บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 วิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ (proximate composition) ของมันฝรั่ง

องค์ประกอบทางเคมีของมันฝรั่งมีผลต่อคุณภาพของมันฝรั่งด้านสี การดูดซับน้ำมัน ลักษณะเนื้อสัมผัส และปริมาณผลผลิต การพิจารณาคุณภาพของมันฝรั่งสดก่อนที่จะนำมาผลิตนั้นเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากมันฝรั่งสดที่มีคุณภาพไม่เหมาะสม จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีคุณภาพไม่ดี มันฝรั่งพันธุ์ที่มีคุณภาพเหมาะแก่การนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดแบบแผ่น ควรจะมีค่าความถ่วงจำเพาะไม่ต่ำกว่า 1.070 (Brown, 1960) และมันฝรั่งที่เหมาะสมในการผลิตมันฝรั่งทอดแบบแท่ง (french fried) ควรจะมีความถ่วงจำเพาะสูงประมาณ 1.080-1.120 (Lisinska and Leszczynski, 1989) เพราะมันฝรั่งพันธุ์ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่มีคุณภาพดี ปริมาณผลผลิตสูง มีสีดี การดูดซับน้ำมันน้อยกว่ามันฝรั่งที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ ความถ่วงจำเพาะของมันฝรั่งจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งแห้ง โดย Grewal and Uppal (1989) พบว่า มันฝรั่งที่มีความถ่วงจำเพาะสูงจะมีประมาณของแข็งแห้งสูง มีน้ำภายในหัวน้อย มันฝรั่งที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำจะมีน้ำภายในหัวมาก เมื่อนำไปแปรรูปเนื้อจะมีสภาพเละและเหลว Brown (1960) พบว่ามันฝรั่งทอดที่ทำจากหัวมันฝรั่งที่มีความถ่วงจำเพาะสูงจะดูดซับน้ำมันได้ต่ำกว่าพวกที่ทำจากมันฝรั่งที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ ซึ่งต้องใช้เวลาทอดนานกว่า ดังนั้นการใช้มันฝรั่งทอดที่มีความถ่วงจำเพาะสูงจึงเป็นการช่วยลดต้นทุนในการผลิตอีกทางหนึ่ง งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้มันฝรั่งพันธุ์ Kennebec ซึ่งมีน้ำหนัก 60-120 กรัม/หัว ความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.070-1.073 เป็นวัตถุดิบที่นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ พบว่า มีปริมาณความชื้น 76.95% โปรตีน 2.46% ไขมัน 0.16% คาร์โบไฮเดรต 18.93% เถ้า 0.92% เส้นใย 0.58% และน้ำตาลรีดิวซ์ 0.47% Talburt (1975) รายงานว่า มันฝรั่งที่มีเนื้อสีขาว (white potato) จะมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักของมันฝรั่ง ประกอบด้วย แป้ง น้ำตาล และโพลีแซคคาไรด์ที่มิใช่แป้ง (non-starch polysaccharide) และมีองค์ประกอบโดยประมาณดังนี้ ความชื้น 77.50% ของแข็งทั้งหมด 22.50% โปรตีน 2.00% ไขมัน 0.1% คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 19.40% เถ้า 1.00% เส้นใย 0.6% จะเห็นว่ามีปริมาณใกล้เคียงกับวัตถุดิบที่ใช้ ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์นั้น Lisinska and Leszczynski (1989) รายงานว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหมาะสมในการผลิต french fries ควรจะมีอยู่ในปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 0.50 เนื่องจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะสัมพันธ์กับความเข้มของสีที่เกิดขึ้นภายหลังการทอด เพราะน้ำตาลรีดิวซ์จะทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนหรือโปรตีนที่มีอยู่ในหัวมันฝรั่ง เกิดปฏิกิริยา Maillard reaction โดยมีความร้อนจาก

การทอดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Smith, 1975) ในหัวมันฝรั่งแต่ละพันธุ์จะมีความแตกต่างกัน การปลูกในที่ต่างกัน สภาพแวดล้อมต่างกัน ก็ทำให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่างกัน เมื่อพิจารณาความถ่วงจำเพาะของมันฝรั่งพันธุ์ Kennebec ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบ ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.070-1.073 และเป็นช่วงที่เหมาะสมในการผลิตมันฝรั่งทอดแบบแผ่น แต่ผลิตภัณฑ์ที่จะผลิต มีลักษณะคล้ายมันฝรั่งทอดแบบแท่ง จึงควรจะมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.080-1.120 แต่งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ เนื่องจากต้องการนำมันฝรั่งที่มีเนื้อสีขาวขนาดเล็กไม่ได้ขนาดที่จะผลิตมันฝรั่งทอดแบบแท่งและแบบแผ่น มาใช้ประโยชน์ โดยนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดแบบก้อนแช่เยือกแข็ง (frozen prefried potato patties) ที่นิยมเรียกทั่วไปว่า hash brown potato เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ มีการกระจายการขาย และการบริโภค ส่งเสริมให้ผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้ อย่างไรก็ตามเป้าหมายของงานวิจัยนี้ได้นำมันฝรั่งนี้มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดแบบก้อนแช่เยือกแข็งที่มีคุณภาพดี โดยการอบใน tray dryer ลดความชื้นในชิ้นมันฝรั่ง เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณของของแข็งทั้งหมดก่อนทำการทอด

5.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมมันฝรั่งก่อนนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ และภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์

5.2.1 หาภาวะที่เหมาะสมในการลวกชิ้นมันฝรั่งขนาดต่าง ๆ ในน้ำร้อน

ในการผลิตผลิตภัณฑ์มันฝรั่ง จะต้องหาภาวะที่เหมาะสมในการลวกชิ้นมันฝรั่ง เพื่อทำลายแอคติวิตี้ของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาลในมันฝรั่ง ก่อนที่จะผ่านกระบวนการแปรรูปขั้นต่อไป โดยเลือกใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการลวก เนื่องจากเอนไซม์ตัวนี้เป็นเอนไซม์ที่สามารถทนความร้อนสูงกว่าเอนไซม์ตัวอื่นๆ และการตรวจสอบทำได้ง่าย หลังจากการลวกหากตรวจสอบไม่พบแอคติวิตี้ของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส แสดงว่าเอนไซม์ตัวอื่นถูกยับยั้งด้วยเช่นกัน (Halpin and Lee, 1987) ในงานวิจัยนี้จะลวกชิ้นมันฝรั่งขนาดต่างๆ ในน้ำร้อน เนื่องจากการลวกด้วยน้ำร้อนทำได้สะดวกรวดเร็ว ใช้ได้กับวัตถุดิบทุกชนิด ทุกขนาดและรูปร่าง เครื่องมือที่ใช้มีราคาถูก ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานความร้อนดีกว่าการลวกด้วยไอน้ำ สามารถใช้สารเคมีร่วมไปกับการลวกได้ และสามารถลดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ได้ (Fellows, 1990) จากผลการทดลองตารางที่ 4.2 พบว่า การลวกมันฝรั่งที่ได้จากการไสด้วย shredder ที่มีขนาดรู 3.9 มิลลิเมตร ด้วยน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที และมันฝรั่งที่ได้จากการไสด้วย shredder ที่มีขนาดรู 6.2 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที แอคติวิตี้ของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจะถูกทำลายลง จึงถือว่าการใช้ภาวะดังกล่าวจะทำให้การลวกมีประสิทธิภาพที่เพียงพอในการยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

5.2.2 ศึกษาผลของขนาดชิ้นมันฝรั่ง อุณหภูมิน้ำมัน และเวลาที่ใช้ทอดต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติระหว่างการทอดในน้ำมันท่วม (deep fat frying)

เตรียมผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดแบบก้อนตามขั้นตอนที่ระบุในข้อ 3.2.2.2 โดยแปรขนาดชิ้นมันฝรั่งด้วย shredder ที่มีรูขนาดต่างกัน 2 ขนาดคือ 3.9 และ 6.2 มิลลิเมตร แปรอุณหภูมิน้ำมันเป็น 180 และ 190 องศาเซลเซียส และแปรเวลาในการทอดเป็น 3 และ 4 นาที เลือกภาวะที่ดีที่สุด โดยวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ค่าความแข็ง ค่าสี และการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส การอมน้ำมัน ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม ของผลิตภัณฑ์ที่ทอดแล้ว ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3-4.8

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน และความแข็ง (ตารางที่ 4.3-4.4) พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างขนาดของชิ้นมันฝรั่ง อุณหภูมิน้ำมัน และเวลาในการทอดต่อค่าเฉลี่ยปริมาณไขมันและค่าเฉลี่ยความแข็งของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณไขมันพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากมันฝรั่งที่ไสด้วย shredder แต่ละขนาด และนำไปทอดในน้ำมันแต่ละอุณหภูมิ เมื่อใช้เวลาทอดมากขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณไขมันสูงขึ้น และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากมันฝรั่งที่ไสด้วย shredder แต่ละขนาด ที่เวลาทอดแต่ละระดับ เมื่ออุณหภูมิในการทอดสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณไขมันลดลง และที่อุณหภูมิของน้ำมันแต่ละระดับ และเวลาที่ใช้ทอดแต่ละระดับ เมื่อนำมันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาดรูกว้างขึ้น ปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์จะลดลง และมีไขมันในผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุด ตรวจพบเมื่อใช้มันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีรูขนาดใหญ่กว่า ทอดในน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ใช้เวลาทอด 3 นาที การที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดเนื่องจาก มันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีรูขนาดใหญ่ จะทำให้ได้มันฝรั่งที่มีขนาดใหญ่ พื้นที่ผิวหน้าที่สัมผัสกับน้ำมันต่อน้ำหนักน้อยกว่า (Saguy and Pinthus, 1995) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Johnson (1957) ที่รายงานว่าเมื่อความหนาของชิ้นมันฝรั่งลดลง การดูดซับน้ำมันจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาทอดในน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูง และใช้เวลาในการทอดต่ำ ทำให้การดูดซับน้ำมันในชิ้นมันฝรั่งต่ำ เพราะขณะที่อุณหภูมิน้ำมันเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของน้ำมันจะลดลง จึงมีน้ำมันส่วนน้อยที่จะถูกดูดซับไว้ได้ในเวลาจำกัด (Smith, 1975) ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับในมันฝรั่งทอด เป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งต่อคุณภาพของมันฝรั่งทอด ถ้าน้ำมันถูกดูดซับสูงย่อมทำให้ราคาของการผลิตสูง รวมทั้งกลิ่นและรสเสื่อมเสียเร็วขึ้น แต่ถ้ามีน้ำมันถูกดูดซับต่ำเกินไปก็ทำให้ขาดกลิ่นรสและรสชาติที่ดี จึงควรศึกษาดูภาวะที่เหมาะสมที่จะให้ผลิตภัณฑ์มีสีดี มีปริมาณน้ำมันอยู่น้อย และมีการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ในส่วนของค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ทอดแล้ว พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากมันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาดรูแต่ละขนาด นำไปทอดในน้ำมันแต่ละอุณหภูมิ เมื่อใช้เวลาทอดมากขึ้นค่าความแข็งจะสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากมันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาดรูแต่ละขนาด ใช้เวลาทอดแต่ละระดับ เมื่อนำไปทอดในน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์จะสูงขึ้น และที่อุณหภูมิและเวลาทอดแต่ละระดับ เมื่อใช้มันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาดรูเล็กลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีค่าความแข็งสูงขึ้น ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์จะมีค่าสูงสุด เมื่อใช้มันฝรั่งที่ไสด้วย shredder

