การผลิตมอลโตเดกซ์ทรินจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสที่ทนความร้อน

นางสาวจิรารัตน์ ทัตติยกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2537

ISBN 974-584-878-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17019331

PRODUCTION OF MALTODEXTRINS FROM TAPIOCA STARCH USING THERMOSTABLE ALPHA-AMYLASE

Miss Jirarat Tattiyakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Food Technology
Graduate School
Chulalongkorn University
1994

ISBN 974-584-878-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตมอลโตเดกซ์ทรินจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสที่ทนความร้อน
โดย	นางสาวจิรารัตน์ ทัตติยกุล
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรี ปานกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ประชา บุญญสิริกุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรี ปานกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ประชา บุญญสิริกุล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. พาสวดี ฤทัยยานนท์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

จิรารัตน์ ทัตติยกุล : การผลิตมอลโตเดกซ์ทรินจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสที่ทนความร้อน (PRODUCTION OF MALTODEXTRINS FROM TAPIOCA STARCH USING THERMOSTABLE ALPHA-AMYLASE) อ.ที่ปรึกษา: รศ.ดร.พัชรี ปานกุล. อ.ที่ปรึกษาร่วม: อ.ประชา บุญสิริกุล. 152 หน้า. ISBN 974-584-878-6

งานวิจัยนี้ มุ่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต และเปรียบเทียบสมบัติของมอลโตเดกซ์ทรินที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบกะและกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ในกระบวนการผลิตแบบกะ ได้ศึกษาปัจจัยที่มีความสำคัญ คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์(X1) อุณหภูมิ(X2) และเวลาในการผลิต(X3) ในช่วงร้อยละ 0.01-0.10 80-90 องศาเซลเซียส และ 40-120 นาที ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดย Response Surface Methodology(RSM) ได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าD.E.ของผลิตภัณฑ์(Y) กับปัจจัยทั้งสาม ดังสมการที่ 1

$$Y = -301.8919 + 385.0736X1 + 6.5818X2 + 0.2949X3 - 2248.8541X1^2 - 0.0368X2^2 - 0.0013X3^2 + 0.4136X1X3 \quad (1)$$

ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ศึกษาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิต คือ ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ(X1) ในช่วงร้อยละ 30-40 ความเข้มข้นของเอนไซม์(X2) ร้อยละ 0.01-0.10 และอุณหภูมิของโด(X3) 120-130 องศาเซลเซียส ได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.Eของผลิตภัณฑ์(Y) กับปัจจัยทั้งสาม ดังสมการที่ 2

$$Y = -491.8243 + 13.0743X1 + 792.9028X2 + 3.9112X3 - 737.3810X2^2 - 0.1035X1X3 - 4.7770X2X3 \quad (2)$$

พบว่า สมการที่ 1 สามารถนำไปใช้ในการทำนายสภาวะการผลิตได้โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.22±0.41 ส่วนสมการที่ 2 สามารถนำไปใช้ในการทำนายสภาวะการผลิตได้โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 7.43±1.34 และเมื่อทดลองผลิตมอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า D.E.ประมาณ 10 และ 14 โดยใช้สมการที่ 1 และ 2 ทำนายสภาวะการผลิต พบว่า กระบวนการผลิตแบบกะให้ผลผลิตร้อยละ 87.03±2.49 ในขณะที่กระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ให้ผลผลิตร้อยละ 55.05±1.57

มอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะที่มีค่า Dextrose Equivalent(D.E.) เท่ากับ 10.06 และ 14.11 และะมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ที่มีค่า D.E.เท่ากับ 10.68 และ 12.81 มี Saccharides Profile เหมือนกัน โดยเมื่อค่า D.E.เพิ่มขึ้น แซคคาไรด์ที่มี Degree of Polymerization (D.P.) ต่ำๆจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำมอลโตเดกซ์ทรินทั้งสี่ตัวอย่างที่ผลิตได้มาเตรียมให้มีความเข้มข้นในช่วงร้อยละ 32-48 มอลโตเดกซ์ทรินทั้งสี่จะมีลักษณะการไหลเป็นแบบ Newtonian ซึ่งมีค่า Flow-behavior index เท่ากับ 1.03±0.02 และ Consistency index เท่ากับ 0.046±0.007 mPas ในช่วงที่มีค่า Shear rate 150-1000 วินาที$^{-1}$ ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำมันพืช เมื่อนำมอลโตเดกซ์ทรินทั้ง 4 ตัวอย่างไปใช้ทดแทนน้ำมันพืชในการผลิตน้ำสลัดชนิดข้น ในอัตราส่วนร้อยละ 25 และ 50 พบว่า น้ำสลัดชนิดข้นที่มีการใช้มอลโตเดกซ์ทรินทดแทนน้ำมันพืช ไม่มีความแตกต่างในด้านความข้นหนืดและรสชาติจากน้ำสลัดที่มีการใช้น้ำมันพืชเต็มสูตรอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีการอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

