บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สมบัติของแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้

ผลการเตรียมแป้งจากมันฝรั่งพันธุ์สปุนต้าพบว่าแป้งมันฝรั่งที่ได้มีลักษณะสีขาว ไม่มีกลิ่น เม็ดแป้งไม่แตก ซึ่งเหมาะสำหรับนำมาทำการแปรสภาพแป้งด้วยวิธี cross-linking และผลจากการตรวจดูลักษณะของเม็ดแป้งมันฝรั่งด้วยกล้อง Differential Interference Contrast พบว่าเม็ดแป้งมีลักษณะยาวรี และมีวงแหวนเป็นชั้นๆ คล้ายลายในเปลือกหอย เห็น birefringence อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3

องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันฝรั่งตามตารางที่ 4.2 พบว่าแป้งมีปริมาณความชื้นร้อยละ 12.86 โปรตีนร้อยละ 0.12 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 95.37 ไขมันร้อยละ 0.95 เถ้าร้อยละ 0.02 เส้นใยร้อยละ 0.09 และมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 20.48

การเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste จากแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับแป้งมันฝรั่งต่างประเทศที่วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ระหว่าง heating-cooling cycle (รูปที่ 4.4) พบว่าแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้มีอุณหภูมิแป้งสุกประมาณ 66-68 °ซ หลังอุณหภูมิแป้งสุกความหนืดจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งอุณหภูมิ 95 °ซ วัดได้ 468 บี.ยู. และที่ 95 °ซ นาน 30 นาที ความหนืดวัดได้ 676 บี.ยู. เมื่อลดอุณหภูมิจาก 95 °ซ จนถึง 50 °ซ ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว พบว่าค่าความหนืดสูงสุดวัดได้ที่อุณหภูมิ 50 °ซ นาน 4 นาที มีค่า 1098 บี.ยู. และเมื่อตั้งไว้ที่อุณหภูมินี้นาน 30 นาที ความหนืดจะมีค่าลดลงเล็กน้อยวัดได้ 1060 บี.ยู. (ตารางที่ 4.3) ส่วนแป้งมันฝรั่งต่างประเทศมีอุณหภูมิแป้งสุกประมาณ 60-62 °ซ หลังอุณหภูมิแป้งสุกความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น พบว่าค่าความหนืดสูงสุดวัดได้ที่อุณหภูมิ 84 °ซ มีค่า 1170 บี.ยู. หลังอุณหภูมิ 84 °ซ ความหนืดจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนกระทั่งอุณหภูมิ 95 °ซ วัดได้ 810 บี.ยู. และที่ 95 °ซ นาน 30 นาที ความหนืดวัดได้ 400 เมื่ออุณหภูมิลดลงจาก 95-50 °ซ ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึง 50 °ซ วัดความหนืดได้ 555 บี.ยู. และเมื่อตั้งไว้ที่อุณหภูมินี้นาน 30 นาที ความหนืดวัดได้ 515 บี.ยู. จะเห็นว่าแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้กับแป้งมันฝรั่งต่างประเทศมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดในระหว่าง heating-cooling cycle แตกต่างกันอย่างชัดเจน จากการวัดขนาดเม็ดแป้งมันฝรั่งที่เตรียมจากมันฝรั่งพันธุ์สปุนต้าที่ปลูกภายในประเทศพบว่า มีขนาดเม็ดแป้ง 19-35 μ ซึ่งขนาดเล็กกว่าแป้งมันฝรั่งต่างประเทศที่มีขนาดของเม็ดแป้ง 27-55 μ จากผลการทดลองของ Suzuki (21) พบว่าขนาดของเม็ดแป้งมีส่วน

สำคัญโดยตรงต่อสมบัติของแป้ง คือ เม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่จะมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ เม็ดแป้งพองตัวง่าย paste มีความหนืดสูง เม็ดแป้งแตกตัวง่าย และความคงตัวของ paste น้อย

ปริมาณฟอสฟอรัสของแป้งมันฝรั่งจากมันฝรั่งพันธุ์สปุนต้ามีปริมาณร้อยละ 6.90×10^{-2} เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณฟอสฟอรัสของแป้งมันฝรั่งต่างประเทศซึ่งมีปริมาณร้อยละ 6×10^{-2} -9×10^{-2} ฟอสเฟตในแป้งนี้พบว่าจะอยู่ในรูปฟอสเฟตเอสเทอร์ ที่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่ 6 (31)

5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยา cross-linking ของแป้งมันฝรั่ง

5.2.1 ผลของอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของสารที่มีต่อปฏิกิริยา cross-linking ของแป้งมันฝรั่ง

ผลการทดลองตามตารางที่ 4.4 พบว่าการทำปฏิกิริยา cross-linking ของแป้งมันฝรั่งที่สภาวะสารละลายแป้งเข้มข้นร้อยละ 40 (น้ำหนักแป้งแห้ง) pH 11 ที่อุณหภูมิ 40±2 °ซ และ 50±2 °ซ เวลา 4 และ 6 ชั่วโมง และที่ระดับความเข้มข้นของสารโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.20 และ 0.30 พบว่า paste ของแป้งที่ได้จะมีความหนืดที่ 95 °ซ แตกต่างกัน เมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 10 °ซ ความหนืดที่ 95 °ซ จะแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.8 ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Van Patten และ Powell (48) ที่ว่าถ้ามีการเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยาสูงขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยา cross-linking จะสูงขึ้น ส่วนเวลาซึ่งต่างกันมากคือ 2 ชั่วโมง และความเข้มข้นโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตที่ต่างกันเพียงร้อยละ 0.10 ก็ทำให้ความหนืดที่ 95 °ซ แตกต่างกัน (รูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.10) Kerr และ Cleavland (49) ก็พบว่า ความเข้มข้นของสาร และเวลาของปฏิกิริยา cross-linking สูงขึ้น จะทำให้ปฏิกิริยา cross-linking สูงขึ้นด้วย เมื่อเม็ดแป้งเกิด cross-linked เพิ่มขึ้นจะทำให้เม็ดแป้งมีการสร้างพันธะโควาเลนท์ของฟอสเฟตกับโพลิเมอร์ของเม็ดแป้งมาก ทำให้แรงยึดภายในโครงสร้างของเม็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้น การพองตัวจึงมีจำกัด ความหนืดของ paste ที่ 95 °ซจะลดลง

นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตมีผลต่ออุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) ของแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่ได้ เพราะเมื่ออุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตเพิ่มขึ้น อุณหภูมิแป้งสุกของแป้งมันฝรั่งแปรสภาพจะสูงขึ้น และสูงกว่าแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้ ทั้งนี้เพราะเม็ดแป้งมีพันธะฟอสเฟตมากขึ้น ทำให้แรงยึดภายในโครงสร้างของเม็ดแป้งมีเพิ่มขึ้น ความสามารถในการ

พองตัวจึงลดลง และทำให้เม็ดแป้งสุกยากขึ้น (43)

สำหรับปัจจัยร่วมที่มีผลต่อปฏิกิริยา cross-linking (รูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10) พบว่า เมื่ออุณหภูมิกับความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟต อุณหภูมิกับเวลา และเวลากับความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยา cross-linking จะให้ผลในทิศทางที่เสริมกัน ทั้งนี้พิจารณาจากความหนืดของ paste ที่ 95 °ซ ซึ่งจะลดลงอย่างรวดเร็วตามตารางที่ 4.4 การเพิ่มอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตจะทำให้ปฏิกิริยา cross-linking สูงขึ้น ยิ่งปัจจัยแต่ละปัจจัยเปลี่ยนในทางเพิ่มขึ้นพร้อม ๆ กันก็ทำให้มีการ cross-linking มากขึ้น

แม้ว่าปฏิกิริยา cross-linking ที่มีต่อแป้งมันฝรั่งแปรสภาพจะทำให้อุณหภูมิของแป้งสุกสูงขึ้น (รูปที่ 4.9) จะพบว่าแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่อุณหภูมิ 40 $\pm$ 2 °ซ เวลา 4 ชั่วโมงและ 6 ชั่วโมง ของความเข้มข้นโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.20 และที่อุณหภูมิ 40 $\pm$ 2 °ซ เวลา 4 ชั่วโมง ของความเข้มข้นโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.30 มีค่าความหนืดของ paste ที่ 95 °ซ นาน 10-30 นาที และค่าความหนืดในช่วง cooling cycle สูงกว่าค่าความหนืดของแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากสภาวะการแปรสภาพดังกล่าวมีระดับ cross-linking ที่ต่ำ ซึ่งผลการทดลองนี้ให้ผลสอดคล้องกับของ Kite (43) ที่พบว่าแป้งแปรสภาพ waxy sorghum ที่มีระดับ cross-linking ต่ำ จะมีค่าความหนืดของ paste ในระหว่าง heating-cooling cycle สูงกว่าแป้ง waxy sorghum (รูปที่ 2.11) และเมื่อระดับ cross-linking สูงมาก ค่าความหนืดของ paste ของแป้งแปรสภาพจะลดลงมาก และต่ำกว่าของแป้ง waxy sorghum

5.2.2 ผลของอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตที่มีต่อเสถียรภาพของความหนืดของ paste จากแป้งมันฝรั่งแปรสภาพ

ค่าเสถียรภาพของความหนืดของ paste ซึ่งมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดที่ 95 °ซ นาน 30 นาที ตามตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่ออุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตเพิ่มขึ้น เสถียรภาพของความหนืดระหว่าง heating-cooling cycle จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะการเพิ่มอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตจะทำให้มีการสร้างพันธะโควาเลนท์ของฟอสเฟตกับโพลิเมอร์ของแป้งมากขึ้น เป็นเหตุให้แรงยึดภายในเม็ดแป้งมันฝรั่งแปรสภาพแข็งแรงมากขึ้น เป็นผลให้การเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste ระหว่างอุณหภูมิ 95 °ซ นาน 30 นาที กับที่อุณหภูมิของความหนืดสูงสุดในช่วง cooling เกิดไม่มาก ดังนั้น paste จึงมีเสถียรภาพของความหนืดสูง

ปัจจัยร่วมก็มีผลต่อเสถียรภาพของความหนืดของ paste ระหว่าง heating-cooling cycle พบว่าเมื่ออุณหภูมิกับความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟต อุณหภูมิกับเวลา และเวลากับความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เสถียรภาพความหนืดของ paste ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

5.3 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งมันฝรั่งแปรสภาพ

5.3.1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste ของแป้งมันฝรั่งแปรสภาพเปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียวในระหว่าง heating - cooling cycle

ผลการเปลี่ยนแปลงความหนืดระหว่าง heating-cooling cycle ของ paste จากแป้งมันฝรั่งแปรสภาพ แป้งมันฝรั่ง และแป้งถั่วเขียวที่ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 4 (รูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10) พบว่าแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดใกล้เคียงกับของแป้งถั่วเขียวคือที่สภาวะอุณหภูมิ 50 $\pm$ 2 °ซ เวลา 4 ชั่วโมง ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.30 และที่สภาวะอุณหภูมิ 50 $\pm$ 2 °ซ เวลา 6 ชั่วโมง ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.20 เป็นที่น่าสังเกตว่าแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่สภาวะดังกล่าวมีอุณหภูมิแป้งสุกสูงกว่าแป้งถั่วเขียว (รูปที่ 4.10)

5.3.2 ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้ง

ผลจากการทดสอบความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดระหว่าง heating-cooling cycle ใกล้เคียงกับแป้งถั่วเขียวเปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียวและแป้งมันฝรั่ง แสดงในรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.7 พบว่าที่อุณหภูมิ 65 °ซ แป้งทั้งหมดมีความสามารถในการพองตัวใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิ 65 °ซ นี้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิแป้งสุกของแป้งทั้งหมด การเริ่มดูดน้ำของเม็ดแป้งมีน้อยจึงทำให้การพองตัวใกล้เคียงกัน แต่ที่อุณหภูมิ 75 °ซ 85 °ซ และ 95 °ซ แป้งมันฝรั่งจะมีความสามารถในการพองตัวสูงกว่าแป้งมันฝรั่งแปรสภาพและแป้งถั่วเขียวอย่างเห็นได้ชัด ส่วนแป้งมันฝรั่งแปรสภาพทั้งสองชนิดจะมีความสามารถในการพองตัวใกล้เคียงกับของแป้งถั่วเขียว ดังนั้นแป้งแปรสภาพทั้งสองชนิดนี้น่าจะทดแทนแป้งถั่วเขียวในการผลิตวุ้นเส้นได้บางส่วน

5.3.3 ปริมาณฟอสฟอรัสในแป้งมันฝรั่งแปรสภาพและระดับการแทนที่

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตคำนวณในรูปฟอสฟอรัสในแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.20 และ 0.30 แสดงตามตารางที่ 4.6 พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มในแป้งมันฝรั่งแปรสภาพจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีการสร้างพันธะฟอสเฟตระหว่างโพลิเมอร์ของแป้งมากขึ้น และจากการคำนวณหาระดับการแทนที่ของกลุ่มฟอสเฟตในเม็ดแป้ง (62) พบว่าจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มในแป้งมันฝรั่งแปรสภาพ (ตารางที่ 4.7) นอกจากนี้ยังพบว่าที่สภาวะอุณหภูมิ 40 $\pm$ 2 °ซ เวลา 4 ชั่วโมงของความเข้มข้นโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.20 จะมีระดับ cross-linked ต่ำสุดคือ มี 1 cross-linked ต่อ 15456 หน่วยของ anhydroglucose unit (AGU) และมีระดับ cross-linked สูงสุดที่สภาวะอุณหภูมิ 50 $\pm$ 2 °ซ เวลา 6 ชั่วโมง และมีความเข้มข้นโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.30 ซึ่งมี 1 cross-linked ต่อ 2250 AGU

อย่างไรก็ตามพบว่า ถึงแม้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มในแป้งมันฝรั่งแปรสภาพจะมีค่าสูงสุดคือร้อยละ 8.5×10^{-3} ของน้ำหนักแป้งแห้ง แต่ก็ยังมีค่าต่ำกว่าปริมาณที่กำหนดไว้ในมาตราฐานของประเทศของกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 (พ.ศ.2527) ซึ่งกำหนดไว้ให้มีได้ไม่เกินร้อยละ 0.04 ของน้ำหนักแป้งแห้ง (64)

5.4 การนำแป้งมันฝรั่งแปรสภาพไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

5.4.1 การนำแป้งมันฝรั่งแปรสภาพไปใช้เป็นสารทำให้เกิดความคงตัวในผลิตภัณฑ์ caramel fudge topping

caramel fudge topping เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อนสูงเป็นเวลานาน และต้องผ่านเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ ดังนั้นผลิตภัณฑ์จะต้องมีความหนืดต่ำขณะร้อนและให้ความหนืดสูงเมื่อเย็น ทั้งนี้เพราะว่าความหนืดต่ำขณะร้อนจะทำให้การถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์สูง ความร้อนกระจายได้ทั่วถึง (44) และไม่จำเป็นต้องใช้ความดันสูงในเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ ดังนั้นแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่จะนำไปใช้เป็นสารให้เกิดความคงตัวใน caramel fudge topping ควรจะมีสมบัติที่มีความหนืดของ paste ต่ำและไม่มีการลดลงของความหนืดในช่วง heating-cycle และมีความหนืดสูงในช่วง cooling-cycle จากรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 พบว่าแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่มีสมบัติดังกล่าว คือแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่ได้

จากปฏิกิริยา cross-linking ที่อุณหภูมิ 50 + 2 °ซ. เวลา 6 ชั่วโมง ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.20 และที่สภาวะอุณหภูมิ 50 ± 2 °ซ เวลา 4 ชั่วโมง ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.30

5.4.1.1 ความหนืด

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความหนืดของตัวอย่าง caramel fudge topping พบว่าการใช้แป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่สภาวะความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.20 อุณหภูมิ 50 ± 2 °ซ เวลา 6 ชั่วโมง และปริมาณโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.30 อุณหภูมิ 50 ± 2 °ซ เวลา 4 ชั่วโมง เป็นสารทำให้เกิดความคงตัวใน caramel fudge topping มีค่าความหนืดใกล้เคียงกับของ caramel fudge topping ที่ทำจากแป้ง Purity 4 แต่ caramel fudge topping ที่ใช้แป้งมันฝรั่งเป็นสารทำให้เกิดความคงตัวมีความหนืดต่ำอย่างเห็นได้ชัดแสดงว่า ถึงแม้แป้งมันฝรั่งจะมีความหนืดที่มีเสถียรภาพในช่วง heating cycle (รูปที่ 4.5) แต่ไม่สามารถทนแรงปะทะจากเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ได้ ทำให้โครงสร้างเม็ดแป้งฉีกขาดเป็นผลให้ความหนืดลดลง ส่วนแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่เลือกมามีพันธะโควาเลนท์ของฟอสเฟตช่วยยึดโครงสร้างเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งทนต่อความร้อนสูงและแรงปะทะที่รุนแรงได้ จึงทำให้ความหนืดยังคงตัวอยู่ได้

5.4.1.2 การประเมินความหนืด และลักษณะเนื้อสัมผัสทางประสาทสัมผัส

ในการประเมินคุณภาพของ caramel fudge topping โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไป 12 คน ดังแสดงในตารางที่ 4.10 พบว่าตัวอย่าง caramel fudge topping ที่ใช้แป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่สภาวะความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.20 อุณหภูมิ 50 ± 2 °ซ เวลา 6 ชั่วโมง และแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่สภาวะความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.30 อุณหภูมิ 50 ± 2 °ซ เวลา 4 ชั่วโมงเป็นสารทำให้เกิดความคงตัวมีคะแนนเฉลี่ยความหนืด และลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมใกล้เคียงกับ caramel fugde topping ที่ใช้แป้ง Purity 4 เป็นสารทำให้เกิดความคงตัว เพราะแป้งมันฝรั่งแปรสภาพทั้ง 2 ตัวอย่างมีระดับการ cross-linking สูงพอที่เม็ดแป้งสามารถทนต่อความร้อน และแรงปะทะสูงได้ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ caramel fudge topping ที่มีความหนืดที่คงตัว ส่วน caramel fudge topping ที่ใช้แป้งมันฝรั่งเป็นสารให้ความคงตัวใน caramel fudge topping มีคะแนนเฉลี่ยความหนืด ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมต่ำทั้งนี้เพราะเม็ดแป้งมันฝรั่งไม่สามารถทนแรงปะทะสูงได้ ทำให้โครงสร้างภายในเม็ดแป้งฉีกขาด ความหนืดของ caramel fudge topping เมื่อเย็นจึงลดลง ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

5.4.2 การนำแป้งมันฝรั่งแปรสภาพไปทดแทนบางส่วนของแป้งถั่วเขียวในการผลิตวุ้นเส้น

จากผลการตรวจสอบสมบัติแป้งมันฝรั่งแปรสภาพ พบว่าแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste ระหว่าง heating-cooling cycle กับความสามารถในการพองตัวใกล้เคียงกับแป้งถั่วเขียว (รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11) คือแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่ได้จากปฏิกิริยา cross-linking ที่อุณหภูมิ 50 $\pm$ 2 °ซ เวลา 6 ชั่วโมง ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.20 และที่สภาวะอุณหภูมิ 50 $\pm$ 2 ° ซ เวลา 4 ชั่วโมง ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.30 แต่แป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่ใช้เพื่อนำไปทดแทนบางส่วนของแป้งถั่วเขียวในการทำวุ้นเส้นคือ แป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่ได้จากปฏิกิริยา cross-linking ที่อุณหภูมิ 50 $\pm$ 2 °ซ เวลา 4 ชั่วโมง ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ0.30 ทั้งนี้เพราะแป้งมันฝรั่งแปรสภาพนี้มีสภาวะปฏิกิริยาที่เวลาสั้นกว่าทำให้ประหยัดพลังงานความร้อน

5.4.2.1 ขนาดเส้น

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดลองวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวุ้นเส้น 4 ตัวอย่างที่ทำจากส่วนผสมของแป้งชนิดต่าง ๆ พบว่าวุ้นเส้นที่ได้ทุกตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นอยู่ในเกณฑ์มาตราฐานตามมาตราฐานผลิตภัณฑ์วุ้นเส้น มอก.444 -2525 ของกระทรวงอุตสาหกรรมโดยกำหนดให้วุ้นเส้นมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.5 ถึง 1.5 มิลลิเมตร (63)

5.4.2.2 การคืนตัวของวุ้นเส้น

ผลการทดลองการคืนตัวของวุ้นเส้น 4 ตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.12 พบว่าการคืนตัวของวุ้นเส้นทั้ง 4 ตัวอย่าง จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการลวก แต่เมื่อพิจารณาการคืนตัวหลังผ่านการลวกในน้ำเดือด 9 นาทีของวุ้นเส้นเกรดเอจะต่ำกว่าเกรดบี และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนการคืนตัวหลังผ่านการลวกในน้ำเดือด 9 นาทีของวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้ในอัตราส่วน 70 : 30 จะต่ำกว่าเกรดบีซึ่งทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันฝรั่งต่างประเทศในอัตราส่วน 70 : 30 และการคืนตัวที่เวลาต่างๆของวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันฝรั่งแปรสภาพในอัตราส่วน 48 : 52 มีค่าใกล้เคียงกับวุ้นเส้นเกรดเอ และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้เนื่องจากการคืนตัวของ

วุ้นเส้นขึ้นอยู่กับสมบัติของแป้งที่ใช้ในการผลิตวุ้นเส้นในช่วงการ retrograde ของ paste ถ้าแป้งมีการเกิด retrograde ของ paste สูง การคืนตัวของวุ้นเส้นจะต่ำเพราะ retrogradation จะเกิดจากการจับตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสที่มีความยาวพอเหมาะ ทำให้สามารถละลายออกมาในสารละลายได้ และเมื่อเย็นลงจึงเกิดการจับตัวใหม่กับอะไมโลสหรืออะไมโลเพคติน ทำให้เกิดเป็นเจลแน่นขึ้นอีก (40) ในการทำวุ้นเส้นจะมีขั้นตอนหนึ่งซึ่งจะต้องเก็บวุ้นเส้นที่อุณหภูมิต่ำ คือ -10 °ซ นาน 24 ชั่วโมง (53) ทั้งนี้เพื่อให้แป้งเกิด retrograde ได้ทำให้แป้งละลายยาก เส้นที่ได้จะมีลักษณะเหนียว ไม่เปื่อยยุ่ย และไม่ขาดง่ายเมื่ออยู่ในน้ำร้อน ซึ่งเป็นลักษณะของวุ้นเส้นที่มีคุณภาพสูง (65,66)

จากลักษณะกราฟของความหนืดซึ่งวัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ของแป้งมันฝรั่งต่างประเทศ แป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้ แป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่คัดเลือกและแป้งถั่วเขียวในรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าการเกิด retrograde ของแป้งมันฝรั่งต่างประเทศจะต่ำและต่ำกว่าแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้ ดังนั้นวุ้นเส้นเกรดบีซึ่งมีแป้งมันฝรั่งต่างประเทศอยู่ร้อยละ 30 จึงมีการคืนตัวสูงกว่าวุ้นเส้นเกรดเอซึ่งมีแป้งมันฝรั่งต่างประเทศอยู่ร้อยละ 10 และการคืนตัวของวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้จะต่ำกว่าวุ้นเส้นเกรดบีทั้งที่ใช้แป้งถั่วเขียวในอัตราส่วนเท่ากัน การเกิด retrograde ของ paste จากแป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่เลือกใช้ทำวุ้นเส้น (ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.30 อุณหภูมิ 50 $\pm$ 2 °ซ เวลา 4 ชั่วโมง) ใกล้เคียงกับของแป้งถั่วเขียว จึงทำให้วุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันฝรั่งแปรสภาพในอัตราส่วน 48:52 มีการคืนตัวของวุ้นเส้นใกล้เคียงกับวุ้นเส้นเกรดเอ

5.4.2.3 ปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียไประหว่างการหุงต้ม

ผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียไประหว่างการหุงต้มที่เวลาต่าง ๆของวุ้นเส้น 4 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.13 พบว่าปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียไประหว่างการหุงต้มของวุ้นเส้น 4 ตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการหุงต้ม และในระยะเวลาที่ใช้ในการต้มเท่ากันวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันฝรั่งในอัตราส่วน 70 : 30 และวุ้นเส้นเกรดบีมีประมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียไปสูงกว่าวุ้นเส้นเกรดเอและวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันฝรั่งแปรสภาพในอัตราส่วน 48:52 ทั้งนี้เพราะเม็ดแป้งมันฝรั่งมีการพองตัวสูงกว่าแป้งถั่วเขียว (รูปที่ 4.11) ดังนั้นเมื่อเม็ดแป้งเกิดการพองตัวมากทำให้โมเลกุลแป้งบางส่วนสามารถละลายออกมาได้จึงเกิดการสูญเสียไปขณะหุงต้ม สำหรับวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันฝรั่งแปรสภาพในอัตราส่วน 48:52 และวุ้นเส้นเกรดเอมีปริมาณ

เนื้อแป้งที่สูญเสียไประหว่างการหุงต้มต่ำ และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้เพราะเม็ดแป้งมันฝรั่งแปรสภาพมีพันธะโควาเลนท์เพิ่มขึ้นและช่วยยึดโครงสร้างภายในโมเลกุลแป้ง ทำให้มีการพองตัวจำกัดและมีการพองตัวใกล้เคียงกับแป้งถั่วเขียวซึ่งมีการพองตัวของเม็ดแป้งต่ำดังรูปที่ 4.11 ดังนั้นจึงเกิดการละลายของโมเลกุลแป้งในขณะหุงต้มต่ำ

5.4.2.4 ประเมินลักษณะเส้น สี และกลิ่นรสของวุ้นเส้น

ผลการประเมินลักษณะเส้น สี และกลิ่นรสของวุ้นเส้นหลังต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที จากผู้ทดสอบทั่วไป 12 คน (ตารางที่4.14) พบว่าวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้ในอัตราส่วน 70:30 และวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันฝรั่งแปรสภาพในอัตราส่วน 48:52 มีคะแนนลักษณะเส้นต่ำกว่าวุ้นเส้นเกรดเอ แต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าวุ้นเส้นทั้ง 3 ตัวอย่างดังกล่าวนี้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 วุ้นเส้นที่ได้จะมีลักษณะเส้นเหนียว มีความยืดหยุ่นดี และมีการเกาะติดกันระหว่างเส้นบ้าง ส่วนวุ้นเส้นเกรดบีมีคะแนนเฉลี่ยลักษณะเส้นต่ำสุด วุ้นเส้นจะมีลักษณะเหนียวมีความยืดหยุ่นพอใช้ และมีการเกาะติดกันระหว่างเส้นมาก ทั้งนี้เพราะวุ้นเส้นเกรดบีทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันฝรั่งต่างประเทศในอัตราส่วน 70:30 ซึ่งแป้งมันฝรั่งต่างประเทศมีสมบัติการเกิด retrograde ต่ำ การพองตัวของเม็ดแป้งสูงกว่าแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้ แป้งมันฝรั่งแปรสภาพและแป้งถั่วเขียว ดังรูปที่ 4.4 4.10 และรูปที่ 4.11 สำหรับลักษณะสีของวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันฝรั่งแปรสภาพในอัตราส่วน 48:52 วุ้นเส้นเกรดเอ และเกรดบีไม่มีความแตกต่างกัน กล่าวคือมีลักษณะสีใสสม่ำเสมอ แต่ไม่เป็นเงามัน และกลิ่นรสของวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันฝรั่งที่เตรียมได้ในอัตราส่วน 70:30 วุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันฝรั่งแปรสภาพในอัตราส่วน 48:52 วุ้นเส้นเกรดเอมีกลิ่นรสวุ้นเส้นค่อนข้างจะเป็นไปตามธรรมชาติของวุ้นเส้นตามกรรมวิธีการผลิต ดังนั้นการใช้แป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่ใช้ปริมาณของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.30 อุณหภูมิ 50 $\pm$ 2 °ซ เวลา 4 ชั่วโมงสามารถทดแทนแป้งถั่วเขียวในการผลิตวุ้นเส้นได้ร้อยละ 52 โดยมีคุณภาพใกล้เคียงกับวุ้นเส้นเกรดเอ