

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตและสารชีวเคมีในระบบนิเวศของป่าเต็งรัง
และป่าผลัดใบในจังหวัดน่าน

Studies on Biological Interactions and Biochemicals in the Ecosystems of
Deciduous Dipterocarp and Deciduous Forests in Nan Province

สถาบันวิทยบริการ
โดย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ตีเอ๊กนามกุล และคณะวิจัย

ตุลาคม พ.ศ. 2551

บทคัดย่อ

โครงการ “การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตและสารชีวเคมีในระบบนิเวศของป่าเต็งรังและป่าผลัดใบ” เป็นโครงการที่ศึกษาชนิดและโครงสร้างทางเคมีของสารหอมระเหยในบรรยากาศ ของระบบนิเวศของป่าในเขตอุทยานแห่งชาติดอยภูคา ที่มีผลต่อการขับไล่หรือดึงดูดแมลงชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในบริเวณหนึ่งๆ โครงการนี้ได้พัฒนาเครื่องดูดซับสารหอมระเหยในบรรยากาศ เพื่อติดตั้งในเส้นทางป่าจำนวน 15 จุดที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งแต่ละจุดมีการวางแผ่นกาวเพื่อดักจับแมลงเพื่อให้ได้ข้อมูลในแง่ชนิดและปริมาณของแมลงแต่ละชนิด การเก็บข้อมูลได้ดำเนินการ 4 ครั้งในระยะเวลา 2 ปี (ตุลาคม 2548, มีนาคม 2549, กุมภาพันธ์ 2550 และ พฤศจิกายน 2550) โดยแต่ละครั้งได้นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ชนิดของสารเคมีโดยเครื่อง GC-MS ควบคู่กับการวิเคราะห์ชนิดของแมลงที่ติดอยู่กับแผ่นกาว

จากการศึกษาทำให้สามารถดักจับสารหอมระเหยที่ดูดซับได้จากบรรยากาศทั้งหมด 16 ชนิด โดยพบสารที่คาดว่าน่าจะเป็นสารหอมระเหยที่มาจากพืชทั้งหมด 14 ชนิด คือ *E-4-Octene*, *Z-2-Octene*, α -*Thujene*, *Camphene*, *1-Octen-3-ol*, *Benzaldehyde*, *1,2,4-Trimethylbenzene*, *3-Carene*, *p-Cymene*, *Limonene*, *(1,8)-Cineole*, *1-Decene*, *Camphor*, และ $C_{15}H_{24}$ (ส่วนอีก 2 ชนิด คือ *Styrene* และ *2-Chro-octane* น่าจะเป็นสารที่เกิดจากการระเหยของอุปกรณ์ที่ใช้) โดยที่สามารถพบสารเหล่านี้ได้ในทุกตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่าง แต่มีความแปรปรวนของปริมาณมากน้อยแตกต่างกันไปในแต่ละตำแหน่ง สารที่ไม่พบในเดือนตุลาคม 2548 มี 3 ชนิดคือ *p-Cymene*, *Limonene*, *(1,8)-Cineole* แต่กลับพบ *Z-2-Octene* โดยไม่สามารถพบสารนี้ในการเก็บตัวอย่างครั้งอื่น ๆ เลย ในเดือนกุมภาพันธ์ 2550 ไม่พบ *p-Cymene* และเดือนพฤศจิกายน 2550 ไม่พบ $C_{15}H_{24}$ และยังพบ *3-Carene* เพิ่มขึ้นมาด้วย

ความสัมพันธ์ระหว่างสารหอมระเหยที่พบในบรรยากาศกับจำนวนแมลงแต่ละอันดับมีจำนวน 6 คู่ ที่มีความสัมพันธ์กันในรูปแบบเชิงเส้นตรง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยจากการทำนายผลความสัมพันธ์ที่ได้ พบว่า มีสารเพียงชนิดเดียวที่น่าจะมีฤทธิ์ในทางขับไล่แมลงในอันดับ *Coleoptera* หรือแมลงจำพวกด้วง คือ *p-Cymene* ส่วนความสัมพันธ์อีก 5 คู่จะเป็นสารที่มีฤทธิ์ดึงดูดแมลง โดย α -*Thujene*, *Camphene* และ *1, 2, 4-Trimethylbenzene* มีแนวโน้มจะเป็นสารดึงดูดแมลงในอันดับ *Hymenoptera* หรือแมลงพวก ผึ้ง คอ แตน และมด และ *E-4-Octene* และ *Benzaldehyde* มีแนวโน้มจะเป็นสารดึงดูดแมลงในอันดับ *Homoptera* หรือพวกจักจั่น และเพลี้ย ซึ่งจากค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ (r) ของคู่ความสัมพันธ์ทั้งหมด สารที่น่าจะเป็นสารดึงดูดได้ดีที่สุดคือ *1, 2, 4-Trimethylbenzene* ($r = +0.840$, $P = 0.004$) รองลงมาคือ *Benzaldehyde* ($r = +0.732$, $P = 0.007$) นอกนั้นจะมีความสัมพันธ์ระดับกลาง ($r = 0.5 - 0.7$) เท่านั้น

ผลการศึกษาทำให้เกิดความเข้าใจในปฏิสัมพันธ์ของสารในระบบนิเวศกับแมลงมากขึ้น อีกทั้งยังมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาสารที่ตรวจพบไปเป็นสารที่ใช้ประโยชน์ต่อไปได้

สารบัญ

	หน้า
1. บทนำ	1
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
3. วิธีดำเนินการวิจัย	10
4. ผลการวิจัย	17
4.1 การพัฒนาอุปกรณ์ใช้ในการตรวจวัดสารหอมระเหยในป่าธรรมชาติ	17
4.2 การสำรวจพื้นที่และทำการศึกษาปฏิสัมพันธ์ ระหว่างสิ่งมีชีวิตและสารชีวเคมีในระบบนิเวศ	22
5. สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย	70
เอกสารอ้างอิง	76
ภาคผนวก	81

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 1	สารหอมระเหยที่พบในระบบนิเวศน์ป่า	4
ตารางที่ 2	สารหอมระเหยที่พบในระบบนิเวศน์ป่า	9
ตารางที่ 3	แสดงตำแหน่งวางเครื่องดูดอากาศในเขตอุทยานแห่งชาติคอยภูคา	14
ตารางที่ 4	ค่า Peak Area x 103 ของสารประกอบบางชนิดหลังการล้าง Porapak Q ด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิด	18
ตารางที่ 5	ค่า Peak Area x 103 ของสารประกอบหลักจากการดูดซับกลิ่นดอกมะลิ	19
ตารางที่ 6	ค่า Peak Area x 103 ของน้ำมันหอมระเหยมาตรฐาน 7 ชนิด หลังการล้าง Super Q ด้วยอะซิโตน	19
ตารางที่ 7	ค่า Peak Area x 103 ของน้ำมันหอมระเหยมาตรฐาน หลังชะ Super Q ที่ใช้แล้วด้วยอะซิโตน	20
ตารางที่ 8	ค่า Peak Area x 103 ของน้ำมันหอมระเหยมาตรฐาน 7 ชนิด ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ	22
ตารางที่ 9	แสดงตำแหน่งวางเครื่องดูดอากาศในเขตอุทยานแห่งชาติคอยภูคา เมื่อวันที่ 10 มีนาคม 48	23
ตารางที่ 10	แสดงตำแหน่งวางเครื่องดูดอากาศในเขตอุทยานแห่งชาติศรีน่าน เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 48	24
ตารางที่ 11	แสดงตำแหน่งวางเครื่องดูดอากาศบริเวณอุทยานแห่งชาติคอยภูคา เมื่อวันที่ 25 ต.ค. 2548 ในเส้นทางที่ 1	28
ตารางที่ 12	แสดงตำแหน่งวางเครื่องดูดอากาศบริเวณอุทยานแห่งชาติคอยภูคา เมื่อวันที่ 26 ต.ค. 2548 ในเส้นทางที่ 2	29

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 13 สารที่พบจากพื้นที่วิจัยบนอุทยานแห่งชาติคอกอญกา ด้วยการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค HS-GC/MS	37
ตารางที่ 14 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารที่พบและแมลงในเดือนตุลาคม 2548	56
ตารางที่ 15 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารที่พบและแมลงในเดือนมีนาคม 2549	61
ตารางที่ 16 ตำแหน่งที่จะพบสารแต่ละชนิดในปริมาณมากที่สุด	72
ตารางที่ 17 ผลการเปรียบเทียบปริมาณสารจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ครั้ง	73



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 การเตรียมคอลัมน์สำหรับดูดซับสาร	6
รูปที่ 2 การรับรู้กลิ่นของพืชที่เป็นแหล่งอาศัยในแมลงที่มา : Visser, 1986	9
รูปที่ 3 อุปกรณ์เพื่อใช้ในการดูดอากาศ	10
รูปที่ 4 โครมาโตแกรมแสดงผลการดูดซับสารหอมระเหย (ลูกศรชี้) โดยใช้อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้น	17
รูปที่ 5 โครมาโตแกรมเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับกลิ่นระหว่าง Super Q และ Porapak Q	20
รูปที่ 6 กราฟแสดงค่า Peak Area x 10 ³ ของน้ำมันหอมระเหยมาตรฐาน 7 ชนิด (ก) เวลา 10 นาทีที่อุณหภูมิต่างกัน (ข) อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสที่เวลาต่างกัน	21
รูปที่ 7 โครมาโตแกรมของสารที่พบบริเวณพื้นที่วิจัยทั้ง 2 แห่งเปรียบเทียบกับชุดควบคุม A, B, C และ D คือ peak ของสารระเหยที่มีการเปลี่ยนแปลง	25
รูปที่ 8 ค่า peak area x 10 ³ ของสารที่พบบริเวณพื้นที่วิจัยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (B) หมายเลขตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างระบุไว้เหนือแท่งแผนภูมิ (ก) 2-Butenylbenzene (ข) 1-Ethenyl-3-ethylbenzene (ข) (ก) 4-Ethylbenzaldehyde และ (ง) 3, 4-Dimethylbenzaldehyde	26
รูปที่ 9 เปรียบเทียบโครมาโตแกรมที่ได้จากการใช้ column programming ที่แตกต่างกัน (ก) 60°C คงที่ 3 นาที เพิ่มเป็น 220°C ด้วยอัตรา 3°C ต่อ นาที และคงที่ 220°C 10 นาที (ข) 40°C คงที่ 5 นาที จากนั้นเพิ่มเป็น 230°C ด้วยอัตรา 5°C ต่อ นาที และคงที่ 230°C 5 นาที	30
รูปที่ 10 โครมาโตแกรมของสารในตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย เส้นทางที่ 1 (บน) เส้นทางที่ 2 (ล่าง) บนอุทยานแห่งชาติคอยูกา เดือนตุลาคม 2548 โดยตัวเลขคือจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์	31
รูปที่ 11 โครมาโตแกรมของชุดควบคุม (ก) ตุลาคม 2548 (ข) มีนาคม 2549	32
รูปที่ 12 โครมาโตแกรมของชุดควบคุม (ก) กุมภาพันธ์ 2550 (ข) พฤศจิกายน 2550	32
รูปที่ 13 โครมาโตแกรมของสารในตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย 15 จุด บนอุทยานแห่งชาติคอยูกา เดือนตุลาคม 2548 โดยตัวเลขคือจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์	33
รูปที่ 14 โครมาโตแกรมของสารในตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย 15 จุด บนอุทยานแห่งชาติคอยูกา เดือน มีนาคม 2549 โดยตัวเลขคือจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์	34

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 15 โครมาโตแกรมของสารในตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย 15 จุด บนอุทยานแห่งชาติดอยภูคา เดือนกุมภาพันธ์ 2550 โดยตัวเลขคือจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์	35
รูปที่ 16 โครมาโตแกรมของสารในตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย 15 จุด บนอุทยานแห่งชาติดอยภูคา เดือนพฤศจิกายน 2550 โดยตัวเลขคือจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์	36
รูปที่ 17 โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย เดือนตุลาคม 2548 เปรียบเทียบกับชุดควบคุม	38
รูปที่ 18 โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย เดือนมีนาคม 2549 เปรียบเทียบกับชุดควบคุม	39
รูปที่ 19 โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย เดือนกุมภาพันธ์ 2550 เปรียบเทียบกับชุดควบคุม	40
รูปที่ 20 โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย เดือนพฤศจิกายน 2550 เปรียบเทียบกับชุดควบคุม	41
รูปที่ 21 กราฟแสดงค่า peak area ของ 4-Ethylbenzaldehyde (E) และ Naphthalene (N) ในเดือนตุลาคม 2548 (ก) ก่อนทำการปรับค่า (ข) หลังทำการปรับค่า	42
รูปที่ 22 กราฟแสดงค่า peak area ของ 4-Ethylbenzaldehyde (E) และ Naphthalene (N) ในเดือนมีนาคม 2549 (ก) ก่อนทำการปรับค่า (ข) หลังทำการปรับค่า	42
รูปที่ 23 กราฟแสดงค่า peak area ของ 4-Ethylbenzaldehyde (E) ในเดือนกุมภาพันธ์ 2550 (ก) ก่อนทำการปรับค่า (ข) หลังทำการปรับค่า	43
รูปที่ 24 กราฟแสดงค่า peak area ของ 4-Ethylbenzaldehyde (E) ในเดือนพฤศจิกายน 2550 (ก) ก่อนทำการปรับค่า (ข) หลังทำการปรับค่า	43
รูปที่ 25 กราฟแสดงค่า $A \times \text{peak area} \times 10^3$ (แกน y) ของสารแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Blank) จากพื้นที่วิจัย 15 ตำแหน่ง (แกน x) เดือนตุลาคม 2548	44
รูปที่ 26 กราฟแสดงค่า $A \times \text{peak area} \times 10^3$ (แกน y) ของสารแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Blank) จากพื้นที่วิจัย 15 ตำแหน่ง (แกน x) เดือนมีนาคม 2549	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 27 กราฟแสดงค่า A x peak area x 10 ³ (แกน y) ของสารแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Blank) จากพื้นที่วิจัย 15 ตำแหน่ง (แกน x) เดือนกุมภาพันธ์ 2550	46
รูปที่ 28 กราฟแสดงค่า A x peak area x 10 ³ (แกน y) ของสารแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Blank) จากพื้นที่วิจัย 15 ตำแหน่ง (แกน x) เดือนพฤศจิกายน 2550	47
รูปที่ 29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของสารแต่ละชนิด จากการเก็บตัวอย่าง 4 ครั้ง	48
รูปที่ 30 โครมาโตแกรมของตัวดูดซับทั้ง 3 แบบก่อนนำไปใช้ดูดกลิ่นในพื้นที่ (กุมภาพันธ์ 2550)	53
รูปที่ 31 โครมาโตแกรมของตัวดูดซับหลังการใช้ดูดกลิ่นในพื้นที่ตำแหน่งที่ 5 เดือนกุมภาพันธ์ 2550	54
รูปที่ 32 แสดงจำนวนแมลง (แกน y) จากพื้นที่วิจัย 15 ตำแหน่ง (แกน x) ในเดือนตุลาคม 2548	55
รูปที่ 33 แสดงจำนวนแมลง (แกน y) จากพื้นที่วิจัย 15 ตำแหน่ง (แกน x) ในเดือนมีนาคม 2549	55
รูปที่ 34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้ peak x 10 ³ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงในอันดับ Diptera (แกน x) ในเดือนตุลาคม 2548	57
รูปที่ 35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้ peak x 10 ³ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงในอันดับ Hymenoptera (แกน x) ในเดือนตุลาคม 2548	58
รูปที่ 36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้ peak x 10 ³ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงในอันดับ Homoptera (แกน x) ในเดือนตุลาคม 2548	59
รูปที่ 37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้ peak x 10 ³ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงในอันดับ Coleoptera (แกน x) ในเดือนตุลาคม 2548	60
รูปที่ 38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้ peak x 10 ³ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงในอันดับ Diptera (แกน x) ในเดือนมีนาคม 2549	62

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้ peak $\times 10^3$ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงในอันดับ Hymenoptera (แกน x) ในเดือนมีนาคม 2549	64
รูปที่ 40 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้ peak $\times 10^3$ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงในอันดับ Homoptera (แกน x) ในเดือนมีนาคม 2549	66
รูปที่ 41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้ peak $\times 10^3$ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงในอันดับ Coleoptera (แกน x) ในเดือนมีนาคม 2549	68



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. บทนำ

จังหวัดน่านมีสภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงชันและเทือกเขา (ประมาณร้อยละ 85 ของเนื้อที่ของจังหวัด) โดยมีพื้นที่ราบอยู่บริเวณริมลำน้ำน่านประมาณร้อยละ 10 ของพื้นที่จังหวัด ลักษณะภูมิอากาศของจังหวัดน่านมีลักษณะเป็นแบบฝนเมืองร้อน (มีปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ย 1356 มม.) มี 3 ฤดู คือ ฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) ฤดูหนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) และฤดูร้อน (มีนาคม-เมษายน) ในแง่ระบบนิเวศ ป่าในจังหวัดน่านถูกจัดอยู่ในแถบบริเวณที่มีชื่อเรียกว่า “Northern Thailand-Laos Moist Deciduous Forest” (ข้อมูลจากกองทุนสัตว์ป่าโลก) ซึ่งมีลักษณะเฉพาะในแง่องค์ประกอบของภูเขาและป่าไม้ ซึ่งมีความลาดชันเกินกว่า 30 องศา โดยภูเขามีสลักษณะเป็นลูกคลื่นลอนลาด มีที่ราบลุ่มเป็นส่วนน้อยได้แก่ที่ราบลุ่มน้ำน่าน-สา ภูเขามีสความสูงมากส่วนใหญ่อยู่บริเวณเขตแดนติดกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ภูเขาที่สูงที่สุดในจังหวัด คือ คอยภูคา มีความสูง 1,980 เมตร ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของต้นน้ำลำธารสำคัญหลายสาย เช่น แม่น้ำน่าน, แม่น้ำสา, แม่น้ำสมุน, แม่น้ำหลง, แม่น้ำปิง และแม่น้ำกอน เป็นต้น โดยแม่น้ำน่านมีความสำคัญในการหล่อเลี้ยงประชากรที่อาศัยอยู่บริเวณสองฝั่งแม่น้ำจนถึงฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาทั้งสาย อีกทั้งยังเป็นแหล่งน้ำหลักของอ่างเก็บน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า ณ เขื่อนสิริกิติ์อีกด้วย

จากสภาพภูมิประเทศของจังหวัดน่านที่มีภูเขาและป่าไม้เป็นส่วนใหญ่ทำให้ในปี 2536 มีการประกาศพื้นที่ป่าไม้เป็นป่าสงวนแห่งชาติ โดยมีพื้นที่รวมกันทั้งสิ้นประมาณ 6.5 ล้านไร่ ปัจจุบันจังหวัดน่านมี 6 อุทยานแห่งชาติ (คอยภูคา ศรีน่าน ขุนน่าน แม่จิม นันทบุรี และถ้ำสะเกิน) มี 2 สถานีวิจัยลุ่มน้ำ 2 แห่งของกรมป่าไม้ (สถานีวิจัยลุ่มน้ำน่าน และสถานีวิจัยลุ่มน้ำขุนสถาน) และโครงการพัฒนาอันเนื่องมาจากพระราชดำริหลายโครงการ เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงให้กับพื้นที่ และเพื่อการอนุรักษ์และการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน

นอกจากสภาพภูมิประเทศที่มีลักษณะเฉพาะแล้ว จังหวัดน่านยังถูกกำหนดให้เป็นจุดยุทธศาสตร์ให้แก่งการเป็น “ประตู” สู่อุทิศลาวและจีนตอนใต้ ในแผนการพัฒนาลุ่มน้ำโขงซึ่งประกอบด้วยประเทศไทย ลาว พม่า และจีน ถึงแม้ว่าโครงการพัฒนาดังกล่าวอาจจะส่งผลในเชิงบวกทางด้านเศรษฐกิจ แต่ก็มีแนวโน้มที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ และความหลากหลายทางชีวภาพของพื้นที่จังหวัดได้ ซึ่งหากไม่มีการเตรียมการล่วงหน้าในแง่การจัดการให้เกิดความสมดุลแล้ว ก็ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงของพื้นที่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ทรัพยากรชีวภาพและสภาพความเป็นอยู่ของชุมชน ดังนั้น เพื่อการวางแผนการจัดการทรัพยากรธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดน่านอย่างยั่งยืน การทราบถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรในท้องถิ่นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง คณะผู้วิจัยจึงได้เสนอโครงการการศึกษาทรัพยากรธรรมชาติโดยการศึกษาทางด้าน chemical ecology ซึ่งจะป็นองค์ความรู้หนึ่งเกี่ยวกับระบบนิเวศและทรัพยากรในพื้นที่ที่ทำการศึกษา

การศึกษาด้าน chemical ecology เกี่ยวข้องกับสารชีวเคมีที่ถูกสร้างขึ้น โดยสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งๆ แล้วถูกใช้โดยสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันหรืออีกชนิดหนึ่งในระบบนิเวศ อาจจะใช้สารดังกล่าวในแง่การสื่อสารระหว่าง species เดียวกัน หรือเพื่อการป้องกันตัวเองจากศัตรูซึ่งเป็น species อื่น การศึกษาด้าน chemical ecology นอกจากจะทำให้เกิดความเข้าใจในปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศแล้ว ยังสามารถใช้องค์ความรู้ไปประยุกต์ด้านการเกษตร (เช่นการควบคุมศัตรูพืช) และด้านการแพทย์ (การค้นพบสารออกฤทธิ์ชีวภาพ) ดั่งขั้นตอนที่สรุปเป็นภาพรวมต่อไปนี้



สารชีวเคมีที่สร้างขึ้นในระบบนิเวศโดยทั่วไปจะเป็นสารประกอบประเภท Volatile Organic Compounds (VOCs) และแหล่งที่สามารถผลิตสารดังกล่าวมาจากสิ่งมีชีวิตหลายชนิด เช่น พืชที่สร้างน้ำมันหอมระเหย (Volatile Oil) ซึ่งโดยทั่วไปมักเป็นสารประกอบประเภท Isoprene แอมลิกพอกซีและที่มีการสร้างสารเพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารกัน และยังปลดปล่อย pheromone เพื่อใช้ในช่วงฤดูผสมพันธุ์ และจุลินทรีย์หลายชนิดก็สามารถสร้างสารประเภทนี้ได้เช่นกัน จึงทำให้สาร VOC นั้นถูกสนใจอย่างแพร่หลายในเกือบทุกสาขา เช่น พฤกษเคมีวิทยา สรีรวิทยาของพืช นิเวศวิทยาแมลง กีฏวิทยา เคมีอาหาร ฯลฯ ซึ่งวิธีการศึกษา VOC เหล่านี้สามารถทำได้โดยการดูดซับสารบนตัวดูดซับหลายประเภท หนึ่งในนั้นก็คือ ตัวดูดซับประเภท porous polymer จากนั้นนำมาตรวจสอบโดยใช้ตัวทำละลายหรือความร้อนไล่สารออกจากตัวดูดซับ และวิเคราะห์สารด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟี

การศึกษาสิ่งมีชีวิตในพื้นที่เพื่อจะนำมาสู่การเชื่อมโยงกับสารชีวเคมีดังกล่าวมีความสำคัญด้วย เนื่องจากการศึกษาดังกล่าวจะก่อให้เกิดองค์ความรู้และเกิดความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตต่างๆ และในระบบนิเวศได้มากมาย ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางด้านการเกษตร เช่น การควบคุมศัตรูพืช ด้านการแพทย์ เช่นการผลิตสารออกฤทธิ์ชีวภาพที่เหมาะสมได้ โดยทางคณะวิจัยได้กำหนดเป้าหมายมุ่งเน้นไปที่การศึกษาสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจำพวกแมลงที่สามารถได้รับผลกระทบโดยตรงจากสารชีวเคมีที่ระเหยมาจากพืช หรือ จุลินทรีย์ในดิน โดยทำการเก็บตัวอย่างสิ่งมีชีวิตจากพื้นที่วิจัยจำพวกพืช แมลง และ จุลินทรีย์ดินมาคัดแยก ศึกษารายละเอียด เพื่อหาว่าสิ่งมีชีวิตชนิดใดเป็นแหล่งที่ผลิตและปลดปล่อยสารชีวเคมีระเหยเหล่านี้เข้าสู่บรรยากาศและสิ่งมีชีวิตชนิดใดที่มีปฏิสัมพันธ์กับสารชีวเคมีระเหยดังกล่าว

จังหวัดน่านเป็นจังหวัดที่มีความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรป่าไม้เป็นอย่างมาก ดังจะเห็นได้จากการที่มีพื้นที่ป่ามากกว่า 6 ล้านไร่ และมีอุทยานแห่งชาติถึง 6 อุทยาน ได้แก่ อุทยานแห่งชาติคอกอญกา อุทยานแห่งชาติศรีน่าน อุทยานแห่งชาติขุนน่าน อุทยานแห่งชาติแม่จริม อุทยานชาตินันทบุรี และ อุทยานแห่งชาติดำสะเก็ดดิน นอกจากนี้ยังเป็นที่ตั้งของสถานีวิจัยลุ่มน้ำ 2 แห่งของกรมป่าไม้ คือ สถานีวิจัย ลุ่มน้ำน่าน และสถานีวิจัยลุ่มน้ำขุนสถาน และด้วยความหลากหลายทางธรรมชาติของพื้นที่จังหวัดน่านนี้เอง คณะผู้วิจัยจึงทำการสำรวจพื้นที่ที่น่าจะเป็นต้นแบบเพื่อใช้ในการศึกษาทาง Chemical ecology โดยมีเป้าหมายในการศึกษาคือการตรวจจับสารหอมระเหยในพื้นที่ป่าธรรมชาติ ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวควรมี ความหลากหลายทางธรรมชาติที่มีการผลิตสารหอมระเหยที่มีความหลากหลายของชนิดและมีปริมาณของสารหอมระเหยในอากาศพอสมควรที่จะสามารถตรวจวัดได้ด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

เนื่องจากสถานภาพการศึกษาด้าน Chemical Ecology ในประเทศไทยยังอยู่ในระดับเบื้องต้นเท่านั้น โครงการนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาในเชิงพื้นฐาน โดยเน้นพื้นที่ป่าในจังหวัดน่านและเลือกพื้นที่ที่มีความหลากหลายสูง ได้แก่ อุทยานแห่งชาติคอกอญกา และอุทยานแห่งชาติศรีน่านเป็นพื้นที่ที่ทดลองเพื่อให้เกิดองค์ความรู้ที่ต่อยอดจากกลุ่มชีววิทยาและนิเวศวิทยา

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาชนิดและ โครงสร้างทางเคมีของสารหอมระเหยที่มีในบรรยากาศของระบบนิเวศหนึ่งๆ ในพื้นที่ป่าเป้าหมาย
2. เพื่อศึกษาสารชีวเคมีที่ตรวจพบในสิ่งมีชีวิตในบริเวณที่ศึกษาปฏิสัมพันธ์
3. เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตที่สร้างสารหอมระเหยในบรรยากาศกับสิ่งมีชีวิตที่ได้รับผลกระทบ ในระบบนิเวศของป่าในเขตอุทยานแห่งชาติคอกอญกา จังหวัดน่าน เช่น พืชกับเชื้อจุลินทรีย์ และพืชกับแมลง เป็นต้น

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารหอมระเหย (Volatile oils)

ในการศึกษาสารหอมระเหยจากพืชหรือในอากาศนั้น ได้มีการมุ่งเน้นไปที่สารพวก isoprene (Geron และคณะ, 2000) และ monoterpenes (Vuorinen และคณะ, 2004; Lee และคณะ, 2005; Holzinger, 2006). โดย สารทั้งสองชนิดนี้จัดเป็นสารในกลุ่ม terpenes ซึ่งเป็นสารหอมระเหยในพืช และสารเหล่านี้สามารถระเหยและเจือจางอยู่ในชั้นบรรยากาศได้ ซึ่งได้มีการศึกษาการปลดปล่อยสาร VOCs จากพืชบางชนิดที่เจือจางอยู่ในชั้นบรรยากาศของระบบนิเวศป่าในประเทศต่างๆ และสารที่วิเคราะห์ได้เหล่านี้ก็จัดเป็นสารในกลุ่มเทอร์ปีน ซึ่งได้ทำการรวบรวมผลการศึกษาไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สารหอมระเหยที่พบในระบบนิเวศป่า

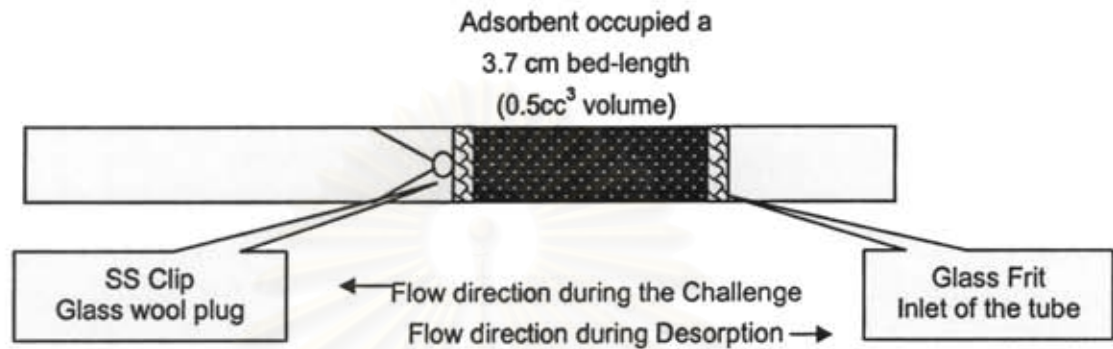
Countries	Forest sites	Plants	Dominant compounds	References
USA	Sierra Nevada Mountains	coniferous	Twenty-one terpenoids, <i>p</i> -cymene and longifolene	Helmig and Arey, 1992
Netherlands	Speulderbos	pine	α -Pinene, β -pinene, 3-carene and limonene	Peters et al., 1994
Finland	Huhus and Hyytiälä	<i>Pinus sylvestris</i>	α -pinene, β -pinene 3-carene and myrcene	Rinne et al., 2000
USA	Distributed in United State	-	α -pinene, β -pinene, 3-carene, <i>d</i> -limonene, camphene, myrcene	Geron et al., 2000
Japan	Oshiba plateau	<i>Pinus densiflora</i>	α -pinene, limonene and β -phellandrene	Tani et al., 2002
India	-	51 local Indian plants	isoprene, α -pinene and other VOCs	Padhy and Varshney, 2005
China	Xishuangbanna	8 tree species	α -pinene, β -pinene, sabinene, myrcene, limonene, camphene, <i>p</i> -cymene, α -phellandrene, and γ -terpinene	Wilske et al., 2007

น้ำมันหอมระเหย (Volatile oils) มีองค์ประกอบเป็นสารระเหยที่มีกลิ่นหอม พบได้ในส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ดอก ใบ ผล กลีบเลี้ยง เป็นต้น ประกอบด้วยส่วนประกอบทางเคมีที่สลับซับซ้อน แบ่งตามชนิดขององค์ประกอบใหญ่ๆ (คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2534) ได้ดังนี้

1. Hydrocarbon volatile oils ได้แก่ น้ำมันหอมระเหย ที่มี hydrocarbon เป็นองค์ประกอบหลัก ตัวอย่างพวก hydrocarbon monocyclic terpene ได้แก่ limonene ซึ่งพบได้ในน้ำมันจากลูกผักชี อบเชย และ dicyclic monoterpene เช่น pinene ในน้ำมันยูคาลิปตัส น้ำมันดอกส้ม และน้ำมันลูกผักชี ก็พบมากเช่นกัน
2. Alcohol volatile oils ได้แก่ น้ำมันหอมระเหยที่มีแอลกอฮอล์เป็นองค์ประกอบหลัก ที่สำคัญ ได้แก่ น้ำมันมินต์ น้ำมันจากลูกผักชี ลูกกระวาน ดอกส้ม ดอกกุหลาบ และน้ำมันสน ที่พบบ่อยๆ ได้แก่ geraniol, citronellol ซึ่งเป็น acyclic alcohol ส่วน menthol และ α -terpineol เป็น monocyclic alcohol เป็นต้น
3. Aldehyde volatile oils ได้แก่ น้ำมันหอมระเหยที่มีสารจำพวกแอลดีไฮด์เป็นองค์ประกอบหลัก น้ำมันหอมระเหยที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ที่สำคัญ ได้แก่ น้ำมันอบเชย น้ำมันจากส้ม มะนาว และ ตะไคร้หอม ตัวอย่างของ aldehyde ที่พบ ได้แก่ geranial, neral และ citronellal เป็นต้น
4. Ketone volatile oils มีสารจำพวก ketones เป็นองค์ประกอบหลัก ตัวอย่างของ ketones ที่พบ ได้แก่ menthone, carvone piperitone และ pulegone ซึ่งเป็น monocyclic terpene ketone นอกจากนี้ยังพบ camphor, fenchone และ thujone ซึ่งเป็น dicyclic ketones น้ำมันหอมระเหยที่สำคัญในกลุ่มนี้ ได้แก่ การบูร และมินต์
5. Phenol volatile oils มีสารจำพวก phenol เป็นองค์ประกอบหลัก phenol ที่พบ ได้แก่ eugenol, thymol, carvacrol เป็นต้น น้ำมันหอมระเหยในกลุ่มนี้ ได้แก่ น้ำมันกานพลู thyme oil, cressate, pine tar และ juniper tar
6. Phenolic ether volatile oils มีสารจำพวก phenolics ether เป็นองค์ประกอบหลัก ตัวอย่างของ น้ำมันหอมระเหยในกลุ่มนี้ ได้แก่ น้ำมันไอบีกกิ้งซึ่งพบสาร anethole น้ำมันจันทน์เทศ และ น้ำมัน sassafras ซึ่งพบสาร safrole เป็นต้น
7. Oxide volatile oils มีสารจำพวก oxides เป็นองค์ประกอบหลัก ตัวอย่างของสาร oxide ที่พบใน น้ำมันหอมระเหย ได้แก่ cineole (eucalyptol) ซึ่งพบในน้ำมันยูคาลิปตัส
8. Ester volatile oils มีสารจำพวก esters เป็นองค์ประกอบหลัก ตัวอย่างของสารจำพวกเอสเทอร์ ที่พบ ได้แก่ allyl isothiocyanate พบในน้ำมันมัสตาร์ด (mustard oil) และ methyl salicylate พบได้ใน wintergreen oil

2.2 เทคนิคการศึกษาสารหอมระเหย

การศึกษาสารหอมระเหยนั้น สามารถทำได้ด้วยการอาศัยอุปกรณ์ซึ่งมีลักษณะเป็นคอลัมน์ที่มีตัวดูดซับสารอยู่ภายใน เพื่อให้ดูดซับสารเหล่านั้นและนำไปวิเคราะห์ต่อไปได้ เช่น อุปกรณ์การดูดซับสารของ Brown และ Shirey (2002) เตรียมคอลัมน์สำหรับดูดซับสารโดยใส่ตัวดูดซับสารในหลอดแก้ว ซึ่งมี glass wool ปิดที่ด้านหัว/ท้าย (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 การเตรียมคอลัมน์สำหรับดูดซับสาร

ในการศึกษาการปลดปล่อยสาร VOCs จากพืชนั้นได้มีการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บสาร VOCs ในบรรยากาศโดยจะทำเป็นภาชนะปิด เพื่อครอบชิ้นส่วนของพืช หรือส่วนที่ต้องการจะศึกษา เรียกชุดเครื่องมือนี้ว่า headspace sampling และจะนำสารจากภาชนะนี้ไปตรวจสอบถึงชนิดและปริมาณ การตรวจสอบนี้นิยมใช้เครื่อง Gas Chromatography-Mass spectrometry (GC-MS) เนื่องจากมีความเหมาะสมในสถานะของตัวอย่าง และเป็นเครื่องมือที่มีความไวต่อสารปริมาณน้อยๆ (Tholl และคณะ, 2005; Jones และ Poppy, 2006) เทคนิค Headspace analysis นี้เป็นเทคนิคที่สามารถสกัดกลิ่นที่มีน้ำมันหอมระเหยในปริมาณน้อย โดยนำดอกไม้สดที่ติดอยู่กับต้นใส่ไปในโถแก้ว ต่อมาอากาศในโถแก้ว อิ่มตัวด้วยสารระเหยที่ระเหยออกมาจากดอกไม้ ต่อมนำเอาอากาศไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบ ซึ่งโดยทั่วไปใช้วิธี Capillary gas chromatography (GC) ด้วยการทำให้ตัวอย่างน้ำมันปริมาณเล็กน้อยเกิดการระเหย ผ่านโถระเหยไปตามท่อขนาดเล็กมากโดยใช้ก๊าซเฉื่อยเป็นตัวนำและมีการควบคุมอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ท่อดังกล่าวผลิตจากวัสดุเฉื่อย เช่น ซิลิกา เคลือบด้วยสารดูดซับชนิดพิเศษบางๆ ซึ่งจะละลายสารที่ระเหยผ่านมา การแยกสารอาศัยหลักความแตกต่างในการละลายในสารดูดซับ มีผลต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ผ่านท่อ เครื่องตรวจวัดที่ติดตั้งอยู่ในส่วนปลายของหลอดบันทึกคุณลักษณะของสารแต่ละตัวที่ผ่านออกมาจากหลอด มีการรายงานผลเป็นภาพโครมาโตแกรม ซึ่งสามารถนำไปจำแนกชนิดและคำนวณปริมาณที่มีอยู่ได้ ปกติ capillary gas chromatography จะเชื่อมต่อกับ mass spectrometry (GC-MS) และ infrared spectrometry สารที่แยกออกมาจากส่วนผสมเข้าสู่ spectrometry ทีละชนิด ทำให้สามารถวิเคราะห์สารแต่ละชนิดได้ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย [วท.], 2544)

การวิเคราะห์สารระเหยด้วย Headspace Gas chromatography-Mass spectrometry (HS-GC/MS) เพื่อพิสูจน์สารระเหยต่าง ๆ ในพืชนั้น เป็นเทคนิคที่รวดเร็ว แม่นยำ และใช้ปริมาณของตัวอย่างวิเคราะห์น้อย จึงมีการใช้เทคนิคนี้ในการวิเคราะห์สารจากพืชหลายชนิด เช่น งานวิจัยของ Stashenko และคณะ ในปี 2004 ซึ่งทำการวิเคราะห์สาร volatile secondary metabolites จากต้นและใบของ *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown ที่มีการปลูกในประเทศโคลัมเบีย ด้วยเทคนิคต่างๆ กัน ได้แก่ การสกัดโดยตรงจากตัวอย่างและการวิเคราะห์สารระเหยโดยตรงด้วย HS-GC/MS พบว่าทุกวิธีการจะได้สารที่เป็นสารหลักเหมือนกัน คือ limonene carvone bicyclosesquiphellandrene piperitenone piperitone และ β -bourbonene โดย headspace GC สามารถแยกสารระเหยประเภท Monoterpene hydrocarbons ($C_{10}H_{16}$) ได้ 80.53% Monoterpenes 14.6% Oxygenated monoterpenes 1.24% และ Sesquiterpene hydrocarbons ($C_{15}H_{24}$) 2.64% ไม่สามารถแยก Oxygenated sesquiterpenes ได้นอกจากนี้ยังมีรายงานการตรวจพบน้ำมันหอมระเหยด้วยเทคนิคนี้อีกมาก เช่นการพบ Terpenoids ในน้ำมันหอมระเหยสกัดได้ *Cannabis* (Hillig, 2004) และการน้ำมันมะกอก (Cavalli และคณะ, 2004, Jimenez, Beltran และ Aguiler, 2004, Cimato และคณะ 2005) นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคนิคนี้ในการตรวจจับสารหอมระเหยในรูปแบบต่างได้ เช่น สารหอมระเหยจำพวกเอสเทอร์และแอลกอฮอล์ที่ผลิตจากผล murici ซึ่งทำให้ผู้บริโภคได้กลิ่นเนยในอาหารที่มีผลไม้ชนิดดังกล่าวเป็นส่วนประกอบ (Alaves และ Franco, 2003) สารทุติยภูมิใน Chinese cabbage ที่มีผลต่อ diamondback moth (Baoyu, Zhongning และ Yuling, 2001) และชาฆ่าแมลงซึ่งมีสมบัติเป็นสารระเหยออกจากผักและผลไม้ (Lehotay และ Garcia, 1997) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การตรวจวัดสารระเหยชนิดต่างๆ จำเป็นต้องมีการคัดเลือกชนิดของตัวดูดซับ การเตรียมอุปกรณ์การดูดซับ และการแยกสารระเหยออกจากตัวดูดซับที่เหมาะสม เพื่อให้วิธีการดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงสุดในการตรวจหาชนิดของสารหอมระเหยในธรรมชาติ

ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการใช้เครื่อง Headspace GC ในการวิเคราะห์สารระเหยซึ่งรวมอยู่ในของแข็ง เพื่อให้ได้ความไวและความแม่นยำในการวิเคราะห์สูงสุด คือ เวลาและอุณหภูมิในการแยกสารระเหยออกจากของแข็ง ซึ่งได้มีการทดลองปรับเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 50 60 70 และ 80 °C ปรับเปลี่ยนเวลาเป็น 5 15 25 และ 35 นาที เพื่อวิเคราะห์หา Benzene TCE และ Dioxane ที่ละลายอยู่ในน้ำ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิทำให้แยก Dioxane ออกจากสารละลายได้มากขึ้น ขณะที่ไม่มีผลต่อ Benzene และ TCE ส่วนเวลาในการให้ความร้อนจะส่งผลกระทบต่อสารทั้งสามแตกต่างกัน โดยได้ค่า Peak Area ของ Benzene และ TCE มีค่ามากที่สุดเมื่อให้ความร้อนนาน 25 นาที ส่วน Dioxane ใช้เวลานาน 35 นาที นอกจากนี้ได้มีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของ valve และ transfer line เป็น 150 175 200 และ 225 °C รวมถึงมีการเขย่าระหว่างการให้ความร้อนด้วย ซึ่งสามารถตรวจวัดสารทั้งสามได้มากเมื่ออุณหภูมิของ valve และ transfer line เป็น 150 °C และการเขย่าจะทำให้แยกสารระเหยออกจากรุ่นน้ำได้ดียิ่งขึ้น (Penton, n.d.)

