

溶劑介電常數對混合物分離效果之探討

高中組化學科第二名

省立花蓮高中

作者：簡禎彥、陳淵河
謝紀明、賴智盛
指導教師：林福樹、邱文顯

一、研究目的

- (一)在飽和食鹽水溶液，及飽和蔗糖水溶液中，分別加入不同介電常數的溶劑（其介電常數小於水且能與水互溶），探討析出食鹽晶體及蔗糖晶體質量與溶劑體積的關係。
- (二)從飽和食鹽水溶液中加入不同介電常數的分離溶劑，探討析出食鹽晶體質量與分離溶劑介電常數之關係。
- (三)以水與各種介電常數之分離溶劑配製成不同質量之混合溶液，探討對食鹽及蔗糖溶解度之影響，並進而建立其三成分系圖。
- (四)由三成分系圖，尋求分離食鹽與蔗糖混合物之最佳分離區。
- (五)利用沉澱滴定法驗證最佳分離區之分離效果，以資高中化學實驗之改進參考。

二、研究原理

若二點電荷 q_1, q_2 二者間距離為 r ，則 q_1 與 q_2 間之靜電力為

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (\text{在真空中}), K \text{ 爲庫侖常數}$$

今於二帶電體間置入某介質時，其間的靜電力 (F)，將隨之減小，而且因不同介質之置入，其減少量隨之有不同的改變。以比例常數之變化來表示（真空中之力與在介質中之力的比值為一無因次常數 ϵ ，稱爲介電常數）

$$\text{即 } F^1 = K \frac{q_1 \times q_2}{\epsilon_m \times r^2} \quad (\epsilon_m \text{ 爲介質 } m \text{ 的介電常數})$$

也就是說，若二帶電體間之靜電力原爲 F^0 ，則在介質 m 中，其靜電力僅爲 $\frac{1}{\epsilon_m} F^0$ 而已。

由上述說明，可知因水具有極高的介電常數（ 25°C 時爲 78.54），所以離子固體在水中，其陰離子與陽離子間的吸引力，僅爲在真空中的 $\frac{1}{7854}$ 倍，因而極易溶於水，現於食鹽之水溶液中，加入介電常數小於水且可與水互溶之溶劑如乙醇（ 25°C 時爲 24.30），因其介電常數小於水，使 Na^+ 與 Cl^- 間的吸引力變大，故有部分之 Na^+ 與 Cl^- 結合而析出結晶，使得溶解度降低。

三、實驗過程與實驗結果

（實驗一）：探討析出食鹽晶體及蔗糖晶體質量與分離溶劑體積及其介電常數的關係。

第一部分：（飽和食鹽水溶液中加各種分離溶劑）

第二部分：（飽和蔗糖水溶液中加各種分離溶劑）

註：使用之分離溶劑有：甲醇（ $\epsilon = 32.63$ ），乙醇（ $\epsilon = 24.30$ ），正丙醇（ $\epsilon = 20.10$ ），丙酮（ $\epsilon = 20.70$ ），醋酸（ $\epsilon = 6.15$ ）

（一）步驟（略）

（二）結果（略）

（三）結論：

(1) 於飽和食鹽水溶液中，加入介電常數小於水（ $\epsilon = 78.54, 25^\circ\text{C}$ ）且能與水互溶之分離溶劑時，均能使 NaCl 對水的溶解度降低而析出 NaCl 晶體。而且析出 NaCl 晶體的重量與所使用之分離溶劑的介電常數有顯著關係，即分離溶劑的介電常數愈小，所析出之 NaCl 晶體之最大量愈大。

(2) 飽和食鹽水溶液中，加進某定量分離溶劑，析出 NaCl 最多此後

雖持續滴加亦不再有更多的NaCl 晶體析出。

(3)於飽和蔗糖水溶液中，加入上列各種分離溶劑時，起初均無蔗糖固體析出，但置於恒槽中隔夜後，仍有極少量的固體析出，而且析出蔗糖固體的重量與所用分離溶劑之介電常數毫無關係。以使用醋酸為分離溶劑時，析出蔗糖的重量將最小。

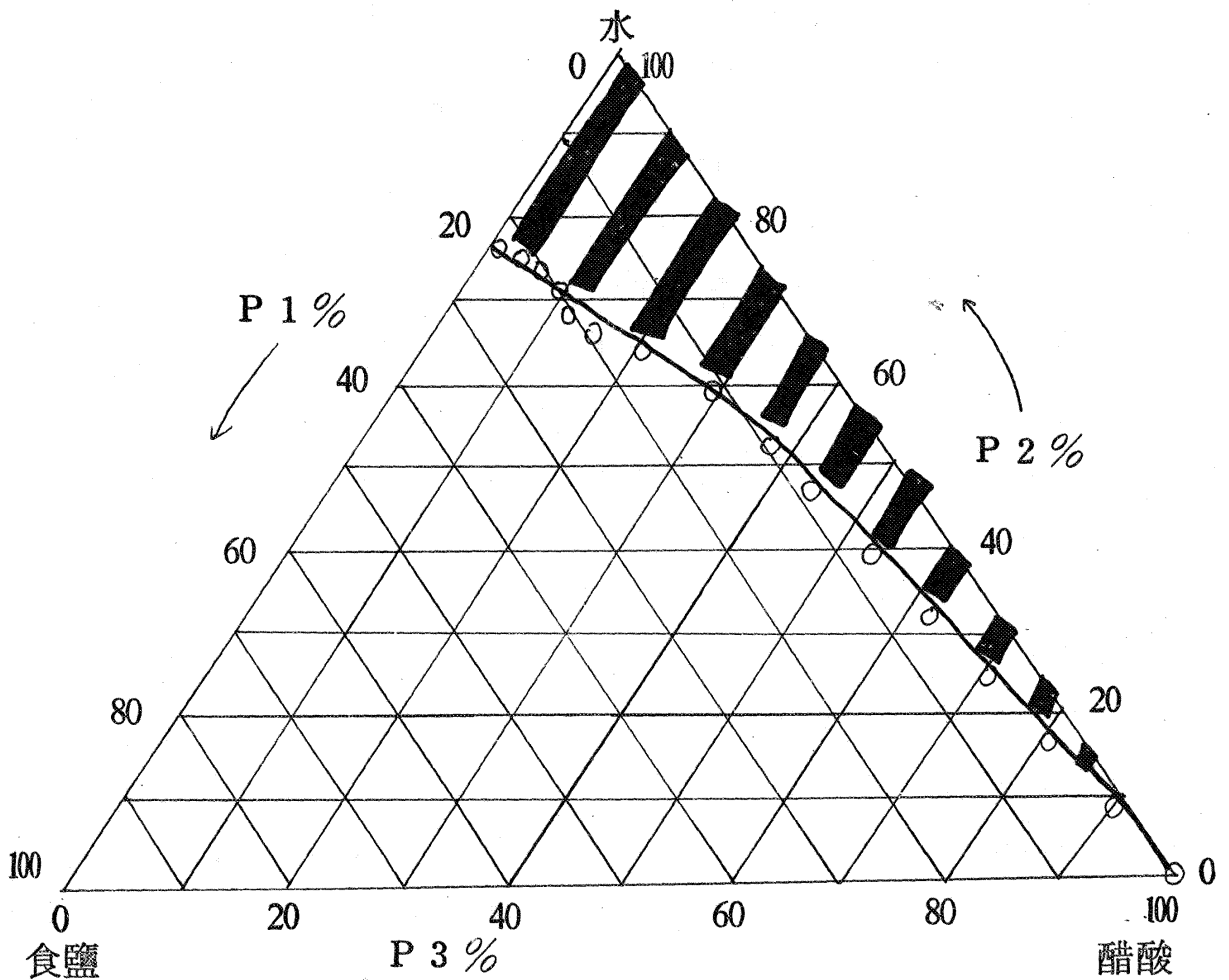
(4)飽和蔗糖水溶液中，加進某定量分離溶劑析出蔗糖最多，此後再繼續滴加溶劑，則蔗糖固體析出量又逐漸減少。

(實驗二)：(水與各種分離溶劑所配製不同質量比之混合溶劑對食鹽及蔗糖溶解度之影響，並建立其三成分系圖)

第一部分：(混合溶劑對食鹽溶解度之影響)

(一)步驟：(略)

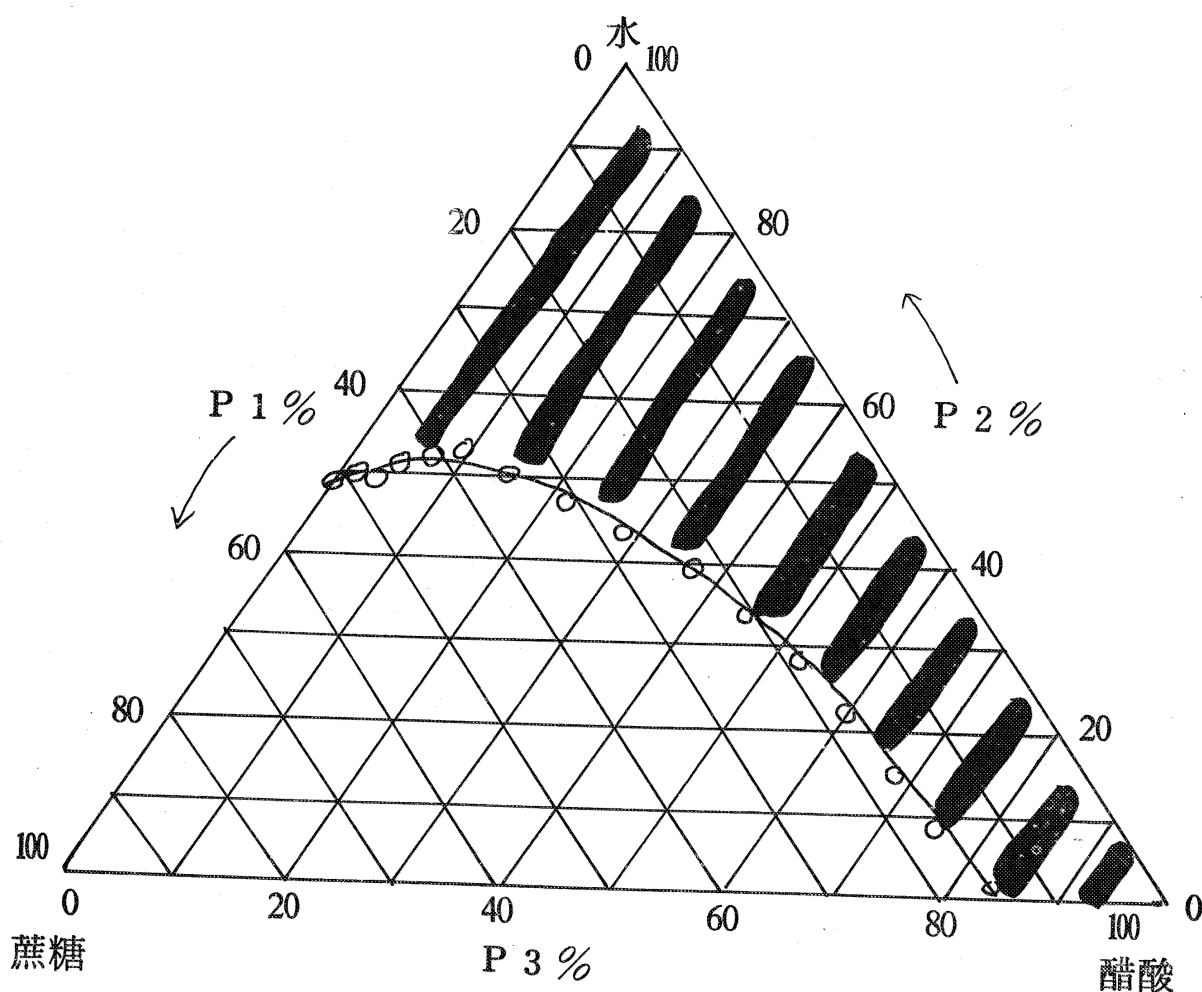
(二)結果：(以食鹽、醋酸、水三成分系溶解曲線關係圖為例，其餘省略)



圖O：(食鹽、醋酸、水三成分系溶解曲線關係圖)

(三)結論：

- (1)由以上之三成分系圖可知，水和各分離溶劑（乙醇、甲醇、正丙醇、丙酮、醋酸）均可以完全互溶，而 $\text{NaCl}(s)$ 和各分離溶劑幾乎完全不互溶， $\text{NaCl}(s)$ 和水為部分互溶。
- (2)以上三成分系溶解曲線關係圖中的彩色斜線部分表示二相共存區（即液相和固相），亦即 $\text{NaCl}(s)$ 能完全溶在此區內之水和各分離溶劑之比例混合液中，而沒有 NaCl 晶體沉澱出來，為一均勻液相。
- (3)以上三成分系圖中之曲線表示水和各分離溶劑所配之各比例混合液對 $\text{NaCl}(s)$ 飽和時之溶解度曲線稱為界限曲線（binodal curve），而在此曲線的下方區域都分成二相，亦即 NaCl 在此區內對混合液只有部分溶解，在水和各分離溶劑之比例混合液中，有 NaCl 晶體沉澱析出。



圖T：（蔗糖、醋酸、水三成分系溶解曲線關係圖）

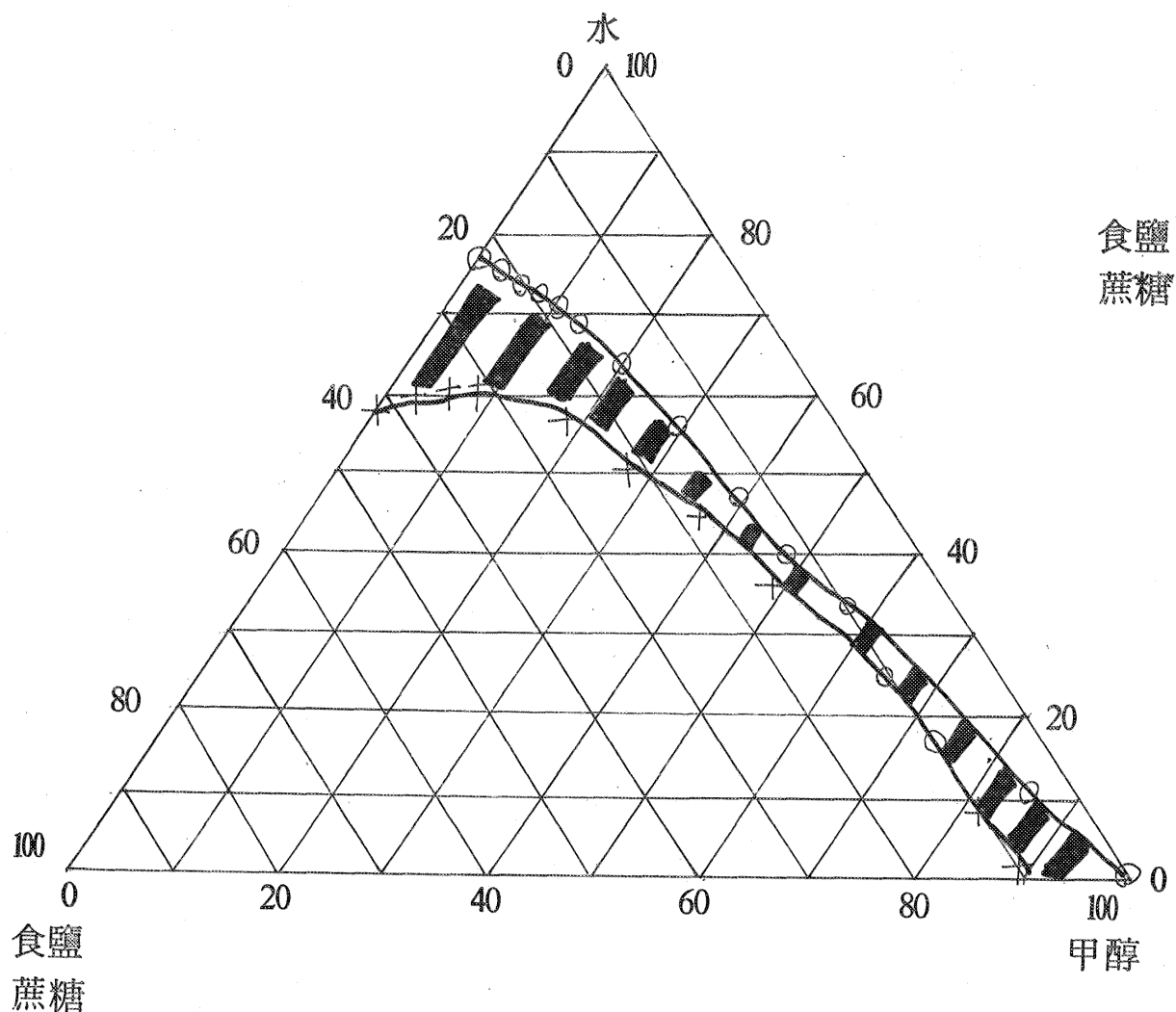
(第二部分) : 混合溶劑對蔗糖溶解度之影響)

(一) 步驟 (略)

(二) 結果 : (以蔗糖、醋酸、水三成分系溶解曲線關係圖為例，其餘略去) (圖 T)

(三) 結論 :

- (1) 由以上之三成分系溶解曲線圖可知，水和各分離溶劑 (乙醇、甲醇、丙酮、正丙醇、醋酸) 均可以完全互溶，而蔗糖和各分離溶劑為部分互溶，蔗糖和水也是部分互溶，但是，蔗糖在水中溶解度均大於蔗糖在各分離溶劑中的溶解度 (25 °C 時) 。
- (2) 三成分系溶解曲線關係圖中的彩色斜線部分表示二相共溶區 (液相和固相)，亦即蔗糖能完全溶在此區域內之水和各分離溶劑之比例混合液中，而呈均勻的液相，沒有蔗糖固體沉澱出來。
- (3) 三成分系溶解曲線圖中的“曲線”表示水和各分離溶劑所配製之各比例混合液對蔗糖飽和時之溶解度曲線，稱為界限曲線 (binodal curve)。而在此曲線的下方區域都分成二相，亦即蔗糖在此區域內對混合液只有部分溶解，在水和各分離溶劑之比例混合液中，會有蔗糖固體析出。
- (4) 由 [食鹽、分離溶劑、水] 和 [蔗糖、分離溶劑、水] 之三成分系溶解曲線圖之比較，吾人可以發現前者的界限曲線要比後者的曲線為高。在兩者之界限曲線間的區域 (如下列各圖之彩色針線部分) 可解釋為混合溶劑對蔗糖可以完全互溶，而對食鹽只是部分互溶，因此，今後，我們可在此區域來分離蔗糖和食鹽的混合物，其效果將最好。(茲將各種混合溶劑對食鹽、蔗糖所構成之三成分系圖，重疊繪製如下列以便比較)
(以 NaCl、甲醇、水三成分系圖) 與 (蔗糖、甲醇、水三成分系圖) 重疊後之比較為例，其餘略去。



圖V：(NaCl、甲醇、水三成分系圖)與(蔗糖、甲醇、水三成分系圖)重疊後之比較：

(實驗三)：(利用三成分系圖之最佳分離區測試分離溶劑對食鹽和蔗糖混合物之分離效果——沉澱滴定法)

第一部分：以乙醇為分離溶劑之測試(略)

