บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ MDCM ชนิดไม่ล้างและล้าง (ตารางที่ 4.1) พบว่า MDCM ชนิดไม่ล้างมีความชื้น 62.59% โปรตีน 14.58% ไขมัน 46.23%โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งค่าที่ได้ไม่ได้อยู่ในช่วงที่ Ang และ Hamm (1982) วิเคราะห์ไว้แต่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของ MDCM มักจะเปลี่ยนแปลงไปไม่คงที่ โดยจะขึ้นอยู่กับอายุของสัตว์ กรรมวิธีในการตัดแต่ง ปริมาณหนังที่ปนขณะแยกกระดูก และชนิดของเครื่องมือที่ใช้ในการแยกกระดูก Froning (1976)

จากผลการวิเคราะห์พบว่า MDCM ชนิดไม่ล้างมีปริมาณไขมันอยู่สูงถึง 46.23% โดยน้ำหนักแห้ง จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบที่ทดแทนปริมาณปลายข้าวเจ้าในสูตร ถึงแม้จะนำมาผสมกับปลายข้าวเจ้าแล้วก็ตาม ปริมาณของไขมันรวมในวัตถุดิบยังสูงอยู่ ซึ่งถ้าจะใช้ก็จะสามารถใช้ได้ในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องการกระบวนการเอกซ์ทรูชันมีข้อจำกัดด้านวัตถุดิบ คือวัตถุดิบที่จะป้อนเข้าเครื่องเอกซ์ทูเดอร์ควรมีปริมาณไขมันไม่เกิน 3% เพราะถ้าไขมันเกินผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไม่พอง ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพของ MDCM ก่อนนำมาใช้ จึงเลือกวิธีปรับปรุงคุณภาพ MDCM โดยล้างด้วยสารละลาย 0.5% sodium bicarbonate ตามวิธีของ Yang และ Froning (1992) หลังจากล้างแล้วพบว่า MDCM ชนิดล้างมีความชื้น 79.41% โปรตีน 9.84% ไขมัน 5.41%โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกับ MDCM ชนิดไม่ล้างพบว่า พบว่า MDCM ชนิดไม่ล้างและล้าง มีค่าเฉลี่ยความชื้น โปรตีน และไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดย MDCM ชนิดไม่ล้างมีความชื้นต่ำกว่า MDCM ชนิดล้าง เนื่องจากในระหว่างการล้างมีการใช้สารละลาย sodium bicarbonate ซึ่งมีผลให้ค่า pH ของ MDCM ชนิดล้างสูงขึ้น ทำให้เกิดการผลักดันระหว่างประจุภายในมีผลทำให้เกิดช่องว่างที่สามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้น ส่วนปริมาณโปรตีนและไขมัน MDCM ชนิดไม่ล้างจะมีมากกว่าชนิดล้าง เนื่องจากในระหว่างการล้างสามารถลดปริมาณไขมันเพราะผลจากความแตกต่างด้าน density และ polarity ของไขมันกับสารละลาย sodium bicarbonate ที่ใช้ล้าง ส่วนปริมาณโปรตีนที่ลดลงเนื่องจากระหว่างการล้างโปรตีนประเภท

