ผลของทองแดงในการบำบัดน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินโดยต้นธูปฤาษี

โดย
นางสาวพรรณราย สิงห์เถื่อน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผลของทองแดงในการบำบัดน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินโดยต้นธูปฤาษี

โดย
นางสาวพรรณราย สิงห์เถื่อน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

EFFECT OF COPPER ON THE TREATMENT OF OXYTETRACYCLINE CONTAMINATED WATER BY NARROW-LEAVED CAT-TAIL (*Typna angustifolia* L.)

By

Miss Phannarai Singthuan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree
Master of Science Program in Environmental Science
Department of Environmental Science
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2015
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

55311312 : สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คำสำคัญ : การสะสม, ออกซีเตตราซัยคลิน, คอปเปอร์คลอไรด์, ต้นธูปฤาษี
พรรณราย สิงห์เถื่อน :ผลของทองแดงต่อการบำบัดน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อนโดยต้นธูปฤาษี. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รศ.ดร.มลิวรรณ บุญเสนอ. 63 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการสะสมออกซีเตตราซัยคลินของต้นธูปฤาษีจากน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินเพียงอย่างเดียวกับจากน้ำที่มีทั้งออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงปนเปื้อน และศึกษาประสิทธิภาพของต้นธูปฤาษีในการบำบัดออกซีเตตราซัยคลินในน้ำทั้งสองชนิดนั้น ในการทดลองใช้ออกซีเตตราซัยคลินความเข้มข้น 40 มก./ลิตร และคอปเปอร์คลอไรด์ 10 มก./ลิตร และแบ่งการทดลองเป็น 5 ชุดได้แก่ การทดลองชุดควบคุม การทดลองที่ปลูกต้นธูปฤาษีในน้ำที่มีเพียงออกซีเตตราซัยคลินอย่างเดียว (ไม่มีทองแดง) และที่ปลูกในน้ำที่มีทั้งออกซีเตตราซัยคลินและทองแดง และการทดลองการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำที่ไม่มีทองแดงและที่มีทองแดง

การทดลองการสะสมออกซีเตตราซัยคลินในต้นธูปฤาษีใช้เวลา 15 วันที่อุณหภูมิ 27 °ซ ผลการทดลองพบว่ามีการสะสมออกซีเตตราซัยคลินทั้งในรากและลำต้นแสดงว่าเกิดการเคลื่อนย้ายสารจากรากสู่ลำต้นได้ แต่การตรวจพบออกซีเตตราซัยคลินในลำต้นเกิดขึ้นเมื่อการทดลองผ่านไป 3 วันแสดงว่าการเคลื่อนย้ายเกิดได้ค่อนข้างช้า สำหรับค่าการสะสมออกซีเตตราซัยคลิน (Bioconcentration Factor หรือ BCF) ในต้นธูปฤาษีที่ปลูกในน้ำที่ไม่มีทองแดง (5.01 ลิตร/กก.น้ำหนักแห้งของพืช) มีค่าสูงกว่าที่พบในการทดลองที่มีทองแดงในน้ำ (3.75 ลิตร/กก.น้ำหนักแห้งของพืช) ส่วนการศึกษาการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินพบว่าทองแดงไม่มีผลต่อการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ เมื่อคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดออกซีเตตราซัยคลินของต้นธูปฤาษีขณะที่น้ำไม่มีทองแดงมีค่าเท่ากับ 89% และเมื่อมีทองแดงประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 88 % จึงสรุปว่าทองแดง 10 มก./ลิตร ที่ปนเปื้อนในน้ำแทบจะไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเปลี่ยนแปลงไป และต้นธูปฤาษีสามารถใช้บำบัดน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินได้ดี

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ .....

55311312 : MAJOR : (ENVIRONMENTAL SCIENCE)

KEY WORD : BIOCONCENTRATION, OXYTETRACYLINE, COPPER CHLORIDE,

THE NARROW LEAF CAT-TAIL (*Typna angutifolia L*.)

PHANNARAI SINGTHUAN : EFFECT OF COPPER ON THE TREATMENT OF OXYTETRACYCLINE CONTAMINATED WATER BY THE NARROW-LEAVED CAT-TAIL (*Typna angustifolia* L.). THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. MALIWAN BOONSANER, Ph.D. 63 pp.

The objective of the study was to investigate the effect of copper on the treatment of oxytetracycline contaminated water by the narrow leaf cat-tail (*Typha angustifolia* L.). The oxytetracycline and copper chloride concentrations used in the experiments were 40 and 10 mg/L respectively. The study had conducted five experiments: the control experiment, the bioaccumulation of oxytetracycline from water with and without copper and the degradation experiments for oxytetracycline in water with and without copper.

The 15 days experiment on oxytetracycline accumulation in the narrow leaf cat-tail had performed at 27^{o}C and the result showed the concentrations of oxytetracycline in shoot 3 days after commencing the experiments. This indicated the slow translocation of oxytetracycline from root to shoot. For the bioconcentration factor (BCF), the BCF values obtained from the experiment without copper (the highest BCF value was 5.01 L/kg) were higher than those found in the experiment with copper (the highest BCF value was 3.75 L/kg). In addition, the experiments on oxytetracycline degradation in water showed that the present of copper did not affect the degradation of oxytetracycline in water.

The efficiency of the narrow-leaved cat-tail to remove oxytetracycline from water without copper contamination was 89 percent while the OTC removal efficiency from water with copper was 88 percent. This result indicated that the copper had little effect on the treatment of water which contaminated with oxytetracycline. Besides, the narrow-leaved cat-tail could be used to treat oxytetracycline contaminated water.

Department of Environmental Science Graduate School,Silpakorn University Academic Year 2015

Student's signature .....

Thesis Advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จะสำเร็จมิได้หากขาดความช่วยเหลือและคำแนะนำจากอาจารย์และบุคคลหลากหลายท่าน ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตร์จารย์ ดร. มลิวรรณ บุณเสนอ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการ ผู้ช่วยศาสตร์จารย์ ดร. นภวรรณ รัตสุข และอาจารย์ ดร. เบญจลักษณ์ กาญจนเศรษฐ์ ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดที่เป็นประโยชน์มากมาย และช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังช่วยในเรื่องของการตรวจสอบข้อผิดพลาดต่างๆจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณพระคุณอาจารย์ นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ช่วยเหลืออำนวยความสะดวกและงานเอกสารต่างๆในการทำงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้คอยเป็นกำลังใจและคอยสนับสนุนลูกมาเสมอ เพื่อนๆ พี่ น้อง ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้าทำให้งานวิจัยและวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ญ
บทที่
1 บทนำ .....
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย 2
1.4 ขอบเขตการศึกษา 2
1.5 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย 3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
2 ทบทวนเอกสาร .....
2.1 ออกซีเตตราซัยคลิน 5
2.1.1 กลไกการออกฤทธิ์ของยาออกซีเตตราซัยคลิน 6
2.1.2 การสลายตัว 6
2.1.3 แหล่งที่มาและการแพร่กระจาย 6
2.2 ทองแดง 8
2.2.1 กลไกการเกิดพิษ 9
2.2.2 อาการของพืชที่ขาดทองแดง 9
2.3 การทำฟาร์มสุกร 11
2.4 การบำบัดน้ำจากฟาร์มสุกร 14
2.5 การบำบัดน้ำโดยใช้พืช 15
2.5.1 กระบวนการดูดซึมสารต่างๆของพืช 16
2.5.2 การบำบัดน้ำโดยใช้ธูปฤาษี 17
2.5.3 การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่มีโลหะหนักรวมทั้งทองแดง 18
2.5.4 การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่มีออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อน 18
2.6 ความสัมพันธ์และผลกระทบต่อการแพร่กระจายของสาร 19
3 วัสดุอุปกณ์และสถานที่ทำการวิจัย 20
3.2 วิธีการวิจัย 20
3.2.1 การเตรียมการทดลอง 20
3.2.2 วิธีการสกัดและการวิเคราะห์ 21
3.3 วิธีการทดลอง 23
3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 28

บทที่ หน้า

4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง..... 30
4.1 ลักษณะของต้นธูปฤาษีที่ใช้ในการทดลอง..... 31
4.2 ผลการสะสมจากน้ำที่ไม่มีทองแดงปนเปื้อนโดยต้นธูปฤาษี..... 33
4.3 ผลการสะสมของออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่มีทองแดงปนเปื้อนโดยต้นธูปฤาษี..... 35
4.4 การเปรียบเทียบมวลที่สะสมที่ปลูกในน้ำที่ไม่มีทองแดงกับที่มีทองแดง..... 37
4.5 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ..... 38
4.6 การเปรียบเทียบค่าการสะสมจากน้ำที่ไม่มีทองแดงและมีทองแดง..... 40
4.7 การทดลองการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ..... 41
4.8 ประสิทธิภาพของการบำบัดออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ..... 44
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 45
สรุปผลการทดลอง..... 45
ข้อเสนอแนะ..... 46
รายการอ้างอิง..... 47
ภาคผนวก..... 51
ภาคผนวก ก..... 51
ภาคผนวก ข..... 59
ภาคผนวก ค..... 64
ประวัติผู้วิจัย..... 72

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ระยะเวลากิจกรรมการทำการวิจัย..... 3

4.1 ผลของอุณหภูมิต่อการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลิน 42

4.2 อัตตราค่าคงที่ออกซีเตตราซัยคลินในการสลายตัว..... 43

4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดออกซีเตตราซัยคลิน..... 44

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 โครงสร้างของสารออกซีเตตราซัยคลิน..... 5
2.2 Hydrolysis Pathway and Kinetic for Antibiotics..... 7
2.3 อาการขาดทองแดงในพืช..... 10
2.4 อาการขาดทองแดงในต้นอ้อย..... 11
2.5 กระบวนการจัดการมูลสุกรและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร..... 13
2.6 ระบบบำบัดน้ำเสียในฟาร์มสุกร..... 17
4.1 มวลทั้งหมดของออกซีเตราซัยคลินที่สะสมในรากของการทดลองที่ไม่มีทองแดง..... 32
4.2 มวลทั้งหมดของออกซีเตราซัยคลินที่สะสมในลำต้นของการทดลองที่ไม่มีทองแดง..... 32
4.3 มวลทั้งหมดของออกซีเตราซัยคลินที่สะสมในน้ำของการทดลองที่ไม่มีทองแดง..... 33
4.4 มวลทั้งหมดของออกซีเตราซัยคลินที่สะสมในรากของการทดลองที่มีทองแดง..... 34
4.5 มวลทั้งหมดของออกซีเตราซัยคลินที่สะสมในลำต้นของการทดลองที่มีทองแดง..... 35
4.6 มวลทั้งหมดของออกซีเตราซัยคลินที่สะสมในน้ำของการทดลองที่มีทองแดง..... 36
4.7 เปรียบเทียบมวลทั้งหมดที่สะสมในรากจากชุดที่ไม่มีทองแดงและชุดที่มีทองแดง..... 37
4.8 เปรียบเทียบมวลทั้งหมดที่สะสมในลำต้นจากชุดที่ไม่มีทองแดงและชุดที่มีทองแดง..... 38
4.9 เปรียบเทียบความเข้มที่สะสมในน้ำจากชุดที่ไม่มีทองแดงและชุดที่มีทองแดง..... 39
4.10 เปรียบเทียบค่าการสะสมในรากและลำต้นจากชุดที่ไม่มีทองแดงและชุดที่มีทองแดง..... 39
4.11 เปรียบเทียบค่าการสะสมในต้นธูปฤาษีจากชุดที่ไม่มีทองแดงและชุดที่มีทองแดง..... 41
4.12 การทดลองการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำที่ไม่มีทองแดง..... 42
4.13 การทดลองการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำที่มีทองแดง..... 43

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การเพิ่มของประชากรในประเทศต่างๆรวมทั้งประเทศไทยทำให้ความต้องการเนื้อสัตว์เพื่อบริโภคมีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์ไม่ว่าจะเป็นฟาร์มเลี้ยงไก่ หรือฟาร์มสุกร มีการแข่งขันกันจน ทำให้มีการใช้ยาปฏิชีวนะเพื่อรักษาโรคและใช้ทองแดงเพื่อเร่งการเจริญเติบโตกันอย่างแพร่หลาย สำหรับยาปฏิชีวนะที่นิยมใช้คือออกซีเตตราซัยคลิน (oxytetracycline, OTC) และทองแดง (Cu) ที่ใช้ผสมในอาหารอยู่ในรูปของ คอปเปอร์ซัลเฟต (copper sulfate, $CuSO_4$)

ในการทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์นิยมใช้ออกซีเตตราซัยคลิน เพราะราคาถูกกว่ายาปฏิชีวนะชนิดอื่นๆ ทั้งยังเป็นยาที่ได้รับการอนุญาตให้ใช้สำหรับรักษาโรคในสัตว์ได้ ส่วนทองแดงถูกใช้เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของสัตว์โดยที่ทองแดงเป็นส่วนของเอนไซม์ในกระบวนการเมตาโบลิซึมของสัตว์ ทั้งออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงถูกผสมลงไปในอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ แต่ก็พบว่าสัตว์สามารถดูดซึมสารทั้งสองได้น้อย ทำให้สามารถตรวจพบทั้งออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงในมูลสัตว์ และเมื่อมีการทำความสะอาดคอก น้ำเสียที่ออกจากฟาร์มก็จะมีออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงปนเปื้อนอยู่ด้วย เมื่อสารทั้งสองชนิดนี้มีโอกาสแพร่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมก็จะเกิดผลกระทบตามมากล่าวคือ ออกซีเตตราซัยคลินอาจทำให้จุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมเกิดการดื้อยาและทำให้เกิดโรคต่างๆได้ ส่วนทองแดงก็อาจเป็นพิษต่อพืชและสัตว์ได้ถ้ามีปริมาณที่สะสมในดินและน้ำสูงเกินไป

สำหรับออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากการล้างคอกนั้นมักถูกส่งไปบำบัดในบ่อบำบัดของฟาร์มซึ่งโดยทั่วไปมักเป็นการบำบัดทางชีวภาพ สำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีทั้งออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงปนเปื้อนนั้นเนื่องจากออกซีเตตราซัยคลินมีคุณสมบัติเป็นคีเลต (chelate) ที่ดี โดยเฉพาะการคีเลตกับโลหะที่มีประจุ 2+ และ 3+ และทองแดงก็เป็นโลหะที่มีประจุ 2+ที่สามารถจับกับออกซีเตตราซัยคลินได้ดี เมื่อสารทั้งสองจับตัวกันจะทำให้สารไปสะสมอยู่ในตะกอนดินหรือของแข็งแขวนลอย ด้วยเหตุนี้การที่มีทองแดงปนเปื้อนในน้ำเสียด้วยก็อาจทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดออกซีเตตราซัยคลินในน้ำเสียลดลง อย่างไรก็ดีน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นนั้นมักมีค่าบีโอดีไม่สูงและเพื่อให้คุณภาพน้ำดีขึ้นก่อนปล่อยออกสู่ลำรางสาธารณะ โดยทั่วไปจะมีการปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์ (การบำบัดแบบ wet land) และในระบบบึงประดิษฐ์นี้จะใช้

พืชช่วยดูดซับมลสารและอินทรียวัตถุต่างๆที่เหลืออยู่ สำหรับพืชที่นิยมปลูกในระบบบึงประดิษฐ์คือ ต้นธูปฤาษี

ในปัจจุบันคนได้ให้ความสนใจต่อผลกระทบของออกซีเตตราซัยคลินต่อจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากการใช้ออกซีเตตราซัยคลินอย่างแพร่หลายทำให้ฟาร์มเลี้ยงสัตว์กลายเป็นแหล่งที่มาของออกซีเตตราซัยคลินในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการดูดซับออกซีเตตราซัยคลินของต้นธูปฤาษีจากน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อนเพียงอย่างเดียวกับจากน้ำที่มีทั้งออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงปนเปื้อน ทั้งนี้เพื่อศึกษาผลของทองแดงที่มีต่อการสะสมออกซีเตตราซัยคลินของต้นธูปฤาษี

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบการดูดซับออกซีเตตราซัยคลินของต้นธูปฤาษีจากน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อนเพียงอย่างเดียวกับจากน้ำที่มีทั้งออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงปนเปื้อน

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของต้นธูปฤาษีในการบำบัดออกซีเตตราซัยคลินในน้ำที่มีทั้งออกซีเตตราซัยคลิน และทองแดง

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

ในการบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์มีการปลูกพืชเพื่อช่วยดูดซับสารต่างๆจากน้ำเอาไว้โดยพืชที่นิยมปลูกคือต้นธูปฤาษี เมื่อน้ำถูกกักเก็บน้ำไว้ในพื้นที่ชุ่มน้ำระยะหนึ่งต้นธูปฤาษีจะช่วยดูดซับสารอินทรีย์และมลสารต่างๆรวมทั้งออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำ ทำให้น้ำที่ผ่านกระบวนการนี้มีคุณภาพดีขึ้น โดยทั่วไปประสิทธิภาพในการบำบัดของบึงประดิษฐ์จะขึ้นกับชนิดของมลสาร ในกรณีที่น้ำเสียจากการล้างคอกของฟาร์มเลี้ยงสัตว์มีทั้งออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงปนเปื้อน ทองแดงในน้ำเสียอาจมีผลต่อการบำบัดออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ เนื่องจากสารทั้งสองสามารถคีเลตหรือจับกันได้ดีทำให้ค่าการละลายน้ำของออกซีเตตราซัยคลินลดลง แต่การที่รากดูดซึมสารต่างๆเข้าสู่ภายในต้นธูปฤาษีได้ 3 ทางคือการซึมผ่านผนังเซลเข้าไปโดยตรงโดย lipid route และ transmembrane หรือเข้าไปพร้อมกับน้ำโดยทาง aqueous route แล้วจึงเคลื่อนย้ายจากรากไปส่วนลำต้นนั้น จะขึ้นกับสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารซึ่งได้แก่การดูดซับกันของสารประกอบอินทรีย์และการคีเลตกันของสารอินทรีย์กับโลหะหนัก

ดังนั้นปริมาณออกซีเตตราซัยคลินที่ถูกดูดซึมเข้าภายในและสะสมในต้นธูปฤาษีก็อาจเปลี่ยนแปลงไปได้เนื่องจากการปนเปื้อนของทองแดงในน้ำ เมื่อการดูดซับออกซีเตตราซัยคลินโดยต้นธูปฤาษีเปลี่ยนแปลงก็จะทำให้ประสิทธิภาพของต้นธูปฤาษีในการบำบัดออกซีเตตราซัยคลินในน้ำเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาผลของทองแดงในการบำบัดออกซีเตตราซัยคลินในน้ำของต้นธูปฤาษี โดยจะทำการทดลอง ปลูกต้นธูปฤาษีในน้ำที่มีเพียงออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อนและในน้ำที่มีทั้งออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงปนเปื้อน เพื่อดูการสะสมและประสิทธิภาพของต้นธูปฤาษีเมื่อนำมาบำบัดน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินและผลของทองแดง 10 มก./ลิตรในการบำบัดน้ำที่มีออกซีเตราซัยคลิน

1.5 ระยะเวลาทำการวิจัย

เริ่มทำการทดลองเดือน มิถุนายน 2557- มิถุนายน 2558

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลากิจกรรมการทำการวิจัย

กิจกรรม	**เดือนที่**											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. เตรียมพืช	✓	✓										
2.เตรียมอุปกรณ์			✓									
3.เตรียมวิธีวิเคราะห์				✓								
4.เตรียมการทดลอง					✓	✓						
5.ทำการทดลอง							✓	✓	✓			
6.วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง										✓		
7.จัดทำรายงาน											✓	✓

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

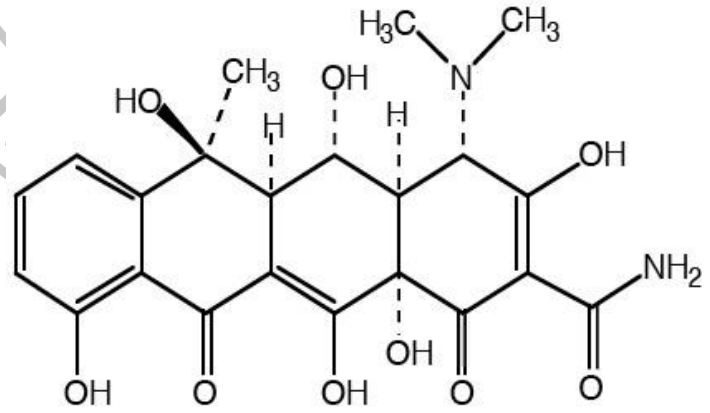
การทดลองจะทำให้ทราบถึงผลของทองแดงต่อการดูดซับออกซีเตตราซัยคลินในพืช และทราบประสิทธิภาพของต้นธูปฤาษีในการบำบัดน้ำเสียที่มีเพียงออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อนและที่มีทั้งออกซีเตตราซัยคลิน และทองแดงปนเปื้อนเพื่อเป็นแนวทางในการใช้ต้นธูปฤาษี เพื่อบำบัดออกซีเตตราซัยคลินในน้ำต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 ออกซีเตตราซัยคลิน (Oxytretacycline)

ออกซีเตตราซัยคลินเป็นยาปฏิชีวนะที่มีการออกฤทธิ์ครอบคลุมเชื้อแบคทีเรียที่เป็นแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ ด้วยเหตุนี้ยาจึงมีขอบเขตในการยับยั้งการแพร่กระจายของเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคระบาดต่างในฟาร์มสุกรได้ดี โครงสร้างหลักของออกซีเตตตราซัยคลินมีลักษณะเป็นวงแหวนดังรูปที่ 2.1 (คนาวรรณ, 2551) ซึ่งลักษณะทางกายภาพของสารเป็นผลึกสีเหลืองที่มีรสขม และยังสามารถละลายน้ำได้ดีที่ pH เท่ากับ 7 แต่จะสามารถออกฤทธิ์สูงสุดที่ pH ระหว่าง 5-5.6 สำหรับคุณสมบัติของสารที่สำคัญคือ มีความเป็น chelating agents ที่ดี ทำให้เกิดการรวมตัวกับไอออนชนิดต่างๆได้ง่าย โดยเฉพาะกับไอออนที่เป็นไดวาเลนท์และไตรวาเลนท์เช่น กลุ่มของโลหะหนักแคลซียม (Ca^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการรวมตัวระหว่างออกซีเตตตราซัยคลินกับโลหะหนักคือ สารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้คนหรือสัตว์ที่ได้รับยาสามารถดูดซึมยาเข้าสู่กระแสโลหิตและจะถูกขับออกมากับของเสียทั้งอุจจาระและปัสสาวะ



รูปที่ 2.1: โครงสร้างของสารออกซีเตตราซัยคลิน

ที่มา: คนาวรรณ (2551)

2.1.1 กลไกการออกฤทธิ์

กลไกการออกฤทธิ์ของออกซีเตตราซัยคลิน เกิดจากการที่โครงสร้างของออกซีเตตราซัยคลินมีวงแหวนเป็นหลัก ทำให้เกิดการจับตัวกับแมกนีเซียมที่อยู่ด้านบนของพลาสมาเมมเบรนในตัวแบคทีเรีย (เช่น เชื้อ rickettsiae, anaerobic bacteria, spiro chetes) จากนั้นสารจะเข้าไปอยู่ในไซโตพลาสซึมของเซลล์แบคทีเรีย และไปรวมตัวกับ 30s ของไรโบโซมที่อยู่ภายในเซลล์ จึงทำให้การสังเคราะห์โปรตีนในเซลล์ผิดปกติ แบคทีเรียจึงไม่สามารถแพร่พันธุ์ได้อีก และหยุดการเจริญเติบโต ผลของการใช้ออกซีเตตราซัยคลินเป็นเวลานานหรือมีการสะสมเพิ่มมากขึ้นทำให้ในสิ่งแวดล้อมส่งผลต่อผู้บริโภคในห่วงโซ่อาหารลำดับถัดไป โดยออกซีเตตราซัยคลินอาจทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรคพัฒนาจนสามารถต่อต้านยาปฏิชีวนะได้ สภาวะการดื้อยาอาจทำให้ร่างกายอ่อนแอลงเนื่องจากยายาปฏิชีวนะอื่นๆไม่สามารถต้านทานเชื้อโรคได้ (เกียรติคุณ และพวงทอง, 2555)

2.1.2 การสลายตัว

การสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินนั้นเกิดจากปฏิกิริยาที่ทำให้สารแปรสภาพหรือเกิดการสลายตัวได้แก่

ปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยแสง (Photodissociation)

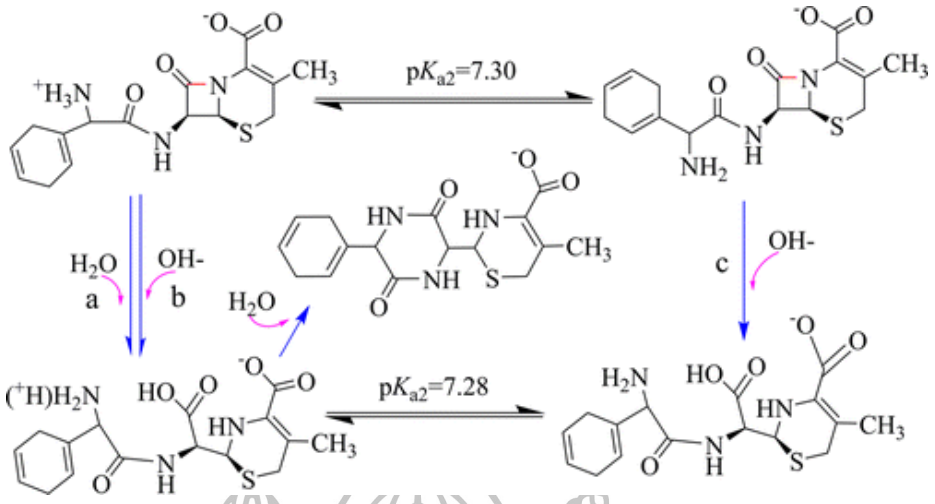
เป็นปฏิกิริยาที่แสงทำให้ออกซีเตตราซัยคลินเกิดการเปลี่ยนรูปหรือสลายตัว โดยเมื่อออกซีเตราซัยคลินดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง visible region ทำให้สารไปอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น (excited state) และเมื่อสารกลับมาสู่สภาวะเดิม (ground state) สารจะเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระที่ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ง่ายและเกิดการสลายตัวในที่สุด

ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation)

เป็นปฏิกิริยาที่ออกซิเจนในอากาศเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น โดยปฏิกิริยาออกซิเดชั่นจะเกิดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น โครงสร้างทางเคมีของสาร อนุมูลของออกซิเจนอิสระ และตัวเร่งต่างๆ เป็นต้น

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของยา โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เร่งให้เกิดการแตกตัวในน้ำ และจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและ pH นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสยังขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของออกซีเตตราซัยคลิน (คนาวรรณ, 2551)



รูปที่ 2.2 Hydrolysis Pathway and Kinetics for Antibiotics

ที่มา: Zhang *et al.* (2015)

ค่าความเป็นกรด – ด่างของสาร

ค่าความเป็นกรด – ด่างของสารหรือ pH ของสารละลายออกซีเตตราซัยคลินทำให้ ที่เข้าทำปฏิกิริยากับออกซีเตตราซัยคลินเกิดการและยาเกิดไม่คงสภาพทางเคมีทำให้เกิดปฏิกิริยาต่างๆได้แก่ ปฏิกิริยา epimerization และปฏิกิริยาดีไฮเดชัน สำหรับปฏิกิริยา pimerization พบในสารออกซีเตตราซัยคลินที่เก็บไว้นาน และเกิดได้เร็วขึ้นเมื่อยาอยู่ในสภาวะที่ค่า pH ต่ำ ส่วนปฏิกิริยาดีไฮเดชันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการกำจัดโมเลกุลของน้ำออกจากโครงสร้างของออกซีเตตราซัยคลิน ซึ่งมีผลต่อการดูดซึมยาของสิ่งมีชีวิต การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าออกซีเตตราซัยคลินสามารถละลายน้ำได้ดีที่ pH เท่ากับ 7 และมีฤทธิ์สูงสุดที่ pH ระหว่าง 5.5-6 (คนาวรรณ, 2551) แต่เมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิและ pH ที่ไม่เหมาะสม ยาจะสลายตัวโดยการเกิดทั้ง degradation และ rearrangement ทำให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลงและยาไม่มีฤทธิ์ในการรักษาโรคอีกต่อไป สำหรับยาที่อยู่ในสภาวะที่ pH ต่ำ (2.0-6.0) ยาจะเกิด Epimerization และสลายตัวอย่างรวดเร็ว ส่วนที่ pH สูง ยาจะเกิด isomerization ไปเป็นไอโซเตตราไซคลิน ยาจะเกิดการสลายตัวได้เร็วโดยเฉพาะที่ pH 7.5 (คนาวรรณ, 2551)

การเกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับโลหะ

ออกซีเตตราซัยคลิน เป็น chelating agents ที่ดี จึงทำปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับโลหะที่มีวาเลนซี่ 2+ (X^{2+},X^{2-}) และวาเลนซี่ 3+ (X^{3+},X^{3-}) ได้ง่าย เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มี ligand (หรือเรียกว่าเป็น chelating agents) ที่สามารถให้คู่อิเล็กตรอนได้ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป ซึ่งเมื่อจับรวมกับโลหะจะเกิดโครงสร้างลักษณะวงแหวน (ring structure)ขึ้นโดยที่ตำแหน่งของโลหะและ ligands จะอยู่ใน

ตำแหน่งที่จำเพาะ ligand สำหรับสารประกอบเชิงซ้อนชนิดนี้สามารถให้อิเล็กตรอนได้ 2,3,4 และ 6 คู่ แก่โลหะหรือเรียกว่า bidentate, tridentate และ hexadentate ตามลำดับ โดย ligand หรือ chelating agent มีลักษณะดังนี้ (อุรชา, 2546)

- 1 โมเลกุลของสารจะต้องให้คู่ electron ได้อย่างน้อย 2 คู่

- ในหมู่ฟังก์ชั่นต้องอยู่ในตำแหน่งซึ่งจับรวมกับโลหะได้พร้อมกัน

จึงทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่มีความคงตัวและไม่ละลายน้ำ หรืออาจจะไปรวมตัวกับไอออนของน้ำได้ จึงทำให้ยาเสื่อมฤทธิ์

2.1.3 แหล่งที่มาและการแพร่กระจาย

การใช้ยาออกซีเตตราซัยคลินกับสัตว์หรือสิ่งมีชีวิตต่างๆนั้นพบว่าออกซีเตตราซัยคลินจะถูกดูดซับไว้ในร่างกายเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ส่วนที่ถูกขับออกมาพร้อมกับของเสียหรือสิ่งปฏิกูลจากร่างกายมีมากถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณยาที่ได้รับ (Chee-Sanford *et al*., 2009) การขับยาออกมาพร้อมกับของเสียทำให้เกิดการปนเปื้อนยาไปสู่แหล่งน้ำหรือสิ่งแวดล้อมได้ (Pouliquen *et al*., 2007)

ในปัจจุบันถึงแม้ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่จะมีระบบบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ แต่ก็พบว่าระบบบำบัดนั้นถูกออกแบบมาเพื่อบำบัดเฉพาะสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดน้ำเน่าเสีย แต่ไม่บำบัดออกซีเตตราซัยคลินที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสีย ผลกระทบที่ตามมาคืออาจทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในธรรมชาติสร้างภูมิคุ้มกันและดื้อยารวมทั้งมีการถ่ายทอดยีนที่ดื้อยาไปสู่จุลินทรีย์ชนิดอื่นๆในสิ่งแวดล้อมด้วย (Ingerslev *et al*.,2001) สำหรับออกซีเตตราซัยคลินที่ถูกปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะสามารถสะสมในสัตว์น้ำ เช่น ปลา (Kerry *et al*., 1995) หรือ พืช (Boonsaner and Hawker, 2010) ซึ่งนำไปสู่การสะสมออกซีเตตราซัยคลินในห่วงโซ่อาหาร (Kumar *et al*., 2010) และถ้าคนได้รับออกซีเตตราซัยคลินอย่างต่อเนื่องโดยไม่รู้ตัวก็อาจมีอาการดื้อยา และในที่สุดอาจไม่มียาปฏิชีวะนะใดที่ใช้รักษาโรคต่างๆได้อีกต่อไป

2.2 ทองแดง (Copper,Cu^{2+})

ทองแดงเป็นแร่ธาตุตามธรรมชาติที่ในรูปของทองแดงบริสุทธิ์หรือเรียกว่าสินแร่ ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกับหิน ทราย ดินหรือดินเหนียว และแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆได้แก่ แร่ซัลไฟด์ (เป็นทองแดงที่รวมตัวกับกำมะถันในรูปของ คอปเปอร์ซัลไฟด์) และแร่ออกไซด์ ทองแดงบริสุทธิ์ตามธรรมชาติ (เป็นทองแดงที่รวมตัวกับออกซิเจนและอยู่ในรูปทองแดงออกไซด์ หรือ คอปเปอร์ออกไซด์) โลหะทองแดงเป็นโลหะที่มีการนำมาใช้เป็นเวลานานมาแล้ว ทองแดงมาจากภาษา

ลาตินว่า cuprum ที่มีความหมายว่า เกาะไซปรัส (Cyprus) ซึ่งเป็นสถานที่ที่มีการค้นพบแร่ทองแดงแหล่งใหญ่และมีการนำมาใช้ประโยชน์เมื่อหลายพันปีก่อน (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2557) ทองแดงมีสูตรเคมี คือ Cu น้ำหนักอะตอม เท่ากับ 63.55 บนตารางธาตุทองแดงอยู่หมู่ที่ 29 จึงมีมวลอะตอมเท่ากับ 29 สมบัติทางกายภาพคือมีความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 20 °ซ เท่ากับ 8.96 กรัม/ลบ.ซม.จุดหลอมเหลว 1,805 °ซ และจุดเดือดที่ 2,562 °ซ มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 8.94 กรัม/ลบ.ซม.

การนำมาใช้ประโยชน์

ในปัจจุบันมีการใช้ทองแดงผสมในอาหารสัตว์เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของสุกรและเพิ่มภูมิคุ้มกันต่อเชื้อแบคทีเรีย ในฟาร์มสุกรมีการใช้ทองแดงผสมในอาหารมีตั้งแต่ขั้นตอนสุกรอนุบาลไปจนถึงสุกรเจริญวัย ถึงมีการให้อาหารผสมทองแดงเป็นเวลานานแต่ทองแดงถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารได้ค่อนข้างจำกัด ส่วนใหญ่จึงถูกขับออกทางอุจจาระและเมื่อมีการทำความสะอาดฟาร์มสุกรก็ทำให้ทองแดงมีโอกาสปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ การสะสมทองแดงในแหล่งน้ำอาจส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชและเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และอาจจะมีผลต่อสุขภาพของคนหากได้บริโภคพืชและสัตว์ที่มีทองแดงสะสมอยู่ในปริมาณมาก (Kong *et al*., 2005)

2.2.1 กลไกการเกิดพิษ

พิษของทองแดงขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ ช่องทางที่ได้รับ รวมถึงสภาพร่างกายของผู้ที่ได้รับทองแดงเข้าไป เมื่อทองแดงถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร (ประมาณ 30% ของที่ได้รับ) แล้วจะถูกสะสมไว้ในกล้ามเนื้อ ตับ กระดูก และสมอง เป็นต้น โดยบริเวณตับและสมองมีการสะสมทองแดงได้ค่อนข้างมาก หน้าที่สำคัญของธาตุทองแดง คือ สร้างฮีโมโกลบิน ทำให้การหมุนเวียนของเลือดเป็นปกติ นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างสี (pigment) ในขนและผม และคอยกระตุ้นเอนไซม์ที่ควบคุมกระบวนการเมตาโบลิซึมของธาตุเหล็ก เมลานิน (melanin) เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system)

ความเป็นพิษเมื่อได้รับทองแดงในปริมาณมากคือ ทำให้มีอาการอาเจียน กล้ามเนื้อหรือช่องท้องอักเสบ ท้องเสีย การทำงานของหัวใจผิดปกติ และถ้าได้รับติดต่อกันเป็นเวลานานจะเกิดอาการเรื้อรัง ตับทำงานบกพร่องไม่สามารถขับทองแดงออกได้ตามปกติ ส่งผลให้เกิดความผิดปกติกับร่างกายเช่น มีอาการสั่นตลอดเวลา กล้ามเนื้อเกร็ง ควบคุมการพูดได้ลำบาก เป็นต้น (อัมพร, 2555) ตามปกติทองแดงจะถูกขับพร้อมกับอุจจาระหรืออาจจะถูกดูดกลับเข้าสู่ร่างกายได้อีก

2.2.2 อาการของพืช

พืชมีความต้องการธาตุอาหารต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ธาตุอาหารที่จำเป็นของพืชมี 16 ธาตุ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน แคลเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดีนัม และคลอรีน โดยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน นั้นพืชได้จากน้ำและอากาศ

สำหรับธาตุทองแดง มีหน้าที่ในการสร้างส่วนที่เป็นสีเขียวของพืช ช่วยเพิ่มโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ และป้องกันไม่ให้ส่วนสีเขียวของพืชถูกทำลาย นอกจากนี้ธาตุทองแดงยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ในพืช ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโต การติดดอกออกผล และธาตุทองแดงยังช่วยให้ต้นพืชสามารถดูดเอาธาตุเหล็กที่อยู่ในดินนำมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้นอีกด้วย

อาการเมื่อพืชขาดทองแดงคือ ใบอ่อนจะมีสีเขียวแก่หรือผิดรูปและมักพบจุดแผลตายบนใบ และถ้าหากพืชได้รับทองแดงในปริมาณมากเกินไปก็อาจทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง ตามด้วยสีใบซีดจากพิษของธาตุเหล็ก รวมทั้งลำต้นแคระแกรน การแตกพุ่มลดลง รากมีสีเข้ม และยางผิดปกติ แสดงดังรูปที่ 2.3 และ รูปที่ 2.4

รูปที่ 2.3 อาการขาดธาตุอาหารในพืช

ที่มา: ณปภัช. (2554)

รูปที่ 2.4 อาการขาดทองแดงในต้นอ้อย

ที่มา: ณปภัช. (2554)

2.3 การทำฟาร์มสุกร

การทำฟาร์มสุกรแพร่หลายมากโดยเฉพาะในจังหวัดนครปฐมและราชบุรี เนื่องจากเนื้อสุกรเป็นที่นิยมของผู้บริโภคและสามารถนำไปจำหน่ายได้ทั่วไปทั้งตลาดในท้องถิ่นหรือจังหวัดอื่นๆ ฟาร์มสุกรมีทั้งฟาร์มขนาดเล็กและฟาร์มขนาดใหญ่ วิธีการเลี้ยงสุกรสามารถทำได้ในพื้นที่ที่ไม่มากและไม่ซับซ้อน การเลี้ยงสุกรมีหลักปฏิบัติและการเลี้ยงที่ดีดังนี้

1. พื้นที่ในการเลี้ยงต้องมีการจัดการเกี่ยวกับมูลสุกรและของเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากฟาร์ม โรงเรือนสำหรับเลี้ยงสุกรควรตั้งอยู่ในบริเวณน้ำท่วมไม่ถึง สามารถระบายน้ำได้ กันแดดกันฝนได้ดี พื้นคอกควรเป็นคอนกรีตเพื่อให้เกิดความสะดวกในการทำความสะอาด

2. เลือกสายพันธุ์สุกรที่จะเลี้ยงเป็นสายพันธุ์ดี ให้ผลผลิตที่ เจริญเติบโตแข็งแรงได้ดีกว่าพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ สายพันธุ์ที่นำมาเลี้ยงได้แก่ พันธุ์ลาร์จไวน์ พันธุ์ดูร็อคเจอร์ซี่ และพันธุ์แลนด์เรซ เป็นต้น

3. การเลือกอาหารสุกร อาจเป็นแบบสำเร็จรูปหรือแบบที่ผสมเองเช่น ผสมจากรำข้าว ปลายข้าว เป็นต้น โดยอาหารที่ให้ควรสอดคล้องต่อความต้องการของสุกรในแต่ละช่วงอายุ

อาหารของสุกรประกอบด้วย

- น้ำสะอาดประมาณวันละ 5-20 ลิตรตามขนาดของสุกร
- โปรตีนช่วยการเจริญเติบโตของสุกร และสร้างเนื้อเยื่อที่เป็นองค์ประกอบสำคัญ

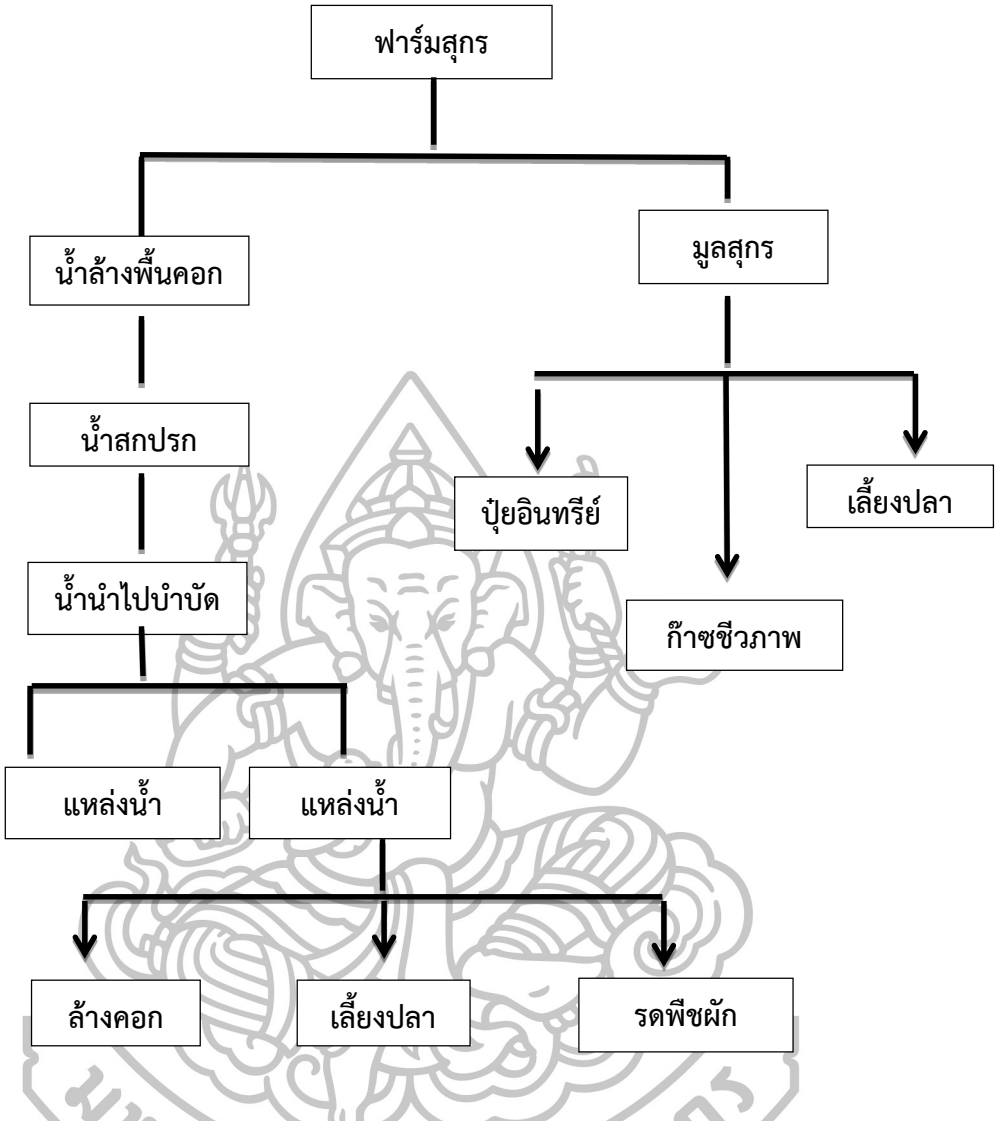
- คาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานได้แก่ อาหารจำพวกแป้งและน้ำตาล
- ไขมันที่ให้พลังงานเช่นเดียวกับคาร์โบไฮเดรต และ
- แร่ธาตุที่จำเป็นมากในการทำงานของร่างกาย ช่วยในการเสริมสร้างกระดูก และต้านทานโรค ได้แก่พวก เหล็ก ทองแดง ไอโอดีน กำมะถัน สังกะสี แมงกานีส เป็นต้น
- ไวตามิน ช่วยในการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของสัตว์ ได้แก่ ไวตามินเอ ดี บี12 เป็นต้น

4. การให้ยาสุกรเมื่อเจ็บป่วย โดยทั่วไปยาที่ให้เป็นยาปฏิชีวนะเพื่อใช้ป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อโรค หรือทำให้เชื้อโรคต่างๆถูกทำลาย โดยยาปฏิชีวนะที่นิยมให้กับสุกรป่วยก็คือ ออกซีเตตราซัยคลิน (กรมปศุสัตว์, 2554)

5. การให้อาหาร โดยปกติแล้วในอาหารสัตว์มีธาตุทองแดงเพียงพอสำหรับความต้องการของสัตว์อยู่แล้ว แต่บางครั้งก็มีการเสริมทองแดงในอาหารสัตว์โดยเสริมในรูปของคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSo_4$) หรือคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO)

6. การจัดการของเสีย กระบวนการจัดการของเสียในฟาร์มสุกร แบ่งเป็นการกำจัดมูลสุกร และการกำจัดน้ำเสีย แสดงในรูปที่ 2.5

มหาวิทยาลัยศิลปากร



รูปที่ 2.5: กระบวนการจัดการมูลสุกรและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร
ที่มา: สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำกรมควบคุมมลพิษ (2556)

การศึกษาคุณภาพของมูลสุกรและกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจำนวน 13 แห่งในเขตจังหวัดราชบุรีและจังหวัดนครปฐม โดย สุพจน์และศุภเกียรติ (2548) ผลการวิเคราะห์พบว่าในกากตะกอนมีค่าความเข้มข้นของธาตุสังกะสี ทองแดง นิกเกิล แคดเมียม สูงกว่าที่พบในมูลสุกร โดยความเข้มข้นของทองแดงและสังกะสีมีมากกว่าธาตุอื่นและมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน ดังนั้น การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรมถือว่าไม่ปลอดภัย สำหรับการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าทั้งทองแดงและสังกะสีในมูลสุกรและกากตะกอนจะถูกตรึงไว้ในรูปของสารอินทรีย์ ส่วนในน้ำเสียจากการทำความสะอาดคอกมักมีอินทรียวัตถุต่างๆรวมทั้งออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงจากมูลสุกรปนเปื้อน

2.4 การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

การบำบัดน้ำเสียในฟาร์มสุกร มักใช้บ่อปรับเสถียร (stabilization pond) ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยธรรมชาติในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย การทำงานของบ่อมี 3 รูปแบบ คือ แบบแอนแอโรบิค (anaerobic pond) แบบแฟคคัลเททีฟ (facultative pond) และแบบบ่อแอโรบิค (aerobic pond)

แบบที่ 1 บ่อแอนแอโรบิคเป็นระบบที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงโดยไม่ต้องใช้ออกซิเจน ซึ่งบ่อนี้จะถูกออกแบบให้มีการรับสารอินทรีย์สูง ทำให้การเติมออกซิเจนที่ผิวหน้าของบ่อไม่สามารถผลิตและป้อนออกซิเจนได้ทัน จึงเกิดสภาพไร้ออกซิเจนที่ โดยบ่อบำบัดแบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และปริมาณของแข็งสูง เนื่องจากของแข็งจะตกลงสู่ก้นบ่อและถูกย่อยสลายแบบแอนแอโรบิค

แบบที่ 2 บ่อแฟคคัลเททีฟ โดยที่ภายในบ่อมีการทำงาน 2 ลักษณะ คือ ส่วนบนของบ่อเป็นแบบแอโรบิค ที่ได้รับออกซิเจนจากการถ่ายเทอากาศที่บริเวณผิวน้ำและจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ทำให้อินทรีย์วัตถุที่อยู่ในน้ำจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน (aerobic bacteria) สำหรับส่วนล่างของบ่อมักอยู่ในสภาพแอนแอโรบิค ซึ่งแสงแดดส่องไม่ถึงทำให้มีปริมาณออกซิเจนต่ำและเกิดสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic condition) จุลินทรีย์ประเภทไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) จึงทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์และแปรสภาพเป็นก๊าซเช่นเดียวกับบ่อแอนแอโรบิค

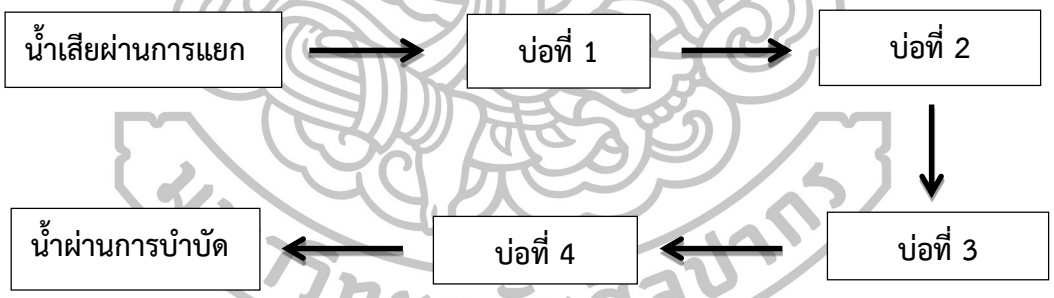
บ่อที่ 3 บ่อแอโรบิค เป็นบ่อที่มีแบคทีเรียและสาหร่ายแขวนลอยอยู่ การที่บ่อมีความลึกไม่มากทำให้มีออกซิเจนกระจายทั่วทั้งบ่อและมีสภาพเป็นแอโรบิคตลอดความลึก ปริมาณออกซิเจนในบ่อนี้เกิดจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย และการเติมอากาศที่ผิวหน้า

บ่อที่ 4 บึงประดิษฐ์ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (constructed wetland) มี 2 ประเภทได้แก่ แบบ free water surface wetland (FWS) มีลักษณะใกล้เคียงกับบึงธรรมชาติ และแบบ vegetated submerged bed system (VSB) เป็นลักษณะที่มีชั้นดินปนทรายไว้สำหรับปลูกพืชน้ำและชั้นหินรองก้นบ่อเพื่อเป็นตัวกรองน้ำเสีย โดยหลักการทำงานของระบบ เมื่อน้ำเสียไหลผ่านเข้ามาในระบบบึงประดิษฐ์ส่วนต้น สารอินทรีย์ส่วนหนึ่งจะตกตะกอนและจมตัวลงสู่ก้นบ่อและถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ส่วนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจะถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่กับพืชน้ำหรือชั้นหินและจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ โดยพืชน้ำจะช่วยดูดซับฟอสฟอรัสผ่านทางรากและนำไปหล่อเลี้ยงส่วนต่างๆ ของเซลล์ นอกจากนี้ระบบบึงประดิษฐ์ยังสามารถกำจัดโลหะหนัก (heavy metal) ได้บางส่วนอีกด้วย

- ระบบบึงประดิษฐ์แบบ free water surface wetland (FWS) เป็นระบบที่นิยมใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อปรับเสถียร (stabilization pond) ลักษณะของระบบแบบนี้จะเป็นบ่อดินที่มีการบดอัดดินให้แน่น ให้ได้ระดับเพื่อให้น้ำเสียไหลตามแนวนอนขนานกับพื้นดิน บ่อดินจะมีความลึกแตกต่างกันเพื่อให้เกิดกระบวนการบำบัดตามธรรมชาติอย่างสมบูรณ์

- ระบบบึงประดิษฐ์แบบ vegetated submerged bed system (VSB) ระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้จะมีข้อดีกว่าแบบ free water surface wetland คือ เป็นระบบที่แยกน้ำเสียไม่ให้ถูกรบกวนจากแมลงหรือสัตว์ ส่วนประกอบที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้ คือ พืชที่ปลูกในระบบ จะมีหน้าที่ทำให้เกิดการถ่ายเทก๊าซออกซิเจนจากอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่น้ำเสีย และยังทำหน้าที่ทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น ก๊าซมีเทน (methane) ที่เกิดจากการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิค (anaerobic) โดยสามารถระบายออกจากระบบได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้โดยการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช

สำหรับระบบบำบัดนี้มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ได้ดี (สรรเพชญ, 2541) แต่หากกล่าวถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงปนเปื้อนยังไม่มีผู้ศึกษา



รูปที่ 2.6: ระบบบำบัดน้ำเสียในฟาร์มสุกร

ที่มา: สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำกรมควบคุมมลพิษ (2556)

2.5 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืช

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยกระบวนการที่กล่าวถึงในตอนต้น อาจพบว่าแล้วคุณภาพน้ำทิ้งไม่ผ่านมาตรฐานน้ำ ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้พืชมาช่วยดูดซับและดำเนินการโดยใช้การบำบัดแบบบึงประดิษฐ์มาช่วย สำหรับการใช้พืชบำบัดมลพิษนั้นเรียกว่า “phytoremediation” เทคโนโลยี

phytoremediation เป็นการใช้พืชบำบัดมลพิษในบริเวณที่มีปนเปื้อนไม่มาก เทคโนโลยีนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการบำบัดสารมลพิษทั้งที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่อยู่ในตัวกลาง ดิน น้ำ หรือ อากาศ หลักการของเทคโนโลยีนี้คือ มลพิษแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทั้งในด้านสมบัติทางกายภาพและเคมี และพืชแต่ละชนิดก็มีความแตกต่างกันที่กลไกการดูดซับสารและความทนทานต่อสารพิษแต่ละชนิดที่ไม่เหมือนกัน นอกจากนั้นปัจจัยในเรื่องสิ่งแวดล้อมที่สารพิษปนเปื้อนอยู่ เช่น ชนิดของดิน หรือคุณภาพของน้ำ ก็มีความสำคัญที่จะกำหนดการดูดซับสารมลพิษของพืชด้วย ดังนั้นความเข้าใจพฤติกรรมของมลพิษ รวมทั้งปัจจัยอื่นๆที่เกิดขึ้นในธรรมชาติจะช่วยให้การบำบัดมลพิษหรือการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เทคโนโลยี phytoremediation สามารถจำแนกได้เป็น 4 ชนิด

1. phytoextraction เป็นการใช้พืชเพื่อบำบัดสารมลพิษที่อยู่ใน ดิน ตะกอนดิน โดยใช้พืชไปดูดซึมมลสารโดยผ่านราก แล้วไปเก็บสะสมในเนื้อเยื่อพืชส่วนที่เป็น ลำต้น และใบ วิธีนี้ใช้ในการบำบัดดินที่ปนเปื้อน ตะกั่ว สารหนู แคดเมียม โครเมียม ทองแดง และ สังกะสี

2. phytostabilization เป็นการใช้พืชเพื่อยับยั้งหรือลดการเคลื่อนที่ของสารมลพิษในดิน ตะกอนดิน หรือตม โดยการใช้รากพืชเพื่อจำกัดการเคลื่อนที่และการดูดจับของมลสารในดิน ตะกอนดิน หรือตม วิธีนี้ใช้ในการบำบัดดินที่ปนเปื้อน ตะกั่ว สารหนู แคดเมียม โครเมียม ทองแดง และ สังกะสี เป็นต้น

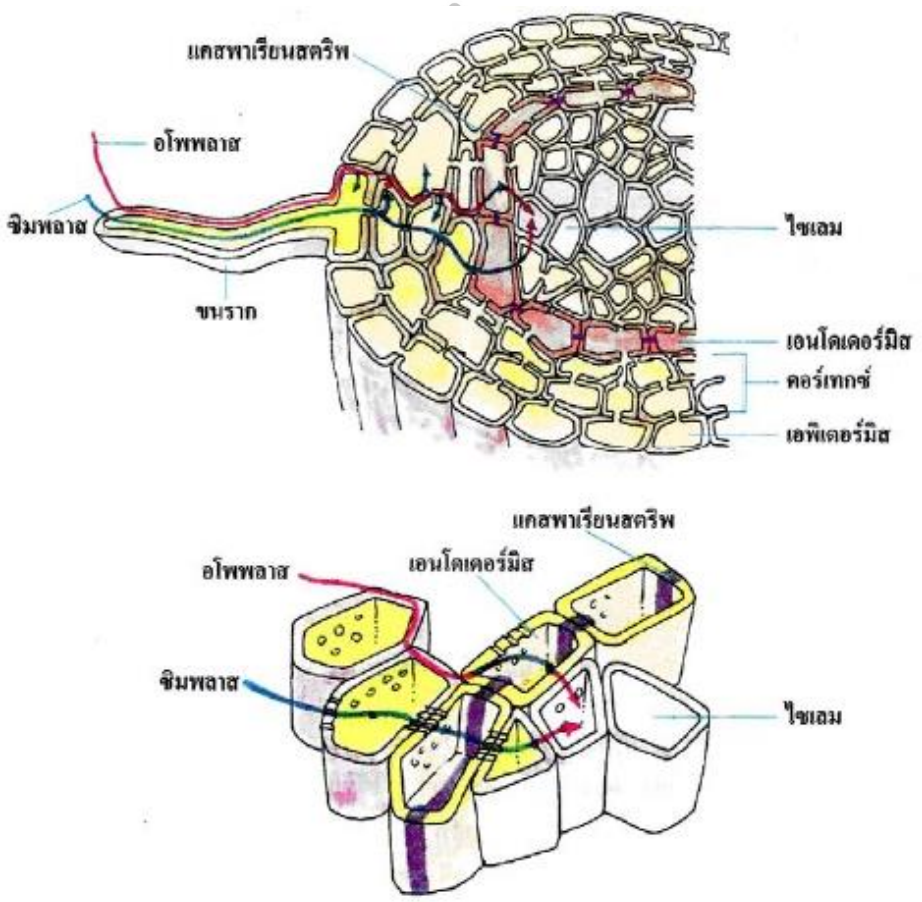
3. phytovolatilization เป็นการใช้พืชเพื่อบำบัดสารมลพิษโดยการใช้พืชไปดูดจับสารมลพิษ แล้วด้วยกลไกลที่เกิดขึ้นในต้นพืชเองทำให้มลสารถูกแปลงรูป (tranformation) ให้อยู่ในรูปที่ระเหยได้และมีความเป็นพิษลดลงจากเดิม มลพิษที่บำบัดโดยวิธีนี้ คือ นิกเกิล สังกะสี ทองแดง โคบอล์ท และตะกั่ว

4. rhizofiltration เป็นการใช้พืชเพื่อบำบัดสารมลพิษ โดยการใช้รากพืชในการดักกรองสารมลพิษ หรือ ดูดซึมสารมลพิษในน้ำ เช่น น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารมลพิษต่ำ วิธีนี้สามารถช่วยในการลดปริมาณกากมลพิษได้มาก โลหะหนักถูกบำบัดได้โดยวิธีนี้ เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง นิกเกิล สังกะสี โครเมียม เป็นต้น

2.5.1 กระบวนการดูดซึมสารต่างๆของพืช

การดูดซึมขึ้นกับกระบวนการเคลื่อนย้ายสารจากภายนอกเข้าสู่ภายในของรากซึ่งมี 3 วิธีคือ symplast คือการที่พืชลำเลียงน้ำและสารต่างๆผ่านไปทางพลาสโมเดสมาตา (plasmodesmata) โดยที่โมเลกุลของน้ำสารต่างๆที่เข้ามาในเซลล์นั้นจะผ่านเยื่อหุ้มเซลล์หลังจากนั้นการลำเลียงก็จะเกิด

ในเซลล์ถัดไป แต่จะมีการลำเลียงผ่านไปตามทางพลาสโมเดสมาตา ส่วนชั้น apoplast เป็นชั้นที่มีการลำเลียงสารและน้ำที่ไม่สามารถผ่านเข้าไปในส่วนของโปรโตพลาสซึม (protoplasm) ได้ให้ผ่านไปตามผนังเซลล์และช่องระหว่างเซลล์โดยน้ำและสารต่างๆที่ลำเลียงผ่านชั้นนี้จะไม่ผ่านเข้าไปทางเยื่อหุ้มเซลล์ และการลำเลียงแบบ transmembrane คือการลำเลียงน้ำและสารต่างๆผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และผนังของเซลล์ผ่านไปยังเซลล์ข้างเคียงที่อยู่ใกล้เคียง (มลิวรรณ, 2552)



รูปที่ 2.7 การลำเลียงน้ำและสารต่างๆเข้าสู่พืช

ที่มา: ชวนพิศ (2544)

2.5.2 การบำบัดน้ำโดยใช้ธูปฤาษี (บำบัดอินทรียวัตถุในน้ำเสียทั่วไป)

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ธูปฤาษีนั้นพบว่าต้นธูปฤาษีสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดี เช่น การศึกษาของ สุภาพรและพิสบุษ์ (2518) พบว่า ธูปฤาษีสามารถดูดซับธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเฉลี่ย 760 และ 60 กก./เฮกเตอร์ ตามลำดับและจากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในส่วน

ต่างๆของธูปฤาษีใบกว้าง (*Typha latifolia*) และธูปฤาษีใบแคบ (*Typha angustifolia*) พบว่าปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่างๆของธูปฤาษีแต่ละชนิดแตกต่างกัน กล่าวคือปริมาณ N P K Ca Mg Na Mn Zn Cu ในทุกๆส่วนของธูปฤาษีใบกว้างสูงกว่าธูปฤาษีใบแคบ รวมทั้งสามารถดูดซับโลหะหนักได้ค่อนข้างมาก

วลัยนุช(2551) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีโดยให้น้ำที่ทำการบำบัดอยู่ในสภาพของน้ำขังสลับแห้งร่วมกับการปลูกต้นธูปฤาษี (*Typha angustifolia*) ผลการศึกษาโดยพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียของบ่อผึ่งที่ 1 และ 2 มีค่า 51.35 % และ 69.72 % ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพฟอสฟอรัสทั้งหมดก่อนและหลังจากบ่อที่ 1 และ 2 มีค่า 13.42 % และ 12.05 % ตามลำดับ จากการทดลองจึงสรุปได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับธูปฤาษี มีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีได้สูงกว่าการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด

2.5.3 การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่มีโลหะหนักรวมทั้งทองแดงปนเปื้อน

การศึกษาการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยธูปฤาษีนั้น ชาลินีและศศิธร(2550) ที่ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝก (*Vetiveria zizanioides*) พันธุ์สงขลา 3 และธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) เพื่อการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยโครเมียมและอาร์เซนิกในบึงประดิษฐ์ น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองมีความเข้มข้นของโครเมียมและอาร์เซนิกมีค่าอยู่ในช่วง 7.44-11.68 มก./ลิตร และ 0.98-1.19 มก./ลิตร ตามลำดับ จากการทดลองจากระยะเบื้องต้นเป็นเวลา 100 วันพบว่าความเข้มข้นของโครเมียมในบ่อทดลองมีค่าลดลงมากกว่า 98 %

ส่วนสุดสาครและคณะ(2550) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) และแหนเป็ด (*Lemna perpusilla* Torr.) ในการบำบัดโลหะหนัก โดยใช้น้ำสังเคราะห์ที่มีตะกั่วและแคดเมียมปนเปื้อน 3 ความเข้มข้น ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียมไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของธูปฤาษีแต่ทำให้การเจริญเติบโตของแหนเป็ดลดลงเมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นธูปฤาษีสามารถลดปริมาณตะกั่วและแคดเมียมได้ 100 % ในทุกความเข้มข้น ส่วนแหนเป็ดมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อปริมาณแคดเมียมเพิ่มขึ้น

2.5.4 การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่มีออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อน

การบำบัดออกซีเตตราซัยคลินในน้ำทำได้โดยการใช้พืชดูดซับ เช่น การทดลองของ P.Gujarathi (2005) ใช้พืช 2 ประเภทคือ สาหร่ายฉัตร (*Myriophyllum aquaticum*) และจอก

(*Pistia stratiotes*) และต้นทานตะวัน พบว่าพืชทั้งสองสามารถดูดซับเตตราซัยคลินและออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำได้และยังสามารถลดค่า BOD ในน้ำเสียได้อีกด้วย

2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างออกซีเตตราซัยคลินกับทองแดงและผลกระทบต่อการแพร่กระจายของสาร

การศึกษาของ Lunestad and Goksoyr (1990) ที่พบว่าออกซีเตตราซัยคลินทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน(Complex Formation)กับแมกนีเซียมและแคลเซียมในน้ำทะเลได้ ทำให้ออกซีเตตราซัยคลินถูกดูดซึมเข้าไปในปลาทะเลได้น้อยกว่าปลาน้ำจืด และเนื่องจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (forms complexes)นี้เอง ทำให้ปริมาณออกซีเตตราซัยคลินที่ปลาได้รับมีลดลงจนอาจเป็นสาเหตุให้ปลาต้านทานเชื้อแบคทีเรียได้น้อยลง สิ่งที่เกิดขึ้นตามมาคือ ทำให้ออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งการสะสมของออกซีเตตราซัยคลินในตะกอนดินที่ส่งผลกระทบก่อให้เกิดการดื้อยาในสิ่งมีชีวิตและจุลินทรีย์ได้

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 3

การทดลอง

การวิจัยนี้จะเปรียบเทียบการสะสมของออกซีเตตราซัยคลินโดยต้นธูปฤาษีจากน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อนเพียงอย่างเดียวกับจากน้ำที่มีทั้งออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงปนเปื้อน และศึกษาประสิทธิภาพของต้นธูปฤาษีในการบำบัดออกซีเตตราซัยคลินในน้ำเสียที่มีทั้งออกซีเตตราซัยคลินและทองแดง

สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับการทดลองต่างๆเป็นดังนี้

3.1 วัสดุ อุปกรณ์และสถานที่ทำการวิจัย

3.1.1 สถานที่ดำเนินการวิจัย

ภายในห้องวิจัยสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

3.1.2 วัสดุ และอุปกรณ์

3.1.2.1 เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ยี่ห้อ WATER 600

3.1.2.2 เครื่อง autoclave ยี่ห้อ Hirayama รุ่น HVE-50

3.1.2.3 Solid Phase Extraction (SPE) ยี่ห้อ phenomenex Strata X (33u 200 มก. 6 มล.$^{-1}$)

3.1.2.4 ขวดแก้วและเครื่องแก้ว

3.1.2.5 อลูมิเนียมฟอยล์

3.2 วิธีการวิจัย

3.2.1. การเตรียมการทดลอง

3.2.1.1 การเตรียมน้ำ

น้ำที่ใช้สำหรับทดลองเป็นน้ำปราศจากไอออน (Deionization water, DI) ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ โดยนำอบฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง autoclave ยี่ห้อ Hirayama รุ่น HVE-50 ที่อุณหภูมิ 121 °ซ ความดันที่ 15 บาร์ เป็นเวลา 15 นาที ก่อนนำไปใช้

3.2.1.2 การเตรียมพืช

ขั้นตอนการเตรียมพืชทดลองทำโดย

1. พืชที่ใช้ทดลอง คือต้นธูปฤาษีที่เก็บจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติ โดยต้นที่ใช้ทดลองมีอายุประมาณ 15-20 วัน

2. การเตรียมต้นธูปฤาษี ทำโดยการนำมาแช่น้ำสะอาดและทำการเปลี่ยนน้ำทุกๆวัน เป็นเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อให้พืชคายพิษและสารปนเปื้อนอื่นๆ

3. ก่อนทดลองนำต้นธูปฤาษีไปทดสอบการปนเปื้อนของออกซีเตตราซัยคลิน และวิเคราะห์ปริมาณทองแดงที่มีในส่วนรากและส่วนลำต้น ทำการบันทึกน้ำหนักและวัดความยาวรากของแต่ละต้น

3.2.1.3 การทดลองเพื่อหาความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงที่ใช้ในการทดลอง โดยทำการทดสอบความเป็นพิษของออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงต่อต้นธูปฤาษี มีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลิน 3 ความเข้มข้นคือ 10, 40 และ 70 มก./ลิตร

2. เตรียมความเข้มข้นของทองแดงโดยใช้คอปเปอร์คลอไรด์ที่ 3 ความเข้มข้นคือ 5, 10 และ 15 มก./ลิตร

3. นำออกซีเตตราซัยคลินทั้ง 3 ความเข้มข้นมาใส่โหลแก้วที่หุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอล์ยและนำต้นธูปฤาษีแช่ลงในโหลแก้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง สังเกตการเปลี่ยนแปลงของต้นธูปฤาษีและพบว่าต้นธูปฤาษีสามารถทนต่อออกซีเตตราซัยคลินที่ความเข้มข้น 40 มก./ลิตร

4. เมื่อได้ความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินที่เหมาะสมแล้วคือที่ความเข้มข้น 40 มก./ลิตร จากนั้นใส่สารละลายคอปเปอร์คลอไรด์ที่ 3 ความเข้มข้นคือ 5, 10 และ 15 มก./ลิตร นำต้นธูปฤาษีแช่ลงในโหลแก้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของต้นธูปฤาษีและพบว่าต้นธูปฤาษีสามารถทนต่อออกซีเตตราซัยคลินที่ความเข้มข้น 40 มก./ลิตร และทองแดงความเข้มข้น 10 มก./ลิตร

3.2.2. วิธีการสกัดและการวิเคราะห์

3.2.2.1 การสกัดและวิเคราะห์ออกซีเตตราซัยคลินในตัวอย่างพืช และน้ำ

การสกัดออกซีเตตราซัยคลิน ในตัวอย่างน้ำและพืช ทำโดยวิธี Solid Phase Extraction ของ AOAC (1996) โดยนำตัวอย่างพืชไปชั่งน้ำหนัก และเติม mcllvaine buffer EDTA สำหรับพืชทำการปั่นตัวอย่างให้เข้ากัน ส่วนน้ำจะตวงให้ได้ปริมาตร 100 มล. จากนั้นนำตัวอย่างน้ำและพืชที่ได้

จากการสกัดไปกรองแยกกากด้วยกระดาษกรอง GF/C แล้วนำสารละลายที่ได้ไปผ่าน SPE และ elute ตัวอย่างพืชด้วย 1 มล. methanol:Acetonitrile (1:1) ส่วนตัวอย่างน้ำจะeluteด้วย 1.5 มล. ของ methanol:Acetonitrile (1:1) สารละลายที่ได้จากขั้นตอนนี้จะถูกวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณออกซีเตตราซัยคลิน ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ยี่ห้อ WATER 600 Photodiode Array ความยาวคลื่น 360 นาโนเมตร และมี HiQ Sil C18HS ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 มม. ยาว 150 มม. เป็น stationary phase และใช้ acetonitrile : 0.01 M oxalic acid in methanol (10:90) เป็น mobile phase ที่อัตราการไหล 1 มล./นาที

3.2.2.2 การหาค่า recovery และค่า method detection limit

การหาค่า % recovery ทำโดยการใส่สารละลายออกซีเตตราซัยคลินลงไปในพืชและน้ำ ทำการสกัดตามวิธีข้างต้น จากนั้นใส่สารละลายออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงลงไปในพืชและน้ำอีกหนึ่งชุดการทดลองและนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC คำนวณหาความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินที่ใส่ลงไปในพืชและคำนวณหาค่า recovery สำหรับการวิเคราะห์โดยวิธีนี้ค่า recovery ในตัวอย่างพืชเท่ากับ 76.12 % ในตัวอย่างน้ำเท่ากับ 89.98 %

การหาค่า method detection limit (MDL) เป็นการนำค่าประมาณจาก 3 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานว่าวิธีเคราะห์และการเตรียมตัวอย่างที่มีความเข้มข้นนั้นมาทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ซ้ำ ในช่วงวันและเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกันตามวิธีทดสอบและหาค่าเฉลี่ยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวิเคราะห์ในแต่ละครั้ง โดยค่าที่ยอมรับได้ต้องมี ค่า % relative Standard deviation (%RSD) < 10% และ ค่า % recovery อยู่ในช่วง 75% -125%

สำหรับการวิเคราะห์โดยวิธีนี้ค่า MDL ในตัวอย่างพืชเท่ากับ 0.02 ในตัวอย่างน้ำเท่ากับ 0.33

3.2.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันในตัวอย่างพืช

1. ชั่งน้ำหนักพืชโดยแบ่งการวิเคราะห์เป็นส่วนลำต้นและส่วนราก นำไปอบที่อุณหภูมิ 120 ºซ เป็นเวลา 2 ช.ม

2. นำพืชที่อบแล้วชั่งน้ำหนักและบันทึกผลจากนั้นนำไป reflux โดยใส่ Hexane 250 มล.เพื่อใช้เป็นตัวสกัดเป็นเวลา 4 ช.ม เมื่อครบเวลานำ round bottom flask ออกจาก condenser เพื่อนำไปกลั่นอีกครั้งจน hexane เหลือประมาณ 30 มล. ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์ที่อบแล้วที่อุณหภูมิ 105 ºซ เป็นเวลา 1 ช.ม และนำบีกเกอร์มาใส่ hexane ที่เหลืออยู่ 30 มล. จากนั้นนำไประเหยใน water bath จน hexane ระเหยหมด ทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator และทำการชั่งน้ำหนักจะได้ปริมาณไขมันที่อยู่ในพืช

3.2.2.4 การวิเคราะห์น้ำหนักแห้งในตัวอย่างพืช

1. ชั่งน้ำหนักพืชโดยแบ่งวิเคราะห์เป็นส่วนของลำต้นและส่วนราก นำไปอบที่อุณหภูมิ 120 °ซ เป็นเวลา 24 ช.ม

2. ทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

3.3 วิธีการทดลอง

ในการวิจัยจึงได้แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุดทดลองคือ

ชุดทดลองที่ 1 เป็นการทดลองปลูกต้นธูปฤาษีในน้ำที่มีเพียงออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อน

ชุดทดลองที่ 2 เป็นการทดลองปลูกต้นธูปฤาษีในน้ำที่มีทั้งออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงปนเปื้อน

ชุดทดลองที่ 3 เป็นชุดควบคุมซึ่งเป็นการทดลองปลูกต้นธูปฤาษีในน้ำปราศจากไอออน (deionized water) และไม่มีออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อน

แต่เนื่องจากการสะสมออกซีเตตราซัยคลินในต้นธูปฤาษีขึ้นกับความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ และความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินอาจเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการสลายตัวระหว่างการทดลอง และอัตราการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำที่มีและไม่มีทองแดงปนเปื้อนอาจแตกต่างกันดังนั้นจึงมีการทดลองการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำโดย

ชุดทดลองที่ 4 การสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินแต่ไม่มีทองแดงปนเปื้อน

ชุดทดลองที่ 5 การสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำโดยที่มีออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงปนเปื้อน

3.3.1 การทดลองที่ 1 การทดลองการสะสมออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินแต่ไม่มีทองแดง โดยต้นธูปฤาษี

ขั้นตอนการทดลองเป็นดังนี้

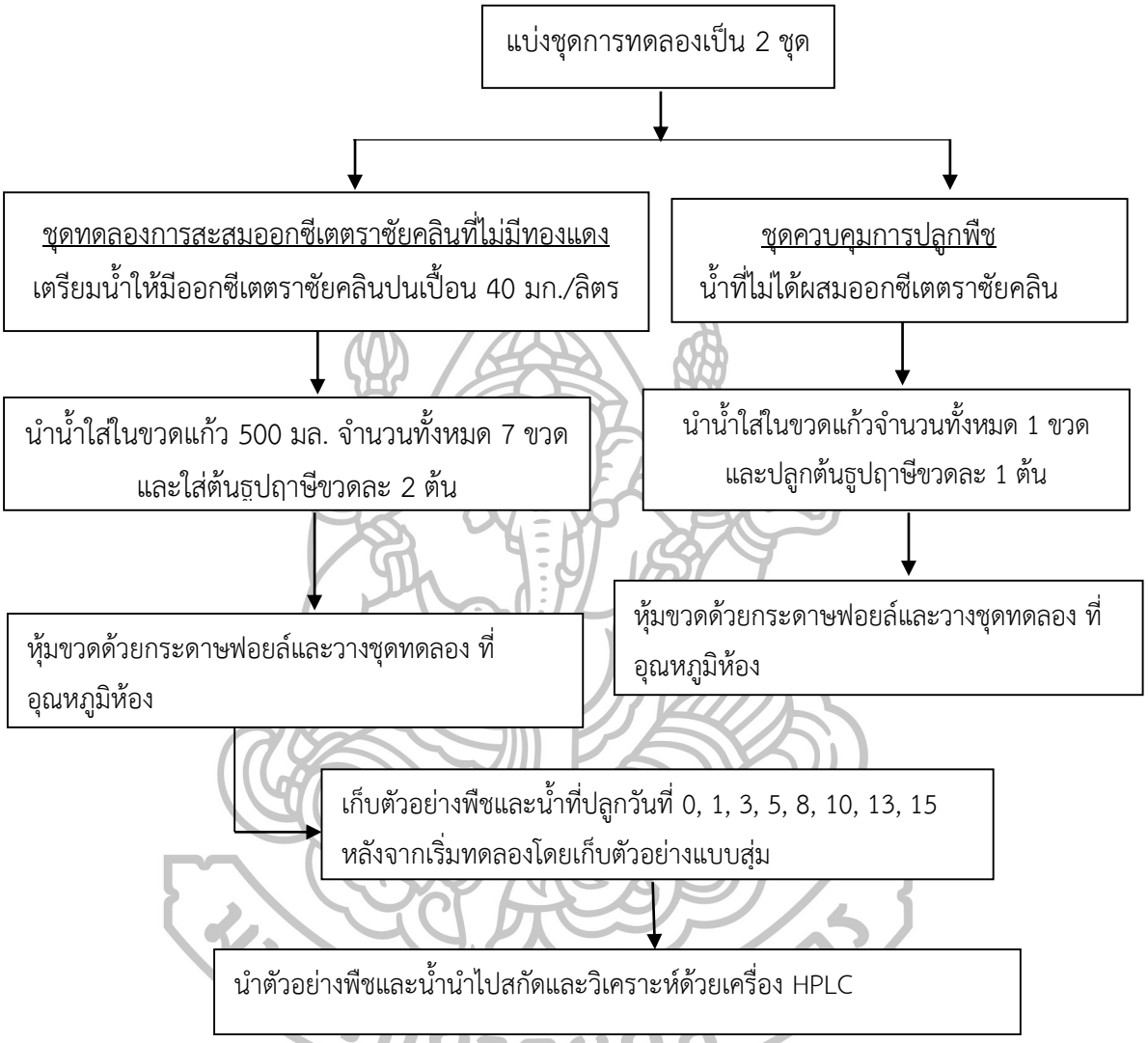
3.3.1.1 นำต้นธูปฤาษีที่มีลักษณะแข็งแรงและในการวิเคราะห์เบื้องต้นไม่พบการปนเปื้อนของออกซีเตตราซัยคลิน จำนวน 10 ต้น บันทึกความยาวราก และลำต้นรวมทั้งน้ำหนักก่อนการทดลอง

3.3.1.2 การทดลองการสะสมออกซีเตตราซัยคลินที่ไม่มีทองแดงเตรียมน้ำให้มีออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อน 40 มก./ลิตร มีขั้นตอนดังนี้

- นำน้ำใส่ในขวดแก้ว 500 มล. จำนวนทั้งหมด 7 ขวดและใส่ต้นธูปฤาษีขวดละ 2 ต้น
- หุ้มขวดด้วยกระดาษฟอยล์และวางชุดทดลอง ที่อุณหภูมิห้อง
- เก็บตัวอย่างพืชและน้ำที่ปลูกวันที่ 0, 1, 3, 5, 8, 10, 13, 15 หลังจากเริ่มทดลองโดยเก็บตัวอย่างแบบสุ่ม โดยทำการแบ่งตัวอย่างราก ลำต้นและน้ำออกเป็น 2 ตัวอย่าง จากนั้นแบ่งตัวอย่างรากและลำต้นเพื่อไปทำการวิเคราะห์น้ำหนักแห้ง

- นำตัวอย่างพืชและน้ำนำไปสกัดและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

แสดงดังแผนภูมิต่อไปนี้



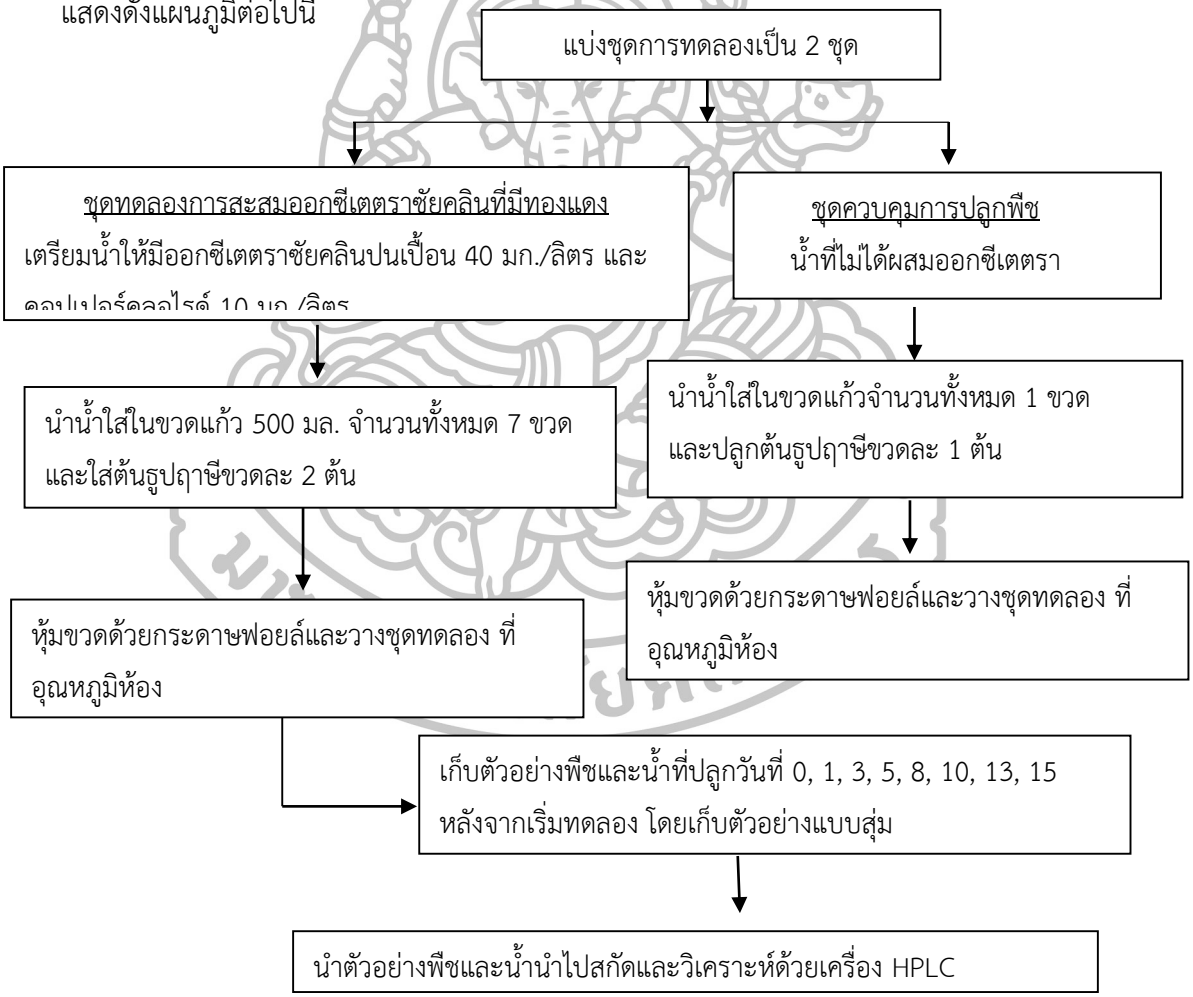
3.3.2 การทดลองที่ 2 การทดลองการสะสมออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่มีทั้งออกซีเตตราซัยคลินทองแดงปนเปื้อนโดยต้นธูปฤาษี

3.3.2.1 นำต้นธูปฤาษีที่มีลักษณะแข็งแรงและในการวิเคราะห์เบื้องต้นไม่พบการปนเปื้อนของออกซีเตตราซัยคลิน จำนวน 10 ต้น บันทึกความยาวราก และลำต้นรวมทั้งน้ำหนักก่อนการทดลอง

3.3.2.2 การทดลองการสะสมออกซีเตตราซัยคลินที่มีทองแดง เตรียมน้ำให้มีออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อน 40 มก./ลิตรและคอปเปอร์คลอไรด์ 10 มก./ลิตร มีขั้นตอนดังนี้

- นำน้ำใส่ในขวดแก้ว 500 มล. จำนวนทั้งหมด 7 ขวดและใส่ต้นธูปฤาษีขวดละ 2 ต้น
- หุ้มขวดด้วยกระดาษฟอยล์และวางชุดทดลอง ที่อุณหภูมิห้อง
- เก็บตัวอย่างพืชและน้ำที่ปลูกวันที่ 0, 1, 3, 5, 8, 10, 13, 15 หลังจากเริ่มทดลองโดยเก็บตัวอย่างแบบ Duplicate sample โดยทำการแบ่งตัวอย่างราก ลำต้นและน้ำออกเป็น 2 ตัวอย่าง จากนั้นแบ่งตัวอย่างรากและลำต้นเพื่อไปทำการวิเคราะห์น้ำหนักแห้ง
- นำตัวอย่างพืชและน้ำนำไปสกัดและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

แสดงดังแผนภูมิต่อไปนี้



การรายงานผลการทดลองทำในรูปความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลิน (concentration)ที่วิเคราะห์ได้เทียบต่อน้ำหนักแห้งของพืชแต่ละส่วน เนื่องจากพืชสามารถสะสมออกซีเตตราซัยคลินได้ทั้งในส่วนของลำต้นและราก และรายงานในรูปของจำนวนมวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลิน (total mass) ที่วิเคราะห์ได้จากแต่ละส่วนของต้นธูปฤาษี เนื่องจากขนาดของต้นธูปฤาษีแต่ละต้นมีขนาดที่แตกต่างกัน

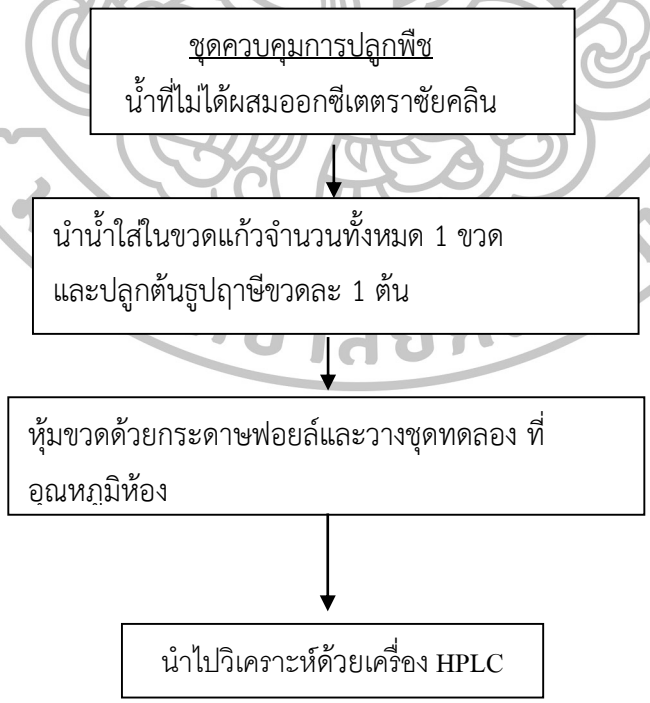
3.3.3 การทดลองที่ 3 ชุดควบคุม เป็นการทดลองปลูกต้นธูปฤาษีในน้ำปราศจากไอออน (deionized water) และไม่มีออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อน

3.3.3.1 นำน้ำใสในขวดแก้วจำนวนทั้งหมด 1 ขวดและปลูกต้นธูปฤาษีขวดละ 1 ต้น โดยใช้ต้นธูปฤาษีที่แข็งแรงและในการวิเคราะห์เบื้องต้นไม่พบการปนเปื้อนของออกซีเตตราซัยคลิน

3.3.3.2 หุ้มขวดด้วยกระดาษฟอยล์และวางชุดทดลอง ที่อุณหภูมิห้อง

3.3.3.3 สังเกตและบันทึกการเจริญเติบโตโดยการวัดขนาด ความสูง น้ำหนัก ของต้นธูปฤาษีและเก็บตัวอย่างรากและลำต้นไปวิเคราะห์ปริมาออกซีเตตราซัยคลินที่อาจปนเปื้อนขณะทดลองโดยเก็บตัวอย่างเพียงครั้งเดียวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

มีขั้นตอนดังแผนภูมิต่อไปนี้

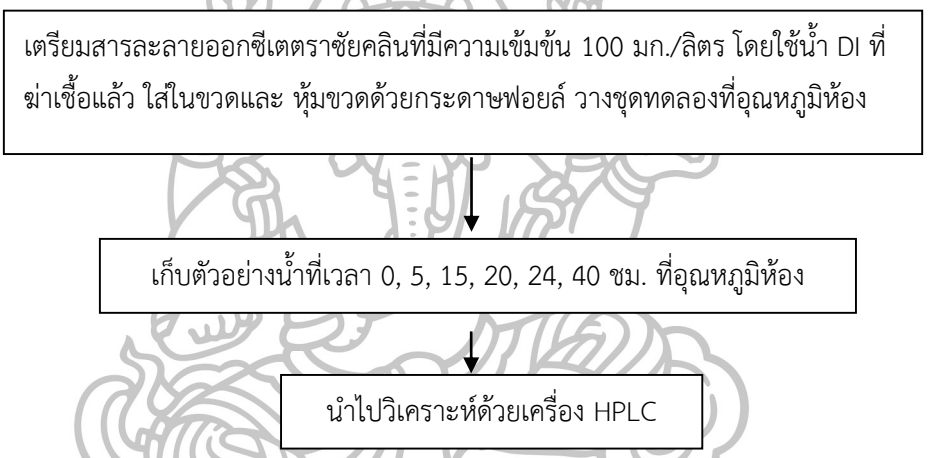


3.3.4 การทดลองที่ 4 การทดลองการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินแต่ไม่มีทองแดงปนเปื้อน

3.3.4.1 เตรียมสารละลายออกซีเตตราซัยคลินที่มีความเข้มข้น 100 มก./ลิตร โดยใช้น้ำ DI ที่ฆ่าเชื้อแล้ว ใส่ในขวดและ หุ้มขวดด้วยกระดาษฟอยล์ วางชุดทดลองที่อุณหภูมิห้อง

3.3.4.2 เก็บตัวอย่างน้ำที่เวลา 0, 5, 15, 20, 24, 40 ชม. ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

สำหรับแผนภูมิการทดลองเป็นดังนี้

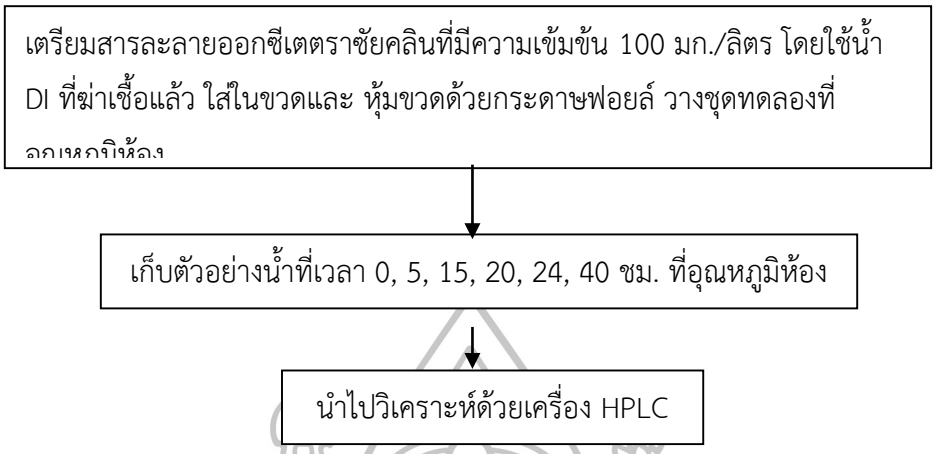


3.3.5 การทดลองที่ 5 การทดลองการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำที่มีทองแดงปนเปื้อน มีขั้นตอนดังนี้

3.3.5.1 เตรียมสารละลายออกซีเตตราซัยคลินที่มีความเข้มข้น 100 มก./ลิตรและสารละลายคอปเปอร์คลอไรด์ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร โดยใช้น้ำ DI ที่ฆ่าเชื้อแล้ว ใส่ในขวดและหุ้มขวดด้วยกระดาษฟอยล์ วางชุดทดลองที่อุณหภูมิห้อง

3.3.5.2 เก็บตัวอย่างน้ำที่เวลา 0, 5, 15, 20, 24, 40 ชม. ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

แสดงดังแผนภูมิต่อไปนี้



3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.4.1 การคำนวณค่าการสะสมออกซีเตตราซัยคลินในต้นธูปฤาษี (Bioconcentration Factor หรือ BCF) ใช้สูตร

$$BCF = C_B / C_s$$

เมื่อ C_B คือ ความเข้มข้นของสารที่พบในพืช

C_w คือ ความเข้มข้นของสารในน้ำ

3.4.2 การคำนวณค่าการสะสมออกซีเตตราซัยคลินในรากของต้นธูปฤาษี (Root concentration Factor หรือ RCF) ใช้สูตร

$$RCF = C_r / C_w$$

เมื่อ C_r คือ ความเข้มข้นของสารที่พบในพืช

C_w คือ ความเข้มข้นของสารในน้ำ

3.4.3 การคำนวณค่าการสะสมออกซีเตตราซัยคลินในส่วนลำต้นของต้นธูปฤาษี (Shoot concentration Factor หรือ SCF) ใช้สูตร

$$SCF = C_{sh} / C_w$$

เมื่อ C_{sh} คือ ความเข้มข้นของสารที่พบในส่วนลำต้น

C_w คือ ความเข้มข้นของสารในน้ำ

3.4.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดออกซีเตตราซัยคลินในน้ำใช้สูตร

$$\% \text{ efficiency} = [(C_o - C_t)] * 100 / C_o$$

เมื่อ C_o คือ ความเข้มข้นของสารในน้ำเริ่มต้น

C_t คือ ความเข้มข้นของสารในน้ำหลังจากการบำบัดโดยพืชที่เวลา t

3.4.5 การทดสอบทางสถิติ

ใช้การทดสอบทางสถิติโปรแกรม ANOVA แบบ single factor ที่จะทดสอบได้ว่าความเข้มข้นที่พบในรากและต้นของธูปฤาษีที่ปลูกในน้ำที่มีแต่ออกซีเตตราซัยคลิน กับที่มีทั้งออกซีและทองแดงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทุกช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง ที่ความเชื่อมั่น (*P-value* ≥ 0.05)

3.4.6 คำนวณอัตราคงที่ของการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ จากสูตร

$$C_t = C_o e^{-kt}$$

เมื่อ C_t คือ ความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ เมื่อเวลาผ่านไป t

C_o คือ ความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ เมื่อเริ่มต้นทดลอง

k คือ อัตราคงที่ของการสลายตัว

t คือ เวลา

ค่า k ที่ได้จากการ plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln (Ct/Co) กับ t ความชันจากความสัมพันธ์เชิงเส้นคือค่า k และค่าครึ่งชีวิต คำนวณโดย

$$t_{½} = \ln 2 / k$$

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ออกซีเตตราซัยคลินและทองแดง (ในรูปคอปเปอร์คลอไรด์) เป็นสารที่เติมในอาหารเลี้ยงสัตว์เพื่อรักษาโรคและเร่งการเจริญเติบโตของสัตว์เลี้ยง แต่เนื่องจากสัตว์ดูดซึมทั้งออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงได้น้อยจึงทำให้มีสารเหล่านี้ปนเปื้อนในน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ จึงได้ทำการศึกษาการสะสมออกซีเตตราซัยคลินของต้นธูปฤาษีเมื่อน้ำเพียงมีออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อนเทียบกับเมื่อน้ำมีทั้งออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงปนเปื้อน เพื่อนำไปสรุปผลของทองแดงที่มีต่อการบำบัดน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อนโดยต้นธูปฤาษี และได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ลักษณะของต้นธูปฤาษีที่ใช้ทดลอง

4.1.1 การเจริญเติบโตของต้นธูปฤาษีขณะทดลอง

ต้นธูปฤาษี ชื่อวิทยาศาสตร์ (*Typha angustifolia L.*) มีชื่อสามัญ narrow leaved cattail อยู่ใน family Typhaceae ลักษณะใบยาวแข็งโค้ง มีสีเขียวเข้ม ความกว้างของใบประมาณ 3-8 มม. ต้นธูปฤาษีชนิดใบแคบที่ใช้เป็นพืชทดลองมีอายุ 15 – 20 วัน น้ำหนักเฉลี่ย 49.49 กรัม ความยาวรากเฉลี่ย 10 ซม. ความยาวลำต้นเฉลี่ย 35 ซม. เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 15 วัน น้ำหนักรวมเฉลี่ยอยู่ที่ 52.11 กรัม ความยาวรากที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 2.5 ซม. (หรือเพิ่มขึ้น 0.1 ซม./วัน) โดยมีน้ำหนักรากเฉลี่ย 15.02 กรัม ความยาวลำต้นที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 2.0 ซม.(หรือเพิ่มขึ้น 0.13 ซม./วัน) โดยน้ำหนักลำต้นเฉลี่ย 37.09 กรัม แสดงว่าต้นธูปฤาษีสามารถเจริญเติบโตได้แต่โตขึ้นเพียงเล็กน้อย

สำหรับต้นควบคุมซึ่งเป็นชุดทดลองที่ 3 พบว่ามีการเจริญเติบโตดีกว่าต้นทดลอง คือ หลังการทดลอง 15 วันพบว่ามีการงอกใหม่ของต้นอ่อนที่ด้านข้างของลำต้นหลักและความยาวของลำต้นเพิ่มขึ้นมากกว่า 2.0 ซม.และมีรากยาวเพิ่มขึ้นมากกว่า 2.5 ซม. และเมื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณออกซีเตตราซัยคลินไม่พบว่ามีการปนเปื้อนทั้งในรากและลำต้น สำหรับการที่ต้นธูปฤาษีในชุดการทดลองมีการเจริญเติบโตน้อยกว่าต้นธูปฤาษีชุดควบคุมนั้นอาจเป็นผลจากการได้รับออกซีเตตราซัยคลินและทองแดง (Badea, 2013)

4.1.2 ปริมาณไขมันของต้นธูปฤาษี

สำหรับต้นธูปฤาษีมีปริมาณไขมันในรากประมาณ 0.83 % ส่วนในลำต้นมีปริมาณไขมันประมาณ 0.30 % ซึ่งปริมาณไขมันนี้จัดว่ามีปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับปริมาณไขมันในพืชชนิดอื่น เช่น ในถั่วเหลืองที่เป็นพืชให้น้ำมันที่มีปริมาณไขมันในเนื้อเยื่อเท่ากับ 35 % (Guschina *et al.,* 2014) ดังนั้นปริมาณไขมันของต้นธูปฤาษีไม่ค่อยมีผลต่อการเคลื่อนย้ายของออกซีเตตราซัยคลินเข้าสู่ภายในราก การเข้าสู่ภายในรากจึงเข้าไปพร้อมกับน้ำเนื่องจากออกซีเตตราซัยคลินเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่แตกตัวและละลายน้ำได้ดี (คนาวรรณ, 2551)

4.1.3 ปริมาณน้ำที่ต้นธูปฤาษีใช้ขณะทดลอง

ปริมาณน้ำที่พืชใช้มีความสำคัญ เพราะจะช่วยให้สารเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่างๆของพืชได้ สำหรับพืชที่ดูดซึมน้ำได้ดีและสารสามารถละลายน้ำได้ดีก็อาจทำให้เคลื่อนย้ายไปสะสมยังส่วนต่างๆ ของพืชได้ดี (ชุมพลและศุภจิตรา, 2552)

สำหรับต้นธูปฤาษีในชุดทดลองที่ไม่มีทองแดงใช้น้ำประมาณ 9.9 มล./วัน ส่วนชุดทดลองที่มีทองแดงใช้น้ำประมาณ 9.3 มล./วัน ซึ่งแสดงว่าต้นธูปฤาษีในชุดทดลองทั้งสองใช้น้ำไม่ต่างกัน และปริมาณน้ำที่ใช้แสดงว่าต้นธูปฤาษีเป็นพืชที่ใช้น้ำมาก (สุภาพรและพิศบุษ์, 2539) ดังนั้นจึงทำให้ต้นธูปฤาษีมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับช่วยการดูดซับมลสารต่างๆรวมทั้งออกซีเตตราซัยคลินที่ละลายน้ำได้ดี

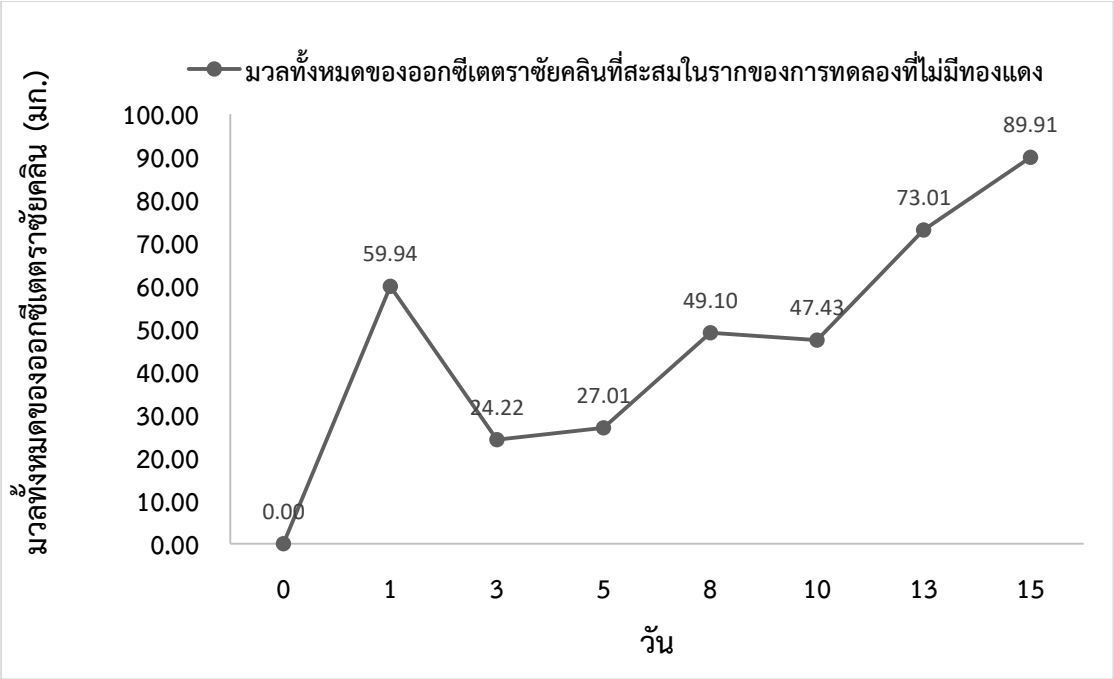
4.2 ผลการทดลองการสะสมออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่ไม่มีทองแดงปนเปื้อนโดยต้นธูปฤาษี (การทดลองชุดที่ 1)

ในการทดลองความเป็นพิษของออกซีเตตราซัยคลินซึ่งทำโดยปลูกต้นธูปฤาษีในน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินความเข้มข้น 10, 40 และ 70 มก./ลิตร พบว่าที่ความเข้มข้น 70 มก./ลิตร ต้นธูปฤาษีมีอาการใบเหลืองลำต้นแห้ง และตายในที่สุด จึงสรุปว่าต้นธูปฤาษีไม่สามารถทนออกซีเตตราซัยคลินที่ความเข้มข้น 70 มก./ลิตรได้ ส่วนที่ความเข้มข้น 10 และ 40 มก./ลิตร ต้นธูปฤาษีไม่มีอาการใบเหลือง ลำต้นแห้ง และไม่ตายจนสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 15 วัน ดังนั้นในการทดลองการสะสมออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำโดยต้นธูปฤาษีจึงใช้ออกซีเตตราซัยคลินความเข้มข้น 40 มก./ลิตร

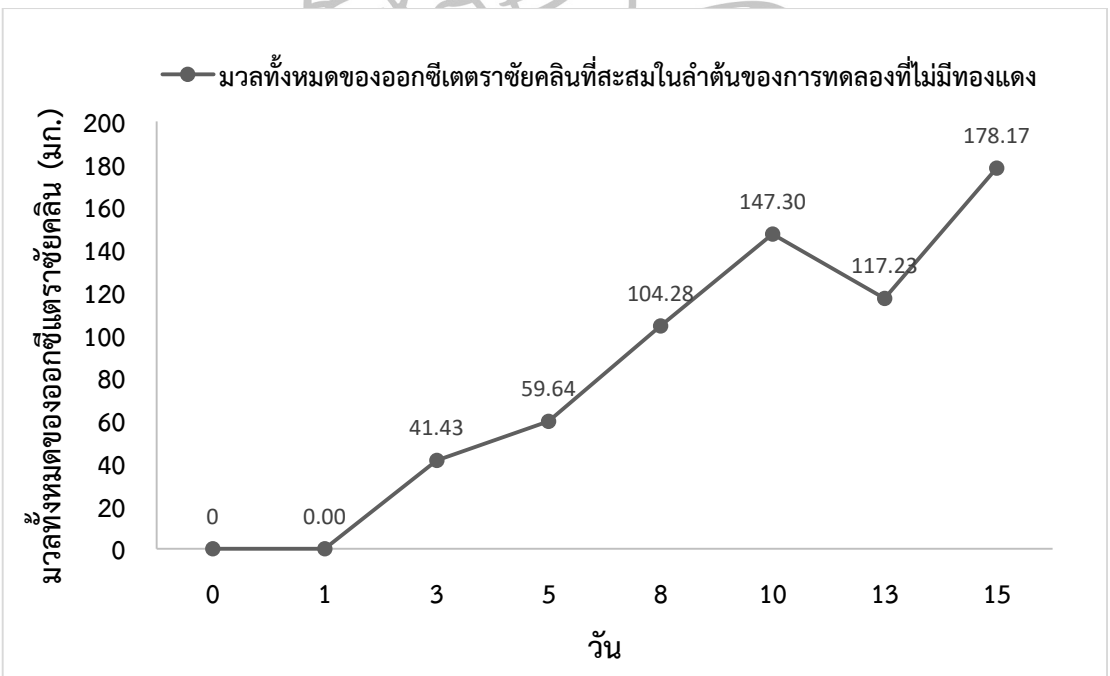
ผลการทดลองการสะสมออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำในเวลา 15 วัน พบว่า ออกซีเตตราซัยคลินสามารถสะสมได้ทั้งในรากและลำต้นของต้นธูปฤาษี โดยจำนวนมวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในรากเพิ่มขึ้นเมื่อเริ่มทดลองคือวันที่ 1 ของการทดลอง (เท่ากับ 59.94 มก.) หลังจากนั้นมวลที่สะสมค่อนข้างคงที่ (รูปที่ 4.1, ภาคผนวก ก) ส่วนการสะสมของออกซีเตตราซัยคลินในลำต้นนั้นเริ่มตรวจพบได้หลังการทดลองผ่านไปแล้ว 3 วัน โดยจำนวนมวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในลำต้นเพิ่มขึ้นตามเวลาไปจนถึงวันที่ 10 ของการทดลองที่มีการสะสมสูงสุดเท่ากับ 178.17 มก. (รูปที่ 4.2, ภาคผนวก ก)

สำหรับการสะสมออกซีเตตราซัยคลินในรากและลำต้นนี้ได้รายงานในรูปของจำนวนมวลทั้งหมดในแต่ละส่วนเนื่องจากน้ำหนักต้นที่ใช้ทดลองและน้ำหนักน้ำในต้นธูปฤาษีแต่ละต้นมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก การรายงานผลในรูปของความเข้มข้นอาจทำให้สรุปผลการทดลองไม่ชัดเจน อย่างไรก็ดีการรายงานการสะสมออกซีเตตราซัยคลินในรากและลำต้นในรูปของความเข้มข้นต่อน้ำหนักแห้งแสดงในภาคผนวก ก

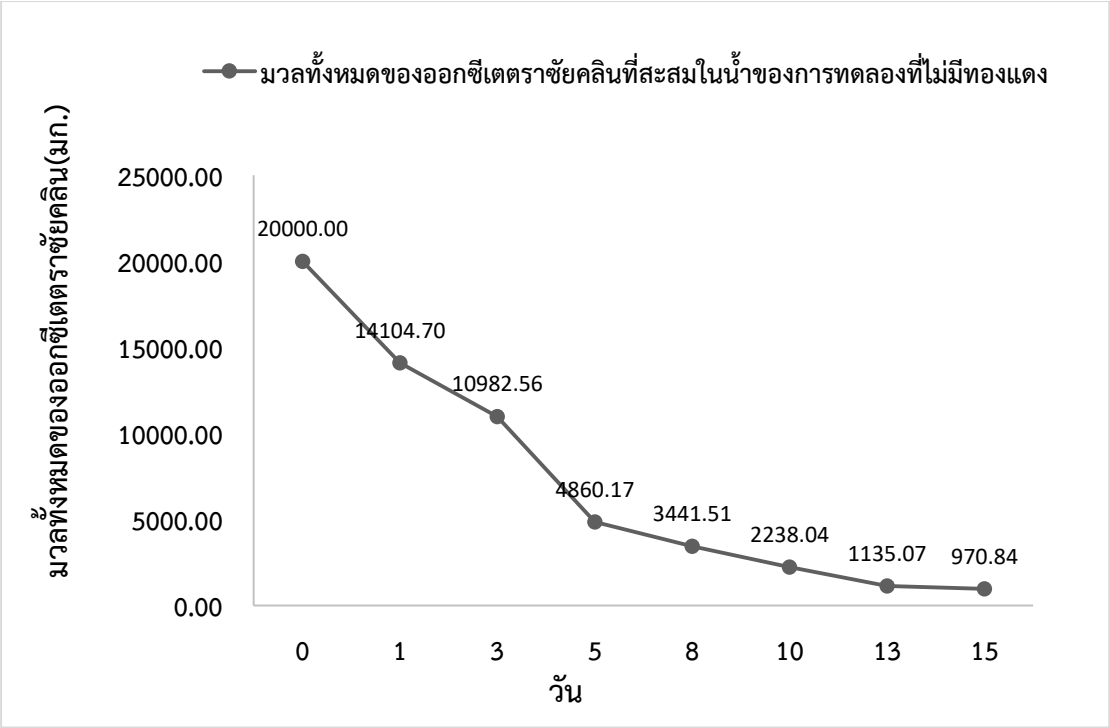
ส่วนผลจากการวิเคราะห์ออกซีเตตราซัยคลินในน้ำพบว่าจำนวนมวลของสารลดลงตามเวลา โดยลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทดลองและหลังจากนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ (รูปที่ 4.3, ภาคผนวก ก) สอดคล้องกับจำนวนมวลทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นในรากและลำต้น



รูปที่ 4.1 มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินที่สะสมในรากของการทดลองที่ไม่มีทองแดง



รูปที่ 4.2 มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินที่สะสมในลำต้นของการทดลองที่ไม่มีทองแดง

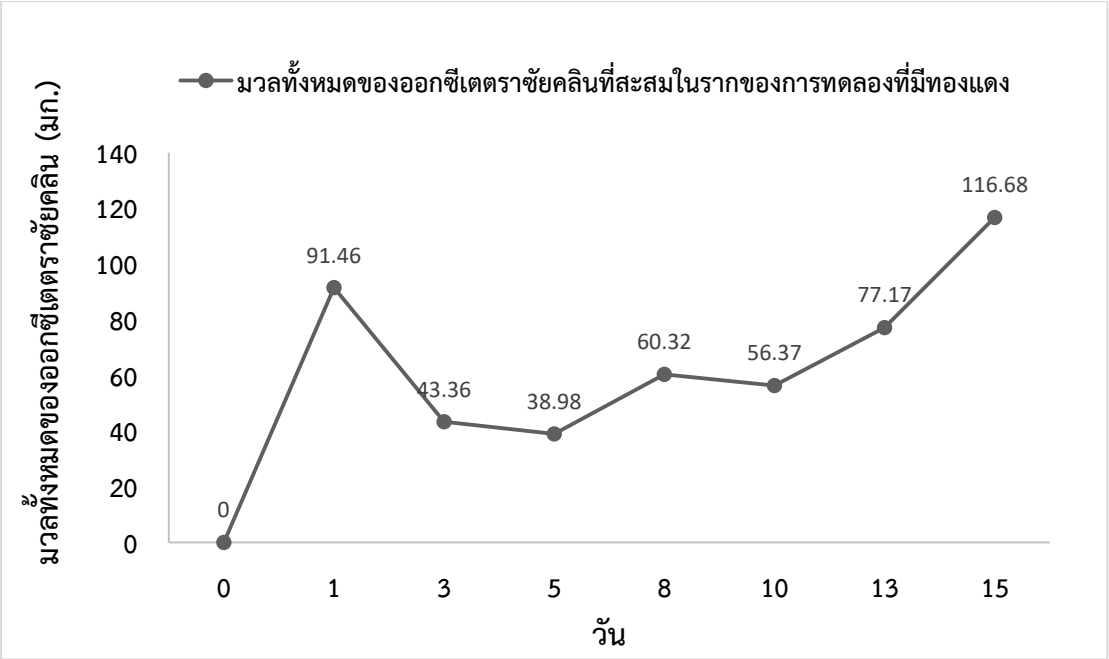


รูปที่ 4.3 มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินที่สะสมในน้ำของการทดลองที่ไม่มีทองแดง

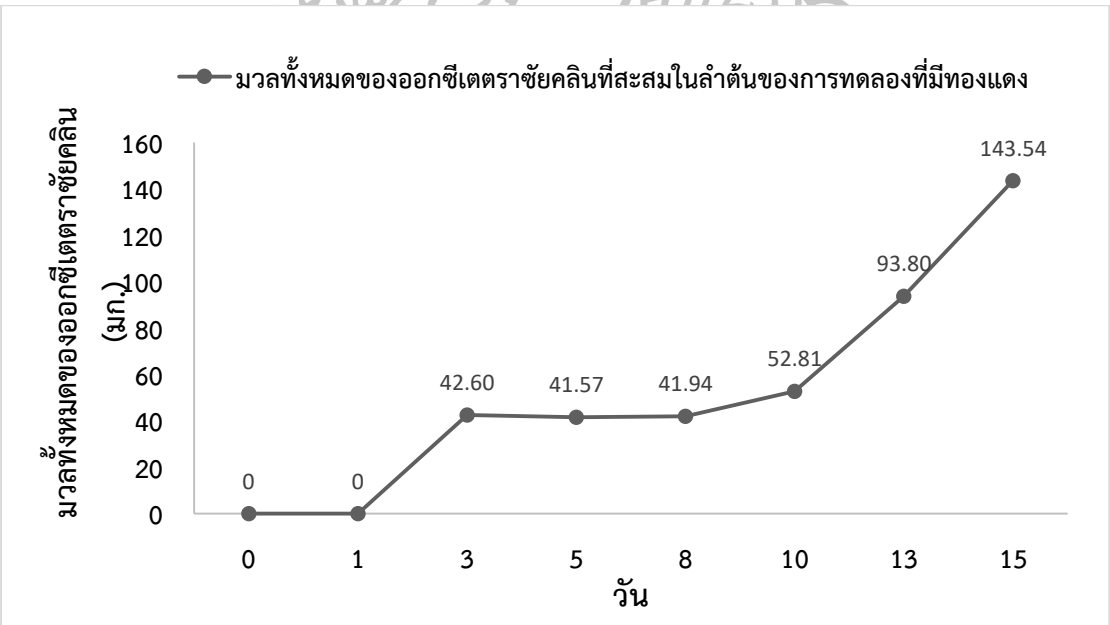
4.3 ผลการทดลองการสะสมออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่มีทองแดงปนเปื้อนโดยต้นธูปฤาษี (การทดลองชุดที่ 2)

ในชุดการทดลองนี้ใช้น้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินความเข้มข้น 40 มก./ลิตร และทองแดงคลอไรด์ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร ซึ่งความเข้มข้นของสารที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่เป็นพิษต่อต้นธูปฤาษี สำหรับผลการทดลองพบว่าออกซีเตตราซัยคลินสามารถสะสมในต้นธูปฤาษีเช่นเดียวกับที่พบในการทดลองที่ผ่านมา กล่าวคือ มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในรากเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันแรกที่เริ่มทดลอง (เท่ากับ 91.46 มก.) และค่อยๆสูงขึ้นจนการสะสมสูงสุดในวันที่ 15 ของการทดลอง (เท่ากับ 116.68 มก.) (รูปที่ 4.4, ภาคผนวก ก) ส่วนการสะสมออกซีเตตราซัยคลินในลำต้นพบว่ามีการสะสมหลังจากการทดลองผ่านไป 3 วัน หลังจากนั้นการสะสมเพิ่มขึ้นช้าๆและสะสมได้สูงสุดในวันที่ 15 ของการทดลอง เท่ากับ 143.54 มก. (รูปที่ 4.5, ภาคผนวก ก)

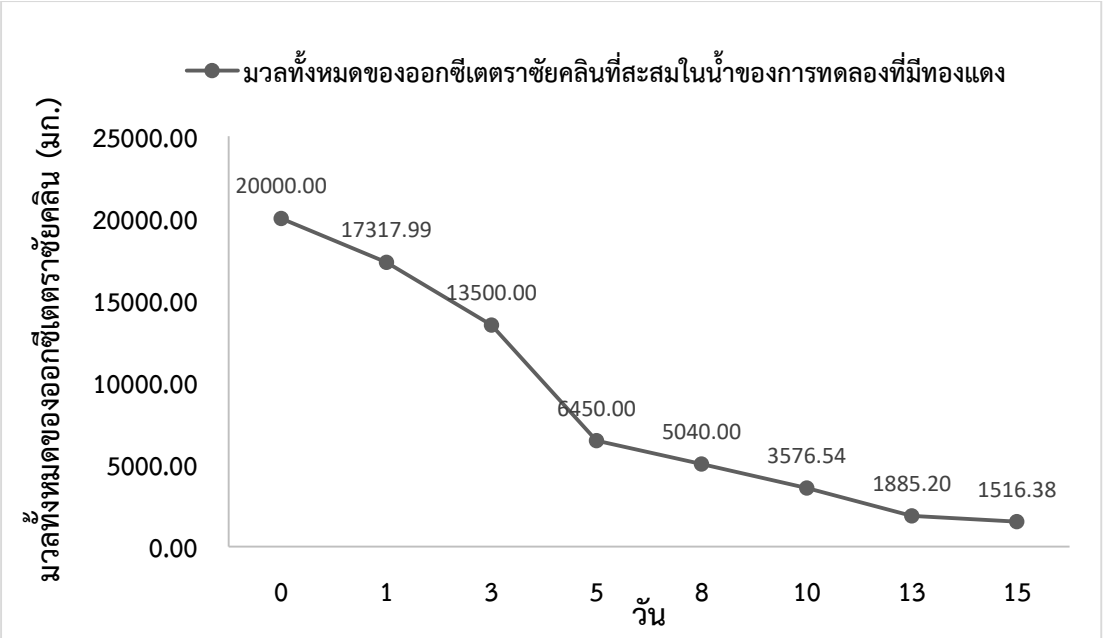
สำหรับผลจากวิเคราะห์ปริมาณออกซีเตตราซัยคลินในน้ำที่มีทองแดงปนเปื้อน พบว่ามวลทั้งหมดของสารลดลงตามเวลา โดยลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทดลองและลดลงอย่างช้าๆ ในเวลาต่อมา
(รูปที่ 4.6, ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.4 มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินที่สะสมในรากของการทดลองที่มีทองแดง



รูปที่ 4.5 มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินที่สะสมในลำต้นของการทดลองที่มีทองแดง



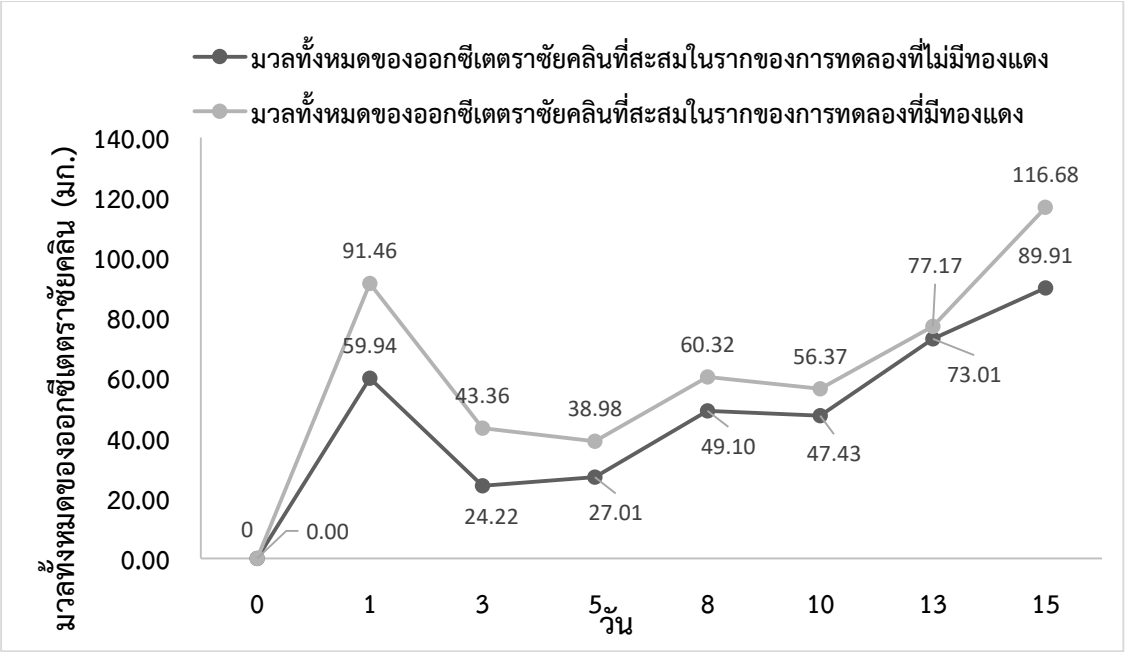
รูปที่ 4.6 มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินที่สะสมในน้ำของการทดลองที่มีทองแดง

4.4 การเปรียบเทียบมวลออกซีเตตราซัยคลินทั้งหมดที่สะสมในต้นธูปฤาษีที่ปลูกในน้ำที่ไม่มีทองแดงกับที่มีทองแดง

4.4.1 การเปรียบเทียบมวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินที่สะสมในราก

เมื่อเปรียบเทียบมวลออกซีเตตราซัยคลินทั้งหมดที่พบในราก พบว่าในรากของต้นธูปฤาษีชุดที่มีทองแดง (การทดลองชุดที่ 2) มีค่าสูงกว่าที่พบในการทดลองที่ไม่มีทองแดง (การทดลองชุดที่ 1) ในทุกช่วงเวลาของการทดลอง 15 วัน (รูปที่ 4.7) แต่การเปรียบเทียบทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ ($p > 0.05$) ผลการทดลองพบว่าการสะสมในรากของการทดลองที่มีทองแดง สูงสุดในวันที่ 15 เท่ากับ 116.68 มก.ส่วนในการทดลองที่ไม่มีทองแดง เท่ากับ 89.91 มก.

อย่างไรก็ดีถึงแม้การเปรียบเทียบการสะสมออกซีเตตราซัยคลินในรากจากทั้งสองการทดลองจะไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อการทดลองทั้งสองเริ่มต้นโดยใช้ความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินเท่ากัน แสดงว่าทองแดงช่วยให้การดูดซึมออกซีเตตราซัยคลินในรากดีขึ้น (Badea, 2013) การที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อทองแดงคีเลตกันกับออกซีเตตราซัยคลินจะได้สารประกอบเชิงซ้อนที่สามารถจับกับอนุภาคของอินทรีย์วัตถุได้ดีขึ้น (Figueroa and Mackay, 2005) ทำให้ออกซีเตตราซัยคลินถูกตรึงไว้ในรากได้มากขึ้น ด้วยเหตุนี้การสะสมออกซีเตตราซัยคลินในรากของต้นธูปฤาษีชุดที่ปลูกในน้ำที่มีทั้งออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงจึงสูงกว่าที่พบในชุดที่ไม่มีทองแดง

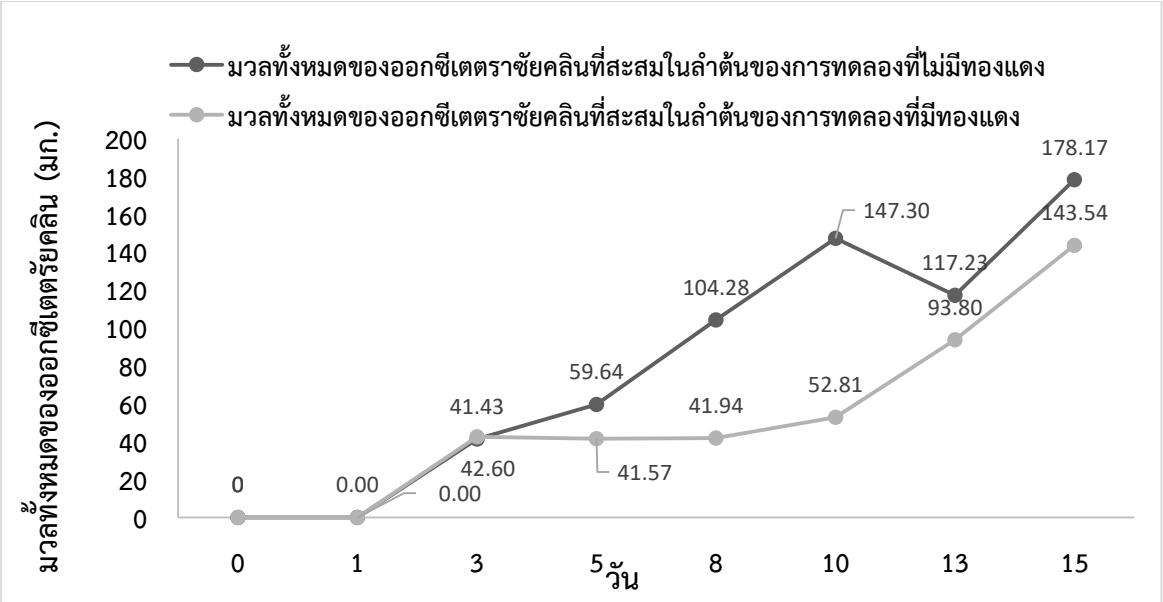


รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบมวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินที่สะสมในรากของ ต้นธูปฤาษี จากการทดลองที่ไม่มีทองแดงและการทดลองที่มีทองแดง

4.4.2 การเปรียบเทียบมวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินที่สะสมในลำต้น

การสะสมออกซีเตตราซัยคลินในลำต้นจากน้ำในการทดลองที่ไม่มีทองแดง พบว่ามีจำนวนมวลทั้งหมดที่สะสมสูงกว่าที่พบในการทดลองที่มีทองแดง ดังรูปที่ 4.8 และพบการสะสมในลำต้นสูงสุดในวันที่ 15 เท่ากับ 178.17 มก. ส่วนในการทดลองที่มีทองแดงมวลทั้งหมดที่สะสมในลำต้นสูงสุดที่ 143.54 มก. ในวันที่ 15 ของการทดลองเช่นเดียวกัน แต่เมื่อทดสอบทางสถิติ ไม่พบว่ามวลที่สะสมในแต่ช่วงเวลาของการทดลองทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

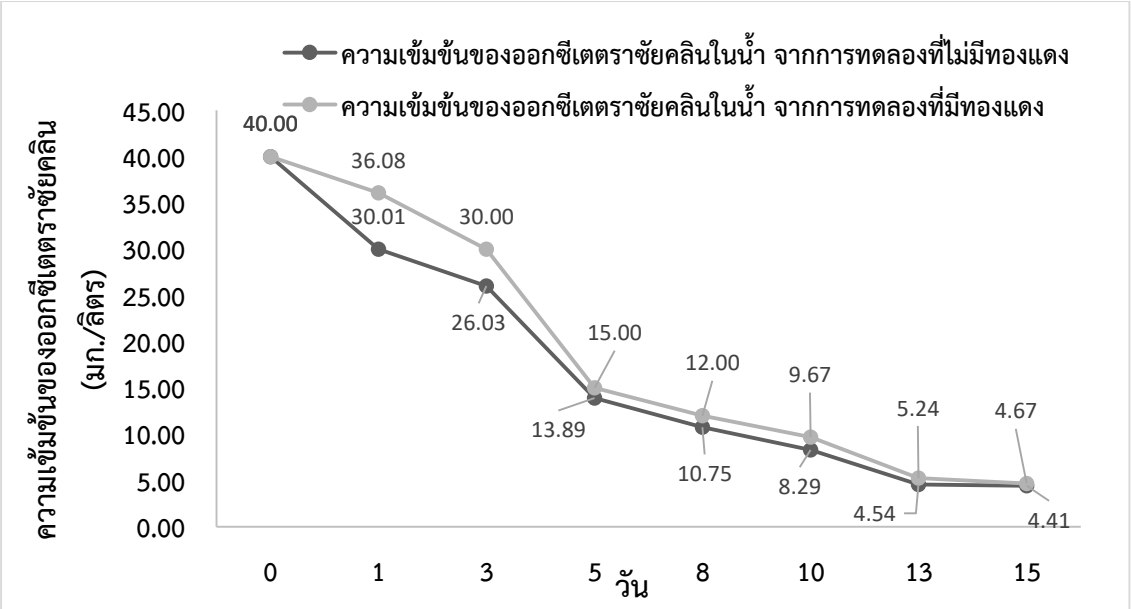
นอกจากนี้การสะสมออกซีเตตราซัยคลินในลำต้นที่เริ่มตรวจพบได้ในวันที่ 3 ของทั้งสองการทดลองเหมือนกัน แสดงว่า ออกซีเตตราซัยคลินสามารถเคลื่อนย้ายจากรากไปที่ลำต้น (translocation) ได้ แต่การเคลื่อนย้ายเป็นไปค่อนข้างช้า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะออกซีเตตราซัยคลินเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ดีทำให้เคลื่อนย้ายผ่านชั้นคาสปาเรียน สตริป (casparien strip) ทำได้ยากกว่าพวกสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ ส่วนการทดลองที่มีทองแดงในน้ำด้วยนั้นการคีเลตของทองแดงกับออกซีเตตราซัยคลินทำให้ได้สารประกอบเชิงซ้อนที่จับกับอินทรีย์วัตถุในรากได้ดี (Figueroa and Mackay, 2005) ออกซีเตตราซัยคลินจึงถูกตรึงไว้ในรากได้มากกว่าและทำให้การเคลื่อนย้ายเข้าสู่ลำต้นช้าลงด้วย ด้วยเหตุนี้จึงพบว่าออกซีเตตราซัยคลินที่สะสมในลำต้นของธูปฤาษีที่ปลูกในน้ำที่ไม่มีทองแดงสูงกว่าที่พบในชุดที่ปลูกในน้ำที่มีทองแดง



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบมวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินที่สะสมในลำต้นของ ต้นธูปฤาษี จากการทดลองที่ไม่มีทองแดงและการทดลองที่มีทองแดง

4.5 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำทั้งสองชุดทดลองพบว่าลดลงตามเวลา โดยความเข้มข้นของสารที่ลดลงค่อนข้างใกล้เคียงกันและความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำจากการทดลองที่ไม่มีทองแดงลดลงเร็วกว่าที่พบในการทดลองที่มีทองแดง (ในรูปที่ 4.9) การที่เป็นเช่นนี้เพราะออกซีเตตราซัยคลินได้เข้าไปสะสมในต้นธูปฤาษีที่ปลูกในน้ำที่ไม่มีทองแดงมากกว่าจึงทำให้มวลของสารที่เหลืออยู่ในน้ำต่ำกว่า อย่างไรก็ดีการเปรียบเทียบความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำในช่วงเวลาต่างๆของทั้งสองการทดลองไม่พบว่าต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำจากการทดลองที่ไม่มีทองแดงและการทดลองมีทองแดง

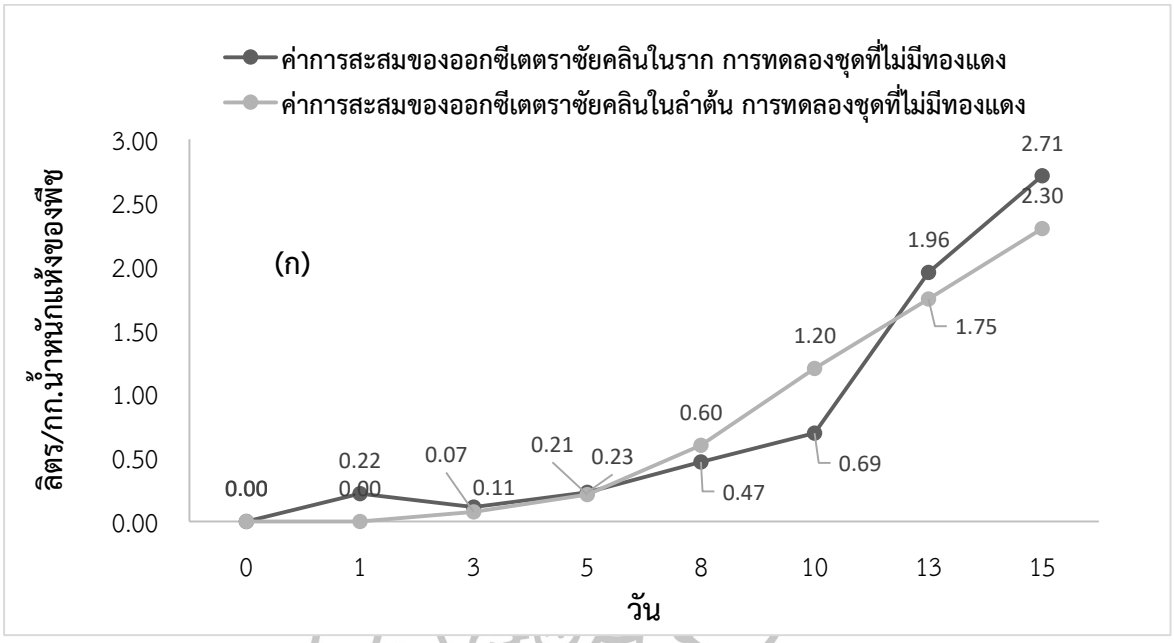
4.6 ค่าการสะสมออกซีเตตราซัยคลินในราก (RCF) และในลำต้น (SCF)

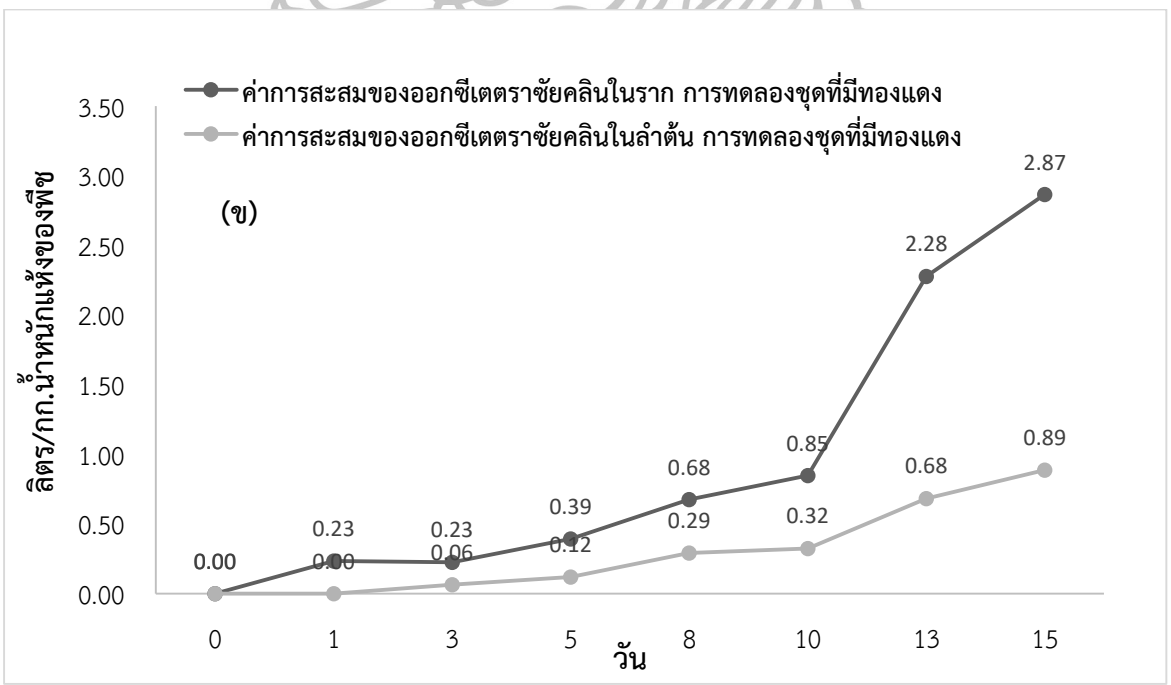
ค่าการสะสมออกซีเตตราซัยคลินในราก (RCF) และลำต้น (SCF) คำนวณจาก RCF = C_r / C_w และ SCF = C_s / C_w เมื่อ C_r คือความเข้มข้นของสารที่พบในราก C_s คือความเข้มข้นของสารในลำต้น และ C_w คือความเข้มข้นของสารที่พบในน้ำ โดยข้อมูลของ C_r C_s C_w ค่า RCF และค่า SCF จากการทดลองทั้งสองแสดงในภาคผนวก ข

การเปรียบเทียบค่า RCF ของต้นธูปฤาษีจากการทดลองทั้งสอง (รูปที่ 4.10) พบว่า ค่า RCF จากการทดลองที่ไม่มีทองแดงต่ำกว่าค่าที่ได้ จากการทดลองที่มีทองแดงในทุกๆช่วงเวลาตลอดการทดลอง 15 วัน แต่ค่าที่ได้จากการทดลองทั้งสองนี้ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$ สำหรับค่า RCF ของการทดลองที่ไม่มีทองแดงสูงสุดในวันที่ 15 เท่ากับ 2.71 ลิตร/กก.น้ำหนักแห้งของพืช ส่วนการทดลองที่มีทองแดงมีค่า RCF เท่ากับ 2.87 ลิตร/กก.น้ำหนักแห้งของพืช

สำหรับค่าการสะสมในลำต้นของต้นธูปฤาษีให้ผลตรงข้ามคือ ค่า SCF ในการทดลองที่ไม่มีทองแดงมีค่าสูงกว่าค่า SCF จากการทดลองที่มีทองแดงในทุกช่วงเวลาตลอดการทดลอง (รูปที่ 4.10) โดยค่า SCF จากการทดลองที่ไม่มีทองแดงมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.30 ลิตร/กก.น้ำหนักแห้งของพืช ส่วนในการทดลองที่มีทองแดงค่า SCF เท่ากับ 0.89 ลิตร/กก.น้ำหนักแห้งของพืช โดยเฉพาะในช่วงหลังของการทดลองคือ ตั้งแต่ในวันที่ 8 ของการทดลองเป็นต้นไป ค่า SCF จากการทดลองที่ไม่มีทองแดงสูงกว่าค่า SCF จากการทดลองที่มีทองแดงอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$ ผลการเปรียบเทียบนี้แสดงให้เห็นว่า ทองแดงอาจมีผลต่อการดูดซับออกซีเตตราซัยคลินไว้ในราก ทำให้ออก

ซีเตตราซัยคลินถูกปล่อยและเคลื่อนย้ายไปในลำต้นได้ช้าลง จนพบได้ว่าปริมาณการสะสมออกซีเตตราซัยคลินในลำต้นของการทดลองที่มีทองแดงมีน้อยกว่าที่พบจากการทดลองที่ไม่มีทองแดง





รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าการสะสมของออกซีเตตราซัยคลินในรากและลำต้นตามเวลา จากการทดลองที่ไม่มีทองแดง (ก) และการทดลองมีทองแดง (ข)

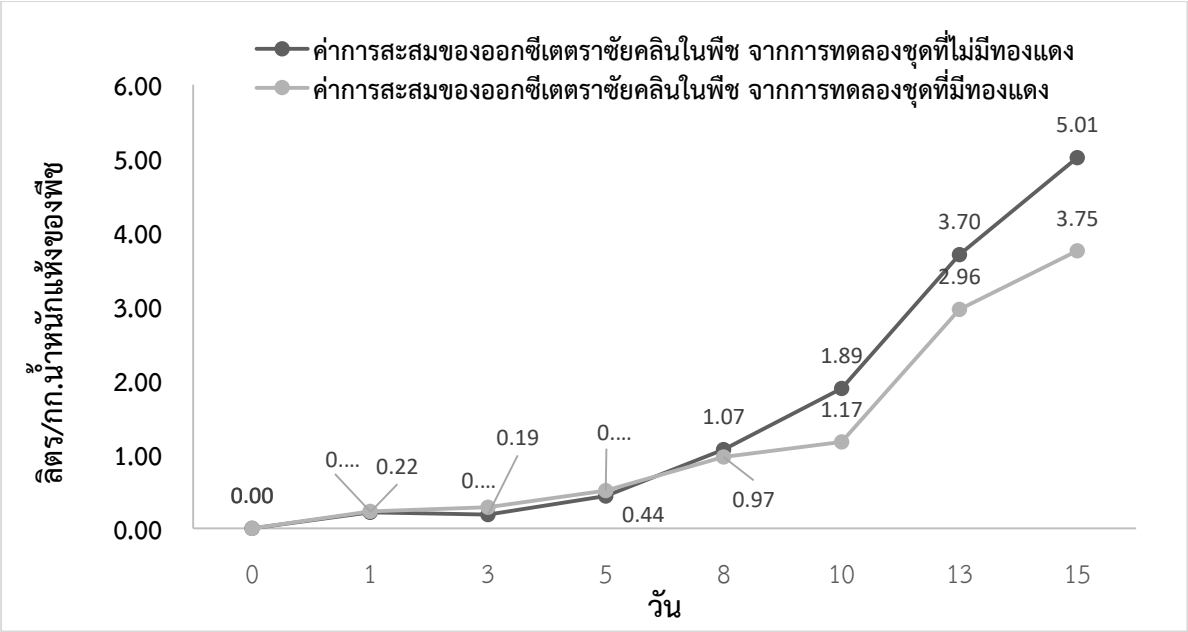
เมื่อเปรียบเทียบค่าการสะสมของสารในราก (RCF) กับค่าการสะสมของสารในลำต้น (SCF)
พบว่าทั้งสองการทดลองให้ผลเหมือนกันคือ ค่า RCF จะสูงกว่าค่า SCF ซึ่งเป็นผลจากมวลของราก (น้ำหนักรากเฉลี่ย 5.25 กรัม/ต้น) ที่มีน้อยกว่ามวลของลำต้นมาก (น้ำหนักลำต้นเฉลี่ย 5.16 กรัม/ต้น) ทำให้เมื่อคำนวณการสะสมของออกซีเตตราซัยคลินรูปของความเข้มข้น RCF จึงมีค่าสูง แต่หากพิจารณาจากมวลสะสมในรากและลำต้น (จากข้อ 3 และข้อ 4) จะพบว่าออกซีเตตราซัยคลินที่สะสมในต้นธูปฤาษีส่วนใหญ่อยู่ที่ลำต้น ด้วยเหตุนี้การใช้พืชในการดูดซับมลสารต่างๆไม่ว่าจากน้ำหรือจากดินจึงควรเลือกใช้พืชที่สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วเพื่อให้สารไปสะสมในลำต้น

4.7 การเปรียบเทียบค่าการสะสมออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่ไม่มีทองแดงและที่มีทองแดงโดยต้นธูปฤาษี

ค่าการสะสมของสาร (Bioconcentration Factor หรือ BCF) คำนวณได้จากความเข้มข้นของสารที่พบในต้น (C_B) หารด้วย ความเข้มข้นของสารที่พบในน้ำ (C_W) ผลการคำนวณค่า BCF ของต้นธูปฤาษีที่ปลูกในน้ำที่ไม่มีทองแดงมีค่าสูงสุดในวันสุดท้ายของการทดลองคือเท่ากับ 5.01 ลิตร/กก.น้ำหนักแห้งของพืช ส่วนค่า BCF ในการทดลองที่มีทองแดงมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.75 ลิตร/กก. น้ำหนักแห้งของพืช (รูปที่ 4.11)

เมื่อเปรียบเทียบค่า BCF จากการทดลองไม่มีทองแดงกับที่มีทองแดง พบว่าค่า BCF จากการทดลองที่ไม่มีทองแดงมีค่าสูงกว่า เนื่องจากมวลของออกซีเตตราซัยคลินส่วนใหญ่ไปสะสมอยู่ในลำต้นมากกว่าในราก และมวลของออกซีเตตราซัยคลินในลำต้นจากการทดลองที่ไม่มีทองแดงสูงกว่าที่พบในการทดลองที่มีทองแดง

สำหรับการเปรียบเทียบค่า BCF ของทั้งสองนี้พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$ เมื่อการทดลองผ่านไป 10 วัน เนื่องจากออกซีเตตราซัยคลินในชุดที่มีทองแดงเคลื่อนย้ายไปในลำต้นช้ากว่าในชุดที่ไม่มีทองแดงจึงควรทำการศึกษาต่อไปว่าเพราะเหตุใดถึงเป็นเช่นนี้



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าการสะสมของออกซีเตตราซัยคลิน จากการทดลองที่ไม่มีทองแดงและการทดลองมีทองแดง

4.8 การทดลองการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ (degradation rate constant, k)

ผลการทดลองการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำที่ไม่มีทองแดง (การทดลองชุดที่ 4) ที่อุณหภูมิห้อง (27 °ซ) และในสภาวะไม่มีแสง พบว่า ความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลิน (C) ลดลงตามเวลา (รูปที่ 4.12, ตารางที่ 4.2) เมื่อคำนวณอัตราคงที่ของการสลายตัวจากรูปที่ 4.13 ได้ค่า k เท่ากับ 0.01 ต่อชั่วโมง (หรือ 0.26 ต่อวัน) และค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) ของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำเท่ากับ 63.0 ชั่วโมง (หรือ 2.6 วัน)

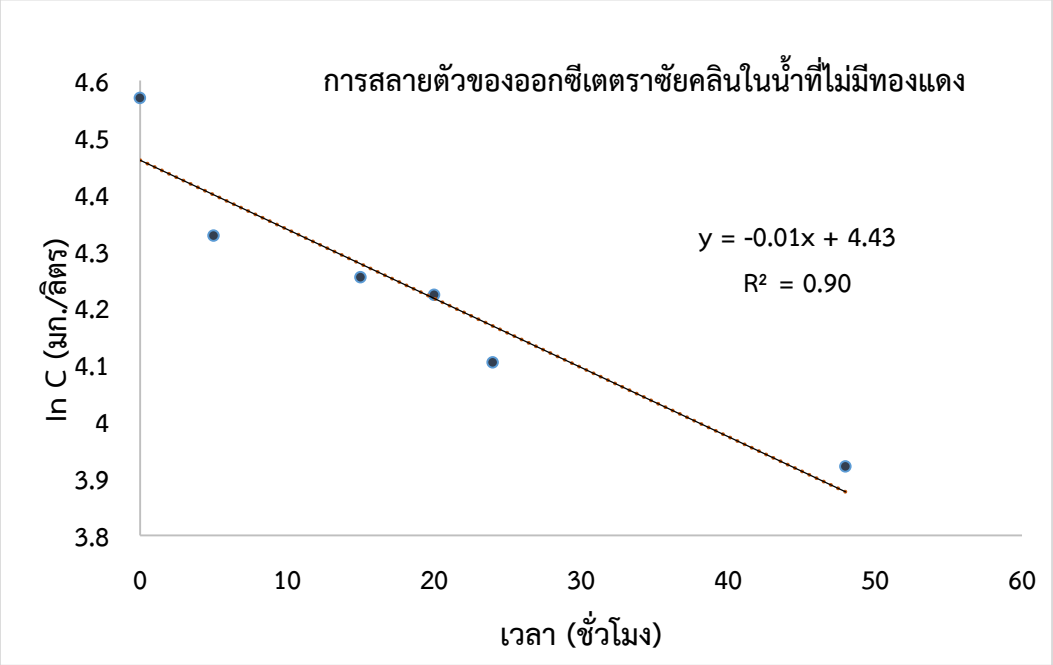
ส่วนผลการทดลองการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำที่มีทองแดง (การทดลองชุดที่ 5) ที่อุณหภูมิห้องและในสภาวะไม่มีแสงพบว่า ความเข้มข้นของสาร (C) ลดลงตามเวลาเช่นเดียวกันและเมื่อคำนวณอัตราคงที่ของการสลายตัวจากรูปที่ 4.13, ตารางที่ 4.2 พบว่าได้ค่า k เท่ากับ 0.01 ต่อชั่วโมงเท่ากัน (หรือ 0.26 ต่อวัน) ส่วนค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) ของสาร เท่ากับ 63.3 ชั่วโมง (หรือ 2.6 วัน)

เมื่อเปรียบเทียบค่า k ที่ได้จากการทดลองนี้กับค่าที่ได้จากการทดลองของ กรรณิการ์ (2534) ซึ่งศึกษาการสลายตัวของยาออกซีเตตราซัยคลินในน้ำจืด เป็นเวลา 12 วัน ในอุณหภูมิ 27 °ซ และไม่มีแสง พบว่าอัตราคงที่ของการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำจืด มีค่าเท่ากับ 0.02 ต่อ ช.ม (หรือ 0.5 ต่อวัน) จะพบว่าค่า k จากการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองนี้ จากการศึกษาของ Xuan *et al.* (2010) ที่ศึกษาการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการสลายตัวดังตารางที่ 4.1

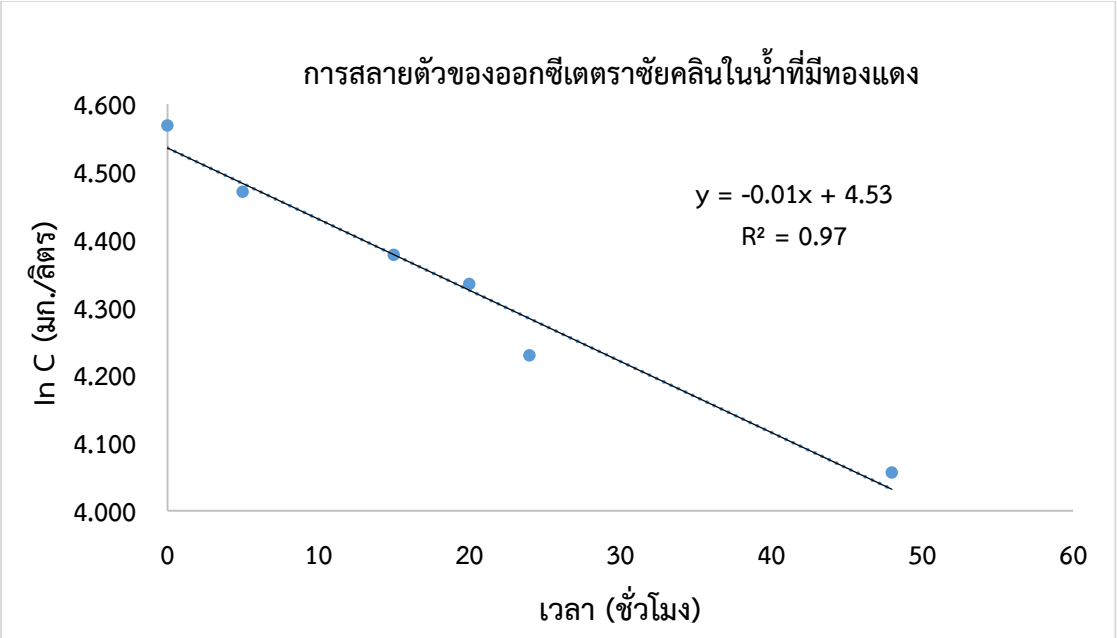
ตารางที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิต่อการสลายตัวของออกซีเตตาซัยคลิน

อุณหภูมิ (°ซ)	ค่า k (ต่อวัน)	ค่าครึ่งชีวิต (วัน)
4 ± 0.8	0.01 ± 0.0003	1.2×10^2
15 ± 0.1	0.04 ± 0.0006	16.7
25 ± 0.1	0.11 ± 0.003	6.5
35 ± 0.2	0.26 ± 0.014	2.7
60 ± 1	4.55 ± 0.07	0.15

ที่มา: ดัดแปลงจาก Xuan *et al.* (2010)



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง ln C กับเวลา การทดลองการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำที่ไม่มีทองแดง (การทดลองชุดที่ 4)



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง ln C กับเวลา การทดลองการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำที่มีทองแดง (การทดลองชุดที่ 5)

ตารางที่ 4.2 อัตราคงที่ออกซีเตตราซัยคลินในน้ำการสลายตัว (ต่อวัน) และค่าครึ่งชีวิต (วัน)ที่ได้จากการทดลอง

สภาวะการทดลอง*	k (ต่อวัน)	$t_{1/2}$ (วัน)
มีออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ	0.011	2.6
มีออกซีเตตราซัยคลินและทองแดง	0.011	2.6

* ไม่มีแสงและที่อุณหภูมิ 27 $^{\circ}$ซ

เนื่องจากปริมาณออกซีเตตราซัยคลินที่ต้นธูปฤาษีได้รับ (uptake) จะขึ้นกับความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำในช่วงเวลาต่างๆ [C_t] และความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในช่วงเวลาต่างๆนั้นอาจเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการสลายตัวของสารจากสภาวะแวดล้อม สำหรับการทดลองการสะสมออกซีเตตราซัยคลินในต้นธูปฤาษีนั้น ทองแดงในน้ำอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้อัตราการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินเปลี่ยนแปลงไปและมีผลต่อการ uptake ออกซีเตตราซัยคลินของต้นธูปฤาษี

จากผลการทดลองการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำที่ไม่มีและมีทองแดง (ชุดทดลองที่ 4 และที่ 5) ที่พบว่าอัตราคงที่ของการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำทั้ง 2 ชุดทดลองมีค่าเท่ากันคือ 0.01 ต่อชั่วโมง (หรือ 0.26 ต่อวัน) จึงแสดงว่าทองแดงในน้ำไม่ทำให้ผลต่อการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ และสรุปได้ว่าความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินที่ลดลงในแต่ละช่วงของการทดลองไม่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของสารเนื่องจากทองแดง

4.9 ประสิทธิภาพของการบำบัดออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ

ประสิทธิภาพของการบำบัดออกซีเตตราซัยคลินในน้ำคำนวณเป็นร้อยละของความเข้มข้นของสารในน้ำที่หายไป (C_t-C_o) หารด้วยความเข้มข้นของสารในน้ำเริ่มต้น (C_o) หรือ % removal = ([C_t] – [C_o])*100/[C_o] ผลการทดลองพบว่าในเวลา 15 วัน ความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำจากการทดลองที่ไม่มีทองแดง ลดลงจาก 40 มก./ลิตร เหลือ 4.41 และในการทดลองที่มีทองแดงลดลงเหลือ 4.74 คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดออกซีเตตราซัยคลินโดยต้นธูปฤาษีขณะที่น้ำไม่มีทองแดงเท่ากับ 89% และเมื่อน้ำมีทองแดง ประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 88 % ดังตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณแสดงว่าต้นธูปฤาษีสามารถบำบัดน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินได้มากกว่า 88% ในเวลา 15 วันไม่ว่าน้ำนั้นจะมีทองแดงปนเปื้อนหรือไม่ก็ตาม และต้นธูปฤาษีสามารถใช้บำบัดน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินได้ดีมาก อย่างไรก็ดีประสิทธิภาพในการบำบัดออกซีเตตราซัยคลินนี้อาจลดลงหากน้ำมีของแข็งแขวนลอยอยู่มากเช่นน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์เนื่องจากการคีเลตของออกซีเตตราซัยคลินกับทองแดงจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่ดูดซับกับอินทรีย์วัตถุของของแข็งแขวนลอยได้มากขึ้น

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัด การสลายตัว และค่าครึ่งชีวิตของออกซีเตตราซัยคลิน

น้ำ	ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)
มีพืช มีออกซีเตตราซัยคลิน	89
มีพืช มีออกซีเตตราซัยคลิน และมีทองแดง	88

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ฟาร์มเลี้ยงสัตว์เป็นแหล่งที่มีการปล่อยออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงออกมาพร้อมกับน้ำเสียเข้าสู่สิ่งแวดล้อม ในการวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการสะสมออกซีเตตราซัยคลินในต้นธูปฤาษีจากน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อนเพียงอย่างเดียว (ไม่มีทองแดง)กับจากน้ำที่มีทั้งออกซีเตตราซัยคลินและทองแดงปนเปื้อนในระยะเวลา 15 วัน ผลการทดลองการสะสมออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่ไม่มีทองแดงโดยต้นธูปฤาษีพบว่า มีการสะสมทั้งในรากและลำต้นสูงขึ้นตามเวลา และเมื่อสิ้นสุดการทดลองจำนวนมวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในรากมีค่าสูงสุดเท่ากับ 89.91 มก.ส่วนในลำต้นมีการสะสมสูงสุดเท่ากับ 178.17 มก. สำหรับการทดลองการสะสมออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่มีทองแดงพบว่า มวลทั้งหมดที่สะสมในรากมีค่าสูงสุดเท่ากับ 116.68 มก. ส่วนในลำต้นมีค่าเท่ากับ 143.54 มก.เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ผลการศึกษานี้แสดงว่าออกซีเตตราซัยคลินเกิดการเคลื่อนย้าย (translocation) จากรากสู่ลำต้นได้ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซีเตตราซัยคลินในรากและลำต้นที่เพิ่มขึ้นตามเวลายังสอดคล้องกับ ผลจากการวิเคราะห์ออกซีเตตราซัยคลินในน้ำที่ลดลงตามเวลา

เมื่อเปรียบเทียบค่าการสะสมออกซีเตตราซัยคลินในราก (RCF) จากการทดลองที่ไม่มีและมีทองแดงพบว่า ค่า RCF ของต้นธูปฤาษีในการทดลองที่มีทองแดงสูงกว่าค่า RCF จากการทดลองที่ไม่มีทองแดงทุกช่วงเวลาตลอดการทดลอง 15 วัน แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$ โดยค่า RCF จากการทดลองที่มีทองแดงสูงสุด เท่ากับ 2.87 ลิตร/กก.น้ำหนักแห้งของพืช ส่วนที่ได้จากการทดลองที่ไม่มีทองแดงเท่ากับ 2.71 ลิตร/กก.น้ำหนักแห้งของพืช ซึ่งเหตุผลที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากการที่ทองแดงคีเลตกับออกซีเตตราซัยคลินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่สามารถจับกับอินทรียวัตถุในรากทำให้มีการสะสมอยู่อยู่ในบริเวณนี้

ส่วนการเปรียบเทียบค่า SCF ของต้นธูปฤาษีในการทดลองที่ไม่มีทองแดงกับค่า SCF ของการทดลองที่มีทองแดงพบว่า ค่า SCF จากการทดลองที่ไม่มีทองแดง (เท่ากับ 2.30 ลิตร/กก.น้ำหนักแห้งของพืช) มีค่าสูงกว่าค่า SCF จากการทดลองที่มีทองแดง (เท่ากับ 0.89 ลิตร/กก.น้ำหนักแห้งของพืช) ทุกช่วงเวลาตลอดการทดลอง 15 วัน โดยเฉพาะในช่วงหลังของการทดลองคือตั้งแต่ในวันที่ 8 ของการทดลองเป็นต้นไปค่า SCF จากการทดลองที่ไม่มีทองแดงสูงกว่าค่า SCF จากการทดลองชุดที่มีทองแดงอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$ ผลการเปรียบเทียบนี้แสดงว่าลำต้นของธูปฤาษีสามารถสะสมออกซีเตตราซัยคลินได้แต่การเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ลำต้นเกิดขึ้นค่อนข้างช้า โดยเฉพาะเมื่อออกซีเตตราซัยคลินถูกตรึงไว้ในรากนานขึ้นเมื่อมีการคีเลตกับทองแดง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

เมื่อเปรียบเทียบค่าการสะสมออกซีเตตราซัยคลิน (Bioconcentration Factor หรือ BCF)ในต้นธูปฤาษีจากการทดลองทั้งสองชุด พบว่า ค่า BCF จากการทดลองที่ไม่มีทองแดง(เท่ากับ 5.01 ลิตร/กก.น้ำหนักแห้งของพืช) มีค่าสูงกว่าที่ได้จากการทดลองที่มีทองแดง (เท่ากับ 3.75 ลิตร/กก.น้ำหนักแห้งของพืช) ที่เป็นเช่นนี้เพราะมวลของออกซีเตตราซัยคลินส่วนใหญ่ไปสะสมในลำต้น ดังนั้นเมื่อออกซีเตตราซัยคลินคีเลตกับทองแดงและทำให้ออกซีเตตราซัยคลินเคลื่อนย้ายไปสะสมในลำต้นได้น้อยลง ผลที่ตามมาคือทำให้ค่าการสะสมออกซีเตตราซัยคลินในต้นธูปฤาษีจากการทดลองที่มีทองแดงมีค่าน้อยกว่าที่พบในการทดลองที่ไม่มีทองแดง

นอกจากนี้การทดลองการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ (degradation rate constant, k) ที่ไม่มีและมีทองแดงพบว่าค่าคงที่ของการการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ มีค่าเท่ากัน ดังนั้นจึงสรุปว่าทองแดงในน้ำไม่มีผลต่อการสลายตัวของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ และเมื่อคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดออกซีเตตราซัยคลินในน้ำโดยคำนวณจากความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินที่หายไปเทียบกับความเข้มข้นเมื่อเริ่มทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดออกซีเตตราซัยคลินของต้นธูปฤาษีขณะที่น้ำไม่มีทองแดงเท่ากับ 89 % และเมื่อมีทองแดงประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 88 % จึงสรุปว่าทองแดง 10 มก./ลิตร ปนเปื้อนในน้ำแทบจะไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเปลี่ยนแปลงไป และต้นธูปฤาษีสามารถใช้บำบัดน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินได้ดี

ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาต่อไป อาจจะมีการใช้โลหะหนักชนิดอื่นหรือโลหะหนัก 2 ชนิดเพื่อเป็นการศึกษาผลของโลหะหนักอื่นต่อการบำบัดออกซิเตราซัยคลินที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย
2. อาจมีการเปลี่ยนชนิดของพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีออกซิเตราซัยคลินและโลหะหนักที่ปนเปื้อน

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2552. **มลพิษทางทะเลและแนวทางแก้ไขปัญหาในประเทศไทย**. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/water_marine.html 26 พฤษภาคม 2558.

กรรณิการ์ กาญจนชาตรี. 2534. **การสลายตัวของยาออกซีเตตราซัยคลินในน้ำจืดและน้ำเค็ม.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกียรติคุณ ไกรพิบูลย์ และ พวงทอง ไกรพิบูลย์. 2555. **หลักการใช้ยาปฏิชีวนะ**. แหล่งที่มา: http://haamor.com/th 26 พฤษภาคม 2558.

คนาวรรณ พจนาคม. 2551. **ยาปฏิชีวนะต้านเชื้อแบคทีเรีย**. เอกสารประกอบรายวิชา 564212 เภสัชเคมี3. ภาควิชาเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. นครปฐม.

ใจพร พุ่มคำ. 2555. **ผลจากการใช้ยาปฏิชีวนะในสัตว์**. แหล่งที่มา: http://journal.fda.moph.go.th/journal/032555/02.pdf 26 พฤษภาคม 2558.

ชาลินี ศักดิ์แสน และ ศศิธร พุทธวงษ์. 2550. **การบำบัดโครเมียมและอาร์เซนิกด้วยหญ้าแฝกและธูปฤาษีในบึงประดิษฐ์**.สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร.

ชุมพล คุณวาสี และ ศุภจิตรา ชัชวาลย์. 2552. **ชีววิทยาทั่วไป.** เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 2303 107. ภาควิชาพฤษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

ชวนพิศ แดงสวัสดิ์. 2544. **สรีรวิทยาของพืช**. สำนักพิมพ์พัฒนาศึกษา, กรุงเทพมหานคร.

ณปภัช พิมพ์ดี. 2554. **ธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์**. แหล่งที่มา: http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/703 1 สิงหาคม 2558.

พงศ์วัชร สิริจันทรวงศ์. 2556. **การเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช**. แหล่งที่มา: https://www.gotoknow.org/posts/296503 26 พฤษภาคม 2558.

มาลินี ลิ้มโภคา. 2542. **ยาต้านจุลชีพ**. พิมพ์ครั้งที่ 5. โรงพิมพ์จรัลสนิทวงศ์, กรุงเทพมหานคร.

มลิวรรณ บุญเสนอ. 2552. **การสะสมสารปฏิชีวนะในดินเค็มของบ่อเลี้ยงกุ้งและการบำบัดด้วยพืช.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร. นครปฐม.

วลัยนุช พรรณสังข์. 2551. **ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรีในสภาพดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับธูปฤาษี (*Typha angustifolia*).**วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

สุดสาคร พุกงาม, อานุช คีรีรัฐนิคม, ธวัชชัย จำรัสแสง, อุดม สุขปุณพันธ์ และ อัมริตา คชภักดี. 2550. **ประสิทธิภาพของธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.)และแหนเป็ด (*Lemna perpusilla Torr.*) ในการบำบัดโลหะหนัก ในน้ำสังเคราะห์โดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ**. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณพัทลุง. พัทลุง.

สุภาพร จันรุ่งเรือง และ พิสบุษ์ จัตวาพรวนิช. 2539. **ศึกษาศักยภาพการใช้ธูปฤาษีในการบำบัดน้ำเสีย.** แหล่งที่มา: http : //www.ldd.go.th 25 กรกฎาคม 2558.

สุพจน์ หมอยาไทย และ ศุภเกียรติ ศรีพนมธนากร. 2548. **รูปแบบของโลหะหนักที่สกัดได้ในมูลสุกรและกากตะกอนมูลสุกรจากระบบบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกร.** แหล่งที่มา: http://www.tlinter.com/story/env/ENV13.pdf, 1 พฤษภาคม 2558.

สุรีย์ บุญญานุพงศ์ และณัษฐพงศ์ วรรณวิจิตร. 2551. **ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์.** กลุ่มศึกษาและสนับสนุนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. แหล่งที่มา: http://www.sri.cmu.ac.th/~srilocal/water/mainpage.htm 1 สิงหาคม 2558.

สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำกรมควบคุมมลพิษ. 2556. การกำจัดมูลสุกรและบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร. แหล่งที่มา: http://wqm.pcd.go.th/km/index.php/2010-03-24-06-40-50/37-2010-03-11-07-13-48/50--phytoremediation. 12 กรกฎาคม 2558.

สรรเพชญ อังกิติตระกูล. 2541. **ผลของผักตบชวาต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

อุรชา รังสาดทอง. 2546. **การเพิ่มการละลาย**. เอกสารประกอบการสอนวิชา 615 252 เภสัชกรรม 2. ภาควิชาเภสัชกรรมเทคโนโลยี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

อัมพร ไหลประเสริฐ. 2555. **กลไกการเกิดพิษ**. เอกสารประกอบการสอนเรื่องพยาธิวิทยาสิ่งแวดล้อม วิชาพยาธิสรีรวิทยา หน่วยที่ 4. วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี วิทยาเขตสุพรรณบุรี. สุพรรณบุรี.

Badea, N.M., E. Diacu and V.M. Radu 2013. **Influence of antibiotics on copper uptake by plants**. national institute for research & development in environmental protection, environmental quality assessment department, 294 Spl. independenþei, bucharest, Romania. 64: 684-687. faculty of applied chemistry and materials science, department of analytical chemistry, The University Politehnica of Bucharest.

Blackwell, P.A., P. Kay and A.A.B. Boxall. 2007. The dissipation and transport of veterinary antibiotics in a sandy loam soil. **Chemosphere** 67: 292-299.

Boonsaner, M. and D.W. Hawker. 2010. Accumulation of oxytetracycline and norfloxacin from saline soil by soybean. **Science of the Total Environment** 408:1731-1737.

Boonsaner, M. and D.W. Hawker. 2012. Remediation of saline soil from shrimp farms by three different plants including soybean (*Glycine max* (L.) Merr.)**.** **Environmental Science and Heath Part A** 47: 558-564.

Briggs, G.G., R.H. Bromilow, A. Evans and M. Williams. 1983. Relationships between lipophilicity and the distribution of non-ionised chemicals in barley shoot following uptake by the root. **Pesticide Science** 14: 495-500.

Chee-Sanford, J.C., R.I. Mackie, S.Koike, I.G.Krapac, Y. Lin, A.C. Yannarell, S. Maxwell, and R.I. Aminov. 2009. Fate and transport of antibiotic residnes and antibiotic resistance genes following land application of manure waste. **Journals of Environmental Quality** 38: 1086-1108.

Dettenmaier, E.M., W.J. Doucette and B. Bugbee. 2008. Chemical hydrophobicity and uptake by plant roots. **Environmental Science & Technology** 43: 324-329.

Figueroa, R.A. and A.A. Mackay. 2005. Sorption of oxytetracycline to iron oxides and iron oxide-rich soils. **Environmental science & Technology** 39: 6664-6671.

Guschina, I.A., J.D. Everard, A.J. Kinney, P.A. Quant and J.L. Harwood. 2014. Studies on the regulation of lipid biosynthesis in plant: application of control analysis to soybean. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes** 1838: 1488-1500.

Ingerslev, F., L.Torang, M.L. Loke, B. Halling-Sorensen and N. Nyholm. 2001. Primaly biodegradation of veterinary antibiotics in aerobic and anaerobic surface water simulation systems. **Chemosphere** 44: 865-872.

Kerry, J., M. Hiney, R. Coyne, S. NicGabhainn, D. Gilroy, D. Cazabon and P. Smith. 1995. Fish feed as a source of oxytetracycline-resistant bacteria in the sediment under fish farms. **Aquaculture** 131: 101-113.

Kong, W.-D., Y.-G. Zhu, B.-J. Fu, P. Marschner and J.-Z. He. 2005. The veterinary antibiotic oxytetracycline and Cu influence function diversity of the soil microbial community. **Environmental Pollution** 143: 129-137.

Kong, W.D., Y.G. Zhu, Y.C. Liang, J. Zhang, F.A. Smith and M. Yang. 2007. Uptake of oxytetracycline and its phytotoxicity to alfalfa (*Medicago sativa* L.). **Environmental Pollution** 147: 187-193.

Kumar, A., B. Chang and I. Xagoraraki. 2010. Human health risk assessment of pharmaceuticals in water: Issues and challenges ahead. International **Journal of Enviromental Research and public Health** 7(11): 3929–3953.

Lunestad, B.T. and J. Goksoyr. 1990. Reduction in the antibacterial effect of oxytetracycline in sea water by complex formation with magnesium and calcium. **Diseases of Aquatic Organisms** 9: 67-72.

P.Gujarathi. N. 2005. **Phytoremediation of tetracycline and oxytetracycline**. Degree of Doctor of Philosophy, Colorado State University.

Pouliquen H., R. Delepee, M. Larhantec-Verdier, M.-L. Morvan and H.L. Bris. 2007. Comparative hydrolysis and photolysis of four antibacterial agents (oxytetracycline oxolinc acid, flumequine and florfenicol) in deionised water, freshwater and seawater under abiotic conditions. **Aquaculture** 262: 23-28.

Wild E., J. Dent, G.O. Thomas and K.C. Jones. 2005. Direct observation of organic contaminant uptake, storage, and metabolism within plant roots. **Environmental science & Technology** 39: 3695-3702.

Xuan R., L. Arisi, Q. Wang, S.R. Yates and K.C. Biswas. 2010. Hydrolysis and photolysis of oxcyctetracycline in aqueous solution. **Environmental science and Heath Part B** 45: 73-81.

Zhang H., H. Xie, J. Chen and S. Zhang. 2015. Predication of hydrolysis pathway and kinetic for antibiotic under environmental pH condition: a quantum chemical study on cephradine. **Environmental science & Technology** 49: 1552-1558.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ก

ความเข้มข้นและมวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลิน

การทดลองชุดที่ 1 การทดลองการสะสมออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่ไม่มีทองแดงโดยต้นธูปฤาษี

ผลการทดลอง

ตาราง ก 1.1 มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินที่ตรวจพบในลำต้น ราก และในน้ำ

วันที่ทดลอง	มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในราก (มก.)	มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในลำต้น (มก.)	มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ (มก.)
0	0.00	0	20000.00
1	59.94	0.00	14104.70
3	24.22	41.43	10982.56
5	27.01	59.64	4860.17
8	49.10	104.28	3441.51
10	47.43	147.30	2238.04
13	73.01	117.23	1135.07
15	89.91	178.17	970.84

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ก 1.2 ความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินที่ตรวจพบในลำต้น ราก และในน้ำ

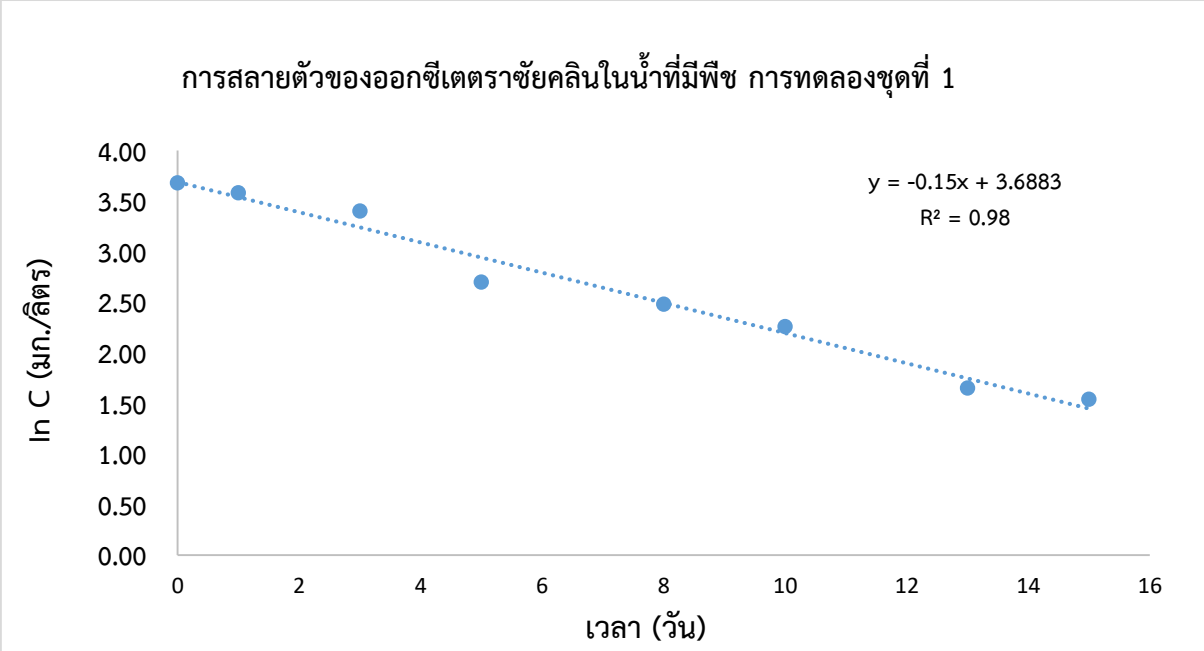
วันที่ทดลอง	ความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในราก (มก./ลิตร)	ความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในลำต้น (มก./ลิตร)	ความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ (มก./ลิตร)
0	0	0	40.00
1	6.59	0.00	30.01
3	2.94	1.94	26.03
5	3.17	2.94	13.89
8	5.04	6.44	10.75
10	5.74	9.95	8.29
13	8.88	7.93	4.54
15	11.98	10.15	4.41

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ ก 1.3 ปริมาณน้ำที่พืชดูดซึม การทดลองชุดที่ 1

วันที่	น้ำที่พืชดูด (มล.)
0	0
1	30
3	78
5	150
8	180
10	230
13	250
15	280

มหาวิทยาลัยศิลปากร



รูปที่ ก 1.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ln C กับเวลา การทดลองชุดที่ 1

มหาวิทยาลัยศิลปากร

การทดลองชุดที่ 2 การทดลองการสะสมออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่มีทองแดงโดยต้นธูปฤาษี

ผลการทดลอง

ตาราง ก 2.1 มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินที่ตรวจพบในลำต้น ราก และในน้ำ

วันที่ทดลอง	มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในราก (มก.)	มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในลำต้น (มก.)	มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ (มก.)
0	0	0	20000.00
1	91.46	0	17317.99
3	43.36	42.60	13500.00
5	38.98	41.57	6450.00
8	60.32	41.94	5040.00
10	56.37	52.81	3576.54
13	77.17	93.80	1885.20
15	116.68	143.54	1516.38

มหาวิทยาลัยศิลปากร

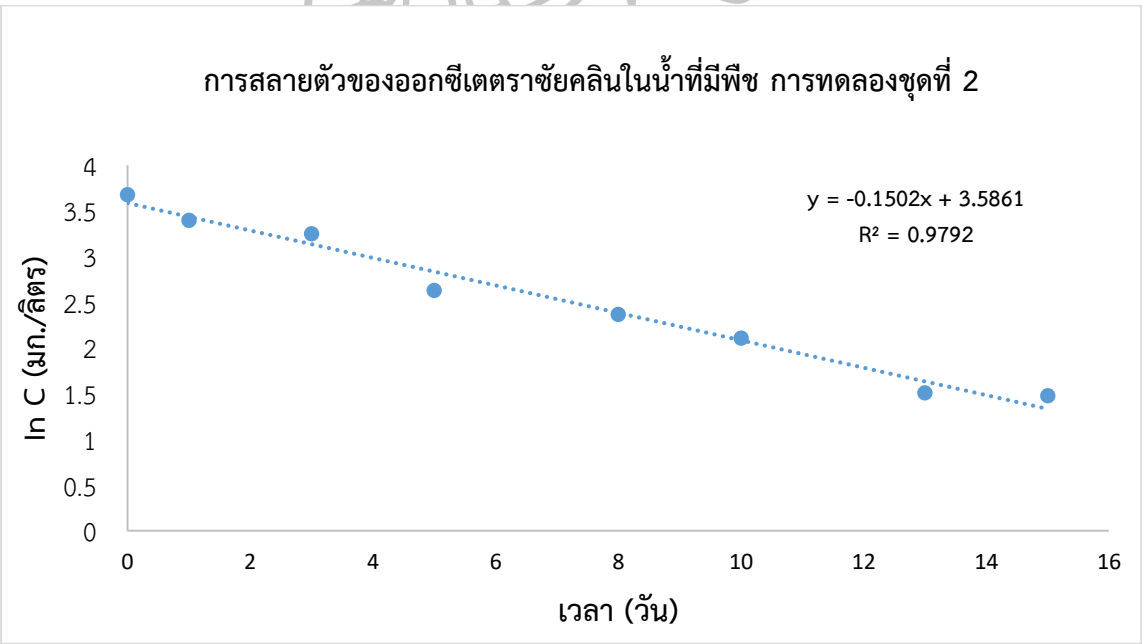
ตาราง ก 2.2 ความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินที่ตรวจพบในลำต้น ราก และในน้ำ

วันที่ทดลอง	ความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในราก (มก./ลิตร)	ความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในลำต้น (มก./ลิตร)	ความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ (มก./ลิตร)
0	0	0	40.00
1	8.42	0.00	36.08
3	6.76	1.90	30.00
5	5.88	1.79	15.00
8	8.10	3.50	12.00
10	8.18	3.14	9.67
13	11.93	3.58	5.24
15	13.38	4.14	4.67

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ก 2.3 ปริมาณน้ำที่พืชดูดซึม การทดลองชุดที่ 2

วันที่	น้ำที่พืชดูด (มล.)
0	0
1	20
3	50
5	70
8	80
10	130
13	140
15	180



รูปที่ ก 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ln C กับเวลา การทดลองชุดที่ 2

ภาคผนวก ข

ค่าการสะสมของต้นธูปฤาษี

การทดลองชุดที่ 1 การทดลองการสะสมออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่ไม่มีทองแดงโดยต้นธูปฤาษี

ผลการทดลอง

ตาราง ข 1.1 ค่าการสะสมออกซีเตตาซัยคลินของต้นธูปฤาษี

วันที่ทดลอง	ค่าการสะสมออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่ไม่มีทองแดง
0	0.00
1	0.22
3	0.19
5	0.44
8	1.07
10	1.89
13	3.70
15	5.01

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ข 1.2 ค่าการสะสมออกซีเตตาซัยคลินในรากและลำต้นของธูปฤาษี

วันที่ทดลอง	ค่าการสะสมในลำต้นของออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่ไม่มีทองแดง	ค่าการสะสมในรากของออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่ไม่มีทองแดง
0	0.00	0.00
1	0.00	0.22
3	0.07	0.11
5	0.21	0.23
8	0.60	0.47
10	1.20	0.69
13	1.75	1.96
15	2.30	2.71

มหาวิทยาลัยศิลปากร

การทดลองชุดที่ 2 การทดลองการสะสมออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่มีทองแดงโดยต้นธูปฤาษี

ผลการทดลอง

ตาราง ข 2.1 ค่าการสะสมออกซีเตตาซัยคลินของต้นธูปฤาษี

วันที่ทดลอง	ค่าการสะสมออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่มีทองแดง
0	0.00
1	0.23
3	0.29
5	0.51
8	0.97
10	1.17
13	2.96
15	3.75

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ข 2.2 ค่าการสะสมออกซีเตตาซัยคลินในรากและลำต้นของธูปฤาษี

วันที่ทดลอง	ค่าการสะสมในลำต้นของออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่มีทองแดง	ค่าการสะสมในรากของออกซีเตตราซัยคลินจากน้ำที่มีทองแดง
0	0.00	0.00
1	0.00	0.23
3	0.06	0.23
5	0.12	0.39
8	0.29	0.68
10	0.32	0.85
13	0.68	2.28
15	0.89	2.87

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ค

การคำนวณค่าสถิติ

ตาราง ค 1 เปรียบเทียบความเข้มข้นในราก

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
ความเข้มข้นในราก ชุดทดลองที่ 1	8	44.342	5.543	13.872
ความเข้มข้นในราก ชุดทดลองที่ 2	8	62.651	7.831	16.341

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	20.95001	1	20.95001	1.387	0.259	4.600
Within Groups	211.4951	14	15.10679			
Total	232.4451	15				

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ค 2 เปรียบเทียบความเข้มข้นในลำต้น

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
ความเข้มข้นในลำต้น ชุดทดลองที่ 1	8	39.349	4.919	17.900
ความเข้มข้นในลำต้น ชุดทดลองที่ 2	8	18.056	2.257	2.592

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	28.33662	1	28.33662	2.766	0.119	4.600
Within Groups	143.4444	14	10.24603			
Total	171.781	15				

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ค 3 เปรียบเทียบความเข้มข้นในน้ำ

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
ความเข้มข้นในน้ำ ชุดทดลองที่ 1	8	137.918	17.240	173.930
ความเข้มข้นในน้ำ ชุดทดลองที่ 2	8	152.652	19.082	200.077

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	13.56806	1	13.56806	0.073	0.792	4.600
Within Groups	2618.051	14	187.0036			
Total	2631.619	15				

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ค 4 เปรียบเทียบมวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในราก

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในราก ชุดทดลองที่ 1	8	370.612	46.327	830.562
มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในราก ชุดทดลองที่ 2	8	484.346	60.543	1261.006

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	808.4632	1	808.4632	0.773	0.394	4.600
Within Groups	14640.98	14	1045.784			
Total	15449.44	15				

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ค 5 เปรียบเทียบมวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในลำต้น

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในลำต้น ชุดทดลองที่ 1	8	678.049	84.756	5085.987
มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในลำต้น ชุดทดลองที่ 2	8	416.265	52.033	2262.126

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	4283.172	1	4283.172	1.166	0.299	4.600
Within Groups	51436.79	14	3674.057			
Total	55719.96	15				

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตาราง ค 6 เปรียบเทียบมวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ ชุดทดลองที่ 1	8	57732.9	7216.612	49375477.136
มวลทั้งหมดของออกซีเตตราซัยคลินในน้ำ ชุดทดลองที่ 2	8	69286.11	8660.763	52534484.356

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	8342289	1	8342289	0.164	0.692	4.600
Within Groups	7.13E+08	14	50954981			
Total	7.22E+08	15				

ตาราง ค 7 เปรียบเทียบค่าการสะสมออกซีเตตราซัยคลินของพืชตั้งแต่วันที่ 10 ของการทดลอง

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
ค่าการสะสมของพืชชุดที่ไม่มีทองแดง	3	10.61103	3.53701	2.45598
ค่าการสะสมของพืชชุดที่มีทองแดง	3	7.883999	2.628	1.749483

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	1.239449	1	1.239449	0.589447	0.485446	7.708647
Within Groups	8.410926	4	2.102731			
Total	9.650375	5				

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นางสาวพรรณราย สิงห์เถื่อน
ที่อยู่	42/15 ม.1 ซ.บูชโฮม ถ.ปทุมธานีสายใน ต.บางขะแยง อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000 โทรศัพท์ 087-537-3330 E-mail phannaraisingthuan@gmail.com
ที่ทำงาน	กลุ่มตรวจสอบคุณภาพยาสัตว์ สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2554	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต วิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พ.ศ. 2555	ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต วิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2554 – 2557	กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
พ.ศ. 2558 – ปัจจุบัน	สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
งานวิจัยที่เผยแพร่	พรรณราย สิงห์เถื่อน. 2558. ผลของทองแดงในการบำบัดน้ำที่มีออกซีเตตราซัยคลินปนเปื้อนโดยต้นธูปฤาษี, น. 3469-3481. ในการประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 5 (กลุ่มวิทยาศาสตร์) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.