

ชื่อวิทยานิพนธ์ การนำสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา
มาเป็นวัสดุบำรุงดิน

ผู้วิจัย นางวีณา สัมพันธ์ **ปริญญา** สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม
อุตสาหกรรม) **อาจารย์ที่ปรึกษา** (1) รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ
(2) รองศาสตราจารย์ ติ พูนไชยศรี **ปีการศึกษา** 2549

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างดินและสลัดจ์จากระบบ
บำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชาซึ่งนำมาใช้เป็นวัสดุบำรุงดิน โดยศึกษาการ
เปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินและสลัดจ์ขณะที่ใช้เป็นวัสดุบำรุงดิน รวมทั้งอัตราการเจริญเติบโต
ของผักบุ้งจีนที่ปลูกในแปลงทดลอง

การวิจัยเป็นการทดลองในภาคสนามโดยนำสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรม
เครือสหพัฒน์ ศรีราชามาผสมกับดินในพื้นที่สวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชาในอัตราส่วนต่าง ๆ
กัน และใช้เป็นแปลงทดลองสำหรับปลูกผักบุ้งจีน โดยแบ่งการทดลองเป็น 6 แปลงที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน
ได้แก่ แปลงที่ 1 ใช้ดินอย่างเดียว แปลงที่ 2 ใช้ดินและสลัดจ์ในอัตราส่วน 75:25 แปลงที่ 3 ใช้ดินและสลัดจ์
ในอัตราส่วน 50:50 แปลงที่ 4 ใช้ดินและสลัดจ์ในอัตราส่วน 25:75 แปลงที่ 5 ใช้สลัดจ์อย่างเดียว และแปลงที่ 6
ใช้ดินผสมปุ๋ยยูเรียในอัตราส่วน 10 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร หรือที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อ
ปริมาตร นำผักบุ้งจีน 27 ต้นต่อแปลงมาปลูก แล้วทำการสุ่มตัวอย่างดินแต่ละแปลงการทดลองจำนวน 3
ครั้ง มาวิเคราะห์สมบัติของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง แคลเซียม ทองแดง นิเกิล สังกะสี โคโรเนียม
(+6) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม นำข้อมูลมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง
สมบัติของดินและสลัดจ์ในแต่ละช่วงการทดลอง และวิเคราะห์การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนโดยการชั่ง
น้ำหนักและส่วนสูง และเปรียบเทียบด้วยค่าความแปรปรวนตัวแปรเดียว และหาความสัมพันธ์ของ
น้ำหนักและส่วนสูงของผักบุ้งจีนโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน

จากการศึกษาพบว่า สมบัติทางเคมีของดินและสลัดจ์ไม่มีปัญหาต่อคุณภาพดิน และเมื่อ
สิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลาปลูก 30 วัน พบว่า อัตราส่วน 75:25 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำ
สลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชามาเป็นวัสดุบำรุงดินเพื่อการ
เจริญเติบโตของผักบุ้งจีนในแปลงทดลองที่ 2

คำสำคัญ น้ำเสีย สลัดจ์ ผักบุ้งจีน วัสดุบำรุงดิน

Thesis title: Utilization of Sludge from Wastewater Treatment System of SAHA Group Industrial Park, Sriracha as Soil Conditioner

Researcher: Mrs Veena Samphan; **Degree:** Master of Public Health (Industrial Environment Management); **Thesis advisors:** (1) Dr.Jakkris Sivadechathep, Associate Professor; (2) Peeti Bhoonckaisri , Associate Professor; **Academic year:** 2006

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to investigate the optimal mixing ratio between soil and sludge from wastewater treatment system of SAHA Group Industrial Park, Sriracha used as soil conditioner. The study was to find change of chemical characteristics of both soil and sludge while using as soil conditioner as well as growth rate of Water Convolvulus in the experimental plots.

The research was carried out as field experimental study. The sludge was mixed with soil from SAHA Group Industrial Park in different ratios and used in experimental plots for water convolvulus plantation. The experiment was conducted in 6 experimental plots including Plot No.1 with only soil, Plot No.2 with 75% soil and 25% sludge, Plot No.3 with 50% soil and 50% sludge, Plot No.4 with 25% soil and 75% sludges, Plot No.5 with only sludges, and Plot No.6 with soil mixed with urea fertilizer at ratio of 10 grams in 20 liters of water (0.5% weight per volume). Twenty seven water convolvuluses were planted in each plot for 30 days. The soil was sampled from each plot and analyzed 3 times. The analyzed characteristics were pH, Cadmium, Copper, Nickel, Zinc, Chromium Hexavalent, Total Kjeldahl, Nitrogen, Phosphorus and Potassium. The data were analyzed for change of chemical characteristics of both soil and sludge for each period of experiment. The growth of Water Convolvulus was measured as weight and height and compared with One-way ANOVA. The correlation between weight and height of Water Convolvulus was performed by using Pearson Correlation Coefficient.

The results of the study were found that chemical characteristics of both soil and sludge had no effect on soil quality. Once the experiment was complete (30 days), the optimal mixing ratio was 75% soil and 25% sludge for applying sludge from SAHA Group Industrial Park, Sriracha as soil conditioner of Water Convolvulus in Plot No. 2.

Keywords: Wastewater, Sludge, Water Convolvulus, Soil conditioner

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยการให้คำปรึกษาแนะแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องจากรองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ และรองศาสตราจารย์ ปิติ พูนไชยศรี ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือแนะนำ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์และสำเร็จได้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัท อีสเทิร์นไทยคอนกรีตติ้ง 1992 จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของดินและสลัดจ์

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รตีวรรณ อ่อนรัมย์ ภาควิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่กรุณาให้ความช่วยเหลือแนะนำการวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ถิรพงษ์ ถิรมนัส หัวหน้าภาควิชาพื้นฐาน คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่กรุณาให้ความช่วยเหลือแนะนำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อให้การวิจัยสำเร็จอย่างสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาว น้องชาย และสามี ที่เป็นกำลังใจอย่างดีเสมอมา ตลอดจนทุกท่านที่มีส่วนให้การทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี

วีณา สัมพันธ์

กันยายน 2549

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	7
กรอบแนวคิดการวิจัย	8
สมมุติฐานการวิจัย	9
ขอบเขตการวิจัย	9
นิยามศัพท์เฉพาะ	9
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	10
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	11
นิยาม	11
การบำบัดและกำจัดสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง	11
ผักนึ่งจีน	14
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปุ๋ยและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ปุ๋ย	19
บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารจำเป็นในพืช	20
ความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยให้พืช	27
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	33
รูปแบบการวิจัย	33
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	33
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	34
การเก็บรวบรวมข้อมูล	36

สารบัญ (ต่อ)

การวิเคราะห์ข้อมูล	36
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	38
ตอนที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีของดินและสัณฐานก่อนทำการเพาะปลูก	38
ตอนที่ 2 คุณสมบัติทางเคมีของดินแต่ละชุดการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ	39
ตอนที่ 3 การเจริญเติบโตของผักนึ่ง	50
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	56
สรุปการวิจัย	56
อภิปรายผล	61
ข้อเสนอแนะ	62
บรรณานุกรม	64
ภาคผนวก	68
ก รูปภาพการทดลอง	69
ข วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี	77
ประวัติผู้วิจัย	105

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ปริมาณสลัดจ์และค่าใช้จ่ายในการนำไปกำจัดของ สวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา	5
ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางเคมีของสลัดจ์	12
ตารางที่ 2.2 ข้อมูลเปรียบเทียบธาตุอาหารของปุ๋ยกับสลัดจ์ชีวภาพ	13
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ดินและสลัดจ์ก่อนการเพาะปลูก	38
ตารางที่ 4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	39
ตารางที่ 4.3 ปริมาณทองแดงที่ระยะเวลาต่าง ๆ	41
ตารางที่ 4.4 ปริมาณนิกเกิลที่ระยะเวลาต่าง ๆ	42
ตารางที่ 4.5 ปริมาณสังกะสีที่ระยะเวลาต่าง ๆ	43
ตารางที่ 4.6 ปริมาณโครเมียมที่ระยะเวลาต่าง ๆ	45
ตารางที่ 4.7 ปริมาณแคดเมียมที่ระยะเวลาต่าง ๆ	45
ตารางที่ 4.8 ปริมาณโพแทสเซียมที่ระยะเวลาต่าง ๆ	46
ตารางที่ 4.9 ปริมาณไนโตรเจนที่ระยะเวลาต่าง ๆ	47
ตารางที่ 4.10 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ระยะเวลาต่าง ๆ	49
ตารางที่ 4.11 ความสูงของผักนึ่งจีนแต่ละแปลงทดลอง	50
ตารางที่ 4.12 น้ำหนักเฉลี่ยของผักนึ่งจีน	54

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 ระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา.....	4
ภาพที่ 4.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	40
ภาพที่ 4.2 ปริมาณทองแดงที่ระยะเวลาต่าง ๆ	41
ภาพที่ 4.3 ปริมาณนิเกิลที่ระยะเวลาต่าง ๆ	43
ภาพที่ 4.4 ปริมาณสังกะสีที่ระยะเวลาต่าง ๆ	44
ภาพที่ 4.5 ปริมาณโพแทสเซียมที่ระยะเวลาต่าง ๆ	47
ภาพที่ 4.6 ปริมาณไนโตรเจนที่ระยะเวลาต่าง ๆ	48
ภาพที่ 4.7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ระยะเวลาต่าง ๆ	49
ภาพที่ 4.8 ส่วนสูงเฉลี่ยของผักบุ้งจีนตามระยะเวลา	52
ภาพที่ 4.9 การเจริญเติบโตของผักบุ้งตามระยะเวลา	53
ภาพที่ 4.10 น้ำหนักเฉลี่ยของผักบุ้งจีน	54
ภาพที่ 4.11 การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนจากส่วนสูงและน้ำหนัก	55

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากน้ำมีความจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นมนุษย์ สัตว์และพืช ต้องใช้น้ำในการดำรงชีวิต ในปี พ.ศ. 2538 ได้มีการศึกษาพบว่า ความต้องการใช้น้ำทั่วโลกมีประมาณ 2,300 ลบ.กม. ได้มีการพัฒนานำน้ำขึ้นมาใช้ 3,800 ลบ.กม. แต่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ทั้งหมด น้ำจำนวนมหาศาลเหล่านี้ถูกนำไปใช้ในภาคเกษตรกรรม ซึ่งในปัจจุบันเพิ่มมากขึ้นถึง 5 เท่า เมื่อเทียบกับในช่วงต้นศตวรรษ ในขณะที่มีการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น 26 เท่า ปัญหาที่เพิ่มขึ้นตามมาคือ ความเน่าเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรม รวมทั้งการขยายตัวของชุมชน พบว่าถ้า 1 ใน 3 ของประชากรโลกกำลังประสบปัญหาเรื่องน้ำอย่างรุนแรง สัดส่วนนี้จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าตัวในปี พ.ศ. 2568 (สุริรา ตูลยเสถียร 2544 : 210) หลังจากที่น้ำกลายเป็นน้ำเสียจึงต้องผ่านกระบวนการบำบัดคุณภาพน้ำ เพื่อปรับคุณภาพให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด กระบวนการบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ ทั้หน่วยบำบัดทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ จะก่อให้เกิดสลัดจ์ซึ่งมีผลทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ จึงจำเป็นต้องนำสลัดจ์ไปทำการบำบัดและกำจัดอย่างถูกต้องต่อไป สลัดจ์จากกระบวนการต่างกันจะมีคุณสมบัติต่างกัน เช่น สลัดจ์จากถังตกตะกอนแรกมีสีเทาดำ มีกลิ่นเหม็นมาก มีแนวโน้มที่จะเกิดการเน่าเสียได้ง่าย สลัดจ์จากระบบเลี้ยงตะกอนมีสีน้ำตาลเข้มถ้าอยู่ในสภาพมีอากาศจะไม่มีกลิ่นเหม็น แต่ถ้าอยู่ในสภาพไร้อากาศจะมีกลิ่นเหม็นมาก การบำบัดสลัดจ์มีจุดประสงค์เพื่อลดปริมาณสลัดจ์โดยทำการลดปริมาณน้ำในสลัดจ์และเพื่อให้ตะกอนเกิดความคงตัว ลดศักยภาพการเกิดการเน่าเหม็นเมื่อทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อม วิธีการหนึ่งในการบำบัดและกำจัดสลัดจ์คือ การกำจัดขั้นสุดท้ายโดยการใช้เป็นปุ๋ยหรือวัสดุบำรุงดิน การฝังกลบ การทิ้งลงบ่อตากตะกอน แต่วิธีการเหล่านี้จะต้องทำอย่างถูกต้องเหมาะสม ไม่เช่นนั้นแล้วอาจทำให้ตะกอนรั่วไหลหรือถูกชะล้างลงสู่สิ่งแวดล้อมได้อีก(มัลลิกา ปัญญาคะโป 2544 :65-68)

สวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา เป็นเขตประกอบการอุตสาหกรรมที่มีโรงงานต่าง ๆ จำนวน 87 โรงงาน ประกอบด้วยโรงงานใน 6 กลุ่มหลัก ดังนี้

กลุ่มพอกย้อม ประกอบด้วยโรงงานย้อมผ้า ผลิตหนังเทียม ผ้ากบไฟม EVA ทอผ้า สำหรับทำชุดชั้นใน ผลิตสิ่งทอ ผลิตวัตถุดิบสำหรับชุดชั้นในและผ้าลูกไม้ปัก ผลิตผ้าชั้นในฉาบกา ผลิตแถบยางยืด ปักผ้า พิมพ์ลายและเคลือบวัสดุ

กลุ่มโรงงานอาหาร ประกอบด้วย โรงงานผลิตเส้นหมี่ขาว บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ผักดอง ประเภทต่าง ๆ ขนมปังกรอบ หมากฝรั่ง

กลุ่มโรงงานลาเท็กซ์ ประกอบด้วย โรงงานผลิตถุงมือยาง ผลิตชิ้นส่วนยางยนต์ที่ทำจากยาง

กลุ่มโรงงานดีเทอร์เจนต์ ประกอบด้วย โรงงานผลิตผงซักฟอก สารซีโอไลท์

กลุ่มโรงงานอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย โรงงานผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ แผงวงจร อิเล็กทรอนิกส์ ประกอบโทรทัศน์ เครื่องเล่นวีดีโอ เครื่องซักผ้า ไมโครเวฟ

กลุ่มโรงงานทั่วไป ประกอบด้วยอุตสาหกรรมสำเร็จรูป ได้แก่ ผ้าขนหนู ชุดชั้นใน เสื้อผ้าสำเร็จรูป อุตสาหกรรมรองเท้าและชิ้นส่วน เครื่องประดับรองเท้า แบบหล่อพื้นรองเท้า พื้นรองเท้า อุตสาหกรรมพลาสติก เช่น ชิ้นส่วนพลาสติกหรือเคลือบด้วยพลาสติกที่เป็นฉนวนไฟฟ้า และปลั๊กไฟ ผลิตฟองน้ำสำหรับชุดชั้นในสตรี อุตสาหกรรมผลิตยาแผนปัจจุบัน เครื่องสำอาง น้ำหอมปรับอากาศ อุตสาหกรรมกระดาษ เช่น กล่องกระดาษลูกฟูก อุตสาหกรรมบริการ เช่น บริการที่ปรึกษาและควบคุมงานก่อสร้าง จำหน่ายสารเคมีและบริการด้านสิ่งแวดล้อม บริการคลังสินค้า บริการรักษาความปลอดภัย บริการด้านการขนส่ง

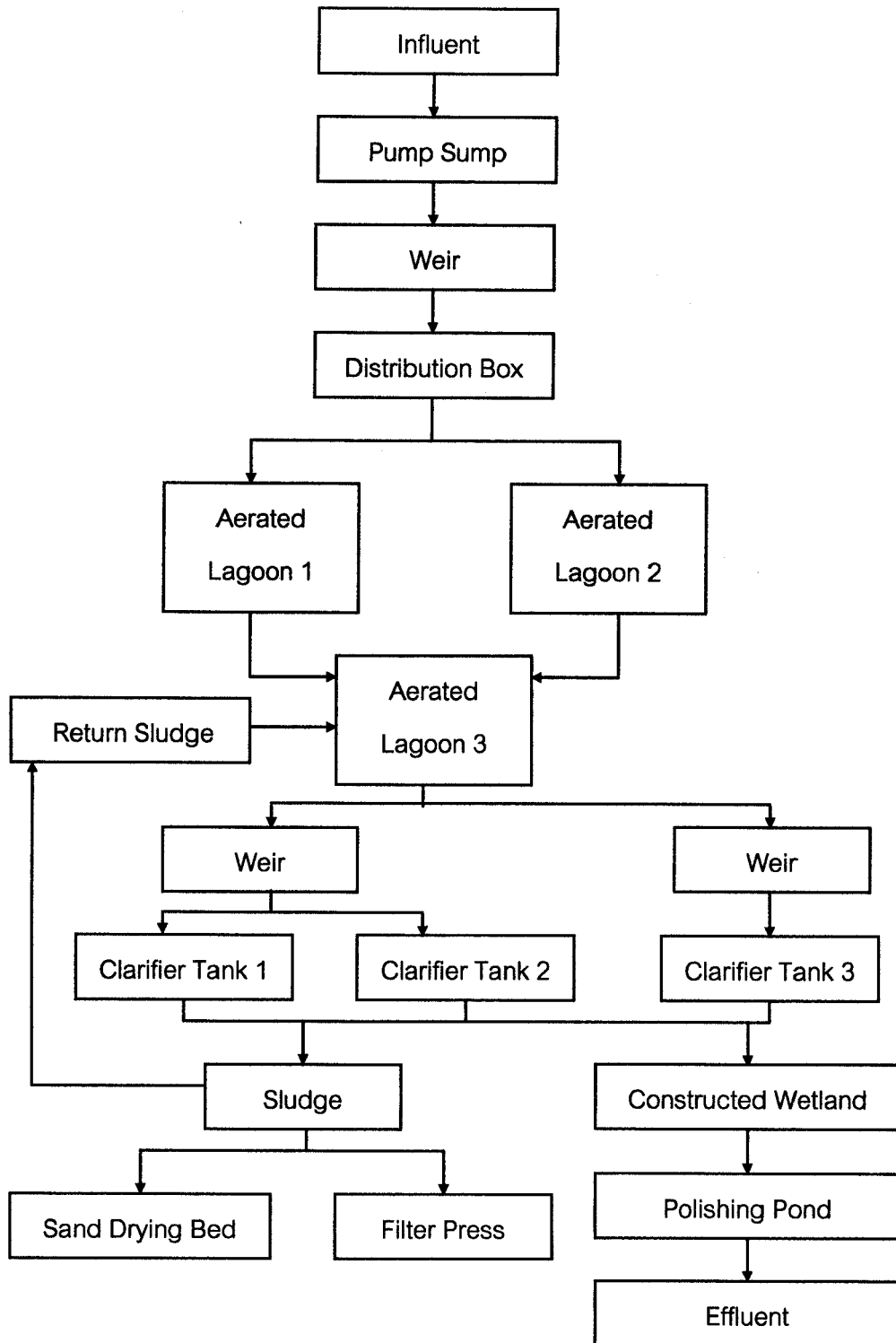
จากกิจกรรมที่ดำเนินในสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา โดยกลุ่ม อุตสาหกรรมต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวไว้ ทำให้เกิดน้ำเสียจากการประกอบกิจกรรม ประมาณ 7,500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ค่าความสกปรก(BOD) ประมาณ 26.12 มิลลิกรัมต่อลิตร (อีลเทิร์นไทยคอน ซัลติง 1992 2548: 4) โดยน้ำเสียจากแต่ละโรงงานจะไหลมาทางท่อรวบรวมน้ำเสียของโครงการ เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) และระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) ผ่านตะแกรงดักขยะ 2 ที่ คือ ตะแกรงดักของแข็ง และดักขยะ บริเวณท่อน้ำเสียหน้า ทางเข้า และก่อนจะเข้าสู่บ่อสูบล 1 ซึ่งมีขนาดความจุ 200 ลูกบาศก์เมตร น้ำจะอยู่ในบ่อสูบล ประมาณ 20 นาที และจะถูกสูบลเข้า Weir box โดย เครื่องสูบลน้ำ 3 ตัว ซึ่งแต่ละตัวจะสูบลน้ำได้ เท่ากับ 210 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เครื่องสูบลน้ำ ทั้ง 3 ตัวนี้จะทำงานโดยระบบลูกลอย จากนั้น น้ำเสียจะไหลเข้าสู่ถังปรับสภาพ ซึ่งมีการออกแบบไว้เพื่อปรับค่าความเป็นกรดความเป็นด่าง (pH) โดยใช้ กรดซัลฟูริก (H₂SO₄) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งควบคุมโดยเครื่องอัตโนมัติ (pH Controller) แต่ปัจจุบันน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อยู่ในช่วง 6.5-8 จึงไม่มีการใช้สารเคมีในส่วนนี้

น้ำเสียจะไหลเข้าสู่บ่อเติมอากาศ 1 และ 2 ในปริมาณเท่ากัน ซึ่งมีความจุ 6,000 ลูกบาศก์เมตร โดยบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) มีความสามารถในการรองรับน้ำเสียเพื่อนำมาบำบัด (Average Flow Rate) 7,500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ลักษณะน้ำเสียเข้าระบบบำบัด BOD120 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6-8 สารแขวนลอย 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และลักษณะน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดมีค่า BOD น้ำทิ้ง ต่ำกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร สารแขวนลอย ต่ำกว่า 30 มิลลิกรัมต่อลิตร

น้ำเสียจะอยู่ในบ่อเติมอากาศเป็นเวลา 2.4 วัน โดยมีขบวนการบำบัดน้ำเสียคือ มีการเติมอากาศ (ออกซิเจน) เพื่อให้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) อยู่ในช่วง 1.0 - 2.0 ส่วนในล้านส่วนในน้ำ เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์ที่เลี้ยงไว้ในน้ำ นำออกซิเจนไปใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำให้หมดไป โดยขบวนการใช้ออกซิเจน (Aerobic treatment) ในการบำบัดจะมีการเติมอาหารเสริมให้กับเชื้อจุลินทรีย์ ในบ่อเติมอากาศจะมีการเลี้ยงเชื้อด้วยความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 550 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำที่ผ่านจากบ่อเติมอากาศ 1 และ 2 แล้ว จะมีค่าบีโอดี (BOD) เหลือประมาณ 49.20 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้น น้ำเสียจะไหลรวมกันเข้าบ่อเติมอากาศ 3 ที่มีการบำบัดในลักษณะเดียวกับบ่อเติมอากาศ 1 และ 2 โดยขนาดของบ่อเติมอากาศทั้ง 3 บ่อเท่ากับ 8,487 ลูกบาศก์เมตร แต่ละบ่อมีเครื่องเติมอากาศสำรองไว้ 1 ตัว น้ำเสียจะไหลรวมในบ่อสูบลูก 2 ก่อนจะถูกสูบขึ้นเข้าสู่บ่อตกตะกอน โดยจะมีเครื่องสูบน้ำสูบ 3 ตัว ซึ่งทำงานด้วยระบบลูกลอย น้ำเสียจะเข้าสู่บ่อตกตะกอน (Clarifier Tank) ซึ่งมีความจุขอลดประมาณ 80 ลูกบาศก์เมตร เพื่อแยกจุลินทรีย์ออกให้ได้น้ำใส โดยส่วนตะกอนจะจมลงก้นถังซึ่งจะถูกใบกวาดตะกอน กวาดให้ไปรวมกันในบ่อตกตะกอน ตะกอนบางส่วนจะถูกนำกลับ (Return sludge) เข้าบ่อเติมอากาศ 3 อีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปกำจัดที่ลานตากตะกอนขนาด 400 ลูกบาศก์เมตร หรือเครื่องรีดตะกอน ตะกอนที่แห้งจะมีการขนออกจากลานตากตะกอน เพื่อนำไปกำจัดต่อไป

ส่วนน้ำใสก็จะไหลเข้าสู่บึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) ซึ่งมีความจุ 10,800 ลูกบาศก์เมตร ลึก 1.5 เมตร ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำได้ 2.16 วัน (Retention Time) โดยในบ่อจะมีการปลูกผักบุ้งและพืชน้ำประมาณร้อยละ 70 ของพื้นที่ผิวน้ำ เพื่อดูดซับสารแขวนลอยในน้ำและสีที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้ง ทำให้น้ำใสขึ้นและไม่มีสี จากนั้นน้ำจะเข้าสู่บ่อผึ่ง (Polishing Pond) เพื่อให้น้ำถูกแสงแดดได้อย่างเต็มที่ และจากรายงานผลการดำเนินงานควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรม เครือสหพัฒน์ ศรีราชา ในปี 2548 ซึ่งได้ทำการตรวจวัดค่าน้ำทิ้งได้แก่ค่า BOD, Cr⁶, COD, Grease & Oil, TKN, pH, Cu, Cd, Ni, Zn, Phosphorus, Suspended solids พบว่าน้ำทิ้งที่ได้มีค่าเป็นไปตาม

มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ก่อนปล่อยลงสู่ลำน้ำห้วยเล็ก (อีสานเทิร์นไทยคอนซัลติง 1992 2548: 5) ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ระบบบำบัดน้ำเสีย สวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา

ปัญหาหนึ่งที่พบในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา คือการเกิดสลัดจ์จากการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย กระบวนการบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ ทั้งหน่วยบำบัดทางกายภาพและชีวภาพ ซึ่งก่อให้เกิดสลัดจ์ จึงจำเป็นต้องนำตะกอนไปทำการบำบัด(Treatment) และกำจัด (Disposal) มีปริมาณและค่าใช้จ่ายในการกำจัดดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ปริมาณและค่าใช้จ่ายในการกำจัดสลัดจ์ของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา

เดือน	ปริมาณสลัดจ์ที่เกิดขึ้น (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่ายในการนำไปกำจัด (บาท)
มกราคม	7,000	9,800
กุมภาพันธ์	7,000	9,800
มีนาคม	8,000	11,200
เมษายน	7,000	9,800
พฤษภาคม	7,500	10,500
มิถุนายน	7,000	9,800
กรกฎาคม	7,000	9,800
สิงหาคม	8,000	11,200
กันยายน	6,000	8,400
ตุลาคม	6,000	8,400
พฤศจิกายน	8,000	11,200
ธันวาคม	9,000	12,600
รวม	87,500	122,500

ที่มา : บริษัท อีสเทิร์นไทยคอนซัลติง 1992 จำกัด (2548) หน้า13 "รายงานการควบคุมระบบ
บำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา"

สลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา ซึ่งเป็นระบบ
ตะกอนเร่ง (Activated Sludge) และระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) ถูกส่งไปที่ลาน
ตากตะกอนขนาด 400 ลูกบาศก์เมตร หรือเครื่องรีดตะกอน เพื่อทำให้เป็นตะกอนที่แห้ง มี

ลักษณะเป็นเนื้อละเอียดสีน้ำตาล ค่อนข้างเหลว มีกลิ่นเล็กน้อย ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยวันละ 240 กิโลกรัม ปัจจุบันสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา กำจัดสลัดจ์ที่เป็นตะกอนแห้งโดยการรวบรวมและส่งไปกำจัดที่บริษัทรับกำจัดกากอุตสาหกรรมที่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานราชการ อย่างไรก็ตามการกำจัดตะกอนโดยการส่งไปกำจัดนั้นยังไม่ใช่การแก้ปัญหาอย่างยั่งยืน ผู้วิจัยจึงเห็นความจำเป็นในการศึกษาวิจัยเพื่อนำสลัดจ์มาใช้เป็นวัสดุบำรุงดิน เพื่อเป็นแนวทางในการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ และลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมจากการนำไปกำจัดโดยวิธีฝังกลบ ซึ่งจะทำให้เกิดน้ำเสียในระบบฝังกลบเนื่องจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์บางชนิด และการซึมผ่านของน้ำฝน (ฉัตรดนัย จิรเดชะ 2544: 251) ซึ่งการป้องกันผลกระทบที่จะมีต่อสิ่งแวดล้อมนี้จะต้องการการดูแลรักษาหลุมฝังกลบที่ปิดดำเนินการแล้ว การติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศก็เป็นปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญต้องดำเนินการหลังจากปิดหลุมฝังกลบ และปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือการดูแลรักษาระบบปกคลุมฝังกลบ ซึ่งอาจเกิดความเสียหายขึ้นมาจากหลายกรณี เช่น ปัญหาการกัดแทะจากสัตว์ การกัดกร่อนของผิวหน้าดินเนื่องจากฝน การแทรกตัวของรากไม้ (ฉัตรดนัย จิรเดชะ 2544: 286) จะเห็นได้ว่าการนำไปฝังกลบยังไม่ใช่การจัดการกับสลัดจ์ที่เกิดขึ้นอย่างยั่งยืน อีกทั้งหากสามารถนำสลัดจ์มาใช้เป็นวัสดุบำรุงดินยังเป็นการลดการใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อปลูกพืชในสวนอุตสาหกรรม ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อมลพิษทางดิน เช่น ปุ๋ยยูเรียทำให้ดินเป็นกรดมากขึ้น ปุ๋ย N-P-K มีผลต่อการลดลงต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้ฟอสเฟต ตกค้างในดิน (สุธีรา ตูลยะเสถียรและคณะ 2544: 142)

สวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา เคยมีแนวทางในการนำตะกอนมาใช้ประโยชน์โดยใช้เป็นปุ๋ยสำหรับต้นไม้ในสวนอุตสาหกรรม และยังมีโครงการศึกษาองค์ประกอบในตะกอนเพื่อศึกษาวิธีการจัดการไม่ให้ตะกอนมีองค์ประกอบที่เป็นพิษ (มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2540: 2-33) แต่ยังไม่มีการนำมาปฏิบัติอย่างจริงจัง ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชามาใช้เป็นวัสดุบำรุงดิน โดยใช้ผักบุงจิ้นเป็นพืชทดลองเนื่องจากสามารถปลูกและเจริญเติบโตได้ในบ่อบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) จากระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น ปลูกได้ทุกฤดูกาล จึงเลือกเป็นพืชทดลองเพื่อศึกษาการเจริญเติบโต แต่อย่างไรก็ตามผักบุงจิ้นถือเป็นพืชที่ใช้ในการบริโภคหากมีการตกค้างของโลหะหนักถึงแม้ในปริมาณเล็กน้อยก็ไม่เหมาะสมในการนำมาทดลองเพื่อใช้ในด้านเกษตรกรรม และวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีในดินและสลัดจ์ จากตารางที่ 2.2 พบว่าสลัดจ์จากระบบชีวภาพมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช สำหรับทำเป็นปุ๋ยหรือปรับปรุงดิน ตะกอนน้ำเสียมี

ธาตุที่จำเป็นสำหรับชีวิตพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โบตาสเซียม นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่นที่จำเป็นแก่พืชจำนวนเล็กน้อย เช่น โบรอน แคลเซียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ และสังกะสี ตะกอนที่ย่อยแล้วนอกจากจะเป็นอาหารของพืช ยังมีประโยชน์ในการปรับปรุงดิน ทำให้ดินมีความชุ่มชื้น และไถคราดได้ง่าย (วิทยา เพียรวิจิตร 2525: 81) เหมาะจะนำไปใช้เป็นวัสดุบำรุงดินในสวนหย่อมและแปลงต้นไม้ในสวนอุตสาหกรรมเครื่องสหพัฒน์ ศรีราชา ซึ่งเป็นพืชประเภทไม้ใบ แทนการนำสลัดจ์ไปกำจัดทิ้งโดยเสียประโยชน์ รวมทั้งเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด แต่การจะนำสลัดจ์ดังกล่าวไปใช้เป็นวัสดุบำรุงดินได้นั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาลักษณะของสลัดจ์ และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น โดยผู้วิจัยคาดว่าผลจากการศึกษาในครั้งนี้จะทำให้ทราบค่าที่เหมาะสมในการนำสลัดจ์มาใช้เป็นวัสดุบำรุงดิน เพื่อลดปัญหาการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และลดค่าใช้จ่ายจากการนำสลัดจ์ไปฝังกลบ

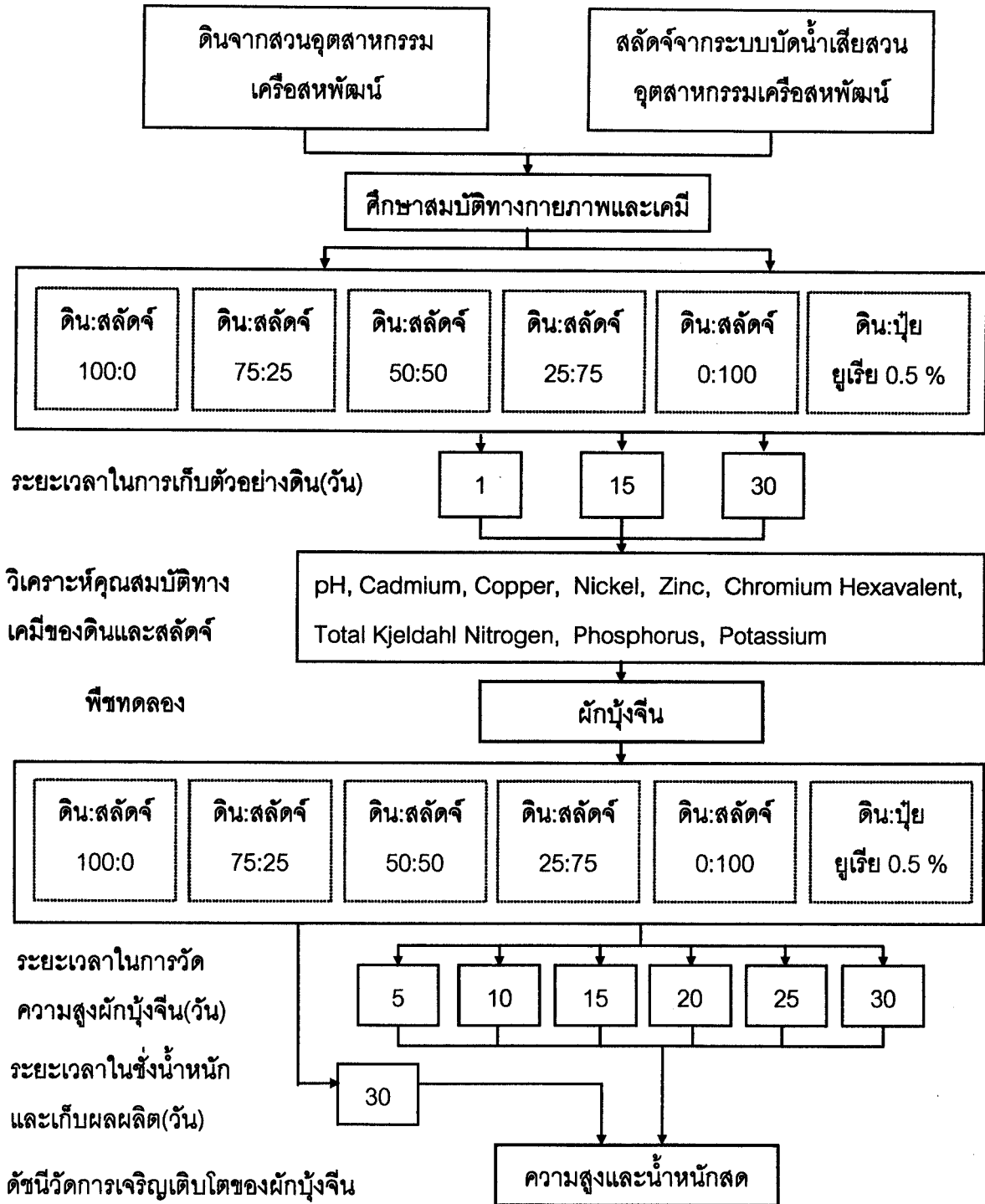
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน สลัดจ์ รวมทั้งสลัดจ์ผสมกับดินในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อนำไปเป็นวัสดุบำรุงดินสำหรับปลูกผักบุ้งจีน

2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดินแต่ละชุดการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน และปริมาณของโลหะหนักที่สำคัญคือ ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) โครเมียม (Cr^{+6}) สังกะสี (Zn) และแคดเมียม(Cd) ในสลัดจ์หลังจากใช้ในการผสมกับดิน เพื่อปลูกผักบุ้งจีน

2.3 เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนที่ใช้เป็นพืชทดลองปลูกบนสลัดจ์ในอัตราส่วนของการใช้สลัดจ์ที่แตกต่างกัน

3. กรอบแนวคิดการวิจัย



4. สมมุติฐานการวิจัย

ดินที่ผสมสลัดจ์ในอัตราส่วนต่าง ๆ มีผลทำให้น้ำหนักและส่วนสูงของผักบุ้งจีนแตกต่างกัน

5. ขอบเขตการวิจัย

5.1 สลัดจ์ที่ใช้ในการทดลอง นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครื่องสหพัฒน์ ศรีราชา

5.2 การทดลองอยู่ในสภาวะเดียวกันคือในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง ณ ระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครื่องสหพัฒน์ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี

5.3 ผักบุ้งที่ใช้ในการทดลองกำหนดให้มีอายุเริ่มต้นปลูกพร้อมโดยปลูกในแปลงทดลองที่มีอัตราส่วนของสลัดจ์ที่แตกต่างกัน ทำการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีเป็นจำนวน 3 ครั้ง วัดความสูงทุก 5 วัน จำนวน 6 ครั้ง ชั่งน้ำหนักสดในวันที่ 30 ของการทดลอง

5.4 ปุ๋ยเคมีที่นำมาใช้ครั้งนี้ใช้สูตร (46-0-0) ในอัตราส่วนที่ละลายน้ำ 10 กรัม ต่อน้ำ 20 ลิตรหรือความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

5.5 การวิจัยทำในแปลงทดลองขนาด 90*90*30 เซนติเมตร

5.6 ศึกษาการเจริญเติบโตของผักบุ้ง โดยดูจากความสูงและน้ำหนักของผักบุ้ง

5.7 คุณสมบัติทางเคมีของสลัดจ์และดินที่ทำการตรวจวิเคราะห์ คือ ปริมาณทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) โครเมียม (Cr^{+6}) สังกะสี (Zn) และแคดเมียม (Cd) ในสลัดจ์

5.8 การรดน้ำแปลงผักบุ้งจีนในปริมาณที่เท่ากัน โดยแต่ละแปลงใช้น้ำ 20 ลิตรต่อวัน

6. นิยามศัพท์เฉพาะ

6.1 ผักบุ้ง หมายถึง ผักบุ้งที่ใช้สำหรับการนำมาเป็นพืชทดลองปลูกในการวิจัยครั้งนี้เท่านั้น

6.2 สลัดจ์ หมายถึง สลัดจ์ที่ได้จากการเดินระบบบำบัดน้ำเสียรวม สวนอุตสาหกรรมเครื่องสหพัฒน์ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี

6.3 แปลงควบคุม หมายถึง ผักนึ่งที่ปลูกโดยใช้ดินอย่างเดียว และใช้สำหรับเปรียบเทียบการปลูกผักนึ่งโดยใช้สลัดจ์และดินในอัตราส่วนต่าง ๆ และการปลูกผักนึ่งโดยใช้ดินและปุ๋ย

6.4 วัสดุบำรุงดิน (Soil Amendment or Soil Conditioner) หมายถึง สลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครือสพพัฒนา ศรีราชา ที่นำมาทดลองในครั้งนี้

7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

7.1 ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมของการนำสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครือสพพัฒนา ศรีราชา มาเป็นวัสดุบำรุงดิน

7.2 ได้แนวทางในการจัดทำวัสดุเพื่อใช้บำรุงดินในสวนอุตสาหกรรมเครือสพพัฒนา ศรีราชา ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดสลัดจ์ที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสีย และลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในการเกิดของเสียที่ต้องนำไปกำจัดโดยวิธีอื่น เช่น การฝังกลบ

7.3 ได้แนวทางในการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของการนำสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งมาใช้ในการวิจัย ทราบคุณสมบัติ ความเหมาะสม และปริมาณของสลัดจ์ต่อการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรม

บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. นิยาม

1.1 ความหมาย

1.1.1 **วัตถุปรับปรุงดิน** คือวัสดุใด ๆ ที่ใส่ลงไปในดินหรือผสมลงไปกับปุ๋ยแล้วช่วยในการปรับปรุงสถานทางกายภาพและทางเคมีของดินให้ดีขึ้น เพื่อความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ฟางข้าว ตอซังของพืช ปูน ยิปซัม ฯลฯ (เกษมศรี รัชชอน 2543:198)

1.1.2 **วัตถุปรับปรุงดิน (Soil Amendment or Soil Conditioner)** ได้แก่ วัตถุใดก็ตามใส่ลงไปในดินแล้วจะปรับปรุงสภาพทางเคมี ฟิสิกส์ หรือชีวภาพของดินให้ดีขึ้น เพื่อให้เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ อินทรีย์วัตถุพวก peat, seed meal, ยิปซัม และสารพวก agromax เป็นต้น โดยปกติปุ๋ยและปูนขาวถือเป็น Soil amendment เหมือนกัน (กิตตินันท์ธีระวรรณวิไล 2527:53)

1.1.3 **สลัดจ์** หมายถึง ของแข็งที่แยกออกจากรู้น้ำหรือน้ำเสีย และจมสะสมตัวอยู่เบื้องล่าง ของแข็งที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบำบัดโดยวิธีการทางเคมีและตกตะกอนทำให้เกิดตะกอนเคมี กลุ่มจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยาทำให้เกิดตะกอนชีวภาพ(ธงชัย พรรณสวัสดิ์ 2538:121)

1.1.4 **สลัดจ์** หมายถึง ตะกอนประเภทต่าง ๆ ที่ถูกแยกออกจากรู้น้ำ ซึ่งตะกอนเหล่านี้ อาจเกิดจากผลของกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ ทางชีววิทยาและทางเคมี (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ 2537:19)

2. การบำบัดและกำจัดสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge)

แหล่งที่มาและลักษณะของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียเป็นข้อมูลที่สำคัญมาก เพื่อที่จะสามารถนำไปบำบัดและกำจัดต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น สลัดจ์มีปริมาณ

สารอินทรีย์มากน้อยเพียงใดต้องคำนึงถึง เนื่องจากจะส่งผลไปถึงปัญหาการมีกลิ่นเหม็น หรือ สลัดจ์ที่มีปริมาณของแข็งมากน้อยเพียงใด หรือมีปริมาณสารอาหารมากน้อยเพียงใดเป็นต้น

สลัดจ์ที่มาจากระบบบำบัดน้ำเสียมีหลายจุด และแต่ละจุดมีปริมาณและลักษณะที่ แตกต่างกันโดยสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง จะมีสีน้ำตาลเข้ม ถ้าสลัดจ์อยู่ใน สภาพที่มีอากาศจะไม่มีกลิ่นเหม็น แต่ถ้าขาดอากาศในระยะเวลาไม่นานนัก จะเกิดสภาพ Anaerobic ทำให้มีกลิ่นเหม็นมาก สลัดจ์ที่ออกจากระบบนี้ อาจถูกถ่ายออกจากถังเติมอากาศหรือ ออกจากกันถังตกตะกอนที่สองแล้วนำไปตากที่ลานตากตะกอนต่อไป

2.1 ลักษณะทางเคมีของสลัดจ์

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางเคมีของตะกอน

ลักษณะทางเคมี	สลัดจ์ขั้นต้น (% ของแข็งทั้งหมด)	สลัดจ์ขั้นต้นย่อยแล้ว (% ของแข็งทั้งหมด)	ระบบเอเอส (% ของแข็งหมด)
1. ของแข็งทั้งหมด (TS) มก./ล	20,000-80,000	60,000-120,000	8,300-11,600
2. ของแข็งระเหยง่าย (VS)	60-80	30-60	59-88
3. ไนโตรเจนและไฮ	6-35	5-20	5-12
4. โปรตีน	20-30	15-20	32-40
5. ไนโตรเจน	1.5-4.0	1.6-6.0	2.4-5.0
6. ฟอสฟอรัส	0.8-2.8	1.5-4.0	2.8-11
7. Potash (K ₂ O)	0-1.0	0-3.0	0.5-0.7
8. Silica (SiO ₂)	15-20	10-20	-
9. pH	5-8	6.5-7.5	6.5-8.0
10. สภาพต่าง, มก./ล CaCO ₃	500-1,500	2,500-3,500	580-1,100
11. กรดอินทรีย์, มก./ล HAc	200-2,000	100-600	1,100-1,700
12. พลังงาน, กิโลจูล/กก.	23,000-29,000	9,300-14,000	19,000-23,000

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2539) การบำบัดน้ำเสีย : การบำบัดและกำจัดสลัดจ์ หน้า 317

เมื่อพิจารณาลักษณะสัจจากระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ พบว่าน่าจะนำมาใช้เป็นปุ๋ยหรือนำมาใช้เป็นตัวปรับสภาพดินในทางเกษตรกรรมได้ดี เพื่อเสริมธาตุอาหารให้แก่ดิน แต่สารโลหะหนักที่ปนมากับสัจจาอาจมีมากหรือน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำเสียนั้น ๆ ดังนั้นจึงควรพิจารณาด้วยเช่น Arsenic ,Cadmium, Cobalt, Copper, Iron, Lead, Mercury เป็นต้น ตารางที่ 2.2 ได้แสดงข้อมูลเปรียบเทียบธาตุอาหารของปุ๋ยที่ใช้กันทั่วไปกับสัจจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาปรับปรุงคุณภาพของสัจจาให้ได้ใกล้เคียงกับปุ๋ยทั่วไป(เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ 2539: 312)

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลเปรียบเทียบธาตุอาหารของปุ๋ยกับสัจจาชีวภาพ

	ไนโตรเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โปแตสเซียม (%)
ปุ๋ยทั่วไป	5	10	10
สัจจาชีวภาพ	3.3	2.3	0.3
ค่าผลต่างเทียบกับปุ๋ย	34	77	97

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2539) การบำบัดน้ำเสีย: การบำบัดและกำจัดสัจจา หน้า 318

2.2 การกำจัดสัจจา

การกำจัดสัจจาที่ผ่านการบำบัดแล้วมีหลายวิธี ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมีแนวทางพื้นฐานอยู่ 5 แนวทาง คือ การถมที่ (Land Fill) การเกลี่ยผสมกับหน้าดินเพื่อเป็นสารปรับปรุงดิน (Spreading on soil) การทิ้งในแอ่งดิน (Lagoon) การนำไปทิ้งทะเล (Ocean disposal) การเผาทิ้ง (Incineration)

การเลือกกำจัดสัจจาในแต่ละประเทศจะแตกต่างกันไป เช่น ประเทศอังกฤษใช้วิธีกำจัดสัจจาโดยใช้ประโยชน์ทางการเกษตรร้อยละ 40 ทิ้งทะเลร้อยละ 40 และเผาทิ้งร้อยละ 20 สำหรับโรงบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร(ชุมชนห้วยขวาง) ทำการกำจัดสัจจาบางส่วนโดยการนำไปผสมกับวัสดุต่าง ๆ เช่น ขุยมะพร้าว แกลบ เป็นต้น เพื่อใช้เป็นปุ๋ยปรับปรุงคุณภาพดินปลูกต้นไม้ในพื้นที่ความรับผิดชอบของการเคหะแห่งชาติและมีบางส่วนที่นำไปทิ้งในพื้นที่ของกรุงเทพมหานคร

วิธีการกำจัดสลัดจ์โดยการเผาทิ้ง การนำไปฝังดิน หรือการขนไปทิ้งในทะเลหรือมหาสมุทรนั้น มักจะก่อปัญหาสภาวะแวดล้อมต่อเนื่องขึ้น เช่น การใช้วิธีเผาทิ้งอาจก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางอากาศ จากฝุ่นซีเมนต์และควันจากปล่องควันไฟ ส่วนการนำไปทิ้งในทะเลก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดมลภาวะทางทะเลด้วยเช่นกัน สำหรับการฝังดินนั้นก็มีความลำบากในการหาบริเวณพื้นดินที่เหมาะสมในการฝังกากตะกอน เพราะการเพิ่มจำนวนประชากร การขยายเขตเมือง ทำให้การใช้ประโยชน์ที่ดินในแง่ต่าง ๆ มีขีดจำกัด รวมทั้งเป็นปัญหาการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน

วิธีการกำจัดตะกอนโดยการเผาทิ้ง เป็นวิธีที่มีความสะดวกในการจัดการสามารถทำได้ ณ จุดกำเนิดกากตะกอน แต่มีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการจัดการสูงกว่าวิธีอื่น ๆ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก โดยเฉพาะมลภาวะทางอากาศ

3. ผักนึ่งจีน

ผักนึ่งจีนเป็นพืชผักเมืองร้อนชนิดหนึ่งที่คนไทยนิยมบริโภคกันมาก ผักนึ่งที่ปลูกในประเทศไทยมีอยู่ 2 ประเภท คือ ผักนึ่งไทย ซึ่งมีดอกสีม่วงอ่อน ลำต้นสีเขียว หรือม่วงอ่อน ใบสีเขียวเข้ม ก้านใบสีม่วง และผักนึ่งจีน ลักษณะใบมีสีเขียว ก้านสีเหลืองหรือขาว ก้านดอกและมีดอกสีขาว

ผักนึ่งจีนเป็นผักที่อยู่ในตระกูล Convolvaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea aquatica* Forsk เป็นผักพื้นเมืองของทวีปเอเชียเขตร้อน ออฟริกา และออสเตรเลีย แล้วแพร่กระจายไปยังเขตร้อนต่าง ๆ ของโลก ผักนึ่งจีนเป็นผักที่ปลูกเพื่อบริโภคส่วนของใบและลำต้น โดยนำมาใช้ประกอบอาหารได้อย่างกว้างขวาง ประกอบกับผักนึ่งจีนเป็นผักที่ปลูกง่าย โตเร็ว สามารถปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย ทุกฤดูกาล และอายุการเก็บเกี่ยวสั้น จึงนิยมปลูกอย่างแพร่หลาย

3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ราก รากของผักนึ่งจีนเป็นระบบรากแก้ว มีรากแขนงแตกออกทางด้านข้างของรากแก้วและยังสามารถแตกรากฝอยออกมาจากข้อของลำต้นได้ด้วย โดยมักจะเกิดตามข้อที่อยู่บริเวณโคนเถา

ลำต้น ผักนึ่งจีนเป็นไม้ล้มลุกในระยะแรกของการเจริญเติบโตจะมีลำต้นตั้งตรงในระยะต่อไปลำต้นจะเลื้อยทอดยอดไปตามพื้นดินหรือน้ำ ลำต้นมีสีเขียว และปล้องข้างในกลวง

รากจะเกิดที่ข้อทุกข้อที่สัมผัสกับพื้นดินหรือน้ำ ที่ข้อมักมีตาแตกออกมา ทั้งตาใบและตาดอก โดยตาใบจะอยู่ด้านนอก ส่วนตาดอกจะอยู่ด้านใน

ใบ ใบผักนึ่งจีนเป็นใบเดี่ยว รูปร่างคล้ายหอก โคนใบกว้างแล้วค่อย ๆ เรียวเล็กไป ตอนปลาย ปลายใบแหลม ที่โคนใบเป็นรูปหัวใจ ขอบใบเรียบหรือเป็นคลื่น ใบมีความยาวประมาณ 7-15 เซนติเมตร ก้านใบยาว 3-8 เซนติเมตร สำหรับการจัดเรียงของใบเป็นแบบเรียงสลับ ข้อหนึ่งจะมีใบเพียงใบเดียว

ดอกและช่อ ดอกผักนึ่งจีนเป็นดอกสมบูรณ์ คือมีเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน แต่ละดอกประกอบด้วยกลีบเลี้ยงสีเขียว 5 อัน กลีบดอกเชื่อมติดกันเป็นรูปกรวย ด้านนอกมีสีขาวด้านในมีสีม่วง การจัดเรียงของกลีบดอกขณะที่ดอกยังตูมอยู่จะซ้อนกันเป็นใบจักร เมื่อบานจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร มีเกสรตัวผู้ 5 อัน และเกสรตัวเมีย 1 อัน รังไข่ตั้งอยู่เหนือบริเวณที่เกิดของกลีบดอกและเกสรตัวผู้ รังไข่มี 4 ห้อง ไข่ติดอยู่กับแกนกลางของรังไข่ ใน 1 ห้องของรังไข่อาจมี 1 เมล็ด หรือมากกว่าก็ได้ ในฤดูวันสั้น จะออกดอกมีฝักและเมล็ด ในฤดูวันยาวจะเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ

การผสมเกสรของผักนึ่งจีนเป็นแบบผสมตัวเอง และมีการผสมข้ามดอกบ้าง เนื่องจากลมและแมลง ดอกผักนึ่งจีนจะเริ่มบานในเวลาเช้า ละอองเกสรตัวผู้และยอดเกสรตัวเมียพร้อมที่จะผสมในเวลา 10.00-15.00 น. ระยะเวลาหลังผสมจนผสมติดประมาณ 3-4 วัน และจากผสมติดจนเมล็ดแก่ประมาณ 40-50 วัน

ผล เป็นผลเดี่ยว รูปร่างค่อนข้างกลม มีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่ออายุประมาณ 30 วัน หลังดอกบาน มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 1.42 เซนติเมตร หลังจากนั้นจะมีขนาดเล็กลง ลักษณะผิวภายนอกจะเหี่ยวย่น ขรุขระ ไม่แตกเมื่อแห้ง สีของผลเมื่อแก่จะมีสีน้ำตาลหรือน้ำตาลเข้ม ใน 1 ผลมีเมล็ด 4-5 เมล็ด

เมล็ด เมล็ดผักนึ่งจีนมีรูปร่างเป็นสามเหลี่ยมฐานมน มีสีน้ำตาล เปลือกหุ้มเมล็ดมีสี 3 ระดับคือ สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแก่ และสีน้ำตาลดำ มีขนาดเล็ก ความกว้างโดยเฉลี่ยประมาณ 0.4 เซนติเมตร ยาว 0.5 เซนติเมตร ไม่มีอาหารสะสมในเอนโดสเปิร์ม แต่มีอาหารสะสมในใบเลี้ยง ซึ่งติดอยู่กับเอมบริโอเพื่อคอยทำหน้าที่ให้อาหาร ผักนึ่งจีนเป็นพืชที่มีอัตราการพักตัวสูง โดยจะพักตัวในลักษณะของเมล็ดแข็งหรือที่เรียกว่าเมล็ดหิน เมล็ดที่มีสีเข้มกว่าจะมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดแข็งสูงกว่า

3.2 ลักษณะการเจริญเติบโต

ผักนึ่งจีนนิยมขยายพันธุ์ด้วยวิธีการเพาะเมล็ด หลังจากเพาะเมล็ดประมาณ 48 ชั่วโมง ก็จะเริ่มงอก ระยะแรกของการเจริญเติบโตจะให้ลำต้นที่ตั้งตรง หลังจากงอกประมาณ 5-7 วัน จะมีใบเลี้ยงโผล่ออกมา 2 ใบ ซึ่งมีลักษณะปลายใบเป็นแฉกไม่เหมือนกับใบจริงเมื่อต้นโต ในระยะ 2 สัปดาห์แรกจะมีการเจริญเติบโตทางลำต้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งอายุประมาณ 30-45 วัน การเจริญเติบโตก็จะเปลี่ยนไปในทางทอดยอดและแตกกอ สำหรับผักนึ่งจีนที่หว่านด้วยเมล็ด การแตกกอจะมีน้อยมาก การแตกกอเป็นการแตกหน่อออกมาจากตาที่อยู่บริเวณโคนต้นที่ติดกับ ราก มีตาอยู่รอบต้น 3-5 ตา เมื่อแตกกอออกมาแล้วจะเจริญทอดยอดยาวออกไปเป็นลำต้น มีข้อ และมีปล้องและทุกข้อจะให้ดอกและใบ อายุประมาณ 120-130 วันหลังจากหยอดเมล็ดหรือ 90 วันหลังจากดำลงในแปลงเมล็ดก็จะแก่พอที่จะเก็บเกี่ยวได้

3.3 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

ผักนึ่งจีนสามารถปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย และสามารถปลูกได้ทั้งบนดินและในน้ำ เจริญเติบโตได้ในดินแทบทุกชนิด แต่ดินที่เหมาะสมในการปลูกผักนึ่งจีนเพื่อการบริโภคสด คือดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินอยู่ในช่วงเป็นกรดเล็กน้อยจนถึงปานกลาง ผักนึ่งจีนไม่ชอบดินเค็ม ถ้าดินมีเกลือมาจะเจริญเติบโตได้ไม่ดี ผักนึ่งจีนชอบชื้นแฉะ และต้องการความชื้นในดินสูงมาก โดยเฉพาะเมื่อมีน้ำมากผักนึ่งจีนจะเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว แต่ถ้าปริมาณน้ำไม่เพียงพอจะชะงักการเจริญเติบโตและลำต้นจะแข็งกระด้าง ไม่น่ารับประทาน สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ในช่วงที่สูงกว่า 25 องศาเซลเซียส ต้องการแสงแดดเต็มที่ซึ่งในประเทศไทยสามารถปลูกผักนึ่งจีนได้ตลอดทั้งปี

3.4 การปลูก

การเลือกพื้นที่ปลูก การปลูกผักนึ่งจีน เพื่อการบริโภคสดเป็นการปลูกแบบหว่านหรือโรยเมล็ดลงบนแปลงปลูกโดยตรง เมื่อถึงอายุเก็บเกี่ยวคือประมาณ 20-25 วัน ก็จะถอนต้นผักนึ่งจีนทั้งต้นและรากออกจากแปลงปลูกไปบริโภคหรือจำหน่ายต่อไป ควรเลือกปลูกในที่ที่เป็นสภาพพื้นที่ดอน น้ำไม่ท่วม ลักษณะดินควรเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทรายเพื่อให้ถอนต้นผักนึ่งจีนได้ง่าย

การเตรียมดิน เนื่องจากผักนึ่งจีนเป็นพืชที่มีระบบรากตื้น และอายุการเก็บเกี่ยวสั้นประมาณ 20-25 วัน ก็สามารถเก็บเกี่ยวได้ ในการเตรียมดินควรไถดะลึกประมาณ 10-15 เซนติเมตรก็พอแล้วตากดินไว้ประมาณ 10-15 วัน แล้วทำการไถพรวนย่อยดินและยกแปลงปลูก

ขนาดแปลงปลูกกว้าง 1.5-2 เมตร ยาว 10-15 เมตร โดยเว้นทางเดินระหว่างแปลงไว้ 40-50 เซนติเมตร ทั้งนี้เพื่อสะดวกในการปฏิบัติดูแลรักษา หลังจากยกแปลงเรียบร้อยแล้วจึงใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่สลายตัวดีแล้วในอัตรา 500-1,000 กิโลกรัมต่อไร่ คลุกเคล้าปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักให้เข้ากับดิน พรวนย่อยหน้าดินบนแปลงให้ละเอียดและปรับหลังแปลงให้เรียบเสมอกัน อย่าให้หลังแปลงเป็นหลุมเป็นบ่อเพราะจะทำให้ผักงูขึ้นไม่สม่ำเสมอทั้งแปลง หากดินเป็นกรดมาก ควรใส่ปูนขาวเพื่อปรับความเป็นกรดของดิน

วิธีปลูก การปลูกผักงูจีนนิยมปลูกแบบหว่านกระจายทั่วแปลง หรือบางครั้งอาจใช้โรยเมล็ดเป็นแถวก็ได้ การปลูกแบบหว่านกระจายทั่วแปลงเหมาะสำหรับแปลงปลูกทุกรูปแบบ แต่การปลูกแบบโรยเมล็ดเป็นแถวเหมาะสำหรับแปลงปลูกขนาดเล็กหรือปลูกผักงูจีนเป็นผักสวนครัว

เนื่องจากเมล็ดผักงูจีนมีเปลือกหนาและแข็ง ทำให้งอกค่อนข้างยากและช้า เพราะน้ำซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดได้ยาก ดังนั้นก่อนปลูกควรนำเมล็ดพันธุ์ผักงูจีนไปแช่ในน้ำนานประมาณ 6-12 ชั่วโมงเสียก่อนเพื่อให้เมล็ดพันธุ์ผักงูจีนดูดซับน้ำเข้าไปในเมล็ด มีผลให้เมล็ดผักงูจีนงอกเร็วขึ้นและสม่ำเสมอขึ้นดี เมล็ดที่ลอยน้ำจะเป็นเมล็ดพันธุ์ที่ไม่สมบูรณ์ ไม่ควรนำไปเพาะปลูก ถึงแม้จะขึ้นได้บ้างแต่จะไม่สมบูรณ์แข็งแรง อาจจะเป็นแหล่งทำให้เกิดโรคระบาดได้ง่าย หลังจากแช่น้ำครบกำหนดแล้วให้นำเมล็ดพันธุ์ที่ดี ไม่ลอยน้ำมาหว่านให้กระจายทั่วทั้งแปลงสม่ำเสมอ ให้เมล็ดห่างกันเล็กน้อยถ้าปลูกเป็นแถว โดยโรยเมล็ดให้เป็นแถวห่างกันแถวละ 10-15 เซนติเมตร ต่อจากนั้นนำดินร่วนหรือซีเด้ากลับดำมาหว่านกลบเมล็ดพันธุ์หนาประมาณ 2-3 เท่าของความหนาของเมล็ด หรือหนาประมาณ 2 เซนติเมตร แต่ถ้าแหล่งที่ปลูกนั้นมีเศษฟางข้าวควรใช้ฟางข้าวคลุมแปลงปลูกบาง ๆ เพื่อช่วยเก็บรักษาความชื้นในดิน และทำให้หน้าดินปลูกไม่แน่นเกินไป

หลังจากปลูกเสร็จแล้วให้รดน้ำด้วยบัวรดน้ำฝอยละเอียดหรือใช้สายยางฉีดฝักบัวรดน้ำทันที และให้ความชื้นแปลงปลูกทุกวันวันละ 1-2 ครั้ง หลังจากหว่านเมล็ดประมาณ 2-3 วัน เมล็ดพันธุ์จะงอกเป็นต้นผักงูจีนต่อไป สำหรับจำนวนเมล็ดที่ใช้หว่านคือ ประมาณ 13-15 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 30 ลิตรต่อไร่

3.5 การปฏิบัติดูแลรักษา

การให้น้ำ ผักงูจีนเป็นผักที่ชอบดินปลูกที่ชุ่มชื้นแต่ไม่แฉะจนมีน้ำขังประกอปกกับผักงูจีนเป็นผักที่โตเร็วและมีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น ดังนั้นควรรดน้ำผักงูจีนอย่างสม่ำเสมอทุก

วัน วันละ 1-2 ครั้ง ยกเว้นช่วงที่ฝนตกไม่ต้องรดน้ำเพราะจะทำให้ผักนึ่งจีนชะงักการเจริญเติบโต ต้นแคระแกร็น แข็งกระด้างและเหนียวไม่น่ารับประทาน คุณภาพไม่ดี และเก็บเกี่ยวได้ช้ากว่าปกติ

การใส่ปุ๋ย

ผักนึ่งจีนเป็นผักที่บริโภคใบและลำต้น อายุการเก็บเกี่ยวสั้น เป็นผักที่ตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนมาก ถ้าดินปลูกมีความอุดมสมบูรณ์หรือมีการใส่ปุ๋ยคอกมาก เช่น มูลสุกร วัว เป็ด ไก่ เป็นต้น ซึ่งปุ๋ยคอกเป็นปุ๋ยที่มีไนโตรเจนสูงอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มก็ได้ แต่ถ้าดินปลูกไม่ค่อยอุดมสมบูรณ์ นอกจากจะต้องให้ปุ๋ยคอกแล้วควรได้มีการใส่ปุ๋ยทางใบที่มีไนโตรเจนสูง เช่น ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ในอัตรา 15-20 กิโลกรัมต่อไร่ โดยการหว่านปุ๋ยให้กระจายทั่วทั้งแปลงก่อนปลูก และหลังจากปลูกไปได้ประมาณ 7-10 วัน ซึ่งการใส่ปุ๋ยครั้งที่สองนั้นหลังจากหว่านปุ๋ยลงแปลงแล้วจะต้องทำการรดน้ำผักนึ่งจีนทันที อย่าให้ปุ๋ยเกาะอยู่ที่ชอกใบเพราะจะทำให้ใบไหม้ได้ หรือในการใส่ปุ๋ยครั้งที่สองนี้อาจจะใช้วิธีการละลายน้ำรด 3-5 วันต่อครั้งก็ได้ โดยใช้ปุ๋ยยูเรียในอัตราส่วน 10 กรัม ต่อน้ำ 20 ลิตร (สุนทร เรื่องเกษม 2540:44) รดให้ทั่วแปลงจะช่วยให้ผักนึ่งจีนเจริญเติบโตและเก็บเกี่ยวได้เร็วขึ้น

3.6 การพรวนดินและกำจัดวัชพืช

หากมีการเตรียมดินดีมีการใส่ปุ๋ยคอกก่อนปลูก และมีการหว่านผักนึ่งจีนขึ้นมาเสมอดี ประกอบกับผักนึ่งจีนเป็นผักที่มีอายุสั้นและเจริญเติบโตเร็วมากก็ไม่จำเป็นต้องพรวนดิน เพราะผักนึ่งจีนสามารถขึ้นคลุมพื้นที่ได้อย่างหนาแน่น เว้นแต่ในแหล่งปลูกผักนึ่งจีนดังกล่าวมีวัชพืชขึ้นมาก ควรได้มีการถอนวัชพืชออกจากแปลงอยู่เสมอ ประมาณ 7-10 วันต่อครั้ง สำหรับในแหล่งที่ปลูกผักนึ่งจีน เพื่อการบริโภคสดเป็นการค้าปริมาณมาก ๆ ควรมีการพ่นสารคุมวัชพืชก่อนปลูก 2-3 วัน หลังจากนั้นจึงหว่านผักนึ่งจีนลงปลูก วิธีนี้จะประหยัดแรงงานในการกำจัดวัชพืชในแปลงผักนึ่งจีนได้ และสามารถควบคุมวัชพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.7 การเก็บเกี่ยว

ผักนึ่งจีนเป็นพืชผักที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น หลังจากหว่านเมล็ดพันธุ์ลงแปลงปลูกได้ประมาณ 20-25 วัน ผักนึ่งจีนก็จะเจริญเติบโต มีความสูงประมาณ 30-35 เซนติเมตร ก็สามารถเก็บเกี่ยวได้ ก่อนทำการเก็บเกี่ยว 1-2 ชั่วโมงควรรดน้ำบนแปลงปลูกให้ชุ่มก่อน เพื่อให้ถอนผักนึ่งจีนได้สะดวกรากไม่ขาดมาก

วิธีการเก็บเกี่ยวโดยการถอนต้นผักนึ่งจีนจากแปลงขึ้นมาทั้งต้นและราก หลังจากนั้นล้างรากให้สะอาด เด็ดใบและแขนงที่โคนต้นออก นำมาผึ่งไว้

4. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปุ๋ยและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ปุ๋ย

การที่พืชจะเจริญงอกงามและให้ผลผลิตสูงได้นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ คือ

4.1 สภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิ ความชุ่มชื้น ฯลฯ

4.2 ประเภทและคุณลักษณะทางกรรมพันธุ์ของพืชที่ดี

4.3 สมบัติของดินที่เหมาะสม ได้แก่ ความร่วนซุยของดิน ปฏิกริยาความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในช่วงที่เหมาะสม อินทรีย์วัตถุในดิน ตลอดจนธาตุอาหารพืชในดินมีอยู่อย่างสมบูรณ์ เป็นต้น

4.4 การจัดการ เช่น การเขตกรรม การกำจัดโรคและแมลง ฯลฯ

ถ้าปัจจัยการผลิตทั้ง 4 นี้อยู่ในสภาพเหมาะสม ผลผลิตของพืชจะอยู่ในเกณฑ์สูงสุดตลอดเวลา ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ก็คือ สภาพภูมิอากาศ และสิ่งแวดล้อม ส่วนปัจจัยอื่น ๆ นั้น มนุษย์สามารถที่จะควบคุมหรือปรับปรุงได้ไม่ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการให้ธาตุอาหารแก่พืชควรควบคุมให้อยู่ในระดับพอเพียงและสมดุลตามที่พืชต้องการ เพื่อรักษาระดับผลผลิตอยู่ในระดับสูงและถาวร โดยอาศัยการนำความรู้จากการค้นคว้าวิจัยและนำเอาความรู้ด้านเทคโนโลยีสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้

ดังนั้นจึงเป็นการสมควรที่เราจะให้ความสนใจเป็นกรณีพิเศษเกี่ยวกับบทบาทหรือหน้าที่ของธาตุอาหารพืช ปุ๋ย และวิธีการใช้ปุ๋ย เพื่อที่จะเพิ่มผลผลิตของพืชให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

พืชมีความต้องการธาตุอาหารเพื่อดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับมนุษย์และสัตว์ พืชจะดูดใช้ธาตุต่าง ๆ จากทั้งในอากาศ ในน้ำ และในดินขึ้นไปสะสมไว้ในส่วนต่าง ๆ ของพืช ธาตุที่วิเคราะห์ได้ในพืชประมาณ 90 ชนิด พบว่ามีความสำคัญและจำเป็นต่อพืชเพียง 16 ธาตุเท่านั้น เรียกว่าธาตุเหล่านี้ว่าธาตุอาหารพืช (Nutrients) หรือธาตุอาหารจำเป็น (Essential Elements) เช่น ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ซึ่งพืชใช้เป็นอาหารหลัก แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) กำมะถัน (S) พืชใช้เป็นธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารที่พืชใช้เพียงเล็กน้อยหรือเป็นธาตุอาหารเสริม ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) โมลิบดีนัม (Mo) และคลอรีน (Cl) ธาตุบางธาตุ เช่น ซิลิคอน (Si) โซเดียม (Na) และโคบอลต์ (Co) พบว่ามีความจำเป็นสำหรับพืชบางชนิด นอกจากนี้ธาตุบางชนิดที่พบในพืช ได้แก่ วานาเดียม (V) ไอโอดีน (I) โบรมีน (Br) ฟลูออรีน (F) อะลูมิเนียม (Al) นิกเกิล (Ni) โครเมียม (Cr) ซีลีเนียม (Se) ตะกั่ว (Pb) และแคดเมียม (Cd) หากมีสะสมอยู่ในพืชเป็นปริมาณมากเกินไปก็จะเป็นพิษต่อพืช และยังทำให้เป็นพิษต่อสัตว์ที่กินพืชเหล่านี้เข้าไปด้วย

ธาตุอาหารจำเป็นก็คือ ธาตุที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของพืช พืชจำเป็นต้องใช้ธาตุเหล่านี้เพื่อให้มีชีวิตดำรงอยู่ได้อย่างสมบูรณ์ ถ้าขาดธาตุใดธาตุหนึ่งพืชอาจตายได้และจะนำธาตุอื่นมาใช้แทนไม่ได้

ธาตุอาหารจำเป็นสำหรับพืชทั่วไปที่ยอมรับประทานแล้วมีอยู่ 16 ธาตุ ได้แก่ ไฮโดรเจน คาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก โบรอน แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โมลิบดีนัม และ คลอรีน

นอกจากนี้ธาตุซิลิคอน ก็ได้รับการพิสูจน์ว่าเป็นธาตุอาหารจำเป็นสำหรับข้าว ธาตุโซเดียม จำเป็นสำหรับพืชบางชนิดรวมทั้งพืชที่ขึ้นได้ดีในสภาพดินเค็ม โคบอลต์ สำหรับการสร้างปมของไรโซเบียมที่รากพืชตระกูลถั่ว ซึ่งทำให้พืชเจริญเติบโต

5. บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารจำเป็นในพืช

คาร์บอน (C) เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างของโมเลกุลอินทรีย์ทุกชนิดจึงมีความสำคัญสำหรับสิ่งที่มีชีวิตรวมทั้งพืชด้วย พืชได้คาร์บอนจากอากาศในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อรวมตัวกับไฮโดรเจนและออกซิเจนในกระบวนการสังเคราะห์แสงจะได้คาร์โบไฮเดรต จากนั้นเมื่อรวมตัวกับธาตุอาหารจำเป็นโดยทางปฏิกิริยาเคมีจะเกิดเป็นสารประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช

ออกซิเจน (O) มีความสำคัญต่อกระบวนการหายใจของเซลล์พืชซึ่งทำให้เกิดพลังงานจากการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรต สารประกอบหลายชนิดซึ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการสร้างความเจริญเติบโตประกอบด้วยออกซิเจน ไฮโดรเจนรวมกับออกซิเจนกลายเป็นน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำหนักพืชสด น้ำมีความสำคัญต่อการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารในพืช และร่วมในกระบวนการเคมีที่จำเป็นสำหรับการเติบโตของพืช

ไฮโดรเจน (H) เป็นองค์ประกอบของสารประกอบหลายชนิดที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช

ทั้งคาร์บอน ออกซิเจนและไฮโดรเจน พืชได้รับจากอากาศและน้ำ ซึ่งมีอยู่ในปริมาณมากโดยทั่วไปจึงไม่เกิดปัญหาในด้านกลไกกรรม ยกเว้นในกรณีที่ขาดน้ำ

สำหรับธาตุอื่นอีก 13 ธาตุ พืชได้รับจากดินเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากปริมาณการใช้ของพืชและความเป็นประโยชน์ต่อพืชของธาตุแต่ละชนิดในดินแตกต่างกัน เราจึงแบ่งออกเป็น 3 พวกใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

5.1 ธาตุอาหารหลัก คือธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมาก และดินที่ใช้ในการเพาะปลูกส่วนใหญ่มักประสบปัญหาการขาดธาตุเหล่านี้มี 3 ธาตุคือ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ปุ๋ยเคมีที่ผลิตขายในท้องตลาดส่วนมากจึงมีธาตุ 3 ธาตุนี้เป็นองค์ประกอบเสมอ

5.1.1 ธาตุไนโตรเจน (N)

เป็นองค์ประกอบของโปรตีน มีหน้าที่เสริมสร้างส่วนที่เจริญเติบโต ระบบการสืบพันธุ์ และระบบการหายใจของพืช มักพบตามใบอ่อน ปลายกิ่ง ช่อดอก และปลายราก มีคุณสมบัติพิเศษคือ สามารถเคลื่อนตัวจากส่วนที่แก่กว่าไปในส่วนที่อ่อนกว่าภายในพืชได้ เรียกว่า "mobile nutrient" เป็นธาตุที่พบว่าขาดอยู่บ่อยครั้งในดินที่ใช้ในการเพาะปลูก ธาตุไนโตรเจนช่วยส่งเสริมการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม กำมะถัน และแมกนีเซียม

ถ้าขาดธาตุไนโตรเจนพืชจะแสดงลักษณะลำต้นแคระแกรน ไม่เจริญเติบโต ใบอ่อนและยอดจะมีสีเขียวจาง ใบแก่จะมีสีเหลือง หรือสีน้ำตาลไหม้

ถ้าพืชดูดกินธาตุไนโตรเจนมากเกินไป จะแสดงลักษณะลำต้น ใบ สีเขียวเข้ม และใบมีขนาดใหญ่ พืชจะเก็บเกี่ยวได้ช้ากว่าปกติ ผลผลิตเมล็ดและเส้นใยต่ำ มักหักล้มง่ายจากส่วนโคนต้น มีการเหี่ยวใบ ต้น และใบมักมีความอวบน้ำ ไม่ทนทานต่อโรคและแมลง

5.1.2 ธาตุฟอสฟอรัส (P)

ช่วยในการสังเคราะห์แสง สร้างแป้งและน้ำตาล เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่สำคัญหลายชนิด ช่วยเสริมสร้างส่วนที่เป็นดอก การผสมเกสร ตลอดจนการติดเมล็ด สร้างระบบรากให้แข็งแรง ช่วยในการแตกกอ และช่วยให้ลำต้นแข็งแรงไม่ล้มง่าย ช่วยให้พืชดูดใช้ธาตุไนโตรเจนและโมลิบดีนัมได้ดีขึ้น

ธาตุนี้มักพบในรูปที่พืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้ เนื่องจากจะถูกตรึงอยู่ในดิน ส่วนใหญ่พืชจะแสดงอาการขาดธาตุนี้อบ่อยครั้ง แม้ว่าในดินที่มีธาตุฟอสฟอรัสอยู่เป็นจำนวนมากก็ตาม

ถ้าขาดธาตุฟอสฟอรัสรากพืชจะไม่เจริญ มีรากฝอยน้อย ต้นเตี้ย ใบและต้นมีสีเข้มและบางครั้งมีสีม่วงหรือแดงเกิดขึ้น พืชแก่ช้ากว่าปกติ เช่น การผลิตดอก ออกผลช้า มีการแตกกอน้อย การติดเมล็ดน้อย หรือบางครั้งไม่ติดเมล็ด

5.1.3 ธาตุโพแทสเซียม (K)

พบในเซลล์ของพืช เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างที่สำคัญของเอนไซม์กว่า 30 ชนิด ทำให้เปลือกลำต้นแข็งแรง ไม่หักโค่นง่าย ช่วยในขบวนการสร้างแป้งและน้ำตาล

ตลอดจนการเคลื่อนย้ายแบ่งและน้ำตาลไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน การแบ่งเซลล์ นอกจากนี้ยังช่วยให้พืชมีความต้านทานต่อโรคดีขึ้น

เป็นธาตุที่สามารถเคลื่อนย้ายจากส่วนหนึ่งไปยังอีกส่วนหนึ่งของพืชได้รวดเร็ว โดยเฉพาะในขณะที่พืชเริ่มสร้างดอกและเมล็ดโพแทสเซียมจะถูกดึงไปใช้ทันที ในรากพืชพวกธัญพืชธาตุนี้อาจไหลกลับไปสู่ดินได้โดยง่ายในขณะที่พืชแก่และเซลล์รากเริ่มเสื่อมการปฏิบัติงาน ธาตุนี้อาจถูกฝนชะล้างไปจากใบได้ในขณะฝนตก

ธาตุโพแทสเซียมในสารละลายของดินมักอยู่ในสมดุลกับส่วนที่ถูกดินยึดไว้ และส่วนที่อยู่ในแร่ที่มีอยู่ในดิน พืชอาจดูดกินได้ในปริมาณมากเกินต้องการโดยพืชไม่เป็นอันตราย และไม่ได้ใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น

ถ้าขาดธาตุโพแทสเซียมพืชจะเจริญเติบโตช้า ปลายใบไหม้ มีสีน้ำตาลและจะลามเข้าหาโคนใบตามขอบใบ ช่วงระหว่างปล้องจะสั้น พืชหักล้มได้ง่าย พืชที่ให้แบ่งและน้ำตาลจะให้ผลผลิตลดลง พวกธัญพืชจะมีเมล็ดลีบ

5.2 ธาตุอาหารรอง คือธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมาก แต่ในดินเพาะปลูกทั่วไปมักมีเพียงพอแก่ความต้องการของพืช จะพบว่าขาดสำหรับพืชในดินบางแห่งแต่ไม่บ่อยครั้งเหมือนพวกแรก มี 3 ธาตุได้แก่ ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน

5.2.1 ธาตุแคลเซียม (Ca)

เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ และโครงสร้างที่สำคัญในลำต้น กิ่ง ใบ ควบคุมการละลายของเกลือและความสมดุลของกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ในเซลล์ ช่วยการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโตของส่วนยอด ส่วนที่ยังอ่อนของพืช รวมทั้งปลายราก ควบคุมการดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียม ถ้าพืชดูดกินธาตุนี้มากเกินไปจะแสดงอาการขาดธาตุเหล็ก กำมะถัน และฟอสฟอรัสได้

เป็นธาตุที่พบในดินเป็นจำนวนมาก แม้พืชจะต้องการใช้ในปริมาณค่อนข้างสูงแต่ส่วนใหญ่พืชไม่แสดงอาการขาดธาตุนี้ ยกเว้นในสภาพของดินบางชนิด เช่น ในดินกรด แต่ก็แก้ได้โดยใช้หินปูนบด, ปูนขาว, ปูนมาร์ล รวมทั้งปูนพวก Dolomite ใส่ลงไปในดิน

พืชตระกูลถั่วต้องการธาตุแคลเซียมค่อนข้างสูง โดยเฉพาะถั่วลิสง การขาดแคลเซียมจะทำให้เกิดการติดเมล็ดไม่ดีและไม่เจริญเท่าที่ควร

ถ้าขาดธาตุแคลเซียมพืชจะแสดงอาการที่รากอ่อน ยอดและใบ ซึ่งจะมีเมือกเหนียว ๆ ทำให้ใบติดซ้อนกันไม่คลี่ออก สีของใบอ่อนจะซีดและไม่เจริญเติบโต ลำต้นอ่อนแอหักล้มง่าย ลำต้นจะแคระแกรนและเตี้ยผิดปกติ พืชจะดูดธาตุแมกนีเซียมเข้าไปมากผิดปกติ

5.2.2 ธาตุแมกนีเซียม (Mg)

เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ส่วนที่เป็นสีเขียวของพืช ช่วยระบบการทำงานของเอนไซม์ สร้างและเปลี่ยนไขมัน การเคลื่อนย้ายอาหารในต้นพืช เป็นตัวนำธาตุอาหารฟอสฟอรัสจากส่วนรากไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช และควบคุมปริมาณแคลเซียมในพืช

ถ้าขาดธาตุแมกนีเซียมใบจะมีสีเหลืองซีด ในพืชหลายชนิดใบจะมีสีเขียวสลับกับเหลืองเป็นลวดลาย หรือเป็นแถบยาวตลอดใบ เช่น ข้าวโพดจะเป็นเป็นลายเขียวสลับเหลืองขนานกับขอบและแกนกลางของใบ พืชมักมีลำต้นสีเหลืองซีด การเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ใบจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองในช่วงที่พืชกำลังเจริญเต็มที่

5.2.3 ธาตุกำมะถัน (S)

เป็นองค์ประกอบของโปรตีน ช่วยยึดเอนไซม์หรือโปรตีนเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้เกิดเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้น และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารหลายชนิดที่จำเป็นสำหรับ Metabolism ของเซลล์ เป็นธาตุที่พบในอินทรีย์สารเป็นส่วนใหญ่ หลังการสลายตัวแล้วพืชจึงจะนำไปใช้ได้

ถ้าขาดธาตุกำมะถันพืชจะแสดงอาการในส่วนที่ยังอ่อนอยู่ ใบอ่อนจะมีสีเขียวซีด ลำต้นแคระแกรน บางครั้งต้นอาจจะมีสีแดง หรือสีม่วงคล้ายอาการขาดธาตุฟอสฟอรัส สำหรับในพวงกล้วยพืชอาการคล้ายคลึงกับการขาดธาตุแมกนีเซียม คือมีทางสีขาวหรือสีเหลืองเกิดขึ้นเป็นลายขนานไปกับแกนใบ แตกกอน้อย พืชที่ขาดธาตุกำมะถันจะมีธาตุไนโตรเจนสะสมอยู่ค่อนข้างสูง และการสุกจะช้ากว่าปกติ ในพวงกล้วยพืชเมล็ดจะแก่ช้า เมล็ดติดไม่สมบูรณ์ และมีเมล็ดลีบ

5.3 ธาตุอาหารปริมาณน้อย (หรือธาตุอาหารเสริมตาม พ.ร.บ.ปุ๋ย พ.ศ. 2518) เป็นธาตุที่มีความสำคัญทัดเทียมกับ 2 พวกแรก ซึ่งพืชจะขาดเสียมิได้ แต่พืชต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อย จึงไม่ค่อยปรากฏว่าขาดธาตุเหล่านี้ในดินที่ทำการเพาะปลูกทั่ว ๆ ไป มี 7 ธาตุ ได้แก่ ธาตุเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดินัม และคลอรีน

5.3.1 ธาตุเหล็ก (Fe)

มีหน้าที่ช่วยเสริมสร้างคลอโรฟิลล์ ช่วยในขบวนการหายใจ เป็นองค์ประกอบของสาร Ferredoxin ใช้ในการลดและเติมออกซิเจนในปฏิกิริยาชีวเคมี เป็น

สารประกอบของ Hemoglobin ซึ่งมีส่วนสำคัญในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยพวกแบคทีเรีย, ไรโซเบียม เหล็กจึงมีความสำคัญต่อพืชตระกูลถั่วเป็นอย่างมาก

ในดินน้ำขังที่ใช้ในการปลูกข้าวมานาน และดินขาดธาตุเหล็ก ถ้าใช้ปุ๋ยแอมโมเนียม ซัลเฟต อาจจะเป็นสาเหตุทำให้ต้นข้าวแสดงอาการคล้ายเป็นโรคที่มีชื่อเรียกว่าโรค "Akiochi"

พืชจะแสดงอาการขาดเหล็กในดินที่มีหินปูนและในดินต่าง รวมทั้งดินที่อยู่ในสภาพน้ำขังเป็นเวลานาน

ถ้าขาดธาตุเหล็กพืชจะแสดงอาการใบเหลืองซีด ลักษณะต้นและทรงพุ่มแคระแกรน มีขนาดเล็ก มักแสดงอาการขาดที่ยอดและใบอ่อนมากกว่าที่ใบแก่ แกนใบจะเขียวในขณะที่พื้นที่ระหว่างเส้นใบจะมีสีเหลือง ทำให้เส้นแกนใบเป็นลวดลายชัดเจน ลักษณะใบจะหนาเล็ก และหยาบกระด้าง พืชอาจไม่ให้ผลผลิตเลย

5.3.2 ธาตุแมงกานีส (Mn)

มีความสำคัญต่อระบบการหายใจของพืช เป็นตัวการทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และรีดักชัน ของเหล็กและไนโตรเจนในกระบวนการเมตาโบลิซึม ช่วยการสร้างคลอโรฟิลล์ การเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานในพืช

ถ้าขาดธาตุแมงกานีสพืชจะแสดงลักษณะการขาดคลอโรฟิลล์ ทำให้ใบเป็นสีเหลืองหรือขาวในบริเวณพื้นที่ในระหว่างเส้นใบ หรือเป็นแถบสีเขียวแก่อ่อนขนานไปกับเส้นใบ และเส้นกลางใบ คล้ายอาการขาดธาตุสังกะสีและเหล็ก ถ้าขาดมากใบจะเป็นสีขาวหรือไหม้แห้งตายในที่สุด

ถ้าหากแมงกานีสมากเกินไปในดินจะเกิดเป็นพิษกับพืช และขาดความสมดุลกับธาตุอื่น

5.3.3 ธาตุสังกะสี (Zn)

มีความสำคัญต่อการสร้างฮอร์โมนและเอนไซม์ต่าง ๆ ในพืช ช่วยการดูดใช้ธาตุอาหารอื่น เช่น ธาตุฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์กับธาตุสังกะสีในการดูดซึมธาตุอาหารในพืช เป็นต้น

ถ้าขาดธาตุแมงกานีสพืชจะแสดงอาการในใบอ่อนที่เริ่มเจริญเติบโต เช่น ยอดข้าวโพดจะมีสีขาว ปล้องสั้น ที่ยอดใบจะรวมกันเป็นพุ่ม อาการนี้เรียกว่า "Rosetting" หรือมีลักษณะใบส่วนล่างเป็นทางขาว เรียกว่า "White bud" อาการคล้ายโรคคราบน้ำค้างมาก บางครั้ง

แยกกันไม่ออก ถ้าขาดมากใบอาจร่วง หรือไม่ออกดอกในพืชบางชนิด ระดับปกติของธาตุนี้ที่พบในช่วง 25-150 ส่วนในล้านส่วน (ppm.) ข้าวโพดและถั่วจะมีความไวต่อการขาดธาตุนี้

5.3.4 ธาตุทองแดง (Cu)

เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น ไทโรซิลเลส แลคเตส ฯลฯ ช่วยในขบวนการสังเคราะห์แสงในพืช ใบพืชบางชนิด เช่น ข้าวโพด ทองแดงมีความสำคัญในการสะสมธาตุเหล็ก และมีส่วนเกี่ยวข้องกับขบวนการเมตาโบลิซึมของพวกไซมั้น ในขบวนการและปฏิกิริยาของระบบหายใจ

ถ้าขาดธาตุทองแดงพืชจะแสดงอาการที่ใบอ่อน คือจะมีสีเขียวซีดและจะเริ่มไหม้จนในที่สุดพืชจะแกรนและตายได้ ถ้าขาดมากยอดใบและขอบใบจะตายคล้ายอาการขาดธาตุโพแทสเซียม เช่นใบข้าวโพดจะมีสีเขียวซีดในใบอ่อนและแห้งตาย ในพืชผักใบจะแห้งและไม่อวบน้ำ ใบอาจม้วนและไม่ออกดอก

5.3.5 ธาตุโบรอน (B)

เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ แต่หน้าที่และความสำคัญยังไม่มีการอธิบายที่แน่ชัด ช่วยการดูดและการใช้ธาตุแคลเซียม ควบคุมการดูดธาตุฟอสฟอรัส ควบคุมอัตราส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมต่อแคลเซียม ควบคุมการแบ่งเซลล์และสร้างโปรตีน แป้งและน้ำตาล พืชใบเลี้ยงคู่จะมีความต้องการธาตุนี้มากกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

อาการขาดธาตุโบรอนส่วนใหญ่จะพบในพืชยืนต้นมากกว่าพืชล้มลุก กะหล่ำดอกมีความต้องการโบรอนสูงและสามารถทนทานต่อความเข้มข้นได้สูง ไม้ผลและพืชผักต้องการธาตุนี้อยู่เสมอ ถ้าขาดจะแห้งตาย ลักษณะใบหนา หงิกงอและแตกหรือซีดเหลือง ในพืชหัวจะแสดงอาการเน่า ใบและเนื้อเยื่อตายบางส่วน เช่น ในพืชหัวพวกผักกาดหวาน ในผลไม้ เช่น ส้ม ความหนาของเปลือกจะไม่เท่ากัน และลูกจะบิดเบี้ยว และมีเมือกปรากฏอยู่ แต่ลักษณะเริ่มแรกทั่ว ๆ ไปจะเกิดกับยอดอ่อนและใบอ่อน ขอบและใบแห้ง หงิกงอคล้ายกับอาการของโรคเกิดจากไวรัส

5.3.6 ธาตุโมลิบดีนัม (Mo)

มีความสำคัญในระบบเมตาโบลิซึมของพืช เช่น ช่วยในการสร้างอมินที่ใช้ในการสร้างสารประกอบพวกกรดอะมิโน ช่วยจุลินทรีย์ในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ เช่น จุลินทรีย์ในปมพืชตระกูลถั่ว เป็นตัวเร่งการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ไนเตรทรีดักเตสในการเปลี่ยนรูปไนเตรท NO_3^- ให้เป็น NH_2^- ในพืช

จุลินทรีย์ในดินที่อาศัยในปมรากพืชตระกูลถั่วมีความต้องการธาตุนี้ในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ ซึ่งพืชจะใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

ถ้าขาดธาตุโมลิบดีนัม พืชจะแสดงอาการสีซีดขาวตรงบริเวณระหว่างเส้นใบ และต้นเตี้ย ซึ่งอาจพบในพืชประเภททุ่งหญ้า พืชตระกูลถั่ว มะเขือเทศ มันเทศ ถั่วเหลืองและผักต่าง ๆ ถ้าขาดมากขอบใบจะไหม้ ม้วนลงเล็กน้อยคล้ายหลุด พืชที่ขาดธาตุนี้จะมีไนโตรเจนสะสมอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของต้นในปริมาณสูงผิดปกติ

5.3.7 ธาตุคลอรีน (Cl)

มีความสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช พบเล็กน้อยในโมเลกุลอินทรีย์ของพืช ช่วยรักษาความเต่งตึงของเซลล์

ถ้าขาดธาตุคลอรีนจะแสดงอาการที่ใบอ่อน ต้นพืชจะแสดงอาการเหี่ยวเฉา ใบจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และอาจแห้งตาย ส่วนรากจะเกิดรากแขนงมากขึ้นไป แต่เนื่องจากพืชสามารถใช้ธาตุนี้ทั้งจากในดิน ในน้ำฝน รวมทั้งในอากาศ จึงไม่พบอาการขาดธาตุนี้

ธาตุคลอรีนพบมากในดินที่มีน้ำทะเลท่วมถึง ในดินที่มีการใช้น้ำชลประทานที่มีธาตุนี้ผสมอยู่มาก ดินในที่ลุ่มที่ได้รับน้ำจากบริเวณใกล้เคียงและมีการระบายน้ำเลว รวมทั้งดินที่มีการถูกชะล้างน้อย

ปัญหาที่พบเกิดกับธาตุนี้คือ พืชจะดูดใช้ธาตุนี้มากเกินไปทำให้เกิดเป็นพิษต่อพืช โดยเฉพาะพืชที่ขึ้นในดินเค็ม ซึ่งจะแสดงอาการใบไหม้ที่ยอดใบและตามขอบใบ

พืชแต่ละชนิดจะมีความทนทานต่อคลอรีนต่างกัน ข้าวโพด มะเขือเทศ ข้าวบาร์เลย์ ชูกาบิท จะมีความทนทาน ส่วนพวยกาสูบ ส้มต่าง ๆ มันเทศ ถั่วกินผักต่าง ๆ รวมทั้งพืชตระกูลถั่วบางชนิด จะไม่ทนทานต่อธาตุนี้

พืชจะให้ผลผลิตสูงสุดได้จำเป็นต้องได้รับธาตุอาหารจำเป็นทุกชนิดตามความต้องการของพืชแต่ละชนิด การให้ธาตุอาหารใดธาตุอาหารหนึ่งมากเกินไปจะทำให้การดูดใช้ธาตุอาหารอื่นลดลงด้วย ตัวอย่างเช่น การให้ธาตุอาหารโพแทสเซียมมากเกินไป จะทำให้การดูดใช้ธาตุอาหารแมกนีเซียมลดลง การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตมากเกินไปจะทำให้เกิดการขาดธาตุสังกะสีในดินที่มีสังกะสีอยู่ในปริมาณจำกัด ถ้ามีธาตุเหล็กมากเกินไปจะทำให้เกิดการขาดธาตุแมงกานีส ในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์โดยเฉพาะปุ๋ยคอกติดต่อกันในปริมาณมาก ทำให้เป็นพิษต่อพืชจากการสะสมของธาตุปริมาณน้อย ดังนั้นการรักษาสสมดุลของธาตุอาหารจึงเป็นสิ่งสำคัญของการใช้ปุ๋ยเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด

6. ความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยให้พืช

พืชจะเจริญเติบโตอย่างปกติได้ จำเป็นต้องดูดธาตุอาหารต่าง ๆ ในปริมาณเพียงพอ และในสภาพที่สมดุลกัน

โดยปกติพืชจะดูดธาตุอาหารต่าง ๆ จากดิน แต่เนื่องจากการปลูกพืชซ้ำในที่ดินเดิม ประกอบกับการนำผลผลิตของพืชไปจากแหล่งปลูก ธาตุอาหารต่าง ๆ ในดินจึงถูกนำออกไปจากดินด้วย จึงทำให้ธาตุอาหารมีปริมาณลดลง และสูญเสียความสมดุลไป

ดังนั้น ถ้าต้องการให้พืชที่ปลูกเจริญอย่างปกติ ให้คุณภาพผลผลิตดี และให้ผลผลิตสูงอย่างถาวร จึงจำเป็นที่จะต้องเพิ่มเติมธาตุอาหารให้แก่พืช เพื่อให้มีอยู่ในปริมาณที่พอเพียงและสมดุลกันโดยการใส่ปุ๋ย

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยของนักวิจัยหลายท่านได้แสดงให้เห็นถึงการนำเอาสลัดจ์มาปลูกพืช โดยการนำมาเป็นวัสดุบำรุงดิน ซึ่งสามารถนำมาเป็นวัสดุบำรุงดินได้ อาทิ เช่น

Dowby (1975) พบว่า พืชจำพวกผัก เช่น แครอท ผักกาดหอม ถั่ว หัวผักกาด ข้าวโพดหวาน และมันฝรั่ง หากนำมาปลูกโดยใช้ตะกอนเป็นส่วนผสมในดินไม่ก่อให้เกิดกระทบร้ายแรงอย่างใด ต่อการเจริญเติบโตของพืชผักเหล่านี้ และไม่มีอาการของความผิดปกติทางสรีรวิทยาของพืช ปรากฏให้เห็น และพบว่าผลผลิตมันฝรั่งจะมีผลผลิตเพิ่มขึ้นจนถึงอัตราเติมกากตะกอน 450 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ นอกจากนี้พบว่า การเติมกากตะกอนไม่ก่อให้เกิดผลกระทบร้ายแรงต่อผลผลิตพืชจำพวกผัก เช่น แครอท ถั่ว ผักกาดหอม มันฝรั่ง หัวผักกาด ข้าวโพดหวาน แต่อย่างใด และพบว่าผลผลิตมันฝรั่งจะมีค่ามากขึ้นตามอัตราเติมจนถึงอัตราเติมกากตะกอน 450 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ (72,000 กิโลกรัมต่อไร่) และที่อัตราดังกล่าว พืชแต่ละชนิดก็ไม่แสดงอาการของความไม่สมดุลกันทางสรีรวิทยา

Stucky (1974) ได้นำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ด้านเกษตรกรรม พบว่าผลผลิตของพืชจะมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอน จนถึงอัตราเติมที่สูงระดับหนึ่ง ผลผลิตของพืชจะลดลง ซึ่งอัตราเติมนี้มีความผันแปรขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอน ชนิดของดิน และพืช เช่น หญ้าเฟสคิวและหญ้าอัลฟอลฟา สามารถให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น

ตอบสนองต่อการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอนจนถึงอัตราเติม 627 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ได้ แต่ข้าวโพดและข้าวไรย์ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นจนให้ผลผลิตสูงสุด เมื่อใช้อัตราเติมกากตะกอนเพียง 125 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ และผลผลิตจะลดลงเมื่ออัตราเติมกากตะกอนเป็น 502 เมตริกตันต่อเฮกตาร์

Sabey และคณะ (1975) ทดลองใช้กากตะกอนน้ำเสียเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ในการปลูกข้าวสาลี เปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีที่อัตราต่าง ๆ ผลการทดลองพบว่าการใช้กากตะกอนน้ำเสียในอัตรา 22.4, 56.0, 112.0 และ 224.0 ตันต่อเฮกตาร์ จะให้ผลผลิตข้าวสาลีเทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 210, 575, 515 และ 330 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ในโตรเจน

ชนิดา ไกรขุนทด (2544) ได้นำกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์มาใช้ประโยชน์ เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์พร้อมกับช่วยปรับสภาพทางกายภาพของดินให้เหมาะสมในการเพาะปลูก จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจและควรจะมีการศึกษาถึงปริมาณธาตุอาหารในกากตะกอนน้ำเสีย เพื่อเป็นแนวทางในการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและเพื่อแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการเพิ่มปริมาณของกากตะกอนในอนาคต

ชัยสิทธิ์ ทองจุ (2543) ได้ทำการศึกษาโดยนำกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงาน อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษผสมกับขุยมะพร้าวในสัดส่วน 5:3 แล้วผสมกับชุดดินกำแพงแสนในสัดส่วนที่แตกต่างกันโดยปริมาตร ทำการปลูกทดลองกับเป็ยเขียนพันธุ์หนึ่งในจักรวาล โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized design (CRD) จำนวน 10 ซ้ำ 5 ดำรับการทดลอง พบว่าวัสดุปลูกทั้งหมดให้ผลการเจริญเติบโตด้านความสูง จำนวนใบและขนาดของทรงพุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยวัสดุปลูกสูตร S_0M_{100} ให้ผลการเจริญเติบโตในทุกด้านดีที่สุดตลอดจนให้จำนวนช่อดอกต่อต้นและจำนวนดอกต่อช่อสูงสุด ขณะที่วัสดุปลูกสูตร $S_{100}M_0$ ให้ผลการเจริญเติบโตในทุกด้านต่ำที่สุด ส่วนการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นพบว่า วัสดุปลูกทุกสูตรให้ผลแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านปริมาณและคุณภาพของดอกเป็ยเขียน พบว่าวัสดุปลูกทุกชนิดให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 นอกจากนี้คุณภาพดอกในด้านความกว้างและความยาวของดอกพบว่าวัสดุปลูกทุกชนิดให้ผลไม่แตกต่างกัน ในประเด็นการคายระเหยน้ำของเป็ยเขียน พบว่าวัสดุปลูกสูตร S_0M_{100} มีอัตราการระเหยน้ำสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 5.39 และมีอัตราการระเหย

น้ำลดลงตามสัดส่วนของกากตะกอนที่ผสมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้วัสดุปลูกทุกชนิดภายหลังจากปลูกโป๊ยเซียนมีผลให้คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ส่วนคุณภาพทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่นรวม ความหนาแน่นอนุภาค มีแนวโน้มลดลง ส่งผลให้มีความพรุนรวมและสัดส่วนช่องของวัสดุเพิ่มขึ้น

นัยนา คุณลักษณะ (2542) ได้ศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนในการปรับปรุงคุณภาพดินเปรี้ยวจัด ในชุดดินจากพื้นที่เพาะปลูก ชุดดินเปรี้ยวจัด ชุดดินเปรี้ยวจัดผสมกากตะกอนน้ำเสีย และชุดดินเปรี้ยวจัดผสมดินปลูกสำเร็จรูป โดยผันแปรสัดส่วนของกากตะกอนต่อดินเปรี้ยวจัด และของดินปลูกสำเร็จรูปต่อดินเปรี้ยวจัดเป็น 1:100 2:100 3:100 4:100 และ 5:100 โดยน้ำหนักตามลำดับ การเติมกากตะกอนลงในดินเปรี้ยวจัดมีผลทำให้ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มมากขึ้นตามอัตราการเติมกากตะกอน มีผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เพิ่มขึ้นใกล้ระดับ 6.5 มากที่สุด ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมในการปลูกพืชทั่วไปรวมถึงคะน้า และตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน สามารถนำไปใช้เติมลงดินเปรี้ยวจัดที่ปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เป็น 6.5 เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินได้ การเติมกากตะกอนลงดินเปรี้ยวจัดในสัดส่วนที่ต่ำที่สุดคือที่สัดส่วนระหว่างกากตะกอนต่อดินเปรี้ยวจัดเป็น 1: 100 โดยน้ำหนัก มีผลทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินเพิ่มสูงมากกว่าดินในพื้นที่เพาะปลูกจากอำเภอเมืองจังหวัดปทุมธานี การเจริญเติบโตของคะน้าจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมกากตะกอนและมีค่าสูงสุดที่สัดส่วนระหว่างกากตะกอนต่อดินเปรี้ยวจัดเป็น 4:100 โดยน้ำหนัก และเมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของคะน้าที่ปลูกในชุดดินเปรี้ยวจัดที่มีการเติมกากตะกอนกับชุดดินที่เติมดินปลูกสำเร็จในสัดส่วนเดียวกัน จะพบว่าชุดที่เติมกากตะกอนจะมีการเจริญเติบโตมากกว่าชุดที่เติมดินปลูกสำเร็จ

พัชราวดี สุวรรณธาดา (2529) ได้ศึกษาผลของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักบางชนิดของผักคะน้าในสภาพเรือนทดลอง สำหรับกากตะกอนที่ใช้ประกอบด้วยกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำทิ้งชุมชนและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำทิ้งโรงงานฆ่าสัตว์ ใช้ 4 อัตราส่วนคือ 20 40 60 และ 80 ตันต่อเฮกตาร์ (หรือเทียบเท่ากับ 50 100 150 200 กรัมต่อกระถางที่บรรจุดิน 5 กิโลกรัม) โดยใช้วิธีเติม 2 วิธี คือ ผสมกับดินและโรยบนผิวน้ำดิน ดินที่ใช้ในการทดลองได้มาจากพื้นที่เกษตรกรรม ตำบลบางแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งมีสภาพดินเป็นกรด และได้ทำการปรับสภาพดินด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต

จนกระทั่งมี pH ประมาณ 6.5 ทดลองปลูกคะน้าในกระถาง ผลการทดลองปรากฏว่าอัตรา 20 ตันต่อเฮกตาร์ เป็นอัตราที่ให้น้ำหนักแห้งสูงสุด สำหรับภาคตะกอนทั้งสองชนิด และสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมี โดยที่วิธีการเติมแบบผสมกับดินจะทำให้ผักคะน้าเจริญเติบโตดีกว่าการเติมแบบโรยผิวหน้าดิน นอกจากนี้ผลจากการเติมภาคตะกอนจะช่วยให้แอมโมเนียไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจนตกค้างอยู่ในดินในระดับสูงอีกด้วย แต่ทำให้ pH ของดินลดลง

ศิริณี ศิริสุขโขดม (2535) ศึกษาถึงชนิดของพืชที่เหมาะสมและการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน โดยพิจารณาจากผลของการเติมภาคตะกอนที่ทำให้แห้งโดยการตากตะกอนแห้งผสมลงดินที่มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว (Clay) กล่าวคือมี ทราย(Sand) ซิลต์ (Silt) และดินเหนียว (Clay) เท่ากับร้อยละ 29 30 และ 41 ตามลำดับ pH เท่ากับ 7.1 และการสะสมโลหะหนัก (โดยคลุกเคล้ากับดินที่อัตรา 1,600 และ 3,200 กิโลกรัมต่อไร่) ที่มีการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม นิเกิล ทองแดง มังกานีส สังกะสี และเหล็ก) ของพืชผัก 5 ชนิดคือ ผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน รวมทั้งการตกค้างของโลหะหนักในดิน โดยดำเนินการทดลองในภาคสนามที่พื้นที่เกษตรจังหวัดปทุมธานี ผลการทดลองพบว่า ผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน จะมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยมีผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเติมภาคตะกอนลงดินเพิ่มขึ้นจากอัตรา 1,600 เป็น 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ และการเติมภาคตะกอนลงดินทั้งอัตรา 1,600 เป็น 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่มีผลให้ผักคะน้าและผักกวางตุ้งมีการสะสมโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม นิเกิล ทองแดง มังกานีส สังกะสี และเหล็ก) ในส่วนเหนือและส่วนใต้ดินเพิ่ม โดยมีระยะเวลาเก็บเกี่ยวพืชทดลองได้แก่ ผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกวางตุ้ง และผักบุ้งจีนเป็น 49 40 39 และ 27 วันตามลำดับ

สุจินดา ลักษณะอดิศร (2542) ได้ศึกษาการนำภาคตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการนำประโยชน์จากของเสียมาใช้ ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากในประเทศและต่างประเทศ พบว่าภาคตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนมีธาตุอาหารที่มีศักยภาพในความเป็นปุ๋ยเทียบเท่าปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยเคมี เนื่องจากภาคตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนมีองค์ประกอบเป็นอินทรีย์สาร และอนินทรีย์สาร สำหรับโลหะหนักที่มีอยู่ในภาคตะกอนบางชนิดเป็นจุลธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชและบางชนิดเป็นพิษต่อพืชเช่นกัน ดังนั้นก่อนที่จะนำภาคตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนไปใช้จำเป็นที่จะต้องตรวจวัดคุณสมบัติขององค์ประกอบต่าง ๆ ในดินและตะกอนก่อน เช่น ความเป็นกรด-ด่าง อินทรีย์วัตถุ ปริมาณ

ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และโลหะหนัก ได้แก่ เหล็ก ทองแดง สังกะสี แมงกานีส และตะกั่วเป็นต้น โดยให้มีปริมาณที่ยอมรับได้และไม่เป็นอันตรายต่อพืชและดิน

สุทธิเจตน์ จันทศิริ และคณะ (2545) ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองแสนสุขพบว่ากากตะกอนน้ำเสียชุมชน มีคุณลักษณะเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยอินทรีย์หรือวัสดุปรับปรุงดิน โดยมีลักษณะเด่นกว่าปุ๋ยอินทรีย์ประเภทอื่น ๆ คือ มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสค่อนข้างสูง

แสวง รวยสูงเนิน (2536) ได้นำกากเยื่อมาใส่ให้ดินกับชุดโคราชในอัตราตั้งแต่ 1 ถึง 16 ตันต่อไร่ พบว่าทำให้ช่วยแก้ปัญหาความเป็นกรดของดิน เพิ่มธาตุอาหารให้กับพืช ซึ่งเป็นผลทำให้ผลผลิตสูงขึ้น โดยไม่ปรากฏอาการเป็นพิษใด ๆ ผลของการใส่กากเยื่อยังช่วยให้ดินมีโครงสร้างดี อุ้มน้ำได้มากขึ้น ซึ่งช่วยลดปัญหาในการดูแลพืชที่ปลูกได้อีกทางหนึ่ง การทดลองในแปลงที่ไร้อาหารของโรงงานพบว่าการคลุกกากเยื่อสด ๆ ลงไปในดินช่วยให้ข้าวโพดและถั่วเหลืองงอกได้ดีเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากแปลงทดลองมีความแปรปรวนมาก จึงทำให้ไม่มีความแตกต่างกันในด้านผลผลิตเก็บเกี่ยว

อรวรรณ ศิริรัตนพิริยะ (2536) ได้ทำการจัดการกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนเพื่อนำศักยภาพความเป็นปุ๋ยมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีของตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียกรุงเทพมหานคร (ชุมชนห้วยขวาง) จากผลการศึกษาพบว่ากากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชน สามารถเพิ่มผลผลิตพืชผักในพื้นที่เกษตรกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ เทียบเท่าปุ๋ยเคมี มีธาตุอาหารที่จำเป็นและเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช มีลักษณะสมบัติที่สามารถช่วยปรับปรุงโครงสร้างดินให้ดีขึ้น และมีความปลอดภัยจากโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และนิกเกิล

อุดมผล พิชนิไพบูลย์และคณะ (2544) ได้ศึกษาลักษณะของตะกอนซึ่งเกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตถุงมือยาง รวมถึงการนำตะกอนมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นวัสดุบำรุงดิน พบว่ามีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์โดยการทำเป็นสารปรับสภาพดินหรือทำเป็นปุ๋ย เพราะมีธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช ได้แก่ N , P และ K เฉลี่ยเท่ากับ 1.806 , 0.248 และ 0.027 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้งตามลำดับ สำหรับการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์

ในการทำเป็นวัสดุบำรุงดิน โดยใช้ผักบุงจีนพันธุ์ไต้หวันเป็นพืชทดสอบ ผลการทดลองพบว่า พืชที่ให้อาหารด้วยตะกอนเจริญเติบโตดีกว่าพืชที่ให้อาหารด้วยปุ๋ยเคมี และพืชสามารถให้ผลผลิตได้มากขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนในการผสมตะกอนกับดิน จากการวิเคราะห์พืชภายหลังการเก็บเกี่ยวพบว่าปริมาณของสังกะสีซึ่งเป็นโลหะหนักที่มีอยู่ในตะกอนตกค้างอยู่ในพืชเป็นปริมาณน้อยมาก ค่าเฉลี่ยที่ 0.000913 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักพืชสด ซึ่งค่ามาตรฐานสังกะสีในพืชประเภทกินใบอยู่ที่ 0.007 เปอร์เซ็นต์ จึงถือว่าการใช้ตะกอนเป็นวัสดุบำรุงดินนี้ไม่ส่งผลให้มีสังกะสีตกค้างอยู่ในพืชจนเป็นอันตราย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการนำเอาสลัดจ์ที่ผ่านการตากแห้งมาทาบให้มีลักษณะร่วนและนำมาผสมกับดินในสัดส่วนต่าง ๆ กัน เพื่อใช้ในการปลูกผักบุ้งจีน โดยเปรียบเทียบกับดินที่ไม่มีการผสมสลัดจ์ และดินที่ได้รับปุ๋ยยูเรียเพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนในระยะเวลาต่าง ๆ กันโดยใช้ส่วนสูงและน้ำหนักของผักบุ้งจีนเป็นตัวชี้วัด และวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินและสลัดจ์ในชุดการทดลองต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบความอุดมสมบูรณ์ของดิน รูปแบบของการวิจัยโดยการทดลองในห้องปฏิบัติการและการปลูกในพื้นที่ปฏิบัติงาน

1. รูปแบบการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองภาคสนาม (Field Experimental Research) แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ

- 1.1 การศึกษาคคุณสมบัติทางเคมี ของดินและสลัดจ์ ก่อนทำการเพาะปลูก
- 1.2 การศึกษาคคุณสมบัติทางเคมีของดินแต่ละชุดการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ และศึกษาปริมาณโลหะหนักที่สำคัญ คือ ทองแดง(Cu) นิกเกิล(Ni) โครเมียม(Cr^{+6}) สังกะสี (Zn) และแคดเมียม (Cd) ในสลัดจ์หลังจากใช้ในการผสมกับดิน เพื่อปลูกผักบุ้งจีน
- 1.3 การศึกษาการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน ที่ใช้เป็นพืชทดลองปลูกบนสลัดจ์ในอัตราส่วนของการใช้สลัดจ์ที่แตกต่างกัน

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ในการศึกษานี้ใช้ผักบุ้งจีนที่ปลูกในแปลงทดลองจำนวน 6 แปลง โดยนำสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา มาใช้เป็นวัสดุบำรุงดิน ซึ่งปลูกผักบุ้งจีนในสภาพแวดล้อมเดียวกัน มีการให้น้ำในปริมาณที่เท่ากันทุกแปลง

3. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เมล็ดพันธุ์ผักบุงจีน ของบริษัท เจียไต่ จำกัด มีเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ 94 เปอร์เซ็นต์ ความงอก 75

3.1.2 ปุ๋ยยูเรีย สูตร 46-0-0 ซึ่งนำมาใช้ในสัดส่วน 10 กรัม ต่อน้ำ 20 ลิตรหรือความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

3.1.3 แปลงทดลอง ทำจากไม้อัด กว้าง 90 เซนติเมตร ยาว 90 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

3.1.4 ไม้บรรทัด เพื่อวัดระดับความสูงของผักบุงจีน

3.1.5 ดิน ในพื้นที่ ระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา

3.1.6 สลัดจ์ จากระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา

3.1.7 อุปกรณ์ เครื่องใช้ และเครื่องเขียนอื่น ๆ ที่จำเป็น ในการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2 การเตรียมการทดลอง

3.2.1 การเตรียมแปลงทดลอง นำไม้กระดานมาต่อเป็นสี่เหลี่ยม โดยมีความกว้าง 90 เซนติเมตร ยาว 90 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร แบ่งเป็น 3 ส่วน และเจาะรูด้านล่าง เพื่อให้ระบายน้ำได้

3.2.2 การเตรียมเมล็ดพันธุ์ผักบุงจีน นำเมล็ดผักบุงจีนไปแช่น้ำและคัดเลือกเมล็ดที่ลอยน้ำออกเนื่องจากเป็นเมล็ดพันธุ์ที่ไม่สมบูรณ์ และคัดเลือกเมล็ดพันธุ์ ที่สมบูรณ์ไปปลูกต่อไป

3.2.3 การเตรียมดิน นำดินมาทำการบดให้ละเอียด ไม่ให้มีการจับตัวเป็นก้อนแข็ง เพื่อให้สามารถคลุกเคล้ากับสลัดจ์ได้อย่างสมบูรณ์

3.2.4 การเตรียมสลัดจ์ นำมาทุบให้มีขนาดเล็กลง โดยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร

3.2.5 การเตรียมแปลงทดลอง

เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลองจริงในภาคสนามโดยการนำสลัดจ์มาผสมกับดินในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน เพื่อหาความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นวัสดุบำรุงดิน ในการทดลองได้นำผักบุงจีนมาทดลองปลูกในดินผสมสลัดจ์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 4 ส่วน คือ อัตราส่วนดินต่อสลัดจ์ 100:0 75:25 50:50 25:75 0:100 เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผักบุงจีนที่ปลูกด้วยดินเพียง

อย่างเดี่ยวและดินที่ผสมกับปุ๋ยยูเรียในสัดส่วน 10 กรัม ต่อน้ำ 20 ลิตรหรือความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

<p>แปลงที่ 1 ดิน 36 กิโลกรัม</p>	<p>แปลงที่ 2 ดิน 27 กิโลกรัมผสม สลัดจ์จำนวน 9 กิโลกรัม</p>	<p>แปลงที่ 3 ดิน 18 กิโลกรัมผสม สลัดจ์จำนวน 18 กิโลกรัม</p>
<p>แปลงที่ 4 ดิน 9 กิโลกรัมผสม สลัดจ์จำนวน 27 กิโลกรัม</p>	<p>แปลงที่ 5 สลัดจ์จำนวน 36 กิโลกรัม</p>	<p>แปลงที่ 6 ดิน 36 กิโลกรัมผสมปุ๋ย ยูเรียในอัตราส่วน 10 กรัม ต่อน้ำ 20 ลิตรหรือ ความเข้มข้นร้อยละ 0.5</p>

- 1) นำดินที่เตรียมไว้มาใส่ในแปลงทดลองที่ 1 จำนวน 36 กิโลกรัม
- 2) นำดินที่เตรียมไว้มาใส่ในแปลงทดลองที่ 2 จำนวน 27 กิโลกรัม และสลัดจ์จำนวน 9 กิโลกรัม และผสมให้เข้ากัน
- 3) นำดินที่เตรียมไว้มาใส่ในแปลงทดลองที่ 3 จำนวน 18 กิโลกรัม และสลัดจ์จำนวน 18 กิโลกรัม และผสมให้เข้ากัน
- 4) นำดินที่เตรียมไว้มาใส่ในแปลงทดลองที่ 4 จำนวน 9 กิโลกรัม และสลัดจ์จำนวน 27 กิโลกรัม และผสมให้เข้ากัน
- 5) นำสลัดจ์ที่เตรียมไว้มาใส่ในแปลงทดลองที่ 5 จำนวน 36 กิโลกรัม
- 6) นำสลัดจ์ที่เตรียมไว้มาใส่ในแปลงทดลองที่ 6 จำนวน 36 กิโลกรัม และเติมปุ๋ยยูเรียที่ผสมในน้ำในอัตราส่วน 10 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร คิดเป็นความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

3.2.6 การดำเนินการทดลอง

- 1) ทำการเจาะรูบนแปลงที่ทำการทดลอง โดยเจาะ จำนวน 9 หลุม ในระยะห่างกัน 15 เซนติเมตร ลึกหลุมละ 4 เซนติเมตร

- 2) นำเมล็ดผักนึ่งจีนลงไปหยอดหลุมละ 3 เมล็ด และทำการกลบฝังเมล็ดผักนึ่งจีนไว้
- 3) ทำการรดน้ำแปลงผักนึ่งจีนแต่ละแปลงทุกเช้าและเย็น ในปริมาณที่เท่ากัน โดยแต่ละแปลงใช้น้ำในการรด 20 ลิตร ต่อวัน

3.2.7 การเก็บตัวอย่างดิน เพื่อนำมาทดลอง

ทำการเก็บตัวอย่างดินแต่ละแปลงเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของดินทางกายภาพ ทางเคมี และเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนโดยวัดจากความสูงและน้ำหนักของผักนึ่งจีน เก็บตัวอย่างดินโดยขุดให้ลึกจากพื้นผิวลงไป 5 เซนติเมตร และในแต่ละแปลงจะทำการเก็บตัวอย่าง 5 จุด โดยเก็บที่จุดกลางของแปลงทดลอง 1 จุด และห่างจากมุมแปลงทดลองเข้ามา 30 เซนติเมตร จำนวนมุมละ 1 จุด รวมเป็นเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 5 จุด จุดละ 50 กรัมต่อแปลงทดลอง และนำมาผสมให้เข้ากัน เพื่อเป็นตัวแทนในการนำไปตรวจวิเคราะห์ในแต่ละครั้ง โดยนำไปตรวจวิเคราะห์ทั้งหมดแปลงละ 3 ครั้ง ครั้งละ 3 ซ้ำ

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1 การเก็บตัวอย่างดิน ทำการเก็บตัวอย่างดินทุกชุดทดลอง เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี 3 ครั้ง ดังนี้

4.1.1 ครั้งที่ 1 หลังเตรียมตัวอย่างชุดดินทดลองก่อนการเพาะปลูกจากแต่ละแปลง แปลงละ 3 ตัวอย่าง

4.1.2 ครั้งที่ 2 เมื่อผักนึ่งจีนมีอายุ 15 วัน จากแต่ละแปลง แปลงละ 3 ตัวอย่าง

4.1.3 ครั้งที่ 3 เมื่อผักนึ่งจีนมีอายุ 30 วัน จากแต่ละแปลง แปลงละ 3 ตัวอย่าง

4.2 การวัดส่วนสูง ทำการวัดส่วนสูงของผักนึ่งจีนทุกแปลง ทุก 5 วัน เป็นจำนวน 6 ครั้ง

4.3 การชั่งน้ำหนัก ทำการวัดน้ำหนักสดของผักนึ่งจีนในวันที่ 30 ของการทดลอง

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน ดังต่อไปนี้ pH Cadmium, Copper, Nickel, Zinc Chromium Hexavalent, Total Kjeldahl Nitrogen Phosphorus และ Potassium ทั้งนี้ตัวอย่างดินทั้งหมดได้ทำการวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการทดสอบ บริษัท อีสเทิร์นไทยคอนซัลติง

1992 จำกัด โดยพิจารณาคูณสมบัติทางเคมีจากค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation :SD) นำเสนอในรูปภาพแท่ง

5.2 วัดการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนโดยใช้ส่วนสูงเป็นตัวชี้วัด ทำการวัดส่วนสูงทุก 5 วัน โดยเริ่มจากที่ปลูกไปแล้ว 5 วัน ทำการวัดส่วนสูงต่อไปทุก 5 วัน จนครบ 30 วัน รวมเป็นจำนวน 6 ครั้งต่อแปลงการทดลอง โดยพิจารณาการเจริญเติบโตจากค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation :SD) นำเสนอในรูปภาพแท่ง และกราฟเส้น

5.3 วัดการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนโดยใช้น้ำหนักเป็นตัวชี้วัด ทำการชั่งน้ำหนักผักบุ้งจีนในวันที่ 30 ของการทดลองโดยพิจารณาการเจริญเติบโตจากค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation :SD) นำเสนอในรูปภาพแท่ง

5.4 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

5.4.1 นำเสนอข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีของดินแต่ละชุดการทดลอง ความสูง และน้ำหนักของผักบุ้งจีน ด้วยสถิติค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

5.4.2 แสดงภาพแนวโน้มคุณสมบัติทางเคมีของดินแต่ละชุดการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ ด้วยกราฟแท่งและแสดงภาพแนวโน้มการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนด้วยกราฟแท่งและกราฟเส้น

5.4.3 วิเคราะห์การเจริญเติบโต โดยใช้สถิติความแปรปรวนตัวแปรเดียว (Oneway ANOVA) และ LSD หาค่าความสัมพันธ์ของน้ำหนักและส่วนสูงโดยใช้สถิติ Pearson Correlation

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรม
เครื่องสหพัฒน์ ศรีราชา มาเป็นวัสดุบำรุงดินโดยการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนในการ
ทดลอง 6 ชุดการทดลอง ด้วยการวัดส่วนสูงโดยเก็บข้อมูล 6 ครั้ง แต่แต่ละครั้งมีระยะเวลาห่างกัน 5 วัน ที่
จำนวนวันปลูก 5 10 15 20 25 และ 30 วัน ทำการชั่งน้ำหนักสดผักบุ้งจีนโดยเก็บข้อมูลในการทดลอง
วันที่ 30 ของการปลูกผักบุ้งจีน และมีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน คือ pH, Cadmium,
Copper, Nickel, Zinc, Chromium Hexavalent, Total Kjeldahl Nitrogen, Phosphorus และ
Potassium เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี โดยทำการเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1
ณ วันที่ผสมดินทั้ง 6 ชุดการทดลอง ครั้งที่ 2 ปลูกผักบุ้งจีนไปแล้ว 15 วัน และครั้งที่ 3 ปลูกผักบุ้งจีน
ไปแล้ว 30 วัน เพื่อดูความเป็นพิษของโลหะหนักที่ตกค้างในดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ตอนที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีของดินและสลัดจ์

1.1 คุณสมบัติทางเคมีของดินและสลัดจ์ก่อนทำการเพาะปลูก

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินและสลัดจ์ก่อนทำการนำมาผสมใน
อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่ามีคุณสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ดินและสลัดจ์ก่อนการเพาะปลูก

ค่าที่ตรวจวัด	ค่าเฉลี่ยดิน	S.D.	ค่าเฉลี่ยสลัดจ์	S.D.
pH	6.63	0.51	6.5	0.30
Cadmium (mg/l as Cd)	< 0.02	0.00	< 0.02	0.00
Copper (mg/l as Cu)	1.90	0.37	0.06	0.01
Nickel (mg/l as Ni)	0.15	0.03	0.04	0.02
Chromium Hexavalent (mg/l as Cr ⁺⁶)	< 0.05	0.00	< 0.05	0.00
Zinc (mg/l as Zn)	0.54	0.14	0.50	0.30
Potassium (mg/l as K)	7.71	0.72	35.64	4.46

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่าที่ตรวจวัด	ค่าเฉลี่ยดิน	S.D.	ค่าเฉลี่ยสลัดจ์	S.D.
TKN (mg/l as NH ₃ -N)	8.74	1.66	20.93	3.98
Phosphorus (mg/l as P)	2.59	1.07	1.62	0.43
Salinity (ppt)	0.30	0.17	< 0.1	0.00
Moisture Content (%)	9.41	2.03	66.59	4.11

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน และสลัดจ์ที่นำมาใช้ในการทดลอง พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินและสลัดจ์ มีค่าเหมาะสมต่อการปลูกผักบุงจีน ปริมาณโลหะหนักที่พบมีค่าไม่แตกต่างกันมาก ยกเว้นปริมาณทองแดง (Copper) ที่พบในดินมีมากกว่าที่พบในสลัดจ์ ปริมาณธาตุอาหารของพืช พบว่าปริมาณโพแทสเซียม (Potassium) ของสลัดจ์มีค่าแตกต่างจากในดินค่อนข้างสูง ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ของสลัดจ์มีค่าแตกต่างจากในดินค่อนข้างสูง ค่าความเค็ม (Salinity) พบน้อยมาก จึงเหมาะต่อการนำมาปลูกผักบุงจีน

ตอนที่ 2 คุณสมบัติทางเคมีของดินแต่ละชุดการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ

2.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

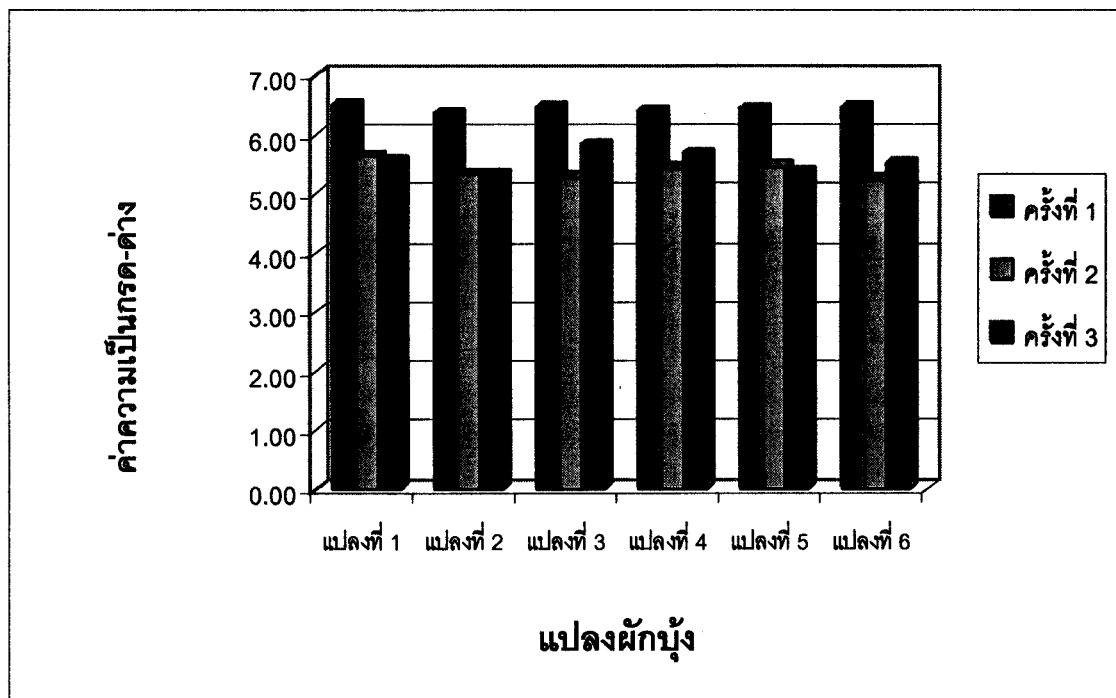
ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินแต่ละแปลงการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่ามีคุณสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ชุดดินทดลอง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ					
	ค่าเฉลี่ยครั้งที่ 1	S.D.	ค่าเฉลี่ยครั้งที่ 2	S.D.	ค่าเฉลี่ยครั้งที่ 3	S.D.
แปลงที่ 1	6.50	0.10	5.63	0.58	5.53	0.16
แปลงที่ 2	6.37	0.153	5.33	0.15	5.33	0.68
แปลงที่ 3	6.47	0.06	5.27	0.21	5.83	0.40

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ชุดดินทดลอง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ					
	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 1	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 2	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 3	S.D.
แปลงที่ 4	6.40	0.10	5.43	0.06	5.67	0.15
แปลงที่ 5	6.43	0.31	5.47	0.15	5.37	0.31
แปลงที่ 6	6.47	0.58	5.23	0.06	5.50	0.10



ภาพที่ 4.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.1 ปริมาณค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน เมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าเท่ากันคือ 6.5 ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกันในการวิเคราะห์ 3 ครั้ง จากผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าอยู่ระหว่าง 5.1 – 6.5 โดยส่วนมากค่าความเป็นกรด-ด่าง จะลดลงในช่วงวันที่ 15 ของการปลูก และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงวันที่ 30 ของการปลูก ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมของผักนึ่งจีนในการ

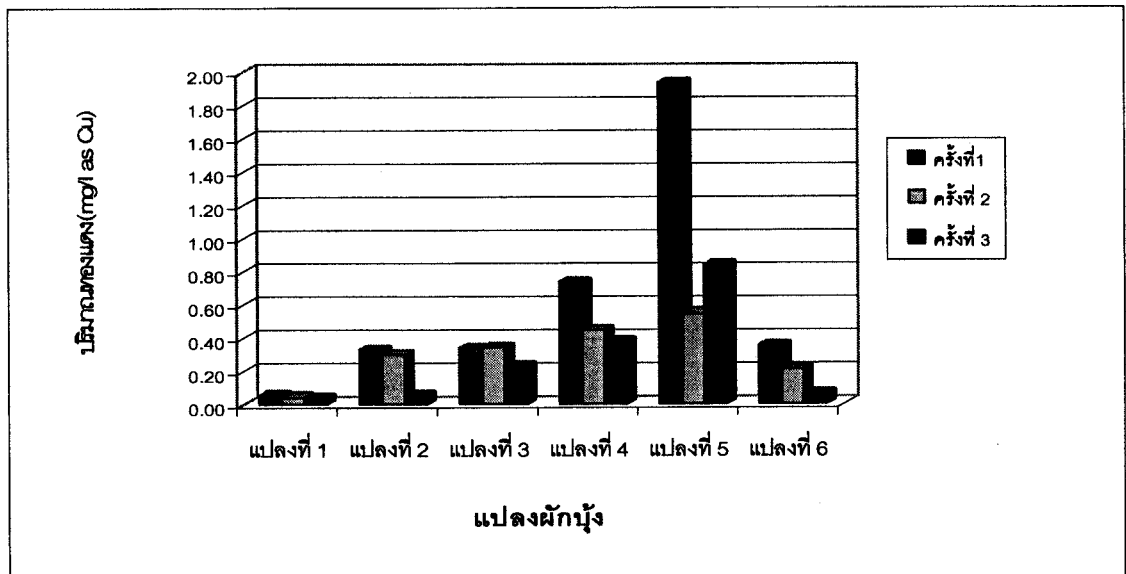
เจริญเติบโตที่สภาวะกรดอ่อน ๆ (สุนทร เรื่องเกษม 2540:41)

2.2 ปริมาณทองแดง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณทองแดงของดินแต่ละแปลงการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่ามีคุณสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณทองแดงที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ชุดดินทดลอง	ปริมาณทองแดง ที่ระยะเวลาต่าง ๆ (mg/l as Cu)					
	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 1	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 2	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 3	S.D.
แปลงที่ 1	0.05	0.01	0.04	0.06	0.04	0.01
แปลงที่ 2	0.33	0.11	0.30	0.07	0.05	0.01
แปลงที่ 3	0.34	0.15	0.34	0.02	0.23	0.02
แปลงที่ 4	0.73	0.02	0.45	0.02	0.38	0.17
แปลงที่ 5	1.93	0.03	0.55	0.01	0.83	0.16
แปลงที่ 6	0.35	0.01	0.21	0.02	0.06	0.01



ภาพที่ 4.2 ปริมาณทองแดงที่ระยะเวลาต่าง ๆ

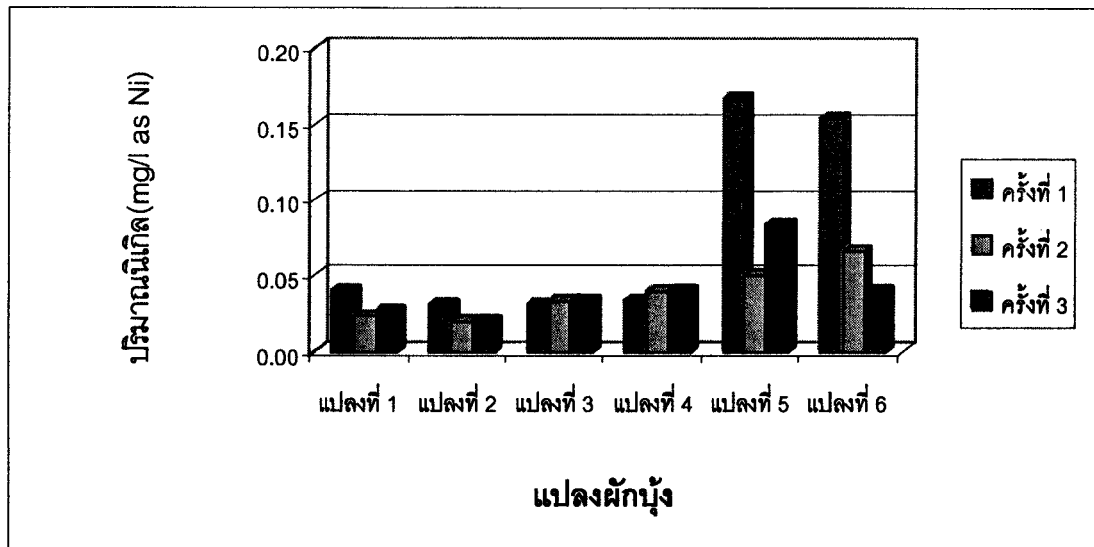
จากภาพที่ 4.2 ปริมาณทองแดงในดินเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าแตกต่างกันโดย ปริมาณทองแดงในแปลงที่ 5 ซึ่งเป็นส่วนผสมของสลัดจ์อย่างเดียวมีปริมาณสูงกว่าแปลงอื่น ๆ ซึ่ง จากผลการทดลองที่ได้พบว่าปริมาณทองแดงที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 3 ครั้ง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ ปริมาณทองแดงในดิน ก่อนการทดลองปลูกผักนึ่งจิ้นกับเมื่อเก็บผักนึ่งจิ้น พบว่าปริมาณทองแดง ลดลงหลังจากปลูกไปแล้วทุกแปลง

2.3 ปริมาณนิเกิล

ผลการวิเคราะห์ปริมาณนิเกิลของดินแต่ละแปลงการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่ามีคุณสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณนิเกิลที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ชุดดินทดลอง	ปริมาณนิเกิล ที่ระยะเวลาต่าง ๆ (mg/l as Ni)					
	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 1	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 2	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 3	S.D.
แปลงที่ 1	0.04	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01
แปลงที่ 2	0.03	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00
แปลงที่ 3	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01
แปลงที่ 4	0.03	0.02	0.04	0.02	0.04	0.01
แปลงที่ 5	0.17	0.04	0.05	0.01	0.08	0.01
แปลงที่ 6	0.15	0.03	0.07	0.01	0.04	0.02



ภาพที่ 4.3 ปริมาณนิเกิลที่ระยะเวลาต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.3 ปริมาณนิเกิลในดินเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าแตกต่างกันโดย ปริมาณนิเกิลในแปลงที่ 5 ซึ่งเป็นส่วนผสมของสลัดจ์อย่างเดียว มีปริมาณสูงกว่าแปลงอื่น ๆ ซึ่งจากผล การทดลองที่ได้พบว่าปริมาณนิเกิลที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 3 ครั้ง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณนิเกิลในดิน ก่อนการทดลองปลูกผักนึ่งกับเมื่อเก็บผักนึ่งพบว่าปริมาณนิเกิลในแปลงที่ 1 แปลงที่ 2 แปลงที่ 5 และแปลงที่ 6 ลดลงจากเดิมเล็กน้อย ปริมาณนิเกิลในแปลงที่ 3 แปลงที่ 4 ปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

2.4 ปริมาณสังกะสี

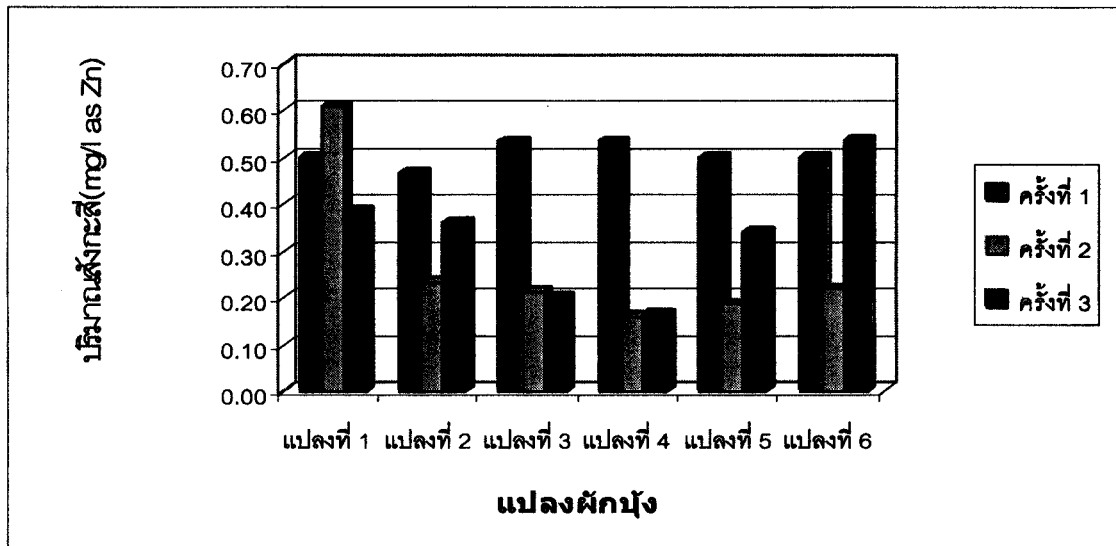
ผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีของดินแต่ละแปลงการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่ามีคุณสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปริมาณสังกะสีที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ชุดดินทดลอง	ปริมาณสังกะสี ที่ระยะเวลาต่าง ๆ (mg/l as Zn)					
	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 1	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 2	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 3	S.D.
แปลงที่ 1	0.50	0.10	0.61	0.02	0.39	0.05
แปลงที่ 2	0.47	0.06	0.23	0.06	0.36	0.05

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

ชุดดินทดลอง	ปริมาณสังกะสี ที่ระยะเวลาต่าง ๆ (mg/l as Zn)					
	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 1	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 2	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 3	S.D.
แปลงที่ 3	0.53	0.06	0.21	0.03	0.20	0.02
แปลงที่ 4	0.53	0.15	0.16	0.02	0.16	0.02
แปลงที่ 5	0.50	0.10	0.19	0.05	0.34	0.01
แปลงที่ 6	0.50	0.10	0.22	0.02	0.54	0.05



ภาพที่ 4.4 ปริมาณสังกะสีที่ระยะเวลาต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.4 ปริมาณสังกะสีในดินเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.5 mg/l as Zn ยกเว้นในแปลงที่ 1 ซึ่งเป็นส่วนผสมของดินอย่างเดียว มีค่าสังกะสี 0.05 mg/l as Zn ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่าปริมาณสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 3 ครั้ง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณสังกะสีในดิน ก่อนการทดลองปลูกผักบุ้งจึ้นกับเมื่อเก็บผักบุ้งจึ้น พบว่าปริมาณสังกะสีในแปลงที่ 1 แปลงที่ 2 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 และแปลงที่ 5 มีปริมาณลดลงส่วน แปลงที่ 6 มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

2.5 ปริมาณโครเมียม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมของดินแต่ละแปลงการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่ามี คุณสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณโครเมียมที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ชุดดินทดลอง	ปริมาณโครเมียม ที่ระยะเวลาต่าง ๆ (mg/l as Cr ⁺⁶)					
	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 1	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 2	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 3	S.D.
แปลงที่ 1	< 0.05	0.00	< 0.05	0.00	< 0.05	0.00
แปลงที่ 2	< 0.05	0.00	< 0.05	0.00	< 0.05	0.00
แปลงที่ 3	< 0.05	0.00	< 0.05	0.00	< 0.05	0.00
แปลงที่ 4	< 0.05	0.00	< 0.05	0.00	< 0.05	0.00
แปลงที่ 5	< 0.05	0.00	< 0.05	0.00	< 0.05	0.00
แปลงที่ 6	< 0.05	0.00	< 0.05	0.00	< 0.05	0.00

จากการเติมสลัดลงไปดินพบว่าปริมาณโครเมียมในดินเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าเท่ากับน้อยกว่า 0.05 mg/l as Cr⁺⁶ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่าปริมาณโครเมียมที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 3 ครั้ง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

2.6 ปริมาณแคดเมียม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมของดินแต่ละแปลงการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่ามีคุณสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ปริมาณแคดเมียมที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ชุดดินทดลอง	ปริมาณโครเมียม ที่ระยะเวลาต่าง ๆ (mg/l as Cd)					
	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 1	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 2	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 3	S.D.
แปลงที่ 1	< 0.02	0.00	< 0.02	0.00	< 0.02	0.00

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชุดดินทดลอง	ปริมาณโครเมียม ที่ระยะเวลาต่าง ๆ (mg/l as Cd)					
	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 1	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 2	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 3	S.D.
แปลงที่ 2	< 0.02	0.00	< 0.02	0.00	< 0.02	0.00
แปลงที่ 3	< 0.02	0.00	< 0.02	0.00	< 0.02	0.00
แปลงที่ 4	< 0.02	0.00	< 0.02	0.00	< 0.02	0.00
แปลงที่ 5	< 0.02	0.00	< 0.02	0.00	< 0.02	0.00
แปลงที่ 6	< 0.02	0.00	< 0.02	0.00	< 0.02	0.00

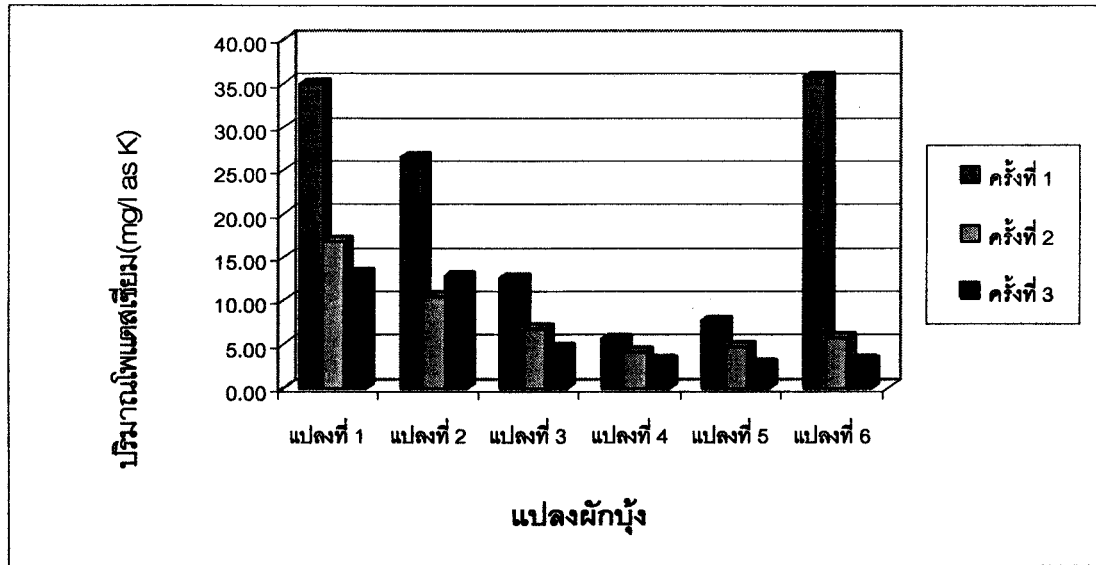
จากการเติมสัจจัดลงไปดิน พบว่าปริมาณแคดเมียมในดินเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าเท่ากันที่น้อยกว่า 0.02 mg/l as Cd ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่าปริมาณแคดเมียมที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 3 ครั้ง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

2.7 ปริมาณโพแทสเซียม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมของดินแต่ละแปลงการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่ามีคุณสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณโพแทสเซียมที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ชุดดินทดลอง	ปริมาณโพแทสเซียมที่ระยะเวลาต่าง ๆ (mg/l as K)					
	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 1	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 2	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 3	S.D.
แปลงที่ 1	34.99	0.17	16.83	0.40	13.11	0.26
แปลงที่ 2	26.41	0.88	10.54	0.65	12.80	0.36
แปลงที่ 3	12.55	0.45	6.77	0.40	4.57	0.31
แปลงที่ 4	5.57	0.57	4.09	0.23	3.04	0.73
แปลงที่ 5	7.63	0.33	4.74	0.07	2.58	0.36
แปลงที่ 6	35.68	1.14	5.69	0.45	3.10	0.36



ภาพที่ 4.5 ปริมาณไนเตรตที่ระยะเวลาต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.5 ปริมาณไนเตรตในดินเมื่อเริ่มต้นการทดลอง ในแปลงที่ 1 แปลงที่ 2 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 และแปลงที่ 6 มีปริมาณแตกต่างกันโดยพบมากที่สุดที่แปลงที่ 1 และแปลงที่ 6 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณไนเตรตในดิน ก่อนการทดลองปลูกผักบุ้งจีน กับเมื่อเก็บผักบุ้งจีน พบว่าปริมาณไนเตรตในแปลงที่ 1 แปลงที่ 2 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 แปลงที่ 6 มีปริมาณลดลงทุกแปลง

2.8 ปริมาณไนโตรเจน

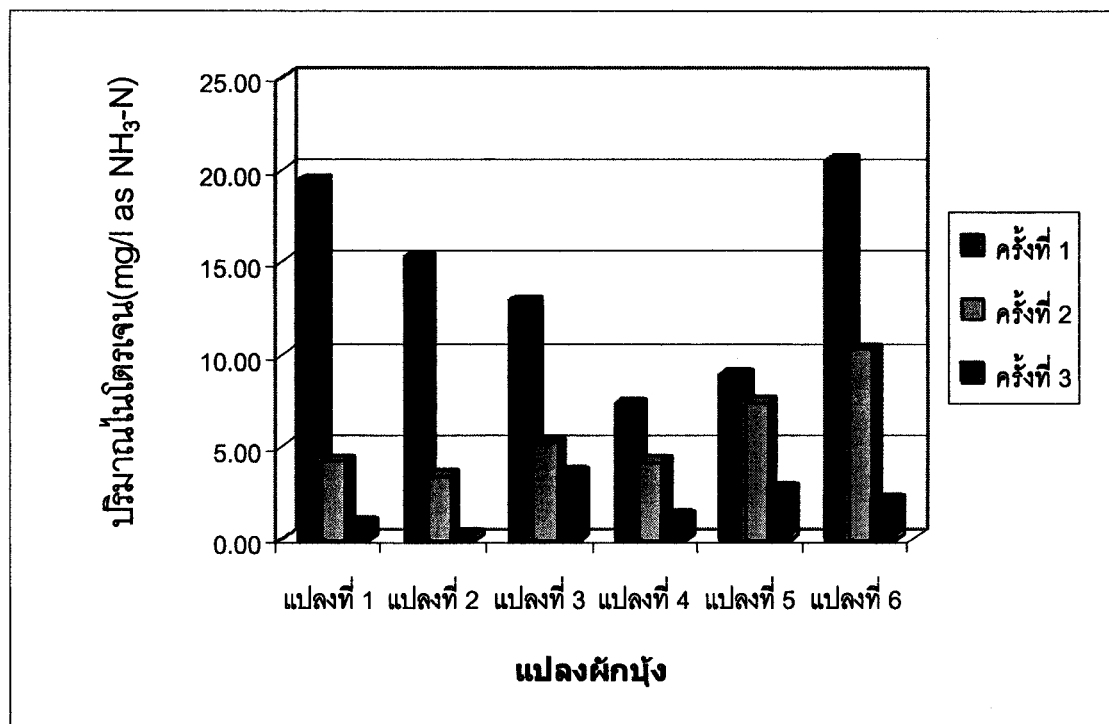
ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนของดินแต่ละแปลงการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่ามีคุณสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ปริมาณไนโตรเจนที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ชุดดินทดลอง	ปริมาณไนโตรเจนที่ระยะเวลาต่าง ๆ (mg/l as NH ₃ -N)					
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
แปลงที่ 1	19.41	1.04	4.22	0.39	0.84	0.72
แปลงที่ 2	15.20	0.30	3.40	0.20	0.26	0.80

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

ชุดดินทดลอง	ปริมาณไนโตรเจนที่ระยะเวลาต่าง ๆ (mg/l as NH ₃ -N)					
	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 1	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 2	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 3	S.D.
แปลงที่ 3	12.89	0.40	5.22	0.41	3.52	0.28
แปลงที่ 4	7.29	0.28	4.20	0.40	1.16	0.15
แปลงที่ 5	8.86	0.36	7.37	0.15	2.74	0.59
แปลงที่ 6	20.48	1.89	10.27	0.58	2.14	0.23



ภาพที่ 4.6 ปริมาณไนโตรเจนที่ระยะเวลาต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.6 ปริมาณไนโตรเจนในดินเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีปริมาณมากในแปลงที่ 6 แปลงที่ 1 แปลงที่ 2 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 3 ครั้ง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนในดินก่อนการทดลองปลูกผักนึ่งกับเมื่อเก็บผักนึ่ง พบว่าปริมาณไนโตรเจนในแปลงที่ 1 แปลงที่ 2

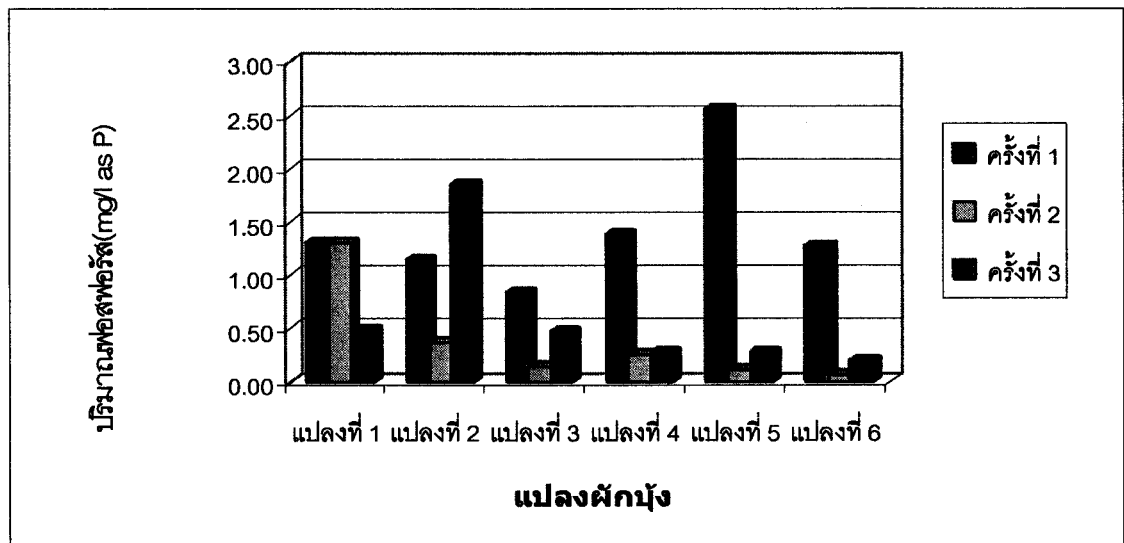
แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 แปลงที่ 6 มีปริมาณลดลงทุกแปลง

2.9 ปริมาณฟอสฟอรัส

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสของดินแต่ละแปลงการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่ามีคุณสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ชุดดินทดลอง	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ระยะเวลาต่าง ๆ (mg/l as P)					
	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 1	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 2	S.D.	ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 3	S.D.
แปลงที่ 1	1.30	0.40	1.30	0.25	0.47	0.06
แปลงที่ 2	1.13	0.18	0.37	0.04	1.85	0.18
แปลงที่ 3	0.84	0.21	0.14	0.02	0.47	0.26
แปลงที่ 4	1.37	0.23	0.25	0.08	0.27	0.08
แปลงที่ 5	2.55	0.30	0.12	0.04	0.26	0.02
แปลงที่ 6	1.27	0.15	0.06	0.01	0.20	0.08



ภาพที่ 4.7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ระยะเวลาต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.7 ปริมาณฟอสฟอรัสในดินเมื่อเริ่มต้นการทดลองแปลงที่ 1 และแปลงที่ 6 มีปริมาณใกล้เคียงกัน และมีปริมาณมากในแปลงที่ 5 ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 3 ครั้ง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสในดินก่อนการทดลองปลูกผักนึ่งจิ้นกับเมื่อเก็บผักนึ่งจิ้น พบ ว่าปริมาณฟอสฟอรัสในแปลงที่ 1 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 แปลงที่ 6 ลดลงจากเดิม แปลงที่ 2 มีปริมาณเพิ่มขึ้น

ตอนที่ 3 การเจริญเติบโตของผักนึ่งจิ้น

3.1 ความสูงของผักนึ่งจิ้น

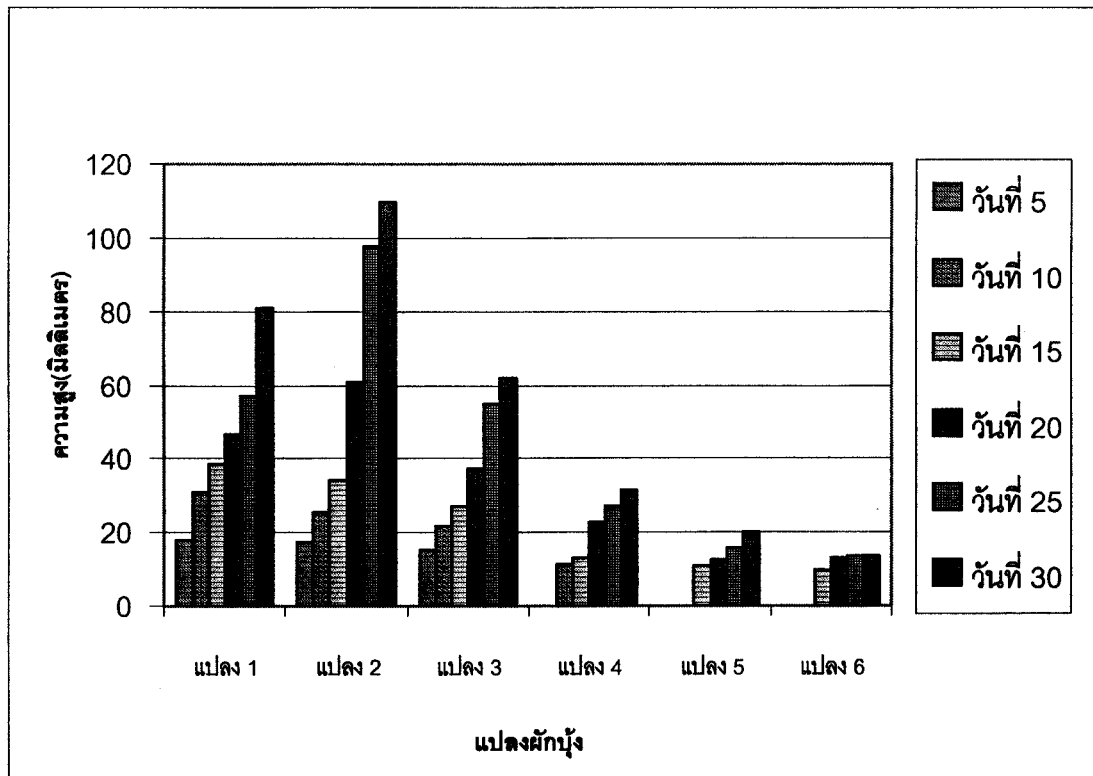
จากการทดลองที่ได้พบว่า การปลูกผักนึ่งจิ้นในระยะเวลา 30 วันและทำการวัดความสูงทุก 5 วัน เป็นจำนวน 6 ครั้ง พบว่าผักนึ่งจิ้นมีการเจริญเติบโตดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ความสูงของผักนึ่งจิ้นแต่ละแปลงการทดลอง

วันที่ปลูก	แปลงที่	ความสูงเฉลี่ย(มิลลิเมตร)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.)
5	1	17.70	4.30
	2	17.63	5.04
	3	15.41	2.59
	4	0	0
	5	0	0
	6	0	0
10	1	31.22	6.65
	2	25.63	4.58
	3	21.78	3.41
	4	11.19	2.37
	5	0	0
	6	0	0
15	1	38.56	5.47
	2	34.44	6.67

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

วันที่ปลูก	แปลงที่	ความสูงเฉลี่ย(มิลลิเมตร)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.)
	3	27.19	5.10
	4	13.04	2.61
	5	11.11	1.60
	6	9.81	1.69
20	1	46.81	6.93
	2	61.04	17.92
	3	37.59	13.09
	4	22.81	2.66
	5	12.52	1.74
	6	12.96	2.34
25	1	56.96	11.41
	2	97.56	30.80
	3	54.96	19.52
	4	26.89	2.53
	5	15.92	1.64
	6	13.37	2.20
30	1	81.15	6.50
	2	109.52	33.65
	3	62.00	18.76
	4	31.56	2.62
	5	20.26	1.77
	6	13.48	2.15



ภาพที่ 4.8 ส่วนสูงเฉลี่ยของผักนึ่งจีนตามระยะเวลา

จากภาพที่ 4.8 ผลการทดลองปลูกผักนึ่งจีนแต่ละแปลงในช่วงเวลา 30 วัน เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนแปลงที่ 1 ซึ่งเป็นแปลงควบคุมเทียบกับแปลงอื่น ๆ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียวด้วยสถิติ Oneway ANOVA พบว่า

วันที่ 5 การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนในแปลงที่ 1 กับแปลงที่ 2 มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P = 0.927$) ส่วนแปลงที่ 2 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 และ แปลง 6 มีค่าแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P = 0.005, 0.000$)

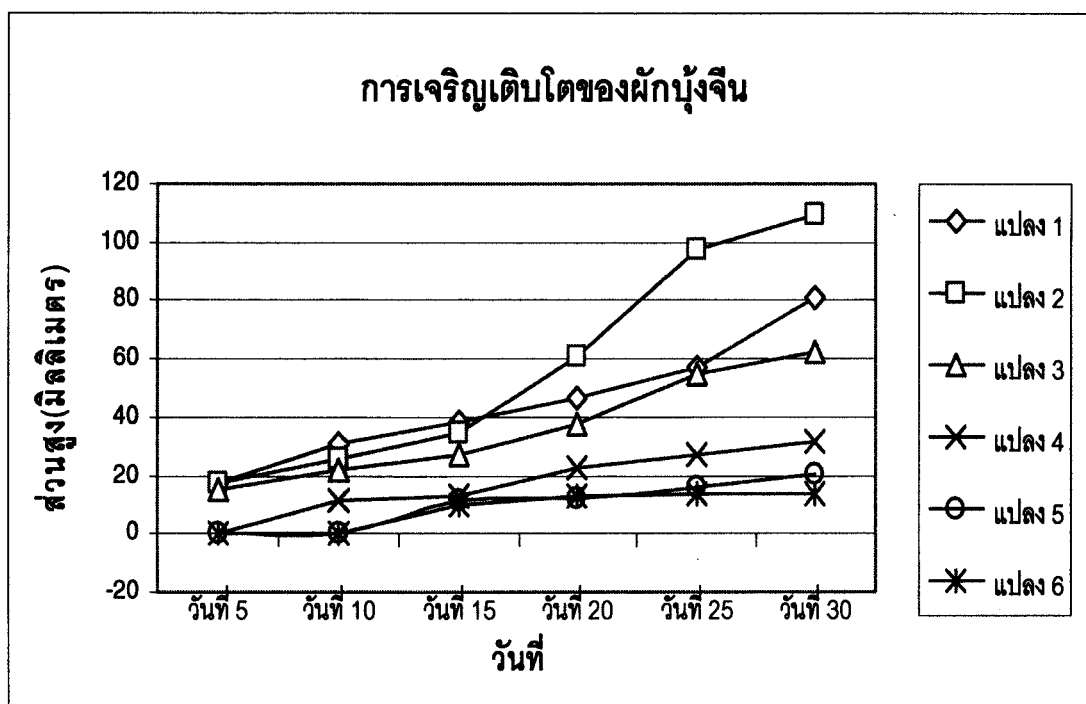
วันที่ 10 การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนในแปลงที่ 1 กับแปลงที่ 2 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 และ แปลง 6 มีค่าแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P = 0.000$)

วันที่ 15 การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนในแปลงที่ 1 กับแปลงที่ 2 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 และ แปลง 6 มีค่าแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P = 0.001, 0.000$)

วันที่ 20 การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนในแปลงที่ 1 กับแปลงที่ 2 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 และ แปลง 6 มีค่าแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P = 0.001, 0.000$)

วันที่ 25 การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนในแปลงที่ 1 กับแปลงที่ 3 มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P = 0.640$) ส่วนแปลงที่ 2 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 และ แปลง 6 มีค่าแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P = 0.000$)

วันที่ 30 การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนในแปลงที่ 1 กับแปลงที่ 2 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 และ แปลง 6 มีค่าแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P = 0.000$)



ภาพที่ 4.9 การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนแต่ละแปลงการทดลอง

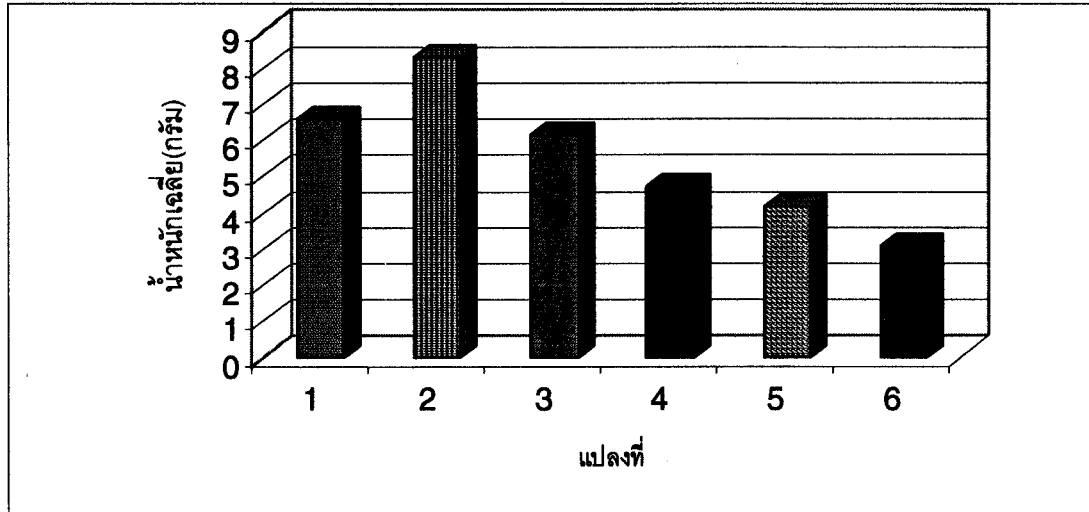
จากภาพที่ 4.9 พบว่าผักนึ่งจีนแปลงที่ 2 มีการเจริญเติบโตมากที่สุด ตามมาด้วยแปลงที่ 1 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 และแปลงที่ 6 ตามลำดับ และการเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนแต่ละแปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ มีการเจริญเติบโตแปรผันเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่ปลูกและเป็นที่น่าสังเกตว่าผักนึ่งจีนในแปลงที่ 4 แปลงที่ 5 และแปลงที่ 6 มีการเจริญเติบโตช้ากว่าแปลงอื่น โดยพบว่าแปลงที่ 4 พบการเจริญเติบโตในวันที่ 10 ของการปลูก แปลงที่ 5 และแปลงที่ 6 พบการเจริญเติบโตในวันที่ 15 ของการปลูก

3.2 น้ำหนักของผักบั้งจีน

จากการทดลองที่ได้พบว่า การปลูกผักบั้งจีนในระยะเวลา 30 วันและทำการวัด ส่วนสูงในวันที่ 30 ของการปลูก พบว่าผักบั้งจีนมีการเจริญเติบโตดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 น้ำหนักเฉลี่ยของผักบั้งจีน

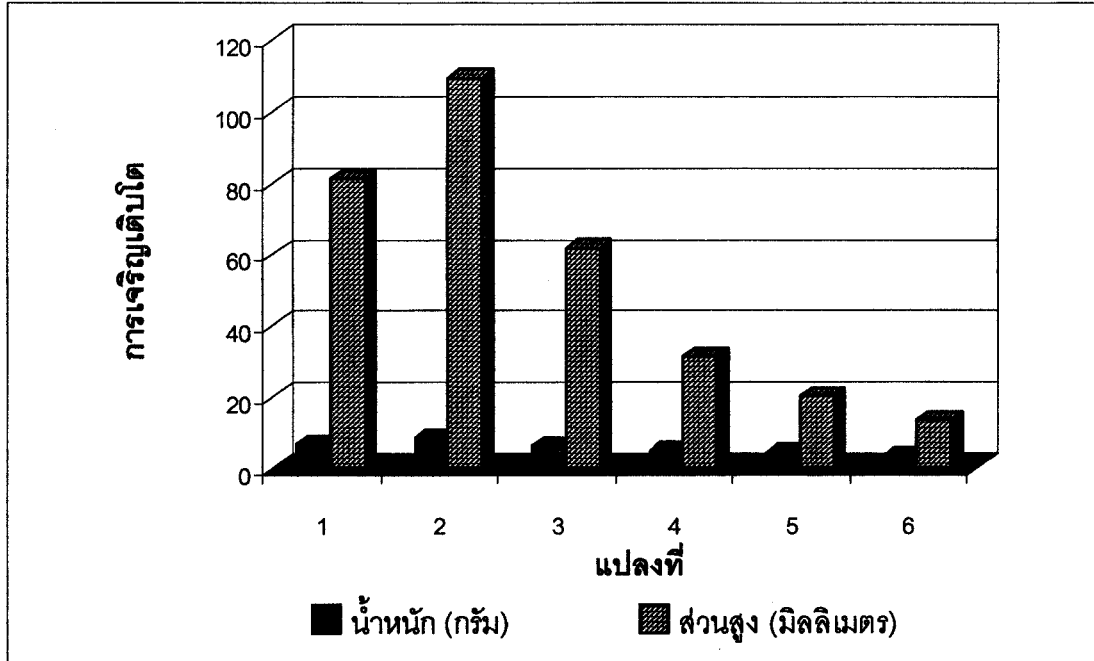
แปลงที่	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.)
1	6.61	1.04
2	8.31	1.19
3	6.17	1.13
4	4.74	1.14
5	4.18	0.97
6	3.06	0.75



ภาพที่ 4.10 น้ำหนักเฉลี่ยของผักบั้งจีน

จากภาพที่ 4.10 ผลการชั่งน้ำหนักผักบั้งจีนที่ปลูกในวันที่ 30 ของการทดลองเพื่อ ดูความสมบูรณ์ของผักบั้งจีนพบว่า ผักบั้งจีนที่ปลูกในแปลงที่ 2 มีน้ำหนักโดยเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือแปลงที่ 1 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 และแปลงที่ 6 ตามลำดับ

3.3 การเจริญเติบโตของผักบั้งจีน



ภาพที่ 4.11 การเจริญเติบโตของผักบั้งจีนจากส่วนสูงและน้ำหนัก

จากภาพที่ 4.11 ผลการตรวจวัดความสูงและน้ำหนักของผักบั้งจีน โดยหาความสัมพันธ์ของน้ำหนักและส่วนสูงจากสถิติ Pearson Correlation พบว่ามีความสัมพันธ์ที่ $r = 0.985$ ความเชื่อมั่นทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p\text{-value} < 0.05$ ($r=0.985, p<0.05$) การเจริญเติบโตของผักบั้งจีนแปลงที่ 2 มีการเจริญเติบโตดีที่สุดทั้งน้ำหนักและความสูง และจากค่าความสัมพันธ์ของน้ำหนักและส่วนสูงของผักบั้งจีนในแปลงที่ 2 แสดงให้เห็นว่าผักบั้งจีนมีความสมบูรณ์ของลำต้นมากที่สุดโดยพิจารณาจากน้ำหนักและมีการเจริญเติบโตมากที่สุด โดยพิจารณาจากความสูง ส่วนน้ำหนักและส่วนสูงของแปลงที่ 1 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 แปลงที่ 6 มีเจริญเติบโตได้ดีรองลงมาตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองภาคสนาม (Field Experimental Research) แบ่งการศึกษออกเป็น 3 ส่วน คือ ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดิน สลัดจ์ สลัดจ์ผสมกับดินในอัตราส่วนต่าง ๆ ศึกษาการเจริญเติบโตของผักนึ่งที่ใช้เป็นพืชทดลองปลูกบนสลัดจ์ในอัตราส่วนของการใช้สลัดจ์ที่แตกต่างกัน และศึกษาปริมาณโลหะหนักที่สำคัญคือ ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) โครเมียม (Cr^{+6}) สังกะสี (Zn) และแคดเมียม (Cd) ในสลัดจ์หลังจากใช้ในการผสมกับดิน เพื่อปลูกผักนึ่งขึ้น ซึ่งผลการทดลองเหล่านี้สามารถสรุปการวิจัย อภิปราย และให้ข้อเสนอแนะที่ได้จากการทำวิจัยได้ดังนี้

1. สรุปการวิจัย

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.1.1 เพื่อตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน สลัดจ์ รวมทั้งสลัดจ์ผสมกับดินในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อนำไปเป็นวัสดุบำรุงดินสำหรับปลูกผักนึ่งขึ้น

1.1.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดินแต่ละชุดการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน และปริมาณของโลหะหนักที่สำคัญคือ ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) โครเมียม (Cr^{+6}) สังกะสี (Zn) และแคดเมียม (Cd) ในสลัดจ์หลังจากใช้ในการผสมกับดิน เพื่อปลูกผักนึ่งขึ้น

1.1.3 เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของผักนึ่งขึ้นที่ใช้เป็นพืชทดลองปลูกบนสลัดจ์ในอัตราส่วนของการใช้สลัดจ์ที่แตกต่างกัน

1.2 วิธีดำเนินการวิจัย

1.2.1 กำหนดกรอบแนวคิด และขอบเขตการวิจัย

1) ประชากร ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ผักนึ่งขึ้นที่ปลูกในแปลงทดลองจำนวน 6 แปลง โดยนำสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ฯ ศรีราชา มาใช้เป็นวัสดุบำรุงดิน ซึ่งปลูกผักนึ่งขึ้นในสภาพแวดล้อมเดียวกัน มีการให้น้ำในปริมาณที่เท่ากันทุกแปลง

1.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เมล็ดพันธุ์ผักนึ่งขึ้น
- 2) สลัดจ์จากสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา

- 3) ดินในสวนอุตสาหกรรมศรีนครินทร์ ศรีราชา
- 4) ปุ๋ยยูเรีย
- 5) แพลงทดลอง
- 6) ไม้บรรทัด
- 7) อุปกรณ์เครื่องใช้และเครื่องเขียนอื่น ๆ ที่จำเป็น

1.2.3 ดำเนินการศึกษาและทดลอง

1) การเตรียมการทดลอง

- (1) การเตรียมแปลงทดลอง นำไม้กระดานมาต่อเป็นสี่เหลี่ยม โดยมีความกว้าง 90 เซนติเมตร ยาว 90 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร แบ่งเป็น 3 ส่วน และเจาะรูด้านล่าง เพื่อให้ระบายน้ำได้
- (2) การเตรียมเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีน นำเมล็ดผักบุ้งจีนไปแช่น้ำและคัดเลือกเมล็ดที่ลอยน้ำออกเนื่องจากเป็นเมล็ดพันธุ์ที่ไม่สมบูรณ์ และคัดเลือกเมล็ดพันธุ์ ที่สมบูรณ์ไปปลูกต่อไป
- (3) การเตรียมดิน นำดินมาทำการบดให้ละเอียด ไม่ให้มีการจับตัวเป็นก้อนแข็ง เพื่อให้สามารถคลุกเคล้ากับสลัดจ์ได้อย่างสมบูรณ์
- (4) การเตรียมสลัดจ์ นำมาทุบให้มีขนาดเล็กลง โดยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร
- (5) การเตรียมดินสำหรับปลูก
 - ก. นำดินที่เตรียมไว้มาใส่ในแปลงทดลองที่ 1 จำนวน 36 กิโลกรัม คิดเป็นอัตราส่วนดิน:สลัดจ์ 0:100
 - ข. นำดินที่เตรียมไว้มาใส่ในแปลงทดลองที่ 2 จำนวน 27 กิโลกรัม และสลัดจ์จำนวน 9 กิโลกรัม และผสมให้เข้ากันคิดเป็นอัตราส่วนดิน:สลัดจ์ 75:25
 - ค. นำดินที่เตรียมไว้มาใส่ในแปลงทดลองที่ 3 จำนวน 18 กิโลกรัม และสลัดจ์จำนวน 18 กิโลกรัม และผสมให้เข้ากันคิดเป็นอัตราส่วนดิน:สลัดจ์ 50:50
 - ง. นำดินที่เตรียมไว้มาใส่ในแปลงทดลองที่ 4 จำนวน 9 กิโลกรัม และสลัดจ์ จำนวน 27 กิโลกรัม และผสมให้เข้ากันคิดเป็นอัตราส่วนดิน:สลัดจ์ 25:75
 - จ. นำสลัดจ์ที่เตรียมไว้มาใส่ในแปลงทดลองที่ 5 จำนวน 36 กิโลกรัม คิดเป็นอัตราส่วนดิน:สลัดจ์ 100:0

ฉ. นำสลัดจ์ที่เตรียมไว้มาใส่ในแปลงทดลองที่ 6 จำนวน 36 กิโลกรัม และเติมปุ๋ยยูเรียที่ผสมในน้ำในอัตราส่วน 10 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตรหรือความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

(6) การดำเนินการทดลอง

ก. ทำการเจาะรูบนแปลงที่ทำกรทดลอง โดยเจาะ จำนวน 9 หลุม ในระยะห่างกัน 15 เซนติเมตร ลึกหลุมละ 4 เซนติเมตร

ข. นำเมล็ดผักบุ้งจีนลงไปหยอดหลุมละ 3 เมล็ด และทำการกลบฝังเมล็ดผักบุ้งจีนไว้

ค. ทำการรดน้ำแปลงผักบุ้งจีนแต่ละแปลง ในปริมาณที่เท่ากัน โดยแต่ละแปลง ใช้น้ำในการรด 20 ลิตร ต่อวัน

2) การเก็บตัวอย่างดิน เพื่อนำมาทดลอง ทำการเก็บตัวอย่างดินโดยขุดให้ลึกจากพื้นผิวลงไป 5 เซนติเมตร และในแต่ละแปลงจะทำการเก็บตัวอย่าง 5 จุด โดยเก็บที่จุดกลางของแปลงทดลอง 1 จุด และห่างจากมุมแปลงทดลองเข้ามา 30 เซนติเมตร จำนวนมุมละ 1 จุด รวมเป็นเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 5 จุดต่อแปลงทดลอง และเก็บตัวอย่างดินทดลองมาจุดละ 50 กรัม และนำมาผสมให้เข้ากัน เพื่อเป็นตัวแทนในการนำไปตรวจวิเคราะห์

3) รวบรวมข้อมูล ทำการเก็บตัวอย่างดินทุกชุดทดลอง เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี 3 ครั้ง ดังนี้ ครั้งที่ 1 หลังเตรียมตัวอย่างชุดดินทดลอง ก่อนการเพาะปลูก แปลงละ 3 ตัวอย่าง ครั้งที่ 2 เมื่อผักบุ้งจีนมีอายุ 15 วัน แปลงละ 3 ตัวอย่าง ครั้งที่ 3 เมื่อผักบุ้งจีนมีอายุ 30 วัน แปลงละ 3 ตัวอย่าง ทำการวัดส่วนสูงของผักบุ้งจีนทุกแปลง ทุก 5 วัน เป็นจำนวน 6 ครั้ง และทำการวัดน้ำหนักสดของผักบุ้งจีนในวันที่ 30 ของการทดลอง

4) การวิเคราะห์ข้อมูลเก็บตัวอย่างดินทุกชุดทดลอง เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี 3 ครั้ง ดังนี้ ครั้งที่ 1 หลังเตรียมตัวอย่างชุดดินทดลอง ก่อนการเพาะปลูก ครั้งที่ 2 เมื่อผักบุ้งจีนมีอายุ 15 วัน ครั้งที่ 3 เมื่อผักบุ้งจีนมีอายุ 30 วัน

1.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ดังต่อไปนี้ pH Cadmium, Copper, Nickel, Zinc Chromium Hexavalent, Total Kjeldahl Nitrogen Phosphorus และ Potassium ทั้งนี้ตัวอย่างดินทั้งหมดได้ทำการวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการทดสอบ บริษัท อีสเทิร์นไทยคอนซัลติ้ง 1992 จำกัด โดยพิจารณาคุณสมบัติทางเคมีจากค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation :SD) นำเสนอในรูปกราฟแท่ง

2) วัดการเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนโดยใช้ส่วนสูงเป็นตัวชี้วัด ทำการวัดส่วนสูงทุก 5 วัน โดยเริ่มจากที่ปลูกไปแล้ว 5 วัน ทำการวัดส่วนสูงต่อไปทุก 5 วัน จนครบ 30 วัน รวมเป็นจำนวน 6 ครั้งต่อแปลงการทดลอง โดยพิจารณาการเจริญเติบโตจากค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation :SD) นำเสนอในรูปกราฟแท่ง และกราฟเส้น

3) วัดการเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนโดยใช้น้ำหนักเป็นตัวชี้วัด ทำการชั่งน้ำหนักผักนึ่งจีนในวันที่ 30 ของการทดลองโดยพิจารณาการเจริญเติบโตจากค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation :SD) นำเสนอในรูปกราฟแท่ง

4) สถิติที่ใช้ในการวิจัย

(1) นำเสนอข้อมูลความสูงและน้ำหนักของผักนึ่งจีนด้วยสถิติค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(2) แสดงภาพแนวโน้มคุณสมบัติทางเคมีของดินแต่ละชุดการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ และแสดงภาพแนวโน้มการเจริญเติบโตของผักนึ่งด้วยกราฟแท่ง

(3) วิเคราะห์การเจริญเติบโตโดยใช้สถิติความแปรปรวนตัวแปรเดียว (Oneway- ANOVA) และ LSD หาความสัมพันธ์ของน้ำหนักและส่วนสูงโดยใช้สถิติ Pearson Correlation

1.3 ผลการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดิน สลัดจ์รวมทั้งดินผสมสลัดจ์ในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อนำไปเป็นวัสดุบำรุงดินสำหรับปลูกผักนึ่งจีน เพื่อศึกษาปริมาณโลหะหนักในสลัดจ์หลังจากใช้ในการผสมดินเพื่อปลูกผักนึ่งจีน และศึกษาการเจริญเติบโตของผักนึ่งที่ใช้เป็นพืชทดลองปลูกบนสลัดจ์ในอัตราส่วนของการใช้สลัดจ์แตกต่างกันพบว่า

1.3.1 คุณสมบัติทางเคมีของดินและสลัดจ์ก่อนทำการเพาะปลูก จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน และสลัดจ์ที่นำมาใช้ในการทดลอง พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินและสลัดจ์ มีค่าเหมาะสมต่อการปลูกผักนึ่งจีน ปริมาณโลหะหนักที่พบมีค่าไม่แตกต่างกันมาก ยกเว้นปริมาณทองแดง (Copper) ที่พบในดินมีมากกว่าที่พบในสลัดจ์ ปริมาณธาตุอาหารของพืช พบว่าปริมาณโพแทสเซียม (Potassium) ของสลัดจ์มีค่าแตกต่างจากในดินค่อนข้างสูง ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ของสลัดจ์มีค่าแตกต่างจากในดินค่อนข้างสูง ค่าความเค็ม (Salinity) พบน้อยมาก จึงเหมาะต่อการนำมาปลูกผักนึ่งจีน

1.3.2 คุณสมบัติทางเคมีของดินแต่ละชุดการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าในระหว่างการทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 5.1 – 6.5 โดยส่วนมากค่าความเป็นกรด-ด่าง จะลดลงในช่วงวันที่ 15 ของการปลูก และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงวันที่ 30 ของการปลูก ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมของผักนึ่งจีนในการเจริญเติบโตที่สภาวะกรดอ่อน ๆ ปริมาณทองแดง ลดลงในทุกแปลงทดลอง ปริมาณนิเกิลในแปลงที่ 1 แปลงที่ 2 แปลงที่ 5 และแปลงที่ 6 ลดลงจากเดิมเล็กน้อย ปริมาณนิเกิลในแปลงที่ 3 และแปลงที่ 4 ปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ปริมาณสังกะสีในแปลงที่ 1 แปลงที่ 2 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 และแปลงที่ 5 มีปริมาณลดลง ส่วนแปลงที่ 6 มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ปริมาณโครเมียมในดินเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าเท่ากันที่น้อยกว่า 0.05 ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่าปริมาณโครเมียมที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 3 ครั้ง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ปริมาณแคดเมียมในดินเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าเท่ากันที่น้อยกว่า 0.02 ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่าปริมาณแคดเมียมที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 3 ครั้ง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ปริมาณโพแทสเซียมในแปลงที่ 1 แปลงที่ 2 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 แปลงที่ 6 มีปริมาณแตกต่างกันโดยพบมากที่สุดที่แปลงที่ 1 และแปลงที่ 6 โดยปริมาณโพแทสเซียมหลังการปลูกมีปริมาณลดลงทุกแปลง ปริมาณไนโตรเจนในแปลงที่ 1 แปลงที่ 2 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 แปลงที่ 6 มีปริมาณลดลงทุกแปลง ปริมาณฟอสฟอรัสในแปลงที่ 1 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 แปลงที่ 6 มีปริมาณลดลง ส่วนแปลงที่ 2 มีปริมาณเพิ่มขึ้น

1.3.3 การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนความสูงของผักนึ่งจีนในแปลงที่ 2 มีการเจริญเติบโตดีที่สุดตามมาด้วยแปลงที่ 1 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 และแปลงที่ 6 ตามลำดับ น้ำหนักของผักนึ่งจีน ผักนึ่งจีนที่ปลูกในแปลงที่ 2 มีน้ำหนักโดยเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือแปลงที่ 1 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 และแปลงที่ 6 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้คือ ดินที่ผสมสลัดจ์ในอัตราส่วนต่าง ๆ มีผลทำให้น้ำหนักและส่วนสูงของผักนึ่งจีนแตกต่างกัน

1.3.4 แนวทางการนำสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรม เครือสหพัฒน์ ศรีราชา กลับมาใช้ประโยชน์ด้านเกษตรกรรมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนดีที่สุด คือแปลงที่ 2 ซึ่งผสมดินและสลัดจ์ในอัตราส่วน 75:25 จะให้การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนที่ใกล้เคียงกับการปลูกโดยใช้ดินเพียงอย่างเดียว และสลัดจ์ที่อัตราส่วนที่มากขึ้นมีผลให้การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนลดน้อยลง การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนจะแปรตามจำนวนวันที่ปลูกเมื่อจำนวนวันที่ปลูกเพิ่มขึ้นผักนึ่งจีนมีการเจริญเติบโตสูงขึ้นทุกแปลงการทดลอง

2. อภิปรายผล

2.1 ในอัตราส่วนของดินต่อสลัดจ์ที่แตกต่างกันมีผลให้การเจริญเติบโตของน้ำหนักและส่วนสูงของผักบุงจีนแตกต่างกัน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐาน โดยผักบุงจีนจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในแปลงทดลองที่ 2 ที่มีอัตราส่วนของดินและสลัดจ์ที่ 75:25 เนื่องจากในแปลงทดลองที่ 2 คุณสมบัติของสลัดจ์ก่อนนำมาผสมกับดินมีค่าไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงกว่าที่มีอยู่ในดิน และเมื่อมีการนำสลัดจ์มาผสมในอัตราที่เหมาะสมทำให้ผักบุงจีนเจริญเติบโตได้ดีเนื่องจากผักบุงจีนเป็นพืชที่ตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนมาก

2.2 เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักบุงจีนที่ปลูกในดินผสมสลัดจ์ที่อัตราส่วนต่างกัน จะพบว่าการเติมสลัดจ์ในอัตราส่วนที่น้อยกว่าร้อยละ 50 จะให้การเจริญเติบโตที่ดีกว่าการปลูกด้วยดินอย่างเดียวและการเติมสลัดจ์ จะให้การเจริญเติบโตที่ดีกว่าการปลูกด้วยดินผสมปุ๋ยยูเรีย

2.3 ค่าความสัมพันธ์ของน้ำหนักและส่วนสูงของผักบุงจีนในแปลงที่ 2 แสดงให้เห็นว่าผักบุงจีนมีความสมบูรณ์ของลำต้นมากที่สุดโดยพิจารณาจากน้ำหนัก และมีการเจริญเติบโตมากที่สุด โดยพิจารณาจากความสูง ส่วนน้ำหนักและส่วนสูงของแปลงที่ 1 แปลงที่ 3 แปลงที่ 4 แปลงที่ 5 แปลงที่ 6 มีเจริญเติบโตได้ตรงลงมาตามลำดับ

2.4 การเจริญเติบโตของผักบุงจีนในแปลงที่ 2 ที่มีอัตราส่วนของดินและสลัดจ์ที่ 75:25 มีการเจริญเติบโตมากกว่าแปลงที่ 6 ซึ่งเป็นดินผสมปุ๋ยยูเรีย เนื่องจากคุณลักษณะทางเคมีของสลัดจ์ก่อนการทดลองพบว่ามีค่าไนโตรเจน (N) และ โฟสเฟอรัส (K) สูงกว่าในดินมาก และเมื่อนำมาผสมกับดินจึงทำให้ผักบุงจีนได้รับไนโตรเจน (N) และ โฟสเฟอรัส (K) ที่เพียงพอเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ส่วนแปลงที่ 6 ที่มีการเติมปุ๋ยยูเรียซึ่งให้ไนโตรเจน (N) เพียงอย่างเดียว จึงทำให้ขาดธาตุอาหารหลักในส่วนของโพแทสเซียม (K) ซึ่งเป็นธาตุอาหารจำเป็น คือธาตุที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของพืช พืชจำเป็นต้องใช้ธาตุนี้เพื่อให้มีชีวิตดำรงอยู่ได้อย่างสมบูรณ์ ถ้าขาดพืชอาจตายได้และจะนำธาตุอื่นมาใช้แทนไม่ได้ จึงมีผลให้การเจริญเติบโตของผักบุงจีนในแปลงที่ 6 น้อยกว่าแปลงที่ 2

2.5 สลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา สามารถนำไปเป็นวัสดุบำรุงดินได้ เพราะมีธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช ในปริมาณสูง เช่น ไนโตรเจนที่พบมากที่สุดในแปลงทดลองที่ 2 และเป็นแปลงที่ผักบุงจีนเจริญเติบโตได้ดีที่สุด จึงเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุบำรุงดินโดยเป็นแหล่งไนโตรเจนให้กับพืช

2.6 การเติมสลัดจ์ลงในดินมีผลทำให้คุณภาพของดินเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของผักบุงจีน แต่ต้องเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม จึงจะให้การเจริญเติบโตที่ดี และเหมาะสมกับพืชที่นำมาปลูก

2.7 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ ไนโตรเจน โฟสฟอรัส โพแทสเซียม และโลหะหนักที่พบในการทดลอง มีความแตกต่างกันเนื่องจาก ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ซึ่งพืชใช้เป็นอาหารหลัก จัดเป็นธาตุอาหารจำเป็น (Essential Elements) ผักบุงจีนจะดึงไปใช้ในการเจริญเติบโตมากกว่าทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) โครเมียม (Cr^{+6}) สังกะสี (Zn) และแคดเมียม (Cd) ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่พืชใช้เพียงเล็กน้อยหรือเป็นธาตุอาหารเสริม

2.8 ปริมาณโลหะหนักที่พบในดินจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งลดลงและเพิ่มขึ้น แต่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อเทียบกับประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ภาคผนวกที่ 2 ข้อ 5.2 ซึ่งกำหนดให้สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว เมื่อนำมาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test และวิเคราะห์น้ำสกัดแล้ว มีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อลิตรของน้ำสกัดเท่ากับหรือมากกว่าค่า Soluble Threshold Limit Concentration (STLC) ที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้แคดเมียมและ/หรือสารประกอบแคดเมียม 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สารประกอบของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ทองแดงและ/หรือสารประกอบทองแดง 25 มิลลิกรัมต่อลิตร นิกเกิลและ/หรือสารประกอบนิกเกิล 20 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว 2548:49) จากผลการทดลองพบว่าสลัดจ์สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุบำรุงดินได้

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

สลัดจ์ที่เกิดจากการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย สวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ศรีราชา สามารถนำมาเป็นวัสดุบำรุงดินได้ ซึ่งเหมาะกับพืชใบ เนื่องจากมีค่าไนโตรเจนที่สูง จากการวิจัยพบว่าเมื่อนำสลัดจ์มาผสมกับดินในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าให้อัตราการเจริญเติบโตของผักบุงจีนที่แตกต่างกัน ซึ่งการเจริญเติบโตของผักบุงจีนที่ผสมกับสลัดจ์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะทำให้การเจริญเติบโตดีกว่าการปลูกในดินอย่างเดียว โดยจากการศึกษาวิจัยพบว่าเจริญเติบโตที่สุดในดินที่ผสมในอัตราส่วนดินต่อสลัดจ์ 75:25 แต่ไม่ควรผสมในอัตราส่วนดินต่อสลัดจ์ ที่สลัดจ์มากกว่าร้อยละ 50 เนื่องจากให้ผลการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่าการปลูกในดินเพียงอย่างเดียว จึงควรนำไปใช้ในการปลูกพืชที่ต้องการการเจริญเติบโตช้า เช่น หนุ่ยใน

สนาม เพื่อลดความถี่ในการตัดและปริมาณโลหะหนักของสลัดจ์ที่นำมาใช้พบว่ามีความต่ำกว่าที่กำหนด แต่ไม่ควรนำไปใช้สำหรับการปลูกพืชเพื่อบริโภค และการวิจัยครั้งนี้เป็นการนำสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียสวนอุตสาหกรรมศรีนครินทร์ ศรีราชา มาเป็นวัสดุบำรุงดิน จึงไม่สามารถนำผลการศึกษาไปอ้างอิงกับสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียที่อื่นซึ่งอาจมีคุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกันได้

3.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

การนำกากตะกอนมาศึกษาควรเป็นสลัดจ์ที่มาจากโรงงานที่มีความเฉพาะเจาะจง เช่น สลัดจ์จาก โรงงานงานผลิตอาหาร โรงงานผลิตผงซักฟอก ซึ่งมีความแตกต่างของปริมาณสารอาหารที่พืชจะนำมาใช้ประโยชน์

ควรทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์ร่วมกับการนำสลัดจ์กลับมาใช้

ควรทำการศึกษาหาพืชเช่น ไม้ดอก ไม้ประดับ ที่เหมาะสมที่จะนำมาปลูก โดยใช้สลัดจ์อย่างเดียว เพื่อลดปริมาณตะกอนที่นำไปกำจัดและค่าใช้จ่ายในการนำสลัดจ์ไปกำจัด

อัตราส่วนของดินต่อสลัดจ์ที่ได้ผลดีในการทดลองครั้งนี้คือในอัตราส่วนของดินต่อสลัดจ์ที่ 75:25 และใช้อัตราส่วนในการทดลองดินต่อสลัดจ์ที่ 50:50 เป็นลำดับถัดมา จึงควรมีการศึกษาอัตราส่วนของดินต่อสลัดจ์ที่อยู่ระหว่าง 75:25 และ 50:50 ซึ่งอาจให้ค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตมากกว่าอัตราส่วนที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กิตตินันท์ ชีระวรรณวิไล (2527) "บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารจำเป็นในพืช" ใน *ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปุ๋ยและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับใช้ปุ๋ย* หน้า 2-8 กรุงเทพมหานคร โดย คณะทำงานทางวิชาการสาขาดินและปุ๋ย กองพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2539) *การบำบัดน้ำเสีย* กรุงเทพมหานคร มิตรนราการพิมพ์
- _____ (2537) *วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่มที่ 3* กรุงเทพมหานคร มิตรนราการพิมพ์
- เกษมศรี ชับซ้อน (2541) *ปฐพีวิทยา พิมพ์ครั้งที่ 3* กรุงเทพมหานคร นานาสิ่งพิมพ์
- ฉัตรนัย จิรเดชะ (2544) "ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงสำหรับระบบฝังกลบ" ใน *ประมวลสาระชุดวิชา อาชีวอนามัยและความปลอดภัย และการจัดการกากของเสียในโรงงานอุตสาหกรรม* หน่วยที่ 9-15 หน้า 256 นนทบุรี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สุขภาพ
- ชัยสิทธิ์ ทองจู (2543) "การใช้ประโยชน์กากตะกอนบ่อน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษเป็นวัสดุสำหรับปลูกป๊วยเซียน" *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า ปีที่ 18, ฉบับที่ 3 (มีนาคม) : 38-49*
- ชนิดา ไกรขุนทด (2544) *การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์และธาตุอาหารในกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์และคณะ (2538) *ศัพท์บัญญัติและนิยามสิ่งแวดล้อมน้ำ* พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร เรือนแก้วการพิมพ์
- นัยนา คุณลักษณะ (2542) "การใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนในการปรับปรุงคุณภาพดินเปรี้ยวจัด" *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเอกอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล*
- "ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548" (2548, 25 มกราคม) *ราชกิจจานุเบกษา* เล่ม 123 ตอนพิเศษ 11 ง หน้า 49
- พัชรราวดี สุวรรณธาดา (2529) "ผลของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียต่อการเติบโตและการสะสมโลหะหนักบางชนิดของผักคะน้าในสภาพเรือนทดลอง" *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*

- มัลลิกา ปัญญาคะโป (2544) การจัดการของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม นครปฐม โรงพิมพ์
มหาวิทยาลัยศิลปากร
- มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2540) การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการสวนอุตสาหกรรม
เครือสหพัฒน์พิบูลย์ จำกัด-ศรีราชา ขอนแก่น ม.ป.ท.
- วิทยา เพียรวิจิตร (2525) เทคโนโลยีการกำจัดน้ำเสีย กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์โอเดียนส
ไตร์
- ศิริณี ศิริสุขโฉม (2535) "ผลของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อการเติบโตและการ
สะสมโลหะหนักในน้ำมันพืชบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดปทุมธานี" วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย
- สุจินดา ลักษณะอดิสร (2542) "การนำกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้ประโยชน์ทาง
การเกษตร" วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 14, ฉบับที่ 3 (กันยายน-
ธันวาคม) : 45-49
- สุทธิเจตน์ จันทศิริ และคณะ (2545) รายงานโครงการศึกษาแนวทางการนำกากตะกอนจาก
ระบบบำบัดน้ำเสียกลับมาใช้ การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 2
กรุงเทพมหานคร สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย
- สุนทร เรืองเกษม (2540) ผักกินใบ กรุงเทพมหานคร ม.ป.ท.
- สุธีรา ตูลยะเสถียร โกศล วงศ์สุวรรณ และสถิต วงศ์สุวรรณ (2544) มลพิษสิ่งแวดล้อม
กรุงเทพมหานคร อมรการพิมพ์
- แสงวง รวยสูงเนิน (2536) การใช้ตะกอนก้นบึงและกากเยื่อเพื่อการปลูกพืช การประชุมวิชาการ
ระดับชาติ สวสท 36 เทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ กรุงเทพมหานคร สมาคม
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย
- อรรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2536) การจัดการกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนเพื่อนำศักยภาพความ
เป็นปุ๋ยมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร การประชุมวิชาการระดับชาติ สวสท 36
เทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ กรุงเทพมหานคร สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่ง
ประเทศไทย
- อิสเทิร์นไทยคอนซัลติง 1992 (2548) รายงานการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย สวนอุตสาหกรรม
เครือสหพัฒน์ ศรีราชา ชลบุรี ฝ่ายเทคนิคและวิศวกรรม

อุดมผล พิชนิไพบุลย์ (2544) "การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานถลุงมือยางมาใช้เป็นวัสดุบำรุงดิน" ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการประจำปีระดับชาติ ครั้งที่ 13 วันที่ 17-18 พฤษภาคม 2544 ศูนย์การประชุมไบเทค บางนา

Dowby RH, Larson WE. (1975) *The availability of sludge-borne metals to various vegetable crops*. London : J Environ qual.

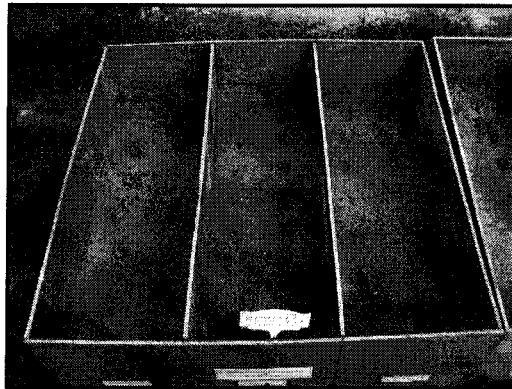
Sabey BA. (1975) *Land application of sewage sludge: I effect on growth and chemical composition of plants*. London : J Environ qual.

Stucky DJ, Newman TS. (1974) *Effect of dried anaerobically digested sewage sludge on yield and element accumulation in tall fescue and alfalfa*. London : J Environ qual.

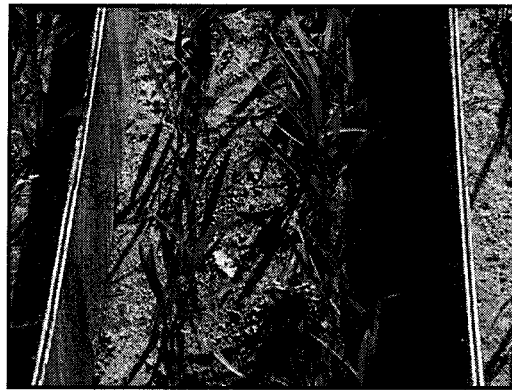
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รูปภาพการทดลอง



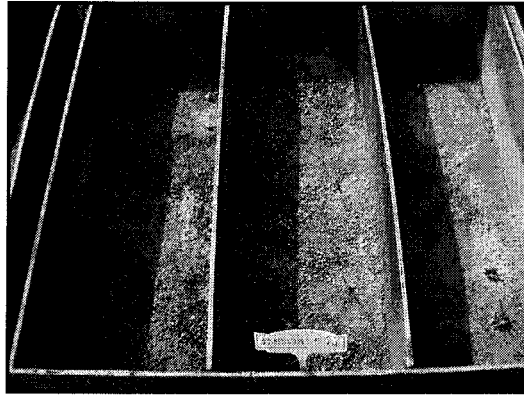
การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีน แปลงที่ 1 วันที่ 5 ของการปลูก



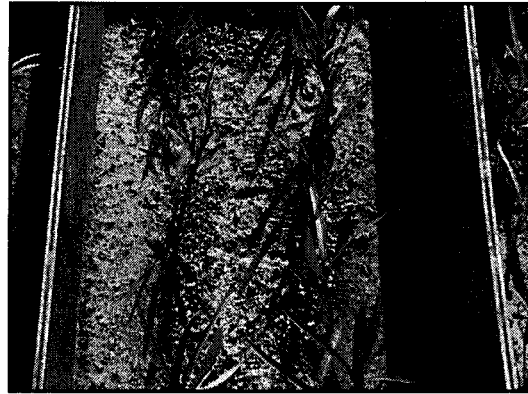
การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีน แปลงที่ 1 วันที่ 15 ของการปลูก



การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีน แปลงที่ 1 วันที่ 30 ของการปลูก



การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน แปลงที่ 2 วันที่ 5 ของการปลูก



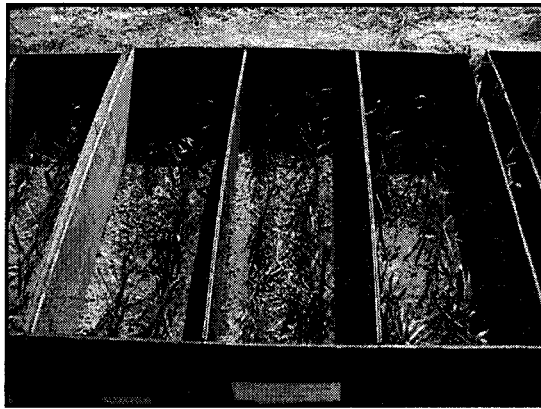
การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน แปลงที่ 2 วันที่ 15 ของการปลูก



การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน แปลงที่ 2 วันที่ 30 ของการปลูก



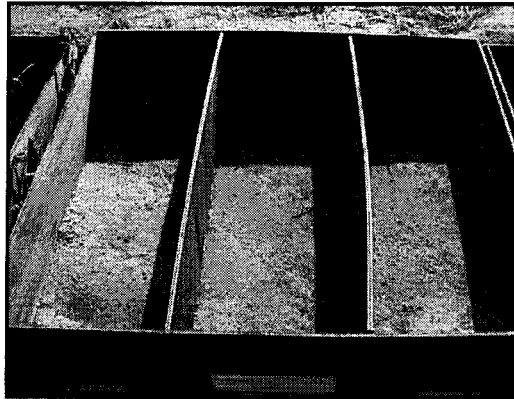
การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีน แปลงที่ 3 วันที่ 5 ของการปลูก



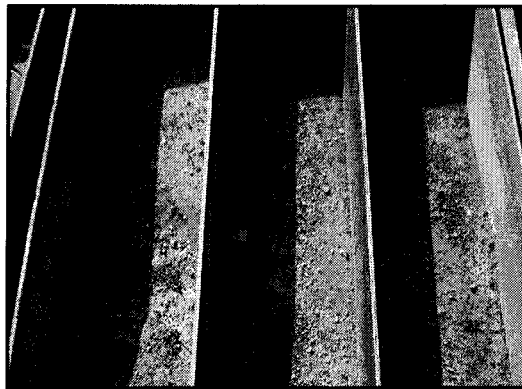
การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีน แปลงที่ 3 วันที่ 15 ของการปลูก



การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีน แปลงที่ 3 วันที่ 30 ของการปลูก



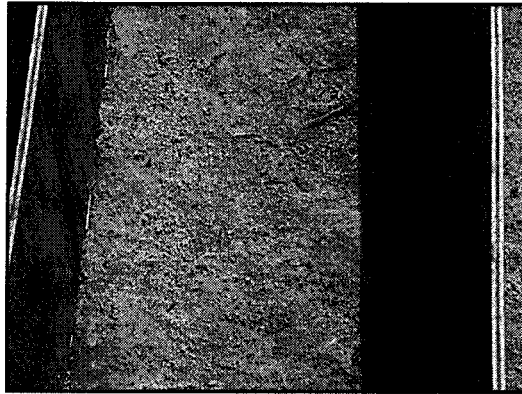
การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีน แปลงที่ 4 วันที่ 5 ของการปลูก



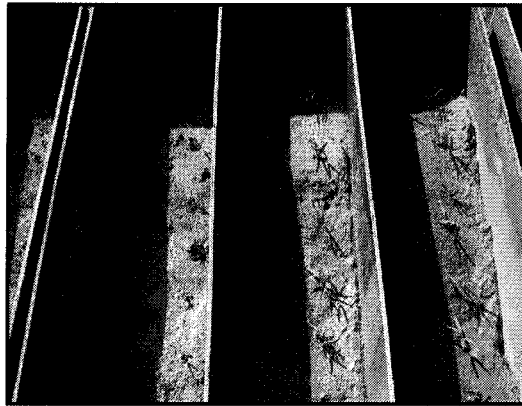
การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีน แปลงที่ 4 วันที่ 15 ของการปลูก



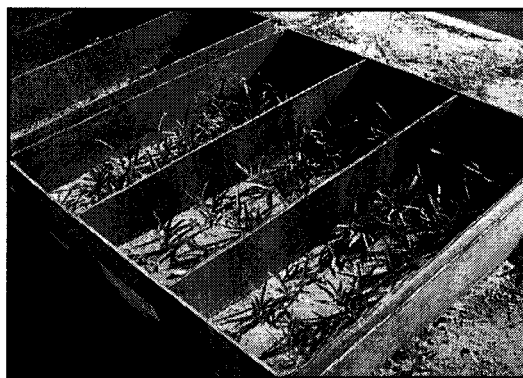
การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีน แปลงที่ 4 วันที่ 30 ของการปลูก



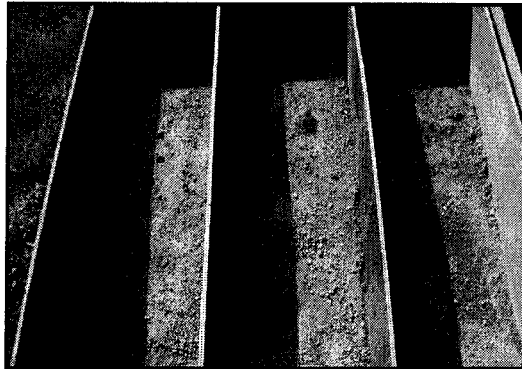
การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน แปลงที่ 5 วันที่ 5 ของการปลูก



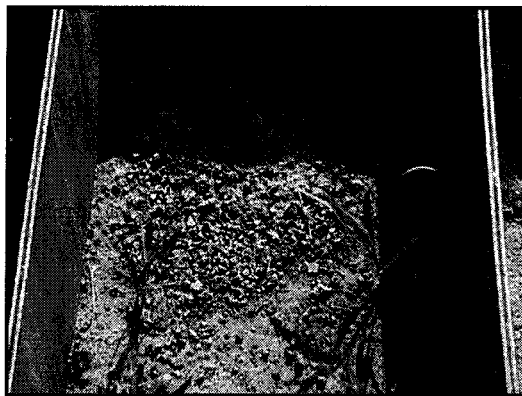
การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน แปลงที่ 5 วันที่ 15 ของการปลูก



การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน แปลงที่ 5 วันที่ 30 ของการปลูก



การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน แปลงที่ 6 วันที่ 5 ของการปลูก



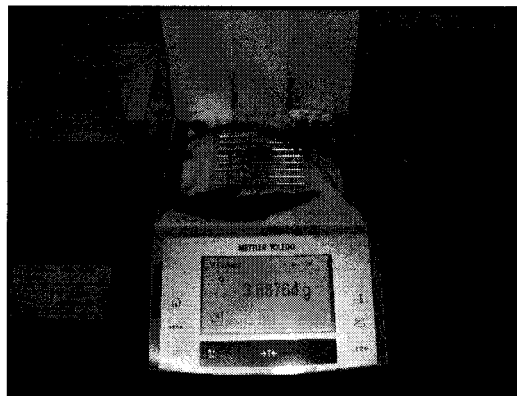
การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน แปลงที่ 6 วันที่ 15 ของการปลูก



การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน แปลงที่ 6 วันที่ 30 ของการปลูก



การวัดส่วนสูงของผักนึ่งจีน



การชั่งน้ำหนักของผักนึ่งจีน

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี

1. การเตรียมตัวอย่างสลัดจ์เพื่อการวิเคราะห์

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1.1.1 Soil Auger หรือพลั่ว, เสียม
- 1.1.2 ถังพลาสติกที่สะอาดขนาด 5" x 8"
- 1.1.3 ผ้าพลาสติก 30" x 30"
- 1.1.4 ถังพลาสติกหรือกล่องกระดาษ

1.2 วิธีการ

เมื่อนำสลัดจ์มาถึงห้องปฏิบัติการแล้ว ต้องรีบเอาสลัดจ์ออกมั้งให้แห้ง โดยเกลี่ยสลัดจ์ลงบนภาชนะที่รองด้วยกระดาษ การมั้งสลัดจ์ควรทำในห้องที่สะอาด ไม่มีฝุ่นผง เมื่อสลัดจ์แห้งแล้วบดด้วยเครื่องบดหรือครกกระเบื้องเคลือบ ร่อนสลัดจ์ที่บดด้วยตะแกรง ส่วนของสลัดจ์ที่ค้างบนตะแกรงนำไปบดซ้ำ แล้วร่อนจนผ่านตะแกรงให้หมด ยกเว้นเศษหิน การบดไม่ควรบดให้ก้อนหินก้อนกรวดและทรายแตกละเอียดไป วัตถุประสงค์ในการบดตะกอนเพื่อให้สลัดจ์มีโอกาสคลุกเคล้ากัน และผสมรวมกันอย่างสม่ำเสมอ และเพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ เก็บดินที่บดแล้วใส่กล่องพลาสติก พร้อมทั้งจะนำไปวิเคราะห์ได้

2. วิธีการเตรียมตัวอย่างตะกอนสำหรับการทดสอบโลหะหนัก โดยวิธีสกัดสาร (Leachate Extraction)

2.1 เครื่องมือ

- 2.1.1 Rotary agitator
- 2.1.2 Electronic balance, 0.01 g
- 2.1.3 Erlenmeyer flask ขนาด 500 ml
- 2.1.4 Beaker
- 2.1.5 กรวยกรอง
- 2.1.6 ขวดสำหรับเขย่าตัวอย่าง ขนาด 2.5 ลิตร

2.2 อุปกรณ์และสารเคมี

- 2.2.1 กระดาษกรอง Whatman No. 2
- 2.2.2 กระดาษกรอง Whatman GF/F ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 0.6 –

0.8 ไมครอน

2.2.3 Sulfuric acid

2.2.4 Nitric acid

2.3 วิธีการเตรียมตัวอย่าง

2.3.1 เตรียมน้ำสกัด (Leachate) หรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rain extraction fluid) โดยนำน้ำ Milli-Q ปรับ pH ด้วย Sulfuric acid และ Nitric acid (ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนักจนกระทั่งได้ค่า pH เท่ากับ 5

2.3.2 ทำการเตรียมตัวอย่าง โดยชั่งตัวอย่าง 20 กรัม เติมด้วยน้ำสกัดที่เตรียมไว้ ปรับปริมาตรของผสมให้มีอัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (ml) ของน้ำหนัก (g) ตัวอย่าง นำไปใส่ในขวดพลาสติกที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำสกัดสำหรับเขย่าตัวอย่าง นำตัวอย่างไปเขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (Rotary agitator) ที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง กรองสารละลายจากการสกัดด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 2 และกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman GF/F อีกครั้ง นำสารละลายที่ได้จากการสกัดไปทดสอบตามวิธีทดสอบโลหะหนักหรือวัดดูมีพิชตามวิธีทดสอบที่เกี่ยวข้องแต่ละรายการทดสอบ

2.3.3 การคำนวณผลการทดสอบ

ปริมาณโลหะหนักและวัดดูมีพิช (mg/l) = ความเข้มข้นที่ได้จากการทดสอบ (ppm) x Dilatation factor
 ปริมาณโลหะหนักและวัดดูมีพิช = $\frac{\text{ความเข้มข้นที่ได้จากการทดสอบ (ppm)} \times \text{ปริมาตรของน้ำสกัด (ml)}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ (g)}}$ (mg/kg)

3. การทดสอบ Copper, Nickel, และ Potassium โดย Atomic Absorption Spectrophotometer Method

3.1 พารามิเตอร์ที่ทดสอบและช่วงของการทดสอบหาปริมาณโลหะหนัก

Ni ช่วงของการทดสอบคือ 0.10 - 2.00 mg/l

Cu ช่วงของการทดสอบคือ 0.10 - 5.00 mg/l

K ช่วงของการทดสอบคือ 0.05 - 2.00 mg/l

3.2 หลักการ

การทดสอบหาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก โดยใช้เทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) เป็นวิธีการทดสอบที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว และเป็นเทคนิคที่มีความถูกต้อง (Accuracy) แม่นยำ (Precision) และความไว (Sensitivity) ในการทดสอบสูง อีกทั้งสามารถทดสอบธาตุต่างๆ ได้มากกว่า 67 ธาตุ หลักการทำงานของ AAS คือ ตัวอย่างที่ผ่านการ digest ด้วยกรดเข้มข้นจะถูกดูด (Aspirate) เข้าสู่ Spray Chamber และถูกทำให้เป็นอะตอมอิสระ (atomized) โดยใช้ความร้อนจากเปลวไฟ ซึ่งปริมาณอะตอมอิสระของธาตุที่ต้องการทดสอบจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเฉพาะของธาตุนั้นๆ โดยมีแหล่งกำเนิดแสงจาก Hollow Cathode Lamp (HCL) และปริมาณความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืน จะถูกตรวจวัด (Detector) ซึ่งจะแปลค่าการดูดกลืนแสง (Absorbency; Abs.) เป็นค่าความเข้มข้นของธาตุที่ทดสอบ

3.3 เครื่องมือ

3.3.1 เครื่องแก้ว

- 1) ขวดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 50, 100, 200, 1,000, 2,000 ml
- 2) บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50, 100, 150 ml
- 3) ปิเปต (Pipette) ขนาด 2, 4, 5, 10, 20 ml
- 4) กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 50 ml
- 5) หลอดหยด (Dropper)
- 6) Dispensette

3.3.2 เตาให้ความร้อน (Hot plate) สามารถให้ความร้อนได้ตั้งแต่ 100-500 °C

3.3.3 กระดาษกรอง (Filter paper: Whatman No. 40 หรือ No. 2) ขนาด Ø

12.5 cm

3.3.4 Atomic Absorption Spectrophotometer (Spectr-AA-600)

3.3.5 Atomic Absorption Spectrophotometer: Spectr-AA600-double beam

3.3.6 Burner for Acetylene gas

3.3.7 Lamp ใช้ Hollow Cathode Lamp (HCL)

3.3.8 Chimney ใช้สำหรับดูดควันหรือไอหลังจากถูก atomized เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดแก่ผู้ใช้งานและป้องกันไม่ให้ไอกรดกัดกร่อนเครื่องมือ

3.3.9 Acetylene gas พร้อมด้วย Pressure – reducing Valves

3.3.10 Air Pump

3.4 สารเคมี

กรดไนตริก (HNO₃) เข้มข้น 65-70%

สารละลายอ้างอิง (Blank); 2% HNO₃ (v/v) มีวิธีการเตรียม โดยใช้ Dispensette ตูด conc. HNO₃ 40 ml ถ่ายลงใน Volumetric flask 2,000 ml ที่มีน้ำ Milli Q ประมาณ 500 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ Milli Q

Standard Solution Cu, Ni, K เข้มข้น 1000 mg/l

3.5 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

สารละลายมาตรฐาน (Standard Solution) Cu, Ni, K เข้มข้น 1,000 mg/l เป็นสารละลายมาตรฐานสำเร็จรูป เตรียมสารละลายมาตรฐาน Cu, Ni, K ที่ความเข้มข้น 50 mg/l (Stock Standard) โดยทำการเจือจางจากสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1,000 mg/l โดยปิเปตสารละลายมาตรฐาน Cu เข้มข้น 1,000 mg/l มาปริมาตร 5 ml ใส่ Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

สำหรับการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Ni, K ที่ความเข้มข้น 50 mg/l เตรียมโดยวิธีเดียวกันกับการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Cu เข้มข้น 50 mg/l

การเตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะช่วงที่ใช้งาน (Working Standard)

การเตรียมสารละลาย Intermediate Standard และ Working Standard ของโลหะ Cu ที่ความเข้มข้น 10.00, 5.00, 2.00, 1.00, 0.50, 0.25, 0.10 mg/l

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Cu เข้มข้น 10.00 mg/l (Intermediate Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Cu เข้มข้น 50 mg/l มาปริมาตร 20 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Cu เข้มข้น 5.00 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Cu เข้มข้น 50 mg/l มาปริมาตร 10 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Cu เข้มข้น 2.00 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Cu เข้มข้น 50 mg/l มาปริมาตร 4 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Cu เข้มข้น 1.00 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Cu เข้มข้น 10 mg/l มาปริมาตร 10 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Cu เข้มข้น 0.50 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Cu เข้มข้น 10 mg/l มาปริมาตร 5 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Cu เข้มข้น 0.25 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Cu เข้มข้น 5 mg/l มาปริมาตร 5 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Cu เข้มข้น 0.10 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Cu เข้มข้น 1 mg/l มาปริมาตร 10 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

การเตรียมสารละลาย Intermediate Standard และ Working Standard ของโลหะ Ni ที่ความเข้มข้น 10.00, 5.00, 2.00, 0.50, 0.25, 0.10 mg/l

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Ni เข้มข้น 10.00 mg/l (Intermediate Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Ni เข้มข้น 50 mg/l มาปริมาตร 20 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Ni เข้มข้น 5.00 mg/l (Intermediate Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Ni เข้มข้น 50 mg/l มาปริมาตร 10 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Ni เข้มข้น 2.00 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Ni เข้มข้น 50 mg/l มาปริมาตร 4 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Ni เข้มข้น 1.00 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Ni เข้มข้น 10 mg/l มาปริมาตร 10 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Ni เข้มข้น 0.50 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Ni เข้มข้น 10 mg/l มาปริมาตร 5 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Ni เข้มข้น 0.25 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Ni เข้มข้น 5 mg/l มาปริมาตร 5 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Ni เข้มข้น 0.10 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Ni เข้มข้น 1 mg/l มาปริมาตร 10 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

การเตรียมสารละลาย Intermediate Standard และ Working Standard ของโลหะ K ที่ความเข้มข้น 10.00, 5.00, 2.00, 1.00, 0.50, 0.05 mg/l

เตรียมสารละลายมาตรฐาน K เข้มข้น 10.00 mg/l (Intermediate Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน K เข้มข้น 50.00 mg/l มาปริมาตร 20 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน K เข้มข้น 5.00 mg/l (Intermediate Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน K เข้มข้น 50 mg/l มาปริมาตร 10 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน K เข้มข้น 2.00 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน K เข้มข้น 50 mg/l มาปริมาตร 4 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน K เข้มข้น 1.00 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน K เข้มข้น 10 mg/l มาปริมาตร 10 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน K เข้มข้น 0.50 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน K เข้มข้น 10 mg/l มาปริมาตร 5 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน K เข้มข้น 0.05 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน K เข้มข้น 1 mg/l มาปริมาตร 5 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

การเตรียมสารละลายมาตรฐานผสม (Mixstd)

เตรียมสารละลายมาตรฐานผสม (Mixstd) ของโลหะ Cu, Ni, K ความเข้มข้น 50 mg/l (Mixstd 50 mg/l) เพื่อใช้ในการทำ Recovery test โดยมีวิธีการดังนี้ ปิเปตสารละลายมาตรฐาน

เข้มข้น 1000 mg/l ของโลหะ Cu, Ni, K ๓ ตูละ 5 ml ใส่ใน Volumetric ขนาด 100 ml ซึ่งมี Blank อยู่ประมาณ 20 ml จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

การเตรียม Mixtest เพื่อใช้ในการคำนวณค่า % Recovery และใช้เป็นตัวอย่าง Laboratory Control Sample (LCS) กำหนดให้มีการเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทำทดสอบตัวอย่าง โดยมีวิธีการเตรียมดังนี้ ปิเปตสารละลาย Mixstd 50 mg/l มาปริมาตร 2 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 200 ml ปรับปริมาตรเป็น 200 ml ด้วย 2% HNO₃ จากนั้นแบ่งสารละลาย Mixtest เป็น 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 ให้เป็นตัวอย่าง Mixtest (แบ่งใส่ขวดเก็บสารละลายมาตรฐาน) เพื่อนำไปทดสอบหาความเข้มข้นของโลหะที่เติมลงไปโดยไม่ผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง และนำไปใช้ในการคำนวณหาค่า % Recovery ของ Sample Spike และ LCS

ส่วนที่ 2 ให้เป็นตัวอย่าง LCS เพื่อใช้ตรวจสอบ % Recovery ของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไปหลังจากผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตามวิธีทดสอบ

การเตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะเข้มข้น 0.50 mg/l (Initial Calibration Verification Standard; ICV) เพื่อใช้ในการตรวจสอบ Calibration curve ของ Working Standard มีวิธีการเตรียมดังนี้

การเตรียม ICV ของโลหะ Cu เข้มข้น 0.50 mg/l โดยปิเปตสารละลายมาตรฐาน Cu เข้มข้น 50 mg/l มาปริมาตร 2 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 200 ml ปรับปริมาตรเป็น 200 ml ด้วย Blank

การเตรียม ICV ของโลหะ Ni, K เข้มข้น 0.50 mg/l เตรียม โดยวิธีเดียวกันกับการเตรียม ICV ของโลหะ Cu

3.6 สารมาตรฐานอ้างอิง

Reference Material (RM) Traceable to SRM form NIST

Standard Nickel (Ni) 1000 mg/l

Standard Copper (Cu) 1000 mg/l

Standard Potassium (K) 1000 mg/l

3.7 ภาวะแวดล้อม

อุณหภูมิห้องเครื่องมือทดสอบ 25 ± 5 °C

ความชื้นสัมพัทธ์ห้องเครื่องมือทดสอบ 70 ± 15 %

3.8 วิธีดำเนินการ

ทำการเตรียมตัวอย่าง โดยนำสารละลายตัวอย่างที่ได้จากการสกัดสารจากตะกอนตามวิธีสกัดสาร (Leachate Extraction) เติม Conc. HNO_3 5.0 ml โดย Dispensette ลงไปในตัวอย่าง ย่อยตัวอย่างโดยใช้ความร้อนจากเตาให้ความร้อน (Hot plate) กำหนดให้ปรับระดับความร้อนของ Hot plate อยู่ในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 250°C แล้วปรับระดับความร้อนลดลงเมื่อตัวอย่างมีปริมาณน้อยลง ให้ตัวอย่างเดือดเบาๆ อย่างช้าๆ ระเหยตัวอย่างจนเหลือปริมาตรประมาณ 20 ml ปิดกระจกนาฬิกา ระเหยตัวอย่างต่อจนเหลือปริมาตรประมาณ 10 ml ถ้าตัวอย่างถูกย่อยไม่สมบูรณ์ (สังเกตจากสารละลายยังไม่ใสหรือมีตะกอน) ให้เติม Conc. HNO_3 ลงไปอีก 5.0 ml แล้วย่อยตัวอย่างต่อจนกระทั่งสารละลายใสหรือตัวอย่างไม่มีการเปลี่ยนแปลง ยกตัวอย่างลงจาก Hot plate ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น rinse ด้วยน้ำ Milli Q ให้ทั่วบีกเกอร์ และกระจกนาฬิกา โดย rinse ด้วยน้ำ Milli Q ครั้งละน้อยๆ ให้ปริมาตรไม่เกิน 30 ml กรองตัวอย่างใส่ Volumetric flask ขนาด 50 ml โดยเทตัวอย่างที่ rinse ด้วยน้ำ Milli Q ผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 2 โดยพับกระดาษกรองให้เป็นจีบเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการกรองแล้วปรับปริมาตรจนเป็น 50 ml ด้วยน้ำ Milli Q จดบันทึกปริมาตรสุดท้ายหลังการ digest (f) เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นทั้งหมดของโลหะ (การคำนวณผลการทดสอบ) เตรียม Reagent blank (RBLK) เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนจากสารเคมีหรือระหว่างขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างโดยตวงน้ำ Milli Q มา 50 ml ด้วยกระบอกตวง (ทำการทดสอบ 2 ซ้ำ) และทำการทดสอบเหมือนขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง เตรียม Mixtest เพื่อใช้ในการคำนวณค่า % Recovery และใช้เป็นตัวอย่าง LCS นำตัวอย่าง LCS มาทำการทดสอบเหมือนขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง โดยกำหนดให้ทำการทดสอบ 2 ซ้ำ นำตัวอย่างที่เตรียมได้ มาทำการทดสอบหาปริมาณโลหะโดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

ทำการทดสอบโดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ดังวิธีต่อไปนี้

เปิดเครื่อง AAS เพื่อเข้าสู่โปรแกรมการทดสอบ เลือก Method สำหรับพารามิเตอร์ที่ต้องการทดสอบ ทำการ Warm HCL (Alignment Lamp) ประมาณ 10- 20 นาที ปรับตำแหน่งของ HCL ให้ลำแสงที่เปล่งออกมาตรงกับ Detector ตรวจสอบตำแหน่งของ Burner และลำแสงของ HCL ให้ตรงกับ Target area ตรวจสอบความสะอาดของ Nebulizer ตรวจสอบอุปกรณ์ภายในเครื่อง AAS ก่อนเริ่มจุดไฟ ตรวจสอบสอบ Signal ให้ค่า Absorbance (Abs.) อยู่ในช่วงที่กำหนดก่อนให้ aspirate blank โดยใช้ Working Standard ของโลหะที่ต้องการทดสอบ

กำหนดลำดับของการทดสอบ (Sequent) โดย Rinse ล้างเครื่อง AAS ด้วย Blank (2% w/w HNO₃) Calibration Zero ให้ aspirate blank Calibration Curve ทำการวัดค่า Working Standard ความเข้มข้นต่างๆ ที่ได้เตรียมไว้ ทดสอบ ICV (Initial Calibration Verification Standard) ทดสอบ ICB (Initial Calibration Blank) ทดสอบ Mixstd ทดสอบ RBlk # 1 (Blank) ทดสอบ RBlk # 2 (Blank) ทดสอบ LCS # 1 (Laboratory Control Sample) ทดสอบ LCS # 2 (Laboratory Control Sample) ทดสอบ Sample เมื่อสิ้นสุดการทดสอบตัวอย่าง Calibration Zero ทดสอบ CCV (Continuous Calibration Verification Standard) คือนำ ICV มาทดสอบหลังจากทดสอบตัวอย่าง ทดสอบ CCB (Continuous Calibration Blank) คือนำ ICB มาทดสอบหลังจากทดสอบตัวอย่าง Save Data และ พิมพ์ข้อมูลผลการทดสอบเพื่อใช้ในการรายงานผล

3.9 การคำนวณผลการทดสอบ

การคำนวณ

การคำนวณผลการทดสอบ

$$\text{ความเข้มข้นทั้งหมดของโลหะ} = \frac{a \cdot f \cdot z}{b}$$

(Total Metal Concentration, mg/l)

เมื่อ a = ความเข้มข้นของตัวอย่างที่ทดสอบได้จากเครื่อง AAS (mg/l)

f = ปริมาตรสุดท้ายหลังการ digest (final volume; ml)

b = ปริมาตรตัวอย่างเริ่มต้นก่อนการ digest (Initial volume; ml)

z = จำนวนเท่าที่ทำการเจือจางตัวอย่าง (dilution factor) กำหนดให้ z=1

การคำนวณหาค่า % Recovery

1.1.1.1 วิธีการคำนวณหาค่า % Recovery ของ LCS

$$\% \text{ Recovery} = \frac{\text{LCS} \times 100}{\text{mixtest}}$$

Csp = ความเข้มข้นของตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน (mg/l)

Cs = ความเข้มข้นของตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารละลายมาตรฐาน (mg/l)

Mixtest = ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติมลงไปในน้ำ Milli-Q (mg/l)

LCS = ความเข้มข้นของตัวอย่าง LCS (mg/l)

4. การทดสอบ Cadmium, Zinc โดย Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer Method

4.1 พารามิเตอร์ที่ทดสอบและช่วงของการทดสอบหาปริมาณโลหะหนัก

รายการทดสอบ	ความยาวคลื่น (nm)	ช่วงการทดสอบ (mg/l)
1. Cadmium (Cd)	228.802	0.02 – 2.00
2. Zinc (Zn)	213.856	0.02 – 2.00

4.2 หลักการ

การทดสอบหาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักโดยใช้เทคนิค Inductively Couple Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP-AES) เป็นวิธีการทดสอบที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว และเป็นเทคนิคที่มีความถูกต้อง (Accuracy) แม่นยำ (Precision) และความไว (Sensitivity) ในการทดสอบสูง อีกทั้งสามารถทดสอบธาตุต่างๆ ได้มาก หลักการทำงานของ ICP คือ ตัวอย่างที่ผ่านการ digest ด้วยกรดเข้มข้นจะถูกดูด (Aspirate) เข้าสู่ Spray Chamber ถูกทำให้เป็นอะตอมอิสระ (atomized) และอยู่ในสถานะเร้า (Excited state) โดยใช้ความร้อนจาก Plasma ซึ่งปริมาณอะตอมอิสระของธาตุที่ต้องการทดสอบจะคายแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะของธาตุนั้นๆ และปริมาณความเข้มของแสงที่คายออกจะถูกตรวจวัด (Detector) ซึ่งจะแปลค่า Intensity เป็นค่าความเข้มข้นของธาตุที่ทดสอบ

4.3 เครื่องมือ

4.3.1 เครื่องแก้ว

- 1) ขวดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 50, 100, 200, 1,000, 2,000 ml
- 2) บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50, 100, 150 ml
- 3) ปิเปต (Pipette) ขนาด 2, 4, 5, 10, 20 ml
- 4) กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 50 ml
- 5) หลอดหยด (Dropper)
- 6) Dispensette

4.3.2 เตาให้ความร้อน (Hot plate) สามารถให้ความร้อนได้ตั้งแต่ 100-500 °C

4.3.3 กระดาษกรอง (Filter paper: Whatman No. 40 หรือ No. 2) ขนาด \varnothing 12.5 cm

4.3.4 Inductively Couple Plasma Spectrophotometer (JY 2000)

4.4 สารเคมี

กรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 65-70% สารละลายอ้างอิง (Blank); 2% HNO_3 (v/v) มีวิธีการเตรียมดังนี้ โดยใช้ Dispensette ปิเปต conc. HNO_3 40 ml ถ่ายลงใน Volumetric flask 2,000 ml ที่มีน้ำ Milli Q ประมาณ 500 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ Milli Q

Standard Solution Cd, Zn เข้มข้น 1000 mg/l

ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐาน ตามวิธีการต่อไปนี้

สารละลายมาตรฐาน (Standard Solution) Cd, Zn เข้มข้น 1,000 mg/l เป็นสารละลายมาตรฐานสำเร็จรูป

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Cd, Zn ความเข้มข้น 50 mg/l (Stock Standard) โดยทำการเจือจางจากสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1,000 mg/l แล้วปิเปตสารละลายมาตรฐาน Cd เข้มข้น 1,000 mg/l มาปริมาตร 5 ml ใส่ Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

สำหรับการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Zn ความเข้มข้น 50 mg/l เตรียมโดยวิธีเดียวกันกับการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Cd เข้มข้น 50 mg/l

การเตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะช่วงที่ใช้งาน (Working Standard)

การเตรียมสารละลาย Intermediate Standard และ Working Standard ของโลหะ Cd ที่ความเข้มข้น 10.00, 5.00, 2.00, 0.50, 0.02, mg/l

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Cd เข้มข้น 10.00 mg/l (Intermediate Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Cd เข้มข้น 50 mg/l มาปริมาตร 20 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Cd เข้มข้น 5.00 mg/l (Intermediate Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Cd เข้มข้น 50 mg/l มาปริมาตร 10 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Cd เข้มข้น 2.00 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Cd เข้มข้น 50 mg/l มาปริมาตร 4 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Cd เข้มข้น 0.50 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Cd เข้มข้น 10 mg/l มาปริมาตร 5 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Al เข้มข้น 0.02 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Al เข้มข้น 2.00 mg/l มาปริมาตร 1 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

การเตรียมสารละลาย Intermediate Standard และ Working Standard ของโลหะ Zn ที่ความเข้มข้น 10.00, 5.00, 2.00, 0.50, 0.02, mg/l

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Zn เข้มข้น 10.00 mg/l (Intermediate Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Zn เข้มข้น 50 mg/l มาปริมาตร 20 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Zn เข้มข้น 5.00 mg/l (Intermediate Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Zn เข้มข้น 50 mg/l มาปริมาตร 10 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Zn เข้มข้น 2.00 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Zn เข้มข้น 50 mg/l มาปริมาตร 4 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Zn เข้มข้น 0.50 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Zn เข้มข้น 10 mg/l มาปริมาตร 5 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Zn เข้มข้น 0.02 mg/l (Working Standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน Zn เข้มข้น 2.00 mg/l มาปริมาตร 1 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

การเตรียมสารละลายมาตรฐานผสม (Mixstd)

เตรียมสารละลายมาตรฐานผสม (Mixstd) ของโลหะ Cd, Zn ที่ความเข้มข้น 50 mg/l (Mixstd 50 mg/l) เพื่อใช้ในการทำ Recovery test โดยมีวิธีการดังนี้ ปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น

1000 mg/l ของโลหะ Cd, Zn ๓๓๓๓ 5 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml ซึ่งมี Blank อยู่ประมาณ 20 ml จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วย Blank

การเตรียม Mixtest เพื่อใช้ในการคำนวณค่า % Recovery และใช้เป็นตัวอย่าง Laboratory Control Sample (LCS) กำหนดให้มีการเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทำทดสอบตัวอย่าง โดยมีวิธีการเตรียมดังนี้ ปิเปตสารละลาย Mixstd 50 mg/l มาปริมาตร 2 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 200 ml ปรับปริมาตรเป็น 200 ml ด้วย 2% HNO₃ จากนั้นแบ่งสารละลาย Mixtest เป็น 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 ใช้เป็นตัวอย่าง Mixtest (แบ่งใส่ขวดเก็บสารละลายมาตรฐาน) เพื่อนำไปทดสอบหาความเข้มข้นของโลหะที่เติมลงไปโดยไม่ผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง และนำไปใช้ในการคำนวณหาค่า % Recovery ของ Sample Spike และ LCS

ส่วนที่ 2 ใช้เป็นตัวอย่าง LCS เพื่อใช้ตรวจสอบ %Recovery ของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป หลังผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตามวิธีทดสอบ

การเตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะเข้มข้น 0.50 mg/l (Initial Calibration Verification Standard; ICV) เพื่อใช้ในการตรวจสอบ Calibration curve ของ Working Standard มีวิธีการเตรียมดังนี้ การเตรียม ICV ของโลหะ Cd เข้มข้น 0.50 mg/l โดยปิเปตสารละลายมาตรฐาน Cd เข้มข้น 50 mg/l มาปริมาตร 2 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 200 ml ปรับปริมาตรเป็น 200 ml ด้วย Blank ส่วนการเตรียม ICV ของโลหะ Zn เข้มข้น 0.50 mg/l เตรียมโดยวิธีเดียวกับการเตรียม ICV ของโลหะ Cd

4.5 สารมาตรฐานอ้างอิง

Reference Material (RM) Traceable to SRM form NIST

Standard Cadmium (Cd) 1000 mg/l

Standard Zinc (Zn) 1000 mg/l

4.6 ภาวะแวดล้อม

อุณหภูมิห้องเครื่องมือทดสอบ 25 ± 5 °C

ความชื้นสัมพัทธ์ห้องเครื่องมือทดสอบ 60 ± 15 %

4.7 วิธีดำเนินการ

ทำการเตรียมตัวอย่าง โดยนำสารละลายตัวอย่างที่ได้จากการสกัดสารจากตะกอนตามวิธีสกัดสาร (Leachate Extraction) เติม Conc. HNO_3 5.0 ml โดย Dispensette ลงไปในตัวอย่าง ย่อยตัวอย่างโดยใช้ความร้อนจากเตาให้ความร้อน (Hot plate) กำหนดให้ปรับระดับความร้อนของ Hot plate อยู่ในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 250°C แล้วปรับระดับความร้อนลดลงเมื่อตัวอย่างมีปริมาณน้อยลง ให้ตัวอย่างเดือดเบาๆ อย่างช้าๆ ระเหยตัวอย่างจนเหลือปริมาตรประมาณ 20 ml ปิดกระจกนาฬิกา ระเหยตัวอย่างต่อจนเหลือปริมาตรประมาณ 10 ml ถ้าตัวอย่างถูกย่อยไม่สมบูรณ์ (สังเกตจากสารละลายยังไม่ใสหรือมีตะกอน) ให้เติม Conc. HNO_3 ลงไปอีก 5.0 ml แล้วย่อยตัวอย่างต่อจนกระทั่งสารละลายใสหรือตัวอย่างไม่มีการเปลี่ยนแปลง ยกตัวอย่างลงจาก Hot plate ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น rinse ด้วยน้ำ Milli Q ให้ทั่วปิกเกอร์ และกระจกนาฬิกา โดย rinse ด้วยน้ำ Milli Q ครั้งละน้อยๆ ให้ปริมาตรไม่เกิน 30 ml กรองตัวอย่างใส่ Volumetric flask ขนาด 50 ml โดยเทตัวอย่างที่ rinse ด้วยน้ำ Milli Q ผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 2 โดยพับกระดาษกรองให้เป็นจีบเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการกรองแล้วปรับปริมาตรจนเป็น 50 ml ด้วยน้ำ Milli Q จดบันทึกปริมาตรสุดท้ายหลังการ digest (f) เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นทั้งหมดของโลหะ (การคำนวณผลการทดสอบ) เตรียม Reagent blank (RBLK) เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนจากสารเคมีหรือระหว่างขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างโดยตวงน้ำ Milli Q มา 50 ml ด้วยกระบอกตวง (ทำการทดสอบ 2 ซ้ำ) และทำการทดสอบเหมือนขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง เตรียม Mixtest เพื่อใช้ในการคำนวณค่า % Recovery และใช้เป็นตัวอย่าง LCS นำตัวอย่าง LCS มาทำการทดสอบเหมือนขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง โดยกำหนดให้ทำการทดสอบ 2 ซ้ำ นำตัวอย่างที่เตรียมได้ มาทำการทดสอบหาปริมาณโลหะโดยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer

ทำการทดสอบโดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer โดย

เปิดเครื่อง ICP-AES ไล่อากาศออกจากระบบเพื่อจุด Plasma ค่า Reflected ไม่เกิน 10 watts เข้าสู่โปรแกรมการทดสอบเลือก Method สำหรับพารามิเตอร์ที่ต้องการทดสอบ ทำ Zero order search ทำ Auto search โดยใช้ Working stand 0.50 mg/l ของโลหะที่ต้องการทดสอบ

กำหนดลำดับของการทดสอบ (Sequent) Calibration Curve ทำการวัดค่า Working Standard ความเข้มข้นต่างๆ ที่ได้เตรียมไว้ ทดสอบ ICV (Initial Calibration Verification Standard) ทดสอบ Mixstd ทดสอบ RBlk # 1 (Blank) ทดสอบ RBlk # 2 (Blank) ทดสอบ LCS # 1 (Laboratory Control Sample) ทดสอบ LCS # 2 (Laboratory Control Sample) ทดสอบ Sample เมื่อสิ้นสุดการ

ทดสอบตัวอย่าง ทดสอบ CCV (Continuous Calibration Verification Standard) คือนำ ICV มาทดสอบหลังจากทดสอบตัวอย่าง Save Data และพิมพ์ข้อมูลผลการทดสอบเพื่อใช้ในการรายงานผล

4.8 การคำนวณผลการทดสอบ

การคำนวณ

การคำนวณผลการทดสอบ

$$\text{ความเข้มข้นทั้งหมดของโลหะ} = (a-b) * f * z$$

(Total Metal Concentration, mg/l) i

เมื่อ a = ความเข้มข้นของตัวอย่างที่ทดสอบได้จากเครื่อง ICP-AES (mg/l)

b = ความเข้มข้นของ Blank ที่ทดสอบได้จากเครื่อง ICP-AES (mg/l)

f = ปริมาตรสุดท้ายหลังการ digest (final volume; ml)

i = ปริมาตรตัวอย่างเริ่มต้นก่อนการ digest (Initial volume; ml)

z = จำนวนเท่าที่ทำการเจือจางตัวอย่าง (dilution factor) กำหนดให้ z=1

การคำนวณหาค่า % Recovery

วิธีการคำนวณหาค่า % Recovery ของ LCS

$$\% \text{ Recovery} = \frac{\text{LCS} \times 100}{\text{mixtest}}$$

Csp = ความเข้มข้นของตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน (mg/l)

Cs = ความเข้มข้นของตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารละลายมาตรฐาน (mg/l)

Mixtest = ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติมลงไปในน้ำ Milli-Q (mg/l)

LCS = ความเข้มข้นของตัวอย่าง LCS (mg/l)

5. การทดสอบที่เคเอ็น (TKN, Total Kjeldahl Nitrogen) โดยวิธี Macro Kjeldahl method

5.1 ช่วงการทดสอบ

TKN ช่วงการทดสอบ คือ 4.00 – 100.00 mg/l

Method Detection Limit (MDL) = 2.2 mg/l

Level of Quantitative (LOQ) = 4.00 mg/l

5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

5.2.1 เครื่องแก้ว

- 1) Cylinder ขนาด 50 ml
- 2) Erlenmeyer flask 500 ml
- 3) Kjeldahl tube
- 4) Kjeldahl flask ขนาด 500 ml
- 5) Burette ขนาด 25 ml
- 6) Beaker ขนาด 1000 ml
- 7) Volumetric flask ขนาด 1000 ml

5.2.2 เครื่องมือ

- 1) Distillation system รุ่น VAP 20
- 2) 2.2.2.2 Digestion system
- 3) 2.2.2.3 pH Meter

5.3 สารเคมี

สารละลาย Digestion reagent: วิธีการเตรียม ละลาย 134 g K_2SO_4 และ 11.4 g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ในน้ำ Milli Q 800 ml และ H_2SO_4 134 ml คนให้ละลายเข้ากันในบีกเกอร์ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปริมาณรวมจนครบ 1000 ml เก็บไว้ในอุณหภูมิ $20^\circ C$ ป้องกันการตกผลึก

สารละลาย Sodium hydroxide-sodium thiosulfate reagent: วิธีการเตรียม ละลาย 500 g NaOH และ 25 g $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ในน้ำ Milli Q ปริมาณรวมจนครบ 1 ลิตร

สารละลาย Mixed indicator วิธีการเตรียม ละลาย Methyl red 200 mg ใน 100 ml 95% Ethyl alcohol ละลาย Methylene blue 100 mg ใน 50 ml 95% Ethyl alcohol รวม สารละลายทั้ง 2 เข้าด้วยกัน

สารละลาย Boric acid 2% วิธีการเตรียม ละลาย H_3BO_3 20 g ในน้ำ Milli-Q ปรับ ปริมาตรจนครบ 1000 ml

สารละลาย Sulfuric acid 0.02 N (H_2SO_4 0.02 N) วิธีการเตรียม ปิเปต H_2SO_4 1 N มา 10 ml ลงในน้ำ Milli-Q ปรับปริมาตรจนครบ 500 ml ก่อนใช้งานจะต้องทำการ Standardization ก่อนทุกครั้ง

สารละลาย Sodium hydroxide (NaOH), 6 N วิธีการเตรียม ละลาย NaOH 24 g ในน้ำ Milli-Q ปรับปริมาตรจนครบ 100 ml

สารละลาย Sodium Carbonate 0.02 N วิธีการเตรียม นำ Na_2CO_3 มาอบแห้งที่ $140^\circ C$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ชั่ง Na_2CO_3 1.060 g ละลายในน้ำ Milli Q ปรับปริมาตรจนครบ 1 ลิตร

Stock LCS 5000 ppm วิธีการเตรียม ละลาย NH_4Cl 3.8208 g ในน้ำ Milli Q ปรับ ปริมาตรเป็น 200 ml

Working LCS 50 ppm วิธีการเตรียม ปิเปต Stock LCS TKN 5000 ppm มา 10 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำ Milli Q เป็น 1000 ml

5.4 สารมาตรฐานอ้างอิง

Laboratory Control Sample (LCS), TKN = 50 mg/l

5.5 ภาวะแวดล้อม

ควบคุมห้องปฏิบัติการทดสอบพื้นฐานที่

อุณหภูมิ $25 \pm 5^\circ C$ และความชื้นสัมพัทธ์ $60 \pm 15 \% RH$

5.6 วิธีการทดสอบ

ทำการ Standardization สารละลายมาตรฐาน 0.02 N H_2SO_4 ด้วยสารละลาย มาตรฐาน 0.02 N Na_2CO_3 ดังนี้ ปิเปต สารละลายมาตรฐาน 0.02 N Na_2CO_3 20 ml ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 ml เติม Methyl orange indicator 2-3 หยด ลงในสารละลาย มาตรฐาน 0.02 N Na_2CO_3 จะได้สารละลายสีเหลือง ทำการไตเตรตสารละลายด้วยสารละลาย มาตรฐาน 0.02 N H_2SO_4 จนกระทั่งถึงจุดยุติ (สารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีชมพูอ่อน) บันทึก

ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน 0.02 N H_2SO_4 ที่ใช้ในการไตเตรตใน FM WS 26 บันทึกผลการทดสอบ TKN ทำการคำนวณหาความเข้มข้นที่แท้จริงของ สารละลายมาตรฐาน 0.02 N H_2SO_4 ตามข้อ 13.1 (ถ้า สารละลายมาตรฐาน 0.02 N H_2SO_4 มีความเข้มข้น 0.02 N ปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรต จะเท่ากับ 20.00 ml)

การเตรียมตัวอย่างตะกอน (Sludge or sediment samples) โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างตะกอน (Wet sample) ให้มีน้ำหนักแตกต่างกันไม่เกิน $\pm 1\%$ เทียบเท่าโดยประมาณ 1 กรัมของน้ำหนักแห้ง (Dry weight) ล้างตัวอย่างลงใน Kjeldahl flask 500 ml เจือจางตัวอย่างด้วยน้ำ Milli-Q ให้มีปริมาตร 250 ml วัดค่า pH ของตัวอย่าง ถ้าตัวอย่างเป็นกรดหรือด่างมากๆ ปรับ pH ประมาณ 7 ด้วย NaOH 6 N หรือ H_2SO_4 1 N เติม Digestion reagent 50 ml ลงไปใน Kjeldahl flask 500 ml ใส่ glass bead 3-5 เม็ด นำไป Digest ที่ Digestion system จนกระทั่งเกิดควันสีขาวจึงได้สารละลายสีเขียวลด ทิ้งไว้จนกระทั่งหายร้อนพอที่จะจับ Kjeldahl flask ได้ เติมน้ำกลั่นปริมาตร 200 ml ในตู้ดูดควัน เติมสารละลาย Sodium hydroxide-sodium thiosulfate reagent 50 ml ทำการกลั่นล้างเครื่อง Distillation unit ด้วยน้ำ DI ก่อนทำการกลั่นตัวอย่าง นำตัวอย่างไปกลั่นโดยใช้เครื่อง Distillation unit เก็บส่วนที่กลั่นได้ ภายใต้ผิวของ Indicator Boric acid 2% 50 ml ที่เติม mixed indicator 5 หยด เป็นตัวจับ NH_3 ที่ถูกกลั่นออกมา ให้มีปริมาตรของ distillate ประมาณ 250 ml นำ distillate (ส่วนที่กลั่นได้) ไปไตเตรตหาปริมาณ TKN ด้วย สารละลายมาตรฐาน 0.02 N H_2SO_4 จนกระทั่งถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอ่อน บันทึกปริมาณสารละลายมาตรฐาน 0.02 N H_2SO_4 ที่ไตเตรตได้ ทำการทดสอบ Blank และ LCS

5.7 การคำนวณผลการทดสอบ

การ Standardization 0.02 N H_2SO_4

$$N (H_2SO_4) = \frac{\text{ml. } Na_2CO_3 * N Na_2CO_3}{\text{ml } H_2SO_4}$$

เมื่อ $N (H_2SO_4)$ = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐาน Sulfuric acid

$N (Na_2CO_3)$ = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐาน Sodium Carbonate

ml (H_2SO_4) = ปริมาตรของ Sulfuric acid ที่ใช้ในการไตเตรต

ml (Na_2CO_3) = ปริมาตรของ Sodium Carbonate ที่ใช้ในการ

Standardization

การคำนวณค่า TKN

$$\begin{aligned} \text{TKN (mg/l)} &= \frac{(A-B) \times N \times 14,000}{\text{ml. Sample}} \\ \text{(Liquid Sample)} & \\ \text{TKN (mg/kg)} &= \frac{(A-B) \times N \times 14,000}{\text{g dry wt. Sample}} \\ \text{(Sludge or Sediment Sample)} & \end{aligned}$$

เมื่อ A = ปริมาตรของ Sulfuric acid ที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง

B = ปริมาตรของ Sulfuric acid ที่ใช้ไตเตรต Blank

N = ความเข้มข้นของ Sulfuric acid (Normal)

6. การทดสอบปริมาณความเป็นกรด-เบส โดยเครื่อง pH Meter

6.1 ช่วงการทดสอบ

ช่วงการทดสอบ pH 2.0 – 12.0 ที่ 25 °C

6.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

6.2.1 pH Meter with pH electrode

6.2.2 Beaker ขนาด 100 ml

6.3 สารเคมี

6.3.1 Buffer Solution pH 4

6.3.2 Buffer Solution pH 7

6.3.3 Buffer Solution pH 9

6.3.4 Potassium Chloride (KCl) 3 mol/l

6.4 สารมาตรฐานอ้างอิง

Laboratory Control Sample (LCS) = Buffer Solution pH 7

6.5 ภาวะแวดล้อม

อุณหภูมิห้องปฏิบัติการทดสอบพื้นฐาน 25 ± 5 °C

ความชื้นสัมพัทธ์ห้องปฏิบัติการทดสอบพื้นฐาน $60 \pm 15 \%RH$

6.6 วิธีการทดสอบ

เปิดเครื่อง pH meter และดำเนินการสอบเทียบเครื่อง pH meter ด้วย Buffer Solution pH 4 และ 9 ขณะทำการสอบเทียบบันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของ Buffer Solution pH 4 และ 9 บันทึกค่า Slope และ Zero Point ที่ได้จากการสอบเทียบเครื่อง pH Meter ทำการเตรียมตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างน้ำตัวอย่างที่ ออกจากตู้เย็นทิ้งไว้ในอุณหภูมิใกล้เคียงกับ อุณหภูมิห้องเขย่าตัวอย่างน้ำจนแน่ใจว่าเป็นเนื้อเดียวกัน เทตัวอย่างน้ำลงในบีกเกอร์ประมาณ 80 ml จุ่ม pH Electrode ลงในตัวอย่างน้ำ ทิ้งไว้จนกระทั่งค่า pH จะมีค่าคงที่ บันทึกค่า pH ที่อ่านได้ และลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างน้ำ เตรียม Laboratory Control Sample (LCS) เพื่อ ตรวจสอบความถูกต้องของการทดสอบ เมื่อทำการสอบเทียบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ด้วย Buffer Solution pH 7 (LCS) บันทึกค่า pH และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าตามค่าที่เครื่องอ่าน

6.7 การคำนวณผลการทดสอบ

ค่า pH = ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง

7. การทดสอบปริมาณ Chromium Hexavalance (Cr^{6+}) โดยวิธี Colorimetric Method

7.1 ช่วงการทดสอบ

Cr^{6+} ช่วงการทดสอบ คือ 0.050 – 1.000 mg/l

Method Detection Limit (MDL) = 0.003 mg/l

Level of Quantitative (LOQ) = 0.050 mg/l

7.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

7.2.1 เครื่องแก้ว

- 1) Cylinder ขนาด 100 ml
- 2) Erlenmeyer flask 250 ml
- 3) Measuring Pipette ขนาด 1, 5 ml

4) Volumetric Pipette ขนาด 1,2,3,4,5 ml

5) Volumetric Flask ขนาด 100 ml

7.2.2 เครื่องมือ

Spectrophotometer

7.3 สารเคมี

สารละลาย Stock Chromium Solution:

วิธีการเตรียม ละลาย 0.1414 g $K_2Cr_2O_7$ ในน้ำ Milli Q ละลายให้เข้ากัน ปรับ

ปริมาตรจนครบ 1000 ml (1 ml stock Cr Solution = 500 μ g/l)

สารละลาย Standard Chromium Solution:

วิธีการเตรียม ปิเปต Stock chromium solution 1 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำ Milli Q

จนครบ 1000 ml (1 ml stock Cr Solution = 5.00 μ g/l)

สารละลาย Sulfuric acid (1+1)

วิธีการเตรียม เท 250 ml conc. H_2SO_4 ลงในน้ำ Milli Q 250 ml ทิ้งไว้ให้เย็น

สารละลาย Diphenylcarbazide solution

วิธีการเตรียม ละลาย 1,5 diphenylcarbazide 0.25 g ใน Acetone 50 ml เก็บใน

ขวดสีชา

7.4 สารมาตรฐานอ้างอิง

Laboratory Control Sample (LCS) = 0.50 mg/l

7.5 ภาวะแวดล้อม

ควบคุมห้องปฏิบัติการเครื่องมือทดสอบ

อุณหภูมิ 25 ± 5 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 60 ± 15 %RH

7.6 วิธีการทดสอบ

ทำการเตรียม Calibration curve จากสารละลาย Standard chromium solution

โดย ปิเปต สารละลายมาตรฐาน Standard chromium solution ตามตาราง ลงใน Volumetric flask

ขนาด 100 ml แล้วปรับปริมาตรจนครบ 100 ml ด้วยน้ำ Milli-Q

ปริมาตร (ml)	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	20.0
--------------	-----	-----	-----	-----	-----	------	------

ความเข้มข้น (mg/l) 0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 1.0

เขย่าให้เข้ากัน แล้วเทลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 ml ปรับ pH ของสารละลายด้วย H_2SO_4 (1+1) จนกระทั่งสารละลายมี pH $\sim 1.0 \pm 0.3$ เติม Diphenylcarbazide solution 2 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที นำไปวัดค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่น 540 nm

ทำการเตรียมตัวอย่าง โดย ตวงตัวอย่าง 100 ml ด้วย Cylinder 100 ml ใส่ใน Erlenmeyer flask 125 ml ปรับ pH ของตัวอย่างด้วย H_2SO_4 (1+1) จนกระทั่งมี pH $\sim 1.0 \pm 0.3$ เติม Diphenylcarbazide solution 2 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที นำไปวัดค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่น 540 nm ทิมพ์ผลการทดสอบที่ตรวจวัดได้จากเครื่อง Spectrophotometer คำนวณผลการทดสอบที่ได้ ทำการทดสอบ Blank และ LCS

7.7 การคำนวณผลการทดสอบ

Cr^{6+} (mg/l) = ค่าความเข้มข้นที่อ่านได้จากเครื่อง Spectrophotometer x Dilution factor

8. การทดสอบปริมาณ ฟอสฟอรัส โดยวิธี กรดแอสคอร์บิก

8.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งมีอินฟราเรดโฟโตทิวบ์สำหรับใช้กับความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร

เครื่องแก้วที่ล้างด้วยกรดและน้ำที่กลั่นจนสะอาด

8.2 สารเคมี

กรดซัลฟูริก 5 นอร์มัล โดย เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 70 มล. ลงในน้ำกลั่นจนครบ 500 มล.

สารละลายแอนติโมนิโปแตสเซียมตาเตรต (Potassium Antimonyl Tartrate Solution) ละลาย $K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot 0.5H_2O$ 1.3715 กรัม ในน้ำกลั่น 400 มล. แล้วเจือจางเป็น 500 มล. ในขวดวัดปริมาตร เก็บในขวดแก้ว

สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium Molybdate Solution) ละลาย $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ 20 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มล. เก็บในขวดพลาสติกที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic Acid) 0.1 โมลาร์ ละลายกรดแอสคอร์บิก 1.76 กรัม
ในน้ำกลั่น 100 มล.

น้ำยารวม(Combined Reagent)

ผสมน้ำยาเคมีในสัดส่วนสำหรับ 100 มล. ดังนี้

กรดซัลฟูริก 5 นอร์มัล	50 มล.
สารละลายแอนติโมนิโพลีแตสเซียมตาเตรต	5 มล.
สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต	15 มล.
กรดแอสคอร์บิก	30 มล.

ก่อนผสมต้องปล่อยให้สารละลายแต่ละชนิดอยู่ที่อุณหภูมิห้องก่อน นำมาผสมโดยผสมให้เข้ากันทุกครั้งเมื่อเติมส่วนผสมแต่ละชนิด (เติมเรียงตามลำดับ) ถ้ามีความขุ่นเกิดขึ้นในน้ำยารวมหลังจากเติมสารละลายแอนติโมนิโพลีแตสเซียมตาเตรต หรือแอมโมเนียมโมลิบเดตให้เขย่าน้ำยาเคมีรวมนี้แล้วตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที จนกระทั่งความขุ่นหายไป จึงจะเติมน้ำยาตัวอื่นต่อไป

สารละลายสต็อกฟอสเฟส ละลาย Anhydrous KH_2PO_4 219.5 มก. ในน้ำกลั่นและเจือจางให้เป็น 1,000 มล.

สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตนำสารละลายสต็อกฟอสเฟสมา 50.0 มล. เติมน้ำกลั่นจนได้ 1,000 มล.

8.3 ภาวะแวดล้อม

ควบคุมห้องปฏิบัติการเครื่องมือทดสอบ

อุณหภูมิ $25 \pm 5^\circ \text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ $60 \pm 15 \% \text{RH}$

8.4 วิธีการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างปิเปตตัวอย่างน้ำ 50.0 มล. ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 125 มล. เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 1 หยด ถ้าเป็นสีแดงให้หยด กรดซัลฟูริก 5 นอร์มัล ลงไปที่ละหยดจนกระทั่งสีแดงหายไป เติมน้ำยารวม 8.0 มล. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที นำไปวัดการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่นแสง 880 นาโนเมตร โดยใช้ Reagent Blank เทียบ $A = 0$

การเตรียมกราฟมาตรฐานเตรียมอนุกรมความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟส ดังนี้ 5,10,15,20,25 และ30 ไมโครกรัม โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสเฟส (1 มล. = 2.5 μg P) มา 0,2,4,6,8,10 และ12 มล. ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50.0 มล. แต่ละขวด แล้ว

เติมน้ำกลั่นให้ครบขีดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน เทใส่ขวดรูปกรวยขนาด 125 มล. เติมน้ำยารวม 8.0 มล. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที นำไปวัด Absorbance ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร โดยใช้ขวดที่มีความเข้มข้น 0 ไมโครกรัมเป็นแบล็งค์ พล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นเป็นไมโครกรัมกับ Absorbance ที่ได้แต่ละความเข้มข้นโดยใช้กราฟ

8.5 การคำนวณผลการทดสอบ

$$\text{ฟอสเฟต (มก. P/ล)} = \frac{\text{ไมโครกรัมฟอสเฟตที่อ่านได้จากกราฟ}}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มล.)}}$$

9. วิธีทดสอบปริมาณความชื้น (Moisture Content) โดยวิธีทดสอบปริมาณความชื้น (Moisture Content)

9.1 ชนิดของตัวอย่าง

ตัวอย่างตะกอน

9.2 ช่วงการทดสอบ

% Moisture Content	ช่วงการทดสอบ คือ	0.01 – 100	%
Method Detection Limit (MDL)	=	0.01	%
Level of Quantitative (LOQ)	=	0.01	%

9.3 หลักการ

การหาความชื้นในตัวอย่างตะกอน สามารถหาได้โดยการนำเอาตัวอย่างตะกอนที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ไปอบที่อุณหภูมิ 103 - 105 °C ให้ความชื้นในตัวอย่างระเหย จนกระทั่งได้น้ำหนักของตะกอนที่แน่นอนนำไปคำนวณหา % Moisture Content

9.4 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 10.4.1 Electronics Balance 0.1 mg
- 10.4.2 Hot Air Oven
- 10.4.3 Aluminum Foil

9.5 สารเคมี

ไม่มี

9.6 สารมาตรฐานอ้างอิง

Standard Weight, F1 50 g

9.7 ภาวะแวดล้อม

ควบคุมห้องปฏิบัติการเครื่องชั่ง

อุณหภูมิ 25 ± 5 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 60 ± 10 %RH

9.8 วิธีการทดสอบ

ทำการทดสอบตัวอย่าง โดย นำตัวอย่างใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียมฟอล์ยที่ทราบน้ำหนัก (A) ซึ่งน้ำหนักตัวอย่าง 1 ถึง 5 g ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (B) นำตัวอย่างไปอบใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ $103 - 105$ °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างใส่ใน Desiccator ทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 30 นาที ซึ่งน้ำหนักของตะกอนและถ้วยอลูมิเนียมฟอล์ย นำตัวอย่างไปอบใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ $103 - 105$ °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำตัวอย่างใส่ใน Desiccator ทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 30 นาที นำตัวอย่างไปอบซ้ำ จนกระทั่งมีน้ำหนักแตกต่างกันไม่เกิน 0.1 mg (C)

9.9 การคำนวณผลการทดสอบ

9.9.1 % Moisture Content

$$\text{Moisture Content (\% w/w)} = \frac{B - (C - A) \times 100}{B}$$

หรือ Moisture Content (% w/w) = 100 - % Solid content

เมื่อ A = น้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียมฟอล์ย (g)

B = น้ำหนักของตะกอนก่อนอบ (g)

C = น้ำหนักของตะกอนและถ้วยอลูมิเนียมฟอล์ยหลังอบ (g)

9.9.2 % Solid Content

$$\text{Solid Content (\% w/w)} = \frac{C - A \times 100}{B}$$

หรือ Solid Content (% w/w) = 100 - % Moisture content
 เมื่อ A = น้ำหนักของถ้วยอลูมิเนียมฟอยล์ (g)
 B = น้ำหนักของตะกอนก่อนอบ (g)
 C = น้ำหนักของตะกอนและถ้วยอลูมิเนียมฟอยล์หลังอบ (g)

9.10 ความไม่แน่นอนของการวัด

ไม่มี

9.11 การควบคุมคุณภาพของผลการทดสอบ

ทำการชั่ง Standard Weight, F1 50 g น้ำหนักของ Standard Weight, F1 จะต้องอยู่ในช่วงที่กำหนด กรณีไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดให้ทำการทดสอบซ้ำ

10. การทดสอบความเค็ม โดยวิธี คำนวณจากสภาพนำไฟฟ้า

10.1 สภาพตรวจวัด

วิธีตรวจวัดนำมาตราฐานความเค็มของน้ำเทียบกับความเค็มของ KCl ซึ่งกำหนดตามสเกลของ The Practical Salinity Scale 1978 ค่าสภาพนำไฟฟ้าของน้ำทะเลมาตรฐานที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส จะมีค่าเท่ากับสภาพนำไฟฟ้าของสารละลายที่มี KCl 32.4356 กรัมในสารละลาย 1 กก. และสารละลายนี้จะมีค่าความเค็มเท่ากับ 35 ค่าที่วัดได้นี้เป็นค่าเฉลี่ยค่าความเค็มขึ้นอยู่กับค่าสภาพนำไฟฟ้า (R) ซึ่งขึ้นกับฟังก์ชันของอุณหภูมิ (t °C) ของตัวอย่างดังนี้

$$S = a_0 + a_1 R_t^{1/2} + a_2 R_t + a_3 R_t^{3/2} + a_4 R_t^2 + a_5 R_t^{5/2} + \Delta S$$

$$\text{เมื่อ } \Delta S = f(t) (b_0 + b_1 R_t^{1/2} + b_2 R_t + b_3 R_t^{3/2} + b_4 R_t^2 + b_5 R_t^{5/2})$$

$$f(t) = (t - 15) / (1 + 0.0162(t - 15))$$

และ $a_0 = 0.0080$ $a_3 = 14.0941$ $b_0 = 0.0005$ $b_3 = -0.0375$
 $a_1 = -0.1692$ $a_4 = -7.0261$ $b_1 = -0.0056$ $b_4 = 0.0636$
 $a_2 = 25.3851$ $a_5 = 2.7081$ $b_2 = -0.0066$ $b_5 = -0.0144$

สมการข้างต้นใช้ได้กับค่าความเค็มที่อยู่ในช่วง 2-42 ถ้าค่าความเค็มต่ำลงอยู่ในช่วง 0-40 ให้ใช้สมการ

$$S = S_{\text{pss}} - \frac{a_0}{1+1.5X+X^2} - \frac{b_0 f(t)}{1+Y^{1/2}+Y^{3/2}}$$

เมื่อ S_{pss} = ค่าที่วัดได้จาก The Practical Salinity Scale

$$a_0 = 0.008 \quad b_0 = 0.0005 \quad X = 400 R_t \quad Y = 100 R_t$$

$$\text{และ } f(t) = (t-15) / [1+0.0162(t-15)]$$

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางวิณา สัมพันธ์
วัน เดือน ปีเกิด	17 พฤษภาคม 2517
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. มหาวิทยาลัยบูรพา พ.ศ.2540
สถานที่ทำงาน	บริษัท อีสเทิร์นไทยคอนกรีตติ้ง 1992 จำกัด
ตำแหน่ง	ผู้จัดการระบบบริหาร ISO