



ผลของโครเมียมต่อการบำบัดดินปนเปื้อนพีแนนทรีนและไพรีน
โดยบวบเหลี่ยม และความเป็นไปได้ในการสะสมโครเมียมของพืช
Effect of Chromium on Phytoremediation of Phenanthrene-
and Pyrene-Contaminated Soil by *Luffa acutangula* and
Potential of Chromium Accumulation by Plant

ชนิษฐา สมตระกูล^{1*} และวราภรณ์ ฉุยฉาย²

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

²สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ อ.เมือง

จ.นครสวรรค์ 60000

Corresponding Author, E-mail: khanitta.s@msu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการปลูกบวบเหลี่ยม (*Luffa acutangula*) เพื่อบำบัดพีแนนทรีน ไพรีน และโครเมียม ไตรวาเลนทีนในดินที่ปนเปื้อนร่วมกันระหว่างสารทั้งสามชนิด ผลการวิจัยพบว่าการปนเปื้อนร่วมกันระหว่างพีแนนทรีน ไพรีน และโครเมียม ไตรวาเลนทีนไม่ส่งผลเสียต่อการเจริญของบวบเหลี่ยม โดยความยาวราก น้ำหนักสดของ ราก ความยาวยอด น้ำหนักสดของยอด จำนวนกิ่งต่อต้น ความสูงของใบและน้ำหนักของใบบวบเหลี่ยมที่เจริญใน ดินที่ปนเปื้อนเป็นเวลา 50 วันไม่แตกต่างจากบวบเหลี่ยมที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความ กว้างของใบบวบเหลี่ยม ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของใบบวบเหลี่ยมที่ปลูกในดินที่ ปนเปื้อนเป็นเวลา 50 วันต่ำกว่าบวบเหลี่ยมที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน อย่างไรก็ตามการปลูกบวบเหลี่ยมไม่ช่วย ส่งเสริมการบำบัดพีแนนทรีนและไพรีนในดินที่ปนเปื้อนโครเมียม ไตรวาเลนทีนได้มากกว่าในดินที่ไม่ปลูกพืช โดย ปริมาณพีแนนทรีนและไพรีนที่เหลือน้อยในดินที่ปลูกบวบเหลี่ยมและไม่ปลูกบวบเหลี่ยมมีค่าระหว่างร้อยละ 18.3 - 43.2 และ 22.3 - 40.9 ในวันที่ 50 ของการย้ายต้นกล้าบวบเหลี่ยม ตามลำดับ นอกจากนี้ การสะสมพีแนนทรีน ไพรีน และโครเมียม ไตรวาเลนทีนในบวบเหลี่ยมถือเป็นปริมาณที่น้อยมาก ดังนั้นบวบเหลี่ยมจึงไม่ใช่พืชที่มีความ เหมาะสมต่อการนำมาบำบัดดินที่ปนเปื้อนร่วมกันระหว่างพีเอเอชและโครเมียม กลไกการลดปริมาณพีเอเอชในดิน อาจเกิดเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ปรากฏในดินอยู่แล้ว

ABSTRACT

This study was investigated the cropping of ridge gourd to remove phenanthrene, pyrene and chromium from phenanthrene/pyrene/chromium trivalent-contaminated soil. The presence of phenanthrene, pyrene and chromium trivalent in soil did not affect on some growth parameters of ridge gourd such as root length, root weight, shoot length, shoot weight, number of shoots per plant, leaves high and leaves weight. Only leaves wide, chlorophyll b and total chlorophyll content of ridge gourd grown in soil contaminated by phenanthrene/pyrene/chromium trivalent-contaminated soil were lower than those of ridge gourd grown in phenanthrene/pyrene-contaminated soil or non-contaminated soil. However, growth of ridge gourd did not increase phenanthrene and pyrene removal from chromium trivalent-contaminated soil. Percentage of phenanthrene and pyrene remaining in soil either planting with ridge gourd or unplanted control was ranging from 18.3 – 43.2 and 22.3 – 40.9 on the 50 day of transplantation, respectively. Moreover, accumulation of phenanthrene, pyrene and chromium trivalent by ridge gourd was negligible. Thus, ridge gourd was not appropriate for use in phytoremediation of soil co-contaminated with PAH and chromium. The main mechanism of phenanthrene and pyrene removal in this study may result from the activity of indigenous PAH-degraders that already presence in soil.

คำสำคัญ: การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืช โคเรียมียม บวบเหลี่ยม ไพรีน ฟีนแอนทรีน

Keywords: Phytoremediation, Chromium, Ridge Gourd, Pyrene, Phenanthrene

บทนำ

โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (พีเอ-เอช) เป็นสารมลพิษที่ต้องเร่งกำจัดออกจากสิ่งแวดล้อมอย่างเร่งด่วนตามรายการของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US. EPA.) เนื่องจากเป็นสารก่อกลายพันธุ์ ก่อมะเร็ง และเป็นพิษต่อตัวอ่อนในครรภ์ การปนเปื้อนของพีเอเอชในสิ่งแวดล้อมมักมีสาเหตุมาจากอุตสาหกรรมถ่านหิน กากตะกอนจากโรงกลั่นน้ำมัน และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ (Rachwall et al., 2015; Song et al., 2015) ฟีนแอนทรีนและไพรีนเป็นพีเอเอชต้นแบบที่เลือกใช้ในการศึกษาเพราะมีรายงานการปนเปื้อน

ร่วมกันของพีเอเอชทั้งสองในสิ่งแวดล้อมของประเทศ ไทย (Pongpiachan et al., 2013) โดยปริมาณพีเอเอชที่พบรายงานการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยจะมีระดับที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (Pongpiachan et al., 2013) อย่างไรก็ตามพีเอเอชเป็นสารมลพิษที่มีความคงทนต่อการย่อยสลาย ดังนั้นการปลดปล่อยพีเอเอชสู่สิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่องอาจทำให้เกิดการสะสมของพีเอเอชในสิ่งแวดล้อมในปริมาณที่มากกว่าค่าที่ยอมรับได้ในอนาคต

สิ่งแวดล้อมบริเวณที่มีการปนเปื้อนของพีเอเอชมักพบโลหะปนเปื้อนร่วมด้วย เช่น ตะกั่ว แคดเมียม

โครเมียม ทองแดง และวานาเดียม แหล่งกำเนิดของโลหะหนักที่มาจากแหล่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของพีเอเอชหรือกิจกรรมทางอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่อยู่ในบริเวณเดียวกัน (Mielke et al., 2001; Rachwall et al., 2015) ดังนั้นในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนด้วยพีเอเอชจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงบทบาทของโลหะที่ปนเปื้อนร่วมด้วย โครเมียมถูกใช้เป็นโลหะต้นแบบในการศึกษานี้เพราะพบปนเปื้อนร่วมกับพีแนนทรีนและไพรีนในสิ่งแวดล้อมได้ (Mielke et al., 2001; Rachwall et al., 2015) ถึงแม้รายงานการปนเปื้อนร่วมกันระหว่างสารมลพิษทั้งสามชนิดในดินของประเทศไทยจะมีข้อมูลที่จำกัด แต่มีโอกาสเกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยได้เช่นเดียวกับในต่างประเทศ

การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืชเป็นเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการบำบัดพีเอเอชที่ปนเปื้อนในดินได้หลายชนิด เช่น แอนทราซีน และฟลูออแรนทีน (Somtrakoon et al., 2014; 2015) การศึกษาส่วนใหญ่มักเน้นไปที่การใช้พืชเพื่อฟื้นฟูสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนด้วยสารมลพิษเพียงชนิดเดียว ทั้งที่การปนเปื้อนร่วมกันระหว่างพีเอเอชและโลหะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืชหลายประการ เช่น การบำบัดไพรีนโดยผักกาดเขียวปลี (*Brassica juncea*) ลดลงในสภาวะที่มีการปนเปื้อนทองแดงร่วมด้วยที่ระดับความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Chigbo et al., 2013)

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของโครเมียมไตรวาเลนซ์ต่อการบำบัดดินที่ปนเปื้อนพีแนนทรีนและไพรีนโดยการปลูกบวบเหลี่ยม ทั้งนี้มีรายงานว่าบวบเหลี่ยมสามารถบำบัดแอนทราซีนและฟลูออแรนทีนในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนโลหะร่วมด้วยได้ (Somtrakoon et al., 2014) จึงเป็นไปได้ว่าบวบเหลี่ยมจะสามารถบำบัด

พีเอเอชออกจากดินที่ปนเปื้อนร่วมกันระหว่างพีเอเอชและโลหะได้ด้วย

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมดิน

เก็บดินจากคณะเทคโนโลยีเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินคือพีเอช 8.9 ส่วนองค์ประกอบอื่นๆ ต่อดิน 100 กรัม เป็นดังนี้ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.21 กรัม ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 0.13 กรัม ปริมาณฟอสเฟตต่ำกว่า 0.29 ไมโครกรัม และปริมาณสารอินทรีย์ 1.78 กรัม ปริมาณโครเมียมทั้งหมดในดินระดับพื้นหลังเท่ากับ 16.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และไม่ปนเปื้อนทั้งพีแนนทรีนและไพรีนเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

2. การประเมินความเป็นพิษของโครเมียมต่อพืช

ดินที่ปนเปื้อนโครเมียมไตรวาเลนซ์เตรียมตามวิธีการของ Somtrakoon et al. (2015) โดยชั่งดินทั้งหมด 4 ส่วนๆ ละ 150 กรัม เพื่อเตรียมดินที่ปนเปื้อนโครเมียม 4 ระดับความเข้มข้น ซึ่งไม่รวมปริมาณของโครเมียมในระดับพื้นหลังที่พบในดิน เดิมโครเมียมคลอไรด์ ($\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (บริษัท Sigma-Aldrich สหรัฐอเมริกา ความบริสุทธิ์ ร้อยละ 96) ในดินแต่ละส่วนให้มีความเข้มข้นสุดท้ายของโครเมียมไตรวาเลนซ์เป็น 0.19, 1.95, 19.5 และ 39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อผสมดินทั้งหมดให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจึงแบ่งดินที่แต่ละระดับความเข้มข้นของโครเมียมออกเป็นสามส่วนๆ ละ 50 กรัมใส่ลงในภาชนะพลาสติกสำหรับเพาะเมล็ด ปรับความชื้นของดินด้วยน้ำกลั่นให้ดินมีค่าความจุความชื้นเป็นร้อยละ 60

การประเมินความเป็นพิษของโครเมียมทำตามวิธีของ Kirk et al. (2002) โดยใช้เมล็ดบวบเหลี่ยม

จากบริษัทฉว่ย่งเซ่งพันธุ์พืชแซในน้ำกลั่นเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเพาะเมล็ดบวบเหลี่ยมลงในดินปนเปื้อนโครเมียมไตรวาเลนท์ความเข้มข้นละ 3 ซีซี ซีซีละ 10 เมล็ด ทิ้งไว้ให้บวบเหลี่ยมงอกภายใต้อุณหภูมิห้องและได้รับแสงจากธรรมชาติ รดน้ำทุกวันเพื่อรักษาระดับความชื้นในดิน เมื่อครบ 10 วัน นำต้นกล้าบวบเหลี่ยมทั้งหมดมาวัดความยาว น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของทั้งยอดและราก ทดลองเช่นเดียวกันแต่เปลี่ยนเป็นใช้สารละลายโครเมียมออกไซด์ (CrO_3) (บริษัท Sigma-Aldrich สหรัฐอเมริกา ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98) เติมนลงในดิน เพื่อศึกษาความเป็นพิษของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ต่อบวบเหลี่ยม ผลการทดลองในขั้นตอนนี้นำไปใช้เลือกความเข้มข้นของโครเมียมสูงสุดที่ยังคงทำให้บวบเหลี่ยมเจริญได้ดีสำหรับการใช้ในการทดลองถัดไป

3. การทดลองฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนด้วยบวบเหลี่ยมในระดับกระถางทดลอง

3.1 เตรียมดินที่ปนเปื้อนพีเอเอช

เตรียมดินที่ปนเปื้อนพีแวนทรีนและไพรีนตามวิธีของ Somtrakoon et al. (2015) โดยดินที่ใช้เป็นดินที่เก็บจากคณะเทคโนโลยีเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เตรียมให้มีระดับความเข้มข้นของพีแวนทรีน (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98) และไพรีน (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98) อย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยเตรียมดินทั้งหมด 30 ชุด ชุดละ 1 กิโลกรัม

3.2 เตรียมดินที่ปนเปื้อนพีเอเอชและโครเมียม

แบ่งดินที่ปนเปื้อนพีแวนทรีนและไพรีนในข้อ 3.1 มา 20 ชุด เติมสารละลายโครเมียมคลอไรด์ลงสู่ดินที่ปนเปื้อนพีแวนทรีนและไพรีนให้มีความเข้มข้นของโครเมียมไตรวาเลนท์ในดินเป็น 39 มิลลิกรัมต่อ

กิโลกรัม โดยไม่รวมปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมในระดับพื้นหลังในดิน ผสมส่วนผสมให้เข้ากันดี ถ้ายดินแต่ละชุดที่เตรียมไว้ลงใส่กระถางพลาสติกเพื่อปลูกบวบเหลี่ยมต่อไป

3.3 การปลูกบวบเหลี่ยมในดินที่ปนเปื้อน

การบำบัดดินที่ปนเปื้อนพีเอเอชและโครเมียมทำในเรือนเพาะชำ โดยปลูกบวบเหลี่ยมที่มีอายุ 10 วันลงในดิน 1 กิโลกรัมที่บรรจุในกระถางๆ ละ 1 ต้น โดยแบ่งดินที่ใช้ในการทดลองเป็น 4 ชุด ดังนี้ 1) ปลูกพืชในดินที่ปนเปื้อนพีแวนทรีน ไพรีน และโครเมียม 2) ปลูกพืชในดินที่ปนเปื้อนเฉพาะพีแวนทรีนและไพรีน 3) ปลูกพืชในดินที่ไม่ปนเปื้อนพีแวนทรีน ไพรีน และโครเมียม 4) ดินที่ปนเปื้อนพีแวนทรีน ไพรีน และโครเมียมแต่ไม่ปลูกพืช ทำการทดลองทั้งหมด 5 ซีซี เก็บตัวอย่างในวันที่ 30 และ 50 ของการทดลองกระถางที่เก็บตัวอย่างแล้วจะตัดทิ้งไป สลับตำแหน่งของกระถางทุกอาทิตย์เพื่อลดความลำเอียงจากการได้รับแสง รดน้ำบวบเหลี่ยมด้วยน้ำกลั่นทุกวันเพื่อรักษาความชื้นของดินให้อยู่ที่ร้อยละ 60 เป็นเวลา 50 วันของการทดลอง เก็บตัวอย่างดิน 1 กรัมจากทุกกระถางในแต่ละชุดการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปริมาณพีแวนทรีนและไพรีนที่เหลือในดินด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี เก็บตัวอย่างพืชจากแต่ละกระถางทดลองเพื่อวัดความยาว น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของทั้งรากและยอด นับจำนวนของยอดต่อพืชหนึ่งต้น ความสูงของใบ ความกว้างของใบ น้ำหนักสดของใบ ปริมาณพีแวนทรีน ไพรีน และโครเมียมที่สะสมในยอดและรากของพืช

4. การสกัดและการวิเคราะห์พีเอเอช

นำตัวอย่างดิน 1 กรัมผสมกับโซเดียมซัลเฟต แอนไฮไดรส์ในอัตราส่วน 1:1 แล้วเติมฟลูออรีน (Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98) เป็น internal standard สกัดดินตัวอย่างด้วย

ไดคลอโรมีเทนเป็นเวลา 8 ชั่วโมงด้วยชุดสกัดซอกซ์เลต (soxhlet) ลดปริมาตรให้เหลือ 1 มิลลิลิตรด้วยเครื่องกลั่นสารระเหยแบบหมุน (rotary evaporator) เก็บตัวอย่างพืชจากทั้ง 5 ซ้ำซึ่งปลูกในดินที่มีโครเมียมในระดับพื้นหลังและเติมพีเอเอชมารวมกัน แยกส่วนของยอดและรากออกจากกัน นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C จนกว่าน้ำหนักแห้งจะคงที่ ผสมด้วยโซเดียมซัลเฟต แอนไฮไดรรัส สกัดและลดปริมาตรเช่นเดียวกับการสกัดพีเอเอชออกจากดิน วิเคราะห์ปริมาณพีแนนทรินและไพรีนในสารสกัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Shimadzu GC AOC-5000) ติดตั้งร่วมกับดีเทกเตอร์แมสเปกโทรสโคปี (Shimadzu MS-QP-2010) สภาวะในการวิเคราะห์พีเอเอชใช้ตามวิธีของ Somtrakoon et al. (2015) ซึ่งร้อยละการได้กลับคืน (% recovery) ของการวิเคราะห์พีเอเอชเป็นร้อยละ 95.9

5. การวิเคราะห์โครเมียม

เก็บตัวอย่างดิน 1 กรัม และตัวอย่างพืชจากทุกกระถางจากแต่ละชุดการทดลองในวันสุดท้ายของการปลูกพืชมาวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมทั้งหมดในดินและในชีวมวลของพืช โดยผสมดินตัวอย่างจากทั้ง 5 ซ้ำก่อนแล้วจึงชั่งดินที่ผ่านการผสมแล้วเพียง 1 กรัมเพื่อใช้เป็นตัวแทน เก็บตัวอย่างพืชจากทั้ง 5 ซ้ำ นำมาอบแห้งทั้งต้นโดยไม่แยกส่วนของยอดและราก ส่งตัวอย่างดินและตัวอย่างพืชไปวิเคราะห์ที่บริษัท อีสเทิร์นไทยคอนซัลติ้ง 1992 จำกัด

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ร้อยละของพีเอเอชที่เหลือในดินจะแสดงด้วยค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วย one-way ANOVA จากนั้นวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วย Turkey ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ผลการวิจัย

1. ความเป็นพิษของโครเมียมต่อต้นกล้าบวบเหลี่ยม

การประเมินความเป็นพิษของโครเมียมต่อต้นกล้าของบวบเหลี่ยมทำเพื่อคัดเลือกความเข้มข้นโครเมียมสูงสุดที่บวบเหลี่ยมเจริญได้เป็นปกติ ผลการทดลองการประเมินความเป็นพิษของโครเมียมต่อต้นกล้าบวบเหลี่ยมแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมไตรวาเลนท์ระหว่าง 0.19-39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญของต้นกล้าบวบเหลี่ยม โดยความยาวราก น้ำหนักสดของราก น้ำหนักแห้งของรากบวบเหลี่ยมที่เจริญในดินที่เติมโครเมียมไม่ต่างจากรากบวบเหลี่ยมที่เจริญในดินที่ไม่เติมโครเมียม นอกจากนี้ในดินที่เติมโครเมียมไตรวาเลนท์ที่ระดับสูงยังกระตุ้นการเจริญของยอดบวบเหลี่ยมได้ด้วย โดยความยาวยอด และน้ำหนักสดของยอดบวบเหลี่ยมที่เจริญในดินที่เติมโครเมียมไตรวาเลนท์ที่ระดับความเข้มข้น 39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมากกว่าความยาวยอด และน้ำหนักสดของยอดบวบเหลี่ยมที่เจริญในดินที่ไม่เติมโครเมียม ส่วนโครเมียมเฮกซะวาเลนท์เป็นพิษต่อการเจริญของบวบเหลี่ยมอย่างชัดเจน ที่ระดับความเข้มข้น 0.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมทำให้ความยาวรากของบวบเหลี่ยมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวรากของพืชที่ปลูกบนดินไม่เติมโครเมียม และที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดทำให้เมล็ดบวบเหลี่ยมไม่งอก ดังนั้นจึงเลือกใช้โครเมียมไตรวาเลนท์ที่ระดับความเข้มข้น 39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในการทดลองถัดไป

2. การเจริญของบวบเหลี่ยมในดินที่ปนเปื้อนพีแนนทริน ไพรีน และโครเมียม

การเจริญเติบโตของยอดและรากบวบเหลี่ยมในดินที่ปนเปื้อนพีแนนทริน ไพรีน และโครเมียมไตรวาเลนท์แสดงดังตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ การ

ปนเปื้อนร่วมกันของพีแนทรีน ไพรีน และโครเมียม เหลี่ยมมีค่าระหว่าง 97.4-121.5 เซนติเมตร 7.8-8.9 ไตรวาเลนท์ไม่ส่งผลต่อการเจริญของยอดและรากบวบ กรัม และ 0.77-0.96 กรัม ตามลำดับ ผลการทดลอง เหลี่ยมในวันที่ 50 ของการย้ายต้นกล้า โดยความยาว แสดงดังตารางที่ 2 ส่วนความยาวรากน้ำหนักสดของ ยอดและความยาวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของ ราก และน้ำหนักแห้งของรากบวบเหลี่ยมมีค่าระหว่าง ทั้งยอดและรากบวบเหลี่ยมที่เจริญในดินที่ปนเปื้อนไม่ 15.2-22.8 เซนติเมตร 0.2-0.4 กรัม และ 0.03-0.05 แตกต่างจากรากบวบเหลี่ยมที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อน กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ความยาวยอด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของยอดบวบ

ตารางที่ 1 การเจริญเติบโตของต้นกล้าบวบเหลี่ยมในดินที่เติมโครเมียมไตรวาเลนท์และเฮกซะวาเลนท์เป็นเวลา 10 วัน

โครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	การเจริญของยอด			การเจริญของราก		
	ความยาวยอด (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด ของยอด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง ของยอด (กรัม)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด ของราก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง ของราก (กรัม)
โครเมียมไตรวาเลนท์						
ไม่เติม Cr	19.4 ± 2.0b	1.2 ± 0.2b	0.06 ± 0.0a	8.4 ± 3.2a	0.2 ± 0.0a	0.01 ± 0.0a
0.19	21.8 ± 1.2ab	1.5 ± 0.2ab	0.07 ± 0.0a	7.4 ± 3.4a	0.2 ± 0.1a	0.02 ± 0.0a
1.95	17.0 ± 3.0b	1.3 ± 0.2ab	0.07 ± 0.0a	8.9 ± 3.6a	0.3 ± 0.1a	0.02 ± 0.0a
19.5	19.2 ± 2.5b	1.6 ± 0.3a	0.07 ± 0.0a	8.0 ± 2.0a	0.3 ± 0.0a	0.02 ± 0.0a
39	24.1 ± 1.1a	1.6 ± 0.1a	0.07 ± 0.0a	8.2 ± 1.9a	0.2 ± 0.0a	0.02 ± 0.0a
โครเมียมเฮกซะวาเลนท์						
ไม่เติม Cr	9.5 ± 2.0a	1.0 ± 0.3a	0.06 ± 0.0a	10.0 ± 3.5a	0.2 ± 0.0a	0.02 ± 0.0a
0.19	8.1 ± 2.1ab	0.8 ± 0.3ab	0.06 ± 0.0a	6.4 ± 2.4b	0.2 ± 0.1a	0.02 ± 0.0a
1.95	7.3 ± 0.8b	0.8 ± 0.3ab	0.07 ± 0.0a	5.0 ± 2.7b	0.2 ± 0.1a	0.02 ± 0.0a
19.5	6.7 ± 1.8b	0.6 ± 0.2b	0.06 ± 0.0a	4.6 ± 2.0b	0.2 ± 0.1a	0.02 ± 0.0a

*อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างทรีทเมนต์ในคอลัมน์เดียวกัน

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโตของยอดของบวบเหลี่ยมในดินที่ปนเปื้อนพีแนทรีน ไพรีน และโครเมียมไตรวาเลนท์ในวันที่ 30 และ 50 ของการย้ายต้นกล้า

สภาพดิน	วันที่ 30			วันที่ 50		
	ความยาวยอด (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด ของยอด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง ของยอด (กรัม)	ความยาวยอด (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด ของยอด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง ของยอด (กรัม)
ไม่เติม Cr	92.2 ± 13.3a	5.2 ± 1.1a	0.4 ± 0.0a	121.5 ± 20.2a	7.8 ± 2.2a	0.96 ± 0.0a
PP	66.4 ± 15.2b	4.0 ± 1.0a	0.2 ± 0.1b	100.4 ± 8.2a	8.2 ± 1.9a	0.83 ± 0.2a
PP + Cr	60.6 ± 9.1b	4.0 ± 0.4a	0.2 ± 0.0b	97.4 ± 19.5a	8.9 ± 1.6a	0.77 ± 0.2a

*อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างทรีทเมนต์ในคอลัมน์เดียวกัน

ตัวย่อ: PP = พีแนทรีนและไพรีน

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโตของรากของบวบเหลี่ยมในดินที่ปนเปื้อนพีแนนนทริน ไพรีนและโครเมียมไตรวาเลนซ์ ในวันที่ 30 และ 50 ของการย้ายต้นกล้า

สภาพดิน	วันที่ 30			วันที่ 50		
	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด ของราก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง ของราก (กรัม)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด ของราก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง ของราก (กรัม)
ไม่เติม Cr	3.6 ± 0.4a	0.06 ± 0.02b	0.01 ± 0.0a	22.8 ± 9.8a	0.4 ± 0.4a	0.05 ± 0.03a
PP	3.4 ± 0.8a	0.10 ± 0.03a	0.01 ± 0.0a	15.7 ± 4.6a	0.3 ± 0.1a	0.03 ± 0.00a
PP + Cr	3.3 ± 2.2a	0.08 ± 0.01ab	0.01 ± 0.0a	18.2 ± 5.6a	0.2 ± 0.1a	0.03 ± 0.02a

*อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างพรีทเมนต์ในคอลัมน์เดียวกัน

ตัวย่อ: PP = พีแนนนทรินและไพรีน

สำหรับลักษณะสัณฐานวิทยาของใบบวบเหลี่ยมพบว่าดินที่ปนเปื้อนพีแนนนทรินและไพรีนไม่ส่งผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยาของใบ ได้แก่ จำนวนกิ่งต่อต้น ความสูงของใบ ความกว้างของใบ น้ำหนักสดของใบในวันที่ 50 ของการย้ายต้นกล้า ส่วนดินที่ปนเปื้อนร่วมกันระหว่างพีแนนนทริน ไพรีน และโครเมียมไตรวาเลนซ์ส่งผลให้ความกว้างของใบบวบเหลี่ยมลดลงเหลือเพียง 5.1 เซนติเมตร ในขณะที่ความกว้างของใบบวบเหลี่ยมที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนเท่ากับ 6 เซนติเมตร (ตารางที่ 4) นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการปลูกบวบเหลี่ยมในดินที่ปนเปื้อนร่วมกัน

ระหว่างพีแนนนทริน ไพรีน และโครเมียมไตรวาเลนซ์เป็นเวลา 50 วัน ของการย้ายต้นกล้าส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบต่ำกว่าบวบเหลี่ยมที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อนและบวบเหลี่ยมที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนพีแนนนทรินและไพรีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนอัตราส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีในใบบวบเหลี่ยมที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนร่วมกันระหว่างพีแนนนทริน ไพรีน และโครเมียมไตรวาเลนซ์สูงกว่าบวบเหลี่ยมที่ปลูกในดินที่ไม่ปนเปื้อน (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 4 ลักษณะสัณฐานวิทยาของใบบวบเหลี่ยมที่เจริญในดินที่ปนเปื้อนพีแนนนทริน ไพรีนและโครเมียมไตรวาเลนซ์ในวันที่ 50 ของการย้ายต้นกล้า

สภาพดิน	จำนวนกิ่งต่อต้น	ความสูงของใบ (เซนติเมตร)	ความกว้างของใบ (เซนติเมตร)	น้ำหนักสดของใบ (กรัม)
ไม่เติม Cr	2.6 ± 0.5a	4.7 ± 0.9a	6.0 ± 0.5a	0.28 ± 0.1a
PP	3.8 ± 1.1a	4.7 ± 0.8a	5.4 ± 0.4ab	0.26 ± 0.0a
PP + Cr	3.2 ± 0.8a	5.0 ± 0.2a	5.1 ± 0.4b	0.27 ± 0.0a

*อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างพรีทเมนต์ในคอลัมน์เดียวกัน

ตัวย่อ: PP = พีแนนนทรินและไพรีน

ตารางที่ 5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบบวบเหลี่ยมที่เจริญในดินที่ปนเปื้อนพีแนทรีนและไพรีนและโครเมียม-ไตรวาเลนท์ในวันที่ 30 และ 50 ของการย้ายต้นกล้า

สภาพดิน	วันที่ 30				วันที่ 50			
	คลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร)	คลอโรฟิลล์บี (มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร)	คลอโรฟิลล์ ทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร)	อัตราส่วน a/b	คลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัม ต่อมิลลิลิตร)	คลอโรฟิลล์ บี (มิลลิกรัม ต่อมิลลิลิตร)	คลอโรฟิลล์ ทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร)	อัตราส่วน a/b
	ไม่เติม Cr	31.0 ± 0.9a	31.1 ± 3.9a	63.9 ± 3.5a	1.0 ± 0.1a	28.1 ± 0.2a	46.8 ± 1.6a	76.5 ± 1.5a
PP	29.8 ± 1.0a	36.1 ± 11.5a	67.5 ± 10.5a	0.9 ± 0.3a	30.8 ± 2.1a	39.7 ± 2.3a	72.2 ± 0.7a	0.78 ± 0.1ab
PP + Cr	30.6 ± 1.4a	34.3 ± 4.2a	66.7 ± 3.6a	0.9 ± 0.1a	29.7 ± 0.7a	27.5 ± 1.2b	58.8 ± 1.2b	1.08 ± 0.1a

*อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างทรีทเมนต์ในคอลัมน์เดียวกัน
ตัวย่อ: PP = พีแนทรีนและไพรีน

3. การลดปริมาณพีแนทรีนและไพรีนโดยบวบเหลี่ยม

ปริมาณพีแนทรีนและไพรีนในดินที่ปลูกบวบเหลี่ยมและไม่ปลูกบวบเหลี่ยมแสดงดังตารางที่ 6 การปลูกบวบเหลี่ยมไม่สามารถลดปริมาณพีแนทรีนในดินได้มากกว่าในดินที่ไม่ปลูกพืช และการเติมโครเมียมไตรวาเลนท์ลงสู่ดินก็ไม่ส่งผลเสียต่อการลดปริมาณพีแนทรีนโดยบวบเหลี่ยม ปริมาณพีแนทรีนที่เหลืออยู่ในดินที่ปลูกบวบเหลี่ยมไม่ต่างจากในดินที่ไม่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณพีแนทรีนที่เหลือในดินที่ปนเปื้อนพีแนทรีนและไพรีน หรือในดินที่ปนเปื้อนร่วมกันระหว่างพีแนทรีน ไพรีน และโครเมียมไม่ว่าจะปลูกบวบเหลี่ยมหรือไม่ก็ตามมีค่าระหว่างร้อยละ 14.5-34.4 ในวันที่ 30 ของการย้ายต้นกล้า ส่วนในวันที่ 50 ของการย้ายต้นกล้ามีปริมาณพีแนทรีนเหลืออยู่ระหว่างร้อยละ 18.3-43.2 (ตารางที่ 6)

ปริมาณไพรีนที่ลดลงจากการปลูกบวบเหลี่ยมสอดคล้องกับปริมาณพีแนทรีนที่ลดลง การปลูกบวบเหลี่ยมในดินที่เติมโครเมียมช่วยลดปริมาณไพรีนลงได้เร็วกว่าในดินที่ไม่ปลูกพืชในวันที่ 30 ของการย้ายต้น

กล้า ปริมาณไพรีนที่เหลืออยู่ในดินที่ปนเปื้อนโครเมียมและปลูกบวบเหลี่ยมเท่ากับร้อยละ 24.4 ในขณะที่ในดินที่เติมโครเมียมแต่ไม่ปลูกบวบเหลี่ยมมีปริมาณไพรีนเหลืออยู่ร้อยละ 61 อย่างไรก็ตามในวันที่ 50 ของการทดลองกลับพบว่าปริมาณไพรีนที่เหลืออยู่ในดินที่ปนเปื้อนพีแนทรีนและไพรีน หรือดินที่ปนเปื้อนร่วมกันระหว่างพีแนทรีน ไพรีน และโครเมียมไม่ว่าจะปลูกบวบเหลี่ยมหรือไม่ก็ตามมีค่าระหว่างร้อยละ 22.3-40.9 (ตารางที่ 6)

4. ปริมาณพีแนทรีนและไพรีนในชีวมวลของบวบเหลี่ยม

การสะสมพีแนทรีนและไพรีนในยอดและรากของบวบเหลี่ยมแสดงดังตารางที่ 7 โดยพบการสะสมสารทั้งสองในปริมาณน้อยและมีการสะสมในส่วนของรากมากกว่ายอด ปริมาณพีแนทรีนที่พบในยอดและรากของบวบเหลี่ยมมีค่า 3.1 และ 13.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของพืชในวันที่ 50 ของการย้ายต้นกล้า ส่วนปริมาณไพรีนที่พบในยอดและรากของบวบเหลี่ยมมีค่าเป็น 4.6 และ 21.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของพืชในวันที่ 50 ของการย้ายต้นกล้า

ตารางที่ 6 ร้อยละของพีแนทรีนและไพรีนที่เหลื่ออยู่ในดินที่ปลูกบวบเหลี่ยมเป็นเวลา 30 และ 50 วัน

สภาพดิน	ร้อยละที่เหลื่ออยู่	
	พีแนทรีน	ไพรีน
วันที่ 30		
ไม่ปลูกพืช ไม่เติม Cr	26.9 ± 16.1ab	39.6 ± 9.5ab
ไม่ปลูกพืช เติม Cr	34.3 ± 16.0ab	61.0 ± 10.0a
บวบเหลี่ยม ไม่เติม Cr	14.5 ± 3.2b	26.3 ± 6.7b
บวบเหลี่ยม เติม Cr	29.3 ± 8.0ab	24.4 ± 13.6b
วันที่ 50		
ไม่ปลูกพืช ไม่เติม Cr	21.8 ± 2.1ab	30.7 ± 6.2ab
ไม่ปลูกพืช เติม Cr	43.2 ± 5.1a	40.9 ± 3.3ab
บวบเหลี่ยม ไม่เติม Cr	18.3 ± 4.2ab	22.3 ± 7.7b
บวบเหลี่ยม เติม Cr	23.3 ± 9.8ab	29.5 ± 7.3b

ความเข้มข้นเริ่มต้นของพีแนทรีนและไพรีนในดินเป็น 100 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างทรีทเมนต์

5. ปริมาณโครเมียมทั้งหมดในดินและในชีวมวลของบวบเหลี่ยม

ปริมาณโครเมียมทั้งหมดในดินที่ปลูกบวบเหลี่ยมหลังจากเติมโครเมียมคลอไรด์ลงในดินซึ่งมีโครเมียมในระดับพื้นหลัง 16.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเท่ากับ 40.3, 37.4 และ 48.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในวันที่ 0, 30 และ 50 ของการทดลองตามลำดับ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าบวบเหลี่ยมไม่ใช่พืชที่มีความสามารถในการสะสมโครเมียม โดยตรวจพบ

ปริมาณโครเมียมทั้งหมดในบวบเหลี่ยมทั้งต้นมีค่าเพียง 6.9 และ 6.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของพืช ในวันที่ 30 และวันที่ 50 ของการย้ายต้นกล้า ตามลำดับ ดังแสดงตารางที่ 8 ทั้งนี้พืชที่มีความสามารถในการสะสมโลหะในปริมาณสูงมาก (hyperaccumulator) จะต้องมีสะสมโลหะไว้ในชีวมวลได้น้อย 1,000-10,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของชีวมวลของเนื้อเยื่อพืช (Tsao, 2003)

ตารางที่ 7 ปริมาณพีแนทรีนและไพรีนในชีวมวลของบวบเหลี่ยมในวันที่ 50 ของการย้ายต้นกล้า ซึ่งปลูกในดินที่มีโครเมียมในระดับพื้นหลัง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของพืช)

ชนิดของพีเอเอช	ยอด	ราก
พีแนทรีน	3.1	13.0
ไพรีน	4.6	21.9

ตารางที่ 8 ปริมาณโครเมียมทั้งหมดที่เหลืออยู่ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของดิน) และชีวมวลของบวบเหลี่ยมในวันที่ 50 ของการย้ายต้นกล้าซึ่งปลูกในดินที่เติมโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของพืช)

โครเมียมทั้งหมดที่เหลืออยู่	
ดิน	
ไม่เติม Cr	16.5
วันที่ 0 เติม Cr	40.3
วันที่ 30 เติม Cr	37.4
วันที่ 50 เติม Cr	48.4
ชีวมวลของบวบเหลี่ยม	
วันที่ 30	6.9
วันที่ 50	6.6

วิจารณ์ผลการวิจัย

ความเป็นพิษของโครเมียมต่อพืชจะขึ้นอยู่กับสถานะทางออกซิเดชันของโครเมียม โดยโครเมียมไตรวาเลนต์มีรายงานว่ามีความเป็นพิษต่อพืชได้ต่ำกว่าโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ และยังเป็นธาตุอาหารรองของพืชและสิ่งมีชีวิตบางชนิด การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมีแนวโน้มติดขัดอยู่กับอนุภาคของดิน (Ahmed, 2015; Shanker et al., 2005) โครเมียมไตรวาเลนต์จึงส่งผลเป็นพิษต่อบวบเหลี่ยมต่ำในการศึกษานี้ โดยส่งผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยาของใบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการปนเปื้อนของโครเมียมไตรวาเลนต์ร่วมกับพีแนทรีนและไพรีนในดินไม่ส่งผลให้บวบเหลี่ยมแสดงอาการจากการได้รับพิษของโครเมียมออกมา โดยความยาวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของราก ความยาวยอด น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของยอดบวบเหลี่ยมมีค่าใกล้เคียงกับบวบเหลี่ยมที่เจริญในดินที่ไม่ปนเปื้อนหรือปนเปื้อนเพียงพีแนทรีนและไพรีนเท่านั้น พีชวงศ์แตงมีรายงานว่าสามารถบำบัดพีเอเอชออกจากดินได้ด้วยกลไกการสะสม เช่น *Cucurbita pepo* spp. pepo cv. Raven และ *Cucurbita pepo* spp.

texanan cv. Sunray สะสมไพรีนในส่วนของยอดและราก (Kobayashi et al., 2008) นอกจากนี้บวบเหลี่ยมมีรายงานว่ากระตุ้นการบำบัดพีเอเอช เช่น แอนทราซีนและฟลูออแรนทีน ออกจากดินได้ด้วยกลไกกระตุ้นการย่อยสลาย (Somtrakoon et al., 2014) สำหรับกลไกนี้อาศัยการปลูกพืชเพื่อกระตุ้นการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์โดยจุลินทรีย์บริเวณรอบรากพืช โดยอาศัยสารที่หลั่งจากรากพืช (root exudate) ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์บริเวณรอบรากพืชได้ สารที่หลั่งจากรากพืชบางชนิดยังละลายได้ดีในไขมันจึงชักนำให้จุลินทรีย์บริเวณรอบรากพืชผลิตสารลดแรงตึงผิวซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำของสารมลพิษอินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้ นอกจากนี้สารที่หลั่งจากรากพืชยังอาจทำหน้าที่เป็นซับสเตรตหลักช่วยชักนำการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์ด้วยวิถีเมแทบอลิซึมร่วมอีกด้วย (Pilon-Smits, 2005)

อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้กลับพบว่าการปลูกบวบเหลี่ยมไม่ช่วยให้ปริมาณพีแนทรีนและไพรีนลดลงได้ดีไปกว่าในดินที่ไม่ปลูกพืช รวมทั้งพบการสะสม

ทั้งพีแวนทรินกับไพรีนในชีวมวลของพืชน้อยมาก ผลการทดลองสอดคล้องกันทั้งในดินที่ปนเปื้อนเพียงพีแวนทรินกับไพรีน หรือพีแวนทริน ไพรีน และโครเมียมไตรวาเลนท์ อาจเพราะดินที่นำมาใช้ในการทดลองมีจุลินทรีย์ที่สามารถปรับตัวให้ย่อยสลายพีแวนทรินและไพรีนได้อยู่แล้ว การปลูกบวบเหลี่ยมและสารที่หลังจากรากบวบเหลี่ยมจึงไม่ช่วยส่งเสริมการย่อยสลายพีเอเอซทั้งสองชนิด นอกจากนี้สารที่หลังจากรากของบวบเหลี่ยมอาจไม่มีคุณสมบัติชักนำให้จุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ขึ้นย่อยสลายสารที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนอะโรมาติกอย่างเช่นพีเอเอซได้ซึ่งสมมุติฐานนี้ยังไม่ได้รับการยืนยันและต้องทำการวิจัยเพื่อศึกษาชนิดและลักษณะของสารที่หลังจากรากบวบเหลี่ยมต่อไป โดยการปลูกบวบเหลี่ยมในการศึกษานี้มีประโยชน์เพียงช่วยเร่งระยะเวลาในการย่อยสลายไพรีนให้เร็วขึ้นเท่านั้น แต่เมื่อปลูกพืชต่อไปจนถึงวันที่ 50 ของการทดลองกลับไม่ช่วยให้ปริมาณไพรีนลดลงได้มากกว่าเดิม การปลูกพืชจึงไม่จำเป็นในดินที่มีจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารมลพิษได้อยู่แล้ว โดยระยะเวลาการย่อยสลายไพรีนที่เกิดขึ้นเร็วขึ้นในดินที่ปลูกบวบเหลี่ยมอาจเกิดจากการปลูกพืชช่วยปรับสภาวะในดินให้เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วบริเวณรอบรากพืช จุลินทรีย์ที่อาศัยในดินที่ปลูกบวบเหลี่ยมจึงเจริญได้เร็วและเพิ่มจำนวนขึ้นมาย่อยสลายสารมลพิษที่ปนเปื้อนในดินได้เร็วกว่า ชนิดของจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายพีเอเอซนั้น มักเป็นจุลินทรีย์ที่พบในแหล่งปนเปื้อนหรือจุลินทรีย์ที่อาศัยบริเวณรอบรากพืชก็ได้ โดยตัวอย่างชนิดของแบคทีเรียที่พบว่าย่อยสลายพีเอเอซได้และคัดแยกได้จากแหล่งปนเปื้อนมักเป็นแบคทีเรียในจีนัส *Pseudomonas* (Thomas et al., 2016), *Steno-throphomonas* และ *Citrobacter* (Kuppusamy et al., 2016) เป็นต้น

การศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาอื่นๆ ที่พบว่า การปลูกพืชไม่ช่วยกระตุ้นการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์ เช่น การปลูกหญ้าไรน์ (*Lolium multiflorum*) ไม่สนับสนุนการบำบัดไพรีนที่ปนเปื้อนในระดับภาคสนามจำลองเช่นกัน แต่ทำให้ระยะเวลาปรับตัวก่อนเกิดการย่อยสลายไพรีนนานกว่าในดินที่ไม่ปลูกพืช คาดว่าในดินที่ปลูกพืชนั้นจุลินทรีย์สามารถใช้สารจากรากพืชบางชนิดที่ย่อยสลายได้ง่ายกว่าเป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อการเจริญก่อนเกิดการย่อยสลายไพรีน (Lalande et al., 2003)

ในการศึกษานี้พบว่าโครเมียมไตรวาเลนท์จะไม่ส่งผลต่อการบำบัดพีแวนทรินและไพรีนโดยบวบเหลี่ยม โดยในการศึกษาของ Zhang et al. (2012) รายงานเช่นกันว่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินไม่ส่งผลต่อการบำบัดพีแวนทรินและไพรีนด้วยการปลูก *Juncus subsecundus* ปริมาณพีแวนทรินและไพรีนลดลงจากดินบริเวณไรโซสเฟียร์ประมาณร้อยละ 97 และร้อยละ 43 หลังจาก 10 สัปดาห์ของการเจริญของพืชตามลำดับ โดยกลไกการลดปริมาณพีเอเอซออกจากดินด้วยการปลูกพืชคาดว่ามาจากการปลูกพืชช่วยสนับสนุนกิจกรรมการย่อยสลายสารพีเอเอซโดยจุลินทรีย์บริเวณรอบราก รวมทั้งพีเอเอซยังสามารถสะสมในชีวมวลของพืชในปริมาณเล็กน้อยด้วย (Zhang et al., 2012) นอกจากนี้ในรายงานการศึกษานี้สนับสนุนว่าการปนเปื้อนร่วมกันระหว่างโลหะและสารมลพิษอินทรีย์จะทำให้ความเป็นพิษของโลหะต่อพืชลดลงได้ด้วย เช่น ความเป็นพิษของแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0, 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อ *Juncus subsecundus* ลดลงเมื่อมีการปนเปื้อนของพีแวนทรินและไพรีนร่วมด้วย (Zhang et al., 2012) หรือการปนเปื้อนของไพรีนที่ระดับความเข้มข้น 50, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสามารถลดความเป็นพิษของ

ทองแดงต่อข้าวโพดได้ (Lin et al., 2008) เป็นต้น โดยมีสมมุติฐานว่าการปนเปื้อนร่วมกันระหว่างโลหะและสารมลพิษอินทรีย์สามารถลดอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับพืชได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดและคุณสมบัติของสารมลพิษ คุณสมบัติของดิน ชนิดของพืชและระยะเวลาการเจริญของพืช แต่ก็ยังไม่ทราบกลไกที่แน่นอนในการที่การปนเปื้อนร่วมกันของสารมลพิษจะช่วยลดความเป็นพิษต่อพืชได้อย่างไร (Zhang et al., 2012)

