

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：新世紀的榮耀 - 從蛋白質等電點到奈米黏土的研究

關 鍵 詞：奈米黏土、蛋白質等電點、膠體溶液

編 號：040203

學校名稱：

國立武陵高級中學

作者姓名：

吳弘毅、葉柏材、朱叢鴻

指導老師：

呂金龍



從蛋白質等電點到奈米級黏土的研究

壹、 摘要

為了了解有關蛋白質在溶液中沉澱的現象,我們研究了這幾個因素對牛奶沉澱的影響: 1.pH 值、 2.不同鹽類溶液、 3.不同牛奶濃度、 4.奈米黏土存在時。

發現牛奶本身是酸鹼,且大部分的蛋白質等電點在 $\text{pH}=5.9$ 。

同族離子,隨著電荷密度的上升,達等電點所需的離子濃度就越低。同行離子,尚須再考慮水合能的效應。

對同離子而言,牛奶濃度越高,所需的離子濃度越低。但若牛奶濃度越高,沉澱與溶液的顏色非常不分明,故牛奶濃度不可太高。筆者所用的濃度是 5%和 10%的牛奶溶液。

奈米級黏土與蛋白質的反應機構主要是經由離子吸附來達成凝集沉澱的目的,發現奈米黏土的電離子吸附效率比一般的離子要高出好幾百倍,只要 10~30ppm 就可以達到凝集沉澱的效果。筆者以顯微鏡看奈米黏土作用的現象,證機構的正確性。

展望將成果應用在工業膠體廢水處理。

貳、 研究動機：

有一天上化學課時,老師剛好有提到膠體溶液。但老師只有大略說明,我們想更进一步了解,就查了一些資料。發現膠體溶液有很多有趣的性質,牛奶是其中的一種,更是人類重要的食物來源,因此引發了我們的研究興趣。同時也探討奈米級黏土對膠體溶液的影響。

參、 研究目的：

- 一、尋找牛奶蛋白質的等電點
- 二、鹽類溶液的濃度和種類對沉澱的影響
- 三、牛奶的濃度對蛋白質在鹽類溶液中沉澱點的影響
- 四、奈米級黏土對牛奶蛋白質沉澱點的影響

肆、 研究設備與器材：

- 一、蛋白質等電點與牛奶反滴定、牛奶的濃度關係的探討
 - (一) HCl 、低脂牛奶
 - (二) 滴定管、錐形瓶、量筒、滴管、燒杯
 - (三) pH 儀

二、鹽類濃度、牛奶濃度與沉澱關係的探討：

- (一) FeCl_3 、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 、 BaCl_2 、 SrCl_2 、 CaCl_2 、 MnCl_2 、 LiCl 藥品各一罐
- (二) 試管 50 支、試管架 3 個、刮杓一支
- (三) 電子稱一個、稱量紙 50 張
- (四) 50ml 燒杯 3 個、500ml 燒杯 3 個、滴管 3 支
- (五) 離心機一臺、離心管 50 支
- (六) 低脂牛奶 350ml、10ml 量筒 3 支
- (七) 試管刷一支、玻棒 2 支、100ml 配藥瓶一個
- (八) 標籤紙一包、碼表一個、軟木塞 50 個
- (九) 碼表
- (十) 奈米級黏土溶液(10,100,1000ppm)

伍、 研究過程與方法：

一、 蛋白質等電點

- (一) 配製 1M、0.1M 的 HCl 溶液，並裝入滴定管中
- (二) 配製奶/水比為 1：40、1：100、1：9 的溶液 10ml
- (三) 以 1.所得之液體滴定 2.所得的液體，並不斷搖晃，直到牛奶的沉澱不因搖晃 消失為止，並記下所用掉 HCl 的量
- (四) 使用 pH 儀測定當時被滴定物的 pH 值。

二、 牛奶溶液的反滴定

- (一) 將純牛奶之奶/水比 1：9、1：40 的溶液裝入滴定管中
- (二) 將 $\text{pH}=1.0$ 之 HCl 溶液裝入錐形瓶
- (三) 以奶/水混合溶液滴定，並不斷搖晃
- (四) 觀察溶液何時發生沉澱，並以此點為滴定終點。

三、 鹽類濃度、牛奶濃度與沉澱關係的探討：

- (一) 於電子稱上稱取 0.02mole 的 FeCl_3 加入 50ml 燒杯中，再加入蒸餾水並以玻棒攪拌使之溶解後倒入 100ml 量瓶中，再加蒸餾水潤洗燒杯之後把此潤洗液倒入前面的 100ml 量瓶中。並調配出 0.2M 的 FeCl_3 水溶液
- (二) 依照 1.的步驟，調配出 0.2M、0.4M、0.6M、0.8M 的 FeCl_3 水溶液各 100ml。
- (三) 把調配好的溶液加入試管中，密封，貼上標籤紙註明溶液濃度及離子種類。
- (四) 依照以上 1.到 3.的步驟，並改變鹽類種類及濃度，得到 0.2M 0.4M 0.6M、0.8M 的 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ BaCl_2 SrCl_2 CaCl_2 MnCl_2 LiCl CoCl_2 水溶液各一瓶。

- (五) 以牛奶體積/水的體積=1/3 的比例來稀釋牛奶，量取 5ml 的牛奶水溶液加入離心管中。
- (六) 將 FeCl_3 、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 、 BaCl_2 、 SrCl_2 、 CaCl_2 、 MnCl_2 、 LiCl 的 28 瓶電解質溶液中，分別拿取步驟 5 中得到的裝有牛奶水溶液的離心管，並用玻棒攪拌混合液，貼上標籤紙並註明溶液濃度及離子種類，再把這些離心管放入離心機中，以每分鐘 4000 轉、離心 30 秒鐘。
- (七) 把離心管取出後，仔細看看管壁及底部是否有沉澱產生，若有沉澱產生，則取其較低濃度的電解質水溶液重複步驟 6. 再離心一次。若無沉澱產生，則取其較高濃度的電解質水溶液重複步驟 6. 再離心一次。
- (八) 假如最後某電解質水溶液沉澱濃度之最小值為 0.20M，沉澱濃度之最大值 0.30M，則再取濃度為 0.25M 的某電解質水溶液重複步驟 6. 再離心一次。重複以上過程直到找到區間為止。
- (九) 把牛奶/水的體積比改為 1/9 並重複以上實驗步驟。

陸、研究結果：

一、等電點的測定

(一)HCl 滴定牛奶水溶液 50.0ml，並測定等電點時的 pH 值。

奶/水比 1 : 4，HCl 濃度 1.0M

	第一次	第二次	第三次	平均
滴入的量(ml)	1.5	1.2	1.3	1.3
沉澱時的 PH 值	5.8	5.9	5.9	5.9

奶/水比 1 : 9，HCl 濃度 1.0M

	第一次	第二次	第三次	平均
滴入的量(ml)	0.7	0.6	0.9	0.7
沉澱時的 PH 值	5.9	5.9	5.9	5.9

奶/水比 1 : 9，HCl 濃度 0.1M

	第一次	第二次	第三次	平均
滴入的量(ml)	6.5	6.9	6.2	6.6
沉澱時的 PH 值	5.8	5.8	5.9	5.8

(二)以純牛奶滴定 1M HCl 5.0ml，並測定等電點時的 pH 值。

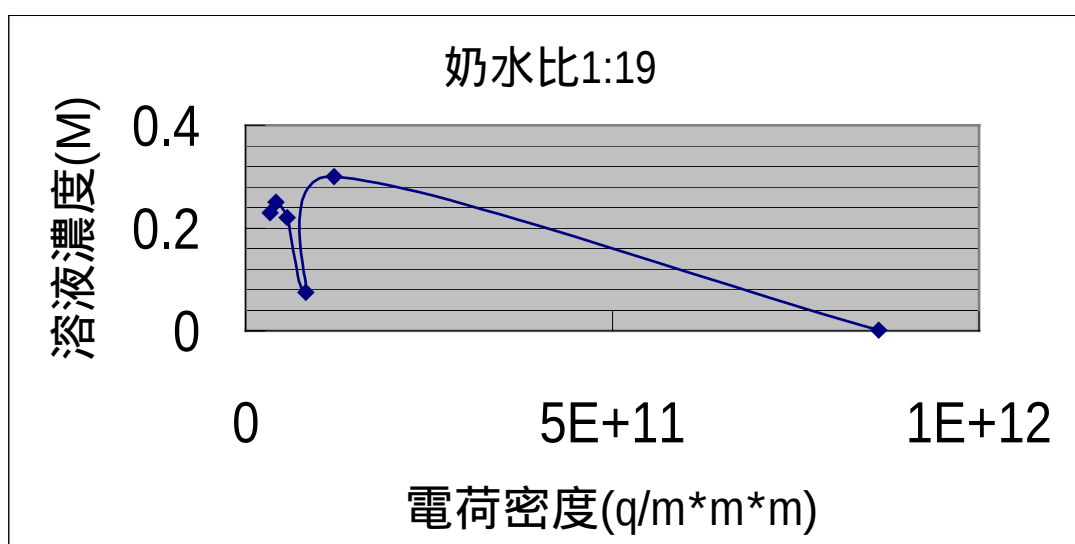
HCl 濃度 1.0M 5.0ml，純牛奶反滴定之

	第一次	第二次	第三次	平均
滴入的量(ml)	17.9	18.4	19.0	18.4
PH 值	4~5	4~5	4~5	4~5

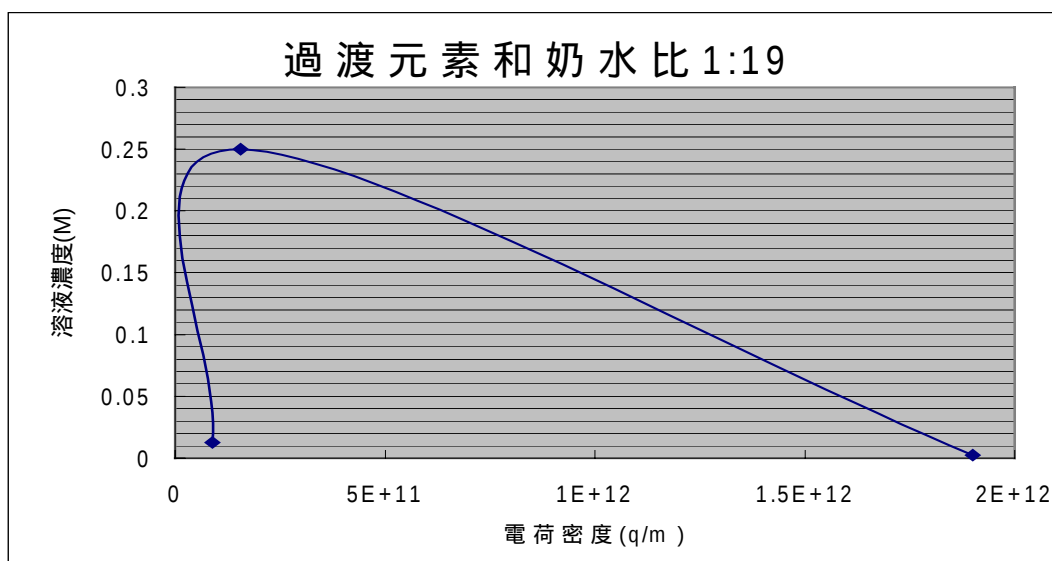
二、離子濃度與等電點的關係

(一)下表是沉澱濃度之區間：奶/水比 1:19

水溶液種類	BaCl ₂	SrCl ₂	CaCl ₂	NaCl	LiCl
沉澱點之區間(M)	0.23~0.24	0.22~0.23	0.075~0.10	0.30~0.35	0.30~0.33
水溶液種類	AlCl ₃	CoCl ₂	FeCl ₃	MnCl ₂	
沉澱點之區間(M)	0.01~0.02	0.025~0.05	0.00125~0.0025	0.25~0.28	



由第 1 個圖中，發現同一族的元素，電荷密度愈高者，達等電點所需的濃度愈低。
 由第 2 個圖中，發現同一行的元素相比較，影響的因素不止有電荷密度，故兩者不具有相關性。
 綜合 1.2.兩圖，欲達點，部份離子所需的離子濃度與電荷密度呈負相關，但不盡然都是如此。



由第 1 個圖中，發現同一族的元素，電荷密度愈高者，達等電點所需的濃度愈低。
由第 2 個圖中，發現同一行的元素相比較，影響的因素不止有電荷密度，故兩者不具有相關性。

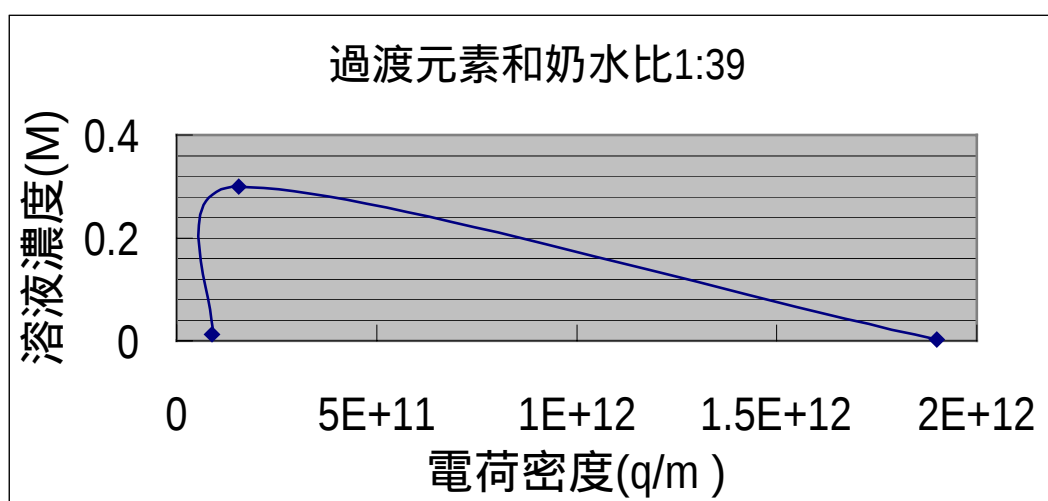
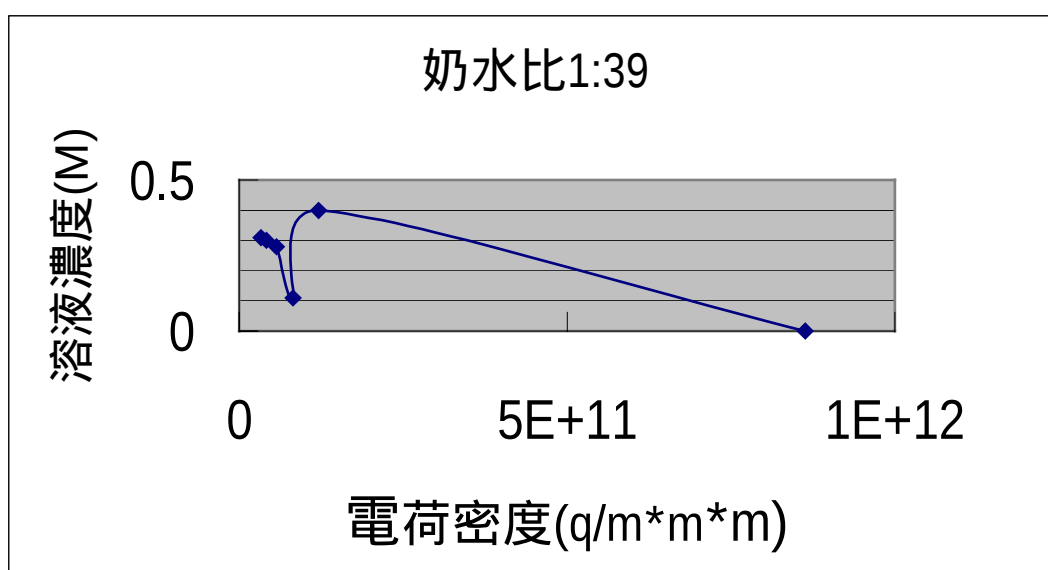
綜合 1.2.兩圖，欲達點，部份離子所需的離子濃度與電荷密度呈負相關，但不盡然都是如此。

(二)下表是沉澱濃度之區間：奶/水比 1:39 等電點

註：濃度小於否有無沉澱，吾人定義為不沉澱。

水 溶 液 種類	BaCl ₂	SrCl ₂	CaCl ₂	MnCl ₂	LiCl
沉 澱 點 之 區 間 (M)	0.31~0.36	0.28~0.32	0.11~0.13	0.30~0.32	0.40~0.43
水溶液 種類	AlCl ₃	CoCl ₂	FeCl ₃	NaCl	
沉澱點 之區間 (M)	0.000625~0.00125	0.0125~0.025	0.0125~0.0025	0.25~0.30	

”沉澱最小濃度”的溶液，離心之後以肉眼不易再分辨是



由第 1 個圖中，發現同一族的元素，電荷密度愈高者，達等電點所需的濃度愈低。
由第 2 個圖中，發現同一行的元素相比較，影響的因素不止有電荷密度，故兩者不具有相關性。

綜合 1.2.兩圖，欲達等電點，部份離子所需的離子濃度與電荷密度呈負相關，但不盡然都是如此。

三、 奈米黏土的效應

(一)奈米黏土和 1:19 之牛奶液

溶液種類	奈米黏土	奈米黏土 + 0.15M Na^+	奈米黏土 + 0.055M Ca^{+2}	奈米黏土 + 0.0006M Fe^{+3}
區間 (ppm)	10~30	10~30	10~20	10~20

(二)奈米黏土和 1:39 之牛奶液

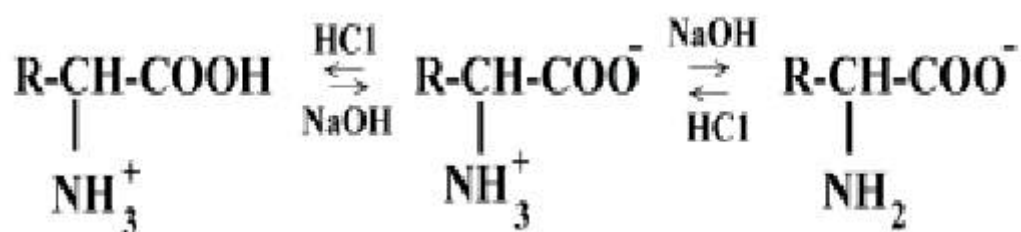
溶液種類	奈米黏土	奈米黏土 + 0.15M Na ⁺	奈米黏土 + 0.035M Ca ⁺²	奈米黏土 + 0.0006M Fe ⁺³
區間 (ppm)	10~30	10~30	10~20	10~20

柒、 討論

一、 蛋白質等電點：

(一)原理敘述

胺基酸具有兩性離子的性質，凡在分子內具有內鹽結構的化合物，稱為兩性離子(zwitter ion)，胺基酸即為此種分子。當加酸於一胺基酸溶液時，質子(H⁺)即加於胺基上，當加入鹼時，則由胺基上移去質子，其平衡化學反應式為：



在酸性溶液中，胺基酸將具一陽電荷，置於電場中，將向陰極移動；在鹼性溶液中，胺基酸將具一陰電荷，若置於電場中，將向陽極移動；在某一特定的 pH 值時，胺基酸的靜電荷為零，在電場中不發生移動，此一特定的 pH 值稱為等電點。不同胺基酸由於結構不同，致其等電點也不同，因此等電點值是胺基酸的特性常數。

蛋白質是由胺基酸聚合而成，儘管在蛋白質分子中胺基酸中的胺基與羧基相互結合成太鍵，但仍有一些未結合的胺基、羧基和其他極性基團。所以蛋白質亦具有一些與胺基酸類似的性質。當蛋白質分子上的正、負電荷數量相等（淨電荷為零）時，此時溶液的 pH 值稱為這種蛋白質的等電點。

天然蛋白質的種類很多，由於不同蛋白質的胺基酸組成的數目和種類不同，所以各種蛋白質的等電點是不同的。因為在等電點時，它本身具有 NH₂ 基、COOH 基，所以可以接受 H⁺、OH⁻，當蛋白質上的電性趨近中性時，換言之，氨基一端所得到的 H⁺、氨基酸本身所帶的電荷、COOH 基上的 OH 中的電荷一樣的話，蛋白質會因為相對不再具有電荷，蛋白質之間的斥力消失蛋白質分子上的淨電荷為零，分子呈電中性，所以其親水性減弱，溶解度減小，分子之間極易相互碰撞，蛋白質水溶液也可視為一種膠體溶液，於是，便發揮膠體的性質，互相吸引而沉澱。凝聚而析出。

(二)實驗討論

在實驗 1 中，使用了 1M 的 HCl 時，剛滴第一滴時，尤於尚未搖晃，混合均勻，有部分的蛋白質達到了等電點而沉澱，稍做搖晃之後，沉澱便消失，不斷再加入酸，發現不會再沉澱，推測是在滴第一滴的時候 pH 就比等電點還低了。所以再嘗試用 0.1M 之溶液，發現在加入三次為平均 25.0ml 時，開始發生搖晃沉澱而不消失的情況，以 pH 儀測三次平均為 pH=5.9，再加入少許酸液，蛋白質又多沉澱了一些，但發現 pH 值沒變。再繼續增加酸液，當蛋白質幾乎完全沉澱時再加入酸液，此時蛋白質沉澱便消失，筆者們覺得要蛋白質沉澱必定是那一點一等電點。然而我再改變被滴定物的牛奶濃度，發現太稀的牛奶也看不到沉澱，筆者在此推測：牛奶濃度的大小會影響到沉澱的顆粒大小，跟據蛋白質等電點的理論，筆者認為這裡看不到沉澱的原因是顆粒太小，不易觀察，倘若可將達到等電點的牛奶溶液離心，或許可以見到沉澱現象。也就像低量的鹽類沉澱，在水溶液中看起來就像雜質般，不易分辨。

牛奶的反滴定，產生了如此有趣的情況。在純牛奶的反滴定中，起初，在 pH=1.0 的溶液中滴入的牛奶居然沉澱了，筆者們推測，這是高濃度的牛奶接觸到高濃度的酸液，如果將 HCl 也試為一個充滿正電與負電的液體，牛奶在其中與其競爭水合，也就像一般的鹽類溶液般，牛奶失去水合的影響，而造成結構的變化，於是沉澱；亦或是牛奶在此高濃度的電解質水溶液中，展現膠體的性質，但是持續加入牛奶後，由於牛奶本身也是一種酸鹼，不斷滴入造成溶液中的 H^+ 濃度下降，最後當溶液中的離子濃度不足時，就不再沉澱了。然而在達到等電點時，因溶液中的牛奶濃度過低，也不見再沉澱的情況。在奶水比為 1：9 的水溶液中，起初加入有沉澱現象，推測是由於水合 or 膠體性質之故，但還是因為牛奶濃度過低，後來的沉澱現象就觀察不到了，奶水比為 1：40 的情況亦是。

二、不同鹽類對蛋白質沉澱的影響：

(一) 針對牛奶的膠體溶液性質

1. 抗衡離子層：

表面電荷的存在會使緊接在顆粒附近的溶液變得不均勻，這樣的區域稱為抗衡離子層，許多相反的電荷將存在於此層內以便平衡膠體顆粒所帶的電荷，這層的發展將受到整個溶液中均質性傾向的阻礙，因而這層的橫切面要依賴，周圍電解質的性質和濃度而定，假如是稀溶液，這層的厚度比較大，另一方面，如果溶液的離子濃度很大，這層是薄的，任一情形下，我們均以為抗衡離子層是溶液中有些散漫的部分而不能成為固體的一部份。將吸附在固體上的離子和溶液中相對離子一起考慮，便組成電雙層，它包圍著顆粒。膠體顆粒的行為實可歸於這雙層的存在。表面吸附的淨效應就是沈澱被溶液中其他可溶成份所污染，培尼斯法堅 (paneth-Fajans) 定律曾描述最強吸附的離子將是那些和格子離子形成最不易溶或最不易解離的化合物的離子，假如兩個離子和同一格子離子形成大約相同溶解度的化合物，擁有較大電荷的離子有較大傾向被吸附。漢恩 (Hahn) 定律用相同標準

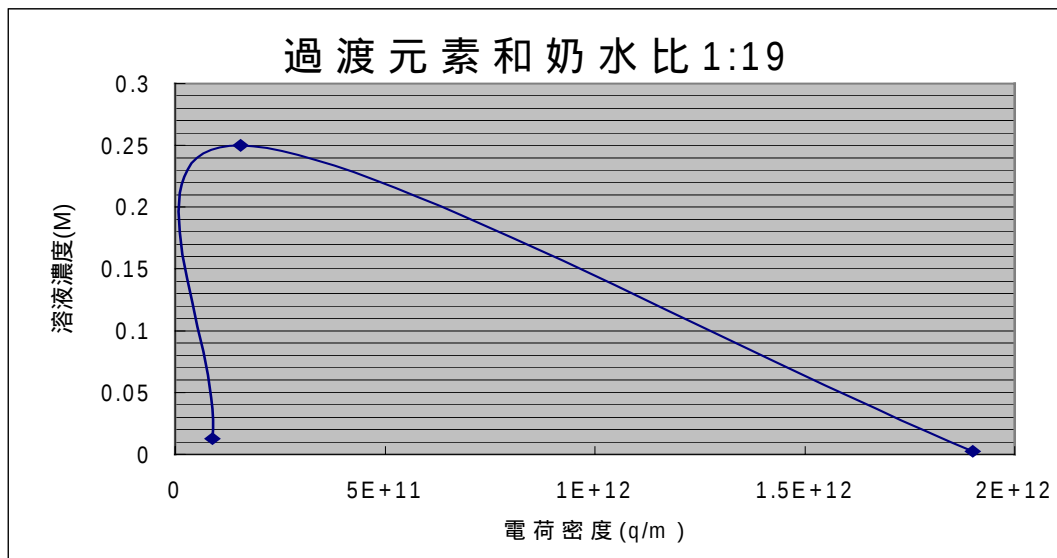
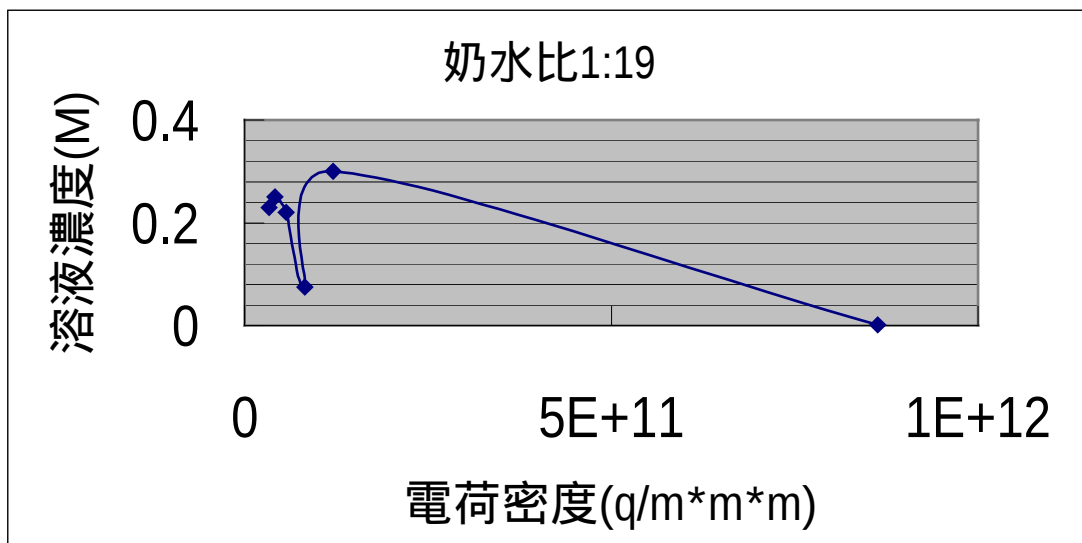
預測相對離子的相似性質，重要的是由最先被吸附離子和抗衡離子所形成化合物的溶解度。故當我們加入電解質時，可以抗衡離子的效應，當蛋白質分子因為抗衡離子層減弱的緣故而更加靠近，就像一般的膠體溶液，蛋白質將不斷凝聚而沉澱。

(二) 針對牛奶的蛋白質性質

如果把牛奶也看成是一種具有的離子，同樣的、把牛奶加入水溶液中時，可能會像離子一般的產生水合的效果，筆者認為蛋白質和我們加在水中的離子會產生彼此競爭水合的現象，蛋白質的一條長鍊，需要水合的力量維持形狀，一旦失去水合優勢，蛋白質結構將改變，長鍊的蛋白質將糾纏成一塊，此時沉澱就產生了。提到水合，就不得不想到水合能。水合能會在電荷價數愈高及離子半徑愈小的離子上產生較大的數值。也就是說水合能數值愈高的離子加入水中時比較會產生水合的現象。若是這樣的話，蛋白質附近的水分子靠近陽離子的傾向大於接近蛋白質的傾向時，蛋白質和水分子就不能混合均勻而造成了蛋白質的凝聚沉澱。然而在對於膠體性質的討論上，又不得不忽略抗衡離子的效應，故這是兩種效應的綜合結果。

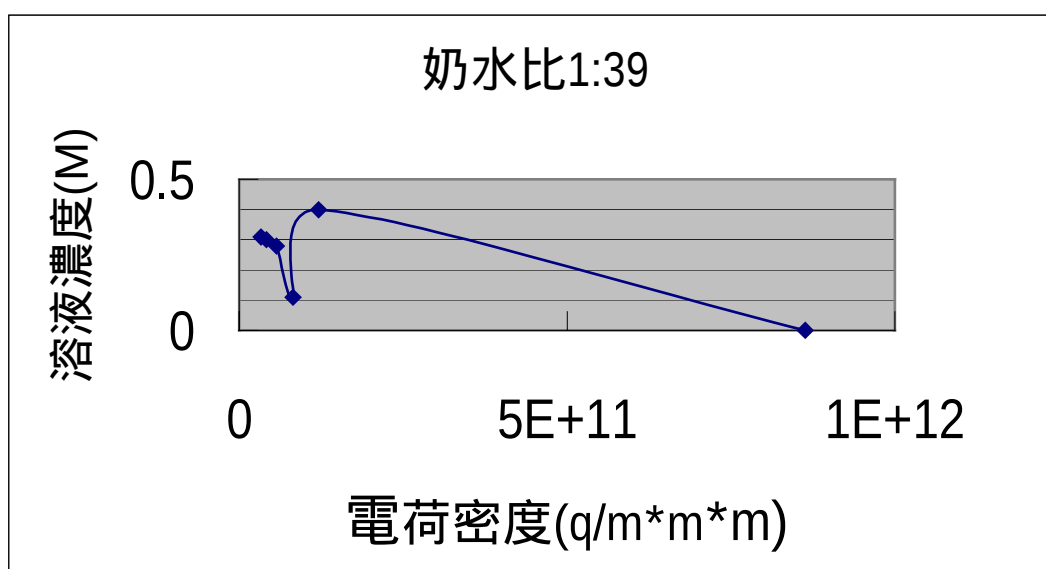
電荷密度、水合能與當奶水比為 1:19 時的臨界點的表

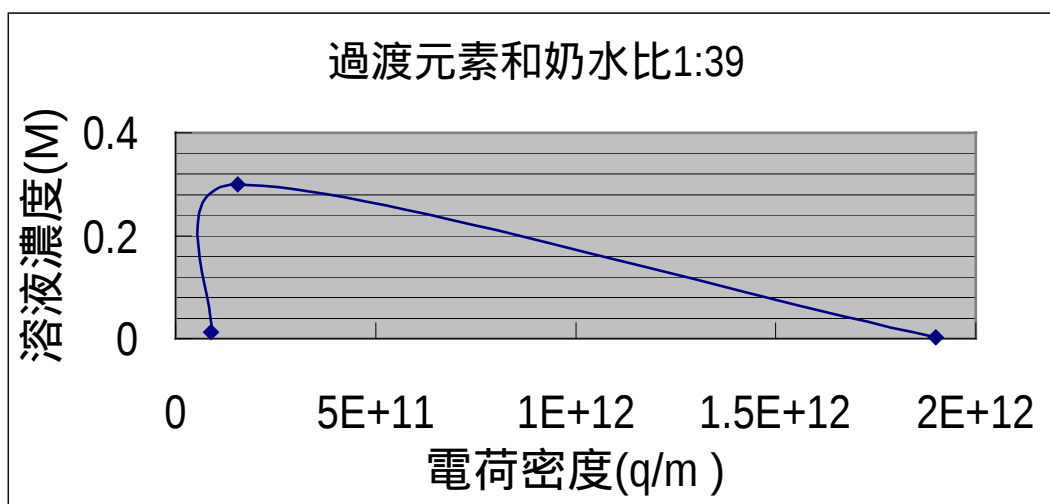
離子種類	Ba ²⁺	Sr ²⁺	Ca ²⁺	Mn ²⁺	Li ⁺
離子半徑 m	1.34x10 ⁻¹⁰	1.12x10 ⁻¹⁰	9.90x10 ⁻¹¹	8.00x10 ⁻¹¹	6.8x10 ⁻¹¹
所帶電荷 c	3.33x10 ⁻¹⁹	3.33x10 ⁻¹⁹	3.33x10 ⁻¹⁹	3.33x10 ⁻¹⁹	1.67x10 ⁻¹⁹
臨界點	0.23M	0.22M	0.075M	0.25M	0.30M
水 合 能 kj/mole (放熱)	1364	1482	1653	663	545
電荷密度	3.31x10 ¹⁰	5.68x10 ¹⁰	8.22x10 ¹⁰	1.56x10 ¹¹	1.21x10 ¹¹
離子種類	Na ⁺	Co ²⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺	
臨界點	0.25M	0.025M	0.00125M	0.001M	
電荷密度	4.18x10 ¹⁰	8.9x10 ¹⁰	1.9x10 ¹²	8.63x10 ¹¹	



由第 1 個圖中，發現同一族的元素，電荷密度愈高者，達等電點所需的濃度愈低。
 由第 2 個圖中，發現同一行的元素相比較，影響的因素不止有電荷密度，故兩者不具有相關性。
 綜合 1.2.兩圖，欲達點，部份離子所需的離子濃度與電荷密度呈負相關，但不盡然都是如此。

離子種類	Ba ²⁺	Sr ²⁺	Ca ²⁺	Mn ²⁺	Li ⁺
離子半徑 m	1.34x10 ⁻¹⁰	1.12x10 ⁻¹⁰	9.90x10 ⁻¹¹	8.00x10 ⁻¹¹	6.8x10 ⁻¹¹
所帶電荷 c	3.33x10 ⁻¹⁹	3.33x10 ⁻¹⁹	3.33x10 ⁻¹⁹	3.33x10 ⁻¹⁹	1.67x10 ⁻¹⁹
臨界點	0.31M	0.28M	0.11M	0.25M	0.40M
水 合 能 kj/mole (放熱)	1364	1482	1653	663	545
電荷密度	3.31x10 ¹⁰	5.68x10 ¹⁰	8.22x10 ¹⁰	1.56x10 ¹¹	1.21x10 ¹¹
離子種類	Na ⁺	Co ²⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺	
臨界點	0.30M	0.0125M	0.0125M	0.000625M	
電荷密度	4.18x10 ¹⁰	8.9x10 ¹⁰	1.9x10 ¹²	8.63x10 ¹¹	





由第 1 個圖中，發現同一族的元素，電荷密度愈高者，達等電點所需的濃度愈低。由第 2 個圖中，發現同一行的元素相比較，影響的因素不止有電荷密度，故兩者不具有相關性。

綜合 1.2.兩圖，欲達等電點，部份離子所需的離子濃度與電荷密度呈負相關，但不盡然都是如此。

三、離心時間

在筆者的實驗步驟中，特別強調離心的時間為 30 秒。因為根據我們之前研究發現如果離心的時間過長，則純鮮奶也會發生沉澱。而我們之所以要離心的原因是因為大部份的沉澱都很難用肉眼來觀察。原本是想利用「廷得耳效應」- 如果有沉澱時透光度應會增加，但透光度也是很主觀的感覺，再加上又沒有測透光度的儀器，所以我們才會想用離心的方法。離心的原理：在我們加入會使鮮奶沉澱的離子時，除了常用的沉澱劑如： FeCl_3 ， $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 外，其他的離子沉澱都不明顯，但其實還是有微小的沉澱，所以我們就利用離心的方法，使其附著於離心管上便於觀察。然而在實驗三、鹽類可使牛奶沉澱的濃度範圍、與不同濃度牛奶的探討中，使用了奶水比 1:7 的溶液，在不同離心時間的實驗中，發現 60 秒的與 90 秒的皆沉澱了，但 30 秒的並未沉澱，代表著光是爭餾水與牛奶中的離子在離心時間在 60 秒以上時，就可造成沉澱，為了在“不同鹽類對蛋白質沉澱的影響”實驗中，得到易於比較的數據，就統一離心時間為 30 秒。

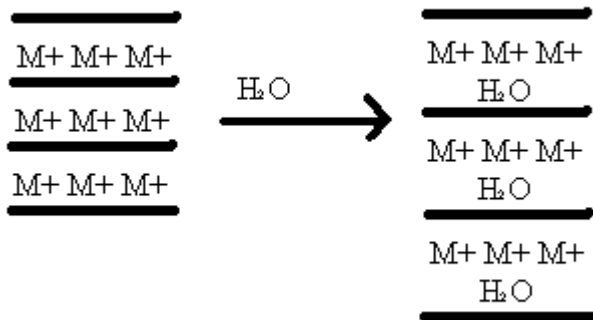
四、鮮奶濃度

生物化學的實驗難做，其實是因為有太多的變因。像筆者一開始的實驗數據每次做都略有不同，發現原來鮮奶的濃度、總類也是大有影響。如果鮮奶的濃度過高，不用加離子拿去離心即沉澱；反之，如果濃度過低，加再濃的離子也不會沉澱。此外，我們有發現鮮奶的濃度和離子濃度呈正相關，即鮮奶的濃度越高則所需離子濃度就越低。還有一些鮮奶更厲害，本身即添加了 Ca^{2+} 離子，當然更容易沉澱。這種情況不僅在實驗 2 中見得到，實驗 1.也是。又牛奶的顏色與沉澱相

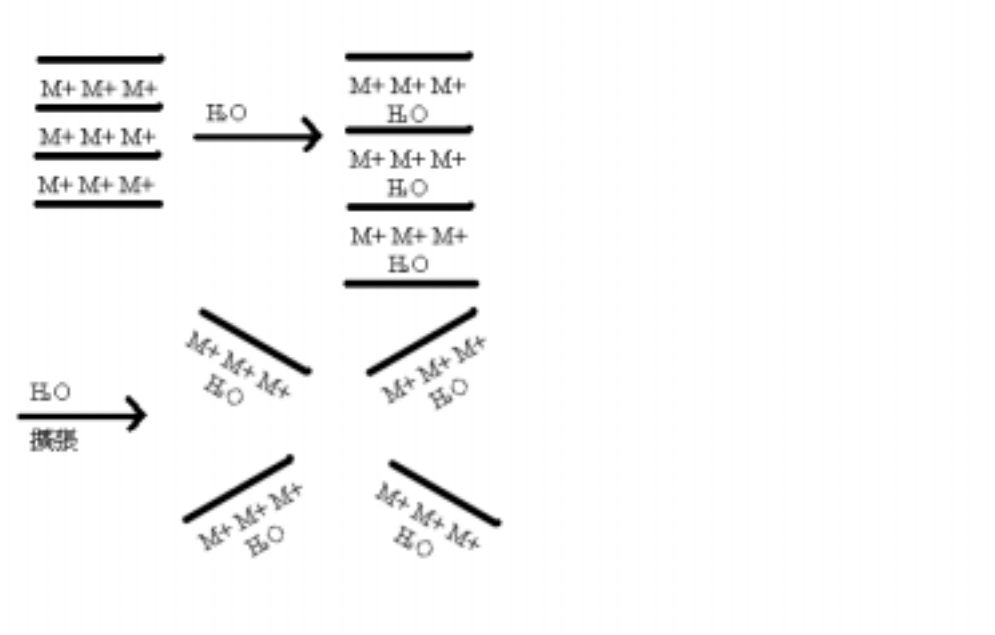
近，必需讓濃度降低，如此才可見到明顯的沉澱效果，因此，我們定牛奶濃度為 10% 和 5%。(體積百分濃度)

伍、 奈米級黏土與蛋白質的反應機構

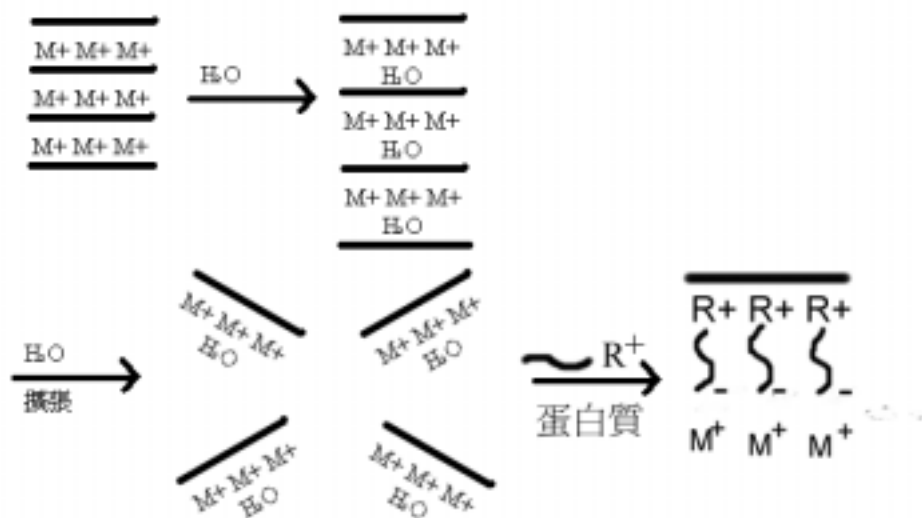
(一) 水滲透入黏土層



(二) 電離層被擴張而分離



(三) 蛋白質電荷吸附，與凝集沉澱



奈米級黏土與蛋白質的反應機構主要是經由離子吸附來達成凝集沉澱的目的,由上面實驗的結果,發現奈米黏土的電離子吸附效率比一般的離子要高出好幾百倍,只要 10~30ppm 就可以達到凝集沉澱的效果,並且不太受其他離子干擾.

捌、 結論：

一、 pH 值對牛奶沉澱的影響：

過猶不及----筆者發現如果把酸拿來滴定牛奶則剛好在等電點時才會沉澱。但是把牛奶滴進酸中，一開始會先沉澱，可是由於牛奶也是一種酸鹼，所以會中和酸反而不沉澱。筆者發現，牛奶中大部分的蛋白質等電點在 pH=5.9。

一、 鹽類溶液的濃度和種類對沉澱的影響

- (一) 同族的離子，隨著電荷密度的上升，愈達等電點所需的離子濃度就越低。
- (二) 同一行的離子，以電荷密度來討論不完全，尚須再考慮水合能的效應。

二、 牛奶的濃度對蛋白質在鹽類溶液中沉澱點的影響

- (一) 對同一離子而言，牛奶濃度越高，所需的離子濃度越低。
- (二) 但若牛奶濃度越高，沉澱與溶液的顏色非常不分明，故牛奶濃度不可太高。筆者所用的濃度是 5% 和 10% 的牛奶溶液。

三、 奈米級黏土對牛奶蛋白質沉澱點的影響

奈米級黏土與蛋白質的反應機構主要是經由離子吸附來達成凝集沉澱的目的,由上面實驗的結果,發現奈米黏土的電離子吸附效率比一般的離子要高出好幾百倍,只要 10~30ppm 就可以達到凝集沉澱的效果,並且不太受其他離子干擾.

玖、 參考資料：

曾國輝編著 化學第二版上、下冊 藝軒出版社

北京大學化學系有機化學教研室編著 有機化學實驗 藝軒出版社

D.A. Skoog D.M. West 編著 基本分析化學 新陸書局

楊寶旺、林敬二、陳寶山編著 定量分析及實驗 高立圖書