

出國報告（出國類別：其他）

參加「第九屆 IUPAC 綠色化學國際研討會 (The 9<sup>th</sup> IUPAC International Conference on Green Chemistry) 」

服務機關：行政院環境保護署毒物及化學物質局

姓名職稱：吳春生科長、蕭寶桂高級環境技術師

派赴國家/地區：視訊會議，臺灣，中華民國

出國期間：111 年 9 月 5 日至 111 年 9 月 9 日

報告日期：111 年 9 月 6 日



## 摘要

為擴大瞭解國際推動綠色化學作法及策略，深化於國際永續研究及拓展各領域人脈，本局以綠色化學教育推動成果及相關策略，以主題「臺灣推動綠色化學教育及推廣 (Green Chemistry Education and Promotion in Taiwan)」投稿「第 9 屆國際純化學和應用化學聯合會 (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) 綠色化學國際研討會 (The 9th IUPAC International Conference on Green Chemistry)」，議程「教育、社會及歐洲永續發展目標 (Education, Society, UN Sustainable Development Goals)」，並獲會議接受於 111 年 9 月 6 日進行口頭報告。

第 9 屆 IUPAC 綠色化學國際研討會由希臘化學家協會 (Association of Greek Chemists, AGC) 與國際純化學和應用化學聯合會綠色化學促進永續發展跨部門委員會 (IUPAC Interdivisional Committee on Green Chemistry for Sustainable Development, ICGCSD) 合作辦理，並獲得歐洲化學協會 (European Chemical Society, EuChemS)、美國化學學會 (American Chemical Society, ACS)、希臘綠色化學網絡 (Hellenic Green Chemistry Network)、塞薩洛尼基亞里士多德大學(Aristotle University of Thessaloniki) 以及雅典國立和卡波季斯特里安大學 (National and Kapodistrian University of Athens)化學系的贊助和協助。會議於 111 年 9 月 5 日至 9 日於希臘雅典實體舉行，因考量新冠肺炎後疫情影響，本次會議同步以線上方式辦理，本局人員即以線上方式參與。

第九屆 IUPAC 綠色化學國際研討會涵蓋主題有「學術、研究和工業的綠色化學」、「教育和社會領域的綠色化學」及「永續發展、生物經濟和循環經濟的綠色化學」。研討會重點著重於綠色和永續化學的全球趨勢和發展，此外，為引起各國對綠色化學的興趣，本次研討會也涵蓋對世界特定地區具有高度重要性的研究以及技術方面的重要資訊。例如，針對農業和林業廢物設定討論生質價值利用的主題，或是無毒溶劑的使用、低廢或無廢工業化學的發展、生物塑膠材質包括可降解塑料的使用設計以及社會和政治對綠色化學實踐意識的提高等，藉此擴大會議參與者的需求，吸引各界投入並培養綠色化學認知及發展。

本次會議特別強調推動綠色化學對實施聯合國制訂的永續發展目標的貢獻，針對化學和化學工程不同領域討論新的基礎化學方法及工業的專業面向需求。會議為產、官、學之專家學者提供一多樣化平臺，使各界先進能夠互相交流並探討永續化學、化學品及工業和產品方面的最新理念。藉由此次參與國際研討會報告交流之機會與諸多國際產、官、學、研先進請益相關教育推動策略及執行困難等經驗，並學習目前國際之創新技術及理念，為本次參加之重大收穫。

# 目 次

一、會議背景及目的.....	1
二、會議議程及內容重點整理 .....	1
三、心得與建議 .....	21

## 一、會議背景與目的

「第 9 屆 IUPAC 綠色化學國際研討會 (The 9th IUPAC International Conference on Green Chemistry)」會議主題主要為「永續化學研究及創新」(sustainable chemistry research & innovation)，針對聯合國十七項永續發展目標中的第 12 項目標-「負責任的消費和生產行為模式」與化學工程鏈結，彰顯化學工程與循環經濟在創建未來永續發展的重要性。

IUPAC 綠色化學國際會議系列 (ICGC) 主要是匯集來自學術界、研究界、工業界、非政府組織、政策制定者和社會的所有相關利害關係人，交流和傳播促進綠色化學概念的知識和想法、永續發展和循環經濟。今年會議是 ICGC 系列的第九屆會議，第一屆(2006)在德國舉辦，隨後是俄羅斯(2008)、加拿大(2010)、巴西(2012)、南非(2014)、意大利(2016)、俄羅斯(2017)和泰國(2018)。12 年內會議以歐洲為主，逐步擴展至歐洲外國家，擴大各國對綠色化學認知及發展。

為深化我國於國際綠色及永續化學教育及研究，並拓展產業發展，毒物及化學物質局（下稱本局）以綠色化學教育推動成果，主題「Green Chemistry Education and Promotion in Taiwan」投稿本次會議，議程「教育、社會及歐洲永續發展目標 (Education, Society, UN Sustainable Development Goals)」，並獲會議接受於 111 年 9 月 6 日進行口頭報告。藉由參與研討會之機會與諸多國際學者探討相關教育推動策略及執行困難等經驗，並學習目前國際推動之創新技術、理念及作法。



