บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สมบัติของแป้งมันสำปะหลัง

จากการตรวจปริมาณเม็ดแป้งแตกตามรูปที่ 4.1 เพื่อคัดเลือกแป้งมันสำปะหลังที่มีคุณภาพดี พบว่าแป้งมันสำปะหลังของบริษัท ไทยวา จำกัด มีปริมาณเฉลี่ยของเม็ดแป้งแตกน้อยที่สุดคือร้อยละ 24.79 ส่วนแป้งมันสำปะหลังจากบริษัทอื่นมีปริมาณเฉลี่ยของเม็ดแป้งแตกใกล้เคียงกันคือร้อยละ 33.52 และ 36.64 ตามตารางที่ 4.1 ดังนั้นจึงเลือกใช้แป้งมันสำปะหลังของบริษัท ไทยวา จำกัดในงานวิจัยขั้นต่อไป

การเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste จากแป้งมันสำปะหลังวัดด้วยเครื่อง Brabender-Visco Amylograph ระหว่าง heating-cooling cycle ตามรูปที่ 4.2 พบว่าอุณหภูมิแป้งสุก มีค่าประมาณ 68°ซ ค่าความหนืดสูงสุดวัดได้ที่อุณหภูมิ 78°ซ มีค่า 410 บี.ยู. หลังจากนั้นความหนืดจะลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งอุณหภูมิ 95°ซ วัดได้ 225 บี.ยู. และเมื่อตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 95°ซ นาน 30 นาที ปรากฏว่า ความหนืดลดลงอีกวัดได้ 130 บี.ยู. แสดงว่า เม็ดแป้งมันสำปะหลังมีการพองตัวสูงและรวดเร็ว จึงให้ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน หลังจากพองตัวเต็มที่แล้ว เม็ดแป้งจะแตกออกง่ายเมื่อได้รับแรงเฉือนจากการกวน ทำให้ความหนืดลดลง แต่เมื่อลดอุณหภูมิลงจาก 95°ซ จนถึง 50°ซ ความหนืดจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นถึง 250 บี.ยู และเมื่อตั้งไว้ที่อุณหภูมินี้นาน 30 นาที ความหนืดมีค่าเกือบคงที่วัดได้ 245 บี.ยู. ตามตารางที่ 4.2

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ของแป้งมันสำปะหลังตามตารางที่ 4.3 พบว่ามีปริมาณความชื้นร้อยละ 14.2 โปรตีนร้อยละ 0.17 เถ้าร้อยละ 0.12 แป้งร้อยละ 97.0 และอะไมโลสร้อยละ 14.0

5.2 การ cross-linking ของแป้งมันสำปะหลังด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต

5.2.1 ผลของอุณหภูมิและ pH ที่มีต่อปฏิกิริยาการ cross-linking ของแป้งมันสำปะหลัง

จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.4 พบว่า paste จากแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ทำการ cross-linking ที่อุณหภูมิ 45 ± 2.0 และ 50 ± 2.0°ซ และที่ระดับ pH 10.0, 10.5, 11.0 และ 11.5 มีความหนืดที่ 95°ซ ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิของปฏิกิริยาแปรค่าแตกต่างกันเพียง 5°ซ ทำให้ความหนืดที่ 95°ซ ที่วัดได้ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน สำหรับผลของ pH เนื่องจากมีค่าอยู่ในช่วง pH เป็นด่างและมีค่าใกล้เคียงกัน จึงทำให้ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาที่อุณหภูมิ 45 ± 2.0°ซ และ pH 10.0 ในการศึกษาการทำ cross-linking ของแป้งมันสำปะหลังในขั้นต่อไป ทั้งนี้เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าและสารเคมีที่ใช้

5.2.2 ผลของปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตและเวลาของปฏิกิริยาที่มีต่อระดับการ cross-linking

