บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและกลูเตน

โปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความชื้น 5.35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเปียก มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใยอาหาร เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 90.79, 0.63, 0.11, 4.12, และ 4.35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีองค์ประกอบทางเคมีอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์จากโปรตีนถั่วเหลือง (International Standard for Soy Protein Products) ที่กำหนดให้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดจะต้องมีปริมาณโปรตีนไม่ต่ำกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณความชื้น เส้นใยอาหาร และเถ้าไม่เกิน 9.0, 0.5 และ 8.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Gillis, 1987) สำหรับการเลือกใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดในการผลิตนักเก็ตมังสวิรัติ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองที่มีโปรตีนสูง มีความสามารถในการเกิดเจลที่มีความยืดหยุ่นและให้ความรู้สึกระหว่างเคี้ยวได้ รวมทั้งมีสีเหลืองอ่อนและกลิ่นถั่วเหลืองน้อย (bland) และต่ำกว่าผลิตภัณฑ์จากโปรตีนถั่วเหลืองชนิดอื่น เช่น แป้งถั่วเหลือง, โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นที่มีกลิ่นถั่วรุนแรงมาก (Rackis, Sessa and Honig, 1979) ซึ่งอาจจะมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคในด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ ในส่วนของไขมันที่มีในโปรตีนถั่วเหลืองสกัดนั้นมีในปริมาณต่ำและไม่มีผลต่อการเกิดภาวะเสี่ยงการเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน เนื่องจากไขมันในผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

สำหรับกลูเตนที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลืองอ่อนมีกลิ่นข้าวสาลีเล็กน้อย เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่ามีความชื้น 7.94 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเปียก มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใยอาหาร เถ้าและคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 82.06, 2.68, 0.20, 0.86 และ 14.20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของกลูเตน ส่วนใหญ่นั้นอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์กลูเตนจากข้าวสาลี (International Standard for Wheat Gluten) ที่กำหนดให้กลูเตนจากข้าวสาลีควรมีปริมาณโปรตีนไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

แห้ง และมีปริมาณความชื้น ไขมัน เส้นใยอาหาร และเถ้าสูงสุดได้เพียง 10.0, 2.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

5.2 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและกลูเตนที่เหมาะสมสำหรับผลิตนักเก็ตมังสวิรัติ

โปรตีนถั่วเหลืองสกัดสามารถนำมาใช้ทดแทนเนื้อสัตว์ ในการผลิตเป็นนักเก็ตมังสวิรัติได้ ทั้งนี้เป็นผลมาจากคุณสมบัติของสารละลายโปรตีนถั่วเหลือง (Soy Protein Dispersion) เมื่อผ่านความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง จนกระทั่งเกิดเป็นเจลที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำและมีสมบัติการบดเคี้ยวได้ (chewy gel) จากความสามารถของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดดังกล่าว จึงได้มีผู้นำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เลียนแบบผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ Frank และ Circle (1959) ได้ทดลองผลิตไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เทอร์ (Frankfurter) และโบโลญญา (Bologna) จากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด แม้ว่าการใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดเพียงลำพังจะสามารถใช้ในการผลิตนักเก็ตมังสวิรัติได้ แต่เมื่อพิจารณาในด้านคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นกับร่างกาย (essential amino acids) นั้นยังไม่สมบูรณ์ เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองมีปริมาณเมทไธโอนีน(methionine)ต่ำ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงใช้กลูเตนมาผสมกับโปรตีนถั่วเหลืองสกัดในการผลิตนักเก็ตมังสวิรัติ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายสมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากกลูเตนเป็นโปรตีนที่มีเมทไธโอนีนสูง หากนำมาใช้ร่วมกับโปรตีนถั่วเหลืองสกัดจะช่วยเสริมคุณค่าทางโภชนาการซึ่งกันและกันได้นอกจากนั้นกลูเตนยังช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น โดยเมื่อนำกลูเตนมาผสมกับน้ำจะเกิดของผสมที่มีความยืดหยุ่น(elasticity) และยึดเกาะติดกันเป็นก้อนเหนียว (cohesive) เมื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่เหนียวและยืดหยุ่นมากขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาอัตราส่วนของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและกลูเตนเพื่อใช้สำหรับผลิตนักเก็ตมังสวิรัติโดยแปรปริมาณกลูเตนในส่วนของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเป็น 0, 20, 40, 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ตามลำดับ เลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยวิเคราะห์ค่าแรงตัดขาด ค่าสีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏสีภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ที่ทอดแล้ว ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2-4.5

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแรงตัดขาด(ตารางที่ 4.2) พบว่าปริมาณกลูเตนที่ใช้ในการผลิตมีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) ผลิตภัณฑ์ที่มีกลูเตนในปริมาณสูงขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าแรงตัดขาดต่ำลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากขณะที่มีการเพิ่มปริมาณกลูเตนนั้นปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ใช้ในสูตรลดลงด้วย ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนถั่วเหลืองลดลง เจลโปรตีนที่เกิดขึ้นจึงมีค่าความแข็ง (hardness) ต่ำลง (Catsimpoolas and Meyer, 1970 ; Utsumi, Nakamura and Mori, 1982) เมื่อนำไปวัดค่าแรงตัดขาดจึงทำให้มีค่าต่ำ

ในส่วนของผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.2) พบว่าปริมาณกลูเตนไม่มีอิทธิพลต่อค่าสีแดง(a) ($p>0.05$) แต่จะมีผลต่อค่าความสว่าง (L) และค่าสีเหลือง(b) ($p \leq 0.05$) โดยจะพบว่านักเก็ตมังสวิรัติที่ใช้กลูเตนในปริมาณที่สูงขึ้น จะมีค่าความสว่าง (L) ต่ำลง และค่าสีเหลือง (b) สูงขึ้น แสดงว่าสีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองคล้ำมากขึ้น เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากสีของกลูเตนที่เป็นผลจากการให้ความร้อนในระหว่างการทำแห้งกลูเตนหลังสกัดจากแป้งสาลีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ระหว่าง amino group ของกรดอะมิโนและหมู่คาร์บอนิลในน้ำตาลรีดิวซ์เกิดเป็นเมลานอยดิน (melanoidins) ซึ่งเป็นสารให้สีน้ำตาลส่งผลให้กลูเตนมีเหลืองปนน้ำตาล แต่เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตกลูเตนและกระบวนการทำให้แห้งได้รับการพัฒนาและเจริญก้าวหน้าไปมากจึงทำให้ได้กลูเตนที่มีสีเหลืองอ่อนจนเกือบขาว (near-white) และแทบไม่มีกลิ่นของแป้งข้าวสาลี (bland flavor) (Kalin, 1979 ; Wookey, 1979) แต่ถึงกระนั้นเมื่อนำมาใช้ในปริมาณมากขึ้นก็อาจเป็นเหตุให้สีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองคล้ำมากขึ้นได้

สำหรับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่4.4) พบว่าปริมาณกลูเตนที่มีในผลิตภัณฑ์มีผลต่อลักษณะปรากฏ สีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ กลิ่นรส ความแน่นเนื้อ ความชุ่มน้ำ ความรู้สึกระหว่างเคี้ยวและความชอบรวมของผู้ทดสอบ ($p \leq 0.05$) โดยในส่วนของลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ พบว่า นักเก็ตที่ผลิตขึ้นนั้นเมื่อนำไปทอด จะเกิดการโป่งพองหรือเกิดการพองตัวของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เป็นผลของความร้อนจากน้ำมันทอด ทำให้น้ำที่แทรกอยู่ในผลิตภัณฑ์เกิดการขยายตัวและเปลี่ยนสถานะเป็นไอดันให้เนื้อของผลิตภัณฑ์เป็นโพรงหรือรูพรุนเพื่อให้ไอน้ำที่เกิดขึ้นเคลื่อนที่ออกจากตัวผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งหากความดันของไอน้ำที่เกิดสูง จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัวได้มากหรืออาจมากจนทำให้เกิดการแตกของผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นได้ (Singh, 1995 ; Chen et al., 1998) ในที่นี้แม้ว่าปริมาณกลูเตนที่มีในผลิตภัณฑ์จะมีผลต่อความโป่งพองหรือความพองตัวซึ่งเป็นลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ แต่ถึงกระนั้นความแตกต่างที่เกิด

ขึ้นมีไม่มากนักโดยนักเก็ตทั้งที่มีและไม่มีกลูเตนเป็นส่วนประกอบให้ความโป่งพองของผลิตภัณฑ์ปานกลาง

ในด้านสีภายในเนื้อผลิตภัณฑ์พบว่าตัวอย่างที่ได้จากการใช้กลูเตน 0, 20, 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด มีคะแนนเฉลี่ยด้านสีสูงกว่าและแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ในส่วนของโปรตีนมีปริมาณกลูเตน 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ($p \leq 0.05$) เนื่องจากผู้ทดสอบมีความเห็นว่าสีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์นั้นมีสีเหลืองคล้ำปานกลางและมีความคล้ำน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้กลูเตนสูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ผลดังกล่าวนี้ยืนยันได้จากผลการวัดสีโดยใช้เครื่องมือ (ตารางที่ 4.2) ซึ่งพบว่า ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ปริมาณกลูเตนสูงสุดมีค่า L ต่ำสุด และค่า b สูงสุดซึ่งแตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ

ด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์พบว่า ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นถั่วเหลืองหรือกลูเตนปานกลาง แต่เมื่อมีกลูเตนในปริมาณที่สูงขึ้นถึง 60และ80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ทำให้มีคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นรสต่ำลง ($p \leq 0.05$) แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีกลิ่นของกลูเตนมากขึ้น

ในส่วนด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์นั้นแบ่งพิจารณาออกเป็น 3 ลักษณะ คือ ความแน่นเนื้อ ความชุ่มน้ำ และความรู้สึกระหว่างเคี้ยว โดยพบว่าเมื่อใช้ปริมาณกลูเตนสูงขึ้น คะแนนเฉลี่ยด้านความแน่นเนื้อจะต่ำลง แต่คะแนนเฉลี่ยด้านความชุ่มน้ำและความรู้สึกระหว่างเคี้ยวของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีเนื้อนิ่ม มีความชุ่มน้ำสูง ส่งผลให้ใช้เวลาในการเคี้ยวสั้นลง ผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับค่าแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่า เมื่อใช้กลูเตน 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนผสม (หรือคิดเป็นอัตราส่วนของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด : กลูเตน เท่ากับ 30:20) มีคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบรวมสูงที่สุด และพบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนด้านความชอบรวมของผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาจากลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นสำคัญ

จากเกณฑ์คุณภาพทางกายภาพและคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสทุกด้านเมื่อนำมาพิจารณาแล้วจึงเลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุด คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้กลูเตน 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนผสม (หรือคิดเป็นอัตราส่วนของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด : กลูเตนเท่ากับ 30:20) ซึ่งที่ปริมาณกลูเตนดังกล่าวผลิตภัณฑ์มีความโป่งพอง มีสีเหลืองคล้ำ มีกลิ่นของโปรตีนถั่วเหลืองหรือกลูเตน มีความแน่นเนื้อ ความชุ่มน้ำและความรู้สึกระหว่างเคี้ยวอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง แต่มีคะแนนความชอบรวมสูงสุด ส่วนค่าแรงตัดขาดแม้ว่าไม่ใช่ค่าที่สูงสุด แต่อยู่ใน

ระดับปานกลางคือ 54.84 นิวตัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสูงสุดที่ 75.27 นิวตัน และค่าต่ำสุด 29.89 นิวตัน

ผลดังกล่าวนี้แสดงว่าเนื้อสัมผัสที่ดีของผลิตภัณฑ์นั้นควรมีความแน่นเนื้อและความชุ่มน้ำที่พอเหมาะคือ ไม่แข็งหรือนิ่มและแห้งหรือชุ่มน้ำมากเกินไป ดังนั้นค่าแรงตัดขาดสูงสุดจากการวัดด้วยเครื่อง จึงไม่จำเป็นต้องเป็นเกณฑ์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์

5.3 ศึกษาอัตราส่วนของน้ำที่เหมาะสมสำหรับการผลิตนักเก็ตมังสวิรัติ

เตรียมนักเก็ตมังสวิรัติโดยใช้ปริมาณของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและกลูเตนที่คัดเลือกจากข้อ 5.2 มาผลิตแล้วแปรปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับการผลิตเป็น 2.0, 2.2, 2.4, 2.6 และ 2.8 เท่าของน้ำหนักโปรตีนผสม เลือกปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับการผลิตนักเก็ตมังสวิรัติ โดยวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ค่าแรงตัดขาด ค่าสีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์และการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.6-4.11

