249063
ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249063

การทำนายการสูญเสียชูโครสจากขนมหวานเรียบแฉลดิกที่จำหน่ายด้วยกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

ณิศศิมา เบี้ยวสุข

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปรัญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
พฤษภาคม 2555
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

b00254200

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249063

การทำนายการสูญเสียซูโครสจากแบคทีเรียแลคติกที่จำแนกได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

กิตติมา เขียวอรุณ

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
พฤษภาคม 2555
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การทำนายการสูญเสียซูโครสจากแบคทีเรียแลคติกที่จำแนกได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย" ของ กิตติมา เขียวอรุณ เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ของมหาวิทยาลัยนเรศวร

.....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริตา ธนสุกาญจน์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอินทุ์ ประไชโย)

.....กรรมการ
(ดร.วรสิทธิ์ โทจำปา)

.....กรรมการ
(ดร.นที ทองศิริ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาณี ด่านวิริยะกุล)

อนุมัติ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คนึงนิจ ภู่พัฒน์วิบูลย์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
10 พฤษภาคม 2555

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย
ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ประจำปี 2553)

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอินทุ์ ประไชโย ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อเสนอแนะในการแก้ปัญหาต่างๆ และให้กำลังใจตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการวิทยานิพนธ์อันประกอบไปด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริตา ธนสุกาญจน์ ดร.วรสิทธ์ โทจำปา ดร.นที ทองศิริ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาณี ด่านวิริยะกุล กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า

กราบขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) เป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณามอบทุนสนับสนุนงานวิจัยเพื่อการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ขอขอบพระคุณผู้ควบคุมดูแลของโรงงานผลิตน้ำตาลทรายบริษัทรวมผลอุตสาหกรรมนครสวรรค์จำกัด อ.เมือง จ.นครสวรรค์ทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัยเป็นอย่างดีในการเก็บตัวอย่างน้ำอ้อยและกรุณาให้ความอนุเคราะห์สารฆ่าเชื้อชีวฆาตสำหรับการทำการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการกลางและห้องปฏิบัติการ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์คำแนะนำ การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และช่วยอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานด้วยดีเสมอมา

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจและการสนับสนุนในทุกๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา และขอบคุณ นายกฤษฎา ศตกาญจน์ และนางสาวพรรณนิภา มุ่นเชย ที่ให้ความช่วยเหลือในการปฏิบัติงาน และให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการทำนายการสูญเสียซูโครสจากแบคทีเรียแลคติกที่จำแนกได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายและผู้ที่สนใจบ้างไม่มากก็น้อย

กิตติมา เขียวอรุณ

ชื่อเรื่อง	การทำนายการสูญเสียซูโครสจากแบคทีเรียแลคติกที่จำแนกได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย
ผู้วิจัย	กิตติมา เขียวอรุณ
ประธานที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอินทุ์ ประไชโย
กรรมการที่ปรึกษา	ดร.วรสิทธิ์ โทจำปา ดร.นที ทองศิริ
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ วท.ม. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2554
คำสำคัญ	การทำนาย การสูญเสียซูโครส แบคทีเรียแลคติก กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย แบบจำลองจลนพลศาสตร์

บทคัดย่อ

249063

งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของแบคทีเรียแลคติกที่คัดแยกได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายที่มีผลต่อการสูญเสียซูโครส โดยศึกษาระดับกิจกรรมของเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครสของเชื้อที่แยกได้ จากนั้นทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและสารชีวฆาตต่ออัตราการเติบโตของจุลินทรีย์ อัตราการผลิตเอนไซม์ อัตราการใช้ซูโครส อัตราการเกิดฟรุกโตสในน้ำอ้อย และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอัตราต่างๆ ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารชีวฆาต เพื่อให้สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในน้ำอ้อยที่มีการปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์และหาสภาวะของอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารชีวฆาตที่เหมาะสมที่สามารถลดการสูญเสียซูโครสในกระบวนการผลิตน้ำตาลได้ ในการศึกษาชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ปนเปื้อนในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายของ ในตัวอย่างน้ำอ้อยจากลูกหีบชุดที่ 1 (FM) น้ำอ้อยในถังรวม (MJ) และน้ำอ้อยที่ผ่านถังดักทราย (FJ) พบว่าน้ำอ้อยจากทั้ง 3 จุด มีค่าพีเอช 5.2 และปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 20 14.6 และ 14.8 องศาบริกซ์ ตามลำดับ จุลินทรีย์หลักที่พบในน้ำอ้อยได้แก่แบคทีเรียแลคติก โดย MJ มีปริมาณ TLAB สูงสุดเท่ากับ 11.61 $\log_{10}$cfu/มล.ส่วนน้ำอ้อย FJ มีปริมาณการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ทุกชนิดต่ำที่สุด โดยมีปริมาณ TPC TYM TLAB และ *Leuconostoc* spp. เท่ากับ 8.86 ,5.75 11.97 และ 8.70 $\log_{10}$cfu/ml ตามลำดับ ผลการระบุสายพันธุ์ด้วยเทคนิค 16s RNA gene sequencing ของโคโลนีที่มีลักษณะทางสันฐานวิทยาและคุณสมบัติทางชีวเคมีคล้ายคลึงกับ *Leuconostoc* spp. และสามารถสร้าง EPS ได้ดีในอาหารที่มีซูโครสสูง พบว่าประกอบไปด้วยแบคทีเรียแลคติก 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Weissella cibaria*

