

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อภาษาไทย	ii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	viii
สารบัญรูปภาพ	x
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	xvii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1.1 สารกำจัดศัตรูพืช	5
2.1.2 ไบโอะเซนเซอร์	6
2.1.3 เอนไซม์	7
2.1.4 เอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส	13
2.1.5 โบวีนเซรัมอัลบูมิน	15
2.1.6 กลูตารัลดีไฮด์	16
2.1.7 กลีเซอรอล	17
2.1.8 คาร์บอนเพส	17
2.1.9 วิธีการวิเคราะห์ทางอ้อม	18
2.1.10 เทคนิคจุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	19
2.1.11 เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี	20
2.1.12 เทคนิคโครโนแอมเพอโรเมทรี	20
2.1.13 ข้าวหอมมะลิ	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
2.2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาไบโอเซนเซอร์	22
2.2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการสกัดคาร์โบฟูแรนจาก สารตัวอย่าง	28
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	30
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	30
3.1.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ประกอบ และวัสดุเครื่องแก้ว	30
3.1.2 วัสดุเครื่องแก้ว	30
3.2 สารเคมี	31
3.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานและสารเคมีที่เกี่ยวข้อง	32
3.3.1 เตรียมสารละลาย โมโนโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต เข้มข้น 0.1 โมลาร์	32
3.3.2 เตรียมสารละลายไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต เข้มข้น 0.1 โมลาร์	32
3.3.3 เตรียมสารละลายอีเล็กโตรไลต์เกือหนูนฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 8.0	32
3.3.4 เตรียมสารละลายไดโซเดียมฟีนิลฟอสเฟต เข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร	33
3.3.5 เตรียมสารละลายมาตรฐานคาร์โบฟูแรน เข้มข้น 100 มิลลิกรัม ต่อลิตร	33
3.3.6 เตรียมสารละลายกลูตาไรต์ไฮด์ เข้มข้นร้อยละ 25 โดยปริมาตร	33
3.3.7 เตรียมสารละลายมาตรฐานอัลคาไลน์ฟอสฟาเตส 2 kU.mL ⁻¹	33
3.3.8 เตรียมสารละลายเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส	33
3.3.9 เตรียมสารละลายฟีนอล เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร	33
3.3.10 เตรียมสารเฮกเซนที่อิมัลชันด้วยสารอะซิโตนไตรัล	34
3.3.11 เตรียมสารอะซิโตนไตรัลที่อิมัลชันด้วยสารเฮกเซน	34
3.4 การสกัดคาร์โบฟูแรนจากข้าวหอมมะลิ	34
3.5 การเตรียมขั้วไฟฟ้าใช้งาน	34
3.5.1 การเตรียมคาร์บอนเพส	34
3.5.2 การเตรียมขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพส	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 การเตรียมไบโอเซนเซอร์	35
3.7 วิธีการทดลอง	35
3.7.1 พิสูจน์เอกลักษณ์ทางไฟฟ้าของข้าวไฟฟ้า ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี	35
3.7.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส	35
3.7.2.1 ศึกษาปริมาณของเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส	35
3.7.2.2 ศึกษาระยะเวลาในการเชื่อมโยงเอนไซม์กับกลูตารัลดีไฮด์	36
3.7.2.3 ศึกษาปริมาณของโบวินเซรัมอัลบูมิน	36
3.7.2.4 ศึกษาปริมาณของไดโซเดียมฟีนิลฟอสเฟต	36
3.7.2.5 ศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์	37
3.7.2.6 ศึกษาศักย์กระตุ้นที่เหมาะสม	37
