

初中檢測認證 STEM 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

2022 年 7 月

目錄

	頁數
認識香港的檢測和認證行業	3
教師指引	
實驗 1：食品和個人護理產品中的著色劑分析	5
實驗 2：塑料產品類型的篩選測試	14
實驗 3：環境樣品中的細菌分析	21
實驗 4：釀酒與飲料中酒精的分析	30
實驗 5：「鬼口水」的製作和「鬼口水」中硼砂成份的分析	40
實驗 6：太陽能電池的製造和電性能測試	47

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

香港的檢測和認證業

檢測和認證業在我們的日常生活中發揮著重要作用，協助確保產品的質量和安全。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，例如公共衛生與安全、環境保護以及法律的執行等。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，它為香港和鄰近地區製造的消費品，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。行業亦為不同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，亦對香港的再工業化作出貢獻。行業透過向海外買家提供產品質量和安全保證，支援着香港的經濟發展。

在 2019 冠狀病毒病疫情期間，檢測和認證業在不同方面竭力協助本港社會抗疫。例如，業界為各種抗疫產品，例如外科口罩、酒精搓手液和紫外線消毒用品等的質素把關。除了提供 2019 冠狀病毒病核酸檢測和抗體檢測服務外，業界亦有參與污水監測計劃，檢測污水中的病毒含量，從而識別高危地點。

香港的認可制度

「認可」是由第三方發出證明，確認一間檢測和認證機構有能力根據國際標準提供特定的檢測和認證服務。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；及
- (iii) 香港檢驗機構認可計劃。

要獲得認可資格，檢測和認證機構須通過獨立技術專家的嚴格審查。機構獲取認可資格後，仍須接受定期監察和評審，確保持續符合訂明的標準。因此，認可檢測和認證機構發表的檢測結果在質素方面得以保證。有關香港認可處的認可服務，以及獲上述三個計劃認可的檢測和認證機構名單，可參閱香港認可處網頁（www.hkas.gov.hk）。

投身檢測和認證業

社會大眾對產品及服務質素要求愈來愈重視，因而對檢測和認證服務需求不斷上升，行業十分看重人才培育，並提供具吸引力的事業前景。

有興趣於畢業後加入檢測和認證業的學生，建議於高中時選修最少一個科學科目，例如生物、化學、物理、組合科學、綜合科學等。他們亦要致力加強語文技巧和科學思維能力。在專上 / 大學階段可選讀相關學科，例如科學、應用科學、工程、時裝與紡織等。本港的高等教育界更開辦了專為檢測和認證而設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）。

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，讓學生知悉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科學的興趣。

教師指引

實驗 1: 食品和個人護理產品中的著色劑分析

引言

著色劑廣泛用於食品、化妝品和個人護理產品中。一般而言，在食品中添加著色劑可以提高產品對消費者的吸引力，而在個人護理產品中加入色素，主要是以美觀為目的 [1]。

著色劑可以是有機或無機化合物，一般在製備消費品的過程中添加 [2]。它們可以來自天然物料，亦可以由人工合成。對於天然著色劑，一般從植物 (例如胡蘿蔔中的胡蘿蔔素) 或礦物質中提取獲得。但是，天然著色劑比較不穩定，容易被陽光和高溫降解。因此，合成著色劑的應用更為普遍。這是因為合成著色劑具有許多優點，例如容易溶於水基或油基的消費品，更耐光、氧氣和酸鹼值的變化，效果長時間持續和價格低廉。現時，部分天然著色劑已被合成著色劑取代 [3]。

合成著色劑分為五類：偶氮類、三芳基甲烷類、咕噸類、靛藍類和喹諾酮類。它們通常以鈉鹽形式存在以增加水溶性 [4]。檸檬黃和日落黃是偶氮基染料的典型例子，而亮藍屬於三芳基甲烷基團 (圖 1)。

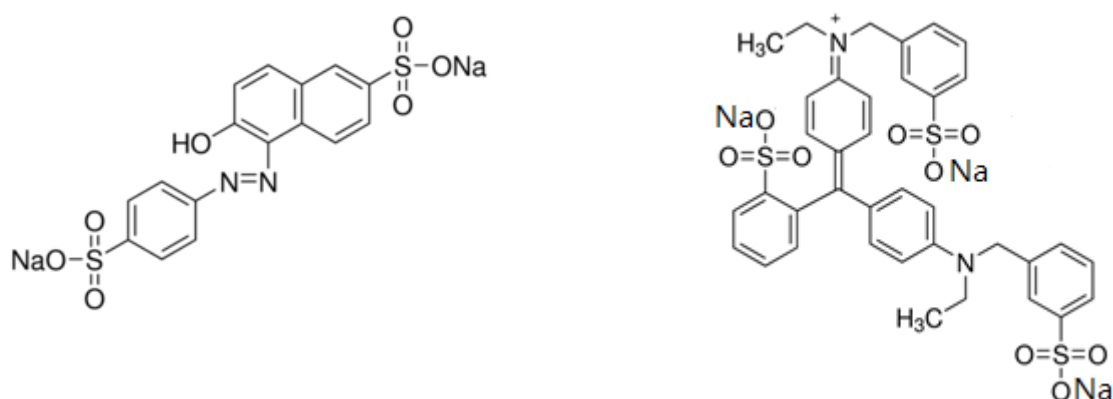


圖 1. 日落黃 (左) 和亮藍 (右) 的化學結構

《食物內染色料規例》(第 132H 章) 規定了香港可在食物中使用的准許染色料 [5]，而在未加工狀態的肉類、水果或蔬菜中並不准許添加色素。根據政府的食物安全中心的資料 [6]，現時有超過 50 種色素可供食用 (例如日落黃)。從 2007 年 7 月開始，食品添加劑的使用，包括在預先包裝食品中使用的色素，必須按功能類別和具體名稱或識別號在包裝上列出。例如，如果使用日落黃，它會在包裝上標記為“日落黃”或命名為“E110”。E 編號 (E 代表歐洲) 是歐盟內使用的作為食品添加劑的物質的代碼。

由於洗髮水和漱口水等個人護理產品主要用於皮膚和頭髮，因此可以同時添加多種著色劑。在香港，個人護理產品被定義為消費品，受《消費品安全條例》[7,8] 規管。使用的著色劑信息應在產品包裝上的配料部分列出，並帶有前綴“CI” (色素索引號) (例如，CI 42053 為固綠)。

為了解食品和個人護理產品中添加的著色劑是否符合規定，可以通過使用高效液相色譜儀 (HPLC) 或氣相色譜 (GC) 與質譜儀聯用進行分析。這些方法不但靈敏而且只需要

少量樣品進行測試。然而，這些測試成本高且樣品製備程序複雜。所以也可以使用紙色譜法來鑑定樣品中的著色劑成分。它是一種旨在根據化合物在流動相 (即水溶液或有機溶劑) 中的溶解度和固定相 (即本實驗中的色譜紙) 上的吸附特性的差異來分離化合物的技術。所以混合物中的未知著色劑也可以通過這種技術進行識別 [9]。

在紙色譜實驗中，簡單地比較每個成分的最終位置，就可以識別樣品中的未知成分。從測量每個成分在紙張上的移動程度，就可以計算它們的保留因子 (R_f)。而 R_f 定義為溶質 (即實驗中的著色劑) 在色譜儀上移動的距離與溶劑鋒面移動的距離之比 (圖 2)。

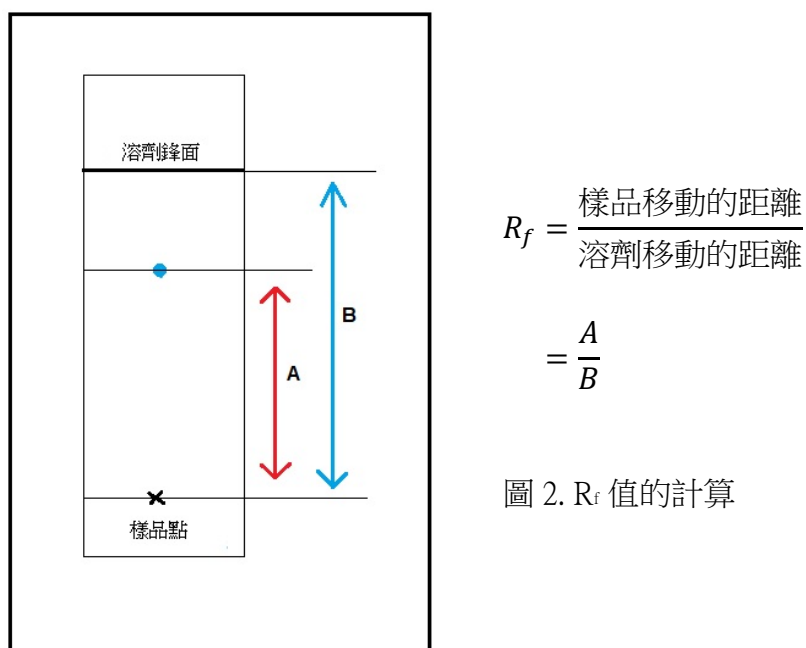


圖 2. R_f 值的計算

不同的著色劑在溶劑中的溶解度不同。隨著溶劑向上移動，易溶的著色劑將比不易溶的著色劑移動得更快。因此，易溶的著色劑將比難溶的著色劑具有更大的 R_f 值。通過將樣品中提取的著色劑的相應 R_f 值與化學標準品進行比較，可以確定樣品中的未知成分 (圖 3)。

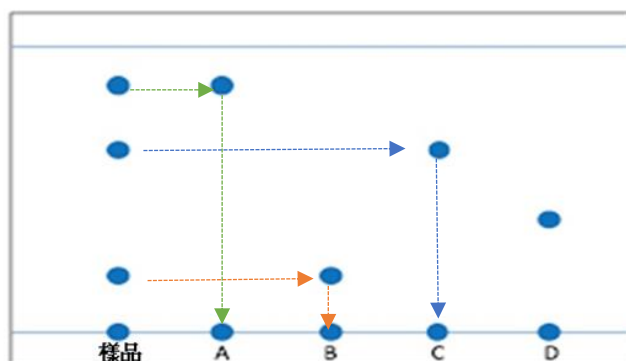


圖 3. 比較 R_f 值

預期的學習目標

透過這實驗，期望學生可以掌握：

1. 了解檢測服務在確保食品和個人護理產品質量和安全性的重要性，以及檢測在日常生活中的作用；
2. 使用簡單的設備構建紙色譜；
3. 用紙色譜法分析食品和個人護理產品中的著色劑；
4. 掌握 STEM 的基本概念。

實驗部分

設備

- 1 x 鉛筆
- 1 x 尺子
- 1 x 活頁夾
- 2 x 20 毫升小瓶
- 3 x 滴管
- 2 x 微量離心管
- 1 x 色譜紙 (8.5 厘米 x 5 厘米)
- 1 x 色譜室 (250 毫升燒杯)
- 1 x 錶面玻璃
- 1 x 小磁鐵
- 5 x 移液器吸頭 (用於應用樣品或標準品)
- 1 x 風筒
- 1 x 計時器

試劑和化學品

- 異丙醇 [67-63-0]
- 5 % 氨溶液 [7664-41-7]
- 日落黃 (E110) [2783-94-0]
- 誘惑紅 (E129) [25956-17-6]
- 亮藍 (E133) [3844-45-9]

【提示：著色劑可從烘焙用品店或化學品工公司購買。】

實驗預備

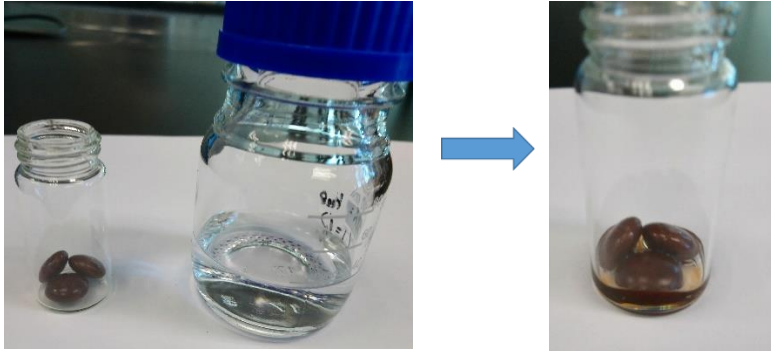
- 混合 10 毫升異丙醇和 10 毫升去離子水 (即異丙醇和去離子水的 1:1 混合物) 為萃取溶劑；
- 將 5 毫升異丙醇與 95 毫升 5% 氨溶液混合製備為展開溶劑；
- 製備三種著色劑標準溶液，每種溶液分別將 10 毫克標準溶於 1 毫升的 1:1 異丙醇和去離子水的混合物中。

實驗步驟

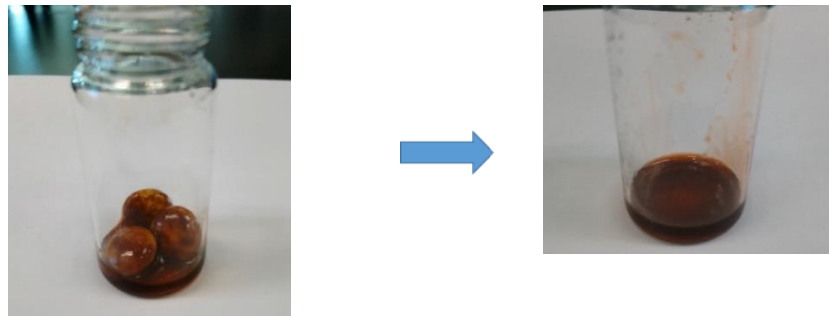
A. 從食物中提取著色劑 (例如糖果)

【提示：先查看樣品包裝上使用的著色劑信息。】

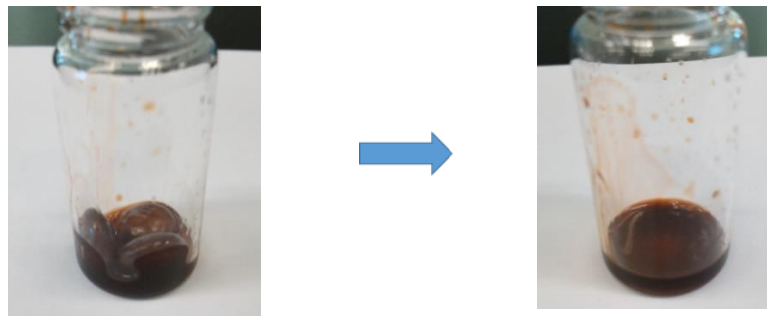
1. 將三顆相同的糖果放入小瓶中並加入 1 毫升萃取溶劑。



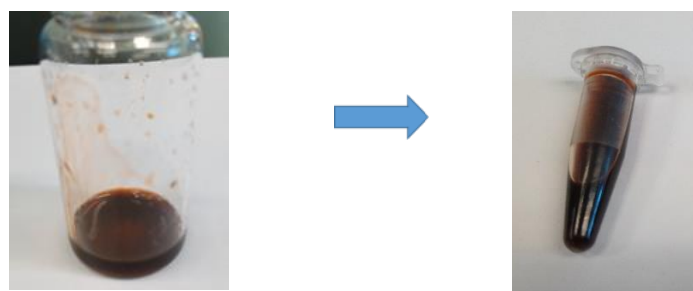
2. 擰緊蓋子並搖晃直到幾乎所有覆蓋的食用色素都溶解，然後小心地丟棄糖果。



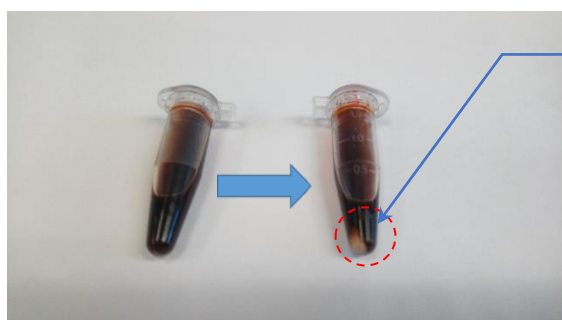
3. 在同一個小瓶中再加入三顆相同的糖果並重複步驟 2。



4. 使用滴管將小瓶中的所有提取液轉移到微量離心管中。



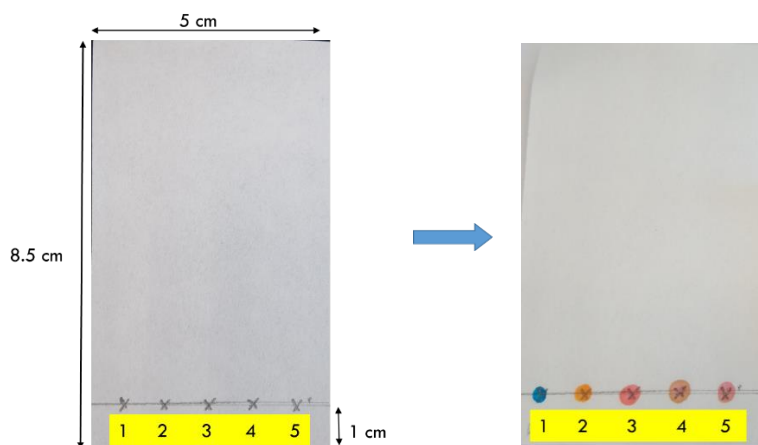
5. 將微量離心管放入離心機中，以 13,000 rpm 的速度旋轉 3 分鐘。
6. 離心後，獲得清澈的提取樣品。