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นและค่าแรงตัดขาด (ตารางที่ 4.6) พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตมีผลต่อค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นและค่าแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) ในด้านความชื้นนั้นพบว่า เมื่อใช้น้ำสำหรับผลิตนักเก็ตสูงขึ้น ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จะสูงขึ้นเช่นกัน โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำในการผลิต 2.8 เท่าของน้ำหนักโปรตีนผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและกลูเตน มีความชื้นสูงสุดถึง 62.47 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาค่าแรงตัดขาดพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำในปริมาณสูงขึ้นจะมีค่าแรงตัดขาดต่ำลง ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำที่สูงขึ้นนั้นทำให้ความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนต่ำลง ส่งผลให้เจลของโปรตีนมีความแข็ง(hardness) ต่ำลงด้วย (Utsumi, Nakamura and Mori, 1982) นอกจากนี้อาจมีสาเหตุมาจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตสูงเกินไป จึงทำให้มีน้ำอยู่ในระบบมากซึ่งจะไปมีผลกระทบต่อการเคลื่อนที่และปฏิกิริยาต่างๆ ระหว่างโมเลกุลโปรตีน ทั้งนี้เป็นเพราะการที่มีน้ำมากอยู่ในระบบ น้ำจะแสดงบทบาทเป็น network diluent โดยไปทำให้จำนวนโมเลกุลโปรตีนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรลดลง หรือแสดงคุณสมบัติเป็น plasticiser ซึ่งจะไปมีผลต่อแรงระหว่างพันธะต่างๆ ในโมเลกุลโปรตีนทำให้มีค่าต่ำลง จากบทบาทและการแสดงคุณสมบัติของน้ำ ดังกล่าวข้างต้น จึงส่งผลให้กลูเตนมีความยืดหยุ่นตัวลดลง (Attenburrow et al., 1990 ; Davies, Ingman and Attenburrow, 1991)

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.8-4.9) พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตนักเก็ตไม่มีอิทธิพลต่อค่าความสว่าง (L) และค่าสีแดง(a) แต่จะมีผลต่อค่าสีเหลือง(b) ($p \leq 0.05$) โดยนักเก็ตมังสวิรัติที่มีการใช้น้ำในปริมาณที่สูงขึ้นจะมีค่าสีเหลือง (b) สูงขึ้น แสดงว่าสีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองอ่อนมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณน้ำที่สูงขึ้นนั้นทำให้โปรตีนมีความเข้มข้นลดลง ซึ่งส่งผลให้ความเข้มของสีโปรตีนลดลง แต่การเปลี่ยนแปลงของค่าสีที่เกิดขึ้นจากการวัดค่านี้มีน้อยมาก

สำหรับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.10-4.11) พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตไม่มีอิทธิพลต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ ($p>0.05$) แต่จะมีอิทธิพลต่อลักษณะปรากฏ สีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) โดยในส่วนลักษณะปรากฏพบว่าผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง นั่นคือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ปริมาณน้ำแต่ละระดับนั้น จะเกิดการโป่งพองหรือพองตัวของผลิตภัณฑ์ปานกลาง

ในด้านสีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ พบว่าตัวอย่างที่ผลิตโดยใช้น้ำในปริมาณสูงขึ้นมีคะแนนเฉลี่ยด้านสีสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำในการผลิตต่ำ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากผู้ทดสอบมีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีสีเหลืองอ่อนมากขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับผลการวัดสีโดยใช้เครื่องมือ (ตารางที่ 4.8)

ด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่า เมื่อใช้น้ำในสูตรการผลิตสูงขึ้น คะแนนเฉลี่ยด้านความแน่นเนื้อต่ำลง แต่คะแนนเฉลี่ยด้านความชุ่มน้ำและความรู้สึกระหว่างเคี้ยวของผลิตภัณฑ์จะค่อย ๆ สูงขึ้น แสดงว่าเมื่อใช้น้ำมากขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อนิ่มและชุ่มน้ำมากขึ้น ส่งผลให้ใช้เวลาในการเคี้ยวสั้นลง ซึ่งผลดังกล่าวนี้ สามารถยืนยันได้จากการวัดค่าแรงตัดขาดโดยใช้เครื่องมือ (ตารางที่ 4.6) ซึ่งพบว่าให้ผลสอดคล้องกัน และเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่า ตัวอย่างที่ใช้น้ำ 2.4 เท่าของน้ำหนักโปรตีนผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและกลูเตน มีคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบรวมสูงสุด

จากเกณฑ์คุณภาพทางกายภาพและคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสทุกด้าน เมื่อนำมาพิจารณาแล้วเลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุด คือ ผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้น้ำ 2.4 เท่าของน้ำหนักโปรตีนผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและกลูเตน ซึ่งที่ปริมาณน้ำดังกล่าวผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชอบรวมสูงสุด และถึงแม้ว่าจะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับผลิต-ภัณฑ์ที่ใช้น้ำ 2.6 เท่าของน้ำหนักโปรตีนผสม แต่ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ สีภายในเนื้อผลิตภัณฑ์และเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าและเป็นค่าที่พอเหมาะกับผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ก็ยังสอดคล้องกับผลการ

วิเคราะห์ทางกายภาพด้วย จึงอาจกล่าวได้ว่าในการผลิตนักเก็ตมังสวิรัตินั้นไม่ควรใช้น้ำน้อยหรือมากเกินไป อนึ่งผู้วิจัยได้สังเกตว่าหากใช้น้ำน้อยเกินไป จะขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ยาก เนื่องจากก้อนของผสมจะเหนียวเหนอะหนะ และหากใช้น้ำมากเกินไปจะทำให้ของผสมที่ได้มีลักษณะค่อนข้างเละ ทำให้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ยากเช่นกัน

ดังนั้นจึงเลือกผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำ 2.4 เท่าของน้ำหนักโปรตีนผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและกลูเตน สำหรับศึกษาขั้นต่อไป

5.4 ศึกษาอุณหภูมิของน้ำและเวลาที่ใช้ในการลวกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตนักเก็ตมังสวิรัติ

เตรียมนักเก็ตมังสวิรัติโดยใช้สูตรที่คัดเลือกจากข้อ 5.3 แล้วแปรอุณหภูมิของน้ำเป็น 3 ระดับ คือ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส และแปรเวลาในการลวกเป็น 10, 20 และ 30 นาที เลือกภาวะที่ดีที่สุดในการลวกสำหรับผลิตนักเก็ตมังสวิรัติ โดยวิเคราะห์ค่าแรงตัดขาด ค่าสีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ และการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ที่ทอดแล้ว ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.12-4.16

ผลการวิเคราะห์ค่าแรงตัดขาด (ตารางที่ 4.12-4.14) พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการลวกต่อค่าเฉลี่ยแรงตัดขาด ($p>0.05$) แต่เวลาที่ใช้ในการลวกมีอิทธิพลต่อค่าแรงตัดขาด ($p\leq0.05$) โดยพบว่าเมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าเฉลี่ยแรงตัดขาดต่ำลง (ตารางที่ 4.14) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการให้ความร้อนแก่โปรตีนในเวลานานจะทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพหรือทำให้โครงสร้างของโปรตีนถูกทำลาย จึงส่งผลให้โครงสร้างของเจลถูกทำลายหรือสามารถเกิดโครงสร้างของเจลโปรตีนได้น้อยลง (Kilara and Harwalkar, 1996 ; Zayas, 1997)

ในด้านค่าเฉลี่ยสีภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.12-4.13) พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการลวกไม่มีอิทธิพลต่อค่าความสว่าง (L), ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ($p>0.05$)

สำหรับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.15-4.16) พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการลวกไม่มีอิทธิพลต่อลักษณะปรากฏ สีภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ ($p>0.05$)

จากเกณฑ์คุณภาพทางกายภาพและคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสทุกด้านเมื่อนำมาพิจารณาแล้วเลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุด คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 10 นาทีในการลวก เนื่องจากที่ภาวะดังกล่าวผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชอบรวมสูงสุด และถึงแม้ว่าจะมีคะแนนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับผลิตภัณฑ์ที่ใช้อุณหภูมิและเวลาในการลวกอื่น แต่ที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวช่วยประหยัดพลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำและเวลาที่ใช้ผลิตสั้น รวมทั้งมีความโป่งพองของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่า ดังนั้น จึงเลือกใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาทีสำหรับใช้ในการลวกผลิตภัณฑ์เป็นภาวะที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาขั้นต่อไป

5.5 ศึกษาปริมาณสารแต่งกลิ่นรสไก่และเกลือที่เหมาะสมสำหรับการผลิตนักเก็ตมังสวิรัติ

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่สรุปได้จากข้อ 5.4 มีข้อด้อย คือ ผลิตภัณฑ์ยังคงมีกลิ่นของโปรตีนถั่วเหลืองและกลูเตนปานกลาง แม้ว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่นำมาใช้นั้นมีกลิ่นถั่วเหลืองไม่รุนแรงเพราะผ่านกระบวนการผลิตซึ่งสามารถทำลายหรือลดปริมาณสารให้กลิ่นลงได้บ้าง แต่ก็ยังคงมีกลิ่นที่เป็นลักษณะเฉพาะของถั่วเหลือง นอกจากนี้ในส่วนของกลูเตนก็ให้กลิ่นของกลูเตนด้วย ดังนั้นการใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและกลูเตนในการผลิตนักเก็ตมังสวิรัติจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ขาดกลิ่นที่ชวนบริโภค ในด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์นั้นพบว่ามีรสเค็มเกินไป ทำให้ผู้ทดสอบมีข้อเสนอแนะให้ปรับปรุงรสเค็มของผลิตภัณฑ์ แต่เนื่องจากสารแต่งกลิ่นรสไก่ที่นำมาใช้นั้นมีเกลือเป็นส่วนประกอบด้วยซึ่งอาจจะมีผลต่อรสเค็มของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงศึกษาปริมาณสารแต่งกลิ่นรสไก่และเกลือสำหรับใช้ในการผลิตนักเก็ตมังสวิรัติพร้อมกัน โดยแปรปริมาณสารแต่งกลิ่นรสไก่เป็น 0, 1.5 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและกลูเตน และแปรปริมาณเกลือเป็น 4, 6 และ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนผสม เลือกปริมาณสารแต่งกลิ่นรสไก่และเกลือที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ โดยวิเคราะห์ค่าแรงตัดขาด ค่าสีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สีภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ กลิ่นรสไก่ รสเค็ม ความแน่นเนื้อและความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ที่ทอดแล้ว ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.17 – 4.23

ผลการวิเคราะห์ค่าแรงตัดขาด (ตารางที่4.17-4.18) พบว่ามีอิทธิพลร่วมกันระหว่างปริมาณสารแต่งกลิ่นรสไก่และเกลือต่อค่าเฉลี่ยแรงตัดขาด ($p\leq0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช้

สารแต่งกลิ่นรสไก่และมีเกลือ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนผสมมีค่าแรงตัดขาดสูงสุด สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารแต่งกลิ่นรสไก่ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนผสมและเกลือ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนผสม มีค่าแรงตัดขาดต่ำสุด แต่เมื่อพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่า ความแตกต่างค่าแรงตัดขาดของนักเก็ตทั้ง 9 สูตร มีไม่มากนักทำให้เมื่อนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบไม่สามารถบอกความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้

ในส่วนของผลวิเคราะห์ค่าสีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.17-4.18) พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างปริมาณสารแต่งกลิ่นรสไก่และเกลือต่อค่าความสว่าง(L) ค่าสีแดง(a) และค่าสีเหลือง(b) ($p>0.05$) มีเพียงเฉพาะปริมาณสารแต่งกลิ่นรสเท่านั้นที่มีผลต่อค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ ($p\leq0.05$) โดยพบว่านักเก็ตมังสวิรัติที่ใช้สารแต่งกลิ่นรสไก่มากขึ้น จะมีค่าความสว่างต่ำลง (ตารางที่ 4.19) แสดงว่าสีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์มีความคล้ำมากขึ้น เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากสีของสารแต่งกลิ่นรสไก่ที่ใช้มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาล ซึ่งสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในสารแต่งกลิ่นรสนั้น เป็นผลของปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายโปรตีนในระหว่างการผลิต hydrolyzed vegetable protein (HVP) (Swaine, 1995) ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ในสูตรมีปริมาณสารแต่งกลิ่นรสไก่มากกว่าจึงมีสีเหลืองคล้ำมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ปริมาณต่ำกว่า

สำหรับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.20-4.21) พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างปริมาณสารแต่งกลิ่นรสไก่และเกลือต่อลักษณะปรากฏ สีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ กลิ่นรสไก่ ความแน่นเนื้อและความชอบรวมของผลิตภัณฑ์($p>0.05$) โดยในส่วนของลักษณะปรากฏ พบว่า นักเก็ตมังสวิรัติทั้ง 9 สูตร มีความโป่งพองของผลิตภัณฑ์ปานกลาง

ในด้านสีภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ พบว่า นักเก็ตมังสวิรัติทั้ง 9 สูตร มีคะแนนเฉลี่ยด้านสีไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีสีเหลืองคล้ำปานกลาง ซึ่งผลดังกล่าวนี้ไม่สอดคล้องกับผลการวัดสีโดยใช้เครื่องมือ (ตารางที่ 4.17) ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะความแตกต่างของสีภายในเนื้อผลิตภัณฑ์มีน้อยมากจนผู้ทดสอบไม่สามารถบอกความแตกต่างของสีที่เกิดขึ้นได้

ด้านกลิ่นรสไก่ของผลิตภัณฑ์ พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างปริมาณสารแต่งกลิ่นรสไก่และเกลือต่อคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ ($p>0.05$) มีเพียงปริมาณสารแต่งกลิ่นรสไก่ที่ใช้เท่านั้นที่มีผลต่อคะแนนเฉลี่ยต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์($p\leq0.05$) โดยเมื่อใช้ปริมาณสารแต่งกลิ่นรสไก่มากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสไก่พอเหมาะมากขึ้น (ตารางที่ 4.22)

ในด้านรสเค็มของผลิตภัณฑ์ พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันของปริมาณสารแต่งกลิ่นรสไก่และเกลือต่อรสเค็มของผลิตภัณฑ์($p\leq0.05$) เมื่อมีปริมาณเกลือในผลิตภัณฑ์สูงขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มี

รสเค็มมากขึ้น แต่หากมีการใช้สารแต่งกลิ่นรสไก่ในผลิตภัณฑ์ด้วยจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสเค็มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลของเกลือที่มีอยู่ในสารแต่งกลิ่นรส (Swaine, 1995)

สำหรับความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างปริมาณสารแต่งกลิ่นรสและเกลือต่อคะแนนเฉลี่ยด้านความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ ($p>0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ผลิตขึ้นโดยใช้สารแต่งกลิ่นรสและเกลือที่ต่างกันนั้นมีความแน่นเนื้อปานกลาง ซึ่งผลดังกล่าวนี้ไม่สอดคล้องกับผลการวัดค่าแรงตัดขาด (ตารางที่ 4.17) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความแตกต่างของความแน่นเนื้อที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์นั้นมีไม่มากพอที่จะทำให้ผู้ทดสอบสามารถบอกความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้

เมื่อพิจารณาด้านความชอบรวม พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างปริมาณสารแต่งกลิ่นรสและเกลือต่อคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบรวมของผลิตภัณฑ์($p>0.05$) มีเพียงปริมาณเกลือที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เท่านั้นที่มีผลต่อคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ ($p\leq0.05$) (ตารางที่ 4.23) โดยตัวอย่างที่ผลิตจากสารแต่งกลิ่นรสไก่และเกลือ 1.5 และ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนผสม ตามลำดับ มีคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบรวมสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาจากรสเค็มของผลิตภัณฑ์เป็นสำคัญ

จากเกณฑ์คุณภาพทางกายภาพและคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสทุกด้าน เมื่อนำมาพิจารณาแล้วจึงเลือกภาวะที่ดีที่สุด คือ ตัวอย่างที่ใช้สารแต่งกลิ่นรสไก่และเกลือ เท่ากับ 0 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนผสมระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองสกัดและกลูเตน ตามลำดับ เนื่องจากตัวอย่างดังกล่าวไม่ใช้สารแต่งกลิ่นรสที่มีราคาแพงทำให้ผลิตภัณฑ์มีต้นทุนในการผลิตต่ำ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่ไม่ใช้สารแต่งกลิ่นรสไก่ แต่มีปริมาณเกลือที่แตกต่างกัน จะเห็นว่า ตัวอย่างที่เลือกนี้มีคะแนนความชอบรวมสูงกว่าเพราะมีรสเค็มพอเหมาะ ในขณะที่ตัวอย่างที่ใช้เกลือ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนผสม มีรสเค็มน้อยเกินไป และตัวอย่างที่ใช้เกลือ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนผสม มีรสเค็มมากเกินไป นอกจากนี้ตัวอย่างดังกล่าวมีคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ สีภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ ความแน่นเนื้อ และความชอบรวมไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ใช้สารแต่งกลิ่นรสไก่ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนผสม และ เกลือ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนผสม ($p>0.05$) ซึ่งมีความชอบรวมสูงสุด ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างที่ใช้สารแต่งกลิ่นรสไก่ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนผสมและเกลือ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโปรตีนผสม สำหรับศึกษาขั้นต่อไป

5.6 ศึกษาเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งแบบลมเป่า (air blast freezing) และไครโอจีนิค (liquid nitrogen cryogenic freezing) และอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค

5.6.1 ศึกษาเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งแบบลมเป่า

การแช่เยือกแข็งแบบลมเป่าเป็นการแช่เยือกแข็งที่อาศัยอากาศเย็นที่ถูกทำให้เคลื่อนที่และหมุนเวียนอยู่ภายในห้องแช่เย็นเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ในงานวิจัยนี้ใช้ลมเย็นที่อุณหภูมิ –30 องศาเซลเซียส เคลื่อนที่ด้วยความเร็วลม 0.4 เมตร/วินาที เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งนักเก็ตมังสวิรัติ นำอุณหภูมิใจกลางชิ้นนักเก็ตมังสวิรัติที่เปลี่ยนแปลงในขณะแช่เยือกแข็งมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1 จากกราฟดังกล่าวพบว่าเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งนักเก็ตมังสวิรัติจนผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิใจกลาง –18 องศาเซลเซียส คือประมาณ 43 นาที

5.6.2 ศึกษาเวลาและผลของอุณหภูมิการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิคของผลิตภัณฑ์นักเก็ตมังสวิรัติ

แปรอุณหภูมิสำหรับการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิค โดยมีไอไนโตรเจนเหลวเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ที่ –70 , -90 และ –110 องศาเซลเซียส แล้วนำอุณหภูมิใจกลางชิ้นนักเก็ตมังสวิรัติที่เปลี่ยนแปลงในขณะแช่เยือกแข็งของแต่ละอุณหภูมิ มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.2–4.4 จากกราฟดังกล่าวพบว่าเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งนักเก็ตมังสวิรัติจนผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิใจกลาง –18 องศาเซลเซียส คือ ประมาณ 6 นาที 20 วินาที 4 นาที 48 วินาที และ 3 นาที 55 วินาที เมื่อใช้อุณหภูมิแช่เยือกแข็งที่ –70 -90 และ –110 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิคด้วยไอไนโตรเจนเหลวที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ มาศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการแช่เยือกแข็งนักเก็ตมังสวิรัติ (ตารางที่ 4.24 – 4.25) พบว่าอุณหภูมิที่ใช้แช่เยือกแข็งทั้ง 3 ระดับคือ –70 ,-90 และ –110 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อค่าแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์ ($p>0.05$) แต่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักหลังการแช่เยือกแข็ง (%freezing loss) ($p\leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง –110 องศา-เซลเซียส จะมีค่าเฉลี่ย % freezing loss สูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวทำให้มีอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งสูงมากจนอาจเกิดการแตกที่ผิวหน้าหรือภายในชิ้นของผลิตภัณฑ์ขึ้นได้ (freez cracking) ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความชื้นหรือน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ไปได้มาก (Hung, 1997)

ประกอบกับใน liquid nitrogen freezer มีพัดลมที่หมุนด้วยอัตราเร็วสูงเพื่อกระจายไอไนโตรเจนภายในเครื่อง จึงทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียความชื้นมากขึ้น แม้ว่าจะใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งสั้นก็ตาม

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.26–4.27) พบว่า อุณหภูมิที่ใช้แช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ ความแน่นเนื้อ ความชุ่มน้ำ และความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นจึงเลือกอุณหภูมิแช่เยือกแข็งที่ –70 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ด้วยไอไนโตรเจนเหลว เพราะตัวอย่างมี %freezing loss ที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่แช่แข็งที่อุณหภูมิอื่นๆ และถึงแม้ว่าตัวอย่างจะไม่แตกต่างกันทางสถิติในด้านคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส แต่ก็ยังให้คะแนนเฉลี่ยทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ดี นอกจากนี้ยังเป็นอุณหภูมิที่ประหยัดปริมาณการใช้ไนโตรเจนมากกว่าที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็งอื่นๆ ที่ต้องใช้ปริมาณไนโตรเจนเป็นจำนวนมากในการลดอุณหภูมิภายในเครื่อง (Tressler,1968)

5.7 ศึกษาผลของวิธีแช่เยือกแข็งและระยะเวลาเก็บที่ภาวะแช่เยือกแข็งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์นักเก็ตมังสวิรัติ

เตรียมนักเก็ตมังสวิรัติตามสูตรที่คัดเลือกจากข้อ 5.5 และภาวะในการลวกสำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่คัดเลือกจากข้อ 5.4 มาแช่เยือกแข็ง 2 วิธี คือ แบบลมเป่า (air blast freezing) โดยใช้ลมเย็นอุณหภูมิประมาณ –30 องศาเซลเซียสและแบบไครโอจีนิค (liquid nitrogen cryogenic freezing) ที่อุณหภูมิ -70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิใจกลางของชิ้นนักเก็ตเป็น –18 องศาเซลเซียส เก็บบรรจุในถุงพลาสติกชนิด HDPE ในภาวะแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 เดือน สุ่มตรวจคุณภาพตัวอย่างเริ่มต้น และหลังจากนั้นทุก 1 เดือน โดยตรวจสอบคุณภาพในด้านต่าง ๆ ดังนี้

- ผลต่อคุณภาพทางกายภาพ

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บ(%weight loss) พบว่าระยะเวลาเก็บมีผลต่อค่า %weight loss ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.28-4.31) เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้นทำให้ค่า %weight loss เพิ่มขึ้น แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บมากขึ้น (Pham and Mawson, 1997) ทั้งนี้อาจเป็นผลของบรรจุภัณฑ์ที่ไม่

เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์โดยไม่สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำของผลิตภัณฑ์ออกสู่ภายนอกได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันหรือลดการสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บ อาจทำได้โดยเลือกบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี เช่น PVDC-PVC copolymer (Saran) ที่มีค่า H_2O vapor transmission เพียง 1.5-5.0 ต่ำกว่า HDPE ที่มีค่า 7-10 ($g/m^{-2}day^{-1}$ at 38 °C and 95 %RH) (Balasubramaniam and Chinnan,1997) หรือมิเช่นนั้นอาจนำนักเก็ตมังสวิรัติที่บรรจุในถุง HDPE มาบรรจุในกล่องกระดาษ(paperboard) อีกชั้นหนึ่งซึ่งนอกจากจะช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บแล้วยังช่วยลดหรือป้องกันไม่ให้เกิดการหลุดของเกล็ดขนมปังในระหว่างเก็บรักษาและขนส่งอีกทั้งยังช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่น่าสนใจต่อผู้บริโภคโดยสามารถพิมพ์รูปและข้อความบนตัวกล่องได้ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการตัดสินใจเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ชนิดใดนั้นมีปัจจัยด้านราคาของบรรจุภัณฑ์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

