บทคัดย่อภาษาไทย

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะด้วยวิธีชีวสังเคราะห์ได้รับความสนใจในการวิจัยอย่างมากเนื่องจากมีกระบวนการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้รายงานวิจัยส่วนใหญ่เป็นการใช้สารสกัดจากพืชและแบคทีเรียเป็นสารให้อิเล็กตรอนและสารให้ความคงตัวในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะ แต่อย่างไรก็ดียังไม่มีการศึกษาถึงการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะภายในเซลล์พืช ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการผลิตอนุภาคนาโนโลหะจำนวน 5 ชนิดจากการดูดซึมสารละลาย $AgNO_3$ $Cu(NO_3)_2$ $Fe(NO_3)_3$ $Ni(NO_3)_2$ และ $Pb(NO_3)_2$ ของผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) จากการศึกษาความเป็นพิษของสารละลายโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด ต่อพืชด้วยการวัดการเปลี่ยนแปลงเชิงสัณฐานวิทยาของใบผักตบชวา (เหี่ยวและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล) เมื่อได้รับสารละลายโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าความเป็นพิษของสารละลายดังกล่าวต่อพืชเป็นการตอบสนองแบบแปรผันตามความเข้มข้น (dose-dependent) โดยสารละลาย $AgNO_3$ มีความเป็นพิษต่อพืชสูงที่สุด การดูดซึมอิออนโลหะของพืชสามารถสังเกตได้จากรากพืชที่มีสีเข้มขึ้นและจากการพบอนุภาคสีดำในภาพตัดขวางของรากที่สังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ยกเว้นในพืชที่แช่ในสารละลาย $Ni(NO_3)_2$ ที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงในภาพตัดขวาง การดูดซึมของอิออนโลหะแต่ละชนิดได้ถูกยืนยันอีกครั้งด้วยผลการวิเคราะห์ Energy dispersive X-ray fluorescence นอกจากนี้ยังพบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ $_{15}P$ $_{16}S$ $_{19}K$ และ $_{20}Ca$ อันเนื่องมาจากการตอบสนองของพืชต่อการได้รับสารละลายโลหะข้างต้น ผลการวิเคราะห์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรสโคปีพบการเกิดพีคสเปคตรัมใหม่ในช่วง 1800–1630 1500–1395 และ 1000–800 ต่อเซนติเมตร ซึ่งชี้ว่าเกิดการชักนำของการแสดงออกของยีนและการสร้างโปรตีนที่ตอบสนองต่อการได้รับอิออนของทองแดง เหล็ก นิกเกิล ตะกั่ว และซิลเวอร์ ทั้งนี้เป็นที่น่าสนใจว่าจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM) พบว่ามีการสร้างและสะสมอนุภาคนาโนทองแดง เหล็ก ตะกั่ว และซิลเวอร์ ที่มีรูปทรงกลมในรากบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของอีพิเดอร์มิส คอร์เทกซ์ และกลุ่มมัดท่อลำเลียง แต่ไม่พบการสร้างอนุภาคนา

โนนิเกิล โดยเอกลักษณ์ของอนุภาคนาโนโลหะแต่ละชนิดได้ถูกยืนยันด้วยผลการวิเคราะห์โครงสร้างอนุภาคด้วยเทคนิค high resolution TEM เทคนิค selected area electron diffraction TEM และเทคนิค electron diffraction EDX งานวิจัยนี้นับเป็นการรายงานครั้งแรกถึงความสามารถของผักตบชวาในการเปลี่ยนอิออนของทองแดง เหล็ก ตะกั่ว และซิลเวอร์ ที่รากดูดซึม เป็นอนุภาคนาโนโลหะภายในเซลล์ นอกจากนี้ยังได้ชี้ให้เห็นว่าความสามารถในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะในพืชขึ้นกับชนิดของอิออนโลหะ โดยในการศึกษานี้พบว่าผักตบชวาไม่สามารถผลิตอนุภาคนาโนนิกเกิลจากอิออนนิเกิลที่รากดูดซึมได้ งานวิจัยนี้นับเป็นรายงานฉบับแรกที่แสดงถึงความสามารถของผักตบชวาที่สามารถใช้เป็นพืชบำบัดโลหะหนักและพืชที่สามารถชีวสังเคราะห์ผลิตอนุภาคนาโนโลหะได้

คำสำคัญ: อนุภาคนาโน โลหะหนัก ผักตบชวา เทคโนโลยีเขียว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

The production of metal nanoparticles by biological synthesis has received many research interests due to its environmentally friendly process. Most works reported on the uses of the plant and microbial extracts as reducing and stabilizing agents for the production of metal nanoparticles. However, the use of plants to facilitate the directed changes of metal ions to nanoparticles inside the cells is still lacking. Therefore, this work is interested to study the production of five metal nanoparticles from the uptake ions by the water hyacinth (*Eichhornia crassipes*); $AgNO_3$, $Cu(NO_3)_2$, $Fe(NO_3)_3$, $Ni(NO_3)_2$ and $Pb(NO_3)_2$. The toxicity test of these metal ions on water hyacinth was determined by the morphology changes of the plant leaves (withered and brown) as they were treated with various concentrations of metal solutions for 12 h. The toxicity of these metal solutions was dose-dependent, which $AgNO_3$ showed the highest toxicity to the plant. The uptake metal ions were detected as the dark colors of the plant roots and the presence of black particles in the cross-section roots observed under the bright field microscope, except $Pb(NO_3)_2$ treatment. The uptake of each metal was confirmed by the energy dispersive X-ray fluorescence analysis. Also, the mass contents of $_{15}P$, $_{16}S$, $_{19}K$, $_{20}Ca$ were changed in response to each metal treatment. The Fourier transform infrared spectroscopy analysis revealed the presence of novel spectral peaks at 1800–1630 1500–1395 และ 1000–800 cm^{-1}, suggesting the induction of gene expression and protein synthesis in response to Cu-, Fe-, Ni-, Pb- and Ag-treatments. Interestingly, transmission electron microscope (TEM) images showed the production and accumulation of spherical

CuNPs, FeNPs, PbNPs and AgNPs, but not NiNPs, in the plasma membrane of epidermis, cortex and vascular bundle tissues. The characterization of each produced metal nanoparticle was confirmed by high resolution TEM, selected area electron diffraction TEM, and electron diffraction TEM. This work is the first report on the capacity of water hyacinth to transform the uptake Cu, Fe, Pb and Ag ions to nanoparticles in the plant cells. It also indicated that the formation of metal nanoparticles depends on the capability of the plant to certain metal ions, which in this work the water hyacinth cannot produce NiNPs from the uptake Ni ion. Nevertheless, this work is the first to report the capability of water hyacinth as both heavy metal phytoremediation and bio-production of metal nanoparticles.

Keywords: Nanoparticles, Heavy metal, Water hyacinth, Green technology.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี