

高中課程化學測試教學組件
學生實驗手冊

由創新科技署及香港檢測和認證局委任

香港浸會大學化學系編寫

2019 年版

實驗名稱	頁數
實驗一：空氣中二氧化氮的測試	4
實驗二：分析廢水的含銅量	12
實驗三：以優化「莫尼-威廉」法測試乾糧中的二氧化硫含量	21
實驗四：這乳製品安全嗎？使用金納米粒子「比色探針法」檢測 三聚氰胺	27
實驗五：使用快速試管化學測試法分辨中國草藥丹參與其他類似的草藥	36
實驗六：以碘滴定法測試維他命商品和鮮榨果汁的維他命 C 含量	41

重要提示

學生必須預先細心閱讀本手冊上每一個實驗的**安全提示**，並採取所有必要的安全措施小心進行實驗。指引中的資料並非巨細無遺，故進行實驗時應當小心謹慎，並作出適當的判斷，以免發生意外。若有疑問，應立刻向你的教師請教。

實驗一：空氣中二氧化氮的測試

引言

本實驗研究監測空氣污染物二氧化氮 (NO_2)。二氧化氮是光化學煙霧形成的一個前體。在日光作用下，二氧化氮可離解形成具有高活性的原子氧。釋放出的原子氧進一步與煙，氮氧化物（通常在光作用下）發生反應，生成臭氧及其它氧化劑如醛，硝酸過氧化乙酰 (PAN) 等。醛具有毒性，可凝聚成能降低可見度的煙霧。臭氧和 PAN 對植物有極大的危害性，而且能氧化破壞纖維、塑膠和橡膠等材料。此外，它們還是很強的催淚劑或眼睛刺激物。

如要分析空氣中的污染物，第一步驟要在大氣中採樣，可用主動式或被動式的氣體採樣方法。前者是由使用價格較昂貴的定流量抽氣泵配合吸附裝置的主動式採樣。後者是配用簡單的組件，氣體會以擴散方式進入含有吸附劑的被動式採樣器中，科學儀器公司也有這類產品的供應。這研習活動，學生可利用中國的一項專利發明記載的被動式採樣器^[1]，是由有蓋的玻璃瓶，瓶頂小孔以特富龍薄膜密封而組成(如圖 1 所示)。採樣前可先裝二氧化氮的檢測液於瓶內，倒置這採樣器，大氣中的氣體包括二氧化氮可以穿過薄膜而與內中的檢測液發生反應。這被動式採樣器結構簡單而且組裝容易，可讓氣體擴散至吸附劑中，而且可多組同時使用，而取樣速度通常由廠商提供，也可由實驗測定。

在家居室內環境中，吸煙和明火煮食都會產生二氧化氮，所以二氧化氮已確認為室內空氣的種污染物。為了宣傳健康的室內空氣環境的重要性，環境保護署推動室內空氣質素認證的服務(www.iaq.gov.hk)。透過香港實驗所的認可計劃 (HOKLAS)^[2]，本地不少化驗所已取得檢測二氧化氮的認可資格。大部份的認可化驗所都使用被動式採樣器去進行採樣，然後用水將採樣器中的亞硝酸根溶出，再用不同的儀器(如流動注射法或離子色譜法)進行檢測；然而，一般中學缺乏這些裝備，這實驗活動根據文獻記載方法，用比色法去檢測戶外和室內二氧化氮的濃度。

根據本實驗內容，使用被動式取樣器將空氣中(室外或室內)的 NO_2 收集起來。當 NO_2 與吸收劑混合，就會產生一種粉紅色溶液，這是由於形成了偶氮類染料絡合物。圖 2 為此偶氮類染料的吸收光譜。因為這種絡合物是本體系中唯一的顯色物質，所以 NO_2 的濃度可由比色法測得。根據比爾定律(Beer's Law)，吸光度與顯色成分的濃度呈正比^[3]。

於最近的科學文獻中，發表了使用智能手機作為教授比色法的平台，操作十分方便^[4]。為了配合現代科技發展，香港浸會大學 (HKBU) 化學系開發了一個應用程式

名叫“ChemEye”，只要安裝於行動裝置上，便可成為檢測比色法的新方法。本實驗將“ChemEye”應用於檢測在空氣中二氧化氮的濃度。此外，應用內設的計算功能和轉換運算簡化了手工計算和繪圖的繁複步驟，使用者可輕易獲取校準曲線和樣本濃度的資訊。簡單的便攜式檢測方法能夠豐富學生的學習體驗。



圖 1: 被動式取樣器

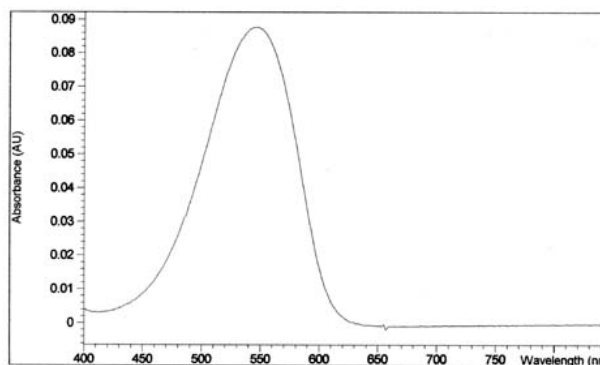


圖 2: 偶氮類染料的吸收光譜

期望學習的目標

透過這實驗，期望學生可以掌握：

1. 了解香港檢測和認證行業的運作；
2. 使用被動式採樣器在大氣中抽取二氧化氮；
3. 用比色法去分析和量化二氧化氮；
4. 有關分析方法中的準確度，精確度和檢測下限的概念；
5. 掌握使用“ChemEye”檢測空氣中二氧化氮含量的知識和技巧。

實驗部分

設備

- 發光二極管測量器 1 部 和 / 或 行動裝置安裝了“ChemEye”應用程式
- 被動式取樣器 2 個
- 薄膜數片
- 樣本槽 1 個（用於發光二極管測量器檢測）
- 玻璃試管 9 枝（用於“ChemEye”檢測）
- 試管架 1 個（用於“ChemEye”檢測）
- 25 毫升容量瓶 4 個
- 5 毫升移液管
- 100-1000 微升 自動加樣器連吸管或 1 微升具刻度的玻璃加樣器
- 50-200 微升 自動加樣器連吸管或 0.2 微升具刻度的玻璃加樣器
- 剪刀 1 把
- 100 毫升燒杯 1 個



下載“ChemEye”的二維碼
蘋果用戶（左）和安卓用戶（右）

- 250 毫升燒杯 1 個
- 滴管 2 支

試劑和化學品

- 2.5 克對氨基苯磺酸 (磺胺酸)
- 0.025 克 N-(1-萘基) 乙二胺二鹽酸鹽
- 5 毫升正丙醇
- 0.75 克 NaNO_2 亞硝酸鈉
- 去離子水

實驗步驟

採樣

1. 移取 5 毫升吸收試劑至取樣瓶中。
吸收試劑：溶解 2.5 克對氨基苯磺酸，0.025 克 N-(1-萘基) 乙二胺二鹽酸鹽，5 毫升正丙醇，以去離子水定容至 500 毫升。
2. 將一薄膜安裝於瓶口。
3. 蓋上中空瓶蓋，將薄膜固定至合適位置。
4. 包上錫紙，倒置採樣器及放置在路易旁 90 分鐘。
5. 採樣完畢，將薄膜換為隔膜蓋放置 10 分鐘。
6. 重覆以上步驟但以隔膜蓋蓋著作為參比。



標準液的配製

所有標準溶液配製在 25 毫升容量瓶中，用吸收劑定容至刻度。

標準液	1	2	3	4
NO_2 濃度 (ppm = 毫克/升)	0.02	0.04	0.08	0.12
10 ppm NO_2 份量 (毫升)	0.05	0.1	0.2	0.3

配製 1000 ppm (1000 毫克/升) NO_2 溶液：將 0.7499 克 NaNO_2 溶於去離子水中，並稀釋至 500 毫升容量瓶中。

配製 10 ppm (10 毫克/升) 標準儲備液：用去離子水將 5 毫升 1000 微克/毫升 NO_2 溶液稀釋於 500 毫升容量瓶中。

分析方法 - 比色法

溶液顯色 10 分鐘後，用綠光二極體測量器和/或行動裝置安裝了“ChemEye”應用程式來測量空白(吸試劑)、標準、參比及樣品的數值。



安全提示

- 請參考實驗室一般安全守則；
- 要配戴實驗安全眼鏡；
- 請小心使用剪刀；
- 有關使用試劑的安全使用手則可參閱網上資料(MSDSonline.com)。

發光二極管測量器的數據表

$A = \text{吸光度}$ ， $E_0 = \text{空白的測定電位}$ ， $E = \text{待測電位}$ $\therefore A = \log\left(\frac{E_0}{E}\right)$

用“校正”電位(綠色發光二極體)， $E_0 = \underline{\hspace{2cm}} \text{V}$

取樣時間： $\underline{\hspace{2cm}}$ 分鐘

取樣地點： $\underline{\hspace{2cm}}$

取樣速度(提供)： 2.3×10^{-5} 立方米/毫升

說明	測得電位(V)
空白	$E_0 =$
0.02 毫克/升 NO_2 標準	
0.04 毫克/升 NO_2 標準	
0.08 毫克/升 NO_2 標準	
0.12 毫克/升 NO_2 標準	
樣品第 1 測試	
樣品第 2 測試	
樣品第 3 測試	
參比	

