

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

高中-化學科

科 別：化 學 科

組 別：高 中 組

作品名稱：當我們「聚」在一起 -

談膠體溶液的凝析現象及應用

關 鍵 詞：膠體溶液、凝析現象、濾紙層析

編 號：040205

學校名稱：

高雄市立高雄女子高級中學

作者姓名：

馬瑄吟、朱億真、陳歆寧

指導老師：

劉靄雯、蕭米珍



當我們「聚」在一起---

談膠體溶液的凝析現象及應用

摘 要

化學課本裡總是籠統的指出，當膠體溶液加入電解質，便會產生凝析的現象；但從實際在日常生活上的例子，發現並非所有電解質皆會使膠體溶液產生凝析現象。我們嘗試找出那些因素在影響膠體溶液的凝析作用，並分析造成膠體溶液凝析現象的成因，同時進一步利用膠體溶液的特殊性來發展可能的應用。

研究結果發現，膠體溶液中溶質的種類影響凝析的與否；牛奶及豆漿中所含蛋白質類的膠體在水溶液中帶有負電荷，其凝析現象環境的 pH 值有關。但在不同鹽類溶液中，蛋白質膠體的凝析現象有所不同，可能因為蛋白質具複雜的四級結構，許多反應無法以單一的因素歸納分析解釋。澱粉類膠體本身不帶電，但 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 、 SO_4^{2-} 會使澱粉發生凝析。而墨汁膠體粒子的凝析則是對 Na^+ 離子有特異性。氫氧化鐵及氫氧化鋁為無機膠體溶液，實驗結果符合課本中對膠體溶液性質的描述。

本研究也進一步利用膠體溶液的特性來發展其可能的應用；即利用氫氧化鐵膠體粒子吸附正電荷之特性，來吸附重金屬離子，再利用將濾紙層析法濾去重金屬離子，故在稀薄、無法產生沉澱的情況下，以濾紙層析應是為一種分離重金屬離子的好方法。

最後，膠體溶液因成分不同，本身結構與化學性質也不同，因此對不同的試劑便會有不同的反應結果，所以對於膠體溶液是不能以一種理論概括所有的凝析現象。

關鍵詞：膠體溶液、凝析現象、濾紙層析。

一、研究動機

在 90 學年度大學聯考，化學科試題的多重選擇題第十三題題目為：

13.豆漿是一種膠體溶液，當加入下列何種物質時，可使膠質凝聚析出？

(A)水 (B)蔗糖 (C)鹽 (D)食醋 (E)石膏。

而聯招會給定的答案為(C)(D)(E)，引起了許多討論與爭議(中國時報 90 年 7 月 18 日第 15 版，如附件一；龍騰通訊第 13 期自然科，如附件二)，(C)選項中的鹽，若指食鹽，則不一定會使豆漿凝析，但若指廣義的鹽類，選項(E)石膏亦為一種鹽類，最後決定選項(C)，選或不選都給分。而在高中化學課本裡總是籠統的指出，當膠體溶液加入電解質，便會產生凝析的現象；但實際在日常生活中，由許多例子可知，並非所有電解質皆會使膠體溶液產生凝析現象，例如：醬油為一種膠體溶液，但其中含有食鹽卻不凝析；牛奶為一種膠體溶液，其中含有鈣離子也不凝析。這些問題使我們對膠體溶液的凝析現象產生了極大的興趣：到底有那些因素在影響膠體溶液的凝析作用，於是我們便著手進行一系列的實驗來研討膠體溶液的凝析現象，並進一步利用膠體溶液的特殊性來發展可能的應用。

課本教材的相關性：

高中物質科學化學篇(上)第六章溶液 - 膠體溶液部分

二、研究目的

(一)探討電解質 酸、鹼、鹽溶液對膠體溶液凝析之影響

- 1.探討酸、鹼對膠體溶液凝析的影響
- 2.探討強酸、強鹼對膠體溶液凝析的影響
- 3.探討鹽類試劑對膠體溶液凝析的影響
- 4.探討特殊陰、陽離子對膠體溶液凝析的影響
- 5.探討不同價數陰、陽離子對膠體溶液凝析的影響
- 6.探討不同濃度的 NaCl 溶液對酪蛋白及澱粉溶解度的影響

(二)瞭解重金屬離子對膠體溶液凝析之影響

(三)瞭解非電解質及有機溶劑對膠體溶液凝析之影響

(四)瞭解 pH 值之變化對膠體溶液凝析之影響

(五)通電流於膠體溶液，觀察膠體之電析現象，以瞭解膠體粒子的帶電性

(六)可否利用金屬氫氧化物膠體粒子吸附電荷的特性來分離水中的重金屬離子

- 1.比較氫氧化鐵膠體溶液吸附重金屬離子層析實驗結果
- 2.探討不同 pH 值下層析效果

三、研究設備與器材

<一>藥品

膠體溶液：		
全脂保久乳	低脂保久乳	嬰兒奶粉
豆漿	澱粉	墨汁
酸鹼試劑：		
HCl 1M	H ₂ SO ₄ 1M	HNO ₃ 1M
CH ₃ COOH 1M	檸檬酸 1M	酒石酸 1M
NaOH 1M	KOH 1M	Ca(OH) ₂ 飽和
Ba(OH) ₂ 1M	Mg(OH) ₂ 飽和	
鹽類試劑：(全為飽和)		
NaCl	KCl	NH ₄ Cl
MgCl ₂	CaCl ₂	SrCl ₂
(NH ₄) ₂ SO ₄	MgSO ₄	CaSO ₄
Al(NO ₃) ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	
重金屬試劑：(全為飽和)		
Fe(NO ₃) ₃	FeCl ₃	CuSO ₄
Cu(NO ₃) ₂	MnCl ₂	NiCl ₂
CoCl ₂	AgNO ₃	

二 器材

玻棒	燒杯	量筒
滴管	量瓶	試管
試管架	U 型管	電子秤
電磁加熱攪拌器	伏特計	透析膜
碳棒	安培計	滴定管
白金電極	導線	展開槽
電源供應器	恆溫槽	培養皿

備註：在本實驗中，我們稱受檢驗的膠體溶液為試液，而酸、鹼、鹽類溶液、重金屬溶液為試劑。

四、名詞解釋

1. 膠體溶液：直徑 10^{-9} ~ 10^{-7} 公尺的粒子所構成的溶液，膠體粒子分散於溶劑之中，有下列三種特性：廷得耳效應、布朗運動、膠質粒子帶電性，本實驗中使用的膠體溶液(牛奶、豆漿、酪蛋白、氫氧化鐵、氫氧化鋁、澱粉、墨汁)，為生活中較常見，且亦在課本中被提及。
2. 凝析：即凝聚析出的簡稱。指膠體溶液中的分散質凝聚，而與分散媒分離的現象。
3. 等電點(pI)：在某 pH 之下蛋白質的靜電荷為零，此 pH 值稱為蛋白質的等電點(pI)。
4. 電析：通電於膠體溶液中，觀察其在兩極的凝析現象。
5. 鹽溶(salting in)：溶質在特定濃度的食鹽水中，其溶解度明顯增加，此一現象稱為鹽溶。
6. 鹽析(salting out)：溶質在特定濃度的食鹽水中，其溶解度明顯減少，且凝聚析出，此一現象稱為鹽析。
7. 凝結值(coagulation value)：使膠體粒子凝結的電解質最小量，稱為該離子的凝結值，以毫當量(milliequivalent per liter) 為單位，而本實驗中以使 1mL 的氫氧化鐵或氫氧化鋁凝析所需的電解質最小量為凝結值，以毫莫耳數乘以價數為單位。
8. 介電係數：1837 年法拉第發現,介電係數()：電通密度與電場強度的比值，即 $\epsilon = D/E$ ，物質的介電係數與其電容有關，其倒數與庫倫常數成正比。
9. 移動比(Rf：ratio of flow)：層析實驗中，原點至斑點中心的距離比上原點至溶劑前沿的距離。在本實驗中我們以原點至溶質上升最高點的距離，比上原點至溶劑前源的距離。

五、研究過程及結果

(一)試液的製備

1. 酪蛋白試液的配製

- ①泡製 100mL 0.1M 的 NaOAc
- ②量取 0.5 克的酪蛋白，以泡製好的 NaOAc 溶解之。

2. $\text{Al}(\text{OH})_3$ 膠體溶液的配製

- ①配 50mL 1M 的 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 。
- ②加入濃氨水 5mL。
- ③不斷攪拌加熱至溶液成膠狀且無沉澱產生。

3. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 膠體溶液的配製

- ①秤取 3g 的 FeCl_3 溶於 7mL 水中。
- ②燒杯盛 200mL 的水加熱至沸騰。
- ③將①之溶液慢慢加入②中，同時攪拌起水解反應生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 溶液，以半透膜*透析法精製。

註：所使用之半透膜為 Visking cat no.2-140-0401 (15.9m/m 20/32 吋)

4. 澱粉的配製

- ①泡製 1 % 澱粉液。
- ②將其加熱並攪拌至沸騰，使其成為澱粉膠體溶液。

5. 墨汁的配製

取 1mL 的純墨汁，加水至 50mL，即得墨汁試液。

6. 嬰兒奶粉：10 %

7. 低脂牛奶：取用市售鋁箔包低脂保久乳

全脂牛奶：取用市售鋁箔包全脂保久乳

豆漿：取用市售鋁箔包傳統豆漿

(二)凝析現象的試驗

實驗一：觀察酸、鹼對膠體溶液凝析之影響(目的 1.1)

實驗 1.1：觀察酸、鹼對膠體溶液凝析之影響(目的 1.1-1)

<<步驟>>

1. 取膠體溶液 (奶粉、低脂牛奶、全脂牛奶、豆漿、澱粉液、酪蛋白溶液、氫氧化鋁溶液、氫氧化鐵溶液) 2mL 加入試管中
2. 分別加入酸類溶液 (1M HCl、1M H₂SO₄、1M HNO₃、1M CH₃COOH、1M 檸檬酸、1M 酒石酸) 鹼類溶液 (1M NaOH、1M KOH、飽和 Ca(OH)₂、1M Ba(OH)₂、1M NH_{3(aq)}) 於膠體溶液試管中，每隔 5 分鐘加入 1mL，直到加入 10mL。
3. 將酸鹼加至 10mL，再靜置 30 分鐘，觀察膠體溶液加入酸、鹼後之凝析現象與變化

<<結果>>

凝析結果的初步試驗

	膠體溶液 試劑	奶粉	低脂	全脂	豆漿	酪蛋白	澱粉	墨汁	Fe(OH)	Al(OH)	備註：
		酸	HCl	+ ^{xxx}		+ ^x					
類 溶 液	H ₂ SO ₄	+ ^{xxx}			+ ^{xxx}						
	HNO ₃	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xxx}	+ ^{xx}	+ ^{xxx}			+ ^{xxx}		
	CH ₃ COOH	+ ^{xx}			+ ^{xxx}						
	檸檬酸	+ ^x	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}			+ ^{xx}		
	酒石酸	+ ^x	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^x			+ ^{xx}		
鹼 類 溶 液	NaOH		+ ^x	+ ^x				+ ^{xx}	+ ^{xxx}	+ ^x	
	KOH		+ ^x	+ ^x					+ ^{xxx}	+ ^x	
	Ca(OH) ₂				+ ^{xxx}		+ ^{xx}		+ ^x	+ ^x	
	Ba(OH) ₂				+ ^{xx}		+ ^{xx}		+ ^{xx}	+ ^{xx}	
	NH _{3(aq)}								+ ^{xx}	+ ^{xx}	

<<說明及推論>>

1. 低脂保久乳、全脂保久乳、豆漿、酪蛋白溶液加入酸試劑，皆有明顯的凝析現象產生，但在加入鹼試劑方面，只有低脂保久乳及全脂保久乳在加入 NaOH、KOH，有微量凝析的現象，豆漿在加入含 IIA 族離子的鹼試劑中會凝析，酪蛋白膠體在鹼中皆無凝析現象。
2. 澱粉不論加入酸試劑或鹼試劑，皆無明顯凝析現象。
3. 而墨汁只有在 NaOH 和 HCl 溶液中有凝析現象。
4. $\text{Al}(\text{OH})_3$ 中加入酸試劑並無混濁現象，但加入鹼試劑卻略有凝析現象。而對 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 來說，其加入酸鹼試劑皆有混濁凝析現象。
5. 由於加入的試劑具有不同的 pH 值，而在蛋白質類試液只有加入酸試劑時有明顯凝析現象，推測其凝析可能與環境的酸鹼有關，因此我們以實驗四驗證此一推論；但課本中提到蛋白質在強酸及強鹼中會變性，故其凝析現象可能因其在強酸、強鹼中變性，為證實此一推論，我們做了以下實驗 1.2：觀察強酸、強鹼對膠體溶液凝析之影響。
6. 選用嬰兒奶粉主要因牛奶為常見之膠體，而嬰兒奶粉較一般奶粉易溶於水，且脂質的含量較一般奶粉少，對實驗的干擾亦較少。但由於嬰兒奶粉試液原本即具較大的顆粒懸浮，故凝析現象的判定極為不易，在以下實驗中，捨去嬰兒奶粉的試驗。

實驗 1.2：觀察強酸、強鹼對膠體溶液凝析之影響(目的 1.2)

<<步驟>>

1. 取膠體溶液（低脂牛奶、全脂牛奶、豆漿、澱粉液、酪蛋白溶液、氫氧化鋁溶液、氫氧化鐵溶液）2mL 加入試管中
2. 分別加入酸類（濃 HCl、濃 H_2SO_4 、濃 HNO_3 ）、鹼類（5M NaOH、5M KOH）於試管中，每隔 5 分鐘加入 1mL，直到加入 5mL。
3. 加至 5mL 後，再靜置 30 分鐘，觀察膠體溶液加入強酸、強鹼後之凝析現象與變化。
4. 在步驟 2.3. 中加入強酸的試管，若有凝析現象則加入 5mL 5M KOH，在步驟 2.3. 中加強鹼的試管中，若有凝析現象則加入 5mL 5M HCl，再靜置 30 分鐘觀察其凝析現象是否有消失。

<<結果>>

強酸強鹼對膠體粒子凝析結果

膠體溶液 試劑	低脂	全脂	豆漿	酪蛋白	澱粉	墨汁	Fe(OH) ₃	Al(OH) ₃	備註：
HCl	1mL	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}		+ ^x	+ ^{xxx}	+: 表有凝析現象 -: 表無凝析象 xxx: 表凝析最快 xx: 表凝析稍快 x: 表凝析最 : 表復容現象
	2mL	+ ^{xxx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}		+ ^x	+ ^{xxx}	
	3mL	+ ^{xxx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}		+ ^x	+ ^{xxx}	
	4mL	+ ^{xxx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}		+ ^x	+ ^{xxx}	
	5mL	+ ^{xxx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}		+ ^x	+ ^{xxx}	
	+OH -							+ ^{xxxx}	
H ₂ SO ₄	1mL	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}			+ ^{xxx}	
	2mL	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}			+ ^{xxx}	
	3mL	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}			+ ^{xxx}	
	4mL	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}			+ ^{xxx}	
	5mL	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}			+ ^{xxx}	
	+OH -							+ ^{xxx}	
HNO ₃	1mL	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}			+ ^{xxx}	
	2mL	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}			+ ^{xxx}	
	3mL	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}			+ ^{xxx}	
	4mL	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}			+ ^{xxx}	
	5mL	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xxx}			+ ^{xxx}	
	+OH -							+ ^{xxxx}	
NaOH	1mL	+ ^x	+ ^x				+ ^x	+ ^{xxx}	
	2mL	+ ^x	+ ^x				+ ^{xx}	+ ^{xxx}	
	3mL	+ ^x	+ ^{xx}				+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	
	4mL	+ ^{xx}	+ ^{xx}				+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	
	5mL	+ ^{xx}	+ ^{xx}				+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	
	+H ⁺	+ ^{xx}	+ ^{xx}				+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	
KOH	1mL	+ ^x	+ ^x					+ ^{xxx}	
	2mL	+ ^x	+ ^x					+ ^{xxx}	
	3mL	+ ^x	+ ^x					+ ^{xxx}	
	4mL	+ ^{xx}	+ ^{xx}					+ ^{xxx}	
	5mL	+ ^{xx}	+ ^{xx}					+ ^{xxx}	
	+H ⁺	+ ^{xx}	+ ^{xx}					+ ^{xxx}	

<<推論及說明>>

1. 在蛋白質類的部分，低脂保久乳、全脂保久乳、豆漿、酪蛋白加入強酸試劑(HCl、 H_2SO_4 、 HNO_3)，皆有明顯的凝析現象產生，且加入的量越多，凝析現象並不增加亦不減少，而在加入強鹼試劑中和酸之後，凝析現象消失。但在加入鹼試劑方面，只有低脂保久乳及全脂保久乳在加入強鹼試劑(NaOH、KOH)有類似凝析的現象，在液體中呈現白色飄浮物，而在加入強酸試劑之後，其類似凝析的現象並未消失。
2. 在蛋白質實驗中，加入強鹼試劑皆會使蛋白質凝析，且再加入酸，蛋白質無法回復為實驗前的溶解狀態，我們推測此蛋白質已變性，而在加入強酸的方面，再加入強鹼，此蛋白質仍可回復成實驗前的狀態，可能還未變性。
3. 由於不論如何改變酸試劑或鹼試劑的濃度，皆無法使澱粉凝析，而墨汁只有在 NaOH 和 HCl 溶液中有凝析現象，其他溶液不論濃度如何皆不凝析。
4. 氫氧化鐵在強酸、強鹼中皆有明顯凝析現象，且量愈多時凝析現象愈明顯，在酸、鹼中和之後凝析現象並不消失。而在氫氧化鋁方面，由於其為兩性化物，加入強酸及強鹼皆無凝析現象，但在酸鹼中和後，其略有凝析現象。

實驗 1.3：觀察鹽類對膠體溶液凝析之影響

<<步驟>>

1. 取膠體溶液（低脂牛奶、全脂牛奶、豆漿、澱粉液、酪蛋白溶液、氫氧化鋁溶液、氫氧化鐵溶液）2mL 加入試管中
2. 分別加入鹽類（NaCl、 NH_4Cl 、 $CaCl_2$ 、 $(NH_4)_2SO_4$ 、 $SrCl_2$ 、KCl、 Na_2SO_4 、 $Al_2(SO_4)_3$ 、 $MgCl_2$ 、 $MgSO_4$ 、 $CaSO_4$ ，皆為飽和溶液）於試管中；每隔 5 分鐘加入 1mL，直到加入 5mL。
3. 靜置 30 分鐘，觀察膠體溶液加入飽和鹽類溶液後之凝析現象與變化。

<<結果>>

凝析現象的初步檢驗

膠體溶液		低脂	全脂	豆漿	酪蛋白	澱粉	墨汁	Fe(OH) ₃	Al(OH) ₃	備註
+1 價陽離子 氯化物	NaCl			+ ^x			+ ^{xx}	+ ^{xx}		+: 表有凝析現象 -: 表無凝析現象
	KCl			+ ^x		+ ^x		+ ^{xx}		
	NH ₄ Cl			+ ^x				+ ^{xx}		
+2 價陽離子 氯化物	MgCl ₂			+ ^{xx}				+ ^{xxx}	+ ^{xx}	xxx: 表凝析最慢 快 xx: 表凝析稍快 x: 表凝析最慢
	CaCl ₂	+ ^x	+ ^x	+ ^{xxx}	+ ^{xx}			+ ^{xxx}	+ ^{xx}	
	SrCl ₂	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}			+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	
+1 價陽離子 + SO ₄ ²⁻	Na ₂ SO ₄	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}					
	(NH ₄) ₂ SO ₄	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xx}	+ ^{xxx}	+ ^{xx}		+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	
+2 價陽離子 + SO ₄ ²⁻	MgSO ₄			+ ^x		+ ^{xxx}		+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	
	CaSO ₄			+ ^{xxx}	+ ^x	+ ^{xxx}		+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	
+3 價陽離子 + SO ₄ ²⁻	Al ₂ (SO ₄) ₃	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}			+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	

<<說明及推論>>

1. 以蛋白質膠體溶液來說，低脂保久乳、全脂保久乳加入 CaCl₂、SrCl₂、Na₂SO₄、(NH₄)₂SO₄、Al₂(SO₄)₃ 試劑皆有明顯凝析。而豆漿加入所有飽和鹽類溶液皆有凝析現象，而酪蛋白加入含 IIA、 IIIA 離子的鹽類溶液皆有凝析現象。
2. 在澱粉方面，在含 SO₄²⁻ 離子的鹽類溶液中皆會凝析，我們推測澱粉會和 SO₄²⁻ 離子發生作用，故在以下實驗 1.4(1)中，我們以澱粉為試液，加入各種含不同陰離子團的鹽類試液，觀察其對澱粉凝析的影響。
3. 墨汁只有在 NaCl、Na₂SO₄ 溶液中有凝析現象，我們推測此類凝析的原因可能是墨汁和 Na⁺ 離子發生作用，故在以下實驗 1.4(2)中，我們以墨汁為試液，加入各種含不同陽離子的鹽類試液，觀察其對墨汁凝析的影響。

4. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 在所有鹽類溶液中皆有凝析現象，但 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 除 NaCl 、 KCl 、 NH_4Cl 外皆有凝析現象，可能無機膠體溶液加入電解質皆有凝析現象，不過由於 NaCl 、 KCl 、 NH_4Cl 所帶電荷小，故可能需較多量才易發生凝析現象，故我們在以下實驗 2-4 中，測驗不同陰離子同一陽離子鹽類溶液使氫氧化鐵及氫氧化鋁凝析所需得量，而在以下實驗 2-5 中，測驗同一陰離子不同陽離子鹽類溶液使氫氧化鐵及氫氧化鋁凝析所需得量，再換算為凝結值。

實驗 1.4(1)不同陰離子團對澱粉試液凝析的影響(目的 1.4)

<<步驟>>

1. 在各試管中加入 2mL 1% 澱粉試液。
2. 在各試管中分別加 6mL 1M 的 NaNO_3 Na_2SO_4 KNO_3 K_2SO_4 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ CaSO_4 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ MgSO_4 、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 、 Na_3PO_4 試劑。
3. 靜置 30 分鐘，觀察膠體溶液的凝析現象。

<<結果>>

鹽類種類	澱粉的凝析現象	備註
NaNO_3		+：有凝析 -：無凝析 xxx：凝析最為明顯 xx：凝析稍明顯 x：凝析量普通
Na_2SO_4	+ ^x	
KNO_3		
K_2SO_4	+ ^{xx}	
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$		
CaSO_4	+ ^x	
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$		
MgSO_4	+ ^{xx}	
$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$		
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	+ ^{xxx}	
$\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$		
Na_3PO_4		

<<說明及推論>>

只有 SO_4^{2-} 原子團會使澱粉試液凝析，而其餘原子團皆不會使澱粉試液凝析，故澱粉會和 SO_4^{2-} 發生作用而凝析。

實驗 1.4(2) : Na⁺離子對墨汁凝析的影響(目的 1.4)

<<步驟>>

- 1.在各試管中加入 2mL 的墨汁試液。
- 2.在各試管中分別加入 6mL 的 NaOH、KOH、NaCl、KCl、CaCl₂、NaNO₃、KNO₃、Na₂SO₄、MgSO₄、Na₂C₂O₄、Na₃PO₄ 試劑。
3. 靜置 30 分鐘，觀察膠體溶液的凝析現象。

<<結果>>

試劑	墨汁凝析現象	備註
NaOH	+ ^{xx}	+：有凝析 -：無凝析 xxx：凝析最為明顯 xx：凝析稍多 x：略有凝析
KOH		
NaCl	+ ^{xx}	
KCl		
CaCl ₂		
NaNO ₃	+ ^{xxx}	
KNO ₃		
Na ₂ SO ₄	+ ^{xxx}	
MgSO ₄		
Na ₂ C ₂ O ₄	+ ^x	
Na ₃ PO ₄	+ ^x	

<<說明及推論>>

1. 所有含 Na⁺離子的試劑，皆會使墨汁凝析，並不因其陰離子不同而異，故墨汁會和 Na⁺離子作用而凝析。
2. 其他種類的陽離子並不會使墨汁凝析，並不因陰離子不同而異，如 NaCl 會使墨汁凝析，而同樣為氯化物的 KCl 卻不使墨汁凝析，墨汁只會和 Na⁺離子作用。

實驗 1.5(1)：不同價數陰離子對氫氧化鐵溶液及氫氧化鋁溶液凝析的影響 (目的 1.5)

<<步驟>>

1. 取 2M NaNO₃、2M NaCl 各 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10mL 於各試管中，加入 1mL 的氫氧化鐵試液，放置 30 分鐘，觀察其凝析的現象。
2. 由於加入 1mL 即有凝析現象，因此我們取 2M Na₂SO₄ 各 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0mL 於各試管中，加入 1mL 的氫氧化鐵試液，放置 30 分鐘，觀察其凝析的現象。
3. 由於加入 1mL 即有凝析現象，因此我們取 2M Na₃PO₄ 各 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0mL 於各試管中，加入 1mL 的氫氧化鐵試液，放置 30 分鐘，觀察其凝析的現象。
4. 將氫氧化鐵改以氫氧化鋁，重複步驟 1.及 2.及 3.。

<<結果>>

不同鹽類溶液使氫氧化鐵及氫氧化鋁凝結所需的量

	NaCl	NaNO ₃	Na ₂ SO ₄	Na ₃ PO ₄
Fe(OH) ₃	7mL	8mL	0.3mL	0.2mL
陰離子凝結值	14	16	1.2	1.2
Al(OH) ₃	9mL	10mL	0.7mL	0.3mL
陰離子凝結值	18	20	2.8	1.8
單位：mL				

<<說明及推論>>

1. 相同濃度鹽類溶液，NaCl 及 NaNO₃ 需較多的量才能使 Fe(OH)₃ 凝析，而 Na₃PO₄ 需較少的量即能使凝析 Fe(OH)₃。而 Al(OH)₃ 亦具相同情形。
2. 陰離子價數對 Fe(OH)₃、Al(OH)₃ 凝析的能力：-3>-2>-1。

實驗 1.5(2)：不同價數陽離子對氫氧化鐵溶液及氫氧化鋁溶液凝析的影響 (目的 1.5)

<<步驟>>

1. 取 NaNO_3 、 KNO_3 (2M) 各 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10ml 於各試管中，加入 1mL 的氫氧化鐵試液，放置 30 分鐘，觀察其凝析的現象。
2. 由於加入 5mL 即有凝析現象，因此取不同鹽類 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (2M) 各 2.0、2.2、2.4、2.6、2.8、3.0、3.2、3.4、3.6、3.8、4.0ml 於各試管中，加入 1mL 的氫氧化鐵，放置 30 分鐘，觀察其凝析的現象。
3. 由於加入 1mL 即有凝析現象，因此取不同鹽類 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ (2M) 各 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0ml 於各試管中，加入 1mL 的氫氧化鐵，放置 30 分鐘，觀察其凝析的現象。
4. 將氫氧化鐵改以氫氧化鋁，重複步驟 1. 及 2.。

<<結果>>不同鹽類溶液對氫氧化鐵及氫氧化鋁凝結所需的量

	NaNO_3	KNO_3	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	8mL	6mL	3.6mL	3.0mL	0.8mL
陽離子凝結值	16	12	14.4	12	4.8
$\text{Al}(\text{OH})_3$	10.0mL	9.0mL	3.8mL	4.0mL	1.0mL
陽離子凝結值	20	18	15.2	16	6

<<說明>>

1. 相同濃度鹽類溶液， NaNO_3 及 KNO_3 需較多的量才能使凝析，而 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 需要量較少。
2. NaNO_3 需要量約為 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 的兩倍，而有可能是因為一莫耳中所含陰離子數不同所致， NaNO_3 一莫耳可解離出 1 莫耳的 NO_3^- ，但 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 一莫耳可解離出 2 莫耳的 NO_3^- 。
3. 陽離子之價數對 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 凝析的能力： $+3 > +2 > +1$ 。
但不及陰離子明顯，極有可能是相同濃度的鹽類，所解離出的離子數不等，所造成的效應，而無關陽離子之價數。

實驗 1.6：不同濃度的 NaCl 溶液對酪蛋白及澱粉溶解度的影響(目的 1.6)

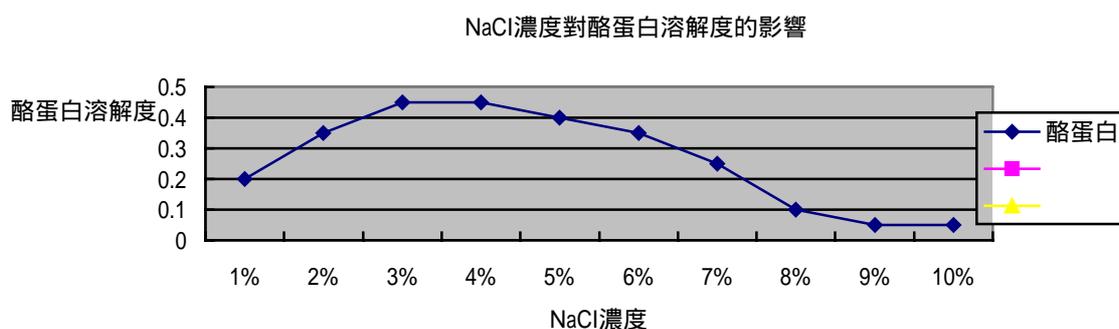
<< 步驟 >>

1. 配製 0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%、1.4%、1.6%、1.8%、2.0% 的 NaCl 溶液於燒杯中。
2. 取十個燒杯，分別標上 1~10，依次加入 100mL 0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%、1.4%、1.6%、1.8%、2.0% 的 NaCl 溶液。
3. 逐次加入 0.05g 的酪蛋白於 1~10 燒杯中，直到飽和而有沉澱，計算溶解量。
4. 取澱粉重複上述實驗。

<< 結果 >>

膠體溶液 NaCl 濃度	酪蛋白	澱粉	備註
1%	0.20	0.05	框內為溶解量 單位為：克
2%	0.35	<0.05	
3%	0.45	0.05	
4%	0.45	0.10	
5%	0.40	0.05	
6%	0.35	0.10	
7%	0.25	0.05	
8%	0.10	<0.05	
9%	0.10	<0.05	
10%	0.10	0.05	

<< 圖表 >>



<<說明及推論>>

1. 由於 NaCl 為中性鹽，故其對酪蛋白溶解度的影響，和 pH 值無關，屬溶劑本身性質，而其對帶負電的酪蛋白的溶解度影響較大，對不帶電的澱粉則較無影響。
2. NaCl 低濃度時，蛋白質溶解度隨 NaCl 濃度增加而增加，在 0.3% 時最佳，會有鹽溶(salting in)的現象，而在此濃度之外，酪蛋白溶解度隨 NaCl 濃度增加而減少，甚而在高濃度的鹽類中有鹽析(salting out)的現象。
3. 低濃度的 NaCl 溶液應是增加了溶劑的極性，有分散電荷的作用，反而幫助了蛋白質類的膠體溶液溶解。

實驗二：觀察不同重金屬離子對膠體溶液凝析之影響(目的 2)

<<步驟>>

1. 取膠體溶液（低脂牛奶、全脂牛奶、豆漿、澱粉液、酪蛋白溶液、氫氧化鋁溶液、氫氧化鐵溶液）1mL 加入試管中
2. 分別加重金屬離子溶液（0.5M CuSO_4 、 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 、 NiCl_2 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 、 FeCl_2 、 CoCl_2 、 MnCl_2 、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 、 AgNO_3 ）1mL 於試管中。
3. 靜置 30 分鐘，觀察膠體溶液加入重金屬離子後之凝析現象。

<<結果>> 凝析現象的初步檢驗

膠體溶液 試劑	低脂	全脂	豆漿	酪蛋白	澱粉	墨汁	備註
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}			+：表有凝析現象 -：表無凝析現象 xxx：表凝析最快 xx：表凝析稍快 x：表凝析最慢
CuSO_4	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}			
AgNO_3	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}			
NiCl_2			+ ^x	+ ^x			
FeCl_3	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}			
$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}			
CoCl_2	+ ^x	+ ^x	+ ^x	+ ^x			
MnCl_2			+ ^x	+ ^x			
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xx}			

<<說明及推論>>

1. 在重金屬的試驗中，酪蛋白和豆漿在所有含重金屬離子的鹽類溶液中皆有凝析現象，低脂保久乳和全脂保久乳在 Ni^{2+} 、 Mn^{2+} 溶液中並無凝析現象，而在 CoCl_2 中需久置才能見到凝析現象。
2. 重金屬離子會嵌入蛋白質複雜的四級結構中，而造成蛋白質變性，致使蛋白質膠體溶液凝析。不過 Ni^{2+} 、 Mn^{2+} 離子卻不易使全脂保久乳、低脂保久乳產生凝析的現象，可能蛋白質膠體溶液中並無適當位置可供 Ni^{2+} 、 Mn^{2+} 離子嵌入，致使蛋白質並無變性，故不發生凝析。
3. 澱粉和墨汁似乎不受重金屬離子影響，皆無凝析現象。

實驗三：非電解質及有機溶劑對膠體溶液凝析的影響(目的 3)

<<步驟>>

1. 取膠體溶液（低脂牛奶、全脂牛奶、豆漿、澱粉液、酪蛋白溶液、氫氧化鋁溶液、氫氧化鐵溶液）2mL 加入試管中
2. 分別加入非電解質(1M 葡萄糖、1M 蔗糖、1M 尿素、1M 酒精、1M 丙酮)於試管中；每隔 5 分鐘加入 1mL，直到加入 5mL。
3. 靜置 30 分鐘觀察膠體溶液加入非電解質後之凝析現象與變化
4. 步驟二中改以加入有機溶劑(95%酒精、丙酮) 於試管中；每隔 5 分鐘加入 1mL，直到加入 5mL，靜置 30 分鐘觀察膠體溶液加入非電解質後之凝析現象與變化。

<<結果>>

膠體凝析現象的初步試驗

膠體溶液 試劑	低脂	全脂	豆漿	酪蛋白	澱粉	墨汁	Fe(OH) ₃	Al(OH) ₃	備註：
1M 葡萄糖									+：表有凝析現象 -：表無凝析現象 xxx：表凝析最快 xx：表凝析稍快 x：表凝析最慢 *：呈油狀
1M 蔗糖									
1M 尿素									
1M 酒精			*						
1M 丙酮									
95%酒精	+ ^{xx}	+ ^{xx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}					
丙酮	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}	+ ^{xxx}		+ ^x			

<<說明及推論>>

1. 所用的試劑皆為非電解質，其中酒精及丙酮亦為常用之有機溶劑。
2. 葡萄糖試劑、蔗糖試劑、尿素試劑、1M 酒精溶液及 1M 丙酮溶液皆無法使實驗中所用的膠體溶液凝析，可能因這三者為非電解質，無法解離出帶電離子，使膠體凝析。
3. 墨汁在酒精中不凝析，但似乎有黏滯度增加的現象，極為特殊。而墨汁在丙酮中略有凝析，但凝析現象並不明顯。

4. 低脂保久乳、全脂保久乳、豆漿、酪蛋白溶液在 95%酒精及丙酮中皆有凝析現象，可能由於酒精及丙酮為有機溶劑，其介電係數小，使正負電吸引力變大，而使蛋白質聚集在一起，而造成凝析現象。
5. 氫氧化鐵及氫氧化鋁在 95%酒精及丙酮中亦無凝析現象，可能因其為非電解質之故，而其低介電係數對氫氧化鐵及氫氧化鋁的凝析沒有影響。

實驗四：了解 pH 值之變化對膠體溶液凝析之影響(目的 4)

<<步驟>>

1. 取低脂保久乳、全脂保久乳、豆漿各 16 克*以 0.1M NaOAc 溶液，稀釋至 100 克，酪蛋白試液待測。

註：因為在鋁箔包的成分標示中顯示，其 150g 含 3g 的蛋白質。

2. 酪蛋白試劑的配製

①取 0.5g 的純酪蛋白於 100mL 量瓶中，加入 40mL 的 H₂O。

②加入 1N NaOH 10mL，便可提供 10meq 之 NaOH。

③搖盪使酪蛋白完全溶解。

④加入 1N CH₃COOH 10mL，便可提供 10meq 之 CH₃COOH。

⑤加水稀釋至 100mL，搖勻可使用。

3. 以如表列方式處理

試管編號	蒸餾水量	0.01N HOAc	0.1N HOAc	1.0N HOAc	試液	pH
1	8.35	0.65			1.00	5.9
2	7.75	1.25			1.00	5.6
3	8.70		0.30		1.00	5.3
4	8.50		0.50		1.00	5.1
5	8.00		1.00		1.00	4.7
6	7.00		2.00		1.00	4.4
7	5.00		4.00		1.00	4.1
8	1.00		8.00		1.00	3.8
9	7.40			1.60	1.00	3.5

單位：mL

4. 0 分鐘、10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘、40 分鐘各紀錄 1~9 號試管中的凝析情形，以 1~9 標示出目測凝析程度由高到低。

5. 由 $\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$ 計算出各試管的 pH 值。

<<結果>>

低脂保久乳的濁度紀錄

		0 分鐘	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘
編號	pH	程度	程度	程度	程度	程度
1	5.9	9	9	7	7	7
2	5.6	8	7	7	7	6
3	5.3	7	6	6	6	5
4	5.1	4	4	4	4	4
5	4.7	2	2	3	2	2
6	4.4	1	1	1	1	1
7	4.1	3	3	2	2	3
8	3.8	5	5	5	5	5
9	3.5	6	8	7	7	7

豆漿的濁度紀錄

		0 分鐘	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘
編號	pH	程度	程度	程度	程度	程度
1	5.9	9	7	6	7	8
2	5.6	8	7	6	7	8
3	5.3	7	6	5	6	7
4	5.1	6	5	4	4	5
5	4.7	5	4	3	2	4
6	4.4	3	3	2	1	2
7	4.1	1	2	4	5	6
8	3.8	2	1	1	1	1
9	3.5	4	2	3	3	3

酪蛋白的濁度紀錄

		0 分鐘	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘
	pH	程度	程度	程度	程度	程度
1	5.9	8	8	8	8	8
2	5.6	8	8	8	8	8
3	5.3	6	6	6	6	6
4	5.1	3	3	3	3	3
5	4.7	1	1	1	1	1
6	4.4	2	2	2	2	2
7	4.1	4	4	4	4	4
8	3.8	5	5	5	5	5
9	3.5	7	7	7	7	7

全脂保久乳的濁度紀錄

		0 分鐘	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘
	pH	程度	程度	程度	程度	程度
1	5.9	9	9	8	8	8
2	5.6	8	8	8	8	7
3	5.3	7	7	6	6	6
4	5.1	4	4	5	5	5
5	4.7	2	3	3	3	2
6	4.4	1	1	1	1	1
7	4.1	3	2	2	2	3
8	3.8	5	5	4	4	4
9	3.5	6	6	7	7	6

<<說明及推論>>

- 1.低脂保久乳在 pH4.4 環境下凝析現象最為明顯，其 pI 約為 pH4.4，而全脂保久乳在 pH4.4 環境下凝析現象最為明顯，其 pI 亦約為 pH4.4。
- 2.在豆漿方面，其在 pH4.4 及 pH3.8 兩種環境下，皆呈現凝析的高峰點，其 pI 有兩點 4.4 及 3.8，此可能和其成分有關，豆漿之中可能不只有一種蛋白質。
- 3.純酪蛋白在 pH4.4 環境下凝析現象最為明顯，其 pI 為 4.4。
- 4.蛋白質是否凝析，與環境的 pH 值有極大的關係，只有在特定 pH 值的環境中，才有明顯凝析現象。

實驗五：通電流於膠體溶液，觀察其膠質電析現象(目的 5)

實驗 5.1：通電流於膠體溶液，觀察其膠質電析現象(目的 5.1)

<<步驟>>

1. 取 12mL 之膠體溶液（低脂牛奶、全脂牛奶、豆漿、澱粉液、酪蛋白溶液、墨汁、氫氧化鋁膠體溶液、氫氧化鐵膠體溶液）分別加入 U 型管中
2. 接上直流電源供應器，以碳棒作為電極(墨汁以迴紋針為電極)，分別將膠體溶液通以電流
3. 使電流大小固定為 5mA，通電流 30 分鐘。(但其中酪蛋白通電超過 2.5mA 極有氣泡產生，而墨汁及澱粉所通入的電壓已為電源供應器所能提供之最大電壓)。
4. 觀察膠體溶液之變化及兩極是否有吸附物

<<裝置圖>>(略)

<<結果>>

電析結果

試液	正極	負極	電流	電壓
低脂保久乳	+ ^x		5mA	13V
全脂保久乳	+ ^x		5mA	11.5V
豆漿	+ ^{xx}		5mA	20V
酪蛋白	+ ^x		2.5mA	5V
澱粉	+ ^x	+ ^x	1mA	20V
墨汁		+ ^x	2mA	20V
Fe(OH) ₃		+ ^x	5mA	5V
Al(OH) ₃		+ ^x	5mA	1.5V

備註：+：表有物體附著於電極上 -：表無物體附著於電極上

x：表附著物少 xx：表附著物多 xxx：表附著物極多

實驗 5.2：加入電解質 NaCl，觀察其電析的情形(目的 5.2)

<<步驟>>

- 1.取 12mL 之膠體溶液(低脂牛奶、全脂牛奶、豆漿、澱粉、酪蛋白溶液、墨汁、氫氧化鋁膠體溶液、氫氧化鐵膠體溶液)分別加入 U 形管中。再加入 1.0mL 食鹽水。
- 2.接上電流供應器，以碳棒為電極(墨汁以迴紋針為電極)，通電流電析，觀察兩極是否有析附物。

<<結果>> 電析結果(加入 1.0mL 食鹽水)

	正極	負極	電流	電壓
低脂保久乳	+ ^x		4.5mA	7V
全脂保久乳	+ ^x		4.5mA	10V
豆漿	+ ^{xx}		4.5mA	14.5V
酪蛋白	+ ^x		2.5mA	10V
澱粉	+ ^x	+ ^x	1mA	7V
墨汁		+ ^x	2mA	20V
Fe(OH) ₃		+ ^x	2mA	5V
Al(OH) ₃		+ ^x	5mA	1V

<<說明及推論>>

1. 低脂保久乳、全脂保久乳、豆漿、酪蛋白溶液或在正極有明顯聚集現象，或析附在電極上，可知其明顯向正極聚集，故蛋白質類膠體溶液帶負電。
2. 澱粉在兩極上析附量相當，可知其並無向任一極明顯聚集，故其不帶電性，而其可能因兩極的靜電吸引力而在兩極凝析，並不是因澱粉所帶電荷而凝析。
3. 墨汁明顯附著在負極上，可知其帶正電。
4. 氫氧化鐵、氫氧化鋁皆附著在負極上，可知其帶正電。
5. 加入 NaCl_(aq) 0.5mL 後，低脂保久乳、全脂保久乳、豆漿、酪蛋白的電阻明顯的降低，但不影響其在兩極上的析附量。

實驗六：利用金屬氫氧化物膠體粒子吸附電荷的特性來分離水中的重金屬離

實驗 6.1：氫氧化鐵膠體溶液吸附重金屬離子之層析實驗(目的 6.1)

<<步驟>>

1. 展開液的配製：

<A>取 0.1M 之重金屬離子溶液取 2mL

取 8mL 透析過濾後的氫氧化鐵膠體溶液

將<A>及混和均勻後倒入展開槽中。

2. 將展開槽置入恆溫槽中，溫度維持在 36 度攝氏作濾紙層析，測量水到達頂端標示線的時間及溶液的 R_f 值。

3. 取用的重金屬離子溶液包含： $\text{NiCl}_{2(aq)}$ 、 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_{2(aq)}$ 、 $\text{CoCl}_{2(aq)}$ 、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_{2(aq)}$ 、 $\text{MnCl}_{2(aq)}$ 。

4. 將步驟一中的<A>改為 2mL 的蒸餾水，重複上述實驗。

<<裝置圖>>(略)

<<結果>> $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 吸附重金屬離子濾紙層析的結果

試劑	第一次		第二次		第三次		平均	
	R_f	時間	R_f	時間	R_f	時間	R_f	時間
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	0.54	23'05	0.57	23'00	0.56	23'08	0.56	23'04
$\text{Fe}(\text{OH})_3+\text{Cu}^{2+}$	0.35	19'32	0.34	20'00	0.34	19'58	0.34	19'50
$\text{Fe}(\text{OH})_3+\text{Co}^{2+}$	0.30	21'11	0.28	21'05	0.27	21'06	0.28	21'07
$\text{Fe}(\text{OH})_3+\text{Ni}^{2+}$	0.36	23'00	0.39	23'10	0.38	23'07	0.38	23'06
$\text{Fe}(\text{OH})_3+\text{Pb}^{2+}$	0.33	18'24	0.33	18'25	0.35	18'23	0.34	18'24
$\text{Fe}(\text{OH})_3+\text{Mn}^{2+}$	0.33	20'51	0.37	20'48	0.35	20'55	0.35	20'51

<<說明及推論>>

1. 由實驗結果發現，在 $\text{Fe}(\text{OH})_3+\text{H}_2\text{O}$ 的實驗中，其 R_f 值平均為 0.56，而當 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 和其他重金屬離子共存於溶液中時，以紙層析法測得的 R_f 值較小，如：當 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 和 Mn^{2+} 共存於溶液中時，其 R_f 值平均為 0.35，而當 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 和 Cu^{2+} 共存於溶液中時，其 R_f 值平均為 0.34。皆較 $\text{Fe}(\text{OH})_3+\text{H}_2\text{O}$ 的 R_f 值小。

2. 我們試驗了許多不同材質紙張的層析效果，其中以濾紙的效果最好，而羊皮紙的效果不佳，水及共沉澱的上升速度皆慢，放置 12 小時仍不見水上升至頂端。故以濾紙效果最佳。

實驗 6.2：比較不同 pH 值下膠體溶液在重金屬離子分離方面之差異(目的 6.2)

<<步驟>>

1. 展開液的配製：

<A>取 0.1M 之重金屬離子溶液取 2mL

取 8mL 透析過濾後的氫氧化鐵膠體溶液，加入 0.25mL 1M 的 KOH。

將<A>及混和均勻後倒入展開槽中。

2. 將展開槽置入恆溫槽中，溫度維持在 36 度攝氏作濾紙層析，測量水到達頂端標示線的時間及溶液的 R_f 值。

3. 取用的重金屬離子溶液包含： $\text{NiCl}_{2(aq)}$ 、 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_{2(aq)}$ 、 $\text{CoCl}_{2(aq)}$ 、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_{2(aq)}$ 、 $\text{MnCl}_{2(aq)}$ 。

4. 將步驟一中的改以加入 0.5mL 1M 的 HCl，重複上述實驗。

5. 對照組展開液的配製：

<A>取 2mL 的蒸餾水

取 8mL 透析過濾後的氫氧化鐵膠體溶液，加入 0.25mL 1M 的 KOH。

將<A>及混和均勻後倒入展開槽中。

6. 將展開槽置入恆溫槽中，溫度維持在 36 度攝氏作濾紙層析，測量水到達頂端標示線的時間及溶液的 R_f 值。

7. 將步驟五中的改以加入 0.5mL 1M 的 HCl，重複上述實驗。

<<結果>>

Fe(OH)₃ 吸附重金屬離子濾紙層析的結果(加 KOH)

