การสะสมของโครเมียมในไผ่ที่เติบโตในภาวะที่มีโลหะหนัก

จิตติพร วุฒิรัตนรักษ์ และสายรุ้ง อวยพรกชกร*

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เมือง พิษณุโลก 65000

*E-mail: sairoongo@nu.ac.th

รับบทความ: 2 เมษายน 2561 แก้ไขบทความ: 28 มิถุนายน 2561 ยอมรับตีพิมพ์: 3 สิงหาคม 2561

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสะสมของโลหะโครเมียมในไผ่ที่ปลูกในภาวะที่มีโครเมียม โดยปลูกไผ่ในดิน 5 แบบ ได้แก่ ดินท้องถิ่น (ดินควบคุม) ดินที่มีโครเมียมปนเปื้อน ดินเติม CCA และดินเติมโครเมียม เป็นระยะเวลา 3 5 และ 7 เดือน หลังจากนั้นย่อยตัวอย่างไผ่ทั้งหมดด้วยกรดไนทริกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์โดยเครื่องไมโครเวฟในครัวเรือน ที่กำลังไฟฟ้า 240 วัตต์ เป็นเวลา 40 นาที และวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ โดยมีช่วงความเป็นเส้นตรงสำหรับการวิเคราะห์โครเมียมเท่ากับ 0.1 – 4.0 μg/mL และมีขีดจำกัดการตรวจวัดและขีดจำกัดหาปริมาณเท่ากับ 0.07 และ 0.2 μg/mL ตามลำดับ การสะสมของโครเมียมในไผ่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ได้รับโครเมียมเพิ่มขึ้น ไผ่ที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนโครเมียมทุกกลุ่มพบการปนเปื้อนโครเมียม ไผ่ที่ปลูกในภาวะที่มีโครเมียมเป็นเวลา 7 เดือนมีปริมาณโครเมียมมากที่สุด ในช่วงความเข้มข้นเท่ากับ 197.9 – 225.6 μg/g และการสะสมของโครเมียมในไผ่ที่ปลูกในดินทุกกลุ่มไม่มีความแตกต่างระหว่างการปลูกในดินที่มีเฉพาะโครเมียมและดินที่มีโลหะชนิดอื่นเมื่อปลูกเป็นเวลาตั้งแต่ 5 เดือนขึ้นไป โดยพบโครเมียมอยู่ในช่วง 145.1 – 155.2 μg/g หลังจากนั้นนำตัวอย่างไผ่ทุกกลุ่มมาศึกษาการปนเปื้อนของโครเมียมสู่ตัวกลางหลายชนิด ได้แก่ น้ำ โซเดียมคลอไรด์ และกรดฮิวมิก ไม่พบการปนเปื้อนของโครเมียมจากไผ่ทุกกลุ่ม

คำสำคัญ: โครเมียม การสะสมทางชีวภาพ อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี ไผ่

Accumulation of Chromium in the Cultivated Bamboo Heavy Metal Contain Conditions

Jittipon Wuttirattanarak and Sairoong Ouypornkochagorn*

Department of Chemistry, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand

*E-mail: sairoongo@nu.ac.th

Received: 2 April 2018 Revised: 28 June 2018 Accepted: 3 August 2018

Abstract

The purpose of this research was to study the accumulation of chromium from the various cultivated bamboo chromium–containing conditions. Bamboo were grown under 5 soil conditions, i.e., the domestic soil (control soil), the chromium contaminated soil, the CCA spiked soil and the chromium spiked soil. The experiments were studied for 3, 5 and 7 months. All bamboo samples were digested with nitric acid and hydrogen peroxide by a household microwave machine with 240 W for 40 minutes and then analyzed by the atomic absorption spectrometer. The dynamic range of chromium was 0.1 – 4.0 μg/mL and the limit of detection and limit of quantification were 0.07 and 0.2 μg/mL, respectively. The accumulation of chromium in bamboo increased by the chromium exposed duration. The maximum accumulation of chromium were found between 197.9 – 225.6 μg/g in all of 7–month cultivated bamboos. The accumulation of chromium in bamboo sticks from the chromium spiked soil were not significant differed from the other metal contaminated soil after 5–month growth and also found in the range of 145.1 – 155.2 μg/g. Finally, the leaching of chromium from all bamboo samples to various medium as water, sodium chloride and humic acid were studied. The contamination of chromium in all medium were not detected.