圖 1 第 9 屆 IUPAC 綠色化學國際研討會（網頁首圖）

表 1 每日行程概要

日期	工作內容概要
111.9.5~111.9.9	參加線上國際會議
111.9.6	線上口頭報告（蕭寶桂高級環境技術師）

## 二、會議議程及內容重點整理

### (一) 視訊會議議程

#### 1. 會議主要議題

- (1) Green solvents – Safe reagents and chemicals – Sustainable organic synthesis
- (2) Catalytic processes (homogeneous, heterogeneous and bio-catalysis)
- (3) Biomass derived platform & fine chemicals, pharmaceuticals, monomers, polymers, materials
- (4) Alternative fossil fuels and biofuels, green bio-energy
- (5) Valorization of renewable and natural resources
- (6) Waste recycle and valorization – Circular economy (food waste, hazardous waste, municipal waste, plastic waste)
- (7) CO<sub>2</sub> utilization
- (8) Alternative and benign chemical processes (microwaves, ultrasounds, photochemistry, electrochemistry, flow chemistry, etc.)
- (9) Nano-materials for energy and environmental applications
- (10) Green analytical chemistry
- (11) Green chemistry in conservation and restoration of cultural heritage
- (12) Pollution prevention and remediation
- (13) Toxicology and Ecotoxicology of Chemicals and Products
- (14) Computational Chemistry towards greener chemical processes
- (15) Green chemistry metrics – Life cycle assessment (LCA)
- (16) Education and societal awareness – UN Sustainable Developments Goals
- (17) Green Chemistry and entrepreneurship – Sustainable industrial processes

#### 2. 每日會議議程

Monday, 5 September 2022 (Athens Summer Time Zone, EEST)	
Time	
18:00	<b>Welcome by the Chair</b> Prof. Konstantinos Triantafyllidis, Aristotle University of Thessaloniki (Hall 4, Zappeion Megaron)
18:15	<b>PL1: “Circular Chemistry: Catalyzing the Green Economy”</b> Javier García Martínez, University of Alicante, Spain President of the International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC
19:00	<b>PL2: “Reaction Mechanisms and Energy Profiles: How Green Chemistry Complies with Them. The Case of Dimethyl Carbonate”</b> Pietro Tundo, Ca' Foscari University of Venice, Italy Standing Committee Secretary, IUPAC Interdivisional Committee on Green Chemistry for Sustainable Development (ICGCSD)
19:45	<b>Honorary Award Ceremony to Professor Pietro Tundo, by the Association of</b>

	<i>Greek Chemists, for "Lifetime Achievements and Outstanding Contribution to Green and Sustainable Chemistry"</i>
20:00	Welcome Reception

Tuesday, 6 September 2022 (Athens, Summer Time Zone, EEST)				
Time				
09:00-09:30	Opening Ceremony - Welcome addresses			
09:30-10:15	<i>PL3: Paul Anastas, "Green Chemistry, "...to solve most of the world's problems" (Hall 4)</i>			
10:15-11:15	Session 1: Green solvents & sustainable synthesis (I) (Hall 4)	Session 2: Biomass and renewables valorization (I) (Hall 6)	Session 3: (Bio)Waste Valorization & Circular economy (Hall 3)	Session 4: Green Chemistry and Sustainable industrial processes, Metrics, LCA (Hall 2)
10:15	<i>KN1: Chao-Jun Li</i>		<i>KN2: Rafael Luque</i>	
11:15-11:45	Coffee break			
11:45-13:00	Session 1: Green solvents & sustainable synthesis (I) (Hall 4)	Session 2: Biomass and renewables valorization (I) (Hall 6)	Session 3: (Bio)Waste Valorization & Circular economy (Hall 3)	Session 4: Green Chemistry and Sustainable industrial processes, Metrics, LCA (Hall 2)
13:00-14:30	Lunch & Poster Session (I)			
14:30-15:15	<i>PL4: Solange I. Mussatto, "Emerging technologies for a sustainable conversion of lignocellulosic biomass into biobased products" (Hall 4)</i>			
15:15-16:15	Session 5: Green solvents & sustainable synthesis (II) (Hall 4)	Session 6: Biomass and renewables valorization (II) (Hall 6)	Session 7: Pollution prevention and remediation (Hall 3)	Session 8: Education, Society, UN Sustainable Development Goals (Hall 2)
15:15	<i>KN3: Isabel M. Marruchos</i>	<i>KN4: Audrey Moore</i>		<i>KN5: Jane Wissinger</i>
16:15-17:00	Coffee break & visit to posters			
17:00-18:00	Session 5: Green solvents & sustainable synthesis (II)	Session 6: Biomass and renewables valorization (II)	Session 7: Pollution prevention and remediation	Session 8: Education, Society, UN Sustainable

	(Hall 4)	(Hall 6)	(Hall 3)	Development Goals (Hall 2)
18:00				
18:15				
18:30				

Wednesday, 7 September 2022 (Athens, Summer Time Zone, EEST)				
Time				
09:00-09:45	<i>PL5: Buxing Han, "Conversion of CO<sub>2</sub> and Biomass into Chemicals and Fuels" (Hall 4)</i>			
9:45-11:00	Session 9: CO <sub>2</sub> utilization (Hall 4)	Session 10: Catalysis for biomass (Hall 6)	Session 11: Biobased monomers, polymers & composites (I) (Hall 3)	Session 12: Environmental catalysis (Hall 2)
9:45	<i>KN6: Jorge Gascon</i>	<i>KN7: Bert Sels</i>	<i>KN8: Dimitrios Bikiaris que</i>	
11:00-11:30	Coffee break			
11:45-13:00	Session 9: CO <sub>2</sub> utilization (Hall 4)	Session 10: Catalysis for biomass (Hall 6)	Session 11: Biobased monomers, polymers & composites (I) (Hall 3)	Session 12: Environmental catalysis (Hall 2)
13:00-14:30	Lunch & Poster Session (II)			
14:30-15:15	<i>PL6: Maria Georgiadou, "EU perspective for biofuels and bioenergy under the European Green Deal and REPowerEU" (Hall 4)</i>			
15:15-16:15	Session 13: Alternative fuels & biofuels – Green energy (Hall 4)	Session 14: Green catalysis & synthesis (Hall 6)	Session 15: Biomass to chemicals (Hall 3)	Session 16: Bio-waste valorization (Hall 2)
15:15		<i>2022 CHEMRAWN VII Prize Keynote: Vivek Polshettiwar</i>	<i>KN9: Fabio Aricò</i>	<i>KN10: Daniel C.W. Tsang</i>
16:15-17:00	Coffee break & visit to posters			
17:00-18:00	Session 13: Alternative fuels &	Session 14: Green catalysis & synthesis	Session 15: Biomass to chemicals	Session 16: Bio-waste valorization



	biofuels – Green energy (Hall 4)	(Hall 6)	(Hall 3)	(Hall 2)
18:15				
18:30				

Thursday, 8 September 2022 (Athens, Summer Time Zone, EEST)				
Time				
09:00-09:45	<i>PL7: Philip G. Jessop, "How CO2-Switchable Materials can Help in Biomass Conversion and Greener Coatings" (Hall 4)</i>			
09:45-11:00	Session 17: Catalysis for biomass & sustainable synthesis (Hall 4)	Session 18: Alternative & benign chemical processes (Hall 6)	Session 19: Plastic waste recycle and valorization (Hall 3)	Session 20: Nanomaterials & Ionic liquids for advanced applications (Hall 2)
09:45	<i>KN11: François Jérôme</i>	<i>KN12: Jinlong Gong</i>		
11:00-11:30	Coffee break			
11:30-12:45	Session 17: Catalysis for biomass & sustainable synthesis (Hall 4)	Session 18: Alternative & benign chemical processes (Hall 6)	Session 19: Plastic waste recycle and valorization (Hall 3)	Session 20: Nanomaterials & Ionic liquids for advanced applications (Hall 2)
12:45-14:30	Lunch & Poster Session (II)			
14:30-15:15	<i>PL8: Supawan Tantayanon, "Green Synthesis of Metal Nanoparticle Embedded Soft Hybrid Gel from Plant-based materials" (Hall 4)</i>			
15:15-16:15	Session 21: Nanomaterials for energy & environment (Hall 4)	Session 22: Biobased monomers, polymers & composites (II) (Hall 6)	Session 23: Bio-catalysis & bio-processes (Hall 3)	Session 24: Alternative fuels, biofuels, Green Energy (Hall 2)
15:15		<i>KN13: Andreia F. Sousa</i>	<i>KN14: Lorena Betancor</i>	
16:15-17:00	Coffee break & visit to posters			
17:00-18:00	Session 21: Nanomaterials for energy & environment (Hall 4)	Session 22: Biobased monomers, polymers & composites (II) (Hall 6)	Session 23: Bio-catalysis & bio-processes (Hall 3)	Session 24: Alternative fuels, biofuels, Green Energy (Hall 2)
18:00-18:15				
18:30				

Friday, 9 September 2022				
--------------------------	--	--	--	--

(Athens, Summer Time Zone, EEST)				
Time				
09:00-09:45	<i>PL9: Despo Fatta-Kassinou, "Enhancing the Circular Economy in the Water Sector by Addressing the Chemical Contaminants of Concern Present in Wastewater " (Hall 4)</i>			
09:45:11:00	Session 25: Green Analytical Chemistry - (Eco)Toxicology (Hall 4)	Session 26: Pollution prevention & remediation (Hall 6)	Session 27: Computational chemistry (Hall 3)	Session 28: Sponsors & Publishers (Hall 2)
09:45	<i>KN15: Vânia G. Zuin Zeidler</i>		<i>KN16: Liliana Mammino</i>	
11:00-11:30	Coffee break			
11:30-13:00	Session 25: Green Analytical Chemistry - (Eco)Toxicology (Hall 4)	Session 26: Pollution prevention & remediation (Hall 6)	Session 27: Computational chemistry (Hall 3)	Session 28: Sponsors & Publishers (Hall 2)
13:00-13:15	Closing session – Poster awards ceremony			
13:15	Lunch			

### 3. 全體會議及主題演講列表

#### (1) Monday 5th September 2022

**PL1 : Circular Chemistry: Catalyzing the Green Economy**

Javier García-Martínez  
University of Alicante, Spain

**PL2 : Reaction mechanisms and energy profiles: how green chemistry complies with them. The case of dimethyl carbonate**

Pietro Tundo  
Ca' Foscari University of Venice, Italy

#### (2) Tuesday 6th September 2022

**PL3 : "Green Chemistry, "...to solve most of the world's problems"**

Paul T. Anastas  
Yale University, USA

**PL4 : Emerging technologies for a sustainable conversion of lignocellulosic biomass into biobased products**

Solange I. Mussato  
Department of Biotechnology and Biomedicine, Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Denmark

**KN1 : Sustainable Cross-Couplings: Demetallation of Organometallic Reactions**

Chao-Jun Li  
McGill University, Canada

**KN2 : Biowaste valorisation: the waste-to-wealth concept**

Rafael Luque

Universidad de Córdoba, Spain

**KN3 : DES, ES and ILs: TAILORING SOLVENTS FOR SUSTAINABLE APPLICATIONS**

João Afonso, Bruna F. Soares, Gabriela Caetano, Isabel M. Marrucho  
Universidade de Lisboa, Portugal

**KN4 : Unlocking the potential of crustacean waste: solvent-free, mechanochemical pathways to added-value materials**

Tony Jin,<sup>1</sup>Juliana L. Vidal,<sup>1</sup>Faezeh Hajiali,<sup>1</sup>Tracy Liu,<sup>1</sup>Edmond Lam,<sup>2</sup>Audrey Moores<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Centre in Green Chemistry and Catalysis, Dept. of Chemistry, Canada

<sup>2</sup>Aquatic and Crop Resource Development Research Centre, National Research Council of Canada, Canada

<sup>3</sup>Department of Materials Engineering, McGill University, Canada

**KN5 : Teaching global perspectives: Connecting Green Chemistry, the UN SDGs, and Sustainable Polymers**

Jane E. Wissinger

University of Minnesota, USA

**(3) Wednesday 7th September 2022**

**PL5 : Conversion of CO<sub>2</sub> and Biomass into Chemicals and Fuels**

Buxing Han<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, China

<sup>2</sup>Shanghai Key Laboratory of Green Chemistry and Chemical Processes, East China Normal University, China

**PL6 : EU perspective for biofuels and bioenergy under the European Green Deal and REPowerEU**

Maria Georgiadou

European Commission, Directorate General Research and Innovation, Belgium

**KN6 : On the efficient transformation of CO<sub>2</sub> to chemicals and fuels**

Jorge Gascon

King Abdullah University of Science and Technology, KAUST Catalysis Center (KCC), Saudi Arabia

**KN7 : Chemicals from lignin: feasible, safe and sustainable**

Bert F. Sels

CSCE/KULeuven, Chem&Tech Celestijnenlaan 200F 3001 Leuven, Belgium

**KN8 : European Sustainable Biobased Nanomaterials Community (BIOMAC), From biomass pretreatment for monomers and additives extraction to the synthesis of biobased composites**

Dimitrios Bikiaris

Aristotle University of Thessaloniki, Greece

**2022 IUPAC-CHEMRAWN VII Prize Keynote: Storing Solar Energy into Carbon Dioxide: Tale of Hot Electrons in Black Gold as Green Nanocatalyst**

Vivek Polshettiwar

Tata Institute of Fundamental Research (TIFR), Mumbai, India

**KN9 : Towards Scalable Synthesis of Furanics: Products Purification and Comparative Environmental Assessment**

Fabio Aricò

Ca' Foscari University of Venice, Italy

**KN10 : Design of Biomass Waste-Derived Biochar Catalyst for Glucose Oxidation**

Qiaozhi Zhang<sup>1</sup>, Yang Cao<sup>1</sup>, Daniel C.W. Tsang<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, China.

<sup>2</sup>Research Institute for Future Food, The Hong Kong Polytechnic University, China

**(4) Thursday 8th September 2022**

**PL7** : [How CO<sub>2</sub>-Switchable Materials can Help in Biomass Conversion and Greener Coatings](#)

Philip G. Jessop and Michael F. Cunningham  
Queen's University, Canada

**PL8** : [Green Synthesis of Metal Nanoparticle Embedded Soft Hybrid Gel from Plant-based materials](#)

Supawan Tantayanon  
Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Thailand

**KN11** : [Alternative technologies for the selective conversion of bio-based feedstocks to specialty chemicals](#)

François Jérôme,<sup>1</sup>Karine De Oliveira Vigier,<sup>1</sup>Prince N. Amaniampong<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>University of Poitiers, CNRS, Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers, France

**KN12** : [Solar Fuels: from Mechanistic Understanding to Device Engineering](#)

Jinlong Gong  
School of Chemical Engineering and Technology, Tianjin University, China  
Key Laboratory for Green Chemical Technology of Ministry of Education, Tianjin University, China  
Collaborative Innovation Center of Chemical Science and Engineering (Tianjin), China

**KN13** : [The quest to a circular approach to \(furanic\) polymers](#)

Andreia F. Sousa<sup>1,2\*</sup>  
<sup>1</sup>CICECO – Aveiro Institute of Materials University of Aveiro, Portugal  
<sup>2</sup>Centre for Mechanical Engineering, Materials and Processes, Department of Chemical Engineering, University of Coimbra Rua Sílvio Lima – Polo II, Portugal

**KN14** : [Biocatalytic solutions for industrial waste glycerol valorization](#)

Magdalena Ripoll<sup>1,2</sup>and Lorena Betancor<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>Department of Biotechnology, Universidad ORT Uruguay, Uruguay  
<sup>2</sup>Graduate Program in Chemistry, Facultad de Química, Universidad de la República, Uruguay

## (二) 視訊會議內容概要

摘述會議中與我國推動綠色化學相關之重點資料

### 1. 全體會議及主題演講

- (1) 「對綠色和永續化學的終身成就和傑出貢獻榮譽獎」獲獎者 Pietro R. Tundo 主講「反應機制和能量：綠色化學如何與之相符。以碳酸二甲酯為例 (Reaction mechanisms and energy profiles: how green chemistry complies with them. The case of dimethyl carbonate)」

Pietro R. Tundo 曾任意大利威尼斯 Ca' Foscari 大學有機化學講師、聯合國教科文組織綠色化學主席，亦是 IUPAC 綠色化學國際系列會議及 IUPAC 永續發展綠色化學跨部門委員會 (ICGCSD) 的創始人。因 Pietro R. Tundo 認真且積極於歐洲推動綠色化學，對歐洲化學界邁向永續助益良多，因此獲得大會頒發「對綠色和永續化學的終身成就和傑出貢獻榮譽獎」。

Pietro R. Tundo 主要研究方向為相轉移催化（氣液相轉移催化，gas-liquid phase-transfer catalysis, GL-PTC）、污染物的化學解毒機制、多相條件下的加氫脫鹵以及低溫條件下的加氫脫鹵的低環境衝擊等，均為以綠色化學低毒、減毒思考化學研究的進展。

Pietro R. Tundo 於演講中分享，如何透過綠色化學的原則思考化學合成及開發研究所應扮演的角色，他強調，有機化學家實現永續發展的重要任務由發現和開發新的合成反應途徑開始，從科學出發建立的決策依據可為永續的未來奠定重要的基礎。



圖 1 Pietro R. Tundo 演講主題

**User** paokuei.hsiao chshwu

**Institutional Responsibilities, Commission of Trust, Membership of Scientific Societies**

- 2003: he launched an career advancement
- 2005 - 2015: Chairm: Green Chemistry inst Serbia, http://vi... No. 731
- 1993: Professor Tundo has founded and directed the Interuniversity Consortium "Chimica per l'Ambiente" (Chemistry for the Environment), INCA, embodying 31 Italian Universities.
- 1998: Pietro Tundo established the **first Green Chemistry Postgraduate Summer School in the world**, which brought innovating in science education and has provided more than one thousand of students with a solid foundation in green chemistry.
- 2005-2010: he founded the bimonthly science magazine *Green*, "La Scienza al servizio dell'uomo e dell'ambiente" distributed in Italian scientific high schools (25.000 copies every issue).
- 2003: he launched and carried the first Italian course entirely dedicated to women, aiming to strengthen their career advancement on sustainable chemistry in the university.
- 2005 - 2015: Chairman of MEGREC (Mediterranean Green Chemistry Network). This voluntary association of Green Chemistry Institutions of Mediterranean Countries (Greece, Spain, Egypt, Italy, Morocco, Tunisia, Algeria and Serbia,) http://virgo.unive.it/megrec/ was founded in Belgrade on 2005 and represented the UNESCO UNITWIN No. 731

**IUPAC** INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY

**ICGC** IUPAC International Conference on Green Chemistry

**PETRO R. TUNDO CURRICULUM VITAE**

圖 2 Pietro R. Tundo 重要事蹟

(2) 「綠色化學之父」 Paul T. Anastas 教授演講 「綠色化學可以解決大部分的世界問題 (Green Chemistry, "...to solve most of the world's problems")」

耶魯大學綠色化學和綠色工程中心的 Paul T. Anastas 藉此次大會邀請演講機會向 Pietro R. Tundo 致敬，認為 Pietro R. Tundo 對歐洲化學於綠色、永續化學的成長著實重要。Paul T. Anastas 提到，目前綠色化學的發展進程可分為以下幾點：(1)研發新型化學品，(2)優化化學品製造工藝及技術，(3)新的商業目標及概念，這些發展方向可以幫助實現更健全的社會和文明目標。並於研討會講述其盤點目前正在執行的項目以及預期目標，表示實踐綠色化學即是為子孫後代創造永續未來而努力。



圖 3. Paul T. Anastas 演講



圖 4. 當今化學工業的思考模式

Paul T. Anastas 建議化學工業的思考模式應由效率 (efficiency)到有效的(effective)，從穩定/靜態 (stable/static) 到動態(dynamic)，從持久 (resistant) 到有彈性 (resilient)，從知識 (knowledge)到洞察力 (insight)，從單一 (purity) 到多樣性(diversity)，從還原論 (reductionism) (一種哲學思想，認為複雜的系統、事務、現象可以通過將其化解、拆解各部分的方法來加以理解和描述) 到系統思考 (systems thinking)，從效能 (performance) 到效能及永續兼具 (performance + sustainability)。





圖 5. 建議化學工業的思考模式



圖 6. 綠色化學的循環思維

此外，Paul T. Anastas 並提供耶魯大學設計可供免費下載之電子書，認為只有將最好的科學技術與社會、經濟、政策、文化、道德和倫理生態系統相結合，才有可能實現永續發展的未來。教授講述電子書由綠色化學和綠色工程為永續化學要素提供了科學和技術基礎，人道主義和諾貝爾元素則提供了必要的背景。電子書的內容設計以替代元素週期表圖示陳述替代可用和需要的方面和工具範圍，提供讀者參考邁向永續發展的可行性。



圖 7. 耶魯大學提供免費下載的「綠色和永續化學」電子書

### (3) 循環化學：催化綠色經濟 Circular chemistry: catalyzing the green economy

國際理論與應用化學聯合會主席哈維爾·加西亞-馬丁內斯 (Javier García-Martínez) 提出在綠色化學 12 原則中-「催化」的基礎之「循環化學」的概念。「循環化學」的概念是從搖籃到搖籃的概念，在一開始設計產品(搖籃)之時就預先考慮產品回收再利用(搖籃)，使產品能夠以具有環境成本效益的方式生產回收。例如：使用間沸石轉化、表面活性劑模板化和控制生長來設計和構建具有受控孔隙率的納米結構催化劑。這些催化劑對非常理想的化學品、生物燃料和藥物產生出色的轉化率和選擇性。通過簡單地在不同點暫停中間沸石轉變，可以精細調整物理化學特性，從而調整多級催化劑的性能。因此，善用綠色化學知識及妥善應用化學基礎，可從傳統化學反應中思考出不同的價值應用，創造永續的經濟價值。

Post-Synthetic Surfactant-Templating of Zeolites – Introduction of Mesoporosity

USY  $\xrightarrow[\text{pH=9-11}]{\text{CTAB}}$  meso-USY  
 Temp: RT- 220 °C  
 Time: 20 s - 72 h

Zeolite  
 Surfactant  
 OH<sup>-</sup> Base

Chem. Mater. 32, 3278-3287 (2020)

IUPAC INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY  
 ICGC IUPAC International Conference on Green Chemistry

Take Home Messages !

- We have developed a number of methods to significantly reduce mass transfer limitations of zeolites
- Their mesopore volume can be precisely controlled while maintaining the key properties of the zeolites
- These hierarchical catalysts unleash the potential of zeolites for the conversion of bulky molecules
- This allows, in some cases, to avoid the use of solvents, reduce time, temp., and the amount of catalyst
- We have realized this potential for 1) oil refining (FCC and HC), 2) fine chemicals production, 3) biomass valorization, 4) degradation of plastics, and 5) synthesis of pharmaceutical intermediates

Intensity (a.u.) vs. 2 theta (°)  
 Vtotal (cm<sup>3</sup>/g) vs. PIP<sub>p</sub>  
 TOF<sub>meso</sub>/TOF<sub>zeo</sub> vs. Critical diameter (nm)

IUPAC INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY  
 ICGC IUPAC International Conference on Green Chemistry

圖 8. 循環化學的案例及原理分享

## 2. 教育觀點的相關演講

### (1)綠色化學的理性維度和永續發展教育 A rational dimension of green chemistry and ethical education towards sustainability)

發表者強調綠色化學發展要與人性道德價值結合，不應忽視任何一項。以科學發明來說，本意原是創新及效率，但常因無意和疏忽造成不可預期的環境破壞，例如塑膠製品，原是增加生活的便利，但

卻演變成具有對所有生命體構成致命威脅的可能。或是氟氯碳化物，原是低活躍性、穩定性高、不自燃、不助燃也不易起化學變化，以及對人體傷害較小等優點被廣泛使用，卻使臭氧層變薄，造成嚴重的環境問題；其他像是重金屬對人類的健康危害，漏油事件以及新冠肺炎疫情（COVID-19）等等。諸如此類的議題都顯示出我們需要花費更多心力推動環境保護以及教育，透過教育將個人、社會、社區、國家和地球串聯起來，並傳遞重要的觀念「我們沒有從祖先繼承這個地球，我們是從我們的孩子那裡借來現在及未來的地球」，進而建構一個符合道德與永續的未來，以及履行人類在地球上生存的責任和義務。

### **(2)在社區大學生的綠色環境教育教學中應用面向系統的概念圖擴展模式 (Pedagogic applications of systems-oriented concept map extension (SOCME) in the education of community college students for a green environment)**

研究報告針對化學教育建立 IUPAC 系統思維架構及框架，該框架使用面向系統的概念圖擴展(SOCME)圖，並探討與永續發展的分子基礎相結合之作法，結果顯示 SOCME 圖具有相當的應用潛力。Wang-Kin Chiu 於香港一所社區學院的化學教學設計中，以副選學位等級的通識教育(general education, GE)於 SOCME 可視化的構建中融入系統思維研究，創建了三個 SOCME 圖，並結合考慮化學課程的主題和學習目標。其創立的 SOCME 的教學示意材料專注於日常生活中常見的熱塑性塑料，例如聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)和聚對苯二甲酸乙二醇酯 (PETE)。根據系統思維，瞭解化學品對人類和環境健康動態系統的影響是相互關聯的。此外，Wang-Kin Chiu 還於研究中完成以 SOCME 可視化的教學規劃應用於科技技術先進的學習環境。

### **(3)中等教育中的綠色化學：希臘化學教師的觀點 (Green chemistry in secondary education: views of Greek chemistry teachers)**

報告中提及，在希臘的中等教育課程中，綠色化學不是化學課程教學的重點。但 Katerina Paschalidou 等人有鑒於國際間日漸重視綠色化學以及其相對於化學課程的新穎性，著手嘗試將綠色化學納入中學化學的教學課程中。透過教師在第一線與學生接觸的經驗，獲取並瞭解學生的需求及缺乏之處，進而設計適合融入中等教育的綠色化學課程，這群具備創新思考的教師也因此被視為教育改革的推動者。Katerina Paschalidou 和團隊通過使用理論方法、教師間的腦力激盪以及討論取得「中學化學教師對綠色化學教育的推動狀況以及如何在化

學教育中灌輸綠色化學？」、「中學化學教師對如何將綠色化學納入化學課程作法？」課程設計的共識，進而建立合作夥伴關係。

### 3. 綠色替代、循環與降解之主題演講

#### (1)如何將二氧化碳轉換材料應用在生物質轉化以及環保塗料 How CO<sub>2</sub>-switchable materials can help in biomass conversion and greener coating

碳中和與淨零排放是全球發展及關注的重要趨勢，如何將廢碳再利用亦成為近年來學術界及產業界研究發展的探討重點。報告中提到，團隊在二氧化碳（非廢棄來源）轉化為產品的製程中，如何將製程中產生或其他廢棄二氧化碳一併納入製作成 CO<sub>2</sub> 轉換材料，達到製程中 CO<sub>2</sub> 最大使用效率，其結果顯示，CO<sub>2</sub> 轉換材料可以提高生物質轉化過程中去除水的效率以及成本，也可以做為金屬連接處的抗氧化塗層保護塗層。

#### (2)將二氧化碳和生物質轉化為化學品和燃料 Conversion of CO<sub>2</sub> and biomass into chemicals and fuels

研究分享轉化 CO<sub>2</sub> 和生物質的可行性及潛力。研究者談到，在綠色溶劑和綠色催化劑開發方面的最新發現，以及 CO<sub>2</sub> 和生物質轉化為有用的化學品和燃料方面的應用。舉例而言，目前國際主要使用的燃料是汽油和柴油，由於汽油分子比原油分子小，在生產過程中 C-C 鍵斷裂多，消耗的能源多，原料浪費也相對較高。透過將 CO<sub>2</sub> 和生物質轉化應用於製造柴油時，副產品（如焦炭和乾氣）的數量和 C-C 鍵斷裂程度都可以顯著降低。因此，在生產柴油時，可以將更多的原油轉化為所需的燃料，同時減少能源消耗和二氧化碳排放，達到綠色化學低毒及永續目標。

#### (3)二氧化碳的捕獲和再利用：從離子液體到建構 3DP 打印設備 Capture and reuse of CO<sub>2</sub>: from ionic liquids to structured 3DP printed devices

傳統聚合物材料-聚氨酯 (Polyurethane, PU) 雖具有優異的性能，然而製備 PU 時所使用的異氰酸酯原料，具有高毒性和對水分的敏感性之缺點。而以 CO<sub>2</sub> 與環氧樹脂合成的環碳酸酯單體可進一步與胺基化合物反應，除可製備非異氰酸酯型聚氨酯（或稱環碳酸酯樹脂），且其製程更加減碳環保。此外，環狀碳酸酯廣泛用作極性非質子溶劑、有機合成中間體、鋰離子電池電解質、化妝品配方和單體，可於樹脂結構中氨基甲酸酯基團內形成分子內氫鍵，使得材料具備更優異的機械性能、耐化性及耐水解性。因此，環碳酸酯樹脂已成為新一代綠色

聚氨酯新材料。將 CO<sub>2</sub> 聚合成環氧化物之環狀碳酸酯，聚合時不需破壞 CO<sub>2</sub> 的鍵結，在製程中可以大幅減少耗能及提高成功率。因此，催化之作法可在製作高效能且永續的環狀碳酸酯生產技術中扮演關鍵角色。

#### **(4)將塑料廢料化學回收製蠟和潤滑劑 Chemical recycling of plastic waste towards waxes and lubricants**

以目前趨勢來看，不斷增長的塑料廢物生產中，聚乙烯塑料佔很大部分。然而，這種塑料很難回收，通常最終處理方式多採用掩埋或直接焚燒，也因為如此，實施新的回收作法及策略非常迫切，方可以增加邁向循環經濟的轉變。最近研究發現，聚乙烯化學回收是延長聚乙烯生命週期的重要方法，回收後的聚乙烯材料也是化學工業潛在的有價值的原料。本研究展示如何將聚乙烯塑料化學回收成有價值的化學品，特別是轉化為蠟和潤滑劑（基礎油）。

#### **(5)縮聚聚合物的單體回收：化學品和酶的可能性 Back-to-monomer recycling of polycondensation polymers: opportunities for chemicals and enzymes**

Shanmugam Thiyagarajan 和他的團隊研究為廢塑膠回收技術開啟新紀元，其研究主要針對廢塑膠分解成單體的策略，使用化學或生物（即酶促, enzymatic）降解聚合物的可能性。成果顯示，透過有效的轉化，廢塑膠垃圾可以成為再生塑膠，把垃圾轉變成資源，達到綠色化學再生及轉化之目的。

#### **(6)使用生物溶劑的預處理方式去除塑料廢棄物中的添加劑 Pre-treatment to remove additives from plastic waste based on the use of biosolvents**

Ana M. Ferreira 研究探討使用有機溶劑與使用可再生溶劑預處理廢棄塑膠製品的添加劑技術效果及差異性。研究採用市面上常見的藍色和橙色高密度聚乙烯(HDPE)包裝作為廢塑膠製品來源，首先確定 HDPE 中的著色劑成份，發現兩種聚合物中只存在一種顏料，傳統操作使用甲苯（一種典型的揮發性有機化學品）溶解 HDPE，本次研究以檸檬烯（一種可再生溶劑）作為對比溶劑，並且為了最大限度地提高 HDPE 溶解過程中回收的聚合物的純度，也使用多種醇（一元醇、二元醇和三元醇）作為反溶劑。這種預處理為回收過程提供了原材料和投資的二次來源，提高回收聚合物的質量，並有助於創建經濟可行且對環境無害的回收方法。

**(7)綠色分析化學和循環性：邁向更永續的過程、材料和成果 Green analytical chemistry and circularity: towards more sustainable processes, materials and outcomes**

教授 Vânia G.和博士 Zuin Zeidler 指出，綠色分析化學可以為安全的社會環境方式提供定性和定量化學信息的分析方法設計和應用，達到預防、識別和解決複雜環境或系統（例如環境、醫學、製藥或農工業起源）中的問題。其認為檢驗產品是否具永續性最重要的就是由產品的製程著手，製程中需要使用可再生資源、減少化學品的使用、降低能源使用並最大限度地減少衍生物的產生。目前，綠色分析化學的研究持續進行修改中，以期適應循環經濟，進而製作更具永續性的技術材料的產品。報告並介紹其他更綠色和更永續的方法案例，例如從農業工業廢物中獲取生物有機化合物，強調循環再利用的道理。

**(8)通過優化污水處理廠減少溫室氣體排放 Reduce greenhouse gas emissions by optimizing wastewater treatment plants**

Maria Cristina Collivignarelli 等人通過改善污水處理廠設備減少溫室氣體排放。研究從溫室氣體排放的角度探討升級污水處理廠處理設備對溫室氣體排放多寡的影響。這項研究使用生活污水以及工業廢水污水處理廠進行一年的案例研究，比較實際運轉的數據與升級後數據，溫室氣體的計算基準是能源和化學品的消耗量以及污泥的產生量。研究結果顯示，升級後的溫室氣體排放量明顯低於升級前（減少 76%）。溫室氣體（Greenhouse Gas, GHG）直接和間接排放量減少 46%。

**(9)可生物降解的可再生聚酯的計算生態設計和篩選 Computational eco-design and screening of biodegradable renewable polyesters**

研究採用可生物降解可再生聚酯的計算進行生態設計和篩選。選擇用於蛋白質和蛋白質-配體相互作用的專門建模工具，包括對接和分子動力學，並將其包含在自動化方法中。根據計算研究結果與現有實驗數據進行比較的計算研究結果，通過結合各種計算技術來合理選擇酶水解或合成聚酯的能力。計畫目標是提供以評估各種水解酶在合成或降解過程中相互作用和接受鍵結能力的計算工具。

### (三) 本局報告

本局以綠色化學教育推動成果及相關策略，以主題「臺灣推動綠色化學教育及推廣 (Green Chemistry Education and Promotion in Taiwan)」於會議中提出我國之綠色化學推動策略、相關研究及成品最新進展，雖然本次大會是以線上方式參與，但與專家學者交流及對談等相關事宜頗有收穫。

本次報告分享了本局在小學綠色化學融入教育方面，完成了 6 式以上的教育教材設計，並在 2021-2022 年間辦理至少 11 所小學推廣，300 多名師生參與，並舉辦了 4 次小學教師綠色化學種子訓練營，培訓教師達 116 人次。在大專校院通識教育課程部分，本局並完成 16 式綠色化學教材（包含簡報及講義），並進行實際的教學推廣。經過分析 237 份參加課程學生的問卷後，超過 80% 的學生認為他們透過課程學習可以獲得綠色化學的基礎知識。此外，為鼓勵師生共同研究及發展綠色化學，辦理「大專校院綠色化學創意競賽」，第二屆競賽共有來自 27 所學校、40 個院系的 46 支隊伍參賽，顯示學校對綠色化學的重視。

除分享從教育思維推動綠色化學成果外，並簡要補充以補捐助方式鼓勵大專校院進行應用科學的綠色化學研究成果，例如有毒化學物質的替代開發等相關成果。

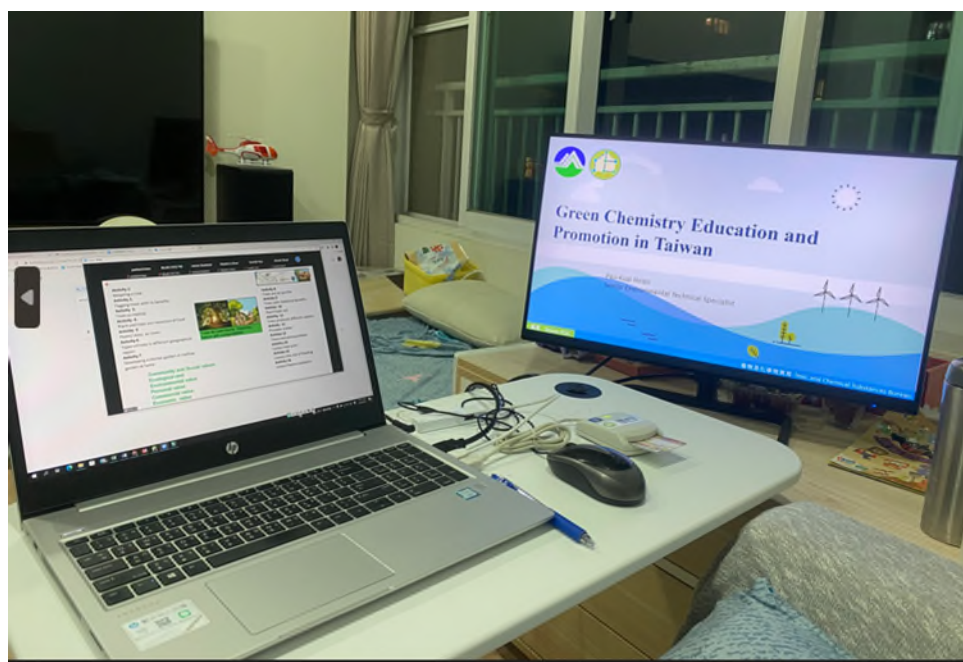


圖 9、本局報告



### 三、心得及建議

本次參加「第 9 屆 IUPAC 綠色化學國際研討會」，透過大會議程安排的大師講座，瞭解到於大專校院課程中介紹綠色化學原則的重要性，以及如何於國小高年級綠色化學課程和永續聚合物實驗室實驗納入聯合國永續發展目標（UN SDGs）系統思維。顯示提高大專校院學生化學專業以及對永續未來的重視，對永續發展的未來做出貢獻的廣泛機會之重要性。

從 Pietro R. Tundo 演講中，獲知歐洲重視綠色化學的歷程，以及瞭解化學，如何從只在乎化學的合成、效率及成品，進展到環境、健康及永續另外通過設計化學品實現安全和永續發展的計算和測試工具。從 Paul T. Anastas 演講中，瞭解到美國持續推動融入綠色化學原則以改變化學工業思維，另外，在循環經濟的全球工作相關議程報告中，瞭解透過綠色化學原則應用，可創造化學品的循環價值，從各面向邁向全球永續。

議程中，也發現有研究透過 AI 的計算能力建立提升化學品製作時的流程以及其安全程度之作法，促進這些化學品的重新設計之思維，進一步實現預期的環境和人類健康目標。這些研究也使我們瞭解如何識別適合重新設計的化學品的方法論和計算方法，以及替代品的可用性和相應特性對可持續塑料產品開發的重要性等，值得參考。

為了改善環境質量並降低人類健康風險，本局自 2016 年成立以來加強化學物質管理，並與教育部合作，促進開展大專校院和小學綠色化學教育，舉辦大專校院綠色化學創意競賽。此外，在 2020 年爭取國家科技預算與國立臺灣大學合作，開發化學品安全替代篩選系統。系統應用信息技術，如 Python、人工智能、機器學習和國際數據庫互聯互通，研究化學品更安全替代品的政策和技術。此外，本局辦理綠色化學應用及創新獎，鼓勵產業發展綠色化學。透過社區宣傳、媒體、互聯網、出版等方式對大眾進行綠色化學的教育和推廣。

透過本次研討會的參與，可以瞭解到從歐洲、美國都認知到綠色化學持續推動對全球環境、健康的重大助益，而我國自成立化學局後，亦持續接軌國際，致力於化學物質管理，保護人類健康，爾後，仍應持續推廣綠色化學，包括大專校院教育深耕、小學教育扎根、多元教育、安全替代策略及科技發展研究等，建立健康永續環境。

附件 1.大會議程

附件 2.發表簡報

附件 3.耶魯之綠色化學電子書