試劑	第一次		第二次		第三次		平均	
	R_f	時間	R_f	時間	R_f	時間	R_f	時間
Fe(OH) ₃	0.36	21'49"	0.34	21'50"	0.34	21'46"	0.35	21'48"
Fe(OH) ₃ +Cu ²⁺	0.42	18'23"	0.41	18'30"	0.41	18'25"	0.41	18'26"
Fe(OH) ₃ +Co ²⁺	0.38	19'00"	0.37	19'05"	0.38	19'03"	0.38	19'03"
Fe(OH) ₃ +Ni ²⁺	0.40	20'37"	0.42	20'35"	0.41	20'35"	0.41	20'36"
Fe(OH) ₃ +Pb ²⁺	0.38	20'19"	0.36	20'15"	0.36	20'16"	0.37	20'17"
Fe(OH) ₃ +Mn ²⁺	0.01	22'37"	0.01	22'35"	0.03	22'36"	0.02	22'36"

Fe(OH)₃ 吸附重金屬離子濾紙層析的結果(加 HCl)

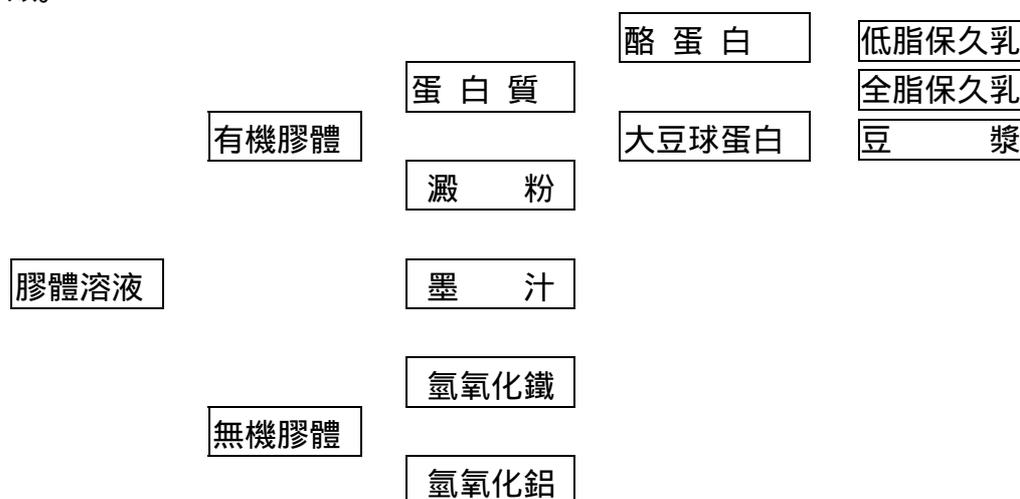
試劑	第一次		第二次		第三次		平均	
	R _f	時間						
Fe(OH) ₃	0.17	18'47"	0.20	18'50"	0.18	18'49"	0.18	18'49"
Fe(OH) ₃ +Cu ²⁺	0.33	18'47"	0.34	18'45"	0.33	18'46"	0.33	18'46"
Fe(OH) ₃ +Co ²⁺	0.27	17'50"	0.23	17'48"	0.25	17'53"	0.25	17'50"
Fe(OH) ₃ +Ni ²⁺	0.23	21'17"	0.27	21'15"	0.24	21'20"	0.25	21'17"
Fe(OH) ₃ +Pb ²⁺	0.28	18'31"	0.27	18'30"	0.27	18'30"	0.27	18'30"
Fe(OH) ₃ +Mn ²⁺	0.27	17'50"	0.23	17'48"	0.21	17'45"	0.24	17'48"

<<說明與討論>>

1. 加入 KOH 後任一實驗試劑的 R_f 值均較不加入 KOH 者略有增加。但不甚明顯。如由實驗結果發現，在 Fe(OH)₃ 和 Cu²⁺ 實驗中，其 R_f 值平均為 0.34，加入微量氫氧化鉀後，其 R_f 值平均為 0.42，但增加不顯甚至有負的增加。
2. 加入 HCl 後任一實驗試劑的 R_f 值均較不加入 HCl 者略有減少。但不甚明顯。如由實驗結果發現，在 Fe(OH)₃ 和 Cu²⁺ 實驗中，其 R_f 值平均為 0.34，加入微量 HCl 後，其 R_f 值平均為 0.33，但其他離子亦有此一現象。
3. 再展開液配製過程中，加入氫氧化鉀皆有混濁凝析現象，而在以濾紙層析後，除 Mn²⁺ 外，混濁皆會消失，可能 Fe(OH)₃ 會吸附混濁物攜帶至濾紙上，使溶液澄清。

六、討論

(一)在本實驗中，我們取用了較常見的膠體溶液，為了便於以下的討論，我們做了以下的分類。



(二)牛奶類的分析：

1. 牛奶的組成可分為水分、乳脂質、無脂固形三部份，而無脂固形中的酪蛋白成分是牛奶中懸浮膠粒的主要成分，以下主要針對酪蛋白分析。
2. 如實驗結果所示，奶類只有在特定 pH 值的環境中有凝析現象，此值約為 pH4.4，若高過於或低過於此值皆無法使奶類蛋白凝析，因此，在 pH4.4 的環境中，蛋白質失去分散於溶液中的力量，而凝聚析出。但全脂保久乳及低脂保久乳加入強鹼有凝析現象，可能因牛奶中的蛋白質發生變性。
3. 由電析實驗，我們知道奶類蛋白質膠體帶負電荷，而蛋白質電荷即為其分散於溶液中的力量，而在實驗二中，我們加入不同的電解質溶液，只有部分會使奶類凝析，這些鹽類可能與蛋白質的四級結構發生作用而凝析。
4. 非所有的重金屬離子皆會使奶類凝析，可能與蛋白質的四級結構有關， Co^{2+} 、 Ni^{2+} 可能未嵌入蛋白質，故不使蛋白質凝析。
5. 在實驗四中，我們加入各類非電解質，其中葡萄糖、蔗糖、及尿素為非電解質的水溶液，奶類蛋白質不因加入這類溶液而凝析，可能因其無法解離出帶電離子。95%酒精、丙酮為有機溶劑，奶類蛋白在其中有凝析現象，可能因酒精及丙酮的介電係數小，使正負電吸引力變大，而使蛋白質聚集在一起，而造成凝析現象。而 1M 的酒精及丙酮則與其他非電解質水溶液般，不會使蛋白質膠體凝析。

- 酪蛋白為牛奶中的主要蛋白質成分，而蛋白質一般有複雜的四級結構，因此在其凝析現象的分析方面，我們並無法做一致的處理，但若以大致上來說，我們可將酪蛋白凝析的可能原因歸類如下：環境的 pH 值、溶劑的介電係數、蛋白質變性。

(三)豆類的分析

- 豆漿的主要成分為大豆球蛋白(Glycinin)，亦為一種有四級結構的蛋白質，我們將結果歸納如下，並做推論。
- 豆漿在酸性的環境下才有凝析的現象，但其並不在特定 pH 值的環境下才凝析，而是在 pH4.4 及 pH3.8 的環境下凝析最為明顯，推測此可能因其成分並非單一，因此在此兩種 pH 值下，其膠質間的分散力最弱，故凝析最為明顯。
- 在電析實驗中，我們亦發現豆漿膠質帶負電，其可能為豆漿膠質的分散力。而豆漿加入實驗中所有使用的電解質皆有凝析的現象。而由於重金屬離子溶液亦屬電解質溶液，故其凝析現象可能因重金屬離子使豆漿變性，但亦可能因為重金屬離子溶液為電解質。
- 在實驗四中，加入的非電解質不會使豆漿凝析，但若為高濃度的有機溶劑，則可能會是因為有機溶劑的低介電係數所導致發生凝析現象。

(四)澱粉的分析

- 澱粉分為直鏈與支鏈兩種，而本實驗中取用的澱粉為可溶性澱粉，加熱處理之後成膠狀。
- 酸、鹼加入澱粉液皆不使澱粉凝析，故澱粉凝析現象不受環境的 pH 值影響。但澱粉加入 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 、硫酸根離子化合物會有凝析現象，澱粉可能會與硫酸根離子及 IIA 族離子氫氧化物作用，而致使凝析反應。

(五)墨汁的分析

- 墨汁的主要成分為煙黑，但墨汁中亦具有其他的成分，如：膠料、阿拉伯膠、穩定劑、防腐劑...等，而由於各個品牌成分的不同，不一定所有的墨汁亦具相同反應。
- 在所有的試驗中，只有含 Na^+ 離子的化合物會使墨汁凝析，而他種離子皆無此現象， Na^+ 離子對墨汁的凝析作用有特異性。

(六)Fe(OH)₃、Al(OH)₃ 分析

1. 不論加入酸、鹼、或鹽類溶液，皆會致使氫氧化鐵膠體溶液凝析，而不論是酸、鹼、或鹽類溶液皆為電解質，只要是電解質應皆可使氫氧化鐵凝析。
2. 在電析實驗中，我們發現氫氧化鐵膠體溶液會帶正電，因此，膠質間的正電排斥力為氫氧化鐵膠質可在溶液中分散的力量。
3. 在文獻中指出，不同價數的陰離子對氫氧化鐵有不同的凝結值，由實驗 1.5 中看出，NaCl 的凝結值約為 14，而 NaNO₃ 的凝結值約為 16，但 Na₂SO₄ 的凝結值為 1.2，而 Na₃PO₄ 的凝結值約為 1.2，比例上有明顯差異，但在實驗一之五中發現，NaNO₃ 的凝結值為 16，Mg(NO₃)₂ 的凝結值為 14.4，Al(NO₃)₃ 的凝結值為 4.8，極為相近，只有 Al(NO₃)₃ 的凝結值略小，不如陰離子的凝結值變化如此明顯。
4. 氫氧化鋁亦帶正電，加入電解質皆會凝析。不過因為氫氧化鋁為兩性氫氧化物，溶於強酸強鹼中，故其在強酸強鹼中不凝析。
5. 氫氧化鐵及氫氧化鋁為無機膠體溶液，較不受結構的影響，故也較為符合文獻對氫氧化鐵及氫氧化鋁的歸納。

(七)應用部份

由於實驗中我們以 Fe(OH)₃ 作為無機共沉澱的載體，可以共沉澱微量的的重金屬離子，由於我們取的重金屬溶液濃度不大，不足以和 Fe(OH)₃ 產生明顯沉澱，無法以過濾方式分離，故我們試著以濾紙層析的方式來分離共沉澱和水。而由於生活中所可能接觸到的重金屬離子濃度可能都不大，故無法產生沉澱的情況下，利用氫氧化鐵膠體粒子吸附正電荷之特性，來吸附重金屬離子，再以濾紙來層析，不失為一種分離微量重金屬離子的好方法。

七、結論

(一)實驗結果整理分析如下表：

膠體凝析現象的圖表整理

膠體溶液	主要成分及構造	凝析現象	可能原因
低脂鮮乳	水分、乳脂質、無脂固形體，酪蛋白在牛乳中和鈣離子及磷酸鈣結合，以膠粒的形式存在，為膠體之主因	1.在酸中凝析 2.強鹼中凝析 3.在 CaCl_2 、 SrCl_2 、 Na_2SO_4 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ 溶液中凝析 4.酒精、丙酮中凝析	1.pI 值為 pH4.4 2.牛乳中某些成分和鹼作用或因強鹼而變性 3.和牛乳中的蛋白質發生作用；離子溶較大 4.介電係數小
全脂鮮乳	同低脂鮮乳	同低脂鮮乳	同低脂鮮乳
酪蛋白	酪蛋白	1.在酸中凝析 2. CaCl_2 、 SrCl_2 、 Na_2SO_4 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 CaSO_4 、 $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ 溶液中凝析 3.酒精、丙酮中凝析	1.pI 值為 pH4.4 2.和牛乳中的蛋白質發生作用；離子溶較大 3.介電係數小
豆漿	大豆球蛋白 Glycinin： 第一限制胺基酸，占所有成份的70%	1.在酸中凝析 2.所有試驗的鹽類 NaCl 、 NH_4Cl 、 CaCl_2 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 SrCl_2 、 KCl 、 Na_2SO_4 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 MgCl_2 、 MgSO_4 、 CaSO_4 溶液中凝析 3.酒精、丙酮中凝析	1.pI 值為 4.4 及 3.8 2.和豆漿中的蛋白質發生作用；皆為電解質 3.介電係數小
澱粉	可溶性直鏈澱粉	1.在 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 中凝析 2.含硫酸根離子的溶液中凝析	1.和 A 族強鹼發生作用 2.硫酸根對澱粉凝析有特異性
墨汁	碳黑、植物膠、添加劑	1.含鈉離子的溶液中凝析	1.鈉離子對墨汁凝析有特異性
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	所有電解質	電解質
$\text{Al}(\text{OH})_3$	$\text{Al}(\text{OH})_3$	強酸強鹼外的電解質	電解質

(二)豆漿和牛奶皆為蛋白質膠體溶液，故具有許多相似的性質。

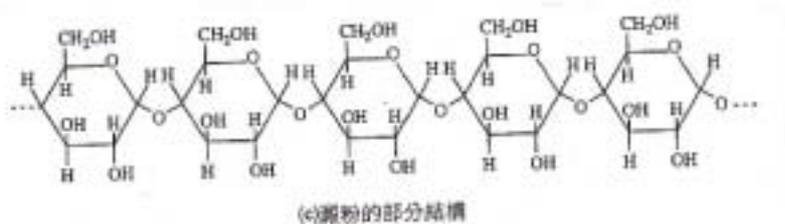
- 1.皆為帶負電膠體溶液。
- 2.凝析現象皆與環境的 pH 值有關。

但亦呈現不同的現象

- 1.牛奶在鹽類中的凝析現象與豆漿不同。

(三)豆漿與牛奶皆為蛋白質，豆漿的主要成分為大豆球蛋白(glycinin)，而牛奶的主要成分為酪蛋白(Casean)，具複雜的四級結構，許多反應無法以單一的因素歸納分析解釋。

(四)實驗所用的為可溶性直鏈澱粉，其結構式如下：



在實驗中， $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 、 SO_4^{2-} 離子皆會與澱粉作用而使得澱粉凝析。

(五)墨汁的主要成分煙黑，在實驗中只要含有 Na^+ 離子的試劑便會使墨汁凝析，可以說 Na^+ 離子對墨汁的凝析有特異性。

(六)氫氧化鐵及氫氧化鋁為無機膠體溶液，由實驗結果發現其符合課本中對膠體溶液單一的歸納，亦可藉以映證課本內容。

(七)實驗七中，利用氫氧化鐵膠體粒子吸附正電荷之特性，來吸附重金屬離子，再利用將濾紙層析法濾去重金屬離子，而由於生活中所可能接觸到的重金屬離子濃度可能都不大，故在無法產生沉澱的情況下，以濾紙層析應是為一種分離重金屬離子的好方法。

(八)膠體溶液因本身結構與化學性質的不同，因此對不同的試劑有不同的結果反應，對於膠體溶液的凝析，我們不能以一種理論概括所有的膠體溶液反應。

八、參考資料

1. 龍騰通訊自然科，第十三期
2. 雷敏宏 楊寶照等著,化學實驗,高立圖書公司，p127
3. 王萬拱,Sept, 1999, 紙床毛細滲透分離水中膠體,
Chemistry (The Chinese Chem. SOC., Taipei) vol.57, No.3, pp205~210
4. 王萬拱 方士文 簡志宏 潘忠政 許韋軒 魏子凱 溫振明 廖彩汝 歐陽智 劉彥志, Dec,
1999, 紙床毛細滲透膠體吸附分離水中 Ni(II)、Zn(II)、Cd(II)、Cu(II)離子, Chemistry (The
Chinese Chem. SOC., Taipei) vol.57, No.4, pp289~294

(第三名)

1. 研究具有實用性，探討問題過程詳實
2. 在數據的處理上仍需加強改進
3. 表達清晰生動，對研究過程瞭解
4. 對於膠體沈澱的影響因素做了深入及完整的探討，不過膠體的沈澱因素已有很多研究，可以再多做一些探討。