Keywords: Chromium, Bioaccumulation, Atomic absorption Spectrometry, Bamboo

บทนำ

โครเมียมเป็นธาตุที่พบมากในโลกและใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมการย้อมสีและการเคลือบเซรามิก นอกจากนี้โครเมียมยังเป็นองค์ประกอบหนึ่งของน้ำยารักษาเนื้อไม้ชนิดคอปเปอร์โครเมียมอาร์ซีเนตหรือคอปเปอร์โครเมียมโบรอน และยังพบการนำโครเมียมในทางอุตสาหกรรม จึงทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนสู่สิ่งแวด-

ล้อม เช่น ดิน หิน ทราย น้ำในแม่น้ำ น้ำทะเล (Avudainayagam, 2003; He, 2005; Oliveira, 2012) การปนเปื้อนโครเมียมมีผลทำให้การงอกของเมล็ดลดลง การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ การเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงไม่สมบูรณ์ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีงานวิจัยหลายงานศึกษาการปนเปื้อนของโลหะโครเมียมในสิ่งแวดล้อม เช่น Ahmad et al. (2009) และ Rehman (2018) พบการปนเปื้อนของ Cu Zn Pb Cr Cd Fe Mn และ Ni ในน้ำ ดิน และผักจากประเทศบังคลาเทศ และปากีสถาน Stasinos and Zabetakis (2013) รายงานว่า มันฝรั่ง แครอท และหัวหอมปลูกโดยรดน้ำที่มีนิกเกิลและโครเมียมความเข้มข้น 10 – 250 ไมโครกรัมต่อลิตร พบการสะสมโลหะนิกเกิลและโครเมียมในรากและใบมากกว่า 61 ไมโครกรัมต่อลิตร ในขณะที่ไม่พบการปนเปื้อนของโลหะดังกล่าวในแครอท แสดงให้เห็นว่าพืชต่างชนิดกันมีการสะสมโลหะที่แตกต่างกัน โดยพบการปนเปื้อนของโลหะหนัก ได้แก่ Hg Cd Pb Cr As Al Mn Ni Cu และ Zn ในใบผักหลายชนิด และใบชาจากแปลงการเกษตรในประเทศจีนและยังพบว่าโลหะเหล่านี้ไม่มีผลต่อกระทบต่อสุขภาพของประชาชนจีนตอนใต้ (Chang, 2014; Zhang, 2018) Lajayer et al. (2017) รวบรวมผลงานวิจัยที่ศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักของสมุนไพรที่เติบโตในสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อนโลหะหนัก โดยรายงานถึงการดูดซับโลหะหนักนั้นที่ใบและรากของสมุนไพรโดยไม่ปนเปื้อนในน้ำมันหอมระเหย Borgulat et al. (2018) ศึกษาการปริมาณโลหะหนัก (Fe Mn Pb Cd and Zn) ของพืชที่เติบโตในบริเวณที่มีแร่พืทจำนวนมาก พบการสะสมของตะกั่วและแคดเมียมในใบสน เบิร์ท และโรสแมรีป่าในปริมาณที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช และยังพบการสะสมของแคดเมียมและสังกะสีปริมาณมากในใบเบิร์ท ส่วน Liang et al. (2018) ศึกษาผลกระทบของฟลูเลอรีน (C60) และโลหะ Cd Cu และ Pb ที่มีต่อการปลูกข้าว พบว่า C60 ไม่มีผลต่อการสะสมมวลทางชีวภาพในข้าว แต่มีผลต่อการสะสม Cd Cu และ Pb ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของข้าวแตกต่างกันเมื่อมี C60 โดยพบว่าในภาวะที่มี C60 เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมทำให้การสะสมของ Cd ในช่อดอกของข้าวลดลง Zhu (2018) พบโลหะหนัก ได้แก่ Cd Cu Pb และ Zn ในดินและพืช 17 ชนิดบริเวณใต้เหมืองแถบตะวันตกเฉียงเหนือของกวงซีซางมีค่าเกินค่ามาตรฐาน ดังนั้นจึงมีผู้วิจัยศึกษาการใช้พืชในการดูดซับโลหะหนักเพื่อลดปริมาณโลหะหนักจากสิ่งแวดล้อม โดยมีงานวิจัยในช่วงปี ค.ศ. 2004 – 2014 พบการนำส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น เมล็ด ใบ ราก เปลือกไม้ เปลือกผลไม้ มาใช้ในการบำบัดโลหะหนัก เช่น Ni Cr Cu Pb Cd As (Gavrilescu, 2004; Jain, 2016; Olguin, 2012) Gómez-Berna et al. (2017) ศึกษาการกระจายของโลหะหนัก ได้แก่ Cd Cu Fe Mn Pb และ Zn ด้วยพืชท้องถิ่น ดิน และน้ำในบริเวณเหมืองแร่ โดยพบ Zn เกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในแหล่งน้ำ พบ Pb และ Zn ในดิน และการสะสมของ Pb ในรากมากกว่าใบและมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน Willscher et al. (2017) ศึกษาการใช้พืช *Helianthus tuberosus* ในการบำบัดการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน โดยศึกษาการเจริญเติบโตของพืชชนิดนี้ภายใต้ดินที่มีพีเอชแตกต่างกัน พบว่า การเจริญเติบโตของพืชแปรผันตามพีเอชของดิน Fe Mn และ Zn สะสมที่รากของพืชในปริมาณมาก ในขณะที่ Ni Mn และ Zn สะสมที่เหง้าในปริมาณมาก ส่วน Fe Cu และ Pb สะสมในเหง้าน้อยกว่าการ