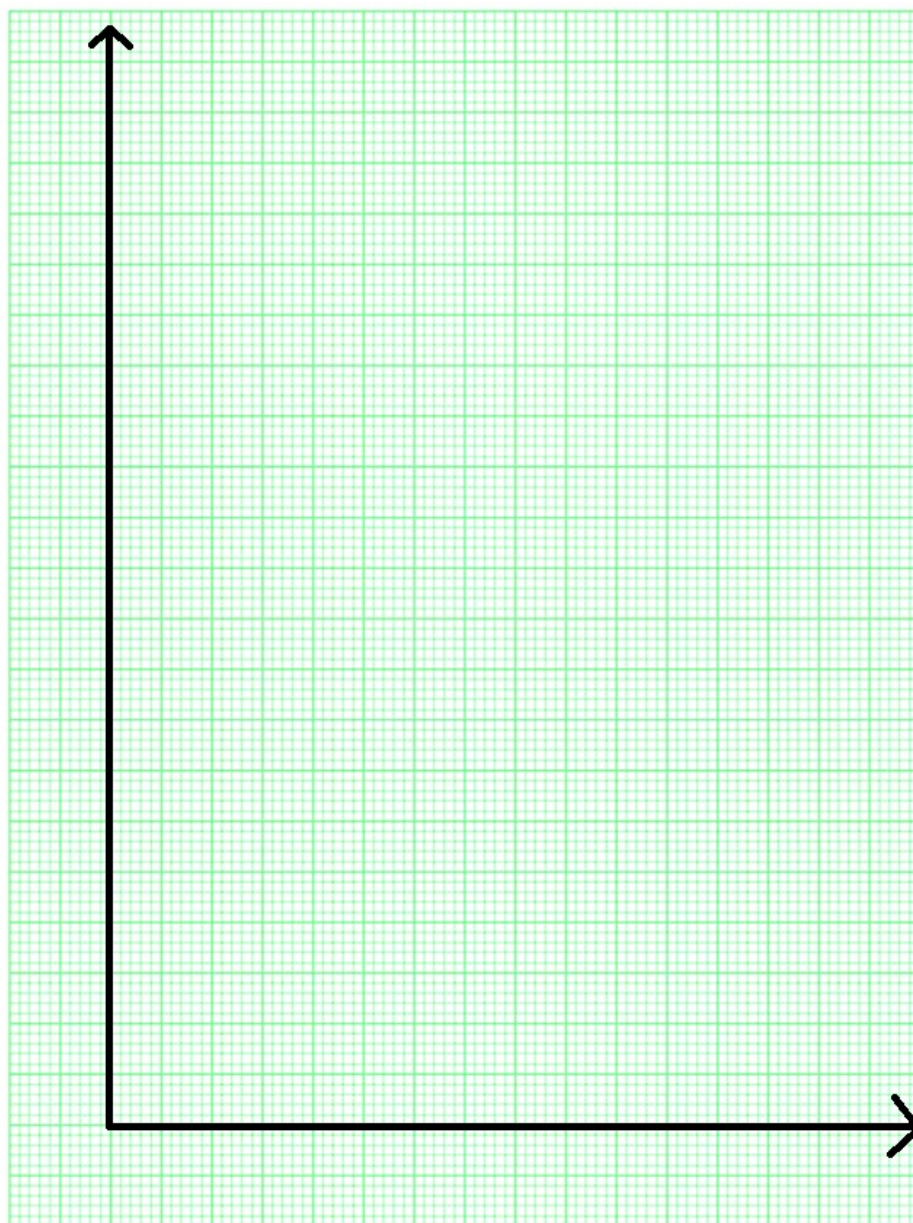
發光二極管測量器的資料處理

1. 計算標準，樣品和參比的吸光度

說明	測得電位(V)	計算得吸光度
空白	$E_0 =$	
0.02 毫克/升 NO_2 標準		
0.04 毫克/升 NO_2 標準		
0.08 毫克/升 NO_2 標準		
0.12 毫克/升 NO_2 標準		
樣品第 1 測試		
樣品第 2 測試		

樣品第3測試		
樣品平均值	-----	
參比		

2. 繪製的校準曲線{吸光度對 NO₂ 的濃度}，由校準曲線內找出樣品中和參比中 NO₂ 的濃度 (毫克/升)



樣品中 NO₂ 的濃度 (毫克/升): _____

參比中 NO₂ 的濃度 (毫克/升): _____

“ChemEye” 的數據表

a) 校準曲線

i. 請記下已選取的標準曲線圖。R、G 或 B 值的曲線圖。

ii. 為什麼選擇問題 1 中的曲線圖？

b) 樣本中的 NO₂ 含量分析

取樣時間：_____分鐘

取樣地點：_____

取樣速度(提供)： 2.3×10^{-5} 立方米/毫升

說明	____-值	樣本濃度
樣品第 1 測試		
樣品第 2 測試		
樣品第 3 測試		
樣品平均值	-----	
參比		

樣品中 NO₂ 的濃度 (毫克/升): _____

參比中 NO₂ 的濃度 (毫克/升): _____

計算空氣中的 NO₂ 含量

從利用發光二極管測量器或是“ChemEye”測量並處理所得的數據，按照以下的轉換方程計算空氣中的 NO₂ 含量。

1. 計算樣品中 NO₂ 的重量

樣品中 NO₂ 的重量 (微克):

樣品中 NO₂ 的濃度 $\times 10^3$ 微克/毫克 $\times 5$ 毫升 $\times 10^{-3}$ 升/毫升

參比中 NO₂ 的重量 (微克) :

參比中 NO₂ 的濃度 × 10³ 微克/毫克 × 5 毫升 × 10⁻³ 升/毫升

NO₂ 收集淨重量 (微克) :

樣品中 NO₂ 的重量 (微克) - 參比中 NO₂ 的重量 (微克)

2. 收集空氣的總體積(立方米) :

採樣速率(立方米/毫升) × 採樣時間(分鐘)

= 2.3 × 10⁻⁵ 立方米/分鐘 × 採樣時間(分鐘)

3. 空氣採樣中的 NO₂ 濃度(微克/立方米) :

NO₂ 收集淨重量(微克) ÷ 收集空氣的總體積(立方米)

問題

1. 取樣器放在馬路旁 120 分鐘後，取樣器內的吸收劑會呈現什麼顏色？
2. 本實驗使用綠光檢測，請解釋原因。
3. 試比較主動和比動式取樣器的主要分別。
4. 收取樣本時，鋁紙包裹取樣器的作用是什麼？
5. 檢測及認證業有利用流動注射法和離子層析法來測試室內空氣質素 NO₂ 的水平，請說明其優點。

參考文獻

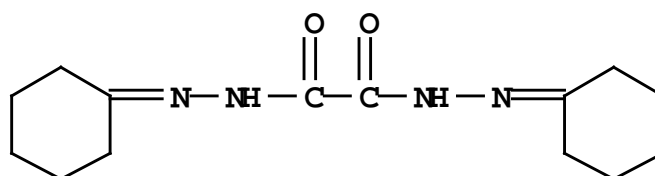
- [1] 陳永康，肖丹，王柯敏，〈快速簡便氣體採集和測定裝置〉中國專利〈ZL 00 2 25023. 3〉，22/04/2001，該知識產權擁有人(陳永康)允許該專利可以以教育的原因在香港使用。
- [2] <http://www.hkas.gov.hk/>
- [3] D. Xiao, L. Lin, H. Yuan, M. F. Choi, W. H. Chan, *J. Chem. Educ.* **2005**, 82, 1231-1233。
- [4] T. S. Kuntzleman, E. C. Jacobson, *J. Chem. Educ.* **2016**, 93, 1249-1252。

實驗二：分析廢水中的含銅量

引言

工業污水和廢水對人類及其生存環境可能會造成潛在的風險和危害。在一般情況下，電鍍廢水可能含有有毒的金屬離子，如二價銅(Cu(II))離子。經常或長時間接觸含二價銅離子的物質如硫酸銅，會令腎臟和肝臟受損害^[1]。根據香港的法例規定，工廠應該測定廢水中的銅含量，以確保廢水在排放之前銅離子的含量不超過0.2毫克/升的上限^[2]。工業廢水中二價銅離子濃度可通過比色的方法來檢測。

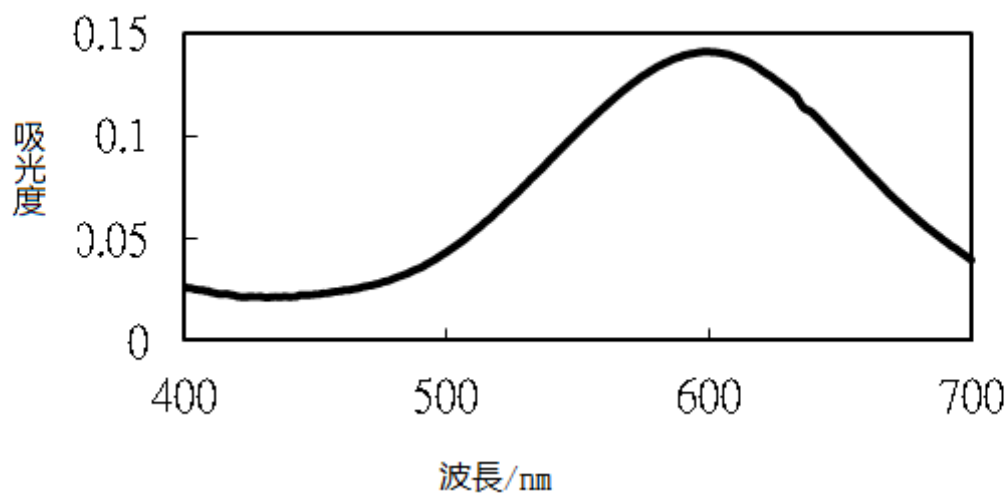
二價銅(Cu(II))離子與雙環己酮草醯二脒 (cuprizone) 反應形成在可見光範圍內有寬帶吸收的絡合物(圖一)^[3]。這種絡合物的吸光度是不隨酸鹼值(pH)而變化，因此常用於銅離子的測定。傳統上，通過跟二價銅離子標準溶液顏色的深淺比較，二價銅離子的濃度可以用目視方法來檢測。然而，使用比色方法可以得到更精確的定量結果。



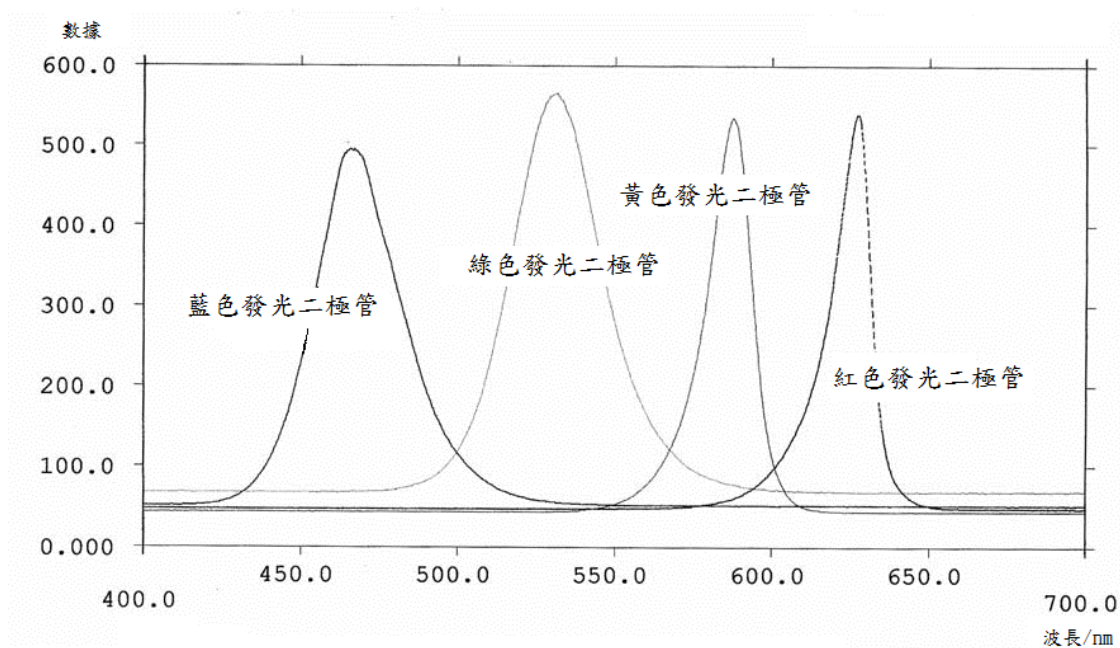
雙環己酮草醯二脒 (Cuprizone)

通常絡合物顏色的深淺度可通過測定含有該吸收分析物溶液的吸光度(A)來量度，而吸光度(A)與該有色化合物的特徵光被吸收程度成比例的。根據比爾定律(Beer's Law)，顏色的吸光度與顯色成分的濃度相關。即溶液的吸光度(A) = ϵbc ，其中 ϵ 是消光係數，b 是光學樣品瓶的光徑，c 是有色物質的濃度。溶液的吸光度值可通過公式 $A = \log(I_0/I)$ 計算出來，其中 I_0 是入射光強度，I 是該光線通過溶液或物質後的透射光強度。銅-雙環己酮草醯二脒所生成的絡合物的顏色深度與銅的濃度成正比。其溶液的吸光度值可通過比色計或分光光度儀進行測定，並與銅標準溶液吸光度值進行比對。

在本實驗中，黃色發光二極管(LED)被用作發射源(圖二)。發射光穿過吸收分析物後，部分光落在一個光電晶體管，將光信號轉化為可測的電信號。電信號會被放大並進行測量，而且其與照射光的強度成比例。



圖一 Cu(II)-Cuprizone 的可見光譜



圖二 四色發光二極管測量器指示燈的發射光譜

預期的學習的目標

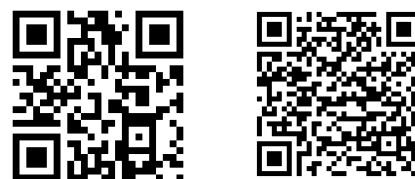
透過這實驗，期望學生可以掌握：

1. 了解香港檢測和認證業的運作；
2. 通過使用中學現有的設備及儀器，利用比色法對二價銅進行定性或定量的檢測；
3. 掌握準確度，精密度和分析方法檢測限的基本概念；
4. 掌握使用“ChemEye”檢測污水中二價銅含量的知識和技巧。

實驗部分

設備

- 藥匙（中）2 支
- 100 毫升燒杯 4 個
- 100 毫升溶劑瓶 1 個
- 250 毫升容量瓶 1 個
- 25 毫升容量瓶 7 個
- 5 毫升玻璃滴管 2 支
- 滴管膠頭 2 個
- 100 - 1000 微升移液管或移液槍 1 支 或 1 微升具刻度的玻璃加樣器
- 200 瓦加熱器 1 個
- 4 毫升塑膠比色皿 1 個（用於發光二極管測量）
- 發光二極管測量器 1 個 和/或 行動裝置安裝了“ChemEye”應用程式
- 13 毫升玻璃試管 6 枝（用於“ChemEye”測量）
- 試管架 1 個（用於“ChemEye”測量）



下載“ChemEye”的二維碼
蘋果用戶（左）和安卓用戶（右）

試劑和化學品

- 雙環己酮草醯二脒
- 硫酸銅
- 乙醇
- 檸檬酸
- 25%的氨水溶液

實驗步驟

1. 雙環己酮草醯二脒（Cuprizone）溶液的配備
放置 0.5 克雙環己酮草醯二脒於 250 毫升的錐形瓶中，加入 100 毫升 50 % 的乙醇，加熱溶解後，冷卻至室溫。如果該試劑溶液存放在密閉的容器中，並置於陰涼處，可存放三個月左右。（圖 E1）
2. 檸檬酸鹽緩衝液的配備
放置 37 克檸檬酸於 250 毫升的燒杯中，加入 100 毫升的去離子（DI）水，攪拌直到其溶解。在攪拌下，小心加入 95 毫升 25% 氨水溶液，讓該溶液冷卻到室溫，移入 250 毫升的容量瓶中，用去離子水稀釋至刻度並搖勻。（圖 E2）

3. 100 ppm 的銅標準儲備液的配備
 準確稱取約 0.25 克硫酸銅，並溶解在 25 毫升的去離子水中。將其溶液移入 100 毫升的容量瓶中，用去離子水稀釋至刻度並搖勻。此標準溶液含有 1000 ppm 的銅離子濃度。轉移 2.5 毫升 1000 ppm 的銅標準液到一個 25 毫升容量瓶中，加入去離子水稀釋至刻度並搖勻。（圖 E3）



圖 E1

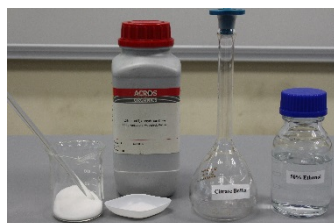


圖 E2



圖 E3

分析方法

1. 配備二價銅(Cu(II))離子的標準系列和未知溶液

根據下表，製備一系列的 Cu (II) -Cuprizone 標準溶液[^]。準確吸取不同容量的 100 ppm 銅標準儲備液到 25 毫升的容量瓶，分別加入檸檬酸緩衝液，雙環己酮草醯二胺 (Cuprizone) 溶液，再加去離子水至刻度並搖勻：(圖 E4, E5)

	100 ppm 的銅標準儲備溶液的容積 (毫升)	雙環己酮草醯二胺 (Cuprizone) 溶液的容積 (毫升)	檸檬酸緩衝液 (毫升)	最終濃度 (ppm)	最終容積 (毫升)
標準溶液#1	0.10	1.00	2.5	0.40	25.0
標準溶液#2	0.20	1.00	2.5	0.80	25.0
標準溶液#3	0.30	1.00	2.5	1.20	25.0
標準溶液#4	0.40	1.00	2.5	1.60	25.0
標準溶液#5	0.50	1.00	2.5	2.00	25.0
空白	0.00	1.00	2.5	0.00	25.0
未知溶液	*	1.00	2.5	--	25.0

*吸取 1.00 毫升的未知溶液到含有 1.00 毫升 cuprizone 和 2.5 毫升檸檬酸鹽緩衝液的 25 毫升容量瓶中

[^] 標準溶液#1-#5 將會用於使用發光二極管測量器的檢測方法

[^] 標準溶液#2-#5 將會用於使用“ChemEye”的檢測方法



圖 E4



圖 E5

2. 發光光度測量方法

發光二極管測量器

I. 使用步驟

- (i) 接通電源，打開儀器開關，打開黃色LED燈，穩定15分鐘；
 - (ii) 將選擇掣撥至“Calib”位置；
 - (iii) 調節“Light Level”旋鈕，直至液晶顯示屏顯示約4.50 V；
 - (iv) 將空白液倒入比色皿，用擦鏡紙將外壁清潔乾淨；
 - (v) 掀開樣品室暗箱蓋。將樣品放入樣品室內；
 - (vi) 將選擇掣撥至“Detect”位置，並測量空白樣品；
 - (vii) 記錄在液晶顯示器上顯示的讀數 (E_0)；
 - (viii) 沖洗樣品皿，然後倒入標準溶液檢測並記錄讀數 (E)；
 - (ix) 用一系列的標準溶液和未知溶液重複該過程。
- (注意：當測定標準溶液和未知溶液時，不要調節“Light Level”旋鈕)



