สารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพืชในดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา จังหวัดน่าน และผลที่มีต่อแมลง

นายกฤษณะ สนธิมโนธรรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS FROM PLANTS IN DONG YA WAI, DOI PUKA NATIONAL PARK, NAN PROVINCE AND THEIR EFFECT ON INSECTS

Mr. Kritsana Sontimanotham

ศูนย์วิทยทรัพยากร

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Botany
Department of Botany
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

520592

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพืชในดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา จังหวัดน่าน และผลที่มีต่อแมลง
โดย	นายกฤษณะ สนธิมโนธรรม
สาขาวิชา	พฤกษศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ธีรดา หวังสมบรูณ์ดี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล คุณวาสี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา บุญ-หลง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.ธีรดา หวังสมบรูณ์ดี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล คุณวาสี)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ยุพิน จินตภากร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมโภชน์ ศรีโกสามาตร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายกฤษณะ สนธิมโนธรรม : สารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพืชในดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา จังหวัดน่าน และผลที่มีต่อแมลง. (VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS FROM PLANTS IN DONG YA WAI, DOI PUKA NATIONAL PARK, NAN PROVINCE AND THEIR EFFECT ON INSECTS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ.ดร.ธีรดา หวังสมบูรณ์ดี, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ.ดร.ชุมพล คุณวาสี, 108 หน้า.

พืชผลิตสารทุติภูมิได้หลายชนิดเพื่อใช้ในการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ใช้เป็นสื่อกลางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืชกับแมลง ไม่ว่าจะเป็นดึงดูดแมลงเพื่อช่วยในการกระจายเรณูของดอกไม้ หรือขับไล่ศัตรูที่เข้ามาทำลาย จากการศึกษาสารอินทรีย์หอมระเหยในพื้นที่ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา พบสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ 10 ชนิดที่คาดว่าพืชน่าจะเป็นแหล่งผลิตสารดังกล่าว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เก็บตัวอย่างพืชจำนวน 17 ชนิดจากพื้นที่ศึกษามาตรวจชนิดสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยใช้เทคนิค GC-MS พบพืช 9 ชนิดที่สร้างสารดังกล่าวในปริมาณมาก พืช 3 ชนิด ได้แก่ *Zanthoxylum acanthopodium* DC. (มะมาด) *Litsea cubeba* (ตะไคร้ต้น) และ *Elsholtzia blanda* (Benth.) Benth. (ชะอ้นป่า) ถูกเลือกมาใช้ในการทดสอบบทบาทของน้ำมันหอมระเหยต่อแมลงที่อยู่ในธรรมชาติ โดยสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ และใส่ในหลอดซึ่งวางอยู่บนแผ่นกาวดักแมลง แมลงที่ดักได้จำแนกออกเป็น 4 อันดับ ได้แก่ Coleoptera Diptera Homoptera และ Hymenoptera ซึ่งการตอบสนองของแมลงต่อสารเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่ามีความแตกต่างกับระหว่างฤดูและปริมาณสารที่ใช้ โดย *L. cubeba* 50 µl ให้ผลดึงดูด Coleoptera ในฤดูร้อน แต่ขับไล่ในฤดูหนาวของปีเดียวกัน *Z. acanthopodium* 30 µl ดึงดูด Coleoptera ในฤดูร้อน และ *E. blanda* 50 µl ขับไล่ Diptera ในฤดูหนาว ส่วนสารอื่นให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามสารประกอบจากพืชหรือพืชเอง มีแนวโน้มที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในการเกษตรต่อไป

สาขาวิชา พฤกษศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต กฤษณะ สนธิมโนธรรม
ปีการศึกษา 2552 ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

4872575223 : MAJOR BOTANY

KEYWORDS : VOLATILE OILS / INSECTS / PLANTS / DOI PUKA NATIONAL PARK

KRITSANA SONTIMANOTHAM : VOLATILE ORGNIC COMCOUNDS FROM PLANTS IN DONG YA WAI, DOI PUKA NATIONAL PARK, NAN PROVINCE AND THEIR EFFECT ON INSECTS. ADVISOR : TEERADA WANGSOMBOONDEE ,Ph.D. CO-ADVISOR : ASST. PROF. CHUMPOL KHUNWASI,Ph.D. 108 pp.

Plants produce several secondary metabolites for environmental responses such as using for mediator of plant-insect interactions in forms of attracting pollinators or repelling herbivores. Study of volatile organic compounds (VOCs) at Dong Ya Wai, Doi Pu Ka National Park showed 10 VOCs in the atmosphere in which plants may be sources of that VOCs. Therefore, in this research, 17 plants samples were collected from study sites for testing types of VOCs using GC-MS technique. Nine plants showed large amounts of VOCs which three plants, *Zanthoxylum acanthopodium* DC., *Litsea cubeba* and *Elsholtzia blanda* (Benth.) Benth. were chosen for evaluating roles of essential oil to insects. The essential oils were extracted by hydrodistillation and added into a centrifuge tube placed on a yellow trap. Trapped insects could be identified into 4 orders which were Coleoptera, Diptera, Homoptera and Hymenoptera. The comparison between control and treatment groups for responses of insects to essential oils showed that there were different between seasons and amounts of compounds. *L. cubeba* 50 μl could attract Coleoptera in summer but repel in winter of the same year. *Z. acanthopodium* 30 μl could attract Coleoptera in summer and *E. blanda* 50 μl could repel Diptera in winter. The other compounds showed no statistical significant results. However, there were tendency of these compounds or plants to be used in agriculture.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Field of Study : Botany
Academic Year : 2009

Student's Signature Kritsana Sontimanotham
Advisor's Signature
Co-Advisor's Signature Chumpol Khunwasi

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความกรุณาช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก อาจารย์ ดร.ธีรดา หวังสมบูรณ์ดี อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล คุณวาสี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และ ข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา บุญ-หลง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สมโภชน์ ศรีโกสามาตร และ อาจารย์ ดร.ยุพิน จินตภากร กรรมการผู้ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่กรุณาสนับสนุนเงินทุนที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ พ.ต.อ. ธนพร สนธิมโนธรรม คุณแม่ นางเดือน สนธิมโนธรรม และครอบครัว ที่มอบโอกาสในการศึกษา และความช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่หน่วยปฏิบัติการวิจัยสิ่งแวดล้อมและสรีรวิทยาของพืช ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และผู้ร่วมเดินทางท่านอื่นๆ ที่ร่วมเดินทางไปเก็บตัวอย่างที่ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา จังหวัดน่าน และ ขอขอบคุณ นางสาวเพทาย จรูญนารถ สำหรับกำลังใจ และ แรงผลักดันในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายขอขอบคุณ โครงการวิจัยการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตและสารชีวเคมีในระบบนิเวศของป่าเต็งรังและป่าผลัดใบในจังหวัดน่าน รองศาสตราจารย์ดร. วันชัย ดีเอกนามกูล หัวหน้าโครงการ รองศาสตราจารย์ดร.ศุภจิตรา ชัชวาล ผู้ชักชวนให้ทำงานวิจัยครั้งนี้ นางสาวผกาเวียง ช่อกระถิน คณะทีมวิจัย และ ผู้วิจัยอื่นๆ ในโครงการฯ ที่ช่วยทำงานผลักดันให้งานวิจัยออกมาสำเร็จได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฎ
บทที่
1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
ขอบเขตของการวิจัย 3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
2 การตรวจเอกสาร 5
2.1 ข้อมูลของดอยภูคา 5
2.2 สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds; VOCs) 6
3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง 17
3.1 วัสดุอุปกรณ์ 17
3.2 วิธีการวิจัย 18
4 ผลการทดลอง 23
4.1 สำรวจพื้นที่และวางตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง 23
4.2 เก็บตัวอย่างพืชและระบุชนิดพืชที่คาดว่ามีสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นองค์ประกอบ 27
4.3 ตรวจสอบปริมาณและชนิดสารอินทรีย์ระเหยง่าย 29
4.4 การสำรวจปริมาณและกลุ่มในจุดที่ศึกษา 33
4.5 ระบุชนิดพืชที่คาดว่ามีสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีผลขับไล่หรือดึงดูดแมลง 45
4.6 ตรวจสอบผลของสารสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชที่ระบุได้ในข้อ 4.5 ต่อแมลง 51
5 อภิปรายผลการทดลอง 59
5.1 พื้นที่ศึกษา 59
5.2 จำนวนชนิดและปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจพบในตัวอย่างพืช 59

บทที่ หน้า

5.3 ปริมาณแมลงในแต่ละอันดับในจุดศึกษา....62
5.4 พืชที่คาดว่ามีสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีผลต่อแมลง....64
5.5 ผลของสารสกัดน้ำมันหอมระเหย (essential oil extraction)....65
6 สรุปผลการทดลอง....68
รายการอ้างอิง....70
ภาคผนวก....82
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....108

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตัวอย่างสารกลุ่ม terpenes และ sesquiterpenes	10
4.1	พิกัดที่มีปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศสูง 15 ตำแหน่ง และระดับความสูงจากน้ำทะเลของแต่ละตำแหน่ง	24
4.2	จำนวนวันที่มีปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ 0.1 มม. ขึ้นไปและปริมาณน้ำฝนต่อปี (มม.) ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2551	25
4.3	พืชที่ใช้ในการวิเคราะห์ชนิด และปริมาณของสารประกอบต่างๆ	28
4.4	ปริมาณ VOCs ชนิดที่พบในอากาศในตัวอย่างพืชแต่ละชนิด	46
4.5	ค่าเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืชที่ถูกคัดเลือกมาใช้ในการทดสอบ	47
4.6	ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ในพืชแต่ละชนิด	51
4.7	ตำแหน่งและชุดทดสอบที่ใช้ในการทดสอบผลของน้ำมันหอมระเหยต่อแมลง	52
4.8	ผลของชุดทดสอบต่อแมลงใน 4 อันดับเปรียบเทียบระหว่างฤดูร้อนและหนาวในปี พ.ศ. 2551	58
ภาคผนวก		
1	สารอินทรีย์ระเหยง่ายของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา (ฤดูหนาว พ.ศ. 2549)	85
2	ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูหนาว พ.ศ. 2549)	87
3	สารอินทรีย์ระเหยง่ายของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา (ฤดูร้อน พ.ศ. 2550)	90
4	ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูร้อน พ.ศ. 2550)	91
5	สารอินทรีย์ระเหยง่ายของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา (ฤดูหนาว พ.ศ. 2550)	94
6	ปริมาณสรอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูหนาว พ.ศ. 2550)	96
7	สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจพบในพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา (ฤดูหนาว พ.ศ. 2551)	101

ตารางที่ หน้า

8 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูหนาว พ.ศ. 2551).....104

9 ปริมาณแมลงในอันดับ Diptera Hymenoptera Homoptera และ Coleoptera ในทุกตำแหน่งศึกษา 107

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	เซลล์คัดหลั่งแบบต่างๆ	7
2.2	แผนภาพของเซลล์คัดหลั่ง	8
2.3	โครงสร้าง isopentenyl diphosphate (IPP)	8
2.4	ตัวอย่างโครงสร้างของสารอินทรีย์ระเหยง่าย	11
2.5	วิถีการสร้าง isoprenoid	12
3.1	ขวดแก้วที่บรรจุตัวอย่างขณะได้รับความร้อน	21
4.1	เส้นทางการศึกษาทั้ง 15 ตำแหน่ง	24
4.2	ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเฉลี่ย	26
4.3	ดัชนีความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืช (ฤดูหนาว พ.ศ. 2549)	31
4.4	ดัชนีความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืช (ฤดูร้อน พ.ศ. 2550)	31
4.5	ดัชนีความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืช (ฤดูหนาว พ.ศ.2550)	32
4.6	ดัชนีความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืช (ฤดูหนาว พ.ศ. 2551)	32
4.7	แมลงในวงศ์ Culicidae	33
4.8	แมลงในวงศ์ Rhagionidae	33
4.9	แมลงในวงศ์ Braconida	34
4.10	แมลงในวงศ์ Ichneumonidae	34
4.11	แมลงในวงศ์ Membracidae	35
4.12	แมลงในวงศ์ Cercopidae	35
4.13	แมลงในวงศ์ Cicadellidae	35
4.14	แมลงในวงศ์ Chrysomelidae	36
4.15	แมลงในวงศ์ Carabidae	36
4.16	จำนวนแมลงที่ดักได้ที่จุดศึกษาทั้ง 15 จุดในฤดูหนาว พ.ศ. 2548	38
4.17	จำนวนแมลงที่ดักได้ที่จุดศึกษาทั้ง 15 จุดในฤดูร้อน พ.ศ. 2549	39
4.18	จำนวนแมลงที่ดักได้ที่จุดศึกษาทั้ง 15 จุดในฤดูฝน พ.ศ. 2549	40
4.19	จำนวนแมลงที่ดักได้ที่จุดศึกษาทั้ง 15 จุดในฤดูหนาว พ.ศ. 2550	41
4.20	จำนวนแมลงที่ดักได้ที่จุดศึกษาทั้ง 15 จุดในฤดูร้อน พ.ศ. 2551	42
4.21	จำนวนแมลงที่ดักได้ที่จุดศึกษาทั้ง 15 จุดในฤดูหนาว พ.ศ. 2551	43

4.22 ปริมาณแมลงรวมทุกตำแหน่งในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างเปรียบเทียบใน 4 อันดับ 44
4.23 *Zanthoxylum acanthopodium* 49
4.24 *Litsea cubeba* 49
4.25 *Elsholtzia blanda* 50
4.26 *Cinnamomun inner* 50
4.27 แผ่นดักแมลง 51
4.28 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 1 (*L. cubeba* 50 µl) ในฤดูร้อน พ.ศ. 2551 53
4.29 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 2 (*Z. acanthopodium* 30 µl) ในฤดูร้อน พ.ศ. 2551 53
4.30 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 3 (*E. blanda* 50 µl) ในฤดูร้อน พ.ศ. 2551 54
4.31 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 4 (*L. cubeba* 100 µl) ในฤดูร้อน พ.ศ. 2551 54
4.32 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 5 (*E. blanda* 100 µl) ในฤดูร้อน พ.ศ. 2551 55
4.33 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 1 (*L. cubeba* 50 µl) ในฤดูหนาว พ.ศ. 2551 55
4.34 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 2 (*Z. acanthopodium* 30 µl) ในฤดูหนาว พ.ศ. 2551 56
4.35 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 3 (*E. blanda* 50 µl) ในฤดูหนาว พ.ศ. 2551 56
4.36 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 4 (*L. cubeba* 100 µl) ในฤดูหนาว พ.ศ. 2551 57
4.37 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 5 (*E. blanda* 100 µl) ในฤดูหนาว พ.ศ. 2551 57

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปกติแล้วพืชทุกชนิดจะมีการแลกเปลี่ยนก๊าซซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติ มีทั้งที่เป็นสารประกอบอนินทรีย์ระเหยง่าย (volatile inorganic compounds) เช่น CO_2 และ O_2 ซึ่งใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือใช้ในกระบวนการหายใจ และอีกแบบหนึ่งคือสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds ; VOCs) โดยที่สารในกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่ายนี้สามารถถูกปลดปล่อยออกมาจากส่วนต่างๆ ของพืชได้ เช่น ดอก ผล หรือใบ พืชบางชนิดจะมีโครงสร้างพิเศษที่ใช้ในการเก็บสะสม และปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย เช่น glandular trichomes (Steiner และ Whitehead, 2002) และ resin ducts (Gershenzon และคณะ, 2000) เป็นต้น ในสภาวะปกติพืชจะมีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายเพื่อเป็นการดึงดูดแมลงที่ช่วยในการแพร่กระจายละอองเรณู (pollinators) (Pichersky และ Gershenzon, 2002) นอกจากนี้ปัจจัยจากภายนอกยังสามารถกระตุ้นให้พืชปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายได้ เช่น ความเสียหายในเนื้อเยื่อของพืชเมื่อถูกแมลงกัดกิน (Alborn และคณะ, 1997) หรือ การเข้าทำลายของพวกจุลินทรีย์ในพืช (Langenheim, 1994) ในกรณีนี้พืชจะปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายเพื่อป้องกันตัวเองโดยตรง โดยที่สารอินทรีย์ระเหยง่ายจะทำหน้าที่ป้องกันพืชทางตรงโดยมีหน้าที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของพวกจุลินทรีย์ (Özkan และคณะ, 2003) หรือป้องกันตัวเองทางอ้อมโดยการดึงดูดแมลงนักล่า (Paré และ Tumlinson, 1999) สารอินทรีย์ระเหยง่ายนี้ยังถูกใช้เป็นสัญญาณระหว่างพืช (chemical volatile signals) โดยพืชต้นที่ถูกกัดกินจากแมลงจะปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายออกมาซึ่งในกรณีนี้สารอินทรีย์ระเหยง่ายไม่ได้ทำหน้าที่ในการป้องกันตัวเองจากศัตรู แต่จะทำหน้าที่เป็นสัญญาณในการกระตุ้นพืชข้างเคียงให้เกิดการตอบสนองในกระบวนการป้องกันตัวเองของพืช (plant defense responses) โดยมีสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่ม terpenoid เป็นตัวกลางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืชกับพืช (Dicke และ Bruin, 2001; Fäldt และคณะ, 2003) ปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืชนั้นรวมถึงปัจจัยทางกายภาพเช่น แสง อุณหภูมิ น้ำท่วม และ ภาวะแล้ง เป็นต้น (Ebel และคณะ, 1995; Zobayed และคณะ, 2005) จากการศึกษาใน *Arabidopsis thaliana* พบว่าเมื่อพืชถูกหนอนกัดกินจะมีการแสดงออกของยีนที่อยู่ใน lipoxygenase pathway เพิ่มมากขึ้นซึ่งประกอบไปด้วย *AtLOX2 AtHPL* และ *AtAOS* โดยที่ lipoxygenase pathway เป็นกระบวนการที่ผลิต jasmonic acid สารสำคัญ

ในการกระตุ้นการป้องกันตัวเองของพืช และนอกจากนี้ยังมีการแสดงออกของยีนอื่นๆเพิ่มมากขึ้นอีก เช่น *AtTPS03* (ยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง monoterpene) *AtTPS10* (ยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง myrcene/ocimene) ซึ่งพบว่าจะมีการแสดงออกมากขึ้นภายใน 24 ชั่วโมง หลังจากพืชได้รับบาดแผล (Poecke และคณะ, 2001)

จากการศึกษาผลของสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อแมลงในด้านต่างๆ พบว่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในองุ่น (*Vitis vinifera*) เช่น methyl salicylate limonene caryophyllene และ α-farnesene มีผลต่อการตอบสนองของหนวดของแมลง [antenna เป็นบริเวณที่มีเส้นประสาทเกี่ยวกับการรับกลิ่น (olfactory receptor neuron)] และสารเหล่านี้ยังส่งผลต่อพฤติกรรมการเลือกบินเข้าเกาะผลไม้ของผีเสื้อกลางคืน (*Lobesia botrana*) (Tasin และคณะ, 2005) และมีการทดสอบการดึงดูดแมลงนักล่าหรือตัวเบียน โดยใบถั่ว (Lima bean) ที่ถูกแมลง *Tetranychus urticae* กัดทำลายนั้นจะสามารถปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายซึ่งสามารถดึงดูดแมลงนักล่า *Scolothrips takahashii* ได้ (Shimoda และคณะ, 1997) สารอินทรีย์ระเหยง่ายซึ่งสกัดจาก glandular trichomes ของพืชสกุล *Lycopersicon* ส่วนใหญ่เป็นกลุ่ม terpene เช่น monoterpen และ sesquiterpene เป็นต้น จากการศึกษาพบว่าสารกลุ่มนี้มีฤทธิ์เป็นสารกำจัดแมลง (Lin และคณะ, 1987)

ในการศึกษาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพืชนั้นได้มีการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทำเป็นภาชนะปิด เพื่อครอบชิ้นส่วนของพืชหรือส่วนที่ต้องการจะศึกษา เรียกชุดเครื่องมือนี้ว่า headspace sampling จากนั้นจะนำสารจากภาชนะนี้ไปตรวจสอบถึงชนิดและปริมาณ การตรวจสอบนี้นิยมใช้เครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) เนื่องจากมีความเหมาะสมในสถานะของตัวอย่าง และเป็นเครื่องมือที่มีความไวต่อสารปริมาณน้อยๆ (Tholl และคณะ, 2005; Jones และ Poppy, 2006)

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายของพืชกับแมลงในประเทศไทยตามธรรมชาติมีน้อยมาก ดังนั้นในโครงการการวิจัยแบบบูรณาการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อการศึกษาและพัฒนา จังหวัดน่าน จึงได้มีการเสนอโครงการวิจัยเรื่องปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตและสารชีวเคมีในระบบนิเวศของป่าเต็งรัง และป่าผลัดใบในจังหวัดน่าน เพื่อเชื่อมโยงระหว่างพืชที่สร้างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศกับสิ่งมีชีวิตที่ได้รับอิทธิพลจากสารระเหยง่ายนั้น โดยทางโครงการได้เลือก ดงหญ้าหวาย ในอุทยานแห่งชาติดอยภูคาเป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายทางธรรมชาติสูง และถูกรบกวนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกต่ำ เพราะเป็นพื้นที่บนยอดเขาที่ห่างออกไปจากที่ทำการอุทยานแห่งชาติดอยภูคาถึง 6,386 เมตร และมี

ความสูงจากระดับน้ำทะเล 1600 ถึง 1900 เมตร เส้นทางการเดินทาง มีเฉพาะทางเดินเท้า และค่อนข้างมีความลาดชันสูง (Srisanga, 2005)

ในการศึกษาเพื่อเชื่อมโยงระหว่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศกับสิ่งมีชีวิตที่ได้รับอิทธิพลจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายนั้น องค์ประกอบหนึ่งที่จำเป็นต้องทำการศึกษา คือ การสำรวจพรรณไม้ต่างๆ ในพื้นที่ศึกษาที่ตรวจพบสารอินทรีย์ระเหยง่าย ตลอดจนการสังเกตพืชในพื้นที่ที่มีการผลิตสารและนำมาวิเคราะห์ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายเพื่อเปรียบเทียบกับสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่พบในบรรยากาศ แนวโน้มของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่พบในพืชและในบรรยากาศที่สอดคล้องกัน น่าจะแสดงว่าพืชมีส่วนในการผลิตสารดังกล่าว จากนั้นทำการศึกษาผลของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สกัดจากพืชต่อแมลงในธรรมชาติ เพื่อยืนยันปฏิสัมพันธ์นั้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการตรวจสอบพืชที่ทำหน้าที่ปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย และเชื่อมโยงถึงความสัมพันธ์ระหว่างพืชที่ปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายกับสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่พบในบรรยากาศ รวมถึงการตรวจสอบผลของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีต่อแมลงอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ที่เป็นองค์ประกอบในพืชในบริเวณดงหญ้าหวายอุทยานแห่งชาติดอยภูคา
2. เพื่อศึกษาผลของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีต่อแมลง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 สำรวจพื้นที่และวางตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง

สำรวจเส้นทางเดิน และพื้นที่ศึกษาเพื่อวางแผนการเก็บตัวอย่างในระยะทาง 6 กิโลเมตร โดยให้ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างไม่น้อยกว่า 15 ตำแหน่ง

1.3.2 ตรวจสอบปริมาณ และชนิดสารอินทรีย์ระเหยง่าย

เก็บตัวอย่างใบพืชในบริเวณที่มีการวางเครื่องดักสารและแผ่นพลาสติกดักแมลงโดยเก็บพืชที่มีกลิ่นและพืชที่มีจำนวนมากในบริเวณนั้น ลงในไนโตรเจนเหลวแล้วนำมาวิเคราะห์หาชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยเครื่อง GC-MS โดยใช้ DB-5 ms silica คอลัมน์ มีความหนาของชั้นฟิลม์ 0.25 μm ยาว 30 m เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 mm โดยใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 60°C นาน 3 นาที และเพิ่มขึ้น 3°C ต่อนาที จนถึง 220°C ดัดแปลงจาก Tholl และคณะ (2005)

ตรวจสอบชนิดสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยใช้ฐานข้อมูล National institute of standard and technology (NIST) library spectra ร่วมกับ terpene library search

1.3.3 สำรวจปริมาณ และกลุ่มแมลงในจุดที่ศึกษา

วางแผ่นพลาสติกที่มีกาวดักแมลงขนาด 22 x 22 เซนติเมตร ในบริเวณที่เป็นจุดศึกษาที่กำหนดไว้ในข้อ 1 จำนวน 2 ชิ้น/จุด ทำการวางกาวดักเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ทำเช่นนี้ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่างพืช

1.3.4 ตรวจสอบผลของน้ำมันระเหยง่ายที่สกัดได้จากพืชที่มีผลต่อแมลง

1 สกัดน้ำมันระเหยง่าย

นำพืชจากข้อ 1.3.2 มาทำการคัดเลือกชนิดพืชที่มีปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูงและมีชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดเดียวกับที่พบในอากาศ นำมาสกัดด้วยวิธีกลั่นด้วยไอน้ำ โดยวิธี hydrodistillation (Rodilla และคณะ, 2008)

2 ศึกษาผลของน้ำมันระเหยง่ายที่สกัดได้จากพืชที่มีผลต่อแมลง

โดยวางกับดักแมลงที่บรรจุน้ำมันระเหยง่ายและกับดักแมลงที่ไม่ได้บรรจุน้ำมันระเหยง่ายซึ่งเป็นกาวดักแมลงแบบเดียวกับข้อ 1.3.3 ทำการดักแมลงในพื้นที่เดียวกัน โดยจะทำการวางกับดักแมลงแบบที่ไม่ได้บรรจุน้ำมันระเหยง่ายก่อนและวางกับดักแมลงแบบที่บรรจุน้ำมันระเหยง่ายจากพืชชนิดต่างๆ ใน 2 วันถัดมา แล้วนับจำนวนของแมลงกลุ่มต่างๆ ที่ดักได้ในพื้นที่ป่าธรรมชาติ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ได้หรือพืชที่พบว่ามีการสร้างสารอินทรีย์ระเหยง่ายมาใช้ประโยชน์ในแง่ของการไล่แมลงหรือดึงดูดแมลงที่มีผลต่อการเกษตร ตลอดจนการเสนอแนวคิดด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเพื่อรักษาสมดุลของพืช และแมลงกลุ่มต่างๆ ในธรรมชาติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ข้อมูลของดอยภูคา

2.1.1 ข้อมูลทั่วไป

ดอยภูคาตั้งอยู่ในจังหวัดน่านทางภาคเหนือของประเทศไทย โดยมีส่วนติดกับชายแดนไทย-ลาว ดอยภูคาและพื้นที่ข้างเคียงถูกจัดตั้งเป็นอุทยานแห่งชาติเมื่อวันที่ 17 มิถุนายน พ.ศ. 2542 (ในราชกิจจานุเบกษาปี พ.ศ. 2542) โดยมีจุดมุ่งหมายในการอนุรักษ์และพื้นฟูสภาพป่า โดยปกคลุมพื้นที่ประมาณ 1,704 ตารางกิโลเมตร อยู่ในพื้นที่การจัดการของ 8 อำเภอ ดังนี้ อ. บ่อเกลือ อ. เฉลิมพระเกียรติ อ. เชียงกลาง อ. แม่จริม อ. ปัว อ. ท่าวังผา อ. สันติสุข และ อ. ทุ่งช้าง สำนักงานใหญ่ของอุทยานถูกตั้งอยู่ใน ต. ภูคา อ. ปัว ซึ่งห่างจากตัวเมืองน่าน ประมาณ 80 กิโลเมตร การเดินทางเข้าถึงสำนักงานใหญ่ของอุทยานจาก จ. น่าน สามารถเดินทางได้ด้วยทางหลวงสาย 1080 (น่าน-ทุ่งช้าง) และเลี้ยวขวาเข้าสู่ทางหลวงสาย 1256 (ปัว-บ่อเกลือ) อุทยานแห่งชาติดอยภูคาตั้งอยู่ที่พิกัดระหว่าง 18°40′ – 19°30′ องศาเหนือ และ 100°55′ - 101°10′ องศาตะวันออก โดยมีลักษณะเป็นภูเขาและหุบเขา วางตัวในแนวเหนือ – ใต้ เป็นส่วนหนึ่งของภูเขาหลวงพระบาง และมีระดับความสูงจากน้ำทะเลระหว่าง 500 – 1,980 เมตร สภาพป่าในพื้นที่อุทยานแห่งชาติดอยภูคา สามารถแบ่งได้เป็น 6 ประเภท ได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าสน ป่าดิบเขา ป่าละเมาะเขา ป่าเต็งรัง และป่าผลัดใบผสม พื้นที่ภายในอุทยานประกอบไปด้วย ป่าปฐมภูมิ (primary forests) ป่าทุติยภูมิ (secondary forests) ป่าปลูก (forest plantations) สวน ไร่เลื่อนลอย และหมู่บ้าน โดยป่าในพื้นที่อุทยานเป็นแหล่งต้นน้ำของลำน้ำน่าน ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำน่านอันเป็น 1 ใน 4 ของแม่น้ำสายหลักในการรวมเป็นแม่น้ำเจ้าพระยา (Srisanga, 2005)

2.1.2 สภาพภูมิอากาศ

อุทยานแห่งชาติดอยภูคาตั้งอยู่บนภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งมีจุดกำเนิดจากมหาสมุทรอินเดีย ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้นี้จะพาเอาความอบอุ่นและความชื้นมาในช่วง เดือนพฤษภาคม – กันยายน ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งพัดมาจากมหาสมุทรแปซิฟิก และเอเชียตะวันออกเฉียงเหนือ ลมมรสุมนี้

จะพัดพาเอาความหนาวเย็นและความแห้งแล้งมาในช่วง เดือนพฤศจิกายน – กุมภาพันธ์ อุทยานแห่งชาติดอยภูคาจะแบ่งออกเป็น 3 ฤดู ตามอิทธิพลของลมมรสุม ฤดูฝน อยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคมไปจนถึงช่วงกลางเดือนตุลาคม โดยในช่วงเดือนสิงหาคมจะเป็นช่วงที่ฝนตกหนักมากที่สุด ฤดูหนาว จะเป็นช่วงต่อจากฤดูฝนคือตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม ไปจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ โดยอุณหภูมิ ณ บริเวณที่ทำการของอุทยานแห่งชาติดอยภูคาเคยลดลงถึง 5°C ในปี พ.ศ. 2541 และฤดูร้อนในช่วงปลายเดือนกุมภาพันธ์ ไปจนถึงเดือนพฤษภาคม โดยอุณหภูมิจะสูงสุดในเดือนเมษายน (Srisanga, 2005)

2.1.3 ความหลากหลายของพันธุ์ไม้

ความหลากหลายของพันธุ์ไม้ในพื้นที่ของอุทยานแห่งชาติดอยภูคามีผู้ศึกษาในกลุ่มของพืชที่มีท่อลำเลียงตรวจพบถึง 1088 ชนิดใน 576 สกุล และ 165 วงศ์ พบว่ามีพืช 39 สปีชีส์เป็นพืชที่พบเฉพาะในประเทศไทยและพบเฉพาะบนดอยภูคามี 6 สปีชีส์ มีพืชหายาก 60 สปีชีส์ (Srisanga, 2005)

2.2 สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds; VOCs)

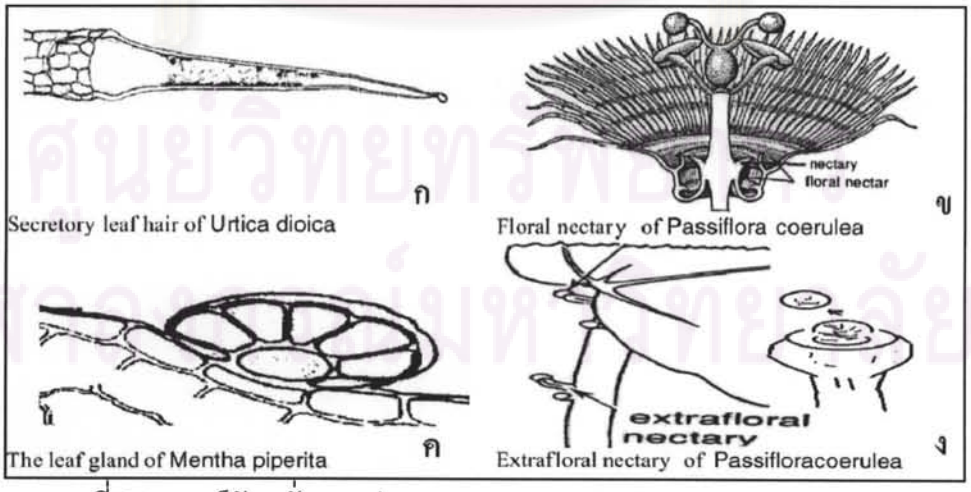
พืชนั้นเป็นแหล่งของสารอาหาร สำหรับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เช่น แบคทีเรีย เห็ดรา โปรติสต์ แมลง และสัตว์มีกระดูกสันหลัง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์ จะเห็นได้ว่าพืชมีระบบภูมิคุ้มกันที่น้อยกว่า ดังนั้นพืชจึงต้องพัฒนาตัวเอง ไม่ว่าจะเป็น โครงสร้าง สารเคมี และโปรตีนพื้นฐานในระบบภูมิคุ้มกัน (protein-based defenses) เพื่อป้องกันสิ่งมีชีวิตอื่นกัดทำลาย หรือยับยั้งก่อนที่พืชจะถูกทำลาย ดังนั้นการเข้าใจกระบวนการป้องกันตัวเองของพืชโดยผ่านการสร้างสารอินทรีย์ระเหยง่ายสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันในพืช หรือควบคุมการเข้าทำลายของศัตรูพืชได้

2.2.1 ข้อมูลทั่ว ๆ ไปของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

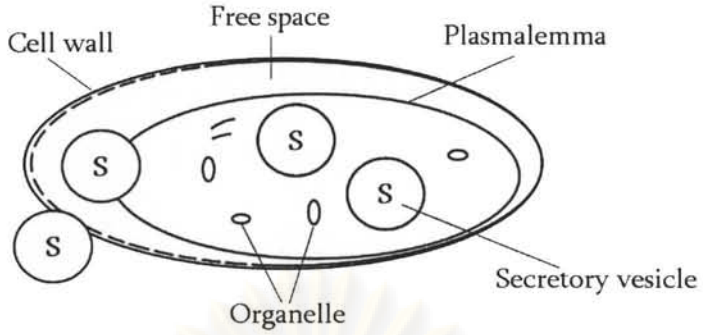
สารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นกลุ่มของสารประกอบประเภทเคมีอินทรีย์ที่มีความดันไอสูงภายในสภาวะปกติซึ่งส่งผลให้สามารถระเหยเข้าสู่บรรยากาศได้ โดยพื้นฐานแล้วสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายมักจะประกอบไปด้วยสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) เป็นหลัก สารอินทรีย์ระเหยง่ายจะถูกปลดปล่อยออกสู่ธรรมชาติได้ทั้งจากพืชและสัตว์ โดยที่สารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพืชนั้นจัดเป็นสารทุติยภูมิ (secondary metabolite) จัดเป็นสารที่ไม่มีหน้าที่โดยตรงกับการเจริญและพัฒนาการของพืช (Taiz และ Zeiger, 2002) โดยคาร์บอนที่เป็นส่วนประกอบหลักในสารอินทรีย์ระเหยง่ายนั้นได้มาจากกระบวนการตรึงคาร์บอน ใน

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การสร้างสารอินทรีย์ระเหยง่ายของพืชในช่วงอายุที่แตกต่างกันจะมีรูปแบบการสร้างสารอินทรีย์ระเหยง่ายแตกต่างกันออกไป (Velikova และคณะ, 2008) และเมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียดจะมีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายมากกว่าเดิมหรือมีรูปแบบการปลดปล่อยที่เปลี่ยนไป (Loreto และคณะ, 2008) จากการศึกษาถึงความสามารถในการส่งสัญญาณระหว่างพืช โดยอาศัยสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มของสารประกอบ isoprenoids เป็นสารเคมีหลักที่ใช้ในการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมหรือในการส่งสัญญาณกับพืชชนิดเดียวกัน พืชต่างชนิด หรือกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ได้อีกด้วย สารประกอบ isoprenoids มักจะถูกสะสมอยู่ในอวัยวะต่างๆ บนใบหรือลำต้น และสารประกอบนี้จะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างมากภายหลังจากการเกิดบาดแผล และจะทำหน้าที่ในการป้องกันพืชจากเชื้อสาเหตุโรค (pathogens) และสัตว์กินพืช (herbivores) รวมไปถึงช่วยในการปิดบาดแผลอีกด้วย (Loreto และคณะ, 2008)

โดยทั่วไปแล้วสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจะถูกสะสมอยู่ในเซลล์ที่บริเวณพื้นผิว เช่น secretory leaf hair cells gland cells และ glandular trichomes เป็นต้น (ภาพที่ 2.1) (Roshchina, 2003; Bakkali และคณะ, 2007) เมื่อมีการสะสมสารอินทรีย์ระเหยง่ายจนมีปริมาณมากพอ หรือพืชได้รับสภาวะเครียดต่างๆ จากสิ่งแวดล้อมแล้วจะทำให้พืชปลดปล่อยสารกลุ่มนี้ออกมา เซลล์เหล่านี้มักจะมีขนาดขององค์ประกอบของเซลล์ (organelles) ที่เล็กกว่าปกติหรือไม่พบเลย (ภาพที่ 2.2) การสร้างสารอินทรีย์ระเหยง่ายหรือสารทุติยภูมิ (secondary metabolite) อื่นๆ มักจะสร้างจากภายในเซลล์ และบรรจุอยู่ในถุงบรรจุสารคัดหลั่ง (secretory vesicle) ซึ่งจะส่งต่อและสะสมอยู่ภายนอกเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ (plasmatic membrane-plasmalemma) และผนังเซลล์ (cell wall)



ภาพที่ 2.1 เซลล์คัดหลั่งแบบต่างๆ ก. secretory leaf hair cell; ข. floral nectar cell; ค. leaf gland cell; ง. extrafloral nectar cell (Roshchina, 2003)

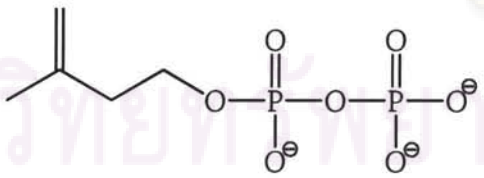


Secreting cell

ภาพที่ 2.2 แผนภาพของเซลล์คัดหลั่ง (Roshchina, 2003)

สารอินทรีย์ระเหยง่าย สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ 2 กลุ่ม คือ terpenes/terpenoids และ กลุ่มของสารประกอบประเภท aromatic/aliphatic hydrocarbons (Bakkali และคณะ, 2007)

Terpenes เป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ (natural products) ที่มีมากที่สุด (Gershenzon และ Dudareva, 2007) เกิดจากการรวมตัวของ 5-carbon-base (C_5) หลายๆ หน่วย โดยแต่ละหน่วยจะเรียกว่า isoprene การสังเคราะห์ terpenes ในธรรมชาติ (biosynthesis) นั้นเริ่มจาก isopentenyl diphosphate (IPP) (ภาพที่ 2.3) ทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้น (precursor) โดยการต่อกันเองของ IPP จะเป็นแบบหัวต่อหาง (head-to-tail) โดยอาศัยเอนไซม์ terpene specific synthetases ในการทำให้เกิดเป็นโครงร่าง (terpenes skeleton) ของ terpenes และในขั้นตอนสุดท้ายนั้นจะอาศัยเอนไซม์ (secondary enzymatic modification) ในการเติมหมู่ฟังก์ชั่น หรือเพิ่มคุณสมบัติต่างๆ ลงในโครงสร้าง (terpenes skeleton) โดยที่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นแบบ redox reaction



ภาพที่ 2.3 โครงสร้าง isopentenyl diphosphate (IPP) (Adam และคณะ, 2002)

การเรียกชื่อของ terpenes นั้นจะเรียกตามจำนวนคาร์บอนเช่น hemiterpenes (C_5) monoterpenes (C_{10}) Sesquiterpenes (C_{15}) diterpenes (C_{20}) triterpenes (C_{30}) และ tetraterpenes (C_{40}) ส่วน terpenes ที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบจะถูกเรียกว่า terpenoid โดยทั่วๆ ไปแล้วเราจะพบ monoterpenes และ sesquiterpenes เป็นหลัก ซึ่งจะพบ monoterpenes ถึง 90% ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด แตกต่างกันไปตามโครงสร้างและ

หมู่ฟังก์ชั่น กลุ่ม terpenes พบว่าจะมีทั้งในรูปแบบของเส้น (acyclic) วงเดี่ยว (monocyclic) และวงคู่ (bicyclic) ดังแสดงตัวอย่างไว้ในตารางที่ 2.1 และโครงสร้างในภาพที่ 2.4

Sesquiterpenes เกิดจากการรวมกลุ่มกันระหว่าง isoprene 3 หน่วย ซึ่งการเพิ่มปริมาณของสายนั้นทำให้มีรูปแบบของการเกิดวงได้หลายรูปแบบ ทำให้โครงสร้างเกิดขึ้นนั้นมีความหลากหลาย ซึ่งโครงสร้างและหน้าที่การทำงานของ sesquiterpenes นั้นจะคล้ายคลึงกับ monoterpene

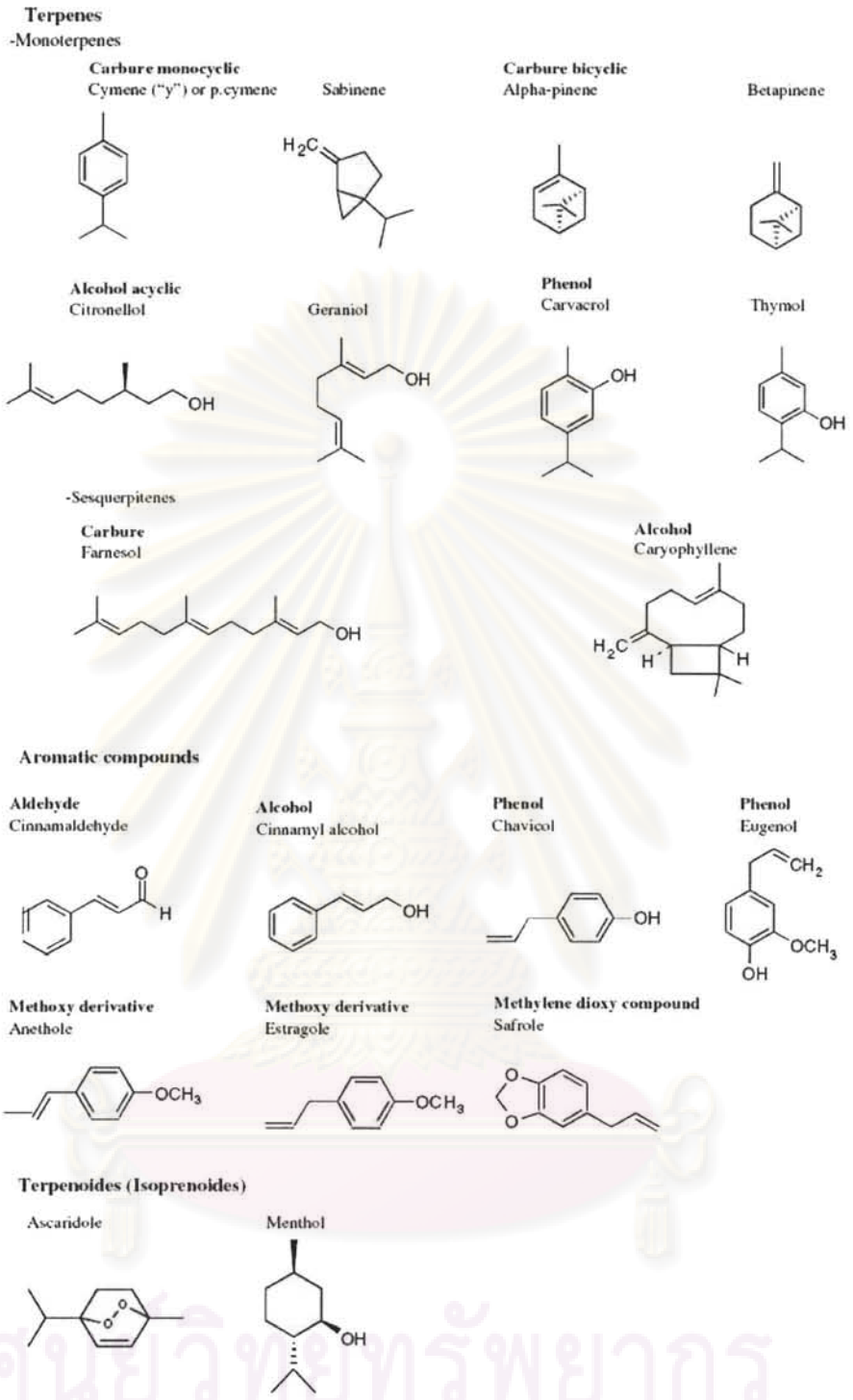
ในการสร้างสาร isoprenoid (isoprene monoterpenes และ sesquiterpenes) โดยทั่วไปแล้วจะใช้ IPP เป็นสารตั้งต้นซึ่งจะถูกสร้างผ่านวิถีได้สองทางคือทาง mevalonate pathway และ rohmer pathway (mevalonate-independent pathway) (Kesselmeier และ Staudt, 1999) ดังภาพที่ 2.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างสารกลุ่ม terpenes และ sesquiterpenes (Bakkali และคณะ, 2007)

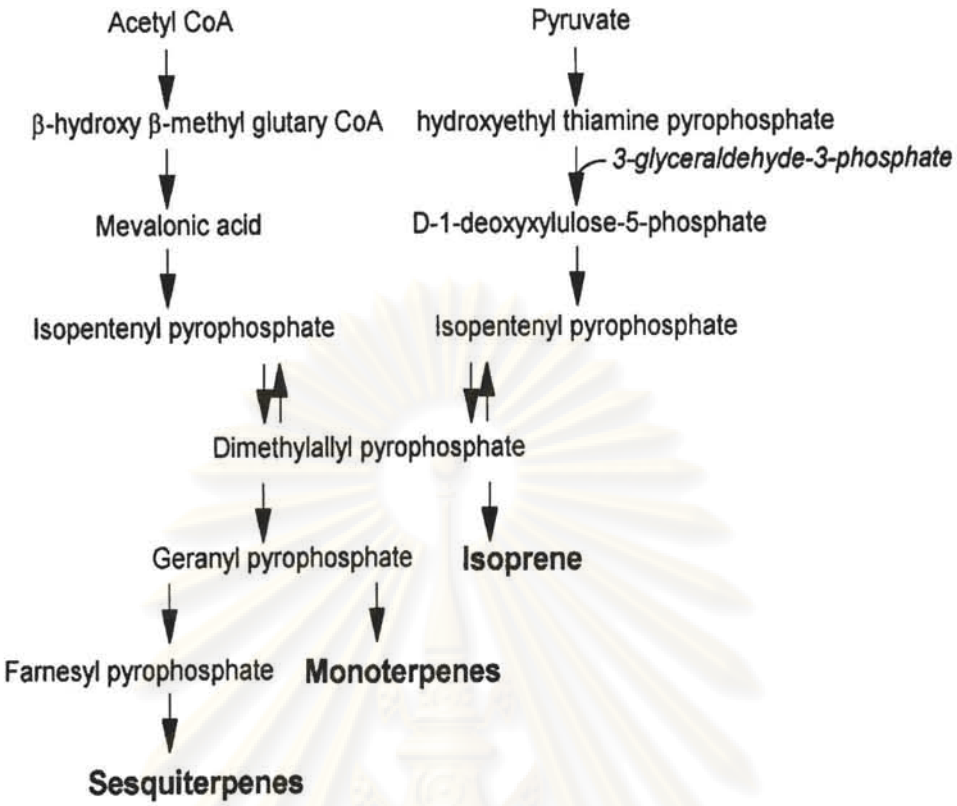
Functional group	Terpenes	Sesquiterpenes
Carbures	*Acydic*: myrcene ocimene etc. *Monocyclic*: terpinenes, p-cimene, phellandrene, etc. *Bicyclic*: pinenes, 3-carene, camphene, sabinene, etc.	Azulene, β-bisabdene, cadnenes, β-caryophyllene, logifdene, curcumenes, elemenes, farnesenes, zingiberene, etc.
Alcohols	*Acyclic*: geraniol, linalol, citronellol, lavandulol, nerol, etc. *Monocyclic*: menthol, α-terpineol, carveol *Bicyclic*: borneol, fenchol, chrysanthenol, thuyan-3-ol, etc.	bisabol, cedrol, β-nerolidol, farnesol, carotol, β-santalol, patchoulol, viridiflorol, etc.
Aldehydes	*Acyclic*: geranial, neral, citronellal, etc.	
Ketone	*Acyclic*: tegetone, etc. *Monocyclic*: menthones, carvone, pulegone, piperitone, etc. *Bicyclic*: camphor, fenchone, thuyone, ombellulone, pinocamphone, pinocarvone, etc.	germacrone, nootkatone, *cis*-longipinan-2,7-dione, β-vetinone, turmerones, etc.
Esters	*Acyclic*: linalyl acetate or propionate, citronellyl acetate, etc. *Monocyclic*: menthyl or a-terpinyl acetate, etc. *Bicyclic*: isobornyl acetate, etc.	
Ethers	1,8-cineole, menthofurane, etc.	
Peroxides	ascaridole, etc.	
Phenols	thymol, carvacrol, etc.	
Epoxide		Caryophylleneoxide, humulene epoxides, etc.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างโครงสร้างของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Bakkali และคณะ, 2007)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.5 วิถีการสร้าง isoprenoid (isoprene monoterpenes และ sesquiterpenes) ในพืช (Kesselmeier และ Staudt, 1999)

Aromatic เป็นอนุพันธ์ของ phenylpropane โดยปกติแล้วจะพบน้อยกว่ากลุ่มของ terpenes สารกลุ่ม aromatic จะประกอบไปด้วยสาร 2 กลุ่มคือ สารประกอบฟีนอลลิค (phenolic compound) และ สารประกอบทุติยภูมิที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ (Nitrogen-containing secondary products) พบว่าสารประกอบฟีนอลลิคบางชนิดสามารถถูกกระตุ้นได้จากแสงอัลตราไวโอแลต เช่นในสาร furanocoumarins จะยังไม่มีพิษจนกระทั่งถูกกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอแลตในช่วงความยาวคลื่น 320-400 nm (UV-A) โดยแสงจะกระตุ้นให้สารนี้อยู่ในสภาวะที่อิเล็กตรอนพลังงานสูง (a high-energy electron state) ซึ่งสารนี้ในสภาวะกระตุ้นจะสามารถจับกับเบส cytosine และ thymine ใน DNA ส่งผลให้ยับยั้งกระบวนการ transcription และกระบวนการซ่อมแซม DNA ส่งผลให้พืชสามารถป้องกันตัวเองจากการเข้าทำลายของแมลงและเห็ดราได้ (Lee และ Berenbaum, 1990)

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย

พืชมักจะปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายภายหลังได้รับสภาวะต่างๆ ทั้งปัจจัยทางชีวภาพ (biotic) และปัจจัยทางกายภาพ (abiotic) ปัจจัยทางชีวภาพ (biotic) เช่น การที่เชื้อรา

arbuscular mycorrhiza นั้นอาศัยร่วมกับพืช *Artemisia annua* L. ที่บริเวณรากนั้นส่งผลต่อปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่าย β-caryophyllene เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดเดียวกับที่ไม่มีเชื้อ arbuscular mycorrhiza (Rapparini และคณะ, 2008) ปัจจัยทางกายภาพ (abiotic) เช่น การตอบสนองต่อสาร copper sulphate ในพืช *Alpinia zerumbet* (Pers.) B.L. Burtt. ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มของสารประกอบ phenolics ซึ่งมีฤทธิ์ในการต่อต้านแบคทีเรียและต่อต้านอนุมูลอิสระ (Elzaawely และคณะ, 2007) และการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายในดอกทานตะวัน (sunflower ; *Helianthus annuus* L. cv. giganteus) และต้น Beech (*Fagus sylvatica* L.) นั้นเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและความเข้มแสง (Schuh และคณะ, 1997)

สารประกอบจากแมลง เช่น Volicitin ที่พบในต่อมน้ำลายของแมลงมีความสามารถในการกระตุ้นให้พืชสร้างสารอินทรีย์ระเหยง่าย สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่พืชปลดปล่อยออกมาจากการกระตุ้นจากสัตว์กินพืชนั้นพบว่า จะมีความเฉพาะเจาะจงตามแต่ละชนิดของพืชและพวกกินพืช พืชจะมีความสามารถในจดจำศัตรูพืชได้ผ่านทางสารประกอบเหล่านี้และจะตอบสนองเมื่อพืชรับรู้ถึงสารเหล่านี้ เช่น เมื่อโดนกัดทำลาย พืชจะมีการสนองตอบสนองในหลายระดับซึ่งจะทำให้เกิดกลไกการป้องกันตัวเองรวมถึงการสร้างสารอินทรีย์ระเหยง่ายซึ่งสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่พืชปลดปล่อยออกมานั้นจะใช้เป็นสัญญาณในการดึงดูดศัตรูตามธรรมชาติของพวกกินพืช สัญญาณเหล่านี้พวกกินพืชจะใช้ในการจดจำพืชอีกด้วย (Holopainen, 2004; Maffei และ Bossi, 2006)

สารอินทรีย์ระเหยง่ายนั้นก็สามารถเป็นปัจจัยกระตุ้นให้พืชสร้างสารอินทรีย์ระเหยง่ายได้ เช่น พืชปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายเพื่อใช้เป็นสัญญาณระหว่างพืช (plant-to-plant signaling) เพื่อกระตุ้นให้เกิดการสร้างสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืชอื่น (Karban, 2001) การส่งสัญญาณระหว่างพืชนั้นพบว่าใช้เพื่อเตือนภัยหรือเพื่อปัจจัยอื่นๆ สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ถูกใช้เป็นสัญญาณจะถูกสร้างภายหลังจากถูกกระตุ้นจากปัจจัยภายนอก เช่น เกิดบาดแผล (Davison และคณะ, 2008) จะเรียกว่า inducible volatiles organic compounds ซึ่งสารอินทรีย์ระเหยง่ายนั้นจะทำการสร้างใหม่ (*de novo* synthesis) ก็ต่อเมื่อพืชมีความต้องการเท่านั้น โดยพบว่าสารกลุ่มนี้ประกอบไปด้วยสารหลายกลุ่มเช่น alkenes alkanes carboxylics acid alcohols และ รวมถึงกลุ่ม terpenes ด้วย ซึ่งปริมาณของสารที่พืชปลดปล่อยนั้นรูปแบบจะเปลี่ยนแปลงไปโดยมีทั้งปริมาณเพิ่มขึ้นหรือปริมาณลดลงก็ได้ (Banchio และคณะ, 2007) โดยสารอินทรีย์ระเหยง่ายนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ตามเวลาที่เริ่มปลดปล่อยออกมา โดยกลุ่มแรกจะถูกปลดปล่อยออกมาทันที (ในช่วงเวลา 5 นาทีแรก) เมื่อใบพืชได้รับแรงกลจนทำให้

เกิดบาดแผล โดยมักจะเป็น Green leaf volatiles (GLVs)* กลุ่มที่สอง สารกลุ่มนี้จะสร้างภายหลังพืชที่ได้รับบาดแผลเท่านั้นและจะปลดปล่อยภายใน 1 ชั่วโมง ซึ่งสารกลุ่มนี้จะปลดปล่อยจากทั้งส่วนที่ได้รับบาดแผลและไม่ได้รับบาดแผลพบว่าสารกลุ่มนี้มักจะเป็นสารกลุ่ม terpenes

* Green leaf volatiles (GLVs) เป็นสารประกอบคาร์บอน 6 อะตอม ถูกสร้างจาก lipoxygenase (LOX) pathway มักจะปลดปล่อยออกมาจากส่วนที่พืชได้รับบาดแผล

2.2.3 บทบาทของสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อพืชและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ

- บทบาทของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในการดึงดูดพาหะถ่ายเรณู (pollinator)

การถ่ายเรณูระหว่างพืชแต่ละต้น เพื่อให้เกิดการปฏิสนธิข้าม (cross-fertilization) นั้น พืชต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ เช่น ลม น้ำ และแมลง เป็นต้น เพื่อช่วยพาเรณูไปสู่ยอดเกสรตัวเมีย (stigma) เพื่อที่จะให้แมลงเข้ามาสู่บริเวณดอก พืชจะอาศัยสารอินทรีย์ระเหยง่ายช่วยในการดึงดูดแมลง (Allison และคณะ, 2004; Gershenzon และ Dudareva, 2007)

- บทบาทของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในการขับไล่แมลงศัตรูพืช

การสร้างกลไกการป้องกันตัวเองของพืชจากการเข้าทำลายของแมลงศัตรูพืชวิธีหนึ่ง คือ การปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีพิษต่อแมลงศัตรูพืช เช่น สารสกัดระเหยง่ายจากใบของ *Cryptomeria japonica* ซึ่งประกอบไปด้วย elemol 16-kaurene sabinene 4-terpineol β-eudesmol α-pinene limonene 3-carene *p*-cymene β-myrcene γ-terpinene α-terpinene และ 4-terpineol สามารถขับไล่แมลงตัวสามง่าม (*Lepisma saccharina*) ได้ 80 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มข้น 0.01 mg/cm^3 และที่ความเข้มข้น 0.16 mg/cm^3 สามารถฆ่า *L. saccharina* ได้ภายใน 10 ชั่วโมง (Wang และคณะ, 2006) ในการศึกษาสารอินทรีย์ระเหยง่ายใน glandular trichomes ของมะเขือเทศ (*Lycopersicon* sp.) จากการตรวจสอบด้วยเทคนิค Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) พบว่ามีสารประกอบในกลุ่มของ monoterpene และ sesquiterpene จากการทดสอบถึงการออกฤทธิ์ของสารสองกลุ่มนี้ต่อตัวอ่อน *Keiferia lycopersicella* (tomato pinworm) และ *Spodoptera exigua* (หนอนกระทู้หอม) พบว่า LD_{50} = 20.0 ng/larva LD_{50} = 2080 ng/larva ตามลำดับ (Lin และคณะ, 1987)

- บทบาทของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในการดึงดูดแมลงที่เป็นผู้ล่าเหยื่อ (predator)

แมลงศัตรูพืชบางชนิดสามารถปรับตัวให้ต้านทานต่อสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่พืชปลดปล่อยออกมาเพื่อขับไล่ หรือพืชบางชนิดไม่สามารถที่จะสร้างสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เป็นพิษต่อแมลงศัตรูพืชได้ พืชบางชนิดสามารถปรับตัวให้ปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มี

คุณสมบัติดึงดูดแมลงที่เป็นผู้ล่าเหยื่อ เพื่ออาศัยแมลงเหล่านี้มาเพื่อกำจัดแมลงศัตรูพืช เช่น hexenol เป็นสารที่พืชจะปลดปล่อยออกมาเมื่อถูกกัดกินจากแมลงศัตรูพืชสามารถดึงดูดให้แตนเบียนมายังพืชต้นนั้นๆ ได้ (Dicke และ Bruin, 2001; Huxley และ Cutler, 1991; Wei และคณะ, 2007)

- บทบาทของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในการเป็น antioxidant และ antimicrobial

จากการศึกษาบทบาทของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่พืชปลดปล่อยออกมาพบว่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายยังมีบทบาทในด้านอื่นๆ อีกเช่น มีความสามารถในการเป็น antioxidant และ antimicrobial การทดสอบสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากใบและน้ำมันจากเปลือกหรือยางไม้ (oleoresins และอนุพันธ์) ของ *Cinnamomum zeylanicum* Blume (อบเชย) โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS พบว่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ได้จากใบมีสารประกอบ eugenol เป็นสารประกอบหลักถึง 87.3% และพบว่าสารประกอบในน้ำมันจากเปลือกมี (*E*)-cinnamaldehyde เป็นสารประกอบหลักถึง 49.9% สารดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการเป็น antioxidant และ antimicrobial ได้ดีโดยสามารถลดปริมาณของ Peroxide และสารกลุ่ม oxidant อื่นๆ รวมทั้งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยราได้ (Singh และคณะ, 2007)

จะเห็นได้ว่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายนั้นมีผลต่อสมดุลของระบบนิเวศทั้งในแง่ของการขยายพันธุ์พืชและจำนวนประชากรของแมลง ดังนั้นการจะตรวจสอบถึงคุณสมบัติของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืชชนิดต่างๆ เพื่อจะเข้าใจถึงระบบนิเวศและสามารถนำมาใช้ประโยชน์จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ ในการระบุชนิดพืชและคุณสมบัติของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่พืชปลดปล่อยมักจะขึ้นอยู่กับสารเคมีหลัก 2-3 ชนิดที่มีความเข้มข้นสูง (20-70%) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารทั้งหมด เช่น *Origanum compactum* มี carvacrol (30%) และ thymol (27%) เป็นสารประกอบหลัก *Coriandrum sativum* มี linalol (68%) เป็นสารประกอบหลัก *Artemisia herba-alba* มี α- และ β-thuyone (57%) และ camphor (24%) เป็นสารประกอบหลัก *Cinnamomum camphora* มี 1,8-cineole (50%) เป็นสารประกอบหลัก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้สารประกอบหลักๆ เหล่านี้เป็นตัวทำนายถึงคุณสมบัติทางชีววิทยา (biological property) (Bakkali และคณะ, 2007)

2.2.4 บทบาทของสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อสิ่งแวดล้อม

พืชประมาณ 80% สามารถปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม โดยสามารถยับยั้งและควบคุมการเข้าทำปฏิกิริยากับสารกลุ่ม Oxidative เช่น คาร์บอนมอนนอคไซด์ โอโซน และละอองอนุภาค ในชั้นบรรยากาศชั้นล่างสุด (Troposphere) พืชที่ถูกกัดทำลายจากพวกกินพืชจะมีความสามารถในการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายมากกว่าพืช

ปกติถึง 2.5 เท่า คาดว่าการที่พวกกินพืชสามารถกระตุ้นให้พืชปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายออกมานั้นมีส่วนในการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศระดับ Troposphere (Holopainen, 2004) นอกจากนี้สารอินทรีย์ระเหยง่ายยังมีบทบาทต่อสิ่งแวดล้อมในการเพิ่ม ozone ในบรรยากาศ (Fares และคณะ, 2008; Kourtchev และคณะ, 2007) โดยสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่ม isoprenoids และ monoterpenes มีความสามารถในการทำให้ ozone กลับมามีประสิทธิภาพ (reactivity) โดยทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิด ozone จากการที่สารอินทรีย์ระเหยง่ายมีความสามารถในการเกิดการแตกตัวเมื่อได้รับพลังงานแสง (photochemical degradation) เมื่อสารอินทรีย์ระเหยง่ายลอยขึ้นเหนือระดับ Troposphere ไปถึงระดับ stratosphere จะเกิดการแตกตัวและผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมี ozone อยู่ด้วย (Ciccioli และคณะ, 1994) ซึ่งช่วยลดความเสียหายของ ozone ในชั้นบรรยากาศ สารอินทรีย์ระเหยง่ายยังมีผลต่อสภาพอากาศ โดยสารในกลุ่ม isoprene นั้นมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปแบบเป็น secondary organic aerosols ซึ่งสารนี้จะช่วยดูดซับและกระเจิงแสง อีกทั้งสารดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นแกนกลางในการควบแน่นของเมฆ (cloud condensation nuclei) (Claers และคณะ, 2004)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างพืช

- แผงอัดต้นไม้
- กระดาษลัง
- กระดาษหนังสือพิมพ์
- เครื่องระบุพิกัดจากดาวเทียม (global positioning system)
- กรรไกรตัดกิ่งไม้
- คีมคีบ

3.1.2 อุปกรณ์สำหรับการสำหรับวิเคราะห์และสกัดสาร

- ขวดแก้วขนาดเล็ก
- ฝาโลหะครอบยาง
- อุปกรณ์เปิด-ปิด ฝาโลหะ
- เครื่องชั่งอย่างหยาบ
- เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง
- คอร์ลั่มเครื่อง Gas chromatography ชนิด DB-5MS (J&W Scientific) fused silica capillary column, 30 m x 0.25 mm I.D., 0.25 μm film thickness
- เครื่อง Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) รุ่น GC Varian star 3400CX coupled to MS Varian SATURN 40
- เครื่องฉีดตัวอย่างแบบอัตโนมัติ (Headspace Autosampler) รุ่น Varian Genesis
- หลอดทดลองพลาสติกชนิดทนจุดเยือกแข็ง
- ถังใส่ไนโตรเจนเหลว
- ชุดหอกลั่น
- ขวดก้นกลม
- สายยางและข้อต่อแบบเกลียว
- หม้อต้มไฟฟ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- หลอดไมโครเซนตริฟิวจ์ ขนาด1.5 มิลลิลิตร
- พาราฟิล์ม

3.1.3 อุปกรณ์สำหรับเก็บและระบุชนิดแมลง

- แว่นขยาย
- กล้องถ่ายรูปดิจิตอล
- กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ รุ่น SZX-9
- แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดสีเหลือง
- คลิปดำ
- ค้อนและตะปู

3.1.4 สารเคมี

- กาวดักแมลงยี่ห้อ อีเอสอาร์ ชนิดไร้กลิ่น
- 70% แอลกอฮอล์
- แก๊สฮีเลียม (Helium)
- ไนโตรเจนเหลว

3.2 วิธีการวิจัย

3.2.1 สำรวจพื้นที่และวางตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง

1. สำรวจพื้นที่บริเวณ ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา โดยวางตำแหน่งเครื่องดักสารระเหยง่ายในอากาศตามจุดที่พบว่ามีกลิ่นของสารในอากาศ หรือทุกๆ 100 เมตร จากตำแหน่งก่อนหน้านี้ รวมทั้งสิ้น 34 ตำแหน่ง ตลอดเส้นทาง 6 กิโลเมตร และคัดเลือกตำแหน่งที่พบว่ามีปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศสูง 15 ตำแหน่ง โดยตรวจสอบปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศจากการทดสอบเบื้องต้น (Chokratin และคณะ, 2008)

2. เก็บข้อมูลของพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่างได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน โดยการสอบถามข้อมูลจากเจ้าหน้าที่ของอุทยานแห่งชาติดอยภูคา รวมถึงตรวจสอบพิกัดและระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล จากเครื่อง GPS

3.2.2 เก็บตัวอย่างพืชและระบุชนิดพืชที่คาดว่ามีสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นองค์ประกอบ

1. เก็บตัวอย่างพืชในช่วงปี พ.ศ. 2548-2551 ในช่วงฤดูร้อน ระหว่างเดือน ก.พ. - มี.ค. และฤดูหนาว ระหว่างเดือน ต.ค. – พ.ย. โดยรวบรวมตัวอย่างพืชที่มีกลิ่น หรือพืชที่เป็นชนิดเด่น ในพื้นที่เป้าหมาย เก็บตัวอย่างในแผงอัดพืชเพื่อนำไปใช้ในการระบุชนิดพืชและเก็บตัวอย่างใบพืชในไนโตรเจนเหลว เพื่อรักษาสภาพของพืชซึ่งจะนำไปใช้เพื่อตรวจสอบปริมาณ และชนิดสารอินทรีย์ระเหยง่าย

2. นำพืชที่เก็บรวบรวมได้มาศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาอย่างละเอียดเพื่อใช้ในการตรวจสอบชื่อวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง

3. ตรวจสอบชื่อวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องแต่ละชนิดโดยอาศัยเอกสารพฤกษอนุกรมวิธานจากหนังสือพรรณพฤกษชาติ แห่งประเทศไทย และจากเอกสารทางพฤกษอนุกรมวิธานของพืชในภูมิภาคใกล้เคียง

4. ตรวจสอบความถูกต้องโดยเปรียบเทียบตัวอย่างพืชที่มีการตรวจสอบชื่อวิทยาศาสตร์ไว้แล้ว กับตัวอย่างพืชอัดแห้งชนิดเดียวกันกับที่เก็บรักษาไว้ที่พิพิธภัณฑ์พืช ศาสตราจารย์ กสิน สุวตะพันธุ์ (BCU) (ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) และตัวอย่างพืชอัดแห้งที่เก็บมาจัดทำเป็นตัวอย่างแห้งรักษาสภาพ เก็บรักษาไว้ที่พิพิธภัณฑ์ ศ. กสิน สุวตะพันธุ์

3.2.3 ตรวจสอบปริมาณและชนิดสารอินทรีย์ระเหยง่าย

1. นำตัวอย่างพืชที่เก็บจากข้อ 3.2.2 ประมาณ 0.1 กรัม บรรจุลงในขวดแก้วขนาด 20 มิลลิลิตร และปิดผนึกด้วยฝายางคลอบด้วยแผ่นอลูมิเนียม จากนั้นนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาน้ำหนักพืชดังสมการ

   น้ำหนักพืช = น้ำหนักภาชนะที่ปิดผนึกที่บรรจุพืชไว้ – น้ำหนักภาชนะเปล่า

2. นำตัวอย่างไปให้ความร้อนด้วยเครื่อง Headspace GC Auto Sampler ตามสภาวะดังนี้

Platen Temperature	70°C
Sample Loop Temperature	80°C
Line Temperature	250°C
Plat Equillizer	1 นาที
Sample Equillizer	15 นาที
Pressurize	0.4 นาที
Press Equillizer	0.25 นาที
Loop Fill	0.40 นาที
Loop Equillizer	0.25 นาที
Inject	3 นาที

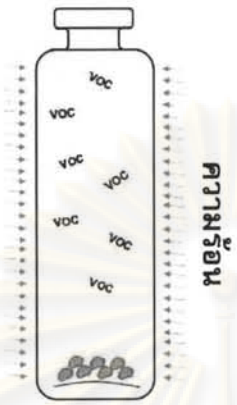
3. ชั้นแก๊สที่ได้จากการให้ความร้อนดังภาพที่ 3.1 จะถูกส่งต่อไปตรวจสอบชนิดและปริมาณด้วยเครื่อง GC-MS โดยใช้คอลัมน์ DB-5 มีความหนาของชั้นฟิลม์ 0.25 µm ยาว 30 m เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 mm และจะให้แก๊ส Helium 1 ml/min เป็นแก๊สพาหะ วิเคราะห์ตามสภาวะดังนี้

   ขั้นที่ 1 ให้อุณหภูมิ 40°C นาน 5 นาที
   ขั้นที่ 2 เพิ่มอุณหภูมิ 5°C ต่อนาที นาน 38 นาที (จนถึง 230°C)
   ขั้นที่ 3 คงอุณหภูมิที่ 230°C นาน 5 นาที

4. ใช้วิธีการให้สารแตกตัวเป็นไอออนด้วยการกระแทกด้วยอิเล็กตรอน (Electron Impact Ionization)* จากนั้นระบุชนิดสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล National institute of standard and technology (NIST) library spectra ร่วมกับ Terpene library search และตรวจสอบข้อมูลจากหนังสือรวบรวมแมสสเปกตรัมของน้ำมันหอมระเหย (Adams, 2007) ตรวจสอบปริมาณของสารที่ตรวจพบด้วยการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟด้วยโปรแกรม Varian Saturn GC-MS Version 5.2 โดยจะรายงานปริมาณของสารที่ตรวจพบเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้กราฟต่อน้ำหนัก

* Electron Impact Ionization เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในเครื่อง mass spectroscopy เพื่อเป็นการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นชิ้นส่วนที่เล็กลงและมีความเป็นประจุ ก่อนที่จะนำไปตรวจสอบถึงมวลของสารตัวอย่าง

$$\text{ปริมาณของสารที่ตรวจพบ (หน่วย/กรัม)} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ}}{\text{น้ำหนักสด (กรัม)}}$$



ภาพที่ 3.1 ขวดแก้วที่บรรจุตัวอย่างขณะได้รับความร้อน

5. คำนวณหาค่าดัชนีความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืชโดยใช้สมการของ Snannon-Wiener (Krebs, 1999) (ภาคผนวก) มาประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืชแต่ละชนิด

3.2.4 สำรวจปริมาณและกลุ่มแมลงในจุดที่ศึกษา

1. ติดตั้งกาวดักแมลง นำแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดมาตัดให้ได้ขนาด 22 x 22 เซนติเมตร และทากาวดักแมลงให้ทั่วแผ่นนำไปติดในจุดที่ศึกษาทั้ง 15 จุด (เป็นจุดที่คัดเลือกมาจากข้อ 3.2.1) จุดละ 3 แผ่น ทำการวางกับดักกาวเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง

2. จำแนกกลุ่มแมลงตามวงศ์ต่างๆ และนับจำนวนแมลงที่พบในแต่ละวงศ์ในทุกพื้นที่ศึกษา

นำกับดักกาวที่ผ่านการดักแมลงแล้วมาศึกษาลักษณะสัญฐานวิทยาภายใต้แว่นขยาย และภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (Stereo microscope) เพื่อใช้ในการจำแนกกลุ่มแมลงตามวงศ์ ตรวจสอบวงศ์ของแมลงให้ถูกต้องโดยอาศัยเอกสารกีฏอนุกรมวิธานจากหนังสือบทปฏิบัติการ กีฏวิทยาเบื้องต้น ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2542 และสื่อสารสนเทศอื่นๆ

3.2.5 ระบุชนิดพืชที่คาดว่ามีสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีผลขับไล่หรือดึงดูดแมลง

คัดเลือกพืชที่ตรวจสอบจากข้อ 3.2.3 ที่มีชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายตรงกับสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจพบในอากาศจากการทดลองเบื้องต้น (Chokratin และคณะ,

2008) และพืชที่มีปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูง เพื่อนำมาทดสอบถึงปฏิสัมพันธ์กับแมลงที่อยู่ในธรรมชาติ

3.2.6 **ตรวจสอบผลของสารสกัดน้ำมันหอมระเหย** (volatile oil extraction) **จากพืชที่ระบุได้ในข้อ** 3.2.5 **ต่อแมลง**

1. สกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืช ด้วยวิธี hydrodistillation โดยการหั่นตัวอย่างใบพืชสดให้มีขนาดเล็กลงใส่ลงในขวดก้นกลมและใส่น้ำประปาให้พอท่วมตัวอย่าง พร้อมทั้งต่อเข้ากับชุดหอกลั่นให้ความร้อนจนเดือดด้วยหม้อต้มไฟฟ้า กลั่นต่อหลังจากเดือดเป็นระยะเวลา 30 นาที เก็บน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ลงในหลอดไมโครเซนตริฟิวจ์ขนาด 1.5 มิลลิลิตร ปิดฝาพร้อมทั้งพันด้วยพาราฟิล์ม

2. ศึกษาผลของสารสกัดน้ำมันหอมระเหยที่มีผลต่อแมลง โดยวางกับดักแมลงเช่นเดียวกับข้อ 3.2.4 เพื่อเป็นชุดควบคุมเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในจุดเดียวกับที่วางชุดควบคุม นำสารสกัดน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากข้อ 3.2.6 มาบรรจุใส่หลอดไมโครเซนตริฟิวจ์ขนาด 1.5 มิลลิลิตร ที่ภายในบรรจุสำลี จากนั้นนำหลอดดังกล่าวไปใส่กลางแผ่นดักแมลง และทำการดักแมลงเช่นเดียวกับข้อ 3.2.4 หลังจากเก็บชุดควบคุมแล้ว

3. เปรียบเทียบปริมาณแมลงในวงศ์ต่างๆ ในชุดควบคุมและชุดทดสอบโดยใช้การวิเคราะห์ตามหลักสถิติแบบ t-test

3.2.7 **วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลและเขียนวิทยานิพนธ์**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

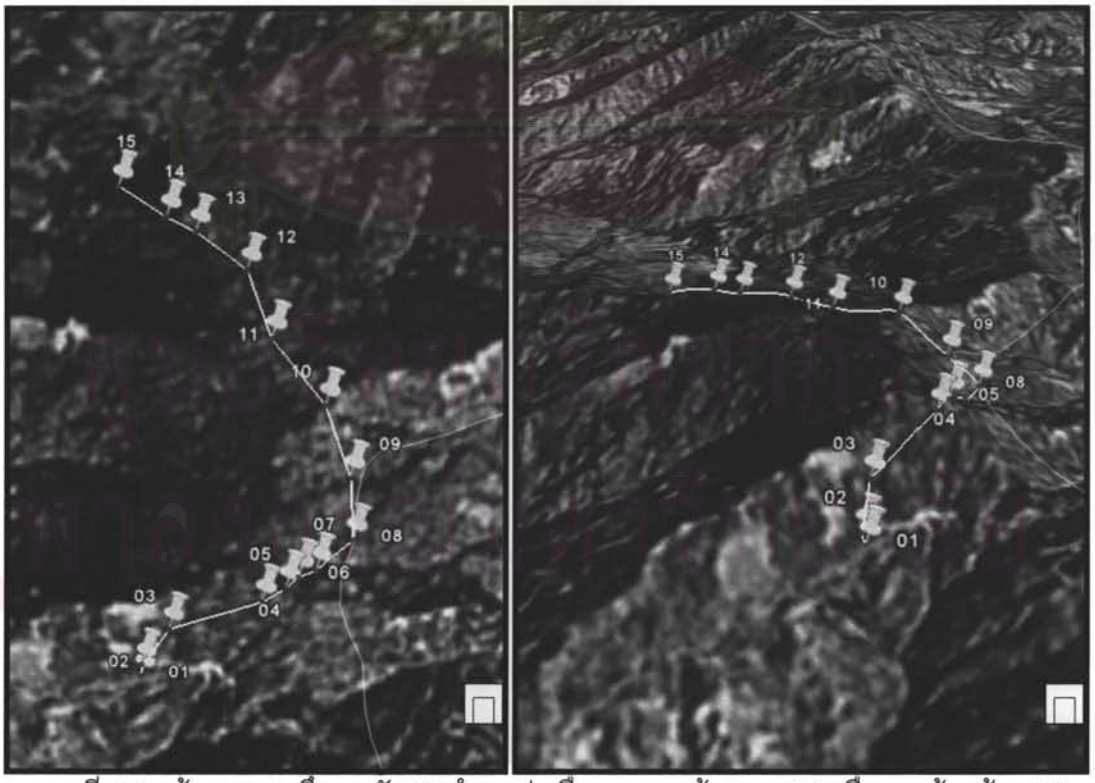
4.1 สำรวจพื้นที่และวางตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง

จากการสำรวจพื้นที่ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคาซึ่งอยู่ทางตอนบนของจังหวัดน่าน อุทยานแห่งชาติดอยภูคา มีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 1,800 เมตร มีลักษณะเป็นภูเขาสูงชันสลับกับไหล่เขา ความหลากหลายของพันธุ์ไม้จะเปลี่ยนแปลงไปตลอดเส้นทางศึกษา ในการทดสอบเบื้องต้นของ Chokratin และคณะ (2008) เพื่อศึกษาปริมาณและชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศ กำหนดจุดสังเกต 34 ตำแหน่ง มีพิกัดอยู่ระหว่าง 19 องศาเหนือ 10 ลิปดา 53.9 พิลิปดา ถึง 19 องศาเหนือ 12 ลิปดา 11.50 พิลิปดา และ 101 องศาตะวันออก 5 ลิปดา 58.20 พิลิปดา ถึง 101 องศาตะวันออก 6 ลิปดา 33.40 พิลิปดา และได้คัดเลือกตำแหน่งที่มีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศสูงสุด 15 ตำแหน่ง เป็นพื้นที่ศึกษา (ตารางที่ 4.1) เส้นทางศึกษาระหว่างจุดที่ 1 ถึงจุดที่ 15 คิดเป็นเส้นทางกระจัดประมาณ 3.3 กิโลเมตร โดยที่แต่ละจุดมีพิกัดและความสูงจากระดับน้ำทะเล ดังตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าจากจุดศึกษาทั้ง 15 จุด จุดที่มีความสูงน้อยที่สุดคือจุดที่ 1 มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 1,544 เมตร ซึ่งห่างจากจุดที่ 8 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีระดับความสูง 1,926 เมตร อยู่ 382 เมตร โดยที่จากจุดที่ 1 ถึงจุดที่ 4 จะมีความชันของภูเขามากทำให้ระดับความสูงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว คือจาก 1,544 เมตร เป็น 1,806 เมตร และระดับความสูงจะเพิ่มขึ้นไม่มากในระหว่างจุดที่ 6 ถึงจุดที่ 10 อยู่ระหว่าง 1,876 เมตร ถึง 1,849 เมตร โดยตั้งแต่ที่จุดศึกษาที่ 8 (มีระดับสูงสุดใน 15 จุด) ระดับความสูงจะค่อยๆ ลดต่ำลงเรื่อยๆ จนถึงจุดที่ 15 ที่ระดับความสูง 1,666 เมตร จากระดับน้ำทะเล ซึ่งเป็นจุดสุดท้ายของพื้นที่ศึกษา ดังภาพที่ 4.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 พิกัดที่มีปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศสูง 15 ตำแหน่ง และระดับความสูงจากน้ำทะเลของแต่ละตำแหน่ง

ตำแหน่งที่	พิกัดภูมิศาสตร์		ความสูงจากระดับน้ำทะเล (เมตร)
1	N 019° 11'00.10"	E 101° 05'59.60"	1,544
2	N 019° 11'01.90"	E 101° 05'59.90"	1,632
3	N 019° 11'08.00"	E 101° 06'04.70"	1,759
4	N 019° 11'12.70"	E 101° 06'19.30"	1,806
5	N 019° 11'14.70"	E 101° 06'22.90"	1,812
6	N 019° 11'16.30"	E 101° 06'24.90"	1,876
7	N 019° 11'17.10"	E 101° 06'27.60"	1,913
8	N 019° 11'21.30"	E 101° 06'33.20"	1,926
9	N 019° 11'30.50"	E 101° 06'32.80"	1,910
10	N 019° 11'40.90"	E 101° 06'28.90"	1,849
11	N 019° 11'50.70"	E 101° 06'20.77"	1,815
12	N 019° 12'00.80"	E 101° 06'16.80"	1,804
13	N 019° 12'06.50"	E 101° 06'08.90"	1,772
14	N 019° 12'08.50"	E 101° 06'04.40"	1,712
15	N 019° 12'13.10"	E 101° 05'56.78"	1,666



ภาพที่ 4.1 เส้นทางการศึกษาทั้ง 15 ตำแหน่งเมื่อมองจากด้านบน (ก) หรือจากด้านข้าง (ข)

จากการสอบถามข้อมูลปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2551 จากเจ้าหน้าที่อุทยานพบว่าเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนสูงสุดในแต่ละปีจะอยู่ในช่วง เดือนสิงหาคม และเดือนกันยายน (507.5 - 671.6 มม.) ในปี พ.ศ. 2551 ปริมาณน้ำฝนสูงสุดอยู่ในเดือนสิงหาคม ที่ระดับ 798.5 มม. ซึ่งมีระดับสูงที่สุดในช่วงระยะการทดสอบ (ภาพที่ 4.2)

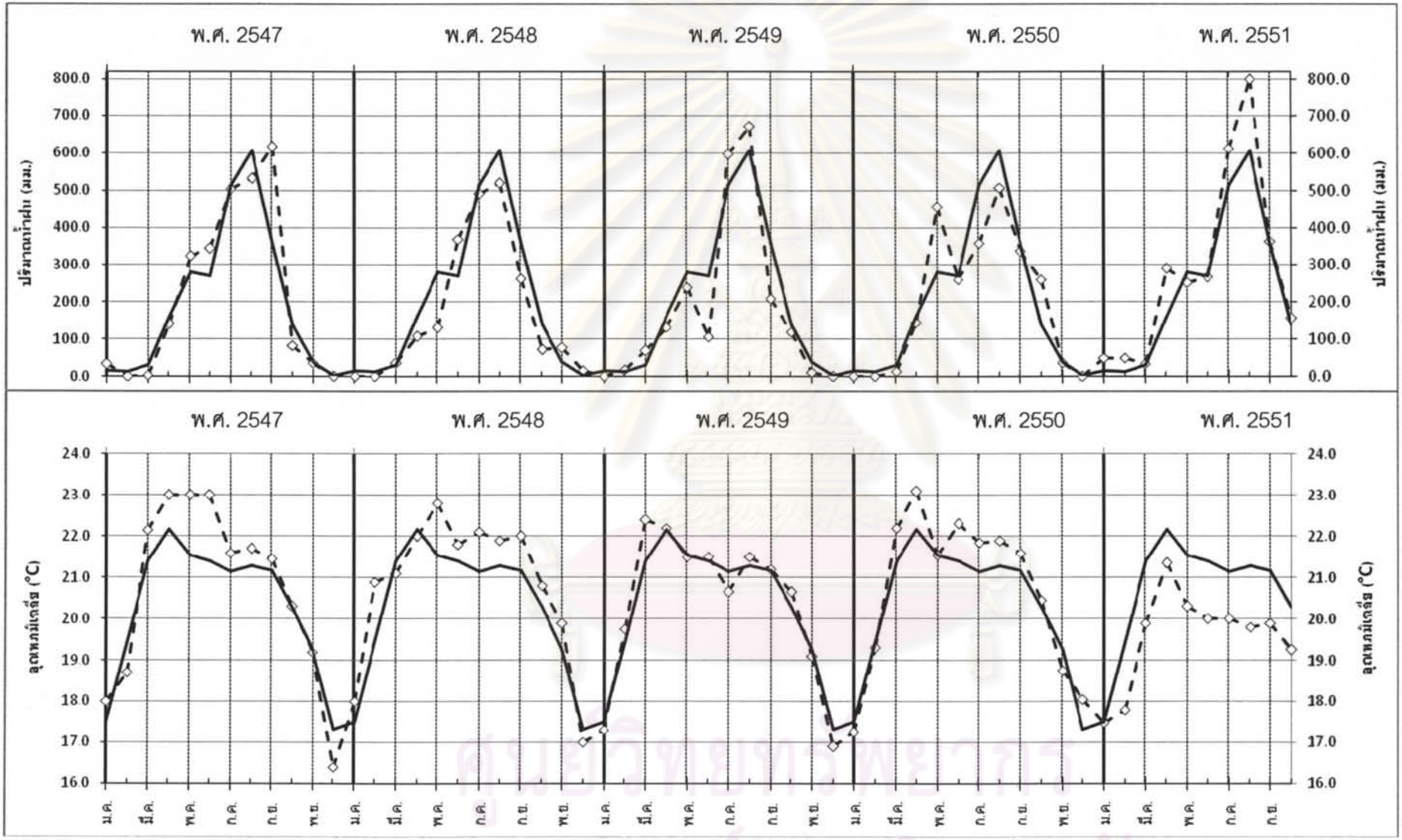
ปริมาณน้ำฝนใน 1 ปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2551 อยู่ในช่วง 2,082.4 มม. ถึง 2,878.9 มม. โดยปีที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุดคือ พ.ศ. 2548 และมากที่สุดคือ ในปี พ.ศ. 2551 (ตารางที่ 4.2) โดยจำนวนวันที่มีฝนตก 0.1 มม. ต่อปีนั้นไม่ขึ้นกับปริมาณน้ำฝนในหนึ่งปี

ตารางที่ 4.2 จำนวนวันที่มีปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ 0.1 มม. ขึ้นไปและปริมาณน้ำฝนต่อปี (มม.) ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2551

ปีพ.ศ.	จำนวนวันที่มีฝนตกตั้งแต่ 0.1 มม. ขึ้นไป (ต่อปี)	ปริมาณน้ำฝนต่อปี (มม.)
2547	136 วัน	2,617.8
2548	155 วัน	2,082.4
2549	128 วัน	2,174.0
2550	155 วัน	2,374.8
ม.ค.-ต.ค. 2551	155 วัน	2,878.9

อุณหภูมิเฉลี่ยตั้งแต่ เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2551 อยู่ในช่วง 22.4°C ถึง 23.1°C โดยร้อนที่สุดในเดือนเมษายน พ.ศ. 2550 ในปี พ.ศ. 2547-2549 พบว่าเดือนที่อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดคือเดือนธันวาคม โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในช่วง 16.4°C ถึง 17°C ส่วนในปี พ.ศ. 2550 และปี พ.ศ. 2551 พบว่าเดือนที่อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ เดือนมกราคม โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 17.25°C และ 17.5°C ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.2 ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเฉลี่ย (--◇--) เทียบกับค่าฉลี่ย (——) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2551 (ข้อมูลจากเจ้าหน้าอุทยานแห่งชาติ

4.2 เก็บตัวอย่างพืชและระบุชนิดพืชที่คาดว่ามีสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นองค์ประกอบ

จากการเก็บตัวอย่างพืชที่คาดว่าเป็นชนิดที่มีการสร้างสารอินทรีย์ระเหยง่ายหรือเป็นชนิดที่มีจำนวนมากในตำแหน่งที่ศึกษา บริเวณดงหญ้าหวาย อุทยานแห่งชาติดอยภูคา จังหวัดน่าน สามารถเก็บตัวอย่างพืชได้ 17 ชนิด (ตารางที่ 4.3) โดยแบ่งเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ 4 ชนิด ได้แก่ อบเชย ตะไคร้ต้น จำปีป่า และลำปาง ไม้ยืนต้นขนาดเล็ก 6 ชนิด ได้แก่ ตาเป็ด เกล็ดแดง ระฆังทอง เข็ม แข้งกวาง และมะมาด พืชล้มลุก 5 ชนิด ได้แก่ ขิงป่า ส้มกุ้ง ชะอ้นป่า เอนอ้า และสาปหมา ไม้เลื้อย 2 ชนิด ได้แก่ ส้มกุ้งเถา และลิ้นมังกร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 พืชที่ใช้ในการวิเคราะห์ชนิด และปริมาณของสารประกอบต่างๆ

ชื่อพืช	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง	ตัวอย่าง
ชิงป่า	*Alpinia* sp.	Zingiberaceae	ฤดูหนาว พ.ศ. 2550 พ.ศ. 2551 และ ฤดูร้อน พ.ศ. 2550	S34, S57, S74
ตาเป็ด	*Ardisia quinquegana* Blume.	Myrsinaceae	ฤดูหนาว พ.ศ. 2550 พ.ศ. 2551 และ ฤดูร้อน พ.ศ. 2550	S27, S54, S68, S77
ส้มกุ้ง	*Begonia inflate* C.B.Clarke.	Begoniaceace	ฤดูหนาว พ.ศ. 2549 พ.ศ. 2550 พ.ศ. 2551 และ ฤดูร้อน พ.ศ. 2550	S14, S29, S49, S85
อบเชย	*Cinnamomum inner* BL.	Lauraceae	ฤดูหนาว พ.ศ. 2549 พ.ศ. 2550 และ พ.ศ. 2551	S7, S53, S67
เกล็ดแดง	*Decarpermum fruhricosum*	Myrtaceae	ฤดูหนาว พ.ศ. 2549 พ.ศ. 2551 และ ฤดูร้อน พ.ศ. 2550	S6, S25, S75
ชะอ้นป่า	*Elsholtzia blanda* (Benth.) Benth.	Lamiaceae	ฤดูหนาว พ.ศ. 2549 พ.ศ. 2550 และ พ.ศ. 2551	S9, S48, S70
ส้มกุ้งเถา	*Embelia* sp.	Myrsinaceae	ฤดูหนาว พ.ศ. 2549 พ.ศ. 2550 พ.ศ. 2551 และ ฤดูร้อน พ.ศ. 2550	S15, S31, S43, S84
สาบหมา	*Eupotorium* sp.	Asteraceae	ฤดูหนาว พ.ศ. 2549 พ.ศ. 2550 และ ฤดูร้อน พ.ศ. 2550	S10, S26, S51
ระมังทอง	*Impatiens* sp.	Balsaminaceae	ฤดูหนาว พ.ศ. 2549 พ.ศ. 2551 และ ฤดูร้อน พ.ศ. 2550	S5, S24, S86
ตะไคร้ต้น	*Litsea cubeba*	Lauraceae	ฤดูหนาว พ.ศ. 2549 พ.ศ. 2550 พ.ศ. 2551 และ ฤดูร้อน พ.ศ. 2550	S11, S36, S40, S72
จำปีป่า	*Magnolia* sp.	Magnoliaceae	ฤดูหนาว พ.ศ. 2549 พ.ศ. 2550 และ ฤดูร้อน พ.ศ. 2550	S16, S30, S42
เอนอ้า	*Osbeckia* sp.	Melastomaceae	ฤดูหนาว พ.ศ. 2549 พ.ศ. 2550 พ.ศ. 2551 และ ฤดูร้อน พ.ศ. 2550	S33, S46, S60, S76
เข็ม	*Pavetta indica* Linn.	Rubiaceae	ฤดูหนาว พ.ศ. 2550	S50
ลำปาง	*Pterospermum* sp.	Sterculiaceae	ฤดูหนาว พ.ศ. 2549 พ.ศ. 2550 พ.ศ. 2551 และ ฤดูร้อน พ.ศ. 2550	S1, S20, S47, S83
ลิ้นมังกร	*Thunbergia* sp.	Thenbergiaceae	ฤดูหนาว พ.ศ. 2549 พ.ศ. 2551 และ ฤดูร้อน พ.ศ. 2550	S2, S21, S78
แข้งกวาง	*Wendlandia tinctoria* (Roxb.) DC.	Rubiaceae	ฤดูหนาว พ.ศ. 2550 และ พ.ศ. 2551	S65, S69
มะมาด	*Zanthoxylum acanthopodium* DC.	Rutaceae	ฤดูหนาว พ.ศ. 2549 พ.ศ. 2550 พ.ศ. 2551 และ ฤดูร้อน พ.ศ. 2550	S8, S37, S52, S73

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

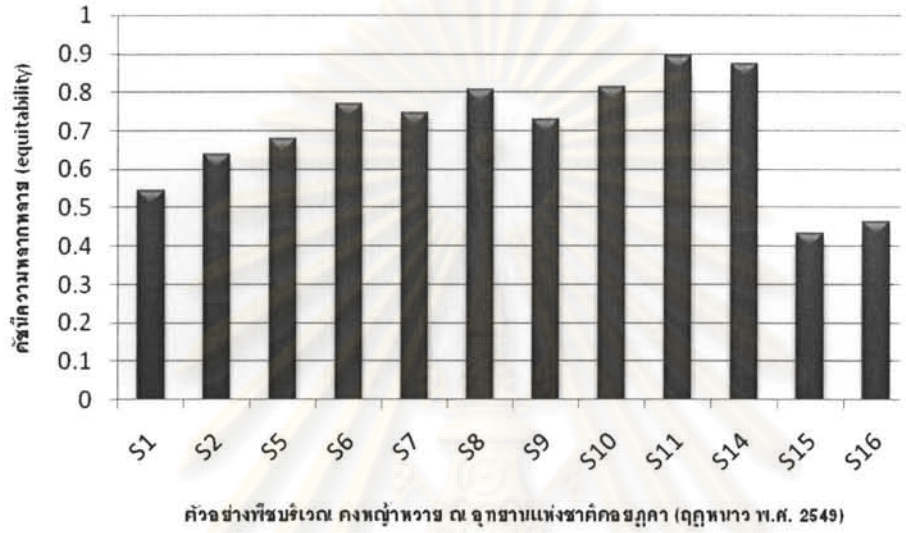
4.3 ตรวจสอบปริมาณและชนิดสารอินทรีย์ระเหยง่าย

จากการนำตัวอย่างพืชทั้ง 17 ชนิด ไปวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบชนิดและปริมาณของสารประกอบ พบว่าในพืชแต่ละชนิดมีรูปแบบของสารประกอบที่วัดได้แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างของสารที่ตรวจสอบได้จากพืชกับฐานข้อมูล [National institute of standard and technology (NIST) library spectra ร่วมกับ Terpene library search และหนังสือรวบรวมแมสสเปกตรัมของน้ำมันหอมระเหย] จากผลการตรวจสอบพบสารกลุ่ม terpene terpenoid และสารประกอบกลุ่มอื่นๆ สารในกลุ่ม terpene และ terpenoid เป็นส่วนหนึ่งของสารอินทรีย์ระเหยง่ายและยังเป็นสารที่เป็นส่วนประกอบหลักในพืช ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณสารอยู่ในช่วง 20-70% ของปริมาณสารทั้งหมดในพืชชนิดนั้นๆ เช่น *Elsholtzia blanda* (Benth.) Benth. (S9) (ภาคผนวก) มีสารหลักดังนี้ 1,8-cineole 26.53% Camphor 22.69% และ sylvestrene 21.94% และในพืช *Magnolia* sp. (S16) มีสารหลักเป็น (*E*)-2-Hexenal 66.53% (ภาคผนวก) ในการเปรียบเทียบปริมาณสารในพืชต่างชนิดกันนั้น ใช้พื้นที่ใต้กราฟ/น้ำหนักพืชที่ใช้วิเคราะห์ เช่น *Litsea cubeba* (S11) มีปริมาณของ α-thujene อยู่ที่ 3.56×10^7 หน่วย และใน *Eupotorium* sp. (S10) มีปริมาณของ α-thujene อยู่ที่ 3.33×10^6 จะเห็นได้ว่าปริมาณสารต่อน้ำหนักของ *L. cubeba* นั้นมีมากกว่าถึงประมาณ 10.6 เท่า (ภาคผนวก) ซึ่งข้อมูลของสารที่ตรวจพบในพืชเป็นการตรวจสอบเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการคัดเลือกพืชสำหรับใช้ในการทดสอบถึงผลของสารสกัดระเหยง่าย

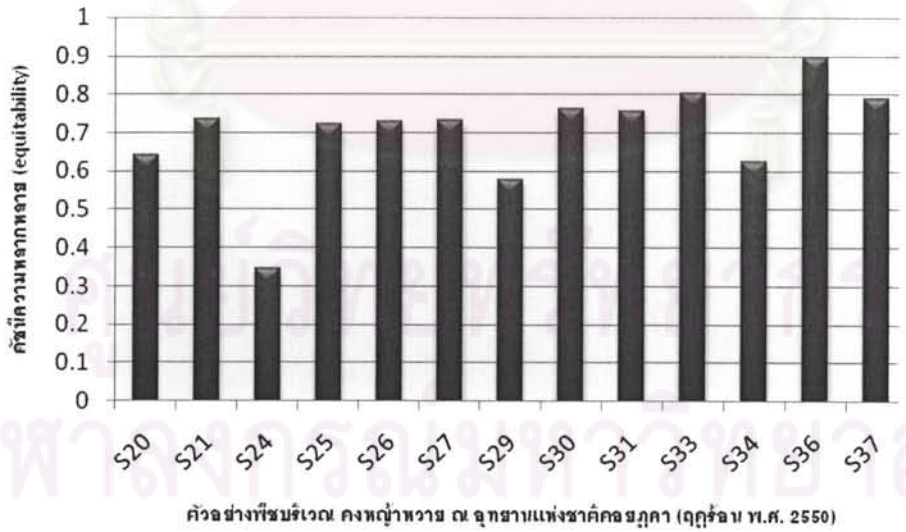
จากการตรวจชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพืช พบพืชแต่ละชนิดมีความหลากหลายทั้งชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่าย และครั้งที่เก็บตัวอย่าง (ภาคผนวก) ซึ่งการจะเปรียบเทียบถึงความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพืชแต่ละชนิดนั้นต้องอาศัยเครื่องมือเพื่อช่วยให้การเปรียบเทียบสะดวกและง่ายต่อการเข้าใจ ซึ่งสมการของ Shannon-Wiener (Krebs, 1999) (ภาคผนวก) เป็นสมการที่ใช้ในการวัดค่าความหลากหลายของชนิดพันธุ์ ซึ่งสามารถนำมาใช้คำนวณค่าความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพืชได้โดยให้ชนิดพันธุ์เปรียบได้เป็นชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพืช โดยที่ค่าที่ได้จะอยู่ในช่วง 0-1 ซึ่ง 0 จะหมายถึงมีความหลากหลายของสารต่ำที่สุดและ 1 จะหมายถึงมีความหลากหลายของสารสูงที่สุด จากการศึกษาพบว่าในฤดูหนาว พ.ศ. 2549 พืชที่มีความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายมากที่สุดคือ *Litsea cubeba* S(11) ที่ 0.89 และน้อยที่สุดคือ *Embelia* sp. S(15) ที่ 0.43 (ภาพที่ 4.3) และในฤดูร้อน พ.ศ. 2550 พืชที่มีความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายมากที่สุดคือ

Litsea cubeba (S36) ที่ 0.89 และน้อยที่สุดคือ *Impatiens* sp. (S24) ที่ 0.34 (ภาพที่ 4.4) ฤดูหนาว พ.ศ. 2550 พืชที่มีความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายมากที่สุดคือ *Magnolia* sp. (S42) ที่ 0.85 และที่น้อยที่สุดคือ *Pterospermum* sp. (S47) และ *Pavetta induca* Linn. (S50) ซึ่งไม่มีความหลากหลายเลย (ภาพที่ 4.5) พืชทั้งสองชนิดนี้พบว่าจะการตรวจสอบชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายพบสารอินทรีย์ระเหยง่ายเพียง 1 ชนิดในแต่ละชนิดพืช (ภาคผนวก) และในฤดูหนาว พ.ศ. 2551 พืชที่มีความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายมากที่สุดคือ *Begonia inflate* C.B.Clarke (S85) ที่ 0.94 และที่น้อยที่สุดคือ *Thunbergia* sp. (S78) ที่ 0.51 (ภาพที่ 4.6) นอกจากนี้พืชหลายชนิดที่เก็บตัวอย่างแตกต่างกันในแต่ละครั้ง พบถึงค่าดัชนีความหลากหลายที่ใกล้เคียงกันเช่น *Zanthoxylum acanthopodium* (S8 S37 และ S73) มีค่าที่ใกล้เคียงกัน (ประมาณ 0.8) เป็นต้น แต่ในการเก็บตัวอย่างในฤดูหนาว พ.ศ.2550 ของ *Z. acanthopodium* (S52) ได้ค่าที่น้อยกว่าทุกครั้ง

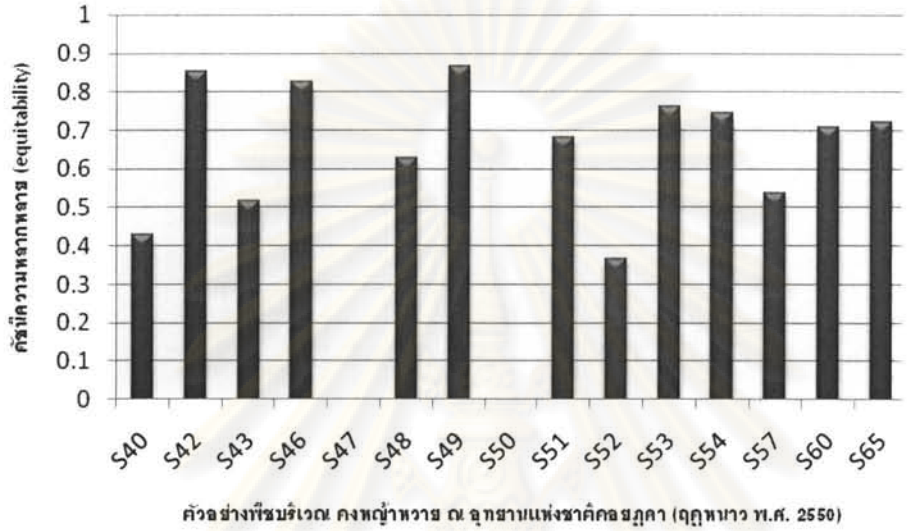
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



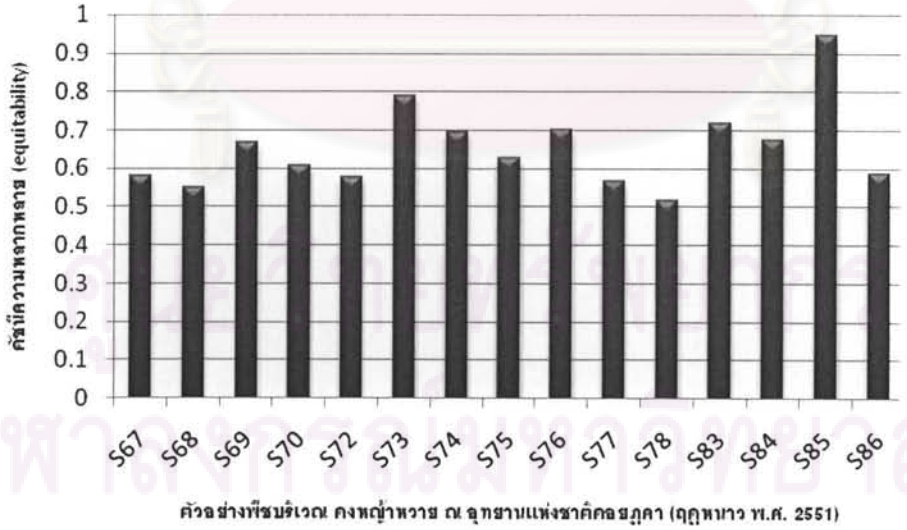
ภาพที่ 4.3 ดัชนีความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืชแต่ละชนิดบริเวณ ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา (ฤดูหนาว พ.ศ. 2549)



ภาพที่ 4.4 ดัชนีความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืชแต่ละชนิดบริเวณ ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา (ฤดูร้อน พ.ศ. 2550)



ภาพที่ 4.5 ดัชนีความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืชแต่ละชนิดบริเวณ ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา(ฤดูหนาว พ.ศ. 2550)



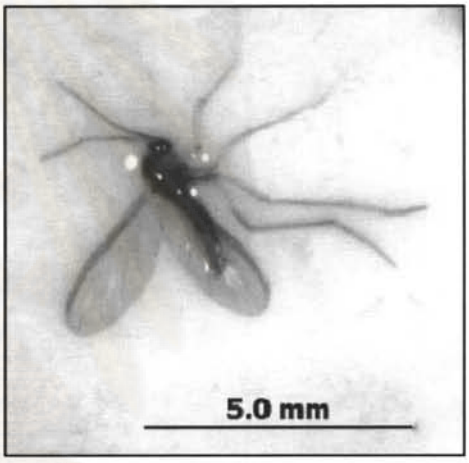
ภาพที่ 4.6 ดัชนีความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืชแต่ละชนิดบริเวณ ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา (ฤดูหนาว พ.ศ. 2551)

4.4 การสำรวจปริมาณและกลุ่มแมลงในจุดที่ศึกษา

จากการตรวจสอบแมลงในทุกจุดศึกษาพบว่าแมลงที่สามารถดักได้นั้นจะแบ่งได้เป็น 4 อันดับหลัก คือ อันดับ Diptera Hymenoptera Homoptera และ Coleoptera (ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542) ซึ่งมีรายละเอียดและตัวอย่างของแมลงดังต่อไปนี้

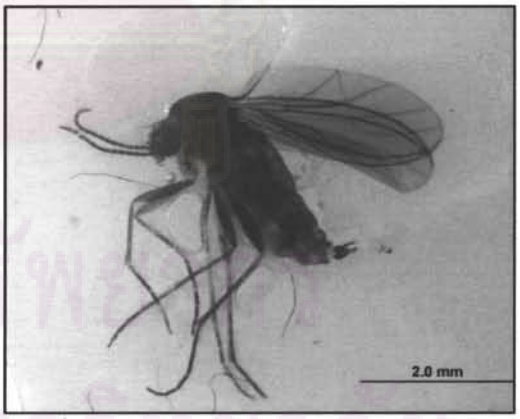
อันดับ Diptera จัดเป็นอันดับที่มีจำนวนแมลงมากเป็นอันดับที่ 4 ของแมลง แมลงในอันดับนี้โดยทั่วไปได้แก่ แมลงวัน ยุง บั่ว ริ้นไร ซึ่งพบมีอยู่มากมายและพบทั่วไปทุกแห่ง ลักษณะเด่นของแมลงในอันดับนี้คือ ถ้ามีปีกจะมีปีกเพียงหนึ่งคู่เท่านั้น โดยทั่วไปแมลงในอันดับจะมีขนาดค่อนข้างเล็ก มีลำตัวที่อ่อนนุ่ม ตัวอย่างแมลงในอันดับนี้ที่สามารถดักได้ (ภาพที่ 4.7-4.8)

Order Diptera
Suborder Nematocera
Superfamily Culicoidea
Family Culicidae



ภาพที่ 4.7 แมลงในวงศ์ Culicidae

Order Diptera
Suborder Brachycera
Superfamily Tabanoidea
Family Rhagionidae



ภาพที่ 4.8 แมลงในวงศ์ Rhagionidae

อันดับ Hymenoptera แมลงในอันดับ Hymenoptera ประกอบไปด้วยแมลงจำนวนมาก เป็นอันดับ 3 มีการวิเคราะห์แล้วไม่ต่ำกว่า 130,000 ชนิด มีทั้งตัวห้ำ ตัวเบียน แมลงศัตรูพืช และยังมีกลุ่มผึ้ง ซึ่งสำคัญในการช่วยผสมเกสรให้แก่พืช ในแง่ลักษณะโครงสร้างลำตัวจะพบว่ามี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

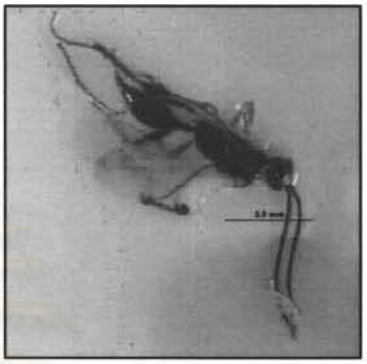
วิวัฒนาการใกล้เคียงกับอันดับ Diptera ลักษณะเด่นของแมลงอันดับนี้คือ มักจะมีปีก 2 คู่ ตัวอย่างแมลงในอันดับนี้ที่สามารถดักได้ (ภาพที่ 4.9-4.10)

Order Hymenoptera

Suborder Apocrita

Superfamily Ichnumonoidea

Family Braconidae



ภาพที่ 4.9 แมลงในวงศ์ Braconida

Order Hymenoptera

Suborder Apocrita

Superfamily Ichnumonoidea

Family Ichneumonidae

ภาพที่ 4.10 แมลงในวงศ์ Ichneumonidae

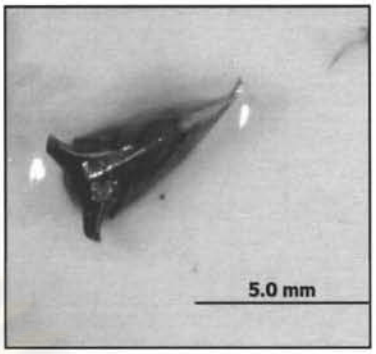
อันดับ Homoptera อันดับนี้ประกอบไปด้วยแมลงกลุ่มใหญ่ที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับอันดับ Hemiptera (พวกมวนชนิดต่างๆ) แต่จากลักษณะเด่นของอันดับ Homoptera ที่มีเนื้อปีกคู่หน้าเป็นเนื้อเดียวกันตลอดปีก และตำแหน่งของฐานที่ตั้งของจงอยปากจะออกจากส่วนท้ายของหัว จึงต่างจากพวกมวนซึ่งเนื้อปีกถูกแบ่งเป็นสองส่วน และปากก็มีที่ตั้งอยู่ส่วนหน้าของหัว แมลงในอันดับ Homoptera นี้ส่วนใหญ่เป็นพวกที่ดูดกินน้ำเลี้ยงพืช มีหลายชนิดเป็นศัตรูสำคัญร้ายแรงกับพืชเศรษฐกิจ บางชนิดเป็นพาหะนำโรคพืช แต่มีบางชนิดที่เป็นแมลงมีประโยชน์เช่น ครั่ง แมลงในอันดับนี้ ได้แก่ จักจั่น เพลี้ยต่างๆ แมลงหวี่ขาว ฯลฯ มีแมลงที่ได้วิเคราะห์ชื่อแล้วประมาณ 45,000 ชนิด ตัวอย่างแมลงในอันดับนี้ที่สามารถดักได้ (ภาพที่ 4.11-4.13)

Order Homoptera

Suborder Auchenorrhyncha

Superfamily Cicadoidea

Family Membracidae



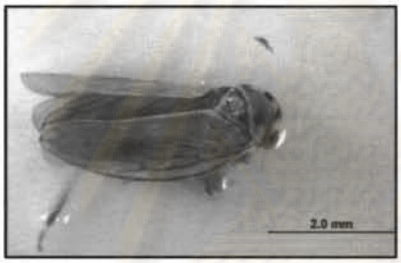
ภาพที่ 4.11 แมลงในวงศ์ Membracidae

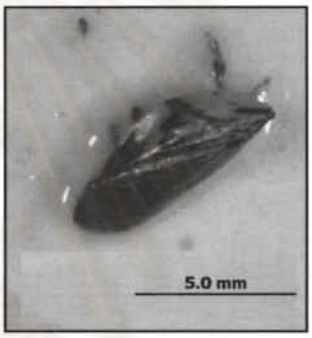
Order Homoptera

Suborder Auchenorrhyncha

Superfamily Cicadoidea

Family Cercopidae





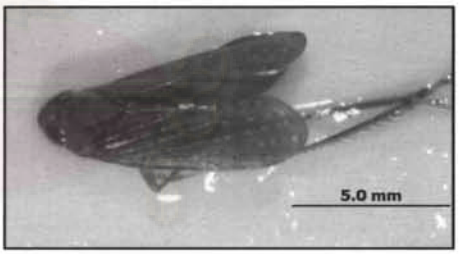
ภาพที่ 4.12 แมลงในวงศ์ Cercopidae

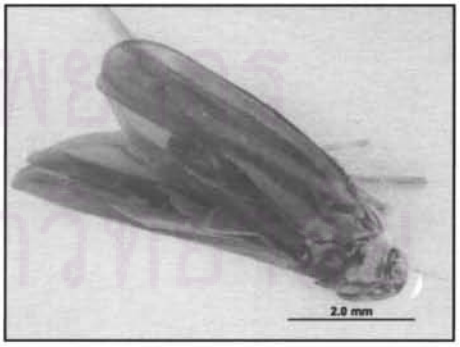
Order Homoptera

Suborder Auchenorrhyncha

Superfamily Cicadoidea

Family Cicadellidae





ภาพที่ 4.13 แมลงในวงศ์ Cicadellidae

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

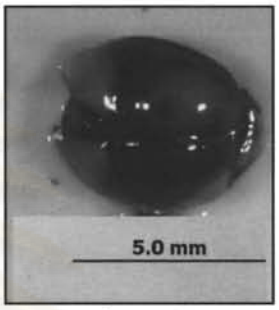
อันดับ Coleoptera ในอันดับแมลงนี้มีจำนวนชนิดของแมลงมากที่สุด มีปริมาณถึง 40% ของแมลงที่ได้วิเคราะห์แล้วทั่วโลก ตัวอย่างแมลงในอันดับนี้ได้แก่ ด้วง มอด หรือแมลงปีกแข็ง ลักษณะเด่นสำหรับแมลงในอันดับนี้ก็คือ ปีกคู่หน้าที่มีความแข็งใกล้เคียงกับลำตัว เป็นแมลงที่พบได้ทั่วไป ตัวอย่างแมลงในอันดับนี้ที่สามารถดักได้ (ภาพที่ 4.14-4.15)

Order Coleoptera

Suborder Polyphaga

Superfamily Chrysomeloidea

Family Chrysomelidae



ภาพที่ 4.14 แมลงในวงศ์ Chrysomelidae

Order Coleoptera

Suborder Adephaga

Family Carabidae

ภาพที่ 4.15 แมลงในวงศ์ Carabidae

ในฤดูหนาวปี พ.ศ. 2548 สามารถดักแมลงในอันดับ Diptera ได้ในทุกตำแหน่งและมีจำนวนมากในตำแหน่งที่ 1 2 10 และ 15 โดยที่ตำแหน่งที่ 15 มีจำนวนมากที่สุดคือ 98 ตัว ส่วนแมลงในอันดับอื่นๆ นั้นพบว่ามีจำนวนน้อยกว่าอันดับ Diptera โดยเฉพาะในตำแหน่งที่ 6 ไม่สามารถดักแมลงในอันดับ Homoptera ได้เลย (ภาพที่ 4.16)

