บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การหาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำสกัดจากหัวแก่นตะวัน

น้ำสกัดจากหัวแก่นตะวันมีองค์ประกอบเบื้องต้นดังนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 5.2-5.6 ความชื้น 76.2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 16.47 องศาบริกซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 186.21 กรัมต่อลิตร ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 17.52 กรัมต่อลิตร ปริมาณน้ำตาลฟรุคโตส 139.00 กรัมต่อลิตร น้ำตาลกลูโคส 11.7 กรัมต่อลิตร น้ำตาลซูโครส 6.3 กรัมต่อลิตร ปริมาณของอินูลิน 168 กรัมต่อลิตร ปริมาณของฟีนอลลิก 0.719 กรัมต่อลิตร มีแร่ธาตุ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ร้อยละ 0.238 น้ำหนักต่อปริมาตร ฟอสฟอรัส (P) ร้อยละ 0.018 น้ำหนักต่อปริมาตร โพแตสเซียม (K) ร้อยละ 0.262 น้ำหนักต่อปริมาตร แคลเซียม (Ca) ร้อยละ 0.007 น้ำหนักต่อปริมาตร แมกนีเซียม (Mg) ร้อยละ 0.034 น้ำหนักต่อปริมาตร ซัลเฟอร์ (S) ร้อยละ 0.01 น้ำหนักต่อปริมาตร โซเดียม (Na) ร้อยละ 0.026 น้ำหนักต่อปริมาตร เหล็ก (Fe) 14.4 ppm แมงกานีส (Mn) 1.284 ppm คอปเปอร์ (Cu) 0.584 ppm สังกะสี (Zn) 2.054 ppm

5.1.2 การหาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำสกัดจากหัวแก่นตะวัน

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากน้ำสกัดจากหัวแก่นตะวันโดยใช้ *Z. mobilis* ด้วยวิธีการหมักแบบกะในระดับฟลาสก์ พบว่า น้ำคั้นที่ผ่านการย่อยด้วยกรดหรือเอนไซม์อินูลิเนส จะมีปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น เมื่อนำวัตถุดิบนี้ไปทดสอบการหมักพบว่าน้ำสกัดที่ผ่านการย่อยด้วยกรดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลดีที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำสกัดที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ น้ำสกัดที่ผ่านการย่อยด้วยกรดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และน้ำสกัดที่ผ่านการย่อยด้วยกรดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยให้ผลได้ของเอทานอลเท่ากับ 0.45 กรัมเอทานอลต่อกรัมน้ำตาลที่ถูกใช้ มีอัตราผลผลิตของเอทานอลเท่ากับ 0.64 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ผลได้ของเอทานอลเทียบกับทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 88.66 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาปริมาณเชื้อเริ่มต้นและค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นของสูตรอาหารผลิตเอทานอล พบว่าน้ำสกัดที่ปรับให้มีค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นเท่ากับ 5.0 ร่วมกับปริมาณเชื้อเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลสูงสุดให้ผลได้ของเอทานอลเท่ากับ 0.47 กรัมเอทานอลต่อกรัมน้ำตาลที่ถูกใช้ อัตราการผลิตเอทานอล 1.33 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และให้ผลได้ของเอทานอลในทางทฤษฎีเท่ากับ 92.75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำสกัดที่มีค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นเท่ากับ 6.0 และ 7.0 และการใช้ปริมาณเชื้อเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ให้ประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลดีกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ ปริมาณเชื้อเริ่มต้น 1 และ 5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

การศึกษาหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำตาลเริ่มต้นของน้ำสกัดจากหัวแก่นตะวันในการผลิตเอทานอล พบว่าความเข้มข้นของปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 250 กรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลดีกว่าเมื่อเทียบกับน้ำสกัดที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นเป็น 275 และ 300 กรัมต่อลิตร โดยให้ผลได้ของเอทานอลเท่ากับ 0.41 กรัมเอทานอลต่อกรัมน้ำตาลที่ถูกใช้ มีอัตราผลผลิตเอทานอล 0.95 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และผลได้ของเอทานอลเทียบกับทฤษฎีเท่ากับ 80.06 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเอทานอลจากน้ำสกัดจากหัวแก่นตะวันโดย *Z. mobilis* คือไดแอมโมเนียมฟอสเฟตและแอมโมเนียมไนเตรทที่ระดับ

ความเข้มข้น 0.50 กรัมต่อลิตร ซึ่งให้ปริมาณเอทานอลสูงสุดประมาณ 95.6-95.9 กรัมต่อลิตร โดยให้ผลได้เท่ากับ 0.44-0.50 กรัมเอทานอลต่อกรัมน้ำตาลที่ถูกใช้ และมีอัตราการผลิตอยู่ในช่วง 1.93-1.99 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง

5.1.3 การศึกษาการผลิตเอทานอลจากน้ำสกัดจากหัวแก่นตะวันโดยใช้ *Z. mobilis* ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 5 ลิตร ด้วยวิธีการหมักแบบกะ

จากการนำสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลที่ได้จากการศึกษาในระดับฟลาสก์ โดยเลือกใช้น้ำสกัดจากหัวแก่นตะวันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และปรับความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นเป็น 250 กรัมต่อลิตร ความเป็นกรดด่างเริ่มต้นเท่ากับ 5.0 และเติมกล้าเชื้อเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ไปทดสอบการผลิตเอทานอลในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ขนาด 5 ลิตร โดยมีปริมาตรทำงาน (working volume) เท่ากับ 4 ลิตร และกำหนดอัตราการกวนที่ 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าให้ผลได้ของเอทานอลเท่ากับ 0.39 กรัมเอทานอลต่อกรัมน้ำตาลที่ถูกใช้ มีอัตราผลผลิตเอทานอลเท่ากับ 1.31 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และผลได้ของเอทานอลในทางทฤษฎีเท่ากับ 75.07 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

5.2.1 ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าการย่อยสารอินูลินด้วยเอนไซม์ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำกว่าการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ได้ปริมาณเอทานอลต่ำ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ยังไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาปริมาณของเอนไซม์ที่จะใช้ในการย่อยอินูลิน

5.2.2 ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เฉพาะส่วนของน้ำสกัดจากหัวแก่นตะวันไปทดสอบการผลิตเอทานอล จึงควรมีการวิเคราะห์หาปริมาณของแป้งหรือสารประกอบคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆ ในส่วนกากของหัวแก่นตะวัน และควรมีการศึกษาเพื่อนำกากของหัวแก่นตะวันไปทดสอบการหมักเพื่อผลิตเอทานอลด้วย

5.2.3 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงวิธีการหมักเอทานอลจากหัวแก่นตะวันโดยใช้เชื้อ *Z. mobilis* ร่วมกับจุลินทรีย์ที่สามารถใช้สารอินูลินเป็นแหล่งคาร์บอนได้โดยตรง เช่น *Kluyveromyces marxianus*

5.2.4 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงรูปแบบในการหมักเอทานอลจากแก่นตะวันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลให้สูงขึ้น เช่น วิธีการหมักแบบกึ่งกะ กึ่งต่อเนื่อง หรือต่อเนื่อง เป็นต้น

5.2.5 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัยบางประการที่อาจจะมีผลต่อการผลิตเอทานอลจากแก่นตะวันโดยเชื้อ *Z. mobilis* เช่น ชนิดและแหล่งของไนโตรเจน หรือแร่ธาตุบางชนิด เช่น แมกนีเซียมซัลเฟต เป็นต้น