

高中課程化學測試教學組件
教師指引

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

內容	頁數
香港的檢測和認證行業介紹	4
教師指引	
實驗一：空氣中二氧化氮的測試	6
實驗二：分析廢水的含銅量	22
實驗三：以優化「莫尼-威廉」法測試乾糧中的二氧化硫含量	34
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	44
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	56
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	66

重要提示

教師須確保所有實驗活動的安全，並就活動的安排作充分準備。進行實驗前，教師必須細心閱讀本指引上的**安全措施**，給予學生明確的指示，並提醒他們注意潛在的危害和採取安全措施（尤其有關處理化學品方面）。個人防護裝備、洗眼設備和急救箱亦應準備妥當。進行實驗時，教師應密切注意學生的活動情況，並向學生提供足夠的指導，及維持良好的課堂秩序。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。¹

¹由教育局於 2013 年出版的「科學實驗室安全手冊」摘出編改，若有疑問，可參考該文件（或其最新版本）及「實驗室安全及管理資源」網頁（網址：http://cd1.edb.hkedcity.net/cd/science/laboratory/content_safety_c.html）。

認識香港的檢測和認證行業

背景

香港檢測和認證局（HKCTC）於 2009 年成立，就檢測和認證行業的整體發展策略向政府提供意見。該局其中一項主要工作是促進香港檢測和認證界的專業發展。

檢測和認證業的角色和概況

檢測和認證業在我們的日常生活中發揮著重要作用。政府化驗所提供廣泛的分析、調查、諮詢服務和支援，使政府能夠在不同領域服務市民，例如社會治安、公共健康與安全、以及環境保護。另外，私營化驗所在食物、水和環境樣本的分析發揮著越來越大的作用。醫務實驗所則為醫療界別在疾病的診斷方面提供支援，建築物料實驗所和相關的檢驗機構則確保樓宇及建築物的安全。

檢測和認證業對於支持香港的對外貿易亦具有重要作用，它為香港和珠三角地區製造的消費品，提供大量測試和檢驗服務。這些產品包括玩具、電氣和電子產品、紡織品、衣服及鞋履。行業亦為業務機構提供質量管理系統認證服務（如 ISO 9001）。因此，行業是製造業供應鏈的其中一個組成部分。通過對產品質量和安全向海外買家提供保證，行業對香港和珠三角地區的經濟發展具有重要意義。

香港的認可制度

認可是由第三方發出證明，承認一間合格評定機構勝任進行特定的合格評定工作。實驗所、檢驗機構和認證機構均為常見的合格評定機構。

在香港，申請認可資格是公開和自願性質的，目前由創新科技署轄下的香港認可處提供認可資格。該處負責推行三個認可計劃，包括：

- (i) 香港實驗所認可計劃；
- (ii) 香港認證機構認可計劃；以及
- (iii) 香港檢驗機構認可計劃。

實驗所、檢驗機構及認證機構須通過嚴格的現場評審，方能獲得認可資格，視為有能力進行其認可服務範圍內的合格評定活動。使用者可物色和挑選由認可機構提供的服務，以支援其業務。有關香港認可處的認可服務，以及香港獲認可的檢測認證機構名單，可參閱香港認可處網頁 (www.hkas.gov.hk)。

檢測和認證行業的人力發展

香港的檢測和認證業建基於一羣具有高度誠信及技術知識的專業人員。

就測試實驗所和檢驗機構而言，部份員工是非學位持有人，但越來越多員工已達到大學教育程度。與行業相關的大學學科大致包括科學、應用科學、工程及時裝與紡織等。認證機構一般要求員工達到大學教育程度，並擁有相關行業的工作經驗。他們可來自不同的學科背景。這個界別需要具有良好溝通及語言技巧的人才。員工主要透過在職培訓累積工作知識。

本港的高等教育界持續開辦更多有關檢測和認證的副學位至研究生程度課程。想尋找與檢測認證相關的專上課程名單，可瀏覽香港檢測和認證局網站 (www.hkctc.gov.hk/tc/career/edu/course_list.html)。

另外，香港測檢認證協會 (HKTIC) 亦為業界提供不同範疇的證書課程，包括方法驗證，品質控制和儀器校準。

在開始六個實驗前，老師可以為學生講解檢測及認證業的背景，讓學生知道檢測及認證業對日常生活，以至對本地經濟及社會的重要性，這樣或可以提升學生對學習化學的興趣。

教師指引

實驗一：空氣中二氧化氮的測試

引言

二零一四年一月，香港特區政府環境保護署引進了〈空氣質素健康指數〉，提示公眾因應戶外空氣污染的不同程度對個人健康的即時或短期風險。此指數是以臭氧、二氧化氮、二氧化硫和懸浮物質這四種空氣污染物在大氣濃度的三小時平均數計算。全港各不同的監察站所錄取的分析數據，會每小時向公眾發佈。

二氧化氮是活性高的『氮氧化物』的其中一種，其他還包括一氧化氮、亞硝酸和硝酸。美國環境保護署使用的國家大氣質量標準，以二氧化氮為全組『氮氧化物』的指標，並根據二氧化氮釐定了污染物管理的其中一項空氣質量的目標指引。二氧化氮可從發電、道路交通、航運、民航和燃料燃燒源頭迅速產生。氮的氧化物可以與氨氣、水蒸氣和其他化合物結合而產生微細粒子，這些粒子會深入肺部的敏感組織，引起肺氣腫及支氣管炎，並加劇心臟疾病，增加入院的人數及早死的機會。此外，在日光的照射下，它會與揮發性有機化合物結合，而促進高度毒性的光化學煙霧的產生。

揮發性有機化合物 + 一氧化氮 + 氧氣 + 日光



臭氧 + 硝酸 + 有機物（煙霧）

另一方面，光化學可促成二氧化氮分解而使地平面上的臭氧濃度增加。

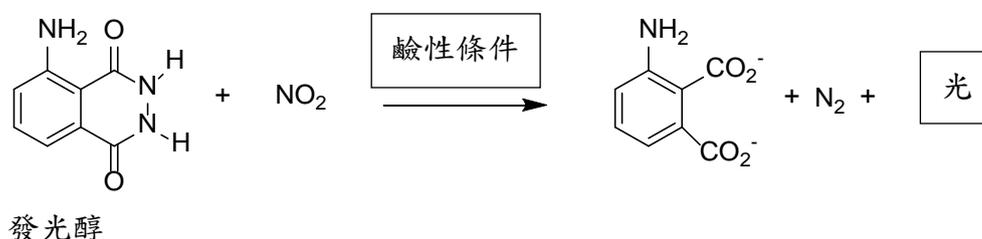
二氧化氮 + 紫外光 \longrightarrow 一氧化氮 + 氧原子； 氧氣 + 氧原子 = 臭氧

當人們吸入高濃度的臭氧，會引發嚴重的健康問題。臭氧對於呼吸系統疾病患者、小孩、長者和經常進行戶外活動的人仕，都有潛在的影響。基於這些污染物對人體健康的影響，很多地區或國家的政府都在空氣質素的標準中為此等物質在大氣中的濃度設立上限。而香港、美國和歐盟國家的行政部門都為此設定每小時平均及每年平均的質素上限。(參看表一)

	香港	美國	歐盟
每小時平均數	200	100	200
每年的平均數	40	53	40

表一：空氣質量中二氧化氮的控制目標或指標(以每立方米含微克計；千萬分之含量 ppb)

大氣中二氧化氮可用它與N-(1-萘基)乙二胺二鹽酸鹽結合，並與磺胺酸偶聯而生成紅色的偶氮染料絡合物，它可用作定量分析(詳情參看以下的實驗部份)。此法是選擇性高及敏感，而檢測下限可達PPM水平^[1]。透過二氧化氮與發光醇的化學發光的方法(見圖一)，可準確測定大氣中二氧化氮的濃度。此方法的檢測下限可達一兆萬份之50(即50 ppb)。其他一般氣體如一氧化氮、臭氧、二氧化硫和二氧化碳對二氧化氮的檢測完全沒有干擾^[2]。



圖一：使用人化學發光方法來檢測二氧化氮

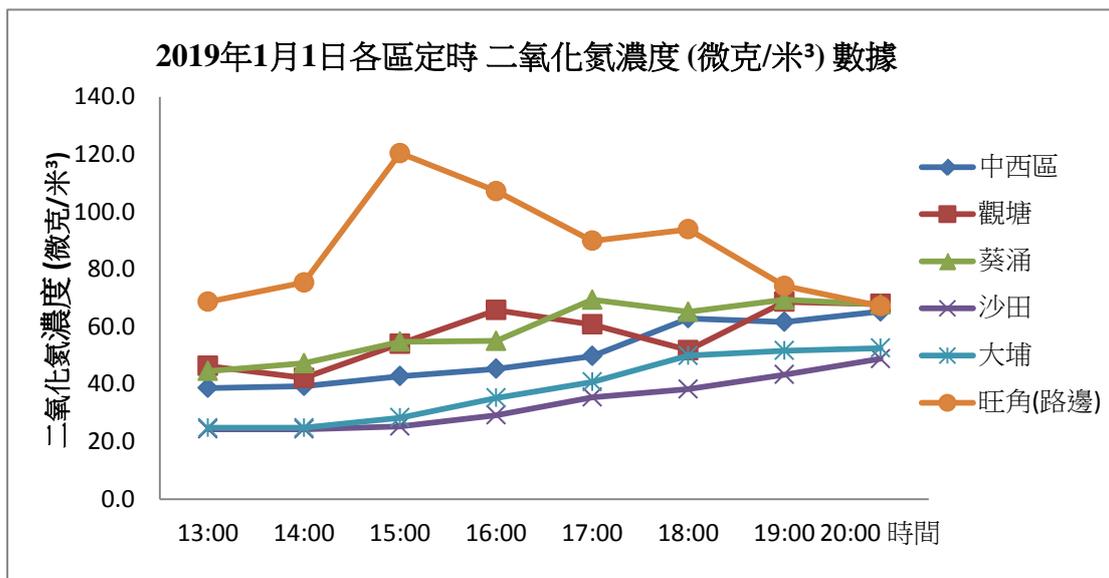
近期，儀器製造商推出可連續監控在大氣中二氧化氮含量的二氧化氮氣體分析儀(見圖二)。該儀器可採樣並以直接匯報不同氣體污染物的每小時的平均含量。這種

有關大氣質素每小時濃度的資料，可以在環保署網站下載。



圖二：連續檢測二氧化氮的分析儀器

圖三展示在 2019 年 1 月 1 日當天，港九六個空氣監察站的二氧化氮每小時含量。不同區域的空氣監察站的數據，顯示其濃度是多變的，但整體上都在空氣指標之內（即全部低於百萬份之 200 的水平）。值得注意的是，旺角路旁的空氣監察站的二氧化氮含量的數據，要比其他一般的空氣監察站來得高。



圖三：環保署於 2019 年 1 月 1 日公佈在不同監察站的二氧化氮每小時濃度平均數(微克/米³單位) (取自環保署網站)

被動式和主動式的氣體採樣方法

由定流量抽氣泵配合吸附裝置的主動式採樣可能是最簡單氣體採樣的組件，使用之前，定流量抽氣泵必須經過氣體流速計的校對。在測量空氣中的二氧化氮，利用抽

氣泵將空氣抽過盛載有 *N*-(1-萘基) 乙二胺二鹽酸鹽和磺胺酸水溶液的一個或多過吸收器，氣體以擴散方式進入含有吸附劑的被動式採樣器中。在主動採樣的裝置中，二氧化氮被抽進檢測器內，隨即與裝置內的化合物結合而產生紅色的偶氮染料絡合物，與顏色色版進行比對，從而可以量化二氧化氮的濃度。利用後者的方法，當採樣完成後，採樣器中吸附物質內之亞硝酸根可以用水沖洗出來，然後利用不同的儀器分析方法去檢測其濃度。根據中國的專利發明記載^[3]，被動式採樣器是由有蓋的玻璃瓶，瓶頂小孔以特富龍薄膜密封而組成。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。這被動式採樣器價格廉宜，而且可多組同時使用，得到多組數據，適合全面環境分析的研究。要達到定量的目的，此被動式採樣器需要使用主動式採樣器作參考，從而得出對不同氣體的採樣速率。如圖四所顯示，將兩種採樣器同時放在一起，進行同步的採樣檢測，則被動式採樣器的採樣速率可以計算出來。



圖四：同步使用主動式(恆流量的抽氣泵)和被動式的採樣方法來設定後者的氣體通量

檢測大氣樣品濃度特別在環境分析的重要性是不容置疑，在目前高中化學科課程中的分析化學選修部份，只有幾種氣體的定性測定的討論。本文所述的活動，可為老師和同學提供如何採樣和定量測試氣體的分析化學原理和技術。這技術可推廣至

