

永續化學與生活—— 廢棄物與「減廢」

劉廣定

前文〔註一〕曾言：人類消耗資源及產生廢棄物之量與速，都超過自然界資源之再生與將廢棄物轉變成資源，且此差距愈來愈大。也就是說，我們消耗地球資源造成廢棄物比地球將廢棄物轉成資源快得很多，故地球資源將愈來愈不足，環境品質也將受廢棄物污染的影響而愈來愈差。十幾年前 Anastas 博士和 Warner 教授在為推展能促進繁榮、清潔、對環境友善的永續化學製程，提出「原則」時，最先想到的就是對廢棄物應「防患未然」。故「事先防止產生廢棄物勝過事後清除」即成為永續化學十二原則的第一項〔註二〕。

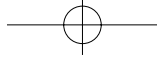
人類生活的廢棄物

人為因素所造成人類社會廢棄物的形態有氣體、液體和固體三種，正常來源可分農農業生產與日常生活兩類。氣體廢棄物之例有汽、機車釋出的尾氣，焚燒垃圾（incineration）產生的煙囪氣（flue gas），火力發電廠與化學工業排放的廢氣等，都會嚴重破壞環境，如造成酸雨、溫室效應、臭氧層破洞。更會影響人類健康，尤其是混有微小顆粒的煙霧（smog，粒徑 $\leq 1 \mu\text{m}$ ）和粉塵（particulate，粒徑 $1\sim 200 \mu\text{m}$ 之間），傷害性很大。若粒徑 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ 即所謂PM2.5，除一般的微小毒害性顆粒外，細菌及病毒也可能隨同進入肺部，故對人類的危害極大。

液體廢棄物主要來源為民生與農業的汗水，以及工業的廢水與有機廢液等。民生汗水

包括日常生活烹飪、洗滌、浴廁、清潔等之用水，正常的節約使用，不能避免，也無可厚非。但是過量使用洗滌劑、清潔劑與油脂，混入廚餘等，則造成排水含氮、磷、硫量提高，鹼性增加，且其中脂肪、蛋白質等有機物質易因生物化學氧化而分解，還有滋生細菌、病毒等。農業汗水來自過度使用的農藥與化學肥料，以及畜牧養殖。大部分農藥與化肥殘留在土壤中，然後進入地表水或地下水。急劇增長的肉類食品如雞、鴨、豬、牛等養殖業，因沖洗含有動物用藥的排泄物，產生了大量汗水。在在嚴重污染水資源。工業的廢水與有機廢液來源眾多，量大，成分複雜且常各異。有些工業液體廢棄物中所含某些金屬離子如製革業的鉻離子，或所含有機物如鋼鐵工業與多種化學工業的多環芳烴（polycyclic aromatic hydrocarbons），紡織業的殘餘染料、固色劑與柔軟劑等，都具有毒性。

固體廢棄物的來源亦極廣泛。可分為一般民生垃圾、工業、農業、及礦業固體廢棄物、建築廢棄物等多種。再者，在處理前述廢氣、廢水、廢液過程中最後所剩餘的也是固體廢棄物，而且都是有害成分。以一般民生垃圾而言，包括固體廚餘，廢舊器皿，廢家電，廢紙，舊紡織品，以及毀棄的玻璃、金屬、塑膠製品等等。依據2009年的一個報導，美國的人每分鐘丟棄75萬個塑膠袋，每天汰換42萬個手機〔註三〕，可見民生消耗量之大。固體廢棄物不僅浪費資源；對環境的危害也極大：



主要為侵佔土地，汙染土壤，汙染水資源，汙染大氣，及危害人體健康等。

美國環保署統計，2010年美國每人每天製造2公斤民生垃圾，全年約2.5億噸；較2005年每天2.12公斤，2000年每天2.15公斤均略少，有遞減的趨勢。2010年排放各種工業的有害廢棄物約1000萬噸，比2009年913萬噸多。其中棄置地上及植入地下的2009年為155萬噸，2010則增達180萬噸！美國如此，世界各文明先進國家亦多如此。

故知：我們非設法努力減少廢棄物不可了，只「減碳」是不夠的，必須認真地「減廢」。

化學工業的廢棄物

使用化學品的工業都會產生化學廢棄物，而可能造成程度不同的環境汙染。其他如耕稼，畜牧等也有許多廢棄物。本文限於篇幅只談化學工業。荷蘭Delft技術大學Sheldon教授1992年曾統計各種化學工業生產過程中的「副產物」與「廢棄物」，以製成每一公斤（主）產物所產生廢棄物

（包括副產物）的公斤數為「環境因數」（E-factor），表示化學工業對環境的衝擊（表一）。

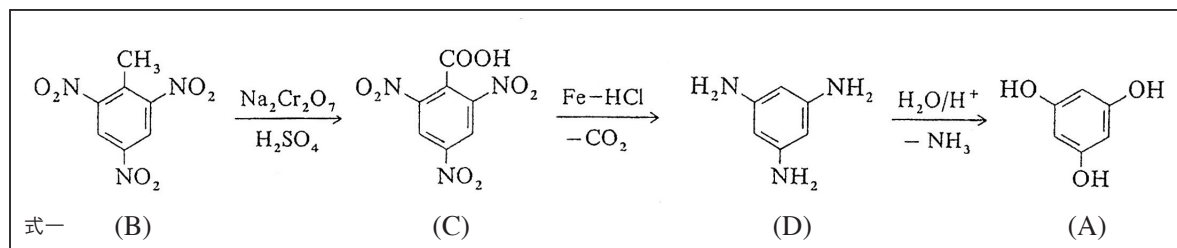
表一

化學工業製程	每年產量（噸）	E 因數 *
原油煉製	10 ⁶ ~10 ⁸	小於0.1
工業化學品	10 ⁴ ~10 ⁶	小於1~5
精緻化學品	10 ² ~10 ⁴	5 到大於50
醫藥化學品	10 ¹ ~10 ³	25 到大於100

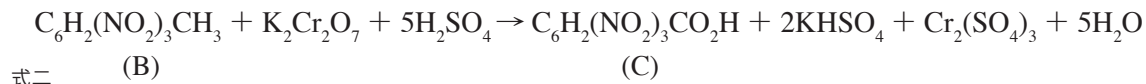
*E 因數[公斤(廢棄物)/公斤(主產物)]

現以實際的例子來說明。

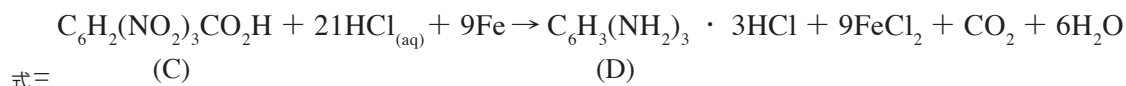
染料工業與製藥工業中重要的中間化合物1,3,5-三苯酚(phloroglucinol, A)是由三硝基甲苯(即黃色炸藥TNT, B)經以下方法製成(式一)：



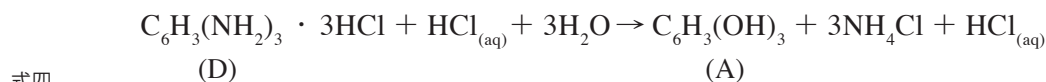
將(B)氧化成(C)可用重鉻酸鈉(Na₂Cr₂O₇)，也可用重鉻酸鉀(K₂Cr₂O₇)，如(式二)：



