การกำจัดคลอร์ไพริฟอสโดยใช้จอก *Pistia stratiotes* และแหนเป็ด *Lemna minor*

นางสาว พิชามญชุ์ ประเสริฐทรัพย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REMOVAL OF CHLORPYRIFOS BY WATER LETTUCE *Pistia stratiotes* AND COMMON DUCKWEED *Lemna minor*

Miss Pichamon Prasertsup

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดคลอร์ไพริฟอสโดยใช้จอก *Pistia stratiotes* และแหนเป็ด *Lemna minor*
โดย	นางสาว พิชามญชุ์ ประเสริฐทรัพย์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัยนันทน์ อริยกานนท์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

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

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

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิชามญชุ์ ประเสริฐทรัพย์: การกำจัดคลอร์ไพริฟอสโดยใช้จอก *Pistia stratiotes* และแหนเป็ด *Lemna minor* (REMOVAL OF CHLORPYRIFOS BY WATER LETTUCE *Pistia stratiotes* AND COMMON DUCKWEED *Lemna minor*)
อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.นัยนันทน์ อริยกานนท์, 82 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกำจัดคลอร์ไพริฟอสด้วยวัชพืชน้ำ 2 ชนิด คือจอก (*Pistia stratiotes*) และแหนเป็ด (*Lemna minor*) ซึ่งเป็นการใช้ความสามารถของวัชพืชน้ำที่พบได้ง่ายในประเทศไทย ที่สามารถดูดดึงคลอร์ไพริฟอสจากน้ำที่มีการปนเปื้อนได้ จากการศึกษาพบว่าในสภาวะที่ไม่มีคลอร์ไพริฟอส อัตราการเจริญเติบโตของแหนเป็ดจะมีค่ามากกว่าจอก ในทางตรงข้ามในสภาวะที่มีคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการเจริญเติบโตของพืชทั้งสองชนิดจะลดลง ค่าคงที่ของอัตราการหายไปของคลอร์ไพริฟอสในสารละลายในชุดควบคุม (ไม่มีพืช) ชุดที่มีจอก และชุดที่มีแหนเป็ดมีค่าเท่ากับ 3.04 15.03 และ 19.16 ไมโครกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ความสามารถในการสะสมคลอร์ไพริฟอสของพืชทั้งสองชนิดมีค่ามากที่สุดในวันที่ 3 ของการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 823 และ 1375 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง และมีค่าเท่ากับ 68 และ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) จากการศึกษาในเรือนทดลอง พบว่าแหนเป็ดมีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในน้ำได้มากกว่าจอก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต พิชามญชุ์ ประเสริฐทรัพย์
ปีการศึกษา 2552 ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก นัยนันทน์

5087171420: MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : CHLORPYRIFOS / *Pistia stratiotes* / *Lemna minor* / PHYTOREMEDIATION

PICHAMON PRASERTSUP : REMOVAL OF CHLORPYRIFOS BY WATER LETTUCE *Pistia stratiotes* AND COMMON DUCKWEED *Lemna minor*

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. NAIYANAN ARIYAKANON,Ph.D., 82 pp.

The objective of this research was to study the removal of chlorpyrifos by two species of aquatic plant, water lettuce (*Pistia stratiotes*) and common duckweed (*Lemna minor*) which easily found in Thailand. In the absence of chlorpyrifos, the relative growth rate of *L. minor* was greater than *P. stratiotes*. In contrast, in the presence of 1 mg/L chlorpyrifos, the relative growth rates of two species were decreased. This results showed that the disappearance rate constants of chlorpyrifos in culture solution were 3.04 15.03 and 19.16 μg h^{-1} for the control (no plants), *P. stratiotes* and *L. minor*, respectively and significantly difference ($p<0.05$). The accumulation of chlorpyrifos in both plant species reached their maximum level of, 823 and 1375 mg/kg DW, 68 and 72 mg/kg FW, respectively and significantly difference ($p<0.05$), at three days of culture. Under these greenhouse based conditions, *L. minor* was therefore more efficient than *P. stratiotes* for the accelerated removal of chlorpyrifos from water.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Field of Study : Environmental Science Student's Signature Pichamon Prasertsup.

Academic Year : 2009 Advisor's Signature Naiyanan Ariyakanon

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณา ความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์ จากบุคคลผู้มีพระคุณหลายๆท่าน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัยนันทน์ อริยกานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณามอบความรู้ คำปรึกษาแนะนำต่างๆ ในการค้นคว้าข้อมูล ความช่วยเหลือและความห่วงใยคอยไต่ถามความก้าวหน้าในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมาจนกระทั่งงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดจนกรุณาสละเวลาเรียบเรียงและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จนเป็นวิทยานิพนธ์ที่สมบูรณ์ พร้อมทั้งได้มอบข้อคิดต่างๆ อันก่อให้เกิดประโยชน์อย่างยิ่งในการพัฒนาตนเองต่อศิษย์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ผู้อำนวยการหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงแข สิทธิเจริญชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ วรานุศุภากุล และดร.นิตยา นักระนาด มิลน์ ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ แนวทางในการแก้ปัญหา และข้อคิดต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ และกรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมกับให้ข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะและช่วยตรวจรายละเอียดต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ เพื่อเป็นวิทยานิพนธ์ที่สมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.อรพร หมื่นพล คุณวรรณวิภา สุทธิไกร คุณราตรี จินตนา ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง ตลอดจนถึงความรู้ที่ได้รับและคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อข้าพเจ้า

กราบขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนวิจัยและเจ้าหน้าที่สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยแนะนำ ชี้แจงข้อมูลต่าง ๆ และภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือรวมทั้งห้องปฏิบัติการ คุณเพ็ญศรี ชูบรรจง คุณสรัญญา เก่งสาริกิจ คุณเกศราภรณ์ สงโสด เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในห้องปฏิบัติการ

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อนิพนธ์ คุณแม่นงเยาว์ ประเสริฐทรัพย์ คุณแม่จารุ ศิลป์ทอง รวมทั้งญาติพี่น้องทุกคน ที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษา ให้กำลังใจ คำปรึกษา และดูแลเอาใจใส่ตลอดมา สุดท้ายนี้ขอขอบคุณนางสาวภาสพิชญ์ ประเสริฐทรัพย์ (พี่สาว) และนายนครินทร์ สบประสงค์ นางสาวฝารีนา เก็นตาสา ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจยามท้อแท้ คำปรึกษา และการดูแลเอาใจใส่ตลอดมาจนทำให้การทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 สมมติฐาน..... 2

1.4 ขอบเขตการศึกษา..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 สารกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต..... 4

2.1.1 ประเภทของสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต..... 4

2.1.2 ลักษณะทางเคมี..... 5

2.1.3 การนำมาใช้ประโยชน์..... 6

2.1.4 กลไกการออกฤทธิ์..... 6

2.1.5 การแพร่กระจายของสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตสู่สิ่งแวดล้อม..... 7

2.1.6 การเปลี่ยนแปลงของสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตในสิ่งแวดล้อม..... 8

2.1.7 ความเป็นพิษของสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต..... 12

2.1.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม..... 15

2.1.9 ผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศ..... 16

2.2 คลอร์ไพริฟอส (chlorpyrifos)..... 17

2.2.1 การบ่งลักษณะ (identification)..... 19

2.2.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมี..... 20

2.2.3 การใช้คลอร์ไพริฟอส..... 20

หน้า

2.2.4 ความเป็นพิษของคลอร์ไพริฟอส..... 21
2.3 การบำบัดโดยใช้พืช (phytoremediation)..... 21
2.3.1 คำจำกัดความของการบำบัดโดยใช้พืช (definition of phytoremediation)..... 21
2.3.2 ชนิดของการบำบัดโดยใช้พืช (type of phytoremediation)..... 22
2.4 การใช้พืชเพื่อการบำบัดสารกำจัดศัตรูพืชในสิ่งแวดล้อม..... 25
2.5 พืชที่ใช้กำจัดคลอร์ไพริฟอสในน้ำ..... 27
2.5.1 จอก..... 27
2.5.2 แหนเป็ด..... 28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 30
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย..... 30
3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างพืช..... 30
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปลูกพืช..... 30
3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง..... 31
3.1.3.1 เครื่องแก้วและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย..... 31
3.1.3.2 วัสดุวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัย..... 31
3.1.3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ..... 31
3.1.3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช..... 32
3.2 สถานที่ดำเนินงานวิจัย..... 33
3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่างพืชที่ใช้ในงานวิจัย..... 33
3.2.1.1 สถานที่ในการใช้ปลูกพืชของงานวิจัย..... 33
3.2.1.2 สถานที่ในการวิเคราะห์ตัวอย่างของงานวิจัย..... 33
3.3 ขั้นตอนงานวิจัย..... 33
3.2.1 การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร..... 33
3.2.2 การเตรียมสารละลายคลอร์ไพริฟอส..... 34
3.3.3 การเตรียมพืช..... 34
3.3.4 การเตรียมโหลแก้วสำหรับปลูกพืช..... 34
3.3.5 การเตรียมการทดลอง..... 35
3.3.6 ดำเนินการเพาะปลูกพืช..... 38

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

3.3.7 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและการเก็บเกี่ยว..... 38
3.3.8 การวิเคราะห์คลอร์ไพริฟอสในพืชและน้ำ..... 38
3.3.8.1 ขั้นตอนการสกัดตัวอย่างพืช..... 39
3.3.8.2 ขั้นตอนการสกัดตัวอย่างน้ำ..... 39
3.4 การเตรียม calibration curve ของคลอร์ไพริฟอส..... 40
3.5 การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพ..... 41
3.6 การศึกษาสะภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง
แก๊สโครมาโตรกราฟฟี..... 42
3.7 รวบรวมและประมวลผลของข้อมูลที่ได้จากงานวิจัย..... 43
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง..... 45
4.1 การเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีของสารละลายคลอร์ไพริฟอส..... 45
4.1.1 อุณหภูมิ..... 45
4.1.2 พีเอช..... 46
4.1.3 ค่าการนำไฟฟ้า 48
4.2 การเจริญเติบโต องค์ประกอบการเจริญเติบโต และอิทธิพล
ของคลอร์ไพริฟอสต่อมวลชีวภาพของจอกและแหนเป็ด..... 50
4.3 อิทธิพลของจอกและแหนเป็ดต่อการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย..... 56
4.4 การเปรียบเทียบคลอร์ไพริฟอสที่สะสมในจอก (*P. stratiotes)* และ
แหนเป็ด (*L. minor)*..... 59
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 62
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 62
5.1.1 การเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีของสารละลายคลอร์ไพริฟอส.... 62
5.1.2 การเจริญเติบโตของจอกและแหนเป็ด..... 62
5.1.3 อิทธิพลของจอกและแหนเป็ดต่อการกำจัดคลอร์ไพริฟอส
ในสารละลาย..... 63
5.1.4 การเปรียบเทียบคลอร์ไพริฟอสที่สะสมในจอก (*P. stratiotes)*
และ แหนเป็ด (*L. minor)*..... 63
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 64
รายการอ้างอิง..... 65

หน้า

ภาคผนวก..... 73
ภาคผนวก ก..... 74
ภาคผนวก ข..... 77
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 82

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สารกำจัดแมลงที่มีการนำเข้าสูงสุด 10 อันดับแรก ในปี 2550 โดยปริมาณ.....	18
3.1	ตำรับการปลูกพืชทดลอง สำหรับศึกษาการดูดดึงคลอร์ไพริฟอสของจอกและแหนเป็ด.....	36
3.2	ตำรับการปลูกพืชทดลอง สำหรับศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของจอกและแหนเป็ด.....	37
4.1	ค่าอัตราคงที่ของคลอร์ไพริฟอสที่หายไปในสารละลาย Hoagland'No.2.....	57
ก-1	ผลการเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการชั่งน้ำหนักสดทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน.....	74
ก-2	ผลการเจริญเติบโตของจอกโดยการชั่งน้ำหนักสดทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน....	74
ก-3	ผลการเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการวัดความยาวรากทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน.....	75
ก-4	ผลการเจริญเติบโตของจอกโดยการวัดความยาวรากทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน.....	75
ก-5	ผลการเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการนับจำนวนต้นทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน.....	76
ก-6	ผลการเจริญเติบโตของจอกโดยการนับจำนวนต้นทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน ...	76

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างหลักของสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต.....	5
2.2	ปฏิกิริยาบริเวณรอยต่อใยประสาทเมื่อมีการสื่อกระแสประสาทตามปกติ.....	6
2.3	กระบวนการ phytoremediation.....	22
2.4	จอก.....	27
2.5	แหนเป็ด.....	28
3.1	calibration curve ของสารมาตรฐานคลอร์ไพริฟอส.....	40
4.1	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายที่เพาะเลี้ยงจอก (*P. stratiotes)* แหนเป็ด (*L. minor)* และชุด ควบคุม ตลอดระยะเวลา 7 วัน.....	45
4.2	การเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายที่เพาะเลี้ยงจอก (*P. stratiotes)* แหนเป็ด (*L. minor)* และชุดควบคุม ตลอดระยะเวลา 7 วัน.....	47
4.3	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า ของสารละลายที่เพาะเลี้ยงจอก (*P. stratiotes*) แหนเป็ด (*L. minor*) และชุดควบคุม ตลอดระยะเวลา 7 วัน	49
4.4	การเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการชั่งน้ำหนักสดทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน..	50
4.5	การเจริญเติบโตของจอกโดยการชั่งน้ำหนักสดทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน.....	51
4.6	การเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการวัดความยาวรากทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน.....	52
4.7	การเจริญเติบโตของจอกโดยการวัดความยาวรากทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน...	53
4.8	การเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการนับจำนวนต้นทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน..	54
4.9	การเจริญเติบโตของจอกโดยการนับจำนวนต้นทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน.....	55
4.10	ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย Hoagland'No.2 แต่ละชุดการทดลอง.....	57
4.11	การสะสมคลอร์ไพริฟอส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในพืช ของจอก (*P. stratiotes*) และแหนเป็ด (*L. minor*) (คิดจากน้ำหนักสด)	59
4.12	การสะสมคลอร์ไพริฟอส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในพืช ของจอก (*P.stratiotes*) และแหนเป็ด (*L. minor*)(คิดจากน้ำหนักแห้ง).....	60
ข-1	ภาพ (ก) (ข) และ(ค) สารกำจัดแมลงคลอร์ไพริฟอส.....	77
ข-2	ภาพ (ก) และ (ข) แสดงการปลูกจอกและแหนเป็ดภายในโรงเรือน เพื่อศึกษาการกำกัดคลอร์ไพริฟอสในน้ำ ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	78

ข-3 ภาพ (ก) ศึกษาพารามิเตอร์ของน้ำ และ (ข) เก็บตัวอย่างพืชเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอร์ไพริฟอสที่สะสมในต้นพืช..... 79
ข-4 เครื่อง vacuum Manifolds..... 80
ข-5 เครื่อง vacuum rotary evaporation..... 80
ข-6 ภาพ (ก) คลอร์ไพริฟอสที่สกัดได้ในน้ำ และ (ข) คลอร์ไพริฟอสที่สกัดได้ในพืช..... 81

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี

ในปัจจุบันจำนวนประชากรของโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงมีความต้องการอาหารมากขึ้น ส่งผลให้มีการใช้สารกำจัดศัตรูพืชเพื่อเพิ่มปริมาณและรักษาคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร การใช้สารกำจัดศัตรูพืชปริมาณมาก และใช้อย่างไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ทำให้มีการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชในสิ่งแวดล้อมจากการที่น้ำชะหน้าดิน (Kloeppel *et al*., 1997) น้ำฝนชะล้างจากพืชลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ หรือมาจากการล้างเครื่องมือที่ฉีดพ่นยา เมื่อสารกำจัดศัตรูพืชปนเปื้อนในแหล่งน้ำ จะมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และระบบนิเวศ (He *et al*., 2005) สารกำจัดแมลงเป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในการเพิ่มผลผลิตและรักษาคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงสารกำจัดแมลงเหล่านี้ได้ เนื่องจากประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ส่งผลให้สารกำจัดแมลงได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการป้องกันกำจัดศัตรูพืช โดยที่สารกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต (organophosphate) ได้นำมาใช้ทดแทนสารสังเคราะห์กลุ่มออร์แกโนคลอรีน (organochlorine) เพราะสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตเกิดการสลายตัวได้เร็ว และมีความคงตัวในสิ่งแวดล้อมต่ำ อย่างไรก็ตามสารกลุ่มนี้มีความเป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์สูง จากข้อมูลการนำเข้าสารกำจัดแมลงในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2550 โดยคิดจากปริมาณสารสำคัญ พบว่าคลอร์ไพริฟอส (chlorpyrifos) มียอดการนำเข้าสูงสุดเป็นอันดับหนึ่งของประเทศ ปริมาณ 1,535,694 กิโลกรัม โดยคิดเป็นมูลค่า 248,248,724 บาท (กองวัตถุมีพิษการเกษตร, 2550) คลอร์ไพริฟอสเป็นสารในกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับควบคุมแมลง (Lemus and Abdelghani, 2000) การนำคลอร์ไพริฟอสไปใช้มีทั้งรูปแบบเม็ดเพื่อควบคุมแมลงศัตรูพืช หรือการฉีดพ่นคลอร์ไพริฟอสแบบน้ำข้นเพื่อกำจัดแมลงศัตรูของพืชชนิดต่างๆ เช่น ข้าว อ้อย ข้าวโพด และถั่วเหลือง เป็นต้น สำหรับภายในอาคารมีการใช้คลอร์ไพริฟอส ในการควบคุมแมลงตามบ้านเรือน เช่น ปลวกหรือแมลงสาบ ตลอดจนการควบคุมตัวอ่อนของแมลงในแหล่งน้ำบางชนิด (Gallo and Lawryk, 1991)

phytoremediation คือกระบวนการใช้พืชเพื่อกำจัดความเป็นพิษของสารที่ปนเปื้อน และตกค้างในสิ่งแวดล้อม (Raskin and Ensley, 2000) เช่น การปนเปื้อนของของเสียอันตรายในดิน น้ำ และอากาศ เป็นต้น ซึ่งกลไกของพืชในการกำจัดสารพิษที่ปนเปื้อนนี้อาจเกิดขึ้นโดยการย่อยสลายสารมลพิษในต้นพืช หรือการดูดซึม การเคลื่อนย้ายสารมลพิษนั้นเข้าสู่ต้นพืช และสะสมสาร

นั้นในต้นพืช นักวิชาการด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมหลายท่านได้นำพืชมาใช้ในการบำบัดสารปนเปื้อนในแหล่งน้ำ เนื่องจากพืชมีความสามารถในการสะสมสารพิษหรือชักนำให้เกิดการย่อยสลายของสาร โดยผ่านกระบวนการชีวเคมีทางธรรมชาติ (Johns and Nyer, 1996)

เนื่องจากมีการปนเปื้อนของสารกำจัดแมลงในแหล่งน้ำในประเทศไทย และถึงแม้ว่าคลอร์ไพริฟอสจะมีการสลายตัวในธรรมชาติได้รวดเร็ว หากใช้อย่างต่อเนื่องและขาดหลักการและวิธีการใช้ที่เหมาะสมแล้วย่อมก่อให้เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ และอาจก็ให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำได้ และผลการศึกษาพบว่าพืชน้ำบางชนิดมีความสามารถในการกำจัดสารกำจัดแมลงได้ การศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้มุ่งเน้นทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชน้ำ 2 ชนิด คือจอกซึ่งเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ (*Pistia stratiotes*) และแหนเป็ดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (*Lemna minor*) ในการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในน้ำ เนื่องจากพืชทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน โดยจอกมีลักษณะการเจริญเติบโตในแนวดิ่งมากกว่าแนวราบ ในขณะที่แหนเป็ดมีลักษณะการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วในแนวราบ ซึ่งจอกและแหนเป็ด เป็นวัชพืชในท้องถิ่นที่สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว พบอย่างแพร่หลายในแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป พร้อมทั้งศึกษาการสะสมคลอร์ไพริฟอสในพืชน้ำทั้ง 2 ชนิดต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง การกำจัดคลอไพริฟอสด้วยวิธีดังกล่าวนั้น สามารถนำไปใช้กับการแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนคลอไพริฟอสในแหล่งน้ำในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนได้ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้และเป็นเทคโนโลยีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการเจริญเติบโตของจอกและแหนเป็ดที่ปลูกในน้ำซึ่งมีการปนเปื้อนของคลอร์ไพริฟอส
2. เพื่อศึกษาอัตราการหายไปของคลอร์ไพริฟอสในสารละลายที่มีการปลูกและไม่มีการปลูกจอกและแหนเป็ด
3. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณคลอร์ไพริฟอสที่สะสมในจอกและแหนเป็ดต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง

1.3 สมมติฐาน

1. ปริมาณคลอร์ไพริฟอสที่หายไปในสารละลายเกิดจากประสิทธิภาพการดูดดึงของจอกและแหนเป็ด
2. แหนเป็ดมีประสิทธิภาพในการสะสมคลอร์ไพริฟอสได้มากกว่าจอก เมื่อเริ่มทดลองโดยกำหนดให้พืชทั้งสองชนิดมวลชีวภาพเท่ากัน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดดึงคลอร์ไพริฟอสที่ปนเปื้อนในน้ำของจอกและแหนเป็ด โดยปลูกพืชทั้งสองชนิดในน้ำที่มีความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และวิเคราะห์หาปริมาณคลอร์ไพริฟอสในน้ำ และในพืชทั้งสองชนิดทุก 1 วัน เป็นระยะเวลา 7 วัน
2. พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดในน้ำทุกวัน คือ ความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ และการนำไฟฟ้า ส่วนในพืช คือ มวลชีวภาพ ความยาวราก และจำนวนต้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงประสิทธิภาพและความสามารถของจอกและแหนเป็ดในการดูดดึงและสะสมคลอร์ไพริฟอส
2. ข้อมูลจากการศึกษาวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดคลอร์ไพริฟอส ณ พื้นที่จริง เช่น บริเวณแหล่งเกษตรกรรม โรงงานผลิตสารกำจัดศัตรูพืช
3. ส่งเสริมให้มีการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการทางชีวภาพ โดยนำพืชที่สามารถเจริญเติบโตและหาได้ง่ายมาใช้ประโยชน์ต่อการรักษาสภาพแวดล้อม

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต

สารกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีอะตอมของฟอสฟอรัส และมีความคงทนในสิ่งแวดล้อมต่ำ สามารถละลายได้ในน้ำ และเกิดการแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) ได้เร็ว จึงได้รับความนิยมใช้เป็นสารกำจัดแมลง อย่างไรก็ตามสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตจัดเป็นกลุ่มที่เป็นพิษสูงสุด ทั้งต่อแมลงและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เพราะสารในกลุ่มนี้หลายชนิดมีค่า LD_{50} น้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สารในกลุ่มนี้แทบทุกชนิด ยกเว้นพาราไธออนจะมีพิษเฉียบพลันที่ร้ายแรงกว่ากลุ่มออร์แกโนคลอรีนมาก ระดับพิษเฉียบพลันต่อสัตว์ทดลองอยู่ในระดับมีพิษร้ายแรงถึงร้ายแรงยิ่ง (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

2.1.1 ประเภทของสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต

การจัดประเภทของสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต อาจแบ่งได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการจัดแบ่ง เช่น ลักษณะโครงสร้างทางเคมี ระดับความเป็นพิษ ลักษณะการใช้ในทางปฏิบัติ คุณสมบัติในการกำจัดแมลง สุภาณี พิมพ์สมาน (2540) จัดแบ่งประเภทของสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตตามลักษณะการใช้ในทางปฏิบัติออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 เป็นสารกลุ่มที่มีพิษฆ่าแมลงโดยการสัมผัส มีความคงทนต่ำ สารกลุ่มนี้สามารถละลายน้ำได้น้อย และสลายตัวได้ง่ายโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แต่เป็นสารกลุ่มที่ได้รับความนิยมใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากออกฤทธิ์ฆ่าแมลงได้อย่างรวดเร็วและราคาถูก แต่มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นสูง ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ ได้แก่ เมวินฟอส (mevinphos) เตทตระคลอวินฟอส (tetrachlorvinphos)

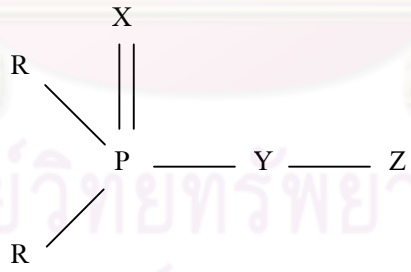
กลุ่มที่ 2 เป็นสารกลุ่มที่เป็นพิษโดยการสัมผัสเช่นเดียวกัน แต่สามารถดูดซึมผ่านเข้าในพืชได้บ้างเล็กน้อย แต่ไม่มีการเคลื่อนย้ายภายในต้นพืช ทำให้ออกฤทธิ์ฆ่าแมลงได้นานขึ้น มีความคงทนปานกลาง สารกลุ่มนี้ได้แก่ มาลาไธออน (malathion) พาราไธออน (parathion) เมทธิลพาราไธออน (methyl parathion) ไดอะซินอน (diazinon) และเฟนิโตรไธออน (fenitrothion) สารในกลุ่มนี้มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นแตกต่างกัน เช่น มาลาไธออน เป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นต่ำ แต่เมทธิลพาราไธออน และพาราไธออน (หรือเอทธิลพาราไธออน) มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นสูงกว่ามาลาไธออนมาก

กลุ่มที่ 3 เป็นสารกลุ่มที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ (systemic insecticide) สามารถละลายในไขมันและละลายน้ำได้ดีด้วย สามารถซึมผ่านชั้นไขที่ผิวใบพืช เข้าสู่เนื้อเยื่อและมีการลำเลียงเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่างๆ ของพืช แล้วออกฤทธิ์กำจัดแมลงที่กัดกินพืชนั้นๆได้ นอกจากนี้ยังสามารถเคลื่อนที่ผ่านทางรากไปสู่ส่วนต่างๆของพืชได้ กรณีที่อยู่ในรูปเม็ดที่ใช้ใส่ทางดินตัวอย่างของสารในกลุ่มนี้ ได้แก่ โฟเรท (phorate) ไดเมโธเอท (dimethoate) และโมโนโครโตฟอส (monocrotophos) นอกจากนี้ สารในกลุ่มนี้ยังไม่ถูกชะล้างโดยน้ำหรือน้ำฝน และสามารถป้องกันการทำลายของแมลงในทุกส่วนของพืชที่สารเคลื่อนย้ายไปถึง แม้ว่าจะไม่ได้รับสารดังกล่าวโดยตรงก็ตาม