3.7.2.7 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสม	37
3.7.3 ศึกษาประเมินการทำงานของไบโอเซนเซอร์	37
3.7.3.1 ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ด้วยไบโอเซนเซอร์	37
3.7.3.2 ศึกษาขีดจำกัดในการตรวจพบ	38
3.7.3.3 ศึกษาขีดจำกัดในการตรวจวัดปริมาณ	38
3.7.3.4 ศึกษาความเที่ยงของการวิเคราะห์	38
3.7.4 ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบฟูแรนในตัวอย่างข้าวหอมมะลิ	39
3.7.4.1 วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบฟูแรนในตัวอย่างข้าวหอมมะลิด้วยไบโอเซนเซอร์	39
3.7.4.2 วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบฟูแรนในตัวอย่างข้าวหอมมะลิด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	40
4.1 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของข้าวไฟฟ้า ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	40
4.2 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของข้าวไฟฟ้า ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี	41
4.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของไบโอเซนเซอร์	42
4.3.1 ผลการศึกษาปริมาณของเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส	42
4.3.2 ผลการศึกษาระยะเวลาในการเชื่อมต่อข้าวเอนไซม์กับกลูตาไรลดีไฮด์	43
4.3.3 ผลการศึกษาปริมาณของโบวินเซรัมอัลบูมิน	45
4.3.4 ผลการศึกษาปริมาณของไดโซเดียมฟีนิลฟอสเฟต	45
4.3.5 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์	46
4.3.6 ผลการศึกษาศักยภาพกระตุ้นที่เหมาะสม	47
4.3.7 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสม	48
4.4 ผลการศึกษาประเมินการทำงานของไบโอเซนเซอร์	49
4.4.1 ผลการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์คาร์โบฟูแรน	50
4.4.2 ผลการศึกษาขีดจำกัดในการตรวจพบ	51
4.4.3 ผลการศึกษาขีดจำกัดในการตรวจวัดปริมาณ	51
4.4.4 ผลการศึกษาความเที่ยงของการวิเคราะห์	51
4.4.4.1 ความเที่ยงของข้าวไฟฟ้า	51
4.4.4.2 ความเที่ยงของการตรวจวัด	51
4.5 ผลการศึกษากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบฟูแรนในตัวอย่างข้าวหอมมะลิ	52
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	54
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก	59
ภาคผนวก ก	60
ภาคผนวก ข	63
ภาคผนวก ค	87
ภาคผนวก ง	91

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	13
ตารางที่ 3.1	30
ตารางที่ 3.2	31
ตารางที่ 3.3	31
ตารางที่ 3.4	39
ตารางที่ 4.1	51
ตารางที่ 4.2	52
ตารางที่ 4.3	53
ตารางที่ ข-1.1	65
ตารางที่ ข-1.2	66
ตารางที่ ข-1.3	68
ตารางที่ ข-1.4	69
ตารางที่ ข-1.5	71
ตารางที่ ข-1.6	73
ตารางที่ ข-1.7	74

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ ข-2.1	ร้อยละการยับยั้งและความเข้มข้นของคาร์โบฟูแรน ช่วง 2.98 ถึง 30.04 มิลลิกรัมต่อลิตร	74
ตารางที่ ข-2.2	ร้อยละการยับยั้งและปริมาณคาร์โบฟูแรนที่ความเข้มข้นต่างๆ	76
ตารางที่ ข-3.1	ผลการวิเคราะห์สารมาตรฐานคาร์โบฟูแรน จากเทคนิคมาตรฐานโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง	78
ตารางที่ ข-3.2	ผลการวิเคราะห์สารสกัดจากข้าวหอมมะลิที่ทำการเติมปริมาณคาร์โบฟูแรน 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตรจากเทคนิคมาตรฐานโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง	79
ตารางที่ ข-4.1	ปริมาณคาร์โบฟูแรนที่วิเคราะห์ในตัวอย่างข้าวหอมมะลิด้วยไบโอเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้น	80

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1	โครงสร้างทางเคมีของคาร์โบฟูแรน
รูปที่ 1.2	พื้นที่ที่สุ่มเก็บข้าวหอมมะลิ ในอำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี
รูปที่ 2.1	ไดอะแกรมของไบโอเซนเซอร์ ประกอบด้วยสารชีวภาพ และตัวแปลงสัญญาณที่ทำหน้าที่รับและเปลี่ยนสัญญาณเฉพาะเป็นสัญญาณไฟฟ้า
รูปที่ 2.2	การทำงานของเอนไซม์ ตามทฤษฎีลูกกุญแจและแม่กุญแจ
รูปที่ 2.3	การตรึงเอนไซม์ด้วยวิธีดูดซับทางกายภาพ
รูปที่ 2.4	การตรึงเอนไซม์ด้วยวิธีการยึดติดกับสารตัวกลาง
รูปที่ 2.5	การตรึงเอนไซม์ด้วยการเชื่อมแบบไขว้
รูปที่ 2.6	การตรึงเอนไซม์ด้วยการกักเก็บเอนไซม์ในพื้นที่จำกัด
รูปที่ 2.7	การตรึงเอนไซม์ด้วยการห่อหุ้มเอนไซม์เอาไว้ในแคปซูล
รูปที่ 2.8	การยับยั้งแบบแข่งขัน (Competitive inhibition) ตัวยับยั้งเข้าแย่งจับกับสารตั้งต้นที่บริเวณเร่งของเอนไซม์
รูปที่ 2.9	การยับยั้งแบบไม่แข่งขันแบบที่ 1 (Noncompetitive inhibition)
รูปที่ 2.10	การยับยั้งแบบไม่แข่งขันแบบที่ 2 (Uncompetitive inhibition)
รูปที่ 2.11	โครงสร้างของเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส
รูปที่ 2.12	หลักการทำงานของเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสบนผิวหน้าขั้วไฟฟ้า และการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ด้วยคาร์โบฟูแรนทำให้ฟิโนลมีปริมาณลดลง
รูปที่ 2.13	โครงสร้างของโบวินเซรัมอัลบูมิน
รูปที่ 2.14	โครงสร้างของกลูตาไรลดีไฮด์
รูปที่ 2.15	การเชื่อมขวางของกลูตาไรลดีไฮด์กับเอนไซม์
รูปที่ 2.16	โครงสร้างของกลีเซอรอล
รูปที่ 2.17	ผงคาร์บอน
รูปที่ 2.18	กราฟความสัมพันธ์ของสัญญาณการวิเคราะห์กับปริมาณตัวยับยั้ง
รูปที่ 2.19	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการยับยั้งกับปริมาณตัวยับยั้ง
รูปที่ 2.20	องค์ประกอบของเครื่องจุลทรรศน์สสารอิเล็กตรอนแบบส่องกราด
รูปที่ 2.21	รูปคลื่นของการสแกนศักย์ในเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีและสัญญาณกระแสสัมพันธ์กับศักย์ที่ขั้วไฟฟ้าของไซคลิกโวลแทมโมแกรม

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 2.22	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับเวลา ศึกษาด้วยเทคนิคโครโนแอมเพอโรเมทรี	21
รูปที่ 2.23	ปฏิกิริยาของ HQDP และไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ (a) 1mM HQDP, (b) 1 mM HQDP+ALP และ (c) 1 mM HQ ในสารละลายบัฟเฟอร์ Tris-HCl pH 8.5 อัตราการสแกน 50 mV.s^{-1}	23
รูปที่ 2.24	ภาพถ่าย SEM ของ (A) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CH}$ และ (B) $\text{AChE/Fe}_3\text{O}_4\text{-CH}$	27
รูปที่ 2.25	ภาพถ่าย SEM ของ (A) HNTs และ (B) endophytic extract ตรึงบน HNTs	28
รูปที่ 4.1	รูปร่างลักษณะพื้นผิวของขั้วไฟฟ้า : (a) คาร์บอนเพส, (b) คาร์บอนเพสที่ตรึงด้วยเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส และ (c) คาร์บอนเพสที่ตรึงด้วยเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสและโบวีนเซรัมอัลบูมิน ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	41
รูปที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกระแสและศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพส สัญญาณกระแสของสารละลายบัฟเฟอร์ (เส้นกราฟสีดำ) สารละลาย 42 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟีนอล (เส้นกราฟสีแดง) และสารละลาย 6200 มิลลิกรัมต่อลิตร ไดโซเดียมฟีนอลฟอสเฟต (เส้นกราฟสีน้ำเงิน) ที่ศักย์กระตุ้น -1.0 ถึง +1.2 โวลต์ เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์ อัตราสแกน 0.1 โวลต์ต่อวินาที)	42
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยับยั้งและปริมาณเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสที่ถูกตรึงบนผิวหน้าขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพส ระยะเวลาในการเชื่อมไขว้เอนไซม์กับกลูตาไรลดีไฮด์ 5 นาที ปริมาณของโบวีนเซรัมอัลบูมินร้อยละ 8 โดยมวลต่อปริมาตร ศักย์กระตุ้น +0.75 โวลต์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 8.0 และสารละลายไดโซเดียมฟีนอลฟอสเฟต 3200 มิลลิกรัมต่อลิตร	43

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4	44
ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยับยั้งและระยะเวลาในการเชื่อมไข้ว กลูตารัลดีไฮด์กับเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส ปริมาณเอนไซม์อัลคาไลน์ ฟอสฟาเตส 1.2 ยูนิตต่อตารางเซนติเมตร ปริมาณของโบวีนเซรัมอัลบูมิน ร้อยละ 8 โดยมวลต่อปริมาตร ศักย์กระตุ้น +0.75 โวลต์ ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ pH 8.0 และสารละลายไดโซเดียมฟีนิลฟอสเฟต 3200 มิลลิกรัมต่อลิตร	
รูปที่ 4.5	44
ภาพผิวหนังข้าวไฟฟ้าที่ตรึงด้วยเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสและเชื่อมไข้ว ด้วยกลูตารัลดีไฮด์ก่อนการใช้งาน เวลาในการเชื่อมไข้ว 10 นาที และ เวลาในการเชื่อมไข้ว 30 นาที	
รูปที่ 4.6	45
ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยับยั้งและปริมาณของโบวีนเซรัมอัลบูมิน ปริมาณเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส 1.2 ยูนิตต่อตารางเซนติเมตร ระยะเวลาในการเชื่อมไข้วเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสกับกลูตารัลดีไฮด์ 10 นาที ศักย์กระตุ้น +0.75 โวลต์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 8.0 และ สารละลายไดโซเดียมฟีนิลฟอสเฟต 3200 มิลลิกรัมต่อลิตร	
รูปที่ 4.7	46
ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยับยั้งและปริมาณของไดโซเดียมฟีนิล ฟอสเฟต ปริมาณเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส 1.2 ยูนิตต่อตาราง เซนติเมตร ระยะเวลาในการเชื่อมไข้วเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสกับ กลูตารัลดีไฮด์ 10 นาที ปริมาณของโบวีนเซรัมอัลบูมิน ร้อยละ 8 โดย มวลต่อปริมาตร ศักย์กระตุ้น +0.75 โวลต์ และฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 8.0	
รูปที่ 4.8	47
ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยับยั้งและ pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ ปริมาณเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส 1.2 ยูนิตต่อตารางเซนติเมตร ระยะเวลาในการเชื่อมไข้วเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสกับกลูตารัลดีไฮด์ 10 นาที ปริมาณของโบวีนเซรัมอัลบูมิน ร้อยละ 8 โดยมวลต่อปริมาตร ศักย์กระตุ้น +0.75 โวลต์ และสารละลายไดโซเดียมฟีนิลฟอสเฟต 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร	

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9	48
ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยับยั้งและศักย์กระตุ้นที่เหมาะสม ปริมาณเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส 1.2 ยูนิตต่อตารางเซนติเมตร ระยะเวลาในการเชื่อมไขว้เอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสกับกลูตารัลดีไฮด์ 10 นาที ปริมาณของโบวีนเซรัมอัลบูมิน ร้อยละ 8 โดยมวลต่อปริมาตร ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 8.0 และสารละลายไดโซเดียมฟีนิลฟอสเฟต 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร	
รูปที่ 4.10	49
ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยับยั้งและอุณหภูมิ ปริมาณเอนไซม์ อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส 1.2 ยูนิตต่อตารางเซนติเมตร ระยะเวลาในการ เชื่อมไขว้เอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสกับกลูตารัลดีไฮด์ 10 นาที ปริมาณ ของโบวีนเซรัมอัลบูมิน ร้อยละ 8 โดยมวลต่อปริมาตร ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 8.0 ศักย์กระตุ้น +0.75 โวลต์ และสารละลายไดโซเดียมฟีนิล ฟอสเฟต 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร	
รูปที่ 4.11	50
ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกระแสและเวลาของสารละลาย คาร์โบฟูแรน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสที่ตรึงด้วยเอนไซม์อัลคาไลน์ ฟอสฟาเตส 1.2 ยูนิตต่อตารางเซนติเมตร ระยะเวลาในการเชื่อมไขว้ เอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสกับกลูตารัลดีไฮด์ 10 นาที ปริมาณของ โบวีนเซรัมอัลบูมิน ร้อยละ 8 โดยมวลต่อปริมาตร ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 8.0 ศักย์กระตุ้น +0.75 โวลต์ และสารละลายไดโซเดียมฟีนิลฟอสเฟต 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร : ปริมาณคาร์โบฟูแรน (a) 1.0, (b) 2.0, (c) 3.0, (d) 4.0, (e) 5.0 และ (f) 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	
รูปที่ 4.12	50
ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยับยั้งกับความเข้มข้นของคาร์โบฟูแรน (a) ช่วงไดนามิกส์ที่ความเข้มข้น 1 ถึง 6 มิลลิกรัมต่อลิตร และ (b) ช่วงความเป็นเส้นตรงที่ความเข้มข้น 1 ถึง 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ตรวจวัด ด้วยขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสที่ตรึงด้วยเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส	
รูปที่ ก-1.1	61
ลวดทองแดง และ แท่งเทฟลอน	
รูปที่ ก-1.2	61
การประกอบขั้วไฟฟ้า	
รูปที่ ก-1.3	61
คาร์บอนเพส	
รูปที่ ก-1.4	61
ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพส	
รูปที่ ก-1.5	61
การตรึงเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสบนผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า	

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ ก-1.6	การตรึงกลูตารัลดีไฮด์	61
รูปที่ ก-2.1	การประกอบเซลล์ชีวไฟฟ้า (1) ชั่วไฟฟ้าใช้งานคาร์โบฟูแรนโบโอเซนเซอร์ (2) ชั่วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl (3) ชั่วไฟฟ้าช่วยแพลทินัม (Pt)	62
รูปที่ ก-2.2	การต่อเซลล์ชีวไฟฟ้า (1) เข้ากับเครื่องควบคุมศักย์ไฟฟ้า	62
