

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

第三名

030206

多多「液」善—雙溶劑對溶質溶解之研究

學校名稱：新北市立永和國民中學

作者： 國二 何奕宏 國二 周駿彤 國二 王世中	指導老師： 許宏傑 陳韻如
---	-----------------------------

關鍵詞：醇析、極性、水合能

摘要

飽和氯化鈉水溶液加入乙醇，會因氯化鈉不溶於乙醇而產生沉澱，進一步分析氯化鉀、氯化銨、硫酸銅、硫酸鎂、硫酸鈉、硝酸鉀等溶質。根據實驗結果分析發現，該溶質溶解時與水的結合方式、氫鍵強度、水合能、晶格能跟析出比有相關性。能與水產生分子間氫鍵的溶質，若氫鍵強度弱於乙醇與水間的氫鍵強度，則溶質析出比會較高，例如硫酸銅。溶質的溶解方式若以水的極性為主，其水合離子內的作用力為離子-偶極力，在加入乙醇後的析出比會少於有氫鍵影響的溶質，例如氯化鈉。根據各溶質的析出比可發現，離子半徑及電荷越大，析出比越高，如：硫酸鉀的析出比大於硫酸鈉(離子半徑)，而硫酸鎂的析出比也大於硫酸鈉(離子電荷)。

壹、研究動機

在八上理化的第二章，我們學到了關於溶劑和溶質的知識，在同溫同壓下，溶質對水有特定的溶解度。課本中的硝酸鉀溶解度實驗學習到，硝酸鉀水溶液是由一種溶劑，水，與一種溶質，硝酸鉀，所組成。我們在討論課程內容時，想到了在不改變壓力和溫度的前提下，在飽和溶液內加入第二種溶劑，若第二種溶劑無法溶解溶質，但可與第一種溶劑互溶的條件下，溶質會有什麼變化。我們先設計了飽和氯化鈉水溶液中加入乙醇的實驗，發現氯化鈉會因此而沉澱，在進行文獻探討後，開始了其他溶質的研究。

貳、實驗目的

- 一、利用各種不同的溶質在水以及乙醇雙溶劑的情況下，觀察各種溶質析出比的變化
- 二、利用不同濃度的氯化鈉溶液加入不同乙醇量來觀察氯化鈉溶質析出比的變化
- 三、透過上述實驗結果分析雙溶劑溶液析出溶質的原理

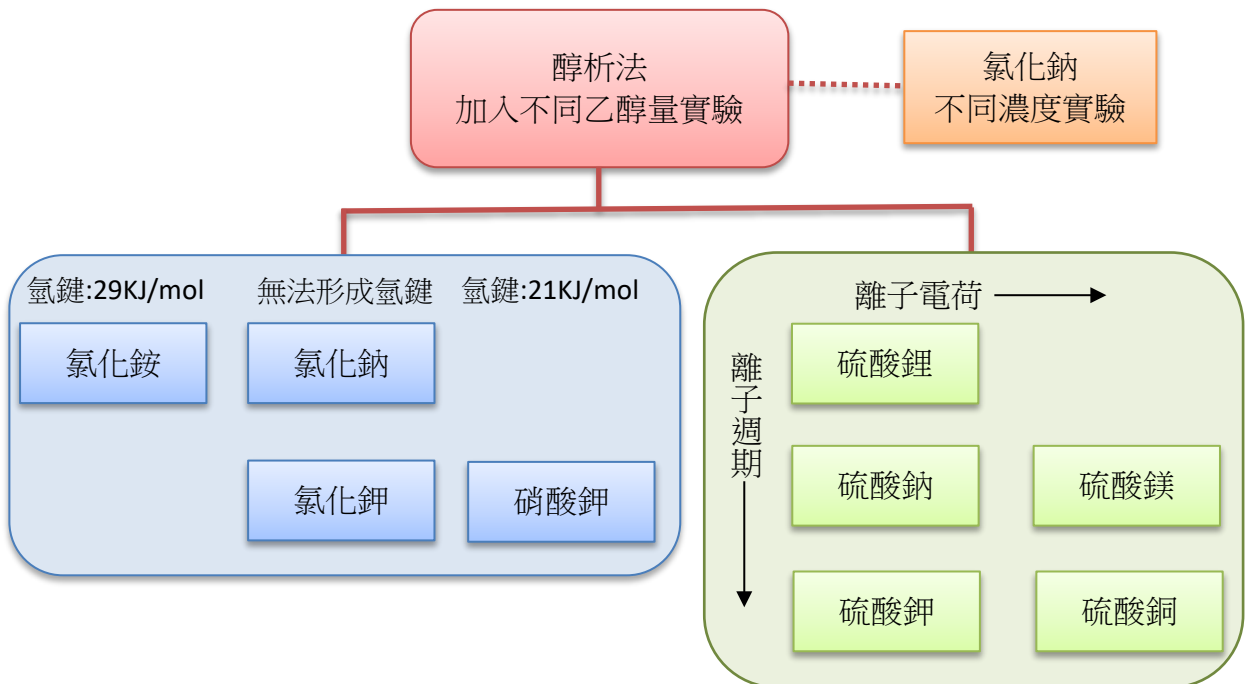
參、實驗器材與設備

- 一、 實驗藥品：乙醇、硫酸鈉、硫酸鎂、硫酸銅、氯化鈉、氯化鉀、氯化銨、硝酸鉀、硫酸鉀、硫酸鋰
- 二、 實驗器材：燒杯、錐形瓶、玻璃棒、漏斗、滴管、坩鍋鉗、濾紙、標籤紙、電子天平、碼表、烘箱

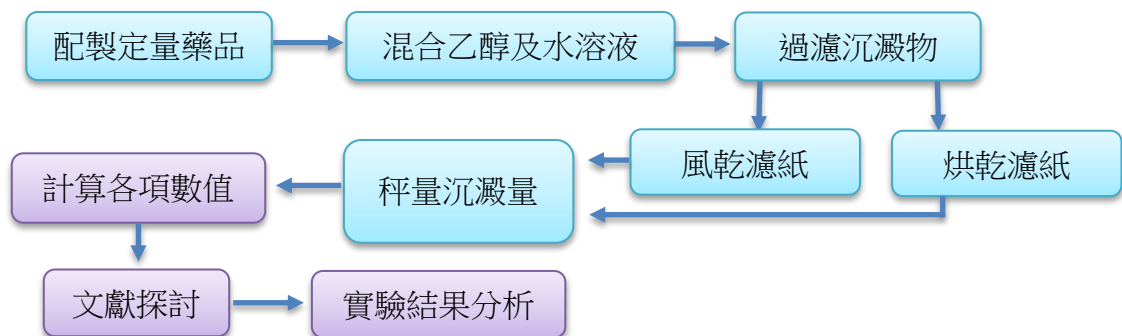


肆、研究過程或方法

一、實驗架構



二、實驗流程



三、文獻探討

(一) 極性(polarity)

在化學中，極性是指一個共價鍵或一個共價分子中電荷分布的不均勻性。如果電荷分布得不均勻，則稱該鍵或分子為極性。共價鍵的極性是因為成鍵的兩個原子電負度不相同而產生的。

(二) 氫鍵(H-bond)

氫鍵是分子間作用力的一種，發生在已經以共價鍵與其它原子鍵結合的氫原子與另一個原子之間，通常發生氫鍵作用的氫原子兩邊的原子都是電負性較強的原子（F、O、N），氫鍵的鍵結強度強於凡得瓦力。

(三) 電負度(electronegativity)

電負度較大的元素在形成化合物時，往往表現為負化合價；而電負度較小者表現為正化合價。在形成共價鍵時，共用電子對偏移向電負度較強的原子，會使鍵帶有極性，電負度差越大，鍵的極性越強。當化學鍵兩端元素的電負度相差很大時所形成的鍵則以離子鍵為主，而電負度大的原子也是形成氫鍵的關鍵。

(四) 水合離子(Hydrated ion)

指在電解質溶液裡，離子跟水分子以凡得瓦力形成配位結合，在水溶液裡的離子大都以水合離子形式存在，其中水合離子與水結合的穩定性也有強弱之分。

(五) 離子化合物(Ionic compounds)

為了符合八隅體規則，原子必須得到或失去電子才能形成化合物，經由此方式所形成的化合物，在溶解時，因水具有極性而溶於水中。

(六) 凡德瓦力(Van der Waals force)

為分子間作用力，分為以下三類

取向力：又稱偶極—偶極力，極性分子或離子之間，藉由同性相吸原理而形成

誘導力：又稱偶極—誘導偶極力，極性分子極化非極性分子，而產生類似取向力的效果

分散力：又稱瞬時偶極—瞬時偶極力，為非極性分子間，藉由分子震動而短暫產生的偶極形成

(七) 配位共價鍵(Coordinate Covalent Bond)

是由一個原子提供電子對而跟另一個原子提供空電子軌域共用的化學鍵。

(八) 晶格能(Lattice Energy)

指 1mole 離子晶體變為氣態正、負離子所需或氣態正、負離子重新結合為離子晶體所吸收或放出之能量。

(九) 水(H₂O)

可作為許多物質的溶劑，因氧電負度大於氫電負度，所以具有極性，並且也可跟含氫物質產生分子間氫鍵，也可和極性物質產生溶解。

(十) 氯化鈉(NaCl)

氯化鈉的主要成分，可溶於水，是由鈉離子(Na⁺)與氯離子(Cl⁻)所構成。氯化鈉和水都屬於無機化合物，因此具有極性，可以溶解於水。在常溫下氯化鈉對水的溶解度大約是 36g 氯化鈉/100g 水，微溶於乙醇。

(十一) 五水合硫酸銅($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

可溶於水，常溫下為五水合物，由硫酸根離子(SO_4^{2-})與銅離子(Cu^{2+})組成，為無機化合物，硫酸根離子具有氫鍵。在常溫下硫酸銅對水的溶解度大約是 36g 硫酸銅/100g 水，微溶於乙醇。

(十二) 乙醇($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)

具有羥基，並且具有氫鍵，可以與水無限互溶。因為氫鍵的結合力比凡得瓦力強，所以當乙醇加入離子化合物溶液中時，會把溶質析出。

(十三) 氯化鉀(KCl)

可溶於水，由鉀離子(K^+)及氯離子(Cl^-)構成，為無機化合物，離子化合物因水的極性而溶於水中。在常溫下對水溶解度約為 34.4g 氯化鉀/100g 水，微溶於乙醇。

(十四) 氯化銨(NH_4Cl)

可溶於水，由銨根離子(NH_4^+)及氯離子(Cl^-)構成，為無機化合物，溶於水可水解成 $\text{NH}_3 + \text{Cl}^- + \text{H}^+$ ，而氨 (NH_3)及氫離子(H^+)可與水產生氫鍵。在常溫下對水溶解度約為 37.2g 氯化銨/100g 水，微溶於乙醇。

(十五) 七水合硫酸鎂($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

可溶於水，常溫下為七水化合物， 40°C 至 60°C 為六水化合物，由硫酸根離子(SO_4^{2-})及鎂離子(Mg^{2+})構成，為無機化合物，而硫酸根離子與水有氫鍵。在常溫下對水溶解度約為 25.5g 硫酸鎂/100g 水，微溶於乙醇。

(十六) 硫酸鈉(Na_2SO_4)

可溶於水，由硫酸根離子(SO_4^{2-})及 2 個鈉離子(2Na^+)構成，為無機化合物，而硫酸根離子與水有氫鍵。在常溫下對水溶解度約為 19.5g 硫酸鈉/100g 水，不溶於乙醇。

(十七) 硝酸鉀(KNO_3)

可溶於水，由硝酸根離子(NO_3^-)與鉀離子(K^+)構成，為無機化合物，硝酸根離子與水有氫鍵。在常溫下對水溶解度為 31.6g 硝酸鉀/100g 水，微溶於乙醇。

(十八) 硫酸鉀(K_2SO_4)

可溶於水，由硫酸根離子(NO_3^-)與鉀離子(K^+)構成，為無機化合物，硫酸根離子與水有氫鍵。在常溫下對水溶解度為 12g 硫酸鉀/100g 水，微溶於乙醇。

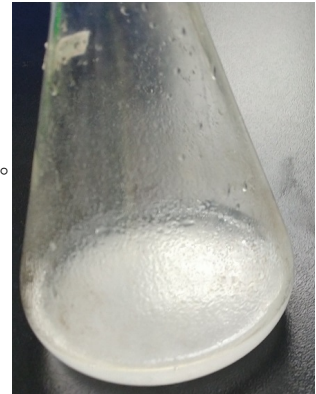
(十九) 硫酸鋰(Li_2SO_4)

可溶於水，由硫酸根離子(SO_4^{2-})與鋰離子(Li^+)構成，為無機化合物，硫酸根離子與水有氫鍵。在常溫下對水溶解度為 35g 硫酸鉀/100g 水，難溶於乙醇。

四、實驗原理與過程

(一) 實驗一：飽和氯化鈉水溶液與乙醇的析出比變化

1. 實驗原理：由於氯化鈉為離子化合物，因此溶於水時會解離為氯離子與鈉離子，並因水的極性而溶於水。
2. 實驗過程：
 - (1). 配製乙醇重 0.5g 到 10g 及 20 瓶氯化鈉水溶液 13.6g。
 - (2). 過濾混合溶液，並烘乾。
 - (3). 測量析出量，並計算析出比。



(二) 實驗二：飽和硫酸銅水溶液與乙醇的析出比變化

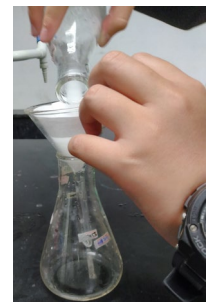
1. 實驗原理：
 - (1). 硫酸銅為離子化合物，溶解時會解離為銅離子與硫酸根離子，銅離子藉由水的極性溶於水；而硫酸根離子則以分子間氫鍵溶於水。
 - (2). 由於硫酸銅中的硫酸根離子是由氫鍵連接水分子，硫酸根離子與水形成的氫鍵較乙醇與水形成之氫鍵弱。
 - (4). 配製乙醇重 0.5g 到 10g 及 20 瓶硫酸銅水溶液 13.6g。
 - (5). 過濾混合溶液，並放置風乾。
 - (6). 測量析出量，並計算析出比。

(三) 實驗三：飽和氯化鉀水溶液與乙醇的析出比變化

1. 實驗原理：氯化鉀與氯化鈉皆為氯離子化合物，故推測其析出比與氯化鈉類似。
2. 實驗過程：同實驗一。

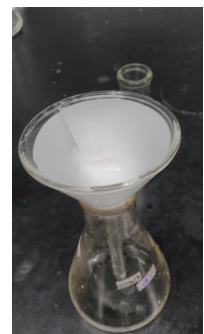
(四) 實驗四：飽和氯化銨水溶液與乙醇的析出比變化

1. 實驗原理：氯化銨溶於水時會水解為氨、銨根離子、氯離子及氫離子，氨以氫鍵溶於水，且其氫鍵強度較乙醇與水形成之氫鍵強，故推測其析出比應低。
2. 實驗過程：同實驗一。