เมื่อนำแป้งมันสำปะหลังมาทำการ cross-linking โดยใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตที่ระดับต่าง ๆ กัน จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.5 พบว่าเสถียรภาพของความหนืดระหว่าง heating cycle จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตที่ใช้ ทั้งนี้เพราะมีการสร้างพันธะ covalent ของฟอสเฟตระหว่างโพลิเมอร์ของแป้งเพิ่มขึ้น หรือมีระดับการ cross-linking สูงขึ้น ทำให้แรงยึดภายในโครงสร้างของเม็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้น เม็ดแป้งจึงมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้นระหว่าง heating cycle จากตารางที่ 4.5 จะสังเกตได้ว่าการใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตในช่วงร้อยละ 0.1, 0.3 และ 1.0 ในการ cross-linking จะให้เสถียรภาพของความหนืดระหว่าง heating ใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้เพราะโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตที่ใช้มีความบริสุทธิ์เพียงร้อยละ 67 และเป็นเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม ดังนั้นระดับความแตกต่างดังกล่าวข้างต้น จึงทำให้เสถียรภาพของความหนืดระหว่าง heating cycle ไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตที่ทำให้เสถียรภาพของความหนืดระหว่าง heating cycle มีค่าสูงสุดคือร้อยละ 2.0

เมื่อพิจารณาระยะเวลาที่ใช้ในการ cross-linking ต่าง ๆ กัน เสถียรภาพของความหนืดระหว่าง heating cycle จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ และมีค่าสูงสุดเมื่อเวลาของปฏิกิริยาเป็น 16 และ 32 ชั่วโมง ทั้งนี้เพราะการเพิ่มเวลาของปฏิกิริยาการ cross-

linking จะทำให้มีการสร้างพันธะมากขึ้น นั่นคือ ระดับการ cross-linking สูงขึ้น

นอกจากนี้ จากลักษณะกราฟของความหนืดซึ่งวัดด้วยเครื่อง Brabender-Visco - Amylograph ตามรูปที่ 4.5 ถึง 4.9 จะสังเกตได้ว่า ค่าความหนืดสูงสุดของ paste จากแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพค่อย ๆ ลดลงตามปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตและเวลาของปฏิกิริยาที่ใช้ในการ cross-linking จนในที่สุดจะไม่ปรากฏเป็นค่าความหนืดสูงสุด แต่ลักษณะกราฟของความหนืดจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นทีละน้อยระหว่าง heating cycle และความหนืดของ paste มีค่าลดลงเช่นเดียวกันเมื่อปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตและเวลาของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ดังแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในรูปที่ 4.8 และ 4.9 มีการ cross-linking ภายในเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น ทำให้เม็ดแป้งมีความสามารถในการพองตัวลดลง เป็นผลให้ความหนืดของ paste จากแป้งมันสำปะหลังสภาพลดลง นอกจากนี้ อุณหภูมิแป้งสุกจะสูงขึ้นตามปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตและเวลาของปฏิกิริยาที่ใช้ เนื่องจากเม็ดแป้งมีความสามารถในการพองตัวลดลง การเกิด gelatinization ของเม็ดแป้งยากขึ้น เช่นเดียวกับผลการทดลองของ Kite ซึ่งศึกษาการ cross-linking ของแป้ง waxy sorghum

แม้ว่าการ cross-linking ของแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เวลาของปฏิกิริยา 32 ชั่วโมง ทำให้ได้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่มีเสถียรภาพของความหนืดสูงขึ้นก็ตาม แต่ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในทางปฏิบัติ เพราะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายแรงงานและกินเวลานานเกินไป ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เวลาของปฏิกิริยาเป็น 16 ชั่วโมงในการทำ cross-linking ของแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งสามารถทำให้ความหนืดของ paste จากแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพมีเสถียรภาพสูงขึ้นเช่นกัน ส่วนปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตที่เลือกใช้ในการ cross-linking เพื่อนำ paste ของแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่มีระดับการ cross-linking ต่าง ๆ มาศึกษาสมบัติต่าง ๆ คือปริมาณร้อยละ 0.3 และ 2.0 เนื่องจากปริมาณร้อยละ 0.3 ทำให้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพมีระดับการ cross-linking ต่ำ และปริมาณร้อยละ 2.0 ทำให้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพมีระดับการ cross-linking สูง ทั้งนี้เพื่อศึกษาผลของระดับการ cross-linking ที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ

5.2.3 ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตที่เหมาะสมที่ทำให้ paste จากแป้งมีความหนืดสูงสุดโดยไม่มีการลดลงของความหนืดระหว่าง heating cycle

ผลการทดลองตามตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.10 พบว่า ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตที่เหมาะสมที่จะทำให้ paste ของแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพมีความหนืดสูงสุด และมีเสถียรภาพของความหนืดโดยไม่มีการลดลงของความหนืดระหว่าง heating cycle คือร้อยละ 1.4 ถ้าปริมาณการใช้สูงกว่านี้ paste ของแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพจะมีความหนืดลดลง แต่เสถียรภาพของความหนืดระหว่าง heating cycle จะสูงขึ้น ดังนั้น จึงเลือกใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 1.4 ในการ cross-linking เพื่อนำ paste จากแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ได้มาศึกษาสมบัติต่าง ๆ ต่อไป

5.3 การนำแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

5.3.1 ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพ

5.3.1.1 ปริมาณฟอสเฟตตกค้าง

ปริมาณฟอสเฟตคำนวณในรูปของฟอสฟอรัสตกค้างในแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2.0 มีค่าสูงสุด คือ ร้อยละ 7.40×10^{-3} ตามตารางที่ 4.7 ทั้งนี้เพราะมีการสร้างพันธะ covalent ภายในโมเลกุลของเม็ดแป้งมากที่สุด อย่างไรก็ตาม ปริมาณฟอสฟอรัสที่ตกค้างนี้ก็ยังมีค่าต่ำกว่าปริมาณที่กำหนดไว้ในมาตรฐานของประกาศ กระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 (พ.ศ. 2527) ซึ่งกำหนดไว้ให้มีได้ไม่เกินร้อยละ0.04 และตามรูปที่ 4.11 ปริมาณฟอสฟอรัสตกค้างเพิ่มขึ้นตามปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตที่ใช้ ทั้งนี้เพราะมีพันธะ covalent เพิ่มขึ้น

5.3.1.2 ความหนืดที่อุณหภูมิ 50°ซ นาน 30 นาที ที่ระดับ pH ต่าง ๆ

ถ้าระดับ pH ของสารละลายแป้งลดลง ความหนืดที่ 50°ซ นาน 30 นาที ของ paste จากแป้งชนิดต่าง ๆ จะมีค่าต่ำลงตามตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.16 ทั้งนี้เพราะกรดสามารถย่อยสลายพันธะ glycosidic ภายในเม็ดแป้ง ทำให้ความหนืดลดลง เมื่อเปรียบเทียบความหนืดที่ 50°ซ นาน 30 นาที ของแป้งชนิดต่าง ๆ ที่ pH ระดับเดียวกัน พบว่า paste จากแป้งมันสำปะหลังก่อนการแปรสภาพมีค่าต่ำสุด เพราะเม็ดแป้งมีเสถียรภาพต่ำมาก เมื่อทำการ cross-linking แป้งมันสำปะหลัง ความหนืดจะมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเกิดการ cross-linking เพิ่มขึ้นระหว่างโมเลกุล-

ทำให้โครงสร้างภายในเม็ดแป้งมีพันธะ covalent เพิ่มขึ้น paste จากแป้งจึงมีเสถียรภาพของความหนืดต่อการย่อยสลายด้วยกรดเพิ่มขึ้น พบว่าการใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2.0 ทำให้ paste จากแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพมีความหนืดที่ 50°ซ นาน 30 นาที สูงกว่าแป้งชนิดอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม สังเกตได้ว่า ความหนืดที่ระดับ pH5.0ของ paste จากแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.3 และ 1.4 มีค่าสูงกว่าของ paste จากแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2.0 ทั้งนี้เพราะ paste จากแป้งที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2.0 มีระดับการ cross-linking สูงกว่ามาก ทำให้เม็ดแป้งมีการพองตัวจำกัด และไม่สามารถดูดน้ำได้เต็มที่ในสภาวะ pH5.0ความหนืดของ paste ที่ได้จึงมีค่าต่ำ

แม้ว่าแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2.0 จะทำให้ paste จากแป้งมีความหนืดที่ 50°ซ นาน 30 นาที มีค่าสูงสุดในช่วง pH 3.5-4.0 ซึ่งเป็นระดับ pH ของซ๊อสมะเขือเทศ แต่ในงานวิจัยนี้ได้เลือกแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตทั้งร้อยละ 1.4 และ 2.0 มาศึกษาการใช้เป็นสารทำให้เกิดความคงตัวในซ๊อสมะเขือเทศ เพื่อศึกษาถึงผลของระดับการ cross-linking ที่มีต่อคุณภาพของซ๊อสมะเขือเทศด้วย

5.3.1.3 <u>ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้ง</u>

ตามผลการทดลองพบว่า ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะความร้อนสามารถทำให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งแตกออก ทำให้เม็ดแป้งสามารถดูดน้ำได้มากขึ้น เม็ดแป้งจึงมีการพองตัวเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งจากแป้งชนิดต่าง ๆ พบว่าแป้งมันสำปะหลังมีค่าสูงสุด เพราะเม็ดแป้งมีการพองตัวสูง เมื่อทำการ cross-linking แป้งมันสำปะหลังด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งจะลดลง และถ้าระดับการ cross-linking เพิ่มขึ้น หรือปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตที่ใช้ในการ cross-linking สูงขึ้น ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งจะลดลงเรื่อย ๆ ตามรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าการใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2.0 ให้ค่าความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งต่ำกว่าของแป้งชนิดอื่นข้างต้น เนื่องจากการ cross-linking ทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งมีพันธะ covalent เพิ่มขึ้น จำกัดการพองตัวของเม็ดแป้ง และแป้งนี้มีสมบัติของการพองตัวใกล้เคียงกับของแป้งถั่วเขียว ซึ่งมีค่าความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งต่ำที่สุด ทั้งนี้เพราะ

เม็ดแป้งมีการพองตัวน้อย

แม้ว่าเม็ดแป้งของแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต-ร้อยละ 2.0 จะมีความสามารถในการพองตัวใกล้เคียงกับของแป้งถั่วเขียวมากที่สุด แต่ในการนำแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพทดแทนบางส่วนของแป้งถั่วเขียวในการผลิตวุ้นเส้น จะเลือกใช้แป้ง-ที่มีระดับการ cross-linking ต่างกัน 2 ระดับซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับของแป้งถั่วเขียวมากที่สุด คือ แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่มีระดับการ cross-linking ที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้า-ฟอสเฟตร้อยละ 1.4 และ 2.0 ทั้งนี้เพื่อจะได้ศึกษาถึงผลของระดับการ cross-linking ที่มีต่อคุณภาพของวุ้นเส้น

5.3.1.4 <u>การเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste ระหว่าง heating-cooling cycle</u>

เมื่อนำแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่มีระดับการ cross-linking ที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 1.4 และ 2.0 มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดระหว่าง heating-cooling cycle พบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำแป้งเป็นร้อยละ 5 ลักษณะ-กราฟของความหนืดของ paste จากแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพมีรูปแบบเดียวกับของแป้งถั่วเขียว ตามรูปที่ 4.18 คือเป็นแบบซี และเมื่อระดับความเข้มข้นของน้ำแป้งเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 8 ตาม-รูปที่ 4.19 ลักษณะกราฟเป็นแบบบี เช่นเดียวกับของแป้งถั่วเขียว

เมื่อพิจารณาความหนืดของ paste จากแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่มีระดับการ cross-linking ต่างกัน เปรียบเทียบกับของแป้งถั่วเขียว พบว่า เมื่อความเข้มข้นของน้ำแป้ง-เป็นร้อยละ 5 ความหนืดของ paste จากแป้งที่มีระดับการ cross-linking ที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 1.4 มีค่าสูงกว่าของแป้งที่มีระดับการ cross-linking ที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2 ส่วน paste ของแป้งถั่วเขียวมีความหนืดต่ำสุด ทั้งนี้เพราะความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งของแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณ-โซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 1.4 มีค่าสูงกว่าของแป้งที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต ร้อยละ 2.0 และสูงกว่าของแป้งถั่วเขียว ความหนืดจึงมีค่าสูงกว่า เมื่อความเข้มข้นของน้ำแป้ง เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 8 paste จากแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพทั้ง 2 ชนิด จะปรากฏค่าความหนืดสูงสุด แล้วมีการลดลงของความหนืดเล็กน้อยระหว่าง heating cycle ต่างกับของแป้งถั่ว-เขียวซึ่งมีเสถียรภาพของความหนืดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเม็ดแป้งของแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพ-บางส่วนพองตัวเต็มที่และแตกออก ทำให้ความหนืดลดลง นอกจากนี้สังเกตได้ว่า เสถียรภาพของ-

เจลเมื่อเย็นหรือความหนืดที่อุณหภูมิ 50 ซ นาน 30 นาที ของแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 1.4 มีค่าต่ำสุด ส่วนเสถียรภาพของเจลของแป้งที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2.0 แสดงแนวโน้มลดลงเล็กน้อย สำหรับแป้งถั่วเขียวเจลมีเสถียรภาพดีมาก ตามรูปที่ 4.19

5.3.2 การนำแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพไปใช้เป็นสารทำให้เกิดความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซ๊อสมะเขือเทศ

5.3.2.1 ผลของระดับการ cross-linking และปริมาณของแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพต่อคุณภาพของซ๊อสมะเขือเทศ

จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.9 พบว่า ซ๊อสมะเขือเทศที่ใช้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพเป็นสารทำให้เกิดความคงตัวมีความหนืดมากกว่าซ๊อสมะเขือเทศมาตรฐานซึ่งไม่มีการเติมสารทำให้เกิดความคงตัวใด ๆ ลงไป ทั้งนี้เพราะ paste จากแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพมีความหนืดสูง จึงทำให้ซ๊อสมะเขือเทศมีความหนืดเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงระดับการ cross-linking ของแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพและปริมาณการใช้ที่มีผลต่อความหนืด พบว่าแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่มีระดับการ cross-linking ที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 1.4 ในปริมาณการใช้ร้อยละ 3 และแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่มีระดับการ cross linking ที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ2.0 ในปริมาณการใช้ร้อยละ 1 ทำให้ซ๊อสมะเขือเทศมีความหนืดมากที่สุด

ในการประเมินคุณภาพของซ๊อสมะเขือเทศทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไป 16 คน ตามตารางที่ 4.10 พบว่าซ๊อสมะเขือเทศที่ใช้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพมีคะแนนการแยกชั้นสูงกว่าซ๊อสมะเขือเทศมาตรฐาน และการใช้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 1.4 ในปริมาณการใช้ร้อยละ 3 และแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2.0ในปริมาณการใช้ร้อยละ 1 ทำให้ซ๊อสมะเขือเทศมีคะแนนเฉลี่ยของการแยกชั้นสูงสุดใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วงมีการแยกชั้นเล็กน้อยถึงเป็นเนื้อเดียวกันไม่มีการแยกชั้น ขณะที่คะแนนเฉลี่ยของซ๊อสมะเขือเทศมาตรฐานมีค่าอยู่ในช่วงไม่เป็นเนื้อเดียวกันถึงมีการแยกชั้นเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพมีความสามารถในการอุ้มน้ำและแขวนลอยอนุภาคของสารต่าง ๆ ในซ๊อสมะเขือเทศ มีเสถียรภาพต่อการย่อยสลายด้วยกรด ซ๊อสมะเขือเทศจึงไม่เกิดการแยกชั้น

สำหรับคุณภาพในเรื่องความข้นของซ๊อสมะเขือเทศนั้น การใช้แป้งมันสำปะหลัง-แปรสภาพทำให้ซ๊อสมะเขือเทศมีคะแนนความข้นสูงกว่าซ๊อสมะเขือเทศมาตรฐาน และพบว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 1.4 ในปริมาณการใช้ร้อยละ 3 ทำให้ซ๊อสมะเขือเทศมีคะแนนเฉลี่ยของความข้นสูงที่สุด คือใกล้เคียงกับข้นมากไปเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะเม็ดแป้งมีความสามารถในการพองตัวดีกว่า และปริมาณการใช้มากกว่า จึงให้ความข้นมากกว่า ขณะที่การใช้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียม-ไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2.0 ในปริมาณการใช้ร้อยละ 1 ทำให้ซ๊อสมะเขือเทศมีคะแนนเฉลี่ยของความข้นใกล้เคียงกับความข้นพอเหมาะมากที่สุด สำหรับซ๊อสมะเขือเทศมาตรฐานนั้นมีค่าอยู่ในช่วง เหลวมากเกินไปถึงเหลวไปเล็กน้อย

สำหรับลักษณะเนื้อสัมผัสของซ๊อสมะเขือเทศนั้น ทุกตัวอย่างมีคะแนนใกล้เคียงกันในช่วงสากลื้นเล็กน้อยถึงเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน

เนื่องจากลักษณะทั้ง 3 ที่ใช้ในการประเมินผลมีความสำคัญต่อคุณภาพของซ๊อสมะเขือ-เทศเท่าเทียมกัน ดังนั้นในการประเมินคุณภาพของซ๊อสมะเขือเทศ จึงเลือกตัวอย่างที่มีผลรวมของทั้ง 3 ลักษณะดีที่สุดจากสรุปผลรวมตามตารางที่ 4.10 พบว่าซ๊อสมะเขือเทศที่ใช้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ2.0ในปริมาณการใช้ร้อยละ 1 มีผลรวมของทั้ง 3 ลักษณะเหมาะสมที่สุด คือ เกือบเป็นเนื้อเดียวกัน ความข้นพอเหมาะ และเนื้อสัมผัสเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน

5.3.2.2 <u>อายุการเก็บของซ๊อสมะเขือเทศ</u>

เนื่องจากซ๊อสมะเขือเทศที่ใช้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณของโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ2.0ในปริมาณการใช้ร้อยละ 1 มีผลรวมของการแยกชั้น ความข้นและลักษณะเนื้อสัมผัสเหมาะสมที่สุด จึงได้เลือกมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในด้านความหนืดและคุณภาพทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บเป็นเวลา 6 เดือน จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.11 และ 4.12 พบว่าความหนืดของซ๊อสมะเขือเทศ การแยกชั้นและลักษณะเนื้อสัมผัส มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ส่วนความข้นมีคะแนนเฉลี่ยลดลงเล็กน้อยเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 1 เดือน แต่หลังจากนั้นคะแนนเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นและไม่แตกต่างกับเมื่อเริ่มต้น ทั้งนี้เพราะผู้ที่ทำการทดสอบเป็นผู้บริโภคทั่วไป ทำให้ความพอใจที่มีต่อความข้นของซ๊อสมะเขือเทศแตกต่างกันเล็กน้อย อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณ-

โซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ2.0ในปริมาณการใช้ร้อยละ 1 เป็นสารทำให้เกิดความคงตัว สามารถรักษาคุณภาพของซ๊อสมะเขือเทศทั้งในด้านความหนืด การแยกชั้น ความข้น และลักษณะเนื้อสัมผัสไว้ได้อย่างน้อยเป็นเวลา 6 เดือน

5.3.3 <u>การนำแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพไปทดแทนบางส่วนของแป้งถั่วเขียวในการผลิตวุ้นเส้น</u>

5.3.3.1 <u>ขนาดเส้น</u>

ผลการทดลองนำวุ้นเส้นทั้ง 4 ตัวอย่างที่ทำจากส่วนผสมของแป้งชนิดต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.13 พบว่าทุกตัวอย่างมีขนาดของเส้นแห้ง (ความชื้นร้อยละ 14) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และมีขนาดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวุ้นเส้น มอก. 444-2525 ของกระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งกำหนดให้วุ้นเส้นต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.5 ถึง 1.5 มิลลิเมตร

5.3.3.2 <u>การคืนตัวและปริมาณน้ำในวุ้นเส้น</u>

จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.14 และ 4.15 และรูปที่ 4.21 และ 4.22 พบว่า เมื่อนำวุ้นเส้นทั้ง 4 ตัวอย่างไปลวกในน้ำเดือด การคืนตัวและปริมาณน้ำในวุ้นเส้นจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการลวก แต่ถ้าระยะเวลาที่ใช้ในการลวกเท่ากัน การคืนตัวและปริมาณน้ำในวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 1.4 ในอัตราส่วน 80:20 เมื่อเปรียบเทียบกับวุ้นเส้นเกรด เอ จะมีค่าต่ำใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพชนิดนี้ทดแทนแป้งถั่วเขียวได้ร้อยละ 20 โดยไม่ทำให้วุ้นเส้นที่ได้มีการคืนตัวและปริมาณน้ำในวุ้นเส้นแตกต่างจากวุ้นเส้นเกรด เอ

เมื่อเปรียบเทียบวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2.0 ในอัตราส่วน 50:50 กับวุ้นเส้นเกรด บี พบว่าวุ้นเส้นที่ได้มีการคืนตัวหลังจากลวกเป็นเวลา 15 นาที ต่ำกว่าวุ้นเส้นเกรด บี ความแตกต่างของการคืนตัวของวุ้นเส้นขึ้นอยู่กับสมบัติของแป้งที่ใช้ในการผลิตวุ้นเส้นในช่วงการเกิด retrogradation ของเจล และเสถียรภาพของเจลระหว่าง cooling cycle ถ้าแป้งมีการเกิด retrogradation ของเจลและเสถียรภาพของเจลมาก การคืนตัวของวุ้นเส้นจะต่ำ เพราะมีการจับตัวกันได้ดีระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสกับอะไมโลเพคติน ทำให้เจลมีเสถียรภาพ เป็นผลให้เกิด

การดูดซึมน้ำกลับคืนได้น้อยลง จากลักษณะกราฟของความหนืดซึ่งวัดด้วยเครื่อง Brabender-Visco Amylograph ของแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพในรูปที่ 4.18 และของแป้งมันสำปะหลัง-ในรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า การเกิด retrogradation ของเจลและเสถียรภาพของเจลของแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพใกล้เคียงกับของแป้งถั่วเขียว และสูงกว่าของแป้งมันสำปะหลังมาก ดังนั้น การคืนตัวของวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพจึงมีค่าต่ำกว่าวุ้นเส้นเกรด บี ซึ่งทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันสำปะหลัง ส่วนปริมาณน้ำในวุ้นเส้นของวุ้นเส้นทั้ง 2 ตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นการใช้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียม-ไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2.0 สามารถทดแทนแป้งถั่วเขียวได้ถึงร้อยละ 50 โดยที่คุณภาพของวุ้นเส้นที่ได้ดีกว่าวุ้นเส้นเกรด บี

5.3.3.3 <u>ปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียไประหว่างการหุงต้ม</u>

เมื่อนำวุ้นเส้นทั้ง 4 ตัวอย่างไปผ่านการต้มในน้ำเดือด พบว่าปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียไประหว่างการหุงต้มจะมากขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการต้ม ตามตาราง-ที่ 4.16 และรูปที่ 4.23 และในระยะเวลาที่ใช้เท่ากันปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียไปของตัวอย่าง-วุ้นเส้นไม่เท่ากัน วุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียม-ไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 1.4 ในอัตราส่วนร้อยละ 80:20 มีปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียไประหว่างการหุงต้มเป็นเวลา 15 นาทีสูงกว่าวุ้นเส้นเกรด เอ เพราะเม็ดแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพชนิดนี้มีการพองตัวสูงกว่าแป้งถั่วเขียว ทำให้เม็ดแป้งบางส่วนพองตัวเต็มที่ โมเลกุลบางส่วนละลายออกมาได้และสูญเสียไปขณะหุงต้ม สำหรับวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2.0 ในอัตราส่วน 50:50 เมื่อเปรียบ-เทียบกับวุ้นเส้นเกรดบี พบว่ามีปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียไประหว่างการหุงต้มเป็นเวลา 15 นาทีต่ำกว่ามาก แม้จะมีการทดแทนแป้งถั่วเขียวมากกว่าถึงร้อยละ 50 ก็ตาม ทั้งนี้เพราะเม็ดแป้งของแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพชนิดนี้มีความสามารถในการพองตัวใกล้เคียงกับของแป้งถั่วเขียวมากกว่า และต่ำกว่าของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในวุ้นเส้นเกรดบีมาก ตามรูปที่ 4.17 ดังนั้นการสลายตัวของเม็ดแป้งระหว่างการหุงต้มจึงเกิดขึ้นน้อยกว่า

เมื่อเปรียบเทียบการใช้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่มีระดับการ cross-linking และระดับการทดแทนต่างกันในการผลิตวุ้นเส้น พบว่าแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2.0 ในระดับการทดแทนแป้งถั่วเขียวร้อยละ 50 ทำให้วุ้นเส้น

มีปริมาณเนื้อแป้งที่สูญเสียไประหว่างการหุงต้มใกล้เคียงกับการใช้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 1.4 ในระดับการทดแทนร้อยละ 20 แสดงว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่มีระดับการ cross-linking สูงขึ้น สามารถทดแทนแป้งถั่วเขียวในการผลิตวุ้นเส้นได้เพิ่มขึ้น โดยคุณภาพของวุ้นเส้นไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะเมื่อระดับการ cross-linking สูงขึ้น พันธะ covalent ที่ยึดโครงสร้างภายในเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น เม็ดแป้งจึงมีเสถียรภาพระหว่างการหุงต้มสูงขึ้น

5.3.3.4 ประเมินลักษณะเส้นและสีของวุ้นเส้น

หลังจากต้มวุ้นเส้นในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 นาที จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.17 พบว่าคะแนนเฉลี่ยลักษณะเส้นของวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมัน-สำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 1.4 ในอัตราส่วน 80:20 เปรียบเทียบกับวุ้นเส้นเกรดเอ มีความแตกต่างกันน้อยมาก และอยู่ในช่วงเส้นเหนียวมีความหยืด-หยุ่นดี และมีการเกาะติดกันระหว่างเส้นบ้าง เมื่อเปรียบเทียบวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2.0 ในอัตราส่วน 50:50 กับวุ้นเส้นเกรดบี พบว่ามีคะแนนเฉลี่ยลักษณะเส้นสูงที่สุด และสูงกว่าวุ้นเส้นเกรดบีมาก คืออยู่ในช่วงเส้นเหนียวมีความหยืดหยุ่นดี และมีการเกาะติดกันระหว่างเส้นบ้าง ถึงเส้นเหนียวยืดหยุ่นดีมาก และไม่เกาะติดกัน ทั้งนี้เพราะแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณโซเดียมไตร-เมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2.0 มีสมบัติการเกิด retrogradation และเสถียรภาพของเจลใกล้-เคียงกับของแป้งถั่วเขียวมากที่สุด ส่วนในเรื่องสีของวุ้นเส้นหลังจากต้มในน้ำเดือดนาน 15 นาทีนั้น พบว่าคะแนนเฉลี่ยของวุ้นเส้นทุกตัวอย่างแตกต่างกันน้อยมาก และอยู่ในช่วงใสแต่ไม่เป็นเงามัน ถึงใสเป็นเงามันสม่ำเสมอ ดังนั้นการใช้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพที่ใช้ปริมาณของโซเดียมไตร-เมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2.0 สามารถทดแทนแป้งถั่วเขียวในการผลิตวุ้นเส้นได้ถึงร้อยละ 50 โดยวุ้นเส้นที่ได้มีเส้นเหนียว ยืดหยุ่นดีมาก มีการเกาะติดกันระหว่างเส้นน้อยมาก และมีคุณภาพใกล้-เคียงกับวุ้นเส้นเกรด เอ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย