

使用前請先搖一搖！ 探討溶液濃度梯度的問題

國中組化學科第二名

基隆市立中正國民中學

作者：江佑中、陳坤翰、陳慧臻、謝菱霽
指導教師：蔡明政、何志青

一、實驗動機

當我們興沖沖地從冰箱拿出幾瓶鋁箔包裝的柳丁汁時，卻很失望地發現：因為冰箱中的溫度過低，飲料竟結成了冰塊！突然，一個念頭從腦中掠過：飲料不是愈冰愈好喝嗎？因此我耐心地等它們退冰後再飲用。卻又發現，柳丁汁的味道變淡了，反倒是底層的味道較濃呢！這樣的經驗因為在生活中司空見慣了，往往被大家視為理所當然，但對於它的形成原因，以及可能造成的影響，卻引起我們研究的興趣。

二、實驗目的

- (1) 觀察結冰飲料經解凍後，溶液內溶質的分布情形。
- (2) 觀察飲料經溫度變化後，溶液內溶質的分布情形。
- (3) 分析飲料溶液於環境溫度變化時，溶質分布的差異。
- (4) 利用硫酸銅溶液來分析探討影響溶質分布的因素。

三、實驗過程

〔實驗一〕恆溫水槽的製作與升降溫度速率

實驗器材：保麗龍箱、水桶、水管、500W 加熱棒、保麗龍、水槽、微電腦測控溫器、調節器、抽水馬達。

實驗步驟：〔A〕製作過程：（利用水循環原理）

- (1) 將水槽放入保麗龍箱中，在水槽中加入適量的水，在水槽與保麗龍箱間塞入保麗龍，將控溫器固定在保麗龍箱旁，電子感溫器放入水槽中。
- (2) 抽水馬達裝上水管後，固定於裝有適量水的水桶中固定，末端放入水槽中固定，另一條水管裝上調節器，放入水桶中，另一端固定於水槽中。
- (3) 將抽水馬達插上電線，再利用虹吸作用抽出水至水桶中，調整調節器，

開始水循環。

〔 B 〕升溫：

- (1)將加熱棒放入水桶中，插頭插入控溫器的插座中。
- (2)再調整控溫器至所需要的溫度，即可開始升溫。

〔 C 〕降溫：

- (1)在水桶中加入適量的冰塊和食鹽，使其降至所需溫度。
- (2)隨時觀察並依溫度酌量加入冰塊和食鹽。

〔 D 〕升降溫度速率的測量結果

由 30 °C 降至 5 °C 需 38 分 45 秒；由 5 °C 升至 30 °C 需 19 分 10 秒。

〔 實驗二 〕觀察解凍後，飲料內溶質分布的情形

實驗器材：200ml 量筒、樣品瓶、恆溫水槽、電子天平、取樣器、注射針筒、烏龍茶、運動飲料、蘆筍汁、冬瓜茶、柳丁汁、葡萄汁、鮮奶、豆漿、奶茶。

實驗步驟：

- (1)將各量筒的飲料結冰，解凍後用取樣器依層抽取，由上而下每 20ml 為一層，放入樣品瓶中。
- (2)取各樣品瓶的溶液測出其質量，算出各層密度並繪圖。

〔 實驗三 〕觀察歷經溫度變化，飲料內溶質分布情形

實驗器材：200ml 量筒、樣品瓶、恆溫水槽、電子天平、取樣器、注射針筒、烏龍茶、運動飲料、蘆筍汁、冬瓜茶、柳丁汁、葡萄汁、鮮奶、奶茶。

實驗步驟：

- (1)將各量筒的飲料升溫至 30 °C，使量筒內外達到熱平衡。
- (2)再將其溫度降至 5 °C，維持 30 分鐘。
- (3)之後將溫度回升 30 °C，維持 30 分鐘。
- (4)用取樣器依層抽取，由上而下每 20ml 為一層，放入樣品瓶中。
- (5)取各樣品瓶的溶液測出其質量，算出各層密度並繪圖。

〔 實驗四 〕觀察保持恆溫狀態下，飲料內溶質分布情形

實驗器材：

200ml 量筒 9 支 恆溫水槽 1 組

取樣器 1 組 注射針筒 1 支

燒杯 1 個 電子天平 1 台

樣品瓶 10 個

奶茶、冬瓜茶、烏龍茶、葡萄汁、豆漿、運動飲料、牛奶、柳丁汁、蘆筍

汁各 200ml 。

實驗步驟：

- (1)將各溶液裝入量筒內，放置在恆溫水槽內，並升溫到 30 °C。
- (2)維持恆溫 30 °C 30 分鐘。
- (3)用取樣器將量筒內溶液由上而下每 20ml 抽一層，並算出密度，繪圖觀察討論。

〔實驗五〕重複結冰後，造成濃度梯度的差異性

實驗器材：

15% 硫酸銅溶液 600ml 200ml 量筒 3 支。

實驗步驟：

- (1)將硫酸銅溶液裝入量筒中，並放入冰箱，分別重複結冰一次、二次、三次。
- (2)待溶液解凍後，再用取樣器將溶液由上而下每 20ml 抽一層，並算出各層密度，繪圖觀察討論。

〔實驗六〕探討各變因對濃度梯度的影響

〔實驗六之一〕溶液濃度對溶質分布的影響

實驗器材：200ml 量筒 6 支、12% 硫酸銅溶液 400ml、14 % 硫酸銅溶液 400 ml、16% 硫酸銅溶液 400ml、恆溫水槽 1 組、加熱棒 2 支、樣品瓶 10 個、取樣器 1 組、燒杯 1 個、電子天平 1 台、注射針筒 1 支、冰塊食鹽若干。

實驗步驟：

甲：

- (1)將 12%、14%、16% 的硫酸銅溶液各 200ml，放入恆溫水槽升溫至 30 °C。
- (2)將溫度降至 5 °C，維持 30 分鐘後，再回升至 30 °C 維持 30 分鐘。
- (3)用取樣器將各量筒中溶液由上而下每 20ml 抽一層，算出其密度，繪圖觀察討論。

乙：

- (1)將 12%、14%、16% 的硫酸銅溶液各 200ml，放入冰箱結冰。
- (2)取出解凍後，放入恆溫水槽恆溫 30 °C 30 分鐘。
- (3)用取樣器將溶液由上而下每 20ml 抽一層，算出密度並繪圖討論。

〔實驗六之二〕環境溫度對溶質分布的影響

實驗器材：200ml 量筒 4 支、樣品瓶 10 個、取樣器 1 組、注射針筒 1 支、15% 硫酸銅溶液 800ml、恆溫水槽 1 組。

實驗步驟：

- (1)將 4 支 200ml 的硫酸銅溶液由 30 °C 分別降至 20 °C、15 °C、10 °C 和 5 °C。
- (2) 30 分鐘後，將溫度回升至 30 °C 維持 30 分鐘。
- (3)用取樣器將溶液由上而下每 20ml 抽一層，算出密度並繪圖討論。

〔實驗六之三〕擺置時間對溶質分布的影響

實驗器材：200ml 量筒 6 支、樣品瓶 10 個、取樣器 1 組、注射針筒 1 支、樣品瓶 10 個、15% 硫酸銅溶液 1200ml、燒杯 1 個。

實驗步驟：

甲：

- (1)將 3 支 200ml 的硫酸銅溶液由 30 °C 降至 5 °C，並維持 30 分鐘。
- (2)將溫度回升到 30 °C，分別維持恆溫 30 分鐘、1 小時、12 小時。
- (3)用取樣器將溶液由上而下每 20ml 抽一層，算出密度並繪圖討論。

乙：

- (1)將另 3 支硫酸銅溶液放入冰箱結冰。
- (2)取出待解凍後，放入恆溫水槽。
- (3)將溫度升到 30 °C，分別維持恆溫 30 分鐘、3 小時和 9 小時。
- (4)用取樣器將溶液由上而下每 20ml 抽一層，算出密度並繪圖觀察討論。

〔實驗六之四〕容器大小對溶質分布的影響

實驗器材：50ml 量筒 2 支、100ml 量筒 2 支、200ml 量筒 2 支、15% 硫酸銅溶液 900ml、恆溫水槽 1 組、加熱棒 2 支、冰塊食鹽若干、電子天平 1 台、取樣器 1 組、樣品瓶 10 個、燒杯 1 個、注射針筒 1 支。

實驗步驟：

甲：

- (1)用蒸餾水調配 15% 硫酸銅溶液 900ml。
- (2)在 50、100、200ml 量筒中裝入 200ml 的硫酸銅溶液，並用保鮮膜密封。
- (3)將三支量筒放入恆溫水槽中，使水溫升至 30 °C。
- (4)達熱平衡後用食鹽及冰塊使溫度降至 5 °C 維持 30 分鐘。
- (5)利用加熱棒使溫度回升至 30 °C，維持 30 分，再以每 5ml 為一層，算出密度。

乙：

- (1)重複甲部分(1)、(2)步驟，再將此三支量筒冷凍結冰。
- (2)待退冰後將其置入恆溫水槽中，升溫至 30 °C維持 30 分鐘。
- (3)利用取樣器以每 5ml 抽一次，測量密度，繪裝成圖。

〔實驗七〕儀器靈敏度對以上實驗數據之改進

實驗器材：50ml 量筒 6 支、100ml 量筒 6 支、200ml 量筒 6 支、樣品瓶 10 個、取樣器 1 組、15% 硫酸銅溶液 900ml、靈敏的電子天平 1 台。

實驗步驟：

- (1)將 15% 硫酸銅溶液每 50ml 分別倒入 200、100、50ml 的量筒中。

甲：

- (2)將三支量筒放入恆溫槽由 30 °C 降至 5 °C 維持 30 分，再回升至 30 °C 維持 30 分。

- (3)以每 5ml 抽出測量其密度。

乙：

- (4)把剩下的各量筒放入冰箱中，結冰後再取出解凍後放入恆溫槽，維持 30 °C 30 分鐘，再將各層每 5ml 抽出測其密度。

注意：A. 抽取時需小心不可擾動溶液本身。

B. 每一組數據加以平均（誤差太大可先行刪除）。

C. 用精密的電子天平求到小數以下第三位才能看出詳細的變化情形。

四、結論

- (1)自製恆溫水槽是應用虹吸現象和水循環的原理由一些簡單的器材製成效果良好，可推廣於一般國中、小學的實驗室中，符合實際需求，經濟實用。
- (2)飲料溶液在歷經溫度變化後，一般皆會造成溶質分布的不均勻，尤其是在結冰後；對於顆粒較大的膠態溶液於此現象的表現也是較為顯著，而越是稀薄的真溶液，或部分含有乳化物質的膠態溶液也會較低溶液濃度梯度的表現。
- (3)溶液經由結冰解凍後，溶質、溶劑會逐漸分離，而重複結冰使此現象愈顯明。這是課程以外另一種分離技術，其優點可降低蒸餾所損耗的大量能源避免高揮發物質於蒸餾散失，保留濃縮果汁的原味，具有食品工業的實用性。
- (4)溶液的濃度愈高，於歷經環境溫度變化後，其濃度梯度愈明顯。
- (5)當環境溫度變化愈大，其溶液中濃度梯度的起伏也隨時跟著變化愈大，尤

其是經由凍結的過程，此現象更是顯著。

- (6)當濃度梯度的現象形成後擺置時間對溶液的影響並不顯著。
- (7)溶液在相同體積，不同高度的情況下，垂直高度越低的，濃度梯度愈明顯。
- (8)取多次的測量數值，使用更精密的測量儀器將有助於本實驗的準確度及可信度增加。
- (9)經由此實驗發覺濃度梯度在日常生活中確實存在，也造成了不少的影響，像是我們要飲用冰過的飲料前因為飲料經了溫度變化，造成溶質分佈不均，所以常看到「飲用前請搖一搖」而濃度梯度對於一些實驗操作者也會造成不可忽視的影響，尤其是在做有關定量的實驗時更應考慮到各種因素對實驗所造成的誤差，如：在久而不用的藥品櫃中，可能會有些溶液歷經了春、夏、秋、冬四季的溫度變化，或是因所裝入的容器大小不同，而影響了溶液內部溶質分佈的情形，使原本的實驗造成沒有注意到的誤差。藉由本次的實驗探討，我們建議在做任何實驗或飲用飲料時，請務必記得「使用前請搖一搖」！

五、結果與討論

- (1)自製恆溫水槽的裝置，是利用雙槽水循環的原理、虹吸作用，及一些簡單的器材所製成，以儘可能達到控溫、恆溫的效果，對於容器和操作上所造成的誤差，在當我們經過討論後，已利用保麗龍來製作恆溫水槽的主體，以減低水槽因為傳導而散失熱量的誤差。而雙槽的水循環的裝置，則能提高恆溫效果的穩定性，使水槽內的各溫度都儘可能的相等，比單槽的水循環裝置效果要來得好許多。另外關於溫度升降控制方面，我們是採用微電腦測控溫器來達到精確的控溫效果。由以上各個裝置，我已將恆溫水槽的誤差減低到最小，其溫度控制誤差遠到 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，不但符合實驗需求，且經濟實用，可推廣於一般國中、小學實驗室。
- (2)由實驗二、三、四，各種不同的飲料在結冰、溫度變化及維持恆溫三種不同狀態下的實驗當中，我們可歸納出：一般飲料經過結冰後，其溶質的分佈將會相當不均勻，而在溫度變化由 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降到 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 再回升至 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 後，也會造成些許的差異。對於維持在恆溫狀態中，溶質分布均勻無明顯差異。在實驗過程中傾向較稀薄的烏龍茶飲料，其中的溶質分布相當均勻，以致雖歷經了溫度變化，但對其溶質分布不造成影響。有一點值得注意的是：像鮮奶、奶茶這二種飲料，對於環境溫度變化的影響相當微小，經我們討論和查閱資料後，發現此二種飲料都屬於乳製品，而乳化作用可使膠態溶

