ENI AWARD 2016

Premio Protezione dell'Ambiente

David Milstein

Vincitore

Sustainability Through Catalysis

David Milstein

Department of Organic Chemistry

The Weizmann Institute of Science

Rehovot 76100, Israel

Lectio Magistralis

Abstract

Major challenges facing society today include the development of efficient sustainable energy resources and the discovery of "green", environmentally friendly processes for the manufacture of chemicals and pharmaceuticals. Catalysis, the science of accelerating chemical and biological transformations by minute amounts of special compounds-catalysts-which by themselves remain unchanged, can play a center-stage role in accomplishing these goals. Although catalysis has played a really major role in industry for several decades, affecting many facets off our lives, most catalysts were developed empirically (by trial and error), and many are not selective, generating waste.

In recent years, advances in fundamental understanding of catalytic reactions, and new methods of activating molecular bonds, have enhanced our ability to design novel, sustainable and selective catalytic reactions, which require less energy and do not generate waste, providing exciting new opportunities for environmental protection and clean energy resources. The impact of catalysis on society, and the recent new developments, will be described.

Biografia

David Milstein occupa l'incarico di Israel Matz Professorial Chair di Chimica Organica ed è Direttore del Kimmel Center of Molecular Design presso il Weizmann Institute of Science, in Israele. È nato nel 1947 nella città di Ulm, nella Germania post-bellica, in un campo di permanenza per sfollati in cui i suoi genitori – sopravvissuti all'Olocausto – risiedettero prima di immigrare nel 1949 nell'appena fondato Stato di Israele. Ha ricevuto il titolo di dottore di ricerca in Israele dalla Hebrew University nel 1976, lavorando con il professor J. Blum, e ha condotto la sua ricerca post-dottorale presso la Colorado State University con il professor John K. Stille. Nel 1979 ha cominciato a lavorare per il Central Research and Development Department della DuPont Company

a Wilmington, in Delaware (Stati Uniti), divenendo *group leader* nel settore della catalisi omogenea. Nel 1987 ha quindi raggiunto il Weizmann Institute of Science, dove è diventato professore ordinario e dove è stato a capo del Dipartimento di Chimica Organica nel periodo tra il 1996 e il 2005.
Il professor Milstein è conosciuto a livello mondiale per il suo lavoro pioneristico negli ambiti della chimica organometallica e della catalisi. Nel 1978 ha contribuito alla scoperta della reazione di Stille, un metodo largamente utilizzato per la formazione di legami carbonio-carbonio. Ha inoltre per primo dimostrato l'inserimento diretto di un metallo in legami carbonio-carbonioe scoperto l'attivazione catalitica omogenea dei legami C-F. I suoi interessi di ricerca negli anni più recenti includono la progettazione e le applicazioni di reazioni catalitiche ad alta valenza ambientale, senza produzione di e bassa richiesta energetica, nonché la catalisi in applicazioni nell'ambito dell'energia sostenibile, come la scissione dell'acquail *water splitting*, i vettori liquidi organici per il trasporto di idrogeno (LOHC), i biocarburanti e l'utilizzo dell'anidride carbonica. Il suo metodo innovativo per l'attivazione di legami chimici, fondato sulla cooperazione metallo-ligando (MLC), ha condotto allo sviluppo di varie reazioni catalitiche 'verdi' e utili dal punto di vista della sintesi, in grado sia di generare che utilizzare l'idrogeno. Per esempio, ha inventato un nuovo metodo per la formazione di legami ammidici, che sono di importanza centrale per la chimica e la biologia, e che avviene tramite l'accoppiamento di ammine e alcoli, in cui il gas idrogeno risulta essere il solo prodotto secondario; la rivista Science ha inserito questa tecnica tra le scoperte scientifiche fondamentali del 2007.
I risultati di ricerca conseguiti da David Milstein sono stati ampiamente riconosciuti, e gli sono valsi numerosi premi in diversi Paesi. Tra di essi meritano di essere menzionati: il Kolthoff Prize attribuito dal Technion-Israel Institute of Technology (2002); l'Israel Chemical Society Prize (2006); l'American Chemical Society Organometallic Chemistry Award (2007), il Sir Geoffrey Wilkinson Award della Royal Society of Chemistry, UK (2010); l'Humboldt Senior Research Award della Humboldt Foundation (2011); l'Israel Prize (la più alta onorificenza dello Stato di Israele) in Chimica e Fisica (2012). Fa parte della Israel Academy of Sciences and Humanities e della German National Academy of Sciences-Leopoldina. Ha inoltre ricevuto in tutto il mondo molti premi accademici, conferitigli da celebri università e istituti di ricerca, oltre ad essere stato membro di numerosi consigli di redazione e comitati scientifici internazionali.

Descrizione della ricerca

La ricerca interdisciplinare del professor Milstein prende in considerazione i settori della chimica organo-metallica, della catalisi, della sintesi 'verde e dell'energia sostenibile. Il suo lavoro pionieristico sull'attivazione di legami del carbonio con altri elementi attraverso metalli ha condotto allo sviluppo di svariate reazioni catalitiche di formazione di legami carbonio-carbonio, e ad una comprensione di base dei meccanismi chiave della catalisi attraverso complessi metallici. Negli ultimi anni, David Milstein ha inventato un approccio fondamentalmente nuovo concernente l'attivazione di legami chimici, usando metalli complessi specificamente sviluppati (nei quali è coinvolto un nuovo genere di cooperazione ligando-metalli). Questo ha portato allo sviluppo di reazioni catalitiche del tutto nuove, ad alta valenza ambientale ed efficienti, che avvengono in condizioni di reazione moderate e che non producono scarti, e infine che aprono nuovi scenari alla sintesi chimica e all'energia sostenibile. Molte di queste reazioni infatti o producono gas idrogeno, un combustibile pulito, o sono basate sul suo consumo.
Un esempio di reazione fondamentalmente nuova inventata dal gruppo di ricerca del professor Milstein consiste nell'accoppiamento di alcoli e ammine per formare selettivamente ammidi e gas idrogeno. Questa reazione - rispettosa dell'ambiente, in una sola fase e che non produce scarti – è superiore alle tradizionali tecniche di sintesi dell'ammide, che generano invece abbondanti residui. Le ammidi sono di grande importanza in chimica o biologia, dal momento che esse rappresentano

un elemento strutturale essenziale dei peptidi, delle proteine e di una molteplicità di prodotti chimici, polimerici e farmaceutici.
Un secondo esempio si riferisce alla idrogenazione degli esteri – reazione industrialmente importante e largamente utilizzata per la produzione di tensioattivi, detergenti, prodotti farmaceutici e bio-diesel. Tuttavia, per questa reazione sono solitamente richieste condizioni drastiche, e si generano spesso scarti quando vengono utilizzati reagenti idruri. Il gruppo del professor Milstein ha invece realizzato dei catalizzatori che consentono l'idrogenazione degli esteri in condizioni decisamente moderate. Un altro processo molto importante è la reazione catalitica 'pulita' di alcoli con ammoniaca per formare selettivamente ammine primarie, che sono elementi chiave di composti industriali.
Molto recentemente, il professor Milstein ha sviluppato un catalizzatore che consente l'ossidazione di composti organici con acqua, in grado di generare gas idrogeno e che evita l'impiego dei tradizionali ossidanti, tossici ed inquinanti. Per esempio, è stata creata una trasformazione catalitica efficiente di alcoli in acidi carbossilici, utilizzando acqua basica, senza aggiunta di ossidanti e gas idrogeno in evoluzione. Ancora un altro esempio è l'ossidazione con acqua di ammine cicliche per formare lattami e gas idrogeno. I lattami sono importanti costituenti di numerosi prodotti farmaceutici.
La ricerca di David Milstein rivolta alla sostenibilità energetica include poi la dimostrazione di un nuovo possibile approccio per la scissione dell'acqua (water-splitting), che richiede la produzione di idrogeno termico e la formazione luce-indotta di ossigeno, senza utilizzare agenti sacrificali. Mentre il gas idrogeno è il combustibile più pulito a nostra disposizione, generando solo acqua dalla sua combustione, il suo stoccaggio ad alta pressione o criogenico (ad esempio per l'uso nelle automobili) non è efficiente e pone problemi di sicurezza, motivo per cui la ricerca si sta dirigendo verso l'individuazione di liquidi organici adatti a generare quantità significative di idrogeno. Il professor Milstein ha realizzato un sistema ad alta capacità basato su di un liquido abbondante e a basso costo, l'etanolammina; sotto l'azione di un catalizzatore specificamente progettato per questo scopo, essa subisce una reazione che libera gas idrogeno al momento opportuno, e che può essere prontamente rigenerata utilizzando lo stesso catalizzatore tramite idrogenazione off-site. Questo tecnica ha buone speranze di essere usata per sistemi alimentati ad idrogeno sicuri ed efficienti.
Inoltre, David Milstein ha sviluppato un processo moderato e in due fasi di idrogenazione del gas serra anidride carbonica per generare combustibile a metanolo. Molto recentemente, egli ha infine presentato un metodo catalitico altamente efficiente per la conversione di etanolo in biocombustibile avanzato, fondato su alcoli a catena più lunga.