สะสมที่ราก และ Tozsér et al. (2017) พบการสะสมของ Cd Pb และ Zn ที่ส่วนต่าง ๆ ของพืชวงศ์นุ่นและยังรายงานว่าพีเอชของดินมีผลต่อการสะสมของโลหะในส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ราก ลำต้น เหง้า ใบ โดยพบการสะสมของ Cd ในเหง้าและใบ Pb ในรากและใบ และ Zn ในเหง้า นอกจากการใช้ปลูกพืชบนดินในการบำบัดการปนเปื้อนโลหะหนักแล้วยังพบการใช้พืชน้ำ เช่น จอก แหน สาหร่าย ในการบำบัดโลหะหนักในน้ำด้วย (Rezani, 2016; Singh, 2016) จากงานวิจัยข้างต้นส่วนใหญ่ใช้พืชที่มีอายุสั้นและมีเส้นใยไม่แข็งแรงมาใช้ในการดูดซับโลหะหนักที่อยู่ในดินหรือแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปกำจัดด้วยการฝังกลบภายหลัง

ไผ่เป็นพืชที่มีเส้นใยแข็งแรงและเป็นพืชที่มีประโยชน์มากมาย เช่น เป็นอาหาร ทำเครื่องจักสาน เฟอร์นิเจอร์ รวมไปถึงใช้เป็นองค์ประกอบหนึ่งของบ้าน พบได้ทั่วไปในประเทศไทยและประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แต่มีอายุการใช้งานที่สั้น เนื่องจากเกิดการผุพังจากการกัดกินของมอดและรา ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจนำไผ่มาใช้ในประโยชน์ในการดูดซับโลหะหนัก ซึ่งทำให้ได้ไผ่ที่มีความทนทานต่อแมลงศัตรูพืชและรา สามารถนำไปใช้งานในการสร้างโรงเรือนทางการเกษตรหรือเป็นองค์ประกอบหนึ่งของบ้าน ทำให้ได้สิ่งก่อสร้างที่มีความคงทนได้มากขึ้น โดยงานวิจัยก่อนหน้านี้คณะ ผู้วิจัยได้ศึกษาการปนเปื้อนของ Cu Cr และ As จากไผ่ที่เคลือบน้ำยารักษาเนื้อไม้โครเมทคอปเปอร์อาร์ซีเนต (CCA) สู่ตัวกลางที่เป็นน้ำและกรดฮิวมิก และพบการปนเปื้อนของโลหะทั้ง 3 ชนิดสู่ตัวกลางทุกชนิด (Ouypornkochagorn, 2015) แสดงให้เห็นว่าแม้การเคลือบน้ำยา CCA ทำให้ไผ่มีความทนทานต่อแมลงศัตรูพืชและรา แต่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้ และจากงานวิจัยหลายชิ้น พบว่า ในการปลูกพืชในภาวะที่มีโลหะหลายชนิด โลหะสะสมในพืชโดยยึดเกาะกับเนื้อเยื่อของพืชด้วยโครงสร้างทางเคมี (Cobbett, 2000; Raab, 2005; Yadav, 2010) ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยจึงสนใจนำไผ่มาปลูกในดินที่มีโครเมียมปนเปื้อนเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งใช้ลดปริมาณโครเมียมที่ปนเปื้อนในดินที่มีการปนเปื้อนโครเมียมและทำให้ได้ไผ่ที่ทนทานต่อแมลงศัตรูพืช เนื่องจากโครเมียมที่สะสมในเนื้อไม้ทำปฏิกิริยาเคมีเพื่อตรึงสารหนูและทองแดงในไผ่ ทำให้ไผ่ที่ปลูกในภาวะที่มีโครเมียม มีความทนทานต่อแมลงศัตรูพืชและรามากขึ้น ซึ่งยังไม่มีงานวิจัยใดทำการศึกษาการบำบัดโลหะหนักด้วยพืชกลุ่มไม้เนื้อแข็ง

เครื่องมือและสารเคมี

เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วย เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น BSA224S-CW, เยอรมัน) เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ชนิดเปลวไฟ (FAAS) (AAnalyst 200, Perkin Elmer, USA) โดยกำหนดภาวะสำหรับการวิเคราะห์โครเมียมดังในตาราง 1 เครื่องผสมสาร (Ika, USA) เครื่องปั่นเหวี่ยง (Hermle รุ่น Z206A, เยอรมัน) สารเคมีทุกชนิดเป็นเกรดวิเคราะห์ โดยเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนจากเครื่องทำน้ำบริสุทธิ์ (Elga, UK) สารละลายมาตรฐานโครเมียมสำหรับการวัดด้วยเครื่อง FAAS เจือจางจากสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 1,000 mg/L (Merck, เยอรมัน) ด้วยกรดไนทริกเข้มข้นร้อยละ 1 ส่วน สารละลายที่ใช้สำหรับเติมในดินเพื่อศึกษาการดูดซับโครเมียมด้วยไผ่ ได้แก่ โครเมียมเตรียมจาก

K_2CrO_4 (Carlo Erba, อิตาลี) และสารละลายโครเมทคอปเปอร์อาร์ซีเนต (chromated copper arsenate, CCA, ประเทศไทย) ในการศึกษาหาปริมาณโครเมียมในไผ่ทำได้โดยย่อยด้วยกรดไนทริก (Carlo Erba, อิตาลี) และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 30 (Merck, เยอรมัน) ด้วยเครื่องไมโครเวฟในครัวเรือน (Sharp รุ่น R-687P, ญี่ปุ่น) ในงานวิจัยนี้ทดสอบความน่าเชื่อถือของการเตรียมตัวอย่างด้วยสารมาตรฐานไม้ ERM– CD100 trace elements and pentachlorophenol (PCP) in wood (certified reference materials) ซึ่งมีปริมาณโครเมียมเท่ากับ 36.4±2.6 mg/kg

ตาราง 1 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์โครเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

ความยาวคลื่น (nm)	357.87
กระแสไฟฟ้า (mA)	7.0
ความกว้างของช่องแสง (nm)	0.5
ชนิดของเปลวไฟ	อากาศ/อะเซทิลีน
อัตราไหลของอากาศ (ลิตร/นาที)	3.50
อัตราไหลของเชื้อเพลิง (ลิตร/นาที)	1.50
ชนิดของเปลวไฟ	เปลวไฟชนิดรีดิวซ์

วิธีการทดลอง

การเตรียมสารละลายมาตรฐานโครเมียมสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FAAS

เตรียมสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 0.1 – 4.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดไนทริกเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร และสร้างกราฟมาตรฐานและขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD = $3S_a/b$) และขีดจำกัดหาปริมาณ (L.O.Q. = $10S_a/b$) โดย S_a คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารละลายแบลงก์จากการวัด 20 ครั้ง และ b คือ ความชันของกราฟมาตรฐาน (Shrivastava, 2011)

การเตรียมไผ่สำหรับศึกษาการสะสมโครเมียม

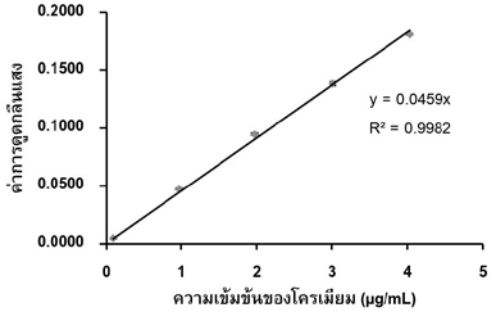
ปลูกกล้าไผ่ด้วยดินที่ปนเปื้อนของโครเมียมจากดินรกร้างบนเขาบริเวณปางดะ เชียงใหม่ (ไผ่ RP) ในกระถางขนาด 15 นิ้ว พร้อมจานรอง จำนวน 9 กระถาง และปลูกกล้าไผ่ด้วยดินที่จำหน่ายตามท้องตลาดในกระถางขนาด 15 นิ้ว พร้อมจานรอง จำนวน 27 กระถาง เป็นเวลา 1 เดือน หลังจากนั้นแบ่งไผ่ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ไผ่กลุ่มควบคุม (ไม่มีการเติม Cr ลงไปในดิน) ไผ่ที่มีการเติมน้ำยา CCA ร้อยละ 2 และไผ่ที่มีการเติม Cr ซึ่งเตรียมจาก K_2CrO_4 ให้มีความเข้มข้นของ Cr เท่ากับ 10 μg/mL งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับโครเมียมด้วยไผ่ด้วยการเติมสารละลายที่มีโครเมียมทั้งสารละลาย CCA และ Cr ลงในดินที่ปลูกไผ่สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เนื่องจากกล้าไผ่ที่ศึกษามีเส้นผ่านศูนย์กลางค่อนข้างเล็ก (น้อยกว่า 1.5 เซนติเมตร) หากเติมสารละลายโครเมียมเข้มข้นสูง ๆ ลงในดินก่อนปลูก อาจทำให้ไผ่ตายก่อนศึกษาเสร็จ นอกจากนี้การศึกษาใช้เวลานานถึง 7 เดือนอาจทำให้ปริมาณโลหะที่อยู่ในดินมีถูกชะออกจากในดินด้วยน้ำฝนที่ตกตามฤดูกาล นอกจากนี้เมื่อศึกษาในระยะเวลานาน ทำให้ความเข้มข้นของโครเมียมที่ผสมในดินตั้งแต่แรก มีความเข้มข้นในบริเวณต่าง ๆ ไม่เท่ากันได้ โดยเฉพาะโครเมียมที่อยู่บริเวณโคนต้นมีปริมาณน้อยกว่าบริเวณที่มีรากจำนวนน้อยได้ ในขณะที่การเติมโครเมียมที่มีความเข้มข้นแน่นอนในแต่ละสัปดาห์ที่จุดเดิม จะทำให้ไม่มีความแตกต่างของโครเมียมในไผ่ที่ปลูกในระยะเวลานาน (Bluemlein, 2009) ในงานวิจัยนี้เติมสารละลาย CCA เข้มข้นร้อยละ 2 และ Cr

เข้มข้น 10 μg/mL ปริมาตร 1 mL จำนวน 1 ครั้ง ต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 3 5 และ7 เดือน ตามลำดับ โดยทำซ้ำกลุ่มละ 3 ต้น นอกจากนี้ยังปลูกไผ่ในดินที่มีโครเมียมตั้งแต่เริ่มการทดลองด้วย โดยปลูกไผ่ด้วยดินที่ปนเปื้อนโครเมียม (ดิน RP) ซึ่งมีโครเมียมในปริมาณเท่ากับ 53 μg/g เมื่อระยะครบตามกำหนด นำไผ่ที่ได้มามาตัดเป็นท่อน ๆ ละ 10 เซนติเมตร ล้างและอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C จนกระทั่งเนื้อไผ่แห้ง จากนั้นนำไผ่ 3 ท่อนมาศึกษาการปนเปื้อนของโครเมียมจากไผ่สู่ตัวกลางที่เป็นน้ำ เกลือโซเดียมคลอไรด์ และกรดฮิวมิก เป็นเวลา 63 ชั่วโมง (Ouypornkochagorn, 2015) นำสารละลายตัวกลางมาปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที นำไปวิเคราะห์หาปริมาณ Cr ที่ถูกชะออกจากไผ่สู่สารละลายตัวกลางด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ส่วนไผ่ที่เหลือนำไปแล้วนำมาปั่นให้มีขนาดเล็ก ย่อยด้วยสารละลายผสมของกรดไนทริกเข้มข้น ปริมาตร 3 mL และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ปริมาตร 1 mL โดยใช้เครื่องไมโครเวฟในครัวเรือนที่มีกำลังไฟ 240 W เป็นเวลา 40 นาที (Ouypornkochagorn, 2017) เพื่อหาปริมาณ Cr ที่สะสมอยู่ในไผ่ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เจือจางให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมด้วยน้ำปราศจากไอออนเป็น 10.00 mL และนำไปตรวจวัดหาปริมาณโลหะโครเมียมด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (หมายเหตุ ย่อยไม้มาตรฐาน ERM–CD100 ทุกครั้งของการทดลอง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำในการวิเคราะห์

ผลการทดลอง

กราฟมาตรฐานและขีดจำกัดการตรวจวัดสำหรับการวิเคราะห์โครเมียมด้วยเทคนิค FAAS

นำสารละลายมาตรฐานโครเมียม เข้มข้น 0.1 – 4.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรในHNO_3 เข้มข้นร้อยละ 1 มาวัดด้วยเครื่อง FAAS ตามภาวะที่กำหนดในตาราง 1 ผลการทดลอง (ภาพที่ 1) พบว่าเทคนิค FAAS สามารถมีความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ เท่ากับ 0.1 – 4.0 μg/mL โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9982 มีค่าขีดจำกัดการตรวจวัดและค่าขีดจำกัดหาปริมาณเท่ากับ 0.07 μg/mL และ 0.2 μg/mL ตามลำดับ

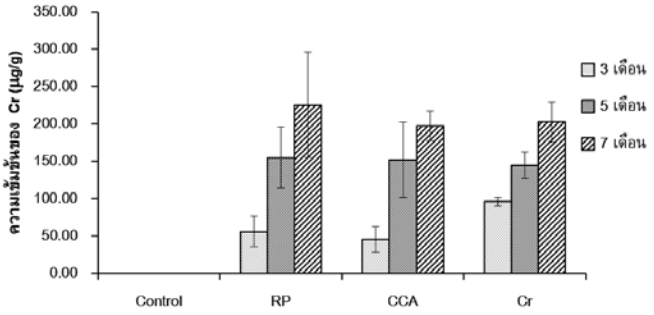


ภาพที่ 1 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโครเมียม

การศึกษาการสะสมของโครเมียมในไผ่

งานวิจัยนี้ศึกษาการสะสมโครเมียมในไผ่เพื่อใช้ในการดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมด้วยการปลูก ไม่ได้ศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ และทดลองในกระถางที่อยู่ในภาวะปกติของการปลูกพืช จากนั้นเปรียบเทียบการดูดซับในดินทั่วไปและดินที่ปนเปื้อนโครเมียมกลุ่มต่าง ๆ เท่านั้น และวิเคราะห์ไผ่ที่ผ่านการปลูกในภาวะต่าง ๆ ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ไผ่ควบคุม (ไม่มีการเติม Cr ลงไปในดิน) กลุ่มที่ 2 ไผ่ที่ปลูกในดินที่มีโครเมียมปนเปื้อน (RP) กลุ่มที่ 3 ไผ่ที่มีการเติมน้ำยา CCA ร้อยละ 2 (CCA) และกลุ่มที่ 4 ไผ่ที่มีการเติม Cr (Cr) เป็นเวลา 3 – 7 เดือน

ได้ผลดังในภาพที่ 2 และเมื่อพิจารณาปริมาณ Cr จากการวิเคราะห์ไม้มาตรฐาน ERM–CD100 ได้ค่าร้อยละการกลับคืนของ Cr เท่ากับร้อยละ 96.5 ± 2.7



ภาพที่ 2 ปริมาณโครเมียมที่เป็นสะสมในไผ่ที่ปลูกในภาวะต่าง ๆ ในระยะเวลา 3 5 และ 7 เดือน

จากภาพที่ 2 พบว่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณโครเมียมที่ดูดซับในไผ่มีค่าค่อนข้างกว้าง เนื่องจากเป็นการทดลองทำซ้ำจากไผ่คนละท่อน จำนวน 3 ท่อน ไผ่แต่ละท่อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกันและมีจำนวนรากแตกต่างกัน เมื่อในระยะเวลาการปลูกที่นานขึ้น ไผ่เติบโตมากขึ้น ทำให้ไผ่แต่ละต้นมีจำนวนรากไม่เท่ากัน ไผ่แต่ละต้นจึงสะสมโครเมียมแตกต่างกันค่อนข้างมาก เมื่อเปรียบเทียบไผ่กลุ่มต่าง ๆ กับไผ่กลุ่ม Control จะเห็นได้ว่า ปริมาณของโลหะโครเมียมมีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีระยะเวลาปลูกแตกต่างกัน คือ 3 5 และ 7 เดือน มีปริมาณโครเมียมที่สะสมในไผ่ RP ไผ่ CCA และไผ่ Cr มีค่าเท่ากับ 55.9 – 225.6 µg/g 45.7 – 197.9 µg/g และ 96.2 – 202.8 µg/g ตามลำดับ ในช่วง 3 เดือนแรกกลุ่ม RP และ CCA มีปริมาณโครเมียมใกล้เคียงกัน แต่มีค่าน้อยกว่าไผ่กลุ่ม Cr ซึ่งอาจเกิดจากไผ่กลุ่ม Cr มีการสะสมของ Cr เพียงอย่างเดียว ในขณะที่ในไผ่ RP และไผ่ CCA เป็นไผ่ที่เติบโตในภาวะที่มีโลหะชนิดอื่นอยู่ด้วย เช่น Cu As โลหะเหล่านี้สามารถจับกับกลูทาโทโอนที่อยู่ในเนื้อไม้เช่นกัน (Adams, 2016; Bluemlein, 2009) ทำให้ไผ่กลุ่ม Cr มีการสะสมของ Cr ในเนื้อไผ่เพียงอย่างเดียว เนื่องจากไม่มีการแย่งจับระหว่างโลหะชนิดอื่นเหมือนไผ่ RP และไผ่ CCA ที่มีโลหะ Cu และ As แต่เมื่อปลูกไผ่ในระยะเวลาที่นานขึ้น (5 เดือน) พบว่าปริมาณ Cr ในไผ่ทุกกลุ่มไม่แตกต่างกัน (ประมาณ 145.1 – 155.2 µg/g) แสดงให้เห็นว่า ระยะ 5 เดือนเป็นระยะเวลาที่ไผ่สามารถสะสมได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ทั้งนี้เพราะว่าระยะที่ปลูกนานขึ้น ไผ่มีการเติบโตเต็มที่ จำนวนรากไผ่ในแต่ละกระถางไม่แตกต่างกัน จึงทำให้การสะสมของ Cr ไม่แตกต่างกันแม้ว่าไผ่ RP และไผ่ CCA มีโลหะชนิดอื่นที่สามารถมาแย่งสะสมในไผ่ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Usman et al. (2012) รายงานว่า เมื่อใช้พืชท้องถิ่นในเกาหลี สามารถใช้ในการลดปริมาณ Cr Cu และ As จากดินที่ปนเปื้อนจากดิน โดยพืชชนิด *Iris ensata* สะสม Cr ในหน่อมากที่สุด (1,120 mg kg^{-1}) และไผ่สามารถสะสมได้เพิ่มเติมเมื่อปลูกนานขึ้น (7 เดือน) จะเห็นได้ว่าไผ่ทุกกลุ่มมีปริมาณ Cr มากขึ้นและปริมาณ Cr ทุกกลุ่มไม่แตกต่างกัน โดยปริมาณ Cr อยู่ในช่วงความเข้มข้น 197.9 – 225.6 µg/g เมื่อนำไผ่ทุกกลุ่มและทุกช่วงอายุไปศึกษา

การปนเปื้อนของ Cr ในตัวกลางที่เป็นน้ำ เกลือโซเดียมคลอไรด์ และกรดฮิวมิก เป็นระยะเวลา 63 วัน พบว่า ไม่มีการปนเปื้อนของโครเมียมในตัวกลางทุกชนิดในไผ่ทุกกลุ่ม แสดงให้เห็นว่า Cr ในไผ่ที่ปลูกในภาวะที่มี Cr สร้างไฟโทคีลาทินในเนื้อไม้ (Cobbett, 2000; Raab et al., 2005; Yadav, 2010) แสดงว่า การใช้ไผ่บำบัดโลหะหนักมีประโยชน์ทั้งลดปริมาณโลหะในสิ่งแวดล้อมและมีความปลอดภัยในการนำไผ่ที่ได้ไปใช้งานโครงสร้างต่าง ๆ ซึ่งต่างจากงานวิจัยอื่นที่ต้องกำจัดพืชที่ใช้บำบัดโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมในภายหลังใช้งานแล้ว

สรุปผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์การสะสมของโครเมียมในไผ่ที่ปลูกในภาวะที่มีโลหะปนเปื้อน พบว่า โครเมียมที่ปลูกในช่วงระยะเวลา 3 5 และ 7 เดือน จะเห็นได้ว่า ไผ่กลุ่มควบคุม (Control) ไม่มีการสะสมโลหะหนักในไผ่ แต่สำหรับไผ่ทั้ง 3 กลุ่ม คือ RP CCA และ Cr ที่ปลูกในระยะเวลาเท่ากัน พบว่า ไผ่สะสมโลหะหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ไผ่ที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อน Cr ทั้งแบบ Cr ชนิดเดียวและที่มีโลหะชนิดอื่นปนเปื้อนด้วย เป็นเวลา 7 เดือน มีปริมาณโครเมียมสะสมในไผ่สูงที่สุด การสะสมของโครเมียมในไผ่เกิดจากสร้างพันธะระหว่างโครเมียมกับไฟโทคีลาทินเช่นเดียวกับการสะสมของโลหะต่าง ๆ ในพืชชนิดอื่น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยนเรศวร และภาควิชาเคมีที่สนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Adams, M. S., Dillon, C. T., Vogt, S., Lai, B., Stauber, J., and Jolley, D. F. (2016). Copper uptake, intracellular localization, and speciation in marine microalgae measured by synchrotron radiation X-ray fluorescence and absorption microspectroscopy. **Environmental Science and Technology**. 50 (16): 8827–8839.

Ahmad, J.U, and Goni, M. A. (2010). Heavy metal contamination in water, soil, and vegetables of the industrial areas in Dhaka, Bangladesh. **Environmental Monitoring and Assessment** 66(1–4): 347–357.

Avudainayagam, S., Megharaj, M., Owens, G., Kookana, R. S., Chittleborough, D., and Naidu, R. (2003). Chemistry of chromium in soils with emphasis on tannery waste sites. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology** 178: 53–91.

Bluemlein, K., Klimm, E., Raab, A., and Feldmann, J. (2009). Selenite enhances arsenate toxicity in *Thunbergia alata*. **Environmental Chemistry** 6(6): 486–494.

Borgulat, J., Mętrak, M., Staszewski, T., Wiłkomirski, B., and Suska–Malawska, M. (2018). Heavy metals accumulation in soil and plants of Polish peat bogs. **Polish Journal of Environmental Studies** 27(2): 537–544.

Chang, C. Y., Yu, H. Y., Chen, J. J., Li, F. B.,

Zhang, H. H., and Liu, C. P. (2014) Accumulation of heavy metals in leaf vegetables from agricultural soils and associated potential health risks in the Pearl River Delta, South China. **Environmental Monitoring and Assessment** 186(3): 1547–1560.

Cobbett, C. C. (2000). Phytochelatins and their roles in heavy metal detoxification. **Plant Physiology** 123: 825–832.

Gavrilescu, M. (2004). Removal of heavy metals from the environment by biosorption. **Engineering in Life Sciences** 4(3): 219–232.

Gómez– Bernal, J. M., Ruiz– Huerta, E. A., Armienta– Hernández, M. A., and Luna– Pabello, V. M. (2017). Evaluation of the removal of heavy metals in a natural wetland impacted by mining activities in Mexico. **Environmental Earth Sciences** 76: 801.

He, Z. L., Yang, X .E., and Stoffella, P. J. (2005). Review: Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology** 19(2–3): 125–140.

Jain, C. K., Malik, D. S., and Yadav, A. K. (2016). Applicability of plant based biosorbents in the removal of heavy metals: A review. **Environmental Processes** 3(2): 495–523.

Lajayer, B. A., Ghorbanpour, M., and Nikabadi, S. (2017). Review: Heavy metals in contaminated environment: Destiny of secondary metabolite biosynthesis, oxidative status and phytoextraction in medicinal plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 145: 377–390.

Liang, C., Xiao, H., Hu, Z., Zhang, X., and Hu, J. (2018). Uptake, transportation, and accumulation of C60 fullerene and heavy metal ions (Cd, Cu, and Pb) in rice plants grown in an agricultural soil. **Environmental Pollution** 235: 330–338.

Olguín, E. J., Sánchez–Galván, G. N. (2012) Heavy metal removal in phytofiltration and phycoremediation: The need to differentiate between bioadsorption and bioaccumulation. **New Biotechnology** 30(1): 3–8.

Oliveira, H. (2012). Chromium as an Environmental pollutant: Insights on induced plant toxicity. **Journal of Botany** 2012: 1–8.

Ouypornkochagorn, S., and Hemavibool, K. (2017). The Development of a digestion method for the cultivated bamboo containing arsenic by a household microwave system. In the 8th International Science, Social Science, Engineering and Energy Conference. Thailand: A–ONE Royal Cruise Hotel, Pattaya Beach, Thailand, 90–93.

Ouypornkochagorn, S., and Wichai, U. (2015). The leaching of copper, chromium and arsenic from CCA-treated bamboo sticks through water and humic Acid. In **Proceeding: Pure and Applied Chemistry International Conference 2015 (PACCON**

2015), Bangkok, Thailand, 109–112.

Raab, A., Schat, H., Meharg, A.A., and Feldmann, J. (2005). Uptake, translocation and transformation of arsenate and arsenite in sunflower (*Helianthus annuus*): Formation of arsenic–phytochelatin complexed during exposure to high arsenic concentrations. **New Phytologist** 168: 551–558.

Rehman, U. Z., Khan, S., Shah, M. T., Brusseau, M. L., Khan, S. A., and Mainhagu, J. (2018). Transfer of heavy metals from soils to vegetables and associated human health risk in selected sites in Pakistan. **Pedosphere** 28(4): 666-679.

Rezania, S., Taib, S. M., Din, M. F. M., Dahalan, F. A., and Kamyab, H. (2016). Review: Comprehensive review on phytotechnology: Heavy metals removal by diverse aquatic plants species from wastewater. **Journal of Hazardous Materials** 318: 587–599.

Shrivastava, A, and Gupta, V. B. (2011). Methods for the determination of limit of detection and limit of quantitation of the analytical methods. **Chronicles of Young Scientists** 2: 21–25.

Singh, N. K., Raghubanshi, A. S., Upadhyay, A. K., Rai, U. N. (2016). Arsenic and other heavy metal accumulation in plants and algae growing naturally in contaminated area of West Bengal, India **Ecotoxicology and Environmental Safety** 130: 224–233.

Stasinos, S., and Zabetakis, I. (2013). The uptake of nickel and chromium from irrigation water by potatoes, carrots and onions. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 91: 122–128.

Tozsér, D., Magura, T., and Simon, E. (2017). Heavy metal uptake by plant parts of willow species: A meta–analysis. **Journal of Hazardous Materials** 336: 101–109.

Usman, A. R. A., Lee, S. S., Awad, Y. M., Lim, K. J., Yang, J. E., and Ok, Y. S. (2012). Soil pollution assessment and identification of hyperaccumulating plants in chromated copper arsenate (CCA) contaminated sites, Korea. **Chemosphere** 87: 872–878.

Willscher, S., Jablonski, L., Fona, Z., Rahmi, R., and Wittig, J. (2017). Phytoremediation experiments with *Helianthus tuberosus* under different pH and heavy metal soil concentrations. **Hydrometallurgy** 168: 153–158.

Yadav, S. K. (2010). Heavy metal in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. **South African Journal of Botany** 76: 167–179.

Zhang, J., Yang, R., Chen, R., Peng, Y., Wen, X., and Gao, L. (2018). Accumulation of heavy metals in tea leaves and potential health risk assessment: A case study from Puan County, Guizhou Province, China. **International Journal of Environmental**

Research and Public Health 15(1): 133.

Zhu, G., Xiao, H., Guo, Q., Song, B., Zheng, G., Zhang, Z., Zhao, J., and Okoli, C. P. (2018). Heavy metal contents and enrichment characteristics of dominant plants in wasteland of the downstream of a lead–zinc mining area in Guangxi, Southwest China. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 151: 266–271.