(五) 實驗五：飽和硫酸鎂水溶液與乙醇的析出比變化

1. 實驗原理：硫酸鎂與硫酸銅皆為硫酸根離子化合物，故推測其析出效果應類似於硫酸銅。
2. 實驗過程：同實驗二。



(六) 實驗六：飽和硫酸鈉水溶液與乙醇的析出比變化

1. 實驗原理：與硫酸銅及硫酸鎂皆為硫酸根離子化合物，但鈉離子電荷少於銅離子及鎂離子，故推測其析出比會小於硫酸銅及硫酸鎂。
2. 實驗過程：同實驗一。

(七) 實驗七：飽和硝酸鉀水溶液與乙醇的析出比變化

1. 實驗原理：
 - (1). 硝酸鉀溶於水時會解離為硝酸根離子及鉀離子。
 - (2). 硝酸根離子以氫鍵與水結合，強度與乙醇與水結合的氫鍵皆為 21KJ/mol。
 - (3). 我們推測其析出比會近似氯化鉀，因硝酸根與水形成之氫鍵與乙醇與水形成之氫鍵強度相同，析出狀況二者可能差異不大。
2. 實驗過程：同實驗一。

(八) 實驗八：飽和硫酸鉀水溶液與乙醇的析出比變化

1. 實驗原理：鉀離子離子半徑較鈉離子大，推測其析出比應略高於硫酸鈉。
2. 實驗過程：同實驗一。

(九) 實驗九：飽和硫酸鋰水溶液與乙醇的析出比變化

1. 實驗原理：鋰離子離子半徑較鈉離子小，故推測其析出比應略低於硫酸鈉。
2. 實驗過程：同實驗一。

(十) 實驗十：不同飽和度氯化鈉水溶液與乙醇的析出比變化

1. 實驗原理：
 - (1). 低飽和度氯化鈉水溶液，乙醇的莫耳分率較低，水和乙醇產生的分子間氫鍵較少，對溶解度的影響會較小。



- (2). 高飽和度氯化鈉水溶液，單位體積中溶質較多，析出量增加。

2. 實驗過程：

- (1). 配製飽和度為 10%、25%、50%、75%，100%的氯化鈉水溶液各 5g，及乙醇 5 杯，每杯 5g。
- (2). 將混合溶液放進烘箱烘大約一小時。
- (3). 測量析出量並計算析出比。



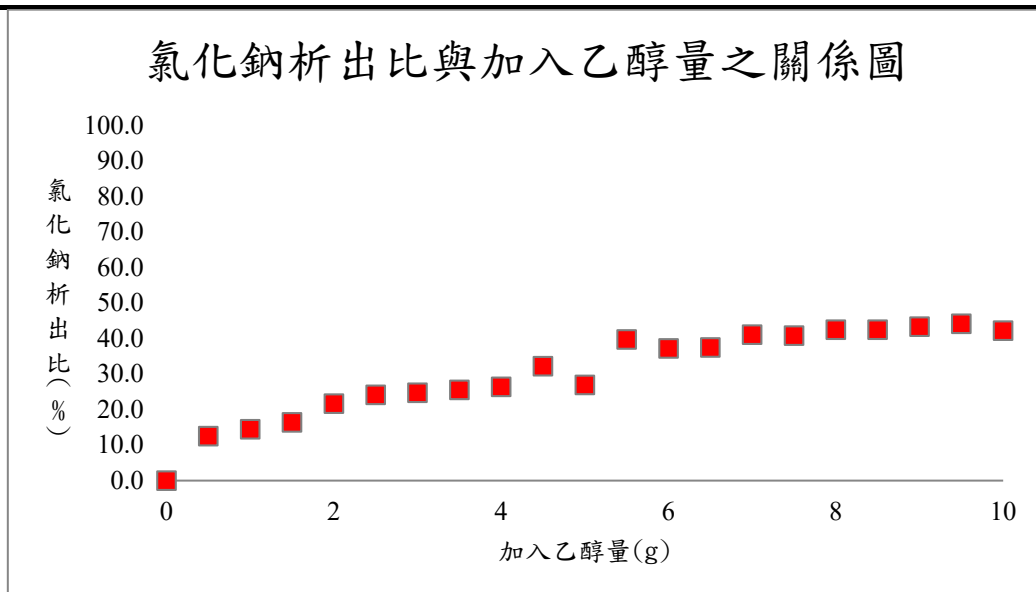
伍、研究結果與討論

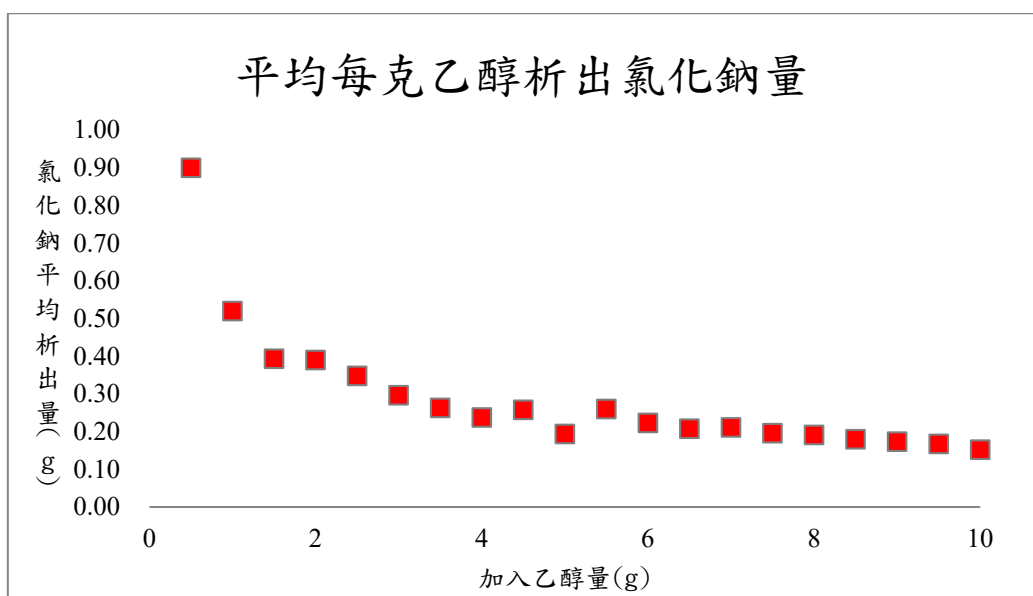
一、實驗數據

(一)、實驗一：飽和氯化鈉水溶液與乙醇的析出比變化

飽和氯化鈉水溶液與乙醇的析出比變化							
加入乙醇量(g)	氯化鈉析出量(g)	氯化鈉析出比	平均每克乙醇析出氯化鈉量(g)	加入乙醇量(g)	氯化鈉析出量(g)	氯化鈉析出比	平均每克乙醇析出氯化鈉量(g)
0.50	0.45	12.5%	0.90	5.50	1.43	39.7%	0.26
1.00	0.52	14.4%	0.52	6.00	1.34	37.2%	0.22
1.50	0.59	16.4%	0.39	6.50	1.35	37.5%	0.21
2.00	0.78	21.7%	0.39	7.00	1.48	41.1%	0.21
2.50	0.87	24.2%	0.35	7.50	1.47	40.8%	0.20
3.00	0.89	24.7%	0.30	8.00	1.50	42.5%	0.19
3.50	0.92	25.6%	0.26	8.50	1.53	42.5%	0.18
4.00	0.95	26.4%	0.24	9.00	1.56	43.3%	0.17
4.50	1.16	32.2%	0.26	9.50	1.59	44.2%	0.17
5.00	0.97	26.9%	0.19	10.00	1.52	42.2%	0.15

說明：1. 飽和氯化鈉水溶液=13.6(g)，氯化鈉=3.6(g)
 2. 析出比=氯化鈉析出量(g)/3.6(g)×100%
 3. 平均每克乙醇析出氯化鈉量=氯化鈉析出量(g)/加入乙醇量(g)

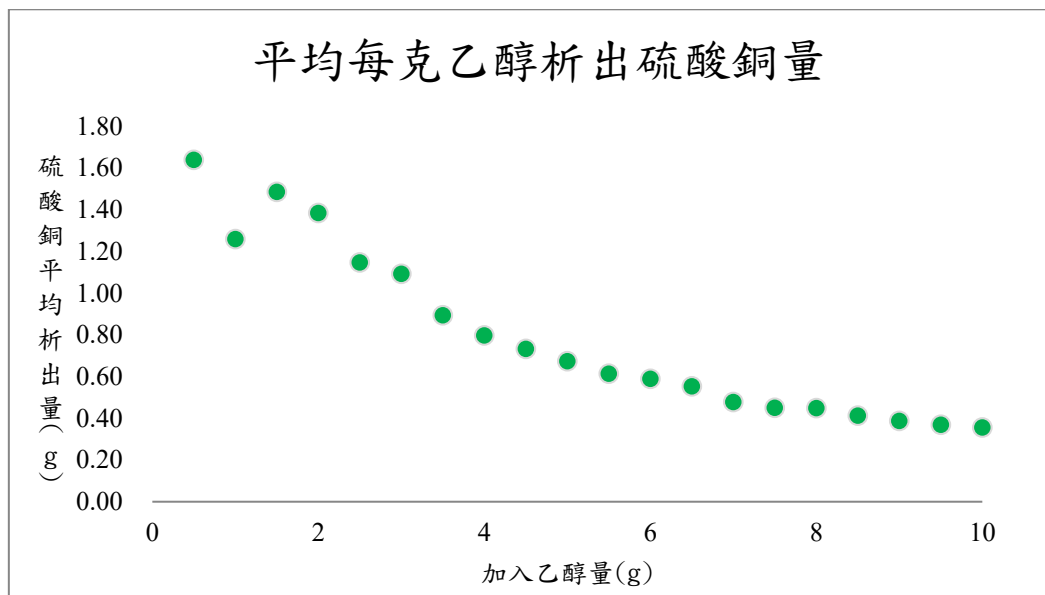
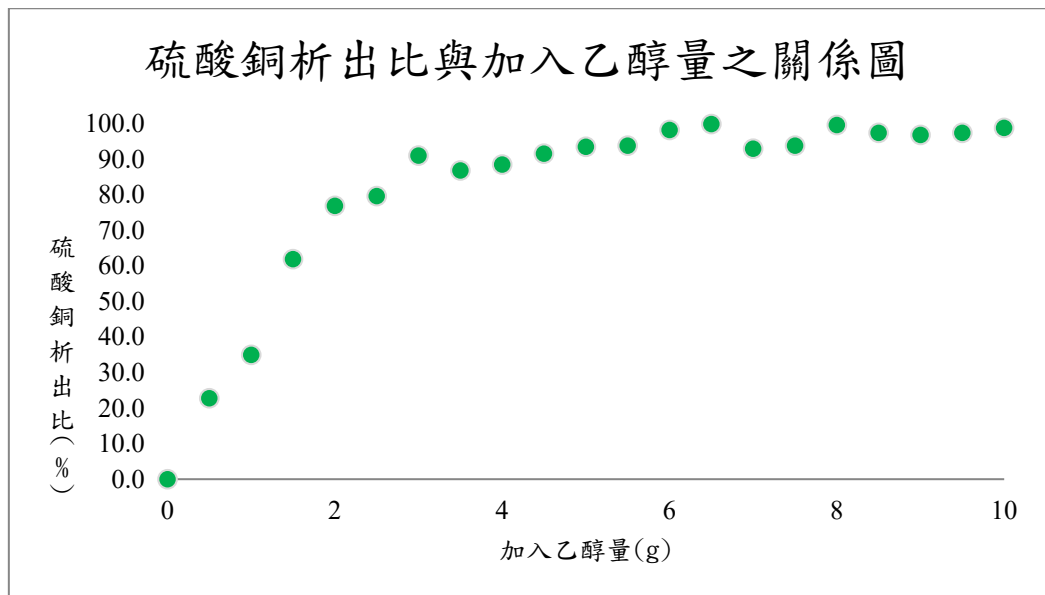




(二)、 實驗二：飽和硫酸銅水溶液與乙醇的析出比變化

飽和硫酸銅水溶液與乙醇的析出比變化							
加入乙醇量(g)	硫酸銅析出量(g)	硫酸銅析出比	平均每克乙醇析出硫酸銅量(g)	加入乙醇量(g)	硫酸銅析出量(g)	硫酸銅析出比	平均每克乙醇析出硫酸銅量(g)
0.50	0.82	22.8%	1.64	5.50	3.38	93.9%	0.61
1.00	1.26	35.0%	1.26	6.00	3.54	98.3%	0.59
1.50	2.23	61.9%	1.49	6.50	3.60	100.0%	0.55
2.00	2.77	76.9%	1.39	7.00	3.35	93.1%	0.48
2.50	2.87	79.7%	1.15	7.50	3.38	93.9%	0.45
3.00	3.28	91.1%	1.09	8.00	3.59	99.7%	0.45
3.50	3.13	86.9%	0.89	8.50	3.51	97.5%	0.41
4.00	3.19	88.6%	0.80	9.00	3.49	96.9%	0.39
4.50	3.30	91.7%	0.73	9.50	3.51	97.5%	0.37
5.00	3.37	93.6%	0.67	10.00	3.56	98.9%	0.36

說明：1. 飽和硫酸銅水溶液=13.6(g)，硫酸銅=3.6(g)
 2. 析出比=硫酸銅析出量(g)/3.6(g)×100%
 3. 平均每克乙醇析出硫酸銅量=硫酸銅析出量(g)/加入乙醇量(g)