##C526786 :MAJOR FOOD TECHNOLOGY
KEY WORD: TAPIOCA STARCH/TWIN-SCREW EXTRUSION COOKING PROCESS/MALTODEXTRINS
JIRARAT TATTIYAKUL : PRODUCTION OF MALTODEXTRINS FROM TAPIOCA STARCH USING THERMOSTABLE ALPHA-AMYLASE. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. PATCHAREE PANKUN, Ph.D., CO-ADVISOR : MR.PRACHA BOONYASIRIKOON, LECTURER. 152 pp. ISBN 974-584-878-6

This research aimed to study the production of maltodextrins from tapioca starch using thermostable alpha-amylase in conventional batch process and twin-screw extrusion cooking process. In conventional batch process, the samples of 30%(w/w) tapioca starch slurry adjusted to pH 6.5 were treated by alpha-amylase. Alpha-amylase concentrations(X1), temperature(X2), and time(X3) were ranged at 0.01-0.10%(v/w), 80-90 degree celcius, and 40-120 minutes, respectively. Dextrose Equivalent (D.E.) values (Y) of the maltodextrins were determined after inhibiting enzyme activity and purifying. Response Surface Methodology (RSM) was used to optimize processing conditions. The second order polynomials model was fitted to illustrate the relationship between D.E. value (Y) and the three variables as following :

$$Y = -301.8919 + 385.0736X1 + 6.5818X2 + 0.2949X3 - 2248.8541X1^2 - 0.0368X2^2 - 0.0013X3^2 + 0.4136X1X3 \quad (1)$$

In twin-screw extrusion cooking process, the tapioca starch samples of varied moisture content(X1) at 30-40%(v/w) were cooked in extruder with 4.8 kilograms per hour feed rate and 150 rpm. screw rotational rate. Alpha-amylase concentration(X2) and dough temperature (X3) were ranged at 0.01-0.10% (v/w) and 120-130 degree celcius, respectively. D.E. values(Y) of the maltodwxtrins were determined after inhibiting enzyme activity and purifying. The second order polynomials model was fitted by using RSM to illustrate the relationship between D.E.value (Y) and the three variables as following :

$$Y = -491.8243 + 13.0743X1 + 792.9028X2 + 3.9112X3 - 737.3810X2^2 - 0.1035X1X3 - 4.7770X2X3 \quad (2)$$

Model (1) and (2) were used in predicting processing conditions and gave 98.78±0.41 and 92.57±1.34 % accuracy, respectively. The maltodextrins produced from both processes were identical in their saccharides profile. As concentrated maltodextrins with 32-48% total soluble solid, they were also identical in rheological properties which were the same as vegetable oil. These concentrated maltodextrins being used to substitute vegetable oil in salad dressing up to 50% substitution showed no significant difference ($p>0.05$) in texture and taste.

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีการอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พัชรี ปานกุล อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ประชา บุญสิริกูล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือทางด้านวิชาการตลอดระยะเวลาของการปฏิบัติงานวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ดร.สายพิณ มณีพันธ์ ผู้อำนวยการสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาอนุญาตให้ใช้สถานที่และเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประชา บุญสิริกูล ซึ่งนอกจากจะให้คำแนะนำทางด้านวิชาการแล้ว ยังกรุณาควบคุมเครื่องจักรในกระบวนการผลิต และคุณวายุ สนเทศ ที่ช่วยเหลือในการดำเนินการผลิต และให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท ไทยวา จำกัด ที่เอื้อเฟื้อวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในงานวิจัย บริษัท อิสต์เอเชียติก (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสที่ทนความร้อน และบริษัท วินเนอร์กรุ๊ป เอ็นเตอร์ไพรซ์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างมอลโตเดกซ์ทริน และกรุณาให้ข้อมูลเกี่ยวกับการวิเคราะห์สมบัติบางประการของมอลโตเดกซ์ทริน

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.พาสวดี ฤทัยยานนท์ ที่กรุณาให้ความรู้เกี่ยวกับการผลิตโดยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

ขอขอบพระคุณ คุณจรัญ เกตุหมื่นไวย และคุณโสภณ แซ่ลิ้ม ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในระหว่างที่ทำการผลิตโดยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ พี่ น้อง และเพื่อนๆในห้องวิจัยปริญญาโทเป็นอย่างสูง ที่ให้กำลังใจตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ช