กลุ่มที่ 4 เป็นสารกลุ่มที่มีพิษทางการหายใจด้วย มีค่าความดันไอค่อนข้างสูง จึงสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิปกติ และไอระเหยนั้นมีพิษฆ่าแมลงได้ด้วย สารกลุ่มนี้มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นสูง แต่สามารถสลายตัวได้เร็วมาก (ประมาณ 1-3 วัน ภายหลังการใช้) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น ไดโครวอส (dichlovos) เป็นต้น

2.1.2 ลักษณะทางเคมี

สารกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต ได้แก่สารอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสำคัญ โดยมีสูตรโครงสร้างหลักดังรูปที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างหลักของสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต
ที่มา: ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2540)

เมื่อ X และ Y อาจเป็นกำมะถันหรือออกซิเจน R คือ ไฮโดรคาร์บอน ส่วน Z เป็นกลุ่มสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) สารกลุ่มนี้ที่จะสามารถป้องกันกำจัดแมลงได้ ต้องมีคุณสมบัติ คือ ซัลเฟอร์หรือออกซิเจนต้องเชื่อมโดยตรงกับฟอสฟอรัส ซึ่งมี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

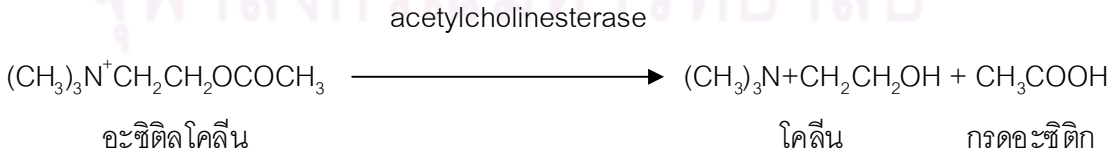
วาเลนซีเท่ากับห้า (pentavalent phosphorous) และ R อาจเป็นกลุ่ม alkoxy alkyl หรือ amino และกลุ่ม acyl ต้องเป็นกลุ่มที่มีประจุลบในกรดอินทรีย์ เช่น fluorine cyanate thiocyanate หรือต้องเป็นส่วนหนึ่งของกรด เช่น enol และmercaptan (Matsumura, 1976)

2.1.3 การนำมาใช้ประโยชน์

สารกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตเป็นสารที่มีการนำมาใช้มากขึ้นในปัจจุบัน เพื่อทดแทนสารกลุ่มออร์แกโนคลอรีน เนื่องจากสามารถใช้สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตได้ดีกับแมลงกลุ่มที่พัฒนาความต้านทานต่อสารกลุ่มออร์แกโนคลอรีน ตลอดจนสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตมีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และมีผลกระทบต่อระบบนิเวศน้อยกว่าสารกลุ่มออร์แกโนคลอรีน (พิชิต สกุลพราหมณ์, 2535; พาลาภ สิงหเสนี, 2540) กว่า 100,000 ชนิด และปัจจุบันมีการนำมาผลิตในเชิงการค้ามากกว่า 100 ชนิด (สุภาณี พิมพ์สมาน, 2540)

2.1.4 กลไกการออกฤทธิ์

สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตเป็นพิษต่อทั้งแมลงและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ออกฤทธิ์ในการกำจัดแมลงโดยการยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในระบบประสาท โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส (acetylcholinesterase) บริเวณที่แสดงพิษคือ รอยต่อของใยประสาทตามปกติเมื่อปลายประสาทข้างหนึ่งถูกกระตุ้น จะมีการส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านสารอะซิติลโคลีน (acetylcholine) ซึ่งเป็นตัวส่งผ่านสัญญาณดังกล่าวผ่านรอยต่อระหว่างใยประสาทหนึ่งไปสู่ใยประสาทที่อยู่ถัดไป และจะทำหน้าที่เช่นนี้จนกว่าสารอะซิติลโคลีนจะถูกเปลี่ยนเป็นโคลีน (choline) และกรดอะซิติก (acetic acid) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาคือ เอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) ดังสมการในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยาบริเวณรอยต่อใยประสาทเมื่อมีการสื่อกระแสประสาทตามปกติ
ที่มา: ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2540)

เมื่อสิ่งมีชีวิตได้รับสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ การกิน หรือสัมผัส จะเกิดการยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส (acetylcholine inhibition) ในระบบสื่อประสาท ทำให้เกิดการส่งสัญญาณประสาทช้าลงและเกิดการสะสมของอะซิติลโคลีนซึ่งเป็นสารกระตุ้นประสาทอย่างแรง อวัยวะต่างๆ จึงตื่นตัวตลอดเวลา (รพีพัฒน์ ชคัตประกาศ, 2538) ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่ได้รับสารนี้เข้าไป จะเกิดความผิดปกติของระบบประสาท การส่งสัญญาณในสมองเสื่อมลง มีผลต่อระบบสัมผัส การเคลื่อนไหว พฤติกรรมและการทำงานของระบบหายใจ มีอาการทางระบบประสาทและกล้ามเนื้อ เกิดการชักกระตุก เสียชีวิตในที่สุด (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) การเสียชีวิตมักเกิดจากระบบหายใจถูกกด แต่ร่างกายสามารถกลับเป็นปกติได้เมื่อมีการสร้างเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอส-เตอเรส ไปชดเชย (สาวิตร วรรณพิณ, 2529)

2.1.5 การแพร่กระจายของสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตสู่สิ่งแวดล้อม

สารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่มีการใช้สามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้หลายทาง เช่น การแพร่กระจายโดยลม เมื่อมีการพ่น การชะล้างสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในดินไปกับตะกอนดิน และการแพร่กระจายสู่แหล่งน้ำภายนอก เมื่อมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำกับแหล่งน้ำดังกล่าว เมื่อมีการพ่นสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ละอองของสารบางส่วนจะตกสู่ร่องน้ำโดยตรง และเมื่อมีการให้น้ำหรือฝนตก สารที่ตกค้างบนลำต้นหรือใบของพืชและดินบนแปลงปลูกจะถูกชะล้างไปสู่ร่องน้ำต่อไป เมื่อเกษตรกรเปลี่ยนถ่ายน้ำกับแหล่งน้ำภายนอก ก็จะทำให้มีการแพร่กระจายของสารที่ตกค้างในน้ำออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้

2.1.6 การเปลี่ยนแปลงของสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตในสิ่งแวดล้อม

เมื่อสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตออกสู่สิ่งแวดล้อม เช่น ดิน อากาศ หรือน้ำ โดยการพ่นหรือใส่ทางดินของเกษตรกร จะมีกระบวนการทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้เกิดการเคลื่อนย้าย เปลี่ยนรูป หรือสูญหายของสารดังกล่าว กระบวนการซึ่งเข้ามาเกี่ยวข้องดังกล่าว สามารถรวบรวมได้ดังนี้

1) การเคลื่อนย้าย (transportation)

1.1) การระเหย (volatilization)

Hemond and Fechner (1993) กล่าวว่า การระเหยเป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำให้มีการเคลื่อนย้ายของสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตในสิ่งแวดล้อม อัตราการระเหยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ แสงแดด ความชื้น และคุณสมบัติของสาร เช่น ความคงทน คุณสมบัติในการถูกดูดซับ การละลายน้ำ ความดันไอ โครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุล ซึ่ง Racke (1992) รายงานว่า สารที่มีความดันไอสูง เช่น ไดโครวอส อีโทรโพรฟอส จะมีการเคลื่อนย้ายโดยการระเหยสูงกว่าสารที่มีความดันไอต่ำ เช่น EPN ไอระเหยของสารเหล่านี้สามารถแพร่กระจายไปได้เป็นระยะทางไกล แต่ก็จะมีการเจือจางโดยมวลอากาศและการสลายโดยแสง ซึ่งไอระเหยของสารในชั้นบรรยากาศอาจตกลงสู่พื้นดินหรือแหล่งน้ำอีกครั้ง เมื่อเกิดการรวมตัวกับหยดน้ำหรือฝน

1.2) การชะล้าง (leaching)

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2540) กล่าวว่า กระบวนการชะล้างเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายของสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตลงไปตามชั้นดิน (soil profile) หรือการเคลื่อนย้ายลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน โดยมีปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้อง คือ โครงสร้างและคุณสมบัติของสาร เช่น การถูกดูดซับ ความคงทน ปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน และลักษณะหรือคุณสมบัติของดิน เช่น ความพรุน ส่วนใหญ่สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตจะถูกดูดซับไว้ที่หน้าดินโดยพวกอินทรียวัตถุ (organic matter) การเคลื่อนย้ายโดยกระบวนการชะล้างจึงเกิดขึ้นไม่มากนักจึงพบการปนเปื้อนของสารกลุ่มนี้ในน้ำใต้ดินน้อยมาก แม้ว่าจะเป็นพื้นที่ที่มีการใช้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานก็ตาม

1.3) การพัดพา (run off)

การพัดพาทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตที่ตกค้างลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตนอกเป้าหมายที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำต่อไป การพัดพาที่เกิดกับสารกลุ่มดังกล่าวที่สามารถละลายน้ำได้ดี (มากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร) จะเคลื่อนย้ายไปกับน้ำที่ผ่านหน้าดิน แต่สำหรับสารที่ละลายน้ำได้น้อยหรือไม่ละลายน้ำ จะเคลื่อนย้ายไปกับอนุภาคดินในรูปของตะกอน (sediment) สารกลุ่มที่สามารถละลายน้ำได้ดี อัตราการพัดพาจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสาร คือ ความคงทน และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ปริมาณฝน การดูดซับน้ำของดิน สำหรับกลุ่มที่ไม่ละลายน้ำและดูดซับอยู่กับอนุภาคดิน อัตราการพัดพาจะขึ้นอยู่กับการชะล้างพังทลายของดิน (soil erosion) ในธรรมชาติ สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตเคลื่อนย้าย

โดยกระบวนการพัดพาน้อยมาก คาดว่า น้อยกว่าร้อยละ 0.5 ของปริมาณที่มีการใช้ทั้งหมด (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540 และ Robert, 1994)

1.4) การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับมีผลต่อการเคลื่อนย้ายและการสลายตัวของสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตทั้งทางชีวภาพ (biological degradation) และทางกายภาพ (non-biological degradation) การดูดซับเป็นปฏิกิริยาของแรงที่บริเวณผิวของตัวดูดซับ (adsorbent) ได้แก่ คอลลอยด์ต่างๆ กระทำต่อโมเลกุลหรือไอออนของตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ทำให้โมเลกุลของสารเหล่านั้นถูกยึดไว้โดยกลไกหลายกลไก เช่น การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchanged) ทั้งแคตไอออนและแอนไอออน การเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) และการเกิดโคออร์ดิเนชันเชิงซ้อน (coordination complex) เป็นต้น อัตราการดูดซับ นอกจากขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวคอลลอยด์หรือตัวดูดซับเองแล้ว ยังขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของสารแต่ละชนิด ได้แก่ ขนาดและโครงสร้างโมเลกุล สารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่และประกอบด้วยโครงสร้างในกลุ่มฟังก์ชัน OH NR_3 NH_2 NHR $CONH_2$ หรือ COOR จะถูกดูดซับได้ดีกว่าสารที่มีกลุ่มฟังก์ชันอื่นๆ เป็นองค์ประกอบ ดังนั้น สารในกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตที่แพร่กระจายสู่ดินและน้ำ บางส่วนจะถูกดูดซับโดยอนุภาคและคอลลอยด์ต่างๆ ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

1.5) การดูดซึมโดยพืช

รัชนี สุวภาพ (2541) รายงานว่า สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารในกลุ่มดูดซึม (systemic) เช่น โมโนโครโตฟอส ไดเมทโธเอท สามารถดูดซึมเข้าสู่ต้นพืชได้ทางปากใบและผิวใบ สารที่ดูดซึมผ่านเข้าไปแล้วจะเคลื่อนย้ายลงสู่ราก โดยผ่านท่อลำเลียงอาหาร (phloem) เป็นการเคลื่อนย้ายซึ่งเกิดขึ้นอย่างช้าๆ หลังจากนั้น จะเคลื่อนย้ายไปสู่ท่อลำเลียงน้ำ (xylem) ซึ่งจะเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืชอย่างรวดเร็ว เมื่อเข้าสู่ต้นพืชแล้ว สารเหล่านี้อาจจะอยู่ในรูปสารดั้งเดิม (parent compound) หรือเปลี่ยนรูปไปโดยกระบวนการทางชีวเคมีและเมทาบอลิซึมในเนื้อเยื่อพืช สารที่เปลี่ยนรูปไปอาจไม่มีความเป็นพิษต่อมนุษย์หรือสัตว์ หรือมีความเป็นพิษรุนแรงกว่าเดิมก็ได้ ดังเช่นในแมลง เมื่อสารมาลาไธออน เข้าสู่ลำตัวแมลงจะมีการเปลี่ยนรูป โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยระบบเอนไซม์โมโนออกซิจีเนส (mono-oxygenase system) ได้สารมาลาออกซอน (malaoxon) ซึ่งมีพิษสูงขึ้นกว่ามาลาไธออนมาก ดังนั้น สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตที่ตกค้างในส่วนต่างๆ ของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่ใช้บริโภค จึงอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ได้

2) การเปลี่ยนรูป (transformation)

2.1) การสลายตัวโดยแสง (photodegradation)

สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตหลายชนิดสลายตัวโดยใช้แสง ซึ่งอาจเป็นการสลายตัวจากแสงโดยตรง (direct photolysis) คือ โมเลกุลของสารเมื่อได้รับแสง ก็จะดูดซับพลังงานทำให้อิเล็กตรอนอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น (excited state) จนทำให้โครงสร้างโมเลกุลของสารเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้มีความซับซ้อนน้อยลง ทำให้เกิดปฏิกิริยาอื่นๆ ต่อไป หรือถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ง่ายขึ้น สารจึงเกิดการเปลี่ยนรูปหรือสูญหายไปได้ (Dureja, 1989) การสลายตัวของสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตโดยแสง เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลได้รับแสงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 290-450 นาโนเมตร และอัตราการสลายตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับแสงที่มีความยาวคลื่นสั้น เช่น แสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) สารบางชนิด เช่น โมโนโครโตฟอส จะไม่ดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 300 นาโนเมตร แต่จะดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 215 นาโนเมตร มากที่สุด (Hill and Wright, 1978) นอกจากนี้ อาจเกิดการสลายตัวโดยแสงทางอ้อม (indirect photolysis) ซึ่งเกิดเนื่องจากโมเลกุลของสารแขวนลอย สารอนินทรีย์ หรือรงควัตถุ (pigment) ของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในสิ่งแวดล้อม เมื่อโมเลกุลของสารแขวนลอยเหล่านี้ได้รับแสงและดูดซับพลังงานไว้ ทำให้เกิดสารใหม่ที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต เช่น O_2 radical, peroxide ทำให้เกิดปฏิกิริยาอื่นๆ ตามมา เช่น การเกิด photooxidation (Miyamoto *et al*., 1994) การเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวโดยแสงทั้งทางตรงและทางอ้อมนี้ อาจเกิดกับสารที่อยู่ในรูปของไอระเหยในบรรยากาศ สารละลายในน้ำ หรือสารที่ตกค้างอยู่ตามบริเวณผิวดินและลึกลงไปประมาณ 1-2 มิลลิเมตร นอกจากนี้ ยังเกิดได้ที่บริเวณผิวน้ำหรือส่วนของพืชที่ได้รับแสงโดยตรง (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

2.2) การสลายตัวทางเคมี (chemical degradation)

ปฏิกิริยาทางเคมีสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปและการสลายตัวของสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต ได้แก่ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ออกซิเดชัน (oxidation) ไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) การแตกตัวเป็นไอออน (ionization) และการเกิดเกลือ (salt formation) ปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุดในการสลายตัวของสารออร์แกโนฟอสเฟต คือ ไฮโดรไลซิส เนื่องจากกลุ่มฟังก์ชันเอสเทอร์ของสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตเป็น phosphate ester bond ซึ่งเป็น weak link การสลายตัวโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจึงเกิดขึ้นได้ง่าย อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสขึ้นอยู่กับสภาพกรดด่างของสภาพแวดล้อม สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตส่วนใหญ่ไวต่อปฏิกิริยาแบบ basecatalyze hydrolysis ทำให้เกิดการสลายตัวในสภาพด่าง แต่ก็มีสารในกลุ่มนี้บางชนิดเป็น

acidcatalyze hydrolysis เช่น ไดอะซินอน ซึ่งการสลายตัวจะเกิดขึ้นในอัตราสูงในสภาพกรด (Racke, 1992) การสลายตัวโดยปฏิกิริยาทางเคมีของสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตที่สำคัญอีกประเภท คือ เกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction) ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวอาจเกิดจากการกระตุ้นโดยพลังงานแสง การกระตุ้นของสารที่เป็นองค์ประกอบในดินและน้ำตามธรรมชาติ หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดสารเมทาบอไลต์ซึ่งมีคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความเป็นพิษ ความเสถียร แตกต่างไปจากสารดั้งเดิม สารเมทาบอไลต์จากการสลายตัวของสารบางชนิดอาจมีความเป็นพิษสูงกว่าสารเดิม เช่น พาราออกซอน ซึ่งเป็นเมทาบอไลต์ของพาราไธออน นอกจากนี้ เมทาบอไลต์ของสารบางชนิดอาจมีโครงสร้างโมเลกุลที่มีความเสถียรน้อยกว่าเดิม จึงสามารถถูกทำให้สลายตัวโดยกระบวนการต่างๆ ได้ง่ายกว่าในสารที่อยู่ในรูปของสารดั้งเดิม (สุภาณี พิมพ์สมาน, 2540)

2.3) การสลายตัวทางชีวภาพ (biodegradation)

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2540) กล่าวว่า การสลายตัวทางชีวภาพเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของสารประกอบในกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตจนสูญเสียสภาพโครงสร้างโมเลกุลเดิมโดยชีวปัจจัยหรือปฏิกิริยาของสิ่งมีชีวิตต่างๆ เช่น ออกซิเดชัน-รีดักชัน ไฮโดรไลซิสปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการสลายตัวทางชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ ชนิดและจำนวนของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต และนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ เช่น รา แบคทีเรียตลอดจนปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการดำรงชีวิตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดังกล่าว เช่น แสงอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณออกซิเจน นอกจากนี้ ยังเกี่ยวข้องกับลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลของสารด้วย สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตส่วนใหญ่ที่มีโครงสร้างของ OH COO หรือ NH_2 เป็นองค์ประกอบ และเป็นสารมีขั้ว จะเกิดการสลายตัวทางชีวภาพได้ง่าย

Racke (1992) กล่าวถึงลักษณะการถูกย่อยสลายของสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตโดยจุลินทรีย์ต่างๆ ว่า อาจเป็นการย่อยสลายแบบ co-metabolism ซึ่งเป็นการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายกลุ่ม สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตจะถูกเปลี่ยนเป็นสารเมทาบอไลต์โดยจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่ง สารดังกล่าวอาจสะสมในสิ่งแวดล้อมหรือถูกย่อยสลายต่อไปโดยจุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆ ซึ่งสามารถนำสารดังกล่าวไปใช้เป็นปัจจัยในการเจริญเติบโตได้ อัตราการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่น มาลาไธออน จะถูกย่อยสลาย โดยจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่แยกได้จากกากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมให้กลายเป็นสารเมทาบอไลต์ ซึ่งจะถูกย่อยสลายต่อไปโดยจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งจนกลายเป็นแอทานอลหมดภายใน 28 ชั่วโมง นอกจากนี้ อาจมีการย่อยสลายแบบ catabolism ซึ่งเป็นการย่อยสลายที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์เพียงกลุ่มเดียว เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถนำสารที่ได้จากการย่อยสลายสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตไปใช้ใน

รูปของแหล่งคาร์บอน แหล่งพลังงาน หรือแหล่งอาหารในการเจริญเติบโตได้ในหลายกรณี การย่อยสลายอย่างสมบูรณ์จะได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น จุลินทรีย์ชนิดหนึ่งซึ่งพบทั่วไปในดิน แหล่งน้ำ นาข้าวและของเสีย สามารถย่อยสลายพาราไธออนหรือไดอะซินอนแล้วนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานในการเจริญเติบโตได้ โดยมีเอนไซม์ต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องกับกระบวนการสลายตัวดังกล่าว

2.1.7 ความเป็นพิษสารของกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต

สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตนับว่าเป็นสารกลุ่มที่มีพิษสูงทั้งต่อแมลงและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม จากการจัดแบ่งระดับความเป็นพิษโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) พบว่า สารกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตส่วนใหญ่จัดอยู่ในระดับที่มีพิษร้ายแรงยิ่ง พิษร้ายแรง และพิษปานกลาง สำหรับความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยเฉพาะมนุษย์ ของสารกลุ่มนี้ขึ้นอยู่กับความไวในการถูกเปลี่ยนแปลงโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ในร่างกาย ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ตับ ตามปกติแล้ว เมื่อมีสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตเข้าสู่ร่างกาย จะเกิดการเปลี่ยนรูปของสารดังกล่าวไปโดยปฏิกิริยาต่างๆ ในร่างกาย โดยใช้เวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมง นอกจากกรณีที่ได้รับในปริมาณสูงมากในครั้งเดียว หรือการทำงานของตับมีความผิดปกติไป (Cheremisinoff and King, 1994)

1) ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต

ความเป็นพิษต่อมนุษย์ สารป้องกันและกำจัดแมลงสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ 3 ทางคือ (กรมอนามัย, 2540; ยุวดี จอมพิทักษ์, 2531)

1.1) การหายใจ สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้นั้น อาจอยู่ในรูปฝุ่นผงหรือสารละลาย ฝุ่นที่มีขนาดเล็กจะเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้มากกว่าฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ สำหรับสารในรูปสารละลายนั้น ขึ้นอยู่กับว่าความสามารถในการระเหยเป็นไอของสารนั้นๆสูงหรือไม่ ถ้าสูงจะเกิดอันตรายได้มากขึ้น นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายเข้าสู่ระบบเลือดในร่างกายอีกด้วย

1.2) ทางผิวหนัง การดูดซึมของสารผ่านทางผิวหนังจะเกิดขึ้นได้ดีหรือไม่ ขึ้นกับหลายปัจจัยดังนี้

- สภาพผิวหนัง ถ้าผิวหนังเกิดการฉีกขาด หรือมีบาดแผลอยู่ จะมีการดูดซึมสารได้ดีกว่าผิวหนังปกติ

- ความสามารถในการละลายซึมผ่านผิวหนังของสาร ถ้าสารละลายได้ดีในไขมัน จะถูกดูดซึมได้ดี

- ขนาดของสาร ถ้าขนาดเล็กจะถูกดูดซึมได้ดีเมื่ออยู่ในรูปสารละลาย ส่วนสารที่มีขนาดใหญ่จะไม่ถูกดูดซึมผ่านผิวหนังเลย

- อุณหภูมิ สารในกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต จะถูกดูดซึมผ่านผิวหนังได้ดีมากขณะที่อากาศร้อนจัด เกษตรกรจึงไม่ควรถอดเสื้อผ้า ขณะพ่นสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชในเวลาแดดจัดโดยเด็ดขาด

1.3) ทางปาก สารป้องกันและกำจัดแมลงที่จะเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารได้นั้นอาจเกิดจากอุบัติเหตุสารกระเด็นเข้าปากในขณะผสมสาร หรือจากการสูบบุหรี่ หรือรับประทานอาหารโดยไม่ได้ล้างมือก่อน หรือใช้มือเปรอะเปื้อนสารเช็ดริมฝีปาก หรือเนื่องจากการกลืนสารที่หายใจเข้าทางระบบทางเดินหายใจ หรือเกิดจากการจงใจกินสารพิษเพื่อฆ่าตัวตาย สารที่เข้าสู่ร่างกายทางระบบทางเดินอาหารนี้ จะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะอาหารและลำไส้เข้าสู่กระแสเลือด ถ้าสารนั้นมีความแตกตัวได้ดี ก็จะละลายไขมันได้น้อยลง แต่ถ้าสารนั้นไม่สามารถแตกตัวได้จะละลายได้ดีในไขมันก็จะถูกดูดซึมได้ดี

2) ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตนอกกลุ่มเป้าหมาย

Murty and Ramani (1992) รายงานว่า สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำอาจทำให้เกิดพิษเรื้อรังและความผิดปกติของตัวอ่อน หรือสะสมในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในแหล่งน้ำได้จากรายงานของนวลศรี และHsiung (2523) พบการสะสมของโมโนโครโตฟอสในเนื้อปลานิลแดงที่อาศัยอยู่ในน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารดังกล่าว นอกจากนี้ ยังมีผลต่อสิ่งมีชีวิตนอกเป้าหมาย (Non target organisms) ได้แก่ แมลงศัตรูธรรมชาติ เช่น ตัวห้ำ ตัวเบียน ซึ่งช่วยควบคุมแมลงศัตรูพืชตามธรรมชาติ ตลอดจนจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติที่มีประโยชน์ทำให้พื้นที่ที่ใช้สารดังกล่าวขาดสิ่งมีชีวิตที่มีประโยชน์และเสียสมดุลของระบบนิเวศตามธรรมชาติ (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

3) ลักษณะอาการเกิดพิษจากการได้รับสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตมีรายละเอียดดังนี้ (พาลาภ สิงหเสนี, 2540)

3.1) อาการพิษเฉียบพลัน

3.1.1) อาการพิษแบบมัสคารินิค (muscarinic signs and symptoms) จุดรับสัมผัสมัสคารินิค (muscarinic receptors) สำหรับอะซิติลโคลีนพบส่วนใหญ่ที่กล้ามเนื้อเรียบหัวใจและต่อมมีท่ออาการที่เกิดขึ้นในระยะแรก คือ เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเดิน น้ำตา

ไหล เหงื่อออก ม่านตาหดตัว ถ่ายอุจจาระและปัสสาวะโดยกลั้นไม่อยู่ การเกร็งของหลอดลม หลอดลมมีเมือกและเสมหะมาก เป็นต้น

