

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	๗
สารบัญภาพ	ค
อักษรย่อและสัญลักษณ์	น
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว	2
1.1.1 การจำแนกชนิดของข้าว	3
1.1.2 ข้าวหอม	5
1.2 แก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography : GC)	7
1.2.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ (gas chromatograph)	7
1.3 ของเหลวโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง	12
(high performance liquid chromatography : HPLC)	
1.3.1 เครื่องของเหลวโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง	12
(high performance liquid chromatograph)	
1.4 แมสสเป็คโตรเมตรี (mass spectrometry : MS)	16
1.4.1 หลักการและทฤษฎีของ แมสสเป็คโตรเมตรี	16
1.4.2 แมสสเป็คโตรมิเตอร์ (mass spectrometer)	17
1.5 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพขององค์ประกอบในสารสกัดจากเมล็ดข้าวโดยใช้	
เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเป็คโตรเมตรีและวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยใช้	
เทคนิคฟลูออโรอิมเมจชันอิเล็กโตรสเปรย์ไอออนไนเซชันแมสสเป็คโตรเมตรี	22

1.5.1	การวิเคราะห์เชิงคุณภาพขององค์ประกอบในสารสกัดจากเมล็ดข้าว โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี	22
1.5.2	การวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยใช้เทคนิคฟลูออโรเมตริกอิเล็กโตรสเปรย์ ไอออนในเซชันแมสสเปกโตรเมตรี	23
1.6	การควบรวมโครมาโทกราฟีและแมสสเปกโตรเมตรี (chromatography-mass spectrometry coupling)	26
1.6.1	การควบรวมแก๊สโครมาโทกราฟีและแมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatography-mass spectrometry coupling)	26
1.6.2	การควบรวมลิควิดโครมาโทกราฟีและแมสสเปกโตรเมตรี (liquid chromatography-mass spectrometry coupling)	27
1.6.3	ปัจจัยที่ทำให้เกิดไอออนโดยอิเล็กโตรสเปรย์	33
1.7	ฟลูออโรเมตริกอิเล็กโตรสเปรย์ไอออนในเซชันแมสสเปกโตรเมตรี (flow injection-electrospray ionisation-mass Spectrometry : FI-ESI-MS)	36
1.8	ทบทวนเอกสารและวัตถุประสงค์ในงานวิจัย	38
1.8.1	การศึกษาปริมาณสารหอมในเมล็ดข้าว	38
1.8.2	วัตถุประสงค์ในงานวิจัย	44
บทที่ 2	การทดลอง	45
ตอนที่ 1	การตรวจวัดปริมาณสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ในเมล็ดข้าว โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีกับรีเอเจนต์ 2-aminobenzaldehyde	45
2.1	เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวัตถุดิบที่ใช้	45
2.1.1	เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์	45
2.1.2	สารเคมี	46
2.1.3	วัตถุดิบที่ใช้	47
2.2	การสังเคราะห์สารมาตรฐาน 2-acetyl-1-pyrroline	47
2.2.1	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารมาตรฐาน 2-acetyl-1-pyrroline	47
2.3	การวิเคราะห์ผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารมาตรฐาน 2-acetyl-1-pyrroline โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี	50

2.4	การสังเคราะห์ 2-aminobenzaldehyde	51
2.5	การวิเคราะห์ผลผลิตจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ 2-aminobenzaldehyde	53
2.6	ปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde วิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวีวิซิบิลสเปกโตรโฟโตเมตรี	53
2.6.1	การเตรียมสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline 250 ppm ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.10 โมลต่อลิตร	53
2.6.2	การเตรียม 2-aminobenzaldehyde 2500 ppm ในสารละลายกรด ไฮโดรคลอริก 0.10 โมลต่อลิตร	53
2.6.3	ปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde	54
2.6.4	ปฏิกิริยาระหว่างสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ในสารสกัดจาก เมล็ดข้าว และ 2-aminobenzaldehyde	54
2.7	การหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde	55
2.7.1	การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่ใช้เป็นตัวทำละลาย	55
2.7.2	การศึกษาระยะเวลาของการดำเนินไปของปฏิกิริยา	55
2.7.3	การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde	56
2.8	การพิสูจน์โครงสร้างของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde	56
2.9	การศึกษาผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แฟรกเมนเตอร์ต่อรูปแบบการเกิด เป็นไอออนของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1- pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde	59
2.10	การหาสภาวะที่เหมาะสมต่อปริมาณการเกิดเป็นไอออนโดยอิเล็กโตรสเปรย์ ของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde โดยใช้เทคนิคฟลูออโรเจนเนชันอิเล็กโตรสเปรย์ไอออนไนเซชัน แมสสเปกโตรเมตรี	60

2.10.1	การศึกษาผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แฟรกเมนเตอร์	60
2.10.2	การศึกษาผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คาปิลลารี	61
2.10.3	การศึกษาผลของอัตราการไหลของแก๊สอบแห้ง	61
2.10.4	การศึกษาผลของความดันที่เนบิวไลเซอร์	61
2.10.5	การศึกษาผลของอุณหภูมิของแก๊สอบแห้ง	62
2.11	การวิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ในสารสกัดจาก เมล็ดข้าวโดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยากับ 2-aminobenzaldehyde ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 โมลต่อลิตร	62
2.11.1	การทำกราฟมาตรฐาน	63
ตอนที่ 2	การตรวจวัดปริมาณสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ในเมล็ดข้าว โดยใช้เทคนิคโฟลอินเจกชันอิเล็กโตรสเปย์ไอออนไนเซชัน แมสสเป็คโตรเมตรี	66
2.12	เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวัตถุดิบที่ใช้	66
2.12.1	เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์	66
2.12.2	สารเคมี	67
2.12.3	วัตถุดิบที่ใช้	68
2.13	การวิเคราะห์เชิงคุณภาพขององค์ประกอบของสารสกัดจากเมล็ดข้าว โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเป็คโตรเมตรี	69
2.13.1	การสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากเมล็ดข้าวด้วยสารละลาย กรดไฮโดรคลอริก 0.10 โมลต่อลิตร และวิเคราะห์องค์ประกอบ ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเป็คโตรเมตรีที่มี แหล่งกำเนิดไอออนแบบ electron impact ionisation	69
2.13.2	การสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากเมล็ดข้าวด้วยสารละลาย กรดไฮโดรคลอริก 0.10 โมลต่อลิตร และวิเคราะห์องค์ประกอบ ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเป็คโตรเมตรีที่มีแหล่งกำเนิด ไอออนแบบ chemical ionisation	72
2.14	การศึกษาผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แฟรกเมนเตอร์ต่อรูปแบบการเกิดเป็น ไอออนของสารตั้งเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline	73

2.15	การหาสภาวะที่เหมาะสมต่อปริมาณการเกิดเป็นไอออนโดยอิเล็กโตรสเปรย์ของ สารมาตรฐาน 2-acetyl-1-pyrroline โดยใช้เทคนิคโฟลอินเจกชันอิเล็กโตรสเปรย์ ไอออนในเซนเซอร์แมสสเปกโตรเมตรี	75
2.15.1	การศึกษาผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แฟรกเมนเตอร์	75
2.15.2	การศึกษาผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คาปิลลารี	76
2.15.3	การศึกษาผลของอัตราการไหลของแก๊สอบแห้ง	76
2.15.4	การศึกษาผลของความดันที่เนบิวไลเซอร์	76
2.15.5	การศึกษาผลของอุณหภูมิของแก๊สอบแห้ง	77
2.16	การวิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ในสารสกัดจาก เมล็ดข้าวที่สกัดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 โมลต่อลิตร	77
2.16.1	การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของสารมาตรฐานภายใน 2,4,6-trimethylpyridine โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี- แมสสเปกโตรเมตรี	78
2.16.2	การทำกราฟมาตรฐาน	78
2.16.3	การหาปริมาณสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ในสารสกัดจาก เมล็ดข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่สกัดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.10 โมลต่อลิตร	81
บทที่ 3	ผลการทดลอง	84
ตอนที่ 1	การตรวจวัดปริมาณสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ในเมล็ดข้าว โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ 2-aminobenzaldehyde	84
3.1	ผลการสังเคราะห์สารมาตรฐาน 2-acetyl-1-pyrroline	84
3.2	ผลการวิเคราะห์ผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารมาตรฐาน 2-acetyl-1- pyrroline โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี	85
3.3	ผลการสังเคราะห์ 2-aminobenzaldehyde	89
3.4	ผลการวิเคราะห์ผลผลิตจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ 2-aminobenzaldehyde	89
3.5	ผลการวิเคราะห์ผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde โดยใช้เทคนิคยูวีวิชันเบสเปกโตรโฟโตเมตรี	92

3.6	ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline กับ 2-aminobenzaldehyde	95
3.6.1	ผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้เป็นตัวทำละลาย	95
3.6.2	ผลของระยะเวลาของการดำเนินไปของปฏิกิริยา	96
3.6.2	ผลของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline กับ 2-aminobenzaldehyde	97
3.7	ผลการพิสูจน์โครงสร้างของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde	103
3.8	ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แฟรกเมนเตอร์ต่อรูปแบบการเกิดเป็นไอออนของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde	107
3.9	ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมต่อปริมาณการเกิดเป็นไอออนโดยอิเล็กโตรสเปรย์ของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde โดยใช้เทคนิคฟลูออเรสเซนซ์อิเล็กโตรสเปรย์ไอออนในเซชันแมสสเป็คโตรเมตรี	110
3.9.1	ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แฟรกเมนเตอร์	110
3.9.2	ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คาปิลลารี	110
3.9.3	ผลของอัตราการใช้ของแก๊สของแก๊ส	114
3.9.4	ผลของความดันที่เนบิวไลเซอร์	115
3.9.5	ผลของอุณหภูมิของแก๊สของแก๊ส	117
3.10	ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ในสารสกัดจากเมล็ดข้าวโดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยากับ 2-aminobenzaldehyde ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 โมลต่อลิตร	119
3.10.1	การทำกราฟมาตรฐาน	119

ตอนที่ 2	การตรวจวัดปริมาณสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ในเมล็ดข้าวโดย	
	ใช้เทคนิคฟอลอินเจกชันอิเล็กโตรสเปรย์ไอออนในเซชันแมสสเป็คโตรเมตรี	122
3.11	ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพขององค์ประกอบของสารสกัดจากเมล็ดข้าว	
	โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเป็คโตรเมตรี	122
3.11.1	ผลการสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ	
	105 (ก.พ.ส.) ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.10 โมลต่อลิตร และ	
	วิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเป็คโตรเมตรี	
	ที่มีแหล่งกำเนิดไอออนแบบ electron impact ionisation	123
3.11.2	ผลการสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ	
	105 (ก.พ.ส.) ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.10 โมลต่อลิตร และ	
	วิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเป็คโตรเมตรี	
	ที่มีแหล่งกำเนิดไอออนแบบ chemical ionisation	161
3.12	ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แฟรกเมนเตอร์ต่อรูปแบบการเกิดเป็นไอออน	
	ของสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline โดยใช้เทคนิคฟอลอินเจกชัน	
	อิเล็กโตรสเปรย์ไอออนในเซชันแมสสเป็คโตรเมตรี	185
3.13	ผลการหาสถานะที่เหมาะสมต่อปริมาณการเกิดเป็นไอออนโดย	
	อิเล็กโตรสเปรย์ของสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline โดยใช้เทคนิค	
	ฟอลอินเจกชันอิเล็กโตรสเปรย์ไอออนในเซชันแมสสเป็คโตรเมตรี	188
3.13.1	ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แฟรกเมนเตอร์	188
3.13.2	ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คาบิลลารี	188
3.13.3	ผลของอัตราการไหลของแก๊สสอบแห้ง	192
3.13.4	ผลของความดันที่เนบิวไลเซอร์	193
3.13.5	ผลของอุณหภูมิของแก๊สสอบแห้ง	193
3.14	ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ในสารสกัดจาก	
	เมล็ดข้าวที่สกัดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 โมลต่อลิตร	196
3.14.1	ผลการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของสารมาตรฐานภายใน	
	2,4,6-trimethylpyridine โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-	
	แมสสเป็คโตรเมตรี	196

3.14.2 ผลการทำกราฟมาตรฐาน	197
3.14.3 ผลการหาปริมาณสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ในสารสกัดจาก เมล็ดข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่สกัดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.10 โมลต่อลิตร	200
บทที่ 4 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	205
เอกสารอ้างอิง	209
ภาคผนวก	218
ประวัติผู้เขียน	225

