การใช้ผักตบชวาบำบัดคลอร์ไพริฟอส

นายชูชัย อนุเดชากุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PHYTOREMEDIATION OF CHLORPYRIFOS BY WATER HYACINTH

Mr.Choochai Anudechakul

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	การใช้ผักตบชวาบำบัดคลอร์ไพริฟอส
โดย	นายชูชัย อนุเดชากุล
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัยนันทน์ อริยกานนท์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัยนันทน์ อริยกานนท์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงแข สิทธิเจริญชัย)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ วรานุศุภากุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.นิตยา นักระนาด มิลน์)

ชูชัย อนุเดชากุล : การใช้ผักตบชวาบำบัดคลอร์ไพริฟอส (PHYTOREMEDIATION OF CHLORPYRIFOS BY WATER HYACINTH **อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก** : **ผศ.ดร.นัยนันทน์ อริยกานนท์**, 63 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของผักตบชวา *Eichhornia crassipes* Solms ในการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในน้ำ ผลการศึกษาพบว่า ผักตบชวาในชุดการทดลองที่ไม่มีคลอร์ไพริฟอส และชุดการทดลองที่มีคลอร์ไพริฟอสความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยมี RGR_{DW} เท่ากับ 0.041, 0.039, 0.038 และ 0.036 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อวัน ตามลำดับ ค่าคงที่ของอัตราการหายไปของคลอร์ไพริฟอสในชุดการทดลองที่ไม่มีผักตบชวาแต่มีคลอร์ไพริฟอสเข้มข้น 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 3.52, 2.29, 1.84 ไมโครกรัมต่อชั่วโมง และชุดการทดลองที่ปลูกผักตบชวาและเติมคลอร์ไพริฟอส ความเข้มข้น 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 17.19, 10.16 และ 7.16 ไมโครกรัมต่อชั่วโมง ในชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอสความเข้มข้น 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรพบว่าการสะสมคลอร์ไพริฟอสในผักตบชวาจะเกิดขึ้นมากที่สุดในส่วนราก >ลำต้น >ใบ ตามลำดับ ซึ่งปริมาณคลอร์ไพริฟอสที่สะสมในส่วนราก ลำต้น และใบ จะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 290, 125 และ 98.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และมีค่ามากที่สุดในวันที่ 3, 6 และ 8 ส่วนปริมาณ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ในทุกความเข้มข้นจะมีการสะสมในใบ >ลำต้น >ราก มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 13.8, 11.8และ 9.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และมีค่ามากที่สุดในวันที่ 10, 7 และ 5 ตามลำดับ

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2553 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก นัยนันทน์ อริยกานนท์

5287143020 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORDS : CHLORPYRIFOS PHYTOREMEDIATION

CHOOCHAI ANUDECHAKUL: PHYTOREMEDIATION OF CHLORPYRIFOS BY WATER HYACINTH THESIS ADVISOR: ASST. PROF. NAIYANAN ARIYAKANON, Ph.D., 63 pp.

The objective of this research was to study the efficiency of water hyacinth *(Eichhornia crassipes)* for removing chlorpyrifos in water. At initial chlorpyrifos concentrations of 0, 0.1, 0.5 and 1.0 mg/L, the relative growth rates (RGR) of *E. crassipes* were significantly increased, giving an observed dry weight based RGR_{DW} for *E. crassipes* of 0.041, 0.039, 0.038 and 0.036 mg/g/day. The disappearance rate constants of chlorpyrifos in the control (no plants) at chlorpyrifos concentrations of 0.1, 0.5 and 1.0 mg/L were 3.52, 2.29 and 1.84 μg h^{-1} and in water hyacinth at chlorpyrifos concentrations of 0.1, 0.5 and 1.0 mg/L were 17.19, 10.16 and 7.16 μg h^{-1}, respectively. The accumulation of chlorpyrifos occurred in this descending order: roots >stems >leaves. The maximum concentration of chlorpyrifos in roots, stems and leaves were 290.1, 125.4 and 98.9 mg/kg dry weight, respectively, at the day 3, 6 and 8. The accumulation of 3,5,6 trichloro-2-pyridinol occurred in this descending order: leaves >stems >roots. The maximum concentration of 3,5,6 trichloro-2-pyridinol in leaves, stems and roots were 13.8, 11.8 and 9.7 mg/kg dry weight, respectively, at the day 10, 7 and 5.

Field of Study : Environmental Science Student's Signature Choochai Anudechakul
Academic Year : 2010 Advisor's Signature Naiyanan Ariyakanon

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณา ความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์ จากบุคคลผู้มีพระคุณหลายๆท่าน ข้าพเจ้าขอกราบขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัยนันทน์ อริยกานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณามอบความรู้ คำปรึกษาคำแนะนำต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งการให้ความช่วยเหลือ คอยไต่ถามความก้าวหน้าในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมาจนกระทั่งงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดจนกรุณาเสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งเรียบเรียงและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จนเป็นวิทยานิพนธ์ที่สมบูรณ์ พร้อมทั้งได้มอบข้อคิดและแนวทาง อันมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อศิษย์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ผู้อำนวยการหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงแข สิทธิเจริญชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ วรานุศุภากุล ดร.นิตยา นักระนาด มิลน์ ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ แนวทางในการแก้ไขปัญหา และข้อคิดที่เป็นประโยชน์ และกรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์พร้อมกับให้ข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะและช่วยตรวจรายละเอียดต่างๆในวิทยานิพนธ์เพื่อเป็นวิทยานิพนธ์ที่สมบูรณ์

กราบขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มอบทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช รุ่นที่ 14 (1/2554) ทุนอุดหนุนวิจัยและภาควิชาวิทยาสาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือรวมทั้งห้องปฏิบัติการ ขอขอบพระคุณ คุณเพ็ญศรี ชูบรรจง คุณสรัญญา เก่งสาริกิจ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในห้องปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยแนะนำชี้แจงข้อมูลต่างๆ

ขอบกราบขอบพระคุณคุณพ่อทนะชัย คุณแม่วิไล อนุเดชากุล รวมทั้งญาติพี่น้องทุกคน ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านการศึกษา ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา และดูแลเอาใจใส่ตลอดมา สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณนายชัยรัตน์ บวรศักดิ์ชัยกุล และนายกุลภัทร์ สิทธิชาติบูรณะ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจยามท้อ รวมทั้งคำปรึกษาและดูแลเอาใจใส่จนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…… ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ……..... 1

1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 สมมติฐาน……..... 2

1.4 ขอบเขตการศึกษา..... 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 คลอร์ไพริฟอส..... 4

2.1.1 ความสำคัญของคลอร์ไพริฟอส..... 4

2.1.2 ลักษณะทางเคมีของคลอร์ไพริฟอส..... 5

2.1.3 ความเป็นพิษ..... 7

2.1.4 การเปลี่ยนรูป..... 11

2.2 3,5,6 trichloro-2-pyridinol…… 13

2.2.1 ลักษณะทางเคมีของ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol…… 13

2.3 การบำบัดโดยพืช (phytoremediation)..... 14

2.3.1 คำจำกัดความของการบำบัดโดยใช้พืช (definition of phytoremediation)..... 14

2.3.2 ประเภทของ phytoremediation..... 15

2.4 กระบวนการ phytodegradation……..……..... 17

2.4.1 การเปลี่ยนรูปของสารมลพิษ (transformation)…… 17

2.4.2 การย่อยสลายบางส่วน (partial degradation)……..…… 17

2.4.3 การเปลี่ยนรูปและแยกสารมลพิษ (sequestration)……..…….. 18

2.4.4 การย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ (complete degradation)..... 18

หน้า

2.5 การใช้พืชเพื่อการบำบัดสารฆ่าแมลงในสิ่งแวดล้อม..... 19
2.6 พืชที่ใช้กำจัดคลอร์ไพริฟอสในน้ำ..... 21
2.6.1 ผักตบชวา..... 21
บทที่ 3 ดำเนินการวิจัย..... 23
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย..... 23
3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... 23
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 23
3.2 สถานที่ดำเนินการวิจัย..... 24
3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่างพืชที่ใช้ในงานวิจัย..... 24
3.2.2 สถานที่ในการใช้ปลูกพืชในงานวิจัย..... 24
3.2.3 สถานที่ในการวิเคราะห์ตัวอย่างของงานวิจัย..... 24
3.3 ขั้นตอนวิจัย..... 24
3.3.1 การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร..... 24
3.3.2 การเตรียมสารละลายคลอร์ไพริฟอส..... 25
3.3.3 การเตรียมพืช..... 25
3.3.4 การเตรียมภาชนะแก้วสำหรับปลูกพืช..... 25
3.3.5 การเตรียมการทดลอง..... 25
3.3.6 การปลูกพืช..... 27
3.3.7 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและเก็บเกี่ยว..... 28
3.3.8 การวิเคราะห์คลอร์ไพริฟอสในพืชและในน้ำ..... 28
3.3.8.1 ขั้นตอนการสกัดตัวอย่างพืช..... 28
3.3.8.2 ขั้นตอนการสกัดตัวอย่างน้ำ..... 29
3.4 การเตรียม Calibration curve ของคลอร์ไพริฟอส..... 29
3.5 การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพ..... 30
3.6 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี. 30
3.7 การรวบรวมและประมวลผลของข้อมูลที่ได้จากงานวิจัย..... 31
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง..... 32
4.1 การเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีของสารละลายคลอร์ไพริฟอส..... 32
4.1.1 อุณหภูมิ..... 32

หน้า

4.1.2 ความเป็นกรดด่าง..... 33
4.1.3 ออกซิเจนละลาย..... 35
4.1.4 การนำไฟฟ้า..... 35
4.1.5 ของแข็งละลายทั้งหมด..... 37
4.1.6 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด..... 38
4.2 อิทธิพลของคลอร์ไพริฟอสต่อผักตบชวา..... 39
4.3 อิทธิพลของผักตบชวาต่อการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย..... 41
4.4 ปริมาณความเข้มข้นของ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ที่พบในสารละลาย..... 42
4.5 ปริมาณคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ที่สะสมในราก ผักตบชวา..... 43
4.6 ปริมาณคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ที่สะสมในลำต้น ผักตบชวา..... 44
4.7 ปริมาณคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ที่สะสมในใบ ผักตบชวา..... 45
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 48
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 48
5.1.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของสารละลายคลอร์ไพริฟอส..... 48
5.1.2 การเจริญเติบโตของผักตบชวา..... 49
5.1.3 อิทธิผลของผักตบชวาต่อการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย..... 49
5.1.4 ปริมาณคลอร์ไพริฟอสที่สะสมในราก ลำต้น และใบ..... 49
5.1.5 ปริมาณ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ที่สะสมในราก ลำต้น และใบ..... 49
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 50
รายการอ้างอิง..... 52
ภาคผนวก..... 60
ภาคผนวก ก..... 61
ภาคผนวก ข..... 62
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 63

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สารฆ่าแมลงที่มีการนำเข้าสูงสุด 10 อันดับแรก ในปี 2552 โดยปริมาณสารสำคัญ.....	5
3.1	ตำรับการปลูกพืชทดลอง สำหรับการศึกษาการเจริญเติบโตของผักตบชวา.....	26
3.2	ตำรับการปลูกพืชทดลอง สำหรับการศึกษาดูดดึงคลอร์ไพริฟอสของผักตบชวา...	27

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กระบวนการเปลี่ยนรูปของคลอร์ไพริฟอส.....	11
2.2	กระบวนการphytoremediation.....	14
2.3	ประเภทของกระบวนการ phytoremediation.....	15
2.4	ผักตบชวา.....	21
4.1	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายที่เพาะเลี้ยงผักตบชวาและชุดควบคุม ตลอดระยะเวลา 10 วัน.....	31
4.2	การเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายที่เพาะเลี้ยงผักตบชวาและชุดควบคุม ตลอดระยะเวลา 10 วัน.....	33
4.3	การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายละลายที่เพาะเลี้ยง ผักตบชวาและชุด ควบคุมตลอดระยะเวลา 10 วัน.....	34
4.4	การเปลี่ยนแปลงค่า conductivity ของสารละลายที่เพาะเลี้ยงผักตบชวาและชุด ควบคุมตลอดระยะเวลา 10 วัน.....	35
4.5	การเปลี่ยนแปลงค่า ของแข็งละลายทั้งหมด ของสารละลายที่เพาะเลี้ยง ผักตบชวาและชุดควบคุมตลอดระยะเวลา 10 วัน.....	36
4.6	การเปลี่ยนแปลงค่า ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ของสารละลายที่เพาะเลี้ยงผัก ตบชวาและชุดควบคุมตลอดระยะเวลา 10 วัน.....	37
4.7	การเจริญเติบโตของผักตบชวาโดยการชั่งน้ำหนักสดทุกวันเป็นระยะเวลา10 วัน	38
4.8	การเจริญเติบโตของผักตบชวาโดยการวัดความยาวรากทุกวันเป็นระยะเวลา 10 วัน.....	39
4.9	ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย Hoagland'No.2 แต่ละชุดการ ทดลอง.....	40
4.10	ความเข้มข้นของ 3,5,6, trichloro-2-pyridinol ในสารละลาย Hoagland'No.2 แต่ละชุดการทดลอง.....	41
4.11	การสะสมคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6 TCP ในรากผักตบชวา.....	43
4.12	การสะสมคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6 TCP ในลำต้นผักตบชวา.....	43
4.13	การสะสมคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6 TCP ในใบผักตบชวา.....	44

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี

สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตเป็นสารที่มีการนำมาใช้มากในปัจจุบัน เพื่อทดแทนสารกลุ่มออร์แกโนคลอรีน เนื่องจากแมลงบางกลุ่มมีความต้านทานต่อสารกลุ่มออร์แกโนคลอรีน ประกอบกับการที่สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตมีความคงทนในสิ่งแวดล้อม และมีผลต่อระบบนิเวศน้อยกว่ากลุ่มออร์แกโนคลอรีน (พิชิต สกุลพราหมณ์, 2535; พาลาภ สิงหเสนี, 2540) ในปัจจุบันประเทศไทยมีการนำเข้าสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต ในปริมาณและมูลค่ามากขึ้นอยู่ใน 10 อันดับแรก ตั้งแต่ปี พ.ศ.2547 ถึง พ.ศ.2552 ได้มีการนำเข้าสารคลอร์ไพริฟอส เป็นอันดับ 1 และจากข้อมูลในปี พ.ศ. 2552 พบว่ามีการนำคลอร์ไพริฟอส เข้ามาในประเทศถึง 1,105,658 กิโลกรัม(ปริมาณสาระสำคัญ) (กองวัตถุมีพิษการเกษตร, 2552)

คลอร์ไพริฟอสเป็นสารฆ่าแมลงในกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตที่ใช้เพื่อควบคุมแมลงศัตรูพืชในการเกษตรกรรมเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดี รวมไปถึงในบ้านเรือนที่ใช้เพื่อกำจัดแมลงและสัตว์รบกวนต่างๆ ประชาชนส่วนใหญ่อาจได้รับผลของสารในส่วนที่ตกค้าง โดยการสัมผัสทางผิวหนังหรือทางอาหาร (Bradman *et al*., 2003; Lu *et al*., 2000; Quandt *et al.,* 2004) คลอร์ไพริฟอส สามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้หลายทาง เช่น การแพร่กระจายโดยลม เมื่อมีการฉีดพ่นและการชะล้าง เมื่อคลอร์ไพริฟอสปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม จะมีกระบวนการทั้งทางกายภาพ ชีวภาพ และ เคมี เข้ามาเกี่ยวข้องทำให้เกิดการเคลื่อนย้าย เปลี่ยนรูป หรือสูญหาย ซึ่งอาจเป็นการสลายตัวจากแสงโดยตรง คือ โมเลกุลของสารเมื่อได้รับแสง ก็จะดูดซับพลังงานทำให้อิเล็กตรอนอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น จนทำให้โครงสร้างโมเลกุลของสารเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้มีความซับซ้อนน้อยลง และเกิดปฏิกิริยาอื่นต่อไปหรือถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ง่ายขึ้น สารจึงเกิดการเปลี่ยนรูปหรือสูญหายไปได้ (Dureja, 1989)

การบำบัดสารฆ่าแมลงในสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้หลายวิธีทั้งวิธีทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ส่วนการนำพืชมาบำบัดสารฆ่าศัตรูพืชในสิ่งแวดล้อมเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีต้นทุนต่ำ อาศัยกระบวนการธรรมชาติ และสามารถบำบัดสารพิษประเภทสารอินทรีย์ให้มีความเป็นพิษน้อยลง หรือไม่มีความเป็นพิษ ผลการวิจัยพบว่าพืชน้ำบางชนิดมีความสามารถในการบำบัดสารฆ่าแมลงได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการบำบัดคลอร์ไพริฟอสในน้ำโดยใช้ผักตบชวา เนื่องจากผักตบชวาเป็นวัชพืชในท้องถิ่นที่เจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว มีมวลชีวภาพมากและพบอย่างแพร่หลายในแหล่งน้ำทั่วไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของผักตบชวาในการบำบัดคลอร์ไพริฟอสที่ปนเปื้อนในน้ำ
2. เพื่อศึกษาปริมาณคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6-trichloro-2-pyridinol ที่สะสมในราก ลำต้น และใบของผักตบชวา

1.3 สมมติฐาน

1. ผักตบชวาเป็นพืชที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดคลอร์ไพริฟอสที่ปนเปื้อนในน้ำ
2. เมื่อผักตบชวาดูดดึงคลอร์ไพริฟอสเข้าไปในต้นจะเกิดกระบวนการเมทาบอลิซึมส่งผลให้คลอร์ไพริฟอสเปลี่ยนรูปเป็น 3,5,6-trichloro-2-pyridinol และสะสมอยู่ในส่วนราก ลำต้น และใบของผักตบชวาในปริมาณที่ต่างกัน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดดึงคลอร์ไพริฟอสที่ปนเปื้อนในน้ำของผักตบชวา โดยปลูกพืชในน้ำที่มีความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสเท่ากับ 0.1, 0.5 และ1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และวิเคราะห์หาปริมาณคลอร์ไพริฟอสในน้ำ และในพืชทุก 1 วัน เป็นเวลา 10 วัน
2. ศึกษาประสิทธิภาพการเปลี่ยนคลอร์ไพริฟอสไปเป็น 3,5,6-trichloro-2-pyridinol โดยปลูกพืชในน้ำที่มีความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสเท่ากับ 0.1, 0.5 และ1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร วิเคราะห์หาปริมาณ 3,5,6-trichloro-2-pyridinol ในน้ำ และในพืชทุก 1 วัน เป็นเวลา 10 วัน
3. พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดในน้ำทุกวัน คือ ความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ ออกซิเจนละลาย การนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ส่วนในพืช คือ มวลชีวภาพ ความยาวราก ลำต้น และใบ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เป็นข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับประสิทธิภาพของผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนคลอร์ไพริฟอส
2. ทราบถึงระยะเวลาในการเปลี่ยนรูปของคลอร์ไพริฟอสไปเป็น 3,5,6-trichloro-2-pyridinol
3. ทราบถึงปริมาณคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6-trichloro-2-pyridinol ที่สะสมในส่วนราก ลำต้น และใบของผักตบชวา เพื่อนำมาใช้กำหนดระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผักตบชวาที่เหมาะสม

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คลอร์ไพริฟอส

คลอร์ไพริฟอสบริสุทธิ์มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว กลิ่นคล้าย mercaptan ละลายได้ง่ายในตัวทำละลายอินทรีย์ อัตราการสลายตัวของคลอร์ไพริฟอสจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH และอุณหภูมิของตัวทำละลายสูงขึ้น อัตราการสลายตัวในน้ำของคลอร์ไพริฟอสจะลดลง 2.5 ถึง 3 เท่า เมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลง 10 องศาเซลเซียส ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่เป็นกรด คลอร์ไพริฟอสมีอัตราการสลายตัวคงที่ แต่อัตราการสลายตัวจะเพิ่มขึ้นในน้ำที่มีความเป็นด่าง โดยในน้ำที่มี pH 7 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส คลอร์ไพริฟอสมีค่าครึ่งชีวิต (half-life) 35-78 วัน (Howard, 1989) ส่วนคลอร์ไพริฟอสในน้ำทั่วไปจะมีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 80-100 วัน (TOXNET, 1986)

2.1.1 ความสำคัญของคลอร์ไพริฟอส

คลอร์ไพริฟอสเป็นสารฆ่าแมลงที่มีฤทธิ์กว้างขวาง ใช้ควบคุมแมลงในกิจกรรมต่างๆอาทิ ด้านเกษตรกรรม สวนไม้ดอกไม้ประดับ ด้านอุตสาหกรรม และด้านสาธารณสุข เป็นต้น มีการใช้คลอร์ไพริฟอสในรูปเม็ดเพื่อควบคุมแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในพื้นดินของไร่ข้าวโพด และถั่วหรือการฉีดพ่นคลอร์ไพริฟอสแบบน้ำเข้มข้นเพื่อควบคุมยุง หรือกำจัดแมลงที่ทำลายไม้ สำหรับภายในอาคารมีการใช้คลอร์ไพริฟอสในการควบคุมแมลงตามบ้านเรือนเช่น แมลงสาบหรือไร เป็นต้น (Racke, 1992) ตลอดจนการควบคุมตัวอ่อนในแหล่งน้ำบางชนิด (Gallo and Lawryk, 1991)

จากข้อมูลการนำเข้าสารฆ่าแมลงในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2552 พบว่าคลอร์ไพริฟอส (*O*,*O*-diethyl *O*-3,5,6-trichloro-2-pyridyl phosphorothioate) เป็นสารที่ได้มีการนำเข้าสูงสุดเป็นอันดับหนึ่ง (กองวัตถุมีพิษการเกษตร, 2552) คลอร์ไพริฟอสจัดเป็นวัตถุอันตรายที่มีพิษ (วัตถุอันตรายชนิดที่ 3) ดังนั้นจึงต้องมีความระวังอย่างมากในการใช้สารดังกล่าว โดยผู้ใช้ต้องปฏิบัติตนให้ถูกต้องตามหลักเกณฑ์ของการป้องกันอันตรายจากสารเคมีทางการเกษตร ไม่ว่าจะเป็นสวมถุงมือ หน้ากาก แต่งกายให้รัดกุม ฉีดพ่นเหนือลม ระวังไม่ให้สารเข้าตา จมูกและปาก ชำระร่างกายให้สะอาดทุกครั้งหลังใช้สาร ห้ามคนหรือสัตว์เข้าไปในบริเวณที่ใช้สารอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เป็นต้น สำหรับระยะปลอดภัยหลังการใช้สาร ต้องเว้นระยะเวลาก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังพ่นสารครั้งสุดท้ายอย่างน้อย 7-14 วัน

ตารางที่ 2.1 สารฆ่าแมลงที่มีการนำเข้าสูงสุด 10 อันดับแรก ในปี 2552 โดยปริมาณสารสำคัญ

ลำดับที่	ชื่อสามัญ	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)	สารสำคัญ (กก.)
1	chlorpyrifos	1,256,037.94	210,213,096.78	1,105,658.18
2	fenobucarb	1,105,200.00	109,993,839.00	1,055,330.00
3	cartap hydrochloride	1,370,312.00	270,983,536.04	755,540.00
4	cypermethrin	748,390.00	239,246,605.00	677,219.75
5	methomyl	1,145,450.00	303,928,405.20	662,338.00
6	buprofezin	708,400.00	152,473,685.55	420,634.00
7	dichlorvos	350,314.00	29,130,169.00	302,229.50
8	carbofuran	4,450,400.00	160,402,614.00	274,906.00
9	profenofos	351,586.00	74,241,021.00	269,663.00
10	abamectin	4,207,084.50	623,335,968.84	104,556.98

ที่มา: กองวัตถุมีพิษการเกษตร (2552)

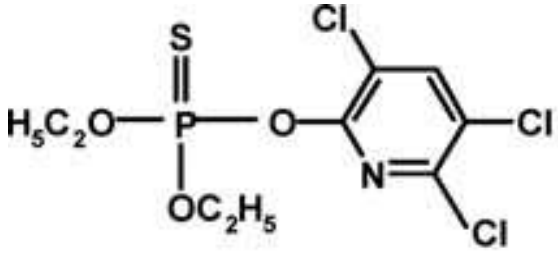
2.1.2 **ลักษณะทางเคมีของคลอร์ไพริฟอส**

เป็นสารฆ่าแมลงที่นิยมใช้ในภาคการเกษตรและใช้ป้องกันกำจัดแมลงและปลวกในบ้านเรือนจัดเป็นสารในกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต มีองค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพเคมีประกอบด้วย

ชื่อทางเคมี *O*,*O*-diethyl *O*-3,5,6-trichloro-2-pyridyl phosphorothioate
O,*O*-diethyl *O*-3,5,6-trichloro-2-pyridinyl phosphorothioate
(systematic name) : phosphorothioic acid, *O*,*O*-diethyl *O*-(3,5,6-trichloro-2-pyridinyl) ester

สูตรเคมี $C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$

สูตรโครงสร้าง



CAS registry number : 2921-88-2

ชื่อสามัญ chlorpyriphos

ชื่อทางการค้า Dursban, Lorsban, piridane, Silrifos, Talon, Zidil

ชื่ออื่นๆ Dursbam, Phosphorthioic acid, *O*-diethyl *O*-3,5,6-trichloro-2-pyridyl, chlorpyrifos, chlorpyriphos-ethyl, chlorpyriphos-ethyl

อนุพันธ์สำคัญ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี (physical and chemical properties)

สถานะทางกายภาพ คลอร์ไพริฟอสบริสุทธิ์มีลักษณะเป็นของแข็ง เกล็ดสีขาว กลิ่นอ่อนคล้าย mercaptan

น้ำหนักโมเลกุล 350.6 กรัมต่อโมล

จุดเดือด 162 องศาเซลเซียส

จุดหลอมเหลว 42.5-43 องศาเซลเซียส

ความดันไอ ที่ 25 องศาเซลเซียส: 2.5×10^{-3} ปาสคาล

การละลาย ละลายน้ำในสารละลายอินทรีย์

ละลายในออกเทน (790 กรัมต่อกิโลกรัม)

ละลายในเมทานอล (430 กรัมต่อกิโลกรัม)

ละลายในน้ำได้ต่ำมาก (0.0002 กรัมต่อน้ำ 100 กรัม หรือ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร)ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังละลายได้ง่ายในตัวทำละลายอินทรีย์ตัวอื่นๆ

ความเสถียร คลอร์ไพริฟอสมีความเสถียรและเก็บไว้ได้ในสภาพปกติ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH และอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น มีค่าครึ่งชีวิต (half-life) ใน aqueous methabolic solution ที่ pH 6 เท่ากับ 1,930 วัน ที่ pH 9.96 เท่ากับ 7.2 วัน และมีค่าครึ่งชีวิต 1.5 วันในน้ำที่ pH 8 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ACGIH, 1999; Gallo and Lawryk, 1991)

แมลงกลุ่มเป้าหมาย กลุ่มออร์ธอพเทอรา (ตั๊กแตน จิ้งหรีด และแมลงสาบ) ดิพเทอรา (แมลงวัน) โฮมอพเทอรา(เพลี้ยจักจั่น เพลี้ยกระโดด เพลี้ยหอย เพลี้ยแป้ง) โคลิออพเทอรา (ด้วง) เลพิดอพเทอรา (ผีเสื้อ) ไฮเมนนอพเทอรา (ผึ้ง ต่อ แตน) และเฮมิพเทอรา (มวน)

2.1.3 **ความเป็นพิษ**

1) กลไกการออกฤทธิ์

คลอร์ไพริฟอสมีความเป็นพิษในระดับปานกลางต่อมนุษย์ (USEPA, 1989) คลอร์ไพริฟอส จะส่งผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ระบบหัวใจ หลอดเลือด และระบบทางเดินหายใจ เมื่อสัมผัสถูกผิวหนังและดวงตาอาจส่งผลทำให้เกิดการระคายเคือง (OHS Inc, 1991)

2) ความเป็นพิษ

การได้รับพิษทางปาก ผิวหนัง และสูดดม จะทำให้มีอาการมึนงง ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย กระวนกระวาย อาการสั่นที่ลิ้นและเปลือกตา คลื่นไส้ อาเจียน น้ำลายและเหงื่อออกมาก น้ำตาไหล ปวดท้อง ท้องเสีย กล้ามเนื้อเกร็ง ความเป็นพิษเฉียบพลันทางการกิน (acute oral) เมื่อทดสอบกับหนูแรท (rat) พบว่ามีค่า LD_{50} เท่ากับ 135-163 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในหนูตะเภาเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในไก่เท่ากับ 32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนความเป็นพิษเฉียบพลันโดยการสัมผัส (acute dermal) ในกระต่ายมีค่า LD_{50} เท่ากับ 2000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Dow Chemical Company, 1986) การได้รับคลอร์ไพริฟอสปริมาณมากจะทำให้มีอาการสับสน ม่านตาหรี่ ตาพร่ามัว ปอดบวม หายใจลำบาก ขาดออกซิเจน ตัวเขียวคล้ำ สูญเสียการบังคับกล้ามเนื้อหูรูด หมดสติ ชักและเสียชีวิตเนื่องจากระบบหายใจล้มเหลว การได้รับพิษสะสม จะทำให้ระบบประสาทถูกทำลายและกล้ามเนื้ออ่อนเปลี้ย

ความเป็นพิษเฉียบพลัน

อาการเฉียบพลันจากการสัมผัสกับสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต ผู้ได้รับสารพิษจะมีอาการ มึนงง รู้สึกตัวชา ปวดหัว เวียนหัว ตัวสั่น คลื่นไส้ ปวดท้อง เหงื่อออกมาก มองเห็นภาพซ้อน หายใจติดขัดลำบาก มีผลต่อทางเดินหายใจ เกิดภาวะซึมเศร้า และการเต้นของหัวใจช้าลง หมดสติ หากได้รับสารในปริมาณที่มาก อาจทำให้เสียชีวิต คนที่เป็นโรคระบบทางเดินหายใจ เมื่อได้รับสารอาจมีอาการเร็วขึ้น การสัมผัสคลอร์ไพริฟอสในปริมาณที่น้อย เมื่อรับเป็นระยะเวลาต่อเนื่องอาจส่งผลกระทบต่อตับ สารออร์แกโนฟอสเฟตบางพวกอาจไม่ส่งผลกระทบทันทีแต่จะส่งผลหลังจากที่ได้รับสารไปแล้ว 1-4 สัปดาห์ คือ รู้สึกมึนงง ชา เป็นตะคริว แขนขาอ่อนแรง และ

เป็นอัมพาต เมื่อสูดดมคลอร์ไพริฟอสเข้าไปจะมีผลในการลดระดับเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส (acetylcholinesterase) ในเลือดให้ต่ำลง จากการทดสอบกับหนูแรท โดยการกินพบว่า LD_{50} มีค่าเท่ากับ 95-270 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในกระต่ายมีค่าเท่ากับ 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในไก่มีค่าเท่ากับ 32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในหนูตะเภามีค่าเท่ากับ 500-504 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในแกะมีค่าเท่ากับ 800 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Berg, 1986; Gosselin *et al*., 1984; Hartley and Kidd, 1983; OHS Inc, 1991)

ความเป็นพิษเรื้อรัง

การสัมผัสสารในระยะเวลานาน อาจมีผลกระทบไม่ต่างกับการสัมผัสและได้รับสารพิษแบบเฉียบพลัน การศึกษาในมนุษย์พบว่า คนงานที่สัมผัสสารแบบต่อเนื่องในความเข้มข้นที่สูงอาจทำให้สูญเสียความจำ หงุดหงิดรุนแรง สับสน ปวดหัว มีปัญหาการพูดช้า ฝันร้าย การเดินละเมอ และอาการง่วงนอนหรือนอนไม่หลับ นอกจากนั้นยังมีรายงานว่าในบางรายอาจมีอาการปวดหัว คล้ายเป็นไข้หวัดใหญ่ คลื่นไส้ ร่างกายอ่อนเพลีย มีอาการเบื่ออาหารและวิงเวียนศีรษะ (OHS Inc, 1991) ผลการศึกษาในสุนัขที่ได้รับคลอร์ไพริฟอสเป็นเวลา 2 ปีพบว่า น้ำหนักตับของสุนัขเพิ่มขึ้นและเกิดขึ้นที่ความเข้มข้น 3.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน การศึกษาในหนูแรท โดยการเติมคลอร์ไพริฟอสในอาหารในปริมาณ 1 และ3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน พบว่าจะมีผลยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสในระดับปานกลาง อย่างไรก็ตามเมื่อหยุดให้อาหารที่มีคลอร์ไพริฟอส ระดับของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสจะกลับมาเป็นปกติ (USEPA, 1989) การศึกษาในมนุษย์พบว่าคนงานที่ได้รับไอของคลอร์ไพริฟอสจะมีการเปลี่ยนแปลงของระดับเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรสในพลาสม่าและเซลล์เม็ดเลือดแดง ในอาสาสมัครที่กินคลอร์ไพริฟอสปริมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์พบว่า จะมีการยับยั้งปริมาณอะซิติลโคลีนเอสเตอเรสในพลาสม่าอย่างมีนัยสำคัญ (ACGIH, 1986)

ผลต่อระบบสืบพันธุ์

หลักฐานในปัจจุบันแสดงให้เห็นว่า คลอร์ไพริฟอสไม่มีผลกระทบในเชิงลบต่อระบบสืบพันธุ์ ผลการศึกษาในหนูแรท ที่ได้รับคลอร์ไพริฟอสในอาหารในปริมาณ 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน พบว่า ไม่มีผลต่อระบบสืบพันธุ์ของหนูในรุ่นที่ 3 ของการทดลอง (ACGIH, 1986; USEPA, 1989)

ผลกระทบต่อทารกในครรภ์

การศึกษาพบว่า คลอร์ไพริฟอสไม่มีผลกระทบต่อทารกในครรภ์ เมื่อให้หนูแรท ที่ตั้งครรภ์ได้รับคลอร์ไพริฟอสปริมาณ 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน เป็นระยะเวลา 10 วัน ลูกที่เกิดมาไม่มีความผิดปกติ แต่เมื่อให้หนูที่ตั้งครรภ์ได้รับคลอร์ไพริฟอสปริมาณ 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน เป็นเวลา 10 วัน พบว่า ลูกในครรภ์มีการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อเล็กน้อยและความยาวของลำตัวลดลง (Shepard, 1986; USEPA, 1989)

ผลกระทบในเชิงก่อให้เกิดการกลายพันธุ์

ยังไม่มีหลักฐานยืนยันว่าคลอร์ไพริฟอสเป็นสารทำให้เกิดการกลายพันธุ์ (NIOSH, 1986)

ผลกระทบในเชิงที่เป็นสารก่อมะเร็ง

ยังไม่มีหลักฐานยืนยันว่าคลอร์ไพริฟอสเป็นสารก่อมะเร็ง การศึกษาในหนูแรท ที่ได้รับคลอร์ไพริฟอสในปริมาณ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน เป็นระยะเวลา 104 สัปดาห์ พบว่า การเกิดมะเร็งในหนูแรทไม่เพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาในหนูไมซ์ (mice) ที่ได้รับคลอร์ไพริฟอส 2.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน เป็นเวลา 105 สัปดาห์ (USEPA, 1989)

ความเป็นพิษต่ออวัยวะ

คลอร์ไพริฟอส มีผลกระทบต่อระบบประสาทโดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่จำเป็นต่อการทำงานของระบบประสาท

การสะสมในมนุษย์และสัตว์

เมื่อได้รับคลอร์ไพริฟอสผ่านทางการกิน หรือได้รับไอระเหยทางปอดหรือได้รับผ่านทางผิวหนัง คลอร์ไพริฟอสจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดทันที การศึกษาในมนุษย์พบว่าคลอร์ไพริฟอสและเมทาบอไลท์ สามารถถูกกำจัดอย่างรวดเร็ว การได้รับคลอร์ไพริฟอสทางการกิน 1 ครั้ง ค่าครึ่งชีวิตของคลอร์ไพริฟอสในกระแสเลือดจะมีค่าประมาณ 1 วัน การกำจัดคลอร์ไพริฟอสในเบื้องต้นจะเกิดขึ้นที่ไต การศึกษาในหนูแรท โดยการให้คลอร์ไพริฟอสทางการกินพบว่า 90 เปอร์เซนต์ของคลอร์ไพริฟอสจะถูกกำจัดออกทางปัสสาวะและอีก 10 เปอร์เซนต์ถูกกำจัดทางอุจจาระ (Hartley and Kidd, 1983) การศึกษาในหนูแรท สุนัข และสัตว์ชนิดอื่นพบว่าคลอร์ไพริฟอสจะลดความเป็นพิษได้อย่างรวดเร็วในร่างกายของสัตว์ (Worthing, 1983) ผลการศึกษาในปัสสาวะของหนูแรท ที่ได้รับคลอร์ไพริฟอส ทางการกิน 1 ครั้งพบว่า เมทาบอไลท์ที่สำคัญคือ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ซึ่ง3,5,6 trichloro-2-pyridinol ไม่มีผลต่อการยับยั้งอะซิติลโคลีนเอสเทอเรทและไม่เป็นสารที่ทำให้

เกิดการกลายพันธุ์ (USEPA, 1989) ผลการศึกษาในแม่วัวที่ได้รับคลอร์ไพริฟอสพบว่า ในน้ำนมของแม่วัวจะมีคลอร์ไพริฟอสปนเปื้อน หลังจากที่ได้รับคลอร์ไพริฟอสเป็นเวลา 4 วัน ซึ่งความเข้มข้นสูงสุดของคลอร์ไพริฟอสในน้ำนมมีค่าเท่ากับ 0.304 มิลลิกรัมต่อลิตร (Hayes and Laws, 1990)

ผลกระทบทางนิเวศวิทยา

ผลกระทบต่อนก

คลอร์ไพริฟอส เป็นสารที่มีพิษปานกลางถึงมีพิษมากต่อนก (USEPA, 1989) ค่า LD_{50} ที่ให้ทางการกินในไก่ฟ้ามีค่าเท่ากับ 8.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในนกเป็ดน้ำมีค่าเท่ากับ 112 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในนกกระจอกบ้านมีค่าเท่ากับ 21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในไก่มีค่าเท่ากับ 32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Hartley and Kidd, 1983; TOXNET, 1986; USEPA, 1989) เมื่อให้คลอร์ไพริฟอสในรูปผง ค่า LD_{50} ในนกกระทาพันธุ์ bobwhite จะมีค่าเท่ากับ 108 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (USEPA, 1989) ผลการศึกษาในนกเป็ดน้ำพบว่าเมื่อให้คลอร์ไพริฟอสความเข้มข้น 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในนกเป็ดน้ำจะมีปริมาณไข่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อให้คลอร์ไพริฟอสความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร แก่แม่ไก่ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก จำนวนและคุณภาพของไข่ (USEPA, 1989)

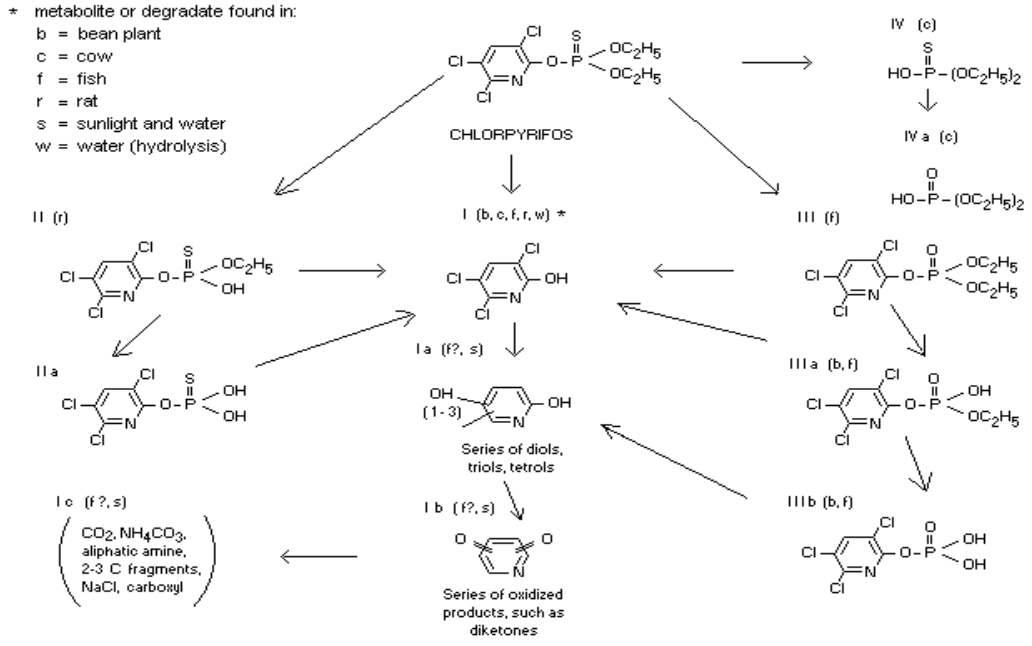
ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

คลอร์ไพริฟอสมีความเป็นพิษอย่างมากต่อปลาน้ำจืด สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในน้ำและสิ่งมีชีวิตในทะเล (USEPA, 1989) การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันในปลาที่ได้รับคลอร์ไพริฟอสในระดับความเข้มข้นที่ต่ำมากพบว่าจะเกิดการยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรท (NYCRR, 1986) การใช้คลอร์ไพริฟอสที่ระดับความเข้มข้น 0.01 ปอนด์ต่อเอเคอร์ จะทำให้ปลาและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในน้ำตายได้ (USEPA, 1989) ความเป็นของคลอร์ไพริฟอสมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของน้ำ ค่า LC_{50} ของคลอร์ไพริฟอส ที่ 96 ชั่วโมง เมื่อทดสอบกับ mature rainbow trout มีค่าเท่ากับ 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนใน lake trout มีค่าเท่ากับ 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ในปลาทองมีค่าเท่ากับ 0.806 มิลลิกรัมต่อลิตร (Meister, 1992) ใน bluegill มีค่าเท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ในปลา minnow มีค่าเท่ากับ 0.331 มิลลิกรัมต่อลิตร (USEPA, 1986) การศึกษาในปลา minnow ที่ได้รับคลอร์ไพริฟอสเป็นระยะเวลา 200 วัน พบว่า ลูกในรุ่นแรกจะมีอัตราการรอดชีวิตลดลงและมีการเจริญเติบโตลดลง นอกจากนั้น ลูกที่ออกมายังมีลักษณะผิดปกติเพิ่มขึ้น คลอร์ไพริฟอสสามารถสะสมในเนื้อเยื่อ

สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำ (TOXNET, 1986) ในปลาที่ได้รับคลอร์ไพริฟอสอย่างต่อเนื่องจะมี bioconcentration อยู่ในช่วง 58-5,100 เนื่องจากคลอร์ไพริฟอสจะมีความคงทนเมื่ออยู่ในดินตะกอน ดังนั้น คลอร์ไพริฟอสจึงเป็นสารที่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ซึ่งพบว่าสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กจะได้รับผลกระทบมากกว่าสิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่

2.1.4 **การเปลี่ยนรูป** (transformation)

คลอร์ไพริฟอสสามารถเปลี่ยนแปลงอยู่ในรูปอื่นได้อย่างช้าๆ (Schimmel, 1983) ความคงทนต่อการสลายตัวของคลอร์ไพริฟอสขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้น และโครงสร้างของคลอร์ไพริฟอส (USEPA, 1986) การแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำพบว่าอัตราการสลายตัว ร้อยละ 50 อยู่ในช่วง 0-6 ปี การแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำของคลอร์ไพริฟอส เป็นปัจจัยสำคัญในการย่อยสลายคลอร์ไพริฟอสในน้ำให้ได้ 3,5,6-trichloro-2-pyridinol (UNEP, 1993) การสลายตัวโดยแสงเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีผลต่อความคงทนของคลอร์ไพริฟอส บนผิวดินและน้ำ คลอร์ไพริฟอสสลายตัวได้โดยแสงอัลตราไวโอเลต และแสงแดด (ศิวาภรณ์ สกุลเที่ยงตรง, 2527) ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ 3,5,6-trichloro-2-pyridinol (TCP) และ diethythiophosphate (Smith, 1968) ส่วนการเผาผลาญของ chlorpyrifos ในพืช (Smith *et al*., 1967a, 1967b) พบว่าการเกิด oxidative และการย่อยสลายนั้น ส่งผลให้เกิด des-mono-ethylchloropyrifos, desethyl chlorpyrifos, 3,5,6-trichloro-2-pyridinol (TCP) และสารจะเข้าไปรวมตัวกับเซลล์ของพืชให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนียและน้ำ (UNEP,1993)



ภาพที่ 2.1 กระบวนการเปลี่ยนรูปของคลอร์ไพริฟอส

ที่มา: http://www.inchem.org/documents/jmpr/jmpmono/

การย่อยสลายของคลอร์ไพริฟอสในดินและน้ำใต้ดิน

คลอร์ไพริฟอสมีความคงทนปานกลางในดิน ค่าครึ่งชีวิตคลอร์ไพริฟอสในดินมีค่าอยู่ในช่วง 60-120 วัน แต่ในบางกรณีอาจมีค่าในช่วง 2 สัปดาห์ถึงมากกว่า 1 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของดิน สภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม (Hartley and Kidd, 1983; Howard, 1989) ค่าครึ่งชีวิตของคลอร์ไพริฟอสในดินเจ็ดชนิดที่มีเนื้อดินแบบดินทรายปนดินร่วนถึงดินเหนียว มีค่าอยู่ในช่วง 11-141 วัน เมื่อดินมีค่า pH ระหว่าง 5.4-7.4 เมื่อดินมีค่า pH มากขึ้นคลอร์ไพริฟอสจะมีความคงทนลดลง ในดินที่มีสภาพไร้ออกซิเจนค่าครึ่งชีวิตของคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนจะมีค่าเท่ากับ 15 วัน ส่วนในดินเหนียว จะมีค่าเท่ากับ 58 วัน คลอร์ไพริฟอสที่ดินดูดยึดไว้สามารถเกิดการย่อยสลายได้โดยรังสียูวี การแยกสลายด้วยน้ำและสิ่งมีชีวิตในดิน เมื่อเติมคลอร์ไพริฟอสลงไปในดินที่มีความชื้น ค่าครึ่งชีวิตของการระเหยของคลอร์ไพริฟอสมีค่าเท่ากับ 45-163 ชั่วโมง และพบว่า 62-89 เปอร์เซนต์ของปริมาณคลอร์ไพริฟอส จะยังคงเหลืออยู่ในดิน หลังจากผ่านไป 36 ชั่วโมง (Racke, 1992) ผลการศึกษาพบว่าคลอร์ไพริฟอสจะถูกดินดูดยึดไว้อย่างเหนียวแน่นและจะไม่ละลายออกมาอยู่ในน้ำทันที ดังนั้นคลอร์ไพริฟอสจึงไม่เคลื่อนที่ในดินและมักจะไม่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ส่วนเมทาบอไลท์ของคลอร์ไพริฟอสคือ 3,5,6-trichloro-2-pyridinol จะถูกดินดูดยึดไว้ด้วยแรงที่อ่อน จึงสามารถเคลื่อนที่ได้ปานกลางและมีความคงทนในดิน (USEPA, 1989)

การย่อยสลายในน้ำ

ความเข้มข้นและความคงทนของคลอร์ไพริฟอสในน้ำขึ้นอยู่กับรูปของคลอร์ไพริฟอส เช่น เมื่อมีการปลดปล่อยคลอร์ไพริฟอสในรูปผงลงไปในน้ำ จะทำให้ระดับคลอร์ไพริฟอสเพิ่มขึ้นอย่างมาก อย่างไรก็ตามตะกอนดินและอินทรียวัตถุสามารถดูดซับคลอร์ไพริฟอสในน้ำได้ จึงทำให้ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสลดลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อคลอร์ไพริฟอสอยู่ในรูปของเม็ด จะทำให้ความเข้มข้นของสารในน้ำเพิ่มขึ้นช้าๆ (USEPA, 1986) เส้นทางของการสูญเสียคลอร์ไพริฟอสจากน้ำคือการระเหย ค่าครึ่งชีวิตของการระเหยของคลอร์ไพริฟอสในน้ำบ่อ มีค่าอยู่ในช่วง 3.5-20 วัน (Racke, 1992) ในกลางฤดูร้อนของสหรัฐอเมริกาค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวด้วยแสงของคลอร์ไพริฟอสมีค่าเท่ากับ 3-4 สัปดาห์ (Howard, 1989) อัตราการแยกสลายด้วยน้ำเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และจะลดลง 2.5-3 เท่า ทุกๆ10 องศาเซลเซียสของอุณหภูมิที่ลดลง การแยกสลายด้วยน้ำของคลอร์ไพริฟอสมีค่าคงที่ในน้ำที่มีค่าเป็นกรดถึงปานกลางแต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำมีความเป็นด่างมากขึ้น ผลการศึกษาพบว่าที่ pH 7 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่าครึ่งชีวิตของคลอร์ไพริฟอสจะอยู่ในช่วง 35-78 วัน (Howard, 1989)

การย่อยสลายในพืช

คลอร์ไพริฟอสอาจจะมีความเป็นพิษต่อพืชบางชนิด เช่น ผักกาดหอม (McEwen and Stephenson, 1979) คลอร์ไพริฟอสจะยังคงเหลืออยู่ที่บริเวณผิวนอกของพืช เป็นระยะเวลา 10 -14 วัน ผลการศึกษาพบว่าคลอร์ไพริฟอสและเมทาบอไลท์ที่เกิดขึ้น สามารถสะสมอยู่ในพืชได้ (Thomson, 1982; Harding, 1979)

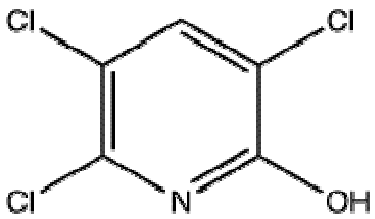
2.2 3,5,6 trichloro-2-pyridinol

2.2.1 **ลักษณะทางเคมีของ** 3,5,6 trichloro-2-pyridinol (TCP)

ชื่อทางเคมี 3,5,6-trichloro-2(1H)-pyridinone, 3,5,6-trichloro-2-pyridinone, 2,3,5-trichloro-6-hydroxypyridine, 2-hydroxy-3,5,6-trichloropyridine, TCP

สูตรเคมี $C_5H_2Cl_3NO$

สูตรโครงสร้าง



CAS registry number : 6515-38-4

ชื่อสามัญ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ,TCP

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี (physical and chemical properties)

สถานะทางกายภาพ เป็นผงฝุ่นสีขาว

น้ำหนักโมเลกุล 198.43 กรัมต่อโมล

จุดหลอมเหลว 172-174 องศาเซลเซียส

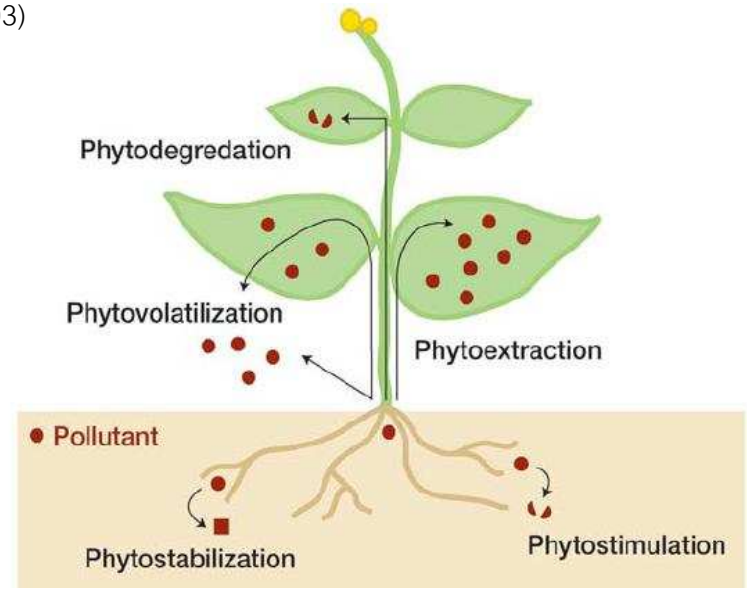
ความเป็นพิษของ 3,5,6-trichloro-pyridinol

การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของ 3,5,6-trichloro-pyridinol ในหนูแรท และหนูไมซ์ พบว่า จะมีผลทำให้การหลั่งของต่อมน้ำลายผิดปกติ การหายใจติดขัดและตาโปน (Gerbig and Emerson, 1970a,b)

2.3 การบำบัดโดยพืช (phytoremediation)

2.3.1 คำจำกัดความของการบำบัดโดยใช้พืช

การบำบัดโดยใช้พืช (phytoremediation) มาจากรากศัพท์คำว่า “Phyto” ในภาษากรีกที่หมายถึง “พืช” รวมกับคำว่า “Remedium” ในภาษาละตินที่หมายถึง “การแก้ไขหรือการปัดเป่าสิ่งชั่วร้าย” (Cunningham *et al.*,1996) เมื่อนำทั้งสองคำมารวมกัน หมายถึง การนำพืชมาใช้ในการบำบัดดิน โคลน กากตะกอน หรือน้ำ ที่เกิดจากการปนเปื้อนโดยสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ (International Environmental Technology Center, 2009) การบำบัดโดยใช้พืชอาศัยกระบวนการดูดน้ำและแร่ธาตุอาหารผ่านทางรากของพืช และกระบวนการคายน้ำทางใบของพืชในการเปลี่ยนสารปนเปื้อนเหล่านั้นให้อยู่ในรูปที่ไม่มีความเป็นพิษหรือมีความเป็นพิษลดลง ซึ่งกลไกเหล่านี้ทำหน้าที่เปลี่ยนรูปสารประกอบอินทรีย์ หรือดูดซับและสะสมจุลธาตุที่เป็นพิษ บางครั้งอาจเรียกกระบวนการ phytoremediation นี้ว่า green remediation (McCutcheon and Schnoor, 2003)

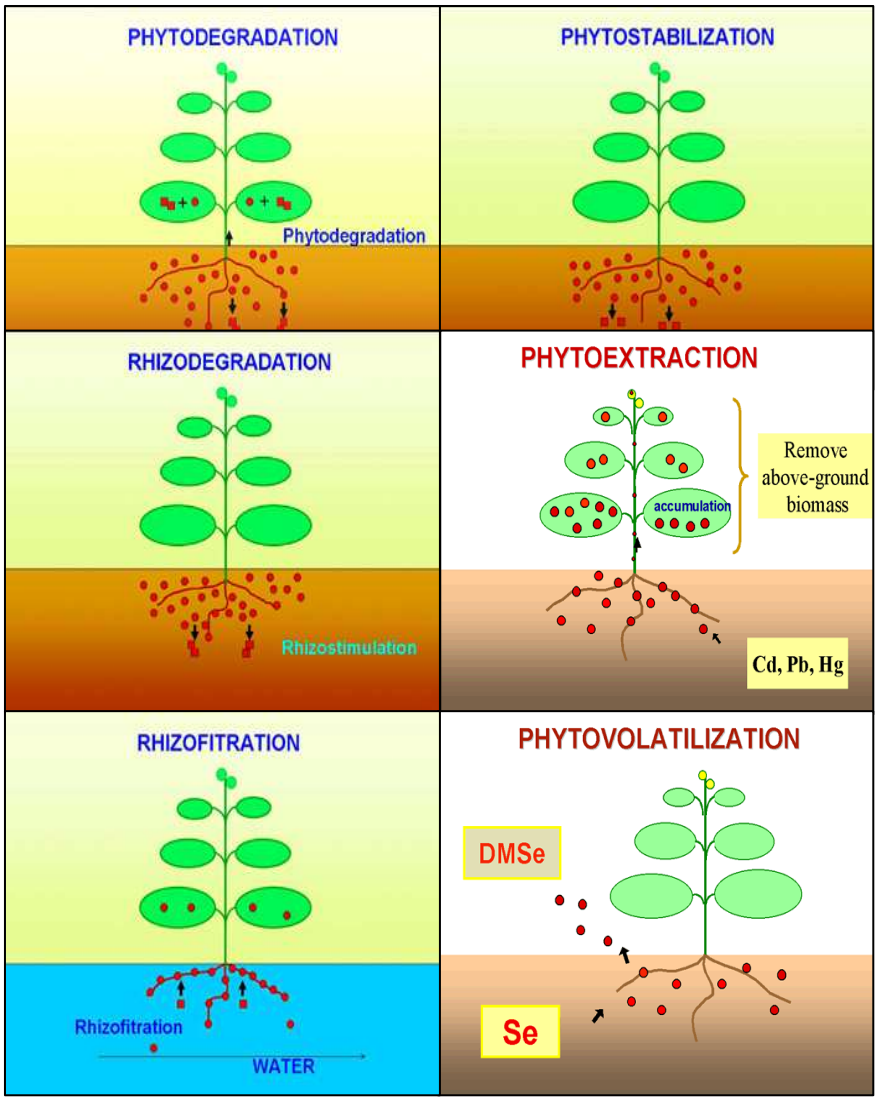


รูปที่2.2 กระบวนการ phytoremediation

ที่มา: http://t2.gstatic.com/images

2.3.2 ประเภทของ phytoremediation

การบำบัดโดยใช้พืชนั้นเป็นเทคนิคที่ใช้พืชในการบำบัดสารพิษต่างๆ ที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยที่จะคัดเลือกพืชที่มีคุณสมบัติเฉพาะมาใช้ในการบำบัดสารปนเปื้อนแต่ละชนิด โดยพืชที่นำมาใช้มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาใช้บำบัดสารปนเปื้อนในแต่ละกรณี ดังนั้นจึงสามารถแยกชนิดของการบำบัดโดยใช้พืชตามความสามารถของพืชที่จะนำมาใช้ในการบำบัดสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 กระบวนการหลัก ได้แก่



รูปที่ 2.3 ประเภทของกระบวนการ phytoremediation

ที่มา: http://rydberg.biology.colostate.edu/Phytoremediation/

1) phytoaccumulation หรือเรียกอีกอย่างว่า phytoextraction กระบวนการกำจัดสารมลพิษเช่น สารประกอบเคมีอินทรีย์ โลหะหนัก และสารกัมมันตรังสี (radioactive) ฯลฯ จากน้ำหรือดินโดยการดูดซึม (uptake) การลำเลียง (transport) การเคลื่อนย้าย (translocation) สารมลพิษนั้นเข้าสู่ทางรากและสะสม (storage) อยู่ในส่วนต่างๆของพืช เช่น ราก ลำต้น ใบ และกิ่งก้านต่างๆ สำหรับในกรณีนี้พืชจะสะสมสารมลพิษเหล่านี้โดยไม่มีการย่อยสลายต่อไป ซึ่งอาจเกิดจากการที่พืชนั้นๆขาดกลไกหรือวิถีการย่อยสลาย (degradation mechanism or pathway) ที่เหมาะสมต่อสารมลพิษเหล่านี้ จากนั้นพืชที่มีการสะสมสารมลพิษในส่วนต่างๆ เหล่านี้ จะต้องถูกนำไปบำบัดด้วยวิธีการต่างๆ ต่อไป ได้แก่ การนำไปเผา การฝังกลบหรือการย่อยสลายโดยใช้จุลินทรีย์เป็นต้น

2) phytostimulation คือการใช้พืชในการบำบัดสารมลพิษต่างๆ นอกเหนือจากกระบวนการ phytoextraction ที่พืชมีกลไกการสะสม การเปลี่ยนรูป และ/หรือการย่อยสลายสารมลพิษเพื่อให้สารนั้นมีความเป็นพิษน้อยลงแล้วนั้น พืชสามารถทำงานร่วมกับจุลินทรีย์ในดินที่อาศัยอยู่บริเวณรากพืชเพื่อเร่งการย่อยสลายสารมลพิษเหล่านี้ กระบวนการเหล่านี้เรียกว่า phytostimulation หรือเรียกว่า plant-assisted bioremediation หรือ rhizodegradation (GWRATC, 1997; ITRC, 1999; USEPA, 2000)

3) phytovolatilization คือการเลือกใช้พืชที่มีความสามารถในการเป็นสื่อที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายสารปนเปื้อนที่มีอยู่ในดินหรือในน้ำออกไปสู่อากาศ phytovolatilization จะเกิดขึ้นตามการเจริญเติบโตของพืชยืนต้น และพืชชนิดอื่น ที่มีการดูดเอาน้ำที่มีสารอินทรีย์และอนินทรีย์ปนเปื้อนเข้าไป และในบางครั้งการดูดสารปนเปื้อนดังกล่าวด้วยพืชนั้นจะผ่านไปยังใบ และจะมีการระเหยเป็นไอออกไปสู่อากาศที่ความเข้มข้นระดับต่ำ ซึ่งพืชที่มีคุณสมบัติดังกล่าวนี้จะมีความเหมาะสมในการนำไปใช้บำบัดสารปนเปื้อนที่เป็นพิษภายในดินและน้ำได้เช่นกัน

4) phytostabilization เป็นการเลือกใช้พืชที่มีความสามารถในการควบคุมหรือลดการเคลื่อนย้ายของสารพิษที่ปนเปื้อน ด้วยการตรึงและยึดไว้ที่ราก โดยรากของพืชจะดูดและตรึงสารปนเปื้อนไว้บนรากพืช ทำให้สารปนเปื้อนต่างๆ มีการเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปที่มีความเสถียรเกิดการตกตะกอน โดยกระบวนดังกล่าวนี้จะสามารถลดการเคลื่อนย้ายสารปนเปื้อนที่เป็นพิษต่างๆ และขัดขวางการเคลื่อนย้ายสารปนเปื้อนให้มีการเคลื่อนย้ายลดน้อยลง นอกจากนี้ phytostabilization ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปลูกพืชในบริเวณที่มีการปนเปื้อน ทำให้สารปนเปื้อนที่มีความเข้มข้นสูงลดระดับความเป็นพิษให้น้อยลง ด้วยการลดความสามารถในการ

เคลื่อนย้ายสารปนเปื้อนโดยลม (wind erosion) การเคลื่อนย้ายและการชะล้างสารปนเปื้อนไปสู่น้ำใต้ดิน

5) phytodegradation สามารถเรียกอีกอย่างว่า phytotranformation เป็นการสลายตัวของสารที่ปนเปื้อนโดยการดูดซับของพืชด้วย กระบวนการเมทาบอลิซึม ภายในพืชหรือจากการสร้างสารประเภทต่างๆ ของพืชอาทิเช่น เอนไซม์ออกมาเพื่อย่อยสลายสารพิษ

6) rhizofiltration เป็นการเลือกใช้พืชที่มีความสามารถในการกรอง ดูดซับ และรับเอาสารปนเปื้อนต่างๆ ที่อยู่ในรูปของสารละลายรอบๆ บริเวณรากให้เข้าไปในรากของพืชได้ ซึ่งพืชที่มีคุณสมบัติดังกล่าวนี้ มีความเหมาะสมในการนำไปใช้กำจัดสารปนเปื้อนต่างๆ ในแหล่งน้ำหรือในดินที่มีความชุ่มของน้ำหรือ ระบบปลูกแบบไฮโดรโพนิคส์ (hydroponic)

2.4 **กระบวนการ** phytodegradation

2.4.1) **การเปลี่ยนรูปของสารมลพิษ** (transformation)

การเปลี่ยนรูปของสารมลพิษโดยพืชเป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปสารที่มีความเป็นพิษให้มีความเป็นพิษน้อยลง การเปลี่ยนรูปนี้นอกจากจะหมายถึงการเปลี่ยนรูปสารมลพิษไปเป็นสารตัวกลางอื่นหรือสารผลิตภัณฑ์อื่นด้วยปฏิกิริยาทางชีวภาพแล้ว ยังรวมถึงการเปลี่ยนสภาวะประจุ (Ionic state) ของสารมลพิษนั้นๆ รวมทั้งการเกิดปฏิกิริยา conjugation กับสารอินทรีย์บางชนิดในเซลล์พืชซึ่งทำให้สารมลพิษเหล่านั้นมีความเป็นพิษน้อยลงหรือไม่มีเลย สารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมที่มีรายงานว่าสามารถเปลี่ยนรูปได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยพืชนี้ ได้แก่ โลหะหนักบางชนิด เช่น สารหนู (arsenic) ปรอท (mercury) โครเมียม (chromium) เป็นต้น รวมทั้งสารประกอบบางชนิดได้แก่ ทีซีอี (trichloroethylene) ทีเอ็นที (trinitrotoluene) เป็นต้น

2.4.2) **การย่อยสลายบางส่วน** (partial degradation)

กระบวนการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์ในพืชอาจเกิดขึ้นในรูปแบบของการย่อยสลายบางส่วน ซึ่งหมายถึงการที่สารมลพิษตั้งต้นถูกย่อยสลายให้มีขนาดของโครงสร้างเล็กลง เช่น การแตกตัวของสารอะโรมาติกเป็นสายไฮโดรคาร์บอน หรือมีโครงสร้างความซับซ้อนน้อยลง เช่น

การแตกตัวออกของหมู่โซ่ข้าง (side chain) หรือถูกทำให้เปลี่ยนรูปไปเป็นสารผลิตภัณฑ์อื่นซึ่งรูปร่างหรือโครงสร้างแตกต่างจากสารมลพิษตั้งต้นมีความเป็นพิษน้อยลงหรือไม่มีเลย

2.4.3) **การเปลี่ยนรูปและแยกสารมลพิษ** (sequestration)

การเปลี่ยนรูปเพื่อช่วยลำเลียงสารมลพิษแยกไปเก็บไว้ในแวคคิวโอล (vacuole) ซึ่งเป็นช่องว่างในเซลล์พืชเป็นต้น

2.4.4) **การย่อยสลายอย่างสมบูรณ์** (complete degradation)

กระบวนการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์อาจเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ในกรณีนี้สารมลพิษตั้งต้นจะถูกย่อยสลายอย่างเป็นขั้นตอนผ่านวิธีเมทาบอลิซึมต่างๆ ในเซลล์พืช ซึ่งในแต่ละขั้นตอนนี้สารมลพิษหรือสารตัวกลางในแต่ละขั้น อาจถูกนำไปใช้เป็นทั้งแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานให้แก่พืช ซึ่งท้ายสุดแล้วสารผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายจะได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ กระบวนการนี้อาจเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า mineralization กระบวนการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์โดยพืชนั้นต้องเริ่มต้นมาจากการดูดซึมสารมลพิษนั้นจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่พืช ในธรรมชาติพืชใช้วิธีหรือระบบต่างๆในการดูดซึมและลำเลียงสารมลพิษ ระบบการดูดซึมสารมลพิษโดยพืชที่มีการศึกษากันอย่างมากได้แก่ ระบบการลำเลียงโดยระบบปั๊มที่มีการสร้างประกอบร่วมกับสารกลูตาไธโอน (glutathione-s-conjugation pump) โดยมีตัวลำเลียง (transporter) คือ ATP-binding cassette (ABC) transpoter ระบบนี้เกี่ยวข้องกับการลำเลียงสารประกอบกลูตาไธโอนในรูปออกซิไดซ์ (oxidize diglutathione, GC-SG) กลูตาไธโอนที่จับกันอยู่กับสารมลพิษอินทรีย์และในรูปของสารประกอบระหว่างเพพไทด์ (phytochelatin) กับโลหะหนักซึ่งสารประกอบในรูปแบบต่างๆ เหล่านี้สามารถถูกลำเลียงเข้าสู่ แวคคิวโอลของพืชโดยอาศัยระบบปั๊ม ในบางกรณีการสะสมสารมลพิษในแวคคิวโอลของพืชจะช่วยทำให้เกิดการย่อยสลายสารมลพิษดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในปัจจุบันข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับกระบวนการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์โดยพืชนั้นยังมีน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับกระบวนการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์โดยแบคทีเรียหรือรา อลิสา วังใน (2550) รายงานถึงความสามารถของพืชในการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์เพื่อลดความเป็นพิษของสารนั้นๆ และเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตตัวอย่างของพืชในการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์ ได้แก่ การย่อยสลายสาร ทีซีอี (trichloroethylene, TCE) ซึ่งจัดเป็นสารประกอบคลอรีนอินทรีย์ ที่มีการใช้มากในอุตสาหกรรมต่างๆ ส่งผลให้มีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทั้งในน้ำบาดาลและในดิน เนื่องจากสาร ทีซีอีมีความเป็นพิษสูง เป็นสารก่อ

มะเร็งและเป็นสารที่ถูกย่อยสลายได้ยากจึงจัดเป็นสารมลพิษที่อันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการบำบัดสารมลพิษนี้จึงเป็นสิ่งสำคัญในการกำจัดหรือลดความเป็นพิษนี้

2.5 การใช้พืชเพื่อการบำบัดสารฆ่าศัตรูพืชในสิ่งแวดล้อม

ตั้งแต่ค.ศ. 1967 นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบความสามารถของพืชในการดูดซึม (uptake) และการเคลื่อนย้าย (translocate) สารประกอบเคมีทั้งสารประกอบอินทรีย์และ สารประกอบอนินทรีย์ต่างๆ จากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่พืช กระบวนการใช้พืชเพื่อกำจัดความเป็นพิษของสารมลพิษที่ปนเปื้อนและตกค้างในสิ่งแวดล้อม ซึ่งกลไกของพืชในการกำจัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนนี้อาจเกิดขึ้นโดยวิธีตรงซึ่งหมายถึงเกิดการย่อยสลายสารมลพิษนั้นๆ ในต้นพืชหรือโดยวิธีทางอ้อมซึ่งได้แก่ การดูดซึม การเคลื่อนย้ายสารมลพิษเข้าสู่พืชและสะสมสารนั้นไว้ในต้นพืช สำหรับวิธีทางอ้อมดังกล่าวนี้สารมลพิษจะไม่ถูกกำจัดไปโดยการย่อยสลายไปให้หมด อย่างไรก็ตาม จัดเป็นการลดปริมาณความเป็นพิษของสารที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และลดความเสี่ยงต่อสิ่งมีชีวิตและมนุษย์ในสิ่งแวดล้อมนั้น (อลิสา วังใน, 2550) การนำเอามาใช้เพื่อการบำบัดน้ำเสียเป็นที่ยอมรับกันมานานกว่า 20 ปีและและพืชที่ได้นำมาใช้ในช่วงแรกๆได้แก่ กก ผักตบชวา ธูปฤาษีและแหนเป็ด เป็นต้น การนำพืชมาใช้บำบัดน้ำเสียจะทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้นกว่าเดิม เพราะพืชน้ำสามารถดูดซับสารละลายธาตุอาหารและโลหะหนักบางอย่างจากน้ำเสีย และเป็นการประหยัดพลังงาน เช่นค่าไฟฟ้า ค่าสารเคมี เป็นต้น (สุชาดา ศรีเพ็ญ และคณะ, 2543) phytoremediation เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจ และมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีประสิทธิภาพ ประหยัด และเหมาะสมในการกำจัดสารประเภทไฮโดรคาร์บอน สารฆ่าศัตรูพืช เป็นต้น (Susarla *et al*., 2002; Xia *et al*., 2003) ตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ Prasertsup and Ariyakanon (2011) รายงานว่าในสภาวะที่ไม่มีคลอร์ไพริฟอส อัตราการเจริญเติบโตของแหนเป็ดจะมีค่ามากกว่าจอก ในทางตรงข้ามในสภาวะที่มีคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการเจริญเติบโตของพืชทั้งสองชนิดจะลดลง ค่าคงที่ของอัตราการหายไปของคลอร์ไพริฟอสในสารละลายในชุดควบคุม (ไม่มีพืช) ชุดที่มีจอก และชุดที่มีแหนเป็ด มีค่าเท่ากับ 3.04, 15.03 และ19.16 ไมโครกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ความสามารถในการสะสมคลอร์ไพริฟอสของพืชทั้งสองชนิดมีค่ามากที่สุดในวันที่ 3 ของการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 823 และ 1375 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง และมีค่าเท่ากับ 68 และ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ จากการศึกษาในเรือนทดลองพบว่าแหนเป็ดมีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในน้ำได้มากกว่าจอก

Olette *et al*. (2008) ศึกษาความสามารถในการดูดดึง copper sulphate flazasulfulon และdimethomorph ของพืชน้ำสามชนิดคือ แหนเป็ด (*Lemnar minor*) สาหร่ายหางกระรอก (*Elodea Canadensis*) และสาหร่ายพุงชะโด (*Cabomba aquatica*) ผลการศึกษาพบว่า ความเป็นพิษของสารกำจัดแมลงมีผลต่อพืชน้ำทั้งสามชนิดเรียงตามลำดับ คือ flazasulfulon >copper sulphate >dimethomorph และยังพบว่าแหนเป็ดที่มีความสามารถมากที่สุดในการดูดดึงสารทั้งสามชนิดซึ่งมีค่า เท่ากับ 30, 27 และ 11 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักสด Xia และ Ma (2006) ที่ศึกษาความสามารถของผักตบชวาในการกำจัดสาร ethion ซึ่งจัดเป็นสารในกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต พบว่าอัตราการกำจัดสาร ethion ของชุดการทดลองที่ไม่ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ก่อนปลูกพืช ชุดการทดลองที่ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ก่อนปลูกพืช ชุดการทดลองที่ไม่ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ไม่ปลูกพืช ชุดการทดลองที่ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ไม่ปลูกพืช คือ 0.01059, 0.00930, 0.00294 และ 0.00201 ไมโครกรัมต่อชั่วโมง จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า การกำจัด ethion เกิดจากการดูดดึงของพืช และการย่อยสลาย 69 เปอร์เซ็นต์ นอกนั้นเกิดจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์อีก 12 เปอร์เซ็นต์

Flocco *et al*. (2004) ศึกษาเรื่อง การกำจัด methyl azinphos โดยการใช้ alfalfa plants (*Medicago sativa* L.) ในสภาพไร้ดิน พบว่า หลังจาก 20 วันในการทดลอง ในชุดที่มีพืชปริมาณ azinphos methyl ทั้งหมดไม่สามารถตรวจพบได้ ส่วนในชุดที่ไม่มีพืชหลังจากการทดลองไปแล้ว 30 วัน ปริมาณ azinphos methyl ยังมีตกค้างหลงเหลือในปริมาณ 20% และยังพบว่าค่าครึ่งชีวิตของสารกำจัดแมลงลดลง 10.8 ถึง 3.4 วัน

Moore *et al*. (2001) ศึกษาเรื่อง การกำจัดคลอร์ไพริฟอสโดยใช้ contructed wetland พบว่าเมื่อปล่อยน้ำที่มีคลอร์ไพริฟอสที่มีความเข้มข้น 73, 147 และ 733 ไมโครกรัมต่อลิตร ผ่านเข้าไปใน contructed wetland ดินตะกอนและพืชที่อยู่ในระบบจะสามารถดูดซับคลอร์ไพริฟอสได้อย่างรวดเร็ว ผลการวัดปริมาณคลอร์ไพริฟอสที่สะสมในดินตะกอนและพืชมีค่าเท่ากับ 55 เปอร์เซ็นต์ และ 25 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามลำดับ

Li *et al*. (2002) ศึกษาการดูดดึงของ trifluralin และ lindane โดยใช้หญ้าเลี้ยงสัตว์ (rygress) ผลการศึกษาพบว่า หญ้าเลี้ยงสัตว์สามารถเผาผลาญ trifluralin ได้มากกว่า lindane การศึกษาของ Wang *et al*. (2006) ได้ทำการศึกษาโดยเติมคลอร์ไพริฟอสความเข้มข้น 1-10 ไมโครกรัมต่อกรัม ลงไปในน้ำ และรดน้ำบนดินที่ปลูกข้าวสาลี และ oilseed rape จากผลการศึกษาพบว่าข้าวสาลีมีความสามารถในการดูดดึงสารคลอร์ไพริฟอสมากกว่า ollseed rape เท่ากับ 0.257-4.50 และ 0.249-2.02 ไมโครกรัมต่อกรัม นอกจากนั้นยังพบว่าอัตราการลดลงของ

คลอร์ไพริฟอสในดินที่มีการเพาะปลูกพืชมีค่ามากกว่าในดินที่ไม่มีการเพาะปลูกพืช จากงานวิจัยข้างต้นที่กล่าวมาทั้งหมด พบว่าการใช้พืชในการบำบัดสารปนเปื้อนหรือสารพิษ มีประสิทธิภาพที่ดีและสามารถใช้บำบัดสารพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Chuluun *et al.* (2009) ศึกษาการบำบัดสารในกลุ่มออร์แกโนคลอรีนและสารในกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตโดยใช้ *Acorus gramineus* ผลการศึกษาพบว่า พืชสามารถบำบัดสารในกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตได้มีประสิทธิภาพมากกว่าสารในกลุ่มออร์แกโนคลอรีน โดยพบอัตราค่าคงที่ในการกำจัดสารทั้งสองกลุ่มอยู่ที่ 0.409 – 0.580 ไมโครกรัมต่อกรัม

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ (2538) รายงานว่าพืชที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียควรมีลักษณะเป็นพืชที่สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดีในท้องถิ่น ปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง มีความสามารถในการส่งผ่านออกซิเจนสูง โดยนำออกซิเจนจากในอากาศที่ส่งผ่านลงมาตามใบ ลำต้น และราก สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษได้ค่อนข้างกว้างขวาง มีความสามารถในการดูดซึมและเก็บสะสมสารต่างๆได้ คงทนต่อโรค และแมลงได้ดี และสามารถนำออกจากระบบได้ง่าย เนื่องจากพืชจะลดปริมาณสารที่มีอยู่ในน้ำเสียให้ได้ผลดีที่สุดนั้น ต้องมีการนำพืชออกจากระบบ เพื่อมิให้พืชอยู่หนาแน่นเกินไปจนระบบขาดประสิทธิภาพ

2.6 พืชที่ใช้กำจัดคลอร์ไพริฟอสในน้ำ

2.6.1 ผักตบชวา

รูปที่ 2.4 ผักตบชวา

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms

ชื่ออื่น ผักบัวลอย ผักปอด ผักโป่ง สวะ water hyacinth, Water Orchid

ลักษณะทางพันธุศาสตร์

ผักตบชวาเป็นพืชน้ำประเภทใบเลี้ยงเดี่ยว ลอยน้ำได้โดยไม่ต้องมีที่ยึดเกาะ สามารถแพร่พันธุ์ได้รวดเร็วมาก แผ่นใบคล้ายรูปหัวใจเป็นมันหนา ก้านใบพองออกตรงช่องกลาง ภายในมีลักษณะเป็นรูพรุนช่วยพยุงลำต้นให้ลอยน้ำได้ ผักตบชวา สามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำ ทั้งในน้ำสกปรกและน้ำสะอาด เจริญเติบโตได้ดีที่ pH 4-10 และอุณหภูมิของน้ำไม่สูงกว่า 34 องศาเซลเซียส และในต้นพืชจะมีน้ำเฉลี่ยประมาณร้อยละ 95 (ในใบร้อยละ 89 และในก้านใบร้อยละ 96.7) ผักตบชวาช่วยในการบำบัดน้ำเสีย โดยอาศัยคุณสมบัติทำหน้าที่เป็นตัวกรอง ผักตบชวาที่ขึ้นอยู่อย่างหนาแน่น เปรียบได้กับการบรรจุวัสดุพรุน ซึ่งกรองน้ำที่ไหลผ่านกอผักตบชวาอย่างช้าๆ จึงทำให้ของแข็งแขวนลอยต่างๆ ที่ปนอยู่ในน้ำถูกสกัดกั้น นอกจากนั้น ระบบรากที่มีจำนวนมากช่วยกรองสารอินทรีย์ที่ละเอียด และจุลินทรีย์ที่อาศัยเกาะอยู่ที่ราก ช่วยดูดสารอินทรีย์ไว้ด้วยอีกทางหนึ่ง รากผักตบชวาจะดูดสารอาหารที่อยู่ในน้ำ ลำเลียงไปยังใบเพื่อสังเคราะห์แสง ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจึงถูกกำจัดไป อย่างไรก็ตามไนโตรเจนในน้ำเสียนั้น ส่วนมากจะอยู่ในรูปสารประกอบทางเคมี เช่น สารอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจน พบว่า ผักตบชวาสามารถดูดไนโตรเจนได้ทั้ง 3 ชนิด แต่ในปริมาณที่แตกต่างกันคือ ผักตบชวาสามารถดูดอินทรีย์ไนโตรเจนได้สูงกว่าไนโตรเจนในรูปอื่นๆ คือ ประมาณร้อยละ 95 ขณะที่ไนเตรทไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจนจะลดลงประมาณร้อยละ 80 และร้อยละ 77 ตามลำดับ แต่การใช้ผักตบชวาบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง จะส่งผลให้ผักตบชวาเจริญเร็วขึ้นและปกคลุมพื้นที่ผิวน้ำมากขึ้น จึงควรมีการดูแลระบบเก็บต้นที่เจริญเต็มที่ขึ้นจากน้ำอย่างสม่ำเสมอ ไม่เช่นนั้น เมื่อผักตบชวาตาย จะเน่าอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำเสียนั้นมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอีก นอกจากนี้รากของผักตบชวามีแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนแกรมลบ คือ *Azospirillum spp.* และมีคุณสมบัติพิเศษ สามารถตรึงไนโตรเจนได้ประมาณ 2.5 กิโลกรัม/เอเคอร์/วัน ผักตบชวา ขึ้นได้ในทุกสภาพน้ำ และสามารถบำบัดน้ำเสียได้โดยตรง แต่ถ้าน้ำเสียมีสารมลพิษอยู่ปริมาณสูงหรือน้ำเสียมีปริมาณมาก การใช้ผักตบชวาบำบัดน้ำเสียจะให้ผลช้า และน้ำอาจเน่าเสียได้ จึงควรที่จะใช้ผักตบชวาร่วมกับการบำบัดน้ำเสียระบบอื่นด้วย จึงจะให้ผลดี

ขยายพันธุ์ แยกต้นอ่อนที่ปลายไหลไปปลูก

ประโยชน์ของผักตบชวา

1. การบริโภค ดอกอ่อนและก้านใบอ่อนกินเป็นผักลวกจิ้มน้ำพริกหรือทำแกงส้ม
2. ใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ ใช้ทำปุ๋ยหมัก ก้านและใบอ่อนนำมารับประทานได้
3. เครื่องจักสานผักตบชวา
4. ด้านสมุนไพร ใช้แก้พิษภายในร่างกาย ขับลม ใช้ทาหรือพอกแก้แผลอักเสบ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายธาตุอาหารพืช Hoagland' No.2
2. n-hexane 99% PR T.S. Interlab Co.,Ltd
3. Sodium sulfate anhydrous T.S. Interlab Co.,Ltd
4. sulfuric acid T.S. Interlab Co.,Ltd
5. sodium hydroxide T.S. Interlab Co.,Ltd
6. Acetone AR Grade T.S. Interlab Co.,Ltd
7. Chlorpyrifos 40% EC

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ภาชนะแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 นิ้ว
2. กระดาษ label
3. เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด (analytical balance) 4 ตำแหน่ง Denver instrument company รุ่น TR-203
5. เครื่องวัด pH (pH meter): Hanna instrument รุ่น pH 211
6. เครื่องวัด DO (DO meter): Hach รุ่น sension 156 ประเทศสหรัฐอเมริกา
7. เครื่องวัด Conductivity(Conductivity meter): Hach รุ่น sension 156 ประเทศสหรัฐอเมริกา
8. เครื่องวัด TDS (TDS meter): Hach รุ่น sension 156 ประเทศสหรัฐอเมริกา
9. Thermometer: Hach รุ่น sension 156 ประเทศสหรัฐอเมริกา
10. Separatory funnel 2.0 L
11. ตู้อบ (isotemp oven; Fisher Scientific)
12. โถแก้วดูดความชื้น
13. Vaccum pump

14. vortex; Scientific Industries; Model G-560E
15. rotary evaporator รุ่น Buchi R205 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
16. Aluminium Beaker cup
17. soxhlet extraction รุ่น 2055 Foss tecator ประเทศสวีเดน

3.2 สถานที่ดำเนินงานวิจัย

3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่างพืชที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวอย่างพืชที่นำมาใช้ในการทดลองนำมาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ คือที่ คลองกลาง หมู่บ้านบัวทองธานี อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี

3.2.2 สถานที่ในการใช้ปลูกพืชในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการปลูกพืชในเรือนทดลองที่สร้างขึ้น ณ ชั้น4 ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.3 สถานที่ในการวิเคราะห์ตัวอย่างของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์สกัดตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการ ตึกวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอร์ไพริฟอสในพืชและน้ำ ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 ขั้นตอนวิจัย

3.3.1 การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร

เตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชสูตร Hoagland'No.2 ซึ่งประกอบด้วย NH_4PO_4 115.03 มิลลิกรัมต่อลิตร H_3BO_3 2.86 มิลลิกรัมต่อลิตร $Ca(NO_3)_2$ 656.4 มิลลิกรัมต่อลิตร $CuSO_4.5H_2O$ 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร $FeC_4H_4O_6.2H_2O$ 5.32 มิลลิกรัมต่อลิตร $MgSO_4$ 240.76 มิลลิกรัมต่อลิตร H_2MoO_4 0.016 มิลลิกรัมต่อลิตร KNO_3 606.6 มิลลิกรัมต่อลิตร และ $ZnSO_4.7H_2O$ 0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร ในถังน้ำขนาด 50 ลิตร

3.3.2 การเตรียมสารละลายคลอร์ไพริฟอส

เตรียมสารละลายคลอร์ไพริฟอส (chlorpyrifos 40% W/V) ในรูปสารละลายเบื้องต้น (stock solution) ในตัวทำละลายอะซิโตน โดยให้มีความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ในขวดสีชาไม่ให้ถูกแสง นำสารละลายเบื้องต้นมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายเทียบเท่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และเจือจางด้วยน้ำที่เตรียมไว้เพื่อให้ได้ความเข้มข้น 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังสมการเตรียมสารละลายดังนี้

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

เมื่อ M_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายเบื้องต้น

M_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายทดสอบที่ต้องการ

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายเบื้องต้น

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายทดสอบที่ต้องการ

3.3.3 การเตรียมพืช

ทำการเก็บตัวอย่างพืช โดยคัดเลือกพืชที่มีลักษณะลำต้นแข็งแรง และอยู่ในสภาพสมบูรณ์ นำพืชมาทำความสะอาดด้วยน้ำประปา จากนั้นแช่ในสารละลาย Clorox 0.01 เปอร์เซนต์ (v/v) เป็นเวลา 2 นาที นำขึ้นมาล้างด้วยน้ำกลั่นเบาๆอีก 2 ครั้ง (Olette *et al*., 2008) และนำไปเลี้ยง stock ไว้ในถังขนาดใหญ่ที่มีสารละลายธาตุอาหารพืช Hoagland'No.2 เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ภายในเรือนทดลองเพื่อทำการขยายพันธุ์ก่อนนำพืชไปทำการทดลอง

3.3.4 การเตรียมภาชนะแก้วสำหรับปลูกพืช

ภาชนะแก้วสำหรับปลูกพืชที่ใช้ในการทดลองขนาดความจุ 3 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว สูง 5 นิ้ว นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นผึ่งให้แห้งและทำการ label ไว้ทุกภาชนะ

3.3.5 การเตรียมการทดลอง

งานวิจัยนี้วางแผนการทดลองแบบ Incomplete Randommize Block Design โดยใช้ผักตบชวาเป็นพืชในการทดลอง มี 3 ความเข้มข้น มีตำรับ 3 ชุด ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวพืชมี 1 ช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยว ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เมื่อคิดรวมทั้ง 3 ชุด ในชุดควบคุมที่ไม่เติม

คลอร์ไพริฟอส 3 หน่วย ชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืชเติมคลอร์ไพริฟอสความเข้มข้น คือ 0.1, 0.5 และ1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร 99 หน่วย หน่วยการทดลองที่ปลูกพืชในความเข้มข้น 0.1, 0.5 และ1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร 99 หน่วย รวม ดังนั้นจะมีหน่วยทดลองทั้งหมด 201 หน่วย โดยที่ 1 หน่วยการทดลองคือ 1 กระถาง

การศึกษาการสะสมคลอร์ไพริฟอสในผักตบชวา แบ่งชุดการทดลองเป็น 3 ชุด ได้แก่

1) ชุดควบคุมซึ่งมีสารละลายธาตุอาหารพืช แต่ไม่มีการเติมคลอร์ไพริฟอส ปลูกผักตบชวา (อย่างละ 3 ซ้ำ)

2) ชุดควบคุมซึ่งมีสารละลายธาตุอาหารพืช มีการเติมคลอร์ไพริฟอส (0.1, 0.5 และ1 มิลลิกรัมต่อลิตร) แต่ไม่มีการปลูกผักตบชวา (อย่างละ 3 ซ้ำ)

3) ชุดการทดลองซึ่งมีสารละลายธาตุอาหารพืช มีการเติมคลอร์ไพริฟอส (0.1, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร) และปลูกผักตบชวา (อย่างละ 3 ซ้ำ)

ตารางที่ 3.1 ตำรับการปลูกพืชทดลอง สำหรับการศึกษาการเจริญเติบโตของผักตบชวา

วันที่	ผักตบชวาไม่มีคลอร์ไพริฟอส
0	O O O
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

ตารางที่ 3.2 ตำรับการปลูกพืชทดลอง สำหรับการศึกษาดูดดึงคลอร์ไพริฟอสของผักตบชวา

วันที่	ชุดควบคุม ไม่มีพืช คลอร์ไพริฟอส 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร	ชุดควบคุม ไม่มีพืช คลอร์ไพริฟอส 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	ชุดควบคุม ไม่มีพืช คลอร์ไพริฟอส 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	ผักตบชวา คลอร์ไพริฟอส 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร	ผักตบชวา คลอร์ไพริฟอส 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	ผักตบชวา คลอร์ไพริฟอส 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
0	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo
1	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo
2	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo
3	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo
4	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo
5	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo
6	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo
7	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo
8	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo
9	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo
10	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo

3.3.6 การปลูกพืช

ทำการปลูกพืชในภาชนะที่เตรียมไว้ทั้งหมด 102 กระถาง โดยที่แต่ละภาชนะจะใส่พืชที่มีน้ำหนักประมาณ 70 $\pm$10 กรัม ทำการขีดวัดระดับน้ำให้เท่าเดิมทุกวันโดยการเติมน้ำกลั่นเมื่อระดับน้ำลดต่ำลงกว่าขีดที่กำหนดไว้

3.3.7 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและการเก็บเกี่ยว

1) ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของผักตบชวาในวันที่เริ่มปลูกและทุกๆวันเป็นระยะเวลา 10 วันดังนี้ ชั่งน้ำหนักสด (โดยในตัวอย่างจะชั่งก่อนนำไปวิเคราะห์ และในชุดควบคุมจะเก็บขึ้นมาชั่งทุกวันแล้วใส่กลับไปตามเดิม) วัดความยาวราก ลำต้น และใบ

2) เก็บตัวอย่างผักตบชวาทุกๆ 1 วัน เป็นระยะเวลา 10 วัน

3) นำตัวอย่างที่เก็บได้มาแยกเป็นส่วน ราก ลำต้น และใบ ชั่งน้ำหนักสดและแยกนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงจากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง

3.3.8 การวิเคราะห์คลอร์ไพริฟอสในพืชและในน้ำ

นำตัวอย่างพืชที่ได้มาแบ่งเป็น 3 ส่วน คือส่วนราก ลำต้น และใบ นำพืชมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ได้ไปทำการสกัดด้วย Method 3541 (Automated Soxhlet Extraction) แล้วนำมาวิเคราะห์หาคลอร์ไพริฟอสในพืช โดยใช้ Gas Chromatography (GC) Electron Capture Detector (ECD)

3.3.8.1 ขั้นตอนการสกัดตัวอย่างพืช

ชั่งน้ำหนักพืชและวัดความยาวของราก ลำต้น และใบ แยกออกเป็น 3 ส่วน คือส่วนราก ลำต้น และใบ นำไปชั่งน้ำหนัก นำไปอบด้วยอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่อบเสร็จ เข้าโถดูดความชื้น (desicator) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง บดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ใส่โซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำโดยนำโซเดียมซัลเฟตไปอบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ผสมในตัวอย่างที่ได้ นำไปใส่ใน Cellulose extraction thimbles ตวง n-hexane ใส่ลงใน Aluminium extraction cups 70 มิลลิลิตร นำตัวอย่างที่อยู่ใน Cellulose extraction thimbles ไปประกอบเข้าในเครื่อง soxhlet แล้วใส่ Aluminium extraction cups ที่มี n-hexane ตาม ตั้งอุณหภูมิที่ 155 องศาเซลเซียส จากนั้นตั้งเวลา Boiling 60 นาทีและตามด้วย Rinsing อีก 60 นาที หลังจากที่ได้ตัวอย่างนำตัวอย่างที่ได้ไปปรับลดปริมาตรด้วยเครื่อง rotary evaporator แล้วปรับปริมาตรด้วย n-hexane ให้เหลือ 2 มิลลิลิตร นำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที เมื่อตัวอย่างแยกชั้นอินทรีย์แล้วนำสารตัวอย่างที่ได้ใส่หลอดทดลอง (vial) ขนาด 2 มิลลิลิตร เพื่อเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอร์ไพริฟอสด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

3.3.8.2 ขั้นตอนการสกัดตัวอย่างน้ำ

สำหรับการเก็บวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจะทำทุกวัน โดยจะวัดความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ การนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด จากนั้นจะเก็บตัวอย่างนำไปสกัดด้วยวิธี Method 3510C (Separatory Funnel Liquid-Liquid Extraction) แล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอร์ไพริฟอสในน้ำโดยใช้ Gas Chromatography (GC) Electron Capture Detector (ECD)

ตวงน้ำตัวอย่างใส่ cylinder 1000 มิลลิลิตร นำตัวอย่างน้ำใส่ลงไปในกรวยแยก (Separatory funnel) แล้วเติม n-hexane 100 มิลลิลิตร ตามลงไปในกรวยแยก จากนั้นเขย่ากรวยแยก 2-3 นาที ให้หงายกรวยแยกในระดับ 45 องศา แล้วเปิดเกลียวจุกเพื่อระบายความดัน แล้วคว่ำกรวยเพื่อทำการเขย่าต่อ ทำแบบนี้ 2-3 ครั้ง จนกระทั่งการกระจายของตัวถูกละลายระหว่างตัวทำละลาย ทั้งสองถึงสมดุล ตั้งกรวยแยกทิ้งไว้จนกระทั่งตัวทำละลายทั้งสองแยกชั้น แยกชั้น n-hexane ที่แยกออกจากน้ำใส่ Erlenmeyer flask แล้วนำน้ำที่เหลือใส่เข้าไปในกรวยแยก (Separatory funnel) อีกครั้ง เติม n-hexane 100 มิลลิลิตร ทำตามขั้นตอนเดิมอีก 2-3 ครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าสารคลอร์ไพริฟอสที่ต้องการถูก n-hexane พาออกมาจนหมด นำน้ำส่วนที่สกัดได้มากรองผ่านโซเดียมซัลเฟต แอนไฮดรัสเพื่อกำจัดน้ำที่อาจปนอยู่ จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปลดปริมาตรด้วยเครื่อง rotary evaporator ปรับปริมาตรด้วย n-hexane จำนวน 2 มิลลิลิตร ใส่ขวดแก้วใส (vial) ขนาด 2 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดปริมาณคลอร์ไพริฟอสด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) Electron Capture Detector (ECD)

3.4 การเตรียม calibration curve ของคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol

1) นำคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน (0.0001, 0.0005, 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร) ไปฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatography (GC) Electron Capture Detector (ECD)

2) เขียนกราฟระหว่างปริมาณความเข้มข้นของสาร (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับ response ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) Electron Capture Detector (ECD)

3) เขียนกราฟโดยใช้สมการ linear regression

4) ค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (correration coerricient) ควรมีค่ามากกว่า 0.90

3.5 การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพ

เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าสารที่ต้องการตรวจไม่สูญหายเนื่องมาจากขั้นตอนวิธีการเก็บตัวอย่าง การสกัด และเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ โดยการหาประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ซึ่งรวมถึงการสกัดและการวัดด้วยเครื่อง GC/ECD ดังนี้

1) เติมคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ในปริมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำมาสกัดและฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟี แล้วคำนวนหาเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ซึ่งรวมถึงการสกัดและวัดด้วยเครื่อง GC/ECD (ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างถึงห้องปฏิบัติการไม่เกิน 2 วัน)

2) เติมคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ในปริมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในพืชสดหนัก 120 กรัม นำมาสกัดและฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟี แล้วคำนวนหาเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ซึ่งรวมถึงการสกัดและวัดด้วยเครื่อง GC/ECD (ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างถึงห้องปฏิบัติการไม่เกิน 2 วัน)

$$\text{การคำนวณหาประสิทธิภาพในการวิเคราะห์} = \frac{\text{ปริมาณความเข้มข้นที่ได้หลังจากการวิเคราะห์(วัดได้)} \times 100}{\text{ปริมาณความเข้มข้นที่ได้ใส่ลงไป}}$$

สำหรับการศึกษาครั้งนี้ พบว่าประสิทธิภาพในการสกัดและวัดด้วยเครื่อง GC/ECD ของคลอร์ไพริฟอสที่สกัดได้ในพืชและน้ำ มีค่าร้อยละ 95 และ 96 ปริมาณ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ที่สกัดได้ในพืชและน้ำ มีค่าร้อยละ 96 และ 97 ตามลำดับ

3.6 สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟี

สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สารคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol โดยใช้เครื่อง GC ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-2010 คอลัมน์ DB-5 ความยาว 30 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ความหนาของตัวดูดซับ 0.25 ไมโครเมตร ดีเทคเตอร์ชนิด Electron Capture Detector (ECD) ปรับการใช้งานที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส ใช้แก๊สไนโตรเจน make up ที่อัตรา 30 มิลลิลิตรต่อนาที และแก๊สฮีเลียมเป็น carrier gas อัตราการไหล 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที ตั้งอุณหภูมิของ injection ที่ 250 องศาเซลเซียส

3.7 การรวบรวมและประมวลผลของข้อมูลที่ได้จากงานวิจัย

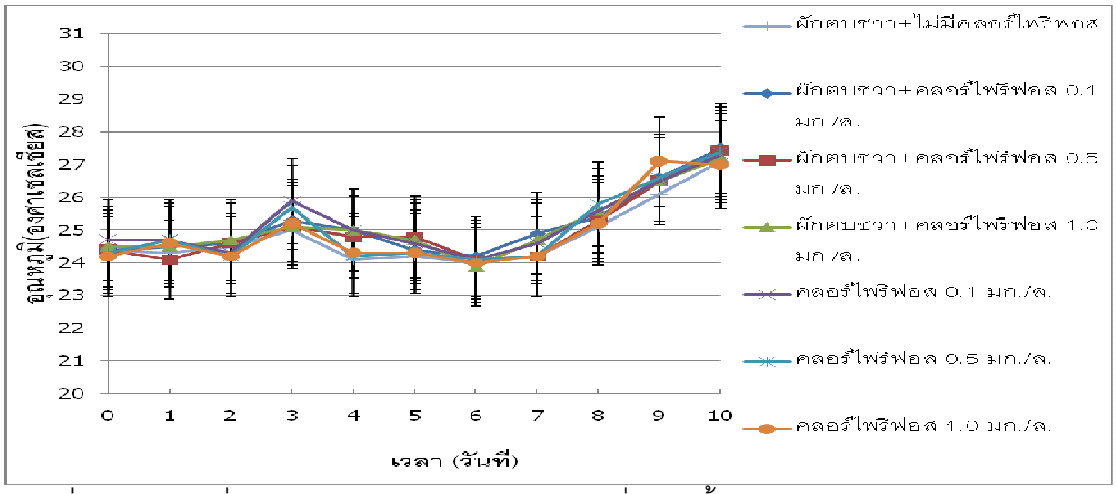
ทำการรวบรวมผลการทดลองและนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพสะสมคลอร์ไพริฟอสในพืชในแต่ละชุดการทดลองโดยใช้วิธีการ ANOVA Duncan's New Multiple Range Test (SPSS for windows) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 การเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีของสารละลายคลอร์ไพริฟอส

4.1.1 อุณหภูมิ

ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิของสารละลายที่ใช้เลี้ยงพืช (ภาพที่ 4.1) ทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 24-27 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าต่ำสุดในวันที่ 6 ของการทดลอง และมีค่าสูงสุดในวันที่ 10 ของการทดลอง อุณหภูมิของสารละลายตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองทั้ง 10 วันนี้ อุณหภูมิที่วัดได้มีค่าสูงกว่าวันแรก และทุกชุดการทดลองอุณหภูมิมีลักษณะการเพิ่มขึ้นและลดลงคล้ายกัน อาจเนื่องมาจากทุกชุดการทดลองอยู่ในสภาวะการทดลองเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายที่เพาะเลี้ยงผักตบชวาและชุดควบคุมตลอดระยะเวลา 10 วัน

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมีก็เพิ่มขึ้น การละลายของแก๊สลดลง การละลายของแร่ธาตุเพิ่มขึ้น โดยปกติอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติจะผันแปรตามอุณหภูมิของอากาศ ขึ้นกับฤดูกาล ระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศ รวมถึงขึ้นกับความเข้มของแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ กระแสลม ความลึก ปริมาณสารแขวนลอยหรือความขุ่น และสภาพแวดล้อมทั่วไปในแหล่งน้ำ อุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นกว่าปกติเพียง 2-3 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อคุณภาพน้ำและแหล่งน้ำ เช่น ความหนาแน่น ความหนืด ความสามารถในการละลายออกซิเจน

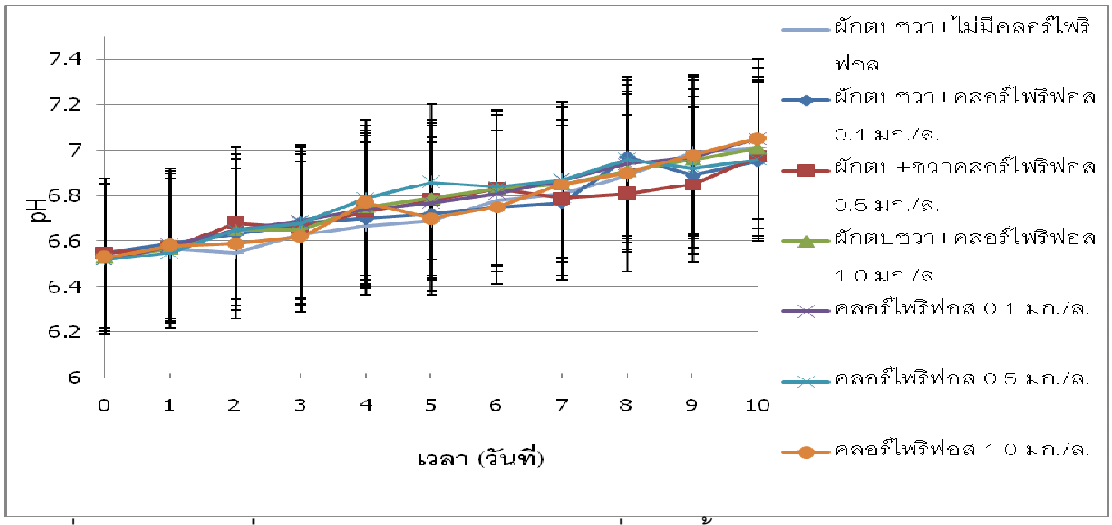
การแบ่งชั้นของน้ำ การหมุนเวียนของแร่ธาตุต่างๆและกระแสน้ำเป็นต้น ผลกระทบที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำที่อุณหภูมิสูงขึ้น คือปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะมีอัตราการผกผันหรือตรงข้ามกับอุณหภูมิของน้ำ คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะลดลง ในขณะที่กระบวนการเมตาบอลิซึมผันแปรตามอุณหภูมิคือจะเพิ่มขึ้นเป็น 2-3 เท่าเมื่ออุณหภูมิสูงเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส ในขณะเดียวกัน การทำงานของพวกแบคทีเรียและจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในการย่อยสลายสิ่งปฏิกูลต่างๆ ในน้ำก็จะเพิ่มขึ้น และต้องใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ก็จะทำให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจนเร็วขึ้น เป็นเหตุให้น้ำเกิดการเน่าเสีย (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ, 2528) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในภาชนะบรรจุน้ำเกิดได้จากการที่มีแสงส่องผ่านลงไปในแหล่งน้ำต่อมามีการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2539) อุณหภูมิมีผลต่อการควบคุมอัตราการเจริญเติบโตของพืช โดยมีผลโดยตรงต่อการสังเคราะห์แสง การหายใจ การดูดธาตุอาหาร การคายน้ำและกิจกรรมของเอนไซม์ต่างๆ โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลในการเร่งขบวนการทางเคมีต่างๆ ในพืช ขบวนการเหล่านี้ควบคุมโดยเอนไซม์ ซึ่งจะทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิแคบๆ อุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมจะทำให้เอนไซม์ทำงานลดลง มีผลให้ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ในพืชลดลงหรือหยุดไปด้วย เมื่อถึงจุดนี้ พืชจะอยู่ในภาวะเครียดและหยุดการเจริญเติบโต และอาจตายได้ในที่สุด การควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชจึงเป็นเรื่องสำคัญ แต่สำหรับในการศึกษานี้มีภาชนะที่เหมือนกันและอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมโรงเรือนแบบเดียวกันค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ในแต่ละชุดการทดลองจึงไม่มีความแตกต่างกัน

4.1.2 **ค่าความเป็นกรดด่าง**

ค่าความเป็นกรดด่างของสารละลาย มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากวันแรกถึงวันที่ 10 โดยที่ค่าความเป็นกรดด่างของชุดควบคุมที่ปลูกผักตบชวาแต่ไม่มีคลอร์ไพริฟอส ชุดควบคุมที่ไม่ปลูกผักตบชวาและเติมคลอร์ไพริฟอส 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 6.55-7.01, 6.52-7.05, 6.52-6.96 และ 6.53-7.05 ส่วนในชุดการทดลองที่ปลูกผักตบชวาและเติมคลอร์ไพริฟอส 0.1 0.5 และ1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอยู่ในช่วง 6.55-6.95, 6.55-6.97และ 6.53-7.01 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2)

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2545) กล่าวว่า pH มีบทบาทและความสำคัญต่อการทำงานของกระบวนการต่างๆ เช่นการสลายตัวของสาร การตกผลึก การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา เป็นต้น ระดับ pH ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการต่างๆ นั้นมีค่าไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางเคมี หรือชีวภาพของกระบวนการ ค่า pH ของน้ำธรรมชาติส่วนใหญ่มีค่าอยู่ใน พิสัย 4-9

(กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2544) เนื่องจากค่า pH มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นอิออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลต่อการดูดซับ โดยทั่วไปอัตราดูดซับสิ่งปนเปื้อนในแหล่งน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH มีค่าลดลงเพราะ H^+ เพิ่มขึ้น (พัชรีย์ ถาวรเจริญพงษ์, 2541)



ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายที่เพาะเลี้ยงผักตบชวาและชุดควบคุมตลอดระยะเวลา 10 วัน

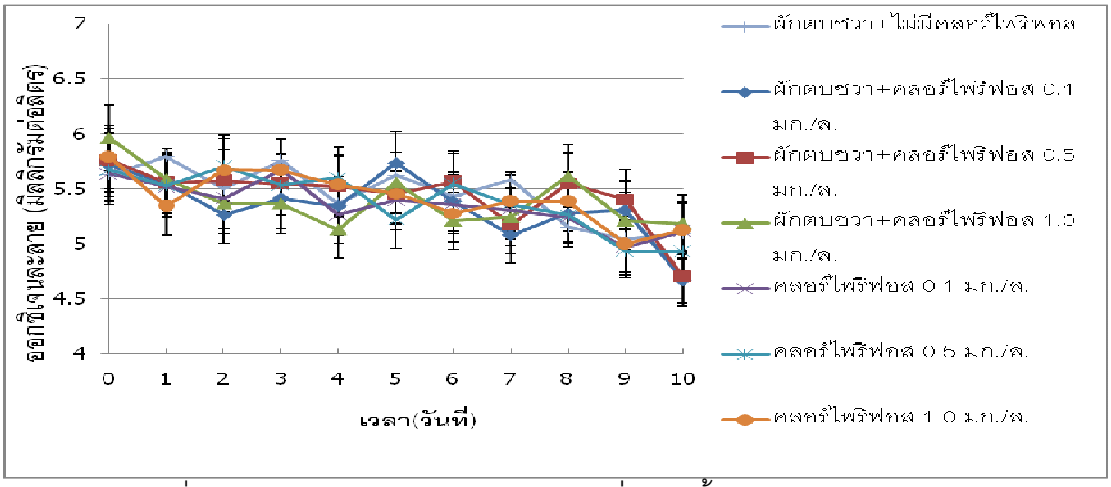
ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำก็มีส่วนทำให้ pH ของน้ำเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยพืชน้ำจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อการสังเคราะห์แสงในเวลากลางวันทำให้ pH ของน้ำจะสูงขึ้นและค่อย ๆ ลดลงในเวลากลางคืนเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปลดปล่อยออกจากกระบวนการหายใจ (ยนต์ มุสิก, 2530) นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดด่างที่แสดงความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจน $[H^+]$ ในน้ำ ในทางปฏิบัติ แสดงถึงความเป็นกรดด่างของสารละลาย (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์, 2540)

สำหรับค่า pH ของสารละลาย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่ปลูกพืชทำให้ค่า pH ของน้ำสูงขึ้นอาจเป็นสาเหตุมาจากพืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อการสังเคราะห์แสงในเวลากลางวันทำให้ pH ของน้ำจะสูงขึ้น เนื่องจากในช่วงการเจริญเติบโตทางใบและลำต้น พืชจะมีการดูดใช้ NO^-_3 เป็นส่วนใหญ่ (ดูดใช้ anion มากกว่า cation) ดังนั้นก็จะปล่อย HCO^-_3 ออกมาเท่ากันมีผลให้ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น (อารักษ์ ธีรอำพน, 2544)

อัตราการสลายตัวของสารในน้ำนั้นจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วใน pH ที่เป็นด่าง จากการศึกษาการย่อยสลาย azinphos ที่ความเข้มข้น 1 และ10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่ระดับ pH 5, 7 และ 9 มีค่าครึ่งชีวิต คือ 38, 37 และ 6.9 ตามลำดับ และที่ pH เท่ากับ 6.2 และ 5.3 ที่อุณหภูมิ 18 และ 22 องศาเซลเซียส พบว่าสารฆ่าศัตรูพืชมีค่าครึ่งชีวิตอยู่ในช่วง 37-38 วัน (USEPA, 1998)

4.1.3 ค่าออกซิเจนละลาย

ค่าออกซิเจนละลายของสารละลาย มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีแนวโน้มลดลงจากวันแรกถึงวันที่ 10 โดยที่ค่าออกซิเจนละลายของชุดควบคุมที่ปลูกผักตบชวาไม่เติมคลอร์ไพริฟอส ชุดควบคุมไม่ปลูกพืชและเติมคลอร์ไพริฟอส 0.1, 0.5 และ1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอยู่ในช่วง 5.63-5.1, 5.57-5.06, 5.72-4.99 และ 5.72-5.13 มิลลิกรัมต่อลิตร และในชุดการทดลองที่ปลูกผักตบชวาและเติมคลอร์ไพริฟอส 0.1, 0.5 และ1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอยู่ในช่วง 5.71-4.89, 5.75-4.92 และ 5.92-5.19 มิลลิกรัม เมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้ออกซิเจนละลายน้ำได้น้อย การหายใจของพืชก็จะทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง นอกจากนั้นยังมีการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านั้นต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปะปนอยู่ในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง (กฤษณา ชุติมา, 2541)

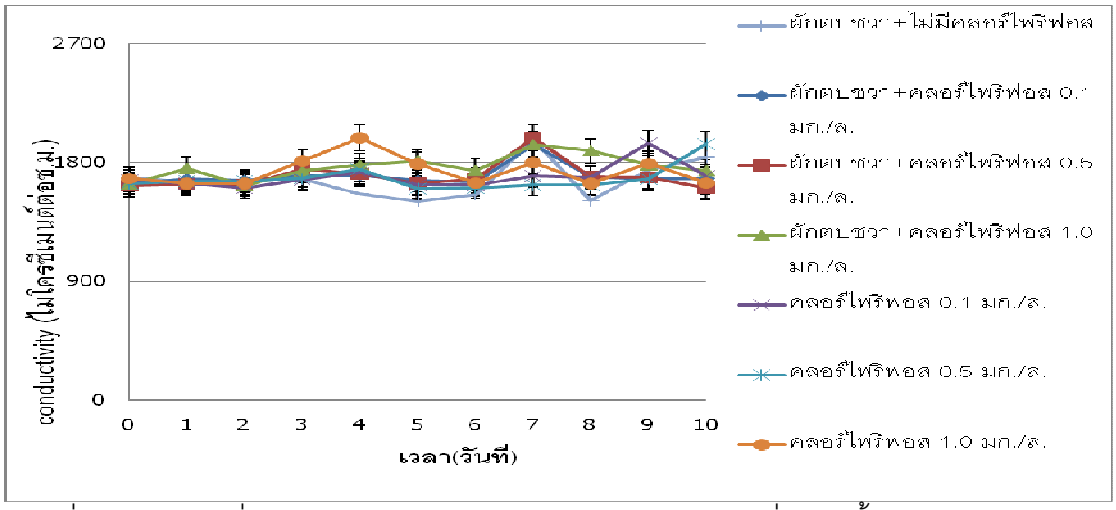


รูป 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายละลายที่เพาะเลี้ยงผักตบชวาและชุดควบคุมตลอดระยะเวลา 10 วัน

4.1.4 การนำไฟฟ้า

การนำไฟฟ้า มีความผันแปรตลอดระยะเวลาทั้ง 10 วัน โดยที่ชุดควบคุมที่ปลูกผักตบชวาไม่เติมคลอร์ไพริฟอส ชุดควบคุมไม่ปลูกพืชและเติมคลอร์ไพริฟอส 0.1, 0.5 และ1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 1,505-1,839, 1,603-1,941, 1,611-1,949 และ 1,636-1,881 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และในชุดการทดลองที่ปลูกผักตบชวาและเติมคลอร์ไพริฟอส 0.1, 0.5 และ1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 1,642-1,947, 1,582-1,831 และ 1,426-1,947 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพที่4.3) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ McGregor *et al.*(2008) ที่ทำการวัดอุณหภูมิสูงสุด pH และ Conductivity เฉลี่ยเป็นเวลา

มากกว่า 42 ชั่วโมง โดยมีความเข้มข้นของสารละลาย atrazine ดังนี้ 0, 25, 50, 100 และ 250 ไมโครกรัมต่อลิตร พบว่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย pH และ Conductivity ในแต่ละความเข้มข้นมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) แต่จากการศึกษาของพิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และพันธวัศ สัมพันธ์พานิช (2550) พบว่าค่าสภาพการนำไฟฟ้ามีความสอดคล้องกับค่า pH ซึ่งค่า pH สูงขึ้นจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นตามไปด้วย

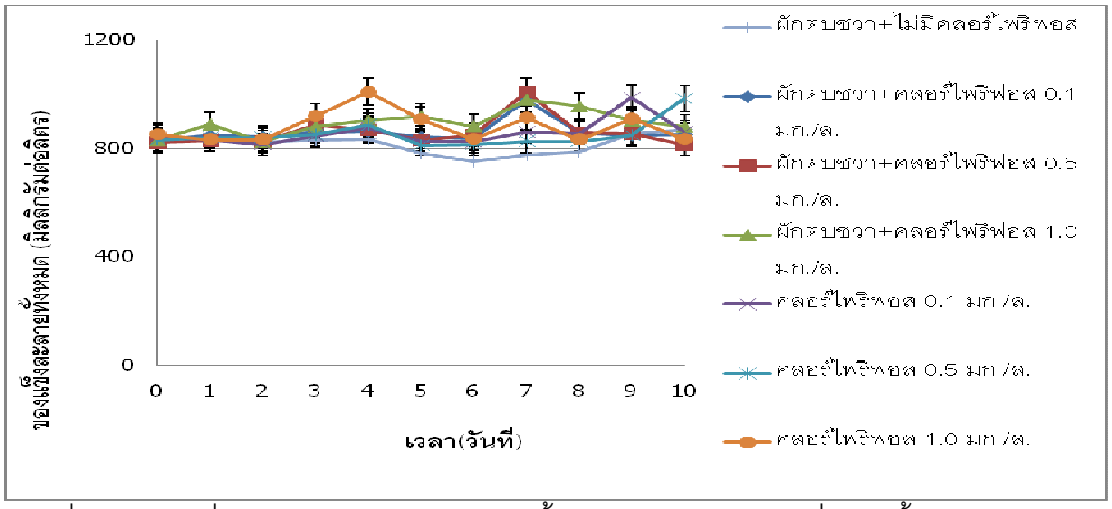


ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า conductivity ของสารละลายที่เพาะเลี้ยงผักตบชวาและชุดควบคุม ตลอดระยะเวลา 10 วัน

ค่า conductivity เป็นการวัดความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านคุณสมบัติข้อนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ชนิดของอิออนในน้ำ และอุณหภูมิ น้ำที่มีอิออนของสารต่างๆ อยู่สามารถนำไฟฟ้าได้แก่ กรด ด่างแก่ และเกลืออนินทรีย์ เช่น Na_2CO_3 และ NaCl เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีเพราะแตกตัวให้อิออนบวกและลบ ในทางตรงข้ามโมเลกุลของสารอินทรีย์ เช่นซูโครสและเบนซีนไม่แตกตัวเป็นอิออนในน้ำจึงไม่นำไฟฟ้า ค่า conductivity ไม่ได้เป็นค่าเฉพาะอิออนตัวใดตัวหนึ่ง แต่เป็นค่ารวมอิออนทั้งหมดในน้ำ ค่านี้ไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำ บอกแต่เพียงว่ามีการเพิ่มหรือลดของอิออนที่ละลายในน้ำเท่านั้น กล่าวคือค่า conductivity เพิ่มขึ้นแสดงว่ามีสารที่แตกตัวได้ในน้ำเพิ่มขึ้นหรือถ้าค่าการนำไฟฟ้าลดลงแสดงว่าสารที่แตกตัวในน้ำลดลง (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2544) การนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ต่อองศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิน้ำยิ่งสูงขึ้นสารต่างๆจะแตกตัวได้ดี ความสามารถของอิออนก็จะเพิ่มขึ้น จึงทำให้การนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น สุธี เกื้อเกตุ (2543) กล่าวว่าถ้าอุณหภูมิสูงจะทำให้ค่า conductivity สูงขึ้น เพราะอุณหภูมิของน้ำสูงทำให้เกิดการแตกตัวเป็นอิออนของเกลือมากขึ้น

4.1.5 ของแข็งละลายทั้งหมด

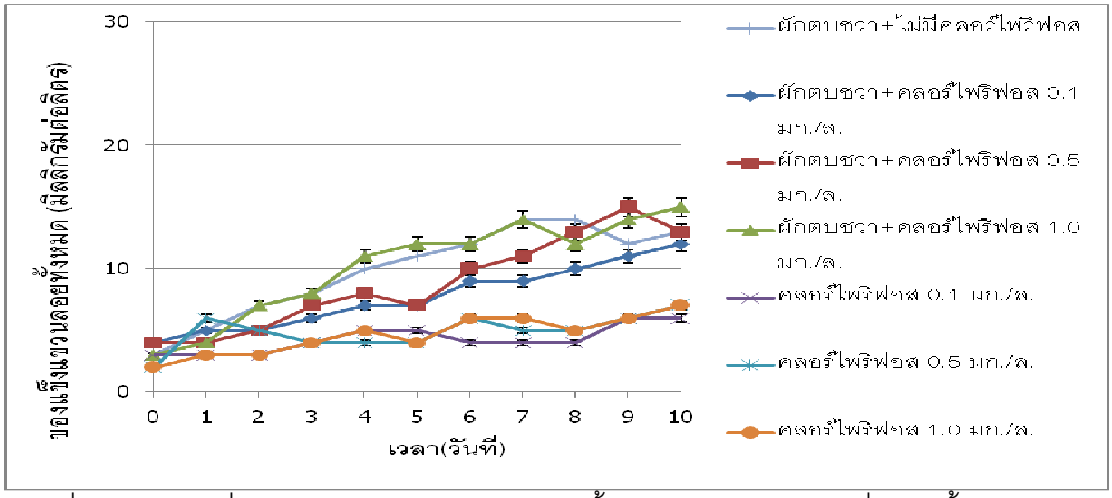
ผลการศึกษาพบว่า ของแข็งละลายทั้งหมด มีความผันแปรตลอดระยะเวลาทั้ง 10 วัน โดยชุดควบคุมที่ปลูกผักตบชวาไม่เติมคลอร์ไพริฟอส ชุดควบคุมไม่ปลูกพืชและเติมคลอร์ไพริฟอส 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอยู่ในช่วง 823-946, 806-977, 810-980 และ 823-946 มิลลิกรัมต่อลิตร และในชุดการทดลองที่ปลูกผักตบชวาและเติมคลอร์ไพริฟอส 0.1, 0.5 และ1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 830-980, 796-922 และ 719-980 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งละลายทั้งหมด จะบอกค่าความกระด้างของน้ำได้ ซึ่งความกระด้างของน้ำมีผลต่อการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ การวัดค่าของแข็งละลายทั้งหมด เป็นการวัดปริมาณสารอาหารทั้งหมดในสารละลายที่ดีที่สุด โดยการวัดค่าความเข้มข้นของปุ๋ย ความเข้มข้นรวมของธาตุในสารละลายธาตุอาหารควรอยู่ระหว่าง 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแรงดันออสโมติก (Osmotic Pressure) ในกระบวนการการดูดซึมของรากจะทำงานได้ดี โดยทั่วไปค่าของแข็งละลายทั้งหมดที่เกินกว่า 2,800 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจส่งผลให้พืชร่วงโรย เหี่ยวแห้ง ยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชและทำให้ผลปริแตก ดังนั้นการทราบค่าที่พืชแต่ละชนิดต้องการจึงมีความสำคัญมาก



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่า ของแข็งละลายทั้งหมด ของสารละลายที่เพาะเลี้ยงผักตบชวาและชุดควบคุมตลอดระยะเวลา 10 วัน

4.1.6 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

ผลการศึกษาพบว่า ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด มีความผันแปรตลอดระยะเวลาทั้ง 10 วัน โดยชุดควบคุมที่ปลูกผักตบชวาไม่เติมคลอร์ไพริฟอส ชุดควบคุมไม่ปลูกพืชและเติมคลอร์ไพริฟอส 0.1, 0.5 และ1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอยู่ในช่วง 3-13, 3-6, 2-7 และ 2-7 มิลลิกรัมต่อลิตร และในชุดการทดลองที่ปลูกผักตบชวาและเติมคลอร์ไพริฟอส 0.1, 0.5 และ1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 4-12, 4-13 และ 3-15 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าในชุดการทดลองที่ปลูกผักตบชวาในสารละลายคลอร์ไพริฟอส มีค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในปริมาณที่มากและสูงกว่าในชุดการทดลองที่ไม่ปลูกผักตบชวา เนื่องมาจากของแข็งแขวนลอยส่วนหนึ่งที่ได้มาจากเศษชิ้นส่วนของผักตบชวาที่เหี่ยวเฉาลงระหว่างการทดลอง ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่มีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากเศษซากต่างๆ ที่เกิดจากการหลุดร่วงของผักตบชวา อาจเกิดตะกอนขึ้นได้จึงทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มมากขึ้น (สุธินี วดีศิริศักดิ์, 2550)



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของสารละลายที่เพาะเลี้ยงผักตบชวาและชุดควบคุมตลอดระยะเวลา 10 วัน

ผลทางด้านเคมีของสารละลายเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติแล้ว พบว่า ค่าอุณหภูมิ ค่า pH conductitity ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ค่าของแข็งละลายทั้งหมด ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ในชุดควบคุมปลูกผักตบชวาไม่เติมคลอร์ไพริฟอส ชุดควบคุมไม่ปลูกผักตบชวาและเติมคลอร์ไพริฟอส 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ปลูกผักตบชวาเติมคลอร์ไพริฟอสความเข้มข้น 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

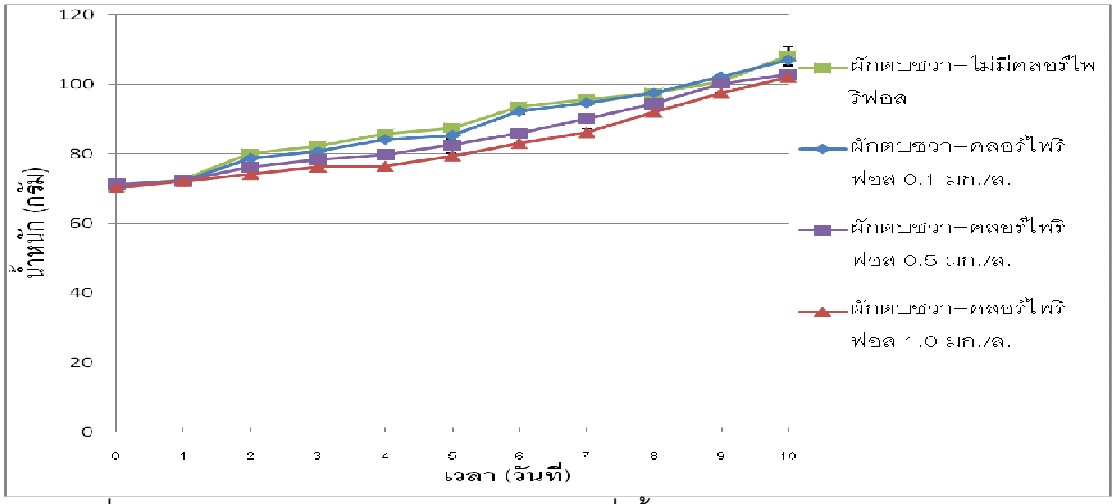
4.2 อิทธิพลของคลอร์ไพริฟอสต่อมวลชีวภาพของผักตบชวา

ผลการเจริญเติบโตของผักตบชวาจากการชั่งน้ำหนักสด พบว่าในช่วงวันแรกผักตบชวาในชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส และไม่เติมคลอร์ไพริฟอสมีน้ำหนักสดไม่แตกต่างกัน แต่จากการทดลองวันที่ 2 พืชในชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสมีน้ำหนักสดมากกว่าพืชในชุดที่เติมคลอร์ไพริฟอส และพืชเริ่มมีน้ำหนักสดที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนตั้งแต่วันที่ 6 โดยพืชในชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสมีน้ำหนักสดมากกว่าพืชในชุดทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส ซึ่งแสดงว่าพืชเจริญในสารละลายที่ไม่ใส่คลอร์ไพริฟอสได้ดีกว่าพืชที่อยู่ในสารละลายที่มีคลอร์ไพริฟอสและทำให้มีน้ำหนักสดมากกว่า (ภาพที่ 4.7)

การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ได้คำนวณตาม McGregor *et al*. (2008) จากมวลชีวภาพสด และมวลชีวภาพแห้งของพืช ที่น้ำหนักพืช W1 และ W2 ที่เวลา t1 และ t2 ดังสมการต่อไปนี้

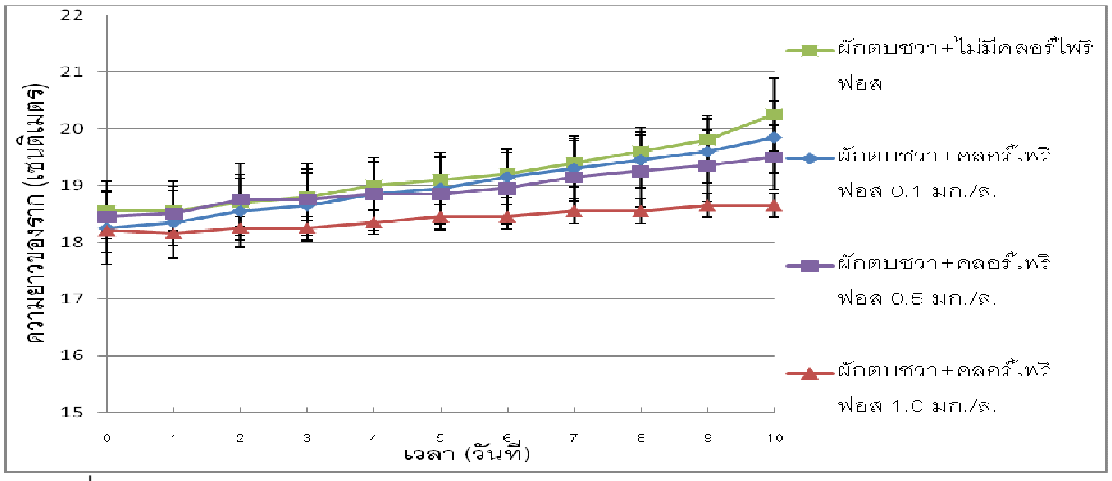
$$RGR = [\ln(W_2)-\ln(W_1)] / t_2 - t_1$$

ผลการศึกษาพบว่า พืชในชุดควบคุมที่ปลูกผักตบชวาแต่ไม่มีคลอร์ไพริฟอสมีค่า RGR_{FW} และ RGR_{DW} เท่ากับ 0.047 และ 0.041 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อวัน และในชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอสความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยมีค่า RGR_{FW} เท่ากับ 0.046, 0.042, 0.040 และมีค่า RGR_{DW} เท่ากับ 0.039, 0.038 และ0.036 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อวัน ตามลำดับ



ภาพที่ 4.7 การเจริญเติบโตของผักตบชวาโดยการชั่งน้ำหนักสดทุกวัน เป็นระยะเวลา 10 วัน

Flocco *et al.* (2004) รายงานว่า หญ้ามีความคงทนต่อสาร methyl azinphos ที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอาจเกิดจากการปรับตัวทางสรีรวิทยาของพืช หรือเนื่องจากความเข้มข้นของ methyl azinphos ลดลง ทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้



ภาพที่ 4.8 การเจริญเติบโตของผักตบชวาโดยการวัดความยาวรากทุกวัน เป็นระยะเวลา 10 วัน

การเจริญเติบโตของผักตบชวาโดยการวัดความยาวรากในชุดควบคุมปลูกผักตบชวาไม่เติมคลอร์ไพริฟอสและชุดการทดลองปลูกผักตบชวาเติมคลอร์ไพริฟอสความเข้มข้น 0.1, 0.5 และ1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตลอดทั้ง 10 วัน ความยาวรากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยอยู่ในช่วง 18.55-20.25, 18.25-19.85, 18.45-19.5 และ 18.2-18.65 เซนติเมตร ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนตามลำดับ (ภาพที่ 4.8)

การเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพของพืช เป็นดัชนีชี้วัดความสามารถของพืชในการทนความเป็นพิษ และใช้เป็นตัวชี้วัดความสัมพันธ์ของพืชแต่ละชนิดในการแข่งกันเจริญเติบโตและความหนาแน่นของพืชที่อยู่ร่วมกัน (density-denpendence) (McGregor *et al, 2008*) ซึ่ง DowAgro Science (2008) รายงานว่า ปริมาณของคลอร์ไพริฟอส 50% EC จะยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Scenedesmus* และ *Seletonema Costatum* ที่ 0.48 และ 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับที่ 96 ชั่วโมง

จากการศึกษาของ Prasertsup and Ariyakanon (2011) พบว่า จอกและแหนเป็ดที่เติมคลอร์ไพริฟอสในปริมาณ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระยะเวลา 7 วัน พบว่าพืชทั้งสองชนิดมีปริมาณมวลชีวภาพลดลง โดยดูจากค่า RGR_{FW} มีค่าเท่ากับ -0.036 และ -0.023 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อวันซึ่งแตกต่างจากผลการศึกษาครั้งนี้ ที่พบว่า ผักตบชวาในชุดควบคุมที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสและชุดการทดลองที่ปลูกผักตบชวาในคลอร์ไพริฟอส 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ปริมาณมวลชีวภาพมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยดูจากค่า RGR_{FW} มีค่าเท่ากับ 0.047 และ 0.040 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อวัน

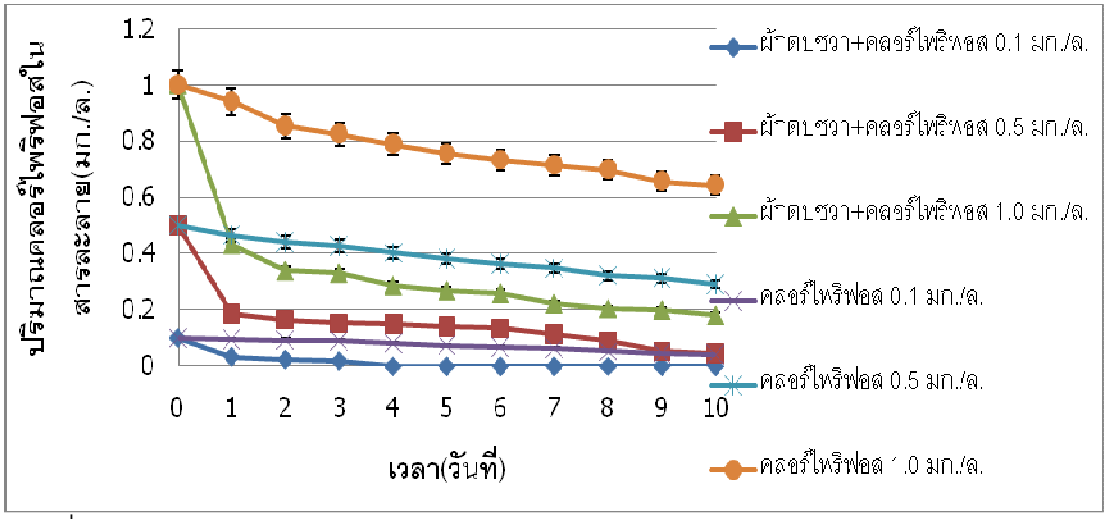
ซึ่งแสดงว่าผักตบชวาเจริญได้ดีในสารละลายที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสได้ดีกว่าผักตบชวาที่อยู่ในสารละลายที่มีคลอร์ไพริฟอสและทำให้มีน้ำหนักมากกว่า และปริมาณคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของผักตบชวา

4.3 อิทธิพลของผักตบชวาต่อการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย

จากกราฟแสดงแนวโน้มของคลอร์ไพริฟอสในสารละลายแต่ละชุดการทดลอง (ภาพที่ 4.12) ตามสมการ First-order kinetics curve (สมการที่ 4.2)

$$C_t = C0_e^{-kt} \qquad (4.2)$$

ซึ่ง C_t และ C_0 คือความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอส (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่เวลา t (ชั่วโมง) และเวลาเริ่มต้น k คืออัตราคงที่ (ชั่วโมง$^{-1}$) ของคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย อัตราการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในสารละลายภายใต้ตำรับการทดลองต่างๆ พบว่าค่าคงที่ของอัตราการหายไปของคลอร์ไพริฟอสในสารละลายในชุดควบคุม (ไม่มีผักตบชวา) ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 3.52, 2.29 และ 1.84 ไมโครกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ และในชุดที่ปลูกผักตบชวาที่ความเข้มข้น 0.1 0.5 และ1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 17.19, 10.16 และ 7.16 ไมโครกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ



ภาพที่ 4.9 ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย Hoagland'No.2 แต่ละชุดการทดลอง

ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสที่เหลืออยู่ในสารละลาย ในชุดการทดลองที่ปลูกผักตบชวาและตำรับควบคุมความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้ง 10 วัน เท่ากับ 0.0436 และ 0.1794 มิลลิกรัมต่อลิตร และในความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร สารคลอร์ไพริฟอสได้หมดไปใน

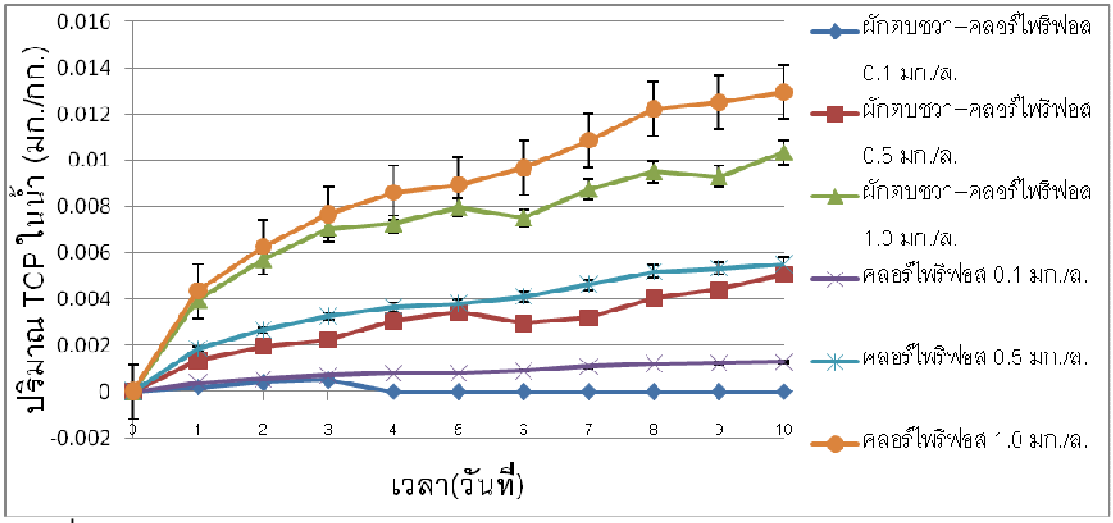
วันที่ 4 ของการทดลอง และในชุดควบคุมที่ไม่มีการปลูกผักตบชวา ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 0.043, 0.2889 และ 0.6432 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4.4 ปริมาณความเข้มข้นของ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ที่พบอยู่ในสารละลาย

ความเข้มข้นของ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ที่พบอยู่ในสารละลาย ในชุดการทดลองที่ปลูกผักตบชวาและเติมคลอร์ไพริฟอส ความเข้มข้น 0.1 0.5 และ1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.0005, 0.0051 และ 0.0104 มิลลิกรัมต่อลิตร และตำรับควบคุมไม่ปลูกผักตบชวาแต่มีคลอร์ไพริฟอสความเข้มข้น 0.1, 0.5 และ1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสูงสุด เท่ากับ 0.0013, 0.0055 และ 0.0130 มิลลิกรัมต่อลิตร

กระบวนการที่มีผลต่อการสลายตัวของสารฆ่าศัตรูพืช คือกระบวนการเคลื่อนย้าย (การระเหย การชะล้าง การพัดพา) และกระบวนการเปลี่ยนรูป (การเกิดออกซิเดชั่น-รีดักชั่น การสลายตัวโดยแสง และการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์) ซึ่งมีผลทำให้สารฆ่าศัตรูพืช เกิดการเปลี่ยนรูปและสลายไปได้ (Racke, 1992) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวของคลอร์ไพริฟอสที่ศึกษานี้ คือ การระเหย การแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำ และการย่อยสลายโดยพืช การแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำของคลอร์ไพริฟอส เป็นปัจจัยสำคัญในการย่อยสลายในดินและในน้ำทำให้ได้ 3,5,6-trichloro-2-pyridinol (UNEP,1993) คลอร์ไพริฟอสเสถียรในสภาพที่เป็นกรดและแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำได้ง่ายในสภาพที่เป็นด่าง

การศึกษาการแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำของคลอร์ไพริฟอส พบว่า การทำปฏิกิริยากับน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส pH 6.1 มีค่าครึ่งชีวิตในการแตกตัว เท่ากับ 120 วัน ที่ pH 7.4 ค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 53 วัน และที่ pH 7.4 อุณหภูมิ 37.5 องศาเซลเซียส ค่าครึ่งชีวิตในการแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำเท่ากับ 13 วัน (UNEP, 1993) ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิและค่าความเป็นกรดด่าง มีผลต่อการแตกตัวของสารและมีผลต่อค่าครึ่งชีวิตของสาร

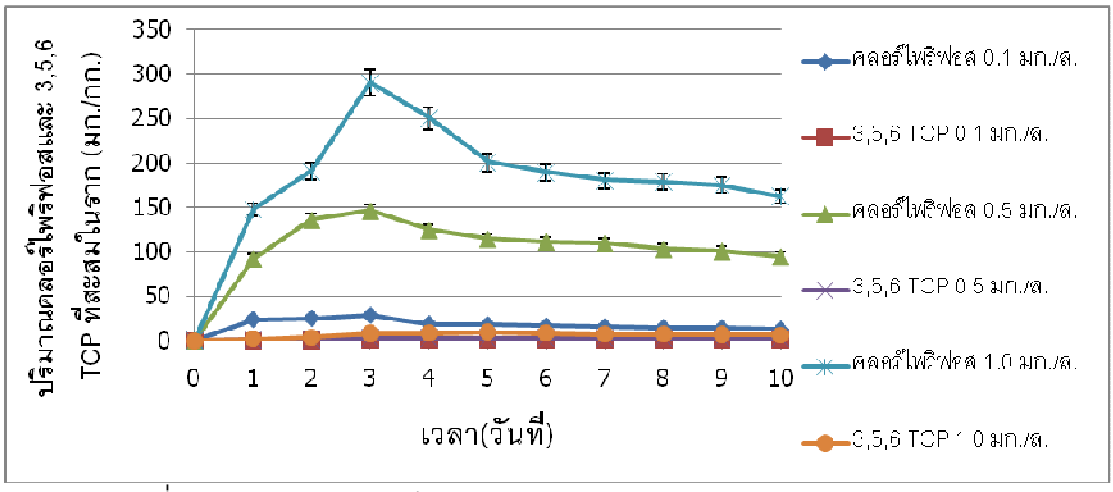


ภาพที่ 4.10 ความเข้มข้นของ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ในสารละลาย Hoagland'No.2 แต่ละชุดการทดลอง

4.5 ปริมาณคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ที่สะสมในรากผักตบชวา

การที่รากพืชดูดสารเคมีเข้าไปโดยตรงขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพ กระบวนการดูดซึมของพืชและความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำ ประสิทธิภาพของการดูดซึมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีในน้ำ ชนิดของสารเคมี และตัวพืชเอง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการสะสมคลอร์ไพริฟอสในรากผักตบชวามีค่ามากที่สุดเท่ากับ 290.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งในชุดการทดลองที่มีการเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสในรากจะมีค่าสูงสุดในวันที่ 3 ของการทดลอง หลังจากนั้นจะมีอัตราการลดลงตามลำดับ ส่วนการสะสม 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ในส่วนราก จะมีค่ามากที่สุดในวันที่ 5 ของการทดลอง โดยจะมีค่าเท่ากับ 9.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งในชุดการทดลองที่มีการเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นปริมาณ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol จะมีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 4.11) จากผลการศึกษากล่าวได้ว่าคลอร์ไพริฟอสที่พบในรากเกิดจากการดูดซึมของพืช การศึกษาของ Olette และคณะ (2008) พบว่าความสามารถสูงสุดในการบำบัดสาร dimethomorph ของ *Lemna minor* และ *Cabomba aquatica* จะเกิดขึ้นในวันที่ 1 ของการทดลอง โดยที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารชนิดนี้ได้สูงสุดเท่ากับ 27 และ 6 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และจากการศึกษาของ Xia และ Ma (2006) พบว่าความสามารถของผักตบชวาในการบำบัดสาร ethion จะเกิดขึ้นมากที่สุดในวันที่ 3 โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด ethion เท่ากับ 304.7 ไมโครกรัมต่อกรัม

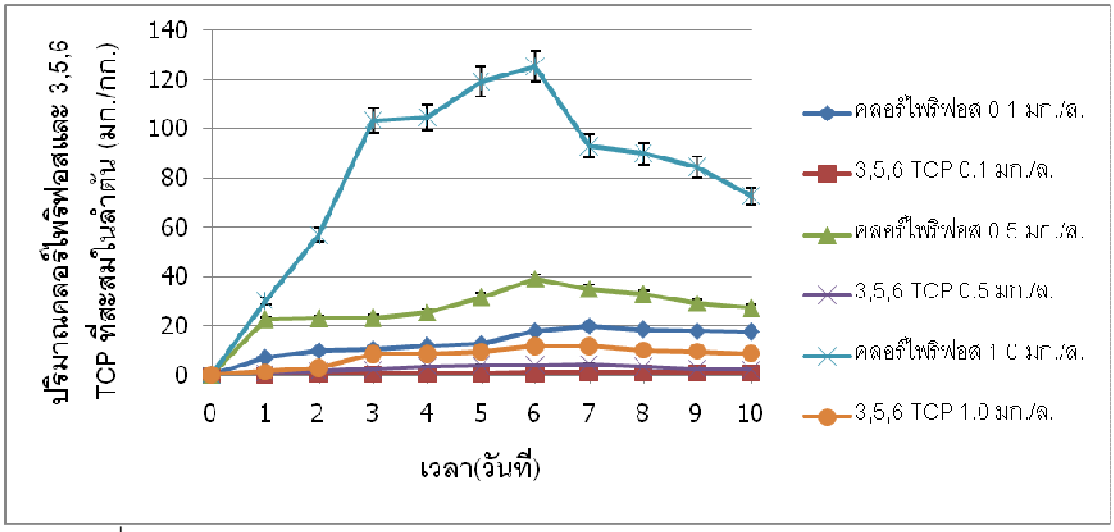
วิเชียร ณัฐวัฒนานนท์ (2517) กล่าวว่า การเคลื่อนย้ายของสารฆ่าศัตรูพืชอาศัยท่อน้ำ ท่ออาหารของพืช โดยเดินทางจากรากขึ้นสู่ลำต้นและใบ ทางท่อน้ำ (xylem) และเคลื่อนที่ลงปริมาณน้อยกว่าโดยเป็นไปอย่างช้าๆทางท่ออาหาร (phloem) สารฆ่าศัตรูพืชที่เข้าสู่พืชนั้นจะมีการเคลื่อนย้ายในอัตราที่ไม่เท่ากัน ขึ้นกับว่าจะดูดซึมเข้าทางส่วนไหนของพืช สารฆ่าศัตรูพืชที่เข้าสู่รากจะมีการเคลื่อนย้ายได้อย่างรวดเร็วกว่าที่ดูดซึมเข้าทางใบ สารฆ่าศัตรูพืชหลายชนิดสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นสารใหม่ได้ทั้งในดิน น้ำ และพืช สารใหม่นี้เรียกว่า metabolic products รากพืชสามารถดูดซึม สารฆ่าศัตรูพืชได้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังนี้ (1) คุณสมบัติและชนิดของสารกำจัดศัตรูพืชโดยเฉพาะคุณสมบัติละลายน้ำ (2) ชนิดของพืชบางชนิดที่มีลักษณะพิเศษ (3) อุณหภูมิ (4) ความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืช ฯลฯ



ภาพที่ 4.11 การสะสมคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ในรากผักตบชวา

4.6 ปริมาณคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ที่สะสมในลำต้นผักตบชวา

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าในชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร การสะสมคลอร์ไพริฟอสในลำต้นผักตบชวาจะมีค่ามากที่สุดพบในวันที่ 6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 125.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง หลังจากวันที่6 ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสในลำต้นจะลดลงตามลำดับ ส่วนการสะสม 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ในส่วนลำต้น จะมีค่ามากที่สุดในวันที่ 7 ของการทดลอง โดยจะมีค่าเท่ากับ 11.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง จากนั้นปริมาณ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol จะมีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 4.12) ซึ่งจากการวิจัยพบว่า คลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol เกิดจากกระบวนการ uptake และกระบวนการ translocation เนื่องจากบริเวณลำต้นของผักตบชวาไม่ถูกสัมผัสกับตัวทำละลาย



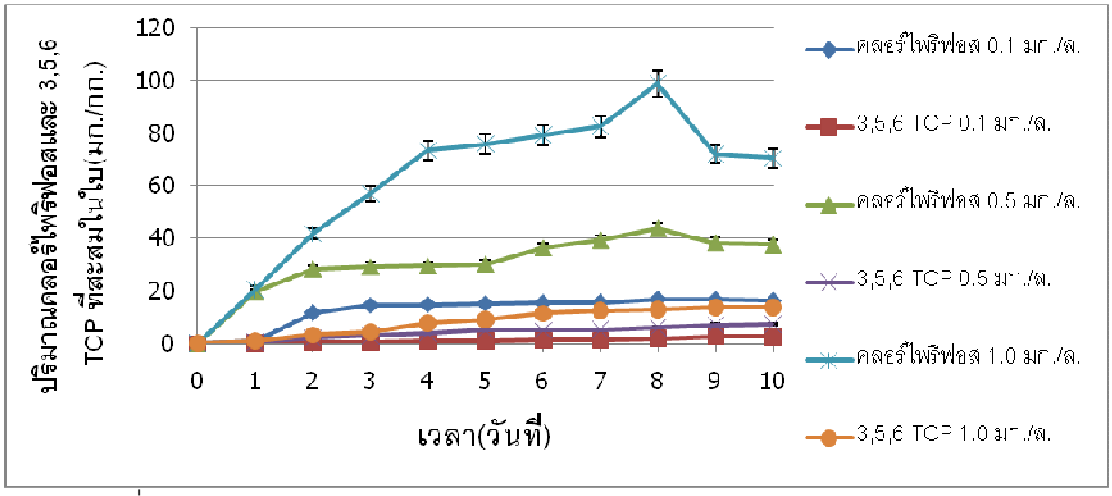
ภาพที่ 4.12 การสะสมคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ในลำต้นผักตบชวา

4.7 ปริมาณคลอร์ไพริฟอสและ3,5,6 trichloro-2-pyridinol ที่สะสมในใบผักตบชวา

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าในชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร การสะสมคลอร์ไพริฟอสในใบผักตบชวาจะมีปริมาณมากที่สุดในวันที่ 8 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 98.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสในใบ ลดลงทีละน้อยหลังจากวันที่ 8 ส่วนการสะสม 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ในส่วนใบ จะมีค่ามากที่สุดในวันที่ 10 ของการทดลอง โดยจะมีค่าเท่ากับ 13.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 4.13) ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ปริมาณ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในใบขณะที่ปริมาณคลอร์ไพริฟอสมีปริมาณลดลง ปริมาณ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ในใบส่วนหนึ่งมาจาก การ uptake และกระบวนการ translocation และอีกส่วนได้มาจากกระบวนการ metabolism ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Theodoulou (2000) และ Schroder (2007) ที่กล่าวไว้ว่า Xenobiotic เมื่อผ่าน cell wall เข้าไปในพืชแล้วจะถูก break down โดยทำปฏิกิริยากับ Cytochrom P450S ให้มีความเป็นพิษน้อยลงโดยกระบวนการ transformation หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการ Conjugation สารที่มีความเป็นพิษน้อยลงจะเข้าไปจับตัวกับกลูตาไธโอน หรือจับตัวกับน้ำตาล และเข้าสู่กระบวนการสุดท้ายคือกระบวนการ Sequestration สารบางส่วนจะเกิดการตกตะกอนถูกแยกไปเก็บไว้ในแวคคิวโอล และบางส่วนจะถูกปล่อยออกทางปากใบของพืช

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดสารฆ่าราา 2 ชนิดคือ dimethomorph และ pyrimethanil โดยใช้พืชน้ำ 5 ชนิด คือ *L. minor* *S. polyrhiza* *C. aquatica* *C. palustis* และ *E. canadensis* พบว่าอัตราการกำจัดสารฆ่ารามีค่ามากที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยมีอัตราการกำจัด dimethomorph และ pyrimethanil สูงสุด เท่ากับ 48 และ 33 ไมโครกรัมต่อกรัม

น้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนพืชที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดสารฆ่าราทั้งสองชนิดคือ *L. minor* และ *S. polyrhiza* (Olette *et al*., 2009)



ภาพที่ 4.13 การสะสมคลอร์ไพริฟอสและ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ในใบผักตบชวา

Karen *et al*. (1998) รายงานว่า *E. densa* มีความสามารถในการดูดซับคลอร์ไพริฟอส จากการศึกษาทดลองในครั้งนี้พบว่า ผักตบชวาเป็นพืชที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในน้ำ จากการศึกษาของ Olette *et al*. (2008) ที่ศึกษาความสามารถของพืชน้ำสามชนิด คือแหนเป็ด (*Lemna minor*) สาหร่ายหางกระรอก (*Elodea Canadensis*) และสาหร่ายพุงชะโด (*Cabomba aquatica*) ในการดูดดึง copper sulphate flazasulfuron และ dimethomorph ผลการศึกษาพบว่าแหนเป็ดมีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดสารฆ่าศัตรูพืชทั้งสามชนิด และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 30,27 และ 11 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดของพืชตามลำดับ

Chuluun *et al*. (2009) รายงานว่าการสะสมสารฆ่าศัตรูพืชในส่วนต่างๆของพืชนั้น อาจสะสมได้หลายแบบและแตกต่างกันไป อย่างหลากหลาย ขึ้นอยู่กับชนิดของสารประเภทนั้นๆที่ทำการศึกษา ก่อนจะเกิดการเคลื่อนย้าย สารฆ่าศัตรูพืชกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต พืชจะต้องมีการสัมผัสและกับสารและถูกนำขึ้นโดยพืช อาจมีกระบวนการเฉพาะที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับสารประกอบยังไม่แน่นอนว่าการเปลี่ยนแปลงของสารเกิดขึ้นบนพื้นผิวหรือระหว่างการขนส่งในเนื้อเยื่อพืช (Schnoor *et al*., 1995)

การเปลี่ยนแปลงในกระบวนการเมทาบอไลท์นี้ ขึ้นอยู่กับสามปัจจัยหลักๆดังต่อไปนี้ คุณสมบัติทางกายภาพของสารประกอบ ชนิดพันธุ์ของพืชที่นำมาทดสอบ และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Tarrant *et al*., 1992)

Smith *et al*. (1967c) รายงานว่า การดูดซึมสารคลอร์ไพริฟอสด้วยรากของพืชตระกูลถั่ว โดยปลูกพืชในคลอร์ไพริฟอสที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม พบมีการกระจายตัวของสารปริมาณ

น้อยกว่า 0.07 เปอร์เซนต์ ซึ่ง เมื่อเทียบกับน้ำหนักของเนื้อเยื่อของพืชแล้ว มีคลอร์ไพริฟอส ตกค้างอยู่ปริมาณ <0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการทดลองเดียวกันนี้ พบว่าคลอร์ไพริฟอสส่วนใหญ่ถูกเคลือบไว้ที่รากประมาณ 50 เปอร์เซนต์ ที่เวลา 72 ชั่วโมง คลอร์ไพริฟอสถูกดูดซึมในจำนวนที่น้อยมากซึ่งยากที่จะศึกษาเกี่ยวกับ 3,5,6-trichloro-2-pyridonol และกำหนดลักษณะของสารที่เกี่ยวข้องได้ โดยที่มีเพียงบางส่วนที่ถูกตรวจพบในเนื้อเยื่อพืช 3,5,6-trichloro-2-pyridonol คือสารที่ได้จากการย่อยสลายคลอร์ไพริฟอสในดิน ซึ่งอาจจะถูกดูดซึมหรือไม่ถูกดูดซึมไปโดยพืช ขึ้นอยู่กับความเป็นกรดด่าง 3,5,6-trichloro-2-pyridonol ที่พบได้ในสารละลายที่มีค่า pH 6.0 นั้นไม่สามารถละลายน้ำได้ ชนิดของสารที่ใช้ปลูกต้นไม้ให้เจริญเติบโตไม่มีผลต่อการดูดซึมของคลอร์ไพริฟอส พืชตระกูลถั่วที่ปลูกในสารที่มีค่ากรดด่างที่ 5.5 และประกอบไปด้วยสาร 3,5,6-trichloro-2-pyridinol ในปริมาณ 10 มิลลิกรัม มี pyridinol หลงเหลืออยู่เพียง 0.007 บนยอดพืช เมื่อมีค่า pH 7.0 pyridinol จะถูกเปลี่ยนเป็นเกลือซึ่งสามารถละลายน้ำได้ (4.4 กรัม/100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อเป็น Na salt) รวมไปถึงการดูดซึมของพืชที่ถูกกระตุ้นโดย pyridinol อย่างไรก็ตาม การทดสอบในดินและในสารละลาย ผลการทดลองพบว่าสารได้เข้าสู่พืชในปริมาณน้อยซึ่งจะไปสู่กระบวนการเผาผลาญกับ chloride และก่อให้เกิดสารละลายบางตัวที่ไม่สามารถระบุได้ มีเพียงการทดลองบางอย่างเท่านั้นที่สามารถนำสารคลอร์ไพริฟอส เข้าไปสู่พืชได้เพื่อที่จะทดสอบดูว่าสารตัวไหนที่เกิดการเผาผลาญไป ได้มีการนำวิธี string เพื่อนำคลอร์ไพริฟอสเข้าสู่ถั่ว แคนเบอร์รี่และพืชที่ให้ผลผลิตเก็บเกี่ยวได้ในช่วงเวลาต่างๆ เมื่อตรวจผลเนื้อเยื่อของพืชแล้วพบว่ามีคลอร์ไพริฟอสอยู่ในเนื้อเยื่อรวมไปถึงสารละลายที่เกิดจากการย่อยคลอร์ไพริฟอสนี้ด้วย จากการทดลองครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า เมื่อคลอร์ไพริฟอสถูกดูดซึมเข้าไปผ่านรากของพืชแล้ว จะถูกกระจายตัวไปในทุกส่วนของพืช

สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตหลายชนิด สามารถดูดซึมเข้าสู่ต้นพืชได้ โดยผ่านท่อลำเลียงอาหาร (phloem) เป็นการเคลื่อนย้ายซึ่งเกิดขึ้นอย่างช้าๆ หลังจากนั้นจะเคลื่อนย้ายไปสู่ท่อลำเลียงน้ำ (xylem) ซึ่งจะเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่างๆได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเข้าสู่ต้นพืชแล้ว สารเหล่านี้อาจอยู่ในรูปสารดั้งเดิม (parent compound) หรือเปลี่ยนรูปไปโดยกระบวนการทางชีวเคมีและเมทาบอลิซึมในเนื้อเยื่อพืช สารที่เปลี่ยนรูปไปอาจไม่มีความเป็นพิษต่อมนุษย์หรือสัตว์ หรือมีพิษรุนแรงมากกว่าเดิมก็ได้ (รัชนี สุวภาพ, 2541)

การสลายตัวโดยแสงเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีผลต่อความคงทนของคลอร์ไพริฟอส บนผิวดินและน้ำ คลอร์ไพริฟอสสลายตัวได้โดยแสงอัลตราไวโอเลต และแสงแดด(ศิวาภรณ์ สกุลเที่ยงตรง, 2527) ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ 3,5,6-trichloro-2-pyridinol (TCP) และ diethythiophosphate (smith, 1968) ส่วนในพืช 3,5,6-trichloro-2-pyridinol (TCP) จะเข้าไปรวมตัวกับเซลล์ของพืชให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนียและน้ำ (UNEP,1993)

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงทางสมบัติทางเคมีของสารคลอร์ไพริฟอส

5.1.1.1 อุณหภูมิ

ในการศึกษาอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้เลี้ยงพืชทุกชุดของการทดลองอยู่ในช่วง 24-27 องศาเซลเซียส และแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

5.1.1.2 ความเป็นกรดด่าง

ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากวันแรกถึงวันที่ 10 แต่เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

5.1.1.3 ค่าการนำไฟฟ้า

ในการศึกษานี้ ค่าการนำไฟฟ้า ทุกตำรับการทดลองมีค่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ มีความผันแปรตลอดระยะเวลาทั้ง 10 วัน มีค่าอยู่ในช่วง 1,604-1,987 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

5.1.1.4 ค่าออกซิเจนละลาย

ค่าออกซิเจนละลายในน้ำตลอดระยะเวลา 10 วัน พบว่า ปริมาณออกซิเจนละลาย มีแนวโน้มลดลง ทุกตำรับมีค่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

5.1.1.5 ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด

จากการทดลองพบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ตลอดการทดลอง 10 วัน มีการเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารละลายธาตุอาหารมีการปลดปล่อยประจุในปริมาณมาก ประจุ cation และ anion ที่ถูกปลดปล่อยมานั้นจะเป็นตัวที่จะยับยั้งการดูดซับแร่ธาตุอาหารของพืช ถ้ามีค่าปริมาณมากเท่าใดพืชจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับอาหารน้อยลง

5.1.1.6 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

จากการทดลองพบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดตลอดการทดลอง 10 วัน มีการเพิ่มขึ้น เนื่องจากพืชตายทำให้เกิดตะกอน ทำให้เกิดของแข็งแขวนลอยในน้ำจำนวนมาก

5.1.2 การเจริญเติบโตของผักตบชวา

5.1.2.1 น้ำหนักสด

จากการชั่งน้ำหนักสดพบว่า ผักตบชวาชุดที่ไม่มีคลอร์ไพริฟอสมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นมากกว่าผักตบชวาชุดที่มีคลอร์ไพริฟอส 0.1, 0.5 และ1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

5.1.2.2 ความยาวราก

การเจริญเติบโตของผักตบชวาโดยการวัดความยาวราก พบว่า ผักตบชวาชุดที่ไม่มีคลอร์ไพริฟอสมีความยาวรากเพิ่มขึ้นมากกว่าผักตบชวาชุดที่มีคลอร์ไพริฟอส 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

5.1.3 อิทธิพลของผักตบชวาต่อการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย

จากการศึกษาอิทธิพลของผักตบชวาต่อการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย การทดลองนี้พบว่าในชุดการทดลองที่ปลูกผักตบชวา และมีความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอส 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีปริมาณคลอร์ไพริฟอสเหลือในสารละลาย เท่ากับ 0.0436 และ 0.1794 มิลลิกรัมต่อลิตร และในความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร สารคลอร์ไพริฟอสได้หมดไปในวันที่ 4 ของการทดลอง

5.1.4 ปริมาณคลอร์ไพริฟอสที่สะสมในราก ลำต้น และใบ

การสะสมคลอร์ไพริฟอสในผักตบชวาจะเกิดขึ้นมากที่สุดในส่วนราก รองลงมาคือลำต้นและใบ ตามลำดับ ซึ่งปริมาณคลอร์ไพริฟอสที่สะสมในส่วนราก ลำต้น และใบ ของชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 290.1, 125.4 และ 98.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ในวันที่ 3, 6 และ 8 ของการทดลอง

5.1.5 ปริมาณ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ที่สะสมในราก ลำต้น และใบ

การสะสม 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ในผักตบชวาจะเกิดขึ้นมากที่สุดในส่วนใบ รองลงมาคือลำต้นและราก ตามลำดับ ซึ่งปริมาณ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ที่สะสมในส่วนใบ ลำต้น และราก ในชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ และ 13.8, 11.8 และ 9.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1 ควรมีการศึกษาการทดลองการใช้ผักตบชวาเพื่อกำจัดสารฆ่าศัตรูพืชในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชจริง อาทิ บริเวณพื้นที่โรงงานผลิตสารเคมีฆ่าศัตรูพืช พื้นที่เกษตรกรรม เป็นต้น

2 ลองใช้น้ำธรรมชาติ มาทดลองกับคลอร์ไพริฟอสเพราะมีปัจจัยอื่นมาเกี่ยวข้องอีกหลายอย่าง

3 ผักตบชวาเมื่อผ่านกระบวนการบำบัดแล้ว จะนำออกจากระบบบำบัด จากนั้นนำผักตบชวามาตากแดดให้แห้งเพื่อทำการไล่น้ำออกจากผักตบชวาให้หมด หลังจากนั้นทำการเก็บและนำไปฝังกลบให้ถูกวิธี เพื่อป้องกันการปนเปื้อนสู่ดิน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2544. เคมีของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 3. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏจันทรเกษม, กรุงเทพมหานคร.

กฤษณา ชุติมา. 2541. สุญญากาศ. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กองวัตถุมีพิษการเกษตร. 2552. รายงานสรุปการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตร. กรุงเทพมหานคร.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์. 2540. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 3. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท.).

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2539. แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พาลาภ สิงหเสนี. 2540. พิษของยาฆ่าแมลงต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 5. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

พิชิต สกุลพราหมณ์. 2535. การสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และพันธวัศ สัมพันธ์พานิช. 2550. การกำจัดโครเมียมโดยใช้พืชน้ำ. วารสารสิ่งแวดล้อม 29: 69-80.

พัชรีย์ ถาวรเจริญพงษ์. 2541. การกำจัดฟอสฟอรัสจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบ Oxidation Pond โดยการดูดซับด้วย Concete Waste. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง. ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมสัตว์น้ำ. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร.

ยนต์ มุสิก. 2530. กำลังผลิตชีววิทยาในบ่อปลา II. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

รัชนี สุวภาพ. 2541. สารพิษตกค้างของวัตถุมีพิษกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในพืช. กองวัตถุมีพิษการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

วิเชียร ณัฐวัฒนานนท์. 2517. การดูดซึมและการเคลื่อนย้ายยาฆ่าแมลงจากดินขึ้นสู่พืช. ข่าวสารวัตถุมีพิษ 1 (พฤษภาคม): 12-15

ศิวาภรณ์ สกุลเที่ยงตรง. 2527. การสลายตัวของคลอร์ไพริฟอสที่มีสารรังสีคาร์บอนในดินแลในใบข้าวโพด. ข่าวสารวัตถุมีพิษ 11 (มีนาคม-เมษายน): 48-65.

สุชาดา ศรีเพ็ญ; จันทนา สุขปรีดี; สุมน มาสุธน; สายัณห์ ทัดศรี; สุวพงษ์ สวัสดิ์พาณิชย์; สมบัติ ชิณะวงศ์; สมศักดิ์ เจริญวัย. 2543. ในเอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ รายงานการศึกษาวิจัยวิทยาศาสตร์การกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. กรุงเทพฯ, ส่วนที่ 21: หน้า 1-6 (795 หน้า)

สุธินี วดีศิริศักดิ์. 2550. การกำจัดโครเมียมด้วยต้นก้างปลาโดยวิธีการปลูกพืชในดินและไร้ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุธี เกื้อเกตุ. 2543. การสะสมและการกระจายการสะสมไอออนจากน้ำทะเลในแหล่งเลี้ยงกุ้งกุลาดำเขตน้ำจืด: กรณีศึกษาที่อำเภอบ้านสร้างจังหวัดปราจีนบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาการจัดการประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์. 2538. การใช้ดินตะกอนภาคพื้นมหาสมุทรในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชเป็นต้นแบบในการบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อลิสา วังใน. 2550. การบำบัดสารมลพิษทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อารักษ์ ธีรอำพน. 2544. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา. บริษัทโชคเจริญมาร์เกตติ้ง จำกัด.

ภาษาอังกฤษ

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc. 1986. Documentation of the threshold limit values and biological exposure indices. Fifth edition. Cincinnati, OH: Publications Office, ACGIH.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 1999. Chlorpyrifos. In: TLVs® and other occupational exposure values. [CD-ROM]. Cincinnati OH, USA; ACGIH®, Inc, 1999.

Berg, G. L., ed. 1986. Farm chemicals handbook. Willough, OH: Meister Publishing Company.

Bradman, A., Barr, D.B., Claus Henn, B.G., Drumheller, T., Curry, C., and Eskenazi, B. 2003. "Measurement of pesticides and other toxicants in amniotic fluid as a potential biomarker of pre-natal exposure: a validation study". Environ Health Perspect. 111, 1779–1782.

Chuluun Buyan, Janjit Iamchaturapatr, and Jae Seong Rhee. 2009. "Phytoremediation of Organophosphorus and Organochlorine Pesticides by *Acorus gramineus*". Environ. Eng. Res. 14(4) : 226-236

Cunningham, S.D., Anderson, T.A., Schwab, A.P., and Hsu, F.C. 1996. "Phytoremediation of soil contaminated with organic pollutants". Advances in Agronomy. 56, 55-114.

DowAgroSciences. 2008. Lorsban™ 15G Granular Insecticide. Material safety data sheet[Online].17 Available from: http://www.dowagro.com/PublishedLiterature/dh01d9/0901b803801d926e.pdf?filepath=ca/pdfs/noreg/01020909.pdf&fromPage =GetDoc, [2009, May 1]

Dow Chemical Company. 1986. Summary of acute dermal toxicity study on chlorpyrifos in Fischer 344 rats. Dow Chemical, Indianapolis, IN.

Dureja, P. 1989. "Photodecomposition of monocrotophos in soil, on plant foliage, and in water". Bull. Environ. Contam. Toxicol. 43: 239-245.68

Flocco C.G., Carranzaa M.P., Carvajalb L.G., Loewyb R.M., Pechen de D'Angelob A.M., Giuliettia A.M... 2004. "Removal of azinphos methyl by alfalfa plants (*Medicago sativa* L.) in a soil-free system". Science of the Total Environment 327 (2004) 31–39.

Gallo, M. A., and Lawryk, N. J. 1991. "Organic phosphorus pesticides". In Handbook of Pesticide Toxicology, Vol. 2 Classes of Pesticide. Academic Press

Gerbig, C.G and Emerson, J.L. 1970a. Oral median lethal dose (LD_{50}) determination of 3,5,6-trichloro-2-pyridinol in the rat. Report HH-239 Dow Chemical Co. (unpublished)

Gosselin, R. E., et al. 1984. Clinical toxicology of commercial products. Fifth edition. Baltimore, MD: Williams and Wilkins.

Ground Water Remediation Tecnologies Analysis Center. 1997. "Technology Evaluation Report : Phytoremediation". Pittsburgh, PA.

Harding, W. C. 1979. Pesticide profiles. Part one: Insecticides and miticides. Bulletin 267. Cooperative Extension Service. University of Maryland.

Hartley, D. and H. Kidd, eds. 1983. The agrochemicals handbook. Nottingham, England: Royal Society of Chemistry.

Hayes, W.J. and E.R. Laws (ed.). 1990. Handbook of Pesticide Toxicology, Vol. 3, Classes of Pesticides. Academic Press, Inc., NY.

Howard, P.H. (ed.). 1989. "Handbook of Environmental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals. Vol. III: Pesticides". Lewis Pubblishers, Chelsea, MI.

Interatate Technology and Regulatory Coopperation. 1999. Phytoremediation Decision Tree.

International Environmental Technology Center. 2009. Phytoremediation: An environmentally sound technology for pollution prevention, control and remediation an introduction guide to discision-markers" [Online]. USA: United nations Environment Program (UNEP), Division of Technology, Industry and economics[Online]. Available: http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Fresh water/FMS2/index.aspZ2003. [2010, July 19]

Karen, D,J., Joab, B.M., Wallin, J.M., and Johnson, K. A. 1998. "Partioning of chlorpyrifos between water and an aquatic macrophyte (*Elodea densa*)". Chemosphere. 37: 1579-1586

Li, H., Sheng, G., Sheng, W., and xu, O. 2002. "Uptake of trifluralin and lindane from water by ryegrass". Chemosphere. 48: 335-341.

Lu, C., Fenske, R.A., Simcox, N.J., and Kalman, D. 2000. "Pesticide exposure of children in an agricultural community: evidence of household proximity to farmland and take home exposure pathways". Environ Res. 290–302.

McCutcheon, S.C. and Schnoor, J.L. 2003. "Overview of phytotransformation and control of wastes". In Phytoremediation: Transformation and control of Contaminants. New Jersey: John Wiley & Sons, pp.3-58.

McEwen, F. L. and G. R. Stephenson. 1979. The use and significance of pesticides in the environment. NY: John Wiley and Sons, Inc.

McGregor, E.B., Solomon, K.R. and Hanson, M.L. 2008. “Effect of planting system design on the toxicological sensitivity of *Myriophyllum spicatum* and *Elodea Canadensis* to atrazine”. Chemosphere. 73,249-260

Meister, R.T. (ed.). 1992. Farm Chemicals Handbook '92. Meister Publishing Company, Willoughby, OH.

Moore, M.T., Schulz, R., Cooper, C.M.,Smith, Js., and Rodgers, J.H. 2001. “Mitigation of chlorpyrifos runoff using constructed wetlands”. Chemosphere. 46: 827-835

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 1981-1986. Registry of toxic effects of chemical substances (RTECS). Cincinnati, OH: NIOSH.

New York State Department of Environmental Conservation. 1986 (Feb.). Draft Environmental Impact Statement on Amendments to 6 NYCRR Part 326 Relating to the restriction of the pesticides aldrin, chlordane, chlorpyrifos, dieldrin and heptachlor. Division of Lands and Forests. Bureau of Pesticides. Albany, NY.

Occupational Health Services, Inc. 1991 (Sept. 16). MSDS for Chlorpyrifos. OHS Inc., Secaucus, NJ.

Olette, R., Couderchet, M., Biagianti, S., and Eullaffroy, P. 2008. “Toxicity and removal of pesticides by selected aquatic plants”. Chemosphere. 70, 1414-1421.

Olette, R., Couderchet, M., and Eullaffroy, P. 2009. “Phytoremediation of fungicides by aquatic macrophytes: Toxicity and removal rate”. Ecotoxicology and Environmental Safety. 72, 2096-2101.

Prasertsup, P., and Ariyakanon, N. 2011. “Removal of chlorpyrifos by water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) and duckweed (*Lemna minor* L.)”. International Jornal of Phytoremediation. 13(4): 383-395.

Quandt, S.A., *et al*. 2004. “Agricultural and residential pesticides in wipe samples from farmworker family residences in North Carolina and Virginia”. Environ Health Perspect. 112, 382–387.

Racke, K.D. 1992. “Degradation of organophosphorous insecticides in environmental matrices”, In Organophosphates : Chemistry, Fate and Effects. Academic Press, Inc.,California, USA. pp. 47-72.

Schimmel, S.C.,Granas, R.L., Patrick, J.M., and Moore, J.C. 1983. “Acute toxicity, bioconcentration, and persistence of AC 222, 705, Benthiocarb, Chlorpyrifos, Fenvalerate, Methyl Parathion, and Permethrin in the estuarine environmental”. J. Agr. Food Chem. 31: 104-113.

Schnoor, J. L. Licht, L. A. McCutcheon, S. C. Wolfe, N. L., and Carreira, L. H. 1995. “Phytoremediation of organic and nutrient contaminants”. Environ. Sci. Technol. *29*, 318A-323A.

Schroder P. 2007. Exploiting plant metabolism for the phytoremediation of organic xenobiotic, In: Willey N, editor. Phytoremediation: methods and reviews. Totowa, NJ: Humana Press Inc.

Shepard, T. H. 1986. Catalog of teratogenic agents. Fifth edition. Baltimore, MD: The Johns Hopkins University Press. 35a. Smith, C. N. 1981. Partition coefficients (Log Kow) for selected chemicals. In U.S. EPA, 1984. User's manual for the pesticide root zone model (PRZM). Release 1. Athens, GA: Environmental Research Laboratory. 35b. Stecher, P. G., ed. 1960. The Merck index. Seventh edition. Rahway, NJ: Merck and Company, Inc.

Smith, G.N., Watson, B.S., and Fischer, F.S. 1967a. “Investigations on Dursban insecticide. Uptake and translocation of (^{36}Cl) O,O-diethyl O-3,5,6-trichloro-2-pyridyl phosphorothioate by beans and corn”. J. Agr. Food Chem. 15(1): 127-131.

Smith, G.N., Watson, B.S. and Fischer, F.S. 1967b. “Investigations on Dursban insecticide. Metabolism of (^{36}Cl) O,O-diethyl O-3,5,6-trichloro-2-pyridyl phosphorothioate in rats”. J. Agr. Food Chem. 15(1): 132-138.

Smith, G.N., Watson, B.S. and Fischer, F.S. 1967c. “Investigations on Dursban insecticide. Metabolism of O,O-diethyl O-3,5,6-trichloro-2-pyridyl phosphorothioate and 3,5,6-trichloro-2-pyridinol in plants”. J. Agr. Food Chem. 15(5): 870-877.

Smith, G.N. 1968. “Ultraviolet light decomposition studies with Dursban and 3,5,6-trichloro-2-pyridinol”. J. Econ. Entomol., 61(3): 793-799.

Susarla, S., Medina, V.F., and McCutcheon, S.C. 2002. “Phytoremediation: an ecological solution to organic schemical contamination”. Ecol. Eng. 1818: 647-658.

Tarrant, K. A. Thompson, H. M. and Hardy, A. R. 1992. "Biochemical and histological effects of the aphicide demeton-S-methyl on house sparrows (*Passer domesticus*) under field condition". Bull. Environ. Contam. Toxicol. *48*, 360-366.

Theodoulou FL. 2000. Plant ABC transporters. Biochim Biophys Acta. 1465: 79-103.

Thomson, W.T. 1982. Insecticides, acaricides and ovicides. Agricultural Chemicals, Book I. Fresno, CA: Thomson Publications.

TOXNET. 1986. "National library of medicine's toxicology data network". Hazardous Substances Databank (HSBD). Public Health Service. National Institute of Health, U.S. Department of Health and Human Service. Bethesda, MD: NLM.

United Nations Environmental Programme (UNEP). 1993. IRPTC PC Database (c) version: 2.0 (full) [Computer program]. Geneva: International Register of protentially. Toxic Chemecal (IRPTC). (serial number 9309-2002).

U.S. Environmental Protection Agency. 1986. "Ambient water quality criteria for chlorpyrifos 1986". Offline of water Reguration and standard. Criteria and standard Division. Washington, DC.

US Environmental Protection Agency. June, 1989. Registration Standard (Second Round Review) for the Reregistration of Pesticide Products Containing Chlorpyrifos. Office of Pesticide Programs, US EPA, Washington, DC.

US Environmental Protection Agency. 1998. "Public dockets on the organophosphate pesticides.Azinphos methyl". Washington DC: Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances.

U.S. Environmental Protection Agency. 2000. "Introduction to Phytoremediation. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and development", EPA/600/R-99/107.

Wang, L., *et al*. 2006. "Behavior and Fate of chlorpyrifos introduced into soil-crop systems by irrigation". Chemosphere. 66: 391-396.

Worthing, C. R., ed. 1983. The pesticide manual: A world compendium. Croyden, England: The British Crop Protection Council.

Xia,H., Wu, L., and Tao, Q. 2003. "A review on phytoremediation of organic contaminance". Chin. J. Appl. Ecol. 14: 457-460.

Xia, H., and Ma, X. 2006. “Phytoremediation of ethion by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) from water”. Bioresource Technology. 97, 1050-1054.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

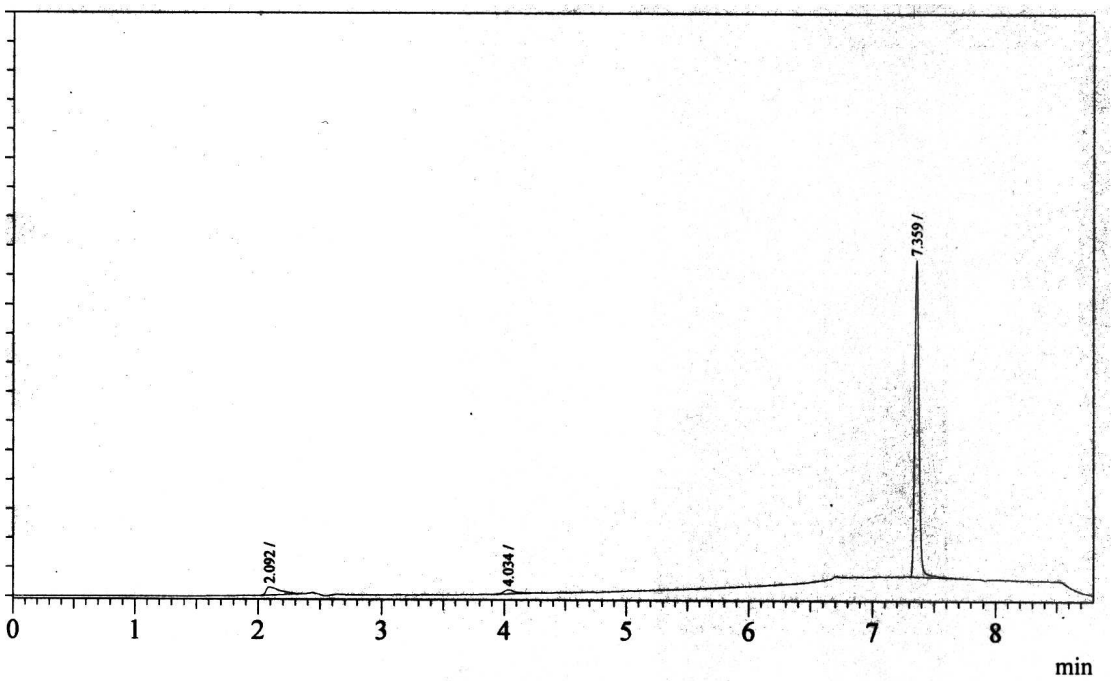
ตาราง ค่าเฉลี่ยลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำที่ทำการทดลองในแต่ละตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเป็นกรดด่าง	ออกซิเจนละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	การนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)	ของแข็งละลายทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ผักตบชวา	24.81±0.7	6.74±0.14	5.44±0.22	1669±102	817±37	9.9±3.7
คลอร์ไพริฟอส 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร	25.20±0.8	6.78±0.13	5.35±0.15	1689±55	856±46	4.2±1.1
คลอร์ไพริฟอส 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	25.04±0.9	6.78±0.13	5.39±0.22	1677±59	851±48	4.9±1.3
คลอร์ไพริฟอส 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	24.9±0.8	6.75±0.13	5.42±0.18	1732±92	878±56	4.6±1.5
ผักตบชวา+ คลอร์ไพริฟอส 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร	25.16±0.7	6.74±0.10	5.34±0.20	1695±44	860±41	7.7±2.6
ผักตบชวา+ คลอร์ไพริฟอส 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	25.02±0.7	6.74±0.09	5.43±0.18	1692±66	858±53	8.8±3.8
ผักตบชวา+ คลอร์ไพริฟอส 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	25.12±0.7	6.77±0.12	5.40±0.21	1764±66	895±46	10.1±4.0

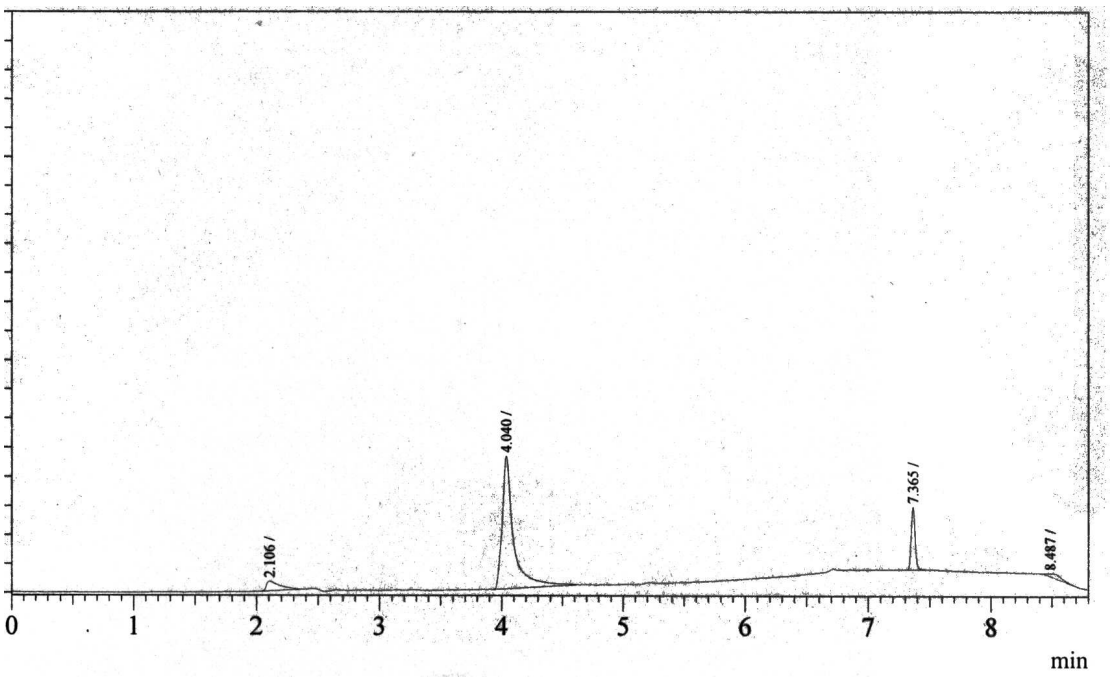
ภาคผนวก ข

รูปภาพที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยมีดังนี้

(ก)

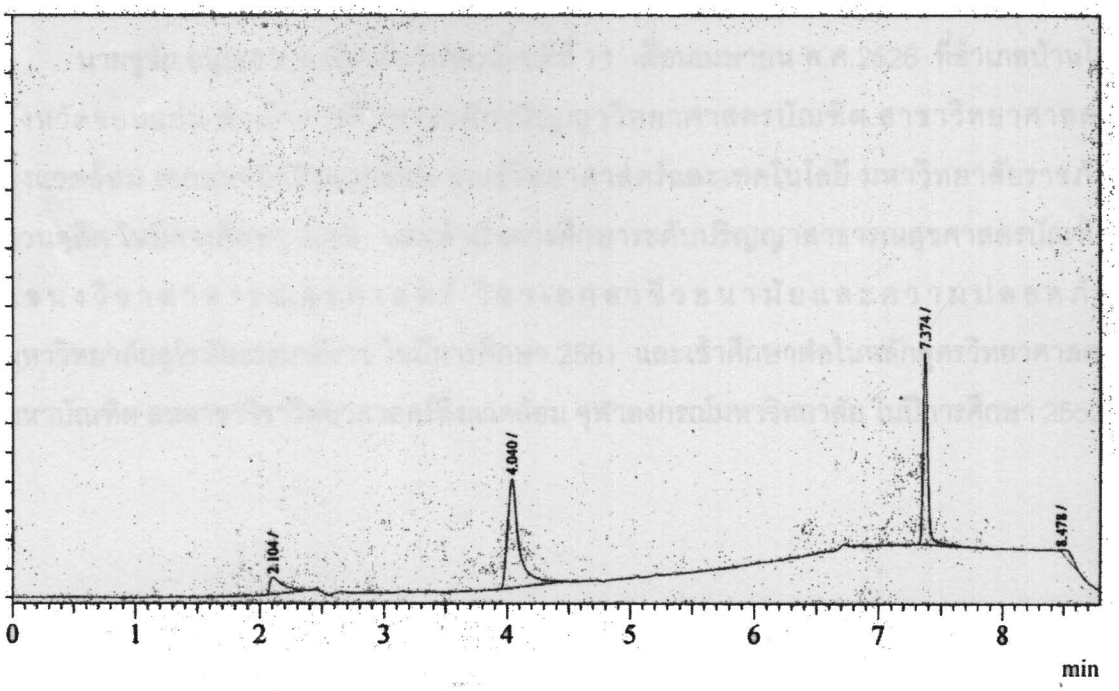


(ข)

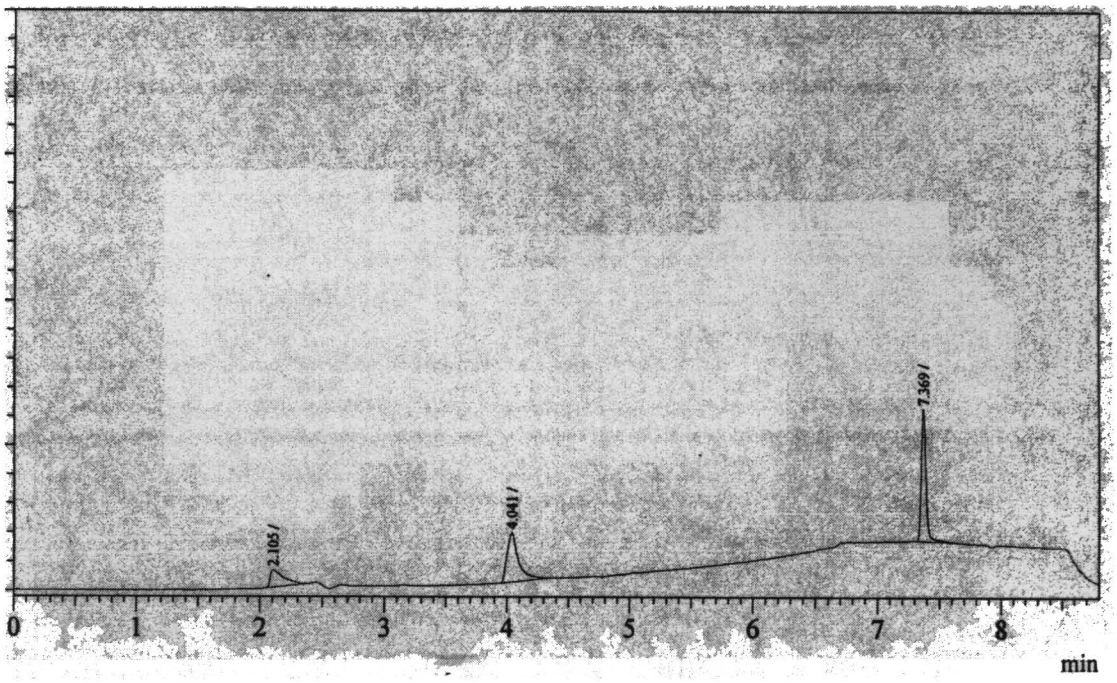


รูปที่ (ก) และ(ข) โครมาโตแกรมของ chlorpyrifos และ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol

(ก)



(ข)



รูปที่ (ก) และ(ข) โครมาโตแกรมของ สาร Chlorpyrifos และ 3,5,6 trichloro-2-pyridinol ที่วิเคราะห์พบในสารละลายและในผักตบชวา

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายชูชัย อนุเดชากุล เกิดเมื่อวันพฤหัสบดีที่ 11 เดือนเมษายน พ.ศ.2528 ที่อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เอกอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ในปีการศึกษา 2549 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต แขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ วิชาเอกอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ในปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552