



การใช้ประโยชน์ของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม
อาหาร และเครื่องดื่มเพื่อเป็นปุ๋ยอินทรีย์

THE UTILIZATION OF ACTIVATED SLUDGE FROM FOOD
AND BEVERAGE INDUSTRY AS COMPOST

รพีพร จรดล

อภินันท์ ทนาคำ

ห้องสมุดคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล



กพ

จุ 46 ก

๒๕๓๙

๔.๓

วิทยานิพนธ์
เรื่อง
การใช้ประโยชน์ของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม
อาหารและเครื่องดื่มเพื่อเป็นปุ๋ยอินทรีย์

พิมพ์ จรดล

รพีพร จรดล
ผู้วิจัย

อรพินท์ เอี่ยมศิริ, Ph.D.

ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

พจนีย์ มอญเจริญ, M.S.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

อตุลย์ วิริยเวชกุล

อตุลย์ วิริยเวชกุล ราชบัณฑิต, พ.บ.,

น.บ., F.R.C.P.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย

วิทยา ศรีมโนภาส

วิทยา ศรีมโนภาส, D. Sc.

ประธานคณะกรรมการประจำหลักสูตร

วิทยาลัยศึกษาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การใช้ประโยชน์ของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

อาหารและเครื่องคั้นเพื่อเป็นปุ๋ยอินทรีย์

ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม

วันที่ 22 ตุลาคม 2539



รพีพร จรดล

ผู้วิจัย



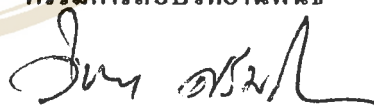
อรพินท์ เอี่ยมศิริ, Ph.D.

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



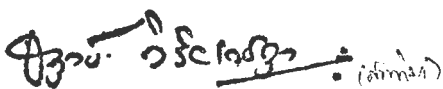
พจนีย์ มอญเจริญ, M.S.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



วิทยา ศรีมโนภาพ, D.Sc.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



อดุลย์ วิริยเวชกุล ราชบัณฑิต, พ.บ.,

น.บ., F.R.C.P.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยมหิดล



คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นางสาวพีพร จรคต

วัน เดือน ปีเกิด 21 กรกฎาคม 2514

สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, พ.ศ. 2532-2536 :
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
มหาวิทยาลัยมหิดล, พ.ศ. 2536-2539 :
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม)

ทุนการวิจัย ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยบางส่วนจาก มหาวิทยาลัยมหิดล

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความรู้จากหลายท่าน ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ดังนี้คือ

ดร. อรพินท์ เอี่ยมศิริ ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์พจน์ย์ มอญเจริญ กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ตลอดจนอาจารย์ของคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ทุกท่าน ที่กรุณาควบคุมช่วยเหลือ และให้คำแนะนำในการวิจัย ตลอดจนแก้ไขเนื้อหาของงานวิจัยฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์สุทิน ครองแก้ว ผู้อำนวยการโรงเรียนบ้านขุนประเทศ ที่ให้ความรู้ในการใช้สถานที่เพื่อจัดทำแปลงทดลองในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ คุณหญิงเล็ก พงศ์พยัคฆ์ คุณอภิรดี อิ่มเอิบ คุณชูจิตต์ สงวนทรัพยากร คุณจุไร ทองมาก คุณประสิดา ธรรมเขต รวมทั้งข้าราชการและลูกจ้างกองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ที่อำนวยความสะดวก และให้คำปรึกษาในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ในห้องปฏิบัติการ กรมพัฒนาที่ดิน

ขอขอบพระคุณฝ่ายบำบัดน้ำเสีย บริษัทบุญรอดบริวเวอรี่ จำกัด บริษัทไทยน้ำทิพย์ จำกัด บริษัทแสงโสม จำกัด บริษัทมาลีสามพราน จำกัด บริษัทไทยซูรส จำกัด ที่กรุณาให้ตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย เพื่อนำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องสมุด ฝ่ายการศึกษา ฝ่ายพัสดุ ฝ่ายห้องปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่ประจำคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ทุกท่าน เพื่อนำปริญญาโทสาขาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อมรุ่นที่ 20 สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากรรุ่นที่ 8 และเพื่อนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลและให้กำลังใจกับผู้วิจัยตลอดมา

ท้ายสุดนี้ต้องขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกท่านที่ให้กำลังใจในการศึกษาจนสำเร็จในครั้งนี้

รพีพร จรดล

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้ประโยชน์ของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม
อาหารและเครื่องดื่มเพื่อเป็นปุ๋ยอินทรีย์

ผู้วิจัย รพีพร จรดล

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม)

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

อรพินท์ เอี่ยมศิริ, Ph.D.

พจนีย์ มอญเจริญ, M.S.

วันที่สำเร็จการศึกษา 22 ตุลาคม พ.ศ. 2539

บทคัดย่อ
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่ม ที่มีต่อปริมาณผลผลิต ธาตุอาหารหลัก และการสะสมโลหะหนักบางชนิดของผักกาดหอมใน สภาพแปลงทดลอง และผลของกากตะกอนที่มีต่อคุณสมบัติและธาตุอาหารหลักของดิน โดยใช้ กากตะกอนน้ำเสียจาก 5 โรงงานคือ โรงงานเบียร์ น้ำอัดลม สุรา ผลไม้กระป๋องและผงชูรส โดยทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียว และการใส่กากตะกอน ร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งหมด 12 Treatments 4 ซ้ำ ซึ่งผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์ค่าทาง สถิติโดยใช้ ANOVA และ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองพบว่า กากตะกอนน้ำเสียจากทั้ง 5 โรงงานมีคุณสมบัติทางเคมี และ ปริมาณธาตุอาหารหลักที่เพียงพอเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งให้ปริมาณผลผลิต เทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งกากตะกอนโรงงานผงชูรสและน้ำอัดลม นอกจากนี้ ยังทำให้ดินมีคุณสมบัติดีขึ้น ส่วนปริมาณโลหะหนักที่พบในกากตะกอนมีปริมาณที่พบได้ทั่วไป และอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์ของ CEC ซึ่งมีแนวโน้มของการสะสมในผักกาดหอม เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกากตะกอนจากโรงงานเบียร์และน้ำอัดลม แต่ก็ยังอยู่ในปริมาณที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชและสุขภาพของคน กากตะกอนดังกล่าวจึงสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยสำหรับ พืชผักที่มีช่วงอายุสั้นได้อย่างดี นอกจากนั้นยังให้ผลกำไรภายใน 1 ปี สูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีอีกด้วย

Thesis Title The Utilization of Activated Sludge from Food and Beverage Industry as Compost

Name Rapeeporn Choradol

Degree Master of Science (Technology of Environmental Management)

Thesis Supervisory Committee

Aurapin Eamsiri, Ph.D.

Pojanee Moncharoen, M.S.

Date of Graduation 22 October B.E. 2539 (1996)

ABSTRACT

The purpose of this research work is to study the effect of activated sludge from food and beverage industry on yield, macronutrient and some heavy metal accumulation of lettuce in field condition, including physical and chemical properties of the soil. Experimental samples of activated sludge are taken from five factories of beer, aerated water, whisky, canned food and glutamate. Comparative experiments of twelve treatments with four replications are conducted on low nitrogen soil type with each sludge and the combination of corresponding sludge with chemical fertilizer and control. The results obtained are analysed statistically using ANOVA and Duncan's multiple range test at significant level of 95 percent.

It is found that the sludge from food and beverage industry has an appropriate chemical properties and adequate macronutrient that could be utilized as compost. In addition, the sludge can give rise to the high yield comparable to using chemical fertilizer especially sludge from glutamate and aerated water factories. In case of heavy metal, it is appeared to be in an acceptable range of CEC with no toxic effect to plant and human health eventhough a tendency of an increased accumulation has shown especially when the sludge from glutamate and aerated water factories are used. It can be, therefore, concluded that these sludges can be used as compost in growing vetgetable with long term higher benefit than using chemical fertilizer.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	7
1.3 ขอบเขตการศึกษา	7
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	7
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	8
2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม	8
2.2 การปลดปล่อยไนโตรเจนจากกากตะกอน	13
2.3 การใช้กากตะกอนในทางการเกษตรกับพืชชนิดต่างๆ	16
2.4 ผลของกากตะกอนที่มีต่อคุณสมบัติของดิน	19
2.5 ชนิดพืชที่เหมาะสมในการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์	21
2.6 ปุ๋ยที่ใช้สำหรับพืชผัก	24
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	26
3.1 การเตรียมการทดลอง	26
3.2 การวางแผนการทดลอง	31
3.3 การเก็บข้อมูล	34
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล	36

สารบัญ (ต่อ)	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล	37
4.1 คุณสมบัติของดินที่นำมาใช้ในการทดลอง	37
4.2 คุณสมบัติและองค์ประกอบของกากตะกอนน้ำเสีย	39
4.2.1 คุณสมบัติของกากตะกอนน้ำเสีย	39
4.2.2 ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสีย	42
4.3 ปริมาณผลผลิตผักกาดหอม	44
4.3.1 น้ำหนักเฉลี่ยของผักกาดหอม	44
4.3.2 ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้กากตะกอนน้ำเสีย	47
4.4 ปริมาณธาตุอาหารหลักในผักกาดหอม	49
4.4.1 ไนโตรเจนในผักกาดหอม	49
4.4.2 ฟอสฟอรัสในผักกาดหอม	50
4.4.3 โพแทสเซียมในผักกาดหอม	52
4.4.4 สรุปปริมาณธาตุอาหารหลักในผักกาดหอม	54
4.5 โลหะหนักในผักกาดหอม	55
4.5.1 ปริมาณทองแดงในผักกาดหอม	56
4.5.2 ปริมาณเหล็กในผักกาดหอม	57
4.5.3 ปริมาณแมงกานีสในผักกาดหอม	59
4.5.4 ปริมาณสังกะสีในผักกาดหอม	61
4.5.5 ปริมาณตะกั่วในผักกาดหอม	62
4.5.6 ปริมาณแคดเมียมในผักกาดหอม	65
4.5.7 สรุปปริมาณโลหะหนักในผักกาดหอม	68
4.6 ผลของการใช้กากตะกอนน้ำเสียต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน	71
4.6.1 ระดับความเป็นกรดเป็นด่างในดิน	71
4.6.2 ค่าการนำไฟฟ้าในดิน	72
4.6.3 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน	74
4.6.4 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน	75
4.6.5 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน	78
4.6.6 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน	79

สารบัญ (ต่อ)	หน้า
4.6.7 ปริมาณโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน	81
4.6.8 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำในดิน	82
4.5.9 สรุปผลของการใช้กากตะกอนน้ำเสียต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในดิน	83
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	86
5.1 สรุปผลการวิจัย	86
5.2 ข้อเสนอแนะ	88
บรรณานุกรม	89
ภาคผนวก	96

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การคาดประมาณปริมาณของเสียในช่วงปีพ.ศ. 2529-2534	3
1.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติและปริมาณการใช้ประโยชน์ของน้ำเสียและกากตะกอนน้ำเสียแต่ละโรงงาน	4
2.1 องค์ประกอบของกากตะกอนน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ	11
2.2 องค์ประกอบของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเบียร์ เบียร์และสุรา	12
3.1 แสดง Treatment ของการทดลองใช้กากตะกอนน้ำเสียเป็นปุ๋ย	33
4.1 คุณสมบัติของดินที่นำมาใช้ในการทดลอง	38
4.2 แสดงค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสียทั้ง 5 โรงงาน	40
4.3 ปริมาณโลหะหนัก (ppm.) ที่วิเคราะห์ได้จากกากตะกอนน้ำเสีย 5 โรงงาน และปริมาณของโลหะหนัก (ppm.) ที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะใช้เพื่อการเกษตร	42
4.4 แสดงค่าใช้จ่ายในการใช้กากตะกอนน้ำเสียเป็นปุ๋ยอินทรีย์ เปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกร	48
4.5 แสดงน้ำหนักผลผลิต (กิโลกรัม/แปลง) ผลผลิตผักกาดหอม (กิโลกรัม/ไร่) ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัส และปริมาณโปแตสเซียมเฉลี่ย (%) ในผักกาดหอม ในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน	53
4.6 ปริมาณโลหะหนักบางชนิด (ppm.) ในพืช ณ ระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Chaney, 1982)	55
4.7 แสดงปริมาณทองแดง เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ตะกั่วและแคดเมียมเฉลี่ย (ppm.) ในผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน	67
4.8 แสดงชนิดพืชที่มีแนวโน้มจะขาดธาตุอาหาร	69
4.9 แสดงความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า(EC) ค่าประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) และปริมาณอินทรีย์วัตถุ(Organic Matter) เฉลี่ยในดินในแต่ละทรีทเมนต์	77
4.10 แสดงปริมาณไนโตรเจน (Total Nitrogen) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avaliable Phosphorus) โปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium) และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) ของดินแต่ละทรีทเมนต์	85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก-1 แสดงน้ำหนักเฉลี่ยของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน	96
ก-2 แสดงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ย (Total Nitrogen) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน	97
ก-3 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ย (Total Phosphorus) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน	98
ก-4 แสดงปริมาณโปแตสเซียมทั้งหมดเฉลี่ย (Total Potassium) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน	99
ก-5 แสดงปริมาณทองแดงทั้งหมดเฉลี่ย (Total Copper) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน	100
ก-6 แสดงปริมาณเหล็กทั้งหมดเฉลี่ย (Total Iron) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน	101
ก-7 แสดงปริมาณแมงกานีสทั้งหมดเฉลี่ย (Total Manganese) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน	102
ก-8 แสดงปริมาณสังกะสีทั้งหมดเฉลี่ย (Total Zinc) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน	103
ก-9 แสดงปริมาณตะกั่วทั้งหมดเฉลี่ย (Total Lead) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน	104
ก-10 แสดงปริมาณแคดเมียมทั้งหมดเฉลี่ย (Total Cadmium) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน	105
ก-11 แสดงความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน	106
ก-12 แสดงค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity 1:5 ; m.mhos/cm.) ของดินหลังทำการทดลองปลูกผัก โดยใช้กากตะกอนน้ำเสียทั้ง 5 โรงงาน ที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน	107
ก-13 แสดงประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ของดินในแต่ละทรีทเมนต์	108
ก-14 แสดงปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter; %) ของดินหลังทำการทดลองปลูกผัก โดยใช้กากตะกอนน้ำเสียทั้ง 5 โรงงานที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน	109
ก-15 แสดงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) ในดินหลังทำการทดลองปลูกผัก ในแต่ละทรีทเมนต์	110

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

หน้า

ก-16 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสที่มีประโยชน์เฉลี่ย (Avaliable Phosphorus; ppm.) ใน ดินหลังทำการทดลองปลูกผัก ในแต่ละทรีทเมนต์	111
ก-17 แสดงปริมาณโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เฉลี่ย (Exchangeable Potassium; ppm) ในดินหลังทำการทดลองปลูกผัก ในแต่ละทรีทเมนต์	112
ก-18 แสดงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) ในดินหลังทำการ ทดลองปลูกผักในแต่ละทรีทเมนต์	113



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบ Activated Sludge	9
3.1 แผนการดำเนินการทดลอง	27
4.1 แสดงน้ำหนักเฉลี่ยของผักกาดหอม (กิโลกรัมต่อแปลง)	45
4.2 แสดงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืช (%)	49
4.3 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช (%)	51
4.4 แสดงปริมาณโปแตสเซียมทั้งหมดในพืช (%)	52
4.5 แสดงปริมาณทองแดงในพืช (ppm.)	56
4.6 แสดงปริมาณเหล็กในพืช (ppm.)	58
4.7 แสดงปริมาณแมงกานีสในพืช (ppm.)	60
4.8 แสดงปริมาณสังกะสีในพืช (ppm.)	61
4.9 แสดงปริมาณตะกั่วในพืช (ppm.)	63
4.10 แสดงปริมาณแคดเมียมในพืช (ppm.)	66
4.11 แสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดิน	72
4.12 แสดงค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; m.mhos/cm.) ของดิน	73
4.13 แสดงประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity; me/100g) ในดิน	74
4.14 แสดงปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter; %) ในดิน	76
4.15 แสดงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen; %) ในดิน	78
4.16 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avaliable Phosphorus; ppm.) ในดิน	80
4.17 แสดงปริมาณโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium) ในดิน	81
4.18 แสดงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (Water Holding capacity; %)	83

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศไทยที่ผ่านมา ได้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วมาก เนื่องจากรัฐบาลมีนโยบายเน้นการส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าเพื่อการส่งออก ทำให้จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากในช่วง 10 กว่าปีที่ผ่านมา โดยปรากฏว่าในปี พ.ศ. 2522 มีจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบการจำนวนเพียง 19,691 โรง และได้เพิ่มจำนวนเป็น 104,509 โรงในปี 2536 โดยแยกเป็นเขตภูมิภาค 82,240 โรง และอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร 22,269 โรง คิดเป็นร้อยละ 21.3 ในจำนวนนี้อุตสาหกรรมอาหารมีจำนวนมากที่สุด (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2532 ; กรมควบคุมมลพิษ, 2536)

การพัฒนาของภาคอุตสาหกรรมนั้น ได้ส่งผลต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ ตลอดจนสามารถช่วยยกระดับรายได้ของประชาชนในประเทศให้ดีขึ้น แต่ในอีกแง่หนึ่งอาจเกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้ ถ้าขาดการป้องกันและควบคุมมลพิษจากอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ อากาศ สารอันตราย และของเสียจากอุตสาหกรรม และส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตสุขภาพอนามัยของคน รวมทั้งคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไป โดยเฉพาะปัญหาน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมนั้น ได้เพิ่มมากขึ้นตามความเติบโตของโรงงานอุตสาหกรรมในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล เนื่องจากโรงงานเหล่านี้ไม่มีการบำบัดน้ำทิ้งก่อนปล่อยออกจากโรงงาน ได้มีการศึกษาปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรมในรูปของ บี.โอดี.ในปี 2534 พบว่า มีปริมาณถึง 0.5 ล้านตันต่อปี (เฉลี่ยเท่ากับน้ำโสโครกจากประชากร 27 ล้านคน) โดยร้อยละ 33 เกิดจากโรงงานน้ำตาล ร้อยละ 24 จากโรงงานสุรา เบียร์ และเครื่องดื่ม และร้อยละ 16 จากโรงงานกระดาษ และมีการคาดการณ์ว่าภายในปี พ.ศ. 2539 ปริมาณน้ำเสียจากภาคอุตสาหกรรมจะสูงขึ้น 0.73 ล้านตันบี.โอดี.ต่อปี ซึ่งเทียบเท่ากับน้ำโสโครกจากประชากร 40.5 ล้านคน จะเห็นได้ว่าร้อยละ 57 เป็นปริมาณน้ำเสียเกิดจากอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม เป็นส่วนใหญ่ (ธีระ และคณะ, 2533)

ดังนั้น ในการควบคุมปัญหาน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยอาศัยพระราชบัญญัติ โรงงานพ.ศ. 2512 ได้มีการกำหนดลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกนอกบริเวณโรงงาน ต้องมี คุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2525) และ ในการขออนุญาตจัดตั้งโรงงานขนาดใหญ่ ทางกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดให้ผู้ขออนุญาต ต้องจัดทำรายงานเกี่ยวกับการศึกษามาตรการป้องกัน และแก้ไขผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำหรับโรงงานขนาดเล็กทางกรมโรงงานได้มีการออกแบบระบบกำจัดน้ำเสีย และศูนย์บริการกำจัด น้ำเสียขึ้นเพื่อให้บริการแก่โรงงานขนาดเล็ก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2533)

ในการควบคุมปัญหาน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่ม ระบบบำบัด น้ำเสียที่นิยมใช้คือ ชีววิธีแบบใช้ออกซิเจนซึ่งมีหลายระบบแต่อาศัยหลักการเดียวกันคือ ใช้แบคทีเรีย เป็นตัวกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน เริ่มตั้งแต่ระบบ Oxidation Ponds ซึ่งง่ายที่สุดและอาศัยธรรมชาติมากที่สุด จนถึงระบบ Activated Sludge ซึ่งเป็นระบบที่ต้องใช้ เครื่องจักรมีค่าใช้จ่ายและค่าก่อสร้างสูงกว่าระบบบำบัดแบบอื่นๆ แต่มีข้อดีคือ ใช้พื้นที่น้อยกว่า ระบบอื่น จึงเป็นระบบที่เหมาะสมในกรณีที่มีพื้นที่จำกัดหรือที่ดินมีราคาแพง เช่น ในกรุงเทพฯ และปริมณฑลที่มีความต้องการคุณภาพน้ำทิ้งอยู่ในเกณฑ์สูง จากการสำรวจโรงงานอุตสาหกรรม จำนวน 81 โรงงาน ในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑลในระหว่างปี พ.ศ. 2533 - 2534 พบว่า โรงงาน อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารจำนวน 14 โรงงาน มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated Sludge เป็นส่วนใหญ่ รองลงมาเป็นระบบ Oxidation Ditch และ Oxidation Pond โรงงานอุตสาหกรรม ประเภทเครื่องดื่มจำนวน 5 โรงงานใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated Sludge ทั้งหมด และ โรงงานอุตสาหกรรมกระดาษ และผลิตภัณฑ์กระดาษจำนวน 4 โรงงาน ใช้ระบบบำบัดแบบ Activated Sludge ทั้งหมด (กรมควบคุมมลพิษ, 2536)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิธีทุกระบบน้ำทิ้งจะมีตะกอนแบคทีเรียเกิดขึ้น เป็นตะกอน สีน้ำตาลเข้มจับกันเป็นก้อนเล็กๆกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำทิ้ง เมื่อมีปริมาณมากจึงจำเป็นต้องมีการ กำจัดกากตะกอนน้ำทิ้ง จากการศึกษาในปี 2528 พบว่า อุตสาหกรรมเครื่องดื่มจะมีกากตะกอนน้ำเสีย จากการบำบัดแบบ Activated Sludge จากโรงงานสุราจำนวน 34 โรงงาน ประมาณ 1,300 ตันต่อปี จากโรงงานเบียร์ 2 โรงงาน ประมาณ 10,800 ตันต่อปี โรงงานน้ำตาล 8 โรงงานจำนวน 782 ตันต่อปี จากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ 44 โรงงานจำนวน 16,200 ตันต่อปี ปริมาณกากตะกอน ที่เกิดขึ้น ส่วนใหญ่เกิดจากโรงงานอาหารและเครื่องดื่ม (Vacharotayan and Pintukanok, 1985) และ จากการคาดประมาณปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากปีพ.ศ. 2529-2544 ของบริษัท Engineering-Science นั้นพบว่า ปริมาณกากตะกอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังนี้ ในปี พ.ศ. 2529 ปริมาณกากตะกอน

และของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์ มีจำนวน 3,740 ตัน/ปี และในปี 2544 จะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวน 21,530 ตัน/ปี (ดังตารางที่ 1.1) (จักรกฤษณ์, 2536)

ตารางที่ 1.1 การคาดประมาณปริมาณของเสียในช่วงปี พ.ศ. 2529-2544

พ.ศ.	ปริมาณกากตะกอนและของแข็ง ที่เป็นสารอินทรีย์ (1,000 ตัน/ปี)
2529	3.74
2534	6.67
2539	11.95
2544	21.53

ที่มา : National Hazardous Waste Management Plan โดย Engineering - Science
เสนอต่อ สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2531)

จากปริมาณกากตะกอนน้ำเสียที่เกิดขึ้น ส่วนใหญ่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และ
เครื่องดื่มดังที่กล่าวมาแล้วนั้น ในปัจจุบันยังไม่มีการจัดการกากตะกอนที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสีย
อย่างเหมาะสม การจัดการยังไม่ถูกต้องนั้นจะทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะถ้าทำ
การกำจัดโดยวิธีที่ไม่เหมาะสม โดยการปล่อยทิ้งให้เป็นขยะในสถานที่ที่ไม่เหมาะสม เช่น แหล่งน้ำ
ก็จะเป็นการเพิ่มปริมาณขยะให้มากขึ้นเกิดความยากลำบากในการกำจัด และยังส่งผลทำให้เกิด
ภาวะมลพิษของแหล่งน้ำได้ค่อนข้างสูง ซึ่งจะเกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนโดยตรง
โดยเฉพาะประชาชนที่อยู่ใกล้เคียงโรงงานหรือสถานที่ทิ้งขยะ จะก่อให้เกิดปัญหากลิ่นรบกวน และ
เป็นแหล่งเพาะและแพร่กระจายของโรค รวมทั้งก่อเหตุรำคาญอื่นๆ เป็นอย่างมาก

จากสภาพการเพิ่มขึ้นของปริมาณกากตะกอนน้ำเสียต่อไปอนาคต อาจจะทำให้เกิดปัญหาในด้านสภาพแวดล้อมต่างๆเพิ่มมากขึ้นดังที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นแนวทางในการจัดการกากตะกอนน้ำเสีย คือ การส่งเสริมให้มีการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เพื่อลดปริมาณของเสียที่จะเกิดขึ้น แต่ในปัจจุบันการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ยังอยู่ในวงจำกัด และไม่ก่อให้เกิดประโยชน์อย่างเต็มที่ ซึ่งเห็นได้จากการศึกษาการใช้ประโยชน์ของเสียและการลดปริมาณของเสีย ในระหว่างปีพ.ศ. 2533-34 ของกองจัดการสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ (2536) จากการสำรวจพบว่า โรงงานอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และเยื่อกระดาษจำนวน 26 โรง มีปริมาณน้ำเสียและกากตะกอนน้ำเสียเกิดขึ้นเฉลี่ย 40,200 ตัน/เดือน/โรงงาน (คิดเป็นปริมาณน้ำเสีย และกากตะกอนน้ำเสียเกิดขึ้น 1,045,200 ตัน/เดือน) และมีปริมาณการนำไปใช้ประโยชน์เฉลี่ย 8,333.33 ตัน/เดือน/โรงงาน เพียง 13 โรงงาน (คิดเป็นปริมาณที่มีการนำไปใช้ประโยชน์ 108,333.29 ตัน/เดือน) เห็นได้ว่าการนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์เพียง 10.36 % ของปริมาณที่เกิดขึ้น (ดังตารางที่ 1.2) อุตสาหกรรมในจำนวน 13 โรงงานนี้ได้มีการนำกากตะกอนของเสียมาใช้ประโยชน์โดยการนำไปถมที่หรือเผาทิ้ง แต่การใช้ประโยชน์ยังอยู่ในวงจำกัด และข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ยังไม่แพร่หลาย ทำให้การกำจัดกากตะกอนยังไม่มีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 1.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ และปริมาณการใช้ประโยชน์ของน้ำเสียและกากตะกอนน้ำเสียแต่ละโรงงาน

	น้ำเสียและกากตะกอนน้ำเสีย (ตัน/เดือน)	
	เกิดขึ้น	ใช้ประโยชน์
ค่าเฉลี่ย (ตัน/เดือน/โรงงาน)	40,200	8,333.33
รวมโรงงาน (โรง)	26	13
รวมของเสียเทียบจากค่าเฉลี่ย (ตัน/เดือน)	1,045,200	108,333.29
% การใช้ประโยชน์	10.36	-

ที่มา : กองจัดการสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ

ในประเทศญี่ปุ่น ได้มีการนำกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตภัณฑ์อาหารทะเลมาทำเป็นอาหารสัตว์ ซึ่งอาหารสัตว์นี้จะมีไนโตรเจน 9 % ฟอสฟอรัส 4.7 % โปแตสเซียม 1 % และโปรตีนจากเนื้อปลา 56 % (บุญยงค์ , 2531) ข้อมูลของประเทศญี่ปุ่นนับว่าเป็นแนวคิดหนึ่งของทางเลือกในการแก้ไขปัญหาต่อเนื่องจากปัญหาน้ำเสีย ที่ช่วยให้เกิดประโยชน์ต่อไปได้

สำหรับในประเทศไทยทางเลือกที่จะนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์นั้น กากตะกอนต้องมาจากโรงงานอุตสาหกรรมที่คาดว่าไม่มีปริมาณโลหะหนักที่เป็นพิษหรือมีในปริมาณน้อย โรงงานเหล่านี้ก็เป็นโรงงานพวกอาหาร และเครื่องดื่ม เป็นต้น เมื่อพิจารณาถึงสมบัติและองค์ประกอบของกากตะกอนจากโรงงานอาหารและเครื่องดื่มพบว่า กากตะกอนเหล่านี้ยังคงมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมาก มีปริมาณธาตุอาหารหลักต่างๆเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียมอยู่ในปริมาณมากพอที่จะสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในลักษณะเป็นปุ๋ยอินทรีย์บำรุงพืชได้ สรสิทธิ์และคณะ (2526) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุอาหารในกากตะกอนจากโรงงานผลิตผงชูรส และน้ำอัดลมพบว่า มีองค์ประกอบใกล้เคียงกับปุ๋ยคอกเช่น มูลวัว มูลไก่ กล่าวคือมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 4.8 และ 3.5 % ฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.63 และ 1.93 % โปแตสเซียมเท่ากับ 0.30 และ 0.31 % ตามลำดับ ในการเปรียบเทียบดังกล่าวได้ถือเอาระดับปริมาณไนโตรเจนเป็นเกณฑ์ ซึ่งต้องมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดตั้งแต่ร้อยละ 2 ขึ้นไปจึงสามารถที่นำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ จากปริมาณธาตุอาหารหลักเหล่านี้พบว่า มีความเป็นไปได้ในการใช้กากตะกอนน้ำเสียมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ แต่ประเด็นสำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ความปลอดภัยของโลหะหนักที่อาจสะสมอยู่ในพืชได้ มีการวิเคราะห์ให้เห็นว่ากากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่มมีโลหะหนักในปริมาณน้อย และมีความปลอดภัยต่อมนุษย์ (นิภา, 2524 ; กุลวดี, 2533) ดังนั้นในชนิดของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานประเภทต่างๆ โรงงานอาหารและเครื่องดื่มจึงมีความปลอดภัยของโลหะหนักมากที่สุด ควรนำมาใช้ประโยชน์ในทางการเกษตรได้ดีกว่าโรงงานประเภทอื่น

จากคุณสมบัติของกากตะกอน การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่ง เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมทำการเพาะปลูกมาเป็นระยะเวลานาน ทำให้เกิดปัญหาดินที่ใช้ทำการเพาะปลูกขาดความอุดมสมบูรณ์และคุณสมบัติทางกายภาพของดินเสื่อม ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิต ปุ๋ยที่เกษตรกรนิยมใช้กันมากคือปุ๋ยเคมีเห็นได้จากปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้นทุกปี และในอนาคตปริมาณความต้องการปุ๋ยเคมียังคงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ประกอบกับประเทศเรายังไม่มีโรงงานปุ๋ยที่สมบูรณ์ที่สามารถผลิตได้จำนวนมาก

จึงทำให้ปุ๋ยเคมีมีราคาแพงขึ้นอย่างมาก เกษตรกรจึงต้องหันมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อปรับปรุงโครงสร้างของดินโดยใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี นอกจากทำให้ลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงแล้วปุ๋ยอินทรีย์ยังทำให้คุณสมบัติของดินดีขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้การนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์เหมาะสำหรับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย เนื่องจากสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูงมีแสงแดดจัดเกือบทั้งปี จะช่วยลดปัญหาในเรื่องค่าใช้จ่ายทางด้านการทำให้กากตะกอนแห้งและลดอันตรายจากเชื้อแบคทีเรีย ที่จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพอนามัยของประชาชน

ดังนั้นจากเหตุผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า กากตะกอนมีศักยภาพในการนำมาพัฒนาเป็นปุ๋ยใช้ในการเกษตรได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปุ๋ยสำหรับพืชผักซึ่งต้องการปุ๋ยที่มีไนโตรเจนสูง จึงสมควรที่จะได้มีการวิจัยในการนำกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องคั่ว ซึ่งมีปริมาณน้ำเสียและกากตะกอนเกิดขึ้นมาก และมีปริมาณโลหะหนักอยู่ในชั้นปลอดภัยมาใช้ประโยชน์ในรูปปุ๋ย ซึ่งจะเป็นการเสนอทางเลือกให้กับการแก้ไขปัญหาผลกระทบน้ำ และปัญหาเรื่องกากตะกอนที่จะติดตามมาในอนาคต สำหรับเมืองที่มีอุตสาหกรรมที่กำลังมีการขยายตัว ซึ่งทางเลือกที่ดีที่สุดคือการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ ดังนี้คือ

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของกากตะกอนที่มีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต ปริมาณธาตุอาหารหลักในพืชผัก
2. ศึกษาอิทธิพลของกากตะกอนที่มีต่อการสะสมโลหะหนักในพืชผัก
3. ศึกษาอิทธิพลของกากตะกอนต่อคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของดิน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการศึกษาไว้ดังนี้

- 1.3.1 ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้กากตะกอนน้ำเสีย (Activated Sludge) จากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม ซึ่งโรงงานเหล่านี้จะต้องเป็นโรงงานที่มีระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated Sludge
- 1.3.2 กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงาน 5 โรงงาน คือ โรงงานอาหาร 2 โรงงาน ได้แก่ โรงงานผลไม้กระป๋อง และโรงงานผงชูรส ส่วนโรงงานเครื่องดื่ม 3 โรงงาน ได้แก่ โรงงานน้ำอัดลม โรงงานเบียร์ โรงงานสุรา
- 1.3.3 กากตะกอนน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งจะเป็นกากตะกอนแห้งที่ทำการรีดน้ำออกแล้ว (dewatering)

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

ผลที่ได้จากการวิจัยนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ดังต่อไปนี้

1. เป็นการจัดการวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่มได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. เป็นแนวทางในการนำเอากากตะกอน จากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่ม ไปใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะปลูก และปรับปรุงคุณสมบัติของดินให้เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชชนิดอื่นได้ต่อไปในระยะยาว เพื่อลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่ม

2.1.1. หลักการของระบบบำบัดน้ำเสีย

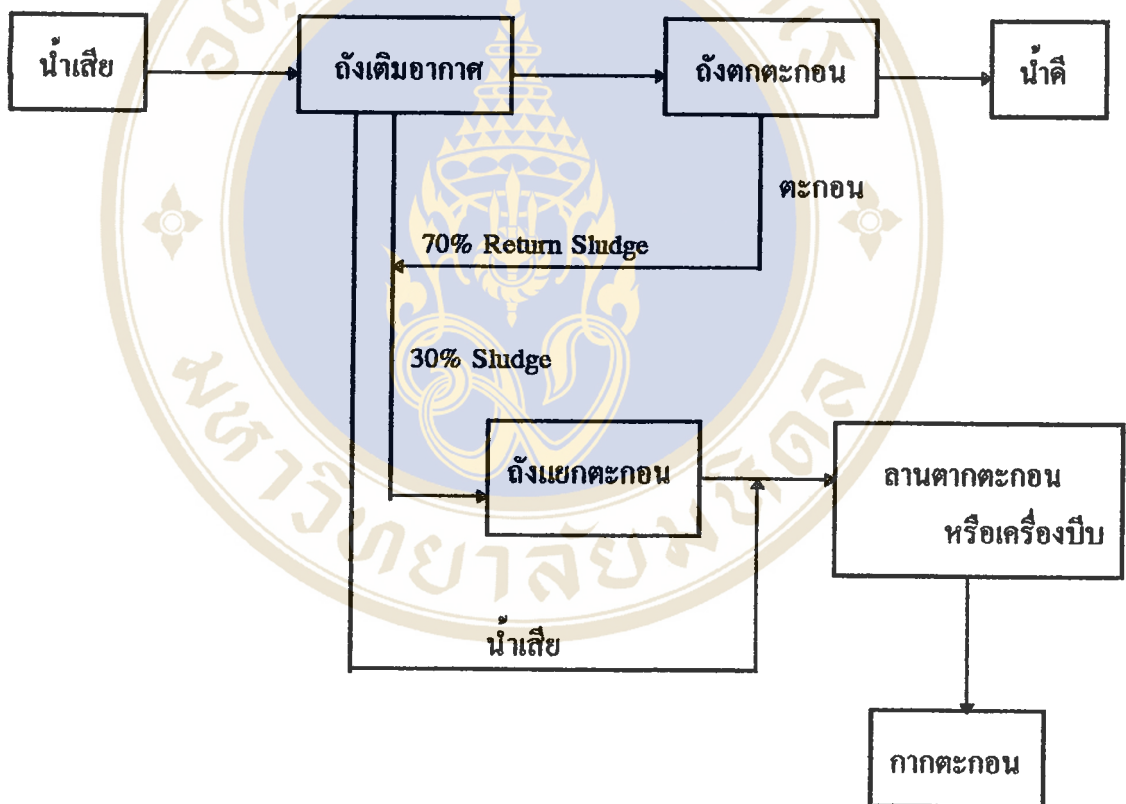
การบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นการกำจัดน้ำทิ้งด้วยชีววิธี แบบใช้ออกซิเจนซึ่งมีหลายระบบแต่ทุกระบบอาศัยหลักการอันเดียวกันคือ ใช้แบคทีเรียเป็นตัวกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน ดังนั้น ระบบการกำจัดแต่ละระบบจึงแตกต่างกันตรงวิธีการให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรีย และการควบคุมปฏิกิริยาของแบคทีเรีย จากการสำรวจโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 81 โรงงาน ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑลในระหว่างปีพ.ศ. 2533-34 ของกรมควบคุมมลพิษ (2536) พบว่า โรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารจำนวน 14 โรงงาน มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated Sludge เป็นส่วนใหญ่ และโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม 5 โรงงานใช้ระบบบำบัดแบบ Activated Sludge ทั้งหมด

การบำบัดน้ำเสียแบบ Activated Sludge นี้ จะลดค่า BOD (Biological Oxygen Demand) ของน้ำเสีย โดยแบคทีเรียจะถูกเร่งให้ทำปฏิกิริยากับน้ำเสียโดยการเพิ่ม O_2 ดังสมการ



แบคทีเรียที่ถูกเร่งให้เจริญโดยวิธีนี้จะมีปริมาณมากจนจับตัวเป็นก้อนใหญ่ แบคทีเรียและกากตะกอนแข็งที่เหลือจากการย่อยสลายมีสีน้ำตาลเข้มเรียกว่า ตะกอนน้ำเสีย (Activated Sludge) ส่วนผสมของน้ำทิ้งตะกอนแบคทีเรียในถังเติมอากาศที่เรียกว่า Mixed Liquor มีองค์ประกอบขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำเสีย

ระบบนี้ประกอบด้วยถังปฏิกิริยา ซึ่งมีตัวเติมอากาศ (aeration tank) และถังตกตะกอน (sediment action clarifier tank) โดยที่น้ำทิ้งจะถูกสูบเข้าถังเติมอากาศในถังเติมอากาศ จะมีระบบเติมอากาศ เพื่อทำหน้าที่ให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรียและกวน Mix Liquor เพื่อให้ตะกอนแบคทีเรียอยู่ในลักษณะแขวนลอยกระจายไปทั่วถังเติมอากาศ จากนั้น Mix Liquor จะไหลจากถังเติมอากาศมาเข้าสู่ถังตกตะกอน เพื่อแยกตะกอนแบคทีเรียออกจะได้น้ำทิ้งที่ใสสะอาดและมีค่า BOD ต่ำ ส่วนตะกอนแบคทีเรียที่จมอยู่บนก้นถังตกตะกอนส่วนใหญ่จะสูบเข้าไปถังเติมอากาศ เพื่อรักษาปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศให้คงที่ ตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินที่เกิดขึ้นจากการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะต้องนำไปกำจัดต่อไปดังรูปที่ 2.1 (พิมลและชัยวัฒน์, 2525)



รูปที่ 2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบ Activated Sludge

2.1.2 คุณสมบัติของกากตะกอนน้ำเสีย

กากตะกอนน้ำเสียมีคุณสมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันตามขั้นตอน และกระบวนการผลิต โดยที่สมบัติทางเคมีนั้นว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญในการพิจารณาคุณค่าของกากตะกอนที่จะนำไปใช้ในทางการเกษตร โดยเฉพาะคุณค่าทางอาหาร (Fertilizer value) Inoko (1982) ได้เสนอแนวคิดไว้ว่า ลักษณะของอินทรีย์วัตถุเหลือใช้ที่นำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ต้องมีองค์ประกอบดังนี้คือ สารอินทรีย์นั้นต้องมี C/N Ratio ต่ำกว่า 20 และสารอินทรีย์นั้นต้องมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากกว่าร้อยละ 2 ซึ่งได้มีผู้ศึกษาองค์ประกอบของกากตะกอนน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ ไว้ดังนี้

Yoshida (1976) ได้วิเคราะห์กากตะกอนจากโรงงานผลิตอาหารจำนวน 26 โรงงานพบว่า มีไนโตรเจนทั้งหมดประมาณ 3.84-11.41 % ฟอสฟอรัส 1.7-8.62 % และโปแตสเซียม 0.06-2.01 % ต่อมา Yoshida and Yoneyama (1978) ได้วิเคราะห์กากตะกอนจากโรงงานต่างๆ ในเมือง Hanamuro ประเทศญี่ปุ่นพบว่า ปริมาณโดยเฉลี่ยของคาร์บอนทั้งหมด 17.0 - 40.2 % ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 2.83 - 6.48 % มีค่า C/N Ratio เท่ากับ 5.21 - 9.01

Sommers et al. (1976) ได้เก็บตัวอย่างกากตะกอนจากแหล่งต่างๆ ในช่วงระหว่างปี 1974 - 1975 มาทำการวิเคราะห์ธาตุอาหารต่างๆ พบว่า กากตะกอนประกอบด้วยคาร์บอน 50 % ส่วนใหญ่อยู่ในรูปอินทรีย์สาร ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 1.26 - 4.33 % และอยู่ในรูปของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ มากกว่า 90 % ฟอสฟอรัสมีประมาณ 1.1 - 2.4 % โปแตสเซียมมีประมาณ 0.3 - 0.6 % ปริมาณไนโตรเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่จะปลดปล่อยให้แก่พืชได้ ดังการทดลองของ Sommers (1977) ได้ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างกากตะกอนจากโรงงานต่างๆ จำนวน 150 โรงงานมาวิเคราะห์พบว่า มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมใกล้เคียงกันคือ ไนโตรเจนทั้งหมดในกากตะกอนจะมีค่าคงที่ในช่วง 2 - 4% และพบว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ส่วน $\text{NO}_3^-\text{-N}$ จะพบหลังจากทำให้แห้ง ฟอสฟอรัสทั้งหมดจะมีค่าอยู่ในช่วง 1.2-3.0 % โดยที่ 10 - 30 % ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในกากตะกอนจากกระบวนการ aerobic digestion จะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ฟอสฟอรัส

สำหรับในอเมริกา Epstein (1978) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของกากตะกอนจากโรงงาน Blue Plains Wastewater Treatment Plant พบว่ามีปริมาณคาร์บอน 31% ไนโตรเจน 3.8 % ฟอสฟอรัส 1.46 % โปแตสเซียม 0.19 % แคลเซียม 1.39 % และแมกนีสิ 0.41 % จากที่กล่าวมาสรุปได้ดังตารางที่ 2.1 นอกจากนี้ยังพบว่า องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนผันแปรตามประเภทของโรงงานและวิธีการกำจัดน้ำเสีย ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ที่มีอยู่ในกากตะกอนไม่ค่อยแปรผันมากนัก

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกากตะกอนน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ

คุณสมบัติของกากตะกอน	Yoshida (1976)	Yoshida and Yoneyama (1978)	Sommer et. al (1976)	Sommer (1977)	Epstein (1978)
N (%)	3.84 - 11.41	2.83 - 6.48	1.26 - 4.33	2.0 - 4.0	3.8
P (%)	1.70 - 8.62	-	1.10 - 2.40	1.2 - 3.0	1.46
K (%)	0.06 - 2.01	-	0.3 - 0.6	-	0.19
C (%)	-	17.0 - 40.2	50.0	-	31.0
C/N Ratio	-	5.21 - 9.01	-	-	-

ที่มา : Yoshida (1976) , Yoshida and Yoneyama (1978) , Sommer et.al. (1976) , Sommer (1977) , Epstein (1978)

ในประเทศไทยได้มีผู้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของกากตะกอนจากโรงงานเบียร์ สุรา และน้ำอัดลมพบว่า มีค่าอยู่ในช่วงต่างๆดังนี้ pH มีค่า 6.6 - 7.4 ปริมาณไนโตรเจน 2.24 - 5.94 % ฟอสฟอรัส 0.34 - 1.89 % โปแตสเซียม 0.19 - 0.50 % แคลเซียม 0.175 - 3.00 % แมกนีเซียม 0.07-0.41 % ค่า C/N Ratio 4.4 - 7.0 คาร์บอน 33.4 - 33.7 % และปริมาณธาตุอื่นๆ ดังตารางที่ 2.2 (นิภา, 2524 ; ศุภมาส, 2528 ; สุดใจ, 2533) จากค่าปริมาณธาตุอาหารหลักที่มีผู้ศึกษามาเห็นได้ว่าปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียมจาก 3 โรงงานมีค่าไม่แตกต่างกัน และอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้คือ มีค่า C/N Ratio ต่ำกว่า 20 และมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากกว่าร้อยละ 2 (Inoko, 1982) ดังนั้น ในการศึกษาคาดว่ากากตะกอนจากโรงงานเหล่านี้สามารถจะนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยใช้เป็นปุ๋ย สำหรับการเพาะปลูกได้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเป๊ปซี่ ,เบียร์และสุรา

คุณสมบัติของกากตะกอน	โรงงานเป๊ปซี่	โรงงานเบียร์		โรงงานสุรา
	(นิภา) ^{1/}	(สุดใจ) ^{2/}	(ศุภมาส) ^{3/}	(ศุภมาส) ^{3/}
pH (1:1)	7.4	6.9	7.0	6.6
N (%)	3.64	2.24	4.70	5.94
P (%)	1.89	0.34	1.25	0.56
K (%)	0.40	0.19	0.50	0.50
Ca (%)	3.00	0.19	0.538	0.175
Mg (%)	0.41	0.07	-	-
S (ppm)	0.37	-	-	-
Mn (ppm)	10.80	210	-	-
Cu (ppm)	112.2	75	-	-
Al (ppm)	7782	-	-	-
Zn (ppm)	490	95	-	-
Pb (ppm)	400	-	-	-
Ba (ppm)	11	-	-	-
Fe (ppm)	-	2000	-	-
O.C. (%)	-	9.9	-	-
C/N ratio	-	4.4	7	6
C (%)	-	-	33.4	33.7

ที่มา : 1/ นิภา พนาพิทักษ์กุล,2524

2/ สุดใจ สุขช่วย,2533

3/ ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา,2528

2.2 การปลดปล่อยไนโตรเจนจากกากตะกอน

การนำเอากากตะกอนน้ำเสียหรืออินทรีย์วัตถุมาใช้เป็นปุ๋ยนั้น Chino (1980) เสนอว่า ควรนำมาเป็นปุ๋ยในโตรเจนเป็นหลัก เนื่องจากการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ดี ถึงแม้ว่าสภาพแวดล้อมของดินในแต่ละแห่งมีความแตกต่างกันพบว่า การปลดปล่อยไนโตรเจนจากกากตะกอนมีค่า 15 - 40 % โดยน้ำหนักของปริมาณอินทรีย์ในโตรเจน และยังคงมีบางส่วนตกค้างอยู่ในดิน ซึ่งจะปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาได้ในภายหลัง เช่นเดียวกับงานทดลอง Chromec and Magdoff (1977) พบว่า กากตะกอนที่ถูกย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจน (aerobic digested sludge) จะปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาประมาณ 36 - 61% ของอินทรีย์ในโตรเจนในช่วงเวลา 2 สัปดาห์ แต่สำหรับ Kneeney et al. (1975) พบว่า การปลดปล่อยไนโตรเจนในปีแรกมีประมาณ 15 % หลังจากนั้นในปีที่ 2, 3 และ 4 จะเป็น 6, 4 และ 2 % ตามลำดับ จากเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยไนโตรเจนของกากตะกอนน้ำเสียที่แตกต่างกันไปนั้น ได้มีผู้ศึกษาถึงสาเหตุที่เป็นเช่นนี้คือ

2.2.1 ค่า C/N Ratio

นิภา (2524) ได้กล่าวว่า การปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนจากอินทรีย์วัตถุผันแปรตามความยากง่ายของการสลายตัวของแต่ละชนิดอินทรีย์ในโตรเจน และค่า C/N Ratio ของอินทรีย์นั้นๆ ตามที่ Inoko (1982) เสนอแนวคิดว่า ลักษณะอินทรีย์วัตถุที่เหมาะสมจะนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ควรมีค่า C/N Ratio ต่ำกว่า 20 และมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากกว่า 2 % แนวคิดนี้ใกล้เคียงกับของ Marumoto et al. (1980) รายงานว่า องค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุมีความสำคัญต่อการสลายตัวและปลดปล่อยไนโตรเจนของอินทรีย์วัตถุนั้น โดยเฉพาะค่า C/N Ratio จะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการสลายตัวคือ ถ้ามีค่า C/N Ratio มากกว่า 25:1 หรือมีอินทรีย์ในโตรเจนต่ำจะมีอัตราการสลายตัวช้า แต่ถ้ามีอินทรีย์ในโตรเจนมากหรือมีค่า C/N Ratio น้อยกว่า 25:1 จะมีอัตราการสลายตัวเร็วขึ้น เช่น การทดลองของ Harmsen (1955) พบว่า อินทรีย์วัตถุที่มีไนโตรเจนมากกว่าร้อยละ 12 ของน้ำหนักแห้งหรือมีค่า C/N Ratio น้อยกว่า 25:1 ในโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกมาในช่วง 2 - 3 สัปดาห์หลังจากใส่สารอินทรีย์ แต่ถ้าปริมาณไนโตรเจนน้อยกว่าร้อยละ 1.5 หรือ C/N Ratio มากกว่า 25:1 ในโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกมาในช่วงเวลานานขึ้น

2.2.2 คุณสมบัติของดิน

Terry et al.(1981) พบว่า อิทธิพลของ pH และระดับความชื้นของดิน มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในดินคือ อัตราการเกิดขบวนการปลดปล่อยไนโตรเจน (Nitrification) จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อผสมกากตะกอนกับดินที่มี pH เป็นกลางมากกว่าดินที่มี pH เป็นกรด และขบวนการปลดปล่อยไนโตรเจน (Nitrification) จะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วที่ระดับความชื้นของดิน -0.25 บาร์ ถึง 0.5 บาร์มากกว่าที่ระดับความชื้นของดิน -1.0 บาร์ นอกจากนี้ชนิดของดินก็อาจจะมีผลด้วยการทดลองของ Tester et al. (1977) ที่ว่าการปลดปล่อยไนโตรเจนจากกากตะกอนในดิน loamy sand ในอัตรา 2%, 4% และ 6% โดยน้ำหนัก จะเพิ่มขึ้นตามอัตราของกากตะกอนที่เพิ่มขึ้น แต่ถ้าใส่ในดินเนื้อละเอียดเป็นดินเหนียวปนซิลต์ (silty clay) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะน้อยมากคือ มีเพียง 17 % ของการสลายตัวจากกากตะกอนในดินทรายล้วน (loamy sand) ทั้งนี้เพราะในดินเนื้อละเอียดจะเกิดการตรึง $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในหลีบของอนุภาคดินเหนียว

2.2.3 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

ปริมาณของอินทรีย์วัตถุมีความสัมพันธ์กับการปลดปล่อยไนโตรเจน ตามที่สตรลิตซ์และคณะ (2526) กล่าวว่า การเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุลงไปในดินมีผลให้การปลดปล่อย $\text{NH}_4^+\text{-N}$ มีปริมาณที่เพิ่มขึ้นในอัตราที่ไม่เป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ใส่ลงไปในดิน เนื่องจากชนิดของสารประกอบ และความยากง่ายต่อการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุนั้นๆ ดังการทดลองของ Premi and Cornfield (1971) พบว่า ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์จากกากตะกอนมีลักษณะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงถ้าใส่กากตะกอนลงไปในดินในอัตราต่ำ แต่ถ้าใส่กากตะกอนในอัตราที่สูงเกินกว่า 2 % ของน้ำหนักดินพบว่า ช่วง 4 สัปดาห์แรกไนโตรเจนถูกปลดปล่อยออกมาน้อย เนื่องจากจุลินทรีย์หยุดชะงักกิจกรรม แต่เมื่อพ้นช่วงเวลานี้ไปแล้วการสลายตัวจะเร็วขึ้น และอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนจะสูงกว่าการใส่กากตะกอนในอัตราต่ำ การทดลองนี้สอดคล้องกับ Ryan et al. (1973) ที่ได้ทดลองใส่กากตะกอนผสมกับดินในอัตรา 28 - 141 ppm N พบว่า ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นตามอัตราของกากตะกอนที่ใส่ แต่ถ้าเพิ่มอัตราการใส่กากตะกอนจาก 28 ppmN เป็น 141 ppmN การปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ภายใน 16 สัปดาห์จะลดลงจาก 48 % เป็น 4 % ของไนโตรเจนทั้งหมด

แต่สำหรับงานทดลองของ Epstein et al. (1978) ใช้กากตะกอนแห้ง (raw sludge)(39.6 %C, 3.55 % N) กับดินในอัตรา 0 - 1814 ppmN เป็นเวลา 14 สัปดาห์พบว่า การปลดปล่อยไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นตามอัตราของกากตะกอน แต่จะมีการสูญเสียไนโตรเจนในรูป NO_3^- โดยขบวนการ Immobilization ในช่วง 1 - 3 สัปดาห์แรก หลังจากสัปดาห์ที่ 3 ไปแล้วปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนมีแนวโน้มสูงขึ้น เปอร์เซนต์การปลดปล่อยไนโตรเจนจากกากตะกอนโดยเฉลี่ยทุกๆ อัตราการใส่จะใกล้เคียงกันคือ ในช่วง 41.8 % ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ดังนั้น ในการนำกากตะกอนไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ควรพิจารณาถึงปริมาณการใส่กากตะกอน เนื่องจากมีผลต่ออัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนได้มากน้อยต่างกัน

2.2.4 ชนิดของอินทรีย์วัตถุ

การทดลองของสมบุญ(2528) พบว่า วัสดุเหลือใช้อินทรีย์จะปลดปล่อย และเพิ่มปริมาณ NH_4^+-N ในดินนาให้สูงขึ้น ประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณ NH_4^+-N ในดินนาชุดดินรังสิตจะแตกต่างกันดังนี้ กากละหุ่ง > กากตะกอนน้ำเสีย(Activated Sludge)จากโรงงานเบียร์ > กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานสุรา > Filter Cake > ปุ๋ยหมักฟางข้าว

แต่ถ้ามีการใส่อินทรีย์วัตถุร่วมกับปุ๋ยเคมี สุดใจ (2533) พบว่า มีการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ (N-mineralization)มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องตามการทดลองของสุริยา (2530) พบว่า การปลดปล่อย NH_4^+-N จากอินทรีย์วัตถุอย่างเดียว และเมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีในสภาพน้ำขังในชุดดินรังสิตและชุดดินร้อยเอ็ด โดยการบ่มดิน ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1, 2, 3, 4 และ 6 สัปดาห์พบว่า กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเบียร์ และสุรา มีการปลดปล่อยไนโตรเจนอย่างรวดเร็วภายใน 1 เดือน โดยที่การใส่กากตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมีมีการปลดปล่อย NH_4^+-N เป็นปริมาณที่มากกว่าการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียว

ดังนั้น ในการปลดปล่อยไนโตรเจนจากกากตะกอนจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยดังนี้คือ ค่า C/N Ratio (Marumoto et.al., 1980 ; Harmsem, 1955 ; นิภา, 2524) , คุณสมบัติของดิน เช่น pH , ความชื้นของดิน (Terry et. al., 1981) และชนิดของดิน (Tester et.al., 1971) , ปริมาณกากตะกอนที่ใช้ (สรสิทธิ์และคณะ, 2526 ; Premi and Cornfield, 1977 ; Ryan et. al., 1973 ; Epstein et. al., 1978) และชนิดของกากตะกอน (สมบุญ, 2528) แต่การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุจะถูกยับยั้งได้เมื่อ

มีความเข้มข้นของโลหะหนักในดินมากกล่าวคือ เมื่อดินมีความเข้มข้นของโลหะหนัก 100 ppm และมากกว่า 400 ppm จะมีผลต่อ β -glucosidase และ phosphodiesterase โดยที่ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองลดลง ซึ่งนิเกิล (Ni) หรือ สังกะสี (Zn) จะทำให้ Proteinase มีกิจกรรมลดลง และการเกิดขบวนการปลดปล่อยไนโตรเจน (Nitrification) จะถูกขัดขวางโดยธาตุโลหะหนักในดินเช่นกัน (Yamada, 1985)

2.8 การใช้กากตะกอนในทางการเกษตรกับพืชชนิดต่างๆ

การสลายตัวของกากตะกอนในดินจะมีธาตุอาหารสำคัญคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโปแตสเซียม รวมทั้งธาตุอาหารอื่นๆจะถูกปลดปล่อยออกมาให้กับพืชธาตุอาหารเหล่านี้ ทำให้พืชเจริญเติบโตโดยแบ่งการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรกับพืชชนิดต่างๆ ดังนี้

2.8.1 พืชตระกูลข้าว

งานทดลองของ Sabey et al. (1977) ใช้กากตะกอนที่ถูกย่อยโดยไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic digested sludge) เป็นปุ๋ยอินทรีย์ในการปลูกข้าวสาลีเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีที่อัตราต่างๆ แล้วประเมินค่า N Fertilizer Equivalent ซึ่งเป็นค่าที่บอกให้ทราบว่ากากตะกอนที่อัตรานั้นๆลงไปในดิน สามารถทำให้ผลผลิตข้าวสาลีได้เท่ากับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ไนโตรเจน (Inorganic N) ที่อัตราเท่าใด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใส่กากตะกอนในอัตรา 22.4, 56.0, 112.0 และ 224.0 ตัน/เฮกตาร์ (3.61, 9.0, 17.9 และ 35.8 ตัน/ไร่) จะให้ผลผลิตข้าวสาลีเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 210, 575, 515 และ 330 กิโลกรัมไนโตรเจน/เฮกตาร์ (33.6, 92.0, 82.4 และ 52.8 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่) ตามลำดับ

การใช้กากตะกอนยังสามารถช่วยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเลย และผลผลิตพืชจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนตามที่ Keeling et al. (1977) ทดลองปลูกข้าว rye และ sorgum-sudan ในดินที่ใส่กากตะกอนน้ำเสียที่ถูกย่อยโดยไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic digested sewage sludge) ในช่วงอัตรา 0 - 15 ตัน/เฮกตาร์ (0 - 2.4 ตัน/ไร่) ปรากฏว่าผลผลิตพืชทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นตามอัตราของกากตะกอนคือ ผลผลิตของข้าว rye จะเพิ่มขึ้นจาก 3.72 ตัน/เฮกตาร์ (600 กิโลกรัม/ไร่) เป็น 4.26 ตัน/เฮกตาร์ (680 กิโลกรัม/ไร่) และผลผลิตของ sorgum-sudan เพิ่มขึ้นจาก 1.93 ตัน/เฮกตาร์ (3.09 กิโลกรัม/ไร่) เป็น 5.06 ตัน/เฮกตาร์ (8.10 กิโลกรัม/ไร่) สำหรับอัตราของกากตะกอนที่เหมาะสมในการปลูกข้าวสาลี ตามรายงานของ Sabey and Hart (1975) รายงานว่าใส่กากตะกอน

น้ำเสีย (sewage sludge) ในดินที่ปลูกข้าวสาลีพบว่า อัตราที่เหมาะสมคือ 25 - 50 ตัน/เฮกตาร์ (4 - 8 ตัน/ไร่) โดยผลผลิตจะเพิ่มจากดินธรรมชาติโดยเฉลี่ย 36.7 %

สำหรับการใช้กากตะกอนน้ำเสียในการปลูกข้าวในประเทศไทย มีการทดลองของศุภมาส (2528) ใช้กากตะกอนน้ำเสีย (Activated Sludge) จากโรงงานเบียร์และสุราในดินหุคร์ยเอ็ดพบว่า ให้ผลผลิตข้าวประมาณ 60 % เมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมี สำหรับสรสิทธิ์และคณะ (2526) ใช้กากตะกอนน้ำเสีย (activated sludge cake) จากโรงงานผงชูรส (5 %N) พบว่า อัตราที่แนะนำให้ใช้คือ 300 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งจะเทียบเท่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนประมาณ 5 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่

การใช้กากตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมี ทำให้ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากกว่าการใช้กากตะกอนหรือปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ซึ่งดูได้จากผลผลิตพืชสาคูใจ (2533) พบว่า กากตะกอนน้ำเสีย (activated sludge) ใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตมากกว่าใส่เดี่ยวอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง จากรายงาน Mays et al. (1973) ว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับกากตะกอน จะทำให้ผลผลิตของข้าวฟ่างสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีหรือกากตะกอนเพียงอย่างเดียวคือ การใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 14.4 และ 28.8 กิโลกรัม/ไร่ จะให้ผลผลิตข้าวฟ่างเท่ากับ 1,936 และ 2,160 กิโลกรัม/ไร่ แต่ถ้าใส่ร่วมกับกากตะกอนในอัตรา 7.4 ตัน/ไร่ จะให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 2,272 และ 2,400 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งถ้าใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียวในอัตรา 7.4 ตัน/ไร่ จะให้ผลผลิตเพียง 1,890 กิโลกรัม/ไร่เท่านั้น และรายงานของ Hortenstein and Rathwell (1973) ทดลองใส่กากตะกอนที่ย่อยแล้ว (digested sludge) ในช่วงอัตรา 8 - 64 ตัน/เฮกตาร์ (1.28 - 10.2 ตัน/ไร่) ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 10-4-4-8.3 ในอัตรา 2 ตัน/เฮกตาร์ (300 กิโลกรัม/ไร่) ในการปลูกข้าวฟ่างปรากฏว่า ผลผลิตของข้าวฟ่างเพิ่มตามอัตราของกากตะกอนและการใส่ปุ๋ยเคมี

2.3.2 พืชผัก

สำหรับการนำกากตะกอนมาปลูกผัก นิภา (2524) ได้แนะนำอัตราการใส่กากตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 เพื่อปลูกผักกาดขาวปลีในดินหุคร์ยเอ็ดดังนี้ กากตะกอนน้ำเสีย (Activated Sludge Cake) จากโรงงานผงชูรสใช้ในอัตราต่ำกว่า 1 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตรา 200 - 300 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนอรรณ (2536) แนะนำว่าอัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชน 3200 กิโลกรัม/ไร่ เทียบเท่ากับการเติมปุ๋ยเคมี ในอัตราที่กรมวิชาการเกษตรเสนอแนะให้เกษตรกร ใช้ในการปลูกผักแต่ละชนิด เช่นปุ๋ยเคมีสูตร 20-10-10 ร่วมกับปุ๋ยยูเรีย สัดส่วน 1:1 อัตรา 160 กิโลกรัม/ไร่สำหรับปลูกผักคะน้า และปุ๋ยเคมีสูตร 25-7-7 อัตรา 96 กิโลกรัม/ไร่สำหรับผักคะน้า ผักกวางตุ้ง ผักบุ้งจีน

ผักกาดหอม กากตะกอนจะให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้ที่เพิ่มขึ้นจนถึงอัตรา 12,800 กิโลกรัม/ไร่ ดังนั้น ในทางปฏิบัติอัตราการเติมกากตะกอนที่เหมาะสมคือ 3,000- 12,000 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งจะให้ผลผลิตพืชผักสูงรวมทั้งมีคุณภาพและปลอดภัยจากโลหะหนักที่มีอยู่ในกากตะกอน

2.3.3 การสะสมธาตุอาหารในพืช

ปริมาณธาตุอาหารที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกากตะกอน จะถูกดูดคึงนำไปสะสมไว้ในพืช ซึ่งมีการทดลองการสะสมไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมในพืชไว้ดังนี้ สุดใจ (2533) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่อช่วงข้าวระยะก้านิดช่อดอก และในส่วนเมล็ดข้าวมากน้อยตาม ชนิดของอินทรีย์วัตถุคือ กากละหุ่ง $\geq$ Humus $>$ ตะกอนน้ำเสีย $\geq$ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปริมาณ จุลธาตุอาหาร (Fe, Mn, Cu, Zn) ในส่วนต่อช่วงมีปริมาณจุลธาตุมากกว่าในส่วนเมล็ด การสะสม นอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิดของอินทรีย์วัตถุแล้ว ยังขึ้นกับอัตราการใช้กากตะกอนด้วยดังการทดลอง ของ Keeling et al. (1977) พบว่า การสะสมไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมในข้าวไรน์ (rye) ข้าวโพด และ sorgum - sudan เพิ่มขึ้นตามอัตราของกากตะกอน โดยไนโตรเจนสะสมของข้าว โพดมีค่าสูงสุดเท่ากับ 120 - 160 กิโลกรัมไนโตรเจน/เฮกตาร์ (19.2-28.6 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่) สำหรับข้าวฟ่างตามการทดลองของ Hortenstein and Rathwell (1973) การสะสมไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมจะเพิ่มขึ้นตามอัตรากากตะกอนที่เพิ่มขึ้น โดยมีเปอร์เซ็นต์ recovery ของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียมโดยเฉลี่ยทุกๆ อัตราของกากตะกอนเท่ากับ 15 %, 17 % และ 86 % ตามลำดับ นอกจากนั้นกากตะกอนยังมีประโยชน์ในแง่ช่วยปรับปรุงคุณภาพผลผลิต ของพืชบางชนิดเช่น ช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนในมันฝรั่ง ข้าวสาลี horse bean และ spring barley เพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่กากตะกอนลงไปในดิน โดยเปรียบเทียบกับพืชที่ปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยเคมี (Henry, 1976)

แต่การใส่กากตะกอนในอัตราที่สูงเกินไปอาจเกิดผลเสียต่อพืชได้ Sabey and Hart (1975) รายงานว่า การใส่กากตะกอนน้ำเสีย (sewage sludge) ในดินทรายร่วน (loamy sand) ที่อัตรา 25-125 ตัน/เฮกตาร์ (4-20 ตัน/ไร่) จะลดระดับการสูญเสียต้นกล้าของหญ้านิดเป็น 75 % และข้าวฟ่าง คิดเป็น 97.5 % สำหรับ millet ถ้าใส่กากตะกอนในอัตราสูงกว่า 100 ตัน/เฮกตาร์ (16 ตัน/ไร่) ระดับการสูญเสียต้นกล้าจะสูงถึง 97 % แต่ความเป็นพิษตกค้างของกากตะกอนพบว่า ลดลงตามเวลา ข้าวสาลีที่ปลูกหลังจากปลูกหญ้าไปแล้วหนึ่งฤดูปลูก จะมีเปอร์เซ็นต์การงอกอยู่ในเกณฑ์ปกติ

2.4 ผลของกากตะกอนที่มีต่อคุณสมบัติของดิน

2.4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของดิน

การใส่อินทรีย์วัตถุลงในดินไม่ว่ารูปใดก็ตาม จะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดินคือ สารที่ได้จากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์ มีคุณสมบัติเป็นสารเชื่อมและการแพร่กระจายของเส้นใยจุลินทรีย์เข้าไปในดินจะก่อให้เกิดเม็ดดินขึ้นได้ ซึ่งขนาดและรูปร่างของเม็ดดินที่เกิดขึ้นนี้มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆทางกายภาพของดินเช่น ความพรุน (Porosity) การดูดซับน้ำ (Water Retention) ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Water Capacity) และสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) ซึ่งสมบัติเหล่านี้มีผลต่อการเติบโตของพืช (Martin, 1955)

ซึ่งนิภา (2524) กล่าวว่า อินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มทำให้ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (AMCA) ของดินเพิ่มขึ้น โดยคาดว่าเป็นผลเนื่องมาจากสมบัติการดูดซับความชื้นของอินทรีย์วัตถุ ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณของช่องที่มีขนาดต่ำกว่า 10 ไมครอน เป็นช่องที่มีขนาด 0.2 - 10 ไมครอน มีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นคือ Lunt (1953) พบว่า กากตะกอนน้ำเสีย (sludge) ในดินที่ประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุจำนวนมากมีผลทำให้ความจุความชื้นสนาม (Field Capacity) และปริมาณช่องขนาดใหญ๋ของดินทรายร่วน (loamy sand) มีค่าเพิ่มขึ้น

Epstein (1975) ได้ทดลองผสมกากตะกอนแห้ง (raw sludge) กับดินในอัตรา 5% โดยน้ำหนัก หมักเป็นเวลา 75 วัน ปรากฏว่าความชื้นที่ 1/3 บรรยากาศ (TAP) และ 15 บรรยากาศ (FAP) โดยความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (TAP-FAP) ไม่เปลี่ยนแปลง และเปอร์เซ็นต์ของเม็ดดินที่เสถียร (Stable Aggregate) เมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยเฉลี่ย 28 - 35% เปรียบเทียบกับตัวควบคุม (Control) 17% May et al.(1973) รายงานว่าการใส่กากตะกอนแก่ดินในอัตราสูงๆ จะลดความหนาแน่นรวม (Bulk Density) และ Compression Strength ทั้งยังเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับน้ำ (Water Holding Capacity) ของดินด้วย สำหรับการใส่กากตะกอนเป็นปุ๋ยพืชไร่ อิทธิสุนทร (2522) ได้ศึกษาการใช้กากตะกอนแห้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย (activated sludge cake) ของบริษัท อายิโนะโมะโต๊ะเพื่อปลูกข้าวโพดพบว่า ทำให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น โดยทำให้ดินมีการถ่ายเทอากาศและน้ำดีขึ้น

2.4.2 คุณสมบัติทางเคมีของดิน

กากตะกอนน้ำเสียมีผลทำให้ pH ของดินสูงขึ้น และการนำไฟฟ้าของดินสูงขึ้นเล็กน้อย แต่ถ้าใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินสูงกว่ากรณีใส่เดี่ยว แต่ยังคงอยู่ในระดับไม่เป็นอันตรายต่อพืช ($< 1 \text{ mmho/cm}$) นอกจากนั้นการใส่กากตะกอนน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุและปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มมากขึ้น (สุดใจ , 2533)

2.4.3 ความเป็นพิษต่อดิน

กากตะกอนน้ำเสียอาจเกิดการสะสมโลหะหนักในดินและพืชได้ Gerritse et al.(1982) พบว่าการปลูกข้าวโพดในดินร่วนปนซัลท์ที่ได้รับกากตะกอนนานถึง 35 ปี ทำให้ดินระดับความลึก 0-30 เซนติเมตรจากผิวดิน มีการสะสมของอลูมิเนียม 1.1, แคลเซียม 35, ทองแดง 16.5, เหล็ก 1.1, ตะกั่ว 16.5 และสังกะสี 13 เท่าของสภาพปกติ แต่เมล็ดข้าวโพดไม่มีการสะสมธาตุบางธาตุในปริมาณที่สูง

จากการที่มีการสะสมของธาตุบางธาตุ ทำให้มีการกำหนดค่าความปลอดภัย ดังการกำหนดของ Smith (1994) ได้กำหนดปริมาณของแคลเซียมที่ปลอดภัยต่อมนุษย์ ในพื้นที่ที่ใช้กากตะกอนเป็นปุ๋ยดังนี้ ปริมาณแคลเซียม ไม่เกิน 2.0 และ 2.5 มิลลิกรัมแคลเซียม/กิโลกรัม ในช่วง pH ของดิน 5.0-5.5 และ 5.5-6.0 ตามลำดับ สำหรับดินที่เป็นกรดได้มีงานทดลองของ Smith (1994) ทำการทดลองใส่กากตะกอนในดินที่มีช่วง pH 4.5 - 7.0 สำหรับปลูก rye grass พบว่า ปริมาณของ Ni และ Zn จะเพิ่มขึ้นเมื่อดินมี pH ลดต่ำลง ส่วนปริมาณทองแดงนั้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH ของดินต่อ Wong (1985) พบว่าการใช้กากตะกอนกับหัวไชเท้า (Chinese Radish) จะมีแคลเซียม สังกะสี แมงกานีส เหล็ก และอลูมิเนียมสะสมอยู่ในหัวไชเท้าเป็นจำนวนมาก

ดังนั้น การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรนั้นเป็นวิธีการหนึ่งของการแก้ไขปัญหาดังกล่าวเนื่องจากปัญหาน้ำเสีย เนื่องจากคุณสมบัติและองค์ประกอบของกากตะกอนเหล่านี้มีแนวโน้มที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ดังรายงานการศึกษาองค์ประกอบของกากตะกอนดังกล่าวมาแล้ว (Yoshida,1976 ; Sommers,1977 ; Epstein,1978 ; Yoshida and Yoneyama,1978 ; นิภา,2524 ; ศุภมาศ,2528 ; สุดใจ,2533) การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ยนั้น กากตะกอนจะเป็นแหล่งปลดปล่อยธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจนแก่พืชอย่างช้าๆ โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (Harmsen,1955 ; Premi and Corfield, 1971 ; Ryan et al., 1973 ; Keeney et al., 1975 ; Chromec and Magdoff,1977 ; Tester et al., 1977 ; Epstein et al., 1978 ; Chino, 1980 ;

Marumoto et al., 1980 ; Terry et al.,1981 ; นิภา, 2524; สรสิทธิ์และคณะ, 2526; สุริยา, 2530 ; สุดใจ, 2533) เพื่อช่วยในการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตของพืชหลายชนิด (Hortenstin and Rothwell, 1973 ; Sabey and Hart, 1975 ; Henry, 1976 ; Sabey et al., 1977 ; Keeling et al., 1977 ; นิภา, 2524 ; สรสิทธิ์และคณะ, 2526 ; ศุภมาส, 2528 ; สุดใจ, 2533 ; อรธรรม, 2536) สำหรับพืชที่เหมาะสม ควรจะเป็นพืชที่มีความต้องการธาตุไนโตรเจนในปริมาณมากเช่น พืชผัก หรือพืชที่ใช้ใบเป็นประโยชน์ เป็นต้น

นอกจากนี้แล้ว กากตะกอนมีประโยชน์เพื่อปรับปรุงดินทั้งทางด้านคุณสมบัติเคมีของดิน เช่น ช่วยปรับสภาพความเป็นกรดของดิน และละลายธาตุอาหารให้แก่พืช ส่วนในระยะยาวการใช้กากตะกอนเป็นเวลากหลายปี มีผลให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินเช่น การปรับปรุงโครงสร้างของดิน ช่วยเพิ่มความพรุนของดิน ช่วยในการอุ้มน้ำของดิน (Lunt, 1953 ; Martin et al.,1955 ; May et al.,1973 ; Epstein,1975 ; อธิวิสุนทร,2522 นิภา,2524 ; สุดใจ, 2533) แต่อย่างไรก็ตาม การใส่กากตะกอนในอัตราที่สูงเกินไป อาจเกิดการยับยั้งการเจริญเติบโต และลดผลผลิตพืช รวมทั้งเกิดการสะสมโลหะหนักในดินเกิดความเป็นพิษต่อพืชและมนุษย์ได้ (Sabey and Hart, 1975 ; Gerritse et al.,1982 ; Smith,1994 ; Wong,1985)

2.5 ชนิดพืชที่เหมาะสมในการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์

จากคุณสมบัติของกากตะกอนน้ำเสีย (Activated Sludge) ที่กล่าวมาแล้วนั้นพบว่า ปริมาณธาตุอาหารที่พบมากที่สุดคือ ธาตุไนโตรเจน ซึ่งจะมีการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ดี โดย Chino(1980) ได้พบว่าการปลดปล่อยไนโตรเจนจากกากตะกอนมีค่า 15-40 % โดยน้ำหนักของปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจน และบางส่วนจะปลดปล่อยออกมาภายหลัง เช่นเดียวกับงานทดลองของ Chromec and Magdoff (1977) พบว่า กากตะกอนที่ถูกย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจน (aerobic digested sludge) จะปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาประมาณ 36 - 61 % ของอินทรีย์ไนโตรเจนในช่วง 2 สัปดาห์แรก จากผลการวิจัยเกี่ยวกับปริมาณธาตุไนโตรเจนที่พบมากที่สุด และมีการปลดปล่อยออกมาอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ดังนั้น การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรควรจะนำมาใช้เป็นปุ๋ยไนโตรเจนเป็นหลัก และพืชที่เหมาะสมสำหรับการใช้กากตะกอนเป็นปุ๋ยนั้นควรเป็นจำพวกพืชผักเนื่องจากเป็นพืชกินใบ ต้องการไนโตรเจนในปริมาณที่สูง เพื่อช่วยในการเจริญเติบโต และเป็นพืชที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น

การปลูกผักให้ได้ผลดีนอกจากมีการปลูกและบำรุงรักษาที่ถูกต้องแล้ว สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญมาก โดยเฉพาะดินที่ใช้ทำการเพาะปลูกซึ่งจะเป็นแหล่งที่ให้ น้ำ และ ธาตุอาหารแก่พืช และพืชผักส่วนใหญ่เป็นพืชล้มลุกที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น การปรับปรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์สูงมีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ดี จะทำให้พืชผักที่ปลูกเจริญเติบโต ซึ่งลักษณะดินที่เหมาะสมในการปลูกพืชผัก มีลักษณะดังต่อไปนี้ (สายัณห์, 2525)

(1) เนื้อดิน (Soil Texture) เป็นดินร่วนปนดินทรายแป้ง (silt loams) ที่มีความอุดมสมบูรณ์ ทำให้ปลูกผักที่ให้ผลผลิตสูงแต่ยากต่อการเตรียมดินปลูก เพราะดินจะเกาะตัวเหนียวง่าย ทำให้ต้องมีการใช้อินทรีย์วัตถุ เพื่อช่วยรักษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินไว้ได้

(2) โครงสร้างของดิน (Soil Structure) โครงสร้างของดินที่มีการกระจายตัว (aggregation) นับว่าสำคัญมากสำหรับดินปลูกผัก เพราะดินสภาพนี้ช่วยให้การซึมผ่าน และการระบายน้ำเป็นไปได้ง่าย รากพืชสามารถเจริญได้ดีตลอดจนเป็นการระบายอากาศในดิน (soil aeration) ได้ดี

(3) pH ของดิน เป็นตัวแสดงปฏิกิริยาของดิน (soil reaction) ซึ่งมีผลต่อพืชผักในการดูดธาตุอาหารจากดินไปใช้ โดยปกติพืชผักจะเจริญได้ดีในระหว่าง pH 6.0 - 6.5 เพราะว่า pH ในช่วงนี้ธาตุอาหารส่วนใหญ่พืชผักสามารถดูดไปใช้ได้

พืชผักแต่ละชนิดมีความต้องการธาตุอาหารแตกต่างกัน ดังผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารต่างๆ พบว่า กะหล่ำปลี ผักกาดเขียวปลี และคะน้า ดูดไนโตรเจนไปใช้ในปริมาณค่อนข้างสูงประมาณ 10 - 14 กิโลกรัม/ไร่ ผักกาดหอม ผักกาดขาว ผักกาดกวางตุ้ง กะหล่ำดอกและผักจีนน้อย จะดูดไนโตรเจนไปใช้ประมาณ 6.5 - 7.1 กิโลกรัม/ไร่ และผักกาดหัวจะดูดไนโตรเจนในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำคือ 3.4 กิโลกรัม/ไร่ (นิลประไพและคณะ, 2526) จะเห็นว่าผักที่ดูดไนโตรเจนไปใช้ค่อนข้างสูง จึงมีความจำเป็นจะต้องใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้มีปริมาณมากพอกับความ ต้องการ แต่สำหรับการวิจัยนี้ใช้กากตะกอนน้ำเสียเป็นเสมือนปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนไม่มากเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมี ฉะนั้นพืชผักที่จะนำมาใช้ในงานวิจัย จึงควรเป็นพืชผักที่มีความต้องการไนโตรเจนในระดับปานกลางเช่น ผักกาดชนิดต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกผักกาดหอมเป็นพืชทดลองในงานครั้งนี้ รวมทั้งผักชนิดนี้ไม่ค่อยมีแมลงรบกวนจึงไม่จำเป็นต้องใช้ยาฆ่าแมลง ซึ่งจะช่วยให้ผลการทดลองไม่มีการคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัจจัยอื่น

ลักษณะทั่วไปของผักกาดหอม (เมืองทองและสุริรัตน์ , 2525)

ผักกาดหอม (Lettuce)

ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Lactuca sativa</i>
ตระกูล	Compositae
ลักษณะ	ผักกาดหอมมีลักษณะเป็นใบสีเขียวอ่อน ต้นๆหนึ่งมีประมาณ 5-6 ก้าน สูงเต็มที่ประมาณหนึ่งฟุตเศษ
อายุการเก็บเกี่ยว	ประมาณ 40-50 วัน
ลักษณะดิน	ดินค่อนข้างเหนียวหรือดินร่วนแต่ต้องให้ปุ๋ยเพียงพอ ก่อนปลูกต้องเตรียมดินเสียก่อน โดยการไถคราดแล้วพรวนดินจนซุย
pH ดิน	ช่วงที่พอเหมาะ 6.0-6.8
ความชื้น	ในดินที่สูงพอเหมาะ
แสง	แสงแดดเต็มที่ตลอดวัน
อุณหภูมิ	ช่วงที่เหมาะสม 21-26 องศาเซลเซียส
ฤดูปลูก	ฤดูที่เหมาะสมควรเป็นฤดูหนาวจนถึงฤดูฝน
การเตรียมแปลง	ควรพรวนดินให้สูงประมาณครึ่งฟุต แล้วจึงขุดหลุมระยะระหว่างต้น 25 เซนติเมตร ระยะระหว่างแถว 30 เซนติเมตร นำไปปลูกในหลุมที่เตรียมไว้กลบดินให้แน่น รดน้ำให้ชุ่ม ควรหาที่กำบังแดดให้จนผักกาดหอมตั้งตัวได้ถึงจะเอาออก
พันธุ์	ควรเตรียมแปลงสำหรับเพาะกล้าก่อน โดยพรวนดินใส่ปุ๋ยให้เรียบร้อย แล้วจึงหว่านเมล็ด เมื่อต้นขึ้นและแตกใบ 4-5 ใบ แล้วจึงย้ายไปปลูกในแปลงถาวรต่อไป
ปุ๋ย	ปุ๋ยสูตร 12-8-8 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่

2.6 ปุ๋ยที่ใช้สำหรับพืชผัก

จากที่กล่าวมาแล้วในส่วนของผู้ปลูกจะเห็นได้ว่าดินมีความสำคัญต่อการปลูกผักอย่างมาก แต่ในการปลูกผักให้ได้ผลผลิตสูง ขึ้นอยู่กับการปรับสภาพดินให้เหมาะสมจึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยลงในดินเพิ่มเติม ปุ๋ยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์ เป็นปุ๋ยที่ได้จากการสังเคราะห์หรือแปรสภาพแร่ธาตุทางเคมีบางชนิด เพื่อให้อยู่ในสภาพที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้โดยตรง ปุ๋ยเคมีนี้เกษตรกรนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายจนก่อให้เกิดปัญหาดินเสื่อมคุณภาพ เพราะเกษตรกรใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวติดต่อกันเป็นเวลานาน ทำให้ดินเกิดการเกาะตัวแน่นมากขึ้น ปุ๋ยอีกประเภทหนึ่งคือ ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยธรรมชาติ เป็นปุ๋ยที่มีองค์ประกอบของอินทรีย์สารธรรมชาติ ปุ๋ยอินทรีย์อาจแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ โดยอาศัยการกำเนิดได้ดังนี้ ปุ๋ยมูลสัตว์ (animal manures) ปุ๋ยหมัก (composts) ปุ๋ยพืชสด (green manure) พืชและสัตว์ชั้นต่ำในดิน ซากสัตว์และผลพลอยได้จากโรงฆ่าสัตว์ ผลพลอยได้จากโรงงานแปรรูปผลผลิตการเกษตร และกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (สรสิทธิ์และคณะ, 2535)

ปุ๋ยอินทรีย์เหมาะสำหรับใช้กับพืชผัก เนื่องจากจะไปเพิ่มอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ให้แก่ดิน เมื่อจุลินทรีย์ในดินทำการย่อยสลาย ก็จะทำให้เกิดสารที่ช่วยให้มีการเกาะยึดของอนุภาคดินให้รวม และมีการกระจายตัวดีขึ้น มีผลทำให้การซึมผ่านของน้ำ และการดูดซับความชื้นของน้ำดีขึ้น ตลอดจนทำให้ดินมีช่องอากาศช่วยให้รากพืชมีการหายใจดีขึ้น การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณสูงยังเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง แต่เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารหลักที่อยู่ในปุ๋ยอินทรีย์ โดยทั่วไปอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับระดับธาตุอาหารให้สูงขึ้น โดยการเติมปุ๋ยเคมีลงไป

งานทดลองแสดงถึงการใส่ปุ๋ยเคมีกับพืชผักดังนี้ สมเกียรติ (2525) แนะนำการใส่ปุ๋ยสำหรับดินทรายคือ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-10-10 อัตรา 80-100 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับในดินร่วน ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 20-10-10 อัตรา 50- 60 กิโลกรัมต่อไร่ จากหนังสือดินและปุ๋ยเพื่อเกษตรกรได้แบ่งการใช้ปุ๋ยสำหรับผักเป็น 2 ชนิดคือ ปุ๋ยรองพื้นสูตร 15-15-15 หรือ 16-16-16 อัตรา 30-60 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 20-0-0 , ยูเรียสูตร 46-0-0 อัตรา 10- 25 กิโลกรัมต่อไร่(กองบรรณาธิการ, 2529) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมด้วยมีอัตราการใช้ดังนี้ ขงยุทธ(2528) กล่าวว่า ควรใส่ปุ๋ยคอกร่วมด้วยในอัตรา 1 - 2 ตันต่อไร่ ดังงานทดลองของ วิรัตน์ (2536) ได้ทดลองใส่ปุ๋ยคอกอัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 25 กิโลกรัมต่อไร่ในการปลูกผักบุ้งจีนพบว่า มีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงสุด ส่วนงานวิจัยของสมศักดิ์ (2527) ใส่ปุ๋ยหมักอัตราส่วน 1/2 ของปริมาณดินร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร

15 - 15 - 15 ให้ผลผลิตของผักกาดเขียวปลีสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยหมักอย่างเดียว ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวและปุ๋ยหมักอัตราส่วน 1/3 ของปริมาณดินร่วมกับปุ๋ยเคมี

สำหรับกากตะกอนน้ำเสียมาใช้เป็นปุ๋ยนั้น ได้มีการศึกษาอัตราการใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีดังนี้ ของนิภา (2524) อัตราการใช้กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานผงชูรส 1 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 ในอัตรา 200-300 กิโลกรัมต่อไร่ จะให้ผลผลิตดีกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียว ส่วนของอรรณ (2536) แนะนำอัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสียที่เหมาะสม และปลอดภัยจาก โลหะหนักสำหรับการปลูกผักไว้ว่า อัตราที่เหมาะสมคือ 3 - 12 ตันต่อไร่ และกรรมพัฒนาที่ดินได้ แนะนำอัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์โดยทั่วไปกับพืชผักคือ ใช้ 1 - 3 ตันต่อไร่โดยใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 , 16-20-0 อัตรา 15 -30 กิโลกรัมต่อไร่ และในผักกาดหอม ปุ๋ยเคมีที่แนะนำให้ใช้คือ สูตร 12-8-8 ในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (สมภพ, 2527)

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ได้นำเอากากตะกอนน้ำเสียมาใช้ในการปลูกผักกาดหอม โดยอัตราที่ใช้นั้นผู้วิจัยได้เลือกอัตราที่อยู่ในช่วงที่กรรมพัฒนาที่ดินแนะนำ และเป็นอัตราที่ปลอดภัย จากโลหะหนักตามที่งานวิจัยของอรรณดังกล่าวมาแล้วคือ ใช้กากตะกอนน้ำเสียในอัตราดังนี้คือ ใช้กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหาร และเครื่องดื่มในอัตรา 3 ตันต่อไร่ในกรณีใส่เดี่ยว และใน กรณีใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมีจะใช้กากตะกอนน้ำเสียอัตรา 3 ตันต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 20-10-10 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (เป็นอัตราที่ลดลงครึ่งหนึ่งของการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว) และในกรณีใส่ปุ๋ยเคมี อย่างเดียวใช้สูตร 20-10- 10 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้วางแผนการดำเนินการวิจัยไว้ดังนี้คือ ทำการเก็บตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและดินทดลอง มาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี และธาตุอาหาร จากนั้นนำตัวอย่างกากตะกอนที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืช มาผสมกับดินทำการปลูกพืชเป็นเวลาประมาณ 40 วัน หลังจากนั้นเก็บเกี่ยวพืช และนำตัวอย่างพืชและดินหลังการทดลอง มาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีและธาตุอาหารอีกครั้ง เพื่อเป็นข้อมูลในการทดลอง ดังขั้นตอนต่อไปนี้

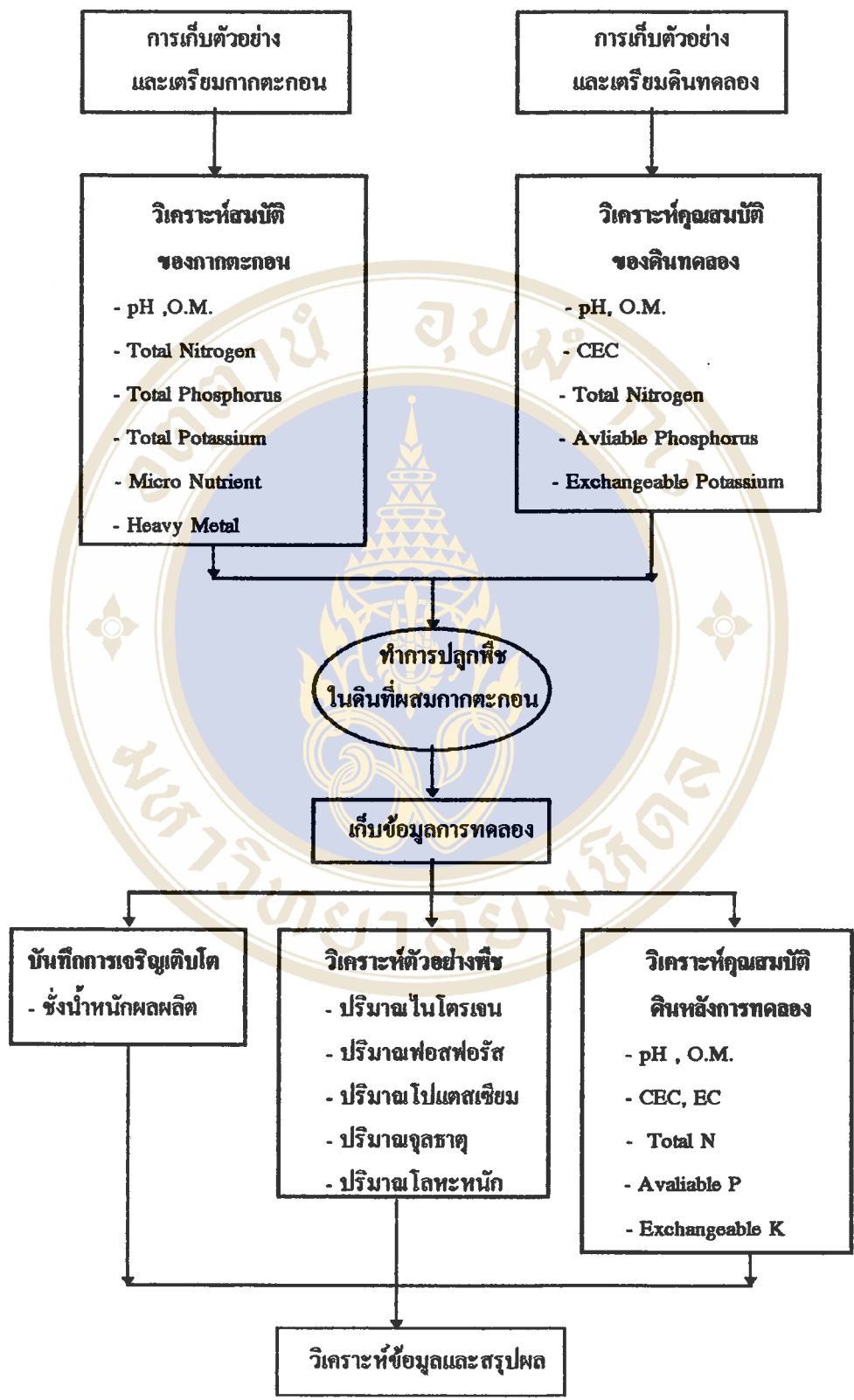
3.1 การเตรียมการทดลอง

ก่อนดำเนินการทดลองนั้นจะต้องคัดเลือก และเก็บตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งดินที่จะนำมาใช้ในการทดลองดังต่อไปนี้

3.1.1 การคัดเลือกและเตรียมกากตะกอนน้ำเสีย

ทำการคัดเลือกกากตะกอนจากโรงงานที่มีค่าที่น่าจะมีปลอดภัยจากโลหะหนัก หรือมีในปริมาณน้อย ซึ่งจะเป็นกากตะกอนจากโรงงานประเภทอาหารและเครื่องดื่ม และจะต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated Sludge ทำการคัดเลือกมาได้ทั้งหมด 5 โรงงานคือ

- 1) โรงงานเบียร์ (บริษัทบุญรอดบริวเวอรี่ จำกัด)
- 2) โรงงานน้ำอัดลม (บริษัทไทยน้ำทิพย์ จำกัด)
- 3) โรงงานสุรา (บริษัทแสงโสม จำกัด)
- 4) โรงงานผลไม้กระป๋อง (บริษัทมาลีสามพราน จำกัด)
- 5) โรงงานผงชูรส (บริษัทไทยชูรส จำกัด)



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินการทดลอง

ทำการเก็บตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องคั่วทั้ง 5 โรงงาน เก็บโรงงานละ 3 ครั้ง เพื่อนำกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดแบบนี้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและธาตุอาหาร เมื่อเก็บกากตะกอนน้ำเสียแล้ว นำมาผึ่งให้แห้ง (air dry) จากนั้นนำมาบดและผสมให้เข้ากันร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอนตามวิธีของกองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน (2535) ซึ่งได้แก่ค่า

(1) pH โดย pH meter (ปุ๋ย:น้ำ = 1:2)

(2) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter) โดยวิธี Walkley - Black Titration ใช้น้ำยาโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) และกรดซัลฟูริกเข้มข้นทำปฏิกิริยากับดินเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปไตเตรทด้วยน้ำยาเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$] เพื่อหาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือจากปฏิกิริยา และนำไปคำนวณหาอินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์วัตถุ

(3) C/N Ratio สัดส่วนระหว่างปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)

(4) Electrical Conductivity (1:5) โดยเครื่อง Conductivity Meter วัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างดิน : น้ำ เท่ากับ 1 : 5 จากนั้นนำสารละลายดินมาวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity Meter) ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมีหน่วยเป็น มิลลิโหมห์ต่อเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

(5) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl Method นำดินไปย่อยโดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นในเตาย่อย (digestion system) ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสประมาณ 20 - 30 นาที แล้วนำตัวอย่างมาเข้าเครื่องกลั่น Kjeltac system กลั่นในราว 4 นาที จากนั้นนำกรดบอริกไปรองรับการกลั่นจะได้สารละลายสีเขียว ซึ่งจะนำไปไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง จดปริมาณกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไปคำนวณปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างต่อไป

(6) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)

(7) ปริมาณโปแตสเซียมทั้งหมด (Total Potassium)

(8) ปริมาณแคลเซียมทั้งหมด (Total Calcium)

(9) ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมด (Total Magnesium)

- (10) ปริมาณซัลเฟอร์ทั้งหมด (Total Sulfur)
- (11) ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมด (Total Aluminium)
- (12) ปริมาณเหล็กทั้งหมด (Total Iron)
- (13) ปริมาณโซเดียมทั้งหมด (Total Sodium)
- (14) ปริมาณซิลิคอนทั้งหมด (Total Silicon)
- (15) ปริมาณไทเทเนียมทั้งหมด (Total Titanium)
- (16) ปริมาณแมงกานีสทั้งหมด (Total Manganese)
- (17) ปริมาณทองแดงทั้งหมด (Total Copper)
- (18) ปริมาณสังกะสีทั้งหมด (Total Zinc)

(6) - (18) ใช้การวิเคราะห์หาปริมาณทั้งหมดของธาตุต่างๆ โดยวิธี X - Ray Fluorescence Spectrometry ทำได้โดยนำตัวอย่างดินบดให้ละเอียดโดยเครื่องบด Spectromill นำดินที่บดละเอียดแล้วประมาณ 5 กรัม อัดลงในถ้วยอลูมิเนียม โดยใช้เครื่องอัด Spex hydraulic press อัดด้วยแรงดัน 10 ตันต่อตารางนิ้ว ดินที่ถูกอัดแน่นในถ้วยอลูมิเนียมเรียก Pellet นำ Pellet ไปเข้าเครื่อง X - ray เพื่อวิเคราะห์ตรวจวัดความเข้มของรังสีเอกซ์ของธาตุต่างๆ ที่ความยาวคลื่นเฉพาะของแต่ละธาตุ โดยใช้ลำแสงผ่านจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่อง X - ray เพื่อให้ทำงานตามโปรแกรมที่บรรจุไว้ จากนั้นนำค่าความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้ที่มีหน่วยเป็น Kcps (kilo count per second) มา plot กับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน จะได้กราฟมาตรฐานบันทึกค่า slope และค่า intercept ไว้เพื่อใช้คำนวณหาปริมาณของธาตุต่างๆ ต่อไป

(19) ปริมาณตะกั่วทั้งหมด (Total Lead)

(20) ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (Total Cadmium)

(19) - (20) วิเคราะห์โดยนำตัวอย่างไปย่อย (digest) ด้วยกรดไนตริก (HNO_3) กับกรดเปอร์คลอริก (HClO_4) ในอัตราส่วน 1 : 2 จนได้สารละลายใส จากนั้นนำไปวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

3.1.2 การเตรียมดิน

นำดินมาผึ่งให้แห้ง (air dry) ทำการคัดแยกเศษวัสดุต่างๆ เช่น กิ่งไม้ กรวด เศษพลาสติก แล้วนำมาบดและผสมให้เข้ากัน สุ่มตัวอย่างดินมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางเคมีของดิน ซึ่งได้แก่ค่า

- (1) pH โดย pH meter (ดิน:น้ำ = 1:1)
- (2) Cation Exchange Capacity (CEC) วิเคราะห์หาปริมาณความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกโดยวิธี Ammonium saturation โดยใช้สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (NH_4OAc) ใส่ประจุบวกต่างๆ ที่ดูดซับที่ผิวดินและใช้สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ เพื่อไล่คลอไรด์ออกให้หมด แล้วใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์เพื่อไล่ที่ NH_4^+ ในดิน นำสารละลายดินไปกลั่นเพื่อไล่แอมโมเนียมออกมา จากนั้นนำไปไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน จดปริมาณกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไปคำนวณ หาปริมาณความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก
- (3) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter) โดยวิธี Walkley - Black Titration ใช้น้ำยาโพแทสเซียมไดโครเมท ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) และกรดซัลฟูริกเข้มข้นทำปฏิกิริยากับดินเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปไตเตรทด้วยน้ำยาเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต [$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$] เพื่อหาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมทที่เหลือจากปฏิกิริยา และนำไปคำนวณหาอินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์วัตถุ
- (4) C/N Ratio สัดส่วนระหว่างปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)
- (5) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl Method นำดินไปย่อยโดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นในเตาย่อย (digestion system) ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสประมาณ 20 - 30 นาที แล้วนำตัวอย่างมาเข้าเครื่องกลั่น Kjeltac system กลั่นในราว 4 นาที จากนั้นนำกรดบอริกไปรองรับการกลั่น จะได้สารละลายสีเขียว ซึ่งจะนำไปไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง จดปริมาณกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไปคำนวณปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างต่อไป
- (6) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) วิเคราะห์โดยใช้น้ำยา Bray2 ซึ่งเป็นส่วนผสมของกรด HCl และ NH_4F จะสกัดอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายง่ายในกรด เช่น แคลเซียมฟอสเฟต และบางส่วนของเหล็กฟอสเฟต และอลูมิเนียมฟอสเฟตให้อยู่ในรูปสารละลาย แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสโดยวิธีทำให้เกิดสี วัดความเข้มข้นของสีด้วย Spectrophotometer

(7)ปริมาณโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium) โดยใช้น้ำยา Ammonium Acetate สกัด K ที่ถูกดินดูดซับไว้ให้ออกมาอยู่ในสารละลาย แล้ววัดความเข้มข้นของ K ในสารละลายด้วย Flame Spectrophotometer ต่อไป

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

(1) ประสิทธิภาพการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) เป็นผลต่างระหว่างความจุ ความชื้นสนาม (Field Capacity) ซึ่งเป็นพิกัดบน (Upper limit)ของความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อ พืช กับจุดเหี่ยวอย่างถาวร (permanent wilting percentage) หรือพิกัดล่าง (lower limit) ของ ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยค่าความจุความชื้นสนามหาได้จากเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดย น้ำหนักของดิน หลังจากที่ได้ดูดน้ำออกจากดินด้วยแรงดูด 1/3 บรรยากาศ และจุดเหี่ยวถาวร หาได้จากเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนักของดิน หลังจากได้ดูดน้ำออกจากดินด้วยแรงดูด 15 บรรยากาศ

3.2 การวางแผนการทดลอง

ศึกษาผลวิเคราะห์องค์ประกอบของกากตะกอนน้ำเสีย จากโรงงานอุตสาหกรรมทั้ง 5 โรงงาน เพื่อศึกษาการใช้กากตะกอนที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต การสะสมธาตุอาหารในพืช และผลต่อสมบัติของดิน การทดลองแบ่งเป็น 2 กรณีดังนี้

กรณีแรก ใส่กากตะกอนจำนวน 3 ตัน/ไร่ ผสมกับดิน

กรณีที่สอง ใช้กากตะกอนจำนวน 3 ตัน/ไร่ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 20 - 10- 10 ในอัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ผสมกับดิน

ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้วางแผนการทดลองไว้ 12 Treatments 4 ซ้ำ (ตารางที่ 3.1) รวมเป็นการทดลองทั้งหมด 48 Treatments

3.2.1 การคำนวณอัตราการใช้กากตะกอนน้ำเสียในการทดลอง

ในการทดลองนี้จะทำการปลูกผักกาดหอมในกระบะขนาด $1.0 \times 1.0 \times 0.20$ ลูกบาศก์เมตร ดังนั้น การคำนวณอัตราการใช้กากตะกอนน้ำเสียและปุ๋ยเคมีในพื้นที่ 1 ตารางเมตร มีการคำนวณดังนี้

โดยคิดจากน้ำหนักดิน 1 ไร่ ตามสูตร มวล = ความหนาแน่น * ปริมาตร

กำหนดให้ ความหนาแน่นรวมโดยทั่วไปของดิน = 1.3 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ความลึกของดินชั้นไผ่พรวน = 15 เซนติเมตร

พื้นที่หน้าตัดของดิน 1 ไร่ = 1600 ตารางเมตร

น้ำหนักของดินในพื้นที่ 1 ไร่ = $1.3 \times 1600 \times 15$

= 312,000 กิโลกรัม

ดังนั้น น้ำหนักของดินในพื้นที่ 1 ตารางเมตรหนักเท่ากับ 195 กิโลกรัม

ในกรณีแรก ใส่กากตะกอนน้ำเสียอัตรา 3 ตัน/ไร่

จะต้องใช้กากตะกอนน้ำเสียในพื้นที่ 1 ตารางเมตร (1 กระบะ) เท่ากับ

ดิน 1 ไร่ หนัก 312,000 กิโลกรัม ใช้กากตะกอนน้ำเสีย 3000 กิโลกรัม/ไร่

ดิน 1 ตร.ม. หนัก 195 กิโลกรัม ใช้กากตะกอนน้ำเสีย = $\frac{3000 \times 195}{312,000}$ กิโลกรัม/ไร่

ดังนั้น ใช้กากตะกอนน้ำเสียประมาณ 1.9 กิโลกรัม/กระบะ

กรณีที่สอง ใช้กากตะกอนน้ำเสียอัตรา 3 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 20-10-10 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่

ดังนั้น จะต้องใช้กากตะกอนน้ำเสียในพื้นที่ 1 ตารางเมตร(1กระบะ) เท่ากับ 1.9

กิโลกรัม/กระบะ และปุ๋ยเคมีสูตร 20 -10 - 10 เท่ากับ 31 กรัม/กระบะ (ดังตารางที่ 3.1)

ในการเตรียมดินเพื่อการเพาะปลูกนั้น ผู้วิจัยได้ผสมกากตะกอนกับดินก่อนปลูกผักคะน้า 7 - 14 วัน หลังจากนั้นทำการเพาะกล้าก่อน หว่านเมล็ดลงแปลงเพาะกล้า เมื่อต้นขึ้นและแตกใบ ประมาณ 4 - 5 ใบ แล้วจึงย้ายไปปลูกในแปลงทดลอง โดยให้ระยะระหว่างต้น 20 เซนติเมตร ระยะระหว่างแถว 30 เซนติเมตร กลบดินให้แน่น รดน้ำให้ชุ่ม อายุประมาณ 40 - 50 วัน จึงเก็บเกี่ยวได้

ตารางที่ 3.1 แสดง Treatment ของการทดลองใช้กากตะกอนน้ำเสียเป็นปุ๋ย

Treatment	สิ่งทดลอง
1	ตัวควบคุม ไม่ใส่ปุ๋ยใดเลย
2	ตัวเปรียบเทียบ ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเคียวสูตร 20 - 10- 10 อัตรา 62.5 กรัม/กระบะ (100 กิโลกรัม/ไร่)
<u>โรงงานเปียร์</u>	
3	ใส่กากตะกอนน้ำเสียอัตรา 1.9 กิโลกรัม/กระบะ (3 ต้น/ไร่)
4	ใส่กากตะกอนน้ำเสียอัตรา 1.9 กิโลกรัม/กระบะ (3 ต้น/ไร่) ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 20 - 10- 10อัตรา 31 กรัม/กระบะ (50 กิโลกรัม/ไร่)
<u>โรงงานน้ำอัดลม</u>	
5	ใส่กากตะกอนน้ำเสียอัตรา 1.9 กิโลกรัม/กระบะ (3 ต้น/ไร่)
6	ใส่กากตะกอนน้ำเสียอัตรา 1.9 กิโลกรัม/กระบะ (3 ต้น/ไร่) ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 20 - 10- 10อัตรา 31 กรัม/กระบะ (50 กิโลกรัม/ไร่)
<u>โรงงานสุรา</u>	
7	ใส่กากตะกอนน้ำเสียอัตรา 1.9 กิโลกรัม/กระบะ (3 ต้น/ไร่)
8	ใส่กากตะกอนน้ำเสียอัตรา 1.9 กิโลกรัม/กระบะ (3 ต้น/ไร่) ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 20 - 10- 10อัตรา 31 กรัม/กระบะ (50 กิโลกรัม/ไร่)
<u>โรงงานผลไม้กระป๋อง</u>	
9	ใส่กากตะกอนน้ำเสียอัตรา 1.9 กิโลกรัม/กระบะ (3 ต้น/ไร่)
10	ใส่กากตะกอนน้ำเสียอัตรา 1.9 กิโลกรัม/กระบะ (3 ต้น/ไร่) ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 20 - 10- 10อัตรา 31 กรัม/กระบะ (50 กิโลกรัม/ไร่)
<u>โรงงานผงชูรส</u>	
11	ใส่กากตะกอนน้ำเสียอัตรา 1.9 กิโลกรัม/กระบะ (3 ต้น/ไร่)
12	ใส่กากตะกอนน้ำเสียอัตรา 1.9 กิโลกรัม/กระบะ (3 ต้น/ไร่) ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 20 - 10- 10อัตรา 31 กรัม/กระบะ (50 กิโลกรัม/ไร่)



3.8 การเก็บข้อมูล

หลังทำการปลูกพืชผักเป็นเวลา 50 วันแล้ว จะทำการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

3.8.1 บันทึกการเจริญเติบโตของพืช

ซึ่งนำหนักของผลผลิตพืชในแต่ละกลุ่มการทดลอง โดยเก็บผลผลิตของส่วนที่อยู่เหนือดิน ขึ้นมาทุกต้น แล้วนำมาหาน้ำหนักเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มการทดลอง

3.8.2 วิเคราะห์ตัวอย่างพืช

การเตรียมตัวอย่างพืช ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังการทดลองเสร็จสิ้น โดยการตัดส่วนที่อยู่เหนือดินการเก็บตัวอย่างพืชทำโดยการสุ่มในแต่ละกลุ่มของการทดลอง แล้วนำตัวอย่างพืชมาทำการตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำพืชที่อบแห้งและบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด Wiley mill แล้วเก็บไว้ในที่แห้งๆ เมื่อจะนำตัวอย่างมาวิเคราะห์นำมาเข้าเตาอบที่ 70 องศาเซลเซียสอีก 4 ชั่วโมง เมื่อตัวอย่างเย็นลงแล้ว จึงทำการชั่งเพื่อนำไป digest ต่อไป โดยนำตัวอย่างพืช 1.0 กรัมใส่ลงใน test tube เติม mixed acid ลงไป 10 มิลลิลิตร นำไปวางบน digesting apparatus คัมพืชตัวอย่างจนกระทั่งกรด HNO_3 ระเหยไปหมด และควันสีขาวของกรดเปอร์คลอริกระเหยขึ้นมาจนได้สารละลายใส แล้วปล่อยให้แห้งให้เย็น จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าแล้วกรองด้วยกระดาษกรอง เก็บสารละลายที่กรองได้ไว้ในขวดพลาสติก เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของผลผลิตตามวิธีของทัศนีย์ (2520) ดังนี้

- (1) ปริมาณไนโตรเจน โดยวิธี Micro-Kjeldahl
- (2) ปริมาณฟอสฟอรัส โดยเครื่อง Spectrophotometer
- (3) ปริมาณโปแตสเซียม โดยเครื่อง Flame Spectrophotometer
- (4) ปริมาณเหล็ก (Iron ; Fe)
- (5) ปริมาณแมงกานีส (Manganese ; Mn)
- (6) ปริมาณสังกะสี (Zinc ; Zn)
- (7) ปริมาณทองแดง (Copper ; Cu)
- (8) ปริมาณแคดเมียม (Cadmium ; Cd)
- (9) ปริมาณตะกั่ว (Lead ; Pb)

โดยเครื่อง Atomic
Absorption Spectrophotometer

3.3.3 วิเคราะห์ดินหลังการทดลอง

หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว นำดินที่ปลูกพืชผักมาวิเคราะห์เหมือนกับก่อนทำการทดลอง ดังนี้

(1) pH โดย pH meter (ดิน:น้ำ = 1:1)

(2) Cation Exchange Capacity (CEC) วิเคราะห์หาปริมาณความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกโดยวิธี Ammonium saturation โดยใช้สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (NH_4OAc) ใส่ประจุบวกต่างๆที่ดูดซับที่ผิวดินและใช้สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ เพื่อไล่คลอไรด์ออกให้หมด แล้วใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์เพื่อไล่ที่ NH_4^+ ในดิน นำสารละลายดินไปกลั่นเพื่อไล่แอมโมเนียออกมา จากนั้นนำไปไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน จดปริมาณกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไปคำนวณ หาปริมาณความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

(3) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter) โดยวิธี Walkley-Black Titration ใช้น้ำยาโพแทสเซียมไดโครเมท ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) และกรดซัลฟูริกเข้มข้นทำปฏิกิริยากับดินเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปไตเตรทด้วยน้ำยาเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต [$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$] เพื่อหาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมทที่เหลือจากปฏิกิริยา และนำไปคำนวณหาอินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์วัตถุ

(4) C/N Ratio สัดส่วนระหว่างปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)

(5) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl Method นำดินไปย่อยโดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นในเคาย่อย (digestion system) ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ประมาณ 20 - 30 นาที แล้วนำตัวอย่างมาเข้าเครื่องกลั่น Kjeltac system กลั่นในราว 4 นาที จากนั้นนำกรดบอริกไปรองรับการกลั่นจะได้สารละลายสีเขียว ซึ่งจะนำไปไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง จดปริมาณกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไปคำนวณปริมาณ ไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างต่อไป

(6) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) วิเคราะห์โดยใช้น้ำยา Bray2 ซึ่งเป็นส่วนผสมของกรด HCl และ NH_4F จะสกัดอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ในรูปที่ละลายง่ายในกรดเช่น แคลเซียมฟอสเฟต และบางส่วนของเหล็กฟอสเฟต และอลูมิเนียมฟอสเฟตให้อยู่ในรูปสารละลายแล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสโดยวิธีทำให้เกิดสี วัดความเข้มข้นของสีด้วย Spectrophotometer

(7) ปริมาณโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium) โดยใช้น้ำยา Ammonium Acetate สกัด K ที่ถูกดินดูดซับไว้ให้ออกมาอยู่ในสารละลาย แล้ววัดความเข้มข้นของ K ในสารละลายด้วย Flame Spectrophotometer ต่อไป

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

(1) ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) เป็นผลต่างระหว่างความจุ ความชื้นสนาม (Field Capacity) ซึ่งเป็นพิกัดบน (Upper limit)ของความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อ พืช กับจุดเหี่ยวอย่างถาวร (permanent wilting percentage) หรือพิกัดล่าง (lower limit) ของความชื้น ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยค่าความจุความชื้นสนามหาได้จากเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนัก ของดิน หลังจากที่ได้สูบน้ำออกจากดินด้วยแรงดูด 1/3 บรรยากาศ และจุดเหี่ยวถาวรหาได้จาก เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนักของดิน หลังจากได้สูบน้ำออกจากดินด้วยแรงดูด 15 บรรยากาศ

3.4.การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

การวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้การวิเคราะห์ทางสถิติดังนี้

- ใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และ Duncan's new multiple range test

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

ในการวิจัยความเป็นไปได้ในการใช้กากตะกอนน้ำเสีย จากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และ เครื่องคั้นเป็นปุ๋ยสำหรับพืชผัก ผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ที่มีระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated Sludge จำนวน 5 โรงงาน เป็นโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องคั้น 3 โรงงานคือ โรงงานเปียร์ (บริษัทบุญรอดบริวเวอรี่ จำกัด) โรงงานน้ำอัดลม (บริษัทไทยน้ำทิพย์ จำกัด) โรงงานสุรา (บริษัทแสงโสม จำกัด) และเป็นโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร 2 โรงงานคือ โรงงานผลไม้กระป๋อง (บริษัทมาลีสามพราน จำกัด) โรงงานผงชูรส (บริษัทไทยชูรส จำกัด) มาวิเคราะห์หาคุณสมบัติของกากตะกอน และนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับการทดลองปลูกผัก เพื่อ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของกากตะกอนในแต่ละโรงงานในรูปของปุ๋ย โดยพิจารณาจากการ เจริญเติบโตของพืช ผลผลิตพืช และคุณสมบัติของดินหลังการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้เป็นปุ๋ย เพื่อหาความสามารถในการนำไปใช้ในทางการเกษตรต่อไปได้

ในงานวิจัยนี้ ได้มีการพิจารณาความเป็นไปได้ในการใช้กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงาน อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องคั้น เป็นปุ๋ยสำหรับพืชผักจากองค์ประกอบ 6 อย่างคือ 1) คุณสมบัติ ของดินที่นำมาใช้ในการทดลอง 2) คุณสมบัติและองค์ประกอบของกากตะกอนน้ำเสียทั้ง 5 โรงงาน 3) ปริมาณผลผลิตพืช 4) ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช 5) ปริมาณโลหะหนักในพืช 6) ผลของ กากตะกอนต่อคุณสมบัติดินบางประการดังที่จะได้กล่าวต่อไป

4.1 คุณสมบัติของดินที่นำมาใช้ในการทดลอง

พื้นที่ที่ใช้ทำการทดลองครั้งนี้เป็นบริเวณเขตหนองแขม กรุงเทพฯ เนื่องจากบริเวณนี้เป็น บริเวณชานเมืองที่ยังคงมีการทำการเกษตรกันอยู่มาก โดยเฉพาะการปลูกผักที่ทำกันมานาน เดิมดิน บริเวณนี้เป็นดินเหนียวไม่เหมาะสำหรับการปลูกผัก เกษตรกรจึงเริ่มปรับปรุงดินให้เหมาะสมกับ การปลูกผักด้วยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นปุ๋ยมูลสัตว์ เพราะหาได้ง่ายประกอบกับราคาไม่ แพงควบคู่ไปกับการใส่ปุ๋ยเคมีทุกครั้ง และมีการปฏิบัติเช่นนี้ติดต่อกันมาเป็นเวลาหลายปี จนทำให้ ดินเปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพจากเดิมเป็นดินเหนียวมาเป็นดินร่วนซุย ยังช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้ แก่ดิน และช่วยดูดซับธาตุอาหารของพืชไว้ได้มากขึ้นและจะค่อยๆปลดปล่อยให้กับพืช นับว่าเป็น ผลดีต่อพืชที่ปลูก จากที่กล่าวมานี้จะเห็นว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในพื้นที่ที่ปลูกผักมีประโยชน์มาก

ดังนั้น ในการทดลองนี้ได้มีการศึกษาถึง การใช้ประโยชน์ของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องคั่วมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารหลักและคุณสมบัติดีกว่าปุ๋ยมูลสัตว์ที่เกษตรกรแถบนี้เคยใช้อยู่ และพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองจึงต้องเป็นบริเวณสวนผัก เพื่อที่จะนำประโยชน์ที่ได้จากการทดลองไปใช้ในพื้นที่ปลูกผักจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของดินที่นำมาใช้ในการทดลอง

คุณสมบัติของดิน	ปริมาณ	ระดับ *
pH (1 : 1)	6.74	เป็นกลาง
CEC (me/100 g)	15.327	ปานกลาง
Organic Matter (%)	1.952	ปานกลาง
Total Nitrogen (%)	0.099	ค่อนข้างต่ำ
Available Phosphorus (ppm)	367	สูงมาก
Exchangeable Potassium (ppm)	638	สูงมาก
Water Holding Capacity (%)	6.946	ปานกลาง

* ที่มา : Land Classification Division and FAO, 1973

คุณสมบัติของดินที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ (ตารางที่ 4.1) พบว่า ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) มีค่า pH = 6.74 ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่เป็นกรดอย่างอ่อนหรือค่อนข้างเป็นกลาง เป็นระดับที่มีความเหมาะสมสำหรับการเกษตร จึงไม่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงสภาพดิน ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับปานกลาง และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับปานกลาง ตามมาตรฐานในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Land Classification Division and FAO, 1973) จากคุณสมบัติทางเคมีที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่า ดินที่ใช้ในการทดลองนี้มีความอุดมสมบูรณ์ในระดับปานกลาง แต่เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารหลักพบว่า ธาตุไนโตรเจนมีปริมาณค่อนข้างต่ำ ซึ่งเหมาะสำหรับการทดลองนี้เนื่องจากกากตะกอนมีปริมาณไนโตรเจนสูง จึงสามารถนำมาใช้ทดแทนไนโตรเจนที่ขาดแคลนในดิน แต่พบว่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) มีค่า 367 ppm. มีอยู่ในปริมาณที่สูงมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากดินในบริเวณนั้นมีการใส่ปุ๋ยเพื่อทำการเกษตรมาก่อน จึงมีผลให้ระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีปริมาณสูง ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพพบว่า ดินนี้มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) เท่ากับ 6.946 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่าสูง ทำให้ดินนั้นสามารถเก็บความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไว้ได้มากจะเป็นผลดีต่อการปลูกพืช

4.2 คุณสมบัติและองค์ประกอบของกากตะกอนน้ำเสีย

กากตะกอนน้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดแบบ Activated Sludge จากโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม 3 โรงงานคือ โรงงานเบียร์ โรงงานน้ำอัดลม โรงงานสุรา และโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร 2 โรงงานคือ โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานผงชูรส ทำการเก็บตัวอย่างกากตะกอนจำนวน 3 ครั้ง นำมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติ ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของกากตะกอนที่ได้แต่ละโรงงาน (ตารางที่ 4.2)

4.2.1 คุณสมบัติของกากตะกอนน้ำเสีย

กากตะกอนที่จะนำมาใช้เป็นปุ๋ยนั้น จะต้องมียกระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช จากค่าที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 5 โรงงานพบว่า มีค่า pH อยู่ในช่วง 5.82-8.42 (ตารางที่ 4.2) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในระดับ pH ที่ค่อนข้างเป็นกลาง ดังนั้น การนำกากตะกอนไปใช้ในรูปแบบของปุ๋ยนั้น ช่วยปรับสภาพดินให้เป็นกลางซึ่งจะไม่เป็นอันตรายต่อพืช เนื่องจากระดับ pH มีความสำคัญต่อการปลดปล่อยธาตุอาหาร ถ้าระดับ pH ต่ำหรือสูงเกินไป ทำให้การปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกมาได้น้อย และสารพิษบางชนิดที่สามารถละลายได้ดีในช่วง pH ต่ำละลายออกมา ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) และปริมาณไนโตรเจนมีผลต่อการสลายตัวของธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจน ซึ่งจากผลวิเคราะห์ (ตารางที่ 4.2) พบว่า กากตะกอนน้ำเสียจาก 4 โรงงาน มีค่า C/N Ratio น้อยกว่า 10:1 มีเพียงกากตะกอนโรงงานผงชูรสที่มีค่า C/N Ratio มากกว่า 10:1 คือ 13.79:1 และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 5 โรงงานอยู่ในช่วง 2.32 - 4.23 % ซึ่ง Marumoto et al. (1980) ได้กล่าวไว้ว่าถ้าปุ๋ยใด มีค่า C/N Ratio มากกว่า 25:1 จะมีอัตราการสลายตัวให้ธาตุอาหารช้า แต่ถ้ามีค่า C/N Ratio น้อยกว่า 25:1 จะมีอัตราการสลายตัวเร็วขึ้น และ Inoko (1982) ก็ได้กล่าวไว้อีกด้วยว่า ลักษณะอินทรีย์วัตถุที่เหมาะสมนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์นั้นควรมีค่า C/N Ratio ต่ำกว่า 20 และมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากกว่า 2% ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Marumoto ดังนั้นจากการพิจารณาค่า C/N Ratio และปริมาณไนโตรเจนของกากตะกอนน้ำเสียทั้ง 5 โรงงานดังกล่าวแล้วนั้น จึงอาจสรุปได้ว่าเมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียเหล่านี้ลงสู่ดินแล้ว กากตะกอนเหล่านี้จะสามารถสลายตัวให้ไนโตรเจนในรูปแบบแอมโมเนียม และไนเตรตที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้อย่างดีและรวดเร็ว จึงมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ต่อไป

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสียทั้ง 5 โรงงาน

	เปิยร์	น้ำอ้ดม	สุรา	ผลไม้กระป๋อง	ผงชูรส
pH (1:2)	6.69	6.83	8.42	5.82	6.51
EC (m.mhos/cm)	2.43	4.18	13.05	5.65	13.80
Organic Matter (%)	36.05	36.39	18.89	35.72	65.26
Organic Carbon (%)	20.91	21.11	10.96	20.72	37.85
C/N Ratio	5.01	5.67	4.91	4.54	13.79
Total Nitrogen (%)	4.23	3.86	2.32	4.60	2.78
Total Phosphorus (%)	2.010	0.824	0.751	3.084	1.053
Total Potassium (%)	0.297	0.587	3.217	0.430	0.630
Calcium (%)	3.757	14.100	13.533	3.687	1.403
Magnesium (%)	0.323	0.493	1.04	0.367	0.313
Sulphur (%)	0.792	0.696	0.794	0.969	0.468
Aluminium (%)	0.780	0.503	1.79	1.330	0.663
Iron (%)	1.143	3.273	1.36	3.240	0.897
Sodium (%)	0.687	0.347	0.387	0.297	0.447
Silicon (%)	13.667	2.107	8.717	5.300	11.873
Titanium (%)	0.073	0.050	0.11	0.097	0.033
Manganese (ppm)	878.3	183.3	718.3	7778.3	270.0
Copper (ppm)	333.3	40.0	53.3	286.7	26.7
Zinc (ppm)	466.7	148.3	168.3	1366.7	305.0
Lead (ppm)	88.660	125.090	33.842	22.525	13.078
Cadmium (ppm)	21.733	11.297	2.427	2.028	0.488
Water Holding Capacity (%)	28.923	29.507	20.313	23.07	41.372

นอกจากกากตะกอนจะเป็นแหล่งไนโตรเจนได้แล้ว ก็ยังสามารถเป็นแหล่งฟอสฟอรัส โปแตสเซียมและจุลธาตุต่างๆ ให้แก่ดินและพืชได้เป็นอย่างดีอีกด้วย โดยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ทั้ง 5 โรงงานมีค่าอยู่ระหว่าง 0.751-3.084 % โปแตสเซียมทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 0.297-3.217 % และจุลธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง ฯ มีอยู่ในปริมาณที่เพียงพอ สำหรับการเจริญเติบโตของพืช (ตารางที่ 4.2) ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้ขาดแคลนอยู่เสมอในดินที่ใช้ทำการเกษตร ดังนั้นกากตะกอนเหล่านี้สามารถนำมาใช้ทดแทนธาตุอาหารที่ขาดได้

ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพของกากตะกอนพบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำของกากตะกอน ทั้ง 5 โรงงานมีค่าสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกากตะกอนจากโรงงานผงชูรส นั้น มีความสามารถในการอุ้มน้ำเกือบครึ่งหนึ่งของน้ำหนักตัว เนื่องจากกากตะกอนจากโรงงานผงชูรสนี้ปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง และอินทรีย์วัตถุเหล่านี้จะมักเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคของดิน (ซึ่งช่องเหล่านี้โดยปกติมีขนาดใหญ่) ทำให้ปริมาณของช่องสำหรับเป็นที่ขังน้ำซับที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้น นอกจากนั้น อินทรีย์วัตถุเหล่านี้ ยังทำให้อนุภาคของเนื้อดินเกาะยึดกันเป็นเม็ดดินรูปคล้ายทรงกลมในปริมาณที่มากขึ้น โดยไม่มีผลกระทบที่สำคัญต่อปริมาณของช่องขนาดเล็กที่เป็นที่ขังน้ำซับอันเป็นประโยชน์ต่อพืช จึงเท่ากับเป็นการเพิ่มความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2526) ดังนั้น เมื่อใส่กากตะกอนเหล่านี้ลงไปบนดิน จึงช่วยทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเพิ่มมากขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะนำกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมทั้ง 5 โรงงานมาใช้ประโยชน์ในการนำมาเป็นปุ๋ย เนื่องจากมีคุณสมบัติเหมาะที่จะเป็นแหล่งธาตุอาหารให้แก่พืช อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยเฉพาะกากตะกอนที่มีโลหะหนักปะปนมาด้วย มากน้อยตามแต่แหล่งที่มาของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด และประเภทของโรงงาน ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค โดยการสะสมของโลหะหนักในดิน และพืช

4.2.2 ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสีย

จากการวิเคราะห์โลหะหนัก 6 ชนิดคือ ทองแดง เหล็ก แมงกานีส สังกะสี เป็นจุลธาตุ ซึ่งถ้ามีมากเกินไปก็อาจเกิดเป็นพิษต่อพืชได้ และโลหะหนักอีกสองธาตุคือ ตะกั่ว และแคดเมียม ธาตุโลหะหนักเหล่านี้ อาจก่อให้เกิดปัญหาในการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ย ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาเกณฑ์ หรือปริมาณที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะนำมาใช้เพื่อการเกษตร เกณฑ์ในการพิจารณาครั้งนี้ใช้ของ Council of the European Communities (CEC) ซึ่ง Webber et al. (1983) ได้รวบรวมและเสนอไว้ นำมาเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักของกากตะกอนที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 5 โรงงาน (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณของโลหะหนัก (ppm.) ที่วิเคราะห์ได้จากกากตะกอนน้ำเสีย 5 โรงงาน และปริมาณของโลหะหนัก (ppm.) ที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะใช้เพื่อการเกษตร

	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
	(ppm.)					
โรงงานเบียร์	21.733	333.3	1.143	878.3	88.66	466.7
โรงงานน้ำอัดลม	11.297	40.0	3.273	183.3	125.09	148.3
โรงงานสุรา	2.427	53.3	1.360	718.3	33.842	168.3
โรงงานผลไม้กระป๋อง	2.028	286.7	3.240	7778.3	22.525	1366.7
โรงงานผงชูรส	0.488	26.7	0.897	270.0	13.078	305.0
All countries range *	8-30	500-3000	-	500-3000	300-1200	1000-10000
median *	7	1100	-	500	500	3000
CEC directive recommended*	20	1000	-	-	750	2500
maximum *	40	1500	-	-	1000	3000

- ไม่มีการเสนอค่าตัวเลข

* ที่มา : Webber et. al (1983)

จากเกณฑ์ที่ Webber et al. (1983) เสนอไว้ (ตารางที่ 4.3) พบว่า ปริมาณแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสีของทั้ง 5 โรงงานอยู่ในปริมาณที่ยอมรับได้ทั้งสิ้น (CBC directive recommended) สำหรับเหล็ก และแมงกานีสนั้นไม่มีการกำหนดปริมาณที่ยอมรับให้มีได้ไว้ แต่ปริมาณแมงกานีสที่วิเคราะห์ได้พบว่า อยู่ในช่วงปริมาณที่พบได้ในทุกประเทศ (All countries range) ยกเว้นโรงงานผลไม้กระป๋องที่มีปริมาณเกินกว่าที่พบได้ในทุกประเทศ ดังนั้น การนำกากตะกอนของโรงงานผลไม้กระป๋องไปใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ย จึงต้องคำนึงถึงโอกาสที่แมงกานีสในกากตะกอนจะไปสะสมในดิน และสะสมในพืชในปริมาณที่มากเกินไป ซึ่งจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชได้

จากการพิจารณาคุณสมบัติของกากตะกอนน้ำเสียทั้ง 5 โรงงาน ซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารหลักที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพียงพอ และมีปริมาณโลหะหนักอยู่ในระดับที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะใช้เพื่อการเกษตร จะเห็นได้ว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำกากตะกอนทั้ง 5 โรงงาน ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในลักษณะเป็นปุ๋ย เพราะกากตะกอนมีการสลายตัวให้ธาตุอาหารหลักที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และมีความปลอดภัยจากโลหะหนัก รวมทั้งโลหะหนักที่เป็นจุลธาตุคือ ทองแดง เหล็ก สังกะสี และยังเป็นการเพิ่มจุลธาตุให้แก่ดินได้อีกด้วย

4.3 ปริมาณผลผลิตของผักกาดหอม

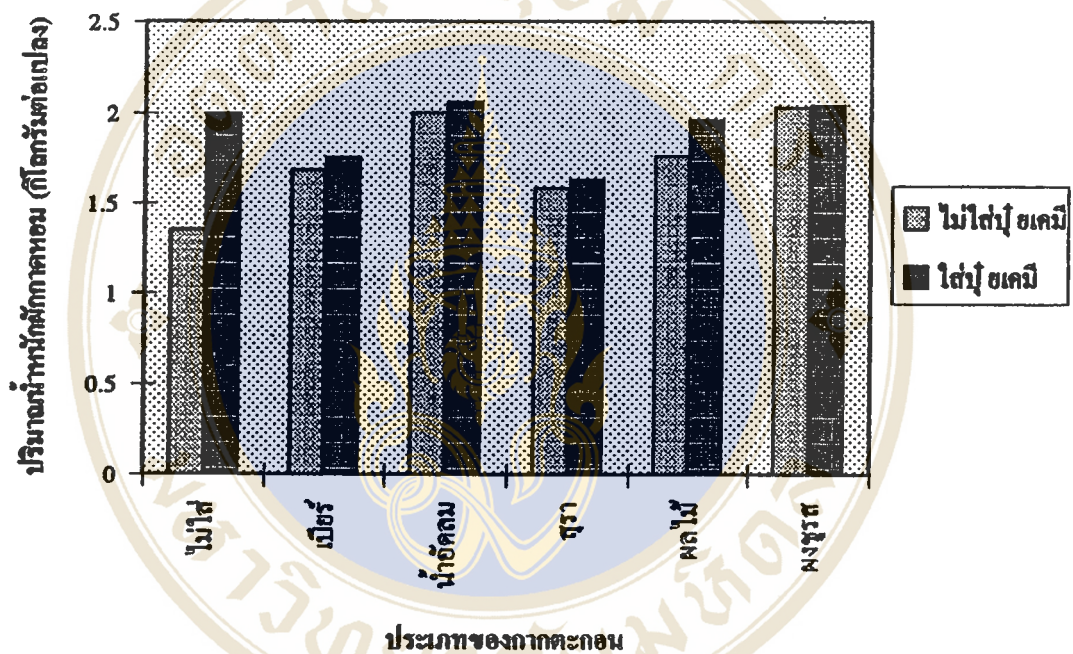
หลังจากทำการปลูกผักกาดหอม โดยใช้กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานทั้ง 5 โรงงานคือ โรงงานเบียร์ โรงงานน้ำอัดลม โรงงานสุรา โรงงานผลไม้กระป๋อง และโรงงานผงชูรส มาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์แล้ว เมื่อผักกาดหอมมีอายุได้ประมาณ 50 วันจึงทำการเก็บผลผลิต เพื่อหาปริมาณผลผลิตผักกาดหอม โดยทำการชั่งน้ำหนักผักกาดหอมที่ได้แยกตามบริษัท นำมาทดสอบค่าทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) พบว่า ความแตกต่างของน้ำหนักผักที่ได้จากการทดลองในแต่ละบริษัทมีความแตกต่างทางสถิติ จากนั้นทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.3.1 น้ำหนักเฉลี่ยของผักกาดหอม

ผลผลิตผักกาดหอมที่ได้จากการทดลอง(ตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.1) โดยใช้กากตะกอนน้ำเสียพบว่า การใส่กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงาน 4 โรงงานคือ กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานผงชูรส น้ำอัดลม ผลไม้กระป๋อง และเบียร์ ให้น้ำหนักเฉลี่ยของผักกาดหอมเพิ่มขึ้นมากกว่าการไม่ใส่กากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือให้น้ำหนักผลผลิตเฉลี่ย 2.03, 2.0, 1.76 และ 1.68 กิโลกรัมต่อแปลงตามลำดับ มีเพียงกากตะกอนโรงงานสุรา ให้น้ำหนักเฉลี่ยของผักกาดหอมเพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใส่กากตะกอนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าส่วนใหญ่การใส่กากตะกอนน้ำเสียมีผลช่วยส่งเสริมการเจริญและเพิ่มผลผลิตผักกาดหอม ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับงานทดลองของคุลยนิย (2529) ที่พบว่า การเติมกากตะกอนลงดิน มีผลต่อการเพิ่มปริมาณผลผลิตผักคะน้าอย่างชัดเจน เนื่องมาจากกากตะกอนเกิดการสลายตัวโดยจุลินทรีย์ แล้วส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุอาหารพืช

ส่วนความแตกต่างของน้ำหนักผักกาดหอม ที่ได้จากการใส่กากตะกอนน้ำเสียแต่ละโรงงานนั้น มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ ปริมาณธาตุอาหารในกากตะกอนน้ำเสีย และการปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่ดินมากน้อยต่างกัน ดังเช่นกากตะกอนโรงงานผงชูรสที่ให้น้ำหนักของผักกาดหอมสูงกว่าโรงงานเบียร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งที่ปริมาณไนโตรเจนในกากตะกอนโรงงานผงชูรส (ตารางที่ 4.2) มีค่าน้อยกว่าโรงงานเบียร์ แสดงว่าการปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่ดินของกากตะกอนจากโรงงานผงชูรสดีกว่า ซึ่งดูได้จากค่า C/N Ratio โดยถวิล (2531) กล่าวว่า ปุ๋ยอินทรีย์ควรมีค่า C/N Ratio เท่ากับ 10:1 ซึ่งจะมีการสลายตัวและปลดปล่อยธาตุอาหารได้เร็ว และจากผลการวิเคราะห์ค่า C/N Ratio ของโรงงานผงชูรสมีค่า 13.79:1 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 10:1 ในขณะที่โรงงานเบียร์มีเพียง 5.01:1

ดังนั้น กากตะกอนจากโรงงานผงชูรสจึงมีการสลายตัวและปลดปล่อยธาตุอาหารได้เร็ว พืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่า จึงให้น้ำหนักเฉลี่ยของผักกาดหอมจากโรงงานผงชูรสมีค่าสูงที่สุด นอกจากนี้โลหะหนักในกากตะกอนอาจเป็นสาเหตุหนึ่ง ที่ทำให้ผลผลิตที่ได้จากการใส่กากตะกอนโรงงานเปียร์น้อยกว่าผงชูรส ดังเช่นปริมาณตะกั่วและแคดเมียมพบว่า กากตะกอนโรงงานเปียร์มีปริมาณมากกว่าโรงงานผงชูรส ซึ่งอาจมีส่วนทำให้น้ำหนักเฉลี่ยของผักกาดหอมลดลงได้



รูปที่ 4.1 แสดงน้ำหนักเฉลี่ยของผักกาดหอม (กิโลกรัมต่อแปลง)

ที่มา : จากตารางที่ 4.5

สำหรับกรณีที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีด้วยนั้นพบว่า เมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 20-10-10 ในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่เพียงอย่างเดียว จะให้น้ำหนักเฉลี่ยผักกาดหอมไม่แตกต่างกับการใส่กากตะกอนจากโรงงานเปียร์ น้ำอืดลม ผลไม้กระป๋องและผงชูรสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าการใส่กากตะกอนน้ำเสียนั้นให้ผลผลิตผักกาดหอมดีเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และในบางตำรับให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีด้วย ผลการทดลองนี้พบว่าสอดคล้องกับของอรวรรณ (2533) ที่ใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชน แล้วสามารถเพิ่มผลผลิตพืชในพื้นที่ได้เทียบเท่ากับปุ๋ยเคมี นอกจากนี้เมื่อ

ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่กากตะกอนพบว่า น้ำหนักของผลผลิตที่เพิ่มขึ้น แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียวทั้ง 5 โรงงาน จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยเคมีไม่มีประสิทธิภาพเมื่อใช้ร่วมกับกากตะกอน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการถูกตรึงโดยโลหะหนัก ดังนั้นการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยจึงเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็น เนื่องจากกากตะกอนเหล่านี้มีธาตุอาหารหลักสูงเพียงพอต่อความต้องการของพืช และช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้กับดิน ซึ่งจะทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินเพิ่มมากขึ้น และช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้นด้วย

ผลผลิตผักกาดหอมที่ได้จากการทดลองเมื่อคิดเป็นกิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 4.5) แล้วพบว่า ในชุดที่ไม่ใส่กากตะกอน (ชุดควบคุม) ให้ผลผลิต 2,160 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อมีการเติมกากตะกอนทั้ง 5 โรงงานในอัตรา 3 ตัน/ไร่ ลงไปพบว่า ปริมาณผลผลิตของผักกาดหอมได้เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 2,520-3,300 กิโลกรัม/ไร่ ปริมาณผลผลิตของผักกาดหอมที่เพิ่มขึ้นนี้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของอรวรรณ (2536) ที่มีการใช้กากตะกอนในอัตราใกล้เคียงกัน แต่ต่างกันตรงแหล่งที่มาของกากตะกอนคือ มีการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนในอัตรา 3,200 กิโลกรัม/ไร่ หรือประมาณ 3 ตัน/ไร่ ให้ผลผลิตของผักกาดหอมเพียง 1,700 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งผลผลิตที่ได้มีค่าน้อยกว่าการใช้กากตะกอนจากโรงงาน 5 โรงงาน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารในกากตะกอนจากโรงงานมีค่ามากกว่ากากตะกอนน้ำเสียชุมชน แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลผลิตที่เกษตรกรปลูกโดยใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ตามงานวิจัยของนิลประไพ (2525) ได้กล่าวว่าผลผลิตผักกาดหอมที่เกษตรกรปลูกแถบตลิ่งชัน ให้ผลผลิตประมาณ 3,702 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งผลผลิตผักกาดหอมที่ได้จากการทดลองนี้มีปริมาณใกล้เคียงกับที่เกษตรกรปลูก ดังนั้น การใช้กากตะกอนน้ำเสียทั้ง 5 โรงงานนี้ สามารถนำมาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตผักกาดหอมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ต้องใช้ปุ๋ยเคมีใดเลย

4.3.2 ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้กากตะกอนเป็นปุ๋ยอินทรีย์

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า การใช้กากตะกอนน้ำเสียมีผลช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตผักกาดหอม โดยที่ไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมี เนื่องจากไม่ได้ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 2,520-3,300 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งเป็นปริมาณเกือบเท่ากับที่เกษตรกรปลูกขายโดยใช้ปุ๋ยเคมีคือ 3,700 กิโลกรัม/ไร่ (สอบถามเกษตรกร) ดังนั้น จึงต้องมีการพิจารณาถึงต้นทุนของการใช้กากตะกอนน้ำเสียมาเป็นปุ๋ย เปรียบเทียบกับต้นทุนของการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกร ว่า ความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้กากตะกอนเป็นปุ๋ยได้มากน้อยแค่ไหน. ดังผลการพิจารณาด้านทุนในการปลูกผักกาดหอม 3 ครั้ง/ปี โดยมีปัจจัยที่นำมาใช้ในการคำนวณดังนี้

1) ปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนของการใช้กากตะกอนน้ำเสียในการทดลองนี้

- กากตะกอนน้ำเสียใช้อัตรา 3 ตัน/ไร่ ราคาตันละ 400 บาท โดยจะใส่ในการปลูกครั้งแรกเท่านั้น เนื่องจากกากตะกอนยังคงมีธาตุอาหารเหลือพอสำหรับการปลูกในครั้งที่ 2 และ 3
- ค่าขนส่งกากตะกอนมายังสถานที่ปลูก โดยคิดอัตราค่าเช่ารถบรรทุก 6 ล้อเท่ากับ 1000 บาท (ระยะทางภายในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล)
- ค่าแรงงานในการเตรียมดินผสมกากตะกอน ในอัตราค่าจ้างวันละ 200 บาท จำนวน 2 แรง จำนวนวันทำงาน 15 วัน
- ค่าแรงงานในการดูแลรักษา อัตราค่าจ้างวันละ 160 บาท จำนวน 1 แรง จำนวนวันทำงาน 60 วัน

2) ปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกร

- ปุ๋ยขาวปรับสภาพดิน ใช้ในอัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ ราคา กิโลกรัมละ 2 บาท
- ปุ๋ยเคมีรองพื้นสูตร 16-16-16 ใช้ในอัตรา 100 กิโลกรัม/ไร่ ราคา กิโลกรัมละ 8 บาท
- ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ใช้ในอัตรา 100 กิโลกรัม/ไร่ ราคา กิโลกรัมละ 8 บาท
- ค่าแรงงานในการเตรียมดิน ในอัตราค่าจ้างวันละ 200 บาท จำนวน 2 แรง จำนวนวันทำงาน 15 วัน และค่าแรงงานในการใส่ปุ๋ยขาว ปุ๋ยเคมี อัตราค่าจ้างวันละ 200 บาท จำนวน 2 แรง จำนวนวันทำงาน 10 วัน
- ค่าแรงงานในการดูแลรักษา อัตราจ้างวันละ 160 บาท จำนวน 1 แรง จำนวนวันทำงาน 60 วัน

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าใช้จ่ายของการใช้กากตะกอนน้ำเสียเป็นปุ๋ย เปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายของการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกร

ปัจจัย	ค่าใช้จ่าย (บาท/ไร่)			
	ใช้กากตะกอน		ใช้ปุ๋ยเคมี	
	ปลูก 1 ครั้ง	ปลูก 3 ครั้ง/ปี	ปลูก 1 ครั้ง	ปลูก 3 ครั้ง/ปี
- กากตะกอนน้ำเสีย	1,200	1,200	-	-
- ค่าขนส่งกากตะกอน	1,000	1,000	-	-
- ปูนขาว	-	-	600	1,800
- ปุ๋ยเคมี 16-16-16	-	-	800	2,400
- ปุ๋ยเคมี 15-15-15	-	-	800	2,400
- ค่าแรงเตรียมดิน	6,000	6,000	10,000	30,000
- ค่าแรงดูแลรักษา	9,600	28,800	9,600	28,800
รวมค่าใช้จ่าย	17,800	37,000	21,800	65,400
ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)	3,300	9,900	3,700	11,100
ราคา (บาท/กิโลกรัม)	20	20	20	20
รายได้รวม (บาท/ไร่)	66,000	19,800	74,000	300,000
กำไร (บาท/ไร่)	48,200	161,000	52,200	234,600
กำไร (%)	270.79	435.14	239.55	239.44

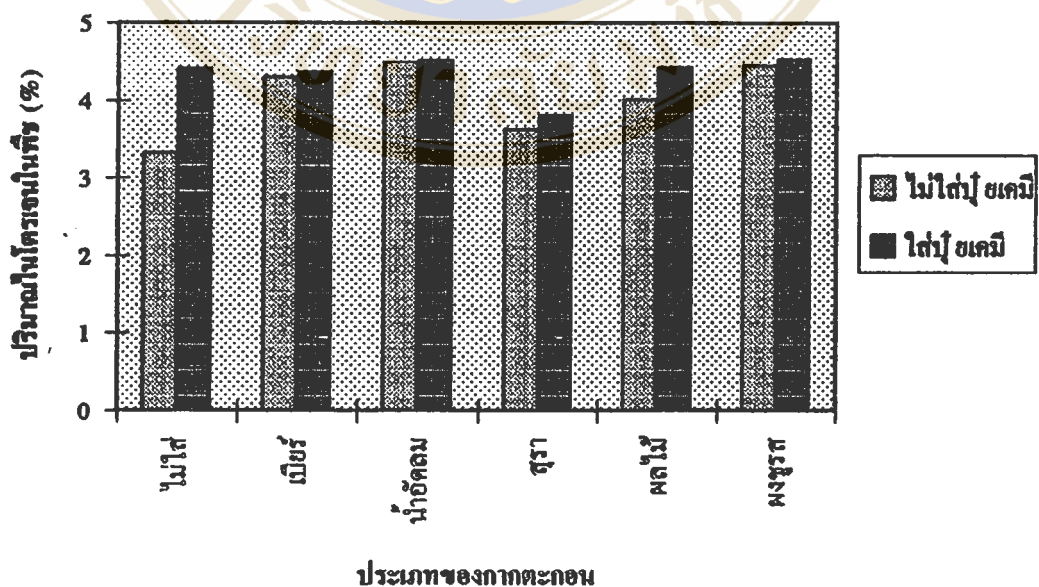
จากผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายจะพบว่า ค่าใช้จ่ายของการใช้กากตะกอนน้ำเสียในการปลูกครั้งเดียวและสามครั้งเท่ากับ 17,800 และ 37,000 บาท/ไร่ ซึ่งถูกกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกร คือ 21,800 และ 65,400 บาท/ไร่ และเมื่อเปรียบเทียบดูกำไรจะพบว่า ในการปลูกเพียงครั้งเดียวการใช้กากตะกอนเมื่อลงทุน 1 บาทจะให้ผลกำไร 2.71 บาท (270.79%) ใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรที่ให้ผลกำไร 2.40 บาท (239.55 %) แต่เมื่อพิจารณาการปลูก 3 ครั้ง/ปีจะพบว่า การใช้กากตะกอนให้ผลกำไร 4.35 บาท (435.14%) มากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีที่ให้กำไร 2.39 บาท (239.44%) ประมาณ 2 เท่า ซึ่งจากผลการคำนวณนี้จึงสรุปได้ว่า การใช้กากตะกอนจะให้กำไรสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี โดยเฉพาะในการปลูก 3 ครั้ง/ปีนั้น การใช้กากตะกอนจะให้ผลตอบแทนสูงและคุ้มค่ากว่าการใช้ปุ๋ยเคมีถึง 2 เท่า

4.4 ปริมาณธาตุอาหารหลักในผักกาดหอม

ปริมาณธาตุอาหารหลักในผักกาดหอมซึ่งได้มีการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโปแตสเซียม โดยปรากฏผลการทดลองดังนี้

4.4.1 ไนโตรเจน (Total Nitrogen)

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างผักกาดหอมทั้งต้น (ตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.2) พบว่า การใส่กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานทั้ง 5 โรงงาน ให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากกว่าการไม่ใส่กากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณผลผลิตของผักกาดหอมที่ได้กล่าวมาแล้ว กล่าวคือ กากตะกอนจากโรงงานน้ำอืดลม ผงชูรส เบียร์ ผลไม้กระป๋อง และสุรา ให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ย 4.497, 4.448, 4.301, 4.004 และ 3.622 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ กากตะกอนจากโรงงานน้ำอืดลม ผงชูรส และเบียร์ ให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยสูงสุดไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (4: 404 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่ากากตะกอนจากทั้งสามโรงงานนี้ให้ปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมี ส่วนกากตะกอนจากโรงงานผลไม้กระป๋องและสุรา ให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี



รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืช (%)

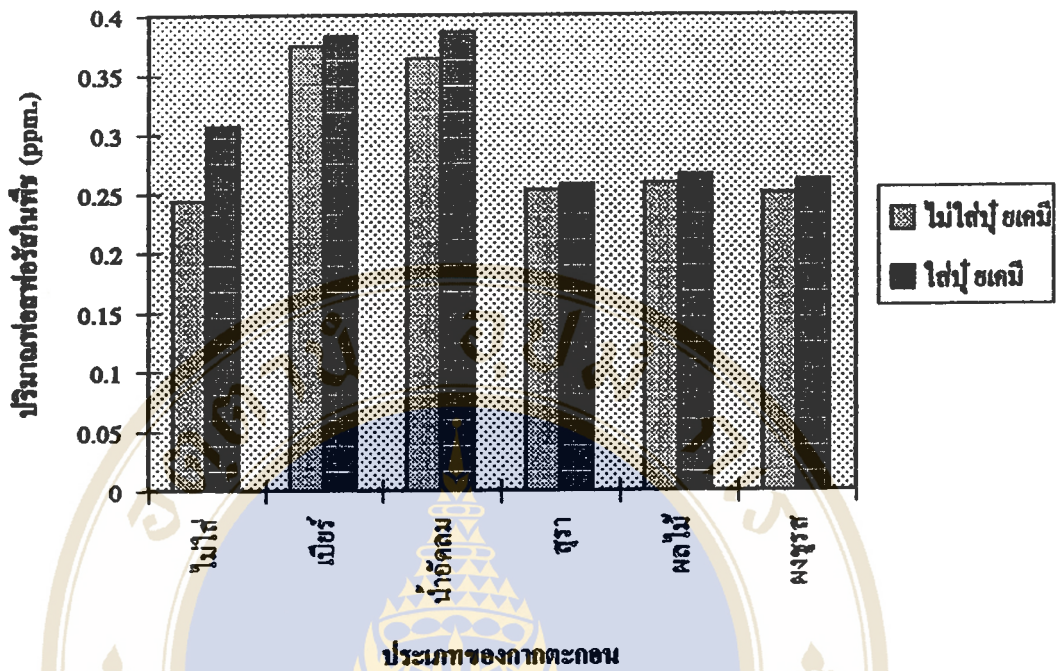
ที่มา : จากตารางที่ 4.5

สำหรับในกรณีที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับกากตะกอนนั้นพบว่า เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 20-10-10 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมด้วยพบว่า ในกากตะกอนจากโรงงานเบียร์ น้ำอัดลม สุราและผงชูรส ให้ปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยในพืชเพิ่มขึ้นมากกว่าการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียวอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ กากตะกอน 4 โรงงานนี้เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีร่วม ให้ปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยในพืชจาก 4.301, 4.497, 3.622 และ 4.448 เป็น 4.364, 4.518, 3.797 และ 4.526 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ มีเพียงกากตะกอนจากโรงงานผลไม้กระป๋อง ให้ปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยในพืชเพิ่มมากกว่าการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ จาก 4.004 เป็น 4.420 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าส่วนใหญ่แล้วการใส่ปุ๋ยเคมีร่วม เป็นสิ่งที่ไม่จำเป็นเพราะไม่ได้ช่วยเพิ่มปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยในพืชแต่อย่างใด

การสะสมไนโตรเจนในพืชมีความสัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตผักกาดหอม กล่าวคือ ถ้ามีปริมาณผลผลิตผักกาดหอมมาก ปริมาณการสะสมไนโตรเจนในพืชก็จะมากตามไปด้วย เนื่องจากพืชดูดไนโตรเจนไปจากดินเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และเพิ่มปริมาณผลผลิต นอกจากนี้ไนโตรเจนที่พืชดูดไปจากดิน ขึ้นอยู่กับการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ออกมาจากกากตะกอนว่ามีการปลดปล่อยออกมามากน้อยเพียงใด

4.4.2 ปริมาณฟอสฟอรัส (Total Phosphorus)

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในผักกาดหอม (ตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.3) พบว่า กากตะกอนจากโรงงานเบียร์และน้ำอัดลม มีปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยในพืชเพิ่มมากกว่าการไม่ใส่กากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ให้ปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยในพืช 0.374 และ 0.363 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนกากตะกอนจากโรงงานสุรา ผลไม้กระป๋อง และผงชูรส ให้ปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยในพืชเพิ่มมากกว่าการไม่ใส่กากตะกอนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าส่วนใหญ่แล้วการใส่กากตะกอน ไม่ทำให้การสะสมฟอสฟอรัสในพืชแตกต่างกับการไม่ใส่กากตะกอน เนื่องจากสัดส่วนธาตุอาหารหลักที่พืชผักแต่ละชนิดดูดไปใช้นั้นพบว่า ฟอสฟอรัสถูกดูดไปใช้น้อยที่สุด (สมเกียรติ, 2525)

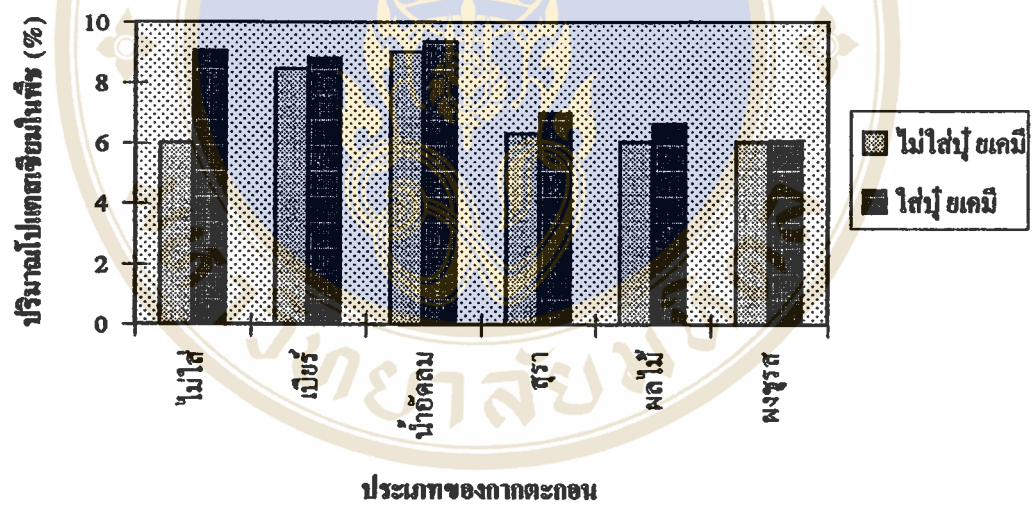


รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช (%)
ที่มา : จากตารางที่ 4.5

เมื่อใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 20-10-10 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่เพียงอย่างเดียว ให้ปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยในพืช 0.306 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณเพิ่มมากกว่าการใส่กากตะกอนโรงงานสุรา ผลไม้กระป๋อง และผงชูรสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีปริมาณน้อยกว่าการใส่กากตะกอนโรงงานเบียร์และน้ำจืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ทำให้มีการสะสมฟอสฟอรัสในพืชเพิ่มมากขึ้นกว่าชุดควบคุม แต่ไม่มากเท่ากับการใส่กากตะกอนโรงงานเบียร์และน้ำจืด สำหรับในกรณีที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับกากตะกอนนั้นพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับกากตะกอน ในทุกโรงงานให้ปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยในพืชไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้กากตะกอนเพียงอย่างเดียว แสดงว่าการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยนั้น ไม่ทำให้มีการสะสมฟอสฟอรัสในพืชเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด ดังนั้น ในการที่จะใส่ปุ๋ยเคมีร่วมเพื่อที่จะให้มีปริมาณฟอสฟอรัสในพืชเพิ่มขึ้นนั้นจึงเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็น

4.4.3 ปริมาณโปแตสเซียม (Total Potassium)

จากการวิเคราะห์ปริมาณโปแตสเซียมในผักกาดหอม (ตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.4) พบว่ามีเพียงกากตะกอนจากโรงงานเบียร์และน้ำอัดลม ที่ให้ปริมาณโปแตสเซียมเฉลี่ยในพืชเพิ่มมากกว่าการไม่ใส่กากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ให้ปริมาณโปแตสเซียมเฉลี่ยในพืช 8.440 และ 9.003 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณโปแตสเซียมในพืชนั้นมีปริมาณสูงเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (9.003 เปอร์เซ็นต์) และสูงกว่าในผักที่ปลูกโดยใช้กากตะกอนจากโรงงานสุรา ผลไม้กระป๋อง และผงชูรส แสดงว่ากากตะกอนทั้งจากโรงงานน้ำอัดลมและเบียร์ สามารถเพิ่มโปแตสเซียมในพืชได้เทียบเท่ากับปุ๋ยเคมี ในขณะที่กากตะกอนโรงงานสุรา ผลไม้กระป๋องและผงชูรสให้ปริมาณโปแตสเซียมเฉลี่ยในพืช ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการไม่ใส่กากตะกอน คือ ให้ปริมาณโปแตสเซียมเฉลี่ยในพืช 6.318, 6.033 และ6.035 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 แสดงปริมาณโปแตสเซียมทั้งหมดในพืช (%)
ที่มา : จากตารางที่ 4.5

เมื่อพิจารณาการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 20-10-10 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับกากตะกอน พบว่ากากตะกอนจากทั้ง 5 โรงงานให้ปริมาณโปแตสเซียมในพืชไม่แตกต่างกับการใช้กากตะกอนเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ กากตะกอนจากโรงงานเบียร์ น้ำอัดลม สุรา ผลไม้กระป๋อง และผงชูรสนั้น เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีร่วมจะให้ปริมาณโปแตสเซียมเฉลี่ยในพืชเพิ่มจาก 8.440, 9.003, 6.318, 6.033 และ 6.035 เป็น 8.815, 9.380, 6.973, 6.628 และ 6.065 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สรุปได้ว่าการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับกากตะกอนนั้น จะไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณโปแตสเซียมในพืชแต่อย่างใด

ตารางที่ 4.5 แสดงน้ำหนักผักกาดหอม (กิโลกรัมต่อแปลง) ผลผลิตผักกาดหอม(กิโลกรัมต่อไร่) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณโปแตสเซียมทั้งหมดเฉลี่ย (%) ใน ผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน

Treatment	น้ำหนักผัก (กก./ต่อแปลง)	น้ำหนักผัก (กก./ไร่)	ไนโตรเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โปแตสเซียม (%)
T 1 ชุคควบคุม	1.35 a	2160 a	3.313 a	0.243 a	5.973 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	1.96 cd	3140 cd	4.404 d	0.306 b	9.033 b
T 3 ฝ้าย	1.68 bc	2680 bc	4.301 d	0.374 c	8.440 b
T 4 เบียร์+ปุ๋ยเคมี	1.75 bcd	2800 bcd	4.364 d	0.382 c	8.815 b
T 5 น้ำอัดลม	2.00 d	3200 d	4.497 d	0.363 c	9.003 b
T 6 น้ำอัดลม+ปุ๋ยเคมี	2.06 d	3300 d	4.518 d	0.386 c	9.380 b
T 7 สุรา	1.58 ab	2520 ab	3.622 b	0.252 a	6.318 a
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	1.63 ab	2600 ab	3.797 bc	0.258 a	6.973 a
T 9 ผลไม้กระป๋อง	1.76 bcd	2820 bcd	4.004 c	0.259 a	6.033 a
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	1.96 cd	3140 cd	4.420 d	0.266 a	6.628 a
T 11 ผงชูรส	2.03 d	3240 d	4.448 d	0.250 a	6.035 a
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	2.04 d	3260 d	4.526 d	0.261 a	6.065 a

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan’s Multiple Range Test
 ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.4.4 สรุปปริมาณธาตุอาหารหลักในผักกาดหอม

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักที่สะสมอยู่ในพืชคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมนั้นพบว่า โปแตสเซียมสะสมอยู่ในพืชมากที่สุด รองลงมาคือ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานของสมเกียรติ (2525) ที่พบว่า สัดส่วนของธาตุอาหารหลักที่พืชผักแต่ละชนิดดูดไปใช้นั้นส่วนใหญ่ดูดโปแตสเซียมค่อนข้างสูง รองลงมาได้แก่ ไนโตรเจน ส่วนฟอสฟอรัสดูดไปใช้น้อยที่สุด นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ยังพบว่า ปริมาณการสะสมไนโตรเจนนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตของผักกาดหอม (ตารางที่ 4.5) กล่าวคือ ในชุดที่ใส่กากตะกอนโรงงานผงชูรสและน้ำอัดลม ให้ปริมาณผลผลิตผักกาดหอมสูงที่สุดเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่เพียงอย่างเดียว และพบว่ามีการสะสมไนโตรเจนในพืชสูงที่สุดเช่นกัน เนื่องจากมีอินทรีย์วัตถุสูง ทำให้พืชสามารถใช้ไนโตรเจนได้มากกว่าการสูญเสีย

สำหรับการสะสมฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมในพืชนั้น ในชุดที่ใส่กากตะกอนโรงงานผงชูรส ปริมาณธาตุทั้งสองไม่สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตผักกาดหอมคือ ให้ปริมาณผลผลิตผักกาดหอมสูงสุด แต่ไม่มีการสะสมฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมในพืชเพิ่มขึ้นกว่าชุดควบคุม ส่วนในชุดที่ใส่กากตะกอนโรงงานน้ำอัดลมนั้น มีการสะสมฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมสูงสุด สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตผักกาดหอมที่เพิ่มสูงสุดเช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะธาตุฟอสฟอรัสและโปแตสเซียม มีอยู่ในกากตะกอนในปริมาณน้อยและปลดปล่อยออกมาได้ยาก และเป็นธาตุอาหารสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพืชผัก เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับกากตะกอนพบว่า ปริมาณผลผลิตผักกาดหอม ให้ฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมในพืชไม่แตกต่างกับการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียว ทั้ง 5 โรงงาน ส่วนการสะสมไนโตรเจนในพืชไม่แตกต่างกับการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียว 4 โรงงาน มีเพียงกากตะกอนโรงงานผลไม้กระป๋องที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยเป็นสิ่งไม่จำเป็น เพราะกากตะกอนเหล่านี้มีธาตุอาหารหลักอยู่เพียงพอ และปลดปล่อยออกมาอย่างช้าๆ ให้กับพืชอย่างดีแล้ว

4.5 ปริมาณโลหะหนักในผักกาดหอม

ในการพิจารณาคุณภาพของผักกาดหอม ในที่นี้จะดูจากองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งจะมีผลกระทบต่อมนุษย์โดยเฉพาะโลหะหนัก ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาโลหะหนัก 6 ธาตุ ได้แก่ ทองแดง (Cu), เหล็ก (Fe), แมงกานีส (Mn), สังกะสี(Zn), ตะกั่ว(Pb) และแคดเมียม (Cd) เนื่องจากโลหะหนักทั้ง 6 ธาตุนี้มักพบว่ามีสะสมอยู่ในภาคตะกอนน้ำเสีย ซึ่งสามารถดูดซึมเข้าสะสมอยู่ในพืชได้ ในระหว่างพืชผักต่างๆพบว่า ผักกาดหอม (Lettuce) จะเป็นผักที่มีการดูดซับปริมาณโลหะหนักเข้าไปสะสมในตัวเองมากที่สุด (Dowdy and Larson, 1975) ดังนั้น จึงให้เป็นพืชทดสอบในงานวิจัยนี้ และได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้ง 6 ธาตุในผักกาดหอมทั้งต้น (ตารางที่ 4.7) นำผลมาเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.6 ซึ่ง Chaney (1982) ได้เสนอค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณโลหะหนักในพืชในระดับปกติ และระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช ซึ่งเป็นเกณฑ์เพื่อควบคุมการปนเปื้อนของโลหะหนัก สำหรับประเทศในกลุ่มประชาคมยุโรป เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาถึงขีดจำกัดของความปลอดภัยจากโลหะหนักอย่างเพียงพอ

ตารางที่ 4.6 ปริมาณโลหะหนักบางชนิด (ppm.) ในพืช ณ ระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Chaney, 1982)

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในพืช (ppm.)		
	ระดับที่ขาด *	ระดับปกติ**	ระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช**
Cd	-	0.1-1	5-700
Cu	4	3-20	25-40
Fe	50	30-300	-
Mn	20	15-150	400-2000
Pb	-	2-5	-
Zn	20	15-150	500-1500

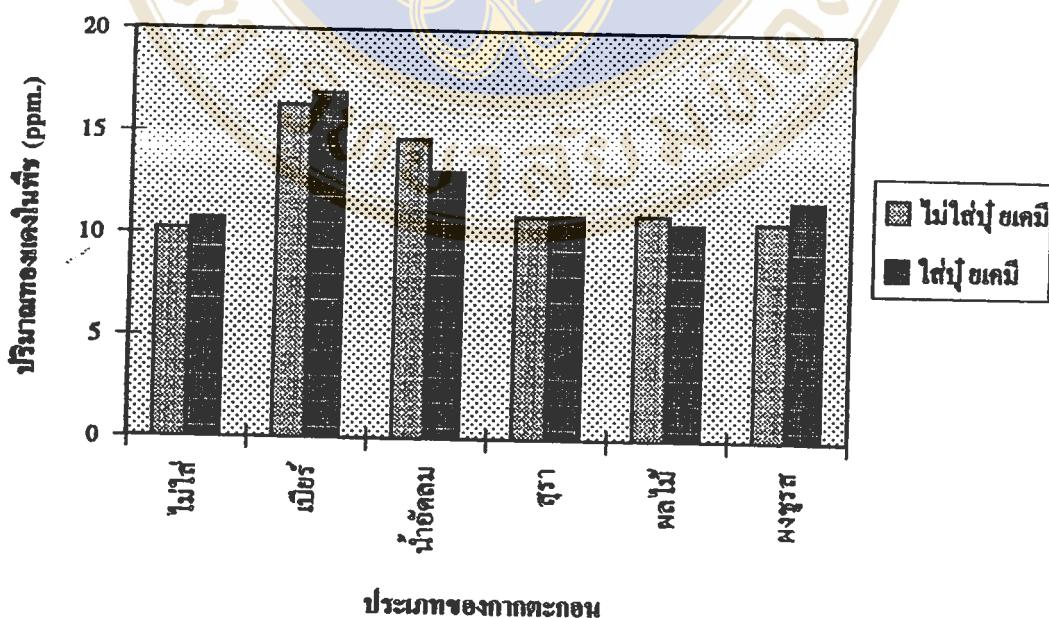
- ไม่เสนอค่าตัวเลข

ที่มา : * Jones (1972) อ้างถึงในคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2526)

** Chaney (1982)

4.5.1 ปริมาณทองแดง (Cu) ในผักกาดหอม

จากผลการทดลองการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุทองแดงในผักกาดหอม (ตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.5) พบว่า กากตะกอนจากโรงงานสุรา ผลไม้กระป๋อง และผงชูรส ให้ปริมาณทองแดงในพืชไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (ไม่ใส่กากตะกอน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ให้ปริมาณทองแดงในพืชเท่ากับ 10.900, 11.00 และ 10.70 ppm. ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานของคุลยนิย (2529) ที่พบว่าปริมาณทองแดงในพืชไม่เพิ่มขึ้นหลังจากการเติมกากตะกอน ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากอินทรีย์วัตถุที่สูงขึ้นตามการใส่กากตะกอนนั้น สามารถไปรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อน และจับเอาทองแดงเอาไว้ได้ (Hodgeson et al., 1965) พืชจึงไม่สามารถดูดดึงทองแดงไปใช้ได้เพิ่มขึ้นเมื่อเติมกากตะกอนลงสู่ดิน นอกจากนี้ยังพบว่าว่าการสะสมทองแดงในรากมากกว่าส่วนต้นและใบ โดย Mitchell et al. (1978) ได้สันนิษฐานว่า การที่ปริมาณทองแดงยังคงอยู่ในรากพืชโดยไม่มีการลำเลียงไปสู่ส่วนอื่นๆ ของพืชนั้น ก็เพราะว่าทองแดงมีความชอบ (affinity) ในการเกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนที่เสถียร (stable organic complexes) อยู่ภายในรากพืช จึงกล่าวได้ว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียจากสามโรงงานนี้ ไม่มีผลต่อการสะสมทองแดงในผักกาดหอมเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.5 แสดงปริมาณทองแดง (Cu) ในพืช (ppm.)

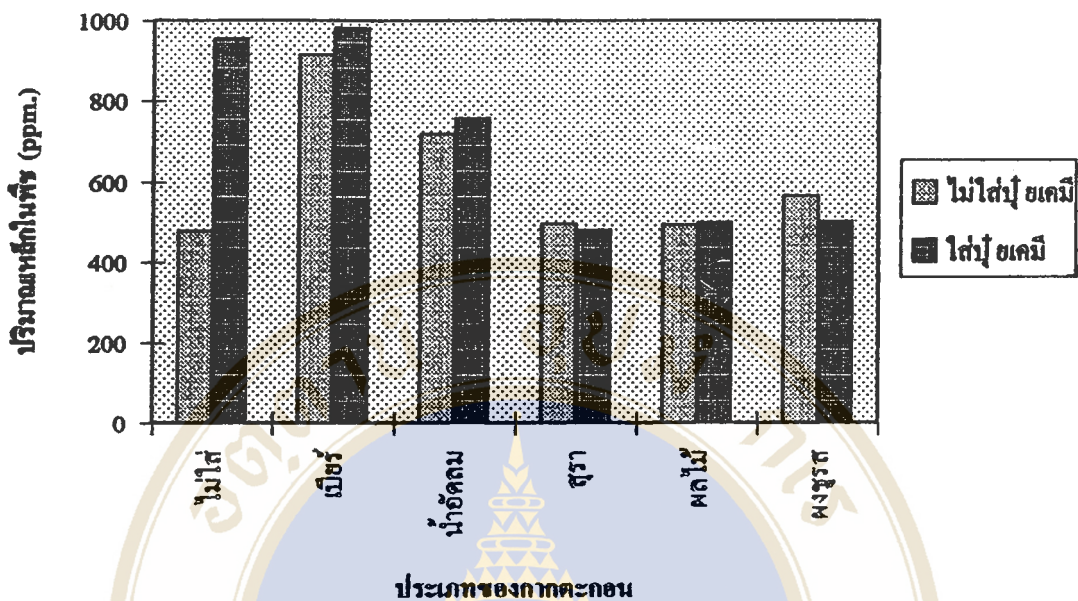
ที่มา : จากตารางที่ 4.7

ในขณะที่กากตะกอนจากโรงงานเบียร์และน้ำอัดลม ให้ปริมาณทองแดงในพืชเพิ่มมากกว่า ชุดควบคุม(ไม่ใส่กากตะกอน)อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ให้ปริมาณทองแดงในพืช 16.275 และ 14.650 ppm.ตามลำดับ จากปริมาณทองแดงในพืชในกากตะกอนโรงงานเบียร์ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นกว่า กากตะกอนจากโรงงานอื่นมากนั้น เนื่องมาจากปริมาณทองแดงที่มีอยู่ในกากตะกอนแต่ละประเภทมีความแตกต่างกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.2 ที่แสดงค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสียทั้ง 5 โรงงานพบว่า ปริมาณทองแดงเฉลี่ยในกากตะกอนโรงงานเบียร์ มีค่ามากที่สุด คือ 333.3 ppm. ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ที่พบว่า กากตะกอนโรงงานเบียร์ให้ปริมาณทองแดงเฉลี่ยในพืชมากที่สุด ซึ่งเป็นสาเหตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

สำหรับกรณีใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยพบว่า ชุดที่ใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียว กับชุดที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วม ให้ปริมาณทองแดงในพืชไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกากตะกอนทั้ง 5 โรงงาน ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับการใส่กากตะกอน ไม่มีผลทำให้ปริมาณทองแดงที่สะสมอยู่ในพืชเพิ่มขึ้น รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวปริมาณทองแดงในพืชก็ไม่แตกต่างกับชุดควบคุมแต่อย่างใด จากการวิเคราะห์ปริมาณทองแดงในพืช เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าปริมาณโลหะหนักในพืช ณ ระดับปกติ (ตารางที่ 4.6) พบว่า ในทุกชุดของการทดลองมีปริมาณทองแดงในพืชอยู่ในระดับปกติที่ควรมีอยู่ในพืชทั่วไปคือ 3-20 ppm. ดังนั้น การเติมกากตะกอนจึงไม่มีผลต่อการสะสมของทองแดงในผักกาดหอม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในกากตะกอนมีปริมาณทองแดงปนอยู่น้อย และอยู่ในปริมาณที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์ของ CEC (ตารางที่ 4.3) ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบร้ายแรงต่อการเจริญเติบโตของพืชผัก (Dowdy and Larson, 1975)

4.5.2 ปริมาณเหล็ก (Fe) ในผักกาดหอม

จากการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในพืช (ตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.6) พบว่า ชุดควบคุม ชุดที่ใส่กากตะกอนโรงงานสุรา ผลไม้กระป๋องและผงชูรส ให้ปริมาณเหล็กเฉลี่ยในพืชไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ให้ปริมาณเหล็กเฉลี่ยในพืชเท่ากับ 478.05, 496.60, 492.93 และ 566.08 ppm.ตามลำดับ แสดงว่า การใส่กากตะกอนไม่ทำให้ปริมาณเหล็กในพืชเพิ่มมากกว่าการไม่ใส่กากตะกอน ซึ่งสอดคล้องกับงานของคุลยนิย (2529) สำหรับชุดที่ใส่กากตะกอนโรงงานเบียร์ และน้ำอัดลมนั้น ให้ปริมาณเหล็กเฉลี่ยในพืชมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ ให้ปริมาณเหล็กในพืชเฉลี่ยเท่ากับ 914.80 และ 719.85 ppm. ตามลำดับ แสดงว่ากากตะกอนโรงงานเบียร์และน้ำอัดลม มีการสะสมเหล็กในพืชมากกว่าการไม่ใส่กากตะกอน



รูปที่ 4.6 แสดงปริมาณเหล็กในพืช (ppm.)
ที่มา : จากตารางที่ 4.7

สำหรับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมด้วยพบว่า ผักตะกอนจากโรงงานทั้ง 5 โรงงาน ให้ปริมาณเหล็กเจือปนในพืชไม่แตกต่างกับการใส่ผักตะกอนเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ผักตะกอนโรงงานเบียร์ น้ำอืดลม สุรา ผลไม้กระป๋องและผงบูรต เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีร่วมให้ปริมาณเหล็กเจือปนในพืชเปลี่ยนจาก 914.80, 719.85, 496.60, 492.93 และ 566.08 เป็น 980.20, 758.30, 479.48, 499.20 และ 500.20 ppm. ตามลำดับ แสดงว่าการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับผักตะกอนไม่มีผลต่อการสะสมเหล็กในพืช แต่เมื่อพิจารณาจากการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวพบว่า มีการสะสมเหล็กในพืชสูง (954.65 ppm.) เทียบเท่าการใส่ผักตะกอนโรงงานเบียร์ ทั้งนี้อาจเนื่องจากดินบริเวณนี้มีเหล็กสะสมอยู่ในปริมาณมากมาก่อนแล้ว(ดูจากชุดควบคุม) และเมื่อมีการใส่ผักตะกอนน้ำเสียและปุ๋ยเคมีลงไปอีก จึงทำให้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

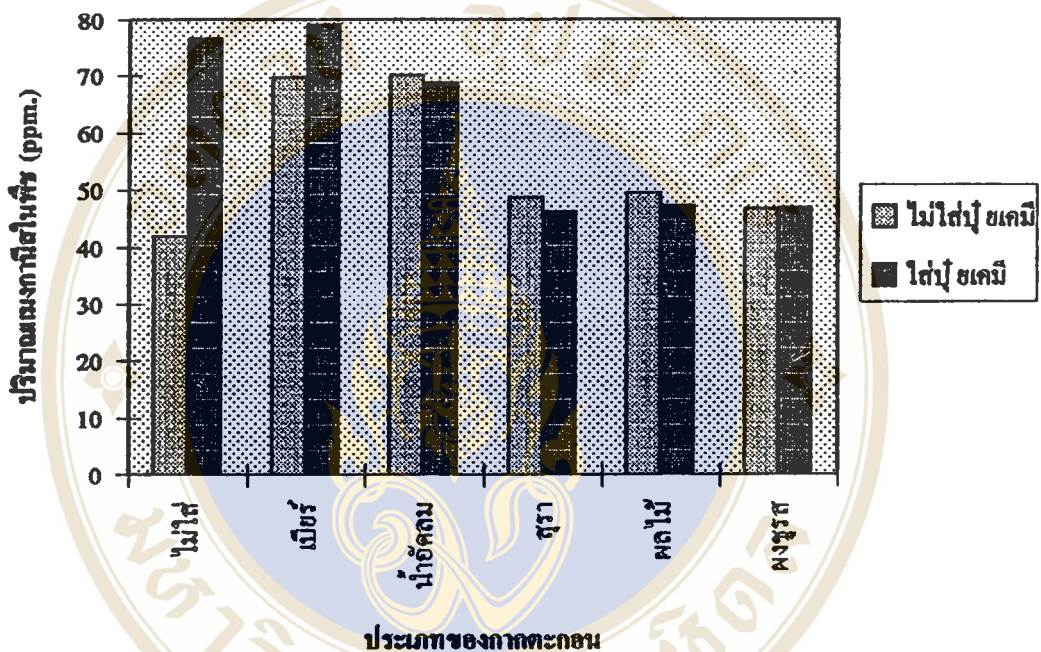
จากปริมาณเหล็กในพืชที่วิเคราะห์ได้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ปริมาณโลหะหนักในพืช ณ ระดับปกติ (ตารางที่ 4.6) พบว่า ในทุกชุดของการทดลองนี้ มีปริมาณเหล็กในพืชสูงเกินกว่าระดับปกติที่พบในพืชทั่วไปคือ 30-300 ppm. แม้แต่ในชุดควบคุม (ไม่ใส่กากตะกอน) ก็ยังมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ แต่ในระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (ตารางที่ 4.6) ไม่ได้มีการเสนอค่าตัวเลขไว้ ได้มีรายงานว่า ความเป็นพิษของเหล็กที่พบในข้าว จะมีปริมาณเหล็กสะสมมากกว่า 300 ppm. (Tanka and Yoshida, 1970 อ้างถึง Menpel and Kirkby, 1982) ปริมาณเหล็กที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองนี้มีค่ามากกว่า 300 ppm. แต่เนื่องจากธาตุเหล็กนี้จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชได้มากเมื่อดินเป็นกรด ซึ่งในงานทดลองนี้ค่า pH ของดินที่ใช้ในการทดลองอยู่ในระดับเป็นกลาง ธาตุเหล็กจึงอาจไม่แสดงความเป็นพิษออกมา และไม่เคยมีผู้ใดรายงานอาการเป็นพิษของเหล็กที่ปลูกในที่ดอน ดังนั้นเหล็กในพืชจึงไม่เป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์ที่บริโภคพืชนั้น

ส่วนรายงานในมนุษย์นั้นเนื่องจากเหล็กเป็นธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ในการสร้างเม็ดเลือดแดงรวมทั้งกระบวนการอื่นๆ โดยปกติมนุษย์จะมีปริมาณเหล็กสะสมอยู่ประมาณ 4 กรัม (Reilly, 1980) จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณเหล็กที่วิเคราะห์พบในผักกาดหอม นอกจากจะไม่แสดงความเป็นพิษต่อพืชแล้ว ยังไม่น่าจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ด้วย

4.5.3 ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในผักกาดหอม

จากการวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในพืช (ตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.7) พบว่า ชุดควบคุม ชุดที่ใส่กากตะกอนโรงงานสุรา ผลไม้กระป๋อง และผงชูรส ให้ปริมาณแมงกานีสเฉลี่ยในพืชไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ให้ปริมาณแมงกานีสเฉลี่ยในพืชเท่ากับ 41.775, 48.675, 49.425 และ 46.725 ppm.ตามลำดับ สำหรับชุดที่ใส่กากตะกอนโรงงานเบียร์และน้ำอัดลม ให้ปริมาณแมงกานีสเฉลี่ยในพืชมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ให้ปริมาณแมงกานีสเฉลี่ยในพืชเท่ากับ 69.625 และ 70.10 ppm.ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณเทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (76.625 ppm.) ซึ่งสอดคล้องกับงานของพัชรารัตติ (2529) ที่พบว่า ปริมาณแมงกานีสสะสมในพืชมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม และเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมี แสดงว่าการใส่กากตะกอนโรงงานเบียร์และน้ำอัดลม ทำให้มีการสะสมของแมงกานีสในพืชเพิ่มมากขึ้น

สำหรับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมด้วยพบว่า กากตะกอนจากโรงงานน้ำอัดลม สุรา ผลไม้ กระจับป้งและผงชูรส ให้ปริมาณแมงกานีสเฉลี่ยในพืชไม่แตกต่างกับการใส่กากตะกอน เพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่กากตะกอนจากโรงงานเบียร์ ให้ปริมาณแมงกานีสเฉลี่ยในพืช แตกต่างกับการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก กล่าวคือ ปริมาณแมงกานีสเพิ่มจาก 69.625 เป็น 78.975 ppm. แสดงว่า ส่วนใหญ่การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยไม่ ทำให้ปริมาณแมงกานีสในพืชเพิ่มขึ้น ยกเว้นกากตะกอนโรงงานเบียร์



รูปที่ 4.7 แสดงปริมาณแมงกานีสในพืช (ppm.)

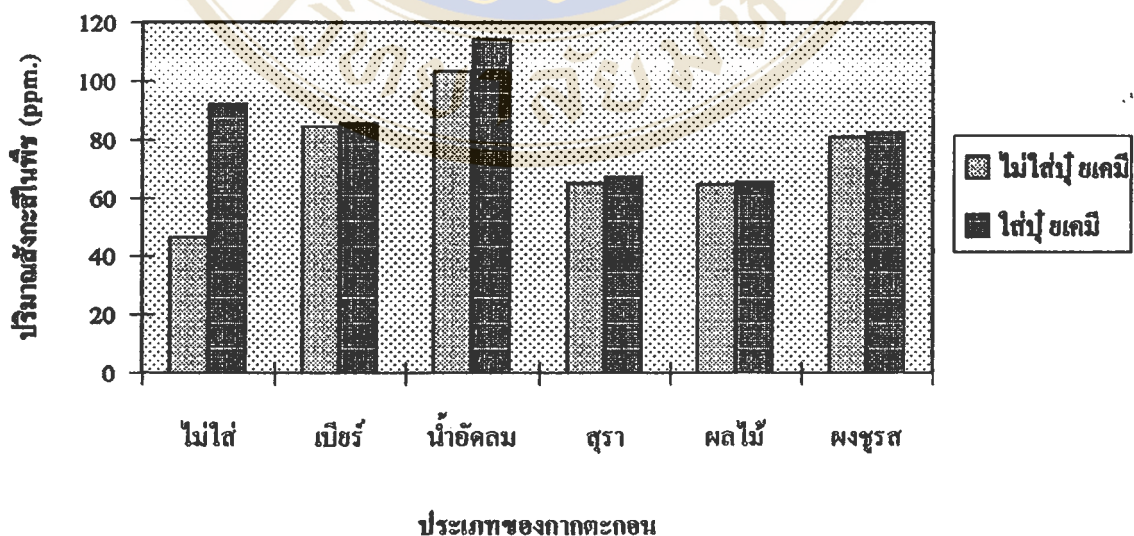
ที่มา : จากตารางที่ 4.7

จากปริมาณแมงกานีสที่วิเคราะห์ได้ เปรียบเทียบกับเกณฑ์ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในพืช (ตารางที่ 4.6) พบว่า ในทุกชุดของการทดลอง มีปริมาณแมงกานีสอยู่ในเกณฑ์ของปริมาณโลหะหนักในพืช ณ ระดับปกติคือ 15-150 ppm. แม้แต่ในชุดที่ใส่กากตะกอนโรงงานเบียร์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ที่ให้ปริมาณแมงกานีสในพืชสูงสุดคือ 78.975 ppm. ซึ่งมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของเกณฑ์ระดับปกติเท่านั้น ปริมาณของแมงกานีสที่จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชคือ 400-2000 ppm. (ตารางที่ 4.6) แต่มีรายงานเช่นกันว่าพืชบางชนิดเช่น ถั่วเหลืองที่มีแมงกานีสสะสมในใบแก่ประมาณ 160 ppm. สามารถแสดงอาการเป็นพิษปรากฏให้เห็นได้ (Onki, 1977 อ้างถึงใน Mengel and Kirkly, 1982) แต่อย่างไรก็ตาม จากการทดลองนี้ก็ยังมีปริมาณแมงกานีสไม่สูงถึงระดับที่อาจก่อให้เกิดความเป็นพิษได้

สำหรับการเกิดพิษของแมงกานีสที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์นั้น เกิดจากการได้รับแมงกานีสของระบบทางเดินหายใจมากกว่าได้รับแมงกานีสจากอาหาร แมงกานีสจึงเป็นโลหะที่มีพิษน้อยเมื่อพิจารณาในแง่ของการบริโภค (Relly, 1980) ดังนั้น แสดงว่าการใส่กากตะกอนไม่ทำให้เกิดการสะสมแมงกานีสในพืชสูงถึงระดับที่อาจจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช และไม่มีผลต่อสุขภาพมนุษย์ด้วย

4.5.4 ปริมาณสังกะสี (Zn) ในผักกาดหอม

จากการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในผักกาดหอม (ตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.8) พบว่า กากตะกอนจากโรงงานสุราและผลไม้กระป๋อง ให้ปริมาณสังกะสีเฉลี่ยในพืชไม่แตกต่างกับการไม่ใส่กากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่กากตะกอนโรงงานเบียร์ น้ำอัดลม ผงชูรสและปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ให้ปริมาณสังกะสีเฉลี่ยในพืชเท่ากับ 84.43, 103.33, 80.88 และ 91.85 ppm. ตามลำดับ โดยที่กากตะกอนโรงงานน้ำอัดลมให้ปริมาณสังกะสีในพืชสูงสุด แสดงว่า การใส่กากตะกอนจากโรงงานเบียร์ น้ำอัดลม และผงชูรส ทำให้มีการสะสมสังกะสีในพืชเพิ่มขึ้น ส่วนการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวพบว่าการสะสมสังกะสีในพืชเทียบเท่ากับกากตะกอนจาก 3 โรงงานดังกล่าวแล้ว ซึ่งนับว่าเป็นผลดีเพราะโดยทั่วไปแล้วพืชมักจะขาดธาตุสังกะสีมาก (อรรชร, 2536)



รูปที่ 4.8 แสดงปริมาณสังกะสีในพืช (ppm.)

ที่มา : จากตารางที่ 4.7

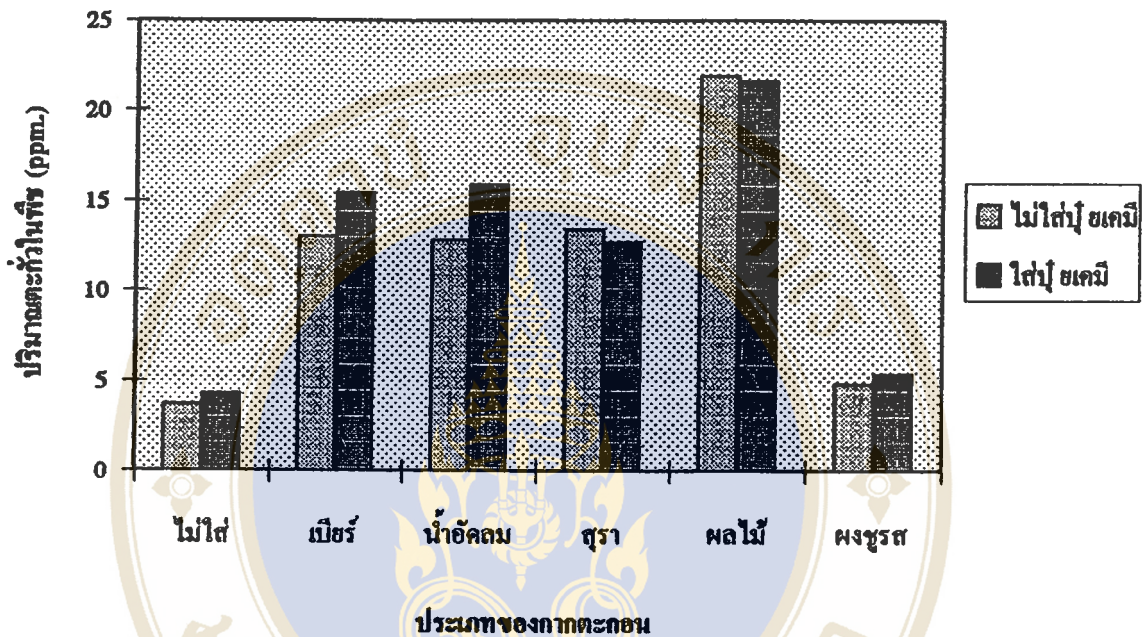
ในการฉีดปุ๋ยเคมี อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมด้วยพบว่า กากตะกอนทั้ง 5 โรงงาน ให้ปริมาณสังกะสีเฉลี่ยในพืช ไม่แตกต่างกับการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ กากตะกอนโรงงานเบียร์ น้ำอัดลม สุรา ผลไม้กระป๋องและผงชูรส เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีร่วม ทำให้ปริมาณสังกะสีเฉลี่ยในพืชเปลี่ยนจาก 84.43, 103.33, 64.80, 64.40 และ 80.88 เป็น 85.38, 114.08, 67.25, 65.45 และ 82.28 ppm.ตามลำดับ แสดงว่าการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมนั้น ไม่ทำให้มีการสะสมสังกะสีในพืชเพิ่มขึ้น

ถึงแม้ว่าปริมาณสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีการใส่กากตะกอนโรงงานเบียร์ น้ำอัดลมและผงชูรสลงไป แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ (ตารางที่ 4.6) พบว่า ปริมาณสังกะสีในพืชในทุกชุดของการทดลองอยู่ในระดับเกณฑ์ปกติที่พบอยู่ในพืชทั่วไปคือ 15-150 ppm. และระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชคือ 500-1500 ppm. (Chaney,1982) และมีรายงานของวรวิทย์ (2523) รายงานถึงปริมาณสังกะสีในพืชว่า มีค่าอยู่ในช่วง 24.7-196.2 ppm. ซึ่งผักกาดหอมที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองนี้ มีค่าอยู่ในช่วงที่พบในพืชทั่วไป และมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับระดับความเป็นพิษ จึงอาจสรุปได้ว่าการใส่กากตะกอนทั้ง 5 โรงงานนี้ จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาสะสมสังกะสีในระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช รวมทั้งมีค่าไม่แตกต่างกับระดับที่พบในพืชทั่วไป

4.5.5 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ในผักกาดหอม

จากการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในผักกาดหอม (ตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.9) พบว่า ชุดควบคุม ชุดที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และชุดที่ใส่กากตะกอนโรงงานผงชูรส ให้ปริมาณตะกั่วเฉลี่ยในพืชไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ให้ปริมาณตะกั่วเฉลี่ยในพืชเท่ากับ 3.70, 4.29 และ 4.813 ppm. ตามลำดับ ในขณะที่กากตะกอนจากอีก 4 โรงงานคือ ชุดที่ใส่กากตะกอนจากโรงงานเบียร์ น้ำอัดลม สุราและผลไม้กระป๋อง ให้ปริมาณตะกั่วเฉลี่ยในพืชมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ ให้ปริมาณตะกั่วเฉลี่ยในพืชเท่ากับ 21.975, 12.810, 13.390 และ 21.945 ppm. ตามลำดับ โดยกากตะกอนจากโรงงานผลไม้กระป๋อง ให้ปริมาณตะกั่วเฉลี่ยในพืชสูงสุด แสดงว่า กากตะกอนจากโรงงานส่วนใหญ่ทำให้มีการสะสมตะกั่วในพืชเพิ่มขึ้น ยกเว้นกากตะกอนโรงงานผงชูรส เพราะปริมาณตะกั่วในกากตะกอนโรงงานผงชูรส (13.078 ppm.) มีค่าน้อยกว่าโรงงานอื่น (ตารางที่ 4.2)

ส่วนการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยพบว่า กากตะกอนจากโรงงานทั้ง 5 โรงงานคือ โรงงานเบียร์ น้ำอัดลม สุรา ผลไม้กระป๋องและผงชูรส ให้ปริมาณตะกั่วเฉลี่ยในพืชไม่แตกต่างกับการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 4.9 แสดงปริมาณตะกั่วในพืช (ppm.)
ที่มา : จากตารางที่ 4.7

เมื่อเปรียบเทียบการใช้กากตะกอนในแต่ละโรงงานพบว่า ในชุดที่ใส่กากตะกอนโรงงานผลไม้กระป๋อง ให้ปริมาณตะกั่วในผักกาดหอมเพิ่มสูงกว่าโรงงานอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งๆที่ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในกากตะกอนโรงงานผลไม้กระป๋อง มีน้อยกว่าโรงงานเบียร์และน้ำอัดลม เนื่องจากตะกั่วส่วนใหญ่ในดินจะอยู่ในรูปที่พืชใช้ไม่ได้ พืชจะได้รับเพียง 0.003-0.005 %ของปริมาณทั้งหมดที่มีอยู่ในดิน (Zimdahl, 1975) โดยที่ตะกั่วในดินจะทำปฏิกิริยากับพวกไอออนลบเช่น ซัลเฟต และคาร์บอเนต หรือสารประกอบระหว่างอนุภาคดินเหนียวและสารอินทรีย์ ซึ่งทำให้พืชนำตะกั่วเหล่านี้ไปใช้ไม่ได้ เนื่องจากตะกั่วในรูปนี้จะไม่ละลาย (Singer and Hanson, 1975) ดังนั้น การดูดซับตะกั่วเข้าไปในผักกาดหอม จึงแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของกากตะกอนแต่ละโรงงาน

การใส่กากตะกอนน้ำเสียมีผลทำให้ตะกั่วสะสมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะหนักชนิดอื่น เนื่องจากในบรรดาโลหะหนักสำคัญๆ เมื่อจัดอันดับความสามารถในการดูดซึมโดยรากพืชจะพบว่า $Fe > Pb > Cu > Ni, Zn > Co$ จะเห็นว่าตะกั่วมีแนวโน้มจะถูกดูดซึมโดยรากพืชมากกว่าโลหะหนักอื่นๆ (Puckett et al., 1973) เมื่อรากดูดซึมเข้าไปจะไปสะสมในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ มากขึ้น โดยมีการสะสมเรียงตามลำดับความเข้มข้นมากไปหาความเข้มข้นน้อยดังนี้ ราก > ลำต้น > ใบ > เมล็ด ซึ่งพบว่าการสะสมตะกั่วในรากมากที่สุด (Pinkerton and Simpson, 1977) และจะถูกทำลายไปยังดินค่อนข้างน้อยเพียง 3.5-22.7% ของปริมาณที่ดูดซับทั้งหมด (Jones et al., 1973) ซึ่งจากการวิเคราะห์ผักกาดหอมในการทดลองนี้ ใช้ผักกาดหอมทั้งต้น (ต้น+ใบ) ส่วนรากไม่ได้ทำการวิเคราะห์ ดังนั้น ปริมาณตะกั่วที่สะสมในผักกาดหอมทั้งต้นนี้ จึงคาดว่าจะมีน้อยกว่าในราก

ในชุดควบคุม (ไม่ใส่กากตะกอน) ชุดที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และชุดที่ใส่กากตะกอนโรงงานผงชูรส มีปริมาณตะกั่วในพืชอยู่ในระดับปกติที่พบในพืชทั่วไปคือ 2-5 ppm. (ตารางที่ 4.7) แต่เมื่อมีการใส่กากตะกอนทั้ง 5 โรงงานลงไปพบว่า มีปริมาณตะกั่วในพืชเพิ่มขึ้นและเกินกว่าเกณฑ์ที่อยู่ในระดับปกติที่พบได้ในพืชทั่วไป (ยกเว้นกากตะกอนโรงงานผงชูรส)

ปริมาณตะกั่วในผักกาดหอมที่เพิ่มขึ้นนี้ ถึงแม้ว่าจะเกินกว่าระดับปกติที่มีอยู่ในพืช แต่คาดว่าจะไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต เนื่องจากได้มีการศึกษาของอรวรรณ (2525) พบว่า ปริมาณตะกั่วในส่วนใบของผักคะน้าจากพื้นที่ดินเกษตรกรรมที่มีการใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชน จะมีตะกั่วในพืชอยู่ระหว่าง 8-18 ppm. และอำนาจ (2528) ได้ทดลองใช้ตะกั่วในอัตรา 1-100 ppm. ผลปรากฏว่าไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว แต่ตะกั่วระดับ 1000 ppm. จะมีผลทำให้ต้นข้าวตาย ส่วนในผักคะน้าสามารถทนความเป็นพิษของตะกั่วในรูปที่ละลายน้ำได้ดี โดยไม่มีผลกระทบต่อความสามารถในการเจริญเติบโตได้ถึง 100 ppm. (Purves, 1977) ดังนั้น การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วที่ได้จากการทดลองนี้มีค่าอยู่ในช่วง 3-21 ppm. (ตารางที่ 4.7) เท่านั้น จึงเป็นปริมาณที่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่อย่างใด

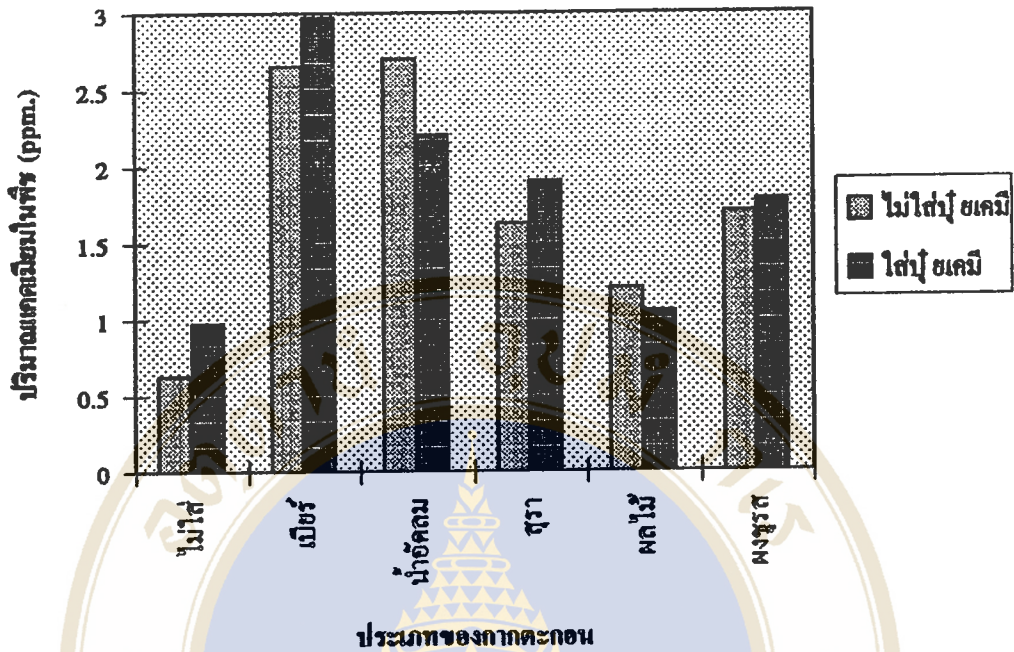
สำหรับความปลอดภัยต่อมนุษย์นั้น ในประเทศอังกฤษได้กำหนดเกี่ยวกับปริมาณตะกั่วในอาหารไว้คือ มีได้ไม่เกิน 2 ppm. และโดยเฉลี่ยทุกๆ สัปดาห์ไม่ควรได้รับตะกั่วจากอาหารเข้าสู่ร่างกายเกิน 3 มิลลิกรัม (Lenihan and Fletcher, 1977) ส่วน WHO กำหนดว่า ปริมาณการได้รับตะกั่วต่อสัปดาห์ของมนุษย์คือ ไม่เกิน 50 ไมโครกรัม/กิโลกรัม (Kaufstein et al., 1979 อ้างถึง Klocke, 1982) ดังนั้น การใช้กากตะกอนจากโรงงาน 5 โรงงานนี้ จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับพิษของตะกั่วขึ้นได้

4.5.6 ปริมาณแคดเมียม (Cd)ในผักกาดหอม

จากการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในผักกาดหอม (ตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.10) พบว่า กากตะกอนจากโรงงานทั้ง 5 โรงงาน ให้ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในพืชมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ กากตะกอนโรงงานเปียร์ น้ำอัดลม ผงชูรส สุรา และผลไม้กระป๋อง ให้ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในพืชเท่ากับ 2.65, 2.20, 1.70, 1.625 และ 1.20 ppm. ตามลำดับ ส่วนการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ไม่ทำให้ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในพืชเพิ่มมากกว่าชุดควบคุม แสดงว่าการใส่กากตะกอนทั้ง 5 โรงงาน มีผลให้มีการสะสมของแคดเมียมในพืชเพิ่มขึ้น โดยกากตะกอนโรงงานเปียร์และน้ำอัดลม มีปริมาณแคดเมียมในกากตะกอนมากกว่าโรงงานอื่นคือ 21.733 และ 11.297 ppm. (ตารางที่ 4.2) จึงทำให้มีการสะสมของแคดเมียมในพืชมากกว่าโรงงานอื่นด้วย ดังนั้น ปริมาณแคดเมียมในพืชจึงมีความสัมพันธ์กับปริมาณแคดเมียมในกากตะกอน

ส่วนในชุดที่ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมพบว่า กากตะกอนจากโรงงานเปียร์ สุรา ผลไม้กระป๋องและผงชูรส ให้ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในพืชไม่แตกต่างกับการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นกากตะกอนจากโรงงานน้ำอัดลม ที่ให้ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในพืชจาก 2.20 เป็น 2.70 ppm. แสดงว่า การใช้ปุ๋ยเคมีอาจมีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมเพิ่มขึ้น จากข้อสรุปนี้ได้มีงานวิจัยมาสนับสนุนคือ งานวิจัยของนิตยาพร (2537) ที่ศึกษาปริมาณแคดเมียมในปุ๋ยเคมีสูตรต่างๆ พบว่า มีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.70-17.10 ppm. ในปุ๋ยเคมีแต่ละชนิดแต่ละสูตร ดังนั้น การใช้ปุ๋ยเคมี จึงมีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมในผักกาดหอมเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน

ในชุดควบคุม(ไม่ใส่กากตะกอน) ชุดที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว มีปริมาณแคดเมียมในพืชอยู่ในเกณฑ์ระดับปกติที่พบในพืชทั่วไปคือ 0.1-1 ppm.(ตารางที่ 4.6) แต่เมื่อมีการเติมกากตะกอนของโรงงานทั้ง 5 โรงงาน ปริมาณแคดเมียมเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Alloway (1990)ที่พบว่า ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่มีการใช้กากตะกอนน้ำเสีย มีความสัมพันธ์กับปริมาณแคดเมียมในผักกาดหอม และกะหล่ำ โดยที่การสะสมแคดเมียมขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ซึ่ง Davis and Carlton Smith (1980) แสดงว่าผักกาดหอมมีการสะสมแคดเมียมสูงสุดในพวกพืชผัก โดยปริมาณแคดเมียมในพืชจะอยู่ในช่วง 0.1-1.0 ppm. ส่วนผักกาดหอมจะมีปริมาณแคดเมียมมากเป็น 30-40 เท่า แต่จากการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมที่ได้จากการทดลองนี้ มีอยู่ในช่วงไม่เกิน 3 ppm. ซึ่งยังไม่ถึงระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชคือ 5-700 ppm. (ตารางที่ 4.6) ดังนั้น จึงไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ถ้าถึงระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช เกิดจากการที่แคดเมียมไปมีผลยับยั้งการสังเคราะห์แสง และกระบวนการคายน้ำของพืชด้วย (Bazzaz et al., 1974)



รูปที่ 4.10 แสดงปริมาณแคดเมียมในพืช (ppm.)

ที่มา : จากตารางที่ 4.7

สำหรับการกำหนดปริมาณแคดเมียมในพืชผัก ที่ยอมรับได้ว่ามีความปลอดภัยต่อมนุษย์นั้น Melsted (1973) ได้เสนอไว้ว่า ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 ppm. ซึ่งจากปริมาณแคดเมียมในพืชจากการทดลองนี้ มีปริมาณไม่เกิน 3 ppm. ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มีความปลอดภัย แต่จากการทดลองพบว่า ในชุดที่ใส่กากตะกอนโรงงานเบียร์ มีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ดังนั้น การนำกากตะกอนจากโรงงานเบียร์ไปใช้ จึงควรจะต้องมีการระมัดระวังปริมาณแคดเมียมในพืช ที่จะมีการสะสมมากเกินไปจนเป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ ซึ่งอาหารเป็นทางหนึ่งที่แคดเมียมจะเข้าสู่ร่างกาย โดย FAO/WHO ได้แนะนำถึงปริมาณที่ร่างกายจะรับเข้าไปได้สูงสุดคือ 400-500 ไมโครกรัม/สัปดาห์ ซึ่งจะเท่ากับ 70 ไมโครกรัม/วัน แต่ร่างกายมนุษย์และสัตว์ดูดซึมแคดเมียมในทางเดินอาหารได้ไม่มากนักคือ 0.5-12% ความเป็นพิษของแคดเมียมในคนส่วนใหญ่ เกิดที่ทางเดินหายใจและไตมากกว่า โดยจะมีอาการเจ็บคอ เจ็บหน้าอก คลื่นไส้ และเวียนศีรษะ อุดลมพอง เกิดพิษเรื้อรังในปอดและไต ทำให้เกิดโรคไต-อิตาลี (Fassett, 1980) ดังนั้น การบริโภคอาหาร โอกาสที่จะได้รับพิษจากแคดเมียมจึงมีน้อย

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณทองแดง เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ตะกั่วและแคดเมียมเฉลี่ย (ppm.) ในผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน

Treatment	Cu	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd
T 1 ชุดควบคุม	10178 a	478.05 a	41.775 a	46.20 a	3.700 a	0.625 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	10.700 a	954.65 e	76.625 bc	91.85 cd	4.290 a	0.975 ab
T 3 เมียร์	16.275 c	914.80 de	69.625 b	84.43 bcd	12.975 b	2.650 f
T 4 เมียร์+ปุ๋ยเคมี	16.925 c	980.20 e	78.975 c	85.38 bcd	15.400 b	2.975 f
T 5 น้ำอัดลม	14.650 bc	719.85 bc	70.100 b	103.33 de	12.810 b	2.700 f
T 6 น้ำอัดลม+ปุ๋ยเคมี	13.125 ab	758.30 cd	68.850 b	114.08 e	15.895 b	2.200 e
T 7 สุรา	10.900 a	496.60 a	48.675 a	64.80 ab	13.390 b	1.625 cd
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	10.950 a	479.48 a	46.025 a	67.25 ab	12.688 b	1.900 de
T 9 ผลไม้กระป๋อง	11.000 a	492.93 a	49.425 a	64.40 ab	21.945 c	1.200 bc
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	10.575 a	499.20 a	47.125 a	65.45 ab	21.340 c	1.050 ab
T 11 ผงชูรส	10.700 a	566.08 ab	46.725 a	80.88 bc	4.813 a	1.700 d
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	11.775 a	500.20 a	4.526 a	82.28 bcd	5.335 a	1.775 de

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test
ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.5.7 สรุปปริมาณโลหะหนักในผักกาดหอม

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองเกี่ยวกับปริมาณโลหะหนักในผักกาดหอมพบว่า การใส่กากตะกอนน้ำเสียมีผลต่อการสะสมโลหะหนัก 6 ธาตุในพืชในแต่ละโรงงานดังนี้ กากตะกอนโรงงานเบียร์และน้ำอัดลมพบว่า มีการสะสมโลหะหนักในพืชเพิ่มขึ้นทั้ง 6 ธาตุ กากตะกอนโรงงานสุราและผลไม้กระป๋อง มีการสะสมตะกั่วและแคดเมียมในพืชเพิ่มขึ้น ส่วนกากตะกอนโรงงานผงชูรส มีการสะสมสังกะสีและแคดเมียมในพืชเพิ่มมากขึ้น

เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีร่วมพบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีผลต่อการสะสมของโลหะหนักเพิ่มขึ้น ยกเว้นกากตะกอนโรงงานเบียร์และน้ำอัดลมร่วมกับปุ๋ยเคมี ที่พบว่าการสะสมแมงกานีสและแคดเมียมเพิ่มขึ้นกว่าการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

ดังนั้นในการนำกากตะกอนนี้ไปใช้ จึงมีความเสี่ยงต่อความเป็นพิษของโลหะหนักได้ แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.3 Chaney (1982) ได้เสนอค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณโลหะหนักในพืชในระดับปกติ และระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชพบว่า ปริมาณทองแดง แมงกานีส และสังกะสีในทุกชุดของการทดลอง มีปริมาณอยู่ในระดับปกติที่พบได้ทั่วไป ส่วนเหล็กในทุกชุดของการทดลอง มีปริมาณเกินกว่าระดับปกติที่พบในพืชทั่วไป ส่วนตะกั่วและแคดเมียม เมื่อใส่กากตะกอนทำให้มีปริมาณเกินกว่าระดับที่พบได้ในพืชทั่วไป แต่ก็ยังอยู่ในช่วงที่พบได้ในพืชจากพื้นที่ดินเกษตรกรรม (อรวรธรรม, 2536) แต่ยังไม่ถึงระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช

จากการใช้กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเบียร์และน้ำอัดลมนั้น ทำให้มีการสะสมโลหะหนักเพิ่มขึ้น เนื่องจากโลหะหนักเหล่านี้มีอยู่ในกากตะกอน และพืชสามารถดูดดึงมาใช้ได้ โดยเฉพาะทองแดง เหล็ก แมงกานีสและสังกะสี ซึ่งเป็นจุลธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช จากการที่มีจุลธาตุต่างๆอยู่ในกากตะกอนในปริมาณที่มากเพียงพอต่อพืชนั้น จึงสามารถนำกากตะกอนเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้เป็นปุ๋ยสำหรับปลูกพืชชนิดอื่นได้อีก เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความต้องการธาตุอาหารมากน้อยแตกต่างกัน พืชชนิดใดมีความต้องการธาตุใดมาก ก็จะแสดงอาการขาดธาตุนั้น จึงได้มีการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ทางการเกษตร ถึงชนิดของพืชต่างๆ ที่มีแนวโน้มจะขาดธาตุอาหาร ดังตารางที่ 4.8 (เกษมศรี, 2536) จากตารางก็จะเห็นว่าพืชชนิดใดมีแนวโน้มจะขาดธาตุใด ก็จะสามารถนำกากตะกอนที่มีปริมาณธาตุนั้นมากไปใช้เป็นปุ๋ย เพื่อทดแทนธาตุอาหารที่พืชขาดแคลนได้ ซึ่งจะมีผลช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชต่อไป ดังนั้น จึงสามารถนำกากตะกอนจากโรงงานเบียร์ และ

น้ำอัดลม ไปประยุกต์ใช้กับพืชอื่นที่มีความต้องการจุลธาตุมาก ซึ่งจะทำให้เกิดประโยชน์กับพืชมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.8 แสดงชนิดพืชที่มีแนวโน้มจะขาดธาตุอาหาร

ขาดธาตุอาหาร	ชนิดของพืช
ไนโตรเจน	ธัญพืช แอปเปิล ส้ม พืชชนิดต่างๆ
ฟอสฟอรัส	ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ผักกาด มะเขือเทศ
โปแตสเซียม	มันฝรั่ง ถั่ว ยาสูบ ฝ้าย มะเขือเทศ ข้าวโพด อ้อย
แคลเซียม	ส้ม พืชตระกูลถั่วชนิดต่างๆ
แมกนีเซียม	มันฝรั่ง กะหล่ำดอก
กำมะถัน	พืชคลุมดิน หอม กระเทียม
เหล็ก	ข้าวฟ่าง ข้าวบาร์เลย์ ส้ม พืช กะหล่ำดอก
แมงกานีส	แอปเปิล ถั่ว เซอร์รี่ ส้ม ข้าวโพด ข้าวสาลี
สังกะสี	ข้าวโพด หอม ส้ม พืช
ทองแดง	มะเขือเทศ แอปเปิล ส้ม ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพด ผักกาดหอม ยาสูบ
โบรอน	กะหล่ำดอก แอปเปิล พืช ถั่วลิสง
โมลิบดีนัม	ส้ม พืชตระกูลถั่ว กะหล่ำดอก
คลอรีน	ผักกาดชนิดต่างๆ

ที่มา : เกษมศรี (2536)

สำหรับตะกั่วและแคดเมียมนั้น ในการทดลองนี้เมื่อมีการใช้กากตะกอนจาก 5 โรงงาน ทำให้ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมเพิ่มมากกว่าระดับปกติที่พบได้ในพืชทั่วไป แต่ยังไม่มากพอที่จะทำให้เกิดความเป็นพิษ ดังนั้นปริมาณโลหะหนักในพืชจากการทดลองจึงไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช สำหรับความปลอดภัยต่อมนุษย์นั้น ในตะกั่วไม่ได้มีการกำหนดเกณฑ์ในการบริโภคในพืชไว้ แต่ในประเทศอังกฤษได้กำหนดปริมาณตะกั่วในอาหารไว้คือ มีได้ไม่เกิน 2 ppm. (Lenihan and Fletcher, 1977) ส่วนแคดเมียมในพืชต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 ppm. (Melsted, 1973) จึงอยู่ในเกณฑ์ที่มีความปลอดภัยในการบริโภค แต่เนื่องจากร่างกายมนุษย์และสัตว์ดูดซึมแคดเมียมได้ไม่มากนักคือ 0.5-12% รวมทั้งความเป็นพิษของตะกั่วและแคดเมียมในคนส่วนใหญ่ จะได้รับเข้าไปทางทางเดินหายใจมากกว่า ดังนั้น การบริโภคอาหารโอกาสที่จะได้รับพิษจากตะกั่วและแคดเมียมจึงมีน้อย

แต่เนื่องจากได้มีการศึกษาพบว่า รากจะสามารถสะสมตะกั่วไว้ได้มากที่สุคนั้น จึงต้องควรระมัดระวังในการนำกากตะกอนเหล่านี้ไปใช้กับพืชจำพวกพืชหัว ซึ่งจะมีการสะสมโลหะหนักไว้ที่หัวมากเช่น งานวิจัยของ Wong (1985) ที่พบว่า การใช้กากตะกอนกับหัวไชเท้า (Chinese Radish) จะมีโลหะหนักสะสมอยู่ในหัวไชเท้าเป็นจำนวนมาก และถ้ามีการใช้กากตะกอนในพืชยืนต้น ที่ต้องใช้ระยะเวลาปลูกนานกว่าพืชผัก โอกาสที่ตะกั่วและแคดเมียมในดินจะถูกพืชดูดดึงเข้าไปสะสมในพืชได้มากเช่นกัน ซึ่งมีงานทดลองของ Dowdy and Larson (1975) ที่พบว่า การนำกากตะกอนไปใช้กับการปลูกข้าวโพด ในช่วง 1-3 ปีจะมีการดูดดึงแคดเมียมเข้าไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้น การนำกากตะกอนไปใช้กับพืชจำพวกพืชหัว และพืชยืนต้นนั้น อาจจะมีโอกาสสะสมโลหะหนักในพืชจนถึงระดับที่เป็นพิษต่อพืช และอันตรายต่อมนุษย์เมื่อบริโภคเข้าไปได้

นอกจากนี้ การดูดดึงโลหะหนักมีความสัมพันธ์กับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดิน โดย Smith (1994) รายงานว่าปริมาณแคดเมียมในใบพืชจะเพิ่มขึ้นจาก 2 เป็น 3.9 เมื่อดินมี pH ลดลงจาก 7.4 เป็น 4.5 แสดงว่าดินในสภาพเป็นกรด จะมีผลทำให้มีการดูดดึงโลหะหนักเพิ่มขึ้น ซึ่งควรจะมีการปรับสภาพดินให้อยู่ในระดับที่เป็นกลาง (pH 7) จะสามารถช่วยลดปริมาณการดูดดึงโลหะหนักในพืชได้

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า การใช้กากตะกอนจากโรงงาน 5 โรงงาน ไม่ทำให้มีการสะสมของโลหะหนักในผักกาดหอมจนถึงระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช และอันตรายต่อมนุษย์ แต่ถ้ามีการนำไปใช้กับพืชชนิดอื่นนั้น จึงควรระมัดระวังโอกาสที่ตะกั่วและแคดเมียมอาจสะสมเพิ่มขึ้นจนถึงระดับความเป็นพิษได้ เมื่อจะนำไปใช้กับพืชหัว และพืชยืนต้น รวมทั้งการนำไปใช้ในดินที่มีสภาพเป็นกรดด้วย

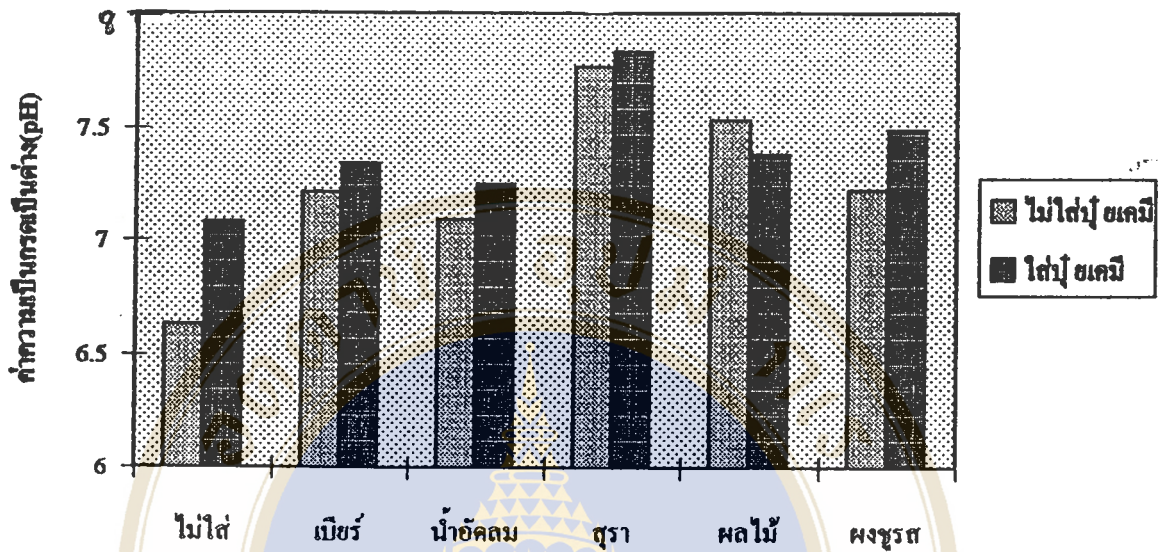
4.6 ผลของการใช้กากตะกอนน้ำเสียต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้กากตะกอนน้ำเสียทั้ง 5 โรงงานเป็นปุ๋ยอินทรีย์ สำหรับการปลูกผักกาดหอมประมาณ 50 วันแล้วจึงทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต หลังจากนั้นจึงทำการเก็บดินในบริเวณที่ทำการปลูกผัก มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพอีกครั้ง เพื่อศึกษาผลของกากตะกอนต่อคุณสมบัติของดิน

4.6.1 ระดับความเป็นกรดเป็นด่างในดิน

การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างในดิน หลังการใช้กากตะกอนน้ำเสียเป็นปุ๋ยสำหรับการปลูกผักกาดหอม (ตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.11) พบว่า เมื่อมีการใส่กากตะกอนลงไปทำให้ระดับความเป็นกรดเป็นด่างในดินเพิ่มสูงกว่าการไม่ใส่กากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ กากตะกอนโรงงานสุรา ผลไม้กระป๋อง ผงชูรส เบียร์และน้ำอัดลม ให้ระดับความเป็นกรดเป็นด่างในดินเท่ากับ 7.76, 7.53, 7.22, 7.21 และ 7.09 ตามลำดับ การที่กากตะกอนโรงงานสุราให้ผลให้ความเป็นกรดเป็นด่างในดินเพิ่มสูงขึ้นมากนั้น เนื่องจากคุณสมบัติของกากตะกอนโรงงานสุรา มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างในกากตะกอนที่ค่อนข้างเป็นด่างคือ 8.42 (ตารางที่ 4.2) เมื่อใส่ลงไปดินก็ส่งผลให้ดินมีค่า pH ที่เพิ่มสูงขึ้น และมีผลต่อการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในดิน รวมทั้งเกิดกิจกรรมต่างๆ โดยกลุ่มจุลินทรีย์จะมีการปลดปล่อยอินทรีย์สารและธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ ซึ่งจะมีผลต่อการเพิ่มระดับความเป็นกรดเป็นด่างในดิน แสดงว่าการใช้กากตะกอนน้ำเสียทั้ง 5 โรงงาน จะช่วยปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้อยู่ในสภาพเป็นกลาง

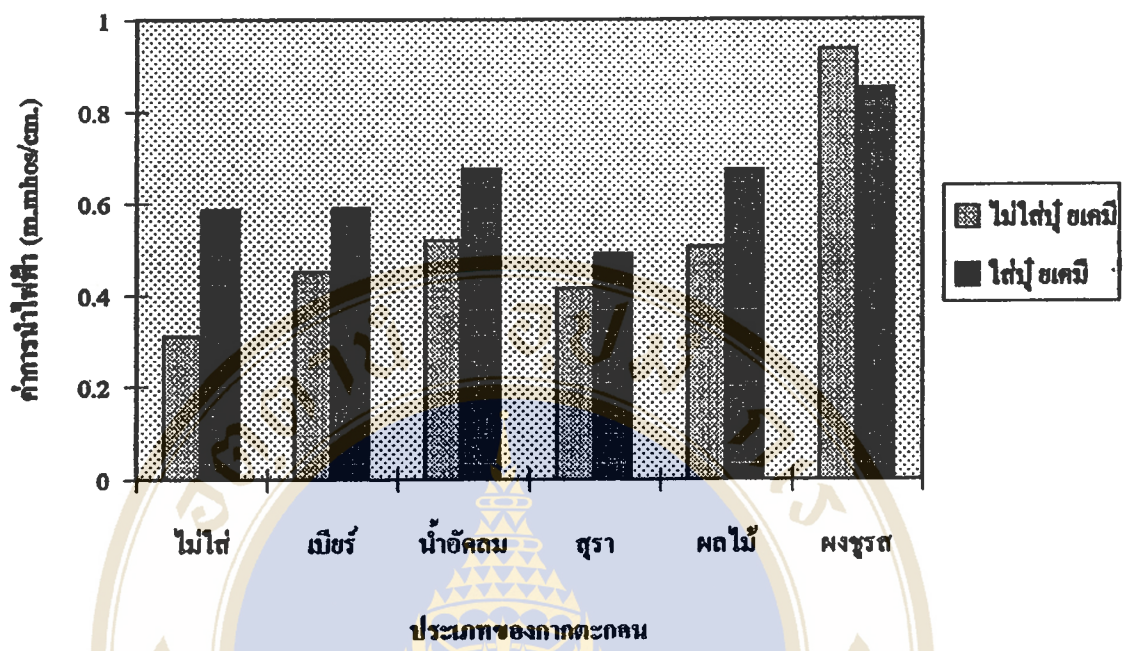
สำหรับการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยพบว่า กากตะกอนทั้ง 5 โรงงาน ระดับความเป็นกรดเป็นด่างในดินไม่แตกต่างกับการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ชุดที่ใส่กากตะกอนโรงงานเบียร์ น้ำอัดลม สุรา ผลไม้กระป๋องและผงชูรส เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีร่วมมีผลให้ระดับความเป็นกรดเป็นด่างในดินจาก 7.21, 7.09, 7.76, 7.53 และ 7.22 เป็น 7.34, 7.25, 7.83, 7.38 และ 7.49 ตามลำดับ แสดงว่าเมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับกากตะกอน ไม่มีผลทำให้ระดับความเป็นกรดเป็นด่างในดินเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว มีผลให้ระดับความเป็นกรดเป็นด่างในดินเพิ่มสูงขึ้นกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยใดเลย (ชุดควบคุม) แต่มีค่าน้อยกว่าการใส่กากตะกอนน้ำเสีย ดังนั้น การใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ไม่ทำให้ระดับความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มสูงขึ้นมากนัก เนื่องจากปุ๋ยเคมีไม่มีคุณสมบัติเป็น buffer capacity



รูปที่ 4.11 แสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดิน
ที่มา : จากตารางที่ 4.9

4.6.2 ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของดิน (ตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.12) พบว่า เมื่อใส่กากตะกอนโรงงานน้ำอืดลม ผลไม้กระป๋องและผงชรส มีผลให้ค่าไฟฟ้าของดินเพิ่มมากกว่ากับการไม่ใส่กากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ให้ค่าการนำไฟฟ้า 0.518, 0.503 และ 0.935 m.mhos/cm.ตามลำดับ การที่กากตะกอนโรงงานผงชรสมีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด ก็เนื่องมาจาก คุณสมบัติของกากตะกอนโรงงานผงชรส มีค่าการนำไฟฟ้าสูงคือ 13.05 m.mhos/cm. (ตารางที่ 4.2) เมื่อใส่ลงไปดินจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินเพิ่มสูงขึ้นด้วย

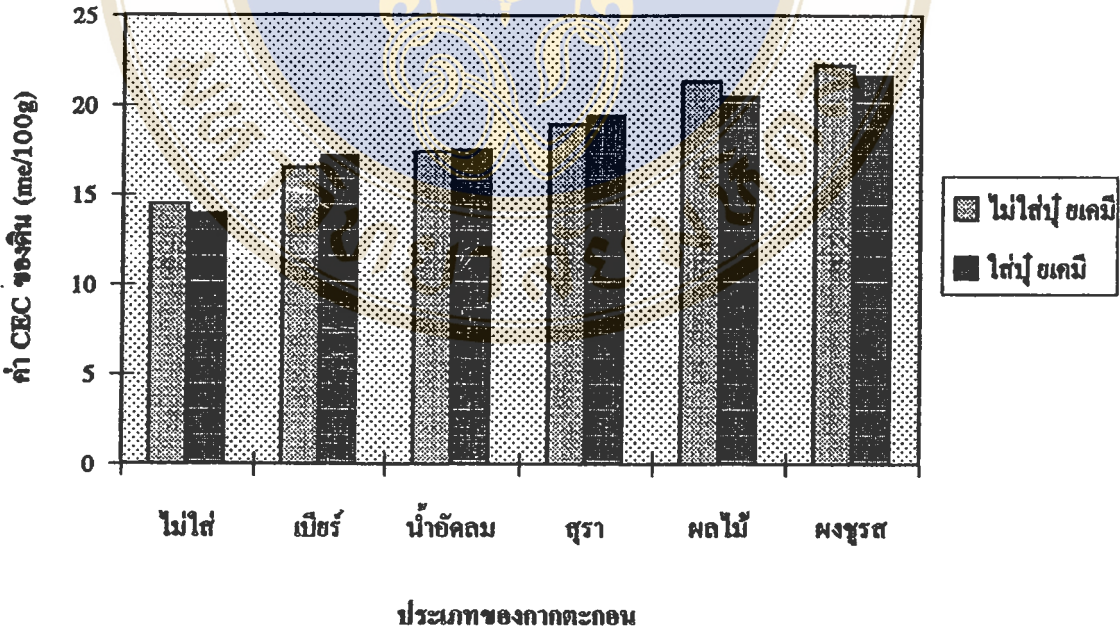


รูปที่ 4.12 แสดงค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; m.mhos/cm.)
ที่มา : จากตารางที่ 4.9

เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยพบว่า กากตะกอนโรงงานน้ำอืดลมและผลไม้กระป๋อง ให้ค่าการนำไฟฟ้าในดินเพิ่มมากกว่าการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ค่าการนำไฟฟ้าในดินเพิ่มขึ้นจาก 0.518 และ 0.503 เป็น 0.675 และ 0.673 m.mhos/cm.ตามลำดับ แสดงว่าการใส่ปุ๋ยเคมีมีส่วนทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินเพิ่มสูงขึ้น ดังเห็นได้จากชุดที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ที่ให้ค่าการนำไฟฟ้าในดินเพิ่มสูงขึ้นกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยใดเลย(ชุดควบคุม)คือ 0.585 m.mhos/cm. และมีค่าสูงเทียบเท่ากับกากตะกอนเบียร์ น้ำอืดลมและผงชูรส แต่ในทุกชุดของการทดลองมีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่า 1 m.mhos/cm. ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานของ (สุคใจ, 2533) และอยู่ในระดับที่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชคือ น้อยกว่า 2 m.mhos/cm. (พจน์ีย์, 2534) ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเค็มของดิน ดังนั้น การใส่กากตะกอนทั้ง 5 โรงงาน ไม่มีผลทำให้ดินมีความเค็มเพิ่มขึ้น จึงไม่เป็นอุปสรรคในการเจริญเติบโตของพืช

4.6.3 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity)

การเปลี่ยนแปลงความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (ตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.13) พบว่าเมื่อใส่กากตะกอนทั้ง 5 โรงงานลงไป มีผลทำให้ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินเพิ่มมากกว่าการไม่ใส่กากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ กากตะกอนโรงงานผงชูรส ผลไม้กระป๋อง สุรา น้ำอัดลมและเบียร์ ให้ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินเพิ่มเป็น 22.20, 21.30, 18.95, 17.40 และ 16.48 me/100g ตามลำดับ การที่กากตะกอนโรงงานผงชูรส มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินเพิ่มสูงสุด เนื่องมาจากกากตะกอนนี้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง โดยทั่วไปอาจประเมินค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่เนื่องมาจากอินทรีย์วัตถุได้ โดยทุกๆหนึ่งเปอร์เซ็นต์ของอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในดิน จะให้ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกแก่ดินเป็นจำนวน 2 me (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2526) จึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับประจุบวกสูงตามไปด้วย ซึ่งค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก มีผลต่อการดูดซับธาตุอาหารที่เป็นประจุบวกไม่ให้สูญเสียจากดิน และปลดปล่อยธาตุอาหารให้เป็นประโยชน์ต่อพืช



รูปที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity; me/100g) ในดิน

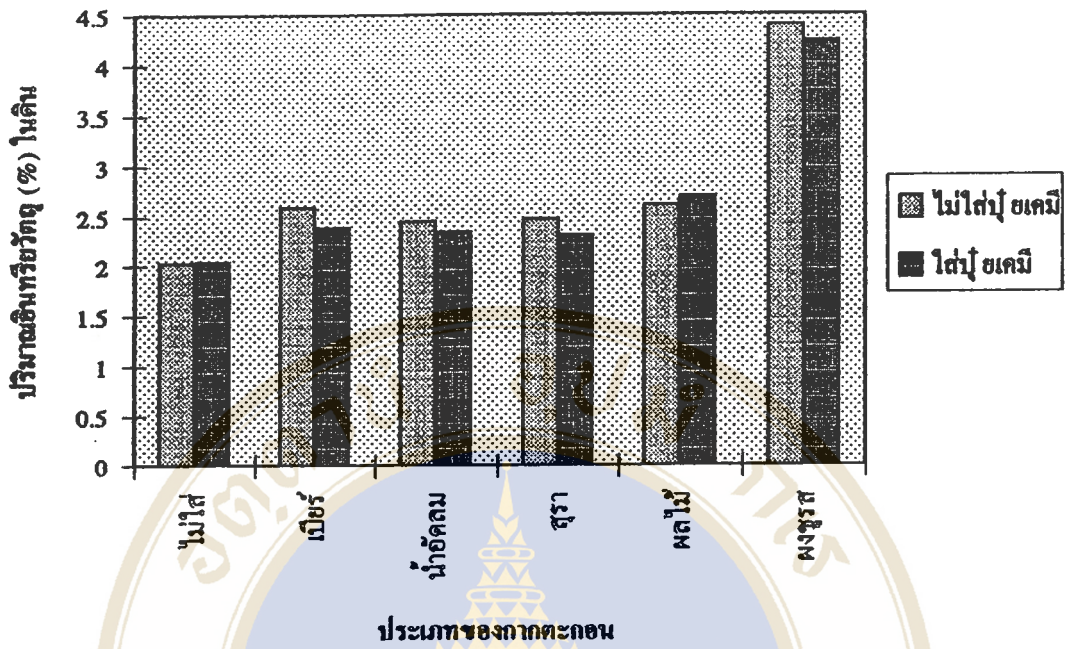
ที่มา : จากตารางที่ 4.8

กากตะกอนโรงงานทั้ง 5 โรงงานเมื่อใส่ปุ๋ยเคมีร่วมในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่พบว่า ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน ไม่แตกต่างกับการใส่เดี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่เพียงอย่างเดียวพบว่า ไม่มีความแตกต่างกับการไม่ใส่ปุ๋ยใดเลย (ชุดควบคุม) จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยเคมีไม่มีความสามารถในการดูดซับประจุบวก ทำให้ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกไม่เพิ่มสูงขึ้น

4.6.4 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Organic Matter)

จากการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินหลังการปลูกผักกาดหอมพบว่า การใส่กากตะกอน น้ำเสียทั้ง 5 โรงงาน (ตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.14) พบว่า มีผลทำให้ระดับอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มมากกว่าการไม่ใส่กากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ กากตะกอนโรงงานผงชูรส ผลไม้กระป๋อง เบียร์ สุราและน้ำอัดลม ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน 4.389, 2.597, 2.584, 2.461 และ 2.440 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ กากตะกอนโรงงานผงชูรสมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง เนื่องมาจากคุณสมบัติของกากตะกอนโรงงานผงชูรส มีปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าโรงงานอื่น (ตารางที่ 4.2) เมื่อใส่ลงไปในดินจึงมีผลช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน โดยอินทรีย์วัตถุในดินมีความสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการดูดซับประจุบวก ปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และยังช่วยให้ดินจับตัวเป็นก้อนมีความสามารถในการอุ้มน้ำ และการถ่ายเทอากาศดีขึ้นอีกด้วย

สำหรับการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่พบว่า กากตะกอนทั้ง 5 โรงงาน ให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินไม่แตกต่างกับการใส่เดี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ กากตะกอนโรงงานเบียร์ น้ำอัดลม สุรา ผลไม้กระป๋องและผงชูรส เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีร่วมมีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุเปลี่ยนจาก 2.584, 2.440, 2.461, 2.597 และ 4.389 เป็น 2.375, 2.335, 2.304, 2.686 และ 4.236 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่เพียงอย่างเดียว ไม่ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยใดเลย จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยเคมีไม่ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้น แต่การใส่กากตะกอนทั้ง 5 โรงงานมีผลช่วยเพิ่มระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินให้สูงขึ้น



รูปที่ 4.14 แสดงปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter; %) ในดิน
ที่มา : จากตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter) เฉลี่ยของดินในแต่ละทรีทเมนต์

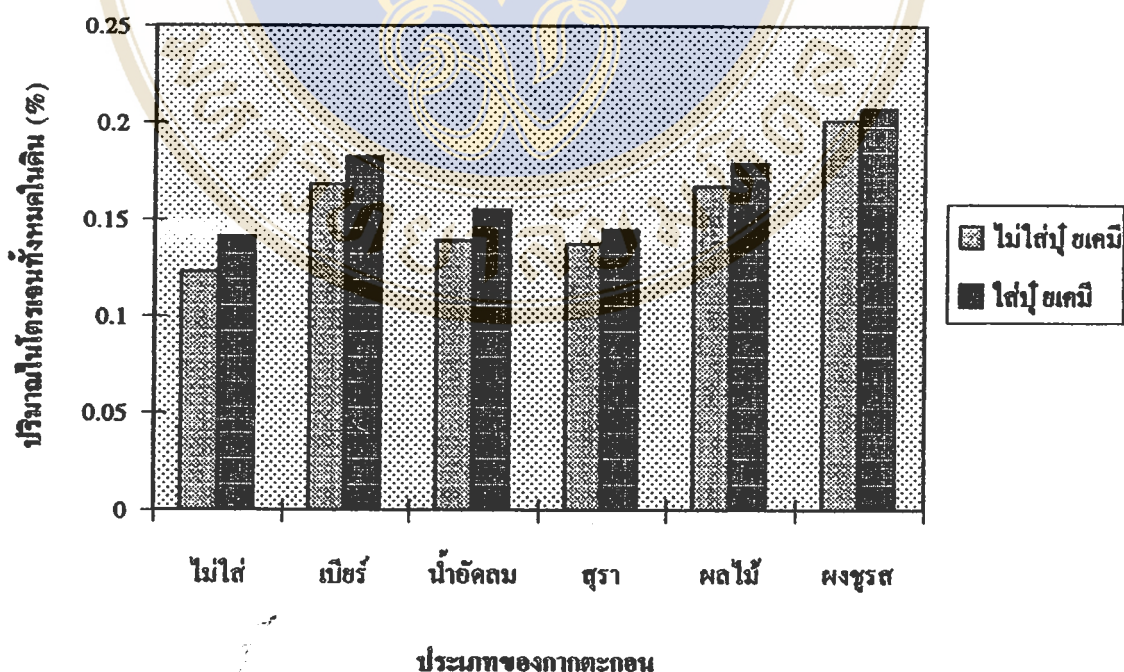
Treatment	pH	EC(m.mhos/cm.)	CEC(me/100g)	O.M.(%)
T 1 ชุคควมคุม	6.63 a	0.310 a	14.48 a	2.030 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	7.08 b	0.585 cd	13.90 a	2.038 a
T 3 ฝ้าย	7.21 bc	0.450 abc	16.48 b	2.584 bc
T 4 เบียร์+ปุ๋ยเคมี	7.34 bc	0.590 cd	17.15 b	2.375 b
T 5 น้ำอัดลม	7.09 b	0.518 bc	17.40 b	2.440 bc
T 6 น้ำอัดลม+ปุ๋ยเคมี	7.25 bc	0.675 d	17.50 b	2.335 b
T 7 สุรา	7.76 de	0.413 ab	18.95 c	2.461 bc
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	7.83 e	0.490 bc	19.40 c	2.304 ab
T 9 ผลไม้กระป๋อง	7.53 cd	0.503 bc	21.30 de	2.597 bc
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	7.38 bc	0.673 d	20.45 d	2.686 c
T 11 ผงชูรส	7.22 bc	0.935 e	22.20 e	4.389 d
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	7.49 cd	0.850 e	21.60 e	4.236 d

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.6.5 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total Nitrogen)

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในดิน (ตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.15) พบว่าการใส่กากตะกอนโรงงานเบียร์ ผลไม้กระป๋องและผงชูรส มีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มสูงขึ้นกว่าใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ให้ปริมาณไนโตรเจนในดิน 0.168, 0.167 และ 0.201 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการที่ปริมาณไนโตรเจนในดินของกากตะกอนโรงงานผงชูรสมีปริมาณสูงที่สุดนั้น เนื่องจากว่าธาตุไนโตรเจนในดินทั้งหมดได้มาจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ เมื่อพิจารณาคุณภาพอินทรีย์วัตถุในกากตะกอนโรงงานผงชูรส (ตารางที่ 4.2) พบว่ามีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดเช่นกัน และมีค่า C/N Ratio ประมาณ 13:1 ซึ่งทำให้เกิดการสลายตัวได้ง่าย จึงปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาได้ง่าย ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณไนโตรเจนในกากตะกอนอยู่ในปริมาณน้อยกว่าโรงงานอื่นก็ตาม จากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานของสุดใจ (2533) แสดงให้เห็นว่าการใส่กากตะกอนทั้ง 5 โรงงาน มีส่วนช่วยปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนให้เป็นประโยชน์ต่อพืช และมีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มสูงขึ้นด้วย



รูปที่ 4.15 แสดงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%) ในดิน

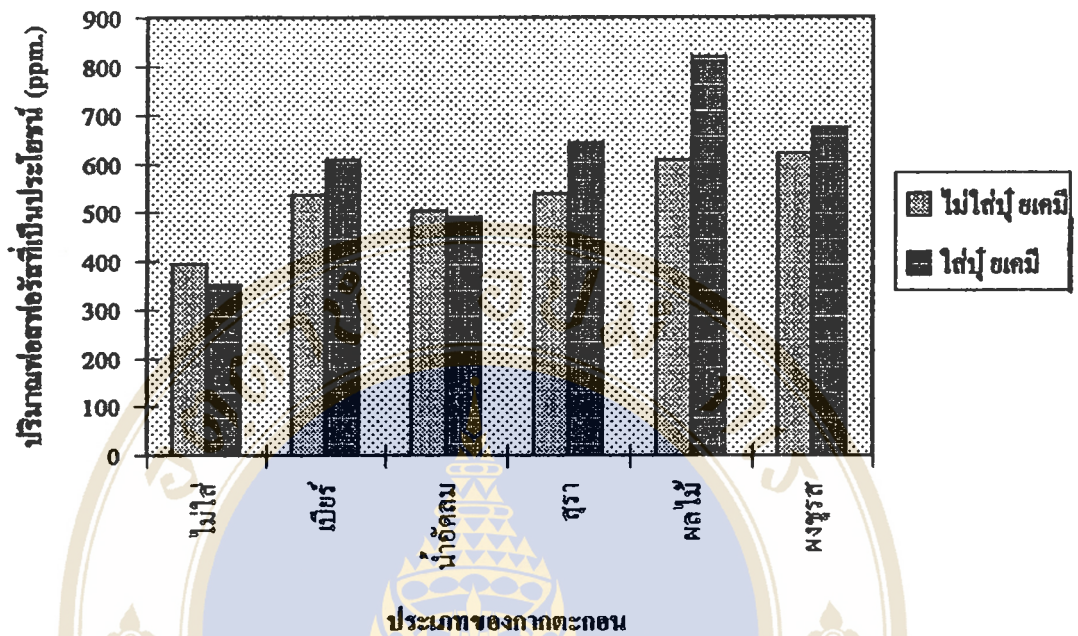
ที่มา : จากตารางที่ 4.10

ในการมีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมด้วยนั้นพบว่า กากตะกอนทั้ง 5 โรงงาน ให้ปริมาณไนโตรเจนในดินไม่แตกต่างกับใส่เดี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ กากตะกอนโรงงาน เบียร์ น้ำอัดลม สุรา ผลไม้กระป๋องและผงชูรส เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีร่วมให้ปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มจาก 0.168, 0.139, 0.137, 0.167 และ 0.201 เป็น 0.182, 0.155, 0.144, 0.179 และ 0.207 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่เพียงอย่างเดียว ทำให้ปริมาณไนโตรเจนในดินน้อยกว่ากากตะกอนโรงงานเบียร์ ผลไม้กระป๋องและผงชูรส จะเห็นว่าการใส่ปุ๋ยเคมี ไม่มีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น การใส่ปุ๋ยเคมีเพื่อที่จะเพิ่มไนโตรเจนในดินจึงไม่จำเป็น

4.6.6 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Avaliable Phosphorus)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ใช้ในการทดลองนี้ มีปริมาณที่สูงมากอยู่แล้วคือ ในชุดที่ไม่ใส่ปุ๋ยใดเลย (ชุดควบคุม) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน 392.25 ppm. (ตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.16) สาเหตุอาจจะเนื่องมาจากดินบริเวณนี้มีการใส่ปุ๋ยเคมีเป็นเวลานาน ทำให้มีการสะสมธาตุฟอสฟอรัสมากที่สุด ตามที่นิลประไพ (2518) พบว่า ดินนา มีฟอสฟอรัสต่ำคือ 4 ppm. แต่เมื่อเปลี่ยนเป็นสวนผัก และได้มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีติดต่อกันมานาน ทำให้ฟอสฟอรัสสูงขึ้นเป็น 539 ppm. หลังจากปลูกผักติดต่อกันนาน 5 ปี ซึ่งปริมาณที่เพิ่มสูงนี้ใกล้เคียงกับผลที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองนี้

เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียทั้ง 5 โรงงานลงไปในดินพบว่า มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มสูงขึ้นไปอีกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ กากตะกอนโรงงานผงชูรส ผลไม้กระป๋อง สุรา เบียร์และน้ำอัดลม ให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินเป็น 622.0, 608.75, 537.25, 536.0 และ 503.5 ppm.ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มสูงขึ้นนี้ เนื่องจากระดับความเป็นกรดเป็นด่าง มีผลต่อการตรึงฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์คือ ถ้าค่า pH เป็นกรดต่ำกว่า 6.5 ฟอสฟอรัสในดินจะถูกตรึงไว้ ถ้า pH อยู่ในช่วง 6.5-7.5 เป็นช่วงที่ฟอสเฟตอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2526) และจากการใส่กากตะกอนมีผลช่วยยกระดับ pH ให้สูงขึ้นจนเป็นกลาง จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มสูงขึ้น

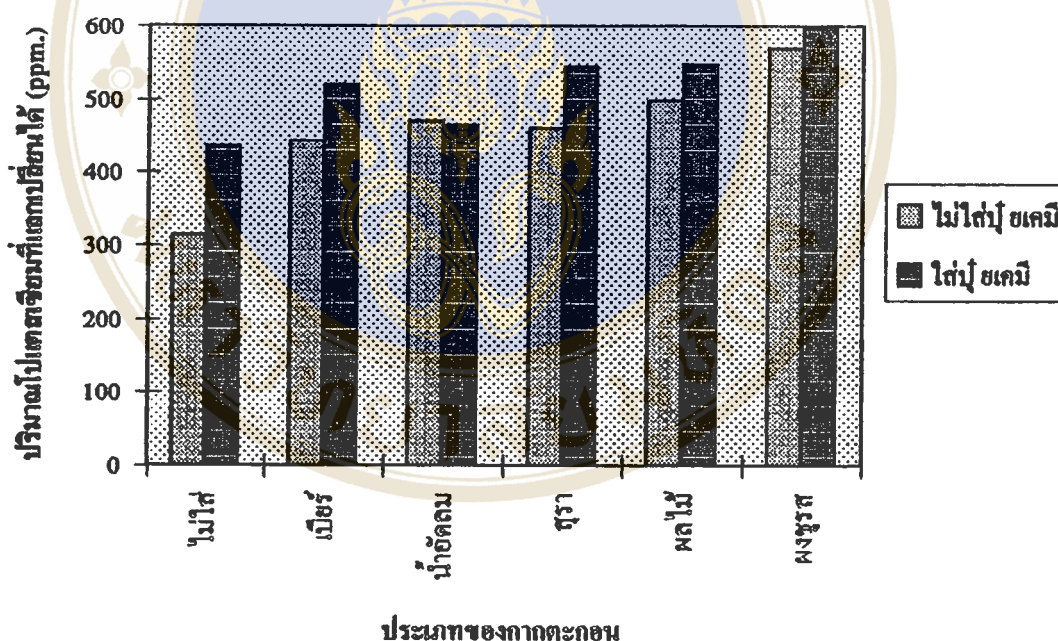


รูปที่ 4.16 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus; ppm.) ในดิน
ที่มา : จากตารางที่ 4.10

เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมด้วยพบว่า กากตะกอนโรงงานสุราและผลไม้
กระป๋อง เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีร่วมมีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มสูงขึ้นกว่าการใส่เดี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทาง
สถิติ กล่าวคือ ให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินเพิ่มจาก 537.25 และ 608.75 เป็น 643.75 และ 818.75
ppm.ตามลำดับ โดยเฉพาะกากตะกอนโรงงานผลไม้กระป๋องร่วมกับปุ๋ยเคมี มีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่ม
สูงถึง 818.75 ppm. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกัน มาจากฟอสฟอรัสที่อยู่ใน
ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-10-10) ที่ใส่ลงไปด้วยนั่นเอง

4.6.7 ปริมาณโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable Potassium)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (ตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.17) พบว่า เมื่อใส่กากตะกอนน้ำอัดลม สุรา ผลไม้กระป๋องและผงชูรส มีผลให้ปริมาณโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มมากกว่าการไม่ใส่กากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ให้ปริมาณโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเป็น 470.0, 460.0, 497.5 และ 570.0 ppm.ตามลำดับ ส่วนกากตะกอนโรงงานเบียร์ ให้ปริมาณโปแตสเซียมในดินไม่แตกต่างกับการไม่ใส่กากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กากตะกอนแต่ละโรงงานมีปริมาณโปแตสเซียมในดินไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการใส่กากตะกอนลงไป ยกเว้นกากตะกอนโรงงานเบียร์



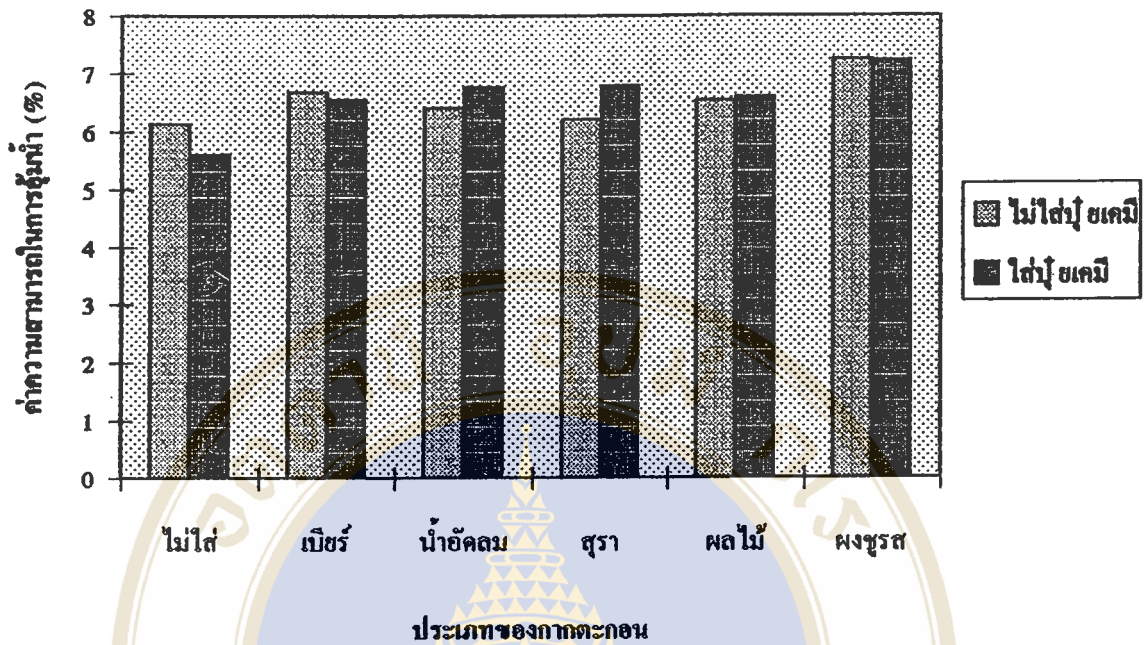
รูปที่ 4.17 แสดงปริมาณโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium; ppm.) ในดิน
ที่มา : จากตารางที่ 4.10

เมื่อใส่ปุ๋ยเคมี ร่วมในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่พบว่า กากตะกอนทั้ง 5 โรงงาน ให้ปริมาณโปแตสเซียมในดินไม่แตกต่างกันการใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ กากตะกอนโรงงานเบียร์ น้ำอัดลม สุรา ผลไม้กระป๋องและผงชูรส เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีร่วมให้ปริมาณโปแตสเซียมในดินเพิ่มจาก 442.5, 470.0, 460.0, 497.5 และ 570.0 เป็น 520.0, 465.0, 545.0, 547.5 และ 600.0 ppm. ตามลำดับ และการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่เพียงอย่างเดียว ไม่ทำให้ปริมาณโปแตสเซียมในดินแตกต่างกับการไม่ใส่กากตะกอน อาจเนื่องจากพืชดูดไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตหมด จึงทำให้ปริมาณโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังเก็บเกี่ยวจึงไม่ต่างจากชุดควบคุม แสดงว่าการใช้ปุ๋ยเคมีนั้นไม่มีผลทำให้ปริมาณโปแตสเซียมในดินเพิ่มขึ้น

4.6.8 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (Water Holding Capacity)

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินหลังการปลูกผักกาดหอม (ตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.18) พบว่า กากตะกอนโรงงานเบียร์ ผลไม้กระป๋องและผงชูรส ให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใส่กากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเพิ่มขึ้นเป็น 6.671, 6.531 และ 7.238 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนกากตะกอนโรงงานน้ำอัดลมและสุรา ให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างจากการไม่ใส่กากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุน้อย จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใส่กากตะกอนมีแนวโน้มทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเพิ่มขึ้น เป็นผลเนื่องจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ ซึ่งอินทรีย์วัตถุมีคุณสมบัติการดูดซับความชื้น และสามารถเก็บความชื้นได้เป็นเวลานานกว่าดินขาดอินทรีย์วัตถุ (นิภา, 2524)

เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีร่วมในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่พบว่า กากตะกอนโรงงานน้ำอัดลมและสุรา ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน แตกต่างกับการไม่ใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นจาก 6.297 และ 6.189 เป็น 6.774 และ 6.787 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนกากตะกอนโรงงานเบียร์ ผลไม้กระป๋องและผงชูรส เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีร่วม ให้ความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 100 กิโลกรัมเพียงอย่างเดียว มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงกว่าการไม่ใส่กากตะกอน แสดงว่าการใส่ปุ๋ยเคมีนั้นไม่ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.18 แสดงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity; %) ในดิน
ที่มา : จากตารางที่ 4.10

4.6.9 สรุปผลการใช้กากตะกอนที่มีต่อคุณสมบัติของดิน

ภายหลังการใช้กากตะกอนน้ำเสีย 5 โรงงานเป็นปุ๋ยสำหรับพืชผักแล้ว มีผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี กายภาพและปริมาณธาตุอาหารในดินดังนี้คือ กากตะกอนทั้ง 5 โรงงานมีผลทำให้ความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใส่กากตะกอน ส่วนการใช้ปุ๋ยเคมีนั้นพบว่า ไม่มีผลทำให้คุณสมบัติทั้งสามเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด โดยคุณสมบัติทางเคมีนี้มีความสัมพันธ์กันคือ ถ้าในดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้มีความสามารถในการดูดซับประจุบวกได้มากขึ้น และจะปลดปล่อยธาตุอาหารได้ดี สำหรับค่าการนำไฟฟ้าของดินพบว่า การใส่กากตะกอนมีผลให้มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ยกเว้นกากตะกอนโรงงานเบียร์ และการใช้ปุ๋ยเคมีส่วนใหญ่ไม่มีผลให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่ค่าการนำไฟฟ้าที่เพิ่มสูงนี้มีค่าน้อยกว่า 1 m.mhos/cm. ซึ่งจะไม่มีการเจริญเติบโตของพืช

ปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้นเมื่อใส่กากตะกอนโรงงานเบียร์ ผลไม้กระป๋องและผงชูรส ฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้นเมื่อใส่กากตะกอนจากทุกโรงงาน ส่วนโปแตสเซียมในดินเพิ่มขึ้นในกากตะกอนโรงงานน้ำอัดลม สุรา ผลไม้กระป๋องและผงชูรส แสดงว่าส่วนใหญ่แล้วการใส่กากตะกอนน้ำเสีย มีผลทำให้ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินเพิ่มขึ้น สำหรับการใส่ปุ๋ยเคมีพบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีผลทำให้ธาตุอาหารหลักในดินเพิ่มขึ้น ยกเว้นกากตะกอนโรงงานสุราและผลไม้กระป๋องร่วมกับปุ๋ยเคมีที่ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินเพิ่มสูงขึ้น

ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใส่กากตะกอนโรงงานเบียร์ ผลไม้กระป๋องและผงชูรส ส่วนการใช้ปุ๋ยเคมี ให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงกว่าการไม่ใส่กากตะกอน แสดงว่า กากตะกอนมีแนวโน้มทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเพิ่มขึ้น แต่ปุ๋ยเคมีไม่มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน



ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avaliable Phosphorus) โปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium) และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) เฉลี่ยของดินในแต่ละทรีทเมนต์

Treatment	N (%)	Avalia. P (ppm.)	Exch. K (ppm.)	WHC (%)
T 1 ชุคควบคุม	0.123 a	392.25 a	312.5 a	6.115 b
T 2 ปุ๋ยเคมี	0.141 ab	351.00 a	435.0 ab	5.591 a
T 3 ฝักร	0.168 cd	536.00 bc	442.5 ab	6.671 d
T 4 ฝักร+ปุ๋ยเคมี	0.182 d	608.75 cd	520.0 bc	6.544 cd
T 5 น้ำอืดลม	0.139 ab	503.50 b	470.0 bc	6.297 bc
T 6 น้ำอืดลม+ปุ๋ยเคมี	0.155 bc	489.25 b	465.0 bc	6.774 d
T 7 สุรา	0.137 ab	537.25 bc	460.0 bc	6.189 b
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	0.144 ab	643.75 d	545.0 bc	6.787 d
T 9 ผลไม้กระป๋อง	7.53 cd	608.75 cd	497.5 bc	6.531 cd
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	0.179 d	818.75 e	547.5 bc	6.575 cd
T 11 ผงชูรส	0.201 e	622.00 d	570.0 bc	7.238 e
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	0.207 e	674.50 d	600.0 c	7.219 e

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Mupltiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองการใช้กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องคั้น เป็นปุ๋ยสำหรับพืชผัก โดยศึกษาองค์ประกอบดังนี้คือ 1) คุณสมบัติและองค์ประกอบของกากตะกอนน้ำเสียทั้ง 5 โรงงาน 2) ปริมาณผลผลิตและธาตุอาหารหลักในผักกาดหอม 3) ปริมาณโลหะหนักในผักกาดหอม 4) ผลของกากตะกอนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน ซึ่งผลการทดลองเหล่านี้สามารถสรุปผล และให้ข้อเสนอแนะที่ได้จากการทำวิจัยนี้ได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 คุณสมบัติทางเคมีและองค์ประกอบของกากตะกอนน้ำเสีย 5 โรงงาน

กากตะกอนน้ำเสีย 5 โรงงาน มีคุณสมบัติทางเคมีมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ กล่าวคือ เมื่อเติมกากตะกอนลงสู่ดินแล้ว จะสามารถสลายตัวได้ในโตรเจนในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ดีและรวดเร็ว สำหรับปริมาณธาตุอาหารหลักคือ ในโตรเจน ฟอสฟอรัสและโปแตสเซียม มีอยู่ในกากตะกอนที่เพียงพอสำหรับการนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ นอกจากนี้ยังมีปริมาณจุลธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ฯ ซึ่งจะช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินอีกด้วย ส่วนปริมาณโลหะหนักที่พบในกากตะกอนใน 5 โรงงานพบว่า แคลเมียม ทองแดง ตะกั่วและสังกะสี มีปริมาณโลหะหนักอยู่ในปริมาณที่ยอมรับได้ทั้งสิ้น (CEC directive recommended) ส่วนเหล็กและแมงกานีส มีปริมาณที่พบได้ทั่วไปในดิน ซึ่งอาจสรุปได้ว่าเมื่อนำกากตะกอนมาใช้เป็นปุ๋ย โลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสียใน 5 โรงงาน จะไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช

5.1.2 ปริมาณผลผลิตและธาตุอาหารหลักของผักกาดหอม

การใช้กากตะกอนน้ำเสียนั้น ช่วยเพิ่มผลผลิตและปริมาณในโตรเจนในผักกาดหอม โดยกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานผงชูรสและน้ำอัดลมให้ผลผลิตผักเฉลี่ยสูงสุด ซึ่งเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 20-10-10 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ และเมื่อใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับกากตะกอนพบว่า ไม่มีผลทำให้ผลผลิตและปริมาณในโตรเจนในผักกาดหอมเพิ่มขึ้นกว่าการใส่

กากตะกอนเพียงอย่างเดียว แสดงว่า การใช้ปุ๋ยเคมีไม่มีผลทำให้ผลผลิตและปริมาณไนโตรเจนในผักกาดหอมเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด

5.1.3 ปริมาณโลหะหนักในผักกาดหอม

การใส่กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเบียร์และน้ำอัดลม ทำให้มีการสะสมทองแดง เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ตะกั่วและแคดเมียมในพืชเพิ่มขึ้น ปริมาณโลหะหนักที่เพิ่มขึ้นนี้เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของ Chaney (1982) พบว่า ปริมาณทองแดง แมงกานีสและสังกะสีในทุกชุดของการทดลองอยู่ในระดับปกติที่พบได้ในพืชทั่วไป ส่วนเหล็ก ตะกั่วและแคดเมียม มีปริมาณเกินกว่าระดับปกติที่พบในพืชทั่วไป แต่ยังไม่ถึงระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช ดังนั้น ในการนำกากตะกอนไปใช้เป็นปุ๋ย จึงต้องควรระมัดระวังการสะสมของเหล็ก ตะกั่วและแคดเมียมเพิ่มขึ้นด้วย

5.1.4 ผลของกากตะกอนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน

การใส่กากตะกอนน้ำเสียทั้ง 5 โรงงานมีผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก และปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารในดินพบว่า เมื่อใส่กากตะกอนทั้ง 5 โรงงาน มีผลให้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้น ยกเว้นปริมาณไนโตรเจนของดินในกากตะกอนโรงงานสุรา โปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในกากตะกอนโรงงานเบียร์ สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพพบว่า ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเมื่อใส่กากตะกอน มีค่าเพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใส่กากตะกอน ดังนั้น การใช้กากตะกอนมีผลทำให้คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และปริมาณธาตุอาหารในดิน ให้มีความเหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกในครั้งต่อไป

การนำกากตะกอนมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์นั้น จะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตผักกาดหอมได้เทียบเท่าการใช้ปุ๋ยเคมี และไม่มีปัญหาในเรื่องโลหะหนักที่จะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค รวมทั้งยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของดิน ให้เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกในครั้งต่อไปได้ ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเคมีร่วมแต่อย่างใด นอกจากนี้ยังลงทุนน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี และให้ผลกำไรภายใน 1 ปีมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีถึง 2 เท่าอีกด้วย จากข้อสรุปนี้อาจกล่าวได้ว่า การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ในรูปปุ๋ยนั้น จะเป็นทางเลือกในการจัดการวัสดุเหลือใช้ที่มีประสิทธิภาพทางหนึ่ง และผลที่ได้จากการทดลองนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการปลูกพืชชนิดอื่นได้ต่อไป รวมทั้งยังเป็นช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลงอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มทั้ง 5 โรงงานมาใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืชผักคือ เป็นแหล่งธาตุอาหารสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช อีกทั้งยังช่วยปรับสภาพดินให้เหมาะแก่การเพาะปลูก และมีความปลอดภัยจากโลหะหนักที่จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ได้ แต่มีข้อควรคำนึงถึงเพื่อให้เกิดความมั่นใจต่อการนำไปใช้ต่อไป ควรจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องต่อไปนี้

1) อัตราการใช้กากตะกอนที่เหมาะสม

ในการทดลองนี้ใช้กากตะกอนในอัตราเดียวคือ 3 ตันต่อไร่ ซึ่งเป็นอัตราต่ำสุดที่ได้มีการแนะนำไว้ ฉะนั้นการใส่กากตะกอนในอัตราที่สูงเกินไป มีผลทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโต ผลผลิตของพืช และการเพิ่มปริมาณโลหะหนักที่สามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช ดังนั้น อัตราการใช้กากตะกอนที่เหมาะสมจึงต้องมีการศึกษาต่อไป เพื่อที่จะให้ผลผลิตพืชสูงสุด และเป็นอัตราที่ไม่ก่อให้เกิดการสะสมโลหะหนักในดินและพืช รวมทั้งมีความปลอดภัยต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

2) ชนิดของพืชที่เหมาะสม

เนื่องจากพืชแต่ละชนิด มีความต้องการธาตุอาหารแตกต่างกัน และมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักแตกต่างกันด้วย ดังนั้น การนำกากตะกอนไปปลูกพืช ควรจะต้องมีการศึกษาถึงความต้องการธาตุอาหาร และการสะสมของโลหะหนักในพืชชนิดนั้นด้วย ถ้าพืชมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักไว้ได้มาก ก็ไม่ควรจะปลูกพืชชนิดนั้น

3) เชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในกากตะกอน

กากตะกอนน้ำเสียเหล่านี้ เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้อยู่หลายสิ่งสกปรกในบ่อบำบัดน้ำเสีย หากมีการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์เช่น เลี้ยงปลา เพาะเห็ด ทำปุ๋ยสำหรับปลูกพืชจะเป็นการเพิ่มโอกาสการแพร่กระจายเชื้อจุลินทรีย์ไปในสิ่งแวดล้อม และเข้ามาสู่ลูกโซ่อาหารของมนุษย์และสัตว์เลี้ยง ซึ่งเป็นการสร้างปัญหาสาธารณสุขให้แก่ประเทศและสังคม ดังนั้น ในการทำวิจัยต่อไป จึงต้องมีการศึกษาถึงชนิดและปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในกากตะกอน รวมทั้งศึกษาถึงการแพร่กระจาย และลดอันตรายของเชื้อจุลินทรีย์ในกากตะกอนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2536. การใช้ประโยชน์ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม. กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2535. สถิติโรงงานอุตสาหกรรม 2535. ฝ่ายสถิติโรงงาน กองควบคุมโรงงาน, กรุงเทพฯ.
- กองวิเคราะห์ดิน กลุ่มเคมีดินที่ 2. 2535. คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน.
- กองบรรณาธิการ สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม. 2529. ฐานเกษตรกรรมฉบับพิเศษ ดินและปุ๋ย เพื่อเกษตรกรรม. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, กรุงเทพฯ.
- เกษมศรี ชัยซ้อน. 2536. ปฐพีวิทยา. ศูนย์ฝึกอบรมวิศกรรมเกษตร. กองวิทยาลัยเกษตรกรรม อาชีวศึกษา, บางพลู.
- กุลวดี คันธวิวัฒน์. 2533. ประสิทธิภาพของอินทรีย์วัสดุเหลือใช้บางชนิดในแง่ปุ๋ยพืชไร่ที่ปลูกในดินชุดกำแพงแสน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2526. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. โรงพิมพ์สวิตา, กรุงเทพฯ.
- จักรกฤษณ์ ศีวะเดชาเทพ. 2536. การจัดการของเสียที่เป็นอันตรายในประเทศไทย. วารสารความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม. 3 (2) : 60 -65.
- จักรพงษ์ เจริญศิริและประไพ ชัยโรจน์. 2536. วิธีวิเคราะห์ดิน. คณะทำงานปรับปรุงมาตรฐานการวิเคราะห์ดิน พืช น้ำและปุ๋ยเคมี กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- คุลยณัฏฐ์ วะภูติ. 2529. การใช้ประโยชน์ของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย เพื่อการปลูกผักคะน้าในดินเปรี้ยวจัด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2520. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธีระ พันธุ์วนิช, ภาณุ กฤติพรและเกริกพงศ์ ชาญประทีป. 2533. การพัฒนาอุตสาหกรรมและคุณภาพสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน. เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องนโยบายและแนวทางการจัดการน้ำเสียของประเทศไทย. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.
- นิตยาพร คัมภีร์และจุไร ทองมาก. 2537. การปนเปื้อนของธาตุแคดเมียมในพื้นที่บางแห่งของประเทศไทย. โครงการวิจัยกองวิเคราะห์ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.
- นิภา พนาพิทักษ์กุล. 2524. ผลของอินทรีย์วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมต่อคุณสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืช. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต(เกษตรศาสตร์). คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิลประไพ จันทนภาพ, พวงเล็ก โมรากุลและสำเนา เพชรฉวี. 2525. สถานะความอุดมสมบูรณ์ของดินสวนผัก และปริมาณธาตุอาหารบางชนิดที่พืชผักต่างๆดูดไปใช้. กสิกร. 48 : 151-156.

บุญทอง ดันติสิระ. 2528. งานวิชาการปรับปรุงพื้นที่ดินนาเปรี้ยวจัด บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนใต้. คำบรรยายในการฝึกอบรมโครงการเร่งรัดพัฒนาดินเปรี้ยว. ฝ่ายพัฒนาบุคคล กองการเจ้าหน้าที่ กรมพัฒนาที่ดิน.

บุญยงค์ โล่ห์วงศ์วัฒน์. 2531. ขำวนาคิด : อาหารสัตว์จากกากตะกอนน้ำเสีย. วารสารโรงงาน. 7 (2) : 81 - 82.

พิมล เรียบวัฒนาและชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. 2525. เคมีสถานะแวดล้อม. โรงพิมพ์โอเคียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

พจนีย์ มอญเจริญ. 2534. การใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์ดิน. กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน.

พัชรชาติ สุวรรณธาดา. 2529. ผลของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียต่อการเจริญเติบโต และการสะสมโลหะหนักบางชนิดของผักคะน้าในสภาพเรือนทดลอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถานะแวดล้อม). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เมืองทอง ทวนทวีและสุรวิรัตน์ ปัญญาโคณะ. 2525. สวนผัก. กลุ่มหนังสือเกษตร, กรุงเทพฯ.

ขงยุทธ โอสดสภา. 2528. หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย. โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, กรุงเทพฯ.

วิรัตน์ เอียสกุล. 2536. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบุ้งจีน. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, สุริยา สาสนรักกิจและสรสิทธิ์ วัชรโรทยาน. 2528. การใช้อินทรีย์วัสดุเหลือใช้ในการเกษตร I. ผลของอินทรีย์วัสดุต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว : การทดลองที่ 1. วารสารเกษตรศาสตร์(วิทย.). 19 : 195-205.

สมเกียรติ จำเริญม. 2525. การใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพกับพืชผัก. คู่มือการปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ย. คณะกรรมการจัดกิจกรรมเพื่อเพิ่มกองทุนศ.ศร. สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมภพ ฐิตะวสันต์. 2527. หลักการผลิตผัก. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สมบูรณ์ มั่นความดี. 2528. การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในดินนา อันเนื่องมาจากการใส่วัสดุเหลือใช้อินทรีย์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(เกษตรศาสตร์). คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมศักดิ์ วั่งโนและอัมพร คะสูงเนิน. 2527. อิทธิพลของปุ๋ยหมักจากขานอ้อยที่มีต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดหวานและผักกาดเขียวปลี. วารสารดินและปุ๋ย. 6 : 103 - 111.

สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, วิสุทธิ วีรสาร, อิทธิสุนทร นันทกิจ, นิภา พนาพิทักษ์กุล, สมชาย กริชาภิรมย์ และสุริยา สาสนรักกิจ. 2526. การใช้ผลพลอยได้และเศษเหลือของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีอยู่ในประเทศไทยให้เกิดประโยชน์ ในการใช้เป็นปุ๋ยและวัสดุบำรุงดิน. เอกสารรายงานการวิจัยดินและปุ๋ย. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, แจ่มจันทร์ วิจารณ์, จงรักษ์ จันทรเจริญสุข, ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, สุรพล รัตนโสภณและสุเทพ ทองแพ. 2535. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายัณห์ สดุดีและขวัญจิตร สันติประชา. 2525. หลักการผลิตผัก. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุริยา สาสนรักกิจ. 2530. การประเมินประสิทธิภาพของอินทรีย์วัสดุเหลือใช้บางอย่างในการใช้เป็นปุ๋ยในโตรเจนในนาข้าว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์คุณวุฒิบัณฑิต (ปฐพีวิทยา). คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุดใจ สุขช่วย. 2533. การใช้อินทรีย์วัสดุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยพืชไรในดินเปรี้ยวชุดดินรังสิต. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์). คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2522. การใช้วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด เพื่อปรับปรุงดินปลูกพืชกระถาง และใช้เป็นปุ๋ย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรรรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. 2525. ปริมาณและการแพร่กระจายของโลหะหนักในดินเขตกรุงเทพมหานคร อันส่งผลอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของพืช. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

_____ 2533. ประโยชน์สูงสุดเพื่อพื้นที่เกษตรกรรม ในการนำเอาเศษวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรและกากตะกอนน้ำเสีย มาใช้อย่างเหมาะสมและปลอดภัยจากโลหะหนัก. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

_____ 2536. การจัดการกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชน เพื่อนำศักยภาพความเป็นปุ๋ยมาให้เป็นประโยชน์ทางการเกษตร. เทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ. สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

อำนาจ อ่ำเมือง. 2528. อิทธิพลของตะกั่วในแอตคิเวคเค็คสลัสส์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียม และซีโอดี และผลที่มีการเจริญเติบโตของข้าว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (สิ่งแวดล้อม). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Alloway B.J. 1990. Heavy Metals in Soil. Halsted Press, Blackie USA and Canada.

Bazzaz F.A., Rolfe G.L. and Windle P. 1974. Differing Sensitivity of Corn and Soybean Photosynthesis and Transpiration to Lead Contamination. J.Environ.Qual. 3 : 150-158.

Chaney R.L. 1982. Fate of toxic substances in sludge applied to cropland. Proceedings International Symposium on land Application of Sludge. Tokyo.

Chino N. 1980. Urban and Industrial wastes as fertilizer materials. In: Organic Matter and Rice. Int.Rice.Res.Inst. Los Banos Laguna, Philippines.

Chromec F.W. and Magdoff F.R.. 1977. Nitrogen minerlization from sewage sludge. J.Environ.Sci.Health. A12(4&5) : 191-201.

Davis R.D. and Carton-Smith C.H. 1980. Crops as indicators of the significance of contamination of soil by heavy metas. Water Research Centre, Technical Report 140 UK.

Dowdy R.H. and Larson W.E. 1975. The Availability of Sludge-Borne Metals to Various Vegetable Crops. J.Environ.Qual. 4 : 278-282.

Epstein E. 1975. Effect of sewage sludge on some soil physical properties. J.Environ.Qual. 4 : 139-142.

Epstein E., Klane D.B., Meisinger J.J. and Legg J.D. 1978. Mineralization of nitrogen from sewage sludge and sludge compost. J.Environ. Qual. 7(2) : 217-221.

Epstein E., Willson G.B. and Parr J.F. 1978. The Beltsville aerated pile method for composting sewage sludge. In: New Processes of Waste Water Treatment and Recovery. Edited by Mattock G. Ellis Horwood Ltd, New York.

Fassett D.W. 1980. Metals in the Environment ed. Waldron, H.A. Academic Press, London.

Gerritse R.G., Vriesema R., Dalenbery J.W. and De Ross H.P. 1982. Effect of sewage sludge on trace element mobility in soils. 11 : 359-364.

Harmsen G.W. 1955. Minerlization of Organic Nitrogen in Soil. Advance Agron. 7 : 299-395.

Henry C.H. 1976. Utilization of waste water sludge for agriculture soil enrichment. WCPE. 48 : 77-90.

- Hodgeson J.F., Geering H.R. and Nowell W.A. 1965. Micronutrient Cation Complexes in Soil Solution : I. Partition Between Complexed and Uncomplexed Forms by Solvent Extraction. *Soil Sci.Soc.Am.Proc.* 29 : 665-669.
- Hortenstin CC. and Rothwell DF. 1973. Pellstized municipal refuse compost as a soil mendment and nutrient source for sorgum. *J.Environ. Qual.* 2 : 343-345.
- Inoko A. 1982. Compost as a source of plant nutrient. In: *Organic Matter and Rice. Int.Rice.Res.Inst. Los Banos Laguna, Philippines.*
- Jones L.H.P., Clement C.R. and Hooper M.J. 1973. Lead Uptake from Solution by Perennial yegrass and Its Transport from Roots to Shoots. *Plant and Soil* 38 : 403-414.
- Keeling K.A., Peterson AE., Walsh LM., Ryan JA. and Keeney DR. 1977. A field study of the agricultural use of sewage sludge : I: Effect of crop yield and uptake of N and P. *J.Environ.Qual.* 6 : 339-345.
- Keeney DR., Lee KW. and Walsh LM. 1975. Guildeline for the Application of waste water sludge to agriculture in Wisconsin. *Tech.Bull. Depart.of Nat.Res., Madison Winconsin.*
- Kloke A. 1982. Re-Use of Sludges and Treated Wastewater in Agricultural. *Wat.Sci.Tech.* 214: 61-72.
- Land Classification Division and FAO Staff. 1973. *Soil Interpretation Handbook for Thailand.* Dep. of Land Development, Min. of Agri. and Coop. Bangkok.
- Lenihan J. and Fletcher W. 1977. *Environmental and Man Vol 6 : The Chemical Environment.* Blackie, London.
- Lunt HA. 1953. The case for sewage sludge as a soil improves with emphasis on value of pH control and toxicity of minor elements. *Abstr.in:Soil and Fertilizer.* 17 : 49.
- Martin JP., Martin WP., Page JB., Raney WA. and De Ment JD. 1955. Soil aggregation. *Adv.in Agron.* 7 : 2-35.
- Marumoto T., Shindo H. and Higashi T. 1980. Effect of carbonaceous materials on the accumulation of readily minerlizable organic nitrogen in soil. *Soil.Sci.Plant.Nutr.* 26(2) : 185-190.
- Mays D.A., Terman GL. and Duggan JC. 1973. Municipal compost: Effects on crop yields and soil properties. *J.Environ.Qual.* 2 : 89-92.



- Melsted S.W. 1973. Soil-Plant relationships (some practical considerations in waste management). National association of State Universities and Land-Grant Colleges, Washington D.C.
- Mengel K. and Kirbby E.A. 1982. Principals of Plant Nutrition. 3rd.ed. International Potash Institute, Ber, Switzerland.
- Mitchell G.A., Bingham F.T. and Page A.L. 1978. Yield and Metal Composition of Lettuce and Wheat Grown on Soils Amended with Sewage Sludge Enriched with Cd, Cu, Ni and Zn. *J.Environ.Qual.* 7 : 165-171.
- Pinkerton A. and Simpson J.B. 1977. Root Growth and Heavy Metal Uptake by three Gramineaceous Plants in Differentially Limed Layers of an acid, Minespoil-Contaminated. *Soil.Environ.Pollut.* 14 : 159-167.
- Premi PR. and Corfield AH. 1971. Incubationstudy of nitrogen minerlization in soil treated with dried sewage sludge. *Environ.Pollut.* 2 : 1-5.
- Puckett K.J., Nieboer E., Gorzinski M.J. and Pichardson D.H.S. 1973. The Uptake of Metal Ions by Lichens : A Modified Ion-Exchange Process. *New.Phytol.* 727 : 329-342.
- Purves D. 1977. Trace-Element Contamination of the Environment. Elsavier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Netherlands.
- Reilly C. 1980. Metal Contamination of Food. Applied Science Publishers Ltd., Essex, England.
- Ryan JA.,Keeney DR. and Walsh LM. 1973. Nitrogen transformation and availabilityof an aerobic digested sewage in soil. *J.Environ. Qual.* 2 : 489-492.
- Sabey BR., Agbin NN. and Narkstrom DC. 1977. Land application of sewage sludge: IV. Wheat growth N content, N fertilizer value and N use efficiency as influenced by sewage sludge and wood mixture. *J.Environ.Qual.* 6 : 52-58.
- Sabey BR. and Hart WE. 1975. Land application of sewage sludge I.Effect of growth and chemical composition of plants. *J.Environ.Qual.* 4 : 252-254.
- Singer M.J. and Hanson L. 1975. Lead accumulation in soils near highways in the twin cities metropolitan area. *Soil Sci.Amer.Proc.* 33 : 152-153.
- Smith SR. 1994. Effect of soil pH on availability to crops of metals in sewage sludge-treated soils II.Cadmium uptake by crops and implications for human dietary intake. *Environ.Pollu.* 84 : 5-13

- Smith SR. 1994. Effect of soil pH on availability to crops of metals in sewage sludge-treated soils I. Nickel, Copper and Zinc uptake and toxicity to ryegrass. *Environ. Pollu.* 85: 321-327.
- Sommers Le., Nelson DW. and Yost JK. 1976. Variable nature of Chemical composition of sewage sludge. *J. Envi. Qual.* 5 : 303-306.
- Sommers Le. 1977. Chemical composition of sewage sludge and analysis of their potential use as fertilizers. *J. Envi. Qual.* 6 : 225-232.
- Terry Re., Nelson DW. and Sommers LE. 1981. Nitrogen transformation in sewage sludge-amended soil as affected by soil environment factors. *Soc. Amer. Proc.* 45 : 506 - 513.
- Tester CF., Sikora LJ., Taylor JM. and Parr JF. 1977. Decomposition of sewage sludge compost in soil I. Carbon and nitrogen transformation. *J. Environ. Qual.* 6 : 459-467.
- Vacharotryan S. and Pintukanok A. 1985. Agricultural and agroindustrial residue in Thailand. In : Utilization of organic waste materials in agriculture. NRCT-JSPS Co-operative Research in Thailand.
- Walsh L.M. et.al. Soil testing and plant analysis. SSSA, Inc. Madi, Wis. USA.
- Webber M.D., Klope A. and Tjell J. CHR. 1983. A review of current sludge use guidelines for the control of heavy metal contamination in soil. *Proceeding of the Third International Symposium on processing and use of sewage sludge.* D. Reidel Publishing Company.
- Wong MH. 1985. Heavy Metal contamination of soil and crops from auto traffic, sewage sludge, pig manure and chemical fertilizer. *Agric Ecosystems Environ.* 13 : 139-149.
- Yamada R., Imaizumi M. and Sano K. 1985. The Influences of heavy metal on the organic matter decomposition and soil enzyme in soil. *Abstr. of Sci and Technol in Jap: Agro. Ind.* 5(1) : 10.
- Yoshida T. 1976. Utilization of activated sludge from industrial waste water as fertilizers. In: *Organic Matter and Rice.* Inst. Rice. Res. Int. Los Banos Laguna Philippines.
- Yoshida T. and Yoneyama T. 1978. Nitrogen mineralization of sewage sludge in soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 24 : 139-144.
- Zimdahl R.L. 1975. Entry and movement in vegetation of lead derived from air and soil sources. The 68th Annual Meeting of Air Pollution Control Association, Boston, Massachusetts.



ตารางที่ ก-1 แสดงน้ำหนักเฉลี่ยของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีพรีทเมนต์ต่างกัน

Treatment	น้ำหนักผักกาดหอม (กิโลกรัมต่อแปลง)				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	เฉลี่ย *
T 1 ชุดควบคุม	0.90	1.30	1.50	1.70	1.35 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	2.45	2.00	1.80	1.60	1.96 cd
T 3 ปุ๋ย	1.50	1.60	1.70	1.90	1.68 bc
T 4 ปุ๋ย+ปุ๋ยเคมี	1.55	1.90	1.85	1.70	1.75 bcd
T 5 น้ำอัดลม	2.10	2.15	1.90	1.85	2.00 d
T 6 น้ำอัดลม+ปุ๋ยเคมี	2.20	1.95	2.00	2.10	2.06 d
T 7 สุรา	1.70	1.50	1.30	1.80	1.58 ab
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	1.80	1.50	1.50	1.70	1.63 ab
T 9 ผลไม้กระป๋อง	1.85	1.60	1.85	1.75	1.76 bcd
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	1.85	2.10	2.00	1.90	1.96 cd
T 11 ผงชูรส	1.80	2.10	2.30	1.90	2.03 d
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	2.20	2.10	1.85	2.00	2.04 d

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test
ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก-2 แสดงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ย (Total Nitrogen) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน

Treatment	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	เฉลี่ย *
T 1 ชุคควบคุม	3.166	3.194	3.306	3.587	3.313 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	4.315	4.343	4.315	4.642	4.404 d
T 3 ฝักร	4.175	4.343	4.315	4.371	4.301 d
T 4 เปียร+ปุ๋ยเคมี	4.119	4.259	4.455	4.623	4.364 d
T 5 น้ำอืดล	4.679	4.203	4.455	4.651	4.497 d
T 6 น้ำอืดล+ปุ๋ยเคมี	4.595	4.763	4.343	4.371	4.518 d
T 7 สุรา	3.727	3.587	3.559	3.615	3.622 b
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	3.811	3.783	3.601	3.993	3.797 bc
T 9 ผลไม้กระป๋อง	4.147	3.811	4.090	3.969	4.004 c
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	4.371	4.483	4.483	4.343	4.420 d
T 11 ผงชูรส	4.371	4.483	4.511	4.427	4.448 d
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	4.595	4.512	4.488	4.509	4.526 d

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก-3 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ย (Total Phosphorus) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน

Treatment	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ย (%)				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	เฉลี่ย *
T 1 ชุดควบคุม	0.229	0.258	0.239	0.247	0.243 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	0.352	0.328	0.267	0.277	0.306 b
T 3 เกียร์	0.331	0.360	0.620	0.443	0.374 c
T 4 เกียร์+ปุ๋ยเคมี	0.403	0.411	0.366	0.349	0.382 c
T 5 น้ำอึคลม	0.354	0.357	0.342	0.398	0.363 c
T 6 น้ำอึคลม+ปุ๋ยเคมี	0.381	0.433	0.389	0.339	0.386 c
T 7 สุรา	0.284	0.231	0.240	0.253	0.252 a
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	0.252	0.242	0.266	0.270	0.258 a
T 9 ผลไม้กระป๋อง	0.260	0.239	0.257	0.278	0.259 a
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	0.262	0.280	0.277	0.244	0.266 a
T 11 ผงชูรส	0.268	0.254	0.247	0.231	0.250 a
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	0.239	0.271	0.269	0.263	0.261 a

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test
ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก-4 แสดงปริมาณโปแตสเซียมทั้งหมดเฉลี่ย (Total Potassium) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน

Treatment	ปริมาณโปแตสเซียมทั้งหมดเฉลี่ย (%)				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	เฉลี่ย *
T 1 ชุดควบคุม	5.63	6.00	5.88	6.38	5.973 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	8.00	8.63	11.50	8.00	9.033 b
T 3 เบียร์	8.88	8.75	8.25	7.88	8.440 b
T 4 เบียร์+ปุ๋ยเคมี	8.75	9.63	8.38	8.50	8.815 b
T 5 น้ำอ้อยคด	8.75	9.38	8.88	9.00	9.003 b
T 6 น้ำอ้อยคด+ปุ๋ยเคมี	9.13	9.63	9.88	8.88	9.380 b
T 7 สุรา	6.63	5.88	6.38	6.38	6.318 a
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	6.63	6.13	8.75	6.38	6.973 a
T 9 ผลไม้กระป๋อง	6.38	6.25	5.75	5.75	6.033 a
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	6.38	6.75	6.88	6.50	6.628 a
T 11 ผงชูรส	5.63	6.50	6.13	5.88	6.035 a
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	6.50	5.63	6.63	5.50	6.065 a

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test
ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก-5 แสดงปริมาณทองแดงทั้งหมดเฉลี่ย (Total Copper) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีปริมาตรแตกต่างกัน

Treatment	ปริมาณทองแดง (Cu) ทั้งหมดเฉลี่ย (ppm)				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	เฉลี่ย *
T 1 ชุดควบคุม	9.6	10.3	11.7	9.11	10.178 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	10.6	11.1	10.8	10.3	10.700 a
T 3 เนียร์	14.5	15.7	21.1	13.8	16.275 c
T 4 เนียร์+ปุ๋ยเคมี	16.7	21.4	16.2	13.4	16.925 c
T 5 น้ำอัดลม	12.8	15.1	15.9	14.8	14.650 bc
T 6 น้ำอัดลม+ปุ๋ยเคมี	13.6	12.3	13.0	13.6	13.125 ab
T 7 สุรา	11.8	10.2	11.4	10.2	10.900 a
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	13.4	8.8	11.0	10.6	10.950 a
T 9 ผลไม้กระป๋อง	11.5	10.4	11.5	10.6	11.000 a
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	14.5	8.5	9.9	9.4	10.575 a
T 11 ผงชูรส	10.0	11.4	10.5	10.9	10.700 a
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	11.6	12.4	10.6	12.5	11.775 a

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก-6 แสดงปริมาณเหล็กทั้งหมดเฉลี่ย (Total Iron) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มี
ทรีทเมนต์ต่างกัน

Treatment	ปริมาณเหล็ก (Fe) ทั้งหมดเฉลี่ย (ppm)				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	เฉลี่ย *
T 1 ชุดควบคุม	538.0	381.4	464.2	528.6	478.05 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	910.5	999.2	955.1	953.8	954.65 e
T 3 เปี๊ยะ	814.8	846.8	1002.8	994.8	914.80 de
T 4 เปี๊ยะ+ปุ๋ยเคมี	1052.8	1151.4	927.8	788.8	980.20 e
T 5 น้ำอืดลม	762.2	707.2	768.2	641.8	719.85 bc
T 6 น้ำอืดลม+ปุ๋ยเคมี	718.8	911.4	617.2	785.8	758.30 cd
T 7 สุรา	606.0	428.8	535.2	416.4	496.60 a
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	342.4	447.8	726.6	401.1	479.48 a
T 9 ผลไม้กระป๋อง	681.2	443.5	441.3	405.7	492.93 a
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	602.5	416.2	457.8	520.3	499.20 a
T 11 ผงชูรส	391.9	549.9	570.6	751.9	566.08 ab
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	483.4	416.3	484.3	616.8	500.20 a

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan’s Multiple Range Test
ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก-7 แสดงปริมาณแมงกานีสทั้งหมดเฉลี่ย (Total Manganese) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีวิธีการแตกต่างกัน

Treatment	ปริมาณแมงกานีส (Mn) ทั้งหมดเฉลี่ย (ppm)				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	เฉลี่ย *
T 1 ชุดควบคุม	47.9	46.7	36.4	36.1	41.775 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	74.7	79.0	78.2	74.6	76.625 bc
T 3 ฝอยร	69.8	64.6	75.6	68.5	69.625 b
T 4 เบียร์+ปุ๋ยเคมี	75.4	71.9	78.4	90.2	78.975 c
T 5 น้ำอืดลม	76.4	67.5	58.9	77.6	70.100 b
T 6 น้ำอืดลม+ปุ๋ยเคมี	72.4	63.8	78.0	61.2	68.850 b
T 7 สุรา	49.7	47.1	48.9	49.0	48.675 a
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	49.5	44.7	45.0	44.9	46.025 a
T 9 ผลไม้กระป๋อง	50.5	48.7	48.7	49.8	49.425 a
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	42.9	51.9	49.5	44.2	47.125 a
T 11 ผงชูรส	44.2	58.8	39.5	44.4	46.725 a
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	43.6	46.3	46.7	50.8	46.850 a

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan’s Multiple Range Test
ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก-8 แสดงปริมาณสังกะสีทั้งหมดเฉลี่ย (Total Zinc) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มี
 ทรัพยากรแตกต่างกัน

Treatment	ปริมาณสังกะสี (Zn) ทั้งหมดเฉลี่ย (ppm)				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	เฉลี่ย *
T 1 ขูดควบคุม	46.8	41.1	35.8	61.1	46.20 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	94.0	84.4	110.5	78.5	91.85 cd
T 3 เปียร์	84.3	84.5	86.5	82.4	84.43 bcd
T 4 เปียร์+ปุ๋ยเคมี	78.3	90.4	86.1	86.7	85.38 bcd
T 5 น้ำอัดลม	117.0	86.3	121.9	88.1	103.33 de
T 6 น้ำอัดลม+ปุ๋ยเคมี	88.1	100.0	140.1	128.1	114.08 e
T 7 สุรา	81.6	62.8	58.5	56.3	64.80 ab
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	53.4	67.9	53.5	94.2	67.25 ab
T 9 ผลไม้กระป๋อง	58.8	63.6	55.4	79.8	64.40 ab
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	63.2	72.4	60.3	65.9	65.45 ab
T 11 ผงชูรส	77.2	92.5	61.7	92.1	80.88 bc
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	92.9	80.0	91.4	64.8	82.28 bcd

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test
 ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก-9 แสดงปริมาณตะกั่วทั้งหมดเฉลี่ย (Total Lead) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มี
 ทริทเมนต์ต่างกัน

Treatment	ปริมาณตะกั่ว (Pb) ทั้งหมดเฉลี่ย (ppm)				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	เฉลี่ย *
T 1 ชุดควบคุม	3.19	3.64	5.73	2.24	3.700 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	4.22	6.89	3.08	2.97	4.290 a
T 3 ฝ้ายร์	11.00	10.00	17.60	13.30	12.975 b
T 4 เปียร์+ปุ๋ยเคมี	12.21	11.77	16.83	20.79	15.400 b
T 5 น้ำอัดลม	14.50	8.80	12.10	15.84	12.810 b
T 6 น้ำอัดลม+ปุ๋ยเคมี	19.47	18.26	12.65	13.20	15.895 b
T 7 สุรา	16.39	16.39	12.43	8.35	13.390 b
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	8.18	6.82	17.27	18.48	12.688 b
T 9 ผลไม้กระป๋อง	25.19	16.06	25.08	21.45	21.945 c
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	24.53	24.32	22.88	13.63	21.340 c
T 11 ผงชูรส	6.93	3.08	5.06	4.18	4.813 a
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	1.65	7.70	5.72	6.27	5.335 a

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan’s Multiple Range Test
 ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ก-10 แสดงปริมาณแคดเมียมทั้งหมดเฉลี่ย (Total Cadmium) ของผักกาดหอมในแต่ละแปลงที่มีพรีทเมนต์ต่างกัน

Treatment	ปริมาณแคดเมียม (Cd) ทั้งหมดเฉลี่ย (ppm)				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	เฉลี่ย *
T 1 ชุดควบคุม	0.7	0.6	0.7	0.5	0.625 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	0.9	1.0	1.0	1.0	0.975 ab
T 3 ฝ้าย	2.1	2.7	2.7	3.1	2.650 f
T 4 ฝ้าย+ปุ๋ยเคมี	3.3	2.4	3.1	3.1	2.975 f
T 5 น้ำอัดลม	2.2	2.4	2.0	2.2	2.200 e
T 6 น้ำอัดลม+ปุ๋ยเคมี	2.8	2.6	2.6	2.8	2.700 f
T 7 สุรา	1.5	1.7	1.4	1.9	1.625 cd
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	2.2	2.6	1.6	1.2	1.900 de
T 9 ผลไม้กระป๋อง	1.0	1.1	1.1	1.6	1.200 bc
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	0.8	0.9	1.0	1.5	1.050 ab
T 11 ผงชูรส	1.9	1.4	1.9	1.6	1.700 d
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	1.7	1.9	2.1	1.4	1.775 de

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test
ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ๑-11 แสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินในแต่ละแปลงที่มีทรีทเมนต์ต่างกัน

Treatment	ปริมาณความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)ของดิน					เฉลี่ย *
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4		
T 1 ชุคควบคุม	6.79	6.05	6.72	6.97	6.63	a
T 2 ปุ๋ยเคมี	7.06	7.09	7.17	6.99	7.08	b
T 3 เปียร์	7.12	7.22	7.29	7.21	7.21	bc
T 4 เปียร์+ปุ๋ยเคมี	7.27	7.06	7.38	7.66	7.34	bc
T 5 น้ำอัดลม	6.72	7.12	7.29	7.22	7.09	b
T 6 น้ำอัดลม+ปุ๋ยเคมี	7.40	7.05	7.16	7.39	7.25	bc
T 7 สุรา	7.80	7.83	8.01	7.40	7.76	de
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	7.66	7.78	7.99	7.89	7.83	e
T 9 ผลไม้กระป๋อง	7.60	7.53	7.51	7.47	7.53	cd
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	7.39	7.25	7.34	7.55	7.38	bc
T 11 ผงชูรส	7.36	7.13	7.18	7.22	7.22	bc
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	7.61	7.50	7.41	7.45	7.49	cd

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก-12 แสดงค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity ; 1:5 ; m.mhos/cm.) ของดินหลังทำการทดลองปลูกผักโดยใช้กากตะกอนน้ำเสียทั้ง 5 โรงงานที่มีพีรืทเมนต์ต่างกัน

Treatment	ค่า Electrical Conductivity (1:5 ; m.mhos/cm)ของดิน				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	เฉลี่ย *
T 1 ขุคควมคุม	0.29	0.26	0.30	0.39	0.310 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	0.61	0.55	0.54	0.64	0.585 cd
T 3 ถียร์	0.49	0.53	0.45	0.33	0.450 abc
T 4 เบียร์+ปุ๋ยเคมี	0.59	0.59	0.55	0.63	0.590 cd
T 5 น้ำอืดลม	0.53	0.60	0.42	0.52	0.518 bc
T 6 น้ำอืดลม+ปุ๋ยเคมี	0.54	0.70	0.78	0.68	0.675 d
T 7 สุรา	0.33	0.37	0.43	0.52	0.413 ab
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	0.50	0.49	0.43	0.54	0.490 bc
T 9 ผลไม้กระป๋อง	0.44	0.49	0.48	0.60	0.503 bc
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	0.76	0.62	0.78	0.53	0.673 d
T 11 ผงชูรส	0.91	0.74	1.03	1.06	0.935 e
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	1.10	0.89	0.74	0.67	0.850 e

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Mutiple Range Test
ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก-13 แสดงค่าประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity) ของดิน
หลังทำการทดลองปลูกผักในแต่ละทรีทเมนต์

Treatment	ค่าประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนประจุบวก (me/100g)ของดิน				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	เฉลี่ย *
T 1 ชุคควบคุม	14.8	15.0	14.2	13.9	14.48 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	14.1	14.3	13.3	13.9	13.90 a
T 3 เกียร์	16.2	16.8	16.8	16.1	16.48 b
T 4 เบียร์+ปุ๋ยเคมี	16.5	16.5	17.9	17.7	17.15 b
T 5 น้ำอืดลม	17.1	17.5	17.3	17.7	17.40 b
T 6 น้ำอืดลม+ปุ๋ยเคมี	16.7	18.1	17.1	18.1	17.50 b
T 7 สุรา	19.5	19.1	18.5	18.7	18.95 c
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	18.7	19.3	19.7	19.9	19.40 c
T 9 ผลไม้กระป๋อง	21.5	21.7	21.1	20.9	21.30 de
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	21.9	18.5	20.1	21.3	20.45 d
T 11 ผงชูรส	22.7	22.5	21.3	22.3	22.20 e
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	22.5	20.5	21.1	22.3	21.60 e

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Mutiple Range Test
ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก-14 แสดงปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter; %) ของดินหลังทำการทดลองปลูกผักใน
แต่ละทรีทเมนต์

Treatment	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%) ของดิน				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	เฉลี่ย *
T 1 ชุคควบคุม	2.164	1.843	1.985	2.127	2.030 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	2.375	2.056	1.879	1.843	2.038 a
T 3 เกียร์	2.530	2.630	2.588	2.588	2.584 bc
T 4 เกียร์+ปุ๋ยเคมี	2.517	2.517	2.279	2.188	2.375 b
T 5 น้ำอืดลม	2.458	2.482	2.375	2.446	2.440 bc
T 6 น้ำอืดลม+ปุ๋ยเคมี	2.517	2.198	2.177	2.446	2.335 b
T 7 สุรา	2.411	2.469	2.659	2.304	2.461 bc
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	2.375	2.162	2.198	2.482	2.304 ab
T 9 ผลไม้กระป๋อง	2.659	2.765	2.482	2.482	2.597 bc
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	2.804	2.340	3.013	2.588	2.686 c
T 11 ผงชูรส	4.573	4.006	4.615	4.360	4.389 d
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	4.325	3.935	4.254	4.431	4.236 d

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก-15 แสดงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) ในดินหลังทำการทดลองปลูกผักใน
แต่ละทรีทเมนต์

Treatment	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%) ของดิน				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	เฉลี่ย *
T 1 ขุคควบคุม	0.150	0.109	0.115	0.120	0.123 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	0.160	0.146	0.132	0.126	0.141 ab
T 3 กล้วย	0.181	0.172	0.160	0.157	0.168 cd
T 4 เปียร์+ปุ๋ยเคมี	0.179	0.188	0.171	0.189	0.182 d
T 5 น้ำอืดลม	0.151	0.126	0.127	0.150	0.139 ab
T 6 น้ำอืดลม+ปุ๋ยเคมี	0.151	0.168	0.134	0.168	0.155 bc
T 7 สุรา	0.148	0.129	0.123	0.146	0.137 ab
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	0.157	0.116	0.148	0.155	0.144 ab
T 9 ผลไม้กระป๋อง	0.154	0.188	0.165	0.160	0.167 cd
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	0.190	0.160	0.186	0.178	0.179 d
T 11 ผงขุรต	0.195	0.201	0.211	0.198	0.201 e
T 12 ผงขุรต+ปุ๋ยเคมี	0.205	0.212	0.207	0.202	0.207 e

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Mutiple Range Test
ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก-16 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avaliable Phosphorus) ในดินหลังทำการทดลองปลูกผักในแต่ละทรีทเมนต์

Treatment	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm.) ของดิน				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	เฉลี่ย *
T 1 ขูดควมคุม	390	399	386	394	392.25 a
T 2 ปุ๋ยเคมี	387	392	314	311	351.00 a
T 3 ฝึยร์	520	518	536	570	536.00 bc
T 4 เบียร์+ปุ๋ยเคมี	664	658	553	560	608.75 cd
T 5 น้ำอัดลม	498	505	448	563	503.50 b
T 6 น้ำอัดลม+ปุ๋ยเคมี	508	438	393	618	489.25 b
T 7 สุรา	507	472	563	607	537.25 bc
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	626	602	693	654	643.75 d
T 9 ผลไม้กระป๋อง	531	661	592	651	608.75 cd
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	815	850	845	765	818.75 e
T 11 ผงชูรส	616	613	564	695	622.00 d
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	663	601	741	693	674.50 d

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Mutiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก-17 แสดงปริมาณโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium) ในดินหลังทำการทดลองปลูกผักในแต่ละทรีทเมนต์

Treatment	ปริมาณโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ppm.) ของดิน					เฉลี่ย *
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	เฉลี่ย	
T 1 ชุคควบคุม	330	280	300	340	312.5	a
T 2 ปุ๋ยเคมี	490	480	450	320	435.0	ab
T 3 กล้วย	570	430	400	370	442.5	ab
T 4 เปียร์+ปุ๋ยเคมี	400	570	500	610	520.0	bc
T 5 น้ำอัดลม	560	420	470	430	470.0	bc
T 6 น้ำอัดลม+ปุ๋ยเคมี	530	370	320	640	465.0	bc
T 7 สุรา	530	410	320	580	460.0	bc
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	530	530	570	550	545.0	bc
T 9 ผลไม้กระป๋อง	420	500	480	590	497.5	bc
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	540	470	610	570	547.5	bc
T 11 ผงชูรส	520	510	500	750	570.0	bc
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	730	500	560	610	600.0	c

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's Mutiple Range Test
ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ ก-18 แสดงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) ในดินหลังทำการทดลองปลูกผักในแต่ละทรีทเมนต์

Treatment	ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (%) ของดิน				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	เฉลี่ย *
T 1 ชุคควบคุม	6.115	6.348	5.782	6.214	6.115 b
T 2 ปุ๋ยเคมี	5.575	5.876	5.156	5.756	5.591 a
T 3 ดินยร์	6.569	6.826	6.533	6.755	6.671 d
T 4 เกียร์+ปุ๋ยเคมี	6.882	6.224	6.627	6.443	6.544 cd
T 5 น้ำอัดลม	6.234	6.153	6.348	6.453	6.297 bc
T 6 น้ำอัดลม+ปุ๋ยเคมี	6.686	6.795	6.846	6.768	6.774 d
T 7 สุรา	6.196	6.238	5.967	6.354	6.189 b
T 8 สุรา+ปุ๋ยเคมี	6.863	6.676	6.782	6.826	6.787 d
T 9 ผลไม้กระป๋อง	6.781	6.252	6.763	6.328	6.531 cd
T 10 ผลไม้+ปุ๋ยเคมี	6.723	6.515	6.486	6.577	6.575 cd
T 11 ผงชูรส	7.128	6.922	7.238	7.662	7.238 e
T 12 ผงชูรส+ปุ๋ยเคมี	7.304	7.228	6.908	7.435	7.219 e

* แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดย Duncan's Multiple Range Test

ตัวอักษรที่เหมือนกันถือว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

