永續化學與化學教學

Sustainable/Green Chemistry in the Teaching of Chemistry

臺灣大學化學系

劉廣定

ktliu@ntu.edu.tw

The Major Challenges to Sustainability
(永續世界人類的難題)

Population(人口)

Energy(能源)

Global Change(氣象變化)

Resource Depletion(資源消耗)

Food Supply(糧食供應)

Toxics in Environment(環境毒物)

皆與「化學」有關

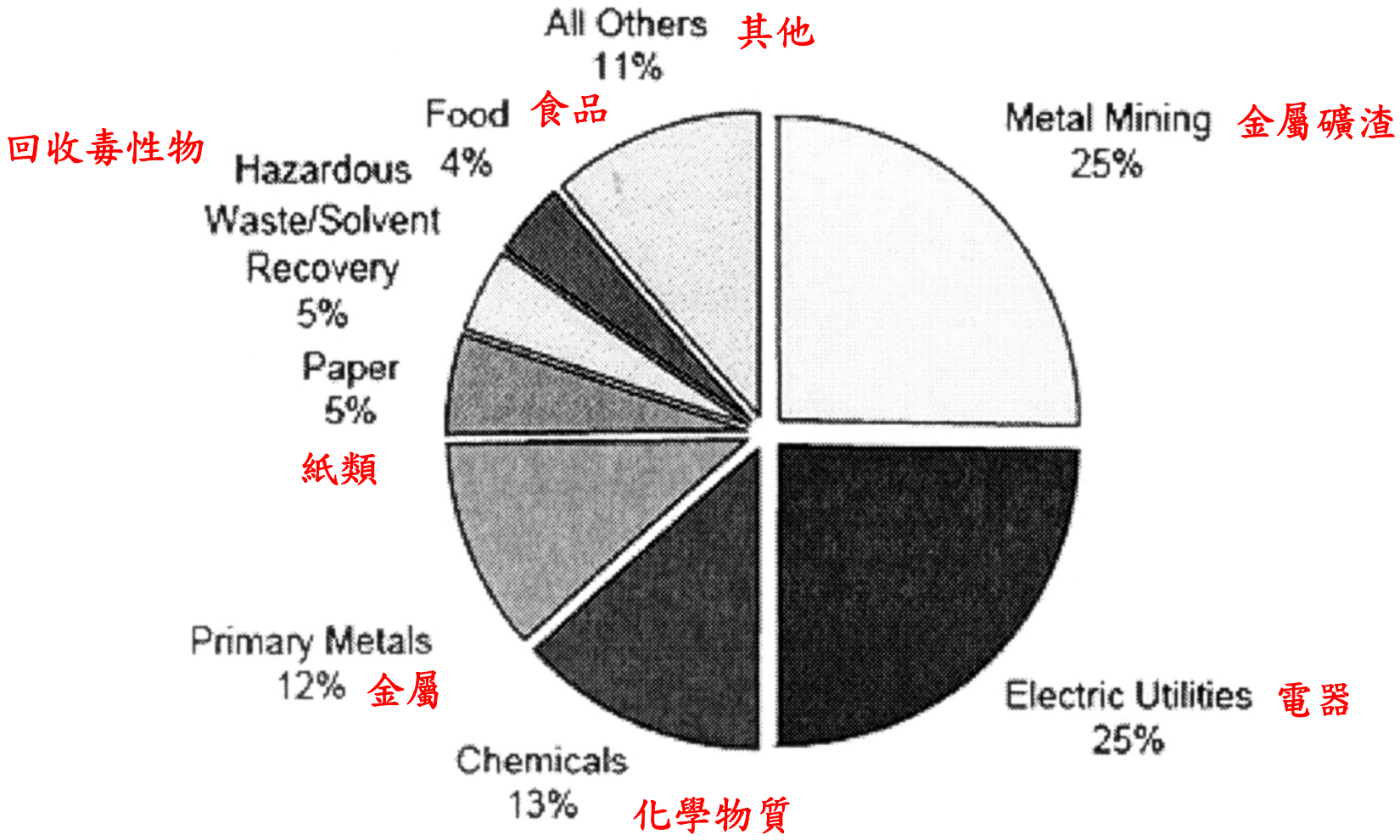
化學造福人類！
Benefits of the Chemical Industry

E因數 (E-factor) = kg副產物/kg主產物

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

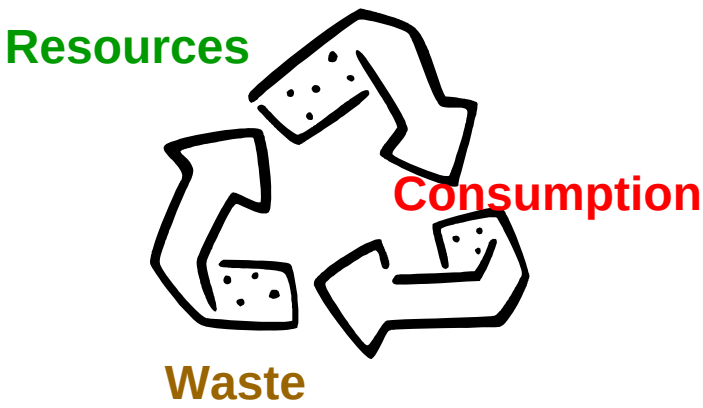
1992年荷蘭Delft技術大學Roger A. Shelton教授之統計

2004年美國工業排放42.4億磅廢棄物



永續 (Sustainability)?