(三)、 實驗三：飽和氯化鉀水溶液與乙醇的析出比變化

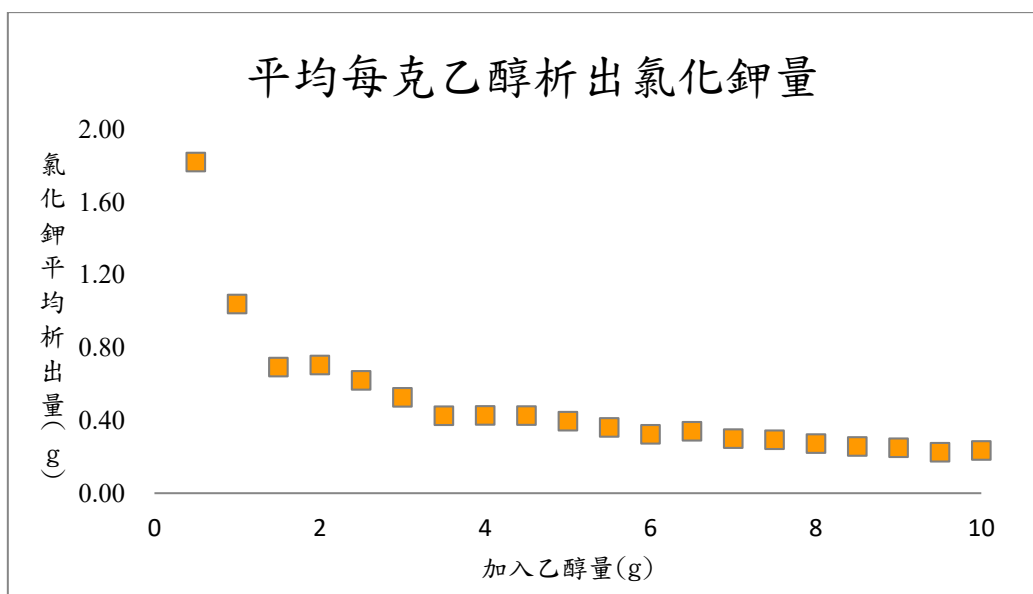
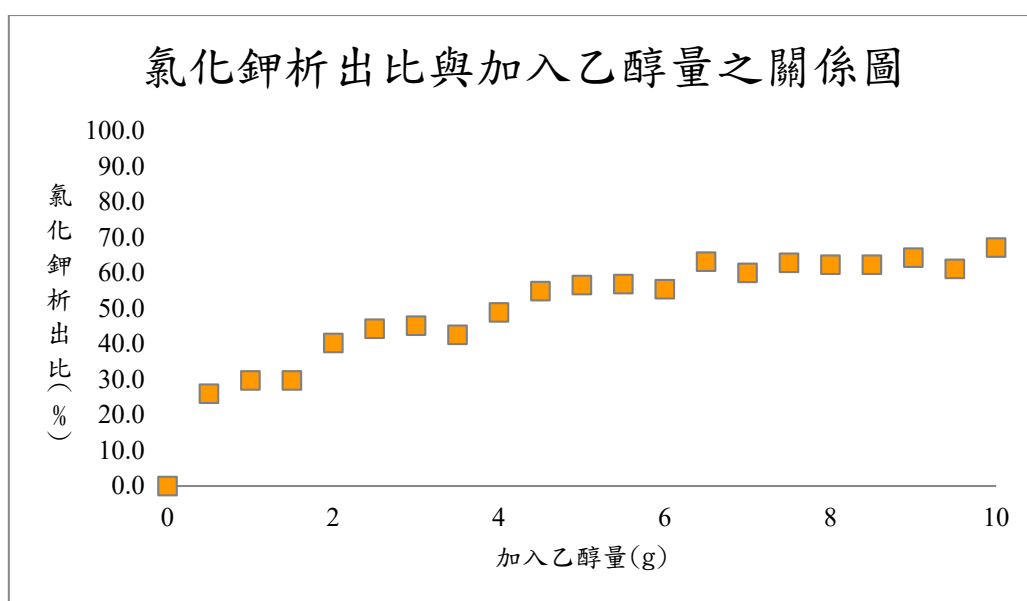
飽和氯化鉀水溶液與乙醇的析出比變化							
加入乙醇量 (g)	氯化鉀析出量 (g)	氯化鉀析出比	平均每克乙醇析出氯化鉀量(g)	加入乙醇量 (g)	氯化鉀析出量 (g)	氯化鉀析出比	平均每克乙醇析出氯化鉀量(g)
0.50	0.91	26.0%	1.82	5.50	1.99	55.4%	0.36
1.00	1.04	29.7%	1.04	6.00	1.94	63.1%	0.32
1.50	1.04	29.7%	0.69	6.50	2.21	60.0%	0.34
2.00	1.41	40.3%	0.71	7.00	2.10	62.9%	0.30
2.50	1.55	44.3%	0.62	7.50	2.20	62.3%	0.29

3.00	1.58	45.1%	0.53	8.00	2.18	62.3%	0.27
3.50	1.49	42.6%	0.43	8.50	2.18	64.3%	0.26
4.00	1.71	48.9%	0.43	9.00	2.25	61.1%	0.25
4.50	1.92	54.9%	0.43	9.50	2.14	67.1%	0.23
5.00	1.98	56.6%	0.40	10.00	2.35	56.9%	0.24

說明：1. 飽和氯化鉀水溶液=13.5(g)，氯化鉀=3.5(g)

2. 析出比=氯化鉀析出量(g)/3.5(g)×100%

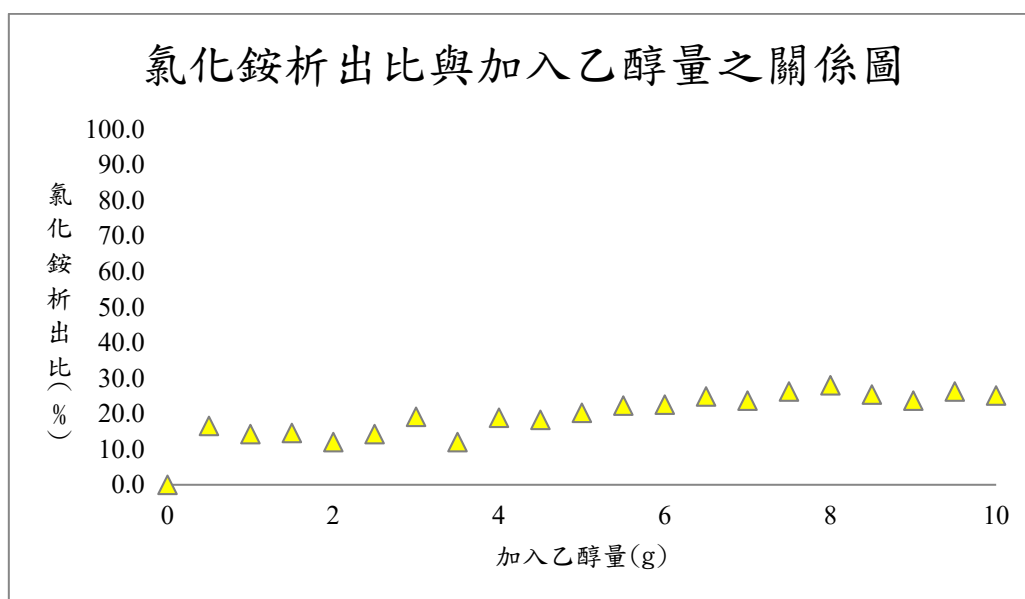
3. 平均每克乙醇析出氯化鉀量=氯化鉀析出量(g)/加入乙醇量(g)

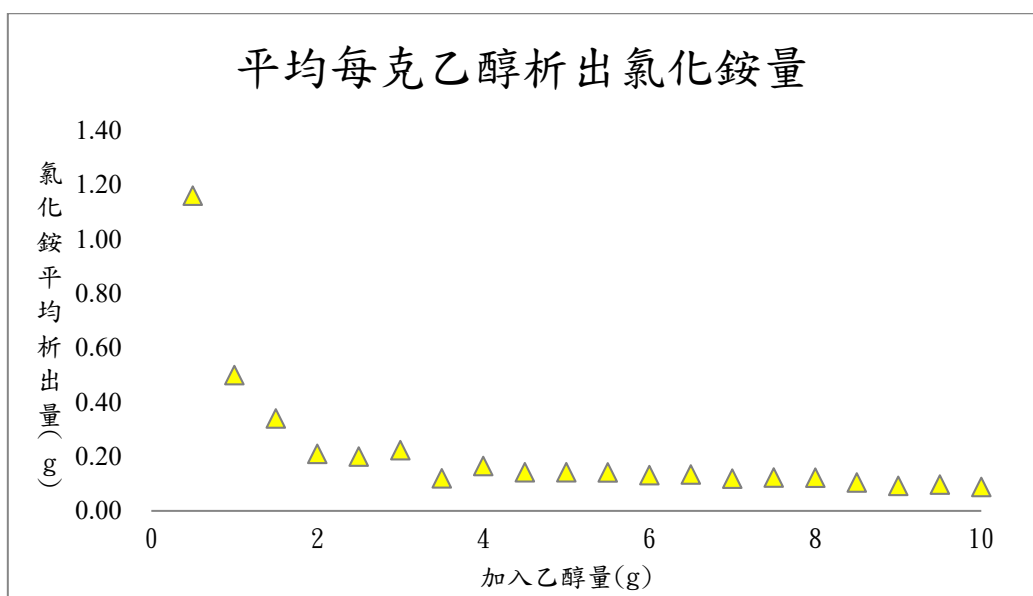


(四)、 實驗四：飽和氯化銨水溶液與乙醇的析出比變化

飽和氯化銨水溶液與乙醇的析出比變化							
加入乙醇量(g)	氯化銨析出量(g)	氯化銨析出比	平均每克乙醇析出氯化銨量(g)	加入乙醇量(g)	氯化銨析出量(g)	氯化銨析出比	平均每克乙醇析出氯化銨量(g)
0.50	0.58	16.6%	1.16	5.50	0.78	22.3%	22.3%
1.00	0.50	14.3%	0.50	6.00	0.79	22.6%	22.6%
1.50	0.51	14.6%	0.34	6.50	0.87	24.9%	24.9%
2.00	0.42	12.0%	0.21	7.00	0.83	23.7%	23.7%
2.50	0.5	14.3%	0.20	7.50	0.92	26.3%	26.3%
3.00	0.67	19.1%	0.22	8.00	0.98	28.0%	28.0%
3.50	0.42	12.0%	0.12	8.50	0.89	25.4%	25.4%
4.00	0.66	18.9%	0.17	9.00	0.83	23.7%	23.7%
4.50	0.64	18.3%	0.14	9.50	0.92	26.3%	26.3%
5.00	0.71	20.3%	0.14	10.00	0.88	25.1%	25.1%

說明：1. 飽和氯化銨水溶液=13.5(g)，氯化銨=3.5(g)
 2. 析出比=氯化銨析出量(g)/3.5(g)×100%
 3. 平均每克乙醇析出氯化銨量=氯化銨析出量(g)/加入乙醇量(g)

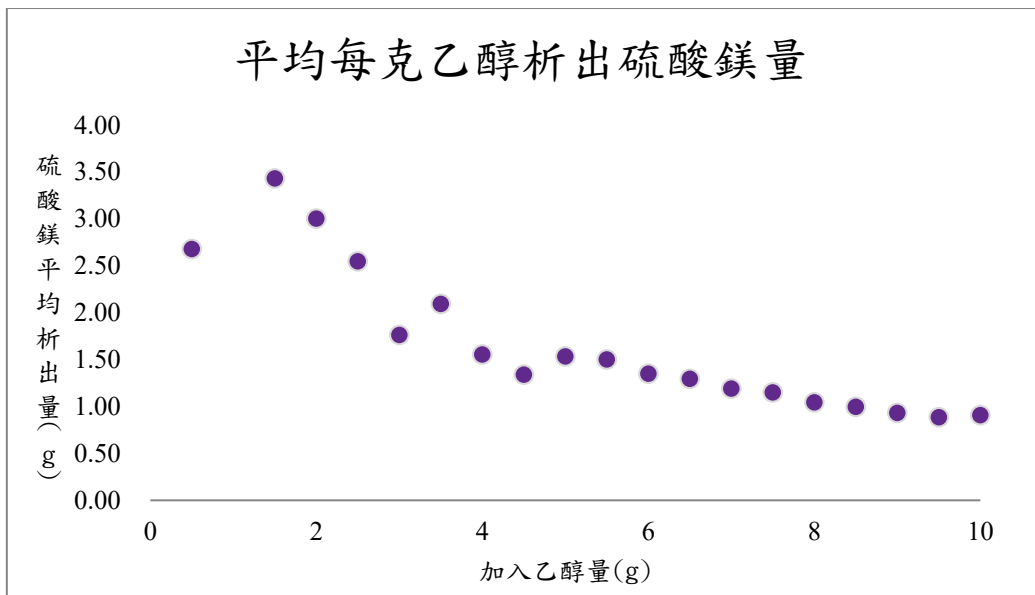
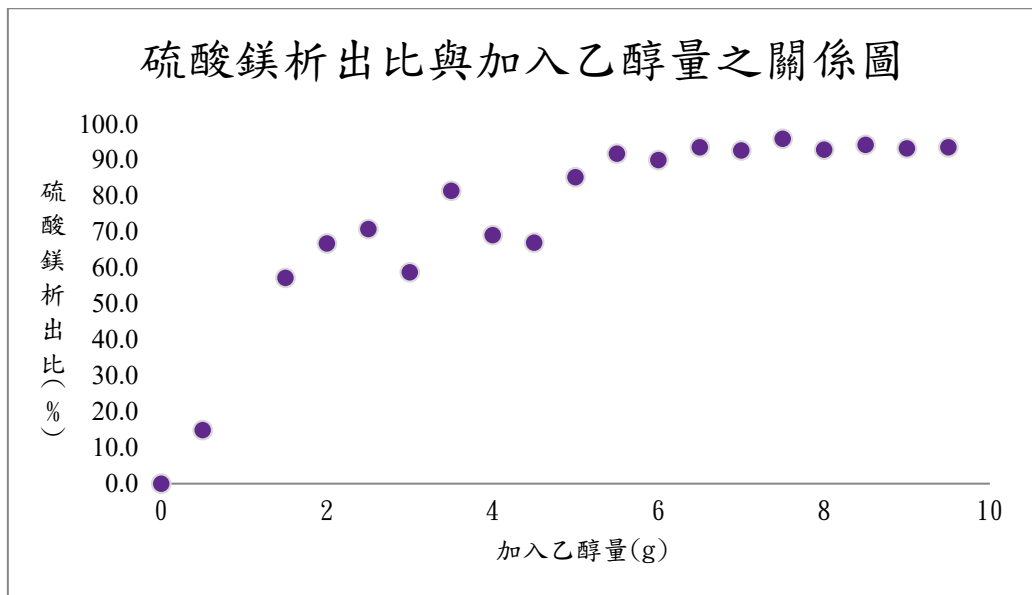




(五)、 實驗五：飽和硫酸鎂水溶液與乙醇的析出比變化

飽和硫酸鎂水溶液與乙醇的析出比變化							
加入乙醇量 (g)	硫酸鎂析出量 (g)	硫酸鎂析出比	平均每克乙醇析出硫酸鎂量(g)	加入乙醇量 (g)	硫酸鎂析出量 (g)	硫酸鎂析出比	平均每克乙醇析出硫酸鎂量(g)
0.50	1.34	14.9%	2.68	5.50	8.26	91.8%	1.50
1.00	1.36	15.1%	1.36	6.00	8.10	90.0%	1.35
1.50	5.15	57.2%	3.43	6.50	8.42	93.6%	1.30
2.00	6.01	66.8%	3.01	7.00	8.34	92.7%	1.19
2.50	6.37	70.8%	2.55	7.50	8.63	95.9%	1.15
3.00	5.29	58.8%	1.76	8.00	8.36	92.9%	1.05
3.50	7.33	81.4%	2.09	8.50	8.48	94.2%	1.00
4.00	6.22	69.1%	1.56	9.00	8.39	93.2%	0.93
4.50	6.03	67.0%	1.34	9.50	8.42	93.6%	0.89
5.00	7.67	85.2%	1.53	10.00	9.00	100.0%	0.90

