สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		(3)
ABSTRACT		(4)
กิตติกรรมประกาศ		(5)
สารบัญ		(6)
รายการตาราง		(8)
รายการภาพประกอบ		(9)
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2	ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
	2.1 สารประกอบฟีนอล (Phenolic Compounds)	4
	2.2 การดูดซับ (Adsorption) สารประกอบฟีนอล	13
	2.3 กระบวนการชะ (Desorption)	25
	2.4 สาหร่ายผักกาด *Ulva Reticulata*	25
บทที่ 3	วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย	31
	3.1 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ	31
	3.2 ตัวอย่างและสารเคมี	32
	3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย	33
บทที่ 4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล	38
	4.1 ตัวอย่างสาหร่ายผักกาด *Ulva reticulata*	38
	4.2 องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างสาหร่ายผักกาด *Ulva reticulata*	39
	4.3 ความสามารถดูดซับสารประกอบฟีนอล โดยชีวมวลสาหร่ายผักกาด *Ulva reticulata* แบบระบบกะ (Batch System)	40

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
4.4	ความสามารถดูดซับสารประกอบฟีนอล โดยชีวมวลสาหร่ายผักกาด *Ulva reticulata* แบบระบบต่อเนื่อง (Continuous System)	56
4.5	สมบัติทางกายภาพและเคมีของชีวมวลสาหร่ายผักกาด *Ulva reticulata*	58
4.6	ความสามารถดูดซับสารประกอบฟีนอลจากน้ำเสียโรงงานไม้ยางพารา โดยชีวมวลสาหร่ายผักกาด *Ulva reticulata*	64
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	67
บรรณานุกรม		69
ภาคผนวก		75
ภาคผนวก ก	การหาปริมาณองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของสาหร่ายผักกาด *Ulva reticulata* และการวิเคราะห์น้ำเสียโรงงานไม้ยางพารา	75
ภาคผนวก ข	องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของสาหร่ายผักกาดและสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำเสียโรงงานไม้ยางพารา	81
ภาคผนวก ค	กราฟมาตรฐาน	85
ภาคผนวก ง	ตัวอย่าง HPLC Chromatogram ของสารประกอบฟีนอล	89
ภาคผนวก จ	ความสามารถดูดซับสารประกอบฟีนอล โดยชีวมวลสาหร่ายผักกาด *Ulva reticulata* แบบระบบกะ (Batch System)	91
ภาคผนวก ฉ	ความสามารถดูดซับสารประกอบฟีนอล โดยชีวมวลสาหร่ายผักกาด *Ulva reticulata* แบบระบบต่อเนื่อง (Continuous System)	109
ประวัติผู้เขียน		133

Prince of Songkla University Pattani Campus

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างสาหร่ายผักกาด *U. reticulata*	39
4.2	อธิบายความหมายของค่า K และ 1/n จากสมการฟรุนดิช	48
4.3	ไอโซเทอร์มของแลงค์เมียร์ และฟรุนดิช ในการดูดซับสารประกอบฟีนอล โดยตัวอย่างชีวมวลสาหร่ายผักกาด *U. reticulata*	50
4.4	การดูดกลืนแสงอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของชีวมวลสาหร่ายที่ผ่านการดูดซับสารประกอบฟีนอลทั้ง 3 ชนิด ที่ค่าเลขคลื่นต่างๆ	60
4.5	การดูดกลืนแสงอิฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของสารประกอบฟีนอล ได้แก่ phenol, 4-CP และ 2,4-DCP ที่ค่าเลขคลื่นต่างๆ	61
4.6	สมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำเสียโรงงานไม้ยางพารา จังหวัดสงขลา	64