219063

Lactobacillus fermentum และ *Lactobacillus paracasei* subsp. *Tolerans* แบคทีเรียทั้ง 3 สายพันธุ์มีระดับกิจกรรมของเอนไซม์เด็กแทรนซูเครสที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียสไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ *Leuconostoc mesenteroides* TISTR 473 โดย *Weissella cibaria* มีระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครสสูงสุด เท่ากับ 0.236 หน่วยต่อมล. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และ 0.053 หน่วยต่อมล. ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

เมื่อทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเจริญเติบโต ระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส อัตราการใช้ซูโครส อัตราการเกิดเด็กซ์แทรนและฟรุกโตสของ *W. cibaria* ในน้ำอ้อย พบว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส *W. cibaria* มีเจริญเติบโต ระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส อัตราการใช้ซูโครส อัตราการเกิดเด็กซ์แทรนและฟรุกโตสสูงสุดเท่ากับ 9.23 log_{10}cfu/ml 2.89±0.01 DSU/ml 3.65±0.18 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง 2.68±0.03 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และ 2.04±0.07 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส *W. cibaria* มีอัตราการเจริญเติบโต ระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส อัตราการใช้ซูโครส อัตราการเกิดเด็กซ์แทรนและฟรุกโตส เท่ากับ 1.39 log_{10}cfu/ml 0.12±0.00 DSU/ml 0.10±0.03 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง 0.04±0.00 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และ 0.12±0.01 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อการสูญเสียซูโครสเนื่องจาก *W. cibaria* โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การเจริญเติบโตของลดลง ส่งผลทำให้อัตราการใช้ซูโครสลดลงด้วย และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการลดการสูญเสียซูโครสเนื่องจาก *W. cibaria*

ผลการศึกษาผลของสารชีวฆาตต่ออัตราการเจริญเติบโต ระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส อัตราการใช้ซูโครส อัตราการเกิดเด็กซ์แทรนและฟรุกโตสของ *W. cibaria* ในน้ำอ้อย พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของสารชีวฆาต 10 ppm *W. cibaria* มีอัตราการเจริญเติบโต และอัตราการใช้ซูโครส เท่ากับ 6.28 log_{10}cfu/ml และ 0.12±0.01 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ในขณะที่ไม่พบการผลิตเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส จึงเป็นผลทำให้ไม่มีการผลิตเด็กซ์แทรนและฟรุกโตส ที่ระดับความเข้มข้นของสารชีวฆาต 0 ppm *W. cibaria* มีอัตราการเจริญเติบโต ระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส อัตราการใช้ซูโครส อัตราการเกิดเด็กซ์แทรนและฟรุกโตส เท่ากับ 8.68 log_{10}cfu/ml 0.77±0.03 DSU/ml 1.97±0.37 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง 0.34±0.00 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และ 0.51±0.04 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นของสารชีวฆาตมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส โดยเมื่อระดับความเข้มข้นของสารชีวฆาตเพิ่มขึ้นมีผลทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญได้น้อยลง มีระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครสลดลง ส่งผลทำให้อัตราการใช้ซูโครสและ

249063

อัตราการเกิดเด็กซ์แทรนรวมถึงฟรุกโตสต่ำลงด้วย ดังนั้นระดับความเข้มข้นของสารชีวฆาตที่เหมาะสมมากที่สุดสำหรับการลดการสูญเสียซูโครสคือที่ 10 ppm ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและสารชีวฆาตต่ออัตราการเติบโต อัตราการผลิตเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส อัตราการใช้ซูโครส อัตราการเกิดเด็กซ์แทรนและฟรุกโตสของ *W. cibaria* ในน้ำอ้อย โดยออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (factorial design) ที่อุณหภูมิ 3 ระดับคือ 20 30 และ 40 องศาเซลเซียสและความเข้มข้นของสารชีวฆาต 3 ระดับคือ 0 5 และ 10 ppm พบว่าทั้งอุณหภูมิและระดับความเข้มข้นของสารชีวฆาตมีอิทธิพลร่วมต่อตัวแปรที่ทำการศึกษาทุกตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กับตัวแปรอื่นๆ ได้แก่ ระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส อัตราการใช้ซูโครส อัตราการเกิดเด็กซ์แทรนและฟรุกโตส พบว่าการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกกับตัวแปรทั้งหมด ($p<0.05$) นั่นคือเมื่อจุลินทรีย์มีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นย่อมส่งผลให้ระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส อัตราการใช้ซูโครส อัตราการเกิดเด็กซ์แทรนและฟรุกโตสเพิ่มขึ้นด้วย จึงสามารถสรุปได้ว่าที่ระดับความเข้มข้นของสารชีวฆาต 10 ppm ที่ทุกอุณหภูมิ สามารถลดการสูญเสียซูโครสเนื่องจาก *W.cibaria* ที่แยกได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายได้ดีที่สุด ในขณะที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และระดับความเข้มข้นของสารชีวฆาต 0 ppm เป็นสภาวะที่ *W. cibaria* มีอัตราการใช้ซูโครส อัตราการเกิดเด็กซ์แทรนและฟรุกโตสในปริมาณสูงสุด

เพื่อให้สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในน้ำอ้อยที่มีการปนเปื้อนจากแบคทีเรียแลคติกที่สามารถผลิตเด็กซ์แทรน และหาสภาวะของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการลดการสูญเสียซูโครสในกระบวนการผลิตน้ำตาลได้ จึงได้มีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอัตราการเจริญเติบโต อัตราการผลิตเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส อัตราการใช้ซูโครส อัตราการผลิตเด็กซ์แทรนและอัตราการผลิตฟรุกโตสที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของ *W. cibaria* และ *L. mesenteroides* TISTR 473 ที่เพาะเลี้ยงในน้ำอ้อยภายในสภาวะอุณหภูมิ 20 – 40 องศาเซลเซียส โดยใช้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ พบว่า ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทำนายได้จากการเปรียบเทียบเส้นโค้งที่เหมาะสมระหว่างแบบจำลองและข้อมูลจากการทดลองโดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป Berkeley Madonna สามารถนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ต้องการศึกษากับอุณหภูมิได้ และเมื่อทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีความถูกต้อง และสามารถใช้อธิบายอัตราการเติบโต อัตราการใช้ซูโครส อัตราการผลิตเด็กซ์แทรนและ

249063

ฟรุกโตสของ *W. cibaria* และ *L. mesenteroides*TISTR473 ได้ดี และสามารถอธิบายแนวโน้มการผลิตเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครสได้

Title	ESTIMATION OF SUCROSE LOSS BY LACTIC ACID BACTERIA ISOLATED FROM SUGAR MANUFACTURING PROCESS
Author	Kittima Kheawarun
Advisor	Assistant Professor Orn-In Prachaiyoa, Ph.D.
Co - Advisor	Worasit Tochampa, Ph.D.
	Natee Tongsiri, Ph.D.
Academic Paper	Thesis M.S. in Food Science and Technology, Naresuan University, 2011
Keywords	Estimation, Sucrose loss, Lactic Acid Bacteria, Sugar manufacturing process, Kinetic model

ABSTRACT

249063

The objectives of this study were to isolate and identify the variety and quantity of lactic acid bacteria affecting sucrose loss in sugar manufacturing process. 3 sugarcane juice samples including juice from first mill (FM), mixed juice (MJ) and filtered juice (FJ) were collected from the local sugar manufacture. The chemical analysis showed that pH of all samples were 5.2 and the TSS of FM, MJ and FJ were 20, 14.6 and 14.8 $^{\circ}$ Brix, respectively. The data revealed that the majority of microorganisms contaminated sugarcane juice was lactic acid bacteria (LAB). MJ contained the highest level of LAB (11.61 $\log_{10}$cfu/ml) whereas FJ contained the lowest amount of microbial contamination consisting of TPC TYM TLAB and *Leuconostoc* spp. of 8.86, 5.75, 11.97 and 8.70 $\log_{10}$cfu/ml, respectively. The identification using 16s RNA gene sequencing technique of colonies assembling morphological and biochemical characteristics of *Leuconostoc* spp. and ability to produce EPS in media containing high sucrose demonstrated that those colonies were 3 strains of LAB i.e. *Weissella cibaria*, *Lactobacillus fermentum* and *Lactobacillus paracasei* subsp. *tolerans*. When their dextransucrase activity were determined, the result showed that the activities of all 3 strains at 30 and 40°C were not significantly different ($p>0.05$) when compared to those of *Leuconostoc mesenteroides* TISTR 473. In addition, *Weissella cibaria* displayed the

249063

highest dextransucrase activity of 0.236 unit/ml at 30°C and 0.053 unit/ml at 40°C. Thus *W. cibaria* was selected for the investigation of the influences of temperature and biocide concentration upon the growth rate, dextransucrase production rate, sucrose consumption rate, dextran production rate and fructose production rate. When the effects of temperature were studied, the data showed that the rate of growth, dextransucrase production, sucrose consumption, dextran production and fructose production of *W. cibaria* at 20 °C were 9.23 $\log_{10}$cfu/ml 2.89±0.01 DSU/ml 3.65±0.18 g/l/h 2.68±0.03 g/l/h and 2.04±0.07 g/l/h, respectively which were highest. On the other hand, those numbers at 40°C were 1.39 $\log_{10}$cfu/ml 0.12±0.00 DSU/ml 0.10±0.03 g/l/h 0.04±0.00 g/l/h and 0.12±0.01 g/l/h, respectively which were the lowest. This data showed that as the temperature increased, the sucrose loss decreased. Therefore 40°C was the optimal temperature for minimizing the sucrose loss caused by *W. cibaria*. When the effects of the biocide concentration were investigated, the results showed that at 10 ppm of biocide, the rate of growth, dextransucrase production, sucrose consumption, dextran production and fructose production of *W. cibaria* were 6.28 $\log_{10}$cfu/ml 0.00±0.00 DSU/ml 0.12±0.07 g/l/h 0.00±0.00 g/l/h and 0.00±0.02 g/l/h, respectively. Whereas at 0 ppm, those of *W. cibaria* were 8.68 $\log_{10}$cfu/ml 0.77±0.03 DSU/ml 1.97±0.37 g/l/h 0.34±0.00 g/l/h and 0.51±0.04 g/l/h, respectively. This suggested that as the biocide concentration increased, the bacterial growth and their dextransucrase activity decreased resulting in the reduction in sucrose consumption, dextran and fructose production. Hence the optimum biocide concentration for the minimum sucrose loss caused by *W. cibaria* is 10 ppm at 30°C. In order to understand the impact of temperature and biocide concentration upon the growth rate, dextransucrase production rate, sucrose consumption rate, dextran production rate and fructose production rate of *W. cibaria* in sugarcane juice, the factorial design was carried out using 3 levels of temperature (20°C, 30°C and 40°C) and 3 levels of biocide concentrations (0, 5 and 10 ppm). The data demonstrated that both temperature and biocide concentrations had a significant effect on all variables of interests ($p<0.05$). When the interaction of growth and other variables (dextransucrase production rate, sucrose consumption rate, dextran and

249063

fructose production rate) was considered, the results suggested that the growth rate exhibited positive correlations with all values ($p<0.05$). As the growth rate increases, dextransucrase production rate, sucrose consumption rate, dextran and fructose production rate also increases. Based on this data, at all temperatures, 10 ppm of biocide could maximize the reduction of the sucrose loss caused by *W. cibaria* isolated from a sugar manufacturing process. On the other hand, *W. cibaria* exhibited the highest growth, dextransucrase production, sucrose consumption, dextran and fructose production rate at 0 ppm biocide and 20°C. In order to estimate the changes in sugarcane juice contaminated with dextran-producing LAB and the optimal temperature to reduce the sucrose loss in a sugar manufacturing process, a system of differential equations model that takes into account the growth rate, the dextransucrase production rate, the sucrose consumption rate, the dextran and fructose production rate with their relations to temperature of *W. cibaria* and *L. mesenteroides* TISTR 473 in sugar cane juice was developed. It was found out that the model parameters estimated by curve-fitting with the experimental data using the mathematical software Berkeley Madonna program were adequate in finding the relations between all variables and temperature. Validation of the model was carried out by comparing the output with experimental data at 25°C. The result demonstrated that the developed model was capable of predicting the growth rate, sucrose consumption rate, dextran and fructose production rate of *W. cibaria* and *L. mesenteroides* TISTR473. In addition, they could also be used to explain the trend of the dextransucrase production.

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	**บทนำ**	1
	ความเป็นมาของปัญหา	1
	จุดมุ่งหมายของการศึกษา	4
	ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
	ขอบเขตของงานวิจัย	4
2	**เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	5
	อุตสาหกรรมน้ำตาล	5
	การสูญเสียซูโครสในน้ำอ้อย	6
	แบคทีเรียแลคติกกลุ่มของ Dextran-producing Lactic Acid Bacteria (DPLAB)	8
	เด็กซ์แทรน (Dextran)	10
	การลดการสูญเสียซูโครสในกระบวนการผลิตน้ำตาล	12
	สารชีวฆาต (Biocide)	13
	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	14
3	**วิธีดำเนินการวิจัย**	20
	จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง	20
	สารเคมี	20
	เครื่องมือและอุปกรณ์	21
	วิธีการวิจัย	22
	การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	26
	สถานที่และระยะเวลาการทำวิจัย	26

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	**ผลการวิจัย**	27
	ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ปนเปื้อนในกระบวนการผลิตน้ำตาล	27
	การคัดเลือกและทดสอบคุณสมบัติของแบคทีเรียแลกติก	31
	การระบุสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่แยกได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาล	34
	ระดับกิจกรรมของเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครสของเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้	37
	การเจริญเติบโตของ *Leuconostoc mesenteroides* TISTR 473 และ *Weissella cibaria* ในอาหารเหลว MRS และในน้ำอ้อย	40
	ผลของอุณหภูมิต่อการเติบโต ระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส ปริมาณซูโครส ปริมาณเด็กซ์แทรนและปริมาณฟรุกโตสของ *Weissella cibaria* และ *Leuconostoc mesenteroides* TISTR 473 ในน้ำอ้อย	48
	ผลของสารชีวภัณฑ์ต่อการเติบโต ระดับกิจกรรม เอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส ปริมาณซูโครส ปริมาณเด็กซ์แทรนและฟรุกโตส ของ *Weissella cibaria* และ *Leuconostoc mesenteroides* TISTR 473 ในน้ำอ้อย	65
	ผลของอุณหภูมิและสารชีวภัณฑ์ต่อการเติบโต ระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส ปริมาณซูโครส และปริมาณเด็กซ์แทรนและฟรุกโตสในน้ำอ้อยของ *Weissella cibaria*	79
	การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	90
	การประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	93
	การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองกับอุณหภูมิ	104
	การทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	124
	การประยุกใช้แบบจำลองการทำนายการเติบโต การผลิตเอนไซม์เด็กแทรนซูเครส การผลิตฟรุกโตส การผลิตเด็กซ์แทรนและการใช้ซูโครส	128

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
5	**บทสรุป**	133
	สรุปผลการวิจัย	133
	ข้อเสนอแนะ	136
บรรณานุกรม		137
ภาคผนวก		144
ประวัติผู้วิจัย		167

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1 ปริมาณจุลินทรีย์ปนเปื้อนในกระบวนการผลิตน้ำตาล ณ จุดต่างๆ..... 28

2 แสดงการเจริญเติบโตและการสร้างโพลีแซคคาไรด์ (Exopolysaccharide;EPS) ของแบคทีเรียกลุ่ม *Leuconostoc* spp. ที่อุณหภูมิต่างๆ..... 32

3 การจำแนกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่แยกได้..... 36

4 สัดส่วนการเพิ่มปริมาณของ และ *W. cibaria* และ *L. mesenteroides* TISTR 473 ที่อุณหภูมิต่างๆ..... 52

5 ระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครสและอัตราการผลิตเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส ของ *Weissella cibaria* และ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR 473 ในน้ำอ้อย (pH 5.0 – 5.5) ที่อุณหภูมิ 20 30 และ 40 องศาเซลเซียส..... 55

6 อัตราการใช้ซูโครสของ *Weissella cibaria* และ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR 473 ในน้ำอ้อย (pH 5.0 – 5.5) ที่อุณหภูมิ 20 30 และ 40 องศาเซลเซียส..... 57

7 อัตราการเกิดเด็กซ์แทรนของ *Weissella cibaria และ Leucunostoc mesenteroides* TISTR 473 ในน้ำอ้อย (pH 5.0 – 5.5) ที่อุณหภูมิ 20 30 และ 40 องศาเซลเซียส..... 61

8 อัตราการเกิดฟรุกโตสของ *Weissella cibaria* และ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR473 ในน้ำอ้อย (pH 5.0 – 5.5) ที่อุณหภูมิ 20 30 และ 40 องศาเซลเซียส..... 63

9 สัดส่วนปริมาณจุลินทรีย์ต่อปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น (log N/N0) ของ *Weissella cibaria* และ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR 473 ในน้ำอ้อย (pH 5.0 – 5.5) ที่สารชีวฆาตความเข้มข้น 0 5 และ 10 ppm..... 67

10 ระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครสและอัตราการผลิตเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครสของ *Weissella cibaria* และ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR473 ในน้ำอ้อย (pH 5.0 – 5.5) ที่สารชีวฆาตความเข้มข้น 0 5 และ 10 ppm..... 71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

11 อัตราการใช้ซูโครสของ *Weissella cibaria* และ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR 473 ในน้ำอ้อย (pH 5.0 – 5.5) ที่สารชีวฆาตความเข้มข้น 0 5 และ 10 ppm 74

12 อัตราการเกิดเด็กซ์แทรนของ *Weissella cibaria* และ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR473 ในน้ำอ้อย (pH 5.0 – 5.5) ที่สารชีวฆาตความเข้มข้น 0 5 และ 10 ppm 75

13 อัตราการเกิดฟรุกโตสของ *Weissella cibaria* และ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR 473 ในน้ำอ้อย (pH 5.0 – 5.5) ที่สารชีวฆาตความเข้มข้น 0 5 และ 10 ppm 79

14 ผลของอุณหภูมิและสารชีวฆาตต่อการเติบโต ระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส ปริมาณซูโครส ปริมาณเด็กซ์แทรนและฟรุกโตสในน้ำอ้อยของ *Weissella cibaria* 82

15 ค่าพารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของการเติบโตของจุลินทร์ การใช้ซูโครส การผลิตเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส เด็กซ์แทรนและฟรุกโตส โดย *W. cibaria*..... 94

16 ค่าพารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของการเติบโตของจุลินทร์ การใช้ซูโครส การผลิตเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส เด็กซ์แทรนและฟรุกโตส โดย *Leuconostoc mesenteroides* TISTR473 99

17 การเตรียมสารละลายทดสอบสำหรับการวัดปริมาณกิจกรรมของเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส..... 153

18 การเตรียมกราฟมาตรฐานฟรุกโตส..... 154

19 การเตรียมกราฟมาตรฐานกลูโคส..... 155

20 การเตรียมกราฟมาตรฐานซูโครส..... 156

21 ข้อมูลของ *Weissella cibaria* ที่อุณหภูมิ 20 30 35 และ 40 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.... 158

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

22 ข้อมูลของ *Leuconostoc mesenteroides* TISTR 473 ที่อุณหภูมิ 20 30 35 และ 40 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง.. 160

23 ข้อมูลของ *Weissella cibaria* และ *Leuconostoc mesenteroides* TISTR 473 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์..... 162

24 ข้อมูลของ *Weissella cibaria* ที่อุณหภูมิ 25องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการค่า Weighted sum of squared errors (WSSE)..... 163

25 ข้อมูลของ *Leuconostoc mesenteroides* TISTR 473 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการค่า Weighted sum of squared errors (WSSE)... 165

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย.....	6
2	การย่อยน้ำตาลซูโครสโดยเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครสเพื่อสังเคราะห์เด็กซ์แทรน....	12
3	ตัวอย่างน้ำอ้อยที่ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างที่จุดต่างๆ ในระหว่างกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานผลิตน้ำตาลทราย จังหวัดนครสวรรค์.....	27
4	ลักษณะโคโลนีของจุลินทรีย์ปนเปื้อนโดยเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็ง PCA.....	29
5	ลักษณะโคโลนีของยีสต์และราโดยเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็ง RBA.....	29
6	ลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียแลคติกโดยเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็ง MRS.....	30
7	ลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียในกลุ่ม *Leuconostoc* spp.โดยเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MRS ที่มีซูโครสร้อยละ 20 และแวนโคมัยซินความเข้มข้น 150 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร.....	30
8	การทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมี.....	31
9	แผนภาพแสดงสายสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ (phylogenetic tree) ของแบคทีเรียแลคติกและแบคทีเรียแกรมบวก.....	36
10	ระดับกิจกรรมของเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียสของเชื้อแบคทีเรียแลคติกที่แยกได้ โดยทำการเพาะเลี้ยงในน้ำอ้อยที่ไม่มีการปรับค่าพีเอช.....	39
11	การเจริญเติบโตของเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* TISTR 473 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS ที่เพิ่มซูโครสร้อยละ 20.....	42
12	การเจริญเติบโตของเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides*TISTR473 ในน้ำอ้อยที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	43
13	การเจริญเติบโตของเชื้อ *Weissella cibaria*; เพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS ที่เพิ่มซูโครสร้อยละ 20ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	45
14	การเจริญเติบโตของเชื้อ *Weissella cibaria*; เพาะเลี้ยงในน้ำอ้อย ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ หน้า

15 รูปแบบการเจริญเติบโตของ *Weissella cibaria* (ก) และ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR473 (ข) ในน้ำอ้อย (pH 5.0-5.5) ที่อุณหภูมิ 20 30 และ 40 องศาเซลเซียส..... 51

16 ระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครสของ *Weissella cibaria* (ก) และ ของ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR473 (ข) ในน้ำอ้อย (pH 5.0-5.5)ที่อุณหภูมิ 20 30 และ 40 องศาเซลเซียส..... 54

17 ปริมาณซูโครสที่เหลืออยู่ของ *Weissella cibaria* (ก) และ ของ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR473 (ข) ในน้ำอ้อย (pH 5.0-5.5) ที่อุณหภูมิ 20 30 และ 40 องศาเซลเซียส..... 58

18 ปริมาณเด็กซ์แทรนของ *Weissella cibaria* (ก) และ ของ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR 473 (ข) ในน้ำอ้อย (pH 5.0-5.5) ที่อุณหภูมิ 20 30 และ 40 องศาเซลเซียส..... 60

19 ปริมาณฟรุกโตสของ *Weissella cibaria* (ก) และ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR 473 (ข) ในน้ำอ้อย (pH 5.0-5.5) ที่อุณหภูมิ 20 30 และ 40 องศาเซลเซียส 63

20 การเติบโต ระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครส ปริมาณซูโครส ปริมาณเด็กซ์แทรนและปริมาณฟรุกโตสของ *W. cibaria* ในน้ำอ้อยที่อุณหภูมิต่างๆ..... 64

21 รูปแบบการเจริญเติบโตของ *Weissella cibaria* (ก) และ ของ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR473 (ข) ในน้ำอ้อย (pH 5.0-5.5) ที่ความเข้มข้นของสารชีวฆาตที่ 0 5 และ 10 ppm..... 68

22 ระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครสของ *Weissella cibaria* (ก) และ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR473 (ข) ในน้ำอ้อย (pH 5.0-5.5) ที่ความเข้มข้นของสารชีวฆาตที่ 0 5 และ 10 ppm..... 70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ หน้า

23 ปริมาณซูโครสของ *Weissella cibaria* (ก) และ ของ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR 473 (ข) ในน้ำอ้อย (pH 5.0-5.5) ที่ความเข้มข้นของสารชีวฆาตที่ 0 5 และ 10 ppm..... 73

24 ปริมาณเด็กซ์แทรนของ *Weissella cibaria* (ก) และ ของ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR 473 (ข) ในน้ำอ้อย (pH 5.0-5.5) ที่ความเข้มข้นของสารชีวฆาตที่ 0 5 และ 10 ppm..... 76

25 ปริมาณฟรุกโตสของ *Weissella cibaria* (ก) และ ของ *Leucunostoc mesenteroides* TISTR473 (ข) ในน้ำอ้อย (pH 5.0-5.5) ที่ความเข้มข้นของสารชีวฆาตที่ 0 5 และ 10 ppm 78

26 แผนภาพการตอบสนอง (Contour plot) ระหว่างการเจริญเติบโตของ *Weissella cibaria* ในน้ำอ้อย (pH 5.0 – 5.5) ต่ออุณหภูมิและระดับความเข้มข้นของสารชีวฆาตต่างๆ..... 83

27 แผนภาพการตอบสนอง (Contour plot) ระหว่างระดับกิจกรรมเอนไซม์เด็กซ์ซูเครสของ *Weissella cibaria* ในน้ำอ้อย (pH 5.0 – 5.5) ต่ออุณหภูมิและระดับความเข้มข้นของสารชีวฆาตต่างๆ..... 84

28 แผนภาพการตอบสนอง (Contour plot) ระหว่างสัดส่วนปริมาณซูโครสต่อปริมาณซูโครสตั้งต้นของ *Weissella cibaria* ในน้ำอ้อย (pH 5.0 – 5.5) ต่ออุณหภูมิและระดับความเข้มข้นของสารชีวฆาตต่างๆ..... 86

29 แผนภาพการตอบสนอง (Contour plot) ระหว่างปริมาณเด็กซ์แทรนของ *Weissella cibaria* ในน้ำอ้อย (pH 5.0 – 5.5) ต่ออุณหภูมิและระดับความเข้มข้นของสารชีวฆาตต่างๆ..... 87

30 แผนภาพการตอบสนอง (Contour plot) สัดส่วนปริมาณฟรุกโตสต่อปริมาณฟรุกโตสตั้งต้นของ *Weissella cibaria* ในน้ำอ้อย (pH 5.0 – 5.5) ที่อุณหภูมิและระดับความเข้มข้นของสารชีวฆาตต่างๆ..... 89

31 การเติบโตของ (ก) *W. cibaria* และ (ข) *L. mesenteroides* TISTR 473 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส..... 90

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ หน้า

32 การเปรียบเทียบเส้นโค้งที่เหมาะสมของ *W. cibaria* ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส 95

33 การเปรียบเทียบเส้นโค้งที่เหมาะสมของ *W. cibaria* ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 96

34 การเปรียบเทียบเส้นโค้งที่เหมาะสมของ *W. cibaria* ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส 97

35 การเปรียบเทียบเส้นโค้งที่เหมาะสมของ *W. cibaria* ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 98

36 การเปรียบเทียบเส้นโค้งที่เหมาะสมของ *L. mesenteroides* TISTR473 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส 100

37 การเปรียบเทียบเส้นโค้งที่เหมาะสมของ *L. mesenteroides* TISTR473 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 101

38 การเปรียบเทียบเส้นโค้งที่เหมาะสมของ *L. mesenteroides* TISTR473 ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส 102

39 การเปรียบเทียบเส้นโค้งที่เหมาะสมของ *L. mesenteroides* TISTR473 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 103

40 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุด (k) กับอุณหภูมิของ *W. cibaria* และ *L. mesenteroides* TISTR 473 104

41 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสูงสุดของเซลล์ที่ทนต่อความร้อน (R_{as}) กับอุณหภูมิของ *W. cibaria* และ *L. mesenteroides* TISTR 473 106

42 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการตาย (k_d) กับอุณหภูมิของ *W. cibaria* และ *L. mesenteroides* TISTR 473 107

43 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ผลิตได้สูงสุด (E_{max}) กับอุณหภูมิของ *W. cibaria* และ *L. mesenteroides* TISTR 473 109

44 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตราการผลิตเอนไซม์ (k_e) กับอุณหภูมิของ *W. cibaria* และ *L. mesenteroides* TISTR 473 111

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ หน้า

45 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลได้ของเซลล์จากซูโครส ($Y_{x/s}$) กับอุณหภูมิของ *W. cibaria* และ *L. mesenteroides* TISTR 473 113

46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตเอนไซม์จำเพาะสูงสุด ($Q_{E,max}$) กับอุณหภูมิของ *W. cibaria* และ *L. mesenteroides* TISTR 473 115

47 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลองของ *W. cibaria* ที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 125

48 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลองของ *L. mesenteroides* TISTR473 ที่ อุณหภูมิ องศาเซลเซียส 127

49 การทำนายการเติบโตของ *W. cibaria* ที่ปนเปื้อนในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายที่อุณหภูมิต่างๆ จากแบบจำลองที่ได้ 129

50 การทำนายการผลิตเอนไซม์เด็กซ์แทรนซูเครสของ *W. cibaria* ที่ปนเปื้อนในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายที่อุณหภูมิต่างๆ จากแบบจำลองที่ได้ 129

51 การทำนายการผลิตฟรุกโตสของ *W. cibaria* ที่ปนเปื้อนในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายที่อุณหภูมิต่างๆ จากแบบจำลองที่ได้ 130

52 การทำนายการผลิตเด็กซ์แทรนของ *W. cibaria* ที่ปนเปื้อนในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายที่อุณหภูมิต่างๆ จากแบบจำลองที่ได้ 131

53 การทำนายการใช้ซูโครสของ *W. cibaria* ที่ปนเปื้อนในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายที่อุณหภูมิต่างๆ จากแบบจำลองที่ได้ 132

54 กราฟมาตรฐานฟรุกโตส 155

55 กราฟมาตรฐานกลูโคส 156

56 กราฟมาตรฐานซูโครส 157