รูปที่ ข-1.1	ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกระแสและเวลา โดยใช้ชีวไฟฟ้าคาร์บอนเพส ที่ตรึงด้วยเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส 0.6, 1.2, 1.8, 2.4, 3.0 และ 3.6 ยูนิตต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ระยะเวลาในการเชื่อมต่อชีวไฟฟ้ากับ กลูตารัลดีไฮด์ 5 นาที ปริมาณของโบวีนเซรัมอัลบูมิน ร้อยละ 8 โดยมวล ต่อปริมาตร ศักย์กระตุ้น +0.75 โวลต์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 8.0 โดย (a) สารละลายไดโซเดียมฟีนิลฟอสเฟต 3200 มิลลิกรัมต่อลิตร, (b) สารละลาย แบลงค์, (c) สารละลายคาร์โบฟูแรน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร	64
รูปที่ ข-1.2	ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกระแสและเวลา โดยระยะเวลาในการเชื่อมต่อชีวไฟฟ้ากับ กลูตารัลดีไฮด์ 0, 5, 10, 15, 20 และ 30 นาที ตามลำดับ ใช้ชีวไฟฟ้าคาร์บอนเพสที่ตรึงด้วยเอนไซม์อัลคาไลน์ ฟอสฟาเตส 1.2 ยูนิตต่อตารางเซนติเมตร ปริมาณของโบวีนเซรัมอัลบูมิน ร้อยละ 8 โดยมวลต่อปริมาตร ศักย์กระตุ้น +0.75 โวลต์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 8.0 โดย (a) สารละลายไดโซเดียมฟีนิลฟอสเฟต 3200 มิลลิกรัมต่อ ลิตร, (b) สารละลายแบลงค์, (c) สารละลายคาร์โบฟูแรน 6 มิลลิกรัมต่อ ลิตร	65
รูปที่ ข-1.3	ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกระแสและเวลา โดยมีปริมาณของโบวีน เซรัมอัลบูมิน ร้อยละ 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยมวลต่อปริมาตร ตามลำดับ ใช้ชีวไฟฟ้าคาร์บอนเพสที่ตรึงด้วยเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส 1.2 ยูนิต ต่อตารางเซนติเมตร ระยะเวลาในการเชื่อมต่อชีวไฟฟ้ากับ กลูตารัลดีไฮด์ 10 นาที ศักย์กระตุ้น +0.75 โวลต์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 8.0 โดย (a) สารละลายไดโซเดียมฟีนิลฟอสเฟต 3200 มิลลิกรัมต่อลิตร, (b) สารละลาย แบลงค์, (c) สารละลายคาร์โบฟูแรน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร	67

สารบัญรูปลูกภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ข-1.4	68
ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกระแสและเวลา โดยใช้ปริมาณได โซเดียมฟีนิลฟอสเฟต เข้มข้น 1300, 2600, 3850, 5063 และ 6300 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสที่ตรึงด้วยเอนไซม์ อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส 1.2 ยูนิตต่อตารางเซนติเมตร ระยะเวลาในการ เชื่อมไขว้เอนไซม์กับ กลูตารัลดีไฮด์ 10 นาที ปริมาณของโบวีนเซรัม อัลบูมิน ร้อยละ 8 โดยมวลต่อปริมาตร ศักย์กระตุ้น +0.75 โวลต์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 8.0 โดย (a) สารละลายไดโซเดียมฟีนิลฟอสเฟต 3200 มิลลิกรัมต่อลิตร, (b) สารละลายแบลงค์, (c) สารละลายคาร์โบ ฟูแรน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร	
รูปที่ ข-1.5	70
ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกระแสและเวลา โดยสารละลายฟอสเฟต บัฟเฟอร์ pH 7.0, 7.5, 8.0, 8.5 และ 9.0 ตามลำดับ ใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอน เพสที่ตรึงด้วยเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส 1.2 ยูนิตต่อตารางเซนติเมตร ระยะเวลาในการเชื่อมไขว้เอนไซม์กับ กลูตารัลดีไฮด์ 10 นาที ปริมาณ ของโบวีนเซรัมอัลบูมิน ร้อยละ 8 โดยมวลต่อปริมาตร ศักย์กระตุ้น +0.75 โวลต์ โดย (a) สารละลายไดโซเดียมฟีนิลฟอสเฟต 5000 มิลลิกรัม ต่อลิตร, (b) สารละลายแบลงค์, (c) สารละลายคาร์โบฟูแรน 6 มิลลิกรัม ต่อลิตร	
รูปที่ ข-1.6	72
ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกระแสและเวลา โดยใช้ศักย์กระตุ้น ที่ +0.6, +0.7, +0.725, +0.75, +0.775 และ +0.8 โวลต์ ตามลำดับ ใช้ ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสที่ตรึงด้วยเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส 1.2 ยูนิต ต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ระยะเวลาในการเชื่อมไขว้เอนไซม์กับ กลูตารัลดีไฮด์ 10 นาที ปริมาณของโบวีนเซรัมอัลบูมิน ร้อยละ 8 โดย มวลต่อปริมาตร ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 8.0 โดย (a) สารละลายได โซเดียมฟีนิลฟอสเฟต 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร, (b) สารละลายแบลงค์, (c) สารละลายคาร์โบฟูแรน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร	

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ข-1.7	73
ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกระแสและเวลา โดยใช้อุณหภูมิระบบในการวิเคราะห์ 20, 25, 30, 35, 37 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ใช้ข้าวไฟฟ้าคาร์บอนเพสที่ตรึงด้วยเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส 1.2 ยูนิตต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ระยะเวลาในการเชื่อมโยงเอนไซม์กับกลูตารัลดีไฮด์ 10 นาที ปริมาณของโบวินเซรัมอัลบูมิน ร้อยละ 8 โดยมวลต่อปริมาตร ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 8.0 โดย (a) สารละลายไดโซเดียมฟีนิลฟอสเฟต 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร, (b) สารละลายแบลงค์, (c) สารละลายคาร์โบฟูแรน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร	
รูปที่ ข-2.1	75
ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยับยั้งกับความเข้มข้นของคาร์โบฟูแรน ตั้งแต่ 1 ถึง 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ตรวจวัดด้วยคาร์บอนเพสที่ตรึงด้วยสารละลายเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส	
รูปที่ ข-2.2	76
ความสัมพันธ์ของร้อยละการยับยั้งกับปริมาณคาร์โบฟูแรน 0 ถึง 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ศึกษาด้วยวิธีการเติมสารมาตรฐานลงในสารละลายตัวอย่างข้าวหอมมะลิ # 4	
รูปที่ ข-2.3	77
ความสัมพันธ์ของร้อยละการยับยั้งกับปริมาณคาร์โบฟูแรน 0 ถึง 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ศึกษาด้วยวิธีการเติมสารมาตรฐานลงในสารละลายตัวอย่างข้าวหอมมะลิ # 5	
รูปที่ ข-2.4	79
ความสัมพันธ์ของร้อยละการยับยั้งกับปริมาณคาร์โบฟูแรน 0 ถึง 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ศึกษาด้วยวิธีการเติมสารมาตรฐานลงในสารละลายตัวอย่างข้าวหอมมะลิ # 6	
รูปที่ ข-3.1	80
โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์สารมาตรฐานคาร์โบฟูแรน: (a) 0.5, (b) 1.0, (c) 5.0, (d) 10.0, (e) 20.0, (f) 30.0 และ (g) 100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	
รูปที่ ข-3.2	81
โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์สารสกัดจากข้าวหอมมะลิที่ทำการเติมปริมาณคาร์โบฟูแรน 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (a) ข้าวหอมมะลิ # 1, (b) ข้าวหอมมะลิ # 2, (c) ข้าวหอมมะลิ # 3, (d) ข้าวหอมมะลิ # 4, (e) ข้าวหอมมะลิ # 5, (f) ข้าวหอมมะลิ # 6, (g) ข้าวหอมมะลิ # 7, (h) ข้าวหอมมะลิ # 8, (i) ข้าวหอมมะลิ # 9 และ (j) ข้าวหอมมะลิ # 10	
รูปที่ ข-3.3	83
ความสัมพันธ์ของพื้นที่พีคกับความเข้มข้นของคาร์โบฟูแรน	