

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเทคนิคใหม่ในการเพิ่มประสิทธิภาพการหมักน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน เพื่อผลิตไบโอเอทานอลความเข้มข้นสูง: การให้อากาศและพฤติกรรมทางสรีระวิทยา พบว่า

1) องค์ประกอบหลักในน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานพันธุ์ KKU 40 ประกอบด้วย น้ำตาลส่วนมากที่ตรวจพบในน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน คือ ค่าความเป็นกรดต่าง 4.9 น้ำตาลทั้งหมด 173.02 กรัมต่อลิตร น้ำตาลรีดิคซ์ 37.65 กรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 18 องศาบริกซ์ ฟรุคโตส 11.46 กรัมต่อลิตร กลูโคส 14.22 กรัมต่อลิตร ซูโครส 124.05 กรัมต่อลิตร

2) การเตรียมกล้าเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* NP 01 สามารถเตรียมโดยใช้น้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานแทนอาหารสังเคราะห์ได้ โดยน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่ใช้เตรียมมีน้ำตาลเริ่มต้น 150 กรัมต่อลิตร (17.2 องศาบริกซ์) ภายใต้สภาวะที่ใช้อาหารสังเคราะห์และน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานพบว่า ให้ปริมาณกล้าเชื้อยีสต์ใกล้เคียงกัน และมีกล้าเชื้อยีสต์เฉลี่ย 2×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ที่เวลา 12 ชั่วโมง ดังนั้นการใช้น้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานในการเตรียมกล้าเชื้อยีสต์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับขยายขนาดหรือระดับอุตสาหกรรมต่อไปได้ เนื่องจากสามารถลดต้นทุนของอาหารสังเคราะห์ที่มีราคาแพงได้

3) การศึกษาเบื้องต้น (preliminary study) ในการผลิตเอทานอลที่มีการแปรผันปัจจัยในระดับของปัจจัยที่มีค่าต่ำสุด สูงสุด และชุดควบคุม ซึ่งประกอบด้วย

สภาวะที่ 1 (ชุดควบคุม) ที่มีอัตราการกวน 100 rpm ไม่มีการให้อากาศ

สภาวะที่ 2 (ระดับต่ำสุด) ที่มีอัตราการกวน 100 rpm มีการให้อากาศ 0.5 vvm เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง

สภาวะที่ 3 (ชุดควบคุม) ที่มีอัตราการกวน 200 rpm ไม่มีการให้อากาศ

สภาวะที่ 4 (ระดับสูงสุด) ที่มีอัตราการกวน 200 rpm มีการให้อากาศ 2.5 vvm เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง

3.1) ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันทั้ง 4 สภาวะ ที่ชั่วโมงที่ 72 - 78 จากผลการทดลองพบว่า ทั้ง 4 สภาวะ *S. cerevisiae* NP 01 สามารถใช้น้ำตาล ผลิตเอทานอล ได้ค่าผลได้เอทานอล และอัตราผลผลิตเอทานอลใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 198.00 – 217.69 กรัมต่อลิตร 96.88-110.56 กรัมต่อลิตร 0.45-0.52 กรัมเอทานอลที่ผลิตได้ต่อกรัมน้ำตาลที่ถูกใช้ไป และ 1.28 - 1.54 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่แปรผันในสภาวะต่างๆ ให้ผลยังไม่ชัดเจนต่อการหมักเอทานอลโดยเฉพาะความเข้มข้นเอทานอล นอกจากนี้ ในการหมักเอทานอลทั้ง 4 สภาวะดังกล่าว พบว่าเหลือความเข้มข้นของน้ำตาลในปริมาณสูง ซึ่งอยู่ในช่วงความเข้มข้น 81-109.35 กรัมต่อลิตร ดังนั้นการทดลองต่อไปจึงเติมยีสต์เอ็กส์แทรกต์ 9 กรัมต่อลิตร และเพิ่มปริมาณกล้าเชื้อเริ่มต้นเป็น 2.0×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในสภาวะเดิมทั้ง 4 สภาวะ

3.2) การผลิตเอทานอลภายใต้ 4 สภาวะ ดังกล่าวจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้น 290 กรัมต่อลิตร และมีการเติมยีสต์เอ็กส์แทรกต์ 9 กรัมต่อลิตร และใช้ปริมาณกล้ายเชื้อ *S. cerevisiae* NP 01 เริ่มต้น 2×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร พบว่าระยะเวลาในการหมักสั้นกว่าการหมักภายใต้สภาวะทั้ง 4 สภาวะ ที่ไม่มีการเติมยีสต์เอ็กส์แทรกต์ประมาณ 1.4 - 1.6 เท่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารอาหารที่มีในยีสต์เอ็กส์แทรกต์สามารถลดระยะเวลาในการหมัก เพิ่มอัตราผลผลิต และความเข้มข้นของเอทานอลโดย *S. cerevisiae* NP 01 ได้ และเมื่อพิจารณาการทดลองในสภาวะที่ 1 และสภาวะที่ 3 ซึ่งระบบมีอัตราการกวน 100 rpm และ 200 rpm ไม่มีการให้อากาศ ตามลำดับ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางจุลนพลศาสตร์เพียงเล็กน้อยทั้งในแง่ของน้ำตาลที่ถูกใช้ ความเข้มข้นเอทานอล ผลได้ และอัตราผลผลิตเอทานอล (ตารางที่ 3) ดังนั้นการออกแบบการทดลองในระดับของปัจจัยซึ่งเป็นอัตราการกวนจาก 100, 150 และ 200 rpm อาจทำให้สังเกตความแตกต่างของระดับในปัจจัยที่มีอัตราการกวนไม่ชัดเจน การทดลองต่อไปเพื่อที่จะให้เห็นความชัดเจนยิ่งขึ้นในแต่ละระดับของปัจจัย อัตราการกวนจึงเปลี่ยนระดับการกวนเป็น 100, 200 และ 300 rpm ส่วนระดับของค่าปัจจัยอื่นๆ ยังให้ค่าคงเดิม

4) สภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์และการผลิตเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีน้ำตาลเริ่มต้น 290 กรัมต่อลิตร และมีการเติมยีสต์เอ็กส์แทรกต์ 9 กรัมต่อลิตร ที่มีการแปรผันอัตราการกวน (100, 200 และ 300 rpm) อัตราการให้อากาศ (0.5, 1.5 และ 2.5 vvm) และระยะเวลาในการให้อากาศ (2, 4 และ 6 ชั่วโมง) โดยออกแบบการทดลองที่มีการแปรผันปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น โดยใช้วิธี $L_9 (3^4)$ Orthogonal ผลการทดลองการเรียงลำดับอิทธิพล (order of influence) ของปัจจัยโดยใช้ค่าของความเข้มข้นเอทานอลเป็นพารามิเตอร์ คือ อัตราการกวน > เวลาในการให้อากาศ > อัตราการให้อากาศ ในขณะที่ลำดับของการมีอิทธิพลโดยใช้ค่าของอัตราผลผลิตเอทานอลเป็นพารามิเตอร์ คือ อัตราการให้อากาศ > อัตราการกวน > เวลาในการให้อากาศ อย่างไรก็ตาม สภาวะที่เหมาะสมในการให้อากาศสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการหมักน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานเพื่อผลิตเอทานอลความเข้มข้นสูง ไม่ว่าจะใช้ค่าความเข้มข้นเอทานอลหรืออัตราผลผลิตเอทานอลเป็นพารามิเตอร์ นั่นคือ $A_2B_3C_2$ (มีอัตราการกวน 200 rpm อัตราการให้อากาศ 2.5 vvm และเวลาในการให้อากาศ 4 ชั่วโมง)

5) การทวนสอบผลการทดลองเพื่อที่จะยืนยันว่าสภาวะที่เหมาะสม จากการทำนายโดย $L_9 (3^4)$ Orthogonal ในแง่ของค่าความเข้มข้นเอทานอลและอัตราผลผลิตเอทานอล การหมักเอทานอลแบบกะจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานที่มีความเข้มข้นของน้ำตาล 290 กรัมต่อลิตร ควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และใช้ปริมาณกล้ายเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* NP 01 เริ่มต้น 2.0×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร เมื่อเริ่มต้นระบบการผลิตเอทานอลจะมีการควบคุมอัตราการกวน 200 rpm อัตราการให้อากาศ 2.5 vvm และเวลาในการให้อากาศ 4 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นเอทานอล อัตราผลผลิตเอทานอล และค่าผลได้มีค่า 132.82 กรัมต่อลิตร 2.55 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และ 0.50 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาในการหมัก 52 ชั่วโมง

ในขณะที่การหมักเอทานอลที่สภาวะควบคุม (มีอัตราการกวน 200 rpm ไม่มีการให้อากาศ) พบว่า ความเข้มข้นเอทานอล อัตราผลผลิตเอทานอล และค่าผลได้มีค่า 118.02 กรัมต่อลิตร 2.19 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และ 0.50 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาในการหมัก 54 ชั่วโมง ผลการทดลองที่ได้ชี้ให้เห็นว่าสภาวะเหมาะสม $A_2B_3C_2$ มีความเหมาะสมและใช้ได้จริงในกระบวนการหมักเอทานอลโดยยีสต์