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่

1. บทนำ..... 1

2. วารสารปริทัศน์..... 4

3. การทดลอง..... 30

4. ผลการทดลอง..... 44

5. วิจารณ์ผลการทดลอง..... 105

6. สรุปผลการทดลอง..... 122

รายการอ้างอิง..... 126

ภาคผนวก ก..... 131

ภาคผนวก ข..... 136

ภาคผนวก ค..... 147

ภาคผนวก ง..... 149

ภาคผนวก จ..... 150

ภาคผนวก ฉ..... 151

ประวัติผู้เขียน..... 152

สารบัญตาราง

ตารางที่	เรื่อง	หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากธรรมชาติชนิดต่างๆ.....	2
2	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังโดยทั่วไป.....	5
3	ปริมาณคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆในมอลโตเดกซ์ทริน.....	8
4	ข้อเปรียบเทียบระหว่าง Single- และ Twin-screw extruder.....	19
5	เปรียบเทียบสมบัติของเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสที่ได้จาก Bacillus amylo liquefaciens และ Bacillus licheniformis.....	26
6	สัดส่วนของน้ำมันพืชและมอลโตเดกซ์ทรินที่ใช้ในการผลิตน้ำสลัดชนิดข้นสูตรต่างๆ.....	43
7	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง.....	44
8	ปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชและค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตแบบกะในการทดลองแบบ Symmetric Factorial Design.....	46
9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชเนื่องจากความเข้มข้นของเอนไซม์(A) อุณหภูมิ(B) และเวลาที่ใช้ในการผลิต(C) ในกระบวนการผลิตแบบกะ.....	47
10	ค่าเฉลี่ยของปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบกะ.....	48
11	ค่าเฉลี่ยของปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชที่ระดับอุณหภูมิต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบกะ.....	48
12	ค่าเฉลี่ยของปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชที่เวลาต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบกะ	49
13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์เนื่องจากความเข้มข้นของเอนไซม์(A) อุณหภูมิ(B) และเวลาที่ใช้ในการผลิต(C) ในกระบวนการผลิตแบบกะ.....	53
14	ค่าเฉลี่ยของ D.E. ของผลิตภัณฑ์ที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบกะ.....	54

15	ค่าเฉลี่ยของ D.E. ของผลิตภัณฑ์ที่ระดับอุณหภูมิต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบกะ.....	54
16	ค่าเฉลี่ยของ D.E. ของผลิตภัณฑ์ที่เวลาต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบกะ..	55
17	ปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชและค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตแบบกะในการทดลองแบบ Box-Behnken Design.....	61
18	ปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชและค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ในการทดลองแบบ Symmetric Factorial Design.....	69
19	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชเนื่องจากความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ(A) ความเข้มข้นของเอนไซม์(B) และอุณหภูมิของโด(C) ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่.....	70
20	ค่าเฉลี่ยของปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างๆที่ใช้ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่.....	71
21	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์เนื่องจากความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ(A) ความเข้มข้นของเอนไซม์(B) และอุณหภูมิของโด(C) ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่.....	74
22	ค่าเฉลี่ยของ D.E. ของผลิตภัณฑ์ที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างๆที่ใช้ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่.....	75
23	ปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชและค่า D.E. ของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ในการทดลองแบบ Box-Behnken Design.....	78
24	ค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทรินที่คำนวณจากสมการและค่าที่วัดได้จริง ในการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินโดยวิธีการเติมเอนไซม์เพียงครั้งเดียว ในกระบวนการผลิตแบบกะ.....	87
25	ค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทรินที่คำนวณจากสมการและค่าที่วัดได้จริง ในการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินโดยวิธีการเติมเอนไซม์เพียงครั้งเดียวในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่.....	88
26	ปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชและค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทรินที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตแบบกะ และกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ในสภาวะที่เลือกได้จากการทดลอง.....	90

27 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆชนิดต่างๆในมอลโตเดกซ์ทรินที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตแบบกะและกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ในสภาวะที่เลือกได้จากการทดลอง..... 95

28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดและค่าความหนืดของมอลโตเดกซ์ทรินก่อนและหลังการทำให้เข้มข้น..... 97

29 ค่า Consistency Index และ Flow-behavior Index ของน้ำมันพืชและผลิตภัณฑ์มอลโตเดกซ์ทริน..... 98

30 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์น้ำสลัดชนิดข้นที่มีการใช้มอลโตเดกซ์ทรินที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบกะ(BMD) และกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ (TMD) ทดแทนน้ำมันพืชในปริมาณ 25 ใน 100 และ 50 ใน 100..... 101

31 ค่าพลังงานในน้ำสลัดชนิดข้นสูตรต่างๆ..... 102

สารบัญภาพ

ภาพที่	เรื่อง	หน้า
1	การไฮโดรไลซิสในเอกซ์ทรูเดทของแป้งจากข้าวสาลีที่อุณหภูมิ 80 °C หลังผ่านการเอกซ์ทรูดพร้อมกับเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส Termamyl 60L® ภายใต้สภาวะต่างๆ	22
2	กระบวนการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินโดยการเติมเอนไซม์ครั้งเดียวในการผลิตแบบกะ	33
3	กระบวนการผลิตมอลโตเดกซ์ทรินโดยการเติมเอนไซม์ครั้งเดียวในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่	38
4	ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของเอนไซม์กับอุณหภูมิต่อปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชของมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะ	50
5	ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของเอนไซม์กับเวลาต่อปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชของมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะ	50
6	ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาต่อปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชของมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะ	51
7	ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของเอนไซม์กับอุณหภูมิต่อค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะ	56
8	ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของเอนไซม์กับเวลาต่อค่า D.E.ของมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะ	56
9	ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาต่อค่า D.E.ของมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะ	57
10	กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชและค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะ	59
11	กราฟความสัมพันธ์เชิงลอการิทึมระหว่างปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชและค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะ	60
12	กราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E.ของมอลโตเดกซ์ทริน ความเข้มข้นของเอนไซม์ และเวลาในกระบวนการผลิตแบบกะ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	65

13 Contour plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E.ของมอลโตเดกซ์ทริน ความเข้มข้นของเอนไซม์ และเวลาในกระบวนการผลิตแบบกะ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส..... 65

14 กราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E.ของมอลโตเดกซ์ทริน ความเข้มข้นของเอนไซม์ และเวลาในกระบวนการผลิตแบบกะ ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส..... 66

15 Contour plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E.ของมอลโตเดกซ์ทริน ความเข้มข้นของเอนไซม์ และเวลาในกระบวนการผลิตแบบกะ ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส..... 66

16 กราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E.ของมอลโตเดกซ์ทริน ความเข้มข้นของเอนไซม์ และเวลาในกระบวนการผลิตแบบกะ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส..... 67

17 Contour plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E.ของมอลโตเดกซ์ทริน ความเข้มข้นของเอนไซม์ และเวลาในกระบวนการผลิตแบบกะ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส..... 67

18 ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบกับอุณหภูมิของโดต่อปริมาณลิเคอไฟสตาร์ชของมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่..... 72

19 ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบกับอุณหภูมิของโดต่อค่า D.E.ของมอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่..... 76

20 กราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ และความเข้มข้นของเอนไซม์ ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส..... 83

21 Contour plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E.ของมอลโตเดกซ์ทริน ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ และความเข้มข้นของเอนไซม์ ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส..... 83

22 กราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ และความเข้มข้นของเอนไซม์ ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส..... 84

23 Contour plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E.ของมอลโตเดกซ์ทริน ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ และความเข้มข้นของเอนไซม์ ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส..... 84

24 กราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. ของมอลโตเดกซ์ทริน ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ และความเข้มข้นของเอนไซม์ ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส..... 85

25 Contour plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E.ของมอลโตเดกซ์ทริน ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ และความเข้มข้นของเอนไซม์ ในกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส..... 85

26 Chromatogram แสดงปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีค่า D.P. 1 ถึง 6 ใน BMD 10.06..... 91

27 Chromatogram แสดงปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีค่า D.P. 1 ถึง 6 ใน BMD 14.11..... 92

28 Chromatogram แสดงปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีค่า D.P. 1 ถึง 6 ใน TMD 10.68..... 93

29 Chromatogram แสดงปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีค่า D.P. 1 ถึง 6 ใน TMD 12.81..... 94

30 ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Apparent viscosity ของน้ำมันพืช(Oil) ผลิตภัณฑ์มอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการผลิตแบบกะ(BMD) ที่มีค่า D.E.10.06 และ 14.11 และผลิตภัณฑ์มอลโตเดกซ์ทรินจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันแบบสกรูคู่(TMD) ที่มีค่า D.E.10.68 และ 12.81 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส..... 99

31 Chromatogram ของกลูโคส (D.P.1) แสดง Peak area และ Retention time ของกลูโคส 100 ไมโครกรัม..... 141

32 Chromatogram ของมอลโตส (D.P.2) แสดง Peak area และ Retention time ของมอลโตส 100 ไมโครกรัม..... 142

33 Chromatogram ของมอลโตไตรโอส (D.P.3) แสดง Peak area และ Retention time ของมอลโตไตรโอส 100 ไมโครกรัม..... 143

34 Chromatogram ของมอลโตเตตระโอส (D.P.4) แสดง Peak area และ Retention time ของมอลโตเตตระโอส 100 ไมโครกรัม..... 144

35 Chromatogram ของมอลโตเพนตะโอส (D.P.5) แสดง Peak area และ Retention time ของมอลโตเพนตะโอส 100 ไมโครกรัม..... 145

36 Chromatogram ของมอลโตเฮกสะโอส (D.P.6) แสดง Peak area และ Retention time ของมอลโตเฮกสะโอส 100 ไมโครกรัม 146