การสะสมตะกั่วในมะเขือเทศเชอรี่ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) สายพันธุ์ CH 154 ที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่วจากบ้านคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี*

Lead Accumulation in Cherry Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) CH 154 Grown in Lead Contaminated Soil from Klity Village, Kanchanaburi Province

วิไลลักษณ์ อินทโชติ**
ธนวรรณ พาณิชพัฒน์***

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองในโรงเรือนเพื่อศึกษาความเข้มข้นของตะกั่วที่สะสมในมะเขือเทศเชอรี่ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) สายพันธุ์ CH 154 ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนตะกั่วจากบ้านคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี และเปรียบเทียบความแตกต่างของความเข้มข้นของตะกั่วที่สะสมในระยะต้นกล้า (40 วัน) ระยะออกดอก (80 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน) ของมะเขือเทศเชอรี่ จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของตะกั่วในส่วนต่างๆ ของมะเขือเทศเชอรี่ ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตทางกายภาพ โดยค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งมีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งการปลูกมะเขือเทศเชอรี่ในดินปนเปื้อนตะกั่วที่ 120 วัน มีความเข้มข้นของตะกั่วสูงสุดในราก เท่ากับ 430.82 ± 54.78 มก./กก. ทำให้ค่า bioaccumulation factor (BAF) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.15 ± 0.027 และค่า translocation factor (TF) มีค่าน้อยกว่า 1 ผลของมะเขือเทศเชอรี่สามารถบริโภคได้ เนื่องจากตรวจพบตะกั่วภายในผลไม่เกินค่ามาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ประเทศไทย (< 1 มก./กก. ของน้ำหนักสด)

คำสำคัญ: มะเขือเทศเชอรี่, ตะกั่ว, การสะสม, บ้านคลิตี้

* บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์เรื่องการสะสมตะกั่วในมะเขือเทศเชอรี่ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) สายพันธุ์ CH 154 ที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่วของบ้านคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี

** นิสิตหลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

*** อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ธนวรรณ พาณิชพัฒน์ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน E-mail: faastwp@ku.ac.th

Abstract

This research was conducted in the greenhouse to study the concentration of lead accumulated in cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) CH 154 grown in lead contaminated soil from Klity village, Kanchanaburi province and to compare the concentration of lead accumulated in the seedling stage (40 days), flowering stage (80 days) and harvesting stage (120 days) of cherry tomatoes. The results indicated that the lead concentration accumulated in various parts of cherry tomato had on affect on physical growth because the average dry weight was statistically significant difference ($p < 0.05$). The cherry tomatoes grew in lead contaminated soil for 120 days contained the highest lead concentration 430.82 ± 54.78 mg/kg of roots. The bioaccumulation factor (BAF) was the highest at 0.15 ± 0.027 and translocation factor was less than 1. The fruit of cherry tomatoes could be consumed was not exceeded lead of the standard of Ministry of Public Health, Thailand (< 1 mg/kg FW).

Keywords: Cherry tomato, Lead, Accumulation, Klity village

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยพบปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมมากขึ้น สาเหตุมาจากกิจกรรมในภาคอุตสาหกรรม เช่น การทำเหมืองแร่ หลอมแร่ตะกั่ว การผลิตพลังงานและเชื้อเพลิง รวมถึงการใช้ปุ๋ยและสารฆ่าศัตรูพืช พื้นที่ที่มีปัญหาการปนเปื้อนตะกั่วที่สำคัญ คือ บ้านคลิตี้ (ทุ่งเสือโทน) อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งเกิดจากโรงแต่งแร่ที่มีการรั่วไหลของตะกั่วสู่แหล่งน้ำและดิน ทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วเกิดการสะสมในห่วงโซ่อาหารจนเกิดผลกระทบต่อมนุษย์ ซึ่งพิษของตะกั่วส่งผลต่อสุขภาพของประชาชนในบริเวณนั้น คือ ถ่ายดำ ปวดศีรษะ และปวดกล้ามเนื้ออย่างรุนแรง (หทัยชนก, 2552)

