

國中環境教育輔助教材—理化科

何寶珠 蕭次融

國立臺灣師範大學化學研究所

二十餘年來，本省在「發展經濟優先」的觀念下，造就了經濟的奇蹟，但是伴隨工業發展而來的公害問題却未受到應有的重視與關心。直到近數年來，接二連三的公害事件發生，如鎘米、綠牡蠣、多氯聯苯中毒等等，以及隨時可聞的垃圾問題，使大眾警覺到環境的惡化程度已到了不容再忽視的地步。加上最近發生的民衆自力救濟行動，已經對經濟成長產生負面的影響，更對社會和諧造成傷害。因此發展環境教育，將正確的環保觀念植入國民的意識中，實為當前教育上重要的工作之一。

環境教育的內容是具有各科性的，在不宜增加新的科目的大前提之下，只有採取併入的方式，在現有教材中，選自生物、健教、理化三科中與環境概念有關的單元，編寫適宜的內容併入各單元，做為輔助教材。

本文是試用輔助教材的部分內容，分為三個單元，其名稱及授課時數如下表：

單 元 名 稱	授課時數
散布在空氣中的有害物質	2 小時
水的汙染及水資源的保育	1 小時
有毒物質與重金屬	2 小時

編輯的方式分為兩部分，一部分是學生教材，另一部分是教師指引。為顧及一般國中學生的程度及興趣，學生教材部分盡量擷取與日常生活有關的事物，以示範實驗的方式導入，再進行討論。教師指引部分主要是作概念分析，建議可行的教學活動，與提供參考資料。

環境教育在我國尚屬萌芽階段，教材缺乏，資料收集不易。本文僅是初步嚐試，漏誤不妥之處，在所難免，尚祈國內教學先進不吝指正，以作修改之參考。

單元一：散布在空氣中的有害物質

壹、學生用輔助教材

日常生活中汽車、機車是我們常見的交通工具，火力發電廠供給我們電力，化學品製造廠、煉油廠、水泥廠、煉鋼廠等供給我們生活必需的物品。這些交通工具和工廠帶給我們生活的舒適和方便，但同時也帶來一些環境的問題。車輛排出的廢氣、工廠噴出的煙塵都是空氣汙染的主要來源，歸根究底，以石油和煤為燃料是最根本的原因。

石油和煤中最主要的元素是碳和氫，因此如果完全燃燒就變成二氧化碳和水，這種產物對人體並不會造成傷害。然而，假若石油的燃燒不完全，就有一部分碳氫化合物會散逸到空氣中，而且還會產生有害的一氧化碳。人若處於 750 ppm 的一氧化碳中就會導致死亡；即使含量較少，也會發生暈眩、嘔吐、噁心、耳鳴等現象。

散布在空氣中的有害物質除了碳氫化合物和一氧化碳外，還有那些呢？

示範實驗一

【實驗目的】

火柴頭含有硫，點燃火柴可使過錳酸鉀褪色，顯示二氧化硫可使過錳酸鉀褪色。

【實驗器材】

透明玻璃杯	2 個
過錳酸鉀顆粒	數粒
碘酒	數滴
火柴	1 盒

碘液	數滴
澱粉液	數滴

【實驗步驟】

1. 取過錳酸鉀數粒置於透明玻璃杯中，加水溶解，將此淡紫紅色溶液倒入另一玻璃杯，使液面離杯底約 2 公分高。（注意：未溶固體顆粒不可倒入，若顏色太濃，則加水稀釋）
2. 以一個玻璃杯當做杯蓋，斜蓋在裝上述溶液的玻璃杯上，如圖一所示。
3. 在杯口點燃一支火柴，迅速移入杯內。火柴頭燃燒的嘶嘶聲過後即移出火柴棒，斜蓋杯口後輕輕搖盪，觀察溶液顏色的變化。

4. 再點火柴，如步驟 3 的操作，直到紫紅色褪去。
5. 以稀碘液和澱粉液混合，代替過錳酸鉀，同樣操作，觀察結果。



圖一 點燃火柴使過錳酸鉀褪色

【實驗結果】

1. 共點燃幾根火柴才使過錳酸鉀的紫紅色褪盡？
2. 以稀碘液和澱粉液混合代替過錳酸鉀溶液，顏色變化如何？

【問題討論】

1. 在本實驗中是什麼物質使過錳酸鉀褪色？
2. 用碘液與澱粉的混合液代替過錳酸鉀溶液，是否也可以檢驗二氧化硫的存在？

示範實驗二

【實驗目的】

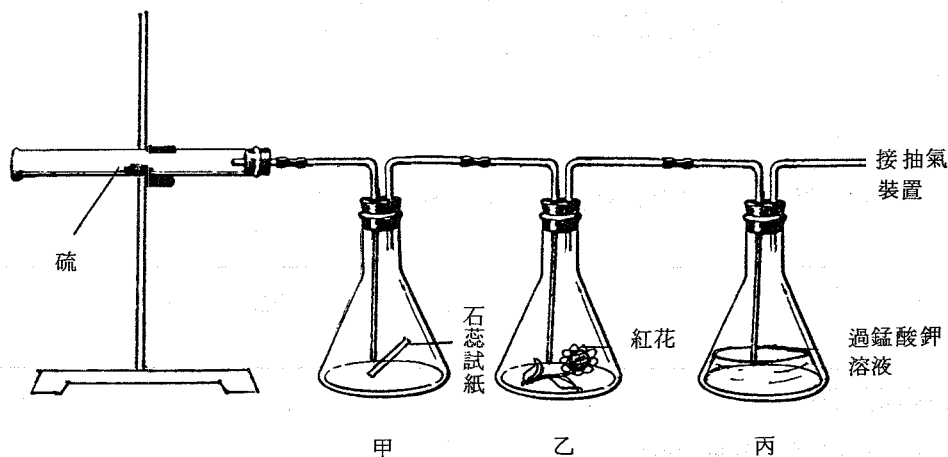
由燃燒硫產生二氧化硫，並試驗二氧化硫的性質及其對生物的危害。

【實驗器材】

玻璃管（25 cm）一支	酒精燈	紅色花朵
導管及彎管數支	錐形瓶（250 mL）3 個	過錳酸鉀溶液
橡皮塞（單孔及雙孔）4 個	鋁箔一小片	（0.1M）100 mL
抽氣裝置（水流抽氣裝置）	橡皮管	
鐵夾或鑷子 1 支	石蕊試紙一片	

【實驗步驟】

1. 取小片鋁箔，在周圍略往上摺成一船形，放少量硫粉在裡面。
2. 將玻璃管、導管、橡皮塞等連接起來（如圖二所示），甲瓶中放一片濕的藍色石蕊試紙，乙瓶中放一朵紅色花朵，丙瓶中放過錳酸鉀溶液 100 mL。
3. 打開抽氣裝置後，以鑷子夾住鋁箔，放在酒精燈上引燃後，迅速放入玻璃管中。
4. 注意儘量勿使燃燒產物外洩，觀察甲、乙、丙三瓶中所發生的現象，並記錄丙瓶褪色的時間。



圖二 硫的燃燒與二氧化硫的性質

【實驗結果】

	燃燒產物未通過前	燃燒產物通過後
甲 瓶		
乙 瓶		
丙 瓶		

丙瓶褪色的時間：_____ 秒

示範實驗三

【實驗目的】

探討如何將有毒的二氧化硫轉變成無毒的形式。

【實驗器材】

雙氧水(3%) 100 mL 其他器材與示範實驗(一)同。飽和氯化鋇水溶液數滴

【實驗步驟】

1. 小心拆除示範實驗(一)的裝置，將甲、乙、丙三錐形瓶洗淨備用。
2. 甲瓶仍放一片濕的藍色石蕊試紙，乙瓶裝入3%雙氧水 100 mL，丙瓶裝過錳酸鉀溶液 100 mL (濃度與示範實驗(一)同)，再重新將各部分如圖裝置好。
3. 打開抽氣裝置引燃硫，迅速放入玻璃管中，記錄丙瓶褪色的時間。
4. 小心取下乙瓶，加數滴氯化鋇溶液，觀察結果。

【實驗結果】

	燃燒產物未通過前	燃燒產物通過後
甲 瓶		
乙 瓶		
丙 瓶		

丙瓶褪色時間：_____ 秒

【問題討論】

1. 為什麼在示範實驗中須先打開抽氣裝置，然後再引燃硫？

2. 二氧化硫對植物有什麼危害？

3. 由示範實驗二中，甲瓶和丙瓶的變化說明二氧化硫的性質。

4. 示範實驗三乙瓶中的雙氧水有何作用？加了氯化鋇有何現象發生？這種現象表示二氧化硫轉變成什麼形式？

5. 比較示範實驗二和示範實驗三中丙瓶褪色的時間，說明如何除去空氣中的二氧化硫。

石油中除含碳氫化合物外，也含有少量的硫以及其他雜質，因此燃燒後，就會有二氧化硫和其他物質產生。二氧化硫是一種無色、有刺激臭味的氣體，在空氣中氧化後，部分變成三氧化硫。二氧化硫和三氧化硫都很容易溶於水，而形成亞硫酸和硫酸，所以

其水溶液呈酸性。二氧化硫能夠和過錳酸鉀反應，使過錳酸鉀的紫紅色褪去。

空氣中的氮是很不容易和其他物質化合的，但在汽車引擎的高溫高壓狀態下，空氣中的氧和氮便化合成一氧化氮。在空氣中一氧化氮很快地變成二氧化氮，這些氮的氧化物溶於水就變成酸性的亞硝酸和硝酸。硫的氧化物及氮的氧化物散布在空氣中，若被雲和雨滴吸收，就會提高雨水的酸度而形成酸雨；若在空氣中形成硫酸鹽或硝酸鹽的顆粒物質，飄浮在地面附近就形成酸霧；石油或煤燃燒產生的碳氫化合物、一氧化碳、硫氧化物、氮氧化物等，在陽光照射下，會發生化學反應，形成光化學煙霧。

酸雨、酸霧加速金屬的生鏽和建築物的毀損，還會增加土壤中礦物質的溶解，影響植物的生長，造成森林的破壞，煙霧不但對人體呼吸有害還會減低能見度，影響交通，甚至使農作物生長不正常，產生汙染事件的糾紛。

此外來自飛機噴氣中的氮氧化物會破壞大氣中過濾有害輻射的臭氧層；過渡燃燒的結果，使大氣層中的二氧化碳不斷增加，產生溫室效應，使全球氣候發生異常的變化，進而影響整個生態平衡。

想到這些可怕的後果，我們就必須及早制止空氣污染物的產生與散佈。首先我們必須使用含硫量低的石油或煤，或將硫含量高的石油和煤先經過脫硫的程序，再用來作為燃料。其次是改良汽車引擎，消除排氣中的有害物質。而最根本的解決辦法是開發其他能源，以取代石油和煤，如製造電動車及利用太陽能發電等。每一個人更應該從本身做起，從自家環境做起，儘量減少空氣的汙染，工廠也應將廢氣做好妥善的處理後才排放出來，如此，大家才有清潔的空氣可供呼吸。

貳、教學指引部分

國中環境教育輔助教材（理化科）

單元名稱：散布在空氣中的有害物質

教材地位：建議編排於國中理化第一冊第七章燃燒或第二冊第十一章一些重要的元素之後

一、國中理化教材與本單元有關聯的概念

（括弧內數字表示現行國中理化課本的章節）

1. 溶液與溶解（4-1）

2. 自然界的水循環(4-2)
3. 氣體的擴散(6-3, 實驗 6-4)
4. 物質燃燒及其產物(7-1, 實驗 7-1)
5. 氧化物水溶液的酸鹼性(實驗 7-1)
6. 金屬與酸的反應(8-3, 實驗 8-1)
7. 質量守恆定律(9-4)
8. 一些重要元素的性質及反應(11-2)

二、本單元擬加強的環境教育概念

1. 空氣是一種主要的自然資源。(Allman 2.1)
2. 空氣是可再用資源, 以自然和人工的方法可潔淨到某一程度, 防止空氣汙染是人類的責任。(Allman 2.2)
3. 空氣的汙染是可以偵察和測量的, 一般的原因是蒸發和燃燒。(Allman 2.4)
4. 交通工具、工廠、燃燒等所產生的廢氣, 造成空氣品質的降低。(Wilson 2.(1))
5. 空氣汙染會造成金屬、磚瓦、水泥的腐蝕, 對動植物產生副作用。(Allman 2.7)
6. 空氣雖然是免費的, 但人類必須付出個人力量 and 金錢減低空氣汙染, 才有新鮮的空氣可供呼吸。

三、本單元的學習行為目標

A. 認知領域

- (1) 能指出二氧化硫的來源
- (2) 能說明二氧化硫的物理性質——水溶性、氣味
- (3) 能說明二氧化硫的化學性質——酸性、還原性、毒性
- (4) 能說明硫在自然界的循環
- (5) 能說明形成酸雨的原因
- (6) 能說明酸雨對環境的影響
- (7) 能指出引起空氣汙染的原因
- (8) 能說明影響空氣汙染的因素
- (9) 能了解除去二氧化硫的方法
- (10) 能認識防治空氣汙染的環保法規

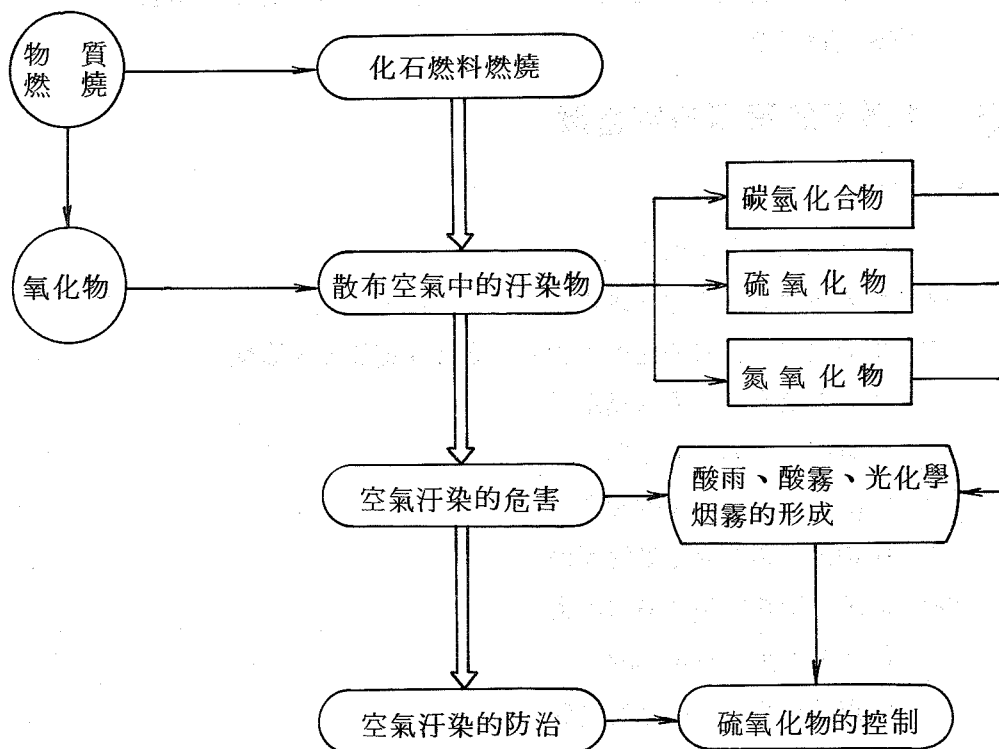
B. 技能領域

- (1) 能預測何種燃燒產物會造成空氣汙染
- (2) 能預測空氣汙染所造成的危害
- (3) 能使用簡單器材收集硫燃燒後的產物
- (4) 能應用常見易得的藥品試驗二氧化硫的性質
- (5) 能試驗二氧化硫對生物的危害情形
- (6) 能預測何種形式的硫化合物不會對生物產生危害
- (7) 能應用簡單的化學反應使二氧化硫轉變成沒有毒性的物質

C. 情意領域

- (1) 能興起對環境空氣品質的關心
- (2) 培養隨手收拾廢棄物避免汙染的習慣
- (3) 能引起研究去除空氣汙染物的興趣
- (4) 培養遵守環保法規的習慣
- (5) 尊重他人擁有呼吸不受汙染空氣的權利

四、概念結構



五、教學活動

建議採用(1)電影、錄影帶、幻燈片觀賞 (3)團體討論
(2)示範實驗 (4)實地勘查

階 段	行 爲 目 標	活 動 內 容	準 備 器 材	備 註
準備活動	A-4 A-6	1.觀賞有關物質循環的幻燈片、影片或錄影帶 2.觀賞有關空氣汙染所造成的災害的幻燈片、影片或錄影帶	物質循環的幻燈片、影片或錄影帶。 空氣汙染的幻燈片、影片或錄影帶。	
示範實驗(一)	A-9 B-3 B-4	1.點燃火柴，火柴頭中的硫燃燒產生二氧化硫 2.二氧化硫使過錳酸鉀溶液褪色（還原作用）	見示範實驗(一)器材	由教師操作示範
示範實驗(二)	A-1 B-2 A-2 B-3 A-3 B-4 A-3 B-5	1.硫的燃燒與 SO_2 的產生 2.試驗 SO_2 對生物的影響 3.試驗 SO_2 的性質	見示範實驗(二)器材	由教師操作示範
示範實驗(三)	A-9 B-6 C-2 B-7	1.將 SO_2 氧化成 SO_4^{2-} 2.加 BaCl_2 形成 BaSO_4 沈澱	見示範實驗(三)	由教師操作示範
提出問題與進行討論	A-1 B-1 A-5 B-6 A-6 B-7 A-7 C-1 A-9 C-3 A-10 C-4 C-5	1.討論空氣汙染的來源 2.討論空氣汙染對環境的影響 3.討論酸霧和酸雨形成的原因 4.討論酸霧和酸雨對環境的危害 5.討論形成光化學煙霧的原因 6.列舉目前防治空氣汙染的法規 7.討論如何控制 SO_2 的散布		分組討論
課後活動	C-1 C-4 C-2 C-5 C-3	1.住家或學校環境空氣品質的調查 2.造成空氣汙染的來源有那些 3.提出調查報告		調查報告 列為評量 項目之一

六、註 解

1. 硫在自然界的循環

硫佔地殼成分的 0.03 - 0.1 %，常發現於火山地帶，火山活動及溫泉使硫沈澱，或以 SO_2 與 H_2S 的形式逸入大氣中。含硫礦物的風化也是使硫進入地表的重要途徑之一。酸雨及生物的活動可以加速這種風化作用的進行，當這些硫滲入土壤中，便成為植物的養分，有些農業區的土壤中缺乏硫，但在美國東部及大部分歐洲，由大氣沈積於土壤的硫却高達風化的 4 倍。

海底噴發 (Sea-spray) 也是硫進入大氣的另一途徑，這種噴發而來的硫粒子直徑很小，可以在大氣中懸浮一段相當長的時間，這些硫停留在海洋上空，有時也會回到海洋，而其中約 10 % 流入陸地。

近代由於工業的發展，人類的活動所產生的二氧化硫的量已超過風化作用所產生的 5 倍。由於海洋的面積大於陸地，因此大氣中的汙染物流入海洋的量也多於陸地。如果這種趨勢繼續的發展下去，將使大自然的硫形成不正常的分布，最後使生物可使用的硫告罄，而沈積於海洋的硫將成為硫的新資源。

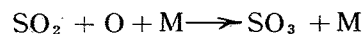
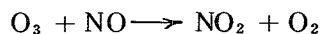
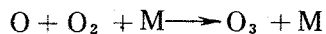
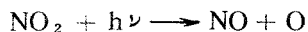
2. 光化學煙霧的成因

- a. 穩定的空氣質量 (stable air mass)
- b. 須太陽光 (needs sun light)
- c. 低的濕度 (low humidity)
- d. 逆溫狀態 (temperature inversion)
- e. 汙染的空氣 (polluted air)

3. 光化學煙霧

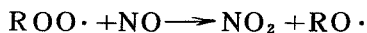
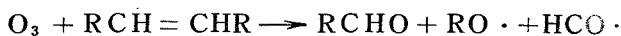
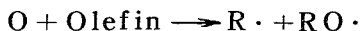
在工業國家的大都會中，最令人不快的生活因素之一，便是煙霧的存在。形成煙霧的機構相當複雜，其中 SO_2 、 NO 、碳氫化合物及 CO 扮演了重要的角色。

SO_2 來自靜態汙染源， NO 來自動態汙染源，兩者在陽光下，進行下列反應：

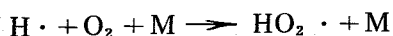
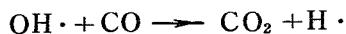


其中 M 表示任何可接受能量的物質。

碳氫化合物的加入，可能發生下列反應，產生許多含自由基的分子

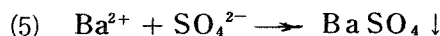
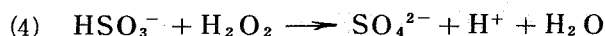
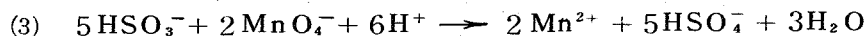
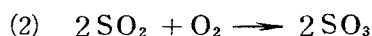
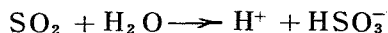
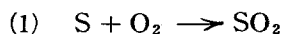


下列機構也常被認為是造成都市大氣中大量自由基的可能原因



以上反應並不能完全表示出造成光化學煙霧的全部反應，但明顯的可知這些煙霧是由空氣汙染造成的，這些空氣汙染物交互作用的結果，在大氣中形成許多微粒，這些微粒能吸收及散射光線，造成能見度的降低。

4. 示範實驗的反應



七、參考資料

1. 空氣汙染的悲劇——見參考文獻 2
2. 硫在自然界的循環——見註解 1
3. 空氣中的汙染物——見參考文獻 5
4. 空氣汙染物的來源——見參考文獻 5
5. 空氣汙染對環境的危害——見參考文獻 5
6. 酸雨——見參考文獻 4
7. 光化學煙霧的成因——見註解 2

8. 光化學煙霧——見註解 3
9. 溫室效應——見參考文獻 4
10. 臭氧洞——見參考文獻 4
11. 二氧化硫的控制——見參考文獻 2
12. 防治空氣污染的法規——見參考文獻 5
13. 示範實驗的反應——見註解 4

八、參考文獻

1. Alan Wellburn, "Air pollution and acid rain: The biological impact", John Wiley & Sons, Inc., New York.
2. 黃正義, 「空氣污染」, 淑馨出版社, 臺北, 民國 77 年。
3. 牛頓科學研習百科(化學), 牛頓出版社, 民國 74 年。
4. 「生物圈所遭受的威脅」, 牛頓雜誌 66 期, 民國 77 年 11 月。
5. 防治公害教育專輯, 臺灣省政府教育廳編印, 民國 77 年。
6. 蕭次融, 「化學演示實驗」, 科學教育月刊 115 期, 民國 77 年 12 月。

單元二：水的汙染與水資源的保育

壹、學生用輔助教材

一、水的汙染

在日常生活中，需要用水的地方很多，例如蔬菜水果經過水的清洗，才可以烹煮食用；房舍內外的汙塵，需要水的沖刷；近代的衛浴設備更需要大量的水。這些使用過的水，帶著汙穢，先流到水溝中，再匯流入河川，最後歸於大海。

有些河川除了收集人們日常生活中所排出的汙水外，還含有工業、礦業、農業等各行業所排出的廢水，致使其中百物雜陳，甚至有些河川與垃圾堆積場接近，河水的汙染情形更加嚴重。這些存在於河川中的汙染物有清潔劑、殺蟲劑、農藥、金屬鹽類，以及會消耗水中養分的有機物。

空氣中的氧有少量可溶解於水，溶解於水中氧的量稱為溶氧量，河川內的魚貝類就靠這些溶解於水的氧呼吸。水中的微生物也會利用一部分溶解的氧，將有機物分解成簡單的物質，使河川再度回復原來的潔淨狀態，此稱之為河川的自淨作用，而微生物在分解有機物時所消耗的氧氣量就稱為生物需氧量。化學藥品也能使水中有機物分解，分解有機物所需的化學藥劑換算成相當的氧量，就稱為化學需氧量。水中的汙染物越多，生物需氧量和化學需氧量也會提高。溶氧量、生物需氧量、化學需氧量等常用來作為水汙染的指標。一個良好的水域須具有高的溶氧量及低的生物需氧量與化學需氧量。

當水中的汙染物超過了一定的限度，河川中的溶氧量就大量降低，而生物需氧量及化學需氧量也相對的提高，這時河川就無法發揮其自淨作用，水中微生物的種類及作用型態也改變，轉為產生甲烷、硫化物、氨等惡臭物質，這時就成了所謂死的河川。這種死的河川，水色黑濁，時有臭氣發散出來，既不適於魚貝生長，更影響都市觀瞻，及環境衛生，甚至威脅到自來水的供應和農產品的安全性。

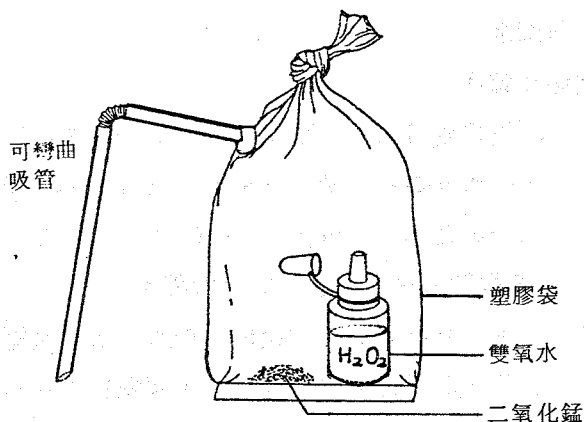
示範實驗一

【實驗目的】

利用亞甲藍的顏色變化，說明氧在水中的溶解現象。

【實驗器材】

雙氧水（10%）	30 mL
二氧化錳	0.1 g
葡萄糖	2 g
氫氧化鈉	3 g
亞甲藍液（1%）	數滴
錐形瓶（250 mL）	3 個
燒杯（500 mL）	1 個
氣體發生器裝置如圖	



【實驗步驟】

1. 燒杯內放氫氧化鈉 2 克，葡萄糖 2 克後加水 200 mL，攪拌溶液，以溶解所有固體。
2. 加亞甲藍液數滴，攪拌使溶液呈藍色。
3. 將燒杯中的溶液平分至兩錐形瓶中，標以 A 和 B。

4. 第三個錐形瓶標以C，放水100 mL後加氫氧化鈉1克，攪拌溶解，加亞甲藍液數滴至溶液呈色與A瓶略同。
5. 靜置數分鐘，觀察各瓶溶液顏色的改變，直到A瓶和B瓶的溶液褪成無色。
6. 裝好氣體發生器，以雙氧水和二氧化錳製造氧，緩緩通入A溶液，觀察溶液顏色的改變。
7. 用力搖盪B錐形瓶，觀察溶液顏色的改變，並與A錐形瓶比較。
8. 靜置A和B錐形瓶數分鐘，直到顏色再褪至無色。
9. 重覆步驟6和7的操作。
10. 觀察C錐形瓶內溶液的顏色。

示範實驗二

【實驗目的】

利用過錳酸鉀的褪色反應，以了解溶氧對有機物的分解作用。

【實驗器材】

錐形瓶(250mL) 6個	食鹽	葡萄糖
過錳酸鉀溶液(0.1M)	牛奶	肥皂屑
硫酸溶液(1M)	砂糖	試樣水
蒸餾水		

【實驗步驟】

1. 取錐形瓶6個分別標上A、B、C、D、E、F。A瓶之外的5個瓶子分別放入食鹽、牛奶、砂糖、葡萄糖、肥皂屑等各約0.5克，然後各瓶都加蒸餾水100 mL。
2. 每一瓶都加入硫酸溶液1 mL，然後在A瓶中滴一滴過錳酸鉀溶液，輕搖瓶子使溶液均勻，保留A瓶，供作對照。
3. 其餘五瓶逐次加入過錳酸鉀溶液，邊加邊搖動瓶子，直到顏色與A瓶相當為止，計數所加過錳酸鉀溶液的量，記錄結果。
4. 以不同來源的試樣水，重覆步驟3的操作，記錄結果。

【實驗結果】

步驟3的結果

錐形瓶標號	A	B	C	D	E	F
加入的物質種類		食 鹽	牛 奶	砂 糖	葡萄糖	肥皂屑
加入過錳酸鉀溶液的滴數						

步驟 4 的結果

錐形瓶標號	A	B	C	D	E	F
試樣水的來源						
加入過錳酸鉀溶液的滴數						

【問題討論】

1. 說明過錳酸鉀溶液在此實驗中有什麼作用？

2. 要使各瓶的溶液相當，為何各瓶所加的過錳酸鉀溶液都比 A 瓶多？此現象具有什麼意義？

3. 比較過錳酸鉀和示範實驗一中氧的功用有何異同？

二、水資源的保育

水與我們日常生活息息相關，因此水污染的受害面也很廣泛，臺灣地區由於工業快速的發展，水污染所造成的不利影響已逐漸顯露出來，為今為後之計，必須加緊步伐作好水污染的防治工作。防治的方法在都市須推動下水道的管理，不使污水直接流入河道及海洋，同時管制工廠、礦場及垃圾場的排水；在鄉間則防止養殖及農田廢水直接流入河川，而積極的解決方法是發展污水的用途。例如將工廠排出的熱水用來養溫水魚及貝殼類，溝渠的養料可用來培育藻類及浮游類，以作為魚類及貝殼類的食物，也可以作為家畜、家禽的飼料。如此利用人工設計的系統，我們可以從家畜、家禽、魚貝類等重獲所需的養份。

任何一個人都可能成為水污染的受害者，同時任何一個人也都可能成為水污染的製造者。製造水污染如同把一滴墨水滴入一杯清水中，但是要把那一杯弄髒的水恢復清澈就要經過複雜的技術，費時、費力又費錢，所以必須要做好水資源的保育工作，才能保持大地清溪碧水的原貌。

貳、教學指引部分

國中環境教育輔助教材（理化科）

單元名稱：水的汙染與水資源的保育

教材地位：建議編排於國中理化 4-2 自然界的水或 23-4 洗滌劑之後

一、國中理化教材與本單元有關的概念

（括弧內數字表示現行國中理化課本的章節）

1. 空氣的重要成分（3-1）
2. 氧的性質（3-1）
3. 水的性質（3-2）
4. 水對人生的重要性（3-2）
5. 水溶液（4-1）
6. 自然界的水循環（4-2）
7. 水的淨化（4-3）
8. 氧化還原反應（19-2）
9. 濃度對反應速率的影響（21-1）
10. 逆反應與化學平衡（21-4）
11. 有機化合物（22-1，22-2）
12. 食物的成分（23-1）
13. 發酵（23-2）
14. 洗滌劑（23-4）