未溶解的固體
會沉澱在底部

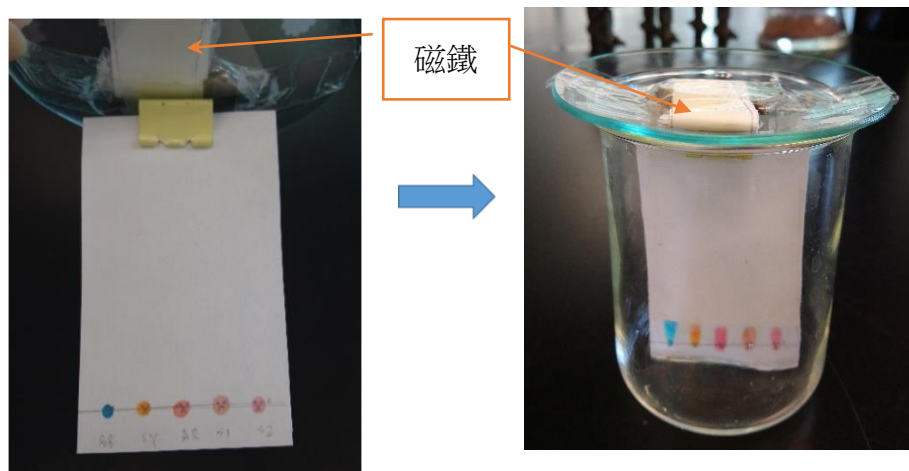
(左圖：離心前；右：離心後)

- B. 使用紙色譜法分析著色劑
1. 準備一條 5 厘米 × 8.5 厘米的色譜紙。
 2. 用鉛筆在距離條帶較短邊緣 1 厘米處畫一條水平線並標記五個 ‘X’ (三個標準和兩個樣品)。
 3. 使用移液器吸頭將化學標準品和樣品溶液點在色譜紙上。
【提示：顏色明顯的著色劑，點 1 至 2 點就足夠，否則需要重複點樣。】
 4. 讓色譜紙靜置 2 分鐘，讓其風乾。

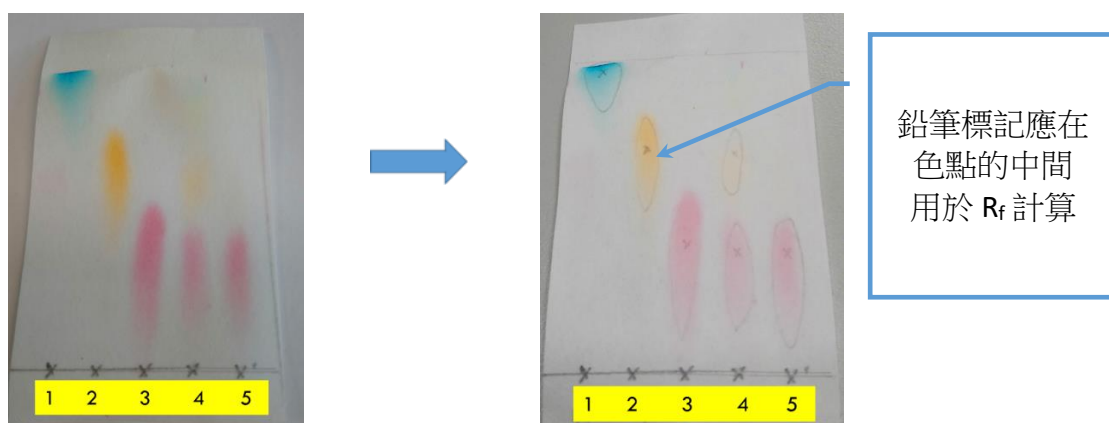


(1：亮藍；2：日落黃；3：誘惑紅；4：樣品 A；5：樣品 B)

5. 將 7 毫升展開溶劑加入 250 毫升燒杯中。
6. 用活頁夾夾住層析紙條。
7. 用磁鐵將活頁夾固定到手錶玻璃的凸面。
8. 將色譜紙非常緩慢及小心地放入燒杯中，並確保色點完全高於展開溶劑的表面水平。



9. 讓溶劑向上移動並等候約 15 分鐘。
10. 取出色譜紙並標記溶劑鋒面。
11. 用吹風機吹乾 (或風乾)。
12. 最後用鉛筆在色帶上標出著色最後劑的位置，並找出每個點的移動距離。

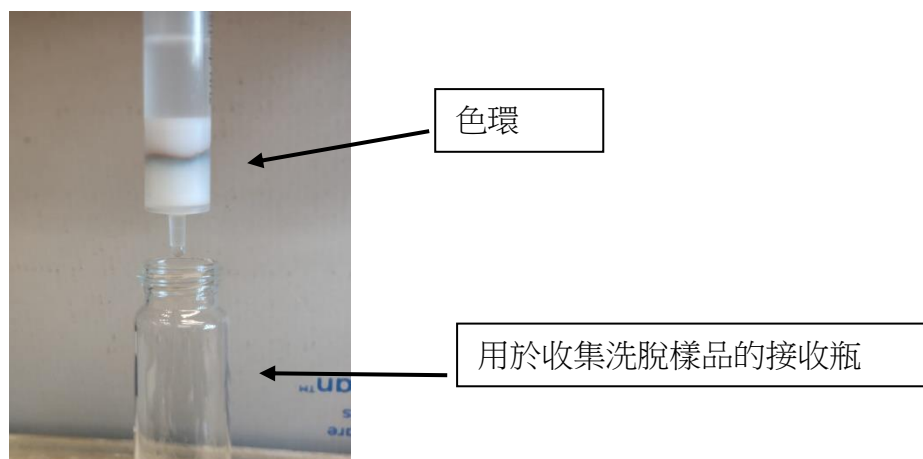


13. 比較樣品中著色劑的最終位置。
14. [挑戰] 學生可計算樣品中著色劑的 R_f 值。

C. 伸延/自選學習活動 — 分析飲料和個人護理產品中的著色劑

1. 活化：先用 5 毫升 甲醇，再用 5 毫升 2 % 甲酸/去離子水激活固相萃取 (SPE) 柱。
(SPE 的用途是預濃縮著色劑，並從樣品中去除任何不需要的材料。)
【提示：SPE 柱可從本地儀器商店購買 - EasySci Instruments Co. Ltd.、Tin Hang Technology Limited 和 Kou Hing Hong Scientific Supplies Ltd.】
2. 上樣：飲料樣品需要 100 毫升；而漱口水樣品則需 30 毫升。
3. 淋洗：接着用 3 毫升的 DI 水清洗柱子 5 次。
4. 洗脫：最後用 5 % 氨溶液洗脫著色劑。





5. 當色環到達色譜柱出口時，用接收瓶收集著色劑樣品。
6. 收集的樣品約 0.5 毫升。



7. 最後使用紙色譜分析樣品。



(左：芬達 (橙色) 的結果，1：日落黃，2：樣品，3：檸檬黃)
 (右：李施德林的結果，1：亮藍，2：樣品，3：誘惑紅)

安全提示

- 遵守實驗室活動的標準安全程序；
- 戴上安全護目鏡、實驗室工作服和手套；
- 化學品的材料安全數據表 (MSDS) 可在 MSDSonline.com 網站上在線獲取。

結果與討論

觀察

溶劑通過毛細管作用向上移動，然後穿過樣品點。樣品點中的著色劑溶解並隨溶劑向上移動。由於它們在色譜紙上的溶解度和吸附度的不同，不同的著色劑會以不同的速度移動，結果移動距離不同，然後計算和比較它們的 R_f 值。開始時色譜圖的發展會很快。然而，它會逐漸減慢，因為溶劑的上升依賴於展開溶劑的蒸氣含量。頂部區域的蒸氣含量比底部區域的蒸氣含量相對較低，因而導致溶劑緩慢向上移動。

數據與數據處理

	樣品 A	樣品 B
樣品顏色	棕色	紅色
使用的糖果數量	6	6
萃取溶劑的體積 (毫升)	1	1
樣品溶液的顏色	棕色	紅色

	標準 1	標準 2	標準 3
著色劑名稱	亮藍	日落黃	誘惑紅
E 號碼	E133	E110	E129
著色劑的顏色	藍色	黃色	紅色

溶劑鋒面距離 = 6.5 厘米

	色點的數量	色點的移動距離 (厘米)	R_f 值
標準 1	1	6.4	0.98
標準 2	1	4.1	0.63
標準 3	1	2.2	0.34
樣品 A	2	2.2 (點 1) 4.0 (點 2)	0.34 0.62
樣品 B	1	2.1	0.32

因此，樣品 A (棕色) 含有日落黃和誘惑紅，而樣品 B (紅色) 含有誘惑紅。

使用先進儀器/方法進行的測量

儘管紙色譜是一種簡單易用的技術，但它仍然有一些局限性。首先，樣品中的分析物濃度必須高，以便在顯影後可以看到混合物的每個成分。例如，檸檬黃 (E102) 的顏色強度不是很高，色譜圖展開後，因色帶會擴展而顏色會變暗，難以觀察。其次，溶劑在紙張邊緣蒸發不均勻，導致顏色也不均。第三，無法定量分析，不能確定樣品中分析物的數量。

為了克服上述限制，可以應用先進的化學儀器，例如，高效液相色譜與光電二極管陣列檢測器聯用(HPLC-PDA) 或質譜儀 (HPLC-MS) 耦合，以及氣相色譜與質譜 (GC-MS)。這些儀器可以檢測痕量的分析物。在提取和淨化過程之後，檢測可降至十億分之一(ppb) 的水平。通過了解每個成分的保留時間和峰面積，可以識別和定量樣品著色劑。

結論

通過應用紙色譜，可以分辨食品 (和個人護理產品) 中所含的著色劑。色譜紙上出現一個以上的斑點，說明樣品中含有一種以上的著色劑。計算樣品的 R_f 值，然後與化學標準中的 R_f 值進行比較，即可識別樣品中的著色劑。

問題與答案

1. 為什麼只能用鉛筆在色譜紙上做記號，而不能使用圓珠筆或記號筆？
因為圓珠筆或記號筆可能含有顏料，這些顏料會溶解在顯影溶劑中並導致誤差。
2. 為什麼需要離心機來預先處理樣品溶液？
使用離心機是要移去可阻塞毛細管的未溶解微粒。
3. 解釋您如何在此實驗中識別混合物的不同成分。
通過比較每個成分的最終位置 [及/或 R_f 值] 和查看色點數量，可以識別食品製備中添加的色素。

參考文獻

1. Lores M, Llompart M, Alvarez-Rivera G, Guerra E, Vila M, Celeiro M, Lamas JP, Garcia-Jares. Positive lists of cosmetic ingredients: Analytical methodology for regulatory and safety control-A review. Anal Chim Acta. 2016; 915:1-26.
2. Guerra E, Alvarez-Rivera G, Llompart M, Garcia-Jares. Simultaneous determination of preservatives and synthetic dyes in cosmetics by single-step vortex extraction and clean-up followed by liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. Talanta. 2018; 188:251-258.
3. De Boer L. Biotechnological production of colorants. In: Zorn H, Czermak P.(Eds) Biotechnology of Food and Feed Additives. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology 143, Springer, Berlin, 2013, pp.51-89.
4. Miniotti KS, Sakellariou CF, Thomaidis NS. Determination of 13 synthetic food colorants in water-soluble foods by reversed-phase high-performance liquid chromatography coupled with diode-array detector. Anal Chim Acta. 2007; 583(1): 103-110.
5. https://www.elegislation.gov.hk/hk/cap132H?xpid=ID_1438402693461_002
6. https://www.cfs.gov.hk/english/multimedia/multimedia_pub/multimedia_pub_fsf_07_02.html
7. https://www.elegislation.gov.hk/hk/cap456?xpid=ID_1438403216686_002
8. <https://www.elegislation.gov.hk/hk/cap456A>
9. Bachalla N. Identification of synthetic food colors adulteration by paper chromatography and spectrophotometric methods. IAIM, 2016; 3(6): 182-191.

實驗 2: 塑料產品類型的篩選測試

引言

塑料是一種廣泛的合成或半合成材料，以聚合物作為主要成分。聚合物通常由碳和氫組成，有時還包括氧、氮、硫、氯、氟、磷或矽。它們的彈性使塑料可被塑造、擠壓或壓製成各種形狀的固體物件。這種可塑性，加上其他特性，如重量輕、低導電性、耐用、低生產成本等，使塑料可以被製成各種各樣的產品。

塑料一般不能被生物降解，反而會分解成越來越小的塑料碎片，稱為微塑料。它們在海洋中更非常難以清除，結果往往是被魚類和其他海洋動物以及鳥類吞下。經分解後的塑料垃圾可以通過直接 (喝水) 和間接 (吃下動物) 吸收而損害我們的健康。

每天大約有 10,000 噸都市固體廢物被丟到堆填區。其中超過 20% 是塑料垃圾，重量相當於 90 輛雙層巴士。為了減少廢物的產生，並改善整體廢物管理的過程和計劃，我們應該在日常中實踐三個 R 原則：減少 (Reduce)、重複使用 (Reuse) 和回收 (Recycle)。



回收是將廢棄材料轉化為新材料和新物品的過程。由於塑料垃圾是不可生物降解的，而且會存在很多年，造成很多嚴重的環境污染問題，回收塑料垃圾成為非常重要的工作。為了促進塑料回收和更進一步回收改造，我們有必要識別塑料類型，因為有些塑料是不可回收的。此外，回收改造過程要求塑料屬於同一類型，這需要從混合物中分離/隔離不同種類的塑料。

所有塑料製品通常都印有樹脂代碼，這是一個帶箭頭的小三角形中標示 1 至 7 數字。它是一種稱為樹脂識別碼的分類系統。該數字代表產品的塑料樹脂種類，以便於回收或作其他再加工處理。



表 1. 塑料的樹脂識別代碼

編號	塑料名稱	例子
1	聚對苯二甲酸 (PETE)	飲料樽、食用油容器、膠花生醬瓶
2	高密度聚乙烯 (HDPE)	牛奶壺、洗髮水樽、清潔產品容器、洗潔精樽
3	聚氯乙烯 (PVC)	塑料管、兒童玩具、塑料托盤、家具
4	低密度聚乙烯 (LDPE)	塑料袋、密封袋、塑料桶、擠壓瓶
5	聚丙烯 (PP)	酸奶、酸奶油和人造牛油等的食品容器、吸管、樽蓋
6	聚苯乙烯 (PS)	發泡膠製品、玩具、外帶食品容器
7	其他	聚碳酸酯 (PC)、聚酰胺 (PA)、苯乙烯丙烯腈 (SAN)

3 號和 7 號通常不能回收，但它們可以轉化為有用的物品，如蛋盒、通風口擋板、減速帶、電纜、鑲板等。

實驗原理

物質的密度是它每單位體積的質量。例如 1 毫升純水重 1 克，所以純水的密度為每毫升 1 克 (1 克/毫升)。

在這個實驗中，包含三種常見類型塑料 (表 2) 的混合物，將通過基於密度的物理方法進行分離。將混合物放入水中，密度比水小的 PP 會浮起來，而密度大的 PS 和 PVC 會下沉。通過用鹽溶液 (密度 1.1 - 1.2 克/毫升) 重複這個過程，PS 會上浮，而 PVC 會下沉。首先將此原理應用於已知個別重量的標準塑料混合物，每個分離部分包含一種塑料 (透過重量證實)，因此也實現了初步識別 (圖 1)。最後，將該方法應用於分離塑料樣品並找出樣品中每種塑料的百分比。為了確認，可以進一步應用先進的化學儀器，例如紅外 (IR) 光譜和核磁共振 (NMR) 光譜。

表 2. 三種常見塑料的密度

塑料類型	編號 (樹脂代碼)	密度 (克/毫升)
聚丙烯 (PP)	5	0.90 - 0.91
聚苯乙烯 (PS)	6	1.05 - 1.07
聚氯乙烯 (PVC)	3	1.20 - 1.30

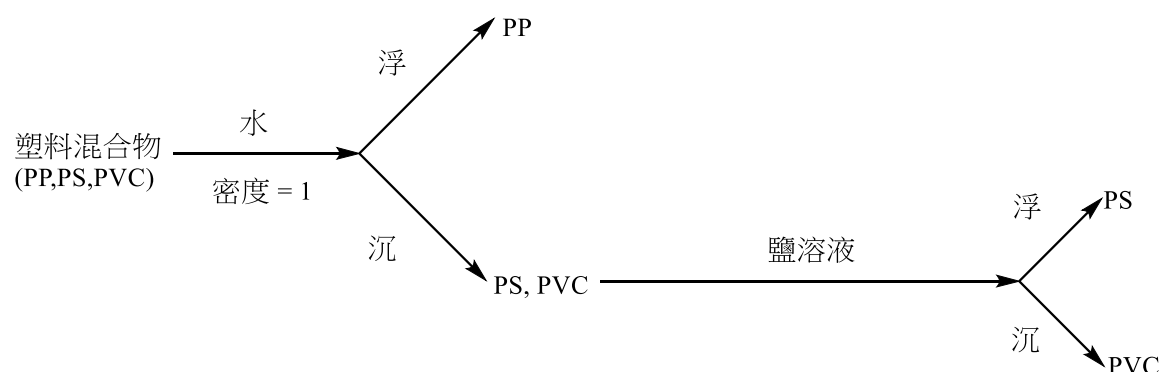


圖 1. 塑料的分離/隔離和初步鑑定方案。

預期的學習目標

透過這實驗，期望學生可以掌握：

1. 了解環境檢測服務的重要性，以及檢測在日常生活中的作用；
2. 根據不同密度的溶液對塑料進行篩選試驗；
3. 用浮選法鑑別不同塑料製品的塑料類型；
4. 掌握 STEM 的基本概念。

實驗部分

設備

- 3 x 50 毫升燒杯
- 2 x 1 公升燒杯
- 1 x 100 毫升量筒
- 6 x 表面玻璃
- 1 x 玻璃棒
- 1 x 抹刀
- 1 x 篩
- 1 x 湯匙
- 1 x 電子天秤
- 1 x 烤箱
- 1 x 比重計 (選項)

試劑和化學品

- 聚丙烯 (PP) [9003-07-0]
- 聚苯乙烯 (PS) [9003-53-6]
- 聚氯乙烯 (PVC) [9002-86-2]
- 氯化鈉 [7647-14-5]
- 去離子水



圖 2. 聚丙烯



圖 3. 聚苯乙烯



圖 4. 聚氯乙烯

實驗預備

- 收集不同種類的 PP、PS、PVC 塑料製品，切成 5 mm × 5 mm 左右的小塊，作為樣品。

實驗步驟

A. 氯化鈉溶液的製備

1. 將 115 克氯化鈉溶解在 800 毫升的去離子水中。
(此溶液的密度應為 1.1 – 1.2 克/毫升。)

【選項：用比重計測量氯化鈉溶液的密度。】

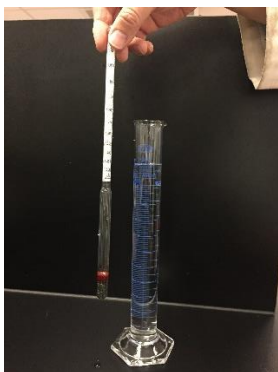


圖 5. 比重計

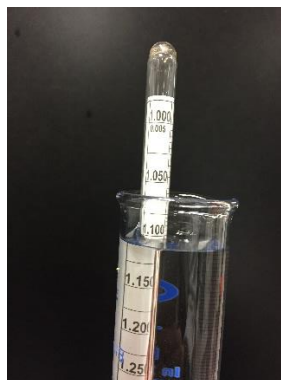


圖 6. 測量氯化鈉溶液的密度

B. 塑料標準品的分離

1. 稱取大約 2 克聚丙烯 (PP)、3 克聚苯乙烯 (PS) 和 4 克聚氯乙烯 (PVC) 標準品，並將它們放入 1 公升的燒杯中。
2. 在燒杯中加入 800 毫升去離子水。
3. 攪拌幾分鐘。
4. 用篩子收集漂浮的塑料並將它們放在一個表面玻璃上，這些應為 PP 標準品。



圖 7. 將去離子水加入塑料混合物中

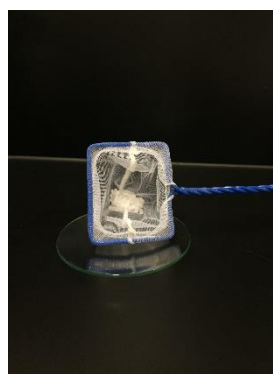


圖 8. 從混合物中分離/隔離 PP

5. 小心丟棄去離子水。
6. 將沉沒的塑料轉移到另一個裝有 800 毫升氯化鈉溶液的燒杯中。
7. 攪拌幾分鐘。
8. 用篩子收集漂浮的塑料並用自來水清洗，然後將它們放在另一個表面玻璃上，這些應為 PS 標準品。



圖 9. 將氯化鈉溶液加入混合塑料物中



圖 10. 從混合物中分離/隔離 PS

9. 收集並用自來水清洗沉沒的塑料，並將它們放在另一個表面玻璃上，這些應為 PVC 標準品。
10. 將三個盛載不同塑料標準品的表面玻璃放入 50 °C 的烤箱中 30 分鐘。
11. 30 分鐘後取出表面玻璃，讓其冷卻至室溫。
12. 稱量收集的每一部分塑料，並將結果與開始時混合的塑料標準品的重量進行比較。



圖 11. 分離/隔離的單個塑料標準品

C. 塑料製品的分離

1. 稱取 10 克塑料製品，放入 1 升燒杯中。
2. 重複以上步驟 B2 - B11。
3. 稱量收集到的每一部分塑料，根據 B 部分的結果確定塑料類型，並報告它們在樣品中的百分比。



安全提示

- 遵守實驗室活動的標準安全程序；
- 戴上安全護目鏡、實驗室工作服和手套；
- 化學品的材料安全數據表 (MSDS) 可在 MSDSonline.com 網站上在線獲取。

結果與討論

觀察

觀察塑料物品在已知密度液體中的浮沉行為，即密度較高的較重物品會下沉，反之亦然。

	顏色
氯化鈉	白色
氯化鈉溶液	無色
聚丙烯標準品	白色
聚苯乙烯標準品	白色
聚氯乙烯標準品	白色

數據與數據處理

比重計測量氯化鈉溶液的密度: 1.10 克/毫升

塑料標準品的分離

	類型	混合重量	分離後的重量
漂浮在去離子水中的塑料	PP	2.00 克	2.00 克
漂浮在鹽水上的塑料	PS	2.99 克	2.99 克
在兩種液體中下沉的塑料	PVC	3.99 克	3.99 克

塑料製品的分離

塑料製品重量: 10.34 克

	類型	重量	重量百分比
漂浮在去離子水中的塑料	PP	1.22 克	11.80%
漂浮在鹽水上的塑料	PS	5.06 克	48.94%
在兩種液體中下沉的塑料	PVC	4.02 克	38.88%

使用先進儀器/方法進行的測量

為了在分離/隔離後能準確識別塑料類型，可以進一步應用先進的化學儀器：

- 紅外 (IR) 分光光度法是一種測量塑料對紅外輻射吸收的技術。可以用作識別具有特定功能的塑料。
- 核磁共振 (NMR) 光譜是一種測量塑料分子結構的技術。測量前須先將塑料溶解在溶劑中。
- 差示掃描量熱法 (DSC) 是一種測量塑料在加熱時的物理特性 (即熱特性) 的技術。可以分別揭示熱容量和玻璃化轉變溫度。

結論

為了社會的可持續發展，塑料的有效回收和分離至關重要。這實驗利用不同塑料類型的物理特性 – 密度，通過浮沉法來區分它們的不同類別。使用純水以及特定濃度的氯化鈉鹽溶液，可以分離密度不同的三種塑料（即聚丙烯、聚苯乙烯和聚氯乙烯）。該方法效率高、成本低，不會對人類和環境構成毒害。

問題與答案

1. 什麼是密度？
物質的密度是它每單位體積的質量。
2. 給出一些帶有化學名稱或縮寫的塑料例子。
例如，六種不同消費品塑料，通常可在本地廢物中找到，即丙烯腈-丁二烯-苯乙烯 (ABS)、高密度聚乙烯 (HDPE)、聚對苯二甲酸乙二醇酯 (PET)、聚丙烯 (PP)、聚苯乙烯 (PS) 和聚氯乙烯 (PVC)。塑料垃圾的一個主要來源是家居和路邊垃圾。廢物來自紙板 (ABS)、牛奶瓶 (HDPE)、飲水瓶 (PET)、酸奶杯 (PP)、飲水杯 (PS) 和管道 (PVC)。
3. 塑料的本質是什麼？
塑料通常是有機聚合物。聚合物的化學性質一般與其合成、化學結構和分子量有關。聚合物的物理性能通常與其密度、拉伸強度和熱反應有關。¹
4. 是不是所有塑料都可以被生物降解？
不是。一般而言，只有具有酯功能基的聚合物可以被生物降解。一些由生物分子單體製成的聚合物 (生物聚合物) 亦可生物降解。¹
5. 為什麼大多數種類的塑料都放在一起，而在回收過程中需要將它們分開？
相同種類的塑料容器，例如水樽，可能不是由相同的材料製成的。浮沉法把塑料容器分離時無法按照它們的化學成分達致 100% 的精確度。² 配合回收過程，必須根據成分進行分類。
6. 如何將棕色回收桶中的塑料與一些金屬容器分開？
大多數回收工廠和回收站的分離程序都是自動化，由於不同物料的容器的形狀有所不同，機器會根據回收物的形狀把它們分類（或是：金屬容器可以用磁力分離）。在一些國家，金屬和塑料容器都透過同一款黃色桶收集。²

參考文獻

1. D. E. Fagnani, A. O. Hall, D. M. Zurcher, K. N. Sekoni, B. N. Barbu, A. J. McNeil, “Short Course on Sustainable Polymers for High School Students”, Journal of Chemical Education, 2020, 97, 2160-2168.
2. M. Barceló-Oliver, C. P. Cabello, J. Torrens-Serra, M. Miró, C. Cabot, R. Bosch, M. R. Delgado, “Scientific Activities for the Engagement of Undergraduate Students in the Separation and Recycling of Waste”, Journal of Chemical Education, 2021, 98, 454-460.

實驗 3: 環境樣品中的細菌分析

引言

微生物意指體積太小而不能被肉眼輕易看到的活生物體。它們非常多樣化，種類涵蓋細菌、真菌、藻類、一些極微細的動植物，甚至是病毒。微生物在維繫地球生態系統方面發揮著至關重要的作用；然而，有些微生物是致病性的，因為它們可能會侵入其他生物體內並在其中生長，最終導致人類、動物或植物產生疾病。

雖然我們可能看不到微生物，但它們幾乎無處不在，而通過使用適當的環境衛生手段，可以將有害微生物的數量降低到可接受的水平。這實驗設計為兩課堂時段的活動。在這項活動中，我們將嘗試利用營養瓊脂平板去揭示周遭環境表面微生物的存在，並了解常見的消毒產品 (如乙醇和漂白劑) 在減少微生物數量/生長方面的有效性。

微生物需要營養才能生長。營養瓊脂普遍用於學生基礎實驗課題，它可作為一般性培養基以支援對營養需求不高的細菌和真菌生長。微生物會以菌落的形式在固定的培養基上生長，令其可被肉眼所見。從觀察固定的瓊脂表面上的微生物菌群，我們無需使用複雜的實驗室儀器，也可以輕鬆對比測試樣本中微生物的密度。因此，我們可以從感興趣的表面收集樣本，並使用平板劃線法將微生物接種到營養瓊脂平板上。隨後，我們可以使用平板計數法通過菌落數算來估計微生物密度，以比較感興趣表面上微生物的存在。

在日常生活中，人們通常會使用不同類型的消毒產品來抑製或阻止有害細菌的生長。使用經過適當調整的 Kirby-Bauer 圓盤擴散測試，我們可以研究不同消毒溶液對特定類型微生物的有效性。表皮葡萄球菌 (*S. epidermidis*) 存在於正常人類菌群中，通常存在於皮膚上，一般對健康人士無致病性；因此，配合正確指導，它被認為是一種安全並且合適用於在學校實驗課堂中的微生物。在此活動中，我們會用塗抹法在營養瓊脂平板上製備細菌菌苔，再將消毒劑浸漬的濾紙擺在菌苔上，抑菌圈 — 細菌生長受到抑制而形成透明圈 — 將會形成，抑菌圈的大小或直徑可以反映消毒溶液對抗菌活性的強度。

本實驗課堂中涵蓋的技術和測試是非常基本但為不同行業所常用，包括食品、診斷微生物學、製藥和生物技術行業。

預期的學習目標

透過這實驗，期望學生可以掌握：

1. 了解檢測服務在確保消毒產品質量和安全性的重要性，以及檢測在日常生活中的作用；
2. 平板法分析環境樣品中細菌的數量；
3. 評估不同消毒產品的有效性；
4. 掌握 STEM 的基本概念。

實驗部分

設備

- 2 x 250 mL 試劑瓶
- 1 x 高壓滅菌器
- 1 x 水浴器或烤箱 (60°C)
- 8 x 100-mm 無菌一次性培養皿
- 1 x 本生燈 (選項)
- 1 x 大塑料袋 (選項，用於儲存瓊脂平板)
- 6 x 密實袋，6 cm x 9 cm (用於棉籤)
- 6 x 無菌棉籤
- 1 x 油性記號筆
- 1 x 管架 (用於 1.5 mL 離心管)
- 6 x 1.5 mL 無菌離心管
- 1 x 無菌培養管
- 1 x 37°C 培養箱，帶搖動功能
- 1 x 1 mL 移液器
- 1 x 200 µL 移液器
- 1 x 無菌 1 mL 移液器吸頭 (盒裝)
- 1 x 無菌 200 µL 移液器吸頭 (盒裝)
- 1 x 無菌 L 型塗布棒
- 1 x 一個無菌培養皿，內含 8 張無菌濾紙 (直徑 6 毫米)
- 1 x 鑷子
- 一些紙巾

試劑和化學品

- 營養瓊脂，脫水
- 營養肉湯，脫水
- 去離子水
- 無菌去離子水
- 75%乙醇 從本地商店購買
- 家用漂白劑溶液 從本地商店購買
- 滴露 Dettol 溶液 從本地商店購買
- *S. epidermidis* [ATCC 12228]

【註：可以大腸桿菌作為替代菌株。】

實驗預備

實驗第 1 天前的一天

- A. 無菌營養瓊脂溶液
(準備：5 分鐘；滅菌週期：120 分鐘)
1. 根據包裝說明，將營養瓊脂粉與去離子水混合，為每組學生在 250 mL 試劑瓶中製備 200 mL 營養瓊脂溶液。
 2. 在液體模式下，將溶液在 121°C 下高壓滅菌 20 分鐘。
【註：營養瓊脂粉在高壓滅菌器中進入滅菌循環後才會完全溶解。】

3. 滅菌完成後，使用前將熔化的營養瓊脂溶液冷卻至~50°C，或將其置於 60°C 水浴器 (或烘箱) 中直至進一步使用。

【註：60°C 是保持無菌營養瓊脂溶液為液體的良好溫度。當溫度低於 50°C 時，瓊脂溶液將開始凝固。】

【註：如果沒有高壓滅菌器，可以購買帶有營養瓊脂的即用型培養皿。】

B. 製備無菌營養肉湯

(準備：5 分鐘；滅菌週期：120 分鐘)

1. 在 250 mL 試劑瓶中製備 100 mL 營養肉湯，根據包裝說明將營養肉湯粉與去離子水混合。
2. 將溶液在液體模式下在 121°C 下高壓滅菌 20 分鐘 (此肉湯用於表皮葡萄球菌 (*S. epidermidis*) 發酵劑培養，無需分發給學生)。
3. 在 4°C 下儲存直至進一步使用。

* 以下準備工作 (C-H) 需要無菌技術：

C. 在無菌 1.5 mL 試管中製備 1 mL 以下試劑

(準備：15 分鐘)

試劑	所需管數
無菌去離子水	2
75%乙醇	1
1:99 Clorox 漂白劑溶液	1
1:99 滴露溶液	1

D. 準備無菌棉籤

(準備：5 分鐘)

1. 每組準備 6 支無菌棉棒，棉棒單獨包裝在乾淨的密實袋中。

E. 在無菌培養皿中準備無菌濾紙

(準備：5 分鐘)

1. 將 8 張無菌濾紙 (直徑 6 mm) 放入無菌培養皿中。

F. 準備表皮葡萄球菌 (*S. epidermidis*) 發酵劑

(準備：10 分鐘，孵化：24 小時)

1. 在無菌細菌培養管中加入 5 mL 無菌營養肉湯。
2. 將表皮葡萄球菌 (*S. epidermidis*) 原種接種到培養管中。
3. 在 37°C 培養箱中以 200 rpm 的速度搖動培養物 24 小時。

實驗第 1 天前的一天或實驗第 1 天

G. 準備營養瓊脂平板

(準備：10 分鐘，瓊脂凝固：30 分鐘) (此步驟學生可自行完成)

1. 【選項】 使用本生燈燃燒裝有無菌熔融營養瓊脂溶液的瓶口，如果需要，在本生燈旁邊工作。

【註：這可以殺死瓶口中任何不需要的細菌，並避免瓊脂培養基被空氣中不需要的細菌污染。】

2. 用一隻手輕輕掀開無菌 100-mm 培養皿的蓋子，用另一隻手將瓊脂溶液 (15 – 20 mL) 倒入培養皿中。蓋上蓋子，立即輕輕旋轉平板，使瓊脂溶液達到 3 – 4 毫米的均勻深度。
3. 準備其餘的盤子。每組需要八塊瓊脂平板，六塊用於 "環境表面研究"，兩塊用於 "消毒產品的效能查證"。
4. 將板放在工作台上至少 30 分鐘以使其凝固。



【註：如果打算改天使用瓊脂平板，請將它們放入塑料袋中，並在 4°C 下儲存直至下次使用。】

- H. 準備表皮葡萄球菌 (*S. epidermidis*) 稀釋培養物
(準備：10 分鐘)

1. 將 20 μ l 表皮葡萄球菌 (*S. epidermidis*) 啟動培養物與 980 μ l 無菌去離子水 (1:50) 混合到 1.5 mL 無菌試管中。

實驗步驟

提醒學生不要赤手接觸實驗台上提供的材料，並且在實驗期間使用之前不要取下蓋子。

- A. 環境表面研究 (實驗室第 1 天，30 分鐘)

環境取樣：

1. 為每組提供 6 支單獨包裝在密實袋的無菌棉籤。
2. 讓學生選擇五個他們感興趣的表面進行測試，並進行採樣：
 - 2.1 握住棉籤的一端小心地取出棉籤。將另一端浸入提供的無菌去離子水中弄濕，然後將濕棉籤在測試表面上來回滾動幾次。
 - 2.2 將棉籤放回密實袋中，密封袋子，並在袋子上標上樣品名稱。
 - * 記得帶油性記號筆做標籤。
 - * 表面示例：硬幣、電話、鍵盤、電腦鼠標、冰箱、水龍頭、飲水機按鈕、廁所沖水按鈕、文具、樓梯扶手、自動售貨機、教室或公共休息室的設施、鞋子、皮膚等。
 - * 避開任何危險的地方和用餐區。
3. 學生應用無菌去離子水來製備對照樣品。

使用平板劃線法接種：

4. 應用無菌技術。
5. 此部分每組需要 6 塊瓊脂平板。讓學生在瓊脂盤底部的周邊標記組號、樣品名稱和日期。

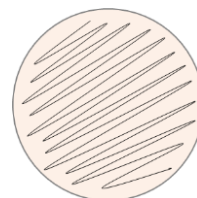
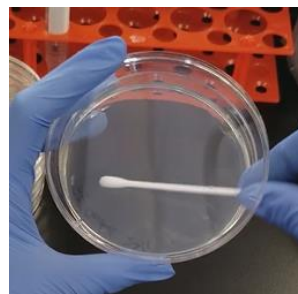


6. 要求學生使用平板劃線法將每個棉籤的樣本接種到相應的平板上。總共應該有六個樣本：一個對照樣本和五個目標樣本。對於每個樣本：

6.1 小心地從袋子中取出棉籤。

【註：避免碰到接觸樣品的棉籤末端。】

6.2 輕微提起相應瓊脂板的蓋子至剛好足以插入棉籤的高度，以「之」字形來回拖動棉籤，將棉籤上的樣品塗在瓊脂的表面上。完成後立即蓋上蓋子。

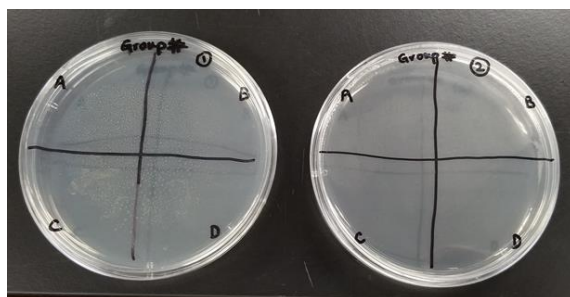


細菌培養：

7. 將瓊脂平板倒置 (標籤面朝上) 在 37°C 下培養 2 天。

B. 使用適當調整的 Kirby-Bauer 圓盤擴散測試對消毒產品進行效能查證 (實驗室第 1 天；15 分鐘)

1. 分配每組一組樣品，包括無菌去離子水、75% 乙醇、1:99 家用漂白劑溶液、1:99 滴露溶液和稀釋的表皮葡萄球菌培養物，以及一盤裝有 8 張無菌濾紙 (直徑 6 mm) 的培養皿。
2. 此部分每組需要兩塊瓊脂平板 (兩個重複實驗)。讓學生將盤子標記 (參考下圖)



A：無菌去離子水 B：1:99 滴露溶液
C：1:99 家用漂白劑溶液 D：75% 乙醇

3. 學生須使用塗抹法培育表皮葡萄球菌 (*S. epidermidis*)。
- 3.1 應用無菌技術。
- 3.2 小心地抽出 100 μ l 稀釋的細菌培養物並添加到每個板上。
- 3.3 使用無菌 L 型塗布棒，同時旋轉下方的培養皿將培養物均勻地塗抹在瓊脂表面。完成後立即蓋回蓋子。
4. 引入不同的消毒產品。
- 4.1 用無菌鑷子夾住一張新的無菌濾紙，用相應的消毒液將濾紙浸濕在試管中。
- 4.2 稍微掀開瓊脂板的蓋子；將濕濾紙放入相應的象限，如右圖所示。完成後立即蓋回蓋子。
5. 小心地將瓊脂板 (面朝上) 放在 37°C 培養箱中 2 天。



C. 菌落數算並測量抑菌圈 (實驗室第 3 天；15 分鐘)

【註：如果兩天後沒有實驗課，可以用封口膜密封瓊脂並倒置存放在冰箱中直到下一節實驗課。如果第二個實驗課時不能安排，老師可以拍攝結果並發送給學生進行數據分析。】

1. 兩天後，要求學生觀察平板上菌落形成的情況，點算菌落數目 (不要打開培皿)，並記錄結果。

【註：假設每個菌落都是從微生物的單個細胞中擴增出來的，菌落分離結果是否良好取決於劃線板技術和起始微生物密度。】

2. 另外，學生需要檢查抑菌圈，並用直尺在倒盤的背面測量透明區的直徑 (不要打開培養皿)。

【註：可以每天檢查平板以確保瓊脂平板沒有被污染或濾紙是否保持原位。】

安全提示

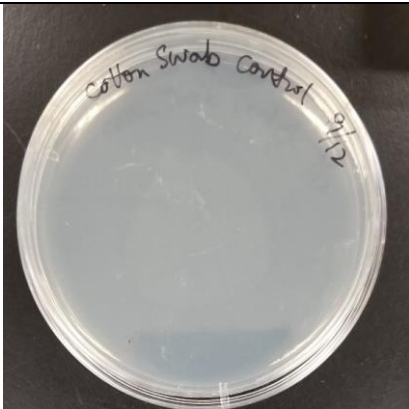
- 遵守實驗室活動的標準安全程序；
- 戴上安全護目鏡、實驗室工作服和手套；
- 化學品的材料安全數據表 (MSDS) 可在 MSDSonline.com 網站上在線獲取；
- 離開實驗室前徹底洗手。

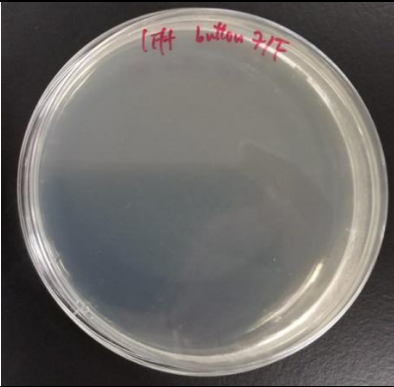
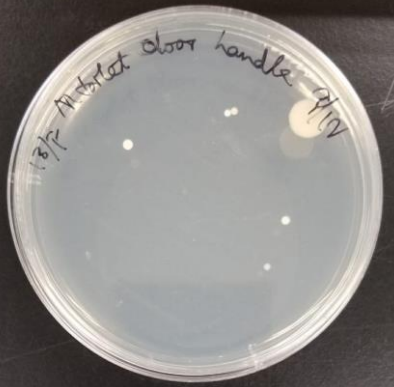
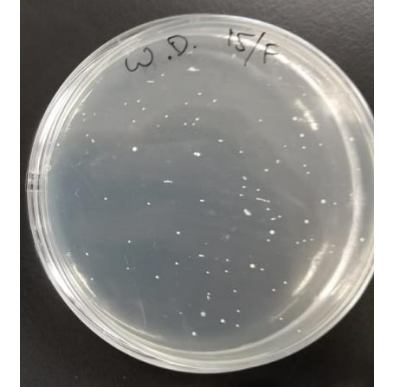
實驗後清理

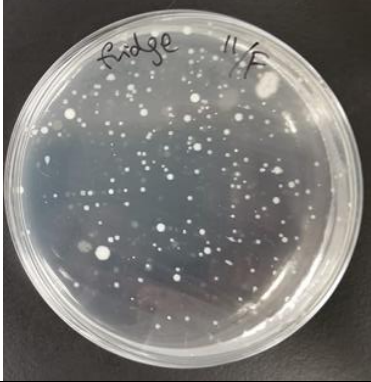
1. 教師應妥善處理任何有潛在危險的材料，包括瓊脂平板、培養管、吸頭、試管、拭子和撒佈器，並採用適當的去污程序。
2. 教師應對重複使用的設備進行適當消毒。

結果與討論

A. 環境表面研究

樣本	圖像	菌落數
陰性對照		0

電梯按鈕		1
廁所門把手		6
電話機		21
飲水機		116

冰箱門		142
-----	---	-----

我們從校園周圍的一些表面收集了環境樣本。在被測試的電梯按鈕和被測試的廁所門把手的表面發現了微量的細菌。從一部手機中發現了中量的細菌。在飲水機和冰箱門上發現了大量細菌。使用和清潔頻率、清潔方法和個人衛生均會影響表面清潔度。這實驗可以進一步應用於食品工業：食品接觸面和非食品接觸面都必須接受定期消毒和密切監測，以保持良好的食品衛生。

B. 消毒產品的效能



	抑菌圈 (mm)		
	板塊 1	板塊 2	平均值
(A) 去離子水	6	6	6
(B) 1:99 滴露	9	10	9.5
(C) 1:99 漂白劑	7	7	7
(D) 75%乙醇	10	12	11

在 37°C 下孵育平板過夜後，我們檢查並測量了抑菌圈的直徑。透明區域的直徑表明消毒液的有效性。75% 乙醇、家用漂白劑溶液和滴露溶液是常見的表面消毒劑。結果表明，在三款測試產品中，1:99 滴露和 1:99 漂白劑對表皮葡萄球菌 (*S. epidermidis*) 的生長具有中等抑製作用，而 75% 乙醇是最有效的消毒劑。消毒產品的有效性取決於產品質量和製備程序，以及微生物的密度和類型。在臨床實驗室裡，Kirby-Bauer 圓盤擴散試驗是抗生素藥敏試驗中非常常用的一個方法。

使用先進儀器/方法進行的測量

可用菌落計數器點算菌落數目。

結論

在環境表面研究中，我們使日常環境中的一些微生物在營養瓊脂平板上以菌落的形式可被肉眼看到。在我們測試的所有表面中，被測試冰箱門含有最多的微生物。在其他一些目標表面上也發現了微生物，包括飲水機、廁所門把手、電話機和電梯按鈕。

為了比較不同消毒產品的有效性，我們使用了經過調整的 Kirby-Bauer 圓盤擴散測試。通過在圓盤上加入各種消毒產品，我們可以量度瓊脂中抑菌圈的直徑，從而比較它們對抑制細菌生長的有效性。

從這個實驗中，我們揭示了我們周圍環境中微生物的存在，我們相信普通的消毒方法可以降低某些微生物的水平。

問題與答案

1. 根據你的結果，哪個表面最髒？
冰箱門的表面是測試表面中最髒的。
2. 在三種給定的消毒液中，哪一種是對抑制表皮葡萄球菌生長最有效？
75% 乙醇是三種給定溶液中抑制表皮葡萄球菌最強的消毒劑。
3. 您預期有甚麼類型的微生物會在瓊脂平板上生長？
*細菌，例如葡萄球菌、微球菌、大腸桿菌。
真菌，例如酵母和黴菌。*
4. 為什麼在此實驗課中有些時候需要應用無菌技術？
將污染風險降至最低 / 防止非實驗對象的微生物在瓊脂平板上生長。
5. 建議兩項個人衛生措施，以預防傳染病。
餐前洗手、上廁所後洗手或其他適當的答案

參考文獻

1. [https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Book%3A_Microbiology_\(Boundless\)](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Book%3A_Microbiology_(Boundless))

實驗 4: 釀酒與飲料中酒精的分析

引言

甲. 發酵

酵母是一種單細胞生物，在我們周圍的世界隨處可見。酵母以糖作為食物獲取能量。而糖可以是純糖、蜂蜜、糖蜜、楓糖漿或含有天然糖的果汁。

酵母用於釀酒（例如葡萄酒和啤酒）已經有幾千年的歷史。大部份糖通過酵母在沒有氧氣（厭氧）的情況下，會轉化為二氧化碳和乙醇。這個過程稱為發酵，是釀酒行業的根基。



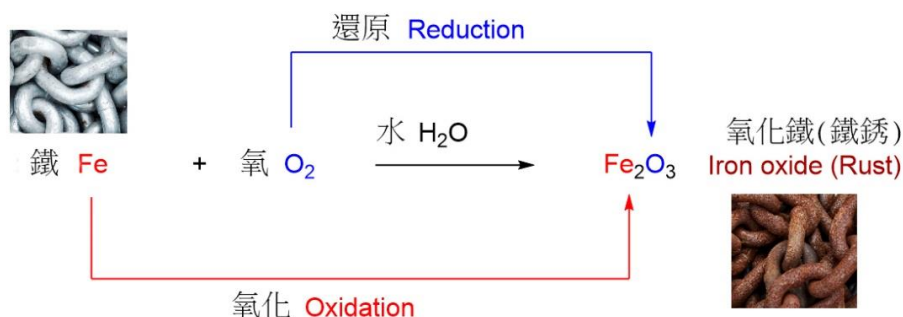
由糖發酵所產生的乙醇也可用作燃料或化學原料。巴西有一個以甘蔗生產酒精的項目，所生產出"GASOHOL"（汽油和乙醇的混合物），可用作機動車輛的燃料。西方的化學公司也有興趣利用巴西甘蔗生產的乙醇作為製造塑膠的化學原料。雖然目前在經濟上不化算，但隨著生產成本的下降，可行性將會日漸增加。"酒湖"（歐盟生產的酒供應過剩所致）也被認為是另一種酒精的來源，從"酒湖"蒸餾出酒精可以作為汽車燃料和塑膠製造的化學原料。

乙醇 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) 也可以被一種稱為醋細菌（也稱為醋酸細菌"AAB"）的細菌氧轉化為醋酸 (CH_3COOH)。醋酸是醋的主要成份。因此，醋可以從任何含酒精物料（如酒精和水的混合物以至各種水果酒）中生產出來。醋酸可由兩個生物過程所產生。如下圖所示，可發酵糖首先通過酵母作用轉化為乙醇。其後，醋酸細菌通過有氧過程將乙醇氧化為醋酸。醋酸細菌以其令酒變質的能力而聞名，因為它們可以從酒中的乙醇和其他化合物中產生大量的醋酸。

厭氧		帶氧	
葡萄糖	酵母 $\rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 乙醇	醋酸細菌 $\rightarrow 2\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O}$ 醋酸 水	

乙. 氧化還原反應

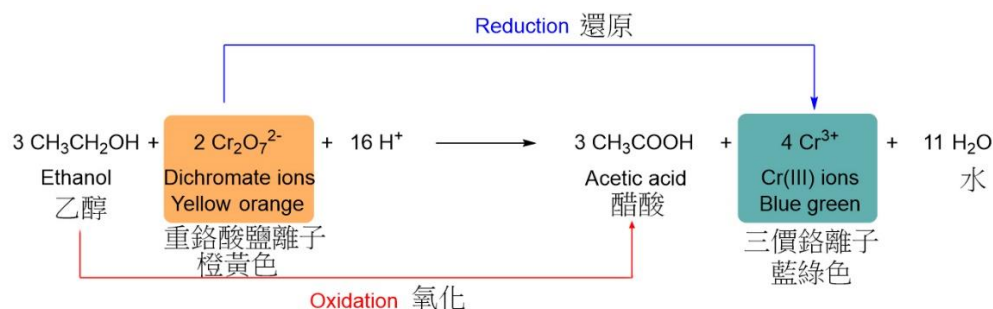
氧化還原反應是一種涉及氧氣轉移的化學反應。在我們生活中可以觀察到氧化還原反應。例如，鐵生鏽是一種氧化還原反應，鐵 (Fe) 在潮濕的空氣中被氧氣氧化成氧化鐵 (Fe_2O_3)。



丙. 基於重鉻酸鹽離子的乙醇分析

常見酒精飲料 (如葡萄酒、啤酒、中式酒等) 中乙醇的含量，可以通過乙醇 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) 與重鉻酸鹽離子 ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) 之間的氧化還原反應進行定量分析。如下圖氧化還原反應所示，酒精飲料中的乙醇在酸性條件下會被重鉻酸鹽溶液 (橙黃色溶液) 氧化成醋酸 (CH_3COOH)。同時重鉻酸鹽離子會被還原成藍綠色的三價鉻離子 (Cr^{3+})。三價鉻離子的量可以通過使用簡單的色度計測量黃光 (波長 = 580 納米) 的吸光度來確定。

乙醇與重鉻酸鹽離子的氧化還原反應：

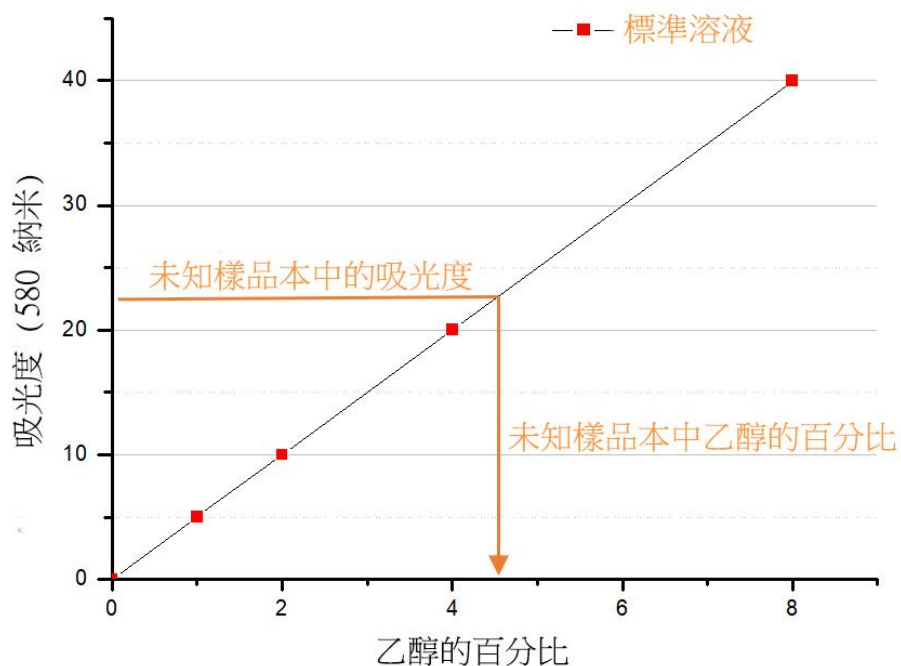


在這情況下，重鉻酸鹽離子份量是過剩的，而乙醇則是當中的限量反應物。三價鉻離子的產生與乙醇的量成正比。根據比爾定律 (Beer's Law)，三價鉻離子的量與黃光 (波長 = 580 納米) 的吸光度成正比：

$$\text{比爾定律：} A = abc$$

其中 A = 吸光度， a = 吸收係數， b = 光徑長度， c = 濃度。

因此，乙醇的量與 580 納米的吸光度成正比。為了確定未知樣本中乙醇的百分比，使用一組濃度由 0 至 8% 乙醇標準溶液，測量其在 580 納米波長的吸光度，從而建立校準曲線。由於在 580 納米的吸光度與乙醇的濃度成正比，因此校準曲線應顯示為線性關係 (如下圖所示)。然後，可以通過將未知樣本中的吸光度擬合到校準曲線中來估計乙醇的百分比。這種校準曲線方法常用於分析科學。



【備註：為令概念簡易明白，重鉻酸鹽離子可視為與乙醇反應後顏色發生變化的顏色指示劑。】

【註：根據香港法律，禁止任何人在業務過程中，不論是透過當面或遙距分發或銷售機的方式，向 18 歲以下的未成年人士售賣和提供可令人醺醉的酒類飲品。】

預期的學習目標

透過這實驗，期望學生可以掌握：

1. 了解檢驗服務在確保食品品質和安全的重要性，以及檢測在日常生活中的作用；
2. 用相應原料發酵生產酒精；
3. 使用比色法對飲料中的酒精含量進行定量分析；
4. 掌握 STEM 的基本概念。

實驗部分

設備

- 1 x 500 毫升雙頸圓底燒瓶
- 1 x 玻璃塞
- 1 x 15 厘米長的橡膠管
- 1 x 滴管
- 1 x 磁力攪拌器
- 1 x 500 毫升量筒
- 1 x 螺絲應接器
- 1 x 10 毫升試管



- 2 x 夾子
- 8 x 試管 (可用比色杯代替)
- 1 x 試管架
- 5 x 100 毫升容量瓶
- 1 x 10 – 200 微升的自動吸移管
- 1 x 1 – 5 毫升自動吸移管
- 自動吸移管的吸頭
- 1 x 加熱器
- 1 x 400 毫升燒杯
- 1 x 行動裝置 (iOS 或安卓系統)

圖 1. 玻璃儀器

試劑和化學品

- 葡萄糖 [50-99-7]
- 酵母 (酒精生產用)
- 酵母抽提物 [8013-01-2]
- 乙醇 [64-17-5]
- 重鉻酸鉀 [7778-50-9]
- 硫酸 [7664-93-9]

實驗預備

- 在 100 毫升容量瓶中製備一組乙醇溶液。

	0% (空白)	1%	2%	4%	8%
乙醇	0 毫升	1 毫升	2 毫升	4 毫升	8 毫升
去離子水	補至容量瓶的刻度				

- 將 1.5 克重鉻酸鉀溶解在 100 毫升 3 摩爾的硫酸中，製備酸化的重鉻酸鉀溶液。

實驗步驟

【備註：本實驗涉及兩部份：(A) 發酵釀酒 (建議由老師進行示範。反應時間約 2 小時，但不必等到反應完畢。學生應能在 30 分鐘後聞到發酵產生的乙醇味道)；(B) 酒精飲料中乙醇的分析 (約 1 小時)。根據實驗課的時間，教師可以和學生一起做一個部份或全部的實驗。】

- A. 使用發酵釀酒
1. 將 8 克葡萄糖、0.2 克酵母提取物、2 克酵母化合物 (酒酵母) 和 400 毫升去離子水加入 500 毫升圓底燒瓶中。
 2. 輕輕攪拌混合物。
 3. 組裝以下設置。



4. 混合物在室溫下保溫 2 小時。

B. 使用「ChemEye」（智慧型手機比色法）分析飲料中的酒精含量

乙醇校準標準：

1. 在試管中準備一套乙醇校準標準。

	0% (空白)	1%	2%	4%	8%
乙醇溶液	200 微升	200 微升	200 微升	200 微升	200 微升
重鉻酸鉀溶液	2.0 毫升	2.0 毫升	2.0 毫升	2.0 毫升	2.0 毫升

2. 在熱水器中加熱試管 5 分鐘，然後冷卻至室溫。

3. 在每支試管中加入 5.0 毫升去離子水。

葡萄酒樣品：

4. 將 200 微升的樣本溶液與 2.0 毫升 重鉻酸鉀溶液混合在試管中。

5. 在熱水器中加熱試管 5 分鐘，然後冷卻至室溫。

6. 在試管中加入 5.0 毫升去離子水。

使用「ChemEye」測量：

7. 用以下二維碼在行動裝置上安裝「ChemEye」。

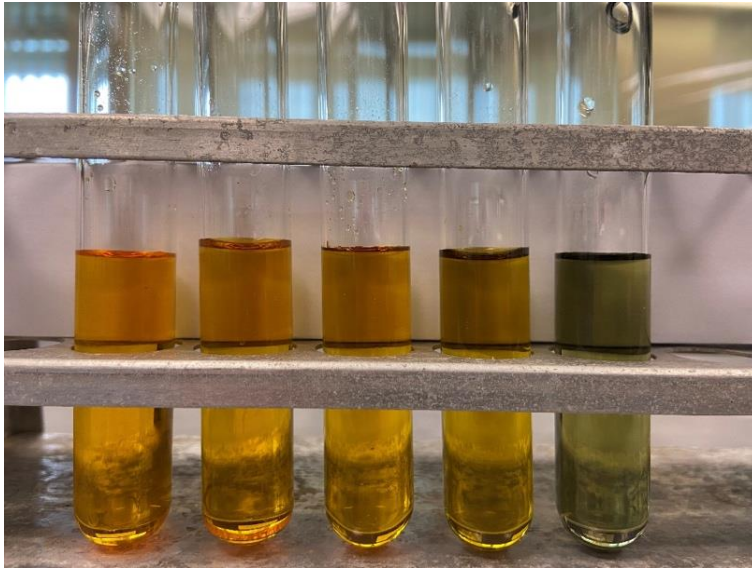


對於 iOS 設備

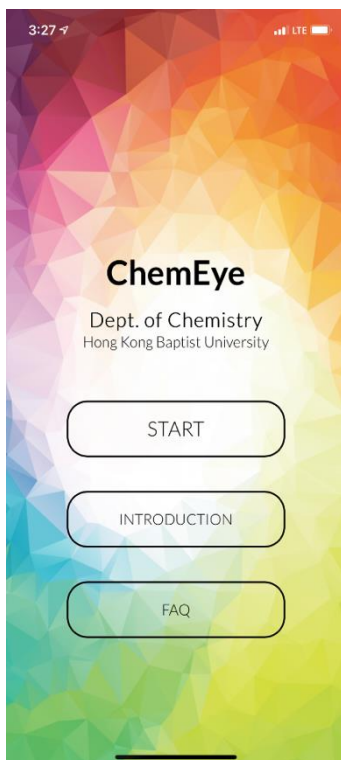


對於安卓設備

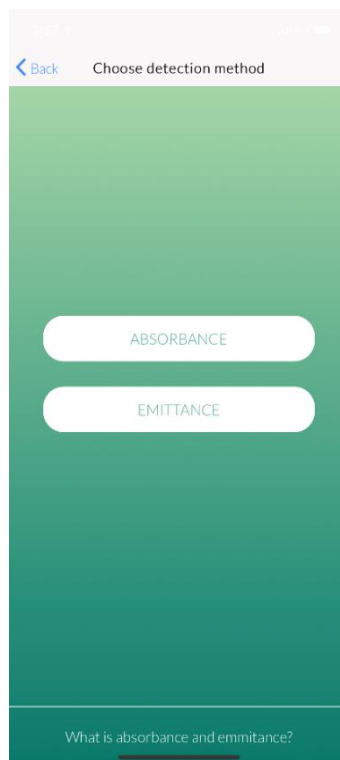
8. 將試管放在白色背景前。



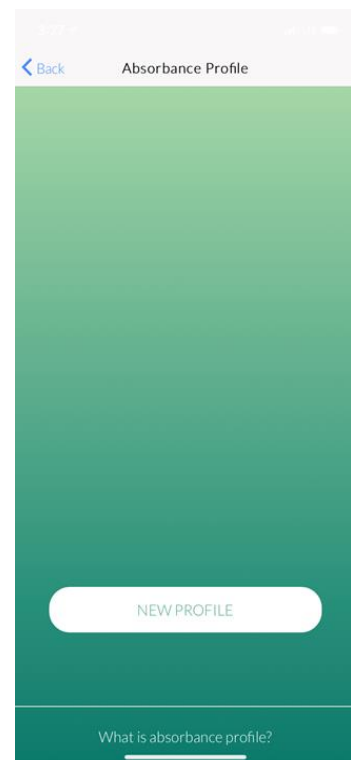
9. 跟隨程序創建校準曲線並檢測樣本：



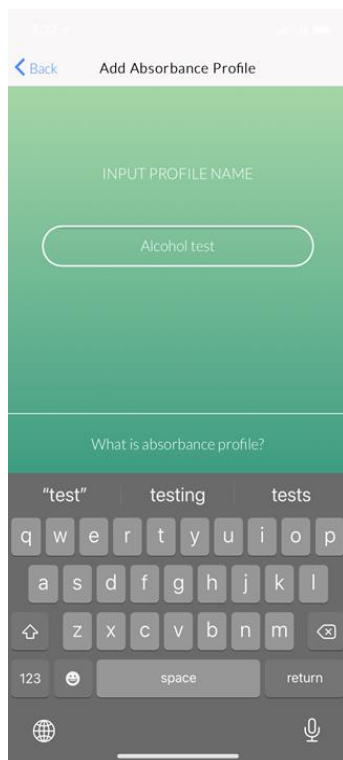
1. 打開應用程式並按「START」



2. 選擇「ABSORBANCE」



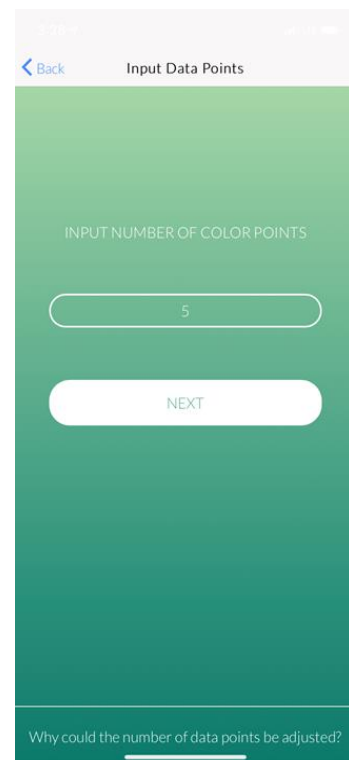
3. 按下「NEW PROFILE」



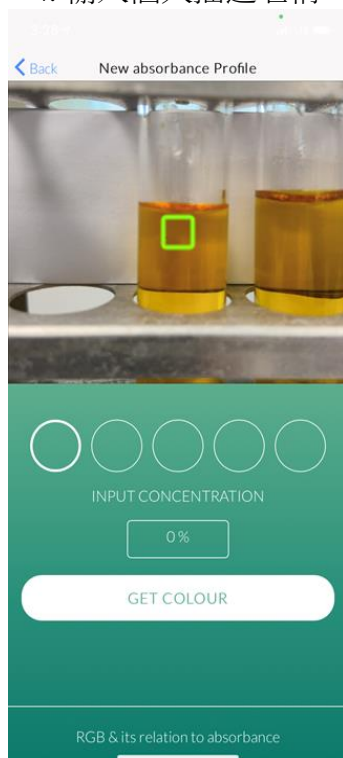
4. 輸入個人描述名稱



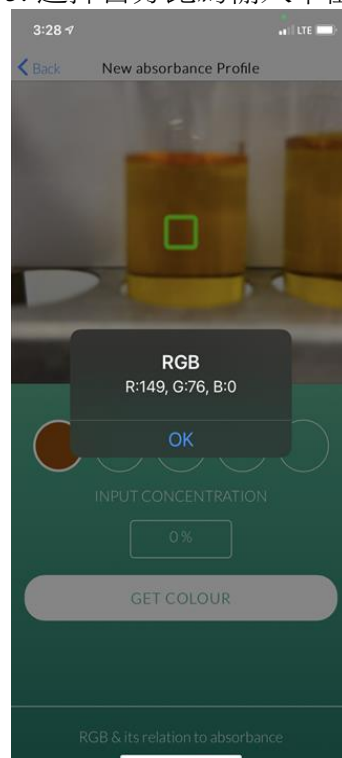
5. 選擇百分比為輸入單位



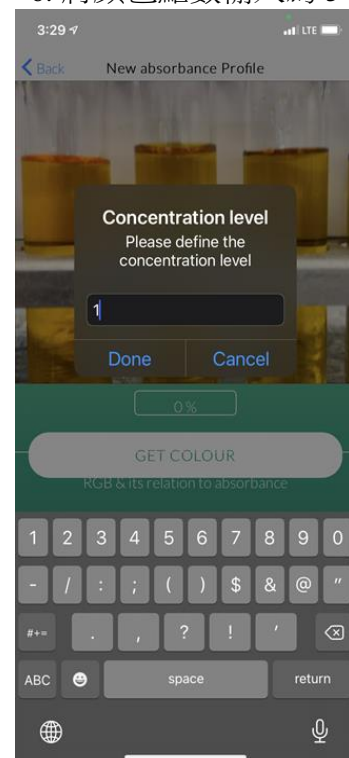
6. 將顏色點數輸入為 5



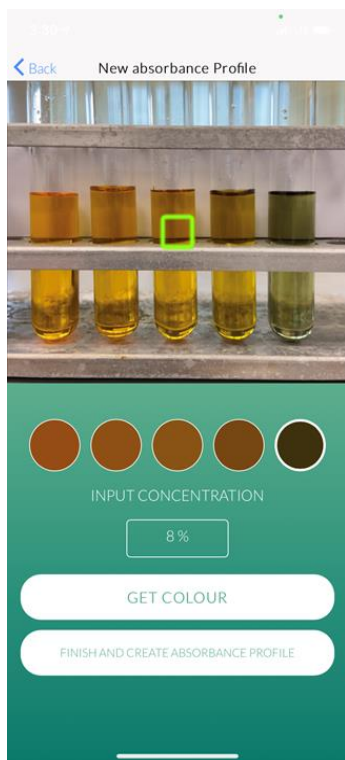
7. 將綠色方塊放在標準溶液上，按「GET COLOUR」



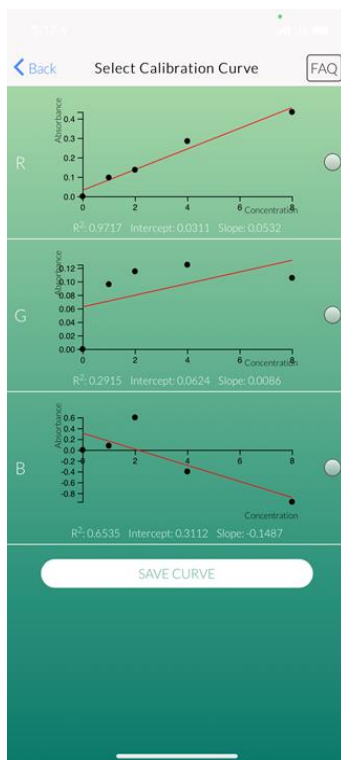
8. 獲得三原色值



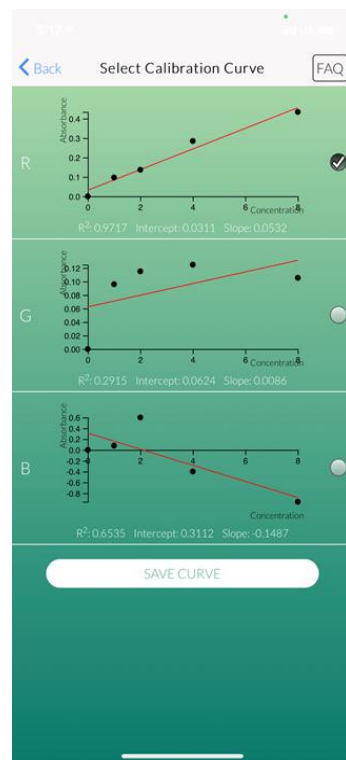
9. 輸入各自的濃度



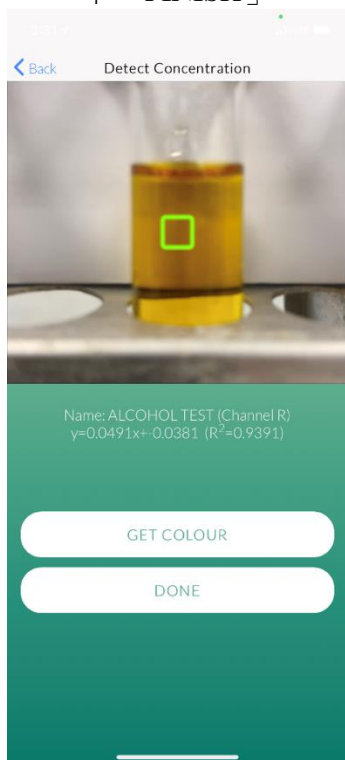
10. 重複所有標準溶液。按下「FINISH」



11. 獲得紅色、綠色和藍色校準曲線。



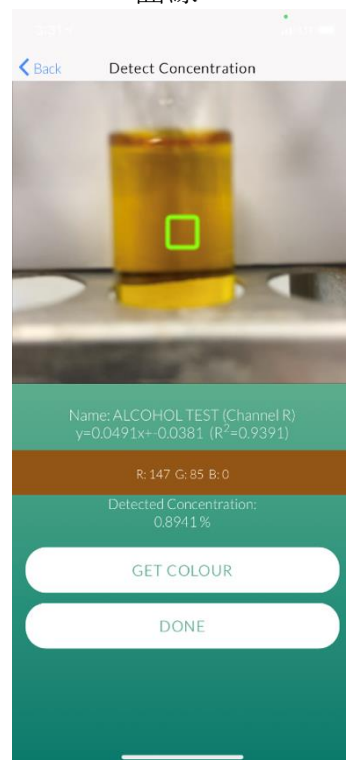
12. 本實驗中請選擇紅色曲線。



13. 最佳直線的判定係數顯示



14. 按「DETECT」測量樣本



15. 檢測濃度顯示

安全提示

- 遵守實驗室活動的標準安全程序；
- 戴上安全護目鏡、實驗室工作服和手套；
- 化學品的材料安全數據表 (MSDS) 可在 MSDSonline.com 網站上在線獲取。

結果與討論

觀察

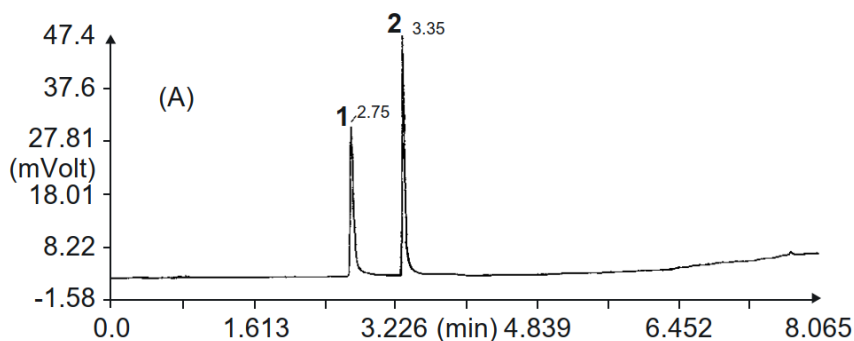
- A. 使用發酵釀酒
1. 將糖和酵母溶解在去離子水中時，會得到奶黃色溶液。
 2. 發酵過程中會產生氣泡。
- B. 使用「ChemEye」（智慧型手機比色法）分析飲料中的酒精含量
- 空白溶液呈黃色；含乙醇的溶液呈黃色至綠色。

數據與數據處理

(如實驗程序所示)

使用先進儀器/方法進行的測量

毛細管氣相色譜法是一種快速測定酒精飲料中乙醇含量的方法(參考文獻3)。僅需8分鐘即可完成一次樣本分析，以確定飲料樣本中的乙醇含量。樣本溶液與內標溶液混合，注入毛細管氣相色譜儀內。該檢視方法可適用於不同酒精含量的酒精飲料，前處理程序亦相對簡單。



結論

通過實驗，學生可以了解糖發酵生成酒精的概念，及乙醇與酸化的重鉻酸鉀溶液反應。實驗中獲得的數據可以對飲料標籤進行檢查，這有助於培養學生對飲料中酒精含量的認知以及對食品分析產生興趣。

問題與答案

1. 酵母在發酵中的作用是什麼？
酵母在釀酒的主發酵過程中，把糖轉化為乙醇和二氧化碳。
2. 哪些條件會影響發酵反應？
發酵是一種生物催化反應。由於酶在合適溫度較能發揮其效用，故溫度會影響有關催化反應。在太高或太低的溫度下，酶未能發揮最佳效用，因而影響發酵反應。
空氣(氧氣)的存在也會對發酵反應產生影響。發酵反應在厭氧條件下發生，所以氧氣的含量會影響發酵反應的速度。
3. 舉出日常生活中氧化還原反應的例子。
 - 呼吸
 - 燃燒
 - 光合作用
 - 腐蝕

參考文獻

1. Sandip V Sumbhate, Satish Nayak, Damodar Goupale, Ajay Tiwari, Rajesh S Jadon, Journal of Analytical Techniques, Vol. 1, No. 1 (2012).
2. Detection in daily life: Using Google Science Journal and ChemEye, https://cloud.aristo.com.hk/STEM/Science/resources/item_35_science/scient_STSExSTEM_detection_final_e_stu.pdf
3. Mei-Ling WANG, Youk-Meng CHOONG, Nan-Wei SU and Min-Hsiung LEE, “A rapid method for determination of ethanol in alcoholic beverages using capillary gas chromatography”, Journal of Food and Drug Analysis, Vol. 11, No. 2, 2003, Pages 133-140.

數據表

使用「ChemEye」的定性分析

樣本	描述	標註含量(%)	使用「ChemEye」乙醇檢測結果(%)	紅、綠、藍線路選擇
1.	生力啤酒	5.0	4.5	紅
2.				
3.				

實驗 5: 「鬼口水」的製作和「鬼口水」中硼砂成份的分析

引言

製作「鬼口水」是一項有趣的科學活動，讓學生有機會了解粘度、聚合物及化學鍵等知識。「鬼口水」是一種果凍狀的物質，可以隨時用家居材料製作而成。所需材料包括膠水及自來水等，只需加入硼砂溶液並充分混合好後，有彈性而又軟軟的，像「啫喱」但又黏手的「鬼口水」就製作完成了 [1]。

在這個實驗中，聚乙烯醇 (PVA) 和硼砂 (四硼酸鈉) 用來製作 PVA — 硼酸水凝膠 — 「鬼口水」。硼砂與 PVA 形成交聯，通過共價鍵將 PVA 的兩條聚合物鏈連接在一起。隨著結構中交聯數量的增加，聚合物鏈將緊緊互相扣住，使「鬼口水」變得更柔韌、粘稠度更高。

我們每天都會遇到聚合物，例如植物中的纖維素、頭髮和指甲中的角蛋白，以及消費品中的各種類型的塑膠。膠水就是其中一種聚合物，由聚乙烯醋酸酯 (PVAc) 長鏈 (圖 1) 組成。它是一種由醋酸乙烯酸酯單體聚合製成的合成聚合物。聚合物是一種大分子，具有大量的重複單體。通常，膠水中的 PVAc 由約 1800 重複單體組成，它可以進一步跟水反應，用羥基 (-OH) 取代一些醋酸基 (即部分 PVAc 轉換為 PVA)。

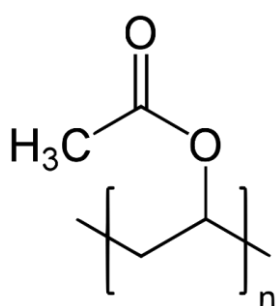


圖 1. PVAc 的結構

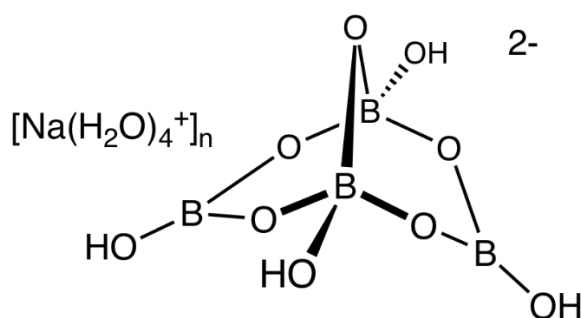


圖 2. 硼砂的結構

硼砂 - $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (四硼酸鈉) 是一種粉狀白色礦物質 (圖 2)，數十年來一直用作清潔產品。它可以用來去除房子周圍的污漬、真菌和黴菌，也可用來殺死螞蟻等昆蟲。

當 2% 的硼砂溶液加入水和膠水 (比例為 1:1) 的混合液時，一種高度粘稠且具有很強彈性的「鬼口水」便形成 (圖 3)。在水溶液中，硼砂分離成四羥基硼酸離子， $\text{B}(\text{OH})_4^-$ 。當加入 PVA 時， $\text{B}(\text{OH})_4^-$ 離子與相鄰聚合物鏈上的 -OH 基團之間形成交聯連結。事實上，這種交聯連結相對薄弱，可以不斷形成和分離。有了這個特性，「鬼口水」的質地可以說是固體也可以說是液體的半固體狀態。此外，交聯的程度可以因硼砂溶液的濃度而變化，即由此產生的「鬼口水」質感可能大不相同。

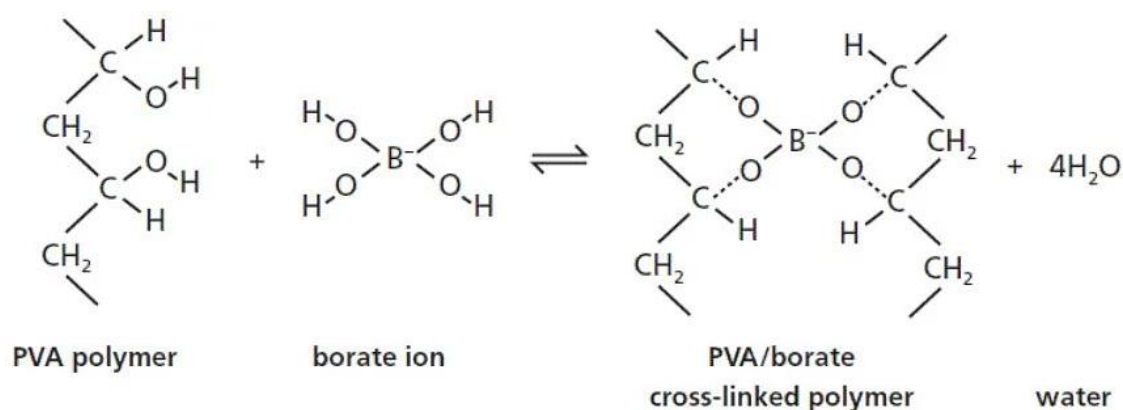


圖 3. 通過交聯連結形成的「鬼口水」

然而，「鬼口水」的安全性多年來一直受到公眾的極大關注。硼砂是一種強鹼性物質，會刺激眼睛、鼻子和呼吸道。攝入硼砂也會導致生殖器官問題。因此，檢測「鬼口水」中的硼砂和分析其含量對保障公眾健康十分重要。

一般來說，硼砂可以通過電感耦合等離子體質譜 (ICP-MS) [2] 來定量。然而，它需要特定的提取方法進行樣品預處理，而且操作成本也很高。為了配合中學教學要求，我們開發了一種簡單而靈敏度高的方法，就是使用薑黃粉篩檢「鬼口水」產品中的硼砂 [3]。姜黃素是薑黃粉中的一種黃色天然色素。姜黃素與硼砂反應形成紅色化合物 (玖紅花青)，這種顏色很容易通過肉眼分別出來 (圖 4)。此檢測方法靈敏度高，可以用來檢測到微量的硼砂。

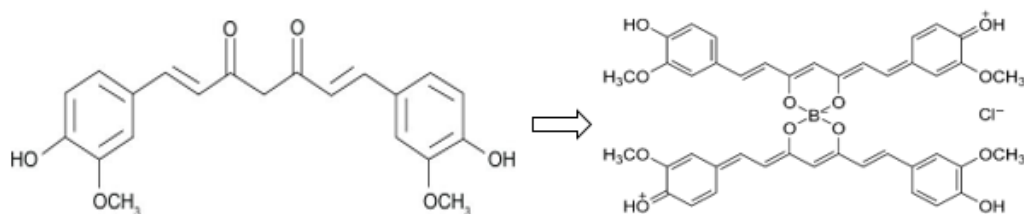


圖 4. 姜黃素和硼砂之間反應，產生玖紅花青紅色複合物

「鬼口水」中的硼砂含量可通過酸鹼滴定法檢測。首先，用過量的標準化鹽酸中和 $B(OH)_3$ ，從而破壞聚合物鏈之間的交聯連結。當「鬼口水」中所有的硼砂跟鹽酸反應完結後，剩餘的鹽酸可以通過標準化的氫氧化鈉溶液用酸鹼滴定法來確定鹽酸的數量。甲基紅作為該滴定的酸鹼指示劑，在滴定終點即 pH 值出現拐點時其顏色會從紅色變為黃色，最終可以計算出硼砂的含量。

透過此實驗，學生可以了解聚合物交聯連結的概念，以及觀察其如何改變聚合物的物理特性，另一方面了解如何使用天然色素定性檢測「鬼口水」中的硼砂，並通過酸鹼滴定法進行定量測定。以上兩種方法都可以在中學課堂教學中進行。

預期的學習目標

透過這實驗，期望學生可以掌握：

1. 了解檢測服務在確保玩具品質和安全的重要性，以及檢測在日常生活中的作用；
2. 通過混合相應的原材料製作「鬼口水」；

3. 通過酸鹼滴定法分析「鬼口水」中的硼砂含量；
4. 掌握 STEM 的基本概念。

實驗部分

設備

- 1 x 50 毫升 滴定管
- 1 x 滴定管夾
- 1 x 鐵支架
- 1 x 15 毫升 移液管
- 1 x 100 毫升 量筒
- 4 x 150 毫升 燒杯
- 2 x 100 毫升 容量瓶
- 1 x 1 升 容量瓶
- 1 x 點滴板
- 1 x 拉鍊袋
- 2 x 攪拌棒
- 5 x 滴管
- 1 x 一次性塑料杯

試劑和化學品

- 乙醇 [64-17-5]
- 鹽酸 (HCl) [7647-01-0]
- 甲基紅指示劑 [493-52-7]
- 氫氧化鈉 (NaOH) [1310-73-2]
- 硼砂 從本地商店購買
- 白膠漿 從本地商店購買
- 薑黃粉 從亞洲雜貨店購買

實驗預備

1. 2% 硼砂溶液的製備

將 2 克的硼砂溶解在 50 毫升的去離子水中。然後，轉移溶液到 100 毫升容量瓶中，並用去離子水稀釋至刻度。

2. 薑黃指示劑的製備

在分析天平上稱量 0.5 克薑黃粉，並將薑黃粉轉移到 100 毫升燒杯中。加入 50 毫升 70% 乙醇，攪拌至溶解。

3. 0.1 摩爾每升 NaOH 溶液的製備

將 0.4 克氫氧化鈉溶解在 50 毫升的去離子水中。然後，將 NaOH 溶液轉移到 100 mL 容量瓶中，並用去離子水稀釋至刻度。

4. 0.1 摩爾每升 HCl 溶液的製備

用去離子水稀釋 8.3 毫升的濃鹽酸至約 700 毫升，充分混合併冷卻至室溫。將冷卻的 HCl 溶液轉移到 1 升容量瓶中，並用去離子水稀釋至刻度。使用前將溶液至少存放一小時。

實驗步驟

A. 「鬼口水」的製作 (約 40 分鐘)

1. 在一次性塑料杯中加入 50 毫升白膠漿和 50 毫升水，充分攪拌均勻。
【提示：白膠漿的用量可多可少，只要保持白膠漿和水的用量是 1:1 即可。】
2. 【選項】加入幾滴食用色素，充分攪拌均勻。
3. 用滴管每次滴加幾滴硼砂溶液到膠水混合物中，並充分攪拌。
4. 繼續滴加硼砂溶液，直到大部分膠水混合物變粘稠。
【提示：不要加入過多的硼砂溶液。當杯底還有少量膠水混合物時，停止加入硼砂溶液。】
5. 用手拿起「鬼口水」搓揉直至順滑，如太黏手，可再加硼砂溶液揉合，直至混合物黏度適中，將其存放在 Ziploc 袋中。



B. 使用薑黃素指示劑快速檢測「鬼口水」中的硼砂 (約 10 分鐘)

1. 取一塊乾淨的點板，將三個凹穴順次標記為 A、B、C。
2. 在點板的 A 孔中加入幾滴膠水 – 作為對照。
3. 將少量「鬼口水」放入 B 孔中，加入幾滴熱水。用乾淨的牙籤混合溶液。
4. 在 C 孔中加入幾滴 2% 硼砂溶液。
5. 分別在 A、B、C 孔中加入 2 滴薑黃指示劑溶液。
6. 比較 B、C 溶液與對照溶液 A 的顏色。



- C. 伸延/自選學習活動 – 使用滴定法檢測「鬼口水」中的硼砂含量 (約 40 分鐘)
1. 在 150 毫升燒杯中準確稱取 50 克「鬼口水」。
 2. 用移液管轉移 15.0 毫升的 0.1 M HCl 溶液到同一個燒杯中，用攪拌棒充分攪拌到「鬼口水」溶解。
 3. 在「鬼口水」- HCl 溶液中加入 10 滴甲基紅指示劑，搖晃溶液至均勻，溶液呈紅色。
 4. 用 0.1 M NaOH 溶液緩慢地滴定燒杯中的紅色溶液。
【提示：每次添加後用玻璃棒將溶液充分混合。】
 5. 直到溶液呈現淡黃色時，即達到終點。
 6. 記錄所用氫氧化鈉溶液的體積 (毫升) 並計算「鬼口水」中硼砂的含量 (%)。

$$\text{硼砂} = \frac{(15 - \text{使用的 NaOH 體積}) \times 0.019}{\text{「鬼口水」質量}} \times 100\%$$



安全提示

- 遵守實驗室活動的標準安全程序；
- 戴上安全護目鏡、實驗室工作服和手套；
- 化學品的材料安全數據表 (MSDS) 可在 MSDSonline.com 網站上在線獲取。

結果與討論

觀察

- 當薑黃指示劑滴加到含有硼砂的樣品中時，樣品會呈現微紅色。

	顏色
凹穴 A	黃色
凹穴 B	紅色
凹穴 C	紅色

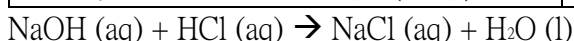
* 薑黃素是來自薑黃的黃色天然色素。薑黃素與硼砂結合生成紅色的有色複合物。

- 在用滴定法檢測硼砂含量的滴定終點時，溶液的顏色由紅色變為黃色。

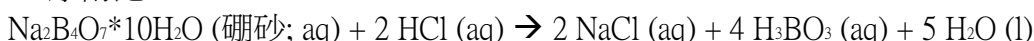
數據與數據處理

滴定法檢測「鬼口水」中的硼砂含量

「鬼口水」樣品的質量 (克)	52.1136
添加的 HCl 體積 (毫升)	15.00
初始的體積 (毫升)	10.00
最終的體積 (毫升)	17.55
使用了的 NaOH 體積 (毫升)	7.55



∴ 摩爾比 NaOH : HCl = 1:1



∴ 摩爾比 HCl : 硼砂 = 2:1

硼砂的摩爾質量 = 381.38 g/摩爾

$$\text{硼砂} = \frac{\text{硼砂的質量}}{\text{「鬼口水」樣品的質量}} \times 100\%$$

$$\text{硼砂} = \frac{\text{硼砂的摩爾數} \times 381.38}{\text{「鬼口水」樣品的質量}} \times 100\%$$

$$\text{硼砂} = \frac{\text{使用了的 HCl 摩爾數} / 2 \times 381.38}{\text{「鬼口水」樣品的質量}} \times 100\%$$

$$\text{硼砂} = \frac{(\text{HCl 的初始摩爾數} - \text{HCl 的最終摩爾數}) / 2 \times 381.38}{\text{「鬼口水」樣品的質量}} \times 100\%$$

$$\text{硼砂} = \frac{(0.1 \times 15/1000 - 0.1 \times \text{使用了的 NaOH 體積}/1000) / 2 \times 381.38}{\text{「鬼口水」樣品的質量}} \times 100\%$$

$$\text{硼砂} = \frac{(15 - \text{使用了的 NaOH 體積}) \times 0.019}{m \text{ 「鬼口水」樣品的質量}} \times 100\%$$

$$\text{硼砂} = 0.3\%$$

使用先進儀器/方法進行的測量

土壤、水和生物樣品中的硼含量可以通過光譜法和比色法來定量檢測。對於光譜方法，電感耦合等離子體質譜 (ICP-MS) 的應用為硼測定提供了最高的靈敏度和最低的檢測限。ICP-MS 是目前可用的最靈敏的方法，其檢測限為 0.01 mg/L。在樣品預備中，通常採用每 100 毫升樣品中含有 1 毫升濃硝酸的比例進行過濾和酸化，其溶解的硼離子可通過 ICP-MS 檢測 [4]。

結論

聚乙烯醇溶液 (膠水) 可以通過加入硼砂溶液製成「鬼口水」，從而使得聚合物鏈之間產生交聯。在這項活動中，可以了解「鬼口水」的一些有趣的結構特性。此外，開發了一種使用薑黃粉對硼砂進行快速、低成本和靈敏的篩選測試方法，並在沒有任何先進儀器的情況下應用於日常生活中。同時，透過此實驗，學生可以獲得用酸鹼滴定法測定硼砂含量的檢測概念。

問題與答案

1. 「鬼口水」是液體還是固體？請在下面給出你的理由。
「鬼口水」既不是液體也不是固體。它具有兩相的特性，實際上被歸類為牛頓流體。
2. 描述「鬼口水」的特性以及它在你手中的感覺。
「鬼口水」的觸覺有點潮濕和粘稠。當它放在桌子上時，它會慢慢流動。它很軟，在嘗試拉開「鬼口水」時會有一定的阻力。
3. 哪些聚合物是你每天都會遇到？
三文治袋、地毯、尼龍絲襪、合成纖維製成的服裝、牛奶盒等。

參考文獻

1. Brian Rohrig, Chemmatters, 12, 13-16, 2004.
2. R. N. Sah, P. H. Brown, MICROCHEMICAL JOURNAL, 56, 285 – 304, 1997.
3. Nanang Rahman, J. Phys:Conf.Ser., 1363, 2019.
4. Thotegowdanapalya C. Mohan, Alexandra M.E.Jones, Bio Protoc, 8(2), 2018.

實驗 6: 太陽能電池的製造和電性能測試

引言

現今主要用於發電的能源多是不可再生化石燃料，如石油、天然氣和煤炭等，由於不可再生化石燃料帶來嚴重污染和全球暖化，不能持續使用，所以科學家一直在尋找不引起污染而便宜且可以提供高效率的再生能源作替代。現今社會非常重視生態友善環境，在許多潔淨能源中，太陽能已成為最可行的選擇之一，它是可再生能源，亦不會排放出任何污染物質，是最潔淨的能源之一。近年有不少有關穩定和高效能太陽能電池的研究，其中染料敏化太陽能電池 (DSSC) 在使用有機和無機材料薄膜將太陽能轉化為電能方面的效果良好，它們在應用上還很靈活，生產成本低，並且易於製造，所以引起了廣泛關注。

染料敏化太陽能電池是一種技術可用於在室內和室外的各種光照條件下發電，使用戶能夠將人造光和自然光都轉化為能量，從而為各種電子設備供電。

染料敏化太陽能電池的原理

在實驗中，將親手使用來自藍莓的天然染料作為光敏劑，製造染料敏化太陽能電池 (DSSC)。DSSC 的基本原理如圖 1 所示。

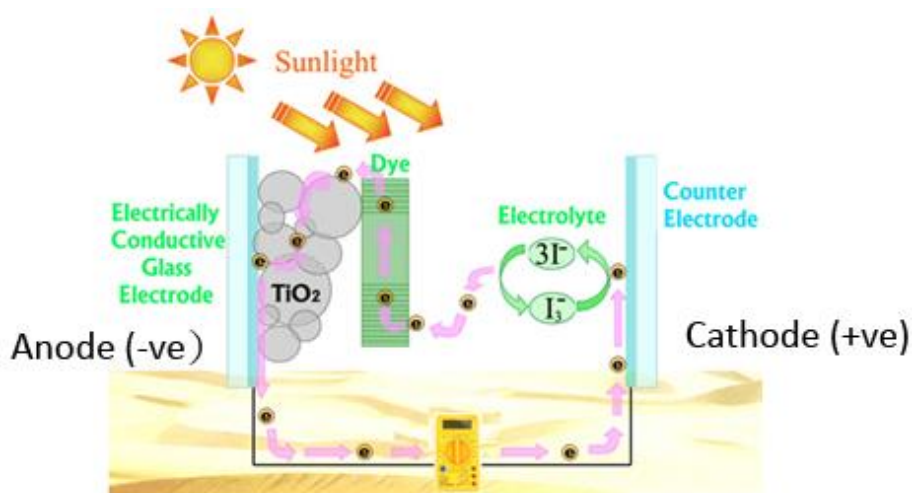


圖 1: 典型的染料敏化太陽能電池的示意圖

染料敏化太陽能電池的工作機制包括三個步驟 (圖 1)：

1. 染料被吸附到二氧化鈦層 (TiO_2) 上並吸收陽光，令電子從其基態轉變為激發態的結構；
2. 激發的電子從染料注入到 TiO_2 層中，並與外部電路的電接觸；和
3. 氧化的染料最終通過載有到達對電極的電子的電解液 (氧化還原對: 碘化物 / 三碘化物, $\text{I}^- / \text{I}_3^-$) 還原成其原始狀態，從而完成了電路。

每個染料敏化太陽能電池就像一個“三明治”，其中兩個導電玻璃重疊。為了增強電解質溶液 (碘化物/三碘化物) 與玻璃電極之間的接觸，在光陽極上塗有染料敏化的 TiO_2 層，在陰極上塗有碳作為催化劑。光線照射時，太陽能電池會產生電流。

預期的學習目標

透過這實驗，期望學生可以掌握：

1. 了解檢測服務在確保不同電氣產品的質量和安全的重要性，以及檢測在日常生活中的作用；
2. 使用天然染料作為光敏劑生產染料敏化太陽能電池；
3. 學習使用萬用表分析太陽能電池的電性能；
4. 掌握 STEM 的基本概念。

實驗部分

設備

- 2 x FTO 導電玻璃*
- 1 x 萬用表
- 1 x LED 手電筒
- 1 x 鉛筆
- 1 x 膠帶
- 1 x 小紙
- 1 x 鑷子
- 1 x 白色瓷磚
- 1 x 電熱板
- 1 x 玻璃棒
- 2 x 小夾子
- 1 x 移液管膠泵
- 1 x 50 mL 燒杯
- 4 x 鱷魚夾電線
- 1 x 帶鱷魚夾的秒錶
- 1 x 錶面玻璃

* 使用 FTO (氟摻雜氧化錫) 導電玻璃代替 ITO (銦錫氧化物) 導電玻璃來製備染料敏化太陽能電池。在較高的溫度下 (即約 500°C) 和存在氧氣的環境中，ITO 的電性能可能會降低，而 FTO 在這種條件下會更加穩定。

試劑和化學品

- 乙醇 [64-17-5]
- 碘化鉀 [7681-11-0]
- 碘 [7553-56-2]
- 乙二醇 [107-21-1]
- 去離子水
- 藍莓 (從超市購買的冷凍水果)
- TiO₂ 漿料** [13463-67-7]

** TiO₂ 漿料購自 Man Solar Company : <https://www.mansolar.nl/home>

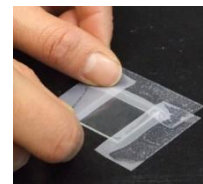
實驗預備

A. 製作導電玻璃上的塗層二氧化鈦 (TiO_2) 層

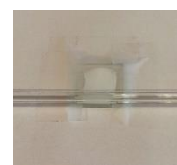
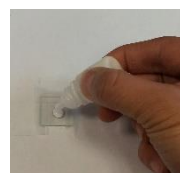
1. 使用萬用表測量一塊導電玻璃的導電面，以測量其電阻。



2. 將導電面朝上，使用膠帶在三個側面上粘貼玻璃。使用沾有乙醇的濕紙巾擦去所有指紋或油脂，然後吹乾玻璃。



3. 在導電玻璃上添加一到兩滴二氧化鈦漿料，並使用玻璃棒將其迅速平均鋪開。



4. 待二氧化鈦層乾燥至少 5 分鐘。然後小心地撕下膠帶而不刮傷 TiO_2 塗層。



5. 把已有 TiO_2 塗層的導電玻璃片在通風櫥的電熱板上加熱至 450°C 維持 20 分鐘【注意：這加熱板非常高溫，請小心】，關上電熱板，讓鍍膜玻璃冷卻。使用鑷子將玻璃片轉移到白色瓷磚上。存放塗層的 TiO_2 導電玻璃片以備後用。



B. 碘化物電解液 (KI_3) 的製備

在裝有 10 mL 乙二醇的燒杯中加入 0.127 g 碘和 0.83 g 碘化鉀。用玻璃棒攪拌溶液混合物，直到固體完全溶解。

實驗步驟

A. 染料敏化太陽能電池的製造和相應電性能的分析

1. 準備一塊已有 TiO_2 塗層的導電玻璃。用滴管將天然染料溶液(藍莓汁液)加到鍍膜玻璃上，等待至少 20 分鐘。隨著染料被吸收並與 Ti(IV) 絡合，白色 TiO_2 會改變顏色。



2. 用水然後用乙醇輕輕沖洗。並吹乾鍍膜玻璃。

3. 用另一塊玻璃片製造對電極。首先使用萬用表確定導電玻璃的導電面。



4. 使用沾有乙醇的紙巾擦去所有指紋或油脂，並吹乾玻璃。

5. 用鉛筆塗上玻璃導電面，使玻璃片表面覆蓋一層碳，用乙醇沖洗並徹底乾燥。

6. 將兩個帶塗層的玻璃片以一定的偏移量組裝在一起。請勿摩擦或滑動玻璃片。用夾子將玻璃片緊緊夾住。

7. 在添加電解質之前，在室內照明和 LED 手電筒下測量並記下所製造的太陽能電池的 V_{oc} (開路電壓) 和 I_{sc} (短路電流)。

8. 在玻璃片的邊緣添加幾滴碘化物電解液 (KI_3 溶液)。毛細管作用將 KI_3 溶液充滿在玻璃片之間。染料敏化太陽能電池的製造就完成。



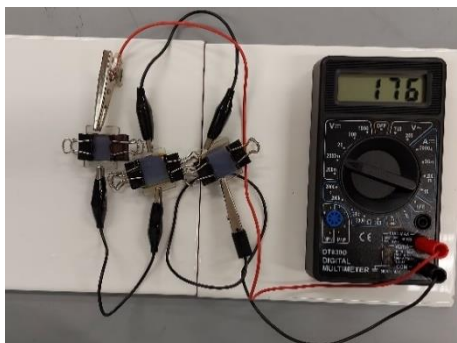
9. 使用鱷魚夾將染料敏化太陽能電池連接到萬用表。【提示：請勿刮擦導電玻璃的表面。】

10. 分別在室內照明，LED 手電筒和黑陰中，測量並記下太陽能電池的 V_{oc} (開路電壓) 和 I_{sc} (短路電流)。

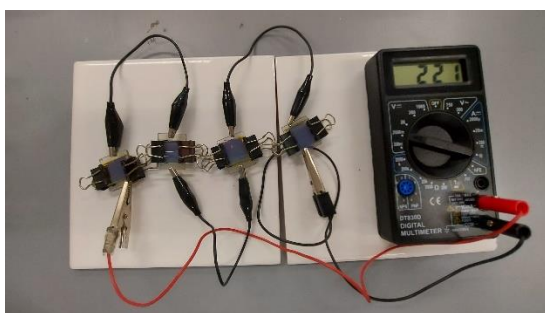


B. 通過串聯多個染料敏化太陽能電池來啟動秒錶

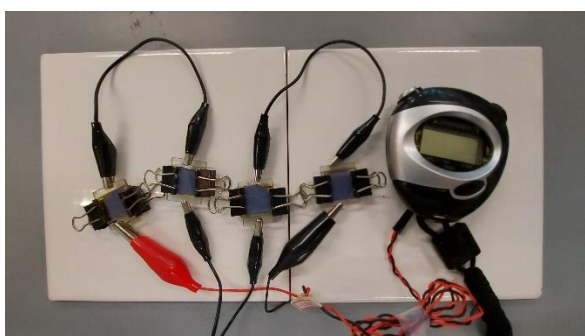
1. 串聯連接 3 個染料敏化太陽能電池，並在 LED 手電筒照明下，用萬用表測量該系統的 V_{oc} (開路電壓) 和 I_{sc} (短路電流)。



2. 繼續向系統中添加染料敏化太陽能電池，直到電壓大於 1200 mV，然後斷開萬用表的連接。



3. 連接系統，並檢查其是否可以在 LED 手電筒的照明下啟動秒錶。記下最少要多個太陽能電池的數量才可能啟動秒錶。。



安全提示

- 遵守實驗室活動的標準安全程序；
- 戴上安全護目鏡、實驗室工作服和手套；
- 化學品的材料安全數據表 (MSDS) 可在 MSDSonline.com 網站上在線獲取。

結果與討論

數據與數據處理

A. 染料敏化太陽能電池的製造和相應電性能的分析

使用的漿果類型：藍莓

添加三碘化物溶液 (電解質) 之前：

	電壓 (mV)	電流 (μA)
室內照明	0	0
LED 手電筒	0	0

∴ 在無電解質的情況下，太陽能電池 可運作 / 未可運作*

添加三碘化物溶液 (電解質) 後：

	電壓 (mV)	電流 (μA)
室內照明	90	0
LED 手電筒	331	18
在黑陰中	3	0

∴ 照射的光度增加，電壓會 增加 / 減少*

B. 通過串聯多個染料敏化太陽能電池來啟動秒錶

在 LED 照明下

太陽能電池數量	電壓 (mV)	電流 (μA)
3	970	11
4	1320	11
5	1550	11

秒錶通電所需的太陽能電池數量 4

可以啟動秒錶的最小電壓 1320 mV

∴ 串聯的太陽能電池數量增加：電壓會 升高 / 降低*

(* 圈出每個問題的適當答案)

染料敏化太陽能電池 (DSSC) 為 p - n 結光伏器件提供了技術上和經濟效益上可靠的替代方案。染料敏化太陽能電池中染料分子的功能是吸收入射光，以將電子光激發到較高能態。為了成為有效的光敏劑，染料分子必須在可見光區域 (400 nm 至 700 nm) 顯示出高效的吸收性，在半導體表面上強烈吸附，消光係數高，並且以其氧化態穩定，使其能夠被吸收。

當入射光子被染料敏化太陽能電池的光陽極吸收時，電子從基態激發到激發態，隨後轉移到 TiO_2 的導帶。該過程將光陽極氧化，使電子穿過電路行進到電池的陰極，然後通過電解質返回到陽極。這種電子移動的重複過程會產生電能。

由於生產染料敏化太陽能電池成本低，製作過程簡單而且對環境的影響少，尤其是天然染料敏化的太陽能電池，因此成為最可行的太陽能轉換設備之一。

染料敏化太陽能電池可以在光照下產生電壓。與在黑陰中和室內照明下獲得的電壓和電流值相比，它在 LED 手電筒照明下具有更高的電壓和電流值。如果電源電壓高於 1200 mV，可以啟動秒錶。為了產生足夠的電壓來為秒錶供電，需要數隻染料敏化太陽能電池串聯在一起。

在該實驗中，從藍莓提取的染料提供了最佳的光伏設備性能。這是由於染料的顏色越深，日光吸收越高，導致光電流密度越高。

染料敏化太陽能電池雖然易於製造，但要確保設備可正常運作，須注意一些事項。本實驗中使用的導電玻璃是 FTO (氟摻雜的氧化錫塗層) 玻璃。玻璃只有一側可以導電，另一側則不能。功能材料必須夾在兩個導電面之間，這可以通過用萬用表測量電阻來識別。藍莓 TiO_2 塗層的電極和對電極必須完全吹乾，然後才能夾在一起。如果電極相互摩擦，則 TiO_2 層很容易從導電玻璃上脫落。

結論

染料敏化太陽能電池 (DSSC) 基於半導體的二氧化鈦納米粒子，該納米粒子塗有吸光染料並被電解質包圍，然後被夾在陽極和陰極之間。從藍莓提取的吸光染料負責將光能轉換為電能。電解質溶液包含碘離子，該碘離子有助於電子轉移到陰極。通過這種簡單的染料敏化電池收集的能量可用於驅動電子產品。

在這次實驗中，學生學習製造天然染料的太陽能電池並測量其的電性能。實驗室活動包括 (1) 通過用藍莓的天然染料塗 TiO_2 的導電玻璃來製造太陽能電池；(2) 在不同條件下確定染料敏化太陽能電池的電性能；以及 (3) 串聯多個染料敏化太陽能電池來啟動秒錶。

問題與答案

1. 當照射在太陽能電池上時的光度增強，太陽能電池產生的電壓和電流會發生什麼變化？
太陽能電池所產生的電壓和電流會增加。
2. 使用乙醇清洗塗有染料的 TiO_2 玻璃片的目的是什麼？
乙醇把水從多孔的 TiO_2 除去，因為乙醇比水更易揮發。
3. 染料敏化太陽能電池在商業應用中的優勢是什麼？
它價格便宜和環保，可以透明方式出現，加工後更可以改變顏色；因此，可以用於太陽能窗戶和屋頂板是建築集成光伏 (BIPV) 的應用。還有染料敏化電池或模塊的可用性靈活和輕巧，可應用於室內或室外光計算器，小工具和移動設備。
4. 染料敏化太陽能電池的主要缺點是使用了具有溫度穩定性問題的液體電解質。在低溫和高溫下可能發生的最壞情況是什麼？
在低溫下，電解質會凍結，從而導致物理損壞。高溫導致液體電解質膨脹，從而使電解質的洩漏成為嚴重的問題。

參考文獻

1. Current Technology and Development of Dye-sensitized solar cells
[En.wikipedia.org/wiki/Dye-sensitized_solar_cell](http://en.wikipedia.org/wiki/Dye-sensitized_solar_cell)
2. Videos for dye sensitized solar cell – Report videos
<http://www.youtube.com/watch?v=17SsOKEN5dE>
<http://www.youtube.com/watch?v=Qbs11NP5uZI>
3. Working principles of dye-sensitized solar cells.
http://academics.adelphi.edu/artsci/bio/pdfs/nonparticle_based_solar_cells.pdf
4. Fabrication of Dye Sensitized Solar Cell Based on Natural Photosensitizers
<http://www.worldscientificnews.com/wp-content/uploads/2020/09/WSN-149-2020-128-139.pdf>