ผลของปุ๋ยเคมีต่อการดูดดึงแคดเมียมด้วยการปลูกอ้อยในดินที่มีการปนเปื้อน จากพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

นางสาวภารินี วนาพรรณ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF CHEMICAL FERTILIZER ON CADMIUM WITH SUGARCANE GROWN IN CONTAMINATED SOIL FROM AMPOE MAESOT CHANGWAT TAK

Miss Parinee Wanapan

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของปุ๋ยเคมีต่อการดูดดึงแคดเมียมด้วยการปลูกอ้อยในดินที่มีการปนเปื้อนจากพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
โดย	นางสาวภารินี วนาพรรณ์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โมษิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา บุญ-หลง)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทรา ทองคำเภา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.อุทัย เซ็นภักดี)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภารินี วนาพรรณ์ : ผลของปุ๋ยเคมีต่อการดูดดึงแคดเมียมด้วยการปลูกอ้อยในดินที่มีการปนเปื้อนจากพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก. (EFFECT OF CHEMICAL FERTILIZER ON CADMIUM WITH SUGARCANE GROWN IN CONTAMINATED SOIL FROM AMPOE MAESOT CHANGWAT TAK)
อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร. พันธวัศ สัมพันธ์พานิช, 91 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ต่อปริมาณการสะสมแคดเมียมในดินและอ้อย รวมถึงปริมาณธาตุอาหารหลักในดิน ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม รวมทั้งค่าใช้จ่ายปุ๋ยเคมี อันจะนำไปสู่การเลือกใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณที่เหมาะสมแก่การปลูกอ้อย ซึ่งการศึกษาทำการปลูกอ้อยพันธุ์ LK92-11 ในดิน ปนเปื้อนแคดเมียมจากพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยทำการปลูกอ้อยในเรือนทดลอง วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ อัตราใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ทำการใส่ปุ๋ยเมื่ออ้อยมีอายุ 1 เดือน และหลังจากการใส่ครั้งแรก 5 เดือน ที่อัตรา 0 (ควบคุม), 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ ทำการเก็บตัวอย่างดิน และอ้อยในเดือนที่ 2, 4, 6 และ 8 ผลการศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมในดิน พบว่า อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินสูงขึ้น แต่ส่งผลยับยั้งปริมาณแคดเมียมในดินที่พืชสามารถดูดดึงได้นั้นลดลง ส่วนการสะสมแคดเมียมของในส่วนต่างๆ ของอ้อยแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ ท่อนพันธุ์เดิม ราก ขานอ้อย ใบ และน้ำอ้อย พบว่า รากอ้อยมีปริมาณการสะสมแคดเมียมมากที่สุด ตามด้วยท่อนพันธุ์เดิม ขานอ้อย ใบ และน้ำอ้อย โดยที่อัตราของการใส่ปุ๋ยเคมี 50 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า รากอ้อยมีการสะสมแคดเมียมมากที่สุดเท่ากับ 22.61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมที่ระยะเวลาของการเก็บเกี่ยวเดือนที่ 2 และยังพบว่า ในเดือนที่ 8 ของการเก็บตัวอย่างมีปริมาณการสะสมแคดเมียมในน้ำอ้อยน้อยที่สุดค่าเท่ากับ 0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ประสิทธิภาพการดูดดึงแคดเมียมของอ้อยที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นอัตราปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมแก่การปลูกอ้อยในการศึกษาครั้งนี้ คือ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสามารถลดแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินได้มากที่สุดเท่ากับ 14.97 เปอร์เซ็นต์

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต ภารินี วนาพรรณ์
ปีการศึกษา 2553 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

5187230920 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : CADMIUM / SUGARCANE / UPTAKE / CONTAMINATED SOIL / CHEMICAL FERTILIZER

PARINEE WANAPAN : EFFECT OF CHEMICAL FERTILIZER ON CADMIUM WITH SUGARCANE GROWN IN CONTAMINATED SOIL FROM AMPOE MAESOT CHANGWAT TAK. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PANTAWAT SAMPANPANISH, Ph.D., 91 pp.

This research was conducted to determine the effect of 16-16-8 NPK chemical fertilizer on cadmium in soil and sugarcane. In addition, nitrogen phosphorus and potassium in soil was analyzed and also a comparison of costs to the nutritional level for sugarcane was studied. In this study a seedling stem of sugarcane LK92-11 grown in contaminated soil from Maesot district, Tak province was used. In pot experiment, the rates of chemical fertilizer (16-16-8) application at month 1 and 5 were 0(control), 50, 100 and 200 kg p er rai. Sugarcane samples were harvested after the first application of fertilizer at month 2, 4, 6 and 8. After harvesting, soil and five parts of the plants: underground stem, roots, bagasses, leaves and juice, were analyzed for levels of total cadmium. The results showed that the higher the rate of chemical fertilizer application, the higher the total cadmium in soil and the lower the available cadmium concentration in soil. When chemical fertilizer was applied to soil at the rate 50 kg per rai the highest cadmium accumulation was in the roots registering 22.61 mg kg^{-1} followed by underground stem, bagasses, leaves and juice where it was recorded at 0.20 mg kg^{-1}. The efficiency uptake increase by sugarcane after application of chemical fertilizer was not significantly different. For areas contaminated by cadmium, applying 16-16-8 NPK fertilizer at the rate of 50 kg per rai is recommended because of the large decrease in cadmium which was recorded 14.97%.

Field of Study : Environmental Science Student's Signature Parinee Wanapan

Academic Year : 2010 Advisor's Signature Pantawat Sampanpanish

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาประสิทธิ์ประสาทความรู้ คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนวคิดต่างๆ ตลอดมา จนมีผลทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรา ทองคำเภา และ ดร.อุทัย เซ็นภักดี ที่กรุณาเสียสละเวลาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ข้อคิดเห็น คำแนะนำ และแนวทางที่ดีเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ คุณสุนันทา ที่ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงานเป็นอย่างดี และขอขอบคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม และศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมถึงอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ และขอกราบขอบพระคุณพี่ๆ ในห้องปฏิบัติการทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกต่างๆ

ขอขอบคุณนายมงคลชัย อัศวดิษฐ์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และช่วยเหลือในภาคสนาม รวมถึงนายกัลปพฤกษ์ คงเมือง นายพนัส พงศ์ผลาดิสัย และขอขอบคุณนางสาวสุว์ชีรา เรืองขำ นางสาวทิพวรรณ พจนาภรณ์ และนางสาวสุภาพร แป้งทา ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ พร้อมทั้งคำแนะนำ และสอนวิธีการศึกษาวิจัย ขอขอบคุณนางสาวณัฐกาญจน์ ตันติธีระศักดิ์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจที่ดีในทุกๆ เรื่อง ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจเสมอ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อเอนก และคุณแม่เกตนิภา วนาพรรณ์ ที่คอยสนับสนุน และให้กำลังใจ ความรัก ความอบอุ่น ความห่วงใย เป็นที่ปรึกษาที่ดีแก่ลูกสาวคนนี้ ขอบคุณน้องสาวผู้น่ารักนางสาววรพร วนาพรรณ์ ที่คอยให้กำลังใจตลอดเวลา กราบขอบพระคุณคุณยาย คุณย่า และญาติๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ รวมถึงคุณตาที่เป็นแรงผลักดันในเรื่องการศึกษาแต่ไม่ได้อยู่รอดูความสำเร็จของหลานสาวคนนี้ กราบขอบพระคุณครอบครัวมีกลิ่น ที่ให้ความรัก ความอบอุ่น กำลังใจ และความช่วยเหลือในทุกๆ เรื่องเป็นอย่างดี ประโยชน์และคุณอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ และครูอาจารย์สืบไป

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูป..... ฏ

บทที่

1 บทนำ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

สมมติฐาน..... 3

ขอบเขตของการวิจัย..... 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 แคดเมียม..... 5

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี..... 5

2.1.2 แหล่งที่มาของแคดเมียม..... 6

2.1.3 ความเป็นพิษของแคดเมียม..... 8

2.1.4 การสะสมแคดเมียมในดิน..... 10

2.1.5 การสะสมแคดเมียมในพืช..... 11

2.1.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมโลหะหนักในดิน และพืช..... 12

2.2 อ้อย..... 16

2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของอ้อย..... 18

2.2.2 การเจริญเติบโตของอ้อย..... 18

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อย..... 21

2.3 ปุ๋ยเคมี..... 25

2.3.1 ธาตุอาหารหลัก..... 26

บทที่ หน้า

2.3.2 ความสัมพันธ์ของธาตุอาหารหลักและอ้อย..... 30
2.3.3 ข้อจำกัดของปุ๋ยเคมี..... 32
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 34
3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 38
3.1 วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี..... 38
3.1.1 วัสดุอุปกรณ์..... 38
3.1.2 เครื่องมือ..... 39
3.1.3 สารเคมี..... 40
3.2 สถานที่ดำเนินการวิจัย..... 40
3.2.1 ภาคสนาม..... 40
3.2.2 ห้องปฏิบัติการ..... 40
3.3 ระยะเวลาการวิจัย..... 41
3.4 การวางแผนการวิจัย..... 41
3.5 การเตรียมการศึกษาวิจัย..... 42
3.5.1 การศึกษาพื้นที่ที่มีการปนเปื้อน และการเตรียมดิน..... 42
3.5.2 การเตรียมภาชนะสำหรับปลูก..... 43
3.5.3 การเตรียมพืชทดลอง..... 43
3.5.4 การเตรียมปุ๋ยเคมี..... 44
3.6 การดำเนินการวิจัย..... 44
3.6.1 การปลูกอ้อย และการดูแลรักษา..... 44
3.6.2 การเก็บตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์..... 44
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ..... 45
4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 46
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเบื้องต้นของดินที่ใช้ในการทดลอง..... 46
4.2 คุณสมบัติของปุ๋ยเคมีเบื้องต้นที่ใช้ในการทดลอง..... 47
4.3 ผลการใส่ปุ๋ยเคมีต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดิน..... 48
4.4 ผลของการใส่ปุ๋ยเคมีต่อน้ำหนักแห้งของอ้อย..... 49
4.5 ผลของการใส่ปุ๋ยเคมีต่อธาตุอาหารหลักในดิน..... 50
4.5.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด..... 51

บทที่ หน้า

4.5.2 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์..... 52
4.5.3 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้..... 53
4.6 ผลของการใส่ปุ๋ยเคมีต่อการสะสมแคดเมียมในดิน..... 54
4.6.1 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน..... 54
4.6.2 ปริมาณแคดเมียมในดินที่พืชสามารถดูดดึงได้..... 56
4.7 ผลของการใส่ปุ๋ยเคมีต่อการดูดดึงแคดเมียมโดยอ้อย..... 58
4.8 ประสิทธิภาพ และสมดุลมวลของการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการดูดดึงแคดเมียมในดินด้วยอ้อย..... 62
4.9 ค่าใช้จ่าย..... 67
5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ..... 68
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 68
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 69
รายการอ้างอิง..... 70
ภาคผนวก..... 76
ภาคผนวก ก..... 77
ภาคผนวก ข..... 80
ภาคผนวก ค..... 81
ภาคผนวก ง..... 82
ภาคผนวก จ..... 84
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 91

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแคดเมียม.....	5
2.2	ความเป็นพิษเฉียบพลันของแคดเมียมที่มีผลต่อมนุษย์โดยการกิน.....	10
2.3	ระดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินตามมาตรฐานสากล…..	13
2.4	ปริมาณแคดเมียมในพืชชนิดต่างๆ ที่ปลูกในดินชนิดเดียวกัน.....	15
2.5	ขนาดพื้นที่ ผลผลิต และความสามารถในการผลิตของอ้อยในโลก.....	17
3.1	วันที่ทำการทดลอง และเก็บตัวอย่างในเรือนทดลอง.....	41
3.2	พารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของดินที่นำมาศึกษา.....	43
4.1	คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพเบื้องต้นของดินที่ใช้ทดลอง.....	47
4.2	สมบัติบางประการปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดสูตร 16-16-8.....	48
4.3	ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี …….....	49
4.4	ผลของการเติมปุ๋ยเคมีต่ออัตราการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในดิน.....	52
4.5	ผลของการเติมปุ๋ยเคมีต่ออัตราการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ในดิน….	53
4.6	ผลของการเติมปุ๋ยเคมีต่ออัตราการสะสมโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน.....	54
4.7	เปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณแคดเมียมในดินจากการทดลอง.....	56
4.8	สมดุลมวล (Mass Balance) ของอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่อการดูดดึงแคดเมียมโดยอ้อย.....	65
4.9	แสดงค่าใช้จ่ายในการลงทุน.....	67

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การนำแคดเมียมไปใช้ประโยชน์ของมนุษย์.....	7
2.2	แหล่งที่ได้รับสารแคดเมียมของมนุษย์.....	8
2.3	พื้นที่ที่มีการปลูกอ้อยในโลก.....	16
2.4	ระยะการเจริญเติบโตของอ้อย.....	19
3.1	การวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD).....	42
4.1	น้ำหนักแห้งของอ้อยที่ระยะการเก็บเกี่ยวต่างๆ.....	50
4.2	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่างๆ ตามระยะเวลาของการเก็บเกี่ยว.....	55
4.3	ปริมาณแคดเมียมในดินที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่างๆ ตามระยะเวลาของการเก็บเกี่ยว.....	57
4.4	ปริมาณการสะสมแคดเมียมในรากอ้อยที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่างๆ ตามระยะเวลาของการเก็บเกี่ยว.....	59
4.5	ปริมาณการสะสมแคดเมียมในท่อนพันธุ์เดิมที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่างๆ ตามระยะเวลาของการเก็บเกี่ยว.....	60
4.6	ปริมาณการสะสมแคดเมียมในชานอ้อยที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่างๆ ตามระยะเวลาของการเก็บเกี่ยว.....	60
4.7	ปริมาณการสะสมแคดเมียมในใบอ้อยที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่างๆ ตามระยะเวลาของการเก็บเกี่ยว.....	61
4.8	ปริมาณการสะสมแคดเมียมในน้ำอ้อยที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่างๆ ตามระยะเวลาของการเก็บเกี่ยว.....	62
4.9	ประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการดูดดึงแคดเมียมด้วยอ้อยที่ระยะเวลาต่างๆ.....	63

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักในดินของประเทศไทยอยู่ในภาวะวิกฤติหลายพื้นที่ โดยการปนเปื้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ดินในภาคเกษตรกรรม เกิดจากการใส่ปุ๋ยลงในดินเพื่อให้ได้ผลผลิตทางการเกษตรกรรมมากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการตกตะกอน และสะสมของโลหะหนักได้ ทำให้สมบัติทางดินเสื่อมลง รวมทั้งเกิดจากการใช้ยาปราบศัตรูพืช ทำให้เกิดผลกระทบต่อพืชและสิ่งมีชีวิตในดินได้ ส่วนดินในภาคอุตสาหกรรม การเกิดความเป็นพิษมักขึ้นอยู่ในกับปัจจัยหลายประการ เช่น ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ กระบวนการผลิต วิธีการผลิต ประเภทของผลผลิตที่ได้ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงโอกาสของการปนเปื้อนในดิน หากดินเหล่านี้ถูกพัดพาไปยังแหล่งน้ำ และอากาศทำให้เกิดปัญหาตามมาได้ ดังนั้นการสะสมโลหะหนักในดินไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ และมักเกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศ พืช สัตว์ สุขภาพอนามัยของมนุษย์ ตลอดจนห่วงโซ่อาหาร (Chen *et al*., 2006)

นักวิจัยจากสถาบันการจัดการน้ำสากล (International Water Management Institute : IWMI) ร่วมกับกรมวิชาการเกษตร ตั้งแต่ปี 2541 สำรวจการปนเปื้อนแคดเมียมในดินนาข้าว และเมล็ดข้าวที่ตำบลพระธาตุผาแดง และตำบลแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก รวมทั้งศึกษาถึงแหล่งกำเนิดของแคดเมียม พบว่า พื้นที่ดังกล่าวเป็นแหล่งกำเนิดของสายแร่สังกะสี และมีการประกอบเหมืองแร่ และแต่งแร่ในปัจจุบัน ประกอบกับมีการเปิดหน้าดินเพื่อทำการเกษตรกรรม เมื่อฝนตกชะหน้าดินที่อุดมด้วยแร่สังกะสี และแคดเมียมลงสู่ลำน้ำธรรมชาติ คือ ห้วยแม่ตาว และเกษตรกรมีการนำน้ำจากลำห้วยแม่ตาวมาใช้ในการเพาะปลูก ทำให้ดินมีปนเปื้อนแคดเมียมในระดับสูงบางพื้นที่ พบว่า มีการปนเปื้อนมากกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐานของกลุ่มประชาคมยุโรป (European Community : EC) ที่กำหนดไว้ 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และบางส่วนมีค่ามากกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้เพื่อการอยู่อาศัย และเกษตรกรรม ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ที่กำหนดให้มีค่าแคดเมียมปนเปื้อนได้ไม่เกิน 37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้พบว่า มีแคดเมียมสะสมในเมล็ดข้าวประมาณ 0.11-4.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งถือว่ามีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(Codex, 2005) ซึ่งส่งผลต่อปริมาณ และคุณภาพข้าวที่ผลิต รวมทั้งอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่อยู่ในพื้นที่ และผู้บริโภคข้าว จึงได้มีการเสนอมาตรการการป้องกันและแก้ไข ซึ่งหนึ่งในมาตรการนั้นคือ การปลูกพืชที่ไม่ใช้เป็นอาหาร (Cultivation of Non-food Crop) โดยพืชที่ปลูกอาจเป็นไม้ยืนต้นโตเร็ว หรือไม้ดอกไม้ประดับที่ให้ผลทางเศรษฐกิจไม่น้อยกว่าการปลูกข้าวของราษฎรในปัจจุบัน เช่น ยูคาลิปตัส ดาวเรือง เป็นต้น (กรมการส่งเสริมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2549)

จากปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิงในปัจจุบันจึงได้มีการหันมาใช้พลังงานทดแทน ดังนั้นอ้อยจึงเป็นพืชที่น่าสนใจนำมาปลูกในพื้นที่ที่ปนเปื้อนแคดเมียม และยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลได้ ทั้งนี้คุณสมบัติของอ้อยที่เป็นพืชที่ง่ายต่อการปลูก และดูแลรักษา มีความทนต่อสภาพภูมิประเทศ และสามารถขยายพันธุ์ได้ดี อีกทั้งเป็นพืชเศรษฐกิจที่ให้ผลตอบแทนเชิงพาณิชย์สูง (วราภรณ์ ศรีตัมภวา, 2550) จึงเป็นอีกแนวทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตามในการปลูกอ้อยมีความจำเป็นที่ต้องใส่ปุ๋ย เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของอ้อยเพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิต

ปุ๋ยเคมีถือว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่ขาดไม่ได้สำหรับการเกษตร เนื่องจากช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน ทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี และให้ผลผลิตสูงขึ้น ปุ๋ยเคมีประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีสมบัติละลายน้ำได้ง่าย จึงสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารพืชได้ทันที แต่ข้อจำกัดของปุ๋ยเคมีบางชนิดอาจมีโลหะหนักติดมากับปุ๋ยเคมี โดยเฉพาะปุ๋ยฟอสเฟตส่วนใหญ่ได้มาจากการแปรรูปของหินฟอสเฟต จะมีโลหะหนักปนเปื้อนหนึ่งในนั้นคือ แคดเมียม (Lambert *et al.*, 2007) เมื่อใช้ปุ๋ยติดต่อเป็นระยะยาว อาจทำให้ดินมีโลหะหนักสูงถึงขั้นที่พืชดูดดึงไปสะสมไว้มากจนเกิดความเป็นพิษต่อพืช ส่งผลและเป็นอันตรายต่อมนุษย์ และสัตว์ที่กินพืชนั้นได้ ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้ เพื่อต้องการทราบถึงผลของปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีต่อปริมาณแคดเมียมที่สะสมในดิน และในอ้อย รวมถึงปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดิน อันจะนำไปสู่การเลือกใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณที่เหมาะสมแก่ความจำเป็นของการปลูกอ้อย และเพื่อการเผยแพร่ และส่งเสริมความรู้สู่เกษตรกรในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม เพื่อประโยชน์ทางการเกษตร และสุขภาพของคนในพื้นที่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีต่อปริมาณแคดเมียมที่สะสมในดิน และในส่วนต่างๆ ของอ้อย 5 ส่วน คือ ท่อนพันธุ์เดิม ราก ชานอ้อย ใบ และน้ำอ้อย ตามระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง
2. เพื่อศึกษาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดิน

สมมติฐาน

การปลูกอ้อยในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม คาดว่าปุ๋ยเคมีที่เติมลงในดินอาจมีผลในการส่งเสริมหรือยับยั้งให้ปริมาณแคดเมียมในดินมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง และอาจมีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในส่วนต่างๆ ของอ้อยมีค่าสูงขึ้นด้วย

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการดูดดึงแคดเมียมด้วยการปลูกอ้อยในดินที่มีการปนเปื้อนจากพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก รวมทั้งปริมาณการสะสมแคดเมียม ในส่วนต่างๆ ของอ้อย ตลอดจนการศึกษาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในดิน สามารถแสดงรายละเอียดของขอบเขตการดำเนินงานวิจัยได้ดังต่อไปนี้

1. ดินที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมมากกว่า 37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจากอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยนำดินดังกล่าวมาทำการทดลองในเรือนเพาะชำ และทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ
2. ปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง คือ ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 (16%N, 16%P_2O_5 และ 8%K_2O) โดยอัตราการใส่ปุ๋ย 4 ระดับ คือ 0, 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ ทำการใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง คือ เมื่ออ้อยมีอายุ 1 เดือน และครั้งที่ 2 หลังจากการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งแรกแล้ว 5 เดือน
3. ท่อนพันธุ์อ้อยที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ อ้อยพันธุ์ลูกผสม LK 92-11

4. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน และอ้อย ได้แก่ ทุกๆ 2, 4, 6 และ 8 เดือน (หลังจากที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งแรก) และทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างดิน และในส่วนต่างๆ ของอ้อย 5 ส่วน คือ ท่อนพันธุ์เดิม ราก ชานอ้อย ใบ และน้ำอ้อย นอกจากนี้ตัวอย่างดินทำการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมด้วย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมต่อการปลูกอ้อยต่อปริมาณการสะสมแคดเมียมในดิน และอ้อย เพื่อเป็นการเผยแพร่ และส่งเสริมความรู้สู่เกษตรกรในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม เพื่อประโยชน์ทางการเกษตร และสุขภาพของคนในพื้นที่

2. สามารถใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาพื้นที่ที่ดินปนเปื้อนแคดเมียมได้

3. เป็นการส่งเสริมการปลูกอ้อย ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นพลังงานทดแทนในอนาคตได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แคดเมียม

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

แคดเมียมธาตุโลหะทรานซิชั่นที่อยู่ร่วมกันกับสังกะสี และปรอทในกลุ่ม IIB ของตารางธาตุ (Periodic Table of Elements) ซึ่งในธรรมชาติจะพบอยู่ร่วมกับสังกะสี (Alloway, 1995) เป็นโลหะอ่อน มีสีเงินขาว ซึ่งมีเลขอะตอมมิคนัมแบอร์ (Atomic Number) เท่ากับ 48 และเลขมวลอะตอม (Atomic Mass) เท่ากับ 112.41 มีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายกับสังกะสี (ตารางที่ 2.1) และโดยทั่วไปจะพบอยู่ร่วมกับธาตุอื่นๆ ในรูปแบบแคดเมียมออกไซด์ แคดเมียมคลอไรด์ หรือแคดเมียมซัลเฟต (ATSDR, 1999) แคดเมียมเป็นธาตุที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริก และละลายได้ในกรดไฮโดรคลอริก และกรดซัลฟูริกอย่างช้าๆ (Adriano, 2001)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแคดเมียม

คุณสมบัติ	แสดงผล
สูตรทางเคมี	Cd
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	8.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว (Melting Point)	320.9 องศาเซลเซียส
จุดเดือด (Boiling Point)	767 องศาเซลเซียส

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมควบคุมมลพิษ (2541)

2.1.2 แหล่งที่มาของแคดเมียม

แหล่งที่มาของแคดเมียมเกิดจาก 2 ประเภทคือ ธรรมชาติ และมนุษย์สร้างขึ้นหรือจากกิจกรรมของมนุษย์ สิ่งแวดล้อมที่ได้รับได้แก่ อากาศ น้ำ และดิน แต่จะมีการถ่ายโอนระหว่าง 3 แหล่งนี้ โดยเกิดจากการปล่อยสู่อากาศ และเคลื่อนที่ไปยังแหล่งน้ำ และเคลื่อนที่เข้าสู่ดิน

2.1.2.1 แคดเมียมที่เกิดจากธรรมชาติ

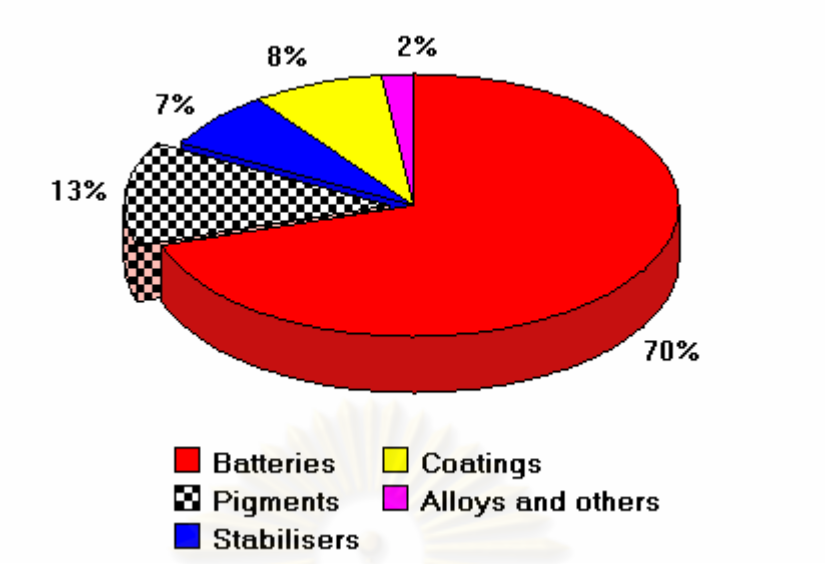
ในธรรมชาติแคดเมียมพบในเปลือกโลก โดยทั่วไปมีค่าความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 0.1-0.5 ppm หินอัคนี และหินแปรมีค่าต่ำอยู่ระหว่าง 0.02-0.2 ppm ส่วนหินตะกอนมีปริมาณแคดเมียมสูงกว่าจาก 0.1-25 ppm และในธรรมชาติของสินแร่สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง จะพบว่า มีปริมาณแคดเมียมในปริมาณที่สูง โดยพบ 200-14,000 ppm ในแร่สังกะสี ประมาณ 500 ppm พบในแร่ตะกั่ว และทองแดง (ICdA, 2009)

2.1.2.2 แคดเมียมที่เกิดจากมนุษย์

แคดเมียมที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์เกิดจากอุตสาหกรรม ที่มีการใช้แคดเมียมในการผลิตผลิตภัณฑ์ดังรูปที่ 2.1 ได้แก่

- แบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียม

แคดเมียมไฮดรอกไซด์ถูกนำมาใช้เป็นหนึ่งในสองของอิเล็กโทรดหลักในแบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียม มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมรถไฟ เครื่องบิน โทรศัพท์มือถือ กล้อง คอมพิวเตอร์แบบพกพา ซึ่งมีราคาแพง ให้พลังงานสูง และสามารถใช้งานได้นาน สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในที่อุณหภูมิสูง และอุณหภูมิต่ำเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่อื่นๆ (ICdA, 2009)

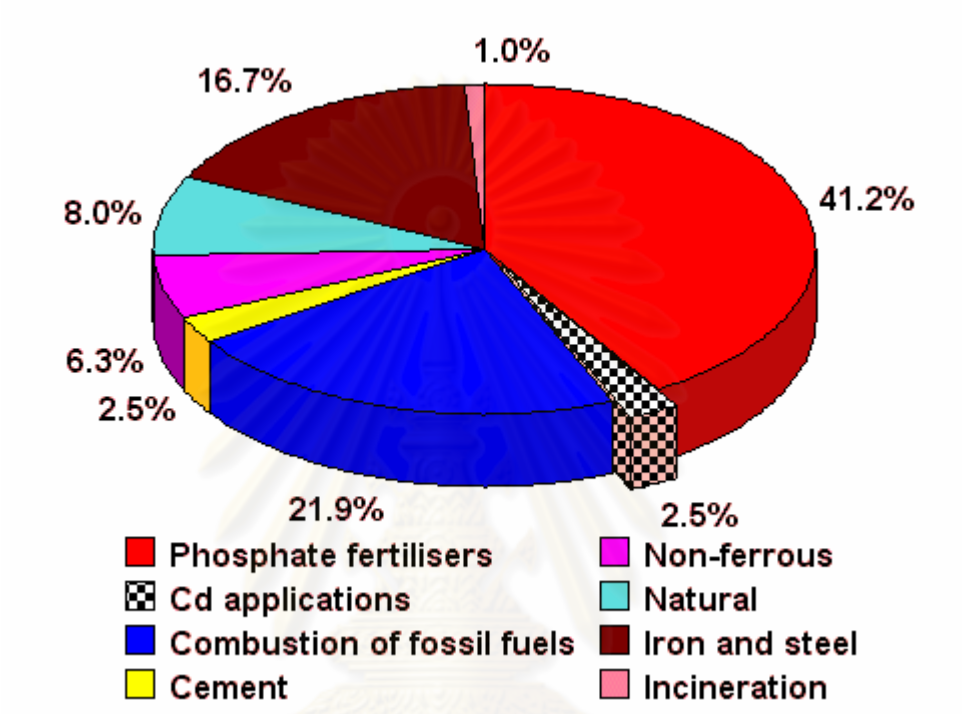


รูปที่ 2.1 การนำแคดเมียมไปใช้ประโยชน์ของมนุษย์
ที่มา: http://www.jamesmbrown.co.uk/cd_pigments/cadmium.htm

นอกจากนี้ยังพบว่า มีการนำมาใช้เป็นเม็ดสีแคดเมียม โดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์ และซัลโฟเซเลไนด์ ใช้เป็นสีเหลืองสดใส สีแดงเข้มในพลาสติก เซรามิก แก้วน้ำเคลือบ และสีที่ใช้ในงานศิลปะ ความสามารถของสีนี้ทนต่ออุณหภูมิและความดันสูง ใช้ในการสร้างความแข็งแกร่ง และชะลอกระบวนการย่อยสลายใน PVC ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อสัมผัสกับแสงอัลตร้าไวโอเลต ทำให้อายุการใช้งานยาวขึ้น การเคลือบผิวใช้ในการเคลือบเหล็ก อลูมิเนียม และอื่นๆ เพื่อต้านทานการกัดกร่อน และใช้เป็นโลหะผสมกับโลหะอื่น เป็นต้น (ICdA, 2009)

แหล่งที่มาของการได้รับสารแคดเมียมของมนุษย์ ซึ่งแคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 2 ทาง คือ การสูดดม โดยการหายใจเอาควัน หรือฝุ่นของแคดเมียมเข้าไปในปอด เช่น การเผาไหม้ของทิ้งที่เป็นพลาสติก โลหะ และการทำเหมืองแร่สังกะสี นอกจากนี้ผู้สูบบุหรี่จะได้รับแคดเมียมจากใบยาสูบ การรับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายอีกทางหนึ่งคือ การกิน โดยกินอาหารที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม เช่น ในอาหารทะเล ข้าว พืช ที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม และมีการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต โดยส่วนใหญ่เกิดจากการดูดดึงของแคดเมียมจากพืชทางการเกษตรที่มีการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตมากกว่าแหล่งอื่นๆ มีอัตราส่วนการใช้มากกว่า 40% ดังรูปที่ 2.2 ปุ๋ยฟอสเฟตมีระดับแคดเมียมสูงพบในช่วง 7-170 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีการใช้หินฟอสเฟตผลิตปุ๋ย Bell *et al.* (2001) ได้รายงานว่า ในประเทศออสเตรเลียได้อนุญาติให้มีแคดเมียมในปุ๋ยฟอสเฟตได้เท่ากับ 300 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกิโลกรัม โดยปุ๋ยที่ใช้ปลูกหญ้า

สำหรับเลี้ยงสัตว์หรือปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟตเชิงเดี่ยวต้องมีน้อยกว่า 250 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกิโลกรัมฟอสเฟต ซึ่งต่างจากปุ๋ยคุณภาพสูงที่ใช้ในการปลูกพืชที่มีการปนเปื้อนน้อยกว่า 100 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกิโลกรัมฟอสเฟต ส่วนในปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียม โดยปกติพบการปนเปื้อนแคดเมียมในปริมาณที่ต่ำมาก



รูปที่ 2.2 แหล่งที่ได้รับสารแคดเมียมของมนุษย์

ที่มา: http://www.jamesmbrown.co.uk/cd_pigments/cadmium.htm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.3 ความเป็นพิษของแคดเมียม

2.1.3.1 ความเป็นพิษต่อพืช

แคดเมียมปริมาณเล็กน้อยที่ปนเปื้อนในดินจะถูกดูดซับ และสะสมในพืช ในปริมาณที่พืชจะไม่แสดงอาการเป็นพิษจากแคดเมียม แต่ถ้าแคดเมียมมีปริมาณที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชโดยจะมีผลทำให้พืชดูดซับคาร์บอนน้อยลง ลดการปิดเปิดปากใบ

ขัดขวางการสังเคราะห์คลอโรฟิลด์ ทำลายปลายราก ลดการดูดซับธาตุอาหาร และยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น (Zhou and Qiu, 2005)

2.1.3.2 ความเป็นพิษต่อมนุษย์ และสัตว์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

1) ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน

- ระบบทางเดินอาหาร

ระบบทางเดินอาหารจะเป็นระบบแรกในร่างกายที่จะได้รับพิษเมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมโดยการกิน ซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการกินอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีแคดเมียมปนเปื้อน อาการที่ปรากฏเริ่มแรกคือ รู้สึกคลื่นไส้อย่างรุนแรง ตามด้วยการอาเจียน ท้องร่วง เป็นตะคริว และน้ำลายฟูมปาก ในรายที่เป็นมากจะมีอาการตามมาใน 2 ลักษณะ คือ อาจจะเกิดอาการช็อคเนื่องจากร่างกายสูญเสียน้ำมาก และอาจทำให้ตายได้ภายใน 24 ชั่วโมง หรืออีกลักษณะหนึ่งคือ ระบบการทำงานของไตล้มเหลว และอาจถึงตายได้ภายใน 7 หรือ 14 วัน นอกจากนี้อาจจะมีผลไปทำลายตับด้วย การกินแคดเมียมในปริมาณมากกว่า 2 มิลลิกรัมภายในครั้งเดียวจะทำให้เกิดการอาเจียน และถ้าได้รับในปริมาณ 350-3,500 มิลลิกรัม จะทำให้เสียชีวิตได้ดังรายละเอียดตารางที่ 2.2

- ระบบหายใจ

ความเป็นพิษที่เกิดขึ้นในระบบหายใจ เนื่องจากการสูดไอหรือควันของแคดเมียม ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากกิจการอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการเชื่อมโลหะด้วยความร้อนสูง แต่โดยทั่วไปในขณะที่สูดหายใจจะไม่ปรากฏอาการหรือมีอาการเพียงเล็กน้อย และไอที่เกิดจากการใช้กระแสไฟฟ้า จะมีความเป็นพิษถึง 2 เท่าของไอที่เกิดจากความร้อน อาการโดยรวมจะปรากฏหลังจากสูดไอเข้าไปแล้ว 2-3 ชั่วโมง คือ เกิดอาการระคายเคืองที่หลอดลม และปอด ซึ่งรวมถึงอาการอื่นๆ ด้วย เช่น ระคายเคืองที่จมูก และคอ ไอ ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ เจ็บหน้าอก นอกจากนี้อาจมีอาการอย่างอื่นปรากฏด้วย เช่น คลื่นเหียนอาเจียน และท้องร่วง และถ้าสูดหายใจไอแคดเมียมความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 8 ชั่วโมงจะทำให้เสียชีวิตได้

ตารางที่ 2.2 ความเป็นพิษเฉียบพลันของแคดเมียมที่มีผลต่อมนุษย์โดยการกิน

ปริมาณแคดเมียม (มิลลิกรัม)	อาการที่เกิดขึ้น
3 - 90	เกิดอาการอาเจียน แต่ไม่มีผลทำให้ถึงตาย
15	เกิดอาการอาเจียน
10 - 326	เกิดความเป็นพิษอย่างรุนแรง แต่ไม่ถึงตาย
350 - 3,500	ปริมาณที่อาจจะทำให้ถึงตายได้
1,530 - 8,900	ปริมาณที่ทำให้ตายได้

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมควบคุมมลพิษ (2541)

2) ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง

ความเป็นพิษเรื้อรังที่มีต่อมนุษย์ หลังจากที่ร่างกายของมนุษย์ได้รับแคดเมียมในปริมาณปานกลางเข้าไปนานติดต่อกัน ความเป็นพิษมักจะไปปรากฏที่ปอด และไตโดยส่วนใหญ่ ซึ่งจะทำให้เกิดอาการบวมหรือพองของเนื้อเยื่อปอด และเกิดอาการหายใจขัด จะเกิดแผลที่ไต ส่วนในระบบอื่นๆ ก็มีปรากฏอาการเช่นเดียวกัน เช่น ที่กระดูก เป็นต้น อรรณพ หอมจันทร์ (2535) ได้รายงานไว้ว่า เมื่อมีการสะสมแคดเมียมเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดโรคอิไต-อิไต คือ กระดูกพรุน งอโค้ง ทำให้กระดูกเสียรูปทรง และหักได้ และมีอาการปวดที่เอว ปวดกล้ามเนื้อขา และเจ็บกระดูก ตามที่เคยปรากฏขึ้นในประเทศญี่ปุ่น ทำให้มีผู้เสียชีวิตเนื่องจากการบริโภคข้าว และพืชซึ่งได้รับแคดเมียมจากการปล่อยน้ำเสียของโรงงานถลุงแร่เหล็ก โรงงานผลิตทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ลงสู่ไร่นาที่ปลูกข้าว และพืชผักต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดการสะสมแคดเมียมในนาข้าว และน้ำมันถั่วเหลืองถึง 0.4-3.36 ppm นอกจากนี้ยังปรากฏอาการในระบบการสร้างเม็ดโลหิต ซึ่งจะทำให้เกิดโรคโลหิตจาง ส่วนในสัตว์ทดลองจะพบอาการของความดันโลหิตสูง

2.1.4 การสะสมแคดเมียมในดิน

ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินมีค่าผันแปรได้ตามลักษณะของวัตถุต้นกำเนิดของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เนื้อดิน และระดับความลึกของดินเป็นสำคัญ ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่จะมีการเคลื่อนย้ายได้น้อย เนื่องจากมีความสามารถในการยึดเกาะอยู่ในส่วนที่เป็นอนุภาค

ดินเหนียวได้ดี ดังนั้นดินที่เป็นดินเหนียวจึงมีโลหะหนักอยู่ในรูปที่ดูดดึงได้ง่าย (Available Form) น้อยกว่าในดินที่เป็นดินร่วน หรือดินทราย (Diaz and polo, 1988) หากเปรียบเทียบความสามารถในการเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก พบว่า แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย จึงทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักผันแปรตามความลึกของดิน เช่น น้ำที่ชะผ่านดินที่มีแคดเมียมซึ่งสามารถคลื่อนย้ายได้ง่าย เคลื่อนไปยังบริเวณอื่นทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมลดลงตามระดับความลึก (Gillies *et al*., 1989)

วาเลนซี่ที่สำคัญที่สุดของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมคือ +2 ในดินจะอยู่ในสภาพละลายได้ง่าย และอยู่ในรูปแคดเมียมไอออนคือ (Cd^{2+}) เป็นส่วนใหญ่ โดยอาจอยู่ในรูปไอออนแคดเมียมเชิงซ้อน (Complex Ion) อื่นๆ ด้วย เช่น $CdCl^{+}$, $CdOH^{+}$, $CdHCO_3^{+}$, $CdCl_2$, $CdCl_3^{-}$, $CdCl_4^{2-}$, $Cd(OH)_3^{-}$ และ $Cd(OH)_4^{2-}$ (Kabata-Pendias and Pendias, 2001) ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการควบคุมการเคลื่อนที่ได้ของแคดเมียมในดิน คือ pH และศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ ในสภาพดินเป็นกรดแคดเมียมมีสภาพเคลื่อนที่ได้ดีกว่าสังกะสี และความเข้มข้นของแคดเมียมจะลดลงเมื่อ pH สูงขึ้น และดินที่มีศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์สูงแคดเมียมจะอยู่ในรูปของสารประกอบ เช่น แคดเมียมออกไซด์ (CdO) แคลเซียมคาร์บอเนต ($CdCO_3$) หรืออาจอยู่ร่วมกับฟอสเฟตได้เช่นเดียวกัน (Helmke, 1999)

2.1.5 การสะสมแคดเมียมในพืช

แคดเมียมไม่ได้เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช แต่โดยทั่วไปพืชจะมีการดูดดึงแคดเมียมปริมาณเล็กน้อยจากดิน โดยแคดเมียมจะถูกดูดดึงไปทางราก และกระจายตัวไปยังส่วนต่างๆ ของพืช (Adriano, 2001) สำหรับหลักการสะสมของแคดเมียมในพืชสามารถบอกถึงกลไกการดูดดึงแคดเมียมได้ (วราภรณ์ ศรีตัมภวา, 2550) ซึ่งประกอบด้วย 1) การดูดดึงของแคดเมียมจากบริเวณผิวราก 2) การดูดซึม (Absorption) และการลำเลียง (Transport) ของแคดเมียมไอออน (Cd^{2+}) ไปตามเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Plasma Membrane) ของเซลล์ราก โดยถูกควบคุมโดยความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Potential) ของกิจกรรมของแคดเมียมไอออน (Cd^{2+}) ระหว่างในไซโตพลาสซึม (Cytosol) ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาเคมีของเซลล์พืช และเป็นที่เก็บสะสมของวัตถุดิบสำหรับเซลล์ และในอะโพพลาส (Apoplast) ของราก ซึ่งเป็นกระบวนการดูดซึมธาตุโลหะโดยกระบวนทางกายภาพ ที่เรียกว่า Passive Absorption ทำให้แคดเมียมแพร่ผ่านภายในรากพืชทางช่องว่างระหว่างเซลล์ นอกจากนี้โลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูงก็สามารถ

เคลื่อนที่ผ่านได้อย่างรวดเร็วด้วย โดยมีการเคลื่อนที่ผ่านเอนโดเดอร์มิส (Endodermis) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ด้านนอกของเนื้อเยื่อลำเลียงของรากเพื่อเข้าไปสู่ท่อลำเลียงน้ำ (Xylem) หากแต่สารประกอบแคดเมียมเชิงซ้อนที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ (Organic) ส่วนใหญ่มีการเคลื่อนย้ายทางท่ออาหาร (Phloem) 3) การเคลื่อนที่ภายใน และระหว่างเซลล์ของแคดเมียม และ4) ระยะทางของการเคลื่อนย้าย (Translocation) และการสะสม (Deposit) ของแคดเมียมในส่วนของพืช เป็นต้น นอกจากนี้กิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในบริเวณราก แคดเมียมสามารถละลายเพิ่มขึ้นได้ ในบริเวณที่เรียกว่า ไรโซสเฟียร์ (Rhizosphere) นั้น ก็อาจมีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมมีความสามารถในการแพร่กระจายออกไปยังผิวของรากด้วยเช่นกัน

2.1.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมโลหะหนักในดิน และพืช

1) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ความเป็นกรดเป็นด่างมีความสัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักในดิน โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เพิ่มขึ้น ทำให้การดูดดึงโลหะหนักของพืชลดลงได้ เพราะว่าอิออนของโลหะหนักต่างๆ จะอยู่ในรูปที่เปลี่ยนประจุได้ และละลายน้ำได้ซึ่งจะมีปริมาณลดลง (อรรณพ หอมจันทร์, 2544) แคดเมียมเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีค่าความเป็นกรดป็นด่างระหว่าง 4.5-5.5 ซึ่งสภาพละลายได้ (Solubility) ของแคดเมียมขึ้นอยู่กับออกไซด์ของเหล็ก และอลูมินัม ตลอดจนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) จากการทดลองของ Romken and Salamons (1998) พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างน้อยกว่า 5.5 แคดเมียม และสังกะสีจะถูกปลดปล่อยออกมาจากดินได้มากขึ้น และเมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นพบว่า แคดเมียมสังกะสีจะถูกปลดปล่อยออกมาน้อยลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Naidu *et al.* (1997) พบว่าช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเท่ากับ 2.0-3.0 ดินจะมีความสามารถในการสะสมแคดเมียมต่ำ และความสามารถในการสะสมแคดเมียมจะมีเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้น

พืชสามารถเจริญเติบโตได้ในค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน พืชส่วนมากสามารถเจริญเติบโตดีที่สุดในดินที่มีค่าความเป็นกรดอ่อนมีค่าระหว่าง 6.5-6.8 ในขณะที่พืชบางชนิด เช่น อ้อย มันสำปะหลัง และกะหล่ำปลี เจริญเติบโตได้ดีในความเป็นกรดเป็นด่าง 6.5-7.0 ส่วนข้าว ยางพารา สับปะรดเจริญได้ดีในค่าความเป็นกรดป็นด่างเท่ากับ 4.5-5.4 เป็นต้น (อภิรดี

อิ่มเอิบ, 2534 อ้างถึงใน มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544) นอกจากนี้พืชแต่ละชนิดจะมีการดูดดึงแคดเมียมที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่างกัน เช่น จากการศึกษาของ Kitagishi and Yamane (1981) พบว่าการดูดดึงแคดเมียมในเมล็ดข้าวได้ดีในค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 4.5-5.5 ส่วนในข้าวบาร์เล่ย์พบว่า มีการดูดดึงแคดเมียมได้ดีเมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่า 7.2-7.8

2) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)

ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchangeable Capacity; CEC) เป็นผลรวมของประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ ดินมีประจุไฟฟ้าเนื่องมาจากอนุภาคดินเหนียว และอินทรียวัตถุทำให้สามารถดูดยึดไว้ในดินหรือคอลลอยด์ดิน ซึ่งค่า CEC ขึ้นอยู่กับชนิดของคอลลอยด์ดิน ปริมาณดินเหนียวที่มีอยู่ในดิน และปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ในดินทั่วไปมีค่า CEC ของหน้าดินระหว่าง 0.5-50 me/100g (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) ดังนั้นค่า CEC จึงเป็นสมบัติทางเคมีอีกตัวหนึ่งของดิน ซึ่งนอกจากจะใช้จำแนกชุดดินแล้ว ยังใช้ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน และประเมินศักยภาพทางสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย ซึ่งได้แสดงระดับค่าของ CEC ในดินไว้ในตารางที่ 2.3 ทั้งนี้ถ้าระดับค่า CEC ของดินต่ำ แสดงว่าดินชนิดนั้นมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวหรืออินทรียวัตถุน้อย

ตารางที่ 2.3 ระดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินตามมาตรฐานสากล

ระดับ	ความสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวก ($cmol_c/kg$)
ต่ำมาก	< 3.0
ต่ำ	3.0 - 5.0
ค่อนข้างต่ำ	5.0 - 10.0
ปานกลาง	10.0 - 15.0
ค่อนข้างสูง	15.0 - 20.0
สูง	20.0 - 30.0
สูงมาก	>30.0

ที่มา: พจนีย์ มอญเจริญ (2544)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศิริลักษณ์ กล้าการขาย และธนูชัย กรองแก้ว (2005) ได้ศึกษาการใช้หญ้าแฝกกำจัดแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน โดยทำการศึกษาการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ซึ่งพบว่า ค่า CEC ในชุดดินท่าเรือมีค่าเท่ากับ 24.6 $cmol_c/kg$ และดินชุดอุบลมีค่าเท่ากับ 1.8 $cmol_c/kg$ จากการศึกษานี้ยังพบว่า ชุดดินที่มีค่า CEC สูงสามารถดูดดึงแคดเมียมได้ดี และมีการปลดปล่อยแคดเมียมได้ยากกว่าชุดดินที่มีค่า CEC ต่ำ ทำให้หญ้าแฝกที่ปลูกในชุดดินอุบลมีความสามารถในการดูดดึงแคดเมียมได้มากกว่าชุดดินท่าเรือ

3) ปริมาณอินทรียวัตถุ

อินทรียวัตถุ (Organic Matter; OM) มีประจุลบอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้มีความสามารถในการดูดยึดประจุบวกสูงกว่าคอลลอยด์อื่นๆ ประมาณ 2-30 เท่า จึงทำให้ดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูง มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างได้ดี อย่างไรก็ตามอินทรีย์วัตถุมีส่วนที่เป็นประจุบวกอยู่บ้าง ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า ช่วยป้องกันไม่ให้โลหะหนักสูญหายไปกับน้ำโดยง่าย แคดไอออนที่เป็นไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะถูกอินทรียวัตถุดูดซับเอาไว้ทำให้โอกาสที่ pH จะเปลี่ยนแปลงนั้นย่อมเกิดได้ยาก ดังนั้น ถ้าในดินมีปริมาณอินทรียวัตถุที่เหมาะสม โอกาสที่โลหะจะออกสู่สารละลายดินก็น้อยลง (วราภรณ์ ศรีตัมภวา, 2550) Udom *et al*. (2004) ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวของแคดเมียม และสังกะสีในดินที่มีการใช้กากตะกอนชุมชนในการปรับปรุงคุณภาพดินเป็นเวลา 40 ปีติดต่อกันในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไนจีเรีย พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุมีความสัมพันธ์ทางบวกกับสังสี และแคดเมียม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณอินทรียวัตถุมีผลต่อการสะสมของแคดเมียม และสังกะสีในดิน ซึ่งปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สูงมีผลทำให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ และการดูดดึงโลหะหนักของพืชลดลง

4) เนื้อดิน

เนื้อดินมีอิทธิพลต่อความพรุนของดิน การอุ้มน้ำ การระบายน้ำ และอากาศ การชอนไชของราก ดังนั้นพื้นที่ผิวสัมผัสของเนื้อดินแต่ละชนิดย่อมมีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก โดยเนื้อดินที่แตกต่างกัน สามารถทำให้การดูดดึงโลหะหนักได้แตกต่างกัน Bell *et al.* (2001) ได้รายงานไว้ว่า ดินทรายซึ่งเป็นดินที่มีปริมาณดินเหนียว และอินทรียวัตถุต่ำ พบว่า พืชส่วนใหญ่สามารถดูดดึงแคดเมียมไปใช้ได้สูงกว่าพืชที่ปลูกในดินเหนียว

5) ชนิดของพืช

พืชแต่ละชนิดมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันไป ซึ่งเป็นผลทำให้ความสามารถของพืชในการดูดดึงโลหะหนักแต่ละชนิด แต่ละรูปแบบก็แตกต่างกันไปด้วย ดังตารางที่ 2.4 เช่น ผักคะน้ามีความสามารถในการดูดดึงสังกะสีในรูปของซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ได้ดีที่สุด (อรรณพ หอมจันทร์, 2544)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณแคดเมียมในพืชชนิดต่างๆ ที่ปลูกในดินชนิดเดียวกัน

ชนิดพืช	ปริมาณแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
ส่วนใบของคื่นฉ่าย	28.80
มันฝรั่ง	1.76
ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพด	0.64
ใบยาสูบ	56.60

ที่มา: ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2545)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 อ้อย

อ้อยมีจุดกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และทางอินเดียตะวันตก อ้อยถือว่าเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่จะนำมาทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขับเคลื่อนพาหนะ การปลูกอ้อยจะปลูกในแถบเขตร้อน และกึ่งร้อน ในระหว่างละติจูด 36.7 องศาเหนือ และ 31.0 องศาใต้ ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งมีประเทศไทยรวมอยู่ด้วย

รูปที่ 2.3 พื้นที่ที่มีการปลูกอ้อยในโลก

ที่มา: http://www.sugarcanecrops.com/introduction/

ในทั่วโลกมีพื้นที่ที่ทำการเกษตรโดยการปลูกอ้อย 20.42 ล้านเฮกแตร์ ได้ผลผลิตทั้งหมด 1,333 ล้านเมตริกตัน พื้นที่ที่ทำการปลูกอ้อยและการให้ผลผลิตแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ (ตารางที่ 2.5) โดยพบว่า ประเทศบราซิลมีพื้นที่ปลูกอ้อยมากที่สุดเท่ากับ 5.343 ล้านเฮกแตร์ ในขณะที่ประเทศออสเตรเลียมีความสามารถในการผลิตมากที่สุดเท่ากับ 85.1 ตันต่อเฮกแตร์ และประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกอ้อย 0.970 ล้านเฮกแตร์ ได้ผลผลิต 64.4 ล้านตัน ทำให้ความสามารถในการผลิตมีค่าเท่ากับ 66.4 ตันต่อเฮกแตร์ ซึ่งประเทศไทยสามารถปลูกอ้อยได้แทบทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ เพราะสภาพอากาศทางภาคใต้ไม่เหมาะแก่การปลูกอ้อย มีฝนตกชุก และมีอากาศร้อนตลอดปี และอ้อยจะมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 10 - 13 เดือน (วราภรณ์ ศรีตัมภวา, 2550)

ตารางที่ 2.5 ขนาดพื้นที่ ผลผลิต และความสามารถในการผลิตของอ้อยในโลก

ประเทศ	พื้นที่ (ล้านเฮกแตร์)	ผลผลิต (ล้านตัน)	ความสามารถในการผลิต (ตันต่อเฮกแตร์)
บราซิล	5.343	386.2	72.3
อินเดีย	4.608	289.6	62.8
จีน	1.328	92.3	65.5
ไทย	0.970	64.4	66.4
ปากีสถาน	1.086	52.0	47.9
เม็กซิโก	0.639	45.1	70.6
โคลัมเบีย	0.435	36.6	84.1
ออสเตรเลีย	0.423	36.0	85.1
อเมริกา	0.404	31.3	77.5
ฟิลิปปินส์	0.385	25.8	67.1
อินโดนีเซีย	0.350	25.6	73.1
คิวบา	0.654	22.9	35.0
แอฟริกาใต้	0.325	20.6	63.4
อาเจนตินา	0.295	19.2	65.2
พม่า	0.165	7.5	45.4
บังคลาเทศ	0.166	6.8	41.2
ทั่วโลก	20.42	1,333.2	65.2

ที่มา: ดัดแปลงจาก http://www.sugarcanecrops.com/introduction/

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของอ้อย

อ้อยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharum officinarum* L. จัดอยู่ในลำดับดังนี้

Class : Monocotyledones

Order : Glumaceae

Family : Gramineae

Group : Andropogoneae

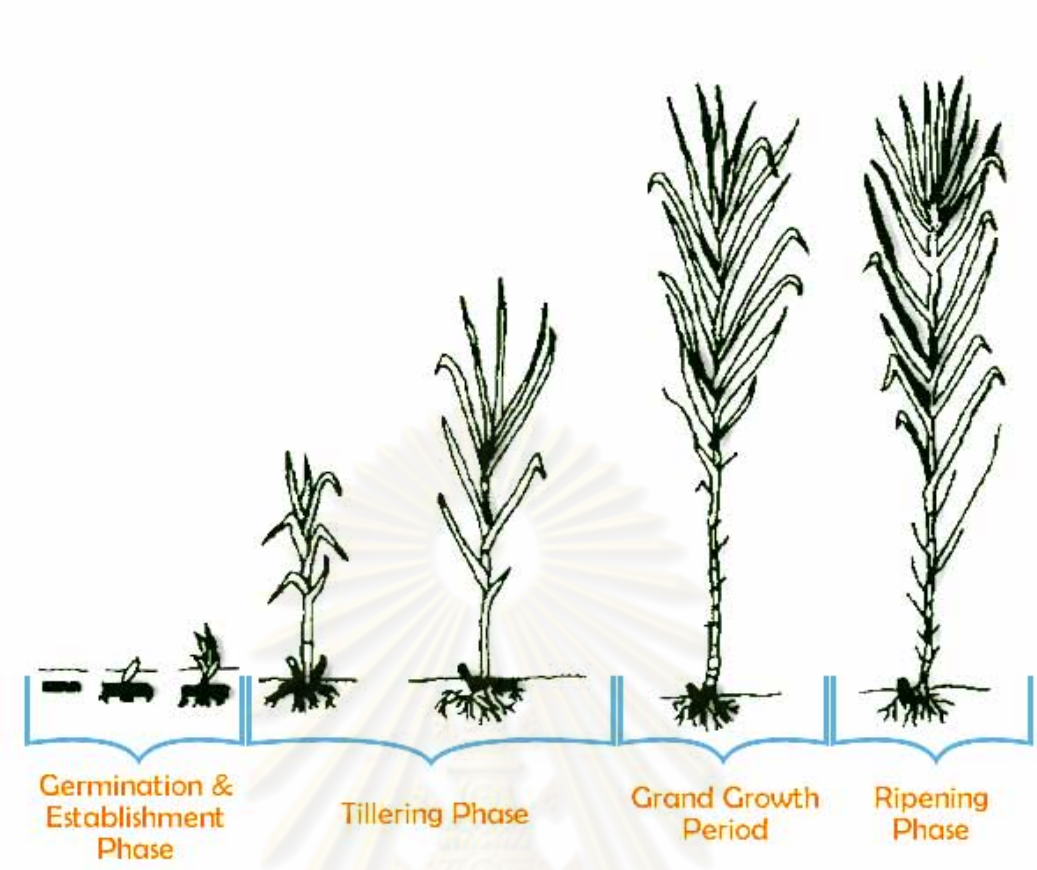
Genus : Saccharum

สำหรับพันธุ์อ้อยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ พันธุ์ LK 92-11 มีลักษณะดังต่อไปนี้ (บริษัท มิตรผล พัฒนาอ้อยและน้ำตาล จำกัด, มปป.)

แม่ - พ่อ	K84-200 x Ehiew
ผลผลิต	13-21 ตัน/ไร่
ความหวาน	12-13 ซีซีเอส
ลักษณะเด่น	แตกกอดีมาก ไว้ตอดี และต้านทานโรคเหี่ยวเน่าแดง
ดิน	ดินร่วน และร่วนปนดินเหนียว
ฤดูปลูก	ปลายฝนหรือน้ำราด
ฤดูเก็บเกี่ยว	ช่วงต้น-กลางหีบ (ธันวาคม-กุมภาพันธ์)
คำแนะนำ	จำนวนลำต่อไร่สูง ควรเพิ่มปุ๋ยในอ้อยตอ

2.2.2 การเจริญเติบโตของอ้อย (วราภรณ์ ศรีตัมภวา, 2550)

เริ่มตั้งแต่ปลูกด้วยท่อนพันธุ์อ้อยจนถึงการเก็บเกี่ยวอ้อย มีการเจริญเติบโต ซึ่งพอจะแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ ดังรูปที่ 2.4 ดังนี้



รูปที่ 2.4 ระยะการเจริญเติบโตของอ้อย

ที่มา: http://www.sugarcanecrops.com/crop_growth_phases/

1) ระยะงอก (Germination Phase)

ระยะนี้เริ่มตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งหน่อโผล่พ้นดิน ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2-3 สัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น พันธุ์ การปฏิบัติต่อท่อนพันธุ์ และความหนาของดินที่กลบท่อนพันธุ์ เป็นต้น หน่อที่เกิดจากตาของท่อนพันธุ์เรียกว่า หน่อแรก (Primary Shoot) หรือหน่อแม่ (Mother Shoot)

2) ระยะแตกกอ (Tillering Phase)

ระยะแตกกอเป็นระยะที่ต่อเนื่องกับระยะงอก ในระยะงอกอ้อยแต่ละตา จะงอกขึ้นมาเพียงต้นเดียว และเมื่อเติบโตจึงจะมีการแตกกอ การแตกกอเป็นลักษณะสำคัญของพืช

ตระกูลหญ้ารวมทั้งอ้อย เนื่องจากตาที่อยู่ส่วนโคนของลำต้นใต้ดินของหน่อแรกเจริญออกมาเป็นหน่อชุดที่สอง และจากหน่อชุดที่สองก็เจริญเป็นชุดที่สามต่อๆ ไป ทำให้มีจำนวนหน่อหรือลำต้นเพิ่มขึ้น การแตกกอจะเริ่มเมื่ออายุประมาณ 1.5 เดือนเป็นต้นไป แต่ระยะที่มีการแตกกอมากที่สุดอยู่ระหว่าง 2.5-4 เดือน หน่อที่อ่อนแอกว่าก็จะตายไป เพราะการแข่งขันกันเพื่อปัจจัยในการเจริญเติบโต เช่น แสงแดด อุณหภูมิ (ที่เหมาะสมประมาณ 30 องศาเซลเซียส ถ้าต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสจะทำให้ระยะแตกกอช้าลง) น้ำหรือความชื้น และธาตุอาหาร เป็นต้น โดยจำนวนลำต้นต่อกอขณะเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับจำนวนหน่อในระยะแตกกอนี้

3) ระยะย่างปล้อง (Stalk Elongation Phase หรือ Grand Growth Phase)

เป็นระยะต่อเนื่องกับการแตกกอ ระยะนี้จะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความยาวของปล้องอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่อายุประมาณ 3-4 เดือน จนถึงอายุประมาณ 7-8 เดือน หลังจากนั้นการเจริญเติบโตจะน้อยลง และเริ่มมีการสะสมน้ำตาลเพิ่มขึ้น ขนาด และความยาวแต่ละต้นในระยะนี้ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหนักของแต่ละลำต้น และน้ำหนักแต่ละลำต้นมีผลโดยตรงต่อผลผลิตน้ำหนักของอ้อยเมื่อเก็บเกี่ยว

4) ระยะแก่ และสุก (Maturation and Ripening Phase)

ระยะแก่ คือ ระยะที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้าลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับระยะต่างๆ เมื่อการเจริญเติบโตเริ่มช้าลง น้ำตาลที่ใบสร้างขึ้นจากการสังเคราะห์แสงก็จะถูกใช้น้อยลง และมีเหลือเก็บสะสมในลำต้นมากขึ้น ซึ่งเป็นการเริ่มต้นของระยะสุก การสะสมน้ำตาลจะเริ่มจากส่วนโคนไปหาปลาย ดังนั้นส่วนโคนจึงหวานก่อน และมีความหวานมากกว่าส่วนปลาย โดยเฉพาะส่วนกลาง และปลายมีความหวานใกล้เคียงกัน นอกจากนี้การสะสมน้ำตาลจะมีมากขึ้นตามลำดับ

การเจริญเติบโต และการสะสมน้ำตาลของอ้อยมิได้เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ขณะที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วนั้น น้ำตาลที่ใบสร้างขึ้นส่วนใหญ่จะถูกใช้ไปเพื่อการเจริญเติบโต จึงเหลือสะสมไว้ภายในลำต้นเพียงส่วนน้อย เมื่อการเจริญเติบโตช้าลงจึงมีการสะสมน้ำตาลมากขึ้น

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อย (กรมวิชาการเกษตร, 2523)

1) พันธุ์อ้อย

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อยเริ่มตั้งแต่การคัดเลือกท่อนพันธุ์อ้อย โดยพันธุ์อ้อยที่เหมาะสมควรมีอายุประมาณ 7-9 เดือน จะต้องคัดเลือกมาจากแปลงพันธุ์ที่ปราศจากโรค และแมลง ไม่มีพันธุ์อื่นเจือปน จะทำให้ได้ท่อนพันธุ์ที่แข็งแรง สมบูรณ์ ทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกสูง และสม่ำเสมอ อ้อยแต่ละพันธุ์มีอัตราการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน อ้อยพันธุ์เบาสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วภายในช่วงเวลาอันสั้น ซึ่งอ้อยบางพันธุ์จะปลูกให้เก็บเกี่ยวได้ภายใน 12 เดือน แต่อ้อยบางพันธุ์จะต้องใช้เวลาถึง 18-24 เดือน

2) แสงแดด

อ้อยเป็นพืชที่ต้องการแสงแดดมากกว่าพืชอื่นๆ และเป็นแสงแดดที่จ้า ต้องได้รับเป็นเวลานานด้วย โดยเฉพาะในระยะที่อ้อยกำลังแตกกอ และย่างปล้อง แสงทำให้อ้อยมีลำสั้นแต่ใหญ่ ใบกว้าง และเขียวจัด แตกกอพอสมควร แสงทำให้อ้อยสร้างสีม่วง (Anthocyanin) ขึ้นที่เปลือกโดยจะเห็นได้ชัดเมื่ออ้อยทิ้งกาบใบออกโดยธรรมชาติ ส่วนที่ถูกแสงจะสร้างสารแอนโธไซยานินขึ้นทำให้มีสีม่วง นอกจากนี้แสงสว่างยังทำให้อ้อยสร้างระบบรากที่เหมาะสม และเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมากขึ้น และทำให้ใบเขียวขึ้นด้วย

3) ดิน

อ้อยเป็นพืชที่มีความสามารถสูงในการเก็บพลังงานจากดวงอาทิตย์ ถ้าต้องการทำให้อ้อยเก็บพลังงานจากดวงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุดจะต้องทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างดิน และพืชเป็นไปอย่างเหมาะสม โดยรากเป็นตัวจำกัดของการเจริญเติบโตของอ้อย รากอ้อยมักจะชอนไชไปในดินที่มีสิ่งกีดขวางน้อยที่สุด เช่น ชอนไชไปตามรอยรากเก่าหรือโพรงที่แมลงขุดไว้ ถ้าไปพบในดินแน่นหรือมีสิ่งกีดขวางรากอ้อยจะแผ่ตัวออกทางแบนและเปลี่ยนทิศทาง การเจริญเติบโตของอ้อยจะลดลงเมื่อรากเจริญผ่านดินที่แน่นมากๆ และมีช่องว่างอยู่ในดินน้อย ทำให้มีรากแขนงสั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทำให้พื้นที่สำหรับดูดน้ำ และธาตุอาหารได้น้อยลง ดังนั้นการปลูกอ้อยควรหลีกเลี่ยงการปลูกในดินที่เหนียวจัด โดยดินที่เหมาะสมแก่การปลูกอ้อยคือ ดินร่วนปนดินเหนียว และพื้นที่ปลูกควรเป็นที่ราบ

3.1) คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน

ดินเป็นแหล่งให้อากาศ น้ำ และธาตุอาหารแก่อ้อย สภาพทางฟิสิกส์ของดินเลวที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ หรือเกิดจากการใช้รถบรรทุก หรือเครื่องมือทุ่นแรงขนาดใหญ่ลงไปเหยียบย่ำ หรือการให้น้ำชลประทานมากเกินไป จะมีผลกระทบกระเทือนต่อปริมาณน้ำ และอากาศในดิน และทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินเลวลง

3.2) คุณสมบัติทางเคมีของดิน

สมบัติทางเคมีของดินมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของอ้อย โดยทั่วไปการปลูกพืชเพื่อให้ได้ผลดีจำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ย หรือเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดิน โดยปกติปริมาณธาตุอาหารในดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ เนื่องจากดินมีการเปลี่ยนแปลงในตัวเองอยู่ตลอดเวลา สำหรับเรื่องการใส่ปุ๋ย และธาตุอาหารที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของอ้อย จะกล่าวอย่างละเอียดในหัวข้อถัดไป

3.3) จำนวนจุลินทรีย์ในดิน

เชื้อรา ไส้เดือนฝอย เป็นสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตของอ้อยลดลง ซึ่งจำนวน และชนิดของจุลินทรีย์ดินมักเปลี่ยนแปลงไปตามคุณสมบัติทางฟิสิกส์ และเคมี ตลอดจนคุณสมบัติทางชีววิทยาของดินที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4) ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

รากของอ้อยสามารถเจริญเติบโตตามปกติในดินที่มี pH อยู่ระหว่าง 6.1-7.7 และโดยทั่วไปในดินที่เป็นกรดเป็นอันตรายต่ออ้อยมากกว่าดินที่เป็นด่าง แต่ในฮาวายอ้อยที่ปลูกในดิน pH 4.5-5.0 ให้ผลผลิตสูง และในบางพื้นที่ปลูกในดินที่มี pH 8.0-8.3 ให้ผลผลิตสูงมากเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแต่ละพื้นที่ และพันธุ์อ้อย ซึ่งในการปลูกอ้อยปัญหาเกี่ยวกับความเป็นกรดเป็นด่างไม่สำคัญเท่ากับการใช้ปุ๋ยถูกต้อง และเหมาะสมซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญมากกว่า

4) อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของอ้อยที่สำคัญคือ ที่รากของอ้อยนั้นไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์อ้อย และระดับความลึกของดินซึ่งเปลี่ยนแปลงทุกๆ เซนติเมตร อุณหภูมิดินของประเทศไทยโดยเฉลี่ยประมาณ 30 องศาเซลเซียส นับว่าเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของรากอ้อยโดยทั่วไป

5) ปริมาณ และการกระจายของน้ำฝน

การกระจายของฝนเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง เพราะถ้าฝนตกมากเกินไปในฤดูฝน และมีการระบายน้ำไม่ดี ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของอ้อยลดลง แต่ถ้ามีฝนตกเบาๆ และมีน้ำค้างมากมีผลทำให้อ้อยเจริญเติบโตได้ดี เพราะอ้อยสามารถที่จะดูดความชื้นโดยทางใบ และกาบใบได้ นอกจากนี้ฝนตกเบาๆ ยังช่วยทำให้ใบอ้อยสะอาด เพิ่มความชื้นในอากาศ และช่วยลดการคายน้ำของอ้อยลงได้

6) ความชื้นในดิน

อ้อยเป็นพืชที่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในสภาพของดินที่มีระดับความชื้นแตกต่างกันอย่างมาก อ้อยบางพันธุ์สามารถทนทานต่อความชื้นได้สูงมาก บางพันธุ์ขาดน้ำติดต่อกันหลายเดือน ยอดอ้อยแห้ง แต่เมื่อได้รับน้ำสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ โดยทั่วไปอ้อยที่ปลูกในแถบ

ชลประทานระบบรากจะลงไปไม่ลึกมากเท่ากับอ้อยพันธุ์เดียวกันที่ปลูกในเขตใช้น้ำฝน ทั้งนี้เนื่องจากในเขตใช้น้ำฝนอ้อยจะต้องเอาชีวิตรอด โดยการพยายามแทงรากลงหาความชื้นใต้ดินมากกว่าอ้อยที่ปลูกโดยระบบชลประทาน

7) ลม

อ้อยที่ถูกลมพัดจะทำให้อ้อยแคระแกร็น เนื่องจากคายน้ำมาก อัตราส่วนการเจริญเติบโตของ ลำต้น : ราก จะน้อยกว่าอ้อยที่ไม่ถูกลมพัดจัดมาก แสดงให้เห็นว่าอ้อยที่ไม่ถูกลมพัดจะมีโอกาสสร้างลำต้น และใบได้ดีกว่าอ้อยที่ปลูกอยู่ทางด้านที่ถูกลมมาก

8) การแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ และพื้นที่ใบ

อ้อยดูดคาร์บอนไดออกไซด์โดยการดูดในรูป CO_2 เข้าไปสู่เซลล์พาลิเสดพาเรนไคมา (Palisade Parenchyma) และเมโซฟีลเซลล์ (Mesophyll Cell) ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการสังเคราะห์แสง โดยเข้าทางปากใบ (Guard Cell) การที่อ้อยจะมีความสามารถในการสังเคราะห์แสงได้มากย่อมขึ้นอยู่กับเนื้อที่ใบด้วย และได้มีการทดลองตัดใบอ้อยออกบางส่วนในขณะที่กำลังเจริญเติบโต ผลปรากฏว่าปล้องอ้อยมีขนาดเล็กลง ทั้งนี้เนื่องจากอ้อยมีการสังเคราะห์แสงไม่สมบูรณ์ และเมื่อปล่อยให้ใบอ้อยถัดขึ้นมามีขนาดใหญ่ขึ้นจนโตเต็มที่ ปล้องอ้อยที่ถัดขึ้นมาก็มีขนาดใหญ่ขึ้นเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์แสงได้ผลเต็มที่ ดังนั้น คาร์บอนไดออกไซด์จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการสังเคราะห์แสง สำหรับการขาดแคลนคาร์บอนไดออกไซด์ยังไม่เคยมีปัญหาเกิดขึ้น

9) ธาตุอาหาร

อ้อยเป็นพืชที่ดูดธาตุอาหารไปจากดินในปริมาณค่อนข้างสูง โดยความอุดมสมบูรณ์ของดินมีผลกับธาตุอาหารในลำต้นอ้อย ดินที่มีธาตุอาหารชนิดไหนน้อยก็มีธาตุอาหารชนิดนั้นในลำต้นอ้อยน้อยลงด้วย การใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารแก่อ้อยจึงถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง สำหรับธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (N-P-K) เป็นธาตุอาหารที่ทำให้อ้อยให้ผลผลิตสูง ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ จึงใช้ปุ๋ยเคมีเป็นแหล่งธาตุอาหารแก่อ้อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 ปุ๋ยเคมี

คำว่า “ปุ๋ย” หมายถึง สารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สามารถใช้เป็นธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์แก่พืชได้ โดยเฉพาะไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่พืชยังขาดอยู่ให้ได้รับอย่างเพียงพอ เพื่อพืชสามารถเจริญเติบโตงอกงามดีขึ้น และให้ผลผลิตสูงขึ้น

ปุ๋ยมีความสำคัญมากที่สุดเป็นผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า ปุ๋ยเคมี (Chemical Fertilizer) ซึ่งจำเป็นสำหรับระบบเกษตรกรรม ปัจจุบันได้มีในการนำปุ๋ยไปชดเชยธาตุอาหารที่สูญหายจากดินหรือถูกดูดใช้จากดินในรูปของธาตุอาหาร (วิจิตร วังใน, 2552)

ปุ๋ยเคมี เป็นปุ๋ยที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นจากสารอนินทรีย์ต่างๆ สามารถให้ธาตุอาหารในดินได้อย่างรวดเร็ว เพราะเป็นปุ๋ยที่มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ เมื่อลงสู่ดินพืชสามารถดูดไปใช้ได้ทันที ปุ๋ยเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ปุ๋ยธาตุอาหารหลัก (Major Element) คือ ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก ซึ่งได้แก่ ธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) เมื่อมีการปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลานาน ดินมักจะมีธาตุอาหารเหล่านี้ไม่เพียงพอกับความต้องการของพืชที่ปลูก (เกริก ปิ่นตระกูล, 2550) ดังนั้นจึงต้องมีการเติมธาตุอาหารเหล่านี้ลงไปในดิน โดยธาตุอาหารหลักที่มีอยู่ในปุ๋ยนั้นๆ จะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ส่วนฟอสฟอรัสจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (Available P_2O_5) และโพแทสเซียมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K_2O) เช่นปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 เป็นปุ๋ยผสมที่มีปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจนทั้งหมด (N) 16% ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) 16% และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O) 8% ปุ๋ยเคมีอีกชนิดหนึ่งคือ ปุ๋ยธาตุอาหารรอง (Minor Element) คือ ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมากๆ พอกับธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ธาตุแคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) แต่ส่วนใหญ่ธาตุอาหารรองมักมีอยู่ในดินในปริมาณมาก เมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอาหารหลัก

2.3.1 ธาตุอาหารหลัก (วิจิตร วังใน, 2552)

1) ไนโตรเจน (N)

พืชต้องการไนโตรเจนเพื่อการเจริญเติบโต พัฒนา และสร้างดอกผล แม้ว่าไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีปริมาณมากที่สุดตัวหนึ่งของโลก แต่อาการขาดธาตุไนโตรเจนอาจเป็นปัญหาทางธาตุอาหารที่มีผลต่อพืชบ่อยที่สุด ธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักของคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นสารประกอบที่พืชใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงแดด เพื่อผลิตน้ำตาลจากน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น ในกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ไนโตรเจนยังเป็นองค์ประกอบหลักของกรดอะมิโนซึ่งเป็นโครงสร้างของโปรตีน และโปรตีนบางชนิดยังทำหน้าที่เป็นหน่วยโครงสร้างในเซลล์พืช ในขณะที่ตัวอื่นๆ ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ทำให้เกิดปฏิกิริยาชีวเคมี ซึ่งเป็นพื้นฐานของชีวิตไนโตรเจน และยังเป็นองค์ประกอบของสารประกอบที่ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายพลังงาน เช่น ATP (Adenosine Triphosphate) ซึ่งยอมให้เซลล์เก็บรักษา และใช้ประโยชน์จากพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาในกระบวนเมตาบอลิซึม อีกทั้งไนโตรเจนยังเป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดนิวคลีอิก เช่น DNA (Deoxyribonucleic Acid) ซึ่งเป็นสารพันธุกรรมที่ยอมให้เซลล์ของพืชเจริญเติบโต และออกดอกติดผล

ธาตุไนโตรเจนปกติมีอยู่ในอากาศในรูปของก๊าซไนโตรเจนจำนวนมาก แต่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ยกเว้นพืชตระกูลถั่วที่มีระบบรากพิเศษสามารถแปรรูปก๊าซไนโตรเจนจากอากาศนำมาใช้ประโยชน์ได้ ธาตุไนโตรเจนที่พืชทั่วๆ ไปดูดดึงมาใช้ประโยชน์ได้นั้นอยู่ในรูปของอนุมูลของสารประกอบ เช่น แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และไนเตรทไอออน (NO_3^-) จะมาจากการสลายตัวของสารอินทรียวัตถุในดิน โดยจุลินทรีย์ในดินจะเป็นผู้ปลดปล่อยให้ นอกจากนี้ได้มาจากการใส่ปุ๋ยลงไปในดินด้วย (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2540) ไนโตรเจนทั้งสองรูปนี้รากพืชสามารถดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้ทันที เนื่องจากแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4-N) มีประจุบวก ส่วนดินมีประจุลบจึงสามารถยึดเกาะกันอย่างเหนียวแน่น ทนต่อการชะล้างของน้ำ แต่ง่ายสำหรับรากพืชที่ดูดดึงได้ ส่วนไนเตรทไนโตรเจน (NO_3-N) เนื่องจากมีประจุไฟฟ้าเป็นลบเช่นเดียวกันกับประจุของดินจึงไม่สามารถเกาะยึดดินได้ ทำให้ง่ายต่อการถูกชะล้าง และเกิดการสูญเสียไปจากดินได้ง่าย

พืชที่ขาดธาตุไนโตรเจนจะแคระแกร็น โตช้า ใบเหลือง โดยเฉพาะใบล่างๆ จะแห้งร่วงหล่นเร็ว การออกดอกออกผลจะช้า และไม่ค่อยสมบูรณ์นัก ดินโดยทั่วๆ ไปมักจะมีไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ดังนั้นจึงควรมีการใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยเคมีเพิ่มเติมให้กับพืชด้วย (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2540)

การได้รับไนโตรเจนมากเกินไปจะไปเพิ่มการเจริญเติบโตทางกิ่งใบ และการแตกกอของพืช จะเกิดผลลบต่อการสร้างรวง และเมล็ด เนื่องจากไปก่อกวนสมดุลระหว่างคาร์โบไฮเดรต และสารประกอบไนโตรเจน ทำให้ลำต้นล้มได้ง่าย ตัวอย่างพืชที่ได้รับไนโตรเจนมากเกินไป เช่น มะเขือเทศ สามารถทำให้เกิดแผลบนลำต้นได้ ส่วนส้ม ผลมีขนาดเล็กมีเนื้อหยาบ น้ำหวานน้อย และเปลือกหนา

2) ฟอสฟอรัส (P)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของสารประกอบที่เป็นโครงสร้างหลักของพืช และเป็นตัวช่วยในปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่สำคัญจำนวนมาก ธาตุฟอสฟอรัสโดดเด่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งบทบาทในการจับ และเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นสารประกอบที่เป็นประโยชน์ในพืช หน้าที่สำคัญ 2 ประการของธาตุฟอสฟอรัสที่มีต่อพัฒนาการ และการผลิตพืชที่เป็นไปอย่างปกติ คือ

2.1) ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นที่สุดของ DNA ซึ่งเป็น Memory Unit ทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ธาตุฟอสฟอรัสยังเป็นส่วนประกอบของ RNA ซึ่งเป็นสารประกอบที่แปลรหัสพันธุกรรม DNA เพื่อสร้างโปรตีน และสารประกอบอื่นๆ ที่จำเป็นสำหรับโครงสร้างพืช สร้างเมล็ด และถ่ายโอนพันธุกรรม โครงสร้างของทั้ง DNA และ RNA ถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันด้วยพันธะฟอสฟอรัส

2.2) ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นยิ่งอันหนึ่งของการสร้าง ATP (Adenosine Triphosphate) ซึ่งเป็น Energy Unit ของพืช ATP ถูกสร้างในขณะเกิดการสังเคราะห์แสงจะมีฟอสฟอรัสในโครงสร้าง และในกระบวนการตั้งแต่ต้นกล้าเริ่มเจริญเติบโตจนถึงการสร้างเมล็ด และโตเต็มวัย

ดังนั้นฟอสฟอรัสจึงจำเป็นสำหรับสุขภาพ และความแข็งแรงของพืชทุกชนิด ปัจจัยการเจริญเติบโตโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวข้องกับธาตุฟอสฟอรัส คือ การกระตุ้นพัฒนาการของราก เพิ่มความแข็งแรงของลำต้น ปรับปรุงการสร้างดอก การผลิตเมล็ด พืชผลแก่เร็ว และสม่ำเสมอมากขึ้น เพิ่มความสามารถในการตรึงไนโตรเจนของพืชตระกูลถั่ว ปรับปรุงคุณภาพของพืชผล และเพิ่มความต้านทานโรคให้กับพืช

ธาตุฟอสฟอรัสในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้จะต้องอยู่ในรูปของอนุมูลของสารประกอบที่เรียกว่า ฟอสเฟตไอออน ($H_2PO_4^-$ และ HPO_4^-) ซึ่งจะต้องละลายอยู่ในน้ำในดิน (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2540) ฟอสฟอรัสที่สามารถละลายน้ำได้ ทั้งที่ได้จากปุ๋ยหรือจากการผุกร่อนโดยภูมิอากาศตามธรรมชาติ จะทำปฏิกิริยากับดินเหนียว เหล็ก และสารประกอบอะลูมิเนียมในดิน และถูกเปลี่ยนแปลงทันทีไปเป็นรูปที่เป็นประโยชน์น้อยลงโดยกระบวนการตรึงฟอสฟอรัส จึงทำให้ฟอสฟอรัสเคลื่อนย้ายได้น้อยในดินส่วนมาก หรือกล่าวได้ว่าโอกาสที่พืชจะดูดได้เกิน 20% ของปุ๋ยฟอสฟอรัสนั้นมีน้อยมากในระหว่างฤดูปลูกหลังการใส่ปุ๋ย ด้วยเหตุนี้เองการสูญเสียฟอสฟอรัสโดยการชะล้างจึงมีน้อย ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึง และที่ตกค้างคงเหลืออยู่บริเวณเขตของรากพืช และจะเป็นประโยชน์ต่อพืชรุ่นตามมาอย่างช้าๆ นอกจากนี้การชะกร่อนของดิน และการเคลื่อนย้ายพืชผลออกจากไร่สวนจึงเป็นการสูญเสียฟอสฟอรัสที่สำคัญ ดังนั้นการเคลื่อนที่ในดินของธาตุอาหารจากมากไปน้อย ได้แก่ ไนโตรเจน > โพแทสเซียม > ฟอสฟอรัส ตามลำดับ

การขาดธาตุฟอสฟอรัส เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่สามารถทำให้เกิดการขาดฟอสฟอรัสในพืช เช่น ความสามารถในการดูดดึง บางครั้งพืชจะแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสในขณะที่ดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อย่างพอเพียง เป็นต้น โดยทั่วไปในพืชผักที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่า 0.2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง จะแสดงให้ทราบว่าเกิดการขาดธาตุฟอสฟอรัส โดยลักษณะอาการของพืชบางชนิดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส เช่น ในพืชตระกูลถั่ว ใบจะมีสีเขียวเข้มจนถึงเขียวอมน้ำเงิน แข็งตั้งตรง ลำต้นสั้น และผอมบาง การเจริญเติบโตถูกยับยั้ง มีดอกน้อย มีฝัก และเมล็ดน้อย ส่วนข้าวโพดพบว่า ใบ และลำต้นมีสีแดง และม่วงเข้มโดยเฉพาะในต้นที่มีอายุน้อย ส่วนใบแก่จะเหี่ยวย่นเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลจนถึงแดงอมน้ำตาลแล้วแห้งตายไป ลำต้นผอมบาง การแก่ของฝักจะล่าช้า การเรียงตัวของเมล็ดในซังไม่เป็นระเบียบ สำหรับการขาดฟอสฟอรัสของกะหล่ำดอก กะหล่ำปลี ใบจะมีสีเขียวอมน้ำเงินปะด้วยสีม่วงโดยเฉพาะตามข้างเส้นใบบนด้านท้องใบ ซึ่งการเกิดสีดังกล่าวนี้ บางทีมีสีค่อนข้างแดงคล้ายกับการขาดไนโตรเจน การเจริญเติบโต

ชะงัก ทรงต้นกะทัดรัด มีแต่หัวขนาดเล็กเท่านั้น ส่วนในกะหล่ำดอก ช่อดอกมีจะสีม่วงอย่างหนาแน่น ใบแก่แห้งตายโดยเริ่มที่ขอบใบก่อน

ธาตุฟอสฟอรัสมากเกินไปในดินมีความเป็นพิษกับพืชไม่มาก เพราะธาตุฟอสฟอรัสบางส่วนจะถูกตรึงไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ในดิน อย่างไรก็ตามปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มากเกินส่งผลทำให้เกิดการขาดจุลธาตุ เช่น สังกะสี หรือเหล็ก โดยการดูดดึง และเมตาบอลิซึมของจุลธาตุนั้นๆ จะถูกขัดขวางโดยความเข้มข้นของฟอสฟอรัสระดับสูงทั้งในดิน และพืช

3) โพแทสเซียม (K)

ธาตุโพแทสเซียมในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ มีกำเนิดมาจากการสลายตัวของหิน และแร่มากมายหลายชนิดในดิน โพแทสเซียมที่แตกตัวอยู่ในรูปอนุมูลบวก หรือโพแทสเซียมไอออน (K^+) เท่านั้นที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้เป็นประโยชน์ได้ อนุมูลโพแทสเซียมในดินอาจจะอยู่ในน้ำในดิน หรือดูดยึดอยู่ที่พื้นที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว ดังนั้นดินที่มีเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียว จึงมีปริมาณของธาตุนี้สูงกว่าดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทราย และดินร่วนปนทราย (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2540)

โพแทสเซียมทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งในบทบาทสำคัญในการควบคุมกิจกรรมหลายอย่างด้วยกันในพืช โดยกระบวนการในพืชส่วนมากจำเป็นต้องใช้โพแทสเซียมสนับสนุนในการเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ ในพืชจะพบสูงสุดในส่วนที่กำลังเจริญเติบโต เพราะมีกิจกรรมการสร้าง และเผาผลาญสารอาหารสูงจึงต้องการธาตุโพแทสเซียมมาก นอกจากนี้โพแทสเซียมยังสามารถเพิ่มผลผลิตของพืชได้ เพราะว่าธาตุนี้จะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของราก และส่งเสริมความทนทานความแห้งแล้ง ช่วยในการสร้างเซลลูโลสเพื่อลดการล้มของพืช ส่งเสริมกิจกรรมของเอนไซม์หลายตัว ช่วยในการสังเคราะห์ และสร้างอาหาร ช่วยในการขนย้ายน้ำตาล และแป้ง ผลิตเมล็ดที่อุดมด้วยแป้ง เพิ่มปริมาณโปรตีนของพืช รักษาความเต่ง ลดการสูญเสียน้ำ และเหี่ยวเฉา ช่วยต้านทานโรค และไส้เดือนฝอยที่เข้าทำลายพืช นอกจากนี้ยังมีผลต่อขนาด รูปร่าง สี รสชาติ คุณภาพเส้นใย และลักษณะทางคุณภาพที่วัดได้อื่นๆ

พืชที่ขาดโพแทสเซียมจะต้านทานต่อสภาพความแห้งแล้งได้น้อย ต้านทานต่อแมลง โรค และไส้เดือนฝอยที่เข้าทำลายพืชได้น้อยลง โดยลักษณะพืชที่ขาดโพแทสเซียม เช่น ข้าวมีใบขนาดเล็กแคบมีสีเขียวอมน้ำเงิน การแตกกอล่าช้าออกไป รากของต้นข้าวจะมีประสิทธิภาพการออกซิไดส์ลดลง ในข้าวโพดจะพบว่า มีปล้องสั้น และการเจริญเติบโตชะงัก ลำต้นผอมบาง มีใบค่อนข้าวยาว การล้มของต้นจะเกิดเพิ่มขึ้น ในใบแก่มีการสูญเสียคลอโรฟิลล์โดยจะเริ่มที่ปลายใบ และขอบใบ แรกเกิดมีลักษณะเป็นแถบทางยาวๆ และค่อยๆ ขยายไปทั่วใบทั้งหมด ปลายและขอบใบแสดงอาการเป็นแผลไหม้ เมล็ดในที่ปลายซังพัฒนาไม่ดี นอกจากนี้ในสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน (2540) รายงานว่า พืชพวกอ้อย มะพร้าว และมัน ต้องการโพแทสเซียมในปริมาณมาก ถ้าขาดโพแทสเซียมมันหัวจะลีบ พร้าวไม่มัน และอ้อยมีน้ำตาลน้อย

สำหรับการได้รับโพแทสเซียมมากเกินไปพบว่า ดินจะมีความสามารถในการดูดซับได้ต่ำ ลดคุณภาพของผลไม้ได้ เช่น ผลแอบเปิ้ลที่ขาดแคลเซียม จะแสดงอาการผิดปกติเรียกว่า Bitter Pit และส่งผลให้เกิดการขาดแคลเซียมในพืชหลายชนิด กล่าวได้ว่าเมื่อปริมาณของโพแทสเซียมในดินสูงเกินไปสามารถทำให้เกิดความเสียหายทางอ้อม โดยทำให้เกิดการขาดธาตุอาหารตัวอื่นๆ นอกจากแคลเซียม พบว่ายังมีแมกนีเซียม สังกะสี โบรอน และแมงกานีสอีกด้วย

2.3.2 ความสัมพันธ์ของธาตุอาหารหลักและอ้อย (กรมวิชาการเกษตร, 2523)

1) ไนโตรเจน

อ้อยที่ขาดไนโตรเจน ใบจะแสดงอาการสีเขียวอมเหลือง ใบอ่อนจะมีสีจาง การเจริญเติบโตลดลง ลำต้นเล็ก แตกกอน้อย และเมื่อใส่ปุ๋ยขณะดินมีความชื้นพอใบอ้อยจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวภายใน 1 สัปดาห์ และลำอ้อยจะเจริญเติบโตขึ้น

อ้อยที่กำลังเจริญเติบโตมีความต้องการไนโตรเจนอย่างสม่ำเสมอ แต่เมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยวถ้าอ้อยได้รับไนโตรเจนมากเกินไปจะทำให้อ้อยยังคงเจริญเติบโตต่อไป ซึ่งเป็นผลให้มีน้ำตาลซูโครสในน้ำอ้อยน้อย การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระยะแรกของการปลูกอ้อย (อายุไม่เกิน 3 เดือน) จะไม่กระทบกระเทือนถึงความหวานของอ้อยเมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยวอ้อยอายุ 11-12 เดือน

อ้อยบางพันธุ์เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงๆ ทำให้ความหวานลดลง ได้มีการศึกษาเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 60 กิโลกรัมต่อไร่ อ้อยพันธุ์ F155 ความหวานลดลง และอ้อยพันธุ์ Q83 และ Pinder ความหวานใกล้เคียงกับที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราต่ำ และได้มีการศึกษาของ Panwar *et al.* (1980) พบว่า เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้กับอ้อย 12 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ซูโครสในน้ำอ้อยเพิ่มขึ้นจาก 16% เป็น 17.2% ถ้าเพิ่มไนโตรเจนเป็น 36 กิโลกรัมต่อไร่ จะทำให้ซูโครสลดลงเหลือ 16.2% ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ เฉลิมพล แซมเพชร (2540) ที่กล่าวว่า การให้น้ำ และปริมาณไนโตรเจนในอัตราสูงๆ อ้อยจะมีแต่การเจริญเติบโตมาก การสะสมน้ำตาลจะน้อย ดังนั้นเพื่อให้การปลูกอ้อยมีการสะสมน้ำตาลสูงที่สุดนั้น หลังจากการเร่งการเจริญเติบโตของอ้อยจนได้ที่แล้ว ควรงดปัจจัยการเจริญเติบโต เพื่อให้อ้อยมีการสะสมน้ำตาลได้สูงสุด

อ้อยปลูกตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนได้ดีกว่าอ้อยตอ อาจจะเป็นเพราะว่าอ้อยปลูกมีการเตรียมดิน ระบบรากย่อมดีกว่า ทำให้รากมีประสิทธิภาพสูง ส่วนอ้อยตอโครงสร้างของดินเสื่อมลง การระบายอากาศในดินไม่ดีระบบรากสู้อ้อยปลูกไม่ได้

2) ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในอ้อยมีมากในส่วนที่มีการเจริญเติบโต และพบว่ามีอยู่ในใบแห้งน้อยกว่าใบสด ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สำคัญอย่างยิ่งในการงอกของอ้อย ถ้ามีฟอสฟอรัสในดินพอเพียง ราก และหน่อจะเจริญอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าดินขาดฟอสฟอรัสอย่างรุนแรงจะพบว่า หน่ออ้อยที่แทงขึ้นมาจะตายก่อนที่จะพ้นผิวดิน ฟอสฟอรัสช่วยให้ราก และลำต้นอ้อยแข็งแรง ถ้าขาดฟอสฟอรัสรากจะเล็ก รากแขนงมีน้อย และไม่แข็งแรง ใบแคบบาง แตกกอน้อย ลำต้นเล็ก และเรียวเล็กไปทางยอด ปล้องสั้นคล้ายกับอ้อยได้ผ่านช่วงแล้งมาเป็นเวลานาน

3) โพแทสเซียม

อ้อยเป็นพืชที่ต้องการโพแทสเซียมในปริมาณมาก โดยโพแทสเซียมช่วยในกระบวนการสังเคราะห์แสง เคลื่อนย้ายน้ำตาล ควบคุมการเคลื่อนที่ของน้ำในต้นอ้อย เพิ่มน้ำตาล และน้ำอ้อยทำให้อ้อยมีคุณภาพดี

ในช่วงระยะเวลาที่อ้อยกำลังเจริญเติบโต โพแทสเซียมจะเคลื่อนย้ายจากส่วนที่แก่ไปยังส่วนที่กำลังเจริญเติบโต ซึ่งเป็นผลให้โพแทสเซียมที่มีอยู่ในใบแก่มีน้อยกว่าในใบอ่อน ดังนั้นใบแก่จะแสดงอาการขาดโพแทสเซียมก่อน และสุดท้ายใบอ่อนจึงจะแสดงอาการ

อาการขาดโพแทสเซียมในไร่อ้อยทั่วๆ ไป อ้อยจะแคระแกร็น ลำเล็ก ใบแก่จะมีจุดสีเหลืองส้ม ต่อมาจะกลายเป็นสีน้ำตาลตรงกลางเป็นจุดแห้ง และใบแก่จะแห้งตายจากปลายใบและขอบใบเข้ามาถึงแกนกลางใบ ผิวของแกนกลางใบด้านบนจะเป็นสีแดง และจะเป็นเฉพาะผิวชั้นบนเท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่าจะมีน้ำตาลซูโครสในน้ำอ้อยน้อย

2.3.3 ข้อจำกัดของปุ๋ยเคมี

1) ปุ๋ยเคมีบางชนิดทำให้ดินเป็นกรด

ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปยูเรีย และแอมโมเนียถ้าใช้ติดต่อกันเป็นเวลานานในการปลูกพืชจะทำให้ดินมีสภาพความเป็นกรดเพิ่มขึ้น เกษตรกรจึงต้องคอยตรวจสอบดูสภาพความเป็นกรดของดิน ถ้าพบว่าดินเป็นกรดรุนแรงจนเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของพืช สามารถแก้ไขได้โดยการใส่ปูนลงไปให้ความเป็นกรดลดลง หรืออาจหลีกเลี่ยงโดยการใช้ปุ๋ยที่ไม่ทำให้ดินเป็นกรดได้ เช่น ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปแคลเซียมไนเตรทซึ่งจะทำให้ดินเป็นกรดน้อยลงในกรณีดินดอน แต่ว่าปุ๋ยไนโตรเจนที่ทำให้ดินเป็นกรดนี้เหมาะสมที่จะใช้ช่วยลดความเป็นกรดเป็นด่างของดินในกรณีที่เป็นดินด่างเกินไป

2) ปุ๋ยไนโตรเจนที่มากเกินทำให้มี NO_3 ในพืชสูง และอาจถูกชะล้างสู่แหล่งน้ำ

ปุ๋ยไนโตรเจนในรูป NO_3-N และปุ๋ยไนโตรเจนที่จะถูกเปลี่ยนเป็น NO_3 เมื่อใส่ในดินในอัตราที่สูงเกินความต้องการของพืชจะทำให้พืชดูดดึง NO_3 เข้าไปเกินความต้องการ ทำให้มี NO_3 เหลืออยู่ในพืช ถ้าหากมีมากจนถึงระดับหนึ่ง อาจเป็นพิษต่อมนุษย์ และสัตว์ที่กินพืชได้ ส่วนด้านการชะล้างไนเตรทลงสู่แหล่งน้ำ อาจจะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้น้ำเช่นกัน

3) การปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ และชีวภาพของดิน

ปุ๋ยเคมีเป็นสารที่ไม่มีอินทรียวัตถุหรือสารที่ให้อินทรียวัตถุอยู่เลย จึงไม่มีผลทางตรงในการเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพ และชีวภาพ แต่จะมีผลทางอ้อม คือ ช่วยเพิ่มน้ำหนักแห้งของลำต้น กิ่ง ใบ และรากของพืช ซึ่งเมื่อพืชตายลงหรือถูกไถกลบลงดินจะกลายเป็นอินทรียวัตถุในดิน สามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ และทางชีวภาพของดินได้มากกว่าพืชที่ไม่ได้รับปุ๋ยเคมี

4) โลหะหนักติดมากับปุ๋ยเคมี

ชนิดของปุ๋ยฟอสเฟตที่มีแคดเมียมที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในดินปะปนอยู่มีทั้งที่อยู่ในปุ๋ยเคมีครบสูตร คือ มีทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม รวมกันอยู่ และปุ๋ยเดี่ยว คือ ซิงเกิลซุปเปอร์ฟอสเฟต (Single Superphosphate) และทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต (Triple Superphosphate) รวมถึงที่อยู่ในหินฟอสเฟตด้วย นอกจากนี้ยังมีสารประกอบฟอสเฟตอีกมากที่มีแคดเมียมปะปนอยู่ แต่อยู่ในรูปที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ในดิน เนื่องจากจะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟต และตกตะกอนสะสมอยู่ในดิน แต่สารประกอบเหล่านี้ก็สามารถละลายน้ำได้เช่นกัน เพียงแต่ว่าไม่ได้อยู่ในรูปไอออนที่พืชดูดดึงได้ แต่เมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสม เช่น ความเป็นกรดของดินเพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องมาจากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดินหรือปัจจัยเร่งจากภายนอก แคดเมียมที่มีอยู่แล้วอาจจะถูกปลดปล่อยออกมากในรูปไอออนที่พืชสามารถดูดดึงได้ (อนงนาฏ ศรีประโยชน์, 2549)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิพนธ์ ดิษฐ์จันทร์ (2543) ทำการศึกษาการตอบสนองของอ้อยตอต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 0, 30, 60 และ 90 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า อ้อยตอมีแนวโน้มการสะสมน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น เมื่ออ้อยที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 320 วันหลังทำการปลูกอ้อยตอมีการสะสมน้ำหนักแห้งของลำต้นเท่ากับ 2274.0, 2398.3, 3544.0 และ 3994.0 กรัมต่อตารางเมตรที่อัตราของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 0, 30, 60 และ 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

สรัตนา เสนาะ (2548) ศึกษาการดูดดึงสังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว โดยใช้หญ้าแฝกทานตะวัน และข้าว พบว่า แฝก และทานตะวันสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่ปนเปื้อนสังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว โดยแฝกสามารถดูดดึงตะกั่วมาสะสมในลำต้น และใบไม่แตกต่างกัน ส่วนทานตะวัน พบว่า สามารถดูดดึงสังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว มาสะสมในลำต้น และใบ > ฐานรองดอก > ราก > เมล็ด สำหรับข้าว พบว่า สังกะสี แคดเมียม และตะกั่วมีผลทำให้ข้าวแสดงอาการใบเหลือง โดยมีการดูดดึงมาสะสมในส่วนรากได้มากกว่า ลำต้น และใบ

พรอำภา สุรภักดี (2549) ได้ทำการศึกษาผลของแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อการเจริญเติบโตของเบญจมาศ ดาวเรือง และบานไม่รู้โรย พบว่า ดาวเรือง และบานไม่รู้โรยสามารถเจริญเติบโต และให้ดอกได้ในทุกระดับความเข้มข้น ในขณะที่เบญจมาศแสดงอาการแคระแกรน และมีช่วงข้อสั้น นอกจากนี้ยังพบว่า ดาวเรืองมีประสิทธิภาพในการดูดดึงแคดเมียมออกจากดินมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.019 เปอร์เซ็นต์

ศราริน กลิ่นโพธิ์กลับ (2549) ทำการศึกษาการดูดดึงแคดเมียมของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ 1) ดินปนเปื้อนแคดเมียม 4 ระดับ ได้แก่ 13, 30, 50 และ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 2) สารปรับปรุงดิน 6 ชนิด ได้แก่ ซีโอไลท์ เบนทอไนต์ ปูนมาร์ล ฟางข้าว แกลบเผา และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน ผลการทดลองพบว่า เมล็ด ลำต้น และใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่ฟางข้าวมีปริมาณการดูดดึงแคดเมียม และสังกะสีต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใส่สารปรับปรุงดินชนิดอื่นๆ ส่วนระดับของการปนเปื้อนแคดเมียมในดินที่สูงขึ้นมีผลทำให้ถั่วเหลืองสามารถดูดดึงแคดเมียม และสังกะสีได้สูงขึ้นด้วยเช่นกัน และพบว่า การสะสมโลหะหนักพบในลำต้นและใบมากกว่าในเมล็ด

วราภรณ์ ศรีตัมภวา (2550) ทำการศึกษาความสามารถในการดูดดึงแคดเมียมโดยอ้อยที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อน โดยทำการศึกษาที่ระยะเวลา 3, 6 และ 9 เดือน ซึ่งมีการแบ่งงานวิจัยออกเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาในพื้นที่จริงของอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม <3, 3-20 และ >20 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกิโลกรัมดิน โดยปริมาณแคดเมียมในดินมีค่าเท่ากับ 2.57±6.04, 16.66±4.99 และ 174.51±42.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และในเรือนทดลอง อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี มีการใส่สารประกอบแคดเมียมไนเตรท [$Cd(NO_3)_2.4H_2O$] ลงในดินที่ระดับควบคุม 10, 20 และ 40 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกิโลกรัมดิน และในระหว่างการปลูกอ้อยมีการใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 จำนวน 2 ครั้ง คือ ครั้งแรกใส่ปุ๋ยตอนเริ่มปลูกในอัตราส่วน 50 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่ 2 ใส่หลังจากการให้ปุ๋ยครั้งแรกแล้ว 5 เดือน ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถของการดูดดึงแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ปนเปื้อนจากพื้นที่จริง มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในเรือนทดลอง สำหรับปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของอ้อย พบว่า มีการสะสมแคดเมียมไว้ในส่วนรากมากที่สุดทั้งในพื้นที่ปนเปื้อน และในเรือนทดลอง มีค่าเท่ากับ 28.353 และ 96.566 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งรากมีการสะสมแคดเมียมมากกว่าท่อนพันธุ์เดิม ชานอ้อย ใบ และน้ำอ้อย

Azimi *et al*. (2006) ได้ทำการศึกษาการดูดดึง และการกระจายตัวของแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของต้นถั่ว ทำการปลูกในน้ำที่มีการเติมแคดเมียมไนเตรทลงไปปริมาณ 65 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า แคดเมียมมีการสะสมในส่วนของรากมากที่สุดเท่ากับ 70 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีปริมาณน้อยในส่วนอื่นๆ ของต้นถั่วมีค่าระหว่าง 12-16 มิลลิกรัมต่อลิตร

Chen *et al*. (2006) ทำการศึกษาผลของระดับธาตุอาหารฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และการแพร่กระจายของแคดเมียม และตะกั่วในดิน โดยพืชที่ใช้ในการศึกษา คือ ข้าวสาลี (Spring wheat : *Triticum aestivum* L.) ซึ่งดำเนินการทดลองโดยเติมปุ๋ยฟอสเฟต 5 ระดับ ได้แก่ 0, 50, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน และเติมแคดเมียมคลอไรด์ [$CdCl_2 \cdot 2.5H_2O$] ในระดับต่างๆ กัน ผลการศึกษา พบว่า ปุ๋ยฟอสฟอรัสสามารถช่วยในการส่งเสริมให้น้ำหนักแห้งของข้าวสาลีเพิ่มขึ้น ส่วนการสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของข้าวสาลี พบว่า รากมีการสะสมแคดเมียมมากที่สุด รองลงมาคือ ลำต้น เปลือกข้าว และเมล็ดข้าว นอกจากนี้ปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัส 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสามารถลดปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ แต่ที่อัตราการใส่ปุ๋ย 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ปริมาณแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสม สามารถช่วยลดปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้

แต่อย่างไรก็ตามหากมีปริมาณฟอสฟอรัสมากเกินไปอาจจะเพิ่มปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เช่นกัน

Segura-Muñoz *et al.* (2006) ทำการศึกษาโลหะหนัก ได้แก่ Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Pb และ Zn ที่สะสมในส่วนต่างๆ ของอ้อยที่ปลูกในพื้นที่ที่มีการฝังกลบขยะ และบริเวณระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลในประเทศบราซิล โดยศึกษาในส่วนราก ลำต้น และใบของอ้อย พบว่า รากอ้อยมีปริมาณการสะสมโลหะหนักมากที่สุด โดยในพื้นที่ที่มีการฝังกลบขยะมีปริมาณการสะสมแคดเมียมเท่ากับ 0.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชานอ้อย และใบมีค่าการสะสมแคดเมียมเท่ากับ 0.20 และ 0.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ บริเวณที่มีการฝังกลบขยะชุมชน และบริเวณที่มีระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาล มีผลทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินเพิ่มสูงขึ้น และสามารถเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของอ้อยที่ปลูกในบริเวณดังกล่าวได้ ซึ่งจากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า อ้อยสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดของพืชไร่ที่มีความสามารถในการสะสมโลหะหนัก และเจริญเติบโตของพืชในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน

Lambert *et al.* (2007) ทำการศึกษาความสามารถในการละลายของแคดเมียม และสังกะสีในดินหลังจากมีการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต ซึ่งการทดลองได้มีการเติมปุ๋ยฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ กัน ดังนี้ 20, 40 และ 80 กิโลกรัมต่อไร่ และเติมแคดเมียม และสังกะสีในระดับต่างๆ กัน ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาในพื้นที่จริงเป็นเวลา 3 ปี และในห้องทดลองเป็นเวลา 15 ปี ผลการศึกษา พบว่า การใช้ปุ๋ยฟอสเฟตมีผลทำให้ความสามารถในการละลายของแคดเมียมทั้งในพื้นที่จริง และในห้องทดลองเพิ่มขึ้นโดยไปสะสมในดิน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 87 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Ruangkhum, S. (2007) ศึกษาผลของฟอสฟอรัสในปุ๋ยต่อแคดเมียม และสังกะสีในรูปที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินรวมไปถึงการสะสมในอ้อย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) การศึกษาในพื้นที่จริง ได้ทำการเก็บตัวอย่างดิน และอ้อยจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ <3, 3-20 และ >20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งมีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ จำนวน 2 ครั้ง ที่ระยะเวลาของการปลูกอ้อย 1 และ 5 ของเดือน และ 2) การศึกษาในเรือนเพาะชำ ใช้ดินจากอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน <3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน โดยปลูกท่อนพันธุ์อ้อยที่มีความสมบูรณ์กระถางละ 1 ท่อนพันธุ์ ทำการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ในอัตราแตกต่างกัน คือ 0, 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ และทำการสุ่มตัวอย่างดิน และอ้อยที่ระยะเวลาของการปลูกอ้อย 2 และ

6 เดือน ทั้งในพื้นที่จริง และในเรือนเพาะชำ ผลการทดลองจากการศึกษาในพื้นที่จริงพบว่า การที่ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียม และสังกะสีในดินมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น มีผลทำให้แคดเมียม และสังกะสีในรูปที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดิน และอ้อยสูงขึ้นด้วย สำหรับการทดลองในเรือนเพาะชำ พบว่า อัตราการเติมปุ๋ยฟอสฟอรัสที่สูงขึ้นทำให้การสะสมแคดเมียม และสังกะสีในดินลดลง แต่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มสูงขึ้นจากการเติมปุ๋ยมีผลทำให้แคดเมียม และสังกะสีในรูปที่พืชสามารถดูดดึงได้ และการสะสมในอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บตัวอย่างเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียม และสังกะสีมีค่าสูงที่สุดในราก และน้อยที่สุดในน้ำอ้อย ทั้งในพื้นที่จริงและเรือนเพาะชำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาปริมาณการดูดดึงแคดเมียมโดยอ้อยที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนจากอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยมีการเติมธาตุอาหารหลักในปริมาณต่างๆ ซึ่งเป็นการเติมปุ๋ยเคมี เพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของอ้อย

3.1 วัสดุอุปรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์

1) ดินที่ใช้ในการปลูกอ้อย เป็นดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมจากอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

2) อ้อย พันธุ์ลูกผสม LK 92-11

3) ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8

4) ถุงพลาสติกดำอย่างหนาสำหรับใช้เป็นถุงเพาะปลูกต้นอ้อย ขนาด 9 x 16 นิ้ว และห่อหุ้มด้วยถุงพลาสติกอย่างหนา

5) วัสดุและอุปกรณ์ในการเตรียมดินสำหรับปลูกต้นอ้อย เช่น จอบ พลั่วตักดิน เครื่องชั่งน้ำหนัก ผ้าใบพลาสติกสำหรับตากดิน

6) อุปกรณ์สำหรับการปลูกอ้อย เช่น บัวรดน้ำ จอบ พลั่วตักดิน

7) กระดาษกรองเบอร์ 40 เส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร

8) กระดาษกรอง GF/C (Glass Micro Filter) เส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร

9) น้ำปราศจากไอออน (Deionize Water; DI)

10) พาราฟิล์ม

11) เครื่องแก้วชนิดต่างๆ ได้แก่ บีกเกอร์ กระบอกตวง ปิเปต กรวยกรอง แท่งแก้ว ขวดปรับปริมาตร กระจกนาฬิกา ขวดรูปชมพู่

12) ชุด Flask Bunchner Filtration

13) ตะแกรงร่อนดินขนาด 2 มิลลิเมตร

14) ขวดพลาสติก สำหรับใส่สารละลายสกัดขนาด 60 มิลลิลิตร

15) ถุงซิป

3.1.2 เครื่องมือ

เครื่องมือ	รุ่น, ยี่ห้อ
เครื่องระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System; GPS)	Map76, Garmin
เครื่องอะตอมมิคแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer; AAS)	AAnalyst 800, Perkin Elmer
เครื่องมือสำหรับย่อยด้วยระบบไมโครเวฟ (Microwave Digestion)	ETHOS SEL, MILESTONE
ตู้อบความร้อน (Hot Air Oven)	ULE 500, MEMMERT
ตู้ดูดอากาศ (Hood)	Wiwatsan
เตาไฟฟ้า (Hot Plate)	Cimarec 2, Thermolyne
เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH Meter)	Sension 2, HACH
เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด 4 ตำแหน่ง	BP 221S, Sartorius
ปั๊มดูดอากาศ (Vacuum Pump)	N035AN. 18-IP20,
เครื่องเขย่าแบบหมุนวน (Mechanical Shaker)	OS-2, Green SSeriker2
เครื่องบดตัวอย่างพืช (Blender)	RT04A, Korea

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.3 สารเคมี

สารเคมี	รุ่น, ยี่ห้อ
กรดไนตริกเข้มข้น (65% HNO_3)	MERCK, Germany
กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (37% HCl)	MERCK, Germany
กรดซัลฟูริกเข้มข้น (95-97% H_2SO_4)	MERCK, Germany
กรดเปอร์คลอริก (70% $HClO_4$)	Panreac, European Union
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (30% H_2O_2)	MERCK, Germany
กรดไดเอทิลลีนไตรเอมีนเพนตะอะซีติก DTPA ($C_{14}H_{23}N_3O_{10}$)	Fluka, Swizerland
ไตรเอทาโนลามีน TEA ($N(CH_2CH_2OH)$)	Unilab, Australia
แคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรท ($CaCl_2.2H_2O$)	Univar, Australia

3.2 สถานที่ดำเนินการวิจัย

3.2.1 ภาคสนาม

ศึกษาพื้นที่ปลูกอ้อย ในอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก และนำดินจากพื้นที่จริงทำการปลูกอ้อยในเรือนทดลองที่สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 ห้องปฏิบัติการ

การเตรียมตัวอย่างดิน และอ้อยวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการของสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการของศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 ระยะเวลาการวิจัย

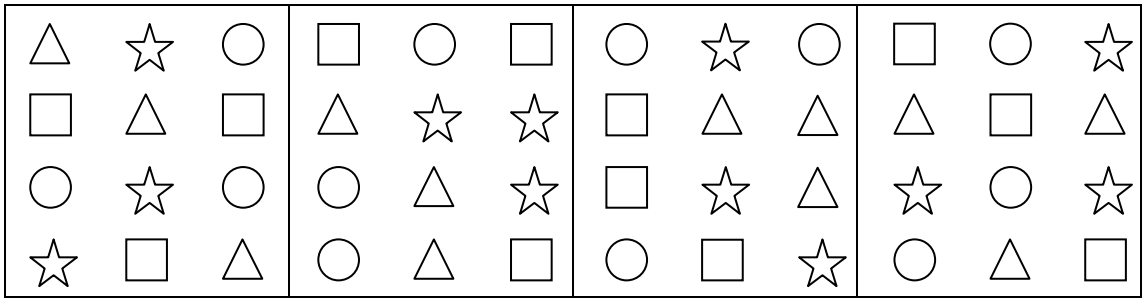
เริ่มดำเนินการวิจัยในระหว่างเดือนตุลาคม 2551 ถึง มีนาคม 2554 ตั้งแต่การค้นคว้าหาข้อมูล ทบทวนเอกสาร การวางแผนการวิจัย การเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์ผล วิจารณ์ และสรุปผลการวิจัย โดยการศึกษาในเรือนทดลองสามารถแสดงรายละเอียดของวันที่ทำการศึกษา และเก็บตัวอย่างได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วันที่ทำการทดลอง และเก็บตัวอย่างในเรือนทดลอง

ขั้นตอนการศึกษา	วันที่
สุ่มตัวอย่างดินมาวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้น	20 เมษายน 2552
ทำการปลูกอ้อย	30 พฤษภาคม 2552
ใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1	29 มิถุนายน 2552
เก็บตัวอย่างดินและอ้อยครั้งที่ 1	28 สิงหาคม 2552
เก็บตัวอย่างดินและอ้อยครั้งที่ 2	26 ตุลาคม 2552
ใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 2	25 พฤศจิกายน 2552
เก็บตัวอย่างดินและอ้อยครั้งที่ 3	25 ธันวาคม 2552
เก็บตัวอย่างดินและอ้อยครั้งที่ 4	26 กุมภาพันธ์ 2553

3.4 การวางแผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้วางแผนการวิจัยแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ดังรูปที่ 3.1 ทำ 3 ซ้ำ (Replication) ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ซึ่งปัจจัยที่ 1 คือ ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างอ้อย 4 ครั้ง ได้แก่ เดือนที่ 2, 4, 6 และ 8 หลังจากที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งแรก ปัจจัยที่ 2 คือ อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี 4 อัตรา ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม), 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ โดยทำการใส่ 2 ครั้ง คือ ครั้งแรกหลังจากที่อ้อยมีอายุ 1 เดือน และครั้งที่ 2 ห่างจากที่มีการใส่ปุ๋ยครั้งแรก 5 เดือน



รูปที่ 3.1 การวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD)

หมายเหตุ △ แทน อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี 0 กิโลกรัมต่อไร่ (ควบคุม)

☆ แทน อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี 50 กิโลกรัมต่อไร่

○ แทน อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี 100 กิโลกรัมต่อไร่

□ แทน อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี 200 กิโลกรัมต่อไร่

3.5 การเตรียมการศึกษาวิจัย

3.5.1 การศึกษาพื้นที่ที่มีการปนเปื้อน และการเตรียมดิน

ทำการศึกษาพื้นที่ดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมด้วยข้อมูลจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยการขุดตัวอย่างในพื้นที่ดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมมากกว่า 37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ด้วยวิธีการสุ่มทั้งพื้นที่ที่ระดับความลึก 0 - 30 เซนติเมตร เป็นตัวอย่างดินรวมจำนวน 480 กิโลกรัม (ใช้ดิน 10 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ต่อ 1 ภาชนะปลูก) จำนวน 48 ถุง นำดินผึ่งลม (Air Dry) ให้แห้ง ทำการสุ่มตัวอย่างดินมาวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน ตามพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.2 และสุ่มตัวอย่างดินนำมาบด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตรเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมในดิน โดยใช้วิธีการ USEPA method 3052 (USEPA, 1996) แสดงในภาคผนวก ก ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในดินทดลองมีค่าเท่ากับ 58.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของดินที่นำมาศึกษา

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
ลักษณะของเนื้อดิน	Hydrometer Method
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	pH Meter (ดิน:น้ำ = 1:1)
อินทรียวัตถุ	Walkley - Black Method
ความชื้น	Gravimetric Method
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	Ammonium Saturation and Distillation
ค่าการนำไฟฟ้า	Electrial Conductivity Method
ไนโตรเจนทั้งหมด	Kjeldahl Method
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	Bray II Method
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้	1N NH_4OAc pH 7.0

3.5.2 การเตรียมภาชนะสำหรับปลูก

ใช้ถุงพลาสติกสีดำอย่างหนาที่ขนาด 9 x 16 นิ้ว ชั่งดินน้ำหนัก 10 กิโลกรัม ใส่ในภาชนะปลูกจำนวนทั้งหมด 48 ถุง แล้วหุ้มด้วยถุงพลาสติกอย่างหนาเพื่อรองรับน้ำที่ใช้รดต้นไม้

3.5.3 การเตรียมพืชทดลอง

ทำการสุ่มตัวอย่างอ้อยพันธุ์ลูกผสม LK92-11 นำมาวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมที่สะสมโดยใช้วิธีการ USEPA method 3052 (USEPA, 1996) และนำไปวัดค่าด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์ ซึ่งพบว่า เครื่องไม่สามารถวัดค่าได้ (Not Detectable) แสดงให้เห็นว่า ท่อนพันธุ์ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ ไม่มีการปนเปื้อนหรือการสะสมแคดเมียม จากนั้นทำการคัดเลือกท่อนพันธุ์อ้อย โดยตัดเป็นท่อน โดยให้แต่ละท่อนมีตา 2 - 3 ตา และตาควรมีลักษณะเต่ง สมบูรณ์ และท่อนพันธุ์ควรมีขนาด และน้ำหนักใกล้เคียงกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5.4 การเตรียมปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้แก่ ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ซึ่งได้นำไปหาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมที่สะสมโดยใช้วิธีการ USEPA method 3052 (USEPA, 1996) ซึ่งผลการวิเคราะห์ปุ๋ยพบว่า มีปริมาณแคดเมียมสะสมเท่ากับ 4.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และทำการเตรียมปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ กัน 4 อัตรา คือ 0 (กลุ่มควบคุม), 50,100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ ทำการใส่ 2 ครั้ง คือ ครั้งแรกหลังจากที่อ้อยมีอายุ 1 เดือน และครั้งที่ 2 ห่างจากที่มีการใส่ปุ๋ยครั้งแรก 5 เดือน โดยวิธีการคำนวณปุ๋ยแสดงในภาคผนวก ข

3.6 การดำเนินการวิจัย

3.6.1 การปลูกอ้อย และการดูแลรักษา

นำท่อนพันธุ์อ้อยที่คัดเลือกแล้ว ปลูกลงในดินที่เตรียมไว้ในภาชนะปลูก จำนวน 1 ท่อนพันธุ์ต่อ 1 ภาชนะปลูก รดน้ำ และดูแลรักษาจนกว่าตาอ้อยจะงอก และเจริญเติบโตแข็งแรงประมาณ 3 - 4 สัปดาห์ ทำการใส่ปุ๋ยเคมีที่เตรียมไว้ 4 อัตรา ได้แก่ 0 (กลุ่มควบคุม), 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่อัตราละ 3 ซ้ำ โดยในกลุ่มควบคุมจะไม่ทำการเติมปุ๋ยเคมีลง และทำการใส่ปุ๋ยเคมีอีกครั้งหลังจากใส่ปุ๋ยเคมีครั้งแรกแล้ว 5 เดือน ทำการรดน้ำ และดูแลรักษาตลอดการทดลอง

3.6.2 การเก็บตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์

- ตัวอย่างดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินทุก 2, 4, 6 และ 8 เดือน โดยทำการคลุกเคล้าให้เข้ากัน และนำตัวอย่างดินบางส่วนวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณธาตุอาหารหลักในดิน ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ตัวอย่างดินที่เหลือนำมาผึ่งลม และอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บไว้ในถุงซิป เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในดิน ตามระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง โดยใช้วิธีการ USEPA method 3052 (USEPA, 1996) และวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมในดินที่พืชสามารถดูดดึงได้ (Bioavailable) โดยวิธีการสกัดด้วย Diethylene triaminepenta acetic acid (DTPA) ร่วมกับ $CaCl_2$ (Lindsay and Norvell, 1978) แสดงในภาคผนวก ก และตรวจวัดหาปริมาณแคดเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer; AAS)

- ตัวอย่างอ้อย

ทำการเก็บตัวอย่างอ้อยทุก 2, 4, 6 และ 8 เดือน โดยนำอ้อยล้างน้ำ 2-3 ครั้งจนสะอาด แล้วแบ่งอ้อยออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ ท่อนพันธุ์เดิม ราก ใบ ชานอ้อย และน้ำอ้อย นำส่วนต่างๆ ชั่งน้ำหนักสด และอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 - 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง และบดให้ละเอียด เก็บไว้ในถุงซิป เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของอ้อย ได้แก่ ท่อนพันธุ์เดิม ราก ชานอ้อย และใบ ตามระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง โดยใช้วิธีการ USEPA method 3052 (USEPA, 1996) ส่วนน้ำอ้อยใช้วิธีการของ Jackson (Jackson, 1973) และตรวจวัดหาปริมาณแคดเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer; AAS)

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากปริมาณการสะสมแคดเมียมในดิน และปริมาณการดูดดึงแคดเมียมในอ้อย ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดิน โดยใช้วิธีการ ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลด้วยวิธีการของ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ทั้งนี้ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังกล่าวจะปฏิบัติการโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติคือ Statistical Package for the Social Science (SPSS)

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาผลการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการดูดดึงแคดเมียมด้วยการปลูกอ้อยในดินที่มีการปนเปื้อนจากอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยปกติเกษตรกรในพื้นที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ในการปลูกอ้อย เพื่อให้อ้อยมีการเจริญเติบโตได้ดียิ่งขึ้น แต่จากรายงานของภาควิชาส่งเสริมการเกษตร มหาวิทยาลัยมินนิโซตา ประเทศสหรัฐอเมริกา (2007) พบว่า มีปริมาณโลหะหนักระดับสูงในหลายชนิดที่ปนเปื้อนในปุ๋ยหลายประเภท ซึ่งค่าปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนในปุ๋ยมีค่าตั้งแต่ 0.4-56.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการทดลองอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ในการปลูกอ้อยในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม เพื่อทำการศึกษาปริมาณแคดเมียมที่สะสมในดินปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ และศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักในดิน โดยผลการศึกษาวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเบื้องต้นของดินที่ใช้ในการทดลอง

ดินที่ใช้ในการศึกษาเป็นดินที่นำมาจากพื้นที่ทำการปลูกอ้อยในอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของดินที่ใช้ในการวิจัย (ตารางที่ 4.1) พบว่า ลักษณะของเนื้อดินเป็นดินร่วน เหมาะสมต่อการปลูกอ้อยพันธุ์ลูกผสม LK92-11 (มิตรผลวิจัย พัฒนาอ้อยและน้ำตาล, ม.ป.ป) ซึ่งอ้อยสามารถปลูกได้ในดินเกือบทุกประเภท ตั้งแต่ดินร่วนถึงดินร่วนปนทราย แต่ควรหลีกเลี่ยงการปลูกอ้อยในดินเหนียวจัด ดินทรายจัด และดินลูกรัง เพราะรากของอ้อยมักจะชอนไชไปในดินที่มีสิ่งกีดขวางน้อยที่สุด ถ้าไปพบดินที่แน่น หรือมีสิ่งกีดขวางรากอ้อยจะแผ่ตัวออกทางแบนแล้วเปลี่ยนทิศทาง จึงทำให้การเจริญเติบโตของอ้อยจะลดลง (กรมวิชาการเกษตร, 2523) โดยความเป็นกรดเป็นด่างที่วิเคราะห์ได้มีค่าเท่ากับ 7.31 ซึ่งถือว่าเหมาะสมสำหรับการปลูกอ้อย เนื่องจากอยู่ในช่วง 6.05-7.53 และธาตุอาหารในดินจะละลายออกมาให้อ้อยดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด (วราภรณ์ ศรีตัมภวา, 2550) สำหรับผลการวิเคราะห์อินทรียวัตถุในดินมีค่าเท่ากับ 2.31 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5-2.9 เปอร์เซ็นต์ ตามที่กรมพัฒนาที่ดินจัดว่าเป็นดินที่มีค่าอินทรียวัตถุอยู่ในระดับปานกลาง ค่าความชื้นในดินมีค่าเท่ากับ 25.45 เปอร์เซนต์ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก มีค่าเท่ากับ 6.05 $cmol_c\ kg^{-1}$ ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับต่ำปานกลาง (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) และมีค่าการนำไฟฟ้าในดินเท่ากับ 0.167 dSm^{-1}

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพเบื้องต้นของดินที่ใช้ทดลอง

พารามิเตอร์	ค่าการวิเคราะห์
ลักษณะของเนื้อดิน	ดินร่วน
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	7.31
อินทรียวัตถุ (%)	2.31
ความชื้น (%)	25.45
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ($cmol_c\ kg^{-1}$)	6.5
ค่าการนำไฟฟ้า (dSm^{-1})	0.167
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.136
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ($mg\ kg^{-1}$)	8
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ($mg\ kg^{-1}$)	56
แคดเมียม ($mg\ kg^{-1}$)	58.53

สำหรับปริมาณธาตุอาหารหลักในดินพบว่า ไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0.136 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 56 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นดินที่นำมาทดลองมีระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินไร่ทั่วไปอยู่ในระดับต่ำปานกลาง ซึ่งมีค่าระหว่าง 3-10 และ 30-60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ปรีชา พราหมณีย์, 2541) และแคดเมียมที่สะสมอยู่ในดินมีค่าเท่ากับ 58.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่ามากกว่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ที่กำหนดให้มีค่าแคดเมียมปนเปื้อนไว้ไม่เกิน 37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

4.2 **คุณสมบัติของปุ๋ยเคมีเบื้องต้นที่ใช้ในการทดลอง**

ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการศึกษาคือ ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดสูตร 16-16-8 ซึ่งเกษตรกรในอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก นิยมใช้ปุ๋ยเคมีสูตรนี้ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของอ้อย ผลการศึกษาสมบัติบางประการของปุ๋ยเคมีเบื้องต้นที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า ปุ๋ยมีค่าความเป็นด่าง

อ่อน และพบปริมาณแคดเมียมในปุ๋ยเคมีเท่ากับ 4.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นปริมาณแคดเมียมในปุ๋ยเคมีที่นำมาศึกษามีค่าอยู่ระหว่างที่ภาควิชาส่งเสริมการเกษตร มหาวิทยาลัยมินนิโซตา (2007) ได้ทำการศึกษาธาตุต่างๆ ในปุ๋ยเคมีหลายชนิด พบว่า ปุ๋ยเคมีที่ได้ทำการศึกษามีค่าการสะสมแคดเมียมตั้งแต่ <0.40-56.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติบางประการของปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดสูตร 16-16-8

สมบัติบางประการ	ค่าที่วิเคราะห์ได้
ความเป็นกรดเป็นด่าง	7.35 ±0.02
แคดเมียม	4.65 ±0.0879

4.3 ผลการใส่ปุ๋ยเคมีต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดิน

ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญต่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของพืช เพราะค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีอิทธิพลต่อการละลายของธาตุอาหารพืช (พจนีย์ มอญเจริญ, 2544) จากการศึกษาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในดินทดลองหลังทำการเก็บตัวอย่างในเดือนที่ 2, 4, 6 และ 8 แสดงไว้ดังตารางที่ 4.3 พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินชุดควบคุม ชุดที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระยะเวลาของการเก็บเกี่ยวเดือนที่ 2, 6 และ 8 ส่วนในเดือนที่ 4 ในทุกอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง เนื่องจากในช่วงของการเก็บเกี่ยวตัวอย่างเป็นฤดูฝนที่มีฝนตก ซึ่งจากการศึกษาของ Campbell and Wansbrough (2005) กล่าวว่า การที่ฝนตกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง โดยดินเมื่อเกิดการละลายน้ำจะปลดปล่อย Ca^{+}, Mg_{2}^{+}, K^{+} และ Na^{+} และยังสอดคล้องกับมุกดา สุขสวัสดิ์ (2544) ที่กล่าวว่า เมื่อดินละลายน้ำจะมีการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^{+}) ออกมากับสารละลายดิน จึงทำให้ดินมีค่าความเป็นกรดมากขึ้น

นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีที่ 0, 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับในทุกระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง สอดคล้องกับ Levi-Minzi and Petruzzelli (1984) ที่ทำการศึกษาค่าความเป็นกรดเป็นด่างเมื่อมีการเติมปุ๋ยประเภทไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diammonium Phosphate) ลงในดินพบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นจาก 6.4 เป็น 7.7 และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของการศึกษาครั้งนี้อยู่ในช่วง

7.39-7.66 ซึ่งจัดได้ว่าเป็นดินที่มีค่าความเป็นกลาง จนถึงความเป็นด่างอ่อน (ปรีชา พราหมณีย์, 2541) โดยพบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี (ชุดควบคุม) และดินชุดที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 50 และ 100 กิโลกรัมต่อไร่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.05$) กับดินชุดที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในระยะเวลาของการเก็บเกี่ยวเดือนที่ 2, 4, 6 และ 8 มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.6, 7.5, 7.6 และ 7.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี (n=3)

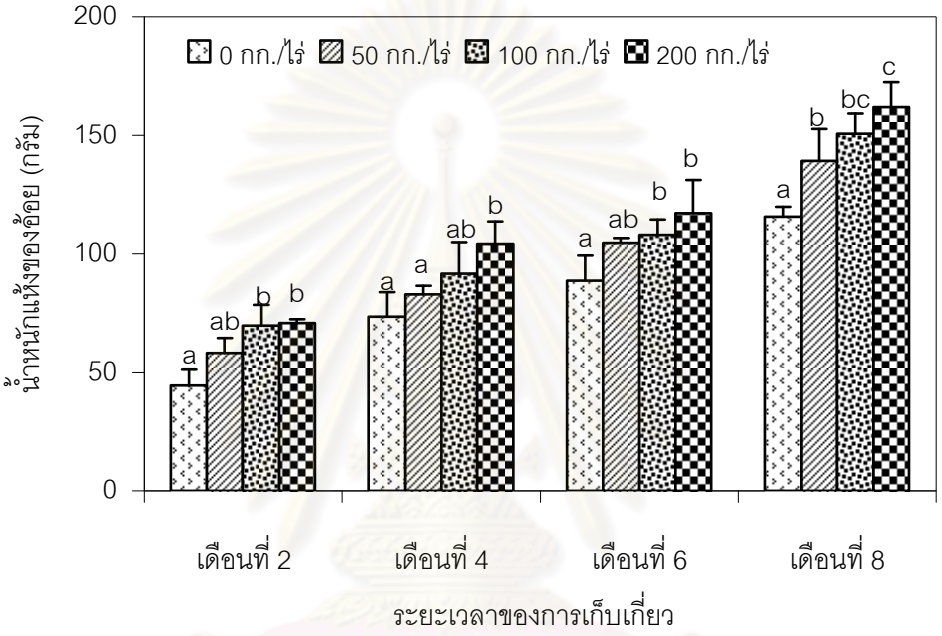
อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง			
(กิโลกรัมต่อไร่)	เดือนที่ 2	เดือนที่ 4	เดือนที่ 6	เดือนที่ 8
0	7.4^{a} ±0.06	7.3^{a} ±0.04	7.4^{a} ±0.08	7.5^{a} ±0.06
50	7.4^{a} ±0.07	7.4^{ab} ±0.02	7.5^{ab} ±0.05	7.5^{ab} ±0.06
100	7.5^{ab} ±0.06	7.5^{bc} ±0.04	7.5^{ab} ±0.04	7.6^{bc} ±0.02
200	7.6^{b} ±0.02	7.5^{c} ±0.06	7.6^{b} ±0.09	7.7^{c} ±0.03

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4.4 ผลของการใส่ปุ๋ยเคมีต่อน้ำหนักแห้งของอ้อย

การศึกษาการเจริญเติบโตของอ้อย พิจารณาจากน้ำหนักแห้งของพืชจาก 4 ส่วน คือ ท่อนพันธุ์เดิม ราก ชานอ้อย และใบ ที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวเดือนที่ 2, 4, 6 และ 8 (หลังจากการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งแรก) โดยนำตัวอย่างมาทำการล้างด้วยน้ำ 2-3 ครั้ง และน้ำกลั่น 1 ครั้ง โดยส่วนของชานอ้อยในเดือนที่ 6 และ 8 ของการเก็บตัวอย่างจะนำไปรีดน้ำอ้อยก่อน จากนั้นนำชานอ้อยผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และนำพืชไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักแห้งของพืช ซึ่งผลการเจริญเติบโตของอ้อย แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 พบว่า อ้อยมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บเกี่ยวในเดือนที่ 2 ถึง 8 ในทุกชุดการทดลอง โดยชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมปุ๋ยเคมี พบว่า มีน้ำหนักแห้งน้อยกว่าชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และเมื่อมีอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้น พบว่า น้ำหนักแห้งของอ้อยเพิ่มขึ้นด้วย โดยเดือนที่ 8 ของการเก็บตัวอย่าง พบว่า มีน้ำหนักแห้งของอ้อยมากที่สุดที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี 0, 50,

100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่มีค่าเท่ากับ 115.62, 139.22, 150.78 และ 162.00 กรัม ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen *et al*. (2006) ที่ได้ทำการศึกษาระดับธาตุอาหารฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยทำการทดลองในข้าวสาลี และมีการเติมปุ๋ยฟอสเฟต 5 ระดับ ได้แก่ 0, 50, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน และเติมแคดเมียมคลอไรด์ [$CdCl_2 \cdot 2.5H_2O$] และเลด(II)ไนเตรด [$Pb(NO_3)_2$] ในระดับต่างๆ กัน จากการทดลองพบว่า ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นสามารถช่วยส่งเสริมให้น้ำหนักแห้งของข้าวสาลีเพิ่มขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 4.1 น้ำหนักแห้งของอ้อยที่ระยะการเก็บเกี่ยวต่างๆ (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4.5 ผลของการใส่ปุ๋ยเคมีต่อธาตุอาหารหลักในดิน

การศึกษาปริมาณการสะสมธาตุอาหารหลักในดินที่ปลูกอ้อยโดยใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 0, 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ โดยทำการเก็บตัวอย่างดินในเดือนที่ 2, 4, 6 และ 8 แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน พบว่า ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีค่า

เท่ากับ 0.136 เปอร์เซ็นต์ 8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 56 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงผลการศึกษาของการใส่ปุ๋ยเคมีที่มีต่อธาตุอาหารหลักในดินดังนี้

4.5.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

จากผลการศึกษาปริมาณการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (ดังตารางที่ 4.4) สำหรับในแต่ละชุดการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ปริมาณการสะสมไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลง โดยชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมปุ๋ยเคมี มีปริมาณการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในดินน้อยที่สุดในทุกระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างดินเดือนที่ 2, 4, 6 และ 8 โดยมีค่าเท่ากับ 0.131, 0.130, 0.126 และ 0.124 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีจะมีการสะสมไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยเคมีที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีที่ 200 กิโลกรัมต่อไร่มีปริมาณการสะสมมากที่สุด ทั้งนี้ไนโตรเจนมีผลทำให้น้ำหนักแห้งของอ้อยเพิ่มขึ้น โดยสอดคล้องกับการศึกษาของนิพนธ์ ดิษฐ์จันทร์ (2543) ที่ได้ทำการศึกษาการตอบสนองของอ้อยปลูก และอ้อยตอต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนโดยพบว่า อ้อยตอมีแนวโน้มการสะสมน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น กล่าวได้ว่า เมื่ออ้อยได้รับธาตุไนโตรเจนเพิ่มขึ้นส่งผลให้อ้อยมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีการแตกหน่อ สร้างใบ สร้างรากเพิ่มขึ้น สำหรับการศึกษาครั้งนี้ยังพบว่า ในเดือนที่ 6 ทุกๆ อัตราของการใส่ปุ๋ยมีปริมาณการสะสมไนโตรเจนในดินลดลงมากขึ้น อาจกล่าวได้ว่าในระหว่างเดือนที่ 4-6 อ้อยมีการดูดดึงไนโตรเจนไปใช้ในปริมาณมาก โดย กัญญารัตน์ คล้อยเอี่ยม (2528) ได้รายงานถึงความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตของอ้อยกับความต้องการไนโตรเจนไว้ว่า หลังจาก 2 สัปดาห์แรกหลังจากมีการงอกแล้ว อ้อยมีอัตราการเจริญเติบโตช้ามาก โดยในท่อนพันธุ์เดิมของอ้อยพบว่า มีแร่ธาตุติดมาบ้างในปริมาณที่เพียงพอต่อการใช้ของหน่ออ้อยในระยะนี้ หลังจากนั้นหน่ออ้อยจะมีการสร้างใบสร้างรากเพิ่มเติม ซึ่งหน่ออ้อยจำเป็นต้องได้รับไนโตรเจนจากดินบ้างเล็กน้อย และในช่วงอ้อยอายุ 2-3 เดือน ปริมาณไนโตรเจนในดินจึงไม่ค่อยมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต แต่เมื่ออ้อยอายุ 3-6 เดือน เป็นช่วงที่อ้อยเติบโต และขยายเพิ่มความยาว และขนาดลำหน่อขึ้น อ้อยจึงต้องการไนโตรเจนในปริมาณค่อนข้างมาก ซึ่งปริมาณไนโตรเจนในอ้อยในระยะนี้มีประมาณร้อยละ 90 ของไนโตรเจนทั้งหมดของอ้อยแก่ที่ตัดส่งโรงงานได้ หากแต่หลังจากอ้อยอายุ 6 เดือนไปแล้ว อ้อยมีความต้องการไนโตรเจนเพิ่มเติมอีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตารางที่ 4.4 ผลของการเติมปุ๋ยเคมีต่ออัตราการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (n=3)

อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)			
(กิโลกรัมต่อไร่)	เดือนที่ 2	เดือนที่ 4	เดือนที่ 6	เดือนที่ 8
0	0.131^{a}±0.001	0.130^{a}±0.001	0.126^{a}±0.004	0.124^{a}±0.004
50	0.141^{b}±0.001	0.137^{b}±0.004	0.136^{a}±0.003	0.131^{a}±0.001
100	0.142^{b}±0.004	0.138^{b}±0.005	0.136^{a}±0.006	0.125^{a}±0.005
200	0.144^{b}±0.004	0.139^{b}±0.003	0.138^{a}±0.010	0.129^{a}±0.007

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4.5.2 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่า อ้อยมีการดูดดึงธาตุอาหารฟอสฟอรัสไปใช้จึงทำให้มีค่าการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ในดิน ในแต่ละอัตราของการใส่ปุ๋ยเคมีลดลงตามระยะเวลาการเก็บตัวอย่างดิน (ตารางที่ 4.5) และพบว่า ในเดือนที่ 6 ของชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติกับเดือนที่ 4 และชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่มีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากมีการเติมปุ๋ยเคมีครั้งที่ 2 ลงไปในเดือนที่ 5 จึงทำให้มีการสะสมฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น ซึ่งบทบาทของฟอสฟอรัสในอ้อย คือ ช่วยให้ราก และหน่อเจริญอย่างรวดเร็ว อีกทั้งให้ราก และลำต้นของอ้อยแข็งแรง (กรมวิชาการเกษตร, 2523) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยเคมีจึงเป็นการส่งเสริมให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อย่างเพียงพอต่อการปลูกอ้อย โดยดินก่อนทำการทดลองนำไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าเท่ากับ 8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับระดับฟอสฟอรัสของดินไร่ทั่วไป มีค่าอยู่ระหว่าง 3-10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถือว่าอยู่ในระดับต่ำปานกลาง โดยปกติดินที่ใช้ปลูกอ้อยส่วนใหญ่จะฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์แก่พืชน้อย จึงต้องมีการใส่ปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัสร่วมด้วย (ปรีชา พราหมณีย์, 2541)

ตารางที่ 4.5 ผลของการเติมปุ๋ยเคมีต่ออัตราการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ในดิน (n=3)

อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
(กิโลกรัมต่อไร่)	เดือนที่ 2	เดือนที่ 4	เดือนที่ 6	เดือนที่ 8
0	6.33^{a}±0.58	5.33^{a}±1.15	3.67^{a}±0.58	3.00^{a}±1.00
50	7.00^{a}±1.00	5.00^{a}±1.00	5.00^{ab}±1.00	4.67^{ab}±0.58
100	7.67^{a}±0.58	5.67^{a}±0.58	6.00^{b}±1.00	5.67^{ab}±2.08
200	9.67^{b}±0.58	7.33^{b}±0.58	7.67^{c}±0.58	7.00^{b}±1.73

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4.5.3 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

โพแทสเซียมมีบทบาทช่วยในการสังเคราะห์แสง เคลื่อนย้ายน้ำตาล ควบคุมการเคลื่อนที่ของน้ำในต้นอ้อย รวมถึงเพิ่มน้ำตาลในน้ำอ้อย จึงทำให้อ้อยมีคุณภาพดี (กรมวิชาการเกษตร, 2523) ดังจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเติมปุ๋ยเคมีในอัตราที่มากขึ้น จะส่งผลให้อ้อยมีการเจริญเติบโตมากยิ่งขึ้น โดยดูจากค่าน้ำหนักแห้งของต้นอ้อยที่กล่าวมาแล้วนั้น สำหรับผลของการศึกษาปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน แสดงดังตารางที่ 4.6 โดยปริมาณการสะสมโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินชุดที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี จะมีค่าลดลงในทุกๆ ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างดิน ส่วนชุดการทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมีในอัตรา 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่าปริมาณการสะสมโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินในเดือนที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นจากการวิเคราะห์ดินเบื้องต้นที่มีค่าเท่ากับ 56 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนที่ 6 ทั้งนี้เนื่องมาจากในเดือนที่ 1 และ 5 มีการใส่ปุ๋ยเคมีลงไปในดินที่ทำการปลูกอ้อย จึงทำให้มีค่าโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.6 ผลของการเติมปุ๋ยเคมีต่ออัตราการสะสมโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (n=3)

อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี	ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
(กิโลกรัมต่อไร่)	เดือนที่ 2	เดือนที่ 4	เดือนที่ 6	เดือนที่ 8
0	54.33^{a}±0.58	52.00^{a}±1.00	51.00^{a}±1.73	49.67^{a}±0.58
50	58.00^{b}±0.00	51.00^{a}±2.00	61.00^{b}±5.00	55.33^{ab}±1.53
100	58.33^{b}±1.15	50.00^{a}±4.58	63.67^{b}±3.21	58.00^{b}±5.20
200	59.00^{b}±1.73	53.00^{a}±2.65	64.33^{b}±4.04	58.00^{b}±3.46

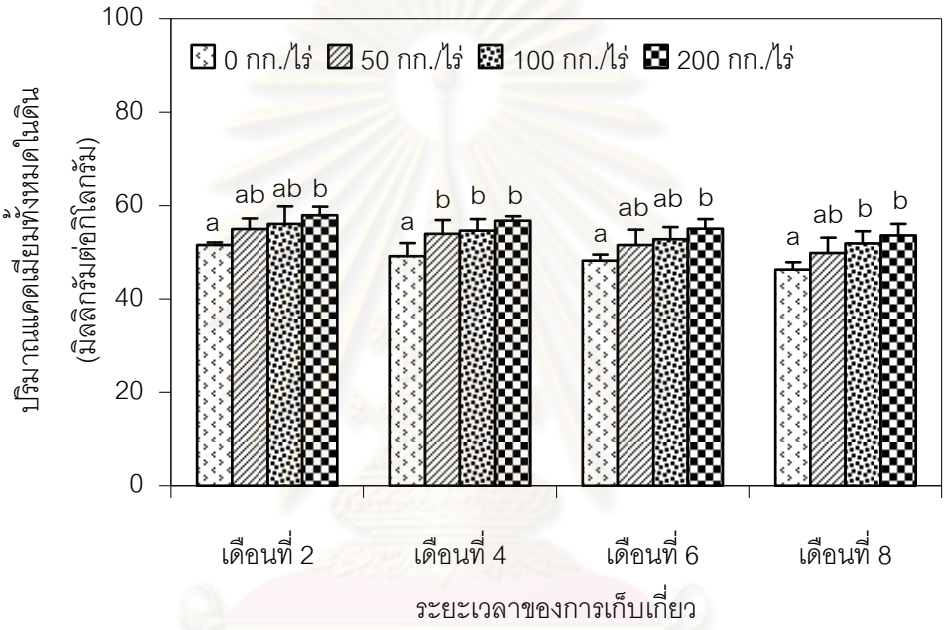
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4.6 ผลของการใส่ปุ๋ยเคมีต่อการสะสมแคดเมียมในดิน

4.6.1 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน

การศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดในดิน โดยมีชุดการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (0 กิโลกรัมต่อไร่) และชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ ผลการศึกษา พบว่า อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดในดิน (รูป 4.2) ทุกระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างดินเดือนที่ 2, 4, 6 และ 8 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lambert *et al*. (2007) ที่ได้ทำการศึกษาอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตต่อปริมาณแคดเมียมในสารละลายดิน โดยพบว่า เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในอัตรา 0, 20, 40 และ 80 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ สามารถทำให้ปริมาณแคดเมียมในสารละลายดินเพิ่มขึ้น ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมปุ๋ยเคมี มีความแตกต่างกับชุดการทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมีในอัตรา 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ในทุกระยะเวลาการเก็บตัวอย่างดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้ได้ทดลองใส่ปุ๋ยเคมีที่อัตรา 0, 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า ปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดในดินมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุของอ้อยเพิ่มมากขึ้น โดยที่อัตราการใส่ปุ๋ยที่ 200 กิโลกรัมต่อไร่มีปริมาณแคดเมียมในดินมากที่สุดเท่ากับ 57.90, 56.82, 55.12 และ 53.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ระยะเวลาของการ

เก็บตัวอย่าง 2, 4, 6 และ 8 เดือน ตามลำดับ ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่า อ้อยมีความสามารถในการดูดดึงแคดเมียมในดินที่ปนเปื้อนได้ และจากการศึกษาของ อนงนาฏ ศรีประโยชน์ (2549) พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณแคดเมียมในพื้นที่จังหวัดตากส่วนใหญ่มาจากปริมาณสังกะสีที่เพิ่มขึ้น แต่บางส่วนมีอิทธิพลมาจากการเกษตร การใช้ปุ๋ย และสารเคมี เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง โดยพบว่า ในดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 4.5-7.0 ไม่มีผลต่อปริมาณแคดเมียม แต่ที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินมากกว่า 7.0 พบว่า ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 4.2 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่างๆ ตามระยะเวลาของการเก็บเกี่ยว (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

จากตารางที่ 4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์การลดลงของแคดเมียมในดินเมื่อสิ้นสุดการศึกษาที่ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างดินในเดือนที่ 8 พบว่า เมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของแคดเมียมลดลงตามลำดับ อาจเนื่องมาจากการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูงขึ้น ทำให้ธาตุอาหารในดินมีปริมาณสูงขึ้นอ้อยจึงเจริญเติบโตมากขึ้น จึงได้มีการดูดดึงธาตุอาหารในดิน และ

ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ในปริมาณที่มากทำให้แคดมียมในดินลดลง ซึ่งการศึกษาครั้งนี้มีเปอร์เซ็นต์การลดลงปริมาณแคดเมียมในดินประมาณ 8-20 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณแคดเมียมในดินจากการทดลอง

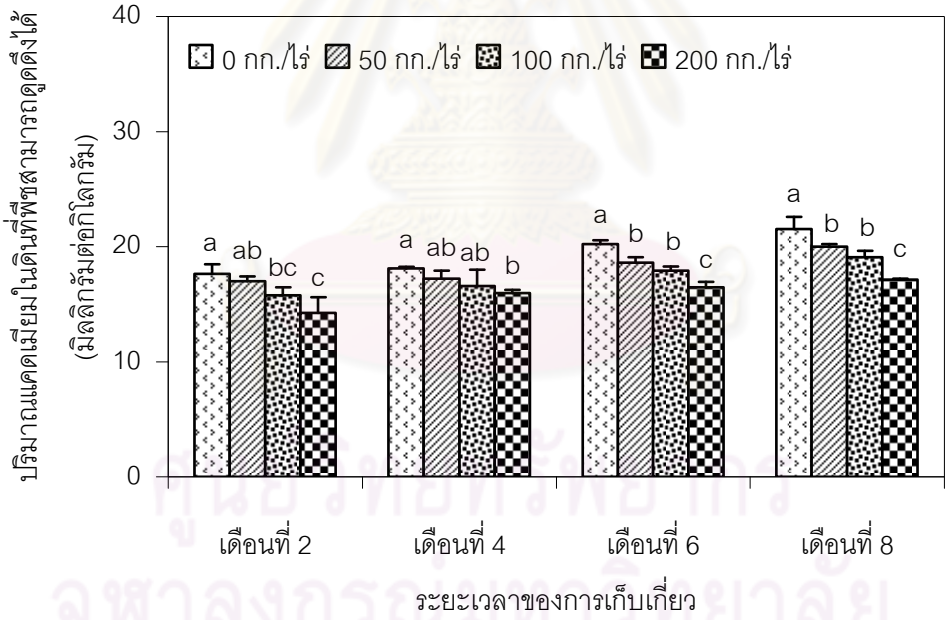
อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี (กิโลกรัมต่อไร่)	ปริมาณแคดเมียมของดินเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ปริมาณแคดเมียมของดินเดือนที่ 8 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	% การลดลงของแคดเมียมในดิน
ควบคุม	58.53	46.33	20.84
50	58.53	49.77	14.97
100	58.53	52.94	9.55
200	58.53	53.54	8.53

4.6.2 ปริมาณแคดเมียมในดินที่พืชสามารถดูดดึงได้ (Available)

การวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมในดินที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดดึงได้ หรือเป็นการศึกษาแคดเมียมในรูปที่พืชหรือสิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ และสามารถสะสมได้ในสิ่งมีชีวิต ซึ่งการทดลองครั้งนี้ใช้วิธีการสกัดด้วย DTPA ในดินทดลองทั้ง 4 อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี คือ 0, 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างดินเดือนที่ 2, 4, 6 และ 8 ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณแคดเมียมในดินที่พืชสามารถดูดดึงได้มีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.3) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งปริมาณแคดเมียมในดินที่พืชสามารถดูดดึงได้น้อยที่สุดอยู่ที่อัตราของการใส่ปุ๋ยเคมีที่ 200 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่าเท่ากับ 14.24, 15.98, 16.49 และ 17.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามระยะเวลาการเก็บตัวอย่างเดือนที่ 2, 4, 6 และ 8 สำหรับการลดลงของปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้อาจเนื่องมาจากผลของ pH ในดินที่สูงขึ้น จากการศึกษางานวิจัยอื่นๆ พบว่า ปุ๋ยเคมีสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินได้ เช่น ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดิน โดย Levi-Minzi and Petruzzelli (1984) ได้ทำการศึกษาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เมื่อมีการเติมปุ๋ยประเภทไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diammonium Phosphate) ลงในดินพบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นจาก 6.4 เป็น 7.7 อาจมีผลต่อการลดลงของแคดเมียมที่สามารถละลายได้ในดิน ซึ่ง

สอดคล้องกับการศึกษาของ Adriano (2001) ได้รายงานว่า เมื่อ pH ของดินมีค่ามากกว่า 7.0 ทำให้สังกะสีในดินรูปที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินมีค่าลดลง

นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างนานขึ้น ทุกๆ ชุดการทดลองมีแนวโน้มของปริมาณแคดเมียมที่พืชดูดดึงได้เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของวราภรณ์ ศรีตัมภวา (2550) ที่ได้ทำการศึกษาปริมาณแคดเมียมที่พืชดูดดึงได้ในดินจากพื้นที่จริงที่ใช้ปลูกอ้อยในอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยศึกษาพื้นที่ที่มีระดับแคดเมียม <3, 3-20 และ >20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำการเก็บตัวอย่างเมื่ออ้อยมีอายุ 3, 6 และ 9 เดือน พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างนานขึ้นในทุกๆ ระดับแคดเมียม โดยระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง 9 เดือนมีปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.37, 0.82 และ 30.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.3 ปริมาณแคดเมียมในดินที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่างๆ ตามระยะเวลาของการเก็บเกี่ยว (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

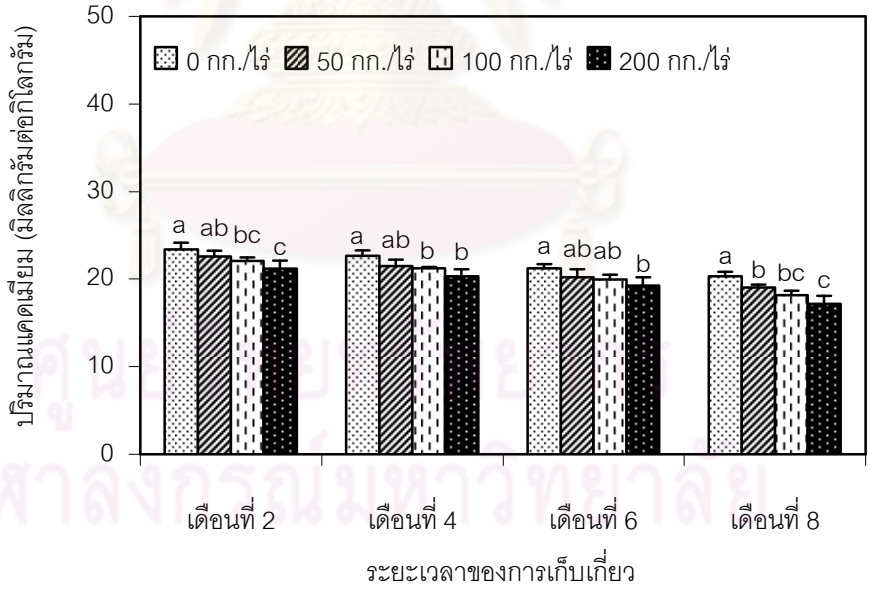
4.7 ผลของการใส่ปุ๋ยเคมีต่อการดูดดึงแคดเมียมโดยอ้อย

ในการศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมในอ้อย ได้ทำการแยกส่วนต่างๆ ของอ้อยออกเป็น 5 ส่วน คือ ราก ท่อนพันธุ์เดิม ชานอ้อย ใบ และน้ำอ้อย โดยทำการเก็บเกี่ยวทั้งหมด 4 ครั้ง คือ เดือนที่ 2, 4, 6 และ 8 (หลังจากมีการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งแรก) จากการศึกษาการดูดดึงแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของอ้อย พบว่า อ้อยมีความสามารถในการสะสมแคดเมียมที่รากมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ท่อนพันธุ์เดิม ชานอ้อย ใบ และน้ำอ้อย ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Segura-Muñoz *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนัก ได้แก่ Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Pb และ Zn ที่สะสมในส่วนต่างๆ ของอ้อย พบว่า โลหะหนักมีการสะสมในใบน้อยกว่ารากในทุกชนิดของโลหะหนัก ผลการสะสมแคดเมียมในส่วนของ ราก ชานอ้อย และใบเท่ากับ 0.23, 0.20 และ 0.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับการศึกษาของ Azimi *et al*. (2006) ได้ทำการศึกษาการดูดดึงแคดเมียมของต้นถั่วในน้ำที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม 65 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า แคดเมียมมีการสะสมในส่วนของรากมากที่สุดเท่ากับ 70 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีปริมาณน้อยในส่วนอื่นๆ ของต้นถั่วมีค่าระหว่าง 12-16 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ จากการศึกษาของ Chen *et al*. (2006) ได้ทำการศึกษาการดูดดึงแคดเมียมด้วยข้าวสาลีที่มีการเติมธาตุฟอสฟอรัสระดับต่างๆ กัน พบว่า รากของต้นข้าวสาลีเป็นส่วนที่มีการสะสมแคดเมียมมากที่สุด ตามด้วยลำต้น เปลือกข้าว และเมล็ดข้าว ตามลำดับ

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ยังพบว่า การสะสมแคดเมียมในราก (รูปที่ 4.4) มีปริมาณการสะสมแคดเมียมในรากลดลงเมื่ออายุของอ้อยเพิ่มขึ้น รวมทั้งลดลงเมื่อระดับอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยค่าการสะสมแคดเมียมสูงสุดอยู่ที่การเก็บตัวอย่างในเดือนที่ 2 โดยพบว่า ค่าการสะสมแคดเมียมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เท่ากับ 23.42, 22.61, 22.04 และ 21.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีที่ 0, 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Ruangkhum (2007) ที่ทำการศึกษาผลของฟอสฟอรัสในปุ๋ยเคมีต่อการดูดดึงแคดเมียมด้วยอ้อย โดยอัตราการใส่ปุ๋ยเคมี 0, 50 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า มีค่าการสะสมแคดเมียมเท่ากับ 5.74, 4.04, 3.59 และ 2.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างเดือนที่ 6

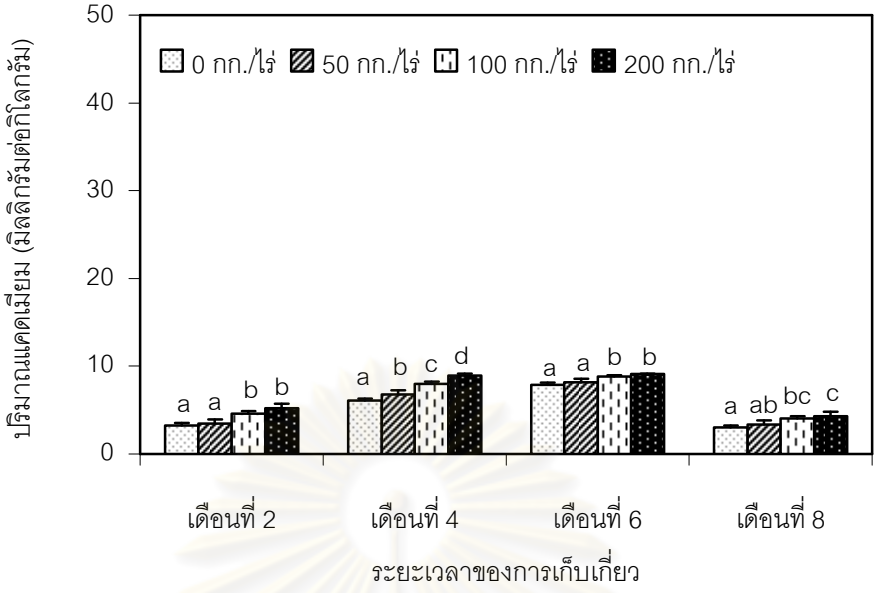
การสะสมแคดเมียมในท่อนพันธุ์เดิม (รูปที่ 4.5) พบว่า อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการสะสมแคดเมียมมากขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างในเดือนที่ 2, 4 และ 6 โดยในเดือนที่ 8 มีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากรากของท่อนพันธุ์เดิมได้ทำหน้าที่ในการดูดน้ำ และธาตุอาหารเพื่อทำให้อ้อยมีการเจริญเติบโต และเมื่อเวลาผ่านไปรากของต้นใหม่เกิดขึ้นมาแทนที่ ในขณะที่ท่อนพันธุ์เดิมได้หมดสภาพในช่วงเวลาของการปลูกอ้อยที่ 6 เดือน (วราภรณ์ ศรีตัมภวา, 2550)

ส่วนการสะสมแคดเมียมในชานอ้อย และใบ (รูปที่ 4.6 และ 4.7) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่เพิ่มขึ้นทำให้พืชมีการสะสมแคดเมียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กล่าวคือ การสะสมแคดเมียมในชานอ้อย และใบสูงสุดที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีที่ 200 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเท่ากับ 8.25 และ 8.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างเดือนที่ 2, 4 และ 6 พบว่า พืชมีการสะสมแคดเมียมสูงขึ้นตามลำดับ และลดลงในการเก็บตัวอย่างเดือนที่ 8 ซึ่งเป็นช่วงที่อ้อยมีการเจริญเติบโตน้อยลง และเป็นช่วงที่อ้อยเริ่มมีการสะสมน้ำตาล

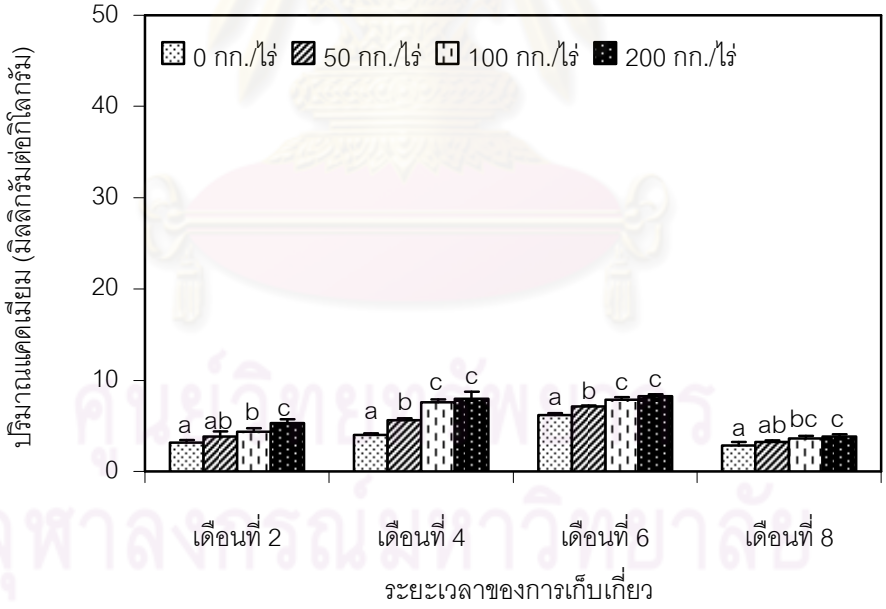


รูปที่ 4.4 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในรากอ้อยที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่างๆ ตามระยะเวลาของการเก็บเกี่ยว (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

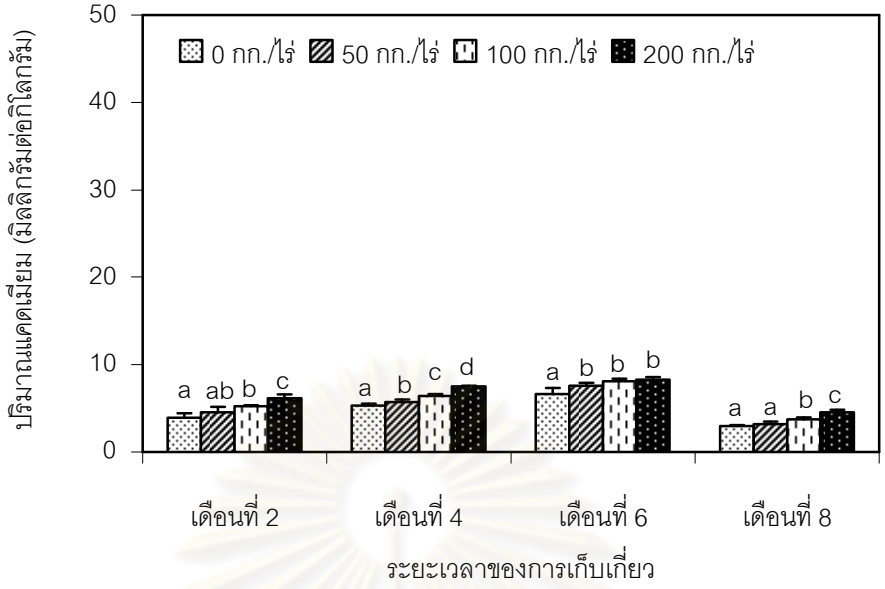


รูปที่ 4.5 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในท่อนพันธุ์เดิมที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่างๆ ตามระยะเวลาของการเก็บเกี่ยว (n=3)



รูปที่ 4.6 ปริมาณการสะสมแคดเมียมชานอ้อยที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่างๆ ตามระยะเวลาของการเก็บเกี่ยว (n=3)

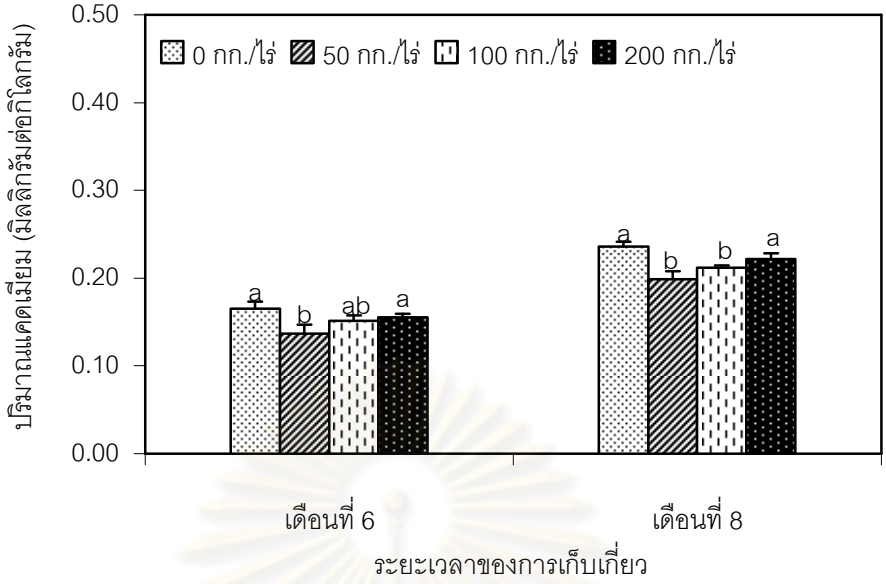
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4.7 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในใบอ้อยที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่างๆ ตามระยะเวลาของการเก็บเกี่ยว (n=3)

การสะสมแคดเมียมในน้ำอ้อย (รูปที่ 4.8) พบว่า น้ำอ้อยมีการสะสมแคดเมียมในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับส่วนอื่นๆ ของอ้อย ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างนานขึ้น โดยพบมากที่สุดในการเก็บตัวอย่างเดือนที่ 8 ในชุดควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าเท่ากับ 0.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ที่อัตราของการใส่ปุ๋ยที่ 50 กิโลกรัมต่อไร่มีค่าการสะสมแคดเมียมในน้ำอ้อยน้อยกว่าการใส่ปุ๋ยที่ 0, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนน้ำอ้อยในเดือนที่ 2 และ 4 นั้นไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ เนื่องจากเป็นช่วงที่อ้อยยังอยู่ในระยะแตกกอ และระยะย่างปล้อง จึงทำให้อ้อยไม่มีการสะสมน้ำตาล (Vered and Rao, 2007)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



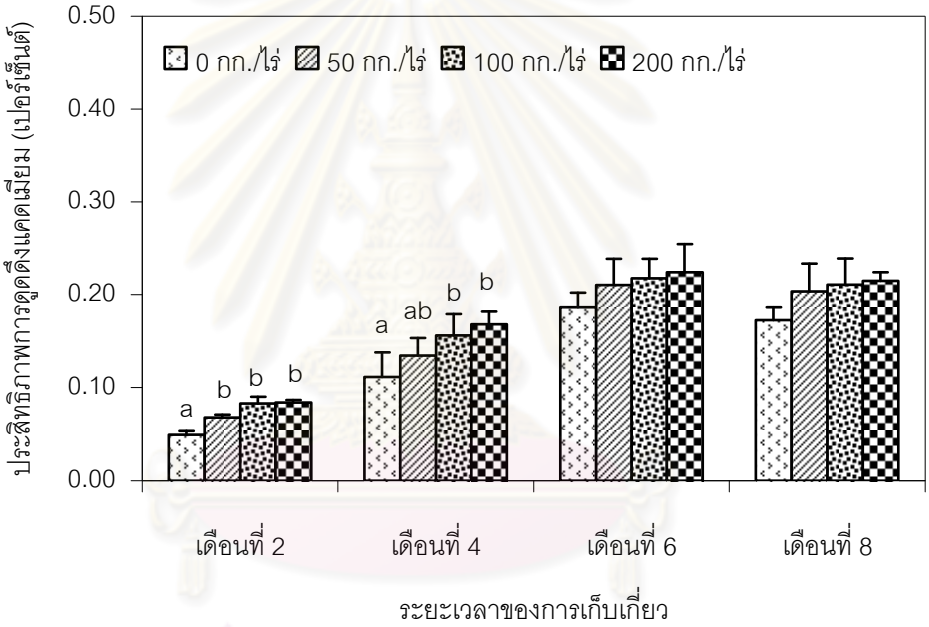
รูปที่ 4.8 ปริมาณการสะสมแคดเมียมในน้ำอ้อยที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่างๆ ตามระยะเวลาของการเก็บเกี่ยว (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4.8 ประสิทธิภาพ และสมดุลมวลของการใช้ปุ๋ยเคมีต่อดูดดึงแคดเมียมในดินด้วยอ้อย

การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดดึง และสะสมแคดเมียมของอ้อย จากการศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบถึงความสามารถของอ้อยที่ช่วยลดปริมาณแคดเมียมที่มีการปนเปื้อนอยู่ในดินได้ โดยคำนวณจากเปอร์เซ็นต์ของปริมาณการสะสมแคดเมียมในทุกส่วนของอ้อยต่อปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน ซึ่งผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.9 พบว่า ประสิทธิภาพของการดูดดึงแคดเมียมโดยอ้อยในชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี (0 กิโลกรัมต่อไร่) มีความแตกต่างกับชุดการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีในระดับต่างๆ กันในเดือนที่ 2 และ 4 ของการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) แต่ในเดือนที่ 6 และ 8 ไม่มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพของการดูดดึงแคดเมียมในดินด้วยอ้อยมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่ออัตราของการใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพการดูดดึงแคดเมียมในดินโดยอ้อยมีค่าเท่ากับ 0.22 เปอร์เซ็นต์ที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี 200 กิโลกรัมต่อไร่ในระยะของการเก็บเกี่ยวเดือนที่ 6 การศึกษาครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นว่าอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีที่ 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ มีประสิทธิภาพของการดูดดึง และการสะสมแคดเมียมของอ้อย

ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สำหรับการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่ เช่นตัวอย่างของ พรอำภา สุรภักดี (2549) ได้ทำการศึกษาโดยใช้พืชตัดดอกได้แก่ เบญจมาศ ดาวเรือง และบานไม่รู้โรยปลูกในพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียมในบ้านพะเด๊ะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก พบว่าดาวเรืองมีประสิทธิภาพในการดูดดึงแคดเมียม และสังกะสีออกจากดินมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.019 และ 0.042 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ประสิทธิภาพของการดูดดึงแคดเมียมด้วยอ้อยมีเปอร์เซ็นต์สูงกว่าประสิทธิภาพของการดูดดึงแคดเมียมด้วยดาวเรือง นอกจากนี้ทำให้ทราบว่าอ้อยไม่ใช่พืช Hyperaccumulator กล่าวคือ เป็นพืชที่ไม่สามารถสะสมแคดเมียมไว้ได้ในปริมาณสูง เนื่องจากมีการสะสมแคดเมียมน้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Kabata-Pendias and Pendias, 2001)



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการดูดดึงแคดเมียมด้วยอ้อยที่ระยะเวลาต่างๆ (n=3)

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ บอกความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

การศึกษาสมดุลมวล เพื่อเป็นการศึกษาปริมาณแคดเมียมที่มีอยู่ในระบบ โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมที่อยู่ในดินทั้งหมด และปริมาณแคดเมียมที่ดูดดึงได้ในอ้อย ได้ทำการแยกปริมาณการสะสมแคดเมียมของอ้อยออกเป็นส่วนต่างๆ เพื่อให้เห็นเปอร์เซ็นต์ของการสะสมที่ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยทำการศึกษาที่อัตราของการใส่ปุ๋ยเคมีที่ 0, 50, 100 และ 200

กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะของการเก็บเกี่ยวตัวอย่างในเดือนที่ 2, 4, 6 และ 8 โดยสามารถแสดงรายละเอียดไว้ดังตารางที่ 4.8 นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณแคดเมียมในระบบอาจหายไปบางส่วน ซึ่งอาจติดไปกับภาชนะปลูกหรือพลาสติกหุ้มถุง หรือวัสดุที่ใช้ในการทดลอง โดยรวมทั้งการล้างด้วยน้ำที่อาจมีการสูญหายได้ อย่างไรก็ตามเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แคดเมียมที่หายไปจากระบบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 9-10 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 สมดุลมวล (Mass Balance) ของอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่อการดูดดึงแคดเมียมโดยอ้อย

อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี (กิโลกรัมต่อไร่)	ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (เดือน)	ปริมาณแคดเมียม (มิลลิกรัม)							ปริมาณแคดเมียม (เปอร์เซ็นต์)							ผลรวมปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในระบบ (เปอร์เซ็นต์)
		ดิน	อ้อย						ดิน	อ้อย						
			ราก	ท่อนพันธุ์	ชาน	ใบ	น้ำอ้อย	รวม		ราก	ท่อนพันธุ์	ชาน	ใบ	น้ำอ้อย	รวม	
0	2	515.40	0.12	0.06	0.03	0.05	-	0.26	88.06	0.02	0.01	0.00	0.01	-	0.04	88.10
	4	491.25	0.23	0.09	0.11	0.11	-	0.54	83.93	0.04	0.01	0.02	0.02	-	0.09	84.02
	6	482.09	0.43	0.12	0.15	0.19	0.01	0.90	82.37	0.07	0.02	0.03	0.03	0.00	0.15	82.52
	8	463.27	0.52	0.06	0.10	0.10	0.02	0.80	79.15	0.09	0.01	0.02	0.02	0.00	0.14	79.29
50	2	549.41	0.14	0.06	0.06	0.11	-	0.37	93.87	0.02	0.01	0.01	0.02	-	0.06	93.93
	4	539.44	0.26	0.11	0.18	0.17	-	0.72	92.16	0.05	0.02	0.03	0.03	-	0.13	92.29
	6	515.47	0.43	0.14	0.28	0.23	0.01	1.09	88.07	0.07	0.02	0.05	0.04	0.00	0.18	88.25
	8	497.74	0.58	0.07	0.16	0.17	0.02	1.00	85.04	0.10	0.01	0.03	0.03	0.00	0.17	85.21

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 สมดุลมวล (Mass Balance) ของอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีต่อการดูดดึงแคดเมียมโดยอ้อย (ต่อ)

อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี (กิโลกรัมต่อไร่)	ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (เดือน)	ปริมาณแคดเมียม (มิลลิกรัม)							ปริมาณแคดเมียม (เปอร์เซ็นต์)							ผลรวมปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในระบบ (เปอร์เซ็นต์)
		ดิน	อ้อย						ดิน	อ้อย						
			ราก	ท่อนพันธุ์	ชาน	ใบ	น้ำอ้อย	รวม		ราก	ท่อนพันธุ์	ชาน	ใบ	น้ำอ้อย	รวม	
100	2	561.30	0.17	0.11	0.08	0.10	-	0.46	95.90	0.03	0.02	0.01	0.02	-	0.08	95.98
	4	546.17	0.28	0.14	0.26	0.17	-	0.85	93.31	0.05	0.02	0.04	0.03	-	0.14	93.45
	6	527.74	0.44	0.15	0.32	0.23	0.01	1.15	90.17	0.07	0.03	0.06	0.04	0.00	0.20	90.37
	8	519.41	0.63	0.09	0.19	0.15	0.03	1.09	88.74	0.11	0.02	0.03	0.03	0.00	0.19	88.93
200	2	579.03	0.18	0.10	0.10	0.11	-	0.49	98.93	0.03	0.02	0.02	0.02	-	0.09	99.02
	4	568.17	0.28	0.17	0.36	0.15	-	0.96	97.07	0.05	0.03	0.06	0.03	-	0.17	97.24
	6	551.20	0.46	0.15	0.39	0.22	0.01	1.23	94.17	0.08	0.03	0.07	0.04	0.00	0.22	94.39
	8	535.45	0.66	0.10	0.23	0.13	0.03	1.15	91.48	0.11	0.02	0.04	0.02	0.00	0.19	91.67

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.9 ค่าใช้จ่าย

การปลูกอ้อยมีความจำเป็นที่จะต้องมีการใส่ปุ๋ย หรือธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโต เนื่องจากเป็นการเพิ่มผลผลิต และคุณภาพของอ้อย ซึ่งอ้อยในพื้นที่ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เป็นการปลูกอ้อยเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานทดแทน คือ การผลิตเอทานอล โดยค่าใช้จ่ายในเรื่องของปุ๋ยที่ใช้เพื่อการปลูกอ้อย ซึ่งปุ๋ยที่นิยมใช้ในการปลูกอ้อยในพื้นที่นี้ คือ ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 จากข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2553) รายงานว่า ราคาปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ล่าสุดในเดือนกันยายน 2553 มีราคากิโลกรัมละ 15.72 บาท โดยอัตราการใช้ปุ๋ยทั้งหมด 3 อัตรา คือ 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ ในพื้นที่จริงของการปลูกอ้อยมีการใส่ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ปุ๋ยเคมีในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อ 1 ไร่ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 1,572 บาท ส่วนในอัตรา 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 3,144 และ 6,288 บาทต่อการปลูกอ้อย 1 ไร่ โดยค่าใช้จ่ายในด้านปุ๋ยเคมี แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าใช้จ่ายในการลงทุน

อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี (กิโลกรัมต่อไร่)	ราคา (บาทต่อ 1 ไร่)
50	1,572
100	3,144
200	6,288

จากการศึกษาประสิทธิภาพของอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีที่ 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า ประสิทธิภาพของการดูดดึง และการสะสมแคดเมียมของอ้อยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังนั้นในการปลูกอ้อยที่เหมาะสมคือ อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีที่ 50 กิโลกรัมต่อไร่ โดยประสิทธิภาพของการดูดดึงมีค่าประมาณ 0.06-0.20 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์ของการลดลงของแคดเมียมในดินมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 14.97 เปอร์เซ็นต์ในอัตราของการใส่ปุ๋ยเคมี 50 กิโลกรัมต่อไร่ จากข้อมูลข้างต้น และเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกอ้อย อัตราของการใส่ปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมคือ 50 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างไรก็ตามนอกเหนือจากค่าใช้จ่ายของการใส่ปุ๋ยเคมีแล้ว ยังมีในส่วนของค่าพันธุ์อ้อย ค่าการเตรียมดิน ค่าแรงงานคน และเครื่องจักร เป็นต้น ที่ไม่ได้นำมาผนวกในค่าใช้จ่ายของการศึกษาในครั้งนี้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ต่อการดูดดึงแคดเมียมด้วยการปลูกอ้อยในดินที่ปนเปื้อนที่นำมาจากพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยใช้อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีที่ระดับ 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมใส่ลงดินปนเปื้อนในแต่ละชุดการทดลอง ซึ่งได้ทำการใส่ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง ครั้งแรกเมื่ออ้อยมีอายุ 1 เดือน และทำการใส่อีกครั้งหลังจากการใส่ครั้งแรก 5 เดือน ทำการเก็บเกี่ยวในเดือนที่ 2, 4, 6 และ 8 (หลังจากการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งแรก) ซึ่งผลการศึกษาสามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การเจริญเติบโตของอ้อยเมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูงขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักแห้งในส่วนต่างๆ ของอ้อยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวในเดือนที่ 8 มีค่าน้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 162.00 กรัม ที่อัตราของการใส่ปุ๋ยเคมี 200 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณธาตุอาหารหลักที่สะสมในดิน ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่ออัตราการใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้น จึงทำให้ปริมาณน้ำหนักแห้งของอ้อยเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีธาตุอาหารปริมาณที่เพียงพอแก่อ้อย

5.1.2 ปริมาณการสะสมแคดเมียมทั้งหมดในดิน ที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้มีปริมาณการสะสมแคดเมียมที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยเคมี โดยที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของแคดเมียมเมื่อระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างเดือนที่ 8 มากที่สุดเท่ากับ 14.97 เปอร์เซ็นต์ และแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้มีแนวโน้มลดลง เมื่ออัตราของการใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาของการเก็บเกี่ยวมากขึ้นทำให้ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พืชดูดดึงได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยมีการสะสมแคดเมียมมากที่สุดที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวเดือนที่ 8

5.1.3 การดูดดึงแคดเมียมไปไว้ในส่วนต่างๆ ของอ้อย จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณการสะสมแคดเมียมอยู่ในรากมากที่สุด รองลงมาคือ ท่อนพันธุ์เดิม ใบ ชานอ้อย และน้ำอ้อย (ราก>ท่อนพันธุ์เดิม>ใบ>ชานอ้อย>น้ำอ้อย) และเมื่ออัตราของการใส่ปุ๋ยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อ้อยมีการดูดดึง และสะสมแคดเมียมไว้ในส่วนต่างๆ มากขึ้นด้วย

5.1.4 ประสิทธิภาพการสะสมแคดเมียมในดินมีแนวโน้มมากขึ้น เมื่ออัตราการใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพการสะสมแคดเมียมในดินต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 85.04 เปอร์เซ็นต์ที่อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี 50 กิโลกรัมต่อไร่ในระยะของการเก็บเกี่ยวเดือนที่ 8 นอกจากนี้ยังพบว่ามีเปอร์เซ็นต์การลดลงของแคดเมียมมากที่สุดเท่ากับ 14.97 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นว่าอัตราของการใส่ปุ๋ยเคมีที่ 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ มีประสิทธิภาพของการดูดดึงและสะสมแคดเมียมในอ้อยไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีที่เหมาะสม คือ อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีที่ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีประสิทธิภาพการดูดดึงแคดเมียมโดยอ้อยอยู่ระหว่าง 0.06-0.20 เปอร์เซ็นต์ และค่าใช้จ่ายการใช้ปุ๋ยเคมีที่อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ในการปลูกอ้อยประหยัดกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีที่อัตรา 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาถึงอ้อยสายพันธุ์อื่นๆ เพื่อเปรียบเทียบในแต่ละสายพันธุ์ที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดดึงแคดเมียมในดิน เพื่อให้ได้สายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพที่สุด โดยการศึกษานี้อาจจะทำในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนจริง และอาจมีการศึกษาพืชชนิดอื่นๆ ที่มีความสามารถในการดูดดึง และสะสมแคดเมียมออกจากดินได้สูง

5.2.2 ควรมีการศึกษาถึงปุ๋ยเคมีสูตรอื่นๆ ที่ใช้ในการส่งเสริมการปลูกอ้อย เพื่อเปรียบเทียบการปนเปื้อนแคดเมียมในดิน และการดูดดึงแคดเมียมด้วยอ้อย ทั้งนี้อาจจะมีการใช้ปุ๋ยชนิดอื่น เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด เป็นต้น หรือสารอื่นๆ ที่สามารถช่วยลดปริมาณแคดเมียมในดินได้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัญญารัตน์ คล้อยเอี่ยม. 2528. อิทธิพลของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนต่อความหวานของอ้อยพันธุ์ F140 ที่ปลูกในดินชุดกำแพงแสนเมื่อปลูกในกระถาง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. อ้างถึงใน นิพนธ์ ดิษฐ์จันทร์. 2543. การตอบสนองของอ้อยปลูกและอ้อยตอต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาพืชไร่ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เกริก ปิ่นตระกูล. 2550. ผลของการใช้ปุ๋ยต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สหสาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2541. แคดเมียม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานครฯ อินทิเกรเต็ด โปรโมชันเทคโนโลยี.

เฉลิมพล แซมเพชร. 2540. สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ้างถึงใน นิพนธ์ ดิษฐ์จันทร์. 2543. การตอบสนองของอ้อยปลูกและอ้อยตอต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาพืชไร่ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิพนธ์ ดิษฐ์จันทร์. 2543. การตอบสนองของอ้อยปลูกและอ้อยตอต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาพืชไร่ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปรีชา พราหมณีย์. 2541. การจัดการดินและการใช้ปุ๋ยในไร่อ้อย. เอกสารการเผยแพร่อันดับที่ 57. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พจนีย์ มอญเจริญ. 2544. การใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์ดินเพื่อการปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ย. เอกสารวิชาการกองวิเคราะห์ดิน. ฉบับที่ 2/2544. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พรอำภา สุรภักดี. 2549. การกำจัดแคดเมียมและสังกะสีโดยพืชตัดดอก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สหสาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มิตรผลวิจัย พัฒนาอ้อยและน้ำตาล. ม.ป.ป. การจัดการคุณภาพอ้อย. บริษัท มิตรผลวิจัยพัฒนาอ้อยและน้ำตาล จำกัด, ชัยภูมิ.

มิตรผลวิจัย พัฒนาอ้อยและน้ำตาล. ม.ป.ป. ปลูกอ้อยให้รวย คู่มือคนปลูกอ้อย. บริษัท มิตรผลวิจัยพัฒนาอ้อยและน้ำตาล จำกัด, ชัยภูมิ.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

วราภรณ์ ศรีตัมภวา. 2550. การดูดดึงแคดเมียมโดยอ้อยที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สหสาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิจิตร วังใน. 2552. ธาตุอาหารกับการผลิตพืชผล. 500 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ม.ป.ท.

วิชาการเกษตร, กรม. 2523. อ้อย. 3,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. เอกสารวิชาการเล่มที่ 1. เพชรบุรี : ธนประดิษฐ์การพิมพ์.

ศรารินกลิ่นโพธิ์กลับ. 2549. ผลของสารปรับปรุงดินที่มีต่อการดูดดึงแคดเมียมของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาปฐพีวิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริลักษณ์ กล้าการขาย และธนูชัย กองแก้ว. 2548. การบำบัดแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินโดยใช้หญ้าแฝก[ออนไลน์]. สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. แหล่งที่มา: http://www.scioc.or.th/stt/31/sec_h/paper/stt31_H0020.pdf[2553, ตุลาคม 20]

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2545. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สรัตนา เสนาะ. 2548. การดูดดึงโลหะหนักของหญ้าแฝก ทานตะวัน และข้าวที่ปลูกในดินปนเปื้อนสังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. 2540. ดินและปุ๋ย[ออนไลน์]. กรุงเทพมหานคร : โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนโดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เล่มที่ 18. แหล่งที่มา: http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK18/chapter8/t18-8-l2.htm [2553, ธันวาคม 14]

สื่อการเรียนการสอนวิชาหลักปฐพีศาสตร์. ม.ป.ป. คุณสมบัติทางกายภาพของดิน[ออนไลน์]. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. แหล่งที่มา: http://web.nkc.kku.ac.th/rattanasuda/e-learning/112202/chapter2.doc[2551, ธันวาคม 18]

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2547. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน. กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2553. ราคานำเข้าปุ๋ยเคมีรายเดือน[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=147&filename=index[2554, มกราคม 20]

อนงนาฏ ศรีประโชติ. 2549. การกระจายตัวของแคดเมียมในดินที่มีการปนเปื้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สหสาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อภิรดี อิ่มเอิ่ม. 2534. การตรวจสอบดิน. อนุรักษ์ดินและน้ำ 7(4): 5-27, อ้างถึงในมุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

อรรณพ หอมจันทร์. 2535. ความเป็นพิษต่อโลหะหนักบางชนิดจากกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อผักคะน้าและต้นหอม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สหสาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, กรม. 2549. รายงานการศึกษาวิจัยสาเหตุการปนเปื้อนแคดเมียมในดินพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก. กรุงเทพมหานคร.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

Adriano, D.C. 2001. Trace Elements in Terrestial Environment: Biogeochemistry, Bioavailable, and Risks of Metals. 2nd ed. New York: Spinger.

Alloway, B.J. 1995. Soil Processes and the behavior of metals. In B. J. Alloway (ed), Heavy Metal in Soils. Glasgow: Blackie.

ATSDR. 1999. Toxicological Profile for Cadmium. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. US Department of Health and Human Service, Public Health Service, Atlanta, GA.

Azimi, A. A., Navab Daneshmand, T. and Pardakhti, A. 2006. Cadmium absorption and accumulation in different parts of kidney beans, radishes and pumpkins. International Journal of Environmental Science and Technology 3: 177-184.

Bell, M., Barry, G. and McLaughlin, M. 2001. Managing cadmium in summer grain legumes for premium quality produce[Online]. Australia. Available from: http://www.clw.csiro.au/publications/general2002/grain_legumes_brochure.pdf [2010, August 19]

Campbell, A. and Wansbrough, H. 2005. Soil Acidity and liming[Online]. Available from: http://www.nzic.org.nz/ChemProcesses/soils/2C.pdf[2010, November 26]

Chen, L., Sun, T., Sun, L., Zhou, Q. and Chao, L. 2006. Influence of phosphate nutritional level on the phytoavailability and speciation distribution of cadmium and lead in soil. Journal of Environmental Sciences 18: 1247-1253.

Codex. 2005. Report of the 37th Session of the Codex Committee on Food Additives and Contaminants, Alinorm 05/28/12. Codex Alimentarious Commission, pp. 1-189.

Diaz, M.A. and Polo, A. 1988. “Effect of two sewage sludge in the rye-grass yield and nutrient content” In A.A. Orio (ed). Environmental Contamination. Edinburgh: CEP Consultants 428-430.

Gillies, J.A., Kushwaha, R.L., Hwang, C.P. and Ford, R.J. 1989. Heavy metal residues in soil and crops from applications of anaerobically digested sludge. J.WPCF 61: 1673-1677.

Helmke, P.A. 1999. Chemistry of Cadmium in soil Solution. In McLaughlin, M. J. and Singh, B. R. (eds.), Cadmium in Soils and Plants, pp. 39-64. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

International Cadmium Association (ICdA). 2009. All the information on Cadmium [Online]. Brussels, Belgium. Available from: http://www.cadmium.org/ [2010, August 13]

Jackson, M.L. 1973. Soil Chemical Analysis. 2nd ed. New Delhi: Prentice-Hall.

James, M.B. 1999. The Element Cadmium[Online]. United Kingdom. Available from: http://www.jamesmbrown.co.uk/cd_pigments/cadmium.htm[2010, August 13]

Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. 3rd ed. New York: CRC Press.

Kitagishi K. and Yamane, L. 1981. Heavy metal pollution in soils of Japan. Tokyo: Japan Science Society Press.

Lambert, R., Grant, C. and Sauve, S. 2007. Cadmium and zinc in soil solution extracts following the application of phosphate fertilizers. Science of the Total Environment 378 : 293-305.

Levi-Minzi, R. and Petruzzelli, G. 1984. The influence of phosphate fertilizers on Cd solubility in soil. Water, Air, and Soil Pollution 23: 423-429.

Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal 42: 421-428.

Lonrenz, S. E., Hamon, R. E., McGrath, S. P., Holm, P.E. and Christensen, T.H. 1994. Application of Fertilizer cation affect cadmium and zinc concentrations in soil solutions and uptake by plants. European J. Soil Sci 45: 159-165.

Minnesota Department of Agriculture. 2007. Heavy Metal Analysis in Fertilizers Distributed in Minnesota[Online]. Available from: http://www.mda.state.mn.us/ chemicals/fertilizers/ heavymetals.aspx [2010, November 24]

Naidu, R., Kookana, R. S., Sumner, M. E., Harter, R. D. and Tiller, K. G. 1997. Cadmium sorption and transport in variable charge soils: A review. Journal of Envionmental Quality 26: 602-617.

Panwar, B.S., Rathore D.N. and Joon R.K. 1980. Effect of graded does of nitrogen on growth, yield and quality of sugarcane varieties. Indian Sugar. December:487-490.

Romkens, P.F.A.M. and Salomons, W. 1998. Cd, Cu and Zn solubility in arable and forest soils: consequences of land use changes for metal mobility and risk assessment. Soil Science 193: 589-871.

Segura-Muñoz, S. I., da Silva Oliveira, A., Nikaido, M., Trevilato, T.M.B., Bocio, A., Takayanagui, A.M.M. and Domingo, J.L. 2006. Metal levels in sugar cane (Saccharum spp.) samples from an area under the influence of a municipal landfill and a medical waste treatment system in Brazil. Environmental International 32: 52-57.

Ruangkhum, S. 2007. Effect of phosphorus in fertilizer on available cadmium and zinc uptake by sugarcane. Master's Thesis, Environmental Management, Graduate School, Chulalongkorn University.

Udom, B.E., Mbagwu J.S.C., Adesodun J.K. and Agbim N.N. 2004. Distributions of zinc, copper, cadmium and lead in a tropical ultisol after long-term disposal of sewage sludge. Environ. Int. 30: 467-470.

USEPA. 1996. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. Method. 3052, Washington D.C., USA.

Vered, E. and Rao, V.P. 2007. Crop Growth Phases[Online]. Netafim's Agriculture Department. Available from: http://www.sugarcanecrops.com/crop_growth_phases/[2010, September 15]

Vered, E. and Rao, V.P. 2007. Introduction[Online]. Netafim's Agriculture Department. Available from: http://www.sugarcanecrops.com/introduction/[2010, September 15]

Zhou, W. and Qui, B. 2005. Effect of cadmium hyperaccumulation on physiological characteristics of Sedum alfredii Hance (Crassulaceae). Plant Science. 169: 737-745.

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม

1. การวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน

การวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน ทำโดยนำตัวอย่างดินที่ผ่านการอบ และร่อนแล้วชั่งน้ำหนักดินจำนวน 0.5 กรัม แล้วนำมาย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น จำนวน 9 มิลลิลิตร กับ กรดไนตริกเข้มข้น จำนวน 3 มิลลิลิตร ใช้ตามวิธีการของ USEPA method 3052 (USEPA, 1996) ด้วยเครื่องมือสำหรับย่อยระบบไมโครเวฟ (Microwave Digestion) โดยมีการตั้งโปรแกรมสำหรับการย่อยดินไว้ดังตารางที่ ก-1 ใช้เวลาในการย่อยทั้งหมด 25 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 40 แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI) ให้ได้ 50 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดตัวอย่าง นำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์

ตารางที่ ก-1 เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยดินด้วยระบบไมโครเวฟ

ขั้นตอนที่	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	10	200
2	15	200

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมที่พืชดูดดึงได้จากดิน

การวิเคราะหาปริมาณแคดเมียมที่พืชดูดดึงได้จากดิน ทำได้โดยนำตัวอย่างดินที่ผึ่งลมจนแห้ง มาบด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วชั่งน้ำหนัก จำนวน 10 กรัม ใส่ลงในขวดชมพู่ หลังจากนั้น เติมด้วยน้ำยาสกัด DTPA (ภาคผนวก ข) จำนวน 20 มิลลิลิตร ปิดขวดให้สนิทด้วยพาราฟิล์ม นำไปเข้าเครื่องเขย่าแบบหมุนวน โดยใช้ความเร็วเท่ากับ 120 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C โดยใช้ปั๊มดูดอากาศช่วยในการกรองไม่ต้องปรับปริมาตร เทสารละลายที่ได้จากการทดลองลงในขวด เพื่อนำไปหาปริมาณแคดเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์

3. การวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของพืช

การวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของอ้อยทั้งหมด 4 ส่วน คือ ราก ท่อนพันธุ์เดิม ชานอ้อย และใบ ทำการวิเคราะห์โดยใช้ตัวอย่างพืชที่ผ่านการบดละเอียดแล้ว ชั้งน้ำหนัก 0.5 กรัม ย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นจำนวน 8 มิลลิลิตร กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จำนวน 2 มิลลิลิตร โดยใช้เครื่องมือสำหรับย่อยด้วยระบบไมโครเวฟ (Microwave Digestion) โดยมีการตั้งโปรแกรมสำหรับการย่อยพืชไว้ดังตารางที่ ก-2 ใช้เวลาในการย่อยทั้งหมด 30 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 40 แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนให้ได้ 25 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวด นำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์

ตารางที่ ก-2 เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยพืชด้วยระบบไมโครเวฟ

ขั้นตอนที่	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	3	85
2	9	145
3	4	200
4	14	200

4. การวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมในน้ำอ้อย

การวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมในน้ำอ้อย ใช้วิธีการย่อยด้วยเตาไฟฟ้า โดยใช้กรดเข้มข้นผสมรวมกัน 3 ชนิด (Ternary Mixture Acids Digestion) คือ กรดไนตริกเข้มข้น : กรดซัลฟูริกเข้มข้น : กรดเปอร์คลอริก ในอัตราส่วนเท่ากับ 10 : 1 : 4 (Jackson, 1973) ตวงน้ำอ้อยปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงบีกเกอร์ ตั้งบนเตาไฟฟ้าเพื่อไล่น้ำออก (ทำการทดลองในตู้ดูดอากาศ) จนมีปริมาตรประมาณ 25 มิลลิลิตร น้ำอ้อยเริ่มมีสีน้ำตาลเข้ม อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีคาราเมล (Caramelization) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลในน้ำอ้อยเมื่อได้รับความร้อนในสภาพที่ไม่มีน้ำหรือน้ำน้อย หลังจากนั้นยกลงจากเตาไฟฟ้าแล้วใส่กรดผสมจำนวน 25 มิลลิลิตร ลงไปในบีกเกอร์ ค่อยๆ ใส่กรดลงไปย่อยกับน้ำอ้อย โดยปิดด้วยกระจกนาฬิกา น้ำอ้อยมีการทำปฏิกิริยากับกรดผสม ในระหว่างนั้นมีการเกิดปฏิกิริยาอย่างรุนแรง และนำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าเพื่อให้การย่อยสมบูรณ์ ย่อยจนกระทั่งน้ำอ้อยใส หลังจากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 40 ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนให้ได้ 25 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวด นำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมในน้ำอ้อยด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. การเตรียมน้ำยาสกัด DTPA

1.1 ชั่งน้ำหนัก DTPA จำนวน 1.967 กรัม TEA จำนวน 14.92 กรัม และ $CaCl_2.2H_2O$ จำนวน 1.47 กรัม

1.2 ละลายสารเคมีทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำปราศจากไอออน (De-ionized H_2O) ประมาณ 900 มิลลิลิตร

1.3 ใช้แท่งแก้วคนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 6M ให้ได้ pH 7.3

1.4 ปรับปริมาตรของสารละลายให้ได้ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียมได้คือ 0.05M DTPA, 0.1M TEA และ 0.01M $CaCl_2$ น้ำยาสกัดนี้สามารถเก็บไว้ใช้ได้นาน

DTPA เป็นสารที่ทำให้เกิดสารเชิงซ้อน (Complex) ที่มีความเสถียร

TEA ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ป้องกันการเปลี่ยนแปลงของ pH เพื่อไม่ให้ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ละลายออกมาอย่างผิดปกติ

$CaCl_2$ ช่วยลดการละลายของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ในดินที่เป็นด่างจัด

หมายเหตุ : สาร DTPA ละลายน้ำได้ยาก แต่จะละลายได้ดีในสารละลาย TEA ดังนั้นในการเตรียมน้ำยาสกัด จึงควรใส่ DTPA ลงในน้ำจำนวนเล็กน้อยเสียก่อน แล้วใส่ TEA เพื่อให้การละลายเป็นไปอย่างสมบูรณ์

ภาคผนวก ค

สูตรการคำนวณหาปริมาณปุ๋ยเคมี

การคำนวณปริมาณปุ๋ยเคมีที่ต้องใช้

น้ำหนักดินในเนื้อที่ 1 ไร่ ชั้นไถพรวน (Weight per rai furrow slice) หมายถึง น้ำหนักดินที่มีความหนาแน่นรวม 1.3 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ในเนื้อที่ 1 ไร่ และลึก 7 นิ้ว การทราบน้ำหนักของดินจำนวนนี้จะมีประโยชน์มากในการคำนวณเกี่ยวกับปริมาณของปุ๋ยที่ต้องใส่ให้แก่ดินในเนื้อที่ต่อไร่ (สื่อการเรียนการสอนวิชาหลักปฐพีศาสตร์, ม.ป.ป)

กำหนดให้ ความลึกของดินบน (Top Soil) = 17.78 เซนติเมตร (7 นิ้ว)

ความหนาแน่นของดิน = 1.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ดิน 1 ไร่ = 1,600 ตารางเมตร

น้ำหนักของดิน 1 ไร่ = $\frac{1.3 \times 100^3 \times 1,600 \times 17.78}{100 \times 1000}$ กิโลกรัม

= 369,824 กิโลกรัม

อัตราการเติมปุ๋ยเคมี 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่

ดังนั้น จำนวนปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง (กรัม) เท่ากับ

$$\frac{1,000 \times A \times B}{369,824}$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักดิน (กิโลกรัม)

B คือ อัตราการเติมปุ๋ย (กิโลกรัมต่อไร่)

ภาคผนวก ง

รูปประกอบการทดลอง

1 2 3 4 5 6	1. ทำการขุดดินปนเปื้อนจากอ.แม่สอด จ.ตาก 2. ปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรในพื้นที่ใช้ปลูกอ้อย 3-4. ท่อนพันธุ์อ้อยที่นำมาทำการวิจัย 5. ทำการผึ่งดินก่อนนำมาทำการวิจัย 6. เตรียมดิน และภาชนะปลูก

รูปที่ ง-1 การเตรียมดิน และพืชก่อนดำเนินการวิจัย

1 2 3 4 5 6	1. ทำการปลูกอ้อย 2. ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 3. อ้อยก่อนการเก็บเกี่ยวเดือนที่ 2 4. อ้อยก่อนการเก็บเกี่ยวเดือนที่ 6 5-6. ทำการแยกส่วนของอ้อย

รูปที่ ง-2 การดำเนินการวิจัย

ภาคผนวก จ

ปริมาณแคดเมียมในดินและอ้อย

ตารางที่ จ-1 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน

อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี (กก./ไร่)	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)							
	เดือนที่ 2	เฉลี่ย	เดือนที่ 4	เฉลี่ย	เดือนที่ 6	เฉลี่ย	เดือนที่ 8	เฉลี่ย
0	51.90		51.41		46.95		47.95	
	50.88	51.54	50.07	49.13	49.60	48.21	44.74	46.33
	51.83		45.90		48.08		46.29	
50	54.88		56.04		48.89		48.41	
	52.63	54.94	50.53	53.94	55.22	51.55	53.65	49.77
	57.31		55.25		50.52		47.26	
100	54.90		53.63		50.29		50.99	
	53.10	56.13	57.52	54.62	52.54	52.77	54.80	51.94
	60.39		52.70		55.49		50.04	
200	60.05		56.27		57.37		52.00	
	56.99	57.90	57.79	56.82	54.34	55.12	52.13	53.54
	56.66		56.39		53.65		56.50	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-2 ปริมาณแคดเมียมที่พืชดูดดึงได้ในดิน

อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี (กก./ไร่)	ปริมาณแคดเมียมที่พืชดูดดึงได้ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)							
	เดือนที่ 2	เฉลี่ย	เดือนที่ 4	เฉลี่ย	เดือนที่ 6	เฉลี่ย	เดือนที่ 8	เฉลี่ย
0	16.70		18.15		20.44		22.75	
	17.95	17.65	17.97	18.12	19.81	20.21	20.74	21.53
	18.28		18.23		20.38		21.10	
50	16.90		17.98		19.07		19.77	
	16.59	16.98	16.62	17.20	18.12	18.59	20.13	20.00
	17.44		17.01		18.59		20.12	
100	15.03		17.36		17.65		19.61	
	16.35	15.78	17.46	16.59	18.33	17.89	18.48	19.08
	15.96		14.94		17.70		19.14	
200	15.72		16.23		17.02		17.23	
	13.88	14.24	15.72	15.98	16.25	16.49	17.06	17.14
	13.11		15.98		16.21		17.13	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-3 ปริมาณแคดเมียมในส่วนท่อนพันธุ์เดิม

อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี (กก./ไร่)	ปริมาณแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)							
	เดือนที่ 2	เฉลี่ย	เดือนที่ 4	เฉลี่ย	เดือนที่ 6	เฉลี่ย	เดือนที่ 8	เฉลี่ย
0	3.36		6.22		7.75		2.87	
	3.43	3.22	6.23	6.08	8.18	7.87	2.85	3.01
	2.87		5.78		7.69		3.30	
50	2.91		7.30		8.48		2.84	
	3.60	3.46	6.60	6.77	7.68	8.16	3.34	3.33
	3.86		6.42		8.32		3.82	
100	4.37		7.75		8.99		4.07	
	4.45	4.57	8.00	7.99	8.80	8.82	3.83	4.06
	4.89		8.23		8.66		4.29	
200	5.76		9.16		9.07		4.37	
	5.18	5.23	8.82	8.94	9.12	9.11	4.79	4.32
	4.77		8.83		9.15		3.79	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-4 ปริมาณแคดเมียมในส่วนรากอ้อย

อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี (กก./ไร่)	ปริมาณแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)							
	เดือนที่ 2	เฉลี่ย	เดือนที่ 4	เฉลี่ย	เดือนที่ 6	เฉลี่ย	เดือนที่ 8	เฉลี่ย
0	24.06		23.40		21.47		20.90	
	23.55	23.42	22.38	22.64	21.57	21.27	20.17	20.31
	22.65		22.13		20.76		19.86	
50	21.94		21.85		21.24		18.91	
	23.12	22.61	21.99	21.50	19.41	20.17	18.71	19.01
	22.77		20.66		19.87		19.40	
100	22.04		21.13		19.52		18.56	
	21.63	22.04	21.22	21.24	19.77	19.95	17.62	18.18
	22.46		21.36		20.56		18.36	
200	21.82		19.62		18.59		16.01	
	21.57	21.17	20.18	20.32	18.96	19.29	17.73	17.14
	20.12		21.17		20.33		17.70	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-5 ปริมาณแคดเมียมในส่วนซานอ้อย

อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี (กก./ไร่)	ปริมาณแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)							
	เดือนที่ 2	เฉลี่ย	เดือนที่ 4	เฉลี่ย	เดือนที่ 6	เฉลี่ย	เดือนที่ 8	เฉลี่ย
0	3.38		3.92		6.19		2.90	
	2.91	3.19	3.88	4.00	5.91	6.18	3.17	2.82
	3.29		4.21		6.42		2.40	
50	3.27		5.33		7.07		3.42	
	4.35	3.85	5.83	5.62	7.24	7.12	3.03	3.23
	3.92		5.69		7.06		3.23	
100	4.78		7.31		7.65		3.88	
	3.96	4.35	7.53	7.59	8.13	7.87	3.62	3.63
	4.31		7.94		7.81		3.37	
200	4.79		7.31		8.31		3.81	
	5.77	5.27	8.80	7.96	8.01	8.25	4.07	3.83
	5.25		7.78		8.41		3.59	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-6 ปริมาณแคดเมียมในส่วนใบอ้อย

อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี (กก./ไร่)	ปริมาณแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)							
	เดือนที่ 2	เฉลี่ย	เดือนที่ 4	เฉลี่ย	เดือนที่ 6	เฉลี่ย	เดือนที่ 8	เฉลี่ย
0	4.45		5.16		6.04		2.91	
	3.90	3.89	5.27	5.32	7.40	6.61	3.09	2.98
	3.33		5.53		6.39		2.93	
50	4.12		5.72		7.90		3.25	
	4.76	4.57	5.60	5.70	7.50	7.55	3.42	3.19
	4.82		5.78		7.24		2.88	
100	5.10		6.64		8.29		3.86	
	5.22	5.21	6.28	6.41	7.74	8.08	3.82	3.70
	5.33		6.30		8.19		3.41	
200	6.85		7.43		7.81		4.36	
	5.73	6.16	7.27	7.50	8.40	8.24	4.86	4.54
	5.91		7.80		8.51		4.39	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-7 ปริมาณแคดเมียมในส่วนน้ำอ้อย

อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี (กก./ไร่)	ปริมาณแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	เดือนที่ 6	เฉลี่ย	เดือนที่ 8	เฉลี่ย
0	0.17		0.24	
	0.16	0.17	0.23	0.24
	0.16		0.24	
50	0.15		0.21	
	0.13	0.14	0.19	0.20
	0.14		0.20	
100	0.15		0.21	
	0.14	0.15	0.21	0.21
	0.16		0.21	
200	0.16		0.23	
	0.15	0.16	0.23	0.22
	0.16		0.22	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวภารินี วนาพรรณ์ เกิดเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2527 ที่จังหวัดฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมจากโรงเรียนดัดดรุณี จังหวัดฉะเชิงเทรา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ในปี พ.ศ. 2549 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2551 และระหว่างการศึกษาได้เข้าร่วมเสนอผลงานวิจัย ในการประชุมวิชาการระดับชาติ โดยได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน ดังต่อไปนี้

ภารินี วนาพรรณ์ และ พันธวัศ สัมพันธ์พานิช. “ผลของปุ๋ยเคมีต่อการดูดดึงแคดเมียมด้วยการปลูกอ้อยในดินที่มีการปนเปื้อน.” หนังสือประมวลผลการประชุมทางวิชาการ (Proceeding) ในการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7 “ก้าวย่างตามพ่อ สานต่อการศึกษา พัฒนาชาติไทย” จัดโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน วันที่ 7-8 ธันวาคม 2553. 900-907.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย