การแปรสภาพแป้งมันฝรั่งเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด

นางสาว วรนุช ศรีเจษฎารักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2530

ISBN 974-568-444-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

013059

i 10292809

Modification of Potato Starch for Uses in Some Food Products

Miss Voranuch Srijesdarak

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Food Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1987

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การแปรสภาพแป้งมันฝรั่งเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด

โดย นางสาววรนุช ศรีเจษฎารักษ์

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

---------- คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

---------- ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.สุวรรณา สุภิมารส)

---------- กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สายวรุณี ชัยวานิชศิริ)

---------- อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ)

---------- อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล)

วรนุช ศรีเจษฎารักษ์ : การแปรสภาพแป้งมันฝรั่ง เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด (Modification of Potato Starch for Uses in Some Food Products) อ.ที่ปรึกษา : ดร.วรรณา ตุลยธัญ, อ.ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล, 131 หน้า.

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะใช้แป้งมันฝรั่ง และแป้งมันฝรั่งแปรสภาพจากต่างประเทศมาใช้ในการผลิตอาหารมากขึ้น ทั้งที่ปัจจุบันมันฝรั่งที่ปลูกในประเทศมีปริมาณมากเกินความต้องการในฤดูเก็บเกี่ยว ทำให้มีแนวโน้มว่าประเทศไทยน่าจะผลิตแป้งมันฝรั่งเองได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาขยายขอบเขตการใช้แป้งมันฝรั่งที่ผลิตจากมันฝรั่งที่ปลูกภายในประเทศเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารให้กว้างขวางขึ้น จากผลงานวิจัย พบว่า เม็ดแป้งมันฝรั่งที่เตรียมจากมันฝรั่งพันธุ์สปุนต้าที่ปลูกภายในประเทศมีลักษณะยาวรี มีbirefringence เห็นได้ชัด ขนาดของเม็ดแป้งอยู่ในช่วง 19-35 u มีองค์ประกอบทางเคมีของแป้งคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งดังนี้ ความชื้น 12.86 โปรตีน 0.12 คาร์โบไฮเดรต 95.37 ไขมัน 0.95 เถ้า 0.02 เส้นใย 0.09 มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 20.48 และมีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 6.90×10^{-2} แป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้มีอุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) 66-68 °ซ ซึ่งสูงกว่าแป้งมันฝรั่งต่างประเทศที่มีอุณหภูมิแป้งสุก 60-62 °ซ นอกจากนี้ยัง พบว่า แป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้มีการพองตัวของเม็ดแป้งต่ำกว่า มีเสถียรภาพของความหนืดในช่วง heating cycle สูง และสามารถเกิด retrogradation ได้สูงกว่าแป้งมันฝรั่งจากต่างประเทศ

ในการทำ cross-linking แป้งมันฝรั่งด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตที่สภาวะความเข้มข้นของสารละลายแป้งร้อยละ 40 pH 11 พบว่าเมื่ออุณหภูมิ (40±2 °ซ และ 50±2 °ซ) เวลา (4 และ 6 ชั่วโมง) และความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต(ร้อยละ0.20 และ 0.30) เพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาcross-linking จะสูงขึ้น นั่นคือ มีระดับการแทนที่ของกลุ่มฟอสเฟตในแป้งมันฝรั่งแปรสภาพสูงขึ้น ทำให้แป้งมันฝรั่งแปรสภาพมีอุณหภูมิแป้งสุกสูงขึ้น จากผลงานวิจัยนี้ พบว่า สภาวะที่มีระดับการแทนที่ต่ำ คือ สภาวะที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตร้อยละ 0.20 อุณหภูมิ 40±2 °ซ เวลา 4 และ 6 ชั่วโมง และที่สภาวะความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตร้อยละ 0.30 อุณหภูมิ 40±2 °ซ เวลา 4 ชั่วโมงซึ่งแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่สภาวะนี้จะมีความหนืดของ paste ในช่วง heating cycle นาน 10-30 นาทีและช่วง cooling cycle สูงกว่าแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้ และที่ระดับการแทนที่สูงขึ้น แป้งมันฝรั่งแปรสภาพจะมีความหนืดของ paste ลดลงในช่วง heating cycle และต่ำกว่าแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้

สำหรับปัจจัยร่วมพบว่าเมื่ออุณหภูมิกับความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต อุณหภูมิกับเวลา เวลากับความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตเพิ่มขึ้นปฏิกิริยาcross-linking ให้ผลในทิศทางเสริมกัน

ในการศึกษาการนำแป้งมันฝรั่งแปรสภาพไปใช้ในผลิตภัณฑ์วุ้นเส้นและcaramel fudge topping พบว่าแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่สภาวะความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตร้อยละ 0.30 อุณหภูมิ 50±2 °ซ เวลา 4 ชั่วโมงสามารถใช้ทดแทนแป้งถั่วเขียวในผลิตภัณฑ์วุ้นเส้นร้อยละ 52 โดยน้ำหนักวุ้นเส้นที่ได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับวุ้นเส้นเกรดเอ(บริษัท วุ้นเส้นภาคตะวันออก)ซึ่งทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันฝรั่งต่างประเทศในอัตราส่วน 90:10 และแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่สภาวะดังกล่าวนี้กับที่สภาวะความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตร้อยละ 0.20 อุณหภูมิ 50±2 °ซ เวลา 6 ชั่วโมง สามารถใช้เป็นสารให้ความคงตัวใน caramel fudge topping โดยยังคงคุณภาพของความหนืด และลักษณะเนื้อสัมผัสเหมือนกับ caramel fudge topping ที่ใช้แป้ง Purity 4 (ชื่อทางการค้าของแป้งแปรสภาพชนิดหนึ่ง) เป็นสารให้ความคงตัว

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

ปีการศึกษา ๒๕๓๐ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

Voranuch Srijesdarak : Modification of Potato Starch for Uses in Some Food Products. Thesis Advisor : Vanna Tulyathan, Ph.D. Thesis Coadvisor : Asso. Prof. Chaiyut Thumpithayakul, Ph.D. 131 PP.

At present, food industry in Thailand tends to use imported potato starch and modified potato starch in many food products in spite of the fact that the amount of potato crops produced in Thailand is in excess of demand during peak seasons. It indicates the bright prospect of establishment of potato starch industry in Thailand.

The objective of this research is to diversify the industrial utilization of potato in Thailand. The results showed that the prepared potato starch had long starch granule, clear birefringence and granule size of 19 - 35 u. The chemical composition of the prepared potato starch was : moisture 12.86 %, protein 0.12%, carbohydrate 95.37%, fat 0.95%, ash 0.02%, and fiber 0.09%. The starch contained 20.48% amylose and 6.90 x 10^{-2}% phosphorous (dry weight basis) The gelatinization temperature was in the range of 66-68 °C. which was higher than the imported potato starch. While the swelling property of the prepared starch was lower than the imported potato starch, the stability of the paste during heating cycle and degree of retrogradation of the starch were higher.

In the investigation on cross-linking of potato starch with sodium trimetaphospate at 40% starch slurry concentration and pH 11, it was found that when temperature (40±2 °C and 50±2 °C) time (4 and 6 hours) and concentration of sodium trimetaphosphate(0.20% and 0.30%) were increased, the gelatinization temperature of the modified potato starch increased accordingly. The conditions that favoured low degree substitution were : 0.20% sodium trimetaphosphate, temperature, 40±2 °C for 4 and 6 hours and 0.30% sodium trimetaphosphate, temperature 40±2 °C for 4 hours. Under these conditions the viscosity of the paste holding for 10-30 minutes at 95 °C during the heating cycle and the cooling cycle was higher than the prepared potato starch. When the degree of substitution was further increased the viscosity of the paste during the heating cycle decreased as expected and was lower than the prepared potato starch.

In the study of interaction between factors i.e. the effect of temperature x concentration of sodium trimetaphosphate, temperature x time, time x concentration of sodium trimetaphosphate on cross-linking reaction, it was found that they were all synergistic.

When the cross-linked potato starch was used in the production, of vermicelli and caramel fudge topping, it was shown that the cross-linked potato starch produced at condition of 0.30% sodium trimetaphosphate, temperature 50±2 °C for 4 hours could be used to substitute mungbean starch in vermicelli product up to 52% by weight. The property of the vermicelli was similar to the property of Grade A vermicelli (East Vermicelli Company) that made from mungbean starch and imported potato starch in the fratio of 90:10. Furthermore, the same modified starch and also the cross-linked starch obtained under the condition of 0.20% sodium trimetaphosphate, temperature 50±2 °C for 6 hours could be used as stabilizer in caramel fudge topping giving a product with viscosity property and texture as good as caramel fudge topping using Purity 4 starch, a commercial product, as stabilizer.

ภาควิชา เทคโนโลยีการอาหาร ลายมือชื่อนิสิต วรนุช ศรีจรัสดารักษ์

สาขาวิชา เทคโนโลยีการอาหาร

ปีการศึกษา ๒๕๓๐ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา วรรณา ตุลยะธัน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ช

สารบัญรูป..... ฌ

บทที่

1. บทนำ..... 1

2. วารสารปริทัศน์..... 3

3. การทดลอง..... 38

4. ผลการทดลอง..... 59

5. วิจารณ์ผลการทดลอง..... 90

6. สรุปและข้อเสนอแนะ..... 99

เอกสารอ้างอิง..... 102

ภาคผนวก ก..... 107

ภาคผนวก ข..... 119

ภาคผนวก ค..... 123

ประวัติผู้เขียน..... 132

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ดร.วรรณา ตุลยธัญ และรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล ที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือทางด้านวิชาการตลอดระยะเวลาของการปฏิบัติงานเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ พลตำรวจตรี ชวลิต ยอดมณี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณสุวรรณ ปิดารังษี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ อุปกรณ์และสถานที่ในการผลิตวุ้นเส้น

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจแก่ผู้เขียนตลอดมา

สุดท้ายขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนในด้านเงินทุนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยความเรียบร้อย

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	สถิติการปลูกมันฝรั่งปี 2525 - 2528.....	2
ตารางที่ 2.1	เนื้อที่เพาะปลูกและผลผลิตของมันฝรั่ง ปี พ.ศ.2521 - 2525 กรมส่งเสริมการเกษตร.....	4
ตารางที่ 2.2	ปริมาณการสั่งเข้ามันฝรั่งและราคาพันธุ์มันฝรั่ง.....	5
ตารางที่ 2.3	องค์ประกอบอย่างประมาณของหัวมันฝรั่ง.....	9
ตารางที่ 2.4	ปริมาณแป้งในมันฝรั่งพันธุ์ต่าง ๆ.....	12
ตารางที่ 2.5	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งธัญพืชชนิดต่าง ๆ.....	15
ตารางที่ 2.6	ลักษณะเฉพาะของเม็ดแป้งชนิดต่าง ๆ (starch granule characteristic).....	17
ตารางที่ 2.7	ลักษณะเฉพาะของแป้งชนิดต่าง ๆ.....	19
ตารางที่ 2.8	ชนิดและสมบัติของแป้งแปรสภาพชนิดต่าง ๆ.....	25
ตารางที่ 2.9	สารเคมีที่ใช้ในการทำ cross linking ของแป้งเพื่อใช้ในอาหาร.	27
ตารางที่ 4.1	ปริมาณโปรตีนของแป้งมันฝรั่ง.....	60
ตารางที่ 4.2	ปริมาณเฉลี่ยขององค์ประกอบต่าง ๆ ของแป้งมันฝรั่ง.....	63
ตารางที่ 4.3	อุณหภูมิแป้งสุกและความหนืดที่อุณหภูมิต่างๆของแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้และแป้งมันฝรั่งต่างประเทศ.....	63
ตารางที่ 4.4	ความหนืดของ paste ของแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่อุณหภูมิ 95 °ซ....	74
ตารางที่ 4.5	เสถียรภาพของความหนืดของ paste ของแป้งมันฝรั่งแปรสภาพระหว่าง heating-cooling cycle.....	75
ตารางที่ 4.6	ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้ง.....	76
ตารางที่ 4.7	ปริมาณฟอสฟอรัสในแป้งมันฝรั่งแปรสภาพ และแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้.	78
ตารางที่ 4.8	ระดับการแทนที่ของสารโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตในปฏิกิริยา cross-linking.....	79
ตารางที่ 4.9	ค่าเฉลี่ยของความหนืดของ caramel fudge topping ที่ใช้แป้งชนิดต่าง ๆ เป็นตัวให้ความหนืดคงตัว.....	81
ตารางที่ 4.10	คะแนนเฉลี่ยของความหนืด ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมของ caramel fudge topping ที่ใช้แป้งชนิดต่าง ๆ.....	82
ตารางที่ 4.11	ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวุ้นเส้นแต่ละเส้นที่ทำจากแป้งผสมต่าง ๆ.....	84

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของการคืนตัวของวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งผสมต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกในน้ำเดือดที่เวลาต่าง ๆ กัน..... 85

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยของปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียไประหว่างการหุงต้มของวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งผสมต่าง ๆ และผ่านการต้มเดือดที่เวลาต่าง,ๆ กัน... 87

ตารางที่ 4.14 คะแนนเฉลี่ยลักษณะเส้น สี และกลิ่นรสที่ทำจากแป้งผสมต่าง ๆ..... 89

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 หัวมันฝรั่งอ่อน หัวมันฝรั่งที่เจริญเต็มที่ และต้นอ่อน..... 7

รูปที่ 2.2 ส่วนที่อยู่ใต้ดินของมันฝรั่ง..... 8

รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างของหัวมันฝรั่ง..... 9

รูปที่ 2.4 เม็ดแป้งมันฝรั่งถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์..... 16

รูปที่ 2.5 เม็ดแป้งมันฝรั่งถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์..... 16

รูปที่ 2.6 โครงสร้างอะไมโลสและอะไมโลเพคติน..... 18

รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความหนืดของ paste จากแป้งที่มีการพองตัวแบบต่าง ๆ โดยความเข้มข้นของน้ำแป้งที่ใช้เป็นกรัมของน้ำหนักแป้งแห้งต่อน้ำแป้ง 500 มิลลิลิตร..... 21

รูปที่ 2.8 ลักษณะกราฟแสดงความหนืดของแป้งถั่วเขียวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่วัดโดยใช้เครื่อง Brabender Visco-Amylograph..... 22

รูปที่ 2.9 กราฟแสดง Brabender Unit (B.U.) และลักษณะหรือรูปแบบของ Brabender Amylograph ของแป้งมันฝรั่งที่อุณหภูมิและเวลาใด ๆ.... 23

รูปที่ 2.10 อัตราการเกิด retrogradation ของแป้งชนิดต่าง ๆที่ความเข้มข้นน้ำแป้งร้อยละ 2 : 1. แป้งข้าวโพด 2. แป้งสาลี 3. แป้งมันฝรั่ง 4. แป้งมันเทศ 5. แป้ง arrowroot 6. แป้งมันสำปะหลัง 7. แป้ง wax corn..... 24

รูปที่ 2.11 Brabender viscosity ของแป้ง waxy sorghum ที่ cross-linked ด้วยไตรเมตต้าฟอสเฟต ปริมาณต่าง ๆ กัน (ร้อยละของไตรเมตต้าฟอสเฟต โดยน้ำหนักของแป้งแห้ง)..... 30

รูปที่ 2.12 ความสามารถในการพองตัวของแป้ง waxy sorghum ที่ทำ cross-linking ด้วยไตรเมตต้าฟอสเฟตปริมาณต่าง ๆ กัน..... 31

รูปที่ 2.13 ความหนืดวัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ของแป้งข้าวโพดที่ทำ cross-linking ด้วยไตรเมตต้าฟอสเฟตปริมาณต่าง ๆ กัน (ปริมาณของไตรเมตต้าฟอสเฟต คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของแป้งแห้ง)..... 32

รูปที่ 2.14 ขั้นตอนการผลิตวุ้นเส้น..... 37

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.1 เครื่องบด colloid mill..... 40

รูปที่ 3.2 เครื่องอบแห้งแบบเป็นชั้น (tray dryer)..... 41

รูปที่ 3.3 เครื่องปิดผนึกบรรจุแบบสูญญากาศ..... 42

รูปที่ 3.4 กล้องจุลทรรศน์แบบ Differential Interference Contrast (DIC)..... 43

รูปที่ 3.5 Brabender Visco-Amylograph รุ่น 8004 40, 8012 40..... 44

รูปที่ 3.6 Double Beam Spectrophotometer รุ่น UV240(P/N 204-5800). 45

รูปที่ 3.7 เครื่องบด pin mill..... 46

รูปที่ 3.8 เครื่องโฮโมจิไนเซอร์(homogenizer) รุ่น MT-21..... 47

รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการเตรียมแป้งมันฝรั่ง..... 48

รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการแปรสภาพแป้งด้วยวิธี cross-linking..... 51

รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการผลิต caramel fudge topping..... 54

รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการผลิตวุ้นเส้น..... 56

รูปที่ 4.1 ตำแหน่งที่สุ่มตัวอย่างเพื่อหาปริมาณโปรตีน 2 ชุด..... 60

รูปที่ 4.2 ลักษณะรูปร่างของเม็ดแป้งมันฝรั่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ Differential Interference Contrast (กำลังขยาย 200 เท่า) 61

รูปที่ 4.3 Birefringence ของเม็ดแป้งมันฝรั่ง ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ Differential Interference Contrast (กำลังขยาย 200 เท่า) 62

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความหนืดของ paste จากแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้ และแป้งมันฝรั่งต่างประเทศ..... 64

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความหนืดของ paste จากแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่สภาวะอุณหภูมิระดับต่างๆ ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.20 เวลา 4 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียว และแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้..... 68

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความหนืดของ paste จากแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่สภาวะอุณหภูมิระดับต่างๆ ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.20 เวลา 6 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียว และแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้..... 69

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงความหนืดของ paste จากแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่สภาวะอุณหภูมิระดับต่างๆ ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.30 เวลา 4 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียว และแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้.....	70
รูปที่ 4.8	กราฟแสดงความหนืดของ paste จากแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่สภาวะอุณหภูมิระดับต่างๆ ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.30 เวลา 6 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียว และแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้.....	71
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงความหนืดของ paste จากแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่สภาวะความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟต และเวลาที่ระดับต่าง ๆ ที่อุณหภูมิของปฏิกิริยา 40±2 °ซ เปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียว และแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้.....	72
รูปที่ 4.10	กราฟแสดงความหนืดของ paste จากแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่สภาวะความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟต และเวลาที่ระดับต่าง ๆ ที่อุณหภูมิของปฏิกิริยา 50±2 °ซ เปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียว และแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้.....	73
รูปที่ 4.11	กราฟแสดงความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	77
รูปที่ 4.12	การคืนตัวของวุ้นเส้นที่ผ่านการลวกในน้ำเดือดที่เวลาต่าง ๆ.....	86
รูปที่ 4.13	ปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียไประหว่างการหุงต้มของวุ้นเส้นที่ผ่านการต้มในน้ำเดือดที่เวลาต่าง ๆ.....	88