

跨領域永續研究整合型計畫：

臺灣國立大學系統年輕學者創新性合作計畫執行報告格式

申請單位	國立暨南國際大學
總計畫主持人	國立暨南國際大學 陳谷汎 特聘教授
總計畫名稱 (中文)	以植物萃取液綠色合成奈米金屬材料：污染整治、抗菌及生物相容性應用評估
總計畫名稱 (英文)	Green synthesis of metal nanomaterials using plant extracts: evaluation of pollution remediation, antibacterial, and biocompatibility
子計畫主持人	子計畫一、國立暨南國際大學土木工程學系 陳谷汎 子計畫二、國立中興大學環境工程學系 林坤儀 子計畫三、國立虎尾科技大學生物科技系 林家樺
中文摘要	<p>本計畫旨在開發以農業剩餘資材為基礎的綠色合成奈米氧化金屬材料，應用於環境整治及生物感測元件，同時評估其生物毒性和風險。計畫將農業剩餘資材轉化為奈米氧化金屬材料。透過綠色合成技術，使用咖啡和百香果皮萃取液，成功合成尺寸介於 1.2nm 至 56nm 奈米氧化鋅 (ZnO) 以及比表面積可達 48 m²/g，並且具有奈米孔洞結構之鈷氧化物 (Co₃O₄)。這些材料展現了優異的光催化劑特性和過氧化物酶模擬活性，且奈米氧化鋅在低濃度下表現出顯著的抗菌能力。此外，計畫還將聚焦於奈米材料的生物相容性和腎毒性風險評估。預計此研究不僅能夠有效處理農業剩餘資材，促進環境友好的循環經濟，還將為生醫感測技術提供新的材料選擇，對環境和健康產生積極影響。</p>
英文摘要	<p>This project aims to develop green-synthesized nano-metal oxides based on agricultural residues, targeting environmental remediation and biomedical sensor applications while assessing their biotoxicity and risks. The project transforms agricultural waste into nano-metal oxide materials. Utilizing green synthesis techniques,</p>

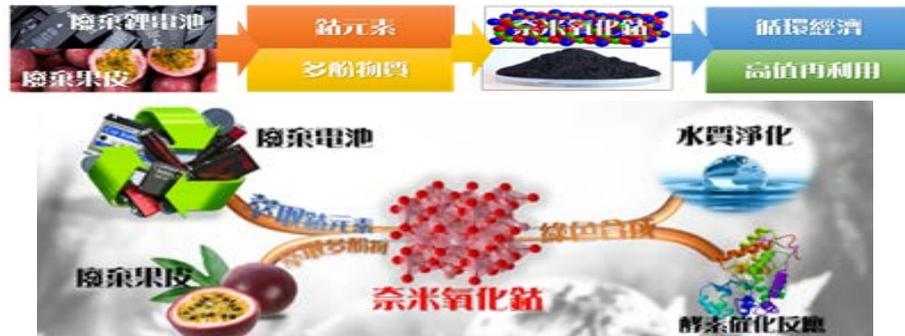
	<p>nano-sized zinc oxide (ZnO) ranging from 1.2 to 56 nm, and cobalt oxide (Co₃O₄) with a specific surface area of up to 48 m²/g and nano-porous structure were successfully synthesized using coffee and passion fruit peel extracts. These materials demonstrated excellent photocatalytic properties and mimetic peroxidase activity, with nano-sized ZnO exhibiting significant antibacterial efficacy at low concentrations. Additionally, the project will focus on assessing the biocompatibility and nephrotoxicity risks of these nanomaterials. The research is expected to effectively manage agricultural residues, foster an environmentally friendly circular economy, and offer novel material options for biomedical sensing technologies, positively impacting both the environment and health.</p>
--	---

<p>執行方法 及 步驟</p>	<p>第一部份：將區域特色重要農業剩餘資材發展之綠色合成奈米氧化金屬材料，本項研究工作將由暨大陳谷汎教授以及興大林坤儀教授共同執行，透過暨大陳教授之綠色合成奈米氧化金屬材料經驗，將所農業剩餘資材轉換成植萃液綠色合成奈米氧化金屬材料，並提供農業剩餘資材、萃取方法及植物萃取液給興大林教授進行奈米氧化鈷之製備。</p> <p>第二部份：由興大林教授發展其所需之萃取條件及綠色合成方法，並將資訊提供暨大陳教授參考，進一步提升團隊綠色合成之技術。虎科大林教授具生醫技術相關專業，可協助興大林教授評估奈米氧化鈷未來於生醫感測器應用之可行性，並提供相關專業建議。</p> <p>第三部份：將由暨大陳教授、虎尾科大林教授以及興大林教授共同針對所開發之奈米金屬氧化物進行抗菌評估，以及對於其生物毒性和風險之評估。</p> <p>第一子計畫：以植物萃取液綠色合成奈米金屬氧化材料應用於光催化降解污染物之研究</p>
--------------------------	--



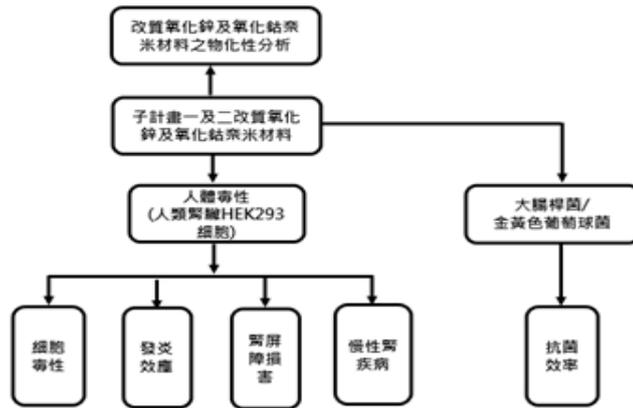
將製備植萃液調整成不同固液比，加入硝酸鋅($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (99%))攪拌 60 分鐘，然後置於 60°C 的水浴中 60 分鐘。隨後烘箱(105°C)乾燥至膠狀，然後在以 400°C 熱處理 1 小時，獲得奈米氧化鋅。

第二子計畫:結合廢棄電池及植物萃取物循環再製生產奈米金屬材料應用於環境及酵素催化反應



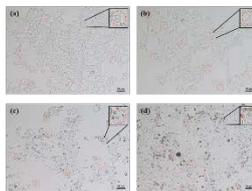
- 一、農業廢棄物(果皮、樹葉等)烘乾後粉碎與去離子水混合 24 小時，以進行萃取生物活性化合物，並使用 UV-可見光譜學進行確認。混合物在經過過濾並去除殘留的固體後，將可獲得了深綠色的萃取液。
- 二、將 4 克氯化鋅六水合物與 10 毫升蒸餾水混合，攪拌 20 分鐘。在 80°C 的條件下，將 40 毫升提取物添加到溶液中，並進行攪拌。
- 三、使用濾紙收集水提取物中的沉澱物。沉澱物與去離子水混合後，以離心排去上清液，以獲得已洗滌的沉澱物。在烘乾沉澱物後並以 600°C 進行鍛燒後產生出 Co_3O_4 奈米顆粒。

第三子計畫:廢棄物循環再製金屬奈米材料之抗菌及生物相容性之探討

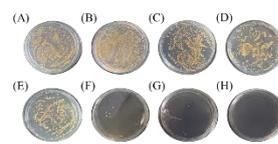


第一子計畫成果: CPE 0.02、PPE 0.01 ZnO NPs

毒性測試



抗菌測試

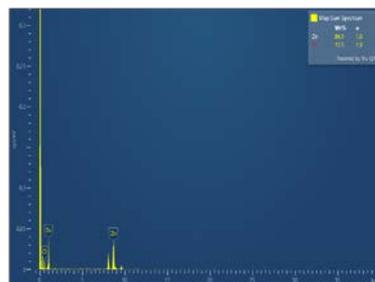


成
果
與
績
效

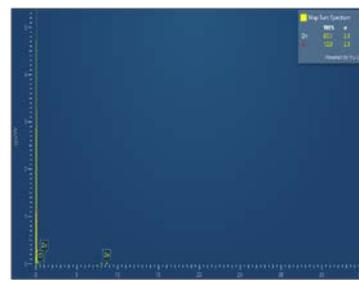
第一子計畫-以植物萃取液綠色合成奈米金屬氧化材料應用於光催化降解污染物之研究

表 1-1 啡及百香果果皮植萃液綠色合成 ZnO NPs 的產量、粒徑大小、界達電位 (Zeta Potential)、TEM 圖、EDS 圖

Sample	新鮮果皮 FCPE 0.02	CPE 0.01	CPE 0.02	BK	新鮮果皮 FPPE 0.02	PPE 0.01	PPE 0.02
4g/100mL Yield (g)	1.3 ± 0.09	1.1 ± 0.07	1.2 ± 0.03	0.9 ± 0.15	-	1.5 ± 0.54	1.1 ± 0.21
Diameter (nm)	1.2 ± 0.1	332.1 ± 89.5	56.5 ± 14.8	111.7 ± 31.7	-	1.2 ± 0.6	10.9 ± 0.8
Zeta Potential (mV)	-4.10	-8.97	-10.54	-15.84	-	-20.48	-8.17



CPE0.02 :Zn 86.5% 、O 13.5%



PPE0.01 :Zn 87.1% 、O 12.9%

圖 1-1 及百香果果皮植萃液綠色合成 ZnO NPs 的 EDS 圖

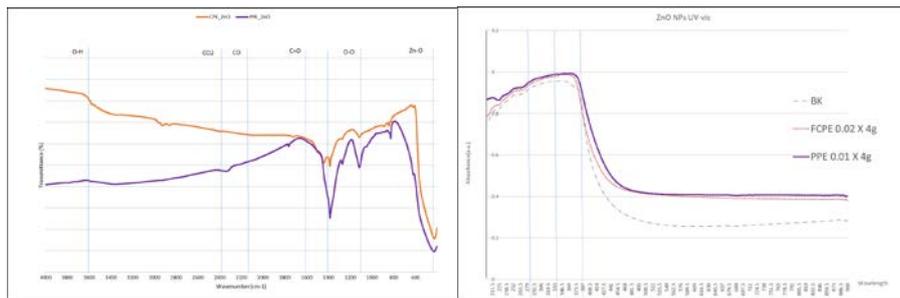


圖 1-2 咖啡及百香果果皮植萃液綠色合成 ZnO NPs 的 FTIR 及 UV-vis 在 1110 cm^{-1} 、 1270 cm^{-1} (O-O) 和 1440 cm^{-1} 和 1384 cm^{-1} (C=O) 觀察到的小峰歸因於合成過程中覆蓋奈米顆粒的植物萃取物中殘留的有機化合物。在 450 cm^{-1} 處觀察到的 ZnO 的特徵吸收歸因於 Zn-O 伸縮振動。Zn-O 拉伸模式相對於 OH 的強強度證實了綠色合成的 ZnO 奈米粒子的銻礦純性質。

咖啡及百香果果皮植萃液綠色合成 ZnO 經特性分析可成功合成奈米級及分散性較好的 ZnO。兩者之間以百香果 PPE 0.01 奈米氧化鋅有較佳的光學性質。

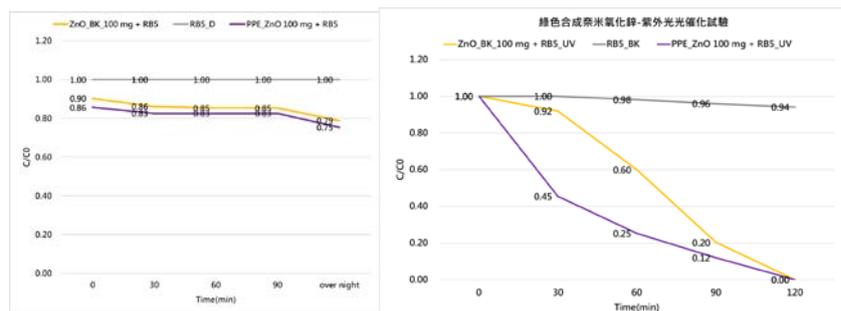


圖 1-3 綠色合成奈米氧化鋅-紫外光光催化試驗

在紫外光照射下，ZnO NPs 表面的 RB5 染料降解，闡明瞭其光催化活性。RB5 在 597nm 會出現最大吸收波長，利用分光光度計記錄吸光值，隨著時間的增加，在 ZnO NPs 存在下，RB5 的吸光度強度逐漸降低，表示 RB5 染料濃度降低。RB5 染料在極短的暴露時間 (90 分鐘) 內顯著降解。

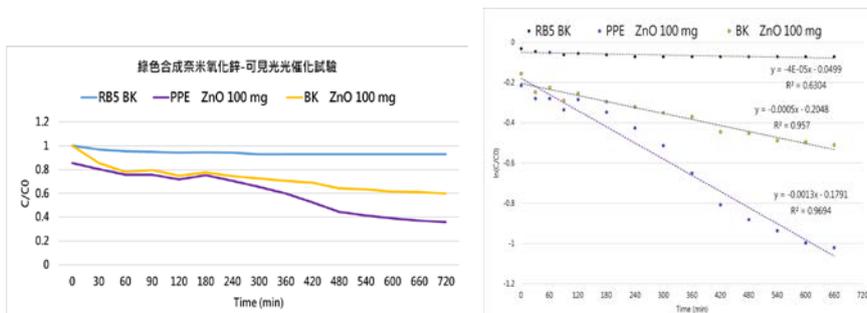


圖 1-4 綠色合成奈米氧化鋅-可見光光催化試驗

合成的 PPE ZnO NPs 表現出單分散性，平均粒徑為 2 nm。
 通過可見光照射下對合成的 ZnONPs 進行 RB5 染料的分解，對 RB5 染料的光催化研究，在 720 min 內，RB5 染料比 ZnO NPs 顯著降解。染料降解反應的優異速率常數為 $k=0.0013 \text{ min}^{-1}$ 它遵循一級動力學機制。
第二子計畫:結合廢棄電池及植物萃取物循環再製生產奈米金屬材料應用於環境及酵素催化反應

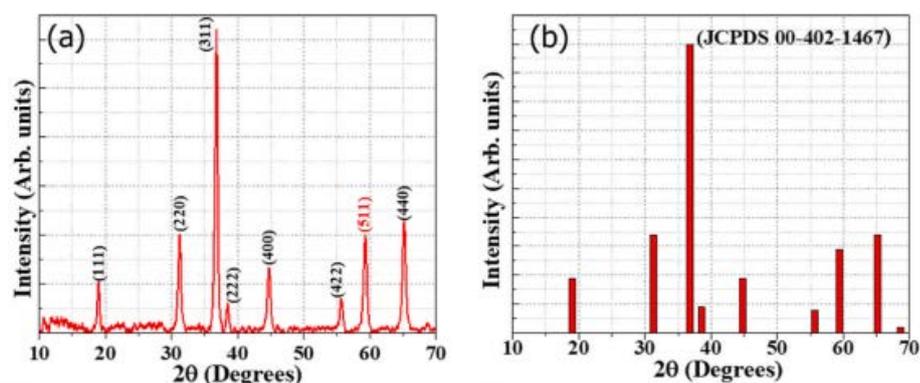


圖 2-1 材料鑑定之 XRD 圖

利用農業廢棄物萃取物所製備之 Co_3O_4 之晶體結構與文獻中標準之 Co_3O_4 吻合，證實經本方法可成功合成 Co_3O_4 。

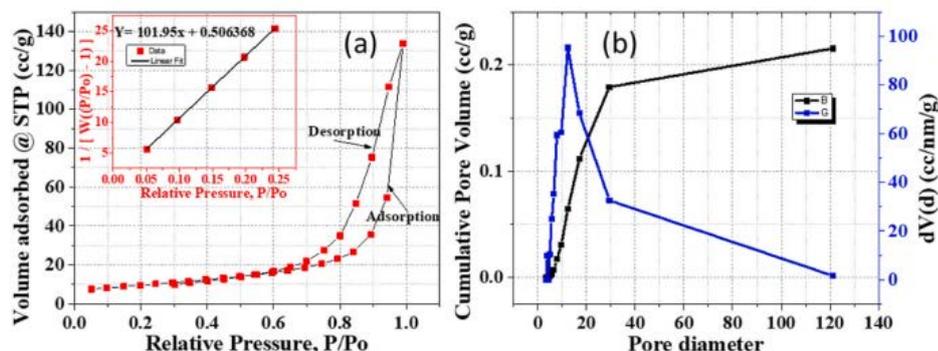
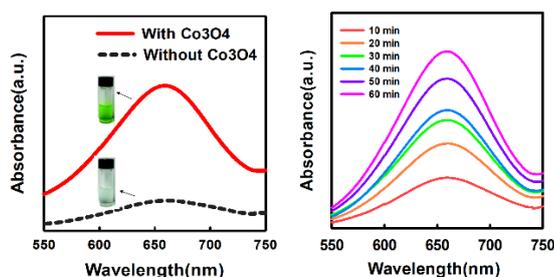


圖 2-2 材料鑑定之比表面積

利用農業廢棄物萃取物所製備之 Co_3O_4 之比表面積可達 $48 \text{ m}^2/\text{g}$ ，並且具有奈米孔洞結構。



$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{TMB}(\text{指示劑}) \pm \text{Co}_3\text{O}_4$

圖 2-3 氧化物酶模擬活性測試結果

結果顯示，所製備之 Co_3O_4 的確具有過氧化物酶模擬活性，並且催化反應可隨時間增強，使訊息提高。

第三子計畫:廢棄物循環再製金屬奈米材料之抗菌及生物相容性之探討

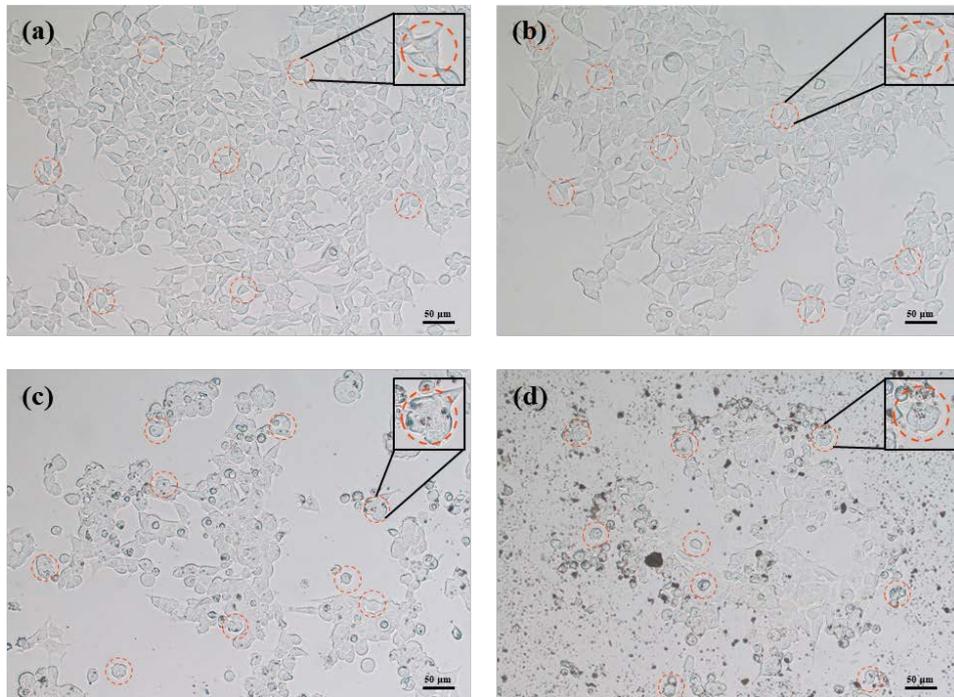
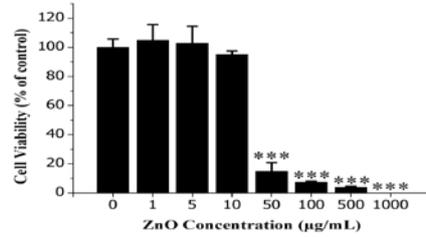


圖 3-1 綠色合成奈米氧化鋅毒性測試結果

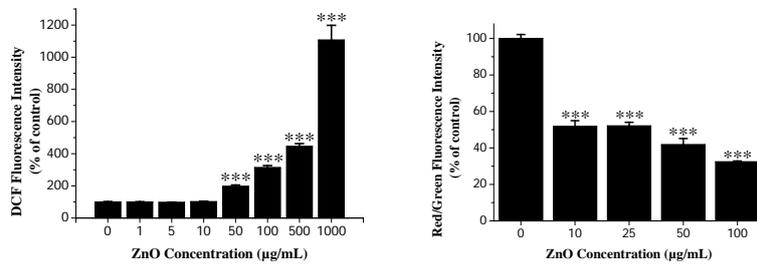


圖 3-2 綠色合成奈米氧化鋅毒性測試結果

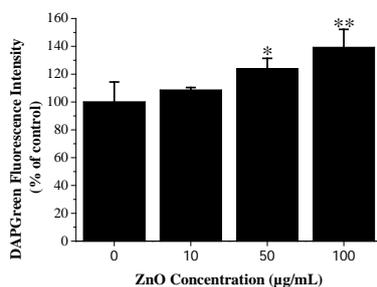
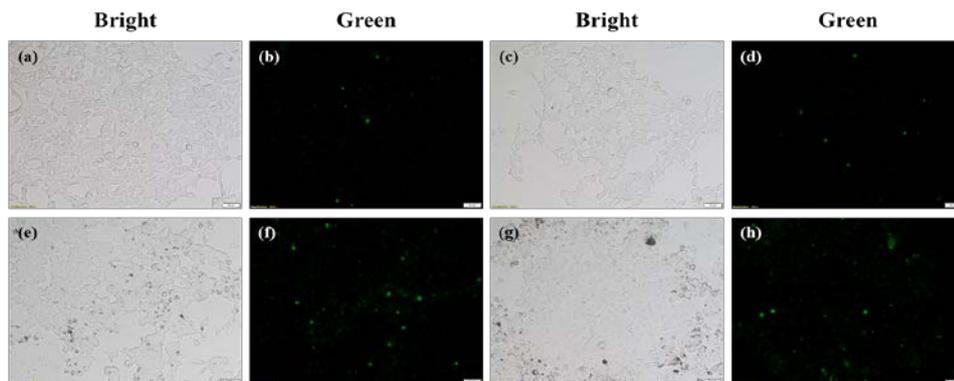
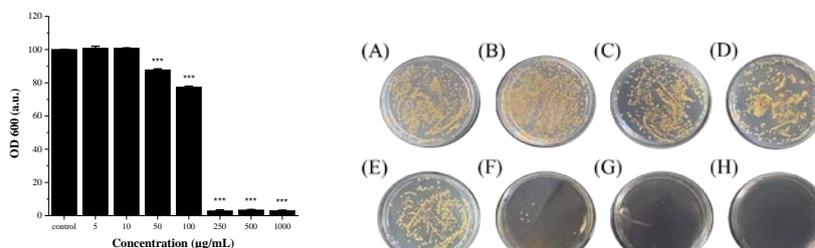


圖 3-3 綠色合成奈米氧化鋅毒性測試結果

圖 3-1 ZnO 對於人類正常腎臟細胞(HEK293)在濃度為 50、100、500、1000 $\mu\text{g/mL}$ 時會產生顯著毒性,存活率剩不到 20%。結果顯示和 Trypan blue 毒性評估一致,在濃度 50 $\mu\text{g/mL}$ 之後 ZnO 對於人類正常腎臟細胞(HEK293)有一定的傷害,導致細胞型態上改變(原本細胞的觸手消失)。圖 3-2 ZnO 會在濃度為 50、100、500、1000 $\mu\text{g/mL}$ 和人類正常腎臟細胞(HEK293) 反應時產生大量的活性氧物質,證實存活率的下降是因為 ZnO 與人類正常腎臟細胞(HEK293)反應後產生活性氧物質所導致的原因之一。結果 ZnO 會在濃度 10 $\mu\text{g/mL}$ 時就會導致人類正常腎臟細胞(HEK293)有凋亡的情形產生。

圖 3-3 結果顯示,ZnO 會在濃度 50 $\mu\text{g/mL}$ 時就會導致人類正常腎臟細胞(HEK293)有自噬的情形產生。



SA 暴露於(A) 無材料之控制組,及不同濃度之 ZnO (B) 5 $\mu\text{g/mL}$ 、(C) 10 $\mu\text{g/mL}$ 、(D) 50 $\mu\text{g/mL}$ 、(E) 100 $\mu\text{g/mL}$ 、(F) 250 $\mu\text{g/mL}$ 、(G) 500 $\mu\text{g/mL}$ 、(H) 1000 $\mu\text{g/mL}$ 之菌落生長情形。

圖 3-4 綠色合成奈米氧化鋅抗菌測試結果

	<p>金黃色葡萄球菌 (SA) 暴露於 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 之 ZnO 時,其存活率即低於 80%。當 ZnO 濃度高於 250 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 時, 其對於 SA 之抑制程度 > 90%。成功透過綠色合成製成 ZnO,並於低濃度下表達優異抗菌能力,顯示出材料的良好前景。</p>
<p>對永續議題之貢獻</p>	<p>符合聯合國永續發展目標(SDG)12—「負責任的消費與生產」,針對農業剩餘資材進行資源循環與回收再利用之研究,以逐步達成聯合國永續發展目標。因此本研究計畫將鎖定台灣中部地區具有區域特色之農業剩餘資材(例如百香果皮及咖啡果皮等)作為研究對象,利用其植物萃取液合成奈米氧化金屬材料作為多元永續型材料應用於環境污染整治、酵素開發、抗菌、資源循環高值化等應用,並且為了解所開發之奈米氧化金屬材料對於環境以及公共健康之影響,本計畫更進一步探討所製作之奈米氧化金屬材料之生物風險評估,以釐清奈米氧化金屬材料長久使用對於環境以及人體健康之影響,以期整體性發展可永續性且安全性應用的奈米氧化金屬材料,為台灣開發前瞻性且永續型之農業剩餘資材進行資源循環化與多元應用技術帶來實質貢獻,並向永續發展目標邁前一步!</p>
<p>結論與建議</p>	<p>一、 綠色合成製程完全沒有加入鹼等任何化學劑,其製程符合綠色化學的十二原則「防廢、物盡、低毒、節能、再生、簡潔、可解」,從其特性分析可以證明透過百香果及咖啡果皮植萃液成功綠色合成奈米氧化鋅(ZnO)、百香果果皮植萃液綠色合成 Co_3O_4 等奈米材料。</p> <p>二、 使用咖啡/百香果萃液作為合成過程的還原劑及穩定劑, ZnO 粒徑在 1.2 nm-56 nm, 並具有光催化劑特性。</p> <p>三、 使用百香果萃液作為合成過程的還原劑及穩定劑,所獲得 Co_3O_4 與文獻中一致,並且具有孔洞結構,所製備之 Co_3O_4 的確具有過氧化物酶模擬活性,並且催化反應可隨時間增強,使訊息提高。</p> <p>四、 綠色合成製成之 ZnO,於低濃度下表達優異抗菌能力,顯示出材料的良好前景。</p>
<p>附件</p>	

備註：

1. 本報告內容以5至10頁為限。
2. 報告繳交時請提供電子檔各1份至總計畫主持人所屬學校之研發處承辦人及本案承辦學校承辦人。