2.3 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืชและสิ่งมีชีวิต

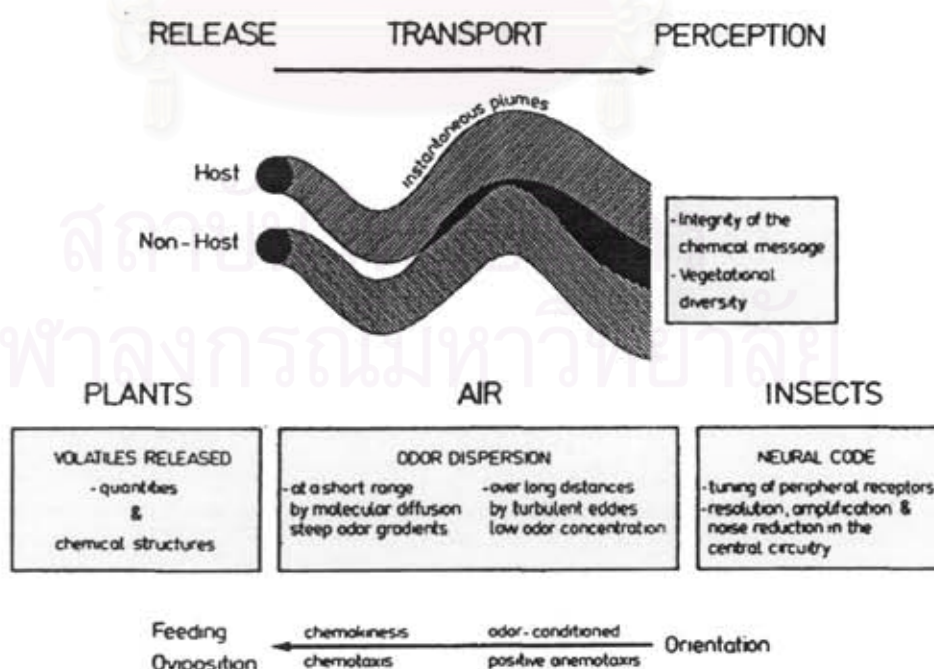
พืชทุกๆ ชนิดนั้นจะมีการแลกเปลี่ยนแก๊สอยู่แล้วตามธรรมชาติ มีทั้งที่เป็น non-organic volatiles เช่น CO₂ และ O₂ ที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วย หรือการหายใจ และ volatile organic compounds (VOCs) สารในกลุ่ม VOCs นี้จะมีการปลดปล่อยออกมาจากส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ดอก ผล และใบ พืชบางชนิดจะมีโครงสร้างพิเศษที่ใช้ในการเก็บสะสม และปลดปล่อย VOCs เช่น glandular trichomes (Steiner และ Whitehead, 2002) และ resin ducts (Gershenzon และคณะ, 2000) เป็นต้น ในสภาวะปกติพืชจะมีการปลดปล่อย VOCs เพื่อเป็นการดึงดูด pollinators เพื่อช่วยในการแพร่กระจายละอองเรณู (Pichersky และ Gershenzon, 2002) นอกจากนี้ปัจจัยภายนอกยังสามารถกระตุ้นให้พืชปลดปล่อย VOCs ได้ เช่น เกิดความเสียหายในเนื้อเยื่อของพืชเมื่อถูกแมลงกัดกิน (Alborn และคณะ, 1997) หรือ การเข้าทำลายของพวกจุลินทรีย์ในพืช (Langenheim, 1994) ในกรณีนี้พืชจะปลดปล่อย VOCs เพื่อป้องกันตัวเองโดยตรง โดยที่ VOCs จะเป็นสารที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของพวกจุลินทรีย์ (Özkan และคณะ, 2003) หรือ ป้องกันตัวเองทางอ้อมโดยการดึงดูดแมลงนักล่า (Paré และ Tumlinson, 1999) สาร VOCs นี้ยังถูกใช้เป็น chemical volatile signals ระหว่างพืช ซึ่งพืชต้นที่ถูกกัดกินจะปลดปล่อยสาร VOCs ออกมาแต่ไม่ได้ทำหน้าที่ในการป้องกันตัวเองจากศัตรู แต่จะเป็นสัญญาณในการกระตุ้นพืชข้างเคียงให้เกิดการตอบสนองในการป้องกันตัวเองของพืช (plant defense responses) โดยมีสาร VOCs กลุ่ม terpenoid เป็นตัวกลางของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืชกับพืช (Dicke และ Bruin, 2001; Fäldt และคณะ, 2003) ปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการปลดปล่อย VOCs ในพืชนั้นรวมถึงปัจจัยทางกายภาพเช่น แสง อุณหภูมิ น้ำท่วม และ ภาวะแล้ง เป็นต้น (Ebel และคณะ, 1995; Zobayed และคณะ, 2005)

พืชและแมลงนั้นอยู่ร่วมกันมานานหลายล้านปี โดยจะมีผลกระทบต่อกันทั้งในด้านที่มีประโยชน์ต่อกันหรืออาจจะมีผลทำลายกันก็ได้ ซึ่งจากการศึกษาผลของ Volatile Organic Compounds (VOCs) ต่อแมลงในด้านต่างๆ พบว่าสาร VOCs ในองุ่น (*Vitis vinifera*) เช่น methyl salicylate, limonene, caryophyllene, และ α -farnesene มีผลต่อการตอบสนองของหนวด (antenna เป็นบริเวณที่มี olfactory receptor neuron อยู่) และยังมีผลต่อพฤติกรรมการเลือกบินเข้าเกาะผลไม้ของผีเสื้อกลางคืน (*Lobesia botrana*) (Tasin และคณะ, 2005) และมีการทดสอบการดึงดูดแมลงนักล่าหรือตัวเบียน โดยใบถั่ว (Lima bean) ที่ถูกแมลง *Tetranychus urticae* กัดทำลายนั้นจะสามารถปล่อยสาร VOCs ซึ่งสามารถดึงดูดแมลงนักล่า *Scolothrips takahashii* ได้ (Shimoda และคณะ, 1997) ผลของสาร VOCs ซึ่งสกัดจาก glandular trichomes ของพืชสกุล *Lycopersicon* ส่วนใหญ่เป็นกลุ่ม terpene เช่น Monoterpen, Sesquiterpene เป็นต้น พบว่าสารกลุ่มนี้มีฤทธิ์เป็นยาฆ่าแมลง (Lin และคณะ, 1987) ซึ่งได้ทำการรวบรวมตัวอย่างของสาร VOCs ที่มีผลในทางขับไล่หรือดึงดูดแมลงชนิดต่างๆ ไว้ ดังตารางที่ 2

กลิ่นที่พืชปล่อยออกมาสู่บรรยากาศจะผสมผสานกันระหว่างกลิ่นจากพืชที่เป็นแหล่งอาศัยและไม่ใช่แหล่งอาศัยของแมลง ซึ่งแมลงจะรับกลิ่นได้และตอบสนองต่อกลิ่นที่ได้รับดังรูปที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างของสาร VOCs จากพืชที่มีผลต่อแมลง

Plant volatile Organic Compounds	ผลกระทบ	แมลง	อ้างอิง
(±)-Linalool, (±)-camphor, (+)-camphor, (-)-camphor, isborneol, (-)-borneol, terpinen-4-ol, isobornyl acetate, nonanone-3, ($\alpha + \beta$)-thujone, bornyl acetate, β -Pinene, myrcene, α -terpinene, (+)-limonene, and cineole	จับไล่	<i>Aedes aegypti</i>	Hwang และคณะ, 1985
Hexanol, hexanal, cis-3-hexen-1-ol and linalool	ดึงดูด	<i>Delia radicum</i> (L.)	Kostal, 1992
Hexylacetate, cis-3-hexenylacetate, benzaldehyde, myrcene, terpinene, α -pinene and limonene	จับไล่	<i>Delia radicum</i> (L.)	Kostal, 1992
Perillyl alcohol, cis-verbenol, cis-carveol, geraniol, citronellal, perillaldehyde, caryophyllene oxide and a sesquiterpene alcohol	จับไล่	<i>Anopheles gambiae</i>	Omolo และคณะ, 2004
1,4-Dimethoxybenzene	ดึงดูด	<i>Andrena vaga</i>	Dotterl และคณะ, 2005
Ethyl butyrate, isopropyl butyrate, hexan-1-ol, propyl butyrate, isobutyl butyrate, ethyl hexanoate, isopentyl butyrate, ethyl benzoate, and ethyl octanoate.	ดึงดูด	<i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart)	Lopez และคณะ, 2006



รูปที่ 2 การรับรู้กลิ่นของพืชที่เป็นแหล่งอาศัยในแมลงที่มา : Visser, 1986

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การพัฒนาอุปกรณ์ใช้ในการตรวจวัดสารหอมระเหยในป่าธรรมชาติ

3.1.1 การทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดสารหอมระเหยที่ประดิษฐ์ขึ้นอย่างง่าย

3.1.1.1 เตรียมคอลัมน์สำหรับการดูดซับสารหอมระเหย โดยใส่ Porapak Q (80-100 Mesh) ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับสารหอมระเหย 1.2 กรัมลงในหลอดฉีดขนาดบรรจุ 3 มิลลิลิตร อุดปลายด้านล่างและด้านบนด้วยสำลี เพื่อกันไม่ให้ Porapak Q ที่กระจายขณะใช้งาน จากนั้นทำการต่อคอลัมน์ดังกล่าวที่ด้านบนของเครื่องปั๊มอากาศสำหรับดูดซับโดยพันช่วงรอยต่อให้แน่นด้วยพาราฟิล์ม (ดังรูปที่ 3) และใส่ถ่านขนาด 1.5 โวลต์จำนวน 2 ก้อนในเครื่องปั๊มอากาศ



รูปที่ 3 อุปกรณ์เพื่อใช้ในการดูดอากาศ

3.1.1.2 นำอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ไปวางในกล่องพลาสติกปิดฝาที่มีดอกมะลิ เพื่อให้ดูดซับกลิ่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.1.1.3 เมื่อครบ 24 ชั่วโมงนำ Porapak-Q ที่คาดว่ามีการดูดซับสารหอมระเหยจากดอกมะลิใส่ในขวดแก้วสูญญากาศที่ใช้สำหรับเครื่อง Headspace auto sampler ซึ่งตั้งโปรแกรมให้ความร้อน 180°C เป็นเวลา 30 นาทีก่อนเข้าสู่เครื่อง GC แล้วตั้งค่าต่าง ๆ สำหรับวิเคราะห์ ดังนี้

Instrument model	GC-Varian star 3400CX coupled to MS Varian SATURN 40
Column	DB-5MS (J&W Scientific) fused silica capillary column, 30 m x 0.25 mm I.D., 0.25 μ m film thickness
Column programming	60°C คงที่ 3 นาที เพิ่มเป็น 220°C ด้วยอัตรา 3°C ต่อนาทีและคงที่ 220°C เป็นเวลา 10 นาที
Injector temperature	250°C
Carrier gas	Helium 1 ml/min

จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์โครมาโตแกรมที่ได้โดยเปรียบเทียบแมสสเปกตรัมของตัวอย่างกับแมสสเปกตรัมมาตรฐานใน NIST92 library โดยมี Porapak Q ที่ไม่ผ่านการดูดซับสารเป็นชุดควบคุม

3.1.1.4 เปรียบเทียบโครมาโตแกรมที่ได้จาก Porapak-Q ทั้งสองแบบ

3.1.2 การเปรียบเทียบผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลอดฉีดที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสารหอมระเหย

3.1.2.1 เตรียมชุดอุปกรณ์การตรวจจับสารหอมระเหยเช่นเดียวกับที่ระบุไว้ในข้อ 1.1.1 จำนวน 1 ชุด และอีก 1 ชุดที่มีการเปลี่ยนขนาดหลอดฉีดเป็นขนาด 5 มิลลิเมตร ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าขนาด 3 มิลลิเมตร ที่ใช้ในข้อ 1.1.1

3.1.2.2 นำไปดูดซับสารหอมระเหยของดอกมะลิ และวิเคราะห์สารหอมระเหยที่ดูดซับได้โดยใช้ GC-MS โดยวิธีการเช่นเดียวกับข้อ 1

3.1.3 การเปรียบเทียบผลของตำแหน่งการติดหลอดฉีดกับเครื่องปั๊มอากาศสำหรับตู้ปลา

ติดตั้งอุปกรณ์ในทำนองเดียวกันกับอุปกรณ์ในข้อ 1.1 แต่เจาะรูด้านข้างของเครื่องปั๊มอากาศเพื่อเสียบคอฉลิมน์ และพันพาราฟิล์มรอบเครื่องเพื่อให้อากาศเข้า-ออกทางเดียว แล้วนำไปเปรียบเทียบความสามารถในการตรวจจับสารหอมระเหยจากดอกมะลิของชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ในข้อ 1.1 คือมีการต่อหลอดฉีดทางด้านบน

3.1.4 การศึกษาวิธีการชะล้าง Porapak-Q เพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ

เนื่องจาก Porapak Q เป็นสารดูดซับที่มีราคาสูง หากสารดังกล่าวสามารถนำมาชะล้างทำความสะอาดได้ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ด้วยวิธีการที่เหมาะสมโดยที่ Porapak Q ยังรักษาสมบัติการเป็นตัวดูดซับได้ดั้งเดิมก็จะเป็นการช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้

3.1.4.1 การเปรียบเทียบสมบัติการชะล้างของอะซิโตนและเฮกเซน

นำ Porapak Q ที่ใช้ดูดซับสารหอมระเหยแล้ว ซึ่งมีสารที่ดูดซับไว้คือ Ethylbenzene 2-Butenylbenzene และ 4-Ethylbenzaldehyde มาแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนละ 0.5 กรัม ส่วนที่ 1 ล้างด้วย อะซิโตน และ ส่วนที่ 2 ล้างด้วย เฮกเซน โดยเขย่า Porapak Q น้ำหนัก 1 กรัมต่อตัวทำละลาย 10 มิลลิตรให้ทั่ว ตัวทำละลายออก และปล่อยให้ Porapak Q แห้งโดยตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน ที่อุณหภูมิห้อง หาปริมาณสารประกอบที่เหลืออยู่ใน Porapak Q หลังการล้างด้วย GC-MS โดยวิธีการเช่นเดียวกับข้อ 1

3.1.4.2 การศึกษาความสามารถในการดูดซับสารหอมระเหยของ Porapak Q เมื่อผ่านการชะล้างด้วยตัวทำละลายและผ่านการทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง หรือทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 50°C

3.1.4.2.1 นำ Porapak Q ที่ใช้ดูดซับสารหอมระเหยแล้วมาชะล้างด้วย อะซิโตน หรือ เฮกเซน ดังเช่นวิธีการที่ระบุไว้ในข้อ 1.4.1 แล้วแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ส่วนที่ 2 นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C

3.1.4.2.2 นำ Porapak Q ที่ได้ (0.5 กรัม) ไปดูดซับสารหอมระเหยจากดอกมะลิและวิเคราะห์สารที่ถูกดูดซับไว้โดยวิธีที่ระบุไว้ในข้อ 1

3.1.5 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสารหอมระเหยของสารดูดซับ Super Q และ Porapak Q

3.1.5.1 เตรียมชุดอุปกรณ์ดังที่ระบุไว้ในข้อ 1.1 โดยชุดหนึ่งบรรจุ Porapak Q ในหลอดฉีดยาสีดำอีกชุดหนึ่ง บรรจุ Super Q ที่มีน้ำหนักเท่ากันแทน

3.1.5.2 นำชุดอุปกรณ์ไปวางในกล่องพลาสติกปิดฝาที่มีสารประกอบน้ำมันหอมระเหยมาตรฐาน 7 ชนิด คือ 3-Carene Caryophyllene Eucalyptol Eugenol Linalool α -Pinene และ Safrole (สมบัติสารในภาคผนวก) ให้ดูดซับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยจนแบดเคอร์รี่หมด

3.1.5.3 นำสารดูดซับที่ได้จากข้อ 1.5.2 ไปตรวจวัดสารหอมระเหยที่ตรวจจับได้โดยใช้ GC-MS เปรียบเทียบกับ peak area ที่ได้จากการวัดจากสารดูดซับ กับ peak area ที่ได้จากการฉีดน้ำมันหอมระเหยมาตรฐานผ่านเครื่อง GC-MS โดยตรง

3.1.6 การศึกษาวิธีการชะล้าง Super Q เพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสารระเหยของ Super Q ในสถานะต่าง ๆ

3.1.6.1 นำ Super Q ที่ผ่านการดูดซับสารแล้วมาล้างด้วย อะซิโตน โดยใช้วิธีเดียวกับการล้าง Porapak Q คือเขย่า Super Q น้ำหนัก 1 กรัมใน อะซิโตน 10 มิลลิลิตรให้ทั่ว เท อะซิโตน ออก และทำให้แห้งด้วยการอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาดูดซับสารหอมระเหยมาตรฐานในกล่องพลาสติกปิดฝาและเปิดฝา จนแบดเคอร์รี่หมด จากนั้นทำการตรวจวัดสารหอมระเหยจากสารดูดซับดังกล่าวโดยใช้ GC-MS ทำการเปรียบเทียบ peak area ที่ได้กับ peak area ของสารหอมระเหยที่ได้จากการ ดูดซับสารด้วย Super Q ใหม่ที่ไม่ผ่านการชะล้างซึ่งได้ทำการดูดซับสารหอมระเหยในกล่องปิดฝา

3.1.6.2 นำ Super Q ที่ผ่านการดูดซับสารแล้วมาล้างด้วย อะซิโตน โดยใช้ Super Q ลงในคอลัมน์แก้ว จากนั้นเทอะซิโตนให้ชะสารที่อยู่ใน Super Q ออกมาทางด้านล่าง (10 มิลลิลิตรต่อ 1 กรัม) อบแห้งโดยเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ออบให้มากขึ้นเป็น 60 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง นำ Super Q ที่ผ่านการล้างด้วยวิธีดังกล่าว มาดูดซับกลิ่นน้ำมันหอมระเหยเช่นเดียวกับในข้อ 1.5.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสารกับสถานะมีน้ำเข้า (จำลองสถานะฝนตก) โดยนำชุดอุปกรณ์ไปวางในกล่องพลาสติกปิดฝาที่มีตัวอย่างมาตรฐาน หลังจากผ่านไปเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เติมน้ำปริมาณ 1 มิลลิลิตร ลงไปในคอลัมน์ที่มีตัวดูดซับ และทำการดูดซับกลิ่นต่อไปจนกระทั่งแบดเคอร์รี่หมด นำสารดูดซับที่ได้ไปตรวจวัดสารหอมระเหยโดยใช้ GC-MS และนำ peak area มาเปรียบเทียบกัน

3.1.7 การหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการไล่สารออกจากตัวดูดซับเพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS

ใช้ Super Q ที่ใช้แล้วดูดซับกลิ่นตัวอย่างมาตรฐานซึ่งทดลองบนกระดาษกรองโดยวางไว้ในกล่องระบบปิด เป็นเวลา 2 วัน หาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการปรับเครื่อง Headspace Autosampler เพื่อไล่สารออกจากตัวดูดซับ และวิเคราะห์หาสารระเหยด้วยเครื่อง GC-MS ดังนี้

เท Super Q ที่มีการดูดซับกลิ่นมาตรฐานได้แล้วใส่ในขวดแก้วสุญญากาศที่ใช้สำหรับเครื่อง Headspace auto sampler ซึ่งตั้งโปรแกรมให้ความร้อนเป็น 120 150 180 และ 200 องศาเซลเซียส โดยทุกอันจะปรับเปลี่ยนเวลาในการให้ความร้อนทั้งหมด 4 แบบ คือ 5 10 15 20 และ 30 นาทีก่อนเข้าสู่เครื่อง GC โดยตั้งค่าต่าง ๆ สำหรับวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 1

3.2 การสำรวจพื้นที่และทำการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตและสารชีวเคมีในระบบนิเวศ

3.2.1 การเปรียบเทียบความหลากหลายของชนิดและปริมาณของสารหอมระเหยที่ตรวจจับได้โดยชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นในบริเวณป่าดงห้วยหวาย อุทยานแห่งชาติคอยภูคา และ ป่าผัดใบ อุทยานแห่งชาติศรีน่าน

3.2.1.1 โดยความร่วมมือระหว่างคณะผู้วิจัยจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อุทยานแห่งชาติคอยภูคา และ อุทยานแห่งชาติศรีน่าน คณะผู้วิจัยนำชุดอุปกรณ์ตรวจจับสารหอมระเหยไปวาง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของป่าบริเวณดงห้วยหวายในเขตอุทยานแห่งชาติคอยภูคา จำนวน 35 จุด และอุทยานแห่งชาติศรีน่านบริเวณป่าผัดใบ จำนวน 13 จุด โดยวางอุปกรณ์ในจุดที่มีกลิ่นของสารหอมระเหย หรือทุก ๆ ระยะ 100 เมตร ตามแนวทางเดิน การวางชุดอุปกรณ์ทำโดยคอกตะปูบนต้นไม้แล้วห้อยเครื่องดูดอากาศให้สูงจากพื้นดินประมาณ 2 เมตร เปิดเครื่องทิ้งไว้ให้ดูดอากาศเป็นเวลา 7 วัน

3.2.1.2 เก็บข้อมูลพิกัดตำแหน่งที่วางชุดอุปกรณ์ด้วย เครื่อง GPSMAP60CS หากมีพีซเซอร์ที่ให้กลิ่น บันทึกข้อมูล

3.2.1.3 วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารหอมระเหยที่สารดูดซับในชุดอุปกรณ์ดูดซับไว้ได้ โดยเทสารดูดซับที่มีการดูดซับสารหอมระเหยได้แล้วใส่ในขวดแก้วสุญญากาศที่ใช้สำหรับเครื่อง Headspace auto sampler ซึ่งตั้งโปรแกรมให้ความร้อน 180°C เป็นเวลา 30 นาทีก่อนเข้าสู่เครื่อง GC แล้วตั้งค่าต่าง ๆ สำหรับวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 1

3.2.2 การเปรียบเทียบความหลากหลายของสารหอมระเหยที่ตรวจจับได้โดยชุดอุปกรณ์ในป่า ดงห้วยหวาย อุทยานแห่งชาติคอยภูคา เส้นทางเดินที่ 1 (เส้นทางในข้อ 2.1) และเส้นทางเดินที่ 2 ในอุทยานแห่งชาติคอยภูคา

จากผลการทดลองที่ 2.1 พบสารหอมระเหยที่มีปริมาณมากในพื้นที่วิจัย เขตอุทยานแห่งชาติคอยภูคาที่ทั้งหมด 9 จุด คือ ตำแหน่งที่ 5, 12, 19, 27, 28, 29, 32, 33 และ 34 ดังนั้นจึงวางแผนการเก็บตัวอย่างในพื้นที่อุทยานแห่งชาติคอยภูคาอีกครั้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความหลากหลายและปริมาณของสารหอมระเหยในเส้นทางเดินที่แตกต่างกันแต่ยังอยู่ในเขตป่าดงห้วยหวาย

คัดเลือกจุดวางอุปกรณ์ในเส้นทางที่ 1 โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลในข้อ 2.1 จำนวน 15 จุด คือ - ตำแหน่งที่ 5, 12, 19, 27, 28, 29, 32, 33 และ 34

- ตำแหน่งที่มีดินพีชที่มีกลิ่น เช่น อบเชย และคะไคร้ดิน (ตำแหน่งที่ 8 และ 17)

- ตำแหน่งที่มีปริมาณสารหอมระเหยประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณที่มากที่สุด(ตำแหน่งที่ 13)

- ตำแหน่งอื่นๆ อีก 3 จุด (ตำแหน่งที่ 22 และตำแหน่งใหม่ 2 จุด)

คัดเลือกจุดวางอุปกรณ์ในเส้นทางที่ 2 ซึ่งเป็นคนละขอกับเส้นทางที่ 1 จำนวน 15 จุด

วางชุดอุปกรณ์ในจุดที่กำหนดเป็นเวลา 2 วัน แล้วเก็บชุดอุปกรณ์เพื่อนำมาวิเคราะห์ชนิด

และปริมาณของสารหอมระเหยที่ตรวจจับได้ ตามวิธีที่ระบุไว้ในข้อ 2.1

3.2.3 การศึกษาชนิดและปริมาณของสารหอมระเหยในบรรยากาศของระบบนิเวศเป้าหมายในป่า
ดงหญ้าหาย อุทยานแห่งชาติคอกอยภูคา

3.2.3.1 เก็บตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยจากบรรยากาศ โดยเก็บตัวอย่างผ่าน column ที่บรรจุตัวดูด
ซับ (Super Q 0.5 กรัม) โดยการดูดลมจากบรรยากาศในจุดต่างๆ ที่มีการวางเครื่อง ตัวอย่างเหล่านี้จะถูก
จดบันทึกในช่วงเวลาและตำแหน่งที่ได้เก็บตัวอย่างอากาศ ซึ่งมีการดำเนินการทั้งหมด 4 ครั้ง คือ ตุลาคม
2548 มีนาคม 2549 กุมภาพันธ์ 2550 และ พฤศจิกายน 2550 และการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งจะวางชุด
อุปกรณ์ในจุดที่กำหนดเป็นเวลา 2 วัน แล้วเก็บชุดอุปกรณ์เพื่อนำมาวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสาร
หอมระเหยที่ตรวจจับได้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งตำแหน่งที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์เก็บอากาศทั้งหมด 15
ตำแหน่ง ระบุพิกัดได้จากเครื่อง GPS ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงตำแหน่งวางเครื่องดูดอากาศในเขตอุทยานแห่งชาติคอกอยภูคา

ตำแหน่งที่	ตำแหน่งพิกัด		หมายเหตุ
01	N 19° 11' 00.1"	E 101° 05' 59.6"	-
02	N 19° 11' 01.9"	E 101° 05' 59.9"	อบเชย
03	N 19° 11' 08.0"	E 101° 06' 04.7"	ตะไคร้ต้น
04	N 19° 11' 12.7"	E 101° 06' 19.3"	เริ่มดงหญ้าหาย
05	N 19° 11' 14.7"	E 101° 06' 22.9"	มีกลิ่น
06	N 19° 11' 16.3"	E 101° 06' 24.9"	-
07	N 19° 11' 17.1"	E 101° 06' 27.6"	ตะไคร้ต้น
08	N 19° 11' 21.3"	E 101° 06' 33.2"	-
09	N 19° 11' 30.5"	E 101° 06' 32.8"	-
10	N 19° 11' 40.9"	E 101° 06' 28.9"	-
11	N 19° 11' 59.8"	-	-
12	N 19° 12' 00.8"	E 101° 06' 16.8"	-
13	N 19° 12' 06.5"	E 101° 06' 08.9"	-
14	N 19° 12' 08.5"	E 101° 06' 04.4"	-
15	N 19° 12' 13.1"	-	-

3.2.3.2 หลังจากเก็บตัวอย่างอากาศผ่านตัวดูดซับในแต่ละจุดมาแล้ว จึงได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค HS-GC/MS โดยเท Super Q 0.5 กรัม จากคอลัมน์ใส่ใน vial ขนาด 22 มิลลิลิตร โดยตั้งอุณหภูมิเครื่อง Headspace ที่ 200°C เป็นเวลา 5 นาที เพื่อไล่สารที่มีสมบัติเป็นสารระเหยออกจาก Super Q สารจะผ่านไปยังคอลัมน์ DB-5MS ในเครื่อง GC ซึ่งตั้งโปรแกรมให้เริ่มที่อุณหภูมิ 40 °C คงที่นาน 5 นาที จากนั้นเพิ่มเป็น 230°C ด้วยอัตรา 5°C ต่อ นาที และคงที่ 230°C ต่อไปอีก 5 นาที ใช้ He อัตราเร็ว 1 ml/min เป็นตัวพา

3.2.3.3 เปรียบเทียบโครมาโตแกรม ชนิดและปริมาณสารทั้ง 15 ตำแหน่งกับชุดควบคุมซึ่งเป็น Super Q ที่ไม่ได้ดูดซับสารในแต่ละครั้ง และนำผลจากทั้ง 4 ครั้ง คือ ตุลาคม 2548 มีนาคม 2549 กุมภาพันธ์ 2550 และ พฤศจิกายน 2550 มาเปรียบเทียบกันด้วย

- ชนิดของสาร ได้จากการวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบแมสสเปกตรัมของตัวอย่างกับฐานข้อมูลแมสสเปกตรัมใน NIST92 Library และ/หรือ LIBR (TP) Library
- ปริมาณของสารวิเคราะห์ในเชิงเปรียบเทียบ โดยใช้ค่าพื้นที่ใต้ peak (Peak Area)

3.2.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ Super Q เพื่อนำกลับมาใช้เก็บตัวอย่างในพื้นที่

3.2.4.1 นำ Super Q ที่ซื้อมาจากบริษัทและที่ใช้ดูดกลิ่นแล้ว มาล้างด้วยตัวทำละลายอะซิโตน โดยเท Super Q 10 กรัม ลงในตัวทำละลายอะซิโตน 100 มิลลิลิตร เขย่าให้ทั่วและตั้งทิ้งไว้เป็นพักๆ ทำสลับกันไปเป็นเวลา 15 นาที แล้วเทตัวทำละลายออกให้หมด และล้างซ้ำด้วยวิธีการเดิมอีก 2 ครั้ง จากนั้นนำ Super Q ที่ผ่านการล้าง 3 ครั้งแล้วไปอบแห้งเพื่อไล่ตัวทำละลายออกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.2.4.2 ดูดซับสารหอมระเหยด้วย Super Q ที่ผ่านการล้างเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ผ่านการล้างใช้ Super Q มาเตรียมคอลัมน์เก็บตัวอย่าง เพื่อเปรียบเทียบกัน 3 แบบ ดังนี้

- ก) Super Q ใหม่ล้างด้วยอะซิโตน
- ข) Super Q ใหม่ที่ไม่ล้าง และ
- ค) Super Q ใช้แล้วล้างด้วยอะซิโตน

จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยในบรรยากาศจากพื้นที่วิจัยแต่ละตำแหน่ง ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุ Super Q ทั้ง 3 แบบ (Super Q 0.5 กรัม) โดยใช้อุปกรณ์อย่างง่ายที่ประดิษฐ์ขึ้น

3.2.4.3 วิเคราะห์สารหอมระเหยด้วย HS-GC/MS โดยใช้วิธีการเดียวกันกับข้อ 2.3.2

3.3 การศึกษาเพื่อเชื่อมโยงระหว่างสิ่งมีชีวิตที่สร้างสารหอมระเหยในบรรยากาศ

3.3.1 การสำรวจแมลง

เพื่อการเชื่อมโยงสารหอมระเหยที่สกัดได้จากบรรยากาศป่าซึ่งเป็นสารในกลุ่มเทอร์ปีนและน่าจะมีส่วนผลิตสารมาจากพืช และเพื่อให้ทราบถึงภาพรวมเกี่ยวกับผลกระทบของสารหอมระเหยใน

บรรยากาศแต่ละชนิดที่ถูกปลดปล่อยโดยพืชว่ามีผลต่อสิ่งมีชีวิตอย่างไร จึงทำการสำรวจสิ่งมีชีวิตกลุ่มแมลง ซึ่งมักจะไวต่อน้ำมันหอมระเหย ดังนี้

- เก็บตัวอย่างแมลงด้วยกาวดักแมลงที่ทาลงบนแผ่นพลาสติกจำนวน 2 แผ่น ต่อ 1 จุด ของพื้นที่ศึกษาวิจัยในตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่อง 15 ตำแหน่ง
- ทำการบันทึกภาพแมลงที่ติดอยู่บนแผ่นดักแมลงด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อให้สามารถเห็นรายละเอียดได้อย่างชัดเจน
- นับจำนวนและระบุชนิดของแมลงที่พบในแต่ละจุด

3.3.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารหอมระเหยกับแมลง

การศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ระหว่างสารหอมระเหยกับแมลงทำได้โดยอาศัยโปรแกรม SPSS หากค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) ซึ่งเป็นตัวบอกระดับและทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเป็นตัวตัดสินความสัมพันธ์ โดย r มีค่าความสัมพันธ์อยู่ระหว่าง -1 ถึง +1 ดังสมการ

$$r = \frac{N(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[N(\sum x^2) - (\sum x)^2][N(\sum y^2) - (\sum y)^2]}}$$

- r มีค่ามากแสดงว่าสารหอมระเหยกับแมลงมีความสัมพันธ์กันมาก
- r = 0 แสดงว่าสารหอมระเหยกับแมลงไม่มีความสัมพันธ์กัน
- r > 0 แสดงว่าสารหอมระเหยมีแนวโน้มเป็นสารดึงดูดแมลง
- r < 0 แสดงว่าสารหอมระเหยมีแนวโน้มเป็นสารขับไล่แมลง

จากนั้นจึงสร้างแผนภาพการกระจาย โดยให้สารหอมระเหยเป็นตัวแปรอิสระ (แกน y) และแมลงเป็นตัวแปรตาม (แกน x) โดยจะต้องตัดค่าผิดปกติซึ่งทำให้เส้นการถดถอยเบี่ยงเบนออกไปจากกลุ่มใหญ่ออก และวิเคราะห์ความสัมพันธ์อีกครั้งหนึ่ง

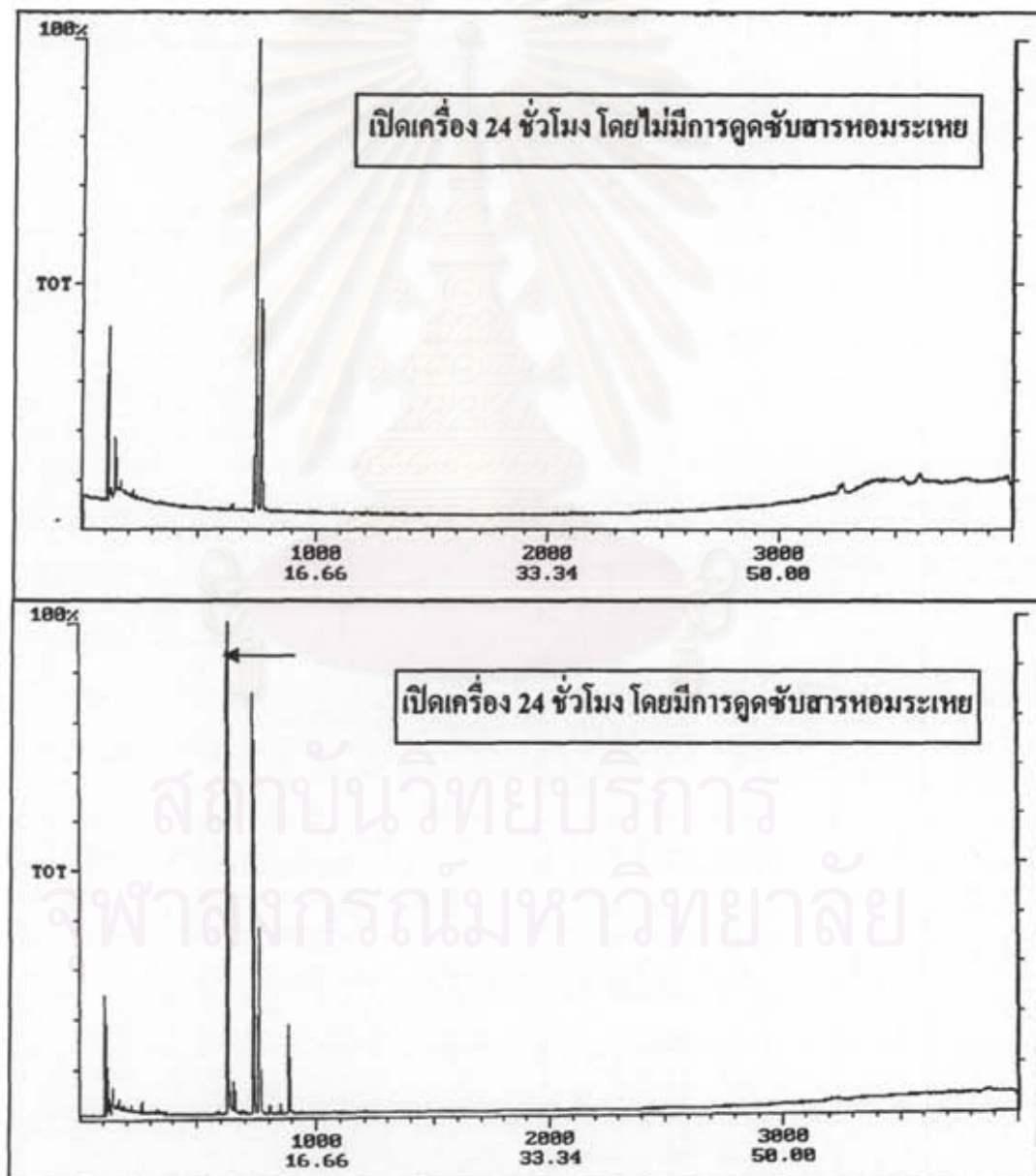
โดยข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์นี้จะใช้ข้อมูลจากผลการศึกษาสารหอมระเหยในบรรยากาศที่วิเคราะห์ได้จากการดักจับสารด้วยอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้น เพื่อทำนายผลของสารหอมระเหยที่มีต่อแมลงในพื้นที่ป่าในทางดึงดูดหรือขับไล่ และจะได้นำผลการวิเคราะห์ดังกล่าวไปทดลองเพื่อการยืนยันผลกระทบของสารหอมระเหยต่อแมลงในพื้นที่อีกครั้งหนึ่ง

4. ผลการวิจัย

4.1 การพัฒนาอุปกรณ์ใช้ในการตรวจวัดสารหอมระเหยในป่าธรรมชาติ

4.1.1 การทดสอบอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นอย่างง่าย

จากการเตรียมคอลัมน์เพื่อใช้สำหรับการดูดซับสารหอมระเหย โดยใช้ Porapak-Q (80-100 Mesh) 1.2 กรัมใส่ในหลอดฉีดยาขนาดบรรจุ 3 มิลลิลิตร ต่อคอลัมน์ที่ด้านบนของเครื่องปั๊มอากาศสำหรับตู้ปลา และวางในกล่องพลาสติกปิดฝาที่มีดอกมะลิเพื่อให้ดูดซับกลิ่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถดูดซับสารหอมระเหยได้ (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 โครมาโตแกรมแสดงผลการดูดซับสารหอมระเหย (ลูกศรชี้) โดยใช้อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้น

4.1.2 การเปรียบเทียบผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลอดดูดที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสารหอมระเหย

หลังจากที่ได้อุปกรณ์ที่สามารถดูดซับสารหอมระเหยได้แล้ว จึงนำมาทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสาร โดยเปลี่ยนขนาดคอลัมน์เป็น 5 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสของตัวดูดซับกับอากาศมากขึ้น พบว่า การใช้คอลัมน์ขนาด 5 มิลลิเมตรสามารถดูดซับสารได้มากกว่าคอลัมน์ขนาด 3 มิลลิเมตร

4.1.3 การเปรียบเทียบผลของตำแหน่งการติดหลอดดูดกับเครื่องปั๊มอากาศสำหรับตู้ปลา

จากการเปรียบเทียบตำแหน่งการต่อหลอดดูดทางด้านบน และทางด้านข้างของเครื่องปั๊มอากาศสำหรับตู้ปลาพบว่า การต่อคอลัมน์ให้ดูดอากาศออกทางด้านบนเท่านั้นที่สามารถดูดซับสารได้

4.1.4 การศึกษาวิธีการชะล้าง Porapak Q เพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ

4.1.4.1 การเปรียบเทียบสมบัติการชะล้างของอะซิโตน และเฮกเซน

จากการล้าง Porapak Q ที่ใช้แล้วด้วยอะซิโตน และเฮกเซน พบว่าการล้างด้วยอะซิโตน จะได้สารละลายสีเหลืองใส ขณะที่ เฮกเซน ได้สารละลายใสไม่มีสี และเมื่อนำ Porapak Q ที่ล้างแล้วมาวิเคราะห์หาสารประกอบที่เหลือหลังล้างด้วยละลายทั้งสอง พบว่าสารที่ถูกดูดซับไว้ถูกล้างออกได้ แต่ยังคงมีบางส่วนตกค้างอยู่ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่า Peak Area x 10³ ของสารประกอบบางชนิดหลังการล้าง Porapak Q ด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิด

ตำแหน่ง	สารละลายที่ใช้ล้าง	Ethylbenzene	2-Butenylbenzene	4-Ethylbenzaldehyde	
001	ก่อนล้าง	-	1,562	1,499	7,072
	หลังล้าง	อะซิโตน	1,593	474	5,616
	เฮกเซน	4,023	1,612	14,063	
019	ก่อนล้าง	-	137	4,163	7,593
	หลังล้าง	อะซิโตน	1,483	1,764	7,530
	เฮกเซน	4,408	1,909	14,723	

4.1.4.2 การศึกษาความสามารถในการดูดซับสารหอมระเหยของ Porapak Q เมื่อผ่านการชะล้างด้วยตัวทำละลายและผ่านการทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง หรือทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 50°C

หลังจากนำ Porapak Q ที่ล้างแล้วและทำให้แห้งด้วยการอบมาดูดซับกลิ่นคอกมะลิ สามารถพบสารประกอบหลัก ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่า Peak Area x 10³ ของสารประกอบหลักจากการดูดซับกลิ่นดอกมะลิ

สารละลายที่ใช้ล้าง		อุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง	β - Pinene	Camphene	Linalool acetate
ดอกมะลิสด			945	790	3,676
Porapak Q	อะซิโตน	0 °C	697	-	2,112
	เฮกเซน	0 °C	-	-	3,483
Porapak Q	อะซิโตน	50 °C	637	69	1,990
	เฮกเซน	50 °C	32	71	4,217

4.1.5 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสารหอมระเหยของสารดูดซับ Super Q และ Porapak Q

โครมาโตแกรมของน้ำมันหอมระเหยมาตรฐานทั้ง 7 ชนิดเป็นดังรูปที่ 5 ก เมื่อเปรียบเทียบกับ peak ที่ได้จากสารดูดซับ Porapak Q (รูปที่ 5 ข) และ Super Q (รูปที่ 5 ค) จะเห็นว่า การใช้ Porapak Q เป็นสารดูดซับ จะพบ peak ที่เป็นตัวรบกวน (สกรี) ซึ่งไม่พบใน Super Q และ Super Q สามารถดูดซับสารได้หลายชนิดมากกว่า Porapak Q

4.1.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสารระเหยของ Super Q ในระบบปิดและระบบเปิด และศึกษาวิธีการชะล้าง Super Q เพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ

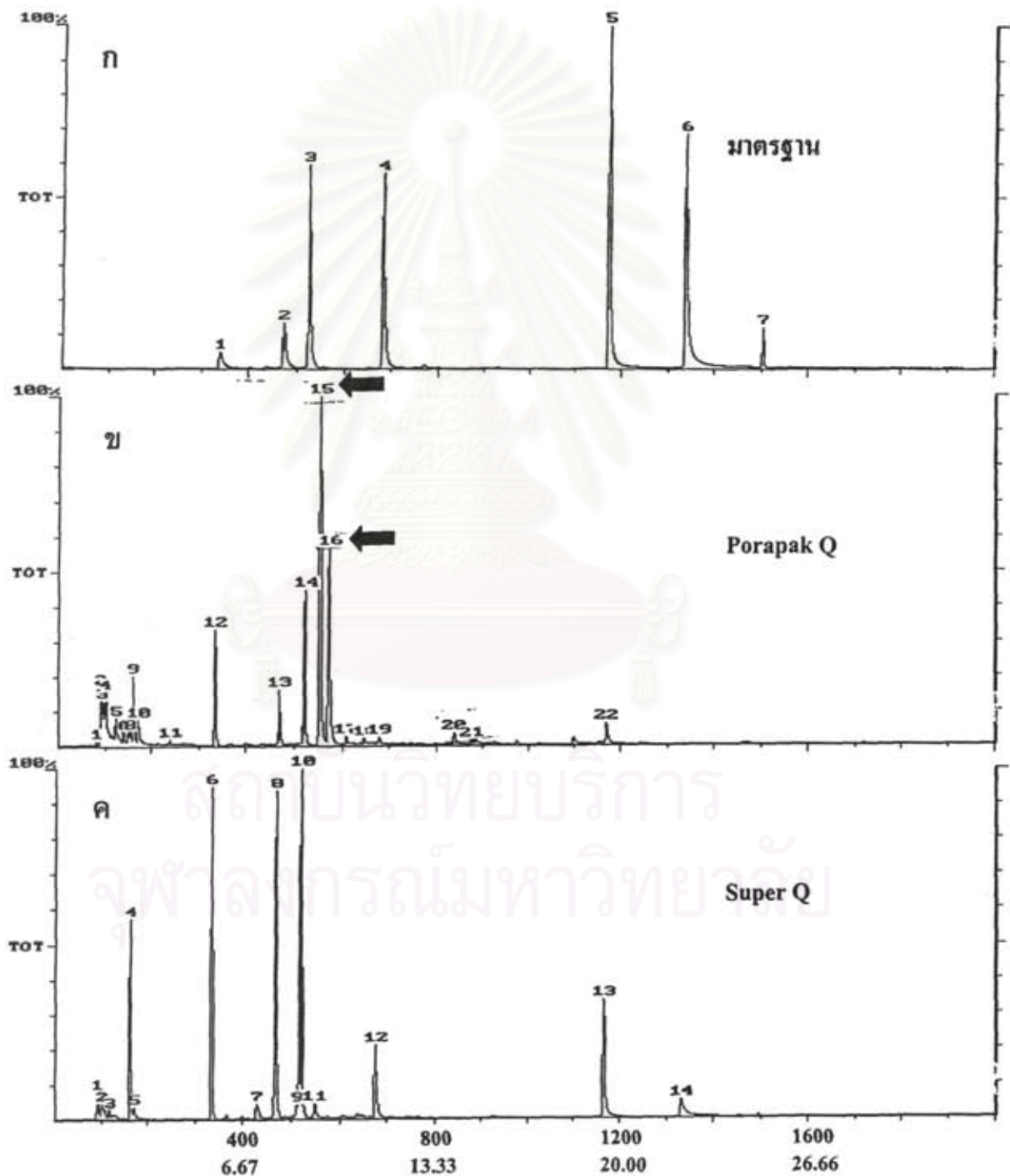
หลังการชะล้างด้วยวิธีเดิม คือ ล้าง Super Q ด้วย อะซิโตน และทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 50 °C สามารถนำมาใช้ดูดซับสารในระบบปิดและระบบเปิดได้อีก ดังตารางที่ 6 ตารางที่ 6 ค่า Peak Area x 10³ ของน้ำมันหอมระเหยมาตรฐาน 7 ชนิดหลังการล้าง Super Q ด้วยอะซิโตน

Peak Area x 10 ³	α -Pinene	3-Carene	Eucalyptol	Linalool	Safrole	Eugenol	Caryophyllene
Super Q ใหม่ ระบบปิด	668	836	2,380	539	1,786	407	52
Super Q ใช้แล้ว ล้าง ระบบปิด	1,117	1,774	3,968	1,124	2,207	598	44
Super Q ใช้แล้ว ล้าง ระบบเปิด	51	50	1,890	0	371	133	0

เนื่องจากวิธีการล้างแบบเดิมยังมีสารบางส่วนตกค้างอยู่ จึงเปลี่ยนวิธีการล้างเป็นแบบชะสารผ่านคอลัมน์ ทำให้ไม่พบสารตกค้างอยู่ใน Super Q หลังการล้าง และเมื่อนำมาดูดซับสารอีกครั้งโดยมีการใส่น้ำลงไปในตัวดูดซับระหว่างดำเนินการดูดซับสาร พบว่าสารที่ถูกดูดซับมีปริมาณลดลง ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่า Peak Area x 10³ ของน้ำมันหอมระเหยมาตรฐาน หลังชะ Super Q ที่ใช้แล้วด้วยอะซิโตน

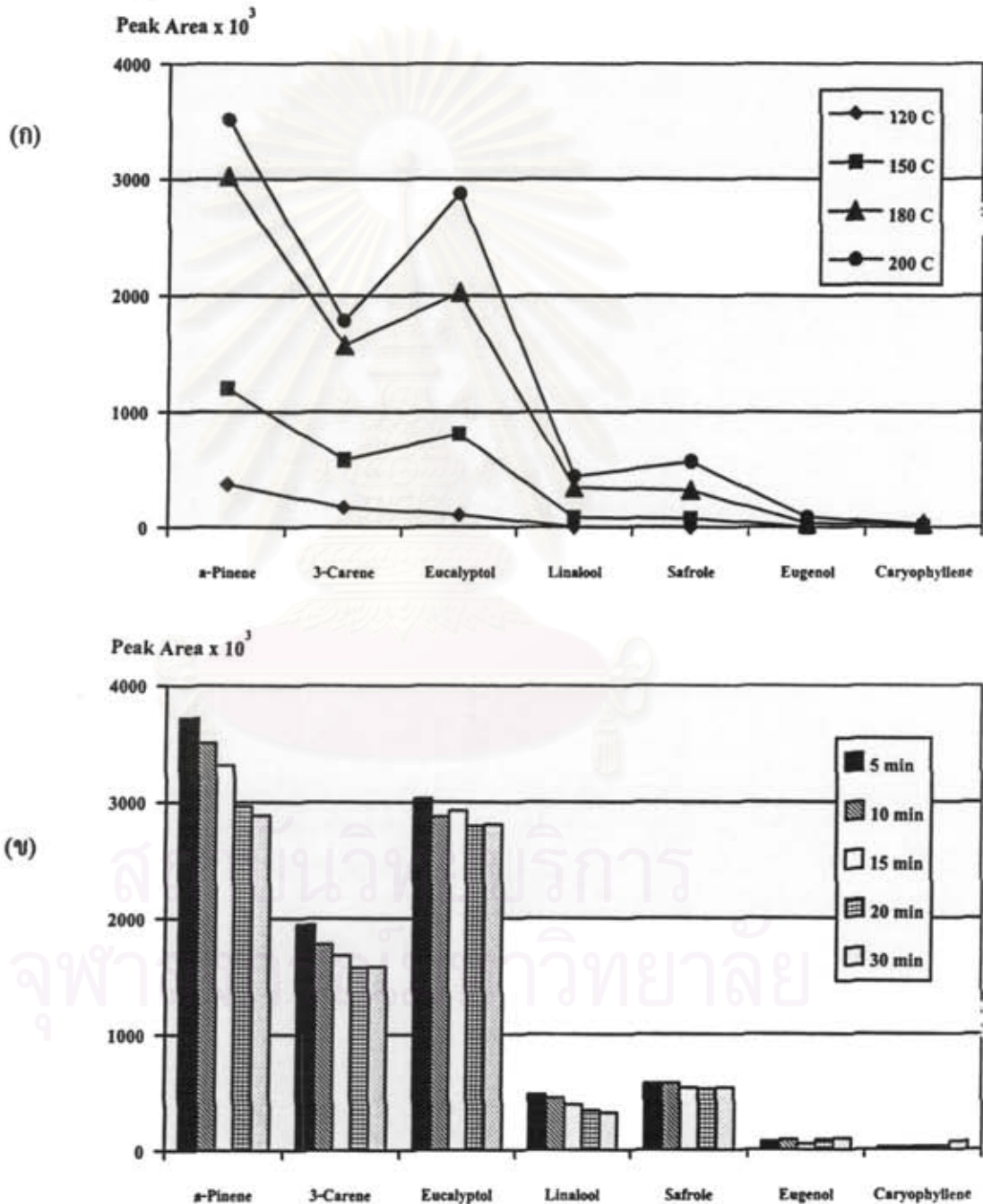
Peak Area x 10 ³	α -Pinene	3-Carene	Eucalyptol	Linalool	Safrole	Eugenol	Caryophyllene
หลังล้าง	-	-	-	-	-	-	-
ดูดกลืน	4,336	2,546	4,351	275	373	1	60
ไต้น้ำ + ดูดกลืน	3,500	2,006	2,885	280	269	-	-



รูปที่ 5 โครมาโตแกรมเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับกลิ่นระหว่าง Super Q และ Porapak Q

4.1.7 การหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการไล่สารออกจากตัวดูดซับเพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS

จากค่า Peak Area ของน้ำมันหอมระเหยที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ เมื่อปรับเครื่อง Headspace Autosampler เพื่อไล่สารออกจากตัวดูดซับ พบว่าสามารถตรวจวัดน้ำมันหอมระเหยมาตรฐานได้ทั้ง 7 ตัว โดยมีค่า Peak Area สูงสุด เมื่อใช้อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 5 นาทีในการไล่สารออกจากตัวดูดซับ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 6 และ ตารางที่ 8