sarcoplasmic protein ถูกล้างออกได้ เพราะมีสมบัติละลายได้ในน้ำที่ใช้เป็นตัวทำละลายระหว่างการเตรียมสารละลาย sodium bicarbonate นอกจากนี้ยังมีผลจากค่า pH ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสารละลาย sodium bicarbonate ที่ใช้ โดยค่า pH ที่เพิ่มมีผลทำให้ myofibrillar proteins ที่มีอยู่ใน MDCM ละลายออกมาปริมาณโปรตีนจึงลดลง ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yang และ Froning (1992) ที่พบว่าในการล้าง MDCM ด้วยสารละลายชนิดต่างๆ มีผลในการลดปริมาณไขมันของ MDCM อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ด้วยข้อจำกัดในการผลิตโดยใช้กระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ว่า วัตถุดิบเริ่มต้นควรมีค่าไขมันอยู่ไม่เกิน 3% จึงนำผลการทดลองที่วิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมีของ MDCM ทั้งสองชนิด และปลายข้าวเจ้าที่วิเคราะห์ได้ (ตารางที่ 4.2) มาคำนวณเพื่อหาช่วงการใช้ปริมาณ MDCM ทดแทนปริมาณปลายข้าวเจ้า พบว่าช่วงการใช้ปริมาณ MDCM ทดแทนปริมาณปลายข้าวเจ้าควรจะอยู่ในช่วงระหว่าง 5 – 20 % นอกจากข้อจำกัดด้านปริมาณไขมันแล้ว ค่าความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบควรอยู่ในช่วง 12 – 15 % แต่จากการวิเคราะห์พบว่าความชื้นของ MDCM ทั้งสองชนิดมีค่ามาก ถ้านำมาใช้โดยตรงเลยจะมีผลทำให้ค่าความชื้นรวมของวัตถุดิบเริ่มต้นมากไม่เหมาะสมในการผลิต และยังอาจมีปัญหาเกี่ยวกับการผสมวัตถุดิบให้เข้ากันดีได้ยากขึ้น จึงนำ MDCM มาอบแห้งให้มีความชื้นน้อยที่สุดที่เป็นไปได้ก่อนใช้ ซึ่งผู้วิจัยได้ทดลองเบื้องต้นแล้ว จึงตัดสินใจใช้ MDCM ที่อบแห้งจนมีความชื้น 10% ก่อนผสมลงในสูตร

5.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

5.2.1 เปรียบเทียบสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ MDCM ชนิดไม่ล้าง และ MDCM ชนิดล้าง

จากการคำนวณองค์ประกอบทางเคมีของ MDCM และปลายข้าวเจ้า พบว่า ควรใช้ MDCM ทดแทนปริมาณปลายข้าวเจ้าได้ในช่วง 5 – 20% และ MDCM ที่ใช้ต้องอบแห้งจนได้ความชื้น 10% ก่อน จึงทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยใช้ MDCM ชนิดไม่ล้างและล้าง ทดแทนปริมาณปลายข้าวเจ้า 10% เป็นวัตถุดิบ ผลิตผลิตภัณฑ์โดยกำหนดความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบรวมที่ 12% ความเร็วรอบสกรู 300 รอบ / นาที และอุณหภูมิแบร์เรล 130 °C จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.3) พบว่าทั้ง 2 สูตรมีค่าความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากผ่านกระบวนการผลิต และการปรับลดความชื้นเหมือนกัน คือก่อนการผลิตได้ปรับให้ค่าความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบเท่ากันที่ 12% และเมื่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ออกมา จะนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 10 นาที เพื่อปรับความชื้นให้ลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ยังมีความชื้นสูงและเนื้อสัมผัสไม่กรอบ ส่วนปริมาณโปรตีนและไขมันพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากทั้ง 2 สูตรมีปริมาณโปรตีนและไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยในสูตรที่ใช้ MDCM ชนิดไม่ล้างจะมีปริมาณโปรตีนและไขมันมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบเริ่มต้นคือ MDCM ชนิดไม่ล้างมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงกว่าMDCM ชนิดล้าง

จากผลการวัดค่าลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.4) พบว่าความหนาแน่นปรากฏ อัตราการพองตัว และแรงตัดขาดของทั้ง 2 สูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณโปรตีนและไขมันต่างกันก็ตาม แสดงว่าความแตกต่างของปริมาณโปรตีนและไขมันในทั้ง 2 สูตร ไม่มากพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ทั้งสองเกิดเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งในระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชันจนทำให้ไม่สามารถตรวจพบความแตกต่างทางกายภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างผลิตภัณฑ์

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.5) พบว่าทั้ง 2 สูตรมีลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับการวิเคราะห์ค่าลักษณะทางกายภาพ คือความหนาแน่นปรากฏ อัตราการพองตัว และแรงตัดขาดที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน ส่วนคะแนนด้านสีและกลิ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่ 2 ที่ใช้ MDCM ชนิดล้างได้คะแนนเฉลี่ยด้านสีและกลิ่นดีกว่าสูตรที่ 1 ที่ใช้ MDCM ชนิด

ไม่ล้าง โดยด้านสีผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าสีของสูตรที่ 1 ที่ใช้ MDCM ชนิดไม่ล้างมีสีเข้มเกินไป ทั้งนี้เนื่องจาก MDCM ชนิดไม่ล้างจะยังมี heme pigment ปริมาณสูงจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้ม และโดยเฉพาะเมื่อผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันจะยิ่งทำให้สีเข้มขึ้น อันเป็นผลมาจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการ ส่วนด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าในสูตรที่ 1 ซึ่งใช้ MDCM ชนิดไม่ล้าง มีกลิ่นแปลกปลอมไม่น่ารับประทาน เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้คือ MDCM ชนิดไม่ล้าง มี heme pigment และ phospholipids ปริมาณสูง ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิดนี้เมื่อถูกความร้อนจากกระบวนการผลิต ความร้อนจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยา oxidation ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (off-flavour) ขึ้นได้ ดังนั้นในการศึกษาทดลองขั้นต่อไปจึงเลือกใช้เฉพาะ MDCM ชนิดที่ล้างเท่านั้น

นอกจากนี้ผู้ทดสอบยังให้ความเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบมีรสจืดเกินไป ดังนั้นในงานวิจัยขั้นต่อไปจึงมีการทดลองแปรปริมาณน้ำตาลเข้าไปในสูตรเพื่อปรับปรุงรสชาติให้ดีมากขึ้น

5.2.2 หาปริมาณ MDCM ที่เหมาะสมที่ใช้ได้ในผลิตภัณฑ์

ศึกษาปริมาณ MDCM ที่เหมาะสมที่จะใช้ทดแทนปริมาณปลายข้าวเจ้าในสูตร โดยทดลองแปรปริมาณ MDCM ชนิดล้างทดแทนปลายข้าวเจ้าในสูตรในปริมาณ 5% , 10% , 15% และ 20% ร่วมกับการแปรปริมาณน้ำตาลในสูตร 2% และ 4% เพื่อปรับปรุงรสชาติ ทดลองผลิตโดยกำหนดความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่ 12% ความเร็วรอบสกรู 300 รอบ / นาที และอุณหภูมิแบร์เรล 130 ^{o}C จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าปริมาณน้ำตาลที่ 2% และ 4% ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติในด้านต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแปรปริมาณน้ำตาลทั้ง 2 ระดับไม่แตกต่างกันมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติทางด้านเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสทุกๆ ด้าน

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 4.6) พบว่าทุกสูตรมีค่าความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากผ่านกระบวนการผลิต และการปรับลดความชื้นเหมือนกัน ส่วนปริมาณโปรตีนและไขมันในแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยในสูตรที่ทดแทน MDCM ปริมาณมากก็จะมีปริมาณโปรตีนและไขมันมากขึ้นตามลำดับ เนื่องจาก MDCM มีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงกว่าปลายข้าวเจ้า เมื่อใช้ทดแทนปริมาณปลายข้าวเจ้ามากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะต้องมีโปรตีนและไขมันมากขึ้นตามวัตถุดิบตั้งต้นที่มีปริมาณโปรตีนและไขมันมากขึ้นด้วย

ส่วนค่าลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.7) พบว่าความหนาแน่นปรากฏ อัตราการพองตัว และค่าแรงตัดขาด ของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่า

อัตราการพองตัวจะลดลงเมื่อใช้ MDCM ทดแทนปริมาณปลายข้าวเจ้าในสูตรเพิ่มขึ้น เนื่องจากระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ขณะที่วัตถุดิบชิ้นเคลื่อนที่ผ่านแบร์เรลโดยการพาไปของสกรู วัตถุดิบซึ่งส่วนมากเป็นแป้งจะได้รับความร้อน ความร้อนจะทำให้พันธะไฮโดรเจนของอะมัยโลสและอะมัยโลเพคตินอ่อนลงและแตกออก starch granules จะดูดน้ำเข้าไปเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชัน แป้งจะสุกเกิดเป็นโด และเมื่อเคลื่อนที่ผ่านหัวไดออกมา ความแตกต่างของความดันภายในและภายนอกจะทำให้ไอน้ำภายในโดระเหยออกไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเกิดการพองตัว และมีช่องอากาศภายใน การใช้ MDCM ทดแทนปริมาณปลายข้าวเจ้าในเปอร์เซนต์ที่สูงขึ้นเป็นการเพิ่มปริมาณโปรตีนและไขมันในวัตถุดิบ ซึ่งปริมาณโปรตีนและไขมันที่เพิ่มขึ้นนี้เองจะเป็นตัวขัดขวางการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้ง ทำให้แป้งเกิดเจลาติไนเซชันไม่สมบูรณ์จึงทำให้อัตราการพองตัวลดลง ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Badric และ Mellowes (1992) ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณของคาร์โบไฮเดรตในวัตถุดิบจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอัตราการพองตัวเพิ่มขึ้น และงานวิจัยของ Suknark , Phillips และ Huang (1999) ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณโปรตีนจากเนื้อปลาลงในแป้งสาคูที่เป็นวัตถุดิบหลักจะทำให้เปอร์เซนต์การเกิดเจลาติไนเซชันลดลง

ค่าความหนาแน่นปรากฏจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณ MDCM ทดแทนปริมาณปลายข้าวเจ้ามากขึ้น ซึ่งค่าความหนาแน่นปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เป็นผลสืบเนื่องมาจากค่าอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการพองตัวมากจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นปรากฏน้อย เนื่องจากความหนาแน่นปรากฏหามาจากสูตร $D = M / V$ เมื่อ D คือ ความหนาแน่น M คือ น้ำหนัก และ V คือ ปริมาตร เมื่อผลิตภัณฑ์มีอัตราการพองตัวมาก ทำให้ในการหาความหนาแน่นปรากฏจะตวงผลิตภัณฑ์ใส่กระบอกตวงได้น้อย จึงส่งผลให้น้ำหนักที่ชั่งได้น้อย ดังนั้นค่าความหนาแน่นปรากฏจึงน้อย

ค่าแรงตัดขาดจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณ MDCM ทดแทนปริมาณปลายข้าวเจ้ามากขึ้น ซึ่งค่าแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เป็นผลสืบเนื่องมาจากค่าอัตราการพองตัวและความหนาแน่นปรากฏของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการพองตัวมาก ค่าความหนาแน่นปรากฏน้อย ลักษณะเนื้อของผลิตภัณฑ์จะไม่อัดแน่น มีช่องอากาศมากจึงใช้ค่าแรงตัดขาดที่น้อย ในทางกลับกันผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการพองตัวน้อย ความหนาแน่นปรากฏมาก ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะแน่นเนื้อ ช่องอากาศจะเล็กและมีปริมาณน้อย จึงใช้ค่าแรงตัดขาดสูงกว่า

ผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.8) พบว่า คะแนนด้านสีของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในสูตรที่มีปริมาณ MDCM ทดแทนปลายข้าวเจ้ามากจะได้คะแนนด้านสีดีกว่าสูตรที่มี MDCM น้อย เนื่องจาก MDCM หลังจากล้างและอบแล้วจะมีสีน้ำ

ตาลเหลือง การใช้ MDCM ปริมาณมากขึ้นจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองเข้มขึ้น นอกจากนี้สีที่เข้มขึ้นอาจเกิดจากปฏิกิริยา Maillard ระหว่างโปรตีนกับน้ำตาลในวัตถุดิบ ซึ่งผู้ทดสอบระบุว่าผลิตภัณฑ์ที่มีสีเหลืองจะดูน่ารับประทานกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีสีอ่อนค่อนข้างขาว ส่วนในด้านกลิ่นรสชาติ ลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสในแต่ละสูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณ MDCM ที่ใช้ในช่วง 10 – 20 % ให้ค่าความหนาแน่น ปรากฏ , อัตราการพองตัว , แรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสหลายๆ ด้านไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าปริมาณโปรตีนของผลิตภัณฑ์จะมากขึ้นตามปริมาณ MDCM ที่ใช้ในสูตร ดังนั้นจึงควรเลือกสูตรที่มีปริมาณ MDCM สูงมาใช้ในการศึกษาต่อไป เนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างที่มีคุณค่าทางโภชนาการโดยการเสริมโปรตีน และจากผลการทดลองในตารางที่ 4.6 พบว่าปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้ MDCM 15% และ 20% ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) จึงเลือกใช้ปริมาณ MDCM ทดแทนปลายข้าวเจ้าที่ 15% เพราะการใช้ปริมาณ MDCM ที่มากขึ้นก็มีผลทำให้ต้นทุนของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น นอกจากนี้ถ้าพิจารณาด้านอายุการเก็บ วัตถุดิบที่มีปริมาณไขมันตั้งต้นน้อยกว่าน่าจะมีอายุการเก็บได้นานกว่า จึงเลือกสูตรที่ใช้ MDCM 15 % น้ำตาล 2% เป็นสูตรที่ใช้ในการผลิตต่อไป

5.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิต

จากการศึกษาผลของตัวแปรที่ใช้ในการผลิต 3 ชนิด คือ ความชื้นของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าเครื่อง ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิของแบร์เรล แล้ววัดค่าลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ อัตราการพองตัว และแรงตัดขาด แล้วนำค่าที่ได้ไปสร้างสมการความสัมพันธ์ พบว่าค่า R^2 (0.9517-0.9845) ที่ได้ในแต่ละสมการมีค่าสูงเชื่อถือได้ จึงนำสมการที่ได้นำมาสร้างกราฟ contour plot โดยโปรแกรมสำเร็จรูป statgraphics โดยให้ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบคงที่ ที่ 14% , 15% และ 16% (รูปที่ 4.1 – 4.9) ซ้อนกราฟที่ได้เพื่อเลือกสภาวะการผลิตที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความหนาแน่นปรากฏ อัตราการพองตัว และแรงตัดขาด ในช่วงของผลิตภัณฑ์ที่ดี (ผลิตภัณฑ์ที่ดีควรให้ค่าความหนาแน่นปรากฏในช่วง 0.05 – 0.07 g / cm^3 อัตราการพองตัวในช่วง 3.8 – 4.2 และแรงตัดขาดในช่วง 0.9 – 1.2 g / cm^2) เลือกสภาวะซึ่งอยู่ในขอบเขตดังกล่าวมาได้ 3 สภาวะ คือ

- ความชื้นของวัตถุดิบ 15% , ความเร็วรอบของสกรู 275 รอบ / นาที และอุณหภูมิ 125 °C
- ความชื้นของวัตถุดิบ 15% , ความเร็วรอบของสกรู 300 รอบ / นาที และอุณหภูมิ 135 °C
- ความชื้นของวัตถุดิบ 16% , ความเร็วรอบของสกรู 350 รอบ / นาที และอุณหภูมิ 130 °C

ทดลองผลิตตามสภาวะการผลิตทั้ง 3 ข้างต้น แล้ววัดค่าลักษณะทางกายภาพ (ตารางที่ 4.10) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความหนาแน่นปรากฏ อัตราการพองตัว และแรงตัดขาด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และอยู่ในช่วงกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่ดี และจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.11) พบว่าทั้ง 3 สภาวะการผลิตให้ผลด้านสี และลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยในสภาวะการผลิตที่ 2 คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่เข้าเครื่อง 15% ความเร็วรอบสกรู 300 รอบ / นาที อุณหภูมิ 135 °C เป็นสภาวะที่ใช้ผลิตแล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนทางประสาทสัมผัสทุกๆ ด้านสูงที่สุด จึงเลือกปัจจัยต่างๆ ที่ระดับดังกล่าวเพื่อใช้ในการวิจัยขั้นต่อไป

5.4 ศึกษากลิ่นรสที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์

จากสูตรที่มีปลายข้าวเจ้า 83% MDCM 15% น้ำตาล 2% นำมาผลิตในสภาวะความชื้นของเริ่มต้นของวัตถุดิบที่เข้าเครื่อง 15% ความเร็วรอบสกรู 300 รอบ / นาที อุณหภูมิ 135 °C แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปเคลือบกลิ่นรส 6 ชนิด ที่นิยมในท้องตลาด และเหมาะสมที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารว่าง คือ กลิ่นรสปลา ไก่ พิซซ่า บาร์ บี คิว paprika และ sweet paprika ให้ผู้ทดสอบเลือกกลิ่นรสที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์มากที่สุดโดยการ ranking จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.12) พบว่าผู้ทดสอบเลือกกลิ่นรสไก่ บาร์ บี คิว และพิซซ่า ว่าเป็นกลิ่นรสที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์มากที่สุดโดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จึงทำการทดลองใหม่โดยใช้เฉพาะกลิ่นรสทั้ง 3 นี้อีกครั้งหนึ่ง ผลการทดลอง (ตารางที่ 4.13) พบว่ากลิ่นรสไก่ได้รับเลือกมากที่สุดและแตกต่างกลิ่นรสบาร์ บี คิว และพิซซ่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จึงเลือกใช้กลิ่นไก่มาเป็นกลิ่นรสที่เคลือบผลิตภัณฑ์

5.5 <u>ทดสอบความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์</u>

จากสูตรที่มีปลายข้าวเจ้า 83% MDCM 15% และน้ำตาล 2% ใช้สภาวะการผลิตเป็นความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่เข้าเครื่อง 15% ความเร็วรอบสกรู 300 รอบ / นาที อุณหภูมิแบร์เรล 135 $^{\circ}$C เคลือบผลิตภัณฑ์ด้วยกลิ่นรสไก่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ และทดสอบความชอบของผู้บริโภค (ตารางที่ 4.14) พบว่าคะแนนด้านกลิ่นได้คะแนนในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก ส่วนด้านสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับรวมได้คะแนนในช่วงชอบมากถึงชอบมากที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย (อายุ 10 – 15ปี) ให้คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ โดยส่วนใหญ่สูงมาก (ระหว่าง 8 – 9)

5.6 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่พัฒนาได้

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่พัฒนาได้ (ตารางที่ 4.15) พบว่าผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ผลิตได้มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากวัตถุดิบหลักที่ใช้คือปลายข้าวเจ้า และจากการใช้ MDCM ทดแทนปริมาณปลายข้าวเจ้าในสูตรจึงมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณโปรตีนสูงประมาณ 12.03% ซึ่งสูงกว่าอาหารว่างสำหรับขบเคี้ยวที่มีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาดที่โดยมากจะมีโปรตีนเพียง 3.3 – 3.8% เท่านั้น (Boonyasirikool et al.,1986) ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่างานวิจัยนี้บรรลุวัตถุประสงค์สำคัญที่สามารถทำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ปลายข้าวเจ้า และวัสดุเหลือใช้ทางการแปรรูปผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ได้แก่เศษไก่แยกกระดูกด้วยเครื่อง (MDCM) มาใช้ประโยชน์โดยนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่างที่เสริมคุณค่าทางโภชนาการด้วยการเพิ่มปริมาณโปรตีนได้

5.7 <u>ศึกษาผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา</u>

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้น (ตารางที่ 4.16) เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด พบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 3 เดือน ค่าความชื้นเพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างกับความชื้นเมื่อเริ่มเก็บอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีปริมาณความชื้นต่ำ เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ผลิตภัณฑ์ก็จะดูดความชื้นเข้าไปจนกระทั่งความชื้นของผลิตภัณฑ์กับภายนอกอยู่ในภาวะสมดุล ความชื้นของผลิตภัณฑ์จึงเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ

ค่าแรงตัดจากการทดลองพบว่า ค่าแรงตัดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บนานขึ้นและมีความแตกต่างกับค่าแรงตัดของผลิตภัณฑ์เมื่อเริ่มเก็บอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลทดลองจะพบว่าค่าแรงตัดที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น โดยความชื้นในรูปของไอน้ำในบรรยากาศจะแพร่เข้าไปในผลิตภัณฑ์แล้วทำให้ความกรอบลดลง เนื้อสัมผัสเหนียวมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องใช้แรงที่ใช้ตัดขาดเพิ่มขึ้น

ค่า TBA มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บตัวอย่างนานขึ้นและมีความแตกต่างกับค่า TBA เริ่มต้นของผลิตภัณฑ์เมื่อเริ่มเก็บอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สาเหตุที่ค่า TBA ที่เพิ่มขึ้นก็เนื่องมาจากวัตถุดิบที่ใช้มีไขมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง MDCM มีไขมันประเภท phospholipids และ acyl glycerides ที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่สูง เมื่อผ่านกระบวนการผลิตซึ่งมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ก็จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันได้ดีและรวดเร็ว ซึ่งผลจากปฏิกิริยานี้จะเกิดสารประกอบพวก aldehydes , ketones และ alcohols ซึ่งเป็นสารที่ให้ off-fllavour และสารตัวหนึ่งคือ malonaldehyde จะทำปฏิกิริยากับ TBA ได้สารที่มีสี ดังนั้นค่า TBA จึงเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาเก็บเพิ่มนานขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากขึ้น

ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.17 และ 4.18) พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในฟิล์มทั้ง 2 ชนิด มีค่าด้านสี ลักษณะปรากฏ รสชาติ ตลอดอายุการเก็บไม่แตกต่างกันกับค่าเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) คะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นในช่วงปลายของระยะการเก็บมีความแตกต่างกับค่าเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งคะแนนด้านกลิ่นที่ได้มีความสัมพันธ์กับค่า TBA ที่เพิ่มขึ้น คือเมื่อค่า TBA เพิ่มขึ้นคะแนนด้านกลิ่นที่ได้จะลดลง ส่วนคะแนนเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัสในช่วงปลายของระยะการเก็บ มีความแตกต่างกับค่าเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งคะแนนด้านเนื้อสัมผัสมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้น คือเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นมีผล

ทำให้คะแนนด้านเนื้อสัมผัสลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลสืบเนื่องมาจากการที่ผลิตภัณฑ์คูดความชื้นไว้เพิ่มขึ้น แล้วทำให้เนื้อสัมผัสเหนียวและมีความกรอบลดลง ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนต่ำลงเมื่อเวลาการเก็บเพิ่มมากขึ้น ส่วนการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในฟิล์มทั้ง 2 ชนิด พบว่าคะแนนการยอมรับรวมลดลง และคะแนนในช่วงปลายของอายุการเก็บมีความแตกต่างกันกับค่าเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงที่ทำจากฟิล์ม OPP / Dry / MCPP มีคะแนนการยอมรับรวมอยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก ส่วนผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงที่ทำจากฟิล์ม OPP / MPEP / CPP มีคะแนนในช่วงชอบมากถึงชอบมากที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ค่าค่าความชื้น แรงตัดขาด ค่าTBA และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด OPP / MPEP / CPP สามารถป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติในด้านต่างๆ ได้ดีกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด OPP / Dry / MCPP เนื่องจากตัวฟิล์ม OPP / MPEP / CPP มีการลามิเนตที่หนากว่า OPP / Dry / MCPP จึงมีความสามารถป้องกันผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่า แต่ฟิล์มพลาสติกทั้ง 2 ชนิดก็สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับ ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีแล้วมีผลกระทบต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ ก็ตาม