3.1.2) อาการพิษแบบนิโคตินิค (nicotinic signs and symptoms) อาการพิษแบบนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการสะสมของอะซิติลโคลีนที่ปลายประสาทมอเตอร์ และที่ซินแนปส์ของระบบประสาทอัตโนมัติ อาการที่เกิดขึ้น คือ กล้ามเนื้อถูกกระตุ้นมากกว่าปกติ มีการกระตุกของกล้ามเนื้อที่หน้าหนังตา ลิ้น ถ้าอาการรุนแรงขึ้น จะพบว่า กระตุกมากขึ้นทั่วร่างกาย ต่อมา จึงจะมีอาการอ่อนเพลียตามกล้ามเนื้อทั่วไป และเกิดเป็นอัมพาตของกล้ามเนื้อในที่สุด

3.1.3) อาการทางสมอง เนื่องจากความผิดปกติของระบบประสาทส่วนกลาง อาการที่พบได้คือ มึนศีรษะ ปวดศีรษะ งง และกระสับกระส่าย ตื่นตกใจง่าย อารมณ์พลุ่งพล่าน ถ้าอาการมากอาจชัก และหมดสติได้ผู้ป่วยที่มีอาการมาก อาจจะถึงตายได้ เนื่องจากระบบการหายใจล้มเหลว (respiratory failure) ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากหลอดลมตีบตัน กล้ามเนื้อของระบบการหายใจเป็นอัมพาต และศูนย์ควบคุมการหายใจในสมองหยุดทำงาน ในรายที่มีอาการไม่รุนแรงนัก อาการจะดีขึ้นใน 2-3 วัน แต่จะอ่อนเพลีย ไม่มีแรง เป็นเวลานานผู้ป่วยส่วนใหญ่จะฟื้นตัวภายใน 24-48 ชั่วโมง แต่ถ้าได้รับสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตที่มีฤทธิ์นาน อาจทำให้เกิดอาการพิษนานเป็นสัปดาห์หรือเป็นเดือนผู้ป่วยที่เสียชีวิตหลังจากได้รับสารพิษ สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากระบบหายใจล้มเหลว ซึ่งเป็นผลรวมจากพิษที่แสดงอาการแบบมัสคารินิค (muscarinic action) พิษที่แสดงอาการแบบนิโคตินิค (nicotinic action) และผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ได้แก่ หลอดลมตีบ น้ำมูกและเสมหะในทางเดินหายใจมาก กล้ามเนื้อเกี่ยวกับการหายใจล้มเหลว มีการกดศูนย์การหายใจที่สมอง ความดันโลหิตต่ำ หัวใจเต้นผิดปกติ ซึ่งผู้ป่วยจะเสียชีวิตได้ภายใน 5 นาที ถึง 24 ชั่วโมง

3.2) อาการพิษเรื้อรัง อาการพิษเรื้อรังที่เกิดจากสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตพบได้ไม่บ่อยนักอาการพิษเรื้อรังที่พบ ได้แก่

3.2.1) delayed psychopathogenic-neurologic lesion แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ส่วนใหญ่จะพบว่า ระบบประสาทบางส่วนถูกทำลายอย่างถาวร ทำให้เกิดพิษต่อทางเดินอาหาร ระบบหัวใจและหลอดเลือด เป็นหมัน ดื้อต่อยาหลายชนิด และแก่ก่อนวัยอันสมควร อีกกลุ่มหนึ่ง นอกจากจะพบอาการดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังพบอาการผิดปกติทางจิตบางประการด้วย ได้แก่ ซึมเศร้า ซึ่งอาการเหล่านี้อาจจะค่อยๆ เกิดขึ้นภายในระยะเวลา 5-10 ปี

3.2.2) intermediate syndrome เป็นอาการผิดปกติทางระบบประสาทที่พบได้ภายใน 24-96 ชั่วโมง หลังจากได้รับสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตบางชนิด เช่น เฟนไธออนไดเมทโธเอท โมโนโครโตฟอส เมทธามิโดฟอส โดยสังเกตอาการเริ่มแรกได้ คือ

กล้ามเนื้ออ่อนแรง โดยเฉพาะกล้ามเนื้อแขนขาและกล้ามเนื้อเกี่ยวกับการหายใจ อาการดังกล่าวนี้ จะเหมือนกับการได้รับพิษเฉียบพลันสำหรับพิษเรื้อรังต่อระบบประสาทที่เกิดจากสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตบางชนิดอาการพิษจะไม่สัมพันธ์กับการยับยั้งโคลีนเอสเตอเรส และจะเกิดขึ้นหลังจากได้รับสัมผัสสารพิษแล้วเป็นเวลา 6-14 วัน ซึ่งพบว่า มีการเสื่อมสลาย (degeneration) ของแอกซอน ตามด้วยการเสื่อมสลายของเยื่อหุ้มมัยอีลิน (myelin sheath) ในระบบประสาทส่วนปลายและไขสันหลัง อาการแสดงเริ่มแรกได้แก่ กล้ามเนื้ออ่อนแรง โดยเฉพาะแขนขา เดินโซเซ กล้ามเนื้อกระตุก เกร็ง สูญเสียการรับความรู้สึก หากอาการรุนแรงอาจเป็นอัมพาตได้ การฟื้นตัวต้องใช้เวลานานกว่า 2 ปี และอาจไม่สมบูรณ์ดังเดิม เนื่องจากระบบประสาทบางส่วนถูกทำลายอย่างถาวร

2.1.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตส่วนใหญ่สามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็วในสภาพแวดล้อมเนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ดีและสลายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้อย่างรวดเร็ว แต่การใช้ในปริมาณสูงและต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน ย่อมก่อให้เกิดการตกค้างในพืช ดิน และน้ำ ทำให้คุณภาพของสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ จากการศึกษาของภิญญา จำรัสกุล และคณะ (2539) พบว่า เขตพื้นที่เกษตรกรรมที่ปลูกผักและผลไม้ เช่น องุ่น พุทรา ชมพู่ หน่อไม้ฝรั่ง ซึ่งใช้สารเคมีทางการเกษตรหลายชนิดและบ่อยครั้งตลอดฤดูการเพาะปลูก จะมีการแพร่กระจายของสารพิษดังกล่าวสู่สิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งน้ำมากกว่าเขตเกษตรกรรมที่มีการปลูกพืชชนิดอื่นๆ ที่ใช้สารเคมีทางการเกษตรน้อยกว่าทั้งชนิดและความถี่ในการใช้ เช่น พืชไร่ ข้าว สำหรับสารที่พบตกค้างในแม่น้ำท่าจีน ซึ่งเป็นแหล่งรองรับน้ำจากพื้นที่เกษตรกรรมดังกล่าว พบการตกค้างของสารหลายชนิด เช่น โมโนโครโตฟอส เมทธามิโดฟอส พาราไธออน ไดอะซินอน เฟนนิโตรไธออน

(ก) การตกค้างในน้ำ

สารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชสามารถแพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำได้หลายทาง เช่น จากการใช้เพื่อกำจัดศัตรูพืชในแหล่งน้ำโดยตรง จากการแพร่กระจายของละอองสารเคมีที่เกษตรกรพ่นหรือจากการถูกชะล้างสารส่วนที่ตกค้างอยู่ตามส่วนต่างๆของพืชและพื้นดินลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้พบการตกค้างของสารดังกล่าวในน้ำเสมอ (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตที่มีการใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมสามารถแพร่กระจายสู่แหล่งน้ำที่ติดต่อหรือรับน้ำจากพื้นที่เกษตรกรรม เช่น แม่น้ำ ลำคลอง จากการศึกษาของภิญญา จำรัสกุล และคณะ (2542) ได้ทำการศึกษาการปนเปื้อนของสารกำจัดแมลงในแม่น้ำแม่กลองและคลองแยกตลอดทั้งสาย ตรวจพบสารพิษในกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตในตัวอย่างน้ำและดินตะกอนส่วนใหญ่ (มากกว่าร้อยละ 95) ในน้ำ 7 ชนิด คือ โมโนโครโตฟอส เมทธามิโดฟอส ไดอะซินอน ไดเมทโธเอท เมทธิลพาราไธออน มาลาไธออน และคลอโรไพริฟอสเอทธิล ปริมาณระหว่าง น้อยกว่า 0.01-1.65 ไมโครกรัมต่อลิตร ในดินตะกอน 6 ชนิด คือ โมโนโครโตฟอส ไดโครโตฟอส ไดเมทโธเอท เมทธิลพาราไธออน เฟนิโตรไธออน และไพริมิฟอสเมทธิล ปริมาณระหว่าง น้อยกว่า 0.01-4.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ภิญญา จำรัสกุล (2539) และดำรง เวชกิจ(2537) กล่าวว่า สารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน น้ำ จะมีการสลายตัวตามธรรมชาติเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น การย่อยสลายของจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิต การดูดซับของพืชและสิ่งมีชีวิต ทำให้สิ่งแวดล้อมดังกล่าวมีโอกาสที่จะฟื้นฟูตัวเองหรือกลับสู่สมดุลธรรมชาติได้ แต่การที่มีการปนเปื้อนของสารดังกล่าวจากแหล่งกำเนิดต่างๆอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ย่อมทำให้เกิดการสะสมจนมีปริมาณการปนเปื้อนสูงขึ้น จนสิ่งแวดล้อมไม่สามารถฟื้นฟูตัวเองได้และเสื่อมโทรมลง Laskowski (1992) กล่าวว่าคุณภาพของสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปในทางเสื่อมลง จะก่อให้เกิดผลกระทบทั้งในระยะสั้นและระยะยาวต่อระบบนิเวศและการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ตลอดจนทำให้ความเสี่ยงด้านสุขภาพอนามัยของประชาชนเพิ่มมากขึ้น

สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตส่วนใหญ่สลายตัวได้ง่าย แต่สารประเภทดูดซึม เช่น โมโนโครโตฟอส เมทธามิโดฟอส เมวินฟอส ไดเมทโธเอท สามารถคงทนอยู่ในเนื้อเยื่อพืชได้ระยะหนึ่งโดยเฉพาะในกรณีที่มีการใช้ในปริมาณและความถี่สูง และเก็บเกี่ยวผลผลิตก่อนกำหนดที่สารจะสลายตัวจนอยู่ในระดับปลอดภัย ทำให้ผลผลิตทางการเกษตรมีสารเหล่านี้ตกค้าง ซึ่งมีผลกระทบต่อผู้บริโภคและการส่งออก เนื่องจากในปัจจุบัน ต่างประเทศใช้มาตรฐานทางด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยเป็นข้อกำหนดการซื้อสินค้า และกีดกันทางการค้าเพื่อจำกัดปริมาณและมูลค่าของสินค้าเกษตร ที่นำเข้าจากต่างประเทศอีกด้วย (สุปราณี อิ่มพิทักษ์และคณะ, 2538)

2.1.9 ผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศ

การใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชนอกจากก่อให้เกิดปัญหาหลายประการดังกล่าวข้างต้นแล้ว สุปราณี อิ่มพิทักษ์ และคณะ (2538) กล่าวว่า การใช้สารกำจัดศัตรูพืชในการผลิตพืชผลทางการเกษตรอย่างไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ จะทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ ทั้งทางตรงและทางอ้อม ผลกระทบทางตรงเกิดจากการที่ต้องสูญเสียเงินตราในการนำเข้าสารเคมีดังกล่าวมาใช้เป็นจำนวนมากในแต่ละปี และมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทุกปี ผลกระทบทางอ้อมคือ ทำให้ประสบปัญหาด้านคุณภาพและการควบคุมมาตรฐานการผลิตผลผลิตไม่เป็นที่ยอมรับของตลาดต่างประเทศ เนื่องจากมีการปนเปื้อนหรือการตกค้างของสารเคมีทางการเกษตรในผลิตผลและผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ทำให้ประเทศไทยต้องสูญเสียเงินตราต่างประเทศ และไม่เป็นที่เชื่อถือของประเทศคู่ค้าอีกด้วย ซึ่งปัญหาดังกล่าวทำให้ประเทศไทยต้องประสบกับการกีดกันทางการค้าและภาวะข้อจำกัดของการผลิตสินค้าเกษตรเพิ่มขึ้น

2.2 **คลอร์ไพริฟอส** (chlorpyrifos)

จากข้อมูลการนำเข้าสารกำจัดแมลงในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2550 (ตารางที่ 2.1) พบว่าคลอร์ไพริฟอส (*O,O* -diethyl *O*-3,5,6-trichloro-2-pyridyl phosphorothioate) เป็นสารที่มีการนำเข้าสูงสุดเป็นอันดับหนึ่งของประเทศ (กองวัตถุมีพิษการเกษตร, 2550) คลอร์ไพริฟอส บริสุทธิ์มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวมีกลิ่นคล้าย mercaptan ละลายได้ง่ายในตัวทำละลายอินทรีย์ อัตราการสลายตัวของคลอร์ไพริฟอสจะเพิ่มขึ้น เมื่อค่า pH และอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น อัตราการสลายตัวของคลอร์ไพริฟอสในน้ำจะลดลง 2.5 ถึง 3 เท่า เมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลงเป็น 10 องศาเซลเซียสในแหล่งน้ำธรรมชาติที่เป็นกรด คลอร์ไพริฟอสมีอัตราการสลายตัวคงที่ แต่อัตราการสลายตัวจะเพิ่มขึ้นในน้ำที่มีความเป็นด่าง โดยในน้ำที่มี pH 7.0 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส คลอร์ไพริฟอส มีค่าครึ่งชีวิต (half-life) 35 ถึง 78 วัน (Howard, 1989) ส่วนคลอร์ไพริฟอสในน้ำทั่วไปจะมีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 80-100 วัน (TOXNET, 1986)

ตารางที่ 2.1 สารกำจัดแมลงที่มีการนำเข้าสูงสุด 10 อันดับแรก ในปี 2550 โดยปริมาณสารสำคัญ

ลำดับที่	ชื่อสามัญ	ปริมาณ (กก.)	มูลค่า (บาท)	สารสำคัญ (กก.)
1	chlorpyrifos	1,535,694.00	248,248,724.00	1,398,784.61
2	cypermethrin	1,094,895.00	244,541,420.00	955,926.20
3	methomyl	1,472,075.00	321,504,936.00	812,013.30
4	fenobucarb	842,160.00	102,310,368.00	773,140.00
5	carbaryl	606,500.00	179,282,279.00	508,977.50
6	cartap hydrochloride	1,277,362.00	111,966,284.00	453,470.75
7	dimethoate	1,061,582.00	77,997,029.00	447,681.40
8	omethoate	560,790.00	48,572,400.00	434,195.00
9	dichlorvos	483,628.00	35,165,031.00	422,376.50
10	carbosulfan	397,570.08	122,331,161.00	277,583.52

ที่มา: กองวัตถุมีพิษทางการเกษตร (2550)

คลอร์ไพริฟอสสามารถเปลี่ยนแปลงอยู่ในรูปอื่นได้อย่างช้าๆ (Schimmel, 1983) ความคงทนต่อการสลายตัวของคลอร์ไพริฟอส ขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้น และลักษณะรูปร่างของคลอร์ไพริฟอส ซึ่งคลอร์ไพริฟอสที่มีขนาดใหญ่ในแหล่งน้ำ จะยึดเกาะหรือถูกดูดซับโดยตะกอนดิน อินทรียวัตถุ สารที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ และสิ่งต่างๆที่อยู่ใต้พื้นน้ำ (USEPA, 1986) คลอร์ไพริฟอสสามารถระเหยไปจากน้ำได้ การประเมินการระเหยของคลอร์ไพริฟอสจากแหล่งน้ำ พบว่ามีค่าครึ่งชีวิต การระเหย ตั้งแต่ 3.5 ถึง 20 วัน (Racke, 1992)

การศึกษาการแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำของคลอร์ไพริฟอสพบว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส pH 6.1 ค่าครึ่งชีวิตในการแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำเท่ากับ 120 วัน ที่ pH 7.4 ค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 53 วัน และที่ pH 7.4 อุณหภูมิเท่ากับ 37.5 องศาเซลเซียส ค่าครึ่งชีวิตในการแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำเท่ากับ 13 วัน (UNEP, 1993)

การแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำของคลอร์ไพริฟอส พบว่าอัตราการสูญสลาย ร้อยละ 50 อยู่ในช่วง 0-6 ปี มีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 0.04-1,930 วัน การแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำของคลอร์ไพริฟอสเป็นปัจจัยสำคัญในการย่อยสลายคลอร์ไพริฟอสในน้ำทำให้ได้ 3,5,6-trichloro-2-pyridinol (UNEP, 1993)

คลอร์ไพริฟอสมีการสลายตัวด้วยแสงอาทิตย์ โดยมีค่าครึ่งชีวิต 3 ถึง 4 สัปดาห์ ในระหว่างช่วงฤดูร้อนในสหรัฐอเมริกา (Howard, 1989) การสลายตัวของคลอร์ไพริฟอสโดยแสงเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีผลต่อความคงทนของคลอร์ไพริฟอส ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ 3,5,6-trichloro-2-pyridinol และ diethylthiophosphate (Smith, 1968)

2.2.1 การบ่งลักษณะ (identification)

ชื่อสามัญ คลอร์ไพริฟอส (chlorpyrifos)

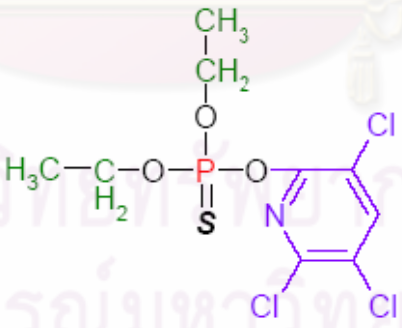
ชื่อการค้า ไพริเน็กซ์, เดก้า, ไวเปอร์, คลอลาซอน, ลอสแบน (lorsban), dursban, piridane, silrifos, talon, zidil,

ชื่อทางเคมี O, O-diethyl O-(3, 5, 6-trichloro-2-pyridinyl) 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

ชื่ออื่นๆ lursbam; phosphorothioic acid, O, O-diethyl O-(3, 5, 6-trichloro-2-pyridinyl); chlorpyrifos; chlorpyriphosethyl; chlorpyrifos-ethyl

กลุ่มสารกำจัดแมลง ออร์แกโนฟอสเฟต

สูตรโครงสร้าง



สูตรโมเลกุล $C_9H_{11}C_{l3}NO_3PS$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

อนุพันธ์ที่สำคัญ	3, 5, 6, -trichloro-2-pyridinol (TCP)	
จุดหลอมเหลว	119-121 °C	
น้ำหนักโมเลกุล	350.62 กรัมต่อโมล	
ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส	อัตราการสลายตัวขึ้นอยู่กับค่า pH และอุณหภูมิ	
	ที่อุณหภูมิ 25 °C	pH 8 t ½ = 23 วัน
		pH 7 t ½ = 35 วัน
		pH 5 t ½ = 63 วัน
	ที่ pH 7.0	35 °C t ½ = 12 วัน
		25 °C t ½ = 35 วัน
		15 °C t ½ = 100 วัน
การละลาย	- ละลายในสารละลายอินทรีย์	
	- ละลายในออกเทน (790 กรัมต่อกิโลกรัม)	
	- ละลายในเมทานอล (430 กรัมต่อกิโลกรัม)	
	- ละลายในน้ำได้ต่ำมาก (0.0002 กรัมต่อน้ำ 100 กรัม หรือ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	
ความเสถียร	แตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดีเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นหรืออยู่ในสภาพที่เป็นด่าง	
การออกฤทธิ์	เป็นสารกำจัดแมลงชนิดถูกตัวตาย	
แมลงกลุ่มเป้าหมาย	กลุ่มออร์ธอพเทอรา (ตั๊กแตน จิ้งหรีด และแมลงสาบ) ดิพเทอรา (แมลงวัน) โฮมอพเทอรา (เพลี้ยจักจั่น เพลี้ยกระโดด เพลี้ยหอย เพลี้ยแป้ง) โคลิออพเทอรา (ด้วง) เลพิดอพเทอรา (ผีเสื้อ) ไฮเมนอพเทอรา (ผึ้ง ต่อ แตน) และเฮมิพเทอรา (มวน)	

2.2.3 การใช้คลอร์ไพริฟอส

คลอร์ไพริฟอสเป็นสารเคมีกำจัดแมลงที่มีฤทธิ์กว้างขวาง ใช้ควบคุมแมลงในกิจกรรมต่างๆ อาทิ ด้านเกษตรกรรม, สวนไม้ดอกไม้ประดับ, ด้านอุตสาหกรรม และด้านสาธารณสุข เป็นต้น มีการใช้คลอร์ไพริฟอสในรูปแบบเม็ดเพื่อควบคุมแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในพื้นดินของไร่ข้าวโพดและถั่ว หรือการฉีดพ่นคลอร์ไพริฟอสแบบน้ำเข้มข้นเพื่อควบคุมยุง หรือกำจัดแมลงที่ทำลายไม้

สำหรับภายในอาคารมีการใช้คลอร์ไพริฟอสในการควบคุมแมลงตามบ้านเรือน เช่นแมลงสาบ หรือไร่ เป็นต้น (Racke, 1992) ตลอดจนการควบคุมตัวอ่อนในแหล่งน้ำบางชนิด (Gallo and Lawryk, 1991)

2.2.4 ความเป็นพิษของคลอร์ไพริฟอส

พิษเฉียบพลันทางการกิน (acute oral) ทดสอบโดยการกินกับหนูตัวใหญ่, หนูตะเภา, และกระต่าย มีค่า LD_{50} เท่ากับ 135-163,504, และ 1000-2000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และมีค่า LD_{50}เฉียบพลันแบบให้ทางผิวหนังสำหรับหนูตัวใหญ่และกระตาย >2000 และ เท่ากับ 2000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมี LD_{50} แบบสูดดมติดต่อกัน 4-6 ชั่วโมง สำหรับหนูตัวใหญ่ > 0.2 มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลิตร (ดำริห์ รุ่งสุข, 2543)

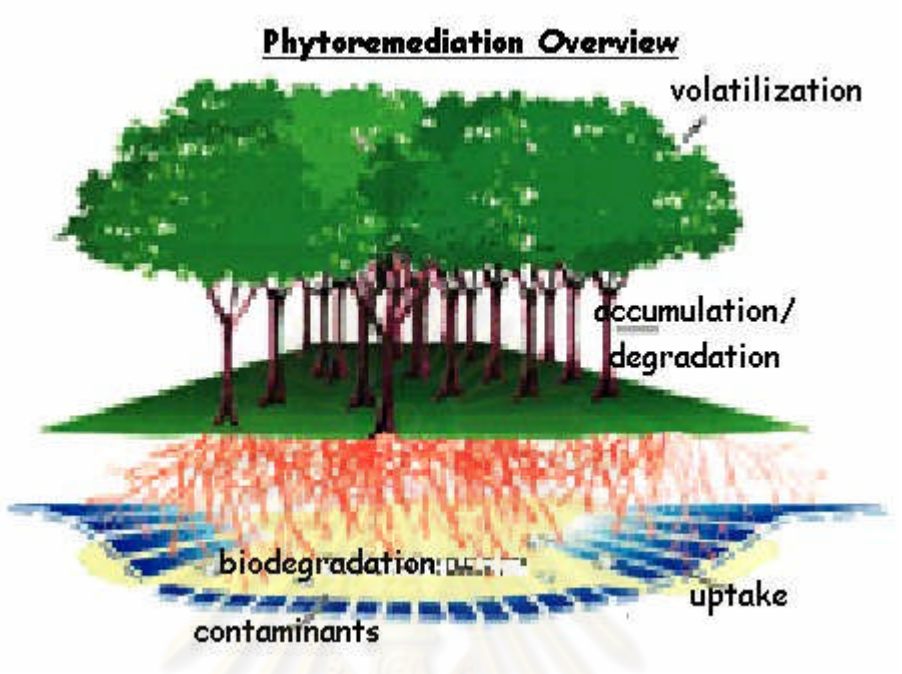
2.3 **การบำบัดโดยใช้พืช** (phytoremediation)

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1967 นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบความสามารถของพืชในการดูดซึม (uptake) และการเคลื่อนย้าย (translocation) สารประกอบเคมีทั้งสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ต่างๆจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ต้นพืช จากนั้นผลการศึกษาวิจัยต่างๆจึงนำมาสู่กระบวนการพัฒนาเป็นกระบวนการเพื่อใช้พืชในการบำบัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

2.3.1 คำจำกัดความของการบำบัดโดยใช้พืช (definition of phytoremediation)

การบำบัดโดยใช้พืช (phytoremediation) มาจากรากศัพท์คำว่า “*phyto*” ในภาษากรีกที่หมายถึง “พืช” รวมกับคำว่า “*remedium*” ในภาษาลาตินที่หมายถึง “การแก้ไขหรือการปัดเป่าสิ่งที่ชั่วร้าย” (Cunningham *et al*., 1996) เมื่อนำทั้งสองคำนี้มารวมกัน หมายถึง การนำพืชมาใช้ในการบำบัดดิน โคลน กากตะกอน หรือน้ำ ที่เกิดการปนเปื้อนโดยสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ (International Environmental Technology Centre, 2000) ซึ่งการบำบัดนี้อาศัยประโยชน์จากกระบวนการดูดน้ำและแร่ธาตุอาหารผ่านทางรากของพืช และกระบวนการคายน้ำออกทางใบของพืชในการเปลี่ยนสารปนเปื้อนเหล่านั้นให้อยู่ในรูปที่ไม่มีความเป็นพิษหรือมีความเป็นพิษลดลง ซึ่งกลไกเหล่านี้ทำหน้าที่เปลี่ยนรูปสารประกอบอินทรีย์ เช่น น้ำมัน สารกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น หรือดูดซับและสะสมจุลธาตุที่เป็นพิษ ไว้ในลำต้น ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะถูกกำจัดออกจากพื้นที่เมื่อมีการเก็บเกี่ยวพืชออกไป (Sustainable Straegies, 1997; McCutcheon and Schnoor, 2003)

2.3.2 ชนิดของการบำบัดโดยใช้พืช (type of phytoremediation)



ภาพที่ 2.3 กระบวนการ phytoremediation

ที่มา: http://arabidopsis.info/students/dom/mainpage.html

การบำบัดโดยใช้พืชนั้นเป็นเทคนิคที่ใช้พืชในการบำบัดสารพิษต่างๆ ที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมโดยที่จะคัดเลือกพืชที่มีคุณสมบัติเฉพาะมาใช้ในการบำบัดสารปนเปื้อนแต่ละชนิด โดยพืชที่นำมาใช้มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาใช้บำบัดสารปนเปื้อนในแต่ละกรณี ดังนั้นจึงสามารถแยกชนิดของการบำบัดโดยใช้พืชได้ตามความสามารถของพืชที่จะนำมาใช้ในการบำบัด สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กระบวนการหลัก (รูปที่ 2.4) ได้แก่

1) phytoaccumulation (phytoextraction) กระบวนการ phytoaccumulation หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า phytoextraction คือ กระบวนการกำจัดสารมลพิษเช่น สารประกอบเคมีอินทรีย์โลหะหนัก และสารกัมมันตรังสี (radionuclide) ฯลฯ จากน้ำหรือดินโดยการดูดซึม (uptake) การลำเลียง (transport) การเคลื่อนย้าย (translocation) สารมลพิษนั้นเข้าสู่พืชทางรากและสะสม (storage) อยู่ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ราก ใบลำต้น และกิ่งก้านต่างๆ สำหรับในกรณีนี้พืชจะสะสมสารมลพิษเหล่านี้โดยไม่มีการย่อยสลายต่อไป ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการที่พืชนั้นๆขาดกลไกหรือวิถีการย่อยสลาย (degradation mechanism or patway) ที่เหมาะสมต่อสารมลพิษเหล่านี้

จากนั้นพืชที่มีการสะสมสารมลพิษในส่วนต่างๆ เหล่านี้ จะต้องถูกนำไปบำบัดด้วยวิธีการต่างๆ ต่อไป ได้แก่ การนำไปเผา การฝังกลบหรือการย่อยสลายโดยใช้จุลินทรีย์ เป็นต้น

2) phytostimulation คือ การใช้พืชในการบำบัดสารมลพิษต่างๆ นอกเหนือจากกระบวนการข้างต้น ที่พืชใช้กลไกการสะสม การเปลี่ยนรูป และ/หรือการย่อยสลายสารมลพิษเพื่อให้สารนั้นมีความเป็นพิษน้อยลงแล้วนั้น พืชสามารถทำงานร่วมกับจุลินทรีย์ในดินที่อาศัยอยู่บริเวณรากพืชเพื่อเร่งการย่อยสลายสารมลพิษเหล่านี้ กระบวนการเหล่านี้เรียกว่า phytostimulation หรือเรียกว่า plant-assisted bioremediation หรือ rhizodegradation และโดยไปกระบวนการนี้จะช้ากว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยพืช หรือ phytodegradation (GWRTAC, 1997; ITRC, 1999 and US EPA, 2000)

3) phytovolatilization เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปสารมลพิษอินทรีย์และโลหะหนักบางชนิดให้อยู่ในรูปที่สามารถระเหยได้ (volatile) เป็นรูปที่มีความเป็นพิษน้อยลงและถูกกำจัดออกจากต้นพืชได้ง่ายด้วยการปลดปล่อยการปนเปื้อน และการเปลี่ยนแปลงรูปของสารปนเปื้อนออกสู่ชั้นบรรยากาศภายนอกต้นพืช

4) phytostabillization ในการบำบัด (remediation) หรือการฟื้นฟู (restoration) สิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อนด้วยสารมลพิษนั้น สามารถทำได้ด้วยหลายวิธีการด้วยกัน การใช้ชนิดของพืชปลูกเพื่อช่วยตรึง (immobilization) สารมลพิษที่ปนเปื้อนในดินและในน้ำไว้เพื่อไม่ให้แพร่กระจายออกไป วิธีการนี้ยังรวมถึงให้สร้างความเสถียรให้แก่สารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมโดยการเปลี่ยนรูปสารมลพิษให้ละลายน้ำได้น้อยลง หรือเปลี่ยนสภาวะประจุเพื่อให้ตกตะกอนบริเวณของรากพืช

5) phytodegradation (phytotransformation) หมายถึงกระบวนการเปลี่ยนรูปและ/หรือการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์โดยพืช กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายหลังที่สารมลพิษได้ถูกดูดซึมจากสิ่งแวดล้อมผ่านรากพืชและถูกลำเลียงเข้ามาในพืชแล้ว หลังจากนั้นสารมลพิษเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนรูปหรือสลายด้วยกระบวนการหรือวิถีเมแทบอลิซึมต่างๆในเซลพืชจนได้สารผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นพิษน้อยลงหรือไม่มีเลยกระบวนการที่เกี่ยวข้อง phytodegration สามารถแบ่งได้คร่าวๆ ดังนี้

5.1) การเปลี่ยนรูปของสารมลพิษ (transformation)

การเปลี่ยนรูปของสารมลพิษโดยพืชเป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปสารที่มีความเป็นพิษให้มีความเป็นพิษน้อยลง การเปลี่ยนรูปนี้นอกจากจะหมายถึงการเปลี่ยนรูปสารมลพิษไปเป็นสารตัวกลางอื่นหรือสารผลิตภัณฑ์อื่นด้วยปฏิกิริยาทางชีวภาพแล้ว ยังรวมถึงการเปลี่ยนสภาวะประจุ (Ionic state) ของสารมลพิษนั้นๆ รวมทั้งการเกิดปฏิกิริยา conjugation กับสารอินทรีย์บางชนิดในเซลล์พืชซึ่งทำให้สารมลพิษเหล่านั้นมีความเป็นพิษน้อยลงหรือไม่มีเลย สารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมที่มีรายงานว่าสามารถเปลี่ยนรูปได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยพืชนี้ ได้แก่

โลหะหนักบางชนิด เช่น สารหนู (arsenic; As) ปรอท (mercury; Hg) โครเมียม (chromium) เป็นต้น รวมทั้งสารประกอบอินทรีย์บางชนิด ได้แก่ ทีซีอี (trichloroethylene) ทีเอ็นที (tirnitrotoluene) เป็นต้น

5.2) การย่อยสลายบางส่วน (partial degradation)

กระบวนการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์ในพืชอาจเกิดขึ้นในรูปแบบของการย่อยสลายบางส่วน ซึ่งหมายถึงการที่สารมลพิษตั้งต้นถูกย่อยสลายให้มีขนาดของโครงสร้างทางเคมีเล็กลง เช่น การแตกวงของสารอะโรมาติกเป็นสายไฮโดรคาร์บอน หรือมีโครงสร้างความซับซ้อนน้อยลง เช่น การแตกตัวออกของหมู่โซ่ข้าง (side chain) หรือถูกทำให้เปลี่ยนรูปไปเป็นสารผลิตภัณฑ์อื่นซึ่งรูปร่างหรือโครงสร้างแตกต่างจากสารมลพิษตั้งต้นและมีความเป็นพิษน้อยลงหรือไม่มีเลย

5.3) การเปลี่ยนรูปและแยกสารมลพิษ (sequestration) เช่น การเปลี่ยนรูปเพื่อช่วยลำเลียงสารมลพิษแยกไปเก็บไว้ในส่วนแวคคิวโอ (vacuole) ซึ่งเป็นช่องว่างในเซลล์พืช เป็นต้น

5.4) การย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ (complete degradation หรือ mineralization)

กระบวนการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์อาจเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ในกรณีนี้สารมลพิษตั้งต้นจะถูกย่อยสลายอย่างเป็นขั้นตอนผ่านวิถีเมแทบอลิซึมต่างๆ ในเซลพืช ซึ่งในแต่ละขั้นตอนนี้สารมลพิษและสารตัวกลางในแต่ละขั้น อาจถูกนำไปใช้เป็นทั้งแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานให้แก่พืช ซึ่งท้ายสุดแล้วสารผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายจะได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ กระบวนการนี้อาจเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า mineralization กระบวนการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์โดยพืชนั้นต้องเริ่มต้นมาจากการดูดซึมนำสารมลพิษจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่พืช ในธรรมชาติพืชใช้วิธีหรือระบบต่างๆในการดูดซึมและลำเลียงสารมลพิษ ระบบการดูดซึมสารมลพิษโดยพืชที่มีการศึกษากันอย่างมากได้แก่ ระบบการลำเลียงโดยระบบปั๊มที่มีการสร้างเป็นสารประกอบร่วมกับกลูตาไธโอน (glutathione-s-conjugation pump) โดยมีตัวลำเลียง (transporter) คือ ATP-binding cassette (ABC) transporter ระบบนี้เกี่ยวข้องกับการลำเลียงสารประกอบที่อยู่ในรูปของกลูตาไธโอนในรูปออกซิไดซ์ (oxidized diglutathione, GS-SG) กลูตาไธโอนที่จับกันอยู่กับสารมลพิษอินทรีย์ (glutathione conjugates of organic or of high-molecular-weight toxic organic xenobiotics) และในรูปของสารประกอบระหว่างเพพไทด์ phytochelatin กับโลหะหนัก ซึ่งสารประกอบในรูปแบบต่างๆเหล่านี้สามารถถูกลำเลียงเข้าสู่แวคคิวโอของพืชโดยอาศัยระบบปั๊ม ในบางกรณีการสะสมสารมลพิษในแวคคิวโอของพืชจะช่วยทำให้เกิดการย่อยสลายสารมลพิษดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในปัจจุบันข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับกระบวนการย่อยสารมลพิษอินทรีย์โดยพืชนั้นยังมีน้อยมากเมื่อเปรียบกับข้อมูลและความรู้ที่เกี่ยวกับกระบวนการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์โดยแบคทีเรียหรือรา อย่างไรก็ตามมีรายงานถึงความสามารถของพืชในการย่อยสลายสาร

มลพิษอินทรีย์เพื่อลดความเป็นพิษของสารนั้นๆ และเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ตัวอย่างของพืชในการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์ ได้แก่ การย่อยสลายสารทีซีอี (trichloroethylene, TCE) ซึ่งจัดเป็นสารประกอบคลอรีนอินทรีย์ ที่มีการใช้มากในอุตสาหกรรมต่างๆ ส่งผลให้มีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทั้งในน้ำบาดาลและในดิน เนื่องจากสารทีซีอีนี้มีความเป็นพิษสูง เป็นสารก่อมะเร็งและพบว่าเป็นสารที่ถูกย่อยสลายได้ยากจึงจัดเป็นสารมลพิษที่อันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการบำบัดสารมลพิษนี้จึงเป็นสิ่งสำคัญในการกำจัดหรือลดความเป็นพิษนี้ (อลิสา วังใน, 2550)

2.4 การใช้พืชเพื่อการบำบัดสารกำจัดศัตรูพืชในสิ่งแวดล้อม

phytoremediation เป็นเทคโนโลยี ที่ได้รับความสนใจ และมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีประสิทธิภาพ ประหยัด และเหมาะสมในการกำจัดสารประเภทไฮโดรคาร์บอน สารกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น (Macek *et al*., 2000; Susarla *et al*., 2002; Xia *et al*., 2003) การใช้พืชเพื่อบำบัดสารกำจัดศัตรูพืชมีการดำเนินงานมานานแล้ว ตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ Li *et al.* (2002) ศึกษาการดูดดึง trifluralin และ lindane โดยใช้หญ้าเลี้ยงสัตว์ (rygrass) ผลการศึกษาพบว่าหญ้าเลี้ยงสัตว์เผาผลาญ trifluralin ได้ดีกว่า lindane การศึกษาของ Wang *et al.* (2006) ได้ทดลองโดยการเติมคลอร์ไพริฟอสความเข้มข้น 1-10 ไมโครกรัมต่อกรัม ลงไปในน้ำ และรดน้ำบนดินที่ปลูกข้าวสาลีและ oilseed rape ผลการศึกษาพบว่าข้าวสาลีมีความสามารถในการดูดดึงคลอร์ไพริฟอส 0.257-4.50 ไมโครกรัมต่อกรัม และ oilseed rape มีความสามารถในการสะสมคลอร์ไพริฟอส 0.249-2.02 ไมโครกรัมต่อกรัม นอกจากนั้นยังพบว่าอัตราการลดลงของคลอร์ไพริฟอสในดินที่มีการเพาะปลูกพืชมีค่ามากกว่าในดินที่ไม่มีการเพาะปลูกพืช

การนำเอาพืชน้ำมาใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียเป็นที่ยอมรับกันมานานกว่า 20 ปีแล้ว และพืชที่ได้นำมาใช้ในช่วงแรกๆ ได้แก่ กก ผักตบชวา ธูปฤาษีและแหนเป็ด เป็นต้น การนำพืชมาใช้บำบัดน้ำเสียจะทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้นกว่าเดิม เพราะพืชน้ำสามารถดูดซับสารละลายธาตุอาหารและโลหะหนักบางอย่างจากน้ำเสีย และเป็นการประหยัดพลังงาน เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าสารเคมี เป็นต้น (สุชาดา ศรีเพ็ญ และคณะ, 2532)

การศึกษาการกำจัดคลอร์ไพริฟอสโดยใช้ constructed wetland ของ Moore *et al*. (2001) พบว่าเมื่อปล่อยน้ำที่มีคลอร์ไพริฟอสที่ความเข้มข้น 73, 147 และ 733 ไมโครกรัมต่อลิตร ผ่านเข้าไปใน constructed wetland ดินตะกอน และพืชที่อยู่ในระบบจะสามารถดูดซับคลอร์ไพริฟอสได้

อย่างรวดเร็ว ผลการวัดปริมาณคลอร์ไพริฟอสที่สะสมในดินตะกอนและพืชมีค่าเท่ากับ 55 เปอร์เซ็นต์ และ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยมวล ตามลำดับ

พืชน้ำหลายชนิดมีความสามารถในการบำบัดสารกำจัดศัตรูพืช ดังเช่นงานวิจัยของ Xia และ Ma (2005) ที่ศึกษาความสามารถของผักตบชวาในการกำจัดสาร ethion ซึ่งเป็นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต ผลการศึกษาพบว่าอัตราการกำจัดสาร ethion ของชุดการทดลองที่ไม่มีการฆ่าเชื้อพืชก่อนปลูก ชุดที่ฆ่าเชื้อก่อนปลูก ชุดที่ไม่ฆ่าเชื้อและไม่ปลูกพืช และชุดที่ฆ่าเชื้อแต่ไม่ปลูกพืช มีค่าเท่ากับ 0.01059 0.00930 0.00294 และ 0.00201 ไมโครกรัมต่อชั่วโมง จากผลที่ได้นี้สามารถสรุปได้ว่าในการกำจัด ethion เกิดจากการดูดดึงของพืช และการย่อยสลายโดยพืช 69 เปอร์เซ็นต์ นอกนั้นเกิดจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์อีก 12 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำผักตบชวามาปลูกในสารละลายที่ไม่มี ethion เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ความสามารถในการสะสม ethion ในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ลดลง 55-91 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนรากลดลง 74-81 เปอร์เซ็นต์

Olette *et al*. (2007) ศึกษาความสามารถในการดูดดึง copper sulphate flazasulfuron และ dimethomorph ของพืชน้ำสามชนิด คือ แหนเป็ด (*Lemna minor*) สาหร่ายหางกระรอก (*Elodea Canadensis*) และสาหร่ายพุงชะโด (*Cabomba aquatica*) ผลการศึกษาพบว่าความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชที่มีต่อพืชน้ำทั้งสามชนิดเรียงตามลำดับดังนี้ คือ flazasulfuron > copper sulphate > dimethomorph นอกจากนั้นยังพบว่าความสามารถในการดูดดึงสารกำจัดศัตรูพืชของพืชน้ำจะเรียงลำดับดังต่อไปนี้ คือ แหนเป็ด > สาหร่ายหางกระรอก > สาหร่ายพุงชะโด ประสิทธิภาพในการบำบัด copper sulphate flazasulfuron และ dimethomorph ของแหน มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 30, 27 และ 11 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดของพืช ตามลำดับ จากงานวิจัยข้างต้นที่กล่าวมา พบว่า วิธีใช้พืชบำบัดนี้เป็นวิธีที่สามารถใช้ในการกำจัดสารปนเปื้อนหรือสารพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ (2538) รายงานว่าพืชที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียควรมีลักษณะเป็นพืชที่สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดีในท้องถิ่น ปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง มีความสามารถในการส่งผ่านออกซิเจนสูง โดยนำออกซิเจนจากในบรรยากาศที่ส่งผ่านลงมาตามใบ ลำต้น และราก สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษได้ค่อนข้างกว้าง มีความสามารถในการดูดซึมและเก็บสะสมสารต่างๆได้ คงทนต่อโรค และแมลงได้ดี และสามารถนำออกจากระบบได้ง่าย เนื่องจากพืชจะลดปริมาณสารที่มีอยู่ในน้ำเสียให้ได้ผลดีที่สุดนั้น พืชต้องมีการนำออกจากระบบ เพื่อมิให้พืชอยู่หนาแน่นเกินไปจนระบบขาดประสิทธิภาพ

2.5 พืชที่ใช้กำจัดคลอร์ไพริฟอสในน้ำ

2.5.1 จอก

ภาพที่ที่ 2.4 จอก

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Pistia stratiotes* L.

ชื่ออื่น water lettuce จอกผักกาด ผักกอก กากอก

ลักษณะทางพฤษศาสตร์

พืชลอยน้ำขนาดค่อนข้างเล็ก มีอายุหลายฤดู ลำต้นมีรูปร่างสั้น มีทั้งที่เป็นกอลอยน้ำและเป็นไหลกลมเรียวยาวทอดไปตามพื้นน้ำ ซึ่งทำหน้าที่ขยายพันธุ์เพื่อเป็นกอใหม่หรือแตกต้นอ่อนตามซอกใบ มีรากเป็นฝอยเล็กละเอียดแตกออกคล้ายขนนกเกิดใต้กอเป็นกระจุกใหญ่ กอต้นประกอบด้วยกลุ่มของใบเกิดเรียงกันเป็นวงรอบลำต้นสั้นๆ ใบเดี่ยวไม่มีก้านใบ แผ่นใบยาวประมาณ 15 เซนติเมตร อวบหนาแผ่กว้างผิวใบมีขนละเอียด รูปร่างกว้างคล้ายลิ่ม อวบน้ำ ซ้อนเกยกันอยู่บนแกนที่เป็นส่วนของลำต้น ออกเป็นกระจุกลอยเหนือน้ำ กอต้นลอยน้ำอยู่ได้ ดอกสีขาวออกรวมเป็นช่อขนาดเล็กเกิดอยู่ตรงโคนซอกใบ ช่อดอกมีแผ่นสีเขียวคล้ายใบขนาดเล็กหุ้มไว้ มีใบรองรับช่อดอกยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร ช่อดอกแยกเป็นช่อดอกเพศผู้อยู่ตอนบนมีประมาณ 3-8 ดอก และช่อดอกเพศเมียอยู่ตอนล่างมีใบรองรับช่อดอกหุ้มไว้ มีเพียง 1 ดอกเท่านั้น และภายในดอกมีแต่รังไข่รูปคล้ายคนโฑภายในมี 1 ช่องมีไข่อ่อนหลายใบส่วนดอกเพศผู้ก็มีเพียงเกสรเพศผู้ 2 อันติดกัน ผลเดี่ยวขนาดเล็กแบบผลสดที่มีเปลือกนุ่ม ภายในมีหลายเมล็ด เป็นวัชพืชน้ำที่พบแพร่ระบาดได้ตามแหล่งน้ำทั่วไปตามบึง หนองน้ำหรือนาข้าว ทั้งในน้ำนิ่ง และน้ำไหล

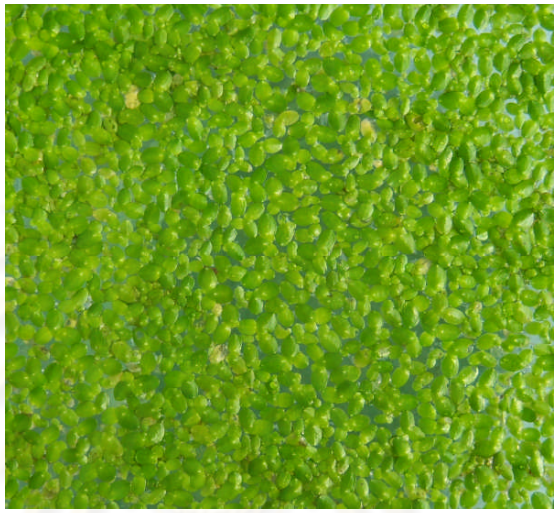
(สุชาดา ศรีเพ็ญ, 2542 และ สมชาติ หาญวงษา, 2548)

ขยายพันธุ์ โดยการแตกไหล

ประโยชน์ของจอก

ใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ เช่น หมู เป็ด หรือปลา และใช้เป็นพืชสมุนไพร (สมชาติ หาญวงษา, 2548)

2.5.2 แหนเป็ด



ภาพที่ 2.5 แหนเป็ด

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Lemna minor* L.

ชื่ออื่น common duckweed lesser duckweed แหน กาแหน แหนเล็ก แหนเป็ด

ลักษณะทางพฤษศาสตร์

พืชลอยน้ำขนาดเล็ก ชอบขึ้นตามหนองบึงหรือสระน้ำทั่วไป ใบสีเขียวสดลอยปริ่มน้ำหรือเหนือผิวน้ำเล็กน้อย ลอยเดี่ยวๆ หรืออยู่เป็นกลุ่มติดกันประมาณ 2-10 ใบ ด้านใต้มีรากเพียง 1 รากเป็นเส้นบาง แตกตรงข้อด้านล่างของใบ รากนี้ช่วยถ่วงให้ใบลอยน้ำได้ดี ลักษณะของใบมีรูปร่างกลมรีคล้ายรูปไข่ยาวประมาณ 0.5 เซนติเมตร กว้างประมาณ 0.2 เซนติเมตร ผิวด้านบนสีเขียวเป็นมัน มีเส้นใบเล็กๆ 1-5 เส้น ขอบใบเรียบ ดอกมีขนาดเล็กมากมีกาบดอกรูปทรงกระบอก หุ้มอยู่ออกเป็นช่อเล็กๆ เกิดอยู่ภายในถุงตรงขอบใบช่อดอกประกอบด้วยดอกเพศผู้ 2 ดอกที่มีเพียงเกสรเพศผู้และดอกเพศเมีย 1 ดอกที่มีแต่รังไข่เท่านั้น ช่อดอกมีเนื้อเยื่อบางๆ หุ้มไว้ เกสรเพศผู้แต่ละอันมีอับเกสร 2 ช่องรังไข่ขนาดเล็กภายในมี 1 ช่อง มีไข่อ่อน 1-7 ใบ ผลขนาดเล็กมาก

ภายในมี 1 เมล็ดที่สามารถงอกได้ทันที พบตามแหล่งน้ำทั้วไป (สุชาดา ศรีเพ็ญ, 2542 และ สมชาติ หาญวงษา, 2548)

ขยายพันธุ์ โดยการแตกใบ

ประโยชน์ของแหนเป็ด

ในบริเวณที่มีมากๆ จะนำมาใช้เป็นประโยชน์อาหารเลี้ยงสัตว์น้ำและสัตว์บกหลายชนิด (สมชาติ หาญวงษา, 2548)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างพืช

1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างพืช
2) ถุงสำหรับเก็บตัวอย่างพืช

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปลูกพืช

1) ภาชนะที่ใช้ปลูกพืช ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว
2) กระดาษ label
3) สารละลายธาตุอาหารพืชสูตร Hoagland' No.2
4) สารกำจัดแมลง คลอร์ไพริฟอส 40% EC
5) เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)
6) เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด (analytical balance) 4 ตำแหน่ง denver instrument company รุ่น TR-203
7) เครื่องวัดpH (pH meter): HANNA instruments รุ่น pH 211

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.1.3.1 เครื่องแก้วและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย เช่น บีกเกอร์ กระบอกตวง ขวดปรับปริมาตร หลอดทดลอง หลอดหยด ปิเปต บิวเรตต์ แท่งแก้ว ขวดแก้วใส (vial) พร้อมฝาเกลียว เป็นต้น

3.1.3.2 วัสดุวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัย เช่น กระดาษกรอง พาราฟิลม์ กระดาษ label ปากกา label ถุงซิป ถุงมือ หน้ากากปิดจมูก กระดาษฟอยด์ เป็นต้น

3.1.3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

1) สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

   1.1) Hoagland' No.2 basal mixture บริษัท SIGMA

   1.2) methanol (analytical reagent grade) บริษัท RCI Labscan

   1.3) n-hexane 99% PR บริษัท RCI Labscan

   1.4) ethylacetate (analytical reagent grade) บริษัท RCI Labscan

   1.5) potassium hydroxide (analytical reagent grade) บริษัท RCI Labscan

2) เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

   2.1) vacuum Manifolds

   2.2) vertipak™ HCP tubes

   2.3) เครื่องวัดpH (pH meter): HANNA instruments รุ่น pH 211

   2.4) เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

1) สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

1.1) methanol (analytical reagent grade) บริษัท RCI Labscan

1.2) dichloromethane (analytical reagent grade) บริษัท RCI Labscan

1.3) sodium chloride (analytical reagent grade) บริษัท RCI Labscan

1.4) n-hexane 99% PR บริษัท RCI Labscan

1.5) ether บริษัท J.T. Baker.

2) เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

2.1) ตู้อบ (isotemp oven; Fisher Scientific)

2.2) โถแก้วดูดความชื้น (dessicator)

2.3) vacuum manifolds

2.4) vortex; Scientific Industries; Model G-560E

2.5) high speed refrigerated centrifuge; Model: 4293R

2.6) rotavapor vacuum controller R205

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 สถานที่ดำเนินงานวิจัย

3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่างพืชที่ใช้ในงานวิจัย

พืชที่ใช้ในงานวิจัยเก็บมาจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร

3.2.1.1 สถานที่ในการใช้ปลูกพืชของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการปลูกพืชในเรือนทดลองที่สร้างขึ้น ณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.1.2 สถานที่ในการวิเคราะห์ตัวอย่างของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์สกัดตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการ ตึกวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอร์ไพริฟอสในพืชและน้ำ ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อาคารสถาบัน 3 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 ขั้นตอนงานวิจัย

3.3.1 การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร

น้ำที่ใช้ในการปลูกพืชเตรียมน้ำสารละลายธาตุอาหารพืชสูตร Hoagland'No.2 (Sigma, USA) ประกอบด้วย :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 (lorsban 40% W/V) ในรูปสารละลายเบื้องต้น (stock solution) ในตัวทำละลายอะซิโตน โดยให้มีความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ในขวดสีชาไม่ให้ถูกแสง นำสารละลายเบื้องต้นมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และเจือจางด้วยน้ำที่เตรียมไว้เพื่อให้ได้ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังสมการการเตรียมสารละลายดังนี้

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

เมื่อ M_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายเบื้องต้น

M_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายสารทดสอบที่ต้องการ

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายเบื้องต้น

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายสารทดสอบที่ต้องการ

3.3.3 การเตรียมพืช

ทำการเก็บตัวอย่างพืช โดยคัดเลือกพืชที่มีลักษณะลำต้นแข็งแรง และอยู่ในสภาพสมบูรณ์ นำพืชมาทำความสะอาดด้วยน้ำประปา จากนั้นแช่ในสารละลาย clorox 0.01 % (v/v) เป็นเวลา 2 นาที นำขึ้นมาล้างด้วยน้ำกลั่นเบาๆ อีก 2 ครั้ง (Olette *et al*., 2007) และนำไปเลี้ยงไว้ในถังขนาดใหญ่ที่มีสารละลายธาตุอาหารพืช Hoagland'No.2 เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ภายในเรือนทดลองเพื่อทำการขยายพันธุ์ก่อนนำพืชไปทำการทดลอง

3.3.4 การเตรียมภาชนะสำหรับปลูกพืช

ภาชนะสำหรับปลูกพืชที่ใช้ในการทดลองมีความจุ 1.5 ลิตร พื้นที่หน้าตัด 176.79 ตารางเซนติเมตร สูง 10.5 เซนติเมตร นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นแล้วผึ่งให้แห้งและทำการติดฉลากไว้ทุกภาชนะ

3.3.5 การเตรียมการทดลอง

งานวิจัยนี้วางแผนการทดลองแบบ Incomplete Randommize Block Design โดยใช้พืชในงานวิจัยทั้งหมด 2 ชนิด มีตำรับการทดลอง 5 ตำรับการทดลอง ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวพืชมี 1 ช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยว ทำการทดลอง 3 ซ้ำ รวมแล้วพืช 1 ชนิด มีหน่วยทดลอง 54 หน่วย ดังนั้นเมื่อคิดรวมพืชทั้ง 2 ชนิดแล้ว มีหน่วยทดลองทั้งหมด 108 หน่วย รวมหน่วยทดลองที่ไม่ได้ปลูกพืชอีก 24 หน่วย ดังนั้นจะมีหน่วยทดลองในการวิจัยทั้งหมด 132 หน่วย โดยที่ 1 หน่วยทดลอง คือ 1 กระถาง

สำหรับตำรับการทดลองทั้ง 5 ตำรับจะมีการปลูกพืชที่แตกต่างกันดังนี้

1) ชุดการทดลอง สารละลายธาตุอาหารพืชเติมคลอร์ไพริฟอส (1 มิลลิกรัมต่อลิตร) ปลูกจอก (น้ำหนักสด 5 กรัม) (อย่างละ 3 ซ้ำ สำหรับนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอร์ไพริฟอสที่สกัดได้ในน้ำ ในพืชที่สกัดโดยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง และศึกษาการเจริญเติบโต)

2) ชุดการทดลอง สารละลายธาตุอาหารพืชเติมคลอร์ไพริฟอส (1 มิลลิกรัมต่อลิตร) ปลูกแหนเป็ด (น้ำหนักสด 5 กรัม) (อย่างละ 3 ซ้ำ สำหรับนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอร์ไพริฟอสที่สกัดได้ในน้ำ ในพืชที่สกัดโดยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง และศึกษาการเจริญเติบโต)

3) ชุดควบคุม สารละลายธาตุอาหารพืชมีการเติมคลอร์ไพริฟอส (1 มิลลิกรัมต่อลิตร) ไม่มีการปลูกพืช

4) ชุดควบคุม สารละลายธาตุอาหารพืชไม่มีการเติมคลอร์ไพริฟอสปลูกจอก (น้ำหนักสด 5 กรัม) (อย่างละ 3 ซ้ำ สำหรับศึกษาการเจริญเติบโต)

5) ชุดควบคุม สารละลายธาตุอาหารพืชไม่มีการเติมคลอร์ไพริฟอสปลูกแหนเป็ด (น้ำหนักสด 5 กรัม) (อย่างละ 3 ซ้ำ สำหรับศึกษาการเจริญเติบโต)

ตารางที่ 3.1 ตำรับการปลูกพืชทดลอง สำหรับศึกษาการดูดดึงคลอร์ไพริฟอสของจอกและแหนเป็ด

วันที่	จอก (คลอร์ไพริฟอส 1 มก./ลิตร)		แหนเป็ด (คลอร์ไพริฟอส 1 มก./ลิตร)		ชุดควบคุม(ไม่มีพืช) (คลอร์ไพริฟอส 1 มก./ลิตร)
	สกัดโดยน้ำหนักสด	สกัดโดยน้ำหนักแห้ง	สกัดโดยน้ำหนักสด	สกัดโดยน้ำหนักแห้ง	
0	OOO	OOO	OOO	OOO	OOO
1	OOO	OOO	OOO	OOO	OOO
2	OOO	OOO	OOO	OOO	OOO
3	OOO	OOO	OOO	OOO	OOO
4	OOO	OOO	OOO	OOO	OOO
5	OOO	OOO	OOO	OOO	OOO
6	OOO	OOO	OOO	OOO	OOO
7	OOO	OOO	OOO	OOO	OOO

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ตำรับการปลูกพืชทดลอง สำหรับศึกษาการเจริญเติบโตของจอกและแหนเป็ด

วันที่	ชุดควบคุม จอก		ชุดควบคุม แหนเป็ด	
	คลอร์ไพริฟอส 1 มก./ลิตร	ไม่คลอร์ไพริฟอส	คลอร์ไพริฟอส 1 มก./ลิตร	ไม่มีคลอร์ไพริฟอส
0 1 2 3 4 5 6 7	OOO	OOO	OOO	OOO

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.6 ดำเนินการเพาะปลูกพืช

ทำการปลูกพืชในกระถางที่จัดเตรียมไว้ทั้ง 108 กระถาง โดยที่แต่ละกระถางจะทำการชั่งน้ำหนักพืชใส่ลงไป 5 กรัม ทำการขีดวัดระดับน้ำเพื่อรักษาระดับน้ำให้เท่าเดิมทุกวันโดยการเติมน้ำกลั่นเมื่อระดับน้ำลดต่ำลงกว่าขีด

3.3.7 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและการเก็บเกี่ยว

1) ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของจอก และแหนเป็ดในวันที่เริ่มปลูกและทุกๆวันเป็นระยะเวลา 7 วันดังนี้ ชั่งน้ำหนักสด (โดยในตัวอย่างจะชั่งก่อนนำไปวิเคราะห์ และในชุดควบคุมจะเก็บขึ้นมาชั่งทุกวันแล้วใส่กลับไปตามเดิม) วัดความยาวราก นับจำนวนต้น (โดยการตีตารางสุ่มนับ 5 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย และหาจำนวนต้นที่เพิ่มขึ้นโดยการคำนวณด้วยสูตรการหาพื้นที่ $\P r^2$)

2) เก็บตัวอย่างจอกและแหนเป็ดทุกๆ 1 วัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

3) นำตัวอย่างที่เก็บได้ในแต่ละชนิดพืชมาแยกเป็น 2 ส่วน ชั่งน้ำหนักสด ทั้ง 2 ชุด และแยกนำอีกชุดหนึ่งไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง

3.3.8 การวิเคราะห์คลอร์ไพริฟอสในพืชและน้ำ

นำตัวอย่างพืชที่ได้มาแบ่งเป็น 2 ส่วนคือส่วนแรกจะเก็บพืชสด นำไปสะเด็ดน้ำ ชั่งน้ำหนักสดของพืช ไปบดให้ละเอียดสกัดด้วยสารละลายผสม (เมธานอล, ไดคลอโรมีเทน และ โซเดียมคลอไรด์ (2%); 10:10:3 มิลลิลิตร) และนำสารละลายที่ได้ไปสกัดด้วยวิธีการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง (Solid Phase Extraction, SPE) จากนั้นจึงนำสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอร์ไพริฟอสในพืชต่อน้ำหนักสดโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี (Gas Chromatography, GC Electron Capture Detector, ECD) ส่วนที่สองจะนำพืชมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน แล้วนำมาบดให้ละเอียด ก่อนทำการสกัดและวิเคราะห์คลอร์ไพริฟอสในพืชต่อน้ำหนักแห้ง

3.3.8.1 ขั้นตอนการสกัดตัวอย่างพืช

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างพืชนำใส่หลอดเหวี่ยง บดให้ละเอียด จากนั้นเติม เมธานอล 10 มิลลิลิตร ไดคลอโรมีเทน 10 มิลลิลิตร และ โซเดียมคลอไรด์ (2%) 3 มิลลิลิตร นำไป เขย่าด้วยเครื่องเขย่า และเข้าเครื่องเหวี่ยงที่ความเร็ว 1200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เมื่อตัวอย่างแยกชั้นแล้วนำชั้นอินทรีย์ใส่หลอดทดลอง และเติมไดคลอโรมีเทน 10 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างเดิม นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า และเข้าเครื่องเหวี่ยงที่ความเร็ว 1200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที อีกครั้งหนึ่ง แยกชั้นอินทรีย์ที่ได้ใส่หลอดทดลองรวมกับครั้งแรก จากนั้นนำไปลดปริมาตรลงโดยการเป่าไนโตรเจนจนใกล้แห้ง แล้วนำไปเติมด้วยเฮกเซน 2 มิลลิลิตร ก่อนนำไปสกัดผ่านคอลัมน์ ขนาด 3 มิลลิลิตร ที่บรรจุด้วย florisil 200 มิลลิกรัม โดยการกระตุ้นคอลัมน์ก่อนด้วยเฮกเซน 5 มิลลิลิตร พาสารตัวอย่างออกจากคอลัมน์ด้วยเอทิลอีเทอร์ (5%) ต่อเฮกเซนจำนวน 15 มิลลิลิตร นำตัวอย่างที่ได้ไปลดปริมาตรด้วยเครื่องระเหยสารจนใกล้แห้งเติมเฮกเซนลงไป 2 มิลลิลิตร แล้วทำการเก็บตัวอย่างที่ได้ ปริมาณ 2 มิลลิลิตร ใส่ขวดแก้วใสขนาด 2 มิลลิลิตร เพื่อเก็บตัวอย่างไปวัดปริมาณคลอร์ไพริฟอสด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี (Karen, *et al*., 1998)

3.3.8.2 ขั้นตอนการสกัดตัวอย่างน้ำ

สำหรับการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจะทำทุกวัน โดยจะวัดความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ และการนำไฟฟ้าของน้ำ จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำและนำไปสกัดด้วยวิธีวิธีการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง แล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอร์ไพริฟอสในน้ำโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี

ตวงน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร เติมเมธานอล 1 มิลลิลิตร สกัดผ่านคอลัมน์ขนาด 3 มิลลิลิตร ที่บรรจุด้วย hydrophilic polymer 200 มิลลิกรัม ก่อนสกัดตัวอย่างผ่านคอลัมน์ต้องทำการกระตุ้น คอลัมน์ ด้วยเอทิลอะซิเตท 1 คอลัมน์ และตามด้วยน้ำกลั่นอีก 1 คอลัมน์ เมื่อเทตัวอย่างผ่านคอลัมน์แล้วจากนั้นนำคอลัมน์ไปเป่าด้วยไนโตรเจน 10-15 นาที จนแห้ง ทำการพาสารตัวอย่างออกจากคอลัมน์ด้วยเอทิลอะซิเตท 2 มิลลิลิตร ใส่ขวดแก้วใสขนาด 2 มิลลิลิตร นำไปเป่าด้วยแก๊ส

ไนโตรเจนจนแห้ง และ ปรับปริมาตรด้วยเฮกเซนจำนวน 1 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวัดปริมาณคลอร์ไพริฟอสด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี (Mauriz *et al*., 2005)

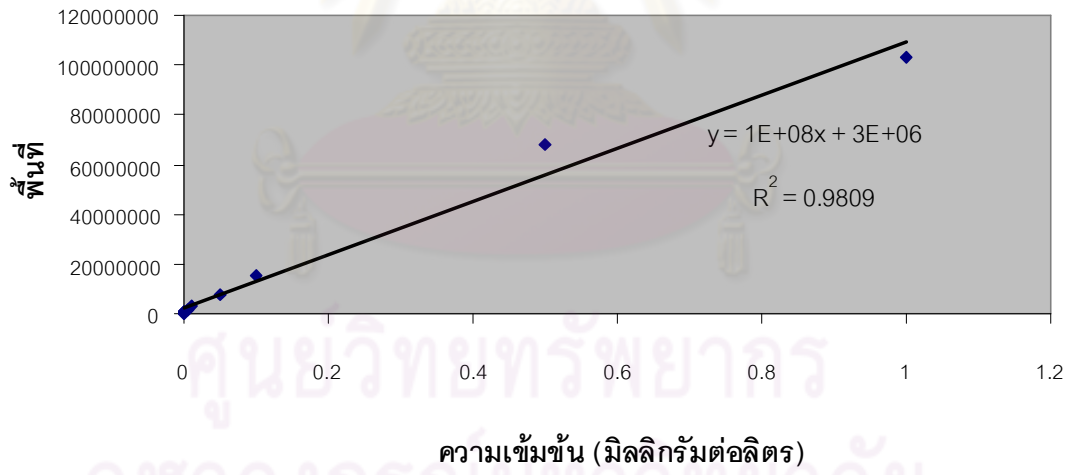
3.4 การเตรียม calibration curve ของคลอร์ไพริฟอส

1) นำคลอไพริฟอสที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน (0.0001, 0.0005, 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร) ไปฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี

2) เขียนกราฟระหว่างปริมาณความเข้มข้นของสาร (ppm) กับ response (พื้นที่ใต้กราฟดังภาพที่ 3.1) (curve) ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี

3) เขียนกราฟโดยใช้สมการ linear regression

4) ค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ควรจะมีค่ามากกว่า 0.90



ภาพที่ 3.1 calibration curve ของสารมาตรฐานคลอร์ไพริฟอส

3.5 การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพ

เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าสารที่ต้องการตรวจไม่สูญหายเนื่องมาจากขั้นตอนวิธีการเก็บตัวอย่าง การสกัด และเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ โดยการหาประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ซึ่งรวมถึง การสกัด และเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ โดยการหาประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ซึ่งรวมถึงการสกัดและการวัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี ดังนี้

1) เติมคลอร์ไพริฟอสในปริมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำมาสกัดและฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ซึ่งรวมถึงการสกัดและการวัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี (ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างถึงห้องปฏิบัติการไม่เกิน 2 วัน)

2) เติมคลอร์ไพริฟอสในปริมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในพืชสดหนัก 5 กรัม นำมาสกัดและฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี แล้วคำนวณหาเปอร์เซนต์ของประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ซึ่งรวมถึงการสกัดและการวัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี (ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างถึงห้องปฏิบัติการไม่เกิน 2 วัน)

การคำนวณหาประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ (%)

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

สำหรับการศึกษาครั้งนี้ พบว่าประสิทธิภาพในการสกัดและวัดด้วยเครื่องด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟีของคลอร์ไพริฟอสที่สกัดในพืชและในน้ำ มีค่าร้อยละ 98 และ 97 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.6 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี

การเลือกใช้เครื่องตรวจวัด (detector) ให้เหมาะสมกับชนิดหรือประเภทของตัวอย่างเป็นสิ่งสำคัญอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง เพื่อให้การตรวจวัดได้ผลดีที่สุดโดยทั่วไปเครื่องตรวจวัด ที่นิยมใช้มีอยู่ 3 ชนิด คือ FID, TCD และ ECD เครื่องตรวจวัด ทั้ง 3 ชนิด มีความไว (sensitivity) ที่ต่างกันไป ECD จะมีความไวดีกว่า FID และ TCD ตามลำดับ เครื่องตรวจวัด Flame Ionization Detector (FID) ไวต่อสารอินทรีย์ที่ oxidized ได้ง่าย เช่น alcohol, hydrocarbon เป็นต้น โดยสรุป FID สามารถตรวจวัดสารตัวอย่างที่สามารถระเหยเป็นก๊าซผ่านคอลัมน์ได้แทบทุกชนิด โดยเหมาะสำหรับตรวจวัดสารที่มี C-H bons ในโมเลกุลหรือที่เรียกว่าเป็นสารอินทรีย์ (organic compounds) ที่สามารถเกิด ionization ได้ด้วยเปลวไฟ ยกเว้นสารบางชนิด เช่น carbonyls, carboxylic acid หรือพวก cyclohexanols ในขณะที่ประสิทธิภาพในการตรวจวัดสารตัวอย่างของ Election Capture Detector (ECD) ซึ่งเป็นเครื่องตรวจวัดเฉพาะที่ใช้วัด electrophilic compounds เหมาะสำหรับตรวจวัดสารประกอบที่ระเหยง่ายได้ที่มีธาตุกลุ่มฮาโรเจน ซัลเฟอร์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ เช่น สารกำจัดแมลง จากการที่ ECD มีความไวต่อสารพวก alkyl halides carbonyls, nitrils, organometals halides ทำให้เครื่องตรวจวัดชนิดนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์พวกสารกำจัดแมลงได้ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แก๊สโครมาโตรกราฟฟี (GC) ดีเทคเตอร์ชนิด Election Capture Detector (ECD) ในการวิเคราะห์ปริมาณคลอร์ไพริฟอสที่สกัดได้

ทำการทดลองหาสภาวะ (condition) ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สารคลอร์ไพริฟอส โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี (GC) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-2010 คอลัมน์ DB-5 ความยาว 30 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร ความหนาของตัวดูดซับ 0.25 ไมโครเมตร ดีเทคเตอร์ชนิด Election Capture Detector (ECD) ปรับการใช้งานที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส ใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็น mark up ที่อัตรา 30 มิลลิลิตรต่อนาที และก๊าซฮีเลียมเป็น carrier gas อัตราการไหล 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที ตั้งอุณหภูมิของ injector ที่ 250 องศาเซลเซียส ระบบฉีดอัตโนมัติ (auto sampler) ปริมาณตัวอย่างที่ฉีด (injection volume) 1.00 ไมโครลิตร จำนวนตัวอย่างที่เข้าคอลัมน์ (injection mode) ใช้ split ratio 1:10

3.7 รวบรวมและประมวลผลของข้อมูลที่ได้จากงานวิจัย

3.7.1 วิเคราะห์ค่าคงที่อัตราการหายไปของคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย โดยสมการ first-order kinetics curve คือ ปฏิกิริยาที่อัตราการเกิดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังหนึ่ง ในกรณีเฉพาะของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง เมื่ออัตราเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น [C] สำหรับปฏิกิริยาอันดับหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นดังสมการ (สมการที่ 3.1)

$$C_t = C_0 e^{-kt} \quad \text{.....3.1}$$

$[C_0]$ กับ $[C_t]$ เป็นความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอส [C] และ C_0 คือ ค่าของ C_t ที่จุดเริ่มต้นการทดลองที่เวลา t เริ่มต้นเท่ากับ 0 กับเวลา t เท่ากับ t (ชั่วโมง) ตามลำดับ (t=0 ไม่จำเป็นต้องเป็นเวลาที่เริ่มต้นการทดลองเสมอไป อาจเป็นเวลาใดๆ ที่เริ่มติดตามการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ C ก็ได้) k คืออัตราคงที่ (ชั่วโมง$^{-1}$) ของคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย

นำสมการ 3.1 มาจัดใหม่ได้ดังนี้

$$\ln[C_0] = -\ln[C] = kt$$

หรือ $$\ln[C] = -kt + \ln[C_0] \quad \text{.....3.2}$$

สมการ 3.2 ที่ได้ใหม่นี้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรง y=mx+b เมื่อ m เป็นความชันของเส้นตรงที่ได้จากการเขียนกราฟระหว่าง y กับ x เปรียบเทียบสมการทั้งสองได้ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\ln[C] = (-k)\ t + \ln[C_0]$$

$$\updownarrow = \updownarrow\ \updownarrow + \updownarrow$$

$$y = -m\ x + b$$

ดังนั้น เมื่อเขียนกราฟระหว่าง ln[C] กับ t จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ –k จึงคำนวณค่าคงที่อัตราการหายไปของคลอร์ไพริฟอสในสารละลายได้ด้วยวิธีนี้ ดังสมการต่อไปนี้

$$k = - \frac{\ln \frac{[C]}{[C_0]}}{t} \qquad \text{.....3.3}$$

ครึ่งชีวิต (half life,$t_{1/2}$) ของปฏิกิริยา หมายถึงเวลาที่ใช้ในการทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของความเข้มข้นเริ่มต้นสำหรับปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง เราหาครึ่งชีวิตได้ดังนี้ จากสมการ 3.4

$$t = \frac{1}{k} \ln \frac{[C]_0}{[C]} \qquad \text{.....3.4}$$

ความหมายของครึ่งชีวิต คือ เมื่อ $t=t_{1/2}$ $[C]=[C]_{0/2}$ ดังนั้นจึงได้

$$t_{1/2} = \frac{1}{k} \ln \frac{[C]_0}{[C]_{0/2}}$$

หรือ

$$t_{1/2} = \frac{1}{k} \ln 2 = \frac{0.693}{k} \qquad \text{.....3.5}$$

3.7.2 ทำการรวบรวมผลการทดลอง และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของการเจริญเติบโตของพืชทั้งสองชนิดในชุดที่เติมและไม่เติมคลอร์ไพริฟอสด้วยสถิติ T-test และเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพสะสมคลอร์ไพริฟอสในพืชทั้งสองชนิด และค่าคงที่อัตราการหายไปของคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยโดยใช้ ANOVA (analysis of variance) (SPSS for Windows) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test และturkey's HSD test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

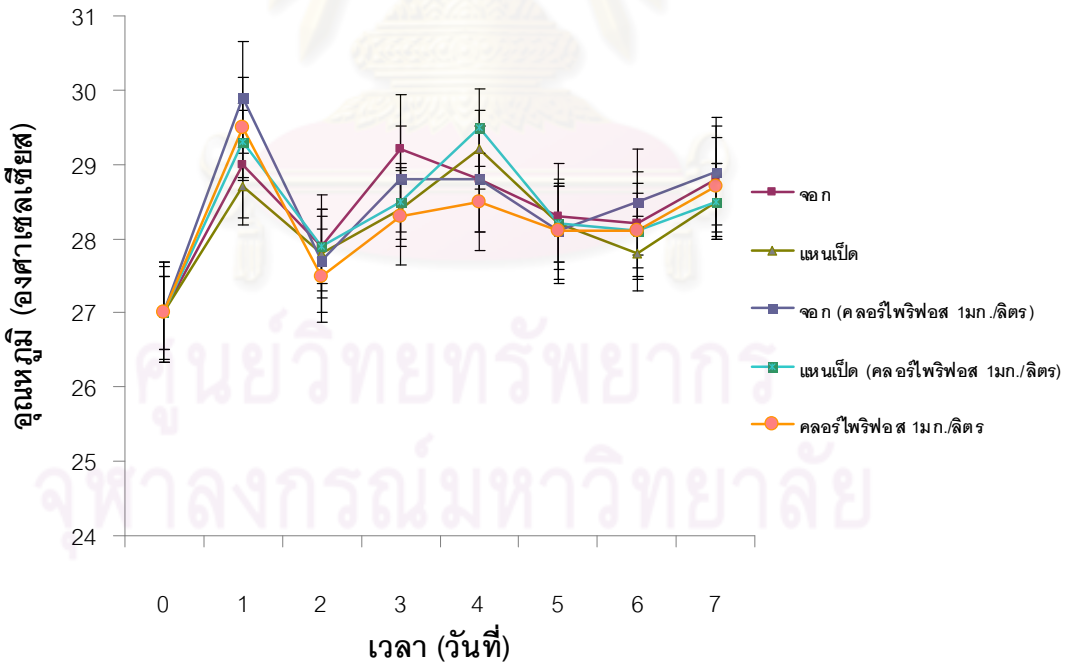
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 การเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีของสารละลายคลอร์ไพริฟอส

4.1.1 อุณหภูมิ

ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิของสารละลายที่ใช้เลี้ยงพืช (ภาพที่ 4.1) ทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 27-30 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำสุดในวันแรกของทุกชุดการทดลอง (27 องศาเซลเซียส) และสูงสุด (30 องศาเซลเซียส) ในวันที่ 1 ของชุดการทดลองที่ปลูกจอกในสารละลายคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิของสารละลายตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองทั้ง 7 วันนี้ อุณหภูมิที่วัดได้มีค่าสูงกว่าวันแรก และทุกชุดการทดลองอุณหภูมิมีลักษณะการเพิ่มขึ้นและลดลงคล้ายกัน อาจเนื่องมาจากทุกชุดการทดลองอยู่ภายใต้สภาพโรงเรือนเดียวกัน



ภาพที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายที่เพาะเลี้ยงจอก (*P. stratiotes*) แหนเป็ด (*L. minor*) และชุดควบคุม (control) ตลอดระยะเวลา 7 วัน

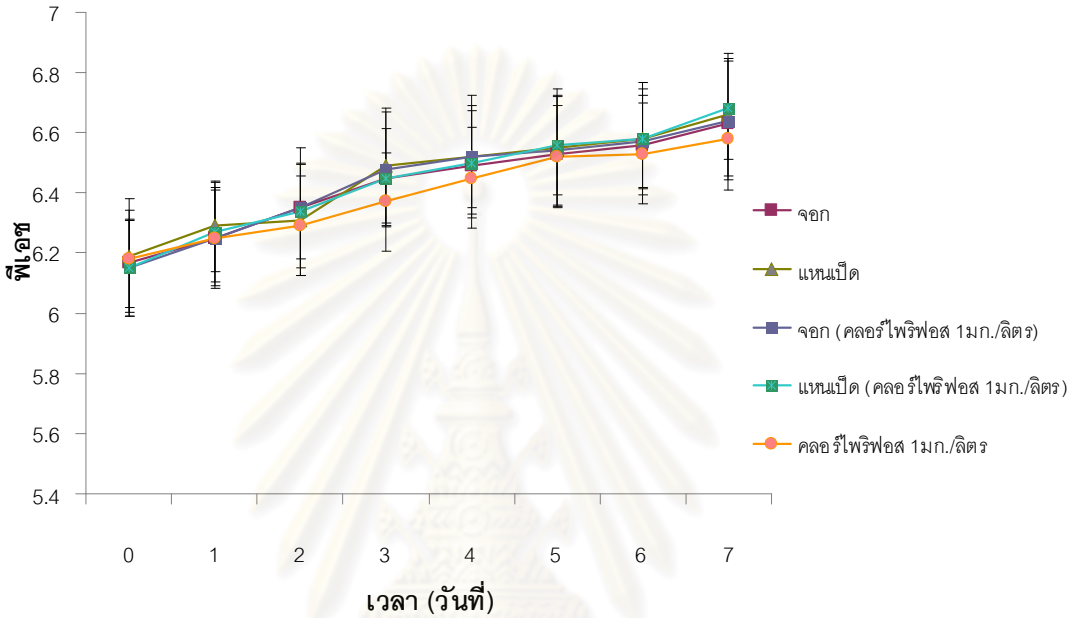
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในภาชนะบรรจุน้ำเกิดได้จากการที่มีแสงส่องผ่านลงไปในแหล่งน้ำต่อมามีการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2539) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมีก็เพิ่มขึ้น การละลายของแก๊สลดลง การละลายของแร่ธาตุเพิ่มขึ้นโดยปกติอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติจะผันแปรตามอุณหภูมิของอากาศ ขึ้นกับฤดูกาล ระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศ รวมถึงขึ้นกับความเข้มของแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ กระแสลม ความลึก ปริมาณสารแขวนลอยหรือความขุ่น และสภาพแวดล้อมทั่วไปในแหล่งน้ำ อุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นกว่าระดับปกติเพียง 2-3 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อคุณภาพน้ำและแหล่งน้ำ เช่น ความหนาแน่น ความหนืด ความสามารถในการละลายออกซิเจน การแบ่งชั้นของน้ำ การหมุนเวียนของแร่ธาตุต่าง ๆ และกระแสน้ำ เป็นต้น ผลกระทบที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น คือปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะมีอัตราผกผันหรือตรงข้ามกับอุณหภูมิของน้ำ คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะลดลง ในขณะที่ขบวนการเมตาบอลิซึมผันแปรตามอุณหภูมิคือจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 ถึง 3 เท่าเมื่ออุณหภูมิสูงเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส ในขณะเดียวกัน การทำงานของพวกแบคทีเรียและจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในการย่อยสลายสิ่งปฏิกูลต่างๆ ในน้ำก็จะเพิ่มขึ้น และต้องใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ก็จะทำให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจนเร็วขึ้น เป็นเหตุให้น้ำเกิดการเน่าเสียได้ (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ, 2528) แต่สำหรับในการศึกษานี้มีภาชนะบรรจุที่เหมือนกันและอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมโรงเรือนแบบเดียวกันค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.1.2 พีเอช

ค่าพีเอชของสารละลาย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากวันแรกถึงวันที่ 7 โดยที่ค่าพีเอชของชุดควบคุมที่ปลูกจอก ชุดควบคุมที่ปลูกแหนเป็ด ชุดควบคุมไม่ปลูกพืชและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ปลูกจอกและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ปลูกแหนเป็ดและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอยู่ในช่วง 6.17-6.63, 6.19-6.66, 6.13-6.58, 6.15-6.64 และ 6.15-6.68 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2)

ค่าพีเอชเป็นค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจน [H^+] ในน้ำ ในทางปฏิบัติ แสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของสารละลาย น้ำที่มีสมบัติเป็นกรดจะมีค่าพีเอชน้อยกว่า 7 เป็นด่างจะมีค่ามากกว่า 7 และเป็นกลางจะมีพีเอชเท่ากับ 7 (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคณะ, 2540)

นอกจากนี้ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำก็มีส่วนทำให้พีเอชของน้ำเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยพืชน้ำจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อการสังเคราะห์แสงในเวลากลางวันทำให้พีเอชของน้ำจะสูงขึ้น และค่อย ๆ ลดลงในเวลากลางคืนเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปลดปล่อยออกมาจากขบวนการหายใจ (ยนต์ มุสิก, 2530)



ภาพที่ 4.2 ค่าพีเอชเฉลี่ยของสารละลายที่เพาะเลี้ยงจอก (*P. stratiotes*) แหนเป็ด (*L. minor*) และชุดควบคุม (control) ตลอดระยะเวลา 7 วัน

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2545) กล่าวว่า พีเอชมีบทบาทและความสำคัญต่อการทำงานของกระบวนการต่าง ๆ เช่น การสลายตัวของสาร การตกผลึก การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา เป็นต้น ระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการต่าง ๆ นั้นมีค่าไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางเคมี หรือชีวภาพของกระบวนการ ค่าพีเอชน้ำในธรรมชาติส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 4-9 (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2544) เนื่องจากค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นอิออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลต่อการดูดซับ โดยทั่วไปอัตราดูดซับสิ่งปนเปื้อนในแหล่งน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชมีค่าลดลงเพราะ H^+ เพิ่มขึ้น (พัชรีย์ ถาวรเจริญพงศ์, 2541)

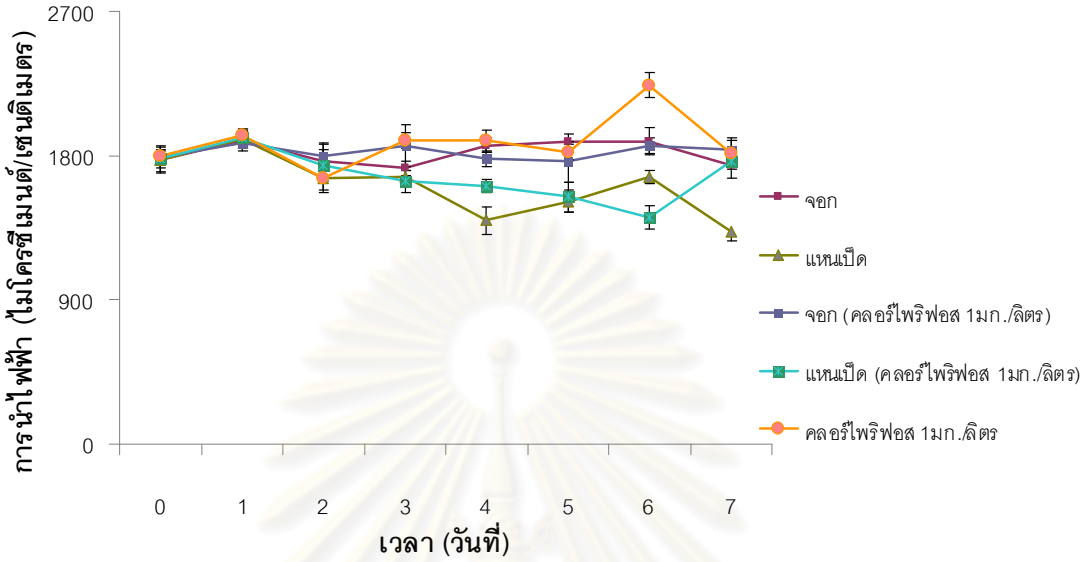
สำหรับค่าพีเอชของสารละลาย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยทุกชุดการทดลอง แต่ชุดการทดลองที่ปลูกพืชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงกว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืชและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่ปลูกพืชทำให้ค่าพีเอชของน้ำสูงขึ้นอาจเป็นสาเหตุมาจากพืชใช้

คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อการสังเคราะห์แสงในเวลากลางวันทำให้พีเอชของน้ำจะสูงขึ้น เนื่องจากในช่วงการเจริญเติบโตทางใบและลำต้น (vegetative growth) พืชจะมีการดูดใช้ NO_3^- เป็นส่วนใหญ่ (ดูดใช้ anion มากกว่า cation) ดังนั้นก็จะปลดปล่อย HCO_3^- ออกมาจำนวนเท่ากันมีผลให้พีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น (อารักษ์ ธีรอำพน, 2544)

4.1.3 ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่ใช้เลี้ยงพืช พบว่ามีความผันแปรตลอดระยะเวลาทั้ง 7 วัน โดยที่ชุดควบคุมปลูกจอก ชุดควบคุมปลูกแหนเป็ด ชุดควบคุมไม่ปลูกพืชและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ปลูกจอกและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ปลูกแหนเป็ดเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอยู่ในช่วง 1721-1890, 1327-1905, 1761-1875, 1414 1910 และ 1797-2240 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 4.3) ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ McGregor *et al*. (2008) ที่ทำการวัดอุณหภูมิสูงสุด pH และการนำไฟฟ้าเฉลี่ย เป็นเวลามากกว่า 42 วัน โดยมีความเข้มข้นของสารละลาย atrazine ดังนี้ 0, 25, 50, 100 และ 250 ไมโครกรัมต่อลิตร พบว่า อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย pH และค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละความเข้มข้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) แต่จากการศึกษาของ พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย (2550) พบว่าค่าการนำไฟฟ้ามีความสอดคล้องกับค่าพีเอชซึ่งค่าพีเอชสูงขึ้นทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นตามไปด้วย

ค่าการนำไฟฟ้าเป็นการวัดความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน คุณสมบัติข้อนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ชนิดของอิออนในน้ำ และอุณหภูมิ น้ำที่มีอิออนของสารต่างๆ อยู่สามารถนำไฟฟ้าได้ ได้แก่ กรด ด่างแก่ และเกลืออินทรีย์ เช่น Na_2CO_3 และ NaCl เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีเพราะแตกตัวให้อิออนบวกและลบ ในทางตรงข้ามโมเลกุลของสารอินทรีย์ เช่นซูโครสและเบนซีนไม่แตกตัวเป็นอิออนในน้ำจึงไม่นำไฟฟ้า ค่าการนำไฟฟ้าไม่ได้เป็นค่าเฉพาะอิออนตัวใดตัวหนึ่ง แต่เป็นค่ารวมของอิออนทั้งหมดในน้ำ ค่านี้ไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำ บอกแต่เพียงว่ามีการเพิ่มหรือลดของอิออนที่ละลายในน้ำเท่านั้น กล่าวคือค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแสดงว่ามีสารที่แตกตัวได้ในน้ำเพิ่มขึ้นหรือถ้าค่าการนำไฟฟ้าลดลงแสดงว่าสารที่แตกตัวได้ในน้ำลดลง (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2544) อีกทั้งการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ต่อองศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิน้ำยิ่งสูงขึ้นสารต่างๆจะแตกตัวได้ดี ความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิออนก็จะเพิ่มขึ้น จึงทำให้การนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น สุธี เกื้อเกตุ (2543) กล่าวว่าถ้าอุณหภูมิสูงจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น เพราะอุณหภูมิของน้ำสูงทำให้การแตกตัวเป็นอิออนของเกลือมากขึ้น

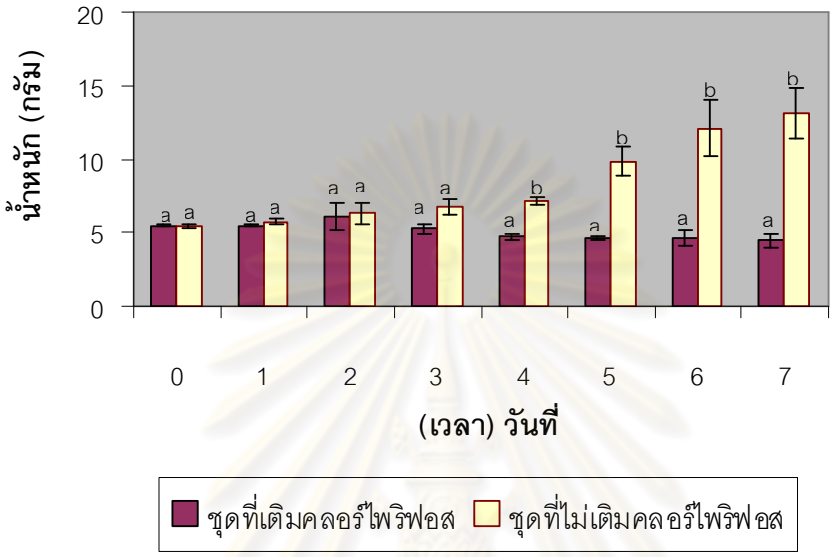


ภาพที่ 4.3 ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยของสารละลายที่เพาะเลี้ยงจอก (*P. stratiotes*) แหนแป๊ด (*L. minor*) และชุดควบคุม (control) ตลอดระยะเวลา 7 วัน

ผลทางด้านเคมีของสารละลายเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติแล้วแสดงให้เห็นว่า ค่าอุณหภูมิ ค่าพีเอช ในชุดควบคุมปลูกจอก ชุดควบคุมปลูกแหนแป๊ด ชุดควบคุมไม่ปลูกพืชและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ปลูกจอกและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ปลูกแหนแป๊ดเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนค่าการนำไฟฟ้าในชุดควบคุมปลูกจอก ชุดควบคุมปลูกแหนแป๊ด ชุดควบคุมไม่ปลูกพืชและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ปลูกจอกและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ปลูกแหนแป๊ดเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การเจริญเติบโต องค์ประกอบการเจริญเติบโต และอิทธิพลของคลอร์ไพริฟอสต่อมวลชีวภาพของจอก (*P. stratiotes*) และแหนเป็ด (*L. minor*)

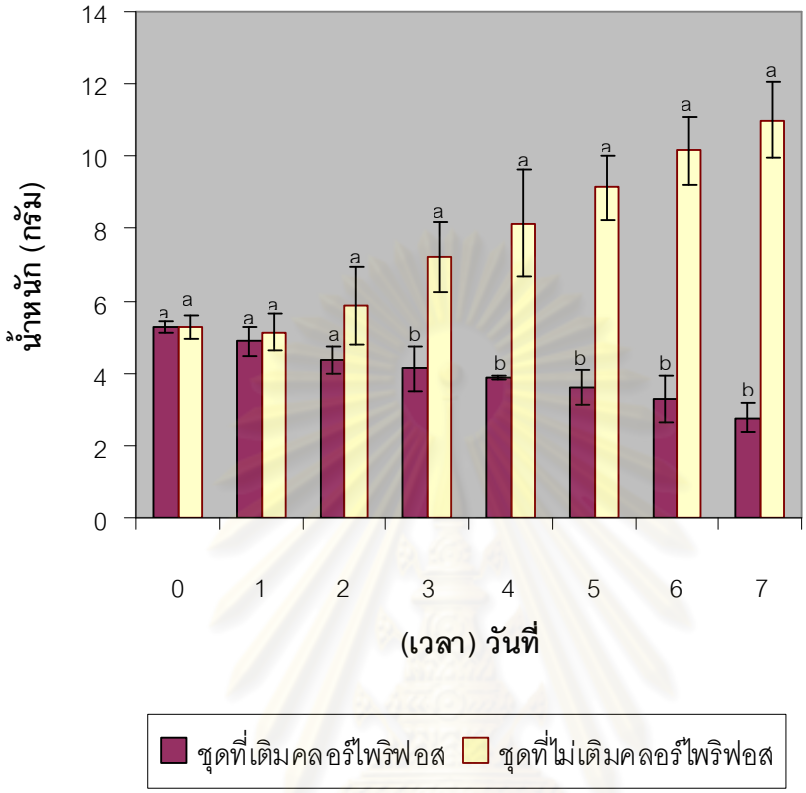


หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ภาพที่ 4.4 การเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการชั่งน้ำหนักสดทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

ผลการเจริญเติบโตของแหนเป็ดจากการชั่งน้ำหนักสดในช่วงวันแรกถึงวันที่ 3 พบว่าชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส และไม่เติมคลอร์ไพริฟอสของแหนเป็ดมีน้ำหนักสดไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) โดยมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 5.29 ถึง 6.76 กรัม และแหนเป็ดเริ่มมีน้ำหนักสดแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างชัดเจนตั้งแต่วันที่ 4 ถึงวันที่ 7 โดยแหนเป็ดในชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอสมีน้ำหนักสดน้อยกว่าแหนเป็ดในชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอส ซึ่งมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 4.44 ถึง 4.75 กรัม และ 7.17 ถึง 13.07 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 4.4)

ซึ่งแสดงว่าพืชเจริญเติบโตในสารละลายที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสได้ดีกว่าพืชที่อยู่ในสารละลายที่มีการเติมคลอร์ไพริฟอสและทำให้มีน้ำหนักสดมากกว่า

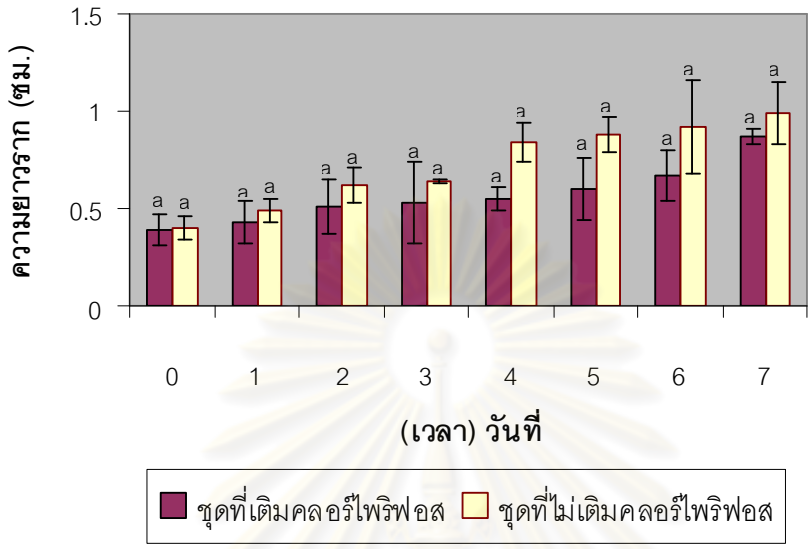


หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ภาพที่ 4.5 การเจริญเติบโตของจอกโดยการชั่งน้ำหนักสดทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

ผลการเจริญเติบโตของจอกจากการชั่งน้ำหนักสด พบว่าจอกมีน้ำหนักสดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ในวันแรกถึงวันที่ 2 ของการทดลองโดยพืชทั้งสองชุดการทดลองมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 4.37 ถึง 5.89 กรัม แต่ในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 7 จอกในชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสเริ่มมีน้ำหนักสดมากกว่าจอกที่อยู่ในสารละลายคลอร์ไพริฟอส ซึ่งมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 7.23 ถึง 11.01 กรัม และ 2.77 ถึง 4.21 กรัม ตามลำดับ และแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 4.5)

จากผลการเจริญเติบโตโดยการชั่งน้ำหนักสดของจอกและแหนเป็ด พบว่าพืชทั้งสองชนิดมีลักษณะการเจริญเติบโตที่คล้ายกันคือ ในสารละลายที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสพืชมีน้ำหนักสดมากกว่าในสารละลายที่เติมคลอร์ไพริฟอส อาจเป็นเพราะคลอร์ไพริฟอสมีผลทำให้พืชเจริญเติบโตไม่ดี

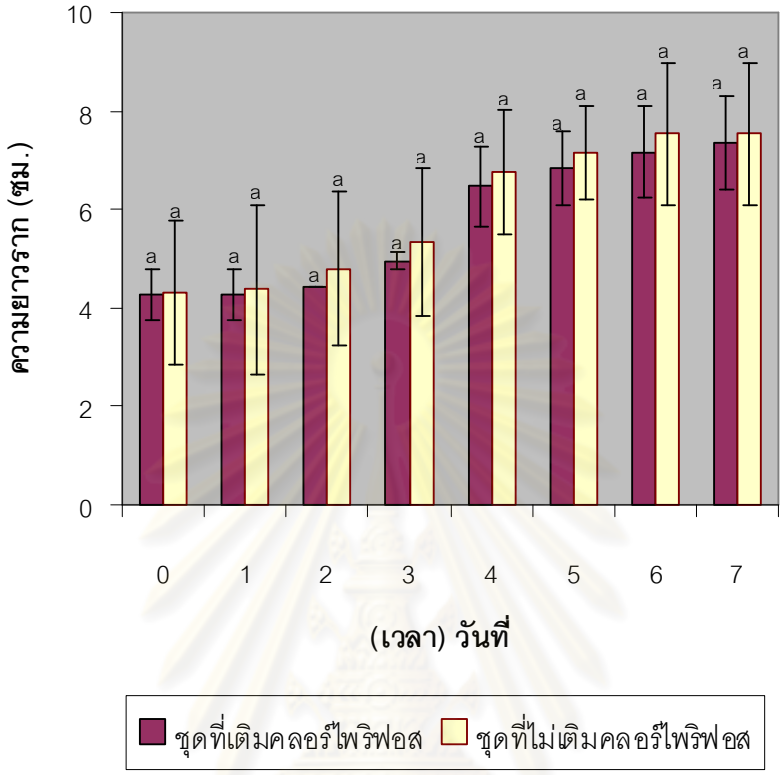


หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ภาพที่ 4.6 การเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการวัดความยาวรากทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

การเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการวัดความยาวราก พบว่าทั้งสองตำรับการทดลองในชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส และชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอส ตลอดทั้ง 7 วัน ความยาวของรากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยอยู่ในช่วง 0.39 ถึง 0.87 เซนติเมตร และ 0.40 ถึง 0.99 เซนติเมตร และความยาวรากของแหนเป็ดในชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงกว่าในชุดทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอสซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนในวันที่ 4 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.84 และ 0.55 เซนติเมตร ตามลำดับ และจากการคำนวณทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 4.6)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

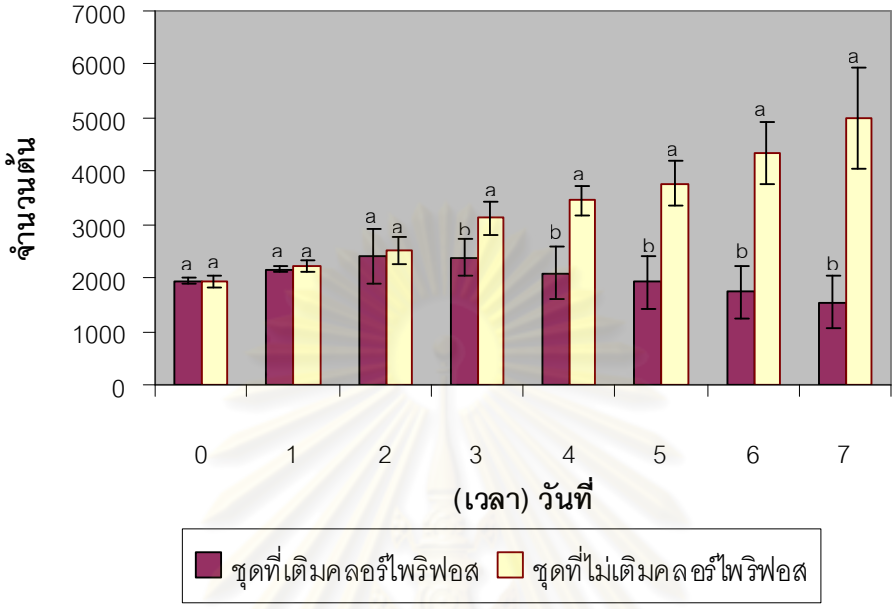


หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ภาพที่ 4.7 การเจริญเติบโตของจอกโดยการวัดความยาวรากทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

การเจริญเติบโตของจอกโดยการวัดความยาวราก พบว่าความยาวรากของจอกทั้งสองชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง และมีความยาวรากใกล้เคียงกันในวันแรกและวันที่ 1 โดยที่ชุดควบคุมที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสโดยมีค่าอยู่ในช่วง 4.30 ถึง 4.37 เซนติเมตร และชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอสมีค่าเท่ากับ 4.28 เซนติเมตร และความยาวรากของจอกในชุดควบคุมที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสเริ่มมากกว่าชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอสในวันที่ 2 ถึงวันที่ 7 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 4.80 ถึง 7.53 และ 4.43 ถึง 7.34 เซนติเมตร ตามลำดับ และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 4.7)

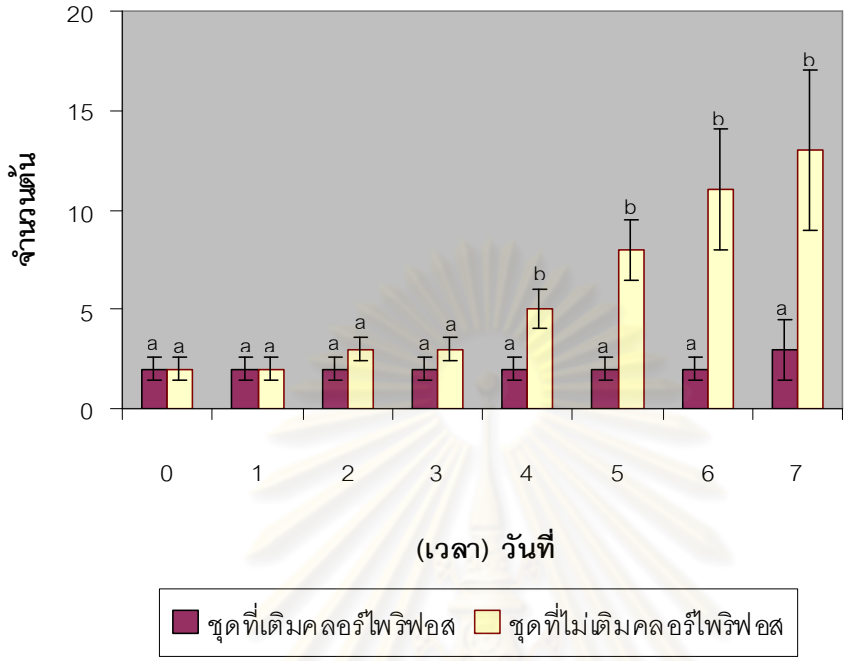
จากการเจริญเติบโตโดยวัดความยาวรากของจอกและแหนเป็ดพบว่าพืชทั้งสองชนิด มีแนวโน้มว่าความยาวรากเพิ่มขึ้น และในชุดควบคุมที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสมีความยาวรากมากกว่าชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส แต่จากการคำนวณทางสถิติพบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ภาพที่ 4.7)



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ภาพที่ 4.8 การเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการนับจำนวนต้นทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

จำนวนต้นของแหนเป็ดทั้งสองชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันในวันแรกถึงวันที่ 2 ของการทำการทดลองโดยมีค่าอยู่ในช่วง 1930 ถึง 2519 ต้น และพบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ในวันที่ 3 แหนเป็ดที่เลี้ยงในสารละลายคลอร์ไพริฟอสเริ่มมีจำนวนต้นลดลงเหลือเพียง 2387 ต้น และมีจำนวนต้นลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 7 เหลือเพียง 1532 ต้น แต่จำนวนต้นของแหนเป็ดเพิ่มขึ้นในชุดควบคุมที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสจากวันแรกถึงวันที่ 7 โดยอยู่ในช่วง 1930 ถึง 4994 ต้น และจากการคำนวณทางสถิติระหว่างชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสกับชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอสของวันที่ 3 ถึงวันที่ 7 พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 4.8)



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ภาพที่ 4.9 การเจริญเติบโตของจอกโดยการนับจำนวนต้นทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

จำนวนต้นของจอกในชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอสวันแรกถึงวันที่ 6 มีอัตราคงที่ คือเท่ากับ 2 ต้น และเพิ่มขึ้นในวันที่ 7 เป็น 3 ต้น แต่การเจริญเติบโตของจอกในชุดควบคุมที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสมีจำนวนต้นเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 13 ต้น ในวันที่ 7 เมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่าจำนวนต้นของจอกในวันแรกกับวันที่ 1 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสกับชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส และพบว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสกับชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส จากวันที่ 4 ถึงวันที่ 7 จอกมีจำนวนต้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 4.9)

การเจริญเติบโตของแหนเป็ดและจอกโดยการนับจำนวนต้นพบว่า พืชทั้งสองชนิดเจริญเติบโตได้ดีในสารละลายที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสโดยมีจำนวนต้นเพิ่มขึ้น แต่ในชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส แหนเป็ดมีจำนวนต้นลดลงตั้งแต่วันที่ 3 และจอกมีอัตราการเจริญคงที่ในวันแรกถึงวันที่ 6 และมีจำนวนต้นเพิ่มขึ้นในวันที่ 7

โดยทั่วไปแล้วการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด จะมีช่วงการเจริญเติบโตที่เหมือนกัน จากผลการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของจอกและแหนเป็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ใน

ตำรับควบคุมทั้ง 7 วันแสดงให้เห็นว่า แหนเป็ดเจริญเติบโตเร็วกว่าจอกที่อยู่ภายใต้สภาพโรงเรือนเดียวกัน ซึ่งอาจเป็นเพราะพืชใบเลี้ยงเดี่ยวคือแหนเป็ดรับอิทธิพลจากคลอร์ไพริฟอสได้ช้ากว่าจอกที่เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ อย่างไรก็ตามค่าจำกัดของความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของพืชน้ำที่เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและใบเลี้ยงคู่ต่อสารกำจัดศัตรูพืชยังไม่มีข้อมูลที่แน่ชัดที่สามารถใช้เป็นดัชนีได้ (Gorzerino *et al*., 2009)

การเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพของพืช เป็นดัชนีชี้วัดความสามารถของพืชในการทนความเป็นพิษและใช้เป็นตัวชี้วัดความสัมพันธ์ของพืชแต่ละชนิด ในการแข่งกันเจริญเติบโตและความหนาแน่นของพืชที่อยู่ร่วมกัน (density-dependence) (McGreger *et al*., 2008) ผลของคลอร์ไพริฟอสต่อการเจริญเติบโตของจอกและแหนเป็ด พบว่าจากวันที่ 3 พืชมีการเปลี่ยนแปลงด้านสัณฐานเล็กน้อย โดยสามารถเห็นว่าพืชใบมีสีซีดเหลือง ลำต้นแคระแกรน เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า มวลชีวภาพลดลงตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 7 ของการทดลอง อาจเป็นเพราะความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตรมีความเป็นพิษต่อจอกและแหน ซึ่ง DowAgro Science (2008) รายงานว่า ปริมาณของคลอร์ไพริฟอส 50% EC จะยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Scenedesmus* sp. และ *Seletonema Costatum* ที่ 0.48 และ 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับที่ 96 ชั่วโมง

4.3 อิทธิพลของจอก (*P. stratiotes*) และแหนเป็ด (*L. minor*) ต่อการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย

ปริมาณระดับความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสที่เหลือในสารละลายเกิดจากการดูดดึงของพืชน้ำซึ่งเป็นไปตามสมการ first-order kinetics curve เนื่องจากสามารถเห็นค่าอัตราคงที่ในการสลายตัวได้อย่างชัดเจน ดังเช่นงานวิจัยของ Xia และ Ma (2005) ที่ศึกษาความสามารถของผักตบชวาในการกำจัดสารอีไธออน ซึ่งเป็นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต ผลการศึกษาพบว่าอัตราการกำจัดสารอีไธออนของชุดการทดลองที่ไม่มีการฆ่าเชื้อพืชก่อนปลูก ชุดที่ฆ่าเชื้อก่อนปลูก ชุดที่ไม่ฆ่าเชื้อ และไม่ปลูกพืช และชุดที่ฆ่าเชื้อแต่ไม่ปลูกพืช มีค่าเท่ากับ 0.01059 0.00930 0.00294 และ 0.00201 ไมโครกรัมต่อชั่วโมง จากผลที่ได้นี้สามารถสรุปได้ว่าในการกำจัดอีไธออนเกิดจากการดูดดึงของพืช

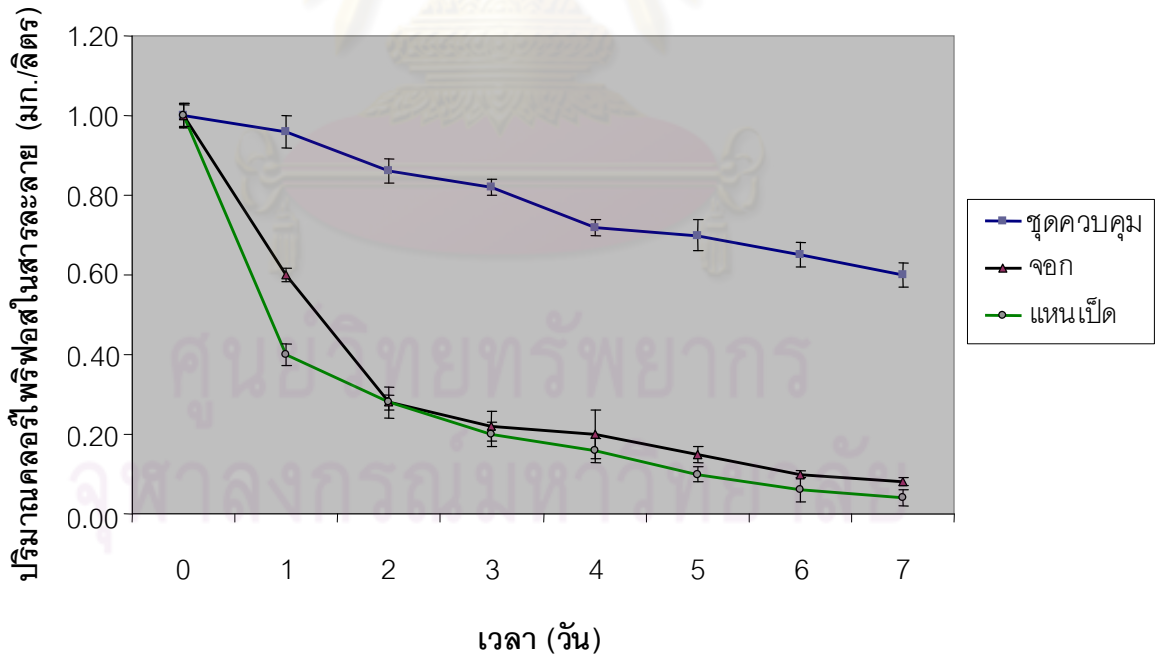
จากกราฟแสดงแนวโน้มของคลอร์ไพริฟอสในสารละลายแต่ละชุดการทดลอง (ภาพที่ 4.10) ตามสมการ first-order kinetics curve (สมการที่ 3.3) อัตราการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในสารละลายภายใต้ตำรับการทดลองต่างๆ คำนวณได้ดังตารางที่ 4.2 พบว่าค่าคงที่ของอัตราการหายไปของคลอร์ไพริฟอสในสารละลายในชุดควบคุม (ไม่มีพืช) ชุดที่มีจอก และชุดที่มีแหนเป็ดมีค่าเท่ากับ 3.04 15.03 และ

19.16 ไมโครกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอัตราของคลอร์ไพริฟอสที่หายไปของแหนเป็ดสูงกว่าจอก และแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 4.1 ค่าอัตราคงที่ (k±S.D.) ของคลอร์ไพริฟอสที่หายไปในสารละลาย Hoagland'No.2

ชุดการทดลอง	ค่าคงที่ของอัตราการหายไป (ไมโครกรัมต่อชั่วโมง)
ชุดควบคุม (ไม่มีพืช)	3.04 ± 0.14^{a}
จอก (*P. stratiotes*)	15.03 ± 0.81^{b}
แหนเป็ด (L. *minor*)	19.16 ± 0.89^{c}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีสัญลักษณ์ต่างกัน (a, b, c) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 4.10 ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย Hoagland'No.2 ที่เพาะเลี้ยงจอก (*P. stratiotes*) แหนเป็ด (*L. minor*) และชุดควบคุม (control) ตลอดระยะเวลา 7 วัน

ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสที่เหลืออยู่ในสารละลาย ในชุดการทดลองที่ปลูกแหนเป็ด จอก และตำรับควบคุมทั้ง 7 วัน เท่ากับ 0.04 0.08 และ0.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) การทดลองนี้พบว่าความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสในวันสุดท้ายระหว่างตำรับที่ปลูกแหนเป็ดมีค่าต่ำกว่าจอก แสดงให้เห็นว่าแหนเป็ดมีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในน้ำได้ดีกว่าจอก

ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสที่ศึกษานี้ลดลงในวันที่ 2 หลังจากใส่พืชลงไป จากการคำนวณค่าครึ่งชีวิต (สมการที่ 3.5) ของคลอร์ไพริฟอสในแหนเป็ดและจอก คือ 0.8 และ 1.2 วันตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องของการศึกษาของ Karen *et al.* (1998) ที่รายงานว่าค่าครึ่งชีวิต (DT_{50}) ของคลอไพริฟอสใน *Elodea densa* อยู่ในช่วง 0.21-2.4 วัน

Racke (1993) กล่าวว่า กระบวนการที่มีผลต่อการสลายตัวของสารกำจัดศัตรูพืช คือ กระบวนการเคลื่อนย้าย (การระเหย การชะล้าง การพัดพา) และกระบวนเปลี่ยนรูป (การเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน การสลายตัวโดยแสง และการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์) ซึ่งมีผลทำให้สารกำจัดศัตรูพืช เกิดการเปลี่ยนรูปและสลายไปได้ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวของคลอร์ไพริฟอสที่ศึกษานี้ คือ การระเหย การแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำ และการย่อยสลายโดยพืช

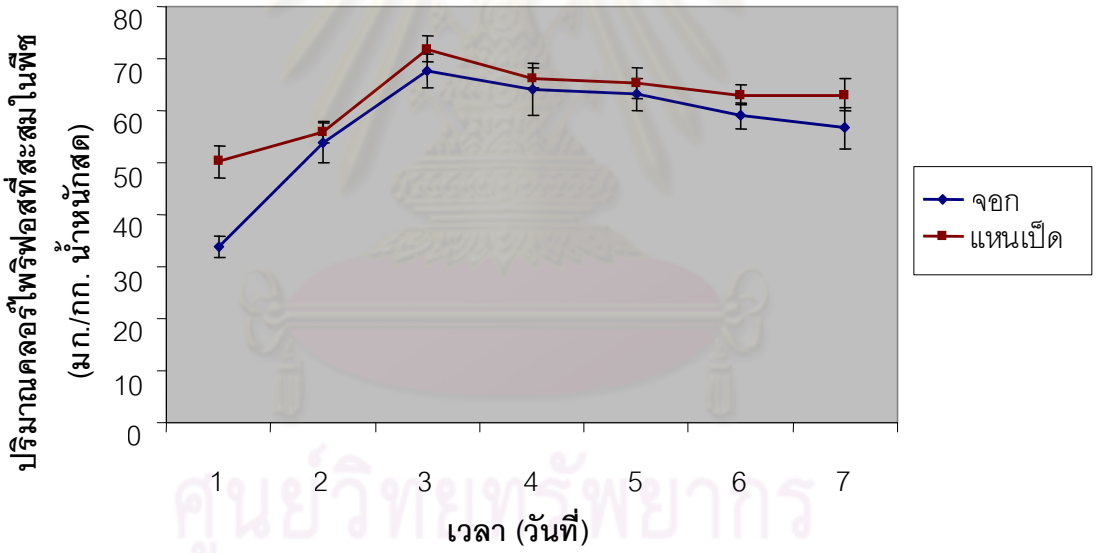
การแตกตัวทำปฏิริยากับน้ำของคลอร์ไพริฟอส เป็นปัจจัยสำคัญในการย่อยสลายในดินและในน้ำทำให้ได้ 3, 5, 6 - trichloro -2-pyridinol (UNEP, 1993) คลอร์ไพริฟอสเสถียรในสภาพที่เป็นกรดและแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำได้ง่ายในสภาพที่เป็นด่าง (Dow Chemical Company, n.d.)

การศึกษาการแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำของคลอร์ไพริฟอส พบว่า ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พีเอช 6.1 ค่าครึ่งชีวิตในการแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำเท่ากับ 120 วัน ที่ พีเอช 7.4 ค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 53 วัน และที่ พีเอช 7.4 อุณหภูมิเท่ากับ 37.5 องศาเซลเซียส ค่าครึ่งชีวิตในการแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำเท่ากับ 13 วัน (UNEP, 1993)

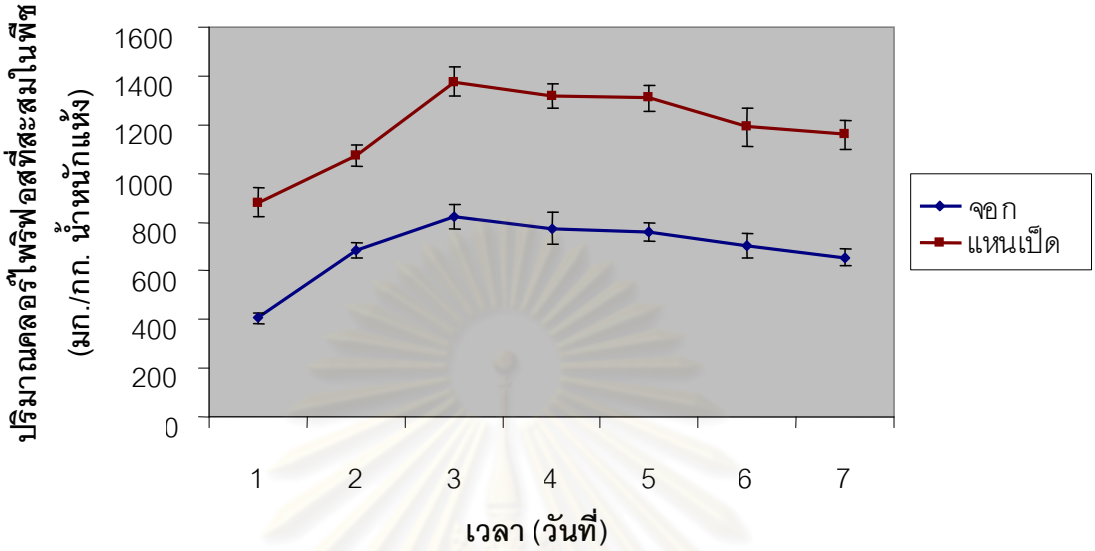
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การเปรียบเทียบคลอร์ไพริฟอสที่สะสมในจอก (*P. stratiotes*) และแหนเป็ด (*L. minor*)

การที่รากพืชดูดสารเคมีเข้าไปโดยตรงขึ้นอยู่ประสิทธิภาพ กระบวนการดูดซึมของพืช และความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำ ประสิทธิภาพในการดูดซึมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีในน้ำ ชนิดของสารเคมี และตัวพืชเอง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการสะสมคลอร์ไพริฟอสในแหนเป็ดมากกว่าจอก และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 4.11 และ 4.12) ซึ่งความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสในแหนเป็ดและจอกมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 72 และ 68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด และความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสในแหนเป็ดและจอกเท่ากับ 1,375 และ 823 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสของพืชทั้ง 2 ชนิด ลดลงทีละน้อยหลังจากวันที่ 3 จากผลการศึกษากล่าวได้ว่าคลอร์ไพริฟอสที่พบในเนื้อเยื่อพืชเกิดจากการดูดซึมของพืช



ภาพที่ 4.11 การสะสมคลอร์ไพริฟอส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในจอก (*P. stratiotes*) และแหนเป็ด (*L. minor*) (คิดจากน้ำหนักสด)



ภาพที่ 4.12 การสะสมคลอร์ไพริฟอส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในจอก (*P.stratiotes*) และแหนเป็ด (*L. minor*) (คิดจากน้ำหนักแห้ง)

Karen *et al*. (1998) รายงานว่าสาหร่ายหางกระรอก (*Elodea densa*) มีความสามารถในการดูดซับคลอร์ไพริฟอส ในการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า แหนเป็ดมีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในน้ำได้ดีกว่าจอก และกล่าวได้ว่า แหนเป็ดมีศักยภาพสูงในการลดความเป็นพิษของคลอร์ไพริฟอส ซึ่งจากการศึกษาของ Olette *et al*. (2007) ที่ศึกษาความสามารถของพืชน้ำสามชนิด คือ แหนเป็ด (*Lemna minor*) สาหร่ายหางกระรอก (*Elodea Canadensis*) และสาหร่ายพุงชะโด (*Cabomba aquatica*) ในการดูดดึง copper sulphate flazasulfuron และdimethomorph ผลการศึกษาพบว่า แหนเป็ดมีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดสารกำจัดศัตรูพืชทั้งสามชนิด และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 30 27 และ 11 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดของพืช ตามลำดับ

วิเชียร ณัฐวัฒนานนท์ (2517) กล่าวว่า การเคลื่อนย้ายของสารกำจัดศัตรูพืชจะต้องอาศัยท่อน้ำท่ออาหารของพืช โดยเดินทางจากรากขึ้นสู่ลำต้นและใบ ทางท่อน้ำ (xylem) และเคลื่อนที่ลงปริมาณน้อยกว่าโดยเป็นไปอย่างช้าๆ ทางท่ออาหาร (phloem) สารกำจัดศัตรูพืชที่เข้าสู่พืชนั้นจะมีการเคลื่อนย้ายในอัตราที่ไม่เท่ากัน ขึ้นกับว่าจะดูดซึมเข้าทางส่วนไหนของพืช สารกำจัดศัตรูพืชที่เข้าสู่ราก

จะมีการเคลื่อนย้ายได้รวดเร็วกว่าที่ดูดซึมเข้าทางใบ สารกำจัดศัตรูพืชหลายชนิดสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นสารใหม่ได้ทั้งในดิน น้ำ และพืช สารใหม่นี้เรียกว่า metabolic products รากพืชสามารถดูดซึมสารกำจัดศัตรูพืชได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้ (1) คุณสมบัติและชนิดของสารกำจัดศัตรูพืชโดยเฉพาะคุณสมบัติการละลายน้ำ (2) ชนิดของพืชบางชนิดที่มีลักษณะพิเศษ (3) อุณหภูมิ (4) ความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืช ฯลฯ

สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตหลายชนิด สามารถดูดซึมเข้าสู่ต้นพืชได้ โดยผ่านท่อลำเลียงอาหาร (phloem) เป็นการเคลื่อนย้ายซึ่งเกิดขึ้นอย่างช้าๆ หลังจากนั้น จะเคลื่อนย้ายไปสู่ท่อลำเลียงน้ำ (xylem) ซึ่งจะเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืชอย่างรวดเร็ว เมื่อเข้าสู่ต้นพืชแล้ว สารเหล่านี้อาจจะอยู่ในรูปสารดั้งเดิม (parent compound) หรือเปลี่ยนรูปไปโดยกระบวนการทางชีวเคมีและเมทาบอลิซึมในเนื้อเยื่อพืช สารที่เปลี่ยนรูปไปอาจไม่มีความเป็นพิษต่อมนุษย์หรือสัตว์ หรือมีความเป็นพิษรุนแรงกว่าเดิมก็ได้ (รัชนี สุวภาพ, 2541)

การสลายตัวโดยแสงเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีผลต่อความคงทนของคลอร์ไพริฟอสบนผิวดินและน้ำ คลอร์ไพริฟอสสลายตัวได้โดยแสงอัลตร้าไวโอเลตและแสงแดด (ศิวาภรณ์ สกุลเที่ยงตรง, 2527) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ 3, 5, 6-trichloro-2-pyridinol (TCP) และ diethylthiophosphate (Smith, 1968) ส่วนในพืช 3, 5, 6-trichloro-2-pyridinol (TCP) จะเข้าไปรวมตัวกับเซลล์ของพืช และถูกย่อยสลายโดยพืชให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และน้ำ (UNEP, 1993)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีของสารละลายคลอร์ไพริฟอส

5.1.1.1 อุณหภูมิ

ในการศึกษาอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้เลี้ยงพืชทุกชุดการทดลองอยู่ในช่วง 27-30 องศาเซลเซียส และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

5.1.1.2 พีเอช

ค่าพีเอชของสารละลายที่ใช้เลี้ยงพืชทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากวันแรกถึงวันที่ 7 แต่เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

5.1.1.3 ค่าการนำไฟฟ้า

ในการศึกษานี้ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่ใช้เลี้ยงพืชทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) และมีความผันแปรตลอดระยะเวลาทั้ง 7 วัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1327-2240 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

5.1.2 การเจริญเติบโตของจอก องค์ประกอบการเจริญเติบโตของจอก และอิทธิพลของคลอร์ไพริฟอสต่อมวลชีวภาพของ (*P. stratiotes*) และแหนเป็ด (*L. minor*)

5.1.2.1 น้ำหนักสด

จากการชั่งน้ำหนักสดพบว่าแหนเป็ดและจอกมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นในชุดการทดลองที่ไม่ได้เติมคลอร์ไพริฟอส แต่น้ำหนักสดลดลงในชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอสโดยที่น้ำหนักสดของแหนเป็ดแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่วันที่ 4 และวันที่ 3 ของจอก

5.1.2.2 ความยาวราก

การเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการวัดความยาวรากพบว่าทั้งสองตำรับการทดลองความยาวของรากของแหนเป็ดและจอกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้ง 2 ชุดการทดลอง โดยที่ชุดการทดลอง

ที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสมีความยาวของรากมากกว่าตำรับที่เติมคลอร์ไพริฟอสเล็กน้อย แต่เมื่อวิเคราะห์สถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ในพืชทั้ง 2 ชนิด

5.1.2.3 จำนวนต้น

จำนวนต้นของจอกและแหนเป็ดในชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสมีการเพิ่มขึ้นมากกว่าชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอสโดยที่แหนเป็ดมีจำนวนต้นลดลงและจอกมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ในชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส และพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) หลังจากวันที่ 3 ของแหนเป็ดและในวันที่ 4 ของจอก

5.1.3 อิทธิพลของจอก (*P. stratiotes*) และแหนเป็ด (*L. minor*) ต่อการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย

จากการศึกษาอิทธิพลของจอกและแหนเป็ดต่อการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย การทดลองนี้พบว่าความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสในวันสุดท้ายระหว่างตำรับที่ใส่แหนเป็ด และจอก ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสที่เหลืออยู่ในสารละลาย ในชุดการทดลองที่ใส่แหนเป็ด จอกและตำรับควบคุมทั้ง 7 วัน เท่ากับ 0.04 0.08 และ0.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับและแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าแหนเป็ดมีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในน้ำได้ดีกว่าจอก

5.1.4 การเปรียบเทียบคลอร์ไพริฟอสที่สะสมในจอก (*P. stratiotes*) และแหนเป็ด (*L. minor*)

ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสที่สะสมในแหนเป็ดและจอกมีค่าการสะสมสูงสุดในวันที่ 3 ของการทดลอง เท่ากับ 72 และ 68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด และความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสในแหนเป็ดและจอกเท่ากับ 1,375 และ 823 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการสะสมคลอร์ไพริฟอสในแหนเป็ดมากกว่าจอก และแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดดึงคลอร์ไพริฟอสที่ปนเปื้อนในน้ำของจอก (*Pista stratiotes*) และแหนเป็ด (*Lemna minor*) ผู้วิจัยได้พบสิ่งที่ควรเพิ่มเติมและปรับปรุงในการวิจัยหลายประการด้วยกันซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาลักษณะเช่นเดียวกันนี้ให้งานวิจัยนั้นมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ดังนี้

5.2.1 ควรมีการศึกษาทดลองใช้แหนเป็ดเพื่อกำจัดสารกำจัดศัตรูพืชในพื้นที่ ที่มีการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชจริง อาทิ บริเวณพื้นที่โรงงานผลิตสารเคมีกำจัดศัตรูพืช พื้นที่เกษตรกรรม เป็นต้น

5.2.2 เพื่อให้งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ควรมีการศึกษาถึงกระบวนการสลายตัว และเปลี่ยนรูปของคลอร์ไพริฟอส และกลไกของพืชในการดูดดึงคลอร์ไพริฟอสเข้าไปสะสมไว้ในลำต้น

5.2.3 งานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาทดลองเพิ่มเติม โดยใช้ตัวอย่างน้ำจากธรรมชาติแทนน้ำกลั่นในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช และมีความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการการศึกษาพบว่า น้ำตัวอย่างจากธรรมชาติไม่สามารถสกัดผ่านคอลัมน์ด้วยวิธีการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งได้ เนื่องจากน้ำธรรมชาติมีปริมาณตะกอนแขวนลอยอยู่ในที่ปริมาณสูง และพบว่ายังมีตัวแปรอีกมากมายที่ส่งผลให้เกิดปัญหาในระหว่างการทดลอง ดังนั้นเพื่อให้การศึกษาในข้อนี้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น ควรมีการศึกษาค้นคว้าขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินการสกัดที่มีความเหมาะสมกับการทดลองนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

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

กองวัตถุมีพิษการเกษตร. 2550. รายงานสรุปการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตร. กรุงเทพมหานคร.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2546. ของเสียอันตราย. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต.

จารุรัตน์ วรนิสรากุล, ศักดิ์ชัย สุริยจันทราทอง และ อุดร จารุรัตน์. 2545. วิศวกรรมการประปาและสุขาภิบาล. เล่ม 1. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ดำรง เวชกิจ. 2537. ตอบปัญหา. วารสาร กีฏ. สัตว. 16:120-125.

ดำริห์ รุ่งสุข. 2543. สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์. ภาควิชาอารักขาพืช มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่.

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

นวลศรี ทยาพัชร. 2523. ผลกระทบของสารมีพิษในน้ำต่อการเลี้ยงปลา, ในรายงานการประชุมทางวิชาการกองกีฏวิทยา. หน้า 52-63. กองกีฏวิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร.

นวลศรี ทยาพัชร และ Hsiung, J.P. 2523. ผลกระทบของสารมีพิษในน้ำต่อการเลี้ยงปลา, ในรายงานการประชุมทางวิชาการกองกีฏวิทยา. หน้า. 52-63. กองกีฏวิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร.

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

พาลาภ สิงหเสนี. 2540. พิษของยาฆ่าแมลงต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิชิต สกุลพราหมณ์. 2535. การสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพมหานคร.

พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และ พันธวัศ สัมพันธ์พานิช. 2550. การกำจัดโครเมียมโดยใช้พืชน้ำ. วาสารสิ่งแวดล้อม 29 : 69-80.

พัชรีย์ ถาวรเจริญพงศ์. 2541. การกำจัดฟอสฟอรัสจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบ Oxidation Pond โดยการดูดซับด้วย Concete Waste. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรม. หาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภิญญา จำรัสกุล. 2539. การแพร่กระจายของสารกำจัดศัตรูพืชเข้าสู่สภาพแวดล้อม. ข่าวสารวัตถุมีพิษ. 23: 125-129

ภิญญา จำรัสกุล, ศิวาภรณ์ สกุลเที่ยงตรง, พงศ์ศรี ใบอดุลย์ และพูลสุข หฤทัยธนาสันติ์. 2542. การแพร่กระจายของวัตถุมีพิษในน้ำและดินตะกอนบริเวณลุ่มแม่น้ำแม่กลองและคลองแยก. ข่าวสารวัตถุมีพิษ 26: 43-56.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

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

ยุวดี จอมพิทักษ์. 2531. ความปลอดภัยในการประกอบอาชีพเกษตรกรรม. คู่มือวิทยากรระดับอำเภอและตำบล โครงการรณรงค์เพื่อลดอันตรายจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช. หน้า. 13-26. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.

รพีพัฒน์ ชคัตประกาศ. 2538. โรคพิษออร์แกโนฟอสเฟต. สรุปผลการอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่องการใช้สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์อย่างปลอดภัย การวินิจฉัยและรักษาอาการจากสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์. หน้า. 122-137. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.

รัชนี สุวภาพ. 2541. สารพิษตกค้างของวัตถุมีพิษกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตในพืช. กองวัตถุมีพิษการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพมหานคร.

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

ศิวาภรณ์ สกุลเที่ยง. 2527. การสลายตัวของคลอร์ไพริฟอสที่มีสารรังสีคาร์บอนในดินและในใบข้าวโพด. ข่าวสารวัตถุมีพิษ 11 (มีนาคม-เมษายน): 48-65.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2540. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด.

สมชาติ หาญวงษา. 2543. วัชพืชที่สำคัญในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาวิทยาเขตพิษณุโลก.

สาวิตร วรรณพิณ. 2529. สารพิษป้องกันกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต. ข่าวสารวัตถุมีพิษ 13: 118-128.

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์. 2538. การใช้ดินตะกอนภาคพื้นสมุทรในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชเป็นต้นแบบในการบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุชาดา ศรีเพ็ญ. 2543. พรรณไม้น้ำในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์ บุ๊คเซ็นเตอร์.

สุชาดา ศรีเพ็ญ, จันทนา สุขปรีดี, สมบัติ ชิณะวงศ์, สุมน มาสุธน และสมศักดิ์ เจริญวัย. 2542. การบำบัดน้ำเสียจากชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีในพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโดยใช้กกกลมและธูปฤาษี. เอกสารสัมมนาวิชาการเรื่องเทคโนโลยีการกำจัดขยะแบบประหยัด และการบำบัดน้ำเสียด้วยพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

สุธรรม สิทธิชัยเกษม. 2529. ยาปราบศัตรูพืชในแหล่งน้ำ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

สุปราณี อิ่มพิทักษ์, จินตนา แสนทวีสุข และ มารศรี อุดมโชค. 2539. การพัฒนาชีวเทคนิค เพื่อการตรวจสอบพิษตกค้างของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชอย่างรวดเร็ว. เอกสารประกอบการสัมมนากรมวิชาการเกษตร. หน้า. 112-114. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพมหานคร.

สุธี เกื้อเกตุ. 2543. การสะสมและการกระจายของไอออนจากน้ำทะเลในแหล่งเลี้ยงกุ้งกุลาดำเขตน้ำจืด:กรณีศึกษาที่อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต.สาขาการจัดการประมง. คณะประมง.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภาณี พิมพ์สมาน. 2540. สารฆ่าแมลง. พิมพ์ครั้งที่ 2. ขอนแก่น.หจก.โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา.

อารักษ์ ธีรอำพน. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา. บริษัทโชคเจริญมาร์เก็ตกิ้ง จำกัด.

อวบ สารถ้อย. 2540. เทคโนโลยีการใช้สารกำจัดศัตรูพืช. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนามัย, กรม. 2540. เอกสารวิชาการเล่มที่ 2 การควบคุมเหตุรำคาญจากมลพิษของกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ 7 ประเภท. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

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

ภาษาอังกฤษ

Cheremisinoff, N.P., and King. J.A. 1994. Toxic Properties of Pesticide. Marcell Bekkher, Inc., New York, USA.

Bennett, E.R., Moore, M.T., Cooper, C.M., and Smith, S.J. 2000. Method for the Simultaneous Extraction and Analysis of Two Current Use Pesticides, Atrazine and Lambda-Cyhalothrin, in Sediment and Aquatic Plants. Environmental Contamination and Toxicology. 64:825-833.

Connell, D. W., and Miller, G. J. 1984. Chemistry and Ecotoxicology of pollution. New York: John Wiley & sons.

Crosby, D. G. 1973. The fate of pesticides in the environment. A. Rev. Pl. Physiol. 24: 467-492.

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. 1-7.

Dow Chemical Company. n.d. Lorsban Insecticides. Technical Information Bulletin. Agricultural Products Department. Midland, Michigan. (Mimeographed)

Duke, T.W. 1977. Pesticides in aquatic environments an overview. In M.A.Q, Khan (ed.), Pesticides in Aquatic Environment, pp.1-7.New York: Plenum press.

Dureja, P. 1989. Photodecomposition of monocrotophos in soil, on plant foliage, and in water. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 43: 239-245.

Edwards, C.A. 1997. Nature and origins of pollution of aquatic systems by pesticides. In M.A.Q, Khan (eds.), Pesticides in Aquatic Environment, pp.11-38 New York: Plenum Press.

Ensley, B.D. 2000. Rationale for use of phytoremediation. In Raskin, I., and Ensley, B.D. (eds.), Phytoremediation of toxic metals: Using plant to clean up the environment, pp.3-11. USA: John Wiley & Sons.

Environmental Protection Agency. 1998. A citizen's guide to phytoremediation. 1-6.

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

Geoffroy, L., Frankart, C., and Eullaffroy, P. 2004. Comparison of different physiological parameter responses in *Lemna minor* and *Scenedesmus obliquus* exposed to herbicide flumioxazin. Environmental Pollution. 131, 233-241

Goring, C.A.I., and J.W. Hamaker. 1972. Organic Chemical in Soil Environment. Mercel Dekker, New York.

Gorzerino, C., Quemeneur, A., Hillenweck, A., Baradat, M., Delous, G., Ollitrault, M., Azam, D., Caquet, T., and Lagadic, L. 2009. Effects of diquat and fomesafen applied alone and In combination with a nonylphenol polyethoxylate adjuvant on *Lemna minor* in aquatic indoor microcosms. Ecotoxicology and Environmental Safety. 72, 802-810.

Ground Water Remediation Technologies Analysis Center. 1997. Technology Evaluation Report : Phyremediation. Pittsburgh, PA.

He, Z.L., Yanga, X.E., and Stoffellab, P.J. 2005. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology.19: 125–140.

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

Hemond, H.F., and Fechner, E.F. 1993. Chemical Fate and Transport in Environmental. Academic Press, California, USA.

Hill, I.R., and S.J. Wright. 1978. Pesticide Microbiology. Academic Press, Inc., Ltd., London.

International Environmental Technology Centre. 2000. Phytoremediation: An environmentally sound technology for pollution prevention, control and remediation an introduction guide to decision-makers[Online]. USA: United Nations Environment Programme [UNEP], Division of Technology, Industry and conomics.AvailableFrom:http://www.unep.or.jp/ietc /Publications/Freshwater/FMS2/index.asp [2003, December 3]

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

Johnson, B.T., Saunders, C.R., Sanders, H.O., and Campbell, R.S. 1971. Biological magnification and degradation of DDT and Aldrin by freshwater invertebrates Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 28:705-709.

Johns, F. J., and Nyer, E. K. 1996. Miscellaneous in situ treatment technologies. America : Lewis Publishers.

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

Ketchum, B. H. 1967. Man's resources in the marine environment. In T. A. Olsen., and F. J. Burgess (eds.), Pollution and Marine Ecology , pp. 1-11. New York: Publishers.

Kloeppel, H., Koerdel, W., and Stein, B. 1997. Herbicide transport by surface runoff and herbicide retention in a filter strip rainfall and runoff simulation studies. Chemosphere. 35: 129–141.

LaGrega, M.D., Buckingham, P.L., and J.C. Evans. 2001. Hazardous Waste Management. McGraw-Hill, New York.

Laskowski, D.A. 1992. EPA guideline for environmental fate study meaningful data for accessing exposure to pesticide, pp. 117-128. *In* Arochemical Environmental Fate :State of Art. CRS Press, New York, USA.

Lemus, R., and Abdelghani, A., 2000. Chlorpyrifos: an unwelcome pesticide in our homes. Rev. Environ. Health. 15: 421–433.

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

Macek, T., Mackova, M., and Kas, J., 2000. Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation. Biotechnology Advances. 18: 23–34.Matsumura, F. 1976. Toxicology of Insecticide. Plenum Press, New York, USA.

Mauriz, E., Calle, A., Lechuga, L.M., Quintana, J., Montoya, A., and Manclus, J.J. 2005. Real-time detection of chlorpyrifos at part per trillion levels in ground, surface and drinking water samples by a portable surface plasmon resonance immunosensor. Analytica Chimica Acta. 561: 40-47.

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

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

Miyamoto, J., Mikami, N., and Takimoto, Y. 1994. The fate of pesticides in aquatic ecosystem.Environment Fate of Pesticide. 7: 117-123.

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

Murty, A.S., and Ramani, A.V. 1992. Toxicity of anticholinesterase to aquatic organism, pp. 305-320. *In* Clinical and Experimental Toxicology of Organophosphate and Carbamates. Bath Press, Avon, UK.

NASC-European Arabidopsis Stock Centre. 2009. What is Phytoremediation [Online]. AvailableFrom: http://www.arabidopsis.info/students/dom/mainpage.html [2009, May 2]

Olette, R., Couderchet, M., Biagianti, S., and Eullaffroy, P. 2007. Toxicity and removal of pesticides by selected aquatic plant. Chemosphere. 70: 1414-1421.

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

Racke, K.D. 1992. The environmental fate of chlorpyrifos. Reviews of Environmental Contamination & Toxicology *Rev Environ Contam Toxicol.* 131.

Racke, K.D. 1993. The environmental fate of chlorpyrifos. Reviews of Environmental Contamination & Toxicology *Rev Environ Contam Toxicol.*. 131, 1-151.

Roberts, T.R. 1994. Environmental fate of pesticide : a perspective, pp. 1-10. *In* Environmental Fate of Pesticide. John Wiley & sons, New York, USA.

Schimmel, S.C., Granas, R.L., Patrick, J.M., and Moore, J.C. 1983. (Jan.-Feb.). Acute toxicity, bioconcentration, and persistence of AC 222, 705, Benthiocarb, Chlorpyrifos, Fenvalerate, Methyl Parathion, and Permethrin in the estuarine environment. J. of Agriculteral and Food Chemisty. . 31: 104-113.

Smith, G.N. 1968. Ultraviolet light decomposition studies with Dursban and 3,5,6-trichloro-2-pyridinol. Journal of Economic Entomology. 16: 146.

Susarla, S., Medina, V.F., and McCutcheon, S.C. 2002. Phytoremediation: an ecological solution to organic schemical contamination. Ecological Engineering.1818: 647–658.

Sustainable Straegies. 1997. Phytoremediation[Online]. Available from: http://www.ecological-engineering.com/phytorem.html [2009, April 2rd]

Teisseire, H., and Vernet, G. 2001. Effects of the fungicide folpet on the activities of antioxidative enzymes in duckweed (*Lemna minor*). *Pest. Biochem. Physiol*. 69, 112-117.

TOXNET. 1975-1986. National library of medicine's toxicology data network. Hazardous Substances Databank (HSDB). Public Health Service. National Institute of Health, U.S. Department of Health and Human Services. Bethesda, MD: NLM.

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

U.S. Environmental Protection Agency. 1986. Ambient water quality criteria for chlorpyrifos-1986. Office of Water Regulations and Standards. Criteria and Standards Division. Washington, DC.

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., Jiang, X.,Yan, D., Wu, J., Bian, Y., and Wang, F. 2006 Behavior and Fate of chlorpyrifos introduced into soil-crop systems by irrigation. Chemosphere. 66: 391-396.

Xia, H., and Ma, X. 2005. Phytoremediation of ethion by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) from water. Bioresource Technology. 97: 1050–1054.

Xia, H., Wu, L., and Tao, Q. 2003. A review on phytoremediation of organic contaminants. Chin. J. Ecological Engineering. 14: 457–460.

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก-1 ผลการเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการชั่งน้ำหนักสดทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

วันที่	ชุดควบคุม ไม่มีการเติมคลอร์ไพริฟอส (กรัม)	ชุดควบคุม คลอร์ไพริฟอส (1 มิลลิกรัมต่อลิตร) (กรัม)
0	5.44±0.12[a]	5.49±0.03[a]
1	5.72±0.19[a]	5.48±0.07[a]
2	6.30±0.70[a]	6.10±0.93[a]
3	6.76±0.51[a]	5.29±0.33[a]
4	7.17±0.29[b]	4.75±0.20[a]
5	9.84±0.97[b]	4.67±0.16[a]
6	12.11±1.97[b]	4.60±0.51[a]
7	13.07±1.70[b]	4.44±0.52[a]

*หมายเหตุ อักษรมุมบนขวามือแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสกับชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส

ตารางที่ ก-2 ผลการเจริญเติบโตของจอกโดยการชั่งน้ำหนักสดทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

วันที่	ชุดควบคุม ไม่มีการเติมคลอร์ไพริฟอส (กรัม)	ชุดควบคุม คลอร์ไพริฟอส (1 มิลลิกรัมต่อลิตร) (กรัม)
0	5.27±0.32 [a]	5.29±0.17 [a]
1	5.14±0.53 [a]	4.88±0.41 [a]
2	5.89±1.07 [a]	4.37±0.36 [a]
3	7.23±0.97 [a]	4.12±0.61 [b]
4	8.15±1.47 [a]	3.90±0.06 [b]
5	9.14±0.88 [a]	3.62±0.48 [b]
6	10.16±0.96 [a]	3.28±0.64 [b]
7	11.01±1.04 [a]	2.77±0.41 [b]

*หมายเหตุ อักษรมุมบนขวามือแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสกับชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-3 ผลการเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการวัดความยาวรากทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

วันที่	ชุดควบคุม ไม่มีการเติมคลอร์ไพริฟอส (เซนติเมตร)	ชุดควบคุม คลอร์ไพริฟอส (1 มิลลิกรัมต่อลิตร) (เซนติเมตร)
0	0.40±0.06 [a]	0.39±0.08 [a]
1	0.49±0.06 [a]	0.43±0.11 [a]
2	0.62±0.09 [a]	0.51±0.14 [a]
3	0.64±0.01 [a]	0.53±0.21 [a]
4	0.84±0.10 [a]	0.55±0.06 [a]
5	0.88±0.09 [a]	0.60±0.16 [a]
6	0.92±0.24 [a]	0.67±0.13 [a]
7	0.99±0.16 [a]	0.87±0.04 [a]

*หมายเหตุ อักษรมุมบนขวามือแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสกับชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส

ตารางที่ ก-4 ผลการเจริญเติบโตของจอกโดยการวัดความยาวรากทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

วันที่	ชุดควบคุม ไม่มีการเติมคลอร์ไพริฟอส (เซนติเมตร)	ชุดควบคุม คลอร์ไพริฟอส (1 มิลลิกรัมต่อลิตร) (เซนติเมตร)
0	4.30±1.47 [a]	4.28±0.52 [a]
1	4.37±1.72 [a]	4.28±0.52 [a]
2	4.80±1.57 [a]	4.43±0.02 [a]
3	5.33±1.50 [a]	4.96±0.19 [a]
4	6.77±1.27 [a]	6.47±0.81 [a]
5	7.17±0.95 [a]	6.83±0.76 [a]
6	7.53±1.46 [a]	7.17±0.94 [a]
7	7.53±1.46 [a]	7.34±0.94 [a]

*หมายเหตุ อักษรมุมบนขวามือแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสกับชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-5 ผลการเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการนับจำนวนต้นทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

วันที่	ชุดควบคุม ไม่มีการเติมคลอร์ไพริฟอส (ต้น)	ชุดควบคุม คลอร์ไพริฟอส (1 มิลลิกรัมต่อลิตร) (ต้น)
0	1930±111 [a]	1945±45 [a]
1	2225±111 [a]	2166±45 [a]
2	2519±246 [a]	2416±512 [a]
3	3123±310 [a]	2387±330 [b]
4	3447±276 [a]	2092±485 [b]
5	3766±421 [a]	1915±477 [b]
6	4346±577 [a]	1738±497 [b]
7	4994±957 [a]	1532±493 [b]

*หมายเหตุ อักษรมุมบนขวามือแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสกับชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส

ตารางที่ ก-6 ผลการเจริญเติบโตของจอกโดยการนับจำนวนต้นทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

วันที่	ชุดควบคุม ไม่มีการเติมคลอร์ไพริฟอส (ต้น)	ชุดควบคุม คลอร์ไพริฟอส (1 มิลลิกรัมต่อลิตร) (ต้น)
0	2±0.58 [a]	2±0.58 [a]
1	2±0.58 [a]	2±0.58 [a]
2	3±0.58 [b]	2±0.58 [a]
3	3±0.58 [b]	2±0.58 [a]
4	5±1.00 [b]	2±0.58 [a]
5	8±1.53 [b]	2±0.58 [a]
6	11±3.06 [b]	2±0.58 [a]
7	13±4.04 [b]	3±1.53 [a]

*หมายเหตุ อักษรมุมบนขวามือแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสกับชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
รูปภาพที่เกี่ยวข้อง

รูปภาพที่เกี่ยวกับงานวิจัยมีดังนี้

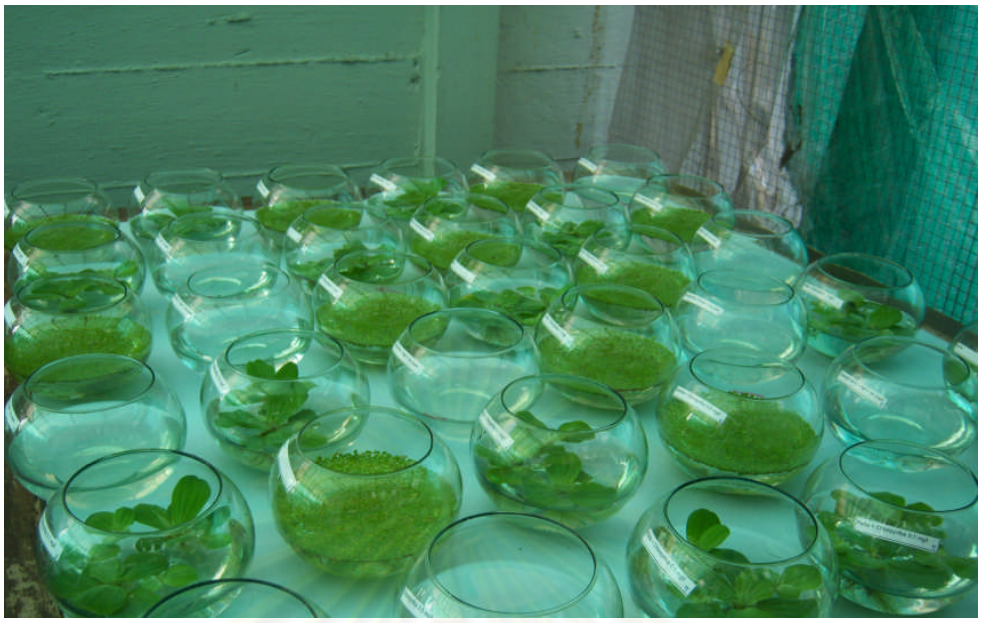
(ก)

(ข)

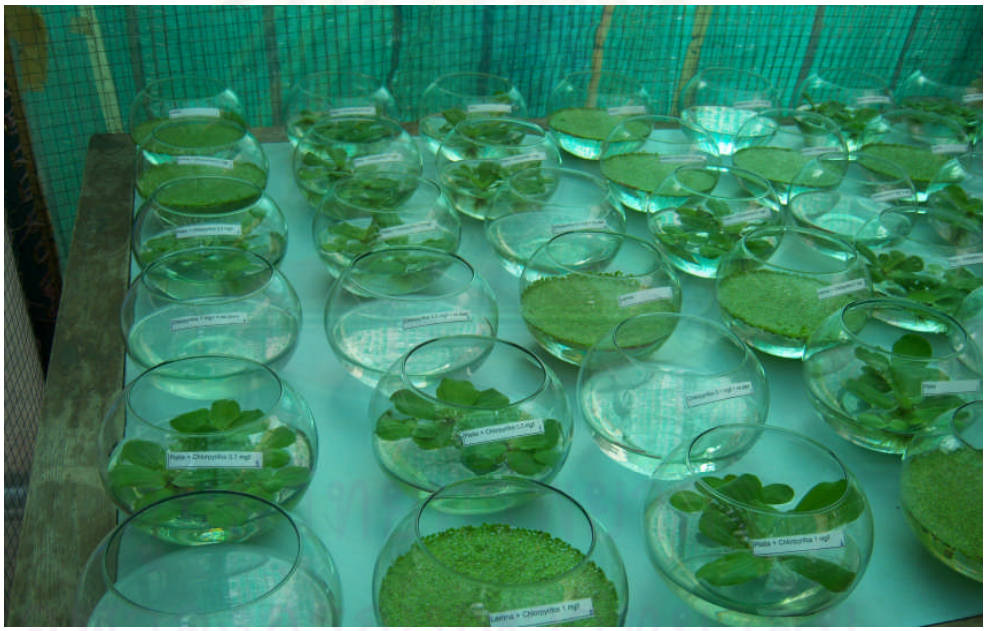
(ค)

รูปที่ ข-1 รูป (ก) (ข) และ(ค) สารกำจัดแมลงคลอร์ไพริฟอส

(ก)



(ข)

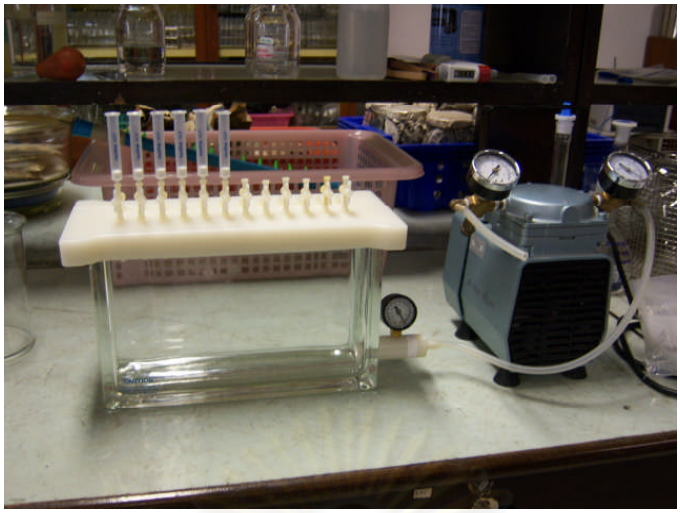


รูปที่ ข-2 รูป (ก)และ (ข) แสดงการปลูกจอกและแหนเป็ดภายในโรงเรือน เพื่อศึกษาการกำกัดคลอร์ไพริฟอสในน้ำ ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ก)

(ข)

รูปที่ ข-3 รูป (ก) ศึกษาพารามิเตอร์ของน้ำ และ (ข) เก็บตัวอย่างพืชเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอร์ไพริฟอสที่สะสมในต้นพืช

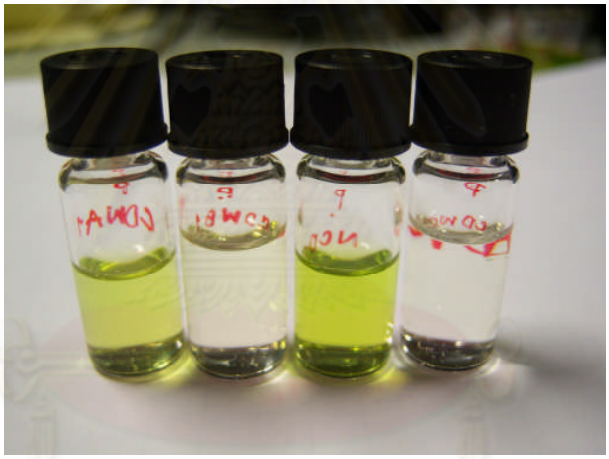


รูปที่ ข-4 เครื่อง vacuum Manifolds

รูปที่ ข-5 เครื่อง vacuum rotary evaporation

(ก)

(ข)



รูปที่ ข-6 (ก) คลอร์ไพริฟอสที่สกัดได้ในน้ำ และ (ข) คลอร์ไพริฟอสที่สกัดได้ในพืชสด และแห้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพิชามญชุ์ ประเสริฐทรัพย์ เกิดเมื่อวันศุกร์ที่ 20 เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2526 ที่อำเภอเมือง จังหวัดระยอง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเกษตรศาสตร์ เอกปฐพีศาสตร์ จากคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย