

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ (Abstract)	ข
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	5
1.3 ขอบเขตการวิจัย	5
1.4 วิธีดำเนินการวิจัยโดยสรุป	6
1.5 ทฤษฎีและ/หรือแนวความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย	7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	9
บทที่ 2 เนื้อเรื่อง	
2.1 วิธีดำเนินการวิจัย	10
2.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	10
2.1.1.1 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง	10
2.1.1.2 การเตรียมกล้าเชื้อเริ่มต้น	10
2.1.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวิทยาศาสตร์	10
2.1.1.4 สารเคมี	11
2.1.1.5 อาหารเลี้ยงเชื้อ	12
2.1.1.6 วัตถุดิบ และการเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการหมักเอทานอล	12
2.1.1.7 สารอาหารเสริมที่ใช้ในการหมักเอทานอล	12
2.1.2 วิธีการทดลอง	14
2.1.2.1 วิธีการทดลองส่วนที่ 1 : การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลโดยการหมักแบบต่อเนื่องในปฏิกรณ์ชีวภาพแบบ cascade จากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานด้วย <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	14
2.1.2.2 วิธีการทดลองส่วนที่ 2 : การพัฒนากระบวนการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยใช้เทคโนโลยี VHG	17

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
2.1.3 วิธีการคำนวณ	19
2.2 ผลการวิจัย	20
2.2.1 ผลการวิจัยส่วนที่ 1 : การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลโดยการหมักแบบต่อเนื่องในปฏิกรณ์ชีวภาพแบบ cascade จากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานด้วย <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	20
2.2.1.1 การศึกษาองค์ประกอบที่สำคัญของน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน	20
2.2.1.2 อัตราการเจริญและการผลิตเอทานอลของ <i>S. cerevisiae</i> NP 01 ในน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้น 240 และ 280 กรัมต่อลิตร โดยกระบวนการหมักแบบกะในถังหมักขนาด 2 ลิตร ที่มีการแปรผันปริมาณกลูโคสเริ่มต้น	21
2.2.1.3 ผลของการเติมแหล่งไนโตรเจนต่อการผลิตเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานภายใต้สภาวะการหมักปกติและสภาวะ VHG ในถังหมักขนาด 2 ลิตร	31
2.2.1.4 การผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยกระบวนการหมักแบบกะในถังหมักขนาด 5 ลิตร	38
2.2.1.5 การผลิตเอทานอลแบบต่อเนื่องในปฏิกรณ์ชีวภาพแบบ cascade	41
2.2.2 ผลการวิจัยส่วนที่ 2 : การพัฒนากระบวนการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยใช้เทคโนโลยี VHG	47
2.2.2.1 องค์ประกอบที่สำคัญในยีสต์เอ็กซ์แทร็ก เปปโตน และกากเซลล์ยีสต์แห้ง	47
2.2.2.2 ผลของยีสต์เอ็กซ์แทร็กและเปปโตนต่อการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานภายใต้สภาวะ VHG	48
2.2.2.3 ผลของกากเซลล์ยีสต์แห้งต่อการหมักเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานภายใต้สภาวะ VHG	51
2.2.2.4 ผลของปริมาณยีสต์เริ่มต้นต่อการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานภายใต้สภาวะ VHG	54
2.2.2.5 การหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานในระดับขยายขนาดภายใต้การหมักแบบ VHG และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลในถังหมักขนาดต่างกัน	57

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
2.2.3 การคำนวณต้นทุนโดยประมาณในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานและเปรียบเทียบกับการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบชนิดอื่นที่ใช้ในการผลิตเอทานอล	59
บทที่ 3 อภิปรายผลการวิจัย	61
บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ	65
4.1 สรุปผลการวิจัย	65
4.2 ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	68
ภาคผนวก	71
ภาคผนวกที่ 1 การหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้ Hand refractometer	71
ภาคผนวกที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยวิธี Phenol sulfuric	71
ภาคผนวกที่ 3 การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยวิธี 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS)	73
ภาคผนวกที่ 4 การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลโดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี	74
ภาคผนวกที่ 5 การนับจำนวนยีสต์ที่มีชีวิตโดยวิธี Direct count method with methylene blue staining	75
ภาคผนวกที่ 6 ผลงานวิจัยที่นำเสนอในการประชุมวิชาการ	79

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบที่สำคัญของน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน	20
ตารางที่ 2.2 อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดของ <i>S. cerevisiae</i> NP 01 ที่มีปริมาณกลีเซอรีนเริ่มต้น ต่างๆ ในน้ำ คั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่เติมแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ และ มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 240 และ 280 กรัมต่อลิตร	22
ตารางที่ 2.3 พารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ (Kinetic parameters) ของการผลิตเอทานอลแบบ กะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานภายใต้สภาวะที่มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 240 กรัม ต่อลิตร และมีแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ปริมาณเซลล์ยีสต์เริ่มต้น ต่างๆ	26
ตารางที่ 2.4 พารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักแบบ กะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน ภายใต้สภาวะที่มีการเติมแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 280 กรัมต่อลิตร โดยมีจำนวนเซลล์ยีสต์ เริ่มต้นต่างๆ	30
ตารางที่ 2.5 พารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าว ฟ่างหวานที่มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 240 กรัมต่อลิตร และมีการเติมและไม่เติม แอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณเซลล์ยีสต์เริ่มต้น 1×10^8 เซลล์ต่อ มิลลิลิตร	34
ตารางที่ 2.6 พารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าว ฟ่างหวานที่มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 280 กรัมต่อลิตร และมีการเติมและไม่เติม แอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณเซลล์ยีสต์เริ่มต้น 1×10^8 เซลล์ต่อ มิลลิลิตร	37
ตารางที่ 2.7 พารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักแบบ กะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้น 240 และ 280 กรัม ต่อลิตร ความเข้มข้นเชื้อเริ่มต้น 1×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในถังหมักขนาด 2 และ 5 ลิตร	40
ตารางที่ 2.8 พารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของการหมักเอทานอลแบบต่อเนื่องจากน้ำคั้นลำต้น ข้าวฟ่างหวานที่อัตราการเจือจางรวมของระบบ 0.007 ต่อชั่วโมง	44
ตารางที่ 2.9 พารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของการหมักเอทานอลแบบต่อเนื่องจากน้ำคั้นลำต้น ข้าวฟ่างหวานที่อัตราการเจือจางรวมของระบบ 0.02 ต่อชั่วโมง	45

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 2.10 พารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของการหมักเอทานอลแบบต่อเนื่องจากน้ำคั้น ลำต้นข้าวฟ่างหวานที่อัตราการเจือจางรวมของระบบ 0.04 ต่อชั่วโมง	45
ตารางที่ 2.11 พารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของการหมักเอทานอลแบบต่อเนื่องจากน้ำคั้นลำ ต้นข้าวฟ่างหวาน โดยระบบ cascade ที่อัตราการเจือจางรวมต่างๆ	45
ตารางที่ 2.12 พารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของการหมักเอทานอลแบบต่อเนื่องจากน้ำคั้นลำ ต้นข้าว ฟ่างหวาน โดยระบบดังกล่าวที่อัตราการเจือจางรวมต่างๆ	46
ตารางที่ 2.13 องค์ประกอบที่สำคัญของยีสต์เอ็กซ์แทร็ก เปปโตน และกากเซลล์ยีสต์แห้ง	47
ตารางที่ 2.14 พารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตเอทานอลภายใต้สภาวะ VHG จากน้ำ คั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานสูตรต่างๆ	50
ตารางที่ 2.15 พารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตเอทานอลภายใต้สภาวะ VHG จากน้ำ คั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานสูตรต่างๆ ที่ระยะเวลาการหมัก 48 ชั่วโมง	51
ตารางที่ 2.16 พารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่าง หวานที่เติมกากเซลล์ยีสต์แห้งที่ความเข้มข้นต่างๆ ภายใต้สภาวะ VHG ที่ ระยะเวลาการหมัก 48 ชั่วโมง	53
ตารางที่ 2.17 พารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่าง หวานที่เติมกากเซลล์ยีสต์แห้ง 8 กรัมต่อลิตร ที่ปริมาณเซลล์เริ่มต้นต่างๆ ภายใต้ สภาวะ VHG ที่ระยะเวลาการหมัก 48 ชั่วโมง	56
ตารางที่ 2.18 พารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่าง หวานในถังหมักขนาด 5 และ 50 ลิตร ภายใต้สภาวะ VHG	59
ตารางที่ 2.19 ต้นทุนการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานและวัตถุดิบชนิดๆ อื่นๆ	59