說明：1. 飽和硫酸鎂水溶液=19(g)，硫酸鎂=9(g)
 2. 析出比=硫酸鎂析出量(g)/9(g)×100%
 3. 平均每克乙醇析出硫酸鎂量=硫酸鎂析出量(g)/加入乙醇量(g)



(六)、 實驗六：飽和硫酸鈉水溶液與乙醇的析出比變化

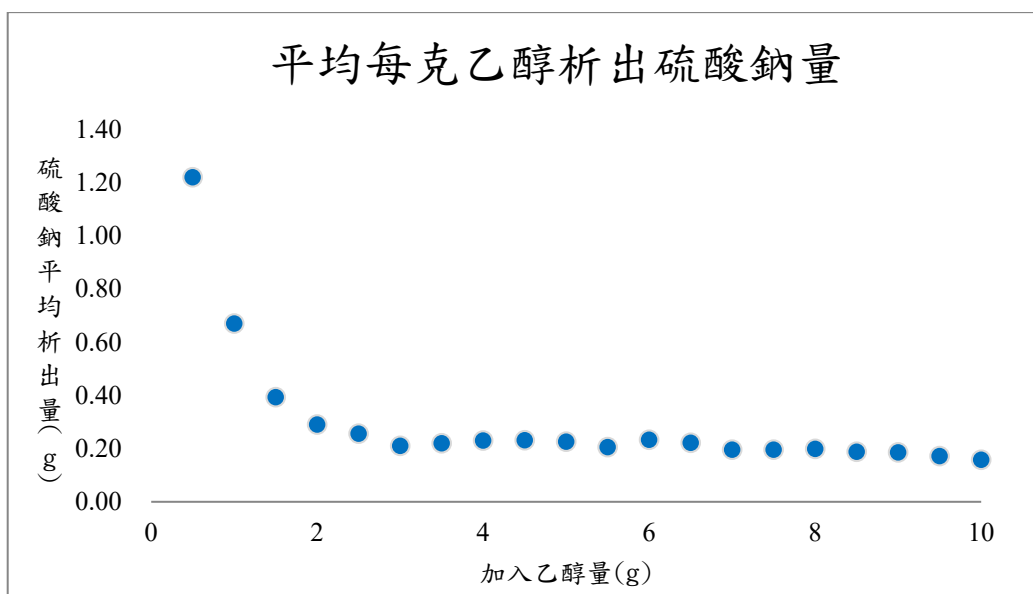
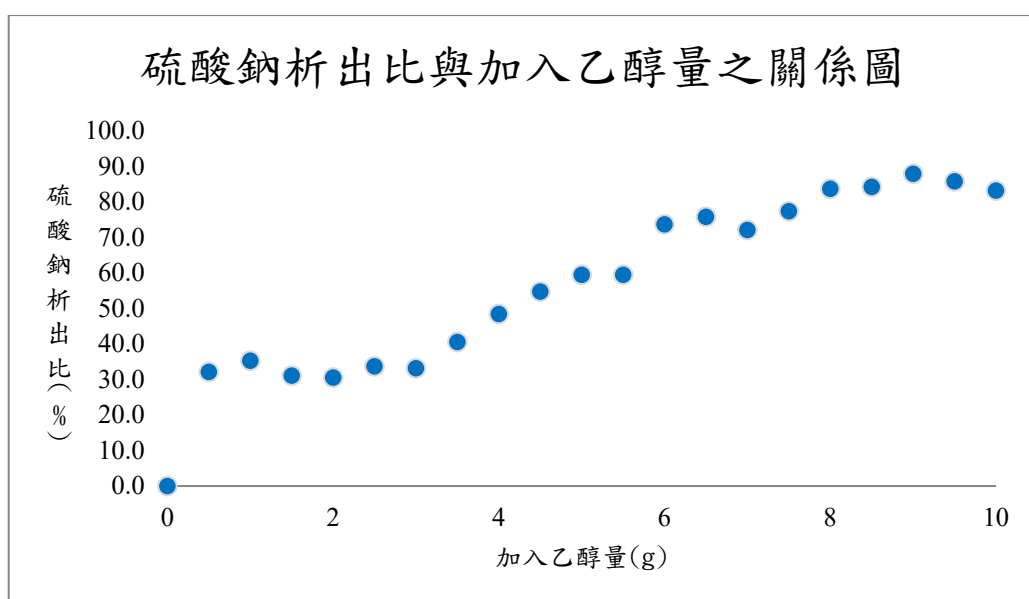
飽和硫酸鈉水溶液與乙醇的析出比變化							
加入乙醇量 (g)	硫酸鈉析出量 (g)	硫酸鈉析出比	平均每克乙醇析出硫酸鈉量 (g)	加入乙醇量 (g)	硫酸鈉析出量 (g)	硫酸鈉析出比	平均每克乙醇析出硫酸鈉量 (g)
0.50	0.61	32.1%	1.22	5.50	1.13	59.5%	0.21
1.00	0.67	35.3%	0.67	6.00	1.40	73.7%	0.23
1.50	0.59	31.1%	0.39	6.50	1.44	75.8%	0.22
2.00	0.58	30.5%	0.29	7.00	1.37	72.1%	0.20
2.50	0.64	33.7%	0.26	7.50	1.47	77.4%	0.20

3.00	0.63	33.2%	0.21	8.00	1.59	83.7%	0.20
3.50	0.77	40.5%	0.22	8.50	1.6	84.2%	0.19
4.00	0.92	48.4%	0.23	9.00	1.67	87.9%	0.19
4.50	1.04	54.7%	0.23	9.50	1.63	85.8%	0.17
5.00	1.13	59.5%	0.23	10.00	1.58	83.2%	0.16

說明：1. 飽和硫酸鈉水溶液=11.9(g)，硫酸鈉=1.9(g)

2. 析出比=硫酸鈉析出量(g)/1.9(g)×100%

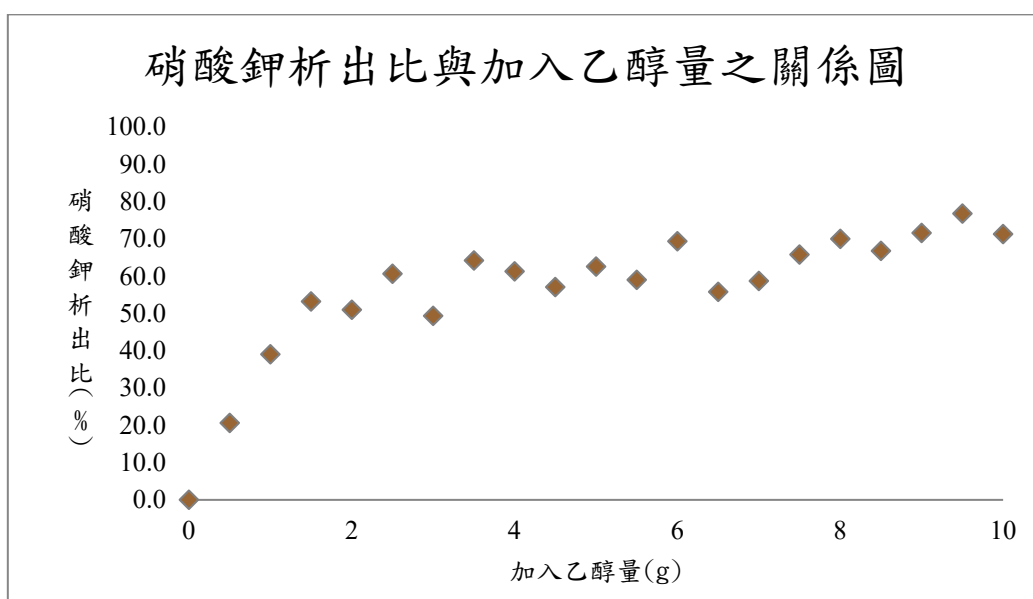
3. 平均每克乙醇析出硫酸鈉量=硫酸鈉析出量(g)/加入乙醇量(g)

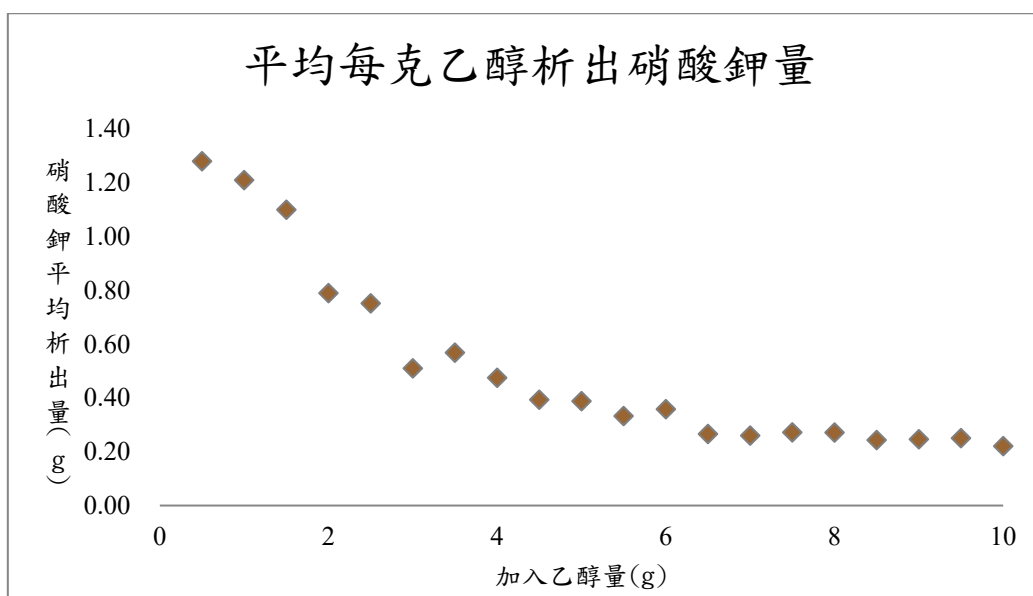


(七)、 實驗七：飽和硝酸鉀水溶液與乙醇的析出比變化

飽和硝酸鉀水溶液與乙醇的析出比變化							
加入乙醇量(g)	硝酸鉀析出量(g)	硝酸鉀析出比	平均每克乙醇析出硝酸鉀量(g)	加入乙醇量(g)	硝酸鉀析出量(g)	硝酸鉀析出比	平均每克乙醇析出硝酸鉀量(g)
0.50	0.64	20.6%	1.28	5.50	1.83	59.0%	0.33
1.00	1.21	39.0%	1.21	6.00	2.15	69.4%	0.36
1.50	1.65	53.2%	1.10	6.50	1.73	55.8%	0.27
2.00	1.58	51.0%	0.79	7.00	1.82	58.7%	0.26
2.50	1.88	60.6%	0.75	7.50	2.04	65.8%	0.27
3.00	1.53	49.4%	0.51	8.00	2.17	70.0%	0.27
3.50	1.99	64.2%	0.57	8.50	2.07	66.8%	0.24
4.00	1.90	61.3%	0.48	9.00	2.22	71.6%	0.25
4.50	1.77	57.1%	0.39	9.50	2.38	76.8%	0.25
5.00	1.94	62.6%	0.39	10.00	2.21	71.3%	0.22

說明：1. 飽和硝酸鉀水溶液=13.1(g)，硝酸鉀=3.1(g)
 2. 析出比=硝酸鉀析出量(g)/3.1(g)×100%
 3. 平均每克乙醇析出硝酸鉀(=硝酸鉀析出量(g)/加入乙醇量(g))

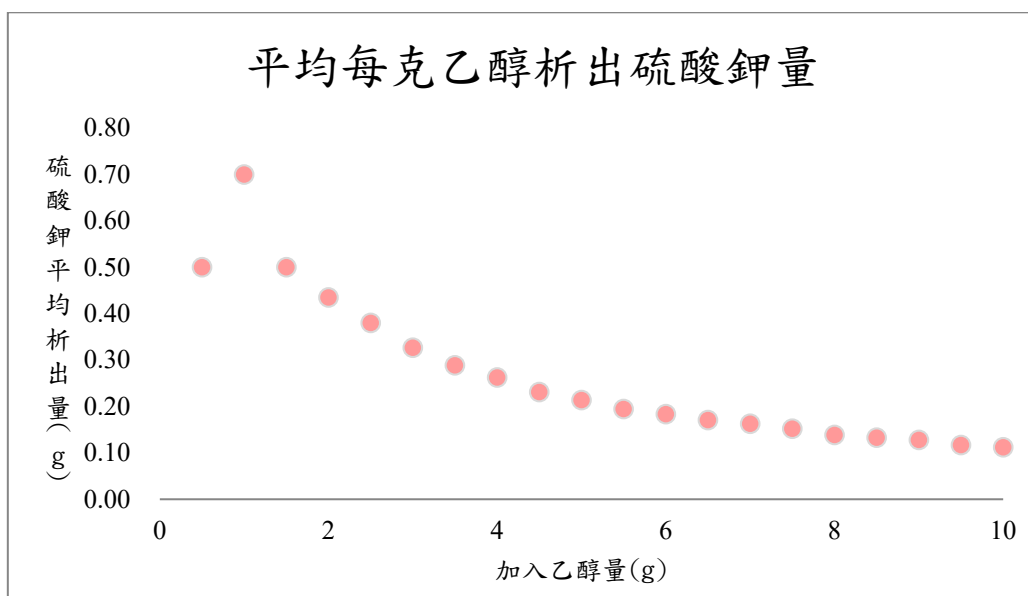
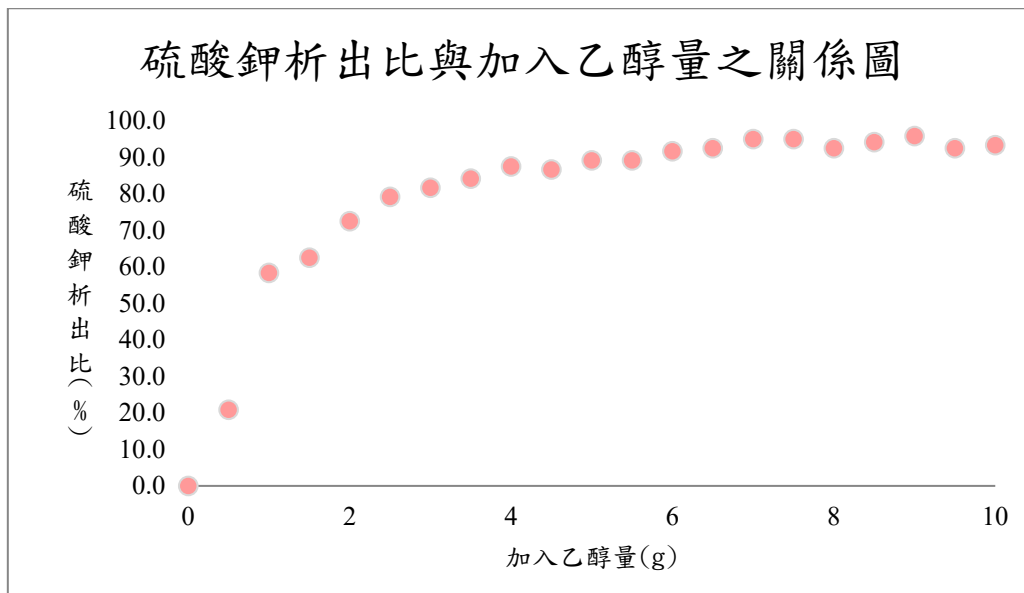




(八)、 實驗八：飽和硫酸鉀水溶液與乙醇的析出比變化

飽和硫酸鉀水溶液與乙醇的析出比變化							
加入乙醇量(g)	硫酸鉀析出量(g)	硫酸鉀析出比	平均每克乙醇析出硫酸鉀量(g)	加入乙醇量(g)	硫酸鉀析出量(g)	硫酸鉀析出比	平均每克乙醇析出硫酸鉀量(g)
0.50	0.25	20.8%	0.50	5.50	1.07	89.2%	0.19
1.00	0.70	58.3%	0.70	6.00	1.10	91.7%	0.18
1.50	0.75	62.5%	0.50	6.50	1.11	92.5%	0.17
2.00	0.87	72.5%	0.44	7.00	1.14	95.0%	0.16
2.50	0.95	79.2%	0.38	7.50	1.14	95.0%	0.15
3.00	0.98	81.7%	0.33	8.00	1.11	92.5%	0.14
3.50	1.01	84.2%	0.29	8.50	1.13	94.2%	0.13
4.00	1.05	87.5%	0.26	9.00	1.15	95.8%	0.13
4.50	1.04	86.7%	0.23	9.50	1.11	92.5%	0.12
5.00	1.07	89.2%	0.21	10.00	1.12	93.3%	0.11

說明：1. 飽和硫酸鉀水溶液=11.2(g)，硫酸鉀=1.2(g)
 2. 析出比=硫酸鉀析出量(g)/1.2(g)×100%
 3. 平均每克乙醇析出硫酸鉀量=硫酸鉀析出量(g)/加入乙醇量(g)



(九)、 實驗九：飽和硫酸鋰水溶液與乙醇的析出比變化

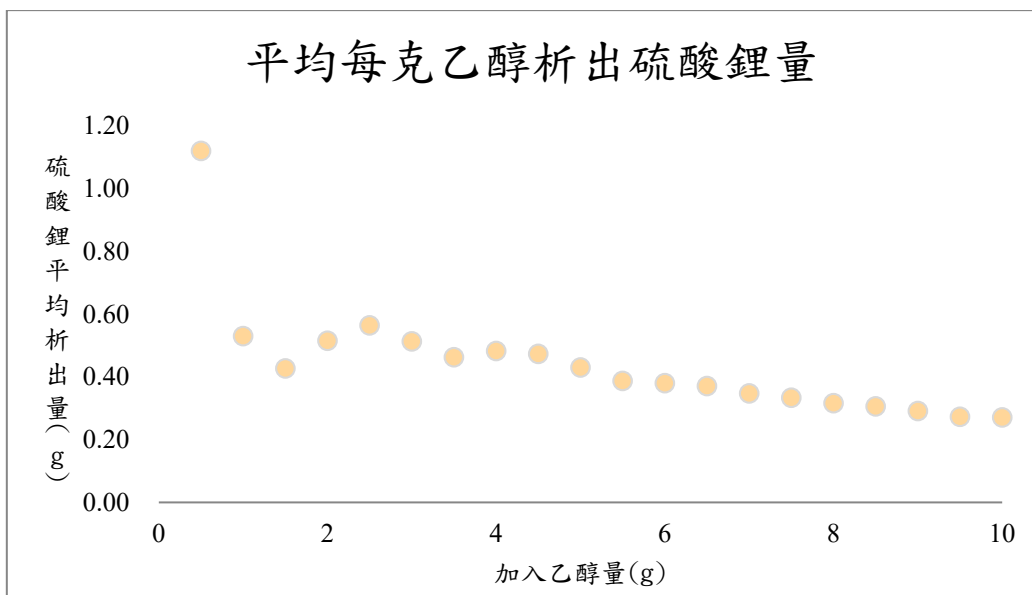
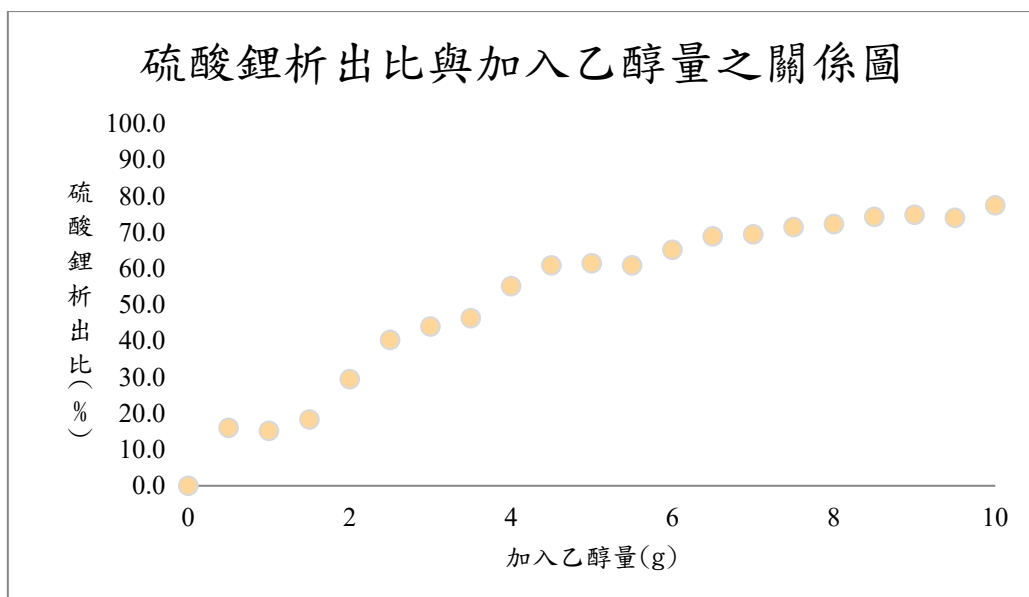
飽和硫酸鋰水溶液與乙醇的析出比變化							
加入乙醇量(g)	硫酸鋰析出量(g)	硫酸鋰析出比	平均每克乙醇析出硫酸鋰量(g)	加入乙醇量(g)	硫酸鋰析出量(g)	硫酸鋰析出比	平均每克乙醇析出硫酸鋰量(g)
0.50	0.56	16.0%	1.12	5.50	2.13	60.9%	0.39
1.00	0.53	15.1%	0.53	6.00	2.28	65.1%	0.38
1.50	0.64	18.3%	0.43	6.50	2.41	68.9%	0.37
2.00	1.03	29.4%	0.52	7.00	2.43	69.4%	0.35
2.50	1.41	40.3%	0.56	7.50	2.5	71.4%	0.33

3.00	1.54	44.0%	0.51	8.00	2.53	72.3%	0.32
3.50	1.62	46.3%	0.46	8.50	2.6	74.3%	0.31
4.00	1.93	55.1%	0.48	9.00	2.62	74.9%	0.29
4.50	2.13	60.9%	0.47	9.50	2.59	74.0%	0.27
5.00	2.15	61.4%	0.38	10.00	2.71	77.4%	0.27

說明：1. 飽和硫酸鋰水溶液=13.6(g)，硫酸鋰=3.5(g)

2. 析出比=硫酸鋰析出量(g)/3.5(g)×100%

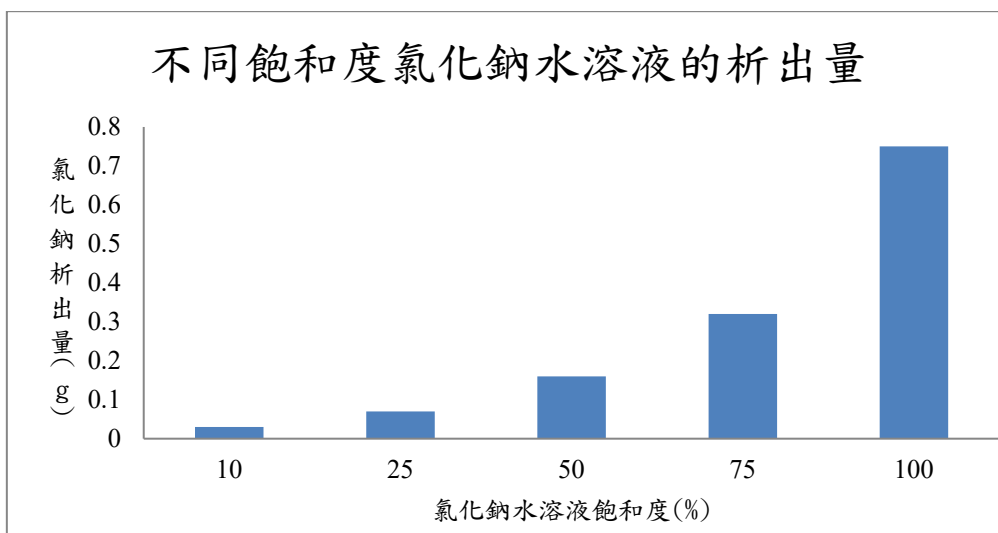
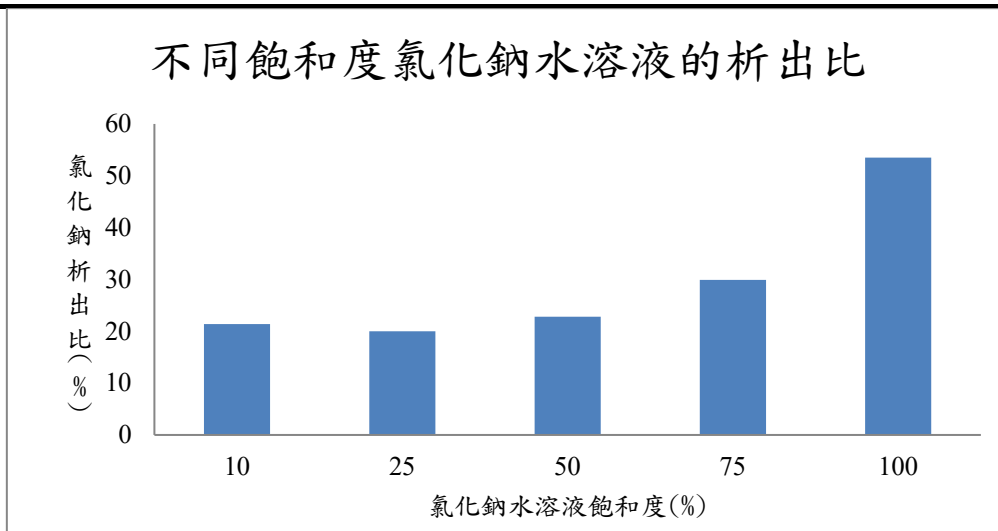
3. 平均每克乙醇硫酸鋰析出量=硫酸鋰析出量(g)/加入乙醇量(g)



(十)、 實驗十：不同飽和度氯化鈉水溶液與乙醇的析出比變化

不同飽和度氯化鈉水溶液析出比變化					
氯化鈉水溶液飽和度 (%)	100	75	50	25	10
氯化鈉析出量 (g)	0.75	0.32	0.16	0.07	0.03
析出比 (%)	21	20	23	30	54

註：1. 本實驗一律加入 5g 乙醇及 5g 氯化鈉水溶液
2. 析出比=析出量/總氯化鈉量



二、實驗討論

(一)、 文獻探討

1. 水合焓經驗公式(兩種計算方法)

$$(1). \Delta H_{hyd}^0 = \frac{7 \cdot 10^4 Z^2}{r+85}$$

$$(2). \Delta H_{hyd}^0 = \frac{930(Z-0.2)^2}{r+1-\frac{1}{2}Z}$$

(3). Z 為離子電荷， r 為離子半徑

2. 晶格能經驗公式

$$(1). U_{lat} = -K \cdot \frac{v \cdot |z^+| \cdot |z^-|}{r^+ + r^-} \cdot \left(1 - \frac{d}{r^+ + r^-}\right)$$

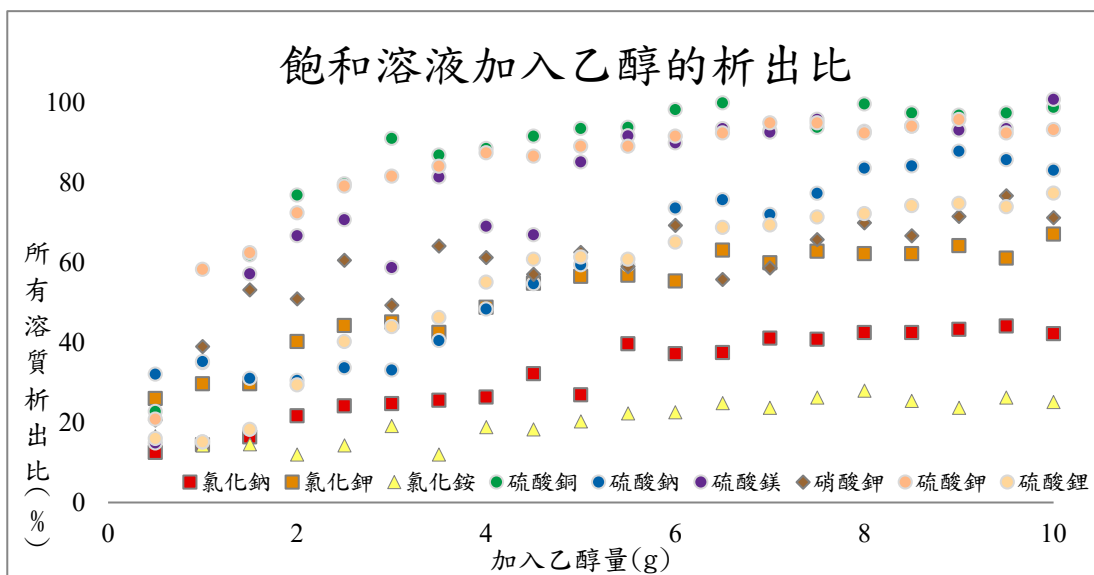
$$(2). K = \cdot 10^{-4} J \cdot m \cdot mol^{-1}, d = 3.45 \cdot 10^{-11} m$$

