

บทที่ 3 อภิปรายและวิจารณ์ผลการวิจัย

3.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการปรับสภาพกากสับปะรดด้วยวิธีการเคมีฟิสิกส์

การปรับสภาพกากสับปะรดหรือเปลือกสับปะรดด้วยการลดขนาดให้มีขนาดเล็กลงเพื่อที่จะทำ ให้เส้นใยเซลลูโลสแตกออกและเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยากับสารเคมีที่ใช้ในการละลาย เกศ มณี และคณะ, 2546 ได้กล่าวว่าโครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสที่เรียงตัวกันหลาย โมเลกุลที่มีการเรียงตัวลักษณะเก้าอี้โดยแต่ละโมเลกุลต่อกันด้วยพันธะไกลโคสิดิก และระหว่างสายของ เซลลูโลสจับกับด้วยพันธะไฮโดรเจนซึ่งเรียงตัวกันแน่นเป็นมัดไมโครไฟบริล จึงมีความแข็งแรงและ ไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในสารละลายต่างอ่อนหรือกรดอ่อน แต่สามารถละลายได้ดีในสารละลายกรด แก่หรือสารละลายต่างแก่ ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวทำให้สามารถแยกประเภทของเซลลูโลสออกเป็น 3 ประเภท (ระวีวรรณ แก้วเกล้า, 2537) โดยอาศัยความสามารถในการละลายใน NaOH ที่ความ เข้มข้น 17% และความสามารถในการละลายในกรด ดังนั้นการนำกากสับปะรดที่ผ่านการลดขนาดมาแช่ ด้วย NaOH ความเข้มข้น 2.5 M หรือความเข้มข้น 40% เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะทำให้เซลลูโลสที่มีอยู่ใน กากสับปะรดที่มีค่าประมาณ 10-12% ได้ละลายจากโครงสร้างที่เป็นมัดแข็งแรงได้มากขึ้นกว่าเดิม

หลังจากผ่านการแช่ด้วย NaOH ความเข้มข้น 2.5 M เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและผ่านการล้างด้วย น้ำกลั่นเพื่อปรับสภาพของกากสับปะรดให้มีความเป็นกลาง ก่อนที่จะมาปรับสภาพด้วยกรด H_2SO_4 ที่ ความเข้มข้น 3 และ 5 M และนำมาผ่านความร้อนที่อุณหภูมิที่ต่างกัน ในเวลาที่ต่างกันเพื่อหาสภาวะที่ เหมาะสมที่สุดในการปรับสภาพกากสับปะรดด้วยการวัดปริมาณของแอลฟาเซลลูโลสที่ได้ โดยอุณหภูมิ ที่ใช้ในการทดลอง $85^{\circ}C$ ด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมงพบว่าเมื่อความเข้มข้น ของกรด H_2SO_4 เพิ่มขึ้นและเวลาในการปรับสภาพเพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณของแอลฟาเซลลูโลสมากที่สุด ถึงร้อยละ 87.75 ± 0.50 นั้นแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของกรดที่สามารถทำลายพันธะที่มีอยู่ใน โครงสร้างของเซลลูโลสได้โดยจำเป็นต้องมีระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่นานมากพอสมควร อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวเป็นการให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิที่ไม่เกินจุดเดือดของน้ำและไม่อาศัยความดัน ดังนั้นถ้าทำการปรับสภาพกากสับปะรดด้วยกรดเข้มข้นในอุณหภูมิที่มากกว่า $100^{\circ}C$ โดยอาศัยแรงดัน ไอน้ำน่าจะเป็นสิ่งที่ทำให้ได้ปริมาณแอลฟาเซลลูโลสที่มากกว่าร้อยละ 87.75 ± 0.50 สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ ในการปรับสภาพกากสับปะรดด้วยกรด H_2SO_4 ที่ความเข้มข้น 3 และ 5 M ที่เพิ่มขึ้นมีอยู่ 2 ระดับได้แก่ 105 และ $125^{\circ}C$ ด้วยเครื่องแรงดันไอน้ำ เป็นเวลา 60, 90 และ 120 นาที พบว่าที่อุณหภูมิ $105^{\circ}C$ ในสิ่ง ทดลองที่ใช้ความเข้มข้น 3 M มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเพิ่มเวลาในการ เกิดปฏิกิริยาซึ่งมีแนวโน้มที่ตรงกันข้ามกับความเข้มข้น 5 M ที่เมื่อเพิ่มเวลาในการเกิดปฏิกิริยาให้มาก ขึ้นจะมีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสเพิ่มขึ้นตามไปด้วยโดยเวลาที่เหมาะสมมีค่าเป็น 120 นาทีโดยมีปริมาณ แอลฟาเซลลูโลสร้อยละ 80.23 ± 0.24

กากสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีเคมีฟิสิกส์ในสภาวะที่มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูงที่สุดจะถูกนำมาใช้ในการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ *Zymomonas mobilis* เพื่อผลิตเป็นเอทานอลโดยมีการเปรียบเทียบระหว่างสิ่งทดลองที่ไม่มีการเติมน้ำตาลและมีการเติมน้ำตาล พบว่าการเติมน้ำตาลจะช่วยให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีกว่าการไม่เติมน้ำตาลอาจเป็นเพราะว่ามีการเพิ่มแหล่งของคาร์บอนให้กับเชื้อจุลินทรีย์

M.L. Cazetta et al.,2007 ได้ศึกษาการผลิตเอทานอลจาก sugar cane mollasses จากเชื้อจุลินทรีย์ *Zymomonas mobilis* พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหมักคือ 30°C และระยะเวลาที่มีการเจริญเติบโตมากที่สุดคือ 48 ชั่วโมงซึ่งมีความสอดคล้องกับสิ่งทดลองที่มีการเติมน้ำตาลของกากสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพในสภาวะการหมักที่อุณหภูมิ 30°C มีจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ที่มากกว่าสภาวะการหมักที่ 35°C นอกเหนือไปจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสิ่งทดลองที่มีการเติมและไม่มีการเติมน้ำตาลพบว่าในช่วง 12 ชั่วโมงแรกไม่มีความแตกต่างในเรื่องของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้ แต่หลังจาก 12 ชั่วโมงการเจริญเติบโตมีความแตกต่างกันและในสภาวะอุณหภูมิ 30°C การเจริญเติบโตมีค่าสูงเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมงมีค่าเป็น $7.78 \pm 0.02 \log \text{ cfu/ml}$

เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของ *Zymomonas mobilis* ในการย่อยกากสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีเคมีฟิสิกส์มาทำการวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักที่อุณหภูมิ 30°C โดยมีการเติมน้ำตาลเพื่อเพิ่มแหล่งของคาร์บอน และมีระยะเวลาในการหมักที่มากขึ้นกว่าเดิมพบว่าระยะเวลาที่มีร้อยละ (%v/v) ของปริมาณแอลกอฮอล์มากที่สุดคือ 96 ชั่วโมงมีค่าเป็น 10.10 ± 0.17 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกับระยะเวลาในการหมักที่ 108 ชั่วโมงซึ่งมีค่าเป็น 10.33 ± 0.15 ในขณะที่ระยะเวลาในการหมักที่ 72 ชั่วโมงมีร้อยละ (%v/v) ของปริมาณแอลกอฮอล์น้อยที่สุดมีค่าเป็น 6.13 ± 0.10 แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาในการหมักมากขึ้นจะทำให้เชื้อจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตและผลิตแอลกอฮอล์ได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำแอลกอฮอล์ที่ได้ในแต่ละระยะเวลาในการหมักมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลด้วยวิธี Gas Chromatography นั้นพบว่า แอลกอฮอล์ที่ได้จากระยะเวลาในการหมัก 72 ชั่วโมงมีความเข้มข้นของเอทานอลมากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญซึ่งมีค่าถึง 8.45 ± 6.57 (%v/v) ในขณะที่ระยะเวลาในการหมักที่ 96 และ 108 ชั่วโมงพบว่ามี ความเข้มข้นของเอทานอลเพียง 1.74 ± 0.44 และ 1.77 ± 0.13 (%v/v) ตามลำดับ แสดงว่าปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้กลั่นได้นั้นอาจมีส่วนของสารอื่นที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกับเอทานอลจึงเกิดการปนเปื้อนจากสารอื่นจึงทำให้ที่ระยะเวลาในการหมักที่ 96 และ 108 ชั่วโมงมีปริมาณแอลกอฮอล์มากกว่าแต่มีปริมาณเอทานอลที่บริสุทธิ์น้อยกว่าระยะเวลาในการหมักที่ 72 ชั่วโมง

3.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของ *Saccharomyces cerevisiae* เพื่อให้ได้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุด

Saccharomyces cerevisiae เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในการหมักน้ำตาลและผลิตเป็นแอลกอฮอล์หรือเอทานอลซึ่งคุณสมบัตินี้มีประโยชน์อย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมการหมักและมักถูกนำมาใช้ย่อยของเสียที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีส่วนผสมของน้ำตาลอยู่ด้วยเพื่อเพิ่มมูลค่าด้วยการผลิตเอทานอลซึ่งเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกหนึ่งในปัจจุบันนี้

กากสับปะรดที่ใช้ในการวิจัยถือว่าเป็นของเหลือใช้ที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาเป็นสารตั้งต้นให้แก่เชื้อจุลินทรีย์ *Saccharomyces cerevisiae* กากสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีเคมีฟิสิกส์ในสภาวะที่เหมาะสมจึงถูกนำมาเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเอทานอลโดยมีการเปรียบเทียบสิ่งทดลอง 2 สิ่งทดลองได้แก่ สิ่งทดลองที่ไม่มีการเติมน้ำตาล และ สิ่งทดลองที่มีการเติมน้ำตาล ซึ่งพบว่าการเติมน้ำตาลหรือการเพิ่มแหล่งคาร์บอนทำให้เชื้อจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าการไม่เติมน้ำตาล และเมื่อทำการศึกษาอุณหภูมิในการหมักที่แตกต่างกันซึ่งได้แก่ 25, 30 และ 35°C พบว่า *Saccharomyces cerevisiae* สามารถเจริญได้ดีในทุกอุณหภูมิในช่วง 24 ชั่วโมงแรก และการเจริญเติบโตนี้จะเริ่มมีความแตกต่างกันตั้งแต่วะยะเวลา 36 ชั่วโมงโดยพบว่าที่อุณหภูมิ 25°C มีการเจริญเติบโตของ *Saccharomyces cerevisiae* ที่มากกว่าอุณหภูมิ 30 และ 35°C นั้นแสดงว่าสำหรับการย่อยกากสับปะรดอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของ *Saccharomyces cerevisiae* คืออุณหภูมิที่ 25°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิห้องที่ทำให้ง่ายต่อการประยุกต์ใช้กับชุมชนหรือกลุ่มเกษตรกรเนื่องจากไม่จำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิสามารถใช้อุณหภูมิปกติสำหรับการหมักทำให้ไม่เกิดความยุ่งยาก

สภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของ *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งน่าจะเป็นสภาวะที่ทำให้มีการผลิตเอทานอลมากที่สุดนั้นได้ถูกนำมาศึกษาเพื่อวิเคราะห์ร้อยละ(%v/v) ของปริมาณแอลกอฮอล์ที่วัดได้ในสิ่งทดลองที่มีการเติมน้ำตาลและใช้อุณหภูมิในการหมักเป็น 25°C ในระยะเวลา 72, 84, 96, 108 และ 120 ชั่วโมง พบว่าที่ระยะเวลา 84 ชั่วโมงมีร้อยละของปริมาณแอลกอฮอล์ที่วัดได้มากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญซึ่งมีค่าเป็น 14.23 ± 0.15 และเมื่อมีการเพิ่มระยะเวลาในการหมักให้มากขึ้นกลับพบว่าปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้มีปริมาณที่ลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อนำแอลกอฮอล์ที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลด้วยวิธี Gas Chromatography พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์ที่ระยะเวลาในการหมัก 84 ชั่วโมงมีปริมาณของเอทานอลที่น้อยกว่าระยะเวลาในการหมักที่ 72 ชั่วโมงที่มีปริมาณเอทานอลมากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ และในขณะเดียวกันปริมาณเอทานอลในระยะเวลาการหมักที่ 84 ชั่วโมงมีค่าที่ใกล้เคียงกับระยะเวลาการหมักที่ 96 ชั่วโมงในขณะที่ร้อยละปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้มีความแตกต่างกัน นอกเหนือไปจากนี้ที่ระยะเวลาในการหมักที่ 120 ชั่วโมงมีร้อยละปริมาณของแอลกอฮอล์ที่ได้น้อยที่สุดแต่ในปริมาณที่น้อยนี้มีร้อยละของปริมาณเอทานอลที่มากนั้นหมายความว่าแอลกอฮอล์ที่ได้มีเอทานอลที่มากกว่า