ที่มีขนาดรู 3.9 มิลลิเมตร ทอดในน้ำมันที่มีอุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 4 นาที ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากขณะทอดอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แนวการระเหยของน้ำจากชิ้นอาหาร จะเริ่มจากที่ผิวแล้วค่อยๆ เลื่อนเข้าด้านในและเกิดเปลือกแข็งขึ้น อุณหภูมิที่ผิวของอาหารจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมัน อุณหภูมิภายในชิ้นอาหารจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึง 100 °C อย่างช้าๆ (Fellows, 1990) เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากมันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีรูขนาดเล็ก จะทำให้พื้นที่ผิวต่อน้ำหนักที่สัมผัสกับน้ำมันสูงขึ้น (Saguy and Pinthus, 1995) เมื่อนำมาทอดในน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูง เป็นเวลานานจะทำให้การระเหยน้ำจากชิ้นอาหารมีมากขึ้น เกิดเปลือกแข็งมากกว่าการทอดอาหารโดยใช้อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะเกิดการระเหยในแนวราบโดยจะเกิดการระเหยความชื้นจากชิ้นอาหารที่อยู่ภายในลึกที่สุดก่อนที่จะเกิดเปลือกขึ้น (Fellows, 1990)

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสี (ตารางที่ 4.5-4.6) พบว่า ไม่มีอิทธิพลของขนาดรูของ shredder อุณหภูมิของน้ำมัน และเวลาที่ใช้ทอดต่อค่าสีเหลือง ($p > 0.05$) แต่มีอิทธิพลร่วมระหว่างขนาดรูของ shredder อุณหภูมิของน้ำมัน และเวลาที่ใช้ทอดต่อค่าความสว่างและค่าสีแดง ($p \leq 0.05$) โดยจะพบว่า ตัวอย่างที่ได้จากมันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาดรูแต่ละขนาด และทอดในน้ำมันที่มีอุณหภูมิแต่ละระดับ เมื่อใช้เวลาทอดมากขึ้น จะมีค่า L ต่ำลง และค่า a สูงขึ้น แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีออกสีแดงเข้มขึ้น ตัวอย่างที่ได้จากมันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาดรูแต่ละขนาด และเวลาทอดแต่ละระดับ เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ทอดสูงขึ้น จะมีค่า L ต่ำลงและค่า a สูงขึ้น แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีออกสีแดงเข้มขึ้น และตัวอย่างที่ได้จากการทอดที่อุณหภูมิและเวลาแต่ละระดับ เมื่อใช้มันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาดเล็กกว่า ตัวอย่างที่ได้จะมีค่า L ต่ำลงและค่า a สูงขึ้น แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีออกสีแดงเข้มขึ้น ผลิตภัณฑ์มีค่า L ต่ำที่สุด และค่า a สูงที่สุด เมื่อใช้มันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาดรู 3.9 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ทอด 190 °C เป็นเวลา 4 นาที เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดเนื่องจาก ในมันฝรั่งประกอบด้วยโปรตีน กรดอะมิโน สารประกอบที่มีไนโตรเจนตัวอื่น และน้ำตาลรีดิวซ์เป็นองค์ประกอบ เมื่อมันฝรั่งได้รับความร้อนจากการทอด จึงเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ระหว่าง amino group ของกรดอะมิโนหรือโปรตีน และน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งมีหมู่คาร์บอนิล ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจากปฏิกิริยา ได้แก่ เมลานอยดิน (melanoidins) ซึ่งเป็นสารที่ให้สีน้ำตาล (Fennema, 1996) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น Habib and Brown (1956) และ Roe and Faulks (1991) ศึกษาถึงสาเหตุของการเกิดสีของมันฝรั่งทอด โดยพบว่า ระหว่างการเกิดสีน้ำตาล ปริมาณกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์จะลดลง ชี้ให้เห็นว่าสีที่เกิดขึ้น อาจเกิดเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) และเมื่อใช้ตัวอย่างที่ได้จากมันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาดรูเล็กกว่า จะได้มันฝรั่งที่มีขนาดเส้นเล็กกว่า เมื่อนำไปทอดในน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูง และใช้เวลาทอดนานกว่า ทำให้ได้รับความร้อนมากกว่า เนื่องจากพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับน้ำมันต่อน้ำหนักมากกว่า อุณหภูมิที่ผิวชิ้นอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Saguy and Pinthus, 1995) ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) จะเกิดได้เร็ว เนื่องจากความร้อนจากการทอดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Smith, 1975) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มกว่า

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.7) พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างขนาดรูของ shredder อุณหภูมิของน้ำมันและเวลาที่ใช้ทอดต่อคะแนนสี การอมน้ำมัน ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลของขนาดรูของ shredder อุณหภูมิน้ำมันและเวลาในการทอด ต่อคะแนนเฉลี่ยกลิ่นรส ($p > 0.05$) ในส่วนของสี จะพบว่าตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากมันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาดรูเล็ก ใช้อุณหภูมิของน้ำมัน และเวลาในการทอดต่ำ จะมีคะแนนเฉลี่ยสีต่ำที่สุดและมีคะแนนไม่แตกต่างจากตัวอย่างผลิตภัณฑ์มันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาดรูใหญ่ เมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการทอดเดียวกัน เนื่องจากผู้ทดสอบมีความเห็นว่า ตัวอย่างมีสีเหลืองอ่อนเกินไป ขณะที่ตัวอย่างที่ใช้มันฝรั่งที่ได้จากการไสด้วย shredder ที่มีขนาดใหญ่กว่า ทอดที่อุณหภูมิและเวลาสูง มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุด เนื่องจากผู้ทดสอบมีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองทองเหมาะกับผลิตภัณฑ์ ผลดังกล่าวนี้ยืนยันได้จากผลการวัดสีโดยใช้เครื่องมือ (ตารางที่ 4.5) ซึ่งพบว่า ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้อุณหภูมิของน้ำมัน และเวลาที่ใช้ทอดต่ำ จะมีค่า L สูงและค่า a ต่ำ แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีอ่อน และเมื่อใช้มันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาดรูใหญ่ขึ้น จะมีค่า L สูงกว่าและค่า a ต่ำกว่า มันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาดรูเล็กกว่า แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีอ่อนกว่า ในส่วนของคะแนนด้านการอมน้ำมัน พบว่าผู้ทดสอบมีความเห็นว่า ตัวอย่างที่ได้จากมันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาดรูใหญ่กว่า ทอดในน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงกว่า และใช้เวลาทอดน้อยกว่า จะมีคะแนนการอมน้ำมันน้อยที่สุดเหมาะมากกับผลิตภัณฑ์ จะเห็นว่าผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะสอดคล้องกับผลจากการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน โดยพบว่าตัวอย่างที่ได้จากมันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาดรูใหญ่กว่า ทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิสูงกว่า และใช้เวลาทอดต่ำกว่า จะมีปริมาณไขมันอยู่น้อยที่สุด ในส่วนของคะแนนด้านลักษณะเนื้อสัมผัส ผู้ทดสอบมีความเห็นว่า ตัวอย่างที่ได้จากมันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาดรูใหญ่กว่า ทอดในน้ำมันที่มีอุณหภูมิต่ำ ใช้เวลาทอดนานกว่า และตัวอย่างที่ได้จากมันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาดรูใหญ่กว่า ทอดในน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูง ใช้เวลาทอดน้อยกว่า จะมีคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะเนื้อสัมผัสสูงสุด นั่นคือมีลักษณะเนื้อภายนอกกรอบพอดีไม่แข็งหรือนิ่มเกินไป เนื้อภายในนุ่มมากเหมาะกับผลิตภัณฑ์ ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์นี้ จะมีลักษณะคล้ายกับมันฝรั่งทอดแบบแท่ง (french fries) คือ เนื้อสัมผัสภายนอกมีความกรอบ (crispness) ไม่แข็งหรือเหนียว ขณะที่ภายในมีลักษณะร่วนเป็นแป้ง (mealiness) เหมือนมันฝรั่งต้มหรืออบ (Lisinska and Leszczynski, 1989) เมื่อพิจารณาค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.3) พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างต่ำ คือ 11.51และ 10.75 N เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสูงสุดที่ 16.88 N และค่าต่ำสุดที่ 9.21 N ผลดังกล่าวนี้แสดงว่า ลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีคุณภาพดีสำหรับมันฝรั่งทอดแบบก้อนต้องมีทั้งความนุ่ม และความกรอบ ไม่แข็งหรือนิ่มเกินไป ค่าความแข็งสูงสุดจากการวัดด้วยเครื่อง จึงไม่จำเป็นต้องเป็นเกณฑ์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ Stering (1955) พบว่าเมื่อเนื้อเยื่อพืชได้รับความร้อนจากการ cook จะทำให้มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม เนื่องจากเซลแยกออกจากกัน ทำให้ผนังเซลแต่ละเซลสูญเสีย rigidity สารเชื่อมที่อยู่ระหว่างเซลใน middle lamellae ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบ pectic เมื่อผ่านกระบวนการผลิตจะทำให้เกิดการ break down เซลจะเกิดการแยกตัว เนื้อสัมผัสจึงอ่อนนุ่มขึ้น Reeve (1954) พบว่าในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มันฝรั่ง คุณภาพของเนื้อสัมผัสเป็นสิ่งสำคัญ เพราะจะ

มีการ cooking ในขั้นตอน pretreatment และใช้เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์สุดท้าย จึงศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อโครงสร้างของเนื้อเยื่อ โดยพบว่าลักษณะ mealiness เป็นคุณสมบัติของมันฝรั่งอบหรือนึ่ง คือมีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นเม็ดละเอียด (finely granular) และเป็นผงๆ (crumbly) ซึ่งเกิดจาก cell separation แต่ไม่เพียงพอที่จะทำให้เซลพองตัวจนเกิด cell rupture และ gelled starch เคลื่อนที่ออกจากเซลที่ถูกทำลายจนทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่เหนียว (sticky) และหนืด (gummy) เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่า ตัวอย่างที่ได้จากมันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาด 6.2 มิลลิเมตร ทอดในน้ำมันที่มีอุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 3 นาที มีคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบสูงสุด และพบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนด้านความชอบของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาจากการอมน้ำ-มัน และลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นสำคัญ

จากเกณฑ์คุณภาพทางกายภาพและคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสทุกด้าน เมื่อนำมาประเมินแล้วจึงเลือกภาวะที่ดีที่สุด คือ ตัวอย่างที่ได้จากมันฝรั่งที่ไสด้วย shredder ที่มีขนาด 6.2 มิลลิเมตร ทอดในน้ำมันที่มีอุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 3 นาที ที่ภาวะดังกล่าวนี้ ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันอยู่ต่ำที่สุด มีคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการอมน้ำมัน ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงที่สุด ส่วนคะแนนสี แม้จะไม่สูงที่สุด แต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง คือ 6.85 จึงเลือกภาวะนี้สำหรับศึกษาในขั้นต่อไป

5.2.3 <u>ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ทอดก่อนแช่เยือกแข็ง และเวลาที่ใช้ทอดเพื่อให้ความร้อนหลังแช่เยือกแข็ง</u>

เตรียมมันฝรั่งทอดแบบก้อนตามขั้นตอนที่ระบุในข้อ 3.2.2.3 โดยแปรเวลาที่ใช้ทอดผลิตภัณฑ์ในน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 190 ± 10 องศาเซลเซียส ก่อนแช่เยือกแข็งเป็น 1 และ 2 นาที นำมาให้ความร้อนอีกครั้ง โดยแปรเวลาที่ใช้ทอดในกระทะก้นลึกที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็น 1 และ 2 นาที เลือกภาวะที่ดีที่สุด โดยวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ค่าความแข็ง ค่าสี และการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส การอมน้ำมัน ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.9-4.14

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ค่าความแข็ง (ตารางที่ 4.9-4.10) พบว่าอิทธิพลร่วมของเวลาที่ใช้ทอดก่อนแช่เยือกแข็งและเวลาที่ใช้ทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง มีผลต่อค่าเฉลี่ยปริมาณไขมัน ค่าความแข็ง ของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาค่าปริมาณไขมัน พบว่าตัวอย่างที่ใช้เวลาทอดผลิตภัณฑ์ในน้ำมันแบบ deep fat frying ก่อนแช่เยือกแข็งแต่ละระดับ เมื่อใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็งสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณไขมันสูงขึ้น และตัวอย่างที่ใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็งที่แต่ละระดับ เมื่อใช้เวลาทอดผลิตภัณฑ์ในน้ำมันแบบ deep fat frying ก่อนแช่เยือกแข็งสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณไขมันสูงขึ้น และพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ทอดก่อนแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 2 นาที และทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง 2 นาที จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในขณะที่ทำการทอด น้ำและไอ

น้ำในอาหารจะเคลื่อนที่ผ่านรูโพรงของเนื้อเยื่อ และที่ว่างของรูโพรงที่เกิดขึ้นจะถูกแทนที่ด้วยน้ำมันที่ร้อน ความชื้นในอาหารจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นของน้ำมันที่ผิวของอาหารออกมา ความหนาของชั้นน้ำมันที่ผิวนี้ จะเป็นตัวควบคุมอัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร ซึ่งความหนาของชั้นน้ำมันจะขึ้นกับความหนืด และความเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำมัน ความดันไอต่างของความชื้นในชิ้นอาหารและน้ำมัน จะเป็นแรงผลักดันให้เกิดการถ่ายเทมวลสารของน้ำ (Fellows, 1990) เมื่อนำอาหารมาทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิสูง (สูงกว่า 176.67 °C) (Lawson, 1985) เป็นเวลานานกว่า จะเกิดสารประกอบที่โมเลกุลเป็นวง และเกิดโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ความหนืดของน้ำมันจึงเพิ่มขึ้น ทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวระหว่างการทอดลดลง ทำให้อาหารอมน้ำมันมากกว่า (Fellows, 1990) เมื่อผลิตภัณฑ์ที่นำมาทอดอยู่ในน้ำมันเป็นเวลานานกว่า ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับจึงมากกว่าการทอดโดยใช้เวลาน้อยกว่า (Smith, 1975) เมื่อพิจารณาค่าความแข็งพบว่าตัวอย่างที่ใช้เวลาทอดก่อนแช่เยือกแข็งแต่ละระดับ เมื่อใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น และที่เวลาที่ใช้ทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็งแต่ละระดับ เมื่อใช้เวลาทอดก่อนแช่เยือกแข็งสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น และพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ทอดก่อนแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 2 นาที และทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง 2 นาที จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งสูงที่สุด อาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากเมื่อนำผลิตภัณฑ์ทอดในน้ำมันแบบ deep fat frying จะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนซึ่งเกิดขึ้นในน้ำมัน และการนำความร้อนที่เกิดขึ้นภายในชิ้นอาหาร ผิวอาหารทุกจุดได้รับความร้อนสม่ำเสมอ อุณหภูมิที่ผิวของชิ้นอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิน้ำมัน ความชื้นที่ผิวของอาหารจะระเหยออกไปเนื่องจากความร้อน ทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำขึ้น ความชื้นภายในชิ้นอาหารจะเคลื่อนออกมาสู่ผิวนอก ขณะเดียวกันความชื้นที่ผิวก็จะระเหยออกไปตลอดเวลา ในช่วงแรกของการทอด แนวการระเหยของน้ำจะอยู่ที่ผิวของชิ้นอาหาร แต่เมื่อทอดโดยใช้เวลานานขึ้น อัตราการระเหยของน้ำจากชิ้นอาหารจะมากกว่าอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในออกมาด้านนอก แนวการระเหยของน้ำจึงค่อยๆ เคลื่อนเข้าสู่ด้านในของชิ้นอาหาร ผิวของชิ้นอาหารจึงแห้งและเกิดเปลือกแข็งขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งมากขึ้น (Fellows, 1990) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยสี (ตารางที่ 4.11-4.12) พบว่าอิทธิพลร่วมของเวลาที่ใช้ทอดก่อนแช่เยือกแข็งและเวลาที่ใช้ทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง มีผลต่อค่าความสว่าง และค่าสีแดง ของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยสีเหลือง ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาค่าความสว่างและค่าสีแดง พบว่าตัวอย่างที่ใช้เวลาทอดผลิตภัณฑ์ในน้ำมันแบบ deep fat frying ก่อนแช่เยือกแข็งแต่ละระดับ เมื่อใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็งสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีค่าความสว่างลดลง และมีค่าสีแดงสูงขึ้น แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น และตัวอย่างที่ใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็งที่แต่ละระดับ เมื่อใช้เวลาทอดผลิตภัณฑ์ในน้ำมันแบบ deep fat frying ก่อนแช่เยือกแข็งสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีค่าความสว่างลดลง และมีค่าสีแดงสูงขึ้น แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น และพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ทอดก่อนแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 2 นาที และทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง 2 นาที จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างต่ำที่สุด และมีค่าสีแดงสูงที่สุด แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีเข้มที่สุด อาจเกิดเนื่องจากในการทอดแบบ deep fat frying ความร้อนที่ได้รับจากน้ำมันจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เมลลาร์ด (Maillard reaction) ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากปฏิกิริยาได้แก่ เมลานอยดิน (melanioding) ซึ่งเป็นสารที่ให้สีน้ำตาล (Fennema, 1996) เมื่อใช้เวลาทอดที่อุณหภูมิสูง เป็นเวลานานขึ้น อุณหภูมิจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้น เมื่อทอดนานขึ้น สีจึงเข้มขึ้น (Ellis, 1959)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.13-4.14) พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างเวลาที่ใช้ทอดก่อนแช่เยือกแข็ง และเวลาที่ใช้ทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง ต่อคะแนนเฉลี่ยสี การอมน้ำมัน ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลของเวลาที่ใช้ทอดก่อนแช่เยือกแข็ง และเวลาที่ใช้ทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง ต่อคะแนนกลิ่นรส ($p > 0.05$) โดยจะพบว่า เมื่อใช้เวลาทอดก่อนแช่เยือกแข็งต่ำ และใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็งสูง จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนเฉลี่ยสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงที่สุด เป็นที่น่าสังเกตว่า ตัวอย่างที่ใช้เวลาทอดก่อนแช่เยือกแข็ง 1 นาที และใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง 1 นาที และตัวอย่างที่ใช้เวลาทอดก่อนแช่เยือกแข็ง 2 นาที และใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง 2 นาที จะมีคะแนนสีอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า เนื่องจากผู้ทดสอบมีความเห็นว่า ผลิตภัณฑ์มีสีอ่อนและเข้มเกินไปตามลำดับ ซึ่งผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับผลของการวัดสีโดยใช้เครื่องมือ (ตารางที่ 4.11) ซึ่งพบว่า เมื่อใช้เวลาทอดก่อนแช่เยือกแข็ง 2 นาที และใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง 2 นาที จะมีค่าความสว่างต่ำกว่าและมีค่าสีแดงสูงกว่า ตัวอย่างที่ใช้เวลาทอดก่อนแช่เยือกแข็ง 1 นาที และใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง 1 นาที เมื่อพิจารณาคะแนนการอมน้ำมัน พบว่าตัวอย่างที่ใช้เวลาทอดก่อนแช่เยือกแข็ง 1 นาที และใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง 1 นาที จะมีคะแนนเฉลี่ยการอมน้ำมันสูงที่สุด นั่นคือผู้ทดสอบมีความเห็นว่ามีการอมน้ำมันน้อยเหมาะมากกับผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน โดยจะพบว่าเมื่อใช้เวลาทอดก่อนแช่เยือกแข็ง 1 นาที และใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง 1 นาที จะมีปริมาณไขมันอยู่ต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาคะแนนลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ คือ ตัวอย่างใช้เวลาทอดก่อนแช่เยือกแข็ง 1 นาที และใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง 2 นาที ส่วนตัวอย่างที่ได้จากการทอดโดยใช้เวลาทอดก่อนแช่เยือกแข็ง 1 นาที และใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง 1 นาที และตัวอย่างที่ใช้เวลาทอดก่อนแช่เยือกแข็ง 2 นาที และใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง 2 นาที จะมีคะแนนเฉลี่ยลักษณะเนื้อสัมผัสต่ำที่สุด โดยผู้ทดสอบมีความเห็นว่าตัวอย่างมีเนื้อสัมผัสที่นิ่ม และแข็งไม่เหมาะกับลักษณะของผลิตภัณฑ์ ผลดังกล่าวนี้ยืนยันได้จากผลการวัดความแข็งของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าตัวอย่างที่ใช้เวลาทอดก่อนแช่เยือกแข็ง 1 และใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง 1 นาที จะมีค่าความแข็งต่ำที่สุด และตัวอย่างที่ใช้เวลาทอดก่อนแช่เยือกแข็ง 2 นาที และใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง 2 นาที จะมีค่าความแข็งสูงที่สุด คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีและลักษณะเนื้อสัมผัส ส่งผลมายังคะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ ทำให้ตัวอย่างที่ใช้เวลาทอดก่อนแช่เยือกแข็ง 1 นาที และใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง 2 นาที มีคะแนนความชอบรวมสูงที่สุด

ดังนั้นผลจากการพิจารณาคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าตัวอย่างที่ใช้เวลาทอดก่อนแช่เยือกแข็ง 1 นาที และใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง 2 นาที มีคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงสุด ถึงแม้จะมีคะแนนเฉลี่ยการอมน้ำมันต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้เวลาทอดก่อนแช่เยือกแข็ง 1 นาที และใช้เวลาทอดเพื่อให้ความร้อนหลังการแช่เยือกแข็ง 1 นาที แต่ยังมีคะแนนเฉลี่ยการอมน้ำมันอยู่ในระดับเหมาะสมปานกลาง จึงเลือกภาวะนี้สำหรับการศึกษาในขั้นต่อไป

5.2.4 ศึกษาปริมาณเกลือที่เหมาะสม สำหรับการปรับปรุงรสเค็มมันฝรั่งทอดแบบก้อนแช่เยือกแข็ง

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่สรุปได้จากข้อ 4.2.3 มีข้อด้อยคือ รสชาติของผลิตภัณฑ์จืดเกินไป ทำให้ผู้ทดสอบมีข้อเสนอแนะให้ปรับปรุงรสเค็มของผลิตภัณฑ์ การทดลองในขั้นตอนนี้จึงปรับปรุงรสเค็มของผลิตภัณฑ์ จากภาวะการศึกษาเบื้องต้น พบว่าถ้าใช้เกลือในปริมาณสูงกว่า 1.00% ของน้ำหนักมันฝรั่ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีรสเค็มเกินไป จึงแปรปริมาณเกลือเป็น 0.00 0.25 0.50 0.75 และ 1.00% ของน้ำหนักมันฝรั่ง หลังจากการผลิตมันฝรั่งแบบก้อนแช่เยือกแข็ง เลือกตัวอย่างที่ดีที่สุด โดยทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.15-4.16

เมื่อพิจารณาตัวอย่างที่เติมเกลือ 0.50% ของน้ำหนักมันฝรั่ง พบว่ามีคะแนนเฉลี่ยรสเค็มดีที่สุด เนื่องจากผู้ทดสอบมีความเห็นว่า มีรสเค็มพอเหมาะกับผลิตภัณฑ์ ไม่เค็มหรือจืดจนเกินไป จึงเลือกปริมาณนี้สำหรับการปรับปรุงรสชาติของมันฝรั่งทอดแบบก้อนแช่เยือกแข็ง สำหรับศึกษาในขั้นตอนต่อไป

5.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งแบบ air blast และแบบใช้ liquid nitrogen

5.3.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งแบบ air blast

การแช่เยือกแข็งแบบลมเป่าอาศัยอากาศเย็นเคลื่อนที่ด้วยพัดลมเป็นตัวกลางเคลื่อนที่นำความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ ในงานวิจัยนี้ใช้อุณหภูมิลมเย็นในตู้ประมาณ -32 °C ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิใจกลางชิ้นมันฝรั่งทอดแบบก้อน และเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง แสดงดังรูปที่ 4.1 จากกราฟดังกล่าว พบว่าเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งมันฝรั่งทอดแบบก้อนจนอุณหภูมิใจกลางชิ้นผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิ -18 °C คือ 42 นาที

5.3.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งแบบใช้ liquid nitrogen

การแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค เป็นการแช่เยือกแข็งที่ใช้อุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งต่ำมาก คือต่ำกว่า -60 °C (Sebranek, 1982) จึงทำให้มีอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งสูงกว่า จากการทดลองแปรอุณหภูมิของการแช่เยือกแข็งแบบใช้ liquid nitrogen ที่ -60 -70 -90 และ

-110 °C พบว่า เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งมันฝรั่งทอดแบบก้อนจนอุณหภูมิใจกลางชิ้นผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิ -18 °C คือ 4 นาที 23 วินาที, 3 นาที 44 วินาที, 1 นาที 44 วินาที, 1 นาที 22 วินาที ตามลำดับ

5.3.3 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการแช่เยือกแข็งมันฝรั่งทอดแบบก้อนด้วย liquid nitrogen

ผลจากการแปรอุณหภูมิที่ใช้แช่เยือกแข็ง 4 ระดับ คือ -60 -70 -90 และ -110 °C (ตารางที่ 4.17-4.18) พบว่า อุณหภูมิที่ใช้แช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักหลังการแช่เยือกแข็ง (%freezing loss) ($p>0.05$) แต่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนอีกครั้ง (%heating loss) ($p\leq0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิแช่เยือกแข็งเป็น -110 °C จะทำให้มีค่าเฉลี่ย %heating loss สูงที่สุดและมีค่าไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิแช่เยือกแข็งเป็น -90 °C ทั้งนี้เนื่องจากการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิคที่ใช้อุณหภูมิต่ำมาก ทำให้เซลที่ผิวเกิดการแตกมาก จึงเกิดการสูญเสียความชื้นได้มากกว่าการใช้อุณหภูมิแช่เยือกแข็งที่สูงกว่า พื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศจึงมีมากขึ้น การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากมีการสูญเสียความชื้นออกไปโดยการระเหยในระหว่างการให้ความร้อนจึงมีมากขึ้น (Hanenian, Mittal and Usborne, 1989) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jakobsson and Bengtsson (1969) ที่พบว่าการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์โดยใช้การจุ่มในไนโตรเจนเหลว จะทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำให้สุก (%cooking loss) สูงกว่า เมื่อเทียบกับการแช่เยือกแข็งโดยใช้เกล็ดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 snow) ซึ่งสามารถรักษาคุณลักษณะเดิมของเนื้อเยื่อเอาไว้ได้ดีกว่า

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.19-4.20) พบว่า อุณหภูมิที่ใช้แช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อคะแนนเฉลี่ยสี กลิ่นรส การอมน้ำมัน และลักษณะเนื้อสัมผัส ($p>0.05$) แต่มีผลต่อคะแนนเฉลี่ยลักษณะปรากฏ และความชอบรวม ($p\leq0.05$) โดยตัวอย่างที่ได้จากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -90 และ -110 °C จะมีคะแนนเฉลี่ยลักษณะปรากฏและความชอบรวมต่ำที่สุด เพราะลักษณะปรากฏที่ผิวหน้าของชิ้นมันฝรั่งจะมีลักษณะแห้งเป็นขอบสีขาว เนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำมาก น้ำในผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการหดตัวและเซลที่ผิวเกิดการแตกมาก (Brown, 1979) พื้นผิวที่สัมผัสกับอากาศจึงมีมากขึ้น การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากมีการสูญเสียความชื้นออกไปโดยการระเหยในระหว่างการให้ความร้อนจึงมีมาก ผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับผลการทดลองหาการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนอีกครั้ง (%heating loss) ซึ่งพบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิแช่เยือกแข็งที่ -90 และ - 110 °C จะมีค่าเฉลี่ย %heating loss สูงที่สุด

ผลจากการพิจารณาคะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่า ตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิแช่เยือกแข็งที่ -60 °C มีคะแนนอยู่ในระดับสูง เนื่องจากมีคะแนนลักษณะปรากฏอยู่ใน

ระดับสูงเช่นกัน นอกจากนี้ได้ทำการทดลองหาปริมาณการใช้ liquid nitrogen เพื่อแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ -60 -70 -90 และ -110 องศาเซลเซียส เพื่อเปรียบเทียบพบว่า ที่อุณหภูมิ -60 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ใช้ liquid nitrogen น้อยที่สุด หรือเป็นอุณหภูมิที่ประหยัดที่สุด ส่วนที่ -70 -90 และ -110 องศาเซลเซียส จะใช้ liquid nitrogen มากขึ้นตามลำดับ ดังแสดงวิธีการทดลองในภาคผนวก ค. ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิแช่เยือกแข็งที่ -60 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ด้วย liquid nitrogen สำหรับการทดลองในขั้นต่อไป

5.4 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพมันฝรั่งทอดแบบก้อนแช่เยือกแข็ง

เลือกปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อคุณภาพมันฝรั่งทอดแบบก้อนแช่เยือกแข็ง ได้แก่ วิธีการแช่เยือกแข็ง โดยเลือกใช้วิธี air blast และวิธีใช้ liquid nitrogen ซึ่งมีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งต่างกัน โดยวิธี air blast จะมีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งช้ากว่าวิธีใช้ liquid nitrogen นอกจากนี้แปรวิธีการให้ความร้อนก่อนบริโภคเป็น 2 วิธี คือ แบบใช้วิธีการละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำไปทอดในกระทะแบบ deep fat frying และวิธีใช้การละลายน้ำแข็งและอุ่นให้ร้อนด้วยเตาอบในขั้นตอนเดียว

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.24-4.26) พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการแช่เยือกแข็ง และวิธีการให้ความร้อนต่อคะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสทุกด้าน ($p>0.05$) แต่มีอิทธิพลของวิธีการให้ความร้อนต่อคะแนนเฉลี่ยสี กลิ่นรส การอมน้ำมัน ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม ($p\leq0.05$) เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยด้านสี พบว่า ผลิตภัณฑ์มีคะแนนเฉลี่ยสีต่ำลง เมื่อให้ความร้อนโดยวิธีการอบ ผู้ทดสอบพบว่าตัวอย่างที่ให้ความร้อนโดยวิธีการอบ มีสีเหลืองอ่อนไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ และผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับผลจากเครื่องวัดสี (ตารางที่ 4.23) โดยจะพบว่าวิธีการให้ความร้อนมีผลต่อค่าเฉลี่ยสี ($p\leq0.05$) และตัวอย่างที่ใช้การอบในการให้ความร้อน จะมีค่าความสว่างสูงกว่า และค่าสีแดงต่ำกว่า แสดงว่าสีอ่อนกว่าตัวอย่างที่ให้ความร้อนโดยการทอด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดและอบจะเร่งปฏิกิริยา Maillard reaction ที่เกิดขึ้นระหว่าง amino group ของกรดอะมิโนหรือโปรตีน และน้ำตาลรีดิวซ์ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจากปฏิกิริยาได้แก่ เมลานอยดิน ซึ่งเป็นสารให้สีน้ำตาล (Fennema, 1996) ทำให้มันฝรั่งทอดมีสีเข้มขึ้นได้ไม่เท่ากันนอกจากนี้ในการทอดนั้น สีที่เกิดขึ้นอาจเกิดเนื่องจากน้ำมันที่ใช้ทอด (Roe and Faulks, 1991) น้ำมันที่ใช้ทอดนี้เป็นน้ำมันปาล์มโอเลอิน ซึ่งมี carotenes เป็น precursors ของวิตามินเอ และจะให้สีส้มแดงในน้ำมันปาล์ม (Ong et al., 1995) เมื่อนำมาใช้ทอดผลิตภัณฑ์ น้ำที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อจะเกิดการระเหยและถูกแทนที่โดยน้ำมัน ส่วนการอบนั้น จะพบว่าไขมันที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์จะไหลออกจากชิ้นอาหาร (Fellows, 1990) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ผลิตภัณฑ์ที่ให้ความร้อนโดยการทอด มีสีเข้มกว่าผลิตภัณฑ์ที่ให้ความร้อนโดยการอบ เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นรส พบว่า ผลิตภัณฑ์มีคะแนนเฉลี่ยกลิ่นรสต่ำลง เมื่อให้ความร้อนโดยวิธีการอบ โดยผู้ทดสอบเห็นว่า ตัวอย่างที่ให้ความร้อนโดยวิธีการทอด มีกลิ่นรสของมันฝรั่งเหมาะกับผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากกลิ่นรสของอาหารที่ผ่านการอบและทอด ส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา Maillard reaction ระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโน และกรดไขมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น เปลี่ยนเป็นอัลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ และ

เอสเตอร์ชนิดต่างๆ แต่การให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์เพียงอย่างเดียว โดยไม่ได้นำอาหารมาทอด จะทำให้มีกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นในปริมาณที่ไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่ผ่านการทอด (Lawson, 1985) เมื่อนำอาหารทอดในน้ำมันแบบ deep fat frying น้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในอาหารจะถูกปลดปล่อยลงสู่น้ำมัน เกิด hydrolysis ของน้ำมันได้กรดไขมันอิสระ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเปลี่ยนเป็นอัลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ และเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่นรส (Fennema, 1996) Mookherjee et al. (1965) พบว่า carbonyl compound เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นและกลิ่นรสของมันฝรั่งทอด และได้ศึกษาต่อมาพบว่า 2,4-decadienal ซึ่งได้จากกรดลิโนลีอิก (linoleic acid) ในน้ำมันที่ใช้ทอด เป็นสารประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นในมันฝรั่งทอดที่ทอดเสร็จใหม่ๆ เพราะมีปริมาณสูงสุด ดังนั้นเมื่อใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ซึ่งมีกรด linoleic สูง (Fennema,1996) มาทอดผลิตภัณฑ์ จึงทำให้เกิดสารที่ให้กลิ่นรสสูง ดังนั้นการให้ความร้อนโดยการทอดจึงมีคะแนนเฉลี่ยกลิ่นรสสูงกว่า การให้ความร้อนโดยการอบ นอกจากนี้ผู้ทดสอบยังแสดงความคิดเห็นว่า ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ให้ความร้อนโดยการอบ จะมีสีไม่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ทอด อาจเป็นเพราะตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทำจากมันฝรั่งที่ไสเป็นเส้นๆ แล้วนำมาขึ้นรูปเป็นก้อน ทำให้ผิวหน้ามีลักษณะไม่เรียบเสมอกันทั้งหมด ส่วนที่อยู่สูงกว่าจะสัมผัสกับความร้อนมากกว่าส่วนที่อยู่ต่ำกว่า จึงมีสีเข้มกว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีสีไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้น ส่วนการทอดนั้น ผิวอาหารทุกจุดจะได้รับความร้อนสม่ำเสมอ สีและลักษณะปรากฏที่ผิวของชิ้นผลิตภัณฑ์จึงสม่ำเสมอมากกว่า (Fellows, 1990) เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยด้านการอมน้ำมัน พบว่า ผลิตภัณฑ์มีคะแนนเฉลี่ยการอมน้ำมันต่ำลง เมื่อให้ความร้อนโดยวิธีการทอด และผู้ทำการทดลองสังเกตเห็นว่าเมื่อนำตัวอย่างไปอบ จะมีไขมันไหลออกมาจากชิ้นผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากตัวอย่างที่จะนำมาอบนั้น จะผ่านขั้นตอนการทอดเบื้องต้น (prefried) ทำให้น้ำที่มีในเนื้อเยื่อบางส่วน ถูกแทนที่โดยน้ำมันได้บ้าง ทำให้ตัวอย่างที่อบได้รับคะแนนสูงกว่าเนื่องจาก อาจจะมีปริมาณไขมันอยู่ในระดับที่พอเหมาะ และเมื่อนำตัวอย่างมาอบเพื่อให้อาหารสุก ความชื้นที่ผิวของอาหารจะระเหยออกไปเนื่องจากความร้อนขณะที่น้ำระเหยออกไป เส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นผิวหน้าของรูโพรงที่มีน้ำอยู่ จะเคลื่อนเข้ามาชิดกันภายใต้อิทธิพลของแรงดึงผิว (surface tension) ผลจะแผ่ขยายไปถึงชั้นที่อยู่ลึกลงไปและจะไปทุกทางจนถึงจุดศูนย์กลาง ปริมาตรของการหดตัวจะเท่ากับปริมาตรของน้ำที่ระเหยออกไป (Luh and Woodroof, 1975) starch ที่ผิวเกิดเจลาติไนซ์และถูกทำให้แห้ง เกิดเป็นเปลือกนอกที่แข็ง (Fellows, 1990) องค์ประกอบของโครงสร้างของเซลเสียรูปร่าง โปรตีนจะเกิดการเปลี่ยนสภาพ จึงทำให้การหดตัวมีมากขึ้น เซลจะถูกดึงเข้ามาชิดกันมากขึ้น (Luh and Woodroof, 1975) ทำให้น้ำและไขมันที่มีอยู่ในรูโพรงอาหารไหลออกมานอกชิ้นผลิตภัณฑ์มากกว่า เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จึงแข็งกระด้างกว่า ดังนั้นเมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์ที่อบมีคะแนนเฉลี่ยลักษณะเนื้อสัมผัสลดลง ($p \leq 0.05$)

ผลจากการพิจารณาคะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่าตัวอย่างที่ให้ความร้อนโดยวิธีการทอด มีคะแนนความชอบสูงสุดเนื่องจากมีคะแนนสี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัสสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้การให้ความร้อนโดยวิธีการอบ จึงเลือกตัวอย่างนี้สำหรับศึกษาในขั้นต่อไป

5.5 ศึกษาปริมาณ sodium acid pyrophosphate (SAPP) ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงสีมันฝรั่งทอดแบบก้อนแช่เยือกแข็ง

ในการผลิตมันฝรั่งทอดแบบก้อนแช่เยือกแข็ง พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการทอดก่อนการแช่เยือกแข็ง (prefried) มีสีคล้ำเล็กน้อย จึงทดลองใช้ sodium acid pyrophosphate (SAPP) ในการป้องกันการเกิดสีคล้ำในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มันฝรั่ง สามารถใช้ได้แม้ว่า pH ของน้ำที่ใช้แช่หรือลวกจะเป็น 4.5-5.5 โดยไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส แต่การใช้กรด เช่น citric acid, acetic acid เพื่อเพิ่มความเป็นกรดในเนื้อเยื่อของมันฝรั่ง ก่อนหรือระหว่างการ cooking เพื่อลด pH ของน้ำที่ใช้แช่หรือลวกมันฝรั่งให้ต่ำกว่า 5.8-6.0 และเพิ่มความสามารถในการแข่งขันกับ chlorogenic acid ในการจับกับโลหะ iron (Smith, 1975) จะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส โดยจะทำให้เกิดลักษณะ glassiness หรือ rind formation ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Wager, 1955) ดังนั้นเพื่อให้ช่วงการแปรปริมาณ SAPP ในน้ำที่ใช้ลวกแคบลง จึงทำการทดลองเบื้องต้น พบว่า เมื่อนำมันฝรั่งที่ไสเป็นเส้นด้วย shredder ขนาด 6.2 มิลลิเมตร มาลวกในน้ำที่มี SAPP สูงกว่า 0.1% (W/V) จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสของกรดและมีรสชาติเฝื่อนลิ้นมากเกินไป จึงแปรปริมาณ SAPP ในน้ำที่ใช้ลวกเป็น 0.0-0.1% (W/V) ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาวิเคราะห์ค่าสี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.27-4.30

จากผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสเฟตที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หลังการละลาย ก่อนนำมาให้ความร้อนอีกครั้ง พบว่า อิทธิพลของปริมาณ SAPP ในน้ำที่ใช้ลวก ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยสีแดงและสีเหลือง ($p>0.05$) แต่มีผลต่อปริมาณฟอสเฟตที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ และค่าความสว่าง ($p\leq0.05$) โดยผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณฟอสเฟตสูงขึ้น เมื่อใช้ปริมาณ SAPP สูงขึ้น และเมื่อพิจารณาค่าความสว่างพบว่า จะมีค่าความสว่างสูงขึ้น เมื่อใช้ปริมาณ SAPP สูงขึ้นและค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ SAPP ในน้ำที่ใช้ลวก 0.075 และ 0.100% (W/V) จะมีค่าไม่แตกต่างกัน และมีค่าความสว่างสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจาก เมื่อนำมันฝรั่งมาลวกในน้ำที่มี SAPP SAPP จะเกิด hydrolysis เปลี่ยนเป็น orthophosphoric acid ซึ่งจะจับกับ ferric iron (Fe^{***}) เป็น orthophosphato-ferric complexes จึงไม่เกิดสารประกอบที่มีสีคล้ำของ chlorogenic acid-Fe^{***} (Smith, 1968) จึงทำให้ตัวอย่างที่ลวกในน้ำที่มี SAPP มีความสว่างกว่าตัวอย่างที่ลวกในน้ำที่ไม่มี SAPP

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสหลังจากการทอดให้ความร้อนอีกครั้ง พบว่า อิทธิพลของปริมาณ SAPP ในน้ำที่ใช้ลวกไม่มีผลต่อคะแนนเฉลี่ยสี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัส ($p>0.05$) แต่มีผลต่อคะแนนเฉลี่ยรสชาติ และความชอบรวม โดยผู้ทดสอบมีความเห็นว่า ตัวอย่างที่ใช้มันฝรั่งที่ลวกในน้ำที่มี SAPP 0.100% (W/V) มีรสชาติเปรี้ยวผิดปกติเล็กน้อย จึงมีคะแนนเฉลี่ยรสชาติต่ำที่สุด ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากคุณสมบัติของ SAPP ที่ใช้มีลักษณะเป็นผงสีขาว เมื่อนำมาทำเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 1% จะมี pH = 4.2 (บริษัท ฟู้ดส์ฟิลด์ อินเตอร์ เนชั่นแนล

จำกัด) ดังนั้นเมื่อนำมันฝรั่งมาลวกในน้ำที่มี SAPP ในปริมาณที่มากเกินไป จึงทำให้เกิดรสชาติที่ผิดปกติในผลิตภัณฑ์

ผลจากการพิจารณารสชาติ และความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่า ตัวอย่างที่ใช้มันฝรั่งที่ลวกในน้ำที่มี SAPP 0.000 0.025 0.050 และ 0.075% (W/V) จะมีคะแนนคุณลักษณะทั้งสองนี้สูงกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ใช้มันฝรั่งที่ลวกในน้ำที่มี SAPP 0.100% (W/V) เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง พบว่าตัวอย่างที่ใช้มันฝรั่งที่ลวกในน้ำที่มี SAPP 0.075% (W/V) จะมีค่าความสว่างสูงที่สุด ในบรรดาตัวอย่างทั้ง 4 นี้ และไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ลวกในน้ำที่มี SAPP 0.1% (W/V) อีกทั้งมีปริมาณฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์ไม่เกิน 100 mg/kg sample (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1982) จึงเลือกตัวอย่างที่ใช้มันฝรั่งที่ลวกในน้ำที่มี SAPP 0.075% (W/V) สำหรับศึกษาในขั้นต่อไป และเมื่อพิจารณาปริมาณฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์ พบว่า ปริมาณฟอสเฟตของผลิตภัณฑ์ที่ใช้มันฝรั่งที่ลวกในน้ำที่ไม่มี SAPP มีค่าเป็น 3.06 mg P_2O_5/100 g sample เนื่องจากในมันฝรั่งมีแร่ธาตุองค์ประกอบ โดยองค์ประกอบหลักคือ โปแตสเซียม มีปริมาณ 1400-2500 mg/100 g (ของน้ำหนักแห้งของมันฝรั่ง) รองลงมาคือ ฟอสฟอรัส มีปริมาณ 120-600 mg/100 g (ของน้ำหนักแห้งของมันฝรั่ง) โดยปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในมันฝรั่งจะมีปริมาณต่างกันไป ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน อายุของมันฝรั่ง และอุณหภูมิในการเก็บรักษา (Lisinska and Leszczynski, 1989)

5.6 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดแบบก้อนแช่เยือกแข็ง และศึกษาผลของปริมาณ SAPP ในน้ำที่ใช้ลวก วิธีแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาในการเก็บแช่เยือกแข็งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี ลักษณะทางประสาทสัมผัส และจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดแบบก้อนแช่เยือกแข็ง

เตรียมผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดแบบก้อน ตามขั้นตอนที่ระบุใน 3.2.6 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และเส้นใย ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.31 พบว่ามีปริมาณความชื้น 65.51% โปรตีน 1.95% ไขมัน 9.07% คาร์โบไฮเดรต 21.74% เถ้า 1.11% และเส้นใย 0.62% McCay, McCay and Smith (1975) รายงานว่าผลิตภัณฑ์ hash brown potato แช่เยือกแข็ง มีองค์ประกอบดังนี้ ความชื้น 58.2% โปรตีน 1.8% ไขมัน 10.7% คาร์โบไฮเดรต 28.27% และเถ้า 1.03% ซึ่งจะเห็นว่ามีปริมาณของโปรตีน ไขมัน และเถ้าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ได้

ในขั้นตอนสุดท้ายที่ศึกษาผลของปริมาณ SAPP ในน้ำที่ใช้ลวก วิธีแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาในการเก็บแช่เยือกแข็งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี ลักษณะทางประสาทสัมผัส และจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดแบบก้อนแช่เยือกแข็ง โดยแปรปริมาณ SAPP ในน้ำที่ใช้ลวก 2 ระดับคือ 0.000 และ 0.075 (%W/V) แช่เยือกแข็ง 2 วิธีคือ วิธีใช้ air blast ที่อุณหภูมิ

-32 องศาเซลเซียส และวิธีใช้ liquid nitrogen ที่อุณหภูมิ -60 องศาเซลเซียส เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเก็บแช่เยือกแข็ง 5 เดือน ตรวจสอบคุณภาพตัวอย่างเริ่มต้นและหลังจากนั้นทุก 1 เดือน โดยตรวจสอบคุณภาพต่างๆ ดังนี้

- ผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

ผลการวิเคราะห์ % weight loss % thawing และ% heating loss (ตารางที่ 4.32-4.35) พบว่ามีอิทธิพลของวิธีแช่เยือกแข็งต่อค่า % weight loss และ % thawing loss ($p \leq 0.05$) และอิทธิพลของวิธีแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาเก็บ มีผลต่อค่า % heating loss ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณา % weight loss พบว่า การแช่เยือกแข็งมันฝรั่งทอดแบบก้อนด้วย liquid nitrogen ทำให้ค่า % weight loss ต่ำกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยวิธี air blast เนื่องจากการแช่เยือกแข็งด้วย liquid nitrogen เป็นวิธีการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งเร็วกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยวิธี air blast จึงมีการถ่ายเทความร้อนได้เร็วกว่า ทำให้น้ำในเซลมีการระเหยออกไปได้น้อย (Fellows, 1990) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kock et al. (1995) ที่ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็ง potato chips โดยวิธี cryogenic freezing ที่อุณหภูมิ -75 °C และ air blast freezing ที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ พบว่าอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งมีผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ ทันทีหลังจากแช่เยือกแข็ง potato chips แบบ cryogenic จะได้ yield ที่สูงกว่า air blast freezing อาจเป็นเพราะในช่วงการแช่เยือกแข็งแบบ cryogenic จะมีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการระเหยของน้ำ (dehydration losses) น้อยมาก แต่การใช้ air blast freezing จะมีการระเหยของน้ำออกไปมากเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศ หลังจากการเก็บที่ -18 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ yield ของ potato chips ที่แช่เยือกแข็งแบบ cryogenic จะไม่แตกต่างกับ yield ของ potato chips ที่ได้ทันทีหลังจากการแช่เยือกแข็ง ขณะที่การใช้ air blast freezing ทำให้ yield มีค่าลดลง เพราะการแช่เยือกแข็งอย่างช้าๆ เซลจะถูกทำลายมากกว่า ทำให้น้ำภายในเซลเคลื่อนที่ไปที่ผิวนอกของผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น

