

國中、小「維生素 C 的定量分析」 實驗設計與闖關實作

連經憶

國立嘉義大學應用化學系
Email:kelly@mail.ncyu.edu.tw

■ 前言

化學是基礎科學，日常生活中食、衣、住、行都離不開化學。當學生開始學習科學時，多半是從具體地、看得到、摸的到、或是符合學生生活經驗的題材開始，例如：植物的構造；這樣學生容易進入況，降低學習科學時的挫折感。國小自然科學課本中生物及物理方面的實驗較多，化學實驗相對較少，多為物質的變化、溶解、與酸鹼度等，國小甚至於國中，可能因教師專業領域不是化學、怕教錯，對化合物性質不了解、怕危險，準備試劑、怕麻煩等因素而跳過化學實驗，因此使用的實驗材料必需是安全的或容易取得，以鼓勵中小學自然領域教師放心大膽地帶學生進行化學實驗。維生素 C (Vitamin C、圖 1) 定量分析實驗使用的試劑恰好符合上述條件，含有維生素 C 的樣品很容易取得，新鮮蔬果、維生素 C 錠劑或飲料中添加維生素 C。對中、小學生而言，維生素 C 是熟悉的化合物，「分析蔬果或飲料中維生素 C 含量」的實驗具有目的明確與容易了解的特點。定量分析的試劑及器材可改為市售的優碘或點眼瓶，實驗室中完整操作的定量分析滴定實驗亦可簡化為科學闖關活動中的科學關卡；教師可依照學生的年齡層區別，傳遞不同層次的科學知識。中學生可計算維生素 C 含量，並與標示值比較；小學生則計算所消耗優碘的滴數，比較不同樣品間維生素含量的高低。除了定量分析外，維生素 C 的穩定性也是很好的實驗題材。蔬果中有維生素 C，也有維生素 C 氧化酶 (Ascorbic Acid Oxidase)，維生素 C 氧化酶可將維生素 C 氧化為脫氫抗壞血酸 (Dehydroascorbic acid) (圖 1)。2018 年康健雜誌報導「生吃小黃瓜，蔬果維生素 C 全跑光光」(康健雜誌報導，2018)，此觀點與大眾的認知有落差，大部份民眾認為小黃瓜生吃能保有更多營養成份，因此需要以科學方法驗證，小心設計實驗，利用本文敘述的定量分析方法可確認報導的真實性。

■ 維生素 C 的定量分析

維生素 C 又名抗血酸，是大家耳熟能詳、維持身體健康必需的一種營養素，除了新鮮蔬果

外，在營養補充劑、果汁及各種不同飲料中都可見到維生素 C 的踪影。在營養補充劑中，維生素 C 是主角，依據衛福部食品藥物管理署於民國 101 年訂定第八版「國人膳食營養素參考攝取量及其說明」(國人膳食營養素參考攝取量及其說明, 2023)，維生素 C 參與膠原蛋白、肉鹼、神經傳導物質、膽固等多種物質的合成，可促進傷口癒合、增加對受傷及感染等壓力之抵抗應付能力。在各式瓶裝飲料中，雖然維生素 C 不一定是功能性的主角，但因本身容易被氧化而具有良好的抗氧化活性，可避免其他化合物被氧化、變質，所以是常見的食品添加劑。

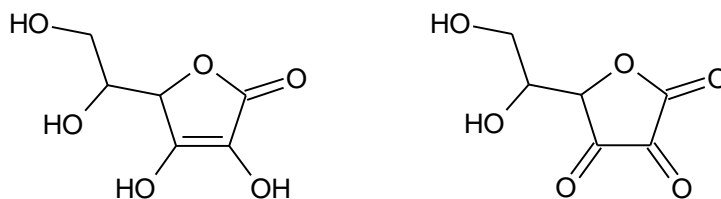
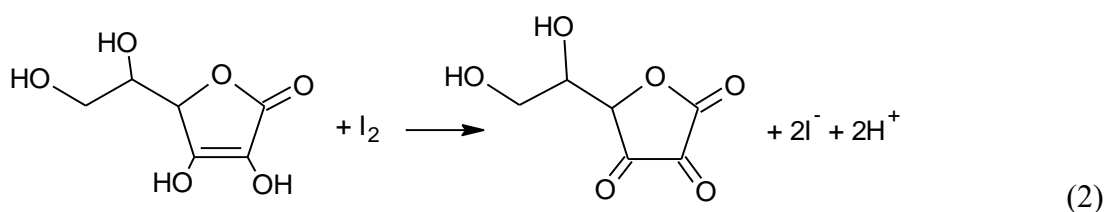
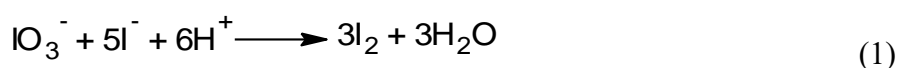


圖 1 抗壞血酸 (左) 及脫氫抗壞血酸 (右) 的化學結構。

分析維生素 C 的方法有氧化還原滴定、酸鹼滴定、比色法及高效液相層析法等，大學普化實驗利用氧化還原滴定，測定錠劑中維生素 C 的含量。實驗時以已知濃度的碘酸鉀 (KIO_3) 溶液做為滴定劑，與樣品中的碘化鉀反應產生碘分子，產生的碘分子立刻與維生素 C 反應生成碘離子 (式一及式二)。當反應達滴定終點時，因維生素 C 已完全耗盡，此時碘分子與溶液中的碘離子結合形成三碘陰離子 (I_3^-)；三碘陰離子與澱粉指示劑結合，形成藍色的錯合物，使溶液呈現藍色。由達終點時消耗的碘酸鉀體積及濃度，利用式一及二的化學劑量關係，可計算樣品中維生素 C 的含量。



在上述實驗中，碘分子與維生素 C 反應，因國小教師不易取得碘酸鉀和碘化鉀，國小階段也不宜接觸這二種化合物，而市售的優碘可提供碘分子，因此在國小或國中可改用優碘進行定量分析。優碘成份是聚維酮碘 (Povidone Iodine、圖 2)，瓶身的標示顯示，每毫升溶液中含有 10mg 的有效碘。下列以分析飲料中維他命 C 含量為例並說明。

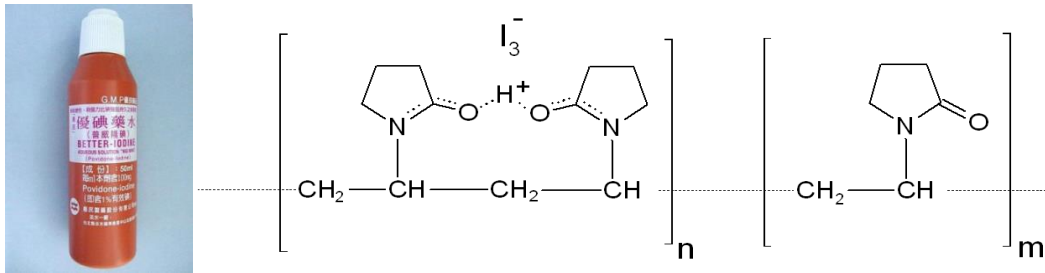




圖 2 優碘及聚維酮碘的化學結構 (引自維基百科)

一、國小端的維生素 C 定量分析實驗

國小學生進行化學實驗時，應著重學習觀察並記錄反應發生的現象，例如：顏色變化等；藉由重覆操作同一實驗，比較得到的數據，建立實驗結果必需有再現性的概念。本實驗已在國小科學闖關活動或科學營中進行多次，實驗時使用點眼瓶取代滴定管，以微量離心管取代三角燒瓶，以減少試劑用量及避免學生打破器材，同樣能達到比較不同飲料中維生素 C 含量及建立實驗結果再現性的概念。實驗步驟及教學注意事項(表 1)：

表 1 飲料中維生素 C 含量分析之實驗步驟及注意事項(國小端)

	實驗步驟	注意事項
1	準備二種以上飲料，一種具有標示清楚、已知含量的維生素 C，例如 C. C. Lemon，另一種則無標示含有維生素 C，例如蘋果汁。引導學生辨認標示值。	
2	取一微量離心管，加入 0.5 mL 果汁及加入 2 滴的澱粉指示劑。混合均勻。	<ul style="list-style-type: none"> ● 請學生觀察微量離心管上 0.5 mL 的刻度及並說明使用方法。
3	將稀釋的碘液滴入步驟 2 的微量離心管中，混合均勻，每滴完一滴後需觀察混合物的顏色。當溶液變為藍黑色時即達終點，記錄所需的碘液量。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 有些品牌的優碘中含有賦型劑，加入過量優碘亦無法形成藍黑色錯合物，影響終點之判斷。請選用無賦型劑之優碘。 ● 取 5 mL 優碘，加水稀釋至 20 mL，混合均勻後裝入點眼瓶。 ● 解說並示範點眼瓶的用法，告訴學生輕輕地擠點眼瓶，避免一下子擠出太多溶液，建議先讓學生練習，如何將點眼瓶中的液體逐滴擠出。

4	重覆步驟 1-3，進行另外二次滴定，記錄達終點所需要優碘之滴數，求出平均值。	<ul style="list-style-type: none"> ● 使用學習單，請學生記錄每次達終點所需滴數。以 C. C Lemon 為例，達終點且溶液變色約需 8~9 滴。但因每人擠壓力道不同，不同人的滴數差異可能比較大，但同一人、三次實驗之間的滴數差異不大。 ● 請同學將平均滴數寫在黑板上，引導學生討論造成滴數差異可能的原因。
5	重覆步驟 1-4，改換另一種果汁。	<ul style="list-style-type: none"> ● 如標示有維生素 C，但未寫出含量，則維生素 C 可能很少，往往 1~2 滴就會變色。

二、國中端的維生素 C 定量分析

在國小進行維生素 C 定量分析實驗時，因小學生並無化學計量的概念，以滴數代表維生素 C 含量的多寡，嚴格來說並非定量分析。在國中階段，如學生已建立莫耳數概念，可利用優碘中有效碘濃度及達終點所需體積，使用式二計算樣品中維生素 C 的含量。市售優碘所含有效碘為 10 mg/mL，經換算體積莫耳濃度為 0.039 M。為確認標示的有效碘濃度正確，應以純的維生素 C 進行標定，以市售某品牌優碘為例：精秤一定質量的維生素 C，溶於去離子水，以未稀釋之優碘進行標定，三次結果各為每毫升含有 9.57、9.70 及 9.55 毫克，與標示值接近，由標定結果可知其有效碘的體積耳濃度為 0.038 M。國中生可使用滴定管及三角燒瓶，以優碘為滴定劑，分析錠劑中維生素 C 含量，如用維他命 C 錠劑，需進行樣品製備，以研鉢及杵磨碎錠劑，加入約 50 mL 去離子水，維生素 C 溶解後再倒入 100 mL 容量瓶中，定量到刻度，滴定时只取 10 mL 進行滴定。如以含維生素 C 的果汁或飲料進行滴定时，則不需要樣品製備。表二以果汁做為樣品時之實驗步驟及注意事項。

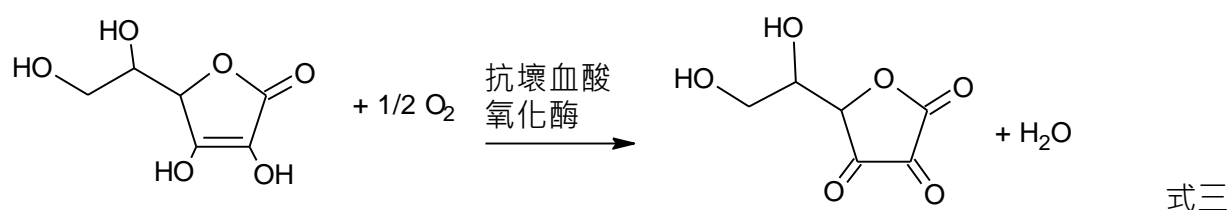
表 2 飲料中維生素 C 含量分析之實驗步驟及注意事項(國中端)