พืชผักที่ปลูกในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนตะกั่วสามารถดูดซับตะกั่วได้ ซึ่งตะกั่วจะสะสมในพืชได้ทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นพืชหัว พืชผัก ธัญพืช โดยพืชผักแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการสะสมตะกั่วได้แตกต่างกัน โดยพืชอาจไม่แสดงอาการเป็นพิษ แต่ความเข้มข้นของตะกั่วอาจสูงจนถึงระดับเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และเกิดการถ่ายทอดไปยังห่วงโซ่อาหาร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในส่วนราก ลำต้นใบ และผล ของมะเขือเทศเชอรี่ สายพันธุ์ CH 154 ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนตะกั่วจากบ้านคลิตี้ และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการปนเปื้อนตะกั่วในพืชผักของกระทรวงสาธารณสุข (2529) ที่กำหนดค่าไว้ ไม่เกิน 1 มก./กก. ของน้ำหนักสด ผลวิจัยที่ได้จะเป็นแนวทางในการประกอบอาชีพของเกษตรกรที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนตะกั่วในดิน

วิธีการศึกษา

การเตรียมดินและพืช

การทดลองนี้ทำภายในโรงเรือนของฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลองมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยใช้เมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ สายพันธุ์ CH 154 จากศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เก็บตัวอย่างดินปนเปื้อนตะกั่วจากบ้านคลิตี้ ตำบลชะแล อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี และตัวอย่างดินไม่ปนเปื้อนตะกั่วจากสถาบันวิจัยและพัฒนากำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยดินแต่ละแห่งจะถูกนำมาคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกันและตากให้แห้งในโรงเรือนเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นนำใส่กระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 ซม. กระถางละ 10 กก. นำเมล็ดมะเขือเทศเชอรี่ลงปลูก กระถางละ 3 เมล็ด หลังจากงอก 2 สัปดาห์ จึงถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อกระถาง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) มีจำนวน 6 ตำรับการทดลอง ตำรับการทดลองละ 10 ซ้ำ รายละเอียดตำรับการทดลองมีดังต่อไปนี้ ตำรับการทดลองที่ 1, 3 และ 5 ปลูกมะเขือเทศเชอรี่ในดินที่ไม่ปนเปื้อนตะกั่วและเก็บเกี่ยวที่อายุ 40 วัน (ระยะต้นกล้า) 80 วัน (ระยะออกดอก) และ 120 วัน (ระยะเก็บเกี่ยว) ส่วนตำรับการทดลองที่ 2, 4 และ 6 ปลูกมะเขือเทศเชอรี่ในดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว และเก็บเกี่ยวที่อายุ 40, 80 และ 120 วันหลังหยอดเมล็ด ตามลำดับ โดยเก็บตัวอย่างดินทั้ง 2 ชนิด อย่างละ 1 กก. มาวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ดังนี้ เนื้อดิน (Klute, 1986) ค่าปฏิกิริยาดิน (Thomas, 1996) อินทรียวัตถุในดิน (Walkley and Black, 1934) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Chapman, 1965) ค่าการนำไฟฟ้า (Richard, 1954) ไนโตรเจนทั้งหมด (Bremner, 1996) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray and Kurt, 1945) ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Jackson, 1958) และปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดิน (ดัดแปลงจาก Amacher, 1996)

การเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างพืชระยะต้นกล้าและระยะออกดอก แบ่งเป็นราก และลำต้นใบ ส่วนระยะเก็บเกี่ยวแบ่งเป็น ราก ลำต้นใบ และผล หลังจากเก็บตัวอย่างแต่ละระยะ นำมาล้างให้สะอาดด้วยน้ำประปา ชั่งน้ำหนักสด จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °c หลังอบแห้งนำมาชั่งน้ำหนักแห้งอีกครั้ง (Panich-pat and Srinives, 2009)

ตารางที่ 1 สมบัติของดินและปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมดในดินที่ไม่ปนเปื้อนตะกั่วและดินปนเปื้อนตะกั่ว

สมบัติของดิน	ดินไม่ปนเปื้อนตะกั่ว	ดินปนเปื้อนตะกั่ว
เนื้อดิน	ดินร่วนปนเหนียว	ดินร่วนปนเหนียว
ค่าปฏิกิริยาดิน	7.15	7.54
การนำไฟฟ้าของดิน (dS m^{-1})	7.08	2.93
อินทรีวัตถุ (%)	4.48	8.26
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.28	0.39
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg kg^{-1})	257.22	69.82
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg kg^{-1})	288.21	135.28
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cmol kg^{-1})	16.00	32.62
ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมด	21.63	2,820

