

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ฐ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเตย	1
1.1.1 เตยหอม	1
1.1.2 การจำแนกชนิดของใบเตยที่ได้ศึกษาในประเทศไทย	3
1.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับขมขนาด (ข่ามะนาว)	5
1.3 สารหอมระเหย (Aroma)	6
1.3.1 การแบ่งชนิดของสารหอมระเหย	7
(1) สารหอมระเหยธรรมชาติ	7
(2) สารหอมระเหยสังเคราะห์	7
(3) สารหอมระเหยเทียม	7
1.3.2 การเกิดสารหอมระเหยในสารอาหาร	7
1.4 น้ำมันหอมระเหย (Volatile oil หรือ Essential oil)	7
1.4.1 การแบ่งชนิดของน้ำมันหอมระเหย	8
1.4.2 การแยกน้ำมันหอมระเหยจากพืช	8
(1) การกลั่น (Distillation)	8
(2) การบีบ (Expression)	8
(3) วิธี Enfleurage	8

	หน้า
(4) การสกัด (Extraction)	9
(5) วิธี Destructive distillation	9
1.5 หลักการเลือกใช้ตัวทำละลาย	9
1.6 ก๊าซโครมาโทกราฟี (Gas chromatography : GC)	13
1.6.1 ประสิทธิภาพของก๊าซโครมาโทกราฟี (Efficiency of gas chromatography)	14
1.6.2 สรุปทอมสำคัญและสูตร ในการคำนวณทางโครมาโทกราฟี	15
1.6.3 เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟ (Gas chromatograph)	17
1.6.4 ก๊าซพา (Carrier gas)	18
1.6.5 ระบบฉีดสารตัวอย่าง (Sample injection system)	19
(1) Split injection	20
(2) Splitless injection	21
1.6.6 คอลัมน์ (Column)	21
(1) ประเภทของคอลัมน์ (Type of column)	21
(2) ของเหลวที่ทำหน้าที่เป็นเฟสคงที่ (Stationary liquid phase)	23
(3) อุณหภูมิของคอลัมน์ (Column temperature)	24
1.6.7 เครื่องตรวจวัด (Detector)	25
1.7 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณโดยวิธีก๊าซโครมาโทกราฟี (Qualitative and quantitative analysis by gas chromatography)	26
1.7.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ	27
1.7.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ	27
1.8 แมสสเปคโตรเมตรี (Mass spectrometry : MS)	29
1.8.1 แมสสเปคโตรมิเตอร์ (Mass spectrometer)	29
(1) ระบบนำสารเข้า (Inlet system)	30
(2) แหล่งกำเนิดไอออน (Ion source)	31
- Electron impact (EI)	31

		หน้า
	- Chemical ionization (CI)	32
	(3) เครื่องวิเคราะห์มวล (Mass analyzer)	32
	- Ion trap analyzer	32
	1.9 ทบทวนเอกสารและวัตถุประสงค์ของการวิจัย	34
บทที่ 2	การทดลอง	43
	2.1 เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	43
	2.1.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์	43
	2.1.2 สารเคมี	44
	2.2 วัสดุที่ใช้	45
	2.3 การสังเคราะห์สารหอม 2-acetyl-1-pyrroline	45
	2.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานภายใน 2,4,6-trimethylpyridine (TMP) เข้มข้น 0.5 ppm ในตัวทำละลายต่างๆ	47
	2.5 การสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากใบเตยสดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์และการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด	48
	2.5.1 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวทำละลายอินทรีย์	48
	2.5.2 การศึกษาช่วงเวลาที่ใช้ในการสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากใบเตยสดด้วยตัวทำละลาย chloroform	48
	2.5.3 การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของใบเตยสดในการสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ด้วยตัวทำละลาย chloroform	50
	2.6 การสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากใบเตยสดโดยวิธีการสกัดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 M	50
	2.7 การสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากดอกขมขนาดสดด้วยตัวทำละลาย chloroform	52
	2.8 การวิเคราะห์หาปริมาณสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากใบเตยและดอกขมขนาดโดยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย chloroform	52

	หน้า	
บทที่ 3	2.9 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพของสารสกัดจากดอกขมนาด	54
	ผลการทดลอง	55
	3.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์สารหอม 2-acetyl-1-pyrroline	55
	3.2 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ที่สังเคราะห์ได้	60
	3.3 การคำนวณหาปริมาณสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ในตัวทำละลาย benzene 33 mL ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์	60
	3.4 การสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากใบเคยสดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์และการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด	61
	3.4.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวทำละลายอินทรีย์	61
	3.4.2 ผลการศึกษาช่วงเวลาที่ใช้ในการสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากใบเคยสดด้วยตัวทำละลาย chloroform	65
	3.4.3 ผลการศึกษาปริมาณของตัวอย่างใบเคยที่ใช้ในการสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ด้วยตัวทำละลาย chloroform ที่เวลา 30 นาที	72
	3.5 การสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากใบเคยสดโดยวิธีการสกัดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 M	81
	3.6 การสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากดอกขมนาดสดด้วยตัวทำละลาย chloroform	84
	3.7 การวิเคราะห์หาปริมาณสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากใบเคยและดอกขมนาดที่สกัดด้วยตัวทำละลาย chloroform	86
	3.7.1 การคำนวณหาปริมาณสารมาตรฐานภายใน 2,4,6-trimethylpyridine	87
	3.7.2 การคำนวณหาปริมาณสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากตัวอย่างพืช	89

	หน้า
	92
บทที่ 4	111
3.8 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพของสารสกัดจากดอกขมขนาด	92
สรุป วิจารณ์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	111
4.1 สรุปผลการทดลอง	111
4.2 วิจารณ์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	112
เอกสารอ้างอิง	114
ภาคผนวก	119
ประวัติผู้เขียน	120

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 การจำแนกชนิดของไบเตย	3
1.2 สรุปรูปเทอมสำคัญทางโครมาโทกราฟี	16
1.3 สรุปลักษณะในการคำนวณหาค่าเทอมต่างๆ ทางโครมาโทกราฟี	16
1.4 เปรียบเทียบลักษณะและสมบัติบางประการของคอลัมน์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี	22
2.1 การเตรียมสารละลายผสมมาตรฐาน	53
3.1 ผลของตัวทำละลายที่มีต่อการสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline	64
3.2 ผลของเวลาที่มีต่อการสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากไบเตยสดประมาณ 10 กรัม	70
3.3 ผลของอัตราส่วนพื้นที่ได้พีคสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ต่อสารมาตรฐานภายใน 2,4,6-trimethylpyridine กับสารสกัดไบเตยสดที่ปริมาณต่างๆ ด้วยตัวทำละลาย chloroform ที่เวลา 30 นาที	79
3.4 ผลการสกัดไบเตยสดประมาณ 10 กรัมด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 M ที่เวลา 30 นาที	83
3.5 ผลการสกัดดอกชมนาดสดประมาณ 10 กรัมด้วยตัวทำละลาย chloroform ที่เวลา 30 นาที	85
3.6 เปรียบเทียบผลการสกัดไบเตยสดประมาณ 10 กรัมด้วยตัวทำละลาย chloroform กับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 M และสกัดดอกชมนาดสดประมาณ 10 กรัมด้วยตัวทำละลาย chloroform ที่เวลา 30 นาที	86
3.7 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนพื้นที่ได้พีคกับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารมาตรฐาน 2-acetyl-1-pyrroline กับสารมาตรฐานภายใน 2,4,6-trimethylpyridine	87
3.8 ผลของเวลาต่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักและความเข้มข้น (ppm) ที่ได้จากการคำนวณของสารสกัดไบเตยสดประมาณ 10 กรัม ด้วยตัวทำละลาย chloroform	90

ตาราง	หน้า
3.9 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักและความเข้มข้น (ppm) ที่ได้จากการคำนวณของสารสกัดดอกชมนาดสดประมาณ 10 กรัม ด้วยตัวทำละลาย chloroform ที่เวลา 30 นาที	91
3.10 เปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ย (ppm) ของการสกัดใบเตยและดอกชมนาดประมาณ 10 กรัม ด้วยตัวทำละลาย chloroform ที่เวลา 30 นาที	91
3.11 ข้อมูลทางแมสสเปกตรัมขององค์ประกอบในสารสกัดจากดอกชมนาด	94
3.12 สรุพอองค์ประกอบในสารสกัดจากดอกชมนาด	107

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1.1 ตัวอย่างสารที่มี active hydrogen แต่ไม่มี donor atom	10
1.2 ตัวอย่างสารที่มี donor atom แต่ไม่มี active hydrogen	10
1.3 ตัวอย่างสารที่มีทั้ง donor atom และ active hydrogen	11
1.4 แผนภาพแสดงการเกิด H-bonding	11
1.5 แสดงโครงสร้างของสาร β -amyrene, β -amyrin และ oleanolic acid	12
1.6 แสดงองค์ประกอบของเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี	17
1.7 แสดง Van Deemter plot	19
1.8 แสดงลักษณะของระบบฉีดสารแบบ split injection	20
1.9 แสดงลักษณะของระบบฉีดสารแบบ splitless injection	21
1.10 โครงสร้างของ DB-1 stationary liquid phase, 100 % dimethyl polysiloxane	23
1.11 ผลของอุณหภูมิต่อโครมาโทแกรมที่ได้ (a), (b) คือ โครมาโทแกรมที่วิเคราะห์แบบ isothermal temperature และ (c) คือ โครมาโทแกรมที่วิเคราะห์แบบ temperature programming ด้วยอัตรา 5 °C ต่อนาที	24
1.12 ลักษณะของเครื่องตรวจวัดแบบ flame ionization detector (FID)	26
1.13 แสดงองค์ประกอบของเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์	29
1.14 แสดงองค์ประกอบของส่วนแยกโมเลกุล (molecular separator หรือ jet separator)	30
1.15 แสดงลักษณะของ ion trap detector (ITD)	33
1.16 ภาคตัดขวางของ ion trap detector (ITD)	33
1.17 โครงสร้างสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline	34
1.18 โครงสร้างสาร (\pm)-pandamarine	38
1.19 โครงสร้างสาร pandamarilactone-1, pandamarilactone-32 และ pandamarilactone-31	39

รูป	หน้า	
2.1	แผนผังแสดงการสังเคราะห์สารหอม 2-acetyl-1-pyrroline	46
2.2	แผนผังแสดงการสกัดตัวอย่างพืชด้วยตัวทำละลายอินทรีย์	49
2.3	แผนผังแสดงการสกัดใบเตยสดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 M	51
3.1	โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี	56
3.2	โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานภายใน 2,4,6-trimethylpyridine วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี	57
3.3	แมสสเปคตรัมของสารมาตรฐานสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline	58
3.4	แมสสเปคตรัมของสารมาตรฐานภายใน 2,4,6-trimethylpyridine	59
3.5	โครมาโทแกรมของสารสกัดจากใบเตยสดด้วยตัวทำละลาย chloroform วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี	62
3.6	โครมาโทแกรมของสารสกัดจากใบเตยสดด้วยตัวทำละลาย dichloromethane วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี	63
3.7	โครมาโทแกรมของสารสกัดจากใบเตยสดด้วยตัวทำละลาย chloroform ที่เวลา 15 นาที วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี	66
3.8	โครมาโทแกรมของสารสกัดจากใบเตยสดด้วยตัวทำละลาย chloroform ที่เวลา 30 นาที วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี	67
3.9	โครมาโทแกรมของสารสกัดจากใบเตยสดด้วยตัวทำละลาย chloroform ที่เวลา 45 นาที วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี	68
3.10	โครมาโทแกรมของสารสกัดจากใบเตยสดด้วยตัวทำละลาย chloroform ที่เวลา 60 นาที วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี	69
3.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ใต้พีคของ 2AP/TMP และช่วงเวลา (นาที) ที่ใช้ในการสกัด	71
3.12	โครมาโทแกรมของสารสกัดจากใบเตยสดประมาณ 3 กรัม ด้วยตัวทำละลาย chloroform ที่เวลา 30 นาที วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี	73
3.13	โครมาโทแกรมของสารสกัดจากใบเตยสดประมาณ 5 กรัม ด้วยตัวทำละลาย chloroform ที่เวลา 30 นาที วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี	74

รูป	หน้า
3.14 โครมาโทแกรมของสารสกัดจากใบเตยสดประมาณ 7 กรัม ด้วยตัวทำละลาย chloroform ที่เวลา 30 นาที วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี	75
3.15 โครมาโทแกรมของสารสกัดจากใบเตยสดประมาณ 10 กรัม ด้วยตัวทำละลาย chloroform ที่เวลา 30 นาที วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี	76
3.16 โครมาโทแกรมของสารสกัดจากใบเตยสดประมาณ 13 กรัม ด้วยตัวทำละลาย chloroform ที่เวลา 30 นาที วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี	77
3.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ที่ได้พีคสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ต่อสารมาตรฐานภายใน 2,4,6-trimethylpyridine กับปริมาณใบเตย (กรัม) ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย chloroform ที่เวลา 30 นาที	80
3.18 โครมาโทแกรมของสารสกัดจากใบเตยสดประมาณ 10 กรัม ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 M ที่เวลา 30 นาที วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี	82
3.19 โครมาโทแกรมของสารสกัดจากดอกชมนาคสดประมาณ 10 กรัม ด้วยตัวทำละลาย chloroform ที่เวลา 30 นาที วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี	84
3.20 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ที่ได้พีคกับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารมาตรฐาน 2-acetyl-1-pyrroline กับสารมาตรฐานภายใน 2,4,6-trimethylpyridine	88
3.21 โครมาโทแกรมของสารสกัดจากดอกชมนาคที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี/แมสสเปคโตรเมตรี	93

อักษรย่อและสัญลักษณ์

2AP	=	2-acetyl-1-pyrroline
°C	=	องศาเซลเซียส
CI	=	chemical ionization
EI	=	electron impact
eV	=	อิเล็กตรอนโวลต์
FID	=	flame ionization detector
GC	=	ก๊าซโครมาโทกราฟี (gas chromatography)
GC/MS	=	ก๊าซโครมาโทกราฟี/แมสสเปคโตรเมตรี (gas chromatography/mass spectrometry)
GLC	=	ก๊าซ-ของเหลวโครมาโทกราฟี (gas-liquid chromatography)
GSC	=	ก๊าซ-ของแข็งโครมาโทกราฟี (gas-solid chromatography)
ITD	=	ion trap detector
Kcal/mol	=	กิโลแคลอรีต่อโมล
kg	=	กิโลกรัม
M	=	โมลต่อลิตร
m	=	เมตร
mg/mL	=	มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
mL	=	มิลลิลิตร
mm	=	มิลลิเมตร
m/z	=	มวลต่อประจุ (mass-to-charge ratio)
ng	=	นาโนกรัม
nM	=	นาโนโมลาร์
μL	=	ไมโครลิตร
ppb	=	ส่วนในพันล้านส่วน (part per billion)
ppm	=	ส่วนในล้านส่วน (part per million)
% RSD	=	% relative standard deviation
TMP	=	2,4,6-trimethylpyridine