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ต่อการเกิดผลผลิตที่มีสี	95
3.2 ค่าการดูดกลืนแสงของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde ที่เวลาทุก 6 ชม. ของการดำเนินไปของปฏิกิริยา	96
3.3 ค่าการดูดกลืนแสงของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	98
3.4 ค่าการดูดกลืนแสงของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	99
3.5 ค่าการดูดกลืนแสงของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	100
3.6 ค่าการดูดกลืนแสงของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	101
3.7 พื้นที่ใต้พีคของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เฟรกเมนเตอร์ต่างๆ	112
3.8 พื้นที่ใต้พีคของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คาปิลลารีต่างๆ	113
3.9 พื้นที่ใต้พีคของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde ที่อัตราการไหลของแก๊สของห้องต่างๆ	114
3.10 พื้นที่ใต้พีคของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde ที่ความดันที่เนบิวไลเซอร์ต่างๆ	116
3.11 พื้นที่ใต้พีคของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde ที่อุณหภูมิของแก๊สของห้องต่างๆ	117

ตาราง	หน้า
3.12 พื้นที่ได้ฟิคของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde และสารมาตรฐานภายใน 2-acetylpyrrole ที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน 2-acetyl-1-pyrroline	120
3.13 อัตราส่วนพื้นที่ได้ฟิคของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde ต่อสารมาตรฐานภายใน 2-acetylpyrrole ที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน 2-acetyl-1-pyrroline	121
3.14 ข้อมูลแมสสเปกตรัมขององค์ประกอบในสารสกัดจากเมล็ดข้าว วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรีที่มีแหล่งกำเนิดไอออนเป็นแบบ electron impact ionisation	128
3.15 สรุปลองค์ประกอบของสารสกัดจากเมล็ดข้าว	156
3.16 ข้อมูลแมสสเปกตรัมขององค์ประกอบในสารสกัดจากเมล็ดข้าว วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรีที่มีแหล่งกำเนิดไอออนเป็นแบบ chemical ionisation	166
3.17 พื้นที่ได้ฟิคของสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แฟรกเมนเตอร์ต่างๆ	190
3.18 พื้นที่ได้ฟิคของสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คาปิลลารีต่างๆ	191
3.19 พื้นที่ได้ฟิคของสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline ที่อัตราการไหลของแก๊สสอบแห้งต่างๆ	192
3.20 พื้นที่ได้ฟิคของสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline ที่ความดันที่เนบิวไลเซอร์ต่างๆ	
3.21 พื้นที่ได้ฟิคของสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline ที่อุณหภูมิของแก๊สสอบแห้งต่างๆ	195
3.22 พื้นที่ได้ฟิคของสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และสารมาตรฐานมาตรฐานภายใน 2,4,6-trimethylpyridine ที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน 2-acetyl-1-pyrroline	198
3.23 อัตราส่วนพื้นที่ได้ฟิคของสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline ต่อสารมาตรฐานภายใน 2,4,6-trimethylpyridine ที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน 2-acetyl-1-pyrroline	199

ตาราง	หน้า
3.24 พื้นที่ได้ฟลักของไอออนที่ m/z เท่ากับ 112 และพื้นที่ได้ฟลักของ TMP ในสารสกัดจากเมล็ดข้าวพันธุ์ต่างๆ	201
3.25 พื้นที่ได้ฟลักและอัตราส่วนพื้นที่ได้ฟลักของ 2-AP ต่อ TMP ในสารสกัดจากเมล็ดข้าวพันธุ์ต่างๆ	202
3.26 ความเข้มข้นของสารหอม 2-AP ในตัวอย่างเมล็ดข้าวพันธุ์ต่างๆ	204

สารบัญภาพ

รูป		หน้า
1.1	องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	8
1.2	ลักษณะของตรวจวัดแบบเฟลมไอออนไนเซชัน	11
1.3	ส่วนประกอบของเครื่อง HPLC	13
1.4	แผนภาพแสดงองค์ประกอบของเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์	17
1.5	Quadrupole analyzer	21
1.6	แผนภาพแสดงขอบเขตมวลโมเลกุลของสารที่สามารถวิเคราะห์โดยตัวกลาง (interface) สำหรับ LC-MS ชนิดต่างๆ	28
1.7	Electrospray aerosol plume	30
1.8	กระบวนการเกิดไอออนในสถานะแก๊สของสารตัวอย่าง	30
1.9	องค์ประกอบของ orthogonal electrospray system	31
1.10	กระบวนการเกิด charged droplets	32
1.11	สารหอม 2-acetyl-1-pyrroline	39
2.1	แผนผังแสดงขั้นตอนการสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline	48
2.2	การจัดตั้งอุปกรณ์ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน	49
2.3	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ 2-aminobenzaldehyde	51
2.4	แผนภาพการสังเคราะห์ 2-aminobenzaldehyde	52
2.5	กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde	57
2.6	แผนภาพการสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากเมล็ดข้าวโดยวิธีการสกัดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 โมลต่อลิตร วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค GC-MS	72

รูป		หน้า
2.7	แผนภาพการสกัดสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จากเมล็ดข้าว โดยวิธีการสกัดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.10 โมลต่อลิตร วิเคราะห์ด้วยเทคนิคโฟลอินเจกชันอิเล็กโตรสเปรย์ไอออนในเซชันแมสสเป็คโตรเมตรี	82
3.1	Total ion chromatogram ของสารตั้งต้น 2-acetylpyrrole วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเป็คโตรเมตรี	86
3.2	แมสสเป็คตรัมของสารตั้งต้น 2-acetylpyrrole	86
3.3	Total ion chromatogram ของสาร 2-(1-hydroxyethyl) pyrrolidine วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเป็คโตรเมตรี	87
3.4	แมสสเป็คตรัมของสาร 2-(1-hydroxyethyl) pyrrolidine	87
3.5	Total ion chromatogram ของสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเป็คโตรเมตรี	88
3.6	แมสสเป็คตรัมของสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline	88
3.7	Total ion chromatogram ของสารตั้งต้น 2-nitrobenzaldehyde วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเป็คโตรเมตรี	90
3.8	แมสสเป็คตรัมของสารตั้งต้น 2-nitrobenzaldehyde	90
3.9	Total ion chromatogram ของสารสังเคราะห์ 2-aminobenzaldehyde วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเป็คโตรเมตรี	91
3.10	แมสสเป็คตรัมของสารตั้งต้น 2-aminobenzaldehyde	91
3.11	ยูวีวิชิเบิลสเป็คตรัมของ 2-aminobenzaldehyde สารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde	93
3.12	ยูวีวิชิเบิลสเป็คตรัมของ 2-aminobenzaldehyde สารสกัดข้าว และผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างสารสกัดจากเมล็ดข้าว และ 2-aminobenzaldehyde	94
3.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของการดำเนินไปของปฏิกิริยา และค่าการดูดกลืนแสงของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde	97

รูป	หน้า
3.14	ผลของอุณหภูมิต่อการเกิดผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2- acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde ที่เวลาต่างๆ 102
3.15	(A) Total ion chromatogram ของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2- acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde (B) แมสโครมาโทแกรมของไอออน ที่ m/z เท่ากับ 112 สำหรับ 2-acetyl-1-pyrroline (C) แมสโครมาโทแกรมของไอออน ที่ m/z เท่ากับ 122 สำหรับ 2-aminobenzaldehyde (D) แมสโครมาโทแกรมของไอออน ที่ m/z เท่ากับ 215 สำหรับผลผลิต วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคลิควิดโครมาโทกราฟี อิเล็กโตรสเปรย์ไอออนในเซชันแมสสเป็คโตรเมตรี 104
3.16	(A) แมสสเป็คตรัมของ 2-acetyl-1-pyrroline (น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 111) (B) แมสสเป็คตรัมของ 2-aminobenzaldehyde (น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 121) และ (C) แมสสเป็คตรัมของผลผลิต วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคฟลอรินเจกชันอิเล็กโตรสเปรย์ ไอออนในเซชันแมสสเป็คโตรเมตรี 105
3.17	แมสสเป็คตรัมของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2- acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde เมื่อเปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แฟรกเมนเตอร์ 108
3.18	โครมาโทแกรมของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2- acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคฟลอรินเจกชันอิเล็กโตรสเปรย์ ไอออนในเซชัน เมื่อเปลี่ยนค่า (A) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แฟรกเมนเตอร์ (B) ความต่างศักย์ ไฟฟ้าที่คาปิลลารี (C) อัตราการไหลของแก๊สอบแห้ง (D) ความดันที่เนบิวไลเซอร์ และ (E) อุณหภูมิของแก๊สอบแห้ง 111
3.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แฟรกเมนเตอร์ และพื้นที่ ได้พีคของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde 112
3.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คาปิลลารี และพื้นที่ได้พีค ของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde 113

รูป		หน้า
3.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของแก๊สอบแห้ง และพื้นที่ได้พืชของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde	115
3.22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่เนบิวไลเซอร์ และพื้นที่ได้พืชของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde	116
3.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของแก๊สอบแห้ง และพื้นที่ได้พืชของผลผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และ 2-aminobenzaldehyde	118
3.24	กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐาน 2-acetyl-1-pyrroline และอัตราส่วนพื้นที่ได้พืชเฉลี่ยของผลผลิตต่อสารมาตรฐานภายใน 2-acetylpyrrole	121
3.25	โครมาโทแกรมของสารสกัดจากเมล็ดข้าว วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค GC-EI-MS	124
3.26	ภาพขยายของโครมาโทแกรมของสารสกัดจากเมล็ดข้าว วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค GC-EI-MS	125
3.27	โครมาโทแกรมของสารสกัดจากเมล็ดข้าว วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค GC-CI-MS	162
3.28	ภาพขยายของโครมาโทแกรมของสารสกัดจากเมล็ดข้าว วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค GC-CI-MS	163
3.29	แมสสเปกตรัมของสารมาตรฐาน 2-acetyl-1-pyrroline ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แฟร็กเมนต์ต่างๆ	186
3.30	แมสโครมาโทแกรมของสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline เมื่อเปลี่ยน (A) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แฟร็กเมนต์ (B) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คาบิลารี (C) อัตราการไหลของแก๊สอบแห้ง (D) ความดันที่เนบิวไลเซอร์ และ (E) อุณหภูมิของแก๊สอบแห้ง	189
3.31	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้พืชของสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แฟร็กเมนต์	190

รูป	หน้า
3.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคของสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คาบิลลารี	191
3.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคของสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และอัตราการไหลของแก๊สสอบแห้ง	193
3.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคของสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และความดันที่เนบิวไลเซอร์	194
3.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคของสารสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline และอุณหภูมิของแก๊สสอบแห้ง	195
3.36 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานภายใน 2,4,6-trimethylpyridine วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี	196
3.37 แมสสเปกตรัมของสารมาตรฐานภายใน 2,4,6-trimethylpyridine วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี	197
3.38 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐาน 2-acetyl-1-pyrroline และอัตราส่วนพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐาน 2-acetyl-1-pyrroline ต่อสารมาตรฐานภายใน 2,4,6-trimethylpyridine	199

อักษรย่อและสัญลักษณ์

2-AP	=	2-acetyl-1-pyrroline
TMP	=	2,4,6-trimethylpyridine
°C	=	องศาเซลเซียส
CI	=	chemical ionisation
EI	=	electron impact ionisation
eV	=	อิเล็กตรอนโวลต์
GC	=	แก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography)
HPLC	=	โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography)
MS	=	แมสสเป็คโตรเมตรี (mass spectrometry)
GC-MS	=	แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเป็คโตรเมตรี (gas chromatography-mass spectrometry)
LC-MS	=	ลิกวิดโครมาโทกราฟี-แมสสเป็คโตรเมตรี (liquid chromatography-mass spectrometry)
ESI	=	อิเล็กโตรสเปรย์ไอออไนเซชัน (electrospray ionisation)
FI-ESI-MS	=	ฟลูอิดอินเจกชันอิเล็กโตรสเปรย์ไอออไนเซชัน แมสสเป็คโตรเมตรี (flow injection- electrospray ionisation-mass spectrometry)
m/z	=	มวลต่อประจุ (mass-to-charge ratio)
ppm	=	ส่วนในล้านส่วน (part per million)
M	=	โมลต่อลิตร