เมื่อพิจารณา %thawing loss พบว่า การแช่เยือกแข็งมันฝรั่งทอดแบบก้อนด้วย liquid nitrogen ทำให้ค่า %thawing loss ต่ำกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยวิธี air blast ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งช้า อุณหภูมิของอาหารจะอยู่ที่อุณหภูมิสมดุลของน้ำและน้ำแข็ง หรือใกล้เคียงอุณหภูมิสมดุลนี้ ทำให้เกิดนิวเคลียสจำนวนน้อย นิวเคลียสนี้จะค่อยๆ โตขึ้น ผลึกน้ำแข็งจึงมีขนาดใหญ่จำนวนน้อยภายนอกเซล ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในส่วนที่ยังคงเป็นของเหลวจะเพิ่มขึ้น ความดันไอจะค่อยๆ ลดลง ถ้าผลึกน้ำแข็งภายนอกไม่สามารถเติบโตผ่านผนังเซลเข้าไปภายในได้ ของเหลวภายในเซลจะอยู่ในสภาพเย็นยิ่งยวด (super cooled) ทำให้มีความดันไอสูงกว่าของเหลวภายนอก ความดันต่างที่เกิดขึ้นทำให้น้ำภายในเซลซึมผ่านผนังเซลออกมารวมตัวเป็นผลึกน้ำแข็งภายนอกเซล เมื่อทำการแช่เยือกแข็งต่อไป เซลจะหดตัว ผลึกน้ำแข็งภายนอกจะมีขนาดโตขึ้นเรื่อยๆ จึงทำลายเซลล์มาก ทำให้สูญเสียน้ำจากเซลล์มากเมื่อละลายน้ำแข็ง (Fellows, 1990)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของวิธีการแช่เยือกแข็งต่อค่า % heating loss พบว่า การแช่เยือกแข็งมันฝรั่งทอดแบบก้อนด้วย liquid nitrogen ผลเช่นเดียวกับผลของค่า % thawing loss และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของระยะเวลาเก็บต่อค่า % heating loss พบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บมากขึ้น ค่า % heating loss จะเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.35 และรูปที่ 4.6) เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษา ขนาดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กมีแนวโน้มเคลื่อนที่จับกับผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ เพื่อเพิ่มเสถียรภาพ ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้นตามปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Ostwald ripening (Reid, 1993) จึงมีผลต่อการทำลายเซล และโครงสร้างของเซล ทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการระเหยของน้ำในระหว่างการให้ความร้อนอีกครั้งมากขึ้น เมื่อระยะเวลาเก็บมากขึ้น

- ผลต่อค่าสี

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสี (ตารางที่ 4.36-4.39) พบว่าไม่มีอิทธิพลของปริมาณ SAPP ในน้ำที่ใช้ลวก วิธีแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาเก็บ ต่อค่าสีแดง ($p > 0.05$) แต่มีอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ SAPP ในน้ำที่ใช้ลวก วิธีแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาเก็บ ต่อค่าความสว่าง ($p \leq 0.05$) และมีอิทธิพลของปริมาณ SAPP ในน้ำที่ใช้ลวก และระยะเวลาเก็บ ต่อค่าสีเหลือง ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง จะพบว่าตัวอย่างที่ใช้มันฝรั่งที่ลวกในน้ำที่มี SAPP 0.075% (W/V) ทั้งที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast และ liquid nitrogen จะมีค่าความสว่างสูงกว่าและมีแนวโน้มการลดลงของค่าความสว่างต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้มันฝรั่งที่ลวกในน้ำที่ไม่มี SAPP เนื่องจากเมื่อนำมันฝรั่งมาลวกในน้ำที่มี SAPP SAPP จะเกิด hydrolysis เปลี่ยนเป็น orthophosphoric acid ซึ่งจะจับกับ ferric iron (Fe^{***}) เป็น orthophosphato-ferric complexes จึงไม่เกิดสารประกอบสีคล้ำของ chlorogenic acid-Fe^{***} (Smith, 1968) จึงทำให้ตัวอย่างที่ลวกในน้ำที่มี SAPP มีความสว่างกว่าและมีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างต่ำกว่าตัวอย่างที่ลวกในน้ำที่ไม่มี SAPP เมื่อเวลาเก็บผ่านไป ผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ liquid nitrogen จะมีค่าความสว่างสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการแช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast จะใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งนานกว่า การสัมผัสของออกซิเจนกับอาหารจึงมีมากกว่า (Fennema et al., 1975) ดังนั้นการเกิดออกซิเดชันของสารประกอบที่ไม่มีสีของ ferrous ions (Fe^{**}) กับ chlorogenic acid หรือ o-dihydroxyphenol เป็นสารประกอบที่มีสีคล้ำของ ferric iron (Fe^{***}) กับ chlorogenic acid หรือ o-dihydroxyphenol จึงมีมากกว่า และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ทุกตัวอย่างมีค่าความสว่างลดลง อาจเนื่องมาจากการนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้วบรรจุในถุง ผิวที่แข็งตัวและไม่เรียบของผลิตภัณฑ์จึงทำให้เกิดช่องว่างสุญญากาศระหว่างผิวของผลิตภัณฑ์กับผิวของภาชนะบรรจุ ช่องว่างสุญญากาศที่เกิดขึ้นนี้อาจเป็นปัจจัยที่เพิ่มอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนจากภายนอก ถึงแม้ว่าภาชนะบรรจุที่ใช้จะมีค่า oxygen transmission rate ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีผลทำให้เกิดแรงดันเข้าของออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของบรรยากาศความหนาแน่นระหว่างผิวทั้ง 2 ด้านของภาชนะ เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น จึงสามารถเกิดออกซิเดชันของสารประกอบที่ไม่มีสีของ ferrous ions (Fe^{**}) กับ chlorogenic acid หรือ o-dihydroxyphenol เป็นสารประกอบที่มีสีคล้ำของ ferric iron (Fe^{***}) กับ chlorogenic acid หรือ o-dihydroxyphenol มากขึ้น ค่าความสว่างจึงมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาค่าสีเหลือง จะพบว่า ตัวอย่างที่ใช้มันฝรั่งที่ลวกในน้ำที่มี SAPP 0.075 % (W/V) จะมีค่าสีเหลืองสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้มันฝรั่งที่ลวกในน้ำที่ไม่มี SAPP เนื่องจาก SAPP เป็นสารประกอบฟอสเฟตชนิดหนึ่ง มีคุณสมบัติในการเป็น sequestering agent สามารถทำปฏิกิริยากับโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้ความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะลดลง ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่จะเกิดขึ้นก็จะถูกยับยั้งไม่ให้เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นช้าลง (Furia, 1972) การสูญเสียแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเหลืองที่อยู่ในมันฝรั่งจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ก็จะถูกยับยั้งไม่ให้เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นช้าลง และเมื่อระยะเวลาเก็บมากขึ้น ค่าสีเหลืองจะมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 4.39 และ รูปที่ 4.7) เนื่องมาจากการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ แล้วนำมาบรรจุในถุง ผิวที่แข็งตัวและไม่เรียบของผลิตภัณฑ์จึงทำให้เกิดช่องว่างสุญญากาศระหว่างผิวของผลิตภัณฑ์กับผิวของภาชนะบรรจุ ช่องว่างสุญญากาศที่เกิดขึ้นนี้อาจเป็นปัจจัยที่เพิ่มอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนจากภายนอก เนื่องจากมีผลทำให้เกิดแรงดันเข้าของออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของบรรยากาศ ความหนาแน่นระหว่างผิวทั้ง 2 ด้านของภาชนะ เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น แคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเหลืองที่อยู่ในมันฝรั่ง และมีโครงสร้างของโมเลกุลที่มีพันธะคู่มาก จึงสามารถถูกออกซิไดซ์ได้โดยออกซิเจนที่ซึมผ่านเข้ามาในบรรจุภัณฑ์ ทำให้ค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ลดลง

- ผลต่อค่า TBA

ผลการวิเคราะห์ค่า TBA (ตารางที่ 4.40-4.41) พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ SAPP ในน้ำที่ใช้ลวก วิธีแช่เยือกแข็ง และระยะเวลาเก็บ ต่อค่า TBA ($p \leq 0.05$) ผลิตภัณฑ์ทุกตัวอย่างที่ใช้มันฝรั่งที่ลวกในน้ำที่มี SAPP ที่ระดับเดียวกัน เมื่อนำมาแช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast จะมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า TBA สูงกว่าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ liquid nitrogen เมื่อระยะเวลาเก็บเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้มันฝรั่งที่ลวกในน้ำที่ไม่มี SAPP และแช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast มีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นของค่า TBA มากที่สุด เมื่อระยะการเก็บเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการแช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast เป็นการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วต่ำ ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งสูงกว่า การสัมผัสของออกซิเจนกับอาหารจึงมีมากกว่า นอกจากนั้นผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่กว่า ไขมันและน้ำมันซึ่งเป็นปัจจัยการเกิดออกซิเดชันจะอยู่ใกล้ชิดกันและมีการกระจายตัวต่ำกว่า เป็นผลให้การเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการแช่เยือกแข็งที่อัตราเร็วสูง ซึ่งจะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกระจายอยู่มากกว่าในชิ้นผลิตภัณฑ์ (Fellows, 1990) ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast จึงมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า TBA สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ liquid nitrogen เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น และผลิตภัณฑ์ทุกตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งด้วยวิธีเดียวกัน เมื่อใช้มันฝรั่งที่ลวกในน้ำที่ไม่มี SAPP จะมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า TBA มากกว่าตัวอย่างที่ใช้มันฝรั่งที่ลวกในน้ำที่มี SAPP 0.075% (W/V) เมื่อระยะเวลาเก็บมากขึ้น เนื่องจากสารประกอบฟอสเฟตมีคุณสมบัติในการเป็น sequestering agent สามารถทำปฏิกิริยากับโลหะโดยเฉพาะเหล็กเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้ความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะลดลง ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่จะเกิดขึ้นก็จะถูกยับยั้งไม่ให้เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นช้าลง (Furia, 1972) และผลิตภัณฑ์ทุกตัวอย่าง เมื่อระยะเวลาเก็บเพิ่มขึ้น ค่า TBA จะมีแนวโน้มสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งมาบรรจุใน

ถุง ผิวที่แข็งตัวและไม่เรียบของผลิตภัณฑ์จึงทำให้เกิดช่องว่างสุญญากาศระหว่างผิวของผลิตภัณฑ์กับผิวของภาชนะบรรจุ ช่องว่างสุญญากาศที่เกิดขึ้นนี้อาจเป็นปัจจัยที่เพิ่มอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนจากภายนอก เนื่องจากมีผลทำให้เกิดแรงดันเข้าของออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของบรรยากาศความหนาแน่นระหว่างผิวทั้ง 2 ด้านของภาชนะ เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น การซึมผ่านของออกซิเจนจึงมีมากขึ้น triglyceride และกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในชิ้นผลิตภัณฑ์ จึงทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ปฏิกิริยาลูกโซ่ ให้สารประกอบ hydroperoxide ที่มีเสถียรภาพต่ำ สามารถสลายตัวให้ alkoxy free radical ซึ่งจะแตกตัวต่อได้ผลิต-ภัณฑ์เป็นสารเคมีที่ระเหยง่ายให้กลิ่นหืนได้มากขึ้น เมื่อติดตามการเกิดกลิ่นหืนโดยใช้วิธี Thiobarbituric acid (TBA) test ซึ่งจะบอกปริมาณ aldehyde ที่มีอยู่ในน้ำมัน TBA จะทำปฏิกิริยากับ malonaldehyde ให้สารสีแดงซึ่งสามารถบอกปริมาณของ malonaldehyde ได้จากความเข้มของสารสีแดงโดยวัดด้วย spectrophotometry (Allen and Hamilton, 1983)

- ผลต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลการวิเคราะห์คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม (ตารางที่ 4.42-4.46) พบว่า ไม่มีอิทธิพลของปริมาณ SAPP ในน้ำที่ใช้ลวก วิธีแช่เยือกแข็ง ระยะเวลาเก็บต่อคะแนนสี ($p > 0.05$) แต่มีอิทธิพลของวิธีแช่เยือกแข็ง ต่อคะแนนลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส ($p \leq 0.05$) อิทธิพลของระยะเวลาเก็บต่อคะแนนลักษณะปรากฏ และกลิ่นรส ($p \leq 0.05$) และมีอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีแช่เยือกแข็งและระยะเวลาเก็บ ต่อคะแนนความชอบรวม ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาคะแนนลักษณะปรากฏ จะพบว่าผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดแบบก้อนที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ liquid nitrogen จะมีคะแนนลักษณะปรากฏสูงกว่าผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดแบบก้อนที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast เนื่องจากผู้ทดสอบมีความเห็นว่า ผิวหน้าของชิ้นผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast มีลักษณะแห้งเห็นขอบสีขาวมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ liquid nitrogen จึงมีคะแนนลักษณะปรากฏต่ำกว่า ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลจากการวิเคราะห์ % weight loss % thawing loss และ% heating loss โดยจะพบว่าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast จะมี % weight loss % thawing และ% heating loss สูงกว่าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ liquid nitrogen นอกจากนั้นจะพบว่าคะแนนลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดแบบก้อนที่ระยะเวลาเก็บ 2 เดือนจะมีคะแนนเฉลี่ยใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ก่อนการเก็บรักษา แต่ที่ระยะเวลา 3 เดือน คะแนนเฉลี่ยจะลดลง ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลจากการวิเคราะห์ค่า % heating loss ที่จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บมากขึ้น

เมื่อพิจารณาคะแนนลักษณะเนื้อสัมผัส จะพบว่าผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดแบบก้อนแช่เยือกแข็งโดยใช้ liquid nitrogen จะมีคะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสสูงกว่าผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดแบบก้อนแช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast เนื่องจากผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast มีเนื้อสัมผัสภายในชิ้นผลิตภัณฑ์ที่นิ่มเกินไป จึงมีคะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสต่ำกว่า ผลดังกล่าวนี้อาจ

เกิดขึ้นเนื่องจากการแช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast มีอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งช้า อุณหภูมิของอาหารจะอยู่ที่อุณหภูมิสมดุลของน้ำและน้ำแข็ง หรือใกล้เคียงอุณหภูมิสมดุลนี้ ทำให้เกิดนิวเคลียสจำนวนน้อย นิวเคลียสนี้จะค่อยๆ โตขึ้น ผลึกน้ำแข็งจึงมีขนาดใหญ่จำนวนน้อยภายนอกเซล ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในส่วนที่ยังคงเป็นของเหลวจะเพิ่มขึ้น ความดันไอจะค่อยๆ ลดลง ถ้าผลึกน้ำแข็งภายนอกไม่สามารถเติบโตผ่านผนังเซลเข้าไปภายในได้ ของเหลวภายในเซลจะอยู่ในสภาพเย็นยิ่งยวด (super cooled) ทำให้มีความดันไอสูงกว่าของเหลวภายนอก ความดันต่างที่เกิดขึ้นทำให้น้ำภายในเซลซึมผ่านผนังเซลออกมารวมตัวเป็นผลึกน้ำแข็งภายนอกเซล เมื่อทำการแช่เยือกแข็งต่อไป เซลจะหดตัว ผลึกน้ำแข็งภายนอกจะมีขนาดโตขึ้นเรื่อยๆ จึงทำลายเซลล์มาก (Fellows, 1990)

เมื่อพิจารณาคะแนนกลิ่นรส จะพบว่าผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดแบบก้อนแช่เยือกแข็งที่ระยะเวลาเก็บ 2 เดือน จะมีคะแนนเฉลี่ยใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ก่อนการเก็บรักษา แต่ที่ระยะเวลาเก็บ 3 เดือน คะแนนเฉลี่ยจะลดลง เนื่องจากผู้ทดสอบมีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสแปลกปลอมเล็กน้อย จึงมีคะแนนกลิ่นรสต่ำลง เนื่องจากมีความหืนเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาเก็บ (รูปที่ 4.8) แต่ยังเป็นที่ยอมรับ ซึ่งสามารถอธิบายตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า TBA ที่จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บ

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบรวม พบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีคะแนนความชอบรวมลดลง (ตารางที่ 4.46 และ รูปที่ 4.9) ซึ่งจะสอดคล้องกับคะแนนด้านลักษณะปรากฏและกลิ่นรส ผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งด้วย liquid nitrogen จะได้คะแนนความชอบรวมใกล้เคียงกันในช่วงระยะเวลาเก็บ 4 เดือน แต่เมื่อระยะเวลาเก็บ 5 เดือน คะแนนเฉลี่ยจะเริ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการเก็บรักษา ส่วนการแช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast จะได้คะแนนความชอบรวมใกล้เคียงกันในช่วงระยะเวลาเก็บ 3 เดือน แต่ที่ระยะเวลาเก็บ 4 เดือน คะแนนเฉลี่ยจะเริ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นั่นคือ ตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ liquid nitrogen เมื่อระยะเวลาเก็บเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มการลดลงของคะแนนความชอบรวมน้อยกว่าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast จากตารางที่ 4.42 เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยความชอบรวมที่ได้ พบว่าอยู่ในช่วงคะแนน 7.17-7.70 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ทดสอบมีความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ถึงแม้ว่าอายุการเก็บรักษาจะนานถึง 5 เดือน

- ผลต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์

เมื่อพิจารณาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) และปริมาณยีสต์และรา ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดแบบก้อนแช่เยือกแข็ง พบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ทนต่ออุณหภูมิต่ำจะถูกทำลายเนื่องจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในระหว่างการแช่เยือกแข็งและระหว่างการเก็บในภาวะแช่เยือกแข็ง การเคลื่อนย้ายของผลึกน้ำแข็งเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ความเข้มข้นภายในเซลจุลินทรีย์ โปรตีนในเซล ผนังเซลและเอนไซม์ของจุลินทรีย์เกิดการเปลี่ยนแปลง (Daudin, 1992)

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณ SAPP ในน้ำที่ใช้ลวก พบว่า ก่อนเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากมันฝรั่งที่ลวกในน้ำที่ไม่มี SAPP จะมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมทั้งปริมาณยีสต์และราสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากมันฝรั่งที่ลวกในน้ำที่มี SAPP 0.075 %(W/V) อาจเกิดขึ้นเนื่องจาก สารประกอบฟอสเฟตสามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลโลหะ ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ มีผลในการหน่วงเหนี่ยวการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนั้นสารนี้มีฤทธิ์เป็นกรด จึงทำให้เกิดภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Ellinger, 1972) แต่เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นานขึ้น ปริมาณเชื้อที่พบจะมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาผลของวิธีแช่เยือกแข็ง พบว่าก่อนการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดแบบก้อนที่แช่เยือกแข็งโดยใช้ liquid nitrogen จะมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมทั้งปริมาณยีสต์และราสูงกว่าพวกที่แช่เยือกแข็งด้วย air blast เนื่องจากการแช่เยือกแข็งโดยใช้ air blast จุลินทรีย์จะถูกทำลายเนื่องจากผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นในระหว่างการแช่เยือกแข็งมากกว่า แต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณเชื้อที่พบมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และมีปริมาณน้อยมากคือ น้อยกว่า 300 โคโลนี/กรัม ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานของอาหารที่ผ่านการทำให้สุกบางส่วนแช่เยือกแข็ง คือไม่เกิน 100,000 โคโลนี/กรัม (Elliott, 1963)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย