 陽離子 | 生成化合物之溶解度 |
|-------------------------------------|---|-----------|
| 全 部 | 鹼金屬離子 $\text{Li}^+, \text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Rb}^+, \text{Cs}^+, \text{Fr}^+$ | 可 溶 |
| 全 部 | 氫離子, $\text{H}^+_{(aq)}$ | 可 溶 |
| 全 部 | 銨離子 (NH_4^+) | 可 溶 |
| 硝酸根離子 (NO_3^-) | 全 部 | 可 溶 |
| 醋酸根離子 (CH_3COO^-) | 全 部 | 可 溶 |
| 氯離子 (Cl^-) | $\text{Ag}^+, \text{Pb}^{2+}, \text{Hg}_2^{2+}, \text{Cu}^+$ | 溶解度小 |
| 溴離子 (Br^-) | | |
| 碘離子 (I^-) | | |
| 硫酸根離子 (SO_4^{2-}) | $\text{Ba}^{2+}, \text{Sr}^{2+}, \text{Pb}^{2+}$ | 溶解度小 |
| | 全部他種陽離子 | 可 溶 |
| 硫離子 (S^{2-}) | 鹼金屬離子, $\text{H}^+_{(aq)}, \text{NH}_4^+$, $\text{Be}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Ca}^{2+}, \text{Sr}^{2+}, \text{Ba}^{2+}$, | 可 溶 |
| | 全部他種陽離子 | 溶解度小 |
| 氫氧根離子 (OH^-) | 鹼金屬離子, $\text{H}^+_{(aq)}, \text{NH}_4^+$, $\text{Sr}^{2+}, \text{Ba}^{2+}$ | 可 溶 |
| | 全部他種陽離子 | 溶解度小 |
| 磷酸根離子 (PO_4^{3-}) | 鹼金屬離子, $\text{H}^+_{(aq)}, \text{NH}_4^+$ | 可 溶 |
| 碳酸根離子 (CO_3^{2-}) | | |
| 亞硫酸根離子 (SO_3^{2-}) | | |
| | 全部他種陽離子 | 溶解度小 |

表 1 化合物在水中之溶解度

實 驗

- 名稱：點滴法辨識普通化合物之溶解度大小與顏色。
- 目的：藉有色沉澱之形成來確認化合物之溶解度大小及顏色。
- 器材：8 開白紙一張，15ml 之滴瓶 13 個。
- 試劑： H_3PO_4 ， $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ， NaBr ， KI ， $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ， AgNO_3 ， $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$ ， ZnSO_4 ， MgCl_2 ， $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ， SbCl_3 ， K_2CrO_4 ， Na_2CO_3 ，除了 $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 是購買來溶液之 10% 之稀釋水溶液外，其餘各試劑均為 0.1M 之水溶液（教師先行配製）。
- 步驟：

(1)將試劑分別編號碼(1至13號)如下：

| | | | | | | |
|----|---------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|-------------|-----------------|
| 編號 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 試劑 | $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ | H_3PO_4 | Na_2CO_3 | NaBr | KI | MgCl_2 |

| | | | | | | |
|--------------------------|-----------------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| $\text{Ba}(\text{OH})_2$ | AgNO_3 | $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$ | $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ | ZnSO_4 | SbCl_3 | K_2CrO_4 |

(2)將8開白紙縱橫各畫14行，共196格，編號如下：

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----|---|-----|---|---|-----|-----|---|-----|----|----|-------|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | 1-1 | | 1-3 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 3-1 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | 6-7 | | | | | | |
| 7 | | | | | | 7-6 | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | 9-9 | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | 13-13 | |

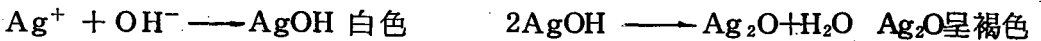
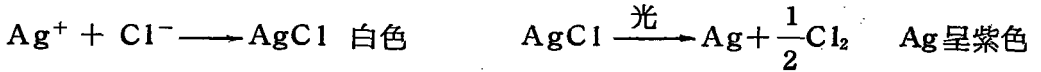
(3)將試劑1， $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ，由縱行編號1，沿橫行編號1至13的方格，由左而右各滴一滴，將試劑2， H_3PO_4 ，由縱行編號2，沿橫行編號1至13的方格，由左而右各滴一滴，依次類推，將編號3至13之各種試劑，沿橫行由左而右各滴一滴在方格內。再將試劑1， $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ，由橫行編號1，沿縱行編號1至13的方格，由上而下各滴一滴，將試劑2， H_3PO_4 ，由橫行編號2沿縱行編號1至13的方格，由上而下各滴一滴，依次類推，將編號3至13之各種試劑，沿縱行由上而下各滴一滴在方格內。如此每一方格內都有兩滴試劑，然後觀察其變化，在滴下試劑時，注意滴管之尖端不要與紙上已有之試劑接觸。

(4)操作完畢後，將形成沉澱之顏色及其化學式填在另一張相同方格紙之相當的格內。

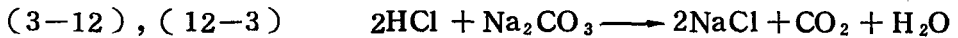
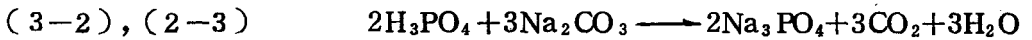
6. 結果：

(1)沈澱之顏色與化學式如表 2。

(2) (8 - 6) 及 (6 - 8) 之白色 AgCl 沉澱轉變為紫色，(7 - 8) 及 (8 - 7) 之 AgOH 沉澱轉變為褐色：



(3) (3 - 2) ， (2 - 3) 及 (3 - 12) ， (12 - 3) 二試劑一接觸立即產生氣泡冒出：



因為在配 SbCl_3 溶液時，必須加入 HCl 才能使 SbCl_3 溶解。

討 論

1 表 1 的目的是在表示

(1) H^+ ， NH_4^+ 及鹼金屬陽離子與所有陰離子所形成之化合物均可溶於水。

(2) NO_3^- 及 CH_3COO^- 與所有陽離子所形成之化合物均可溶於水。

(3) Cl^- ， Br^- 及 I^- 只與少數陽離子如 Ag^+ ， Pb^{2+} ， Cu^+ ， Hg_2^{2+} 形成沉澱外，與其他陽離子所形成之化合物均可溶於水。

(4) SO_4^{2-} 只與少數陽離子如 Sr^{2+} ， Ba^{2+} ， Pb^{2+} 形成沉澱而與其他陽離子所形成之化合物均可溶於水。

(5) S^{2-} 只與少數陽離子如 H^+ ， NH_4^+ ，鹼金屬陽離子及鹼土金屬陽離子形成可溶性的化合物外與其他陽離子均形成沉澱。

(6) OH^- 只與少數陽離子如 H^+ ， NH_4^+ ，鹼金屬陽離子， Sr^{2+} 及 Ba^{2+} 形成可溶性的化合物外，與其他陽離子均形成沉澱。

(7) PO_4^{3-} ， CO_3^{2-} ， SO_3^{2-} 只與少數陽離子如 H^+ ， NH_4^+ 及鹼金屬陽離子形成可溶性的化合物。

2 本實驗試劑之取樣原則為涵蓋表 1 中之各種離子，並以實驗室中常見之試劑為選取對象。

(1) H_3PO_4 ， $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ， NaBr ， KI ， $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ， $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$ 之取樣代表了表 1 上之全部可溶解之 H^+ ， NH_4^+ ，鹼金屬陽離子及 NO_3^- ， CH_3COO^- 。鹼金屬陽離子中除 Na^+ ，及 K^+ 常見之外，其餘 Li^+ ， Rb^+ ， Cs^+ 之化合物在實驗室中均不易找到。

(2) MgCl_2 ， KBr ， KI ， $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ， $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 之取樣，分別代表了表 1 之 Cl^- ， Br^- ， I^- ， SO_4^{2-} ， S^{2-} ， OH^- 這些陰離子。

(3) $\overline{\text{H}_3\text{PO}_4}$, Na_2CO_3 之取樣代表了表 1 中之 PO_4^{3-} , CO_3^{2-} , SO_3^{2-} , 而 SO_3^{2-} 在普通實驗室中較少見。

(4) AgNO_3 , $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$ 之取樣代表了表 1 中可與 Cl^- , Br^- , I^- 生成沉澱之 Ag^+ , Pb^{2+} , Hg_2^{2+} , Cu^+ , 而 Cu^+ 在水中不安定, 所以在實驗中無 Cu^+ 之化合物。

(5) MgCl_2 , $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 之取樣代表了表 1 中可與 S^{2-} 生成沉澱之鹼土族; 且 Ba^{2+} , Mg^{2+} 之取樣亦同時可使同學分辨出 SO_4^{2-} 可與 Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} 生成沉澱, 而不與 Be^{2+} , Mg^{2+} 生成沉澱; 而且 OH^- 不與 Sr^{2+} , Ba^{2+} 生成沉澱, 却可與 Be^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} 生成沉澱。

(6) 而表 1 上常有所謂「其他陽離子」出現, 其他陽離子種類太多, 無法一一表示, 所以除了以 Na^+ , K^+ 代表鹼金屬, Ba^{2+} , Mg^{2+} 代表鹼土金屬外, 並另取 ZnSO_4 , SbCl_3 , 以 Zn^{2+} , Sb^{3+} 分別代表過渡金屬與網狀元素之陽離子。

(7) 選取 K_2CrO_4 是因爲 CrO_4^{2-} 常與金屬陽離子生成有顏色之沉澱, 而這些化合物常見於課本中。

3. 一種陰離子與一般常見之陽離子所形成之化合物, 其溶解度的大小, 可由表 3 得知, 如 S^{2-} 之化合物由縱行編號 1 之 $[(\text{NH}_4)_2\text{S}]$ 由左向右沿橫行編號 1 至 13 可看出各種硫化物之溶解度。而陽離子亦然, 是從上向下看, 如 Ag^+ 之化合物, 由橫行編號 8 之 (AgNO_3) 由上向下沿縱行編號 1 至 13 可看出各種銀化合物之溶解度來。

參考資料

- 1 各種高級中學化學課本(下冊)。
- 2 各種高級中學化學實驗課本(下冊)。
- 3 董有蘭、蘇展政, 普通化學實驗, 141-144, 157~162 (民國六十六年)。
- 4 Alfred B. Garrett, Semimicro Qualitative Analysis, 27-128 (1966)。

表一 沉淀之顏色及化學式

| | | 陽 離 子 | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--|--|--|--|---------------------------------------|--|---|---------------------------------------|--|--|--|-------------------------------------|---|---------------------------------------|
| | | NH ₄ ⁺ , H ⁺ | | 鹼金屬陽離子 Li ⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , Rb ⁺ , Cs ⁺ , Fr ⁺ | | | 鹼土金屬陽離子 Be ²⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Sr ²⁺ , Ba ²⁺ | | Ag ⁺ , Pb ²⁺ , Hg ₂ ²⁺ , Cu ⁺ | | | 其他陽離子 | | |
| | | 1 (NH ₄) ₂ S | 2 H ₃ PO ₄ | 3 Na ₂ CO ₃ | 4 NaBr | 5 KI | 6 MgCl ₂ | 7 Ba(OH) ₂ | 8 AgNO ₃ | 9 Hg ₂ (NO ₃) ₂ | 10 Pb(CH ₃ COO) ₂ | 11 ZnSO ₄ | 12 SbCl ₃ | 13 K ₂ CrO ₄ |
| 陰 離 子 | S ²⁻ | 1 (NH ₄) ₂ S | | | | | | 黑 Ag ₂ S | 黑 Hg ₂ S | 黑 PbS | 白 ZnS | 橙 Sb ₂ S ₃ | | |
| | PO ₄ ³⁻ | 2 H ₃ PO ₄ | | | | 白 Mg ₃ (PO ₄) ₂ | 白 Ba ₃ (PO ₄) ₂ | 黃綠 Ag ₃ PO ₄ | 白 (Hg ₂) ₃ (PO ₄) ₂ | 白 Pb ₃ (PO ₄) ₂ | 白 Zn ₃ (PO ₄) ₂ | 白 SbPO ₄ | | |
| | CO ₃ ²⁻ | 3 Na ₂ CO ₃ | | | | 白 MgCO ₃ | 白 BaCO ₃ | 乳白 Ag ₂ CO ₃ | 白 Hg ₂ CO ₃ | 白 PbCO ₃ | 白 ZnCO ₃ | 白 Sb ₂ O ₃ | | |
| | SO ₃ ²⁻ | 3 Na ₂ CO ₃ | | | | 白 MgCO ₃ | 白 BaCO ₃ | 乳白 Ag ₂ CO ₃ | 白 Hg ₂ CO ₃ | 白 PbCO ₃ | 白 ZnCO ₃ | 白 Sb ₂ O ₃ | | |
| | Cl ⁻ | 4 NaBr | | | | | | 黃白 AgBr | 黃白 Hg ₂ Br ₂ | 白 PbBr ₂ | | | | |
| | Br ⁻ | 5 KI | | | | | | 淡黃 AgI | 橙紅 Hg ₂ I ₂ | 黃 PbI ₂ | | | | |
| | I ⁻ | 6 MgCl ₂ | 白 Mg ₂ (PO ₄) ₂ | 白 MgCO ₃ | | | 白 Mg(OH) ₂ | 白(弱紫) AgCl | 白 Hg ₂ Cl ₂ | 白 PbCl ₂ | | | | |
| | OH ⁻ | 7 Ba(OH) ₂ | 白 Ba ₃ (PO ₄) ₂ | 白 BaCO ₃ | | 白 Mg(OH) ₂ | | 白(弱紫) Ag ₂ O | 灰白 Hg ₂ O | 白 Pb(OH) ₂ | 白 BaSO ₄ | 白 Sb ₂ O ₃ | 白 Sb ₂ O ₃ | 紅 Cr ₂ O ₃ |
| | NO ₃ ⁻ | 8 AgNO ₃ | 黑 Ag ₂ S | 黃綠 Ag ₃ PO ₄ | 乳白 Ag ₂ CO ₃ | 黃白 AgBr | 淡黃 AgI | 白(弱紫) AgCl | 白(弱紫) Ag ₂ O | | | | 白(弱紫) AgCl | 紅 Cr ₂ O ₃ |
| | | 9 Hg ₂ (NO ₃) ₂ | 黑 Hg ₂ S | 白 (Hg ₂) ₃ (PO ₄) ₂ | 白 Hg ₂ CO ₃ | 黃白 Hg ₂ Br ₂ | 橙紅 Hg ₂ I ₂ | 白 Hg ₂ Cl ₂ | 灰白 Hg ₂ O | | | | 白 Hg ₂ Cl ₂ | 橙 Hg ₂ CrO ₄ |
| CH ₃ COO ⁻ | 10 Pb(CH ₃ COO) ₂ | 黑 PbS | 白 Pb ₃ (PO ₄) ₂ | 白 PbCO ₃ | 白 PbBr ₂ | 黃 PbI ₂ | 白 PbCl ₂ | 白 Pb(OH) ₂ | | | 白 PbSO ₄ | 白 PbCl ₂ | 黃 PbCrO ₄ | |
| SO ₄ ²⁻ | 11 ZnSO ₄ | 白 ZnS | 白 Zn ₃ (PO ₄) ₂ | 白 ZnCO ₃ | | | | 白 BaSO ₄ | | 白 PbSO ₄ | | | 白 ZnCrO ₄ | |
| 其他 陰離子 | 12 SbCl ₃ | 橙 Sb ₂ S ₃ | 白 SbPO ₄ | 白 Sb ₂ O ₃ | | | | 白 Sb ₂ O ₃ | 白(弱紫) AgCl | 白 Hg ₂ Cl ₂ | 白 PbCl ₂ | | 白 Sb ₂ (CrO ₄) ₃ | |
| | 13 K ₂ CrO ₄ | | | | | | | 黃 BaCrO ₄ | 紅紫 Ag ₂ CrO ₄ | 橙 Hg ₂ CrO ₄ | 黃 PbCrO ₄ | 橙黃 ZnCrO ₄ | 橙 Sb ₂ (CrO ₄) ₃ | |

To Recognize the Solubility and Color of Common Chemicals by Spot Tests

Chyh-Chyun Chou and Pei-Hua Lee

Department of Chemistry
College of Sciences

Abstract

By a spot test—dropping thirteen reagents generally available in laboratory on white paper separately, the different color of precipitates will be observed through each other's reaction.

This experiment is proper for the qualitative discussion of solubility in the high school textbook. It can be done easily and quickly. Besides, only simple equipment and a few chemicals are required.