圖 E6



圖 E7

II. 數據處理

利用公式 $A = \log\left(\frac{E_0}{E}\right)$ ，繪製一條標準曲線，然後根據 $A_{sample} = \log\left(\frac{E_0}{E_{sample}}\right)$ 公式，從標準曲線上查出相應樣品的濃度。

$$A = \log\left(\frac{E_0 - E_\infty}{E - E_\infty}\right)$$

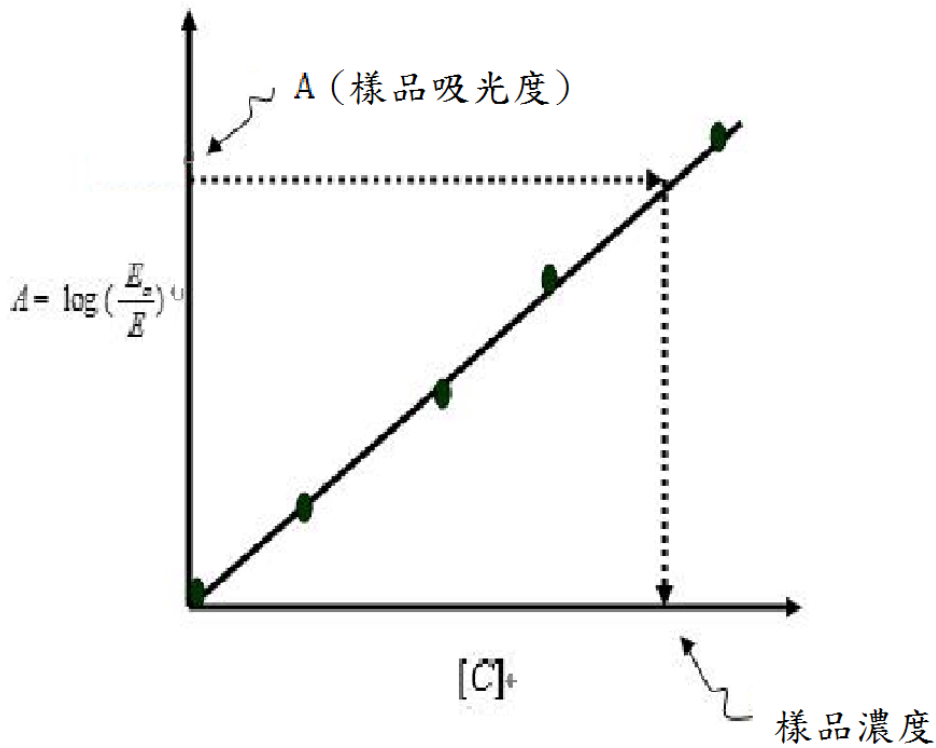
其中，E：被測樣品的電壓

A：樣品的吸光度

E_0 ：空白樣品電壓

E_∞ ：是沒有光通過時的電壓（無照電流）（假設 $E_\infty = 0V$ ）

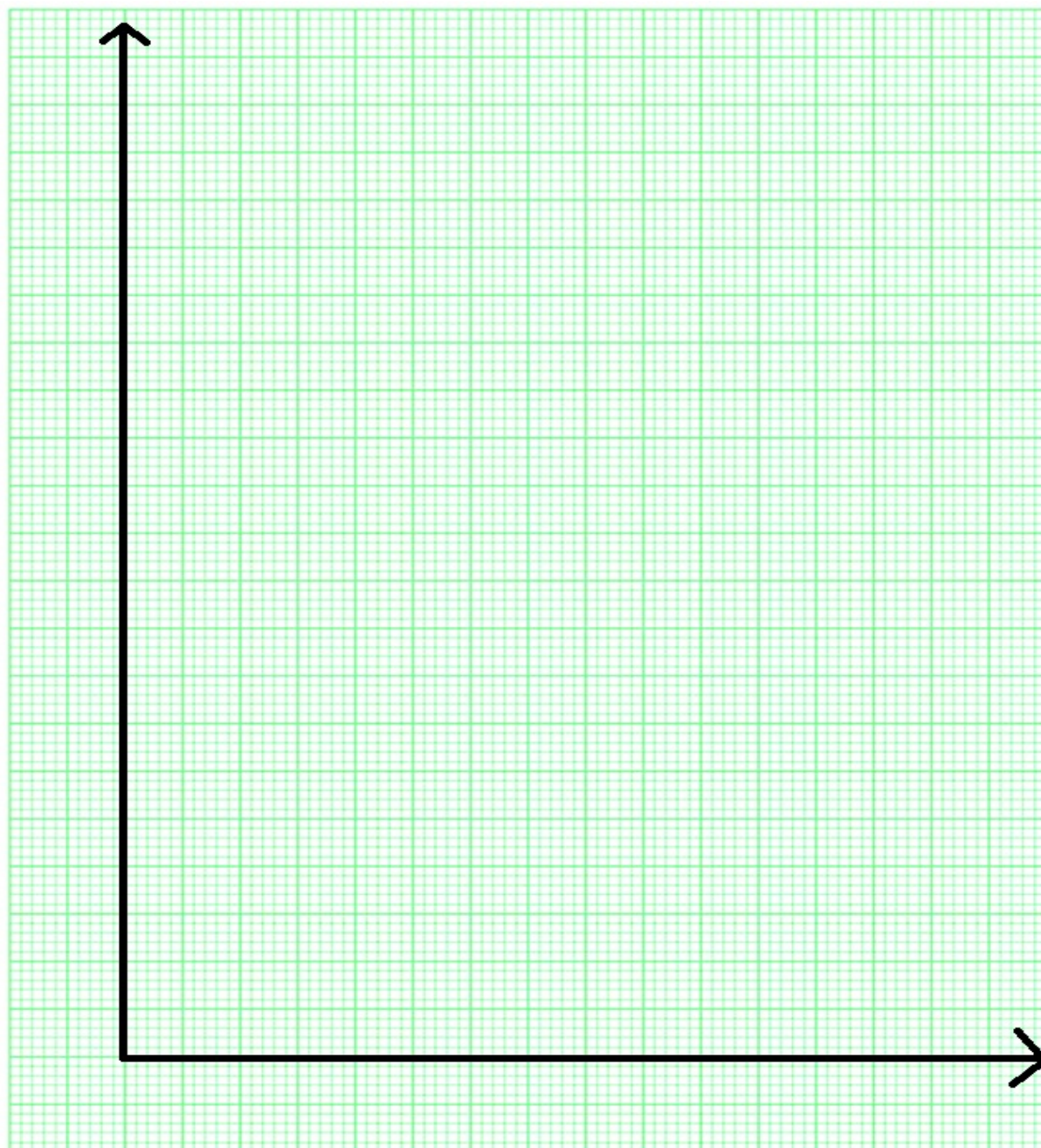
$$\therefore A = \log\left(\frac{E_0}{E}\right)$$



使用發光二極管測量器數據表（黃色 LED）

校準電壓=			
	(E)	$\log\left(\frac{E_0}{E}\right)$	[Cu] /ppm
空白樣品	$E_0 = \underline{\hspace{2cm}}$	0.000	0.000
標準 #1			
標準 #2			
標準 #3			
標準 #4			
標準 #5			
樣品			
線性係數 (R^2) =			

請繪製標準曲線圖



ChemEye

I. 使用步驟

- (i) 從 App Store 或 PlayStore 上，下載“ChemEye”至行動裝置。
- (ii) 開啟應用程式。按“Start”，然後建立新的“Absorbance Profile”。
- (iii) 輸入檔案名稱（例：Copper）
- (iv) 然後選擇合適得測量單位。在這實驗，測量單位是“ppm”。接著輸入標

準曲線上的數據點數量（可從 2–5 點中選擇），是次標準曲線的數據點是 5 點。

- (v) 在輸入全部所需要的資料後，行動裝置上的照相機自動打開以作檢測標準溶液以及樣本之用。
- (vi) 把綠色擷取位置放置於要檢查的標準溶液上，然後按下“Get Colour”去擷取影像上的 RGB 值。攝取影像後輸入相對應的溶液濃度。
- (vii) 重複以上步驟。擷取次序為 0 ppm、0.80 ppm、1.20 ppm、1.60 ppm 以及 2.00 ppm。
- (viii) 輸入所需資料後，按“Finish and create absorbance profile”。
- (ix) 應用程式會將所擷取的 RGB 值轉換成紅、綠和藍光的吸光值，然後繪製 3 條標準曲線。從頁面上的 FAQ 部分，可以得到如果選擇正確的標準曲線的所需資料。
- (x) 選擇最合適的曲線後，按“Save”。接著可直接量度樣本。
- (xi) 樣本濃度會自動計算然後顯示在頁面上。

II. “ChemEye” 的數據表

1. 你選取了哪一個標準曲線圖？R、G 或 B 值的曲線圖？

2. 為什麼選擇問題 1 中的曲線圖？

3. 問題 1 中所選擇的曲線圖的斜度是和線性回歸值(R^2)是？
斜度: 線性回歸值(R^2):

4. 樣本中的銅濃度是？

安全提示

- 在實驗室工作時，學生必須戴上護目鏡，實驗室外套和手套；
- 在實驗室內禁止飲食；
- 網站 (www.MSDSONline.com) 可提供線上化學品材料安全數據表 (MSDS)。

問題

1. 在電鍍工業中，除了金屬銅離子外，還會有什麼金屬離子被排入環境水源中？請寫出金屬的名稱。
2. 在檢測之前，Cuprizone 會跟銅離子形成一種複合物。你認為銅離子可不可以在不加 Cuprizone 的情況下，直接進行測定？為什麼呢？
3. 如果用綠色 LED（波長大約 520-570 納米）來代替黃色的 LED，標準曲線會有什麼變化？

參考文獻

- [1] Canadian Centre for Occupational Health and Safety, *Material Safety Data Sheets: Copper Sulfate Pentahydrate*, Hamilton, 2013.
- [2] Environmental Protection Department, HKSAR, *Water Pollution Control Ordinance, Chapter 358 Proposed Amendments to the Technical Memorandum on Effluent Standards*, HKSAR, 2001.
- [3] E. B. Sandekk, *Photometric Determination of Traces Metals*, 4th edition ; Wiley: New York, 1989.

實驗三：以優化「莫尼-威廉」法測試乾糧中的二氧化硫含量

引言

食品通常需要從生產地運送到市場，在收割或屠宰後未必立即食用。因此，食品的變質及其相應的預防措施，影響人類健康和經濟，是全球關注議題。食物科學家和技術專家都在努力研發保存食物的方法，使食物可以在一段時間內能被儲存和運送而不變質。保存的方法包括有加熱處理、輻照、乾製、冷凍或雪藏、糖製和鹽醃。而在食品工業中，最常用的保存方法是使用化學防腐劑。化學防腐劑的基本原理是殺死微生物和抑制微生物在食品中生長。二氧化硫其中一種常用的化學防腐劑，由於它可以防止食物褐變，在乾製過程亦有助於保持食物的天然顏色和味道，所以二氧化硫經常用作脫水和保存食物。在乾製的水果和蔬菜中會含有微量的二氧化硫。

二氧化硫 (SO_2) 是燃燒元素硫而產生的氣體，這種氣體發出類似臭雞蛋的氣味，溶於水生成亞硫酸 (H_2SO_3)。長期大量吸入和攝取二氧化硫可引起呼吸問題、肺氣腫和慢性支氣管炎。雖然食物中的二氧化硫含量不足以引起這些呼吸道疾病，但一些對二氧化硫過敏的人士則會在食用後產生過敏問題，症狀包括氣促、頭痛和噁心，嚴重的過敏反應甚至可能導致死亡。因此，測定食物中的二氧化硫的含量是有需要的。

二氧化硫含量測定是檢測和認證行業食物分析中的一個重要項目。AOAC 官方檢測方法 990.28 和 990.29 標準廣泛應用於本地的商業檢測實驗室。根據香港法例 (第 132W 章) 的《食物及藥物 (成分組合及標籤) 規例》，若食物含有 10 mg/kg 以上濃度的二氧化硫，有關的二氧化硫的作用類別及其名稱須在配料表中指明。對食物中二氧化硫有潛在健康風險的人士，應在進食食物前仔細閱讀食物標籤。

在這個實驗中，優化的莫尼爾-威廉姆斯方法將被用於定量測定乾製食物中的二氧化硫含量，測定的方法是根據 AOAC (美國官方分析化學師協會) 官方檢測方法 990.28 標準。乾製食物是從本地街市購買，作為現實生活的樣本。首先把樣本在水和乙醇混合物中回流加熱。二氧化硫由空氣流帶動，通過冷凝器和經過鼓泡器，送到含有過氧化氫溶液 (H_2O_2) 的接收機，然後二氧化硫被氧化成硫酸。生成的硫酸含量與樣本中的二氧化硫含量是正比的，通過與預先標準化的氫氧化鈉溶液 (NaOH) 進行滴定，能夠測定硫酸的含量。本實驗的原理和內容可授予學生酸鹼滴定法之分析技術的重要性，以及採樣和使用適當的測試去量化現實生活中乾製食物樣本中的二氧化硫的知識。

預期的學習的目標

透過這實驗，期望學生可以掌握：

1. 了解檢測和認證行業在香港的運作；
2. 使用回流蒸餾隔離乾製食物中的二氧化硫；
3. 使用酸鹼滴定法定量分析二氧化硫；
4. 獲取分析方法的準確度和精密度的基本概念。

實驗步驟

設備

- 500 毫升的兩頸圓底燒瓶 1 個
- 水冷凝器 1 個
- 蒸餾頭 1 個
- 螺旋接頭 1 個
- 滴管 3 個
- 1 米長的橡膠管 3 條
- 氣泵 1 個
- 加熱器 1 個
- 250 毫升的錐形燒瓶 4 個
- 250 毫升的燒杯 2 個
- 100 毫升的量筒 1 個
- 50 毫升的滴定管 1 個
- 剪刀 1 把

試劑和化學品

- 乙醇
- 鹽酸 (HCl)
- 過氧化氫 (H₂O₂)
- 甲基紅
- 酚酞
- 鄰苯二甲酸氫鉀 (KHP)
- 氫氧化鈉 (NaOH)

實驗室的準備

- 20 克乾製食物樣本
- 250 毫升水和乙醇混合溶液 (95:5 v/v)
- 50 毫升 3%過氧化氫
- 250 毫升 0.01 M 氫氧化鈉溶液
- 50 毫升 6 M 鹽酸



圖 1：玻璃儀器和氣泵。



圖 2：氣體收集管。



圖 3：所需的試劑。

- 2 克鄰苯二甲酸氫鉀
- 10 毫升甲基紅
- 10 毫升酚酞
- 1 升去離子水

樣本預處理方法

1. 將乾製食物樣本剪成小塊，稱量大約 12.5 克的樣本，放入 500 毫升的兩頸圓底燒瓶中（圖 4）。
2. 將 200 毫升的水和乙醇混合溶液（95:5 v/v）加入到圓底燒瓶中。
3. 加入 30 毫升的 3%過氧化氫溶液到 250 毫升的錐形瓶中。
4. 加入幾滴甲基紅到 3%的過氧化氫溶液。
5. 然後，添加數滴的 0.01 M 氫氧化鈉溶液直到溶液的顏色變成黃色。
6. 組裝實驗裝置，如圖 5。
7. 拆開空氣吹送的活塞，並添加 30 毫升的 6 M 鹽酸至圓底燒瓶中，然後立即連接空氣吹送。
8. 將溶液加熱 60 分鐘。



圖 4: 兩頸圓底燒瓶中的樣本。



圖 5: 實驗裝置。

分析方法

標準化氫氧化鈉溶液

1. 加入大約 0.05 g 的鄰苯二甲酸氫鉀至 250 毫升的錐形燒瓶中。
2. 用 50 毫升的去離子水溶解鄰苯二甲酸氫鉀，並加入數滴酚酞。
3. 用 0.01M 氫氧化鈉溶液進行滴定，直至溶液變為恒久微紅色的溶液。
4. 記錄使用了的氫氧化鈉溶液的體積，並計算（標準化）氫氧化鈉溶液的真實濃度。
5. 重複步驟 1 - 4 兩次，以獲得氫氧化鈉真實濃度的平均值和標準偏差。

通過滴定法測定二氧化硫含量

1. 在 60 分鐘加熱後，用 3%的過氧化氫溶液與標準化的氫氧化鈉溶液進行滴定，直至溶液變為黃色。
2. 記錄使用了的氫氧化鈉溶液的體積，計算乾製食物樣本中的二氧化硫含量（mg/kg）。

安全提示

- 遵守標準的安全程序去進行實驗室活動；
- 戴上護目鏡，實驗袍和手套；
- 處理腐蝕性化學物質時要小心，例如濃酸；
- 實驗可以在通風櫃進行，以避免吸入刺激性氣體；
- 化學品的材料安全數據表 (MSDS) 在 MSDSONline.com 的網站提供。

數據表

樣本預處理方法

觀察：

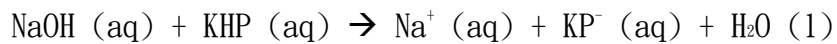
分析方法

標準化氫氧化鈉溶液

觀察：

	第一次試驗	第二次試驗	第三次試驗
KHP 的質量 (克)			
最終的體積 (毫升)			
起始的體積 (毫升)			
使用了的 NaOH 體積 (毫升)			

涉及的化學方程式：



	第一次試驗	第二次試驗	第三次試驗
KHP 的摩爾數 (mol)			
NaOH 的摩爾數 (mol)			
NaOH 的濃度 (M)			

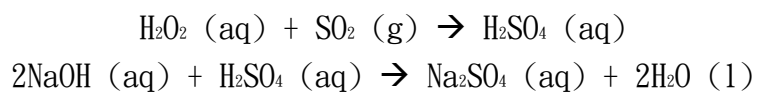
∴ 氫氧化鈉溶液的真實濃度 = ± M

通過滴定法測定二氧化硫的含量

觀察：

食物樣本名稱	
乾製食物樣本的質量 (克)	
最終的體積 (毫升)	
起始的體積 (毫升)	
使用了的 NaOH 體積 (毫升)	

涉及的化學方程式：



NaOH 的摩爾數 (mol)	
SO ₂ 的摩爾數 (mol)	
SO ₂ 的質量 (克)	
SO ₂ 的含量 (mg/kg)	

∴ 山藥的二氧化硫含量 = mg/kg

問題

1. 二氧化硫可作食物防腐劑，但其相應的氣體形式是一種空氣污染物。試舉出一個運用儀器的方法，來監視和測量在空氣中的二氧化硫含量。
2. 除了二氧化硫，建議另一種化學品可用作為食物的防腐劑，並述對人類的相應有害影響。
3. 舉出一種預處理方法，有助減少攝取食物中的二氧化硫份量。
4. 列出一些可在檢測實驗室測試的其他化學防腐劑的名稱。

參考文獻

- [1] AOAC International: *Official Methods of Analysis of AOAC* (2005), 18th Edition., ed. Horwitz W., Gaithersburg: MD, Method 990.28.
- [2] AOAC International: *Official Methods of Analysis of AOAC* (2005), 18th Edition., ed. Horwitz W., Gaithersburg: MD, Method 990.29.
- [3] *The European Standard EN 1988-1: 1998., Foodstuffs – Determination of Sulfite – Part 1: Optimized Monier-Williams method*, British Standards Institution, London.

實驗四：乳製品安全嗎？使用金納米粒子「比色探針法」 檢測三聚氰胺

引言

納米科技是應用納米大小材料的一種創新科技。在日常生活上，我們不難發現納米技術領域的應用，如紡織品、食品包裝和污水處理等。此外，在生物醫學和臨床領域研究上亦大量應用納米科技，可見納米科技在現今科學研究的潛力。

不同的金屬納米粒子擁有不同的物理和化學性質。舉例說它們的光學性質會隨粒子的化學成分，大小及形狀而有不同的影響，因此我們可以透過控制反應條件去控制納米粒子的大小和形狀從而配合不同的應用。

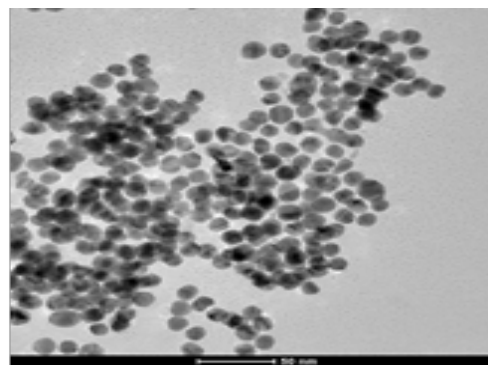


圖 1: 13 nm 金納米粒子的透射電鏡圖 (TEM Image)

隨著食品安全近年逐漸受到廣泛的關注，政府不但著力追蹤食物的來源，更會檢測食物的化學成份，以保障市民的健康。其中一個最令人關注的案例是有人非法把三聚氰胺（一種高氮的非蛋白質化合物）加入嬰孩使用的奶粉中，增加其氮含量，再利用一般蛋白質檢測方法（如凱氏定氮法）的特性去捏造奶粉的蛋白質含量。三聚氰胺是一種有毒化合物，它不能在體內代謝，而且過量攝入會對人體有害，例如引致腎結石。這事引起了大眾對三聚氰胺的檢測重視，對於乳製品加緊抽查。實驗室大多採用色譜法，如液相色譜法串聯質譜法(LC-MS)作三聚氰胺的定量分析，其檢定極限為數個 ppm (part per million)。然而我們亦可利用金納米粒子(AuNP)建立一個簡單和靈敏度高的三聚氰胺檢測方法。在這實驗中，學生應用納米科技在食物檢測方面。本次實驗裡將會採用檸檬酸鈉還原法把 Au(III) 還原至 Au(0) 從而合成半徑為 13nm 的納米金顆粒 (AuNPs)。AuNPs 會平均地分散在水中，成為酒紅色的溶液並可視作探針去檢測奶類中三聚氰胺的含量。

在檢測三聚氰胺前，所有奶類樣本必須進行前處理，去除奶類製品的蛋白質和脂肪。學生不但接觸到沉澱相關的知識，亦會學習常用於檢測化學的技巧，包括固相萃取法(SPE)。

當三聚氰胺存在時，AuNPs 和三聚氰胺之間會建立氫鍵（每個三聚氰胺提供三個建立氫鍵的位置）使 AuNPs 和三聚氰胺結合，同時亦會誘導 AuNPs 產生團聚，令到 AuNPs 的體積大大增加，從而影響其光學性質，令 AuNPs 溶液的顏色由酒紅色變成紫色。當三聚氰胺濃度提高時，AuNPs 產生團聚的機會增加，所以 AuNPs 溶的顏色轉變越大，因此這個方法可用作三聚氰胺的定量分析。

預期的學習的目標

透過這實驗，期望學生可以：

1. 了解檢測和認證業在香港的運作及其對食物安全的貢獻；
2. 掌握使用合適的樣品前處理方法分離出含有三聚氰胺的牛奶和奶粉；
3. 獲得預備和納米材料的應用的基本概念；
4. 了解快速，低成本的分析測試的發展，簡單而靈敏的技術。

實驗部分

設備

- 100-1000 μL 微量移液器 及移液器槍頭 1 個或 1 微升具刻度的玻璃加樣器
- 10-100 μL 微量移液器 及移液器槍頭 1 個或 0.2 微升具刻度的玻璃加樣器
- 電子磅 1 個
- 離心機 (最少 4000 rpm) 1 個
- 10 毫升 PP 離心管 4 支
- 1 厘米分光液槽 5 個
- 100 毫升 錐形瓶 1 個
- 具發熱功能的磁力攪拌器 1 個
- 5 厘米錶面玻璃 1 塊
- 25 毫升容量瓶 1 個
- 1 升 容量瓶 2 個
- 100 毫升 燒杯 1 個
- 100 毫升 量筒 1 個
- 1 毫升 試劑瓶 1 個
- 碳 18 SPE 管 4 支

試劑和化學品

- 三水合四氯金酸 ($\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)
- 檸檬酸鈉 (Sodium Citrate dehydrate)
- 三氯乙酸 (TCA)
- 三氯甲烷 (氯仿) (CHCl_3)
- 濃氫氯酸 (濃鹽酸) (HCl)
- 濃硝酸 (HNO_3)
- 氰基甲烷 (乙腈) (Acetonitrile)

實驗步驟

一. 金納米粒子的合成

1. 所有玻璃儀器必須先使用王水(由濃硝酸和濃鹽酸按 1:3 混合而成)，然後再用已過濾的純水沖洗乾淨。因為塵埃和油脂會影響合成金納米粒子的形狀和大小。
2. 把所有玻璃儀器放到焗爐裡焗乾。
3. 把 500 μL ，0.10 M 的三水合四氯金酸稀釋至 0.1 mM，50 毫升的溶液。將溶液放入錐形瓶並把溶液加熱及攪拌。與此同時，蓋上一塊錶面玻璃在錐形瓶之上。(見圖 2)
4. 當溶液沸騰時，快速的加入 5 毫升，38.8 mM 的檸檬酸鈉溶液到三水合四氯金酸溶液，然後放數粒冰塊在錶面玻璃之上使熱蒸氣可以凝結，並讓溶液持續加熱及攪拌 30 分鐘。
5. 關閉加熱器，繼續攪拌 15 分鐘，然後讓溶液置於室溫冷卻。
6. 金納米粒子溶液將會在稍後的實驗裡作為探針去檢測樣本裡的三聚氰胺。下圖顯示了在合成金納米粒子溶液時一分鐘內顏色的變化：



圖 2：合成 13 nm 金納米粒子的裝置



淡黃色



透明



深藍色



深藍色



酒紅色(AuNPs)

二. 三聚氰胺在奶類製品的快速測試

A. 準備 AuNP 測試溶液

- 1 把 5 毫升的 AuNP 溶液利用移液管移到 25 毫升的容量瓶
- 2 加入純水至刻度線

B. 樣本的前處理和淨化

1. 牛奶樣本(液態樣本)

- a. 利用移液管把 500 μL 的樣本移到一個已注入 7.5 毫升純水，1 毫升 10% 三氯乙酸(TCA) 及 1 毫升氯仿的離心管內
- b. TCA 和氯仿的作用是把牛奶樣本的蛋白質和脂肪沉澱
- c. 關上離心管的蓋子然後大力搖晃離心管以確保萃取的完整性
- d. 於另一對照樣本（沒有三聚氰胺的樣本），重複步驟 1a-1c
- e. 混合物以 4000 rpm 離心 10 分鐘（看圖 3）
- f. 根據數據表把離心管標籤

2. 奶粉樣本

- a. 把 0.1 克奶粉和 1 毫升純水混合。利用移液管把 500 μL 的樣本移到一個已注入 7.5 毫升純水，1.00 mL 10% 三氯乙酸(TCA) 及 1 毫升氯仿的離心管內
- b. 關上離心管的蓋子然後大力搖晃離心管
- c. 於另一對照樣本（沒有三聚氰胺的樣本），重複步驟 2a-2c
- d. 混合物以 4000 rpm 離心 10 分鐘
- e. 根據數據表把離心管標籤



圖 3. 離心管應水平設置在離心機裡，確保質量相同

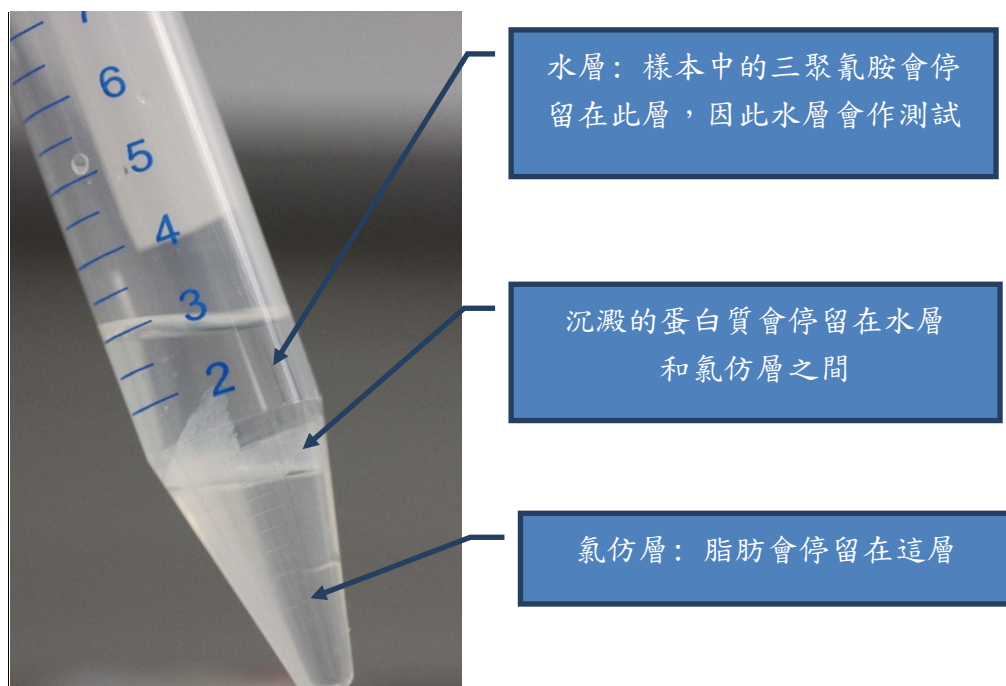
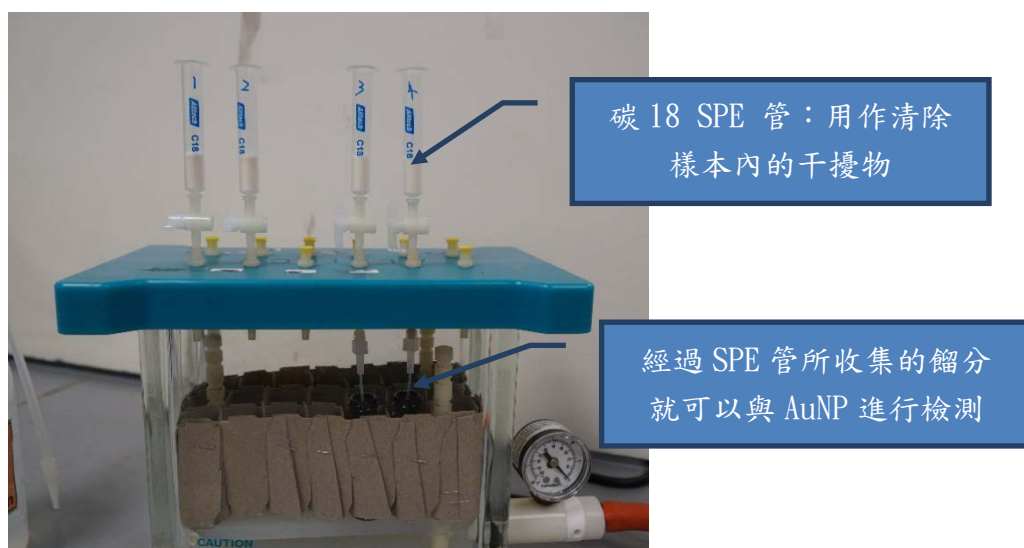


圖 4: 混合物在離心過程後，蛋白質會沉澱在水層內

3. 利用碳 18 固相萃取管 (C18 SPE tube) 淨化上清液

- a. 把四枝 SPE 管如下圖般設置並把它們標籤



- b. 先用 2 毫升 x 3 乙腈沖洗碳 18 SPE 管，然後再用 2 毫升 x 2 (1:1 乙腈/水) 進行活化
- c. 把離心管中水層的上清液移到碳 18 SPE 管



- d. 根據上圖放置一個小玻璃瓶在 SPE 裝置下
- e. 開始抽真空然後打開 C18 管頭的開關閥門
- f. 從玻璃瓶子收集餾分
- g. 於樣本 1 至 3 重複步驟 3a-3d
- h.



如實驗室不具備<多通道抽真空>的設備,可使用用完即棄的塑膠針筒,先將左端 SPE 管用溶液沖洗,然後再利用針筒加壓將樣品所得的水層壓過 SPE 管,以進行以下 C 部的檢測。

C. 檢測部分

1. 把 100 μ L 的餾分和 2 毫升的 AuNPs 測試溶液並觀察顏色變化
2. 比較各個樣本裡的顏色轉變和轉色程度並記錄在數據表上
3. 把所有結果填在數據表上

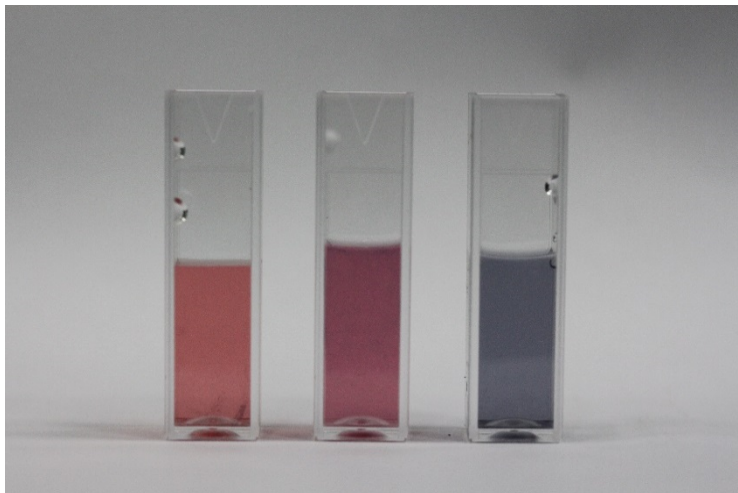


圖 5: AuNPs 測試溶液(左); AuNPs 和牛奶樣本的混合物(中); AuNPs 和含有 10 ppm 三聚氰胺牛奶樣本的混合物 (右)

安全提示

- 學生必須在實驗過程中戴上護目鏡，手套和穿上實驗袍；
- 處理腐蝕性化學物質時要小心，例如濃酸；
- 化學品的材料安全數據表 (MSDS) 在 MSDSonline.com 的網站提供。

資料處理

樣本 #	樣本名稱 (如有)	樣本的物理性質	加入的樣本容量	加入純水的容量	10%三氯乙酸的容量	CHCl ₃ 的容量	顏色轉變	陽性/陰性結果
1		液態	0.5 mL	7.50 mL	1.00 mL	1.00 mL		
2		液態	0.5 mL	7.50 mL	1.00 mL	1.00 mL		
3		固態	0.5 mL*	7.50 mL	1.00 mL	1.00 mL		
4		固態	0.5 mL*	7.50 mL	1.00 mL	1.00 mL		

*量度 0.1 g 的奶粉樣本然後加入 1.00 mL 純水

問題

1. 標示由三水合四氯金酸生成 AuNPs 過程的顏色轉變。
2. 檸檬酸鈉在 AuNPs 的合成過程中扮演什麼角色？
3. 解釋碳 18 SPE 管的功用為何？
4. 你認為利用 AuNPs 作為探針去檢測牛奶樣本中三聚氰胺的含量是否一個好的方法？

附錄 A

學生應向老師索取以下溶液

溶液名稱	容量	備註
0.1 M 三水合四氯金酸	0.6 mL	
38.8 mM 檸檬酸鈉	7 mL	
10% 三氯乙酸	10 mL	
SPE 洗脫溶劑	20 mL	
三氯甲烷	5 mL	

實驗五：使用快速試管化學測試法分辨中國草藥丹參與其他類似的草藥

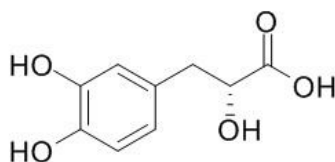
引言

每天有數以噸計的傳統中草藥 (TCM) 材料進口到香港。這些草藥原料會被分發到藥材店以不同的方式進行銷售。現時，有一種簡易的化學測試可以快速地鑑定中藥。這種方法是基於選擇中藥內的特定化學成分，然後進行試管規模的化學反應。由於單一中藥也可能含有超過幾十甚至上百種化學成分，這些化合物的化學官能團可以與某些特定的試劑反應，並產生各種顏色和沉澱物或結晶。通過觀察化學反應的結果，可以得出初步鑑定。簡易的化學測試主要包括觀察試管內的反應結果，即是觀察在中藥提取的化學成分在試管內與適當的試劑之間的預期化學反應。

在我們開發的識別方法，第一步是使用攪拌機將固體形態中藥轉換成粉末狀，因粉末狀態具有更大的總表面面積，減少萃取時間，同時提高了萃取效率。第二步是利用一種合適的溶劑從樣本中萃取目標化學物質，例如使用二乙醚來萃取有機化學成分。在一般情況下，也可以通過提高熱水浴的溫度來提高提取效率。如果化學物質是熱不穩定的，則可用超聲波法提高萃取率。萃取後，使用離心機把懸浮在混合物中的固體從溶液中分離出來。然後把水部分轉移到另一支清潔的空試管內，進行進一步的分析，這樣可以更容易地觀察到試管內任何的顏色改變和/或顆粒的存在。

為了提高結果的可靠性，每個樣品是必需重複分析。此外還需要在實驗中加插陽性對照。它是用於比較任何顏色或觀察的變化。

丹參就是一個例子來說明應用這種技術分辨同類藥材的。丹參在《中華人民共和國藥典》中是名叫「丹參」的植物根部，經過乾燥後使用。它常用於治療月經紊亂和與血液循環相關的問題，如心血管疾病。丹參的化學成分包括親油和親水性成分，而主要的親水性成分是酚酸。而丹參素的主要藥理活性成分包括丹參素 (DSS)、原兒茶醛 (PA)、迷迭香酸 (RA) 和丹酸^[1]。



圖一：丹參素的化學結構

在一般情況下，這些化合物的定性和定量都是由高效液相色譜（HPLC）儀加上紫外檢測器進行分析。然而，整個過程需要幾個小時到甚至幾天，方能完成分析。

圖一為丹參素的化學結構，它包含典型酚官能團。這個獨特的官能團與鐵(III)發生化學反應，然後形成墨綠色絡合物。由於丹參素是水溶性的，所以先用熱水浴把它從樣品中提取，然後再通過鐵(III)氯化溶液的測試^[2]。如果產生墨綠色絡合物，即表示有酚官能團的化學物質的存在。這種方法已被廣泛地應用於測試聲稱是丹參的產品。

預期的學習的目標

透過這實驗，期望學生可以掌握：

1. 了解香港的檢測和認證行業的運作，及對中藥發展的貢獻；
2. 明白現今先進技術可用於分析中藥；
3. 應用溶劑萃取技術隔離中藥中的化學成分；
4. 用顏色測試作定性分析所選擇的分析物。

實驗部分

設備

- 50 毫升的燒杯 1 個
- 100 毫升的燒杯 1 個
- 250 毫升的燒杯 1 個
- 100 毫升容量瓶 1 個
- 試管 8 支
- 離心管（15 毫升）8 支
- 100-1000 微升自動吸管及槍頭 1 支或 1 微升具刻度的玻璃加樣器
- 加熱板 1 塊
- 離心機 1 部
- 抹刀 1 把
- 電子天秤 1 個

試劑和化學品

- 1, 2-苯二酚
- 氯化鐵
- 去離子水

實驗室製備

1. 在 50 毫升燒杯中溶解 0.33 克的鐵 (III) 氯化六水合物 (三氯化鐵, $6H_2O$) 於 10 毫升的去離子水。
2. 用 50 毫升去離子水溶解 0.05 克的 1,2-二羥基苯, 然後加入 100 毫升的容量瓶中稀釋到指示位作為 500 ppm (毫克/升) 的標準溶液。
3. 從商店購買丹參樣品 (約 30 克)。使用攪拌機砸碎固體樣品成粉末狀。

實驗步驟

1. 比較樣品的外觀。
2. 使用攪拌機砸碎固體樣品為粉末狀。



圖二 使用攪拌機砸碎固體樣品為粉末狀

3. 在離心管中混合 0.1 克粉狀樣品於 4 毫升的去離子水。
4. 在水浴將混合物加熱 15 分鐘, 然後冷卻。
5. 使用離心機將固體樣品和液體分開。
6. 將 1 毫升上清移到另一支空的新試管內。
7. 添加 0.1 毫升三氯化鐵指示劑溶液到每個試管中。
8. 記錄每支試管的顏色變化。

安全提示

- 遵守標準的安全操作程序實驗室活動；
- 學生必須佩戴護目鏡, 實驗袍和手套；
- 小心處理熱水和熱板；
- 可以在線通過網址: MSDSonline.com, 查看化學品的材料安全數據表 (MSDS)。

結果

外觀形態

	樣品 A	樣品 B	樣品 C
形狀			
顏色			
粉末狀時顏色			

提取溶液的顏色

試管	內容	顏色
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

提取溶液混合 0.1 毫升三氯化鐵指示劑後的顏色

試管	內容	顏色
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

問題

1. 為什麼要用攪拌機預先處理樣品？
2. 請建議另一種方法可從丹參提取水溶性化學品。
3. 我們為什麼需要在實驗中加入一個控制測試（單一去離子水）？
4. 我們為什麼需要重複實驗？
5. 解釋在同一實驗中，與三氯化鐵指示劑混合後，為何樣品和標準觀察到的顏色有區別？
6. 香港有沒有中藥材的官方標準？這些標準能否用於鑑定樣品為丹參？
（提示：試在網上絡上尋找香港衛生署內的”中藥材標準”）

參考文獻

- [1] Jin-zhong XU, Jie SHEN, Yi-yu CHENG, Hai-bin QU, Journal of Zhejiang University SCIENCE B, ISSN 1673-1581 (Print); ISSN 1862-1783 (Online).
- [2] www.cmd.gov.hk/hkcmms/vol1/Docs/radix_salviae_miltiorrhizae.pdf

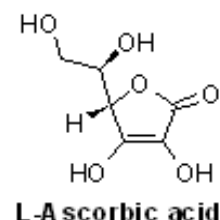
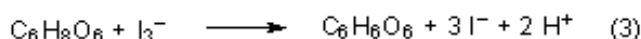
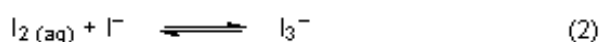
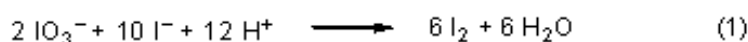
實驗六：以碘滴定法測試維他命商品和鮮榨果汁的維他命 C 含量

引言

維他命 C (又稱 L-抗壞血酸)是我們健康的重要元素。由於我們的身體是不能自我製造維他命 C，所以我們必須透過外服以滿足身體需求。大部分柑橘類和漿果類的水果都有高含量的維他命 C，而一些蔬菜和部分可食用的動物內臟都帶有低含量的維他命 C。時至今日，市面上提供了不同形式的維他命 C 補充劑，例如藥丸、藥粉和沖劑。根據美國藥檢處建議，正常成年人維他命 C 的每日攝入量為 60 微克。

維他命 C 對我們人體的免疫系統有著重要的角色。維他命 C 不足會容易引致肌肉無力，牙齦出血，牙齒脫落，疲勞和情緒失落。

目前有數種方法用來測量水果以至維他命補充劑內的維他命 C 含量。其中碘量法可以用來檢測新鮮水果和片劑補充劑的維他命 C 含量。碘不是原標準，它可以通過混合碘酸與碘化物而產生(即下圖中的 1)。碘在水的溶解度可以透過絡合生成三碘化物而得到提升(即下圖中的 2)。三碘化物繼而氧化維他命 C 生成去氫抗壞血酸(即下圖中的 3)。當限量反應物，即維他命 C 用完，剩下的碘跟澱粉生成深藍色的化合物。



預期的學習的目標

透過這實驗，期望學生可以掌握：

1. 了解檢測和認證行業在香港的運作；
2. 使用適當的採樣技術隔離新鮮水果樣本中的維他命 C；
3. 使用碘量滴定法分析維他命 C 定量；
4. 獲取準確度和精密度的基本分析方法概念。

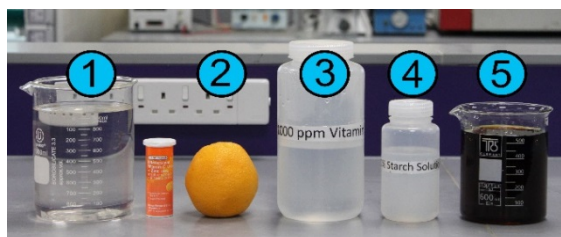
實驗部份

設備

- 50 毫升滴定管 1 支
- 滴定管夾 1 個
- 滴定管支架 1 個
- 25 毫升移液器 2 個
- 100 毫升量筒 1 個
- 600 毫升燒杯 2 個
- 1 公升燒杯 1 個
- 250 毫升錐形瓶 2 個
- 250 毫升容量瓶 2 個

試劑和化學品

- 碘化鉀
- 碘酸鉀
- 硫酸
- L-抗壞血酸 (維他命 C)
- 澱粉



圖一：所需的試劑。1. 維他命 C 片劑溶液；
2. 橙；3. 維他命 C 標準溶液；4. 澱粉溶液；
5. 碘溶液

實驗準備

- 5.00 克 碘化鉀
- 0.300 克 碘酸鉀
- 30 毫升 3 克分子濃度硫酸
- 0.250 克 L-抗壞血酸
- 10 毫升 百分之一澱粉溶液
- 2 升 去離子水

樣品前處理方法

運用鮮橙

1. 切鮮橙一半。
2. 緊握半個鮮橙，用手擠出果汁，再用一個手動榨汁器擠出所有的果汁出(約100 毫升)。

維他命C片劑

1. 使用100毫升去離子水溶解一片維他命 C 片劑。
2. 使用去離子水稀釋至1000毫升。

分析方法

準備0.01M碘溶液

1. 量重大約 5克碘化鉀 和 290毫克碘酸鉀到 600毫升燒杯中。
2. 加入 200毫升的去離子水以溶解該混合物。
3. 加入 30毫升 3M 硫酸。
4. 加入 270毫升去離子水到混合物中。

配製1000 ppm的維他命 C 標準溶液

1. 溶解 0.250克維他命 C 在100毫升去離子水中。
2. 稀釋到 250毫升容量瓶中。

使用維他命 C 標準溶液標準化碘溶液

1. 使用移液管吸取 25毫升維他命 C 溶液注入 250毫升錐形燒瓶中，添加數滴 1%的澱粉溶液。
2. 使用滴定管加入碘溶液到錐形燒瓶中，直至溶液混合物變為永久藍色的溶液。
3. 記錄使用碘溶液的體積，並計算出碘溶液（標準化）的真實濃度。
4. 重複上述步驟 1-3 兩次，獲得碘溶液實際濃度的



圖二：碘溶液充滿
滴定管中



圖三：加入澱粉溶液



圖四：滴定終點

使用滴定法測定維他命 C 片劑的含量

1. 使用 1000毫升去離子水把一片維他命 C 片溶解在一公升燒杯中。
3. 使用 25毫升移液管把維他命 C 溶液傳送到 250毫升的錐形燒瓶中，加入數滴 1%的澱粉溶液。
3. 滴定與標準化碘溶液，直至溶液混合物變為永久藍色的溶液。
4. 重複上述步驟 1-3 兩次。

通過滴定法測定新鮮水果維他命 C 的含量

1. 使用 100 毫升的量筒測量 25 毫升鮮榨果汁，轉移到 250 毫升的錐形燒瓶中。
2. 加入數滴 1% 的澱粉溶液，滴定碘溶液到的溶液中，直到達到終點。
3. 重複上述步驟 1-3 兩次。

安全事項

- 遵守實驗室活動的標準安全程序。
- 戴上護目鏡、實驗袍和手套。
- 小心處理腐蝕性化學物質，如濃酸。
- 切割水果時，小心用刀。
- MSDSonline.com 的網站上提供化學品的材料安全數據表 (MSDS)。

數據表

碘化鉀的重量 = _____ 克

碘酸鉀的重量 = _____ 克

純維他命 C 的重量 = _____ 克

鮮榨果汁的總體積 = _____ 毫升

碘溶液標準化

	第一次測試	第二次測試	第三次測試
初始滴定管讀數 (毫升)			
最後滴定管讀數 (毫升)			
使用碘溶液體積 (毫升)			

每一使用抗壞血酸的摩爾數 = _____ 摩爾

碘溶液使用的平均體積 = _____ 毫升

∴ 碘溶液的實際濃度 = _____ 克分子濃度

使用滴定法測定維他命 C 在片劑中的含量

	第一次測試	第二次測試	第三次測試
初始滴定管讀數 (毫升)			
最後滴定管讀數 (毫升)			
使用碘溶液體積 (毫升)			

碘溶液使用的平均體積 = _____ 毫升
 碘使用的平均摩爾數 = _____ 摩爾
 維他命 C 的平均摩爾數 = _____ 摩爾
 維他命 C 含量的質量測定 (毫克) = _____ 毫克
 \therefore 維他命 C 在片劑中的含量 (百萬份之一) = _____ 在每一片劑中之百萬份之一

新鮮果汁滴定

	第一次測試	第二次測試	第三次測試
初始滴定管讀數 (毫升)			
最後滴定管讀數 (毫升)			
使用碘溶液體積 (毫升)			

碘溶液使用的平均體積 = _____ 毫升
 碘使用的平均摩爾數 = _____ 摩爾
 維他命 C 的平均摩爾數 = _____ 摩爾
 維他命 C 的含量 (毫克) = _____ 毫克
 \therefore 新鮮果汁中的維他命 C 含量 (毫克) = _____ 毫克

問題

1. 維他命 C 片劑中有多少維他命 C (毫克) ? 是否與標籤的價值認同?
2. 選擇的水果是否維他命 C 的良好來源? 請解釋。
3. 推薦的另一種方法, 可以被用於確定維他命 C。
4. 在本港出售的食品的營養標籤中是否需要包含維他命 C? 你認為香港的商用測試實驗室是否可以為營養標籤上的所有項目作出測試?

參考文獻

- [1] AOAC international: *Official Methods of Analysis of AOAC (2005)*, 18th Edition., ed. Horwitz W., Gaithersburg: MD, Method 967.21.
- [2] AOAC international: *Official Methods of Analysis of AOAC (2005)*, 18th Edition., ed. Horwitz W., Gaithersburg: MD, Method 967.22.
- [3] *The European Standard EN 14130: 2003, Foodstuffs - Determination of vitamin C by HPLC*, British Standards Institution, London.
- [4] GL-CO-33 method accessed from <http://www.itc.gov.hk/en/quality/hkas/doc/scopes/001.pdf>