การที่โครเมียมเฮกซะวาเลนต์เป็นพืชต่อบวบเหลี่ยมมาก และบวบเหลี่ยมไม่ช่วยกระตุ้นการย่อยสลายพีเอเอชและสะสมโครเมียมได้ในปริมาณที่ต่ำมาก และพบการสะสมที่รากมากกว่ายอดจึงทำให้บวบเหลี่ยมไม่ใช่พืชที่เหมาะสมต่อการปลูกเพื่อบำบัดพีแนนทริน ไพริน และโครเมียมที่ปนเปื้อนในดิน เนื่องจากตามปกติโครเมียมเป็นธาตุที่ถูกลำเลียงเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชได้ยากอยู่แล้ว และถึงแม้จะนำเข้าสู่เนื้อเยื่อที่รากได้ แต่การลำเลียงโครเมียมไปจัดเก็บในส่วนของลำต้นเหนือดินเป็นไปได้ยาก (Augustynowicz et al., 2010) โดยเฉพาะโครเมียม ไตรวาเลนต์ซึ่งเป็นรูปของโครเมียมที่เคลื่อนย้ายเข้าสู่พืชได้ยาก (Shanker et al., 2005) เนื่องจากมักพบในรูปของประจุบวกทำให้สามารถจับกับประจุลบของพื้นผิวรากพืชหรือถูกซั้กับอนุภาคที่มีประจุลบของดิน (Augustynowicz et al., 2010) จึงมักไม่พบการสะสมโครเมียมในพืช

สรุปผลการวิจัย

บวบเหลี่ยมเป็นพืชที่ไม่เหมาะสมต่อการบำบัดดินที่ปนเปื้อนร่วมกันระหว่างพีแนนทริน ไพริน และโครเมียมไตรวาเลนต์ เพราะการปลูกบวบเหลี่ยมไม่ช่วยสนับสนุนการย่อยสลายพีแนนทรินและไพรินได้มากขึ้น รวมทั้งยังพบการสะสมพีเอเอชทั้งสองและโครเมียมในปริมาณที่น้อยมากในชีวมวลของพืช

คำขอบคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประจำปีงบประมาณ 2559

เอกสารอ้างอิง

- Ahmed, M. (2015). Enhancing phytoremediation of chromium-stressed soils through plant growth promoting bacteria. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* 13: 51-58.
- Augustynowicz, J., Grosicki, M., Hanus-Fajerska, E., Lekka, M., Waloszek, A. and Kotoczek, H. (2010). Chromium (VI) bioremediation by aquatic macrophyte *Callitriche cophocarpa* Sendtn. *Chemosphere* 79: 1077-1083.
- Chigbo, C., Batty, L., and Bartlett, R. (2013). Interactions of copper and pyrene on phytoremediation potential of *Brassica juncea* in copper-pyrene co-contaminated soil. *Chemosphere* 90: 2542-2548.
- Kirk, J.L., Klimomos, J.N., Lee, H. and Trevors, J.T. (2002). Phytotoxicity assay to assess plant species for phytoremediation of petroleum-contaminated soil. *Bioremediation Journal* 6: 57-63.
- Kobayashi, T., Navarro, R.R., Tatsumi, K. and Iimura, Y. (2008). Influence of compost amendment on pyrene availability from artificially spiked soil to two subspecies of *Cucurbita pepo*. *Science of the Total Environment* 404: 1-9.
- Kuppasamy, S., Thavamani, P., Megharaj, M., Lee, Y.B. and Naidu R. (2016). Isolation and characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) degrading, pH tolerant, N-fixing and P-solubilizing novel bacteria from manufactured gas plant (MGP) site

- soils. *Environmental Technology and Innovation* 6: 204-219.
- Lalande, T.L., Skipper, H.D., Wolf, D.C., Reynolds, C.M., Freedman, D.L., Pinkerton, B.W., Hartel, P.G. and Grimes, L.W. (2003). Phytoremediation of pyrene in a Cecil soil under field conditions. *International Journal of Phytoremediation* 5: 1-12.
- Lin, Q., Shen, K-L, Zhao, H-M, Li, W-H. (2008). Growth response of *Zea mays* L. in pyrene-copper co-contaminated soil and the fate of pollutants. *Journal of Hazardous Materials* 150: 515-521.
- Mielke, H.W., Wang, G., Gonzales, C.R., Le. B., Quach, V.N. and Mielke, P.W. (2001). PAH and metal mixtures in New Orleans soils and sediments. *Science of the Total Environment* 281: 217-227.
- Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology* 56: 15-39.
- Pongpiachan, S., Tipmanee, D., Deelaman, W., Muprasit, J., Feldens, P. and Schwarzer, K. (2013). Risk assessment of the presence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal areas of Thailand affected by the 2004 tsunami. *Marine Pollution Bulletin* 76: 370-378.
- Rachwal, M., Magiera, T. and Wawer, M. (2015). Coke industry and steel metallurgy as the source of soil contamination by technogenic magnetic particles, heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Chemosphere* 138: 863-873.
- Shanker, A.K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H. and Avudainayagam, S. (2005). Chromium toxicity in plants. *Environment International* 31: 739-753.
- Somtrakoon, K., Chouychai, W. and Lee, H. (2014). Phytoremediation of anthracene and fluoranthene contaminated soil by *Luffa acutangula*. *Maejo International Journal of Science and Technology* 8: 221-231.
- Somtrakoon, K., Chouychai, W. and Lee, H. (2015). Removal of anthracene and fluoranthene by waxy corn, long bean and okra in lead-contaminated soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 95: 407-413
- Song, N., Ma, J., Yu, Y., Yang, Z. and Li, Y. (2015). New observations on PAH pollution in old heavy industry cities in northeastern China. *Environmental Pollution* 205: 415-423.
- Thomas, F., Lorgeoux, C., Faure, P., Billet, D., C ébron, A. (2016). Isolation and substrate screening of polycyclic aromatic hydrocarbon degrading bacteria from soil with long history of contamination. *International Biodeterioration and Biodegradation* 107: 1-9.
- Tsao, D.T. (2003). Overview of Phytotechnologies. *Advances in Biochemical Engineering/Bio-technology* 78: 1-50.
- Zhang, Z., Rengel, Z., Chang, H., Meney, K., Pantelic, L., Tomanovic, R. (2012). Phytoremediation potential of *Juncus subsecundus* in soils contaminated with cadmium and polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs). *Geoderma* 175-176: 1-8