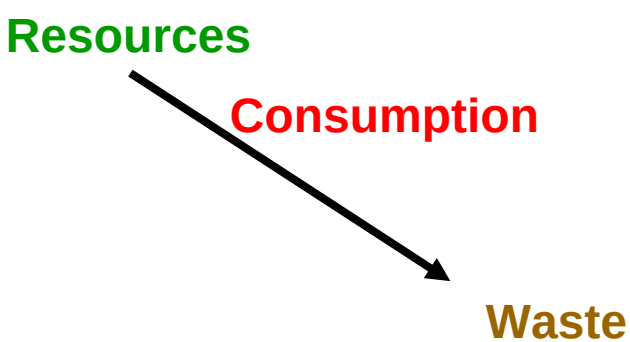
Nature（自然界）



Are we using resources and creating waste faster that the earth can take our wastes and convert them back into resources?

我們消耗地球資源製造廢棄物是否已比地球將廢棄物轉成資源為快?

Humans (人類社會）



Are we exceeding the carrying capacity of the earth?

我們是否已使地球超載?

當前永續發展觀念之形成

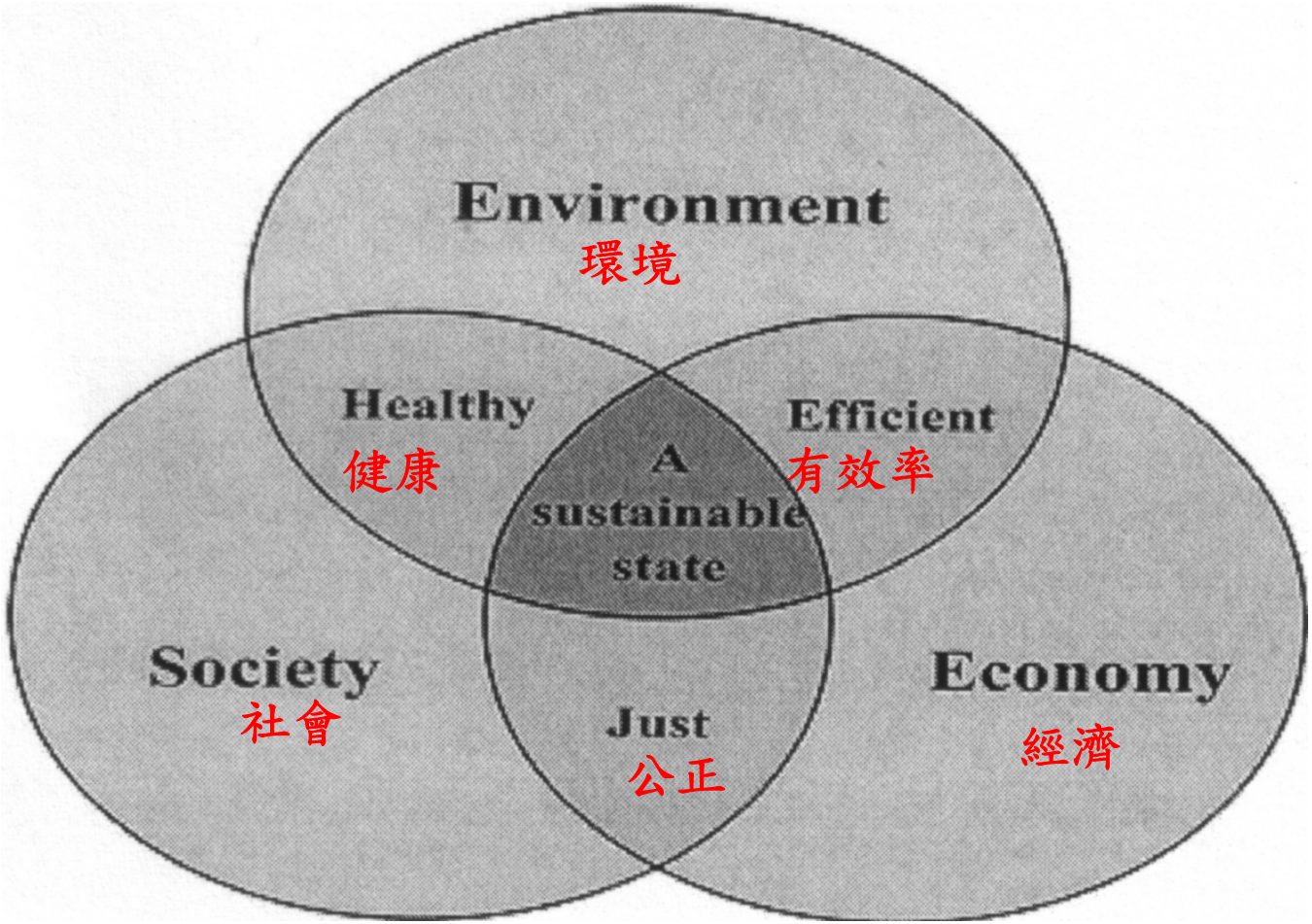
近年來，永續發展（sustainable development，或譯成「**可持續發展**」）是國際上逐漸形成之重要新觀念。據1987年聯合國世界環境與發展委員會（WCED）報告書之定義：能滿足當代所需但不損再及後代滿足其所需之發展稱為**永續發展**(Development which meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs)。

這一觀念之形成始於1950年代後期日本因化學工業汞汙染(Minamata disease水俣病)及鎘汙染(itai itai disease 痛痛病)造成了嚴重「職業病」，工業的「公害」問題開始受到重視。 1950及1960年代美國野生動物生態因殺蟲劑，除草劑(如BHC,及DDT) 等影響而受損害。1962年《寂靜的春天》（*The Silent Spring*）一書問世後，漸喚起世人對保護生存環境的重視。到了1984年印度波帕(Bhopal)地方化工廠異氰酸甲酯洩漏，死人逾萬，損失數億美元，**環境保護**之意識幾乎已在各工業國家普遍生成。

永續發展之內涵

然而，環境保護只是永續發展的一部分。「保護」與「發展」並不相悖。1992年六月，聯合國在巴西里約熱內盧召開首屆「環境與發展」會議，議定「廿一世紀待辦事項」（Agenda 21）40章。1993年又成立了「永續發展委員會」，宣導加強世人認識自然、保護環境之觀念外，並採積極的態度以創新之發明與設計來促成世界進步，以使環境、經濟和人類社會資源得以同時永續發展。

A sustainable state（永續之邦）



Sustainable (Green) Chemistry(永續化學)

Green chemistry is the invention, design and application of chemical products and processes to reduce or to eliminate the use and generation of hazardous substances.

(OECD Workshop on Sustainable Chemistry**, 1998)**

依減少甚至完全不使用或不產生有害物質的原則來發明,設計和應用化學產品與化學製程,以促成人類的永續發展.

Five recommendations for promoting

1. Research and development in sustainable chemistry

   永續化學的研究與發展

2. Awards and recognition 獎勵與表彰在永續化學之成就

3. Exchange of technical information 有關資訊之交流

4. Guidance on activities and tools to support sustainable chemistry programs 引導與支持相關永續化學之各類活動

5. Sustainable chemistry education 永續化學之教育

(IUPAC-OECD joint meeting on “Sustainable chemistry project,” **1999**)

Three broad categories of sustainable products or processes

1. **Use of renewable or recycled feedstocks.**

   使用續生性或再利用的原料

2. **Increasing energy efficiency, or using less energy for the same or greater output.**

   增加能量效益，或減少能量消耗但不降低產率

3. **Avoidance of persistent, bioaccumulative and toxic substances.**

   避免不能分解、具生物累積性及有毒物質

(OECD Workshop on Sustainable Chemistry, Tokyo, Oct. **2000)**

我們的責任與機會

- **Chemistry is the creative science that creates many new substances and brings them into the world**
  （Some of them are useful and many of them are hazardous. We chemists have the responsibility to do something about it.）

  • 我們的責任

- **Chemistry is an enabling science that will allow economic progress and environmental progress to proceed in harmony**
  （It is an opportunity for us）

  • 我們的機會

“Green (sustainable) Chemistry” represents the pillars that hold up our sustainable future. It is imperative to teach the value of green chemistry to tomorrow’s chemists.

(D. H. Busch, *Chem. Eng. News* **2000**, *78* (28), 49)

It has become an imperative that chemists lead in developing the technological dimension of a sustainable civilization

（T. Collins, *Science* **2001**, *298*, 48）

永續化學的十二原則

(Anastas and Warner, 1998)

1. 防患於未然（**Prevent waste**）

2. 反應中物質**(**原子**)**之經濟觀（**Atom economy** or **atom efficiency**）

3. 低危險性之化學合成法（**Less hazardous synthetic methodologies**）

4. 設計更安全的化學產品（**Designing safer chemical products**）

5. 盡可能少用輔助品（**Avoid using auxiliaries if possible**）

6. 有效利用能量（**Design for energy efficiency**）

7. 使用續生性原料（**Use of renewable feedstock**）

8. 避免製造原非必要之衍生物（**Reduce derivatization**）

9. 採用觸媒反應（**Catalysis**）

10. 設計可分解之化學產品（**Design degradable products**）

11. 發展製程中之分析法（**Analysis for in-processing monitoring**）

12.選用本質安全之化學品（**Accident prevention in a chemical process**）

十二原則的另種表達

P Prevent wastes
R Renewable materials
O Omit the derivatization steps
D Degradable chemical products
U Use the safe synthetic methods
C Catalytic reagents
T Temperature, pressure ambident
I In-process monitoring
V Very few auxiliary substances
E E-factor, maximize feed in product
L Low toxicity of chemical products
Y Yes, it is safe

(*Green Chem*., **2005**, *7*, 761)

- Twelve more principles of green chemistry (2001)
- Twelve principles of green engineering (2003)
- Twelve principles of green science and technology (2005)
- Ten commandments of sustainability (2005)

永續十律(Ten Commandments)

美國密蘇里大學:S. E. Manaham 教授

1. 人類福利非僅擁有物質而必以生活品質為指標。其要求是經濟、政府體系、教義信條和個人生活方式均必須考慮環境與永續性。
2. 因地球的負荷與（人口數）及（每人所需）兩因素相關，故論及地球資源時必須兩者兼顧。
3. 已知**人類即使冒全球發生巨大災難之險，仍必將試圖依靠科技以迎合其需求，故須有「人類」為全球環境五個基本圈**(atmosphere, anthrosphere, biosphere, geosphere and hydrosphere)**之一的認知**，且須本着最大永續性及於環境無害之原則來設計。
4. 永續之關鍵在能量，故必發展有效利用來源豐沛，且不傷害環境的能源。

5. 益於地球生命之氣候必予維持，且必找出適切方法以應付必然發生之氣候變化。
6. 地球的生物與生產容量必須維持及增進，且須顧及所有五個環境圈。
7. **物質資源之需求必須大幅減少，並應取續生性、可再用性及能在自然分解者**。
8. 必須盡可能少用及少製造危險、有毒與難分解的物質，且絕不可將之釋放到環境中。任何廢棄物必須轉變成無毒害後方可送往棄置場。
9. 必須知道因不願冒險而仍有險。（以火力代核能發電即是一例）
10. **教育為永續發展之不可缺**；必須將其推廣到社會的各年齡層與各行業，藉各種媒體來傳播，也是所有在永續領域具專長者的責任

永續化學之有關教育範圍包括：

一、介紹永續化學的觀念給中(小)學生

二、介紹永續化學的原則給選讀普化、有機和物 化等的大學生

三、介紹永續化學的觀念給非主修科技學門的大學生與研究生

四、研究生之跨學域研習，如企業與化學、教育學與化學、法律學與化學、社會學與化學等

五、研究生之永續發展化學專題研究

個人教學經驗

一、實驗（普化，有機）

二、二年有機（二學期課程）

三、通識（民生化學與永續發展）

四、研究所（永續化學概論）

CHEMISTRY (THE CHINESE CHEM. SOC., TAIPEI) Dec., 1996 Vol. 54, No. 4, pp. 63～66

化學教育

邁向零污染的普通化學實驗設計

林笏稜　吳春桂*　劉廣定*
中央大學化學系

摘要：在保護環境的前提之下，降低化學實驗對環境所造成的污染已是刻不容緩的事情，本文描述如何以簡單的化學原理及實驗步驟，低廉的處理成本，有效的將一般普通化學實驗本身所產生的廢棄物加以回收甚至再利用。主要的廢棄物處理方式包括：(1) 有機溶劑：加以分別收集後蒸餾純化後再利用。(2) 重金屬：包括銀、銅、錳及六價鉻離子分別經過適當的處理方式後成爲可再利用的化合物。(3) 三碘離子：利用簡單的化工程序可大量處理具有氧化還原能力的三碘離子廢液

關鍵字：三碘離子、有機溶劑、重金屬、零污染。

CHEMISTRY (The Chinese Chemical Society, Taipei) December 2007, Vol. 65, No. 4, pp. 355-360

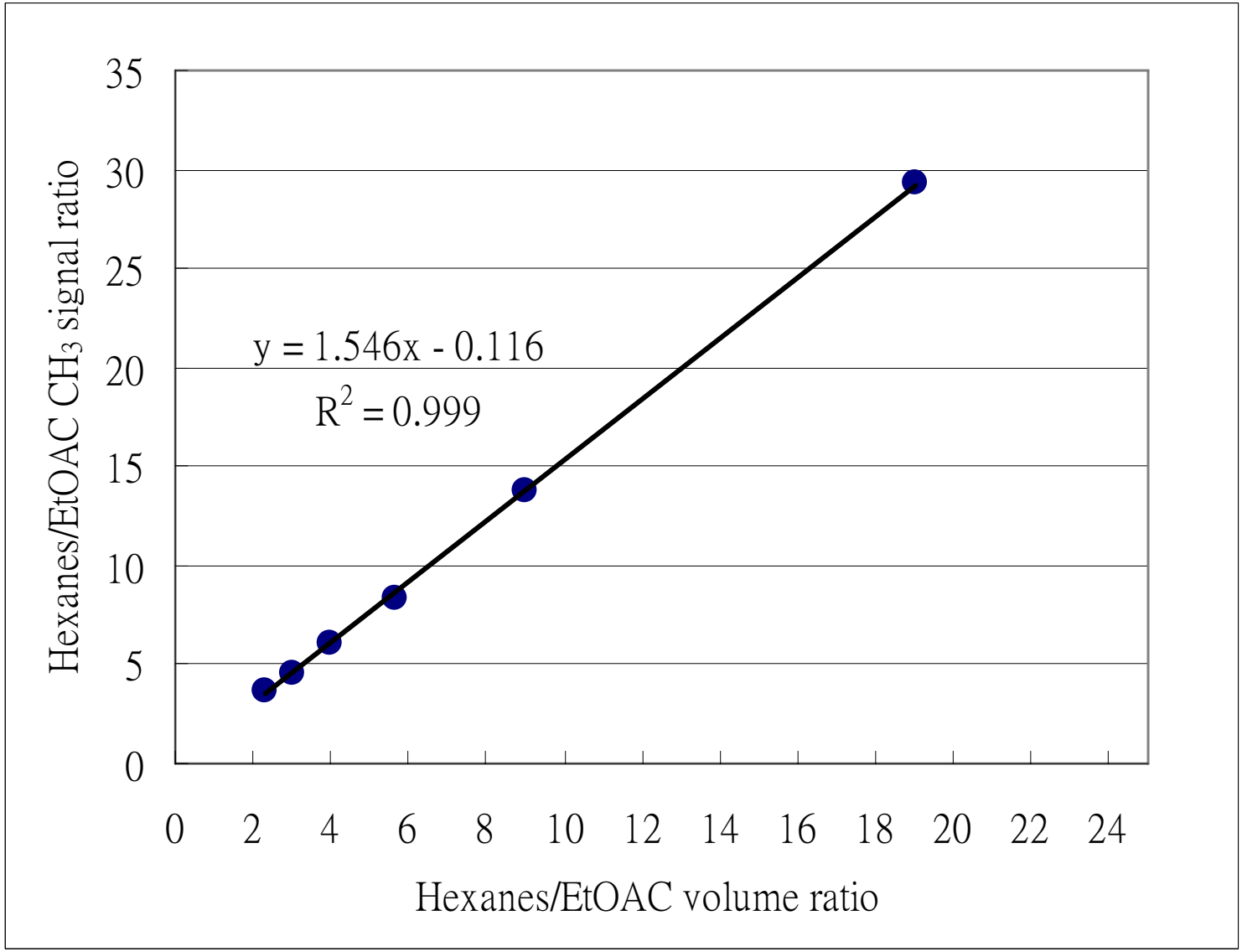
專題報導

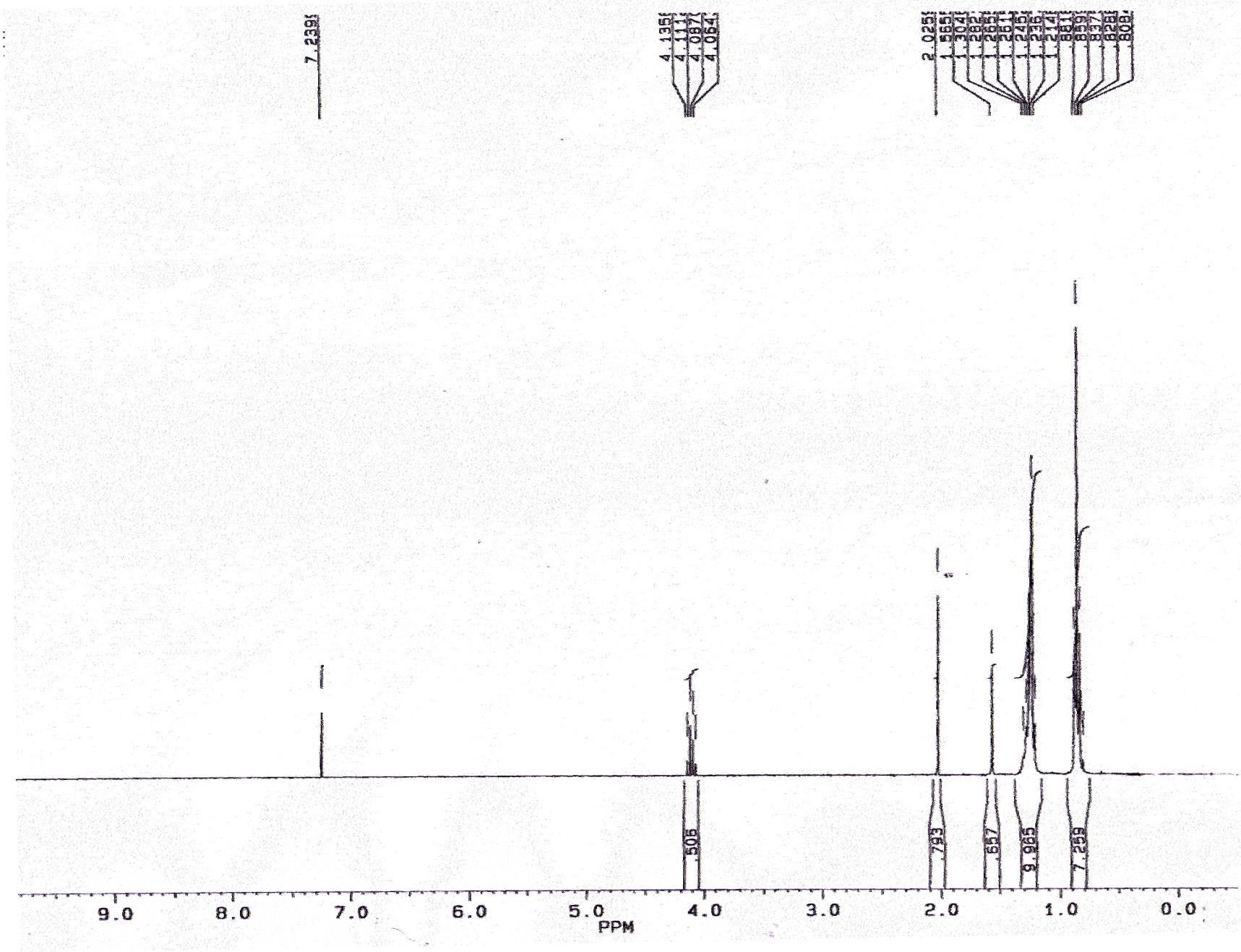
永續化學的教學與研究實驗：乙酸乙酯與己烷混合液的回收及核磁共振分析

劉廣定

國立臺灣大學化學系

摘要：為推展能配合永續發展的化學教學與研究，設計了一個回收乙酸乙酯與己烷混合液，並以氫核磁共振方法分析其組成的實驗。此實驗將快速層析分離所得之沖提液蒸餾回收後，藉 3 億赫核磁共振儀測量在 δ2.02 和在 δ0.86 的甲基吸收強度，建立檢量線、定量其組成。乃一整合有機化學與分析化學的實驗。能使學生從實做而了解永續化學，對於研究實驗時之溶劑回收也極有用。


35
30
25
20
15
10
5
0
Hexanes/EtOAC CH_3 signal ratio
y = 1.546x - 0.116
R^2 = 0.999
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
Hexanes/EtOAC volume ratio


7.239
4.135
4.111
4.087
4.064
2.025
1.565
1.304
1.282
1.265
1.261
1.245
1.236
1.214
.881
.859
.837
.828
.808
.506
.793
.657
9.965
7.259
9.0
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
PPM

CHEMISTRY（THE CHINESE CHEM. SOC., TAIPEI）March. 2006 Vol. 64, No.1, pp.141~146

教育論文

大學的永續化學教學

劉廣定

國立台灣大學化學系

摘要：永續化學是促成與建立永續發展之主要因素，但相關之教育在臺灣的教育體系中卻遭忽視。本文強調其重要性，並介紹作者在臺灣大學所開「永續化學概論」選修課之內容綱要，博士班累計考試之命題，及講授二年級「有機化學（乙）」時插入永續化學相關教材之條目。另討論一些評量結果，供化學同仁參考。

「大二有機化學」中的永續化學相關教材

適當插入永續化學的多項相關教材。其主要觀念共八條:

- 盡可能維護「碳循環」之永續
- 預防製造廢棄物而非設法處理產生的廢棄物
- 選用適當合成方法使所有或極大多數反應物中之原子成為產物
- 設計使用無毒性的起始物和溶劑之製造程序，並使發生釋出汙染物、爆炸與起火等化學災害之可能性降至極小
- 尋找採用具再生性起始物與觸媒性試劑的方法
- 盡量少用水、電、煤氣和蒸汽
- 盡可能不用輔助品如溶劑、分離試劑等
- 發明對環境友善、易分解與可重覆使用的化學品

Vollhardt and Schore, *Organic Chemistry, Structure and Function*, Fourth Edition, 2003

插入永續化學相關教材之條目如下

- 第一章、 有機化學簡介
  碳循環與永續發展
- 第三章、 烷烴之反應
  （1）有機反應引介：(a) 微波及超音波下的反應；(b) 超臨界流體二氧化碳中之反應（c）無溶劑反應（d）永續化學反應原則
  （2）鹵烷之用途：對臭氧層及全球暖化的影響
- 第八章、醇之性質，製備，及合成策略
  （1）醇之氧化：符合永續化學原則的方法
  （2）有機合成原則；原子經濟觀
- 第十二章、烯烴的反應
  （1）用過氧化氫的環氧化反應
  （2）鄰二羥化反應之永續化學方法
  （3）氧化斷鍵之永續化學方法

……

總共20題約需6節課時間補充，對於整體教學必有影響。

《科學月刊》2007年四月號，頁282-286

1. 化學反應熱
2. 莫耳燃燒熱，莫耳生成熱
3. 反應總熱量變化不因「途徑」而改變
4. 異構物愈安定，生成熱愈大而燃燒熱愈小
5. 化合物中碳原子的氧化數愈大，燃燒熱愈小
6. 比較乙醇與辛烷之燃燒熱
7. 六碳醣分子因酵素分解產生兩分子乙醇時也釋出兩分子二氧化碳
8. 使用生質燃料的優缺點

能源作物停種

生質柴油宣告失敗

《聯合報》97年5月27日A3版

【記者朱淑娟／台北報導】油價飆漲，扁政府先前打算以生質柴油作爲替代能源，但已宣告失敗。生質柴油以能源作物、廢食用油爲料源，但農委會昨天表示，從今年二期作起停止種植能源作物。環保署也表示，廢食用油回收六月試辦到期後也要重新檢討。

前年七月前行政院長蘇貞昌提出回收廢食用油、利用休耕地產製生質柴油，因應高油價衝擊。能源局依此擬定生質燃料方案，由農委會種能源作物，環保署回收廢食用油，計畫生產六千五百公噸生質柴油，去年農委會反映種植作物情況不佳，協調環保署提高產能。

農委會主委陳武雄日前表示，能源作物不應與糧食爭地，在高糧價時代，政府最迫切的是「照顧民衆的肚子」，不是利用珍貴的休耕地種能源作物。而且台灣種植能源作物面積小，不符合經濟效益。

農委會上月向立法院提出專案報告時，即表示將檢討能源作物種植計畫。陳武雄建議，未來如果政府要發展生質柴油，可考慮用稻稈、農作廢棄物、纖維作物取代。

農糧署前年在雲嘉南地區利用休耕農地，以每公頃四萬五千元鼓勵農民種植生質作物，不過農委會坦承種植成果不佳。

【記者朱淑娟／台北報導】環保署配合能源局生質能計畫，從去年九月起回收廢食用油，而回收的廢食用油並未依計畫產製生質柴油，而是做飼料添加劑或硬脂酸鹽類，與原回收計畫出入甚大，六月試辦到期將重新檢討。

盲目追求生質能源 破壞生態

齊心／中興大學昆蟲系主任（台中市）

對二日「拾穗：給廿一世紀生質能源靈感」一文，筆者有些想法。

五月三十一日在中興大學召開的中華民國德國學術交流協會二〇〇八學術年會「能源與生態環境的發展」，會中分別討論太陽能、生質能源、再生能源以及能源政策與法律等議題。對能源的研究與發展，研究不同能源的學者有不同意見。多年來，歐盟大力推動生質能之研究與應用，目前卻也因遭遇很多環境問題與批評而重新檢討該政策。

生態系統中很重要的是物質與能量的循環。自然界中無所謂「廢棄物」，稻稈、玉米稈及其他農業廢棄物在生態系中都有其功能，若人類除了吃掉玉米，還將玉米殘株全部轉變成酒精或生質柴油，人類對土地的剝削將更爲嚴重，也對生態系統造成嚴重影響。農業廢棄物若全部用來生產生質能，將破壞生態系統中物質循環與生態演替程序。生態系主要的能源來自太陽，太陽能才是最直接、最有希望的永續能源，有關生質能的研究宜審慎評估。

台灣地方小，土地、水力、煤礦、人才與政府財力都有限。什麼作物都想種，什麼能源研究都想進行，可能都做不好。有關能源政策與法律的制定必須以生態學與能源科技知識爲基礎，同時考慮我國的環境限制，不宜依據尚未成熟的概念或盲目追求時尚，不正確的概念會導致不正確的政策，進而造成政府所推動之科技研究與應用之錯誤。

聯合報民意論壇97年六月三日

對大學部化學教學之建議

一、依永續化學原則重編各科實驗教材

二、「普化」中加強與永續化學發展密切相關者之說明，如：物質五態與超臨界流體，紅外線吸收光譜與溫室效應氣體，親水性－排水性及親油性－排油性，反應熱與燃燒熱，水的特性等

三、「有機」中簡化或刪除違背永續化學原則者，如:Cr(VI)之氧化作用，保護－去保護等；補充或加強與永續化學發展密切相關者，如：無溶劑反應，水中反應，反應選擇性，醣類，酵素反應，新型試劑(如碳酸二甲酯)等

四、藉「通識」宣導永續化學及永續發展的觀念

五、翻譯必須慎重

Selective partial hydrogenation of hydroxy aromatic derivatives with palladium nanoparticles supported on hydrophilic carbon†

Philippe Makowski,[a] Rezan Demir Cakan,[a] Markus Antonietti,[a] Frédéric Goettmann*[ab] and Maria-Magdalena Titirici*[a]

Selective hydrogenation of phenol to cyclohexanol in the aqueous phase was achieved using a new catalytic system based on palladium particles supported on hydrophilic carbon prepared by one-pot hydrothermal carbonisation.

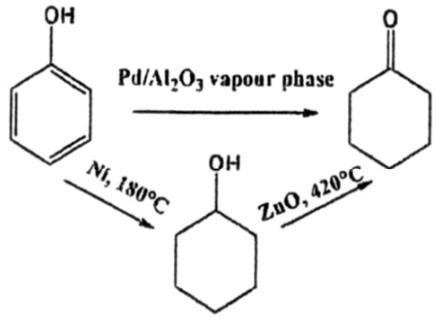
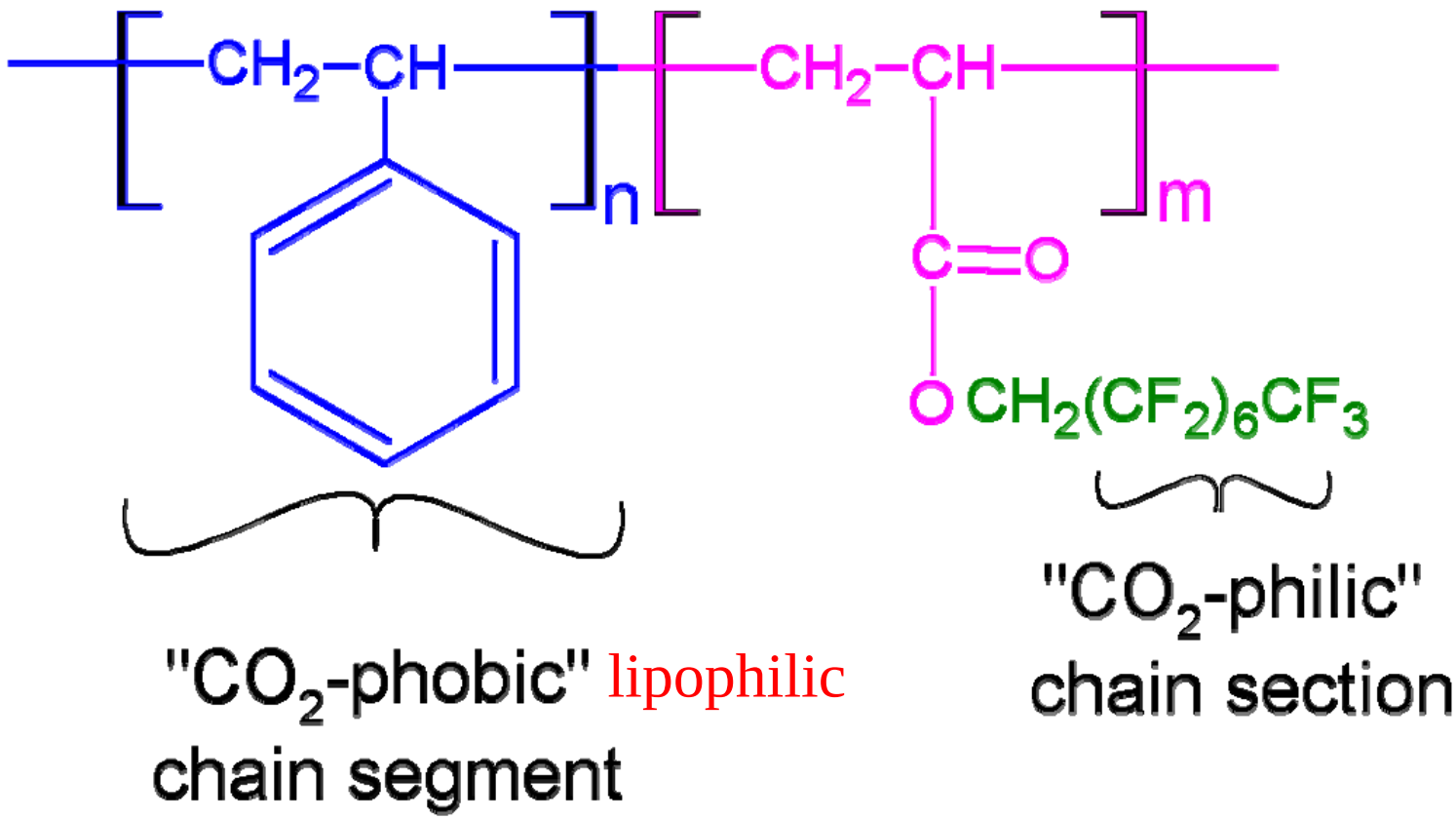
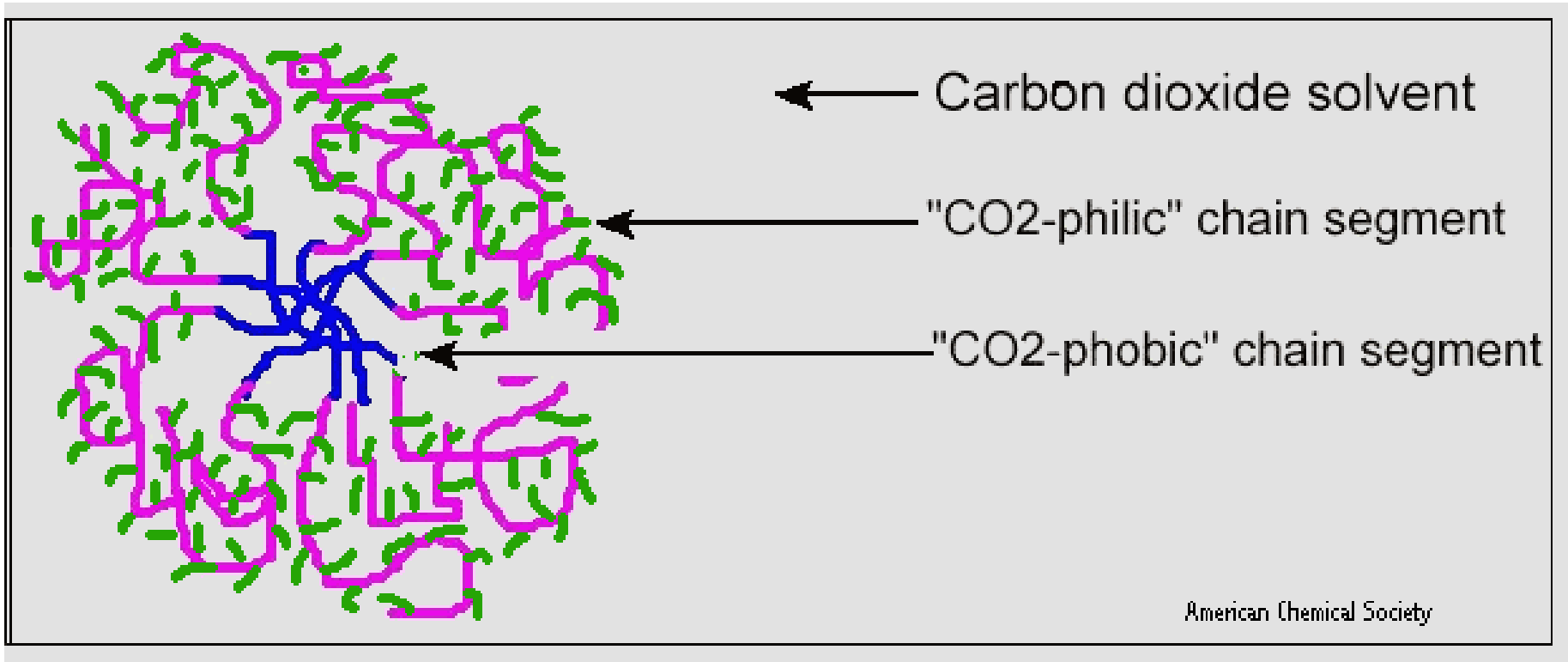


Fig. 1 Synthesis of cyclohexanone.

CO_2 Surfactant: Joe DeSimone, UNC, NCSU, NSF Science and Technology Center for Environmentally Responsible Solvents and Processes, PGCC Award 1997



CO_2 Surfactant



Green Education Materials for Chemists

Title	Date	Source
Green Chemistry in the Curriculum: Biodiesel Module	2008	Fisher Science Education, ; Brush, E.; Beyond Benign, Green Chemistry in the Curriculum: Biodiesel Module. *http://www.fishersci.com/ wps/ downloads/ segment/ ScienceEducation/ pdf/ green_BiodieselModule.pdf* (accessed May 2008).
The dose makes the poison: Measuring ecotoxicity using a lettuce seed assay	2008	Kwon, S. Y.; Levy, I. J.; Levy, M. R.; Sargent, D. V.; Tshudy, D. J.; Weaver, M. A. *The dose makes the poison: Measuring ecotoxicity using a lettuce seed assay*, Chemistry, Gordon College, **2008**
Green Chemistry in the Curriculum: An Introduction to Green Chemistry	2008	Fisher Science Education, ; Beyond Benign, Green Chemistry in the Curriculum: An Introduction to Green Chemistry. *http://www.fishersci.com/ wps/ downloads/ segment/ ScienceEducation/ pdf/ green_IntroGreenChem.pdf* (accessed May 2008).
Greening Dry Cleaning	2008	Hill, J. W.; Kolb, D. K. *Chemistry for Changing Times*, Print 2007; pp 546-547.
Introduction to Green Chemistry	2008	Hill, J.; Kolb, D. *Chemistry for Changing Times*, Print 2007; pp 34-35.
Think Green	2008	Fisher Science Education, ; Beyond Benign, Think Green. *http://www.fishersci.com/ wps/ portal/ CMSTATIC?href=/ScienceEducation/ scienceEduStandard/ Features/ Think_Green/ se_std_ThinkGreen_040708_1435.jsp &store=ScienceEducation &segment=scienceEduStandard* (accessed May 2008).

http://greenchem.uoregon.edu/Pages/ResultsAll.php

謝謝

敬請指教