(3). v 為離子數目， z 為離子電荷， r 為離子半徑

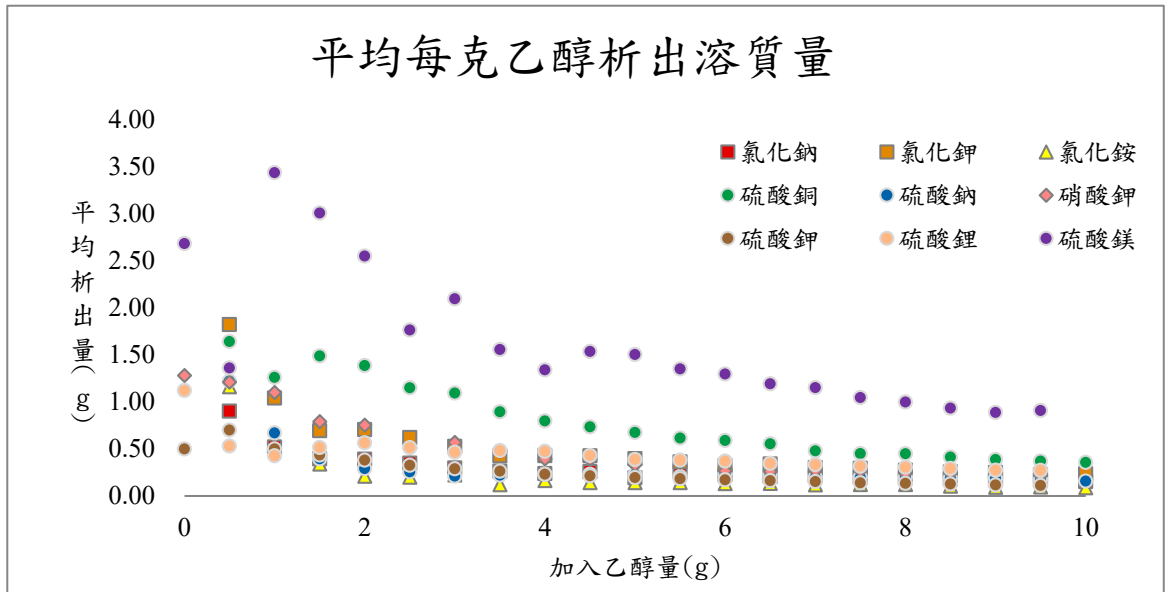
(二)、 各溶質平均最大析出比

溶質 \ 加入乙醇量(g)	8	8.5	9	9.5	10	平均最大析出比 (最後五點平均)
NaCl	42.5%	42.5%	43.3%	44.2%	42.2%	42.94%
KCl	62.3%	62.3%	64.3%	61.1%	67.1%	63.42%
NH ₄ Cl	28.0%	25.4%	23.7%	26.3%	25.1%	25.70%
KNO ₃	70.0%	66.8%	71.6%	76.8%	71.3%	71.30%
Li ₂ SO ₄	72.3%	74.3%	74.9%	74.0%	77.4%	74.58%
Na ₂ SO ₄	83.7%	84.2%	87.9%	85.8%	83.2%	84.96%
K ₂ SO ₄	92.5%	94.2%	95.8%	92.5%	93.3%	93.66%
MgSO ₄	92.9%	94.2%	93.2%	93.6%	100.0%	94.78%
CuSO ₄	99.7%	97.5%	96.9%	97.5%	98.9%	98.10%

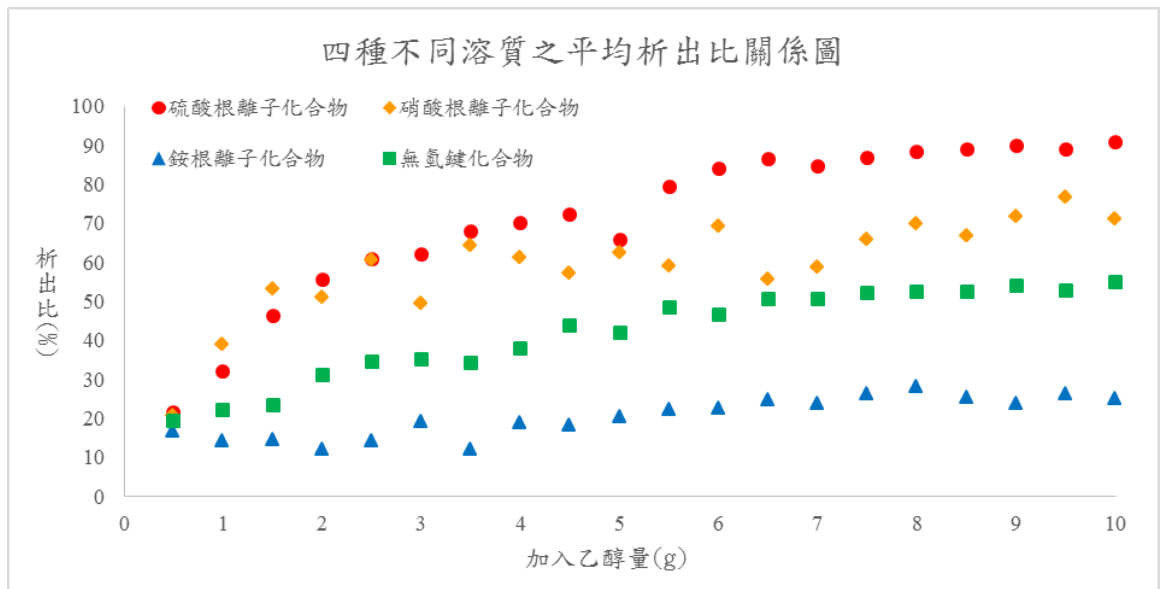
(三)、 各溶質對乙醇析出比



(四)、 各溶質每克乙醇析出溶質量



(五)、 四類溶質析出比



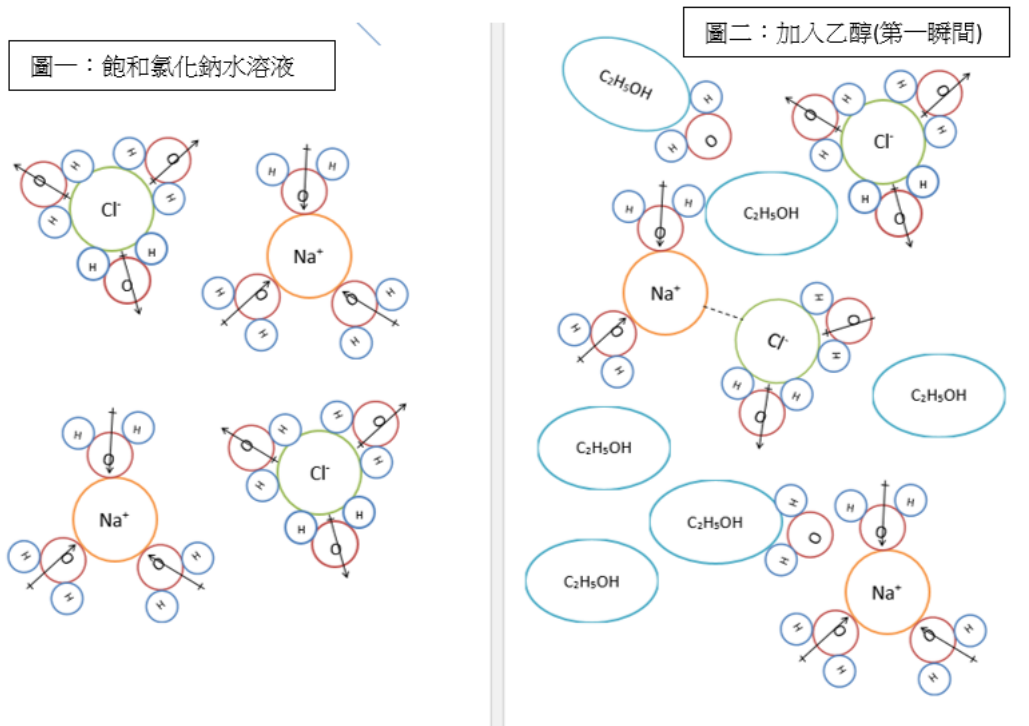
(六)、 實驗數據討論

1. 所有溶質在乙醇量達到 8 克以上時都有最大析出比的出現，每種溶質在最後五次實驗中（乙醇量：8~10g），析出比能達到實驗最大值。
2. 每種溶質取最後五點實驗數據進行平均最大析出比分析，其中平均最大析出比為硫酸銅(98.10%)>硫酸鎂(94.78%)>硫酸鉀(93.66%)>硫酸鈉(84.96%)>硫酸鋰(74.58%)>硝酸鉀(71.30%)>氯化鉀(63.42%)>氯化鈉(42.94%)>氯化銨(25.70%)。
3. 不同飽和度的氯化鈉水溶液，在加入固定量的乙醇後，析出量隨著飽和度增加而有趨勢增加的現象。
4. 每種溶質在逐漸增加乙醇量後，每公克乙醇能析出溶質的析出量都是剛加入 0.5

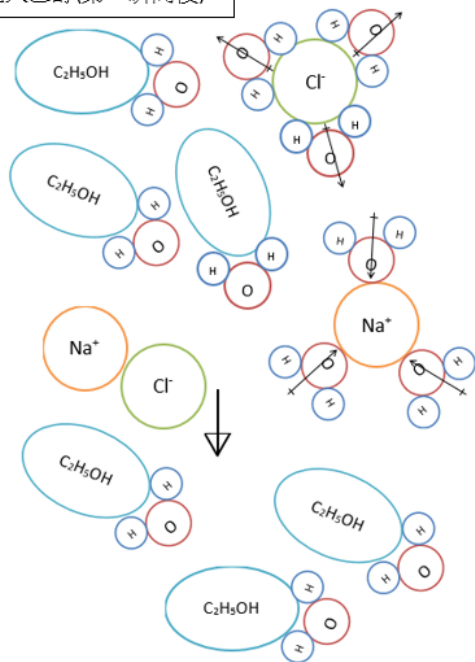
~1.0 克乙醇時較高，而隨著增加乙醇量後漸漸減少，有明顯的初始效應並隨著乙醇加入量而達到臨界值（表-平均每克乙醇析出溶質量）。

(七)、析出過程分析

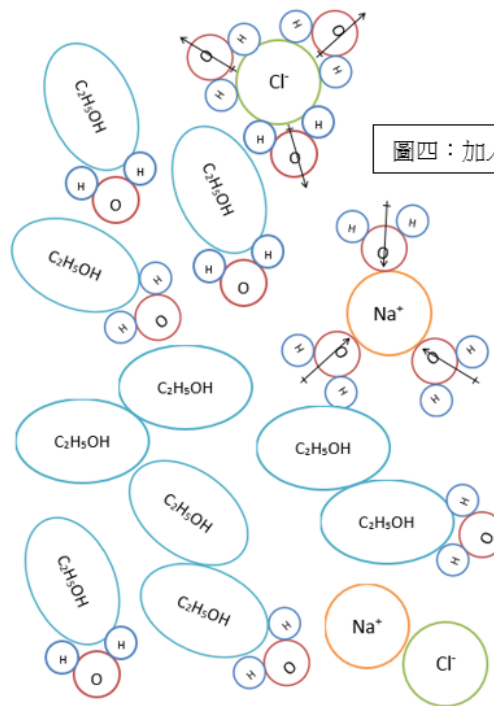
1. 離子化合物溶於水中時，因水為極性分子，溶質以離子-偶極力溶於水中，部份離子溶於水會產生氫鍵。
2. 乙醇溶於水後產生的分子間氫鍵會影響水的極性，水與乙醇結合形成水-乙醇的水合狀態會造成大量放熱，在 298 K 時，大約放出 777 J/mol（參考資料 5），水對溶質的水合能減少，此時因水的極性而溶解的離子，會因水合能能量不足以將溶質溶解，而離子化合物的晶格能又大於水合能，使得溶質溶解度大幅下降，傾向析出晶體。
3. 乙醇溶於水後，由於乙醇與水形成之氫鍵鍵能大於硫酸根離子，等於硝酸根離子，分子間氫鍵的影響使得水對溶質能產生的水合能變小，硫酸根離子及硝酸根離子的溶解度因而降低，另一離子也因水的極性被乙醇減弱，水與離子形成的水合離子因而部份帶電，因等電性效應，陰離子與陽離子結合為晶體析出。
4. 當乙醇量持續提高，析出量會達到最大值，此時水-乙醇的水合狀態所產生的極性應可對低電荷數的離子進行水合，溶質仍可溶解，而無法完全析出。



圖三：加入乙醇(第一瞬間後)

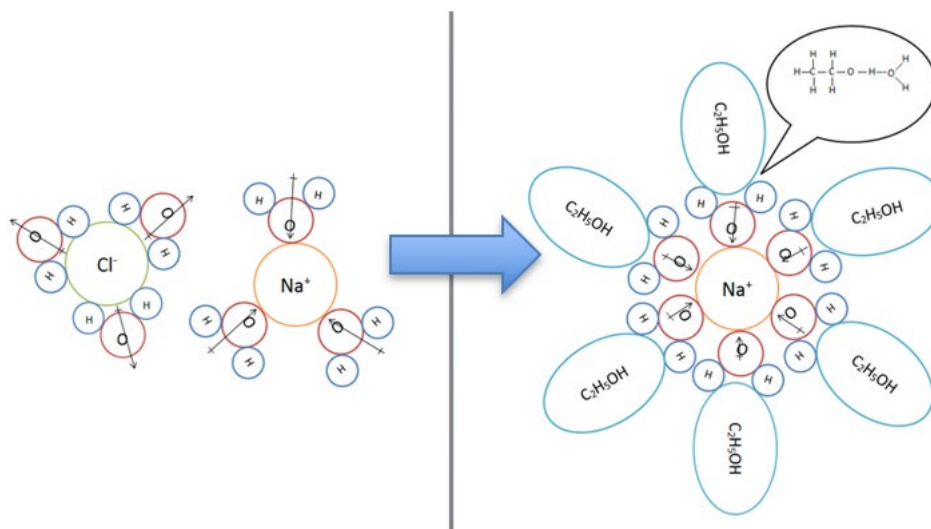


圖四：加入更多乙醇

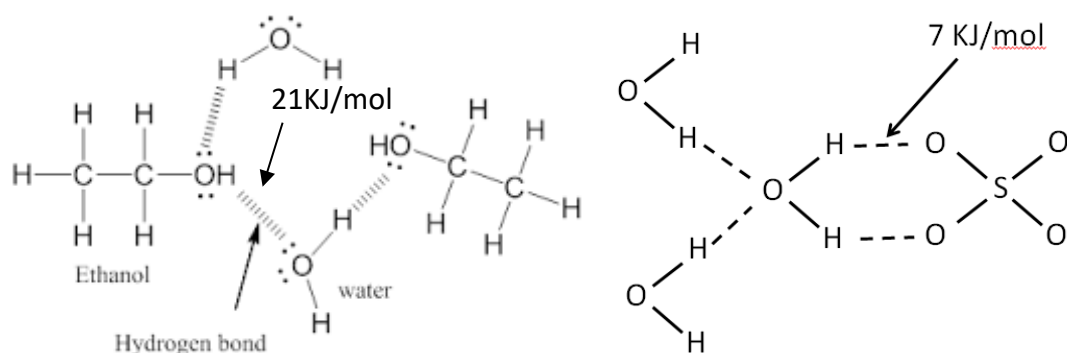


(八)、 平均每克乙醇對溶質析出量

1. 將加入的乙醇克數除以溶質的析出量，可以得到每克乙醇可以析出的溶質量。
2. 每種溶液在逐漸增加乙醇量後，每公克乙醇能析出溶質克數的趨勢皆為不斷下降，但下降幅度越來越趨緩而達到臨界值，可發現加入乙醇克數愈多，反而每公克乙醇的析出量變少。
3. 每種溶液在加入乙醇時都有強烈的初始效應，加入 1 公克乙醇時所析出的析出量都大於加入 10 公克乙醇，根據水和乙醇互溶時的體積變化曲線（參考資料 2 p134），乙醇和水混合時的會放熱而造成體積縮合，體積變化愈大表示水-乙醇的水合狀態的水合能愈大，由圖表變化曲線判斷，當乙醇莫耳分率較低時，乙醇與水形成的水合狀態其水合能變化較大，隨著乙醇莫耳分率增加，其水合能變化趨緩而達到臨界值，因此造成每克乙醇在加入乙醇量愈多時，每克乙醇溶質析出量反而變少的現象。
4. 離子電荷數較低的溶質，在加入更多乙醇時析出比無法提高，是因水-乙醇的水合狀態所產生的極性應可對低電荷數的離子進行水合，而當水-乙醇混合後達最大縮合體積時，水-乙醇的水合狀態水合能達到最大，對水-溶質能得到的水合能影響減少，此時水對離子仍保有部份的水合能對離子溶解，水合能較小的氯化鈉、氯化鉀、氯化銨就可以保持部份的溶解，因此水合能最小的氯化銨則有著最小的析出比，最大的溶解量。



(九)、 氫鍵對析出比的影響



1. 平均最大析出比：硫酸根離子化合物>硝酸根離子化合物>銨根離子化合物
 氫鍵強度： $\text{SO}_4^{2-} \dots \text{H}_2\text{O}$ (7KJ/mol) < $\text{NO}_3^- \dots \text{H}_2\text{O}$ (21KJ/mol) \approx $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \dots \text{H}_2\text{O}$ (21KJ/mol) < $\text{NH}_4^+ \dots \text{H}_2\text{O}$ (29KJ/mol)。(參考資料 8)
2. 乙醇、硫酸根離子、硝酸根離子、銨根離子溶於水都會與水形成氫鍵，其中乙醇與水形成氫鍵強度為 21KJ/mol。
3. 硫酸根與水形成之氫鍵為 7KJ/mol，較乙醇與水形成之氫鍵 21KJ/mol 小，當加入乙醇時，硫酸根離子與水形成之氫鍵小於乙醇與水的氫鍵，溶質能得到的水合能減少，使得硫酸根離子溶解度降低，在實驗數據中，硫酸銅、硫酸鈉、硫酸鉀、硫酸鎂等溶質在加入乙醇後都有明顯的析出量。
4. 硝酸根離子與水形成之氫鍵為 21KJ/mol，與乙醇與水形成之氫鍵 21KJ/mol 相同，溶質能得到的水合能變化不大，因此硝酸根的溶解在加入乙醇時所受到的影響較小，而造成硝酸鉀的析出比小於硫酸根離子化合物。
5. 銨根離子與水形成之氫鍵為 29KJ/mol，大於乙醇於水形成之氫鍵，但由於另一離子的溶解仍會受到乙醇之影響，溶質能得到的水合能仍會變化，在等電效應下，仍會有少量析出，在實驗數據中，氯化銨的平均最大析出比是最低的。

6. 氯離子化合物(不包括氯化銨)析出比介於硝酸根離子與銨根離子間，推論是因為其離子皆是藉由水的極性溶解形成水合離子，極性能量強度比氫鍵小，溶質能得到的水合能變化相對較少，加入乙醇後，乙醇會與離子競爭水分子，使離子的溶解受到影響，但水-乙醇的水合狀態的極性仍然存在，離子仍可以水-乙醇的水合狀態的極性溶解於水中，進而造成析出效果較硫酸根離子化合物差。

(十)、離子半徑對析出比的影響

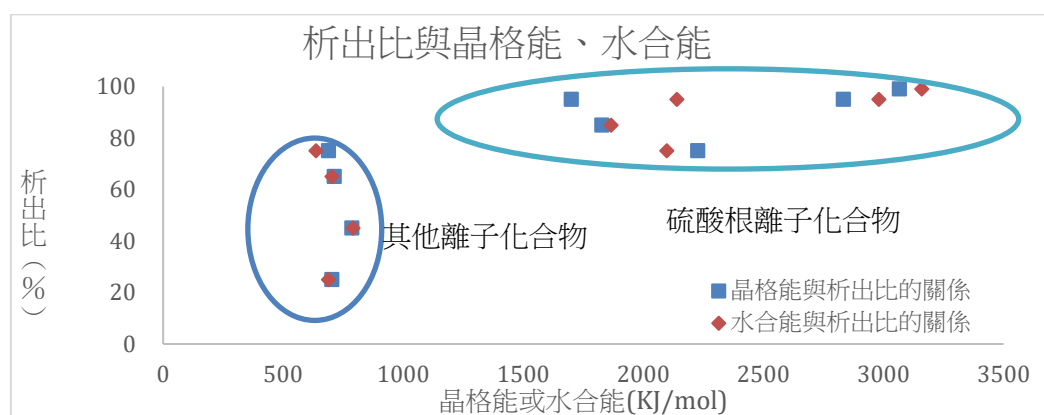
1. 硫酸鉀的析出比大於硫酸鈉、氯化鉀的析出比大於氯化鈉、硫酸銅的析出比大於硫酸鎂，以離子半徑分析，鉀離子(152pm)大於鈉離子(116pm)，銅離子(87pm)略大於鎂離子(86pm)。(參考資料 6)
2. 根據經驗公式，當離子半徑較大時，可推得水合能較小，在飽和溶液中加入乙醇後，水與乙醇形成水合狀態，當水-乙醇的水合狀態的水合能大於這些離子水合能時，造成離子半徑較大的離子水合物傾向於析出。(參考資料 3、10)

(十一)、離子電荷對平均最大析出比的影響

1. 一價負離子的氯化鈉、氯化鉀與二價負離子的硫酸鈉、硫酸鉀做比較，可發現離子所帶電荷數較高時，其平均最大析出比皆會增加。
2. 根據晶格能的經驗公式(參考資料 4)，可瞭解電荷數愈大，晶格能愈大，因此水-乙醇的水合狀態的水合能大於水-溶質(離子化合物)的水合能時，水-溶質的水合能不足以使溶質溶解，二價離子因晶格能大而傾向於析出晶體。

(十二)、晶格能對平均最大析出比的影響

1. 平均最大析出比：硫酸銅>硫酸鎂>硫酸鈉
2. 晶格能：硫酸銅(3066KJ/mol)>硫酸鎂(2833KJ/mol)>硫酸鈉(1827KJ/mol)
3. 晶格能愈大代表其析出晶體的傾向愈大，水-乙醇的水合狀態的水合能造成水-溶質可得到的水合能變小，因此晶格能愈大就容易造成析出，晶格能最大的硫酸銅，其平均最大析出比為本實驗中最大。(參考資料 9)



陸、結論

- 一、氫鍵強度、離子半徑、離子電荷與離子化合物的水合能、晶格能有正相關
- 二、乙醇加入量與析出量呈現正相關，每克乙醇析出量具有臨界析出比
- 三、離子半徑愈大，離子電荷愈大，平均最大析出比愈高
- 四、離子可與水形成之氫鍵愈強，平均最大析出比愈低
- 五、離子化合物的水合能愈大，愈容易受到乙醇加入的影響而析出
- 六、離子化合物的晶格能愈大，愈容易受到乙醇加入的影響而析出

柒、參考資料

一、參考資料

- 1、曾國輝 2005 化學 第二版 上、下冊
- 2、高振儀 1994 普通化學
- 3、水合焓：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%B4%E5%90%88%E7%84%93>
- 4、卡普斯欽斯基方程：https://zh.wikipedia.org/wiki/Kapustinskii_equation
- 5、陳偉民、葉名倉 2009 科學 online：[科學 online-乙醇\(ethanol\)](#)
- 6、Ionic radius Wikipedia：https://en.wikipedia.org/wiki/Ionic_radius
- 7、施建輝 2016 台灣化學教育：[硫酸銅晶體結構的探討.pdf](#)
- 8、氫鍵 Wikipedia：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%A2%E9%94%AE>
- 9、Lattice energy table：[Lattice-energies-of-selected-double-salts-kJ-mol_tbl1](#)
- 10、Derek W. Smith 542 1 Journal of Chemical Education Ionic Hydration Enthalpies

二、附表

1、附表（一）晶格能、水合能、離子半徑

	分子量	溶解度 25°C 100g 水	乙醇溶解度	溶質 mol	每 mol 水溶 解溶質 mol	晶格能 (KJ/mol)	水合能 (KJ/mol)
NaCl	58.5	35.9	0.065	0.61	0.110	786	790
KCl	74.55	34.4	0.029	0.46	0.083	713	703
NH ₄ Cl	53.49	37.2	0.600	0.70	0.125	703	688
KNO ₃	101	31.6	0.000	0.31	0.056	689	636
Li ₂ SO ₄	110	34.9	0.000	0.32	0.005	2226	2097
Na ₂ SO ₄	142.04	19.2	0.440	0.14	0.024	1827	1865
K ₂ SO ₄	174.26	11.1	0.000	0.06	0.011	1700	2139
MgSO ₄	120	35.1	0.025	0.29	0.053	2833	2980
CuSO ₄	159.608	22.3	0.000	0.14	0.025	3066	3159

C ₂ H ₅ OH	46	互溶					
H ₂ O	18		互溶				
	氫鍵 (H-bond) X-H ₂ O(KJ/mol)	離子半徑(pm)		離子半徑合 (r ⁺)+(r ⁻)	正電荷(+) z ⁺	負電荷(-) z ⁻	
		陽離子半徑	陰離子半徑				
NaCl	0	116	167	283	1	1	
KCl	0	152	167	319	1	1	
NH ₄ Cl	29	151	167	318	1	1	
KNO ₃	21	152	179	331	1	1	
Li ₂ SO ₄	7	76	130	206	1	2	
Na ₂ SO ₄	7	116	130	246	1	2	
K ₂ SO ₄	7	152	130	282	1	2	
MgSO ₄	7	86	130	216	2	2	
CuSO ₄	7	87	130	217	2	2	
C ₂ H ₅ OH	21						
H ₂ O	21						

【評語】 030206

這是對離子沉澱現象的觀察的基礎實驗，不過這些飽和溶液形成離子化合物是很正常事情，主要是陰陽離子電荷相吸的作用，而非溶液中氫鍵或弱作用力的影響。

摘要

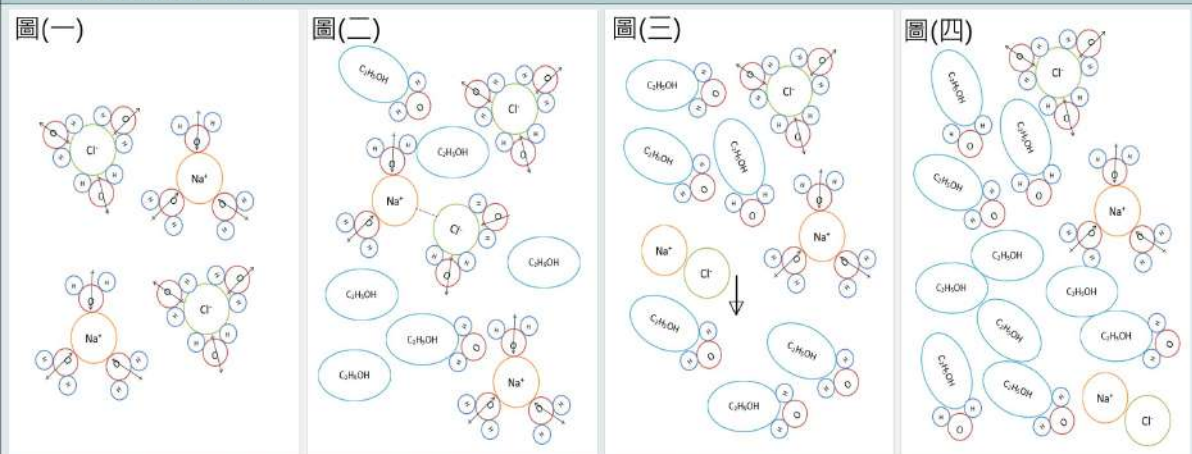
飽和氯化鈉水溶液加入乙醇，會因氯化鈉不溶於乙醇而產生沉澱，進一步分析氯化鉀、氯化銨、硫酸銅、硫酸鎂、硫酸鈉、硝酸鉀等溶質。根據各溶質的析出比可發現，離子半徑及電荷越大，析出比越高，如：硫酸鉀的析出比大於硫酸鈉(離子半徑)，而硫酸鎂的析出比也大於硫酸鈉(離子電荷)。根據實驗結果發現，該溶質溶解時，水-溶質與水-乙醇的水合能有相關性。水-溶質的水合能小，易受到水-乙醇的水合能影響，溶質因晶格能較大而傾向於析出，則溶質平均最大析出比較高，例如硫酸銅。溶質的水合能較大，且晶格能較小時，在加入乙醇後，溶質傾向於溶解，則溶質平均最大析出比較低，例如氯化鈉。

壹、研究目的

- 一、利用不同飽和度的氯化鈉溶液加入不同乙醇量來觀察氯化鈉溶質析出比的變化
- 二、利用各種不同的溶質在水以及乙醇雙溶劑的情況下，觀察各種溶質析出比的變化
- 三、透過上述實驗結果分析雙溶劑溶液析出溶質的原理

貳、研究原理

一、溶質析出過程



- (一) 離子化合物溶於水中時，因水為極性分子，溶質以離子-偶極力溶於水中(圖一)
- (二) 加入乙醇後，水與乙醇結合形成以氫鍵為主的水-乙醇的水合狀態，此時水的極性減弱，溶質與水形成的水合離子的靜電力增加，溶液中的陰、陽離子因靜電力增加而傾向於析出(圖二)(圖三)
- (三) 水-乙醇的水合能和水-溶質的水合能互相競爭，溶質得到的水合能相對減少，使得溶質溶解度大幅下降，傾向析出晶體
- (四) 隨著乙醇莫耳分率增加，其水-乙醇的水合能變化趨緩而達到臨界值，水-溶質的水合能受到水-乙醇的影響變小，使得雙溶劑仍能溶解少量離子化合物，且水-乙醇的水合物仍具有極性，因此少量溶質仍能以離子-偶極力溶解於溶液中(圖四)

二、水合能				三、晶格能				四、離子半徑			
水分子與離子化合物形成水合離子的焓值變化				陰、陽離子結合形成特定晶體時，其焓值變化量				單位：pm			
溶質	氯化鈉	氯化鉀	氯化銨	溶質	氯化鈉	氯化鉀	氯化銨	溶質	氯化鈉	氯化鉀	氯化銨
水合能	790	703	688	晶格能	786	713	703	Ion radius (+)	102	138	133
溶質	硝酸鉀	硫酸鋰	硫酸鈉	溶質	硝酸鉀	硫酸鋰	硫酸鈉	Ion radius (-)	167	167	167
水合能	636	2097	1865	晶格能	689	2226	1827	溶質	硝酸鉀	硫酸鋰	硫酸鈉
溶質	硫酸鉀	硫酸鎂	硫酸銅	溶質	硫酸鉀	硫酸鎂	硫酸銅	Ion radius (+)	138	76	102
水合能	2139	2980	3159	晶格能	1700	2833	3066	Ion radius (-)	179	258	258
單位：KJ/mol				單位：KJ/mol				溶質			
經驗公式： $\Delta H_{hyd}^0 = \frac{7 \cdot 10^4 Z^2}{r+85}$				經驗公式： $U_{lat}^0 = -K \cdot \frac{v \cdot z^+ \cdot z^- }{r^+ + r^-} \cdot \left(1 - \frac{d}{r^+ + r^-}\right)$				硫酸鉀			
$\Delta H_{hyd}^0 = \frac{930(Z-0.2)^2}{r+1-\frac{1}{2}Z}$				$K = 3.45 \cdot 10^{-4} J \cdot m \cdot mol^{-1}, d = 3.45 \cdot 10^{-11} m$				硫酸鎂			
Z為離子電荷，r為離子半徑				v為離子數目，z為離子電荷，r為離子半徑				硫酸銅			
								Ion radius (+)			
								138			
								258			
								Ion radius (-)			
								258			
								258			

參、實驗方法

配置藥品

混和藥品

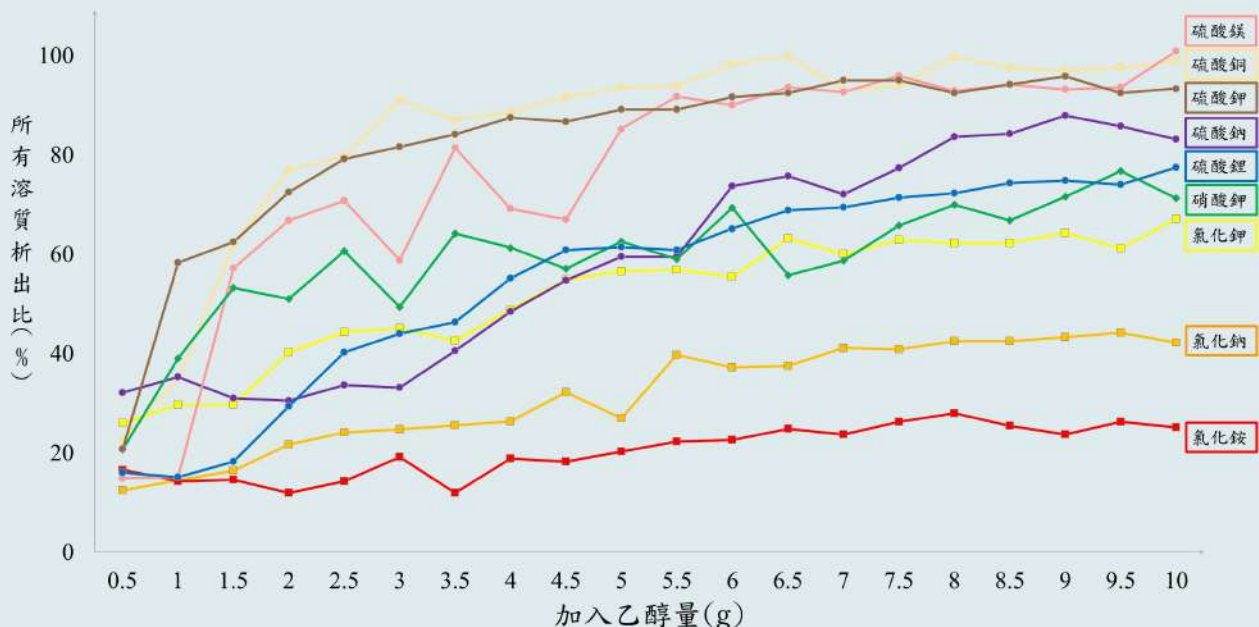
過濾
析出溶質

烘乾/風乾

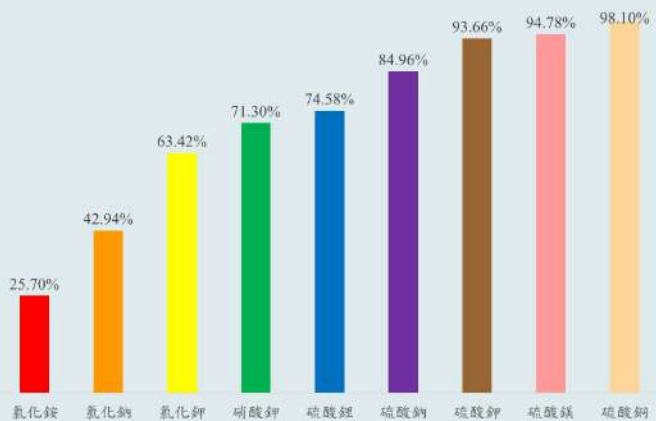
測量
析出量

肆、實驗結果

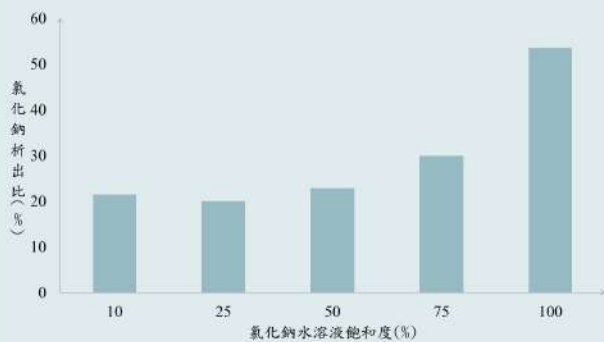
一、飽和溶液加入乙醇的析出比



二、平均最大析出比



三、不同飽和度溶液的析出比

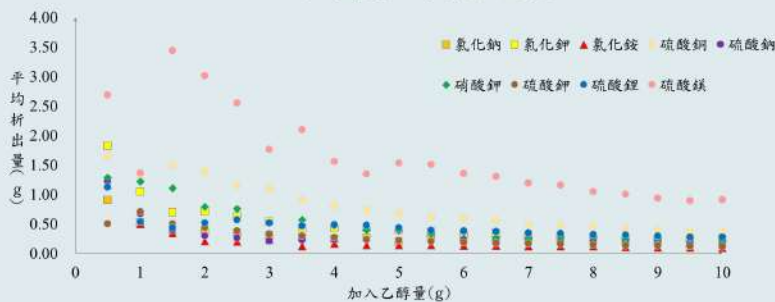


◆ 飽和度越高析出比越高

伍、實驗討論

一、析出趨勢與最大平均析出比

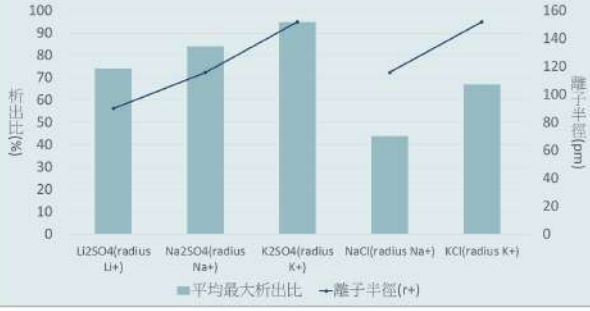
平均每克乙醇析出溶質量



(一) 每種溶液在加入乙醇時都有強烈的初始效應，加入1公克乙醇 ($\chi=0.038$) 時所析出的析出量都大於加入10公克乙醇 ($\chi=0.28$)。根據水和乙醇互溶時的熱焓變化分析，當乙醇莫耳分率(χ)較低時 (0→0.1)，乙醇與水形成的水合狀態其熱焓變化曲線斜率較大，隨著乙醇莫耳分率增加 (0.2→0.3)，熱焓變曲線趨緩，水-乙醇的熱焓減少，因此造成每克乙醇在加入乙醇量愈多時，每克乙醇溶質析出量反而變少

二、離子半徑對析出比影響

離子半徑與平均最大析出比



(一) 陽離子平均最大析出比

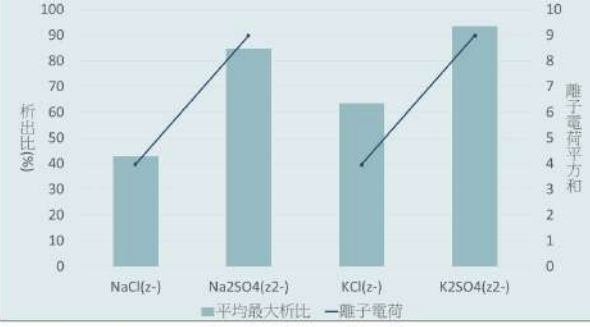
1. 硫酸鉀 ($r^+=152$) > 硫酸鈉 ($r^+=116$) > 硫酸鋰 ($r^+=76$)
2. 氯化鉀 ($r^+=152$) > 氯化鈉 ($r^+=116$)

(二) 水合能經驗公式

1. 離子半徑愈大，水合能愈小，在飽和溶液中加入乙醇後，水與乙醇形成水合狀態，當水-乙醇的水合狀態的水合能大於水-溶質的水合能時，造成離子半徑較大的離子水合物傾向於析出
2. 離子半徑越大，水合能越小
3. 水合能越小，加入乙醇後越傾向析出

三、離子電荷對析出比影響

離子電荷與平均最大析出比



(一) 陰離子電荷平均最大析出比

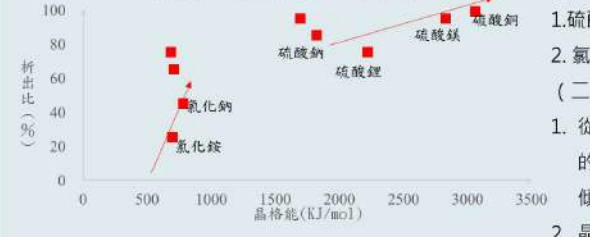
1. 硫酸鈉 ($z=2$) > 氯化鈉 ($z=1$)
2. 硫酸鉀 ($z=2$) > 氯化鉀 ($z=1$)

(二) 晶格能經驗公式

1. 根據經驗公式，電荷數 (z^+z^-) 愈大，晶格能愈大，水-乙醇的水合狀態的水合能大於水-溶質的水合能時，水-溶質的水合能不足以使溶質溶解，二價離子因晶格能大而傾向於析出晶體
2. 離子電荷越大，晶格能越大
3. 晶格能越大，加入乙醇後越傾向析出

四、晶格能對析出比影響

析出比與晶格能之關係圖



(一) 平均最大析出比

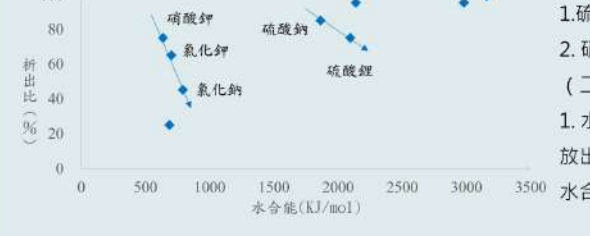
1. 硫酸銅 (3066KJ/mol) > 硫酸鎂 (2833KJ/mol) > 硫酸鈉 (1827KJ/mol)
2. 氯化鈉 (786KJ/mol) > 氯化銨 (703KJ/mol)

(二) 晶格能

1. 從晶格能強度來看，晶格能愈大代表其析出晶體的傾向愈大，水-乙醇的水合狀態的水合能造成水-溶質的水合能變小，因此晶格能越大就越傾向於析出
2. 晶格能最大的硫酸銅，其平均最大析出比為本實驗中最大

五、水合能對析出比影響

析出比與水合能之關係圖



(一) 平均最大析出比

1. 硫酸鈉 (1865KJ/mol) > 硫酸鉀 (2097KJ/mol)
2. 硝酸鉀 (636KJ/mol) > 氯化鉀 (703KJ/mol) > 氯化鈉 (790KJ/mol)

(二) 水合能

1. 水與乙醇結合形成水-乙醇的水合狀態會造成放熱，在298 K時，大約放出777 J/mol，水-溶質的水合能越大，溶質越傾向於溶解，水-溶質的水合能越小，越易受到水-乙醇的水合能影響，溶質越傾向於析出

陸、結論

- 一、離子半徑、離子電荷與離子化合物的水合能、晶格能有正相關
- 二、乙醇加入量與析出量呈現正相關，每克乙醇析出量具有臨界析出比
- 三、離子半徑愈大，離子電荷愈大，平均最大析出比愈高
- 四、離子化合物的晶格能愈大，愈容易受到乙醇加入的影響而析出
- 五、離子化合物的水合能愈小，愈容易受到乙醇加入的影響而析出

柒、參考資料

- 1、曾國輝 2005化學第二版上、下冊
- 2、高振儀 1994 普通化學
- 3、水合焓：
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%B4%E5%90%88%E7%84%93>
- 4、卡普斯欽斯基方程：https://zh.wikipedia.org/wiki/Kapustinskii_equation
- 5、陳偉民、葉名倉 2009 科學online：科學online-乙醇(ethanol)
- 6、Ionic radius Wikipedia：https://en.wikipedia.org/wiki/Ionic_radius
- 7、施建輝 2016 台灣化學教育：硫酸銅晶體結構的探討.pdf
- 8、氫鍵 Wikipedia：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%A2%E9%94%AE>
- 9、Lattice energy table：Lattice-energies-of-selected-double-salts-kj-mol_tbl1
- 10、Derek W. Smith 542 1 Journal of Chemical Education Ionic Hydration Enthalpies