Prince of Songkla University Pattani Campus

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างอนุพันธ์ของฟีนอลที่ USEPA จัดเป็นสารอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ (ที่มา : Angelino and Gennaro, 1997)	5
2.2	ไอโซเทิร์มการดูดซับแบบกายภาพ ตามการจำแนกของ IUPAC (ที่มา : จตุพรและนุรักษ์, 2547)	18
2.3	Langmuir Adsorption Isotherm ในรูปแบบของกราฟเส้นตรง (ที่มา : เกรียงศักดิ์, 2546)	19
2.4	Freundlich Adsorption Isotherm ในรูปแบบของกราฟเส้นตรง (ที่มา : เกรียงศักดิ์, 2546)	20
2.5	ระบบการดูดซับแบบกะขั้นตอนเดียว (ที่มา : เกรียงศักดิ์, 2539)	21
2.6	ระบบการดูดซับแบบกะไหลสวนทาง (ที่มา : เกรียงศักดิ์, 2539)	22
2.7	ระบบดูดซับแบบต่อเนื่อง (ที่มา : เกรียงศักดิ์, 2539)	23
2.8	การเปลี่ยนแปลงการดูดซับจนถึงจุดอิ่มตัว (Breakthrough Curve) (ที่มา : Weber, 1972)	24
2.9	สัณฐานวิทยาและกายวิภาคของสาหร่ายผักกาด *U. reticulata* ทัลลัส (a) การจัดเรียงตัวของเซลล์ (b) และส่วนตัดตามขวาง (c) (ที่มา : สุภาจรี, 2542)	26
2.10	วงจรชีวิตของสาหร่ายผักกาด *Ulva reticulata* (ที่มา : Ohno and Critchley, 1997)	27
2.11	การเกิดปรากฏการณ์ Green tide ในบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวปัตตานี จังหวัดปัตตานี (ที่มา : อัจฉราภรณ์และพรเทพ, 2551)	28
2.12	โครงสร้างผนังเซลล์โพลีแซคคาไรด์ (Polysaccaride) ของส่วนตัดตามขวางของทัลลัสสาหร่ายผักกาด *U. reticulata* (a) และการเชื่อมโยงของส่วนต่างๆ ในผนังเซลล์โพลี-แซคคาไรด์ ของสาหร่ายผักกาด *U. reticulata* (b) (ที่มา : Lahaye and Robic, 2007)	29
2.13	โครงสร้างไดแซคคาไรด์ (Disaccharide) ชนิด Ulvanobiuronic acid 3-sulphate (A_{3s}) ของสาหร่ายผักกาด *U. reticulata* (X ; หมู่ multivalent cations) (ที่มา : Robic *et al*., 2008)	30
4.1	สาหร่ายผักกาด *Ulva reticulata* ในบริเวณชายฝั่งของแหลมตาชี อ่าวปัตตานี (a) และลักษณะของสาหร่ายผักกาด (b)	38
4.2	ความสามารถดูดซับ (Q, mg/L) สารประกอบฟีนอลโดยชีวมวลสาหร่ายผักกาดที่เวลาต่างๆ (นาที) (ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลแต่ละชนิด 15.0 mg/L, ปริมาณชีวมวลสาหร่าย 2 g/L)	40

Prince of Songkla University Pattani Campus

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	ความสามารถดูดซับ (Q, mg/g) สารประกอบฟีนอลแต่ละชนิด โดยชีวมวลสาหร่ายที่ pH 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 และ 8.0 (ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลแต่ละชนิด 10.0 mg/L, ปริมาณชีวมวลสาหร่าย 2 g/L)	42
4.4	ความสามารถกำจัดสารประกอบฟีนอลแต่ละชนิด (% Removal) โดยชีวมวลสาหร่ายผักกาด ที่ปริมาณต่างๆ (0.5, 1.0, 2.0, 3.0 และ 4.0 g/L) (phenol เข้มข้น 5.0 mg/L, 4-CP, 2,4-DCP ชนิดละ 10.0 mg/L, pH 5 ± 0.3) อักษร a-k ความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)	44
4.5	ความสามารถดูดซับ (Q, mg/g) สารประกอบฟีนอลแต่ละชนิด โดยชีวมวลสาหร่ายผักกาด ที่ความเข้มข้นต่างๆ (phenol เข้มข้นเริ่มต้น 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 และ 15.0 mg/L, 4-CP 5.0, 10.0, 15.0, 20.0 และ 25.0 mg/L และ 2,4-DCP 10.0, 15.0, 20.0, 25.0 และ 30 mg/L, pH 5 ± 0.3)	45
4.6	ความสามารถดูดซับ (Q, mg/g) สารประกอบฟีนอลแต่ละชนิด โดยชีวมวลสาหร่ายผักกาดที่ความเข้มข้น ที่ภาวะสมดุล (C_{eq}, mg/L) (phenol เข้มข้นเริ่มต้น 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 และ 15.0 mg/L, 4-CP 5.0, 10.0, 15.0, 20.0 และ 25.0 mg/L และ 2,4-DCP 10.0, 15.0, 20.0, 25.0 และ 30 mg/L, pH 5 ± 0.3)	47
4.7	ไอโซเทอร์มของแลงค์เมียร์ในการดูดซับสารประกอบฟีนอลชนิดต่างๆ โดยตัวอย่างชีวมวลสาหร่ายผักกาด	49
4.8	ไอโซเทอร์มของฟรุนดิช ในการดูดซับสารประกอบฟีนอลชนิดต่างๆ โดยตัวอย่างชีวมวลสาหร่ายผักกาด	49
4.9	ความสามารถในการชะฟีนอลโดยสารเคมีชนิดต่างๆ คือ methanol, ethanol, acetone, NaOH, NH_4OH, HNO_3, CH_3COOH และ H_2O (phenol 10.0 mg/L, pH 5 ± 0.3, เวลาการชะ 1 ชั่วโมง) อักษร a-j แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)	52
4.10	ความสามารถในการชะ 4-CP โดยสารเคมีชนิดต่างๆ คือ methanol, ethanol, acetone, NaOH, NH_4OH, HNO_3, CH_3COOH และ H_2O (4-CP 15.0 mg/L, pH 5 ± 0.3, เวลาการชะ 1 ชั่วโมง) อักษร a-g แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)	53

Prince of Songkla University Pattani Campus

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.11	ความสามารถในการชะ 2,4-DCP โดยสารเคมีชนิดต่างๆ คือ methanol, ethanol, acetone, NaOH, NH_4OH, HNO_3, CH_3COOH และ H_2O (2,4-DCP 15.0 mg/L, pH 5 ± 0.3, เวลาการชะ 1 ชั่วโมง) อักษร a-g แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)	54
4.12	กราฟ Breakthrough ของการดูดซับสารประกอบฟีนอลสามชนิด โดยชีวมวลสาหร่ายผักกาด (phenol เข้มข้น 10.0 mg/L และ 4-CP, 2,4-DCP ชนิดละ 15.0 mg/L, pH 5 ± 0.3, 1 Bed volume 0.047 L)	56
4.13	IR สเปกตรัมของฟีนอล (a), ชีวมวลสาหร่ายผักกาด *Ulva reticulata* (b) และชีวมวลสาหร่าย *U. reticulata* ที่ผ่านกระบวนการดูดซับฟีนอล (c)	58
4.14	IR สเปกตรัมของ 4-CP (a), ชีวมวลสาหร่ายผักกาด *Ulva reticulata* (b) และชีวมวลสาหร่าย *U. reticulata* ที่ผ่านกระบวนการดูดซับ 4-CP (c)	59
4.15	IR สเปกตรัมของ 2,4-DCP (a), ชีวมวลสาหร่ายผักกาด *Ulva reticulata* (b) และชีวมวลสาหร่าย *U. reticulata* ที่ผ่านกระบวนการดูดซับ 2,4-DCP (c)	59
4.16	ภาพ SEM ของพื้นผิวชีวมวลสาหร่ายผักกาด (a), ชีวมวลสาหร่ายผักกาดที่ผ่านการดูดซับฟีนอล (b), ชีวมวลสาหร่ายที่ผ่านการดูดซับ 4-CP (c) และชีวมวลสาหร่ายที่ผ่านการดูดซับ 2,4-DCP (d) (กำลังขยาย 2,000 เท่า)	62
4.17	กลไกการดูดซับสารประกอบฟีนอลบนโครงสร้างโพลีแซคคาไรด์ ชนิด Ulvanobiuronic acid 3-sulphate (A_{3s}) ของพื้นผิวชีวมวลสาหร่ายผักกาด (X ; หมู่ multivalent cations) (ดัดแปลงมาจาก: Robic *et al*., 2008)	63
4.18	กราฟ Breakthrough ของการดูดซับสารฟีนอลและ 4-CP ในน้ำเสียโรงงานไม้ยางพารา โดยชีวมวลสาหร่ายผักกาด (phenol และ 4-CP เข้มข้น 2.80 และ 0.90 mg/L ตามลำดับ, pH 5 ± 0.3, ตัวอย่างชีวมวล 3 g, 1 Bed volume 0.047 L)	65

Prince of Songkla University Pattani Campus