其他重要污染物如甲醛、二氧化硫和一氧化氮的試測。

環境保護署無間斷監察大氣中二氧化氮的濃度，但家居和辦公室內空氣質素(IAQ)對我們的健康同樣重要。差劣的室內空氣質素會使人不適，降低工作效率和影響健康。而吸煙和明火煮食都會產生二氧化氮。為了宣傳健康的室內空氣的重要性，環保署推動室內空氣質素檢定計劃(www.iaq.gov.hk)，透過香港實驗所認可計劃(HOKLAS)^[4]，本地不少化驗所已取得二氧化氮測試的認可。大部份的認可化驗所主要測試以被動式採樣器採得的樣本，即先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，所以此實驗活動利用文獻記載方法^[1]，即比色法去檢測戶外和室內二氧化氮的濃度^[5]。

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。^[6] 為了配合現代科技發展，香港浸會大學(HKBU)化學系設計了一個應用程式“ChemEye”，只要安裝於行動裝置上，便可成為檢測比色法的新方法。由於大多數本地中學在化學實驗室中只配備了一個至兩個台光譜儀，此新開發的比色法檢測方法可於手機商店中下載，以致學生均可以使用此應用程式，增加了學生進行光譜檢測的機會，更可使他們從學習有關分析化學的知識。本實驗將“ChemEye”應用於檢測在空氣中二氧化氮的濃度。此外，應用內設的計算程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。這種方便和簡單的便攜式檢測方法可豐富學生的學習體驗。與發光二極管測量器相比之下，“ChemEye”的重複性和精準度的差異僅僅只小於十個百分比，而對於檢測目標分析物的靈敏度，“ChemEye”的性能卻比發光二極管測量器優勝3倍。

預期的學習目標

透過這實驗，期望學生可以：

1. 了解香港檢測和認證行業的運作
2. 掌握使用被動式採樣器在大氣中抽取二氧化氮
3. 掌握利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基本概念
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/或安裝了“ChemEye”應用程式的行動裝置
- 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 1 個
- 100-1000 微升自動加樣器連吸管 1 個或 1 微升具刻度的玻璃加樣器
- 50-200 微升自動加樣器連吸管 1 個或 0.2 微升具刻度的玻璃加樣器
- 剪刀 1 把
- 100 毫升燒杯 1 個
- 250 毫升燒杯 1 個
- 滴管 2 支



下載“ChemEye”的二維碼
蘋果用戶（左）和安卓用戶（右）

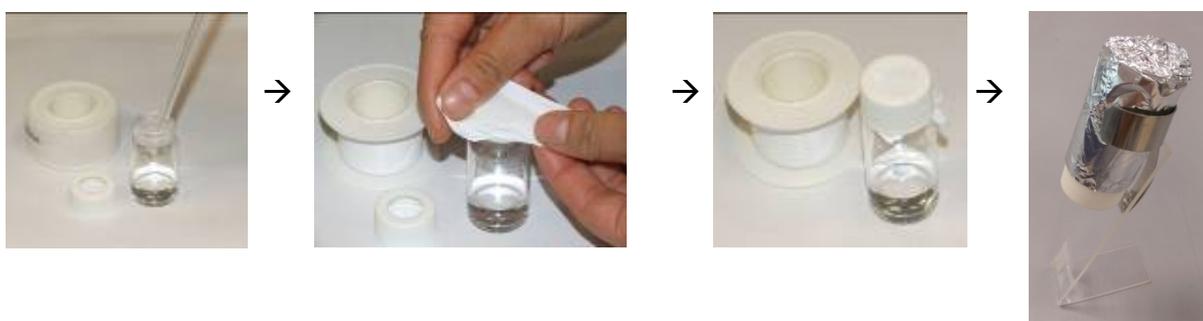
試劑和化學品

- 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 2 升

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) NO₂ 溶液：將 0.7499 克 NaNO₂ 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 NO₂ 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、參比及樣本的數值。



安全提示

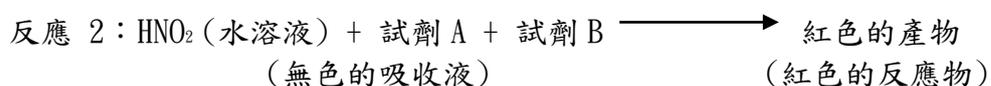
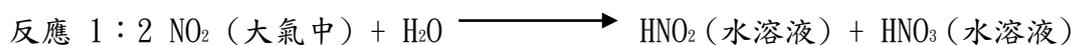
- 參考實驗室一般安全守則；
- 配戴實驗安全眼鏡；
- 小心使用剪刀；
- 有關使用試劑的安全使用手則可參閱網上資料(MSDSonline.com)。

結果與討論

吸收溶液的配備與使用標準液校準

為防止在配備吸收液過程中吸入大氣中的二氧化氮，配備過程要快捷。當無色的吸收溶液配備完畢後，容量瓶必須用磨砂瓶蓋密封。

二氧化氮在空氣的檢測是使用比色法，空氣中的二氧化氮以泵或自由擴散進含有 *N*-(1-萘基) 乙二胺二鹽酸鹽(A)和磺胺酸(B)水溶液中，二氧化氮溶於水產生硝酸和亞硝酸，亞硝酸與 A 和 B 化合物作用而生成紅色的偶氮染料絡合物(參看下面的反應式)，亞硝酸濃度愈高，顏色會愈紅。



配備 0.02 – 0.12 ppm 的亞硝酸根(即 NO_2^-)的標準溶液用作進行校正程序，用來確立溶液深淺色與亞硝酸根的線性關係。使用分光計去量度不同濃度的標準液的吸收度，運用比爾定律的關係，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。

空氣採樣

在一般情況下，經過 90 至 120 分鐘的採樣時間，可收集足夠的二氧化氮使吸收液產生顯著的顏色轉變，從而可準確地測定大氣中二氧化氮的含量。為確保可得到精確的實驗數據，在相同的採樣時間(90–120 分鐘)及同一的採樣點須放置至少三組的採樣器。為提供可比較的研究，可將三組的被動採樣器放置於校園接近校外交通的通路。而為了可得到可靠的數據，老師應建議學生在實驗課前的休息時段放置採

樣器。

以下數據是在浸會大學校園兩個不同的地點取得，以供參考使用。

- 採樣地點一：何善衡浸會校園六樓平台靠近窩打老道
- 採樣地點二：何善衡浸會校園科學大樓十二樓升降機旁邊

每個採樣點同時安三組採樣器和一組參考的採樣器

利用發光二極管測量器建立校準曲線

在這實驗活動中，使用四通道發光二極管(LED)的分光計。如表二所示，可計算到溶液的吸光度，當使用綠色LED作光源時，紅光的吸光度可由標準液和參考液所量得電位的對數值之比而求得。

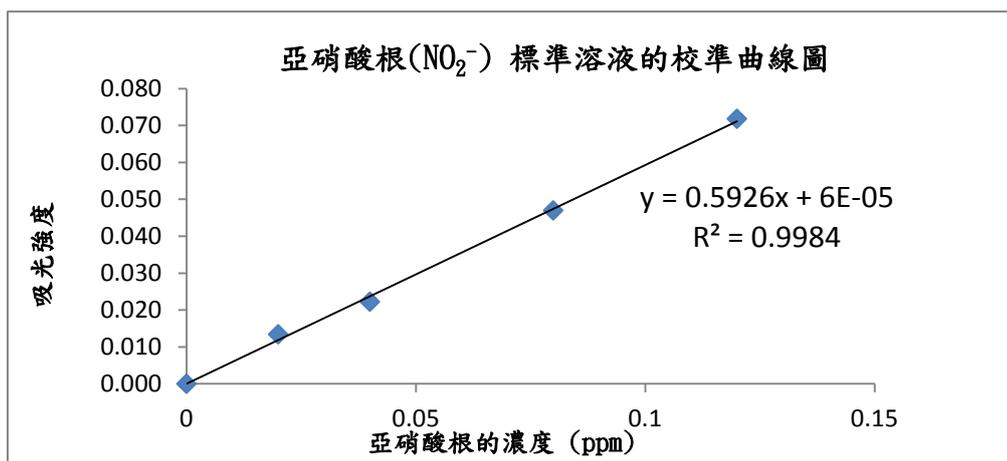
$$A = \text{吸光度}, \quad E_o = \text{參考液的電位數} \quad \therefore A = \log\left(\frac{E_o}{E}\right)$$

$$\text{吸光度} = \log\frac{E_o}{E} \quad \text{當使用綠光的LED作光源} \quad \text{電位讀數}(E_o) = \underline{\underline{3.61}} \text{ V}$$

內容	電位 (V)	吸光度
空白溶液	$E_o = 3.61$	0
0.02 ppm NO_2^- 標準液	3.50	0.013
0.04 ppm NO_2^- 標準液	3.43	0.022
0.08 ppm NO_2^- 標準液	3.24	0.047
0.12 ppm NO_2^- 標準液	3.06	0.072

表二：用四通道-LED分光計所測出各標準亞硝酸根溶液的讀數

根據以上的數據，溶液的吸光強度與亞硝酸根(或二氧化氮量)的線性校準曲線的關係可從圖五顯示出來。



圖五：亞硝酸根(NO₂⁻) 標準溶液的校準曲線圖

從圖五可見到校準曲線的直線性極佳 R² 值是大於 0.998。此曲線可用來計算真正環境樣本使用。

利用發光二極管測量器測定大氣中二氧化氮

如前文提及，我們使用了四通道 LED 分光計去量度溶液的吸光度。

吸光度 = $\log \frac{E_o}{E}$ 當使用綠光的 LED 作光源電位讀數 (E_o) = 3.61 V

採樣時間是 90 分鐘

空氣的擴散速率由主動式採樣方法(見前文)求得，其數值是: 2.3 x 10⁻⁵ 立方米/分鐘，該數字可供參與此計劃的伙伴學校使用¹。

	吸光度			
	第一樣品	第二樣品	第三樣品	平均值
路邊(樣品)	3.49	3.48	3.47	3.48
路邊(監控)				3.56
六樓平台(樣品)	3.51	3.52	3.51	3.51
六樓平台(監控)				3.58
十二樓近升降機位置(樣品)	3.53	3.53	3.53	3.53
十二樓近升降機位置(監控)				3.57

¹ 採樣日期與時間: 2015 年 6 月 29 日上午十時至十一時三十分(該日上午天晴)

表三：在浸會大學<善衡校園>兩個採樣地方所得到的數據吸光¹

利用發光二極管測量器的數據處理

1. 按表二數出標準和檢測樣品的吸光度(A)

$$0.02 \text{ ppm NO}_2^- \text{ 標準溶液為: } \log\left(\frac{3.61}{3.50}\right) = 0.013$$

描述	電位 (V)	吸光度
空白	$E_0 = 3.61$	0
0.02 ppm NO ₂ ⁻ 標準液	3.50	0.013
0.04 ppm NO ₂ ⁻ 標準液	3.43	0.022
0.08 ppm NO ₂ ⁻ 標準液	3.24	0.047
0.12 ppm NO ₂ ⁻ 標準液	3.06	0.072
路旁 (樣品)	3.48	0.016
路旁 (監控)	3.56	0.006
六樓 (樣品)	3.51	0.0122
六樓 (監控)	3.58	0.0036
十二樓 (樣品)	3.53	0.0097
十二樓 (監控)	3.57	0.0048

2. 依據圖五的校準曲線圖樣品和監控溶液的吸光度和二氧化氮濃度計算後表列於以下表四中。

	E(V)	吸光度	二氧化氮含量 (毫克/升)
路旁 (樣品)	3.48	0.016	0.027
路旁 (監控)	3.56	0.006	0.010
六樓 (樣品)	3.51	0.0122	0.020
六樓 (監控)	3.58	0.0036	0.007
十二樓 (樣品)	3.53	0.0097	0.017
十二樓 (監控)	3.57	0.0048	0.008

表四. 在不同的採樣點收集二氧化氮的濃度

3. 計算在樣品和監控採樣器所得到二氧化氮的重量：

以路旁收集的樣品作示範例子處理

NO₂ 在樣品內的重量 (微克, μg):

$$\begin{aligned} & \text{NO}_2 \text{ 在樣品中的濃度 (mg/L)} \times 10^3 \mu\text{g/mg} \times 5 \text{ mL} \times 10^{-3} \text{ L/mL} \\ &= 0.027 \text{ mg/L} \times 10^3 \mu\text{g/mg} \times 5 \text{ mL} \times 10^{-3} \text{ L/mL} \\ &= 0.135 \text{ 微克} \end{aligned}$$

NO₂ 在監控瓶的重量 (微克, μg):

$$\begin{aligned} & \text{NO}_2 \text{ 在監控瓶濃度 (毫克/升)} \times 10^3 \mu\text{g/毫克} \times 5 \text{ 毫升} \times 10^{-3} \text{ 升/毫升} \\ &= 0.010 \text{ 毫克/升} \times 10^3 \mu\text{g/毫克} \times 5 \text{ mL} \times 10^{-3} \text{ 升/毫升} \\ &= 0.05 \text{ 微克} \end{aligned}$$

NO₂ 收集的淨重量(微克):

$$\begin{aligned} & \text{NO}_2 \text{ 在樣品內的重量(微克)} - \text{NO}_2 \text{ 在監控瓶的重量(微克)} \\ &= 0.135 \text{ 微克} - 0.05 \text{ 微克} \\ &= 0.085 \text{ 微克} \end{aligned}$$

4. 收集空氣樣品的體積為 (立方米) :

$$\begin{aligned} & \text{氣體的擴散速率 (立方米/分鐘)} \times \text{採樣時間 (分鐘)} \\ &= 2.3 \times 10^{-5} \text{ (立方米/分鐘)} \times \text{採樣時間 (分鐘)} \\ &= 2.3 \times 10^{-5} \text{ (立方米/分鐘)} \times 90 \text{ 分鐘} \\ &= 0.00207 \text{ 立方米} \end{aligned}$$

5. 計算大氣中 NO₂ 的濃度 (微克/立方米).

$$\begin{aligned} \text{NO}_2 \text{ (微克/立方米)} &= \text{NO}_2 \text{ 的重量(微克)} \div \text{空氣採樣的體積(立方米)} \\ &= 0.085 \text{ 微克} \div 0.00207 \text{ 立方米} \\ &= 41 \text{ 微克/立方米} \end{aligned}$$

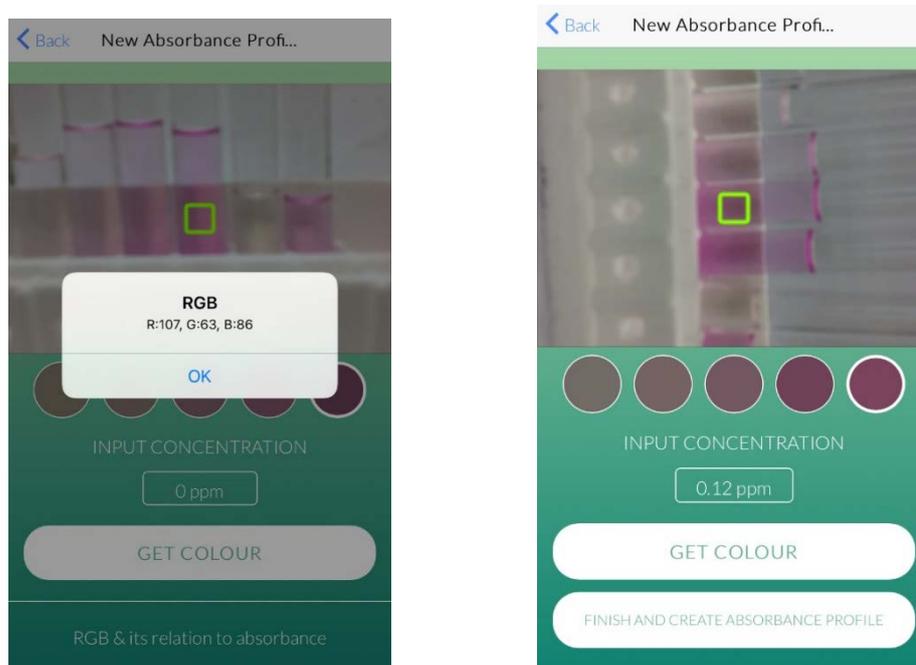
使用相同運算方法，在兩個採樣點的 NO₂ 濃度可算出並羅列於表五中。

	樣品中 NO ₂ 的重量 (微克)	監控中 NO ₂ 的重量 (微克)	採集 NO ₂ 的淨重量 (微克)	收集空氣的體積 (立方米)	大氣中二氧化氮的濃度 (微克/立方米)
路旁	0.135	0.05	0.085	0.00207	41.0
六樓平台	0.1	0.035	0.065	0.00207	31.4
十二樓近升降機處	0.085	0.040	0.045	0.00207	21.7

表五：二極管測量器在三個浸會大學校園三個採樣點所測得空氣中 NO₂ 的含量

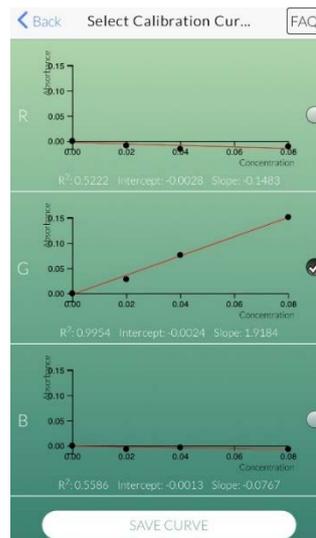
利用“ChemEye”檢測

在這部分的實驗，於行動裝置上安裝“ChemEye”以代替利用發光二極管測量器作為檢測方法。行動裝置上的相機鏡頭會用作探測目標檢測物。應用程式會儲下影像中的所選區域中擷取的 RGB 值，然後把所得的 RGB 值分析和轉換成紅、綠和藍的吸光度。



利用照相機把 5 枝標準溶液的 R、G 和 B 值記錄下來，然後繪製相對應的標準曲線。

於擷取 5 枝標準溶液的 R、G 和 B 值後，應用程式會把從影像中所得到的數值自動轉換為吸光度，然後處理後的數據會用於繪制三條相對應的標準曲線。三條標準曲線的斜率、Y 軸截距和線性回歸(R^2)等資料也會顯示於校正資料的頁面。用者可以自行選擇儲存其中一條標準曲線。在這個實驗中，以最高斜率和最高線性回歸值作為標準，綠光的標準曲線會被選擇以及儲存，以作為分析樣本。



利用“ChemEye”的數據處理

在儲存標準曲線後，可以馬上利用“ChemEye”檢測樣本。於先前儲存在應用程式的標準曲線方程式會用於計算樣本濃度，運算後所得的濃度會直接顯示於頁面中。於大氣中的二氧化氮含量的運算及轉換可參考「利用發光二極管測量器的數據處理」的數據處理部分，計算步驟和運算是相同的。



結論

分光法涵蓋於香港高中化學的分析化學選修課程部份，在選擇適當分析試劑下，分光法的應用原理可使用於不同的化學物質的定量檢測中，包括氣體分子。在此教學活動中所選用的試劑能快捷和有選擇性地與二氧化氮結合而形成有顏色的物質。在所有可見的大氣物質中，只有二氧化氮具有這種反應能力。此外，學生還能透過此活動掌握應用被動式的採樣方法。這種分析方法靈敏度十分高，可達至百萬份數的水平(ppm)。只要把採樣時間能控制在 120 分鐘之內及有策略地作好實驗前採樣的準備，老師可安排在兩課堂中完成這項活動。學生可能把在校內取得的有關空氣質素的數據，與從環保署下載的相關資料作有意義的比較。如老師有興趣讓學生分析室內二氧化氮含量作為室內空氣質素(IAQ)其中一項指標，可參考環保署網站有關

的資料（即辦公室和公眾地方室內空氣質素認證計劃指引 <https://www.iaq.gov.hk/tc/publications-and-references/guidance-notes.aspx>），但測定室內二氧化氮濃度採樣時間要八小時以上。這活動是與我們生活息息相關，能提高學生與老師的興趣，亦為學生提供學習大氣污染物數量知識的途徑。

問題與答案

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？

會由無色變成淺紅色

2. 本實驗使用綠光檢測，請解釋原因。

試劑與二氧化氮結合所生成的染料主要會吸收綠色可見光

3. 試比較主動和被動式取樣器的主要分別。

主動式採樣器是要依賴抽氣泵將空氣抽進吸收液中，採樣時間較短；而被動式取樣器無需使用氣泵，而讓空氣直接擴散至吸收液中，採樣時間較長。

4. 收取樣本時，鋁紙包裹取樣器的作用是什麼？

有機化學染料在強光照射下會慢慢分解，鋁紙包裹取樣器是防止引該物質分解而影響數據的可靠性。

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。

流動注射法和離子層析法，均是檢測及認證業使用的分析檢測方法，先用被動式採樣器採樣，然後用水將亞硝酸根洗出，再用這兩種的儀器方，皆能作準確的定量檢測。

課後分組活動

1. 瀏覽環保署網頁以取得一般及路邊空氣監察站的相關數據，並與在實驗室中取得的數據作比較。
2. 瀏覽香港實驗所認可計劃的網站找出提供二氧化氮測試作室內空氣質素指標的私營實驗所名單。

參考文獻

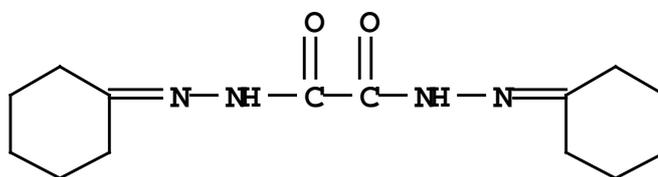
- [1] M. B. Jacobs , S. Hochheiser , *Anal. Chem.* **1958** , 30 , 426-428 。
- [2] Y. Maeda , K. Aoki , M. Munemori , *Anal. Chem.* **1980** , 52 , 307-311 。
- [3] 陳永康，尚丹，王柯敏，〈快速簡便氣體採集和測定裝置〉 中國專利〈ZL 00 2 25023.3〉， 22/04/2001. 該知識產權擁有者(陳永康)允許該專利可以以教育的原因在香港使用。
- [4] <http://www.hkas.gov.hk/>
- [5] D. Xiao , L. Lin , H. Yuan , M. F. Choi , W. H. Chan , *J. Chem. Educ.* **2005** , 82 , 1231-1233 。
- [6] T. S. Kuntzleman , E. C. Jacobson , *J. Chem. Educ.* **2016** , 93 , 1249-1252 。

實驗二：分析廢水的含銅量

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。

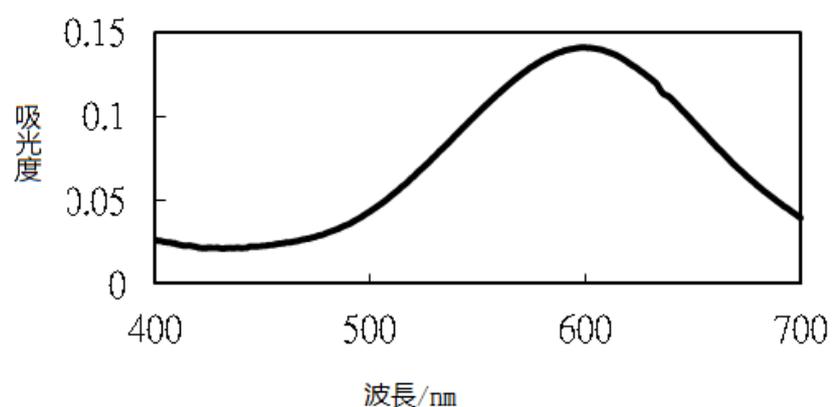


雙環己酮草醯二脒 (Cuprizone)

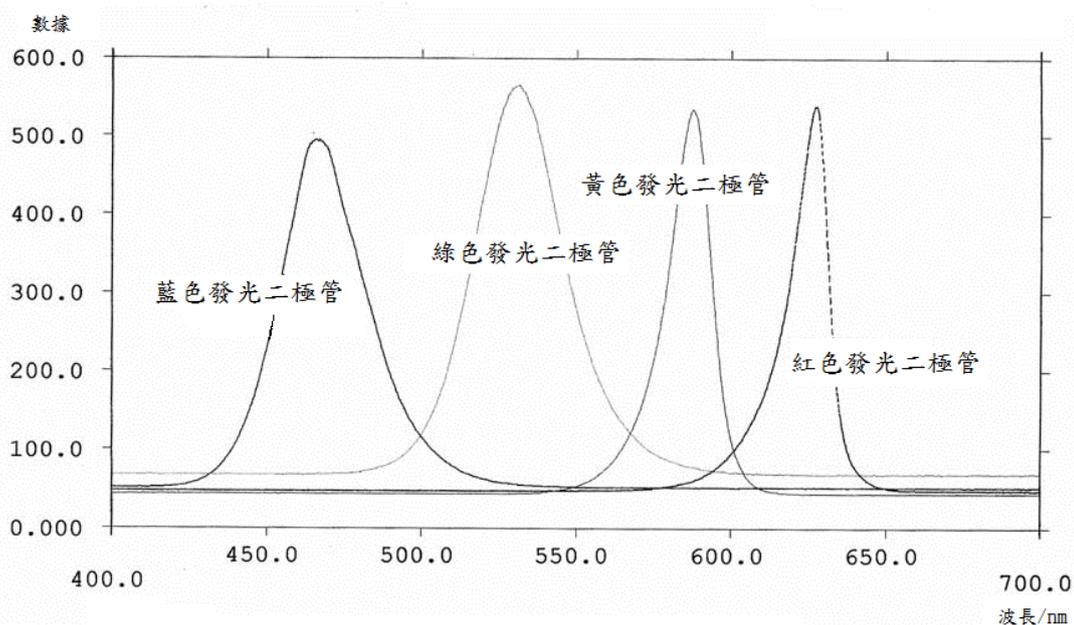
通常絡合物顏色的深淺度可通過測定含有該吸收分析物溶液的吸光度(A)來量度，而吸光度(A)與該有色化合物的特徵光被吸收程度成比例的。根據比爾定律(Beer's Law)，顏色的吸光度與顯色成分的濃度相關，即溶液的吸光度 $(A) = \epsilon bc$ ，其中 ϵ 是消光係數， b 是光學樣品瓶的光徑， c 是有色物質的濃度。溶液的吸光度值可通過公式 $A = \log(I_0/I)$ 計算出來，其中 I_0 是入射光強度， I 是該光線通過溶液或物質後的透射光強度。銅-雙環己酮草醯二脒所生成的絡合物的顏色深度與銅的濃度成正比。其溶液的吸光度值可通過比色計或分光光度儀進行測定，並與銅標準溶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

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

比色法的原理及應用是高中化學科分析化學課程選修部分的一個課題。這個實驗

為老師和學生提供了重要的分析化學知識和檢測金屬離子例如銅的技巧。透過加入比色試劑跟分析物反應，生成有顏色的絡合物。這個技術可以擴展應用到不同金屬離子如鉛和鎳的檢測。除此之外，教育局亦建議把分光光度計列為標準教學儀器。

在這次實驗中，會利用比色法去檢測工業廢水和污水中銅離子的含量。比色計和分光光度計都可以在中學實驗室裡找到。除了使用比色法外，在檢測及認證業中常用的方法還有原子吸收光譜法（AAS）^[4]、電感耦合等離子體原子發射光譜法（ICP-AES）^[5]和電感耦合等離子體質譜法（ICP-MS）。

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
- 4 毫升塑膠比色皿 1 個（用於發光二極管檢測）
- 13 毫升玻璃試管 6 枝（用於“ChemEye”檢測）
- 試管架 1 個（用於“ChemEye”檢測）
- 200 瓦加熱器 1 個
- 發光二極管測量器 1 個 和/或 安裝了“ChemEye”



下載“ChemEye”的二維碼
 蘋果用戶（左）和安卓用戶（右）

應用程式的行動裝置

試劑和化學品

- 雙環己酮草醯二脒 [370-81-0]
- 硫酸銅 [7758-98-7]
- 乙醇 [64-17-5]
- 檸檬酸 [77-92-9]
- 25%的氨水溶液 [7664-41-7]

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。

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（D. I.）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。

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。

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，雙環己酮草醯二脒 (Cuprizone) 溶液，再加去離子水至刻度並搖勻。

	100 ppm 的銅標準儲備溶液的容積 (毫升)	雙環己酮草醯二脒 (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

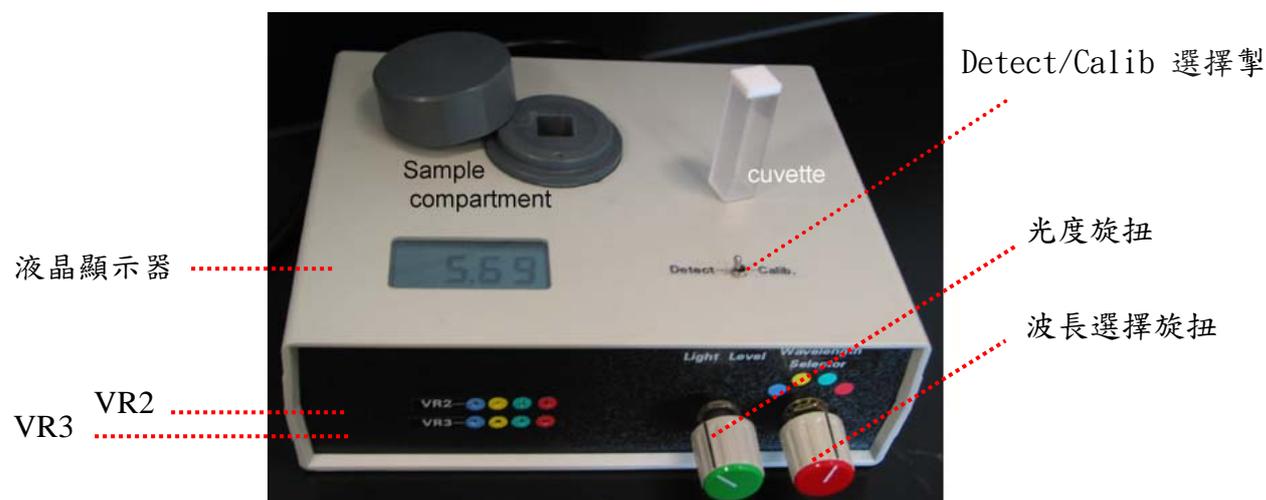
[^]標準溶液#2-#5 將會用於使用“ChemEye”的檢測方法

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)



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 $A_{\text{sample}} = \log\left(\frac{E_0}{E_{\text{sample}}}\right)$ 公式，

從標準曲線上查出相應樣品的濃度。

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

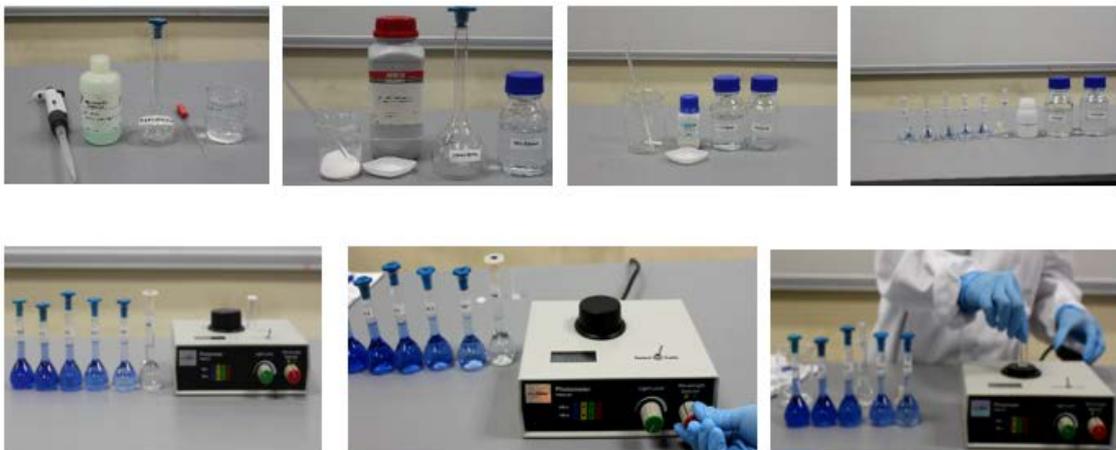
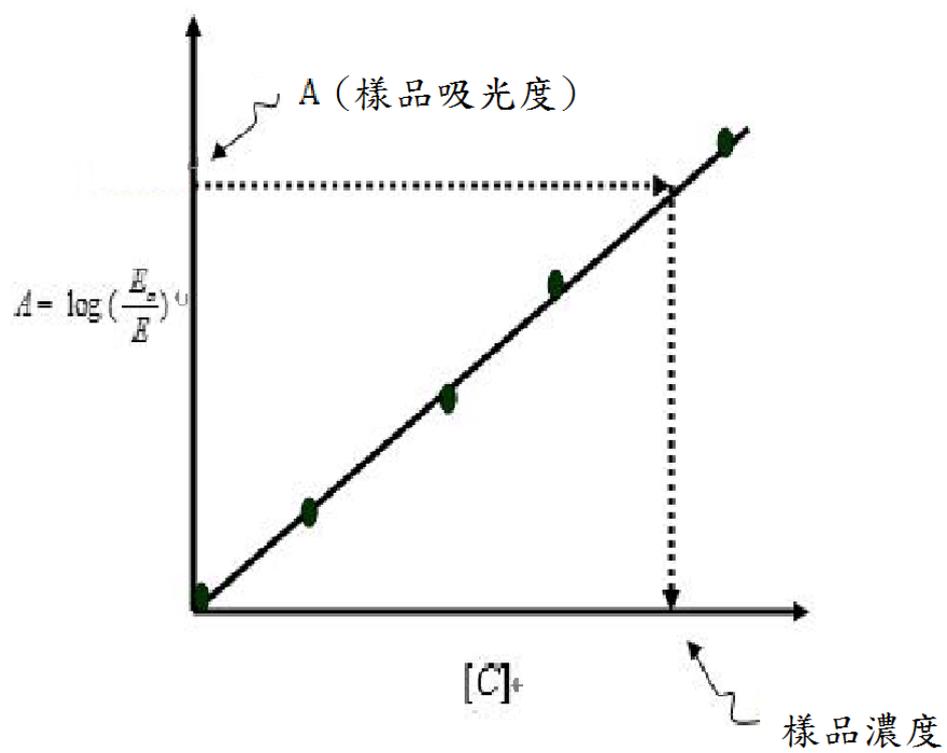
其中，E：被測樣品的電壓

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 $E_\infty = 0V$ ）

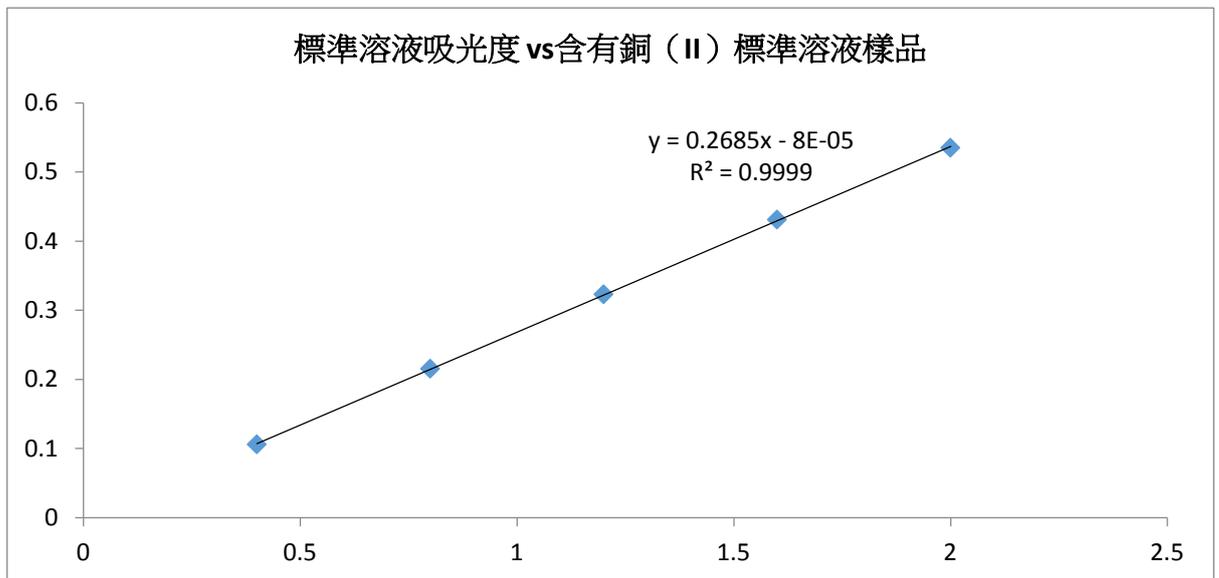
$$\therefore A = \log\left(\frac{E_0}{E}\right)$$



使用發光二極管測量器數據表 (黃色 LED):

校準電壓=4.5V			
	(E)	$\log\left(\frac{E_0}{E}\right)$	[Cu] /ppm
空白樣品	$E_0 = \underline{5.54}$	0.000	0.000
標準 #1	4.27	0.1060	0.4
標準 #2	3.32	0.2152	0.8
標準 #3	2.59	0.3231	1.2
標準 #4	2.02	0.4310	1.6
標準 #5	1.59	0.5350	2.0
樣品	2.55	0.3298	1.23
線性係數 (R^2) = 0.9999			

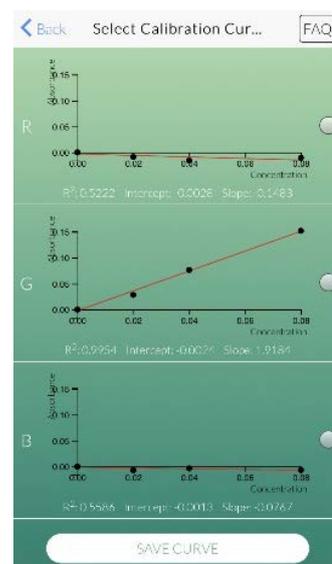
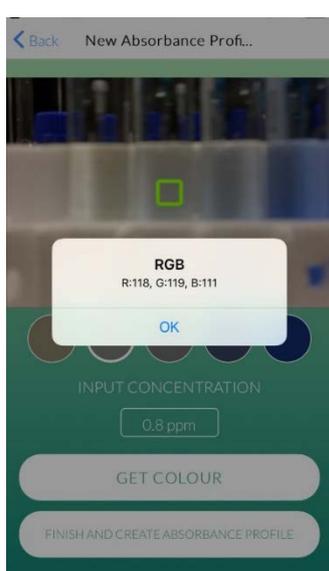
繪製標準曲線圖及查出樣品中銅的濃度。



ChemEye

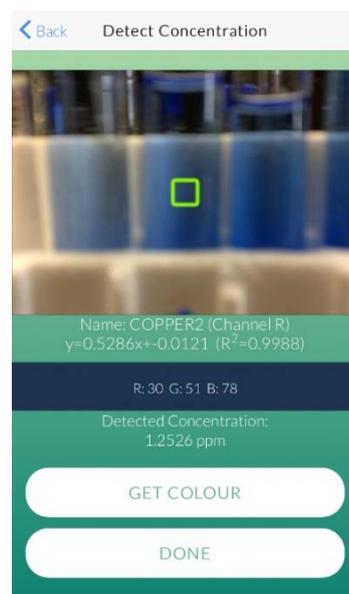
I. 使用步驟

- (i) 從 App Store 或 PlayStore 中，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) 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品之用。
- (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。擷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 0ppm、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，可以得到如果選擇合適的標準曲線的所需資料。
- (x) 選擇最合適的曲線後，按“Save”。接著可直接量度樣品。
- (xi) 樣品濃度會自動計算然後顯示在頁面上。



II. 數據處理

所擷取的 RGB 值會經由應用程式內置的方程式轉換成吸光度，然後會建立相對應的標準曲線，以顯示出目標分析物的濃度和吸光度的關係。直線方程式和線性回歸值(R^2)等資料會顯示於選擇頁面上。在儲存曲線資料後，可以馬上進入樣品檢測步驟，應用程式會自動計算樣本濃度。



“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？

G 值的曲線圖。

2. 為什麼選擇問題 1 中的曲線圖？

於 3 條曲線圖中，G 值的曲線圖的斜度和線性回歸值(R^2)是最高的。由此可見，目標檢測物最為能吸收綠光，檢測結果最佳。

3. 請列出問題 1 中所選擇的曲線圖的斜度和線性回歸值(R^2)？

(從應用程式裡抄下作紀錄)

4. 樣品中的銅濃度是？

(濃度會於檢測段顯示於應用程式裡)

安全事項

- 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)。

觀察結果

當 cuprizone 加到含有二價銅離子溶液時，可觀察到溶液的顏色由透明變成藍色。

結論

有害金屬離子在食水或工業廢水檢測中在現今生活的其中一個重要的測試。現在已經有多種試劑可以作為比色法的工具去檢測有害的金屬離子如鉛(Pb(II))，鎘(Cd(II))和銅等。這個實驗示範了檢測水中的金屬離子的一個方法。通過使用發光二極管測量器所得的標準曲線，可透過運算步驟測定未知樣品中二價銅離子的含量，又或是使用“ChemEye”直接獲取已計算好的二價銅離子的含量。

問題及答案

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。

鋅，錫，銀等……

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？

雙環己酮草醯二胺會跟二價銅離子進行反應，生成有顏色的絡合物。這個複合物會吸收一定程度的可見光。如果沒有雙環己酮草醯二胺生成絡合物，我們就不可以檢測到二價銅離子的含量。

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？

藍色的絡合物的最高吸收波長約在 600 納米左右；如果使用綠色的發光二極管，它並不太吸收綠色的光，所以量度靈敏度 (或檢量線的斜率) 會下降。

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. Sandek , Photometric Determination of Traces Metals , 4th edition ; Wiley: New York , 1989.
- [4] American Public Health Association , APHA Method 3111: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater , 18th edition , Washington D.C. , 1992.
- [5] U. S. Environmental Protection Agency , Method 200.7 Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry Revision 4.4 , Cincinnati , 1994.

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。

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。天然食物商店通常售賣沒有經過二氧化硫處理的食物，相對於經過二氧化硫處理的天然食物，未經處理的顏色通常較深，食物的質感也可能有所不同。但是，這類食物不宜保存長時間，需要盡快食用。

由於食物中的二氧化硫可能對人體健康產生影響，這個實驗設計給中五或以上的學生，學生已有高中水平的基本化學知識，為定量測定乾製食物中的二氧化硫含量。此實驗可以簡單地在高中學校的實驗室內進行，需時大約兩小時，不需要任何先進的儀器。在目前的高中化學課程，已包含酸鹼滴定的體積分析。在選修部分的分析化學，學生需要應用適當的測試知識去檢測二氧化硫的存在，以及對社會上食物和藥物的分析作出貢獻。本實驗的原理和內容可授予教師和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。

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。

定量測定食物中的二氧化硫含量是對公眾健康有利的，因此，食物分析是檢測和認證行業中的一個重要項目。AOAC 官方檢測方法 990.28 和 990.29 標準是廣泛應用於本地的商業檢測實驗室。在這個實驗中，學生將能夠學習 AOAC 官方檢測方法 990.28 標準中的其中一個方法。

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

儀器

- 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



圖一. 玻璃儀器和氣泵。



圖二. 氣體收集管。

試劑和化學品

- 乙醇 [CAS #64-17-5]
- 鹽酸 (HCl) [CAS #7647-01-0]
- 過氧化氫 (H₂O₂) [CAS #7722-84-1]
- 甲基紅 [CAS #493-52-7]
- 酚酞 [CAS #77-09-8]
- 鄰苯二甲酸氫鉀 (KHP) [CAS #877-24-7]
- 氫氧化鈉 (NaOH) [CAS #1310-73-2]

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
- 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



圖三. 山藥的食物樣本。



圖四. 所需的試劑。

樣本預處理方法

1. 將乾製食物樣本剪成小塊，秤量大約 12.5 克的樣本，放入 500 毫升的兩頸圓底燒瓶中（圖五）。
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，如圖六。
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。



圖五. 兩頸圓底燒瓶中的樣本。



圖六. 實驗裝置。

分析方法

標準化氫氧化鈉溶液

1. 加入大約 0.05 克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)。

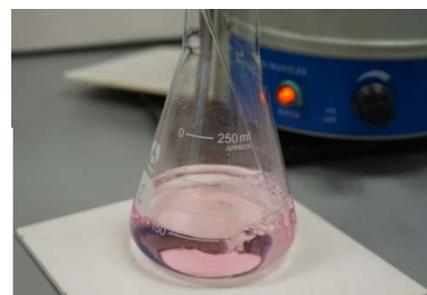
安全措施

- 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。

結果與討論

觀察

1. 在 60 分鐘的加熱時，氣體鼓入 3% 的過氧化氫溶液，溶液的顏色由黃色變為紅色 (圖七)。
2. 在標準化的氫氧化鈉溶液的滴定終點，溶液的顏色由無色變為粉紅色。
3. 在測定二氧化硫含量的滴定終點，溶液的顏色由紅色變為黃色。



圖七. 鼓泡氣體進入 3% 過氧化氫溶液。

數據與數據處理

標準化氫氧化鈉溶液

	第一次試驗	第二次試驗	第三次試驗
KHP 的質量 (克)	0.0500	0.0515	0.0518
最終的體積 (毫升)	29.7	38.8	39.3
起始的體積 (毫升)	0.20	7.00	8.9
使用了的 NaOH 體積 (毫升)	29.5	31.8	30.4



∴ 摩爾比 NaOH: KHP = 1:1

	第一次試驗	第二次試驗	第三次試驗
KHP 的摩爾數 (mol)	2.45×10^{-4}	2.52×10^{-4}	2.54×10^{-4}
NaOH 的摩爾數 (mol)	2.45×10^{-4}	2.52×10^{-4}	2.54×10^{-4}
NaOH 的濃度 (M)	0.00831	0.00792	0.00836

- $[\text{KHP 的摩爾數 (mol)}] = [\text{KHP 的質量 (g)}] / [\text{KHP 的摩爾質量 (g/mol)}]$

- $\text{KHP 的摩爾質量} = 204.22 \text{ g/mol}$

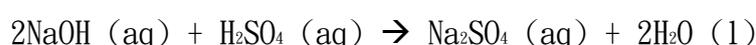
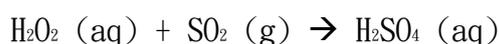
- $[\text{NaOH 的濃度 (M)}] = [\text{NaOH 的摩爾數 (mol)}] / [\text{體積 (dm}^3\text{)}]$

∴ 氫氧化鈉溶液的真實濃度 = $0.00820 \pm 0.000241 \text{ M}$

氫氧化鈉溶液被用作滴定劑之前，必須用酸(例如鄰苯二甲酸氫鉀)來將其標準化，已獲知其克分子濃度。氫氧化鈉鹽通常含有一定份量的不溶性碳酸鈉，這會導致氫氧化鈉在溶液中的濃度被過量估計。此外，氫氧化鈉溶液可以與溶液中大氣中的二氧化碳發生反應形成碳酸鈉，這會導致氫氧化鈉在溶液中的損失。氫氧化鈉在溶液中的濃度會比預期值更低，如果不進行標準化，將會導致在檢測上產生誤差。

通過滴定法測定二氧化硫的含量

食物樣本名稱	山藥
乾製食物樣本的質量 (克)	12.6540
最終的體積 (毫升)	10.0
起始的體積 (毫升)	5.3
使用了的 NaOH 體積 (毫升)	4.7



∴ 摩爾比 NaOH: SO₂ = 2:1

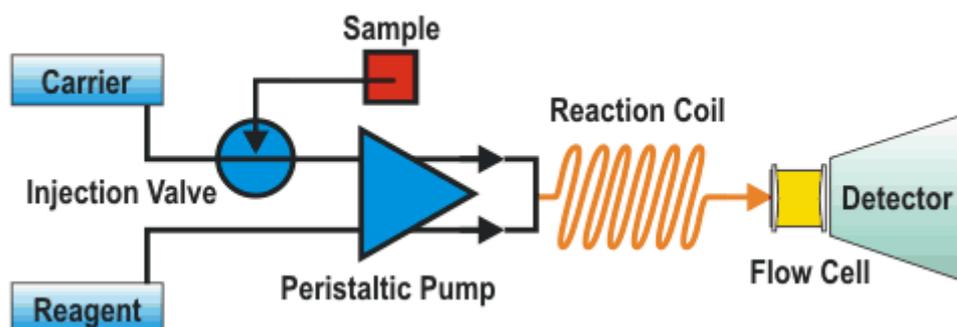
	山藥
NaOH 的摩爾數 (mol)	3.85 x 10 ⁻⁵
SO ₂ 的摩爾數 (mol)	1.93 x 10 ⁻⁵
SO ₂ 的質量 (g)	1.24 x 10 ⁻³
SO ₂ 的含量 (mg/kg)	98.0

- [NaOH 的摩爾數 (mol)] = [NaOH 的濃度 (M)] x [體積 (dm³)]
- 如上所示，氫氧化鈉溶液的實際濃度 = 0.00820 M
- [SO₂ 的質量 (g)] = [SO₂ 的摩爾數 (mol)] x [SO₂ 的摩爾質量 (g/mol)]
- SO₂ 的摩爾質量 = 64.1 g/mol
- [SO₂ 的含量 (mg/kg)] = [SO₂ 的質量 (g) x 1000] / [乾製食物樣本的質量 (g) / 1000]

∴ 山藥的二氧化硫含量 = 98.0 mg/kg

山藥的二氧化硫含量為 10 mg/kg，超出規例中所列明的數值。因此，如果中國山藥在香港市場銷售，其二氧化硫的作用類別及名稱須在成分表中指明。

按照 AOAC 官方檢測方法 990.29，食物中的二氧化硫含量還可以透過與孔雀石綠反應，並利用流動注射分析儀（FIA）來測定，但這種方法不適用乾製食物。首先，利用四氫鈉溶液（TCM）提取食物樣本中的二氧化硫。然後，將提取物注入到 FIA 系統，其中的二氧化硫會與孔雀石綠反應，令孔雀石綠脫色（圖八）。脫色的程度與食物樣本中的二氧化硫的含量成正比。



(Sample：樣本；Carrier：載氣；Reagent：試劑；Injection Valve：進樣閥門；Peristaltic Pump：蠕動泵；Reaction Coil：反應管；Flow Cell：流動池；Detector 探測器)

圖八：流動注射分析系統的系統圖。

結論

酸鹼滴定是濕分析法中最重要技術之一，在高中化學課程中已全面覆蓋。此技術可應用於定量測定經處理的食物樣本中的二氧化硫含量。雖然事先處理樣本需要 60 分鐘的加熱時間，但只要預先準備所以儀器，這實驗仍可以在兩小時實驗時節內完成。通過實驗，學生可以了解到使用回流設備從固體樣品分隔氣體物質，以及轉換分析物成為一個合適的形式以進行測定的概念，即是將二氧化硫轉化成硫酸。在實驗中獲得的數據可以與有關的規例作比對，這有助於加強學生對食物中二氧化硫的認識和引起他們對食品分析的興趣。此實驗是基於檢測和認證行業中，受廣泛應用的標準方法而設計，所以可以培養學生對香港該行業操作的基本了解。

問題和答案

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。
紅外線 (IR) 光譜儀及氣體樣本盒。二氧化硫在 $1300 - 1400 \text{ cm}^{-1}$ 有一個很強的吸收帶。
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。
亞硝酸鹽和硝酸鹽可用作為食物的防腐劑，它們可以與食物中的胺反應，生成致癌物質亞硝胺。
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。
把食物浸水，二氧化硫是水溶性，浸水後會變為硫酸。
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。
硝酸鹽和亞硝酸鹽，苯甲酸，和山梨酸。

參考文獻

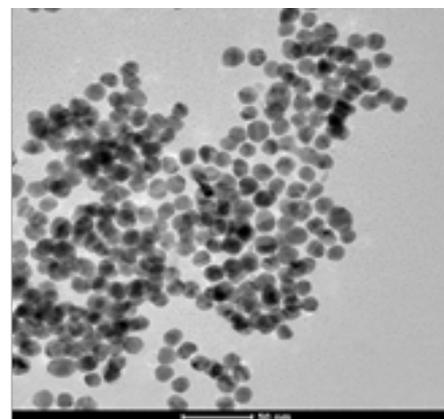
- [1] AOAC International: *Official Methods of Analysis of AOAC* (2005), 18th Edition, ed. Horwitz W., Gaithersburg: MD, Method 990.28.
- [2] AOAC International: *Official Methods of Analysis of AOAC* (2005), 18th Edition, ed. Horwitz W., Gaithersburg: MD, Method 990.29.
- [3] *The European Standard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

實驗四：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

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。



圖一：13 nm 金納米粒子的
投射電鏡圖 (TEM Image)

金屬納米粒子與金屬材料，會有不同的物理和化學性質。

納米粒子的光學性質(光的吸收和發射)非常依賴粒子的化學成分，大小及形狀。我們可以透過控制反應條件去改變納米粒子的大小、形狀和形態，從而配合不同的應用。

食品安全近年來越來越受到大眾的關注，包括來自周邊地區進口的食品。其中一個食品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去增加其氮含量，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。嬰兒進食過量的三聚氰胺會有不良的後果，例如引起腎結石。所以，三聚氰胺的檢測方法在食品工業上開始受到重視。要檢驗乳製品如牛奶、奶粉內的三聚氰胺，實驗室大多應用色譜法。液相色譜法串聯質譜法(LC-MS/MS)可以作三聚氰胺的定量分析，其檢定極限為數個 ppm (parts per million)。

配合學校的環境，我們希望可以利用金納米粒子 (AuNP) 建立一個簡單和靈敏度高的方法去檢測奶類製品的三聚氰胺。在這實驗中，學生將會把納米化學應用在高中材料與分析化學的課程內容中的食物測試。本次實驗將會採用檸檬酸鈉還原法把 Au(III) 還原至 Au(0) 去合成粒徑為 13nm 的 AuNP。AuNPs 會平均地分散在水裡

而呈現清澈的酒紅色。此 AuNP 溶液可作為探針去檢測奶類中三聚氰胺的含量。在檢測三聚氰胺前，所有奶類樣本必須先進行處理，去除奶類製品的蛋白質和脂肪。學生將會學到有關沉澱的化學知識並得到掌握固相萃取(SPE)這種常用於檢測和認證業的一種方法。

當三聚氰胺存在時，AuNP 和三聚氰胺之間會建立氫鍵（每個三聚氰胺分子提供三個建立氫鍵的位置），當 AuNP 和三聚氰胺結合時，會誘導 AuNPs 產生團聚，從而引起 AuNPs 溶液的顏色和吸收光譜發生變化，AuNP 的顏色會由酒紅色變成紫色。此顏色轉變跟 AuNP 的粒徑是有關的。當三聚氰胺濃度提高時，結合作用的效果越強，所以 AuNP 的顏色轉變越大。

當奶類製品受三聚氰胺污染的事件曝光後，開始有本地實驗獲香港認可處認可提供三聚氰胺檢測，他們的服務可為奶品製造業滿足本港以及世界其他地區包括歐盟和美國的相關法例。

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在運作，及在食物安全的貢獻；
2. 使用適當的樣品前處理方法去從奶製品和奶粉中提取三聚氰胺；
3. 納米材料的預備與應用的概念；
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

實驗與儀器

- 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

- 25 毫升 0.1M 氯金酸 ($\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) [27988-77-8]
- 1 升 檸檬酸鈉 (Sodium Citrate dehydrate) [6132-04-3]
- 1 升 三氯乙酸 (TCA) [76-03-9]
- 24 毫升氯仿 (CHCl_3) [67-66-3]
- 750 毫升濃鹽酸(HCl) [7647-01-0]
- 250 毫升濃硝酸(HNO_3) [7697-37-2]

● 250 毫升乙腈 (Acetonitrile)

[75-05-8]

實驗預備

標準溶液可按以下圖表配製：

標準液	表述	化學品	數量	去離子水量	備注
1*	0.1M 氯金酸	含三結晶水的氯金酸	1.0 克	25.0 毫升	要在 4°C 保存
2	38.8mM 檸檬酸鈉	含二結晶水的檸檬酸鈉	11.45 克	1.00 升	在室溫中儲存
3	10% 三氯乙酸	三氯乙酸	105.5 克	1.00 升	
4	王水**	(750 毫升濃鹽酸 + 250 毫升濃硝酸)放置在 1 升的容量瓶			
5	固相萃取沖洗液	(250 毫升乙腈 + 25.0 毫升 去離子水)放置於 500 毫升的容量瓶			

*標準液 1 至 5 的配備可足夠全班實驗使用。

**使用過的王水可以保留下來供以後五次的使用。

在每組實驗操作中，上列的標準試劑，可以以下的份量分配：

試劑	用量
0.1 M H _{AuCl₄}	1 毫升
38.8 mM 檸檬酸鈉	10 毫升
10% 三氯乙酸	10 毫升
固相萃取沖洗液	20 毫升
氯仿	5 毫升

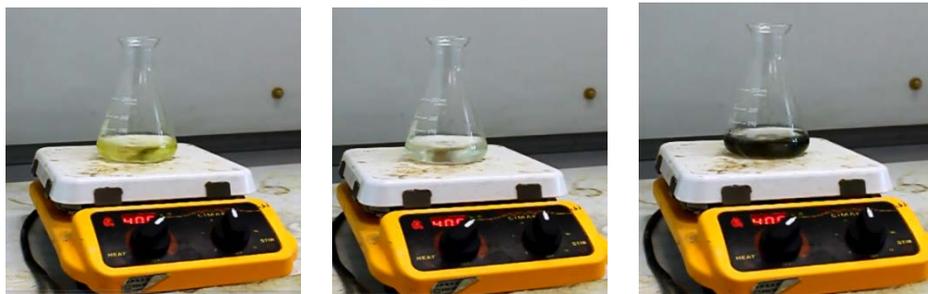
實驗步驟

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 的 0.10 M 的氯金酸稀釋至 50 毫升濃度為 0.1 mM 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（見圖二）。
4. 當溶液沸騰時，迅速加入 5 毫升 38.8mM 的檸檬酸鈉溶液到氯金酸溶液，然後放數粒冰塊在表面玻璃之上使熱蒸氣可以凝結。
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：



圖二: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. AuNP 測試溶液的預製

- 1 利用移液管把 5 毫升 的 AuNP 溶液移到 25 毫升的容量瓶
- 2 加入純水到刻度線

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 μ L 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 (看圖三)
- f. 根據數據表把離心管標籤

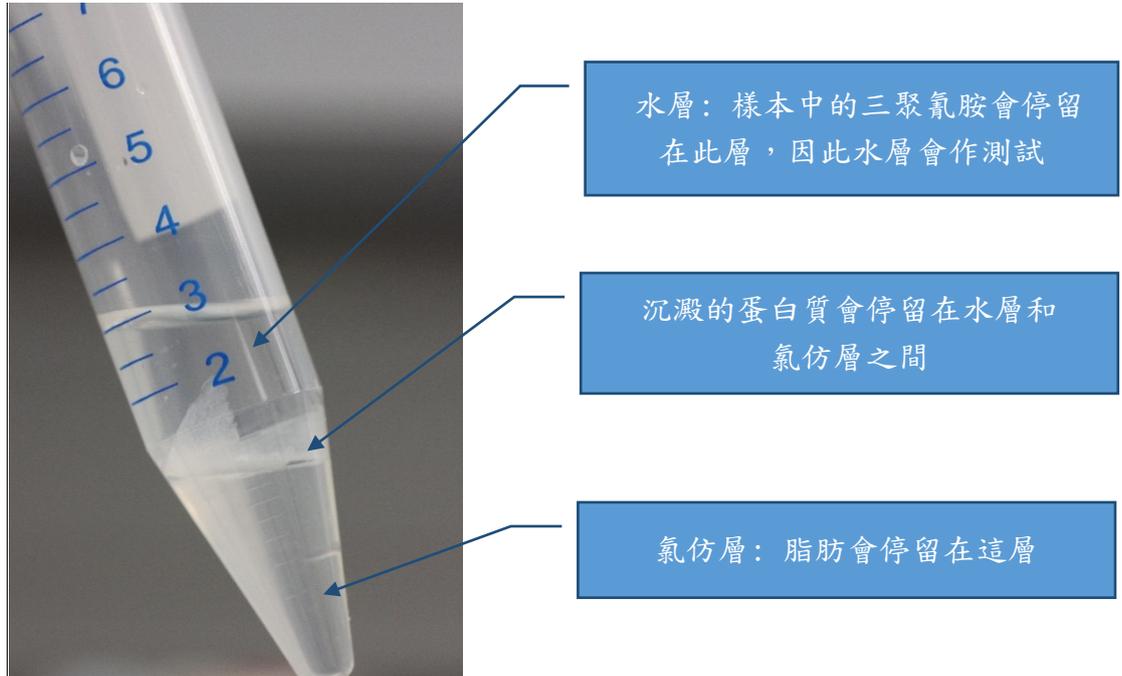


圖三. 離心管應水平設置在離心機裡，確保質量相同

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 μ L 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

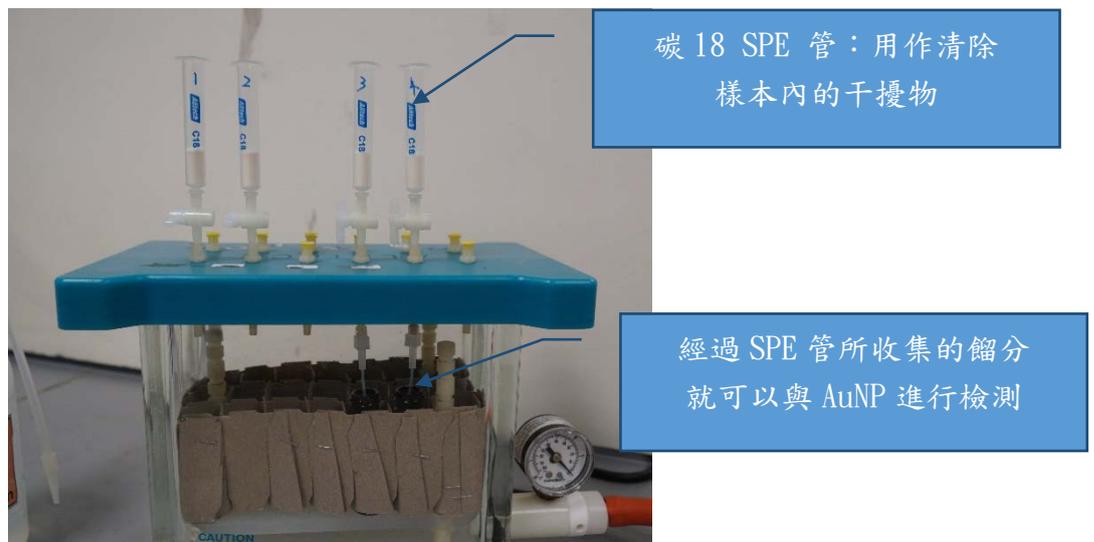
- b. 關上離心管的蓋子然後大力搖晃離心管
- c. 於另一對照樣本（沒有三聚氰胺的樣本），重複步驟 2a-2c
- d. 混合物以 4000 rpm 離心 10 分鐘
- e. 根據數據表把離心管標籤



圖四. 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



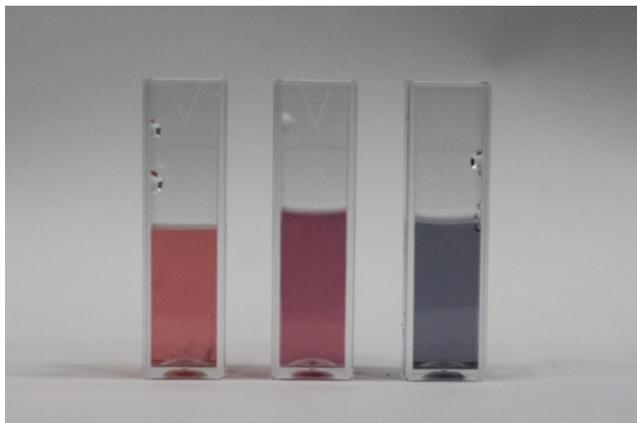
- d. 根據上圖放置一個小玻璃瓶在 SPE 裝置下
- e. 開始抽真空然後打開開關閥門
- f. 從玻璃瓶子收集餾分
- g. 於樣本 1 至 3 重複步驟 3a-3d
- h.



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 μL 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



圖五：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)

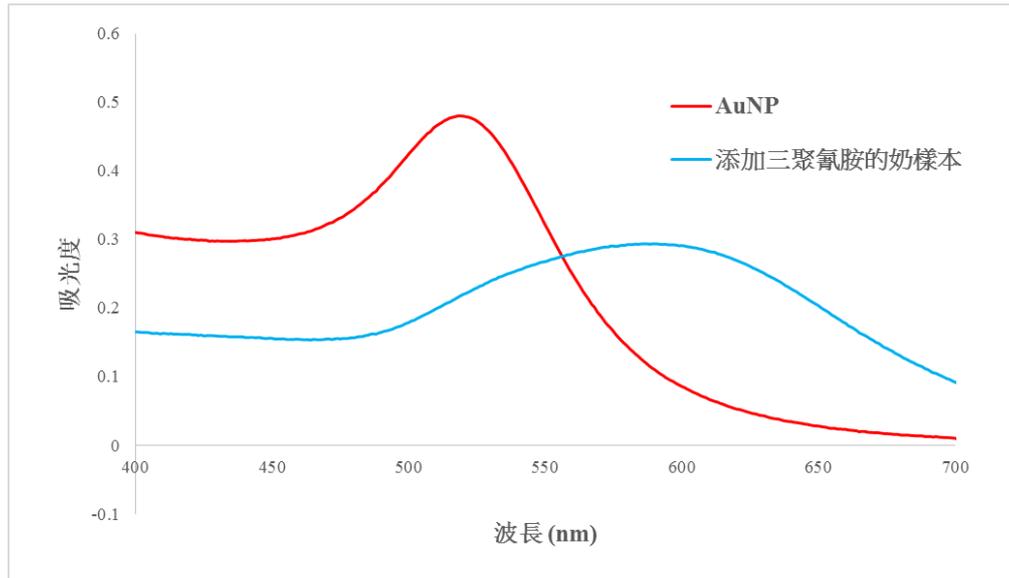
安全事項

- 學生必須在實驗過程中戴上護目鏡和穿上實驗袍；
- 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。

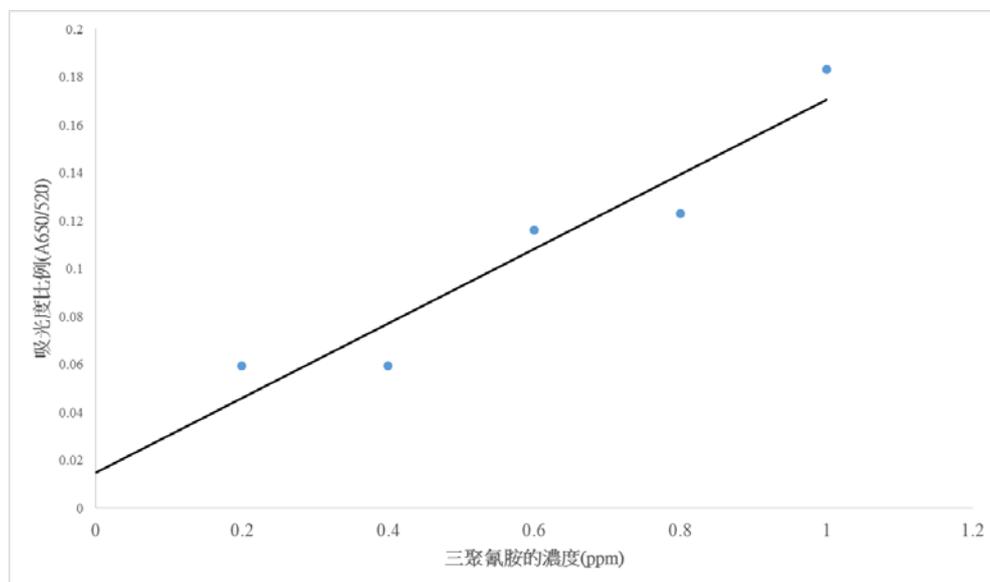
結果與討論

如果樣本內含有三聚氰胺，而且含量由數個 ppb 到數百個 ppm，AuNP 會迅速出現明顯的顏色轉變，顯示出三聚氰胺的存在，之後可再考慮是否需要做一些更加準確的分析方法去判斷三聚氰胺的含量。

如圖六和七所示，透過 AuNP 配合紫外—可見分光光度法(UV-vis Spectroscopy) 作為檢測。



圖六：AuNP 溶液和添加了三聚氰胺和牛奶樣本的 AuNP 溶液(Spike Sample)的光吸收曲線，可見添加樣本的吸收峰向右移。由此推斷 AuNP 會誘導三聚氰胺結合，產生團聚。



圖七：0 - 1 ppm 三聚氰胺和 AuNP 的標準曲線。這顯示出三聚氰胺的含量可以透過 AuNP 配合紫外—可見分光光度法(UV-vis Spectroscopy)作為檢測。

此外，使用高效液相色譜法串聯質譜法(HPLC-MS)可以應用在三聚氰胺的檢測上去提供一個更加準確的定量和定質分析。

結論

比色法和納米科技都是中學文憑試化學科和物理科所包括的選修課題。透過這兩小時的實驗，學生對這個快速、簡單、成本低廉又不失靈敏度的檢測方法加強認識。這個方法不涉及先進儀器，如高效液相色譜法串聯質譜法(HPLC-MS)，卻可以媲美高級儀器的檢測效果。此外，學生亦可透過實驗了解檢測程序中樣本前處理及和化學儀器分析，增長化學應用的知識。

問題與答案

1. 標示由三水合四氯金酸生成 AuNPs 過程中的顏色轉變。

淡黃色 → 透明 → 深藍色 → 酒紅色

2. 檸檬酸鈉在 AuNP 的合成過程中扮演什麼角色？

檸檬酸鈉有兩個作用：*(i)* 作為還原劑把 Au(III) 還原到 Au(0)；*(ii)* 在合成 AuNPs 時作為穩定劑(避免 AuNP 之間進行結合從而令到 AuNP 的粒徑進一步增加)

3. 解釋碳 18 SPE 管的功用為何？

清除牛奶樣本裡的干擾物(非極性的物質)

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？

學生可選答是或否；如答是，這方法提供了一個低成本但快捷的檢測方法。此外，這方法並不需要複雜的儀器如液相色譜法串聯質譜法(LC-MS)

如答否，三聚氰胺和 AuNPs 之間的氫鍵並不是特定的對象，樣本裡可能會有其他干擾物可以跟 AuNPs 產生氫鍵而影響結果

數據表

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 毫升	7.5 毫升	1 毫升	1 毫升		
2		液態	0.5 毫升	7.5 毫升	1 毫升	1 毫升		
3		固態	0.5 毫升*	7.5 毫升	1 毫升	1 毫升		
4		固態	0.5 毫升*	7.5 毫升	1 毫升	1 毫升		

*量度 0.1 克 的奶粉樣本然後加入 1 毫升 純水

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

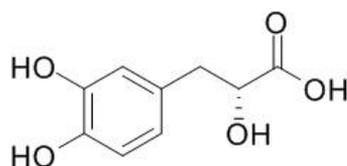
每天有大量的傳統中草藥（TCM）材料進口到香港。這些草藥原料會被分發到藥材店以不同的方式進行銷售。現時，有一種簡易的化學測試可以快速地鑑定中藥。這種方法是基於選擇中藥內的特定化學成分，然後進行試管規模的化學反應。由於單一中藥也可能含有超過幾十甚至上百種化學成分，這些化合物的化學官能團可以與某些特定的試劑反應，並產生各種顏色和沉澱物或結晶。通過觀察化學反應的結果，可以得出初步鑑定。簡易的化學測試主要包括觀察試管內的反應結果，即是觀察在中藥提取的化學成分在試管內與適當的試劑之間的預期化學反應。

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。

應用鐵(III)氯化溶液於檢測在丹參的酚類官能團的存在，是一個例子來說明分析化學的在食品和藥品的分析的貢獻，這也是高中化學課程的一個重要原素。除此之外，可以擴大學生知識中涵蓋有機化合物的各種官能團的典型反應。它亦旨在激發學生的興趣，進一步探索現代儀器如高效液相色譜法，在日常生活中的應用。

近年，東方人社會更廣泛採用中藥作治療和保健用途，對中藥的需求亦隨之迅速增長。然而，很多中藥以乾燥形式儲存和應用，而一些中藥的形態及外表非常相似卻可能有完全不同的藥性和治療功能。因此中藥的鑑定更加重要。

預期的學習的目標

透過這實驗，期望學生可以：

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. 掌握用顏色測試作定性分析所選擇的分析物。

實驗設備

- 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 [120-80-9]
- 氯化鐵 [7705-08-0]
- 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)，並使用攪拌機砸碎固體樣品成粉末狀。

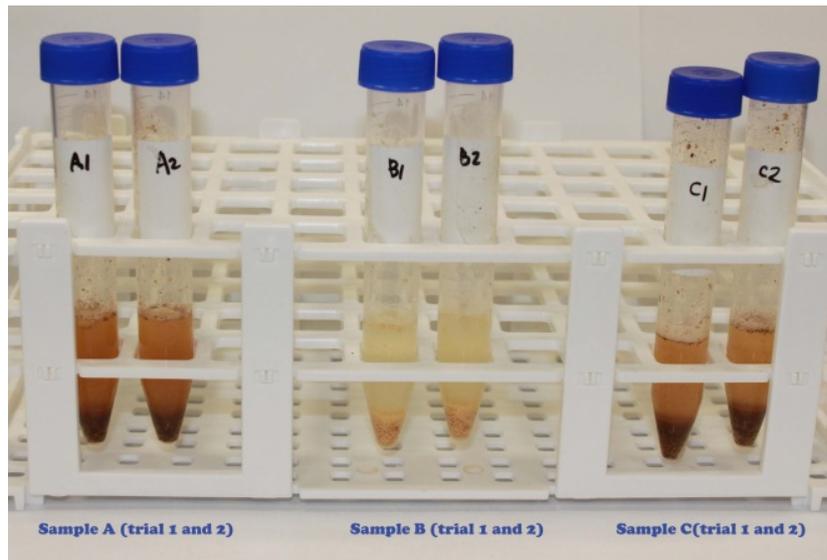
實驗步驟

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)。



圖二：用攪拌機來將固體樣品砸碎成細粉

3. 在離心管中混合 0.1 克粉狀樣品於 4 毫升的去離子水。



圖三： 樣品 A：(丹參源頭 A) 作為陽性對照；
樣品 B：(人參) 作為陰性對照；
樣品 C：(丹參源頭 B) 作為樣本。

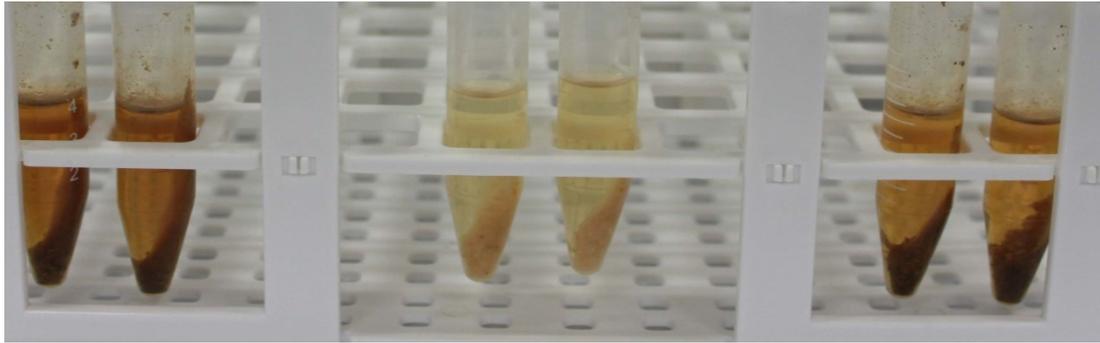
樣品 A 和 B 可從有商譽的中藥材店購買，作對照用；而樣品 C 可從普通的中藥材店購買，以作測試。各樣品必須砸碎成細粉才可進行實驗。

4. 在水浴將混合物加熱 15 分鐘，然後冷卻。



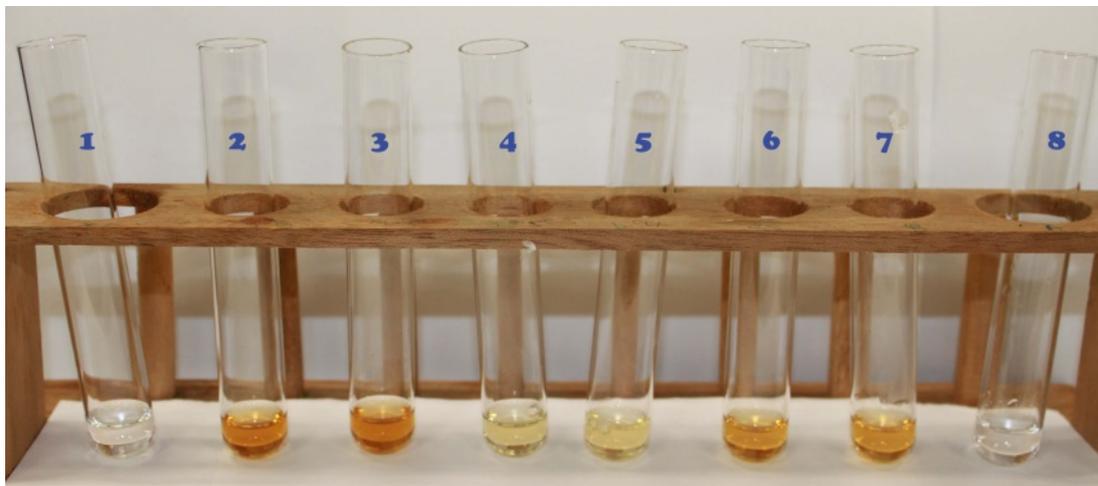
圖四：熱水浴萃取的設置。

5. 使用離心機將固體樣品和液體分開。



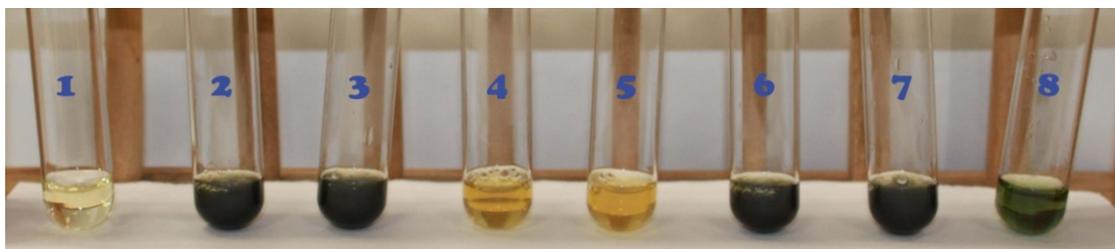
圖五：離心分離後，懸浮的固體粘附到離心管的內壁。

6. 將 1 毫升上清移到另一支空的新試管內。



圖六：試管 1：空白（水）；試管 2：陽性對照（試行 1）；試管 3：陽性對照（試行 2）；試管 4：陰性對照（試驗 1）；試管 5：陰性對照（試驗 2）；試管 6：樣品（試驗 1）；試管 7：樣品（試驗 2）；試管 8：1,2-苯二酚（化學標準）。

7. 添加 0.1 毫升三氯化鐵指示劑溶液到每個試管中。



圖七：試管 1：空白（水）；試管 2：陽性對照（試行 1）；試管 3：陽性對照（試行 2）；試管 4：陰性對照（試驗 1）；試管 5：陰性對照（試驗 2）；試管 6：樣品（試驗 1）；試管 7：樣品（試驗 2）；試管 8：1,2-苯二酚（化學標準）。

8. 記錄每支試管的顏色變化。

安全預防措施

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

結果及討論

外觀形態

	樣品 A	樣品 B	樣品 C
形狀	小型根狀	淺黃色片	大片根狀
顏色	暗紅色	淺黃色	紅色
粉末狀時顏色	淡紅色	淺褐色	淡紅色

提取溶液的顏色

試管	內容	顏色
1	去離子水	無色
2	樣品 A (試行 1)	金黃色
3	樣品 A (試行 2)	金黃色
4	樣品 B (試行 1)	淺黃色
5	樣品 B (試行 2)	淺黃色
6	樣品 C (試行 1)	黃色
7	樣品 C (試行 1)	黃色
8	化學標準	無色

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	去離子水	淺黃色
2	樣品 A (試行 1)	深綠色沉澱物
3	樣品 A (試行 2)	深綠色沉澱物
4	樣品 B (試行 1)	淺黃色
5	樣品 B (試行 2)	淺黃色
6	樣品 C (試行 1)	深綠色沉澱物
7	樣品 C (試行 1)	深綠色沉澱物
8	化學標準	深綠色

使用熱水浴萃取法，可以選擇地提取丹參中的水溶性的化學物質。通過三氯化鐵指示劑進行反應，就會生成綠色絡合物。該實驗中，去離子水的控制測試，用作避免污染的風險。試管 8 是參考的化學標準，為陽性實驗所產生的綠色提供了一個基準色。

結論

丹參可從類似的中藥中以一種簡便試管規模試驗區分出來。實驗室活動包括兩個步驟：(1) 提取一個真實中藥樣品的活性成分；(2) 用一個簡單的定性分析方法，確認在草本植物的必不可少的組成主要成分。這樣的分析方法亦可以擴展到其他中國草藥。

問題與答案

1. 為什麼要用攪拌機預先處理樣品？

將固體樣品砸碎成細粉可以增加表面面積，因此提高提取效率

2. 請建議另一種方法可從丹參提取水溶性化學品。

通過用較長時間回流法，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）？

確保顏色變化是由於有酚類官能團的化學品存在樣品中

4. 我們為什麼需要重複實驗？

增加實驗的準確度

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？

丹參其實含有大量不同的水溶性化學學物，這些化學物質亦干擾本測試，因而產生的顏色變化和標準產生的，有輕微分別。

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”）

有的，香港衛生署（中醫藥事務部）在2002年已開始制定”香港中藥材標準”項目。至今已包含299種中藥材在內。

參考資料:

[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

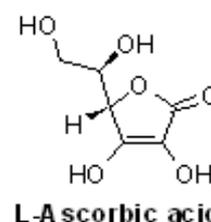
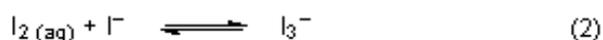
實驗六：以碘滴定法測試維他命他命商品和鮮榨果汁的 維他命 C 含量

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。



現時高中的化學課程已涵蓋滴定分析法，當中亦要求學生掌握氧化還原過程化學。此實驗的原理和內容可以加深老師和學生對氧化還原過程的滴定分析法的重要性

以及使用合適檢測方法去量化維他命 C 在水果中的含量。

由於食物中的維他命 C 含量檢定有利公眾健康，因此，相關的食物分析是檢測和認證業界的其中一項重要的工作範疇。此檢驗在食物分析的檢測業界是一項重要的範疇。AOAC 認可的標準檢測方法 967.21 和 967.22 都受到本地化驗所廣泛利用。

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行業的運作；
2. 使用合適的採樣方法提取新鮮水果中的維他命 C；
3. 使用碘量法測定維他命 C；
4. 掌握分析化學中準確性和精確度的概念。

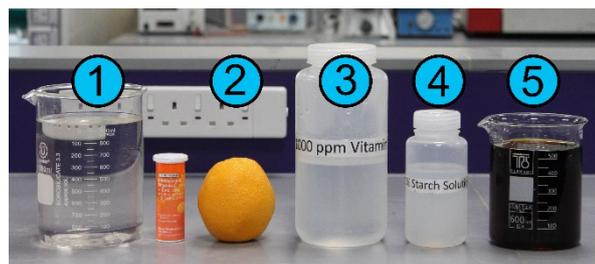
實驗部份

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 [7681-11-0]
- 碘酸鉀 [7758-05-6]
- 硫酸 [7664-93-9]
- L-抗壞血酸（維他命 C） [50-81-7]
- 澱粉 [9005-25-8]



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. 把鮮橙切一半；
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 0.25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

註：受兩節的實驗課的時間所限，我們建議學校的實驗室技術員可先準備維他命 C 標準溶液和碘溶液。

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 1-2 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)。

結果與討論

觀察

1. 在碘溶液標準化的滴定終點時，溶液的顏色發生變化，從無色到藍色。
2. 在測定的維他命 C 含量的滴定終點時，溶液的顏色從淺黃色變為暗黃色。

數據和數據處理

碘化鉀的重量 = 5.08 克

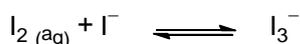
碘酸鉀的重量 = 0.2720 克

純維他命 C 的重量 = 0.2511 克

鮮榨果汁的總體積 = 90 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)	0.00	14.50	28.80
最後滴定管讀數 (毫升)	14.50	28.80	43.10
使用碘溶液體積 (毫升)	14.50	14.30	14.30



∴ 摩爾比 $\text{I}_2 : \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 = 1 : 1$

在各試驗中使用的抗壞血酸的摩爾數 = 1.43×10^{-4} 摩爾

碘溶液中使用的平均體積 = 14.37 毫升

∴ 碘溶液的實際濃度 = 0.00995 克分子濃度

注意事項:

- [維他命 C 的摩爾數] = [維他命 C 的質量(克)] / [維他命 C 的摩爾質量(克/摩爾)]
- 維他命 C 的摩爾質量 = 176.12 克/摩爾
- [碘的濃度(克分子濃度)] = [維他命 C 的摩爾數(摩爾)] / [體積(公)]

作為滴定劑，碘溶液必須在使用前使用已知摩爾濃度的 L-抗壞血酸標準化。碘和碘化物之間的平衡反應中包括活性三碘化物離子。三碘化物含量的濃度會從預期值發生變化。如果不進行標準化，將會在測量產生誤差。

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)	0.00	13.90	27.50
最後滴定管讀數 (毫升)	13.90	27.50	41.20
使用碘溶液體積 (毫升)	13.90	13.60	13.70

注意事項：

- [碘的摩爾數(摩爾)] = [碘濃度(克分子濃度)] x [體積(公升)]
- 如上述所示，碘溶液的實際濃度 = 0.00995 克分子濃度
- 維他命 C 的摩爾質量 = 176.12 克/摩爾
- [維他命 C 的質量(克)] = [維他命 C 的摩爾數(摩爾)] x [維他命 C 的摩爾質量(克/摩爾)]

碘溶液使用的平均體積 = 13.73 毫升

碘使用的平均摩爾數 = 1.36×10^{-4} 摩爾

維他命 C 的平均摩爾數 = 1.36×10^{-4} 摩爾

維他命 C 含量的質量測定 (毫克) = 24.06 毫克

∴ 維他命 C 在片劑中的含量 (毫克) = 962.4 毫克在每一片劑中

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)	0.00	11.20	27.40
最後滴定管讀數 (毫升)	8.60	19.60	36.10
使用碘溶液體積 (毫升)	8.60	8.40	8.70

碘溶液使用的平均體積 = 8.57 毫升

碘使用的平均摩爾數 = 8.52×10^{-5} 摩爾

維他命 C 的平均摩爾數 = 8.52×10^{-5} 摩爾

維他命 C 的含量 (毫克) = 15.01 毫克

∴ 新鮮果汁中的維他命 C 含量 (毫克) = 54.04 毫克

採用先進的檢測儀器進行測量

按照 AOAC 官方方法 967.21, 食物中的維他命 C 含量可通過 2,6-二氯滴定法測定^[1]。除了有顏色的果汁, 該方法適用於各種水果。此外, 維他命 C 可以通過光譜法 (AOAC967.22) 來測定^[2], 其中通過氧化脫氫抗壞血酸轉化為抗壞血酸。然後脫氫抗壞血酸跟鄰苯二胺反應以形成在溶液中的熒光體。之後, 熒光的強度被測量並與一個標準的熒光作比較。另一方面, 維他命 C 亦可通過高效液相色譜法耦合到紫外線檢測器來確定^[3]。政府化驗所已開發了高效液相色譜法耦合到紫外線檢測器測定奶粉中的維他命含量^[4]。但是, 這兩個光譜和色譜方法需要特定樣品預處理提取方法。

結論

『氧化還原滴定』是建基於檢測物和滴定試劑的氧化還原反應的一種滴定方法, 此技術可避免使用繁複的樣品前處理而直接將維他命定量。透過此實驗, 學生可以獲得氧化還原化學應用於定量分析的概念, 這實驗所得到的數據可用作對比香港法例的數字, 從而讓學生建立對食物營養成份的認知和食品分析的興趣。

問題和解答

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?

營養標籤指示所述片劑含有 1000ppm 的維他命 C, 這顯示了與實驗結果 962.4 很接近。

2. 選擇的水果是否維他命 C 的良好來源？請解釋。
建議的每天攝入維他命 C 對一個健康的成年男性約為 90 毫克，而成年婦女為 75 毫克。在該實驗中，橙發現含有 54 毫克的維他命 C，這被證明是一種良好來源。

3. 推薦的另一種方法，可以被用於確定維他命 C.

2, 6-二氯測定法

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在營養標籤上的所有項目作出測試？

嬰兒配方產品及就維他命 C 作出營養聲稱的食品的營養標籤中是需要包含維他命 C 的。

香港有商用測試實驗室可以測試在營養標籤上的所有項目。

參考資料

- [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>