



250762



รายงานการวิจัย

เรื่อง

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย)

การประยุกต์ใช้ยีสต์ทนร้อน *Saccharomyces cerevisiae* DBKKUY-53 ในการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลจากข้าวฟ่างหวาน

(ภาษาอังกฤษ)

Application of thermotolerant yeast *Saccharomyces cerevisiae* DBKKUY-53 for the production of fuel ethanol from sweet sorghum

โดย

หัวหน้าโครงการวิจัย

รศ.ดร.พรเทพ ถนอมแก้ว

หน่วยงานต้นสังกัด

ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40002

โทรศัพท์ 0-4336-2121 โทรสาร 0-4336-2121

ผู้ร่วมวิจัย

รศ.ดร.ประสิทธิ์ ใจคิด

หน่วยงานต้นสังกัด

ภาควิชาฟิสิกส์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40002

โทรศัพท์ 0-4320-4296 โทรสาร 0-4320-4296

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภท ทุนวิจัยนวัตกรรม

ประจำปี 2554

จาก สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



รายงานการวิจัย เรื่อง

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) การประยุกต์ใช้ยีสต์ทนร้อน *Saccharomyces cerevisiae*
DBKKUY-53 ในการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลจากข้าวฟ่างหวาน
(ภาษาอังกฤษ) Application of thermotolerant yeast *Saccharomyces*
cerevisiae DBKKUY-53 for the production of fuel ethanol
from sweet sorghum

โดย

หัวหน้าโครงการวิจัย รศ.ดร.พรเทพ ถนอมแก้ว
หน่วยงานต้นสังกัด ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40002
โทรศัพท์ 0-4336-2121 โทรสาร 0-4336-2121
ผู้ร่วมวิจัย รศ.ดร.ประสิทธิ์ ใจศิลป์
หน่วยงานต้นสังกัด ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40002
โทรศัพท์ 0-4320-4296 โทรสาร 0-4320-4296

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภท ทุนวิจัยนวัตกรรม ประจำปี 2554
จาก สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง “การประยุกต์ใช้ยีสต์ทนร้อน *Saccharomyces cerevisiae* DBKKUY-53 ในการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลจากข้าวฟ่างหวาน” สำเร็จลุล่วงลงได้ โดยการสนับสนุนงบประมาณการวิจัยจากโครงการวิจัยบูรณาการ จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ นอกจากนี้คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ และศูนย์วิจัยการหมักเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ และอำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์ และเครื่องมือพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการทดลองและการวิเคราะห์ทางเคมีด้านต่างๆ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ นายสุนันท์ นวลเพ็ง นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้กรุณาช่วยเหลือในการทำงานวิจัย ช่วยเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ผลการทดลอง จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงลงได้

สุดท้ายคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษาของภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ และศูนย์วิจัยการหมักเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัยครั้งนี้ และใคร่ขอขอบคุณผู้ที่มีอุปการคุณทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ ประสบการณ์ และให้คำแนะนำอันมีค่าสำหรับการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ใคร่ขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้วิจัย
พฤษภาคม 2555

ABSTRACT

250762

The ethanol production from sweet sorghum stem juice (SSJ) by thermotolerant yeast, *Saccharomyces cerevisiae* DBKKUY-53 was investigated in this study. The chemical composition of SSJ was analyzed and the results revealed that it contained 194 g/L total sugar. The main sugars found in the SSJ were sucrose (175.97 g/L), glucose (12.32 g/L) and fructose (5.75 g/L). The SSJ also contained trace elements essential for growth and ethanol production by yeast such as nitrogen (30.82 mg/L), magnesium (231.72 mg/L) manganese (3.58 mg/L) and iron (2.39 mg/L), etc. Some factors affecting the ethanol production from SSJ by thermotolerant yeast, *S. cerevisiae* DBKKUY-53 such as incubation temperature, pH of the ethanol production medium (EP), initial cell concentration, initial sugar concentration and nitrogen source were examined. The results obtained from this study revealed that the optimum incubation temperature for ethanol production was 30°C. Since, *S. cerevisiae* DBKKUY-53 had ability to produce ethanol at 37°C and 40°C, therefore the ethanol production at these temperatures was carried out. The optimal conditions for ethanol production at high temperature were found to be; pH 5.5, cell concentration at 10^8 cell/mL; sugar concentration at 250 g/L. Ethanol yield was not different between nitrogen or without nitrogen supplementation. When the ethanol production by *S. cerevisiae* DBKKUY-53 was carried out in 2-L fermenter, the maximum ethanol concentration was found to be 106.82 g/L which was higher than that of industrial used yeast *S. cerevisiae* SC90.

Evaluation of yield performances of sweet sorghum as a raw material for ethanol production in a commercial scale was performed by growing the plant in different seasons including early-, mid- and late-rainy season at Khon Kaen, Udon Thani, Nakhon Ratchasima and Suphan Buri. The results obtained from this study showed that the suitable growing season was the mid-rainy season which gave higher stalk yield than that of early- and late-rainy season. With respect to the production costs of planting sweet sorghum and syrup production, they were approximately 656.10 baht/ton and 6,299.10 baht/ton, respectively. The major cost of planting come from transportation, land preparation and harvesting, while that of syrup production come from raw material, electricity and stalk supply. The production cost of ethanol from sweet sorghum calculated based on the production costs of raw material were approximately 9.79 and 47.00 baht/liter when sweet sorghum juice and sweet sorghum

250762

syrup were used as substrate for ethanol production, respectively. The production cost of ethanol, however, will be increased up to approximately 15.915 and 53.125 baht/liter, respectively, if the processing costs were included.

บทคัดย่อ

250762

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยใช้ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* DBKKUY-53 จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานพบว่า มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบประมาณ 194 กรัมต่อลิตร โดยน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ ซูโครส (175.97 กรัมต่อลิตร) กลูโคส (12.32 กรัมต่อลิตร) และฟรุคโตส (5.75 กรัมต่อลิตร) นอกจากนี้ น้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานยังมีแร่ธาตุต่างๆ เป็นองค์ประกอบด้วย เช่น ไนโตรเจน (30.82 มิลลิกรัมต่อลิตร) แมกนีเซียม (231.72 มิลลิกรัมต่อลิตร) แคลเซียม (3.58 มิลลิกรัมต่อลิตร) และเหล็ก (2.39 มิลลิกรัมต่อลิตร) เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการผลิตเอทานอล เช่น อุณหภูมิในการหมัก ความเป็นกรดของอาหารที่ใช้หมัก เซลล์ยีสต์เริ่มต้น ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น และแหล่งไนโตรเจน จากผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลคือ 30 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากยีสต์ *S. cerevisiae* DBKKUY-53 สามารถผลิตเอทานอลได้ดีที่อุณหภูมิ 37 และ 40 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาการผลิตเอทานอลที่อุณหภูมิสูง ซึ่งผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลที่อุณหภูมิสูงคือ ความเป็นกรดที่ 5.5 เซลล์ยีสต์เริ่มต้น 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 250 กรัมต่อลิตร และการเติมไนโตรเจนหรือไม่เติมไนโตรเจนเสริม ให้ความเข้มข้นของเอทานอลที่ไม่แตกต่างกัน เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวไปทดสอบการผลิตเอทานอลโดยยีสต์ *S. cerevisiae* DBKKUY-53 ในถังหมักขนาด 2 ลิตร พบว่าความเข้มข้นของเอทานอลสูงสุดมีค่าเท่ากับ 106.82 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่ามากกว่าความเข้มข้นของเอทานอลที่ผลิตได้โดยใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* SC90

สำหรับการประเมินผลผลิตของข้าวฟ่างหวานสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลในเชิงพาณิชย์ โดยทำการทดสอบปลูกข้าวฟ่างหวานในช่วงฤดูต่างๆ คือ ต้น กลาง และปลายฤดูฝน ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น อุดรธานี นครราชสีมา และสุพรรณบุรี พบว่าช่วงฤดูปลูกที่เหมาะสมคือช่วงกลางฤดูฝน ซึ่งให้ผลผลิตต้นสดสูงกว่าการปลูกในช่วงต้น หรือปลายฤดูฝน เมื่อวิเคราะห์ถึงต้นทุนในการปลูกข้าวฟ่างหวาน และต้นทุนในการผลิตน้ำเชื่อมจากข้าวฟ่างหวาน พบว่ามีต้นทุนในการผลิตประมาณ 656.10 บาทต่อตัน และ 6,299.10 บาทต่อตัน ตามลำดับ ต้นทุนหลักในการปลูกข้าวฟ่างหวานคือ การขนส่ง การเตรียมดิน และการเก็บเกี่ยว ในขณะที่ต้นทุนหลักในการผลิตน้ำเชื่อมข้าวฟ่างหวานคือ ค่าวัตถุดิบ ค่าไฟฟ้า และค่าขนย้ายต้นข้าวฟ่างหวานเข้าลูกหีบ สำหรับต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวานโดยคิดคำนวณจากต้นทุนในการเตรียมวัตถุดิบมีต้นทุนการผลิตโดยประมาณ 9.79 และ 47.00 บาทต่อลิตร เมื่อใช้น้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานสดและน้ำเชื่อมข้าวฟ่างหวานเป็นวัตถุดิบในการผลิตตามลำดับ อย่างไรก็ตามหากคำนวณต้นทุนการผลิตโดยนำต้นทุนในกระบวนการผลิตเอทานอลมาคำนวณร่วมด้วย ต้นทุนการผลิตเอทานอลจะเพิ่มขึ้นเป็น 15.915 และ 53.125 บาทต่อลิตร ตามลำดับ

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
Abstract	ข
บทคัดย่อ	ง
สารบัญเรื่อง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
คำสำคัญ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	5
1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัย	6
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เอทานอล	8
2.1.1 คุณสมบัติทั่วไป	8
2.1.2 ประโยชน์ของเอทานอล	8
2.2 กระบวนการผลิตเอทานอล	9
2.2.1 การผลิตเอทานอลทางเคมี	9
2.2.2 การผลิตเอทานอลทางชีวภาพ	10
2.3 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในกระบวนการผลิตเอทานอลทางชีวภาพ	11
2.4 วัตถุดิบในการผลิตเอทานอล	13
2.5 ยีสต์	16
2.6 ข้าวฟ่างหวาน	18
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเอทานอลโดยยีสต์ทนร้อน	20
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย	
3.1 วัสดุอุปกรณ์การทดลอง	23

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	24
3.3 อาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์	24
3.4 วิธีเก็บรักษาจุลินทรีย์	25
3.5 การเตรียมน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	25
3.6 การเตรียมกล้าเชื้อยีสต์เพื่อใช้ในการศึกษาการเจริญและผลิตเอทานอล	25
3.7 วิธีการวิจัย	26
3.7.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้น ข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 ภายใต้สภาวะที่แปรผันระดับอุณหภูมิในการหมัก	26
3.7.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้น ข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 ภายใต้สภาวะที่แปรผันความเป็นกรดต่างของอาหารเพาะเลี้ยง	26
3.7.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้น ข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 ภายใต้สภาวะที่แปรผันปริมาณเซลล์ยีสต์เริ่มต้น	27
3.7.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้น ข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 ภายใต้สภาวะที่แปรผันปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น	27
3.7.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้น ข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 ภายใต้สภาวะที่แปรผันชนิดและความเข้มข้นของแหล่งไนโตรเจน	28
3.8 การศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน โดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 ในถังหมักขนาด 2 ลิตร	28
3.9 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	29
3.10 การวิเคราะห์ศักยภาพของข้าวฟ่างหวานในการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต เอทานอล	30
3.10.1 การประเมินผลผลิตของข้าวฟ่างหวานที่ปลูกในฤดูต่างๆ	31
3.10.2 การศึกษาด้านทุนการผลิตข้าวฟ่างหวานของเกษตรกร	31
3.10.3 การศึกษาด้านทุนในการผลิตน้ำเชื่อมเข้มข้นของโรงงาน	31
3.10.4 การประเมินต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวาน	31

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย	
4.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน	32
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> ภายใต้สภาวะแวดล้อมต่างๆ	33
4.2.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> ภายใต้สภาวะที่แปรผันระดับอุณหภูมิในการหมัก	33
4.2.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> ภายใต้สภาวะที่แปรผันความเป็นกรดต่างของอาหารเพาะเลี้ยง	36
4.2.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> ภายใต้สภาวะที่แปรผันจำนวนเซลล์เริ่มต้นในการหมัก	38
4.2.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> ภายใต้สภาวะที่แปรผันความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นในการหมัก	40
4.2.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> ภายใต้สภาวะที่แปรผันชนิดและความเข้มข้นของแหล่งไนโตรเจน	42
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 ในถังหมักขนาด 2 ลิตร	48
4.4 การวิเคราะห์ศักยภาพของข้าวฟ่างหวานในการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล	49
4.4.1 การประเมินผลผลิตของข้าวฟ่างหวานที่ปลูกในฤดูต่างๆ	49
4.4.2 การศึกษาด้านทุนการผลิตข้าวฟ่างหวานของเกษตรกร	51
4.4.3 การศึกษาด้านทุนในการผลิตน้ำเชื่อมเข้มข้นของโรงงาน	51
4.4.4 การประเมินต้นทุนการผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวาน	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	54

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
5.1.1 องค์ประกอบทางเคมีในน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน	54
5.1.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์หมัก <i>S. cerevisiae</i>	54
5.1.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์หมัก <i>S. cerevisiae</i> ในถังหมักขนาด 2 ลิตร	54
5.1.4 การประเมินผลผลิตของข้าวฟ่างหวานเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล	55
5.1.5 การประเมินต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวาน	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก	60
ภาคผนวก 1 การปรับปริมาณของแข็งละลาย	61
ภาคผนวก 2 การหาอัตราการเจริญจำเพาะของจุลินทรีย์	62
ภาคผนวก 3 การวัดปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธี Phenol-sulfuric	63
ภาคผนวก 4 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์โดยวิธี Dinitrosalicylic acid (DNS)	65
ภาคผนวก 5 การวัดการเจริญของจุลินทรีย์ โดยวิธี Microscopic count	67
ภาคผนวก 6 การวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ โดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography method)	69
ภาคผนวก 7 การคำนวณปริมาณแอลกอฮอล์จากร้อยละโดยปริมาตร (% v/v) เป็นร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร (g/l)	71
ภาคผนวก 8 การคำนวณค่าประสิทธิภาพผลได้ (yield efficiency)	72
ภาคผนวก 9 กราฟมาตรฐาน	73

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 การสลายน้ำตาลกลูโคสโดยยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ผ่านวิถีไกลโคไลซิสเพื่อเปลี่ยนไปเป็นกรดไพรูวิก แล้วกรดไพรูวิก ถูกสลายต่อเปลี่ยนไปเป็นเอทานอลและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	11
ภาพที่ 2.2 การสลายน้ำตาลกลูโคสโดยแบคทีเรีย <i>Zymomonas mobilis</i> ผ่านวิถี Entner-Doudoroff pathway เพื่อเปลี่ยนไปเป็นเอทานอล	12
ภาพที่ 2.3 การย่อยเซลลูโลส หรือเฮมิเซลลูโลสเป็นน้ำตาลกลูโคส ด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส	14
ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นเอทานอล ด้วยกระบวนการหมัก	14
ภาพที่ 2.5 แสดงการเปลี่ยนน้ำตาลไซโลส (xylose) ไปเป็นเอทานอล	15
ภาพที่ ผ.1 ปฏิกริยาระหว่างฟีนอลและคาร์โบไฮเดรต (ฟรุคโตส) ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้นได้ ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบที่มีสีส้มของสาร triaryl methane dyes	63
ภาพที่ ผ.2 เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ใช้ในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลง การดูดกลืนแสงของสารละลาย	64
ภาพที่ ผ.3 ปฏิกริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์และสาร 3,5-dinitrosalicylic acid ได้ผลิตภัณฑ์ ที่มีสีเข้มของ 3-amino-5-nitrosalicylic acid	65
ภาพที่ ผ. 4 ตัวอย่างช่องสีเหลี่ยมภายในสไลด์	68
ภาพที่ ผ. 5 เครื่อง Gas chromatography ในการวิเคราะห์หาเอทานอล	69

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบปริมาณของเอทานอลที่ผลิตได้จากวัตถุดิบชนิดต่างๆ	15
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ	16
ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อ	18
ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีในน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน	33
ตารางที่ 4.2 ผลผลิตของเอทานอลที่ได้จากการหมักน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ พันธุ์ <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 ที่สภาวะอุณหภูมิต่างๆ กัน	35
ตารางที่ 4.3 ผลผลิตของเอทานอลที่ได้จากการหมักน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ พันธุ์ <i>S. cerevisiae</i> SC90 ที่สภาวะอุณหภูมิต่างๆ กัน	36
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าว ฟ่างหวานโดยยีสต์พันธุ์ <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 และ <i>S. cerevisiae</i> SC90 ที่ pH ต่างๆ กัน เมื่อทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส	37
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าว ฟ่างหวานโดยยีสต์พันธุ์ <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 และ <i>S. cerevisiae</i> SC90 ที่ pH ต่างๆ กัน เมื่อทำการหมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	38
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าว ฟ่างหวานโดยยีสต์พันธุ์ <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 และ <i>S. cerevisiae</i> SC90 เมื่อทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ภายใต้การแปรผัน จำนวนเซลล์ยีสต์เริ่มต้น	39
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าว ฟ่างหวานโดยยีสต์พันธุ์ <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 และ <i>S. cerevisiae</i> SC90 เมื่อทำการหมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การแปรผัน จำนวนเซลล์ยีสต์เริ่มต้น	40
ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่าง หวานโดยยีสต์พันธุ์ <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 และ <i>S. cerevisiae</i> SC90 เมื่อทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ภายใต้การแปรผัน ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นที่ระดับต่างๆ กัน	41
ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่าง หวานโดยยีสต์พันธุ์ <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 และ <i>S. cerevisiae</i> SC90 เมื่อทำการหมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การแปรผัน ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นที่ระดับต่างๆ กัน	42

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 4.10	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 และ <i>S. cerevisiae</i> SC90 เมื่อทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ภายใต้การแปรผันยูเรียที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน	43
ตารางที่ 4.11	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 และ <i>S. cerevisiae</i> SC90 เมื่อทำการหมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การแปรผันยูเรียที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน	44
ตารางที่ 4.12	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 และ <i>S. cerevisiae</i> SC90 เมื่อทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ภายใต้การแปรผันแอมโมเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน	45
ตารางที่ 4.13	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 และ <i>S. cerevisiae</i> SC90 เมื่อทำการหมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การแปรผันแอมโมเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน	46
ตารางที่ 4.14	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 และ <i>S. cerevisiae</i> SC90 เมื่อทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ภายใต้การแปรผันยีสต์สกัดที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน	47
ตารางที่ 4.15	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ทนร้อน <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 และ <i>S. cerevisiae</i> SC90 เมื่อทำการหมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การแปรผันยีสต์สกัดที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน	47
ตารางที่ 4.16	เปรียบเทียบการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยยีสต์ <i>S. cerevisiae</i> DBKKUY-53 และ <i>S. cerevisiae</i> SC90 ในถังหมักขนาด 2 ลิตร ที่อุณหภูมิ 37 และ 40 องศาเซลเซียส	49
ตารางที่ 4.17	ผลผลิตและคุณลักษณะทางการเกษตรของข้าวฟ่างหวานที่ปลูกในช่วงต่างๆ	50
ตารางที่ 4.18	ต้นทุนในการปลูกข้าวฟ่างหวาน	52
ตารางที่ 4.19	ต้นทุนในการผลิตน้ำเชื่อมข้าวฟ่างหวาน	53

คำสำคัญ

การผลิตเอทานอล (Ethanol Production)

Saccharomyces cerevisiae

ยีสต์ทนร้อน (thermotolerant yeast)

ข้าวฟ่างหวาน (Sweet sorghum)

การหมักแบบกะ (Batch fermentation)

พลังงานทดแทน (Renewable energy)