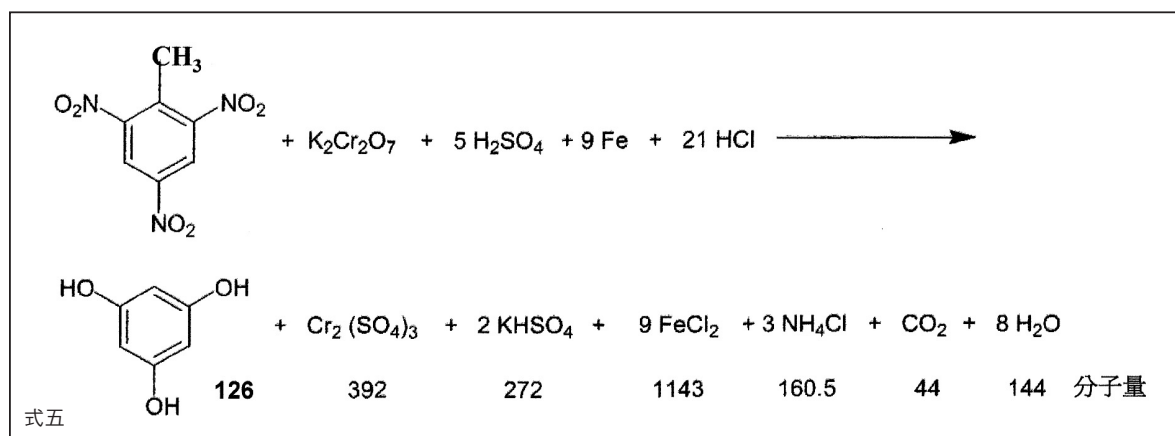
(C)和鹽酸與鐵粉作用，發生「氫化」及「脫羧酸」反應而得(D)之鹽酸鹽(式三)：



然後，使1,3,5-三苯胺(D)在稀鹽酸中水解，生成1,3,5-三苯酚(A)(式四)：



現將三個化學方程式合併而得：



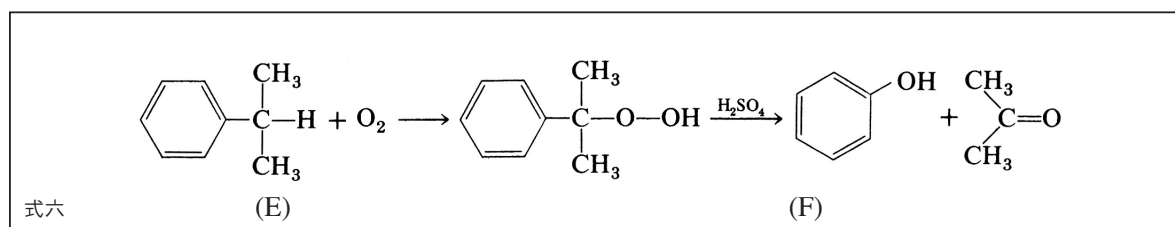
如果產生的水和二氧化碳不算在內，理論上生成每一莫耳，即126克1,3,5-三苯酚(A)，則必產生1967.5克的其他固體廢棄物。也就是說，即使只計算固體廢棄物，E因數之理論值為15.6 (1967.5/126)。實際的工業生產過程中，各種無機化學試劑都用過量，(B)也不會完全轉變成(A)，亦即實際上，E因數必大於15.6。據Sheldon教授的報導，每生產1公斤1,3,5-三苯酚，除了汗水和排氣，經常有40公斤固體廢棄物伴隨產生。E因數大於40！其中未反應的六價鉻Cr(VI)和反應生成的三價鉻Cr(III)化合物都是具致癌性等危害人類的環境汙染物。

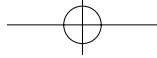
但不只是化學工業生產過程中會有「化學廢棄物」，前文已述其他如耕稼，畜牧業等也有許多廢棄物。限於篇幅而從略。

改進製程為「減廢」

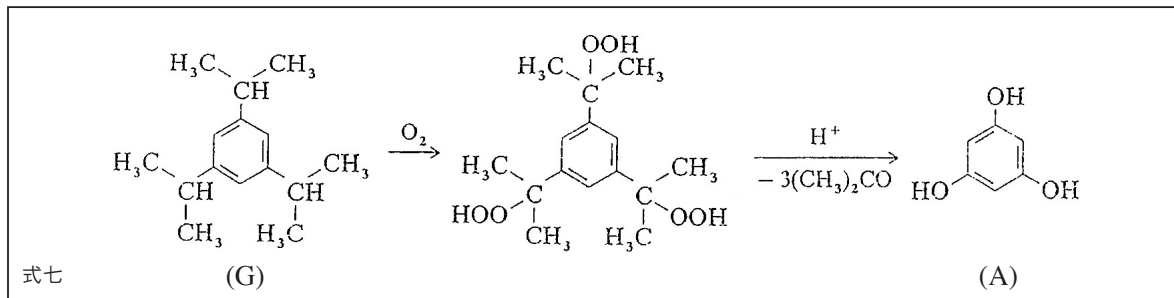
多數工業生產都是商業行為，以獲得利益(賺錢)為首要目標。雖然化學工業先進國早有3R原則，即Recycle(重製)、Reduce(減少)和Reuse(再用)，然以往一向依「成本效益」來考量。例如，若反應完畢後將某一剩餘原料(試劑)回收並純化再用，其成本高於當做廢棄物處理，以及逕用新鮮原料，則不會考慮「再用」。唯自1980年代後期起，永續發展觀念在國際上逐漸普受重視，許多國家對於排放有害人類、汙染環境的廢棄物的管制愈加嚴格，從事與化學相關之各行工作者能認識永續化學原則的也愈多。加上政府政策的鼓勵，如美國環保署自1996年起設立「總統永續化學挑戰獎(Presidential Green Chemistry Challenge Award)」，每年在「小企業」、「學界」、「反應過程」、「反應條件」與「產品設計」五個領域分別頒獎。激發了許多具實用性的永續化學研究。設計反應過程及改變反應條件，以減少廢棄物成為化學工業研究發展之一重點。

上述的1,3,5-三苯酚(A)，自1980年代起即有不同人提出其他的製造方法，例如仿照從異丙苯(E)製酚(F)與丙酮的方式(式六)：



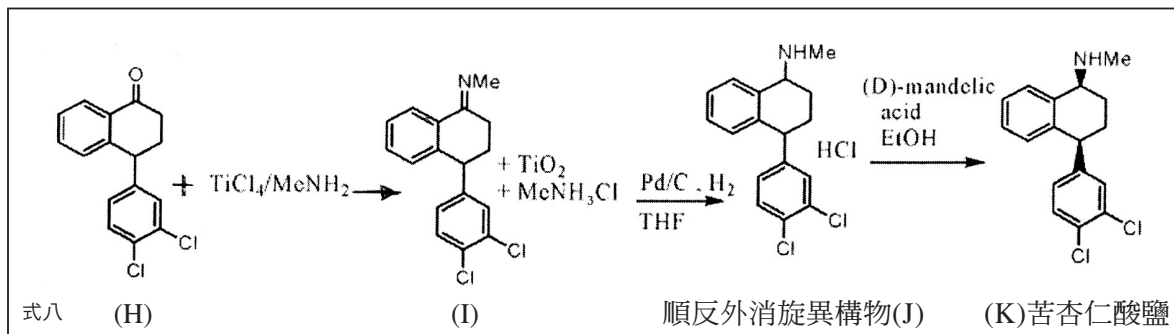


由 1,3,5- 三異丙苯(G)製造 1,3,5- 三苯酚(A)(式七)



以免產生大量固體廢棄物，若以過氧化氫為氧化劑，產率還可以提高。然(G)不像(B)那樣容易取得，過氧化氫也較昂貴，故從實用而言，還不是最好的代替方法，仍可再改進。

但是另一個實例則明確顯示：同一起始物(原料)經由改進化學反應過程，不但減少了廢棄物，也減少了溶劑和其他反應物用量，而且還增加了產率。美國輝瑞(Pfizer)公司1991年上市的抗憂鬱藥 Sertraline (K的鹽酸鹽，商品名 Lustral 或 Zoloft，樂復得)乃從一種含取代基之四氫萘酮(tetralone, H)依下法製成(式八)



原始方式中第一階段[(H)→(I)]須用甲苯，己烷與四氫呋喃(THF)為溶劑，及大過量(約17當量)的甲胺(CH₃NH₂或MeNH₂)促使反應進行，而在分離出(I)時還必須除去大量濕的二氧化鈦-甲胺鹽酸鹽(MeNH₂·HCl)固體廢棄物。第二階段[(I)→(J)]乃將亞胺加氫成為胺，生成順式與反式(6:1)外消旋異構物的混合物(J)，以及脫去一個氯和脫去兩個氯的副產物(廢棄物)。第三階段[(J)→(K)]則是用(D)-苦杏仁酸(mandelic acid)進行「解消旋」，得到順式右旋胺(K)的苦杏仁酸鹽。最後，再將其改變為鹽酸鹽，即是「樂復得」。

由於從(H)到(K)整個過程中除產生固體廢棄物外，還使用了大量溶劑。生產1噸樂復得需用10萬公升(約100噸)揮發性有機溶劑！對環境極不友善。故輝瑞公司經研究而發展成功符合永續發展觀念和永續化學原則的新製程。自(H)製(I)的第一階段不用四氯化鈦(TiCl₄)，只需較少量(約3當量)的甲胺，以(I)的溶解度小的無水乙醇為溶劑促進反應。產生的(I)並不單離，直接以鈣/碳酸鈣為觸媒，進行第二階段的加氫反應。(J)之順式與反式外消旋異構物比率增至20:1，且脫氯副產物的量也顯著減少。因此可以不單離，而直接進行「解消旋」。這一改良法生產1噸樂復得只需要24000公升(約24噸)揮發性有機溶劑。輝瑞公司年產樂復得逾100噸，少用了760萬公升(約7600噸)揮發性有機溶劑，約90噸甲胺，140噸四氯化鈦，150噸鹽酸和100噸氫氧化鈉(中和鹽酸用)。另每年也消除了440噸二氧化鈦-甲胺鹽酸鹽，以及約40噸無用之(J)的反式異構物。

此一有效節約資源，減少廢棄物的方法，使輝瑞公司 2002 年獲得總統永續化學挑戰獎中的「反應過程」獎。

追求永續的科學研究

追求永續發展除了加強教育宣導、調整思維和改變生活習慣之外，科學上的研究發展是一積極的途徑。上述輝瑞公司的成果，得以節約資源、減少廢棄物，也增加了財富。今再舉一研發新化合物為代用品之例。

已用了幾十年的氟氯碳類化合物氟利昂 (Feron) 是有效冷媒，噴霧劑，洗滌劑和滅火劑，但因科學家發現這些物質會造成臭氧層破洞 (參閱 [註一]) 而開始尋找代用品。1990 年代最初選用的氫氟碳類化合物如 CHF_3 因不含 C-Cl 鍵，不會破壞臭氧層，可用為代用品。但隨後發現它對溫室效應的相對升溫影響力 (GWP, 參閱 [註四]) 是二氧化碳 (設為 1) 的 12000 倍，故不適用。再經研究，找到

GWP 只有 1430 的 1,3,3,3-四氟乙烷 ($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$, R134a)，已好的多。最近，杜邦公司和 Honeywell 公司開發了新產品 HFO-1234yf，即 2,3,3,3-四氟丙烯，其 GWP 只有 4，比甲烷 (23) 還低！

由此觀之，方向正確的科學研究是追求永續發展的一條康莊大道。☺

註一：《科學月刊》第 43 卷 (第 2 期) 153~155 頁。

註二：《科學月刊》第 33 卷 (第 1 期) 38~42 頁。

註三：R. McFadden, 2009 ACS Green Chemistry Summer Presentations. (網路查詢即得)。

註四：《科學月刊》第 40 卷 (第 9 期) 706~709 頁。

劉隆定 台灣大學化學系名譽教授

新聞裡的生物學第二部： 「大腦、行為與疾病」已經出版！

輔仁大學及世新大學皆選擇本書
作為通識課程之教材，千萬不可錯過。

〔精彩內容〕

大腦構造與行為間之關係

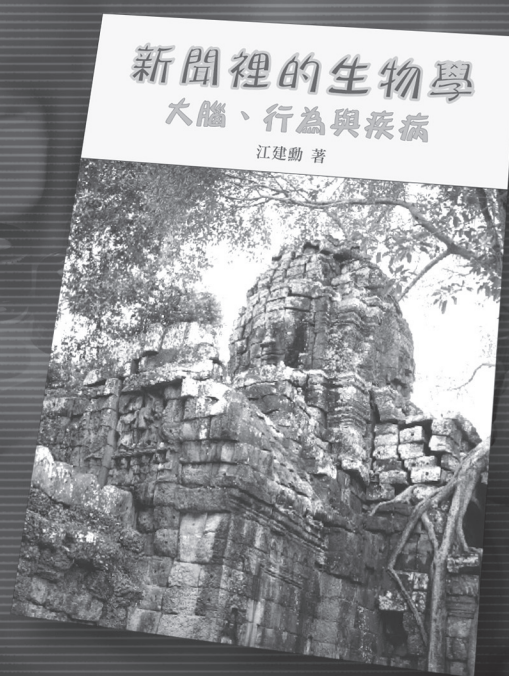
憂鬱症的神經生物學基礎

流感世界大流行

體外受精與試管嬰兒

原價 450 元，科月讀者享優待價 350 元，掛號寄書。

劃撥帳號：00184823 戶名：科學月刊



科學月刊信用卡專用訂閱單

請填妥相關資料後，傳真至(02)2363-5999即可

我想自**2012**年____月起訂《科學月刊》

國內：

一般訂戶：全年NT\$1400 兩年NT\$2600 (平郵)
全年NT\$1640 兩年NT\$3080 (掛號)

學生訂戶：全年NT\$1200 兩年NT\$2400 (平郵)
全年NT\$1440 兩年NT\$2880 (掛號)
 (學生訂戶請另寄或傳真學生證影本以資證明)

國外：

港澳：全年US\$66 (平郵) US\$88 (航空)

亞洲各國：全年US\$70 (平郵) US\$91 (航空)

歐美各國：全年US\$70 (平郵) US\$97 (航空)

科學月刊合訂本第31-34卷 (每卷1,500元)

新聞裡的生物學—生物醫學
(定價450元, 特價350元, 含郵費)

新聞裡的生物學—大腦、行為與疾病
(定價450元, 特價350元, 含郵費)

實驗火箭原理設計與製作 (每本350元, 含郵費)

數學導論 (定價250元, 特價200元, 含郵費)

為接朝霞顧夕陽 (每本140元, 含郵費)

天文攝影海報 (一套共十張定價559元, 含郵費)

讀者基本資料

姓名： 先生 小姐

訂戶編號： (新訂戶免填)

生日：西元____年____月____日

職業：

寄送地址： _____

電話：(日) _____

(夜) _____

行動電話：

信用卡資料

持卡人姓名：

信用卡別： VISA Master

發卡銀行：

卡號： - - -

有效日期：西元____年____月

訂購金額：

持卡人簽名： (須與信用卡上簽名一致)

收據資料 (本刊免用統一發票, 如不需收據則免填)

抬頭：

寄送地址： _____

若有任何疑難問題，歡迎與我們連絡
(週一至週五 9:00~17:00)

讀者服務專線：(02) 2363-4913 24小時傳真專線：(02) 2363-5999

地址：台北市106羅斯福路三段125號11樓-4 網站：www.scimonth.com.tw 電郵：scimonth@seed.net.tw

98-04-43-04 郵政劃撥儲金存款單

帳號	0	0	1	8	4	8	2	3	金額	仟	佰	拾	萬	仟	佰	拾	元
									新台幣								

通訊欄 (限與本次存款有關事項)

零售： 每期NT\$140

我想自2012年____月起訂《科學月刊》

國內：

一般訂戶：全年NT\$1400 兩年NT\$2600 (平郵)
全年NT\$1640 兩年NT\$3080 (掛號)

學生訂戶：全年NT\$1200 兩年NT\$2400 (平郵)
全年NT\$1440 兩年NT\$2880 (掛號)
 (學生訂戶請另寄或傳真學生證影本以資證明)

國外：

港澳：全年US\$66 (平郵) US\$88 (航空)

亞洲各國：全年US\$70 (平郵) US\$91 (航空)

歐美各國：全年US\$70 (平郵) US\$97 (航空)

科學月刊合訂本第31-34卷 (每卷1,500元)

新聞裡的生物學—生物醫學
(定價450元, 特價350元, 含郵費)

新聞裡的生物學—大腦、行為與疾病
(定價450元, 特價350元, 含郵費)

實驗火箭原理設計與製作 (每本350元, 含郵費)

數學導論 (定價250元, 特價200元, 含郵費)

為接朝霞顧夕陽 (每本140元, 含郵費)

天文攝影海報 (一套共十張定價559元, 含郵費)

訂購者資料

姓名：

生日：

職業：

戶名：**科學月刊**

寄款人

姓名：

通訊處：-

電話：

經辦局收款戳

◎寄款人請注意背面說明
◎本收據由電腦印錄請勿填寫

郵政劃撥儲金存款收據

收款帳號戶名：

存款金額：

電腦紀錄：

經辦局收款戳：

虛線內僅供機器印錄用請勿填寫



五種方式訂閱科學月刊

●信用卡傳真訂閱

填妥科學月刊信用卡專用訂閱單，傳真至
(02) 2363-5999，並於傳真後一小時內來電
(02) 2363-4913確認即可。

●ATM轉帳訂閱

請利用金融卡或親至土地銀行轉帳。
帳號：007-001-143985 戶名：科學月刊社
完成後請將轉帳單與訂戶基本資料傳真至
(02) 2363-5999，並於傳真後一小時內來電
(02) 2363-4913確認即可。

●劃撥訂閱

填妥科學月刊專用劃撥單或郵局劃撥單後至郵局
劃撥。劃撥帳號：00184823 戶名：科學月刊
請務必註明收件人、收件地址、連絡電話、訂閱
期數、郵寄方式（平信、掛號）。

●支票或現金訂閱

請將「即期支票」（抬頭：科學月刊社）或現金
袋，以掛號寄至台北市106羅斯福路三段125號11
樓之4「科學月刊社」發行部收。

●門市訂閱

週一至週五9：00~17：00，親至台北市羅斯福路
三段125號11樓之4 科學月刊社直接訂閱。

客戶服務項目

●雜誌寄發時間

國內訂戶固定每月5日前收到當期雜誌。

●查詢訂單處理速度

第1期將於本刊收到訂單後7天內寄出。若您無特
別指定，每月中旬以前收到訂單者一律寄發當期
雜誌；中旬之後收到訂單者，則寄發下期雜誌。

●遺失補寄

當月未收到者，請於當月月底前告知，恕不補寄
過期雜誌。每年遺失補寄最多1次，超過1次以上
者，一律改為掛號寄件，還請補繳郵資。

●意見表達

歡迎使用e-mail、傳真或來電提供意見。

●廣告刊登

請電洽(02) 2363-4910 業務經理李金穗小姐。

●聯絡方式

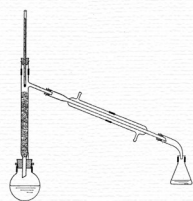
讀者服務專線：(02) 2363-4913 (週一至週五9：00~17：00)

24小時傳真專線：(02) 2363-5999

科學月刊網站：<http://www.scimonth.com.tw/>

科學月刊電郵：scimonth@seed.net.tw

中華民國化學研究簡史



劉廣定 著
科學月刊社

《中華民國化學研究簡史》

民國6年，中國人在中國領土上所做的化學研究論文只有2篇，
到了民國99年則僅就中華民國在台灣而言已有約2000篇。

欲知其嬗變經過之大要，

請看劉廣定教授參考了四百多件資料所寫成的《中華民國化學研究簡史》這本小冊。

此書中還附有一些稀見的圖片和四位著名中國化學家的簡傳，

請別錯過了。

特價：每本**100元** (原價 ~~125元~~)

戶名：科學月刊社 帳號：00184823