二、本單元擬加強的環境教育概念

1. 水是大部分生物的基本要素（Allman 10.1）
2. 水是可更新的資源（Allman 10.2）
3. 化學品、腐植質、油和農業廢棄物造成湖、河、海洋的汙染（Allman 10.3）
4. 海洋是汙染的最後傾瀉場（Allman 10.4）
5. 水與自然界的每一件事物皆有關聯。所以水資源的問題須整體性地了解，包括人

體的其他成分與人類的環境。(*)

6. 水質及水的供給直接影響人類的生活環境、健康及活動(*)
7. 經過處理的水雖可再使用，但有其限制。(*)
8. 抑制環境惡化的行動必須加強，以免海洋受到更嚴重的汙染(Allman 10.5)
9. 對大部已經存在的汙染，已能正確的加以測量。(Allman 10.9)
10. 要從汙染中得到清潔的水，其代價與日俱增。(Allman 10.10)

三、本單元的學習行為目標

A. 認知領域

- (1) 能指出水對日常生活的重要性
- (2) 能指出生活環境中水汙染的來源
- (3) 能說明日常生活中汙水的流向
- (4) 能認識有關水汙染的案件
- (5) 能指出水汙染所造成的危害
- (6) 能了解水中的溶氧量及其重要性
- (7) 能了解化學需氧量的意義及測定方法
- (8) 能認識水汙染對氧溶量及化學需氧量的影響
- (9) 能了解控制水汙染的途徑
- (10) 能認識水汙染的指標及有關的環保法規

B. 技能領域

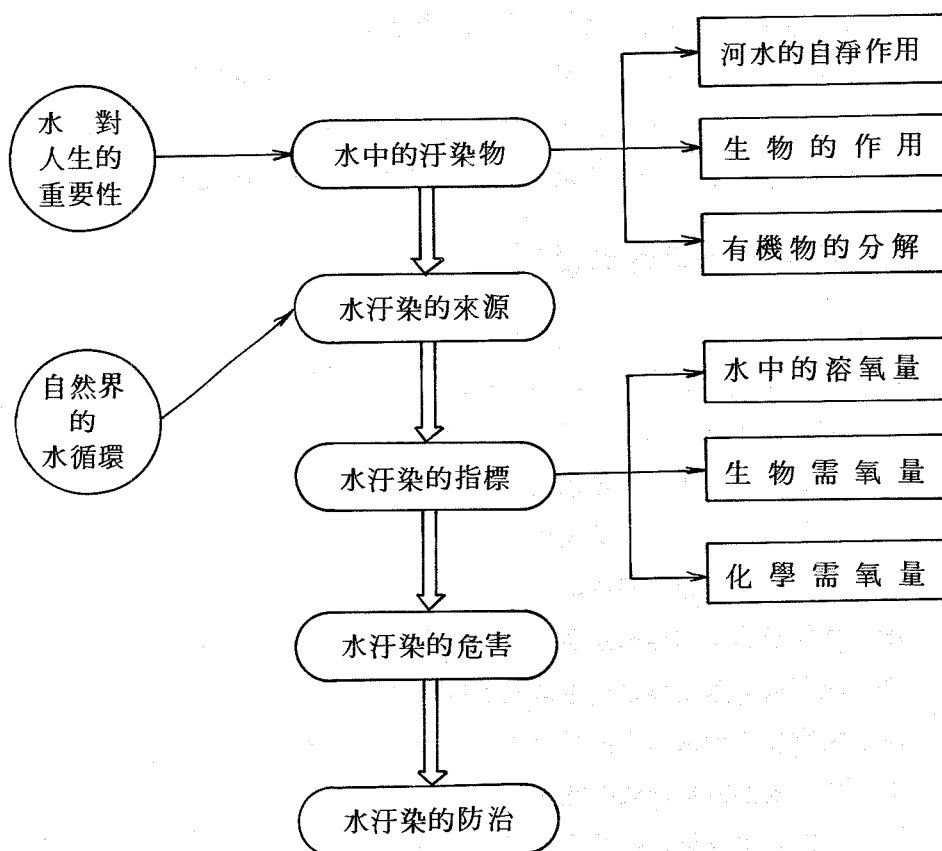
- (1) 能預測人們日常生活中構成水汙染的行為及物質
- (2) 能使用簡單的器材及藥品測定 COD (化學需氧量)

C. 情意領域

- (1) 能興起對水資源保育的關心
- (2) 能培養汙水或汙物不隨便傾入水域的習慣
- (3) 能興起研究汙水處理的興趣
- (4) 能引起對環境中水汙染的敏感度
- (5) 能培養面對汙染事件的理智態度

註：見 Water- related teaching activities

四、概念結構



五、教學活動

建議採用 1.錄影帶、幻燈片觀賞

2.示範實驗

3.團體討論

4.實地勘查

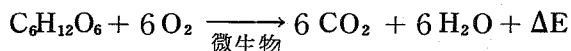
階 段	行 爲 目 標	活 動 內 容	準 備 器 材	備 註
認識問題	A-1 B-1 A-2 C-1 A-4 A-5	觀賞有關水污染的幻燈片或錄影帶	水污染的幻燈片或錄影片	
解 釋	A-2 A-3 A-6 A-7 A-8 A-10	1.水污染的來源 工業、礦業、養殖業、農業、家庭污水 2.水中的污染物 有機養分、有毒物質、重金屬 3.水的自淨作用及水中的溶氧量 4.水污染的指標 溶氧量、生物需氧量、化學需氧量……		
示範實驗(一)	A-6 A-7 A-8	1.水中溶氧的現象 2.有機物的存在對水中溶氧量的影響	見示範實驗(一)器材	
示範實驗(二)	B-2 C-3	1.水中有機物的分解 2.化學需氧量的估計	見示範實驗(二)器材	
討 論	A-5 A-4 A-9 C-3 C-4 C-5	1.水污染所造成的危害 2.近年來所發生的各項實例有那些？ 3.一滴墨水滴在清水中，如何使水再恢復清潔？ 4.水污染的防治		
課後活動	A-9 B-1 C-3 C-1 C-2	實地勘查學校及自家附近污水的排放情形	排放流水記錄表	

六、註 解

1. 水中有機物的分解

若將有機物投入水中，不久細菌就會以此有機物為營養源而繁殖，如果只有少量的有機物，河川會再度回復到原來的狀態，此稱之為河川的自淨作用。但如果超過這種自淨作用的限量，河川就會變成嫌氣狀態而產生甲烷、二氧化碳、硫化氫、氨等氣體，也就會變成死的河川，從河水的顏色來看，最清潔的水是澄清透明，其次是綠色乃至黃綠色，再差的就變成茶褐色，最為汙濁時是呈現黑色乃至於黑褐色。

細菌對水中有機物的分解作用，以葡萄糖為例，可表示如下：



此反應產生的能量（ ΔE ）是用來作為微生物生活所需的能源，而所消耗的氧（BOD）則得自水中的溶氧量（DO）。

在DO充分的情況下稱之為好氣狀（Aerobic），如果氧氣不足，好氣性生物的生存就變得不可能，此稱之為嫌氣狀（Anaerobic）。好氣狀下的分解作用是以生物體內的TCA cycle的機構為主體來進行的，其最終產物是簡單的無機物，如果變成嫌氣狀態的話，好氣性微生物就會死滅，代之以嫌氣性微生物，此時有機物的分解是在還原條件中進行，而顯出腐敗的現象。

