

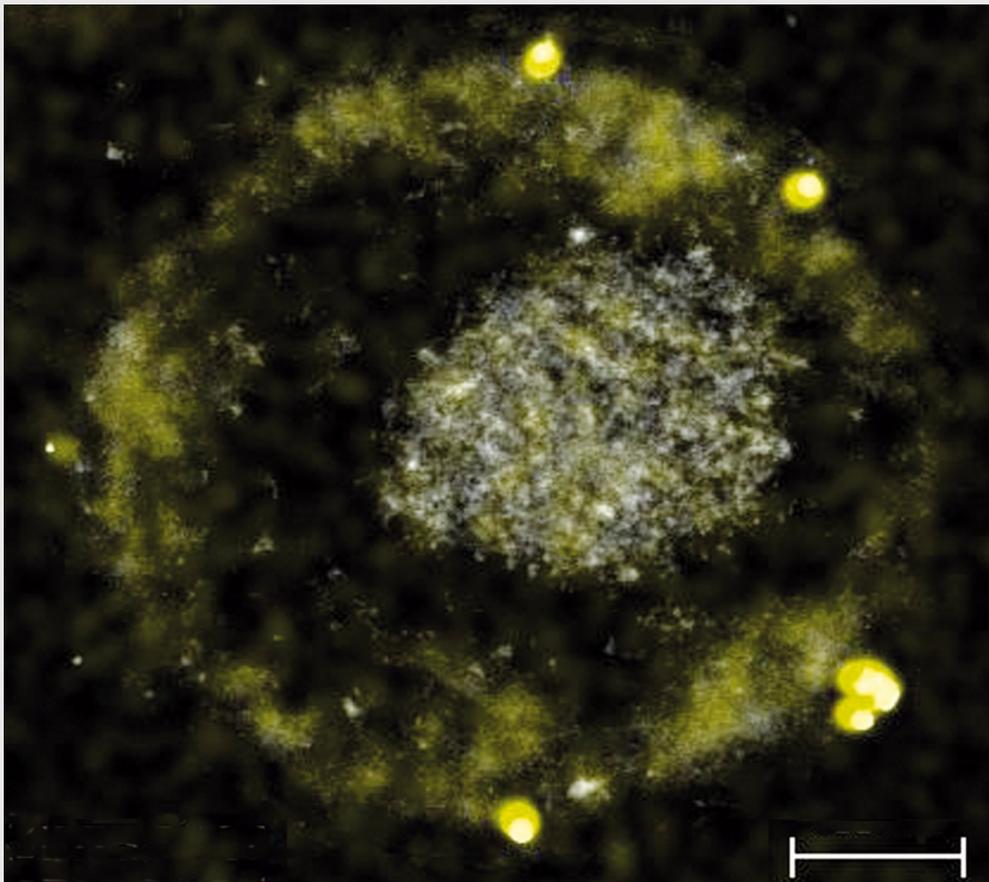


天生鍊金術師 耐金屬貪銅菌

記者 黃淳妤 文

2018/09/30

自古以來，人類總懷有鍊金致富的美夢，無論是透過虛幻的法術，或是講求實際的科學，都想把那金光閃爍掌握在手心。而今年，德國哈雷—維騰貝格馬丁路德大學 (Martin Luther University Halle—Wittenberg) 的研究團隊發表了耐金屬貪銅菌 (*Cupriavidus metallidurans*) (以下將以貪銅菌為簡稱) 將重金屬轉化為黃金的具體過程，正式開啟了微生物鍊金法的大門。



貪銅菌以及它所產出的微小黃金粒。(圖片來源 / 德國哈雷—維騰貝格馬丁路德大學官網)

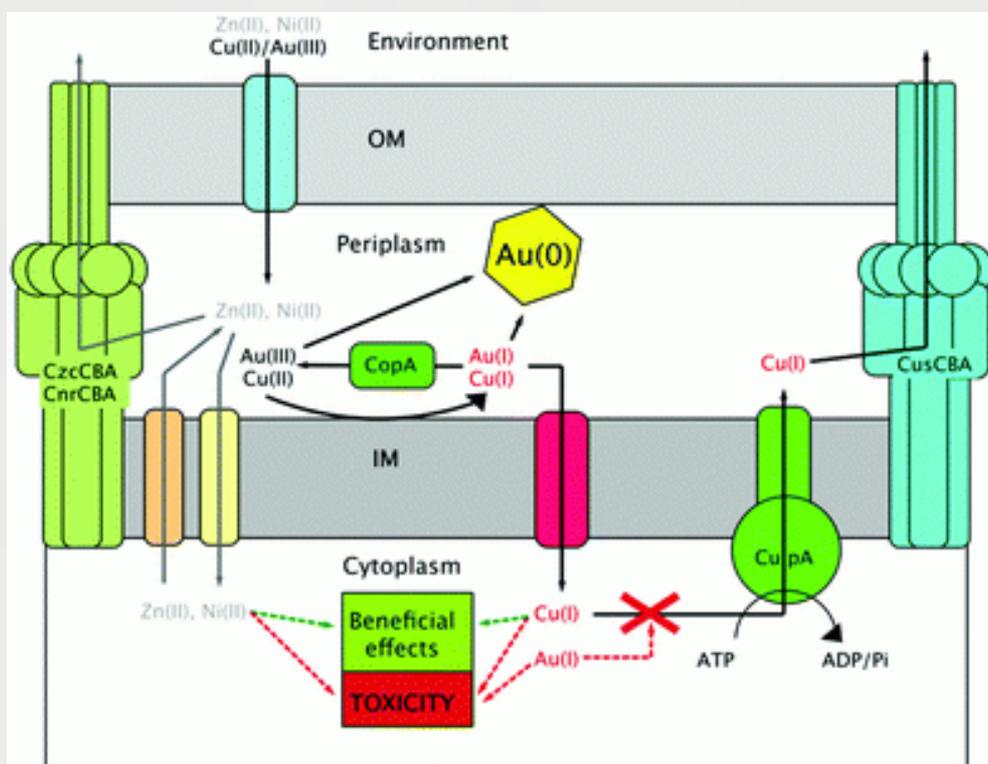
依循自然法則 適者生存

即便生活的地方營養豐富，能夠在地球上極端環境生存的生物仍是少之又少，而

這些迴避大擇裁決的物種多少發展出屬於自己的對策。為了不被物種競爭所淘汰，貪銅菌選擇在含有多種重金屬的苛刻環境生活，避免與其他生物爭奪生存空間。在周遭都是毒物的極端環境下，細菌必須具有防範有毒物質進犯的機制，因此貪銅菌演化出特異的生命系統——轉換土壤中的重金屬化合物。

從細菌的名字可以知道，貪銅菌是以攝取微量銅元素為生，對此可以把它視為愛吃含有銅元素的細菌，所以對於不是它菜單上的金屬元素，貪銅菌是不會消化它的，甚至是直接排除在它的視線外，而吃下去的銅元素則會在細菌體內被轉換為可以利用的型態。貪銅菌有一個很特殊的現象，雖然重金屬中它只攝取銅元素，但遇到會造成它中毒的金元素以及金化合物時，它也會不小心吃進體內。貪銅菌就跟人類一樣，吃了太多不該吃的東西或是吃了過量食物，都會對身體造成傷害，於是細菌就會啟動它的代謝機制——激活一種叫做「CupA」的酶。

這種酶會對貪銅菌進行催吐動作，讓細菌把體內多餘的銅元素「吐」出去，這樣細菌就不會吃太飽撐死自己。但萬一細菌既吃太多又吃到不該吃的東西時，細菌就不能用嘔吐的方式清理身體，因為金元素會抑制「CupA」運作，如果金元素跟銅元素在細菌體內僵持不下，會對細菌造成極大的傷害，所以此時另外一種酶登場了，名為「CopA」的酶直接將兩者轉換為無法直接攝取的形式，讓多餘的份量排出細菌外，就像是人體的排便作用，將體內有毒的廢棄物轉換為無毒的「黃金」排出體外，這便是貪銅菌的密藏鍊金術。



貪銅菌在重金屬環境下攝食銅元素與造金作用。(圖片來源 / 《Metallomics》)

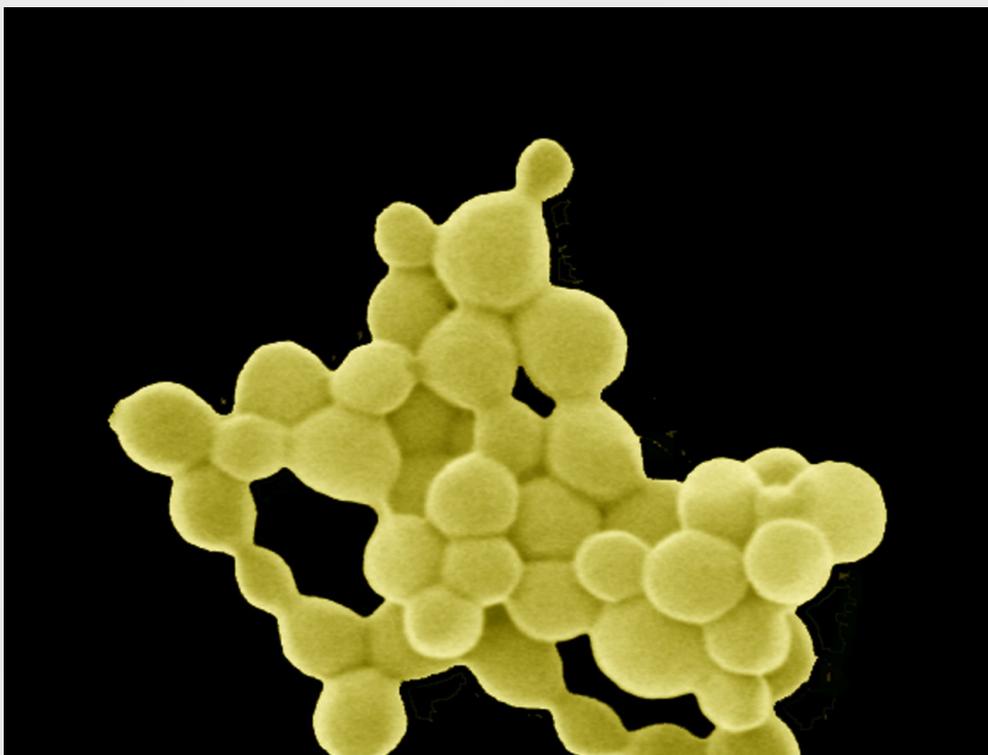
鍊金狂熱 源自人類需求

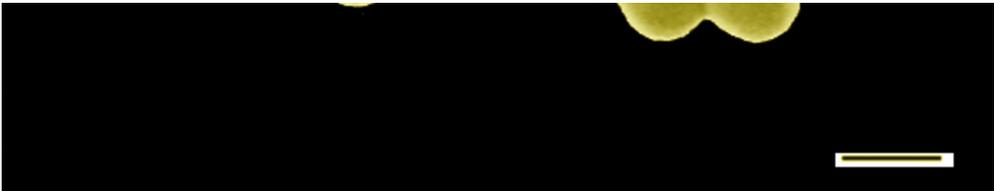
黃金不僅是財富的象徵，更是人類最常利用的金屬，人類將黃金應用在經濟儲備、珠寶首飾、電子商品、醫藥媒介學等方面。隨著科技發達，黃金更因為它特殊的物理與化學特性，被各界廣泛地運用到各種新式開發上，但相較於其他金屬，黃金在地球上儲存量很少，造成它高不可攀的地位與珍貴性。根據世界黃金協會在今年發布的《黃金需求趨勢》報告，近幾年來黃金總需求維持在一定的高度上，由此可知人類對黃金的渴望是非常強烈的，在3C產品、電動車、航空等科技產業對黃金的消耗量與日遽增下，黃金與未來技術發展已是密不可分的命運共同體，也因此全球對於黃金動向格外關切。

單位：噸	2017年第2季度	2018年第2季度	年同比變化
科技	81.5	83.3 ▲	2%
電子用金	64.4	66.2 ▲	3%
其它	12.8	12.9 ▲	1%

全球產業對黃金需求趨勢圖。（圖片來源 / 黃淳好重製）資料來源：[世界黃金協會](#)

黃金需求日漸擴大，然而黃金的稀缺性造成各行各業無法進一步投入資本；現有的黃金提煉法及廢棄物回收不僅容易留下巨大的環境破壞，也很難獲得高純度的黃金，導致進退兩難的局面。





貪銅菌所產出的微小黃金粒。(圖片來源 / [德國哈雷—維騰貝格馬丁路德大學官網](#))

自從在澳洲的金礦場發現貪銅菌生活的蹤跡，並能安然無恙地活在周遭都是含金化合物的環境時，科學家就對其產生濃厚的興趣，也藉此觀察到細菌自產砂金的現象：一種不會危害環境的天然鍊金術，這樣的發現掀起各界熱議。而今年年初在科學家釐清貪銅菌轉換貴金屬的原理後，除了讓人類更了解黃金的生態循環模式外，也促成人類自產黃金新方向的突破，對目前黃金市場上的迫切需求簡直是雪中送炭。

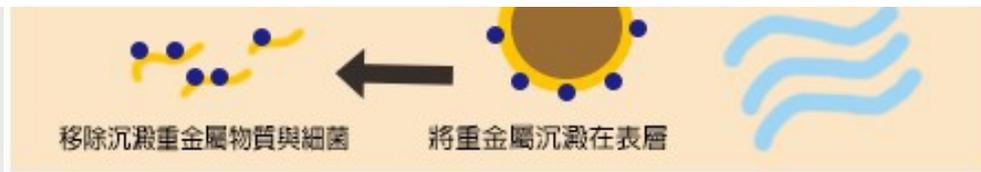
鍊金並非唯一出路

貪銅菌是天生的鍊金術師，但同時也是維護生態系統的翹楚，根據微生物期刊《[Antonie van Leeuwenhoek](#)》發表的一篇關於貪銅菌在工業與環境的應用，使得解決重金屬汙染物問題展露曙光。

人類在工業活動中所排出的廢棄物進入自然界造成汙染，而這些廢棄物中含有大量不易分解甚至是抑制環境循環功能的重金屬，基於這個問題，從汙染環境中移除重金屬勢在必行。除了在澳洲的金礦場發現貪銅菌的蹤跡，科學家也在比利時的高濃度重金屬工業廢物中發現貪銅菌的存在，它展現的堅韌生命力激起科學家的好奇心，並發現貪銅菌天生具有大量金屬抗性基因，透過這些基因與體內潛在的金屬蛋白運作，將毒素一一化解，這項發現很快就進入研發階段並測試。

研究中，科學家將貪銅菌與砂濾器結合以將汙染物去除。首先，將砂粒接種貪銅菌並跟被汙染的廢水接觸，與砂粒結合的細菌讓溶解於水中的重金屬與體內的抗性基因跟金屬蛋白發生反應，在細菌體內沉澱或是在細菌外膜上凝結出重金屬汙染物，由此廢水蛻變為無汙染的純淨水，而這項發明運用的原理，也能應用在土壤汙染上。



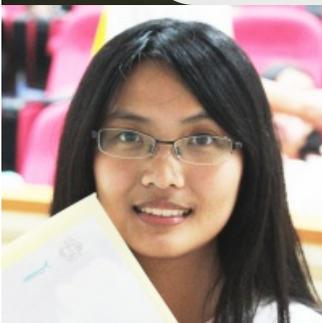


貪銅菌淨化廢水流程圖。(圖片來源 / 黃淳妤重製) 資料來源：[《Antonie van Leeuwenhoek》](#)

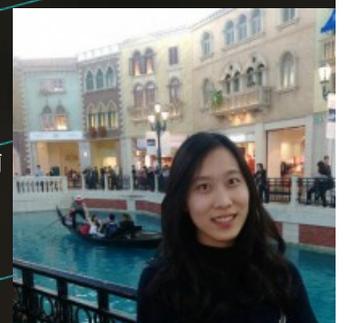
微生物世代來臨 重生或是衝擊

通過上述研究發現，我們可以知道貪銅菌在應用性上潛力無窮，雖然目前尚未有實施大規模微生物冶金的案例，自養細菌的條件與細菌是否具致病性仍是一個疑慮，但是貪銅菌針對金元素所產生的特殊反應，有開發成土壤感測器的潛力，有望在探勘金礦上貢獻；而弄清貪銅菌鍊金原理，未來可投入科技廢棄物的再生產，對於回收含有黃金的科技組件，不失為廢棄垃圾及黃金迫切需求的解決之道；另外在環境保育方面，可以知道貪銅菌在環境清潔的重要性，有效改善重金屬汙染生態的情況。

人類對貪銅菌更進一步的認知，讓我們對於地球上不可再生資源循環的方式有了更深入的了解，藉此造福族群與環境，但短期內，貪銅菌還無法大規模投入市場，首先是接觸細菌對人體是否有危害的疑問，再來是大規模自養細菌的成本效益考量。而一旦貪銅菌投入人類世界，對於我們的經濟發展會造成怎樣的影響是我們需要思考的、大規模的運用這種能承受極端環境的優勢細菌會不會導致另一波生態衝擊？科技巨獸大步向前的同時，控制好這頭猛獸的方向與力道不要脫離我們的掌控，將是人類更重要的課題。



記者 黃淳妤



編輯 梁書瑜

