

ผลกระทบจากแคดเมียมที่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตของถั่วเหลือง ที่ปลูกเพื่อการขยายพันธุ์

The effect of cadmium on soybean productivity that cultivate for breeding

พัชริดา ตริยาสุข^{1*} และ ธวัชชัย ศุกดิษฐ์¹

Patcharida Triyasuk^{1*} and Tawadchai Suppadit¹

บทคัดย่อ: ปัญหาการปนเปื้อนของสารแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดการสะสมของแคดเมียมผ่านทางห่วงโซ่อาหาร ดังนั้น หากมีการปลูกถั่วเหลืองที่ใช้ปลูกเพื่อการขยาย หรือเรียกว่า F1 Generation (First Filial Generation) ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมอยู่ และเมื่อนำถั่วเหลืองที่ใช้ปลูกเพื่อการขยายมาให้เกษตรกรนำมาปลูกอาจส่งผลกระทบ จึงเป็นที่มาของความสนใจในการศึกษาวิจัย ผลกระทบจากแคดเมียมที่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตของถั่วเหลืองรุ่น F2 การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโต ลักษณะทางด้านสัณฐานวิทยา และการให้ผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่น F1 ซึ่งเป็นถั่วเหลืองปลูกเพื่อเป็นพ่อแม่พันธุ์ ในดินที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมในการปลูกแตกต่างกัน และ F2 ซึ่งใช้ปลูกเพื่อการขยาย ที่นำมาปลูกต่อดินที่ไม่ผสมแคดเมียม และ 2) เพื่อทราบปริมาณการปนเปื้อนสูงสุดของแคดเมียมในดินที่สามารถปลูกพ่อแม่พันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้ปลูกเพื่อการขยาย (F1) โดยนำถั่วเหลืองรุ่น F1 ปลูกในกระถางบรรจุดินน้ำหนัก 4.50 กิโลกรัม ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในดินที่แตกต่างกัน คือ 0, 20.0, 40.0, 60.0, 80.0 และ 100 พีพีเอ็ม จำนวนความเข้มข้นละ 40 ซ้ำ วางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 และจดบันทึกผลการเจริญเติบโตตามระยะการเจริญเติบโตของต้นถั่วเหลือง จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ที่ได้ไปปลูกต่อจนได้ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 รุ่น F2 ผลการวิจัยพบว่า การเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณโปรตีนและไขมันในเมล็ดถั่วเหลืองรุ่น F1 และ F2 มีความสัมพันธ์กับปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95.0 โดยความเข้มข้นของแคดเมียมที่เพิ่มขึ้นในดินจะส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณโปรตีนและไขมันในเมล็ดถั่วเหลือง ดังนั้น ควรปลูกถั่วเหลืองรุ่น F1 ในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมไม่เกิน 20.0 ppm เพื่อให้ได้เมล็ดที่มีคุณภาพดี

คำสำคัญ: การผลิต, แคดเมียม, ถั่วเหลือง, โลหะหนัก

ABSTRACT: This research was aimed to study the effect of Cadmium-contaminated environment on the growth performance and nutrition of soybean and the accumulation of Cadmium through the food chain. Therefore, if you grow the soybean F1 Generation (First Filial Generation) which is produced in the Cadmium-contaminated area, the Cadmium can be passed along to F2 and affect soybean production and the consumers later on. By using the highest acceptable levels of Cadmium-contaminated soil for Chiang Mai 60 soybean cultivation, the experiment was conducted from February 2015 to February 2016 in a completely randomized design by divided into 6 treatments and 40 replications. Cadmium in soil was used in rates of 0, 20.0, 40.0, 60.0, 80.0 and 100 ppm. The soybeans were conducted in 2 times (F1 and F2 generation). The results showed that soybean growth, yield, proteins and lipids in F1 and F2 generations were significantly related to the intensity of Cadmium in soil at $P < 0.05$ by the more intensity of Cadmium effected to the worse growth, yield, proteins and lipids. So that soybean breeder (F1 generation) should be planted in soil with Cadmium doesn't have over than 20.0 ppm. for great effectiveness of seed.

Keywords: production, cadmium, soybean, heavy metal

¹ หลักสูตรการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะบริหารการพัฒนาลุ่มน้ำลุ่มลุ่ม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ 118 หมู่ 3 ถนนเสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

Program of Environmental Management, The Graduate School of Environmental Development Administration, National Institute of Development Administration, 118, Moo 3, Sereethai Road, Klong-Chan, Bangkok, Bangkok, 10240

* Corresponding author: patcharida01@yahoo.com

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ได้ชื่อว่าเป็นประเทศเกษตรกรรม จะเห็นได้จากพื้นที่เกษตรกรรมที่มีอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ และเพื่อตอบวัตถุประสงค์ของความต้องการอาหารของประชากรที่เพิ่มขึ้น ภาคอุตสาหกรรมจึงได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว อุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศไทยอย่างหนึ่ง คือ อุตสาหกรรมการแปรรูปถั่วเหลือง พบว่า ปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทยนำเข้าถั่วเหลืองจากต่างประเทศ จำนวน 2,557,384 ตัน มูลค่า 38,338 ล้านบาท โดยส่วนใหญ่ นำเข้าจากประเทศบราซิล ร้อยละ 69.0 รองลงมา ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ร้อยละ 22.0 และอาร์เจนตินา ร้อยละ 5.00 โดยสัดส่วนการนำเข้ามาใช้ ได้แก่ สกัดเป็นน้ำมัน ร้อยละ 84.0 อาหารสัตว์ ร้อยละ 13.0 และแปรรูปอาหาร ร้อยละ 3.00 และประเทศไทยนำเข้ากากถั่วเหลืองอันดับที่ 4 รองจากสหภาพยุโรป อินโดนีเซีย และเวียดนาม มีปริมาณ 3.05 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจาก 3.00 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2557-2558 ร้อยละ 1.67 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558)

จะเห็นได้ว่า ปริมาณถั่วเหลืองที่ผลิตได้ในประเทศไม่เพียงพอต่อการบริโภค จึงต้องมีการนำเข้าเมล็ดถั่วเหลืองจากประเทศผู้ผลิตและส่งออกสำคัญของโลก คือ บราซิล สหรัฐอเมริกา และอาร์เจนตินาเพิ่มเติม (Department of Agricultural and Management, 2009) ด้วยเหตุนี้ ทำให้ภาครัฐมีความจำเป็นต้องช่วยเหลือเกษตรกรในการเพิ่มปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ปลูก และลดปัจจัยที่ทำให้ผลผลิตของถั่วเหลืองลดต่ำลงเพื่อลดการนำเข้าถั่วเหลือง

พื้นที่ภาคเหนือเป็นพื้นที่ที่นิยมปลูกถั่วเหลืองกันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายพันธุ์เสียงใหม่ 60 เพราะมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสม แต่พบว่า พื้นที่นี้บางพื้นที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินสูง เนื่องจากเป็นพื้นที่ซึ่งอยู่ใกล้กับแหล่งแร่สังกะสี เหมืองแร่สังกะสี และโรงงานถลุงสังกะสี ทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของสารแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดการสะสมของแคดเมียมผ่านทางห่วงโซ่อาหาร อาทิเช่น การปนเปื้อนแคดเมียมในดินและน้ำ โดยเคยเกิดกับชุมชนลุ่มน้ำแม่ตา ในตำบลพระธาตุผาแดง ตำบลแม่ตา และ

ตำบลแม่กุ อำเภอแม่สลด จังหวัดตากมาแล้ว (Public Health Department, 2009)

แคดเมียมมีผลรบกวนการทำงานของ DNA สามารถชักนำให้เกิดการทำลาย DNA ในคน ส่งผลให้เกิดเป็นโรคอิตาลีโต และยังสามารถส่งผลกระทบต่อสารพันธุกรรมในพืช ทำให้ค่า Mitotic Index ลดลง และยังพบว่า ทำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซม เช่น C-mitotic, Anaphase Bridge, Breaks, Stickiness, Lagging, Vagrant Chromosome และ Micronuclei โดยความเป็นพิษจะมีความรุนแรงเมื่อมีความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มขึ้น และระยะเวลาในการดูดซับแคดเมียมของพืชมากขึ้น (Gumlungpat, 2007)

จากการศึกษาผลกระทบจากการวิเคราะห์แคดเมียมในผักคะน้าอายุ 49 วัน โดยใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ปลูกด้วยดินผสมจากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง พบว่า หากปลูกพืชในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมเพิ่มขึ้น พืชจะมีสมรรถภาพในการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตลดลง (Sangsreesuk, 2005) และจากการศึกษาความเป็นพิษของแคดเมียมต่อการงอกของเมล็ดข้าวและการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าว 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ปทุมธานี 1 สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 3 พิษณุโลก 3 และสันป่าตอง 1 เมื่อได้รับสารละลายแคดเมียมเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า อัตราการงอกของข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ มีอัตราการลดลงเล็กน้อย และหากมีแคดเมียมในตัวอย่างน้ำหนักมากขึ้นก็จะเกิดความผิดปกติภายนอกของข้าว เช่น การม้วนงอของต้นอ่อน เกิดสีเหลืองซีด ขาว มากขึ้น (Naksiri, 2012)

ถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีไขมันสูงจึงมีโอกาที่จะสะสมโลหะได้สูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ ทำให้มีความเสี่ยงในการพบโลหะหนักในเมล็ดถั่วเหลืองสูงกว่าค่ามาตรฐานทั่วไป (Hongrath, 2003) จนเป็นที่วิตกกังวลกันว่า หากมีการปลูกถั่วเหลืองที่ใช้ปลูกเพื่อการขยาย หรือเรียกว่า F1 Generation (First Filial Generation) ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม และเมื่อนำถั่วเหลืองที่ใช้ปลูกเพื่อการขยายมาให้เกษตรกรนำมาปลูกต่อไป จะส่งผลกระทบต่ออย่างไรบ้าง จากเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของความสนใจในการศึกษาวิจัย ผลกระทบจากแคดเมียมที่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตของถั่วเหลือง

รุ่น F2 ในครั้งนี้ เพื่อที่จะทราบว่ามีความแตกต่างในผลผลิตถั่วเหลืองรุ่น F2 หรือไม่

วิธีการศึกษา

ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงทดลอง ทำการทดลองครั้งแรกระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558-กรกฎาคม พ.ศ. 2558 และทำการทดลองครั้งที่สองในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 เนื่องจากถั่วเหลืองสามารถปลูกได้ 3 ฤดู คือ ฤดูแล้ง ต้นฤดูฝน และปลายฤดูฝน โดยการนำถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่น F1 ซึ่งเกิดจากถั่วเหลืองพันธุ์ Williams กับพันธุ์สจ.4 จำนวน 1,200 เมล็ด จากศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ มาปลูกในกระถางทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.0 นิ้ว สูง 11.0 นิ้ว โดยหยอดเมล็ดหูลมละ 5 เมล็ด และเมื่อถั่วเหลืองเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ V_1 จึงถอนต้นออกเหลือเพียงกระถางละ 2 ต้น กระถางแต่ละใบบรรจุดินหนัก 4.50 กิโลกรัม จากแหล่งดินตำบลสามโคก อำเภอสสามโคก จังหวัดปทุมธานี นำดินมาคลุกเคล้ากับสารแคดเมียมไนเตรทที่เตรียมไว้ โดยมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมไนเตรทในดินแตกต่างกัน คือ 0, 20.0, 40.0, 60.0, 80.0 และ 100 พีพีเอ็ม ปลูกความเข้มข้นละ 40 ซ้ำ โดยวิธีสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ที่แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร หลังคาโรงเรือนมีลักษณะโถงเพื่อให้แสงสามารถผ่านได้ กันฝน และสามารถควบคุมปริมาณน้ำที่พืชได้รับ โดยการตั้งเวลารดน้ำครั้งเดียวต่อวัน คือ 9.00 น. ใช้ถาดรอง

กระถางพลาสติกที่พื้นเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของแคดเมียมออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก และใช้ตาข่ายเพื่อกันแมลงและสัตว์รบกวนโดยรอบ รอบโรงเรือนฝั่งแผ่นสังกะสีสูง 1.00 เมตร ลึก 30.0 เซนติเมตร ต้นพืชทั้งหมดจะปลูกโดยมีสภาวะแวดล้อมเดียวกัน ได้รับแสงเท่ากัน และการให้น้ำในแต่ละต้นมีปริมาณเท่ากัน จากนั้นสังเกตสมรรถภาพการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และลักษณะการเจริญเติบโตภายนอกของต้นถั่วเหลืองรุ่น F1 ตามระยะการเจริญเติบโต ได้แก่ จำนวนวันงอก จำนวนวันเข้าสู่ระยะต่างๆ พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งทั้งต้น น้ำหนักฝักแห้ง ความสูง จำนวนฝัก/ต้น จำนวนเมล็ด/ฝัก น้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด อัตราการงอก 100 เมล็ด และผลผลิต/กระถาง พร้อมทั้งตรวจหาปริมาณแคดเมียมในดินก่อนและหลังการปลูก และหาปริมาณแคดเมียม โปรตีน และไขมันในเมล็ดถั่วเหลืองจากผลผลิตของ F1 Generation จากนั้นนำเมล็ดที่ได้จากการทดลองปลูกครั้งแรกมาปลูกลงในดินที่ไม่ผสมสารแคดเมียมไนเตรท โดยปลูกในโรงเรือน และมีการควบคุมตัวแปรต่างๆ เหมือนกับการปลูกในครั้งแรก จากนั้นสังเกตสมรรถภาพการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตและลักษณะการเจริญเติบโตภายนอกของต้นถั่วเหลืองรุ่น F2 โดยสุ่มครั้งละ 4 ต้น ตามระยะการเจริญเติบโต ทำการบันทึกข้อมูลในแบบบันทึกผลการทดลอง จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ และสรุปผลการศึกษา โดยมีการใช้สูตรคำนวณปริมาณแคดเมียมที่นำมาผสมในดิน และการคำนวณผลผลิต (ร้อยละ) ดังนี้

$$\text{ปริมาณแคดเมียมที่นำมาผสมในดิน} = \frac{\text{มวลโมเลกุลแคดเมียมไนเตรท} \times \text{พีพีเอ็มที่ต้องการ} \times 0.00100}{\text{มวลโมเลกุล Cd}}$$

$$\text{ผลผลิต (ร้อยละ)} = \frac{(\text{จำนวนต้นต่อกระถาง} \times \text{จำนวนฝักต่อต้น} \times \text{จำนวนเมล็ดต่อฝัก} \times \text{น้ำหนักเมล็ดเฉลี่ย 1 เมล็ด}) \times 100}{\text{น้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยตามมาตรฐานต่อ 2 ต้น}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูล นำส่วนของเมล็ดถั่วเหลืองที่ได้จากการปลูกครั้งแรกและรุ่นที่สองไปวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณการปนเปื้อนของแคดเมียมด้วยวิธี In-house Method Based on AOAC (2012) 984.27 (Covance Inc, 2016) โดยส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมตกค้างในเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ณ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ส่วนการหาปริมาณแคดเมียมในดินก่อนและหลังปลูกถั่วเหลือง ใช้วิธี In-house Method TE-CH-329 Based on EPA 3052. 1966 ณ บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics 23 วิเคราะห์ข้อมูลของสมรรถภาพ

การเจริญเติบโตของถั่วเหลือง และการให้ผลผลิตของถั่วเหลือง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95.0 โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบ One-Way ANOVA โดยใช้วิธีหาค่าเฉลี่ย Post Hoc Tests แบบ Turkey HSD

ผลการศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่า สมรรถภาพการเจริญเติบโต ได้แก่ จำนวนวันที่ใช้ในการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ในระยะปลูก- V_6 (Figure 1) และการเจริญเติบโตทางการแพร่ขยายพันธุ์ ในระยะ R_1 - R_8 (Figure 2) จำนวนข้อ (Figure 3) ความสูง (Figure 4) พื้นที่ใบ ในระยะ R_1 , R_3 , R_5 , R_6 และ R_7 (Tables 1, 2) น้ำหนักต้นแห้ง ในระยะ R_1 , R_3 , R_5 , R_6 , R_7 และ R_8 (Tables 3, 4) และน้ำหนักฝักถั่วเหลือง ในระยะ R_3 , R_5 , R_6 , R_7 และ R_8 (Tables 5, 6) ได้รับผลกระทบจาก

การมีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนในดิน โดยหากมีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนในดินเพิ่มขึ้น จะมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตและมีการใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตลดลงที่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทั้งในรุ่น F1 และ F2 แต่จะพบว่า การทดลองปลูกถั่วเหลืองรุ่น F1 ที่มีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนในดิน 0 และ 20.0 พีพีเอ็ม จะมีสมรรถภาพในการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในด้านจำนวนวันที่ใช้ในการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ในระยะปลูก- V_6 (Figure 1) และการเจริญเติบโตทางการแพร่ขยายพันธุ์ ในระยะ R_1 - R_8 (Figure 2) จำนวนข้อ (Figure 3) ความสูง (Figure 4) พื้นที่ใบ ในระยะ R_1 , R_3 และ R_5 (Table 2) น้ำหนักต้นแห้ง ในระยะ R_1 , R_3 , R_5 และ R_6 (Table 4) และน้ำหนักฝักถั่วเหลือง ในระยะ R_1 และ R_6 (Table 6) ในรุ่น F2 ที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

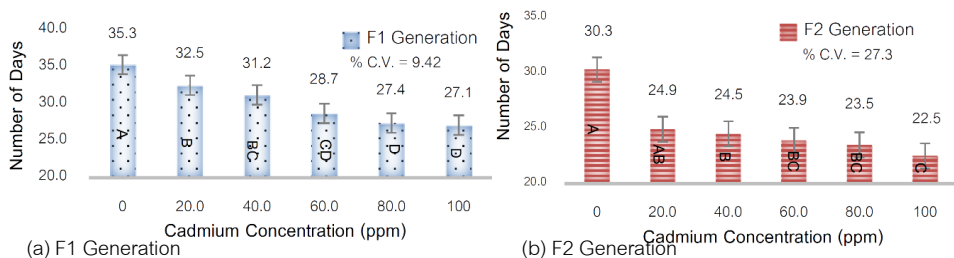


Figure 1 Vegetative growth stage (days) in (a) F1 generation and (b) F2 generation.

A, B, C, D Significantly different at $P < 0.05$ by Turkey HSD.

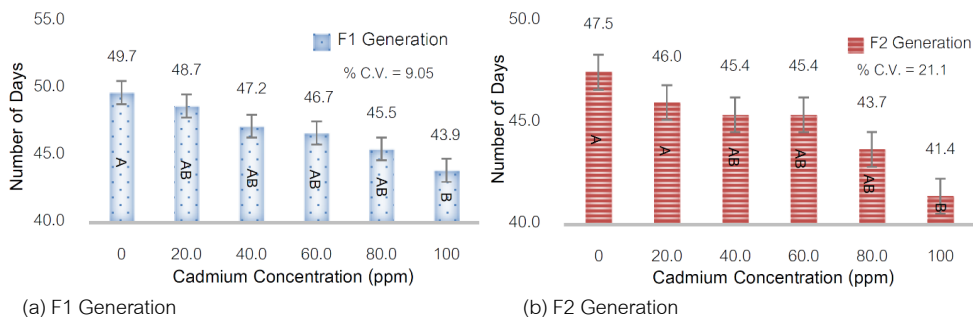


Figure 2 Reproductive growth stage (days) in (a) F1 generation and (b) F2 generation.

A, B Significantly different at $P < 0.05$ by Turkey HSD.

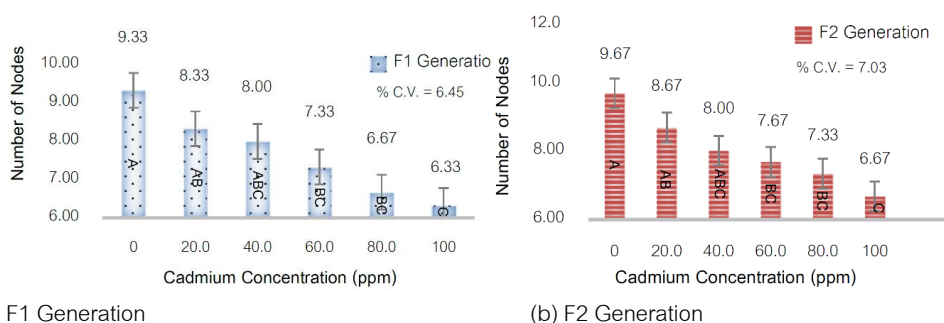


Figure 3 Node number (node) in (a) F1 generation and (b) F2 generation.

A, B, C Significantly different at $P < 0.05$ by Turkey HSD.

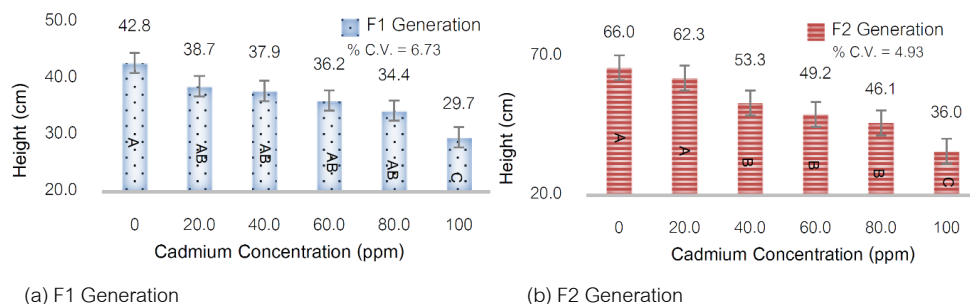


Figure 4 Height (cm) in (a) F1 generation and (b) F2 generation.

A, B, C Significantly different at $P < 0.05$ by Turkey HSD.

Table 1 The average leaf area per two plants (cm^2) in F1 generation.

Cd in soil (ppm)	The average leaf area per two plants in F1 generation (cm^2)				
	R_1	R_3	R_5	R_6	R_7
0	177 ^a	197 ^a	386 ^a	408 ^a	265 ^a
20.0	148 ^b	169 ^b	363 ^{ab}	389 ^{ab}	249 ^b
40.0	132 ^c	158 ^{bc}	332 ^{abc}	379 ^{ab}	228 ^{bc}
60.0	125 ^d	156 ^{bc}	322 ^{abc}	340 ^{bc}	204 ^{cd}
80.0	110 ^d	155 ^{bc}	306 ^{bc}	321 ^c	201 ^d
100	103 ^d	139 ^c	279 ^c	263 ^d	194 ^d
C.V. (%)	4.98	8.20	7.91	6.69	6.38

^{abcd} Means in column with different superscripts are significantly different at $P < 0.05$ by Turkey HSD.

Table 2 The average leaf area per two plants (cm^2) in F2 generation.

Cd in soil (ppm)	The average leaf area per two plants in F2 generation (cm^2)			
	R_1	R_3	R_5	R_6
0	212 ^a	358 ^a	546 ^a	510 ^a
20.0	206 ^{ab}	325 ^{ab}	519 ^a	465 ^b
40.0	200 ^{ab}	319 ^{ab}	510 ^{ab}	426 ^b
60.0	191 ^b	303 ^b	457 ^b	370 ^c
80.0	162 ^c	288 ^b	387 ^c	341 ^{cd}
100	155 ^c	215 ^c	354 ^c	310 ^d
C.V. (%)	8.31	6.26	6.18	5.50

^{abcd} Means in column with different superscripts are significantly different at $P < 0.05$ by Turkey HSD.

Table 3 Dry matter (g) in F1 generation.

Cd in soil (ppm)	Dry matter in F1 generation (g / Plant)					
	R ₁	R ₃	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈
0	0.817 ^a	1.87 ^a	2.63 ^a	10.7 ^a	6.00 ^a	4.45 ^a
20.0	0.620 ^{ab}	1.42 ^b	2.40 ^a	6.23 ^b	4.97 ^b	4.41 ^a
40.0	0.597 ^{ab}	1.18 ^{bc}	1.95 ^b	5.70 ^{bc}	4.95 ^b	4.04 ^b
60.0	0.580 ^{ab}	1.08 ^{bc}	1.64 ^c	4.79 ^{cd}	3.95 ^c	3.31 ^c
80.0	0.567 ^b	0.970 ^{cd}	1.51 ^c	4.63 ^d	3.88 ^c	3.24 ^c
100	0.543 ^b	0.627 ^d	1.11 ^d	3.48 ^e	3.39 ^d	2.96 ^d
C.V. (%)	5.22	2.88	3.44	2.31	2.71	2.40

^{abcd} Means in column with different superscripts are significantly different at P < 0.05 by Turkey HSD.

Table 4 Dry matter (g) in F2 generation.

Cd in soil (ppm)	Dry matter in F2 generation (g / Plant)					
	R ₁	R ₃	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈
0	0.817 ^a	1.70 ^a	2.63 ^a	10.4 ^a	5.90 ^a	5.84 ^a
20.0	0.620 ^{ab}	1.42 ^{ab}	2.40 ^{ab}	7.32 ^{ab}	4.56 ^b	4.59 ^b
40.0	0.597 ^{ab}	1.20 ^{bc}	2.05 ^{bc}	6.17 ^b	4.40 ^b	4.16 ^{bc}
60.0	0.580 ^{ab}	1.16 ^{bc}	1.82 ^c	4.86 ^{bc}	3.95 ^b	3.83 ^{bc}
80.0	0.567 ^b	0.960 ^c	1.64 ^{cd}	4.47 ^{bc}	3.66 ^b	3.24 ^c
100	0.543 ^b	0.763 ^c	1.28 ^d	2.88 ^c	2.26 ^c	2.03 ^d
C.V. (%)	4.22	4.31	3.02	3.54	3.50	3.19

^{abcd} Means in column with different superscripts are significantly different at P < 0.05 by Turkey HSD.

Table 5 Pods weight per plant (g) in F1 generation.

Cd in soil (ppm)	Pods weight per plant in F1 generation. (g)				
	R ₃	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈
0	0.0180 ^a	0.230 ^a	6.94 ^a	4.69 ^a	4.66 ^a
20.0	0.0170 ^a	0.228 ^a	4.94 ^b	4.20 ^{ab}	4.03 ^a
40.0	0.0150 ^b	0.143 ^b	3.61 ^{bc}	3.46 ^{abc}	3.44 ^{ab}
60.0	0.0150 ^b	0.138 ^b	3.13 ^c	2.69 ^{bcd}	2.66 ^{ab}
80.0	0.0140 ^b	0.107 ^c	2.80 ^{cd}	2.41 ^{cd}	2.31 ^{ab}
100	0.0120 ^c	0.103 ^d	1.45 ^d	1.26 ^d	1.23 ^b
C.V. (%)	3.29	1.76	2.06	2.43	2.16

^{abcd} Means in column with different superscripts are significantly different at P < 0.05 by Turkey HSD.

Table 6 Pods weight per plant (g) in F2 generation.

Cd in soil (ppm)	Pods weight per plant in F2 generation. (g)				
	R ₃	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈
0	0.0150 ^a	0.286 ^a	3.82 ^a	3.79 ^a	3.67 ^a
20.0	0.0130 ^a	0.191 ^b	3.12 ^{ab}	2.79 ^b	2.52 ^b
40.0	0.00900 ^b	0.120 ^c	2.74 ^{bc}	2.63 ^{bc}	2.21 ^b
60.0	0.00800 ^b	0.104 ^c	2.43 ^{bc}	2.41 ^{bc}	2.17 ^b
80.0	0.00700 ^{bc}	0.0930 ^c	2.17 ^{cd}	1.81 ^{cd}	1.43 ^c
100	0.00500 ^c	0.0840 ^d	1.65 ^d	1.35 ^d	1.34 ^c
C.V. (%)	2.61	1.92	3.54	2.93	2.72

^{abcd} Means in column with different superscripts are significantly different at P < 0.05 by Turkey HSD.

ด้านลักษณะภายนอกของต้นถั่วเหลืองพบว่า หากมีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนในดินเพิ่มขึ้นขณะปลูกถั่วเหลืองรุ่น F1 Generation จะส่งผลต่อลักษณะภายนอกของต้นถั่วเหลือง ทำให้ต้นถั่วเหลืองมีลักษณะใบหงิกและเหลือง และยังส่งผลให้ต้นถั่วเหลืองมีลักษณะลำต้นแคระแกรน ทั้งใน F1 และ F2 Generation ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sangsreesuk (2005) และ Naksiri (2012)

ด้านผลผลิตของถั่วเหลือง ได้แก่ ผลผลิต (ร้อยละ) (Figure 5) จำนวนฝัก/ต้น (Figure 6) จำนวนเมล็ด/ฝัก (Figure 7) และน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด (Figure 8) พบว่า หากมีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนในดินเพิ่มขึ้น จะมีผลผลิตของถั่วเหลืองลดลงอย่างมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทั้งใน F1 และ F2 Generation โดยที่ในระยะ R_0 เป็นระยะที่ต้นถั่วเหลืองมีฝักที่สมบูรณ์ที่สุด หลังจากนั้นในระยะ R_7

และ R_8 น้ำหนักฝักถั่วเหลืองจะลดลงเนื่องจากต้นถั่วเหลืองแก่และแห้ง ฝักที่ไม่สมบูรณ์บางฝักจะร่วงหล่น และยังพบว่า เมื่อมีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนในดินเพิ่มขึ้น คุณค่าทางโภชนาการด้านโปรตีน (Figure 9) และไขมันของเมล็ดถั่วเหลือง (Figure 10) จะลดลงอย่างมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ด้วยเช่นกัน โดยปริมาณโปรตีนและไขมันจะแปรผกผันซึ่งกันและกัน ซึ่งหากมีปริมาณโปรตีนมาก จะมีปริมาณไขมันน้อย แต่จะพบว่า การทดลองปลูกถั่วเหลืองรุ่น F1 ที่มีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนในดิน 0 และ 20.0 พีพีเอ็ม จะมีปริมาณผลผลิต (ร้อยละ) (Figure 5) จำนวนฝัก/ต้น (Figure 6) จำนวนเมล็ด/ฝัก (Figure 7) และน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด (Figure 8) และคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองรุ่น F2 ที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

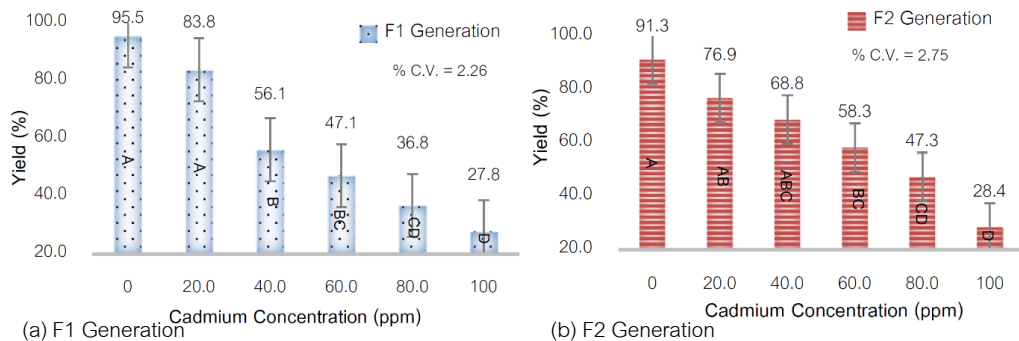


Figure 5 Yield (%) in (a) F1 generation and (b) F2 generation.

A, B, C, D Significantly different at $P < 0.05$ by Turkey HSD.

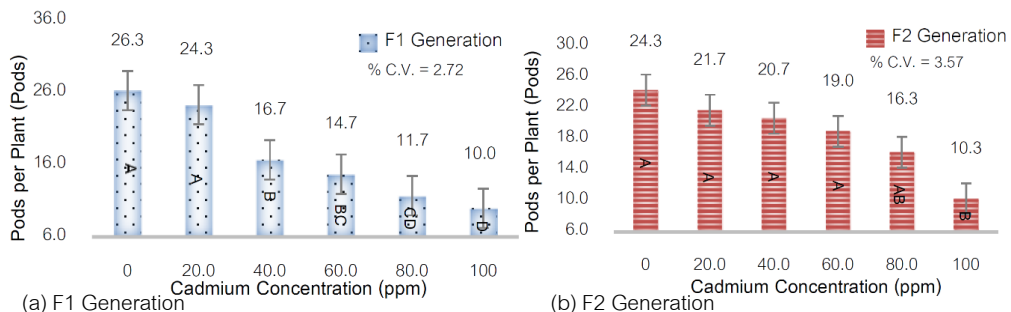


Figure 6 Pods/plant (pods) in (a) F1 generation and (b) F2 generation.

A, B, C, D Significantly different at $P < 0.05$ by Turkey HSD.

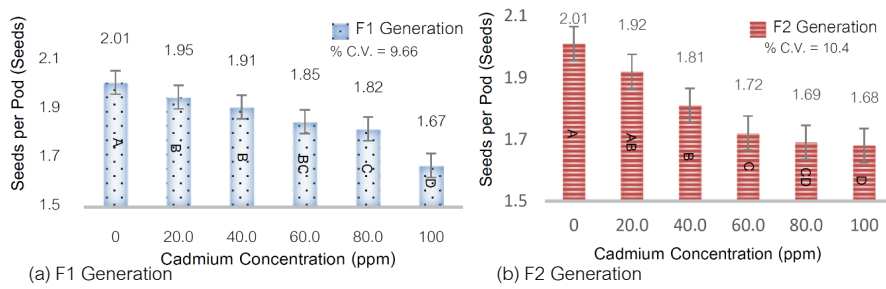


Figure 7 Seeds/pod (seeds) in (a) F1 generation and (b) F2 generation.

A, B, C, D Significantly different at $P < 0.05$ by Turkey HSD.

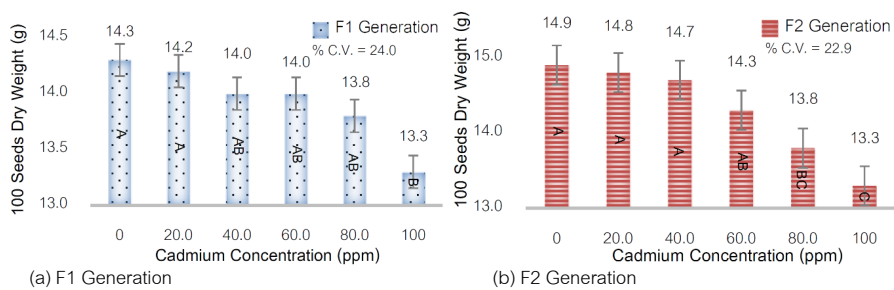


Figure 8 100 Seeds dry weight (g) in (a) F1 generation and (b) F2 generation.

A, B, C Significantly different at $P < 0.05$ by Turkey HSD.

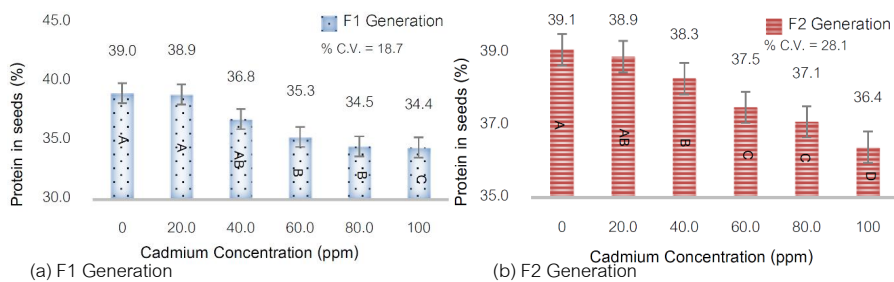


Figure 9 Protein in seeds (%) in (a) F1 generation and (b) F2 generation.

A, B, C, D Significantly different at $P < 0.05$ by Turkey HSD.

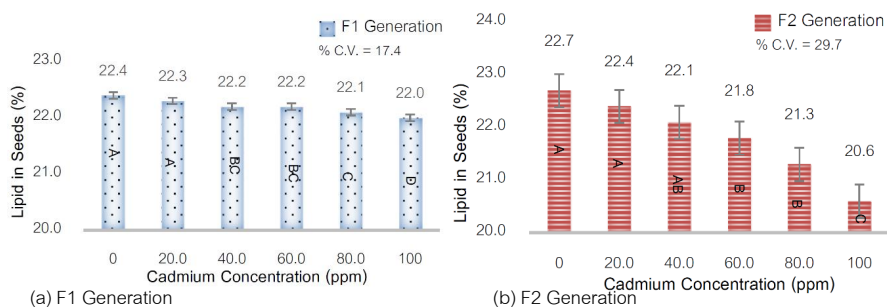


Figure 10 Lipid in seeds (%) in (a) F1 generation and (b) F2 generation.

A, B, C, D Significantly different at $P < 0.05$ by Turkey HSD.

ด้านอัตราการงอกของเมล็ดถั่วเหลืองพบว่า หากมีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนในดินเพิ่มขึ้นจะมีอัตราการงอกของเมล็ด (Figure 11) ลดลงอย่างมีความแตกต่าง

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทั้งใน F1 และ F2 Generation

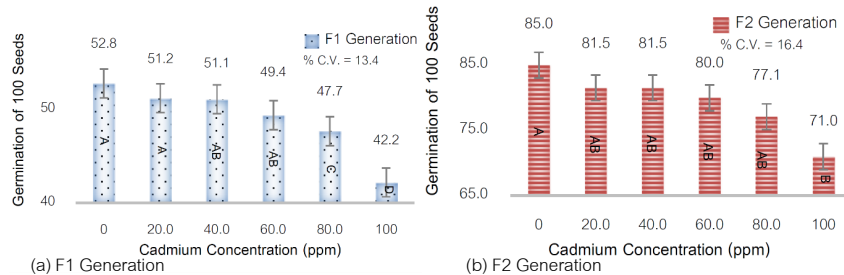


Figure 11 Germination of 100 seeds (%) in (a) F1 generation and (b) F2 generation.

A, B, C, D Significantly different at $P < 0.05$ by Turkey HSD.

จากการทดสอบดินก่อนการทดลองพบว่า มีค่าการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 2.23 dS/m อินทรีย์สาร (Organic Matter) มีค่าเท่ากับ 18.8 กรัม/100 กรัม ความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าเท่ากับ 6.98 ไนโตรเจนรวม (Total N) มีค่าเท่ากับ 0.610 กรัม/100 กรัม แคดเมียม (Cd) มีค่าเท่ากับ 0.491 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ดิน แมกนีเซียม (Mg) 0.650 กรัม/100 กรัม โพแทสเซียม (K) 917 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดิน และฟอสฟอรัส (P) 0.280 กรัม/100 กรัม และพบว่า หากมีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนในดินขณะปลูกถั่วเหลืองรุ่น F1 เพิ่มขึ้น จะมีปริมาณแคดเมียมตกค้างในดิน (Figure 2) และเมล็ดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Figure 13)

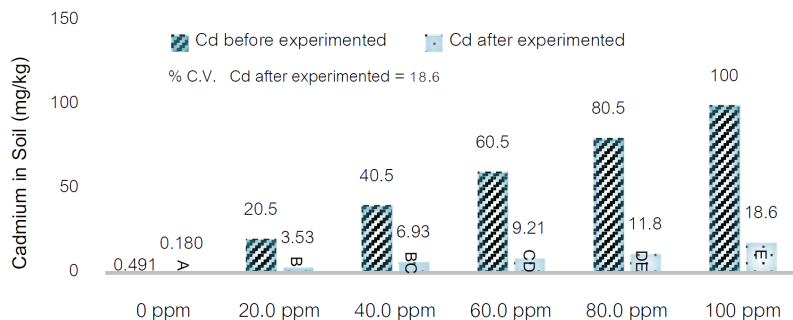


Figure 12 Cadmium concentration in soil (mg/kg) before and after cultivation in F1 generation.

A, B, C, D, E Significantly different at $P < 0.05$ by Turkey HSD.

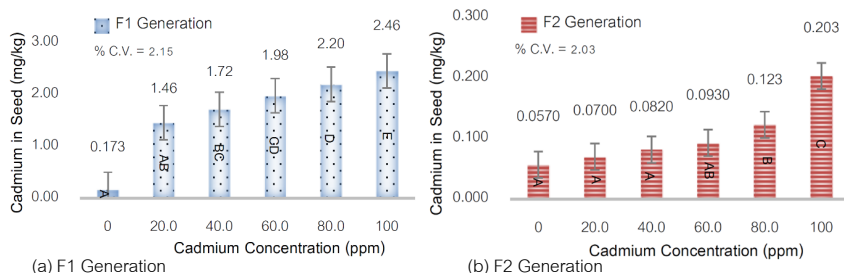


Figure 13 Cadmium in seeds (mg/kg) in (a) F1 generation and (b) F2 generation.

A, B, C, D, E Significantly different at $P < 0.05$ by Turkey HSD.

สรุปและวิจารณ์

ปริมาณแคดเมียมในดินส่งผลเสียต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต อัตราการงอก การให้ผลผลิต และคุณค่าทางโภชนาการด้านโปรตีนและไขมันของถั่วเหลืองรุ่น F1 Generation เพราะมีระยะเวลาที่ใช้ในการเจริญเติบโตน้อย ซึ่งมีสาเหตุเนื่องจากแคดเมียมจะไปชักนำให้เกิดการแบ่งเซลล์ ทำให้ต้นถั่วเหลืองเติบโตเร็วผิดปกติ มีการสะสมพลังงานจากแร่ธาตุอาหารในดินได้ลดลง ผลผลิตที่ได้จึงไม่สมบูรณ์ และความเข้มข้นของแคดเมียมที่สูงขึ้นจะไปมีผลรบกวนการทำงานของ DNA สามารถชักนำให้เกิดการทำลาย DNA และยังส่งผลต่อสารพันธุกรรมในพืช ทำให้ค่า Mitotic Index ลดลง และยังพบว่า ทำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซม เช่น C-mitotic, Anaphase Bridge, Breaks, Stickiness, Lagging, Vagrant Chromosome และ Micronuclei ซึ่งจะส่งผลต่อการทำงานของสารพันธุกรรมทำให้เกิดความผิดปกติของสารพันธุกรรมมากขึ้น (Gumlungpat, 2007) ทำให้ถั่วเหลืองในรุ่น F2 Generation ในหน่วยการทดลองที่มีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนในดินขณะปลูกถั่วเหลือง รุ่น F1 Generation มาก จะมีสมรรถภาพการเจริญเติบโต อัตราการงอก การให้ผลผลิต และคุณค่าทางโภชนาการด้านโปรตีนและไขมันที่ลดลง รวมถึงมีลักษณะภายนอกที่ลำต้นแคระแกรน และใบเหลืองใบหงิกเช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยการปนเปื้อนแคดเมียมในดินของ Hongrath (2003), Sangsreesuk (2005) และ Naksiri (2012) ซึ่งผลการทดลองเป็นไปตามสมมติฐาน คือ ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ต่างกันจากการปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่น f1 ทำให้สมรรถภาพการเจริญเติบโต ลักษณะภายนอก และการให้ผลผลิตของต้นถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่น f1 แตกต่างกัน และยังส่งผลให้สมรรถภาพการเจริญเติบโต ลักษณะภายนอก และการให้ผลผลิตของต้นถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 รุ่น f2 ในหน่วยการทดลองที่มีปริมาณแคดเมียมมากจะมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตช้า และผลผลิตน้อยกว่าหน่วยการทดลองที่มีปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมน้อย และถึงแม้ว่า ถั่วเหลืองในรุ่น F1 จะสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 0 ถึง 100 พีพีเอ็ม แต่เพื่อให้ได้ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการที่ดี

ของถั่วเหลืองในรุ่น F2 และเพื่อให้เกิดผลกระทบต่อถั่วเหลืองรุ่นต่อไป ที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อได้มีการแจกจ่ายเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองให้แก่เกษตรกรเพื่อนำไปเพาะปลูกต่อไป ดังนั้น การส่งเสริมการปลูกเมล็ดพืชมัถพันธุ์ที่ใช้ปลูกเพื่อการขยาย (F1) ควรปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมไม่เกิน 20.0 พีพีเอ็ม และควรมีการทดสอบในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนจริงอีกครั้ง

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ และอาจารย์ละอองดาว แสงหล้า ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ และอำนวยความสะดวกในเรื่องเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง และคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ และให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. สถานการณ์การผลิตและการตลาดรายสัปดาห์. แหล่งข้อมูล: <https://goo.gl/Sz5ptL>. ค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2559.
- Covance Inc. 2016. Food and Dietary Supplements. Available: <https://goo.gl/0ezyYp>. Accessed Feb. 5, 2016.
- Department of Agricultural and Management. 2009. Strategic of soybeans in years 2553-2556. Available: <https://goo.gl/EH87dK>. Accessed Feb. 26, 2015.
- Gumlungpat, N. 2007. The study of Cd and organometallic Cd-FA complex on the Genotoxicity of Ipomoea aquatica forsk. Master of Science Thesis, Silpakorn University, Nakhonpathom.
- Hongrath, K. 2003. The study of the substitution of tiger shrimp excrement for chemical fertilizer in soybean production. Master of Science Thesis, National Institute of Development Administration, Bangkok.
- Naksiri, R. 2012. Effects of cadmium on germination and growth of some rice varieties. Master of Science Thesis, Chiang Mai University, Chiang Mai.
- Public Health Department. 2009. Contamination of cadmium in Tambon Mae Tao and Tambon Phra Padaeng, Mae Sot District, Tak Province. Available: <https://goo.gl/tPH7xL>. Accessed Feb. 26, 2015.
- Sangsreesuk, P. 2005. Determination of cadmium in the kale, using effective microorganisms grown in soil, sludge from the wastewater treatment plant public estates Lat Krabang, Bangkok. Master of Science Thesis, Chandrakasem Rajabhat University, Bangkok.