2. 水汙染的指標

為了解水中汙染雜質的成分，往往需要用一些項目來說明，這些項目可視為「水汙染的指標」，一般比較常用的水汙染指標包括：外觀、水溫、臭味、色度、濁度、酸鹼度（pH值）、溶氧量（DO）、生化需氧量（BOD）、化學需氧量（COD）、氨氮、油脂、磷、重金屬、農藥、清潔劑、病菌、大腸菌、水生物等，在我國臺灣，習慣上選擇溶氧量、生化需氧量、懸浮固體量，及氨氮等四項作為河川水質汙染的指標。

溶氧量是指溶解於水中的氧氣而言。水中所能夠溶解的氧氣量是受到大氣壓力、水溫、溶解的鹽濃度等的影響。換句話說，在氣壓越高，水溫越低，鹽濃度越低時，越能夠溶解多量的氧氣。

例如氧在水中的溶解度，在20°C時為8.84 mg/L，但是在0°C時增為14.15 mg/L，而在30°C的水中，則減為7.53 mg/L，又在20°C時2%氯化鈉溶液1升中能夠溶解的氧氣則只有7.10毫克，比在同溫下的無鹽溶液少了1.74毫克。

自然環境中所存在的有機物會因微生物的活動而變化，最後成二氧化碳和水以及微

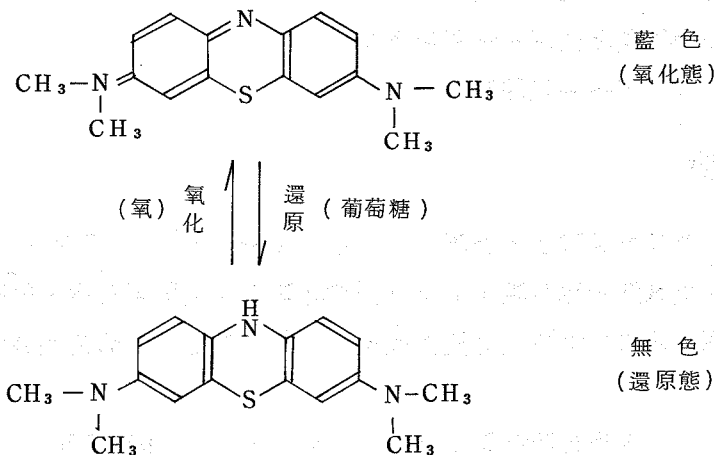
量的其他物質，這些微生物增殖以及呼吸作用所消費的氧氣量（ mg/L ）就是生化需氧量。生化需氧量，是有機性汙染最常用的指標，其值越大表示汙染越嚴重。

過錳酸鉀（ KMnO_4 ）可將許多有機物氧化，若在試樣中加入過量的過錳酸鉀，並在一定的條件下加熱使之反應。然後將其與試樣中的還原性物質反應所消耗的過錳酸鉀離子換算成當量的氧氣，而以 mg/L 單位表示者就稱為化學需氧量。

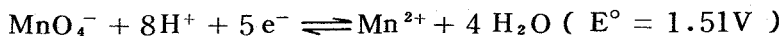
溶氧量與BOD（或COD）具有表裡的關係，在良好的環境中，應保持高溶氧量和低BOD（或COD），一般水質標準所訂的溶氧量依類型之不同，多在 $7.5 \sim 2 \text{ mg/L}$ 的範圍。溶氧量在 2 mg/L 以下的水域，往往發生惡臭，此時BOD約在 10 mg/L 以上，而COD則大於 8 mg/L 。

3. 示範實驗的反應

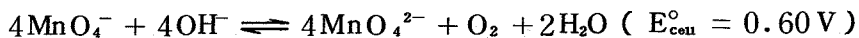
(1) 葡萄糖為還原糖，當溶液靜置時，葡萄糖將亞甲藍（methylene blue）由藍色的氧化態慢慢還原成無色的還原態，搖盪時瓶內空氣中的氧溶於溶液中，又將亞甲藍由無色的還原態氧化成藍色的氧化態。



(2) 過錳酸鉀的反應



MnO_4^- 的安定性以在中性時為最大，但是會隨著 Mn^{2+} 、 MnO_2 、酸鹼度、溫度的增加而下降，在鹼性溶液中，可發生下列反應：



七、參考資料

1. 水污染的事件——見參考文獻 4
2. 水污染的發生源——見參考文獻 3
3. 造成水污染的化學物質——見參考文獻 3
4. 水中有機物的分解——見註解 1
5. 水污染的指標——見註解 2
6. 水污染的管制——見參考文獻 1
7. 防治水污染的環保法規——見參考文獻 1
8. 示範實驗的反應——見註解 3

八、參考文獻

1. 「防治公害教育專輯」，臺灣省政府教育廳編印，民國 77 年。
2. 「國中理化教師示範實驗」，國立臺灣師範大學化學研究所，民國 76 年。
3. 陳靜濱譯「新訂公害防止的技術與法規——水質篇」，徐氏基金會出版，民國 77 年。
4. 陸繼雄，「都市噪音與空氣污染」，淑馨出版社，民國 77 年。
5. 「水資源」，科學眼雜誌 49 期，民國 77 年 5 月。

單元三：有毒物質與重金屬

壹、學生用輔助教材

一、有毒物質

近年來化學工業快速發展，提高了人類物質生活的層面，然而一些有害的物質，也在人們不經意的情況下造成了環境的汙染。這些物質有氰化物、有機溶劑、含砷化合物、多氯聯苯及戴奧辛等等。

氰化物使用於金銀提煉、電鍍等，也使用於殺蟲劑的製造，它是劇毒物質，少量即可致人於死。

有些物質不溶於水，在工業製造過程中必須使用某些有機溶劑來溶解，常用的有機溶劑有苯、甲醇、乙醚、四氯化碳等，這些有機溶劑揮發性強又具有毒性，可經呼吸器官進入人體，造成器官的傷害。

殺蟲劑、除草劑等的發明，的確改良農業，造成豐收，帶給農人福祉，但農藥中所含的劇毒物質，如含砷化合物，經噴洒後，散佈於田間若隨著水流入湖泊、河川，將造成水汙染，若殘留在蔬果上，一旦進入人體，就可能產生危害。

多氯聯苯簡稱PCB，是一種極安定的含氯化合物，對電的絕緣極佳，又耐酸耐鹼，因此成為用途廣泛的工業原料。目前使用於密封系統的電器用具中，如電容器、變壓器等，若誤食則被身體吸收，而不易代謝排出體外，經累積到某一濃度，即嚴重傷害到生物體的健康。

戴奧辛也是一種極安定的含氯化合物，它並非人類所特意製造出來的，而是在化學反應過程中衍生出來的物質，如焚燒含氯塑膠即可能產生。戴奧辛極易和土壤結合，若進入人體會造成可怕的慢性病，甚至有致癌以及產生畸形胎兒的危險。

這些有毒物質若未善加管理，或因人為的疏忽，常會造成中毒的悲劇。日本與臺灣都曾發生食用含多氯聯苯的米糠油而中毒的事件；臺灣南部曾因焚燒廢電纜而造成戴奧辛的汙染。

二、重金屬

鋁鍋比鐵鍋輕，這是因為鋁的密度比鐵小，如鋁、鎂、鈉等密度較小的金屬稱為輕金屬

，像鐵、銅等密度較大的金屬則稱為重金屬，過量的重金屬進入人體內，會對人體造成毒害。在日本所發生的水俣病和痛痛病是由汞和鎘的汙染所引起的。近年臺灣所發生的綠牡蠣及鎘米事件，則是銅和鎘汙染所造成的。

重金屬在工業上使用相當廣泛，其產品遍及日常生活的每一角落。電鍍工業中常使用銅、鎘、鉻、鋅等，以製造出適應不同用途的金屬材料，如鍍鉻金屬具有耐磨耐蝕的特性，又有銀白色光亮的美麗外觀。鍍鎘的金屬抗蝕力及導電性增強，可作航空、車船及電子零件的材料。塑膠製造業須使用鋅及鎘的化合物作為安定劑；電解食鹽水製造氫氧化鈉、氫氣、氯氣常使用汞作陰極；建築物、陶瓷器的塗料成分中有鋅、鉛、鉻等；船隻底板長期浸於水中，塗上含有氧化汞的油漆可以防止海中生物的寄生；普遍使用於家用電器的乾電池，汽車、機車的鉛電池及計算機的汞電池則分別用鋅、鉛、汞等金屬製造。照明用的日光燈及醫用消毒劑、溫度計等含有汞；電視映像管的玻璃含有鉛；天線棒、小磁心的製造加了氧化銅作為材料。凡此總總，說明了重金屬在我們日常生活中的重要性。

這些工業在製造過程中，往往會產生含重金屬的粉塵及廢水，粉塵飄散在空氣中，經呼吸進入人體，或隨著雨水流入河川。含重金屬的廢水若未經處理就排出，也會造成水的汙染。這些重金屬在自然環境中被生物吸收，轉化成更具毒性的形態，可見金屬在水中的形態也是決定毒性高低的主要因素。

含有重金屬的工業廢水若流入灌溉水中，經由農作物吸收，將進入人們的食物中；若流入養殖魚貝的水池中，會蓄積在魚貝體中，甚至導致魚貝的大量死亡；若流入海洋中，則被海產魚類吸收，輾轉進入人體中。人們若長期攝食含重金屬的食物或魚貝類，會因累積而受毒害。

為避免重金屬汙染環境，工廠的廢水必須經過妥善的處理才能排放出來，目前已經有許多良好的技術可以用來處理廢水，下列兩種是常用的方法：

1. 將廢水中的有害物質轉變為無害的形式，如將有害的六價鉻還原成為無害的三價鉻。
2. 使用化學沈澱法，將廢水中的重金屬成分分離出來，如加氫氧化鈉於含有鎘、鉛或銅的溶液中，會生成氫氧化鎘、氫氧化鉛或氫氧化銅的沈澱，再經過濾後，收集掩埋。

同時我們日常生活中的廢棄物如報廢的溫度計、日光燈管、電池等，對環境汙染具有潛在的威脅，必須與一般垃圾分開收集處理，以免汙染環境。

為提高生活水準，促進經濟繁榮，發展工業是我們應走的途徑，可是顧及國民健

康、環境品質及農漁產品的衛生安全，我們就必須管制這些有毒的物質及重金屬，不能讓公害隨著工業科技的洪流到處散播。為此我們應加強環境科學的研究，尋找低公害的工業製造程序及有效的汙染物處理方法，使臺灣在邁向工業化的途中，仍舊是個魚米豐饒的美麗寶島。

示範實驗一

【實驗目的】

利用鉻酸離子的還原作用使毒性大的六價鉻還原成無害的三價鉻。

【實驗器材】

鉻酸鉀溶液 (0.2 M)	1 mL
鹽酸 (1 M)	1 mL
酒精 (95 %)	1 mL
試管	3 支
酒精燈	1 個

【實驗步驟】

1. 以試管取鉻酸鉀溶液約 0.1 mL，加水 1 mL，試管標上 A，保留此溶液供作顏色比較。
2. 另取一試管，倒入 0.2 mL 鉻酸鉀溶液，加 0.1 mL 鹽酸，觀察顏色的改變。然後將此溶液倒一半於另一試管，兩試管分別標上 B 和 C。
3. 加 1 mL 酒精於試管 C 中，將試管 C 放在胸口袋保溫或以酒精燈緩緩加熱，至顏色改變，立即熄火（注意勿加強熱），觀察顏色變化。
4. 比較 A、B、C 試管內溶液的顏色，並作記錄。

【實驗結果】

試管	A	B	C
顏色			

【問題討論】

1. 試管 A 中的鉻元素主要以什麼狀態存在？在此狀態中鉻的原子價是多少？
2. 試管 B 中的鉻元素主要以什麼狀態存在？在此狀態中鉻的原子價是多少？

-
3. 試管C中的鉻元素主要以什麼狀態存在？在此狀態中鉻的原子價是多少？
-
4. 步驟3加上酒精有何作用？有那些藥品可用來代替酒精？
-

示範實驗二

【實驗目的】

應用化學沈澱法以分離水中的銅、鉛、鎘等金屬元素。

【實驗器材】

燒杯 (200 mL)	6 個	硝酸銅 (0.1 M)	50 mL
漏斗		硝酸鉛 (0.1 M)	50 mL
漏斗架		硝酸鎘 (0.1 M)	50 mL
濾紙	3 張	氫氧化鈉 (1 M)	35 mL
鹽酸	(1 M)	35 mL	

【實驗步驟】

1. 三個燒杯分別倒入硝酸銅、硝酸鉛、硝酸鎘溶液各 50mL 後標上 A、B、C。
2. 分別在各溶液加 10 mL 氫氧化鈉溶液，觀察各溶液反應的情形。
3. 若有沈澱產生，用濾紙及漏斗過濾沈澱，觀察濾液與原來的溶液有何不同。
4. 分別在各濾液中滴加數滴氫氧化鈉溶液，觀察是否仍會有沈澱產生。
5. 將各濾液加入鹽酸中和後，再倒入水槽，沈澱物依指示分別處理。

【實驗結果】

溶液種類	溶液顏色	加氫氧化鈉的反應	過濾濾液顏色	濾液加氫氧化鈉是否反應
硝酸銅				
硝酸鉛				
硝酸鎘				

【問題討論】

1. 硝酸銅、硝酸鉛、硝酸鎘溶液加氫氧化鈉產生的沈澱是什麼？化學式如何？

2. 步驟 4 在濾液中加氫氧化鈉的結果具有什麼意義？

3. 依照硝酸銅、硝酸鉛、硝酸鎘的濃度和體積計算，所加入的氫氧化鈉的量合適嗎？

4. 在棄置濾液之前為何要加入鹽酸？

貳、教學指引部分

國中環境教育輔助教材（理化科）

單元名稱：有毒物質與重金屬

教材地位：建議編排於國中理化第三冊第二十三章食物和衣料之後

一、國中理化教材與本單元有關聯的概念

（括弧內的數字表示現行國中理化教材的章節）

1. 自然界的水（4-2）
2. 水的淨化（4-3）
3. 金屬元素與非金屬元素（8-4）
4. 分子的形成（10-3）
5. 金屬的氧化（19-1）
6. 金屬礦的還原（19-2）
7. 金屬與合金（19-3）
8. 電解質與非電解質水溶液（20-1）
9. 鹼（20-3）
10. 鹽（20-5）
11. 鉛電池與乾電池（26-2）
12. 電鍍（26-4）

13. 聚合物(22-3)

14. 聚合物和衣料(23-3)

二、本單元擬加強的環境教育概念

1. 礦物質是從地下發現的化學元素或化合物。(Allman 9.1)
2. 礦物質是消耗性、非再生性資源。(Allman 9.2)
3. 人類大部份的衣食品都有礦物質的存在。(Allman 9.3)
4. 可用的礦物質在數量和品質上，世界各地分配情形極不平均。(Allman 9.4)
5. 技術進步能增進礦物質的使用效果。(Allman 9.5)
6. 浪費礦物質對往後的獲得會增加成本。(Allman 9.6)
7. 許多礦物質是我們生活的必需品。(Allman 9.7)
8. 某些礦物資源的快速減少是由於大量需求和浪費所造成的。(Allman 9.8)
9. 運用生態的有效方式來開採礦物和再利用，可以保存礦物資源。(Allman 9.9)
10. 人類應對礦物利用和誤用負責。(Allman 9.10)
11. 化學品、腐植質、油和農業廢棄物造成湖、河海岸的汙染。(Allman 10.3)
12. 人類對地球的態度應該從「用了就丟」轉變成為「理智的使用和保存」的維護體系。(Allman 1.2)
13. 安全的、妥善的處理廢棄物是環境保育的重心。(Allman 1.17)

三、本單元的學習行為目標

A. 認知領域

- (1) 能指出引起環境汙染的有毒物質及重金屬的種類。
- (2) 能說明有毒物質及重金屬的性質。
- (3) 認識有毒物質及重金屬所造成的汙染事件。
- (4) 能指出日常生活中那些必需用品的製造與有毒物質或重金屬有關。
- (5) 能指出易造成有毒物質或重金屬汙染的事業。
- (6) 能說明有毒物質及重金屬對生物的危害。
- (7) 能指出影響有毒物質及重金屬汙染的因素。
- (8) 能指出有毒物質及重金屬汙染的途徑。
- (9) 能說明去除重金屬汙染的方法。

(10) 能說明防治有毒物質及重金屬污染的法規。

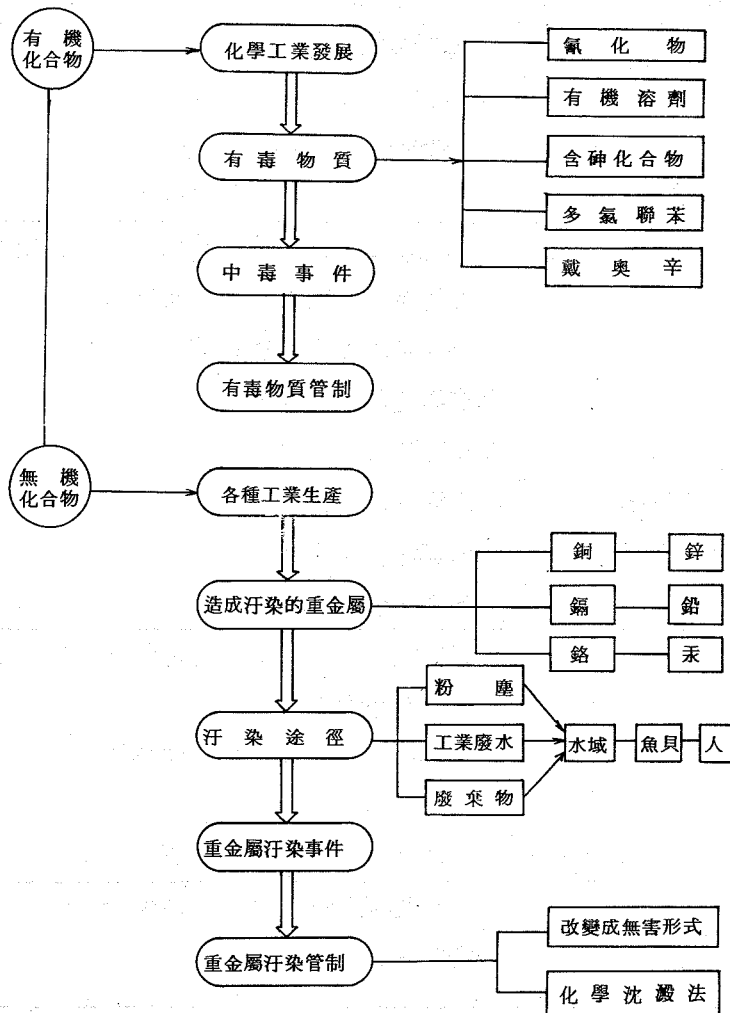
B. 技能領域

- (1) 能將日常廢棄物依污染層次加以分類。
- (2) 能應用簡單的化學沈澱法除去實驗廢水中的重金屬離子。

C. 情意領域

- (1) 能培養對有毒物質及重金屬污染的警覺意識。
- (2) 能培養不任意丟棄有毒物質的習慣。
- (3) 能興起研究控制有毒物質及重金屬污染的興趣。
- (4) 能培養廢物再利用及節約資源的好習慣。
- (5) 能培養環境保護的責任感。

四、概念結構



五、教學活動

本單元教材分兩部分，一部分是有毒物質，另一部分是重金屬。

建議採用 1.說故事

2.講解說明

3.團體討論

4.示範實驗

5.幻燈片觀賞

(一) 有毒物質

階 段	行 爲 目 標	教 學 活 動	準 備 器 材	備 註
引 起 動 機	A-3 C-1	由學生作說故事活動 敘述有關的汙染事件 1.可怕的烏腳病—砷的毒害 2.米糠油事件—多氯聯苯汙染 3.二仁溪的嗚咽—戴奧辛汙染		課前提供 資料由學 生擬就故 事稿
探 究 問 題	A-1 B-1 A-2 A-7 A-5 A-8 A-6	1.引起環境汙染的有毒物質 氰化物、有機溶劑、含砷化合物、多氯聯苯、戴奧辛 2.有毒化合物的特性 3.產生有毒物質的來源 工廠、垃圾焚燒 4.有毒物質的汙染途徑 5.有毒物質對生物的危害	透明片或幻燈片	
討 論 問 題	A-1 C-1 A-4 C-2 C-3 C-4 A-10 C-5	1.日常生活中那些物質燃燒可能產生有毒物質？ 2.那些廢棄物品易造成有毒物質的散佈？ 3.如何控制有毒物質的汙染？		由學生提出討論
結 論	C-2 C-5	日常生活怎樣做到防止有毒物質的汙染		

(二) 重金屬

階 段	行 爲 目 標	教 學 活 動	準 備 器 材	備 註
引 起 動 機	A-3 C-1 A-6 C-2	由幻燈片觀賞有關重金屬危害的現象	幻燈片(重金屬危害的現象)	
探 究 問 題	A-1 A-2 A-4 C-1 A-5 C-2 A-8 C-4 C-5 A-6	1.引起環境污染的重金屬 銅、鉛、鎘、鋅、汞…… 2.重金屬的特性 3.產生重金屬污染的來源 工廠、日用廢棄物 4.重金屬污染的途徑 工廠廢水、粉塵… 5.重金屬對生物的危害		
討 論 問 題	A-1 B-1 A-9 A-10 B-2	1.日常生活中那些物品含有何種重金屬? 2.如何控制重金屬的污染		由學生提出討論
示 範 實 驗	A-7 C-3 A-9 B-2	1.將有害的六價鉻還原成無害的三價鉻 2.用化學沈澱法分離溶液中的重金屬離子	見示範實驗(一) 器材 見示範實驗(二) 器材	教師操作示範
結 論	C-4 B-1 C-5	如何做好重金屬污染的防治工作		

六、參考資料

1. 談氰化物的毒性——見參考文獻 3
2. 有機溶劑的毒性——見參考文獻 3
3. 溶劑、氣體及汽劑中毒——見參考文獻 3
4. 砷在臺灣的汙染問題——見參考文獻 4
5. 多氯聯苯汙染的探討——見參考文獻 4
6. 多氯聯苯的銷毀與代謝——見參考文獻 4
7. 造成公害的戴奧辛——見參考文獻 5
8. 汞在臺灣的使用情形及其汙染之防治——見參考文獻 4
9. 臺灣工業的鉛汙染問題——見參考文獻 4
10. 鎘在臺灣工業上的使用及其汙染問題——見參考文獻 4
11. 臺灣工業的鉻汙染——見參考文獻 4
12. 魚貝類的重金屬汙染——見參考文獻 4

七、參考文獻

1. 「防治公害教育專輯」，臺灣省教育廳編印，民國 77 年。
2. 牛頓科學研習百科（化學），牛頓出版社，民國 74 年。
3. 陳光耀等著譯，「化學與日常生活」，正中書局，民國 74 年。
4. 謝柏滄等著譯，「臺灣環境問題面面觀」，正中書局，民國 73 年。
5. 「造成公害的戴奧辛」，科學眼雜誌 2 期，民國 73 年 6 月。
6. 「水資源」，科學眼雜誌 49 期，77 年 5 月。