เมื่อพิจารณา %cooking loss พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างวิธีการแช่เยือกแข็งและระยะเวลาเก็บต่อ %cooking loss ($p>0.05$) แต่วิธีแช่เยือกแข็งและระยะเวลาเก็บมีผลต่อ %cooking loss ของผลิตภัณฑ์ ($p\leq0.05$) (ตารางที่ 4.28-4.31) โดยการแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลวนั้นมี %cooking loss ต่ำกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยลมเป่า เนื่องจากการแช่เยือก-แข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลวนั้นเป็นวิธีการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งสูงกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยลมเป่า จึงทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งผลึกน้ำแข็งเหล่านี้มีผลในการทำลายโครงสร้างของโปรตีนน้อยกว่าผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นจากการแช่เยือกแข็งแบบลมเป่า จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิคด้วยไอไนโตรเจนเหลวมี % cooking loss ต่ำกว่า ในด้านระยะเวลาเก็บพบว่าเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บนานขึ้นผลิตภัณฑ์จะมีค่า %cooking loss สูงขึ้น เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า accretion หรือ sintering ของผลึกน้ำแข็งโดยผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กจะรวมตัวกันหรือเคลื่อนที่เข้าจับกับผลึกน้ำแข็งใหญ่เกิดเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ทำให้พื้นที่ผิวของผลึกลดลง ผลึกมีเสถียรภาพมากขึ้น (Reid,1993) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงขนาดของผลึกน้ำแข็งนี้มีผลต่อการสูญเสียสภาพของโปรตีนส่งผลให้โปรตีนสูญเสียคุณสมบัติบางประการ เช่น ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Hashizume et al, 1971 ; Kinsella,1976 ; Xiong,1997) ทำให้เมื่อนำไปให้ความร้อนโดยการทอด จึงเกิดการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการระเหยของน้ำมากขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าแรงตัดขาด พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างวิธีแช่เยือกแข็งและระยะเวลาเก็บต่อค่าแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์($p>0.05$) (ตารางที่ 2.28-2.29) แต่พบว่าวิธีแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่าแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์ ($p\leq0.05$) โดยพบว่าค่าแรงตัดขาดของ

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิคด้วยไอไนโตรเจนเหลวมีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบลมเป่า(ตารางที่ 4.30) ทั้งนี้เป็นผลจากขนาดของผลึกที่เกิดขึ้นในระหว่างแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลวนั้นมีขนาดเล็ก ทำให้มีผลในการทำลายโครงสร้างหรือทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพต่ำกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยลมเป่าที่เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ (Miyawaki, Abe and Yano,1992) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Miyawaki (1996) พบว่า เมื่ออัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งสูงขึ้น โปรตีนถั่วเหลืองเกิดการสูญเสียสภาพต่ำกว่าการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งต่ำ ทั้งนี้เพราะผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กที่เกิดขึ้นจากการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งสูงนั้น มีผลในการทำลายโครงสร้างภายในร่างแหของเจลโปรตีนต่ำกว่า จึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเจลของโปรตีนต่ำ เจลโปรตีนจึงยังคงรักษาสภาพและความแข็งแรงของเจลไว้ได้ (Fuchigami and Teramoto, 1997)

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสีภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างวิธีแช่เยือกแข็งและระยะเวลาเก็บต่อค่าสีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ ($p>0.05$) แต่ระยะเวลาเก็บมีอิทธิพลต่อค่าความสว่าง (L) และค่าสีเหลือง (b) ของผลิตภัณฑ์ ($p\leq0.05$) (ตารางที่ 4.32-4.33) พบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น ค่าความสว่าง(L) และค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ลดลง (ตารางที่ 4.34) ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการเปลี่ยนสีของรงควัตถุในผักที่ใช้เป็นวัตถุดิบ โดยคลอโรฟิลล์ในพริกหวานอาจเปลี่ยนเป็น pheophytin ซึ่งมีสีเขียวมะกอก (olive green) ในขณะที่หอมหัวใหญ่อาจเกิด enzymatic browning ทำให้เกิดสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งอาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีภายในเนื้อคล้ำขึ้น การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นทั้งหมดนี้อาจเป็นผลจากอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการลวกไม่เพียงพอในการทำลายหรือยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในผัก (Cano,1996) จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของผักในระหว่างการเก็บในภาวะแช่เยือกแข็งได้

- ผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการวิเคราะห์คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างวิธีแช่เยือกแข็งและระยะเวลาเก็บต่อคะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสทุกด้านของผลิตภัณฑ์นักเก็ตมังสวิรัติ ($p>0.05$) แต่วิธีแช่เยือกแข็งมีอิทธิพลต่อคะแนนเฉลี่ยด้านความแน่นเนื้อ ความชุ่มน้ำและความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ ($p\leq0.05$) ในด้านระยะเวลาเก็บนั้นพบว่ามีอิทธิพลต่อคะแนนเฉลี่ยด้านสีภายในเนื้อผลิตภัณฑ์และความชุ่มน้ำ($p\leq0.05$) (ตารางที่ 4.35-4.36)

เมื่อพิจารณาคะแนนลักษณะปรากฏ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งทั้ง 2 วิธีตามระยะเวลาเก็บต่าง ๆ นั้น มีคะแนนลักษณะปรากฏสูง เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความโป่งพอง

เกิดขึ้นน้อยมากหรือไม่เกิดขึ้นเลย ทั้งนี้เป็นผลจากการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำมันกับผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นได้ช้า เนื่องจากความร้อนที่ถ่ายเทไปสู่ผลิตภัณฑ์นั้นจะต้องเข้าไปเปลี่ยนแปลงสถานะของผลึกน้ำแข็งให้กลายเป็นน้ำก่อนที่จะระเหยเป็นไอน้ำที่มีผลในการดันโครงสร้างของอาหารให้เกิดการพองตัวได้น้อยและช้าลง ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัวที่ต่ำ (Singh, 1995 ; Vijayan and Singh,1997)

ด้านสีภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ พบว่า เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้นผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองคล้ำมากขึ้น ($p \leq 0.05$)(ตารางที่ 4.36 และ4.38) ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวัดสีโดยใช้เครื่องมือ (ตารางที่ 4.32)

ด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์นักเก็ตมังสวิรัติที่ระยะเวลาเก็บ 2 เดือนมีคะแนนเฉลี่ยใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ก่อนการเก็บรักษา(ตารางที่4.35-4.36) แสดงว่าที่ระยะเวลาเก็บ 2 เดือนผลิตภัณฑ์ไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอมเกิดขึ้นโดยยังคงกลิ่นรสเดิมของผลิตภัณฑ์อยู่

ด้านความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์พบว่า วิธีแช่เยือกแข็งมีผลต่อความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลวมีคะแนนเฉลี่ยความแน่นเนื้อสูงกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยลมเป่า ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับค่าแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.30)

ด้านความชุ่มน้ำ พบว่า วิธีแช่เยือกแข็งมีอิทธิพลต่อคะแนนเฉลี่ยด้านความชุ่มน้ำของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.36) โดยการแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลวทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนเฉลี่ยด้านความชุ่มน้ำสูงกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยลมเป่า (ตารางที่ 4.37) อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งจากทั้ง 2 วิธี มีความชุ่มน้ำปานกลาง สำหรับระยะเวลาเก็บมีผลต่อคะแนนเฉลี่ยด้านความชุ่มน้ำของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) ด้วยเช่นกัน พบว่า เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้นผลิตภัณฑ์มีคะแนนเฉลี่ยด้านความชุ่มน้ำต่ำลง (ตารางที่ 4.38)

เมื่อพิจารณาด้านความชอบรวม พบว่า วิธีแช่เยือกแข็งมีอิทธิพลต่อคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิคด้วยไอไนโตรเจนเหลวมีคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบรวมสูงกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยลมเป่าที่ระยะเวลาเก็บเดียวกัน (ตารางที่ 4.37) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีดังกล่าวทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสดีกว่าการแช่เยือกแข็งแบบลมเป่า

- ผลต่อคุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมทั้งปริมาณยีสต์และราในผลิตภัณฑ์นักเก็ตมังสวิรัติแช่เยือกแข็ง (ตารางที่ 4.39) พบว่ามีปริมาณค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้อาจเป็นผลของ

ความร้อนที่ใช้ในการลวกชิ้นนักเก็ตทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ หรืออาจเป็นเพราะวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นองค์ประกอบหลักนั้นมีความชื้นต่ำไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ รวมทั้งอาจเป็นผลของการแช่เยือกแข็งที่สามารถทำลายและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร โดยทำให้เกิด thermal shock ในจุลินทรีย์บางชนิดและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ (Frazier and Westhoff, 1988 ; Jay, 1992)

เมื่อพิจารณาผลของวิธีแช่เยือกแข็ง พบว่าก่อนการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นักเก็ตมังสวิรัติที่แช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลวมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่านักเก็ตที่แช่เยือกแข็งด้วยลมเป่า ที่เป็นเช่นนี้เพราะการแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลวมีอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งสูงมากจนทำให้ผ่านอุณหภูมิวิกฤตที่สามารถทำลายหรือยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ไปอย่างรวดเร็ว ในขณะที่การแช่เยือกแข็งด้วยลมเป่าจะผ่านอุณหภูมิดังกล่าวไปอย่างเชื่องช้า เพราะมีอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งที่ต่ำกว่า (Frazier and Westhoff, 1988) นอกจากนี้ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ทั้งภายในและนอกเซลล์ของจุลินทรีย์ที่เกิดจากการแช่เยือกแข็งดังกล่าวอาจไปทำลายเซลเมมเบรนจนทำให้เกิดการสูญเสียสภาพและเกิดช่องว่างทั้งภายในเมมเบรนและผนังเซลจุลินทรีย์ เป็นผลให้เซลล์สูญเสียน้ำและของเหลวภายในเซลล์ออกสู่ภายนอก ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถดำรงชีวิตหรือปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ (Frazier and Westhoff,1988 ;Brown,1991; Golden and Arroyo-Gallyoun,1997) ดังนั้นการแช่เยือกแข็งแบบลมเป่าจึงสามารถทำลายจุลินทรีย์ในระหว่างการแช่เยือกแข็งมากกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยไอไนโตรเจนเหลว แต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่พบมีแนวโน้มลดลงและมีปริมาณใกล้เคียงกัน คือ มีปริมาณน้อยกว่า 300 โคโลนี/กรัม

สำหรับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาเก็บนั้นอาจเป็นผลของการเกิดหรือการเปลี่ยนแปลงของผลึกน้ำแข็งในระหว่างเก็บรักษา โดยผลึกน้ำแข็งที่เกิดนอกเซลล์ (extracellular crystal) ทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์เกิดการสูญเสียน้ำออกนอกเซลล์ (cell dehydration) ซึ่งส่งผลให้สารต่าง ๆ ภายในเซลล์เข้มข้นมากขึ้น ในขณะที่ผลึกน้ำแข็งที่เกิดระหว่างเซลล์ (intracellular crystal) ที่แม้ว่าจะมีขนาดเล็กแต่ก็มีความสามารถทำลายเซลเมมเบรนจนทำให้จุลินทรีย์มีรูปร่างเปลี่ยนไปหรือทำให้เซลเมมเบรนสูญเสียสภาพในการควบคุมสารผ่านเข้าออก (Golden and Arroyo-Gallyoun,1997)

ส่วนปริมาณยีสต์และราทั้งหมดที่มีในผลิตภัณฑ์นั้นพบว่ามีในปริมาณต่ำมาก คือ มีปริมาณ 0 ถึง 1 โคโลนี/กรัม

5.8 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์นักเก็ตมังสวิรัติ

นำผลิตภัณฑ์นักเก็ตมังสวิรัติที่เตรียมจากสูตรที่คัดเลือกจากข้อ 5.5 และภาวะการลวกที่ใช้สำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่เลือกจากข้อ 5.4 ก่อนและหลังทอดในน้ำมันปาล์มโอเลอิน แบบ deep fat frying ที่อุณหภูมิ 170–175 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้าและเส้นใย ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.40 พบว่า ผลิตภัณฑ์ก่อนทอดมีปริมาณความชื้น 63.34 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเปียก มีโปรตีน 21.53, ไขมัน 2.89, คาร์โบไฮเดรต 69.54, เถ้า 4.75 และเส้นใย 1.29 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนผลิตภัณฑ์หลังทอดมีความชื้น 48.04 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเปียก มีปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และเส้นใยอาหาร เท่ากับ 17.79 , 17.93 , 58.51, 4.56 และ 1.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์หลังทอดมีสารอาหารต่าง ๆ ยกเว้นไขมันลดลง ทั้งนี้เป็นผลจากความร้อนที่ใช้ในการทอดมีผลต่อการทำลายสารอาหารต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ (Fellows, 1990) สำหรับการที่ผลิตภัณฑ์หลังทอดมีปริมาณไขมันสูงขึ้นนั้นเป็นผลจากการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์ระหว่างการทอด