第二部分：以醋酸為分離溶劑之測試

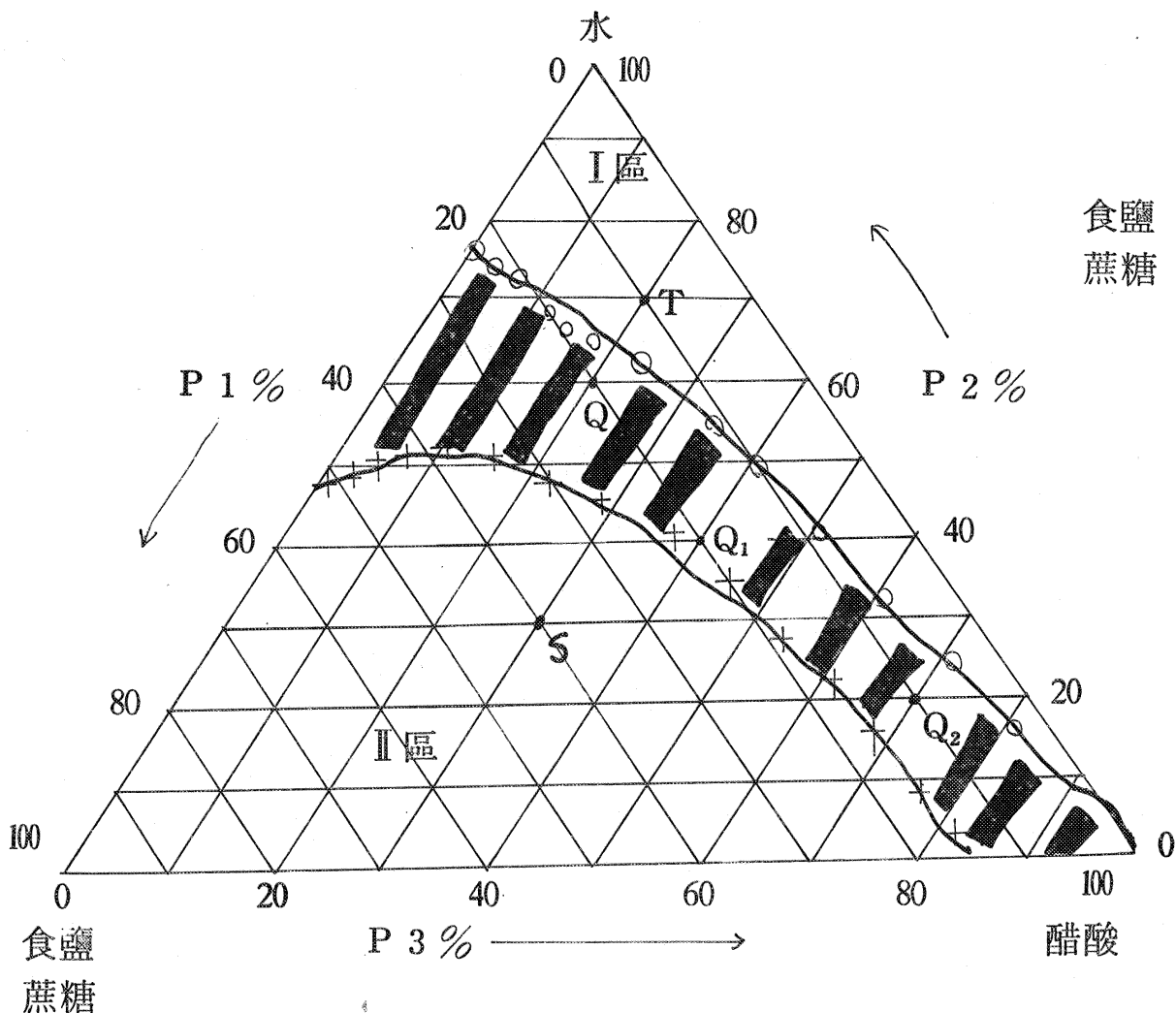
(一)步驟(甲)

(1)在(食鹽——水——醋酸)與(蔗糖——水——醋酸)三成分系圖重疊圖之最佳分離區(即下圖中彩色斜線部分)中任取一點(如下圖中Q點)，水佔60%、醋酸佔20%、食鹽或蔗糖佔20%，按Q點之比例稱取水12克、醋酸4克、食鹽及蔗糖各4克。

(2)將食鹽、蔗糖各4克溶於12克水和4克醋酸之混合溶劑中，以磁攪拌器充分攪拌之後，靜置30分鐘，析出沉澱物A，快速過濾後

，烘乾稱重 W_0 。

- (3)將沉澱物A，加入 20 ml 之蒸餾，攪拌至完全溶解後，再加 0.5 MK_2CrO_4 水溶液 10 ml 為指示劑，以 0.5 M 之 $AgNO_3$ 溶液滴定之，當達到滴定終點時（溶液呈磚紅色），紀錄用去之 $AgNO_3$ (aq) 之體積 (ml 數)。
- (4)計算用去 $AgNO_3$ 之莫耳數，求出 $NaCl$ 之莫耳數及重量 W ，並進而計算沉澱物 A 中所含 $NaCl$ 之百分比。



(5)於最佳分離區中，再任選數點（如上圖中之 Q_1 、 Q_2 二點）

- ① Q_1 點，水佔 40 %，醋酸佔 40 %，食鹽或蔗糖各佔 20 %，按 Q_1 點之比例稱取水 8 克、醋酸 8 克，食鹽及蔗糖各 4 克。
- ② Q_2 點，水佔 20 %，醋酸佔 70 %，食鹽或蔗糖各佔 10 %，按 Q_2 點之比例稱取水 4 克、醋酸 14 克，食鹽及蔗糖各 2 克。
- ③重複本實驗步驟(2)(3)(4)。

(二) 步驟 (乙)

(1) 在 I 區 (糖、鹽均溶解區) 任取一點 (如上圖中之 T 點), 水佔 70%, 醋酸佔 20%, 食鹽或蔗糖各佔 10%, 按 T 點比例, 稱取水 14 克、醋酸 4 克, 食鹽及蔗糖各 2 克, 將食鹽及蔗糖之混合物溶於水及醋酸之混合溶劑中, 用磁攪拌器充分攪拌後, 靜置 1 小時, 觀察結果。

(2) 在 II 區 (糖、鹽均部分溶解區) 任取一點 (如上圖中之 S 點) 水佔 30%、醋酸佔 30%, 食鹽及蔗糖各佔 40%, 按 S 點之比例, 稱取水 6 克、醋酸 6 克, 食鹽及蔗糖各 8 克, 重複步驟 (甲) 中之 (2)(3)(4)。

(三) 結果 (甲)

(1) Q 點: 食鹽及蔗糖各 4 克溶於 12 克水和 4 克醋酸之混合溶劑中。

沉澱物 A 之重量 W_0 (克)	$\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 體積 (ml)	NaCl 莫耳數 (mol)	NaCl 重 W (克)	A 中含 NaCl 百分率 $(W/W_0) \times 100\%$
2.14	72.0	0.0360	2.11	98.7%

$$\text{NaCl 之析出率} = \frac{2.11}{4.00} \times 100\% = 52.8\%$$

(2) Q_1 點: 食鹽及蔗糖各 4 克, 溶於 8 克水和 8 克醋酸之混合溶劑中。

沉澱物 A 之重量 W_0 (克)	$\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 體積 (ml)	NaCl 莫耳數 (mol)	NaCl 重 W (克)	A 中含 NaCl 百分率 $(W/W_0) \times 100\%$
2.98	99.2	0.0496	2.90	97.3%

$$\text{NaCl 之析出率} = \frac{2.90}{4.00} \times 100\% = 72.5\%$$

(3) Q_3 點: 食鹽及蔗糖各 2 克, 溶於 4 克水和 14 克醋酸及混合溶劑

中。

沉澱物A之重量 W_o (克)	$AgNO_3(aq)$ 體積 (ml)	NaCl 莫耳數 (mol)	NaCl 重量 W (克)	A中含NaCl百分率 $(W/W_o) \times 100\%$
1.70	57.8	0.0289	1.69	99.4 %

$$\text{NaCl 之析出率} = \frac{1.69}{2.02} \times 100\% = 84.5\%$$

結果(乙)

(1) T點的分離結果：

- ①靜置後，仍然沒有沉澱析出，表示蔗糖、食鹽完全溶於水和醋酸之混合溶劑中。
- ②在I區中任一點，依該點之比例，食鹽和蔗糖全部溶於水和醋酸之混合溶劑中，顯示在該區內是無法將食鹽及蔗糖分離的。

(2) S點的分離結果：

沉澱物A之重量 W_o (克)	$AgNO_3(aq)$ 體積 (ml)	NaCl 莫耳數 (mol)	NaCl 重量 W (克)	A中含NaCl百分率 $(W/W_o) \times 100\%$
12.50	298.0	0.149	8.70	69.6 %

沉澱物A中之NaCl只含69.6%，而含有30.4%之蔗糖，顯示在II區中分離效果並不理想。

四、總 結

(一)由實驗的結果得知，飽和食鹽水溶液中，加入各種分離溶劑時（其介電常數均比水小，且能與水互溶者）均會析出食鹽晶體，而且食鹽晶體析出的最大量，將隨著分離溶劑的介電常數增加而漸少，其中醋酸（ $\epsilon = 6.15$ ）的介電常數最小，故析出的食鹽晶體的量最多（2.76克），而甲醇（ $\epsilon = 32.63$ ）的介電常數最大，析出的食鹽晶體的量最少（1.78克），高中化學實驗(一)中，採用

乙醇為分離溶劑，因其介電常數為 24.30（相當大），故其分離效果非極佳。同時，使飽和蔗糖水溶液析出結晶時，雖然與溶劑之介電常數無明顯關係，但可從實驗結果中發現，以醋酸為分離溶劑時，析出之蔗糖結晶最少。因此在食鹽與蔗糖混合物的分離實驗時，若採用醋酸為分離溶劑，其效果將優於乙醇或其他各種溶劑。

(二)從實驗二中（食鹽——水——溶劑）三成分系圖（蔗糖——水——溶劑）三成分系圖的建立，可以進一步了解，三成分之間互溶程度的定量關係，及食鹽（或蔗糖）在各種比例的混合溶劑中之溶解度曲線。

(三)把各種（食鹽——水——溶劑）三成分系圖與相對應之各種（蔗糖——水——溶劑）三成分系圖重疊繪製時，可以在兩界限曲線（binodal curve）間，得到以該溶劑分離食鹽與蔗糖混合物之最佳分離區。

(四)從實驗三利用沉澱滴定結果，我們發現在最佳分離區中以醋酸為分離溶劑時，食鹽的析出率將最大，且在析出的沉澱物 A 中平均含 98.5% 的食鹽，若採用乙醇，則其析出百分率較小，顯見乙醇之分離效果不及醋酸甚遠。

五、討 論

(一)飽和食鹽水溶液中，何以加入介電常數較小的溶劑時〔本研究選取醋酸（ $\epsilon = 6.15$ ）、正丙醇（ $\epsilon = 20.10$ ）、丙酮（ $\epsilon = 20.70$ ）、乙醇（ $\epsilon = 24.30$ ）、甲醇（ $\epsilon = 32.63$ ）〕會有相當量的 NaCl 結晶析出，其可能原因可解釋如下：

在研究原理中，我們曾提及，若二帶電體間的靜電力為 F° 時，則

在 m 介質中，其靜電力將為 $\frac{1}{\epsilon_m} F^\circ$ 。（ ϵ_m 為介質之介電常數）

因為水具有極高的介電常數（ 25°C 時 = 78.54），所以離子固體

在水中，其陰離子與陽離子間的吸引力僅為在真空中的 $\frac{1}{78.54}$ 倍

，而極易溶於水中，今於NaCl之水溶液中加入介電常數較小且能與水互溶的溶劑時（如乙醇，25℃時， $\epsilon = 24.30$ ）而使 Na^+ 與 Cl^- 間的引力變大，而有部分 Na^+ 與 Cl^- 結合析出結晶，使得溶解度降低。

由於 H_2O 分子具有強烈極性而呈電荷分離（氫原子呈正電性，氧原子呈負電性），當 $\text{NaCl}(s)$ 溶入水中，水分子即以負電荷一端的氧接近 Na^+ ，而以正電荷一端的氫接近 Cl^- ，將它包圍後脫離晶格，而形成水合離子，現加入介電常數較小的溶劑時（如乙醇），由於 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 和 H_2O 間可形成強烈的氫鍵，因此 H_2O 分子被 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 分子包圍住，使得 Na^+ 、 Cl^- 無法行有效水合，故NaCl對水之溶解度漸降，當 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 量達到某一程度後，由於 H_2O 分子外圍被 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 分子包圍住，而使NaCl不再溶解，若繼續再加入 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ，NaCl的溶解度將概略保持定值。

介電常數愈小，則水中 Na^+ 與 Cl^- 間的引力變得愈大，析出NaCl結晶的量自然更多。

(二)至於飽和蔗糖水溶液中，初加各種分離溶劑時，由於各溶劑與 H_2O 間形成氫鍵，使 H_2O 分子被溶劑分子包圍，而使得蔗糖溶解度降低，當溶劑量達到某一程度後，由於 H_2O 分子外圍幾乎完全被溶劑分子包圍住，但若繼續加入溶劑，則蔗糖分子上的一OH基，將與溶劑分子間又形成氫鍵，而溶於溶劑中。因此，蔗糖的溶解度又隨著加入溶劑量的增加而漸增。此種現象與我們的實驗結果極為吻合。

評 語

本件作品利用不同介電常數之溶劑之加入探究蔗糖與食鹽混合液之分離效果。

建立三成分系相圖以尋求分離食鹽與蔗糖混合物之最佳分離區域，實驗數據之分析與整理甚有系統，研究結果對高中化學實驗之改進與推展極有助益。