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานเข้มข้น	13
รูปที่ 2.2 การหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานในถังหมักขนาด 2 ลิตร	15
รูปที่ 2.3 ปฏิกริยชีวะภาพแบบ cascade ที่ประกอบด้วยถังกวนขนาด 2 ลิตร และ tubular reactor จำนวน 3 คอลัมน์	16
รูปที่ 2.4 ถังหมักขนาด 50 ลิตร	18
รูปที่ 2.5 กราฟการเจริญของ <i>S. cerevisiae</i> NP 01 ในน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่เติมแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 240 (A) และ 280 (B) กรัมต่อลิตร โดยมีปริมาณกลีเซอรีนเริ่มต้นต่างๆ	22
รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหลักในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 240 กรัมต่อลิตร และมีแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณกลีเซอรีนเริ่มต้น 1×10^6 (A), 1×10^7 (B) และ 1×10^8 (C) เซลล์ต่อมิลลิลิตร	24
รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (เส้นทึบ) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (เส้นประ) ในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 240 กรัมต่อลิตร และมีแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณกลีเซอรีนเริ่มต้นต่างๆ	25
รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (เส้นทึบ) และความเข้มข้นของเอทานอล (เส้นประ) ในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 240 กรัมต่อลิตร และมีแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณกลีเซอรีนเริ่มต้นต่างๆ	26
รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหลักในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 280 กรัมต่อลิตร และมีแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณกลีเซอรีนเริ่มต้น 1×10^6 (A), 1×10^7 (B) และ 1×10^8 (C) เซลล์ต่อมิลลิลิตร	28
รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมด (เส้นทึบ) และน้ำตาลรีดิวซ์ (เส้นประ) ในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 280 กรัมต่อลิตร และมีแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณเซลล์ยีสต์เริ่มต้นต่างๆ	29

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.11 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (เส้นทึบ) และความเข้มข้นของเอทานอล (เส้นประ) ในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 280 กรัมต่อลิตร และมีแอม โมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณเซลล์ยีสต์เริ่มต้นต่างๆ	30
รูปที่ 2.12 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหลักในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 240 กรัมต่อลิตร และมีการเติม (A) และไม่เติม (B) แอม โมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณกล้ำเชื้อเริ่มต้น 1×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร	32
รูปที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์ในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้น 240 กรัมต่อลิตร และมีการเติม (เส้นทึบ) และไม่เติม (เส้นประ) แอม โมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณกล้ำเชื้อเริ่มต้น 1×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร	33
รูปที่ 2.14 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์ในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้น 240 กรัมต่อลิตร และมีการเติม (เส้นทึบ) และไม่เติม (เส้นประ) แอม โมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณกล้ำเชื้อเริ่มต้น 1×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร	33
รูปที่ 2.15 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหลักในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 280 กรัมต่อลิตร และมีการเติม (A) และไม่เติม (B) แอม โมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณกล้ำเชื้อเริ่มต้น 1×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร	35
รูปที่ 2.16 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์ในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้น 280 กรัมต่อลิตร และมีการเติม (เส้นทึบ) และไม่เติม (เส้นประ) แอม โมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณกล้ำเชื้อเริ่มต้น 1×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร	36
รูปที่ 2.17 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์ในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้น 280 กรัมต่อลิตร และมีการเติม (เส้นทึบ) และไม่เติม (เส้นประ) แอม โมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณกล้ำเชื้อเริ่มต้น 1×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร	36

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.18 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหลักในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำ ต้นข้าวฟ่างหวานที่มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 240 กรัมต่อลิตร ในถังหมักขนาด 2 (เส้น ทึบ) และ 5 (เส้นประ) ลิตร โดยมีปริมาณเชื้อเริ่มต้น 1×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร	39
รูปที่ 2.19 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหลักในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำ ต้นข้าวฟ่างหวานที่มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 280 กรัมต่อลิตร ในถังหมักขนาด 2 (เส้น ทึบ) และ 5 (เส้นประ) ลิตร โดยมีปริมาณเชื้อเริ่มต้น 1×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร	40
รูปที่ 2.20 พีเอช (A) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (B) และปริมาณเซลล์ที่มีชีวิต (C) ใน น้ำหมักที่ออกจากแต่ละส่วนของระบบ cascade ในระหว่างการหมักเอทานอล แบบต่อเนื่องจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน ที่อัตราการเจือจางต่างๆ	43
รูปที่ 2.21 ความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมด (A) และความเข้มข้นของเอทานอล (B) ในน้ำหมักที่ออก จากแต่ละส่วนของระบบ cascade ในระหว่างการหมักเอทานอลแบบต่อเนื่องจากน้ำ คั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน ที่อัตราการเจือจางต่างๆ	44
รูปที่ 2.22 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหลักในระหว่างการหมักเอทานอลแบบต่อเนื่องโดย ระบบ CSTR จากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้น 240 กรัม ต่อลิตร และมีปริมาณกล้าเชื้อเริ่มต้น 1×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร	46
รูปที่ 2.23 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหลักในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้น ลำต้นข้าวฟ่างหวานสูตรต่างๆ ที่มีน้ำตาลเริ่มต้น 280 กรัมต่อลิตร	49
รูปที่ 2.24 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (A) ปริมาณเซลล์ยีสต์ (B) ความเข้มข้นเอทา นอล (C) และ พีเอช (D) ในน้ำหมักในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้น ลำต้นข้าวฟ่างหวานสูตรต่างๆ	50
รูปที่ 2.25 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหลักในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำ ต้นข้าวฟ่างหวานที่เติมกากเซลล์ยีสต์แห้งที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยมีน้ำตาลเริ่มต้น 280 กรัมต่อลิตร : 0 (A), 8 (B) และ 16 (C) กรัมต่อลิตร	52
รูปที่ 2.26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (A) ปริมาณเซลล์ยีสต์ (B) ความเข้มข้นเอทา นอล (C) และ พีเอช (D) ในน้ำหมักระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำ ต้นข้าวฟ่างหวานที่เติมกากเซลล์ยีสต์ที่ความเข้มข้นต่างๆ	53
รูปที่ 2.27 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหลักในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำ ต้นข้าวฟ่างหวานที่เติมกากเซลล์ยีสต์แห้ง 8 กรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นเซลล์เริ่มต้น ต่างๆ	55

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.28 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (A) ปริมาณเซลล์ยีสต์ (B) ความเข้มข้นเอทานอล (C) และ พีเอช (D) ในน้ำหมักระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำตันข้าวฟ่างหวานที่เติมกากเซลล์ยีสต์แห้ง 8 กรัมต่อลิตร ที่ปริมาณเซลล์เริ่มต้นต่างๆ	56
รูปที่ 2.29 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหลักในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำตันข้าวฟ่างหวานที่เติมกากเซลล์ยีสต์แห้ง 8 กรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นเซลล์เริ่มต้น 5×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในถังหมักขนาด 50 ลิตร	58
รูปที่ 2.30 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (A) ปริมาณเซลล์ยีสต์ (B) ความเข้มข้นเอทานอล (C) และ พีเอช (D) ในน้ำหมักระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำตันข้าวฟ่างหวานในถังหมักขนาด 5 และ 50 ลิตร	58



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

$\mu_{\max}$	อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (ต่อชั่วโมง)
P	ความเข้มข้นของเอทานอล (กรัมต่อลิตร)
Q_p	อัตราผลิตเอทานอล (กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง)
$Y_{p/s}$	ผลได้เอทานอล (กรัมเอทานอลต่อกรัมน้ำตาลที่ใช้)
t	ระยะเวลาการหมัก (ชั่วโมง)
E	ประสิทธิภาพผลได้เอทานอล (เปอร์เซ็นต์)
D	อัตราการเจือจาง (ต่อชั่วโมง)
V	ปริมาตรน้ำหมัก (มิลลิลิตร)
RTS	ความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหลือ (กรัมต่อลิตร)
CSTR	Continuous stirred tank bioreactor
VHG	Very high gravity