รูปที่ 6 กราฟแสดงค่า Peak Area x 10³ ของน้ำมันหอมระเหยมาตรฐาน 7 ชนิด

(ก) เวลา 10 นาทีที่อุณหภูมิต่างกัน

(ข) อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสที่เวลาต่างกัน

ตารางที่ 8 ค่า Peak Area x 10³ ของน้ำมันหอมระเหยมาตรฐาน 7 ชนิด ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C) / เวลา (นาที)	α - Pinene	3- Carene	Eucalyptol	Linalool	Safrole	Eugenol	Caryophyllene
120 / 10	377	176	111	-	-	-	-
120 / 20	327	154	106	-	-	-	-
120 / 30	334	144	87	-	-	-	-
150 / 10	1,202	584	806	84	75	-	-
150 / 20	1,175	575	803	75	71	-	-
150 / 30	1,036	522	770	80	68	-	-
180 / 10	3,022	1,574	2,028	348	326	33	29
180 / 15	2,883	1,485	1,997	307	291	10	28
180 / 20	2,697	1,330	1,961	292	275	2	20
180 / 30	2,658	1,266	1,934	305	289	-	23
200 / 5	3,719	1,950	3,030	474	570	74	22
200 / 10	3,508	1,782	2,873	446	570	88	23
200 / 15	3,313	1,683	2,925	388	530	50	28
200 / 20	2,963	1,574	2,794	339	519	86	30
200 / 30	2,883	1,581	2,807	319	531	97	72

4.2 การสำรวจพื้นที่และทำการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตและสารชีวเคมีในระบบนิเวศ

4.2.1 การเปรียบเทียบความหลากหลายของชนิดและปริมาณของสารหอมระเหยที่ตรวจจับได้โดยชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นในป่าดงห้วยหวาย อุทยานแห่งชาติคอยภูคา และ ป่าผัดใบ อุทยานแห่งชาติศรีน่าน

เมื่อจัดเตรียมอุปกรณ์ได้แล้วจึงได้ทำการติดตั้งในพื้นที่วิจัย เขตอุทยานแห่งชาติคอยภูคา และอุทยานแห่งชาติศรีน่าน ซึ่งบริเวณพื้นที่อุทยานแห่งชาติคอยภูคาเป็นป่าที่มีความหลากหลายทางชีวภาพและมีกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยที่ชัดเจน ส่วนอุทยานแห่งชาติศรีน่านนั้นมีลักษณะเป็นป่าไผ่ความหลากหลายทางชีวภาพ และกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยน้อยกว่า โดยหาพิกัดของตำแหน่งที่ติดตั้งด้วยเครื่อง GPS ได้ ดังตารางที่ 9 และตารางที่ 10

ตารางที่ 9 แสดงตำแหน่งวางเครื่องจุดอากาศในเขตอุทยานแห่งชาติดอยภูคา เมื่อวันที่ 10 มีนาคม 48

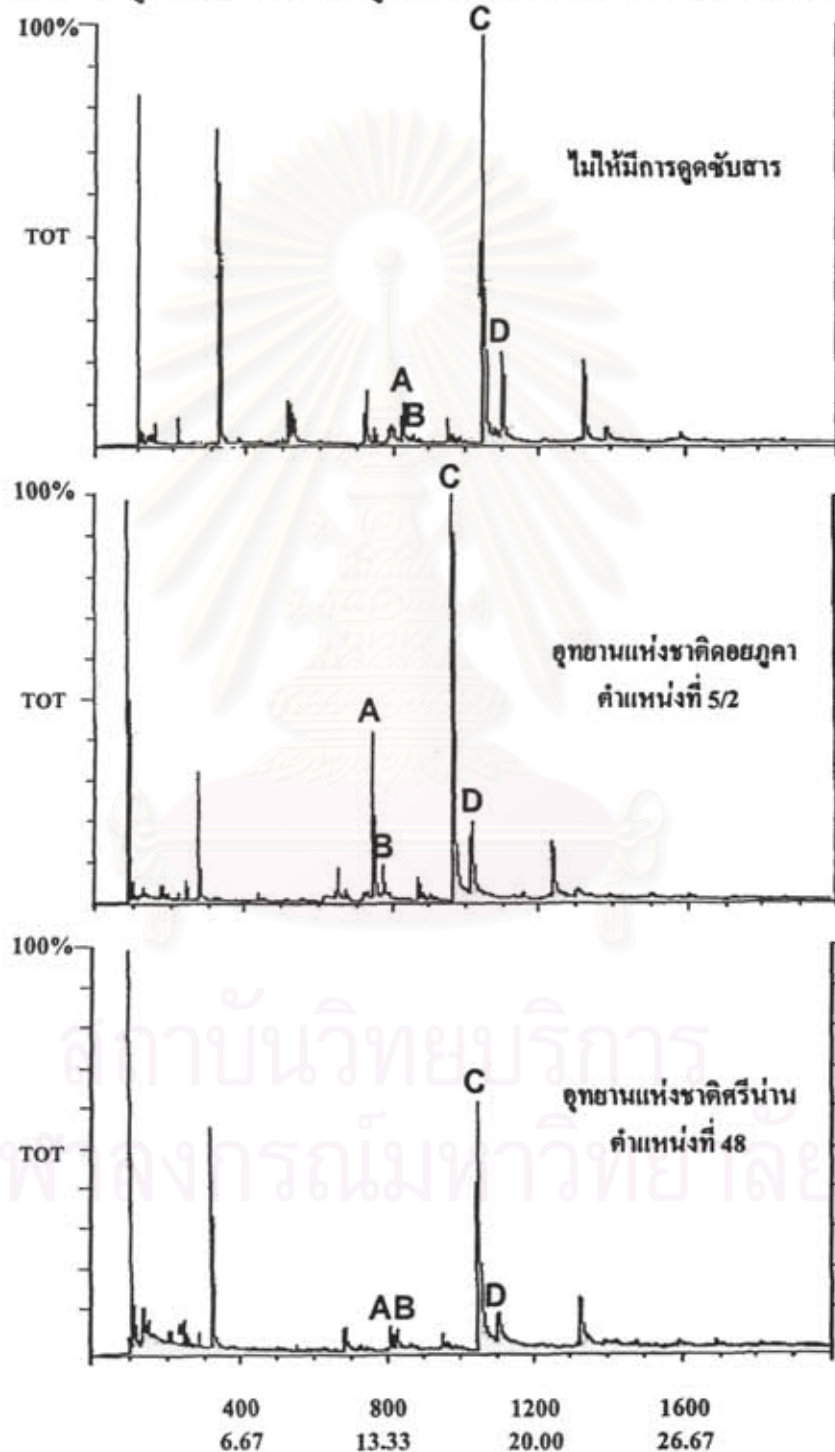
ตำแหน่งที่	ตำแหน่ง		จุดสังเกต
001	จุดเริ่มต้น		ทะเล
002	N 19° 10' 53.9"	E 101° 05' 58.2"	แข่งกวาง
003	N 19° 10' 53.9"	E 101° 05' 58.5"	Celastraceae
004	N 19° 11' 00.1"	E 101° 05' 59.6"	มีกลิ่น
005	(5/1) N 19° 11' 01.9"	E 101° 05' 59.9"	อยู่ด้านล่าง, อบเชย
	(5/2) N 19° 11' 01.9"	E 101° 05' 59.9"	อยู่ด้านบน, อบเชย column 49
006	N 19° 11' 04.3"	E 101° 06' 01.4"	เต่าร้างข้าง, คั่นถ่วง
007	N 19° 11' 06.0"	E 101° 06' 05.7"	Celastraceae ข้างต้นหนาดกลางดงกล้วย ถัดมามีขมุนดินด้านขวา สูง 1620 ม.
008	N 19° 11' 08.0"	E 101° 06' 04.7"	ตะไคร้ดิน สูง 1800 ม.
009	N 19° 11' 9.6"	E 101° 06' 07.5"	Fabaceae, ทองเป็ป
010	N 19° 11' 13.1"	E 101° 06' 11.9"	-
011	N 19° 11' 12.7"	E 101° 06' 19.3"	เริ่มคงหญ้าห่วยห่างจากจุดทวนซ้าย 100 ม
012	N 19° 11' 14.7"	E 101° 06' 22.9"	มีกลิ่น
013	N 19° 11' 16.3"	E 101° 06' 24.9"	-
014	N 19° 11' 17.1"	E 101° 06' 27.6"	มีกลิ่น
015	N 19° 11' 20.2"	E 101° 06' 28.7"	ห่างจากจุด 014 ประมาณ 100 ม.
016	N 19° 11' 20.3"	E 101° 06' 32.2"	ห่างจากจุด 015 ประมาณ 100 ม.
017	N 19° 11' 21.3"	E 101° 06' 33.2"	มีกลิ่น, ตะไคร้ดินออกดอก ห่างจากจุด 016 ประมาณ 50 ม.
018	N 19° 11' 26.0"	E 101° 06' 33.4"	ห่างจากจุด 017 ประมาณ 100 กว่าเมตร
019	N 19° 11' 30.5"	E 101° 06' 32.8"	ห่างจากจุด 018 ประมาณ 100 ม.
020	N 19° 11' 35.3"	E 101° 06' 32.2"	ห่างจากจุด 019 ประมาณ 143 ม.
021	N 19° 11' 39.5"	E 101° 06' 31.2"	-
022	N 19° 11' 40.9"	E 101° 06' 28.9"	ห่างจากจุด 021 ประมาณ 100 กว่าเมตร
023	N 19° 11' 43.0"	E 101° 06' 26.5"	ห่างจากจุด 022 ประมาณ 100 เมตร
024	N 19° 11' 46.1"	E 101° 06' 25.6"	-
025	N 19° 11' 49.6"	E 101° 06' 24.2"	ห่างจากจุด 024 ประมาณ 100 ม.

ตำแหน่งที่	ตำแหน่ง		จุดสังเกต
026	N 19° 11' 52.8"	E 101° 06' 23.8"	ห่างจากจุด 025 ประมาณ 100 เมตร
027	N 19° 11' 55.8"	E 101° 06' 21.6"	-
028	N 19° 11' 58.5"	E 101° 06' 19.7"	ห่างจากจุด 027 ประมาณ 100 เมตร
029	N 19° 12' 0.8"	E 101° 06' 16.8"	ห่างจากจุด 028 ประมาณ 100 เมตร
030	N 19° 12' 2.8"	E 101° 06' 14.3"	ซ้าย trial ห่างจากจุด 029 ประมาณ 100 เมตร
031	N 19° 12' 05.9"	E 101° 06' 11.7"	ซ้าย trial
032	N 19° 12' 06.5"	E 101° 06' 08.9"	-
033	N 19° 12' 08.5"	E 101° 06' 04.4"	-
034	N 19° 12' 11.5"	E 101° 06' 01.6"	-
035	No GPS	No GPS	-

ตารางที่ 10 แสดงตำแหน่งวางเครื่องวัดอากาศในเขตอุทยานแห่งชาติศรีน่าน เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 48

ตำแหน่งที่	ตำแหน่ง		จุดสังเกต
036	N 18° 21' 59.3"	E 100° 50' 06.2"	สุดป่าไผ่, ต้นมะกอก้า, แคฝอย
037	N 18° 21' 53.9"	E 100° 50' 04.0"	ป่าไผ่, ดินเครื่องทางขวา ห่างจากจุด 036 ประมาณ 100 ม.
038	N 18° 21' 50.2"	E 100° 50' 3.4"	ดินเครื่องทางขวา
039	N 18° 21' 47.9"	E 100° 50' 01.5"	ดินทางขวา, ต้นหลังกอไผ่
040	N 18° 21' 44.8"	E 100° 49' 58.2"	ดินเครื่องทางขวา
041	N 18° 21' 40.9"	E 100° 49' 57.4"	ดินเครื่องทางขวา
042	N 18° 21' 36.0"	E 100° 49' 56.8"	ดินเครื่องทางซ้าย
043	N 18° 21' 32.5"	E 100° 49' 55.6"	ดินเครื่องทางซ้าย, ต้นยาง
044	N 18° 21' 28.7"	E 100° 49' 54.6"	ดินเครื่องทางซ้าย
045	N 18° 21' 26.4"	E 100° 49' 54.8"	ข้ามป่าไผ่
046	N 18° 21' 23.5"	E 100° 49' 57.8"	-
047	N 18° 21' 20.6"	E 100° 50' 0.3"	-
048	N 18° 21' 17.1"	E 100° 50' 00.8"	ข้างหน้าลานไผ่มีต้นที่มีเม็ดสีแดง

หลังจากสารระเหยในอากาศถูกดูดซับด้วยคอลัมน์ของชุดอุปกรณ์ดูดอากาศที่ติดตั้งไว้ในพื้นที่เป้าหมายเป็นเวลา 7 วัน เก็บคอลัมน์มาวิเคราะห์ที่ห้องทดลองด้วยเทคนิค Headspace GC-MS ผลจากการวิเคราะห์โครมาโตแกรมที่ได้โดยการเปรียบเทียบแมสสเปกตรัมกับตัวมาตรฐานใน NIST92 library พบว่าสารประกอบที่วิเคราะห์ได้จากตัวดูดซับในคอลัมน์ที่เครื่องดูดอากาศสามารถดูดได้จากพื้นที่วิจัย ทั้งที่อุทยานแห่งชาติคอยูกาและศรีน่านนั้น มีรูปแบบของโครมาโตแกรมดังแสดงในภาคผนวก

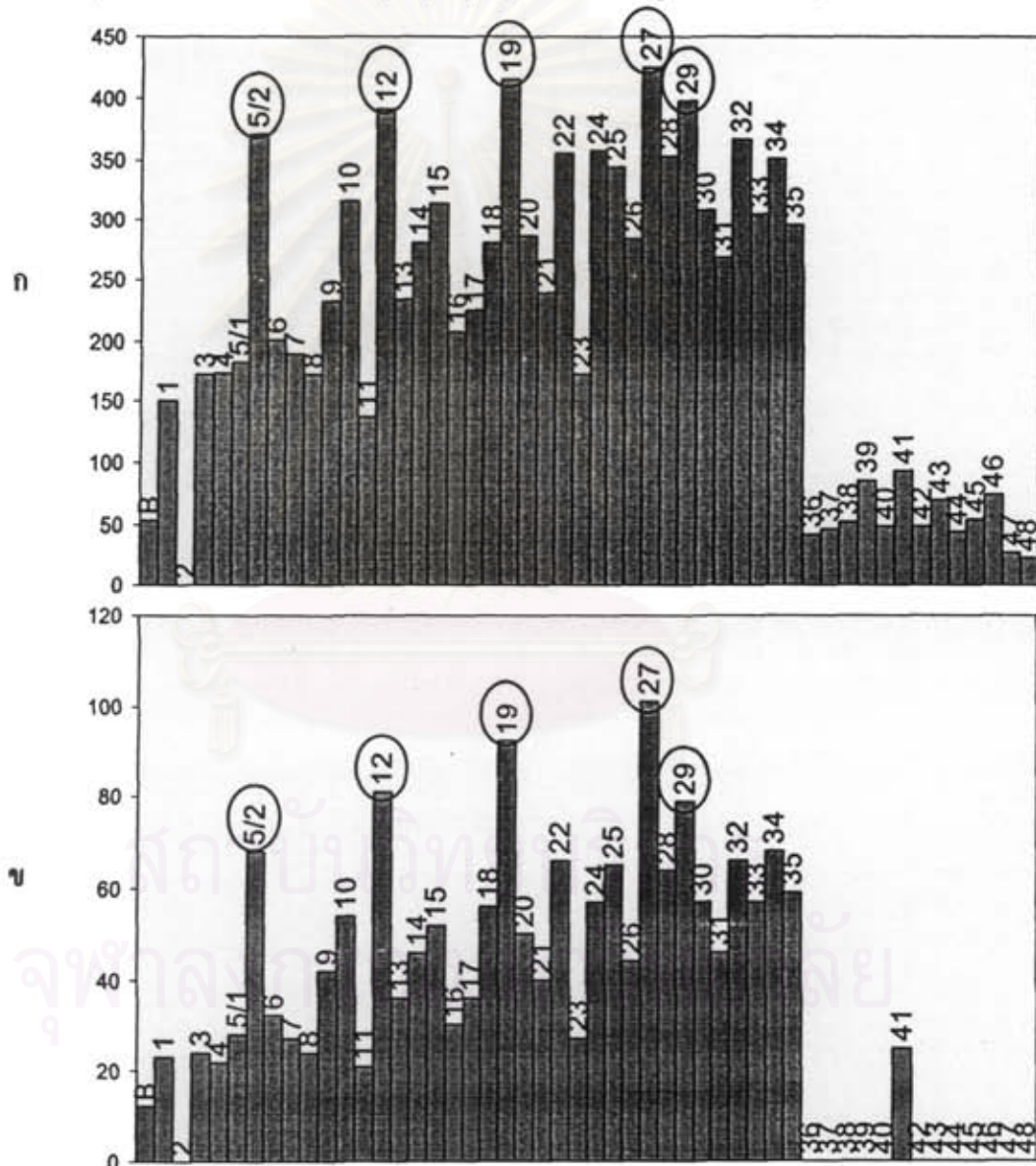


รูปที่ 7 โครมาโตแกรมของสารที่พบบริเวณพื้นที่วิจัยทั้ง 2 แห่งเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

A, B, C และ D คือ peak ของสารระเหยที่มีการเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 7 พบว่ามีความแตกต่างของ peak area ในชุดควบคุมและ Porapak Q ที่ผ่านการดูดซับสารจากพื้นที่เป้าหมาย โดย Porapak Q จากคองก์้าห่วยดูดซับสารหอมระเหยได้ปริมาณมากกว่า Porapak Q ที่ดูดซับสารจากอุทยานแห่งชาติศรีน่านหลายชนิด เช่น 2-Butenylbenzene (รูปที่ 8 ก), 1-Ethenyl-3-ethylbenzene (รูปที่ 8 ข), 4-Ethylbenzaldehyde (รูปที่ 8 ค) และ 3, 4-Dimethylbenzaldehyde (รูปที่ 8 ง) เป็นต้น โดยที่อุทยานแห่งชาติดอยภูคา (ตำแหน่งที่ 1 – 35) จะมีค่า peak area สูงกว่าชุดควบคุม และอุทยานแห่งชาติศรีน่าน (ตำแหน่งที่ 36 – 48) อย่างชัดเจน (รูปที่ 7 A-D)

ตำแหน่งที่ 5/2, 12, 19, 27 และ 29 พบสารในกลุ่ม Benzene สูงมาก (รูปที่ 8 ก และ ข) และสารกลุ่ม Benzaldehyde พบมากที่สุดที่ตำแหน่ง 5/2, 28, 29, 32, 33 และ 34 (รูปที่ 8 ค และ ง)

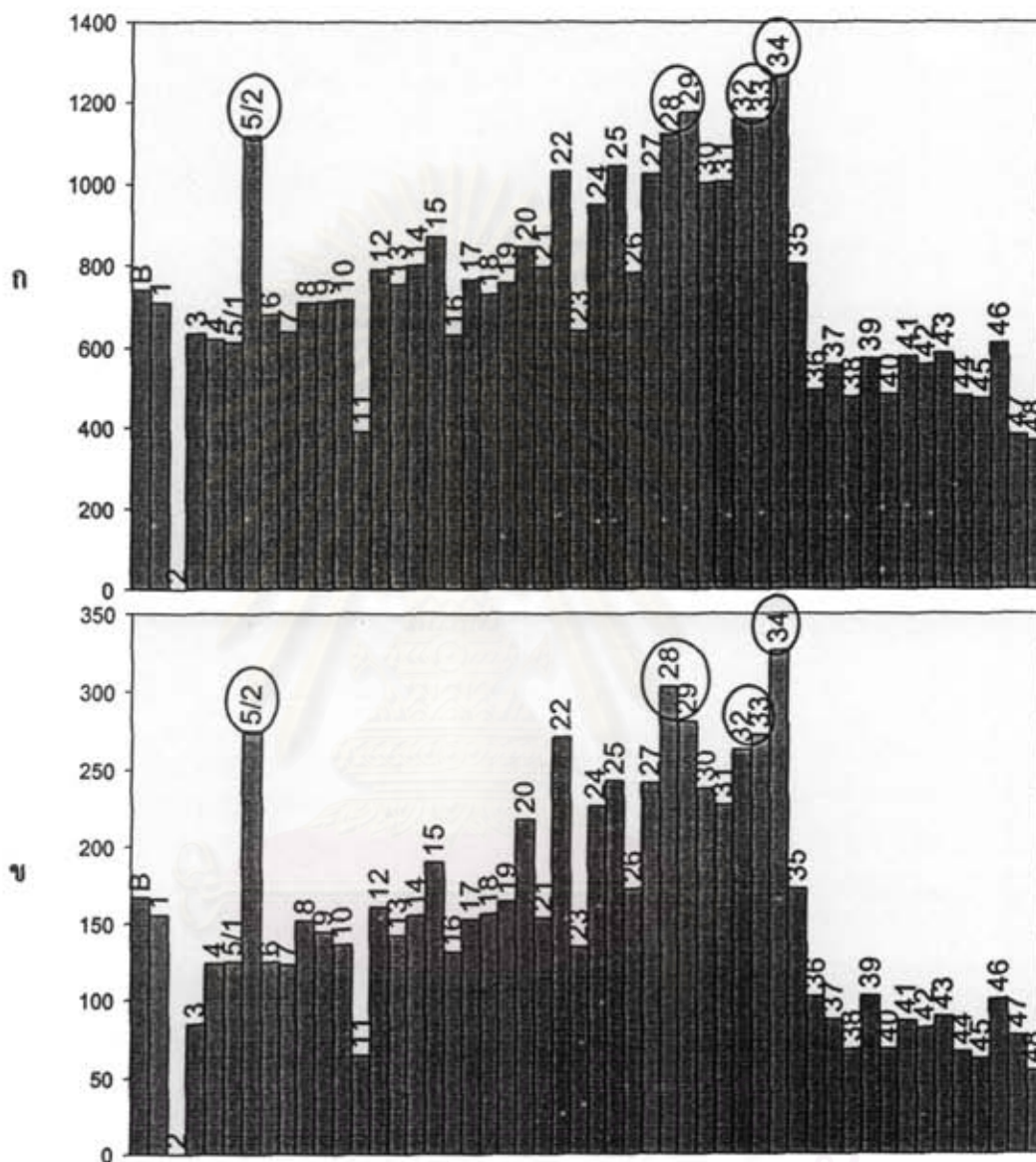


รูปที่ 8 ค่า peak area x 10³ ของสารที่พบบริเวณพื้นที่วิจัยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (B)

หมายเลขตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างระบุไว้เหนือแท่งแผนภูมิ

(ก) 2-Butenylbenzene (ข) 1-Ethenyl-3-ethylbenzene (ค) 4-Ethylbenzaldehyde

และ (ง) 3, 4-Dimethylbenzaldehyde



รูปที่ 8 (ต่อ) ค่า peak area $\times 10^3$ ของสารที่พบบริเวณพื้นที่วิจัยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (B)

หมายเลขตำแหน่งที่เกิดตัวอย่างระบุไว้เหนือแท่งแผนภูมิ

(ข) 2-Butenylbenzene (ง) 1-Ethenyl-3-ethylbenzene (ค) 4-Ethylbenzaldehyde

และ (ง) 3, 4-Dimethylbenzaldehyde

4.2.2 การเปรียบเทียบความหลากหลายของสารหอมระเหยที่ตรวจจับได้โดยชุดอุปกรณ์ในป่า ดง หน้้าหวาย อุทยานแห่งชาติดอยภูกา เส้นทางเดินที่ 1 (เส้นทางในข้อ 2.1) และเส้นทางเดินที่ 2 ในอุทยานแห่งชาติดอยภูกา

ทำการเก็บข้อมูลพิกัดตำแหน่งของจุดที่เก็บตัวอย่างในเส้นทางที่ 1 และเส้นทางที่ 2 ดังตารางที่ 11 และตารางที่ 12

ตารางที่ 11 แสดงตำแหน่งวางเครื่องสูดอากาศบริเวณอุทยานแห่งชาติดอยภูกาเมื่อวันที่ 25 ต.ค. 2548 ในเส้นทางที่ 1

ตำแหน่งใหม่	ตำแหน่งเดิม	ตำแหน่งพิกัด		หมายเหตุ
01	004	N 19° 11' 00.1"	E 101° 05' 59.6"	-
02	005	N 19° 11' 01.9"	E 101° 05' 59.9"	อบเชย
03	008	N 19° 11' 08.0"	E 101° 06' 04.7"	ตะไคร้ต้น
04	011	N 19° 11' 12.7"	E 101° 06' 19.3"	เริ่มดงหน้้าหวาย
05	012	N 19° 11' 14.7"	E 101° 06' 22.9"	มีกลิ่น
06	013	N 19° 11' 16.3"	E 101° 06' 24.9"	-
07	014	N 19° 11' 17.1"	E 101° 06' 27.6"	ตะไคร้ต้น
08	017	N 19° 11' 21.3"	E 101° 06' 33.2"	
09	019	N 19° 11' 30.5"	E 101° 06' 32.8"	-
10	022	N 19° 11' 40.9"	E 101° 06' 28.9"	-
11	-	N 19° 11' 59.8"	-	-
12	029	N 19° 12' 00.8"	E 101° 06' 16.8"	-
13	032	N 19° 12' 06.5"	E 101° 06' 08.9"	-
14	033	N 19° 12' 08.5"	E 101° 06' 04.4"	-
15	-	N 19° 12' 13.1"	-	-

หมายเหตุ * ตำแหน่งเดิม หมายถึง ตำแหน่งที่ระบุไว้ในการวางเครื่องมือในวันที่ 10 มี.ค. 48 (ตารางที่6)

- คือ ไม่มีข้อมูล

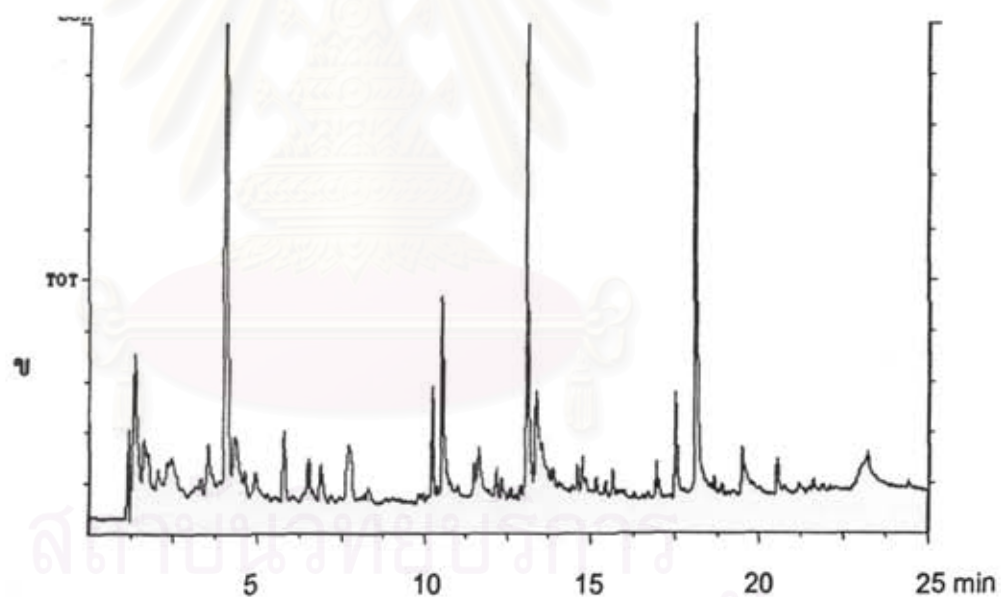
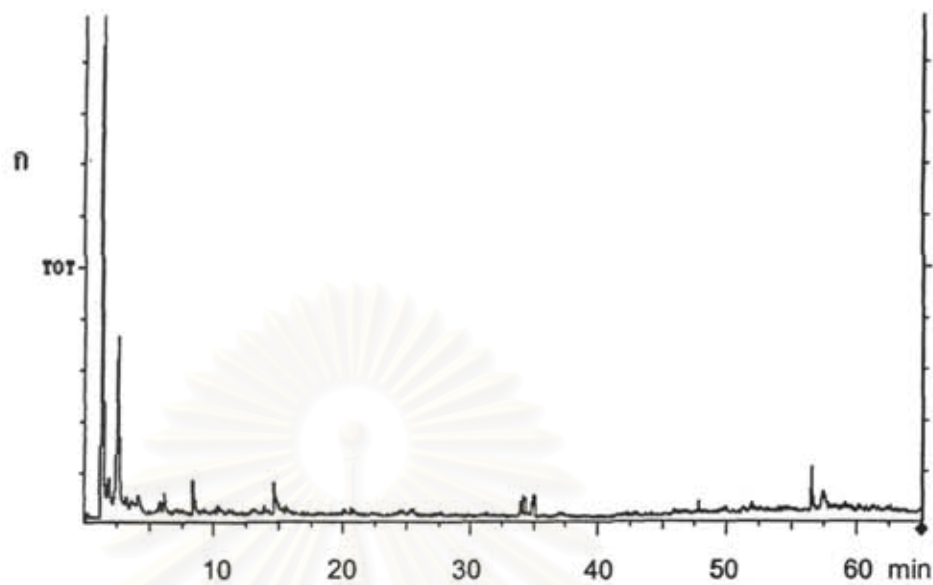
ตารางที่ 12 แสดงตำแหน่งวางเครื่องดูดอากาศบริเวณอุทยานแห่งชาติคอกอญเมื่อวันที่ 26 ต.ค. 2548 ในเส้นทางที่ 2

ตำแหน่งใหม่	ตำแหน่งพิกัด		หมายเหตุ
01	0	0	-
02	0	0	-
03	0	0	-
04	0	0	-
05	0	0	-
06	0	0	-
07	0	0	คะไคร้คัน
08	N 19° 09' 99.8"	E 101° 06' 13.0"	-
09	0	0	-
10	N 19° 09' 37.9"	E 101° 06' 07.9"	-
11	N 19° 09' 34.1"	E 101° 06' 07.2"	-
12	N 19° 09' 30.1"	E 101° 06' 04.5"	คดงอกไม้
13	N 19° 09' 27.2"	E 101° 06' 59.6"	กำลังเสียโครง
14	N 19° 09' 27.4"	E 101° 06' 56.3"	-
15	N 19° 09' 25.0"	E 101° 06' 50.3"	-

หมายเหตุ * 0 คือ ไม่สามารถตรวจจับสัญญาณได้ และ - คือ ไม่มีข้อมูล

จากการวิเคราะห์สารที่ถูกลดซับในระบบนิเวศ ด้วยเทคนิค Headspace GC/MS พบว่าการติดตั้งเครื่องดูดอากาศ โดยใช้ super Q เป็นตัวดูดซับสารนั้น สามารถดูดซับสารที่ตำแหน่งต่างๆ ได้ แต่การใช้ column programming ดังที่ระบุไว้ในข้อ 2.1 คือ 60°C คงที่ 3 นาที เพิ่มเป็น 220°C ด้วยอัตรา 3°C ต่อ นาทีและคงที่ 220°C 10 นาทีนั้น พบว่าแยกสารได้เฉพาะสารที่มีปริมาณมากเท่านั้น ส่วนสารที่มีปริมาณน้อยแยกได้ไม่เด่นชัด (รูปที่ 9ก) จึงเปลี่ยน column programming เป็น 40°C คงที่ 5 นาที จากนั้นเพิ่มเป็น 230°C ด้วยอัตรา 5°C ต่อ นาที และคงไว้ที่ 230°C 5 นาที สามารถแยกได้ชัดเจนขึ้น (รูปที่ 9ข) ดังนั้นจึงใช้ column programming ดังกล่าวในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารหอมระเหยที่พบในทั้งสองเส้นทาง

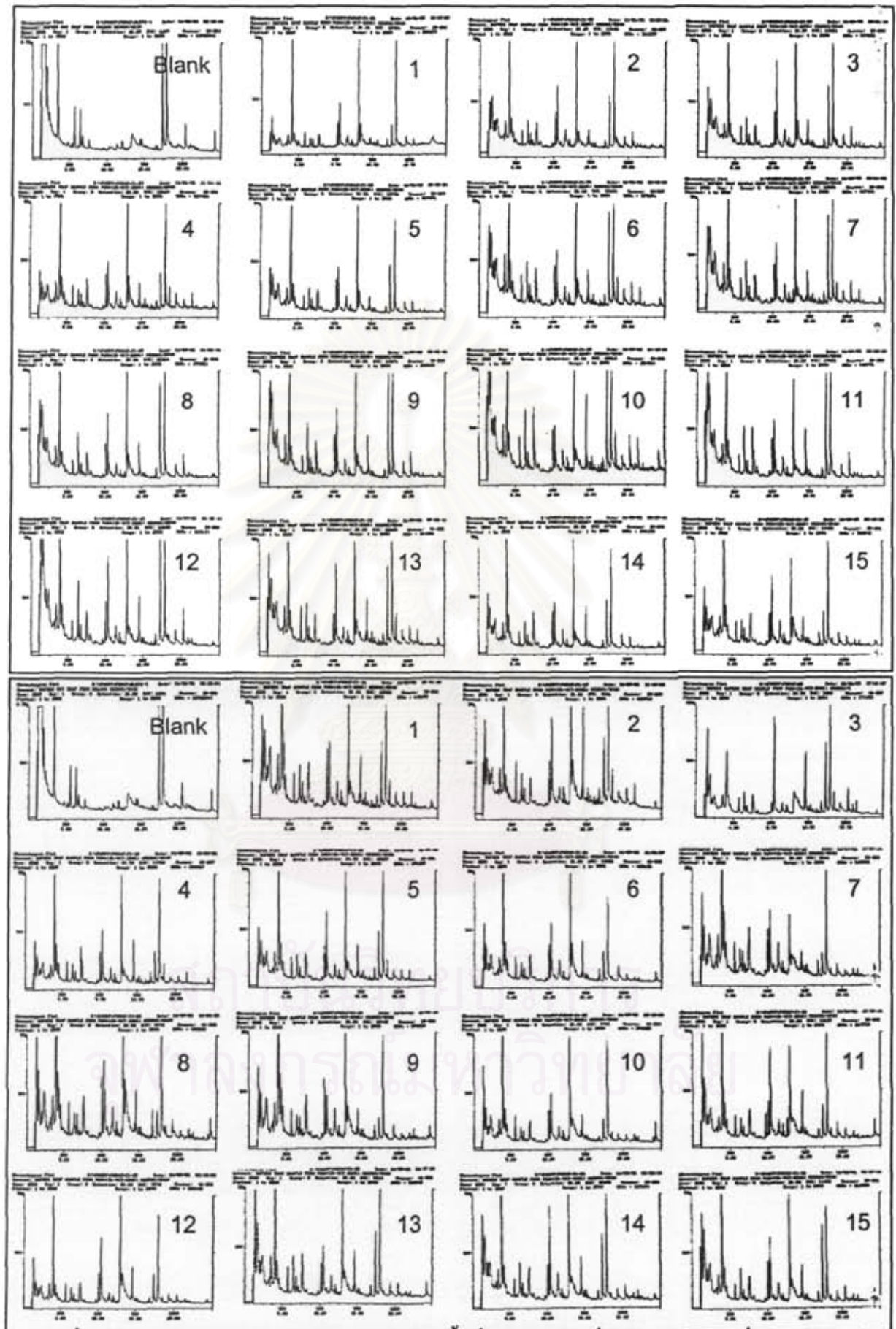
จากโครมาโตแกรมของสารหอมระเหยที่ตรวจวัดได้ในสองเส้นทาง (รูปที่ 10) พบว่าจากการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมมีชนิดของสารที่พบโดยทั่วไปในทั้ง 2 เส้นทางเหมือนกัน แต่อาจมีปริมาณของแต่ละสารแตกต่างกันไปในแต่ละตำแหน่ง แสดงให้เห็นว่า ทั้งสองเส้นทางที่ทำการศึกษาในป่าดงหญ้าหวานน่าจะเป็นเส้นทางที่ดีในการศึกษาทาง chemical ecology ค่ะ โดยจะเลือกศึกษาในเส้นทางที่ 1 เนื่องจากสามารถระบุตำแหน่ง GPS เพื่อการติดตามศึกษาครั้งต่อไปได้ และจากการสำรวจพบว่าบริเวณเส้นทางที่ 1 มีความหลากหลายของชนิดพรรณไม้มากกว่าเส้นทางที่ 2 ด้วย



รูปที่ 9 เปรียบเทียบ โครมาโตแกรมที่ได้จากการใช้ column programming ที่แตกต่างกัน

(ก) 60°C คงที่ 3 นาที เพิ่มเป็น 220°C ด้วยอัตรา 3°C ต่อนาทีและคงที่ 220°C 10 นาที

(ข) 40°C คงที่ 5 นาที จากนั้นเพิ่มเป็น 230°C ด้วยอัตรา 5°C ต่อนาที และคงที่ 230°C 5 นาที



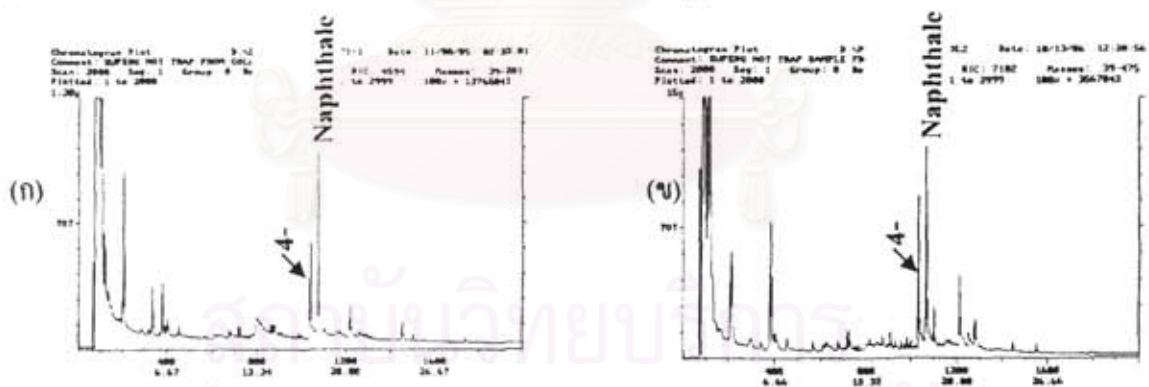
รูปที่ 10 โครมาโตแกรมของสารโน้ตวลูคซิบจากพื้นที่วิจัย เส้นทางที่ 1 (บน) เส้นทางที่ 2 (ล่าง)
 บนอุทยานแห่งชาติดอยภูคา เดือนตุลาคม 2548 โดยตัวเลขคือจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์

4.2.3 การศึกษาชนิดและปริมาณของสารหอมระเหยในบรรยากาศของระบบนิเวศป่าหมายในป่า ดงห้วยหวาย อุทยานแห่งชาติคอกยงูคา

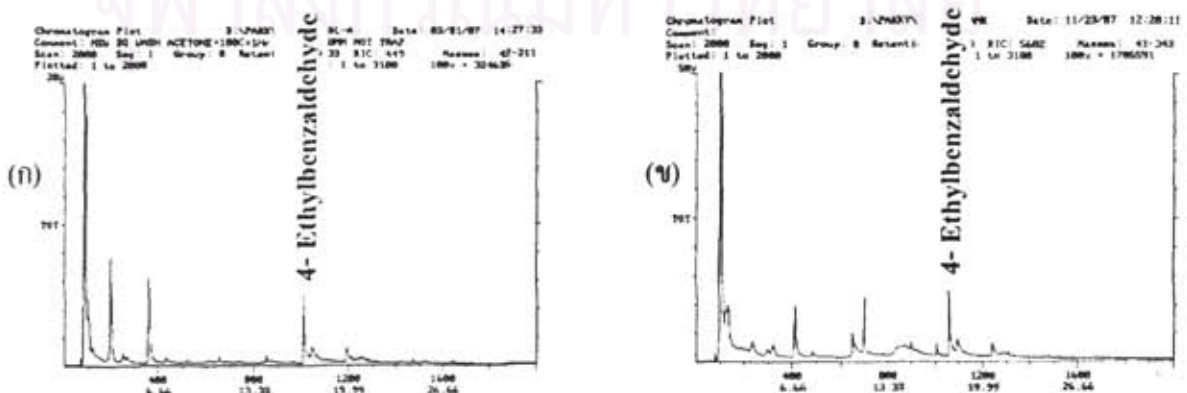
4.2.3.1 ผลโครมาโตแกรม

หลังจากระบุตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างได้ชัดเจนแล้ว จึงมีการดำเนินการเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาต่าง ๆ คือ เดือนตุลาคม 2548 มีนาคม 2549 กุมภาพันธ์ 2550 และ พฤศจิกายน 2550 ซึ่งเมื่อสารระเหยในอากาศถูกดูดซับด้วยคอลัมน์ของชุดอุปกรณ์ดูดอากาศที่ติดตั้งไว้ในพื้นที่วิจัยเป็นเวลา 2 วัน ในช่วงเวลาดังกล่าวแล้ว จึงเก็บคอลัมน์มาวิเคราะห์ที่ห้องทดลองด้วยเทคนิค HS-GC/MS และเปรียบเทียบโครมาโตแกรมที่ได้จากตัวดูดซับในคอลัมน์ที่เครื่องดูดอากาศสามารถดักจับไว้จากพื้นที่วิจัยทั้ง 15 ตำแหน่งกับโครมาโตแกรมของชุดควบคุมซึ่งเป็น Super Q ที่ยังไม่ผ่านการดูดซับสาร ดังแสดงในรูปที่ 13-16 โดยใช้ peak ที่พบเป็นสารปนเปื้อนใน Super Q ในการปรับโครมาโตแกรมให้เป็นมาตรฐานเดียวกันทั้งหมด

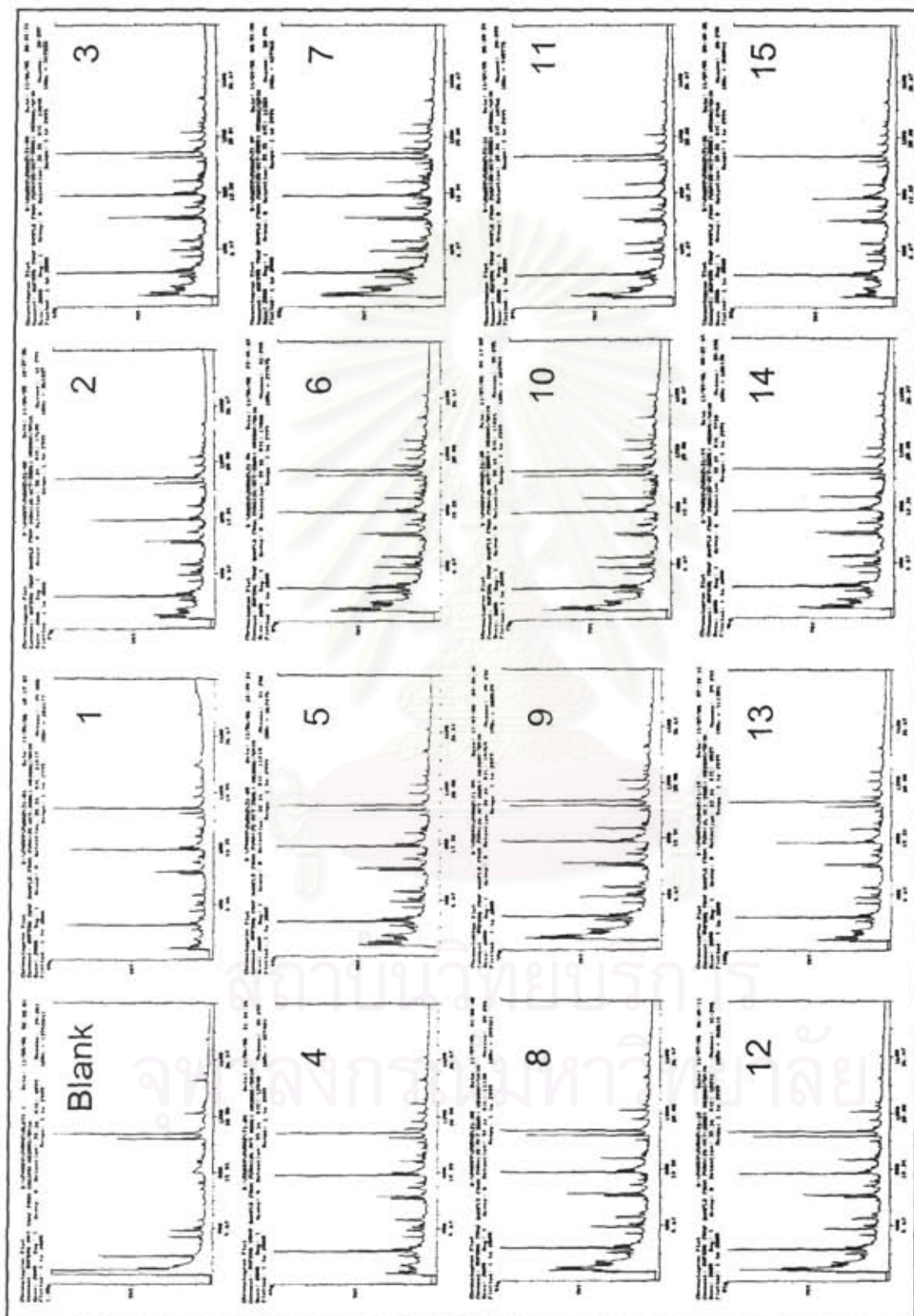
จากโครมาโตแกรมของชุดควบคุมซึ่งได้มาจากการวิเคราะห์ตัวดูดซับที่ยังไม่ได้ใช้ดูดซับสารด้วย GC/MS ของเดือนตุลาคม 2548 และ มีนาคม 2549 peak ที่ใช้ปรับคือ Naphthalene (รูปที่ 11) ส่วนชุดควบคุมของเดือนกุมภาพันธ์ 2550 และ พฤศจิกายน 2550 จะแตกต่างจาก 2 ครั้งแรก เนื่องจากเตรียมขึ้นจาก Super Q ที่ผ่านการล้างด้วยอะซิโตนและอบที่ 100 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง ไม่มี peak ของ Naphthalene จึงปรับโดยการใส่ peak ของ 4-Ethylbenzaldehyde (รูปที่ 12)



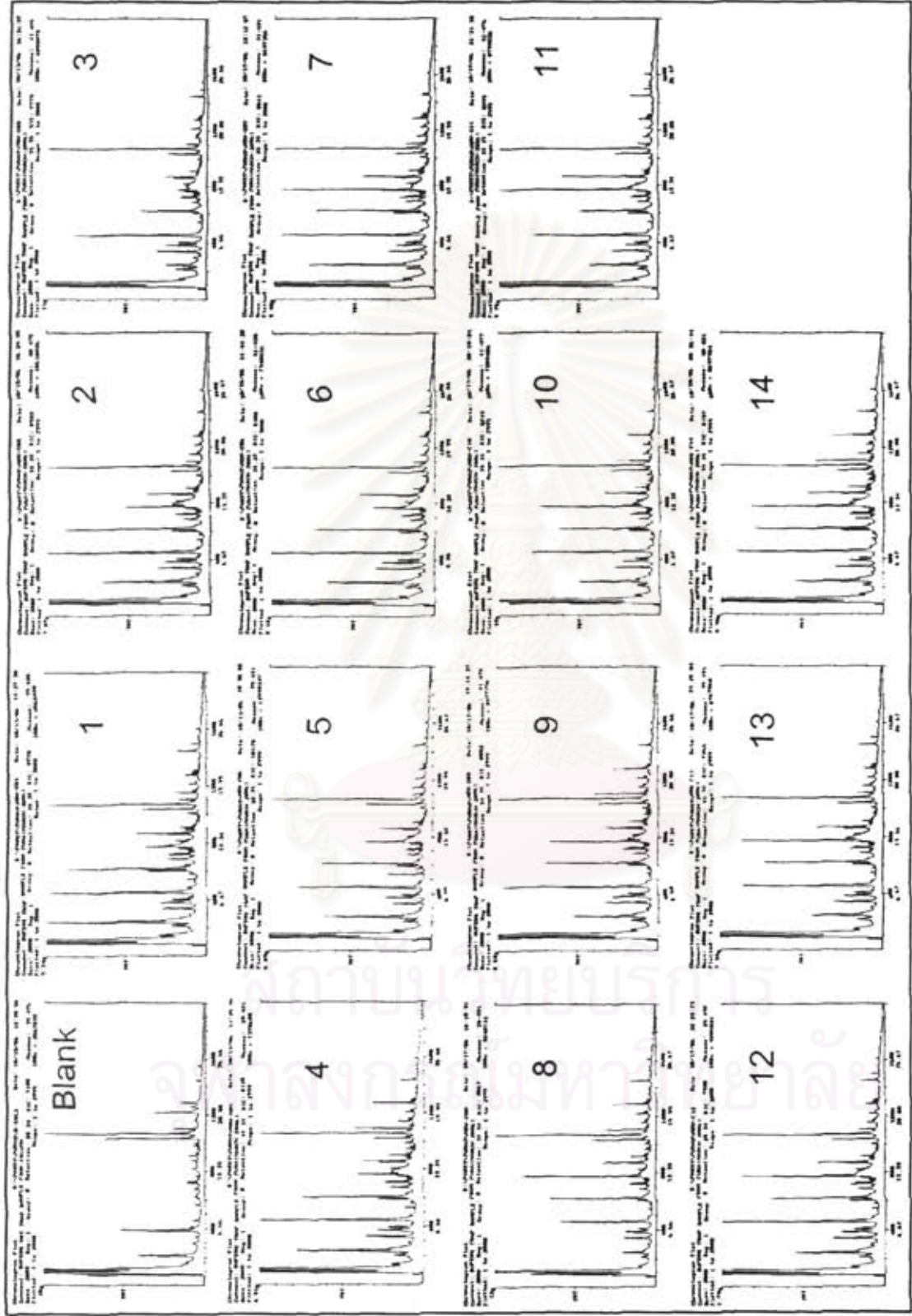
รูปที่ 11 โครมาโตแกรมของชุดควบคุม (ก) ตุลาคม 2548 (ข) มีนาคม 2549



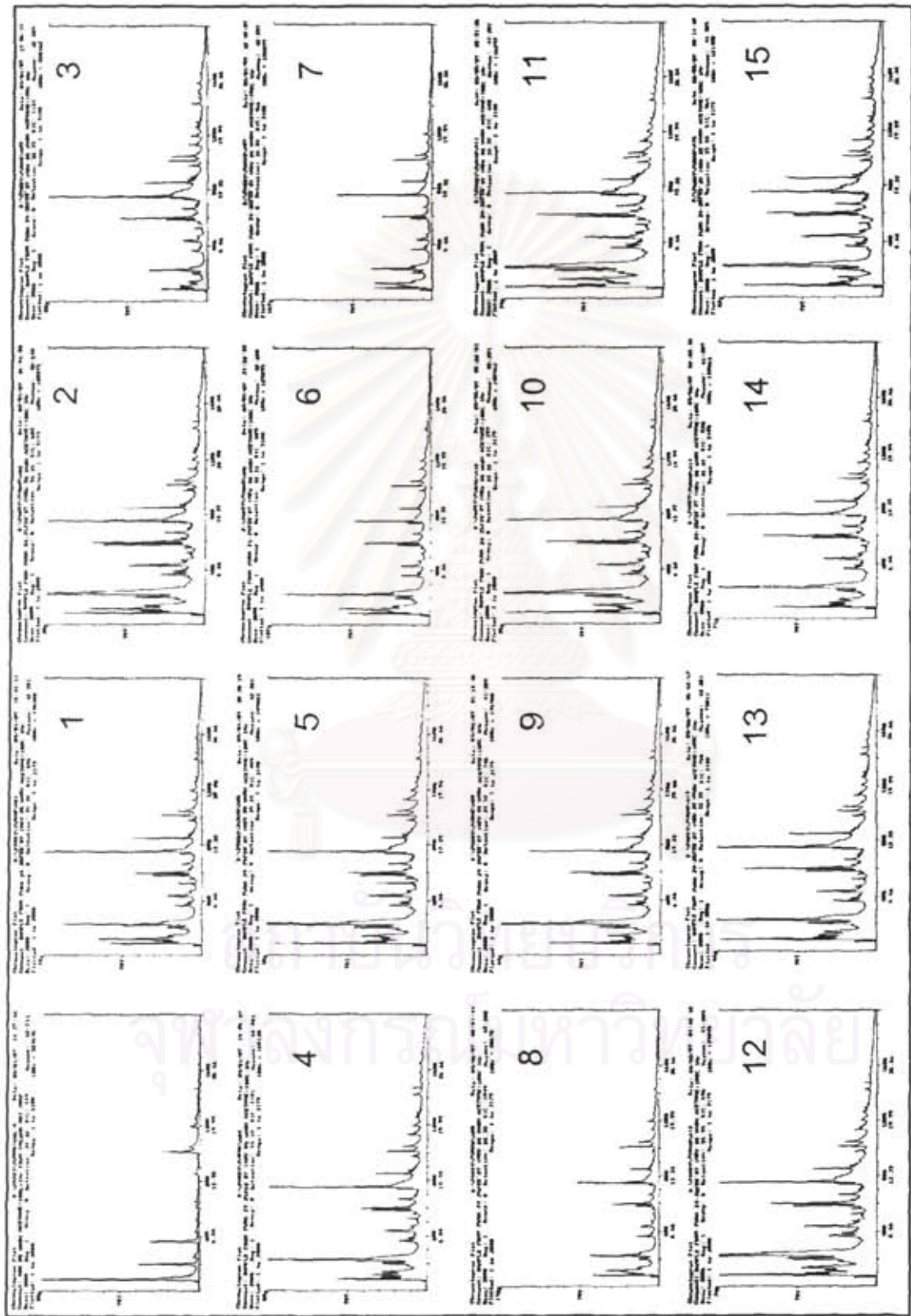
รูปที่ 12 โครมาโตแกรมของชุดควบคุม (ก) กุมภาพันธ์ 2550 (ข) พฤศจิกายน 2550



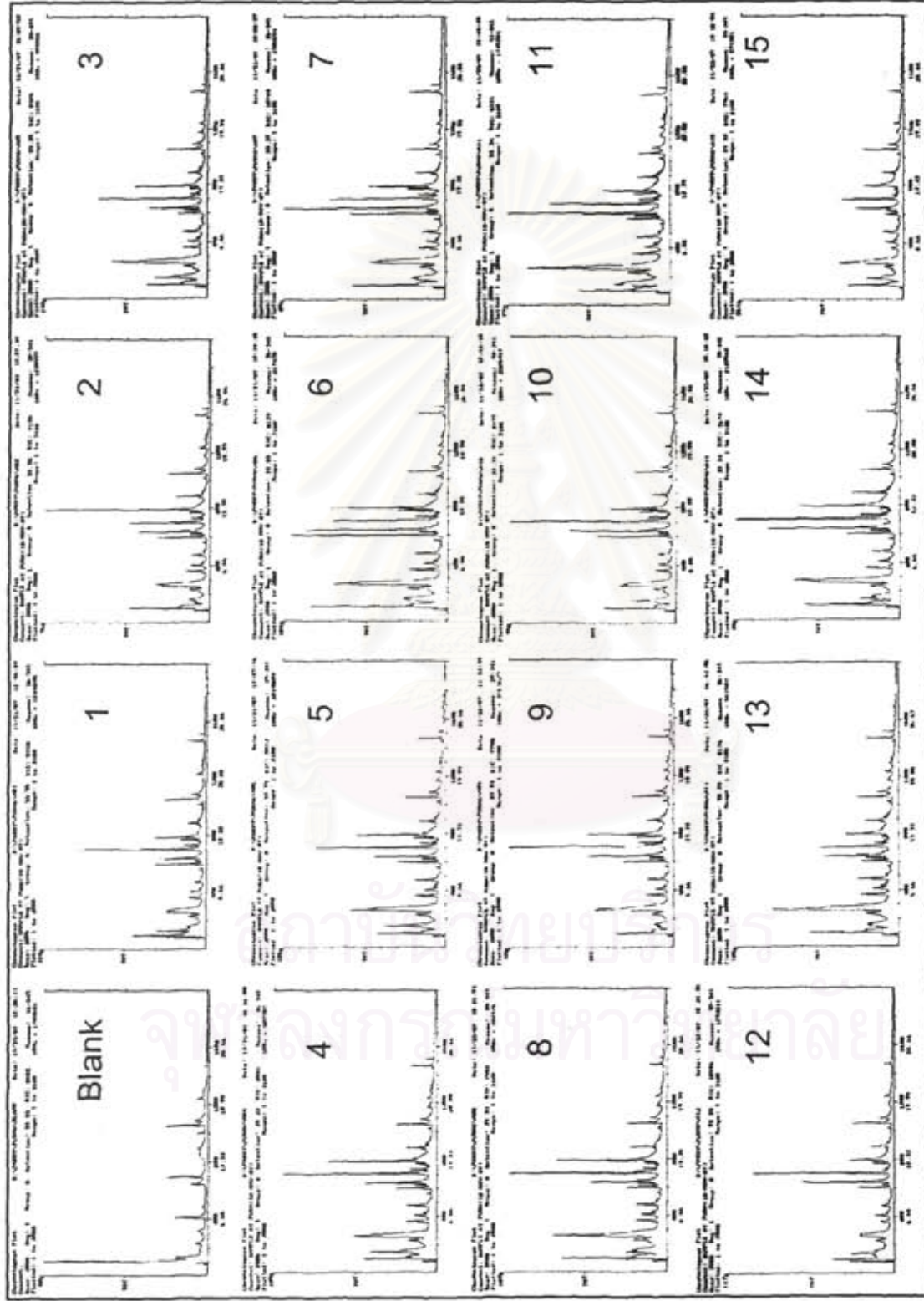
รูปที่ 13 โครมาโตแกรมของสารในตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย 15 จุดบนอุทยานแห่งชาติคลองกวาง เดือนตุลาคม 2548 โดยตัวเลขเกี่ยวข้องกับจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์



รูปที่ 14 โครมาโตแกรมของสารในตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย 15 จุดบนอุทยานแห่งชาติคลองกาศ เดือน มีนาคม 2549 โดยตัวเลขเกี่ยวกับจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์
หมายเหตุ ตำแหน่งจ. 15 ไม่มีข้อมูล เนื่องจากความผิดพลาดของอุปกรณ์ดูดซับสาร



รูปที่ 15 โครมาโตแกรมของสารในตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย 15 จุดบนอุทขานแห่งชาติคอบุกกา เคียมกวมภาพันร์ 2550 โดยตัวเลขคือจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์



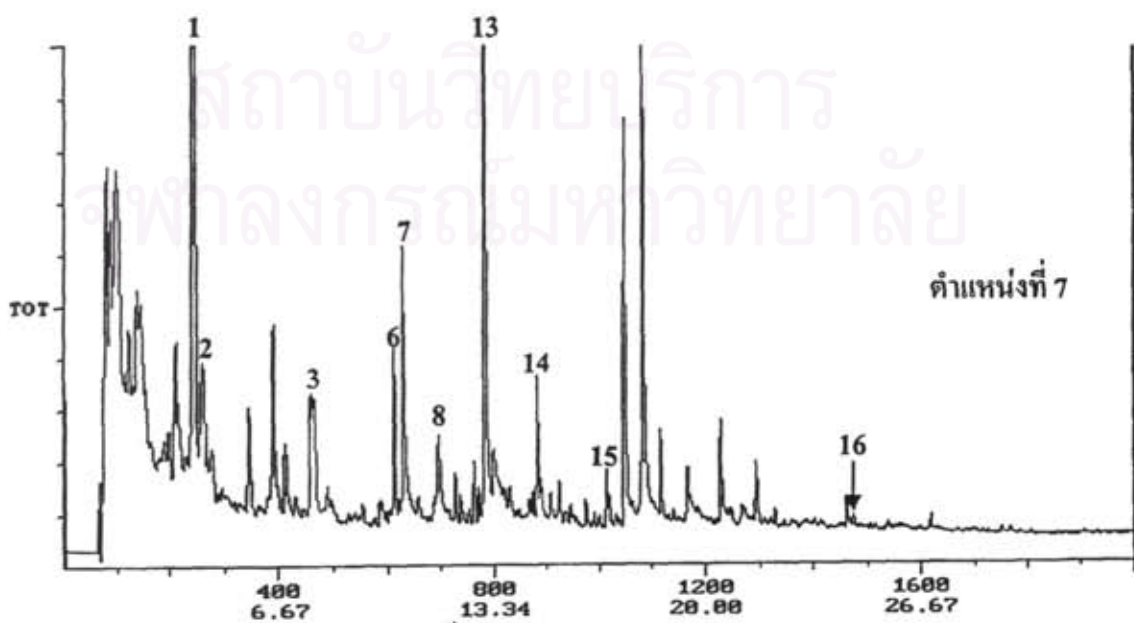
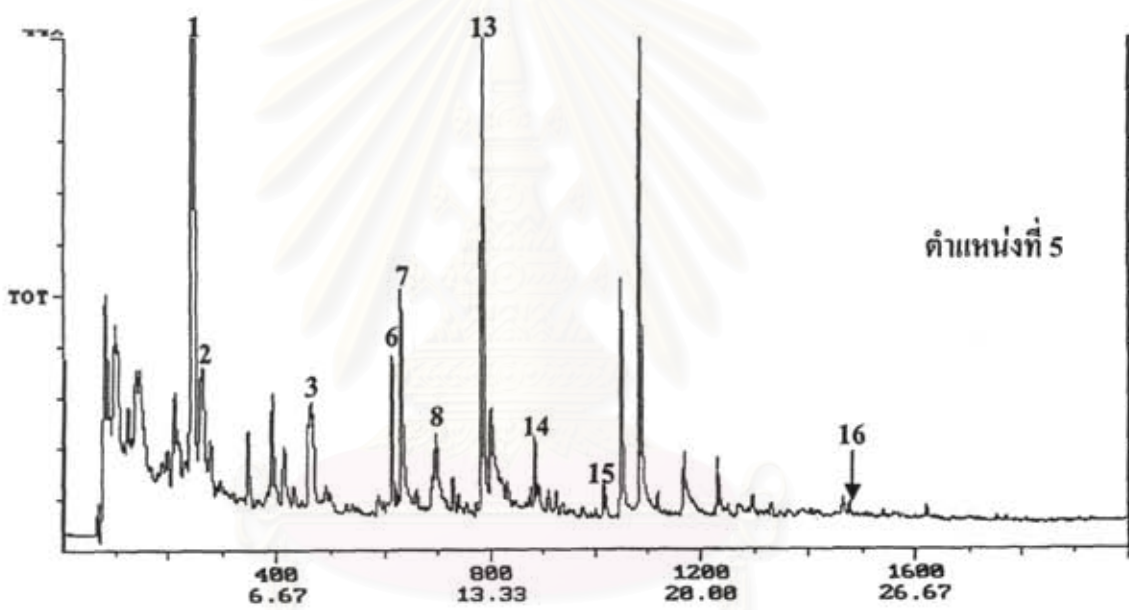
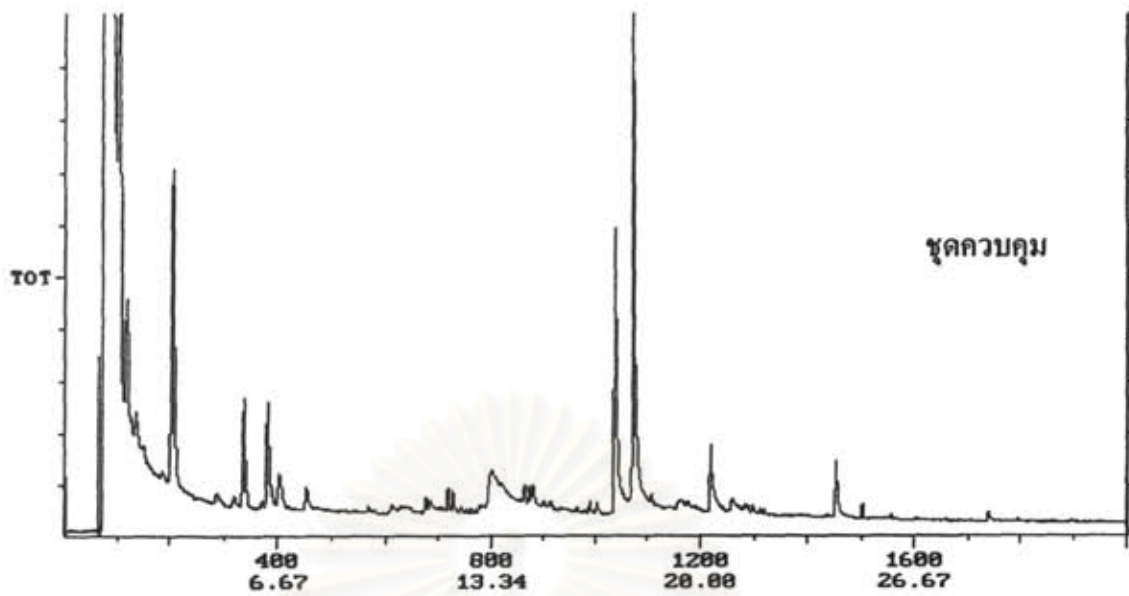
รูปที่ 16 โครมาโตแกรมของสารในตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย 15 จุดบนอุทยานแห่งชาติคลองฤๅกา เดือนพฤศจิกายน 2550 โดยตัวเลขที่จุดที่ติดตั้งอุปกรณ์

4.2.3.2 การระบุชนิดของสาร

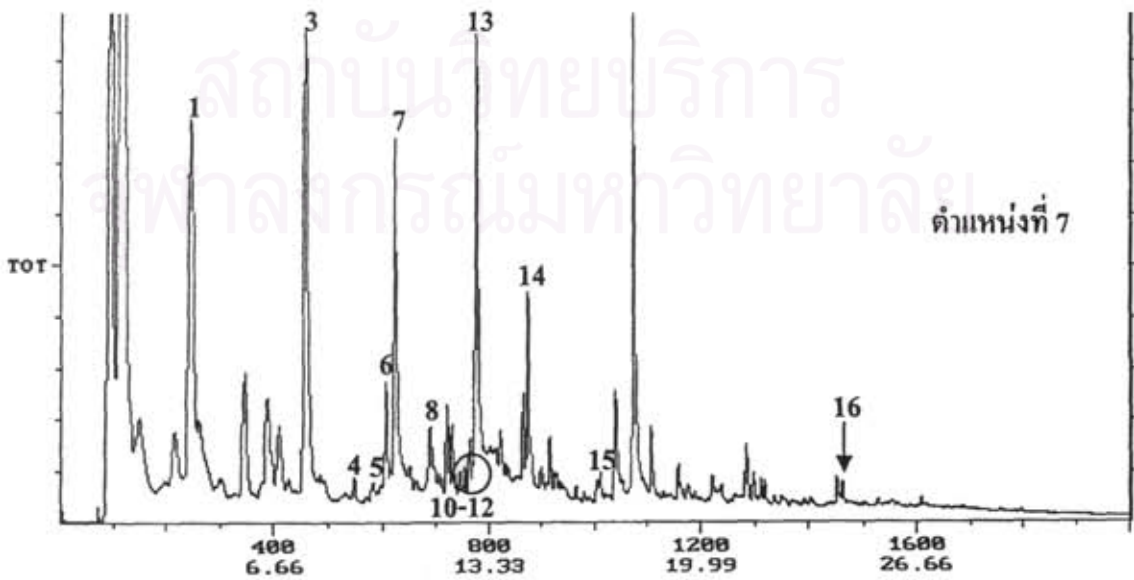
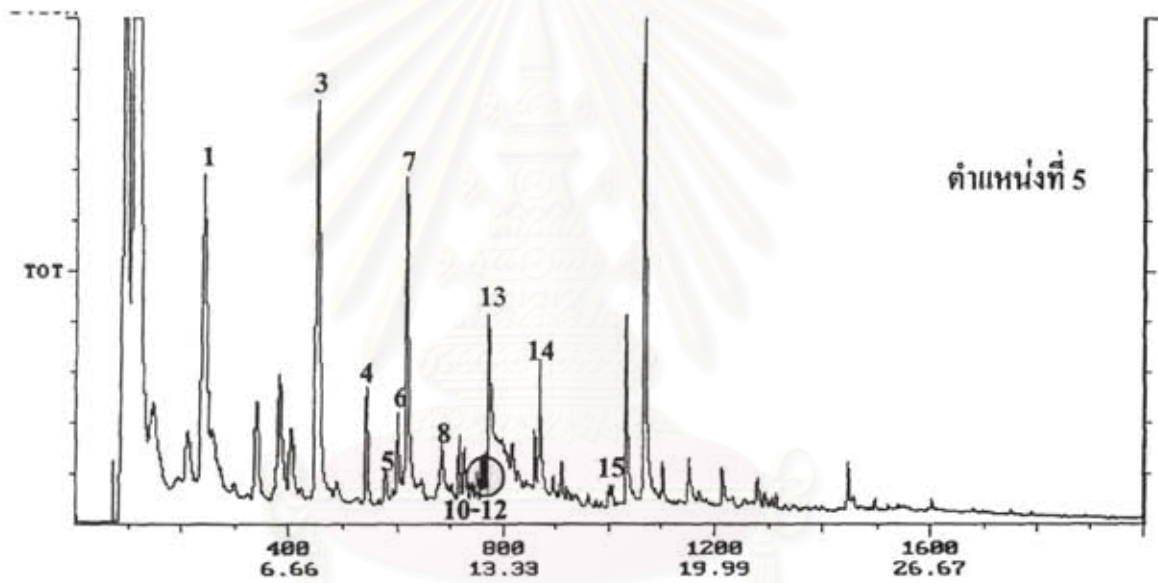
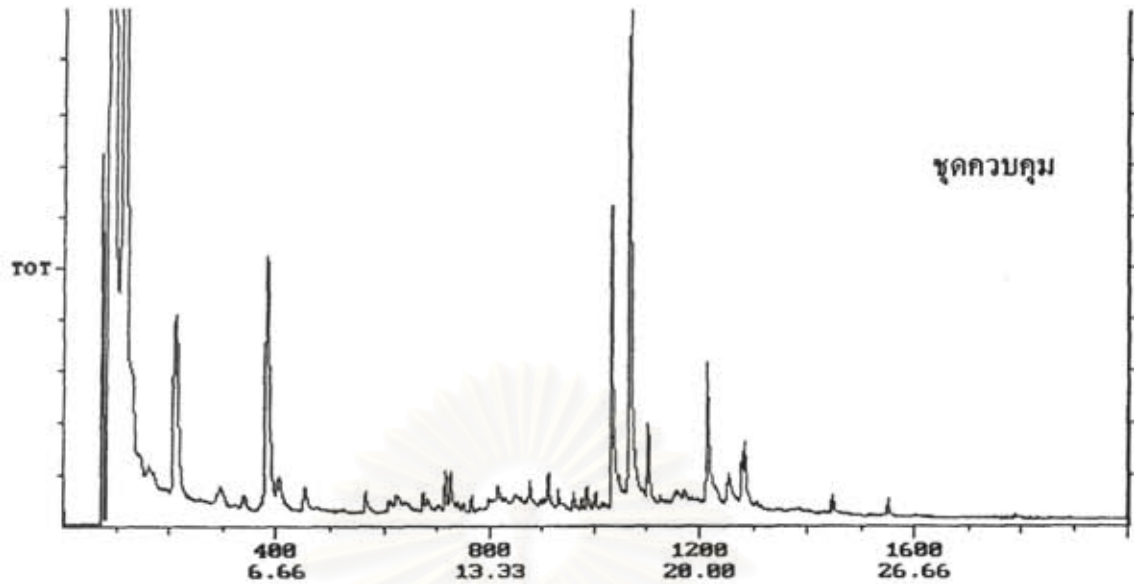
จากรูปที่ 13-16 พบว่ามีความแปรปรวนของ peak แตกต่างออกไปจากชุดควบคุมซึ่งจะมีความแตกต่างกันในแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่าง ซึ่งพบว่า peak ที่มี retention Time เดียวกันจากพื้นที่เก็บตัวอย่างต่างกัมนั้นมี mass pattern แบบเดียวกัน หลังจากทำการเปรียบเทียบแมสสเปกตรัมของแต่ละ peak กับข้อมูลอ้างอิงในฐานข้อมูลแมสสเปกตรัม NIST92 Library และ/หรือ LIBR (TP) Library พบว่า peak ดังกล่าวเป็นสารชนิดเดียวกัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมจะแปลผลเฉพาะสารที่พบได้ในพื้นที่วิจัยเท่านั้น โดยจะไม่คำนึงถึงสารที่เป็นตัวปนเปื้อนที่มีอยู่เดิมใน super Q ได้ผลเป็นสารต่าง ๆ ดังตารางที่ 13 และยังสามารถแสดงตัวเลขของสารต่าง ๆ บน peak ของโครมาโตแกรมจากตำแหน่งที่ 5 และ 7 (เป็นตำแหน่งที่พบสารหลายชนิดได้เป็นปริมาณมาก) เปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งเป็น Super Q ก่อนการดูดซับสาร จากทั้ง 4 ครั้งของการเก็บตัวอย่างคือ เดือนตุลาคม 2548 มีนาคม 2549 กุมภาพันธ์ 2550 และพฤศจิกายน 2550 ไว้ในรูปที่ 17-20 ตามลำดับ ส่วนตำแหน่งที่เหลือจะแสดงไว้ในภาคผนวก

ตารางที่ 13 สารที่พบจากพื้นที่วิจัยบนอุทยานแห่งชาติดอยภูคา ด้วยการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค HS-GC/MS

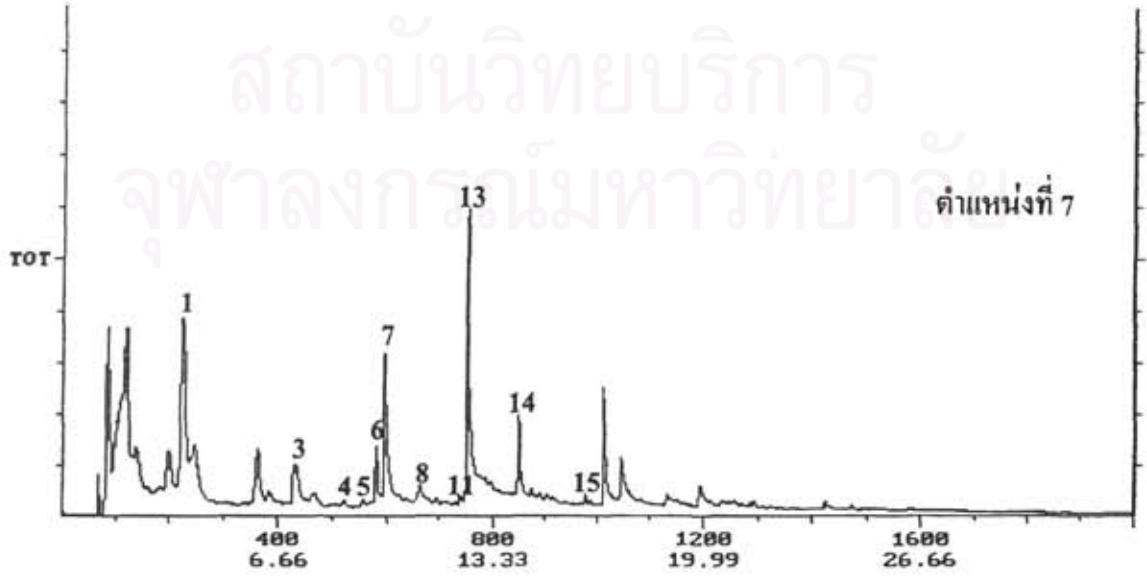
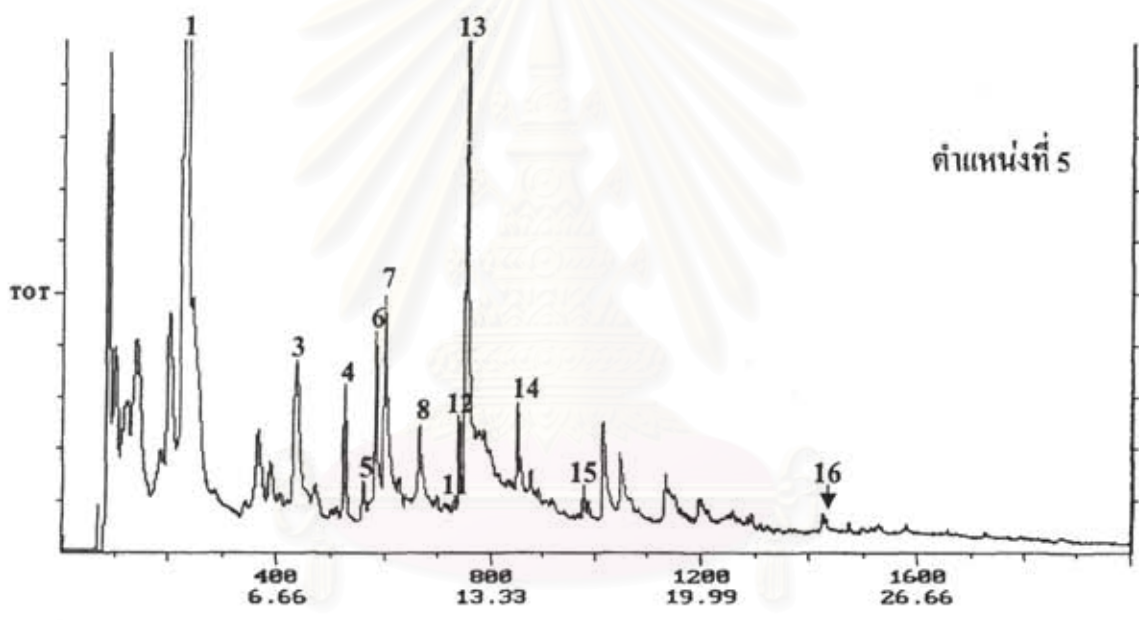
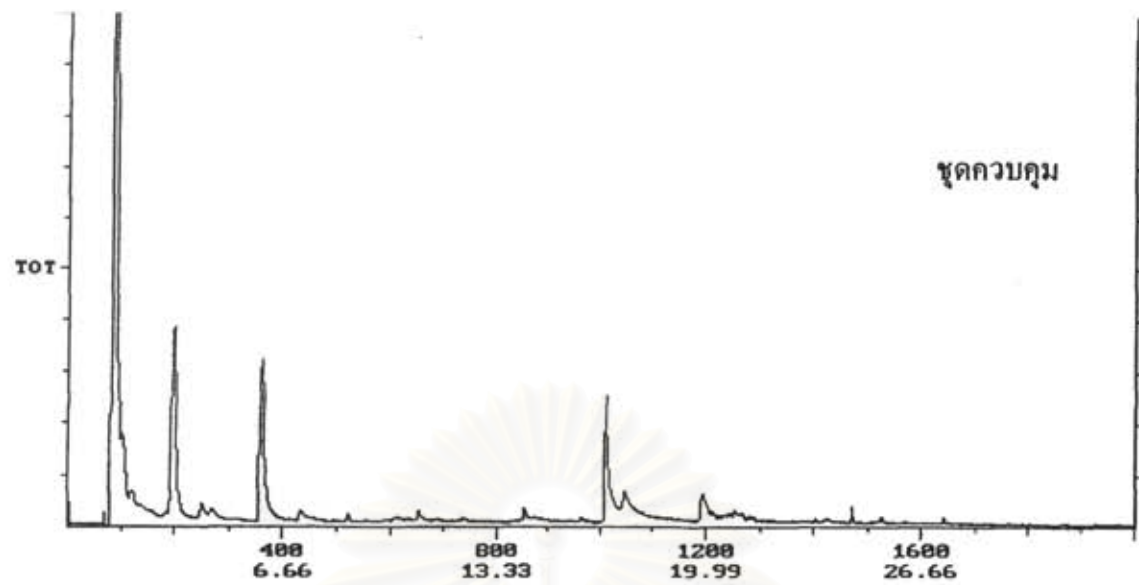
peak ที่	RTime	Compounds	Formula
1	4.03	<i>E</i> -4-Octene	C ₈ H ₁₆
2	4.18	<i>Z</i> -2-Octene	C ₈ H ₁₆
3	7.56	Styrene	C ₈ H ₈
4	9.08	α -Thujene	C ₁₀ H ₁₆
5	9.64	Camphene	C ₁₀ H ₁₆
6	10.04	1-Octen-3-ol	C ₈ H ₁₆ O
7	10.32	Benzaldehyde	C ₇ H ₆ O
8	11.41	1,2,4-Trimethylbenzene	C ₉ H ₁₂
9	12.19	3-Carene	C ₁₀ H ₁₆
10	12.55	<i>p</i> -Cymene	C ₁₀ H ₁₄
11	12.68	Limonene	C ₁₀ H ₁₆
12	12.79	(1,8)-Cineole = Eucalyptol	C ₁₀ H ₁₈ O
13	12.88	1-Decene	C ₁₀ H ₂₀
14	15.21	2-Chloro octane	C ₈ H ₁₇ Cl
15	16.73	Camphor	C ₁₀ H ₁₆ O
16	24.35	C ₁₅ H ₂₄	C ₁₅ H ₂₄



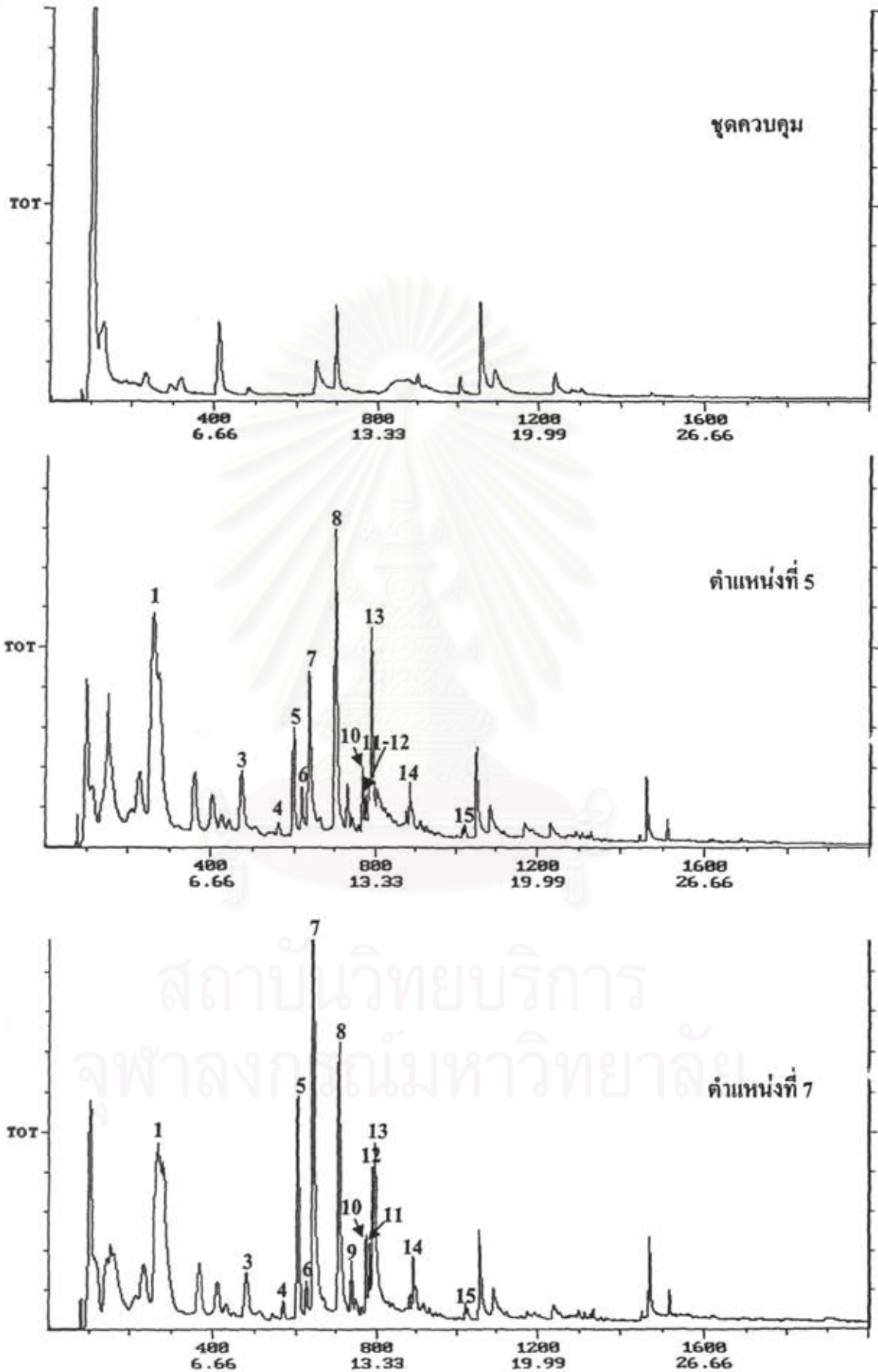
รูปที่ 17 โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย เดือนตุลาคม 2548 เปรียบเทียบกับชุดควบคุม



รูปที่ 18 โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย เดือนมีนาคม 2549 เปรียบเทียบกับชุดควบคุม



รูปที่ 19 โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย เดือนกุมภาพันธ์ 2550 เปรียบเทียบกับชุดควบคุม



รูปที่ 20 โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย เดือนพฤศจิกายน 2550 เปรียบเทียบกับชดควบคุม

4.2.3.3 การคำนวณปริมาณเชิงเปรียบเทียบ

เนื่องจาก peak ของ 4-Ethylbenzaldehyde (E) และ Naphthalene (N) เป็น peak ที่พบในชุดควบคุมจากการเก็บตัวอย่าง 2 ครั้งแรก คือในเดือนตุลาคม 2548 และมีนาคม 2549 (รูปที่ 11) โดยสามารถพบได้ในตัวอย่างในลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันดังรูปที่ 21ก และ 22ก จึงนำค่า peak area ของ peak E และ N มาหาค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการปรับปริมาณของสารตัวอย่างทั้งหมด โดย

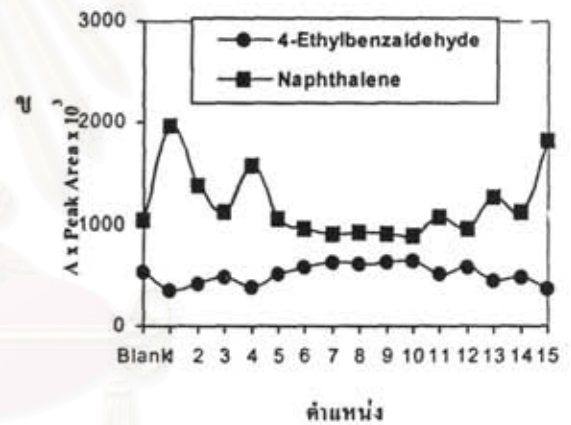
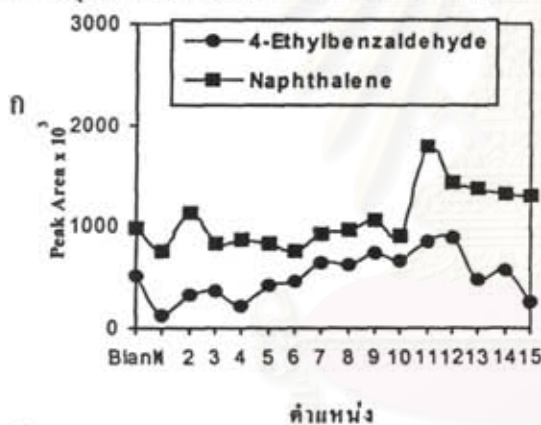
$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์ (A) ของแต่ละตำแหน่ง} = \frac{\text{สัมประสิทธิ์ E ตำแหน่งนั้น} + \text{สัมประสิทธิ์ N ตำแหน่งนั้น}}{2}$$

สัมประสิทธิ์ของ E ตำแหน่งนั้น มาจากค่าเฉลี่ย peak area สาร E หาร peak area ของสาร E

สัมประสิทธิ์ของ N ตำแหน่งนั้น มาจากค่าเฉลี่ย peak area สาร N หาร peak area ของสาร N

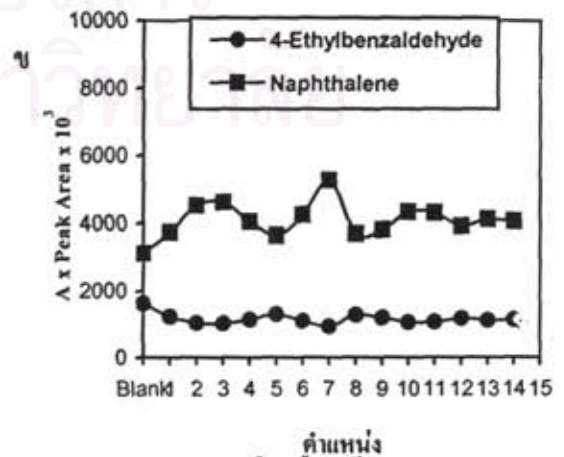
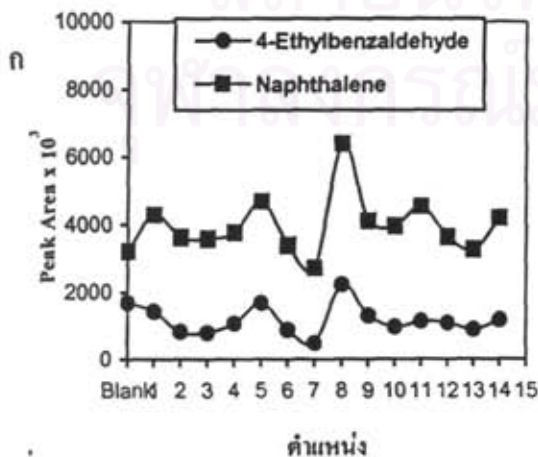
และค่าเฉลี่ย peak area เป็นการนำ peak area ของสารดังกล่าวจากทุกตำแหน่ง (1 - 15) และจาก

ชุดควบคุมมารวมกันและหารด้วยจำนวนทั้งหมด



รูปที่ 21 กราฟแสดงค่า peak area ของ 4-Ethylbenzaldehyde (E) และ Naphthalene (N) ในเดือนตุลาคม 2548

(ก) ก่อนทำการปรับค่า (ข) หลังทำการปรับค่า



รูปที่ 22 กราฟแสดงค่า peak area ของ 4-Ethylbenzaldehyde (E) และ Naphthalene (N) ในเดือนมีนาคม 2549

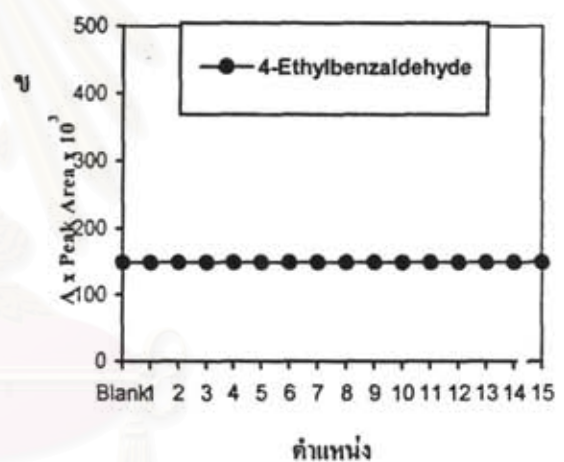
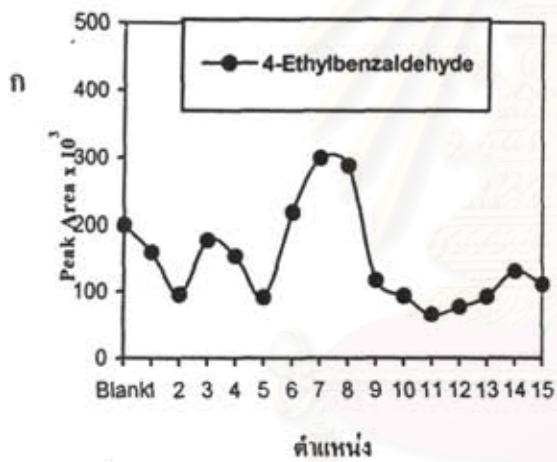
(ก) ก่อนทำการปรับค่า (ข) หลังทำการปรับค่า

ส่วนชุดควบคุมจากการเก็บตัวอย่าง 2 ครั้งหลัง คือเดือนกุมภาพันธ์ 2550 และ พฤศจิกายน 2550 มีรูปแบบโครมาโตแกรมแตกต่างออกไปจากชุดควบคุมใน 2 ครั้งแรก โดยเป็นผลจากการล้าง Super Q ด้วยอะซิโตนทำให้ตัวปนเปื้อนลดลง (รูปที่ 12) โดยจะพบเฉพาะ peak ของสาร 4-Ethylbenzaldehyde (E) เท่านั้น จึงได้นำค่า peak area มาหาค่าสัมประสิทธิ์เพื่อใช้ในการปรับปริมาณของสารตัวอย่างในเชิงเปรียบเทียบ โดย

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์ (A) ของแต่ละตำแหน่ง} = \frac{\text{ค่าเฉลี่ย peak area ของ E}}{\text{peak area ของ E แต่ละตำแหน่ง}}$$

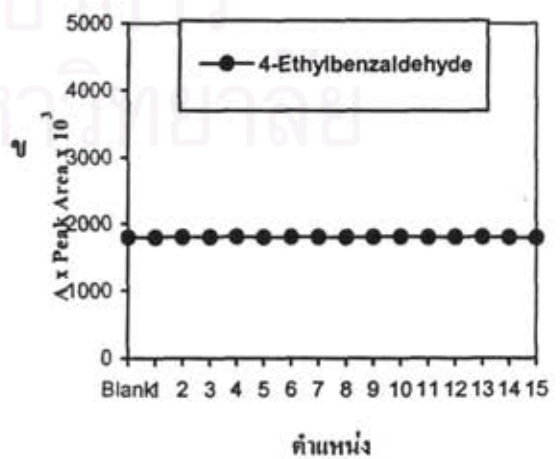
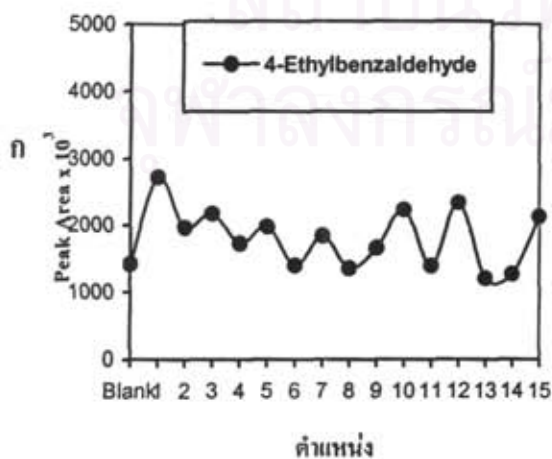
ค่าเฉลี่ย peak area เป็นการนำ peak area ของสารดังกล่าวจากทุกตำแหน่ง (1 - 15) รวมทั้งชุดควบคุมด้วยมารวมกันและหารด้วยจำนวนทั้งหมด

ซึ่งเมื่อทำการปรับแล้ว peak area ของ 4-Ethylbenzaldehyde แล้ว จะไม่มีความแปรปรวนของ peak area ของสารนี้อีก โดยทุกพื้นที่จะถือว่ามีความ peak area เท่ากัน ดังรูปที่ 23 และ 24



รูปที่ 23 กราฟแสดงค่า peak area ของ 4-Ethylbenzaldehyde (E) ในเดือนกุมภาพันธ์ 2550

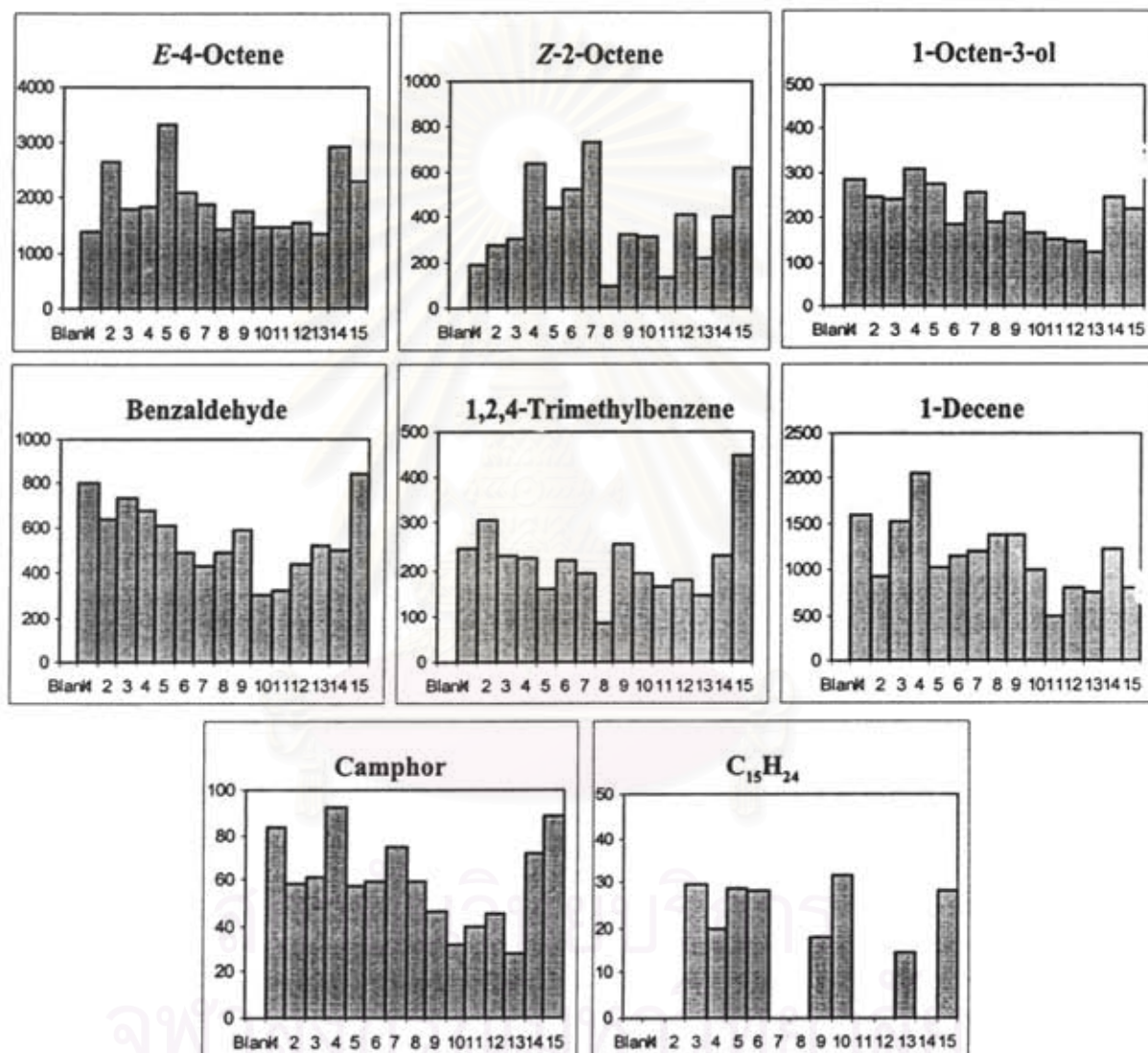
(ก) ก่อนทำการปรับค่า (ข) หลังทำการปรับค่า



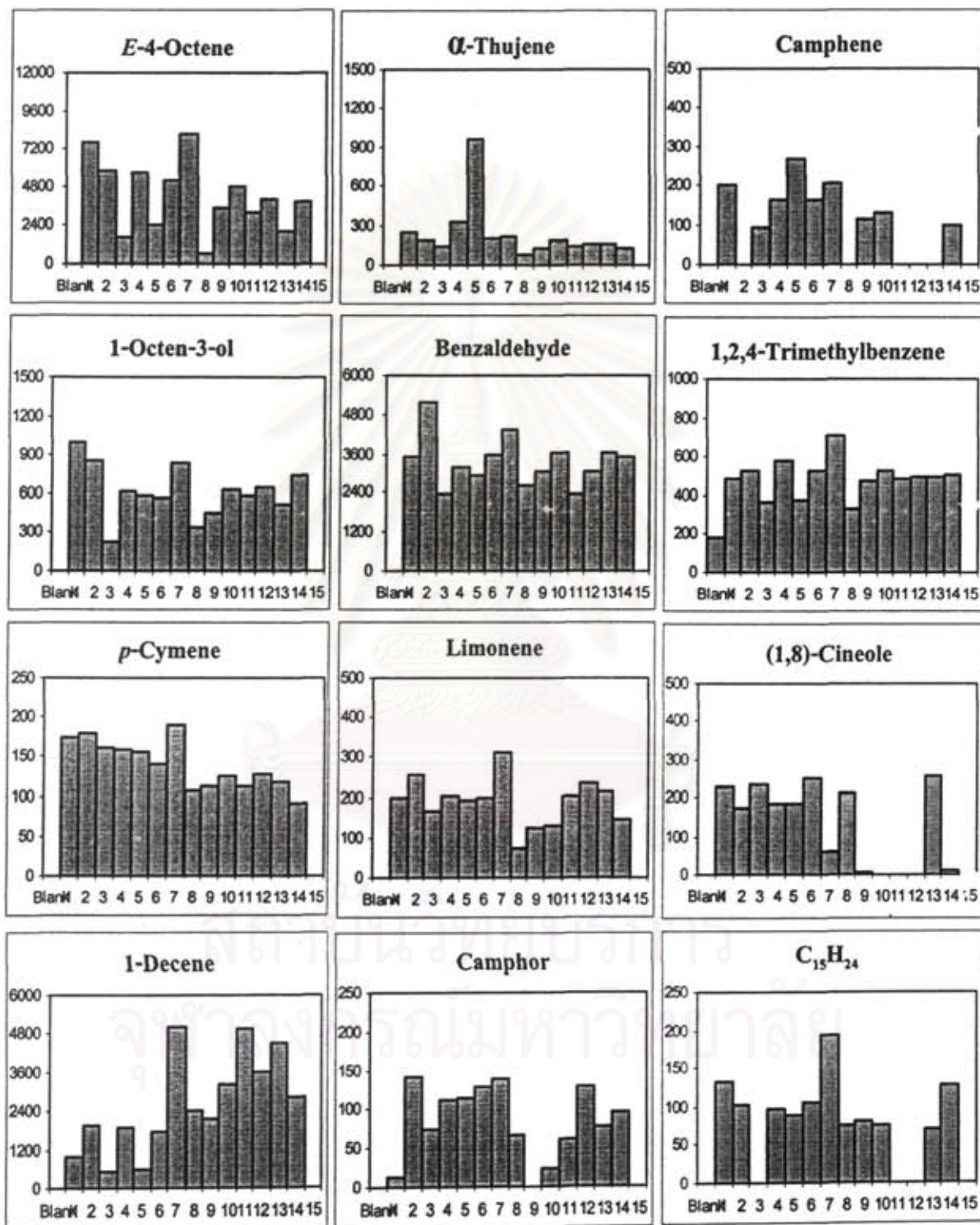
รูปที่ 24 กราฟแสดงค่า peak area ของ 4-Ethylbenzaldehyde (E) ในเดือนพฤศจิกายน 2550

(ก) ก่อนทำการปรับค่า (ข) หลังทำการปรับค่า

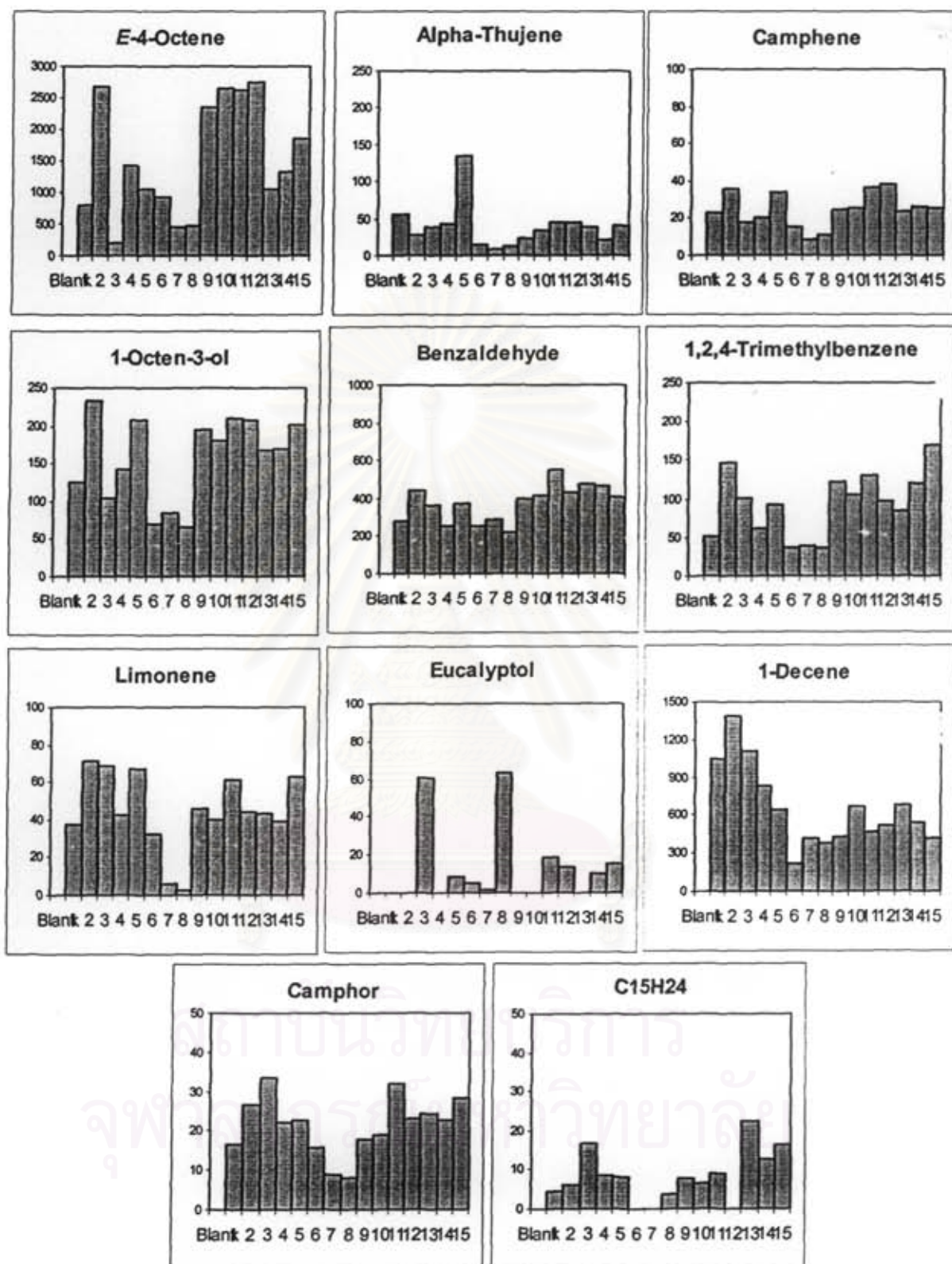
เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้เพื่อปรับค่าสารต่าง ๆ เปรียบเทียบแล้ว จึงนำค่าดังกล่าวไปปรับค่าสารทั้งหมดด้วย โดยหลังจากการปรับค่าของสารที่พบในพื้นที่วิจัยจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ครั้ง สามารถนำค่ามาสร้างกราฟต่อเนื่องกันในพื้นที่เก็บตัวอย่างทั้ง 15 ตำแหน่ง ได้ดังรูปที่ 25-28



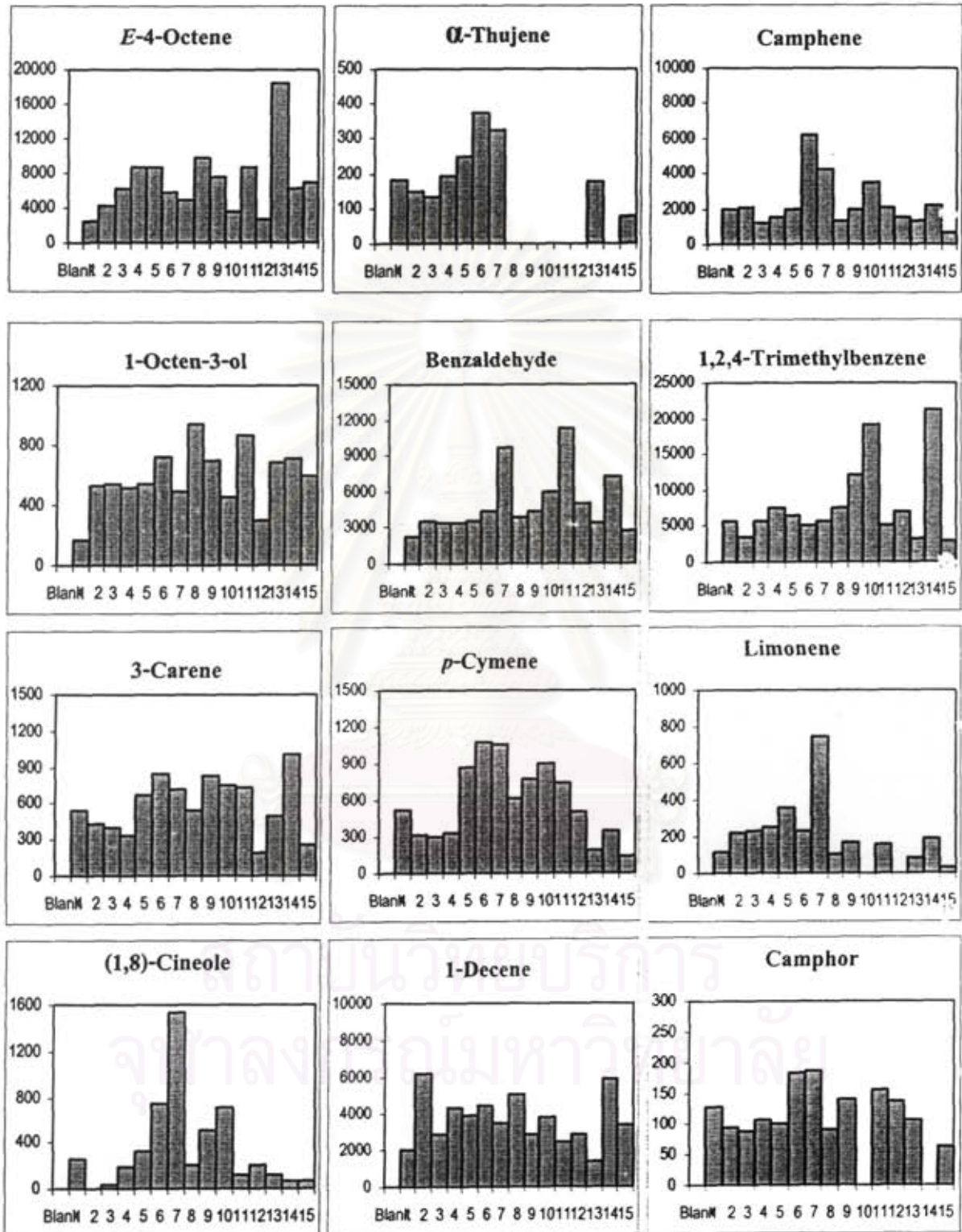
รูปที่ 25 กราฟแสดงค่า $A \times \text{peak area} \times 10^3$ (แกน y) ของสารแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Blank) จากพื้นที่วิจัย 15 ตำแหน่ง (แกน x) เดือนตุลาคม 2548



รูปที่ 26 กราฟแสดงค่า $A \times \text{peak area} \times 10^3$ (แกน y) ของสารแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Blank) จากพื้นที่วิจัย 15 ตำแหน่ง (แกน x) เดือนมีนาคม 2549

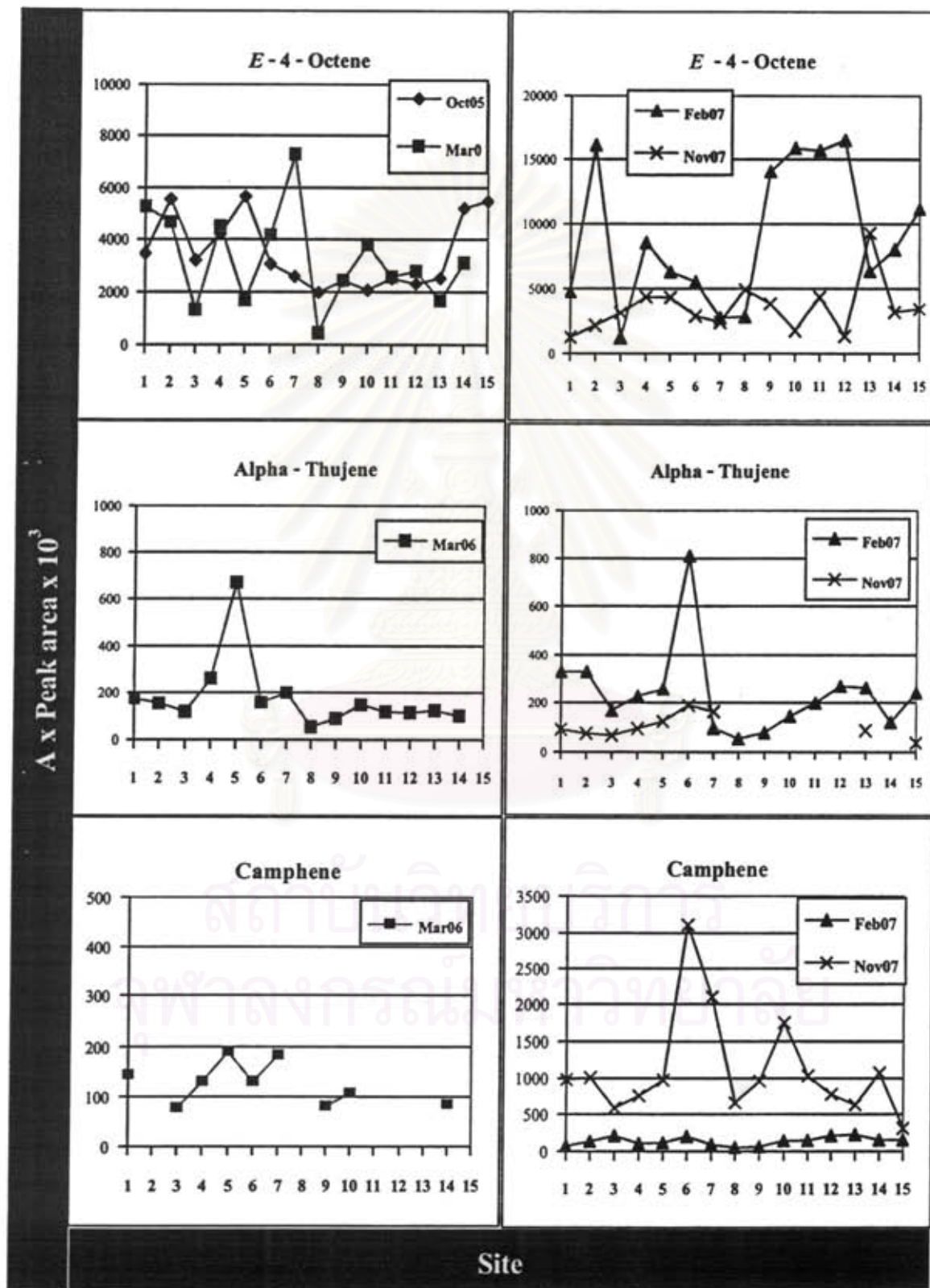


รูปที่ 27 กราฟแสดงค่า $A \times \text{peak area} \times 10^3$ (แกน y) ของสารแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Blank) จากพื้นที่วิจัย 15 ตำแหน่ง (แกน x) เดือนกุมภาพันธ์ 2550

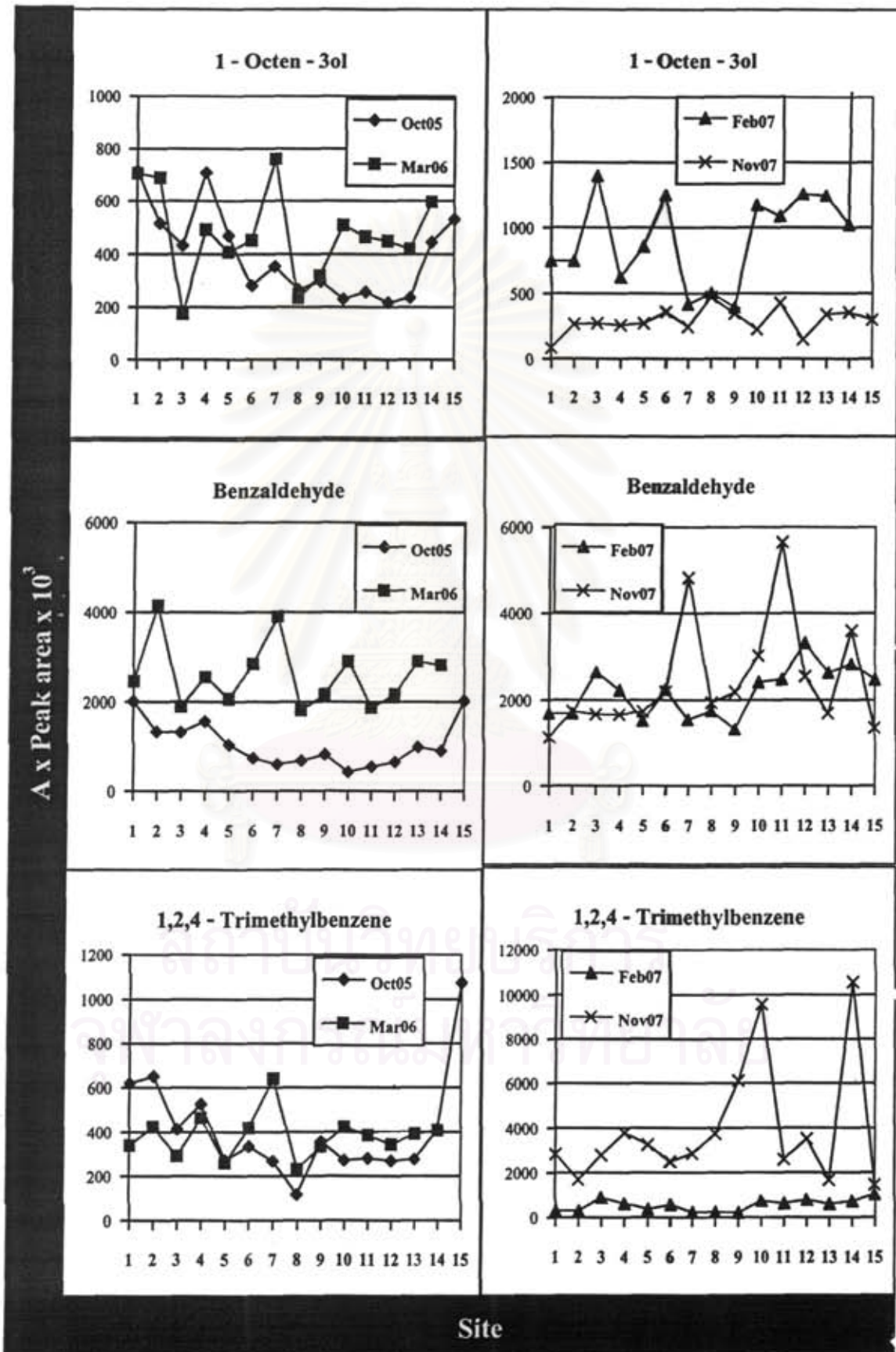


รูปที่ 28 กราฟแสดงค่า $A \times \text{peak area} \times 10^3$ (แกน y) ของสารแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Blank) จากพื้นที่วิจัย 15 ตำแหน่ง (แกน x) เดือนพฤศจิกายน 2550

นอกจากนี้ยังสามารถนำผลของสารชนิดเดียวกันซึ่งพบในการเก็บตัวอย่างในเดือนตุลาคม 2548 มีนาคม 2549 กุมภาพันธ์ 2550 และ พฤศจิกายน 2550 มาเปรียบเทียบและปรับค่าอีกครั้ง แยกตามชนิดของสาร โดยปรับให้ 4-Ethylbenzaldehyde ทุกตำแหน่งจากทุกครั้งให้มีค่าเท่ากัน ดังรูปที่ 29

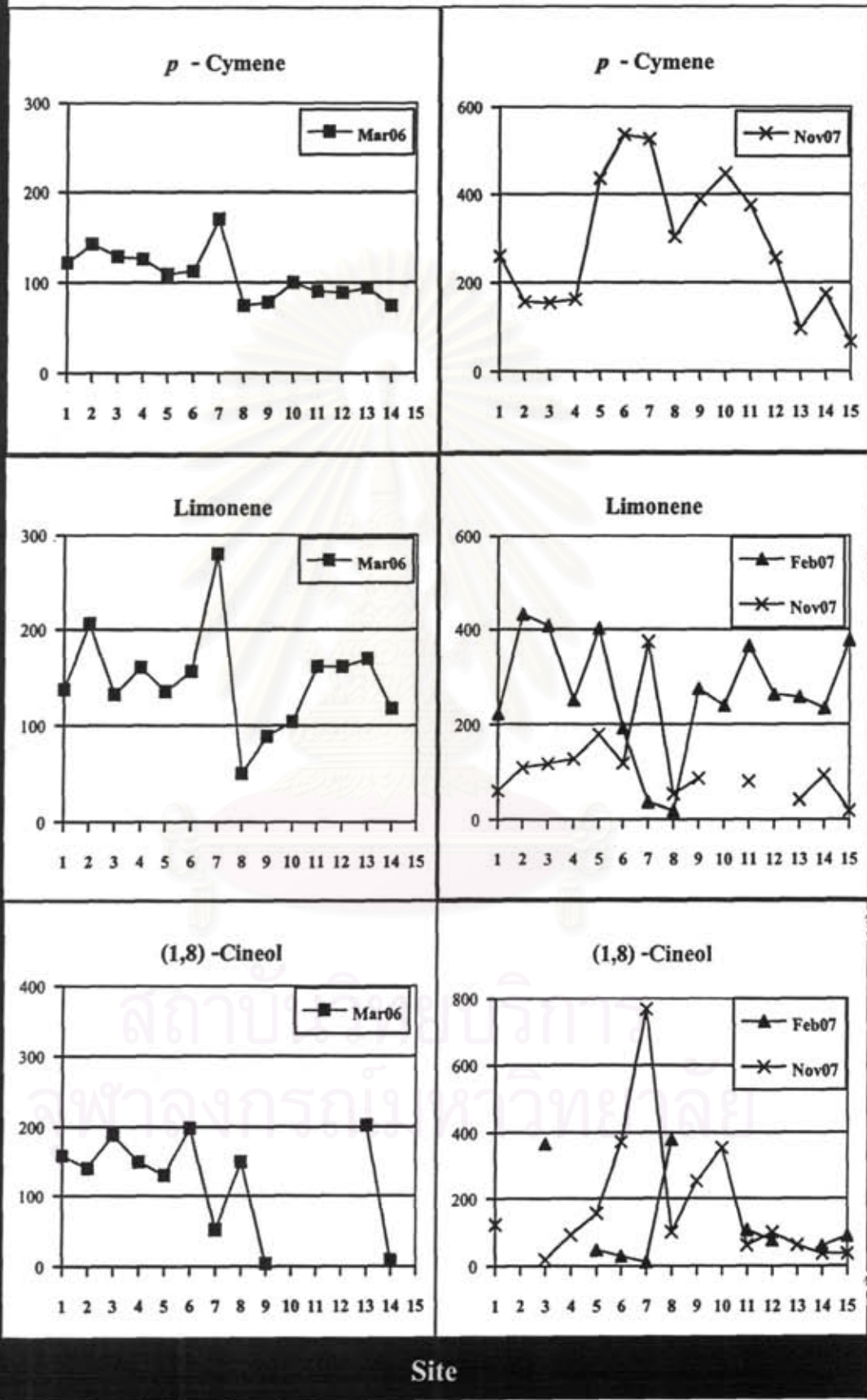


รูปที่ 29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของสารแต่ละชนิด จากการเก็บตัวอย่าง 4 ครั้ง



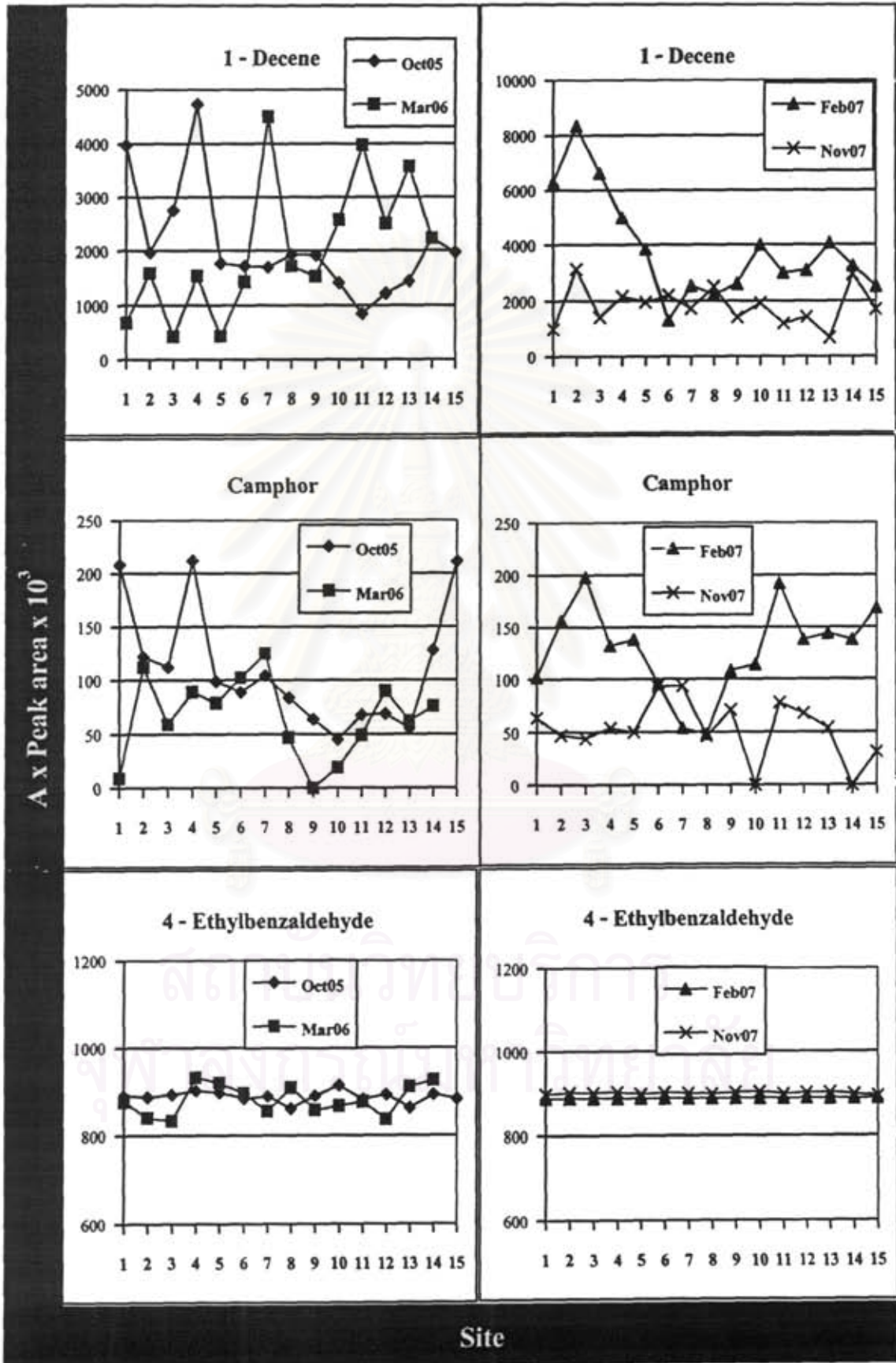
รูปที่ 29 (ต่อ) กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของสารแต่ละชนิด จากการเก็บตัวอย่าง 4 ครั้ง

A x Peak area x 10³

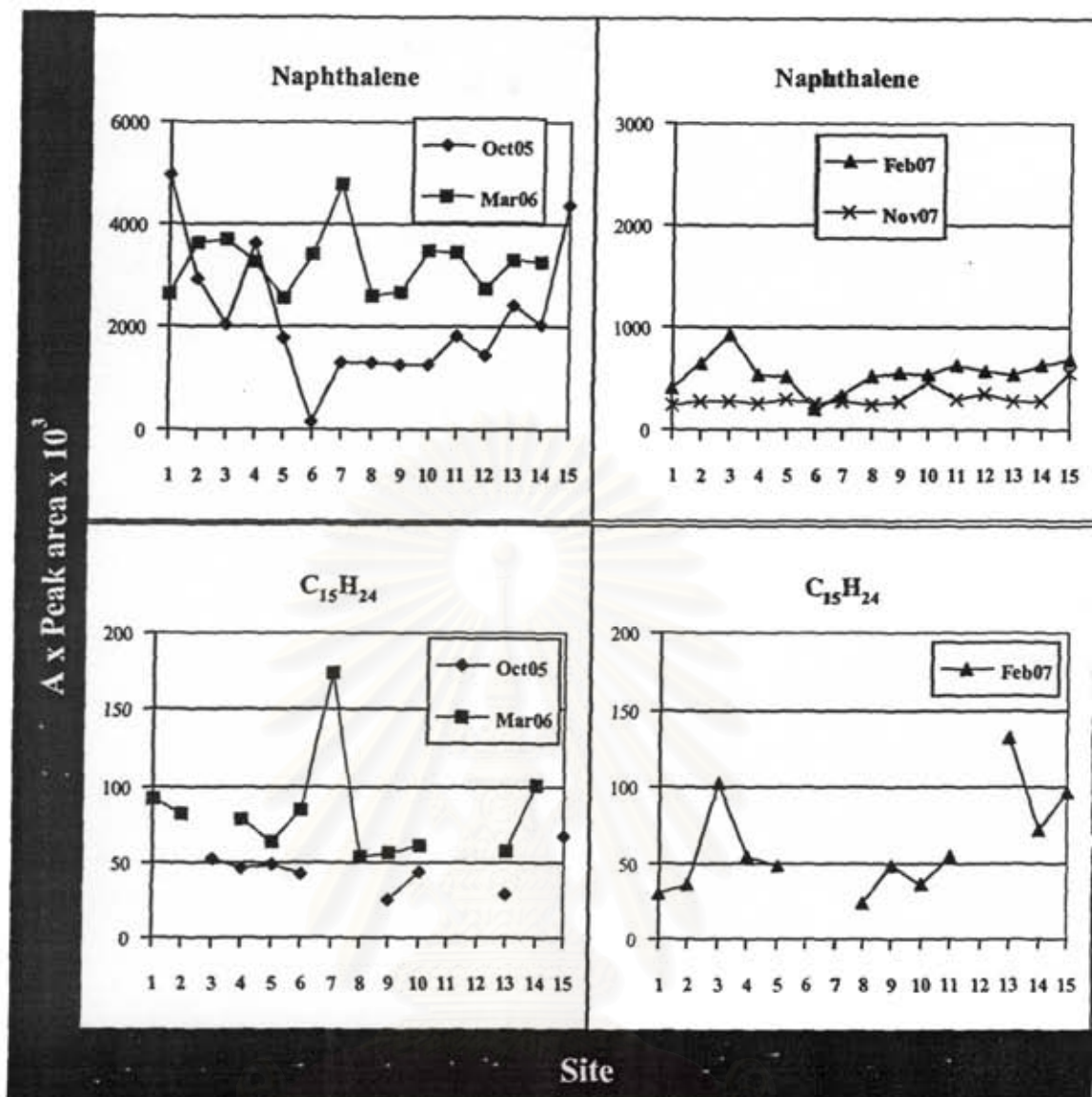


Site

รูปที่ 29 (ต่อ) กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของสารแต่ละชนิด จากการเก็บตัวอย่าง 4 ครั้ง



รูปที่ 29 (ต่อ) กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของสารแต่ละชนิด จากการเก็บตัวอย่าง 4 ครั้ง

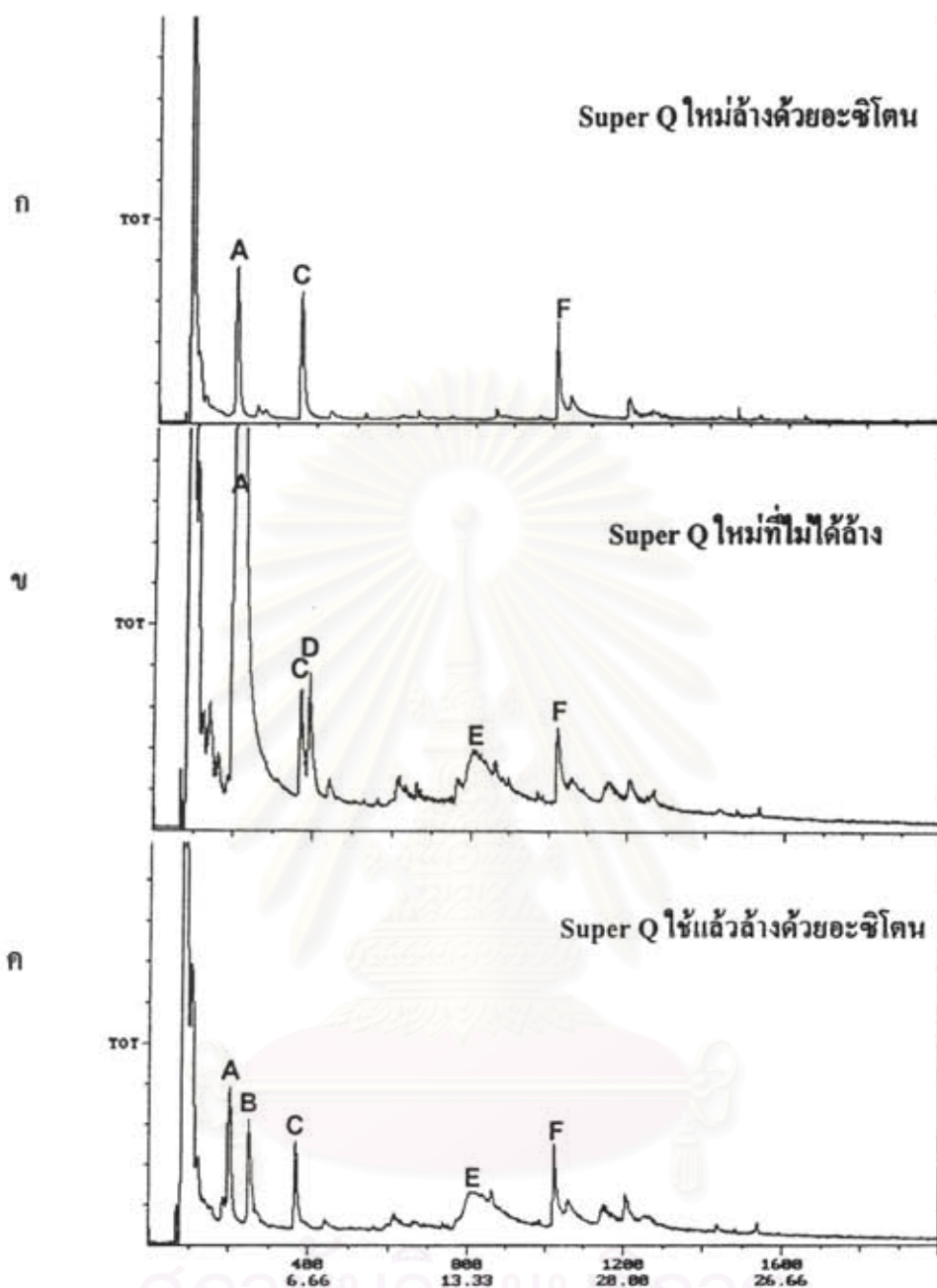


รูปที่ 29 (ต่อ) กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของสารแต่ละชนิด จากการเก็บตัวอย่าง 4 ครั้ง

4.2.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ Super Q เพื่อนำกลับมาใช้เก็บตัวอย่างในพื้นที่

จากการเปรียบเทียบโครมาโตแกรมของชุดควบคุมซึ่งเป็น Super Q ที่ยังไม่ได้ใช้ดูกลิ่นในพื้นที่ป่าทั้ง 3 แบบ คือ Super Q ใหม่ล้างด้วยอะซิโตน Super Q ใหม่ที่ไม่ล้าง และ Super Q ใช้แล้วล้างด้วยอะซิโตน พบสารปนเปื้อนใน super Q ทั้งหมด 6 ชนิด (A-F; รูปที่ 30) เมื่อเปรียบเทียบแมสสเปกตรัมที่พบกับข้อมูลอ้างอิงในฐานข้อมูลแมสสเปกตรัม NIST92 library ได้ผลดังตารางที่ 9 โดยถ้าพบสารนั้นในโครมาโตแกรมชุดใดจะแสดงด้วยเครื่องหมาย √ และถ้าไม่พบจะแสดงด้วยเครื่องหมาย -

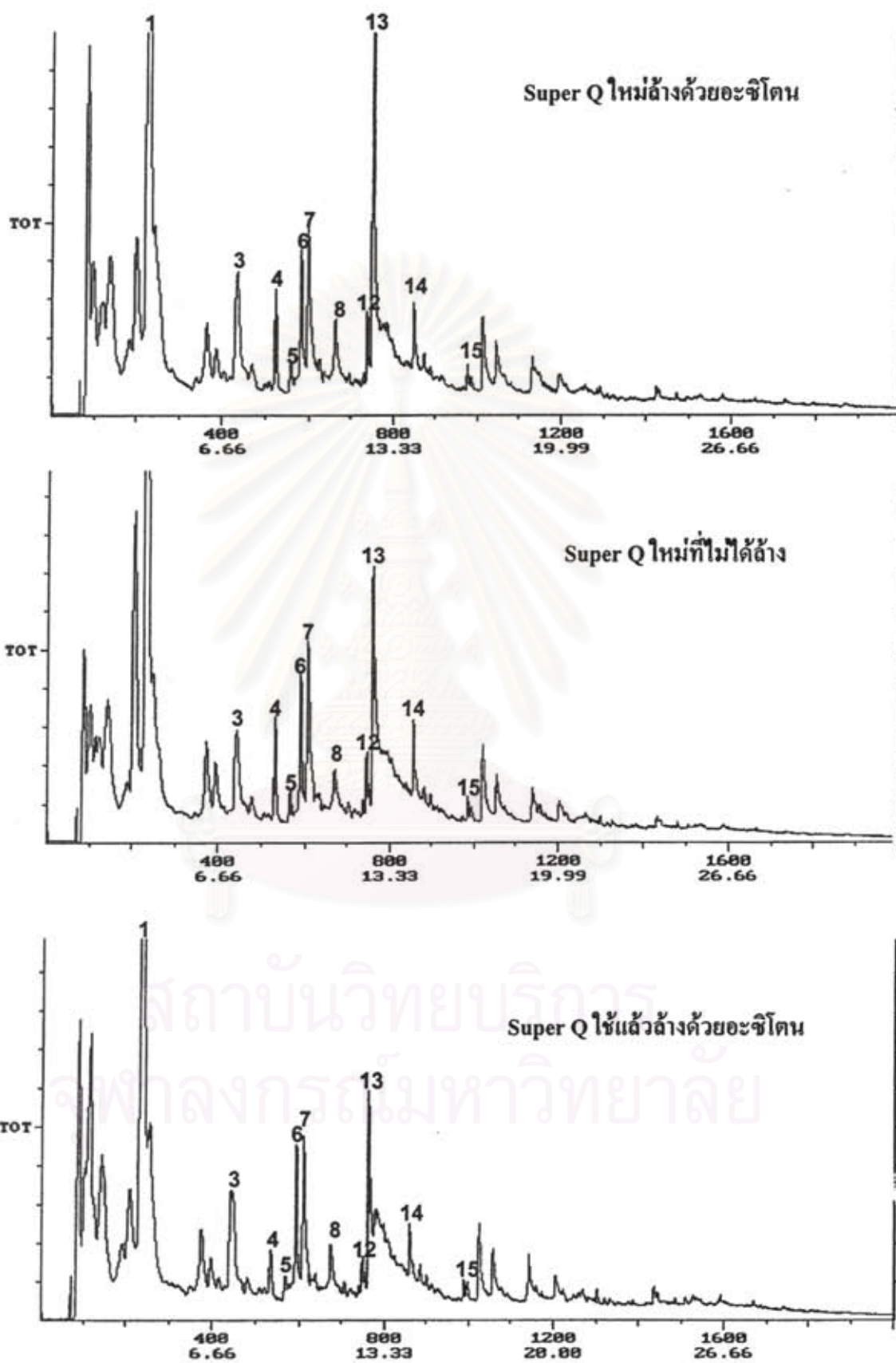
นอกจากนี้ยังได้แสดงโครมาโตแกรมหลังการนำไปใช้เก็บตัวอย่างในพื้นที่ตำแหน่งที่ 5 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สามารถพบสาร α -Thujene (peak ที่ 4) ได้ในปริมาณมากไว้ด้วย พบว่าปริมาณจากการใช้ Super Q ใช้แล้วดูดซับสารได้น้อยกว่าอีก 2 แบบประมาณ 50% (รูปที่ 31)



รูปที่ 30 โครมาโตแกรมของตัวดูดซับทั้ง 3 แบบก่อนนำไปใช้ดูดกลิ่นในพื้นที่ (คุณภาพพื้นที่ 2550)

ตารางที่ 9 รายชื่อสารประกอบทั้ง 6 ชนิดที่พบในชุดควบคุม เรียงตามลำดับ retention time (Rtime)

Peak	Rtime	Compounds	Formula	ชุด ก	ชุด ข	ชุด ค
A	3.53	Toluene	C ₇ H ₈	√	√	√
B	5.69	3-Methylbutyl cyclopentane	C ₁₀ H ₂₀	-	-	√
C	6.39	Ethylbenzene	C ₈ H ₁₀	√	√	√
D	6.76	<i>p</i> -Xylene	C ₈ H ₁₀	-	√	-
E	15.21	2-Chloro octane	C ₈ H ₁₇ Cl	-	√	√
F	17.19	4-Ethylbenzaldehyde	C ₉ H ₁₀ O	√	√	√



รูปที่ 31 โครมาโตแกรมของตัวดูดซับหลังการใช้ดูดกลืนในพื้นที่ตำแหน่งที่ 5 เดือนกุมภาพันธ์ 2550

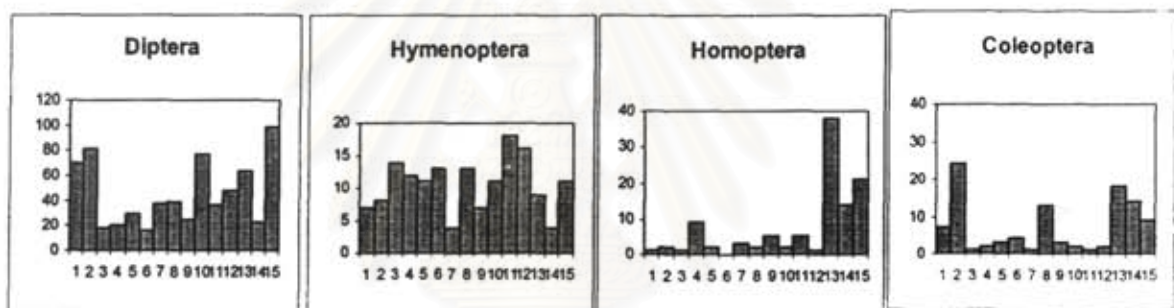
4.3 การศึกษาเพื่อเชื่อมโยงระหว่างสิ่งมีชีวิตที่สร้างสารหอมระเหยในบรรยากาศ

4.3.1 การสำรวจแมลง

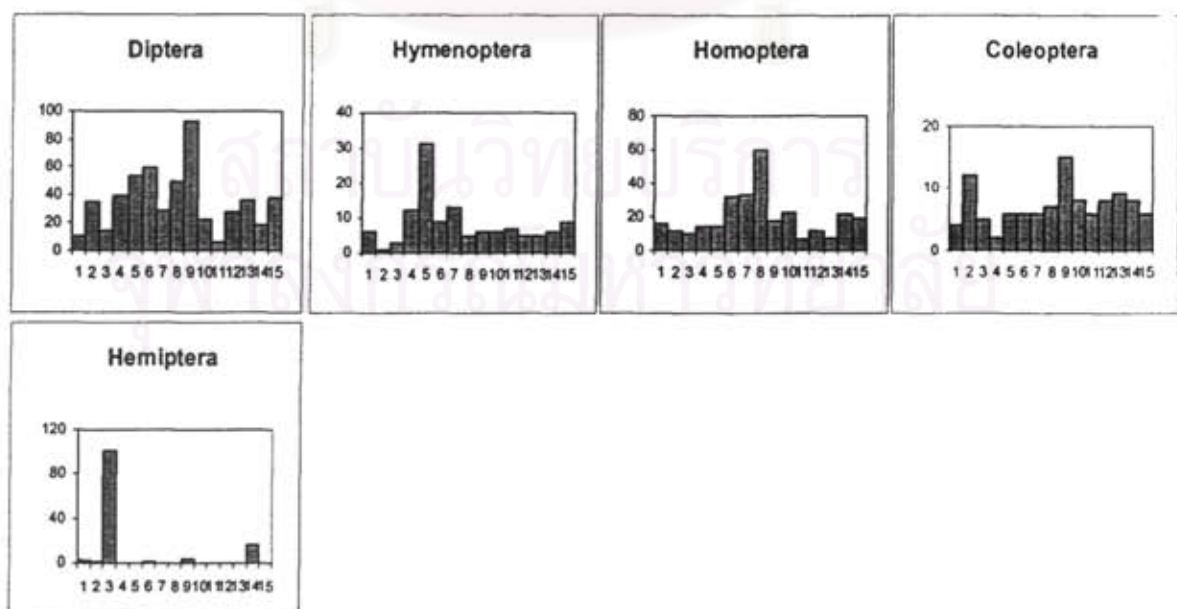
จากการดักจับแมลงในพื้นที่ที่วิจัยด้วยแผ่นกาวดักแมลงบริเวณตำแหน่งเดียวกันกับการดักสารในบรรยากาศนั้น สามารถนับจำนวนและระบุชนิดของแมลงที่พบเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 5 กลุ่ม ได้แก่

1. Diptera ได้แก่ แมลงวัน แมลงหวี่ และริ้นไร
2. Hymenoptera ได้แก่ ผึ้ง ต่อ แตน และมด
3. Homoptera ได้แก่ จักจั่น และเพลี้ย
4. Hemiptera ได้แก่ มวน
5. Coleoptera ได้แก่ ค้างคาว

จำนวนของแมลงที่พบในเดือนตุลาคม 2548 และมีนาคม 2549 แสดงไว้ในรูปที่ 32 และ 33



รูปที่ 32 แสดงจำนวนแมลง (แกน y) จากพื้นที่วิจัย 15 ตำแหน่ง (แกน x) ในเดือนตุลาคม 2548



รูปที่ 33 แสดงจำนวนแมลง (แกน y) จากพื้นที่วิจัย 15 ตำแหน่ง (แกน x) ในเดือนมีนาคม 2549

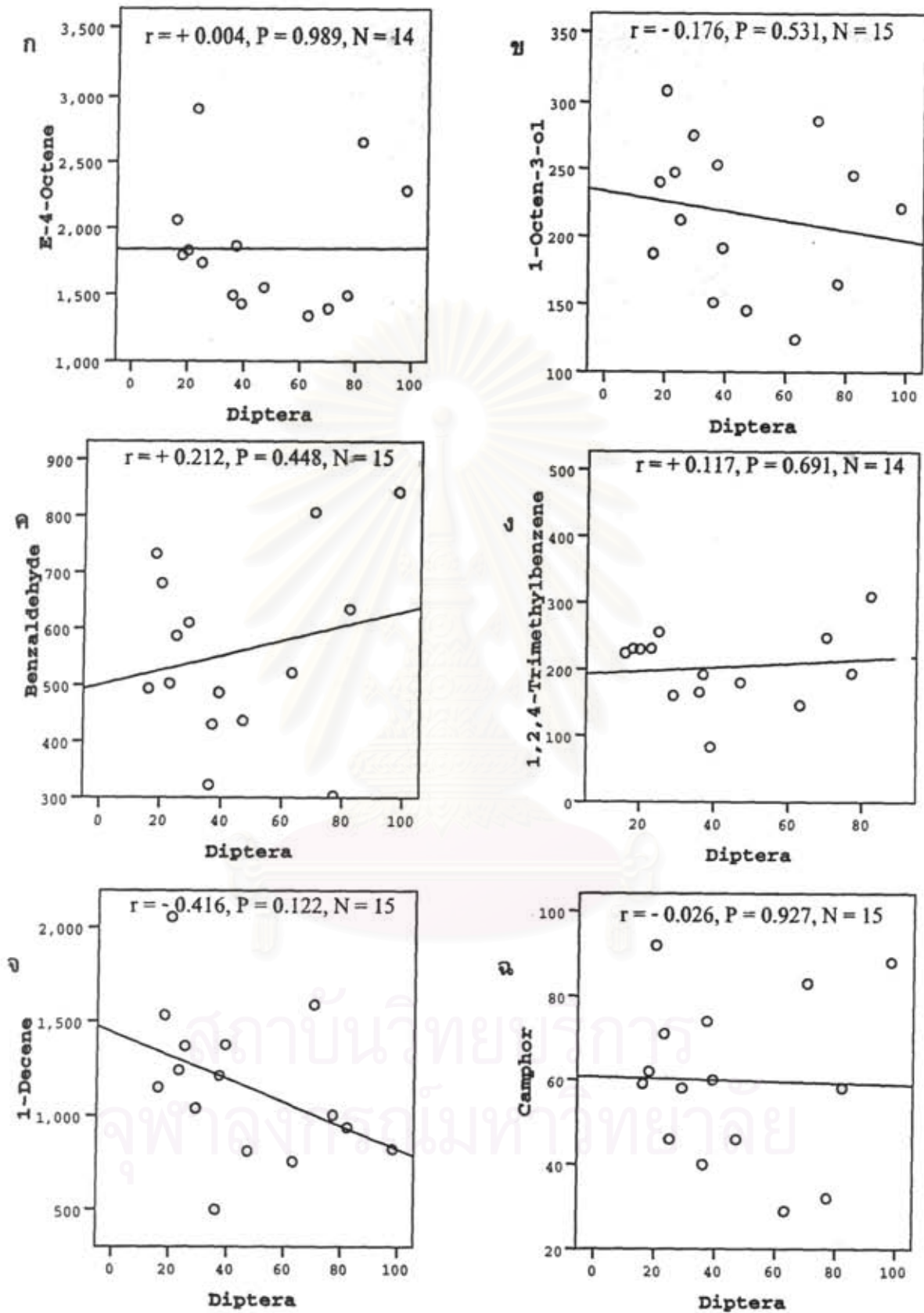
4.3.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารหอมระเหยกับสิ่งมีชีวิต

4.3.2.1 ผลความสัมพันธ์ในเดือนตุลาคม 2548

เนื่องจากสารหอมระเหยที่พบและระบุชนิดได้ในเดือนตุลาคม 2548 มีทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ E-4-Octene 1-Octen-3-ol Benzaldehyde 1,2,4-Trimethylbenzene 1-Decene และ Camphor และแมลงที่พบความแปรปรวน 4 กลุ่ม คือแมลงในอันดับ Diptera Hymenoptera Homoptera และ Coleoptera สามารถจับตัวเคราะห์ความสัมพันธ์ได้ 24 คู่โดยใช้โปรแกรม SPSS หลังการตัดค่าผิดปกติ ซึ่งจะยอมรับค่าที่ความเชื่อมั่น 95 % ($P \leq 0.005$) ค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณสารหอมระเหยและแมลงต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 14 และแสดงแผนภาพการกระจายของข้อมูล ($N \leq 15$) ระหว่างสารต่าง ๆ และแมลงในอันดับ Diptera Hymenoptera Homoptera และ Coleoptera ดังรูปที่ 34-37 ตามลำดับ

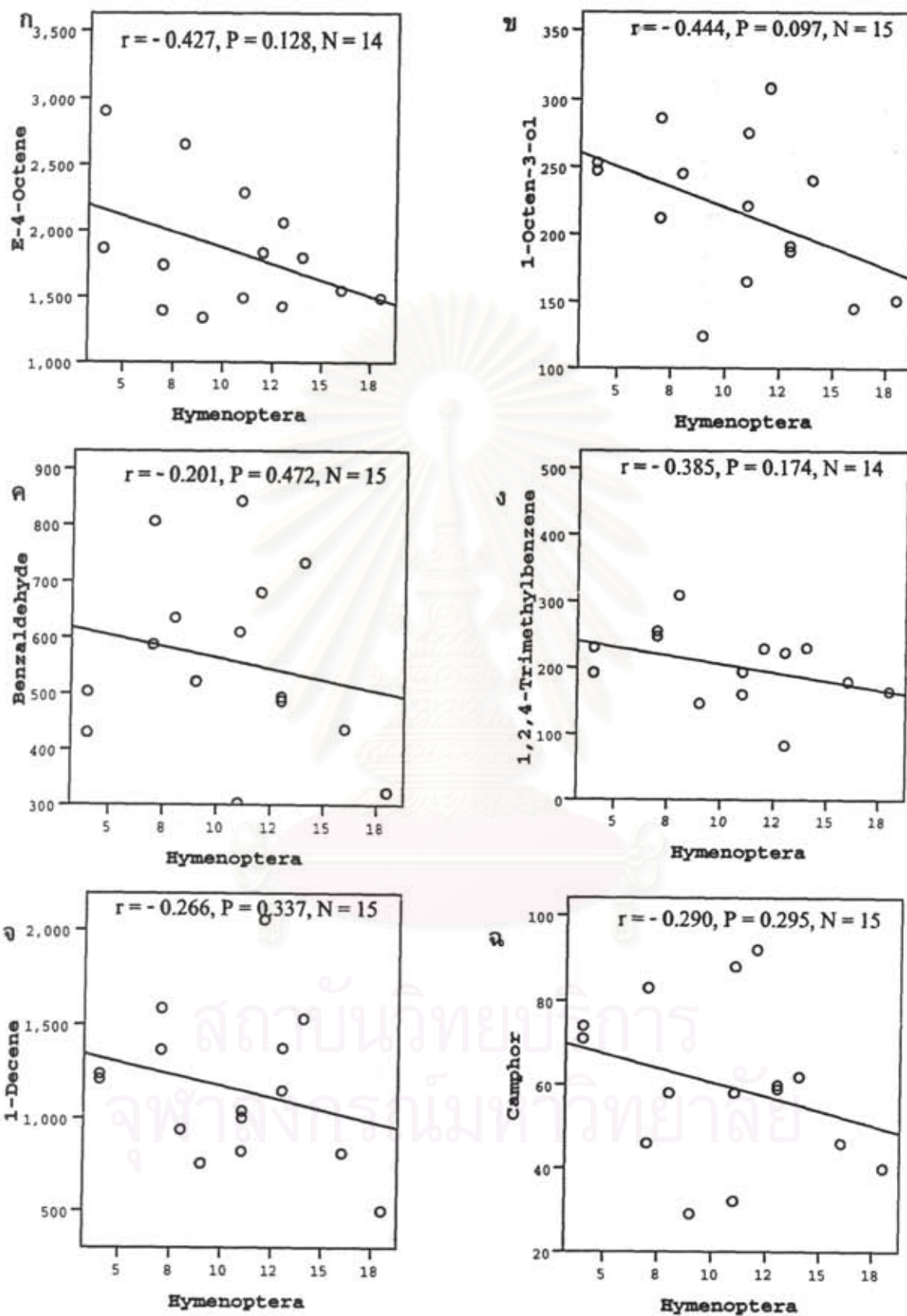
ตารางที่ 14 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารที่พบและแมลงในเดือนตุลาคม 2548

pairs	compounds & insect	r	P
1	E4Octene & Diptera	+0.004	.989
2	Octen3ol & Diptera	-.176	.531
3	Benzaldehyde & Diptera	+0.212	.448
4	Trimethylbenzene & Diptera	+0.117	.691
5	Decene & Diptera	-.417	.122
6	Camphor & Diptera	-.026	.927
7	E4Octene & Hymenoptera	-.427	.128
8	Octen3ol & Hymenoptera	-.444	.097
9	Benzaldehyde & Hymenoptera	-.201	.472
10	Trimethylbenzene & Hymenoptera	-.385	.174
11	Decene & Hymenoptera	-.266	.337
12	Camphor & Hymenoptera	-.290	.295
13	E4Octene & Homoptera	+0.313	.298
14	Octen3ol & Homoptera	+0.292	.333
15	Benzaldehyde & Homoptera	-.051	.868
16	Trimethylbenzene & Homoptera	+0.137	.656
17	Decene & Homoptera	+0.234	.442
18	Camphor & Homoptera	+0.322	.284
19	E4Octene & Coleoptera	+0.419	.136
20	Octen3ol & Coleoptera	-.072	.798
21	Benzaldehyde & Coleoptera	+0.181	.519
22	Trimethylbenzene & Coleoptera	+0.132	.652
23	Decene & Coleoptera	-.200	.475
24	Camphor & Coleoptera	-.052	.854



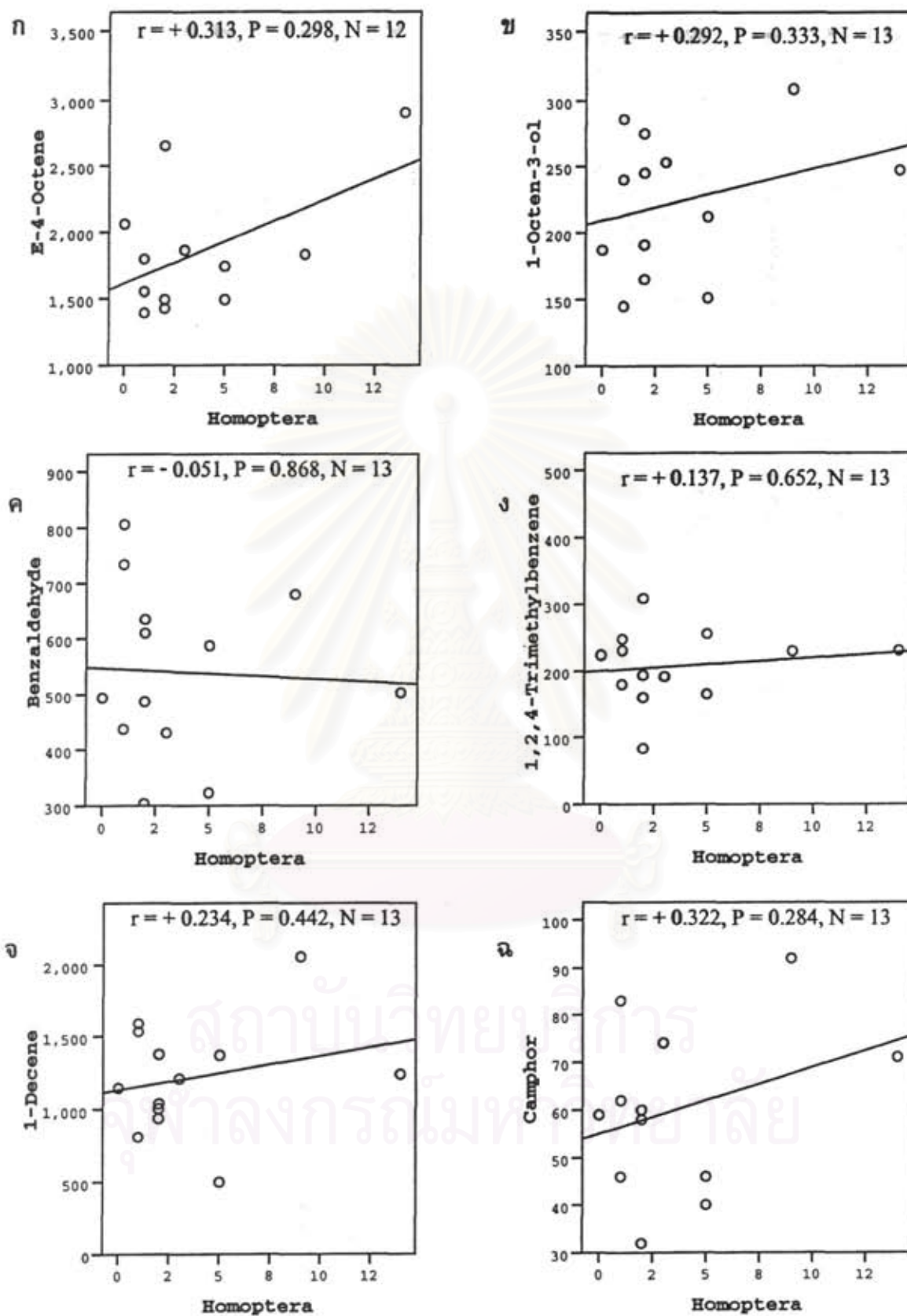
รูปที่ 34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้ peak $\times 10^3$ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงในอันดับ Diptera (แกน x) ในเดือนตุลาคม 2548

(ก) E-4-Octene (ข) 1-Octen-3-ol (ค) Benzaldehyde (ง) 1,2,4-Trimethylbenzene (จ) 1-Decene (ฉ) Camphor



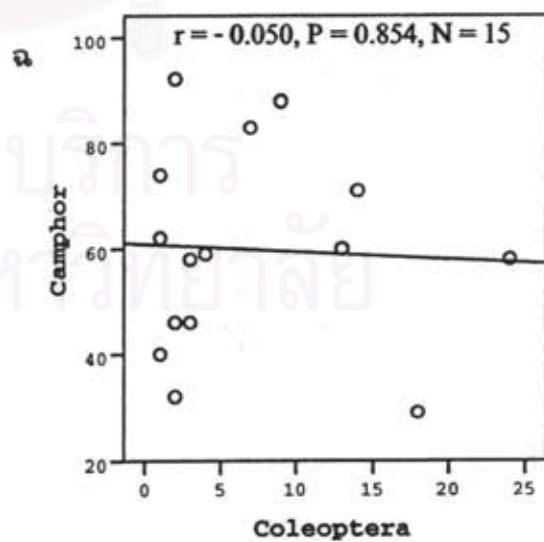
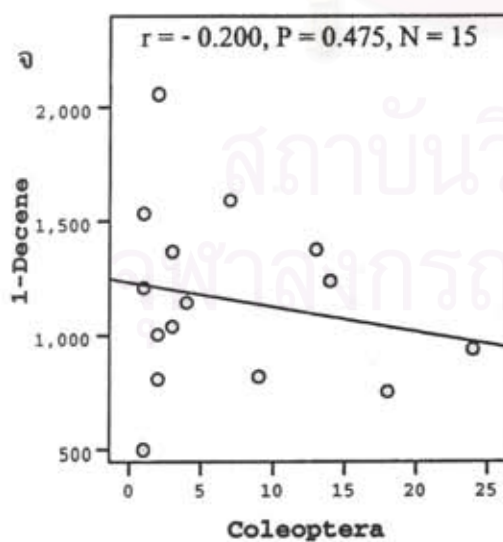
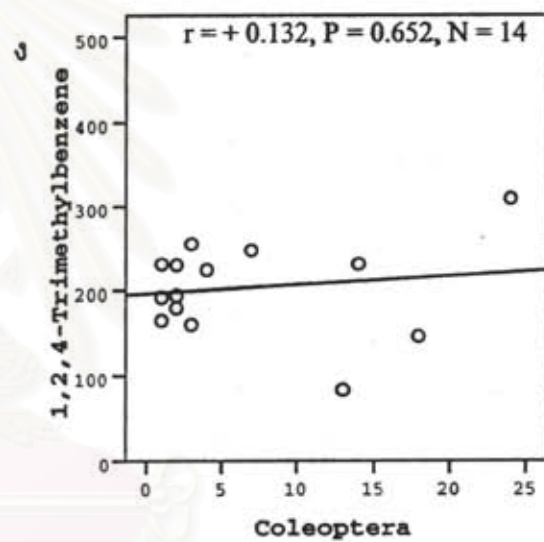
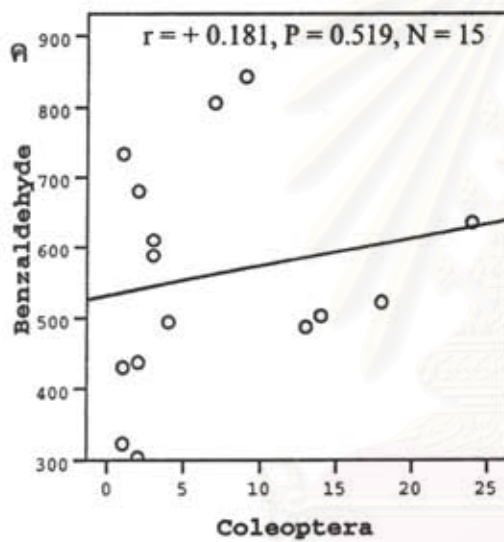
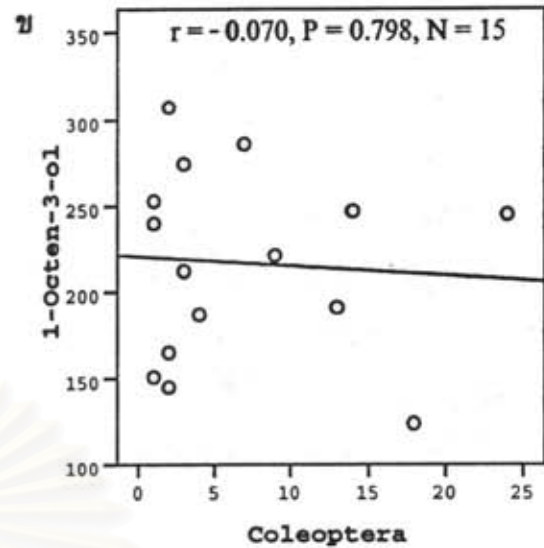
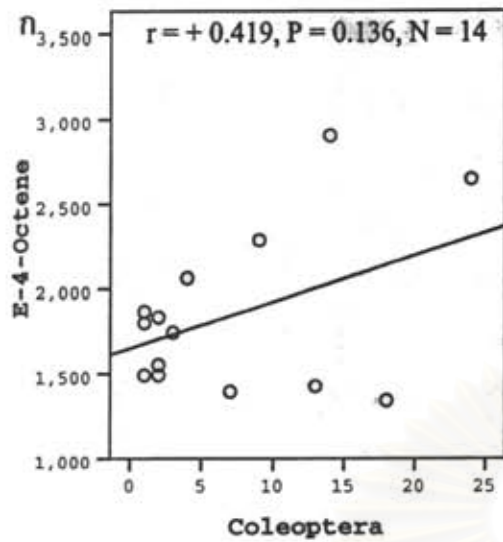
รูปที่ 35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้ peak $\times 10^3$ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงในอันดับ Hymenoptera (แกน x) ในเดือนตุลาคม 2548

(ก) E-4-Octene (ข) 1-Octen-3-ol (ค) Benzaldehyde (ง) 1,2,4-Trimethylbenzene (จ) 1-Decene (ฉ) Camphor



รูปที่ 36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้ peak $\times 10^3$ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงในอันดับ Homoptera (แกน x) ในเดือนตุลาคม 2548

(ก) E-4-Octene (ข) 1-Octen-3-ol (ค) Benzaldehyde (ง) 1,2,4-Trimethylbenzene (จ) 1-Decene (ฉ) Camphor



รูปที่ 37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้ peak $\times 10^3$ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงโนอันคัม Coleoptera (แกน x) ในเดือนตุลาคม 2548

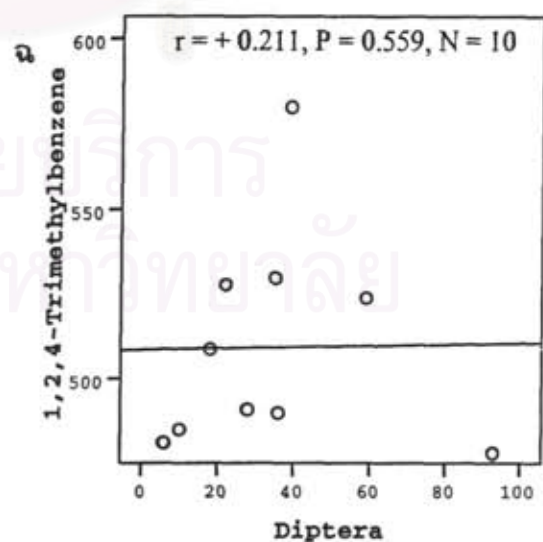
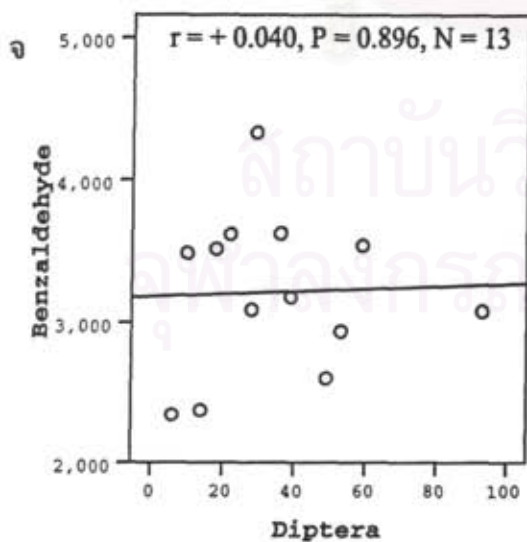
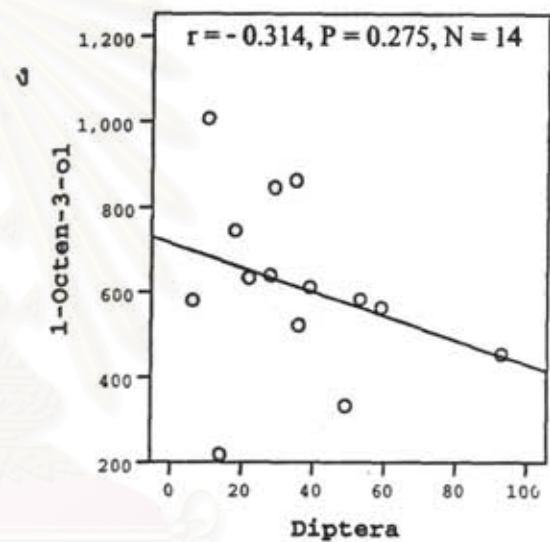
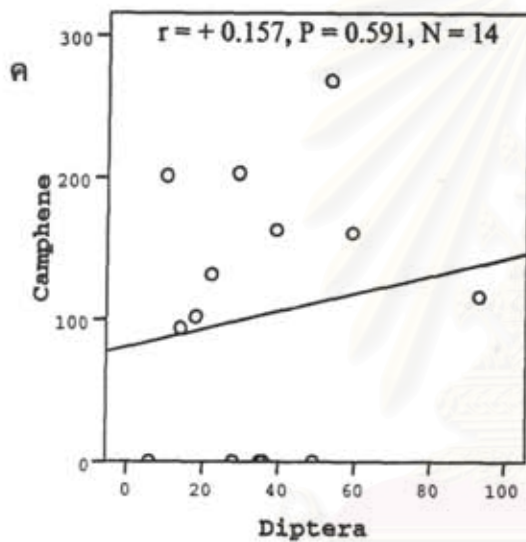
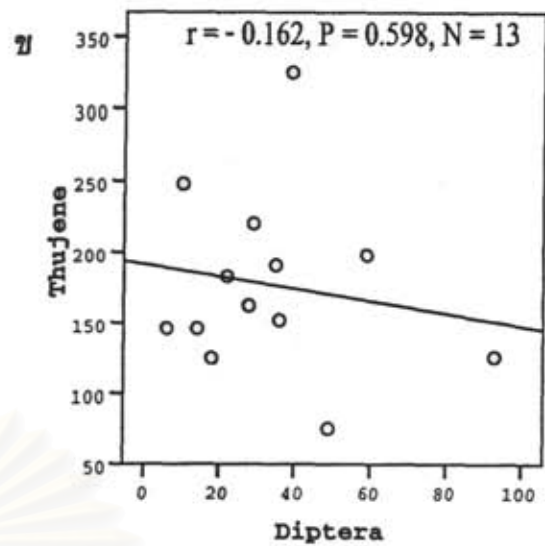
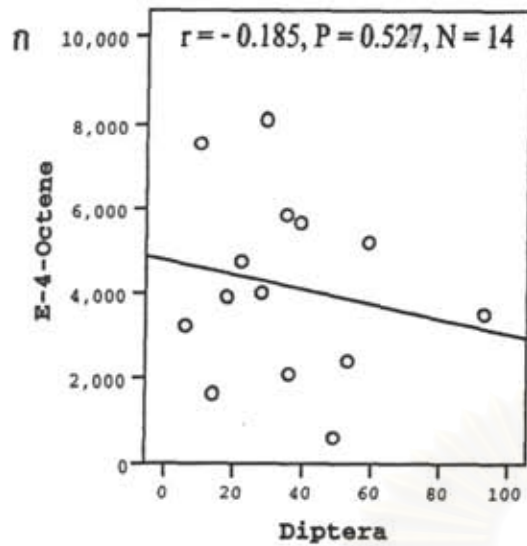
(ก) E-4-Octene (ข) 1-Octen-3-ol (ค) Benzaldehyde (ง) 1,2,4-Trimethylbenzene (จ) 1-Decene (ฉ) Camphor

4.3.2.2 ผลความสัมพันธ์ในเดือนมีนาคม 2549

จากผลของสารหอมระเหยที่พบและระบุชนิดได้ในเดือนมีนาคม 2549 มีทั้งหมด 11 ชนิด ได้แก่ E-4-Octene α -Thujene Camphene 1-Octen-3-ol Benzaldehyde 1,2,4-Trimethylbenzene p-Cymene Limonene (1,8)-Cineol 1-Decene และ Camphor และแมลงที่พบความแปรปรวน 4 กลุ่ม คือแมลงในอันดับ Diptera Hymenoptera Homoptera และ Coleoptera สามารถจับคู่วิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้ 44 คู่ ด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณสารหอมระเหยแมลงต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 15 และแสดงแผนภาพการกระจายของข้อมูล ($N \leq 15$) ระหว่างสารต่าง ๆ และแมลงในอันดับ Diptera Hymenoptera Homoptera และ Coleoptera ดังรูปที่ 38-41 ตามลำดับ

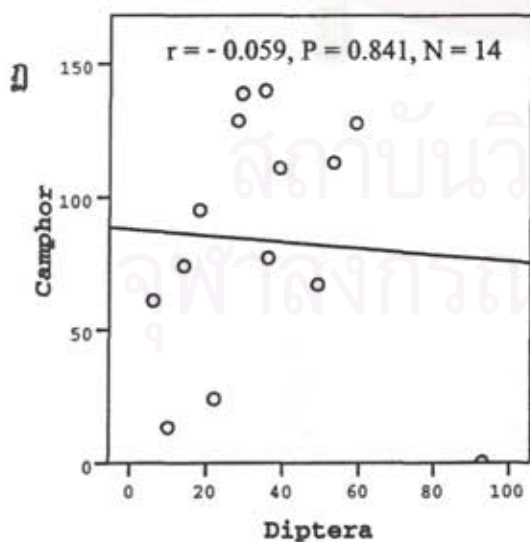
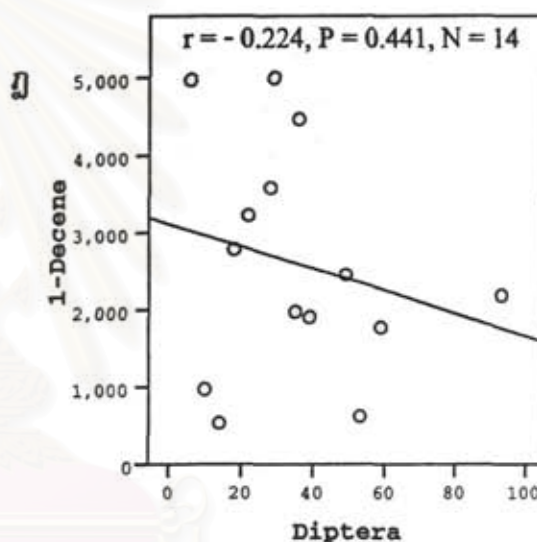
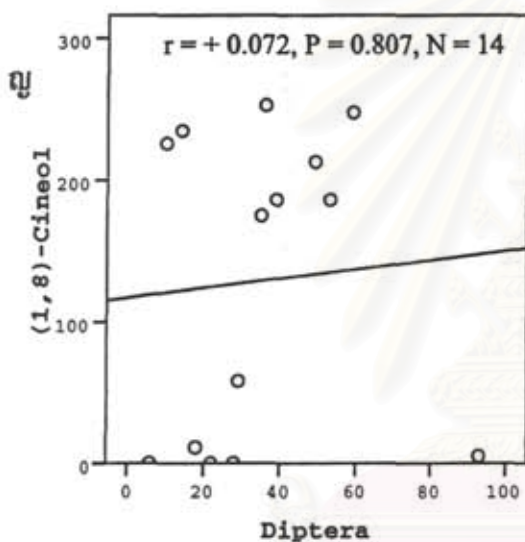
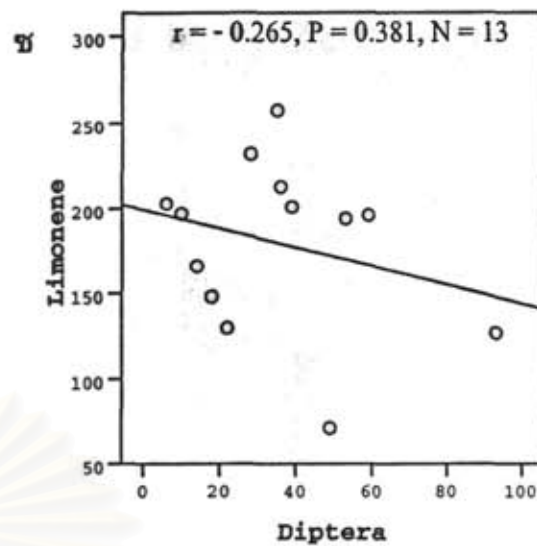
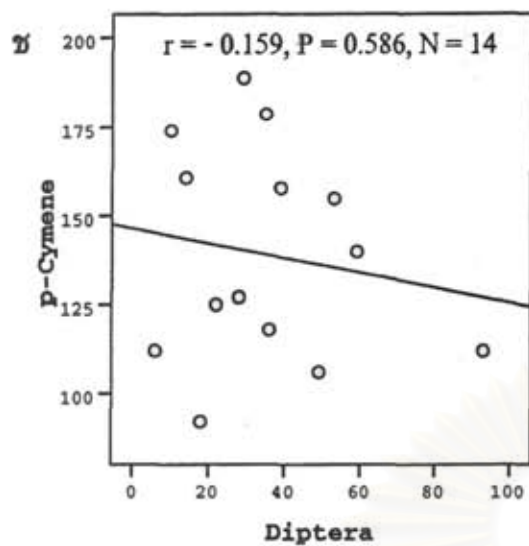
ตารางที่ 15 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารที่พบและแมลงในเดือนมีนาคม 2549

pairs	compounds & insect	r	P
1	E4Octene & Diptera	-.185	.527
2	α -Thujene & Diptera	-.162	.598
3	Camphene & Diptera	+.157	.591
4	Octen3ol & Diptera	-.314	.275
5	Benzaldehyde & Diptera	+.040	.896
6	Trimethylbenzene & Diptera	+.211	.559
7	p-Cymene & Diptera	-.159	.586
8	Limonene & Diptera	-.265	.381
9	(1,8)-Cineol & Diptera	+.072	.807
10	Decene & Diptera	-.224	.441
11	Camphor & Diptera	-.059	.841
12	E4Octene & Hymenoptera	+.495	.086
13	α -Thujene & Hymenoptera	+.559	.047
14	Camphene & Hymenoptera	+.646	.017
15	Octen3ol & Hymenoptera	+.200	.512
16	Benzaldehyde & Hymenoptera	+.544	.068
17	Trimethylbenzene & Hymenoptera	+.840	.004
18	p-Cymene & Hymenoptera	+.200	.511
19	Limonene & Hymenoptera	-.082	.801
20	(1,8)-Cineol & Hymenoptera	-.120	.696
21	Decene & Hymenoptera	+.323	.282
22	Camphor & Hymenoptera	+.212	.486
23	E4Octene & Homoptera	+.578	.039
24	α -Thujene & Homoptera	+.170	.598
25	Camphene & Homoptera	+.547	.053
26	Octen3ol & Homoptera	+.291	.334
27	Benzaldehyde & Homoptera	+.732	.007
28	Trimethylbenzene & Homoptera	+.403	.249
29	p-Cymene & Homoptera	+.164	.592
30	Limonene & Homoptera	-.428	.165
31	(1,8)-Cineol & Homoptera	-.131	.670
32	Decene & Homoptera	+.077	.802
33	Camphor & Homoptera	+.187	.540
34	E4Octene & Coleoptera	-.346	.297
35	α -Thujene & Coleoptera	-.475	.165
36	Camphene & Coleoptera	-.528	.095
37	Octen3ol & Coleoptera	-.165	.628
38	Benzaldehyde & Coleoptera	+.217	.522
39	Trimethylbenzene & Coleoptera	+.241	.602
40	p-Cymene & Coleoptera	-.692	.018
41	Limonene & Coleoptera	-.082	.822
42	(1,8)-Cineol & Coleoptera	-.353	.287
43	Decene & Coleoptera	+.532	.092
44	Camphor & Coleoptera	+.173	.612



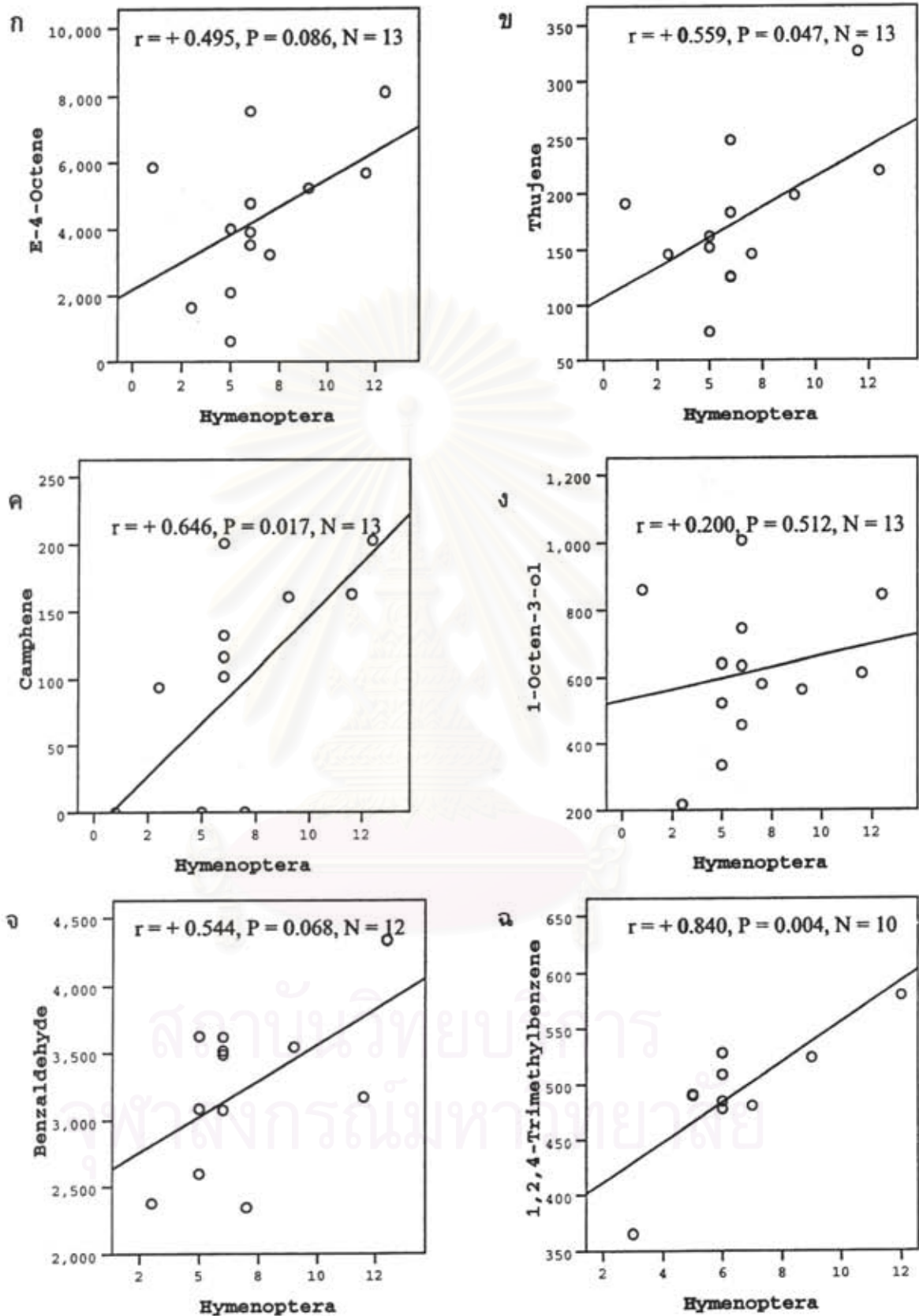
รูปที่ 38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้ peak $\times 10^3$ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงในอันดับ Diptera (แกน x) ในเดือนมีนาคม 2549

(π) E-4-Octene (๗) α -Thujene (๘) Camphene (ง) 1-Octen-3-ol (จ) Benzaldehyde (ฉ) 1,2,4-Trimethylbenzene



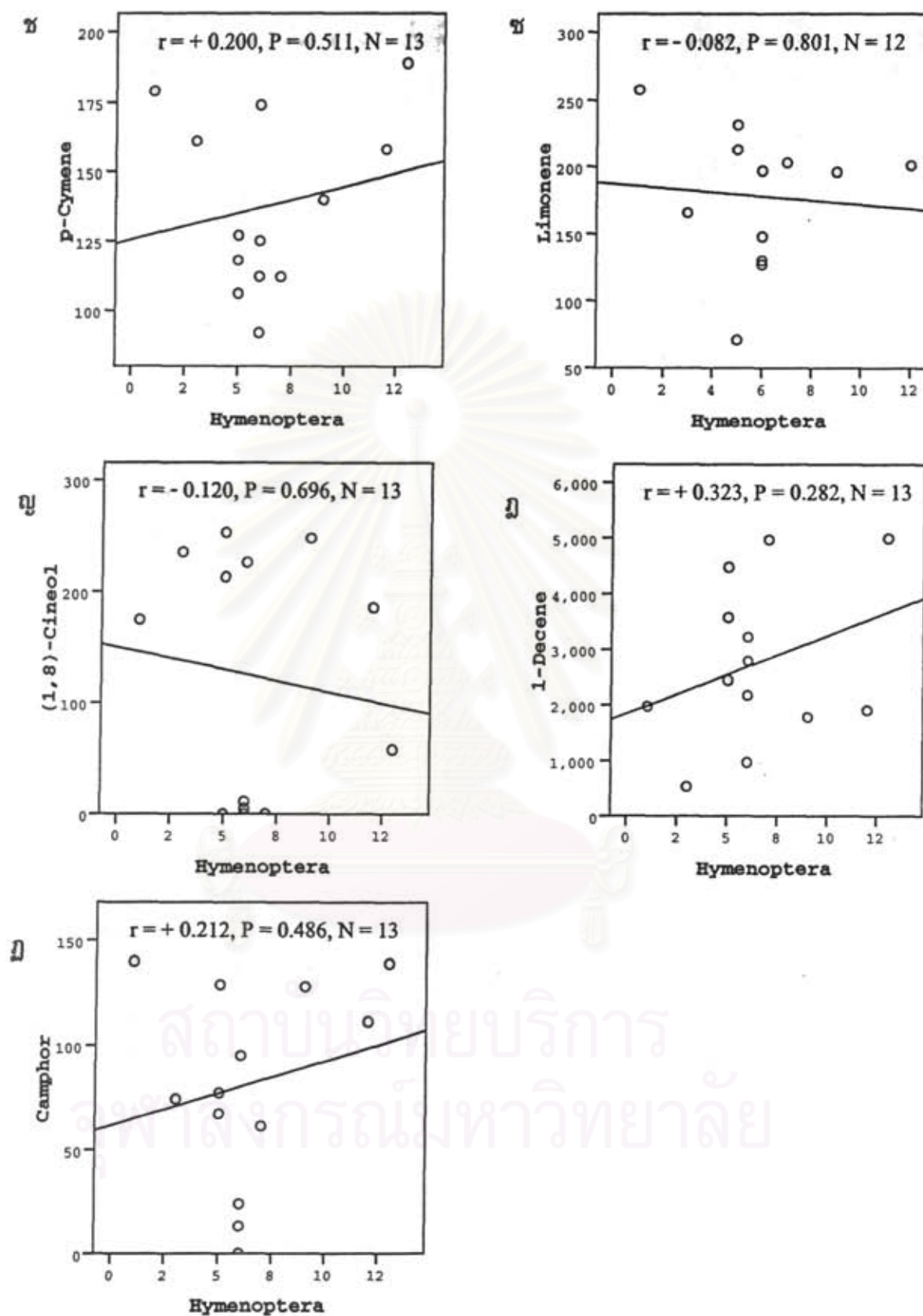
รูปที่ 38 (ต่อ) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้ peak $\times 10^3$ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงไนอันดับ Diptera (แกน x) ในเดือนมีนาคม 2549

(ซ) *p*-Cymene (ช) Limonene (ฅ) (1,8)-Cineol (ฉ) 1-Decene (ง) Camphor



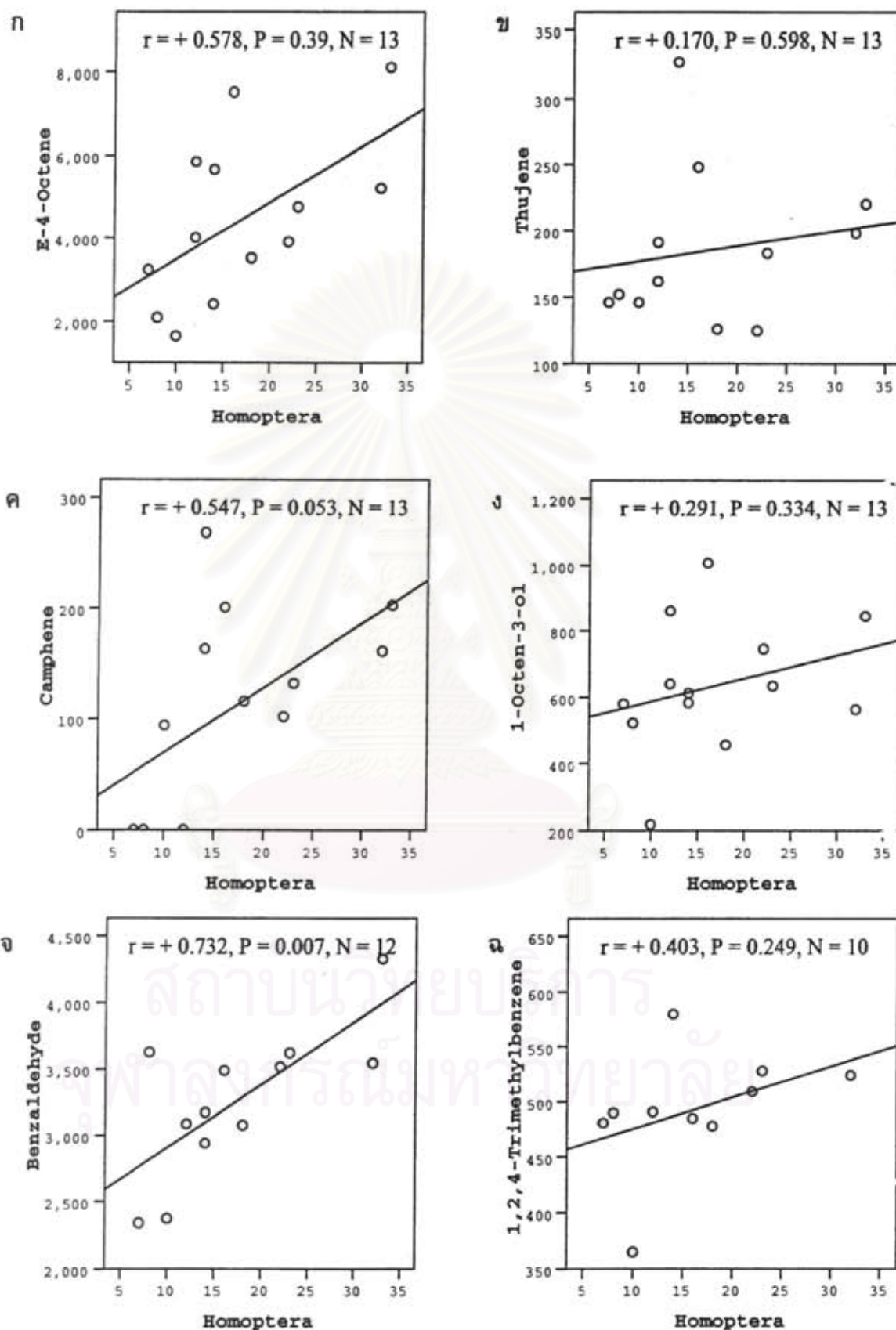
รูปที่ 39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้ peak $\times 10^3$ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงในอันดับ Hymenoptera (แกน x) ในเดือนมีนาคม 2549

(ก) E-4-Octene (ข) α -Thujene (ค) Camphene (ง) 1-Octen-3-ol (จ) Benzaldehyde (ฉ) 1,2,4-Trimethylbenzene



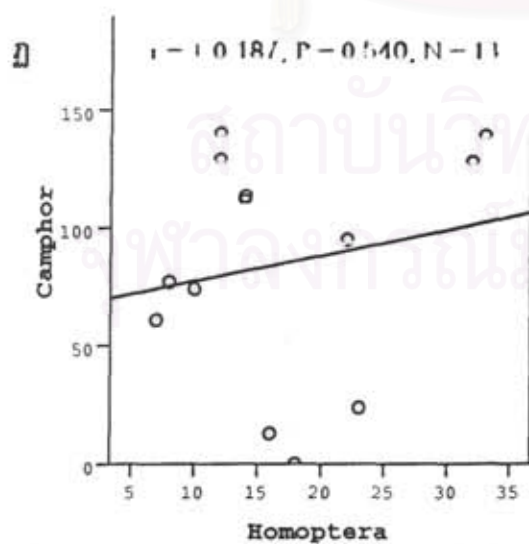
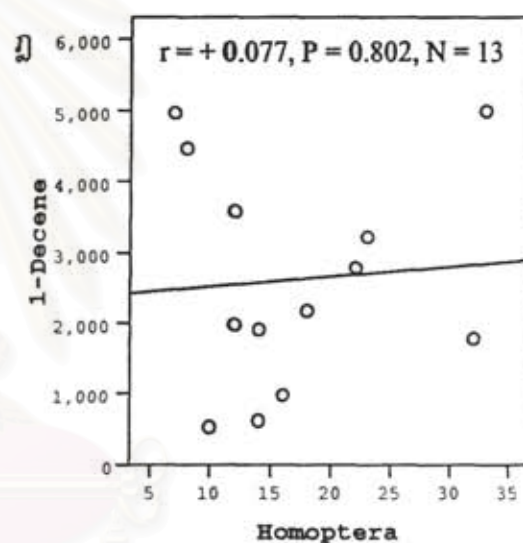
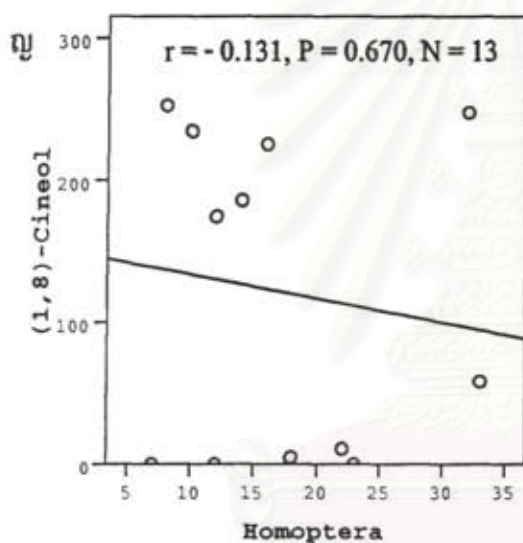
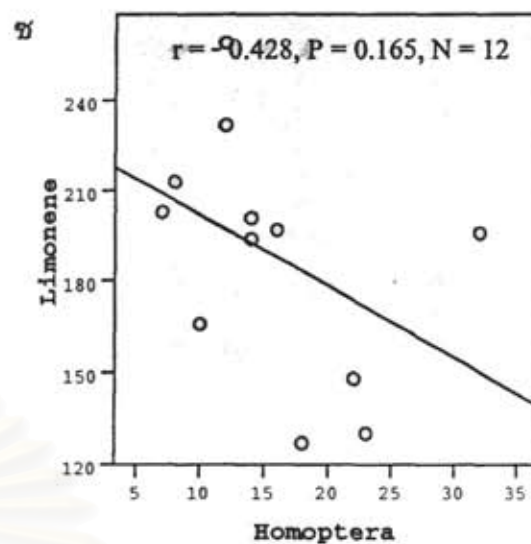
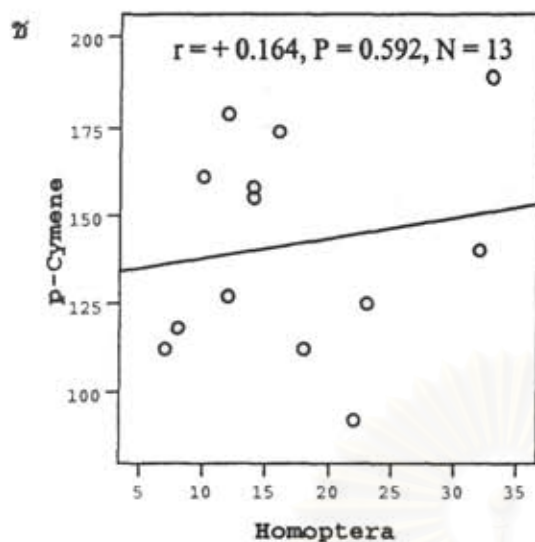
รูปที่ 39 (ต่อ) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่ได้ peak $\times 10^3$ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงในอันดับ Hymenoptera (แกน x) ในเดือนมีนาคม 2549

(ซ) p-Cymene (ช) Limonene (ญ) (1,8)-Cineol (ฉ) 1-Decene (ง) Camphor



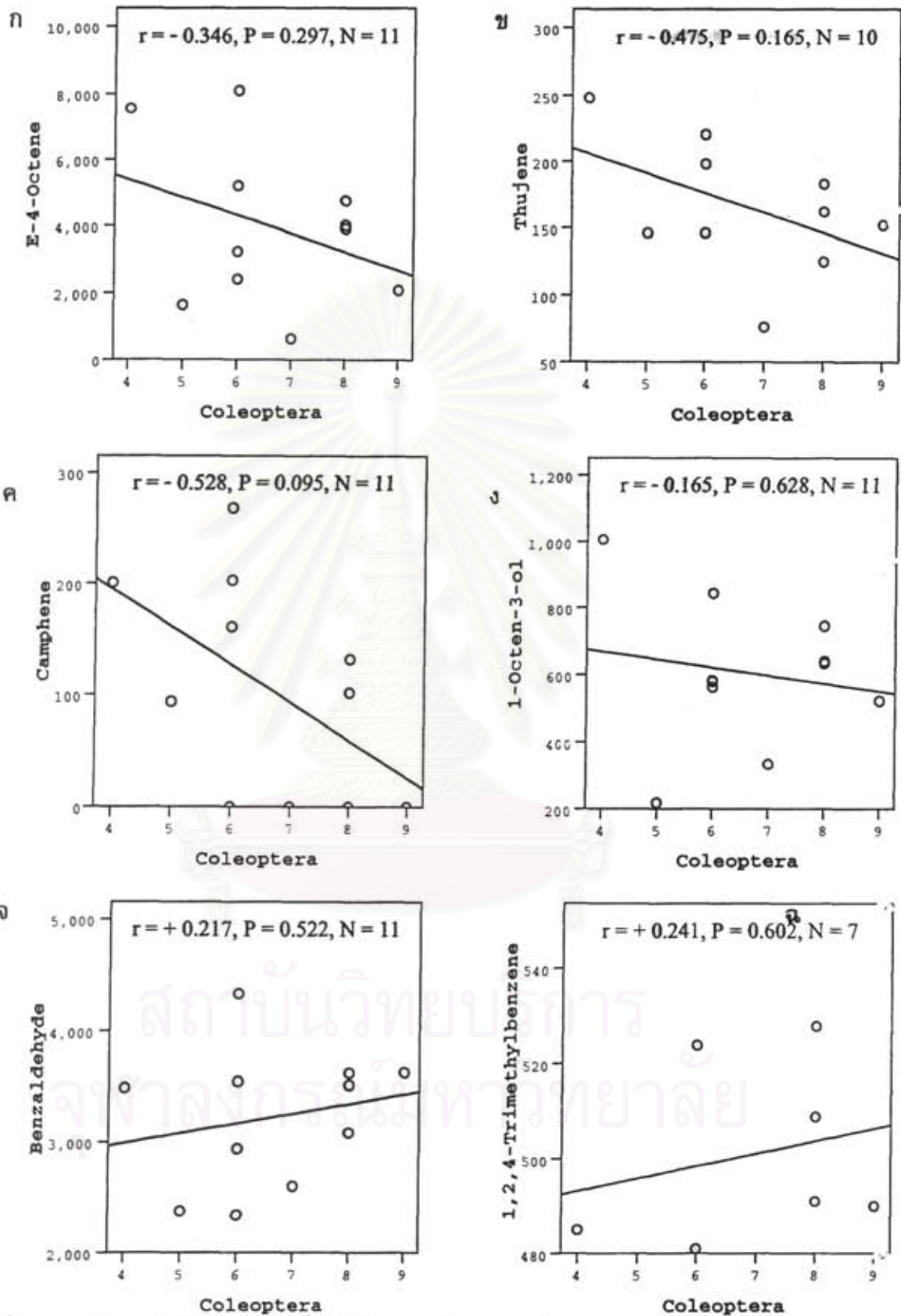
รูปที่ 40 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่ได้ peak $\times 10^3$ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงในอันดับ Homoptera (แกน x) ในเดือนมีนาคม 2549

(ก) E-4-Octene (ข) α -Thujene (ค) Camphene (ง) 1-Octen-3-ol (จ) Benzaldehyde (ฉ) 1,2,4-Trimethylbenzene



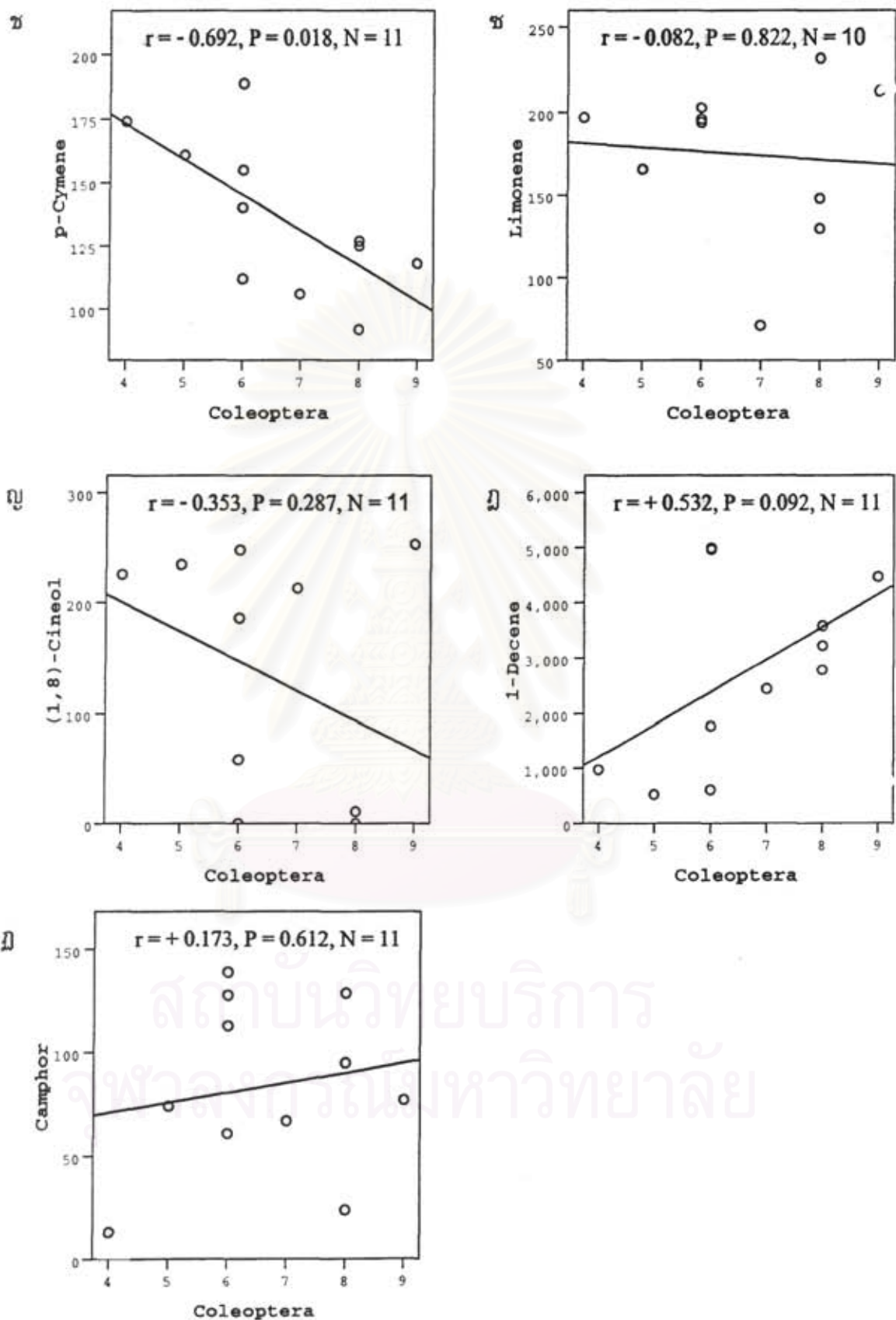
รูปที่ 40 (ต่อ) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้ peak $\times 10^3$ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงในอันดับ Homoptera (แกน x) ในเดือนมีนาคม 2549

(ข) p-Cymene (ช) Limonene (ฅ) (1,8)-Cineol (ฉ) 1-Decene (จ) Camphor



รูปที่ 41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้ peak $\times 10^3$ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงโนอันคิบ Coleoptera (แกน x) ในเดือนมีนาคม 2549

(ก) E-4-Octene (ข) α -Thujene (ค) Camphene (ง) 1-Octen-3-ol (จ) Benzaldehyde (ฉ) 1,2,4-Trimethylbenzene



รูปที่ 41 (ต่อ) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่ได้ peak $\times 10^3$ ของสารต่างๆ (แกน y) และจำนวนรวมของแมลงไนอันตัม Coleoptera (แกน x) ในเดือนมีนาคม 2549

(ข) p-Cymene (ง) Limonene (จ) (1,8)-Cineol (ฉ) 1-Decene (ช) Camphor

5. สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

5.1 การพัฒนาอุปกรณ์ใช้ในการตรวจวัดสารหอมระเหยในป่าธรรมชาติ

อุปกรณ์ในการดูดซับสารหอมระเหยในบรรยากาศที่ประกอบขึ้นจากเครื่องปั๊มอากาศสำหรับตู้ปลา สามารถประกอบ ติดตั้งและใช้งานในสภาพแวดล้อมภายนอกได้จริง แต่จากการทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งมีการเปรียบเทียบการใช้ Porapak Q และ Super Q เป็นตัวดูดซับ จะพบสารปนเปื้อนขนาดใหญ่ซึ่งเป็นตัวรบกวนการวิเคราะห์ใน Porapak Q จึงเปลี่ยนตัวดูดซับเป็น Super Q ซึ่งทำให้การดูดซับสารเพื่อวิเคราะห์ผลทำได้ง่ายขึ้น ซึ่ง Super Q เป็นตัวดูดซับที่ได้รับการปรับปรุงมาจาก Porapak Q ทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารได้ดีกว่า โดยสามารถวิเคราะห์สารหอมระเหยได้ด้วยเทคนิค Headspace GC-MS โดยแยกสารที่ถูกดูดซับด้วย Porapak Q ผ่านคอลัมน์ DB-5MS และตั้งโปรแกรมให้อุณหภูมิคงที่ 60 °C นาน 3 นาที จากนั้นเพิ่มเป็น 220 °C ด้วยอัตรา 3 °C ต่อนาที และให้อุณหภูมิคงที่ 220 °C ต่ออีกเป็นเวลา 10 นาที ใช้ He อัตราเร็ว 1 มิลลิลิตรต่อนาทีเป็นตัวพา จากนั้นสามารถหาชนิดของสารได้โดยเปรียบเทียบแมสสเปกตรัมของตัวอย่างกับแมสสเปกตรัมมาตรฐานใน NIST92 library และ/หรือ LIBR(TP) Library ได้ ส่วนสภาวะที่เหมาะสมซึ่งสามารถไล่สารออกจาก Super Q มากที่สุดคือการไล่สารออกจากตัวดูดซับด้วยอุณหภูมิสูงสุดของเครื่อง Headspace คือ 200 โดยใช้เวลาเพียง 5 นาทีก็สามารถวิเคราะห์สารได้ ซึ่งการใช้เวลานานกว่านี้ไม่ทำให้ peak area เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะสามารถทำให้สารที่ถูกดูดซับอยู่ใน super Q ระเหยออกมาอยู่ในสภาวะสมดุลได้ทั้งหมด ดังนั้นสภาวะดังกล่าวจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการไล่สารระเหยออกจาก super Q

ในสภาพที่คล้ายกับการเก็บตัวอย่างจากพื้นที่จริงจะดูดซับสารได้น้อย เนื่องจากสารระเหยในบรรยากาศอาจถูกลมพัดพาไป ทำให้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดูดซับสารไว้ได้บางส่วนเท่านั้น แต่ก็ยังสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเป็นสารใดเมื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล และจากการทดลองเติมน้ำระหว่างการดูดซับสารทำให้สามารถคาดเดาได้ว่าในช่วงฤดูฝนหรือช่วงที่มีฝนตกในระหว่างการเก็บอากาศนั้น เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดข้อจำกัดในการวิเคราะห์สารจากบรรยากาศ ซึ่งเป็นไปได้ว่าสารต่าง ๆ สามารถถูกชะได้ด้วยน้ำทำให้ปริมาณสารที่ถูกดูดซับไว้มีน้อยเกินจริง ภายหลังจากการเก็บตัวอย่างจากพื้นที่จริง (ระบบเปิด) โดยใช้ตัวดูดซับเป็น Super Q 0.5 กรัมบรรจุในคอลัมน์ขนาด 5 มิลลิลิตร และนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเดียวกับตัวอย่างสารที่เตรียมขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ (ระบบปิด) พบว่าต้องเปลี่ยนวิธีการแยกสารผ่านคอลัมน์ DB-5MS โดยเปลี่ยนโปรแกรมให้เริ่มจากอุณหภูมิคงที่ 40 °C นาน 5 นาที จากนั้นเพิ่มเป็น 230 °C ด้วยอัตรา 5 °C ต่อนาที และให้อุณหภูมิคงที่ 230 °C ต่ออีกเป็นเวลา 5 นาที เนื่องจากการใช้วิธีการเดิมไม่สามารถแยกสารที่เจือจางอยู่ในบรรยากาศออกมาได้ ขณะที่วิธีการใหม่จะทำให้พบตัวรบกวนในตัวอย่างหลายตัว และเมื่อทำการวิเคราะห์ต่อไปจึงพบว่าตัวรบกวนดังกล่าวมาจากการปนเปื้อนใน Super Q เอง ดังนั้นเพื่อลดตัวรบกวนลงในการเก็บตัวอย่างครั้งต่อไปควรจะทำการล้างตัวดูดซับก่อนการใช้

อะซิโตน เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมในการล้างสารที่ถูก super Q ดูดซับไว้ได้ โดยวิธีการชะผ่านคอลัมน์ และอบให้แห้งที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าการเขย่าแล้วเทสารละลายออก เนื่องจากสารต่าง ๆ ที่ถูกดูดซับไว้จะถูกระบายออกทางเดียวไม่สามารถกลับมาจับกับตัวดูดซับได้อีก ทำให้ได้ตัวดูดซับที่สะอาดโดยประสิทธิภาพในการดูดซับสารก็ยังคงอยู่ทำให้สามารถนำตัวดูดซับกลับมาใช้ได้อีก แต่ภายหลังการนำไปใช้ในพื้นที่จริงได้ปรับปรุงวิธีการล้างโดยล้าง Super Q 10 กรัมในตัวทำละลายอะซิโตน 100 มิลลิลิตร เขย่าให้ทั่วและตั้งทิ้งไว้เป็นพักๆ ทำสลับกันไปเป็นเวลา 15 นาที แล้วเทตัวทำละลายออกให้หมด และล้างซ้ำด้วยวิธีการเดิมอีก 2 ครั้ง จากนั้นนำ Super Q ที่ผ่านการล้าง 3 ครั้งแล้ว ไปอบแห้งเพื่อไล้ตัวทำละลายออกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งการล้างด้วยวิธีนี้สามารถทำให้สารที่อยู่ในช่วงที่จะพบสารตัวอย่างไม่มีตัวรบกวนได้ การวิเคราะห์สารจึงง่ายขึ้น และถูกต้องมากขึ้น

5.2 การสำรวจพื้นที่และทำการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตและสารชีวเคมีในระบบนิเวศ

บริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์ดักจับสาร ในเขตอุทยานแห่งชาติคอกอยูกาเป็นบริเวณที่เหมาะสมจะใช้เป็นพื้นที่วิจัยกว่าบริเวณที่ติดตั้งในเขตอุทยานแห่งชาติศรีน่าน เนื่องจากสามารถพบปริมาณสารมากกว่าชุดควบคุม โดยสารระเหยในบรรยากาศที่สามารถดูดซับได้นั้นเป็นสารทั่วไปที่สามารถพบได้ในพืชหลายชนิด แต่ยังไม่สามารถระบุได้อย่างเฉพาะเจาะจงว่ามาจากพืชหรือสิ่งมีชีวิตชนิดใด และในพื้นที่จริงยังมีลักษณะที่แตกต่างกัน เช่นบางจุดมีต้นคะไคร้ต้น และอบเชย ซึ่งเป็นพืชที่มีกลิ่นเด่นชัด และบางจุดไม่มีกลิ่นด้วย และความหลากหลายของชนิดของสารหอมระเหยในอุทยานแห่งชาติคอกอยูกาในทั้งสองเส้นทางในป่าคอกอยูกาไม่แตกต่างกันแต่ในเส้นทางแรกนั้นสามารถระบุตำแหน่ง GPS ได้ชัดเจนกว่า ซึ่งมีประโยชน์ในการจดจำตำแหน่งเพื่อเปรียบเทียบกับ การเก็บตัวอย่างในครั้งต่อ ๆ ไปได้ ดังนั้นจึงใช้เป็นเส้นทางศึกษาตลอดการวิจัย

จากการศึกษาชนิดและปริมาณของสารระเหยในตำแหน่งต่าง ๆ เจึงเปรียบเทียบและตัดสารปนเปื้อนทั้งหมดออกจากตัวอย่างแล้ว พบว่าการเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ครั้งในเดือนตุลาคม 2548 มีนาคม 2549 กุมภาพันธ์ 2550 และ พฤศจิกายน 2550 สามารถพบสารระเหยที่ดูดซับได้จากบรรยากาศทั้งหมด 16 ชนิด โดยพบสารที่คาดว่าน่าจะเป็นสารหอมระเหยที่มาจากพืชทั้งหมด 14 ชนิด (เลขในวงเล็บคือ เลขที่ของ peak บนโครมาโตแกรม) คือ *E*-4-Octene(1) *Z*-2-Octene(2) α -Thujene(4) Camphene(5) 1-Octen-3-ol(6) Benzaldehyde(7) 1,2,4-Trimethylbenzene(8) 3-Carene(9) *p*-Cymene(10) Limonene(11) (1,8)-Cineole(12) 1-Decene(13) Camphor(15) และ $C_{15}H_{24}$ (16) ส่วนอีก 2 ชนิด คือ Styrene(3) และ 2-Chro-octane(14) น่าจะเป็นสารที่เกิดจากการระเหยของอุปกรณ์ที่ใช้ โดยที่สามารถพบสารเหล่านี้ได้ในทุกตำแหน่งที่ทำการศึกษา แต่มีความแปรปรวนของปริมาณมากน้อยแตกต่างกันไปในแต่ละตำแหน่ง สารที่ไม่พบในเดือนตุลาคม 2548 มี 3 ชนิดคือ *p*-Cymene Limonene (1,8)-Cineole แต่กลับพบ *Z*-2-Octene โดยไม่สามารถพบสารนี้ในการเก็บตัวอย่างครั้งอื่น ๆ เลย ในเดือนกุมภาพันธ์ 2550 ไม่

พบ *p*-Cymene และเคโตนพฤศจิกายน 2550 ไม่พบ $C_{15}H_{24}$ และยังพบ 3-Carene เพิ่มขึ้นมาด้วย และเมื่อวิเคราะห์ให้ลึกลงไปในแง่ปริมาณที่พบนั้น เป็นไปได้ว่าอาจจะทำให้ค้นพบแหล่งที่เป็นต้นกำเนิดของสารได้ เนื่องจากสารที่พบจากการเก็บตัวอย่างอากาศในบรรยากาศป่าที่เป็นพื้นที่วิจัยบนอุทยานแห่งชาติคอกภูคาเหล่านี้ล้วนเป็นสารในกลุ่มเทอร์ปีนทั้งสิ้น สารดังกล่าวจัดเป็นสารประเภทน้ำมันหอมระเหย (Volatile oils) โดยมีองค์ประกอบเป็นสารระเหยที่มีกลิ่นหอม พบได้ในส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ดอก ใบ ผล กลีบเลี้ยง เป็นต้น และประกอบด้วยส่วนประกอบทางเคมีที่สลับซับซ้อน

เมื่อตรวจสอบปริมาณของสารที่พบได้แตกต่างกันในแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่างจากพื้นที่เดียวกันซึ่งกำหนดด้วยตำแหน่ง GPS การที่พบสารแตกต่างกันในแต่ละครั้งอาจเนื่องมาจากผลของฤดูกาล เดือนที่อยู่ในช่วงฤดูร้อนมีอุณหภูมิสูงกว่าจึงทำให้สารหอมระเหยในพืชมีการระเหยออกมาได้มาก โดยตำแหน่งที่สามารถพบสารได้ปริมาณมากที่สุดแสดงไว้ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ตำแหน่งที่จะพบสารแต่ละชนิดในปริมาณมากที่สุด

ลำดับที่	RTime	Compounds	Formula	ตำแหน่งที่พบมาก			
				ต.ค. 2548	มี.ค. 2549	ก.พ. 2550	พ.ย. 2550
1	4.03	<i>E</i> -4-Octene	C ₈ H ₁₆	5	7	2, 12	13
2	4.18	<i>Z</i> -2-Octene	C ₈ H ₁₆	7	-	-	-
3	9.08	α -Thujene	C ₁₀ H ₁₆	-	5	5	6
4	9.64	Camphene	C ₁₀ H ₁₆	-	5	5, 12	6
5	10.04	1-Octen-3-ol	C ₈ H ₁₆ O	4	1	2, 5	8, 11
6	10.32	Benzaldehyde	C ₇ H ₆ O	15	2	11	7, 11
7	11.41	1,2,4-Trimethylbenzene	C ₉ H ₁₂	15	7	2, 15	10, 14
8	12.19	3-Carene	C ₁₀ H ₁₆	-	-	-	14
9	12.55	<i>p</i> -Cymene	C ₁₀ H ₁₄	-	7	-	6, 7
10	12.68	Limonene	C ₁₀ H ₁₆	-	7	2, 3, 5	7
11	12.79	(1,8)-Cineole = Eucalyptol	C ₁₀ H ₁₈ O	-	13	3, 8	7
12	12.88	1-Decene	C ₁₀ H ₂₀	4	7	2	2, 14
13	16.73	Camphor	C ₁₀ H ₁₆ O	4	2, 7	3, 11	6, 7
14	24.35	C ₁₅ H ₂₄	C ₁₅ H ₂₄	10	7	13	-

จากตารางพบว่าในการเก็บตัวอย่างที่อยู่ในช่วงฤดูปลายฝนต้นหนาว คือ ตุลาคม 2548 และพฤศจิกายน 2550 ไม่มีตำแหน่งใดที่สามารถพบสารปริมาณมากเหมือนกัน ส่วนในช่วงเริ่มฤดูร้อนในเดือนมีนาคม 2549 และกุมภาพันธ์ 2550 จะมีสารหอมระเหย 2 ชนิดที่พบได้เป็นปริมาณมากใน

ตำแหน่งเดียวกัน คือ α -Thujene และ Camphene ในตำแหน่งที่ 5 เป็นไปได้ว่าในตำแหน่งที่ 5 น่าจะมี แหล่งของ α -Thujene และ Camphene อยู่ ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้จะนำไปสู่การค้นหาพืชที่สามารถผลิต สารทั้ง 2 ชนิดนี้ที่ตำแหน่ง GPS พิกัด N19°11'14.7" - E101°06'22.9" บนอุทยานแห่งชาติดอยภูคาได้

และการนำปริมาณสารของสารชนิดเดียวกันซึ่งพบในการเก็บตัวอย่างในเดือนตุลาคม 2548 มีนาคม 2549 กุมภาพันธ์ 2550 และ พฤศจิกายน 2550 มาเปรียบเทียบกัน พบว่าสารแต่ละชนิดจะมี ปริมาณมากที่สุดที่ตำแหน่งและเดือนต่างกัน ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ผลการเปรียบเทียบปริมาณสารจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ครั้ง

Compounds	พบมากที่สุด	
	เดือน	ตำแหน่ง
<i>E</i> -4-Octene	กุมภาพันธ์ 2550	2, 10, 11, 12
α -Thujene	กุมภาพันธ์ 2550	6
Camphene	พฤศจิกายน 2550	6
1-Octen-3-ol	กุมภาพันธ์ 2550	15
Benzaldehyde	พฤศจิกายน 2550	11
1,2,4-Trimethylbenzene	พฤศจิกายน 2550	10, 14
<i>p</i> -Cymene	พฤศจิกายน 2550	6, 7
Limonene	กุมภาพันธ์ 2550	2, 3, 5
(1,8)-Cineole = Eucalyptol	พฤศจิกายน 2550	7
1-Decene	กุมภาพันธ์ 2550	2
Camphor	ตุลาคม 2548	1, 4, 15
C15.H24	มีนาคม 2549	7

จากตารางแสดงให้เห็นว่าในเดือนกุมภาพันธ์และพฤศจิกายน 2550 จะพบสารได้ในปริมาณสูง เกือบทุกชนิด เนื่องมาจากการล้าง Super Q ด้วยอะซิโตนก่อนการนำไปใช้เก็บตัวอย่าง ซึ่งนอกจากจะทำให้ตัวรบกวนการวิเคราะห์ลดน้อยลงแล้วยังทำให้ความสามารถในการดูดซับสารดีขึ้นด้วย

สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ Super Q เพื่อการนำกลับมาใช้เก็บตัวอย่างอีกครั้งนั้น พบว่า ใน Super Q ใหม่ที่ยังไม่ได้ผ่านการใช้งาน มีสารปนเปื้อนที่จะเป็นตัวรบกวนการวิเคราะห์สารจำนวน

มากกว่า Super Q ใหม่ที่ผ่านการล้างด้วยอะซิโตน ซึ่งตำแหน่งที่พบสารปนเปื้อนนี้จะตรงกับตำแหน่งที่จะพบสารตัวอย่างจากบรรยากาศป่าได้ นั่นคือช่วง retention time ประมาณ 4-24 ดังนั้นการล้าง Super Q ก่อนการนำไปใช้จึงจะทำให้การวิเคราะห์ง่ายขึ้น และได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้นด้วย นอกจากนี้การนำ Super Q ที่ผ่านการใช้งานแล้วไปล้างด้วยอะซิโตนแล้วนำไปดูดซับสารในพื้นที่อีกครั้งนั้น อาจทำให้ประสิทธิภาพของการดูดซับสารอาจน้อยลง โดยการดูดซับสารในเดือนกุมภาพันธ์ 2550 ที่ตำแหน่งที่ 5 (รูปที่ 31) ตรง peak ที่ 4 ซึ่งเป็น α -Thujene ใน Super Q ที่ใช้แล้วล้างด้วยอะซิโตน จะมีความสูง (ปริมาณสาร) ลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของ peak ที่ตรงกัน ใน Super Q ใหม่ที่ยังไม่ได้ล้าง และ Super Q ใหม่ที่ล้างด้วยอะซิโตน ดังนั้นอุปกรณ์ในการดูดซับสารหอมระเหยในบรรยากาศที่ประกอบขึ้นจากเครื่องปั๊มอากาศสำหรับตู้ปลานี้ จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อใช้ตัวดูดซับเป็น Super Q ใหม่ที่ผ่านการล้างด้วยอะซิโตน

5.3 การศึกษาเพื่อเชื่อมโยงระหว่างสิ่งมีชีวิตที่สร้างสารหอมระเหยในบรรยากาศ

5.3.1 การสำรวจแมลง

แมลงเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในคลาส Insecta เป็นกลุ่มที่ใหญ่ที่สุดและมีการแพร่กระจายกว้างขวางที่สุด และเป็นกลุ่มที่มีความหลากหลายมากที่สุดในบรรดาสัตว์ทั้งหมด โดยมีมากกว่า 800,000 สปีชีส์ แมลงพบได้ในเกือบทุกสภาพแวดล้อมในโลก แม้แต่ในทะเลยังพบแมลงบางชนิดได้ และในป่าไม้ที่มีพรรณไม้หลากหลายก็เป็นแหล่งอาศัยของแมลงได้มากมายหลายชนิด

แมลงที่ดักมาได้ด้วยแผ่นกาวดักแมลงส่วนใหญ่เป็นแมลงขนาดเล็กพวกยุง แมลงวัน และริ้นไร จัดอยู่ในอันดับ Diptera ซึ่งเป็นกลุ่มของแมลงที่ก่อให้เกิดความรำคาญ โดยปกติยุงตัวเมียมักจะกินเลือดเป็นอาหาร ส่วนตัวผู้มักจะกินน้ำหวาน นอกจากนี้ยังเป็นแมลงที่เป็นพาหะแพร่เชื้อโรคอีกด้วย เช่น ไข้เลือดออก โดยในเดือนตุลาคม 2548 สามารถดักแมลงเหล่านี้ได้มากในตำแหน่งที่ 1, 2, 10 และ 15 และดักได้จำนวนน้อยในตำแหน่งที่ 3, 4, 6, 9 และ 14 ขณะที่ในเดือนมีนาคม 2549 สามารถพบแมลงในอันดับ Diptera ได้มากที่สุด ในตำแหน่งที่ 9 และน้อยที่สุดในตำแหน่งที่ 1 และ 11

Homoptera ได้แก่ จักจั่น และเพลี้ย เป็นแมลงอีกกลุ่มที่มีโทษ โดยจะเป็นแมลงศัตรูพืช มีลักษณะปากเป็นแบบดูดจะดูดกินน้ำเลี้ยงจากพืชได้ โดยในเดือนตุลาคม 2548 สามารถดักแมลงเหล่านี้ได้มากในตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 ขณะที่ในเดือนมีนาคม 2549 สามารถพบได้มากที่สุด ในตำแหน่งที่ 8

Hymenoptera ได้แก่ ผึ้ง ต่อ แตน และมด แมลงเหล่านี้นับได้ว่าเป็นแมลงที่มีประโยชน์ต่อการเกษตร เนื่องจากเป็นศัตรูธรรมชาติของแมลงศัตรูพืชและวัชพืชชนิดต่าง ๆ เช่น แตนเบียนทำลายหนอนกระทู้ผักและกัดกินเพลี้ยอ่อน แตนเบียนทำลายด้วงค้ำ โดยในเดือนตุลาคม 2548 สามารถดักแมลงเหล่านี้ได้น้อยในตำแหน่งที่ 7 และ 14 ขณะที่ในเดือนมีนาคม 2549 สามารถพบได้มากที่สุด ในตำแหน่งที่ 5

Coleoptera ได้แก่ ค้าง ซึ่งเป็นแมลงกลุ่มใหญ่อีกกลุ่มหนึ่ง ซึ่งพบได้ทั่วโลกทั้งในแถบร้อน และ แถบอบอุ่น ความสำคัญของค้างในระบบนิเวศวิทยาเป็นผู้ย่อยสลายได้ดีแก่ซากพืช ในทางการเกษตร เป็นแมลงศัตรูพืช ได้แก่ ค้างหนวดขาว ค้างที่สามารถดักได้ด้วยแผ่นดักแมลงจะเป็นค้างที่มีขนาดเล็ก เท่านั้น โดยในเดือนตุลาคม 2548 สามารถดักแมลงเหล่านี้ได้มากในตำแหน่งที่ 2, 8, 13, 14 และ 15 ขณะที่ในเดือนมีนาคม 2549 สามารถพบได้มากในตำแหน่งที่ 2 และ 9

Hemiptera ได้แก่ มวน ซึ่งดักได้ในเดือนมีนาคม 2548 โดยจะพบมากโดดเด่นเฉพาะในตำแหน่งที่ 3 และไม่พบหรือพบน้อยมากในตำแหน่งอื่นๆ

5.3.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารหอมระเหยกับสิ่งมีชีวิต

ความสัมพันธ์ระหว่างสารหอมระเหยที่พบในบรรยากาศกับจำนวนแมลงแต่ละอันดับมีเพียง 6 คู่ เท่านั้นที่มีความสัมพันธ์กันในรูปแบบเชิงเส้นตรง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยจากการทำนายผล ความสัมพันธ์ที่ได้ พบว่า มีสารเพียงชนิดเดียวที่น่าจะมีฤทธิ์ในทางขับไล่แมลงในอันดับ Coleoptera หรือแมลงจำพวกค้าง คือ *p*-Cymene ส่วนความสัมพันธ์อีก 5 คู่จะเป็นสารที่มีฤทธิ์ดึงดูดแมลง โดย α -Thujene Camphene และ 1, 2, 4-Trimethylbenzene มีแนวโน้มจะเป็นสารดึงดูดแมลงในอันดับ Hymenoptera หรือแมลงพวก ผีเสื้อ ต่อ แตน และมด และ *E*-4-Octene และ Benzaldehyde มีแนวโน้มจะเป็นสารดึงดูดแมลงในอันดับ Homoptera หรือพวกจักจั่น และเพลี้ย ซึ่งจากค่าสัมประสิทธิ์ของ สหสัมพันธ์ (r) ของคู่ความสัมพันธ์ทั้งหมด สารที่น่าจะเป็นสารดึงดูดได้ดีที่สุดคือ 1, 2, 4-Trimethylbenzene ($r = +0.840$, $P = 0.004$) รองลงมาคือ Benzaldehyde ($r = +0.732$, $P = 0.007$) นอกนั้นจะมีความสัมพันธ์ระดับกลาง ($r = 0.5 - 0.7$) เท่านั้น

ผลการศึกษาทำให้เกิดความเข้าใจในปฏิสัมพันธ์ของสารในระบบนิเวศกับแมลงมากขึ้น อีกทั้งยังมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาสารที่ตรวจพบไปเป็นสารที่ใช้ประโยชน์ต่อไปได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

- วันดี กฤษณพันธ์. พฤษเคมีเบื้องต้น. ใน ยาและผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ, หน้า 25-72. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเภสัชวินิจฉัย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2534.
- วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.), สถาบันวิจัย. PROSEA ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ 19 พืชที่ให้น้ำมันหอม. นนทบุรี: สหมิตรพรินติ้ง, 2544.
- Alaves, G. L. and M. R. B. Franco. Headspace gas chromatography-mass spectrometry of volatile compounds in murici (*Byrsonima crassifolia* L. Rich), J. of Chromatogr. A. 985(2003):297-301.
- 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
- Baoyu, H., Z. Zhongning, and F. Yuling. Electrophysiology and behavior feedback of diamondback moth, *Plutella xylostella*, to volatile secondary metabolites emitted by Chinese cabbage, Chinese Science Bulletin. 46(2001):2086-2088.
- Brown, J., and B. Shirey. 2002. A tool for selecting an adsorbent for thermal desorption applications [Online]. USA: Supelco Park. Available from: <http://www.sigma-aldrich.com/supelco-literature> [2005, April 7].
- Cavalli, J.F., Fernandez, X., Cuvelier, L.L. and Loiseau, A.M. Characterization of volatile compounds of French and Spanish virgin olive oils by HS-SPME: Identification of quality-freshness markers. Food Chemistry. 88 (2004): 151-157.
- Cimato, A., Monaco, D.D., Distanto, C., Epifani, M., Siciliano, P., Taurino, A.M., Zuppa, M. and Sani, G. Analysis of single-cultivar extra virgin olive oils by means of an Electronic Nose and HS-SPME/GC/MS methods. Sensors and Actuators B. (2005).

- Dicke, M., and Bruin, J. 2001. Chemical information transfer between plants: back to the future. *Biochemical Systematics and Ecology*. 29:981-994
- Dotterl, S., Fussel, U., Jurgens, A., and Aas, G. 2005. 1,4-Dimethoxybenzene, a floral scent compound in willows that attracts an oligolectic bee. *Journal of Chemical Ecology* 31(12): 2993-2998.
- 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
- Fäldt, J., Arimura, G.I., Gershenzon, J., Takabayashi, J., and Jörg, B. 2003. Functional identification of AtTPS03 as (E)-*b*-ocimene synthase: a monoterpene synthase catalyzing jasmonate- and wound-induced volatile formation in *Arabidopsis thaliana*. *Planta*. 216:745-751
- Geron, C., Rasmussen, R., Arnts, R.R., and Guenther, A. 2000. A review and synthesis of monoterpene speciation from forests in the United States. *Atmospheric Environment* 34: 1761-1781.
- Gershenzon, J., McConkey, M.E., and Croteau, R.B. 2000. Regulation of monoterpene accumulation in leaves of peppermint. *Plant Physiology*. 122:205-213
- Helmig, D., and Arey, J. 1992. Organic chemicals in the air at Whitaker's Forest/ Sierra Nevada Mountains, California. *The Science of the Total Environment* 112: 233-250.
- Hollis, O.L. *Analytical Chemistry* 38(1996): 309-316.
- Holzinger, R., Lee, A., McKay, M., and Goldstein, A.H. 2006. Seasonal variability of monoterpene emission factors for a Ponderosa pine plantation in California. *Atmospheric Chemistry and Physics* 6: 1267-1274.

- Hwang, Y.S., Wu, K.H., Kumamoto, J., Axelrod, H., and Mulla, M.S. 1985. Isolation and identification of mosquito repellents in *Artemisia vulgaris*. Journal of Chemical Ecology 11(9): 1297-1306.
- Jimenez, A., Beltran, G. and Aguiler, M.P. Application of solid-phase microextraction to analysis of volatile compounds in virgin olive oils. J. Chromatogr. A. 1028 (2004): 321-324.
- 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
- Kostal, 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(1): 61-70.
- Langenheim, J.H. 1994. Higher plant terpenoids: A phyto-centric overview of their ecological roles. Journal of Chemical Ecology. 20:1223-1280
- Lee, A., Schade, G.W., Holzinger, R., and Goldstein, A.H. 2005. A comparison of new measurements of total monoterpene flux with improved measurements of speciated monoterpene flux. Atmospheric Chemistry and Physics 5: 505-513.
- Lehotay, S. J., and A. V. Garcia. Evaluation of different solid-phase traps for automated collection and clean-up in the analysis of multiple pesticides in fruits and vegetables after supercritical fluid extraction, J. Chromatogr. A. 765(1997):69-84.
- 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
- Lopez, L.C., Malo, E.A., Toledo, J., Virgen, A., Mazo, A.D., and Rojas, J.C. 2006. A new potential attractant for *Anastrepha obliqua* from *Spondias mombin* fruits. Journal of Chemical Ecology 32(2): 351-365.

- Omolo, O.M., Okinyo, D., Ndiege, I.O., Lwande, W., and Hassanali, A. 2004. Repellency of essential oils of some Kenyan plants against *Anopheles gambiae*. *Phytochemistry* 65: 2797-2802.
- 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
- Padhy, P.K., and Varshney, C.K. 2005. Emission of volatile organic compounds (VOC) from tropical plant species in India. *Chemosphere* 59: 1643-1653.
- Paré, P.W., and Tumlinson, J.H. 1999. Plant volatiles as a defense against insect herbivores. *Plant Physiology*. 121:325-331
- Penton, Z. Optimization of parameters in static headspace GC [Application Note]. Varian Chromatography Systems (GC40:1291).
- Peters, R.J.B., Duivenbode, J.A.D.V.R.V., Duyzer, J.H., and Verhagen, H.L.M. 1994. The determination of terpenes in forest air. *Atmospheric Environment* 28: 2413-2419.
- Pichersky, E., and Gershenzon, J. 2002. The formation and function of plant volatile: perfumes for pollinator attraction and defense. *Current Opinion in Plant Biology*. 5:237-243
- Rinne, J., Haloka, H., Laurila, T., and Rannik, Ü. 2000. Canopy scale monoterpene emissions of *Pinus sylvestris* dominated forests. *Atmospheric Environment* 34: 1099-1107.
- 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
- Steiner, K.E., and Whitehead, V.B. 2002. Oil secretion and the pollination of *Colpias mollis* (Scrophulariaceae). *Plant Systematics and Evolution*. 235:53-66

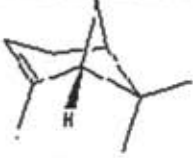
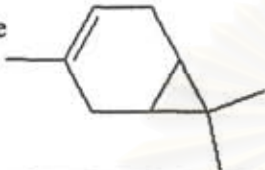
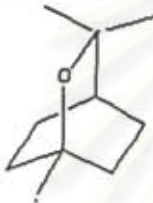
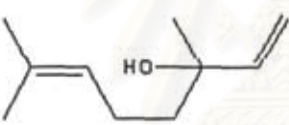
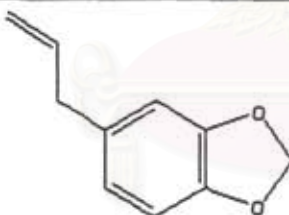
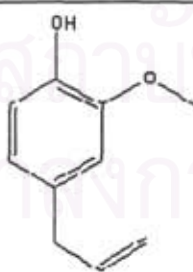
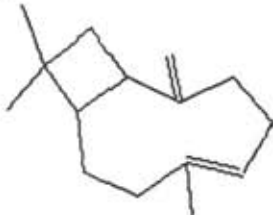
- Tani, A., Nozoe, S., Aoki, M., and Hewitt, C.N. 2002. Monoterpene fluxes measured above a Japanese red pine forest at Oshiba plateau, Japan. *Atmospheric Environment* 36: 3391-3402.
- Tasin, M., Anfora, G., Ioriatti, C., Carlin, S., Cristofaro, A.D., Schmidt, S., Brngtsson, M., Versini, G., and Witzgall, 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
- Visser, J.H. 1986. Host odor perception in phytophagous insects. *Annual Review of Entomology* 31: 121-144.
- Vuorinen, T., Reddy, G.V.P., Nerg, A.M., and Holopainen, J.K. 2004. Monoterpene and herbivore-induced emissions from cabbage plants grown at elevated atmospheric CO₂ concentration. *Atmospheric Environment* 38: 675-682.
- Wilske, B., Cao, K.F., Schebeske, G., Chen, J.W., Wang, A., and Kesselmeier, J. 2007. Isoprenoid emissions of trees in a tropical rainforest in Xishuangbanna, SW China. *Atmospheric Environment* 41: 3748-3757.
- Zobayed, S.M.A., Afreen, F., and Kozai, T. 2005. Temperature stress can alter the photosynthetic efficiency and secondary metabolite concentrations in St. John's wort. *Plant Physiology and Biochemistry*. 43:977-984

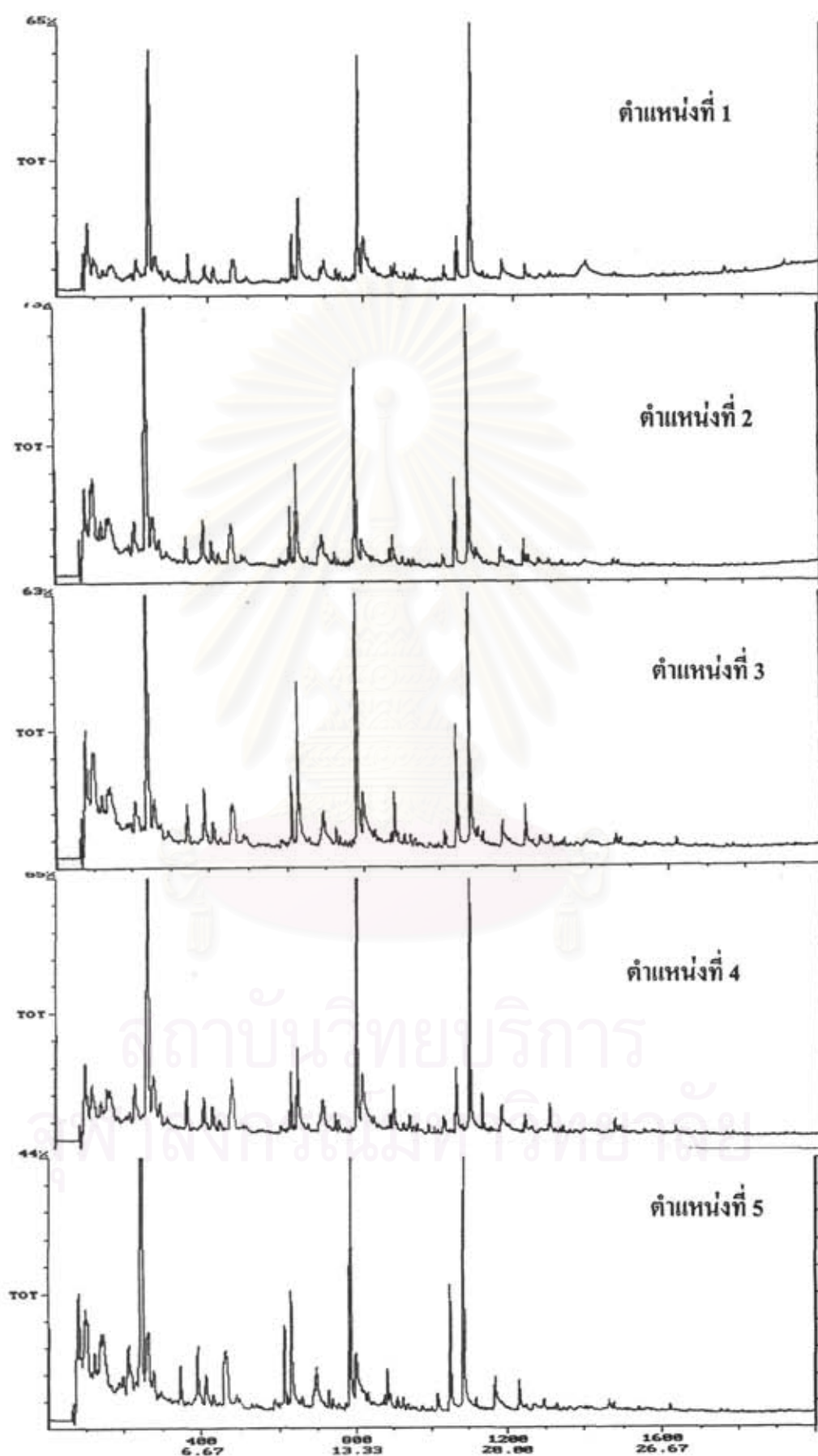


ภาคผนวก

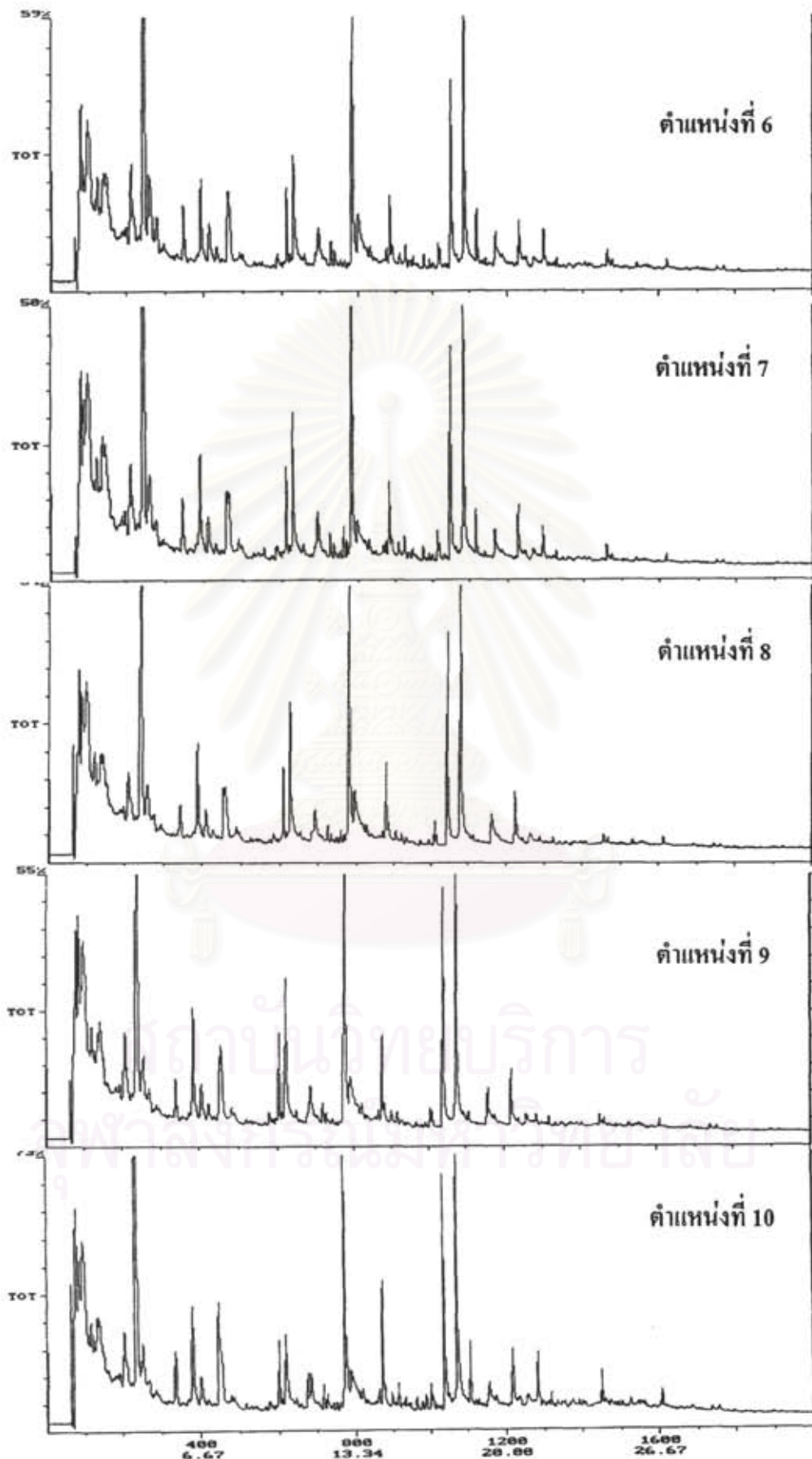
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงสมบัติของน้ำมันหอมระเหยมาตรฐาน 7 ชนิดที่ใช้ในการทดลอง

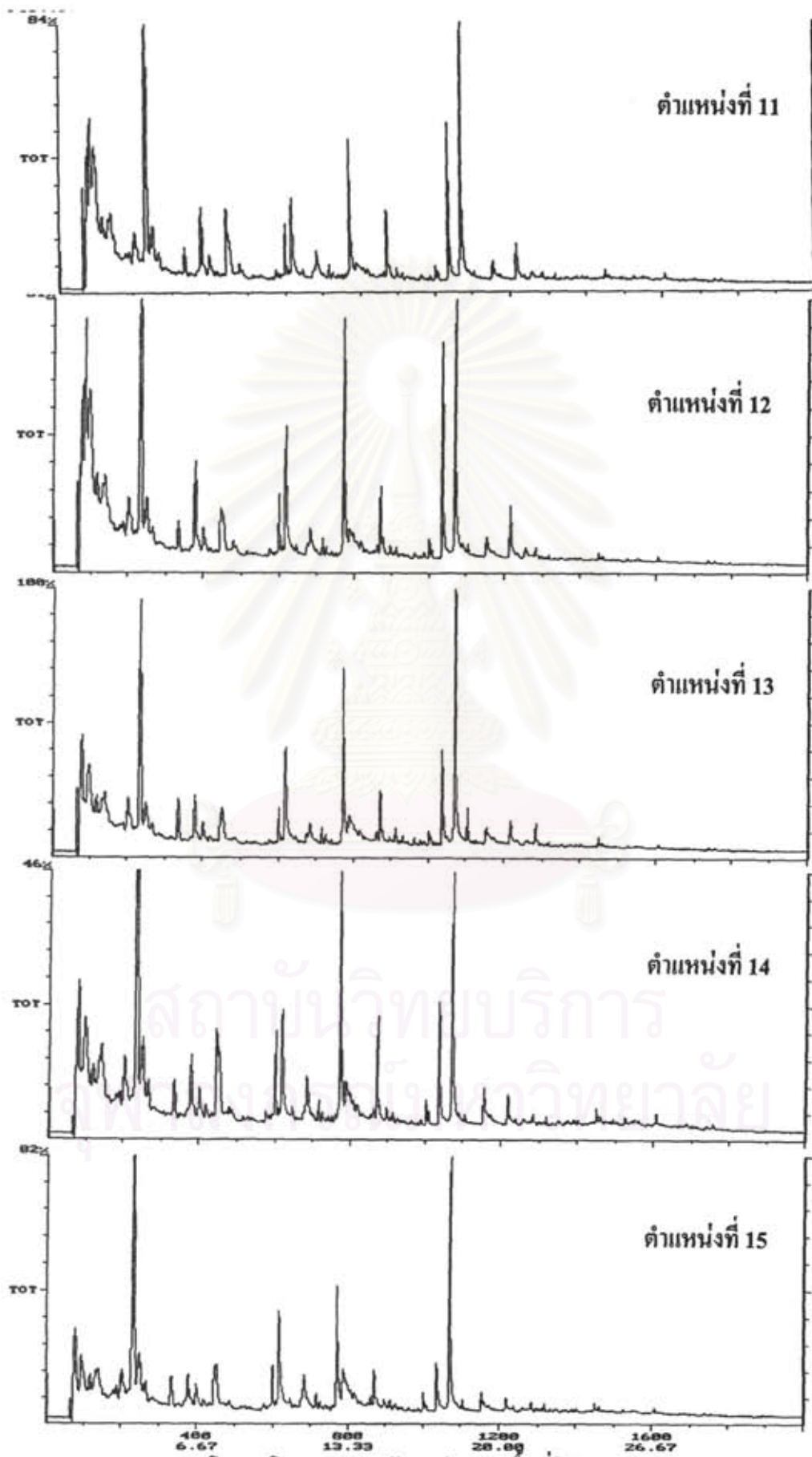
No.	Structure	Formula	M.W.	Boiling Point (°C)
1	<p>α-Pinene</p> 	$C_{10}H_{16}$	136.24	155-156
2	<p>3-Carene</p> 	$C_{10}H_{16}$	136.24	170-172
3	<p>Eucalyptol</p> 	$C_{10}H_{18}O$	154.25	175-179
4	<p>Linalool</p> 	$C_{10}H_{18}O$	154.25	196-198
5	<p>Safrole</p> 	$C_{10}H_{10}O_2$	162.19	235-239
6	<p>Eugenol</p> 	$C_{10}H_{10}O_2$	164.21	253
7	<p>Caryophyllene</p> 	$C_{15}H_{24}$	204.36	262-264



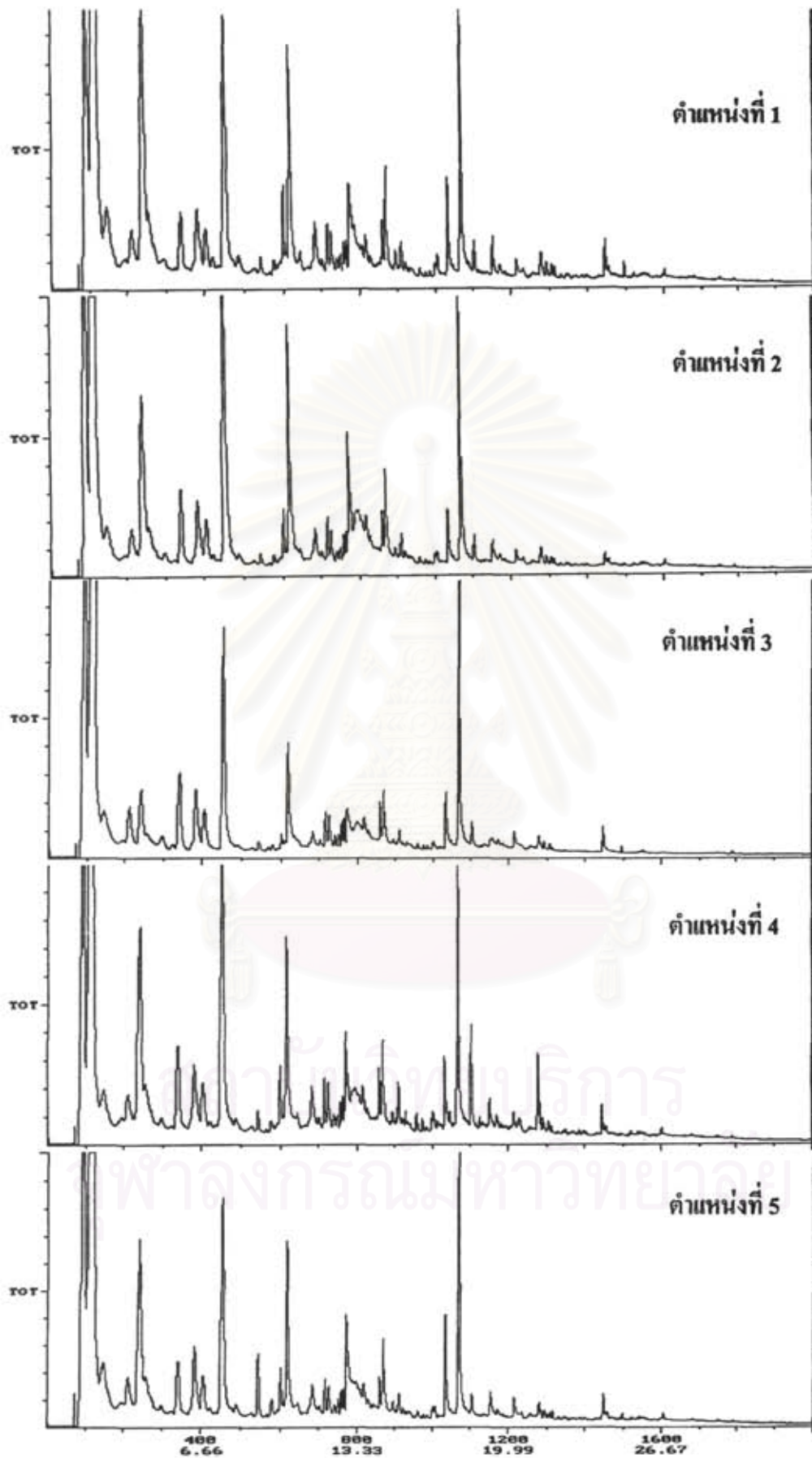
โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย (ต.ค. 48)



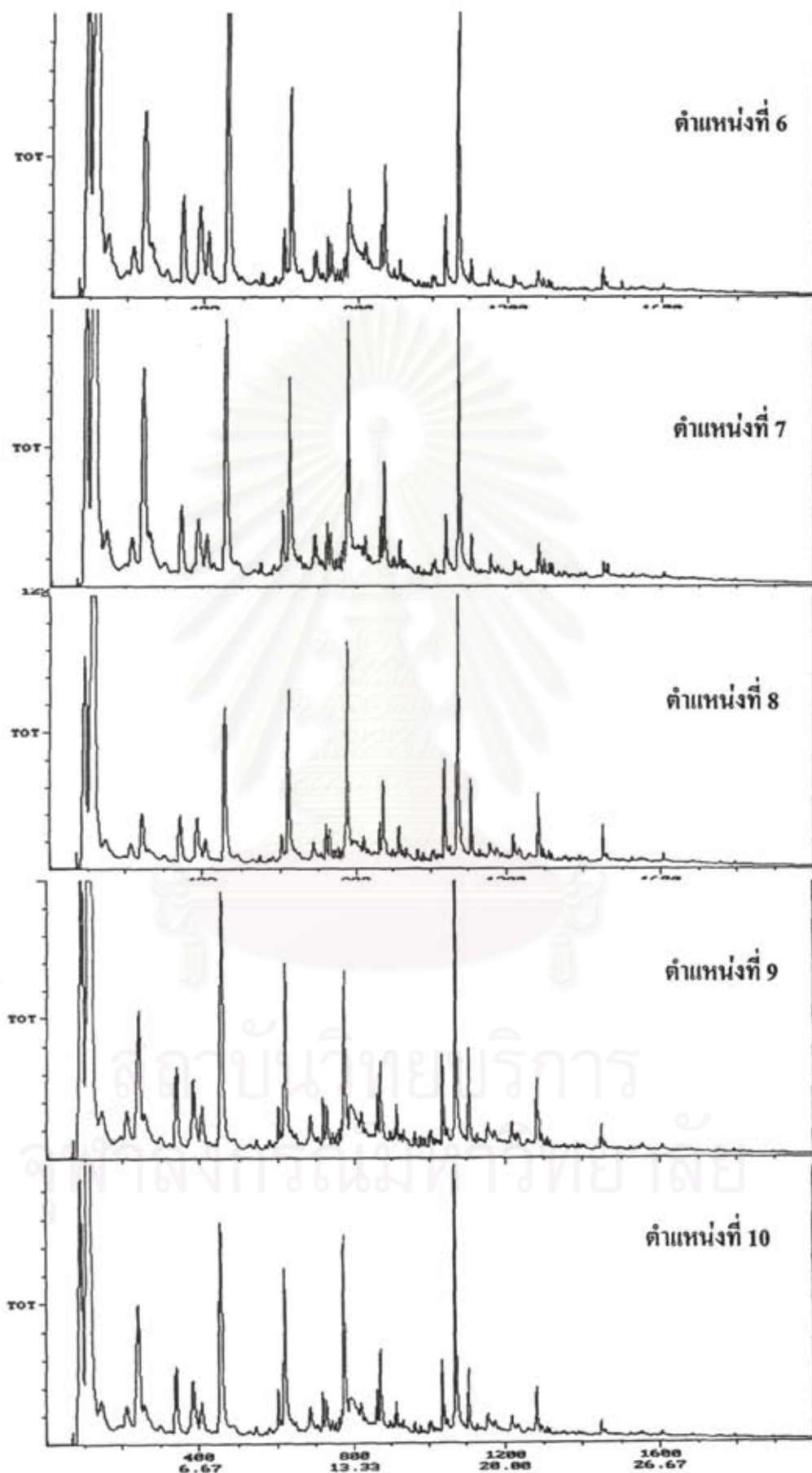
โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย (ต.ค. 48)



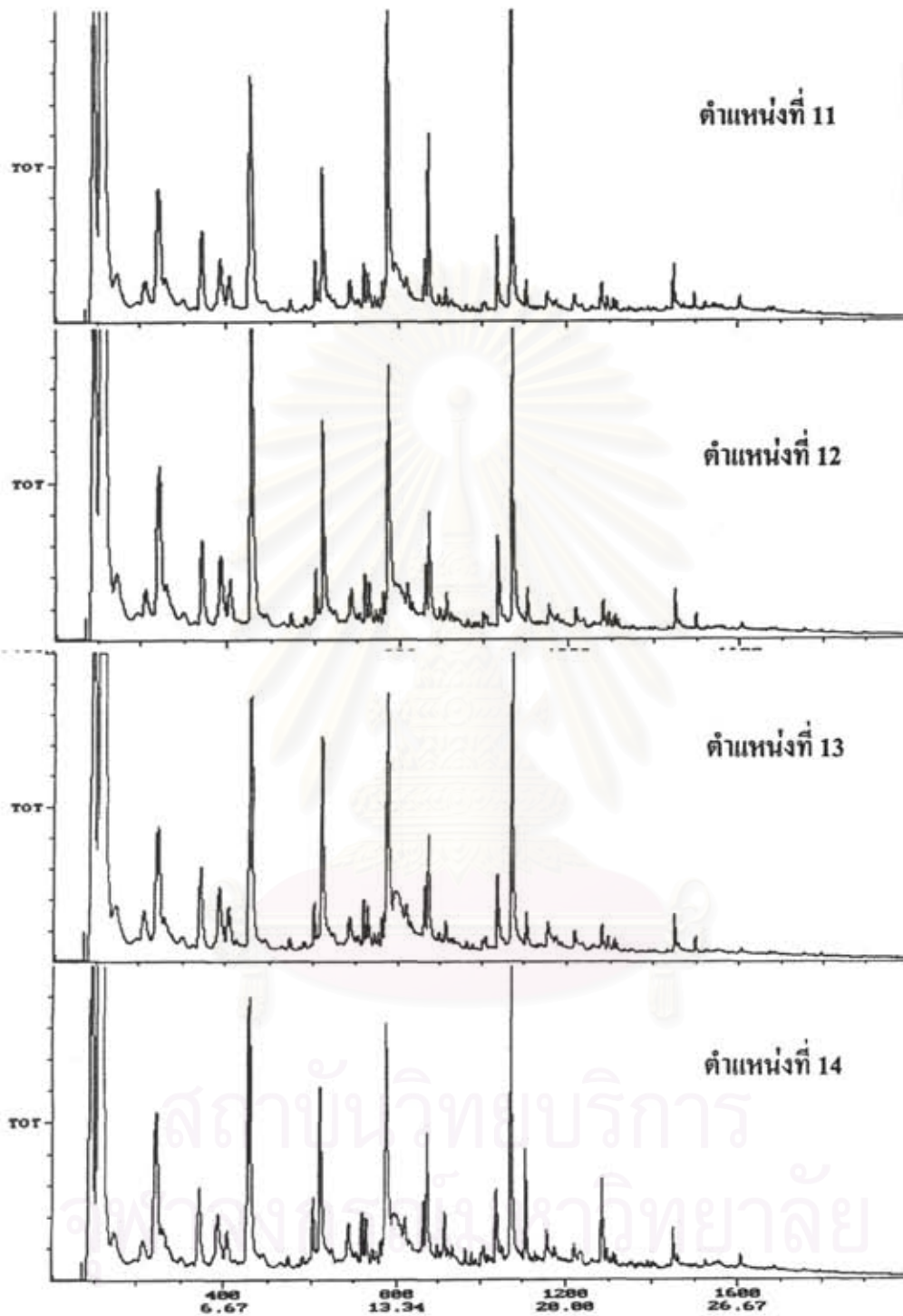
โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย (ต.ก. 48)



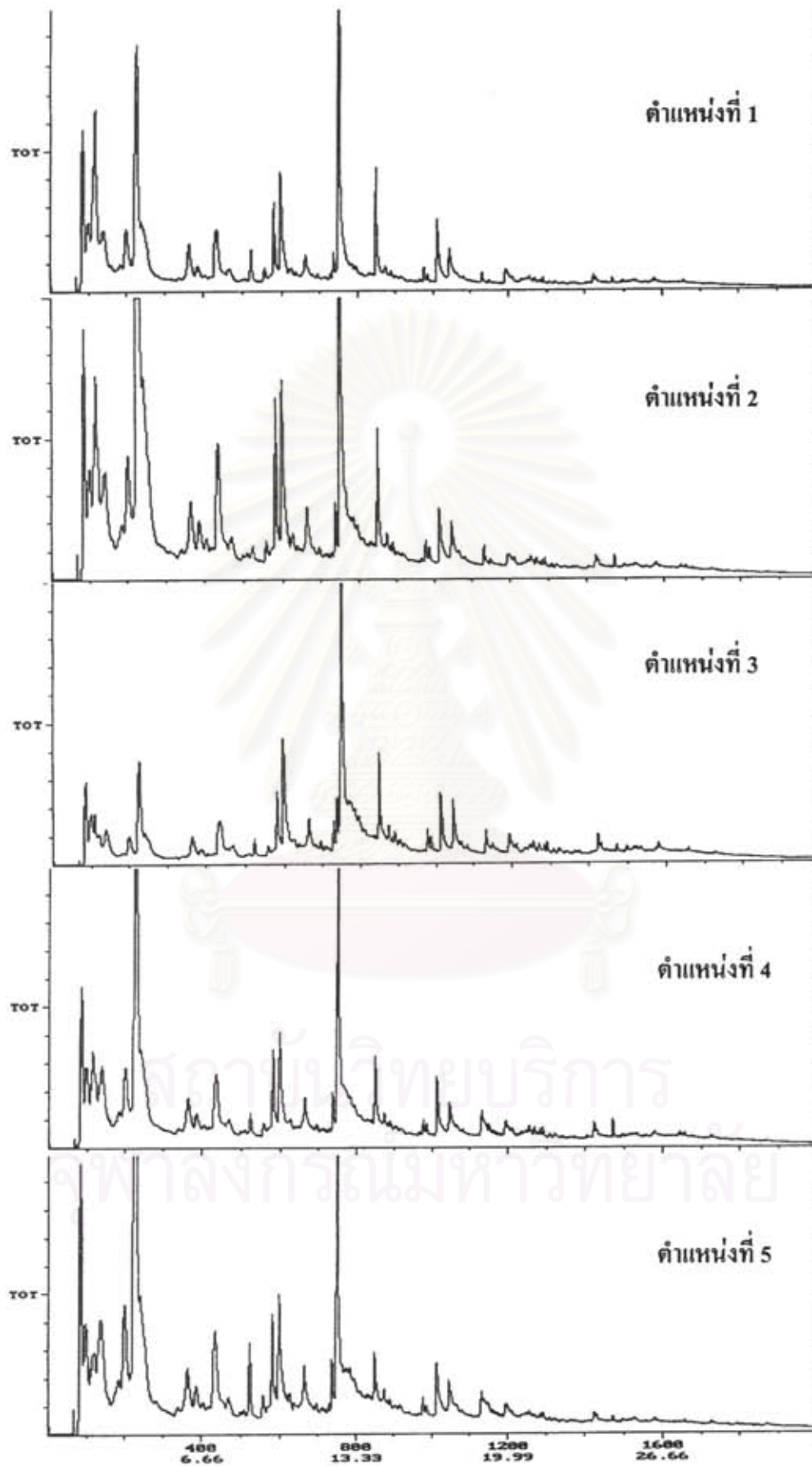
โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย (มี.ค. 49)



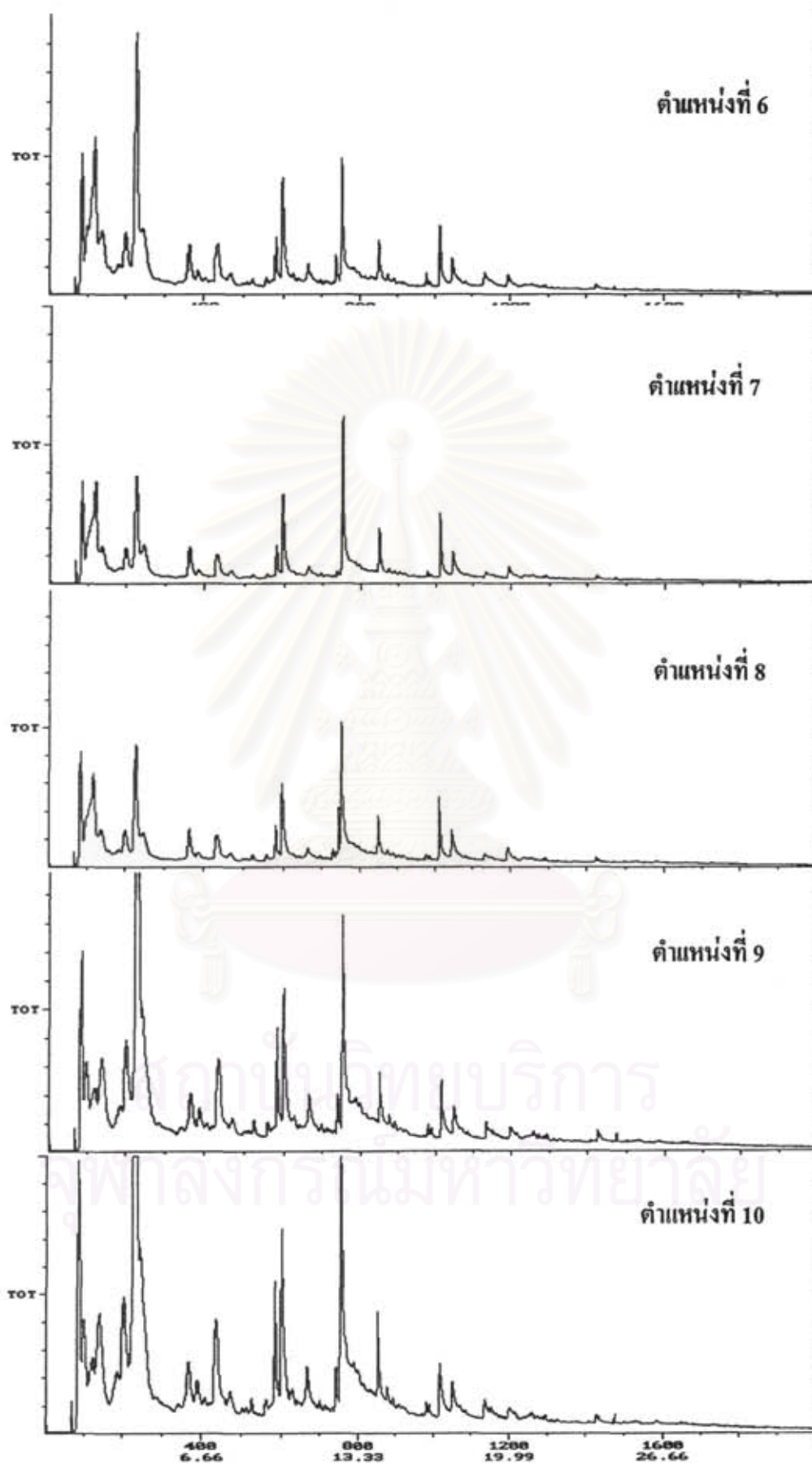
โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย (มี.ค. 49)



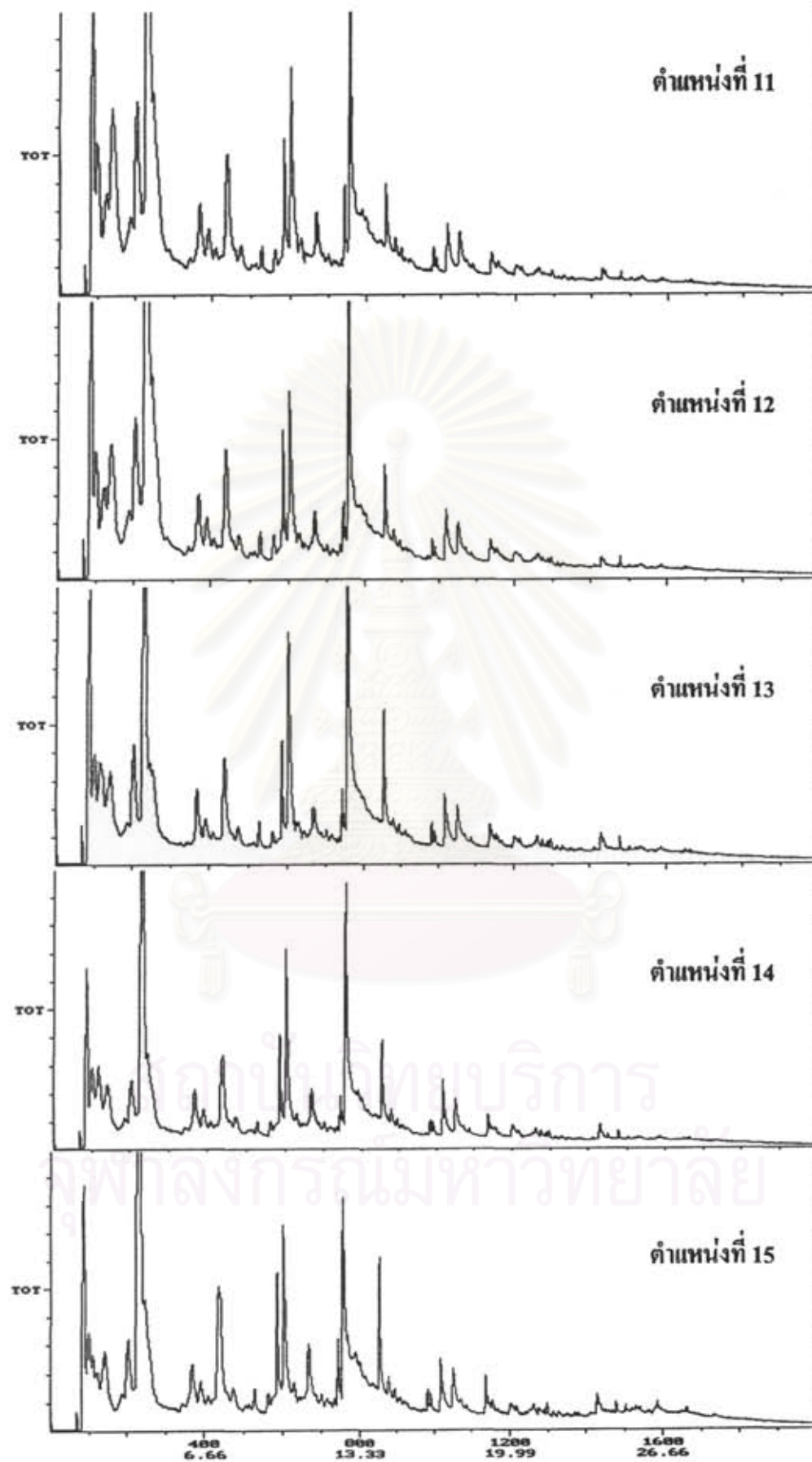
โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย (มี.ค. 49)



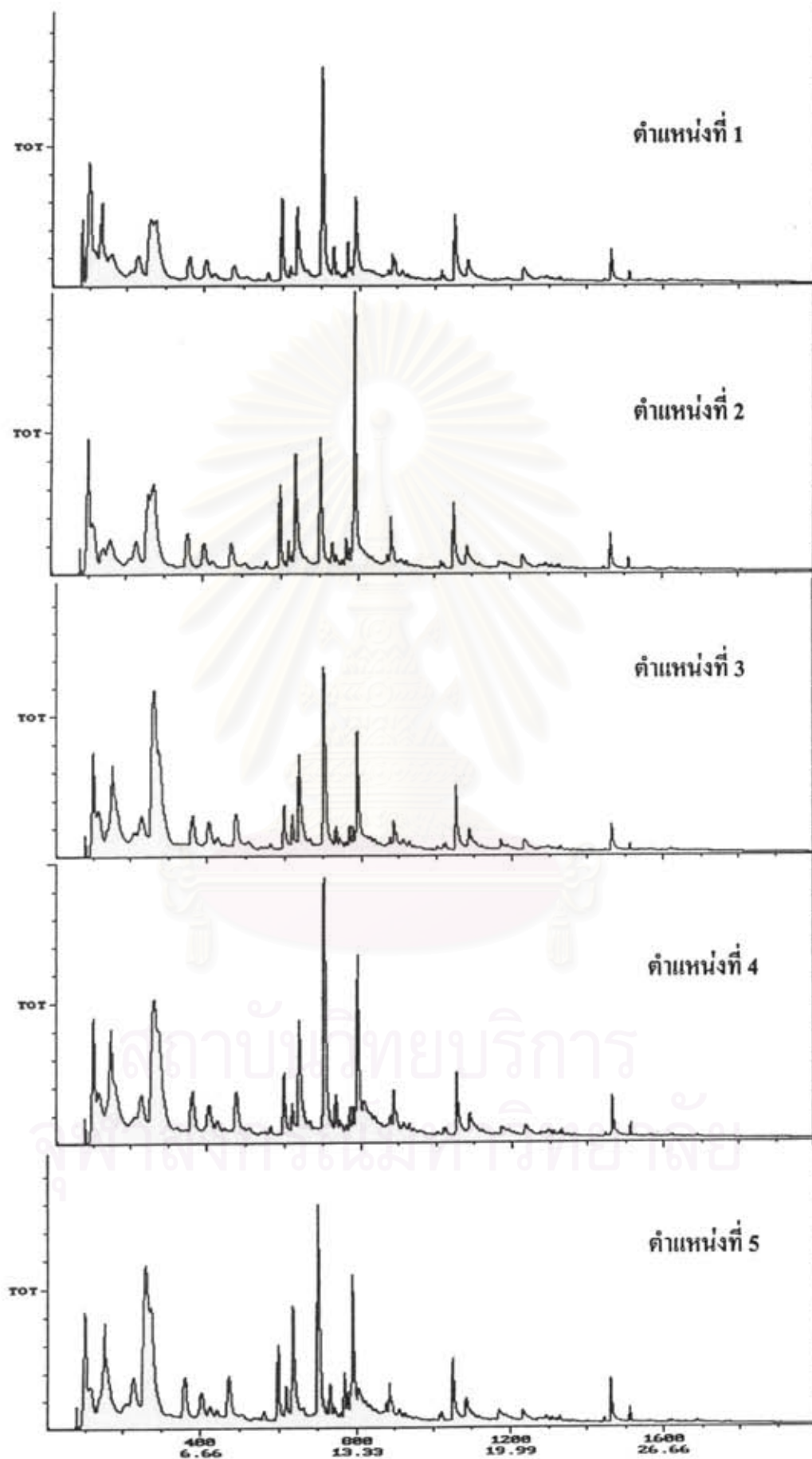
โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย (ก.พ. 50)



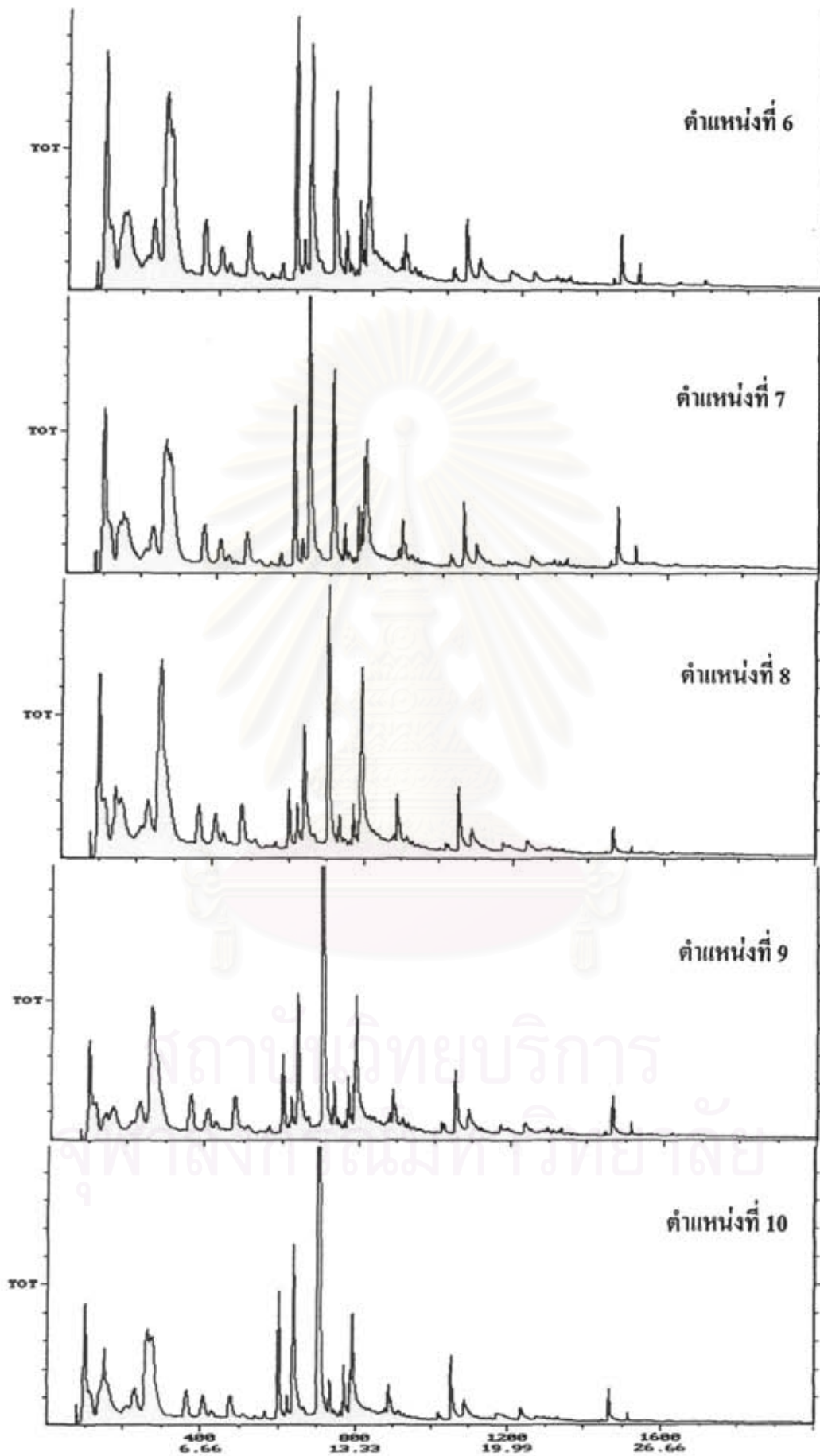
โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย (ก.พ. 50)



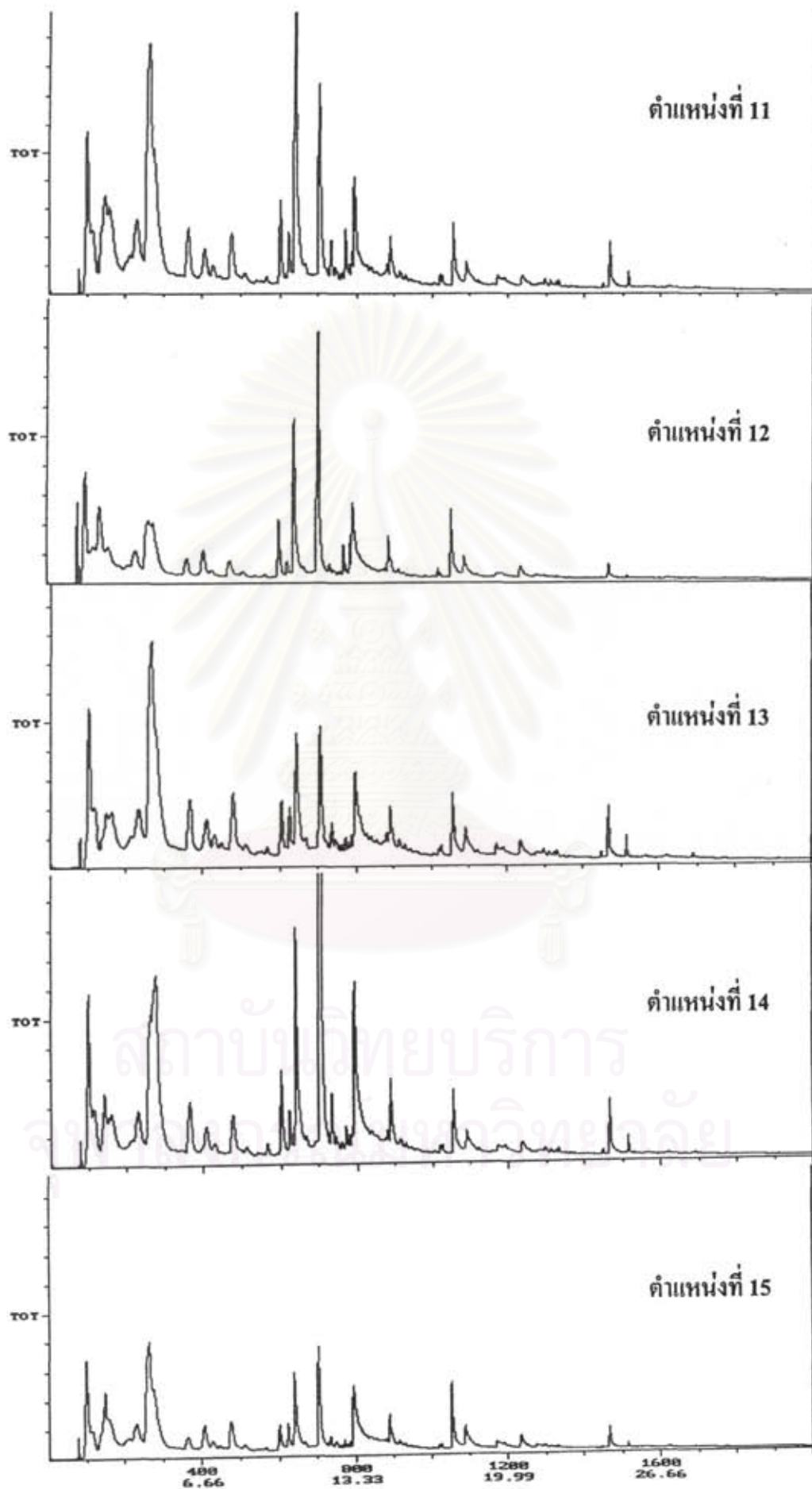
โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย (ก.พ. 50)



โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย (พ.ย. 50)



โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย (พ.ย. 50)



โครมาโตแกรมของตัวดูดซับจากพื้นที่วิจัย (พ.ย. 50)