สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากการบำบัดของโรงไฟฟ้าเป็นวัสดุปลูก

Feasibility of Wastewater Sludge from the Power Plant as Planting Material

T117305

นายธเนศ ภู่จำปา
นางสาวฐิติผกา ช้างภู่
นางสาวจุฑารัตน์ จึงตระกูล

สำหรับ
เลขทะเบียน 117305
วัน,เดือน,ปี 20 ก.ค. 2554

b 12338606
i

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Feasibility of Wastewater Sludge from the Power Plant as Planting Material

Thanet Phoojampha

Thitiphaka Changpoo

Jutharat Juengtrakul

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor of Science in Environmental Resource Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากโรงไฟฟ้าเป็นวัสดุปลูก

Feasibility of Wastewater Sludge from the Power Plant as Planting Material.

ชื่อนักศึกษา นายธเนศ ภู่จำปา

นางสาวฐิติผกา ช้างภู่

นางสาวจุฑารัตน์ จึงตระกูล

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2553

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	
ดร.ปานไพลิน สีหาราช	
ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์	

ลิขสิทธิ์ของภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากการบำบัดของโรงไฟฟ้าเป็นวัสดุปลูก

ชื่อนักศึกษา นายธเนศ ภู่จำปา
นางสาวฐิติผกา ช้างภู่
นางสาวจุฑารัตน์ จึงตระกูล

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2553

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพของโรงไฟฟ้ามาปลูกผักเขียวกวางตุ้ง โดยนำวัตถุดิบที่ประกอบไปด้วย ขุยมะพร้าว ขี้เถ้าแกลบ และปุ๋ยคอก (อัตราส่วน 1.5:1.5:1) มาผสมกับกากตะกอนในอัตราส่วน 0:10, 2:10, 4:10, 6:10 และ 8:10 จากนั้นทดสอบการงอกของเมล็ดเขียวกวางตุ้งในน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับต่างๆ โดยเพาะ 5 วัน และศึกษาอัตราการเติมกากตะกอนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักเขียวกวางตุ้ง ทำการวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCB) หลังการเก็บเกี่ยวผักทำการวัดความยาวราก ความสูงของส่วนเหนือราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผักเขียวกวางตุ้ง วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS จากการทดลองพบว่า ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน คือ Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn มีค่า 0.03, 40.47, 46.03, 55.68, 13.11 and 66.38 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานกากตะกอนเพื่อการเกษตรของสหรัฐอเมริกา ความยาวรากเฉลี่ย และความสูงต้นอ่อนเฉลี่ยของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้งในน้ำสกัดที่เติมกากตะกอนลงวัสดุปลูกในอัตรา 2:10 มีค่ามากที่สุด และเมื่อนำแต่ละตำรับไปปลูกผักเขียวกวางตุ้ง พบว่าผักที่ปลูกในส่วนผสมของกากตะกอนและวัสดุปลูกในอัตราส่วน 2:10 ให้ความยาวราก ความสูงของส่วนเหนือราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมากที่สุด ปริมาณแคดเมียม และนิกเกิลที่ตรวจพบในผักเขียวกวางตุ้งมีปริมาณ 1.66 - 6.15 และ 0.29 - 1.58 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินระดับการเป็นพิษเมื่อเทียบกับในต้นข้าว ดังนั้นการนำกากตะกอน โดยการนำมาผสมกับวัสดุปลูกในอัตราส่วน 2:10 มาปลูกผักเขียวกวางตุ้งจึงมีความเป็นไปได้ ทำให้การเจริญเติบโตและได้ผลผลิตของผักเขียวกวางตุ้งต่างจากอัตราส่วนอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : กากตะกอน, โรงไฟฟ้า, ผักเขียวกวางตุ้ง, วัสดุปลูก

Special Project Title	Feasibility of Wastewater Sludge from the Power Plant as Planting Material.	
Students	Thanet	Phoojampha
	Thitiphaka	Changpoo
	Jutharat	Juengtrakul
Degree	Bachelor of Science	
Program	Environmental Resource Chemistry	
Academic Year	2010	
Project Advisor	Asst. Prof. Krongkaew	Tippayasak

ABSTRACT

The feasibility of sludge from the biological wastewater treatment in the power plant was studied as planting materials for Green Pak Choy. The raw material (coconut fluff, black-rice-husk-ash and manure: 1.5:1.5:1 ratio) were mixed with sludge at 0:10, 2:10, 4:10, 6:10 and 8:10. The germinations of seeds for 5 days were examined with the extracted liquid from each sludge mixture. The optimum ratio of sludge and raw materials for the growth of Green Pak Choy were studied and designed as the Randomized Complete Block Design (RCB). Green Pak Choy was grown in each treatment for 45 days. After harvest, the growth indexes were measured from root and shoot length, wet and dried weight. The results showed that heavy metals in sludge were Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn : 0.03, 40.47, 46.03, 55.68, 13.11 and 66.38 mg/kg respectively and less than US EPA standard of sludge for agriculture.The appropriate mixing ratio for the best germination was 2:10. And also gave the best results for Green Pak Choy growth indexes. The average concentration of Cd and Ni in Green Pak Choy were 1.66 - 6.15 and 0.29 - 1.58 mg/kg respectively. All results stated that the growths of Green Pak Choy were significantly different in the sludge mixture 2:10 compare with the others ($p = 0.05$).

Keywords : Sludge, Power plant, Green Pak Choy, Planting material

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน ซึ่งผู้จัดโครงงานพิเศษนี้จึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ผ.ศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความกรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา และคำแนะนำ และดูแลเอาใจใส่ตลอดจนตรวจสอบ ติชมผลงานให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ และดร.ปานไพลิน สีหาราช อาจารย์กรรมการที่ช่วยชี้แนะข้อบกพร่องและแนวทางการแก้ไข รวมถึงตรวจสอบ ติชมผลงาน ทำให้โครงงานพิเศษนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี ที่ให้ความอนุเคราะห์กากตะกอนใช้ในการดำเนินโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยร่วมมือ และอำนวยความสะดวกจนทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขาดไม่ได้ถ้าไม่ได้รับกำลังใจและแรงบัลดาลใจจากบิดา มารดา อันมีค่ามากมายมหาศาลจนทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จ ตลอดจนบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ทางผู้จัดทำโครงงานจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นายธเนศ ภู่จำปา
นางสาวฐิติผกา ช้างภู่
นางสาวจุฑารัตน์ จึงตระกูล
มีนาคม 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 โรงบำบัดน้ำเสียโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี	4
2.2 กากตะกอน	7
2.3 ข้อควรคำนึงในการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์	9
2.4 วัสดุปลูก	10
2.5 วัสดุปลูกที่นำมาใช้ในการทดลอง	10
2.6 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช	12
2.7 โลหะหนักต่อการเจริญเติบโตของพืช	16
2.8 ปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช	18
2.9 ข้อมูลของผักเขียวกวางตุ้ง (พืชทดลอง)	23
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	30
3.1 สารเคมี	30
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	31
3.3 แหล่งที่มาของวัสดุ	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การเตรียมตัวอย่างกากตะกอนและวัสดุปลูก	31
3.5 การวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอน	33
3.6 การเตรียมอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนกับวัสดุปลูก	34
3.7 การศึกษาการงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้ง	34
3.8 การหาอัตราส่วนกากตะกอนและวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการปลูกผักเขียวกวางตุ้ง	36
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	39
4.1 สมบัติทางเคมีของกากตะกอน	39
4.2 สมบัติทางเคมีของวัสดุปลูก	42
4.3 สมบัติทางเคมีของกากตะกอนผสมวัสดุปลูกในอัตราส่วนต่างๆ	43
4.4 การศึกษาการงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้ง	47
4.5 การหาอัตราส่วนกากตะกอนและวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการปลูกผักเขียวกวางตุ้ง	49
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	56
5.1 สรุปผลวิจัย	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารอ้างอิง	58
ภาคผนวก ก	61
ภาคผนวก ข	63
ภาคผนวก ค	92
ภาคผนวก ง	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำหลังการบำบัด 7
ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนกากตะกอน 9
ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดการปนเปื้อนเชื้อโรคในกากตะกอน 9
ตารางที่ 2.4 แสดงความเข้มข้นต่อน้ำหนักแห้งของธาตุอาหารในมูลสัตว์ 4 ชนิด 12
ตารางที่ 2.5 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชทั่วไป และความเข้มข้นในเนื้อเยื่อซึ่งจัดว่าเพียงพอ 14
ตารางที่ 2.6 หน้าที่สำคัญของธาตุอาหารพืช และอาการขาดแคลนธาตุอาหารของพืช 15
ตารางที่ 2.7 ผลของโลหะต่อพืชและสัตว์ 17
ตารางที่ 3.1 น้ำหนักของวัสดุปลูกแต่ละชนิด 32
ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนและวัสดุปลูก 33
ตารางที่ 3.3 สภาวะที่ใช้ทดสอบการงอกของเมล็ดเขียวกวางตุ้ง 34
ตารางที่ 3.4 ปริมาณกากตะกอนและวัสดุปลูกที่อัตราส่วนต่างๆ 35
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของกากตะกอนโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี 40
ตารางที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี 41
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัสดุปลูก 43
ตารางที่ 4.4 การงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้งเมื่อเพาะในน้ำสกัด 47
ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของผักเขียวกวางตุ้ง 54
ตารางที่ 4.6 ปริมาณนิกเกิล และแคดเมียมในผักเขียวกวางตุ้ง 55
ตารางที่ ข.1 พีเอชของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ 63
ตารางที่ ข.2 การนำไฟฟ้าของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ 64
ตารางที่ ข.3 ความชื้นของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ 65
ตารางที่ ข.4 ปริมาณอินทรียวัตถุของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ 66
ตารางที่ ข.5 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ 69
ตารางที่ ข.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ 72
ตารางที่ ข.7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ 75
ตารางที่ ข.8 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ 79
ตารางที่ ข.9 ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในกากตะกอน 83
ตารางที่ ข.10 ปริมาณนิกเกิลในผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ 84
ตารางที่ ข.11 ปริมาณแคดเมียมในผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ค.1 จำนวนเมล็ดผักเขียวกวางตุ้งที่งอกในน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับต่างๆ 92
ตารางที่ ค.2 ความยาวรากของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้งที่งอกในน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับต่างๆ 92
ตารางที่ ค.3 ความสูงต้นอ่อนที่งอกในน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับต่างๆ 95
ตารางที่ ค.4 สรุปการคำนวณการงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้ง 97
ตารางที่ ง.1 ข้อมูลความยาวรากของผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ 99
ตารางที่ ง.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความยาวรากของผักเขียวกวางตุ้ง 100
ตารางที่ ง.3 การเปรียบเทียบความยาวรากของผักเขียวกวางตุ้งด้วยวิธีดันแคนส์ 100
ตารางที่ ง.4 ข้อมูลความสูงของส่วนเหนือรากของผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ 101
ตารางที่ ง.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงของส่วนเหนือรากของผักเขียวกวางตุ้ง 102
ตารางที่ ง.6 การเปรียบเทียบความสูงของส่วนเหนือรากของผักเขียวกวางตุ้งด้วยวิธีดันแคนส์ 102
ตารางที่ ง.7 ข้อมูลของน้ำหนักสดของผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ 103
ตารางที่ ง.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักสดของผักเขียวกวางตุ้ง 104
ตารางที่ ง.9 การเปรียบเทียบน้ำหนักสดของผักเขียวกวางตุ้งด้วยวิธีดันแคนส์ 104
ตารางที่ ง.10 ข้อมูลของน้ำหนักแห้งของผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ 105
ตารางที่ ง.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักแห้งของผักเขียวกวางตุ้ง 106
ตารางที่ ง.12 การเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของผักเขียวกวางตุ้งด้วยวิธีดันแคนส์ 106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กระบวนการบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียบริเวณถ่านหิน	4
รูปที่ 2.2 กระบวนการบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียจากอาคารโรงไฟฟ้า	5
รูปที่ 3.1 การจัดวางกระถางแบบแผนการทดลองแบบ RCB	37
รูปที่ 4.1 กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี	39
รูปที่ 4.2 วัสดุปลูกที่ผสมระหว่าง ขุยมะพร้าว ขี้เถ้าแกลบ และปุ๋ยคอก	42
รูปที่ 4.3 พีเอช การนำไฟฟ้า และอินทรียวัตถุ ของวัสดุปลูกตำรับต่างๆ	44
รูปที่ 4.4 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของวัสดุปลูกตำรับต่างๆ	45
รูปที่ 4.5 ปริมาณธาตุอาหารหลักของวัสดุปลูกตำรับต่างๆ	46
รูปที่ 4.6 การงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้งในน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับต่างๆ	49
รูปที่ 4.7 การเจริญเติบโตของผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันมีการให้ความสำคัญกับการควบคุมคุณภาพแหล่งน้ำให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อป้องกันมิให้แหล่งน้ำเกิดสภาพเน่าเสียขึ้น โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จึงจำเป็นต้องมีโรงบำบัดน้ำเสีย ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียส่วนมากมักเกิดกากตะกอนน้ำเสียแต่ละวันในปริมาณมาก ดังนั้นในการจัดการกับกากตะกอนน้ำเสียจึงต้องจัดการด้วยวิธีที่ถูกต้องและเหมาะสม เช่น การนำไปฝังกลบ การเผาทิ้งให้เป็นเถ้า หรือวิธีการอื่นๆ ซึ่งในแต่ละวิธีนั้นล้วนมีค่าใช้จ่ายในการจัดการที่ค่อนข้างสูง และยังสามารถส่งผลกระทบต่อระบบสิ่งแวดล้อมทั้งระยะสั้นและระยะยาวได้ (Walter et al., 2006)

โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี เป็นสถานที่หนึ่งที่มีปริมาณน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียในแต่ละวันปริมาณมาก น้ำเสียที่เกิดขึ้นภายในโรงไฟฟ้าที่แหล่งที่มาจาก 2 แหล่งใหญ่ๆ คือ จากบริเวณลานถ่านหิน และบริเวณอาคารโรงไฟฟ้า ซึ่งการบำบัดน้ำเสียมีการใส่สารเคมีและอาศัยจุลินทรีย์ช่วยในการตกตะกอน ทำให้เกิดกากตะกอนขึ้นเป็นปริมาณมาก ในปัจจุบันทางโรงไฟฟ้าได้จัดการกับกากตะกอนเหล่านี้โดยส่งไปบำบัดที่อื่น นับว่าไม่มีการนำกากตะกอนกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์เลย

การจัดการกากตะกอนวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ คือ การนำมาใช้ในพื้นที่การเกษตร ป่าไม้ และพื้นที่ใช้ประโยชน์อื่นๆ (Dai et al., 2007) ซึ่งในกากตะกอนมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืช (Martinez et al., 2003) จึงสามารถนำกากตะกอนมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินได้ แต่ในขณะเดียวกันปริมาณของธาตุอาหารต้องไม่มากจนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ในกากตะกอนยังมีโลหะหนัก เช่นแคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) เป็นต้น ผสมอยู่ในกากตะกอนที่มาจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม (Sing and Agrawal, 2007) ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักในห่วงโซ่อาหาร (Jacobs, 1981) เพราะฉะนั้นการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตร จึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเสมอ

ในโครงงานพิเศษนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากการการบำบัดน้ำเสียของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีมาปลูกผักเขียวกวางตุ้ง โดยนำมาผสมกับวัสดุปลูกที่ประกอบด้วยขุยมะพร้าว ขี้เถ้าแกลบ และปุ๋ยคอก ในอัตราส่วนต่างๆ ทดสอบการงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้งในน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับต่างๆ จากนั้นศึกษาอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนกับวัสดุปลูกที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโตของผักเขียวกวางตุ้ง และศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดที่เป็นพิษต่อพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีมาปลูกผักเขียวกวางตุ้ง โดยมีวัตถุประสงค์ย่อยดังนี้

- เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีกากตะกอนจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี
- เพื่อศึกษาอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนกับวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักเขียวกวางตุ้ง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 กากตะกอนที่ใช้ในการวิจัยนำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี

1.3.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีของกากตะกอนจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี โดยวิเคราะห์ 9 พารามิเตอร์ ดังนี้ พีเอช (pH) การนำไฟฟ้า (Conductivity) ความชื้น (Moisture) อินทรียวัตถุ (Organic Matter, OM) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Capacity Exchange Cation, CEC) ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K) และโลหะหนักบางชนิด (แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) โครเมียม (Cr) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn))

1.3.3 วัสดุปลูกที่ใช้ในการศึกษา มีส่วนผสมของขุยมะพร้าว ขี้เถ้าแกลบ และปุ๋ยคอก ในอัตราส่วน 1.5:1.5:1 และทำการศึกษาสมบัติทางเคมี โดยวิเคราะห์ 8 พาราเตอร์ ดังนี้ พีเอช (pH) การนำไฟฟ้า (Conductivity) ความชื้น (Moisture) อินทรียวัตถุ (Organic Matter, OM) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Capacity Exchange Cation, CEC) ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K)

1.3.4 ศึกษาการแปรอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนกับวัสดุปลูกที่ใช้ในการปลูกผักเขียวกวางตุ้งทั้งหมด 5 อัตราส่วน ดังนี้ 0:10, 2:10, 4:10, 6:10 และ 8:10 และทดสอบการงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้งในน้ำสกัดจากตะกอน และกากตะกอนผสมวัสดุปลูกในอัตราส่วนต่างๆ

1.3.5 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนกับวัสดุปลูกที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโตของผักเขียวกวางตุ้ง โดยทำซ้ำในแต่ละอัตราส่วนทั้งหมด 4 ซ้ำ (4 บล็อกการทดลอง) ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCB) สังเกตการเจริญเติบโตจากความยาวของราก ความสูงของส่วนเหนือราก น้ำหนักสด และน้ำนักแห้งของผักเขียวกวางตุ้ง และศึกษาปริมาณโลหะหนักที่เป็นพิษต่อผักเขียวกวางตุ้ง ได้แก่ นิกเกิล (Ni) และแคดเมียม (Cd)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในภาคการเกษตรได้

1.4.2 สามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

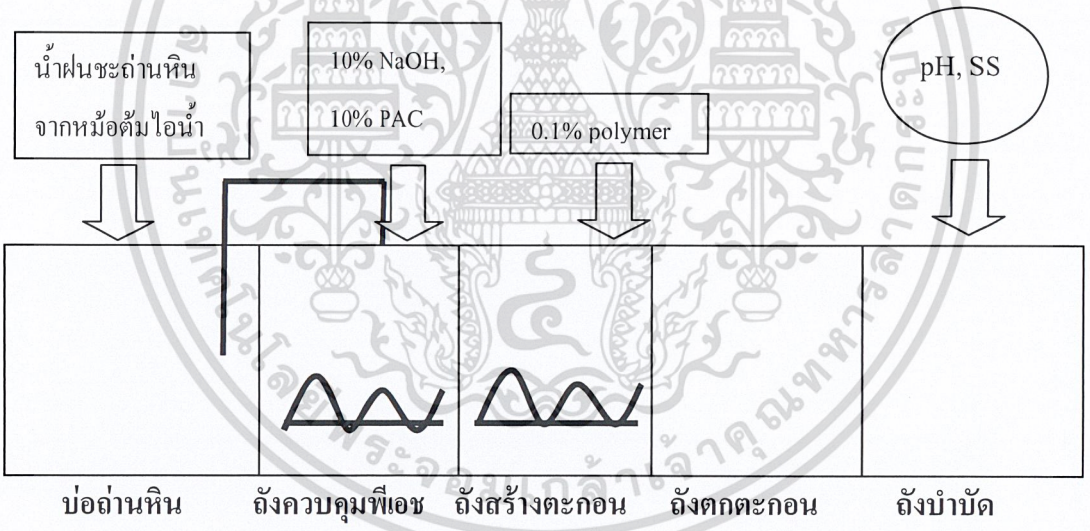
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรงบำบัดน้ำเสียโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี

โรงบำบัดน้ำเสียโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี สามารถรับน้ำเสียได้ 100 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยรับน้ำเสียจากพื้นต่างๆ มาบำบัดก่อนปล่อยน้ำออกสู่ทะเล ซึ่งสามารถแบ่งโรงบำบัดน้ำเสียออกเป็น 2 แห่งเพื่อให้เหมาะกับน้ำเสียที่เข้ามาบำบัด (บริษัทบีแอลซีพี พาวเวอร์ จำกัด)

2.1.1 โรงบำบัดน้ำเสียบริเวณที่มีถ่านหิน

โรงบำบัดน้ำเสียบริเวณที่มีถ่านหิน สามารถรองรับน้ำเสียที่เกิดจากน้ำฝนชะถ่านหินจากหม้อต้มไอน้ำ ทางท่อระบายน้ำในพื้นที่ดักจับฝุ่น ซึ่งการดำเนินงานขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในบ่อและปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา ซึ่งมีกระบวนการบำบัดดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียบริเวณถ่านหิน

- *บ่อถ่านหิน* มีขนาด 800 ลูกบาศก์เมตร รองรับน้ำเสียที่เกิดจากน้ำฝนที่ชะถ่านหินจากหม้อต้มไอน้ำ ทางท่อระบายน้ำในพื้นที่ดักจับฝุ่น

- *ถังควบคุมพีเอช* มีขนาด 100 ลูกบาศก์เมตร น้ำจากบ่อถ่านหินจะไหลมายังถังควบคุมพีเอช โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 10% ลงไปเพื่อให้มีพีเอชที่สูงขึ้นเหมาะกับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตกตะกอนของโลหะหนัก ทั้งยังปรับพีเอชให้เหมาะต่อการสร้างตะกอน และเติมผงถ่านกัมมันต์ (Powder Activated Carbon, PAC) 10% เพื่อเร่งการสร้างตะกอน

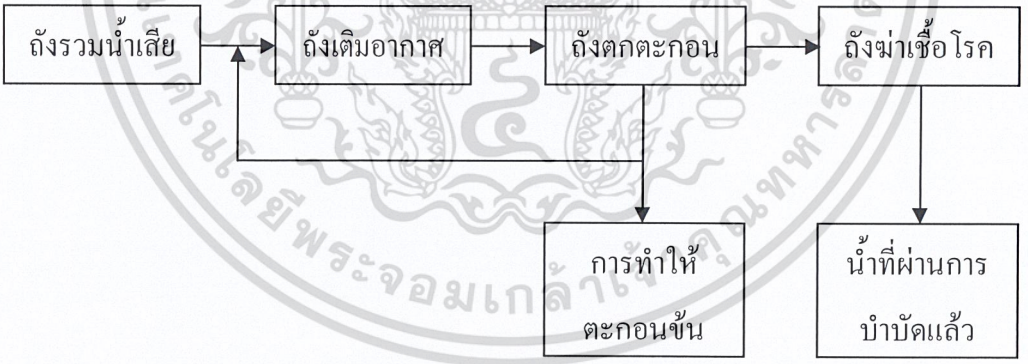
- *ถังสร้างตะกอน* มีขนาด 100 ลูกบาศก์เมตร น้ำจากถังควบคุมพีเอชจะไหลล้นมายังถังสร้างตะกอน โดยมีการเติมพอลีเมอร์ (Polymer) 0.1% เพื่อสร้างตะกอน

- *ถังตกตะกอน* มีขนาด 1,800 ลูกบาศก์เมตร น้ำจากถังสร้างตะกอนจะไหลเข้าถังตกตะกอน โดยมีอัตราการไหลที่คงที่ไม่เร็วมากเกินไป เพื่อให้น้ำในถังตกตะกอนไม่แปรปรวน

- *บ่อพักน้ำ* มีขนาด 100 ลูกบาศก์เมตร น้ำจากถังตกตะกอนจะไหลล้นมายังบ่อพัก จากนั้นทำการวัดค่าพีเอชและค่าของแข็งแขวนลอย แล้วส่งน้ำไปยังถังปรับพีเอชในโรงบำบัดน้ำเสียรวม

2.1.2 โรงบำบัดน้ำเสียจากอาคารโรงไฟฟ้า

โรงบำบัดน้ำเสียจากอาคารโรงไฟฟ้า สามารถจุน้ำได้ 105 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งรองรับน้ำเสียมาจากอาคารโรงไฟฟ้า และสิ่งก่อสร้างอื่นที่อยู่ภายในโรงบำบัดน้ำเสีย วัตถุประสงค์เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ สารแขวนลอย และฆ่าเชื้อโรคในน้ำเสียก่อนปล่อยน้ำเสีย โดยมีการตรวจวิเคราะห์หาค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพ (Biological Oxygen Demand, BOD) สารแขวนลอย และควบคุมค่าพีเอชให้ตรงตามมาตรฐานคุณภาพน้ำก่อนปล่อยน้ำเสียออกไป ซึ่งมีกระบวนการบำบัดดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียจากอาคารโรงไฟฟ้า

- ปั๊มจะสูบสิ่งปฏิกูลจากสถานที่ต่างๆ เข้าสู่ถังรวมน้ำเสียขนาด 120 ลูกบาศก์เมตร อัตราการไหลสูงสุด 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยมีการใช้ปั๊ม 2 ตัว (ปั๊มทำงาน ปั๊มสำรอง) เพื่อรองรับน้ำเสียที่ผ่านมาจากเครื่องบดก่อนผ่านแผ่นตะแกรงคัดแยก ซึ่งอัตราการไหลขึ้นอยู่กับแรงโน้มถ่วงของโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- น้ำเสียจากถังรวมเสียจะถูกส่งเข้าสู่ถังเติมอากาศ ซึ่งมีขนาด 55 ลูกบาศก์เมตร โดยทำการเป่าลมเข้าไป และมีการปรับค่าพีเอชให้เหมาะสมทำงานของถัง ใช้เวลา 24 ชั่วโมงในการเติมอากาศ โดยจุลินทรีย์กลุ่มโรติเฟอร์จะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้ค่าความต้องการออกซิเจนลดลง

- น้ำเสียจะถูกส่งไปยังถังตกตะกอน โดยตะกอนของแข็งจะตกลงสู่ก้นถัง ส่วนน้ำด้านบนจะไหลล้นเข้าสู่ถังฆ่าเชื้อโรค

- ตะกอนที่อยู่ก้นถังตกตะกอน จะถูกส่งเข้าสู่ถังเติมอากาศอีกครั้ง ทำให้ตะกอนมีความเข้มข้นมากขึ้น เมื่อตะกอนมีความข้นมากจะถูกส่งไปยังถังควบคุมตะกอนที่มีขนาด 4 ลูกบาศก์เมตร

- น้ำใสด้านบนของถังตกตะกอนจะไหลล้นเข้าสู่ถังฆ่าเชื้อโรค (มีอัตราการไหลเข้า 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) โดยทำการเติมโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) 10% เพื่อฆ่าเชื้อโรค

- น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะส่งไปยังบ่อพักน้ำ ซึ่งมีขนาด 80 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นจะถูกส่งเข้าสู่ถังปรับพีเอชในโรงบำบัดน้ำเสียรวม

2.1.3 โรงบำบัดน้ำเสียรวม

โรงบำบัดน้ำเสียรวมมีความจุ 100 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เพื่อรองรับน้ำเสียที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียทั้งสอง เพื่อนำมาบำบัดก่อนปล่อยลงสู่ทะเล

- น้ำเสียจากบ่อพักน้ำของทั้งสองโรงบำบัดถูกส่งไปยังถังปรับพีเอชโดยปั๊ม โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เมื่อน้ำเป็นกรด และเติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เมื่อน้ำเสียเป็นด่าง และทำการเติม PAC ลงไปเพื่อเร่งการตกตะกอน

- น้ำจากถังปรับพีเอชจะไหลล้นไปยังถังสร้างตะกอน ซึ่งในสร้างตะกอนจะเติมโพลีเมอร์ลงไปเพื่อให้เกิดตะกอนน้ำเสีย

- น้ำเสียจะถูกส่งไปยังบ่อตกตะกอน และจะเกิดตะกอนในถังตกตะกอน โดยตะกอนที่ได้จะถูกส่งไปยังบ่อตะกอนข้น ส่วนน้ำด้านบนถังจะถูกส่งไปปรับพีเอชอีกครั้ง

- โดยทำการตรวจค่าพีเอชและค่าความขุ่น (ค่าพีเอช 5.5-9.0 และค่าความขุ่น < 50 NTU)

- ส่วนกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียรวม โรงบำบัดน้ำเสียบริเวณถ่านหิน และโรงบำบัดน้ำเสียจากอาคารโรงไฟฟ้า ถูกนำมาแยกน้ำออกจากกากตะกอน น้ำที่แยกได้จะถูกส่งไปยังบ่อปรับพีเอช ส่วนตะกอนที่ถูกแยกน้ำออกแล้วจะถูกส่งไปบำบัดที่อื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำหลังการบำบัด

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	หน่วย
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5-9.0	-
ความขุ่น (Turbidity)	<50	ppm
ของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid)	< 50	ppm
ของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolve Solid)	< 3000	ppm
ความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพ (BOD)	< 20	ppm
ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD)	<120	ppm
คลอรีนตกค้าง (Residue Chlorine)	< 1	ppm
อุณหภูมิ (Temperature)	< 40	^{o}C
ซัลไฟด์ (Sulfide)	< 1	ppm
ไซยาไนด์ (Cyanide)	< 0.2	ppm
น้ำมันและไขมัน (Oil and grease)	< 5	ppm
ไนโตรเจน (TKN)	< 100	ppm
ฟีนอล (Phenol)	< 1	ppm
ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	< 1	ppm

2.2 การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์

กากตะกอนเกิดจากกระบวนการต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสีย เช่น ถังตะกอนหรือถังปฏิกิริยาเป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นกับประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียและวิธีการในการเดินระบบ ตัวอย่างเช่น ในระบบเอเอส (Activated Sludge Process, AS) ทั่วไป กากตะกอนเกิดจากถังตะกอนถังสุดท้าย (Final Settling Tank) แต่ถ้าเป็นระบบเอเอสแบบผสม (Complete Mixed Activated Sludge Process) ที่มีการหมุนเวียนของแบคทีเรีย กากตะกอนถูกระบายออกจากถังปฏิกิริยาหรือบ่อเติมอากาศ เป็นต้น

2.2.1 การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์

เนื่องด้วยปริมาณกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นต่อวันมีปริมาณค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นภาระที่โรงงานต้องรับผิดชอบในการกำจัดโดยไม่ให้มีผลต่อสภาพแวดล้อม กากตะกอนที่เกิดขึ้นแต่ละวันต้องนำไปบำบัดให้มีความคงตัว เพื่อลดปัญหาด้านกลิ่น และตะกอนจะถูกนำไปรีดให้เป็นแผ่นเพื่อลดปริมาตรและสะดวกในการขนส่ง ซึ่งในขั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาจะนำกากตะกอนมากำจัดด้วยวิธีที่เหมาะสม นอกจากมีการนำไปกำจัดทิ้งด้วยวิธีที่เหมาะสม ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของการใช้ประโยชน์ได้เป็น 3 ประเภทคือ การนำไปใช้ประโยชน์บนพื้นดิน การใช้พลังงานจากกากตะกอนโดยการเผา และการนำไปทำเป็นก้อนแข็ง

- *การใช้ประโยชน์กากตะกอนบนพื้นดิน (Land Application)*

กากตะกอนที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วสามารถนำมาใช้ประโยชน์บนพื้นดินได้ทั้งหมดในรูปของเหลว และในรูปของแข็ง แล้วแต่ความเหมาะสมของพื้นที่ เช่น การนำไปถมที่ นำมาคลุมหลุมฝังขยะ การปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร หรือการนำไปทำปุ๋ย กากตะกอนที่ทิ้งบนพื้นดินย่อมเกิดกระบวนการย่อยสลาย ดูดซับ และดูดซึม ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายและแลกเปลี่ยนของสารต่างๆ ที่อยู่ในกากตะกอนลงสู่พื้นดิน ดังนั้นก่อนที่จะนำกากตะกอนไปประยุกต์ใช้ด้วยวิธีนี้ ควรคำนึงถึงแนวโน้มของการเกิดปัญหาจากสารต่างๆ เช่น จากเชื้อโรค สารพิษ และโลหะต่างๆ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของดิน น้ำใต้ดิน พืชและสัตว์ ตลอดทั้งวงจรอาหาร

- *การใช้เป็นแหล่งพลังงาน*

การเผากากตะกอนเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการประยุกต์ใช้ประโยชน์กากตะกอน เหมาะสำหรับกากตะกอนให้ค่าความร้อนค่อนข้างสูง แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดด้านความชื้น กากตะกอนที่เหมาะสมต่อการเผาต้องเป็นกากตะกอนที่แห้งมากๆ อาจไม่ต้องผ่านกระบวนการปรับเสถียรเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ก่อนก็ได้ แต่ต้องเป็นของแข็งที่ผ่านกระบวนการรีดน้ำ หรือทำให้แห้งมาแล้วดังตัวอย่างของการทำเป็นเชื้อเพลิง

- *การทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification)*

การทำเป็นก้อนแข็ง เป็นการประยุกต์เพื่อใช้ประโยชน์กากตะกอนโดยการนำมาผสมกับสารทำเป็นก้อนแข็ง เช่น ซีเมนต์ โซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate) และปูนขาว เป็นต้น มีการเติมทราย น้ำ และเถ้าแกลบ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มความแข็งแรง โดยสามารถทำเป็นตัวหนอนทางเท้า อิฐ ซีเมนต์บล็อก พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นต้น อีกทั้งสารจำพวกซีเมนต์ทำให้ค่าพีเอชของก้อนแข็งสูงขึ้น ช่วยลดการชะละลายของโลหะต่างๆ ได้ อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาการชะละลายของสารปนเปื้อนที่เป็นอันตราย และสมบัติการรับแรงของคอนกรีตอีกด้วย

2.2.2 เกณฑ์กำหนดของกากตะกอน

องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency) กำหนดมาตรฐานในการใช้ประโยชน์และกำจัดกากตะกอนจากในและนอกประเทศเป็นข้อกำหนดเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์กากตะกอนบนพื้นที่ มาตรฐานของสารพิษ และเชื้อโรค ดังตารางที่ 2.1-2.2 (www.epa.gov)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนกากตะกอน

สารปนเปื้อน	ความเข้มข้นน้อยกว่า (mg/kg)
สารหนู	41
แคดเมียม	39
โครเมียม	1,200
ทองแดง	1,500
ตะกั่ว	300
ปรอท	17
นิกเกิล	420
ซิลิเนียม	36
สังกะสี	2,800

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดการปนเปื้อนเชื้อโรคในกากตะกอน

ประเภท	ข้อกำหนด
Class A	Salmonella sp. น้อยกว่า 3 MPN ต่อกากตะกอนแห้ง 4 กรัม Fecal Colifrom น้อยกว่า 1,000 MPN ต่อกากตะกอนแห้ง 1 กรัม เป็นกากตะกอนที่สะอาดสามารถใช้ประโยชน์ได้ทุกพื้นที่
Class B	Fecal Colifrom น้อยกว่า 2 ล้าน MPN หรือ CFU ต่อกากตะกอนแห้ง 1 กรัม ห้ามนำไปขายและใช้ประโยชน์ในสนามหญ้าและสวนสาธารณะ

หมายเหตุ: MPN (Most Probable Number), CFU (colony-forming units)

ที่มา : www.epa.gov

2.3 ข้อควรคำนึงในการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์

ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ คือ ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนที่ปนอยู่และสามารถปลดปล่อยออกมาจากกากตะกอน เพราะปริมาณไนโตรเจนจำนวนมากเมื่อถูกชะลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน อาจก่อให้เกิดปัญหาในลักษณะชักนำให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายและวัชพืชน้ำมากเกินไปในแหล่งน้ำ และเพิ่มปริมาณไนเทรต (NO_3^-) ในน้ำใต้ดิน ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงต่อมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเด็กทารก หรือเป็นอันตรายต่อสัตว์เลี้ยงได้ ซึ่งมาตรฐานน้ำดื่มกำหนดให้มีการปนของปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจน (NO_3^--N) ได้ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงอย่างหนึ่ง คือ โลหะหนัก เพราะว่าในกากตะกอนมักมีโลหะหนักปนอยู่ด้วย ดังนั้นเมื่อนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในการเกษตรจึงเหมือนกับเป็นการเพิ่มปริมาณโลหะหนักให้แก่ดิน และถ้ามีปริมาณโลหะหนักสะสมในดินมากเกินไปอาจทำให้เกิดความเป็นพิษของโลหะต่อดินและพืช และอาจเกิดความเป็นพิษต่อเนื่องไปยังมนุษย์และสัตว์ที่บริโภคพืชนั้นด้วย ดังนั้นปัจจัยที่กล่าวข้างต้นต้องนำมาใช้พิจารณาหาแนวทางที่เหมาะสมในเรื่องเกี่ยวกับอัตราเติมกากตะกอนร่วมกับชนิดและค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ชนิดของพืช เมื่อมีการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในการเกษตร เพื่อทำให้เกิดผลผลิตของพืชสูงสุดโดยไม่มีการสะสมของโลหะในดินมากจนเกิดความเป็นพิษต่อพืช อีกทั้งปริมาณโลหะหนักที่พืชดูดดึงขึ้นไปสะสมนั้น แม้ว่าจะยังไม่ถึงระดับที่ไม่อาจชักนำอันตรายมาสู่มนุษย์และสัตว์ตามระบบห่วงโซ่อาหาร ฉะนั้นการวิจัยเกี่ยวกับการนำกากตะกอนที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความปลอดภัยจากความเป็นพิษของโลหะหนัก

2.4 วัสดุปลูก

วัสดุปลูก (Composition Material for Planting) หมายถึง วัสดุต่างๆ ที่เลือกสรรมาใช้ปลูกพืช และทำให้พืชเจริญเติบโตได้เป็นปกติ วัสดุดังกล่าวอาจเป็นวัสดุชนิดเดียวกันหรือหลายชนิดผสมกันก็ได้ หน้าที่ของวัสดุปลูกคือ ต้องคอยค้ำจุนส่วนของพืชที่อยู่เหนือวัสดุปลูกให้ตั้งตรงอยู่ได้ กักเก็บน้ำและธาตุอาหารต่างๆ สามารถแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างรากพืชกับบรรยากาศได้ดี ซึ่งวัสดุปลูกที่เหมาะสมที่สุดทางทฤษฎีควรมีสมบัติดังนี้

1. ความหนาแน่นรวม 721-962 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 0.15-0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร
2. ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 10-30 มิลลิกรัมสมมูลต่อดินแห้ง 100 กรัม
3. ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.05-6.50
4. ความสามารถในการดูดยึดน้ำ (Water Holding Capacity) 30-60% โดยปริมาตร
5. ช่องว่างอากาศทั้งหมดอยู่ในช่วง 5-20% โดยปริมาตร
6. เกลือที่ละลายน้ำได้ควรน้อยกว่า 200 ppb

2.5 วัสดุปลูกที่นำมาใช้ในการทดลอง

2.5.1 ขุยมะพร้าว

ขุยมะพร้าว เป็นเศษเหลือที่ได้จากการผลิตใยมะพร้าว มีลักษณะเป็นเศษใยมะพร้าวเส้นสั้นๆ เศษขุยและเศษผงจากกาบมะพร้าว มีสมบัติเบา อุ้มน้ำได้ดี และเก็บความชื้นไว้ได้นาน ซึ่งขุย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะพร้าวนี้สามารถนำไปเป็นส่วนประกอบในการทำปุ๋ยและเชื้อเพลิงชีวมวลได้เป็นอย่างดี และยังเป็นวัสดุปลูกที่ดีมาก เพราะประกอบด้วยเส้นใยประเภทลิกนินและเซลลูโลส ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักประจุบวกสอง หรือนิกเกิล ทองแดง และสังกะสี ก่อนนำขุยมะพร้าวมาใช้ ถ้าเป็นขุยมะพร้าวใหม่มักมีเกลือปนอยู่มากให้แช่น้ำไว้สัก 1-2 อาทิตย์ก่อนค่อยนำมาใช้ ถ้าเป็นขุยเก่าถูกฝนชะมานานก็อาจไม่ต้องแช่น้ำ สามารถนำมาใช้ได้เลย

สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของขุยมะพร้าวโดยทั่วไป มีค่าพีเอช 6-7 สามารถการอุ้มน้ำดีมาก อาจมากเกินไปจนมีปัญหาเกี่ยวกับการระบายอากาศ เมื่อขุยมะพร้าวผ่านขบวนการสลายตัวส่งผลให้การแลกเปลี่ยนประจุมีค่าสูง ความหนาแน่นรวมเมื่อแห้งต่ำ ความพรุนสูง ความคงทนของโครงสร้าง สามารถสลายตัวได้

2.5.2 ขี้เถ้าแกลบ

ขี้เถ้าแกลบ เป็นผลผลิตจากการเผาแกลบดิบ หรือเปลือกข้าวในสภาพที่ควบคุมปริมาณอากาศหรือออกซิเจนให้เป็นพลังงานความร้อน ขี้เถ้าแกลบมีสมบัติในการอุ้มน้ำและระบายน้ำได้ดี จุดเด่นที่สุดคือ ผ่านกระบวนการเผาไหม้มาแล้ว จึงเป็นวัสดุที่สะอาดปราศจากโรคและแมลงศัตรู ค่าวิเคราะห์ของขี้เถ้าแกลบ โดยกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิต กรมวิชาการเกษตร พบว่า มีอินทรียวัตถุ 7.95 % นับว่ามีปริมาณสูง จึงช่วยปรับปรุงดินให้ร่วนซุยและเก็บความชื้นได้พอเหมาะ มีผลทำให้รากพืชเจริญเติบโตได้ดี ค่าพีเอช 7.96 ซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างอ่อน มีค่าการนำไฟฟ้า 0.2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร หมายถึงมีเกลือในปริมาณน้อยมากจนไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช มีธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์กับพืช 1.98, 4.06 และ 0.23 % ตามลำดับ

2.5.3 ปุ๋ยคอก

ปุ๋ยคอก คือ มูลซึ่งสัตว์ขับถ่ายและสะสมอยู่ตามพื้นคอก ตลอดจนมูลและน้ำล้างคอกที่รวมอยู่ในสระเก็บน้ำทิ้ง มูลสัตว์ซึ่งรวบรวมได้มากพอที่จะใช้เป็นปุ๋ย ได้แก่ มูลโค กระบือ สุกร และสัตว์ปีก ในมูลสัตว์ดังกล่าวมีฟาง วัสดุรองคอก เศษพืช เศษอาหาร และปัสสาวะรวมกัน ในแต่ละปีมีมูลสัตว์รวมกันประมาณ 35 ล้านตัน (น้ำหนักสด) ส่วนมากนำไปใช้เป็นปุ๋ย แต่ยังมีอีกส่วนหนึ่งที่เหลือทิ้งไว้ในคอกหรือระบายออกไปกับน้ำล้างคอกลงสู่ทางน้ำสาธารณะ และก่อมลพิษกับแหล่งน้ำ อย่างไรก็ตามหากสามารถนำมูลสัตว์มาใช้เป็นปุ๋ยคอกสามารถช่วยเพิ่มผลิตภาพของดินให้สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยคอกมีทั้งอาหารธาตุหลัก ธาตุรอง และจุลธาตุ พืชจะได้รับประโยชน์จากการใส่ปุ๋ยคอกสองประการ คือ 1) ธาตุอาหารพืชรูปที่เป็นประโยชน์อย่างช้าๆ และต่อเนื่องด้วยกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ 2) ปรับปรุงสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพของดิน ซึ่งจะเกิดผลเพิ่มพูนขึ้นจากการใส่ปุ๋ยคอกหลายๆ ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในปุ๋ยคอกที่ได้จากสัตว์ต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์มูลสัตว์แต่ละชนิด ย่อมผันแปรตามคุณภาพอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ และสภาพการเก็บรักษาปุ๋ยคอก โดยปกติระบบการย่อยอาหารของสัตว์สามารถดูดซึมสารอาหารไปได้เพียงบางส่วน ที่เหลือจะออกมากับสิ่งขับถ่าย กล่าวคือประมาณร้อยละ 75 ของไนโตรเจน ร้อยละ 80 ของฟอสฟอรัส และร้อยละ 90 ของโพแทสเซียมในอาหารจะตกค้างอยู่ในมูลที่ขับถ่าย ดังนั้นปุ๋ยคอกจึงเป็นแหล่งสำคัญของธาตุอาหารพืช

ตารางที่ 2.4 แสดงความเข้มข้นต่อน้ำหนักแห้งของธาตุอาหารในมูลสัตว์ 4 ชนิด

ธาตุอาหาร	โคนม	โคเนื้อ	ไก่	สุกร
น้ำ (%)	75	80	35	72
N (%)	2.4	1.9	4.4	2.1
P (%)	0.7	0.7	2.1	0.8
K (%)	2.1	2.0	2.6	1.2
Ca (%)	1.4	1.3	2.3	1.6
Mg (%)	0.8	0.7	1.0	0.3
S (%)	0.3	0.5	0.6	0.3
Fe (mg/kg)	1,800	5,000	1,000	1,000
Mn (mg/kg)	165	40	413	182
Zn (mg/kg)	165	8	480	390
Cu (mg/kg)	30	2	172	150
B (mg/kg)	20	14	40	75
Mo (mg/kg)	-	1	0.7	0.6

ที่มา : Brady and Weil (2002)

2.6 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช

กิจกรรมสำคัญอย่างหนึ่งของสิ่งมีชีวิตคือ เซลล์สามารถรับเอาสารบางชนิดซึ่งเป็นอาหาร (Nutrients) จากสิ่งแวดล้อมเข้าไปใช้ในการสังเคราะห์องค์ประกอบของเซลล์ และสารที่ใช้พลังงาน อาหารของพืชนั้นเป็นอนินทรีย์สารซึ่งประกอบด้วยธาตุต่างๆ สารเหล่านี้ได้มาจากอากาศ น้ำ ดิน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนเทรตไอออน (NO_3^-) และฟอสเฟตไอออน (PO_4^{3-}) เป็นต้น จึงเรียกเรื่องราว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เกี่ยวกับอาหารของพืชให้แตกต่างไปจากสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ว่า ธาตุอาหารพืช (Mineral Plant Nutrition) เนื่องจากธาตุที่พบในพืชไม่น้อยกว่า 60 ธาตุนั้น มิได้จำเป็นต่อการดำรงชีพของพืชทั้งหมด การกำหนดว่าธาตุใดเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช มีหลักพิจารณา 2 ประการคือ

1. ธาตุหนึ่งเป็นธาตุที่จำเป็นต่อพืช เมื่อพืชไม่อาจดำรงชีวิตหากปราศจากธาตุนั้นโดยสิ้นเชิง
2. ธาตุหนึ่งเป็นธาตุที่จำเป็นต่อพืช เมื่อพิสูจน์ได้ว่าธาตุนั้นเป็นองค์ประกอบของสารที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของพืช

ธาตุอาหารของพืชที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางมีอยู่ 16 ธาตุ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ ธาตุอาหารมหัพภาค (Macronutrients หรือ Major Elements) และธาตุอาหารจุลภาคหรือธาตุอาหารเสริม (Micronutrients หรือ Minor Elements)

2.6.1 ธาตุอาหารมหัพภาค (Macronutrients)

ธาตุอาหารมหัพภาค หมายถึง ธาตุที่พืชต้องการปริมาณมากและสะสมในเนื้อเยื่อพืชในความเข้มข้นสูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พืชแห้ง) มี 9 ธาตุ ได้แก่ ไฮโดรเจน (H) คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) สำหรับไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เรียกรวมกันว่า ธาตุอาหารหลัก (Primary Nutrient Elements) หรือธาตุปุ๋ย (Fertilizer Elements) เนื่องจากพืชต้องการในปริมาณมาก แต่พืชได้รับจากดินไม่ค่อยเพียงพอ จึงมีการใช้ปุ๋ยที่ประกอบด้วยธาตุทั้งสาม ส่วนแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน เรียกว่า ธาตุอาหารรอง (Secondary Nutrient Elements) เพราะไม่มีปัญหาความขาดแคลนในดินทั่วๆ ไปเหมือนสามธาตุแรก แคลเซียมและแมกนีเซียมนั้นเรียกว่า (Lime Elements) เนื่องจากปูนที่ใช้เพื่อแก้ไขดินกรดมีสองธาตุนี้เป็นธาตุหลัก

พืชชั้นสูงได้รับธาตุคาร์บอน และออกซิเจนที่ต้องการจากอากาศโดยตรง คาร์บอนเข้าสู่พืชในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทางปากใบ ส่วนออกซิเจนเข้าสู่พืชในรูปก๊าซออกซิเจนทั้งทางปากใบและทางผิวของราก ไฮโดรเจนนั้นพืชได้จากไฮโดรเจนอะตอมที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของน้ำ ธาตุอาหารมหัพภาคที่เหลืออีก 6 ธาตุพืชได้มาจากดินทั้งสิ้น

ธาตุอาหารจุลภาคหรือธาตุอาหารเสริม หมายถึง ธาตุที่พืชต้องการปริมาณน้อยและสะสมในเนื้อเยื่อพืชในความเข้มข้นต่ำกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พืชแห้ง) ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) โบรอน (B) โมลิบดินัม (Mo) และคลอรีน (Cl) นอกจากธาตุเหล็กแล้ว จุลธาตุอาหารเหล่านี้ยังพบอยู่ในดินในปริมาณที่น้อยมาก ยิ่งกว่านั้นอัตราที่จะเปลี่ยนมาสู่รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชยังเป็นไปอย่างช้าๆ อีกด้วย แม้ว่าพืชใช้ธาตุเหล่านี้ในปริมาณน้อยก็ตาม แต่เมื่อปลูกพืชต่อเนื่องกันเป็นเวลานานพืชก็อาจขาดแคลนได้ ดินที่มักขาดหรือมีธาตุอาหารพวกนี้ไม่พอเพียง ได้แก่ ดินทราย ดินอินทรีย์ และดินด่าง ทั้งนี้เพราะในดินทรายมีธาตุพวกนี้ในปริมารต่ำ ส่วนในดินอินทรีย์และดินด่างจัดอาจมีธาตุพวกนี้พอประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์พืชแห้ง พบว่าประมาณ 96 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของพืชประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน มีเพียง 4 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นที่เป็นธาตุอื่นๆ แต่เป็นธาตุอาหารที่เป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโตของพืช ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เพียงพอสำหรับพืชแต่ละชนิดย่อมแตกต่างกันไป แต่ค่าโดยประมาณสำหรับพืชโดยทั่วไปดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชทั่วไป และความเข้มข้นในเนื้อเยื่อซึ่งจัดว่าเพียงพอ

ธาตุ	สัญลักษณ์ธาตุ	รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	ความเข้มข้นในเนื้อเยื่อพืช	
			%	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ไฮโดรเจน	H	H_2O	6	-
คาร์บอน	C	CO_2	45	-
ออกซิเจน	O	O_2, H_2O	45	-
ไนโตรเจน	N	NH_4^+, NO_3^-	1.5	-
โพแทสเซียม	K	K^+	1	-
แคลเซียม	Ca	Ca^{2+}	0.5	-
แมกนีเซียม	Mg	Mg^{2+}	0.2	-
ฟอสฟอรัส	P	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}	0.2	-
กำมะถัน	S	SO_4^{2-}	0.1	-
คลอรีน	Cl	Cl^-	-	100
เหล็ก	Fe	Fe^{2+}, Fe^{3+}	-	100
โบรอน	B	H_3BO_3, $B_4O_7^{2-}$	-	20
แมงกานีส	Mn	Mn^{2+}	-	50
สังกะสี	Zn	Zn^{2+}	-	20
ทองแดง	Cu	Cu^+, Cu^{2+}	-	6
โมลิบดินัม	Mo	MoO_4^{2-}	-	0.1

ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541

ความต้องการธาตุใดธาตุหนึ่งของพืชนั้น เป็นความต้องการเฉพาะเจาะจง เพราะธาตุดังกล่าวมีหน้าที่เฉพาะในโครงสร้างของเซลล์ สำหรับหน้าที่สำคัญและอาการขาดธาตุอาหารทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหารดังตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 หน้าที่สำคัญของธาตุอาหารพืช และอาการขาดแคลนธาตุอาหารของพืช

ธาตุ	หน้าที่สำคัญ	อาการขาดธาตุ
ไนโตรเจน	เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลีอิค และเอนไซม์ในพืช ส่งเสริมการเจริญเติบโตของยอดอ่อน ใบ และกิ่งก้าน	โตช้า ใบล่างมีสีเหลืองซีดทั้งแผ่นใบ ต่อมากลายเป็นสีน้ำตาลแล้วร่วงหล่นหลังจากนั้นใบบนๆ ก็มีสีเหลือง
ฟอสฟอรัส	ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีนและสารอินทรีย์ที่สำคัญในพืช เป็นองค์ประกอบของสารที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการต่างๆ	ใบล่างเริ่มมีสีม่วงตามแผ่นใบ ต่อมาใบเป็นสีน้ำตาลและร่วงหล่น ลำต้นแกร็น ไม่ผลิดอกออกผล
โพแทสเซียม	ช่วยสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีน ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายของน้ำตาลจากใบไปยังผล ช่วยให้ผลเจริญเติบโตเร็ว พืชแข็งแรง มีความต้านทานต่อโรคบางชนิด	ใบล่างมีอาการเหลือง แล้วกลายเป็นสีน้ำตาลตามขอบใบแล้วลุกลามเข้ามาเป็นหย่อมๆ ตามแผ่นใบ อาจพบว่าแผ่นใบโค้งเล็กน้อย รากเจริญช้า ลำต้นอ่อนแอ ผลไม่เติบโต
แคลเซียม	เป็นองค์ประกอบในสารที่เชื่อมผนังเซลล์ให้ติดกัน ช่วยในการแบ่งเซลล์ การผสมเกสร การงอกของเมล็ด และช่วยให้เอนไซม์บางชนิดทำงานได้ดี	ใบที่เจริญใหม่ๆหงิก ตายอดไม่เจริญ อาจมีจุดดำที่เส้นใบ รากสั้น ผลแตก และมีคุณภาพไม่ดี
แมกนีเซียม	เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ช่วยสังเคราะห์กรดอะมิโน วิตามิน ไขมัน และน้ำตาล ทำให้สภาพกรด-ด่างในดินพอเหมาะ ช่วยในการงอกของเมล็ด	ใบแก่จะเหลือง ยกเว้นเส้นใบ และใบร่วงหล่นเร็ว
กำมะถัน	เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน โปรตีน และวิตามิน	ใบทั้งบนและล่างมีสีเหลืองซีด และต้นอ่อนแอ
โบรอน	ช่วยในการออกดอกและการผสมเกสร ช่วยในการติดผลและการเคลื่อนย้ายน้ำตาลมาสู่ผล การเคลื่อนย้ายของฮอร์โมน	ตายอดตายแล้วเริ่มมีตาข้าง แต่ตาข้างจะตายอีก ลำต้นไม่ค่อยยืดตัว กิ่งและใบจึงชิดกัน ใบเล็ก หนา โค้งและเปราะ
ทองแดง	ช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ การหายใจ การใช้โปรตีนและแป้ง กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์บางชนิด	ตายอดชะงักการเจริญเติบโตและกลายเป็นสีดำ ใบเหลืองอ่อน พืชทั้งต้นชะงักการเจริญเติบโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลอรีน	มีบทบาทบางประการเกี่ยวกับฮอร์โมนในพืช	พืชเหี่ยวง่าย ใบสีซีดและบางส่วนแห้งตาย
เหล็ก	ช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ มีบทบาทในการสังเคราะห์แสงและการหายใจ	ใบอ่อนมีสีขาวซีดในขณะที่ใบแก่ยังเขียวสด
แมงกานีส	ช่วยในการสังเคราะห์แสงและการทำงานของเอนไซม์บางชนิด	ใบอ่อนมีสีเหลืองในขณะที่เส้นใบยังเขียว ต่อมาใบที่มีอาการดังกล่าวจะเหี่ยวและร่วงหล่น
โมลิบดินัม	ช่วยให้พืชใช้ไนเทรตให้เป็นประโยชน์การสังเคราะห์โปรตีน	พืชมีอาการคล้ายขาดไนโตรเจน ใบมีลักษณะโค้งคล้ายถ้วย ปรากฏจุดเหลืองๆ ตามแผ่นใบ
สังกะสี	ช่วยในการสังเคราะห์ออกซิน (ฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่ง) คลอโรฟิลล์ และแป้ง	ใบอ่อนมีสีเหลืองซีดและปรากฏสีขาวๆ ประปรายตามแผ่นใบ โดยเส้นใบยังเขียว รากสั้นไม่เจริญตามปกติ

ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541

2.7 โลหะหนักต่อการเจริญเติบโตของพืช

กรองแก้ว (2552) กล่าวว่า โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จัดว่าเป็นโลหะหนัก เกิดตามสภาพธรรมชาติชั้นหิน พบน้อยกว่า 1 % ในชั้นหิน ถือว่ามีความเข้มข้นในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ แต่เมื่อเวลาผ่านไปเกิดกระบวนการกำเนิดดิน ทำให้โลหะหนักเหล่านี้ละลายหรือปนเปื้อนดินมาได้และมีปริมาณมากในระดับเกิดพิษได้ โลหะหนักในบางครั้งจึงนิยามว่าเป็นโลหะหนักที่มีปริมาณน้อย (Trace Metals) หรือธาตุที่มีศักยภาพในการเกิดพิษ (Potentially Toxic Elements) โลหะหนักที่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในดินได้ถ้ามีปริมาณมากเกินไป แต่ในขณะเดียวกันบางชนิดจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตด้วย ซึ่งในกรณีนี้ถือว่าโลหะหนักดังกล่าวเป็นสารอาหารชนิดจุลภาค (Micronutrients) และถ้าขาดหรือมีปริมาณน้อยจะก่อให้เกิดโรคหรือทำให้พืชและสัตว์นั้นตายได้ เช่น โคบอลต์ (Co) สำหรับแบคทีเรียและสัตว์ โครเมียม (Cr) สำหรับสัตว์ ทองแดง (Cu) สำหรับพืชและสัตว์ แมงกานีส (Mn) สำหรับพืชและสัตว์ โมลิบดีนัม (Mo) สำหรับพืช นิกเกิล (Ni) สำหรับพืช ซีลีเนียม (Se) สำหรับสัตว์ สังกะสี (Zn) สำหรับพืชและสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แม้ว่าพืชจะดูดซึมโลหะทางรากและเคลื่อนย้ายไปที่ใบและลำต้นก็ตาม โลหะบางประเภทเคลื่อนย้ายได้ดีกว่าโลหะประเภทอื่น พืชแต่ละชนิดมีการสะสมโลหะต่างกันและโลหะบางประเภทมีการสะสมได้ไม่เท่ากันในพืชแต่ละชนิด เช่น มันฝรั่ง มะเขือเทศ ไม่ดูดซึมโลหะมากเท่ากับ Red Beet และต้น Leeks เป็นต้น ส่วนตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) จะสะสมอยู่ที่ราก ขณะที่ธาตุอื่นๆ เช่น สังกะสี (Zn) และแคดเมียม (Cd) จะสะสมอยู่ในใบผัก ผลกระทบของโลหะขึ้นอยู่กับการปลูก พืชที่ปลูกโดยใช้รากบางชนิดจะมีความไวต่อนิกเกิล (Ni) และสังกะสี (Zn) มากกว่าธัญพืชและหญ้า โดยทั่วไปเนื้อเยื่อของผักกินใบมีการสะสมโลหะหนักเข้มข้นสูงกว่าธัญพืช พืชจะดูดซึมสังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) และโบรมีน (Br) ได้ดีกว่าทองแดง (Cu) โครเมียม (Cr) ตะกั่ว (Pb) และปรอท (Hg) โลหะส่วนใหญ่สะสมในพืช ซึ่งในตารางที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่าโลหะหนักใดบ้างที่แสดงพฤติกรรมว่าเป็นสารที่จำเป็นต่อพืชและสัตว์ และ/หรือสามารถแสดงความเป็นพิษต่อพืชและสัตว์ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ผลของโลหะต่อพืชและสัตว์

โลหะ	พฤติกรรมที่แสดงว่าเป็นสารที่จำเป็นหรือมีประโยชน์		พฤติกรรมแสดงความเป็นพิษ	
	พืช	สัตว์	พืช	สัตว์
อะลูมิเนียม (Al)	ไม่	ไม่	pH < 5.5*	-
เหล็ก (Fe)	เป็น	เป็น	pH < 5*	-
แมงกานีส (Mn)	เป็น	เป็น	pH < 5*	-
สังกะสี (Zn)	เป็น	เป็น	เป็น	10-20 ppm**
ทองแดง (Cu)	เป็น	เป็น	เป็น	เป็นไปไม่ได้
นิกเกิล (Ni)	ไม่	อาจจะ	เป็น	เป็น
แคดเมียม (Cd)	ไม่	ไม่	-	เป็น
ตะกั่ว (Pb)	ไม่	ไม่	-	-
โครเมียม (Cr)	ไม่	เป็น	-	-
ปรอท (Hg)	ไม่	ไม่	-	เป็น

* เกิดความเป็นพิษในดินกรด

** ความเข้มข้นในส่วนของพืชแห้งซึ่งอาจจะเป็นพิษต่อสัตว์ที่บริโภคพืชนั้น

ที่มา : วันเพ็ญ และ อารีรัตน์, 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

117305

2.8 ปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

การที่พืชจะสร้างผลผลิต น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ดอกผล หรือเมล็ดได้นั้น ต้องมีปัจจัยหลายอย่างเข้าร่วมกันกระทำแบบสืบเนื่องต่อกันเป็นระยะเวลาหนึ่ง จึงเกิดผลเช่นที่ปรากฏ ดังนั้น ปัจจัยต่าง ๆ และลักษณะที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช จึงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ตลอดเวลาที่พืชดำรงชีพโดยเริ่มจากเมล็ดกลายเป็นต้นกล้า แล้วเติบโตเป็นต้นโตแก่พอติดดอกออกผลและให้เมล็ดได้นั้น ต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ มากมาย ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

2.8.1 พันธุกรรม

พันธุกรรม เป็นหน่วยขนาดเล็กมากที่สุด สำคัญที่สุดของจุดชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย เป็นหน่วยที่สืบช่วงจากพ่อแม่ไปสู่ลูก ทำหน้าที่ควบคุมลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตที่ปรากฏออกมาให้เห็น เช่น ควบคุมให้มีรูปร่าง (ความสูง ทรงใบ ทรงปล้อง ตา ฯลฯ) คุณภาพ (ความหวาน ความสามารถในการใช้อาหารแร่ธาตุ ฯลฯ) แต่บางครั้งก็ไม่มีอำนาจมากพอที่จะบังคับให้แสดงลักษณะออกมาให้ปรากฏ แต่พันธุกรรมนี้จะยังแฝงอยู่ในสิ่งนั้นและสืบพันธุ์ช่วงต่อไปได้ แต่บางครั้งต้องรอโอกาสที่เหมาะสมจึงจะแสดงออกมา เช่น ต้องรอจนพืชอ่อนแอเป็นต้นว่า กรณีของอ้อยต่อปี 2-3 หรืออ้อยปลูกที่ใช้พันธุ์ซึ่งผ่านการขยายพันธ์มาหลายช่วงแล้ว ลักษณะที่ไม่ดีบางประการจะโผล่ออกมาให้เห็น

พันธุกรรมที่แฝงอยู่ในพืชแต่ละชนิดแต่ละพันธุ์มีหลายตัวและแตกต่างกันไป บางตัวก็ควบคุมให้ได้ผลผลิตสูง ให้ทนแล้ง ให้มีความหวานสูง ให้มีทรงใบดี และการทิ้งใบเร็ว บ้างก็เป็นลักษณะไม่ดี เช่น ต้นเล็กแคระแกรน อ่อนแอไม่ต้านทานโรค ฯลฯ

พันธุกรรมที่แฝงมาในพันธุ์พืชเป็นสิ่งที่ควบคุมให้พืชแต่ละชนิด แต่ละพันธุ์มีลักษณะดีเลวต่างๆ กัน โดยพันธุกรรมเป็นตัวกำหนดขอบเขตความสามารถสูงสุดของพืชแต่ละชนิดแต่ละพันธุ์ (ขอบเขตสูงสุดนี้ อาจปรากฏออกมาแล้วหรือยังแฝงอยู่ ทั้งนี้สุดแต่กำลังของพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมอื่นที่เกี่ยวพันด้วย) การเลือกใช้พันธุ์ที่ดีที่มีพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะดีและพึงประสงค์ ประกอบกับการจัดการให้สภาพแวดล้อมอื่นๆ เหมาะสมด้วยย่อมมีผลให้ผลผลิตสูงขึ้น การเลือกใช้พันธุ์ที่ดีจึงเป็นทางลัดในการเพาะปลูก เพราะมีโอกาสที่ดีที่จะได้ผลผลิตสูงอย่างทันที

2.8.2 พลังงานแสงอาทิตย์

แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหลักของสิ่งมีชีวิตทั่วไป โดยเฉพาะพืชที่มีสารสีเขียวที่เรียกว่า คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) คลื่นแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดง เป็นคลื่นแสงที่สารสีเขียวของพืชดูดซับไว้ได้มาก และมีบทบาทสำคัญยิ่งในการใช้เป็นพลังงานในการสังเคราะห์แป้ง-น้ำตาลจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำที่ใบพืช ปริมาณของพลังงานแสงที่พืชได้รับขึ้นอยู่กับความมากน้อยของแสงอาทิตย์ มุมที่แสงตกกระทบ ลักษณะการตั้ง และการหันหน้าเข้าหาแสงของใบ ยาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เที่ยงวันย่อมมีแสงจ้ามากกว่ายามเช้าตรู่หรือยามพระอาทิตย์ตกดิน วันที่ไม่มีเมฆหมอกดีกว่าวันฝนครึ้ม วันยาวย่อมดีกว่าวันสั้น และใบพืชที่ตั้งทำมุม 30-45 องศากับต้นย่อมดีกว่าใบแบนทำมุมฉากกับต้นพืช

การศึกษาอิทธิพลของแสงต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยความเข้มแสงมีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์แสงของพืชมากแต่หากพืชได้รับความเข้มแสงเป็นระเวลานานๆ จะทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต เพราะการสังเคราะห์แสงของพืชเกิดมาก ออกซิเจนซึ่งเป็นผลพลอยได้จะนำไปใช้ในส่วนต่างๆ ของเซลล์จะมีผลไปยับยั้งเอนไซม์ ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์แสงจะเป็นสาเหตุให้ปากใบปิด เร่งอัตราการหายใจมากขึ้น นอกจากนี้ความเข้มแสงที่มากเกินไปจะทำให้พืชมีการคายน้ำเกิดขึ้นในปริมาณมากอย่างรวดเร็วทำให้พืชเหี่ยวลง

ความเข้มของแสงยังมีอิทธิพลต่อพืชโดยรอบ เช่น การเจริญเติบโตของพืชในที่มืดจะมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงมาก ลำต้นบอบบาง ใบจะมีการขยายตัวน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบในพืชที่มีการเจริญเติบโตในแสงปกติ ซึ่งมีลำต้นเตี้ยกว่า ทั้งนี้เพราะแสงมีอิทธิพลในการทำลายการเจริญเติบโต ใบพืชที่อยู่ในความเข้มแสงจะมีการขยายตัวได้น้อยลง

2.8.3 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่มีกิจกรรมเพื่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตดำเนินเป็นปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 15-35 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 15 หรือสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส กิจกรรมเพื่อการดำรงชีพต่างๆ จะผิดปกติ มีผลทำให้การเจริญเติบโตผิดปกติ เช่น อุณหภูมิสูง อัตราการหายใจเร็วขึ้น เผาพลาญแป้งน้ำตาลมากขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่ำลง สภาพภูมิอากาศของประเทศไทยไม่มีปัญหาของอุณหภูมิสูง หรือต่ำเกินไปจนเป็นผลยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช ยกเว้นบางบริเวณในฤดูหนาวที่อุณหภูมิลดต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส

ในด้านอิทธิพลของอุณหภูมิต่อพืช อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมขบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในพืช ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการทางฟิสิกส์หรือขบวนการทางเคมีของพืช อุณหภูมิจะมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืช ปฏิกิริยาส่วนใหญ่ในขบวนการสังเคราะห์แสงจะถูกคะตะไลต์โดยน้ำย่อย (Enzyme) ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 30-35 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิต่ำจะทำให้การสังเคราะห์แสงช้าลงทำให้การแพร่ของ CO_2 เข้าไปในใบเกิดช้า และอุณหภูมิสูงเกินถึง 50 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้น้ำย่อยถูกทำลายสูญเสียสภาพไปจนไม่สามารถคะตะไลต์ปฏิกิริยาได้

อุณหภูมิมีผลทางอ้อมต่อการเร่งอัตราการหายใจ อุณหภูมิที่พอเหมาะแก่สำหรับการหายใจของพืชอยู่ระหว่าง 40-50 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิพอเหมาะสำหรับการสังเคราะห์แสง ถ้าอุณหภูมิสูงเกิน 35 องศาเซลเซียส การสังเคราะห์แสงจะลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะพืชมีการนำเอาแป้งและน้ำตาลที่ได้จากการสังเคราะห์แสงมาใช้ในการหายใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิอากาศเป็นปัจจัยสำคัญต่อปริมาณความชื้นเนื่องจากอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการระเหยของน้ำ ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มความชื้นในอากาศ ถ้าอุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการเพิ่มปริมาณไอน้ำ และไอน้ำในอากาศจะควบคุมการระเหยน้ำไปจากต้นพืชและการระเหยน้ำจากดิน นอกจากนี้ความชื้นในดินยังมีผลต่ออุณหภูมิภายในต้นพืชและการหยั่งรากของพืช ถ้าความชื้นต่ำจะมีผลทำให้เซลพืชเหี่ยวแห้ง ถ้าความชื้นสูงจะมีผลทำให้อินทรียวัตถุในดินเน่าเปื่อยได้ดี

2.8.4 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเป็นวัตถุดิบร่วมกับน้ำในขบวนการสังเคราะห์แสง โดยเกิดขึ้นใบ เมื่อใบสร้างแป้ง-น้ำตาลแล้วส่งต่อไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชตามที่พืชต้องการ ในรายงานการทดลองพิเศษที่บังคับให้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าที่มีอยู่ในอากาศ มีผลทำให้ผลผลิตพืชเพิ่มมากกว่าเดิมได้ แต่ตามสภาวะของธรรมชาติไม่มีทางปฏิบัติได้ อย่างไรก็ตาม ผลของงานทดลองนี้ก็ยืนยันว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ควบคุมผลผลิตพืชได้ ถ้าหากขาดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พืชย่อมไม่สามารถสร้างแป้ง-น้ำตาลได้อย่างเพียงพอ ความเป็นจริงแล้วในอากาศมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ค่อนข้างคงตัวและมากเหลือเฟือ ประกอบกับมีการหมุนเวียนของอากาศเหนือผิวโลกตลอดเวลาย่อมมีการกระจายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้พืชได้อย่างเพียงพอตลอดเวลา ดังนั้นปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ จึงไม่ใช่ปัจจัยที่ควบคุมผลผลิตของพืชไม่ว่าจะปลูกที่ใดในโลก (แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศในดิน ถ้ามีมากเกินไปก็หยุดชะงักการเจริญเติบโตของพืชได้)

2.8.5 ก๊าซออกซิเจน

สิ่งมีชีวิตส่วนมากจำต้องใช้ก๊าซออกซิเจนในการหายใจ สำหรับพืชส่วนที่อยู่ในอากาศหรือในดินล้วนต้องการก๊าซออกซิเจนในการหายใจทั้งนั้น พืชประกอบด้วยหน่วยเล็กที่เรียกว่าเซลล์มากมายและแยกเป็นอิสระจากกันในการหายใจ ส่วนของพืชที่อยู่ในอากาศย่อมไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการขาดแคลนออกซิเจนในการหายใจ เพราะในอากาศมีก๊าซออกซิเจนมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรอยู่แล้ว แต่ส่วนของพืชที่อยู่ใต้ดินโดยเฉพาะรากที่ยังมีชีวิตอยู่จำต้องมีก๊าซออกซิเจนสำหรับหายใจ (ยกเว้นพืชอื่นบางชนิด เช่น ข้าว ซึ่งมีท่ออากาศจากข้อต่อแผ่นใบกับกาบใบต่อลงรากพืชน้ำทั่วไปก็มีท่ออากาศเช่นนี้ รากของพืชน้ำย่อมไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเรื่องนี้ แต่พืชบกทั้งหลายไม่มีท่ออากาศจากใบต่อเชื่อมถึงปลายราก) ดังนั้นรากของพืชเหล่านี้โดยเฉพาะเซลล์ที่ปลายรากต้องได้ก๊าซออกซิเจนจากอากาศในดินเพื่อการหายใจ ถ้าหากปริมาณของก๊าซออกซิเจนในดินไม่เพียงพอย่อมกระทบกระเทือนต่อการเจริญเติบโตของราก ซึ่งจะส่งผลสะท้อนถึงการเจริญเติบโตของต้นพืชโดยส่วนรวมต่อไปด้วย ดังนั้นก๊าซออกซิเจนของอากาศในดินจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งในการควบคุมผลผลิตของพืช ดังจะเห็นได้ชัดในดินอัดแน่นหรือเป็นแผ่น ผิวดินแข็งไม่มีช่องให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศถ่ายเทได้ พืชจะให้ผลต่ำเสมอ หรือถ้าน้ำท่วมโคนพืชสูงกว่าผิวดินนาน 3-7 วันพืชจะตาย แต่พืชบางชนิดสามารถสร้างรากอากาศได้ เช่น ต้นไทรอ้อยที่มีรากอากาศเหนือผิวน้ำ พืชนั้นจะไม่ตาย แต่ผลผลิตก็ต่ำมากเพราะขาดอาหารแร่ธาตุจากดิน

2.8.6 น้ำ

น้ำเป็นสารตั้งต้นร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แป้ง-น้ำตาล โดยทั่วไปแล้วเพียงประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำที่ผ่านเข้าไปในพืชถูกใช้ในการสร้างแป้ง-น้ำตาล และสารอื่นๆ และเป็นน้ำเหลวอยู่ในพืชน้ำอีกกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นน้ำที่คายออกทางใบ น้ำในพืชทำหน้าที่ต่างๆ กัน เช่น ทำให้เซลล์แต่งตัว เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์แป้ง-น้ำตาล ช่วยในการขนย้ายแป้ง-น้ำตาลและสารต่าง ๆ ที่พืชผลผลิตขึ้นส่งไปยังที่เก็บต่างๆ หรือเป็นตัวเจือจางทำให้สิ่งต่างๆ ทำงานได้ตามปกติ เช่น น้ำในโปรโตพลาสม์ (Protoplasm) ทำให้โปรโตพลาสม์ทำงานคล่องตัวไม่แข็งเกาะกันอยู่

น้ำฝนที่ตกลงมาแม้จะถูกใบพืช แต่พืชใช้น้ำเช่นนี้ได้น้อยมากเพราะน้ำเข้าสู่พืชได้เพียงเล็กน้อย น้ำที่เข้าสู่พืชส่วนใหญ่ (98 เปอร์เซ็นต์) มาจากน้ำในดินที่รากดูดเข้ามา ปริมาณน้ำที่พืชต้องการในการดำรงชีพอาจมากกว่า 500-1000 เท่าของน้ำหนักแห้งของพืชเมื่อเฉลี่ยตลอดอายุพืช ดินจะต้องมีน้ำให้พืชใช้อย่างเพียงพอกับการคายน้ำทางใบตลอดเวลา และปริมาณน้ำเพิ่มอีกเล็กน้อย (5 เปอร์เซ็นต์) เพื่อใช้ในการสร้างสมน้ำหนักแห้งและเพื่อทำหน้าที่หล่อเลี้ยงส่วนที่ต้องการน้ำของพืช อัตราการคายน้ำของพืชต้นเล็กอาจเป็นเพียง 0.1 มิลลิเมตรต่อวัน แต่พอพืชโตอัตราการคายน้ำอาจเพิ่มมากเป็น 10 มิลลิเมตรต่อวัน ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาของการที่ดินมีน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโตทันที เพราะไม่มีน้ำไปทำหน้าที่ต่างๆ ในพืช โดยเฉพาะการเต่งตัวของเซลล์ (เพื่อรักษารูปร่าง) และการควบคุมอุณหภูมิภายในต้นพืช ทำให้ขบวนการสังเคราะห์สารต่างๆ หยุดชะงักหมด

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมผลผลิตของพืชที่ปลูกในเขตที่ไม่มีน้ำชลประทาน หรือแหล่งน้ำอื่นเพื่อช่วย น้ำฝนอย่างเดียวไม่อยู่ในสภาพที่จะสามารถให้น้ำแก่พืชที่ปลูกในฤดูฝนอย่างเพียงพอตลอดเวลาที่พืชเจริญเติบโตได้ตามธรรมชาติ ในวันที่ฝนตกหนักอาจมีน้ำมากเกินไป แต่ถ้าฝนทิ้งช่วง 10-20 วัน (ยิ่งถ้าปลูกในกระถางยิ่งเร็วมาก อาจเป็นเพียง 1-2 วันเท่านั้น) น้ำในดินจะมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช ทำให้พืชเหี่ยวและชะงักการเจริญเติบโตได้หรืออาจรุนแรงถึงพืชตายได้

2.8.7 อาหารแร่ธาตุของพืช

ธาตุที่เป็นอาหารแร่ธาตุของพืชที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของพืช 16 ธาตุ คือ คาร์บอน(C) ออกซิเจน (O) ไฮโดรเจน (H) ได้จากน้ำและอากาศซึ่งโดยทั่วไปเกินพอ นอกจากนั้นคือ ไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) กำมะถัน (S) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) โบรอน (B) โมลิบดินัม (Mo) และคลอรีน (Cl) ส่วนมากได้มาจากดิน โดยเฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมในดินมีไม่ค่อยเพียงพอต่อความต้องการของพืช ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องเพิ่มให้ในรูปปุ๋ยต่างๆ เสมอ

พืชต้องได้ธาตุเหล่านี้ในรูปของประจุ (อนุมูล) หรือสารประกอบ เมื่อเข้าไปในพืชแล้วธาตุอาจทำหน้าที่ต่างๆ กัน เช่น เป็นองค์ประกอบของสารที่เป็นโครงสร้างที่จำเป็นของสิ่งมีชีวิตต่างๆ เป็นองค์ประกอบของน้ำย่อยของฮอร์โมนต่างๆ และหน้าที่เฉพาะอื่นๆ อีกมากมาย ถ้าขาดธาตุที่จำเป็นเหล่านี้ธาตุใดธาตุหนึ่ง พืชจะไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้จนครบวงจร พืชต้องได้ธาตุเหล่านี้ในสัดส่วนที่เหมาะสม ถ้าสัดส่วนมากไปหรือน้อยไปย่อมกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์สารต่างๆ ในพืช ทำให้การเจริญเติบโตในพืชผิดปกติ หรือพืชอาจตายได้ นั่นคือในดินต้องมีธาตุอาหารแร่ธาตุของพืชที่จำเป็นเหล่านี้ครบทุกธาตุและต้องเป็นรูปที่พืชดูดกินได้ ปริมาณที่พืชดูดกินได้จะต้องอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม หรือสมดุลกับความต้องการของพืช ไม่เช่นนั้นผลผลิตและคุณภาพของพืชจะผิดปกติไป หรือไม่ดีเท่าที่ควร

ปัญหาของอาหารแร่ธาตุในดินกับความต้องการของพืช เป็นปัญหาที่ยุ่งยากเพราะไม่มีทางทราบได้อย่างถูกต้องว่าทุกขณะตลอดฤดูปลูกดินมีธาตุอาหารเท่าใด และพืชแต่ละชนิดแต่ละพันธุ์ตลอดฤดูปลูกมีสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น น้ำ และอากาศ ฯลฯ แปรเปลี่ยนตลอดเวลา ต้องการธาตุอาหารต่างๆ ในอัตราส่วนและปริมาณใด และยิ่งไปกว่านั้นตลอดระยะเวลาของการเจริญเติบโตต่างๆ ของพืช ยังมีความต้องการอาหารแร่ธาตุแตกต่างกันด้วย

2.8.8 ที่สำหรับหยั่งรากยึดให้ลำต้นตั้งอยู่ได้

พืชที่ล้มเอียงไม่ตั้งตรงมีลักษณะของการแตกกิ่งก้าน และการเจริญเติบโตของส่วนยอดเลวกว่าพืชที่ตั้งตรงเสมอ เพราะการรับแสงไม่ทั่วถึง จึงกระทบถึงการสร้างแป้ง-น้ำตาล การสะสมน้ำหนักแห้ง และการกระจายของฮอร์โมนพืช ดังนั้นการที่มีของบางอย่างให้พืชหยั่งรากและยึดพยุงให้ต้นพืชตั้งตรงย่อมมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช

2.8.9 ความปราศจากศัตรูรบกวน

พืชที่ถูกศัตรู เช่น โรค แมลง หรือสัตว์ ทำลายและวัชพืชแย่งแสง น้ำ อาหารแร่ธาตุ พืชที่อยู่ในลักษณะเช่นนี้ย่อมมีการเจริญเติบโตผิดปกติ ผลผลิต (อาจรวมถึงคุณภาพ เช่น ความหวาน) ลดลงได้ ปริมาณการสูญเสียของผลผลิตขึ้นอยู่กับความมากน้อยของการระบาด และความรุนแรงในการทำลายของเหล่าศัตรู พืชที่ปราศจากศัตรูพืชรบกวนย่อมได้ผลผลิตตามที่ปัจจัยอื่น ๆ ควบคุมไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ข้อมูลของผักเขียวกวางตุ้ง (พืชทดลอง)

ผักเขียวกวางตุ้งเป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Cruciferae เป็นพืชอายุปีเดียว โดยใช้บริโภคส่วนของใบและก้านใบ เป็นผักที่นิยมบริโภคกันมาก ปลูกง่าย เจริญเติบโตเร็ว อายุการเก็บเกี่ยวสั้นเพียง 35-45 วัน ก็สามารถเก็บเกี่ยวได้ เป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูง นำมาประกอบอาหารประเภทผัด แกงจืด ผักจิ้ม เป็นต้น สามารถปลูกได้ทุกฤดูและนิยมปลูกกันทั่วประเทศทั้งในรูปของสวนผักการค้า และสวนผักใกล้บ้านเพื่อบริโภคในครอบครัว

2.9.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

1. ราก เป็นระบบรากแก้วอยู่ในระดับตื้น ส่วนที่ใหญ่สุดของรากแก้วประมาณ 1.20 เซนติเมตร มีรากแขนงแตกออกจากรากแก้วมาก โดยรากแขนงแผ่อยู่ตามบริเวณผิวดิน รากแก้วอาจมีขนาดใหญ่ขึ้น ถ้าดินมีสภาพชื้นและเย็น

2. ลำต้น ตั้งตรง มีสีเขียว ขนาดโตเต็มที่ใช้รับประทานได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.4-1.8 เซนติเมตร สูงประมาณ 43-54 เซนติเมตร ก่อนออกดอกลำต้นจะสั้น มีข้อถี่มาก จนดูเป็นกระจุกที่โคนต้น เมื่อออกดอกแล้วในระยะติดฝักต้นจะสูงขึ้นมาก โดยเฉลี่ยสูงประมาณ 85-144 เซนติเมตร

3. ใบ ใบเลี้ยงมี 2 ใบ มีสีเขียว ปลายใบตรงกลางจะเว้าเข้า ส่วนใบจริงจะแตกเป็นกระจุกที่บริเวณโคนต้น เป็นใบเดี่ยว ใบเรียบไม่ห่อหัว สีเขียว ใบอ่อนมีสีเขียวอ่อน ขอบใบเป็นรอยฟันเลื่อยเล็กมาก ใบแก่ผิวใบเรียบหรือเป็นคลื่นเล็กน้อย ไม่มีขนของใบเรียบหรืออาจมีรอยเว้าตื้นๆ ขนาดเล็ก โคนใบหยักเป็นคลื่นเล็กน้อย ปลายใบมน ก้านใบที่ติดกับลำต้นมีสีเขียวอ่อนเป็นร่องและเรียวกลมขึ้นไปหาแผ่นใบ ก้านใบหนาและมีสีขาวอมเขียว สำหรับใบที่ช่อดอกจะมีก้านใบยาว 2-3 เซนติเมตร รูปใบเรียวแหลมไปทางฐานใบและปลายใบ ขอบใบเรียบ

4. ช่อดอกและดอก ผักกาดเขียวกวางตุ้งจะออกดอกเมื่ออายุประมาณ 55-75 วัน ช่อดอกยาว 50-90 เซนติเมตร ดอกตูมรวมกลุ่มอยู่บนยอดดอกช่อดอก ดอกบานจากด้านล่างไปหาด้านบน ดอกที่บานแล้วมีก้านดอกยาวกว่าดอกที่ตูม ดอกเป็นแบบสมบูรณ์เพศ ขนาดดอก 1-1.5 เซนติเมตร กลีบชั้นนอกสีเขียวอ่อน 4 อัน กลีบชั้นในสีเหลืองสด 4 อันแยกเป็นกลีบๆ มีเกสรตัวผู้ 6 อัน รังไข่อยู่เหนือกลีบดอกและเกสรตัวผู้ ยอดเกสรตัวเมียเป็นตุ่มสีเหลืองอ่อน

5. ผล ผลมีลักษณะเป็นฝัก รูปร่างเรียวยาว แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนปลายไม่มีเมล็ด ยาวประมาณ 0.9-1.5 เซนติเมตร และส่วนที่มีเมล็ดยาวประมาณ 3-4.1 เซนติเมตร กว้าง 0.3-0.5 เซนติเมตร ก้านผลยาว 1.3-2.5 เซนติเมตร ผลตั้งขึ้น เมื่อผลแก่จะแตกตามยาวจากโคนไปหาปลายผลเมื่ออ่อนมีสีเขียว ผลแก่มีสีน้ำตาล

6. เมล็ด เมล็ดค่อนข้างกลม มีทั้งสีน้ำตาลและสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ ผิวเมล็ดมีลายแบบร่างแห เห็นไม่ค่อยชัด น้ำหนัก 1,000 เมล็ดประมาณ 2.5 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 พันธุ์

ผักกาดเขียวกวางตุ้งที่นิยมปลูกและบริโภคกันมากคือ ผักกาดเขียวกวางตุ้งใบ สำหรับพันธุ์ผักกาดเขียวกวางตุ้งใบที่ทางกรมวิชาการเกษตรส่งเสริมแนะนำคือ "พันธุ์น่าน 1" ลักษณะประจำพันธุ์ เป็นผักกาดชนิดไม่ห่อปลี ส่วนกลางของก้านใบค่อนข้างหนา ใบมีสีเขียวอ่อน ความยาวเฉลี่ย 19.5 เซนติเมตร (อายุ 40 วัน) ความหนาของก้านใบเฉลี่ย 0.9 เซนติเมตร ความกว้างเฉลี่ย 1.3 เซนติเมตร ใบสีเขียว ลักษณะยาวรี ความยาวของใบเฉลี่ย 30 เซนติเมตร กว้าง 19 เซนติเมตร ความสูงเมื่ออายุ 40 วัน เฉลี่ย 57.26 เซนติเมตร น้ำหนักต้นเฉลี่ย 550 กรัม ออกดอกเมื่ออายุ 50 วัน

ลักษณะเด่นของพันธุ์น่าน 1 คือ เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตเร็ว อายุสั้น เก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุระหว่าง 30-40 วัน น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นสูง ต้นไม่แตกแขนงทำให้เสียหายน้อยในการบรรจุเพื่อการขนส่ง ไม่ออกดอกก่อนอายุ 40 วัน จึงสามารถทยอยเก็บเกี่ยวส่งตลาดได้ตั้งแต่อายุ 30-40 วัน แต่ข้อเสียของพันธุ์น่าน 1 ก็คือ ไม่ต้านทานต่อโรคราน้ำค้าง

2.9.3 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

ผักกาดเขียวกวางตุ้งสามารถขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิด แต่จะเจริญได้ดีที่สุดในสภาพดินร่วนปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ดี มีอินทรียวัตถุสูง ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) ควรอยู่ระหว่างสภาพเป็นกรดเล็กน้อยจนถึงปานกลาง คือ pH อยู่ระหว่าง 6-6.8 ชอบดินที่มีความชื้นสูงเพียงพอสม่ำเสมอ ได้รับแสงแดดเต็มที่ตลอดวัน อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 20-25 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามในประเทศไทยสามารถปลูกผักกาดเขียวกวางตุ้งได้ตลอดปี

2.9.4 การปลูก

ในการปลูกผักกาดเขียวกวางตุ้งนิยมทำกัน 2 วิธีด้วยกัน คือ

1. การปลูกแบบหว่านเมล็ดโดยตรง

วิธีนี้นิยมใช้ในการปลูกแปลงที่ยกร่อง มีร่องน้ำกว้าง และพื้นที่ควรมีการเตรียมอย่างดี และเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวกวางตุ้งมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นก่อนหว่านควรผสมกับทรายเสียก่อน โดยใช้เมล็ดพันธุ์ 1 ส่วนผสมกับทรายสะอาด 3 ส่วน แล้วหว่านให้กระจายทั่วแปลงสม่ำเสมอแล้วหว่านกลบด้วยปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักหนาประมาณ 1/2-1 เซนติเมตร หลังจากนั้นคลุมด้วยฟางข้าวบางๆ เพื่อช่วยเก็บรักษาความชุ่มชื้นในดิน เสร็จแล้วรดน้ำให้ชุ่มหลังจากงอกได้ประมาณ 20 วัน ควรทำการถอนและจัดให้มีระยะระหว่างต้น 20-25 เซนติเมตร

2. การปลูกแบบโรยเมล็ดเป็นแถว

การปลูกวิธีนี้หลังจากเตรียมดินแล้วจึงทำร่องลึกประมาณ 1.5-2 เซนติเมตร ให้เป็นแถวโดยให้ระยะระหว่างแถวห่างกัน 20-25 เซนติเมตร นำเมล็ดพันธุ์ผสมกับทราย แล้วทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรยหรือหยอดเมล็ดเป็นแถวตามร่อง แล้วกลบด้วยปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักบางๆ คลุมด้วยฟางข้าวบางๆ รดน้ำให้ชุ่มด้วยสม่ำเสมอ หลังจากปลูกได้ประมาณ 20 วัน หรือต้นกล้ามีใบ 4-5 ใบ จึงทำการถอนแยกในแถว โดยพยายามจัดระยะระหว่างต้นให้ห่างกันประมาณ 20-25 เซนติเมตร ให้เหลือหลุมละ 1 ต้น

2.9.5 การดูแลรักษา

1. การให้น้ำ เนื่องจากผักกาดเขียวกวางตุ้งเป็นผักที่ต้องการน้ำมาก และมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ดังนั้นต้องให้น้ำอย่างเพียงพอและสม่ำเสมอ อย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง โดยใช้ระบบพ่นฝอยหรือใช้สายยางติดหัวฝักบัว อย่าให้ผักกาดเขียวกวางตุ้งขาดน้ำในระยะการเจริญเติบโต เพราะจะทำให้ผักกาดเขียวกวางตุ้งชะงักการเจริญเติบโตได้

2. การใส่ปุ๋ย เนื่องจากผักกาดเขียวกวางตุ้งเป็นผักกินใบและก้านใบ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยควรใช้ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) หรือแอมโมเนียมซัลเฟต อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นการเร่งการเจริญเติบโตทางใบและก้านใบให้เร็วขึ้น หรือใช้ปุ๋ยสูตร 20-11-11 หรือสูตรใกล้เคียง ในอัตรา 30-50 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากใส่ปุ๋ยทุกครั้งควรมีการราดน้ำตามทันที อย่าให้ปุ๋ยตกค้าง

3. การพรวนดินและกำจัดวัชพืช ควรทำให้ระยะแรกพร้อมกับการถอนแยก

2.9.6 การเก็บเกี่ยว

อายุการเก็บเกี่ยวของผักกาดเขียวกวางตุ้งประมาณ 35-45 วัน การเก็บเกี่ยวโดยเลือกต้นที่มีขนาดใหญ่ตามต้องการ แล้วใช้มีดตัดที่โคนต้น แล้วทำการตัดแต่งใบนอกที่แก่หรือใบที่ถูกโรคหรือแมลงทำลายออก หลังจากตัดแต่งแล้วจึงบรรจุภาชนะเพื่อส่งจำหน่ายต่อไป สำหรับการเก็บรักษา เนื่องจากผักกาดเขียวกวางตุ้งเป็นผักอวบน้ำ ดังนั้นการเก็บรักษาจึงควรเก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 0 องศาเซลเซียสที่ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานถึง 3 สัปดาห์

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 งานวิจัยภายในประเทศไทย

วันเพ็ญ และอารีรัตน์ (2543) ได้ศึกษาการนำกากตะกอนน้ำเสียจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลังมาปลูกคะน้า พบว่าตะกอนน้ำเสียมีธาตุอาหารของพืชในปริมาณพอสมควร ได้ทำการทดลองโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกเป็นการศึกษาเปรียบเทียบอัตราส่วนของวัสดุปลูก เพื่อศึกษาถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า ส่วนที่สองเป็นการเปรียบเทียบสูตรของตะกอนหมักสูตรต่างๆ ซึ่งการทดลองทั้ง 2 มีดินเป็นตัวควบคุม ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ หลังจากเก็บเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของผักคะน้าโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ และวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผักคะน้า

ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของวัสดุปลูกที่ทำให้ผักคะน้าเจริญเติบโตได้ดีที่สุด ได้แก่ ตะกอน 25% + ดิน 75% ซึ่งมีน้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.8044 กรัม ผักคะน้าเจริญเติบโตในดินได้ดีกว่าดินทราย สูตรของตะกอนหมักที่ทำให้ผักคะน้าเจริญเติบโตได้ดีที่สุด ได้แก่ ตะกอน + มูลไก่ + มูลนก + รำละเอียด ที่ไม่ได้ใส่ยูเรีย ซึ่งมีน้ำหนักแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.2568 กรัม ผักคะน้าเจริญเติบโตได้ในตะกอนหมักที่ไม่ได้ใส่ยูเรียดีกว่าในตะกอนหมักที่ใส่ยูเรีย และผักคะน้าหลังเก็บเกี่ยวพบว่ามีปริมาณโลหะหนักอยู่น้อยมาก

ภูวรักษ์ (2544) ได้ศึกษาการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดิน ร่วมกับไรโซเบียมเพื่อการเพาะชำกล้าไม้กระถินเทพา โดยศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และเชื้อไรโซเบียมที่ได้รับการคัดเลือก แล้วต่อการเจริญเติบโตของกล้ากระถินเทพาที่ได้รับการคัดเลือกจำนวน 2 แม่ไม้ การทดลองนี้ ได้ทำการสุ่มตัวอย่างโดยใช้การทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCB) ซึ่งประกอบไปด้วย 11 ตำรับการทดลองๆ ละ 4 ซ้ำต่อแม่ไม้ 1 ชนิด แล้วเปรียบเทียบผลการ ทดลอง ทั้งด้านความสูง ความโตที่คอราก น้ำหนักแห้งรวม อัตราการตรึงไนโตรเจน และ เปอร์เซนต์ไนโตรเจนของกระถินเทพา รวมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเข้าสร้างปมของ ไรโซเบียมสายพันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือกจากการทดลอง โดยวิธีการทางเซรุ่มวิทยาและวิธี Enzyme-Linked Immunosorbent Assay สำหรับข้อมูลที่ได้นำมาเปรียบเทียบทางสถิติโดยใช้ Duncans Multiple Range Test (DMRT)

ผลการทดลองพบว่า โดยภาพรวมแล้วพบว่าแม่ไม้สงขลาตอบสนองต่อการใช้กากตะกอนดีกว่าแม่ไม้นครราชสีมา โดยให้ชีวมวลเกือบเท่ากับการใช้ออสโมโคท (ร้อยละ 88) และอัตรา ส่วนของดินต่อกากตะกอนที่ดีที่สุด คือ อัตราส่วน 1:2 ซึ่งการใช้ไรโซเบียมร่วมด้วยไม่มีความจำเป็น เพราะไรโซเบียมมีประสิทธิภาพในการเข้าสร้างปมต่ำในแม่ไม้นี้ อย่างไรก็ตาม การใช้ ไรโซเบียมมีผลต่อแม่ไม้นครราชสีมาซึ่งประสิทธิภาพในการเข้าสร้างปมของไรโซเบียมมีมากกว่า สำหรับไรโซเบียมที่ใช้นั้นพบว่า สายพันธุ์ DASA 35076 และ DASA 35080 เป็นสายพันธุ์ที่ เหมาะสมกับกระถินเทพา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง DASA 35080 สามารถเข้าสร้างปมได้มากกว่า จึงเหมาะต่อการนำมาใช้ในการเพาะชำกล้าไม้กระถินเทพา นอกจากนั้นจากการทดลองยังพบว่า ในกรณีของการใช้กากตะกอนร่วมกับไรโซเบียมนี้ไม่ควรใช้ร่วมกับกากตะกอนที่ผสมในดินเกินกว่า ร้อยละ 50 เพราะการเจริญเติบโตของกล้าไม้จะลดลงเมื่อใช้ตะกอนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็น เพราะโลหะหนักไปยับยั้งการทำงานของไรโซเบียม จะเห็นได้ว่าการนำกากตะกอนไปใช้ในการ ปรับปรุงดินนั้นสามารถใช้ได้ในการเพาะชำกระถินเทพา และแม่ไม้สงขลานั้นมีความเหมาะสม ในการนำมาใช้ในการเพาะชำเพื่อเผยแพร่พันธุ์มากกว่าแม่ไม้นครราชสีมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภัทรสวันต์ และคณะ (2550) ได้ศึกษาแนวทางการแก้ไขดินปนเปื้อนโซเดียมเบนทอไนต์ด้วยการใส่ยิปซัม และแกลบ เพื่อลดอิทธิพลของโซเดียม และปรับปรุงความสามารถในการระบายน้ำของดิน โดยใช้การเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดเขียวกวางตุ้งเป็นตัวชี้วัดสมบัติของดิน ในเบื้องต้นได้ทำการทดลองผลของปริมาณโซเดียมเบนทอไนต์ที่ใส่หรือปนเปื้อนในดิน (ในอัตรา 0, 5, 10, 20, 40, 60, 80 และ 100 % ของน้ำหนักดิน) ต่อการรอดชีวิตของต้นกล้าผักกาดเขียวกวางตุ้งในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อกำหนดปริมาณโซเดียมเบนทอไนต์ในดินที่ใช้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการใส่ยิปซัมและแกลบ

ผลการทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของกล้าผักในดินที่มีการปนเปื้อนโซเดียมเบนทอไนต์มีค่าลดลง ในวันที่ 14 ของการงอก โดยเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของกล้าผักมีค่าลดลงมากกว่าครึ่งในตำรับที่มีการปนเปื้อนโซเดียมเบนทอไนต์มากกว่า 20% ดังนั้นจึงได้เลือกใช้โซเดียมเบนทอไนต์ปนเปื้อนดินที่ระดับ 25 % ในการทดลองปรับปรุงคุณภาพดิน

การศึกษาการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดเขียวกวางตุ้งในโรงเรือนปลูกพืชที่ทำโดยใส่ยิปซัมในปริมาณ 0, 1/4, 1/2 และ 1 GR (1 GR คือ การใส่ยิปซัมในปริมาณที่ Ca^{2+} ในยิปซัมเข้าไปแทนที่ Na^{+} ในโซเดียมเบนทอไนต์ที่ใส่ในดินในอัตรา 25 % ได้ทั้งหมด) และใส่แกลบในอัตรา 0, 0.5 และ 1.0 % ของน้ำหนักดิน โดยจัดการทดลองแบบแฟคทอเรียลร่วมกับตำรับควบคุม (ดินไม่ใส่โซเดียมเบนทอไนต์)

ผลการทดลองพบว่าในดินที่มีการปนเปื้อนโซเดียมเบนทอไนต์นั้น กลุ่มตำรับที่มีการใส่ยิปซัม (ร่วมกับการใส่แกลบหรือไม่ใส่แกลบ) สามารถให้ผลผลิตใกล้เคียงกับตำรับควบคุม ส่วนในกลุ่มตำรับที่ไม่มีการใส่ยิปซัมให้ผลผลิตต่ำกว่าตำรับควบคุม โดยพบว่าการใส่แกลบในอัตรา 0.5-1.0 % ของน้ำหนักดิน (1.5 - 3.0 ตันต่อไร่) ช่วยให้ผลผลิตสูงกว่าการไม่ใส่แกลบเลย

อุษณีย์ และคณะ (2552) ได้ศึกษาถึงความเหมาะสมของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่จะนำไปใช้ในการเกษตร โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีของกากตะกอนและทดสอบการงอกของเมล็ดพืช กากตะกอน 3 ชนิด ที่ได้มาจากโรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม ได้แก่ กากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน

ผลการศึกษาพบว่าลักษณะสมบัติทางเคมี ของกากตะกอนทั้ง 3 ชนิดที่วิเคราะห์ได้ ยังมีสมบัติบางประการ เช่น ปริมาณโพแทสเซียมต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ปริมาณทองแดงและนิกเกิล สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกากตะกอนที่นำไปใช้เพื่อการเกษตร สำหรับการทดสอบการงอกของเมล็ด พบว่าการงอกของเมล็ดและความยาวรากเฉลี่ยของกวางตุ้งต้นและผักกาดขาวปลีที่เพาะในน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชน น่าจะใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Dolgen et al. (2004) ได้ศึกษาการนำกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมผักแปรรูป มาเติมลงกระถางทดลองในปริมาณ 0-100% และทำการเพาะปลูกผักกาดหอม ศึกษาผลกระทบของกากตะกอนต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยประเมินจากจำนวนพืช จำนวนใบ น้ำหนักราก รวมถึงส่วนประกอบสำคัญต่างๆ ของพืช

ผลการศึกษาพบว่า การเจริญเติบโตของพืชมีผลมาจากการเติมตะกอนในระดับหนึ่ง โดยทั่วไปมีการเติมกากตะกอนลงไป 25 และ 50% มีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง เนื่องจากในกากตะกอนมีปริมาณไนโตรเจนน้อย ในทางกลับกันกากตะกอนมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงสามารถทดแทนไนโตรเจนที่มีปริมาณน้อยได้ ทำให้การเจริญเติบโตของพืชสูงสุด (ทั้งในส่วนสีเขียว และน้ำหนักราก) เมื่อเติมกากตะกอนลงไป 75% นอกจากนี้ความเข้มข้นของโลหะหนักที่วัดจากใบ และราก พบว่ายอมรับได้จากมาตรฐานสำหรับการปลูกผักกาดหอม การประยุกต์ใช้ตะกอน พบว่าปริมาณนิกเกิล, ตะกั่ว, แคดเมียม และแมงกานีส เพิ่มขึ้นอย่างมีไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นกากตะกอนจาก โรงงานผักแปรรูปสามารถนำมาใช้แทนปุ๋ยเคมี และสามารถใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้

Dolgen et al. (2007) ได้ศึกษาการประเมินค่าความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากโรงงานผักแปรรูปใช้ประโยชน์ โดยนำมาเติมในอัตรา 0, 165, 330, 495 และ 660 ตัน/เฮกตาร์ ประเมินการเจริญเติบโตของพืช โดยการนับจำนวนใบ วัดความยาวของลำต้น น้ำหนักส่วนสีเขียว และรากพืช นอกจากนั้นเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในพืชที่ปลูกในอัตราการเติมกากตะกอน 330, 495 และ 660 ตัน/เฮกตาร์

ผลการศึกษาพบว่า การเติมกากตะกอนส่งผลต่อเจริญเติบโตของพืช ซึ่งจำนวนใบ ความยาวของลำต้น และน้ำหนักแห้ง มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมกากตะกอน ความเข้มข้นของโลหะหนักในใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่สังกะสี (Zn) และเหล็ก (Fe) พบที่ระดับความเข้มข้นสูงสุด อย่างไรก็ตามแม้จะมีการสะสมของสังกะสีและเหล็ก แต่จากการสังเกตอาการไม่พบความเป็นพิษในพืช ซึ่งอาจเป็นผลจากความอดทนโลหะระดับสูงของแตงกวา

Zhou et al. (2010) ได้ศึกษาการผสมกากตะกอนน้ำเสียกับขยะอินทรีย์ ที่ผ่านการหมักด้วยสภาวะที่มีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจน เป็นเวลา 60 วัน จากนั้นนำปุ๋ยหมักไปปรับปรุงดิน Kailyard (KY) และศึกษาผลจากการปลูกแพงพวย

ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรีย์คาร์บอน เพิ่มขึ้นจาก 98.45 % ถึง 787.69 % และไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพิ่มขึ้นถึง 98.53, 27.34 และ 41.62% ตามลำดับ เมื่อมีการเติมปุ๋ยหมักจาก 50 กรัมถึง 150 กรัมต่อกระถาง ทำให้ได้ผลผลิตมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

76.47 % เป็น 312.00 % แต่เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของปุ๋ยหมักจาก 150 กรัมถึง 400 กรัมต่อกระถาง ส่งผลให้ผลผลิตชีวภาพลดลงจาก 312.00 % ถึง 102.29 % ปริมาณปุ๋ยหมักที่เหมาะสมที่เติมลงในดิน KY คือ 0.4 กรัมต่อดิน KY 1 กิโลกรัม โลหะหนักที่สะสมในแพงพวยพบว่า Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Zn มีปริมาณต่ำเทียบกับเกณฑ์สำหรับพืชผักของจีน ดังนั้นปุ๋ยหมักจากตะกอนน้ำเสียกับขยะอินทรียสามารถนำมาปรับปรุงคุณภาพดิน KY ได้ โดยที่ไม่ส่งผลให้เกิดการสะสมโลหะหนักในต้นแพงพวย

Singh and Agrawal (2010) ได้ศึกษาถึงความเหมาะสมของอัตราส่วนกากตะกอนกับดินที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว (Oryza sativa L. cv. Pusa sugandha 3) โดยประเมินผลการสะสมโลหะหนักจากการเจริญเติบโต มวลชีวภาพ และผลผลิตของข้าวที่เจริญเติบโตในดินผสมกากตะกอนที่อัตราส่วน 0, 3, 4.5, 6, 9 และ 12 กิโลกรัมต่อตารางเมตร เมื่อทำการเก็บเกี่ยวข้างหลังจากที่เพาะปลูกได้ 125 วัน

ผลการศึกษาพบว่ากากตะกอนมีส่วนช่วยปรับสภาพทางกายภาพและเคมีของดิน แต่ส่งผลให้ดินมีโลหะเพิ่มขึ้น และทำให้พืชมีการสะสมโลหะหนักสูงขึ้นตามไปด้วย ในส่วนของลักษณะต้นข้าวมีความยาวรากลดลง แต่ความยาวลำต้น จำนวนใบ พื้นที่ใบ และมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น 60% 111% 125% 134% และ 137% ที่อัตราส่วนของกากตะกอน 0, 3, 4.5, 6, 9 และ 12 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ เมื่อเทียบกับดินชุดควบคุม เมื่อปลูกข้าวในดินผสมกากตะกอน 4.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร พบว่าข้าวมีผลผลิตเพิ่มขึ้น ต้นข้าวมีความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) และแคดเมียม (Cd) ไม่เกินมาตรฐานของประเทศอินเดีย (1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และเมื่อปลูกข้าวในดินผสมกากตะกอน 6 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ต้นข้าวมีความเข้มข้นของตะกั่ว (Pb) ไม่เกินมาตรฐานของประเทศอินเดีย (2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่ในส่วนของข้าวมีความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) สูงกว่ามาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo ERBA
2. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo ERBA
3. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) บริษัท Carlo ERBA
4. สารละลายกรดฟอสฟอริกเข้นข้น 85% (85% H_3PO_4) บริษัท Carlo ERBA
5. สารละลายกรดแอซิติกเข้มข้น 95% (95% CH_3COOH) บริษัท Carlo ERBA
6. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (Conc. NH_4OH) บริษัท Carlo ERBA
7. แอมโมเนียมออกซาเลต ($(NH_4)_2C_2O_4 \cdot H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Breaker
8. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific
9. ซิลเวอร์ไนเทรต ($AgNO_3$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo ERBA
10. สารละลายเอธิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 95% (95% CH_3CH_2OH) บริษัท Carlo ERBA
11. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo ERBA
12. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Conc. HCl) บริษัท Carlo ERBA
13. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท SDFCL
14. กรดบอริก (H_3BO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific
15. โซเดียมเตเตระบอเรต ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo ERBA
16. โบรโมกรีซอลกรีน (Bromocresol Green) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Acros Organics
17. เมธิลเรด (Methyl Red) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka chemika
18. แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH_4F) เกรดวิเคราะห์ บริษัท BHD Chemicals
19. แอมโมเนียมโมลิบเดต ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo ERBA
20. แอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์เทรต ($KSbO.C_4H_4O_6$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajak Chemical
21. กรดแอสคอร์บิก เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo ERBA
22. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo ERBA
23. โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo ERBA
24. สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (Conc. HNO_3) บริษัท Carlo ERBA
25. สารละลายกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น ($HClO_4$) บริษัท Carlo ERBA
26. สารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 1000 ppm (1000 ppm Cd) บริษัท CertiPUR
27. สารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 1000 ppm (1000 ppm Cr) บริษัท Fisher Scientific

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

28. สารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 1000 ppm (1000 ppm Cu) บริษัท Ajax Finechem
29. สารละลายมาตรฐานนิกเกิลเข้มข้น 1000 ppm (1000 ppm Ni) บริษัท CertiPUR
30. สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm (1000 ppm Pb) บริษัท CertiPUR
31. สารละลายมาตรฐานสังกะสีเข้มข้น 1000 ppm (1000 ppm Zn) บริษัท Fisher Scientific

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer รุ่น: GENESYS 10S UV-VIS ยี่ห้อ: Thermo Scientufic
2. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) รุ่น: AA-200
3. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) รุ่น: A-680
4. เครื่อง Distillation Unit รุ่น: B-323 ยี่ห้อ: Buchi
5. เครื่องเตาให้ความร้อน รุ่น: KI ยี่ห้อ: Gerhardt
6. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น: ED224S ยี่ห้อ: Sartorius
7. ตะแกรงร่อนขนาด 10 mesh (2 มิลลิเมตร)
8. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ
9. เครื่องวัด pH ยี่ห้อ: Methom
10. เครื่องวัด Conductivity ยี่ห้อ: WTW ประเทศเยอรมัน
11. เตาให้ความร้อน ยี่ห้อ: Fisher Scientific
12. อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ
13. กระถางพลาสติกสีดำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร
14. ถุงกระดาษเก็บตัวอย่างพืช

3.3 แหล่งที่มาของวัสดุ

กากตะกอน ตะกอนที่ใช้ในการทดลองได้รับมาจากโรงบำบัดน้ำเสียของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี เป็นกากตะกอนที่ผ่านกระบวนการรีดกากตะกอนด้วยเครื่องรีดกากตะกอน โดยได้รับมาในวันที่ 18 พฤศจิกายน พ.ศ. 2553 ปริมาณ 10 กิโลกรัม ส่วนขุยมะพร้าว ขี้เถ้าแกลบ และปุ๋ยคอก นำมาจากร้านค้าทั่วไป ส่วนเมล็ดพันธุ์ผักเขียวกวางตุ้งเป็นของบริษัท เจียไต๋ จำกัด

3.4 การเตรียมตัวอย่างกากตะกอนและวัสดุปลูก

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีมาปลูกผักเขียวกวางตุ้ง มีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างกากตะกอนและวัสดุปลูก ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 การเตรียมตัวอย่างกากตะกอน

เมื่อได้รับกากตะกอนจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีมายังห้องปฏิบัติการแล้ว ทำการแบ่งกากตะกอนออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 นำกากตะกอนมาประมาณ 500 กรัมไปผึ่งให้แห้ง โดยนำกากตะกอนมาใส่ลงในถาดอลูมิเนียม แล้วเกลี่ยให้ทั่วถาด เพื่อให้กากตะกอนแห้งอย่างทั่วถึง นำไปวางบริเวณดาดฟ้าของตึกจุฬาภรณ์ 1 เมื่อกากตะกอนแห้งสามารถสังเกตเห็นได้ว่า กากตะกอนมีลักษณะแห้งเป็นเม็ดๆ สีน้ำตาลอ่อน จากนั้นนำมาบดด้วยครกให้ละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 10 mesh (2 มิลลิเมตร) เก็บรักษากากตะกอนที่ได้ไว้ในถุงซิป นำไปวิเคราะห์ต่อไป ส่วนที่ 2 นำกากตะกอนที่เหลือไปทดลองผสมกับวัสดุปลูก เพื่อใช้ในการปลูกผักเขียวกวางตุ้งต่อไป

3.4.2 การเตรียมตัวอย่างวัสดุปลูก

วัสดุปลูกที่ใช้มีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน คือ ขุยมะพร้าว ขี้เถ้าแกลบ และปุ๋ยคอก วิธีการเตรียมทำโดยนำ ขุยมะพร้าว:ขี้เถ้าแกลบ:ปุ๋ยคอก มาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วน 1.5:1.5:1 ชั่งน้ำหนักดังตารางที่ 3.1 จากนั้นทำการแบ่งวัสดุปลูกออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ดังนี้

ส่วนที่ 1 นำวัสดุปลูกมาประมาณ 500 กรัมไปผึ่งให้แห้ง โดยใส่ลงในถาดอลูมิเนียม แล้วเกลี่ยให้ทั่วถาด เพื่อให้วัสดุปลูกแห้งอย่างทั่วถึง นำไปวางบริเวณดาดฟ้าของตึกจุฬาภรณ์ 1 จากนั้นนำมาบดด้วยครกให้ละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 10 mesh (2 มิลลิเมตร) เก็บรักษาวัสดุปลูกไว้ในถุงซิป นำไปวิเคราะห์ต่อไป ส่วนที่ 2 นำวัสดุปลูกที่เหลือไปผสมกับกากตะกอน เพื่อใช้ในการทดลองปลูกผักเขียวกวางตุ้งต่อไป

ตารางที่ 3.1 น้ำหนักของวัสดุปลูกแต่ละชนิด

ชนิดของวัสดุปลูก	น้ำหนัก (กิโลกรัม)
ขุยมะพร้าว	12
ขี้เถ้าแกลบ	12
ปุ๋ยคอก	8
น้ำหนักรวม	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอน

การนำกากตะกอนและวัสดุปลูกมาใช้ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนมาปลูกผักเขียวกวางตุ้ง จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ถึงสมบัติบางประการของกากตะกอนและวัสดุปลูก เพื่อทำให้ทราบถึงความเหมาะสมในการนำมาทำเป็นวัสดุในการปลูกพืช ซึ่งพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนและวัสดุปลูก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	วิธีการ/เครื่องมือวิเคราะห์
ความชื้น (Moisture)	วิธีการชั่งน้ำหนัก
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	เครื่องวัดพีเอช*
การนำไฟฟ้า (Conductivity)	เครื่องวัดการนำไฟฟ้า*
อินทรียวัตถุ (Organic Matter)	วิธีของวอล์คเลย์ และแบล็ก
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)	วิธีทำให้อิ่มตัวด้วยแอมโมเนียมอะซิเทต
ไนโตรเจน (Total Nitrogen)	วิธีกลั่นแบบเจดาห์ล
ฟอสฟอรัส (Available Phosphorus)	วิธีของบร์ทู
โพแทสเซียม (Available Potassium)	Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)
โลหะหนัก (Heavy Metal) - แคดเมียม (Cd) - โครเมียม (Cr) - ทองแดง (Cu) - นิกเกิล (Ni) - ตะกั่ว (Pb) - สังกะสี (Zn)	วิธีย่อยแบบเปียกของ Singh and Agrawal, 2010** และ Walter et al., 2006***

* ใช้อัตราส่วนระหว่างตัวอย่างกับน้ำ เท่ากับ 1:5

** ใช้ Tri Acid (HNO_3:H_2SO_4:$HClO_4$ เท่ากับ 5:1:1) เป็นสารย่อยสลาย

*** ใช้ Aqua Regia (HNO_3:HCl เท่ากับ 1:3) เป็นสารย่อยสลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การเตรียมอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนกับวัสดุปลูก

การทดลองนี้จะศึกษาหาอัตราส่วนของกากตะกอนกับวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักเขียวกวางตุ้ง โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนกับวัสดุปลูกจำนวน 5 อัตราส่วน ดังนี้ 0:10, 2:10, 4:10, 6:10 และ 8:10 นำกากตะกอนและวัสดุปลูกในส่วนที่ 2 มาชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ปริมาณกากตะกอนและวัสดุปลูกที่อัตราส่วนต่างๆ

ชื่อตำรับการทดลอง	อัตราส่วน	น้ำหนัก (กิโลกรัม)		
		กากตะกอน	วัสดุปลูก	รวม
A	0:10	0.0	6.0	6.0
B	2:10	1.2	6.0	7.2
C	4:10	2.4	6.0	8.4
D	6:10	3.6	6.0	9.6
E	8:10	4.8	6.0	10.8

เมื่อเตรียมวัสดุปลูกตำรับต่างๆ ไว้เรียบร้อยแล้ว ทำการแบ่งวัสดุปลูกแต่ละสูตรออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 นำวัสดุปลูกมาประมาณ 500 กรัมไปผึ่งให้แห้ง โดยใส่ลงในถาดอลูมิเนียม แล้วเกลี่ยให้ทั่วถาด เพื่อให้วัสดุปลูกแห้งอย่างทั่วถึง นำไปวางบริเวณดาดฟ้าของตึกจุฬาภรณ์ 1 จากนั้นนำมาบดด้วยครกให้ละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 10 mesh (2 มิลลิเมตร) เก็บรักษาวัสดุปลูกไว้ในถุงซิป นำไปวิเคราะห์สมบัติตามตารางที่ 3.2 (ยกเว้นโลหะหนัก) และใช้ศึกษาการงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้ง ส่วนที่ 2 นำวัสดุปลูกตำรับต่างๆ ที่เหลือใช้ในการทดลองปลูกผักเขียวกวางตุ้งต่อไป

3.7 การศึกษาการงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้ง

การศึกษาการงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้งในน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับต่างๆ สามารถบอกถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดินเสมือนวัสดุปรับปรุงคุณภาพดินได้ ดังนั้นโครงงานพิเศษนี้จึงได้ทำการศึกษาการงอกของเมล็ดตามวิธีของ Walter โดยมีขั้นตอนการดำเนินโครงงานดังนี้ (Walter et al., 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1 การเตรียมน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

ชั่งตัวอย่างจำนวน 10 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไป 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 15 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 เก็บสารละลายส่วนใสไว้ใช้เป็นน้ำสกัด

3.7.2 การทดสอบการงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้ง

เติมน้ำสกัดแต่ละสูตรลงในจานเพาะเชื้อ 5 มิลลิลิตร ตำรับละ 5 จาน ใส่เมล็ดผักเขียวกวางตุ้งลงในจานเพาะเชื้อจานละ 10 เมล็ด นำไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิคงที่ 25 ± 2 °C เป็นเวลา 150 ชั่วโมง สภาวะการทดสอบดังตารางที่ 3.4 เมื่อครบกำหนดนับเมล็ดผักที่งอก วัดความยาวของรากเพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป ใช้น้ำสกัดจากตำรับ A ที่ไม่มีการเติมกากตะกอนเป็นชุดควบคุม

ตารางที่ 3.4 สภาวะที่ใช้ทดสอบการงอกของเมล็ดเขียวกวางตุ้ง

อุณหภูมิ	25 ± 2 °C
ภาชนะ	จานเพาะเชื้อขนาด 100x10 มิลลิเมตร
ปริมาตรน้ำสกัด	5 มิลลิลิตรต่อจาน
จำนวนเมล็ด	10 เมล็ดต่อจาน
จำนวนจานเพาะเชื้อ	5 จานต่อสูตรน้ำสกัด
ชุดควบคุม	น้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับ A
ระยะเวลา	150 ชั่วโมง

3.7.3 การวิเคราะห์ข้อมูลการงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้ง

จากข้อมูลเมล็ดผักที่งอก และความยาวของราก นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด (Percentage of Relative Seed Germination, % RSG) เปอร์เซ็นต์ความยาวรากสัมพัทธ์ (Percentage of Relative Root Growth, % RRG) เปอร์เซ็นต์ดัชนีการงอกของเมล็ด (Percentage of The Germination Index, % GI) จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\% \text{ RSG} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกในชุดน้ำสกัด}}{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกในชุดควบคุม}} \times 100$$

$$\% \text{ RRG} = \frac{\text{ความยาวรากเฉลี่ยในชุดน้ำสกัด}}{\text{ความยาวรากเฉลี่ยในชุดควบคุม}} \times 100$$

$$\% \text{ GI} = \frac{\text{RSG x RRG}}{100}$$

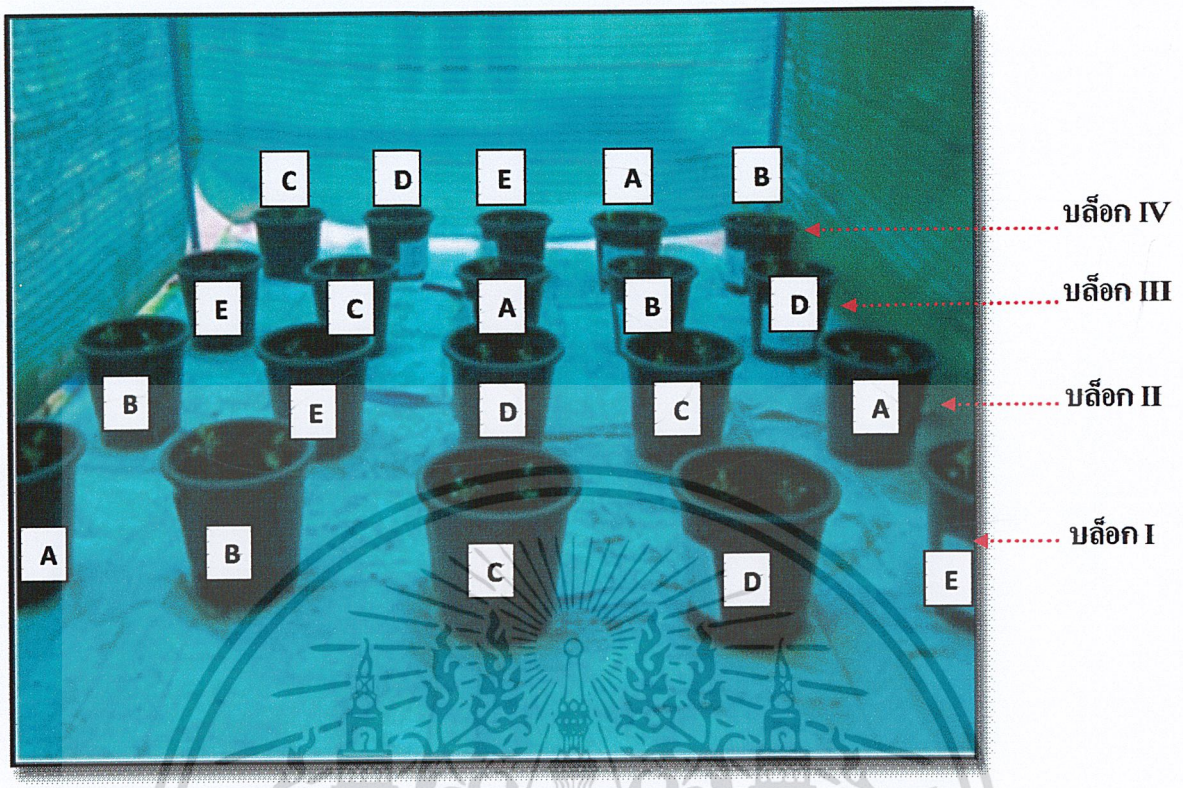
3.8 การหาอัตราส่วนกากตะกอนกับวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการปลูกผักเขียวกวางตุ้ง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี มาปลูกผักเขียวกวางตุ้ง มีขั้นตอนการดำเนินโครงงานดังนี้

3.8.1 การวางแผนการทดลอง

ในการทดลองนี้ การวางแผนการทดลองเป็นสิ่งที่สำคัญ เนื่องจากการทดลองอาจไม่มีความสม่ำเสมอกันของปัจจัยต่างๆ ที่ควบคุมการเจริญเติบโตของผักเขียวกวางตุ้ง ดังนั้นในโครงงานพิเศษนี้จึงเลือกการวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCB) สาเหตุที่เลือกแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ เพราะต้องการควบคุมปัจจัยเรื่องของแสงแดด มีวิธีการดังนี้ จำนวนตำรับการทดลองทั้งหมด 5 ตำรับ ได้แก่ A B C D และ E โดยจัดให้มีบล็อกการทดลองทั้งหมด 4 บล็อกการทดลอง *ดังนั้นจะมีหน่วยการทดลองทั้งหมด 5 x 4 = 20 หน่วยการทดลอง* ใส่หมายเลข 1-20 ประจำหน่วยการทดลองทั้งหมด จากนั้นเขียนตัวอักษร A-E ลงในกระดาษ ม้วนกระดาษใส่กล่องเขย่าให้ทั่ว ทำการสุ่มจับกระดาษในกล่อง จัดตำรับการทดลองที่จับได้ใบแรกให้แก่หน่วยการทดลองที่ 1 ต่อไปสุ่มจับกระดาษในกล่องซึ่งเหลือเพียง 4 ใบ จัดตำรับการทดลองที่จับได้ใบที่สองให้แก่หน่วยการทดลองที่ 2 ทำเช่นนี้จนจัดตำรับการทดลองครบภายใน 1 บล็อก จากนั้นใส่กระดาษทั้งหมดคืนลงในกล่อง แล้วสุ่มจับกระดาษเช่นเดียวกันให้กับบล็อกต่อไปจนครบทุกบล็อกการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 การจัดวางกระถางแบบแผนการทดลองแบบ RCB

3.8.2 การปลูกและดูแลรักษาผักกาดเขียวกวางตุ้ง

หลังจากการเตรียมวัสดุปลูกตำรับต่างๆ และวางแผนการทดลองเรียบร้อยแล้ว นำวัสดุปลูกตำรับต่างๆ ในส่วนที่ 2 แบ่งใส่กระถางๆ ละ 1 กิโลกรัม เริ่มปลูกผักเขียวกวางตุ้ง โดยการแช่เมล็ดผักกวางตุ้งประมาณ 100 เมล็ดในน้ำประปาที่ผ่านเครื่องกรองน้ำไว้ 2 คืน คัดเมล็ดที่มีรากงอกออกมาประมาณ 5 มิลลิเมตร นำลงไปปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ กระถางละ 2 เมล็ด โดยทำการขุดหลุมให้ลึกลงไปประมาณ 5 เซนติเมตร แล้วกลบด้วยวัสดุปลูก ต่อจากนั้นนำไปจัดวางตามแผนการทดลองที่วางไว้ (ภัทรสวันต์ และคณะ, 2550)

ในการดูแลรักษาผักเขียวกวางตุ้ง มีการให้น้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตรเท่ากันทุกๆ กระถาง ซึ่งมีการรดน้ำในช่วงเช้าและช่วงเย็น และหยุดให้น้ำในวันที่มีฝนตก

3.8.3 ระยะเวลาในเก็บเกี่ยว

การทดลองปลูกผักเขียวกวางตุ้งใช้ระยะเวลาในการทดลอง 45 วันนับตั้งแต่เพาะเมล็ดลงในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ ซึ่งอยู่ในวันที่ 29 ธันวาคม พ.ศ. 2553 ถึง 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.4 การวิเคราะห์ข้อมูลผักเขียวกวางตุ้ง

การวิเคราะห์ข้อมูลผักเขียวกวางตุ้ง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. การวิเคราะห์ความยาวของราก ความสูงของส่วนเหนือราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของผักเขียวกวางตุ้ง

นำผักมากำจัดเศษวัสดุให้หลุดจากพืชโดยการเป่าลม จากนั้นตัดแยกส่วนรากและส่วนเหนือรากออกจากกัน บันทึกความยาวของราก ความสูงของส่วนเหนือรากทันที นำทั้งสองส่วนไปชั่งเพื่อบันทึกน้ำหนักสด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์นาน 30 นาที รีบนำไปชั่งเพื่อบันทึกน้ำหนักแห้งทันที นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) เพื่อทดสอบว่าวัสดุปลูกแต่ละตำรับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ถ้าพบว่ามีความแตกต่างกันในแต่ละตำรับ จึงทำการเปรียบเทียบวัสดุปลูกแต่ละสูตรด้วยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test เพื่อทดสอบว่าวัสดุปลูกตำรับใดบ้างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

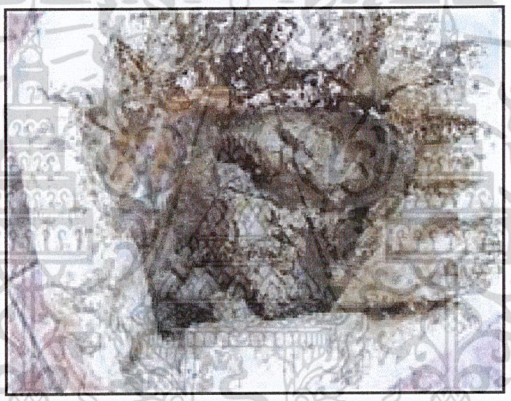
2. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผักเขียวกวางตุ้ง

นำส่วนราก และส่วนเหนือรากมาอบต่อที่อุณหภูมิ 105 ± 5 °C ให้แห้งสนิท บดให้ละเอียดด้วยโกร่งบดยา นำไปย่อยด้วยวิธีย่อยแบบเปียก (Wet Digestion Method) โดยใช้สารละลายย่อยคือ HNO_3, H_2SO_4 และ $HClO_4$ (Tri-Acid) อัตราส่วน 5:1:1 ตามวิธีของ Singh and Agrawal, 2010 ตามภาคผนวก ก จากนั้นนำไปวัดปริมาณนิกเกิล (Ni) และแคดเมียม (Cd) ด้วยเครื่อง AAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

กากตะกอนที่นำมาใช้ในโครงงานพิเศษนี้ ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี เป็นกากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากถังตกตะกอนของโรงไฟฟ้า ซึ่งกากตะกอนได้ผ่านกระบวนการรีดน้ำแล้ว ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนที่สามารถสังเกตได้ มีลักษณะเป็นก้อนคล้ายดินเหนียว โครงสร้างทึบหรือมีความหนาแน่นสูง มีสีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นที่ไม่รุนแรง เมื่อนำกากตะกอนมาทำการผึ่งไว้ให้แห้งประมาณ 2-3 วัน สีของกากตะกอนเปลี่ยนเป็นน้ำตาลอ่อน กากตะกอนจับตัวกันเป็นก้อนแข็งคล้ายก้อนดินและไม่มีกลิ่นเหม็น จากนั้นจึงนำกากตะกอนที่แห้งแล้วไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 10 mesh (2 มิลลิเมตร) จะได้เป็นผงตะกอนละเอียดที่มีน้ำหนักเบา ไม่มีกลิ่นเหม็น



รูปที่ 4.1 กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี

4.1 สมบัติทางเคมีของกากตะกอน

ในการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรนั้น จำเป็นต้องศึกษาสมบัติทางเคมีเพื่อทำให้ทราบถึงสภาพที่เหมาะสม และปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช รวมถึงโลหะหนักที่อาจถูกชะออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

4.1.1 สมบัติทั่วไป

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของกากตะกอนดังตารางที่ 4.1 พบว่าความชื้นของกากตะกอนที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างแล้วมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.58 ± 0.35 % พีเอชของกากตะกอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.44 ± 0.04 นั่นคือมีฤทธิ์เป็นด่างอ่อนๆ ซึ่งยังพอสามารถนำไปใช้ในการเกษตรได้ เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงพีเอชที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีอยู่ที่ 6-7 ถ้าพีเอชมากหรือน้อยกว่าช่วงนี้อาจทำให้ธาตุอาหารเกิดสารประกอบที่พืชดึงมาใช้ประกอบไม่ได้ (ถวิล, 2528) การนำไฟฟ้าของกากตะกอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.667 ± 0.005mS/cm ค่าการนำไฟฟ้านี้เป็นค่าเกลือที่ละลายน้ำได้ ซึ่งถ้ามีในปริมาณมากอาจส่งผลให้พืชใช้รากดูดน้ำได้ยากขึ้น อินทรียวัตถุในกากตะกอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.83 ± 0.14 % พบว่ากากตะกอนมีอินทรียวัตถุต่ำ (เอิบ, 2542) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในกากตะกอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.22 ± 0.40 cmol/kg ถือว่ามีค่าสูงปานกลาง (เอิบ, 2542) ซึ่งช่วยให้กลไกการปลดปล่อยธาตุอาหาร เช่น K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} เพื่อพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P, K) พบว่าไนโตรเจนทั้งหมดในกากตะกอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.068 ± 0.006 % ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในกากตะกอนมีค่าเท่ากับ 11.69 ± 1.17 mg/kg ถือว่ามีปริมาณต่ำ (เอิบ, 2542) ส่วนโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในกากตะกอนมีค่าเท่ากับ 13.75 ± 0.11 mg/kg ถือว่ามีปริมาณต่ำมาก (เอิบ, 2542)

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของกากตะกอน โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี (Mean ± S.D.; n=3)

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์
ความชื้น (%)	6.58 ± 0.35
พีเอช	7.44 ± 0.04
การนำไฟฟ้า (mS/cm)	0.667 ± 0.005
อินทรียวัตถุ (%)	0.83 ± 0.14
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cmol/kg)	19.22 ± 0.40
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.068 ± 0.006
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	5.77 ± 0.60
โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	13.75 ± 0.11

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า กากตะกอนจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีมีสมบัติบางพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมพอสมควรในการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ เช่น สามารถปรับพีเอชของดินที่มีฤทธิ์เป็นกรดให้เป็นกลางได้ แต่บางพารามิเตอร์อาจต้องอาศัยวัสดุปรับปรุงดินชนิดอื่นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น ปริมาณของธาตุอาหารหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ปริมาณโลหะหนัก

การนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์ ควรคำนึงถึงผลกระทบของโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในกากตะกอนจากวัตถุดิบของโรงไฟฟ้า กระบวนการผลิต ตลอดจนกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้มีโอกาสเคลื่อนย้ายไปสะสมตามส่วนต่างๆ ของพืช ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตได้ ดังนั้นจำเป็นต้องหาปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนว่ามีอยู่ในปริมาณมากน้อยเพียงใดก่อนนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนเรียงลำดับได้ดังนี้ Zn > Ni > Cr > Cu > Pb > Cd เมื่อใช้ Tri Acid (HNO_3:H_2SO_4:$HClO_4$ เท่ากับ 5:1:1) ตามวิธีของ Singh and Agrawal, 2010 เป็นสารละลายย่อยสลาย เปรียบเทียบกับ Aqua Regia (HNO_3:HCl เท่ากับ 1:3) ตามวิธีของ Walter et al., 2006) พบว่าสารละลาย Aqua Regia สามารถย่อยสลายธาตุโลหะออกมาได้ดีกว่า โดยมีปริมาณแคดเมียม โครเมียม ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณโลหะหนักทั้ง 6 ชนิดในกากตะกอน พบว่าไม่เกินค่ามาตรฐานกากตะกอนและมาตรฐานคุณภาพดินที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากโรงไฟฟ้ามาปลูกผักเขียวกวางตุ้ง ซึ่งปริมาณโลหะหนักทั้งหมดที่วิเคราะห์นี้เป็นปริมาณที่จะคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีการเติมกากตะกอน โดยไม่ได้ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมในทันที เนื่องจากการละลายได้ของธาตุเหล่านี้ขึ้นอยู่กับรูปทางเคมี ปฏิกิริยาทางเคมี กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน และสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ปริมาณแสง ความชื้น เป็นต้น (อรวรรณ, 2544)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี (Mean ± S.D.; n=2)

โลหะหนัก	ปริมาณที่ตรวจพบ (mg/kg)		มาตรฐานกากตะกอน* (mg/kg)	มาตรฐานคุณภาพดิน** (mg/kg)
	Tri Acid	Aqua Regia		
แคดเมียม, Cd	0.07 ± 0.00	0.30 ± 0.07	85	37
โครเมียม, Cr	13.22 ± 0.60	40.47 ± 1.47	3,000	300
ทองแดง, Cu	12.80 ± 1.88	46.03 ± 0.68	4,300	-
นิกเกิล, Ni	23.46 ± 2.11	55.68 ± 4.03	420	1600
ตะกั่ว, Pb	3.41 ± 0.58	13.11 ± 1.02	840	400
สังกะสี, Zn	34.62 ± 1.49	66.38 ± 0.47	7,500	-

ที่มา : * มาตรฐานกากตะกอนเพื่อการเกษตรของสหรัฐอเมริกา (www.epa.gov)

** มาตรฐานคุณภาพดิน (www.pcd.go.th)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 สมบัติทางเคมีของวัสดุปลูก

ในการวิจัยนี้ได้ทดลองใช้วัสดุ 3 ชนิดคือ ขุยมะพร้าว ขี้เถ้าแกลบ และปุ๋ยคอก มาผสมกันในอัตราส่วน 1.5:1.5:1 ลักษณะทางกายภาพที่สามารถสังเกตได้ คือ มีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อใช้มือสัมผัสสามารถแตกออกได้ง่าย มีความร่วนซุยสูง ไม่มีกลิ่นเหม็น สามารถอุ้มน้ำได้ดี แต่เมื่อนำไปผึ่งแดดทำให้ความชื้นระเหยออกไปค่อนข้างเร็ว จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี เพื่อทราบถึงความเหมาะสมที่จะนำวัสดุปลูกนี้นำทดลองไปปลูกผักเขียวกวางตุ้งต่อไป

รูปที่ 4.2 วัสดุปลูกที่ผสมระหว่าง ขุยมะพร้าว ขี้เถ้าแกลบ และปุ๋ยคอก

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกดังตารางที่ 4.3 พบว่าความชื้นของวัสดุปลูกที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างแล้วมีค่าเท่ากับ 4.97 ± 0.44 % พีเอชของวัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.53 ± 0.05 มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนๆ ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปปลูกพืช การนำไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.16 ± 0.04 mS/cm แสดงว่าเกลือที่ละลายน้ำได้ในวัสดุปลุกมีอยู่ปานกลาง (เอิบ, 2542) อินทรียวัตถุในวัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.01 ± 0.53 % ถือว่าวัสดุปลูกมีอินทรียวัตถุที่สูงมาก (เอิบ, 2542) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในวัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.94 ± 0.61 cmol/kg ถือว่ามีค่าสูง (เอิบ, 2542) บ่งบอกได้ว่าวัสดุปลูกนี้มีความอุดมสมบูรณ์ มีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารมากและปลดปล่อยให้แก่พืชได้มากเช่นกัน

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักของวัสดุปลูก (N, P, K) พบว่าไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.492 ± 0.016 % ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในวัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 116.84 ± 1.85 mg/kg ถือว่ามีปริมาณที่สูงมาก (เอิบ, 2542) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 724.54 ± 11.86 mg/kg ซึ่งมีปริมาณที่สูงมาก (เอิบ, 2542) สรุปได้ว่าปริมาณธาตุอาหารหลักในวัสดุปลูกนี้ มีปริมาณที่มากเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัสดุปลูก (Mean ± S.D.; n=3)

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์
ความชื้น (%)	4.97 ± 0.44
พีเอช	6.53 ± 0.05
การนำไฟฟ้า (mS/cm)	4.16 ± 0.04
อินทรียวัตถุ (%)	56.00 ± 0.52
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cmol/kg)	28.94 ± 0.61
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.429 ± 0.016
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	116.84 ± 1.85
โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	724.54 ± 11.86

4.3 สมบัติทางเคมีของกากตะกอนผสมวัสดุปลูกในอัตราส่วนต่างๆ

ในการการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากโรงไฟฟ้ามาปลูกผักเขียวกวางตุ้ง ได้ใช้อัตราส่วนระหว่างกากตะกอนกับวัสดุปลูก 5 อัตราส่วนคือ 0:10, 2:10, 4:10, 6:10, และ 8:10 โดยใช้ชื่อตำรับ A, B, C, D และ E ตามลำดับ เมื่อทำการผสมพบว่าเมื่อเริ่มผสมตะกอนลงไปในวัสดุปลูกที่อัตรา 2:10 ทำให้ความหนาแน่นของวัสดุปลูกเพิ่มขึ้น สังเกตได้จากเมื่อลองใช้มือสัมผัสวัสดุปลูกสามารถคงรูปร่างได้บ้าง และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของกากตะกอนขึ้นไปก็ทำให้วัสดุปลูกมีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้น ลักษณะสีวัสดุปลูกตำรับ A เป็นสีน้ำตาลเข้ม เมื่อมีการเติมกากตะกอนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สีของวัสดุปลูกมีสีที่อ่อนลง การระบายน้ำของวัสดุปลูกตำรับ A สามารถระบายน้ำได้ดีที่สุด เมื่อเติมกากตะกอนเพิ่มขึ้นทำให้สามารถในการระบายน้ำลดลง ทำให้มีความชื้นและสารอาหารคงค้างอยู่ในวัสดุปลูกไม่ถูกชะไปกับน้ำ ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกตำรับต่างๆ เป็นดังนี้ แต่ในการทดลองวัสดุปลูกตำรับ A ที่มีวัสดุปลูกเพียงอย่างเดียว โดยไม่ผสมกากตะกอนไม่สามารถรักษาระดับความชื้นให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชได้ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิมากขึ้นทำให้การระเหยของน้ำออกไปได้ง่าย แต่เมื่อรดน้ำมากเกินไป ปริมาณธาตุอาหารที่ปลดปล่อยออกจากวัสดุปลูกอาจมีมากเกินความต้องการของพืช ทำให้การเจริญเติบโตของพืชไม่สมบูรณ์ได้

4.3.1 พีเอช

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเติมกากตะกอนมากขึ้น ส่งผลให้ค่าพีเอชเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย สังเกตได้จากวัสดุปลูกตำรับ A มีพีเอช 6.53 ± 0.05 แต่กากตะกอนมีพีเอช 7.44 ± 0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

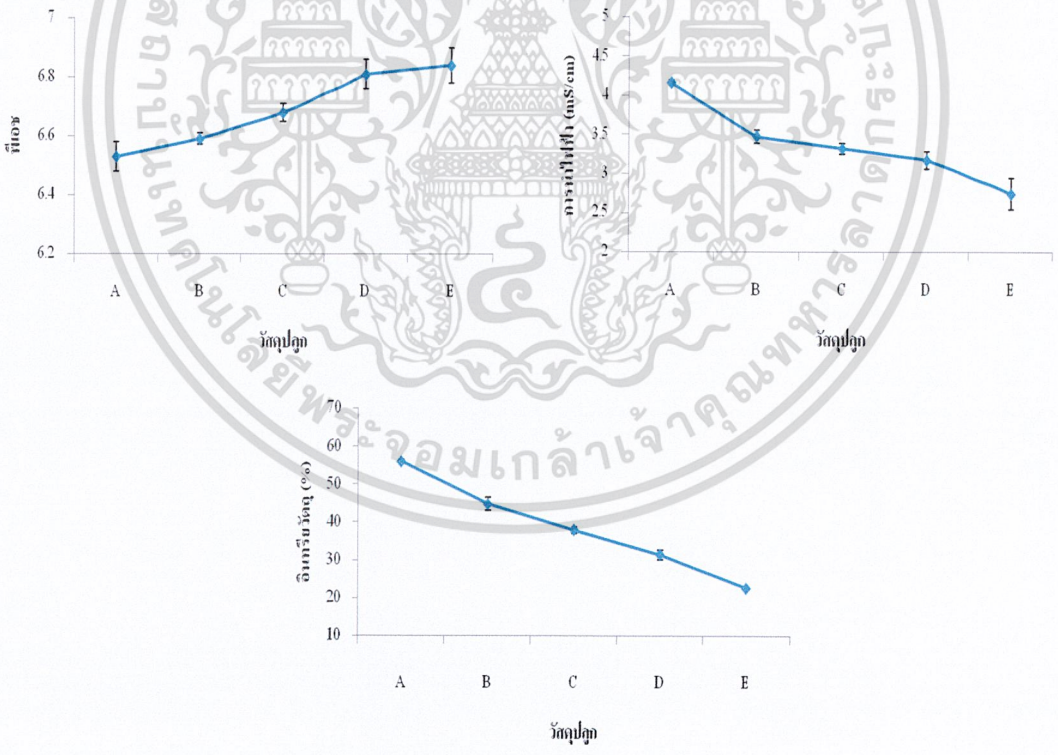
ดังนั้นเมื่อมีการเติมกากตะกอนทำให้วัสดุปลูกตำรับ B, C, D, และ E มีพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 6.59 ± 0.02, 6.68 ± 0.03, 6.81 ± 0.05, และ 6.84 ± 0.06 ตามลำดับ

4.3.3 การนำไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมกากตะกอน ส่งผลให้การนำไฟฟ้าลดลง สังเกตได้จากวัสดุปลูกตำรับ A มีการนำไฟฟ้า 4.16 ± 0.04 mS/cm แต่กากตะกอนมีค่าการนำไฟฟ้า 0.667 ± 0.005 mS/cm ดังนั้นเมื่อมีการเติมกากตะกอนทำให้วัสดุปลูกตำรับ B, C, D, และ E มีการนำไฟฟ้าลดลงเป็น 3.47 ± 0.08, 3.23 ± 0.07, 3.17 ± 0.11 และ 2.74 ± 0.20 mS/cm ตามลำดับ

4.3.4 อินทรียวัตถุ

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมกากตะกอน ส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุลดลง สังเกตได้จากวัสดุปลูกตำรับ A มีปริมาณอินทรียวัตถุ 56.01 ± 0.53 % แต่กากตะกอนมีปริมาณอินทรียวัตถุ 0.83 ± 0.14 % เมื่อมีการเติมกากตะกอนทำให้วัสดุปลูกตำรับ B, C, D, และ E มีปริมาณอินทรียวัตถุลดลงเป็น 44.78 ± 1.8, 37.88 ± 0.9, 31.35 ± 1.31 และ 22.55 ± 0.34 % ตามลำดับ

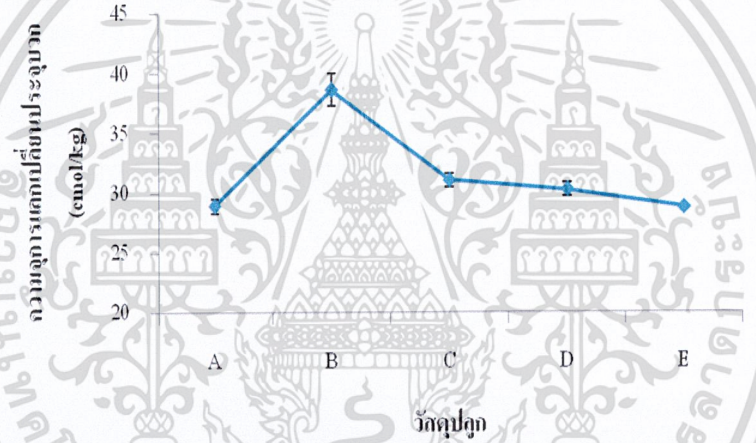


รูปที่ 4.3 พีเอช การนำไฟฟ้า และอินทรียวัตถุ ของวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

จากรูป 4.4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมกากตะกอน ส่งผลความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในวัสดุปลูกตำรับ B มากขึ้น และลดลงในวัสดุปลูกตำรับ C, D และ E สังเกตได้จากวัสดุตำรับ A มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 28.94 ± 0.61 cmol/kg แต่กากตะกอนมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 19.22 ± 0.40 cmol/kg ดังนั้นเมื่อมีการเติมกากตะกอนทำให้วัสดุปลูกตำรับ B มากขึ้นเป็น 38.64 ± 1.37 cmol/kg ถ้าเติมกากตะกอนเพิ่มขึ้นอีกทำให้วัสดุปลูก C, D และ E ลดลงเป็น 31.07 ± 0.58, 30.25 ± 0.60 และ 28.79 ± 0.10 cmol/kg ตามลำดับ สาเหตุที่วัสดุปลูกตำรับ B มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าวัสดุปลูกตำรับ A เนื่องจากประจุบวกที่มีอยู่ทั้งในอินทรียวัตถุ และสารอนินทรีย์ในตัวกากตะกอนส่วนใหญ่จะเป็นสารอนินทรีย์ เมื่อนำไปผสมกับวัสดุปลูก อาจทำให้ประจุบวกในกากตะกอนถูกแทนที่ออกมาได้มากกว่าในวัสดุปลูก เพราะธาตุที่มีขนาดใหญ่และมีเลขประจุสูงสามารถถูกแทนที่ได้ดีกว่าธาตุที่มีขนาดเล็กและเลขประจุต่ำ (กรองแก้ว, 2552)



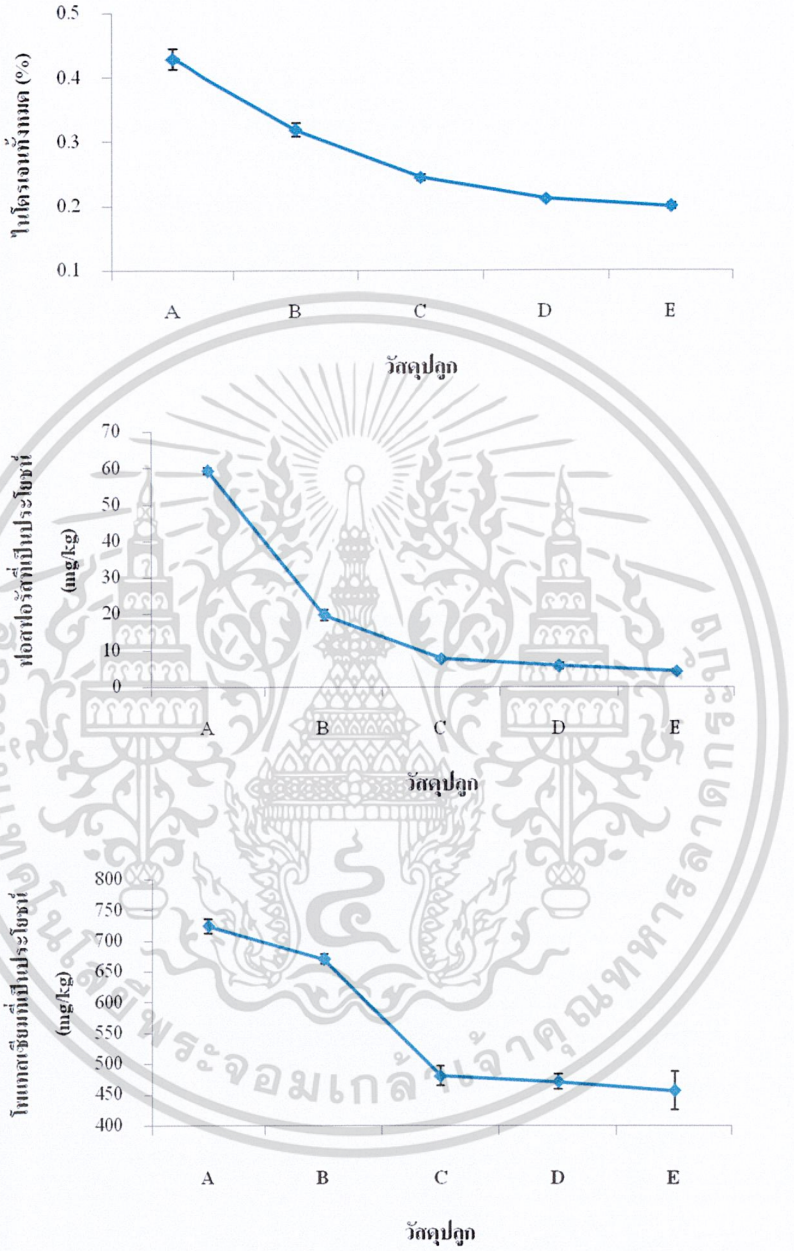
รูปที่ 4.4 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

4.3.6 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

จากรูป 4.5 แสดงให้เห็นเมื่อมีการเติมกากตะกอน ส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ลดน้อยลงสังเกตได้จากวัสดุปลูกตำรับ A มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ อยู่ 0.429 ± 0.016 %, 59.41 ± 0.90 mg/kg และ 724.54 ± 11.86 mg/kg ตามลำดับ เมื่อมีการเติมกากตะกอนทำให้วัสดุปลูกตำรับ B, C, D และ E มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลงอยู่ในช่วง 0.199-0.319 % ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงอยู่ในช่วง 4.20-19.75 mg/kg และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ลดลงอยู่ในช่วง 456.20-670.66 mg/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเกณฑ์มาตรฐานพบว่า ไนโตรเจนทั้งหมดและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มีปริมาณสูง ส่วนฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีปริมาณต่ำถึงสูงกว่าปานกลาง (เอิบ, 2542) ดังนั้นปริมาณธาตุอาหารหลักในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ มีพอเพียงต่อความเจริญเติบโตของพืช



รูปที่ 4.5 ปริมาณธาตุอาหารหลักของวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การศึกษาการงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้ง

จากการศึกษาการงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้งด้วยน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับต่างๆ จำนวน 50 เมล็ด พบว่าจำนวนเมล็ดผักเขียวกวางตุ้งที่งอกจากน้ำสกัดวัสดุปลูกตำรับต่างๆ ใกล้เคียงกัน ส่วนความยาวรากเฉลี่ยเรียงลำดับได้ดังนี้ B > A > D > C > E คือ 6.63 ± 1.84, 6.08 ± 1.96, 5.92 ± 2.73, 5.75 ± 2.01, และ 5.50 ± 1.94 เซนติเมตร ตามลำดับ ความสูงของต้นอ่อนเฉลี่ยเรียงลำดับได้ดังนี้ B > A > D > C > E คือ 7.48 ± 1.48, 7.43 ± 1.33, 6.91 ± 2.05, 6.89 ± 1.46 และ 6.33 ± 1.84 เซนติเมตร ตามลำดับ ผลการทดลองดังรูปที่ 4.6

สำหรับการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด (Percentage of Relative Seed Germination, % RSG) เปอร์เซ็นต์ความยาวรากสัมพัทธ์ (Percentage of Relative Root Growth, % RRG) และเปอร์เซ็นต์ดัชนีการงอกของเมล็ด (Percentage of Relative Germination Index, % GI) พบว่าค่า % RSG, % RRG และ % GI วัสดุปลูกตำรับ B มีค่ามากที่สุด คือ 102.08, 109.05 และ 111.31 % ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.4 ส่วนข้อมูลและการคำนวณตามภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.4 การงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้งเมื่อเพาะในน้ำสกัด

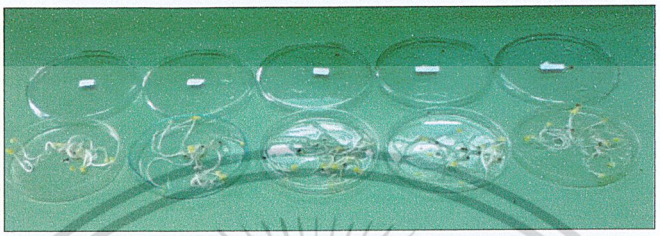
น้ำสกัด	จำนวนเมล็ดที่งอก	ความยาวรากเฉลี่ย (ซม.)	ความสูงต้นอ่อนเฉลี่ย (ซม.)	การงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด (%)	ความยาวรากสัมพัทธ์ (%)	ดัชนีการงอกของเมล็ด (%)
วัสดุปลูกตำรับ A	48	6.08 ± 1.84	7.43 ± 1.48	100	100	100
วัสดุปลูกตำรับ B	49	6.63 ± 1.96	7.48 ± 1.33	+2.08	+9.05	+11.31
วัสดุปลูกตำรับ C	47	5.75 ± 2.73	6.89 ± 2.05	-2.08	-5.37	-7.40
วัสดุปลูกตำรับ D	47	5.92 ± 2.01	6.91 ± 1.46	-2.08	-2.64	-4.67
วัสดุปลูกตำรับ E	48	5.50 ± 1.94	6.33 ± 1.84	100	-9.54	-9.54

หมายเหตุ : เครื่องหมาย + แสดงค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม
เครื่องหมาย – แสดงค่าที่ลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม

การเพาะเมล็ดผักเขียวกวางตุ้งในน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับ B ให้ความยาวรากเฉลี่ย และความสูงของต้นอ่อนเฉลี่ยดีกว่าน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับอื่นๆ ที่เพิ่มปริมาณกากตะกอน เนื่องจากในกากตะกอนอาจมีสารประกอบที่ไปยับยั้งการงอกของเมล็ดและความยาวรากได้ (อุษณีย์ และ

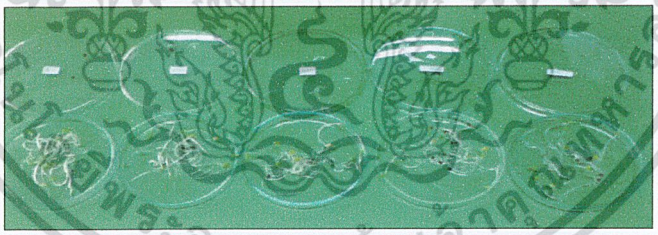
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะ, 2552) ประกอบกับสมบัติทางเคมีบางพารามิเตอร์ในวัสดุปลูกตำรับ B ที่ส่งผลให้งอกของเมล็ดดี เช่น มีค่า CEC สูงที่สุด ทำให้ธาตุอาหารเกิดกลไกการแลกเปลี่ยนประจุบวกระหว่างวัสดุปลูกกับสารละลายได้มาก ทำให้เมล็ดผักงอกและเจริญเติบโตได้ดี และจากการคำนวณ % RSG, % RRG และ % GI พบว่าวัสดุปลูกตำรับ B ให้ผลการวิเคราะห์ที่มากกว่าวัสดุปลูกตำรับ A ซึ่งใช้เป็นชุดควบคุม และวัสดุปลูก C, D และ E ดังนั้นจึงคาดว่าวัสดุปลูกตำรับ B มีความสามารถช่วยในการเจริญเติบโตของผักเขียวกวางตุ้ง ทำให้ได้ผลผลิตดีมากที่สุด

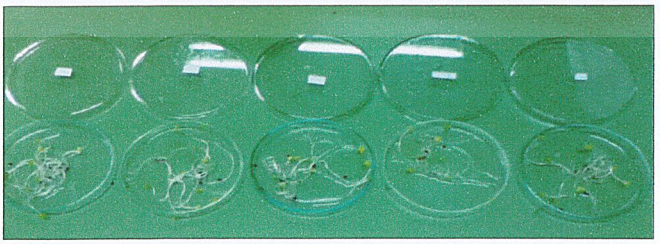


น้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับ A

น้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับ B



น้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับ C



น้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับ E

รูปที่ 4.6 การงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้งในน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

4.5 การหาอัตราส่วนกากตะกอนกับวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการปลูกผักเขียวกวางตุ้ง

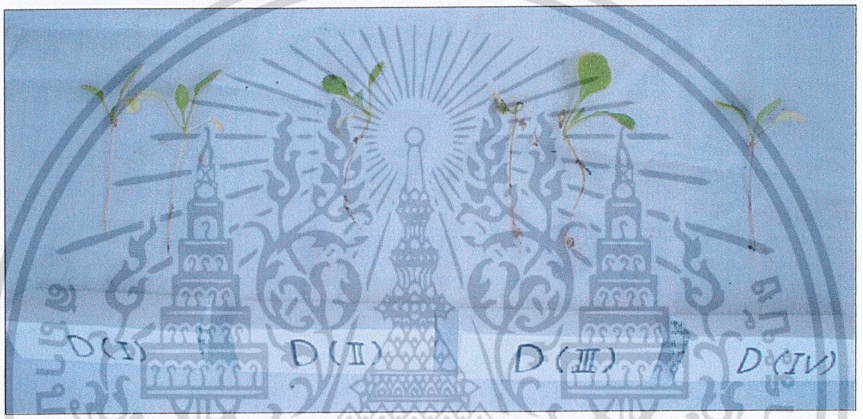
จากการนำวัสดุปลูกตำรับ A, B, C, D และ E มาปลูกผักเขียวกวางตุ้งเป็นเวลา 45 วัน การเจริญเติบโตของผักเขียวกวางตุ้งเป็นดังรูปที่ 4.7

ผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ A

ผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ C



ผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ D

ผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ E

รูปที่ 4.7 การเจริญเติบโตของผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากการเก็บเกี่ยวแล้ว ได้ทำการศึกษาการเจริญเติบโตของผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ เพื่อพิจารณาถึงการนำกากตะกอนมาเป็นวัสดุปลูกตัวเติมลงในวัสดุปลูกปริมาณที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักเขียวกวางตุ้ง โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ

4.5.1 การวิเคราะห์ความยาวของราก ความสูงของส่วนเหนือราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของผักเขียวกวางตุ้ง

การวิเคราะห์ความยาวของราก ความสูงของส่วนเหนือราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของผักเขียวกวางตุ้งนี้ สามารถประเมินได้ว่าวัสดุปลูกตำรับใดที่ความเหมาะสมในการนำไปปลูกพืชมากที่สุด และทำให้ทราบอัตราการเติมกากตะกอนที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของผักเขียวกวางตุ้ง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพืชชนิดอื่นๆได้

4.5.1.1 ความยาวรากของผักเขียวกวางตุ้ง

ความยาวรากของผักเขียวกวางตุ้งเฉลี่ยที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ เรียงลำดับได้ดังนี้ B > A > D > C > E คือ 5.95 ± 2.26, 5.95 ± 1.86, 3.68 ± 0.39, 3.35 ± 0.67 และ 3.30 ± 0.67 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเพิ่มกากตะกอนมากขึ้น ส่งผลให้ความยาวรากลดลง เนื่องมาจากลักษณะของกากตะกอนที่มีโครงสร้างโดยรวมทึบหรือมีความหนาแน่นสูง อาจทำให้รากไม่สามารถชอนไชวัสดุปลูกได้ง่าย โดยผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ B ให้ความยาวรากสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการงอกของเมล็ด เนื่องจากในวัสดุปลูกมีปริมารธาตุอาหารหลักพอเพียง อีกทั้งมีกลไกแลกเปลี่ยนประจุได้ดี ทำให้ธาตุอาหารที่มีประจุบวกสามารถแลกเปลี่ยนระหว่างวัสดุปลูกกับสารละลาย ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี แต่ทั้งนี้ต้องมีปัจจัยเรื่องของแสงแดดที่มากพอต่อความต้องการของพืชด้วย

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way-ANOVA) พบว่าวัสดุปลูกอย่างน้อย 2 ตำรับให้ความยาวรากเฉลี่ยของผักเขียวกวางตุ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบดันแคนส์ พบว่าวัสดุปลูกตำรับ A ให้ความยาวรากเฉลี่ยแตกต่างจากวัสดุปลูก D, C และ E อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนวัสดุปลูก B ให้ความยาวรากเฉลี่ยแตกต่างวัสดุปลูก D, C และ E อย่างมีนัยสำคัญ ตามภาคผนวก ง

4.5.1.2 ความสูงของส่วนเหนือรากของผักเขียวกวางตุ้ง

ความสูงของส่วนเหนือรากของผักเขียวกวางตุ้งเฉลี่ยที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ เรียงลำดับได้ดังนี้ B > C > A > D > E คือ 9.23 ± 2.95, 7.33 ± 1.05, 7.30 ± 0.88, 6.58 ± 0.55 และ 5.13 ± 0.22 เซนติเมตร ตามลำดับ จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มกากตะกอนที่อัตรา 2:10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผลให้ความสูงของส่วนเหนือรากเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มกากตะกอนมากขึ้น ความสูงของส่วนเหนือรากมีค่าลดลง เนื่องมาจากการที่รากไม่สามารถชอนไชได้มากนัก ทำให้ผักเขียวกวางตุ้งไม่มีแหล่งอาหารที่พอเพียง อีกทั้งปริมาณธาตุอาหารหลักที่ลดลง ทำให้ผักเขียวกวางตุ้งเจริญเติบโตได้ไม่ดี

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way-ANOVA) พบว่าวัสดุปลูกอย่างน้อย 2 ตำรับให้ความสูงของส่วนเหนือรากเฉลี่ยของผักเขียวกวางตุ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบดันแคนส์ พบว่าวัสดุปลูกตำรับ B ให้ความสูงของส่วนเหนือรากเฉลี่ยแตกต่างจากวัสดุปลูก D และ E อย่างมีนัยสำคัญ ตามภาคผนวก ง

4.5.1.3 น้ำหนักสดของผักเขียวกวางตุ้ง

น้ำหนักสดของผักเขียวกวางตุ้งเฉลี่ยที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ เรียงลำดับได้ดังนี้ B > A > C > D > E คือ 529.23 ± 292.85, 391.10 ± 181.76, 302.18 ± 109.28, 212.85 ± 85.96 และ 135.53 ± 51.98 มิลลิกรัม ตามลำดับ จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มกากตะกอนที่อัตรา 2:10 ส่งผลให้น้ำหนักสดของผักเขียวกวางตุ้งเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากวัสดุปลูกตำรับ B มีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต คือ สามารถอุ้มน้ำได้พอเหมาะ มีความร่วนซุยปานกลาง และยังมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง จึงเกิดกลไกในการปลดปล่อยธาตุอาหาร เช่น K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} และอื่นๆ ให้อยู่ในรูปของสารละลายในวัสดุปลูกที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่เมื่อเพิ่มกากตะกอนมากขึ้นส่งผลให้น้ำหนักสดลดลงอย่างมาก เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของวัสดุปลูกตำรับ C, D, และ E มีความหนาแน่นมากเกินไป พืชจึงไม่สามารถใช้รากในการดูดซึมธาตุอาหารได้ ปริมาณอินทรียวัตถุลดลงทำให้ไม่มีแหล่งกักเก็บสารอาหาร และปริมาณธาตุอาหารหลักที่ลดลง ก็ส่งผลให้การเจริญเติบโตได้ไม่ดีด้วย

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way-ANOVA) พบว่าวัสดุปลูกอย่างน้อย 2 ตำรับให้น้ำหนักสดเฉลี่ยของผักเขียวกวางตุ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบดันแคนส์ พบว่าวัสดุปลูกตำรับ B ให้น้ำหนักสดเฉลี่ยแตกต่างจากวัสดุปลูก D และ E อย่างมีนัยสำคัญ ตามภาคผนวก ง

4.5.1.4 หนักแห้งของผักเขียวกวางตุ้ง

น้ำหนักสดของผักเขียวกวางตุ้งเฉลี่ยที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ เรียงลำดับได้ดังนี้ B > A > C > E > D คือ 45.78 ± 29.40, 45.45 ± 14.13, 30.78 ± 10.87, 18.40 ± 5.83 และ 16.93 ± 4.61 มิลลิกรัม ตามลำดับ เมื่อเพิ่มกากตะกอนลงไป น้ำหนักแห้งของผักเขียวกวางตุ้งที่ได้ในวัสดุปลูกตำรับ B, C, D และ E ลดน้อยลง การที่น้ำหนักแห้งของผักที่ปลูกในวัสดุปลูกทุกตำรับมีน้ำหนักลดลงจากน้ำหนักสดไปมาก เนื่องจากผักเขียวกวางตุ้งเป็นผักที่มีปริมาณน้ำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบมาก ประมาณ 90 % (สมภพ, 2534) เมื่อนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทำให้ความชื้นในผักเขียวกวางตุ้งระเหยออกไปมาก

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way-ANOVA) พบว่าวัสดุปลูกอย่างน้อย 2 ตำรับให้น้ำหนักสดเฉลี่ยของผักเขียวกวางตุ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าวัสดุปลูกตำรับ A ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยแตกต่างจากวัสดุปลูก D และ E อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนวัสดุปลูก B ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยแตกต่างวัสดุปลูก D และ E อย่างมีนัยสำคัญ ตามภาคผนวก ง

ตารางที่ 4.5 เป็นการสรุปผลการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของผักเขียวกวางตุ้ง การปลูกผักเขียวกวางตุ้งในวัสดุปลูกตำรับ B สามารถทำให้พืชมีความยาวของราก ความสูงของส่วนเหนือราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมากที่สุด เนื่องจากเมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกตำรับ B พบว่า มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเด่นที่สุด ทำให้การกลไกการแลกเปลี่ยนธาตุอาหารเกิดขึ้นได้ดี พืชจึงดึงไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย และด้วยปริมาณธาตุอาหารหลักที่พอเพียงต่อการเจริญเติบโตของพืช ประกอบกับลักษณะของวัสดุปลูกตำรับ B มีความร่วนซุยไม่มากหรือน้อยจนเกินไป ทำให้สามารถพอจะรักษาความชื้นไว้ได้ระดับหนึ่ง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การเติมกากตะกอนผสมกับวัสดุปลูกในอัตราส่วน 2:10 ทำให้มีการเจริญเติบโต และได้ผลผลิตออกมาดีที่สุด และเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของกากตะกอนมากขึ้น ทำให้ผลผลิตที่ได้ลดน้อยลง แต่ผลผลิตที่ได้หลังจากการปลูกผักเขียวกวางตุ้ง 45 วัน มีปริมาณน้อย อาจเนื่องมาจากตัววัสดุปลูกไม่สามารถกักเก็บความชื้นไว้ได้นานนัก ซึ่งผักเขียวกวางตุ้งเป็นผักที่ต้องการความชื้นสูง (สัมฤทธิ์, 2537) จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของกากตะกอนก่อน หรืออาจเพิ่มวัสดุปลูกชนิดอื่นที่สามารถช่วยในการกักเก็บความชื้นได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของผักเขียวกวางตุ้ง (Mean ± S.D.; n=4)

พืชในวัสดุปลูกตำรับ	ความยาวรากเฉลี่ย (ซม.)	ความสูงส่วนเหนือรากเฉลี่ย (ซม.)	น้ำหนักสดเฉลี่ย (มิลลิกรัม)	น้ำหนักแห้งเฉลี่ย (มิลลิกรัม)
A	$5.95^{a} \pm 1.86$	$7.30^{ab} \pm 0.88a$	$391.10^{ab} \pm 181.76$	$45.45^{a} \pm 14.13$
B	$5.95^{a} \pm 2.26$	$9.23^{a} \pm 2.95a$	$529.23^{a} \pm 292.85$	$45.78^{a} \pm 29.40$
C	$3.35^{b} \pm 0.67$	$7.33^{ab} \pm 1.05a$	$302.18^{ab} \pm 109.28$	$30.78^{a} \pm 10.87$
D	$3.68^{b} \pm 0.39$	$6.58^{b} \pm 0.55$	$212.85^{b} \pm 85.96$	$18.40^{b} \pm 5.83$
E	$3.30^{b} \pm 0.67$	$5.13^{b} \pm 0.22$	$135.53^{b} \pm 51.98$	$16.93^{b} \pm 4.61$

*หมายเหตุ : ค่าที่ยกกำลังด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

4.5.2 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผักเขียวกวางตุ้ง

ในการนำกากตะกอนมาใช้ในภาคการเกษตร ปัจจัยเรื่องโลหะหนักมีความสำคัญมาก เนื่องจากโลหะหนักที่ปนเปื้อนในกากตะกอนมีโอกาสเคลื่อนย้ายไปสะสมตามส่วนต่างๆ ของพืช ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตได้

โลหะหนักในโครงงานพิเศษนี้มุ่งไปที่นิกเกิล และแคดเมียม เนื่องจากทั้ง 2 ธาตุสามารถทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชได้ (Phytotoxic) (Walter et al, 2006) ซึ่งนิกเกิลในปริมาณสูงทำให้พืชเกิดอาการซีดเหลืองระหว่างเส้นใบจากใบอ่อนไปสู่ใบแก่ เกิดการตายของเนื้อเยื่อ (สันติ, 2526; Mengel and Kirkby, 1982) ส่วนอาการผิดปกติจากธาตุแคดเมียมคือ เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบซีดเหลือง ต้นแคระแกรน การเจริญของรากลดลง และเกิดการเน่า เมื่อความเข้มข้นและระยะเวลาที่ได้รับแคดเมียมเพิ่มขึ้น (สันติ, 2526; Hewitt, 1953)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิล และแคดเมียม ดังตารางที่ 4.6 พบว่าผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ D มีการสะสมของนิกเกิล และแคดเมียมในปริมาณมากที่สุด คือ 6.15 และ 1.58 mg/kg ตามลำดับ รองมาคือผักเขียวกวางตุ้งในวัสดุปลูกตำรับ C พบปริมาณแคดเมียม 1.14 mg/kg ไม่เกินเกณฑ์ระดับเป็นพิษในข้าว ส่วนผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ A, B และ E พบว่ามีปริมาณนิกเกิลและแคดเมียมไม่เกินมาตรฐานระดับการเป็นพิษในข้าว (Brady, 2002) ซึ่งแคดเมียมที่พบในผักเขียวกวางตุ้งพบว่ามีปริมาณมากกว่าในกากตะกอน เนื่องจากในตัววัสดุปลูกเองอาจมีแคดเมียมสะสมอยู่ได้ (สังเกตได้จากปริมาณแคดเมียมของผักเขียวกวางตุ้งในวัสดุปลูกตำรับ A) จึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ตรวจพบในปริมาณสูง และส่งผลให้ผักเขียวกวางตุ้งเจริญเติบโตได้ไม่ดีด้วย ดังนั้นจึงควรวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในวัสดุปลูกประกอบด้วย

ตารางที่ 4.6 ปริมาณนิกเกิล และแคดเมียมในผักเขียวกวางตุ้ง (Mean ± S.D.; n=2)

พืชในวัสดุปลูกตำรับ	ปริมาณที่ตรวจพบ (mg/kg)	
	นิกเกิล	แคดเมียม
A	1.66 ± 0.76	0.59 ± 0.27
B	5.05 ± 2.48	0.99 ± 0.13
C	4.09 ± 0.97	1.14 ± 0.05
D	6.15 ± 0.27	1.58 ± 0.10
E	3.86 ± 0.84	0.29 ± 0.13
ระดับเป็นพิษในข้าว (Brady, 2002)	20-50	5-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีมาปลูกผักเขียวกวางตุ้ง โดยนำกากตะกอนมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีก่อน พบว่ากากตะกอนมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ แต่ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ในกากตะกอนมีปริมาณที่ต่ำเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานความสูงต่ำของค่าวิเคราะห์ทางเคมีของดิน (เอิบ, 2542) ส่วนปริมาณโลหะหนัก (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb และ Zn) ในกากตะกอนจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีมีค่าไม่เกินมาตรฐานกากตะกอนเพื่อการเกษตรของสหรัฐอเมริกาทุกธาตุ ดังนั้นการนำกากตะกอนจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีมาปลูกผักเขียวกวางตุ้งมีความเป็นไปได้ จึงได้นำกากตะกอนมาผสมกับวัสดุปลูก 5 อัตราส่วน คือ 0:10, 2:10, 4:10, 6:10 และ 8:10 ใช้ชื่อตำรับวัสดุปลูกว่า วัสดุปลูกตำรับ A, B, C, D และ E ตามลำดับ โดยแบ่งการศึกษาออก 2 ส่วน สรุปได้ดังนี้

5.1.1 การศึกษาการงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้ง พบว่าน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับ B (อัตราส่วนการเติมกากตะกอนต่อวัสดุปลูก เท่ากับ 2:10) ให้ความยาวราก และความสูงของต้นอ่อนมากที่สุด คือ 6.63 ± 1.96 และ 7.48 ± 1.33 เซนติเมตร ตามลำดับ และจากการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด (% RSG) เปอร์เซ็นต์ความยาวรากสัมพัทธ์ (% RRG) และเปอร์เซ็นต์ดัชนีการงอกของเมล็ด (% GI) พบว่าน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับ B ให้ค่ามากที่สุด คือ 102.08, 109.05 และ111.31 % ตามลำดับ จึงสรุปว่าวัสดุปลูกตำรับ B มีส่วนส่งเสริมในการเจริญเติบโตของผักเขียวกวางตุ้งดีกว่าวัสดุปลูกตำรับอื่นๆ

5.1.2 การศึกษาอัตราส่วนกากตะกอนกับวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการปลูกผักเขียวกวางตุ้ง พบว่าผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ B ให้ความยาวราก และความสูงของส่วนเหนือราก ดีที่สุด คือ 5.95 ± 2.26 และ 9.23 ± 2.95 เซนติเมตร ส่วนน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง พบว่าผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ B ให้ผลดีที่สุด คือ 529.23 ± 181.76 และ 45.78 ± 29.40 มิลลิกรัม ตามลำดับ การที่วัสดุปลูกตำรับ B ที่มีการเติมกากตะกอนในอัตรา 2:10 ให้ผลผลิตออกมาดีที่สุดนั้น เนื่องมาจากมีลักษณะที่ร่วนซุย โดยใช้การสังเกตด้วยตาพบว่า เมื่อเทียบกับวัสดุปลูกตำรับ A ซึ่งมีความร่วนซุยที่มากเกินไป จนไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากนัก และเมื่อเทียบกับวัสดุปลูกตำรับ C, D และ E ที่มีปริมาณกากตะกอนเพิ่มขึ้น ทำให้วัสดุปลูกมีความหนาแน่นมากจนเกินไป เป็นผลทำให้รากไม่สามารถชอนไชได้ง่าย ในส่วนของปริมาณโลหะหนักในผักเขียวกวางตุ้งที่สนใจ คือ นิกเกิล และแคดเมียมนั้น พบว่าผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกทุกตำรับมีปริมาณไม่เกินมาตรฐานระดับการเป็นพิษในข้าว (Brady, 2002) ดังนั้นการศึกษาความเป็นไปได้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำกากตะกอนจากโรงไฟฟ้ามาปลูกผักเขียวกวางตุ้งนั้น ควรใช้อัตราส่วนระหว่างกากตะกอนกับวัสดุปลูกในอัตราส่วน 2:10

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการนำกากตะกอนไปผ่านกระบวนการหมักทำปุ๋ยก่อน เพื่อให้กากตะกอนมีสภาพที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานด้านการเกษตร

5.2.2 วัสดุปลูกที่ผสมระหว่างขุยมะพร้าว ขี้เถ้าแกลบ และปุ๋ยคอก สามารถนำมาใช้ในการปลูกพืชได้ แต่อาจมีสมบัติบางประการที่ยังไม่เหมาะสม จึงควรมีวัสดุปลูกตัวเลือกอื่นๆ มาปรับปรุงให้วัสดุปลูกมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

5.2.3 อาจมีการทดลองนำวัสดุปลูกตำรับต่างๆ ไปทดลองทำเป็นวัสดุปรับปรุงดิน แทนการนำมาปลูกพืชโดยตรง ซึ่งอาจทำให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์ เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ:สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.

กรองแก้ว ทิพยศักดิ์. 2552. **เคมีสิ่งแวดล้อม 2.** ภาควิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จำเป็น อ่อนทอง. 2547. **คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช**. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ไชยยุทธ ชูยอด และสมธเนศ ตั้งภัทรธนวงศ์. 2539. **ความเป็นประโยชน์ต่อพืชของตะกอนที่ได้จากโรงงานบำบัดน้ำเสียสี่พระยา : ศึกษากรณีชุดดินบางกอก (Bk) โดยใช้ผักกาวขาวปลี (Brassica Pekinensis L.) เป็นพืชทดสอบ**. ปริญญานิพนธ์เกษตรศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชูศักดิ์ จอมพุก. 2552. **สถิติ : การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยด้านพืชด้วย "R".** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภัทสวันต์ แสงคำ, อรุณศิริ กำลัง และจันทร์จรัส วีรสาร. 2550. ผลของการปรับปรุงคุณภาพดินปนเปื้อนโซเดียมเบนทอไนต์ด้วยยิปซัมและแกลบต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดเขียวกวางตุ้ง. **วิทยาสารกำแพงแสน.** 5(3): 10-18.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชาลิต ฮงประยูร. 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกาตรศาสตร์. หน้า 197-199.

วันเพ็ญ น้อยตำแย และอารีรัตน์ หัฏฐเมตตา. 2543. **การนำตะกอนน้ำเสียจากการบำบัดนำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลังมาปลูกคะน้า.** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สันติ บุญฟ้าประทาน. 2526. **ผลของแคตไอออนของแคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี ต่อปรากฏการณ์การขาดเหล็กในพืชบางชนิด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. 2544. **การประเมินความเป็นประโยชน์เถ้าลอยลิกไนต์ต่อการปลูกพืชอาหารสัตว์.** สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุษณีย์ อุยะเสถียร , สิริพร เอกวรานุกูลศิริ และ ปพิชญา ศรีเทพ. 2550. การศึกษาลักษณะสมบัติและความเป็นพิษต่อพืชของกากตะกอนน้ำเสียชุมชน เพื่อนำไปใช้ในการเกษตร. **Environment and Natural Resources Journal.** 7(1) : หน้า 25-35

เอิบ เขียวรื่นรมย์. 2542. **การสำรวจดิน.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Brady, N.C. and R.R. Weil. 2002. **The Nature and Properties of Soils.** Prentice Hall, New Jersey.

Dai, J., Xu, M., Chen, J., Yang, X. & Ke, Z. 2007. PCDD/F, PAH and Heavy Metals in the Sewage Sludge from Six Wastewater Treatment Plants in Beijing, China. **Chemosphere,** 66(2), 353-61.

Dolgen, D., Alpaslan. N.M. and Delen, N. 2004. Use of an Agro-Industry Treatment Plant Sludge on Iceberg Lettuce Growth. **Ecological Engineering** 23, 117-125.

Dolgen, D., Alpaslan. N.M. and Delen, N. 2006. Agricultural Recycling of Treatment-Plant Sludge: A Case Study for a Vegetable-Processing Factory. **Journal of Environmental Management** 84, 274–281.

Hachicha, S., Cegarra, J., Sellami, F., Hachicha, R. and Drira, N. 2008. Elimination of Polyphenols Toxicity from Olive Mill Wastewater Sludge by Its Co-Composting With Sesame Bark. **Journal of Hazardous Materials** 161, 1131–1139

Hewitt, E.J. 1953. **Metal Interrelationship in Plant Nutrition.** J. Exper. Bot 4: 59-64.

Jacobs, L.W. 1981. **Sludge and its ultimate disposal : Agricultural application of sewage sludge**. Michigan: Ann Arbor Science Publishers.

Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1982. **Principles of Plant Nutrition.** International Potash Institute, Bern. 655 p.

Singh, R.P. and Agrawal, M. 2010. Variations in Heavy Metal Accumulation, Growth and Yield of Rice Plants Grown at Different Sewage Sludge Amendment Rates. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 73, 632-641.

Walter, I., Martinez, F. and Cala, V. 2006. Heavy Metal Speciation and Phytotoxic Effects of Three Representative Sewage Sludges for Agricultural Uses. **Environmental Pollution**, 139.

Zhou, S.q., Lu, W.d. and Zhou, X. 2010. Effects of Heavy Metals on Planting Watercress in Kailyard Soil Amended by Adding Compost of Sewage Sludge. Process **Safety and Environmental Protection** 88, 263-268

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[Online]. Available : www.epa.gov

[Online]. Available : www.pcd.go.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์พืช

ก.1 หลักการเก็บและเตรียมตัวอย่างพืช (จำเป็น, 2547)

หลักการสำคัญในการเก็บตัวอย่างพืช คือพืชที่เก็บต้องเป็นตัวแทนของกลุ่มพืชที่ต้องการวิเคราะห์อย่างแท้จริง และเนื่องจากการสะสมของธาตุอาหารต่างๆ ในแต่ละส่วนของพืชไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องกำหนดส่วนของพืชที่ชัดเจนและเก็บตัวอย่างได้สะดวก โดยที่ธาตุอาหารในส่วนนั้นต้องมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช ในปัจจุบันได้นำผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืชมาใช้ประกอบการตัดสินใจในการใช้ปุ๋ยกับไม้ผลกันมากขึ้น การเก็บตัวอย่างให้เป็นตัวแทนที่ดีจึงมีความสำคัญ สำหรับการเก็บตัวอย่างไม้ผลทั่วไปควรเก็บใบเพสลาด จากส่วนกลางๆ ของกิ่งที่เกิดใหม่และใบเพิ่งโตเต็มที่ โดยเก็บจากกิ่งในระดับกลางๆ จากทุกทิศรอบนอกทรงพุ่มจาก 15-25 ต้น รวมเป็นตัวอย่างเดียวในถุงกระดาษ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าในใบเพสลาด ธาตุอาหารโดยส่วนใหญ่ยังคงเปลี่ยนแปลงมาก ดังนั้นจึงควรเก็บใบที่มีอายุ 3-7 เดือน ซึ่งแตกต่างกันไปในไม้ผลแต่ละชนิด นำตัวอย่างใบไปกำจัดฝุ่นหรือสารอื่นๆ ที่เกาะอยู่ที่ใบก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส และบดให้ละเอียดเพื่อเก็บไว้วิเคราะห์ธาตุอาหาร

อุปกรณ์

1. ถุงกระดาษขนาด 2x5 และ 8x5 นิ้ว
2. ผ้าขาวบางสะอาด
3. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ
4. โกร่งบดยา

การเตรียมตัวอย่างพืช

1. การกำจัดสิ่งปนเปื้อน ถ้ามีฝุ่นเกาะใบต้องกำจัดออกโดยล้างด้วยน้ำประปา และน้ำกลั่นตามลำดับ ซับให้แห้งด้วยผ้าขาวบางที่สะอาด บันทึกน้ำหนักสด
2. การอบตัวอย่าง นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 1-2 วัน บันทึกน้ำหนักแห้ง
3. การบดตัวอย่าง บดให้ละเอียดด้วยโกร่งบดยา
4. การเก็บรักษาตัวอย่างเพื่อรอวิเคราะห์ เก็บไว้ในถุงกระดาษเล็ก และอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาอย่างน้อย 5 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในพืช (ประยุกต์ใช้จาก Singh and Agrawal, 2010)

สารเคมี

1. สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (Conc. HNO_3) บริษัท Carlo ERBA
2. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) บริษัท Carlo ERBA
3. สารละลายกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น ($HClO_4$) บริษัท Carlo ERBA

(เตรียมสารละลายย่อยสลาย Tri Acid โดยใช้อัตราส่วน HNO_3:H_2SO_4:$HClO_4$ เท่ากับ5:1:1)

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างพืช 0.1000 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย Tri Acid ลงไป 7 มิลลิลิตร
3. นำไปย่อยบนเตาให้ความร้อนโดยเริ่มที่อุณหภูมิประมาณ 80-100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งควันสีน้ำตาลหมดไป
4. เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200 องซาเซลเซียส ย่อยต่อจนปรากฏควันสีขาวประมาณ 30 นาที
5. วางให้เย็นและถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตร
6. กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 เก็บสารละลายไว้วิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์พารามิเตอร์

ตารางที่ ข.1 พีเอช (pH) ของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

ตัวอย่าง	ครั้งที่	พีเอช	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กากตะกอน	1	7.40	7.44	0.04
	2	7.44		
	3	7.48		
วัสดุปลูกตำรับ A	1	6.55	6.53	0.05
	2	6.57		
	3	6.48		
วัสดุปลูกตำรับ B	1	6.61	6.59	0.02
	2	6.58		
	3	6.58		
วัสดุปลูกตำรับ C	1	6.66	6.68	0.03
	2	6.66		
	3	6.72		
วัสดุปลูกตำรับ D	1	6.75	6.81	0.05
	2	6.84		
	3	6.83		
วัสดุปลูกตำรับ E	1	6.78	6.84	0.06
	2	6.87		
	3	6.88		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 การนำไฟฟ้า (Conductivity) ของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

ตัวอย่าง	ครั้งที่	การนำไฟฟ้า (mS/cm)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กากตะกอน	1	0.672	0.667	0.005
	2	0.663		
	3	0.665		
วัสดุปลูกตำรับ A	1	4.140	4.157	0.038
	2	4.130		
	3	4.200		
วัสดุปลูกตำรับ B	1	3.560	3.467	0.081
	2	3.420		
	3	3.420		
วัสดุปลูกตำรับ C	1	3.240	3.323	0.072
	2	3.370		
	3	3.360		
วัสดุปลูกตำรับ D	1	3.280	3.173	0.110
	2	3.060		
	3	3.180		
วัสดุปลูกตำรับ E	1	2.920	2.737	0.196
	2	2.530		
	3	2.760		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ความชื้น (Moisture) ของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ความชื้น (%)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กากตะกอน	1	5.0013	4.6910	6.61	6.58	0.35
	2	5.0322	4.7374	6.22		
	3	5.0197	4.6951	6.91		
วัสดุปลูกตำรับ A	1	1.0016	0.9497	5.46	4.97	0.44
	2	1.0117	0.9668	4.64		
	3	0.8424	0.8039	4.79		
วัสดุปลูกตำรับ B	1	0.8531	0.8190	4.16	4.94	0.75
	2	1.0525	0.9961	5.66		
	3	1.0107	0.9625	5.01		
วัสดุปลูกตำรับ C	1	1.0271	0.9792	4.89	4.89	0.37
	2	1.0857	1.0315	5.25		
	3	1.0387	0.9938	4.52		
วัสดุปลูกตำรับ D	1	1.0872	1.0402	4.52	4.71	0.41
	2	1.0034	0.9540	5.18		
	3	1.0120	0.9691	4.43		
วัสดุปลูกตำรับ E	1	1.0538	1.0097	4.37	4.65	0.25
	2	1.0049	0.9586	4.83		
	3	1.0236	0.9771	4.76		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter, OM) ของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักปียก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาตร FAS (มิลลิลิตร)		อินทรียวัตถุ (%)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
				แบลงค์	ตัวอย่าง			
กากตะกอน	1	0.2230	0.2092	19.20	18.80	0.67	1.13	0.60
	2	0.2040	0.1914	19.20	18.70	0.91		
	3	0.2063	0.1936	19.20	18.70	1.81		
วัสดุปลูกตำรับ A	1	0.2109	0.2009	38.60	6.36	55.85	56.00	0.52
	2	0.2117	0.2017	38.60	6.40	55.57		
	3	0.2081	0.1982	38.60	6.37	56.58		
วัสดุปลูกตำรับ B	1	0.2029	0.1933	38.60	12.81	46.43	44.77	1.80
	2	0.2199	0.2095	38.60	12.80	42.85		
	3	0.2089	0.1991	38.60	12.84	45.04		
วัสดุปลูกตำรับ C	1	0.2191	0.2089	38.60	16.40	36.99	37.89	0.88
	2	0.2101	0.2003	38.60	16.30	38.75		
	3	0.2136	0.2036	38.60	16.40	37.94		

ตารางที่ ข.4 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter, OM) ของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักปีกก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาตร FAS (มิลลิลิตร)		อินทรียวัตถุ (%)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
				แบลงค์	ตัวอย่าง			
วัสดุปลูกตำรับ D	1	0.2117	0.2022	38.60	20.90	30.47	31.35	1.31
	2	0.2123	0.2028	38.60	20.70	30.73		
	3	0.2052	0.1960	38.60	20.10	32.86		
วัสดุปลูกตำรับ E	1	0.2136	0.2041	38.60	25.60	22.17	22.55	0.34
	2	0.2122	0.2028	38.60	25.30	22.83		
	3	0.2123	0.2029	38.60	25.40	22.65		

ตัวอย่างการคำนวณ

หาปริมาณอินทรียวัตถุ (%) ของกากตะกอน ครั้งที่ 1 จากสูตร

$$OM\ (\%) = \frac{(B-T)}{B} \times \frac{100}{77} \times \frac{100}{58} \times \frac{3}{1000} \times \frac{100}{W} \times V$$

โดยที่ B = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

T = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

W = น้ำหนักแห้งตัวอย่าง (กรัม)

V = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (มิลลิลิตร)

$$OM\ (\%) = \frac{(19.2-18.8)}{19.2} \times \frac{100}{77} \times \frac{100}{58} \times \frac{3}{1000} \times \frac{100}{0.2092} \times 10$$

OM = 0.67 %

** ส่วนตัวอย่างอื่นๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Capacity Exchange Cation, CEC) ของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักปียก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาตร HCl		ความเข้มข้นของ HCl (นอร์มัล)	CEC (cmol/kg)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
				แบลงค์	ตัวอย่าง				
กากตะกอน	1	20.0567	18.8184	0.50	34.90	0.1065	19.47	19.22	0.40
	2	20.0988	18.8579	0.50	33.70	0.1065	18.75		
	3	20.1529	18.9087	0.50	35.00	0.1065	19.43		
วัสดุปลูกตำรับ A	1	5.0086	4.7715	0.50	13.70	0.1065	29.46	28.94	0.61
	2	5.0231	4.7853	0.50	13.20	0.1065	28.26		
	3	5.0337	4.7954	0.50	13.60	0.1065	29.09		
วัสดุปลูกตำรับ B	1	5.0316	4.7947	0.50	18.50	0.1065	39.98	38.64	1.37
	2	5.0120	4.7761	0.50	17.20	0.1065	37.24		
	3	5.0248	4.7883	0.50	17.90	0.1065	38.70		
วัสดุปลูกตำรับ C	1	5.0528	4.8172	0.50	14.50	0.1065	30.95	31.07	0.58
	2	5.0811	4.8442	0.50	14.40	0.1065	30.56		
	3	5.1096	4.8714	0.50	15.00	0.1065	31.70		

ตารางที่ ข.5 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Capacity Exchange Cation, CEC) ของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักปียก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาตร HCl		ความเข้มข้นของ HCl (นอร์มัล)	CEC (cmol/kg)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
				แบลงค์	ตัวอย่าง				
วัสดุปลูกสูตร D	1	5.0160	4.7904	0.50	14.20	0.1065	30.46	30.25	0.60
	2	5.0099	4.7845	0.50	14.30	0.1065	30.72		
	3	5.0149	4.7893	0.50	13.80	0.1065	29.58		
วัสดุปลูกสูตร E	1	5.0018	4.7796	0.50	13.40	0.1065	28.74	28.79	0.10
	2	5.0139	4.7911	0.50	13.50	0.1065	28.90		
	3	5.0066	4.7841	0.50	13.40	0.1065	28.72		

ตัวอย่างการคำนวณ

หาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (%) ของกากตะกอน ครั้งที่ 1 จากสูตร

$$\text{CEC (cmol/kg)} = \frac{(T-B) \times N}{W} \times 100$$

โดยที่ T = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (นอร์มัล)

W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)

$$\text{CEC (cmol/kg)} = \frac{(34.9-0.5) \times 0.1065}{18.8184} \times 100$$

CEC = 19.47 cmol/kg

** ส่วนตัวอย่างอื่นๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) ของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักปียก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาตร HCl		ความเข้มข้นของ HCl (นอร์มัล)	ไนโตรเจน (%)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
				แบลงค์	ตัวอย่าง				
กากตะกอน	1	5.0524	4.7405	0.30	2.70	0.1065	0.075	0.068	0.006
	2	5.0352	4.7243	0.30	2.40	0.1065	0.066		
	3	5.0019	4.6931	0.30	2.30	0.1065	0.064		
วัสดุปลูกตำรับ A	1	5.0249	4.7870	0.30	14.50	0.1065	0.442	0.429	0.016
	2	5.0200	4.7823	0.30	14.20	0.1065	0.433		
	3	5.0260	4.7880	0.30	13.50	0.1065	0.411		
วัสดุปลูกตำรับ B	1	5.0181	4.7819	0.30	10.70	0.1065	0.324	0.319	0.011
	2	5.0074	4.7717	0.30	10.10	0.1065	0.306		
	3	5.0195	4.7832	0.30	10.80	0.1065	0.327		
วัสดุปลูกตำรับ C	1	5.0155	4.7817	0.30	8.30	0.1065	0.249	0.245	0.005
	2	5.0049	4.7716	0.30	8.00	0.1065	0.241		
	3	5.0095	4.7760	0.30	8.10	0.1065	0.244		

ตารางที่ ข.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) ของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักปียก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาตร HCl		ความเข้มข้นของ HCl (นอร์มัล)	ไนโตรเจน (%)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
				แบลงค์	ตัวอย่าง				
กากตะกอน	1	5.0149	4.7898	0.30	7.00	0.1065	0.209	0.211	0.002
	2	5.0063	4.7816	0.30	7.10	0.1065	0.212		
	3	5.0122	4.7872	0.30	7.10	0.1065	0.212		
วัสดุปลูกตำรับ A	1	5.0081	4.7856	0.30	6.70	0.1065	0.199	0.199	0.005
	2	5.0001	4.7779	0.30	6.50	0.1065	0.193		
	3	5.0015	4.7793	0.30	6.80	0.1065	0.203		

ตัวอย่างการคำนวณ

หาปริมาณไนโตรเจน (%) ของกากตะกอน ครั้งที่ 1 จากสูตร

$$\text{Total N (\%)} = \frac{(T-B) \times N \times 1.4}{W}$$

โดยที่ T = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (นอร์มัล)

W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)

$$\text{Total N (\%)} = \frac{(2.70-0.3) \times 0.1065 \times 1.4}{4.7405}$$

Total N = 0.075 %

** ส่วนตัวอย่างอื่นๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักปียก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาตรน้ำยาสกัด (มิลลิลิตร)	เจือจาง (เท่า)	ค่าดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/kg)	P (ppm, mg/kg)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กากตะกอน	1	2.0646	1.9371	25	-	0.291	0.48	6.19	5.78	0.60
	2	2.0056	1.8818	25	-	0.234	0.38	5.09		
	3	2.0192	1.8945	25	-	0.279	0.46	6.06		
วัสดุปลูกตำรับ A	1	2.0805	1.9820	25	5	0.555	0.93	58.41	59.41	0.90
	2	2.0350	1.9386	25	5	0.555	0.93	59.71		
	3	2.0173	1.9218	25	5	0.554	0.92	60.13		
วัสดุปลูกตำรับ B	1	2.0384	1.9424	25	2	0.444	0.74	19.00	19.75	1.43
	2	2.0082	1.9137	25	2	0.434	0.72	18.85		
	3	2.0390	1.9430	25	2	0.499	0.83	21.39		
วัสดุปลูกตำรับ C	1	2.0019	1.9086	25	-	0.352	0.58	7.63	7.74	0.39
	2	2.0010	1.9077	25	-	0.342	0.57	7.41		
	3	2.0040	1.9106	25	-	0.377	0.62	8.18		

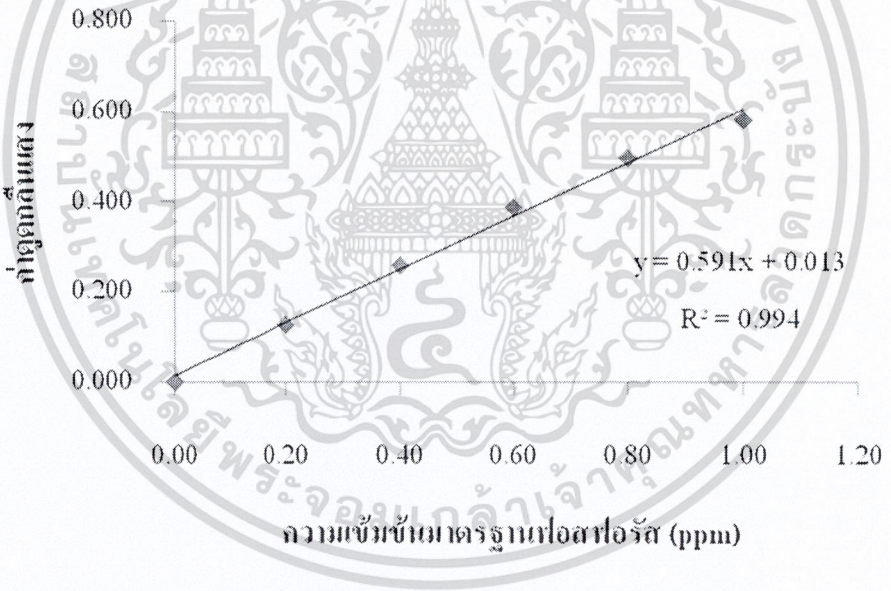
ตารางที่ ข.7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักปียก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาตรน้ำยาสกัด (มิลลิลิตร)	เจือจาง (เท่า)	ค่าดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/kg)	ปริมาณฟอสฟอรัส (ppm, mg/kg)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
วัสดุปลูกตำรับ D	1	2.0134	1.9228	25	-	0.243	0.40	5.18	5.78	0.60
	2	2.0037	1.9136	25	-	0.238	0.39	5.09		
	3	2.0182	1.9274	25	-	0.314	0.52	6.72		
วัสดุปลูกตำรับ E	1	2.0332	1.9429	25	-	0.215	0.35	4.51	59.41	0.90
	2	2.0195	1.9298	25	-	0.210	0.34	4.43		
	3	2.0060	1.9169	25	-	0.173	0.28	3.65		

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การสร้างกราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส

ความเข้มข้นของสารละลายฟอสฟอรัส (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง
0.00	0.001
0.20	0.127
0.40	0.259
0.60	0.388
0.80	0.497
1.00	0.581



2. หาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

จากกราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส ได้สมการดังนี้

$$Y = 0.591X + 0.013$$

แทนค่า Y ด้วยค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างกากตะกอน ครั้งที่ 1 เท่ากับ 0.291 จะได้ x = 0.48

เพราะฉะนั้น กากตะกอน ครั้งที่ 1 มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส เท่ากับ 0.48 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg) ของกากตะกอน ครั้งที่ 1 จากสูตร

$$\text{Available P (mg/kg)} = \frac{V \times R \times df}{W}$$

โดยที่ V = ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายสกัด (มิลลิลิตร)

R = ความเข้มข้นที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน (ppm)

df = อัตราส่วนการเจือจาง (เท่า)

W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)

$$\text{Available P (mg/kg)} = \frac{25 \times 0.48 \times 1}{1.9371}$$

Available P = 6.19 mg/kg

** ส่วนตัวอย่างอื่นๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K) ของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักปียก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาตรน้ำยาสกัด (มิลลิลิตร)	เจือจาง (เท่า)	ค่าดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/kg)	ปริมาณโพแทสเซียม (ppm, mg/kg)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กากตะกอน	1	5.0013	4.6925	25	1	0.992	2.59	13.80	13.75	0.07
	2	5.0322	4.7215	25	1	0.989	2.58	13.67		
	3	5.0197	4.7098	25	1	0.994	2.60	13.78		
วัสดุปลูกตำรับ A	1	5.0410	4.8023	25	125	0.431	1.13	734.93	724.54	11.85
	2	5.0133	4.7759	25	125	0.424	1.11	727.06		
	3	5.0380	4.7995	25	125	0.417	1.09	711.63		
วัสดุปลูกสูตร B	1	5.0202	4.7839	25	125	0.397	1.04	679.92	670.66	8.12
	2	5.0389	4.8017	25	125	0.391	1.03	667.23		
	3	5.0829	4.8436	25	125	0.393	1.03	664.82		
วัสดุปลูกสูตร C	1	5.0616	4.8256	25	125	0.278	0.73	473.36	480.23	15.94
	2	5.0189	4.7849	25	125	0.273	0.72	468.88		
	3	5.0465	4.8112	25	125	0.292	0.77	498.45		

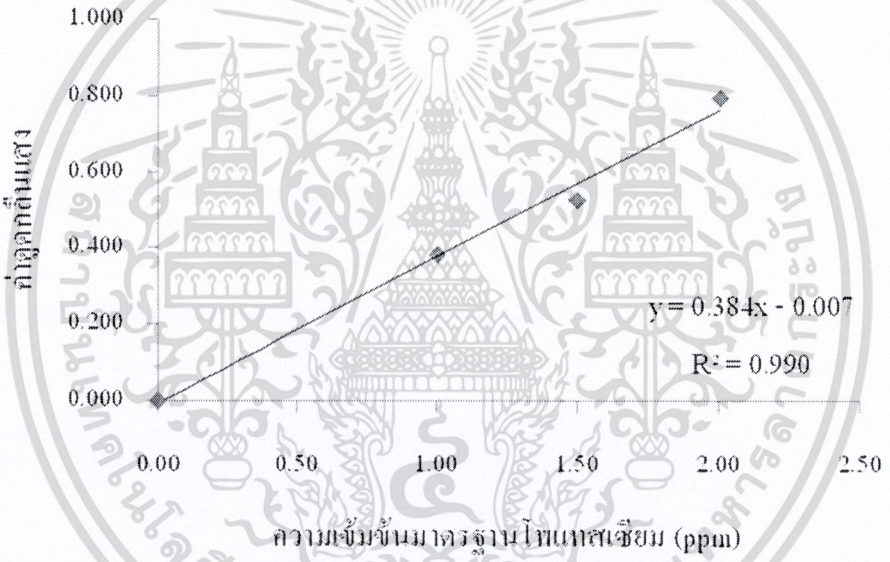
ตารางที่ ข.8 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K) ของกากตะกอน และวัสดุปลูกตำรับต่างๆ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักปียก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาตรน้ำยาสกัด (มิลลิลิตร)	เจือจาง (เท่า)	ค่าดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm, mg/kg)	ปริมาณโพแทสเซียม (ppm, mg/kg)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
วัสดุปลูกตำรับ D	1	5.0255	4.7994	25	125	0.283	0.74	484.42	470.44	12.10
	2	5.0345	4.8080	25	125	0.271	0.71	463.24		
	3	5.0114	4.7860	25	125	0.270	0.71	463.68		
วัสดุปลูกตำรับ E	1	5.0342	4.8105	25	125	0.279	0.73	476.54	456.20	31.72
	2	5.0266	4.8032	25	125	0.245	0.65	419.65		
	3	5.0060	4.7836	25	125	0.275	0.72	472.42		

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การสร้างกราฟมาตรฐานโพแทสเซียม

ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียม (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง
0.00	0.001
1.00	0.381
1.50	0.525
2.00	0.792



2. หาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

จากกราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส ได้สมการดังนี้

$$Y = 0.384X - 0.007$$

แทนค่า Y ด้วยค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างกากตะกอน ครั้งที่ 1 เท่ากับ 0.992 จะได้ x = 2.59 เพราะฉะนั้น กากตะกอน ครั้งที่ 1 มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส เท่ากับ 2.59 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หาปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (mg/kg) ของกากตะกอน ครั้งที่ 1 จากสูตร

$$\text{Available K (mg/kg)} = \frac{V \times R \times df}{W}$$

โดยที่ V = ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายสกัด (มิลลิลิตร)

R = ความเข้มข้นที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน (ppm)

df = อัตราส่วนการเจือจาง (เท่า)

W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)

$$\text{Available K (mg/kg)} = \frac{25 \times 2.59 \times 1}{4.6925}$$

Available K = 13.80 mg/kg

** ส่วนตัวอย่างอื่นๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในกากตะกอน

โลหะหนัก	ชนิดกรด	ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm)	ปริมาณที่พบ (mg/kg)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
แคดเมียม	Tri Acid	1	1.0001	0.003	0.07	0.07	0.00
		2	1.0004	0.003	0.07		
	Aqua Regia	1	1.0012	0.010	0.25	0.30	0.07
		2	1.0009	0.014	0.35		
โครเมียม	Tri Acid	1	1.0001	0.546	13.65	13.22	0.60
		2	1.0004	0.512	12.79		
	Aqua Regia	1	1.0012	1.579	39.43	40.47	1.47
		2	1.0009	1.662	41.51		
ทองแดง	Tri Acid	1	1.0001	0.566	14.15	12.82	1.88
		2	1.0004	0.460	11.50		
	Aqua Regia	1	1.0012	1.824	45.55	46.03	0.68
		2	1.0009	1.862	46.51		
นิกเกิล	Tri Acid	1	1.0001	0.998	24.95	23.46	2.11
		2	1.0004	0.879	21.97		
	Aqua Regia	1	1.0012	2.344	58.53	55.68	4.03
		2	1.0009	2.115	52.83		
ตะกั่ว	Tri Acid	1	1.0001	0.153	3.82	3.41	0.58
		2	1.0004	0.120	3.00		
	Aqua Regia	1	1.0012	0.554	13.83	13.11	1.02
		2	1.0009	0.496	12.39		
สังกะสี	Tri Acid	1	1.0001	1.427	35.67	34.62	1.49
		2	1.0004	1.343	33.56		
	Aqua Regia	1	1.0012	2.645	66.05	66.38	0.47
		2	1.0009	2.671	66.71		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ปริมาณนิกเกิลในผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

ผักที่ปลูกใน	ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm)	ปริมาณ Ni (ppm, mg/kg)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
วัสดุปลูกตำรับ A	1	0.1026	0.0225	2.19	1.66	0.76
	2	0.1023	0.0115	1.12		
วัสดุปลูกตำรับ B	1	0.1006	0.0685	6.81	5.05	2.48
	2	0.1015	0.0335	3.30		
วัสดุปลูกตำรับ C	1	0.0513	0.0245	4.78	4.09	0.97
	2	0.0544	0.0185	3.40		
วัสดุปลูกตำรับ D	1	0.0528	0.0315	5.97	6.15	0.27
	2	0.0544	0.0345	6.34		
วัสดุปลูกตำรับ E	1	0.0506	0.0165	3.26	3.86	0.84
	2	0.0528	0.0235	4.45		

ตารางที่ ข.10 ปริมาณแคดเมียม ในผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

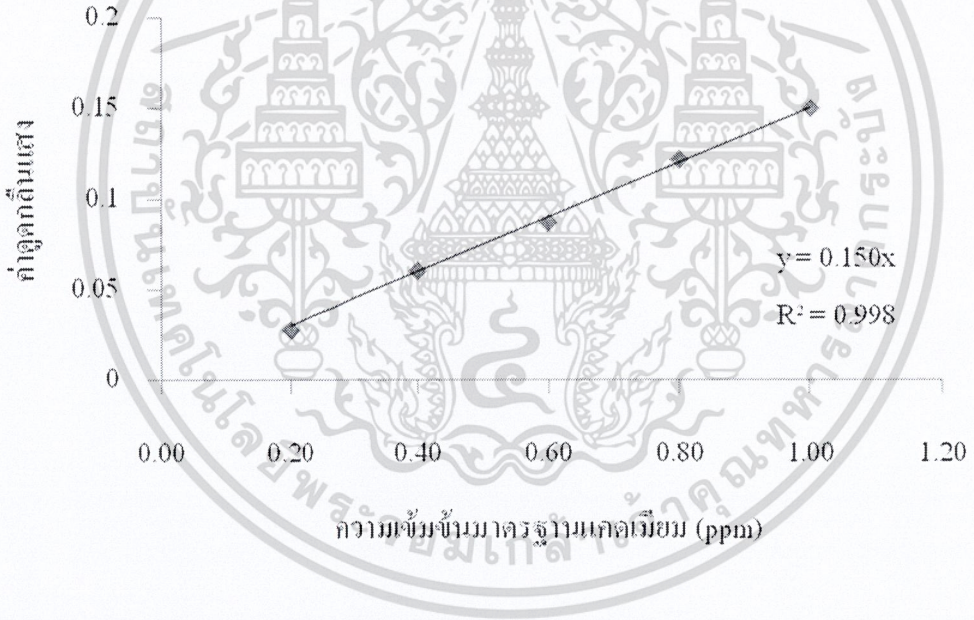
ผักที่ปลูกใน	ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)	ความเข้มข้นจากกราฟ (ppm)	ปริมาณ Cd (ppm, mg/kg)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
วัสดุปลูกตำรับ A	1	0.1026	0.008	0.78	0.59	0.27
	2	0.1023	0.004	0.39		
วัสดุปลูกตำรับ B	1	0.1006	0.009	0.89	0.99	0.13
	2	0.1015	0.011	1.08		
วัสดุปลูกตำรับ C	1	0.0513	0.006	1.17	1.14	0.05
	2	0.0544	0.006	1.10		
วัสดุปลูกตำรับ D	1	0.0528	0.008	1.52	1.58	0.10
	2	0.0544	0.009	1.65		
วัสดุปลูกตำรับ E	1	0.0506	0.001	0.20	0.29	0.13
	2	0.0528	0.002	0.38		

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การสร้างกราฟมาตรฐานแคดเมียม

ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียม (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง
0.20	0.0277
0.40	0.0606
0.60	0.0873
0.80	0.1221
1.00	0.1503



ซึ่งเครื่อง AAS สามารถคำนวณความเข้มข้นได้

เพราะฉะนั้นในกากตะกอน ครั้งที่ 1 โดยใช้ Tri-Acid มีความเข้มข้นแคดเมียม เท่ากับ 0.003 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หาปริมาณแคดเมียม (mg/kg) ของกากตะกอน ครั้งที่ 1 โดยใช้ Tri Acid

จากข้างต้น กากตะกอนมีความเข้มข้นของแคดเมียม 0.003 ppm

หมายความว่า

ในสารละลาย 1000 ml มีแคดเมียมอยู่ 0.003 mg

ถ้าสารละลาย 25 ml มีแคดเมียมอยู่ $\frac{0.003 \times 25}{1000}$ = 0.000075 mg

แต่น้ำหนักกากตะกอนที่ชั่งมา เท่ากับ 1.0001 g ดังนั้น

ในกากตะกอน 1.0001 g มีแคดเมียมอยู่ 0.000075 mg

ถ้ากากตะกอน 1000 g มีแคดเมียมอยู่ $\frac{0.000075 \times 1000}{1.0001}$ = 0.07 mg/kg

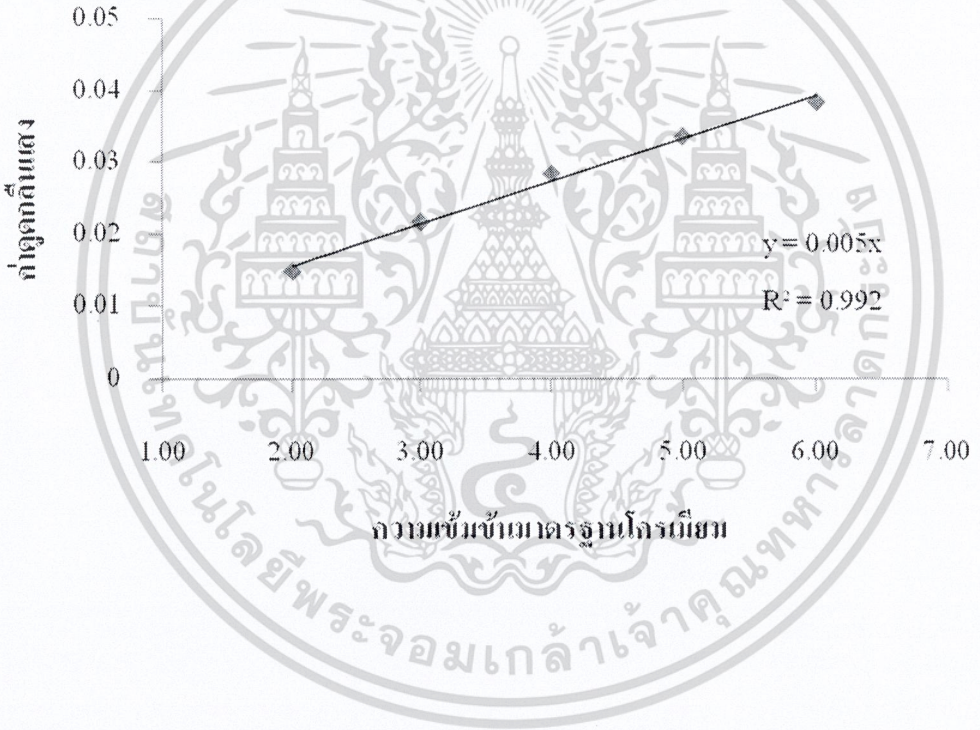
ดังนั้นในกากตะกอน ครั้งที่ 1 โดยใช้ Tri Acid มีแคดเมียมอยู่ 0.07 mg/kg

** ส่วนตัวอย่าง และ โลหะหนักตัวอื่นๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างกราฟมาตรฐานโครเมียม

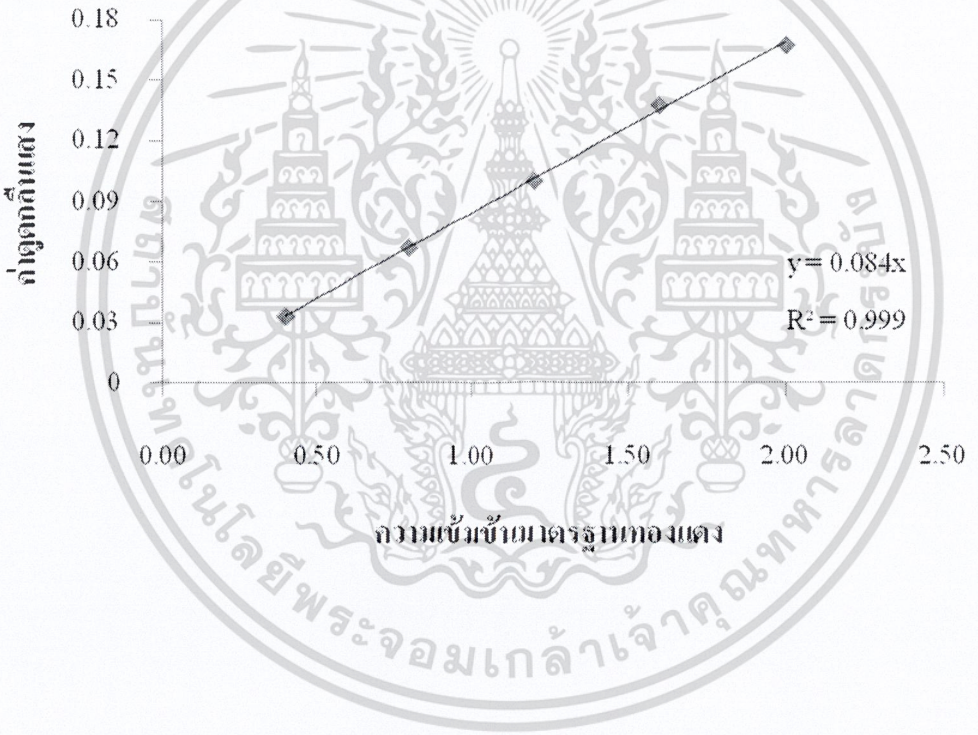
ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง
2.00	0.0149
3.00	0.0217
4.00	0.0285
5.00	0.0336
6.00	0.0384



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างกราฟมาตรฐานทองแดง

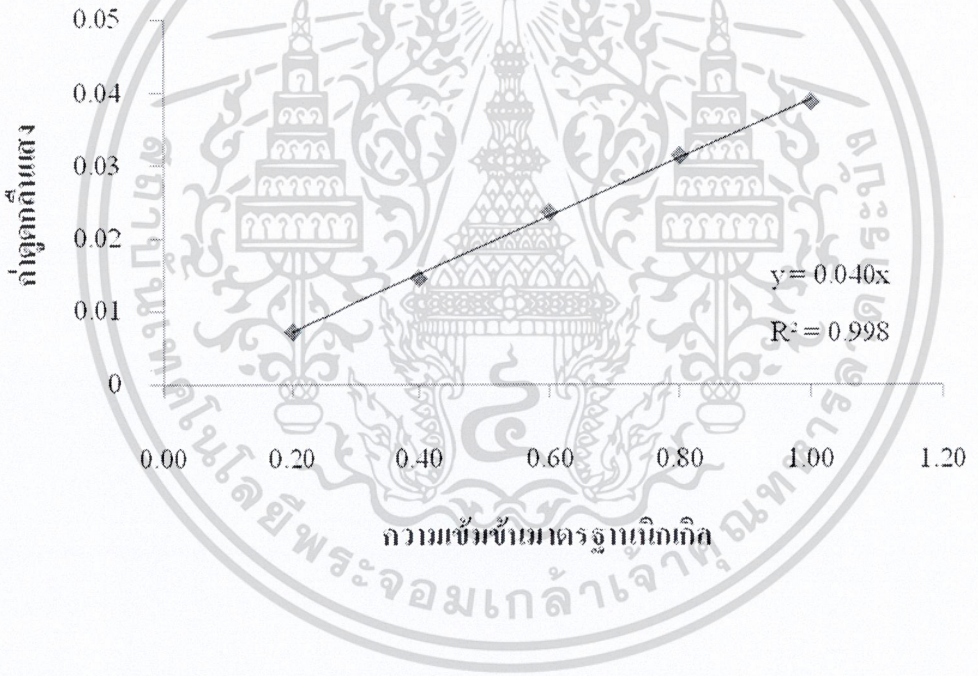
ความเข้มข้นของสารละลายทองแดง (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง
0.40	0.0336
0.80	0.0676
1.20	0.1001
1.60	0.1375
2.00	0.1673



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างกราฟมาตรฐานนิกเกิล

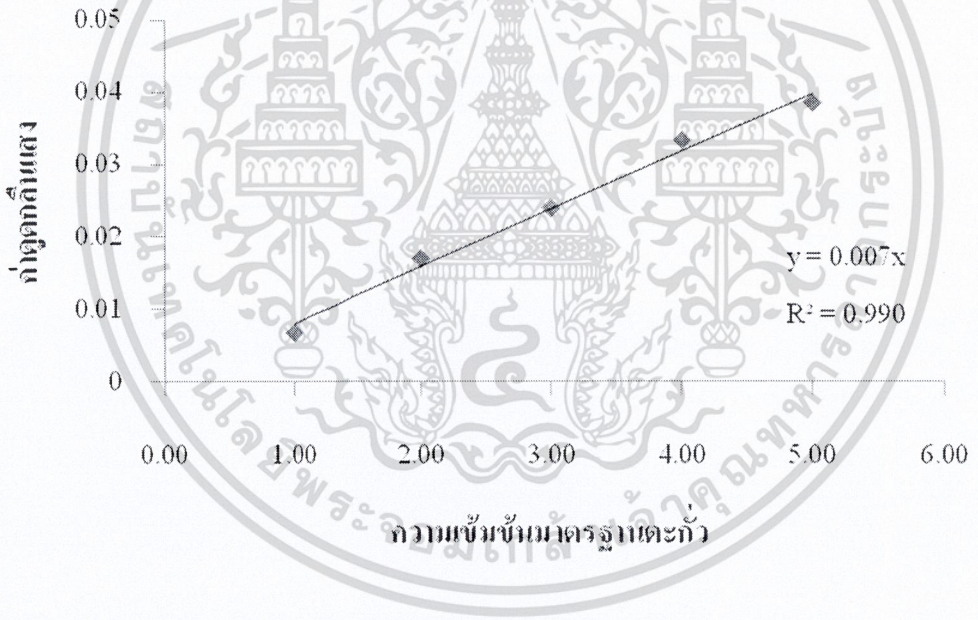
ความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิล (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง
0.20	0.0072
0.40	0.0146
0.60	0.0237
0.80	0.0315
1.00	0.0389



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างกราฟมาตรฐานตะกั่ว

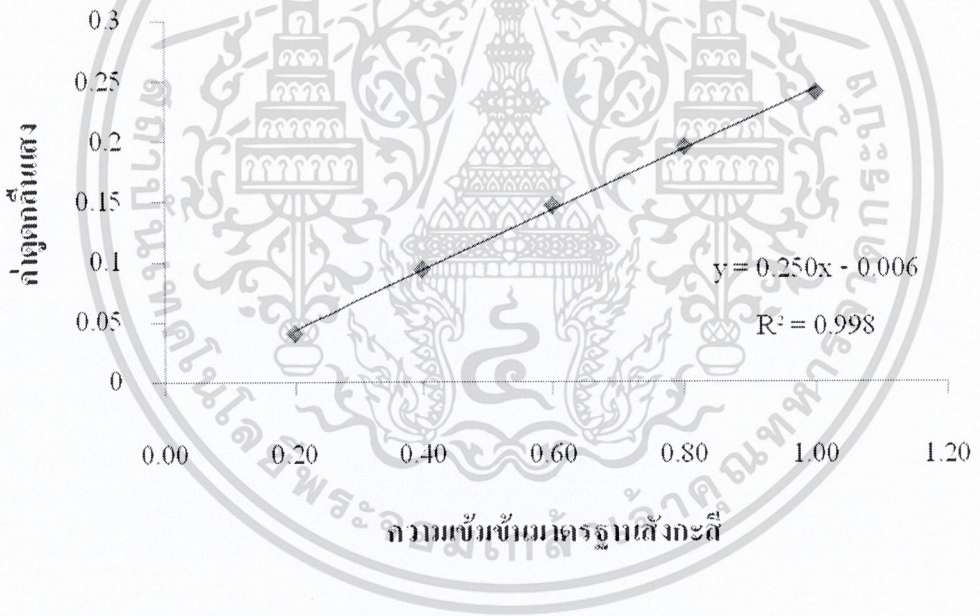
ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง
1.00	0.0069
2.00	0.0171
3.00	0.024
4.00	0.0333
5.00	0.0385



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างกราฟมาตรฐานสังกะสี

ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง
0.20	0.0409
0.40	0.0942
0.60	0.1471
0.80	0.1958
1.00	0.2408



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์การงอก

ตารางที่ ค.1 จำนวนเมล็ดผักเขียวกวางตุ้งที่งอกในน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

น้ำสกัดจาก	จำนวนเมล็ดที่งอก					รวม
	1	2	3	4	5	
วัสดุปลูกตำรับ A	9	10	10	9	10	48
วัสดุปลูกตำรับ B	10	10	10	9	10	49
วัสดุปลูกตำรับ C	10	10	10	8	9	47
วัสดุปลูกตำรับ D	10	9	10	9	9	47
วัสดุปลูกตำรับ E	9	10	10	10	9	48

ตารางที่ ค.2 ความยาวรากของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้งที่งอกในน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

ความยาวราก (เซนติเมตร) ในน้ำสกัดวัสดุปลูก A				
จานที่ 1	จานที่ 2	จานที่ 3	จานที่ 4	จานที่ 5
4.9	6.9	6.3	8.1	6.2
5.9	7.1	6.2	6.7	7.5
9.1	5.2	5.0	2.9	9.9
7..9	7.0	6.3	7.4	4.7
4.1	8.1	5.5	5.5	5.8
4.8	9.1	4.7	6.5	5.0
5.5	5.6	3.2	5.7	5.0
5.5	4.9	3.6	9.5	8.5
6.3	7.0	2.4	4.0	5.9
0	5.5	3.0	0	10.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ความยาวรากของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้งที่งอกในน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับต่างๆ (ต่อ)

ความยาวราก (เซนติเมตร) ในน้ำสกัดวัสดุปลูก B				
จานที่ 1	จานที่ 2	จานที่ 3	จานที่ 4	จานที่ 5
4.6	5.7	6.5	3.2	9.5
6.5	6.2	7.0	10.9	9.1
8.4	8.5	6.5	7.8	8.2
7.9	6.2	5.5	8.5	5.0
5.0	4.0	7.5	7.3	6.7
8.9	5.5	7.2	8.6	7.1
6.0	3.6	9.1	7.1	7.7
9.0	4.9	7.3	9.0	7.6
4.3	4.0	3.7	7.9	7.2
2.0	3.2	4.6	0	7.3

ความยาวราก (เซนติเมตร) ในน้ำสกัดวัสดุปลูก C				
จานที่ 1	จานที่ 2	จานที่ 3	จานที่ 4	จานที่ 5
3.0	7.3	1.9	8.4	0.7
2.2	7.5	2.5	6.4	2.6
6.6	4.5	10.0	6.7	4.2
7.2	7.9	8.6	6.1	2.0
9.5	6.7	9.5	4.2	2.5
7.6	6.9	2.1	4.6	2.0
9.5	6.4	7.1	8.5	3.9
6.8	9.5	8.0	9.1	3.0
10.0	6.4	4.7	0	0.7
6.0	5.7	2.9	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ความยาวรากของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้งที่งอกในน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับต่างๆ (ต่อ)

ความยาวราก (เซนติเมตร) ในน้ำสกัดวัสดุปลูก D				
จานที่ 1	จานที่ 2	จานที่ 3	จานที่ 4	จานที่ 5
9.2	9.4	5.9	6.8	7.0
6.4	6.5	7.9	8.6	8.4
8.6	8.0	8.9	7.8	7.1
6.1	6.4	1.5	7.4	5.8
10.2	5.2	9.9	8.6	5.7
9.9	5.3	4.9	5.3	3.1
7.2	7.4	7.0	4.1	9.5
1.8	7.3	8.9	6.7	7.3
6.1	8.0	9.2	7.0	5.2
3.5	0	7.3	0	0

ความยาวราก (เซนติเมตร) ในน้ำสกัดวัสดุปลูก E				
จานที่ 1	จานที่ 2	จานที่ 3	จานที่ 4	จานที่ 5
6.7	8.6	7.8	9.4	2.9
6.1	4.3	6.1	8.6	8.1
3.9	6.9	7.5	9.3	2.2
5.3	8.2	6.0	8.9	5.9
7.4	7.9	8.1	2.9	7.3
7.6	2.9	7.0	5.0	7.0
5.9	7.5	7.2	9.9	4.6
5.4	7.0	5.1	7.0	8.7
6.7	9.0	5.5	3.8	8.1
0	6.9	4.9	3.1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ความสูงต้นอ่อนที่งอกในน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

ความสูงต้นอ่อน (เซนติเมตร) ในน้ำสกัดวัสดุปลูก A				
จานที่ 1	จานที่ 2	จานที่ 3	จานที่ 4	จานที่ 5
6.7	8.2	9.2	6.9	6.4
8.1	9.9	8.2	8.7	6.9
9.0	8.8	5.1	7.9	7.9
8.8	10.0	7.6	6.5	3.8
3.8	8.2	8.6	8.7	7.5
8.0	8.3	8.6	7.4	5.1
7.9	7.6	6.8	8.9	7.6
8.2	6.2	5.7	6.1	9.2
5.8	7.1	4.1	6.3	7.7
0	6.8	7.2	0	8.8

ความสูงต้นอ่อน (เซนติเมตร) ในน้ำสกัดวัสดุปลูก B				
จานที่ 1	จานที่ 2	จานที่ 3	จานที่ 4	จานที่ 5
3.2	7.0	7.0	7.9	7.1
9.2	8.0	9.0	8.4	7.1
8.6	10.5	6.1	7.9	7.1
8.6	7.5	6.8	7.5	7.5
6.6	8.0	6.6	7.4	9.0
7.8	8.7	8.6	6.6	7.4
8.1	5.3	9.5	7.0	9.2
8.8	7.9	8.5	8.2	7.5
6.4	7.8	6.0	8.3	6.2
5.1	7.5	4.6	0	6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ความสูงต้นอ่อนที่งอกในน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับต่างๆ (ต่อ)

ความสูงต้นอ่อน (เซนติเมตร) ในน้ำสกัดวัสดุปลูก C				
จานที่ 1	จานที่ 2	จานที่ 3	จานที่ 4	จานที่ 5
4.8	8.6	1.7	7.9	4.7
7.0	4.7	1.5	7.2	5.5
7.3	5.3	8.0	5.7	8.1
8.0	9.0	9.1	6.7	4.9
9.2	9.0	8.5	3.5	9.2
9.2	7.9	2.6	7.2	5.4
7.2	8.1	6.8	8.9	7.1
7.1	7.7	8.1	8.7	7.9
7.9	9.5	7.3	0	0
5.9	6.7	8.5	0	2.9

ความสูงต้นอ่อน (เซนติเมตร) ในน้ำสกัดวัสดุปลูก D				
จานที่ 1	จานที่ 2	จานที่ 3	จานที่ 4	จานที่ 5
6.9	9.0	3.7	8.1	8.1
9.9	7.1	6.1	8.5	5.3
6.7	8.5	7.1	7.3	6.0
6.8	8.8	3.7	6.6	6.5
7.1	7.2	8.1	7.6	7.4
7.7	7.3	8.5	8.4	6.3
6.2	8.7	8.1	5.1	6.4
6.6	8.2	7.9	4.9	7.4
5.3	5.1	7.5	5.7	3.7
4.5	0	7.3	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ความสูงต้นอ่อนที่งอกในน้ำสกัดจากวัสดุปลูกตำรับต่างๆ (ต่อ)

ความสูงต้นอ่อน (เซนติเมตร) ในน้ำสกัดวัสดุปลูก E				
จานที่ 1	จานที่ 2	จานที่ 3	จานที่ 4	จานที่ 5
9.0	8.6	9.7	8.1	1.7
9.0	8.5	9.0	6.7	9.0
6.6	6.8	8.2	6.6	1.9
7.8	7.4	8.3	7.9	7.7
9.4	8.3	8.6	3.3	6.8
9.5	5.4	8.2	7.9	6.8
8.8	8.0	6.2	8.5	7.0
8.0	7.3	7.3	5.5	8.9
8.5	8.5	7.3	4.9	7.7
0	6.5	3.6	5.0	0

ตารางที่ ค.4 สรุปการคำนวณการงอกของเมล็ดผักเขียวกวางตุ้ง

น้ำสกัด	จำนวนเมล็ดที่งอก	ความยาวรากเฉลี่ย (ซม.)	ความสูงต้นอ่อนเฉลี่ย (ซม.)	การงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด (%)	ความยาวรากสัมพัทธ์ (%)	ดัชนีการงอกของเมล็ด (%)
วัสดุปลูกตำรับ A	48	6.08 ± 1.84	7.43 ± 1.48	100	100	100
วัสดุปลูกตำรับ B	49	6.63 ± 1.96	7.48 ± 1.33	102.08	109.05	111.31
วัสดุปลูกตำรับ C	47	5.75 ± 2.73	6.89 ± 2.05	97.92	94.57	92.60
วัสดุปลูกตำรับ D	47	5.92 ± 2.01	6.91 ± 1.46	97.92	97.36	95.33
วัสดุปลูกตำรับ E	48	5.50 ± 1.94	6.33 ± 1.84	100	90.46	90.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

หาเปอร์เซ็นต์การงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด (Percentage of Relative Seed Germination, % RSG) ในน้ำสกัดจากวัสดุปลูก B จากสูตร

$$\% \text{ RSG} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกในชุดน้ำสกัด}}{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกในชุดควบคุม}} \times 100$$

$$\text{RSG} = \frac{49}{48} \times 100 = 102.08\ \%$$

เปอร์เซ็นต์ความยาวรากสัมพัทธ์ (Percentage of Relative Root Growth, % RRG) ในน้ำสกัดจากวัสดุปลูก B จากสูตร

$$\% \text{ RRG} = \frac{\text{ความยาวรากเฉลี่ยในชุดน้ำสกัด}}{\text{ความยาวรากเฉลี่ยในชุดควบคุม}} \times 100$$

$$\text{RRG} = \frac{6.63}{6.08} \times 100 = 109.05\ \%$$

เปอร์เซ็นต์ดัชนีการงอกของเมล็ด (Percentage of The Germination Index, % GI) ในน้ำสกัดจากวัสดุปลูก B จากสูตร

$$\% \text{ GI} = \frac{\text{RSG} \times \text{RRG}}{100}$$

$$\text{GI} = \frac{102.08 \times 109.05}{100} = 111.31\ \%$$

** ส่วนตัวอย่างอื่นๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลความยากรากของผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

Block	ความยาวรากเฉลี่ย (เซนติเมตร) (n=2)				
	A	B	C	D	E
I	4.4	4.5	3.5	3.8	4.2
II	6.4	4.7	3.4	3.5	3.1
III	8.4	5.3	3.7	4.5	2.6
IV	4.6	9.3	2.8	2.9	3.3

H_0 : วัสดุปลูกทุกตำรับให้ความยาวรากของผักเขียวกวางตุ้งไม่แตกต่างกัน

H_1 : วัสดุปลูกอย่างน้อย 2 ตำรับให้ความยาวรากของผักเขียวกวางตุ้งแตกต่างกัน

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่า

จากตารางที่ ง.2 พบว่าค่า Sig. เท่ากับ 0.022 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0

สรุปว่าวัสดุปลูกอย่างน้อย 2 ตำรับให้ความยาวรากเฉลี่ยของผักเขียวกวางตุ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธีของดันแคนส์

จากตารางที่ ง.3 พบว่า

- วัสดุปลูกตำรับ A ให้ความยาวรากเฉลี่ยแตกต่าง C, D และ E อย่างมีนัยสำคัญ
- วัสดุปลูกตำรับ B ให้ความยาวรากเฉลี่ยแตกต่าง C, D และ E อย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความยาวรากของผักเขียวกวางตุ้ง

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	30.532	4	7.633	3.968	.022
Within Groups	28.858	15	1.924		
Total	59.390	19			

ตารางที่ ง.3 การเปรียบเทียบความยาวรากของผักเขียวกวางตุ้งด้วยวิธีดันแคนส์

Duncan

treatment		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
dimension1	5	4	3.300	
	3	4	3.350	
	4	4	3.675	
	2	4		5.950
	1	4		5.950
	Sig.		.722	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

หมายเหตุ : treatment 1 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ A

treatment 2 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ B

treatment 3 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ C

treatment 4 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ D

treatment 5 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 ข้อมูลความสูงของส่วนเหนือรากของผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

Block	ความสูงของส่วนเหนือรากเฉลี่ย (เซนติเมตร) (n=2)				
	A	B	C	D	E
I	6.4	7.4	7.0	6.3	5.2
II	7.3	6.9	6.1	6.3	5.0
III	8.5	9.2	8.6	7.4	5.4
IV	7.0	13.4	7.6	6.3	4.9

H_0 : วัสดุปลูกทุกตำรับให้ความสูงของส่วนเหนือรากของผักเขียวกวางตุ้งไม่แตกต่างกัน

H_1 : วัสดุปลูกอย่างน้อย 2 ตำรับให้ความสูงของส่วนเหนือรากของผักเขียวกวางตุ้งแตกต่างกัน

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่า

จากตารางที่ ง.5 พบว่าค่า Sig. เท่ากับ 0.021 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0

สรุปว่าวัสดุปลูกอย่างน้อย 2 ตำรับให้ความสูงของส่วนเหนือรากเฉลี่ยของผักเขียวกวางตุ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธีของดันแคนส์

จากตารางที่ ง.6 พบว่า

- วัสดุปลูกตำรับ B ให้ความสูงของส่วนเหนือรากเฉลี่ยแตกต่าง D และ E อย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงของส่วนเหนือรากของผักเขียวกวางตุ้ง

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	35.128	4	8.782	4.008	.021
Within Groups	32.870	15	2.191		
Total	67.998	19			

ตารางที่ ง.6 การเปรียบเทียบความสูงของส่วนเหนือรากของผักเขียวกวางตุ้งด้วยวิธีดันแคนส์

Duncan

treatment		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
dimension1	5	4	5.125	
	4	4	6.575	
	1	4	7.300	7.300
	3	4	7.325	7.325
	2	4		9.225
	Sig.		.071	.101

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

หมายเหตุ : treatment 1 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ A
treatment 2 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ B
treatment 3 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ C
treatment 4 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ D
treatment 5 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.7 ข้อมูลของน้ำหนักสดของผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

Block	น้ำหนักสดเฉลี่ย (มิลลิกรัม) (n=2)				
	A	B	C	D	E
I	213.6	364.3	365.5	240.7	179.5
II	366.0	307.1	203.2	171.8	154.7
III	340.0	492.7	423.4	318.5	147.6
IV	644.8	952.8	216.6	120.4	60.3

H_0 : วัสดุปลูกทุกตำรับให้น้ำหนักสดเฉลี่ยของผักเขียวกวางตุ้งไม่แตกต่างกัน

H_1 : วัสดุปลูกอย่างน้อย 2 ตำรับให้น้ำหนักสดเฉลี่ยของผักเขียวกวางตุ้งแตกต่างกัน

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่า

จากตารางที่ ง.8 พบว่าค่า Sig. เท่ากับ 0.038 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0

สรุปว่าวัสดุปลูกอย่างน้อย 2 ตำรับให้น้ำหนักสดเฉลี่ยของผักเขียวกวางตุ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธีของดันแคนส์

จากตารางที่ ง.9 พบว่า

- วัสดุปลูกตำรับ B ให้น้ำหนักสดเฉลี่ยแตกต่าง D และ E อย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักสดของผักเขียวกวางตุ้ง

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	377962.145	4	94490.536	3.355	.038
Within Groups	422501.212	15	28166.747		
Total	800463.357	19			

ตารางที่ ง.9 การเปรียบเทียบน้ำหนักสดของผักเขียวกวางตุ้งด้วยวิธีดันแคนส์

Duncan

treatment		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
dimension1	5	4	135.525	
	4	4	212.850	
	3	4	302.175	302.175
	1	4	391.100	391.100
	2	4		529.225
	Sig.		.065	.089

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

หมายเหตุ : treatment 1 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ A

treatment 2 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ B

treatment 3 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ C

treatment 4 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ D

treatment 5 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.10 ข้อมูลของน้ำหนักแห้งของผักเขียวกวางตุ้งที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับต่างๆ

Block	น้ำหนักแห้งเฉลี่ย (มิลลิกรัม) (n=2)				
	A	B	C	D	E
I	34.5	26.8	33.3	25.4	23.4
II	38.9	28.6	20.7	17.3	15.6
III	42.3	38.5	45.0	19.6	16.2
IV	66.1	89.2	24.1	11.3	12.5

H_0 : วัสดุปลูกทุกตำรับให้น้ำหนักแห้งของผักเขียวกวางตุ้งไม่แตกต่างกัน

H_1 : วัสดุปลูกอย่างน้อย 2 ตำรับให้น้ำหนักแห้งของผักเขียวกวางตุ้งแตกต่างกัน

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่า

จากตารางที่ ง.11 พบว่าค่า Sig. เท่ากับ 0.045 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0

สรุปว่าวัสดุปลูกอย่างน้อย 2 ตำรับให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักเขียวกวางตุ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธีของ Duncan's

จากตารางที่ ง.12 พบว่า

- วัสดุปลูกตำรับ A ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยแตกต่าง D และ E อย่างมีนัยสำคัญ
- วัสดุปลูกตำรับ B ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยแตกต่าง D และ E อย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักแห้งของผักเขียวกวางตุ้ง

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3131.753	4	782.938	3.163	.045
Within Groups	3713.472	15	247.565		
Total	6845.226	19			

ตารางที่ ง.12 การเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของผักเขียวกวางตุ้งด้วยวิธีดันแคนส์

Duncan

treatment		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
dimension1	5	4	16.925	
	4	4	18.400	
	3	4	30.775	30.775
	1	4		45.450
	2	4		45.775
	Sig.		.256	.220

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

หมายเหตุ : treatment 1 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ A

treatment 2 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ B

treatment 3 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ C

treatment 4 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ D

treatment 5 หมายถึง ผักที่ปลูกในวัสดุปลูกตำรับ E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้