	實驗步驟	注意事項
1	將稀釋的優碘加入滴定管中。	<ul style="list-style-type: none"> ● 稀釋優碘。取 250 mL 優碘加入 1000 mL 容量瓶中，加水稀釋到刻度，混合均勻。 ● 說明滴定管的使用方式。 ● 可使用自製的微量滴定管，減少試劑

		用量，微量滴定管的製備方式請參考台灣化學教育期刊（黃稜蘊、楊水平，2016）。
2	用量筒量取 100 mL 的 C C Lemon 倒入 250 mL 三角燒瓶中，加入 1 mL 澱粉指示劑，混合均勻。	
3	進行滴定。將稀釋的碘液滴入步驟 2 三角燒瓶中，混合均勻。當溶液變為藍色時即達終點，記錄所需的碘液量。	● 說明使用滴定管滴定的正確操作方式。
4	重覆步驟 2-3，進行另外二次滴定，記錄達終點所需碘液量。求出平均值。	● 使用學習單，請學生記錄每次達終點時所需體積。 ● 依式二，計算飲料中維生素 C 含量，與標示值比較。

三、看新聞學科學-小黃瓜對維生素 C 穩定性之影響

圖 3 是網路上搜尋小黃瓜對維生素 C 穩定性影響之新聞截圖。新聞報導顯示：小黃瓜含有維生素 C 分解酶，會破壞維生素 C。新聞報導的內容一定是百分百正確嗎？答案是否定的。小黃瓜中破壞維生素 C 的酵素不是分解酶，而是抗壞血酸氧化酶，氧化酶氧化維生素 C，使其變為脫氫抗壞血酸，因而破壞了維生素 C 的抗氧化力 (Shimada & Ko, 2008)，反應式如下：



如何驗證小黃瓜對維生素 C 的影響？可萃取小黃瓜汁液，加入一定濃度的維生素 C 溶液中，反應一段時間後，再以稀釋的優碘滴定，並比較不加小黃瓜萃取液的滴定結果，就可驗證新聞報導是否正確。本實驗亦可探討影響酵素活性的因素，如加熱、加醋或加鹽使酵素失去活性，如同報導中農糧署所述。除了小黃瓜，亦可延伸探討其他蔬果是否含有抗壞血酸氧化酶。文獻報導指出：花椰菜、南瓜、胡蘿蔔、及菠菜等都有抗壞血酸氧化酶，而所含維生素 C 濃度與抗壞血酸氧化酶活性有關，活性越高，殘留的抗壞血酸越少。表 3 是小黃瓜氧化維生素 C 之實驗步驟及注意事項。

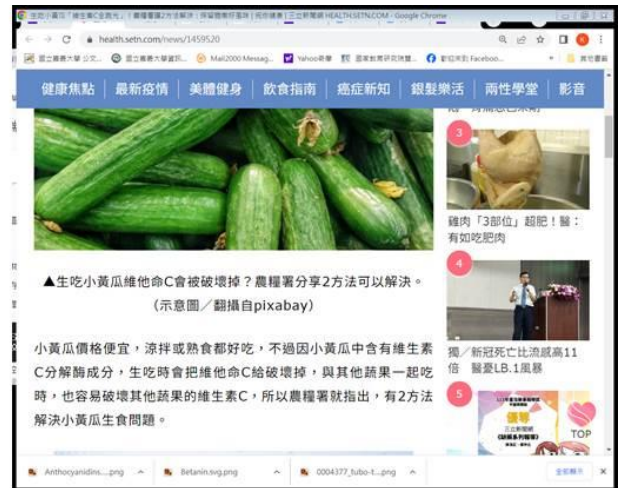
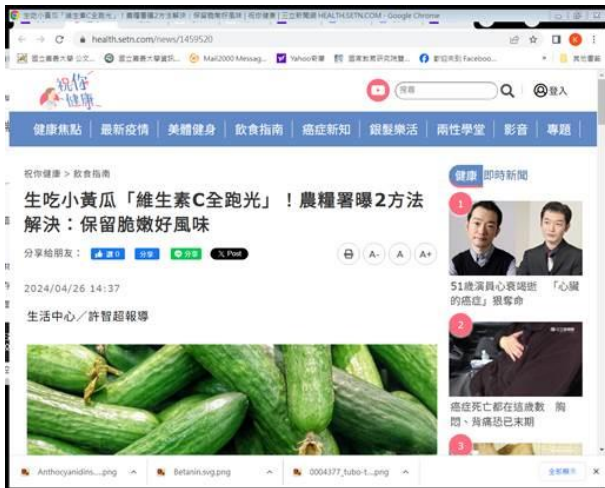



圖 3 小黃瓜對維生素 C 穩定性影響之新聞截圖

表 3 小黃瓜氧化維生素 C 之實驗步驟及注意事項

	實驗步驟	注意事項
1	配製維生素 C 溶液。取約 0.1 克的維生素 C，加入 10 mL 的容量瓶中，定量到刻度。	● 維生素 C 易氧化，建議一次不要配多，夠用就好，因第二天溶液會變成淡黃色。
2	取一小塊小黃瓜放入夾鏈袋中，將小黃瓜搗爛取汁。 	● 使用二個夾鏈袋，以免將夾鏈袋弄破，將 3 號夾鏈袋套入 4 號夾鏈袋中，再放入一塊小黃瓜。
3	取 1 mL 步驟 1 的維生素 C 溶液，放入 15 mL 樣品瓶中，加入 5 滴步驟 2 的小黃瓜汁液。另取一個 15 mL 的樣品瓶，加入 1 mL 步驟 1 的維生素 C 溶液，不加小黃瓜汁液，改加入 5 滴去離子水，混合均勻後於室溫下反應 20 分鐘，再滴定。	● 說明使用滴定管滴定的正確方式。

■ 結語

維生素 C 的定量分析是很好的實驗題材，除了測定飲料中含量外，也可以分析蔬果中含量，或指導學生設計實驗，探討維生素 C 的穩定性。國小端實驗以點眼瓶取代滴定管，實驗時可以人手一支點眼瓶進行實驗，有效解決器材不足的問題，同時可降低試劑用量，減少對環境的衝擊。雖然無法做到精準地定量分析，但依在教學現場學生的反應來看，即使小學生也能了解實驗結果之再現性，達到良好的教學效果，亦可延伸探討蔬果中抗壞血酸氧化酶的活性。甚至利用維生素 C 為隱形墨水，用棉花棒沾維生素 C 溶液在圖畫紙上寫字，再塗優碘，顯現所寫的字。因圖畫紙有澱粉，塗優碘後沒寫字的地方呈現藍黑色，有維生素 C 之處與優碘反應，消耗碘，保持原紙張的顏色，增加實驗的趣味性。

利用點眼瓶及市售優碘來分析瓶裝飲料中維生素 C 的含量，可在短時間內分辨維生素 C 含量的高低，已多次用在嘉義縣、市全民科學月闖關活動、科學 168 及其他大型闖關活動；近期在國中及國小科學營亦加入「看新聞、學科學-探討小黃瓜對維生素 C 的影響」實驗，以實際的結果說明何謂實驗結果的再現性。嘉義縣國中教師研習則以自製的微量滴定管，分析錠劑中維生素 C 的含量。透過上述學生及教師的回饋可知：本化學實驗適合國中及國小學生操作，若加入維生素 C 氧化酶，更能增加實驗的廣度及深度。

■ 參考文獻

康健雜誌報導 (2018)。「生吃小黃瓜，蔬果維生素 C 全跑光光」。

<https://www.commonhealth.com.tw/article/76965>

衛生福利部國民健康署 (2022 年 10 月 20 日)。「國人膳食營養素參考攝取量」第八版。

<https://www.hpa.gov.tw/Pages/Detail.aspx?nodeid=4248&pid=12285>

黃稜蘊、楊水平 (2016)。微量化學實驗：酸鹼滴定的微量實驗。臺灣化學教育，14。

<https://chemed.chemistry.org.tw/?p=17659>

聚維酮碘 (2024 年 1 月 29 日)。載於維基百科。

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%81%9A%E7%BB%B4%E9%85%AE%E7%A2%98>

Shimada, Y. & Ko, S. (2008). Ascorbic acid and ascorbic acid oxidase in vegetables.

Chugokugakuen Journal, 7, 7-10.