

MC-Transaction on Biotechnology, 2022, Vol. 13, No. 1, e2

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

文獻回顧：

奈米金屬與光動力治療聯合作用初探

李淑媛¹、祝元家²、梁致遠^{2*}

¹醒吾科技大學 觀光休閒系(中華民國 台灣 新北市)

²銘傳大學 健康科技學院 生物科技學系(中華民國 台灣 桃園市)

中文摘要

奈米科技的發展，在醫療方面備受關注。一般奈米金屬粒子製作方式可分為物理或化學製備。以化學法常用強原劑製造金屬奈米粒子。以檸檬酸鈉光照還原法，將金屬離子還原成奈米粒子，是一項簡單且安全的方式。光動力治療法選擇適當的光敏劑及光源，光敏劑經光解作用產生大量活性氧物種(ROS)，對癌細胞或抗藥性細菌毒殺，是後抗生素時代一種可能的替代醫療方式。聯合檸檬酸鈉光照與光動力治療法，以相對應的光源製作奈米金屬及激發光敏劑，以加強光敏劑的功能，是值得再深入探討的議題。

關鍵字：奈米金屬、光動力治療、檸檬酸鈉、活性氧物種、光敏劑

通訊作者：梁致遠[liang121@mail.mcu.edu.tw]

收稿：2022-6-28 接受：2022-7-22 線上刊出：2022-7-26

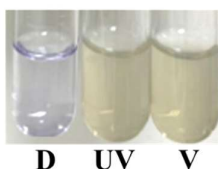
前 言

奈米(nano meter, nm)是長度的單位，是指 10^{-9} 公尺(10^{-9} m)，即十億分之一公尺。而奈米材料的特徵是指在 100 nm 以下的材料。一個原子約介於 0.1 至 0.2 nm 間，例如球形的「金」奈米粒子，原子半徑 0.16 nm；若一顆直徑為 5 nm 的球形奈米金，約 3,800 個金原子^[1]。金屬的奈米粒子與傳統金屬性質有非常大的不同。以硝酸銀溶液經還原為例，硝酸銀與氨水及氫氧化鈉混合，加入醛類(如葡萄糖)後，將銀離子還原成銀原子(Ag^0)。而銀原子可吸附在玻璃瓶的表面，排列整齊並沉澱，生成為銀色的鏡面，即傳統的銀鏡反應(如圖一)。另一方面，當硝酸銀與檸檬酸鈉混合，在中性環境下照紫外光或紫光，溶液呈現淡黃色，此時檸檬酸鹽經光照提供電子，讓銀離子還原銀原子(Ag^0)(如圖二)^[2,3]，在此情形下，不似銀鏡反應，

也不產生銀原子的整齊排列及沈澱，反而使溶液呈現淡黃色，形成奈米銀。奈米顆粒子與傳統大顆粒金屬的性質差異極大，由於奈米顆粒尺寸縮小、體積變小，同時質量減少、曲度轉大，表面積增加，致使化學及其他特性改變，添增了應用性[1]。



圖一、硝酸銀溶液經還原產生銀鏡反應。



圖二、硝酸銀溶液添加檸檬酸鈉經紫外光及紫光照射後還原產生奈米銀

D：黑暗；UV：紫外光 ($\lambda_{\max}=365\text{ nm}$)；V：紫光 ($\lambda_{\max}=403\text{ nm}$)

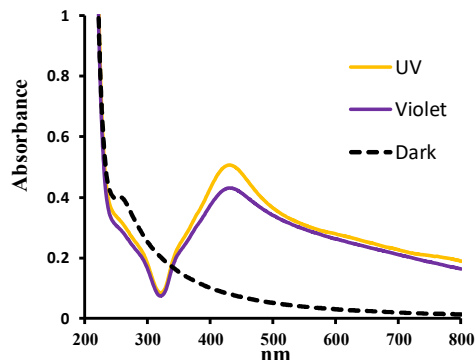
奈米科技的發展，在醫療方面備受關注。尤其以腫瘤的標定、追蹤及治療為主要方向。透過微小化的治療，更容易進入正確的目標，不僅改善也提供新型的醫療方式。以奈米金為例，在光熱和光動力療法(photothermal and photodynamic therapy)運用，藉近紅外光的激發作用產生熱能，進而殺死癌細胞上，頗有成效[4]。

抗菌光動力治療法(antibacterial photodynamic inactivation of bacteria, aPDI)是讓光敏感劑迅速累積在細菌體內，經由一定波長的光線照射，產生單態氧或 ROS，進而達到毒殺細菌的目的，同時有效控制抗藥性細菌[5]。由於 aPDI 治療法與細菌的抗藥性功能無關，此法能有效降低多重抗藥性細菌感染[8, 9]，故能成為治療皮膚和軟組織感染(skin and soft tissue infections, SSTIs)潛在性的替代或輔助方法[6, 7]。

本文將以金、銀的奈米顆粒反應性的變異及對光的影響，來探討奈米金屬對光敏劑的光敏化作用產生 ROS，進而強化細菌的失活能力，作一探討。

一、金屬奈米顆粒之光學特性

由圖二，硝酸銀與檸檬酸鈉混合，在中性環境下照紫外光或紫光後，溶液呈現淡黃色，其吸收光譜圖如圖三。硝酸銀與檸檬酸鈉混合經紫外光或紫光照射後，在 430 nm 處呈現一個最高的吸收峰，在同樣光強度下，紫外光較紫光敏感。



圖三、硝酸銀溶液添加檸檬酸鈉經紫外光及紫光照射後的吸收光譜圖

Dark：黑暗；UV：紫外光 ($\lambda_{\max}=365$ nm)；Violet：紫光 ($\lambda_{\max}=403$ nm)

另一方面，在同樣實驗條件下，吾人以四氯金酸加檸檬酸鈉照紫外光或紫光後，溶液呈現紫紅色，此時檸檬酸鹽經光照提供電子，讓金離子還原成金子 (Au^0) 形成奈米金，溶液呈現紫紅色，在 520 nm 處呈現一個最高的吸收峰。以可見光與奈米金的相互作用探討，可見光的波長約在 400 nm~800 nm，波長較奈米金粒子的直徑長，當粒子直徑大於或是等於入射光的波長，粒子能吸收及散射入射光；若粒徑小於入射光的波長，粒子吸收光的效應就更大^[1]。當奈米金屬受光照射，內部的自由電子會隨著光頻率而產生集體震盪，稱表面電漿子(surface plasmons, SPs)。如果在適當頻率的入射光激發，表面電漿子會有極大震盪，使得奈米金屬結構附近電磁場產生極大增強效應，稱區域表面電漿共振(localized surface plasmon resonance, LSPR)。此特性會隨著金屬種類、形狀、大小及介質環境等因素而不同^[10]。例如，奈米金特別和 500 nm 波長附近的光作用(即發生共振)，當奈米金吸收光能後，其自由電子雲因為被極化而隨著光波頻率震盪，同時奈米金相對吸收比較多的藍光和綠光，因此分散在水溶液中呈現紅色反應^[1]。

二、金屬奈米顆粒製造方式

一般奈米金屬粒子製作方式可分為物理或化學製備。物理製備法是利用機械力將之微細化；或由固相經氣相再重新析出，如物理粉碎法、機械球磨法、熱分解法、電弧放電法等。化學製備法是以化學反應生成奈米粒子，如檸檬酸鈉還原法、溶凝膠法、沈澱法、水熱法、微乳液法、化學氣相沈積法等^[11]。由於金屬奈米顆粒的粒徑極小，在溶液中易產生聚集的現象，為使均勻散佈在溶液內，一般使用表面活性劑或有機高分子為保護劑，以防止凝聚^[12]。

三、化學還原法製作奈米金屬粒子

以化學法還原金屬鹽類化合物，獲得相對應的金屬奈米粒子，例如金、銀、鐵、氧化鋅、銅、鈷、鈹、鉑等。可以透過各類的還原劑，如氨基硼烷(amino-boranes)、聯氨(hydrazine)、油胺(oleylamine)、多元醇(polyols)、草酸(oxalic acid)、糖、檸檬酸鹽-Turkevich 法和硼氫化鈉(sodium borohydride, NaBH₄) Brust-Schiffrin synthesis (BSS)等方法合成^[13]。其中常見的金、銀的奈米粒子分別是透過 Turkevich 法和硼氫化鈉 BBS 法合成^[13]。

化學還原法常需要使用強還原劑，例如以硼氫化鈉(NaBH₄)還原成金屬離子，之後產生晶種及奈米金屬粒子。但會連帶產生一些缺點：

- (1)具毒性、腐蝕性，不當的使用，可能造成操作者或者生態的危害。
- (2)需適當的添加速率後才可產生適當大小的晶種，因此易造成造成品質不穩定。
- (3)工序費時，可能無法大量生產的問題^[14]。

檸檬酸鈉是一種有機酸鈉鹽，充當食品添加劑或調味劑使用，加在食品或飲料中可緩和酸味，故常與檸檬酸混合。化學方法合成奈米金屬粒子常見的方法是 Turkevich 合成法^[15,16]，尤其是貴金屬中的金及銀奈米粒子的合成^[3]。Turkevich 合成法是以檸檬酸鈉將四氯金酸還原為金奈米粒子，在熱水中，此時檸檬酸鈉同時作為還原劑與穩定劑，還原四氯金酸的水溶液，形成穩定的水相懸浮液，以合成金奈米粒子^[3,17]。

四、光化學法製作奈米金屬粒子

利用光媒介誘導合成法 (photo-mediated) 合成奈米金屬，是利用光誘導進行氧化還原反應的方法。利用光媒介誘導合成銀奈米粒子的典型例子，通常使用以下三種藥劑：(1)硝酸銀 (作為銀離子的提供者)。(2)檸檬酸鈉 (作為覆蓋劑、穩定劑與光照過程所需的光還原劑)。(3)硼氫化鈉 (作為晶種合成過程中主要的還原劑) ^[18]。Jin 等人(2001)首次以 1 毫升的硼氫化鈉(50 mM)加進 100 毫升的檸檬酸三鈉(0.3 mM)、硝酸銀(0.1 mM) 溶液中，並加入 2 毫升的 BSPP (5 mM)溶液，以 40 瓦螢光燈照射 40-70 小時後得到奈米銀^[19]。Xue 等人(2008)認為此光化學過程是受銀的氧化還原驅動，銀離子的還原受銀顆粒表面的檸檬酸鹽和氧所作用^[20]。

Yang 等人(2012)提出光輔助檸檬酸鈉還原法(photo-assisted citrate reduction process)，以四氯金酸、硝酸銀等金屬離子在 LED 藍光光照的過程中金屬離子能被檸檬酸鈉所還原，此過程能在沒有金屬奈米晶種之情況下發生。晶種逐漸變大，形成晶形良好的奈米粒子。故進而認為在強藍光光照下，檸檬酸鹽可克服反應的障礙，將銀離子接收電子還原成奈米銀^[2,14]。Gharib 等人(2019)以輻射的方法證明進行 Turkevich 反應合成奈米銀時，增加還原能力主要是經由 Cit (-H)^{*}(檸檬酸鹽自由基)完成。其團隊指出，在輻射過程中檸檬酸鹽通過 ROS 抓走一個氫，形成 Cit (-H)^{*}，而 Cit (-H)^{*}是一個強的電子供給者，提供電子給銀離子，形成奈米銀原子^[3]。另一方面，Xie 等人(2016)進一步以琥珀酸二鈉(disodium succinate)為還原劑，在紫外光的光照下合成奈米銀^[21]。

五、奈米金屬的光熱生物學效應

由圖二，奈米銀在 430 nm 處呈現一個最高的吸收峰，同時，奈米金對 520 nm 也具有最高吸收峰。由於奈米金有獨特的光學性質，得以成功地應用於光熱和光動力療法(photothermal and photodynamic therapy)。在光熱療法中，奈米金在近遠紅外區域中具有極強的表面電漿共振(SPR)現象，可導致加熱效應。以奈米金作為探針，使用鐳射光照射，奈米金能產生 SPR 並轉為熱量，導致加熱效應，以熱療導致細胞壞死^[13]。Chen 等人(2010)以金奈米粒子有好的光熱轉換效率的特性，搭配雷射系統，可以摧毀癌細胞。研究指出光熱效應使細胞的穿孔及胞膜瞬間破裂，是由於奈米金受雷射光激發引起局部的高溫氣化膨脹，進而使癌細胞死亡^[22, 23]。Luo 等人(2011)以金奈米粒子結合抗癌藥物-阿黴素(doxorubicin; Dox) 並連接能辨識癌細胞的 Sgc8c 適體，可主動鍵結到癌細胞並進入癌細胞。經照射 532 nm 光後，因表面電漿共振放熱，破壞金奈米粒子與辨識癌細胞的 Sgc8c 適體之間的鍵結，釋放出抗癌藥物，達成藥物的靶向癌症治療^[24]。

六、光動力治療

光動力治療法 (photodynamic therapy) 主要有三個部分：(1)光敏劑。(2)光源。(3)氧分子。光敏藥經由特定波長的光源照射，由基態(ground state)成為激發態(exciting state)，激發態的光敏劑和氧進行作用，進而造成細胞的氧化壓力。光敏劑依作用可分為兩種型態。第一型式(type I)光敏劑，以激發態的型式產生 ROS，如超陰離子($O_2^{\cdot-}$)、氫氧根自由基($\cdot OH$)。第二型式(type II)光敏劑，則是將處於激發態的能量傳給氧分子，使之成為高活性的單態氧 (singlet oxygen, 1O_2)^[25]。總之，運用光動力療法不論是引發 ROS 或單態氧，都會導致 DNA 受損，造成細胞凋亡(apoptosis)或壞死(necrosis)的情況^[26]。

抗菌光動力治療法(antibacterial photodynamic inactivation of bacteria, aPDI)是使用光敏感劑，經一定波長的光激發對細菌進行毒殺，同時可有效控制抗藥性細菌^[5]。核黃素(riboflavin)是對光敏感的維生素，在水溶液中易受光照破壞，可被紫外光、紫光 and 藍光激發，光照後激發電子，進而產生 ROS，得以間接偵測超氧歧化酶(SOD)的活性^[27, 28]。已有相關報導顯示，使用核黃素或黃素單核苷酸(FMN)的光解反應，產生 ROS 裂解 DNA，使大腸桿菌(*E. coli*)、金黃色葡萄球菌(*S. aureus*)和耐甲氧西林金黃色葡萄球菌(MRSA)失活^[29-32]。四環素類化合物(tetracyclines, TCNs)是一種廣效抗生素，具光敏性。TCNs 被藍光或紫光照射時，通過光氧化誘導電子轉移，TCNs 光敏化過程產生 ROS，使 *E. coli* 及其多重抗藥菌株和 MRSA 得以失活^[33-35]。

七、奈米金屬與光動力療法聯合作用

Djafari 等人(2016)以硝酸銀或四氯金酸溶液在鹼性環境下加入四環素作為還原劑，經加熱後產生水溶性納米金粒子(AuNPs@TC)及納米銀粒子(AgNPs@TC)，以這兩

種新的化合物對耐四環素細菌測試，AgNPs@TC 可增加抗菌的效果^[36]。光動力治療法中，有機光敏劑光照後可產生單態氧，而金屬奈米粒子可增加光敏劑經光解作用形成的單態氧^[37]。Fayaz 等人(2010)以氨苄青黴素(ampicillin)，康黴素(kanamycin)，紅黴素(erythromycin)及氯黴素(chloramphenicol)協同納米銀粒子測試抗菌活性，結果表明抗生素與奈米銀的結合具有更好的抗菌效果^[40]。

Rivas Aiello 等人(2016)以奈米銀粒子與核黃素形成的複合物經光解作用，證明奈米粒子的存在可形成較高量的核黃素三重態，同時形成更多的單態氧及過氧化氫，說明奈米粒子可加強核黃素光解形成單線態氧及超氧自由基，換言之，增強核黃素光敏劑的性能，將有助於光動力治療^[38]。Rivas Aiello 等人(2020)以奈米金粒子與核黃素形成的複合物經光解作用，證明核黃素陽離子自由基可以接受來自納米金粒子的電子，也產生帶一價正電的金離子，微生物檢測表明，奈米金能增強核黃素光解作用對金黃色葡萄球菌和銅綠假單胞菌的抗菌活性^[39]。

八、研究展望

光質(light quality)泛指光的顏色。Cheng 等 (2015)指出核黃素是一光敏劑，核黃素的光解作用在弱鹼環境下以可見光測試，核黃素對藍、紫光最敏感，但對紅、綠及黃光幾乎無效^[28]。另一方面以光照四環素類化合物施行 aPDI，紫光效果優於藍光^[35]。利用光媒介誘導合成奈米金屬，常以檸檬酸鈉作為啟動的還原劑。光質及 pH 對檸檬酸鈉還原成納米金屬的影響，值得再進一步研究。

檸檬酸鈉具光敏性，光照後可丟出電子，還原金屬離子成奈米粒子。同時核黃素及四環素類化合物對藍光、紫光及紫外光敏感，照光也可放出電子形成 ROS。以核黃素或四環素類化合物對硝酸銀、四氯金酸、氯化鉑等在照射藍光、紫光及紫外光後是否可產生奈米粒子，是可探討的議題。

檸檬酸鈉具光敏性，加入硝酸銀等進行光照產生奈米金屬粒子。之後，加入核黃素或四環素類化合物照藍光、紫光及紫外光。是否奈米金屬粒子可增加光敏劑形成的 ROS 且加強光敏劑殺菌的能力，是值得再深入探討的議題。

參考文獻

- [1] 王崇人：奈米是蝦米？科學發展 2002，354：48-51。
- [2] Yang LC, Lai YS, Tsai CM, Kong YT, Lee CI, Huang CL: One-pot synthesis of monodispersed silver nanodecahedra with optimal SERS activities using seedless photo-assisted citrate reduction method. *J Phy Chem C* 2012, 116:24292-24300.
- [3] Al Gharib S, Marignier JL, El Omar AK, Naja A, Le Caer S, Mostafavi M, Belloni J, Key role of the oxidized citrate-free radical in the nucleation mechanism of the metal nanoparticle Turkevich synthesis. *J Phy Chem C* 2019, 123:22624-22633.
- [4] 生醫奈米科技教學資源中心，生醫奈米技術，教育部，台北市 2007。
- [5] Tim M: Strategies to optimize photosensitizers for photodynamic inactivation of

- bacteria. *J Photochem Photobiol B, Biol* 2015, 150:2-10.
- [6] Hamblin MR: Antimicrobial photodynamic inactivation: a bright new technique to kill resistant microbes. *Curr Opin Microbiol* 2016, 33:67-73.
- [7] Wong TW, Wu EC, Ko WC, Lee CC, Hor LI, Huang IH: Photodynamic inactivation of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* by indocyanine green and near infrared light. *Dematologica Sin* 2018, 36:8-15.
- [8] Maisch T, Hackbarth S, Regensburger J, Felgentrager A, Baumler W, Landthaler M, Roder B: Photodynamic inactivation of multi-resistant bacteria (PIB) - a new approach to treat superficial infections in the 21st century. *J Dtsch Dermatol Ges* 2011, 9:360-366.
- [9] 李淑媛、鄭建瑋、劉婕怡、梁致遠：四環素光化學研究。MC-Trans Biotechnol 2021, 12 : e3。
- [10] 王俐雲、林鶴南：金奈米粒子和單根金奈米線的基板調節區域表面電漿共振。科儀新知 2014, 201 : 4-11。
- [11] 陳建穎：中空 Ag-Au、Ag-Pt 合金奈米粒子之合成及其光學特性之研究。國立交通大學材料科學與工程學系 碩士論文 2009。
- [12] 陳秀娘、陳文貴、林孟姿、陳怡樺：金奈米粒子的合成與期其光譜特性。明新學報 2008, 35:119-134。
- [13] Chugh H, Sood D, Chandra I, Tomar V, Dhawan G, Chandra R: Role of gold and silver nanoparticles in cancer nano-medicine. *Artif Cells Nanomed Biotechnol* 2018, 46 (sup1):1210-1220.
- [14] 楊.黃. 廖經豪、李耀彰：貴金屬奈米粒子的製造方法。中華民國發明專利 TW201330955A。
- [15] Turkevich J, Stevenson PC, Hillier J: A study of the nucleation and growth processes in the synthesis of colloidal gold. *Discuss faraday Soc* 1951, 11:55-75.
- [16] Turkevich J: Colloidal gold. Part II, *Gold bull* 1985, 18:125-131.
- [17] 國立台灣大學化學系：金奈米粒子之合成及吸收光譜鑑定。大學普通化學實驗。國立台灣大學出版中心 2011。
- [18] 曾瑋哲：利用光輔助還原法以琥珀酸二鈉為光還原劑快速合成二十面體銀奈米粒子。國立嘉義大學應用化學系碩士論文 2016。
- [19] Jin R, Cao Y, Mirkin CA, Kelly KL, Schatz GC, Zheng J: Photoinduced conversion of silver nanospheres to nanoprisms. *Science* 2001, 294:1901-1903.
- [20] Xue C, Métraux GS, Millstone JE, Mirkin CA: Mechanistic study of photomediated triangular silver nanoprism growth. *J Am Chem Soc* 2008, 130:8337-8344.
- [21] Xie ZX, Tzeng WC, Huang CL: One-pot synthesis of icosahedral silver nanoparticles by using a photoassisted tartrate reduction method under UV light with a wavelength of 310 nm. *Chemphyschem* 2016, 17:2551-2557.
- [22] 陳洋元、陳正龍：奈米科學在能源與生醫的應用。物理雙月刊 2010, 32 :

3-8。

[23] Chen CL, Kuo LR, Chang CL, Hwu YK, Huang CK, Lee SY, Chen K, Lin SJ, Huang JD, Chen YY: In situ real-time investigation of cancer cell photothermolysis mediated by excited gold nanorod surface plasmons. *Biomaterials* 2010, 31:4104-4112.

[24] Luo YL, Shiao YS, Huang YF: Release of photoactivatable drugs from plasmonic nanoparticles for targeted cancer therapy. *Am Chem Soc Nano* 2011, 5:7796-7804.

[25] Li WP, Yen CJ, Wu BS, Wong TW: Recent Advances in photodynamic therapy for deep-seated tumors with the aid of nanomedicine. *Biomedicines* 2021, 9:69.

[26] 張家靖、陳佩欣、葉奕辰、蔡娟美、蘇健穎、陳至信：奈米粒子在生物醫學的應用。科儀新知 2007，157：27-37。

[27] 鄭建璋、簡宏霖、梁致遠：光照度對硝基藍四氮唑光照反應的影響。MC-Trans Biotechnol 2010，2:11-21。

[28] Cheng CW, Chen LY, Chou CW, Liang JY: Investigations of riboflavin photolysis via coloured light in the nitro blue tetrazolium assay for superoxide dismutase activity. *J Photochem Photobiol B, Biol* 2015, 148:262-7.

[29] Cheng CW, Lee SY, Chen TY, Yuann JMP, Chiu CM, Huang ST, Liang JY: Inactivation of pathogens via visible-light photolysis of riboflavin-5'-phosphate. *J Vis Exp* 2022, 182:e63531.

[30] Liang JY, Yuann JM, Cheng CW, Jian HL, Lin CC, Chen LY: Blue light induced free radicals from riboflavin on *E. coli* DNA damage. *J Photochem Photobiol B, Biol* 2013, 119:60-64.

[31] Liang JY, Yuann JPM, Hsie ZJ, Huang ST, Chen CC: Blue light induced free radicals from riboflavin in degradation of crystal violet by microbial viability evaluation. *J Photochem Photobiol B, Biol* 2017, 174:355-363.

[32] Liang JY, Cheng CW, Yu CH, Chen LY: Investigations of blue light-induced reactive oxygen species from flavin mononucleotide on inactivation of *E. coli*. *J Photochem Photobiol B, Biol* 2015, 143:82-88.

[33] Huang ST, Wu CY, Lee NY, Cheng CW, Yang MJ, Hung YA, Wong TW, Liang JY: Effects of 462 nm light-emitting diode on the inactivation of *Escherichia coli* and a multidrug-resistant by tetracycline photoreaction. *J Clin Med* 2018, 7:278.

[34] Yuann JMP, Lee SY, He S, Wong TW, Yang MJ, Cheng CW, Huang ST, Liang JY: Effects of free radicals from doxycycline hyclate and minocycline hydrochloride under blue light irradiation on the deactivation of *Staphylococcus aureus*, including a methicillin-resistant strain. *J Photochem Photobiol B, Biol* 2022, 226:112370.

[35] Cheng CW, Lee SY, Chen TY, Yang MJ, Yuann JMP, Chiu CM, Huang ST, Liang JY: A study of the effect of reactive oxygen species induced by violet and blue light from oxytetracycline on the deactivation of *Escherichia coli*. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2022, 39:102917.

- [36] Djafari J, Marinho C, Santos T, Igrejas G, Torres C, Capelo JL, Poeta P, Lodeiro C, Fernández-Lodeiro J: New synthesis of gold-and silver-based nano-tetracycline composites. *ChemistryOpen* 2016, 5:206-212.
- [37] Planas O, Macia N, Agut M, Nonell S, Heyne B: Distance-dependent plasmon-enhanced singlet oxygen production and emission for bacterial inactivation. *J Am Chemical Soc* 2016, 138:2762-2768.
- [38] Rivas Aiello MB, Romero JJ, Bertolotti SG, Gonzalez MC, Mártire DO: Effect of silver nanoparticles on the photophysics of riboflavin: consequences on the ROS generation. *J Phy Chem C* 2016, 120:21967-21975.
- [39] Rivas Aiello MB, Ghilini F, Martínez Porcel JNE, Giovanetti L, Schilardi PL, Mártire DO: Riboflavin-mediated photooxidation of gold nanoparticles and its effect on the inactivation of bacteria. *Langmuir* 2020, 36:8272-8281.
- [40] Fayaz AM, Balaji K, Girilal M, Yadav R, Kalaichelvan PT, Venketesan R: Biogenic synthesis of silver nanoparticles and their synergistic effect with antibiotics: a study against gram-positive and gram-negative bacteria. *Nanomed: Nanotechnol, Biol Med* 2010, 6:103-109.

Mini Review:

A Preliminary Study of Nano-metal Particle Formation Mediated Photodynamic Therapy

Shwu-Yuan Lee¹, Yuan-Jia Zhu² and Ji-Yuan Liang^{2*}

¹Department of Tourism and Leisure, Hsing-Wu University, (New Taipei city, Taiwan, R.O.C.)

²Department Biotechnology, School of Health Technology, Ming-Chuan University, (Taoyuan, Taiwan, R.O.C.)

Abstract

The development of nanotechnology draws a sound attention in the medical field nowadays. Generally, the formation of nano-metal particles can be divided into two processes, i.e., chemical and physical ones. A strong reducing agent is often needed to make nano-metal particles in a chemical process. The reduction of sodium citrate treated with photolysis is a simple and safe method for formation of nano-metal particles. Pathogenic microbes or cancer cells can be deactivated by photosensitizers under light irradiation via reactive oxygen species (ROS) formation from a photolytic reaction, and as such photodynamic therapy may be an alternative in the post-antibiotic era. It is of interest to study the photodynamic therapy mediated by a photo-assisted citrate reduction process for nano-metal particle formation under light irradiation to deactivate pathogenic microorganisms.

Keyword: nano-metal particles, photodynamic therapy, photosensitizer, ROS, sodium citrate

Corresponding author: Ji-Yuan Liang [liang121@mail.mcu.edu.tw]

Received 28 Jun 2022/Accepted 22 Jul 2022/Online published 26 Jul 2022

MC-Transaction on Biotechnology, 2022, Vol. 13, No. 1, e2

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.