- 液中各處的溶質分布呈均勻狀態，以致於我們觀察出屬於膠態溶液的鮮乳與奶茶，其濃度梯度反而較不明顯。
- (3)當我們做實驗二時，發現溶液經過結冰後，其溶質與溶劑有漸漸分離的現象，因此我們推測，當溶液重覆不斷地結冰，解凍，其溶質與溶劑有可能會完全的分離，也就是所謂的「冷凍分離」，而在實驗五當中，我們發現溶質結冰的次數愈多時，其濃度梯度也就愈加明顯，這將是我們在國中課程除了過濾、結晶、蒸餾及濾紙色層分析外，所學的另一種分離技術，而且冷凍分離技術具有一些特有的優點，像是降低蒸餾法所損耗的大量能源，避免高揮發物質蒸餾散失，保留濃縮果汁的原味……等，具有食品工業上的實用性。
- (4)由本實驗所製的圖中，我們觀察到一奇怪的現象：當我們把 12%、14%、16% 硫酸銅溶液的濃度梯度繪製成曲線時，發現 14% 與 16% 的曲線較接近，而此兩曲線又都距離 12% 的曲線較遠。在經過推測思考後，我們認為其原因可能與硫酸銅本身的溶解度有關。在我們做了硫酸銅溶解度曲線後發現，硫酸銅在 5 °C 的可溶解度約為 13.7%，所以當 14% 及 16% 的溶液降至 5 °C 時，兩者都已成了飽和溶液，因此在濃度的分布下大致上都相似，以致其圖形出現 14% 及 16% 的線條相近，而卻距 12% 的線條較遠的現象。當然，隨著冰析作用，我們可以明顯地看到，溶液的濃度越高，濃度梯度也越加明顯。
- (5)我們從實驗六之二所製出的圖表，可歸納出當環境溫度變化愈大時，其濃度梯度也就愈明顯，因為當溶液溫度降得愈低時，其溶解度也就愈低，以致沈降增多，上層與下層的濃度差距也就加大了，所以其濃度梯度的圖形也就明顯得許多。
- (6)在實驗六之三中，我們雖然做了各種擺置時間不同的實驗，但由實驗結果發現，雖然擺置時間不同，但各量筒的濃度梯度圖形卻都大致上相似。因此我們推測溶液的濃度梯度形成後，溶質的擴散作用緩慢，要使溶質均勻分布到整個溶液中，需要很長的一段時間。
- (7)由實驗六之四的圖表中，我們發現在相同體積時，當溶液液面與底部的垂直距離越長，其濃度梯度的現象越不明顯反倒是溶液垂直高度越短時，溶質分布越均勻。經大家討論推測的結果，認為在溶液降溫至 5 °C 維持 30 分鐘後，垂直高度較長的溶液，上層所沈降的溶質還無法到達底部，因此當我們將溫度回升，測量其濃度時，上下層的差異並不顯著。而 100ml 及 200ml 的量筒溶液上下層垂直距離較短，當溫度降低時，它所沈降的溶質就很容易到達瓶底，所以濃度梯度也就比 50ml 量筒所測出來的明顯許多。

(8)我們爲了要降低人爲操作上的誤差，及得到較精準且可靠的結果，所以在實驗七中，試著以更謹慎的實驗方法及更靈敏的測量儀器來進行實驗，以減少誤差，在此我們採用多次測量的方法，取其平均值以降低人爲操作上的誤差，並使用更精密的電子天平以增加我們實驗數據的有效範圍，使我們的實驗結果更爲可靠，並藉此繪出更精密準確的圖表來。我們再將上述所做出的實驗結果和圖表與先前的實驗做一個比較，果然發現：多次的測量能明顯降低人爲操作上所造成的誤差，而利用精密儀器所製出的圖表也較符合實際的情況。

評語

本研究從實際生活觀察的現象著手探討各種市售飲料在環境溫度變化時，溶質分布情形及影響因素，能設計簡單的恆溫水槽裝置並能仔細觀察、小心實驗，以求了解不同情況下造成濃度梯度現象之變化，考慮相當周詳唯對市售飲料中之添加物可能造成的影響未予注意，經評定給予第二名。