

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป.....	ญ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 สมมติฐานงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
<b>2 ปรีทศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
2.1 สารกำจัดศัตรูพืช (Pesticide).....	4
2.2 สารคาร์บาเมท (Carbamate).....	6
2.3 เมโทมิล (Methomyl).....	7
2.3.1 คุณสมบัติที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายของเมโทมิล .....	8
2.3.2 พฤติกรรมของเมโทมิลในดิน .....	8
2.3.3 พฤติกรรมของเมโทมิลในน้ำ.....	8
2.3.4 ความเป็นพิษของเมโทมิล .....	9
2.3.5 ค่ามาตรฐานการปนเปื้อนของเมโทมิล .....	9
2.4 การดูดซับ (Adsorption).....	9
2.4.1 ประเภทของการดูดซับ .....	10
2.4.2 สมการไอโซเทิร์มของการดูดซับ (Adsorption Isotherm Equations)...	12
2.4.3 จลนพลศาสตร์การดูดซับ (Adsorption Kinetics).....	15
2.5 ไบโอชาร์ (Biochar) .....	16
2.5.1 คุณสมบัติของไบโอชาร์.....	16
2.5.2 กลไกการดูดซับสารปนเปื้อนของไบโอชาร์.....	17

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.3	การใช้ไบโอชาร์ในด้านสิ่งแวดล้อม .....	20
2.6	กระบวนการสังเคราะห์ไบโอชาร์ .....	21
2.6.1	ไพโรไลซิสแบบช้า (Slow Pyrolysis).....	22
2.6.2	ไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) .....	22
2.6.3	ผลกระทบของอุณหภูมิไพโรไลซิสต่อคุณสมบัติของไบโอชาร์ .....	23
2.7	เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของไบโอชาร์ (Biochar Yield %).....	23
2.8	คุณสมบัติของเหง้ามันสำปะหลัง .....	24
2.9	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
2.9.1	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไบโอชาร์จากชีวมวล .....	24
2.9.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับสารปราบศัตรูพืชด้วยไบโอชาร์.....	27
<b>3</b>	<b>การศึกษาดำเนินงาน.....</b>	<b>29</b>
3.1	สารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์.....	29
3.1.1	สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	29
3.1.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย .....	30
3.2	การสังเคราะห์ไบโอชาร์จากเหง้ามันสำปะหลัง .....	30
3.2.1	การเตรียมวัสดุชีวมวลจากเหง้ามันสำปะหลัง .....	30
3.2.2	การสังเคราะห์ไบโอชาร์จากเหง้ามันสำปะหลัง.....	31
3.2.3	การดัดแปลงไบโอชาร์ด้วยโซเดียมซิติลเกต.....	32
3.2.4	การดัดแปลงไบโอชาร์ด้วยกรดฟอสฟอริก.....	32
3.3	การบำบัดสารเมไธมิล.....	33
3.3.1	การเตรียมสารละลายเมไธมิล .....	33
3.3.2	การศึกษาปัจจัยในการบำบัดสารเมไธมิล .....	34
3.4	การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารเมไธมิล .....	39
<b>4</b>	<b>ผลการทดลองและอภิปรายผล.....</b>	<b>40</b>
4.1	ผลการศึกษาคูณลักษณะสมบัติของไบโอชาร์.....	40
4.1.1	ลักษณะทางกายของไบโอชาร์จากเหง้ามันสำปะหลัง .....	40
4.1.2	เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของไบโอชาร์ (Biochar Yield %) .....	42
4.1.3	เทคนิควิเคราะห์ธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ (CHNS)....	43
4.1.4	เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR) .....	45
4.1.5	เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	50

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.6	เทคนิคการถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์สามมิติระดับจุลภาคด้วยเอกซเรย์ ย่านพลังงานสูงจากแหล่งกำเนิดแสงซินโครตรอน (XTM).....	52
4.1.7	เทคนิควิเคราะห์หาพื้นที่และความพรุนของอนุภาค (BET).....	53
4.1.8	เทคนิคการวิเคราะห์ค่าประจุพื้นผิวเป็นศูนย์ ( $pH_{pzc}$ ).....	54
4.2	ผลการศึกษาผลการบำบัดเมไธมิล .....	57
4.2.1	ผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการดูดซับ .....	57
4.2.2	ผลของค่าความเร็วรอบต่อประสิทธิภาพการดูดซับ .....	58
4.2.3	ผลของค่าความเป็นกรดต่างต่อประสิทธิภาพการดูดซับ .....	61
4.2.4	ผลของน้ำหนักรวบรวมต่อประสิทธิภาพการดูดซับ .....	62
4.2.5	ผลการศึกษาไอโซเทิร์มของการดูดซับสำหรับการดูดซับสารเมไธมิล ของไบโอชาร์ .....	63
4.2.6	ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์สำหรับการดูดซับสารเมไธมิลของไบโอชาร์.....	66
4.2.7	กลไกการดูดซับสารเมไธมิลของไบโอชาร์.....	68
5	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	71
5.1	สรุปผลการวิจัย .....	71
5.1.1	สรุปคุณสมบัติของไบโอชาร์จากเหง้ามันสำปะหลัง .....	71
5.1.2	สรุปผลการศึกษาผลการบำบัดเมไธมิล.....	72
5.1.3	ไอโซเทิร์มและจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ .....	72
5.2	ข้อเสนอแนะ .....	73
	รายการอ้างอิง .....	74
	ภาคผนวก	
	ก การดูดซับสารเมไธมิลของไบโอชาร์.....	80
	ข รูปประกอบการสังเคราะห์ไบโอชาร์จากเหง้ามันสำปะหลัง .....	84
	ค บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา .....	87
	ประวัติผู้เขียน .....	96

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ปริมาณการนำเข้าวัตถุดิบทรายทางการเกษตรของประเทศไทยปี 2562-2566 .....	5
2.2	สารกำจัดศัตรูพืชและความเป็นพิษที่ต้องเฝ้าระวัง 12 ชนิด .....	5
2.3	อาการและความรุนแรงของการเกิดพิษของสารกลุ่มคาร์บาเมท .....	6
2.4	คุณลักษณะของสารเมโทมิล (Methomyl).....	7
2.5	ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพ และทางเคมี.....	12
2.6	คุณสมบัติของไบโอชาร์ .....	17
2.7	ประเภทของการไฟโรไลซิส .....	22
2.8	คุณสมบัติของเข้้ำมันสำปะหลัง .....	24
2.9	การสังเคราะห์ไบโอชาร์จากชีวมวล .....	26
2.10	การดูดซับสารเคมีปราบศัตรูพืชด้วยไบโอชาร์ .....	28
3.1	สถานะในการศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัสต่อการดูดซับสารเมโทมิลของไบโอชาร์ .....	35
3.2	สถานะในการศึกษาผลของความเร็วยวต่อการดูดซับสารเมโทมิลของไบโอชาร์.....	36
3.3	สถานะในการศึกษาผลค่าความเป็นกรดต่าง ต่อการดูดซับสารเมโทมิลของไบโอชาร์ .....	37
3.4	สถานะในการศึกษาผลของน้ำหนักวัสดุต่อการดูดซับสารเมโทมิลของไบโอชาร์ .....	38
3.5	การวิเคราะห์เมโทมิลโดยเทคนิควิเคราะห์สารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีชนิดของเหลว สมรรถนะสูง .....	39
4.1	ลักษณะรูปทางกายภาพการสังเคราะห์ไบโอชาร์จากเข้้ำมันสำปะหลังที่อุณหภูมิต่าง ๆ ....	42
4.2	ปริมาณธาตุองค์ประกอบของไบโอชาร์.....	44
4.3	ลักษณะการสันสเทือนและฟังก์ชันการทำงานของไบโอชาร์จากเข้้ำมันสำปะหลัง.....	48
4.4	ลักษณะการสันสเทือนและฟังก์ชันการทำงานของไบโอชาร์จากเข้้ำมันสำปะหลัง ที่ดัดแปลงด้วยโซเดียมซลิเกต.....	49
4.5	ลักษณะการสันสเทือนและฟังก์ชันการทำงานของไบโอชาร์จากเข้้ำมันสำปะหลัง ที่ดัดแปลงด้วยกรดฟอสฟอริก.....	50
4.6	คุณสมบัติทางกายของไบโอชาร์ .....	54
4.7	ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับสารเมโทมิลของไบโอชาร์ทั้ง 3 ชนิด ใช้ไอโซเทิร์ม การดูดซับแบบ Langmuir Freundlich และแบบ Temkin .....	64
4.8	ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับสารเมโทมิลของไบโอชาร์ทั้ง 3 ชนิด ใช้จลนพลศาสตร์ การดูดซับแบบ Pseudo-First-Order และแบบ Pseudo-Second-Order.....	67

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างทั่วไปของสารเคมีกำจัดแมลงกลุ่มคาร์บาเมท.....	6
2.2	ลักษณะกลไกการดูดซับสารปนเปื้อนของไบโอชาร์ .....	17
2.3	ชนิดของรูพรุนไบโอชาร์ .....	18
2.4	กลไกการดูดซับโดยพันธะไฮโดรเจน.....	20
2.5	ผลกระทบของอุณหภูมิในการไพโรไลซิสต่อโครงสร้างของไบโอชาร์ .....	23
3.1	วิธีการเตรียมวัสดุชีวมวลจากเหง้ามันสำปะหลัง .....	31
3.2	วิธีการสังเคราะห์ไบโอชาร์จากเหง้ามันสำปะหลัง.....	31
3.3	วิธีการการดัดแปลงไบโอชาร์ด้วยโซเดียมซลิเกต .....	32
3.4	วิธีการการดัดแปลงไบโอชาร์ด้วยกรดฟอสฟอริก.....	33
3.5	วิธีเตรียมสารละลายเมไธมิล.....	34
3.6	การเตรียมสารละลายเมไธมิล.....	34
3.7	แผนผังการศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัสต่อการดูดซับสารเมไธมิลของไบโอชาร์ .....	35
3.8	แผนผังการศึกษาผลของความเร็วรอบในการกวนต่อการดูดซับสารเมไธมิลของไบโอชาร์ ...	36
3.9	แผนผังการศึกษาผลของค่าความเป็นกรดต่างต่อการดูดซับสารเมไธมิลของไบโอชาร์ .....	37
3.10	แผนผังการศึกษาผลของน้ำหนักวัสดุดูดซับต่อการดูดซับสารเมไธมิลของไบโอชาร์ .....	38
4.1	เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของไบโอชาร์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 400 และ 500 องศาเซลเซียส .....	43
4.2	รูปแบบ FTIR bands ของ BCA.....	46
4.3	รูปแบบ FTIR bands ของ BNS.....	46
4.4	รูปแบบ FTIR bands ของ BHP .....	47
4.5	ภาพถ่าย SEM ของ BCA BNS BHP .....	52
4.6	ภาพถ่ายเอกซเรย์คอมพิวเตอร์สามมิติของไบโอชาร์จากเหง้ามันสำปะหลัง .....	53
4.7	ผลค่าประจุพื้นผิวเป็นศูนย์ของ BCA.....	55
4.8	ผลค่าประจุพื้นผิวเป็นศูนย์ของ BNS .....	56
4.9	ผลค่าประจุพื้นผิวเป็นศูนย์ของ BHP .....	56
4.10	ผลของระยะเวลาสัมผัสต่อการดูดซับสารเมไธมิล .....	58
4.11	ผลของความเร็วรอบต่อการดูดซับสารเมไธมิล (BCA).....	59
4.12	ผลของความเร็วรอบต่อการดูดซับสารเมไธมิล (BNS).....	60
4.13	ผลของความเร็วรอบต่อการดูดซับสารเมไธมิล (BHP).....	60

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14	ผลของค่าความเป็นกรดต่างต่อการดูดซับสารเมไธมิล ..... 62
4.15	ผลของค่าน้ำหนักวัสดุดูดซับการดูดซับสารเมไธมิล ..... 63
4.16	ไอโซเทิร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ของการดูดซับสารเมไธมิลของไบโอชาร์ ทั้งสามชนิด BCA BNS BHP ..... 64
4.17	ไอโซเทิร์มการดูดซับแบบฟรอนด์ลิชของการดูดซับสารเมไธมิลของไบโอชาร์ ทั้งสามชนิด BCA BNS BHP ..... 65
4.18	ไอโซเทิร์มการดูดซับแบบเทมคินของการดูดซับสารเมไธมิลของไบโอชาร์ ทั้งสามชนิด BCA BNS BHP ..... 65
4.19	จลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับหนึ่งที่ยมของการดูดซับสารเมไธมิลของไบโอชาร์ ทั้งสามชนิด BCA BNS BHP ..... 67
4.20	จลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับสองเทียมของการดูดซับสารเมไธมิลของการดูดซับ สารเมไธมิลของไบโอชาร์ BCA BNS BHP ..... 68
4.21	ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธะไฮโดรเจนบนพื้นผิวของไบโอชาร์ ..... 69
4.22	ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบอะโรมาติกที่พบในไบโอชาร์ ..... 70