ในฤดูร้อนปี พ.ศ. 2549 ในตำแหน่งที่ 9 พบแมลงในอันดับ Diptera มากที่สุดคือ 93 ตัว ในอันดับ Hymeoptera พบได้มากที่สุดที่ตำแหน่งที่ 5 ที่ 31 ตัว อันดับ Homoptera พบว่ามีจำนวนที่สามารถดักมากที่สุดในตำแหน่งที่ 8 ส่วนแมลงในอันดับ Coleoptera นั้นพบว่ามีจำนวนแตกต่างกันไม่มากนักใน 15 จุด ในตำแหน่งที่ 11 พบว่าแมลงที่ดักได้นั้นมีภาพรวมน้อยที่สุดคือ อันดับ Diptera 6 ตัว อันดับ Hymenoptera 7 ตัว อันดับ Homoptera 7 ตัว และอันดับ Coleoptera 6 ตัว (ภาพที่ 4.17)

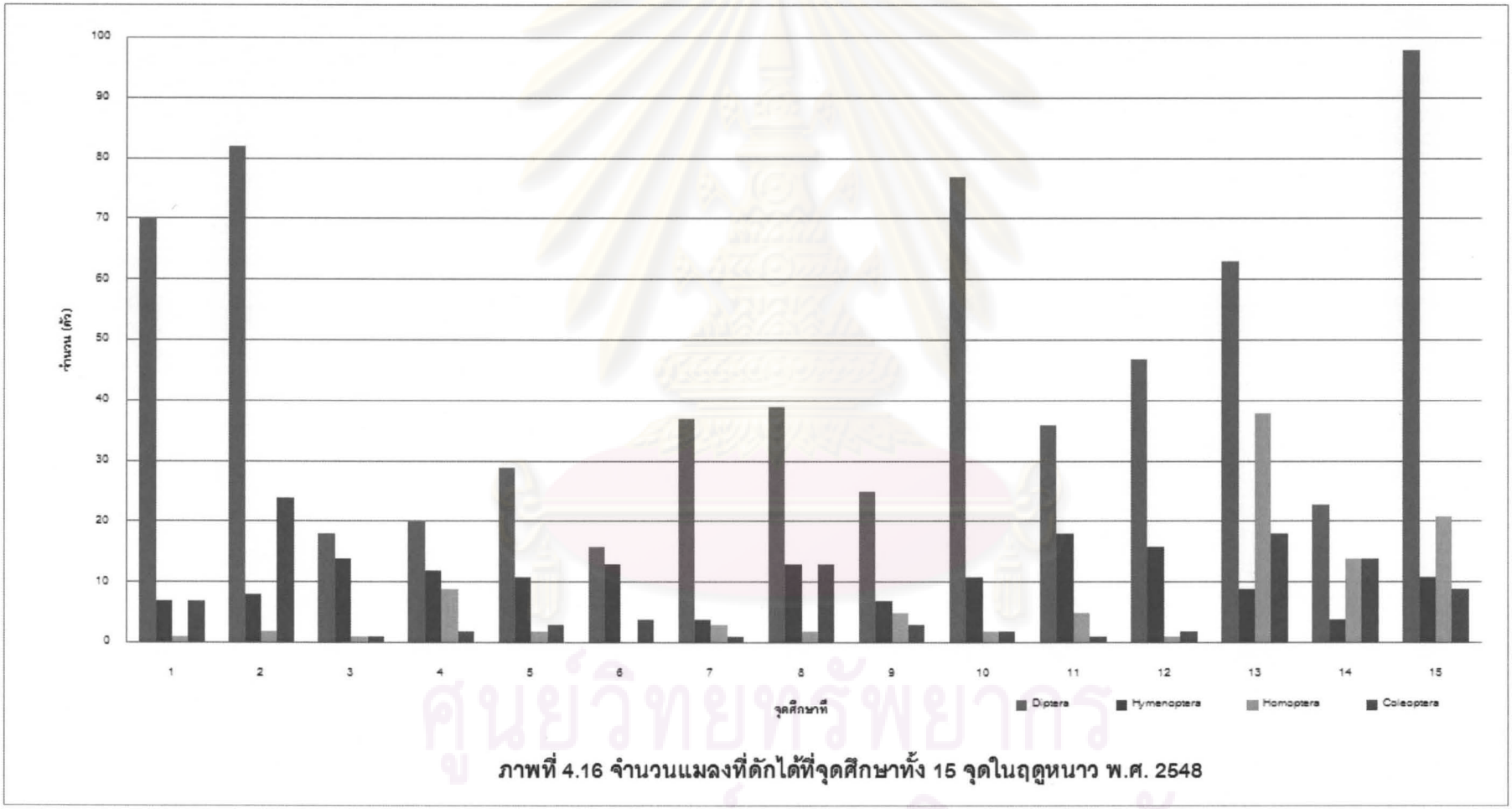
ในฤดูฝนปี พ.ศ. 2549 พบว่าในตำแหน่งที่ 13 6 7 และ 8 มีแมลงในอันดับ Diptera ดังนี้ 111 85 75 และ 74 ตัวตามลำดับ และในตำแหน่งที่ 8 10 และ 12 มีแมลงในอันดับ Hymenoptera 34 38 และ 25 ตัวตามลำดับ และอันดับ Coleoptera พบว่ามีจำนวนมากที่สุดในตำแหน่งที่ 1 คือ 20 ตัว ส่วนอันดับ Homoptera นั้นพบว่าไม่ต่างแตกกันมากนักในแต่ละตำแหน่ง (ภาพที่ 4.18)

ในฤดูหนาวปี พ.ศ. 2550 พบแมลงในอันดับ Coleoptera ที่สามารถดักได้มีมากถึง 325 ตัว ในตำแหน่งที่ 7 แต่ในตำแหน่งที่ 6 และ 9 นั้นมีแมลงที่สามารถดักได้เพียงตำแหน่งละ 9 ตัว แมลงในอันดับ Diptera นั้นพบประมาณ 80-150 ตัว และไม่มีตำแหน่งที่มีจำนวนโดดเด่น แมลงในอันดับ Homoptera มีจำนวนที่สามารถดักได้มากที่สุดในตำแหน่งที่ 2 คือ 92 ตัว (ภาพที่ 4.19)

ในฤดูร้อนปี พ.ศ. 2551 พบแมลงในอันดับ Coleoptera ที่สามารถดักได้มีมากถึง 473 ตัว ในตำแหน่งที่ 8 แต่ในตำแหน่งที่ 1 และ 6 เพียงตำแหน่งละ 2 ตัว แมลงในอันดับ Diptera พบมากที่สุดสามอันดับแรกคือ 128 124 และ 104 ตัวในตำแหน่งที่ 4 14 และ 5 ตามลำดับ แมลงในอันดับ Homoptera นั้นพบมากที่สุดในตำแหน่งที่ 14 ที่ 82 ตัว เช่นเดียวกับอันดับ Hymenoptera ที่สามารถดักได้มากที่สุดในตำแหน่งที่ 14 ที่ 27 ตัว (ภาพที่ 4.20)

ในฤดูหนาวปี พ.ศ. 2551 พบแมลงอันดับ Homoptera มีจำนวนมากที่สุดที่ 78 ตัวในตำแหน่งที่ 4 แต่ไม่สามารถดักแมลงอันดับนี้ได้ในตำแหน่งที่ 1 10 และ 12 ในอันดับ Hymenoptera สามารถดักได้มากที่สุดที่ตำแหน่งที่ 15 จำนวน 11 ตัว แต่ไม่พบแมลงในอันดับนี้ในตำแหน่งที่ 2 4 9 11 และ 13 แมลงในอันดับ Diptera นั้นส่วนใหญ่จะมีจำนวนอยู่ในช่วงประมาณ 30-50 ตัว ส่วนอันดับ Coleoptera นั้นพบว่ามีจำนวนน้อยกว่า 10 ตัวทุกจุดยกเว้นในตำแหน่งที่ 3 โดยมี 14 ตัว (ภาพที่ 4.21)

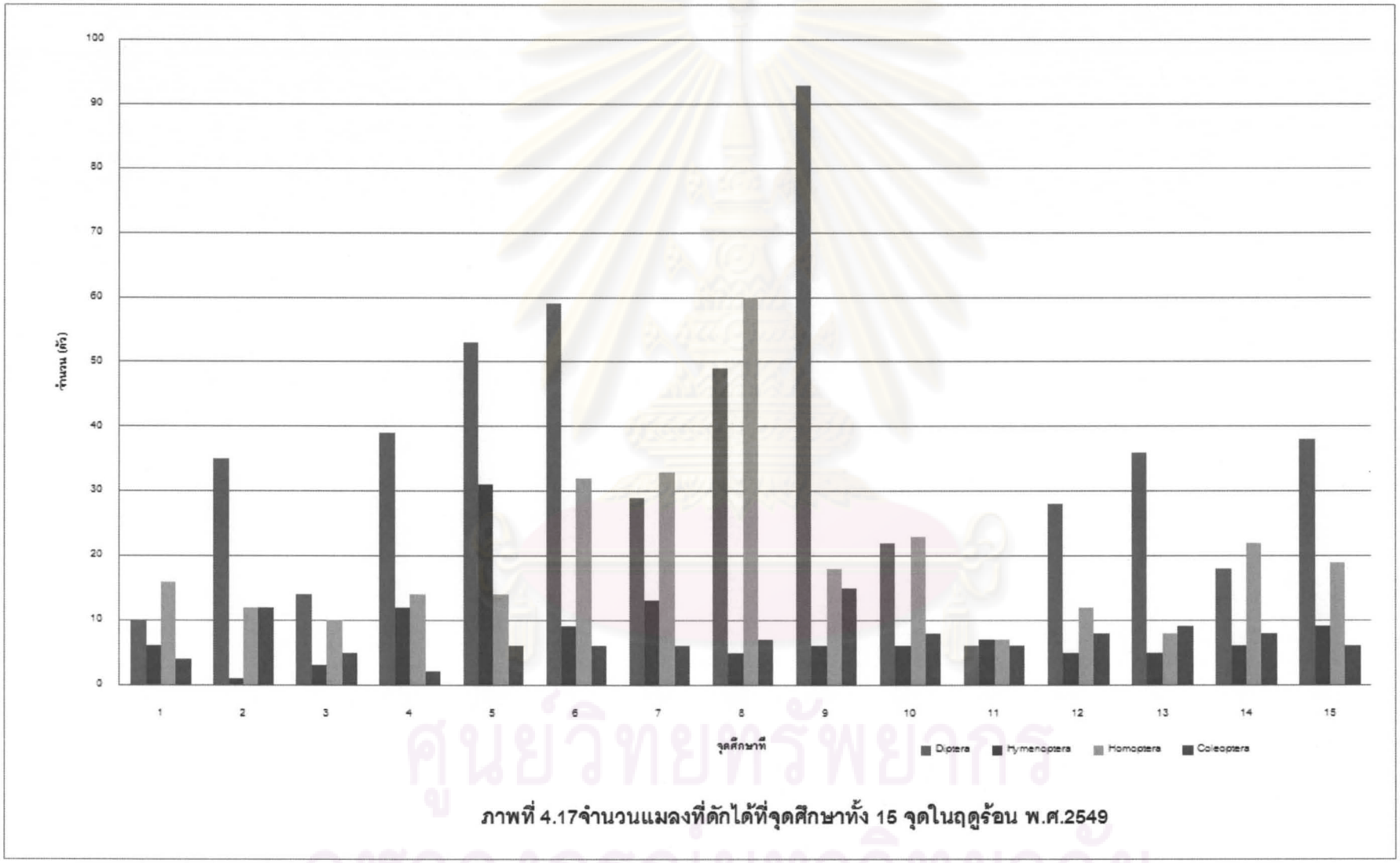
เมื่อเปรียบเทียบจำนวนแมลงใน 4 อันดับ ที่ดักได้รวมทุกตำแหน่งแล้ว แมลงในอันดับ Diptera มีปริมาณมากกว่าแมลงในอันดับอื่น โดยในฤดูหนาว พ.ศ. 2548 และ ฤดูฝน พ.ศ. 2549 จะมีปริมาณมากกว่าแมลงในอันดับอื่นๆ ทุกตำแหน่ง ในทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง อันดับ Homoptera และ Hymenoptera มีปริมาณใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 4.22) และจำนวนแมลงที่ดักได้รวมทุกตำแหน่ง พบว่ามีปริมาณแตกต่างกันไปในแต่ละครั้งที่ทำการดักดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.13 ซึ่งแมลงในอันดับ Diptera และ Hymenoptera มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแมลงสอดคล้องกัน ส่วนอันดับ Coleoptera นั้นปริมาณแมลงจะเพิ่มมากขึ้นสูงสุดในฤดูร้อนของปี พ.ศ. 2551 และแมลงในอันดับ Homoptera พบว่าปริมาณแมลงเพิ่มมากขึ้นสูงสุดในฤดูหนาวของปี พ.ศ. 2550



ภาพที่ 4.16 จำนวนแมลงที่ดักได้ที่จุดศึกษาทั้ง 15 จุดในฤดูหนาว พ.ศ. 2548

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

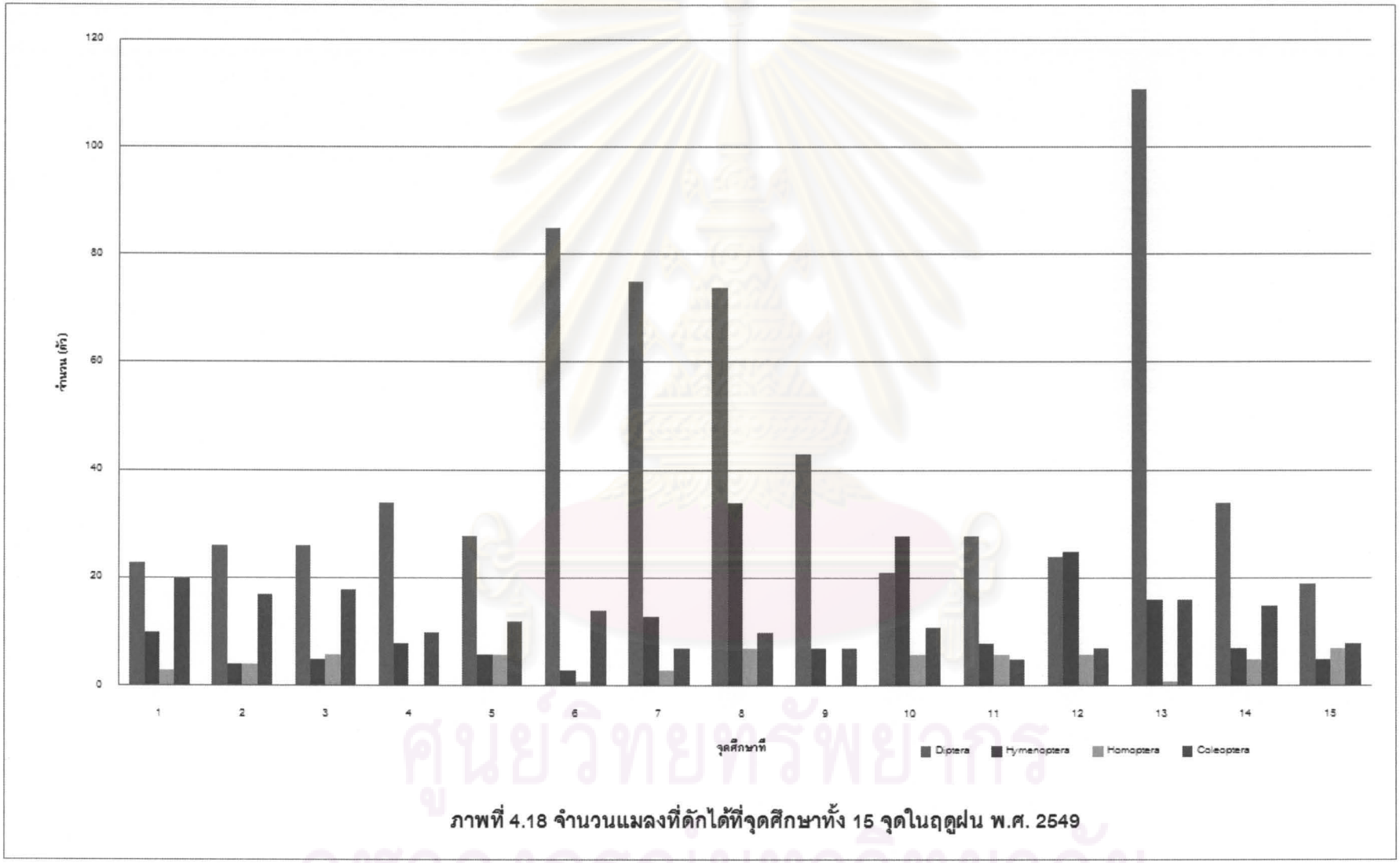
38



ภาพที่ 4.17จำนวนแมลงที่ดักได้ที่จุดศึกษาทั้ง 15 จุดในฤดูร้อน พ.ศ.2549

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

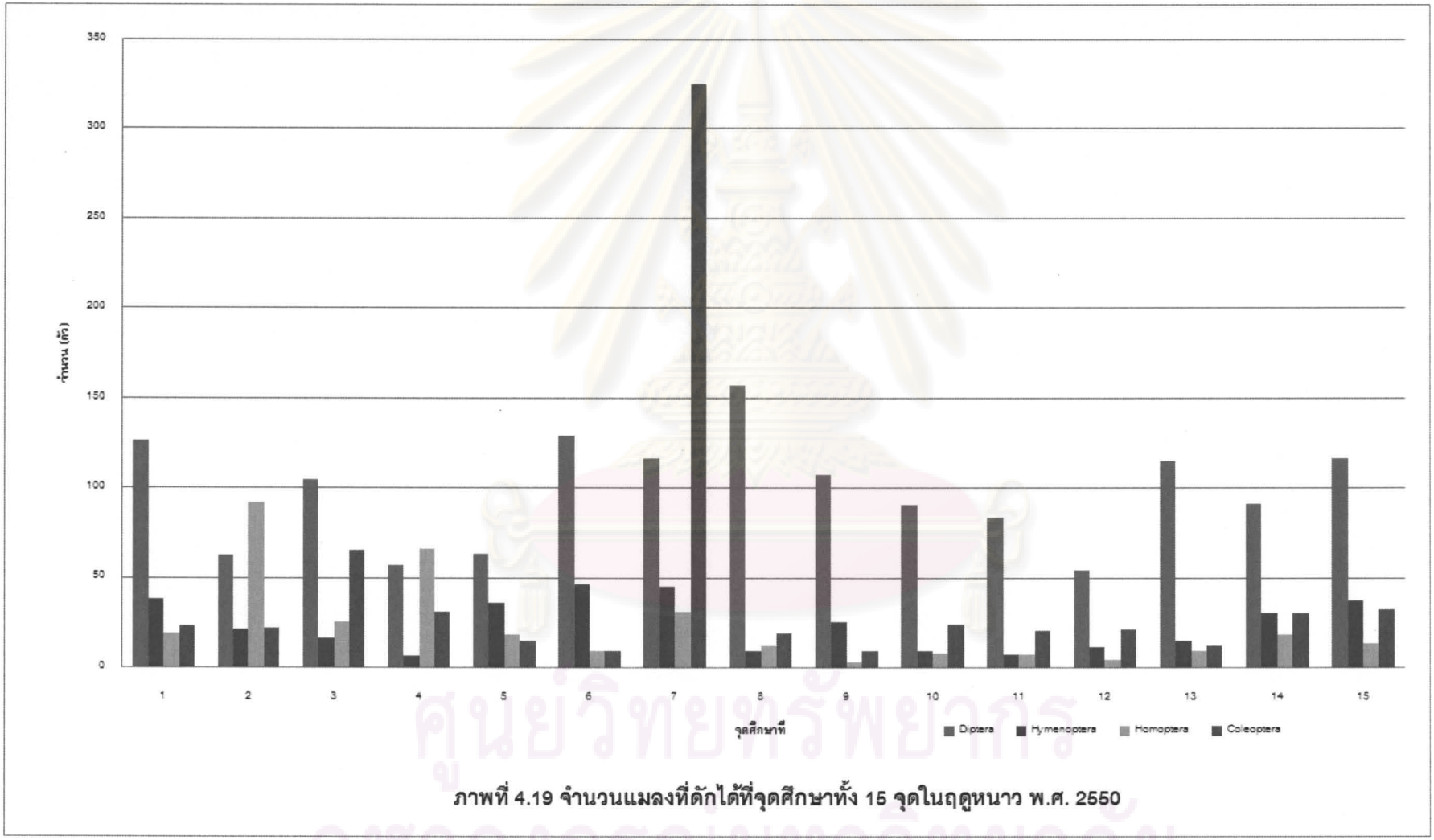
39



ภาพที่ 4.18 จำนวนแมลงที่ดักได้ที่จุดศึกษาทั้ง 15 จุดในฤดูฝน พ.ศ. 2549

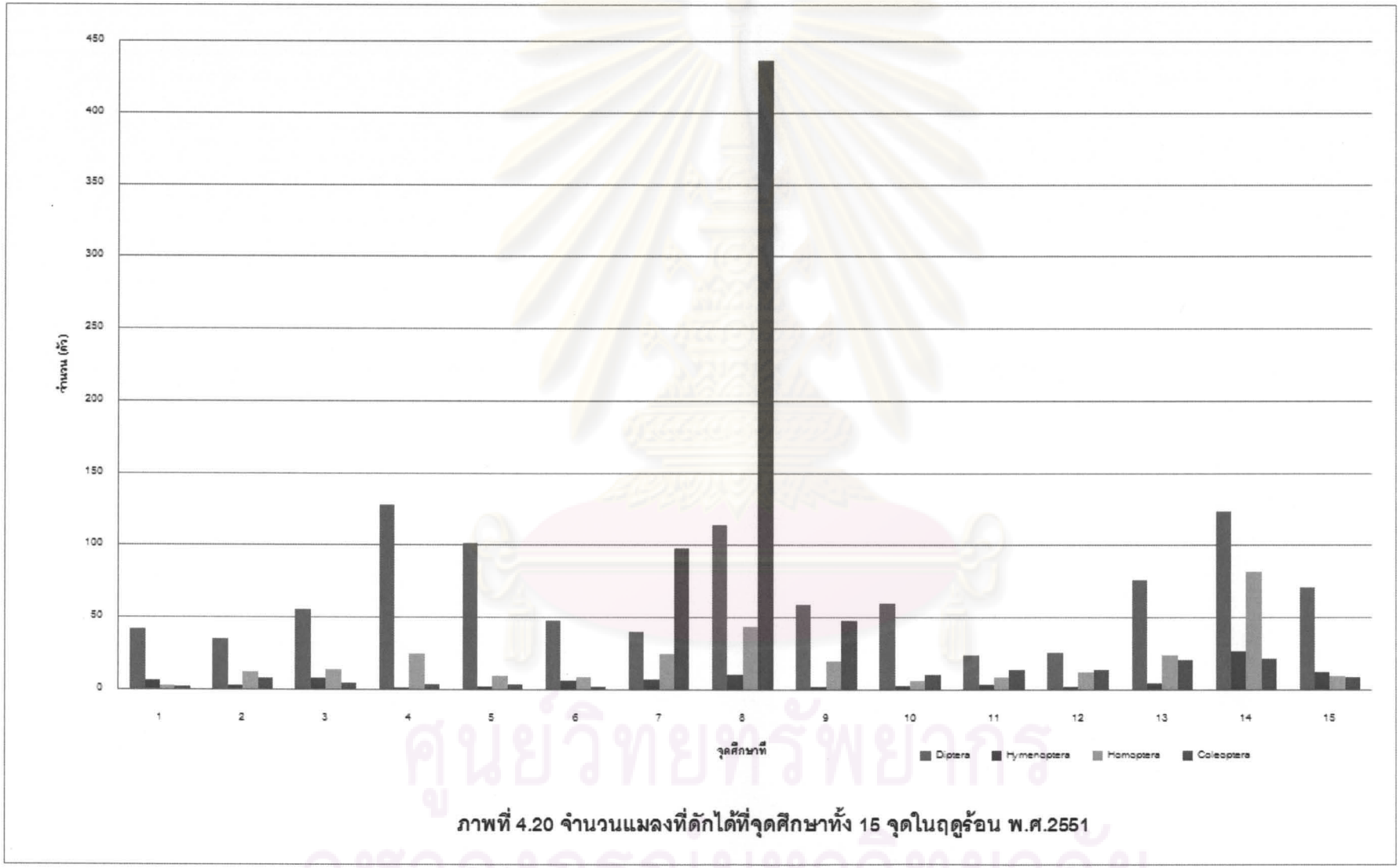
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

40



ภาพที่ 4.19 จำนวนแมลงที่ดักได้ที่จุดศึกษาทั้ง 15 จุดในฤดูหนาว พ.ศ. 2550

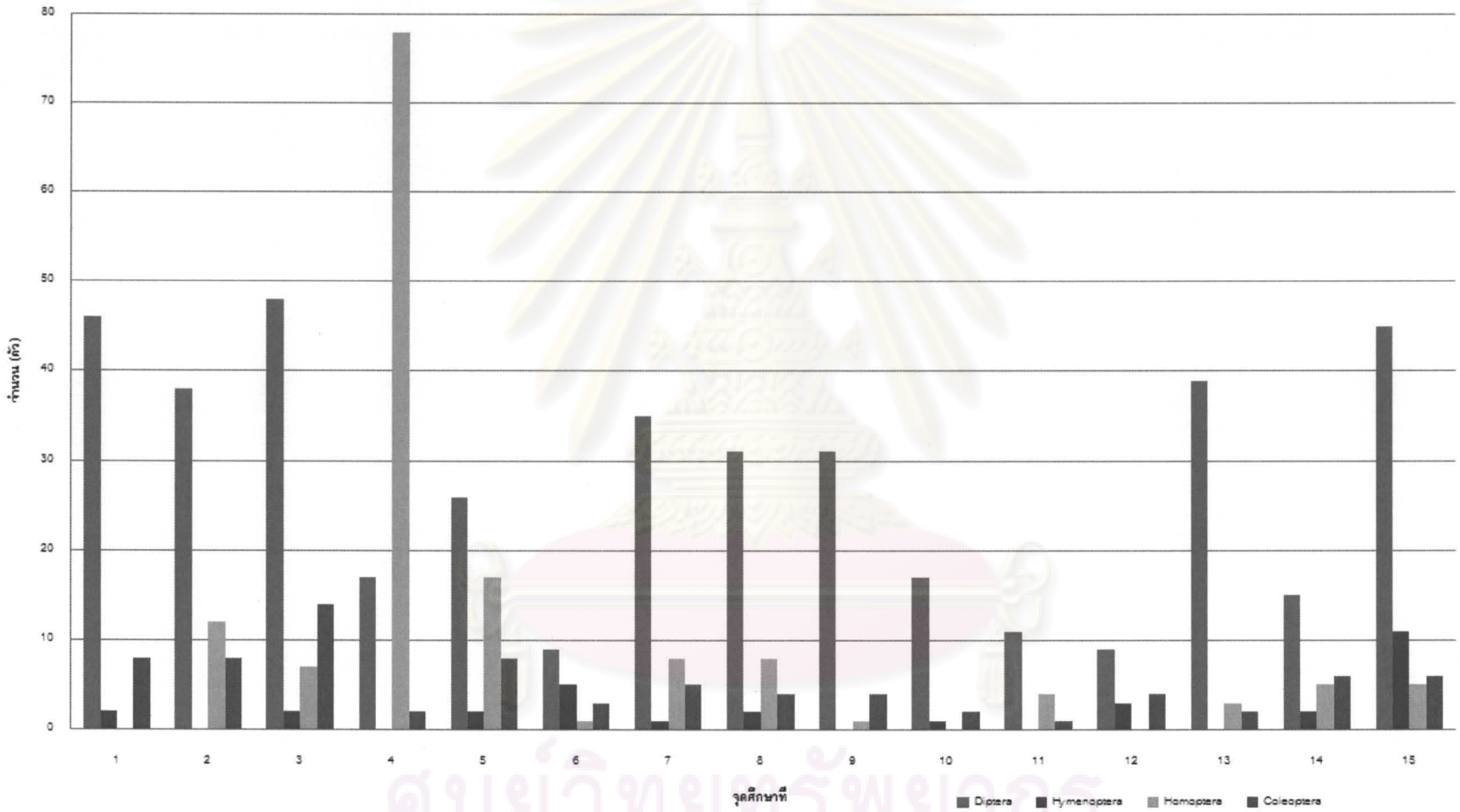
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.20 จำนวนแมลงที่ดักได้ที่จุดศึกษาทั้ง 15 จุดในฤดูร้อน พ.ศ.2551

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

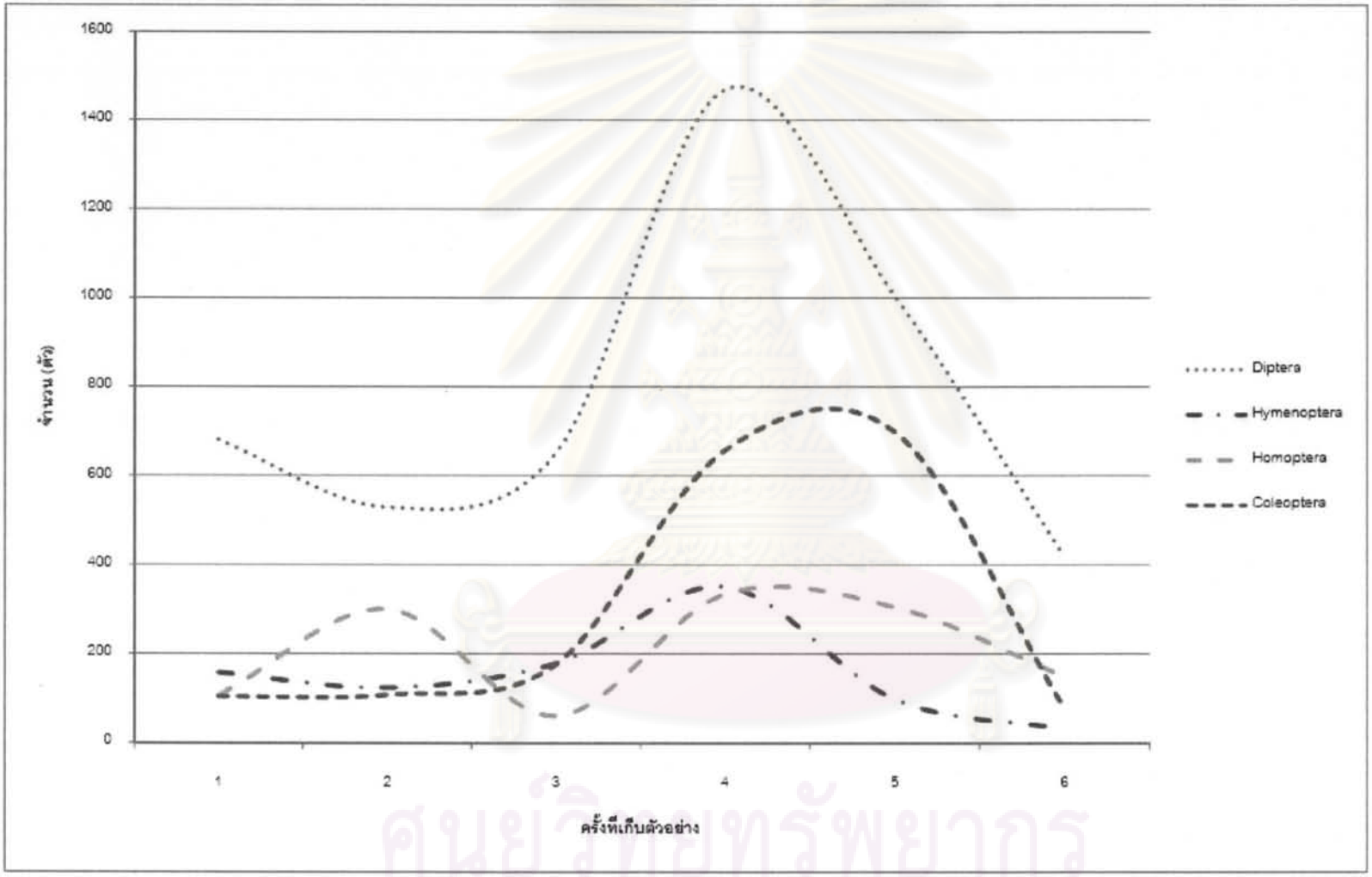
42



ภาพที่ 4.21 จำนวนแมลงที่ดักได้ที่จุดศึกษาทั้ง 15 จุดในฤดูหนาว พ.ศ. 2551

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

43



* 1 = ฤดูหนาว พ.ศ. 2548 2 = ฤดูร้อน พ.ศ.2549 3 = ฤดูฝน พ.ศ. 2549 4 = ฤดูหนาว พ.ศ. 2550 5 = ฤดูร้อน พ.ศ.2551 6 = ฤดูหนาว พ.ศ. 2551

ภาพที่ 4.22 ปริมาณแมลงรวมทุกตำแหน่งในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างเปรียบเทียบใน 4 อันดับ (Diptera Hymenoptera Diptera และ Coleoptera)

44

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 ระบุชนิดพืชที่คาดว่ามีสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีผลขับไล่หรือดึงดูดแมลง

จากผลการทดลองเบื้องต้น (Chokratin และคณะ, 2008) พบว่าสารที่สามารถตรวจพบได้จากบรรยากาศในบริเวณ ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา คือ (*E*)-4-octene α-thujene camphene 1-octen-3-ol benzaldehyde 1,2,4-trimethylbenzene *p*-cymene limonene *n*-octanol และ camphor จากการตรวจสอบพืชทั้ง 17 ชนิด ที่เก็บในบริเวณจุดศึกษาโดยใช้ GC-MS และวิเคราะห์สารเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล พบพืชมีการผลิตสารบางชนิดที่ตรงกับที่ตรวจสอบพบในบรรยากาศซึ่งพืชเหล่านี้อาจผลิตและปลดปล่อยสารดังกล่าวสู่บรรยากาศได้ (ตารางที่ 4.4) มีพืช 3 ชนิดได้แก่ *Zanthoxylum acanthopodium Elsholtzia blanda* และ *Litsea cubeba* (ภาพที่ 4.23-4.25) มีการกระจายตัวอยู่ในหลายจุดศึกษา พบสารที่ตรงกับสารในอากาศในปริมาณค่อนข้างมาก (10^6-10^8) และพืชอีก 1 ชนิดที่เป็นพืชหอม คือ อบเชย (ภาพที่ 4.26) จากการตรวจสอบถึงชนิดของสารที่ถูกจัดเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยเฉพาะในกลุ่ม terpene และ sesquiterene พบว่าสารชนิดต่างๆ มีปริมาณแตกต่างกันไปในแต่ละครั้งที่เก็บ คาดว่ามีหลายปัจจัยที่ส่งผลให้รูปแบบของสารเปลี่ยนแปลงไป ปริมาณของสารที่ตรวจพบในพืชที่เลือกมาใช้ในการทดสอบโดยเฉพาะสารในกลุ่มของ terpene และ sesquiterpene แสดงไว้ในตางรางที่ 4.5 ซึ่งพบว่า *C. inner* มีสาร 1,8-cineole เป็นสารหลักโดยมีปริมาณ 105.00 หน่วย (พื้นที่ใต้กราฟ/น้ำหนักสด *10^6) *E. blanda* มีสาร sylvestrene เป็นสารหลักโดยมีปริมาณ 119.00 หน่วย *L. cubeba* มีสาร α-terpinene เป็นสารหลักโดยมีปริมาณ 3200.00 หน่วย และ *Z. acanthopodium* มีสาร terpinolene เป็นสารหลักโดยมีปริมาณ 1413.72 หน่วย ซึ่งสารเหล่านั้นมีชนิดที่เคยมีการรายงานถึงผลต่อแมลง คาดว่าพืชทั้ง 4 ชนิดน่าจะมีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย ที่มีผลต่อแมลงออกสู่อากาศหรือเป็นผู้ผลิตสารอินทรีย์ระเหยง่าย ที่มีผลต่อแมลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืชที่ถูกคัดเลือกมาใช้ในการทดสอบ

Cinamomun inner		
สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟ น้ำหนักสัด(10^5)
HEXANAL	3.19	4.06
HEXENAL <(E)-2->	3.99	20.50
HEXENOL<(Z)-3->	4.06	5.60
SANTOLINA TRIENE	5.12	2.18
TRICYCLENE	5.53	0.64
THUJENE<α->	5.62	5.61
CITRONELLENE <β->	6.15	3.43
CARENE<δ-2->	7.64	3.19
PHELLANDRENE<α->	7.85	2.14
CARENE<δ-3->	8.10	3.97
TERPINENE <α->	8.30	0.39
CYMENE<O->	8.59	2.98
LIMONENE	8.69	11.50
SYLVESTRENE	8.73	4.99
CINEOLE<1,8->	8.76	105.00
OCIMENE<(Z)-β->	8.96	9.41
OCIMENE<(E)-β->	9.42	0.23
TERPINENE<γ->	9.78	0.28
LINALOOL OXIDE <CIS->	10.29	2.86
TERPINOLENE	10.98	0.69
OCIMENE <ALLO->	12.70	0.20
CAMPHOR	13.28	26.60
BORNYL ACETATE	19.62	0.18
CUBEBENE <α->	22.33	0.36
ISOLEDENE	23.48	0.21
COPAENE <α->	23.49	0.32
PATCHOULENE <β->	23.70	0.65
CARYOPHYLLENE <(Z)->	24.95	1.16
GUJUNENE <α->	25.00	0.18
CARYOPHYLLENE <(E)->	25.36	0.77
GUAIENE <α->	26.20	0.88
SEYCHELLENE	26.50	0.38
AROMADENDRENE <ALLO->	27.07	0.79
AROMADENDRANE <DEHYDRO->	27.16	0.26
ACORADIENE <α->	27.32	0.29
GURJUNENE <γ->	27.80	0.43
CURCUMENE <AR->	27.96	0.15
SELINENE <β->	28.37	0.94
GUAIENE <CIS-β->	28.51	0.31
VALENCENE	28.66	1.11
VIRIDIFLORENE	28.68	0.58

Cinamomun inner		
สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟ น้ำหนักสัด(10^5)
GUAIENE <TRANS-β->	28.92	1.08
BULNESENE	29.20	0.79
BULNESENE<α->	29.20	0.96
SELINENE <7-EPI-α->	29.67	0.41
CADINENE <δ->	29.72	0.15
CALAMENENE <CIS->	30.11	0.72
CADINENE <α->	30.33	0.45
VETIVENENE <β->	31.02	0.16
CARYOPHYLLENE ALCOHOL	31.70	0.22
KHUSIMONE	33.05	0.40
CADALENE	35.80	1.79
GUAIAZULENE	39.66	0.56

Eisholtzia blanda		
สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟ น้ำหนักสัด(10^5)
HEXANAL	3.19	10.11
HEXENAL <(E)-2->	3.99	73.70
HEXANOL<N->	4.28	3.87
HEXADIENAL<2,4-(E,E)->	5.14	6.99
TRICYCLENE	5.53	6.15
PINENE<α->	5.85	64.80
CARENE<δ-2->	7.64	7.83
PHELLANDRENE<α->	7.85	4.08
CARENE<δ-3->	8.10	6.71
TERPINENE <α->	8.30	7.05
CYMENE<O->	8.59	9.59
LIMONENE	8.69	30.60
PHELLANDRENE<β->	8.70	5.65
SYLVESTRENE	8.73	119.00
CINEOLE<1,8->	8.76	80.35
OCIMENE<(Z)-β->	8.96	5.04
TERPINOLENE	10.98	8.67
CAMPHOR	13.28	64.76
NONANAL <N->	14.29	0.93
LONGIFOLENE	24.92	0.03
BULNESENE<α->	29.20	0.05
BUTYLATED HYDROXYTOLUENE	29.43	0.06
CADALENE	35.80	1.26
GUAIAZULENE	39.66	0.57

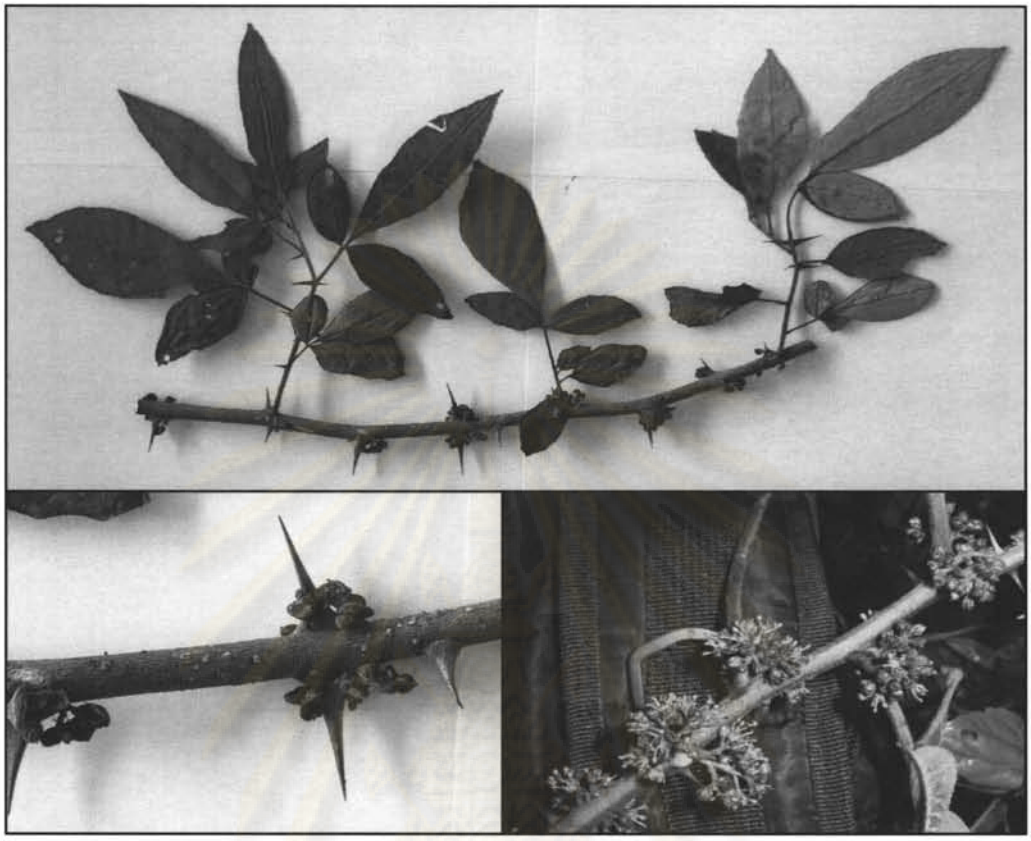
ตารางที่ 4.5 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืชที่ถูกคัดเลือกมาใช้ในการทดสอบ

Litsea cubeba		
สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟน้ำหนักสด(10^6)
HEXANAL	3.19	70.40
HEXENAL<(E)-2->	4.13	6.79
HEXADIENAL<2,4-(E,E)->	5.14	106.00
TRICYCLENE	5.53	17.50
THUJENE<α->	5.62	35.60
PINENE<α->	5.85	1119.00
CAMPHENE	6.26	307.74
SABINENE	6.91	411.00
CARENE<δ-2->	7.84	223.00
PHELLANDRENE<α->	7.85	1500.00
TERPINENE <α->	8.30	3200.00
CYMENE<O->	8.59	1736.33
LIMONENE	8.69	4.74
PHELLANDRENE<β->	8.70	113.00
SYLVESTRENE	8.73	65.30
CINEOLE<1,8->	8.76	46.80
TERPINENE<γ->	9.78	1776.50
TERPINOLENE	10.98	206.00
CAMPHOR	13.28	8.17
TERPINEOL <α->	15.21	23.00
PATCHOULENE <β->	23.70	0.30
CARYOPHYLLENE <(E)->	25.36	0.65
AROMADENDRENE <ALLO->	27.07	1.51
AROMADENDRANE <DEHYDRO->	27.16	0.74
MUUROLENE <α->	28.83	0.75
BULNESENE<α->	29.20	10.80
CALAMENENE <CIS->	30.11	3.42
MAALIENE <β->	31.53	0.59
CADALENE	35.80	18.10
BERGAMOTOL <(Z)-TRANS-α->	36.37	0.91
GUAIAZULENE	39.66	1.10

สารที่มีปริมาณมาก

Zanthoxylum acanthopodium		
สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟน้ำหนักสด(10^6)
OCTENE <1->	3.06	7.73
HEXANAL	3.19	2.58
TRICYCLENE	5.53	633.61
THUJENE<α->	5.62	11.50
PINENE<α->	5.85	785.85
CAMPHENE	6.26	393.00
SABINENE	6.91	240.00
CARENE<δ-2->	7.84	70.65
PHELLANDRENE<α->	7.85	778.50
CARENE<δ-3->	8.10	193.40
CYMENE<O->	8.59	252.10
LIMONENE	8.69	42.10
PHELLANDRENE<β->	8.70	4.42
CINEOLE<1,8->	8.76	80.20
TERPINENE<γ->	9.78	270.00
TERPINOLENE	10.98	1413.72
TERPINEOL <α->	15.21	160.00
CUBEBENE <α->	22.33	10.70
ISOLEDENE	23.48	15.30
PATCHOULENE <β->	23.70	0.03
CARYOPHYLLENE <(E)->	25.36	0.05
AROMADENDRENE	26.27	10.20
AROMADENDRANE <DEHYDRO->	27.16	0.03
CURCUMENE <AR->	27.96	0.09
BULNESENE<α->	29.20	22.40
CADALENE	35.80	0.07

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.23 *Zanthoxylum acanthopodium* (มะมาด)

ภาพที่ 4.24 *Litsea cubeba* (ตะไคร้ต้น)

ภาพที่ 4.25 *Elsholtzia blanda* (ชะอ้นป่า)

ภาพที่ 4.26 *Cinnamomun inner* (อบเชย)

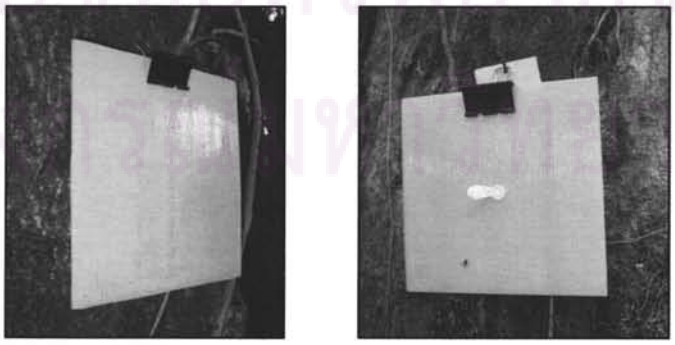
จากการคัดเลือกพืชที่คาดว่ามีการสร้างสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีผลต่อแมลงได้นำพืชข้างต้นมาทำการสกัดด้วยไอน้ำพบว่าสามารถสกัดน้ำมันหอมระเหยจาก *L. cubeba* ได้มากที่สุด รองลงมาคือ *E. blanda* (Benth.) Benth. และ *Z. acanthopodium* ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) และไม่สามารถสกัดน้ำมันหอมระเหยจาก *C. inner* ได้ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ

ตารางที่ 4.6 ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ในพืชแต่ละชนิด

พืช	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้ (มล./กก.น้ำหนักสด)
E. blanda (Benth.) Benth.	0.17
L. cubeba	0.63
Z. acanthopodium	0.08

4.6 ตรวจสอบผลของสารสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชที่ระบุได้ในข้อ 4.5 ต่อแมลง

การทดสอบผลของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ต่อแมลง โดยนำสารสกัดน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้มาแบ่งใส่หลอดไมโครเซนตริฟิวจ์ ที่บรรจุสำลีเอาไว้ ใส่หลอดไมโครเซนตริฟิวจ์นี้ บริเวณกลางแผ่นดักแมลง (ภาพที่ 4.27) ปริมาณของสารสกัดน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ต่อชุดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.8 โดยใน 1 ตำแหน่ง จะทำการวางแผ่นดักแมลง 3 แผ่น วางน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ชนิดละ 3 ตำแหน่ง ในตำแหน่งที่ 1-3 ทดสอบโดยใช้น้ำมันหอมระเหยจากพืช *L. cubeba* ปริมาณ 50 ไมโครลิตร/แผ่น ตำแหน่งที่ 4-6 ใช้ทดสอบน้ำมันหอมระเหยจากพืช *Z. acanthopodium* ปริมาณ 30 ไมโครลิตร/แผ่น ตำแหน่งที่ 7-9 ใช้ทดสอบน้ำมันหอมระเหยจากพืช *E. blanda* (Benth.) Benth. ปริมาณ 50 ไมโครลิตร/แผ่น ตำแหน่งที่ 10-12 ใช้ทดสอบน้ำมันหอมระเหยจากพืช *L. cubeba* ปริมาณ 100 ไมโครลิตร/แผ่น และตำแหน่งที่ 13-15 ใช้ทดสอบน้ำมันหอมระเหยจากพืช *E. blanda* (Benth.) Benth. ปริมาณ 100 ไมโครลิตร/แผ่น (ตารางที่ 4.7)



ภาพที่ 4.27 แผ่นดักแมลงชุดควบคุม (ซ้าย) ชุดทดสอบที่มีการใส่น้ำมันหอมระเหย (ขวา)

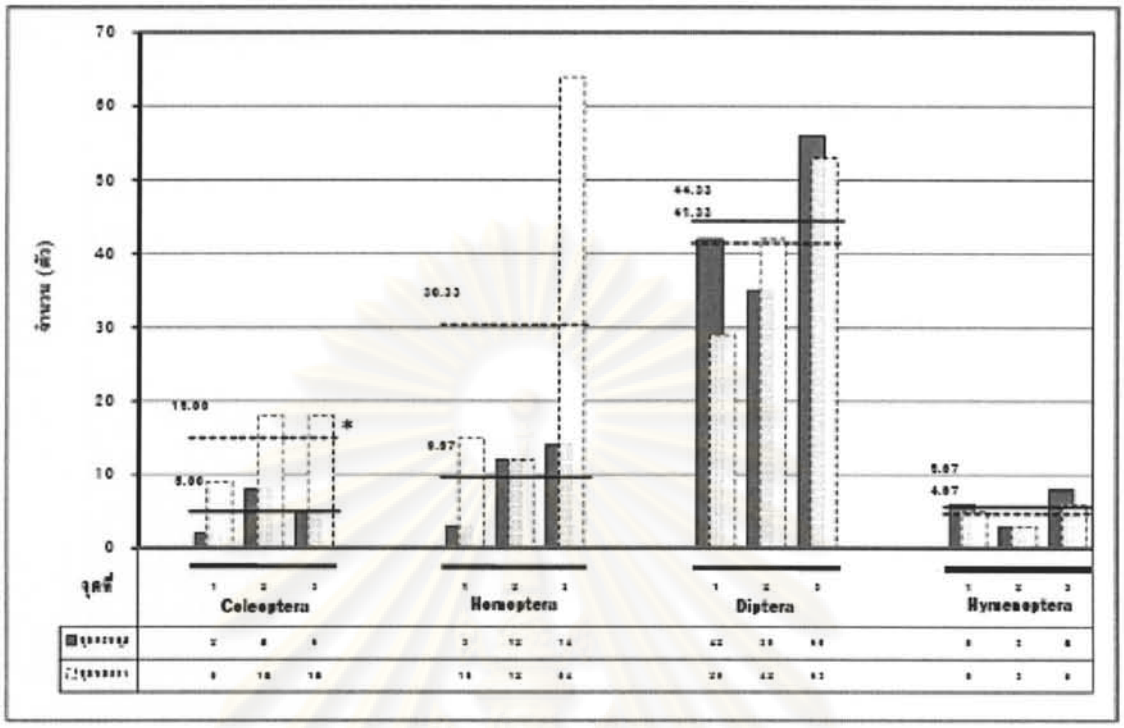
ตารางที่ 4.7 ตำแหน่งและชุดทดลองที่ใช้ในการทดสอบผลของน้ำมันหอมระเหยต่อแมลง

ชุดทดลอง	ตำแหน่งที่ใช้ทดสอบ	ชนิดของน้ำมันหอมระเหยที่ใช้	ปริมาณที่ใช้ต่อแผ่นดักแมลง*
1	1,2,3	*L. cubeba*	50 ไมโครลิตร
2	4,5,6	*Z. acanthopodium*	30 ไมโครลิตร
3	7,8,9	*E. blanda*	50 ไมโครลิตร
4	10,11,12	*L. cubeba*	100 ไมโครลิตร
5	13,14,15	*E. blanda*	100 ไมโครลิตร

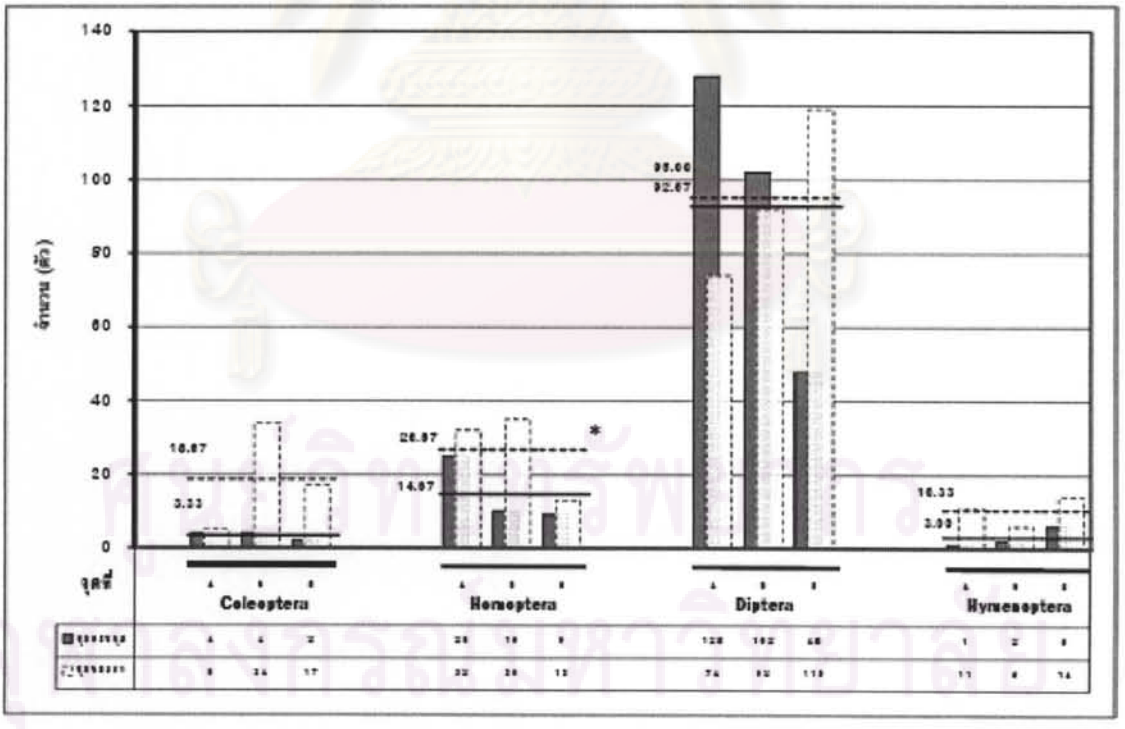
* หนึ่งตำแหน่งที่ทำการทดสอบใช้แผ่นดักแมลง 3 แผ่นในการทดสอบ

จากการนับชนิดและจำนวนของแมลงที่สามารถดักได้หลังจากการให้น้ำมันหอมระเหย พบว่าจำนวนแมลงที่สามารถดักได้มีความแตกต่างในแต่ละสารที่ใช้ในการทดสอบ ทำการทดสอบในฤดูร้อน (มีนาคม) ของปี พ.ศ. 2551 (ภาพที่ 4.28-4.32) และฤดูหนาว (ตุลาคม) ของปี พ.ศ. 2551 (ภาพที่ 4.33-4.37) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในฤดูร้อนของปี พ.ศ. 2551 ชุดทดสอบที่มีผลทำให้จำนวนแมลงระหว่างชุดควบคุม และชุดทดสอบต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ คือ *L. cubeba* 50 ไมโครลิตร *Z. acanthopodium* 30 ไมโครลิตร และ *E. blanda* 50 ไมโครลิตร (ชุดทดลองที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ภาพที่ 4.28 4.29 4.33 และ 4.35) โดยสารสกัดจาก *L. cubeba* 50 ไมโครลิตร และ *Z. acanthopodium* 30 ไมโครลิตร ทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถดึงดูดแมลงในอันดับ Coleoptera ได้ในฤดูร้อนของปี พ.ศ. 2551 (ภาพที่ 4.28 และ 4.29) และในฤดูหนาวของปี พ.ศ. 2551 *L. cubeba* 50 ไมโครลิตร สามารถขับไล่แมลงในอันดับ Coleoptera (ภาพที่ 4.33) และในฤดูเดียวกัน *E. blanda* 50 ไมโครลิตร สามารถขับไล่แมลงในอันดับ Diptera ได้ (ภาพที่ 4.35) ในชุดทดสอบอื่นๆ พบว่าส่งผลต่อปริมาณแมลงที่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่มีการแสดงถึงแนวโน้มของสารที่มีต่อแมลง เช่น น้ำมันหอมระเหยจาก *L. cubeba* ในฤดูร้อนมีแนวโน้มในการดึงดูดแมลงในอันดับ Homoptera ทั้งใน 2 ความเข้มข้น (50 และ 100 ไมโครลิตร) เป็นต้น (ตารางที่ 4.8)

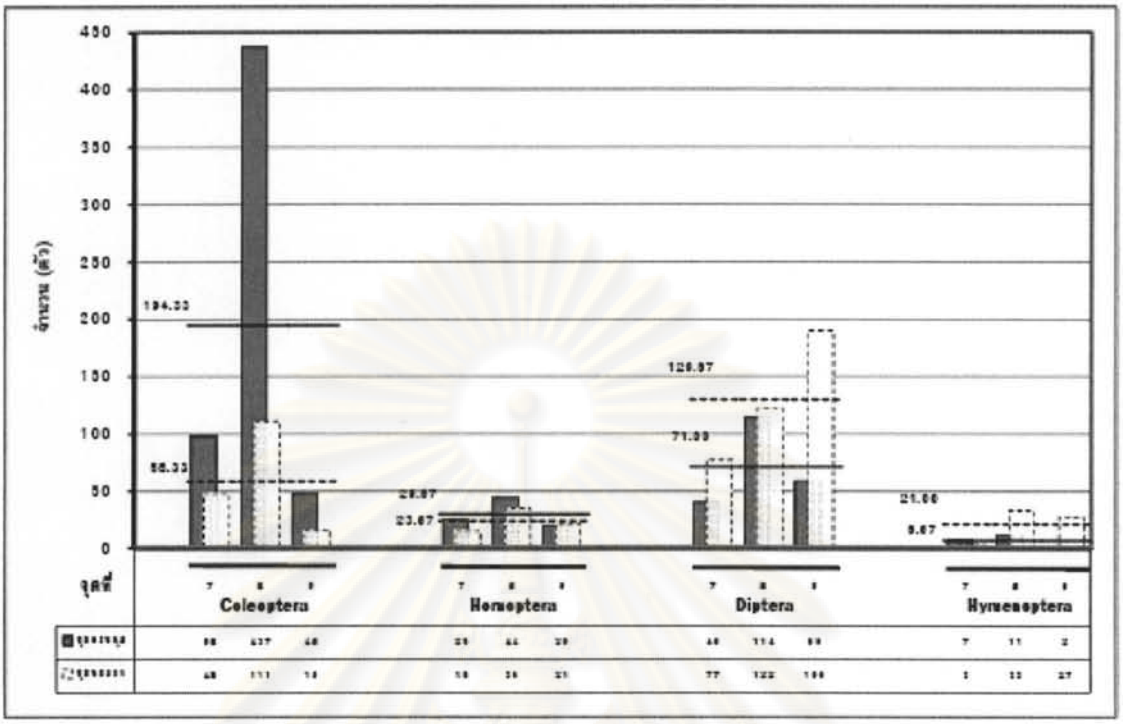
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.28 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 1 (*L. cubeba* 50 ไมโครลิตร) ในฤดูร้อน พ.ศ. 2551

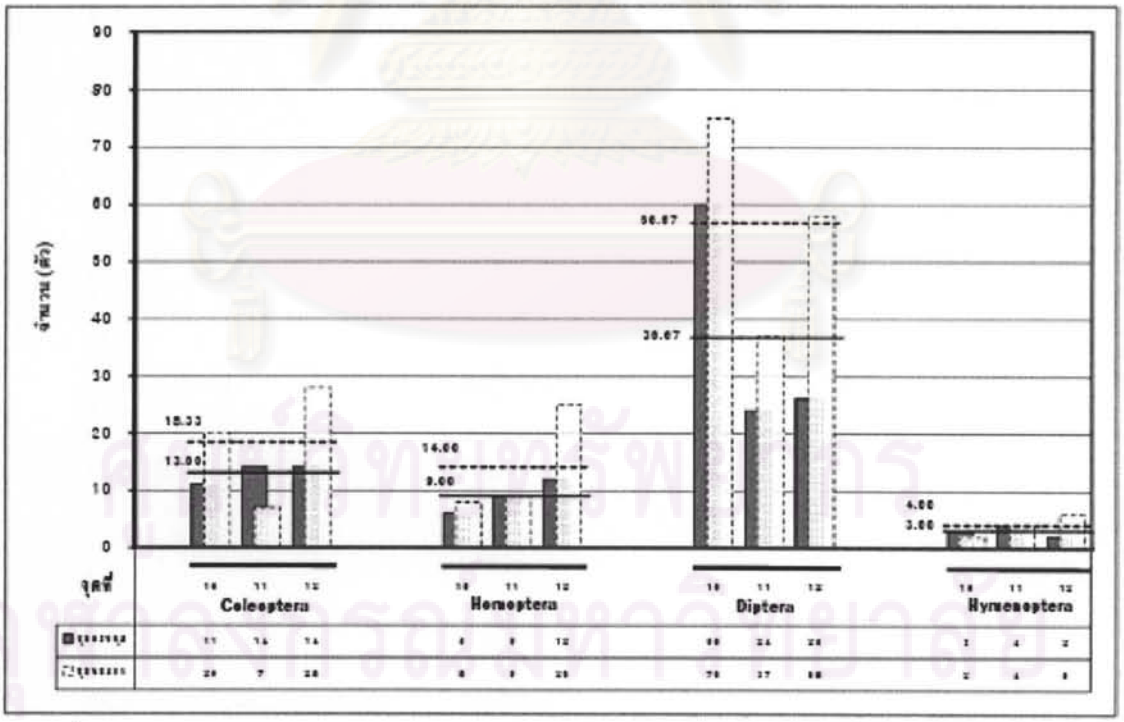


ภาพที่ 4.29 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 2 (*Z .acanthopodium* 30 ไมโครลิตร) ในฤดูร้อน พ.ศ. 2551



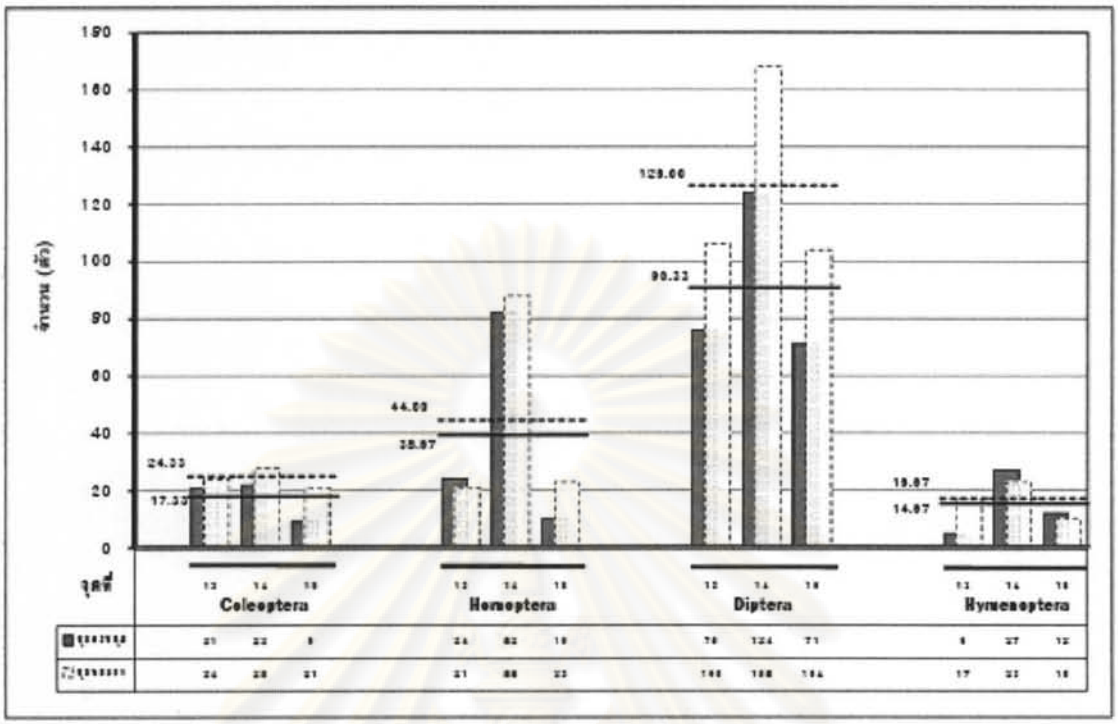
ภาพที่ 4.30 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 3

(*E. blanda* 50 ไมโครลิตร) ในฤดูร้อน พ.ศ. 2551



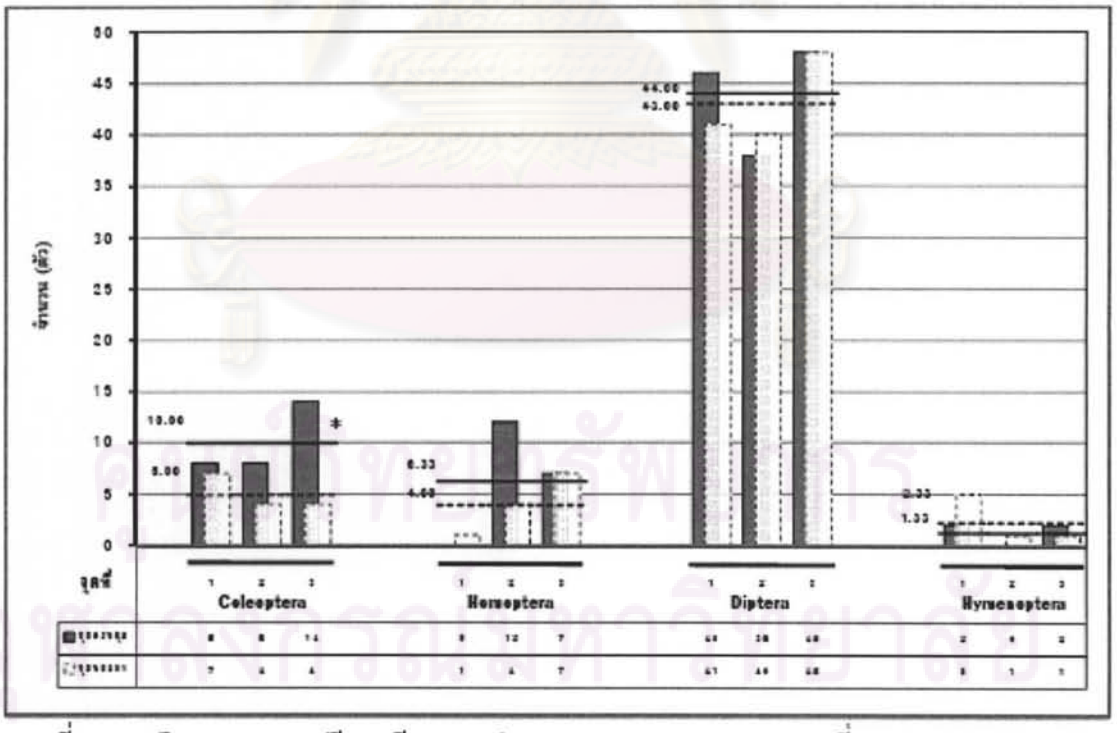
ภาพที่ 4.31 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 4

(*L. cubeba* 100 ไมโครลิตร) ในฤดูร้อน พ.ศ. 2551



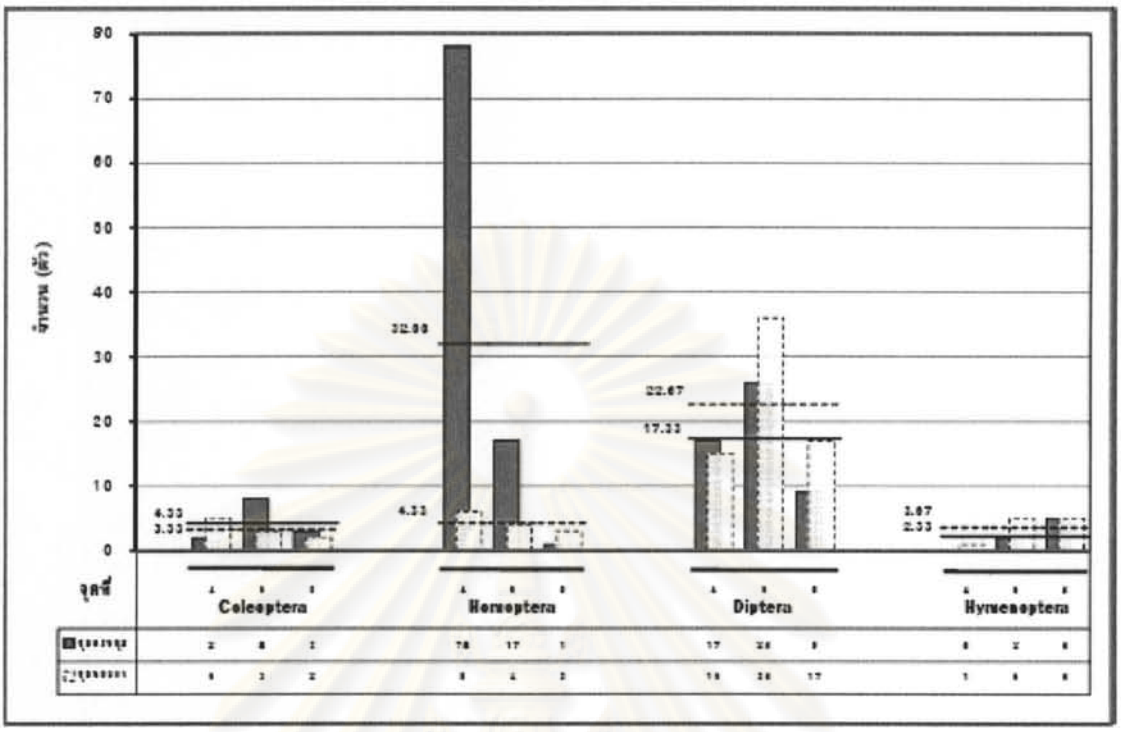
ภาพที่ 4.32 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 5

(*E. blanda* 100 ไมโครลิตร) ในฤดูร้อน พ.ศ. 2551



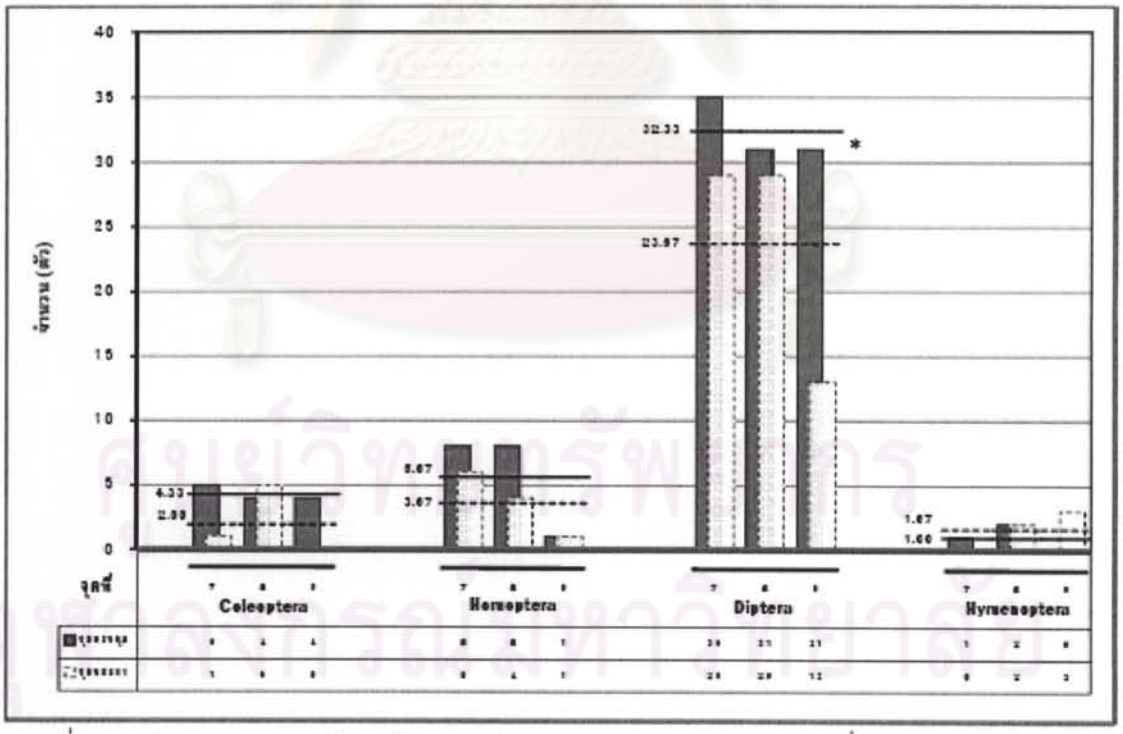
ภาพที่ 4.33 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 1

(*L. cubeba* 50 ไมโครลิตร) ในฤดูหนาว พ.ศ. 2551



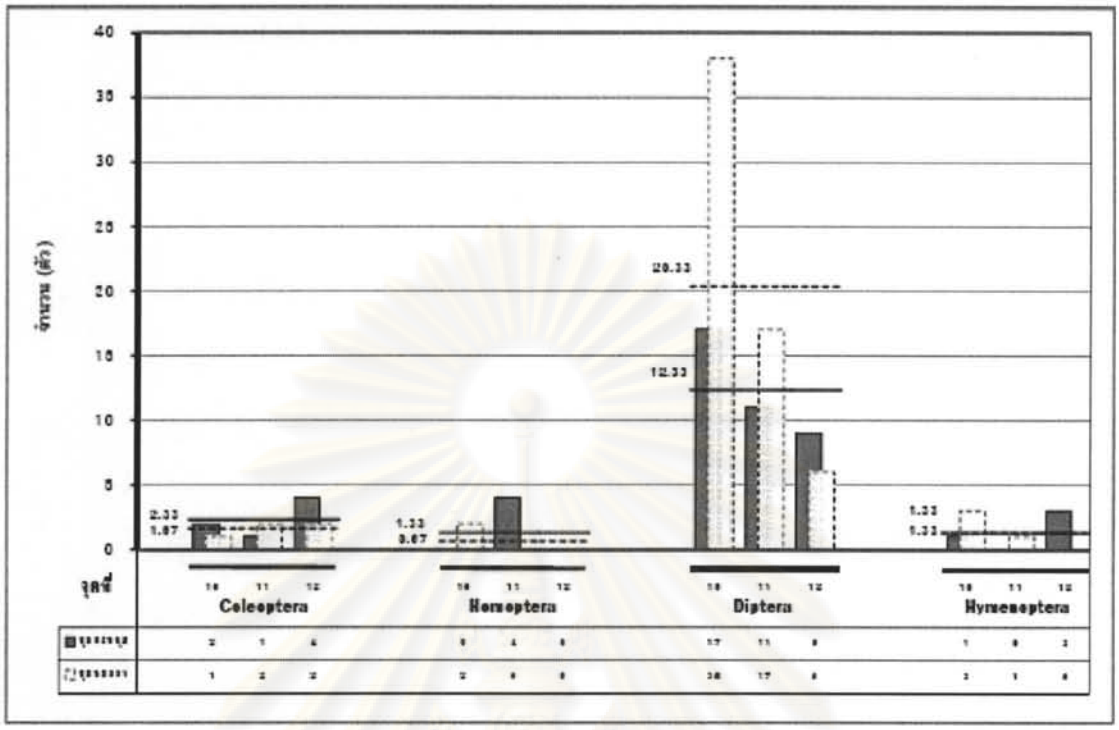
ภาพที่ 4.34 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 2

(*Z .acanthopodium* 30 ไมโครลิตร) ในฤดูหนาว พ.ศ. 2551



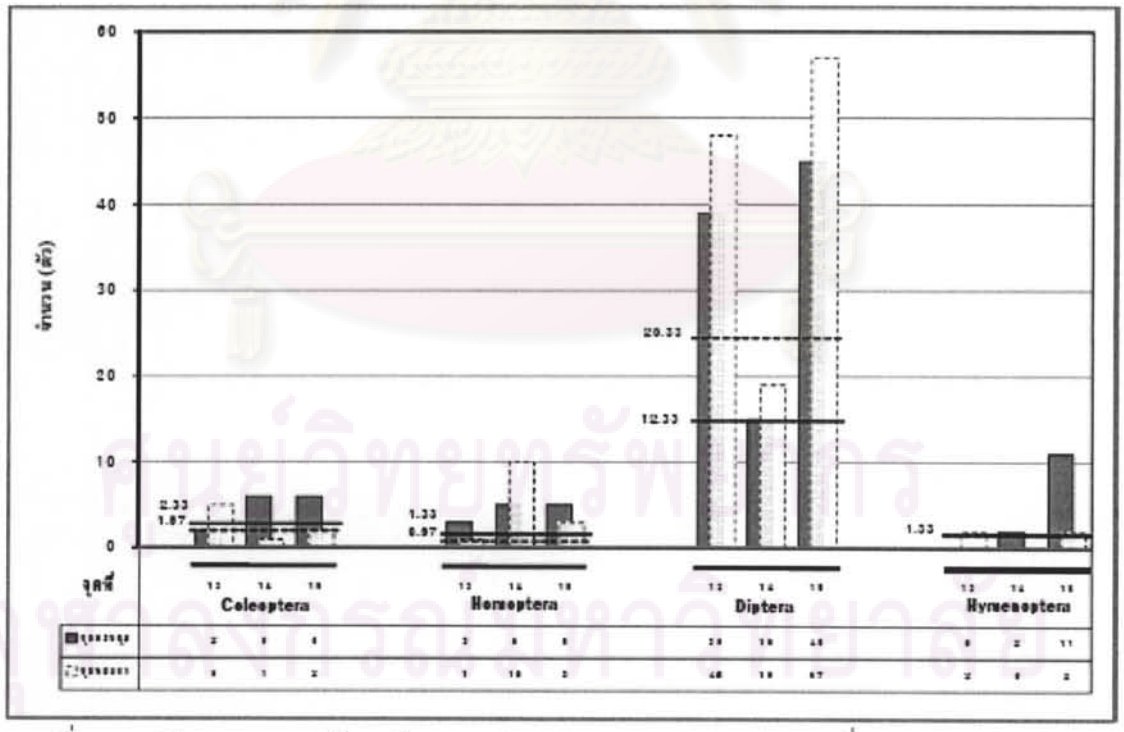
ภาพที่ 4.35 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 3

(*E. blanda* 50 ไมโครลิตร) ในฤดูหนาว พ.ศ. 2551



ภาพที่ 4.36 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 4

(*L. cubeba* 100 ไมโครลิตร) ในฤดูหนาว พ.ศ. 2551



ภาพที่ 4.37 ปริมาณแมลงเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ 5

(*E. blanda* 100 ไมโครลิตร) ในฤดูหนาว พ.ศ. 2551

ตารางที่ 4.8 ผลของชุดทดสอบต่อแมลงใน 4 อันดับเปรียบเทียบระหว่างฤดูร้อน และหนาวในปี พ.ศ. 2551

ชุดทดสอบ / อันดับ	*L. cubeba* 50 ไมโครลิตร		*Z. acanthopodium* 30 ไมโครลิตร		*E. blanda* 50 ไมโครลิตร		*L. cubeba* 100 ไมโครลิตร		*E. blanda* 100 ไมโครลิตร	
	S	W	S	W	S	W	S	W	S	W
Coleoptera	A	R	A	N	TR	N	N	N	N	N
Homoptera	TA	N	TA	TR	N	TR	TA	N	N	N
Diptera	N	N	N	TA	TA	R	TA	TA	TA	TA
Hymenoptera	N	N	TA	N	N	N	N	N	N	N

S = ฤดูร้อน W = ฤดูหนาว A = ดึงดูด R = ขับไล่ N = ไม่แตกต่าง □ = แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ■ = ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) TA = แนวโน้มดึงดูด TR = แนวโน้มขับไล่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

อภิปรายผลการทดลอง

5.1 พื้นที่ศึกษา

การสำรวจเพื่อเลือกพื้นที่สำหรับใช้ศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืชกับแมลงในพื้นที่ป่าธรรมชาติในครั้งนี้ได้คัดเลือกจุดสำรวจซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศสูงมาทั้งหมด 15 ตำแหน่ง จากจุดสำรวจที่กำหนดไว้ในครั้งแรกในอุทยานแห่งชาติดอยภูคา ทั้งนี้จุดศึกษาทั้งหมดตั้งอยู่ในบริเวณดงหญ้าหวายซึ่งเป็นพื้นที่ป่าที่สมบูรณ์และมีความหลากหลายของพื้นที่สูง ครอบคลุมความสูงจากระดับน้ำทะเลในช่วง 1,500 - 1,900 เมตร ซึ่งป่าในพื้นที่นั้นเป็นป่าดิบเขา และจุดศึกษาดังกล่าวตั้งอยู่ในเขตอนุรักษ์ทำให้การรบกวนจากการใช้พื้นที่ป่ามีน้อยมาก ระบบนิเวศของป่าบริเวณนั้นจึงเป็นธรรมชาติสูง ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยนอกระบบน้อย เหมาะสำหรับการศึกษาเพราะความแปรผันของระบบเกิดขึ้นในช่วงแคบ

5.2 จำนวนชนิดและปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจพบในตัวอย่างพืช

จากการประยุกต์สมการ Shannon-Wiener มาใช้หาและเปรียบเทียบความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพืชนั้น เมื่อเปรียบเทียบให้สารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพืชแทนชนิดพันธุ์ และให้พืชที่ผลิตสารอินทรีย์ระเหยง่ายนั้นเป็นพื้นที่บริเวณหนึ่ง พบว่าสามารถใช้สมการดังกล่าวคำนวณหาความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพืชได้ ซึ่งทำให้ใช้ค่าดัชนีนี้เป็นเครื่องชี้วัดถึงความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่าย จากการเปรียบเทียบพืชตัวอย่างที่ใช้ทดสอบค่าดัชนีความหลากหลายอยู่ในช่วง 0-0.89 (0 เท่ากับค่าต่ำที่สุด และ 1 เท่ากับค่าสูงสุด) แสดงถึงความหลากหลายของชนิดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืช ซึ่งพืชชนิดที่มีค่าความหลากหลายสูงมักจะมีปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูงด้วย เช่น *Litsea cubeba* มีค่าความหลากหลายอยู่ที่ 0.89 ซึ่งเป็นค่าสูงที่สุดในพืช 17 ชนิดที่ทดสอบ (ฤดูหนาว พ.ศ. 2549 และฤดูร้อน พ.ศ. 2550) ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงปริมาณเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพืช(พื้นที่ใต้กราฟต่อน้ำหนักสด) ที่ตรวจสอบได้พบว่า *Litsea cubeba* ก็เป็นชนิดที่มีปริมาณสูงสุดเช่นกัน ดังนั้นดัชนีนี้สามารถใช้บอกถึงความหลากหลายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืชได้และ ยังอาจใช้เป็นเครื่องชี้วัดถึงปริมาณได้อีกด้วย

สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจพบจากการวิเคราะห์นั้นมีความหลากหลายทั้งในแง่ชนิดและปริมาณ จากผลการทดลองพบว่าปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืชนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละฤดู เช่น สารอินทรีย์ระเหยง่ายหลักที่พบ ใน *Ardisia quinquegana* ในฤดูร้อน (ตัวอย่าง S27) คือ santolina triene พบในสัดส่วน 34.82% (ภาคผนวก) ในขณะที่สารอินทรีย์ระเหยง่ายหลักที่พบในฤดูหนาว (ตัวอย่าง S54) คือ α-thujene ในสัดส่วน 20.15% (ภาคผนวก) ซึ่งข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่พืชปลดปล่อยออกมาขึ้นกับฤดูกาล กล่าวคือพืชตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละฤดู (Campeol และคณะ, 2003; Barbosa และคณะ, 2007)

จากผลการทดลองใน *Elsholtzia blanda* ซึ่งเป็นพืชในวงศ์ Lamiaceae มีสารอินทรีย์ระเหยง่ายหลายชนิดที่ตรงกับรายงานก่อนหน้านี้ของพืชที่อยู่ในวงศ์เดียวกันคือ *Thymus pannonicus* All. มีสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่พบในพืชทั้ง 2 คือ α-pinene α-phellandrene δ-3-carene α-terpinene β-phellandrene และ 1,8-cineole (Maksimović และคณะ, 2008) *Cinnamomum inner* และ *Litsea cubeba* ซึ่งเป็นพืชในวงศ์ Lauraceae พบว่าสารอินทรีย์หอมระเหยง่ายจากพืชทั้งสองนี้สร้างสารที่เหมือนกับหลายชนิดเช่นเดียวกันคือ hexanal (*E*)-2-hexenal (*Z*)-3-hexenol tricyclene α-thujene δ-3-carene α-terpinene limonene 1,8-cineole γ-terpinene terpinolene จาก *Cinnamomun inner* และ hexanal (*E*)-2-hexenal tricyclene α-thujene α-pinene camphene sabinene α-phellandrene α-terpinene limonene 1,8-cineole γ-terpinene และ terpinolene จาก *Litsea cubeba* เป็นชนิดตรงกับ *Laurus nobilis* L. เป็นพืชในวงศ์ Lauraceae (Kilcic และ Altuntas, 2006) จะเห็นได้ว่าพืชจากทั้ง 3 ชนิด ข้างต้น (*E. blanda* วงศ์ Lamiaceae และ *C. inner* และ *L. cubeba* วงศ์ Lauraceae) มีสารที่พบทั้ง 3 ชนิด คือ hexanal (*E*)-2-hexenal tricyclene α-thujene α-terpinene limonene 1,8-cineole γ-terpinene terpinolene และ *Zanthoxylum acanthopodium* ซึ่งเป็นพืชในวงศ์ Rutaceae พบสารอินทรีย์ระเหยง่าย α-terpineol ที่ตรงกับพืชในวงศ์เดียวกันคือ *Haplophyllum suaveolens* (DC.) และ α–pinene และ β-Phellandrene ซึ่งตรงกับใน *Esenbeckia almawillia* Kunth (Ivanova และคณะ, 2004; Barros-Filho และคณะ, 2004)

จะเห็นได้ว่าพืชในวงศ์ Lamiaceae และ Lauraceae สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่พบจากพืชภายในวงศ์นั้นๆ ส่วนมากจะเหมือนมีความเหมือนกันอาจแตกต่างกันบ้างตามแต่ละชนิดของพืช แต่ในส่วนของวงศ์ Rutaceae พบว่ารูปแบบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่พบจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันอยู่มากเป็นไปได้ว่าพืชภายในวงศ์นี้มีความใกล้ชิดทางสายพันธุ์น้อย ซึ่งรูปแบบเฉพาะตัวของ

สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่พบในพืชนั้นคาดว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำจัดอนุกรมวิธานด้วยสารเคมี (Chemotaxonomic) ได้ (Barros-Filho และคณะ, 2004)

จากการตรวจสอบชนิดของสารอินทรีย์ในพืชซึ่งอยู่ในพื้นที่ป่า พืชจะได้รับปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้พืชอยู่ในภาวะเครียดซึ่งจากการตรวจสอบพบถึงสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่พบทำให้สามารถคาดถึงสภาวะที่พืชได้รับอยู่ พืชที่อยู่ในธรรมชาติ จะได้รับปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้พืชอยู่ในภาวะเครียด ซึ่งในภาวะดังกล่าวพืชจะสร้างและปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายบางชนิด ที่สามารถนำมาใช้คาดการณ์ถึงสภาวะที่พืชได้รับ

- สารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืชที่อยู่ในสภาวะตอบสนองต่อการถูกสัตว์กินพืชกัดกิน มีหลายชนิด เช่น 2,4-hexadienal ที่พบใน *L. cubeba* สามารถทำให้มีการสร้างเซลล์ที่ผิดปกติหรือ limonene จาก *C. inner E. blanda Z. acanthopodium* และ *L. cubeba* ส่งผลต่อระบบการหายใจของสัตว์อื่นๆ หรือ terpineol p-cymene α-/ β-thujones borneol α-terpinene α-/β-pinenes artemisia ketone และ 1,8-cineole มีผลขับไล่หรือฆ่าแมลงศัตรูพืช (Asanova และคณะ, 2003; Larsen และคณะ, 2000; Chan และคณะ, 2003) เป็นไปได้ที่พืชจะปลดปล่อยสารเหล่านี้เพื่อตอบสนองต่อพวกสัตว์กินพืช เพื่อป้องกันตัวเองและให้พืชสามารถอยู่รอดได้ นอกจากการตอบสนองต่อการถูกกัดกินของสัตว์กินพืชนั้น พืชยังสามารถกระตุ้นการป้องกันตัวเองในพืชข้างเคียงได้เช่น 1-octen-3-ol ที่พบในพืช *Thunbergia* sp. (S2) คาดว่าพืชปลดปล่อยออกมาเพื่อเป็นสัญญาณในการกระตุ้นกลไกการป้องกันตัวเองของพืชดังที่รายงานก่อนหน้าที่ว่า *Arabidopsis thaliana* เมื่อได้รับสาร 1-octen-3-ol จะมีกระตุ้นยีนที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันตัวเองของพืช หรือยีนที่ถูกกระตุ้นผ่านทาง ethylene/jasmonic acid เป็นสัญญาณ ซึ่งเมื่อ *A. thaliana* ได้รับ 1-octen-3-ol พบว่าการเกิดกลไกการป้องกันตัวเองของพืชมีความคล้ายกับการใช้ volatile methyl jasmonate (MeJA) หรือ methyl salicylate เป็นสัญญาณในการกระตุ้นกลไกการป้องกันตัวเอง เชื่อว่าการที่พืชสามารถปลดปล่อยสารนี้เพื่อเป็นการส่งสัญญาณไปถึงพืชต้นอื่นๆ ให้เกิดการป้องกันตัวเอง (Kishimoto และคณะ, 2007; Farmer, 2001)

- สารอินทรีย์ระเหยง่ายในพื้นที่อยู่ในสภาวะการตอบสนองต่อภาวะเครียดจากแสงและความร้อน คือ limonene α-pinene α-terpinene ocimene และ β-careyophyllene สารอินทรีย์ระเหยง่ายพวกนี้เป็นชนิดที่สามารถทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ secondary organic aerosol (SOA) ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยกรองแสงเป็นไปได้ว่าพืชจะปลดปล่อยสารเหล่านี้เพื่อเป็นการป้องกันตัวเองของพืชเมื่อได้รับภาวะเครียดจากแสงหรือความร้อน (Carr และคณะ, 2008; Wahid

และคณะ, 2007) พืชทดสอบหลายชนิดที่พบสารเหล่านี้ ได้แก่ *C. inner E. blanda L.cubeba* และ *Z. canthopodium*

ซึ่งจะเห็นได้ว่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายบางชนิดนั้นมีผลการออกฤทธิ์ในหลายทางเช่น Limonene เป็นผลให้เป็นการยากที่จะวิเคราะห์ย้อนกลับเพื่อระบุปัจจัยที่แท้จริงในการกระตุ้นพืชให้ปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดนั้นๆ

อย่างไรก็ตามเมื่อมองในภาพรวมไม่สามารถสรุปรูปแบบที่แน่นอนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายระหว่างฤดูร้อนกับฤดูหนาวได้ ทั้งนี้เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตและ/หรือปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายของพืช คือนอกเหนือไปจากฤดูกาล (ความชื้นของอากาศ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และความเข้มแสง) แล้วพืชอาจได้รับอิทธิพลจากภาวะเครียดที่เกิดจากการรบกวนของแมลง หรืออิทธิพลจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่พืชชนิดอื่นในพื้นที่เดียวกันปลดปล่อยออกมาสู่อากาศ นอกจากนี้อาจมีปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัยเหล่านี้ด้วย คือพืชอาจได้รับผลจากปัจจัยเดียว หรือหลายๆ ปัจจัยในช่วงเวลาเดียวกัน (Rodriguez-saona และคณะ, 2003) จึงเป็นไปได้ที่ปัจจัยซึ่งพืชได้รับแตกต่างกันไปในแต่ละจุดศึกษาที่กล่าวมาเหล่านี้จะมีผลต่อพืชมากกว่าปัจจัยจากฤดูกาลซึ่งพืชในแต่ละจุดได้รับค่อนข้างใกล้เคียงกัน เครื่องบ่งชี้อันหนึ่งที่สนับสนุนแนวคิดนี้คือความแตกต่างของปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายของตัวอย่างพืชที่เก็บในฤดูกาลเดียวกันจากจุดศึกษาแต่ต่างปี คือฤดูหนาวตั้งแต่ปี 2547-2550

5.3 ปริมาณแมลงในแต่ละอันดับในจุดศึกษา

จากการศึกษาพบว่าแมลงในแต่ละอันดับจะมีการกระจายตัวอยู่ทั่วไปในทุกๆ จุดที่ศึกษา โดยมีรูปการกระจายตัวที่ไม่แน่นอน ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่รายงานว่าการกระจายตัวของแมลงนั้นไม่เป็นไปในลักษณะเชิงเส้น (Bale และคณะ, 2002) อาจเป็นเพราะความแตกต่างของสภาพพื้นที่ในแต่ละจุด เช่น ความสูงของพื้นที่ พรรณไม้ในบริเวณนั้น ซึ่งมีผลต่อปริมาณอาหารของแมลงด้วย และการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่ศึกษายังน่าจะส่งผลต่อจำนวนแมลงเช่น ในปี พ.ศ. 2547 พื้นที่บริเวณอุทยานแห่งชาติมีช่วงที่อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดยาวนานถึง 3 เดือน ซึ่งอุณหภูมิมีผลต่อพัฒนาการของแมลงในช่วงต่างๆ ด้วย (Hintze, 1970) ซึ่งจากการที่อุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูหนาวในปี พ.ศ. 2550 สูงขึ้นส่งผลให้แมลงในอันดับต่างๆ เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากแมลงบางชนิดสามารถอยู่รอดได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่ว่า เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยมีการเปลี่ยนแปลงไปทั้งมากขึ้น หรือลดลงจะส่งผลต่ออัตราการรอดชีวิตของแมลงในอันดับ Coleoptera (Friedenberg และคณะ, 2008) จากการศึกษาปริมาณแมลง สามารถสรุปได้ดังนี้

อันดับ Coleoptera แมลงที่พบได้ทั่วไปในตำแหน่งศึกษาคือ พวกด้วงขนาดเล็ก เต่าทอง ซึ่งจำนวนแมลงที่ดักได้มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดู เนื่องจากแมลงในอันดับนี้สามารถพบได้ในหลายสภาวะแวดล้อม เช่น ป่า แปลงเกษตร หรือแม้แต่ทะเลทรายในแถบขั้วโลกเหนือ (Koivula และคณะ, 2004; Makarova และคณะ, 2007) ซึ่งแมลงที่ดักได้นั้นมีขนาดเล็ก (ขนาดไม่เกิน 1 เซนติเมตร) คาดว่าการที่แมลงในอันดับนี้สามารถดักได้ในปริมาณที่ไม่มากนั้นเป็นเพราะส่วนหนึ่งเป็นจากวิธีการดักด้วยกับดักกาว ทำให้ความสามารถในการดักแมลงกลุ่มด้วงขนาดใหญ่ไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากเป็นแมลงที่มีผิวสัมผัสที่ลื่น

อันดับ Homoptera แมลงในอันดับนี้จะเป็นกลุ่มของเพลี้ยชนิดต่างๆ จากที่ดักได้มักเป็นเพลี้ยกระโดด หรือเพลี้ยจักจั่น ซึ่งเป็นพวกที่ดูดกินน้ำเลี้ยงพืชเป็นอาหาร และเป็นแมลงพาหะนำโรคพืชอีกด้วย แมลงในอันดับนี้ส่วนมากจัดเป็นแมลงศัตรูพืช การกระจายตัวของแมลงชนิดพบว่ามีการกระจายไปตามลักษณะของพื้นที่ และฤดูกาล เป็นไปได้ที่ปริมาณแมลงในอันดับนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณแมลงในอันดับ Coleoptera เนื่องจากมีแมลงบางชนิดในอันดับ Coleoptera เช่น *Serangium parcesetosum* เป็นแมลงนักล่าของแมลงในอันดับนี้ (*Bemisia tabaci*) (Kutuk และคณะ, 2008) แมลงในอันดับ Homoptera จะเปลี่ยนไปตามฤดูกาลต่างๆ (Jiang และ Cheng, 2004) จะเห็นได้จากในฤดูฝนปี พ.ศ. 2549 แมลงในอันดับนี้จะมีจำนวนน้อยที่สุดเปรียบเทียบกับฤดูอื่นๆ

อันดับ Diptera แมลงที่พบส่วนมากเป็นกลุ่มแมลงวันและยุง แมลงในอันดับนี้มีที่บางชนิดเป็นแมลงศัตรูพืช บางชนิดเป็นพาหะนำโรคในมนุษย์และดูดเลือดมนุษย์หรือสัตว์อื่นๆ ได้ (Medvedev และคณะ, 2007) บางชนิดเป็นปรสิตกับสัตว์ชนิดอื่น (Matyukhin และ Krivosheina, 2008) การอยู่รอดของแมลงในอันดับนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ เช่น อุณหภูมิ พบว่าที่อุณหภูมิที่ 12°C ระยะการเข้าดักแด้ของ *Echinocladius martini* (Orthocladiinae) และ *Polypedilum australotropicus* (Chironominae) ยาวนานมากกว่าที่อุณหภูมิ 18°C และ 26°C ตามลำดับ (McKie และ Pearson, 2006) ซึ่งสอดคล้องกับในฤดูหนาวปี พ.ศ. 2551 ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย ณ เวลาที่ทำการทดสอบ 19.5°C มีปริมาณแมลงในแต่ละจุดน้อยกว่าในฤดูร้อนปี พ.ศ. 2551 (อุณหภูมิเฉลี่ยที่ 19.9°C ณ เวลาที่ทำการดักแมลง)

อันดับ Hymenoptera แมลงกลุ่มนี้เป็นกลุ่มผึ้ง โดยรวมพวกต่อเบียน แตนเบียน และมีชนิดที่เป็นตัวห้ำด้วย แมลงในอันดับนี้เป็นแมลงที่ควบคุมปริมาณของแมลงชนิดอื่นผ่านทางการล่า การใช้เป็นที่วางไข่ หรือการใช้พิษ (Wang และ Yang, 2008) พบว่าใน Hymenoptera:

Braconidae ชนิดของอาหาร (น้ำหวานของพืชต่างชนิดกัน หรืออาหารสังเคราะห์) มีผลต่ออายุและเปอร์เซ็นต์การ parasitizing ในแมลงอันดับ Coleoptera (Manojnovic และคณะ, 2001) ซึ่งสอดคล้องกับในฤดูร้อนของปี พ.ศ. 2551 ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ฤดูร้อนในปี พ.ศ. 2549 ซึ่งพืชบางชนิดในฤดูร้อนของปี พ.ศ. 2551 ที่เป็นพืชล้มลุกมีการตาย เห็นได้ว่าจำนวนแมลงในอันดับ Hymenoptera ในฤดูร้อนของปี พ.ศ. 2551 มีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฤดูร้อนในปี พ.ศ. 2549 ส่งผลให้จำนวนแมลงในอันดับ Coleopteran ในฤดูร้อนของปี พ.ศ. 2551 มีปริมาณที่มากกว่า ฤดูร้อนในปี พ.ศ. 2549 จากการศึกษาพบว่าความสามารถในการล่าของแมลงนั้นสามารถพัฒนาได้ ตามที่มีผู้รายงานไว้ว่าแมลงในอันดับ Hymenoptera: Ichneumonidae สามารถพัฒนาความสามารถในการค้นหาเหยื่อโดยอาศัยประสบการณ์ โดยแมลงที่มีประสบการณ์จะสามารถค้นหาเหยื่อได้รวดเร็วกว่า (Ueno และ Ueno, 2005) ซึ่งแมลงในพื้นที่ศึกษาเป็นแมลงที่อยู่ในธรรมชาติย่อมจะต้องมีประสบการณ์ในการค้นหาเหยื่อ คาดว่าเป็นเหตุให้จำนวนแมลงในอันดับนี้ซึ่งเป็นแมลงนักล่ามีจำนวนน้อยกว่าแมลงเหยื่อ

จากผลการทดลองเห็นได้ว่าปริมาณแมลงอันดับ Hymenoptera และ Diptera เปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกัน เป็นไปได้ว่าแมลงในอันดับ Hymenoptera ซึ่งเป็นแมลงนักล่าในพื้นที่ของอุทยานแห่งชาติดอยภูคาจะเป็นกลุ่มที่ ควบคุมปริมาณแมลงในอันดับ Diptera โดยตรง ซึ่งตรงกับข้อมูลที่มีผู้รายงานไว้ว่า แมลงในอันดับ Hymenoptera ใช้แมลงในอันดับ Diptera เป็นอาหารหรือที่วางไข่ (Hendrichs และคณะ, 1994; Noma และคณะ, 2005)

5.4 พืชที่คาดว่ามีสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีผลต่อแมลง

จากการวิเคราะห์ด้วย GC-MS พบสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพืชทั้ง 3 ชนิด *Elsholtzia blanda* *Litsea cubeba* และ *Zanthoxylum acanthopodium* ซึ่งเป็นชนิดที่มีปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักในปริมาณที่สูงและยังเป็นพืชชนิดที่มีสารอินทรีย์ระเหยง่ายตรงกับข้อมูลของสารที่พบในอากาศ ณ พื้นที่ศึกษา และจำนวนของพืชทั้ง 3 ชนิดในพื้นที่มีปริมาณมาก ทำให้เชื่อว่าทั้ง 3 ชนิด เป็นหนึ่งในพืชที่ร่วมปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายสู่อากาศในบริเวณพื้นที่ป่าในบริเวณนั้น เมื่อนำพืชทั้ง 3 ชนิด มาสกัดด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ สามารถได้ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของพืชที่ใช้ในการสกัดยกเว้น *Cinamomum inner* ที่ไม่สามารถสกัดได้ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำเนื่องจากจะต้องอาศัยการใช้ตัวทำลายช่วยในการสกัด

จากชนิดและปริมาณสารที่พบในพืชทั้ง 3 ชนิดพบว่ามีสารที่เคยมีรายงานถึงผลต่อแมลง ยกตัวอย่างเช่น

1,8-cineole หรือ eucalyptol ซึ่งพบได้จาก *Cinnamomun inner* และ *Zanthoxylum acanthopodium* เป็นสารประเภท terpene แบบ monocyclic monoterpenoid เป็นส่วนประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยจากพืช *Eucalyptus urophylla* โดยใช้น้ำมันหอมระเหยจากพืชชนิดนี้ปริมาณ 200 ไมโครลิตร สามารถทำให้ตัวอ่อนของยุง (*Aedes aegypti*) ตาย 100% (Cheng และคณะ, 2009)

α-terpinene ซึ่งพบได้จาก *Cinnamomun inner Elsholtzia blanda* และ *Litsea cubeba* เป็นสารประเภท terpene แบบ monocyclic monoterpene ซึ่งเป็นส่วนประกอบรองใน *Eucalytus camaldalensis* (1.24%) แต่ได้มีการทดสอบถึงการใช้ α-terpinene ที่จะทำให้ตัวอ่อนของยุง (*Aedes albopictus*) นั้นตายที่ 50% พบว่าใช้ปริมาณเพียง 25.2 ไมโครลิตร (Cheng และคณะ, 2009)

camphor ซึ่งพบได้จาก *Cinnamomun inner Elsholtzia blanda* และ *Litsea cubeba* เป็นสารประเภท terpenoid ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยของพืช *Salvia hydrangea* DC. ex Benth โดยมีปริมาณ 54.2% มีการทดสอบถึงผลของน้ำมันหอมระเหยจากพืชนี้กับแมลงศัตรูพืชในระยะตัวเต็มวัยของ *Sitophilus granaries* และ *Tribolium comfosum* พบว่าที่ปริมาณ 40 ไมโครลิตร สามารถฆ่าแมลงทั้งสองได้ 68.3% และ 75.0% ตามลำดับ (Kotan และคณะ, 2008)

limonene ซึ่งพบได้จาก *Cinnamomun inner Elsholtzia blanda Litsea cubeba* และ *Zanthoxylum acanthopodium* เป็นสารประเภท terpene แบบ monocyclic monoterpene ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยของพืช *Tagetes minuta* โดยมีปริมาณ 66.5% พบว่าน้ำมันหอมระเหยชนิดนี้ที่ความเข้มข้น 90% สามารถไล่ยุง *Ades aegypti* ได้นานถึง 90 นาที (Gillij และคณะ, 2008; Choochote และคณะ, 2007)

ocimene α- pinene และ cadinene พบได้จาก *Cinnamomun inner Elsholtzia blanda Litsea cubeba* และ *Zanthoxylum acanthopodium* เป็นสารประเภท linear monoterpene bicyclic monoterpene และ sesquiterpene ตามลำดับ ทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นสารที่จะสามารถไปทำปฏิกิริยากับโปรตีนในเยื่อหุ้มเซล (membrane proteins) หรือไขมันบนเยื่อหุ้มเซล โดยจะส่งผลให้โปรตีนถูกเปลี่ยน conformation ส่งผลให้โปรตีนเหล่านั้นไม่สามารถทำงานได้ ทำให้ ion channels ประสาทรับสัมผัส (neuroreceptors) ไม่ทำงาน (Wink, 2006)

5.5 **ผลของสารสกัดน้ำมันหอมระเหย** (essential oil extraction)

การตอบสนองของแมลงต่อสารอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำมันหอมระเหยจากพืชที่ใช้ศึกษามีความแตกต่างกัน สามารถระบุได้เป็น ดึงดูด ขับไล่ หรือไม่ตอบสนองต่อสารนั้นๆ จากการทดสอบในพื้นที่ป่าธรรมชาติ ปัจจัยหลายอย่างมีผลต่อการตอบสนองของแมลง ปัจจัยหนึ่งที่เห็นได้ชัดเจน คือ ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายอื่นๆ ที่พืชในบริเวณทดสอบปลดปล่อยสู่บรรยากาศนอกเหนือไปจากสารสกัดน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ทดสอบ อาจมีผลต่อแมลงในรูปแบบการตอบสนองในทางเดียวกันหรือในทางตรงข้ามได้ นอกจากนี้การให้สารที่มีความเข้มข้นมากกว่าปกติที่มีอยู่ในธรรมชาติ อาจมีผลกระตุ้นให้พืชในบริเวณดังกล่าวสร้างสารอินทรีย์ระเหยง่ายบางชนิดเพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างเช่น *Phaseolus lunatus* ถูกกระตุ้นให้สร้างสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยการทา jasmonic acid จะตอบสนองโดยการสร้างสารอินทรีย์หอมระเหยเพิ่มมากขึ้นประมาณ 10 เท่า ในขณะที่ *Ricinus communis* ถูกกระตุ้นเช่นเดียวกัน พบว่ามีการสร้างสารอินทรีย์หอมระเหยเพิ่มมากขึ้นประมาณ 1.6 เท่า ดังนั้นสารอินทรีย์หอมระเหยที่แมลงจะได้รับจะมีความหลากหลายทั้งชนิดและปริมาณแตกต่างกันไปตามการตอบสนองของพืชบริเวณนั้น (Radhika และคณะ, 2008) การเปลี่ยนแปลงทางสารอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ทดสอบในพื้นที่ป่าที่เกิดขึ้นในอากาศก่อนที่แมลงจะได้รับอาจมีผลให้การตอบสนองของแมลงแตกต่างกันไป ซึ่งสารอินทรีย์ระเหยง่ายสามารถเปลี่ยนรูปแบบไปโดยการแตกตัวเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง เช่น

camphene สามารถสลายได้เป็น cumene o-cymene camphenilone และ verbenone

δ-3-carene สามารถสลายได้เป็น 4-hydroxy-2-methyl-2-cyclohexenone p-cymenene o-cymene 3-caren-2-one 3-carene-5-one 3-carene oxide 3-carene-2,5-dione และ trans-2-hydroxy-3-caren-5-one

limonene สามารถสลายได้เป็น *p*-cymenene p-cymene p-mentha-1,5,8-triene carvone 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-2-cyclohexen-1-one 3-methyl-6-(1-methylethenyl)-2-cyclohexen-1-one eucarvone thymol p-mentha-1(7),9-dien-2-ol และ perollyl alcohol

α-terpinene สามารถสลายได้เป็น *p*-cymene thymol carvacrol 1,4-cineole eucalyptol 3-(1-methyleyhyl)-6-oxo-2-heptenal และ 3,7-dimethyl-6-oxo-2-oxtenal (Mcgraw และคณะ, 1999)

รูปแบบการตอบสนองของแมลงต่อสารอินทรีย์ระเหยง่าย

ในอันดับ Coleoptera ในฤดูร้อนปี พ.ศ. 2551 ในการทดสอบด้วยสารสกัดระเหยง่ายจาก *L. cubeba* ปริมาณ 50 ไมโครลิตร และ *Z. acanthopodium* ปริมาณ 30 ไมโครลิตร สามารถดึงดูดแมลงในอันดับนี้ได้มากขึ้นเป็นไปได้ว่า สารสกัดระเหยง่ายจากพืชทั้ง 2 ชนิดจะมีส่วนประกอบที่เหมือนกับ pheromone ของแมลงอันดับนี้ ซึ่งจะทำให้แมลงถูกดึงดูดไปในบริเวณที่มี pheromone อยู่ (Blaženec และ Jakuš, 2009) หรือน้ำมันหอมระเหยอาจมีลักษณะคล้าย กับสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่พืชชนิดที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย ซึ่งจะดึงดูดแมลงในอันดับนี้ แต่ในฤดูหนาวของปีเดียวกันพบว่าสารสกัดน้ำมันระเหยง่ายจาก *L. cubeba* ปริมาณ 50 ไมโครลิตร ส่งผลในการขับไล่แมลงในอันดับ Coleoptera เป็นไปได้ว่าเป็นผลมาจากการที่พืชจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายซึ่งพืชในช่วงเวลานั้นจะถูกกระตุ้นจากปัจจัยภายนอก ซึ่งรูปแบบของสารที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นมีความเหมือนหรือคล้ายกับสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพืชที่ไม่ใช่แหล่งที่อยู่อาศัยพบว่าจะส่งผลขับไล่ (Allison และคณะ, 2004)

อันดับ Diptera จากการทดสอบในฤดูร้อนปี พ.ศ. 2551 พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากพืชที่สามารถดึงดูดแมลงในอันดับ Diptera คือน้ำมันหอมระเหยจาก *E. blanda* ที่ปริมาณ 50 ไมโครลิตร ซึ่งเป็นไปได้ว่ารูปแบบของสารสกัดที่ใช้ทดสอบและปริมาณของสารที่ใช้ทดสอบน่าจะมีผลต่อปฏิสัมพันธ์ของแมลงเนื่องจากในผลการทดสอบของ *E. blanda* ที่ปริมาณ 100 ไมโครลิตร แสดงถึงแนวโน้มในการดึงดูดแมลงในอันดับนี้ทั้ง 2 ครั้งที่ทำการทดสอบ เป็นไปได้ว่าสารสกัดน้ำมันระเหยง่ายจากพืชนั้นมีความเหมือนหรือคล้ายกับสารอินทรีย์ระเหยง่ายของพืชที่เป็นแหล่งอาหารหรือที่อยู่ซึ่งพืชปล่อยออกมาซึ่งแมลงในธรรมชาติจะใช้กลิ่นในการจดจำ และใช้เลือกพืชเพื่อใช้ในการวางไข่ (Allison และคณะ, 2004; Gouinguene´ และ Städler, 2006) แต่การที่ผลทดสอบไม่มีความแตกต่างทางสถิตินั้นเป็นไปได้ว่าเกิดจากปัจจัยภายนอกจากสิ่งแวดล้อมที่เป็นระบบเปิดเข้ามีผลต่อการตอบสนองของแมลง

อันดับ Homoptera และอันดับ Hymenoptera พบว่าไม่มีชุดทดสอบใดที่ให้ผลแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีการแสดงถึงแนวโน้มในการดึงดูดและขับไล่ ในบางชุดทดสอบทำให้ไม่อาจมั่นใจได้ว่าสารสกัดที่ใช้ในการทดสอบนั้นไม่ส่งผลต่อแมลงใน 2 อันดับนี้ จะต้องทำการทดลองซ้ำในภายหน้า ในระบบปิดเพื่อลดปัจจัยรบกวนจากภายนอก นอกจากนี้เป็นไปได้ว่าแมลงในอันดับ Hymenoptera นั้นจะถูกดึงดูดจากแมลงเหยื่อของแมลงในอันดับนี้ยกตัวอย่างเช่น แมลง

ในอันดับ Hymenoptera: Pteromalidae สามารถรับรู้ถึงสารเคมีจากตัวมอส (*Lobesia botrana*) ซึ่งเป็นแมลงที่ถูกใช้เป็นที่วางไข่ (Chuche และคณะ, 2006) ทำให้ปริมาณแมลงในอันดับนี้เปลี่ยนแปลงไปเป็นไปได้ว่าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแมลงชนิดอื่นในบริเวณนั้นๆ ด้วย

การที่แมลงจะถูกดึงดูดได้คาดว่าเป็นเพราะส่วนประกอบในสารสกัดที่ใช้ทดสอบเหมือนกับสิ่งที่ดึงดูดตามธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากดอกไม้ หรือจากแมลง แต่แนวทางในการตอบสนองนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยซึ่งในสารชนิดหนึ่งเมื่อที่ความเข้มข้นหนึ่งสามารถดึงดูดแมลงได้แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้น การตอบสนองของแมลงจะไปในทิศทางตรงกันข้ามคือขับไล่ (Whitman และ Eller, 1992)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

1 สำรวจพื้นที่และวางตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง

พื้นที่บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยภูคาเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมในการศึกษาถึงรูปแบบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพืช และเหมาะสมในการศึกษาผลของสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อแมลงเนื่องจากเป็นพื้นป่าที่ยังคงความสมบูรณ์ และมีแมลงประจำถิ่นสามารถทำการทดสอบได้

2 เก็บตัวอย่างพืชและระบุชนิดพืชที่คาดว่ามีสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นองค์ประกอบ

พืชป่าจำนวน 17 ชนิด ที่เก็บตัวอย่างมาจากอุทยานแห่งชาติดอยภูคาในแต่ละชนิดมีสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นองค์ประกอบทั้งหมด และมีการสร้างสารในปริมาณที่แตกต่างกันไป

3 ตรวจสอบปริมาณและชนิดสารอินทรีย์ระเหยง่าย

ในพืช 17 ชนิดที่ทำการศึกษามีกลุ่มของสารประกอบแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม monoterpene กลุ่ม sesquiterpene และอื่นๆ โดยพบว่ามีปริมาณของกลุ่ม terpene มากกว่ากลุ่ม sesquiterpene และพืชแต่ละชนิดมีสารอินทรีย์ระเหยง่ายหลักที่แตกต่างกัน

4 การสำรวจปริมาณและกลุ่มแมลงในจุดที่ศึกษา

จากการดักแมลงด้วยกับดักแมลงสีเหลืองพบว่าสามารถดักแมลงได้ 4 อันดับใหญ่ๆ ได้แก่ Coleoptera Diptera Homotera และ Hymeoptera พบว่าในอันดับ Diptera ถูกดักได้มากที่สุด ในทุกตำแหน่งและทุกครั้งในการทดสอบ

5 ระบุชนิดพืชที่คาดว่ามีสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีผลขับไล่หรือดึงดูดแมลง

คาดว่า *Elsholtzia blanda Zanthoxylum acanthopodium* และ *Litsea cubeba* จะมีผลขับไล่หรือดึงดูดแมลง เนื่องจากมีสารประกอบหลักที่มีปริมาณมากและตรงกับที่พบในบรรยากาศ

6 ตรวจสอบผลของสารสกัดระเหยง่ายจากพืชที่ระบุได้ในข้อ 5 ต่อแมลง

สารสกัดระเหยง่ายจาก *E. blanda* 50 ไมโครลิตร มีผลขับไล่แมลงในอันดับ Diptera ในฤดูหนาว

สารสกัดระเหยง่ายจาก *Z. acanrhopodium* 30 ไมโครลิตร มีผลต่อดึงดูดแมลงในอันดับ Coleoptera ในฤดูร้อน

สารสกัดระเหยง่ายจาก *L. cubeba* 50 ไมโครลิตร มีผลดึงดูดแมลงในอันดับ Coleoptera ในฤดูร้อน และมีขับไล่ในฤดูหนาว

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาถึงระดับการออกฤทธิ์ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพืชในรูปแบบสารเดียว
2. ควรศึกษาผลต่อแมลงในห้องปฏิบัติการเพื่อลดผลของปัจจัยอื่น
3. ควรแบ่งแมลงออกตามหน้าที่ในธรรมชาติเพื่อให้แสดงถึงผลของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพืชต่อผลทางนิเวศวิทยาได้มากขึ้น

การนำไปใช้ประโยชน์

สามารถนำความรู้ที่ได้ไปเผยแพร่ต่อเกษตรกรถึงผลของการใช้สารสกัดระเหยง่ายในการควบคุมแมลง หรือใช้พืชที่มีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีผลต่อแมลงเพื่อปลูกเป็นพืชแทรกระหว่างแปลงหรือแถวปลูกเพื่อช่วยในการควบคุมปริมาณแมลงด้วยวิธีตามธรรมชาติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. **บทปฏิบัติการกีฏวิทยาเบื้องต้น**. จำนวน 1,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 2. บทปฏิบัติการกีฏวิทยาเบื้องต้น. โรงพิมพ์ ลินคอร์น โปรโมชั่น. : สำนักพิมพ์รั้วเขียว, 2542.

Adams, R.P. Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry, 4th edition. USA: Allured publishing corporation, Illinois, 2007.

Adam, P., Hecht, S., Eisenreich, W., Kaiser, J., Gräwert, T., Arigoni, D., Bacher, A., and Rohdich, F. 2002. Biosynthesis of terpenes: Studies on 1-hydroxy-2-methyl-2-(E)-butenyl-4-diphosphate reductase. Proceedings of the National Academy of Sciences 99: 12108-12113.

Alborn, H.T., Turlings, T.C., Jones, T.H., Stenhagen, G., Loughrin, J.H., and Tumlinson, J.H. 1997. An elicitor of plant volatiles from beet armyworm oral secretion. Science 276: 945-949.

Allison, J.D., Borden, J.H., and Seybold, S.J. 2004. A review of the chemical ecology of the Cerambycidae (Coleoptera). Chemoecology 14: 123-150. Review.

Asanova, Zh.K., Suleimenov, E.M., Atazhanova, G.A., Dembitskii, A.D., Pak, R.N., Dar, A., and Adekenov, S.M. 2003. Biological activity of 1,8-CINEOLE from levant wormwood. Pharmaceutical Chemistry Journal 37: 28-30.

Autran, E.S., Neves, I.A., Silva, C.S.B., Santos, G.K.N., Mara, C.A.G., Navarro, D.M.A.F. 2009. Chemical composition, oviposition deterrent and larvicidal activities against Aedes aegypti of essential oils from Piper marginatum Jacq. (Piperaceae). Bioresource Technology 100: 2284-2288.

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., and Idaomar, M. 2007. Biological effects of essential oils — A review. Food and Chemical Toxicology 46: 446-475.

Banchio, E., Valladares, G., Zygadlo, J., Bogino, P.C., Rinaudi, L.V., and Giordano, W. 2007. Changes in composition of essential oils and volatile emissions of *Minthostachys mollis*, induced by leaf punctures of *Liriomyza huidobrensis*. Biochemical Systematics and Ecology 35: 68-74.

Barbosa, L.C.A., Demuner, A.J., Clemente, A.D., Paula, V.F., and Ismail, F.M.D. 2007. Seasonal variation in the composition of volatile oils from *Schinus terebinthifolius* RADDI. Quim Nova 30: 1959-1965.

Barros-Filho, B.A., Nunes, F.M., Oliveira, M.C.F., Mafezoli, J., Andrade-Neto, M., and Silveira, E.R., Pirani, J.R. 2004. Volatile constituents from *Esenbeckia almawillia* (Rutaceae). Biochemical Systematics and Ecology 32: 817–821.

Benja, C. 2006. Chemometric study of essential oils from Thai *Cinnamomum* species. Master's Thesis, Department of Pharmaceutical Science, Gradate School, Chulalongkorn University.

Blažence, M., and Jakuš, R. 2009. Effect of (+)-limonene and 1-methoxy-2-propanol on *Ips typographus* response to pheromone blends. Journal of Forestry Research 20: 37-44.

Bruce, T.J.A., Wadhams, L.J., and Woodcock, C.M. 2005. Insect host location: a volatile situation. Trend in Plant Science 10: 269-274.

Caissard, J.C., Meekijjironenroj, A., Baudino, S., and Anstett, M.C. 2004. Localization of productor attractant on whole leaves of *Chamaerops Hummilis* (*Arecaceae*). American Journal of Botany 91: 1190-1199.

Campeol, E., Flamini, G., Cioni, P.L., Morelli, I., Cremonini, R., and Ceccarini, L. 2003. Volatile fractions from three cultivars of *Olea europaea* L. collected in two different seasons. Agricultural and Food Chemistry 51: 1994-1999.

Carr, T. K., Kevin, P., Wyche, K.P., Cordell, R.L., Ellis, A.M., Monks, P.S., McFiggans, G., Turner, F., and Irwin, M. 2008. Detection of gas phase oxidation products of limonene, α-pinene, α-terpinene, ocimene and β-caryophyllene within an atmospheric simulation chamber using chemical ionisation reaction time-of-flight mass spectrometry. Geophysical Research Abstracts 10: 98.

Chan, P. C., Mahler, J., Peddada, S., Lomnitski, L., and Nyska, A. 2003. Forestomach tumor induction by 2,4-hexadienal in F344N rats and B6C3F1 mice. Archives of Toxicology 77: 511–520.

Chanjirakul, K., Wang, S.Y., Wang, C.Y., and Siriphanich, J. 2006. Effect of natural volatile compounds on antioxidant capacity and antioxidant enzymes in raspberries. Postharvest Biology and Technology 40: 106–115.

Cheng, S.S., Huang, C.G., Chen, Y.J., Yu, J.J., Chen, W.J., and Chang, S.T. 2009. Chemical compositions and larvicidal activities of leaf essential oils from two eucalyptus species. Bioresource Technology 100: 452-456.

Chokratin, P., Sontimanotham, K., and Wangsomboondee, T. 2008. Study of organic compounds emission from the atmosphere of a forest ecosystem and their effects on insects at doi phu ka national park, Thailand. 13th biological sciences graduate congress: 106

Choochote, W., Chaithong, U., Kamsuk, K., Jitpakdi, A., Tippawangkosol, P., Tuetun, B., Champakaew, D., and Pitasawat, B. 2007. Repellent activity of selected essential oils against Aedes aegypti. Fitoterapia 78 : 359-364.

Chuche, J., Xuéreb, A., and Thiéry, D. 2006. Attraction of *Dibrachys cavus* (Hymenoptera: Pteromalidae) to its host frass volatiles. Journal of Chemical Ecology 32: 2721-2731.

Chunlin, L., Ying, R., and Chunyun, G. 2004. The model of defense gene expression induced by signaling molecule β-ocimene. Chinese Science Bulletin 49: 2643-2644.

Ciccioli, P., Cecinato, A., Brancaleoni, E., Brachetti, A., and Frattoni, M. 1994. Polar volatile organic compounds (VOC) of natural origin as precursors of ozone. Environmental Monitoring and Assessment 31: 211-217.

Claeys, M., Wang, W., Ion, A.C., Kourtcheev, I., Gelencsér, A., and Maenhaut, W. 2004. Formation of secondary organic aerosols from isoprene and its gas-phase oxidation products through reaction with hydrogen peroxide. Atmospheric Environment 38: 4093-4098.

Davison, B., Brunner, A., Ammann, C., Spirig, C., Jocher, M., and Neftel, A. 2008. Cut-induced VOC emissions from agricultural grasslands. Plant Biology 10: 76–85.

Dexter, R.J., Underwood, B.A. and Clark, D.G. 2007. Ethylene-regulated floral volatile synthesis in *Petunia* x *hybrid*. Proceedings of the 7th International Symposium on the Plant Hormone Ethylene: 141–146.

Dicke, M., and Bruin, J. 2001. Chemical information transfer between plants: back to the future. Biochemical Systematics and Ecology 29: 981-994.

Ebel, R.C., Mattheis, J.P., and Buchanan, D.A. 1995. Drought stress of apple trees alters leaf emissions of volatile compounds. Physiologia Plantarum 93: 709-712.

Elzaawely, A.A., Xuan, T.D., and Tawata, S. 2007. Changes in essential oil, kava pyrones and total phenolics of *Alpinia zerumbet* (Pers.) B.L. Burtt. & R.M. Sm. leaves exposed to copper sulphate. Environmental and Experimental Botany 59: 347-353.

Eyre, M.D. 2005. Habitat diversity in the conservation of the grassland Auchenorrhyncha (Homoptera: Cercopidae, Cicadellidae, Cixidae, Delphacidae) of northern Britain. Journal of Insect Conservation 9 : 309-317.

Fäldt, J., Arimura, G.I., Gershenzon, J., Takabayashi, J., and Jörg, B. 2003. Functional identification of AtTPS03 as (*E*)-*β*-ocimene synthase: a monoterpene synthase catalyzing jasmonate- and wound-induced volatile formation in Arabidopsis thaliana. Planta 216: 745-751.

Fares, S., Brilli, F., Noguès, I., Velikova, V., Tsonev, T., Dagli, S., and Loreto, F. 2008. Isoprene emission and primary metabolism in *Phragmites australis* grown under different phosphorus levels. Plant Biology 10: 38-43.

Farmer, E.E. 2001. Surface-to-air signals. Nature 411: 854-856.

Friedenberg, N.A., Sarkar, S., Kouchoukos, N., Billings, R.F., and Ayres, M.P. 2008. Temperature Extremes, Density Dependence, and Southern Pine Beetle (Coleoptera: Curculionidae) Population Dynamics in East Texas. Environmental Entomology 37 : 650-659.

Gershenzon, J., and Dudareva, N. 2007. The function of terpene natural products in the natural world. Nature Chemical Biology 3: 408-414.

Gershenzon, J., McConkey, M.E., and Croteau, R.B. 2000. Regulation of monoterpene accumulation in leaves of peppermint. Plant Physiology 122: 205-213.

Gillij, Y.G., Gleiser, R.M., and Zygadlo, J.A. 2008. Mosquito repellent activity of essential oils of aromatic plants growing in Argentina. Bioresource Technology 99: 2507-2515.

Gouinguené, S.P., and Städler, E. 2006. Oviposition in *Delia platura* (Diptera, Anthomyiidae): the role of volatile and contact cues of bean. Journal of Chemical Ecology 32 : 1399-1413.

Haag, J.D., Lindstrom, M.J., and Gould, M.N. 1992. Limonene-induced regression of mammary carcinomas. Cancer Research 52 : 4021-4026.

Hatakeyama, S., Izumi, K., Fukuyama, T., and Akimoto, H. 1989. Reactions of ozone with α-pinene and β-pinene in air: Yields of gaseous and particulate products. Journal of Geophysical Research 94: 13,013-13,024.

Hendrichs, J., Katsoyannos, B.I., Wornoayporn, V., and Hendrichs, M.A. 1994. Odour-mediated foraging by yellowjacket wasps (Hymenoptera: Vespidae): predation on leks of pheromone-calling Mediterranean fruit fly males (Diptera: Tephritidae). Oecologia 99: 88-94.

Hintze, C. 1970. The effect of temperature on the larval development of *Cerura vinula* L. (Lepidoptera). Oecologia 4: 374-380.

Holopainen, J.K. 2004. Multiple functions of inducible plant volatiles. Plant Science 9: 529-533.

Huxley, C.R., and Cutler, D.F. 1991. Ant-Plant Interactions. Oxford University Press.

Ivanovaa, A., Kostovaa, I., Navasb, H.R., and Villegas, J. 2004. Volatile components of some rutaceae species. Zeitschrift für Naturforschung 59: 169-173.

Jiang, M.X., and Cheng, J.A. 2004. Effects of manure use on seasonal patterns of arthropods in rice with special reference to modified biological control of whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* Horváth (Homoptera: Delphacidae). Journal of Pest Science 77: 185-189.

Jones, A.S., and Poppy, G.M. 2006. Comparison of glass vessels and plastic bags for enclosing living plant parts for headspace analysis. Journal of Chemical Ecology 32: 845-864.

Jonsson, S.M., Hallquist, M., and Ljungstrm, E. 2006. Impact of humidity on the ozone initiated oxidation of limonene, $\triangle$3-carene, and α-pinene. Environmental Science & Technology 40: 188-194.

Karban, R. 2001. Communication between sagebrush and wild tobacco in the field. Biochemical Systematics and Ecology 29: 995–1005.

Kesselmeier, J., and Staudt, M. 1999. Biogenic Volatile Organic Compounds (VOC): An Overview on Emission, Physiology and Ecology. Journal of Atmospheric Chemistry 33: 23-88.

Kessler, A., and Baldwin, I.T. 2001. Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature. Science 291: 2141-2144.

Kilic, A., and Altuntas, E. 2006. Wood and bark volatile compounds of *Laurus nobilis* L.. Holz als Roh- und Werkstoff 64: 317-320.

Kishimoto, K., Matsui, K., Ozawa, R., and Takabayashi, J. 2007. Volatile 1-octen-3-ol induces a defensive response in *Arabidopsis thaliana*. General Plant Pathology 73: 35–37.

Kotan, R., Kordali, S., Cakir, A., Kesdek, M., Kaya, Y., and Kilic, H. 2008. Antimicrobial and insecticidal activities of essential oil isolated from Turkish Salvia hydrangea DC. ex Benth. Biochemical Systematics and Ecology 36 : 360-368.

Kourtchev, I., Ruuskanen, T.M., Keronen, P., Sogacheva, L., Dal Maso, M., Reissell, A., Chi, X., Vermeylen, R., Kulmala, M., Maenhaut, W., and Claeys, M. 2008. Determination of isoprene and α-/β-pinene oxidation products in boreal forest aerosols from Hyytiälä, Finland: diel variations and possible link with particle formation events. Plant Biology 10: 138–149.

Koivula, M., Hyyryläinen, V., and Soininen, E. 2004. Carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) at forest-farmland edges in southern Finland. Journal of Insect Conservation 8 : 297-309.

Košťál, V. 1992. Orientation Behavior of newly hatched larvae of the Cabbage Maggot, *Delia radicum* (L.) (Diptera: Anthomyiidae) to volatile plant metabolites. Journal of Insect Behavior 5 : 61-71.

Krebs, C. J. Ecological Methodology. Addison-Welsey Educational Publishers, Inc, Menlo Park, CA. 620. pp. 1999.

Kubo, A., Lunde, C.S., and Kubo, I. 1996. Indole and (*E*)-2-Hexenal, Phytochemical Potentiators of Polymyxins against *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli*. Antimicrobial Agents and Chemotherapy 40 : 1438-1441.

Kutuk, H., Yigit, A., and Alaoglu, O. 2008. The effect of season on the levels of predation by the ladybird *Serangium parcesetosum* Sicard (Coleoptera: Coccinellidae) on the cotton whitefly *Bemisia tabaci* (Genn.) (HomopteraL Aleyrodidae), a serious pest of eggplants. Journal of Pest Science 81 : 207-212.

Langenheim, J.H. 1994. Higher plant terpenoids: A phytocentric overview of their ecological roles. Journal of Chemical Ecology 20: 1223-1280.

Larsen, S.T., Hougaard, K.S., Hammer, M., Alarie, Y., Wolkoff, P., Clausen, P.A., Wilkins C.K., and Nielsen G.D. 2000. Effects of R-(+)-and S-(-)-limonene on the respiratory tract in mice. Human and Experimental Toxicology 19 : 457-466.

Lee, K., and Berenbaum, M.R. 1990. Defense of parsnip webworm against phototoxic furanocoumarins: Role of antioxidant enzymes. Journal of Chemical Ecology 16: 2451-2460.

Lin, S.Y.H., Trumble, J.T. and Kumamoto, J.1987. Activity of volatile compounds in glandular trichomes of *Lycopersicon* species against two insect herbivores. Journal of Chemical Ecology 13: 837-850.

Loreto, F., Kesselmeier, J., and Schnitzler, J. P. 2008. Volatile organic compounds in the biosphere–atmosphere system: a preface. Plant Biology 10: 2–7.

Maffei, M., and Bossi, S. 2006. Plant Electrophysiology – Theory & Methods. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Makarova, O.L., Bieńkowski, A.O., Bulavintsev, V.I., and Sokolov, A.V. 2007. Beetles (Coleoptera) in polar deserts of the Severnaya Zemlya Archipelago. Entomological Review 87: 1142-1154.

Maksimović, Z., Milenković, M., Vučićević, D., and Ristić, M. 2008. Chemical composition and antimicrobial activity of *Thymus pannonicus* All. (*Lamiaceae*) essential oil. Central European Journal of Biology 3: 149–154.

Manojlovic, B., Zabel, A., Stankovic, S., and Kostic, M. 2001. Additional diet of the parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) and the parasitizing of the Elm Batk beetle (Coleoptera: Scolytidae). Journal of Pest Science 74: 66-71.

Matyukhin, A.V., and Krivosheina, M.G. 2008. Contributtion to the knowledge of Diptera (Insecta) parasitizing on birds. Entomological Review 88 : 258-259. Short communication

Mcgraw, G.W., Hemingway, R.W., Ingram Jr., L.L., Canady, C.S., and Mcgrow, W.B. 1999. Thermal degradation of terpenes: camphene, Δ^3-carene, limonene, and α-terpinene. Environment Science and Technology 33 : 4029-4033.

Mckie, B.G., and Pearson, R.G. 2006. Environmental variation and the predator-specific responses of tropical stream insects: effects of temperature and predation on survival and development of Australian Chironomidae (Diptera). Community Ecology 149 : 358-339.

Medvedev, S.G., Aibulatova, S.V., Bespyatova, L.A., Brodskaya, N.K., Panyukova, E.V., Khalin, A.V., and Yankovsky, A.V. 2007. Bloodsucking Dipteran insects (Diptera) attacking humans and animals (the "Gnus" complex) in northwestern Russia: I. general characteristics of the fauna. Entomological Review 87 : 1218-1231.

Negrobov, S.O. 2009. Seasonal dynamics of scarab beetles (Coleoptera, Lamellicornia) in Voronezh province. Entomological Review 89: 113-115. Short communicate.

Nishida, N., Tamotsu, S., Nagata, N., Saito, C., and Sakai, A. 2005. Allelopathic effects of volatile monoterpenoids produced by *Salvia leucophylla*: inhibition of cell proliferation and DNA synthesis in the root apical meristem of *Brassica campestris* seedlings. Journal of Chemical Ecology 31: 1187-1203.

Noma, T., Brewer, M.J., Pike, K.S. and Gaimari, S.D. 2005. Hymenopteran parasitoids and dipteran predators of *Diuraphis noxia* in the west-central Great Planins of North America: Species records and geographic range. 2005. Biocontrol 50: 97-111.

O'Connor, M.P., Temime-Roussell, B., Wenger, J.C., Carrasco, N., Doussin, J.F., Mellouki, A., and LeBras, G. 2005. Photolysis of biogenic C6 aldehydes under atmospheric conditions. Geophysical Research Abstracts 7: 8822

Özkan, G., Sagdiç, O., and Özcan, M. 2003. Inhibition of pathogenic bacteria by essential oils at different concentrations. Food Science and Technology International 9: 85 Note.

Paré, P.W., and Tumlinson, J.H. 1999. Plant volatiles as a defense against insect herbivores. Plant Physiology 121: 325-331.

Pavela, R. 2008. Larvicidal effects of various Euro-Asiatic plants against *Culex quinquefasciatus* Say larvae (Diptera: Culicidae). Parasitology Research 102 : 555-559.

Pichersky, E., and Gershenzon, J. 2002. The formation and fuction of plant volatile: perfumes for pollinator attreaction and defense. Current Opinion in Plant Biology 5: 237-243.

Poecke, R.M.P.V., Posthumus, M.A., and Dicke, M. 2001. Herbivore-induced volatile production by *Arabidopsis thaliana* leads to attraction of the parasitoid *Cotesia rubecula*: chemical, behavioral, and gene-expression analysis. Journal of Chemical Ecology 27: 1911-1928.

Radhika, V., Kost, C., Barram, S., Heil, M., and Boland. W. 2008. Testing the optimal defence hypothesis for two indirect defences: extrafloral nectar and volatile organic compounds. Planta 228 : 449-457.

Rahuman, A.A., Bagavan, A., Kamaraj, C., Vadivelu, M., Zahir, A.A., Elango, G., and Pandiyan, G. 2009. Evaluation of indigenous plant extracts against larvae of *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae). Parasitology Research 104 : 637-643.

Ramoni, R., Vincent, F., Grolli, S., Conti, V., Malosse, C., Boyer, F.D., Meillour, P.N.L., Spinelli, S., Cambillau, C., and Tegoni, M. 2001. The Insect Attractant, 1-octen-3-ol is the Natural Ligand of Bovine Odorant Binding Protein. The Journal of Biological Chemistry 276 : 7150-7155.

Rai, M. and Carpinella, M. 2006. Naturally Occurring Bioactive Compounds. in CHAPTER 11 Importance of plant secondary metabolites for protection against insects and microbial infections. MICHAEL WINK Elsevier B.V. All rights reserved.P251-268

Rapparini, F., Llusiá, J., and Peñuelas, J. 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal (AM) colonization on terpene emission and content of *Artemisia annua* L. Plant Biology 10: 108–122.

Rodilla, J.M., Tinoco, M.T., Morais, J.C., Gimenez, C., Cabrera, R., Benito- Martin, D., Castillo. L. and Gonzalez-Coloma, A. 2008. *Laurus novocanariensis* essential oil: seasonal variation and valorization. Biochemical Systematics and Ecology 36: 167-176.

Rodriguez-Saona, C., Crafts-Brandner, S.J., and Caňan, L.A. 2003. Volatile emissions triggered by multiple herbivore damage: beet armyworm and whitefly feeding on cotton plants. Journal of Chemical Ecology 29: 2539-2550.

Rohrig, E., Sivinski, J., Teal, P., Stuhl, C., and Aluja, M. 2008. A floral-derived compound attractive to the tephritid fruit fly parasitoid *Diachasminorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae). Journal of hemical Ecology 34: 549-557.

Roshchina, V.V. 2003. Autofluorescence of Plant Secreting Cells as a Biosensor and Bioindicator Reaction. Journal of Fluorescence 13: 403-420.

Røstelien, T., Karlson, A.K.B., and Mustaparta, H. 2000. Selective receptor neurone response to *E*-β-ocimene, β-myrcene, *E,E*-α-farnesene and *homo*-farnesene in the moth *Heliothis virescens*, indentified by gas chromatography linked to electrophysiology. Journal of Comparative Physiology 186: 833-847.

Saona, C.R., Brandner, S.J.C., and Canas, L.A. 2003. Volatile emissions triggered by multiple herbivore damage: beet armyworm and whitefly feeding on cotton plants. Journal of Chemical Ecology 29: 2539-2550.

Schuh, G., Heiden, A.C., Hoffmann, Th., Kahl, J., Rockel, P., Rudolph, J., and Wildt, J. 1997. Emissions of Volatile Organic Compounds from Sunflower and Beech: Dependence on Temperature and Light Intensity. Journal of Atmospheric Chemistry 27: 291-318.

Shimoda, T., Takabayashi, J., Ashihara, W., and Takafuji, A. 1997. Response of predatory insect *Scolothrips takahashii* toward herbivore-induced plant volatiles under laboratory and field conditions. Journal of Chemical Ecology 23: 2033-2048.

Singh, G., Maurya, S., Lampasona, M.P., and Catalan, C.A.N. 2007. A comparison of chemical, antioxidant and antimicrobial studies of cinnamon leaf and bark volatile oils, oleoresins and their constituents. Food and Chemical Toxicology 45: 1650-1661.

Srisanga, P. 2005. Biodiversity of vascular plants on doi phu kha nation park. Doctor's Thesis, Department of biology, Graduate School Chiang Mai University.

Steiner, K. E., and WhiteheadOil, V. B. 2002. Oil secretion and the pollination of *Colpias mollis* (Scrophulariaceae). Plant Systematics and Evolution 235: 53-66.

Taiz, L., and Zeiger, E. 2002. Plant physiology 3rd edition. USA: Sinauer Associates. Inc. Sunderland

Tasin, M., Anfora, G., Ioriatti, C., Carlin, S., Cristofaro, A., Schmidt, S., Bengtsson, M., Versini, G., and Witzgall, P. 2005. Antennal and behavioral responses of grapevine moth *Lobesia botrana* females to volatiles from grapevine. Journal of Chemical Ecology 31: 77-87.

Tholl, D., Boland, W., Hansel, A., Loreto, F., Röse, U.S. R., and Schnitzler, J.P. 2005. Practical approaches to plant volatile analysis. The Plant Journal 45: 540-560.

Ueno, K., and Ueno, T. 2005. Effect of wasp size, physiological state, and prior host experience on host-searching behavior in a parasitoid wasp (Hymenoptera: Ichneumonidae). Journal of Ethology 23: 43-49.

Valterová, I., Nehlin, G., and Karlson, A.K.B. 1997. Host plant chemistry and preferences in egg-laying *Trioza apicalis* (Homoptera, Psylloidea). Biochemical Systematics and Ecology 25: 477-491.

Velikova, V., Loreto, F., Brilli, F., Stefanov, D., and Yordanov, I. 2008. Characterization of juvenile and adult leaves of Eucalyptus globulus showing distinct heteroblastic development: photosynthesis and volatile isoprenoids. Plant Biology 10: 55–64.

Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., Foolad, M.R. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. Environmental and Experimental Botany 61: 199–223.

Wang, S.Y., Lai, W.C., Hua, F., Lin, C.T., Shen, S.Y., and Chang, S.T. 2006. Essential oil from the leaves of *Cryptomeria japonica* acts as a silverfish (*Lepisma saccharina*) repellent and insecticide. Journal of Wood Science 52: 522-526.

Wang, X., and Yang, Z. 2008. Ecological mechanisms and prospects for utilization of toxins from parasitic hymenopterans. Frontiers of Forestry in China 3: 1-9.

Wei, J., Wang, L., Zhu, J., Zhang, H., Nandi, O.I., and Kang, L. 2007. Plants attract parasitic wasps to defend themselves against insect pests by releasing hexenol. PLoS ONE 9: 1-7.

Whitman, D.W., and Eller, F.J. 1992. Orientation of *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae) to green leaf volatiles: dose-response curves. Journal of Chemical Ecology 18: 1743-1753.

Wink, M. 2006. Importance of plant secondary metabolites for protection against insects and microbial infections. Naturally occurring bioactive compounds 11: 251–268.

Zhang, Q.H., Schlyter, F., Battisti, A., Birgersson, G., and Anderson, P. 2003. Electrophysiological responses of *Thaumetopoea pityocampa* females to host volatiles: implications for host selection of active and inactive terpenes. Journal of Pest Science 76: 103–107.

Zobayed, S.M.A., Afreen, F., and Kozai, T. 2005. Temperature stress can alter the photosynthetic efficiency ans secondary metabolite concentrations in St. John's wort. Plant Physiology and Biochemistry 43: 977-984.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมการ Shannon-Wiener (Krebs, 1999)

$$H = -\sum_{i=1}^{S} (p_i)(\log_2 p_i)$$

เมื่อ H = information content of sample (bit/individual) = index of species diversity

H = ดัชณีความหลากหลายของชนิดพันธ์

S = number of species

S = จำนวนของชนิดพันธ์

p_i = proportion of total sample belonging to the i the species

p_i = สัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดในทุกชนิดพันธ์

$H_{max} = \log_2 S$ = maximum species diversity

H_{max} = ค่าสูงสุดของความหลากหลายของชนิดพันธ์

ซึ่ง

$$E = \frac{H}{H_{max}}$$

E = equitability (range 0-1)

H = observed species diversity

H = ค่าจากการสำรวจความหลาหลายชนิดพันธ์

H_{max} = maximum species diversity

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 สารอินทรีย์ระเหยง่ายของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา (ฤดูหนาว พ.ศ. 2549)

สารประกอบ	RT	% ของพื้นที่ใต้กราฟ											
		S1	S2	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S14	S15	S16
PENTANAL	2.27	2.59	5.32										
OCTENE <1->	3.06	25.36	10.64	14.93	20.29								
HEXANAL	3.19				17.59						2.99		
FURFURAL	3.67												4.94
HEXENAL <(E)-2->	3.99											69.42	66.53
SALVENE <Z->	4.01			3.84									
SANTOLINA TRIENE	5.12	0.90			4.51	3.61							
HEXADIENAL<2,4-(E,E)->	5.14		8.46	4.87	5.18						7.73		
TRICYCLENE	5.53				21.02	2.22	2.69	1.13					
THUJENE<α->	5.62					8.67	4.29		1.96	0.54			
PINENE<α->	5.85						4.37	11.97	30.17	3.75			
OCTEN-3-OL-<1->	7.04		18.69										
CARENE<δ-2->	7.84						3.84	1.45		3.37			
PHELLANDRENE<α->	7.85					7.95		0.75	8.08				
CARENE<δ-3->	8.10				2.27	23.49	25.43	1.24	11.29				
TERPINENE <α->	8.30							1.30					
CYMENE<o->	8.59				0.44	6.66	5.65	1.77	12.69				
LIMONENE	8.69	0.52			5.87		15.71	5.65	8.05				
PHELLANDRENE<β->	8.70				2.01		1.65	1.04		1.71			
SYLVESTRENE	8.73							21.94		0.99			
CINEOLE<1,8->	8.76	1.24	1.23				29.92	26.53	8.19				4.84
OCIMENE<(Z)-β->	8.96				2.40			0.93					
OCIMENE<(E)-β->	9.42				5.04	1.07							
TERPINENE<γ->	9.78					0.77			1.55	5.19			
ACETOPHENONE	9.99			1.37									
CRESOL <META->	10.45			1.56							0.08		
TERPINOLENE	10.98				1.00	4.32	2.77	1.60		3.13			
CAMPHENONE <6->	11.32		0.11										
OCIMENE <ALLO->	12.70										2.18	24.62	18.57
OCIMENE <NEO-ALLO->	13.20				1.11								
CAMPHOR	13.28	4.81	0.27	0.67				22.69	1.41			1.39	
NONANAL <N->	14.29			32.52									
TERPINEOL <α->	15.21									0.66			
ISOBORNYL FORMATE	17.36								11.70				
ANIS ALDEHYDE <p->	17.85			2.74									
BORNYL ACETATE	19.62											2.38	
AZULENE	20.11			2.68									
CUBEBENE <α->	22.33					0.36							
UNDECANOL <N->	23.19										8.76		
ISOLEDENE	23.48				0.82	0.73							

ตารางที่ 1 (ต่อ) สารอินทรีย์ระเหยง่ายของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา (ฤดูหนาว พ.ศ. 2549)

สารประกอบ	RT	% ของพื้นที่ใต้กราฟ											
		S1	S2	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S14	S15	S16
COPAENE <α->	23.49				0.70								
PATCHOULENE <β->	23.70					1.69							
CUBEBENE <β->	24.04		0.11										
LONGIFOLENE	24.92								0.59				
CARYOPHYLLENE <(E)->	25.36					0.85							0.27
GUAIENE <α->	26.20					1.64							
SEYCHELLENE	26.50					1.32							
AROMADENDRENE <ALLO->	27.07					0.37							
DODECANOL <N->	27.52										1.61		
GURJUNENE <γ->	27.80					1.02							0.31
CURCUMENE <AR->	27.96								2.03			0.67	
IONONE <β-(E)->	28.30			0.49									
SELINENE <β->	28.37					0.82							
VIRIDIFLORENE	28.68				0.42	0.55							0.52
EPIZONARENE	28.88								1.31				
CADINENE <γ->	29.35				0.43								0.23
SELINENE <7-EPI-α->	29.67					0.72							
CADINENE <δ->	29.72				0.88	0.51							0.59
CALAMENENE <CIS->	30.11				3.07	0.11			0.99			0.35	1.27
CARYOPHYLLENE ALCOHOL	31.70		0.13										
CADALENE	35.80		0.15		0.95							0.89	1.81

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูหนาว พ.ศ. 2549)

สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟน้ำหนักสด(พืช)											
		S1	S2	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S14	S15	S16
PENTANAL	2.27	1.23E+05	8.85E+05										
OCTENE <1->	3.06	1.20E+06	1.77E+06	2.17E+06	6.61E+06								
HEXANAL	3.19				5.73E+06						1.50E+06		
FURFURAL	3.67												2.34E+06
HEXENAL <(E)-2->	3.99											1.49E+07	3.15E+07
SALVENE <Z->	4.01			5.59E+05									
SANTOLINA TRIENE	5.12	4.25E+04			1.47E+06	1.04E+06							
HEXADIENAL<2,4-(E,E)->	5.14		1.41E+06	7.08E+05	1.69E+06						3.88E+06		
TRICYCLENE	5.53				6.84E+06	6.42E+05	7.22E+06	6.15E+06					
THUJENE<α->	5.62					2.51E+06	1.15E+07		3.33E+06	3.56E+07			
PINENE<α->	5.85						1.17E+07	6.48E+07	5.13E+07	2.48E+08			
OCTEN-3-OL-<1->	7.04		1.43E+05										
CARENE<δ-2->	7.84						1.03E+07	7.83E+06		2.23E+08			
PHELLANDRENE<α->	7.85					2.30E+06		4.08E+06	1.37E+07				
CARENE<δ-3->	8.10				7.40E+05	6.79E+06	6.82E+07	6.71E+06	1.92E+07				
TERPINENE <α->	8.30							7.05E+06					
CYMENE<o->	8.59				1.43E+05	1.93E+06	1.52E+07	9.59E+06	2.16E+07				
LIMONENE	8.69	2.47E+04			1.91E+06		4.21E+07	3.06E+07	1.37E+07				

ตารางที่ 2 (ต่อ) ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูหนาว พ.ศ. 2549)

สารประกอบ	RT	ฟน้ำหนักสด(พืช)											
		S1	S2	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S14	S15	S16
PHELLANDRENE<β->	8.70				6.53E+05		4.42E+06	5.65E+06		1.13E+08			
SYLVESTRENE	8.73							1.19E+08		6.53E+07			
CINEOLE<1,8->	8.76	5.91E+04	2.05E+05				8.02E+07	1.44E+08	1.39E+07				2.29E+06
OCIMENE<(Z)-β->	8.96				7.83E+05			5.04E+06					
OCIMENE<(E)-β->	9.42				1.64E+06	3.10E+05							
TERPINENE<γ->	9.78					2.23E+05			2.63E+06	3.43E+08			
ACETOPHENONE	9.99			2.00E+05									
CRESOL <META->	10.45			2.26E+05							4.14E+04		
TERPINOLENE	10.98				3.26E+05	1.25E+06	7.44E+06	8.67E+06		2.06E+08			
CAMPHENONE <6->	11.32		1.86E+04										
OCIMENE <ALLO->	12.70										1.10E+06	5.29E+06	8.79E+06
OCIMENE <NEO-ALLO->	13.20				3.60E+05								
CAMPHOR	13.28	2.28E+05	4.44E+04	9.75E+04				1.23E+08	2.40E+06			3.00E+05	
NONANAL <N->	14.29			4.73E+06									
TERPINEOL <α->	15.21									4.50E+07			
ISOBORNYL FORMATE	17.36								1.99E+07				
ANIS ALDEHYDE <p->	17.85			3.93E+05									
BORNYL ACETATE	19.62											5.11E+05	

ตารางที่ 2 (ต่อ) ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูหนาว พ.ศ. 2549)

สารประกอบ	RT	ฟน้ำหนักสด(พืช)											
		S1	S2	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S14	S15	S16
AZULENE	20.11			3.90E+05									
CUBEBENE <α->	22.33					1.04E+05							
UNDECANOL <N->	23.19										4.40E+06		
ISOLEDENE	23.48				2.65E+05	2.12E+05							
COPAENE <α->	23.49				2.28E+05								
PATCHOULENE <β->	23.70					4.89E+05							
CUBEBENE <β->	24.04		1.82E+04										
LONGIFOLENE	24.92								9.98E+05				
CARYOPHYLLENE <(E)->	25.36					2.44E+05							1.30E+05
GUAIENE <α->	26.20					4.76E+05							
SEYCHELLENE	26.50					3.83E+05							
VIRIDIFLORENE	28.68				1.37E+05	1.60E+05							2.47E+05
EPIZONARENE	28.88								2.22E+06				
CADINENE <γ->	29.35				1.39E+05								1.08E+05
SELINENE <7-EPI-α->	29.67					2.09E+05							
CADINENE <δ->	29.72				2.86E+05	1.49E+05							2.77E+05
CALAMENENE <CIS->	30.11				1.00E+06	3.15E+04			1.68E+06			7.53E+04	6.02E+05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 สารอินทรีย์ระเหยง่ายของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา (ฤดูร้อน พ.ศ. 2550)

สารประกอบ	RT	% ของพื้นที่ใต้กราฟ												
		S20	S21	S24	S25	S26	S27	S29	S30	S31	S33	S34	S36	S37
PENTANAL	2.27		11.02											
HEXANAL	3.19	3.35	5.46			9.11								
OCTENE<(Z)-2->	3.32								1.64					
SALVENE <Z->	4.01	0.86	4.27											
SANTOLINA TRIENE	5.12			1.30			34.82			0.81	0.70			
HEXADIENAL <2,4-(E,E)->	5.14		7.10									3.17		
TRICYCLENE	5.53				1.36			0.76	40.63	1.30				
THUJENE <α->	5.62	0.23	0.91		6.10	0.34	1.98			6.02	6.39			
PINENE<α->	5.85												11.79	27.34
CAMPHENE	6.26				0.24				4.74				3.63	4.53
SABINENE	6.91							0.96	1.75				2.43	
OCTEN-3-OL- <1->	7.04	13.52	22.06	60.59							17.71			
DECENE <1->	7.39	1.38												
CARENE <δ-2->	7.84		0.31		0.96		1.67	1.21			3.07			2.30
PHELLANDRENE <α->	7.85						5.90		3.57	3.09			8.91	5.39
CARENE <δ-3->	8.10				0.57		11.00	8.57	4.13	1.05	18.35			4.86
TERPINENE <α->	8.30							0.55					18.98	
CYMENE <o->	8.59	0.64	1.63	0.46	4.36	1.38	12.81		5.36	3.67	7.02		20.55	8.59
LIMONENE	8.69	1.04	2.77		12.33	2.40					19.96	0.75		14.24
SYLVESTRENE	8.73								11.69	12.56				
CINEOLE <1,8->	8.76			0.88		7.11		39.83	15.91	34.01				21.75
BENZYL ALCOHOL	8.77		3.65											
OCIMENE <(Z)-β->	8.96		0.49					1.59		0.72	3.15			
OCIMENE <(E)-β->	9.42							1.61						
TERPINENE <γ->	9.78				0.17		0.42	0.53	5.07		1.71		18.99	4.75
OCTANOL <N->	10.11	5.40	11.54											
MENTHA-3,8-DIENE<p->	10.30	2.29	0.99											
CRESOL<p->	10.43	39.41												
CRESOL<META->	10.45	0.43												
TERPINOLENE	10.98		0.61		0.39		0.68	1.18	1.67	2.53	3.97		10.82	2.53
CAMPHENONE<6->	11.32			0.23										
DIMETHYL STYRENE <2,5->	11.44										1.34			
OCIMENE <ALLO->	12.70										0.60			
MENTH-2-EN-1OL<TRANS-p->	13.04				5.59		8.34							
OCIMENE <NEO-ALLO->	13.20		0.05								2.37			
CAMPHOR	13.28			12.46			0.57	25.15	1.06					
ISOPULEGOL	13.43									19.31				
ISOPULEGOL<ISO->	13.86	7.88	1.29	1.90	0.51					2.62				
TERPINEOL<α->	15.21												1.88	
ANIS ALDEHYDE<p->	17.85	8.40												
LINALOOL ACETATE	18.16										0.72			
BORNYL ACETATE	19.62						8.94							
ISOPULEGOL<NEO-ISO->	20.73				1.71					5.71				
CUBEBENE <α->	22.33		0.16											
COPAENE <α->	23.49	0.12		0.19										
PATCHOULENE <β->	23.70													0.24
HUMULENE <α->	26.82		0.11											
CHAMIGRENE<β->	27.82													0.18
CURCUMENE <AR->	27.96						1.39							
SELINENE <β->	28.37	0.30	0.30	0.39	0.27									
SELINENE <α->	28.74	0.14	0.14	0.18										
BULNESENE<α->	29.20					0.43								
CALAMENENE <CIS->	30.11			0.32	0.15		0.34							0.39
CADALENE	35.80											0.25		

ตารางที่ 4 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูร้อน พ.ศ. 2550)

สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟน้ำหนักสด(พืช)												
		S20	S21	S24	S25	S26	S27	S29	S30	S31	S33	S34	S36	S37
PENTANAL	2.27		4.99E+07											
HEXANAL	3.19	1.64E+07	2.48E+07			3.44E+06								
OCTENE<(Z)-2->	3.32								7.49E+07					
SALVENE <Z->	4.01	4.19E+06	1.94E+07											
SANTOLINA TRIENE	5.12			2.77E+06			9.89E+08			1.92E+07	1.75E+06			
HEXADIENAL <2,4-(E,E)->	5.14		3.22E+07									9.23E+06		
TRICYCLENE	5.53				3.48E+06			9.78E+07	1.85E+09	3.10E+07				
THUJENE <α->	5.62	1.12E+06	4.10E+06		1.56E+07	1.28E+05	5.64E+07			1.43E+08	1.60E+07			
PINENE<α->	5.85												1.99E+09	1.56E+09
CAMPHENE	6.26				6.16E+05				2.16E+08				6.13E+08	2.58E+08
SABINENE	6.91							1.22E+08	7.97E+07				4.11E+08	
OCTEN-3-OL- <1->	7.04	6.61E+07	1.00E+08	1.29E+08							4.43E+07			
DECENE <1->	7.39	6.77E+06												
CARENE <δ-2->	7.84		1.42E+06		2.45E+06		4.75E+07	1.55E+08			7.69E+06			1.31E+08
PHELLANDRENE <α->	7.85						1.69E+08		1.63E+08	7.35E+07			1.50E+09	3.07E+08
CARENE <δ-3->	8.10				1.45E+06		3.12E+08	1.10E+09	1.88E+08	2.50E+07	4.60E+07			2.77E+08
TERPINENE <α->	8.30							7.09E+07					3.20E+09	
CYMENE <o->	8.59	3.14E+06	7.40E+06	9.67E+05	1.11E+07	5.19E+05	3.64E+08		2.44E+08	8.73E+07	1.76E+07		3.47E+09	4.89E+08

ตารางที่ 4 (ต่อ) ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูร้อน พ.ศ. 2550)

สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟน้ำหนักสด(พืช)												
		S20	S21	S24	S25	S26	S27	S29	S30	S31	S33	S34	S36	S37
BENZYL ALCOHOL	8.77		1.66E+07											
OCIMENE <(Z)-β->	8.96		2.22E+06					2.04E+08		1.72E+07	7.90E+06			
OCIMENE <(E)-β->	9.42							2.08E+08						
TERPINENE <γ->	9.78				4.40E+05		1.20E+07	6.78E+07	2.31E+08		4.29E+06		3.21E+09	2.70E+08
OCTANOL <N->	10.11	2.64E+07	5.23E+07											
MENTHA-3,8-DIENE <p->	10.30	1.12E+07	4.49E+06											
CRESOL <p->	10.43	1.93E+08												
DIMETHYL STYRENE <2,5->	11.44										3.35E+06			
OCIMENE <ALLO->	12.70										1.51E+06			
MENTH-2-EN-1OL <TRANS-p->	13.04				1.43E+07		2.37E+08							
OCIMENE <NEO-ALLO->	13.20		2.46E+05								5.94E+06			
CAMPHOR	13.28			2.65E+07			1.62E+07	3.24E+09	4.93E+07					
ISOPULEGOL	13.43									4.59E+08				
ANIS ALDEHYDE<p->	17.85	4.11E+07												
LINALOOL ACETATE	18.16										1.79E+06			
BORNYL ACETATE	19.62						2.54E+08							
ISOPULEGOL<NEO-ISO->	20.73				4.36E+06					1.36E+08				

ตารางที่ 4 (ต่อ) ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูร้อน พ.ศ. 2550)

สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟน้ำหนักสด(พีช)												
		S20	S21	S24	S25	S26	S27	S29	S30	S31	S33	S34	S36	S37
CUBEBENE <α->	22.33		7.30E+05											
COPAENE <α->	23.49	6.04E+05		4.08E+05										
CARYOPHYLLENE <(Z)->	24.95				1.54E+06									1.07E+07
CARYOPHYLLENE <(E)->	25.36	2.39E+06	2.53E+06	1.72E+06		5.56E+05					6.15E+05	5.27E+05		1.53E+07
HUMULENE <α->	26.82		5.18E+05											
CHAMIGRENE<β->	27.82													1.02E+07
CURCUMENE <AR->	27.96						3.94E+07							
SELINENE <β->	28.37	1.44E+06	1.37E+06	8.20E+05	6.79E+05									
SELINENE <α->	28.74	6.65E+05	6.19E+05	3.90E+05										
EPIZONARENE	28.88						2.44E+07							
BISABOLENE<β->	29.04						5.52E+06							
BULNESENE<α->	29.20					1.61E+05								
CALAMENENE <CIS->	30.11			6.75E+05	3.77E+05		9.67E+06							2.24E+07
CADALENE	35.80											7.41E+05		

ตารางที่ 5 สารอินทรีย์ระเหยง่ายของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติดอยภูคา (ฤดูหนาว พ.ศ. 2550)

สารประกอบ	RT	% ของพื้นที่ใต้กราฟ														
		S40	S42	S43	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S54	S57	S60	S65
OCTENE<1->	3.06										41.79				23.59	
HEXANAL	3.19	79.67		4.09	39.62		16.79	15.04			13.96	0.99				
SALVENE <Z->	4.01			1.09												
HEXENOL<(Z)-3->	4.06											7.18				
HEXENAL<(E)-2->	4.13	7.68		35.12	16.29			37.75					6.50	42.97	14.29	
HEXANOL<N->	4.28						13.21									
HEXADIENAL <2,4-(E,E)->	5.14				11.82	25.69	23.85							34.05		
TRICYCLENE	5.53												0.39			
THUJENE <α->	5.62									37.44		11.17	20.15	2.19		24.23
CITRONELLENE <β->	6.15		4.01													
CAMPHENE	6.26									9.58		4.40	3.96			
OCTEN-3-OL- <1->	7.04		9.76		6.56											
OCTANONE <3->	7.19							19.23								
DECENE <1->	7.39							13.58								
OCTANOL <3->	7.44							2.91								
CARENE <δ-2->	7.84		0.48							5.91		0.85	2.42			5.09
PHELLANDRENE <α->	7.85									0.73		2.54	4.28			0.43
CARENE <δ-3->	8.10			5.13								1.47	0.74			5.24
TERPINENE <α->	8.30			0.69								0.51	3.32			
CYMENE <O->	8.59		1.63							2.38		5.17	14.54			1.11
LIMONENE	8.69		1.73							18.29		14.75				9.61
PHELLANDRENE <β->	8.70									1.20						0.60
SYLVESTRENE	8.73												13.11			
CINEOLE <1,8->	8.76												12.96			
OCIMENE <(Z)-β->	8.96								5.65							
OCIMENE <(E)-β->	9.42											0.18				
BERGAMAL	9.67													0.77		
TERPINENE <γ->	9.78		0.78							0.35		0.44	11.06			
TERPINOLENE	10.98		0.27							0.66		0.15	1.99			0.33
OCIMENE <ALLO->	12.70											0.26				
OCIMENE <NEO-ALLO->	13.20			1.55	19.90					1.61						23.92
CAMPHOR	13.28														4.99	
BORNYL ACETATE	19.62											0.23		0.95	1.47	
COPAENE <α->	23.49		13.66	0.44						0.41		0.41				0.75
PATCHOULENE <β->	23.70		1.24							2.20	0.19	1.05				0.63
CUBEBENE <β->	24.04		1.14													2.26
BOURBONENE <β->	24.05												0.15			
LONGIFOLENE <ISO->	24.14		0.15							0.22						0.22
LONGIFOLENE	24.92		1.39				0.11									
CARYOPHYLLENE <(Z)->	24.95		1.04							1.04		1.48				3.55
GUJUNENE <α->	25.00		0.61									0.23				
CARYOPHYLLENE <(E)->	25.36		3.91	0.20						0.58	0.30	0.83	0.12			0.69
GURJUNENE <β->	25.95									0.54			0.22			0.34
GUAIENE <α->	26.20		2.44													3.01
AROMADENDRENE	26.27															0.13
SEYCHELLENE	26.50															1.26
HIMACHALENE <α->	26.68		2.03													0.73
HUMULENE <α->	26.82															1.11
AROMADENDRENE <ALLO->	27.07		1.09							0.88		1.01	0.18			1.65
AROMADENDRANE <DEHYDRO->	27.16										0.16	0.33				
ACORADIENE <α->	27.32											0.37				
GURJUNENE <γ->	27.80		1.91									0.34				0.67
CHAMIGRENE <β->	27.82		1.53										0.12			

ตารางที่ 5 (ต่อ) สารอินทรีย์ระเหยง่ายของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (ฤดูหนาว พ.ศ. 2550)

สารประกอบ	RT	% ของพื้นที่ใต้กราฟ														
		S40	S42	S43	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S54	S57	S60	S65
MUUROLENE <γ->	27.91		0.48													
CURCUMENE <AR->	27.96										0.50	0.19	0.00			0.49
HIMACHALENE <γ->	28.05									2.66						
GERMACRENE D	28.15		2.52													
SELINENE <β->	28.37		1.34							2.06		1.21				1.42
GUAIENE <CIS-β->	28.51		2.67							0.96		0.35				
CADINA-1,4-DIENE <CIS->	28.62									1.16						
VALENCENE	28.66		0.71							1.03		1.42				1.34
VIRIDIFLORENE	28.68									0.60		1.28				0.77
SELINENE <α->	28.74		1.04							1.74		0.06	0.10			2.11
MUUROLENE <α->	28.83		8.46													
GUAIENE <TRANS-β->	28.92									0.83		1.39				
CUPARENE	29.00															2.38
BULNESENE	29.20											1.02				
CADINENE <γ->	29.35		1.73	0.19						0.87						
BUTYLATED HYDROXYTOLUENE	29.43						0.29									
HIMACHALENE <α-DEHYDRO-AR-	29.48		0.01													
SELINENE <7-EPI-α->	29.67		0.92									0.77				
CADINENE <δ->	29.72		4.91													
CALAMENENE <CIS->	30.11		11.05	0.59									0.24			0.34
CADINENE <α->	30.33											0.61	0.34			
CALACOREN <α->	30.62		1.71													
VETIVENENE <β->	31.02											0.21				
CARYOPHYLLENE ALCOHOL	31.70											0.28				
KHUSIMONE	33.05											0.51				
CADALENE	35.80		3.96	2.78	0.97						0.38	0.41	0.32	1.36	0.96	0.27
GUAIAZULENE	39.66						0.17									

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูหนาว พ.ศ. 2550)

สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟน้ำหนักสด(พีช)														
		S40	S42	S43	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S54	S57	S60	S65
OCTENE<1->	3.06										7.73E+06				4.95E+06	
HEXANAL	3.19	7.04E+07		1.54E+06	5.26E+07		4.92E+06	1.77E+07			2.58E+06	7.75E+05				
SALVENE <Z->	4.01			4.08E+05												
HEXENOL<(Z)-3->	4.06											5.60E+06				
HEXENAL<(E)-2->	4.13	6.79E+06		1.32E+07	2.03E+07			4.43E+07					2.53E+07	7.07E+06	3.00E+06	
HEXANOL<N->	4.28						3.87E+06									
HEXADIENAL <2,4-(E,E)->	5.14				1.57E+07	8.52E+06	6.99E+06							5.60E+06		
TRICYCLENE	5.53												1.54E+06			
THUJENE <α->	5.62									8.37E+07		8.71E+06	7.86E+07	3.61E+05		7.28E+07
CITRONELLENE <β->	6.15		6.59E+06									3.43E+06	1.54E+07			
CAMPHENE	6.26									2.14E+07						
OCTEN-3-OL- <1->	7.04		1.60E+07		8.72E+06											
OCTANONE <3->	7.19							2.26E+07								
DECENE <1->	7.39							1.59E+07								
OCTANOL <3->	7.44							3.42E+06								
CARENE <δ-2->	7.84		7.84E+05							1.32E+07		6.59E+05	9.44E+06			1.53E+07
PHELLANDRENE <α->	7.85									1.64E+06		1.98E+06	1.67E+07			1.28E+06
CARENE <δ-3->	8.10			1.93E+06								1.15E+06	2.89E+06			1.57E+07

ตารางที่ 6 (ต่อ) ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูหนาว พ.ศ. 2550)

สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟน้ำหนักสด(พืช)														
		S40	S42	S43	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S54	S57	S60	S65
TERPINENE <α->	8.30			3.33E+05								3.94E+05	1.23E+07			
CYMENE <O->	8.59		2.68E+06							5.33E+06		4.03E+06	5.67E+07			3.35E+06
LIMONENE	8.69		2.85E+06							4.09E+07		1.15E+07				2.89E+07
PHELLANDRENE <β->	8.70									2.68E+06						1.79E+06
SYLVESTRENE	8.73												5.11E+07			
CINEOLE <1,8->	8.76												5.05E+07			
OCIMENE <(Z)-β->	8.96								4.94E+06							
OCIMENE <(E)-β->	9.42											1.40E+05				
BERGAMAL	9.67													1.26E+05		
TERPINENE <γ->	9.78		1.29E+06							7.90E+05		3.43E+05	4.31E+07			
TERPINOLENE	10.98		4.38E+05							1.92E+06		1.21E+05	7.76E+06			1.01E+06
OCIMENE <ALLO->	12.70											2.00E+05				
OCIMENE <NEO-ALLO->	13.20			5.84E+05	2.64E+07					3.59E+06						7.19E+07
CAMPHOR	13.28														1.05E+06	
BORNYL ACETATE	19.62											1.83E+05		1.56E+05	3.08E+05	
COPAENE <α->	23.49											3.16E+05				2.26E+06
COPAENE <α->	23.49		2.24E+07	1.65E+05						9.19E+05						

ตารางที่ 6 (ต่อ) ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูหนาว พ.ศ. 2550)

สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟน้ำหนักสด(พืช)														
		S40	S42	S43	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S54	S57	S60	S65
PATCHOULENE <β->	23.70		2.04E+06							4.91E+06	3.45E+04	8.17E+05				1.88E+06
CUBEBENE <β->	24.04		1.87E+06													6.79E+06
BOURBONENE <β->	24.05												5.69E+05			
LONGIFOLENE <ISO->	24.14		2.39E+05							4.89E+05						
LONGIFOLENE <ISO->	24.14															6.52E+05
LONGIFOLENE	24.92		2.28E+06				3.27E+04									
CARYOPHYLLENE <(Z)->	24.95		1.70E+06							2.32E+06		1.16E+06				1.07E+07
GUJUNENE <α->	25.00		9.95E+05									1.77E+05				
CARYOPHYLLENE <(E)->	25.36		6.43E+06	7.40E+04						1.30E+06	5.49E+04	6.45E+05	4.79E+05			2.08E+06
GURJUNENE <β->	25.95									1.20E+06			8.41E+05			1.02E+06
GUAIENE <α->	26.20		4.01E+06													9.05E+06
AROMADENDRENE	26.27															3.93E+05
SEYCHELLENE	26.50															3.79E+06
HIMACHALENE <α->	26.68		3.34E+06													2.20E+06
HUMULENE <α->	26.82															3.35E+06
AROMADENDRENE<ALLO->	27.07		1.79E+06							1.96E+06		7.86E+05	7.00E+05			4.96E+06
AROMADENDRANE <DEHYDRO->	27.16										3.36E+04	2.57E+05				

ตารางที่ 6 (ต่อ) ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูหนาว พ.ศ. 2550)

สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟน้ำหนักสด(พืช)														
		S40	S42	S43	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S54	S57	S60	S65
ACORADIENE <α->	27.32											2.89E+05				
GURJUNENE <γ->	27.80		3.14E+06									2.63E+05				2.00E+06
CHAMIGRENE <β->	27.82		2.52E+06										4.52E+05			
MUUROLENE <γ->	27.91		7.82E+05													
CURCUMENE <AR->	27.96										9.18E+04	1.50E+05				1.48E+06
HIMACHALENE <γ->	28.05									5.95E+06						
GERMACRENE D	28.15		4.14E+06													
SELINENE <β->	28.37		2.21E+06							4.61E+06		9.41E+05				4.27E+06
GUAIENE <CIS-β->	28.51		4.39E+06							2.12E+06		2.74E+05				
CADINA-1,4-DIENE <CIS->	28.62									2.58E+06						
VALENCENE	28.66		1.16E+06							2.31E+06		1.11E+06				4.03E+06
VIRIDIFLORENE	28.68									1.34E+06		9.97E+05				2.31E+06
SELINENE <α->	28.74		1.71E+06							3.88E+06		4.93E+04	4.05E+05			6.35E+06
MUUROLENE <α->	28.83		1.39E+07													
GUAIENE <TRANS-β->	28.92									1.84E+06		1.08E+06				
CUPARENE	29.00															7.15E+06
BULNESENE	29.20											7.93E+05				

ตารางที่ 6 (ต่อ) ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูหนาว พ.ศ. 2550)

สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟ/น้ำหนักสด(พืช)														
		S40	S42	S43	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S54	S57	S60	S65
BULNESENE<α->	29.20	1.08E+07	1.05E+06	1.01E+06	1.45E+06	6.99E+05	5.27E+04			8.96E+05		9.64E+05	1.54E+06	4.25E+04	4.12E+06	4.09E+05
CADINENE <γ->	29.35		2.84E+06	7.13E+04						1.95E+06						
BUTYLATED HYDROXYTOLUENE	29.43						8.39E+04									
HIMACHALENE<α-DEHYDRO-AR->	29.48		1.73E+04													
SELINENE <7-EPI-α->	29.67		1.51E+06									6.03E+05				
CADINENE <δ->	29.72		8.07E+06													
CALAMENENE <CIS->	30.11		1.82E+07	2.21E+05									9.45E+05			1.01E+06
CADINENE <α->	30.33											4.78E+05	1.31E+06			
CALACOREN <α->	30.62		2.81E+06													
VETIVENENE <β->	31.02											1.62E+05				
CARYOPHYLLENE ALCOHOL	31.70											2.21E+05				
KHUSIMONE	33.05											3.95E+05				
CADALENE	35.80		6.51E+06	1.05E+06	1.29E+06						7.00E+04	3.17E+05	1.24E+06	2.24E+05	2.01E+05	8.24E+05
GUAIAZULENE	39.66						5.09E+04									

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจพบในพืชบริเวณ คงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (ฤดูหนาว พ.ศ. 2551)

สารประกอบ	RT	% ของพื้นที่ใต้กราฟ														
		S67	S68	S69	S70	S72	S73	S74	S75	S76	S77	S78	S83	S84	S85	S86
OCTENE <1->	3.06										28.40					
HEXANAL	3.19	3.18	19.50		8.14					3.29		7.54		8.16		
OCTENE <(E)-4->	3.20								2.29							
OCTEN <(Z-2-)>	3.32													36.10		
HEXENAL <(E)-2->	3.99	6.86	69.10		39.10			6.16		35.70		78.50	6.36		52.70	
SANTOLINA TRIENE	5.12	1.43		8.58				1.53	3.91	0.38						
HEXADIENAL<2,4-(E,E)->	5.14					37.20				11.00		10.80				22.80
TRICYCLENE	5.53			4.16		6.11	5.39	10.30	48.90	1.24						
THUJENE <α->	5.62			1.69									22.90	0.56		
CAMPHENE	6.26					0.86	2.26						1.33			
THUJA-2,4(10)-DIENE	6.44								2.02				9.25			
VERBENENE	6.67								0.70	3.43	0.38			0.96		
VERBENENE	6.67								0.70	3.43	0.38			0.96		
SABINENE	6.91			0.81			1.02	2.31								
OCTEN-3-OL-<1->	7.04										0.56		0.83			
MESITYLENE	7.61													0.56		
CARENE <δ-2->	7.84	2.48		2.60				1.87								
HEXENOL ACETATE <(E)-3->	7.84									0.36				18.20		
PHELLANDRENE <α->	7.85						5.33	1.66		0.75						
HEXENOL ACETATE <(Z)-3->	7.93									0.59						
CARENE <δ-3->	8.10			0.79			1.01	0.73	0.50	11.00			0.25			
CYMENE <o->	8.59		0.95	6.38		0.92		5.52	7.93	5.44	0.72		3.76	2.76		
LIMONENE	8.69		1.78			1.65		21.10	9.15				8.10	1.73		
PHELLANDRENE <β->	8.70		1.14													
SYLVESTRENE	8.73	2.16														
CINEOLE <1,8->	8.76	45.30	10.30	47.10	8.86	16.30		41.70	14.60		5.01	2.48		5.04		4.81
OCIMENE <(Z)-β->	8.96	4.07		0.85					1.53		1.72		2.24			0.38
OCIMENE <(E)-β->	9.42			1.53						3.67			0.85			
BERGAMAL	9.67														30.50	
TERPINENE <γ->	9.78			4.22				2.38	0.36				0.45			
OCTANOL <N->	10.11										19.50					38.00
LINALOOL OXIDE <CIS->	10.29	1.24														
TERPINOLENE	10.98			2.17			12.00	1.89		0.62						
DIMETHYL STYRENE <2,5->	11.44			1.26				1.65	2.23				1.24			
MENTHATRIENE <1,3,8-p->	11.66												1.92			
OCTEN-3-YL ACETATE <1->	11.95												0.71			
CAMPHOLENAL <α->	12.46								0.91							
MENTH-2-EN-OL <TRANS-p->	13.04									3.33						
OCIMENE <NEO-ALLO->	13.20															0.53
CAMPHOR	13.28	11.50	0.60	16.50	3.46	2.85										
PINENE OXIDE <β->	13.83												0.34			
PINOCARVONE	14.07								1.15							
BORNEOL	14.29			0.93	0.49											
TERPINEOL <α->	15.21			0.41		0.35	0.68	0.73								
MYRTENAL	15.56								0.74				13.10	4.24		
VERBENONE	15.97								0.92	0.93						
OCTANOL ACETATE	16.30												1.93			
SABINENE HYDRATE ACETATE <TRANS-	18.12									0.09						
SABINYL ACTATE <TRANS->	19.73												0.33			
VERBENYL ACETATE <TRANS->	19.83												8.63			
CUBEBENE<α->	22.33	0.26														

ตารางที่ 7 (ต่อ) สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจพบในพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย ณ อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (ฤดูหนาว พ.ศ. 2551)

สารประกอบ	RT	% ของพื้นที่ใต้กราฟ														
		S67	S68	S69	S70	S72	S73	S74	S75	S76	S77	S78	S83	S84	S85	S86
COPAENE <α->	23.49												0.13			
PATCHOULENE <β->	23.70					0.11				0.40			0.23			
CARYOPHYLLENE <(E)->	25.36	0.62				0.23				0.67			0.27			
GUAIENE <α->	26.20	0.56								0.82						
SEYCHELLENE	26.50												0.46			
AROMADENDRENE <ALLO->	27.07					0.53				0.25			0.42			
AROMADENDRANE <DEHYDRO->	27.16					0.26										
GURJUNENE <γ->	27.60	0.26								0.66			0.20			
GUAIENE <CIS-β->	28.51	0.15								1.09						
VALENCENE	28.66									1.21						
VIRIDIFLORENE	28.68									0.80			0.34			
SELINENE <α->	28.74	0.32								0.72			0.12			
BICYCLOGERMACRENE	28.83												0.55			
MUUROLENE <α->	28.83					0.26										
GUAIENE <TRANS-β->	28.92									1.04						
BISABOLENE <(Z)-α->	29.09												0.92			
CADINENE <γ->	29.35									0.28			0.18			
SELINENE <7-EPI-α->	29.67	0.19											0.13			
CADINENE <δ->	29.72												0.40			
CALAMENENE <CIS->	30.11	0.61				1.19		0.43	0.44				0.64			
CADINENE <α->	30.33	0.18														
SELINA-3,7(11)-DIENE	30.66									1.04						
VETIVENENE <β->	31.02									0.36						
GERMACRENE B	31.24												0.28			
MAALINENE <β->	31.53					0.21										
CADALENE	35.80	1.42			0.67	6.31				0.88	0.61		0.47	0.76		
BERGAMOTOL <(Z)-TRANS-α->	36.37					0.32										

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูหนาว พ.ศ. 2551)

สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟน้ำหนักสด(พืช)													
		S67	S68	S69	S70	S72	S73	S74	S75	S76	S77	S78	S83	S84	S85	S86
OCTENE <1->	3.06										2.98E+07					
HEXANAL	3.19	7.36E+06	1.10E+08		1.53E+07					5.32E+06		2.27E+07		6.87E+06		
OCTENE <(E)-4->	3.20								2.84E+07							
OCTEN <(Z-2-)>	3.32													3.04E+07		
HEXENAL <(E)-2->	3.99	2.05E+07	3.34E+08		7.37E+07			5.59E+07		5.93E+07		2.37E+08	8.11E+07		7.40E+07	
SANTOLINA TRIENE	5.12	3.32E+06		5.06E+08				1.39E+07	4.84E+07	6.18E+05						
HEXADIENAL <2,4-(E,E)->	5.14					1.06E+08				1.77E+07		3.24E+07				6.50E+06
TRICYCLENE	5.53			2.45E+08		1.75E+07	1.26E+09	9.39E+07	6.05E+08	2.00E+06						
THUJENE <α->	5.62			9.96E+07									2.92E+08	4.71E+05		
CAMPHENE	6.26					2.47E+06	5.28E+08						1.89E+07			
THUJA-2,4(10)-DIENE	6.44								2.50E+07				1.18E+08			
VERBENENE	6.67								8.67E+06	5.55E+06	4.03E+05			8.07E+05		
SABINENE	6.91			4.78E+07			2.40E+08	2.10E+07								
OCTEN-3-OL-<1->	7.04										5.84E+05		1.06E+07			
MESITYLENE	7.61													4.71E+05		
CARENE <δ-2->	7.84	5.73E+06		1.53E+08				1.69E+07								
HEXENOL ACETATE <(E)-3->	7.84									5.81E+05				1.53E+07		
PHELLANDRENE <α->	7.85						1.25E+09	1.51E+07		1.21E+06						

ตารางที่ 8 (ต่อ) ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูหนาว พ.ศ. 2551)

สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟน้ำหนักสด(พีช)													
		S67	S68	S69	S70	S72	S73	S74	S75	S76	S77	S78	S83	S84	S85	S86
HEXENOL ACETATE <(Z)-3->	7.93									9.54E+05						
CARENE <δ-3->	8.10			4.69E+07			2.35E+08	6.66E+06	6.14E+06	1.78E+07			3.18E+06			
CYMENE <ORTHO->	8.59		5.38E+06	3.76E+08		2.65E+06		5.01E+07	9.82E+07	8.80E+06	7.56E+05		4.79E+07	2.32E+06		
LIMONENE	8.69		1.01E+07			4.74E+06		1.92E+08	1.13E+08				1.03E+08	1.46E+06		
PHELLANDRENE <β->	8.70		6.44E+06													
SYLVESTRENE	8.73	4.99E+06														
CINEOLE <1,8->	8.76	1.05E+08	5.83E+07	2.78E+09	1.67E+07	4.69E+07		3.79E+08	1.80E+08		5.26E+06	7.47E+06		4.25E+06		1.37E+06
OCIMENE <(Z)-β->	8.96	9.41E+06		5.02E+07					1.89E+07		1.81E+06		2.85E+07			1.10E+05
OCIMENE <(E)-β->	9.42			9.01E+07						5.93E+06			1.08E+07			
BERGAMAL	9.67														4.28E+07	
TERPINENE <γ->	9.78			2.49E+08				2.16E+07	4.43E+06				5.77E+06			
OCTANOL <N->	10.11										2.05E+07					1.09E+07
LINALOOL OXIDE <CIS->	10.29	2.86E+05														
TERPINOLENE	10.98			1.28E+08			2.82E+09	1.72E+07		1.01E+06						
DIMETHYL STYRENE <2,5->	11.44			7.44E+07				1.49E+07	2.76E+07				1.59E+07			
MENTHATRIENE <1,3,8-p->	11.86												2.46E+07			
OCTEN-3-YL ACETATE <1->	11.95												9.04E+06			

ตารางที่ 8 (ต่อ) ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูหนาว พ.ศ. 2551)

สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟน้ำหนักสด(พีช)													
		S67	S68	S69	S70	S72	S73	S74	S75	S76	S77	S78	S83	S84	S85	S86
CAMPHOLENAL <α->	12.46								1.13E+07							
MENTH-2-EN-OL <TRANS-PARA->	13.04									5.38E+06						
OCIMENE <NEO-ALLO->	13.20															1.52E+05
CAMPHOR	13.28	2.66E+07	3.39E+06	9.72E+08	6.51E+06	8.17E+06										
PINENE OXIDE <β->	13.83												4.27E+06			
PINOCARVONE	14.07								1.42E+07							
BORNEOL	14.29			5.49E+07	9.29E+05											
TERPINEOL <α->	15.21			2.42E+07		1.00E+06	1.60E+08	6.59E+06								
MYRTENAL	15.56								9.10E+06				1.67E+08	3.57E+06		
VERBENONE	15.97								1.14E+07	1.50E+06						
OCTANOL ACETATE	16.30												2.46E+07			
SABINENE HYDRATE ACETATE <TRANS->	18.12									1.60E+06						
SABINYL ACTATE <TRANS->	19.73												4.20E+06			
VERBENYL ACETATE <TRANS->	19.83												1.10E+08			
CUBEBENE<α->	22.33	6.09E+05														
PATCHOULENE <β->	23.70					3.02E+05				6.52E+05			2.93E+06			
COPAENE <α->	23.49												1.72E+06			
CARYOPHYLLENE <(E)->	25.36	1.43E+06				6.54E+05				1.08E+06			3.40E+06			

ตารางที่ 8 (ต่อ) ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูหนาว พ.ศ. 2551)

สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟน้ำหนักลด(พีช)														
		S67	S68	S69	S70	S72	S73	S74	S75	S76	S77	S78	S83	S84	S85	S86
GUAIENE <α->	26.20	1.29E+06								1.32E+06						
SEYCHELLENE	26.50												5.84E+06			
AROMADENDRENE <ALLO->	27.07					1.51E+06				4.08E+05			5.34E+06			
AROMADENDRANE <DEHYDRO->	27.16					7.43E+05										
GURJUNENE <γ->	27.80	6.06E+05								1.07E+06			2.57E+06			
GUAIENE <CIS-β->	28.51	3.36E+05								1.76E+06						
VALENCENE	28.66									1.96E+06						
VIRIDIFLORENE	28.68									1.29E+06			4.35E+06			
SELINENE <α->	28.74	7.31E+05								1.16E+06			1.58E+06			
BICYCLOGERMACRENE	28.83												7.07E+06			
MUUROLENE <α->	28.83					7.53E+05										
GUAIENE <TRANS-β->	28.92									1.68E+06						
BISABOLENE <(Z)-α->	29.09												1.17E+07			
CADINENE <γ->	29.35									4.45E+05			2.33E+06			
SELINENE <7-EPI-α->	29.67	4.29E+05											1.65E+06			
CADINENE <δ->	29.72												5.06E+06			
CALAMENENE <CIS->	30.11	1.40E+06				3.42E+06		3.90E+06	5.46E+06				8.20E+06			

ตารางที่ 8 (ต่อ) ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อน้ำหนักของพืชบริเวณ ดงหญ้าหวาย (ฤดูหนาว พ.ศ. 2551)

สารประกอบ	RT	พื้นที่ใต้กราฟน้ำหนักลด(พีช)														
		S67	S68	S69	S70	S72	S73	S74	S75	S76	S77	S78	S83	S84	S85	S86
CADINENE <α->	30.33	4.26E+05														
SELINA-3,7(11)-DIENE	30.66									1.68E+06						
VETIVENENE <β->	31.02									5.76E+05						
GERMACRENE B	31.24												3.56E+06			
MAALINENE <β->	31.53					5.94E+05										
CADALENE	35.80	3.27E+06			1.26E+06	1.81E+07				1.41E+06	6.35E+05		5.97E+06	6.38E+05		
BERGAMOTOL <(Z)-TRANS-α->	36.37					9.12E+05										

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 ปริมาณแมลงในอันดับ Diptera Hymenoptera Homoptera และ Coleoptera ในทุกตำแหน่งศึกษา

ตำแหน่ง	Diptera						Hymenoptera						Homoptera						Coleoptera					
ครั้งที่เก็บ*	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	70	10	23	126	42	46	7	6	10	38	6	2	1	16	3	19	3	0	7	4	20	23	2	8
2	82	35	26	62	35	38	8	1	4	21	3	0	2	12	4	92	12	12	24	12	17	22	8	8
3	18	14	26	104	56	48	14	3	5	16	8	2	1	10	6	25	14	7	1	5	18	65	5	14
4	20	39	34	57	128	17	12	12	8	6	1	0	9	14	0	66	25	78	2	2	10	31	4	2
5	29	53	28	63	102	26	11	31	6	36	2	2	2	14	6	18	10	17	3	6	12	15	4	8
6	16	59	85	129	48	9	13	9	3	46	6	5	0	32	1	9	9	1	4	6	14	9	2	3
7	37	29	75	116	40	35	4	13	13	45	7	1	3	33	3	31	25	8	1	6	7	325	98	5
8	39	49	74	157	114	31	13	5	34	9	11	2	2	60	7	12	44	8	13	7	10	19	437	4
9	25	93	43	107	59	31	7	6	7	25	2	0	5	18	0	3	20	1	3	15	7	9	48	4
10	77	22	21	90	60	17	11	6	28	9	3	1	2	23	6	8	6	0	2	8	11	24	11	2
11	36	6	28	83	24	11	18	7	8	7	4	0	5	7	6	7	9	4	1	6	5	20	14	1
12	47	28	24	54	26	9	16	5	25	11	2	3	1	12	6	4	12	0	2	8	7	21	14	4
13	63	36	111	115	76	39	9	5	16	15	5	0	38	8	1	9	24	3	18	9	16	12	21	2
14	23	18	34	91	124	15	4	6	7	30	27	2	14	22	5	18	82	5	14	8	15	30	22	6
15	98	38	19	116	71	45	11	9	5	37	12	11	21	19	7	13	10	5	9	6	8	32	9	6
รวม	680	529	651	1470	1005	417	158	124	179	351	99	31	106	300	61	334	305	149	104	108	177	657	699	77

* 1 = ฤดูหนาว พ.ศ. 2548 2 = ฤดูร้อน พ.ศ.2549 3 = ฤดูฝน พ.ศ. 2549 4 = ฤดูหนาว พ.ศ. 2550 5 = ฤดูร้อน พ.ศ.2551 6 = ฤดูหนาว พ.ศ. 2551

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกฤษณะ สนธิมโนธรรม เกิดเมื่อวันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับชั้นประถมปีที่ 6 จากโรงเรียนสมิตสันต์ และจบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น – ปลาย ที่โรงเรียนสตรีวิทยา 2 เมื่อปีการศึกษา 2542 จบการศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาพันธุศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2547 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท ในภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 2548

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย