การศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนทดแทนปุ๋ยเคมี สำหรับการผลิตถั่วเหลือง

เกศกมล เสริมวิริยะกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษา
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
พ.ศ. 2547

การศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนทดแทน
ปุ๋ยเคมีสำหรับการผลิตถั่วเหลือง

เกศกมล เสริมวิริยะกล

สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาแล้วเห็นสมควรอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ..... ประธานกรรมการ
(ดร. ธวัชชัย ศุภดิษฐ์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ..... กรรมการ
(ดร. สมพจน์ กรรณนุช)

อาจารย์ ..... กรรมการ
(ละอองดาว แสงหล้า)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ..... ผู้อำนวยการ
(ดร. สมพจน์ กรรณนุช)
วันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2547

บทคัดย่อ

ชื่อวิทยานิพนธ์ : การศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนทดแทนปุ๋ยเคมีสำหรับการผลิตถั่วเหลือง

ชื่อผู้เขียน : เกศกมล เสริมวิริยะกุล

ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

ปีการศึกษา : 2547

การศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนทดแทนปุ๋ยเคมีสำหรับการผลิตถั่วเหลือง โดยใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนจากโรงบำบัดน้ำเสียเมืองพัทยา เพื่อทำการศึกษาและเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผลผลิต องค์ประกอบของผลผลิตของถั่วเหลือง รวมถึงศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุอาหารและการสะสมโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท) ในดินและถั่วเหลือง โดยทำการปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ณ แปลงทดลองที่สร้างขึ้นภายในอำเภอแกลง จังหวัดระยอง ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2547 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2547 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมกับดินในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก และปุ๋ยเคมีสูตร 12 - 24 -12 ในอัตรา 10 กรัมต่อกระถาง รวม 6 หน่วยทดลอง หน่วยทดลองละ 30 กระถาง (ซ้ำ)

ผลการศึกษา พบว่า กากตะกอนน้ำเสียชุมชนสามารถใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีได้ โดยส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารในดิน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมกากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ขณะเดียวกันก็ส่งผลให้ปริมาณโลหะหนัก คือ ตะกั่ว แคดเมียม และปรอทในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ด้วยเช่นกัน โดยการเติมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีสมรรถภาพการผลิต ผลผลิต และองค์ประกอบการผลิตโดยรวมดีที่สุด และดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี แต่อัตราส่วนที่ค่อนข้างต่ำจากการทดลองดังกล่าวยังพบปริมาณตะกั่วและปรอทในใบและเมล็ดของถั่วเหลืองเกินค่ามาตรฐาน

สรุปได้ว่า การใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนทดแทนปุ๋ยเคมีสำหรับการปลูกพืช อาทิเช่น ถั่วเหลือง นั้น กากตะกอนสามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารในการปลูกพืชได้ แต่ต้องใช้ในปริมาณหรืออัตราส่วนที่เหมาะสม เนื่องจาก ภายหลังสิ้นสุดการทดลองการสะสมของปริมาณโลหะหนักในดินที่ใช้เพื่อการเกษตรกรรมยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม ไม่ควรใช้กากตะกอนเป็นแหล่งธาตุอาหารปุ๋ยสำหรับพืชที่ใช้เพื่อการบริโภค เนื่องจาก อาจเกิดการตกค้างของโลหะหนักในผลผลิตของพืชได้

ABSTRACT

Title of Thesis	:	The Study of the Substitution of Sewage Sludge for Chemical Fertilizer in Soybean Production
Author	:	Miss Katekamol Sermviriyakul
Degree	:	Master of Science (Environmental Management)
Year	:	2004

The study of using sewage sludge from domestic wastewater treatment of Mueng Pattaya District to replace chemical fertilizer in soybean production which compared the results in terms of plant growth and yield component, including nutrients and heavy metals (lead, cadmium and mercury) in soil and soybean. The experiment was conducted to study the growth of CM.60 cultivar during February, 2004 to June, 2004 in artificial housing at Klaeng District, Rayong Province. This experiment was a completely randomized design, divided into 6 treatments, 30 replications (pots) for each treatment. Sewage sludge was mixed with soil at the rate of 0, 5, 10, 15 and 20 percent by weight, and chemical fertilizer used was formula 12 - 24 - 12 at the rate of 10 grams/pot.

The results showed that chemical fertilizer can be replaced by sewage sludge in soybean production. Sewage sludge application rate 0 - 20 percent by weight effected to nutrients in soil which were increased, and were significantly different ($p<0.05$). While effected similarly to heavy metals which were increased, and were significantly different ($p<0.05$). At 5 percent by weight was the best potential productivity and it was better than chemical fertilizer. However, this low rate had the concentration of lead and mercury in leaves and seeds over the standard level yet.

In conclusion, the substitution of sewage sludge for chemical fertilizer in plants production etc. soybean, sewage sludge could be a nutrient source for plants production but it must use an appropriate rate. Due to after this experiment finished,

the concentration of heavy metals in soil were in acceptable criteria for agricultural production. However, it should not be used for plant consumed because plant products received may have residue of heavy metals affecting to consumers in a long term.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่านที่ได้ช่วยชี้แนะแนวทางในการศึกษาวิจัย ให้ความช่วยเหลือ ข้อแนะนำ การตรวจแก้ไขทางวิชาการ ตลอดจนกำลังใจที่มีคุณค่าอย่างยิ่งต่อผู้เขียน

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพจน์ กรรณนุช และ อาจารย์ ละอองดาว แสงหล้า กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ข้อเสนอแนะ และคำปรึกษาอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษา รวมทั้งตรวจแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์ และควบคุมการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในสำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษา หลักสูตรการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ด้วยความเมตตาแก่ผู้เขียน และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภายในสำนักฯ ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการประสานงานในระหว่างการศึกษาและการจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ดร. ลดาวัลย์ กรรณนุช และ อาจารย์ นครินทร์ พริบไหว ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ เจ้าหน้าที่สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรที่ 6 ตำบลพลิ้ว อำเภอแหลมสิงห์ จังหวัดจันทบุรี และเจ้าหน้าที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุก ๆ ท่านที่ได้ให้ความสะดวกและช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ขอขอบคุณเทศบาลเมืองพัทยา และเจ้าหน้าที่ภายในโรงบำบัดน้ำเสียเมืองพัทยา ซอยวัดหนองใหญ่ ตำบลหนองปรือ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์กากตะกอนน้ำเสีย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภายในสถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดระยอง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลประกอบการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ดุณกฤษฎา หงส์รัตน์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในระหว่างการจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ การจัดการสิ่งแวดล้อมรุ่น 7 ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในระหว่างการศึกษาและจัดทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อชยุต และคุณแม่พัชรี เสริมวิริยะกุล ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษา และให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน ขอขอบคุณพี่สาวและน้องชายที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนามและเป็นกำลังใจให้เสมอมา จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทั้งนี้ คุณประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอมอบความดีทั้งหมดแด่คุณพ่อ คุณแม่ และคณาจารย์ผู้ให้ความรู้ทุกท่าน ด้วยความเคารพอย่างสูง

เกศกมล เสริมวิริยะกุล

กันยายน 2547

b127118

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		(3)
ABSTRACT		(4)
กิตติกรรมประกาศ		(6)
สารบัญ		(7)
สารบัญตาราง		(9)
สารบัญภาพ		(11)
บทที่ 1 บทนำ		1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา		1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย		4
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย		4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย		4
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ		5
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	c2-1	6
2.1 กากตะกอนน้ำเสียชุมชน		6
2.2 การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร		13
2.3 ความเสี่ยงในการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร		17
2.4 โลหะหนัก	c2-2	18
2.5 ข้อมูลพื้นฐานของถั่วเหลือง		25
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา		38
3.1 วัสดุ อุปกรณ์		38
3.2 วิธีการทดลอง		38

บทที่ 4 ผลการทดลอง	c4-1	**45**	
4.1 สมรรถภาพของถั่วเหลือง		**45**	
4.2 ผลผลิตและองค์ประกอบของการผลิต		**76**	
4.3 ปริมาณโลหะหนัก		**82**	
4.4 คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหาร	c4-2	**96**	
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ		**105**	
5.1 สรุปผลการทดลอง		**105**	
5.2 ข้อเสนอแนะ		**108**	
บรรณานุกรม		**110**	
ภาคผนวก		**115**	
ภาคผนวก ก : การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ	ap-1	**116**	
ภาคผนวก ข : คำนวณผลผลิตต่อกระถาง	ap-2	146 **172**	ap-3
ภาคผนวก ค : ภาพวัสดุ อุปกรณ์และการปลูก		**174**	
ภาคผนวก ง : การเก็บข้อมูลวันเก็บเกี่ยว		**179**	
ภาคผนวก จ : ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา		**186**	
ประวัติผู้เขียน		**192**	

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอน	10
2.2	ธาตุอาหารพืชในมูลสัตว์บางชนิด	11
2.3	ค่าปกติโดยเฉลี่ยของปริมาณตะกั่วในดินและในสารที่อาจเป็นแหล่งธาตุพิษในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	20
2.4	การกำหนดระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (V - Stage)	27
2.5	การกำหนดระยะการเจริญพันธุ์ในถั่วเหลือง (R - Stage)	28
2.6	ระดับความเค็มของดินและอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช	30
2.7	ความทนเค็มของพืชไร่	31
2.8	ความเข้มข้นของธาตุอาหารต่าง ๆ ที่เพียงพอต่อความต้องการของถั่วเหลือง	35
3.1	ปริมาณดินและกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่ใช้ในแต่ละซ้ำของหน่วยทดลอง	41
3.2	การเก็บข้อมูลในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลือง	44
4.1	จำนวนวันของการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี	46
4.2	จำนวนวันของการเจริญเติบโตทางการแพร่ขยายพันธุ์ในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี	52
4.3	จำนวนข้อและความสูงต่อต้นเฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี	63
4.4	พื้นที่ใบต่อสองต้นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี	65
4.5	น้ำหนักแห้งของฝักเฉลี่ย (กรัมต่อต้น) ในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี	69

4.6	น้ำหนักแห้งทั้งต้นเฉลี่ย (กรัมต่อต้น) ในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี	74
4.7	ผลผลิตต่อกระถาง จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก และน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี	79
4.8	คุณค่าทางโภชนะของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี	82
4.9	ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนและวิธีการวิเคราะห์	83
4.10	ปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะนำไปใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศต่าง ๆ	84
4.11	ปริมาณโลหะหนักในดินเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี	87
4.12	ปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรมของประเทศต่าง ๆ	89
4.13	ปริมาณโลหะหนักในใบของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี	91
4.14	ปริมาณโลหะหนักในเมล็ดของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี	94
4.15	คุณสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในกากตะกอนและดินที่ใช้ในการทดลอง	95
4.16	ระดับไนโตรเจนในดิน	98
4.17	ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินและธาตุอาหารพืชสำหรับถั่วเหลือง	101
4.18	คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในดินเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี	103

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ค่า pH ของดินที่เหมาะสมสำหรับพืชชนิดต่าง ๆ	33
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของดินกับระดับของธาตุอาหารพืชในดินที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้	34
3.1	ลักษณะของโรงเรือนประดิษฐ์	41
3.2	ลักษณะการจัดวางกระถางภายในโรงเรือนประดิษฐ์จากการสุ่ม	42
4.1	การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 7 วัน	47
4.2	การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 14 วัน	48
4.3	การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 21 วัน	49
4.4	การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 28 วัน	50
4.5	การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 35 วัน	53
4.6	การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 42 วัน	54
4.7	การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 49 วัน	55
4.8	การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 56 วัน	56
4.9	การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 63 วัน	57
4.10	การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 70 วัน	58
4.11	การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 77 วัน	59
4.12	การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 84 วัน	60
4.13	พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อลองต้นในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี	66
4.14	น้ำหนักแห้งของฝักเฉลี่ย (กรัมต่อต้น) ในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี	70
4.15	น้ำหนักแห้งทั้งต้นเฉลี่ย (กรัมต่อต้น) ในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี	75
4.16	ปริมาณโลหะหนักในดินเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี	88

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการขยายตัวของชุมชนและอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่องตลอดมา ส่งผลให้ประเทศไทยประสบปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากการเกิดมลพิษจากของเสียต่าง ๆ โดยเฉพาะปัญหาน้ำเสียซึ่งนับเป็นปัญหาที่สำคัญปัญหาหนึ่ง และก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อประชาชนเป็นอย่างมาก เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการดำรงชีวิต ทั้งในด้านการอุปโภคและบริโภค ซึ่งน้ำเสียจากแหล่งชุมชนนับวันจะยิ่งมีปัญหาเพิ่มมากขึ้น ตามการขยายตัวของชุมชนและการเพิ่มขึ้นของประชากร การปล่อยน้ำเสียจากแหล่งชุมชนโดยขาดการควบคุมและการบำบัด เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย โดยเฉพาะในแม่น้ำสายสำคัญต่าง ๆ เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน เป็นต้น ทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำเสื่อมโทรมลง เกิดความเสียหายอย่างมากต่อการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ โดยน้ำในแหล่งน้ำตามธรรมชาติบางแห่งไม่สามารถนำน้ำมาใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ได้ นอกจากใช้เพื่อการคมนาคมเท่านั้น ซึ่งหากปล่อยให้ปัญหาน้ำเสียเกิดขึ้นโดยไม่มีการแก้ไข หรือวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างเหมาะสมแล้ว ในอนาคตประเทศไทยเราอาจจะต้องประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำสะอาดเพื่อใช้ในการอุปโภคและบริโภค ดังนั้น ภาครัฐบาลซึ่งได้เล็งเห็นถึงความจำเป็นที่จะต้องมีระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียในชุมชนต่าง ๆ จึงจัดสรรงบประมาณเพื่อการลงทุนและก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น เป็นการลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ให้เหลือในปริมาณที่แหล่งรองรับน้ำนั้น ๆ สามารถทำให้บริสุทธิ์ได้ด้วยตนเอง โดยในปี พ.ศ. 2544 ประเทศไทยมีระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนกระจายอยู่ทั่วประเทศทั้งที่ทำการเดินระบบแล้ว 62 แห่ง และที่กำลังก่อสร้าง 21 แห่ง รวมทั้งสิ้น 83 แห่ง โดยมีความสามารถในการรองรับน้ำเสียรวมทั้งสิ้น 2,836,181 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (องค์การจัดการน้ำเสีย, 2546: 1) ทั้งนี้ การบำบัดน้ำเสียมักจะมีกากตะกอนเกิดขึ้นเสมอ การบำบัดน้ำเสียชุมชนไม่ว่าจะเป็นกระบวนการใดจะมีกากตะกอนเกิดขึ้นโดยเฉลี่ย 60 กรัมกากตะกอนแห้งต่อคนต่อวัน (Orawan, 1990 อ้างถึงใน ชวิโรจน์ ตันนุกิจ, 2542: 5) สำหรับกากตะกอนที่ได้จากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนจะมีลักษณะ คุณสมบัติ และองค์ประกอบแตกต่างกันไป ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับกิจกรรมการใช้น้ำของประชาชนในบริเวณนั้น ๆ โดยทั่วไปกากตะกอนจะมีอินทรีย์สารประมาณ

ร้อยละ 50 - 80 จะมีปริมาณไนโตรเจนประมาณร้อยละ 2.5 - 5.0 ฟอสฟอรัสร้อยละ 1.5 - 2.0 และโปตัสเซียมร้อยละ 0.02 - 0.5 โดยน้ำหนักแห้ง (Bungting, 1963 อ้างถึงใน กัลยา สุนทรวงศ์สกุล, อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และประกิตติ์สิน สีหนนทน์, 2538: 68) จากสถานการณ์ดังกล่าวข้างต้น และจากองค์ประกอบในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่สามารถเอื้อประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงได้มีแนวคิดในการจัดการกากตะกอนน้ำเสียชุมชน โดยทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะปลูกพืชชนิดต่าง ๆ ทั้งพืชไร่และพืชสวน

ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรม และเป็นพืชน้ำมันที่เป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในประเทศและตลาดโลก โดยในประเทศไทยการใช้ถั่วเหลืองในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีปริมาณสูงมากไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสกัดน้ำมัน อุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น แต่เนื่องจากถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีความต้องการธาตุอาหารมากโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส และดินที่ใช้เพาะปลูกส่วนใหญ่มักมีธาตุอาหารดังกล่าวไม่เพียงพอต่อความต้องการของถั่วเหลือง โดยในปัจจุบัน การปลูกถั่วเหลืองเกษตรกรจะต้องใส่ปุ๋ยเพิ่มเติม การใช้ปุ๋ยที่ประหยัดต้นทุน คือ การใช้ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโปตัสเซียม (K) ในสัดส่วนที่ตรงกับที่พืชต้องการ ซึ่งในถั่วเหลืองมีความต้องการธาตุอาหารหลักในอัตราส่วน คือ 1 - 3 - 2 เช่น 3 - 9 - 6 ของ N, P_2O_5 และ K_2O แต่ปัจจุบันการผลิตปุ๋ยมักจะผลิตชนิดที่พืชส่วนใหญ่ใช้ เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตสูง เช่น ปุ๋ยข้าว (16 - 20 - 0 และ 16 - 16 - 8) ปุ๋ยพืชไร่ (15 - 15 - 15) อย่างไรก็ตาม เพื่อลดต้นทุนการใส่ปุ๋ยและเพื่อไม่ให้มีการใส่ปุ๋ยมากเกินความจำเป็น จึงมีการรณรงค์ให้เกษตรกรรู้จักการผสมปุ๋ยเคมีใช้เอง โดยเกษตรกรสามารถเลือกชนิด สัดส่วนผสม และอัตราที่ต้องการของพืชและแหล่งปลูกได้เพื่อให้ตรงกับความต้องการ แต่วิธีดังกล่าวก็ยังไม่แพร่หลายมากนักเพราะมีความยุ่งยากสำหรับเกษตรกร ในปัจจุบันได้มีการส่งเสริมการนำเอาปุ๋ยอินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ มาใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี ซึ่งวิธีนี้ถือว่าเป็นการปรับปรุงดินที่ดีที่สุด (สุวพันธ์ รัตนะรัต, 2542: 55) โดยปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้มีหลายชนิด เช่น ปุ๋ยจากมูลสัตว์ ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยชีวภาพ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ กากตะกอนน้ำเสียชุมชนซึ่งปัจจุบันกำจัดโดยการนำไปฝังกลบ ถมที่ หรือทิ้งในที่รกร้าง ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดิดตามมา จึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการนำมาใช้ในการปรับปรุงดิน รวมทั้งลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกร แต่ทั้งนี้เนื่องจากกากตะกอนมิได้มีส่วนที่เป็นธาตุอาหารพืชเท่านั้น แต่ยังประกอบด้วยโลหะหนักหลายชนิด ซึ่งโลหะหนักบางชนิดมีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต แต่บางชนิดมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศได้แม้ว่าจะมีในปริมาณเล็กน้อยก็ตาม จึงทำให้การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ และเกิดมีความไม่แน่ใจในความปลอดภัยโดยเฉพาะผลกระทบจากโลหะหนักที่ตกค้างอยู่ ทำให้ต้องมีการศึกษาถึงปริมาณและอัตราการใช้ที่เหมาะสมเพิ่มเติม เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการนำไปใช้มากขึ้น

เมืองพัทยา เป็นเมืองที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจของจังหวัดชลบุรี ทำให้เป็นเมืองที่ก่อให้เกิดน้ำเสียจำนวนมหาศาล โดยมีปริมาณน้ำเสียวันละประมาณ 50,000 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากสถานที่ต่าง ๆ เช่น ร้านอาหาร ตลาดสด โรงแรม โรงพยาบาล สถานบันเทิง ห้างสรรพสินค้า โรงภาพยนตร์ และอาคารบ้านเรือน เป็นต้น โดยน้ำเสียเหล่านี้หากไม่ได้รับการจัดการให้มีคุณภาพเหมาะสมก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือทะเลแล้ว ย่อมทำให้เกิดความสูญเสียต่อทัศนียภาพ และเกิดปัญหาความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำชายฝั่งทะเลของเมืองพัทยา ดังนั้น กรมควบคุมมลพิษจึงร่วมมือกับเมืองพัทยาในการดำเนินการเพื่อก่อสร้างระบบระบายน้ำ ระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสีย โดยในปัจจุบันเมืองพัทยามีระบบบำบัดน้ำเสียรวมที่ดำเนินการแล้ว 2 แห่ง คือ ระบบบำบัดน้ำเสียหาดจอมเทียน ซึ่งมีความสามารถบำบัดน้ำเสียได้วันละ 20,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และระบบบำบัดน้ำเสียซอยวัดหนองใหญ่ ที่สามารถบำบัดน้ำเสียได้วันละ 65,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวันในระยะ 10 ปีแรก และเพิ่มเป็น 137,500 ลูกบาศก์เมตรต่อวันในระยะ 10 ปีหลัง สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียซอยวัดหนองใหญ่เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบเลี้ยงตะกอน (Activated Sludge) และมีปริมาณกากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านออกจากเครื่องรีดตะกอนโดยเฉลี่ยประมาณ 2 - 3 ตันต่อวัน ปัจจุบันได้มีการนำไปใช้เพื่อการเพาะปลูกต้นไม้ในบริเวณเมืองพัทยา และส่วนที่เหลือจะทำการกองทิ้งไว้เพื่อรอการนำไปใช้ และจัดจำหน่ายให้กับผู้ที่สนใจต่อไป ซึ่งส่วนใหญ่จะนำไปเพื่อทำการเพาะปลูกไม้ดอกและไม้ประดับต่าง ๆ แต่ทั้งนี้เนื่องจากในอนาคตเมื่อกากตะกอนน้ำเสียมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจะมีการนำไปฝังกลบซึ่งยังก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อเนื่องได้อีก

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น แนวทางหนึ่งในการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ คือ การนำกลับมาใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืชโดยเฉพาะถั่วเหลือง เนื่องจากถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศสูง เป็นพืชที่มีความต้องการมาก มีการนำไปใช้ได้อย่างแพร่หลาย และสามารถใช้เป็นพืชชี้วัดในการทดลอง ถึงการตกค้างของโลหะหนักทั้งในใบ ลำต้น และเมล็ดได้ ดังนั้น การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะนำเสนอทางเลือกหนึ่งในการจัดการกากตะกอนน้ำเสียชุมชน โดยการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสมและปลอดภัยจากผลกระทบของโลหะหนัก โดยนำมาใช้ปรับปรุงดินเพื่อใช้เป็นแหล่งปุ๋ยในการผลิตถั่วเหลือง เป็นการลดต้นทุนด้านปุ๋ยของเกษตรกร และเพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการวางแผนการจัดการกากตะกอนน้ำเสียชุมชนให้เกิดความมั่นใจ และเกิดประสิทธิภาพในการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียชุมชน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อดินและพืช รวมทั้งสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ในระยะยาว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุอาหาร และโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และปรอทในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและในดินเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลอง

1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง ประกอบด้วยการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ และการเจริญทางการแพร่ขยายพันธุ์ระหว่างการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมกับดินในอัตราส่วนต่าง ๆ และการใช้ปุ๋ยเคมี

1.2.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดถั่วเหลือง ระหว่างการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมกับดินในอัตราส่วนต่าง ๆ และการใช้ปุ๋ยเคมีภายหลังสิ้นสุดการทดลอง

1.2.4 เพื่อศึกษาโลหะหนักตกค้างในใบและเมล็ดถั่วเหลืองภายหลังสิ้นสุดการทดลอง

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

กากตะกอนน้ำเสียชุมชนสามารถใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารในการผลิตถั่วเหลืองได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองและสภาพแวดล้อมในระยะยาว

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 กากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่ใช้ในการทดลอง ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียเมืองพัทยา ซอยวัดหนองใหญ่ ตำบลหนองปรือ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบเลี้ยงตะกอน (Activated Sludge)

1.4.2 เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดลอง คือ พันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยทำการปลูกระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2547 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2547

1.4.3 ดินที่ใช้ในการปลูกใช้ดินในพื้นที่อำเภอแกลง จังหวัดระยอง ซึ่งเป็นดินชุดแกลง

1.4.4 กระถางที่ใช้ในการปลูก คือ กระถางพลาสติกสีดำ เส้นผ่าศูนย์กลางปากกระถาง 27.94 เซนติเมตร ความสูง 22.86 เซนติเมตร

1.4.5 สถานที่ทำการทดลอง ใช้โรงเรือนประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นภายในอำเภอแกลง จังหวัดระยอง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงคุณสมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุอาหาร และปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในกากตะกอนน้ำเสีย ชุมชนและในดิน

1.5.2 ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชน ในการปลูกถั่วเหลือง

1.5.3 เป็นแนวทางเบื้องต้นในการนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ เพื่อการเพาะปลูกพืชชนิดอื่น ๆ

1.5.4 เป็นการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียชุมชนให้หมดไป และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 กากตะกอนน้ำเสียชุมชน

2.1.1 ที่มา ชนิด และคุณสมบัติของกากตะกอน

กากตะกอน (Sludge) หมายถึง ของแข็ง (ที่ยังมีน้ำปน) ที่แยกออกจากน้ำหรือน้ำเสีย และจมสะสมอยู่เบื้องล่าง หรือของแข็ง (ที่ยังมีน้ำปน) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการบำบัดโดยวิธีการทางเคมีและตกตะกอน หรือกลุ่มจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยา (สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540: 71) กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป มักมีกากตะกอนเกิดขึ้นเสมอ โดยอัตราการเกิดกากตะกอนจะขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัด รวมทั้งขนาด และกิจกรรมการใช้น้ำของประชาชนในพื้นที่นั้น ๆ อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2532 อ้างถึงใน คมกฤช ภาคย์ทองสุข, 2535: 4) ได้คำนวณอัตราการเกิดกากตะกอนอย่างคร่าว ๆ พบว่า โดยเฉลี่ยแล้วคนหนึ่ง ๆ จะผลิตกากตะกอน 60 กรัมกากตะกอนแห้งต่อคนต่อวัน ขณะที่ Chongrak (1989 อ้างถึงใน ศิราณี ศิริสุโขดม, 2535: 6) ได้ประมาณอัตราการเกิดกากตะกอนในประเทศกำลังพัฒนาในรูปน้ำหนักแห้งได้เท่ากับ 25 - 40 กิโลกรัมต่อคนต่อปี หรือประมาณ 800 กิโลกรัมต่อคนต่อปีในรูปน้ำหนักเปียก (มีน้ำร้อยละ 95) ส่วนอัตราการเกิดกากตะกอนในประเทศพัฒนาแล้ว เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศอังกฤษ จะมีกากตะกอนในรูปน้ำหนักแห้งประมาณ 7.7 และ 1.2 ล้านตันต่อปีตามลำดับ และแนวโน้มการเกิดกากตะกอนจะเพิ่มมากขึ้นในเกือบทุกประเทศ (Manson, 1989 อ้างถึงใน ศิราณี ศิริสุโขดม, 2535: 6) ทั้งนี้ กากตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามขั้นตอน กระบวนการหรือกรรมวิธีบำบัดน้ำเสียนั้น ๆ เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2539: 167) และ ปราณี พันธุมสินชัย (2539: 40 - 41) ได้แบ่งขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียออกเป็น 5 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การบำบัดขั้นเตรียมการ (Pretreatment) เป็นการบำบัดเพื่อปรับสภาพของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด เพื่อลดผลเสียที่จะเกิดขึ้นกับระบบ เช่น

1.1 การปรับเสถียร (Equalization)

1.2 การปรับให้เป็นกลาง (Neutralization)

1.3 การกำจัดน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease Removal)

2. การบำบัดขั้นต้น (Primary Treatment) ได้แก่ การกำจัดสารที่ลอยหรือตกตะกอนได้ในน้ำเสีย เป็นการลดปริมาณของแข็งและบีโอดีได้ราวร้อยละ 20 - 30 เช่น

2.1 การกรองด้วยตะแกรง (Screening)

2.2 การกำจัดกรวดทราย (Grit Removal)

2.3 การตกตะกอน (Sedimentation)

3. การบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) ได้แก่ การกำจัดค่าบีโอดีในน้ำเสียลงไปร้อยละ 50 - 90 เช่น

3.1 ระบบเอเอส (Activated Sludge)

3.2 ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter)

3.3 ระบบอาร์บีซี (RBC)

3.4 ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

4. การบำบัดขั้นสูง (Advanced or Tertiary Treatment) เป็นขั้นแต่งเติมก่อนปล่อยน้ำทิ้ง เพื่อกำจัดธาตุอาหาร หรือโลหะหนักที่ยังเหลืออยู่ (Trace Metals) เช่น

4.1 ระบบไนตริฟิเคชั่น - ดีไนตริฟิเคชั่น (Nitrification - Denitrification)

4.2 ระบบกรอง (Filtration)

4.3 ระบบดูดติดผิวด้วยถ่าน (Carbon Absorption)

4.4 ระบบแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange)

4.5 ระบบออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis)

4.6 การบำบัดน้ำเสียโดยพื้นดิน (Land Treatment of Wastewater)

5. การบำบัดและกำจัดตะกอนจุลินทรีย์ (Sludge Treatment and Disposal) ตะกอนจุลินทรีย์ คือ ตะกอนในลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลวแบบขี้เลนที่ได้จากการรวมตัวของของแข็งในถังตกตะกอน ซึ่งการบำบัดตะกอนจุลินทรีย์ประกอบด้วย

5.1 การทำให้ข้น (Thickening)

5.2 การย่อย (Aerobic or Anaerobic Digestion)

5.3 การรีดน้ำ (Dewatering)

5.4 การตากแห้ง (Drying Bed)

5.5 การทำปุ๋ยหมัก (Composting)

5.6 การบำบัดน้ำเสียโดยพื้นดิน (Land Treatment of Wastewater)

กระบวนการหรือกรรมวิธีบำบัดน้ำเสียมีหลายกระบวนการ เนื่องจากในน้ำเสียมีองค์ประกอบของสิ่งสกปรกเจือปนอยู่หลายอย่าง ทั้งในรูปที่เป็นของแข็งหรือสารละลาย สารอินทรีย์ซึ่งต้องทำการกำจัด แยก หรือย่อยสลายสารต่าง ๆ ดังนั้น กระบวนการหรือกรรมวิธีบำบัดน้ำ

เสียต่าง ๆ จึงขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสียทั้งด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ กิตติภูมิ มีประดิษฐ์ (2545: 253 - 254) ได้สรุปกระบวนการหรือกรรมวิธีบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปเป็น 3 กระบวนการ คือ

1. กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีกายภาพ (Physical Wastewater Treatment Processes) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ง่ายที่สุด โดยอาศัยหลักทางฟิสิกส์ ใช้เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่อยู่ในรูปของแข็งหรือสิ่งแขวนลอยที่ไม่ละลายน้ำ และปนอยู่ในน้ำเสีย เช่น การใช้ตาข่ายหรือตะแกรงดักเอาสิ่งสกปรกออก การตกตะกอน และการกรอง

2. กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีเคมี (Chemical Wastewater Treatment Processes) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ค่อนข้างยากกว่าวิธีแรก และมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เนื่องจากต้องมีการใช้สารเคมีในกระบวนการบำบัด เพื่อประโยชน์ในการกำจัดสิ่งสกปรกที่อยู่ในรูปสารละลาย และส่วนมากจะเป็นอนินทรีย์สารซึ่งย่อยสลายได้ยากในธรรมชาติ หรือโดยวิธีทางชีวภาพ เช่น การเติมสารเคมีลงไปเพื่อทำให้เกิดตะกอน หรือการทำให้สภาพของน้ำเสียเป็นกลาง เป็นต้น

3. กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพ (Biological Wastewater Treatment Processes) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ค่อนข้างง่ายแก่การดูแลบำรุงรักษากว่าวิธีทางเคมี แต่ยุ่งยากกว่าวิธีทางกายภาพ ค่าใช้จ่ายในดูแลและบำรุงรักษาในการเดินระบบ (Maintenance and Operation) จะถูกกว่ากระบวนการทางเคมี และประสิทธิภาพในการบำบัดอยู่ในช่วงระหว่างดีจนถึงดีมาก ดังนั้น โดยทั่วไปจึงนิยมใช้กระบวนการบำบัดโดยวิธีนี้มาก เพราะมีความเหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียชุมชนมากที่สุด ตัวอย่างของกระบวนการนี้ ได้แก่ ระบบเลี้ยงตะกอน (Activated Sludge) และระบบบ่อผึ่ง (Oxidation Pond) เป็นต้น

นอกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย 3 กระบวนการใหญ่ ๆ แล้ว บางครั้งในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจำเป็นต้องใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียหลายกระบวนการผสมผสานกัน เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด เช่น ออกแบบโดยใช้กระบวนการทางกายภาพและเคมีผสมผสานกัน เรียกว่า กระบวนการทางฟิสิคัลเคมี (Physical - Chemical Processes) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย เช่น กระบวนการดูดซับด้วยคาร์บอน (Carbon Absorption) กระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange Process) เป็นต้น โดยวัตถุประสงค์ของการบำบัดด้วยกระบวนการนี้ คือ ต้องการได้คุณภาพน้ำทิ้งที่ดีตามความต้องการ และในมาตรฐานสูง แต่กระบวนการนี้จะมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดำเนินการสูง ดังนั้น จึงต้องมีการพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำมาใช้ด้วย

สำหรับสารแขวนลอยที่ถูกกำจัดออกจากน้ำเสียระหว่างการตกตะกอน จะถูกรวบรวมเพื่อบำบัดและนำไปกำจัดต่อไป เรียกว่า ตะกอนจุลินทรีย์ หรือกากตะกอน (Sludge) โดยกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ (อรรณพ หอมจันทร์, 2535: 46)

1. กากตะกอนที่เป็นสารอนินทรีย์ ได้แก่ กากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น โรงงานชุบโลหะ โรงงานผลิตแบตเตอรี่ หรือโรงงานอุตสาหกรรมเคมีอื่น ๆ ที่มีน้ำเสียจากกระบวนการผลิต และ/หรือ ในการชะล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์

2. กากตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ กากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน การปศุสัตว์ หรือโรงงานแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้วิธีทางชีวภาพในการบำบัด

สำหรับลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนจะอยู่ในรูปกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Semi - Solid) มีลักษณะคล้ายดินเหนียว มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ เมื่ออยู่ในรูปที่ไม่คงตัวจะมีกลิ่นเหม็น มีแก๊ส และความร้อนจากการย่อยสลายกากตะกอนของจุลินทรีย์ ส่วนประกอบของกากตะกอนสามารถแยกออกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ (วรรณวิมล เศาณานนท์, 2542: 21)

1. ธาตุอาหารพืช ได้แก่ ธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม) จุลธาตุอาหารพืช (เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี) และธาตุอาหารอื่น ๆ

2. สารโลหะหนัก สารอินทรีย์เคมี จุลินทรีย์ และหนอนพยาธิต่าง ๆ

โดยทั่วไป องค์ประกอบส่วนใหญ่ของกากตะกอนจะอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่น่าสนใจในการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอินทรีย์สาร และมีปริมาณธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ทั้งนี้ หากเปรียบเทียบคุณสมบัติของกากตะกอน ดังตารางที่ 2.1 กับคุณสมบัติของปุ๋ยมูลสัตว์ (Animal Manure) ดังตารางที่ 2.2 พบว่า กากตะกอนน้ำเสียมีปริมาณธาตุอาหารหลักในปริมาณที่ใกล้เคียงกับปุ๋ยมูลสัตว์ แต่ทั้งนี้ ควรมีการพิจารณาถึงปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน ก่อนที่จะมีการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เพื่อให้เกิดความมั่นใจและเกิดความปลอดภัยจากการสะสมของโลหะหนักทั้งในดินและพืช

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอน

คุณสมบัติทางเคมี	กากตะกอนน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง[1] (ADS)	กากตะกอนโรงฆ่าสัตว์บางแค[1] (ATS)	กากตะกอนน้ำเสียชุมชน[2] (ADS)	กากตะกอนน้ำเสียชุมชน[2] (ATS)
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	7.00	7.00	-	-
ปริมาณอินทรียวัตถุ (ร้อยละ)	52.79	50.74	46.10	50.74
ปริมาณคาร์บอน (ร้อยละ)	30.40	29.50	26.80	29.50
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ร้อยละ)	2.87	2.76	4.20	4.80
ปริมาณไนเตรท (NO_3 - N (ppm))	636.00	144.00	79.00	180.00
ปริมาณแอมโมเนียม (NH_4-N (ppm))	800.00	360.00	1,600.00	400.00
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5 (ppm))	167.75	161.70	30,000.00	27,000.00
ปริมาณโปตัสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O (ppm))	690.00	1,005.00	3,000.00	4,000.00
ปริมาณแคดเมียม (ppm)	0.24	0.47	16.00	16.00
ปริมาณทองแดง (ppm)	55.00	282.00	1,000.00	970.00
ปริมาณแมงกานีส (ppm)	126.00	210.00	400.00	420.00
ปริมาณนิกเกิล (ppm)	4.40	3.00	85.00	31.00
ปริมาณตะกั่ว (ppm)	3.54	3.12	540.00	300.00
ปริมาณสังกะสี (ppm)	500.00	600.00	1,890.00	1,800.00

แหล่งที่มา : [1] อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2529 อ้างถึงใน ชวิโรจน์ ตันนุกิจ, 2542: 8.

[2] Sommer, 1977: 227 - 229.

หมายเหตุ : ADS = ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (Anerobic Sludge); ATS = ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (Aerobic Sludge).
ppm = หนึ่งส่วนในล้านส่วน (Part per Million).

ตารางที่ 2.2 ธาตุอาหารพืชในมูลสัตว์บางชนิด

ชนิดของมูลสัตว์	ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)	ปริมาณฟอสฟอรัส (ppm)	ปริมาณโปตัสเซียม (ppm)
เป็ด	0.8 - 3.7	27,000 - 69,000	5,000 - 19,000
ไก่	1.2 - 4.9	12,000 - 94,000	5,000 - 42,000
ห่าน	0.7	21,000	21,000
สุกร	2.2	52,000	16,000
โค	0.8 - 1.2	5,000 - 9,000	5,000 - 37,000
ม้า	0.1	8,000	8,000
ค้างคาว	0.1 - 2.9	6,000 - 368,000	40,000 - 220,000
นกนางแอ่น	10.5	34,000	9,000
นกกระทา	4.1	37,000	23,000

แหล่งที่มา : Vacharotayan and Pintukanok, 1985 อ้างถึงใน ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544: 488.

หมายเหตุ : ppm = หนึ่งส่วนในล้านส่วน (Part per Million).

ทั้งนี้ ตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียต้องมีการทำการบำบัดก่อนที่จะนำไปกำจัดต่อไป เพื่อขจัดน้ำออกจากตะกอน เพื่อลดปริมาณ และทำให้ตะกอนมีความคงตัว ไม่ก่อให้เกิดสิ่งรบกวนหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพ รวมทั้งการลดปริมาณตะกอนจะทำให้ต้นทุนในการกำจัดกากตะกอนลดลงด้วย ศิริพร ลักษมีคุณากร (2545: 57 - 58) ได้กล่าวถึง วิธีการบำบัดตะกอนซึ่งมีหลายขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

1. การทำให้ข้น (Thicking) เป็นการทำให้ตะกอนมีความเข้มข้นมากขึ้น มีปริมาตรลดลง และทำให้ขนาดของตะกอนเล็กลงตามไปด้วย การทำให้ข้นอาจทำได้หลายวิธี เช่น การทำให้ข้นด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ด้วยการลอยตัว ด้วยการหนีศูนย์กลาง ด้วยสายพานรีดน้ำ เป็นต้น แต่ที่นิยมโดยทั่วไป คือ ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก เนื่องจากประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าแบบอื่น ๆ

2. การปรับเสถียรภาพ (Stabilization) มีจุดประสงค์เพื่อลดกลิ่นเหม็น ลดจำนวนเชื้อโรค และระงับการเน่าเสีย ซึ่งกระทำได้โดย

2.1. การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion) โดยการใส่ถังหมัก

2.2. การย่อยสลายแบบใช้อากาศ (Aerobic Digestion) โดยการใส่ถังแบบใช้อากาศ

2.3. การปรับเสถียรด้วยปูนขาว (Lime Stabilization) โดยการใส่ปูนขาวจนค่า pH สูงขึ้นเป็น 12 จะทำลายเชื้อโรคได้

2.4. การบำบัดร้อน (Heat Treatment) โดยใช้ความร้อนสูงถึง 260 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 2,760 กิโลกรัมนิวตันต่อตารางเมตร เป็นเวลา 30 นาที

3. การลดน้ำหนัก หรือแยกน้ำ (Dewatering) มีจุดประสงค์เพื่อนำน้ำออกจากตะกอนเพื่อลดปริมาตร ทำให้ง่ายต่อการขนส่งไปกำจัดต่อไป อาจทำได้โดย

3.1. เครื่องกรองแบบสุญญากาศ (Vacuum Filter) หลักการดูดน้ำออกจากตะกอนด้วยสุญญากาศ ทำให้ความเข้มข้นเป็นร้อยละ 15 - 30

3.2. เครื่องเซนตริฟิวจ์ (Centrifuge) โดยใช้แรงเหวี่ยงแยกน้ำออกจากตะกอนทำให้มีความเข้มข้นเป็นร้อยละ 15 - 30

3.3. สายพานรีดน้ำ (Belt Filter Press) โดยใช้ลูกกลิ้งรีดน้ำออกจากตะกอนผ่านผ้ากรอง ทำให้มีความเข้มข้นเป็นร้อยละ 15 - 30

3.4. เครื่องอัดกรอง (Filter Press) โดยใช้แรงเหวี่ยงแยกน้ำออกจากตะกอนทำให้มีความเข้มข้นเป็นร้อยละ 15 - 30

3.5. ลานตากตะกอน (Sludge Drying Bed) โดยการปล่อยให้น้ำไหลออกจากตะกอนผ่านลานทราย ทำให้มีความเข้มข้นเป็นร้อยละ 15 - 30 ถ้าถูกแสงแดดอาจทำให้แห้งกว่านี้ได้ วิธีนี้เป็นที่นิยมมากหากมีพื้นที่มากพอ เพราะเป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่าย

2.1.2 การกำจัดกากตะกอน

สำหรับการกำจัดกากตะกอนมีหลายวิธี คือ

2.1.2.1. การขนไปทิ้งทะเล (Marine Disposal)

2.1.2.2. การฝังกลบ (Landfill)

2.1.2.3. การเผา (Incineration)

2.1.2.4. การนำไปใช้ในที่ดิน (Land Application)

การเลือกวิธีการกำจัดกากตะกอนดังกล่าวข้างต้น ให้ผลดีและผลเสียต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน การเลือกวิธีกำจัดกากตะกอนจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของกากตะกอน ความสมดุลของระบบนิเวศ ผลกระทบต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม ค่าใช้จ่ายในการกำจัด และความเหมาะสมในแต่ละประเทศ อาทิเช่น การเผา เป็นวิธีที่มีความสะดวกแต่มีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการกำจัดสูงกว่าวิธีอื่น ๆ รวมทั้งควรคำนึงถึงเรื่อง กลิ่น ความสวยงาม และการกำจัดเถ้า รวมทั้งยังก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศตามมาอีกด้วย ส่วนวิธีการฝังกลบ เป็นวิธีการกำจัดที่ใช้พื้นที่มาก และหากพื้นที่ฝังกลบอยู่ห่างไกลก็จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเดินทาง นอกจากนี้ยังมีความเสี่ยงต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย เช่น การปนเปื้อนสู่ดินและแหล่งน้ำใต้ดิน

เป็นต้น การนำกากตะกอนไปทิ้งทะเล วิธีนี้เดิมเป็นที่นิยมมากในประเทศในแถบยุโรป เช่น ประเทศอังกฤษ โดยนำกากตะกอนไปทิ้งทะเลเหนือจำนวน 5 ล้านตันต่อปี ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเล และสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ มาก จนทำให้เกิดการต่อต้านการกำจัดกากตะกอนด้วยวิธีนี้ (Manson, 1988 อ้างถึงใน ปิยะพร ดงอุบล, 2544: 5) ดังนั้น การกำจัดกากตะกอนจึงมีแนวโน้มที่จะกำจัดโดยการนำไปใช้ในที่ดิน (Land Application) มากขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ 4 ด้านหลัก ๆ ดังนี้ (Chongrak, 1989 อ้างถึงใน คมกฤช ภาคย์ทองสุข, 2535: 6)

1. ใช้กากตะกอนเป็นเสมือนแหล่งธาตุอาหารของพืช ปุ๋ยเคมี และตัวปรับปรุงดิน (Agricultural Utilization)

2. ใช้กากตะกอนในการเพิ่มผลผลิตของป่า (Forest Utilization)

3. ใช้กากตะกอนในการปรับสภาพพื้นที่ที่ถูกรบกวน เช่น การทำเหมืองแร่ (Land Reclamation)

4. ใช้กากตะกอนใส่ลงดินทั้งในพื้นที่ที่มีการเพาะปลูก และไม่ใช่พื้นที่เพาะปลูก (Land Disposal) เพื่อจุดประสงค์แรก คือ การกำจัดกากตะกอน และจุดประสงค์ที่สำคัญต่อมา คือ การสร้างผลผลิตแก่พืช และปรับปรุงคุณสมบัติของดินให้ดีขึ้น

สำหรับในประเทศไทย ยังไม่ได้ให้ความสำคัญกับการจัดการกากตะกอนโดยเฉพาะกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนมากนัก บางพื้นที่ทำการกำจัดโดยการนำไปถมที่ หรือนำไปทิ้งรวมกับขยะมูลฝอยทั่วไป เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมติดตามมา ประกอบกับการที่ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชาชนส่วนใหญ่ในประเทศประกอบอาชีพเกษตรกร และจากองค์ประกอบของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่สามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยให้กับพืชได้ ดังนั้น การนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ควรมีการทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ต่อไป

2.2 การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ และมีความเป็นไปได้ เนื่องจากคุณสมบัติต่าง ๆ ของกากตะกอน ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อพืชและปริมาณอินทรียวัตถุที่มีอยู่มาก ทำให้แนวโน้มการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมีเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากแรงกดดันในด้านต่าง ๆ เช่น ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอน ปริมาณกากตะกอนที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ความแปรผันของราคาปุ๋ยเคมี รวมถึงในปัจจุบัน มาตรฐานการบำบัดน้ำเสียมีความเข้มงวดมากขึ้น เนื่องจากมีกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เพื่อป้องกันมลภาวะที่เกิดขึ้นด้วย แต่ทั้งนี้ การนำ

กากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมีทั้งผลในทางบวกและทางลบ โดยผลในทางลบ คือ อาจทำให้เกิดการอุดตันรูพรุนของดิน ซึ่งเป็นผลมาจากการสะสมอนุภาคของแข็งเล็ก ๆ ภายในช่องว่างของดิน เป็นผลทำให้การไหลของน้ำในดินลดลง และอาจเป็นไปได้เช่นกันในกรณีที่กากตะกอนมีน้ำมันปนเปื้อนอยู่ (รัตเกล้า ตันสถิตย์, 2532: 5) แต่ผลทางบวกที่ได้จากการนำกากตะกอนไปใช้ทางการเกษตรก็มีหลายประการเช่นกัน เช่น การปรับปรุงคุณภาพดินทั้งด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ การเพิ่มผลผลิตพืช ตลอดจนการใช้ประโยชน์ทางอ้อมอื่น ๆ

2.2.1 การปรับปรุงคุณสมบัติของดิน

2.2.1.1 ความสามารถในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน

การเติมกากตะกอนลงดินจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดิน โดยการปรับปรุงโครงสร้างดินให้ดินมีความพรุน ช่วยเพิ่มการระบายน้ำในดิน เพิ่มเสถียรของการเกิดเม็ดดิน และยังเพิ่มความอุ้มน้ำของดินด้วย (Harrison, 1997 อ้างถึงใน จิณัฐตา วัดคำ และปวีณา ด่านกุล, 2541: 9) ทำให้ดินมีความเหมาะสมในการเพาะปลูกมากขึ้น ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดลักษณะทางกายภาพ เคมี และอัตราการใส่กากตะกอนนั้น ๆ จากการศึกษาของ Epstein, et al. (1975 อ้างถึงใน รัตเกล้า ตันสถิตย์, 2532: 4) พบว่า การใส่กากตะกอนช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้แก่ดิน โดยความชื้นในดินที่เติมกากตะกอนสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้เติมมากกว่าร้อยละ 20 ทำนองเดียวกับ Mays, Terman and Duggan (1973: 89) พบว่า เมื่อใช้กากตะกอนน้ำทิ้งผสมกับของเสียจากชุมชนเดิมลงในดินจะทำให้ความชื้นและความร่วนซุยของดินเพิ่มขึ้น เพราะปุ๋ยผสมกากตะกอนจะช่วยให้ความแน่นและการยึดตัวของดินลดลง

ส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ และความชุ่มชื้นของดินมีสาเหตุมาจากองค์ประกอบอินทรีย์สารในกากตะกอน จากการวิจัย พบว่า องค์ประกอบอินทรีย์สารของกากตะกอนที่ใส่ลงดิน จะถูกดูดซึมเข้าสู่ดินทีละน้อยโดยปฏิกิริยาเคมี และทางชีววิทยา ซึ่งการดูดซึมและการย่อยสลายของอินทรีย์สารเหล่านี้ ได้รับอิทธิพลจาก C : N Ratio อุณหภูมิของดิน อัตรา และวิธีการใส่กากตะกอน (รัตเกล้า ตันสถิตย์, 2532: 5)

2.2.1.2 ความสามารถในการปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีของดิน

สำหรับคุณสมบัติทางเคมีของดินนั้น กากตะกอนจะช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดิน และช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity : CEC) ของดิน ทำให้ดินสามารถที่จะยึดประจุบวกต่าง ๆ ที่เป็นธาตุอาหารไว้ได้ดี ทำให้การสูญเสียธาตุอาหารพืชของดิน จากการชะล้าง (Leaching) ของน้ำลดลง (Hasit, 1986 อ้างถึงใน ศิราณี ศิริสุโขดม, 2535: 9)

การเติมกากตะกอนที่มีค่า pH เป็นกลางลงดินจะทำให้ค่า pH ของดินเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามค่า pH ของดินอาจเปลี่ยนแปลงได้ โดยค่า pH ของดินที่ลดลงอาจเป็นผลจากการแทนที่ไฮโดรเจนอิออนที่ยึดเกาะในดินของเกลืออนินทรีย์ การย่อยสลายอินทรียวัตถุจนได้กรดอินทรีย์ การเกิดไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) ของแอมโมเนียมไนโตรเจน

และอินทรีย์ไนโตรเจน และการออกซิเดชั่น (Oxidation) ของซัลไฟด์ (King and Morris, 1972 ; Ajmal and Khan, 1984 อ้างถึงใน วรรณวิมล เศาณานนท์, 2542: 24) สำหรับการลดลงของค่า pH จะลดลงเฉพาะในช่วงแรก ๆ ของการใส่กากตะกอนในระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของค่า pH ก็อาจพบได้ เมื่อค่า pH ของดินที่ได้รับกากตะกอนมีค่าต่ำอยู่แล้ว และกากตะกอนที่เติมลงไปมีแคลเซียมอยู่ในปริมาณมากพอ ค่า pH ของดินก็อาจเพิ่มได้ (Guidi and Hall, 1984 อ้างถึงใน พัชราวดี สุวรรณธาดา, 2529: 9)

2.2.1.3 ความสามารถในการปรับปรุงคุณสมบัติทางชีวภาพของดิน

การเติมกากตะกอนลงดิน อินทรียวัตถุในกากตะกอนจะเป็นแหล่งธาตุอาหารให้กับจุลินทรีย์ดิน ทำให้มีการเพิ่มของจุลินทรีย์ดิน และกิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ดิน เช่น การแปรสภาพธาตุอาหารพืชในดิน หรือการตรึงไนโตรเจน เป็นต้น

2.2.2 การเพิ่มผลผลิตพืช

จากบทบาทของกากตะกอนในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ที่ส่งผลต่อเนื่องถึงการปรับปรุงโครงสร้างของดินและน้ำในดิน ซึ่งมีผลต่อผลผลิตพืชได้ และจากองค์ประกอบของกากตะกอนที่ประกอบด้วยธาตุอาหาร และอินทรียวัตถุที่เป็นประโยชน์ต่อดินและพืช พิจารณาได้จากธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม ซึ่งธาตุอาหารส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งพืชจะไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จนกว่าจะเกิด Mineralization จากการศึกษาของ อรวรรณ ศิริรัตนย์พิริยะ (2536 อ้างถึงใน จิณัฐตา วัดคำ และปวีณา ด่านกุล, 2541: 9) พบว่า ใน 1 ตันกากตะกอนแห้งมีธาตุอาหารหลักของพืช คือ ไนโตรเจน 19.24 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 245.8 กรัม และโปตัสเซียม 440 กรัม ดังนั้น การเติมกากตะกอนลงดินจึงเสมือนเป็นการเติมอินทรียวัตถุให้แก่ดิน ช่วยเพิ่มผลผลิตให้แก่พืชโดยเฉพาะไนโตรเจน ซึ่งเป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช กากตะกอนจะช่วยเพิ่มผลผลิตและช่วยลดปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ต้องเติม แต่ทั้งนี้ปริมาณไนโตรเจนและความสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับกระบวนการบำบัดน้ำเสียและกากตะกอน และการเปลี่ยนเป็นอินทรีย์ไนโตรเจนขึ้นอยู่กับความคงทนของอินทรียวัตถุ และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C : N Ratio) ในกากตะกอน กล่าวคือ อินทรียวัตถุที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับหรือต่ำกว่า 10 : 1 จุลินทรีย์ดินจะสามารถเปลี่ยนอินทรีย์สารไปเป็นอนินทรีย์สารได้ดี ค่าขีดจำกัดสูงสุดสำหรับอินทรียวัตถุที่จะสามารถเกิดขบวนการเปลี่ยนอินทรีย์สารไปเป็นอนินทรีย์สารโดยจุลินทรีย์ คือ อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30 : 1 ถ้าอัตราส่วนสูงกว่านี้อัตราการสลายตัวของอินทรียวัตถุจะเป็นไปได้ช้า หรือเกิดการดึงดูดไนโตรเจนจากดินมาใช้ (Immobilization) สำหรับกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยทั่วไปจะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 10 - 12 : 1 ดังนั้น การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จึงไม่ทำให้เกิดการขาดแคลนไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ (Follett, et al., 1981 อ้างถึงใน ศิราณี ศิริสุโขดม, 2535: 11)

ทั้งนี้ การเจริญเติบโตและการดูดซึมธาตุอาหารไปใช้ของพืช ยังได้รับอิทธิพลจากการเติมกากตะกอน อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2529 อ้างถึงใน วรรณวิมล เศาณานนท์, 2542: 24) ได้ทำการศึกษาถึง การใช้กากตะกอนน้ำเสียในรูปของปุ๋ยสำหรับพื้นที่เกษตรกรรม ในจังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่า การเติมกากตะกอนลงดินในอัตราต่าง ๆ เพื่อปลูกผักคะน้า ผลผลิตผักคะน้าจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมกากตะกอน เช่นเดียวกับผลการทดลองของ Cunningham, Keeney and Ryan (1975: 453) พบว่า ผลผลิตของข้าวโพดและข้าวไรย์จะเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมกากตะกอน และให้ผลผลิตสูงสุดเมื่อใช้อัตราเติมกากตะกอน 20,000 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ผลผลิตจะลดลงเมื่ออัตราเติมกากตะกอนเป็น 80,320 กิโลกรัมต่อไร่ Hortenstein and Rothwell (1973: 344) ได้ทำการศึกษาโดยทดลองเติมกากตะกอนในช่วงอัตรา 1.280 - 10.20 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 10 - 4.4 - 8.3 ในอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ในการปลูกข้าวฟ่าง ปรากฏว่า ผลผลิตของข้าวฟ่างเพิ่มขึ้นตามอัตราของกากตะกอน และการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราดังกล่าวจะให้ผลผลิตเท่ากับการใส่กากตะกอนในอัตรา 11.4 ตันต่อไร่ ผลตกค้างของกากตะกอนที่ใส่ในอัตราต่ำทำให้ผลผลิตข้าวฟ่างลดลงจากการปลูกครั้งที่ 1 แต่การใส่กากตะกอนในอัตราสูงถึง 5.100 - 10.20 ตันต่อไร่ มีผลตกค้างที่ทำให้ผลผลิตข้าวฟ่างสูงกว่าการปลูกครั้งแรก และสูงกว่าการปลูกในดินซึ่งไม่ใส่กากตะกอน นอกจากนี้ การสะสมไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียมของข้าวฟ่างจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมกากตะกอนที่เพิ่มขึ้น

ขณะที่ Mays, Terman and Duggan (1973: 90 - 91) พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตของพืชกับอัตรากากตะกอนที่ใช้เป็นความสัมพันธ์แบบเส้นโค้ง กล่าวคือ ผลผลิตของพืชจะเพิ่มสูงขึ้นมาก เมื่ออัตราการเติมกากตะกอนเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่ง และการเพิ่มผลผลิตจะลดลงเมื่ออัตราการเติมกากตะกอนสูงเกินไป เนื่องจากองค์ประกอบที่ซับซ้อนของกากตะกอน เช่น จุลธาตุอาหาร โลหะหนัก รวมทั้งเกลือต่าง ๆ มีปริมาณสูงจนสามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชได้ เช่นเดียวกับผลการทดลองของ พัชราวดี สุวรรณธาดา (2529: 66) ซึ่งได้ทำการศึกษาถึงผลของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียต่อการเจริญเติบโต และการสะสมโลหะหนักบางชนิดของผักคะน้า พบว่า กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนสามารถเติมลงดินเพื่อการเพาะปลูกได้ โดยอัตราเติมที่ให้ผลผลิตสูงสุด คือ อัตราเติม 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ และการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอนที่สูงกว่า 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ลงสู่ดิน มีผลทำให้ผลผลิตของผักคะน้าลดลงตามลำดับ จิณัฐตา วัดคำ และปวีณา ด่านกุล (2541: 41) ได้ทำการศึกษา คุณสมบัติของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนสี่พระยาเพื่อใช้ปรับปรุงดิน พบว่า กากตะกอนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ เพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารให้กับพืช และเพิ่มคุณสมบัติที่ดีให้กับดิน โดยอัตราส่วนสูงสุดที่ยอมรับได้ไม่ควรเกิน 40 กรัมต่อน้ำหนักรวม 200 กรัม ด้วยเหตุนี้ ในบางประเทศจึงมีการกำหนดขีดจำกัดสูงสุดของการใช้กากตะกอน เช่น ประเทศนอร์เวย์ และประเทศฟินแลนด์กำหนดให้ใช้อัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ (Webber, Kloke and Tjell, 1984 อ้างถึงใน คมกฤช ภาคย์ทองสุข, 2535: 9)

2.3 ความเสี่ยงในการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

อันตรายจากกากตะกอน อาจเกิดจากการเติมกากตะกอนลงดินในปริมาณมากเกินไป ทำให้ไนเตรทที่เหลือและฟอสเฟตที่มีอยู่มากในกากตะกอน ถูกชะล้างซึมผ่านชั้นดินลงสู่น้ำใต้ดิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของดิน เนื้อดิน ที่จะมีความสามารถในการดูดซับ/กรองไว้ได้มากน้อยเพียงใด นอกจากนี้ สิ่งที่ควรคำนึงถึงมากที่สุดอีกสิ่งหนึ่ง คือ ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน เมื่อมีการเติมกากตะกอนลงสู่ดิน นอกจากจะเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินแล้ว ยังเป็นการเพิ่มโลหะหนักให้แก่ดินด้วย โดยเฉพาะโลหะหนักซึ่งมีทั้งที่เป็นจุลธาตุอาหาร และที่มีความเป็นพิษโดยตรงต่อพืช และอาจมีผลต่อผู้บริโภคทั้งมนุษย์และสัตว์ ซึ่งโลหะหนักบางชนิดแม้จะมีปริมาณความเข้มข้นต่ำก็อาจทำให้เกิดอันตรายได้ โดยเฉพาะเมื่อดินมีสภาพเป็นกรด เช่น สังกะสี ทองแดง นิกเกิล และแคดเมียม เนื่องจากดินที่มีค่า pH ต่ำ โลหะหนักจะละลายออกมาอยู่ในดินได้ดี และง่ายต่อการดึงดูดไปสะสมในพืช (Hinesly and Sasewitz, 1969 ; Robertson, et al., 1982 ; Orawan, et al., 1985 อ้างถึงใน คมกฤช ภาคย์ทองสุข, 2535: 9) สำหรับปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนในแต่ละพื้นที่จะมีความเข้มข้นแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียในพื้นที่นั้น ๆ

การเติมกากตะกอนในอัตราที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อความเข้มข้นของโลหะหนักต่าง ๆ ในดิน โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ สังกะสี > แมงกานีส > นิกเกิล > แคดเมียม > ทองแดง > ตะกั่ว/โครเมียม (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2529 อ้างถึงใน จิณัฐดา วัดคำ และปวีณา ด่านกุล, 2541: 10) โดยการเติมขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ทำการเพาะปลูก ศิราณี ศิริสุโขดม (2535: 91) ได้ทำการศึกษาถึง ผลของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนัก 7 ชนิด คือ ตะกั่ว แคดเมียม นิกเกิล ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และเหล็ก ในพืชผัก 4 ชนิด คือ ผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน บริเวณพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดปทุมธานี พบว่า กากตะกอนที่เติมลงดินสามารถเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชผักทั้ง 4 ชนิด รวมทั้งอัตราการเติมกากตะกอนทั้งอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ และ 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่มีผลให้ผักคะน้าและผักกวางตุ้งมีการสะสมโลหะหนัก ขณะที่คมกฤช ภาคย์ทองสุข (2535: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาถึง ความเสี่ยงในการสะสมโลหะหนักของผักคะน้าและผักกาดหอม เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง ร่วมกับแกลบในพื้นที่การเกษตร จังหวัดปทุมธานี พบว่า กากตะกอนน้ำเสียมีศักยภาพเพียงพอต่อการนำมาใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งธาตุอาหารพืช การเติมกากตะกอนอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ และการเติมกากตะกอนอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับแกลบในอัตราส่วน 320, 640, 960 และ 1,280 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ผลผลิตของผักคะน้าและผักกาดหอมสูงกว่าค่าเฉลี่ยผลผลิตจากพื้นที่การเกษตร จังหวัดปทุมธานี สำหรับการสะสมโลหะหนัก พบว่า ผักกาดหอมมีแนวโน้มการ

สะสมโลหะหนักทั้ง 7 ชนิด คือ ตะกั่ว แคดเมียม นิกเกิล ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และเหล็ก สูงกว่าผักคะน้า อย่างไรก็ตาม ปริมาณโลหะหนักทุกชนิดที่ตรวจพบยังมีค่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทั่วไปในพืช อีกทั้งไม่เป็นอันตรายต่อการบริโภคเมื่อเทียบกับปริมาณที่ยอมรับได้ในอาหาร ส่วนอรรณพ หอมจันทร์ (2535: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาถึง ความเป็นพิษของโลหะหนัก ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว และแคดเมียม จากกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง ณ อัตราเติม 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 50 กรัมต่อกระถาง ในรูปน้ำหนักแห้งของกากตะกอนต่อผักคะน้าและผักกาดหอม พบว่า ไม่มีความเสี่ยงต่อความเป็นพิษของโลหะหนัก ดังนั้น ในการเติมกากตะกอนจึงควรทำการศึกษาถึงอัตราการเติมที่เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิด เพื่อให้การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมีประสิทธิภาพและปลอดภัยจากการสะสมของโลหะหนักที่เป็นอันตราย

2.4 โลหะหนัก

โลหะหนัก (Heavy Metal) หมายถึง โลหะธาตุที่มีค่าความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5.0 ขึ้นไป ซึ่งไม่รวมถึงโลหะที่เป็นแอลคาไลเอิร์ท โดยเป็นธาตุในตารางธาตุที่มีเลขเชิงอะตอม (Atomic Number) อยู่ในช่วง 23 - 92 และอยู่ในคาบที่ 4 - 7 โลหะหนักส่วนใหญ่มักถูกสะสมอยู่ในดิน เนื่องจากมีความสามารถยึดเกาะ (Fixation Capacity) อยู่ในส่วนที่เป็น Clay Fraction ได้ดี และสามารถเคลื่อนย้ายได้น้อย โดยดินที่เป็นดินเหนียว (Clay Soil) ซึ่งจะมีส่วนที่เป็น Clay Fraction มาก โลหะหนักจึงอยู่ในสารละลายภายในดินเหนียวน้อย ในขณะที่ในดินทราย ซึ่งมีส่วนที่เป็น Clay Fraction น้อยจึงมีโลหะหนักอยู่ในสารละลายดินมากกว่าดินเหนียว (Diaz and Pob, 1988 อ้างถึงใน ปิยะพร ดงอุบล, 2544: 6) ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำโลหะหนักมาผลิตเป็นวัสดุ อุปกรณ์ และผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย ส่งผลให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมมากขึ้น รวมทั้งก่อให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมทั้งในดิน น้ำ ตลอดจนสามารถสะสมในสิ่งมีชีวิต เกิดการถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหาร และมีผลทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้

2.4.1 แหล่งกำเนิดของโลหะหนัก

แหล่งกำเนิดของโลหะหนักที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.4.1.1 แหล่งอุตสาหกรรม

โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มักมีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ มีการกำจัดกากของเสียอันตรายโดยนำไปกองทิ้งไว้ เผา หรือฝังกลบที่ไม่ถูกสุขลักษณะ ทำให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

สะสมโลหะหนักทั้ง 7 ชนิด คือ ตะกั่ว แคดเมียม นิกเกิล ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และเหล็ก สูงกว่าผักคะน้า อย่างไรก็ตาม ปริมาณโลหะหนักทุกชนิดที่ตรวจพบยังมีค่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทั่วไปในพืช อีกทั้งไม่เป็นอันตรายต่อการบริโภคเมื่อเทียบกับปริมาณที่ยอมรับได้ในอาหาร ส่วนอรรณพ หอมจันทร์ (2535: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาถึง ความเป็นพิษของโลหะหนัก ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว และแคดเมียม จากกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง ณ อัตราเติม 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 50 กรัมต่อกระถาง ในรูปน้ำหนักแห้งของกากตะกอนต่อผักคะน้าและผักกาดหอม พบว่า ไม่มีความเสี่ยงต่อความเป็นพิษของโลหะหนัก ดังนั้น ในการเติมกากตะกอนจึงควรทำการศึกษาถึงอัตราการเติมที่เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิด เพื่อให้การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมีประสิทธิภาพและปลอดภัยจากการสะสมของโลหะหนักที่เป็นอันตราย

2.4 โลหะหนัก

โลหะหนัก (Heavy Metal) หมายถึง โลหะธาตุที่มีค่าความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5.0 ขึ้นไป ซึ่งไม่รวมถึงโลหะที่เป็นแอลคาไลเอิร์ท โดยเป็นธาตุในตารางธาตุที่มีเลขเชิงอะตอม (Atomic Number) อยู่ในช่วง 23 - 92 และอยู่ในคาบที่ 4 - 7 โลหะหนักส่วนใหญ่มักถูกสะสมอยู่ในดิน เนื่องจากมีความสามารถยึดเกาะ (Fixation Capacity) อยู่ในส่วนที่เป็น Clay Fraction ได้ดี และสามารถเคลื่อนย้ายได้น้อย โดยดินที่เป็นดินเหนียว (Clay Soil) ซึ่งจะมีส่วนที่เป็น Clay Fraction มาก โลหะหนักจึงอยู่ในสารละลายภายในดินเหนียวน้อย ในขณะที่ในดินทราย ซึ่งมีส่วนที่เป็น Clay Fraction น้อยจึงมีโลหะหนักอยู่ในสารละลายดินมากกว่าดินเหนียว (Diaz and Pob, 1988 อ้างถึงใน ปิยะพร ดงอุบล, 2544: 6) ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำโลหะหนักมาผลิตเป็นวัสดุ อุปกรณ์ และผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย ส่งผลให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมมากขึ้น รวมทั้งก่อให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมทั้งในดิน น้ำ ตลอดจนสามารถสะสมในสิ่งมีชีวิต เกิดการถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหาร และมีผลทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้

2.4.1 แหล่งกำเนิดของโลหะหนัก

แหล่งกำเนิดของโลหะหนักที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.4.1.1 แหล่งอุตสาหกรรม

โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มักมีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ มีการกำจัดกากของเสียอันตรายโดยนำไปกองทิ้งไว้ เผา หรือฝังกลบที่ไม่ถูกสุขลักษณะ ทำให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

2.4.1.2 แหล่งเกษตรกรรม

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งในปัจจุบันเกษตรกรมักมีการใช้สารพิษทางการเกษตรเพื่อกำจัดแมลงและศัตรูพืช สารพิษเหล่านั้นหลายชนิดมักมีโลหะหนักเป็นส่วนประกอบและส่วนใหญ่จะสามารถสลายตัวได้ยากในธรรมชาติ ก่อให้เกิดปัญหาการตกค้างของสารพิษในสิ่งแวดล้อมทั้งในอากาศ ดิน และชะล้างลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ

2.4.1.3 แหล่งชุมชน

เป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อมได้มากเช่นเดียวกัน โดยจะมีปนเปื้อนอยู่ในสิ่งปฏิกูลและขยะมูลฝอยต่าง ๆ ที่มีส่วนของวัสดุที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบอยู่ เช่น ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ กระดาษ สีทาบ้าน และภาชนะที่มีการเคลือบด้วยโลหะหนัก เป็นต้น

2.4.2 คุณสมบัติทั่วไปและความเป็นพิษของโลหะหนักที่ทำการศึกษา

2.4.2.1 ตะกั่ว (Pb)

1) คุณสมบัติทั่วไปและการนำไปใช้ประโยชน์

ตะกั่วเป็นโลหะหนักในหมู่ IV ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม คือ 82 มวลอะตอม 207.9 ความถ่วงจำเพาะ 11.34 จุดหลอมเหลว 364 องศาเซลเซียส จุดเดือด 1,797 องศาเซลเซียส ตะกั่วเป็นโลหะสีเงินปนเทา มีลักษณะอ่อน ไม่เปราะ ง่ายต่อการหลอม ตัดและขึ้นรูป จึงสามารถดัดแปลงให้มีลักษณะต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้ ดังนั้น จึงมีการนำตะกั่วมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย เช่น ใช้ทำฉนวนหุ้มสายเคเบิ้ล ฉนวนกัมมันตรังสี ใช้ในการบัดกรีเชื่อมโลหะ สารพิษทางการเกษตร แบตเตอรี่ หัวลูกปืน หมึกพิมพ์ และสีทาบ้าน เป็นต้น

2) บทบาทของตะกั่วในดินและพืช

ตะกั่วในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ หรือรูปที่ละลายน้ำได้เล็กน้อย เช่น $PbCO_3$ หรือ $PbSO_4$ เป็นต้น ส่วนใหญ่จึงอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถดูดซึมได้ แต่ทั้งนี้ การเพิ่มสภาพความเป็นกรดแก่ดินเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้สภาพการละลายได้ของตะกั่วมีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการใส่ปูนลงสู่ดิน ทำให้ความสามารถในการละลายได้ของตะกั่วมีค่าลดลง ตะกั่วส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในดินชั้นบนและมีการเคลื่อนย้ายลงสู่ดินชั้นล่างได้น้อยมาก และปริมาณการสะสมของตะกั่วในดินจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน โดยอินทรียวัตถุในดินบนจะเป็นแหล่งที่สำคัญในการสะสมของปริมาณตะกั่ว (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539: 237) สำหรับค่าปกติของปริมาณตะกั่วในดินโดยเฉลี่ยดังตารางที่ 2.3 มีค่าเท่ากับ 10 - 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การปนเปื้อนของตะกั่วในดินเกิดจากสาเหตุหลายประการ อาทิ เกิดจากสภาพการณ์ตามธรรมชาติ เช่น ปรากฏการณ์ภูเขาไฟระเบิด เป็นต้น และที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การถลุงแร่ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ไอเสียจากรถยนต์ รวมทั้งการใช้ดินเป็นแหล่งทิ้งกากตะกอนน้ำโสโครก (Sewage Sludge) วัสดุเหลือใช้จากบ้าน

เรือน (Domestic Waste) และอินทรียวัตถุเหลือใช้ (Organic Waste) ต่าง ๆ เช่น มูลสัตว์ ปุ๋ยเคมี และสารพิษทางการเกษตร เป็นต้น

ตารางที่ 2.3 ค่าปกติโดยเฉลี่ยของปริมาณตะกั่วในดินและในสารที่อาจเป็นแหล่งธาตุพิษในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ธาตุ	ดิน	กาก ตะกอนน้ำโสโครก	ปุ๋ยหมักเทศบาล	ปุ๋ย		
				P	N	M หรือ L
As	1 - 20	3 - 30	-	2 - 1,200	2 - 120	3 - 25 (M, L)
B	10.00	15 - 1,000	-	5 - 115	-	10 (L)
Cd	0.2 – 1	<1 - 3,400	0.01 - 100	0.1 - 170	0.05 - 8	0.1 - 0.8 (M)
Co	8 - 10	1 - 260	30	1 - 12	5 - 12	0.3 - 24 (M)
Cr	50 - 100	8 - 4,000	2 - 410	66 - 245	3 - 19	1 - 55 (M)
Cu	12 - 30	50 - 800	13 - 3,580	1 - 300	-	2 - 172 (M, L)
Hg	0.03 - 0.06	0.1 - 55	0.1 - 21	0.01 - 1.2	0.3 - 3	0.01 - 0.4 (M)
Mn	450 - 1,000	60 - 3,900	500	40 - 2,000	-	40 - 1,200 (L)
Mo	1 - 2	1 - 40	8	0.1 - 60	1 - 7	0.1 - 15 (L)
Ni	25 - 50	6 - 5,300	0.9 - 279	7 - 38	7 - 34	2 - 30 (M, L)
Pb	10 - 30	29 - 3,600	1.3 - 2,240	7 - 225	2 - 27	20 - 1,250 (L)
Zn	40 - 50	91 - 49,000	82 - 5,894	50 - 1,450	1 - 42	10 - 500 (M, L)

แหล่งที่มา : ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539: 214.

หมายเหตุ : - = ไม่มีข้อมูล P = ปุ๋ยฟอสฟอรัส N = ปุ๋ยไนโตรเจน M = ปุ๋ยมูลสัตว์ L = หินปูนหรือไดโลไมต์.

ทั้งนี้การปนเปื้อนของปริมาณตะกั่วในดินแต่ละแห่งจะมีค่าแตกต่างกันออกไป โดยหากนำดินที่มีการปนเปื้อนของตะกั่วมาใช้ในการปลูกพืชก็อาจส่งผลให้มีการสะสมของปริมาณตะกั่วในพืชได้ ตะกั่วสามารถเข้าสู่พืชได้ 2 ทาง คือ ทางรากและใบ เมื่อเข้าสู่พืชแล้วตะกั่วจะไปสะสมอยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ ไมโตรคอนเดรีย และคลอโรพลาสซึม สำหรับตะกั่วที่เข้าสู่พืชทางรากส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ที่รากฝอย และรากที่มีขนาดเล็ก พิษของตะกั่วในพืชเกิดขึ้นโดยการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของพลาสติด ยับยั้งการออกซิไดส์ซัคซิเนตในกระบวนการหายใจที่ไมโตรคอนเดรีย (Keeppe and Miller, 1970 อ้างถึงใน ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา,

2539: 243) มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ยับยั้งการเจริญเติบโตของรากและใบ และยืดเวลาการงอกของเมล็ด สำหรับระดับปกติของปริมาณตะกั่วในพืช คือ 0.5000 - 3.000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนระดับที่เป็นพิษในพืชนั้นจะมีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช การบรรเทาการสะสมของปริมาณตะกั่วในพืชอาจทำได้โดยการใส่ปูน แต่ถึงอย่างไรตะกั่วก็ยังคงมีการสะสมอยู่ในดิน ไม่ได้สูญหายไปไหน

3) ความเป็นพิษของตะกั่วต่อมนุษย์

ความเป็นพิษของตะกั่วจากดินสู่คนพบได้น้อยมาก ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดกับผู้ที่ทำงานภายในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานแบตเตอรี่ หรือจากการสูดไอตะกั่วที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศ อาทิ บริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น เป็นต้น ตามปกติตะกั่วในสิ่งแวดล้อมสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ 3 ทาง คือ ทางปาก ทางจมูก และทางผิวหนัง โดยถ้ามีการสะสมของตะกั่วมากเกินมาตรฐานจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย และมีผลต่ออวัยวะต่าง ๆ ซึ่งผลกระทบของตะกั่วต่อร่างกายที่สำคัญ ได้แก่

(1) ผลกระทบต่อระบบหมุนเวียนโลหิต ทำให้เม็ดเลือดแดงถูกทำลายและอายุสั้น จึงทำให้เกิดโรคโลหิตจางทั้งในคนและสัตว์

(2) ผลกระทบต่อระบบประสาทสมอง ตะกั่วจะทำลายหลอดเลือดฝอยในสมอง ทำให้เลือดไปเลี้ยงสมองไม่เพียงพอ ทำให้หลอดเลือดที่ไปเลี้ยงสมองแฟบ ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย ง่วงนอน ประสาทหลอน กระวนกระวาย ชัก อัมพาต เป็นต้น

(3) ผลต่อไต เมื่อร่างกายได้รับตะกั่วในเลือดในปริมาณมากกว่า 10 ไมโครกรัม จะก่อให้เกิดการทำลายเซลล์ของท่อเล็กในไต ทำให้ไตขับกรดอะมิโน น้ำตาล และเกลือฟอสเฟตออกทางปัสสาวะมากขึ้น แต่จะขับกรดยูริกได้น้อยลง จึงทำให้เกิดการสะสมของกรดยูริกในเลือดและเกิดการตกผลึก จึงมีอาการปวดตามข้อมือ ข้อเท้า และหากได้รับตะกั่วเป็นเวลานาน ๆ มากกว่า 10 ปี จะทำให้เกิดความดันโลหิตสูง โลหิตเป็นพิษ และเนื้อเยื่อไตแข็งกระด้าง (Nephrosclerosis)

(4) ผลต่อสารพันธุกรรม ตะกั่วจะไปรบกวนการทำงานของ DNA และ RNA โดยจะจับกับไฮดรอกซิล (- OH) ของฟอสเฟตในกรดนิวคลีอิก ดังนั้นตะกั่วจึงเป็นสารก่อการกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง

(5) ผลต่ออวัยวะอื่น ๆ อาทิ ตะกั่วทำให้ตับเกิดการเปลี่ยนแปลงและเกิดเนื้อตาย รวมทั้งมีผลต่อกระเพาะอาหารและลำไส้ ทำให้สัตว์แท้งและผสมไม่ติด เป็นต้น

2.4.2.2 แคดเมียม (Cd)

1) คุณสมบัติทั่วไปและการนำไปใช้ประโยชน์

แคดเมียมเป็นโลหะหนักในหมู่ IIB ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม คือ 48 มวลอะตอม 112.4 ความถ่วงจำเพาะ 8.64 จุดหลอมเหลว 320.9 องศาเซลเซียส

จุดเดือด 767 องศาเซลเซียส แคดเมียมเป็นโลหะอ่อนสีเงิน ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมาก เช่น การชุบโลหะ เป็นสารกันสนิม สารหล่อลื่น ใช้ในโรงงานพลาสติก สี แบตเตอรี่ และกระป๋องโลหะ เป็นต้น

2) บทบาทของแคดเมียมในดินและพืช

แคดเมียมเป็นธาตุที่สามารถละลายน้ำได้ดีกว่าโลหะธาตุอื่น ๆ โดยแคดเมียมในสภาพ Cd^{2+} พืชจะสามารถดูดซึมไปสะสมในเนื้อเยื่อได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งแคดเมียมสามารถเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีค่า pH ระหว่าง 4.5 - 5.5 ขณะที่ในดินที่มีสภาพเป็นด่างแคดเมียมจะสามารถเคลื่อนที่ได้น้อย สำหรับค่าปกติของปริมาณแคดเมียมในดินโดยเฉลี่ยดังตารางที่ 2.3 มีค่าเท่ากับ 0.2000 - 1.000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การปนเปื้อนของแคดเมียมในดินเกิดจากสาเหตุหลายประการ อาทิ เกิดจากการทำเหมืองแร่ สารพิษทางการเกษตร เป็นต้น สำหรับการสะสมของปริมาณแคดเมียมในพืชส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำ แต่จะมีค่าสูงในพืชบางชนิด เช่น ผักกาดหอมเท่ากับ 0.6600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือในใบของผักโขมในปริมาณ 0.1100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นต้น และเมื่อมีการปนเปื้อนของแคดเมียมในพืชจะมีการสะสมที่รากมากที่สุด รองลงมา คือ ใบ และมีการเคลื่อนย้ายสู่เมล็ดได้น้อย (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539: 259) แต่ทั้งนี้ เนื่องจากความสามารถในการละลายได้ในดินของแคดเมียม จึงส่งผลให้แม้เมื่อมีการสะสมของปริมาณแคดเมียมในดินเพียงเล็กน้อย แต่พืชก็สามารถดูดซึมและเกิดการสะสมได้ โดยสภาพความเข้มข้นปกติพืชจะมีแคดเมียมในมวลแห้งน้อยกว่า 1.000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ถึงแม้จะมีปริมาณแคดเมียมในพืชสูงมาก พืชก็สามารถปราศจากความเป็นพิษจากแคดเมียม ซึ่งนับว่าเป็นอันตรายอย่างมาก เพราะพืชเป็นด่านแรกของห่วงโซ่อาหารของมนุษย์และสัตว์กินพืช แคดเมียมยังส่งผลให้ราก น้ำหนักปม และผลผลิตของถั่วเหลืองลดลง โดยทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารในถั่วเหลือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้ปริมาณเหล็กและแมงกานีสในถั่วเหลืองลดลง (Borges and Wollum, 1981 อ้างถึงใน ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539: 255) นอกจากนี้ แคดเมียมยังเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ประเภท Procaryotic เช่น แอคติโนมัยซีทด้วย

3) ความเป็นพิษของแคดเมียมต่อมนุษย์

แคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้โดยผ่านระบบทางเดินหายใจในลักษณะของฝุ่นละอองหรือไอโลหะ และระบบทางเดินอาหารจากการบริโภคอาหารหรือน้ำดื่มที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม เมื่อแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจะเข้าไปสะสมที่ตับ ไต กระดูก และเนื้อเยื่อต่าง ๆ ซึ่งร่างกายจะสามารถขับแคดเมียมออกมาได้ในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากแคดเมียมจะเข้าไปรวมตัวกับโปรตีนโดยขบวนการทางชีวเคมีเกิดเป็น Cadmium - Binding Protein (Cd - BP) จากนั้นจะเข้าไปสะสมที่ต่อมผลิตน้ำนม ตับ และไต แต่ถึงแม้ว่าแคดเมียมจะไปสะสมอยู่ที่ต่อมผลิตน้ำนม แต่ยังไม่พบว่ามีการปนเปื้อนของแคดเมียมอยู่ในโปรตีนของน้ำนม (Luckey, et al., 1975 อ้างถึงใน ปรางทิพย์ อังกาบสี, 2543: 8)

ในประวัติศาสตร์แคดเมียมถือได้ว่าเป็นธาตุที่เป็นพิษมากที่สุดธาตุหนึ่ง เนื่องจากการปนเปื้อนของแคดเมียมในนาข้าวจากแม่น้ำจินทสึ (Jintsu River) ในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งต้นน้ำขึ้นไปมีการปล่อยน้ำเสียจากโรงถลุงแร่ของบริษัทมิตซุยที่ทำการผลิตแร่ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ซึ่งแคดเมียมจะเป็นของเหลือทิ้งออกมา (ทั้งนี้เพราะในธรรมชาติมักจะพบแคดเมียมร่วมกับสังกะสีในอัตราส่วน Cd/Zn ประมาณ 900/1) แคดเมียมในนาข้าวที่บริโภคในขณะนั้นมีปริมาณประมาณ 1 ppm สำหรับในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง คือ ในปี พ.ศ. 2489 แพทย์ชื่อ Dr. Noboru Hagino ได้พบโรคนี้เป็นครั้งแรกที่เมืองโทยามะ (Toyama Prefecture) โดยจะเริ่มเป็นที่ไต ทำให้ไตล้มเหลว ปวดกระดูก จนถึงกระดูกผิดรูป โดยจะพบมากที่สุดในหญิงที่มีบุตรแล้ว อาการของโรคที่พบได้ง่ายที่สุด คือ จะรู้สึกเจ็บจากการกดกระดูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระดูกต้นขา กระดูกสันหลัง และกระดูกซี่โครง เรียกว่าโรค "อิไต - อิไต" (Itai - Itai Byo) ซึ่งแปลเป็นไทยว่า "โอ๊ยเจ็บ ๆ" ซึ่งเป็นคำอุทานเมื่อรู้สึกเจ็บปวด ถ้าเป็นมากกระดูกจะฝ่อหรือผิดรูป และถ้าเป็นนานหลายปีกระดูกจะผิดรูปจนถึงขั้นเดินไม่ได้ หรือแม้กระทั่งกระดูกจะหักเมื่อมีการไอแรง ๆ ในช่วง 20 ปีหลังจากการเกิดเหตุ มีคนตายเนื่องจากโรคนี้กว่าร้อยคน และภายหลังจากนี้ยังพบโรคนี้อีกหลายแห่งในประเทศญี่ปุ่น (ธวัชชัย ศุภดิษฐ์, 2545: 11 - 12)

2.4.2.3 ปรอท (Hg)

1) คุณสมบัติทั่วไปและการนำไปใช้ประโยชน์

ปรอทเป็นโลหะสีขาวคล้ายเงินอยู่ในหมู่ IIB ของตารางธาตุ มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง สามารถสะท้อนแสงได้และเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ปรอทมีค่าความถ่วงจำเพาะ 13.59 จุดหลอมเหลว - 38.9 องศาเซลเซียส จุดเดือด 356.9 องศาเซลเซียส สารปรอทในธรรมชาติพบได้ในหิน ดิน แร่ น้ำ ตลอดจนในสิ่งมีชีวิต โดยแหล่งกำเนิดใหญ่ของสารปรอทมาจากการกัดเซาะ และการชะล้างเอาสารปรอทที่เกิดขึ้นเองด้วยขบวนการทางธรณีวิทยาตามธรรมชาติ ซึ่งในปัจจุบันมีการนำปรอทมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ มากมาย อาทิ ใช้ทำเทอร์โมมิเตอร์ บาโรมิเตอร์ แบตเตอรี่ สวิตช์ไฟฟ้า ถ่านไฟฉาย ทันตกรรม และใช้เป็นสารป้องกันเชื้อราในทางการเกษตรและทางการแพทย์ เป็นต้น

2) บทบาทของปรอทในดินและพืช

ความเข้มข้นของปริมาณปรอทในดินจะขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของดิน โดยดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวและมีปริมาณอินทรียวัตถุในปริมาณมากจะมีปริมาณปรอทสูง จึงอาจกล่าวได้ว่า ดินอินทรีย์จะมีปริมาณปรอทในดินสูงกว่าดินอนินทรีย์ ทั้งนี้โดยเหตุผลที่ว่า ดินอินทรีย์มีฮิวมัสส่วนที่ยังไม่เสถียรเป็นตัวจับปรอทได้ในปริมาณที่มากกว่าดินอนินทรีย์ สำหรับค่าปกติของปริมาณปรอทในดินโดยเฉลี่ยดังตารางที่ 2.3 มีค่าเท่ากับ 0.0300 - 0.0600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ปริมาณปรอทในพืชโดยทั่วไปจะมีปริมาณต่ำ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0010 - 0.0100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ยกเว้นชาที่มีปริมาณปรอทค่อนข้างสูง คือ

0.0340 - 0.0460 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับพืชที่มีการสะสมปรอทมากที่สุด คือ เห็ดที่มนุษย์ใช้บริโภคซึ่งอาจสะสมปรอทได้ในปริมาณสูงถึง 33.00 - 200.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การลดการดูดซึมสารปรอทของพืชสามารถทำได้โดยการปรับระดับ pH ของดินให้มีสภาพเป็นด่าง โดยการใส่ปูน หรือการใส่สารประกอบของกำมะถันและหินฟอสเฟตประกอบกับการใส่ปูนอาจช่วยลดระดับความเป็นพิษของปรอทในดินได้ (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539: 274 - 275)

3) ความเป็นพิษของปรอทต่อมนุษย์

ปรอทสามารถเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้ 3 ทาง คือ ทางจมูก ทางปาก และทางผิวหนัง สำหรับปรอทในสภาพโลหะบริสุทธิ์จะมีความเป็นพิษต่ำหากได้รับทางอาหาร เนื่องจากทางเดินอาหารของมนุษย์จะไม่ดูดซึมสารปรอทในรูปนี้ ในขณะที่สารอินทรีย์ในรูปปรอทเมทิล (Methylmercury) จะมีความเป็นพิษสูงเพราะร่างกายสามารถดูดซึมได้ถึงร้อยละ 95 - 98 แต่สามารถขับออกได้น้อย สำหรับอาการแพ้พิษสารปรอทมีทั้งแบบเฉียบพลัน และแบบเรื้อรัง โดยแบบเฉียบพลัน พบว่า จะเกิดอาการอาเจียน เลือดออก ปวดท้องอย่างรุนแรง อุจจาระร่วง ไตอักเสบจนถึงขั้นเสียชีวิตในที่สุด สำหรับแบบเรื้อรังอาจเกิดจากการได้รับสารปรอทจากการหายใจเอาไอปรอทเข้าไป ทำให้เกิดการอักเสบของระบบทางเดินหายใจ แน่นหน้าอก หายใจไม่ออก และเสียชีวิตในที่สุด สำหรับการเกิดพิษจากสารปรอทได้มีการรายงานการเกิดครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่น โดยเมื่อประมาณปี พ.ศ. 2496 ได้เกิดโรคมินามาตะ (Minamata Disease) ขึ้นในคนที่กินปลาที่จับได้จากอ่าวมินามาตะ ในเมืองคุมาโมโตะ (Kumamoto Prefecture) โดยจะมีอาการกล้ามเนื้อกระตุก ปัญญาอ่อน โดยก่อนที่คนจะมีอาการของโรค ได้สังเกตเห็นแมวในเมืองนี้ล้มป่วยเป็นจำนวนมาก แมวเหล่านี้จะร้องไม่หยุดและกระโดดหน้าผาลงทะเลตาย บริเวณริมอ่าวมินามาตะมีโรงงานของบริษัทชิสโซ (Chisso Company) ซึ่งทำการผลิตไวนิลคลอไรด์ ซึ่งใช้ปรอทเป็นตัวเร่งทำปฏิกิริยา (Catalyst) สารนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบเมทิลเมอร์คูรี (Methylmercury) ในดินก้นทะเล ซึ่งปรอทอินทรีย์รูปนี้สามารถเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้โดยสะสมในเนื้อปลาและสัตว์น้ำประเภทที่มีเปลือกหุ้มตัว (Shellfish) เช่น ปู กุ้ง หอยนางรม เป็นต้น จนเมื่อถึงปี พ.ศ. 2522 (26 ปี หลังจากเกิดเหตุ) เหยื่อจากโรคนี้มีจำนวนถึง 1,231 ราย ในจำนวนนี้มีผู้เสียชีวิตแล้ว 258 ราย เมื่อถึงสิ้นเดือนมีนาคม พ.ศ. 2522 มีผู้ป่วยที่รอการรักษาจากโรคนี้ถึง 5,261 ราย โรคเดียวกันนี้ยังเกิดขึ้นอีกในหลายเมืองของประเทศญี่ปุ่น เช่น เมืองนีกาตะ (Niigata Prefecture) ซึ่งเกิดจากของเสียจากโรงงานผลิต Acetaldehyde ของบริษัทโชวะเดงโกะ (Showa Denko Company) ปล่อยทิ้งลงแม่น้ำอะกาโน (Agano River) จนถึงปี พ.ศ. 2522 มีผู้ที่ตกเป็นเหยื่อของโรคนี้แล้ว 676 ราย ในจำนวนนี้เสียชีวิตแล้ว 55 ราย และในปีดังกล่าวยังมีผู้ได้รับการรักษาและชดใช้ค่าเสียหายอยู่อีก 29 ราย และยังมีผู้ที่อยู่ในระหว่างการรักษาและชดใช้ค่าเสียหายอีก 721 ราย (ชวัชชัย ศุภดิษฐ์, 2545: 9 - 10)

2.5 ข้อมูลพื้นฐานของถั่วเหลือง

2.5.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ถั่วเหลืองจัดอยู่ใน Family Leguminosae และ Subfamily Papilionoideae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้เป็นทางการในปัจจุบัน คือ Glycine max (L.) Merrill ส่วนชื่อสามัญมักเรียกกันไปต่างๆ เช่น Soja Bean, Soya Bean, Chiness Bean, Manchurian Bean และ Soybean ซึ่งชื่อ Soybean เป็นที่ยอมรับกันมากที่สุด ถั่วเหลืองมีถิ่นกำเนิดกระจายอยู่ตั้งแต่เอเชียตะวันออกและหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก ไปจนถึงทวีปออสเตรเลีย

ถั่วเหลืองเป็นพืชล้มลุก (Annual) มีอายุเพียงฤดูกาลปลูกเดียว ชอบอากาศค่อนข้างร้อน มีลักษณะเป็นพุ่มตรง มีใบมาก สูงประมาณ 45 - 120 เซนติเมตร อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 75 - 150 วัน เกือบทุกพันธุ์จะมีแกนลำต้นอย่างชัดเจน และมีกิ่งแตกแขนงออกมาบริเวณข้อด้านล่างเมื่อมีระยะปลูกที่ห่าง ใบสองใบแรกเป็นใบเดี่ยวและใบหลัง ๆ เป็นใบแบบสามเส้า ใบย่อยอาจมีรูปร่างและขนาดต่างกันแล้วแต่พันธุ์ เมื่อถึงระยะแก่เต็มที่ใบจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและร่วงก่อนที่ฝักจะแก่เต็มที่ ลำต้นจะปกคลุมด้วยขนค่อนข้างแข็ง สีเทา ดอกจะมีสีขาวหรือสีม่วง มีก้านดอกสั้นงอกออกมาตามข้อของลำต้น ลักษณะฝักจะเล็กตรงหรือโค้งงอเล็กน้อย มีสีตั้งแต่สีฟางแห้ง เทา น้ำตาล หรือเกือบดำ ในหนึ่งฝักจะมีเมล็ดประมาณ 1 - 4 เมล็ด ลักษณะเมล็ดกลมหรือกลมรี พันธุ์ที่นิยมปลูกเป็นการค้ามักมีเมล็ดสีเหลือง แต่พันธุ์อื่น ๆ อาจมีสีเขียวอมเหลือง เขียว น้ำตาล หรือดำ เปลือกของเมล็ดที่มีสีจางอาจมีจุดน้ำตาลหรือดำปนอยู่ ลักษณะจุดบนเมล็ดอาจเกิดจากพันธุกรรมหรือสภาพแวดล้อมก็ได้ แต่ไม่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ด โดยปกติถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีการผสมเกสรในตัวเอง การผสมเกสรจะเกิดก่อนดอกบาน การผสมข้ามดอกอาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งอาจทำให้พืชมีลักษณะผิดแปลกไปจากเดิม (สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม, 2542: 31)

2.5.2 การเติบโตและพัฒนาการของถั่วเหลือง

ความแตกต่างกันในลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology) นิสัยการเจริญเติบโต (Growth Habit) และทางสรีรวิทยา เช่น การตอบสนองต่อความยาววัน (Day Length) และอุณหภูมิต่อการออกดอกสามารถนำมาใช้จำแนกความแตกต่างของพันธุ์ถั่วเหลืองได้ (ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, 2545 อ้างถึงใน กฤษฎา หงส์รัตน์, 2546: 22) พันธุ์ของถั่วเหลืองที่ปลูกกันอยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ตามการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน คือ การเติบโตแบบไม่ทอดยอด (Determinate Growth Habit) โดยมีการเติบโตและพัฒนาการทางลำต้นยาวนานและสิ้นสุดเมื่อถั่วเหลืองออกดอก ทำให้ภายหลังการออกดอกความสูงของต้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และการออกดอกจะเกิดขึ้นเกือบพร้อมกันทั้งต้น และการเติบโตแบบทอดยอด (Indeterminate Growth Habit) โดยมีการเติบโตและพัฒนาการทางลำต้นที่มีช่วงคาบเกี่ยวกับการเจริญพันธุ์

กล่าวคือ ขณะที่ถั่วเหลืองเริ่มออกดอกจะยังคงมีการเติบโตและพัฒนาการทางลำต้นต่อไป ทำให้ออกดอกไม่พร้อมกัน เรียกช่วงคาบเกี่ยวนี้ว่า Flowering Period (อภิพรรณ พุกภักดี, 2533: 147)

อายุหรือระยะเวลาที่ใช้ในการเจริญเติบโตและพัฒนาการของถั่วเหลืองจากระยะหนึ่งไปสู่อีกระยะหนึ่ง มีความแตกต่างกันไปตามพันธุ์และสภาพแวดล้อม พันธุ์เดียวกันแต่ปลูกอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันก็มีผลทำให้อายุการเจริญไม่เท่ากัน ดังนั้นอายุ (วัน) การเจริญที่เท่ากัน พืชอาจมีการเจริญทางสรีรวิทยา (ความแก่ - อ่อนทางสรีรวิทยา) แตกต่างกันได้ พันธุ์แต่ละพันธุ์จะมีจำนวนใบที่แน่นอนแตกต่างกัน ส่วนความสูงนอกจากจะแตกต่างกันในระหว่างพันธุ์แล้ว ยังผันแปรไปตามฤดูท้องถิ่น วันปลูก และรูปแบบของการปลูก รวมทั้งความหนาแน่นด้วย

การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองแบ่งออกเป็นระยะที่สำคัญได้ 3 ระยะ คือ (Murata, 1969 อ้างถึงใน กฤษฎา หงส์รัตน์, 2546: 23)

1. การเจริญเติบโตก่อนออกดอก หมายถึง การเจริญเติบโตเพื่อสร้างกิ่งก้านสาขาและการสร้างใบ

2. การสร้างดอกและฝัก ตลอดจนองค์ประกอบของผลผลิต

3. การสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ด ซึ่งเป็นระยะที่มีการเคลื่อนย้ายน้ำหนักแห้งจากส่วนต่าง ๆ ของพืชไปสู่เมล็ด

Fehr and Caviness (1977: 11) ได้แบ่งการเจริญเติบโตและพัฒนาการของถั่วเหลืองนับตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวออกเป็น 2 ระยะหลัก คือ ระยะเวลาการเจริญทางลำต้นและใบ (Vegetative Growth) และระยะการเจริญทางการแพร่ขยายพันธุ์ (Reproductive Growth) และในแต่ละระยะหลักยังมีขั้นตอนการเจริญเป็นระยะย่อย ๆ ดังตารางที่ 2.4 และ 2.5 ดังนี้

ตารางที่ 2.4 การกำหนดระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (V - Stage)

ระยะ	ชื่อระยะ	ข้อสังเกต
VE	Emergence	ระยะที่ใบเลี้ยงโผล่พ้นผิวดิน
VC	Cotyledon	ระยะที่มีใบเลี้ยงทั้งสองใบแผ่ออกจากกันและใบจริงแต่ละใบมีขอบใบเริ่มคลี่ออกไม่ติดกัน
V_1	First - Node	ระยะที่มี 1 ข้อบนลำต้น บนข้อนี้มีใบจริงคู่แรกเจริญเต็มที่และใบบนข้อถัดขึ้นไปมีขอบใบคลี่ออกไม่ติดกัน
V_2	Second - Node	มี 2 ข้อบนลำต้น ประกอบด้วยใบจริงคู่แรกและใบประกอบ ใบแรกที่เจริญเต็มที่แล้ว ใบบนข้อถัดไปมีขอบใบคลี่แยกจากกัน
V_3	Third - Node	มี 3 ข้อบนลำต้น ประกอบด้วยใบจริงคู่แรก และใบประกอบ 2 ใบที่เจริญเต็มที่แล้ว ใบบนข้อถัดไปมีขอบใบคลี่แยกจากกัน
⋮	⋮	⋮
V_n	n^{th} - Node	มี n ข้อบนลำต้น ประกอบด้วยใบที่เจริญเต็มที่แล้วบนข้อทั้ง n ข้อ ใบบนข้อที่ n + 1 มีขอบใบคลี่แยกจากกัน

แหล่งที่มา : Fehr and Caviness, 1977: 11.

ตารางที่ 2.5 การกำหนดระยะการเจริญพันธุ์ในถั่วเหลือง (R - Stage)

ระยะ	ชื่อระยะ	ข้อสังเกต
R_1	Beginning Bloom	ดอกบานหนึ่งดอกที่ข้อใดข้อหนึ่งบนลำต้น
R_2	Full Bloom	ดอกบานที่ข้อใดข้อหนึ่งใน 2 ข้อบนสุดของลำต้น ซึ่งมีใบพัฒนาเต็มที่
R_3	Beginning Pod	ฝักมีขนาด 0.5 ซม. ที่ข้อใดข้อหนึ่งใน 4 ข้อบนสุดของลำต้น ซึ่งมีใบพัฒนาเต็มที่
R_4	Full Pod	ฝักมีขนาด 2.0 ซม. ที่ข้อใดข้อหนึ่งใน 4 ข้อบนสุดของลำต้น ซึ่งมีใบพัฒนาเต็มที่
R_5	Beginning Seed	เมล็ดยาว 0.3 ซม. ในฝักที่ข้อใดข้อหนึ่งใน 4 ข้อบนสุดของลำต้น ซึ่งมีใบพัฒนาเต็มที่
R_6	Full Seed	ต้นถั่วเหลืองมีเมล็ดสีเขียวโตเต็มที่ ที่ข้อใดข้อหนึ่งใน 4 ข้อบนสุดของลำต้น ซึ่งมีใบพัฒนาเต็มที่
R_7	Beginning Maturity	ฝักใดฝักหนึ่งบนลำต้นเริ่มเป็นสีเหลือง
R_8	Full Maturity	จำนวนฝักบนลำต้นร้อยละ 90 - 95 เป็นสีน้ำตาลเข้มซึ่งหลังจากนั้นประมาณ 5 - 10 วัน สามารถเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองได้

แหล่งที่มา : Fehr and Caviness, 1977: 11.

2.5.3 ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์ที่สร้างขึ้นโดยนักวิชาการของศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองเพื่อต้านทานต่อโรคราสนิม ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์ Williams ซึ่งเป็นพันธุ์แม่ที่มีลักษณะดี คือ เจริญเติบโตดี ติดฝักดก ลำต้นแข็งแรง เมล็ดมีขนาดใหญ่กับพันธุ์ สจ. 4 เป็นพันธุ์พ่อที่มีลักษณะต้านทานต่อโรคราสนิม ผลผลิตสูง และคุณภาพเมล็ดดี ได้สายพันธุ์ 7508 - 50 - 10 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง และต้านทานต่อโรคราสนิม ฤดูปลูกที่เหมาะสม คือ ฤดูฝนในเดือนพฤษภาคม และฤดูแล้งในเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ได้รับการรับรองพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตรเมื่อวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2530 โดยใช้ชื่อว่า พันธุ์เชียงใหม่ 60

2.5.3.1 ลักษณะประจำพันธุ์

ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ต้นอ่อนจะมีลักษณะแตกต่างจากพันธุ์มาตรฐานอื่น ๆ คือ ต้นอ่อนมีสีเขียว ส่วนพันธุ์อื่น ๆ มีสีม่วง ลำต้นแข็งแรงไม่ล้ม ลักษณะไม่ทอดยอด

(Determinate Type) มีความสูงเฉลี่ย 60 เซนติเมตร จำนวนใบย่อยมี 3 ใบ รูปใบเป็นชนิดใบกว้าง (Broad Leaflet Shape) ขนาดของใบจัดว่ามีใบขนาดเล็ก (Small Leaflet Size) คือ ขนาดของใบเล็กกว่า 70 ตารางเซนติเมตร สำหรับใบเลี้ยงมีสีเขียว และจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองก่อนจะหลุดล่วง ขนที่ขึ้นตามส่วนต่าง ๆ ของลำต้นจะมีสีน้ำตาล เป็นแบบขนสั้นและมีความหนาแน่นปานกลาง สีของดอกแตกต่างจากพันธุ์มาตรฐานอื่น ๆ คือ ดอกมีสีขาว อายุถึงวันออกดอกเฉลี่ยประมาณ 35 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับฤดูปลูก อาทิ เมื่อปลูกในช่วงต้นฤดูฝนจะมีอายุถึงวันออกดอกเท่ากับ 33 วัน ปลายฤดูฝนเท่ากับ 26 วัน และเมื่อปลูกในฤดูแล้งจะมีอายุถึงวันออกดอกเฉลี่ยเท่ากับ 32 วัน ยกเว้นการปลูกในเขตภาคเหนือตอนบนซึ่งมีอากาศหนาว อายุการออกดอกอาจยืดยาวออกไปถึง 44 วัน (ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, 2535 อ้างถึงใน ศุภชัย แก้วมีชัย, 2537: 65 - 66) การติดฝักจะติดฝักเป็นกระจุกตามข้อที่ลำต้นตั้งแต่ข้อแรกจนถึงข้อสุดท้าย สีของฝักเมื่อแก่จะมีสีน้ำตาลค่อนข้างเข้ม จำนวนเมล็ดต่อฝักเฉลี่ย 2 - 3 เมล็ด แต่จะพบ 2 เมล็ดต่อฝักมากกว่า 3 เมล็ด ส่วนจำนวนฝักต่อต้นขึ้นอยู่กับการเจริญเติบโต โดยมีจำนวนฝักตั้งแต่ 50 - 70 ฝักต่อต้น น้ำหนัก 100 เมล็ด 15.0 - 15.5 กรัม อายุถึงวันเก็บเกี่ยวประมาณ 97 วัน แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมของแหล่งปลูกและฤดูปลูก เช่น การปลูกในช่วงในต้นฤดูฝนจะมีอายุถึงวันเก็บเกี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 98 วัน แต่ในปลายฤดูฝนจะสั้นลง คือ เฉลี่ยเท่ากับ 85 วัน ส่วนการปลูกในฤดูแล้งจะเท่ากับ 90 วัน แต่มีอายุยาวที่สุดโดยการปลูกที่เชียงใหม่ ซึ่งมีอากาศหนาวเย็นถึง 101 วัน (ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่, 2534 อ้างถึงใน ศุภชัย แก้วมีชัย, 2537: 66)

2.5.3.2 ลักษณะเด่น

ลักษณะเด่นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 คือ มีความต้านทานต่อโรคราสนิม ในกรณีที่โรคนี้ระบาดอย่างรุนแรง ผลผลิตของพันธุ์เชียงใหม่ 60 จะลดลงเพียงร้อยละ 16 ในขณะที่พันธุ์ สจ. 4 และ สจ. 5 จะลดลงประมาณร้อยละ 29 และ 30 ตามลำดับ ทนทานต่อโรคราน้ำค้าง โรคแอนแทรคโนส และโรคแบคทีเรียพัสตูล สามารถปลูกได้ดี ให้ผลผลิตสูงทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง แต่ถ้าทำการปลูกในฤดูฝนจะให้ผลผลิตสูงกว่าในฤดูแล้ง ปรับตัวตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมได้กว้างขวางโดยเฉพาะภาคอีสานสามารถใช้เป็นพันธุ์ปลูกได้ทุกฤดูปลูก เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงประมาณ 280 - 360 กิโลกรัมต่อไร่ องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมีน้ำมันร้อยละ 20.00 โปรตีนร้อยละ 43.80 และกรดไขมันปาลมิติดร้อยละ 12.75 สเตริคร้อยละ 3.780 โอเลอิคร้อยละ 19.57 ลิโนเลอิคร้อยละ 53.53 ลิโนเลนิคร้อยละ 9.570 (กรมวิชาการเกษตร, 2530: 24) เป็นพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับเครื่องเก็บเกี่ยวถั่วเหลือง (Soybean Reaper) เพราะฝักแรกอยู่เหนือระดับพื้นดินประมาณ 10 เซนติเมตร จึงช่วยลดการสูญเสียของผลผลิต (ศุภชัย แก้วมีชัย, 2537: 67)

2.5.3.3 ลักษณะด้อย

ลักษณะด้อยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 คือ อ่อนแอต่อสภาพดินที่มีความชื้นสูงหรือน้ำขัง การปลูกในฤดูแล้งควรให้น้ำก่อนปลูกแต่ไม่ควรให้มีน้ำขัง เพราะจะทำให้

เมล็ดเน่าได้ง่าย หรือในฤดูฝนควรมีการระบายน้ำออกจากแปลง และเป็นพันธุ์ที่เสื่อมความงอก ถ้าเก็บไว้ในสภาพอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน ร้อยละความงอกจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 40 (พรศักดิ์ ภักดีวราภรณ์, 2543: 22)

2.5.4 อิทธิพลของคุณสมบัติของดิน และปริมาณธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

2.5.4.1 คุณสมบัติของดิน

ผลผลิตของถั่วเหลืองจะมีความแปรปรวนอย่างมากเมื่อปลูกในสภาพของดินที่มีเนื้อดิน (Texture) แตกต่างกัน การเลือกดินที่มีความเหมาะสมสำหรับการปลูกถั่วเหลืองจึงมีความสำคัญมาก เนื่องจากจะส่งผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบของถั่วเหลือง โดยชนิดของดินที่มีความเหมาะสมต่อการปลูกถั่วเหลือง คือ ดินร่วนเหนียวหรือดินร่วน ที่มีการระบายน้ำดี ซึ่งการระบายน้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างมากเพราะนอกจากจะมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อการทำงานของเชื้อไรโซเบียมซึ่งเป็น Aerobic Bacteria นอกจากนี้ ความเค็มของดินยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองเช่นกัน ซึ่งดินเค็ม คือ ดินที่มีเกลือที่สามารถละลายได้ง่ายอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าระดับปกติ การวัดค่าความนำไฟฟ้าจะทำให้ทราบว่าเป็นดินเค็มหรือไม่ ดังตารางที่ 2.6 ซึ่งแสดงระดับความเค็มของดินและอิทธิพลที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช ทั้งนี้พืชแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการทนต่อความเค็มของดินที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.7 จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองเป็นพืชที่ไม่ทนต่อความเค็ม โดยในดินที่มีค่าความนำไฟฟ้า 2 - 4 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร ผลผลิตของถั่วเหลืองจะมีค่าลดลงประมาณร้อยละ 50 ของผลผลิตที่ได้

ตารางที่ 2.6 ระดับความเค็มของดินและอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช

ค่าความนำไฟฟ้า (มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร)	ระดับความเค็ม	อิทธิพลต่อพืช
0 - 2	ไม่เค็ม	ไม่กระทบกระเทือนต่อพืช
2 - น้อยกว่า 4	ไม่เค็ม	พืชที่ไวต่อความเค็มมีการเจริญเติบโตลดลงบ้าง
4 หรือสูงกว่า 4	เค็ม	
4 - 8	เค็มปานกลาง	จำกัดการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด
มากกว่า 8 - 16	เค็มมาก	พืชทนเค็มเท่านั้นที่เจริญเติบโตได้ดี
มากกว่า 16	เค็มมากที่สุด	พืชทนเค็มบางชนิดเท่านั้นที่เจริญเติบโตได้ดี

แหล่งที่มา : ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544: 201.

ตารางที่ 2.7 ความทนเค็มของพืชไร่*

ค่าความนำไฟฟ้า (มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร)			
2 – 4	**4 - 8**	**8 - 12**	**12 - 16**
ถั่วเขียว	ทานตะวัน	ข้าวทนเค็ม	ฝ้าย
ถั่วเหลือง	ปอแก้ว	คำฝอย	
ถั่วลิสง	ข้าวโพด	มันเทศ	
ถั่วแขก	ข้าวฟ่าง		

แหล่งที่มา : ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544: 204.

หมายเหตุ : * ชื่อพืชที่แสดงในแต่ละช่อง คือ พืชที่เจริญเติบโตได้ในพิกัดความเค็มที่ระบุ โดยให้ผลผลิตโดยประมาณลดลงประมาณร้อยละ 50 ของผลผลิตที่ได้

คุณสมบัติของดินอีกประการหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง คือ สภาพความเป็นกรดด่าง หรือค่า pH ของดิน โดยพืชแต่ละชนิดจะเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีค่า pH ที่แตกต่างกันดังภาพที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีค่า pH เท่ากับ 6.0 - 7.0 สำหรับปัจจัยที่ความเกี่ยวข้องกับค่า pH ของดิน ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยดินที่มีความเป็นกรดมาก ๆ มักจะมีธาตุอาหารบางธาตุเปลี่ยนแปลงไป เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหาร ซึ่งมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารเหล่านั้นที่พืชจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนี้ (ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544: 195 - 198)

1. ระดับแคลเซียม แมกนีเซียม และโปตัสเซียม

โดยดินที่ความเป็นกรดรุนแรงจะมีแคลเซียม แมกนีเซียม และโปตัสเซียมค่อนข้างต่ำ เนื่องจากธาตุอาหารเหล่านี้จะถูกชะละลายออกจากดินได้ง่าย ซึ่งโดยทั่วไปดินจะมีระดับแคลเซียมและแมกนีเซียมอย่างเพียงพอเมื่อดินมีค่า pH อยู่ระหว่าง 5.5 - 8.5 ถ้าค่า pH มีค่าต่ำหรือสูงกว่านี้พืชก็อาจแสดงอาการขาดธาตุอาหารเหล่านี้ได้

2. ระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ฟอสเฟตในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับค่า pH ของดิน เนื่องจากเมื่อดินมีความเป็นกรดมาก ๆ จะทำให้เกิดการตรึงฟอสเฟตให้อยู่ในรูปของเหล็กและอะลูมินัมฟอสเฟตซึ่งยากแก่พืชในการนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทั้งนี้เนื่องจากในสภาพดังกล่าวเหล็กและอะลูมินัมจะอยู่ในสภาพที่ละลายน้ำได้ยาก โดยเฉพาะเมื่อค่า pH ต่ำกว่า 5.0 เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตลงในดินที่มีสภาพเป็นกรด ปุ๋ยที่ใส่จะทำปฏิกิริยากับเหล็กและอะลูมินัมเสียหมดทำ

ให้มีส่วนที่เหลือที่พืชจะนำไปใช้ได้น้อยลง บางครั้งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงไม่ถึงร้อยละ 10 ของส่วนที่ควรจะเป็นประโยชน์ซึ่งได้จากปุ๋ยที่ใส่ สำหรับค่า pH 6 - 7 นับว่าเป็นระดับที่ค่อนข้างเหมาะสมที่สุดสำหรับฟอสเฟตในดินที่พืชจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เพราะช่วง pH ดังกล่าว ฟอสเฟตในดินจะถูกตรึงน้อยที่สุด

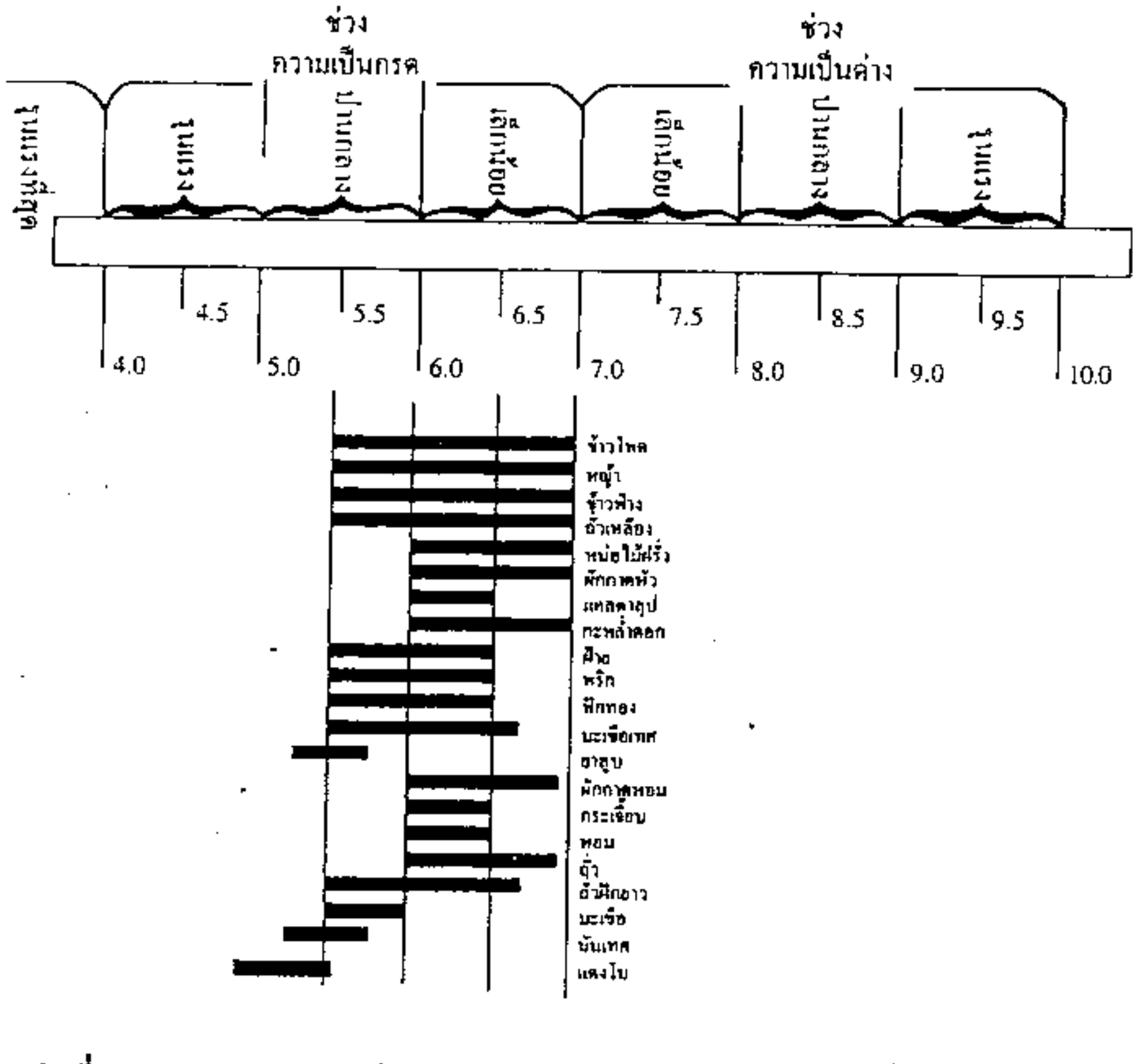
3. ระดับจุลธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์

ธาตุอาหารพืชพวกจุลธาตุในดินจะเป็นประโยชน์แก่พืชได้มากน้อยเพียงใดนั้นจะขึ้นอยู่กับระดับ pH ในดินเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น เมื่อดินมีความเป็นกรดมาก ๆ แมงกานีสจะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ง่าย และจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อค่า pH ของดินมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อระดับ pH ของดินเป็นกลาง หรือด่างเล็กน้อย อาทิที่ระดับ pH 6.5 - 8.0 ระดับของธาตุแมงกานีสที่พืชจะสามารถนำไปใช้ได้ในดินจะมีค่าลดลง จนอาจก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนธาตุแมงกานีสในพืชได้ เช่นเดียวกับสังกะสีซึ่งจะอยู่ในสภาพที่สามารถละลายน้ำได้ง่ายเมื่อดินมีสภาพเป็นกรด โดยเฉพาะเมื่อดินมีค่า pH ประมาณ 5.0 และที่ระดับ pH 5.0 - 6.5 สังกะสีในดินจะละลายได้น้อยลง พืชจึงสามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ยากขึ้น เป็นต้น สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของดินกับระดับของธาตุอาหารพืชในดินที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.2 โดยความกว้างของแถบที่ระดับ pH ใด ๆ จะแสดงปริมาณในเชิงเปรียบเทียบความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารแต่ละธาตุในดินซึ่งมี pH ในระดับนั้น ๆ จึงอาจกล่าวได้ว่าที่ระดับ pH 6.0 - 7.0 ความเป็นประโยชน์ของธาตุต่าง ๆ จะอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช

4. กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน

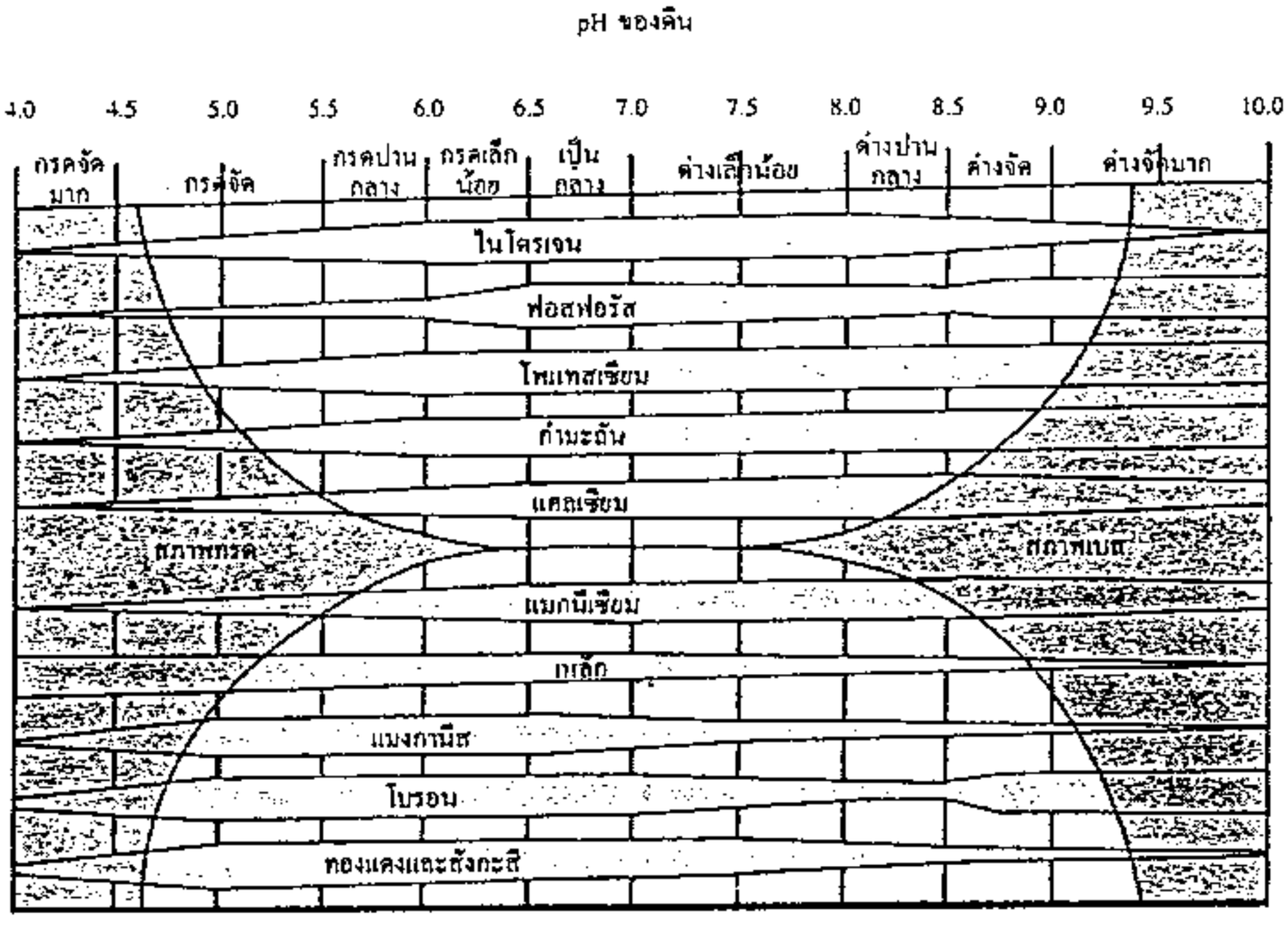
จุลินทรีย์ในดินโดยเฉพาะแบคทีเรียจะมีกิจกรรมสูง หรือทำงานอย่างมีประสิทธิภาพเมื่อดินมีสภาพเป็นกลาง และเมื่อดินมีสภาพเป็นกรดแบคทีเรียก็จะทำงานได้ช้าลงตามลำดับ สำหรับราจะทำงานได้ดีกว่าแบคทีเรียเมื่อดินมีสภาพเป็นกรด และถึงแม้ดินจะมีสภาพเป็นด่างราก็ยังสามารถทำงานได้ดีเช่นกัน แต่จะสู้แบคทีเรียไม่ได้ นอกจากนี้ กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินยังเป็นตัวควบคุมปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถันที่พืชจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยเมื่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินสามารถดำเนินไปได้ด้วยดี ปริมาณของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถันในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย เพราะจุลินทรีย์ในดินจะมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านี้ออกจากอินทรียวัตถุ (Mineralization) นอกจากนั้น กระบวนการตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยจุลินทรีย์บางชนิดจะดำเนินไปได้ด้วยดีเมื่อดินมีสภาพเป็นกลาง หรือเป็นกรดเล็กน้อย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการใส่ปูนลงไปในดินที่มีสภาพเป็นกรด เพื่อเป็นปรับระดับ pH ให้มีค่าสูงขึ้นเป็น 6.5 - 7.0 เสียก่อน จึงจะสามารถปลูกถั่วเหลืองได้เป็นอย่างดี

ภาพที่ 2.1 ค่า pH ของดินที่เหมาะสมสำหรับพืชชนิดต่าง ๆ



แหล่งที่มา : ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544: 199.

ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ pH ของดินกับระดับของธาตุอาหารพืชในดินที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้



แหล่งที่มา : ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544: 197.

2.5.4.2 ธาตุอาหาร

ธาตุอาหารนับว่าเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง ไม่ว่าจะเป็นส่วนของราก ลำต้น ใบ ฝัก และเมล็ด ซึ่งปริมาณความต้องการธาตุอาหารจะแตกต่างกันไปตามระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองและสภาพแวดล้อม จากตารางที่ 2.5 แสดงระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารต่าง ๆ ที่เพียงพอต่อความต้องการให้ผลผลิตสูงสุดของถั่วเหลือง โดยธาตุอาหารที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เนื่องจากธาตุทั้งสองนี้ในดินที่ใช้ปลูกถั่วเหลืองโดยทั่วไปมักไม่เพียงพอกับการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเพิ่มลงไปในดิน (ชำนาญ หริ่งรัตนพันธ์, 2533: 18)

ตารางที่ 2.8 ความเข้มข้นของธาตุอาหารต่าง ๆ ที่เพียงพอต่อความต้องการของถั่วเหลือง*

ธาตุอาหาร	ถั่วเหลือง
ไนโตรเจน (ร้อยละ)	4.200
ฟอสฟอรัส (ร้อยละ)	0.2900
โปตัสเซียม (ร้อยละ)	1.700
กำมะถัน (ร้อยละ)	0.2100
แคลเซียม (ร้อยละ)	0.3500
แมกนีเซียม (ร้อยละ)	0.2600
ทองแดง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	4.000
สังกะสี (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	20.00
แมงกานีส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	20.00
เหล็ก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	51.00
โบรอน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	16.00
โมลิบดีนัม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	0.0200

แหล่งที่มา : พิชิต พงษ์สกุล และปรีดา พากเพียร, 2535: 165.

หมายเหตุ : * ความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ ในใบอ่อนที่เจริญเต็มที่แล้ว (ใบที่ ¾ จากยอด) ของถั่วเหลืองในระยะเริ่มออกดอก

1. ไนโตรเจนกับการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

โดยถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีความต้องการไนโตรเจนสูงมาก เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตเมล็ด ทั้งนี้ เนื่องจากถั่วเหลืองเป็นพืชโปรตีนสูง มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบในเมล็ดสูงถึงร้อยละ 45 (อภิพรรณ พุกภักดี, 2533: 18) แหล่งที่ได้มาของไนโตรเจนนอกจากจะได้จากดินและปุ๋ยแล้ว ยังได้มาจากเชื้อไรโซเบียมซึ่งช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศ การคลุกเชื้อไรโซเบียมก่อนการปลูกจึงเป็นวิธีการเพิ่มความสามารถในการตรึงไนโตรเจน เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง และช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน อย่างไรก็ตามในระยะแรกของการเจริญเติบโตประมาณ 15 วันจากวันปลูก เชื้อไรโซเบียมยังไม่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้ต้นถั่วใช้เป็นประโยชน์ได้ ในระยะนี้ถ้าไม่มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนช่วย จะทำให้ถั่วเหลืองขาดไนโตรเจน การเจริญเติบโตจะช้าและอ่อนแอ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2525: 22) ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยไนโตรเจนกระตุ้นการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในระยะนี้ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนปริมาณน้อย ๆ จะช่วยส่งเสริมการตรึงไนโตรเจนของเชื้อไรโซเบียม โดย

ไนโตรเจนดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในระยะแรก ๆ ของการเจริญเติบโตก่อนที่ปมรากถั่วเหลืองจะเกิดขึ้น โดยจะถูกนำไปใช้ในระยะแรกของการสร้างปม (Orcutt and Wilson, 1935: 296) แต่ถ้าใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมากเกินไปจะมีผลทำให้กิจกรรมการสร้างปมและการตรึงไนโตรเจนลดลง (น้อย เชียรนันท์, 2519: 150)

สุรีพร เกตุงาม (2529: บทคัดย่อ) พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้กับถั่วเหลืองทำให้ผลผลิตของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนไปทำให้ระยะเวลาในการสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองยาวขึ้น โดยเมื่อใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในอัตรา 60 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ทำให้ระยะเวลาของการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดยาวนานที่สุด อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในอัตราที่สูง พบว่า จะไปยับยั้งการสร้างปมของถั่วเหลือง โดยทำให้จำนวนปมและน้ำหนักแห้งของปมลดลง

2. ฟอสฟอรัสกับการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

สำหรับฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองมากที่สุด การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจึงมักจะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเสมอ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2525: 23) โดยฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโครงสร้างของสารประกอบต่าง ๆ ภายในพืช เช่น สารประกอบที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงาน เช่น ATP, ADP, NAD, NADH และสารประกอบที่มีความสำคัญต่อการถ่ายทอดพันธุกรรม เช่น DNA และ RNA นอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังเป็นองค์ประกอบของ Nucleo Protein ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของ Nucleus ฟอสฟอรัสยังเป็นองค์ประกอบของ Phytin กับ Phosphortides ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในเมล็ดถั่วเหลืองอีกด้วย (ธนพนธ์ จุนขุนทด, 2536: 5 - 6) ถั่วเหลืองมีความต้องการฟอสฟอรัสในปริมาณค่อนข้างสูงเช่นเดียวกับพืชตระกูลถั่วทั้งหลาย เพราะการตรึงไนโตรเจนของไรโซเบียมในพืชตระกูลถั่วต้องการฟอสฟอรัสมาก ในขณะที่ความต้องการฟอสฟอรัสของถั่วเหลืองขึ้นอยู่กับระดับของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ในดิน กล่าวคือ ถ้าดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ต่ำ ถั่วเหลืองก็ตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟตที่ใส่ลงไปอย่างชัดเจน

3. โปตัสเซียมกับการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองจะใช้โปตัสเซียมในการเจริญเติบโตในเกณฑ์ที่ไม่สูงมาก ซึ่งปริมาณการใช้โปตัสเซียมของถั่วเหลืองมีความแปรปรวน แต่โดยเฉลี่ยแล้วถ้าจะให้ได้ผลผลิตในอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ถั่วเหลืองจะใช้โปตัสเซียมประมาณ 7 - 8 กิโลกรัมของ K_2O ต่อไร่ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2525: 24)

จากการตรวจเอกสาร สามารถสรุปได้ว่า กากตะกอนมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่เป็นจำนวนมาก และมีคุณค่าที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ โดยเฉพาะการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเพื่อทดแทนปุ๋ยเคมี ซึ่งกากตะกอนสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตของพืชได้ แต่ทั้งนี้ต้องอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากองค์ประกอบที่ซับซ้อนของกากตะกอน เช่น คุณสมบัติ

ทางเคมี ปริมาณธาตุอาหาร และปริมาณโลหะหนัก เป็นต้น ซึ่งสามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชได้ และอาจมีผลต่อผู้บริโภคทั้งมนุษย์และสัตว์ได้ ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงได้นำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมาใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร่ คือ ถั่วเหลือง ซึ่งเป็นพืชที่มีความต้องการธาตุอาหารเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เพื่อให้ทราบถึงอัตราส่วนหรือปริมาณของกากตะกอนที่เหมาะสมสำหรับการปลูกถั่วเหลือง เพื่อจะได้ใช้เป็นแนวทางในการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์กับพืชชนิดอื่น ๆ ต่อไป ดังจะได้นำเสนอรายละเอียดของแผนการทดลองในบทที่ 3 ต่อไป

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

3.1 วัสดุ อุปกรณ์

3.1.1 วัสดุก่อสร้างโรงเรือน ได้แก่ ท่อเหล็ก แผ่นพลาสติกใสขนาดหน้ากว้าง 120 เซนติเมตร เชือกไนลอน สังกะสี ไม้ ไม้ไผ่ ตาข่ายสีฟ้าขนาดหน้ากว้าง 90 และ 120 เซนติเมตร เส้นลวด

3.1.2 ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

3.1.3 กระถางพลาสติกสีดำ เส้นผ่าศูนย์กลางปากกระถาง 27.94 เซนติเมตร ความสูง 22.86 เซนติเมตร

3.1.4 เชื้อไรโซเบียมสำหรับถั่วเหลือง จากกองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร

3.1.5 สารป้องกันเชื้อรา (เมทาแลกซิล)

3.1.6 สารเหนียว (น้ำตาล ร้อยละ 30)

3.1.7 ปุ๋ยเคมีสูตร 12 - 24 - 12

3.1.8 กากตะกอนน้ำเสียชุมชนจากระบบบำบัดน้ำเสียเมืองพัทยา ซอยวัดหนองใหญ่ ตำบลหนองปรือ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี

3.1.9 กระบอกฉีดพ่นกำจัดแมลง

3.1.10 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการปลูกพืช เช่น พลั่ว ฝักบัวรดน้ำ เป็นต้น

3.1.11 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดิน กากตะกอนน้ำเสียชุมชน และถั่วเหลือง เช่น จอบ เสียม กรรไกรตัดกิ่ง ถุงพลาสติก เป็นต้น

3.1.12 กล้องถ่ายรูป ตลับเมตร

3.2 วิธีการทดลอง

ทำการทดลองปลูกถั่วเหลืองในโรงเรือนประดิษฐ์ขนาดประมาณ 6 x 8 เมตร ความสูง 2 เมตร โดยปลูกในกระถางพลาสติกสีดำ เส้นผ่าศูนย์กลางปากกระถาง 27.94 เซนติเมตร ความสูง 22.86 เซนติเมตร ดินที่ใช้ในการปลูกจัดอยู่ในดินชุดแกลง

3.2.1 แผนการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) โดยแบ่งเป็น 6 หน่วยทดลอง ในหน่วยทดลองที่ 1 ถึง 5 จะใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมกับดินในอัตราส่วนร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก และในหน่วยทดลองที่ 6 จะใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราที่เหมาะสมกับถั่วเหลือง ในแต่ละหน่วยทดลองมีจำนวน 4 ซ้ำ โดยมีรายละเอียดของอัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชน และปริมาณปุ๋ยเคมีในแต่ละหน่วยทดลองดังนี้

หน่วยทดลองที่ 1: ไม่มีการเติมปุ๋ยเคมี และไม่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชน (T_0)

หน่วยทดลองที่ 2: เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมคลุกเคล้ากับดิน ในอัตราร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (T_1)

หน่วยทดลองที่ 3: เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมคลุกเคล้ากับดิน ในอัตราร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (T_2)

หน่วยทดลองที่ 4: เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมคลุกเคล้ากับดิน ในอัตราร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก (T_3)

หน่วยทดลองที่ 5: เติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมคลุกเคล้ากับดิน ในอัตราร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก (T_4)

หน่วยทดลองที่ 6: ไม่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชน แต่มีการเติมปุ๋ยเคมีสูตร 12 - 24 - 12 ในอัตรา 10 กรัมต่อกระถาง หลังจากถั่วเหลืองงอก 20 วัน (T_5)

3.2.2 การเตรียมดินและกากตะกอนน้ำเสียชุมชน

3.2.2.1 การเตรียมดิน

ดินที่ใช้ในการปลูกเป็นดินชุดแกลงที่อยู่ในพื้นที่อำเภอแกลง จังหวัดระยอง หลังจากถางหญ้าที่ปกคลุมดินออกแล้ว ทำการเก็บดินโดยขุดดินลึกลงไปประมาณ 15 - 30 เซนติเมตร ให้ได้ดินประมาณ 1,800 กิโลกรัม นำดินที่ได้มากองรวมกัน ทำการบดและคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นทำการแบ่งดินที่ได้ออกเป็น 4 ส่วน (Quartering) สุ่มเลือกกองย่อย 2 ใน 4 กองออก นำ 2 กองที่เหลือมารวมกัน แล้วคลุกเคล้าให้ทั่วอีกครั้ง จากนั้นทำการแบ่งดินที่ได้ออกเป็น 4 ส่วน แต่ละส่วนสุ่มให้ได้ดิน ½ กิโลกรัม นำมากองรวมกันจนได้ดินประมาณ 2 กิโลกรัม แบ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน ส่วนที่ 1 นำส่งสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 6 ตำบลพริ้ว อำเภอแหลมสิงห์ จังหวัดจันทบุรี เพื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหาร ส่วนที่ 2 นำส่งภาคปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อทำการ

วิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท สำหรับดินที่เหลือจากการสุ่มนำไปใช้ในการปลูกถั่วเหลืองต่อไป

3.2.2.2 การเตรียมกากตะกอนน้ำเสียชุมชน

กากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มาจากระบบบำบัดน้ำเสียเมืองพัทยา ซอยวัดหนองใหญ่ ตำบลหนองปรือ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี นำกากตะกอนสดมาผึ่งแดดให้เป็นกากตะกอนแห้ง ให้ได้กากตะกอนแห้งประมาณ 160 กิโลกรัม ความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 ทำการบดให้ให้เป็นเม็ดเล็ก ๆ แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้ง หลังจากนั้นกองรวมกันให้เป็นรูปฝาชี ทำการแบ่งกองดังกล่าวออกเป็น 4 ส่วน (Quartering) สุ่มเลือกกองย่อย 2 ใน 4 กองออก นำ 2 กองที่เหลือมารวมกัน แล้วคลุกเคล้าให้ทั่วอีกครั้ง จากนั้นทำการแบ่งกากตะกอนที่ได้ออกเป็น 4 ส่วน แต่ละส่วนสุ่มให้ได้กากตะกอน ½ กิโลกรัม นำมากองรวมกันจนได้กากตะกอนประมาณ 2 กิโลกรัม แบ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน ส่วนที่ 1 นำส่งสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 6 ตำบลพริ้ว อำเภอแหลมสิงห์ จังหวัดจันทบุรี เพื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหาร ส่วนที่ 2 นำส่งภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อทำการวิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท สำหรับกากตะกอนที่เหลือจากการสุ่มนำไปใช้ในการปลูกถั่วเหลืองต่อไป

3.2.3 การวิเคราะห์และตรวจวัดคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ

กากตะกอนน้ำเสียชุมชนและดินที่ได้ ทำการส่งตรวจหาคุณสมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุอาหาร และปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 6 ตำบลพริ้ว อำเภอแหลมสิงห์ จังหวัดจันทบุรี

3.2.4 การเตรียมพื้นที่ปลูก

พื้นที่ปลูกเป็นโรงเรือนประดิษฐ์ขนาด 6 x 8 เมตร ความสูง 2 เมตร โดยใช้ท่อเหล็กเชื่อมเป็นโครงโรงเรือน หลังคามุงด้วยพลาสติกใสขนาดหน้ากว้าง 120 เซนติเมตร โดยขึงพลาสติกให้ตึง ด้านข้างของโรงเรือนใช้ตาข่ายสีฟ้าขนาดหน้ากว้าง 90 และ 120 เซนติเมตร เย็บต่อกันด้วยเชือกไนลอน และสังกะสีกั้นโดยรอบ พื้นโรงเรือนเป็นพื้นดิน โดยปรับให้เรียบ

3.2.5 การปลูก

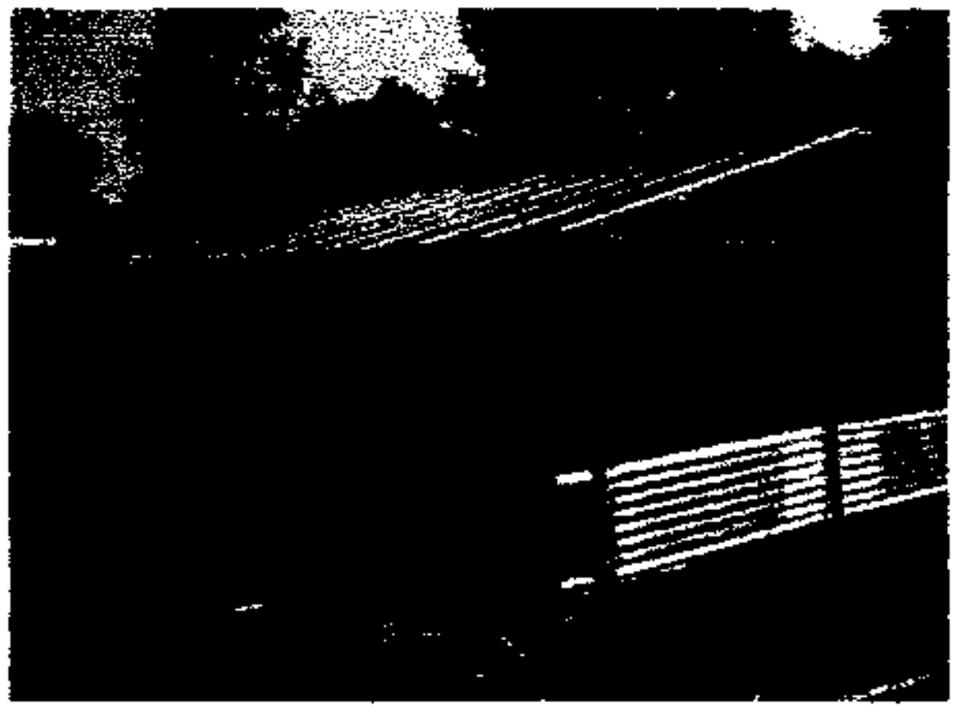
จับสลากลำดับการจัดเรียงหน่วยทดลอง (Treatments) ในโรงเรือนประดิษฐ์ โดยปลูกถั่วเหลืองในกระถางพลาสติกสีดำ เส้นผ่าศูนย์กลางปากกระถาง 27.94 เซนติเมตร ความสูง 22.86 เซนติเมตร จำนวนหน่วยทดลองละ 30 กระถาง รวม 180 กระถาง ระยะห่างระหว่างหน่วยทดลอง คือ 50 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างกระถางภายในหน่วยทดลอง คือ 5 เซนติเมตร ทำการชั่งน้ำหนักดินและกากตะกอนน้ำเสียชุมชนตามอัตราที่กำหนด โดยให้มีน้ำ

หนักแต่ละกระถางเท่ากัน คือ 10 กิโลกรัม ดังตารางที่ 3.1 หลังจากนั้นทิ้งไว้ 2 สัปดาห์ จึงนำมาทำการปลูกถั่วเหลืองต่อไป

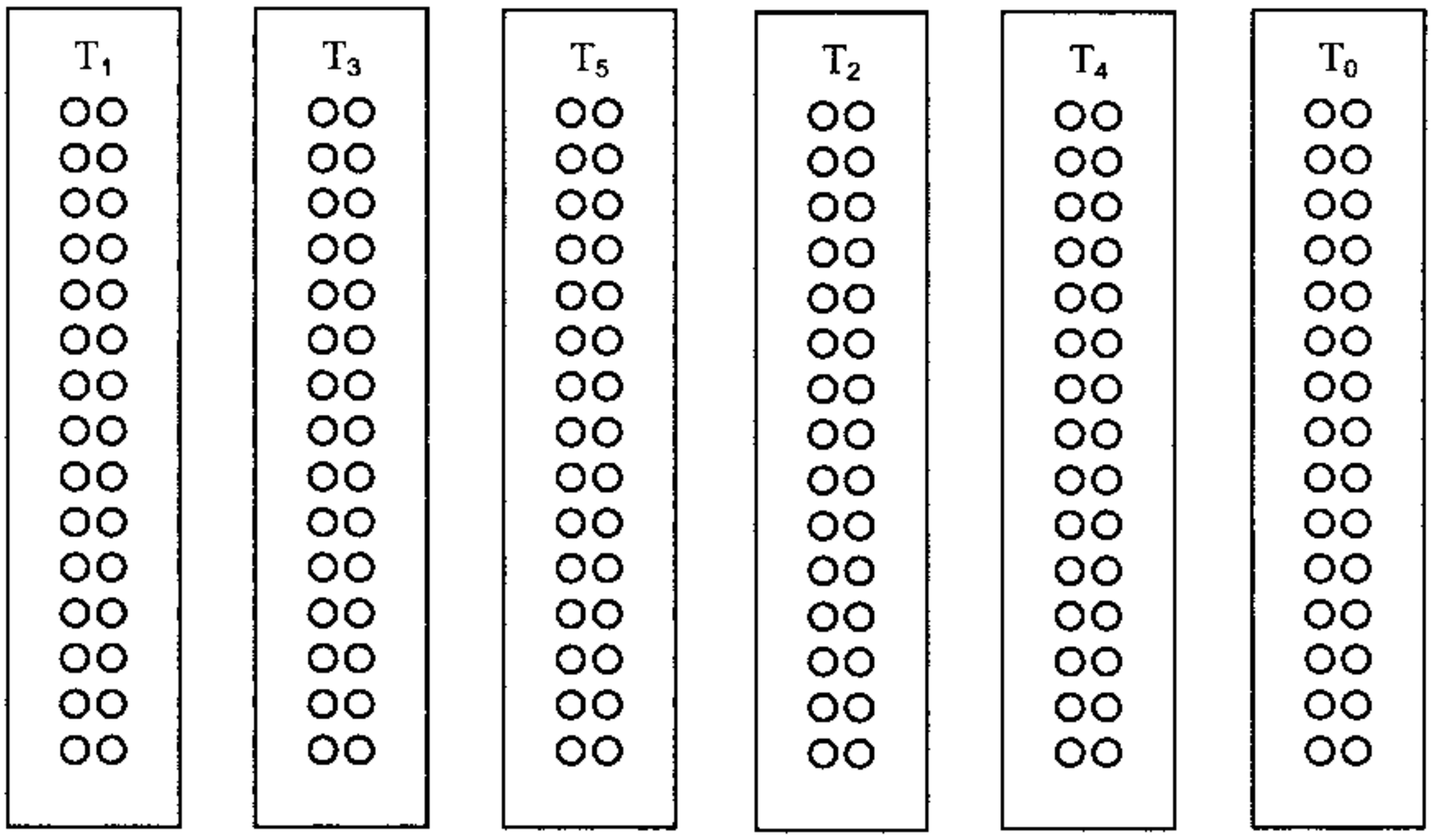
ตารางที่ 3.1 ปริมาณดินและกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่ใช้ในแต่ละซ้ำของหน่วยทดลอง

หน่วยทดลอง	ดิน/ซ้ำ	กากตะกอนน้ำเสียชุมชน	ปุ๋ยเคมี สูตร 12 - 24 -12	รวม
T_0	10.00 กิโลกรัม	-	-	10.00 กิโลกรัม
T_1	9.500 กิโลกรัม	0.5000 กิโลกรัม	-	10.00 กิโลกรัม
T_2	9.000 กิโลกรัม	1.000 กิโลกรัม	-	10.00 กิโลกรัม
T_3	8.500 กิโลกรัม	1.500 กิโลกรัม	-	10.00 กิโลกรัม
T_4	8.000 กิโลกรัม	2.000 กิโลกรัม	-	10.00 กิโลกรัม
T_5	10.00 กิโลกรัม	-	0.0100 กิโลกรัม	10.01 กิโลกรัม

การปลูกใช้เมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 คลุกด้วยเชื้อไรโซเบียม โดยใช้น้ำตาลผสมน้ำร้อยละ 30 เป็นสารเหนียวเพื่อให้เชื้อเกาะติดเมล็ด หลังจากนั้นใส่สารเมทาแลกซิลเล็กน้อยเพื่อป้องกันเชื้อรา ทำการคลุกเคล้าให้ทั่วเมล็ด จากนั้นทำการปลูกโดยหยอดเมล็ดถั่วเหลือง 10 เมล็ดต่อ 1 กระถาง ที่ระดับความลึก 2 - 3 เซนติเมตร ทำการกลบและรดน้ำให้ชุ่ม หลังจากนั้นเมื่อเมล็ดถั่วเหลืองอายุเพียง 1 สัปดาห์ ถอนแยกออกให้เหลือกระถางละ 4 ต้น



ภาพที่ 3.1 ลักษณะของโรงเรือนประดิษฐ์



ภาพที่ 3.2 ลักษณะการจัดวางกระถางภายในโรงเรือนประดิษฐ์จากการสุ่ม

3.2.6 การดูแลรักษา

3.2.6.1 การให้น้ำ ในระยะแรกหลังจากปลูกทำการให้น้ำทุกวัน จนกระทั่งถั่วเหลืองเริ่มออกดอกจึงให้น้ำทุก ๆ 3 วัน หรือเมื่อดินในกระถางแห้งจนเกิดการแตกของดิน และเมื่อถึงระยะสุกแก่จึงหยุดการให้น้ำ

3.2.6.2 การกำจัดวัชพืช กำจัดโดยการใช้แรงงานคน เมื่อมีวัชพืชขึ้น

3.2.6.3 การป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช ใช้ยาฉุนผสมน้ำ แช่ในน้ำทิ้งไว้ 1 คืน แล้วกรองเอากากออก ทำการฉีดพ่นเมื่อปรากฏว่ามีแมลงหรือหนอน

3.2.7 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

เก็บตัวอย่างถั่วเหลืองเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลการเจริญเติบโต 6 ครั้ง โดยเก็บตัวอย่างถั่วเหลือง 4 ต้นในแต่ละครั้ง เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.2 ที่ระยะ R_1, R_3, R_5, R_6 และ R_7 โดยทำการวัดพื้นที่ใบ (ยกเว้น R_6 และ R_7) น้ำหนักฝัก (ยกเว้น R_1) น้ำหนักแห้งทั้งต้น โดยทำการตัดต้นถั่วเหลืองยกเว้นราก ริดใบออกและนำมาวัดพื้นที่ใบโดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบ (Are Meter, Li - Cor Model Li - 3100, Made in USA) จากนั้นแยกฝักออกจากต้น และนำฝักและต้นที่ได้แยกแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เพื่อวัดน้ำหนักฝักแห้ง และน้ำหนักแห้งทั้งต้น (รวมฝัก) สำหรับระยะ R_5 จะตัดตัวอย่างเพิ่มอีก 4 ต้น เพื่อทำการวิเคราะห์หาโลหะหนักตกค้างในใบ ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท ส่วนที่ระยะ R_8 จะทำการวัดความสูง น้ำหนักฝัก ดัชนีเก็บเกี่ยว จำนวนข้อและกิ่ง จำนวนฝักต่อต้น จำนวน

เมล็ดต่อฝัก น้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด ผลผลิตต่อกระถาง โดยใช้ตัวอย่าง 4 ต้น เช่นเดียวกันสำหรับการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะและปริมาณโลหะหนักในเมล็ดใช้เมล็ดถั่วเหลืองที่ได้จากการปลูกที่เหลือทั้งหมดในการทำการวิเคราะห์

3.2.8 การเก็บข้อมูล

3.2.8.1 คุณสมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุอาหาร และปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท ในกากตะกอนน้ำเสียชุมชน

3.2.8.2 คุณสมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุอาหาร และปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท ในดินผสมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนในแต่ละอัตราส่วนเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลอง

3.2.8.3 วัดการเจริญเติบโตของต้นถั่วเหลืองในแต่ละกลุ่ม ประกอบด้วย

1) วันปลูกและวันงอก

2) การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (V_1 - V_6)

3) อายุถึงวันออกดอก (R_1) การพัฒนาฝัก (R_3 - R_4) การสะสมน้ำหนัก (R_5 - R_6) และระยะสุกแก่ (R_7 - R_8)

4) น้ำหนักแห้งของต้นถั่วเหลืองระยะ R_1, R_3, R_5, R_6, R_7 และ R_8

5) น้ำหนักฝักของถั่วเหลืองระยะ R_3, R_5, R_6 และ R_7

6) พื้นที่ใบระยะ R_1, R_3 และ R_5

7) น้ำหนักแห้งของต้นถั่วเหลือง น้ำหนักฝัก ความสูง จำนวนข้อ จำนวนกิ่ง จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก น้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด ผลผลิตต่อกระถาง คุณค่าทางโภชนะ ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้าในเมล็ดที่ระยะ R_8

3.2.8.4 วิเคราะห์โลหะหนักตกค้างในใบที่ระยะ R_5 และในเมล็ดถั่วเหลืองที่ระยะ R_8

ตารางที่ 3.2 การเก็บข้อมูลในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลือง

	ระยะของถั่วเหลือง					
	R_1	R_3	R_5	R_6	R_7	R_8
พื้นที่ใบ	X	X	X			
น้ำหนักฝัก		X	X	X	X	X
น้ำหนักแห้งทั้งต้น	X	X	X	X	X	X
ความสูง						X
จำนวนข้อ						X
จำนวนกิ่ง						X
จำนวนฝักต่อต้น						X
จำนวนเมล็ดต่อฝัก						X
นำหนักแห้ง 100 เมล็ด						X
ผลผลิตต่อกระถาง						X
คุณค่าทางโภชนะ			X			X
โลหะหนัก						X

3.2.9 การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS เวอร์ชัน 6.12 (SAS Institute, 1996: 10) ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) ของดัชนีการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองจากการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนในอัตราส่วนต่าง ๆ และปุ๋ยเคมี และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองโดยใช้สถิติ Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT)

บทที่ 4
ผลการทดลอง

การศึกษาเกี่ยวกับการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนเพื่อใช้ปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในอัตราส่วนร้อยละ 0 (T_0), 5 (T_1), 10 (T_2), 15 (T_3), 20 (T_4) โดยน้ำหนัก กับการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 12 - 24 - 12 อัตรา 10 กรัม (T_5) มีรายละเอียดของผลการทดลองต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.1 สมรรถภาพของถั่วเหลือง

4.1.1 การเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

การวัดการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองวัดได้จากการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ การเจริญเติบโตทางการแพร่ขยายพันธุ์ จำนวนกิ่ง จำนวนข้อ และความสูงต่อต้นของถั่วเหลืองในระยะต่าง ๆ ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1.1 การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (V_1 - V_4)

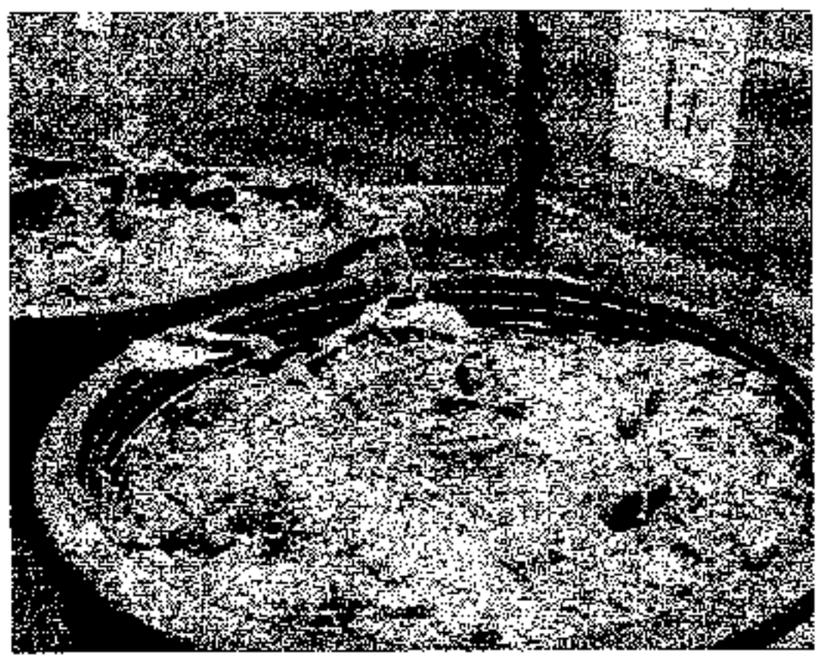
จำนวนวันของการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม มีการเจริญเติบโตจากวันปลูกถึงระยะ V_4 คือ 27, 25, 28, 28, 31 และ 26 วัน ตามลำดับ โดยพบว่า ถั่วเหลืองเมื่อได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีระยะเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบสั้นที่สุดคือ 25 วัน และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 ซึ่งมีระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบนานที่สุด คือ 31 วัน สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 10, 15 และปุ๋ยเคมีจะมีระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบที่ใกล้เคียงกัน และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10 และ 15 จะมีระยะการเจริญเติบโตเท่ากันแต่จะใช้เวลามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีแม้ว่าจะมีการเจริญเติบโตถึงระยะ V_3 เท่ากับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10 และ 15 ก็ตาม แต่จะเริ่มปรากฏความเด่นชัดในการเจริญเติบโตเมื่อผ่านระยะ V_3 เป็นต้นไป ทั้งนี้เนื่องจากในระยะ V_3 ซึ่งเป็นระยะที่ถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตครบ 20 วัน มีการให้ปุ๋ยเคมี 10 กรัม ทำให้หลังจากระยะ V_3 เป็นต้นไปถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีจะใช้เวลาในการเจริญเติบโตสั้นลง โดยจำนวนวันของการเจริญเติบโตทาง

ลำต้นและใบจากวันปลูกถึงระยะ V_4 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนและปุ๋ยเคมีในอัตราส่วนที่แตกต่างกันได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 สำหรับภาพแสดงการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองจนถึงระยะ V_4 แสดงในภาพที่ 4.1 ถึง 4.4 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก. 1

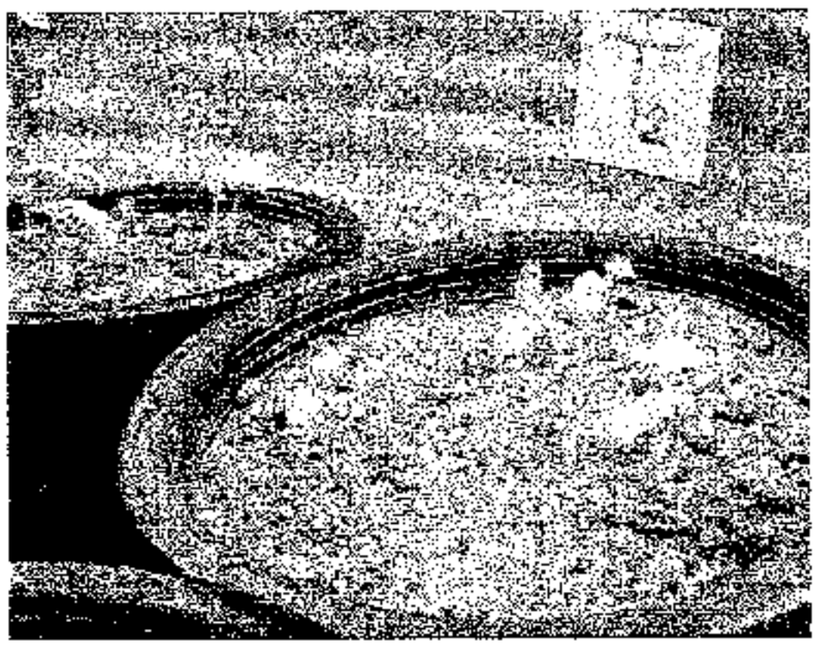
ตารางที่ 4.1 จำนวนวันของการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี

ระยะ	จำนวนวัน (วัน)					
	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
วันปลูกถึง VE	4	4	4	4	5	4
VE ถึง VC	2	2	2	2	3	2
VC ถึง V_1	5	5	6	6	6	6
V_1 ถึง V_2	5	5	5	5	6	5
V_2 ถึง V_3	4	4	5	5	6	5
V_3 ถึง V_4	7	5	6	6	5	4
วันปลูก ถึง V_4	27	25	28	28	31	26

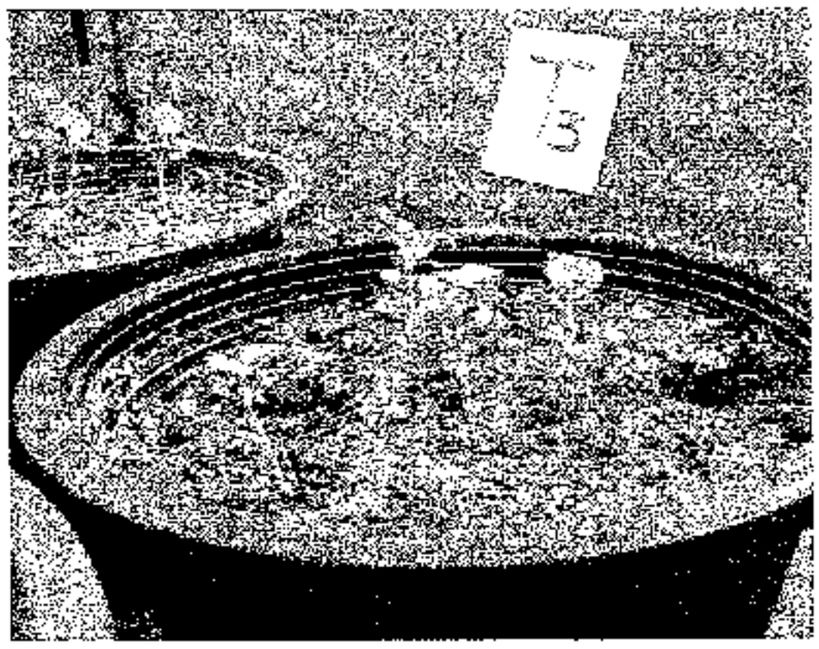
T_0



T_1

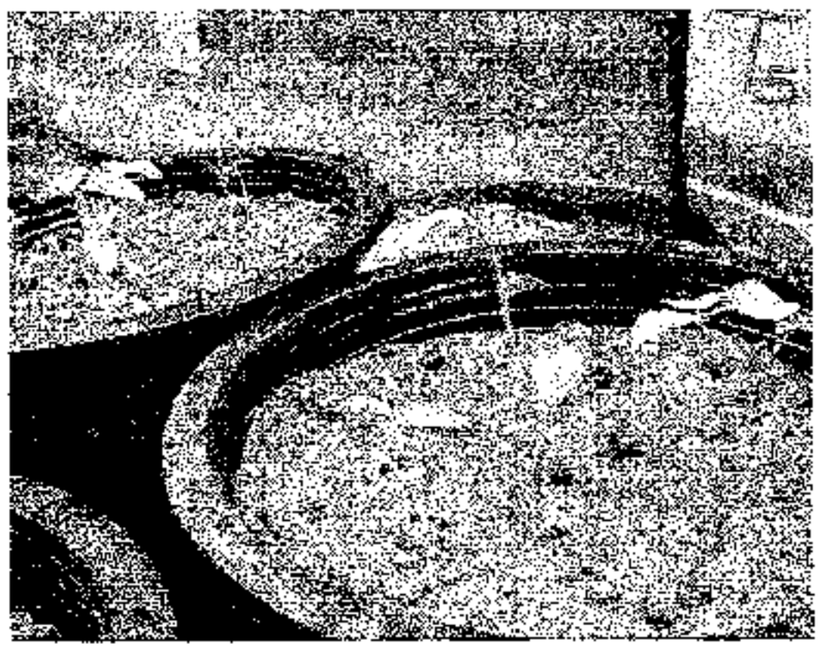


T_2



T_3

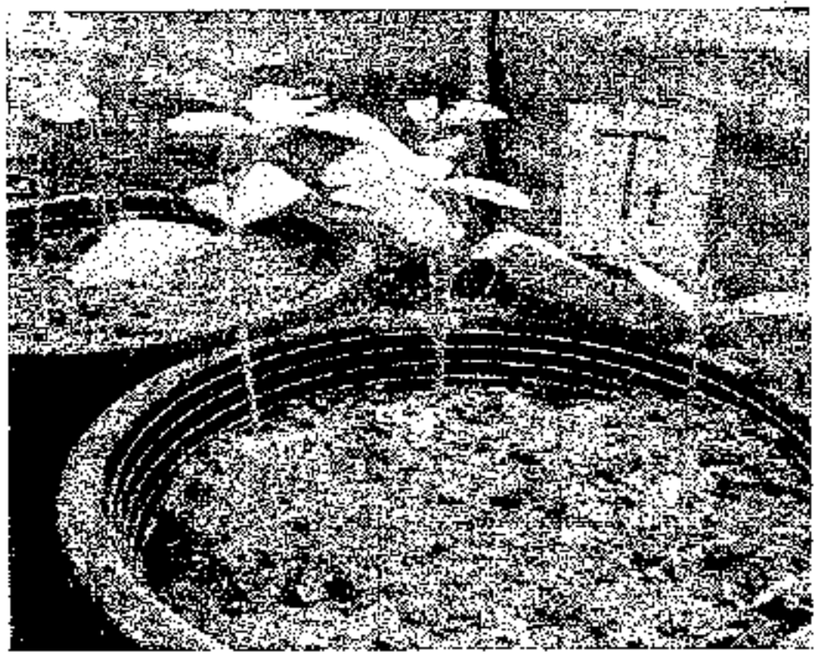
T_4



T_5

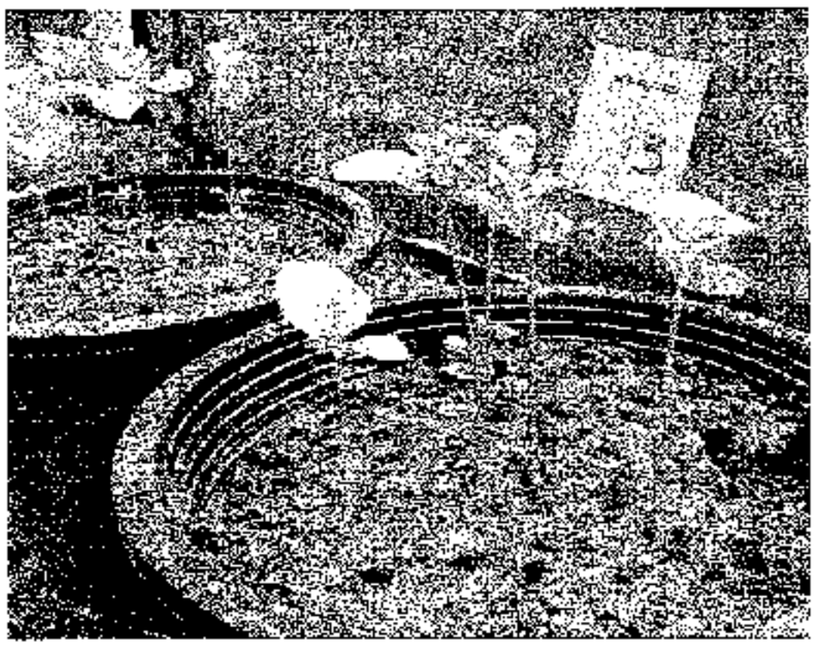
ภาพที่ 4.1 การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 7 วัน

T_0



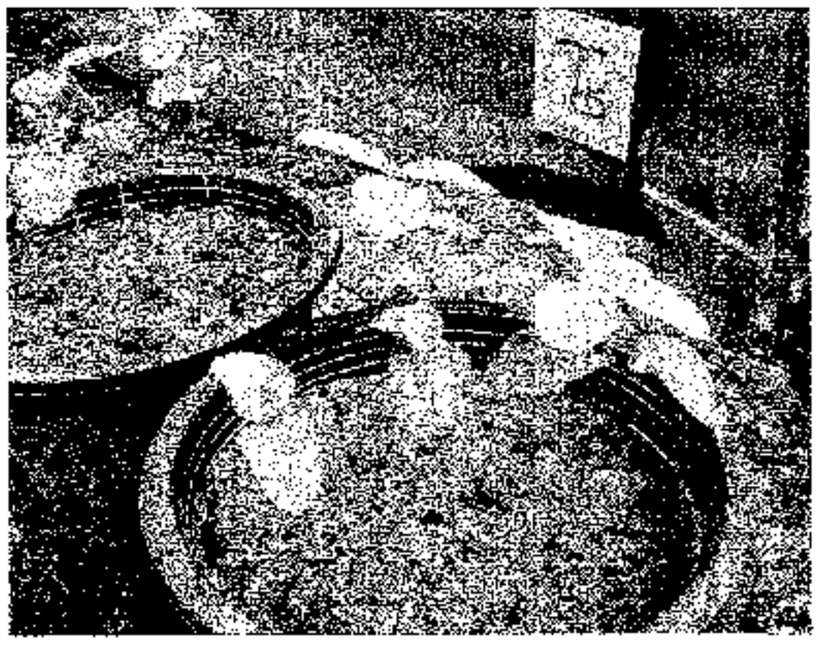
T_1

T_2



T_3

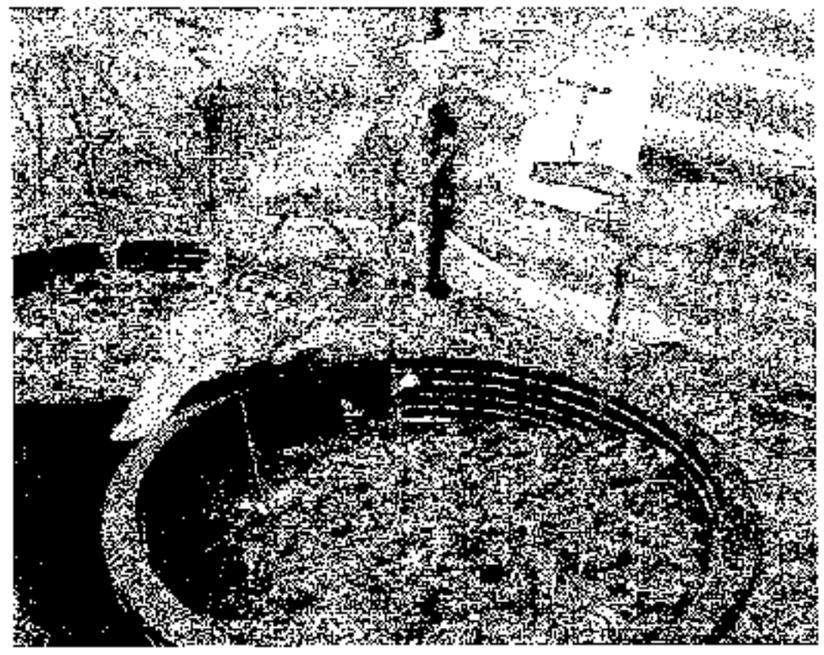
T_4



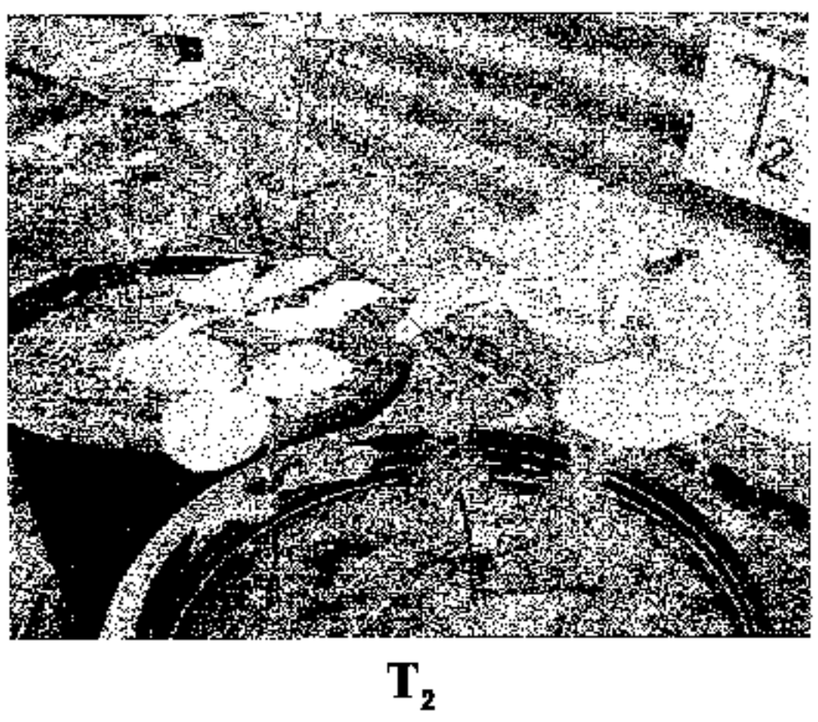
T_5

ภาพที่ 4.2 การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 14 วัน

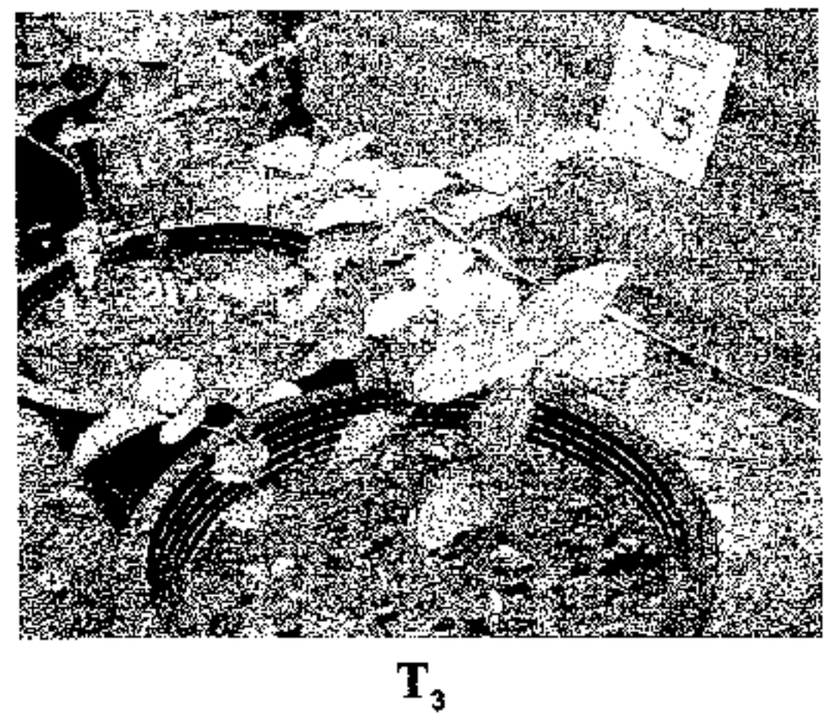
T_0



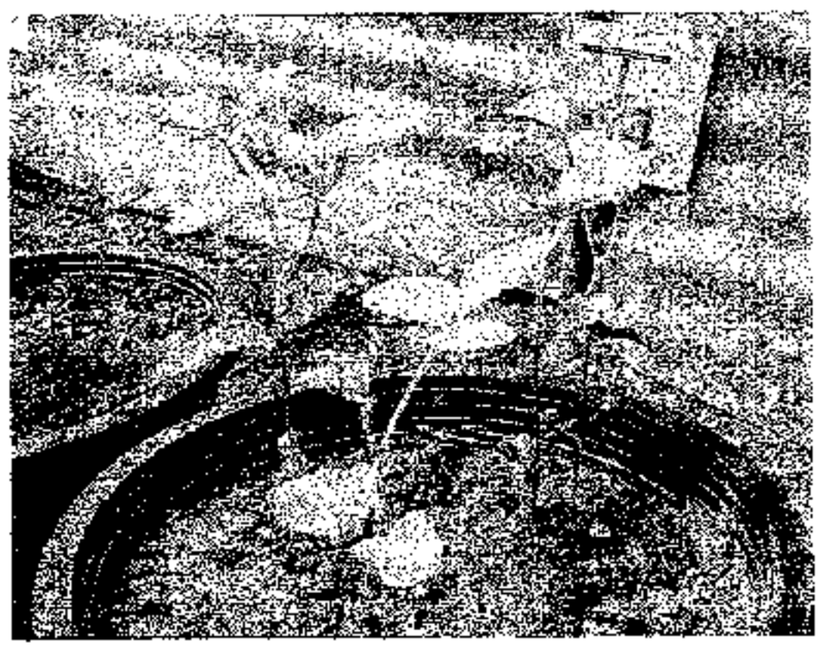
T_1



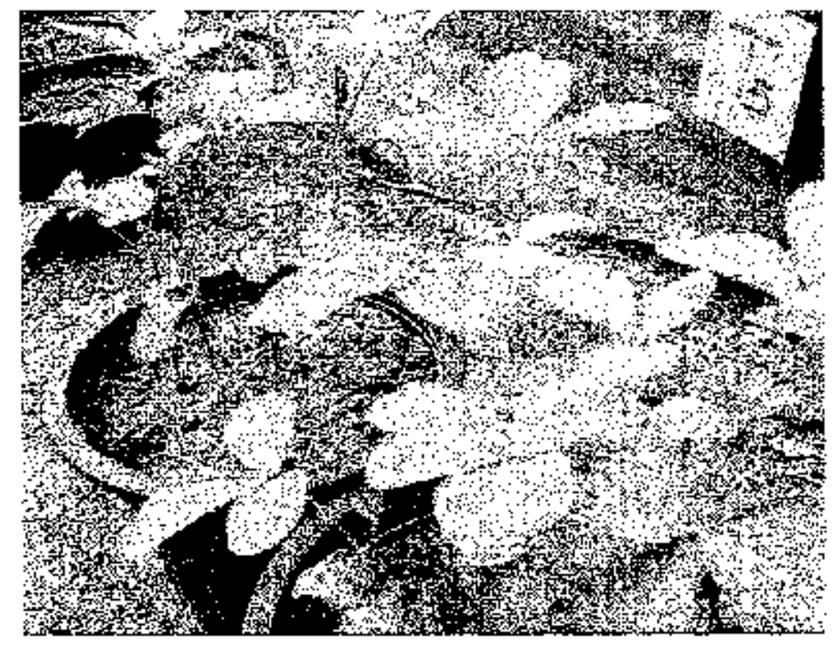
T_2



T_3



T_4



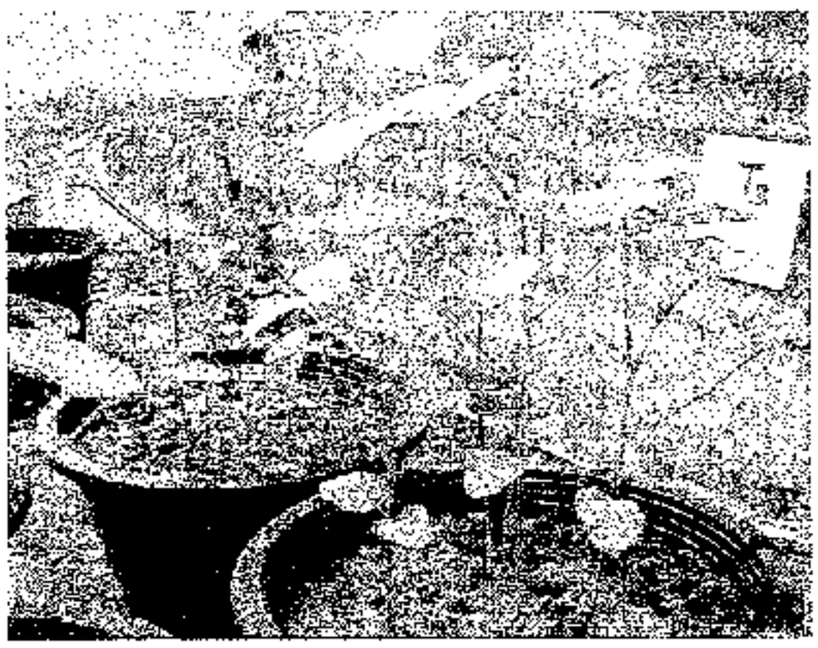
T_5

ภาพที่ 4.3 การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 21 วัน

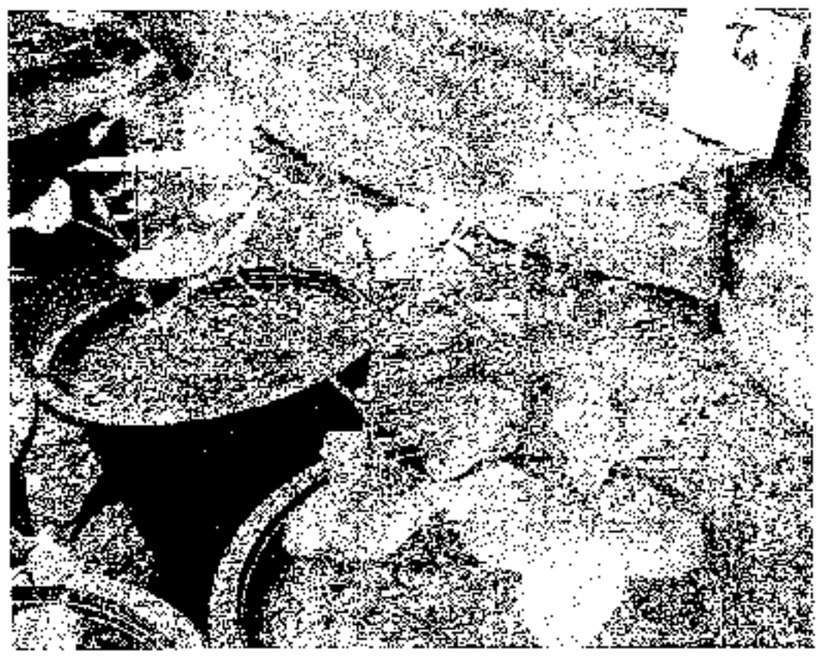
T_0

T_1

T_2



T_3



T_4

T_5

ภาพที่ 4.4 การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 28 วัน

4.1.1.2 การเจริญเติบโตทางการแพร่ขยายพันธุ์ (R_1 - R_8)

จำนวนวันของการเจริญเติบโตทางการแพร่ขยายพันธุ์ในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 สำหรับภาพแสดงการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองจนถึงระยะ R_8 แสดงในภาพที่ 4.5 ถึง 4.12 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก. 2 จากการทดลอง พบว่า การเจริญเติบโตทางการแพร่ขยายพันธุ์ของถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม มีการเจริญเติบโตจากวันปลูกถึงระยะ R_8 คือ 87, 83, 84, 86, 92 และ 81 วัน ตามลำดับ โดยในระยะ R_1 ถั่วเหลืองจะมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตสั้นที่สุด คือ 29 วัน รองลงมา คือ ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 10, 15 และปุ๋ยเคมี ซึ่งใช้เวลาในการเจริญเติบโตเท่ากัน คือ 30 วัน ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะใช้เวลาในการเจริญเติบโตจนถึงระยะ R_1 มากที่สุด คือ 33 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ วีระศักดิ์ เทพจันทร์ (2535 อ้างถึงใน สมชาย บุญประดับ และศุภชัย แก้วมีชัย, 2543: 12) และ หฤษฎี ภัทรดิลก (2534: 193) ที่พบว่า ถั่วเหลืองจะมีการเจริญเติบโตถึงระยะ R_1 เท่ากับ 34 และ 33.5 วัน ซึ่งกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ และปุ๋ยเคมี จากการทดลองนี้จะใช้เวลาน้อยกว่า

สำหรับจำนวนวันของการเจริญเติบโตทางการแพร่ขยายพันธุ์ของถั่วเหลืองในระยะ R_2 ถึง R_5 ยังคงมีความใกล้เคียงกัน แต่ภายหลังจากนั้นการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ และปุ๋ยเคมี จะเริ่มปรากฏความแตกต่างชัดขึ้น โดยเมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ R_6 พบว่า ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 และปุ๋ยเคมีจะเริ่มใช้เวลาในการเจริญเติบโตเท่ากัน คือ 61 วัน ซึ่งใช้เวลาสั้นกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10, 0, 15 และ 20 ซึ่งมีแนวโน้มที่มากขึ้นเป็นลำดับ โดยใช้เวลาเท่ากับ 62, 63, 64 และ 69 วัน ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า หากพิจารณาถึงการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 เมื่อใช้กากตะกอนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีระยะเวลาในการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ R_6 มากขึ้นตามลำดับ ต่อมา เมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ R_7 ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีจะเริ่มใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตสั้นกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ จนเมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ R_8 ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีจะมีระยะเวลาการเจริญเติบโตจากวันปลูกถึงระยะ R_8 สั้นที่สุด คือ 81 วัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 ซึ่งมีระยะเวลาการเจริญเติบโตนานที่สุด คือ 92 วัน ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5, 10, 15 และ 0 จะใช้เวลาเพิ่มขึ้นเท่ากับ 83, 84, 86 และ 87 วัน ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ หฤษฎี ภัทรดิลก (2534: 193) พบว่า ถั่วเหลืองจะใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตจนถึงระยะ R_8 เท่ากับ 110 วัน ซึ่งสอดคล้องกับการ

ศึกษาของ สมศักดิ์ ศรีสมบุญ (2542 อ้างถึงใน สมชาย บุญประดับ และศุภชัย แก้วมีชัย, 2543: 43) ที่มีระยะเก็บเกี่ยวเท่ากับ 109 วัน ซึ่งมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในทุก ๆ อัตราส่วนและปุ๋ยเคมี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อถั่วเหลืองได้รับธาตุอาหารที่เหมาะสม ได้รับน้ำในปริมาณที่พอเหมาะ หรือทำการปลูกในช่วงที่มีแสงยาว เช่น ฤดูฝน ทำให้อายุการสุกแก่เพิ่มขึ้นจากฤดูแล้ง ซึ่งช่วงแสงที่ยาวขึ้น คือ ช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative Growth) ซึ่งจากการทดลองนี้ได้ทำการทดลองในช่วงฤดูหนาวต่อฤดูแล้ง จึงมีระยะการเจริญเติบโตและการแพร่ขยายพันธุ์สั้นกว่าการปลูกในช่วงฤดูฝนที่มีช่วงแสงยาว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ หฤษฎี ภัทรดิลก (2534: 41) พบว่า การศึกษาของถั่วเหลืองจะผันแปรแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงการปลูก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้น และความยาวช่วงแสง และจากการทดลองนี้ ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีช่วงของการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบสั้นกว่าหน่วยทดลองอื่น ๆ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า หน่วยทดลองอื่นๆ มีข้อจำกัดในเรื่องของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง ทำให้มีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบยืดยาวออกไป

ตารางที่ 4.2 จำนวนวันของการเจริญเติบโตทางการแพร่ขยายพันธุ์ในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี

ระยะ	จำนวนวัน (วัน)					
	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
วันปลูกถึง R_1	30	29	30	30	33	30
R_1 ถึง R_2	3	4	3	3	4	3
R_2 ถึง R_3	4	3	4	4	5	4
R_3 ถึง R_4	4	4	4	5	5	4
R_4 ถึง R_5	4	4	4	4	4	4
R_5 ถึง R_6	18	17	17	18	18	16
R_6 ถึง R_7	15	14	14	14	14	13
R_7 ถึง R_8	9	8	8	8	9	7
วันปลูก ถึง R_8	87	83	84	86	92	81

T_0

T_1

T_2

T_3

T_4

T_5

ภาพที่ 4.5 การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 35 วัน

T_0

T_1

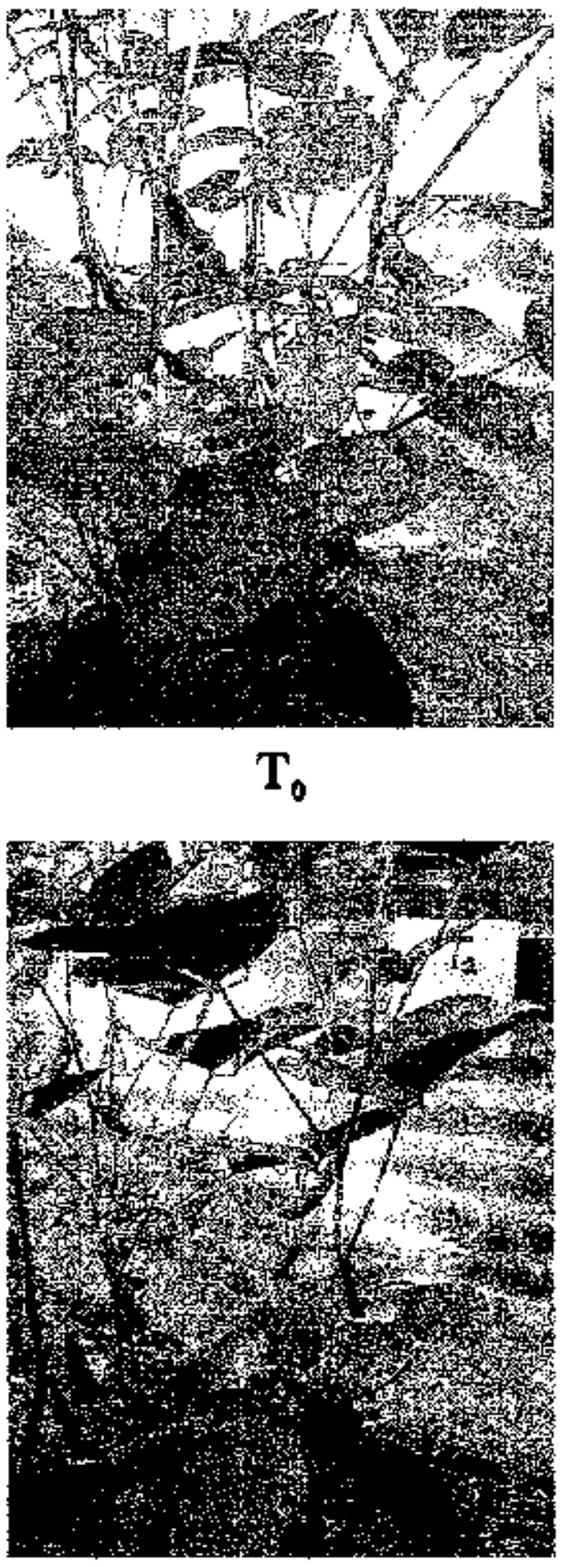
T_2

T_3

T_4

T_5

ภาพที่ 4.6 การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 42 วัน



T_0

T_1

T_2

T_3

T_4

T_5

ภาพที่ 4.7 การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ **49** วัน

T_0

T_1

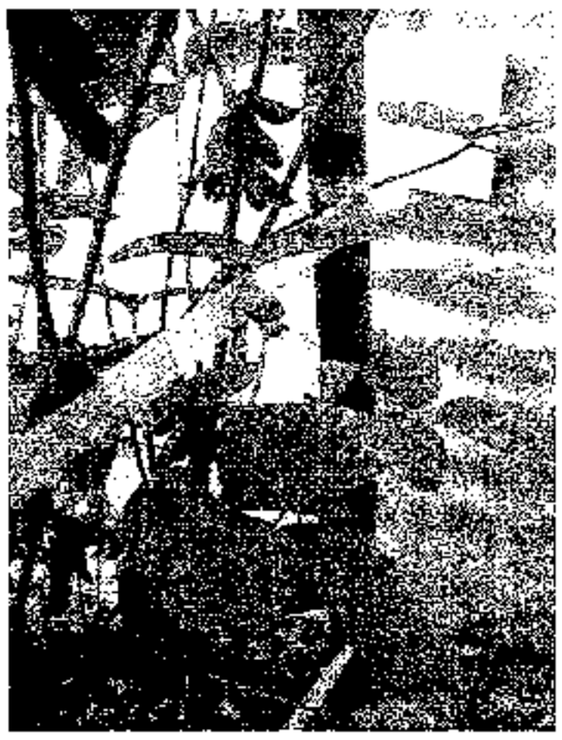
T_2

T_3

T_4

T_5

ภาพที่ 4.8 การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 56 วัน



T_0

T_1

T_2

T_3

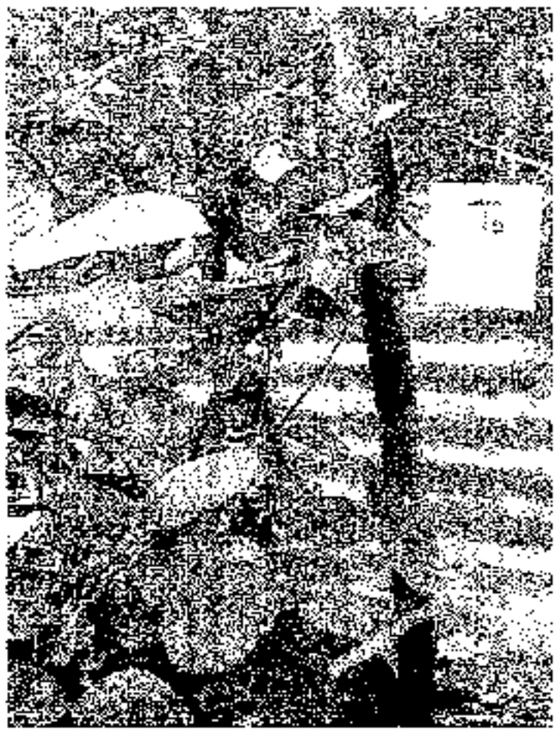
T_4

T_5

ภาพที่ 4.9 การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 63 วัน

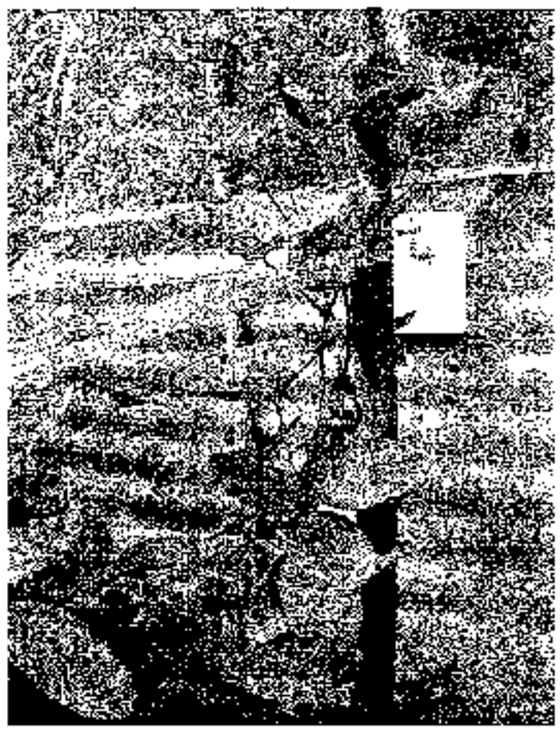
T_0

T_1

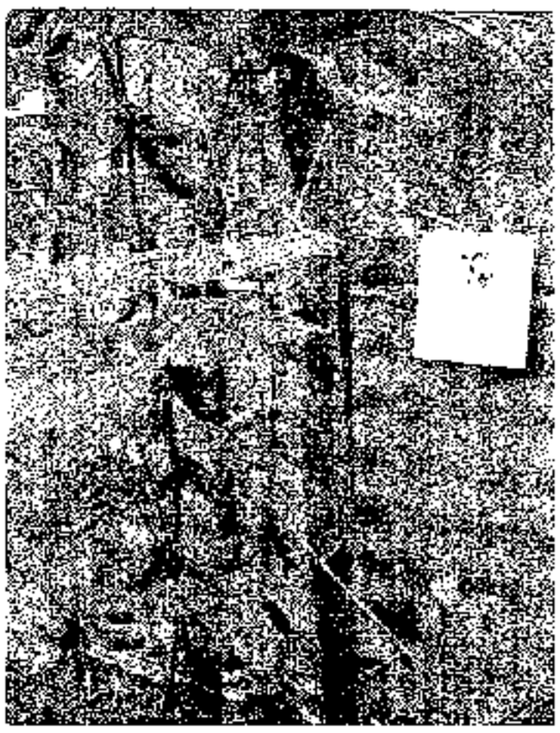


T_2

T_3



T_4



T_5

ภาพที่ 4.10 การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 70 วัน

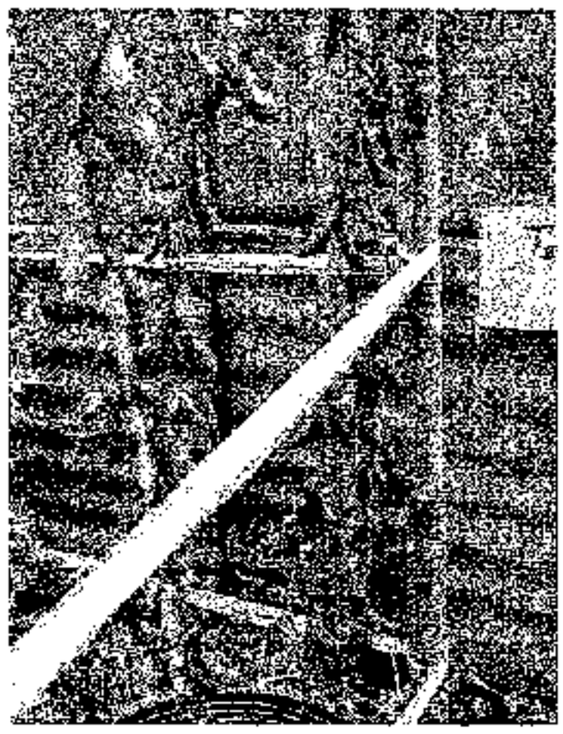
T_0

T_1

T_2

T_3

T_4

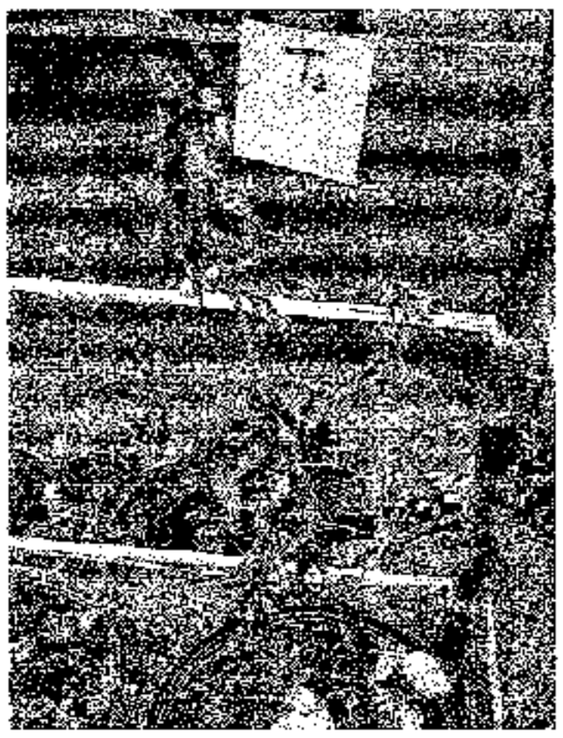


T_5

ภาพที่ 4.11 การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 77 วัน

T_0

T_1



T_2

T_3

T_4

T_5

ภาพที่ 4.12 การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะ 84 วัน

4.1.1.3 จำนวนกิ่ง

จากการทดลองจำนวนกิ่งต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะสุดท้าย คือ ระยะ R_8 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม พบว่า ไม่พบกิ่งที่แยกออกจากลำต้นหลักของถั่วเหลือง ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางพันธุกรรมของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่มีลักษณะที่แตกต่างจากพันธุ์อื่น ๆ คือ เป็นพันธุ์ที่ไม่มีกิ่งแยกออกจากลำต้นหลัก

4.1.1.4 จำนวนข้อ

จำนวนข้อต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R_8 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.3 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงผลไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก. 3 โดยจากการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 ปุ๋ยเคมี 10 และ 15 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่จะมีจำนวนข้อต่อต้นเฉลี่ยลดลง คือ 15.00, 14.50, 13.25 และ 12.75 ข้อ ตามลำดับ สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 และ 20 ซึ่งมีจำนวนข้อต่อต้นเฉลี่ย คือ 11.75 และ 11.50 ข้อ ตามลำดับ จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10 และ 15 แต่จะมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 และปุ๋ยเคมี จะเห็นได้ว่า จำนวนข้อต่อต้นเฉลี่ยจะลดลงตามปริมาณกากตะกอนที่ใช้เพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณกากตะกอนที่ได้รับเพิ่มเป็นอัตราร้อยละ 20 จำนวนข้อต่อต้นเฉลี่ยจะมีน้อยที่สุด และมีค่าน้อยกว่าจำนวนข้อต่อต้นเฉลี่ยของถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนข้อจากเอกสารของถั่วเหลืองผิวดำ พันธุ์สุโขทัย 3 (สมศักดิ์ ศรีสมบุญ, 2542 อ้างถึงใน กฤษฎา หงส์รัตน์, 2546: 65) พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีจำนวนข้อต่อต้นเท่ากับ 15 ข้อ ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนข้อเฉลี่ยของถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จากการทดลองนี้ แต่มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ และปุ๋ยเคมี

4.1.1.5 ความสูง

ความสูงต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R_8 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.3 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงผลไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก. 4 โดยจากการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีความสูงต่อต้นเฉลี่ยมากที่สุด คือ 78.95 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ และปุ๋ยเคมี สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีและกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10 จะมีความสูงต่อต้นเฉลี่ยรองลงมา คือ 68.45 และ 63.82 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกาก

ตะกอนในอัตราร้อยละ 15, 0 และ 20 ซึ่งมีความสูงต่อต้นเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 55.45, 53.70 และ 49.52 เซนติเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีความสูงต่อต้นเฉลี่ยมากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี แต่ทั้งนี้ ความสูงต่อต้นเฉลี่ยของถั่วเหลืองจะแปรผกผันกับปริมาณกากตะกอนที่ใช้ นั่นคือ เมื่อมีการใช้กากตะกอนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ถั่วเหลืองมีความสูงต่อต้นโดยเฉลี่ยลดลง โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีความสูงต่อต้นเฉลี่ยน้อยที่สุด และมีค่าน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ สมศักดิ์ ศรีสมบุญ (2542 อ้างถึงใน สมชาย บุญประดับ และศุภชัย แก้วมีชัย, 2543: 43) พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 จะมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 62 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่า ความสูงต่อต้นของถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5, 10 และปุ๋ยเคมี จะมีความสูงต่อต้นเฉลี่ยมากกว่าการศึกษาของ สมศักดิ์ ศรีสมบุญ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมซึ่งปลูกในกระถาง ปริมาณโลหะหนัก คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในดินที่ไม่เหมาะสมกับการปลูกถั่วเหลือง รวมทั้งอุณหภูมิและการปลูกในช่วงที่มีแสงยาว ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการยืดตัวของลำต้น โดยจากการศึกษาของ เฉลิมพล แซมเพชร (2542: 252) พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญของใบและการยืดตัวของลำต้นของถั่วเหลือง คือ 30 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.3 จำนวนข้อและความสูงต่อต้นเฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี

หน่วยทดลอง	จำนวนข้อต่อต้น (ข้อ)	ความสูงต่อต้น (เซนติเมตร)
T_0	11.75[b]	53.70[c]
T_1	15.00[a]	78.95[a]
T_2	13.25[ab]	63.82[b]
T_3	12.75[ab]	55.45[c]
T_4	11.50[b]	49.52[c]
T_5	14.50[a]	68.45[b]
CV (ร้อยละ)	10.81	8.450

หมายเหตุ : [abc] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

T_0: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0

T_1: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5

T_2: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10

T_3: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15

T_4: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20

T_5: ดินไม่ผสมกากตะกอน แต่ใส่ปุ๋ยเคมี 10 กรัม หลังจากงอก 20 วัน

4.1.2 พื้นที่ใบ

พื้นที่ใบจะทำการวัดพื้นที่ใบต่อสองต้นที่ระยะ R_1, R_3 และ R_5 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน และปุ๋ยเคมี โดยได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.4 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงผลไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก. 5 และกราฟแสดงความแตกต่างของพื้นที่ใบเฉลี่ยเมื่อได้รับกากตะกอนและปุ๋ยเคมีในอัตราส่วนต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในกราฟที่ 4.1 ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ที่ระยะ R_1 ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีพื้นที่ใบเฉลี่ยมากที่สุด คือ 215.8 ตารางเซนติเมตร และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10 ซึ่งมีพื้นที่ใบเฉลี่ยรองลงมา คือ 186.4 ตารางเซนติเมตร ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15, ปุ๋ยเคมี และกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 ไม่มีความแตก

ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) แต่จะมีพื้นที่ใบเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 154.6, 131.2 และ 106.1 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีพื้นที่ใบเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 51.92 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ และปุ๋ยเคมี

เมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ R_3 ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5, ปุ๋ยเคมี และกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยจะมีพื้นที่ใบเฉลี่ยเท่ากับ 228.1, 211.3 และ 194.6 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ โดยทั้ง 3 กลุ่มนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15 และ 0 ซึ่งมีพื้นที่ใบเฉลี่ยเท่ากับ 159.6 และ 157.7 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 ซึ่งมีพื้นที่ใบเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 89.60 ตารางเซนติเมตร

ต่อมาเมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ R_5 ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 ยังคงมีพื้นที่ใบเฉลี่ยมากที่สุด คือ 623.6 ตารางเซนติเมตร โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี และกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10, 15 และ 0 ซึ่งจะมีพื้นที่ใบเฉลี่ยลดลง คือ 448.4, 421.9, 399.1 และ 345.8 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ แต่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 ซึ่งมีพื้นที่ใบเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 249.3 ตารางเซนติเมตร

จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า ค่าพื้นที่ใบต่อสองต้นเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นในการวัดทั้ง 3 ครั้ง โดยในระยะ R_1 ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีพื้นที่ใบต่อสองต้นเฉลี่ยมากที่สุด คือ 215.8 ตารางเซนติเมตร และพื้นที่ใบจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ตามปริมาณกากตะกอนที่ใช้เพิ่มขึ้น โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีพื้นที่ใบน้อยที่สุด คือ 51.92 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) และปุ๋ยเคมี ต่อมา เมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ R_3 และ R_5 ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 ยังคงมีพื้นที่ใบต่อสองต้นเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมา คือ ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 ยังคงมีค่าพื้นที่ใบต่อสองต้นเฉลี่ยน้อยที่สุด จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีแม้จะมีค่าพื้นที่ใบในระยะ R_1 น้อย แต่เมื่อได้มีการดูดซึมปุ๋ยเคมีซึ่งมีการให้หลังจากต้นถั่วเหลืองงอก 20 วันแล้ว ทำให้มีการเจริญเติบโตอย่างเด่นชัดมากขึ้น สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ จะมีแนวโน้มของพื้นที่ใบแปรผกผันกับปริมาณกากตะกอนที่ใช้ คือ เมื่อใช้กากตะกอนเพิ่มขึ้นจะทำให้ถั่วเหลืองมีพื้นที่ใบเฉลี่ยลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณกากตะกอนเป็นอัตราร้อยละ 20 จะทำให้ถั่วเหลืองมีพื้นที่ใบน้อยที่สุด และมีค่าน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม)

ตารางที่ 4.4 พื้นที่ใบต่อสองต้นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี

หน่วยทดลอง	ระยะการเจริญเติบโต		
	R_1	R_3	R_5
T_0	106.1^{c}	157.7^{ab}	345.8^{ab}
T_1	215.8^{a}	228.1^{a}	623.6^{a}
T_2	186.4^{ab}	194.6^{ab}	421.9^{ab}
T_3	154.6^{bc}	159.6^{ab}	399.1^{ab}
T_4	51.92^{d}	89.60^{b}	249.3^{b}
T_5	131.2^{c}	211.3^{a}	448.4^{ab}
CV (ร้อยละ)	23.23	31.04	41.63

หมายเหตุ : ^{abcd} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

T_0: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0

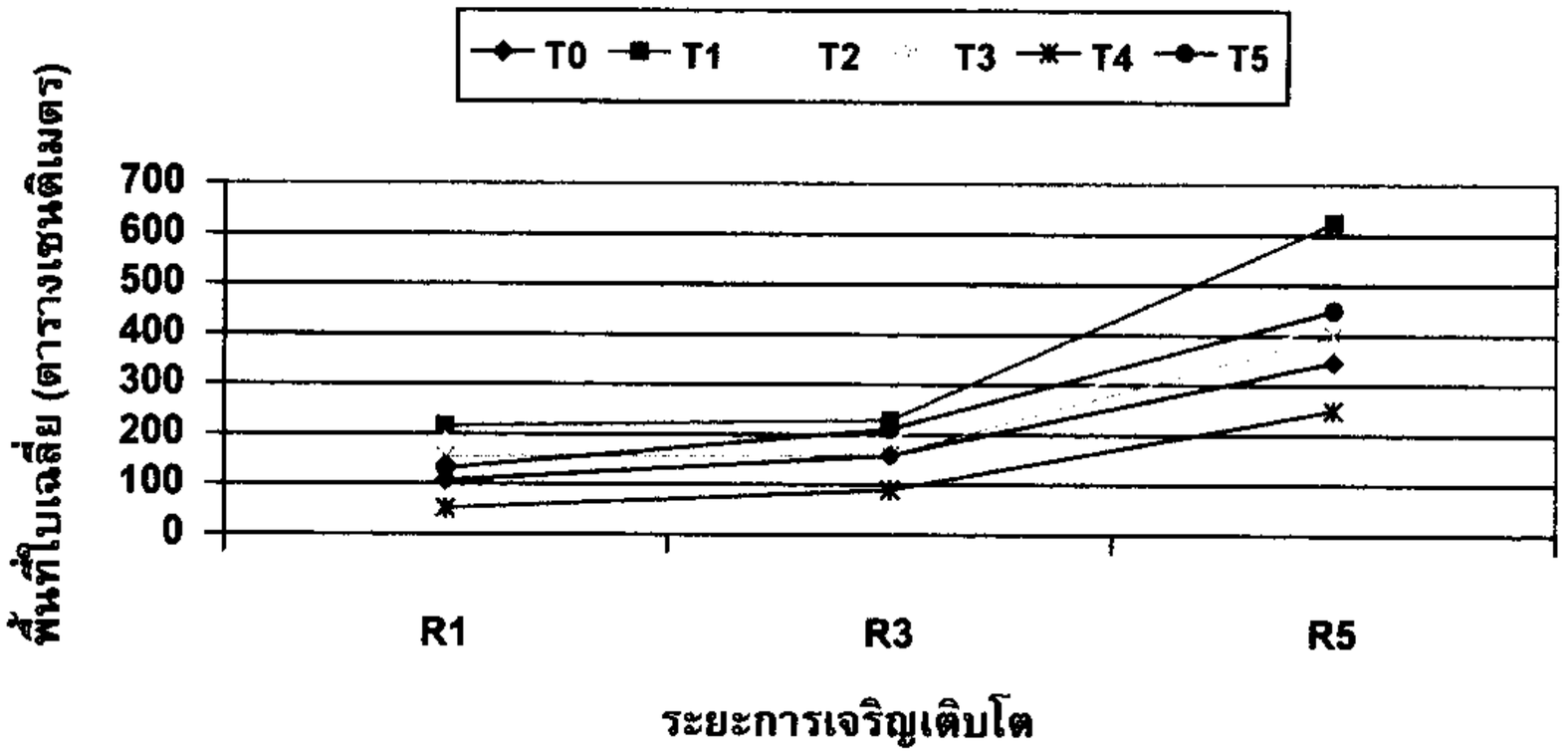
T_1: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5

T_2: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10

T_3: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15

T_4: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20

T_5: ดินไม่ผสมกากตะกอน แต่ใส่ปุ๋ยเคมี 10 กรัม หลังจากงอก 20 วัน



ภาพที่ 4.13 พื้นที่ใบเฉลี่ยต่อลองต้นในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี

4.1.3 น้ำหนักแห้งของฝัก

น้ำหนักแห้งของฝักต่อต้นเฉลี่ยในระยะ R_3 ถึง R_6 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.5 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงผลไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก. 8 ถึง ก. 12 และกราฟแสดงความแตกต่างของพื้นที่ใบเฉลี่ยเมื่อได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ และปุ๋ยเคมี ได้แสดงไว้ในกราฟที่ 4.2 ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ที่ระยะ R_3 ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนและปุ๋ยเคมีในอัตราส่วนต่าง ๆ จะมีการสะสมของน้ำหนักแห้งของฝักใกล้เคียงกัน โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักมากที่สุด คือ 0.0350 กรัมต่อต้น ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) กับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีซึ่งมีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักรองลงมา คือ 0.0325 กรัมต่อต้น และทั้งสองกลุ่มดังกล่าวยังไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10 และ 15 ที่มีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝัก คือ 0.0275 และ 0.0250 กรัมต่อต้น ตามลำดับ แต่จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 และ 20 ที่มีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝัก คือ 0.0175 และ 0.0150 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ต่อมาเมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ R_5 ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 ยังคงมีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักมากที่สุด คือ 1.500 กรัมต่อต้น ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับการใช้กากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ และปุ๋ยเคมี สำหรับถั่วเหลืองที่มีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักรองลงมา คือ ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี คือ เท่ากับ 0.9750 กรัมต่อต้น ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10, 15 และ 0 ที่มีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักลดลง คือ 0.7750, 0.6750 และ 0.5750 กรัมต่อต้น ตามลำดับ สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักน้อยที่สุด คือ 0.3750 กรัมต่อต้น ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ แต่จะมีความแตกต่างกับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 และปุ๋ยเคมี และเมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ R_6 การสะสมน้ำหนักแห้งของฝักของถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 ยังคงมีค่าสูงสุด คือ 12.02 กรัมต่อต้น ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับการใช้กากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ และปุ๋ยเคมี สำหรับถั่วเหลืองที่มีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักรองลงมา คือ ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีที่มีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝัก คือ 7.925 กรัมต่อต้น โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10 ซึ่งมีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝัก คือ 7.275 กรัมต่อต้น ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15, 0 และ 20 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) แต่จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักลดลงเท่ากับ 4.925, 4.375 และ 3.625 กรัมต่อ

ต้น ตามลำดับ ต่อมา เมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ R_7 ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 ยังคงมีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักมากที่สุด คือ 12.10 กรัมต่อต้น ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับการใช้กากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ และปุ๋ยเคมี ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี กากตะกอนในอัตราร้อยละ 10, 15 และ 0 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักลดลง แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 8.350, 7.675, 6.525 และ 5.700 กรัมต่อต้น ตามลำดับ สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 4.575 กรัมต่อต้น ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15 และ 0 แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีและกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 และ 10

เมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะสุดท้าย คือ ระยะ R_8 ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 ยังคงมีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักมากที่สุด คือ 15.85 กรัมต่อต้น และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับการใช้กากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ และปุ๋ยเคมี รองลงมา คือ ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี ที่มีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝัก คือ 11.75 กรัมต่อต้น ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10, 15 และ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักลดลงเท่ากับ 9.250, 7.425 และ 6.875 กรัมต่อต้น ตามลำดับ สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15 และ 0 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักน้อยที่สุด คือ 4.625 กรัมต่อต้น

จะเห็นได้ว่า การสะสมน้ำหนักแห้งของฝักเฉลี่ยจะแปรผกผันกับปริมาณกากตะกอนที่ใช้ในทุก ๆ ระยะของการเจริญเติบโต นั่นคือเมื่อถั่วเหลืองได้รับกากตะกอนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น การสะสมน้ำหนักแห้งของฝักจะมีค่าลดลง โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีน้ำหนักแห้งของฝักน้อยที่สุด และน้อยกว่าที่กลุ่มควบคุม (T_0) สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีแม้จะมีน้ำหนักแห้งของฝักในทุก ๆ ระยะของการเจริญเติบโตน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 แต่มีน้ำหนักแห้งของฝักมากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ และหากพิจารณาถึงอัตราการเพิ่มของน้ำหนักแห้งของฝักในทุกหน่วยการทดลอง จากกราฟที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า อัตราการเพิ่มของน้ำหนักแห้งของฝักเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีความเด่นชัดมากขึ้นเมื่อเข้าสู่ระยะ R_6 จากนั้นจะมีอัตราการเพิ่มเพียงเล็กน้อยเมื่อเข้าสู่ระยะ R_7 และ R_8

ตารางที่ 4.5 น้ำหนักแห้งของฝักเฉลี่ย (กรัมต่อต้น) ในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี

หน่วยทดลอง	ระยะการเจริญเติบโต				
	R_3	R_5	R_6	R_7	R_8
T_0	0.0175^{b}	0.5750^{bc}	4.375^{d}	5.700^{bc}	6.875^{cd}
T_1	0.0350^{a}	1.500^{a}	12.02^{a}	12.10^{a}	15.85^{a}
T_2	0.0275^{ab}	0.7750^{bc}	7.275^{bc}	7.675^{b}	9.250^{bc}
T_3	0.0250^{ab}	0.6750^{bc}	4.925^{cd}	6.525^{bc}	7.425^{cd}
T_4	0.0150^{b}	0.3750^{c}	3.625^{d}	4.575^{c}	4.625^{d}
T_5	0.0325^{a}	0.9750^{b}	7.925^{b}	8.350^{b}	11.75^{b}
CV (ร้อยละ)	31.10	35.02	26.21	24.51	21.45

หมายเหตุ : ^{abcd} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

T_0: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0

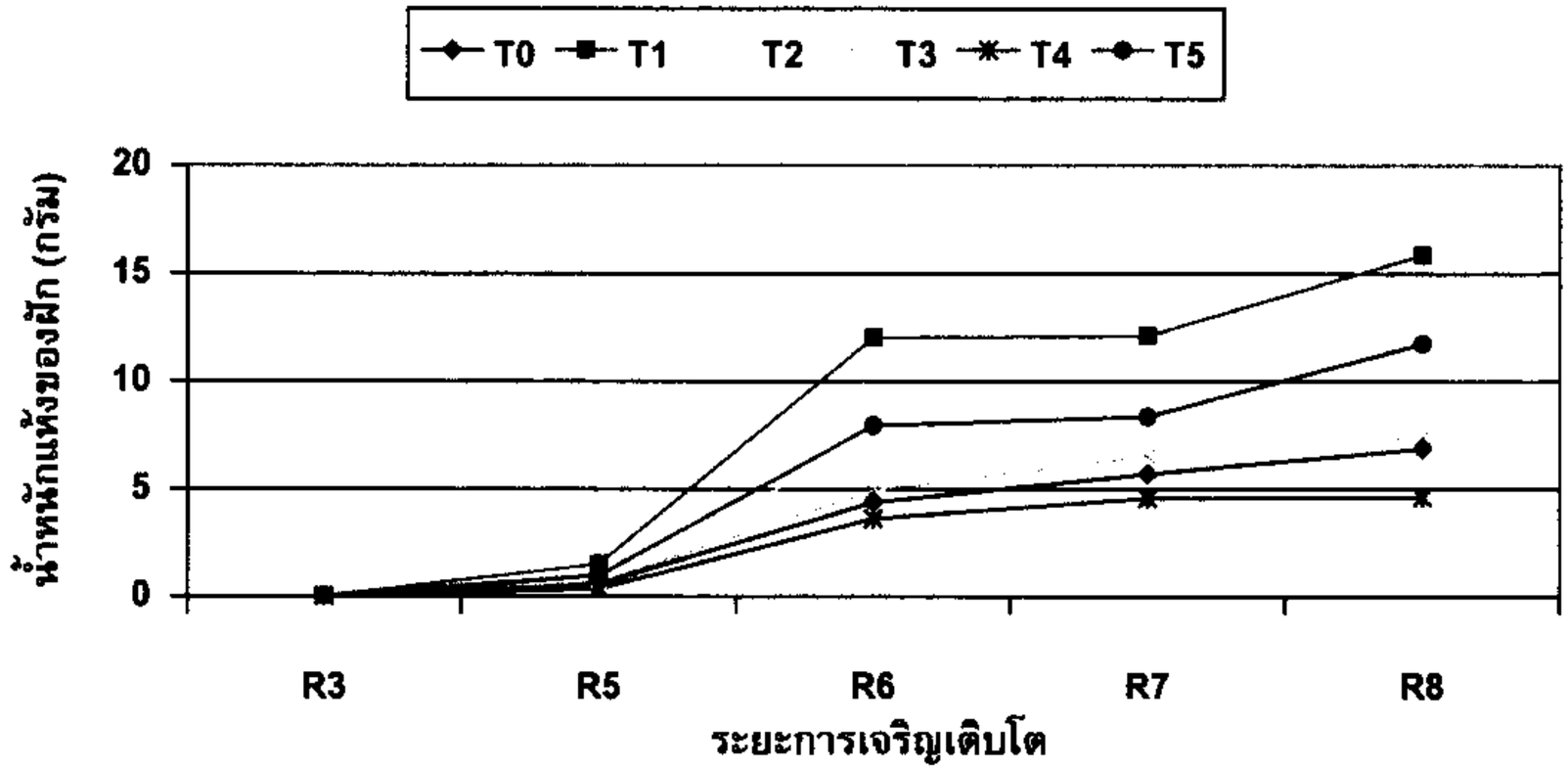
T_1: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5

T_2: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10

T_3: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15

T_4: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20

T_5: ดินไม่ผสมกากตะกอน แต่ใส่ปุ๋ยเคมี 10 กรัม หลังจากงอก 20 วัน



ภาพที่ 4.14 น้ำหนักแห้งของฝักเฉลี่ย (กรัมต่อต้น) ในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี

4.1.4 น้ำหนักแห้งทั้งต้น

สำหรับน้ำหนักแห้งทั้งต้นเฉลี่ยในระยะ R_1 ถึง R_6 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.6 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงผลไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก. 13 ถึง ก. 18 และกราฟแสดงความแตกต่างของพื้นที่ใบเฉลี่ยเมื่อได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ และปุ๋ยเคมี ได้แสดงไว้ในกราฟที่ 4.3 ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ที่ระยะ R_1 ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นเฉลี่ยมากที่สุด คือ 2.875 กรัมต่อต้น ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับการใช้กากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ และปุ๋ยเคมี สำหรับถั่วเหลืองที่มีการสะสมน้ำหนักแห้งรองลงมา คือ ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10 โดยมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นอยู่ที่ 2.150 กรัมต่อต้น ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15, ปุ๋ยเคมี และกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นลดลง คือ 1.500, 1.425 และ 1.375 กรัมต่อต้น ตามลำดับ สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นเฉลี่ยในระยะ R_1 น้อยที่สุด คือ 0.8750 กรัมต่อต้น ต่อมา เมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ R_3 ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นมากที่สุด คือ 2.978 กรัมต่อต้น ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับการใช้กากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ และปุ๋ยเคมี ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี และกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยจะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นรองลงมา คือ เท่ากับ 2.054 และ 1.902 กรัมต่อต้น ตามลำดับ สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15 และ 0 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นเท่ากับ 1.577 และ 1.553 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่แตกต่างกับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี และกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10 สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 1.002 กรัมต่อต้น และเมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ R_5 ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 ยังคงมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นมากที่สุด คือ 8.975 กรัมต่อต้น ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี, กากตะกอนในอัตราร้อยละ 10, 15, 0 และ 20 ที่มีการสะสมน้ำหนักแห้งลดลงเท่ากับ 6.000, 5.200, 5.025, 4.300 และ 3.775 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ต่อมาเมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ R_6 ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นมากที่สุด คือ 18.60 กรัมต่อต้น ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี ที่มีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นรองลงมา คือ 14.72 กรัมต่อต้น แต่จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราอื่น ๆ สำหรับถั่วเหลืองที่ได้

รับปุ๋ยเคมี จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกาก ตะกอนในอัตราร้อยละ 10, 15 และ 0 ซึ่งมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นลดลงเท่ากับ 12.65, 11.92 และ 10.40 กรัมต่อต้น ตามลำดับ สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นน้อยที่สุด คือ 8.550 กรัมต่อต้น โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 แต่จะมีความ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ และปุ๋ยเคมี ต่อมา เมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ R_7 ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอน ในอัตราร้อยละ 5 ยังคงมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นมากที่สุด คือ 17.48 กรัมต่อต้น ซึ่งมีความ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับการใช้กากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ และปุ๋ย เคมี สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี กากตะกอนในอัตราร้อยละ 10, 15 และ 0 ไม่มีความแตก ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) แต่จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นลดลงเท่ากับ 11.90, 11.32, 11.20 และ 9.300 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองซึ่งได้รับกากตะกอน ในอัตราร้อยละ 20 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับถั่วเหลืองที่ได้รับ กากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 และปุ๋ยเคมี โดยจะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นน้อยที่สุด คือ 7.775 กรัมต่อต้น ต่อมา เมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ R_8 ถั่วเหลืองที่ได้รับกาก ตะกอนในอัตราร้อยละ 5 ยังคงมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นมากที่สุดเช่นเดิม คือ 19.35 กรัม ต่อต้น ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับการใช้กากตะกอนในอัตรา ส่วนอื่น ๆ และปุ๋ยเคมี สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีและกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10 ไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยจะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นรอง ลงมา คือ เท่ากับ 14.08 และ 11.22 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกาก ตะกอนในอัตราร้อยละ 10, 15 และ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) แต่จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นลดลงเท่ากับ 11.22, 8.875 และ 8.350 กรัมต่อต้น ตาม ลำดับ สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัย สำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15 และ 0 แต่จะมีการ สะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นน้อยที่สุด คือ 5.875 กรัมต่อต้น

จากการทดลอง พบว่า ในทุก ๆ ระยะของการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองที่ได้รับกาก ตะกอนและปุ๋ยเคมีในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นเฉลี่ยแตกต่างกัน โดยในทุก ๆ ระยะของการเจริญเติบโต ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีการ สะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นมากที่สุด ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมี การสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นน้อยที่สุด โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ จะมี แนวโน้มของการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นแปรผกผันกับปริมาณกากตะกอนที่ใช้ นั่นคือ เมื่อถั่ว เหลืองได้รับกากตะกอนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นของถั่วเหลืองจะมีค่าลด ลง โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 ยังมีค่าการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นน้อย

กว่ากลุ่มควบคุม (T_0) ในทุก ๆ ระยะของการเจริญเติบโต ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีจะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นเฉลี่ยมากเป็นอันดับสองในทุก ๆ ระยะของการเจริญเติบโต ยกเว้นที่ระยะ R_1 ที่จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นรองจากถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10 และ 15 ตามลำดับ เนื่องจากในช่วงแรกของการเจริญเติบโต ยังไม่มีการให้ปุ๋ยเคมี แต่จากนั้นเมื่อได้มีการดูดซึมปุ๋ยเคมีซึ่งให้หลังจากต้นถั่วเหลืองงอก 20 วัน ทำให้ถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตและมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นมากขึ้นตามลำดับ และจากผลการทดลอง เมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ R_7 การสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นจะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับระยะ R_6 เนื่องจากในระยะนี้ถั่วเหลืองจะไม่มีการพัฒนาทางลำต้น แต่เมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะสุดท้าย คือ ระยะ R_8 การสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ หฤษฎี ภัทรดิลก (2534: 203) พบว่า น้ำหนักแห้งทั้งต้นเฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกในเดือนมีนาคม มีค่าเท่ากับ 36.31 กรัมต่อต้น ซึ่งมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ และปุ๋ยเคมี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาพภูมิอากาศ ข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมซึ่งปลูกในกระถาง ปริมาณโลหะหนัก คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในดินที่ไม่เหมาะสมกับการปลูกถั่วเหลือง

ตารางที่ 4.6 น้ำหนักแห้งทั้งต้นเฉลี่ย (กรัมต่อต้น) ในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี

หน่วยทดลอง	ระยะการเจริญเติบโต					
	R_1	R_3	R_5	R_6	R_7	R_8
T_0	1.375^{c}	1.553^{bc}	4.300^{b}	10.40^{bc}	9.300^{bc}	8.350^{cd}
T_1	2.875^{a}	2.978^{a}	8.975^{a}	18.60^{a}	17.48^{a}	19.35^{a}
T_2	2.150^{b}	1.902^{b}	5.200^{b}	12.65^{bc}	11.32^{bc}	11.22^{bc}
T_3	1.500^{c}	1.577^{bc}	5.025^{b}	11.92^{bc}	11.20^{bc}	8.875^{cd}
T_4	0.8750^{d}	1.002^{c}	3.775^{b}	8.550^{c}	7.775^{c}	5.875^{d}
T_5	1.425^{c}	2.054^{b}	6.000^{b}	14.72^{ab}	11.90^{b}	14.08^{b}
CV (ร้อยละ)	13.86	25.50	24.76	21.79	21.74	21.25

หมายเหตุ : ^{abcd} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

T_0: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0

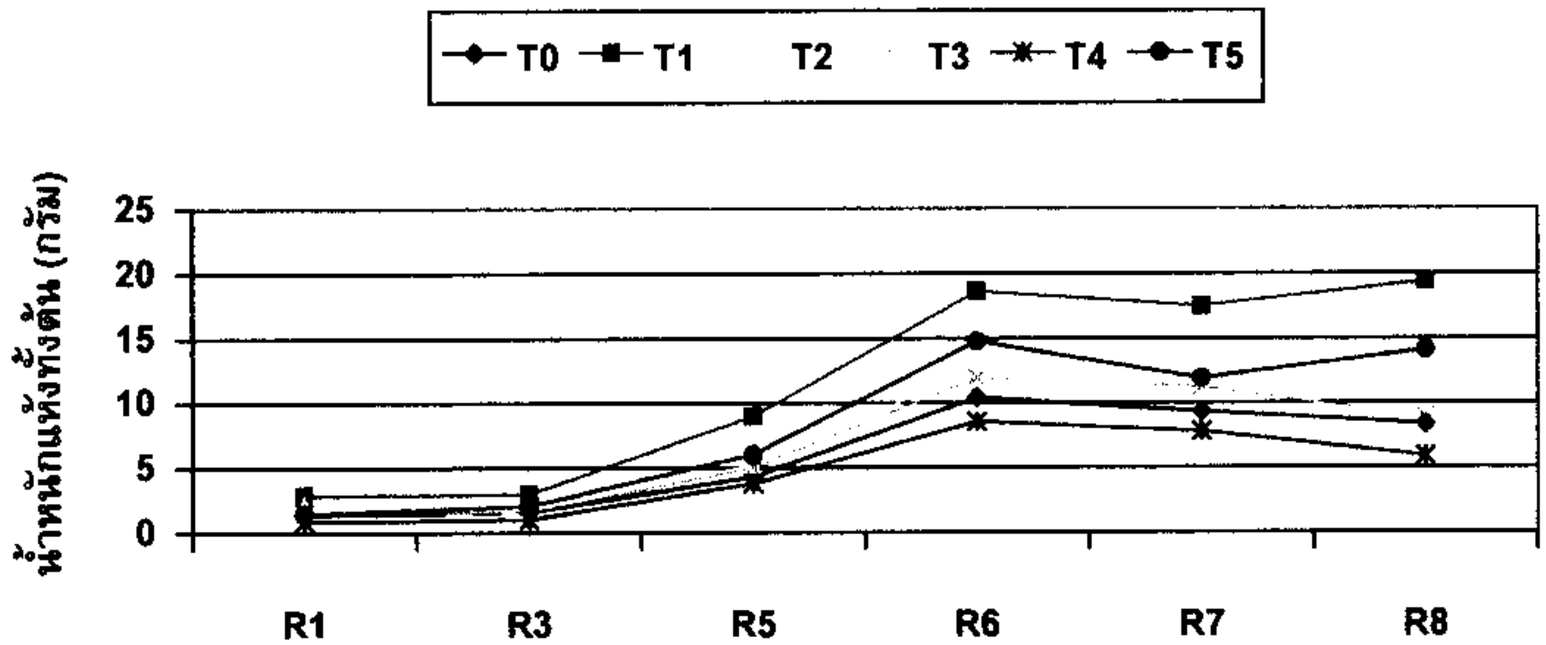
T_1: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5

T_2: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10

T_3: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15

T_4: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20

T_5: ดินไม่ผสมกากตะกอน แต่ใส่ปุ๋ยเคมี 10 กรัม หลังจากงอก 20 วัน



ภาพที่ 4.15 น้ำหนักแห้งทั้งต้นเฉลี่ย (กรัมต่อต้น) ในระยะต่าง ๆ ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี

4.2 ผลผลิตและองค์ประกอบของการผลิต

4.2.1 ผลผลิตต่อกระถาง

ผลผลิตต่อกระถาง (4 ต้น) ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 สำหรับการคำนวณผลผลิตต่อกระถางได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข โดยจากการทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ และปุ๋ยเคมี โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีผลผลิตต่อกระถางสูงที่สุด คือ 49.20 กรัมต่อกระถาง สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีจะมีผลผลิตต่อกระถางรองลงมา คือ 41.43 กรัมต่อกระถาง ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10, 15, 0 และ 20 จะมีผลผลิตต่อกระถางลดลงเท่ากับ 27.64, 22.34, 19.57 และ 15.87 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ซึ่งหากเทียบเป็นผลผลิตต่อต้น พบว่า ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีผลผลิตเท่ากับ 12.30 กรัมต่อต้น เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ หฤษฎี ภัทรดิลก (2534: 197) พบว่า ผลผลิตต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกในเดือนมีนาคม มีค่าเท่ากับ 12.46 กรัมต่อต้น ซึ่งมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ และปุ๋ยเคมี

หากพิจารณาร่วมกับน้ำหนักแห้งเฉลี่ย จะเห็นได้ว่า การสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นเฉลี่ยจะแปรผันในทิศทางเดียวกับผลผลิตต่อกระถาง โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้น และผลผลิตต่อกระถางมากที่สุด ในขณะที่กากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 ถั่วเหลืองจะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นและผลผลิตต่อกระถางน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของหฤษฎี ภัทรดิลก (2534: 85) ที่กล่าวว่า เมื่อถั่วเหลืองมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีผลผลิตเพิ่มขึ้นเช่นกัน

4.2.2 จำนวนฝักต่อต้น

จำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ยในระยะ R_8 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.7 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงผลไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก. 20 และภาพการเก็บข้อมูลได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง ภาพที่ ง. 1 ถึง ง. 6 โดยจากการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีจะมีจำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ยมากที่สุด คือ 41.25 ฝัก และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 และ 10 ซึ่งมีจำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ยรองลงมา คือ เท่ากับ 40.25 และ 32.00 ฝัก ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15, 0 และ 20 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่จะมีจำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ยลดลง คือ 28.00, 26.25 และ 22.00 ฝัก ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า จำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ยจะมีแนวโน้มที่ลดลงตามปริมาณกากตะกอนที่

ใช้เพิ่มขึ้น และการใช้กากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีจำนวนฝักต่อต้นเฉลี่ยน้อยที่สุด และน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ หฤษฎี ภัทรดิลก (2534: 199) พบว่า จำนวนฝักต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกในเดือนมีนาคม มีจำนวนฝักต่อต้นเท่ากับ 83.3 ฝัก ซึ่งมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ และปุ๋ยเคมีมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาพภูมิอากาศ ข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมซึ่งปลูกในกระถาง ปริมาณโลหะหนัก คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในดินที่ไม่เหมาะสมกับการปลูกถั่วเหลือง

4.2.3 จำนวนเมล็ดต่อฝัก

จำนวนเมล็ดต่อฝักเฉลี่ยในระยะ R_8 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.7 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงผลไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก. 21 โดยจากการทดลอง พบว่า จำนวนเมล็ดต่อฝักเฉลี่ยของถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนและปุ๋ยเคมีในอัตราที่แตกต่างกันจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีจำนวนเมล็ดต่อฝักเฉลี่ยมากที่สุด คือ 1.898 เมล็ด ซึ่งมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี ซึ่งมีจำนวนเมล็ดต่อฝักรองลงมา คือ 1.860 เมล็ด ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10, 15, 0 และ 20 จะมีจำนวนเมล็ดต่อฝักลดลง คือ เท่ากับ 1.700, 1.690, 1.592 และ 1.582 เมล็ด ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ อภิพรรณ พุกภักดี (2533: 205) ที่พบว่า จำนวนเมล็ดต่อฝักของถั่วเหลืองจะถูกควบคุมด้วยลักษณะทางพันธุกรรมมากกว่าสภาพแวดล้อมที่ปลูก ทำให้อัตราส่วนของการใช้กากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ และปุ๋ยเคมีไม่มีผลต่อจำนวนเมล็ดต่อฝัก

4.2.4 น้ำหนักแห้ง 100 เมล็ดของถั่วเหลือง

น้ำหนักแห้ง 100 เมล็ดเฉลี่ยของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.7 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงผลไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก. 22 โดยจากการทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ในถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ และปุ๋ยเคมี โดยน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ดเฉลี่ยของถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเมล็ดมากที่สุด คือ 16.10 กรัมต่อ 100 เมล็ด สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีจะมีการสะสมน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเมล็ดรองลงมา คือ 13.50 กรัมต่อ 100 เมล็ด ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10, 15, 0 และ 20 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเมล็ดลดลงเท่ากับ 12.70, 11.81, 11.70 และ 11.40 กรัมต่อ 100 เมล็ด ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า การสะสมน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเมล็ดถั่วเหลืองจะแปรผกผันกับปริมาณกากตะกอนที่ใช้ นั่นคือ เมื่อถั่วเหลืองได้รับกากตะกอนในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น การสะสมน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเมล็ดจะมีค่าลดลง โดยถั่วเหลืองที่ได้รับ

กากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเมล็ดน้อยที่สุด และมีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุม (T_0) ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี แม้ว่าจะมีค่าการสะสมน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเมล็ดน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 แต่ค่าที่ได้ยังมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ สมศักดิ์ ศรีสมบุญ (2542 อ้างถึงใน สมชาย บุญประดับ และศุภชัย แก้วมีชัย, 2543: 43) ที่พบว่า น้ำหนัก 100 เมล็ด จะมีค่าประมาณ 15 - 17 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 แต่จะมีค่ามากกว่าการใช้กากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ และปุ๋ยเคมี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก สภาพภูมิอากาศ ข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมซึ่งปลูกในกระถาง ปริมาณโลหะหนัก คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในดินที่ไม่เหมาะสมกับการปลูกถั่วเหลือง จึงทำให้เมล็ดถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่

ทั้งนี้ หากพิจารณาจากผลผลิตและองค์ประกอบการผลิตของถั่วเหลือง จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีผลผลิตมากที่สุด และผลผลิตของถั่วเหลืองจะมีแนวโน้มแปรผกผันกับปริมาณกากตะกอนที่ใช้ นั่นคือ เมื่อถั่วเหลืองได้รับกากตะกอนในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ผลผลิตจะมีค่าลดลง โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีผลผลิตน้อยที่สุด และมีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุม (T_0) ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี แม้ว่าจะมีผลผลิตน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 แต่ค่าที่ได้ยังมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ ดังนั้น การใช้กากตะกอนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นไม่ได้หมายความว่า ผลผลิตจะต้องเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอน ซึ่งสอดคล้องกับ Mays, Terman and Duggan (1973: 72) ที่รายงานว่า ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตของพืชกับอัตราการใส่กากตะกอนจะเป็นแบบเส้นโค้ง โดยผลผลิตของพืชจะเพิ่มสูงมากเมื่อเพิ่มอัตราการใส่กากตะกอนในระดับหนึ่ง และการเพิ่มของผลผลิตจะลดลงเมื่ออัตราการใส่กากตะกอนสูงเกินไป เนื่องจากปริมาณโลหะหนัก คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในกากตะกอนที่มีปริมาณสูงจนอาจเป็นพิษต่อพืชได้ และอาจเป็นผลมาจากปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย รวมทั้งสอดคล้องกับการศึกษาของ Cunningham, Keeney and Ryan (1975: 453) ที่พบว่า ผลผลิตของข้าวโพดและข้าวไรย์จะเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอน และให้ผลผลิตสูงสุดเมื่อใช้กากตะกอนในอัตรา 20,000 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ผลผลิตจะลดลงเมื่ออัตราการเติมกากตะกอนเป็น 80,320 กิโลกรัมต่อไร่ และจิราพร จรรยาอ่อน (2544: 12) พบว่า การเพิ่มกากตะกอนมีผลทำให้ผลผลิตของผักกาดหอมลดลง ซึ่งการใช้กากตะกอนในอัตรา 5 และ 10 กรัมจะให้ผลผลิตมากกว่าการใช้กากตะกอนในอัตรา 20 กรัม

ตารางที่ 4.7 ผลผลิตต่อกระถาง จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก และน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ดของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี

หน่วยทดลอง	ผลผลิตต่อกระถาง	จำนวนฝักต่อต้น	จำนวนเมล็ดต่อฝัก n.s.	น้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม/100 เมล็ด)
T_0	19.57^{e}	26.25^{b}	1.592	11.70^{e}
T_1	49.20^{a}	40.25^{a}	1.898	16.10^{a}
T_2	27.64^{c}	32.00^{ab}	1.700	12.70^{c}
T_3	22.34^{d}	28.00^{b}	1.690	11.81^{d}
T_4	15.87^{f}	22.00^{b}	1.582	11.40^{f}
T_5	41.43^{b}	41.25^{a}	1.860	13.50^{b}
CV (ร้อยละ)	0.0300	23.88	13.72	0.1700

หมายเหตุ : ^{abcdef} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

$^{n.s.}$ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

T_0: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0

T_1: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5

T_2: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10

T_3: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15

T_4: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20

T_5: ดินไม่ผสมกากตะกอน แต่ใส่ปุ๋ยเคมี 10 กรัม หลังจากงอก 20 วัน

4.2.6 คุณค่าทางโภชนะ

สำหรับคุณค่าทางโภชนะของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.8 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงผลไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก. 23 ถึง ก. 27 โดยจากการทดลอง พบว่า ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมีจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยปริมาณความชื้นในเมล็ดถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีปริมาณมากที่สุด คือ ร้อยละ 7.180 สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20, 15 และ 10 จะมีปริมาณความชื้นในเมล็ดลดลงเท่ากับ ร้อยละ

6.600, 6.130 และ 5.700 ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี จะมีปริมาณความชื้นในเมล็ดเท่ากับ ร้อยละ 5.270 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ แต่มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 ซึ่งมีปริมาณความชื้นในเมล็ดน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 4.720 เมื่อเปรียบเทียบกับเอกสารวิชาการของกรมวิชาการเกษตร (2523: 72) ที่กล่าวว่า จากการทดลองในห้องปฏิบัติการของงานวิจัยเคมีพืชและผลผลิตกองเกษตรเคมี พบว่า ถั่วเหลืองมีองค์ประกอบความชื้นร้อยละ 8.400 ซึ่งมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ และปุ๋ยเคมีจากการทดลองนี้

ปริมาณโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลืองเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีปริมาณโปรตีนในเมล็ดมากที่สุด คือ ร้อยละ 39.32 สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีจะมีปริมาณโปรตีนในเมล็ดรองลงมา คือ ร้อยละ 36.00 ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10, 15, 20 และ 0 จะมีปริมาณโปรตีนในเมล็ดลดลงเท่ากับ ร้อยละ 34.66, 32.74, 32.43 และ 29.22 ตามลำดับ สำหรับปริมาณไขมันในเมล็ดถั่วเหลืองเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีปริมาณไขมันในเมล็ดมากที่สุด คือ ร้อยละ 15.12 รองลงมา คือ ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี ซึ่งมีปริมาณไขมันในเมล็ดเท่ากับ ร้อยละ 14.88 ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10, 15, 20 และ 0 จะมีปริมาณไขมันในเมล็ดลดลงเท่ากับ ร้อยละ 14.07, 12.75, 12.45 และ 9.800 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ปริมาณโปรตีนและไขมันในเมล็ดถั่วเหลืองจะแปรผกผันกับปริมาณกากตะกอนที่ใช้ นั่นคือ เมื่อมีการใช้กากตะกอนในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ปริมาณโปรตีนและไขมันในเมล็ดถั่วเหลืองที่ได้จะมีค่าลดลง แต่ยังมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี แม้จะมีปริมาณโปรตีนและไขมันในเมล็ดน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 แต่ยังมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลในเอกสารพันธุ์ถั่วเหลืองของประเทศไทย (ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่: 2543 อ้างถึงใน กฤษฎา หงส์รัตน์, 2546: 84) ที่กล่าวว่า ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีปริมาณโปรตีนและไขมันในเมล็ดเท่ากับ ร้อยละ 43.80 และ 20.00 ตามลำดับ ซึ่งถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ และปุ๋ยเคมี จะมีปริมาณน้อยกว่า ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากสภาพภูมิอากาศ ข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมซึ่งปลูกในกระถาง ปริมาณโลหะหนัก คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในดินที่ไม่เหมาะสมกับการปลูกถั่วเหลือง จึงทำให้เมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนและไขมันในเมล็ดน้อยกว่า

สำหรับปริมาณเยื่อใยในเมล็ด จากการทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ และปุ๋ยเคมี โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 จะมีปริมาณเยื่อใยในเมล็ดมากที่สุด คือ ร้อยละ

7.020 สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20, 15, 10 และปุ๋ยเคมี จะมีปริมาณเยื่อใยในเมล็ดลดลงเท่ากับ ร้อยละ 6.160, 6.120, 2.950 และ 5.830 ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีปริมาณเยื่อใยในเมล็ดน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 4.980 สำหรับปริมาณเถ้า จากการทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 จะมีปริมาณเถ้ามากที่สุด คือ ร้อยละ 1.81 สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20, 15, 10 และปุ๋ยเคมี จะมีปริมาณเถ้าลดลงเท่ากับ ร้อยละ 1.510, 1.400, 1.310 และ 1.070 ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีปริมาณเถ้าน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.9100 จะเห็นได้ว่าปริมาณเยื่อใยและเถ้าของเมล็ดถั่วเหลืองจะแปรผันตามปริมาณกากตะกอนที่ใช้ คือ เมื่อใช้กากตะกอนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณเยื่อใยและเถ้าเพิ่มขึ้น สำหรับปุ๋ยเคมีจะส่งผลให้เมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณเยื่อใยและเถ้ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 แต่ยังมีน้อยกว่าเมล็ดถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเอกสารวิชาการของสำนักงานปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม (2542: 32) ในเรื่องส่วนประกอบของเมล็ดถั่วเหลืองที่มีปริมาณเถ้าเท่ากับ ร้อยละ 4.800 ซึ่งถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนและปุ๋ยเคมีในอัตราส่วนต่าง ๆ จะมีปริมาณน้อยกว่า

ตารางที่ 4.8 คุณค่าทางโภชนะของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี

หน่วยทดลอง	คุณค่าทางโภชนะ (ร้อยละ)				
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า
T_0	4.720[f]	29.22[f]	9.800[f]	7.020[a]	1.810[a]
T_1	7.180[a]	39.32[a]	15.12[a]	4.980[f]	0.9100[f]
T_2	5.700[d]	34.66[c]	14.07[c]	5.950[d]	1.310[d]
T_3	6.130[c]	32.74[d]	12.75[d]	6.120[c]	1.400[c]
T_4	6.600[b]	32.43[e]	12.45[e]	6.160[b]	1.510[b]
T_5	5.270[e]	36.00[b]	14.88[b]	5.830[e]	1.070[e]
CV (ร้อยละ)	0.02600	0.1100	0.0900	0.1800	0.6600

หมายเหตุ : [abcdef] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

T_0: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0

T_1: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5

T_2: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10

T_3: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15

T_4: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20

T_5: ดินไม่ผสมกากตะกอน แต่ใส่ปุ๋ยเคมี 10 กรัม หลังจากงอก 20 วัน

4.3 ปริมาณโลหะหนัก

4.3.1 ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน

สำหรับปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท ในกากตะกอนที่ใช้ในการปลูกถั่วเหลือง จากการวิเคราะห์ พบว่า มีปริมาณตะกั่ว 28.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคดเมียม 1.600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปรอทสะสมอยู่ในกากตะกอนเท่ากับ 30.10×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังแสดงผลและวิธีการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนและวิธีการวิเคราะห์

โลหะหนัก	ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	วิธีการวิเคราะห์
ตะกั่ว	28.70	HNO_3 + $HClO_4$ อัตราส่วน 5 : 2 จากนั้นไดเจส และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption
แคดเมียม	1.600	HNO_3 + $HClO_4$ อัตราส่วน 5 : 2 จากนั้นไดเจส และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption
ปรอท	30.10×10^{-3}	H_2SO_4 + HNO_3 อัตราส่วน 5 : 2 จากนั้นไดเจส และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption

ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2539: 214) ที่รายงานว่า ปริมาณตะกั่วในกากตะกอนน้ำโสโครกจะมีค่าอยู่ระหว่าง 29.00 - 3,600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคดเมียม น้อยกว่า 1.000 - 3,400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปรอท 0.1000 - 55.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ปุ๋ยหมักเทศบาลจะมีปริมาณตะกั่วอยู่ระหว่าง 1.300 - 2,240 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคดเมียม 0.0100 - 3,400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปรอท 0.1000 - 21.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งกากตะกอนที่ใช้ในการทดลองจะมีปริมาณตะกั่วน้อยกว่าในกากตะกอนน้ำโสโครก ในขณะที่มีปริมาณแคดเมียมอยู่ในช่วงเดียวกับกากตะกอนน้ำโสโครก และปุ๋ยหมักเทศบาล และปริมาณปรอทน้อยกว่าทั้งในกากตะกอนน้ำโสโครกและปุ๋ยหมักเทศบาล

ตารางที่ 4.10 ปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะนำไปใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศต่าง ๆ

ประเทศ	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)						
	Pb	Cd	Hg	Ni	Cu	Mn	Zn
เบลเยี่ยม[1]	300	10	-	100	500	500	2,000
แคนนาดา[1]	500	20	-	180	-	-	1,850
เดนมาร์ก[1]	400	8	-	30	-	-	-
ฟินแลนด์[1]	1,200	30	-	500	3,000	3,000	5,000
ฝรั่งเศส[1]	800	20	-	200	1,000	-	3,000
เยอรมัน[1]	1,200	20	-	200	1,200	-	3,000
เนเธอร์แลนด์[1]	500	10	-	100	600	-	2,000
นอร์เวย์[1]	300	10	-	100	1,500	500	3,000
สวีเดน[1]	300	15	-	500	3,000	-	10,000
สวิสเซอร์แลนด์[1]	1,000	30	-	200	1,000	-	1,000
กลุ่มประชาคมยุโรป[1]	1,000	40	-	400	1,500	-	3,000
สหรัฐอเมริกา[2]	150	20	8	210	750	-	1,400

แหล่งที่มา : [1] Webber, et.al., 1984 อ้างถึงใน ศิราณี ศิริสุโขดม, 2535: 49.

[2] Alloway and Ayres, 1997 อ้างถึงใน วรกาย อุส่าห์, 2541: 104.

หมายเหตุ : - = ไม่มีข้อมูล.

หากเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนที่ได้จากการทดลอง กับปริมาณโลหะหนักสูงสุดตามข้อจำกัดในการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรตามเกณฑ์ของประเทศต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.10 พบว่า ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และปรอทในกากตะกอนที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ยังมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ดังกล่าวมาก

4.3.2 ปริมาณโลหะหนักในดินก่อนและหลังการทดลอง

สำหรับปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และปรอทในดินเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.11 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงผลไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก. 27 ถึง ก. 32

4.3.2.1 ตะกั่ว

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณตะกั่วเฉลี่ยในดินเมื่อเริ่มการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 28.70 ถึง 29.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยในดินที่มีผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีปริมาณตะกั่วในดินมากที่สุด คือ 29.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15, 10 และ 5 จะมีปริมาณตะกั่วในดินลดลงเท่ากับ 29.45, 29.20 และ 28.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ดินที่ผสมปุ๋ยเคมีและกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยจะมีปริมาณตะกั่วในดินเท่ากันและมีปริมาณน้อยที่สุด คือ 28.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปริมาณตะกั่วในดินยังคงมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 6.900 ถึง 10.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยในดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 และ 15 ปริมาณตะกั่วไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยมีการสะสมปริมาณตะกั่วในดินเท่ากันและมีปริมาณมากที่สุด คือ 10.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ในดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10, 5 และปุ๋ยเคมี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยจะมีการสะสมปริมาณตะกั่วในดินลดลงเท่ากับ 8.600, 8.300 และ 8.000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ในดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 จะมีการสะสมปริมาณตะกั่วในดินน้อยที่สุดเท่ากับ 6.900 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2539: 214) ที่รายงานถึงระดับปกติของปริมาณตะกั่วในดินว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 10.00 - 30.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ในทุก ๆ อัตราส่วนของดินที่ผสมกากตะกอนและปุ๋ยเคมีทั้งเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลองยังมีค่าไม่เกินระดับปกติ

4.3.2.2 แคดเมียม

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในดินเมื่อเริ่มการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 1.600 ถึง 1.940 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีปริมาณแคดเมียมในดินมากที่สุด คือ 1.940 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15, 10 และ 5 จะมีปริมาณแคดเมียมในดินลดลงเท่ากับ 1.860, 1.770 และ 1.690 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ดินที่ผสมปุ๋ยเคมี และกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยจะมีปริมาณแคดเมียมในดินเท่ากันและมีปริมาณน้อยที่สุด คือ 1.600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 ยังคงมีการสะสมปริมาณแคดเมียมในดินมากที่สุด คือ 0.2000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ และปุ๋ยเคมี สำหรับดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15 และ 10 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยจะมีการสะสมปริมาณแคดเมียมในดินเฉลี่ยเท่ากัน คือ 0.1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 ปุ๋ยเคมี และ

กากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 จะมีการสะสมปริมาณแคดเมียมน้อยมากจนไม่สามารถอ่านค่าได้ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2539: 214) ที่รายงานถึง ระดับปกติของปริมาณแคดเมียมในดินว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.2000 - 1.000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งในทุก ๆ อัตราส่วนของดินที่ผสมกากตะกอนและปุ๋ยเคมีเมื่อเริ่มการทดลองล้วนมีค่าเกินกว่าระดับปกติ แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า มีค่าไม่เกินระดับปกติ

4.3.2.3 ปรอท

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณปรอทเฉลี่ยในดินเมื่อเริ่มการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 30.10×10^{-3} ถึง 32.20×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยในดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีปริมาณปรอทในดินมากที่สุด คือ 32.20×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15, 10 และ 5 จะมีปริมาณปรอทในดินลดลงเท่ากับ 31.68×10^{-3}, 31.15×10^{-3} และ 30.62×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ดินที่ผสมปุ๋ยเคมีและกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยจะมีปริมาณปรอทในดินเท่ากันและมีปริมาณน้อยที่สุด คือ 30.10×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าปริมาณปรอทในดินมีค่าอยู่ระหว่าง 18.70×10^{-3} ถึง 22.70×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีการสะสมปริมาณปรอทในดินมากที่สุด คือ 22.70×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ ดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15, 10 และ 5 ซึ่งมีการสะสมของปริมาณปรอทในดินลดลงเท่ากับ 21.30×10^{-3}, 20.80×10^{-3} และ 20.10×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ปุ๋ยเคมีจะส่งผลให้ดินมีการสะสมของปริมาณปรอทในดินเท่ากับ 19.60×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 จะมีการสะสมของปริมาณปรอทในดินน้อยที่สุด คือ 18.70×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2539: 273) ที่รายงานถึงระดับปกติของปริมาณปรอทในดินว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 30.00×10^{-3} - 60.00×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งในทุก ๆ อัตราส่วนของดินที่ผสมกากตะกอนและปุ๋ยเคมีล้วนมีค่าอยู่ในระดับปกติทั้งเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลอง

ตารางที่ 4.11 ปริมาณโลหะหนักในดินเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี

หน่วยทดลอง	ปริมาณโลหะหนักในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)					
	ตะกั่ว		แคดเมียม		ปรอท	
	เริ่ม	สิ้นสุด	เริ่ม	สิ้นสุด	เริ่ม	สิ้นสุด
T_0	28.70^{e}	6.900^{e}	1.600^{e}	Tr	$30.10^{e} \times 10^{-3}$	$18.70^{f} \times 10^{-3}$
T_1	28.95^{d}	8.300^{c}	1.690^{d}	Tr	$30.62^{d} \times 10^{-3}$	$20.10^{d} \times 10^{-3}$
T_2	29.20^{c}	8.600^{b}	1.770^{c}	0.1000^{b}	$31.15^{c} \times 10^{-3}$	$20.80^{c} \times 10^{-3}$
T_3	29.45^{b}	10.00^{a}	1.860^{b}	0.1000^{b}	$31.68^{b} \times 10^{-3}$	$21.30^{b} \times 10^{-3}$
T_4	29.70^{a}	10.00^{a}	1.940^{a}	0.2000^{a}	$32.20^{a} \times 10^{-3}$	$22.70^{a} \times 10^{-3}$
T_5	28.70^{e}	8.000^{d}	1.600^{e}	Tr	$30.10^{e} \times 10^{-3}$	$19.60^{e} \times 10^{-3}$
CV (ร้อยละ)	0.1000	0.2800	1.430	19.36	0.0700	0.1000

หมายเหตุ : ^{abcdef} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

Tr หมายถึง Trace จำนวนน้อยมากไม่สามารถอ่านค่าได้

T_0: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0

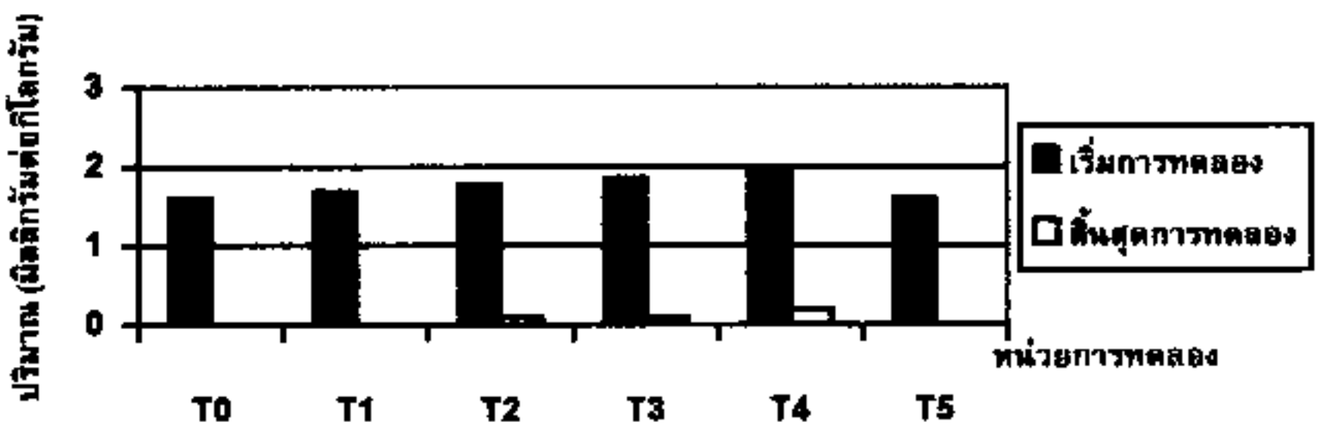
T_1: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5

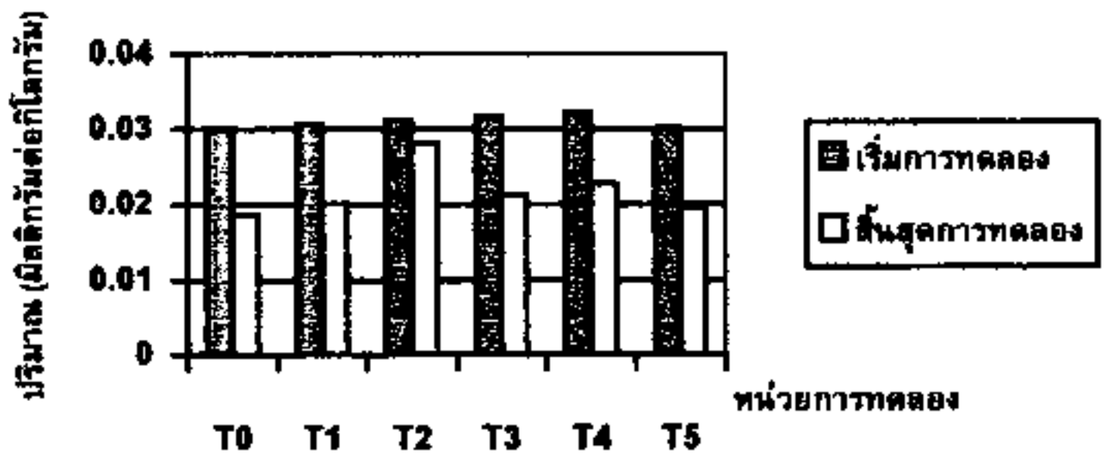
T_2: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10

T_3: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15

T_4: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20

T_5: ดินไม่ผสมกากตะกอน แต่ใส่ปุ๋ยเคมี 10 กรัม หลังจากงอก 20 วัน





ภาพที่ 4.16 ปริมาณโลหะหนักในดินเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี

ตารางที่ 4.12 ปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรมของประเทศต่าง ๆ

ประเทศ	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)					
	Pb	Cd	Hg	Ni	Cu	Zn
ฝรั่งเศส[1]	100	2	-	50	100	300
เยอรมัน[1]	100	3	-	50	100	300
อังกฤษ[1]	550	3.	-	35	140	280
กลุ่มประชาคมยุโรป[1]	100	3	-	50	100	300
ประเทศไทย[2]	10 - 30	0.2 - 1	0.03 - 0.06	25 - 50	12 - 30	40 - 50

แหล่งที่มา : [1] Webber, et.al., 1984 อ้างถึงใน ศิราณี ศิริสุโขดม, 2535: 89.

[2] ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539: 214.

หมายเหตุ : - = ไม่มีข้อมูล.

ทั้งนี้ หากเปรียบเทียบปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และปรอทในดินเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลองกับปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อใช้ประโยชน์ทางเกษตรกรรมตามเกณฑ์ของประเทศต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.12 พบว่า ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และปรอทในดินมีปริมาณน้อยกว่าเกณฑ์ดังกล่าวในทุกอัตราส่วนของการใช้กากตะกอนและปุ๋ยเคมี

4.3.3 ปริมาณโลหะหนักในใบถั่วเหลือง

ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และปรอทในใบถั่วเหลืองที่ระยะ R_5 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.13 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงผลไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก. 34 ถึง ก. 36

4.3.3.1 ตะกั่ว

จากการทดลอง พบว่า การสะสมของปริมาณตะกั่วในใบถั่วเหลืองที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนและปุ๋ยเคมีในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน จะมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยในใบของถั่วเหลืองที่ปลูกได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีการสะสมของปริมาณตะกั่วในใบมากที่สุด คือ 15.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15, 10, 5 และ ปุ๋ยเคมี จะมีการสะสมของปริมาณตะกั่วในใบลดลงเท่ากับ 14.60, 5.200, 4.500 และ 4.400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 จะมีการสะสมของปริมาณตะกั่วในใบน้อยที่สุด คือ 4.320 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2539: 243)

ที่รายงานถึง ระดับปกติของปริมาณตะกั่วในพืชว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.5000 - 3.000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้น เมื่อถั่วเหลืองได้รับกากตะกอนในทุก ๆ อัตราส่วน จะมีปริมาณตะกั่วสะสมในใบเกินกว่าระดับปกติแทบทั้งสิ้น

4.3.3.2 แคดเมียม

จากการทดลอง พบว่า การสะสมของปริมาณแคดเมียมในใบของถั่วเหลืองมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1000 ถึง 1.300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยถั่วเหลืองที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20, 15 และ 10 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยจะมีการสะสมของปริมาณแคดเมียมในใบลดลงเท่ากับ 1.300, 1.150 และ 0.900 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 และปุ๋ยเคมี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยจะมีการสะสมของปริมาณแคดเมียมในใบเท่ากัน คือ 0.4000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 จะมีการสะสมของปริมาณแคดเมียมในใบน้อยที่สุด คือ 0.1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับ Chaney (1982 อ้างถึงใน ศิราณี ศิริสุโขดม, 2535: 243) ที่กล่าวถึง ระดับปกติของปริมาณแคดเมียมในพืชว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.1000 - 1.000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้น เมื่อถั่วเหลืองได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, และปุ๋ยเคมีจะมีปริมาณแคดเมียมสะสมในใบอยู่ในระดับปกติแทบทั้งสิ้น ยกเว้นถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15 และ 20 สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมียังคงมีค่าอยู่ในระดับปกติ

4.3.3.3 ปรอท

จากการทดลอง พบว่า การสะสมของปริมาณปรอทในใบของถั่วเหลืองมีค่าอยู่ระหว่าง 10.70×10^{-3} ถึง 20.70×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีการสะสมของปริมาณปรอทในใบมากที่สุด คือ 20.70×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15, 10, 5 และปุ๋ยเคมี จะมีการสะสมของปริมาณปรอทในใบลดลงเท่ากับ 19.80×10^{-3}, 16.10×10^{-3}, 13.70×10^{-3} และ 11.80×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 จะมีการสะสมของปริมาณปรอทในใบน้อยที่สุดเท่ากับ 10.70×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2539: 273) ที่รายงานถึง ระดับปกติของปริมาณปรอทในพืชทั่วไปว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 1.000×10^{-3} - 10.00×10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้น เมื่อถั่วเหลืองได้รับกากตะกอนในทุก ๆ อัตราส่วนและปุ๋ยเคมี จะมีปริมาณปรอทสะสมในใบเกินกว่าระดับปกติแทบทั้งสิ้น

จะเห็นได้ว่าการสะสมของปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และปรอทในใบของถั่วเหลืองที่ระยะ R_5 จะแปรผันตามปริมาณกากตะกอนที่ใช้ นั่นคือ เมื่อมีการใช้กากตะกอนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ถั่วเหลืองมีการสะสมโลหะหนักในใบเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ธวิโรจน์ ตันนุกิจ (2542: บทคัดย่อ) ที่พบว่า กากตะกอนน้ำเสียชุมชนส่งผลให้

ปริมาณโลหะหนัก (แคดเมียม ทองแดง แมงกานีส นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี) ในวัสดุเพาะชำมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมกากตะกอน

ตารางที่ 4.13 ปริมาณโลหะหนักในใบของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี

หน่วยทดลอง	โลหะหนักในใบของถั่วเหลือง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	ตะกั่ว	แคดเมียม	ปรอท
T_0	4.320^{f}	0.1000^{e}	$10.70^{f} \times 10^{-3}$
T_1	4.500^{d}	0.4000^{d}	$13.70^{d} \times 10^{-3}$
T_2	5.200^{c}	0.9000^{c}	$16.10^{c} \times 10^{-3}$
T_3	14.60^{b}	1.150^{b}	$19.80^{b} \times 10^{-3}$
T_4	15.60^{a}	1.300^{a}	$20.70^{a} \times 10^{-3}$
T_5	4.400^{e}	0.4000^{d}	$11.80^{e} \times 10^{-3}$
CV (ร้อยละ)	0.2800	2.700	0.1200

หมายเหตุ : ^{abcdef} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

T_0: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0

T_1: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5

T_2: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10

T_3: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15

T_4: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20

T_5: ดินไม่ผสมกากตะกอน แต่ใส่ปุ๋ยเคมี 10 กรัม หลังจากงอก 20 วัน

4.3.4 ปริมาณโลหะหนักในเมล็ดถั่วเหลือง

ปริมาณโลหะหนักในเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.14 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงผลไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก. 37 ถึง ก. 39

4.3.4.1 ตะกั่ว

จากการทดลอง พบว่า การสะสมของปริมาณตะกั่วในเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ (p<0.05) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 7.100 ถึง 30.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีการสะสมปริมาณตะกั่วในเมล็ดมากที่สุด คือ 30.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15, 10, 5, ปุ๋ยเคมี และกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 จะมีการสะสมของปริมาณปรอทในเมล็ดลดลงเท่ากับ 14.40, 13.90, 12.60, 8.200 และ 7.100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2539: 243) พบว่า ปริมาณตะกั่วในเมล็ดมีค่าสูงเกินกว่าระดับปกติ (0.5000 – 3.000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในทุก ๆ อัตราส่วนของการใช้กากตะกอนและปุ๋ยเคมี

4.3.4.2 แคดเมียม

จากการทดลอง พบว่า การสะสมของปริมาณแคดเมียมในเมล็ดของถั่วเหลืองมีค่าอยู่ระหว่าง 0.3000 ถึง 0.9000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยถั่วเหลืองที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 และ 15 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยจะมีการสะสมของปริมาณแคดเมียมในเมล็ดเท่ากันและมีค่ามากที่สุด คือ 0.9000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับถั่วเหลืองที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10 และ 5 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยมีการสะสมปริมาณแคดเมียมในเมล็ดเท่ากับ 0.8000 และ 0.4000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีและกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยจะมีการสะสมปริมาณแคดเมียมในเมล็ดเฉลี่ยเท่ากันและมีปริมาณน้อยที่สุด คือ 0.3000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ Chaney (1982 อ้างถึงใน ศิราณี ศิริสุโขดม, 2535: 243) พบว่าปริมาณแคดเมียมในเมล็ดมีค่าอยู่ในระดับปกติ (0.1000 - 1.000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในทุก ๆ อัตราส่วนของการใช้กากตะกอนและปุ๋ยเคมี

4.3.4.2 ปรอท

จากการทดลอง พบว่า การสะสมของปริมาณปรอทในเมล็ดถั่วเหลืองมีค่าอยู่ระหว่าง 13.70 x 10^{-3} ถึง 26.70 x 10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีการสะสมของปริมาณปรอทในเมล็ดมากที่สุด คือ 26.70 x 10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15, 10, 5, ปุ๋ยเคมี และกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 จะมีการสะสมของปริมาณปรอทในเมล็ดลดลงเท่ากับ 21.80 x 10^{-3}, 20.90 x 10^{-3}, 17.80 x 10^{-3}, 16.70 x 10^{-3} และ 13.70 x 10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2539: 273) พบว่า ปริมาณปรอทในเมล็ดมีค่าสูงเกินกว่าระดับปกติ (1.000 x 10^{-3} - 10.00 x 10^{-3} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในทุก ๆ อัตราส่วนของการใช้กากตะกอนและปุ๋ยเคมี

หากเปรียบเทียบค่าการสะสมปริมาณโลหะหนักในใบกับเมล็ดถั่วเหลือง จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองจะมีแนวโน้มของการสะสมปริมาณโลหะหนักในใบมากกว่าในเมล็ดถั่วเหลือง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2525 อ้างถึงใน ศิราณี ศิริสุโขดม, 2535: 23) พบว่า ในพืชชนิดเดียวกันการสะสมโลหะหนักในส่วนต่าง ๆ ของพืชจะมีค่าไม่เท่ากัน เช่น ผักคะน้าจะมีการสะสมปริมาณตะกั่วที่ราก > ใบ > ลำต้น รวมทั้งสอดคล้องกับการศึกษาของ ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2539: 259) ที่พบว่า เมื่อมีการปนเปื้อน แคดเมียมจะสะสมในรากมากที่สุด รองลงมา คือ ใบ และจะมีการเคลื่อนย้ายสู่เมล็ดได้น้อย

จะเห็นได้ว่า การสะสมของปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท ในเมล็ดถั่วเหลืองจะแปรผันตามปริมาณกากตะกอนที่ใช้ นั่นคือ เมื่อมีการใช้กากตะกอนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ถั่วเหลืองมีการสะสมโลหะหนักในเมล็ดเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ บุปผา แช่มประเสริฐ (2527: 55) พบว่า การสะสมของปริมาณแคดเมียมในผัก 3 ชนิด ได้แก่ ผักคะน้า ผักกาดขาว และผักกาดกวางตุ้ง จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มกากตะกอนในปริมาณที่มากขึ้น โดยการใช้กากตะกอนในอัตราร้อยละ 1.2 จะทำให้ผักทั้ง 3 ชนิดมีการสะสมของปริมาณแคดเมียมเท่ากับ 0.1400, 0.1600 และ 2.000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มปริมาณกากตะกอนเป็นร้อยละ 2.4 จะมีการสะสมปริมาณแคดเมียมเท่ากับ 0.1900, 0.2000 และ 0.3800 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยอาจเป็นผลมาจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ในกากตะกอน ทำให้เกิดสารแอมโมเนียและไนโตรเจนออกมา ทำให้ดินมีสภาพเป็นกรด ซึ่งความเป็นกรดที่เกิดขึ้นนี้จะช่วยละลายโลหะหนัก เช่น แคดเมียม นิเกิล และสังกะสีได้ดี ดังนั้นพืชจึงสามารถดูดโลหะหนักไปสะสมไว้ในส่วนต่าง ๆ ของพืชได้

ตารางที่ 4.14 ปริมาณโลหะหนักในเมล็ดของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี

หน่วยทดลอง	โลหะหนักในเมล็ดของถั่วเหลือง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	ตะกั่ว	แคดเมียม	ปรอท
T_0	7.100^{f}	0.3000^{d}	$13.70^{f} \times 10^{-3}$
T_1	12.60^{d}	0.4000^{c}	$17.80^{d} \times 10^{-3}$
T_2	13.90^{c}	0.8000^{b}	$20.90^{c} \times 10^{-3}$
T_3	14.40^{b}	0.9000^{a}	$21.80^{b} \times 10^{-3}$
T_4	30.70^{a}	0.9000^{a}	$26.70^{a} \times 10^{-3}$
T_5	8.200^{e}	0.3000^{d}	$16.70^{e} \times 10^{-3}$
CV (ร้อยละ)	0.1300	2.220	0.0800

หมายเหตุ : ^{abcdef} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

T_0: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0

T_1: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5

T_2: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10

T_3: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15

T_4: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20

T_5: ดินไม่ผสมกากตะกอน แต่ใส่ปุ๋ยเคมี 10 กรัม หลังจากงอก 20 วัน

นอกจากนี้ ปริมาณโลหะหนักในใบและเมล็ดถั่วเหลืองยังส่งผลต่อสมรรถภาพ ผลผลิต และองค์ประกอบของการผลิตของถั่วเหลือง โดยหากพิจารณาจากตารางที่ 4.15 ซึ่งแสดงค่าวิกฤตของปริมาณโลหะหนักที่ก่อให้เกิดอาการเป็นพิษในพืช และส่งผลต่อผลผลิตของพืช รวมทั้งอาจก่อให้เกิดการชะงักการเจริญเติบโต โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชที่มีความไวต่อความเป็นพิษของโลหะหนักนั้น ๆ พบว่า ปริมาณตะกั่วในใบของถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10 และปุ๋ยเคมี มีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤต และถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15 และ 20 มีค่าอยู่ในช่วงวิกฤต สำหรับปริมาณตะกั่วในเมล็ดของถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 และปุ๋ยเคมีมีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤต ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5, 10 และ 15 มีค่าอยู่ในช่วงวิกฤต สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีค่ามากกว่าค่าวิกฤต ดังนั้น จากการสะสมของปริมาณตะกั่วที่มีค่ามากกว่าค่าวิกฤตจึงอาจส่งผลให้การเจริญ

เติบโตของถั่วเหลืองมีการหยุดชะงัก ส่งผลให้สมรรถภาพ ผลผลิต และองค์ประกอบของการผลิตของถั่วเหลืองมีแนวโน้มลดลง และต่ำกว่าค่าปกติของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ กิตติ เอกอำพน (2522 อ้างถึงใน ศิราณี ศิริสุโขดม, 2535: 17) พบว่า จากการปลูกผักกวางตุ้งในสารละลายอาหารที่มีปริมาณตะกั่วและสังกะสีสูงกว่า 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จะทำให้น้ำหนักของผักกวางตุ้งลดลง และเกิดอาการซีดจางที่ใบอ่อน แต่ทั้งนี้ ระดับความเป็นพิษของปริมาณตะกั่วในพืชชนิดหนึ่ง ๆ ยังขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยพืชที่ปลูกในดินที่มีปริมาณธาตุอาหารครบและพอเหมาะจะสามารถทนต่อความเป็นพิษของตะกั่วในระดับที่สูงกว่าพืชที่ปลูกในดินที่ขาดธาตุอาหาร (Goodbold and Huttermann, 1986 อ้างถึงใน ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา 2539: 243) สำหรับปริมาณแคดเมียมในใบและเมล็ดของถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5 และปุ๋ยเคมีจะมีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤต ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10, 15 และ 20 มีค่าอยู่ในช่วงวิกฤต สำหรับปริมาณปรอทในใบและเมล็ดถั่วเหลืองในทุก ๆ อัตราส่วนของการใช้กากตะกอนและปุ๋ยเคมียังมีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤต ทั้งนี้ ระดับความเป็นพิษของโลหะหนักแต่ละชนิดในพืชจะมีค่าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับพืชแต่ละชนิด ซึ่งมีความสามารถทนต่อความเป็นพิษของโลหะหนักได้แตกต่างกัน อาทิจากการศึกษาของ Frances (1976 อ้างถึงใน วรกาย อุส่าห์, 2541: 21) ซึ่งได้ทำการทดลองปลูกพืช 3 ชนิด คือ หัวผักกาดแดง ถั่ว และบีท พบว่า การเจริญเติบโตของพืชทั้ง 3 ชนิดลดลงถึงร้อยละ 50 เมื่อทำการปลูกในสารละลายที่มีปริมาณแคดเมียมเพียง 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 4.15 ค่าวิกฤตของปริมาณโลหะหนักในพืช

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	เกิดอาการในพืชที่ไวต่อพิษ[1]	ค่าที่ทำให้ผลผลิตลดลงร้อยละ 10[1]	การเจริญเติบโตของพืชหยุดชะงัก[2]
ตะกั่ว	-	-	10.00 - 20.00
แคดเมียม	5.000 - 10.00	10.00 - 20.00	5.000 - 10.00
ปรอท	0.5000 - 1.000	1.000 - 8.000	0.1000 - 1.000
ทองแดง	15.00 - 20.00	10.00 - 30.00	15.00 - 20.00
นิกเกิล	150.0 - 200.0	100.0 - 500.0	20.00 - 30.00

แหล่งที่มา : [1] Pendias, 1992 อ้างถึงใน ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา 2539: 233.

[2] Forstner, 1991 อ้างถึงใน ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา 2539: 234.

หมายเหตุ : - = ไม่มีข้อมูล.

4.4 คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหาร

4.4.1 คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในกากตะกอนและในดินที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับคุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในกากตะกอนและในดินที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.16 ซึ่งจากการวิเคราะห์ พบว่า ดินที่ใช้ในการทดลองมีค่าความนำไฟฟ้าเท่ากับ 0.3000 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร มีค่า pH เท่ากับ 5.300 ไนโตรเจนร้อยละ 0.4000 ฟอสฟอรัส 152.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โปตัสเซียม 121.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคลเซียม 312.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมกนีเซียม 49.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และอินทรียวัตถุร้อยละ 0.7700 ในขณะที่กากตะกอนที่ใช้ในการทดลองมีค่าความนำไฟฟ้าเท่ากับ 4.060 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร มีค่า pH เท่ากับ 5.900 ไนโตรเจนร้อยละ 2.300 ฟอสฟอรัส 982.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โปตัสเซียม 5,146 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคลเซียม 5,887 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมกนีเซียม 1,044 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และอินทรียวัตถุร้อยละ 15.78

ตารางที่ 4.16 คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในกากตะกอนและดินที่ใช้ในการทดลอง

คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหาร	กากตะกอน	ดิน
ค่าความนำไฟฟ้า (มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร)	4.060	0.3000
ค่า pH	5.900	5.300
ไนโตรเจน (ร้อยละ)	2.300	0.4000
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	982.6	152.7
โปตัสเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	5,146	121.9
แคลเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	5,887	312.4
แมกนีเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	1,044	49.07
อินทรียวัตถุ (ร้อยละ)	15.78	0.7700

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารที่วิเคราะห์ได้ในกากตะกอนและในดิน จะเห็นได้ว่า ดินและกากตะกอนมีความเป็นกรดทั้งคู่ แต่ดินจะมีความเป็นกรดที่รุนแรงกว่า ส่วนในกากตะกอนจะมีค่าความนำไฟฟ้า และปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าดินมาก เนื่องจากในกากตะกอนจะมีการปนเปื้อนของมลสาร และสารประกอบต่าง ๆ ที่มากับน้ำเสียมากกว่าในดิน

4.4.2 คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในดินเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลอง

คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในดินเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.19 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้แสดงผลไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก. 40 ถึง ก. 55

4.4.2.1 ความนำไฟฟ้า

จากการทดลอง พบว่า ค่าความนำไฟฟ้าของดินที่ใช้ปลูกถั่วเหลืองมีค่าอยู่ระหว่าง 0.3000 ถึง 8.360 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20, 15, 10 และ 5 จะมีค่าความนำไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 8.360, 6.350, 4.330 และ 2.320 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ดินที่ผสมปุ๋ยเคมีและกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยจะมีค่าความนำไฟฟ้าน้อยที่สุด คือ 0.3000 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร จะเห็นได้ว่าค่าความนำไฟฟ้าในดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราส่วนต่างๆ จะมีค่ามากขึ้นตามปริมาณกากตะกอนที่ใช้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากความเค็มในกากตะกอนที่มีความนำไฟฟ้ามากถึง 4.060 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร ซึ่งมีค่าที่สูงเกินกว่าค่าที่เหมาะสม คือ 0 - 2 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร (สมศรี อรุณินท์, 2539: 127) และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ค่าความนำไฟฟ้าในดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับการใช้กากตะกอนในอัตราอื่น ๆ และปุ๋ยเคมี ยังคงมีค่าความนำไฟฟ้ามากที่สุด คือ 3.400 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร สำหรับดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15 และ 10 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยจะมีค่าความนำไฟฟ้าลดลง คือ 1.100 และ 1.000 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ แต่ทั้งสองกลุ่มนี้จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับดินที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 ปุ๋ยเคมี และกากตะกอนร้อยละ 0 ซึ่งมีค่าความนำไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 0.1000, 0.1000 และ 0.0975 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ค่าความนำไฟฟ้าในดินที่ผสมกากตะกอนและปุ๋ยเคมีในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อสิ้นสุดการทดลองจะมีค่าลดลงและอยู่ในระดับที่เหมาะสมในการเพาะปลูกพืช คือ ไม่เกิน 2 มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร ยกเว้นในดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 ที่ยังคงมีค่าสูงเกินกว่าค่าที่เหมาะสม และหากพิจารณาถึงอัตราส่วนของการเติมกากตะกอน จะเห็นได้ว่า ค่าความนำไฟฟ้าในดินจะแปรผันตามปริมาณกากตะกอนที่ใช้ นั่นคือ เมื่อมีการผสมกากตะกอนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ดินมีแนวโน้มของค่าความนำไฟฟ้าในดินเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Epstein, Taylor and Chaney (1976: 424 - 425) พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าในดินที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อใช้ในการปลูกข้าวโพด จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากตะกอนที่ใช้เพิ่มขึ้น

4.4.2.2 ค่า pH

จากการทดลอง ค่า pH ในดินเมื่อเริ่มการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ในดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน และปุ๋ยเคมี โดยดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20, 15 และ 10 จะมีค่า pH เท่ากัน คือ 5.400 ในขณะที่ในดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5, ปุ๋ยเคมี และกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 จะมีค่า pH เท่ากัน คือ 5.300 และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ดินที่ผสมปุ๋ยเคมีจะมีค่า pH มากที่สุด คือ 5.300 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับดินที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 ซึ่งมีค่า pH รองลงมา คือ 5.200 สำหรับดินที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยจะมีค่า pH ลดลงเท่ากับ 5.100, 4.500, 4.300 และ 3.900 ตามลำดับ ทั้งนี้ หากวิเคราะห์จากระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินและธาตุอาหารพืชสำหรับถั่วเหลืองในตารางที่ 4.18 จากการศึกษาของ สุวพันธ์ รัตนะรัต และสายใจ สุชาติกุล (2542 อ้างถึงใน สมชาย บุญประดับ และศุภชัย แก้วมีชัย, 2543: 61) พบว่า ค่า pH ในดินอยู่ในระดับที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื่องจากมีค่า pH ต่ำกว่า 5.500 ในขณะที่กากตะกอนจะมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง คือ มีค่าเท่ากับ 5.900 ซึ่งอยู่ระหว่าง 5.500 - 6.000 และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ดินที่ผสมกากตะกอนในทุก ๆ อัตราส่วน และปุ๋ยเคมีล้วนมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับต่ำ ซึ่งการลดลงของค่า pH ในดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อาจเนื่องมาจากดินมีความชื้นและอินทรียวัตถุอยู่ เมื่ออินทรียวัตถุเน่าเปื่อยลง จะมีกรดอินทรีย์ต่าง ๆ (Fulvic Acid และ Humic Acid) เกิดขึ้นทำให้ดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินทำให้เกิดกรดคาร์บอนิค ดังนั้น ดินจึงมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2543 อ้างถึงใน อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์, 2545: 45) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Epstein, Taylor and Chaney (1976: 425) พบว่า ค่า pH ของดินที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อใช้ในการปลูกข้าวโพด จะมีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นตลอดฤดูกาลเพาะปลูก ทั้งนี้ ค่า pH ของดินจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักในดิน เนื่องจากค่า pH ในดินจะมีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการละลายได้ของโลหะหนักให้อยู่ในรูปทางเคมีที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้

4.4.2.3 ปริมาณไนโตรเจน

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณไนโตรเจนเมื่อเริ่มการทดลองในดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20, 15, 10 และ 5 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยจะมีปริมาณไนโตรเจนในดินลดลงเท่ากับ ร้อยละ 4.920, 3.790, 2.660 และ 1.530 ตามลำดับ ในขณะที่ในดินที่ผสมปุ๋ยเคมีและกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยจะมีปริมาณไนโตรเจนเท่ากันและมีค่าน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.4000 และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20

และ 15 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยจะมีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.9000 ในขณะที่ดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10 และ 5 จะมีปริมาณไนโตรเจนลดลงเท่ากับ ร้อยละ 0.6000 และ 0.5000 ตามลำดับ ในขณะที่ดินที่ผสมปุ๋ยเคมีและกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยจะมีปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากันและมีปริมาณน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.4000 จะเห็นได้ว่าปริมาณไนโตรเจนในดินจะแปรผันตามปริมาณกากตะกอนที่ใช้ โดยเมื่อมีการผสมกากตะกอนในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้ปริมาณไนโตรเจนในดินเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลองมีค่ามากขึ้น โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองจะมีปริมาณไนโตรเจนในดินลดลง ยกเว้นในดินที่ผสมปุ๋ยเคมีและกากตะกอนร้อยละ 0 ที่มีปริมาณไนโตรเจนในดินเท่ากับเมื่อเริ่มการทดลอง ซึ่งสาเหตุที่ปริมาณไนโตรเจนไม่ลดลง แม้ว่าถั่วเหลืองจะเป็นพืชที่มีความต้องการไนโตรเจนในปริมาณสูง เนื่องจากถั่วเหลืองสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศจากขบวนการตรึงไนโตรเจน (N - Fixation) ได้อย่างเพียงพอ (สมชาย บุญประดับ และศุภชัย แก้วมีชัย, 2543 : 60) สำหรับการที่ปริมาณไนโตรเจนในดินมีปริมาณลดลงนั้น อาจเนื่องมาจากพืชและจุลินทรีย์ในดินดูดไปใช้ และอาจเนื่องจากการชะล้างโดยน้ำ จึงทำให้เมื่อสิ้นสุดการทดลองดินจึงมีปริมาณไนโตรเจนลดลง ทั้งนี้ หากเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้กับระดับไนโตรเจนในดินในตารางที่ 4.17 จากการศึกษาของ มงคล ต๊ะอุ่น และสัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์ (2539 อ้างถึงใน ชนิดา ไกรขุนทด, 2543 : 13) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณไนโตรเจนในดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง ร้อยละ 0.4000 ถึง 0.9000 ถือว่ามีปริมาณไนโตรเจนตกค้างในระดับที่สูงมาก

ตารางที่ 4.17 ระดับไนโตรเจนในดิน

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดิน (ร้อยละ)	ระดับการประเมิน	ข้อเสนอแนะ
< 0.0250	ต่ำมาก	ขาดแคลนมาก
0.0250 – 0.0500	ต่ำ	ขาดแคลน
0.0500 – 0.0750	ค่อนข้างต่ำ	ควรใส่ธาตุเพิ่มเติม
0.0750 – 0.1250	ปานกลาง	เพียงพอบางพืช
0.1250 – 0.1750	ค่อนข้างสูง	เพียงพอ
0.1750 – 0.2250	สูง	เพียงพอ
> 0.2250	สูงมาก	เพียงพอ

แหล่งที่มา : มงคล ต๊ะอุ่น และสัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์, 2539 อ้างถึงใน ชนิดา ไกรขุนทด, 2543 : 13.

4.4.2.4 ปริมาณฟอสฟอรัส

จากการทดลองปริมาณฟอสฟอรัสในดินเมื่อเริ่มการทดลอง พบว่า ดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20, 15, 10 และ 5 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับดินที่ผสมปุ๋ยเคมีและกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 โดยจะมีปริมาณฟอสฟอรัสในดินลดลงเท่ากับ 654.0, 409.9, 395.6 และ 297.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับดินที่ผสมปุ๋ยเคมีและกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยจะมีปริมาณฟอสฟอรัสในดินน้อยที่สุด คือ 152.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ในดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20, 15, 10, 5, ปุ๋ยเคมี และกากตะกอนร้อยละ 0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยจะมีปริมาณฟอสฟอรัสในดินลดลงเท่ากับ 381.7, 277.2, 235.7, 194.2, 131.2 และ 125.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในดินจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากตะกอนที่ใช้เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Epstein, Taylor and Chaney (1976: 422) ที่พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในดินจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการใช้กากตะกอนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น และหากวิเคราะห์จากระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน และธาตุอาหารพืชสำหรับถั่วเหลืองในตารางที่ 4.18 จากการศึกษาของ สุวพันธ์ รัตนะรัต และสายใจ สุชาติกุล (2542 อ้างถึงใน สมชาย บุญประดับ และศุภชัย แก้วมีชัย, 2543: 61) พบว่า ดินที่ผสมกากตะกอนในทุก ๆ อัตราส่วนและปุ๋ยเคมีล้วนมีความอุดมสมบูรณ์สูง

4.4.2.5 ปริมาณโปตัสเซียม

จากการทดลองปริมาณโปตัสเซียมในดินเมื่อเริ่มการทดลอง พบว่า ดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20, 15, 10 และ 5 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยจะมีปริมาณโปตัสเซียมในดินลดลงเท่ากับ 1,127, 875.5, 624.3 และ 343.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ในดินที่ผสมปุ๋ยเคมีและกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยจะมีปริมาณโปตัสเซียมน้อยที่สุด คือ 121.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปริมาณโปตัสเซียมในดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20, 15, 10, 5 และ ปุ๋ยเคมี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยจะมีปริมาณโปตัสเซียมในดินลดลงเท่ากับ 71.73, 39.11, 37.32, 32.78 และ 28.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ดินที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับดินที่ได้รับปุ๋ยเคมี แต่แตกต่างกับดินที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ โดยจะมีปริมาณโปตัสเซียมในดินน้อยที่สุด คือ 28.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะเห็นได้ว่า ปริมาณโปตัสเซียมในดินจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากตะกอนที่ใช้เพิ่มขึ้น โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณโปตัสเซียมในดินมีค่าอยู่ระหว่าง 28.55 ถึง 71.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งหากวิเคราะห์จากระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินและธาตุอาหารพืชสำหรับถั่วเหลืองในตารางที่ 4.18 จากการศึกษาของ สุวพันธ์ รัตนะรัต และสายใจ

สุชาติกุล (2542 อ้างถึงใน สมชาย บุญประดับ และศุภชัย แก้วมีชัย, 2543: 61) พบว่า ดินที่ผสมกากตะกอนในทุก ๆ อัตราส่วนและปุ๋ยเคมีล้วนมีความอุดมสมบูรณ์ในระดับต่ำ ยกเว้นดินที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ในระดับปานกลาง

4.4.2.6 ปริมาณแคลเซียม

จากการทดลองปริมาณแคลเซียมในดินเมื่อเริ่มการทดลอง พบว่า ดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20, 15, 10 และ 5 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยจะมีปริมาณแคลเซียมในดินลดลงเท่ากับ 1,427, 1,149, 869.9 และ 591.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ในดินที่ผสมปุ๋ยเคมีและกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยจะมีปริมาณแคลเซียมน้อยที่สุด คือ 312.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปริมาณแคลเซียมในดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 ยังคงมีค่ามากที่สุด คือ 416.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับดินที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15 ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมในดินรองลงมา คือ 416.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ดินที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10, 5, 0 และปุ๋ยเคมี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยจะมีปริมาณแคลเซียมลดลงเท่ากับ 348.6, 317.4, 275.1 และ 214.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับดินที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับดินที่ได้รับปุ๋ยเคมีและกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ โดยจะมีปริมาณแคลเซียมในดินน้อยที่สุด คือ 214.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะเห็นได้ว่า ปริมาณแคลเซียมในดินจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากตะกอนที่ใช้เพิ่มขึ้น ซึ่งหากวิเคราะห์จากระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินและธาตุอาหารพืชสำหรับถั่วเหลือง พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ และปุ๋ยเคมีล้วนมีระดับความอุดมสมบูรณ์สูง ทั้งนี้ ปริมาณแคลเซียมจะมีความสัมพันธ์กับค่าความนำไฟฟ้า เพราะค่าความนำไฟฟ้าจะเป็นค่าที่นำมาใช้เพื่อประเมินระดับความเค็มของดิน ซึ่งเกลือที่ละลายได้ในดินส่วนใหญ่จะเป็นผลมาจากความเข้มข้นของปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียม

4.4.2.7 ปริมาณแมกนีเซียม

จากการทดลองปริมาณแมกนีเซียมในดินเมื่อเริ่มการทดลอง พบว่า ดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20, 15, 10 และ 5 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับดินที่ผสมปุ๋ยเคมีและกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 โดยจะมีปริมาณแมกนีเซียมในดินลดลงเท่ากับ 248.1, 198.4, 148.6 และ 98.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับดินที่ผสมปุ๋ยเคมีและกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยจะมีปริมาณฟอสฟอรัสในดินเท่ากันและมีค่าน้อยที่สุด คือ 49.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ในดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20, 15, 10, 5, ปุ๋ยเคมี และกากตะกอนร้อยละ 0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดย

จะมีปริมาณแมกนีเซียมในดินลดลงเท่ากับ 63.34, 55.02, 47.83, 43.63, 33.20 และ 25.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ปริมาณแมกนีเซียมในดินจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากตะกอนที่ใช้เพิ่มขึ้น หากวิเคราะห์จากระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินและธาตุอาหารพืชสำหรับถั่วเหลือง พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ และปุ๋ยเคมี ล้วนมีระดับความอุดมสมบูรณ์สูง ยกเว้นดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราส่วนร้อยละ 0 ที่มีความอุดมสมบูรณ์ในระดับปานกลาง ทั้งนี้ ปริมาณแมกนีเซียมจะมีความสัมพันธ์กับค่าความนำไฟฟ้า โดยเมื่อดินมีปริมาณแมกนีเซียมสูงจะส่งผลให้ดินมีค่าความนำไฟฟ้าสูงขึ้นด้วย

4.4.2.8 ปริมาณอินทรียวัตถุ

จากการทดลองปริมาณอินทรียวัตถุในดินเมื่อเริ่มการทดลอง พบว่า ดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20, 15, 10 และ 5 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยจะมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินลดลงเท่ากับ ร้อยละ 3.770, 3.020, 2.270 และ 1.520 ตามลำดับ ในขณะที่ในดินที่ผสมปุ๋ยเคมีและกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยจะมีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากันและมีค่าน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.7700 และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ในดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20, 15, 10, 5, ปุ๋ยเคมี และกากตะกอนร้อยละ 0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยจะมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินลดลงเท่ากับ ร้อยละ 1.920, 1.410, 1.310, 0.9600, 0.6600 และ 0.5800 ตามลำดับ และหากวิเคราะห์จากระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินและธาตุอาหารพืชสำหรับถั่วเหลือง พบว่า ดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5 และปุ๋ยเคมีจะมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากมีค่า < 1.000 ในขณะที่ดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10 และ 15 มีระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง คือ อยู่ในช่วง 1.000 - 1.500 สำหรับดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูง คือ > 1.500 จะเห็นได้ว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากตะกอนที่ใช้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณอินทรียวัตถุในกากตะกอนซึ่งมีอยู่มากถึงร้อยละ 15.78 ในขณะที่ดินที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่เพียงร้อยละ 0.7700

ตารางที่ 4.18 ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินและธาตุอาหารพืชสำหรับถั่วเหลือง

ค่าวิเคราะห์	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
ค่า pH	<5.500	5.500 - 6.000	6.000 - 6.800
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	<8.000	8.000 - 12.00	>12.00
โปตัสเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	<50.00	50.00 - 100.0	>100.0
แคลเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	<100.0	100.0 - 400.0	>140.0
แมกนีเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	<20.00	20.00 - 30.00	>30.00
อินทรียวัตถุ (ร้อยละ)	<1.000	1.000 - 1.500	>1.500

แหล่งที่มา : สุวพันธ์ รัตนะรัต และสายใจ สุชาติกุล, 2542 อ้างถึงใน สมชาย บุญประดับ และศุภชัย แก้วมีชัย, 2543: 61.

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในดินที่ผสมกากตะกอนและปุ๋ยเคมีในอัตราส่วนต่าง ๆ จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากตะกอนที่ใช้เพิ่มขึ้น สำหรับปุ๋ยเคมีจะส่งผลให้ดินมีคุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) แต่ค่าที่ได้ยังน้อยกว่าดินที่ผสมกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบของถั่วเหลือง ที่ระดับของธาตุอาหารสูงไม่ได้ทำให้ถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sabey and Hart (1975: 255) ที่พบว่า การใช้กากตะกอนแอคติเวตเตดสลัดจ์ในอัตราที่สูงเกินไป อาจทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโต ลดผลผลิตพืช รวมทั้งเกิดการสะสมของโลหะหนักในดินซึ่งจะพิษต่อมนุษย์และพืชได้ รวมทั้งสอดคล้องกับการศึกษาของ เฉลิมพล แซมเพชร (2542: 223 - 225) ที่พบว่า โดยทั่วไปการเจริญเติบโตของพืชจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ที่อยู่ในดินเมื่อถึงระดับที่เพียงพอกับความต้องการของพืช แม้ธาตุอาหารจะมีปริมาณสูงขึ้นก็ไม่ได้ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและผลผลิตมากขึ้น แต่ถ้ามีปริมาณธาตุอาหารมากเกินไปก็จะทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชลดลง เพราะธาตุดังกล่าวอาจเป็นพิษโดยตรงต่อพืช หรืออาจไปรบกวนการทำงานของธาตุอื่น ๆ ทำให้เกิดภาวะความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช (Plant Nutrient Imbalance) และจากการศึกษาของ อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์ (2545: 74) ที่พบว่า การผสมกากตะกอนในระดับที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียมที่วิเคราะห์ได้ในข้าวโพดหวานมีแนวโน้มที่สูงขึ้น แต่อัตราการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดหวานไม่ได้เพิ่มตามไปด้วย

ตารางที่ 4.18 คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในดินเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและปุ๋ยเคมี

	คุณสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดลอง															
	ความนำไฟฟ้า (มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร)		ค่า pH		ไนโตรเจน (ร้อยละ)		ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		โปตัสเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		แคลเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		แมกนีเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		อินทรียวัตถุ (ร้อยละ)	
	เริ่ม	สิ้นสุด	เริ่ม	สิ้นสุด	เริ่ม	สิ้นสุด	เริ่ม	สิ้นสุด	เริ่ม	สิ้นสุด	เริ่ม	สิ้นสุด	เริ่ม	สิ้นสุด	เริ่ม	สิ้นสุด
T_0	0.3000^{e}	0.0975^{c}	5.300^{a}	5.200^{ab}	0.4000^{c}	0.4000^{d}	152.7^{e}	125.4^{f}	121.9^{c}	28.55^{c}	312.4^{e}	214.9^{e}	49.07^{c}	25.58^{f}	0.7700^{e}	0.5800^{f}
T_1	2.320^{d}	0.1000^{c}	5.300^{a}	5.100^{b}	1.530^{d}	0.5000^{c}	297.0^{e}	194.2^{d}	343.1^{d}	32.78^{d}	591.1^{d}	317.4^{c}	98.82^{d}	43.63^{e}	1.520^{d}	0.9600^{e}
T_2	4.330^{c}	1.000^{b}	5.400^{a}	4.500^{c}	2.660^{c}	0.6000^{b}	395.6^{c}	235.7^{c}	624.3^{c}	37.32^{c}	869.9^{c}	348.6^{b}	148.6^{c}	47.83^{c}	2.270^{c}	1.310^{c}
T_3	6.350^{b}	1.100^{b}	5.400^{a}	4.300^{d}	3.790^{b}	0.9000^{a}	409.9^{b}	277.2^{b}	875.5^{b}	39.11^{b}	1,149^{b}	416.5^{a}	198.4^{b}	55.02^{b}	3.020^{b}	1.410^{b}
T_4	8.360^{a}	3.400^{a}	5.400^{a}	3.900^{c}	4.920^{a}	0.9000^{a}	654.0^{a}	318.7^{a}	1,127^{a}	71.73^{a}	1,427^{a}	416.6^{a}	248.1^{a}	63.34^{a}	3.770^{a}	1.920^{a}
T_5	0.3000^{e}	0.1000^{c}	5.300^{a}	5.300^{a}	0.4000^{c}	0.4000^{d}	152.7^{c}	131.2^{e}	121.9^{c}	28.58^{c}	312.4^{c}	275.1^{d}	49.07^{c}	33.20^{d}	0.7700^{c}	0.6600^{d}
CV (ร้อยละ)	2.680	26.01	1.760	2.230	2.390	10.88	0.2000	0.2900	0.0400	0.4300	0.1500	0.0300	0.0600	0.0700	1.020	1.800

หมายเหตุ : ^{abcdef} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

T_0: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0

T_1: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5

T_2: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10

T_3: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15

T_4: ดินผสมกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20

T_5: ดินไม่ผสมกากตะกอน แต่ใส่ปุ๋ยเคมี 10 กรัม หลังจากงอก 20 วัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาถึงการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนเพื่อใช้ปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในอัตราส่วนร้อยละ 0 (T_0), 5 (T_1), 10 (T_2), 15 (T_3), 20 (T_4) โดยน้ำหนัก กับการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 12 - 24 - 12 อัตรา 10 กรัม (T_5) ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (V_1 - V_4) ของถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด และถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะใช้เวลามากที่สุด ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ และปุ๋ยเคมี จะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบใกล้เคียงกัน

2. การเจริญเติบโตทางการแพร่ขยายพันธุ์ (R_1 - R_8) ของถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีจะใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด และถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะใช้เวลามากที่สุด ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ และปุ๋ยเคมี จะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตทางการแพร่ขยายพันธุ์ใกล้เคียงกัน

3. ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีจำนวนข้อต่อต้น และความสูงต่อต้นเฉลี่ยมากที่สุด และถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ จะมีแนวโน้มของจำนวนข้อและความสูงต่อต้นเฉลี่ยแปรผกผันกับอัตราส่วนของกากตะกอนที่ใช้ คือ เมื่อใช้กากตะกอนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ถั่วเหลืองมีจำนวนข้อและความสูงต่อต้นเฉลี่ยลดลง แต่ยังมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 (กลุ่มควบคุม) และกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีจำนวนข้อและความสูงต่อต้นเฉลี่ยน้อยที่สุด และมีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุม สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีจะมีจำนวนข้อและความสูงต่อต้นเฉลี่ยน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 แต่มากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่นๆ

4. ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีพื้นที่ใบมากที่สุด และถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราที่เพิ่มขึ้นจะส่งให้ถั่วเหลืองมีพื้นที่ใบลดลง แต่ยังมีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ยกเว้นถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 ซึ่งมีพื้นที่ใบน้อยที่สุด และน้อยกว่ากลุ่มควบคุม สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีจะมีพื้นที่ใบที่ระยะ R_3 และ R_5 น้อยกว่าถั่วเหลืองที่

ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 แต่มากกว่ากากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ ยกเว้นที่ระยะ R_1 ที่จะมีค่าพื้นที่น้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5, 10 และ 15 แต่มีค่ามากกว่าที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 และ 20

5. ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักในทุก ๆ ระยะของการเจริญเติบโตมากที่สุด และถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักลดลง แต่ยังมีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ยกเว้นถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 ที่มีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักน้อยที่สุดและน้อยกว่ากลุ่มควบคุม สำหรับการใช้ปุ๋ยเคมีจะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีการสะสมน้ำหนักแห้งของฝักน้อยกว่าการใช้กากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 แต่มากกว่าการใช้กากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ

6. ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นในทุก ๆ ระยะของการเจริญเติบโตมากที่สุด และการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นของถั่วเหลืองจะแปรผกผันกับอัตราส่วนของกากตะกอนที่ใช้ นั่นคือ เมื่อมีการใช้กากตะกอนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นของถั่วเหลืองจะมีค่าลดลง สำหรับปุ๋ยเคมีจะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นน้อยกว่าการใช้กากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 แต่มากกว่าการใช้กากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ

7. ผลผลิตต่อกระถางของถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีค่ามากที่สุด และการใช้กากตะกอนในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ผลผลิตต่อกระถางของถั่วเหลืองมีค่าลดลง แต่ยังมีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ยกเว้นการใช้กากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 ที่ส่งผลให้ถั่วเหลืองมีผลผลิตต่อกระถางน้อยที่สุด และน้อยกว่ากลุ่มควบคุม สำหรับปุ๋ยเคมีจะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีผลผลิตต่อกระถางน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 แต่มากกว่าการใช้กากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ

8. ปุ๋ยเคมีจะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีจำนวนฝักต่อต้นมากที่สุด และถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีจำนวนฝักต่อต้นลดลง แต่ยังมีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ยกเว้นการใช้กากตะกอนในอัตาร้อยละ 20 ที่ส่งผลให้ถั่วเหลืองมีจำนวนฝักต่อต้นน้อยที่สุด และน้อยกว่ากลุ่มควบคุม

9. จำนวนเมล็ดต่อฝักของถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีค่ามากที่สุด และจำนวนเมล็ดต่อฝักของถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ จะมีแนวโน้มของเมล็ดต่อฝักแปรผกผันกับปริมาณกากตะกอนที่ใช้ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้กากตะกอนในอัตราร้อยละ 20 จะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีจำนวนเมล็ดต่อฝักน้อยที่สุด และน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีจะมีจำนวนเมล็ดต่อฝักมากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ แต่น้อยกว่าที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5

10. ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด มากที่สุด โดยถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ จะมีแนวโน้มของน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด แปรผกผันกับปริมาณกากตะกอนที่ใช้ คือ เมื่อใช้กากตะกอนในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ถั่วเหลืองมีน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ดลดลง สำหรับปุ๋ยเคมีจะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด น้อยกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 แต่ค่าที่ได้ยังมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ

11. ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีปริมาณความชื้นในเมล็ดมากที่สุด ในขณะที่การใช้กากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ จะส่งผลให้เมล็ดถั่วเหลืองมีแนวโน้มของปริมาณความชื้นแปรผันตามอัตราการใช้กากตะกอน คือ เมื่อใช้กากตะกอนเพิ่มขึ้นถั่วเหลืองจะมีความชื้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมีจะมีความชื้นในเมล็ดน้อยกว่าการใช้กากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ แต่มากกว่ากลุ่มควบคุม

12. ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 จะมีปริมาณโปรตีน และไขมันในเมล็ดถั่วเหลืองมากที่สุด สำหรับถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ จะมีแนวโน้มของปริมาณโปรตีนและไขมันในเมล็ดแปรผกผันกับอัตรากากตะกอนที่ใช้ คือ เมื่อใช้กากตะกอนในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณโปรตีนและไขมันในเมล็ดมีค่าลดลง สำหรับการใช้ปุ๋ยเคมีจะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีน และไขมันในเมล็ดน้อยกว่าการใช้กากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 แต่มากกว่าการใช้กากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ

13. ถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0 จะมีปริมาณเยื่อใยและเถ้าของเมล็ดถั่วเหลืองมากที่สุด ในขณะที่การใช้กากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ จะมีแนวโน้มของปริมาณเยื่อใยและเถ้าแปรผันตามอัตราการใช้กากตะกอน คือ เมื่อใช้กากตะกอนเพิ่มขึ้นถั่วเหลืองจะมีปริมาณเยื่อใยและเถ้าเพิ่มขึ้นเช่นกัน สำหรับปุ๋ยเคมีจะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีปริมาณเยื่อใยและเถ้ามากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 แต่ยังมีน้อยกว่าที่ได้รับกากตะกอนในอัตราส่วนอื่น ๆ

14. การสะสมโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท ในใบของถั่วเหลือง ที่ระยะ R_5 ในเมล็ดถั่วเหลือง และในดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง จะแปรผันตามปริมาณกากตะกอนที่ใช้ นั่นคือ เมื่อมีการใช้กากตะกอนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ถั่วเหลืองมีการสะสมโลหะหนักเพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มของการสะสมโลหะหนักในใบมากกว่าในเมล็ด ดังนั้นจึงควรระวังเรื่องโลหะหนักที่ตกค้างในใบ หากจะนำกากตะกอนไปใช้ในการปลูกพืชที่รับประทานใบ อาทิ จำพวกผักต่าง ๆ

15. ลักษณะสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในดินและกากตะกอนที่ใช้ในการทดลองอยู่ในระดับมาตรฐาน ยกเว้น ค่า pH ซึ่งมีสภาพเป็นกรด และทำให้ดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองอยู่ในระดับที่ไม่เหมาะสม คือ มีสภาพเป็นกรด ถึง กรดจัด รวมทั้งค่าความนำไฟฟ้าของ

กากตะกอนที่มีค่าสูงมาก ทำให้ดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีความเค็มมากขึ้นตามปริมาณกากตะกอนที่ใช้เพิ่มขึ้น

16. กากตะกอนในอัตราร้อยละ 5 สามารถใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีในการปลูกถั่วเหลืองได้ โดยทำให้ถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงกว่าปุ๋ยเคมี และมีคุณสมบัติในการปรับปรุงดินได้ แต่ควรระวังเกี่ยวกับการสะสมของโลหะหนักที่ตกค้างในดิน ใบ และเมล็ดถั่วเหลือง โดยอาจมีการใช้กับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เพื่อลดผลของการตกค้างของโลหะหนักและความเค็มในดิน

17. การใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนทดแทนปุ๋ยเคมีสำหรับการปลูกพืช อาทิเช่น ถั่วเหลือง นั้น กากตะกอนสามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารในการปลูกพืชได้ แต่ต้องใช้ในปริมาณหรืออัตราส่วนที่เหมาะสม เนื่องจากผลผลิตที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ปลอดภัยสำหรับพืชที่ใช้เพื่อการบริโภค เนื่องจาก อาจเกิดการตกค้างของโลหะหนักในผลผลิตของพืชได้ อย่างไรก็ตาม การสะสมของปริมาณโลหะหนักในดินที่ใช้เพื่อการเกษตรกรรมยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา พบว่า มีข้อเสนอแนะที่สำคัญดังนี้

1. ควรมีการทำการศึกษาถึงโลหะหนักชนิดอื่น ๆ นอกเหนือจาก ตะกั่ว แคดเมียม และปรอทร่วมด้วย เพื่อจะได้ทราบถึงอัตราการใช้กากตะกอนที่ปลอดภัยมากขึ้นจากความเป็นพิษของโลหะหนัก

2. ควรมีการทำการศึกษาถึงธาตุอาหารรองอื่น ๆ ในกากตะกอน และในดินเพิ่มเติม อาทิ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง หรือสังกะสี เป็นต้น เนื่องจากเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

3. ควรมีการทำการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ในดิน อาทิ แบคทีเรีย แอคติโนมัยซีท เชื้อรา เป็นต้น ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหารในดิน รวมทั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ เนื่องจากกากตะกอนอาจมีเชื้อโรคหรือพยาธิ ดังนั้น การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์จึงเป็นการเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนและสัตว์เลี้ยง จึงสมควรศึกษาวิธีการเพิ่มเติมมากขึ้นในการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ได้อย่างปลอดภัย

4. ควรมีการทำการศึกษาเพื่อหาระดับของการใช้กากตะกอนที่เหมาะสมต่อการปลูกถั่วเหลืองมากที่สุด โดยใช้กากตะกอนในอัตราส่วนที่น้อยกว่า ร้อยละ 5 เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการใช้กากตะกอนเพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีในการปลูกถั่วเหลือง โดยควรทำการทดลองในแปลงทดสอบจริง

5. การประยุกต์ใช้กากตะกอนเพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีจากผลการทดลองนี้ จำเป็นต้องคำนึงถึงที่มาของกากตะกอน ชนิดและคุณสมบัติของดิน พื้นที่ทำการทดลอง และพันธุ์ถั่วเหลืองร่วม

ด้วย เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในกากตะกอนจะผันแปรไปตามชนิด และปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัด รวมทั้งขนาด และกิจกรรมการใช้น้ำของประชาชนในพื้นที่นั้น ๆ

6. กากตะกอนสามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารในการปลูกพืชได้ แต่ต้องใช้ในปริมาณหรืออัตราส่วนที่เหมาะสม เนื่องจาก อาจเกิดการตกค้างของโลหะหนักในผลผลิตของพืชได้ ทำให้ผลผลิตที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ปลอดภัยสำหรับการนำไปบริโภค ดังนั้น จึงไม่ควรนำกากตะกอนไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับปลูกพืชเพื่อการบริโภค แต่อาจนำไปประยุกต์ใช้ในการปลูกพืชชนิดอื่น อาทิ ไม้ดอก ไม้ประดับต่าง ๆ เป็นต้น

7. ควรมีการปรับสภาพดินให้มีค่า pH เป็นกลางก่อนการปลูก เพื่อป้องกันการละลายและสะสมของโลหะหนักในดิน จนก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช และต่อเนื่องตามห่วงโซ่อาหารมาถึงมนุษย์ได้

8. ควรมีการทำการทดลองโดยใช้กากตะกอนปลูกพืชชนิดอื่นที่มีความนิยมปลูกในท้องถิ่น เช่น ถั่วฝักยาว พริก แตงกวา มะนาว รวมทั้งไม้ผลต่าง ๆ เป็นต้น รวมทั้งอาจมีการปลูกพืชชนิดเดียวกันในกากตะกอนเดิมอีก เพื่อจะได้ทราบถึงลักษณะสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหาร และการสะสมของโลหะหนักเมื่อมีการปลูกพืชหลาย ๆ รอบ

9. ควรมีการทดลองผสมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับดินชนิดอื่น ๆ ในจังหวัดระยอง เพื่อเป็นการขยายผลการนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น รวมทั้งศึกษาถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์เพื่อทดแทนปุ๋ยเคมี

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ตารางที่ ก. 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของจำนวนวันของการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (V_1 - V_4) ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	86.00	17.200	25.800	2.77	4.25
Ex. Error	18	12.00	0.667			
Total	23	98.00	4.126			

GRAND MEAN = 27.5
CV = 2.97 %
LSD .05 = 1.213013
LSD .01 = 1.661614

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = V_stage
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.66666669
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.40824831

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		31	A
T3		28	B
T2		28	B
T0		27	BC
T5		26	CD
T1		25	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		31	A
T3		28	B
T2		28	B
T0		27	BC
T5		26	CD
T1		25	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของจำนวนวันของการเจริญเติบโตทางการแพร่ขยายพันธุ์ (R_1 - R_6) ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	249.00	58.800	88.200	2.77	4.25
Ex. Error	18	12.00	0.667			
Total	23	306.00	13.304			

GRAND MEAN = 85.5
CV = 0.95 %
LSD .05 = 1.213013
LSD .01 = 1.661614

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = R_stage
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.66666669
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.40824831

RANK AT PROBABILITY LEVEL .01

NAME	ID	MEAN	
T4		92	A
T3		87	B
T2		86	B
T0		84	C
T5		83	C
T1		81	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

RANK AT PROBABILITY LEVEL .05

NAME	ID	MEAN	
T4		92	A
T3		87	B
T2		86	B
T0		84	C
T5		83	C
T1		81	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ภ. 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของจำนวนข้อต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R_8 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	40.375	8.075	4.010	2.77	4.25
Ex Error	18	32.250	2.014			
Total	23	76.625	3.332			

GRAND MEAN = 13.125
CV = 10.81 %
LSD .05 = 2.108283
LSD .01 = 2.887976

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = n_node
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 2.01388884
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.70955777

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		15	A
T5		14.5	AB
T2		13.25	AB
T3		12.75	AB
T0		11.75	B
T4		11.5	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		15	A
T5		14.5	A
T2		13.25	AB
T3		12.75	AB
T0		11.75	B
T4		11.5	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสูงต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R_8 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	239.675	479.135	17.661	2.77	4.25
Ex. Error	18	488.324	27.129			
Total	23	2884.000	125.391			

GRAND MEAN = 61.65000000000001
CV = 8.45 %
LSD .05 = 7.738
LSD .01 = 10.5997

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = height
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 27.12909889
STANDARD ERROR OF MEAN = 2.60427999

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		78.95	A
T5		68.45	AB
T2		63.825	BC
T3		55.45	CD
T0		53.7	CD
T4		49.525	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		78.95	A
T5		68.45	B
T2		63.825	B
T3		55.45	C
T0		53.7	C
T4		49.525	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของพื้นที่ใบต่อสองต้นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R_1 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	683.46.827	13669.365	12.739	2.77	4.25
Ex. Error	18	19314.043	1073.002			
Total	23	87660.870	3811.342			

GRAND MEAN = 140.9958333333334
CV = 23.23 %
LSD .05 = 48.6644
LSD .01 = 66.66166

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = area_R1
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 1073.00231934
STANDARD ERROR OF MEAN = 16.37835693

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		215.8	A
T2		186.375	AB
T3		154.55	ABC
T5		131.25	BC
T0		106.075	CD
T4		51.925	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		215.8	A
T2		186.375	AB
T3		154.55	BC
T5		131.25	C
T0		106.075	C
T4		51.925	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของพื้นที่ใบต่อสองต้นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R_3 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	49347.072	9869.414	3.404	2.77	4.25
Ex. Error	18	52189.637	2899.424			
Total	23	101536.710	4414.640			

GRAND MEAN = 173.4708333333333
CV = 31.04 %
LSD .05 = 79.99576
LSD .01 = 109.5801

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = area_R3
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 2899.42431641
STANDARD ERROR OF MEAN = 26.92315102

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		228.1	A
T5		211.275	A
T2		194.6	AB
T3		159.55	AB
T0		157.7	AB
T4		89.6	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		228.1	A
T5		211.275	A
T2		194.6	AB
T3		159.55	AB
T0		157.7	AB
T4		89.6	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของพื้นที่ใบต่อสองต้นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R_5 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	308687.807	61737.561	2.071	2.77	4.25
Ex. Error	18	536491.811	29805.101			
Total	23	845179.680	36746.943			

GRAND MEAN = 414.6791666666666
CV = 41.63 %
LSD .05 = 256.4817
LSD .01 = 351.3347

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = area_R5
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = %29805.09960938
STANDARD ERROR OF MEAN = 86.3277026

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		623.6	A
T5		448.4	A
T2		421.875	A
T3		399.125	A
T0		345.75	A
T4		249.325	A

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		623.6	A
T5		448.4	AB
T2		421.875	AB
T3		399.125	AB
T0		345.75	AB
T4		249.325	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของน้ำหนักแห้งของฝักต่อต้นในระยะ R_3 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	0.001	0.000	4.067	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.001	0.000			
Total	23	0.002	0.000			

GRAND MEAN = 2.5416666666666668D-02
CV = 31.10 %
LSD .05 = 1.174494E-02
LSD .01 = .160885

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = wtpod_R3
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00006250
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.00395285

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		.035	A
T5		.0325	AB
T2		.0275	AB
T3		.025	AB
T0		.0175	AB
T4		.015	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		.035	A
T5		.0325	A
T2		.0275	AB
T3		.025	AB
T0		.0175	B
T4		.015	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของน้ำหนักแห้งของฝักต่อต้นในระยะ R_5 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	3.069	0.614	7.580	2.77	4.25
Ex. Error	18	1.458	0.081			
Total	23	4.526	0.197			

GRAND MEAN	=	.8124999999999997
CV	=	35.02 %
LSD .05	=	.4227457
LSD .01	=	.5790871

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION	=	wtpod_R5
NUMBER OF MEANS	=	6
ERROR DEGREE OF FREEDOM	=	18
ERROR MEAN SQUARE	=	0.08097225
STANDARD ERROR OF MEAN	=	0.14227812

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		1.5	A
T5		.975	AB
T2		.775	B
T3		.675	B
T0		.575	B
T4		.375	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		1.5	A
T5		.975	B
T2		.775	BC
T3		.675	BC
T0		.575	BC
T4		.375	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของน้ำหนักแห้งของฝักต่อต้นในระยะ R_6 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	192.793	38.559	12.531	2.77	4.25
Ex. Error	18	55.385	3.077			
Total	23	248.178	10.790			

GRAND MEAN = 6.691666666666669
CV = 26.21 %
LSD .05 = 2.605979
LSD .01 = 3.569732

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = wtpod_R6
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 3.07694459
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.87706107

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		12.025	A
T5		7.925	B
T2		7.275	BC
T3		4.925	BC
T0		4.375	BC
T4		3.625	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		12.025	A
T5		7.925	B
T2		7.275	BC
T3		4.925	CD
T0		4.375	D
T4		3.625	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของน้ำหนักแห้งของฝักต่อต้นในระยะ R_7 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	138.634	27.727	8.231	2.77	4.25
Ex. Error	18	60.633	3.368			
Total	23	199.266	8.664			

GRAND MEAN	=	7.487500000000001
CV	=	24.51 %
LSD .05	=	2.726639
LSD .01	=	3.735015

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION	=	wtpod_R7
NUMBER OF MEANS	=	6
ERROR DEGREE OF FREEDOM	=	18
ERROR MEAN SQUARE	=	3.36847258
STANDARD ERROR OF MEAN	=	0.91766995

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		12.1	A
T5		8.35	B
T2		7.675	B
T3		6.525	B
T0		5.7	B
T4		4.575	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		12.1	A
T5		8.35	B
T2		7.675	B
T3		6.525	BC
T0		5.7	BC
T4		4.575	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของน้ำหนักแห้งของฝักต่อต้นในระยะ R_8 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	320.637	64.127	16.123	2.77	4.25
Ex. Error	18	71.593	3.977			
Total	23	392.230	17.053			

GRAND MEAN = 9.295833333333336
CV = 21.45 %
LSD .05 = 2.962843
LSD .01 = 4.058573

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = wtpod_R8
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 3.97736287
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.99716634

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		15.85	A
T5		11.75	B
T2		9.25	BC
T3		7.425	CD
T0		6.875	CD
T4		4.625	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		15.85	A
T5		11.75	B
T2		9.25	BC
T3		7.425	CD
T0		6.875	CD
T4		4.625	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของน้ำหนักแห้งทั้งต้นในระยะ R_1 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	9.940	1.988	35.784	2.77	4.25
Ex. Error	18	1.000	0.056			
Total	23	10.940	0.476			

GRAND MEAN = 1.7
CV = 13.86 %
LSD .05 = .3501665
LSD .01 = .4796665

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = wtail_R1
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.05555551
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.11785109

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		2.875	A
T2		2.15	B
T3		1.5	C
T5		1.425	C
T0		1.375	C
T4		.875	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		2.875	A
T2		2.15	B
T3		1.5	C
T5		1.425	C
T0		1.375	C
T4		.875	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของน้ำหนักแห้งทั้งต้นในระยะ R_3 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	8.800	1.760	7.960	2.77	4.25
Ex. Error	18	3.980	0.221			
Total	23	12.780	0.556			

GRAND MEAN = 1.84425
CV = 25.50 %
LSD .05 = .6985638
LSD .01 = .9569094

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST
PROMBLE IDENTIFICATION = wtall_R3
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.22110067
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.23510672

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		2.97825	A
T5		2.05375	AB
T2		1.9025	BC
T3		1.57675	BC
T0		1.55275	BC
T4		1.0015	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		2.97825	A
T5		2.05375	B
T2		1.9025	B
T3		1.57675	BC
T0		1.55275	BC
T4		1.0015	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของน้ำหนักแห้งทั้งต้นในระยะ R_5 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	68.177	13.635	7.231	2.77	4.25
Ex. Error	18	33.943	1.886			
Total	23	102.120	4.440			

GRAND MEAN	=	5.545833333333333
CV	=	24.76 %
LSD .05	=	2.040078
LSD .01	=	2.794548

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION	=	wtall_R5
NUMBER OF MEANS	=	6
ERROR DEGREE OF FREEDOM	=	18
ERROR MEAN SQUARE	=	1.88569522
STANDARD ERROR OF MEAN	=	0.68660307

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		8.975	A
T5		6	B
T2		5.2	B
T3		5.025	B
T0		4.3	B
T4		3.775	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		8.975	A
T5		6	B
T2		5.2	B
T3		5.025	B
T0		4.3	B
T4		3.775	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของน้ำหนักแห้งทั้งต้นในระยะ R_6 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10,15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	247.823	49.565	6.365	2.77	4.25
Ex. Error	18	140.175	7.788			
Total	23	387.998	16.869			

GRAND MEAN	=	12.80833333333334
CV	=	21.79 %
LSD .05	=	4.145817
LSD .01	=	5.67904

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION	=	wtall_R6
NUMBER OF MEANS	=	6
ERROR DEGREE OF FREEDOM	=	18
ERROR MEAN SQUARE	=	7.78750324
STANDARD ERROR OF MEAN	=	1.39530492

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		18.6	A
T5		14.725	AB
T2		12.65	AB
T3		11.925	B
T0		10.4	B
T4		8.55	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		18.6	A
T5		14.725	AB
T2		12.65	BC
T3		11.925	BC
T0		10.4	BC
T4		8.55	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของน้ำหนักแห้งทั้งต้นในระยะ R_7 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	218.787	43.757	7.005	2.77	4.25
Ex. Error	18	112.442	6.247			
Total	23	331.230	14.401			

GRAND MEAN	=	11.49583333333333
CV	=	21.74 %
LSD .05	=	3.713128
LSD .01	=	5.086331

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION	=	wtall_R7
NUMBER OF MEANS	=	6
ERROR DEGREE OF FREEDOM	=	18
ERROR MEAN SQUARE	=	6.24680138
STANDARD ERROR OF MEAN	=	1.24968004

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		17.475	A
T5		11.9	B
T2		11.325	B
T3		11.2	B
T0		9.3	B
T4		7.775	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		17.475	A
T5		11.9	B
T2		11.325	BC
T3		11.2	BC
T0		9.3	BC
T4		7.775	BC

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของน้ำหนักแห้งทั้งต้นในระยะ R_8 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	466.088	93.218	16.191	2.77	4.25
Ex. Error	18	103.630	5.757			
Total	23	569.718	24.770			

GRAND MEAN	=	11.29166666666666
CV	=	21.25 %
LSD .05	=	3.564656
LSD .01	=	4.88295

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION	=	wtall_R8
NUMBER OF MEANS	=	6
ERROR DEGREE OF FREEDOM	=	18
ERROR MEAN SQUARE	=	5.75722313
STANDARD ERROR OF MEAN	=	1.19971073

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		19.35	A
T5		14.075	B
T2		11.225	BC
T3		8.875	CD
T0		8.35	CD
T4		5.875	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		19.35	A
T5		14.075	B
T2		11.225	BC
T3		8.875	CD
T0		8.35	CD
T4		5.875	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของผลผลิตต่อกระถางของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	3478.416	695.683	%10508351.000	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.001	0.000			
Total	23	3478.418	151.236			

GRAND MEAN = 29.33999999999999
CV = 0.03 %
LSD .05 = 1.208786E-02
LSD .01 = 1.655824E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = product
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00006620
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.00406826

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		49.2	A
T5		41.43	B
T2		27.64	C
T3		22.34	D
T0		19.565	E
T4		15.865	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		49.2	A
T5		41.43	B
T2		27.64	C
T3		22.34	D
T0		19.565	E
T4		15.865	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของจำนวนฝักต่อต้นของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R_8 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	1207.375	241.475	4.235	2.77	4.25
Ex. Error	18	1026.250	57.014			
Total	23	2233.625	97.114			

GRAND MEAN = 31.625
CV = 23.88 %
LSD .05 = 11.21764
LSD .01 = 15.36619

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST
PROMBLE IDENTIFICATION = no_podR8
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 57.01388931
STANDARD ERROR OF MEAN = 3.77537704

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T5		41.25	A
T1		40.25	A
T2		32	AB
T3		28	AB
T0		26.25	AB
T4		22	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T5		41.25	A
T1		40.25	A
T2		32	AB
T3		28	B
T0		26.25	B
T4		22	B

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของจำนวนเมล็ดต่อฝักของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R_8 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	0.350	0.070	1.257	2.77	4.25
Ex. Error	18	1.003	0.056			
Total	23	1.353	0.059			

GRAND MEAN = 1.7204166666666667
CV = 13.72 %
LSD .05 = .3507311
LSD .01 = .4804398

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = no_seed
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.05573479
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.11804108

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		1.8975	A
T5		1.86	A
T2		1.7	A
T3		1.69	A
T0		1.5925	A
T4		1.5825	A

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		1.8975	A
T5		1.86	A
T2		1.7	A
T3		1.69	A
T0		1.5925	A
T4		1.5825	A

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของน้ำหนัก 100 เมล็ดของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R_8 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	62.048	12.410	%25517.660	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.009	0.000			
Total	23	62.057	2.698			

GRAND MEAN = 12.86833333333333
CV = 0.17 %
LSD .05 = 3.276202E-02
LSD .01 = .0448782

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = wt100sed
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00048632
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.01102630

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		16.1	A
T5		13.5	B
T2		12.7	C
T3		11.81	D
T0		11.7	E
T4		11.4	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		16.1	A
T5		13.5	B
T2		12.7	C
T3		11.81	D
T0		11.7	E
T4		11.4	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นในเมล็ดถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R_8 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	16.016	3.203	%13119.858	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.004	0.000			
Total	23	16.020	0.697			

GRAND MEAN = 5.933333333333334
CV = 0.26 %
LSD .05 = 2.321319E-02
LSD .01 = 3.179799E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = sed_MC
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00024414
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.00781257

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		7.18	A
T4		6.6	B
T3		6.13	C
T2		5.7	D
T5		5.27	E
T0		4.72	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		7.18	A
T4		6.6	B
T3		6.13	C
T2		5.7	D
T5		5.27	E
T0		4.72	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R_8 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10,15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	238.464	47.693	%32307.572	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.027	0.001			
Total	23	238.491	10.369			

GRAND MEAN = 34.06166666666667
CV = 0.11 %
LSD .05 = 5.708022E-02
LSD .01 = 7.818984E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST
PROMBLE IDENTIFICATION = sed_CP
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00147621
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.01921076

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		39.32	A
T5		36	B
T2		34.66	C
T3		32.74	D
T0		32.43	E
T4		29.22	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		39.32	A
T5		36	B
T2		34.66	C
T3		32.74	D
T0		32.43	E
T4		29.22	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไขมันในเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R_8 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	78.360	15.672	%123662.477	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.002	0.000			
Total	23	78.362	3.407			

GRAND MEAN = 13.17791666666667
CV = 0.09 %
LSD .05 = 1.672456E-02
LSD .01 = 0.229097

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = sed_EE
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00012673
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.00562877

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T1		15.12	A
T5		14.88	B
T2		14.07	C
T3		12.7475	D
T4		12.45	E
T0		9.8	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T1		15.12	A
T5		14.88	B
T2		14.07	C
T3		12.7475	D
T4		12.45	E
T0		9.8	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเยื่อใยในเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R_8 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	8.606	1.721	%15500.697	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.002	0.000			
Total	23	8.608	0.374			

GRAND MEAN	=	6.010000000000001
CV	=	0.18 %
LSD .05	=	1.565529E-02
LSD .01	=	2.144499E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION	=	sed_CF
NUMBER OF MEANS	=	6
ERROR DEGREE OF FREEDOM	=	18
ERROR MEAN SQUARE	=	0.00011105
STANDARD ERROR OF MEAN	=	0.00526890

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T0		7.02	A
T4		6.16	B
T3		6.12	C
T2		5.95	D
T5		5.83	E
T1		4.98	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T0		7.02	A
T4		6.16	B
T3		6.12	C
T2		5.95	D
T5		5.83	E
T1		4.98	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณเถ้าในเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะ R_8 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	2.048	0.410	5267.540	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.001	0.000			
Total	23	2.049	0.089			

GRAND MEAN = 1.335
CV = 0.66 %
LSD .05 = 1.309984E-02
LSD .01 = 1.794447E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = sed_Ash
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00007775
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.00440885

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T0		1.81	A
T4		1.51	B
T3		1.4	C
T2		1.31	D
T5		1.07	E
T1		.91	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T0		1.81	A
T4		1.51	B
T3		1.4	C
T2		1.31	D
T5		1.07	E
T1		.91	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณตะกั่วในดินก่อนการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	3.333	0.667	819.471	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.015	0.001			
Total	23	3.348	0.146			

GRAND MEAN = 29.11666666666667
CV = 0.10 %
LSD .05 = 4.237391E-02
LSD .01 = .580448

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = be_sPb
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00081353
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.01426125

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		29.7	A
T3		29.45	B
T2		29.2	C
T1		28.95	D
T5		28.7	E
T0		28.7	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		29.7	A
T3		29.45	B
T2		29.2	C
T1		28.95	D
T5		28.7	E
T0		28.7	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณตะกั่วในดินหลังการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	29.013	5.803	9863.801	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.011	0.001			
Total	23	29.024	1.262			

GRAND MEAN = 8.633333333333331
CV = 0.28 %
LSD .05 = 3.603319E-02
LSD .01 = 4.935913E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST
PROMBLE IDENTIFICATION = af_sPb
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00058828
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.01212723

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		10	A
T3		10	A
T2		8.6	B
T1		8.3	C
T5		8	D
T0		6.9	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		10	A
T3		10	A
T2		8.6	B
T1		8.3	C
T5		8	D
T0		6.9	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแคดเมียมในดินก่อนการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	0.388	0.078	124.623	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.011	0.001			
Total	23	0.399	0.017			

GRAND MEAN = 1.743333333333333
CV = 1.43 %
LSD .05 = 3.705895E-02
LSD .01 = 5.076424E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = be_sCd
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00062225
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.01247246

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		1.94	A
T3		1.86	B
T2		1.77	C
T1		1.69	D
T5		1.6	E
T0		1.6	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		1.94	A
T3		1.86	B
T2		1.77	C
T1		1.69	D
T5		1.6	E
T0		1.6	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแคดเมียมในดินหลังการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	0.133	0.027	160.000	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.003	0.000			
Total	23	0.136	0.006			

GRAND MEAN = 6.666666666666667D-02
CV = 19.36 %
LSD .05 = 1.917941E-02
LSD .01 = 2.627242E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = af_sCd
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00016667
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.00645497

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		.2	A
T3		.1	B
T2		.1	B
T1		0	C
T5		0	C
T0		0	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		.2	A
T3		.1	B
T2		.1	B
T1		0	C
T5		0	C
T0		0	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณปรอทในดินก่อนการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	14.742	2.948	6655.436	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.008	0.000			
Total	23	14.750	0.641			

GRAND MEAN	=	30.97500000000001
CV	=	0.07 %
LSD .05	=	3.126936E-02
LSD .01	=	4.283351E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION	=	be_sHg
NUMBER OF MEANS	=	6
ERROR DEGREE OF FREEDOM	=	18
ERROR MEAN SQUARE	=	0.00044301
STANDARD ERROR OF MEAN	=	0.01052393

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		32.2	A
T3		31.68	B
T2		31.15	C
T1		30.62	D
T5		30.1	E
T0		30.1	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		32.2	A
T3		31.68	B
T2		31.15	C
T1		30.62	D
T5		30.1	E
T0		30.1	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณปรอทในดินหลังการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	39.093	7.819	%19624.789	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.007	0.000			
Total	23	39.101	1.700			

GRAND MEAN = 20.53333333333333
CV = 0.10 %
LSD .05 = 2.965343E-02
LSD .01 = 4.061997E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST
PROMBLE IDENTIFICATION = af_sHg
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00033841
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.00998008

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		22.7	A
T3		21.3	B
T2		20.8	C
T1		20.1	D
T5		19.6	E
T0		18.7	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		22.7	A
T3		21.3	B
T2		20.8	C
T1		20.1	D
T5		19.6	E
T0		18.7	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 34 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณตะกั่วในใบที่ระยะ R_5 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	591.393	118.279	%226997.453	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.009	0.001			
Total	23	591.403	25.713			

GRAND MEAN = 8.103333333333333
CV = 0.28 %
LSD .05 = 3.391203E-02
LSD .01 = 4.645351E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = lef_Pb
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00052106
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.01141334

RANK AT PROBABILITY LEVEL .01

NAME	ID	MEAN	
T4		15.6	A
T3		14.6	B
T2		5.2	C
T1		4.5	D
T5		4.4	E
T0		4.32	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

RANK AT PROBABILITY LEVEL .05

NAME	ID	MEAN	
T4		15.6	A
T3		14.6	B
T2		5.2	C
T1		4.5	D
T5		4.4	E
T0		4.32	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 35 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแคดเมียมในใบที่ระยะ R_5 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	4.568	0.914	2491.967	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.007	0.000			
Total	23	4.575	0.199			

GRAND MEAN = .7083333333333334
CV = 2.70 %
LSD .05 = 2.844683E-02
LSD .01 = 3.896714E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = lef_Cd
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00036664
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.00957399

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		1.3	A
T3		1.15	B
T2		.9	C
T1		.4	D
T5		.4	D
T0		.1	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		1.3	A
T3		1.15	B
T2		.9	C
T1		.4	D
T5		.4	D
T0		.1	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 36 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณปรอทในใบที่ระยะ R_5 ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	343.413	68.683	%195890.438	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.006	0.000			
Total	23	343.420	14.931			

GRAND MEAN = 15.46666666666667
CV = 0.12 %
LSD .05 = 2.781814E-02
LSD .01 = 3.810595E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = lef_Hg
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00035062
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.00936239

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		20.7	A
T3		19.8	B
T2		16.1	C
T1		13.7	D
T5		11.8	E
T0		10.7	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		20.7	A
T3		19.8	B
T2		16.1	C
T1		13.7	D
T5		11.8	E
T0		10.7	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 37 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณตะกั่วในเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	1443.473	288.695	%779559.063	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.007	0.000			
Total	23	1443.480	62.760			

GRAND MEAN = 14.48333333333333
CV = 0.13 %
LSD .05 = 2.858946E-02
LSD .01 = 3.916252E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = sed_Pb
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00037033
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.00962199

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		30.7	A
T3		14.4	B
T2		13.9	C
T1		12.6	D
T5		8.2	E
T0		7.1	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		30.7	A
T3		14.4	B
T2		13.9	C
T1		12.6	D
T5		8.2	E
T0		7.1	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 38 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแคดเมียมในเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	1.760	0.352	1980.079	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.003	0.000			
Total	23	1.763	0.077			

GRAND MEAN = .6000000000000002
CV = 2.22 %
LSD .05 = 1.980802E-02
LSD .01 = .0271335

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST
PROMBLE IDENTIFICATION = sed_Cd
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00017777
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.00666653

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		.9	A
T3		.9	A
T2		.8	B
T1		.4	C
T5		.3	D
T0		.3	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		.9	A
T3		.9	A
T2		.8	B
T1		.4	C
T5		.3	D
T0		.3	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 39 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณปรอทในเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	413.600	82.720	%317727.844	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.005	0.000			
Total	23	413.605	17.983			

GRAND MEAN = 19.6
CV = 0.08 %
LSD .05 = 2.397114E-02
LSD .01 = 3.283624E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = sed_Hg
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00026035
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.00806766

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		26.7	A
T3		21.8	B
T2		20.9	C
T1		17.8	D
T5		16.7	E
T0		13.7	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		26.7	A
T3		21.8	B
T2		20.9	C
T1		17.8	D
T5		16.7	E
T0		13.7	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 40 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความนำไฟฟ้าในดินก่อนการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	216.599	43.320	4491.807	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.174	0.010			
Total	23	216.773	9.425			

GRAND MEAN = 3.66
CV = 2.68 %
LSD .05 = 1.458962
LSD .01 = .1998521

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = be_EC
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00964419
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.04910242

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		8.36	A
T3		6.35	B
T2		4.33	C
T1		2.32	D
T5		.3	E
T0		.3	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		8.36	A
T3		6.35	B
T2		4.33	C
T1		2.32	D
T5		.3	E
T0		.3	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 41 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความนำไฟฟ้าในดินหลังการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	32.791	6.558	103.816	2.77	4.25
Ex. Error	18	1.137	0.063			
Total	23	33.928	1.475			

GRAND MEAN = .9662500000000001
CV = 26.01 %
LSD .05 = .3733959
LSD .01 = .5114867

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = af_EC
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.06317090
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.12566911

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		3.4	A
T3		1.1	B
T2		1	B
T1		.1	C
T5		.1	C
T0		.0975	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		3.4	A
T3		1.1	B
T2		1	B
T1		.1	C
T5		.1	C
T0		.0975	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 42 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า pH ในดินก่อนการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	0.060	0.120	1.350	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.160	0.009			
Total	23	0.220	0.010			

GRAND MEAN = 5.350000000000001
CV = 1.76 %
LSD .05 = .1400761
LSD .01 = .1918796

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = be_pH
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00889008
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.04714362

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		5.4	A
T3		5.4	A
T2		5.4	A
T1		5.3	A
T5		5.3	A
T0		5.3	A

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		5.4	A
T3		5.4	A
T2		5.4	A
T1		5.3	A
T5		5.3	A
T0		5.3	A

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 43 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า pH ในดินหลังการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	6.433	1.287	115.802	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.200	0.011			
Total	23	6.633	0.288			

GRAND MEAN = 4.716666666666668
CV = 2.23 %
LSD .05 = .1565976
LSD .01 = .2145112

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = af_pH
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.01111088
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.05270407

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T5		5.3	A
T0		5.2	A
T1		5.1	A
T2		4.5	B
T3		4.3	B
T4		3.9	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T5		5.3	A
T0		5.2	AB
T1		5.1	B
T2		4.5	C
T3		4.3	D
T4		3.9	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 44 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนในดินก่อนการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	68.101	13.620	4557.127	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.054	0.003			
Total	23	68.155	2.963			

GRAND MEAN	=	2.83333333333333
CV	=	2.39 %
LSD .05	=	8.121913E-02
LSD .01	=	.1112559

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION	=	be_N
NUMBER OF MEANS	=	6
ERROR DEGREE OF FREEDOM	=	18
ERROR MEAN SQUARE	=	0.00298878
STANDARD ERROR OF MEAN	=	0.02733489

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		4.92	A
T3		3.79	B
T2		2.66	C
T1		1.53	D
T5		.4	E
T0		.4	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		4.92	A
T3		3.79	B
T2		2.66	C
T1		1.53	D
T5		.4	E
T0		.4	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ภ. 45 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนในดินหลังการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	1.073	0.215	47.704	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.081	0.005			
Total	23	1.154	0.050			

GRAND MEAN = .6166666666666666
CV = 10.88 %
LSD .05 = 9.965919E-02
LSD .01 = .1365155

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = af_N
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00450000
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.03354102

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		.9	A
T3		.9	A
T2		.6	B
T1		.5	BC
T5		.4	C
T0		.4	C

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		.9	A
T3		.9	A
T2		.6	B
T1		.5	C
T5		.4	D
T0		.4	D

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 46 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสในดินก่อนการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	714020.060	142804.012	%288089.000	2.77	4.25
Ex. Error	18	8.922	0.496			
Total	23	714029.040	31044.741			

GRAND MEAN	=	343.65
CV	=	0.20 %
LSD .05	=	1.045967
LSD .01	=	1.43279

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION	=	be_P
NUMBER OF MEANS	=	6
ERROR DEGREE OF FREEDOM	=	18
ERROR MEAN SQUARE	=	0.49569407
STANDARD ERROR OF MEAN	=	0.35202771

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		654	A
T3		409.9	B
T2		395.6	C
T1		297	D
T5		152.7	E
T0		152.7	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		654	A
T3		409.9	B
T2		395.6	C
T1		297	D
T5		152.7	E
T0		152.7	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 47 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสในดินหลังการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	122098.533	24419.707	%62189.941	2.77	4.25
Ex. Error	18	7.068	0.393			
Total	23	122105.593	5308.939			

GRAND MEAN	=	213.7333333333333
CV	=	0.29 %
LSD .05	=	.930939
LSD .01	=	1.275222

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION	=	af_P
NUMBER OF MEANS	=	6
ERROR DEGREE OF FREEDOM	=	18
ERROR MEAN SQUARE	=	0.39266330
STANDARD ERROR OF MEAN	=	0.31331426

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		318.7	A
T3		277.2	B
T2		235.7	C
T1		194.2	D
T5		131.2	E
T0		125.4	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		318.7	A
T3		277.2	B
T2		235.7	C
T1		194.2	D
T5		131.2	E
T0		125.4	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 48 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโปตัสเซียมในดินก่อนการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	3366817.153	673363.431	%12125756.000	2.77	4.25
Ex. Error	18	1.000	0.056			
Total	23	3366818.067	146383.394			

GRAND MEAN = 540.6166666666664
CV = 0.04 %
LSD .05 = .3500914
LSD .01 = .4795635

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = be_K
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.05553167
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.11782579

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		1127	A
T3		875.5	B
T2		624.3	C
T1		343.1	D
T5		121.9	E
T0		121.9	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		1127	A
T3		875.5	B
T2		624.3	C
T1		343.1	D
T5		121.9	E
T0		121.9	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 49 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโปตัสเซียมในดินหลังการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	5311.176	1062.235	%37185.277	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.514	0.029			
Total	23	5311.690	230.943			

GRAND MEAN = 39.67833333333333
CV = 0.43 %
LSD .05 = .2510937
LSD .01 = .3439542

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = af_K
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.02856601
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.08450741

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		71.73	A
T3		39.11	B
T2		37.32	C
T1		32.78	D
T5		28.58	E
T0		28.55	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		71.73	A
T3		39.11	B
T2		37.32	C
T1		32.78	D
T5		28.58	E
T0		28.55	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 50 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแคลเซียมในดินก่อนการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	4143118.133	828623.627	%617122.500	2.77	4.25
Ex. Error	18	24.169	1.343			
Total	23	4143142.293	180136.621			

GRAND MEAN = 776.9666666666666
CV = 0.15 %
LSD .05 = 1.721488
LSD .01 = 2.358135

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = be_Ca
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 1.34272146
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.57937932

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		1427	A
T3		1149	B
T2		869.9	C
T1		591.1	D
T5		312.4	E
T0		312.4	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		1427	A
T3		1149	B
T2		869.9	C
T1		591.1	D
T5		312.4	E
T0		312.4	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 51 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแคลเซียมในดินหลังการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	126938.993	25387.799	%2161871.500	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.211	0.012			
Total	23	126939.173	5519.094			

GRAND MEAN = 331.5166666666667
CV = 0.03 %
LSD .05 = .1609936
LSD .01 = .2205329

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = af_Ca
NUMBER OF MEANS = 6
RROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.01174344
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.05418357

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		416.6	A
T3		416.5	A
T2		348.6	B
T1		317.4	C
T5		275.1	D
T0		214.9	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		416.6	A
T3		416.5	A
T2		348.6	B
T1		317.4	C
T5		275.1	D
T0		214.9	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 52 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแมกนีเซียมในดินก่อนการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	132076.319	26415.264	%4227608.500	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.112	0.006			
Total	23	132076.427	5742.453			

GRAND MEAN = 132.0108333333333
CV = 0.06 %
LSD .05 = .1174333
LSD .01 = .1608629

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = be_Mg
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00624828
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.03952302

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		248.1	A
T3		198.4	B
T2		148.6	C
T1		98.825	D
T5		49.07	E
T0		49.07	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		248.1	A
T3		198.4	B
T2		148.6	C
T1		98.825	D
T5		49.07	E
T0		49.07	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 53 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณแมกนีเซียมในดินหลังการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	3850.766	770.153	%889508.750	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.016	0.001			
Total	23	3850.781	167.425			

GRAND MEAN	=	44.76666666666667
CV	=	0.07 %
LSD .05	=	.0437144
LSD .01	=	.5.988103E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION	=	af_Mg
NUMBER OF MEANS	=	6
ERROR DEGREE OF FREEDOM	=	18
ERROR MEAN SQUARE	=	0.00086582
STANDARD ERROR OF MEAN	=	0.01471240

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		63.34	A
T3		55.02	B
T2		47.83	C
T1		43.63	E
T5		33.2	D
T0		25.58	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		63.34	A
T3		55.02	B
T2		47.83	C
T1		43.63	E
T5		33.2	D
T0		25.58	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 54 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณอินทรียวัตถุในดินก่อนการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	30.000	6.000	%14213.834	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.008	0.000			
Total	23	30.008	1.305			

GRAND MEAN = 2.02
CV = 1.02 %
LSD .05 = 3.052327E-02
LSD .01 = .0418115

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = be_Org
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00042212
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.01027283

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		3.77	A
T3		3.02	B
T2		2.27	C
T1		1.52	D
T5		.77	E
T0		.77	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		3.77	A
T3		3.02	B
T2		2.27	C
T1		1.52	D
T5		.77	E
T0		.77	E

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ตารางที่ ก. 55 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณอินทรียวัตถุในดินหลังการทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกโดยได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และปุ๋ยเคมี 10 กรัม

Source	df	SS	MS	F	F .05	F .01
Treatment	5	5.146	1.029	2438.031	2.77	4.25
Ex. Error	18	0.008	0.000			
Total	23	5.154	0.224			

GRAND MEAN = 1.14
CV = 1.80 %
LSD .05 = 3.052518E-02
LSD .01 = 4.181412E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

PROMBLE IDENTIFICATION = af_Org
NUMBER OF MEANS = 6
ERROR DEGREE OF FREEDOM = 18
ERROR MEAN SQUARE = 0.00042218
STANDARD ERROR OF MEAN = 0.01027347

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .01
T4		1.92	A
T3		1.41	B
T2		1.31	C
T1		.96	E
T5		.66	D
T0		.58	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

NAME	ID	MEAN	RANK AT PROBABILITY LEVEL .05
T4		1.92	A
T3		1.41	B
T2		1.31	C
T1		.96	E
T5		.66	D
T0		.58	F

MEANS NOT SHARING LETTER IN COMMON DIFFER SIGNIFICANTLY
BY DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST.

ภาคผนวก ข

คำนวณผลผลิตต่อกระถาง

คำนวณผลผลิตต่อกระถาง

ผลผลิต = ก * ข * ค * ง

ผลผลิต = น้ำหนักของเมล็ดต่อพื้นที่

ก = จำนวนต้นต่อพื้นที่

ข = จำนวนฝักต่อต้น

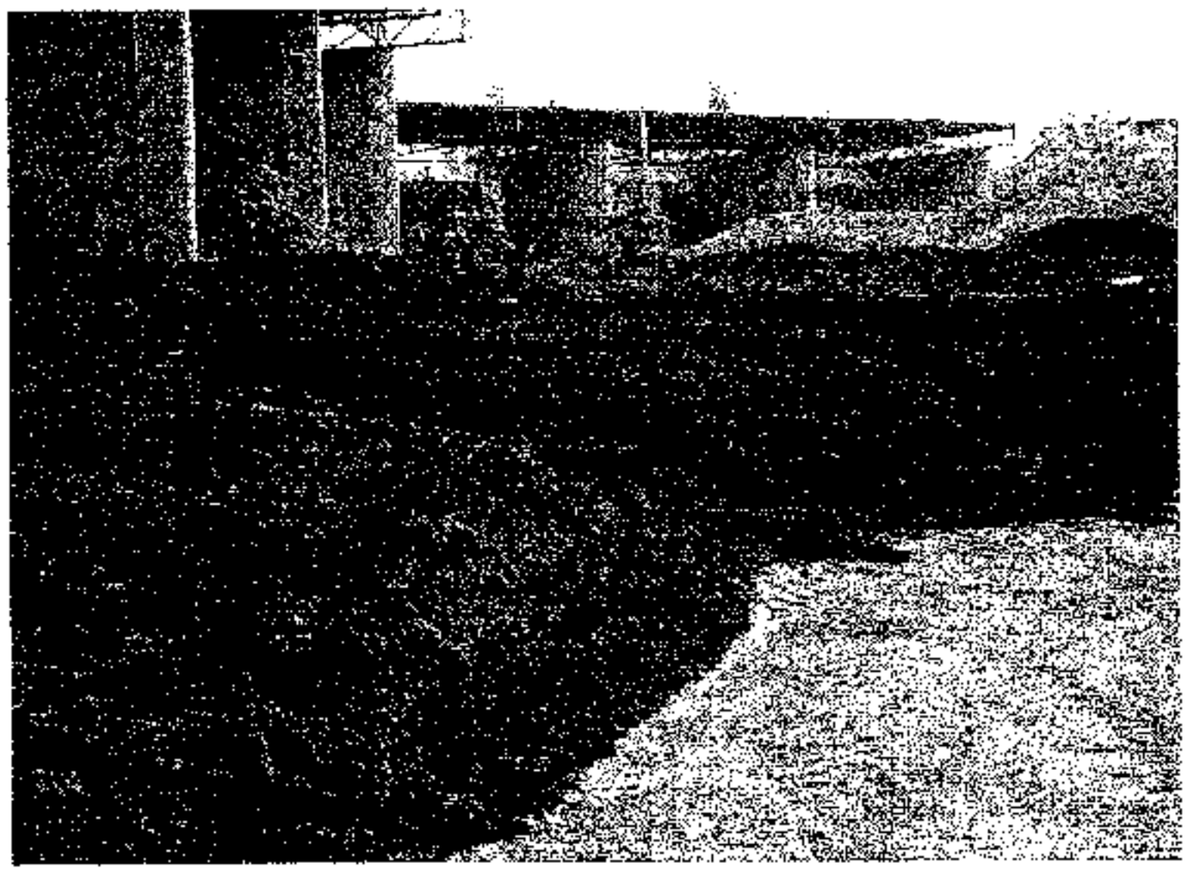
ค = จำนวนเมล็ดต่อฝัก

ง = น้ำหนักเมล็ด 1 เมล็ด

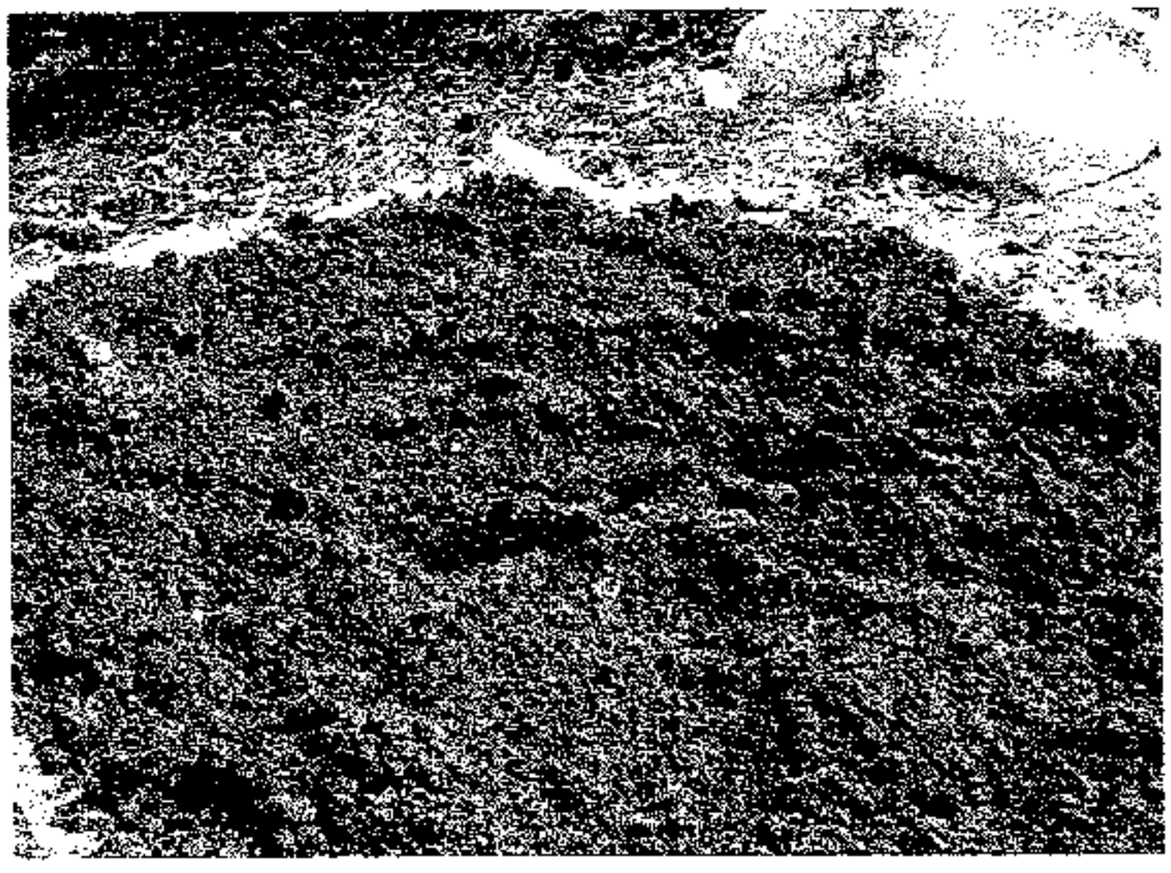
	จำนวนต้นต่อพื้นที่	**จำนวนฝักต่อต้น**	**จำนวนเมล็ดต่อฝัก**	**น้ำหนักเมล็ด 1 เมล็ด**	**ผลผลิตต่อกระถาง**
T_0	4	26.25	1.592	1.170	19.57
T_1	4	40.25	1.898	1.610	49.20
T_2	4	32.00	1.700	1.270	27.64
T_3	4	28.00	1.690	1.181	22.34
T_4	4	22.00	1.582	1.140	15.87
T_5	4	41.25	1.860	1.350	41.43

ภาคผนวก ค

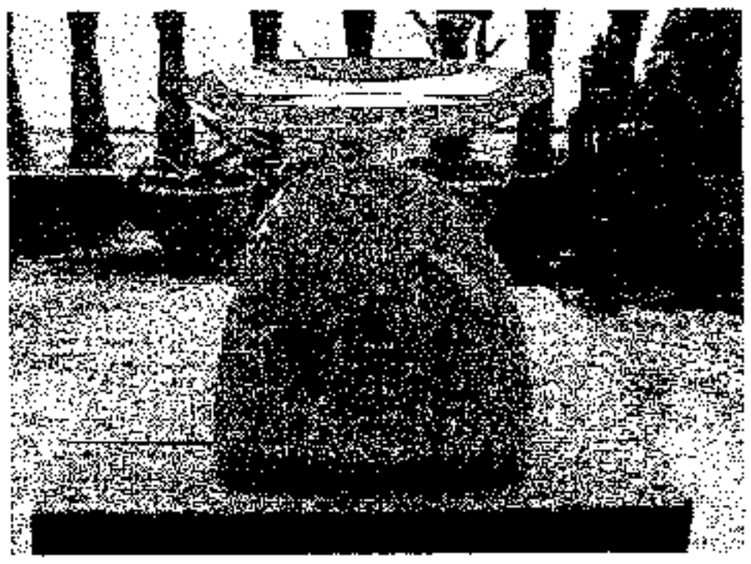
ภาพวัสดุ อุปกรณ์ และการปลูก

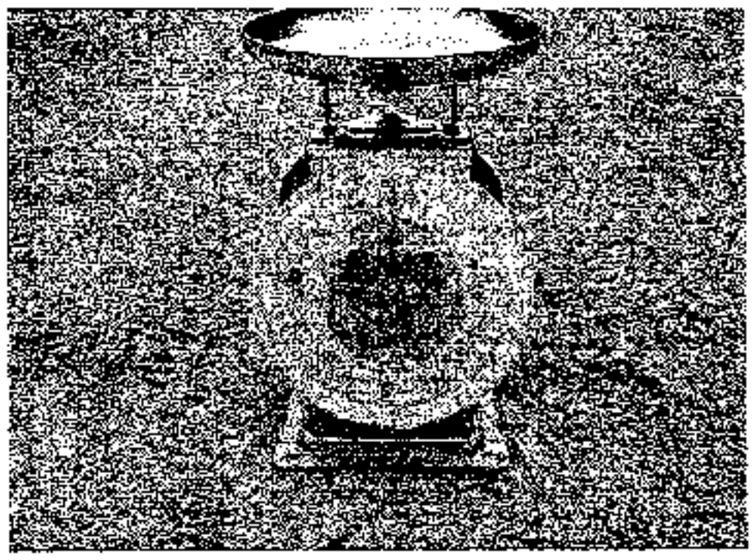


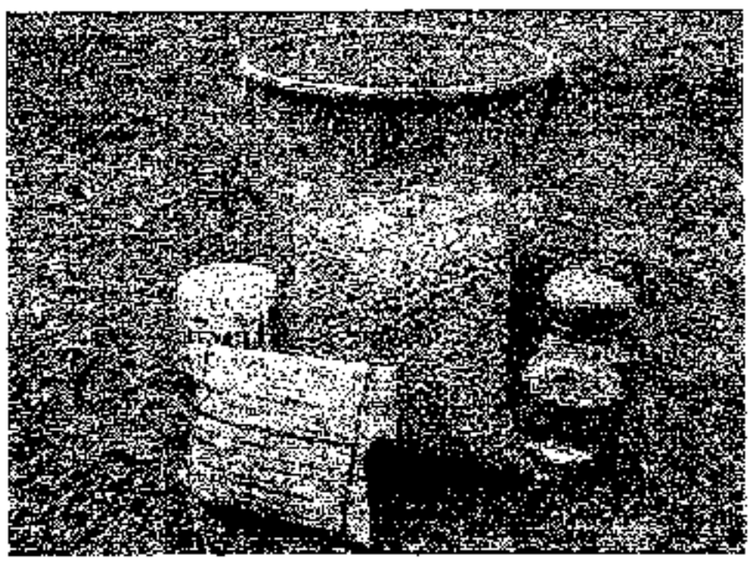
ภาพที่ ค. 1 กากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียเมืองพัทยา ซอยวัดหนองใหญ่ ตำบลหนองปรือ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี

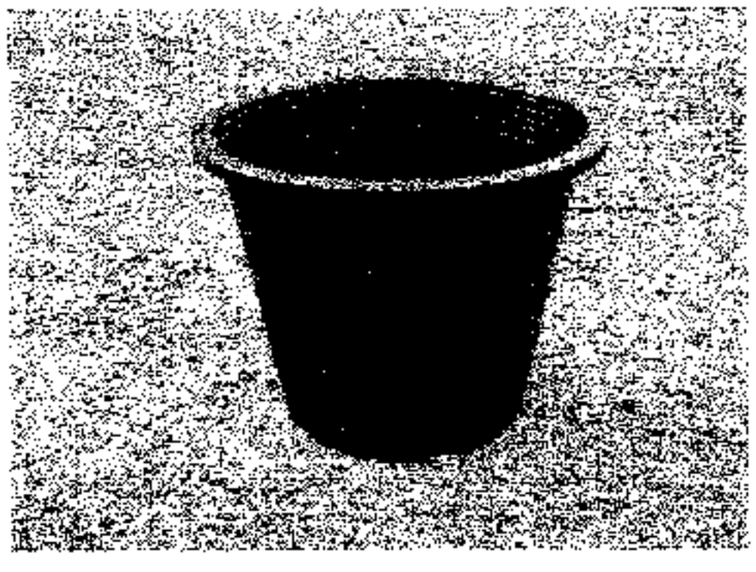


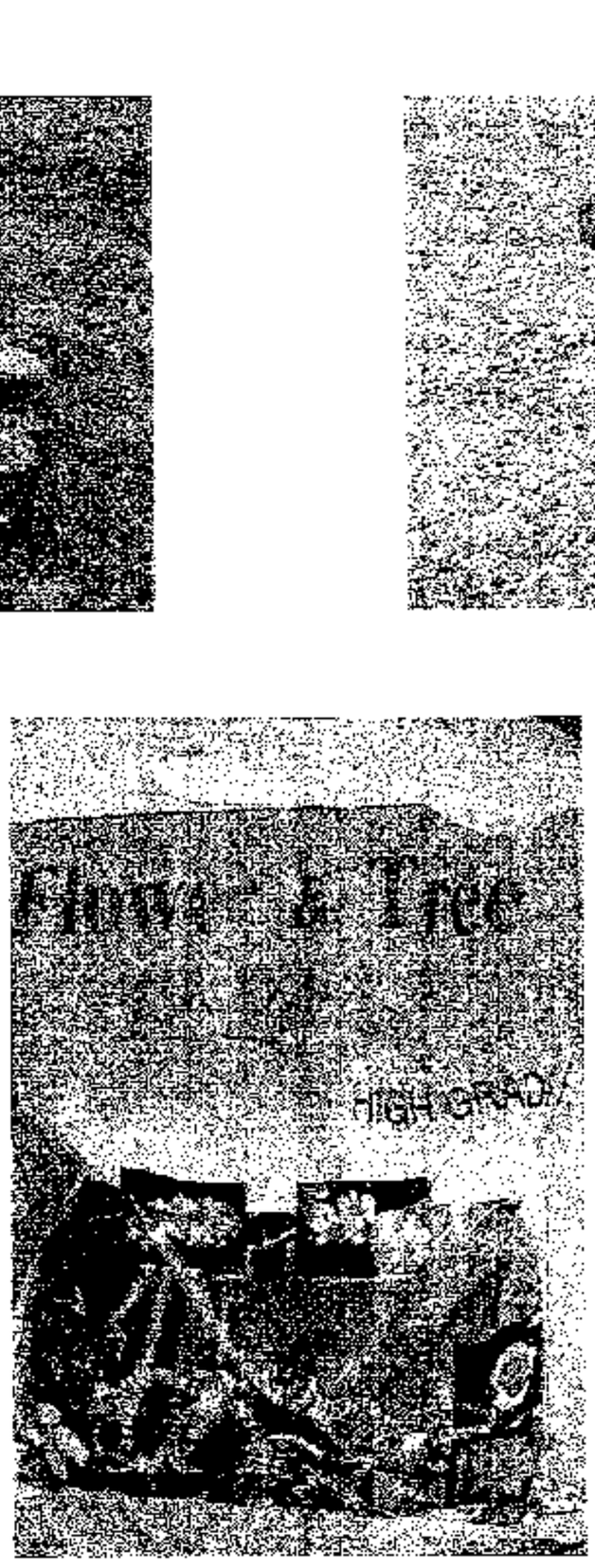
ภาพที่ ค. 2 กากตะกอนที่ใช้ในการทดลองหลังจากตากแดดประมาณ 7 วัน



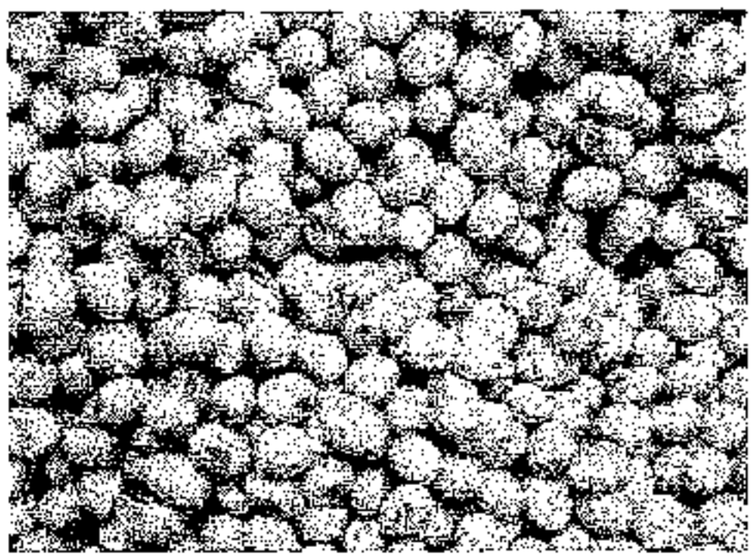




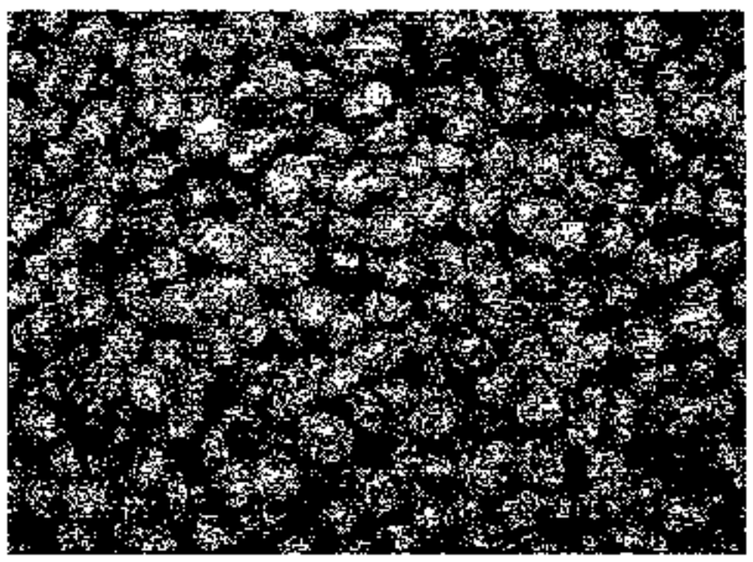




ภาพที่ ค. 3 ตัวอย่างวัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

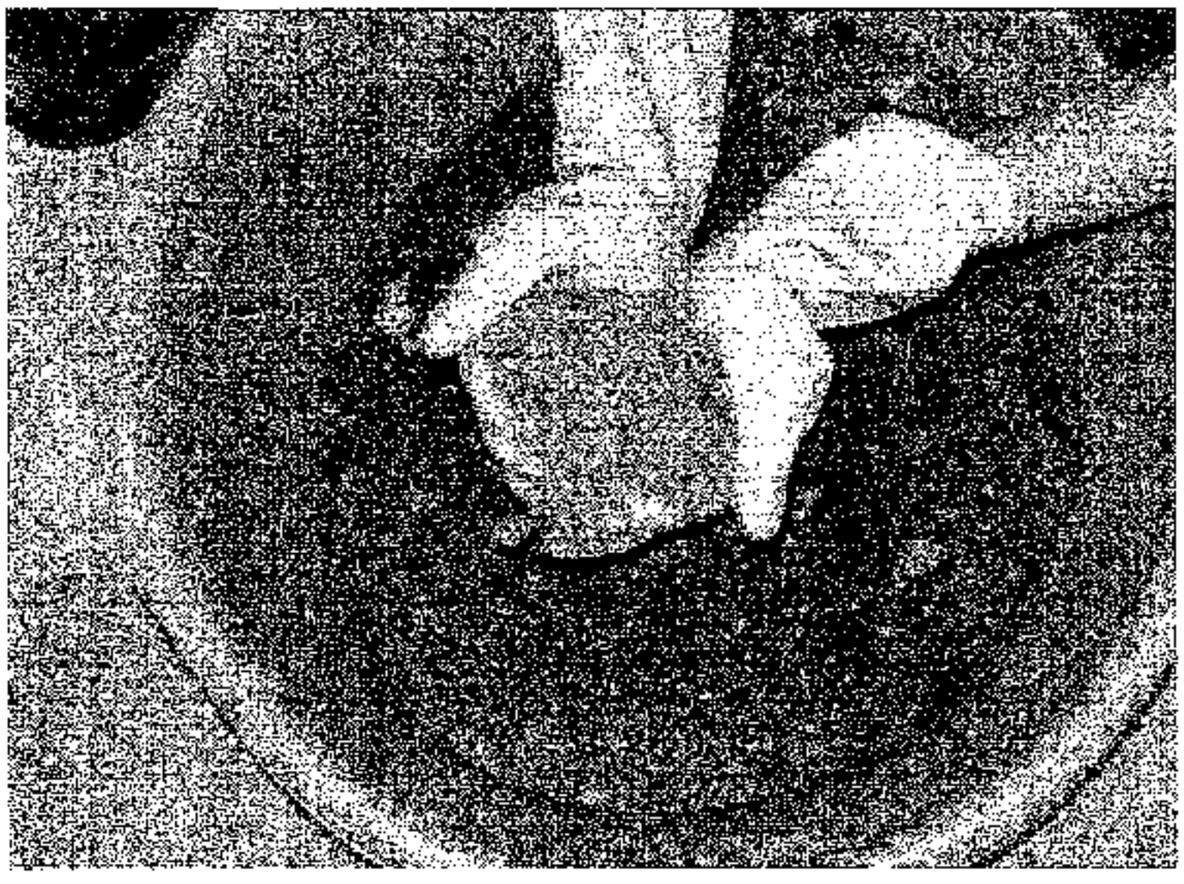


ไม่คลุกเชื้อไรโซเบียม

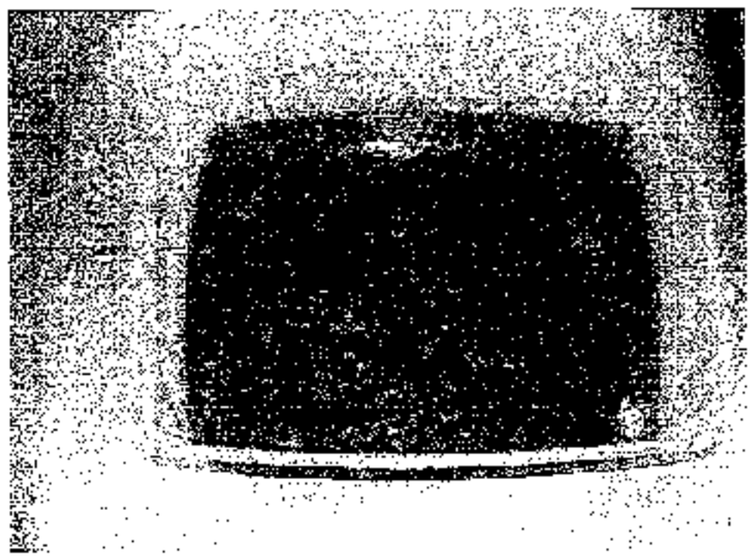


คลุกเชื้อไรโซเบียม

ภาพที่ ค. 4 เปรียบเทียบเมล็ดถั่วเหลืองก่อนและหลังคลุกเชื้อไรโซเบียม

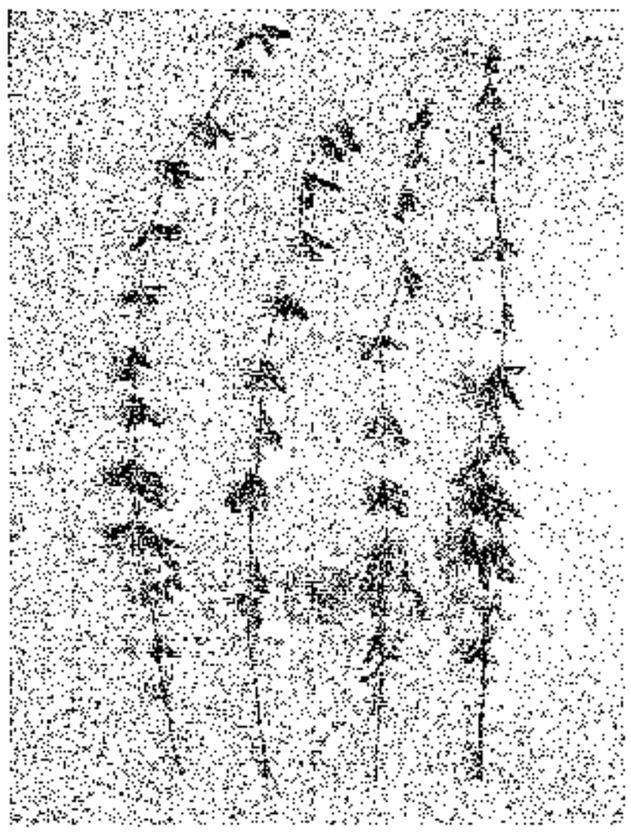


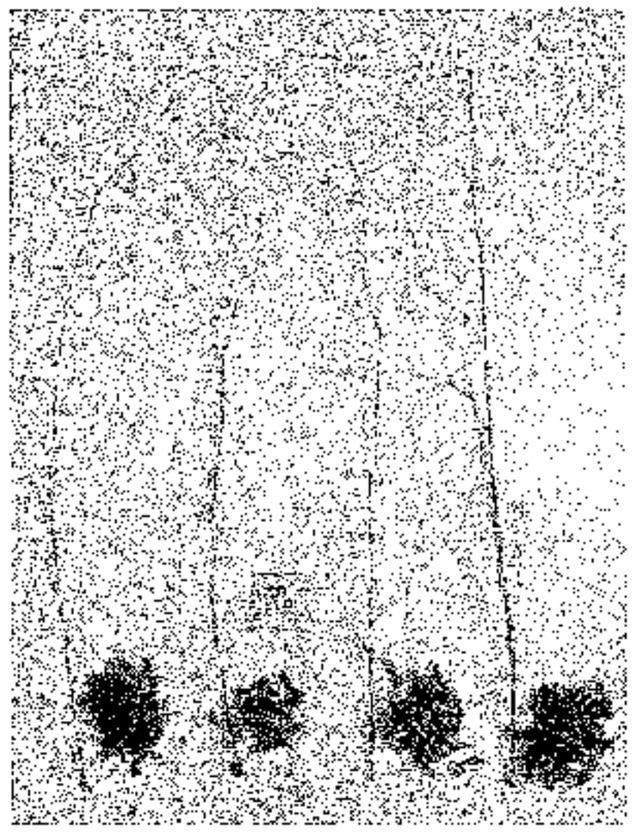
ภาพที่ ค. 5 ดินผสมกากตะกอนหลังจากการชั่งน้ำหนัก

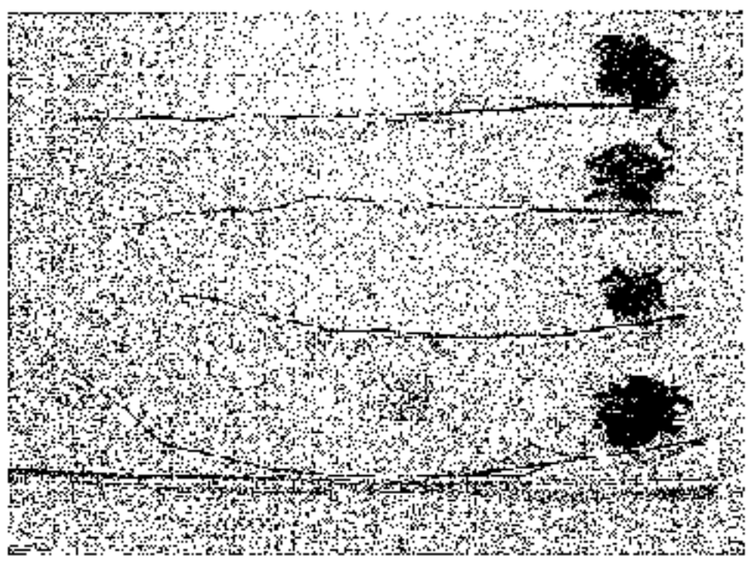


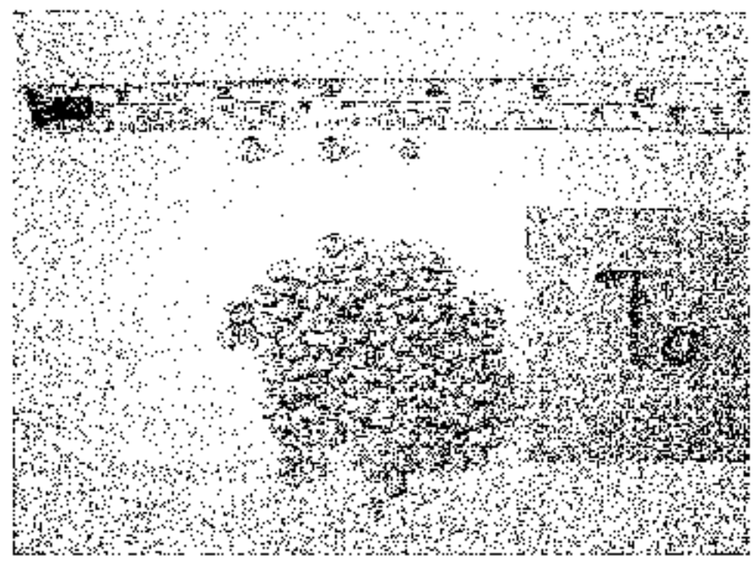
ภาพที่ ค. 6 การป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช โดยใช้ยาฉุนผสมน้ำ ฉีดพ่นเมื่อปรากฏว่ามีแมลงหรือหนอน

ภาคผนวก ง
การเก็บข้อมูลวันเก็บเกี่ยว

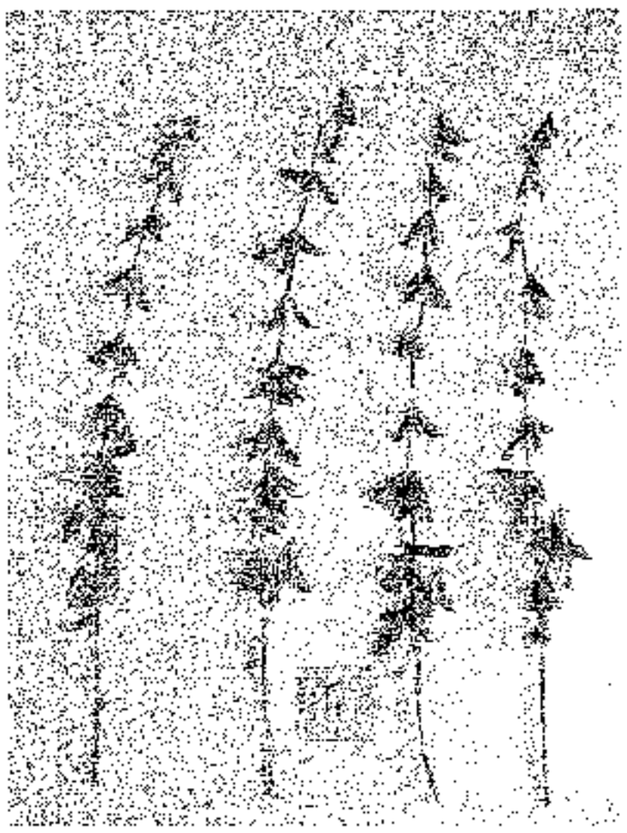


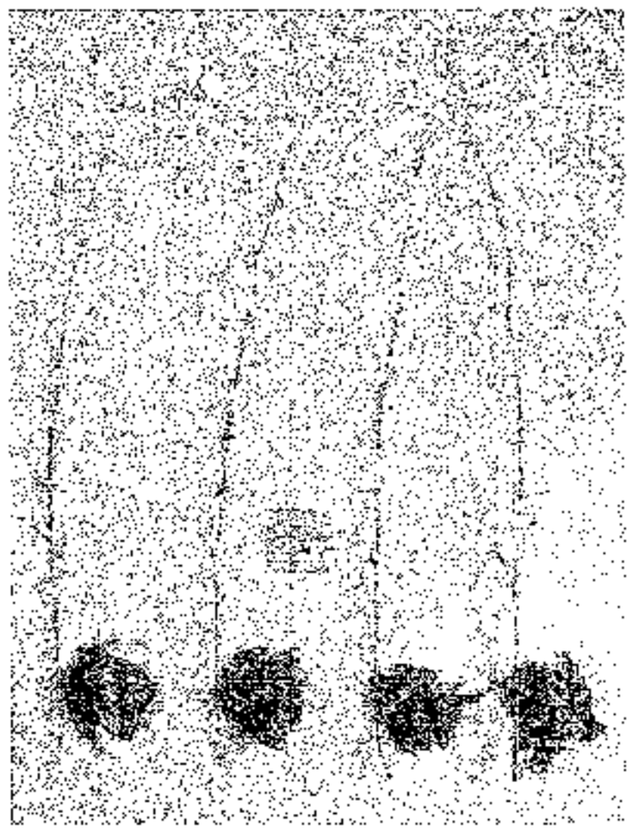


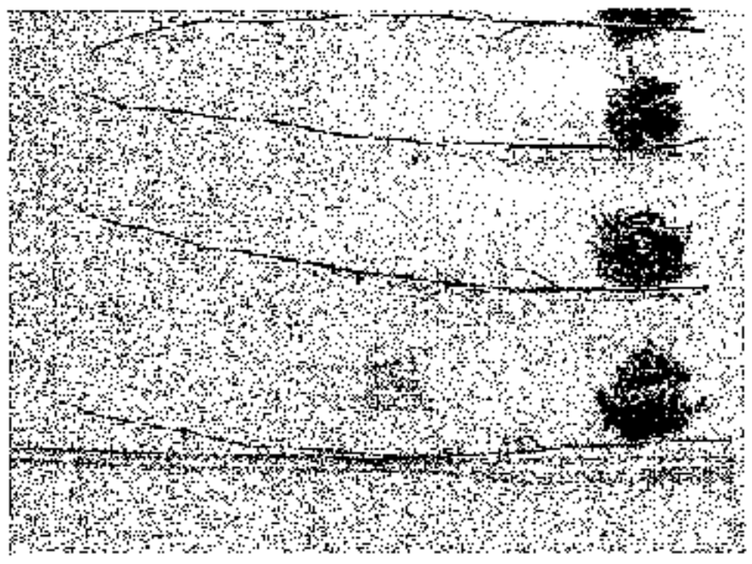


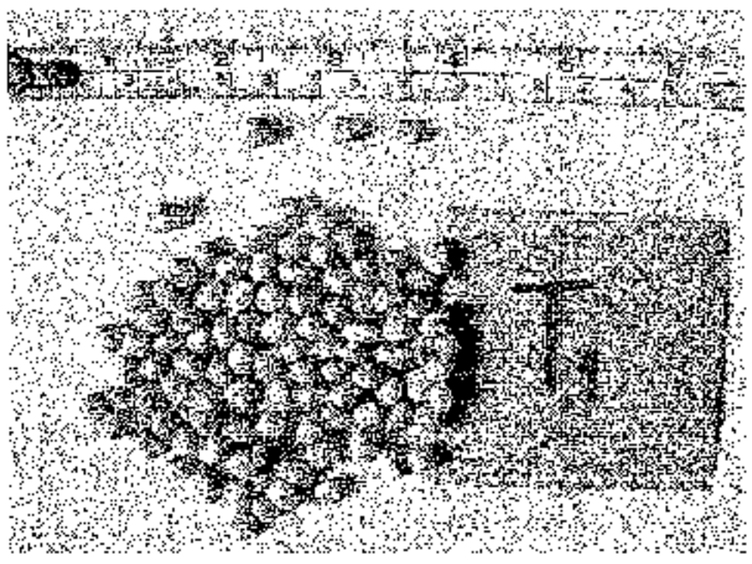


ภาพที่ ง. 1 การเก็บข้อมูลวันเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลืองที่ได้รับกากดะกอนในอัตราร้อยละ 0

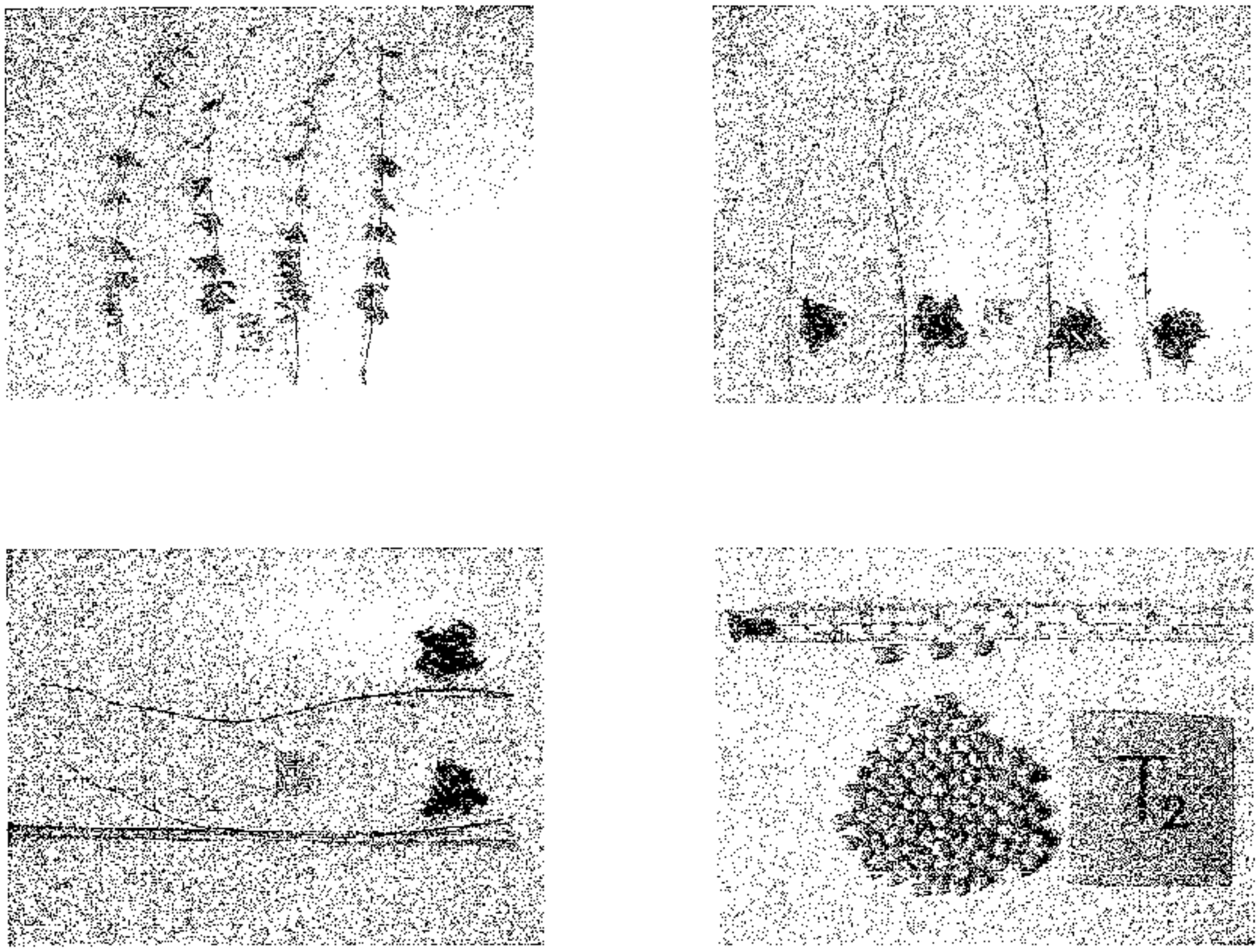




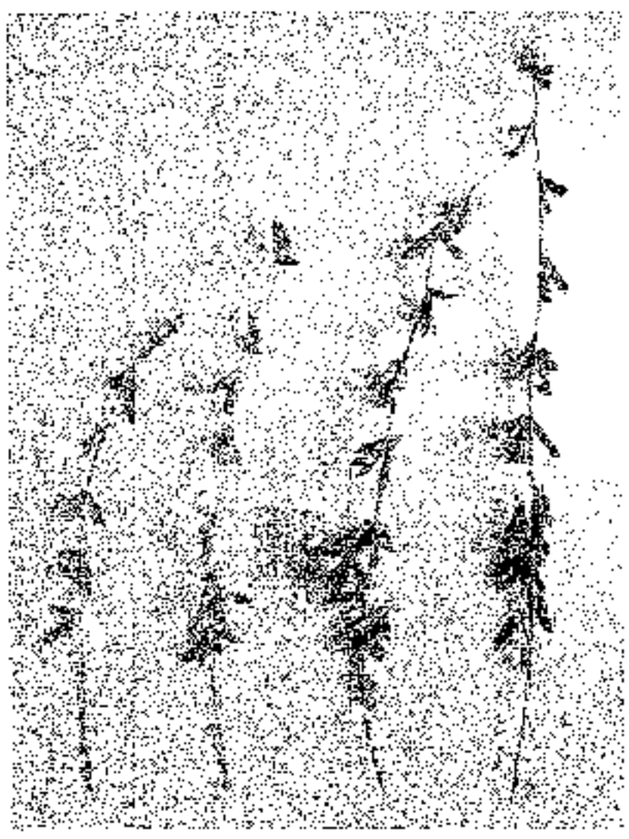


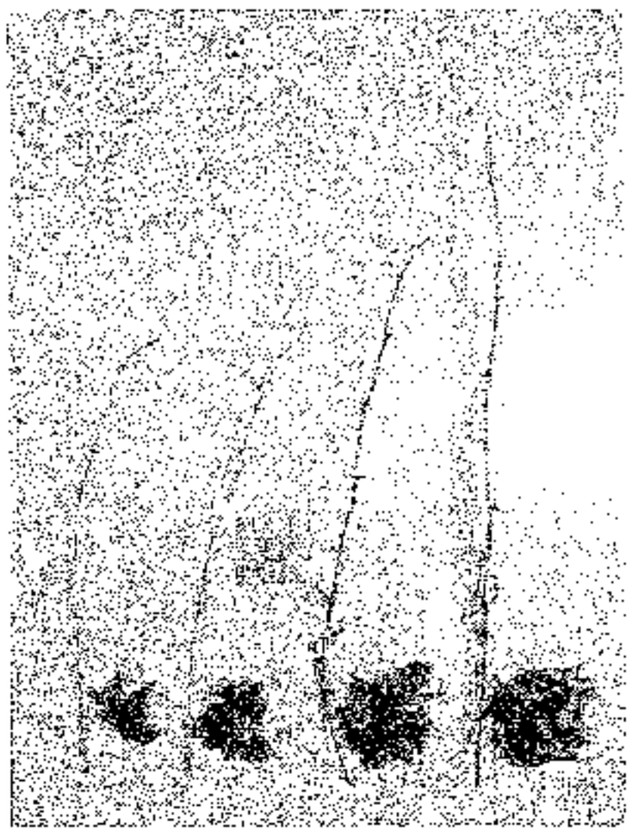


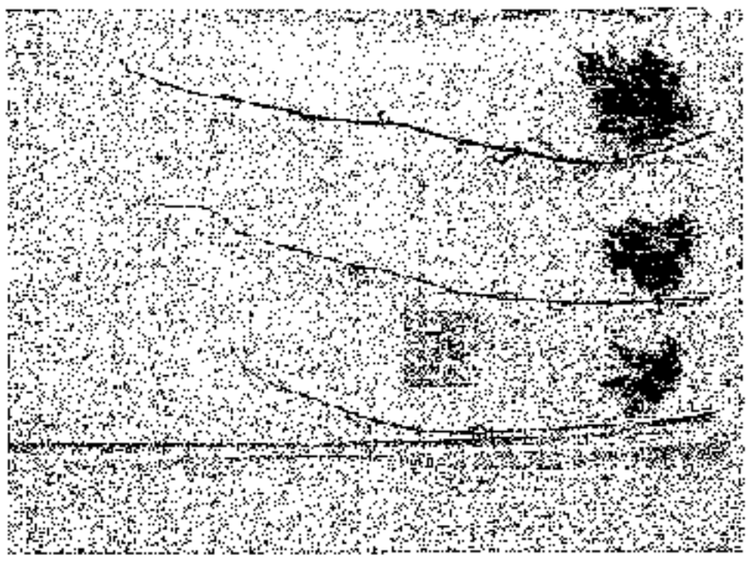
ภาพที่ ง. 2 การเก็บข้อมูลวันเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 5

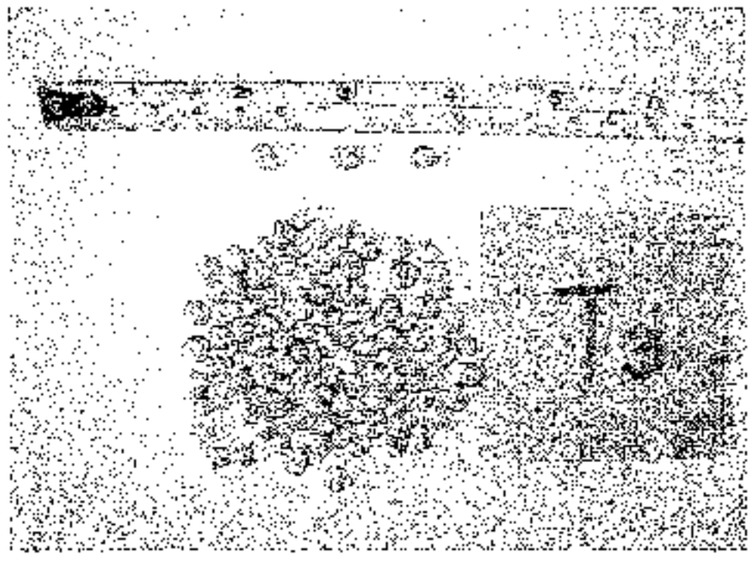


ภาพที่ ง. 3 การเก็บข้อมูลวันเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 10

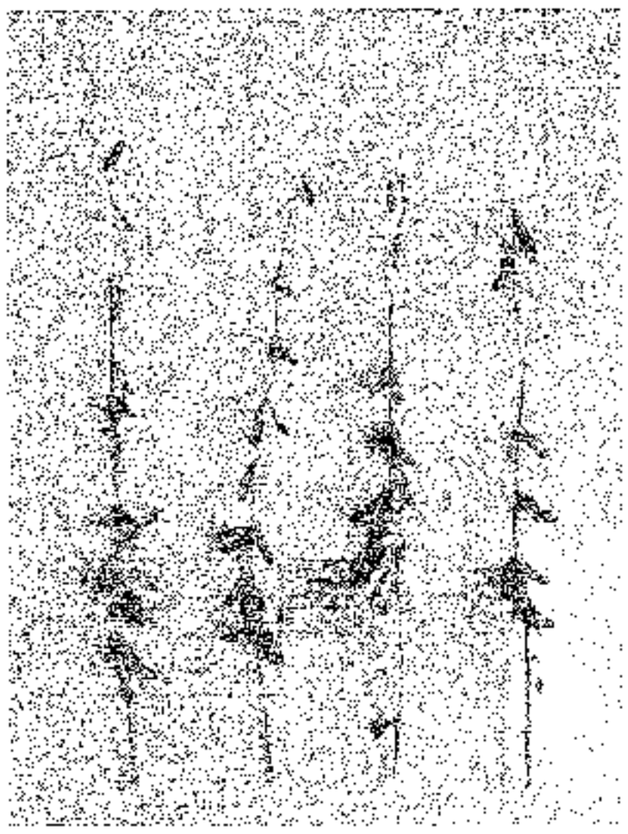


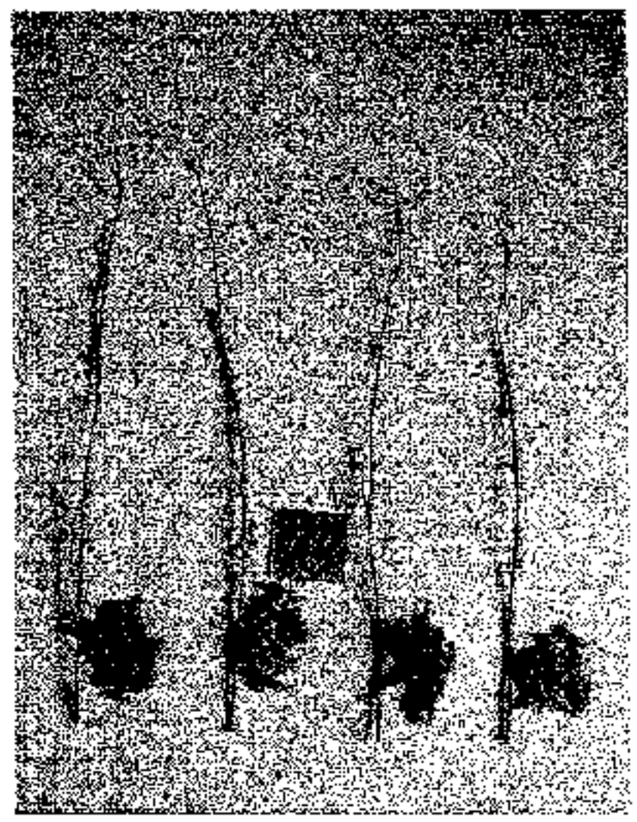


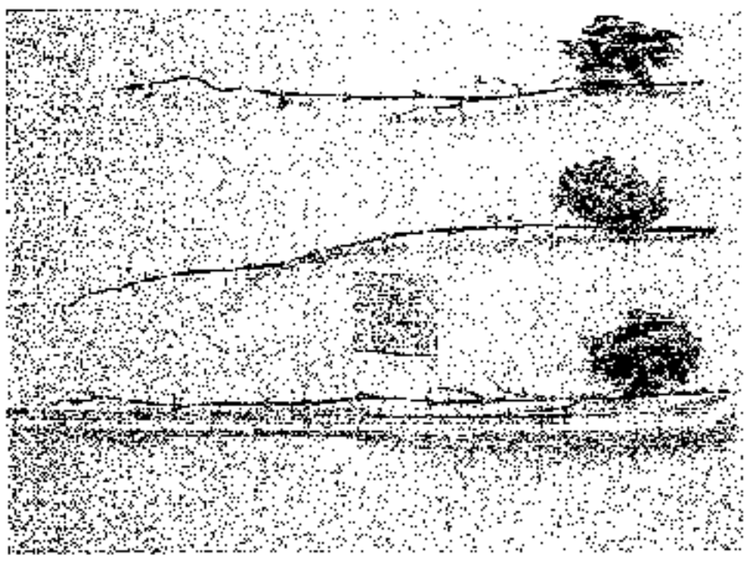


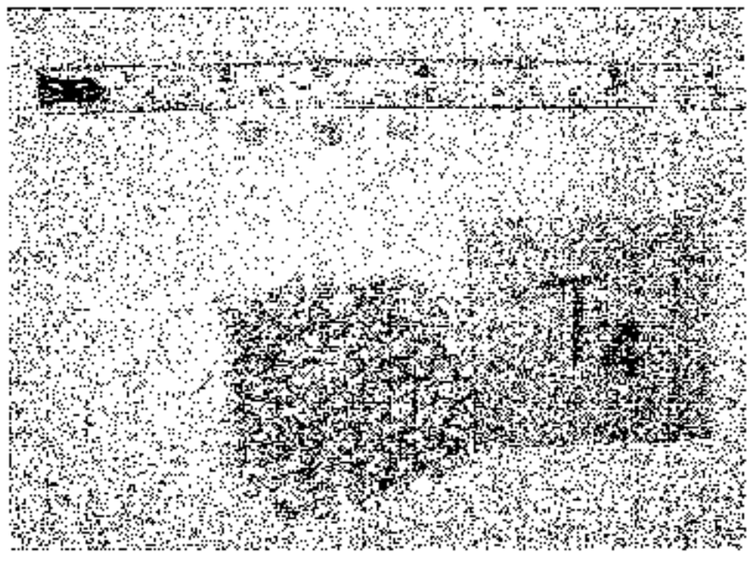


ภาพที่ ง. 4 การเก็บข้อมูลวันเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 15

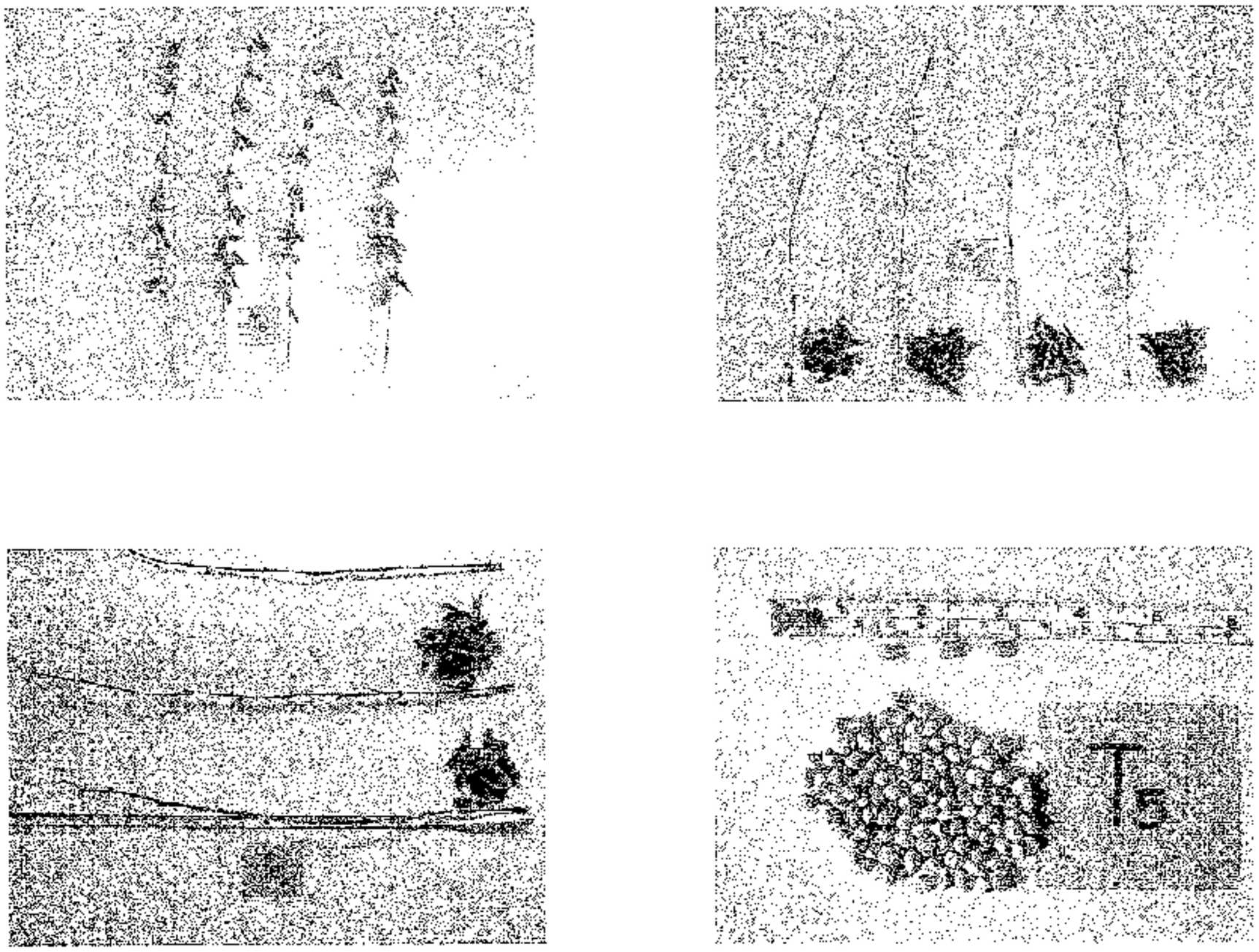








ภาพที่ ง. 5 การเก็บข้อมูลวันเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลืองที่ได้รับกากตะกอนในอัตราร้อยละ 20



ภาพที่ ง. 6 การเก็บข้อมูลวันเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยเคมี

ภาคผนวก จ

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

รายงานอุตุนิยมวิทยา สำหรับสถานีฝน

ประจำเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2547

วันที่	ฝน	อุณหภูมิ (°ซ.)				ความชื้น	หมายเหตุประจำวัน	สรุปค่าประจำเดือน
	มม.	สูงสุด	ต่ำสุด	กุ้มแห้ง	กุ้มเปียก	%		
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.0	31.5	22.3	27.5	25.3	83	เมฆมากฟ้าครึ้ม	
2	0.0	31.0	23.1	27.5	25.5	84	เมฆเป็นส่วนมาก ฝนตก	**ฝน**
3	0.0	32.3	25.1	29.8	24.5	89	เมฆมากส่วน ฟ้าครึ้ม	จำนวนฝนรวม 9.6 มม.
4	0.0	32.5	23.6	27.6	26.0	88	เมฆมากส่วน ฟ้าครึ้ม	มากที่สุดใน 24 ชม. 2.9 มม.
5	6.0	32.2	23.7	27.7	25.5	83	เมฆมากส่วนฝน	เมื่อวันที่ 8, 19
6	1.1	31.0	23.2	27.3	25.1	83	เมฆมากฝนตก	จำนวนวันที่มีฝนตกตั้งแต่ 0.1 มม.
7	2.9	31.6	24.9	28.5	24.6	85	เมฆมาก ฟ้าครึ้ม ฝนตกหนัก	ขึ้นไป 4 วัน
8	2.9	29.7	23.6	23.8	23.2	95	เมฆมาก ฝนตก	
9	0.0	30.0	20.5	20.8	19.0	84	เมฆเป็นส่วนมาก ฝนตก	
10	0.0	30.5	22.9	22.9	19.2	70	เมฆเป็นส่วนมาก กุ้มน้ำ ฝน	**อุณหภูมิ**
11	0.0	31.0	21.0	21.0	19.0	82	เมฆมากส่วน ฟ้าครึ้ม	เฉลี่ยสูงสุด 31.32 °ซ.
12	0.0	34.2	20.8	21.0	19.2	84	เมฆมากส่วน ฟ้าครึ้ม	เฉลี่ยต่ำสุด 24.57 °ซ.
13	0.0	31.6	23.0	23.8	18.5	64	เมฆมากส่วน ฝนตก	
14	0.0	30.0	21.5	21.5	17.0	61	เมฆมากส่วน ฝนตก	เฉลี่ย = $\frac{(\text{สูงสุด} + \text{ต่ำสุด})}{2}$
15	0.0	31.0	19.0	19.0	17.0	81	เมฆมากส่วน ฟ้าครึ้ม เย็นตอนเช้า	
16	0.0	32.0	18.1	18.6	17.5	89	เมฆมากส่วน ฟ้าครึ้ม เย็นตอนเช้า	= 27.95 °ซ.
17	0.0	30.7	20.8	20.8	20.2	94	เมฆมากส่วน เหนือตอนเช้า	
18	ไม่มี	30.0	23.5	23.9	21.7	91	เมฆมาก ฝนตก ตอนกลางคืน	สูงสุด 34.2 °ซ. วันที่ 12
19	2.9	30.6	23.4	24.0	23.6	91	เมฆเป็นส่วนมาก ตอนกลางคืน ฝนตก	ต่ำสุด 18.1 °ซ. วันที่ 11
20	0.0	31.2	26.4	26.6	24.7	85	เมฆมากส่วนมาก ฝนตก	
21	0.0	31.5	24.8	26.9	25.7	90	เมฆมากส่วน ฝนตก	
22	0.0	31.0	26.3	27.0	25.2	86	เมฆมากส่วน ฝนตก	**หมายเหตุ**
23	0.0	31.6	24.6	27.0	25.4	87	เมฆมากส่วน ฝนตก	
24	0.0	31.5	27.1	27.1	25.6	84	เมฆมากส่วน ฝนตก	
25	0.0	31.9	27.0	27.2	25.4	86	เมฆมากส่วน ฝนตก	
26	0.0	31.7	26.3	26.9	24.7	83	เมฆมากส่วน ฝนตก	
27	0.0	32.0	26.5	26.8	24.5	81	เมฆมากส่วน ฝนตก	
28	0.0	31.8	26.8	27.0	25.0	84	เมฆมากส่วน ฝนตก	
29	0.0	31.6	27.2	27.3	25.1	83	เมฆมากส่วน ฝนตก	
30								
31								
รวม	9.6	908.3	712.4	719.2	663.2	2437		
เฉลี่ย	0.33	31.32	24.57	24.80	22.87	84.07		

รายงานอุตุนิยมวิทยา สำหรับสถานีฝน

ประจำเดือน มีนาคม พ.ศ. 25 47

วันที่	ฝน	อุณหภูมิ (°ซ.)				ความชื้น	หมายเหตุประจำวัน	สรุปค่าประจำเดือน
	มม.	สูงสุด	ต่ำสุด	ตุ้มแห้ง	ตุ้มเปียก	%		
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.0	31.7	27.4	27.0	25.5	84	เมฆมากส่วน ท้องฟ้าครึ้ม	
2	0.0	31.9	27.4	27.5	25.8	89	เมฆมากส่วน ท้องฟ้า	
3	0.0	32.8	27.5	27.7	26.2	88	เมฆบางส่วน ท้องฟ้า	
4	0.0	32.9	27.8	28.0	26.5	89	เมฆมากส่วน ท้องฟ้า	
5	0.0	29.7	(26.7) 28.5	28.0	26.0	85	เมฆมาก ฝนตกเล็กน้อย	
6	"ฝ"	31.3	25.5	26.0	25.0	92	เมฆมาก	
7	3.6	33.2	29.0	25.1	24.6	96	ฝนตกเล็กน้อย ลมแรงเป็นบาง	
8	0.0	33.7	23.8	23.8	20.0	69	เมฆมากส่วน ท้องฟ้า	
9	0.0	31.8	24.0	24.0	19.5	69	เมฆเป็นส่วนมาก ท้องฟ้า	
10	0.0	32.6	22.6	22.5	21.5	91	เมฆเป็นส่วนมาก ท้องฟ้า	
11	0.0	31.8	27.7	27.7	26.0	87	เมฆมากส่วน ท้องฟ้า	
12	0.0	32.0	27.8	28.0	26.5	88	เมฆมากส่วน ท้องฟ้า	
13	0.0	32.7	26.8	27.8	25.3	81	เมฆมากส่วน ท้องฟ้า	
14	0.0	33.6	27.6	27.9	26.3	88	เมฆมากส่วน ท้องฟ้า	
15	0.0	32.2	26.3	28.5	26.3	83	เมฆเป็นส่วนมาก ท้องฟ้า	
16	0.0	32.0	27.5	27.6	24.5	71	เมฆมากส่วน ท้องฟ้า	
17	0.0	32.2	27.8	28.0	25.2	79	เมฆมากส่วน ท้องฟ้า	
18	0.0	32.3	24.2	27.5	23.7	72	เมฆมากส่วน ท้องฟ้า	
19	"ฝ"	32.7	26.2	28.3	26.0	83	เมฆเป็นส่วนมาก ท้องฟ้า	
20	0.0	32.5	26.0	24.3	24.5	86	เมฆเป็นส่วนมาก ท้องฟ้า	
21	0.7	32.2	28.2	28.6	26.4	93	เมฆเป็นส่วนมาก ท้องฟ้า	
22	0.0	32.0	28.0	28.1	26.5	84	เมฆมากส่วน ท้องฟ้า	
23	"ฝ"	32.7	28.5	28.5	26.3	83	เมฆเป็นส่วนมาก ท้องฟ้า	
24	1.0	32.6	28.8	28.8	26.8	85	เมฆมากส่วน ท้องฟ้า	
25	0.0	32.8	28.0	28.6	26.0	84	เมฆมากส่วน ท้องฟ้า	
26	0.0	32.6	27.0	27.0	25.3	89	เมฆมากส่วน ท้องฟ้า	
27	0.0	33.3	28.0	28.3	25.7	80	เมฆบางส่วน ท้องฟ้า	
28	0.0	33.2	28.5	29.0	26.7	83	เมฆบางส่วน ท้องฟ้า	
29	0.0	33.2	28.8	29.0	27.0	85	เมฆมากส่วน ท้องฟ้า	
30	0.0	32.8	28.5	29.2	29.0	84	เมฆมากส่วน ท้องฟ้า	
31	0.0	33.2	28.8	28.4	26.5	83	เมฆเป็นส่วนมาก ท้องฟ้า อากาศร้อน	
รวม	5.3	1007.0	831.6	952.4	784.9	2578		
เฉลี่ย	0.17	32.48	27.05	27.50	25.32	83.16		

ฝน

จำนวนฝนรวม 5.3 มม.

มากที่สุดใน 24 ชม. 3.6 มม.

เมื่อวันที่ 7

จำนวนวันที่มีฝนตกตั้งแต่ 0.1 มม. ขึ้นไป 3 วัน

อุณหภูมิ

เฉลี่ยสูงสุด 32.48 °ซ.

เฉลี่ยต่ำสุด 27.05 °ซ.

เฉลี่ย = $\frac{\text{(สูงสุด + ต่ำสุด)}}{2}$

= 29.77 °ซ.

สูงสุด 33.7 °ซ. วันที่ 8

ต่ำสุด 22.3 °ซ. วันที่ 10

หมายเหตุ

รายงานอุตุนิยมวิทยา สำหรับสถานีฝน

ประจำเดือน เมษายน พ.ศ. 2547

วันที่	ฝน	อุณหภูมิ (°ซ.)				ความชื้น	หมายเหตุประจำวัน	สรุปท้ายประจำเดือน
	มม.	สูงสุด	ต่ำสุด	ตุ้มแห้ง	ตุ้มเปียก	%		
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.0	33.5	28.8	28.8	26.0	79	เมฆเป็นส่วนมาก ฟ้าแจ่ม	
2	0.0	33.5	28.5	28.8	26.0	79	เมฆเป็นส่วนมาก ฟ้าคลำ	
3	0.0	33.5	28.8	29.0	26.2	79	เมฆมากส่วน มีฝนกลัว	
4	"ฟ"	33.5	28.5	28.7	26.2	88	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม ฝนตกปาน	
5	0.0	33.7	28.8	28.8	25.8	78	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม	
6	0.0	33.3	27.8	29.0	26.2	79	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม	
7	0.0	32.8	29.8	29.0	26.3	78	เมฆมากส่วน มีฝนกลัว	
8	0.0	33.6	29.3	29.5	26.9	81	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม	
9	0.0	34.2	29.5	29.5	27.5	85	เมฆเป็นส่วนมาก ฟ้าแจ่ม.	
10	0.0	34.0	29.0	29.3	26.0	76	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม	
11	0.0	34.0	29.3	29.4	26.5	79	เมฆมากส่วน ฟ้าคลำ	
12	0.0	34.0	29.3	29.5	26.7	79	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม	
13	0.0	33.7	29.3	29.5	26.8	80	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม	
14	0.0	34.5	29.8	30.0	27.5	82	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม	
15	0.0	34.5	29.5	29.8	27.0	80	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม.	
16	0.0	33.8	30.0	30.0	27.5	82	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม.	
17	0.0	34.2	29.9	30.0	27.3	80	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม	
18	0.0	34.5	29.8	30.0	27.5	82	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม	
19	0.0	34.5	30.0	30.3	27.5	80	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม	
20	1.1	34.2	27.3	27.5	26.2	90	เมฆเป็นส่วนมาก มีฝนกลัว	
21	0.0	34.5	25.5	25.6	25.0	95	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม	
22	0.0	34.7	29.5	29.8	27.1	82	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม	
23	0.0	34.6	28.0	28.5	26.5	86	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม	
24	0.1	34.3	30.0	30.2	28.0	84	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม.	
25	1.0	34.5	26.5	27.6	24.4	83	เมฆมากส่วน มีฝนกลัว.	
26	0.0	34.1	29.9	30.0	27.2	80	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม	
27	11.7	33.9	27.7	28.0	26.9	91	เมฆมากส่วน ฝนตกปาน	
28	1.0	33.5	24.5	26.5	25.7	94	เมฆเป็นส่วนมาก มีฝนกลัว	
29	0.0	33.9	24.0	24.5	23.5	92	เมฆมากส่วน ฟ้าแจ่ม.	
30	0.2	32.3	26.0	26.3	25.9	88	เมฆมากส่วน มีฝนกลัวตก	
31								
รวม	14.1	1018.0	851.4	859.7	791.6	2495		
เฉลี่ย	0.47	33.93	28.38	28.66	26.39	83.17		

ฝน

จำนวนฝนรวม 14.1 มม.

มากที่สุดใน 24 ชม. 11.7 มม.

เมื่อวันที่ 17

จำนวนวันที่มีฝนตกตั้งแต่ 0.1 มม. ขึ้นไป 5 วัน

อุณหภูมิ

เฉลี่ยสูงสุด 33.93 °ซ.

เฉลี่ยต่ำสุด 28.38 °ซ.

เฉลี่ย = (สูงสุด + ต่ำสุด) / 2

= 31.16 °ซ.

สูงสุด 34.7 °ซ. วันที่ 22

ต่ำสุด 24.0 °ซ. วันที่ 29

หมายเหตุ

รายงานอุตุนิยมวิทยา สำหรับสถานีฝน

ประจำเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 25๔๗

วันที่	ฝน มม.	อุณหภูมิ (°ซ.) สูงสุด	ต่ำสุด	ตุ้มแห้ง	ตุ้มเปียก	ความชื้น %	หมายเหตุประจำวัน	สรุปค่าประจำเดือน
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	20.7	31.4	(23.5) 28.6	29.0	27.2	86	เมฆมาก ฝนห่าใหญ่ ฟ้าคลึ่ง	
2	0.0	33.8	29.3	29.5	27.2	83	เมฆเป็นส่วนมาก แดดจัดมาก	
3	5.2	31.2	26.5	27.0	26.2	94	ฝนตกชั่วคราว เมฆมาก	
4	25.8	31.5	29.7	27.2	27.0	96	เมฆมาก ฝนตกปรอยๆ	
5	36.0	33.0	(23.8)	24.6	24.4	98	เมฆมาก ฝนห่าใหญ่ ฟ้าคลึ่ง	
6	4.0	(34.1)	24.8	25.0	24.5	96	เมฆเป็นส่วนมาก แดดจัด	
7	8.2	33.1	25.5	25.8	25.3	96	เมฆมาก ฝนห่าใหญ่	
8	0.0	33.4	25.7	26.8	26.2	95	เมฆเป็นส่วนมาก ฝนปรอย	
9	5.2	33.3	27.5	28.5	27.0	88	เมฆเป็นส่วนมาก ฝนห่าใหญ่ ฟ้าคลึ่ง	
10	0.0	33.7	29.9	30.0	27.5	82	เมฆเป็นส่วนมาก ฟ้าหลัว	
11	0.0	33.3	28.0	29.1	27.0	81	เมฆเป็นส่วนมาก ฟ้าหลัว	
12	0.0	33.0	(28.1) 29.2	29.5	26.2	76	เมฆเป็นส่วนมาก ฟ้าหลัว	
13	14.3	33.0	(25.4) 28.0	29.5	27.3	84	เมฆเป็นส่วนมาก ฝนปานกลาง ฟ้าคลึ่ง	
14	"ฝ"	33.1	(28.8) 29.4	29.6	27.1	82	เมฆเป็นส่วนมาก ฝนเล็กน้อย	
15	0.1	32.5	27.5	29.0	27.3	87	เมฆมาก ฝนตกปรอยๆ	
16	0.6	32.4	28.0	29.7	26.3	75	เมฆเป็นส่วนมาก ฟ้าหลัว	
17	0.0	33.4	(28.5) 29.0	29.8	25.3	71	เมฆเป็นส่วนมาก ฟ้าคลึ่ง	
18	0.0	33.1	28.0	29.0	25.4	81	เมฆเป็นส่วนมาก ฟ้าหลัว	
19	0.0	33.2	29.1	30.0	26.5	75	เมฆมากปรอยๆ	
20	4.6	32.1	(26.8) 30.0	30.2	27.5	80	เมฆมาก ฝนห่าใหญ่ฝนตกชั่วคราว	
21	22.8	31.0	25.0	29.8	26.8	78	เมฆมาก ฝนปานกลาง ฟ้าคลึ่ง	
22	0.6	29.9	25.0	26.8	25.3	84	เมฆมาก ฝนเล็กน้อย	
23	0.0	31.8	24.8	28.5	25.9	78	เมฆเป็นส่วนมาก ฟ้าคลึ่ง	
24	6.0	32.7	28.9	29.0	26.0	78	เมฆมากปรอยๆ เริ่มมีฟ้าแลบฟ้าหลัว	
25	0.0	32.0	28.1	28.3	25.5	79	เมฆเป็นส่วนมาก ฟ้าคลึ่ง	
26	1.0	29.3	28.3	29.0	26.4	81	เมฆมาก ฝนเล็กน้อย	
27	"ฝ"	31.5	28.2	28.5	25.6	78	เมฆเป็นส่วนมาก ฝนเล็กน้อย ฟ้าหลัว	
28	0.4	32.7	28.0	28.7	25.5	76	เมฆมากปรอยๆ	
29	0.0	33.3	28.5	29.0	24.8	73	เมฆมากปรอยๆ ฟ้าหลัว	
30	0.0	33.3	(28.0) 29.2	29.5	26.0	82	เมฆเป็นส่วนมาก ฝนไม่ตกระยะยาว	
31	18.0	33.7	26.7	27.0	24.0	77	เมฆมาก ฝนตกระยะยาว	
รวม	197.1	1009.3	843.1	862.4	812.8	2,589.0		
เฉลี่ย	6.36	32.56	27.20	28.46	26.22	83.52		

ฝน

จำนวนฝนรวม 197.1 มม.

มากที่สุดใน 24 ชม. 45.6 มม.

เมื่อวันที่ 4 ก.พ. 47

จำนวนวันที่มีฝนตกตั้งแต่ 0.1 มม. ขึ้นไป 15 วัน

อุณหภูมิ

เฉลี่ยสูงสุด 32.56 °ซ.

เฉลี่ยต่ำสุด 27.20 °ซ.

เฉลี่ย = (สูงสุด + ต่ำสุด) / 2

= 29.88 °ซ.

สูงสุด 34.1 °ซ. วันที่ 6

ต่ำสุด 23.8 °ซ. วันที่ 5

หมายเหตุ

รายงานอุตุนิยมวิทยา สำหรับสถานีฝน

ประจำเดือน มีนาคม พ.ศ. 25 47

วันที่	ฝน มม.	อุณหภูมิ (°ซ.) สูงสุด	อุณหภูมิ (°ซ.) ต่ำสุด	อุณหภูมิ (°ซ.) หุ้มแห้ง	อุณหภูมิ (°ซ.) หุ้มเปียก	ความชื้น %	หมายเหตุประจำวัน	สรุปท้ายประจำเดือน
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5.8	32.1	23.9	24.0	23.3	91	เมฆมาก ฝนตกปรอยๆ	
2	"ฝ"	32.4	25.7	26.3	25.2	91	มีฝนตกเล็กน้อย	
3	1.6	32.2	26.0	26.5	25.7	94	เมฆเป็นส่วนมาก มีฝนตกเล็กน้อย	
4	2.1	31.0	26.5	27.0	26.2	92	เมฆมาก มีฝนตกเล็กน้อย	
5	2.8	32.7	(25.0) 25.3	27.8	26.4	89	เมฆเป็นส่วนมาก มีฝนตกเล็กน้อย ฟ้าคะนอง	
6	0.0	31.8	26.7	28.0	26.0	85	เมฆเป็นส่วนมาก มีฝนตั้ง	
7	0.1	31.5	25.5	27.0	26.7	83	เมฆมาก มีฝนตกเล็กน้อย	
8	20.4	29.8	25.5	25.0	26.2	86	เมฆมาก มีฝนตั้ง ฟ้าคะนอง	
9	"ฝ"	31.9	27.0	29.2	25.6	80	เมฆมาก มีฝนตกเล็กน้อย	
10	54.7	29.5	26.0	28.8	26.2	81	เมฆมาก มีฝนตกเล็กน้อย	
11	1.9	30.3	24.5	29.7	25.3	97	เมฆมาก ฝนตก	
12	41.8	31.5	24.2	24.5	25.5	92	เมฆมาก มีฝนตกเล็กน้อย	
13	7.7	30.9	24.0	25.0	24.5	96	เมฆมาก มีฝนตกเล็กน้อย	
14	0.1	30.4	25.3	25.5	24.6	93	เมฆมาก เมื่อคืนฝนตก	
15	14.6	30.7	(23.7) 23.7	25.5	24.2	94	เมฆมาก ก่อนฝนตก	
16	0.9	30.6	23.8	28.3	25.3	77	เมฆมาก มีฝนตกเล็กน้อย ฟ้าคะนอง	
17	42.8	30.0	24.5	28.5	25.8	80	เมฆมาก มีฝนตกหนัก	
18	22.8	30.5	(23.0) 25.0	28.5	26.2	81	เมฆมาก ฝนตก ฟ้าคะนอง	
19	3.0	30.6	23.0	27.2	26.2	90	เมฆมาก ก่อนฝนตก	
20	0.0	31.3	25.0	28.5	26.5	85	เมฆมาก ฟ้าคะนอง	
21	0.0	31.2	25.5	28.7	26.5	83	เมฆเป็นส่วนมาก ฟ้าคะนอง	
22	0.0	31.5	25.8	29.0	25.5	74	เมฆมากช่วง ฟ้าคะนอง	
23	0.0	31.5	24.1	29.1	25.2	75	เมฆมากเล็กน้อย ก่อนฝนตก	
24	0.0	31.8	25.7	29.0	25.8	71	เมฆเป็นส่วนมาก ฟ้าคะนอง	
25	0.0	30.8	27.3	28.5	25.8	80	เมฆเป็นส่วนมาก ฟ้าคะนอง	
26	0.0	32.0	25.5	28.9	25.0	72	เมฆมากช่วง ฟ้าคะนอง	
27	0.0	31.5	25.8	29.0	26.2	79	เมฆเป็นส่วนมาก ก่อนฝนตก	
28	0.0	31.8	25.5	28.7	25.5	76	เมฆเป็นส่วนมาก ฟ้าคะนอง	
29	0.0	32.0	25.8	29.0	25.5	74	เมฆมากช่วง ฟ้าคะนอง	
30	0.0	31.5	24.4	28.5	26.0	81	เมฆมากส่วน ฟ้าคะนอง	
31								
รวม	223.2	937.0	798.0	830.5	770.5	2517		
เฉลี่ย	7.44	31.23	26.60	27.52	25.68	83.90		

ฝน

จำนวนฝนรวม 223.2 มม.

มากที่สุดใน 24 ชม. 54.7 มม.

เมื่อวันที่ 10

จำนวนวันที่มีฝนตกตั้งแต่ 0.1 มม. ขึ้นไป 16 วัน

อุณหภูมิ

เฉลี่ยสูงสุด 31.23 °ซ.

เฉลี่ยต่ำสุด 26.60 °ซ.

เฉลี่ย = $\frac{(\text{สูงสุด} + \text{ต่ำสุด})}{2}$

= 28.92 °ซ.

สูงสุด 32.7 °ซ. วันที่ 5

ต่ำสุด 23.0 °ซ. วันที่ 13,17

หมายเหตุ

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. 2523. **เอกสารวิชาการ เล่มที่ 3 ถั่วเหลือง**. กรุงเทพฯ: วรวุฒิการพิมพ์.

กรมวิชาการเกษตร. 2530. **เอกสารแนะนำพันธุ์พืชของกรมวิชาการเกษตร**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สยามรัฐ.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2525. **เอกสารวิชาการ ชุดพืชศาสตร์ (crop manual) ที่ 3 เรื่อง ถั่วเหลือง**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กฤษฎา หงส์รัตน์. 2546. การศึกษาการใช้มูลกุ้งทดแทนปุ๋ยเคมีสำหรับการผลิตถั่วเหลือง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

กัลยา สุนทรวงศ์สกุล, อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และประกิตติ์สิน สีหนนทน์. 2538. อิทธิพลของโลหะหนักต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ เนื่องจากการนำกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร. **วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม**. 17 (มกราคม - มิถุนายน): 66 - 100.

กิตติภูมิ มีประดิษฐ์. 2545. **มนุษย์กับสิ่งแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: เอส อาร์ พริ้นติ้ง แมสโปรดักส์.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. **วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์.

คมกฤช ภาคย์ทองสุข. 2535. ความเสี่ยงในการสะสมโลหะหนักของผักคะน้า (Brassica oleracea L. var. alboglabra Bailey) และผักกาดหอม (Lactuca sativa var. crispa) เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนร่วมกับแกลบในพื้นที่การเกษตรจังหวัดปทุมธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จิณัฐตา วัดดำ และปวีณา ด่านกุล. 2541. การศึกษาคุณสมบัติของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนเพื่อใช้ปรับปรุงดิน. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จิราพร จรรยาอ่อน. 2544. ผลของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแช่เยือกแข็งอาหารทะเลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เฉลิมพล แชมเพชร. 2542. **สรีระวิทยาการผลิตพืชไร่**. เชียงใหม่: นนทบุรีการพิมพ์.

ชนิดา ไกรขุนทศ. 2543. การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์และธาตุอาหารในกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ชำนาญ หริ่งรัตนพันธ์. 2533. อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง 5 สายพันธุ์ที่ปลูกในสองสถานที่. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชนพนธ์ จุนขุนทด. 2536. การศึกษาเกี่ยวกับอัตราปุ๋ยกำมะถัน และปุ๋ยฟอสเฟต ที่มีผลต่อการผลิตถั่วเหลืองพันธุ์ดอยคำ ในชุดดินลำปาง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธวัชชัย ศุภดิษฐ์. 2545. การจัดการของเสียอันตราย. **เอกสารประกอบการสอนวิชา การจัดการควบคุมมลพิษ**. กรุงเทพฯ: สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษา สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

ธวิโรจน์ ตันนุกิจ. 2542. ผลของการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนเป็นวัสดุเพาะชำร่วมกับหน้าดินและขี้เถ้าแกลบ ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของกล้าไม้กระถินเทพา Acacia mangium Wild. ประดู่ป่า Pterocarpus mucrocarpus Kurz. และมะค่าโม่ง Afzelia xylocarpa Craib. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

น้อย เธียรนันท์. 2519. การใช้ปุ๋ยสำหรับถั่วเหลือง. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**. 9 (กันยายน): 143 - 150.

บุบผา แซ่มประเสริฐ. 2527. ผลกระทบของแคดเมียมในแอคติเวตเตดสลัดจ์ที่มีต่อพืชผัก และธาตุอาหารพืชบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรางทิพย์ อังกาบสี. 2543. การสะสมของปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปราณี พันธุมสินชัย. 2539. **มลพิษอุตสาหกรรมเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

ปิยะพร คงอุบล. 2544. การศึกษาการลดพิษของตะกั่วและแคดเมียมในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีที่นำมาปลูกผักบุ้งจีน (Ipomea aquatica Forsk.) ด้วยดินเหนียวและปุ๋ยนา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรศักดิ์ ภักดีวราภรณ์. 2543. ผลของโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโพรลีนโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนในถั่วเหลือง Glycine max (L.) Merrill. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พัชราวดี สุวรรณธาดา. 2529. ผลของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักบางชนิดของผักคะน้า (Brassica oleracea L. var. alboglabra Bailey) ในสภาพเรือนทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิชิต พงษ์สกุล และปรีดา พากเพียร. 2535. ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช. **คู่มือการปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ย**. กรุงเทพฯ: ศูนย์การพิมพ์พลชัย.

ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2544. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รัตเกล้า ตันสถิตย์. 2532. ผลของกากตะกอนแห้งต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม (Lactuca sativa) และปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อใบและในดินที่ใช้ปลูก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรกาย อุส่าห์. 2541. ปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักในพืชที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียและดินในท้องที่จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณวิมล เศาณานนท์. 2542. การวิเคราะห์ความเสี่ยงจากเชื้อซาลโมเนลลาเมื่อนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมาใช้ทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิราณี ศิริสุโขดม. 2535. ผลของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อการเติบโตและการสะสมโลหะหนักในพืชผัก บริเวณพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดปทุมธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริพร ลักษมีคุณากร. 2545. การจัดการปัญหาน้ำเสียชุมชนในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

ศุภชัย แก้วมีชัย. 2537. **การปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองของประเทศไทย**. เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2539. ***ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี***. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมชาย บุญประดับ และศุภชัย แก้วมีชัย. 2543. **ถั่วเหลืองในเขตชลประทาน (Soybean in Irrigated Area)**. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร.

สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2540. **ศัพท์บัญญัติและนิยามน้ำเสีย**. กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

สมศรี อรุณินท์. 2539. **ดินเค็มในประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

สุรีพร เกตุงาม. 2529. อิทธิพลของการสังเคราะห์แสงสุทธิและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดและผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุวพันธ์ รัตนะรัต. 2542. แนวทางการปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ยสำหรับถั่วเหลืองและถั่วลิสง. **รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการเรื่อง การจัดการดินไร่และการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชไร่ 23 - 25 กุมภาพันธ์ 2542**. ชลบุรี: โรงแรมแอมบาสเดอร์ซิตี้ จอมเทียน. 55 - 79.

สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม. 2542. การศึกษาพืชเศรษฐกิจ ถั่วเหลือง. **เอกสารวิชาการฉบับที่ 53**. กรุงเทพฯ: สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม.

หฤษฎี ภัทรดิลก. 2534. การพัฒนาการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วเขียวผิวดำที่ปลูกในวันปลูกและอัตราปลูกต่าง ๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

องค์การจัดการน้ำเสีย. 2546. **การจัดการน้ำเสียของประเทศไทย**. ค้นวันที่ 16 มิถุนายน 2546 จาก http://www.wma.or.th/Winfo/Wastewater%20Info.html

อภิพรรณ พุกภักดี. 2533. **วิทยาศาสตร์การผลิตพืชตระกูลถั่ว**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อรรณพ หอมจันทร์. 2535. ความเป็นพิษของโลหะหนักบางชนิดจากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อผักคะน้า (Brassica oleracea L. var. alboglabra Bailey) และผักกาดหอม (Lactuca sativa L.) ในสภาพเรือนทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์. 2545. การใช้ประโยชน์กากตะกอนของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลสำหรับเป็นปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Cunningham, J.D. ,Keeney, D.R. and Ryan, J.A. 1975. Yield and metal composition of corn and rye grown on sawage - amened soil. **Journal of Environmental Quality**. 4 (October - December): 448 - 454.

Epstein, E., Taylor, J.M. and Chaney, R.L. 1976. Effects of sawage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. **Journal of Environmental Quality**. 5 (October - December): 422 - 426.

Fehr, W.R. and Caviness, C.E. 1977. **Stage of Soybean Development**. Cooperative Extention Service Agriculture and Home Economic. Experiment State Special Report 80. lowa: lowa State University: 11.

Hortenstein, C.C. and Rothwell, D.F. 1973. Pelletized municipal refuse compost as a soil amendment and nutrient source for sorghum. **Journal of Environmental Quality**. 2 (July - September): 343 - 345.

Mays, D.A., Terman, G.L and Duggan, J.C. 1973. Municipal compost: effects on crop yields and soil properties. **Journal of Environmental Quality**. 2 (January - March): 89 - 92.

Orcutt, F.S. and Wilson, P.W. 1935. The Effect of Nitrate - Nitrogen on the Carbohydrate Metabolism of Inoculated Soybean. **Soil Science**. 39 (September): 289 - 296.

Sabey, B.R. and Hart, W.E. 1975. Land application of sewage sludge: I Effect on growth and chemical composition of plants. **Journal of Environmental Quality**. 4 (April - June): 252 - 256.

SAS Institute. 1996. **User's Guide, Version 6.12**. Cary, N.C.: SAS Institute.

Sommers, L.E. 1977. Chemical composting of sewage sludge and analysis of their potential use as fertilizers. **Journal of Environmental Quality**. 6 (April - June): 225 - 232.

ภาคผนวก

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นางสาวเกศกมล เสริมวิริยะกุล
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา วิทยาการสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2541