การวิเคราะห์การสะสมตะกั่วในส่วนต่างๆ ของพืช

บดตัวอย่างพืชที่ผ่านการอบแห้งจนละเอียดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1 มม. ชั่งตัวอย่างพืช 1 กรัม ใส่หลอดทดลองขนาด 75 มล. เติมกรดผสม conc.HNO_3 : conc.$HClO_4$ อัตราส่วน 2:1 จำนวน 15 มล. นำหลอดทดลองใส่ใน hot-block digestion ย่อยสลายตัวอย่างจนได้สารละลายใส รอจนอุณหภูมิลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรด้วย de-ionized water เท่ากับ 25 มล. กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman no. 42 นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของตะกั่วด้วยเครื่อง Flame Atomic Absorption Spectrophotometry (FAAS)

ประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของตะกั่วสู่พืช

Bioaccumulation Factors (BAF) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของพืชในการดูดซับตะกั่วจากดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว โดยจะนำค่าความเข้มข้นของตะกั่วในมะเขือเทศเชอรี่ในส่วน ราก ลำต้นใบ และผล ต่ออัตราส่วนของความความเข้มข้นของตะกั่วในดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว ดังสมการต่อไปนี้ (Yoon, 2006)

$$\mathrm{BAF} = \frac{\text{Pb concentration in plant (mg/kg)}}{\text{Pb concentration in soil (mg/kg)}}$$

Translocation Factor (TF) เป็นตัวบ่งชี้ความสามารถของพืชในการลำเลียงตะกั่วจากรากสู่ลำต้นและใบ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าความเข้มข้นของตะกั่วในมะเขือเทศเชอรี่ของลำต้นและใบ (above ground) ต่ออัตราส่วนความเข้มข้นของตะกั่วในราก (under ground) ดังสมการนี้ (Yoon, 2006)

$$\text{TF} = \frac{\text{Pb concentration in shoot and leaf (mg/kg)}}{\text{Pb concentration in root (mg/kg)}}$$

จากค่า BAF และ TF ข้างต้น สามารถนำมาประเมินศักยภาพการเลือกใช้พืชบำบัดได้ โดยพืชที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและลำเลียงตะกั่วไปยังส่วนต่างๆ ของพืชได้สูงจะต้องมีค่า BAF และ TF มากกว่า 1 ซึ่งเหมาะสมเป็นพืชบำบัดในพื้นที่ที่ปนเปื้อนตะกั่ว แต่ถ้ามีค่า BAF และ TF น้อยกว่า 1 แสดงว่าพืชมีความสามารถดูดซับตะกั่วได้น้อย จึงไม่เหมาะต่อการเป็นพืชบำบัด (Fitz and Wenzel, 2002)

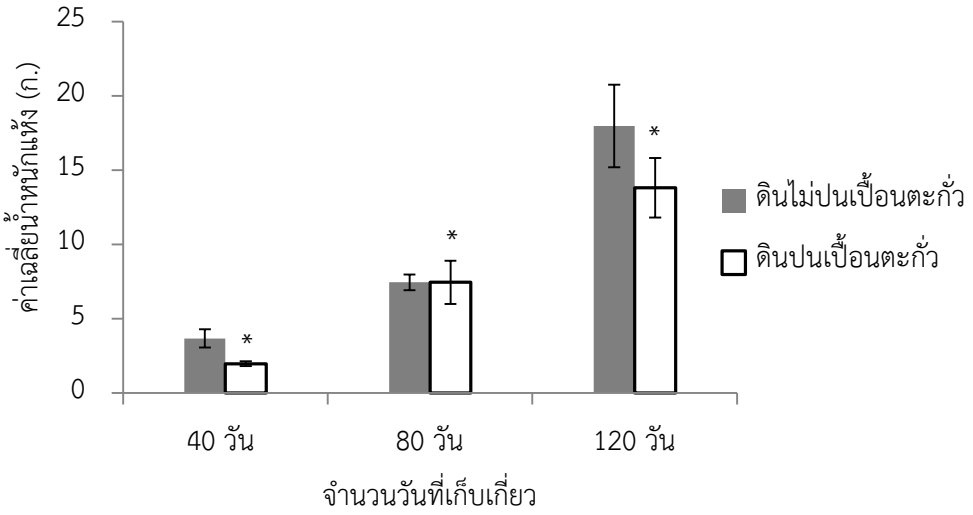
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการทดลองที่ได้แต่ละตำรับการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p \leq 0.05$) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตำรับการทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p \leq 0.05$)

ผลและวิจารณ์ผลการศึกษา

การสะสมน้ำหนักแห้งของมะเขือเทศเชอรี่

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของมะเขือเทศเชอรี่โดยใช้การสะสมน้ำหนักแห้งของมะเขือเทศเชอรี่ ซึ่งเก็บเกี่ยวที่อายุ 40 80 และ 120 วันหลังหยอดเมล็ด พบว่า มะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกในดินไม่ปนเปื้อนตะกั่วมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งสูงสุดที่อายุ 120 วัน เท่ากับ 17.97±2.78 กรัม เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งในช่วงอายุที่ 40 80 และ 120 วัน พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 1) ช่วงอายุที่ 40, 80 และ 120 วัน มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของมะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกในดินไม่ปนเปื้อนตะกั่ว เท่ากับ 3.68 ± 0.61, 9.03 ± 0.53 และ 17.97 ± 2.78 กรัม ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากมะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนตะกั่วที่มีค่าเท่ากับ 1.99 ± 0.15, 7.45 ± 1.46 และ 13.81 ± 2.00 กรัม ตามลำดับ อีกทั้งปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินทั้งสองชนิดมีค่าแตกต่างกัน (ตารางที่ 2) สอดคล้องกับ Akinci *et al*., (2010) ที่ศึกษาผลของตะกั่วต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศในระยะต้นกล้า (*Solanum lycopersicum* L. cv. Falcon) จากการเติมสารละลายตะกั่วที่ความเข้มข้น 0, 75, 150 และ 300 มก./ล. พบว่า เมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำหนักแห้งในราก ลำต้น และใบลดลง เช่นเดียวกับการทดลองใน ถั่วลันเตา (Kevresan *et al*., 2001) และข้าวโพด (Malkowski *et al*., 2002)



ภาพที่ 1 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งทั้งหมดของมะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกในดินไม่ปนเปื้อนตะกั่วและดินปนเปื้อนตะกั่วที่ระยะต้นกล้า (40 วัน) ระยะออกดอก (80 วัน) และระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน)

หมายเหตุ * คือ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของมะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกในดินทั้ง 2 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ความเข้มข้นของตะกั่วในมะเขือเทศเชอรี่และดินที่ทำการทดลอง

ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในส่วนต่างๆ ของมะเขือเทศเชอรี่ และปริมาณความเข้มข้นของดินหลังปลูกมะเขือเทศเชอรี่ พบว่า มะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่วที่อายุ 120 วัน มีความเข้มข้นของตะกั่วสูงสุดในราก และลำต้นใบ มีค่าเท่ากับ 430.82 ± 57.78 มก./กก. และ 51.24 ± 5.34 มก./กก. ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ส่วนผลมะเขือเทศเชอรี่ที่อายุ 120 วัน พบปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่า0.001 มก./กก.ของน้ำหนักแห้ง โดยปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในราก และปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในลำต้นใบ มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในดินเท่ากับ 2,806.1±105.60 มก./กก. ส่วนการปลูกมะเขือเทศเชอรี่ในดินไม่ปนเปื้อนตะกั่วที่อายุ 120 วัน มีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วสูงสุด ในรากเท่ากับ 7.39±0.84 มก./กก. และลำต้นใบ เท่ากับ 5.44±0.68 มก./กก. ซึ่งที่อายุ 40 วัน ไม่พบความเข้มข้นของตะกั่วในส่วนของราก และลำต้นใบ จากผลการทดลองทั้ง 3 ช่วงอายุ ในรากมีความเข้มข้นของตะกั่วสูงสุด รองลงมาคือ ลำต้นใบ และการสะสมตะกั่วในผลมะเขือเทศเชอรี่มีค่าต่ำ (< 0.001 มก./กก.ของน้ำหนักแห้ง) สอดคล้องกับ Opeolu *et al*., 2009 ศึกษาการสะสมตะกั่วในมะเขือเทศที่ระดับความเข้มข้น 300, 600 และ 1,800 มก./กก. พบว่า เมื่อระดับความเข้มข้นของตะกั่วสูงขึ้น มะเขือเทศมีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในรากสูงสุด รองลงมาคือ ลำต้นและใบ และไม่พบความเข้มข้นของตะกั่วในผล ส่วนธนวรรณ, 2551; Panich-pat and Srinives, 2009 ได้ศึกษาความเข้มข้นของตะกั่วในส่วนต่างๆ ของข้าว พบว่า รากเป็นส่วนที่มีความเข้มข้นของตะกั่วได้มากที่สุด เมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเพิ่มขึ้น จากการเติมสารละลายตะกั่วที่ระดับความ

เข้มข้น 1,500 และ 3,000 มก./ล. พบว่ามีความเข้มข้นของตะกั่วที่รากเท่ากับ 165.9 และ 400.5 มก./กก ตามลำดับ ส่วนที่ลำต้นและใบพบความเข้มข้นของตะกั่วอยู่ที่ 58.7 และ 127.7 มก./กก และไม่พบความเข้มข้นของตะกั่วที่เมล็ดข้าวขาว ซึ่ง Kufka and Kurus, 1997 รายงานว่า กระบวนการดูดซึมและการสะสมโลหะในส่วนต่างๆ ของพืช ขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของโลหะในดิน ความสามารถการละลายโลหะและชนิดของพืช

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของตะกั่วในมะเขือเทศเชอรี่และดินที่ทำการทดลอง

ตำรับการทดลอง	อายุเก็บเกี่ยว	ความเข้มข้นของตะกั่ว (มก./กก.ของน้ำหนักแห้ง)			
		ราก	ลำต้นและใบ	ผล	ดิน
ดินไม่ปนเปื้อนตะกั่ว	40	ND	ND	-	22.35±1.38 [a]
	80	5.49±0.58 [a]	1.22±0.37 [a]	-	22.05±1.45 [a]
	120	7.39±0.84 [b]	5.44±0.68 [b]	BD	20.48±1.10 [b]
ดินปนเปื้อนตะกั่ว	40	229.25±34.62 [a]	32.29±4.57 [a]	-	2869.3±102.26 [a]
	80	304.99±31.11 [b]	41.14±2.69 [b]	-	2785.6±79.04 [a]
	120	430.82±57.78 [c]	51.24±5.34 [c]	BD	2806.1±105.60 [a]

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b และ c ที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันในแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

BD = below detection limits (0.001 มก./กก.ของน้ำหนักแห้ง)

ประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของตะกั่วสู่มะเขือเทศเชอรี่ Bioaccumulation Factors (BAF)

BAF เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของมะเขือเทศเชอรี่ หรือ พืชในการดูดซับตะกั่วจากดินที่เจริญเติบโต โดยประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วได้สูงจะต้องมีค่า BAF มากกว่า 1 (Noor, 2013) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย BAF ของมะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนตะกั่วที่อายุ 40, 80 และ 120 วัน พบว่า ที่อายุ 120 วัน ในราก และลำต้นใบ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.15±0.027 และ 0.018±0.0019 ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ย BAF ของรากและลำต้นทั้ง 3 ระยะ มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับ Businelli *et al*., 2011 ที่ศึกษาปัจจัยการสะสมทางชีวภาพของตะกั่วในพืชผักในเขตเกษตรกรรม พบว่า ค่า BAF ของมะเขือเทศ (*Lycopersicon lycopersicum* L. *Karst*) ผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L., cv. *romana*) และ แรดิส (*Raphanus sativus* L. var. *radicicola*) มีค่าน้อยกว่า 1 ในพืชผักทุกชนิด อีกทั้ง Yoon *et al*., 2006 ได้ศึกษาการสะสมตะกั่วของพืชท้องถิ่นที่ปลูกในพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนัก พบว่า แบล็กเบอร์รี่ (*Rubus fruticosus* L. agg.) ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว 4,100 มก./กก. มีค่า BAF เท่ากับ 0.2 ซึ่งประสิทธิภาพการสะสมโลหะหนักที่ต่ำในพื้นที่ที่มีความเข้มข้นของโลหะสูง อาจมีสาเหตุมาจากความเป็นพิษของโลหะนั้นเอง (Garcia *et al*.,1998)

Translocation Factor (TF)

ผลการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของตะกั่วในมะเขือเทศเชอรี่ ที่อายุ 40 วัน มีค่า TF สูงสุด เท่ากับ 0.14±0.028 ส่วนที่อายุ 120 วัน มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.11±0.017 เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า ที่อายุ 40 วัน และ 80 วัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่ที่อายุ 120 วัน มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 (ตารางที่ 3) Bao *et al*., 2010 ได้ปลูกมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ในสารละลาย Hoagland ระยะเวลา 28 วัน โดยเติมแคดเมียมที่ความเข้มข้น 1 มก./กก. พบว่า ค่า TF มีค่าเท่ากับ 0.62 และ Liu *et al*., 2007 ศึกษาการดูดซึมโลหะหนักในข้าว (*Oryza sativa* L.) ที่ปลูกในเขตเกษตรกรรมใกล้เมือง Zhengzhou ของจีน พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในฟางข้าวต่ออัตราส่วนความเข้มข้นของตะกั่วในเมล็ดข้าว มีค่า TF ต่ำกว่า 1 เพราะโลหะหนักมักสะสมที่รากเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ค่า TF ในข้าวต่ำกว่า 1 ซึ่ง Ogunkunle *et al*., 2013 กล่าวว่า ค่า TF ที่มีค่าสูง (>1) เป็นผลมาจากค่าพีเอชของดินที่มีค่าต่ำลง แต่ถ้าพีเอชดินสูงสามารถตรึงหรือลดการชะล้างของโลหะได้ อีกทั้งขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและพื้นที่ที่ปนเปื้อนโลหะ และควรหลีกเลี่ยงการบริโภคพืชผักที่มีค่า TF มากกว่า 1 เพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Cui *et al*., 2004)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของ Bioaccumulation Factors (BAF) และ Translocation Factor (TF) ของมะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่ว

ตำรับการทดลอง	อายุเก็บเกี่ยว	BAF			TF
		ราก	ลำต้นและใบ	ผล	
ดินปนเปื้อนตะกั่ว	40	0.08±0.012^{a}	0.011±0.0019^{a}	-	0.14±0.028^{a}
	80	0.11±0.012^{b}	0.015±0.0008^{b}	-	0.13±0.014^{a}
	120	0.15±0.027^{c}	0.018±0.0019^{c}	0	0.11±0.017^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b และ c ที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สรุปผล

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในมะเขือเทศเชอรี่ที่ระยะต้นกล้า ระยะออกดอก และระยะเก็บเกี่ยวที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่ว พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในราก > ลำต้นและใบ ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วจะเพิ่มสูงขึ้นตามช่วงอายุของมะเขือเทศเชอรี่ และส่งผลต่อการเจริญเติบโตทางกายภาพ ส่วนความเข้มข้นของตะกั่วในผลมะเขือเทศเชอรี่ที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่วมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ดังนั้นผลมะเขือเทศเชอรี่ในการทดลองนี้สามารถนำมาบริโภคได้ แต่ค่า BAF และ ค่า TF ของมะเขือเทศเชอรี่ในงานวิจัยนี้มีค่าน้อยว่า 1 จึงไม่เหมาะสำหรับเป็นพืช เพื่อการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และศูนย์ส่งเสริมการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยี (ศสวท) คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนที่สนับสนุนทุนในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

กระทรวงสาธารณสุข. มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. ราชกิจจานุเบกษา ฉบับที่ 98. 103:23, 2529.

ธนวรรณ พาณิชพัฒน์. โครงการ การศึกษาการสะสมของตะกั่วในส่วนต่างๆ ของต้นข้าว. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักนายกรัฐมนตรี, กรุงเทพฯ, 2551.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. ภาวะมลพิษทางดินจากการใช้สารเคมี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

หทัยชนก สุขดี. “การสำรวจพันธุ์พืชที่เจริญเติบโตตามแนวฝั่งลำห้วยคลิตี้ที่มีศักยภาพสูงในการดูดซับสารตะกั่ว”. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.

ภาษาต่างประเทศ

Akinci, I.E., Sermin, A. and Kadir, Y. 2010. “Response of tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) to lead toxicity : Growth, element uptake, chlorophyll and water content.” African Journal of Agricultural Research. 5(6):416-423.

Amacher, C.M. 1996. Nickel, Cadmium and Lead. In D.L. Sparks, ed. Methods of Soil Analysis: Chemical Methods, Part 3-SSSA Book Series no.5. Soil Sci. Am. Amer. Soc. of Agron. Madison, WI, USA. 739-768.

Bao, T., Li, N.S. and Ti, H.S. 2010. “Evaluation of iron on cadmium uptake by tomato, morel and leaf red beet in hydroponic culture.” Journal of plant nutrition. 33: 713-723.

Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci 59:39-45.

Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-Total, pp.1085-1121. *In* D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner, ed. Method of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods. SSSA Inc., ASA Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Businelli, D., Andrea, O. and Luisa M. 2011. Factors involved in uptake of lead by some edible crop grown in agricultural soil of central Italy. Soil sci. 176:472-478.

Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. In C.A.Black, ed. Methods of Soil Analysis. Part II. Madison, Wisconsin. 891-901.

Cui, Y.J., Yong, G.Z., Ri, H.Z., Deng, Y.C., Yi, Z.H., Yi, Q. and Jian, Z.L. 2004. "Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning China." Journal Environment international. 30:785-791.

Fitz, W.J. and Wenzel W.W. 2002. "Arsenic transformation in the soil – rhizosphere plant system, fundamentals and potential application of phytoremediation." Journal Biotechnol. 99:259-278.

Garcia, M.A., J. Alonso, M.I. Fernandedez, and M.J. Melgar. 1998. "Lead content in edible wild mushrooms in northwest Spain as indicator of environmental contamination." Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 34: 330 – 33.

Jackson, M.L. 1958. Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood cliffs, New Jersey, USA. 498 p.

Kevresan, S., Petrovic, N., Popovic, M. and Kandrac J. 2001. "Nitrogen and protein metabolism in young pea plants as affected by different concentrations of nickel, cadmium, lead and molybdenum." Journal Plant Nutrition. 24(10):1633-1644.

Klute, A. 1986. Methods of Soil Analysis: Physical and Mineralogical Methods. Madison, Wisconsin, USA.

Kufka, Z. and Kuras, M. 1997. Heavy metal in soil contaminated from different sources. In Ecological Issues and Environmental Impact Assessment, 261-287. Gulf Publishing Company, Houston, Taxas.

Liu, W.X., Shen, L.F., Liu, J.W., Wang, Y.W. and Li, S.R. 2007. "Uptake of toxic heavy metals by rice (*Oryza sativa* L.) cultivated in the agricultural soil near Zhengzhou city, People's Republic of China." Journal Bull Environ Contam Toxicol. 79:209–221.

Malkowski, E., Kita, A., Galas, W., Karcz, W. and Kuperberg JM. 2002. "Lead distribution in corn seedlings (*Zea mays* L.) and its effect on growth and the concentrations of potassium and calcium." Journal Plant Growth Regulation. 37:69-79.

Noor,U.A., Hussain, A., Alamzeb, S. and Begum, S. 2013. "Accumulation of heavy metals in edible parts of vegetables irrigated with waste water and their daily intake to adults and children, District Mardan, Pakistan." Journal of a Food Chemistry. 136:1515-1523.

Ogunkunle, C.O., Paul, O.F. and Olusegun, O.A. 2013. "Root and shoot partitioning of copper chromium and zinc in *Lycopersicon esculentum* and *Amaranthus hybridus* grown in cement-polluted soil." Journal of environmental and experimental biology. 11:131-136.

Opeolu, B.O., O.O. Adenuga., P.A. Ndakidemi and O.O. Olujimi. 2009. "Assessment of phyto-toxicity potential of lead on tomato (*Lycopersicon esculentum* L) plant on contaminated soils." International Journal of Physical Sciences. 5(2):68-73.

Panich-Pat, T. and Srinives. P. 2009. "Partitioning of lead accumulation in rice plant." Thai Journal of Agricultural Science. 42(1):35-40.

Richards, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. U.S. Salinity Laboratory. U.S. Dept. Agr. Hbk.

Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity, pp. 475-490. *In* D.L. Sparks et al., eds., Methods of Soil Analysis Part 3 Chemical Methods. Soil Sci. Am.J., Madison, WI, USA.

Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An examination of degtjareff method for determining Soil organic matter and a proposed modification of the chroma acid titration method. Soil Sci. 37:29-35.

Yoon, J., Xinde C., Qixing Z., and Lena Q .M. 2006. "Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site." Journal Science of the total environment. 368: 456-464.