บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไก่ส่วนอกและเนื้อไก่แยกกระดูกด้วยเครื่อง

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด พบว่า MDCM มีปริมาณความชื้น ไขมัน และเถ้าสูงกว่าเนื้อไก่ส่วนอก แต่จะมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่ามาก โดยในเนื้อไก่ส่วนอกมีปริมาณความชื้น 71.06% ไขมัน 3.12% โปรตีน 23.10% และเถ้า 0.92% โดยน้ำหนักเปียก ในขณะที่ MDCM มีปริมาณความชื้น 72.17% ไขมัน 13.88% โปรตีน 12.71% และเถ้า 1.05% โดยน้ำหนักเปียก

Ang และ Hamm (1982) วิเคราะห์ proximate compositions ใน MDBM ที่ได้จากส่วนคอติดหนัง ส่วนหลังติดหนัง ส่วนคอไม่ติดหนัง ส่วนหลังซีกบนและส่วนผสมของเนื้อ MDBM ทั้ง 4 ส่วนข้างต้น พบว่า มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 62.70 - 73.40% ไขมัน 13.20 - 25.20% โปรตีน 10.30 - 11.90% และเถ้า 0.74 - 0.94% ในขณะที่ในเนื้อไก่กระทงแยกกระดูกด้วยมือ (hand deboned broiler meat; HDBM) มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 57.73 - 73.29% ไขมัน 11.57 - 29.77% โปรตีน 9.96 - 13.87% และเถ้า 0.44 - 0.69% Froning (1976) พบว่าองค์ประกอบของ MDCM จะมีความแปรปรวน เนื่องจากชนิดของชิ้นส่วน อายุของสัตว์ การติดตั้งเครื่องแยกกระดูก การเลี้ยงดู ชนิดของเครื่องแยกกระดูก ชนิดของอาหารที่ได้รับ อัตราส่วนของกระดูกกับเนื้อ วิธีการตัดแต่งและปริมาณหนัง เป็นต้น

5.2 ทดสอบ chicken croquettes ต้นแบบทั่วไป

ผลการทดสอบประสาทสัมผัส พบว่า chicken croquettes ตัวอย่างที่ 1 จะมีสีของเปลือกนอกเข้มกว่า ความชุ่มน้ำและความเค็มสูงกว่าตัวอย่างที่ 2, 3 และค่าอุดมคติ ทั้งนี้เนื่องจาก chicken croquettes ตัวอย่างที่ 1 นั้นมีส่วนผสมของน้ำและเกลือสูงที่สุด จึงมีผลให้ค่าสีของเปลือกนอก ความชุ่มน้ำและความเค็มสูงที่สุด ทั้งน้ำและเกลือมีอิทธิพลต่อการละลายของโปรตีนประเภทต่างๆที่มีอยู่ในเนื้อสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง myoglobin และ hemoglobin ซึ่งมี heme pigments เป็นองค์ประกอบนั้น ละลายได้ดีในน้ำ จึงสามารถแพร่ออกจากเนื้อเยื่อด้านในออกสู่ด้านนอกได้ดีกว่าในตัวอย่างที่มีน้ำเป็นส่วนผสมในปริมาณที่มากกว่า แล้วทำให้หมู่อะมิโนในโปรตีนมีโอกาสเกิดปฏิกิริยา Maillard ได้มากและตัวของ heme pigments ก็ยังคงมีสีเข้มโดยตัวของมันเองอยู่แล้ว ดังนั้นสีของเปลือกนอกของตัวอย่างดังกล่าว (ตัวอย่างที่ 1) จึงมีความ

เข้มมากกว่า ส่วนคุณลักษณะด้านการเกาะติดของชิ้นเนื้อนั้น พบว่า chicken croquettes ทั้ง 3 ตัวอย่าง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่จะมีการเกาะติดของชิ้นเนื้อต่ำกว่าค่าอุดมคติ

จากผลการทดสอบความชอบโดยรวม พบว่า chicken croquettes ตัวอย่างที่ 2 มีคะแนนสูงที่สุด รองมาคือ ตัวอย่างที่ 1 และ 3 ตามลำดับ ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่า คุณลักษณะด้านสีของเปลือกนอก ความชุ่มน้ำ และความเค็ม อาจจะมีผลต่อความชอบโดยรวมของผู้ทดสอบ โดยเมื่อผลิตภัณฑ์มีสีเปลือกนอกเข้มขึ้น ความชุ่มน้ำและความเค็มสูงขึ้น จะมีผลให้คะแนนของความชอบโดยรวมลดลง

จากการพิจารณาคะแนนที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสข้างต้น จึงเลือก chicken croquettes ตัวอย่างที่ 2 ซึ่งมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดและมีคะแนนของคุณลักษณะด้านต่างๆ ใกล้เคียงกับค่าอุดมคติมากที่สุดเป็น ตัวอย่าง chicken croquettes สูตรต้นแบบ

5.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเนื้อไก่ส่วนอกกับเนื้อไก่แยกกระดูกด้วยเครื่อง (MDCM)

จากผลค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) บริเวณเปลือกนอกของ chicken croquettes พบว่าเมื่อใช้ MDCM เพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าความสว่างและค่าสีเหลืองลดลง ค่าสีแดงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจาก MDCM มี heme pigments ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีแดงสูงกว่าเนื้อไก่ส่วนอกมาก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีสีแดงคล้ำเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ค่าความสว่างและค่าสีเหลืองของ chicken croquettes ลดลง ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Field และคณะ (1977) ซึ่งพบว่าการใช้เนื้อวัวแยกกระดูกด้วยเครื่อง (mechanically separated beef; MSB) เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ steak ช่วยให้ steak มีค่าสีแดงเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hernandez, Baker และ Hotchkiss (1986) ซึ่งพบว่า patties ที่ใช้เนื้อไก่งวงแยกกระดูกด้วยเครื่อง (mechanically deboned turkey meat; MDTM) ในปริมาณสูง จะมีค่าความสว่างและค่าสีเหลืองต่ำกว่า และค่าสีแดงสูงกว่า ตัวอย่าง patties ที่ใช้ MDTM ในปริมาณต่ำ

จากผลค่าความสว่าง ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองบริเวณเนื้อในของ chicken croquettes พบว่าจะให้ผลเช่นเดียวกับบริเวณเปลือกนอก คือเมื่อใช้ MDCM เพิ่มขึ้น ค่าความสว่างและค่าสีเหลืองจะลดลง แต่ค่าสีแดงบริเวณเนื้อในจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจาก ปริมาณ heme pigments ที่เพิ่มขึ้นและใช้เหตุผลจากงานวิจัยที่กล่าวมาอธิบายได้เช่นเดียวกัน

จากผล ค่า hardness พบว่าเมื่อใช้ MDCM เพิ่มขึ้น ค่า hardness จะลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก MDCM มีปริมาณความชื้นและไขมันสูงกว่าเนื้อไก่ส่วนอก เมื่อใช้ MDCM เพิ่มขึ้น จึงให้เนื้อ

สัมผัสที่นุ่มมากขึ้น ดังนั้นค่าแรงที่ใช้ในการทำให้ผลิตภัณฑ์แยกออก (hardness) จึงลดลง ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ McMahon และ Dawson (1976) ซึ่งพบว่า เมื่อใช้เนื้อไก่งวงแยกกระดูกด้วยเครื่อง (MDTM) ในปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลให้ ค่า shear force ของ fermented turkey sausage ลดลง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hernandez, Baker และ Hotchkiss (1986) ซึ่งพบว่า เมื่อใช้ MDTM ในปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลให้ ค่า Krammer shear press value (ค่าแรงเฉือน) ของ patties ลดลง

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสีของเปลือกนอก ผู้ทดสอบพบว่า เมื่อใช้ MDCM เพิ่มขึ้น มีผลให้สีของเปลือกนอกเข้มขึ้น และให้ผลเช่นเดียวกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีของเนื้อใน คือ เมื่อใช้ MDCM เพิ่มขึ้น สีของเนื้อในจะเข้มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจาก ปริมาณ heme pigments ที่เพิ่มขึ้น ดังกล่าวข้างต้น ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวัดสี โดยใช้ chroma meter และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Field และคณะ (1977) ซึ่งพบว่า steak ที่ใช้ MSB 20% จะมีสีคล้ำกว่า steak ที่ใช้ MSB 10%

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของเครื่องเทศ พบว่า เมื่อใช้ MDCM เพิ่มขึ้น กลิ่นของเครื่องเทศจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก MDCM นั้นโดยปกติจะสร้าง off - flavor ได้แก่ กลิ่นหืน metallic flavor และ bloody flavor ดังนั้นเมื่อใช้ MDCM เพิ่มขึ้น จะสร้าง off - flavor เพิ่มขึ้นและมีผลในการบดบัง (masking effect) และทำให้ความสามารถในการรับรู้กลิ่นของเครื่องเทศลดลง

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสผิดปกติ พบว่า เมื่อใช้ MDCM เพิ่มขึ้น กลิ่นรสผิดปกติจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก MDCM มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวและ heme pigments อยู่สูงกว่าในเนื้อไก่ส่วนอก และองค์ประกอบดังกล่าวจะก่อให้เกิด off - flavor ได้แก่ กลิ่นหืน metallic flavor และ bloody flavor ในผลิตภัณฑ์ที่มี MDCM เป็นองค์ประกอบโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผ่านการให้ความร้อน ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wheller และคณะ (1990) ซึ่งพบว่า เมื่อใช้ MSB เพิ่มขึ้น จะทำให้คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสของ steak ลดลง เนื่องจากมี fishy หรือ bloody flavor เพิ่มขึ้น

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการเกาะติดของชิ้นเนื้อ พบว่า เมื่อใช้ MDCM เพิ่มขึ้น การเกาะติดของชิ้นเนื้อจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก MDCM มีปริมาณไขมันสูงกว่าเนื้อไก่ส่วนอกมาก และไขมันจะเป็นตัวขัดขวางการ binding ของชิ้นเนื้อ ทำให้การเกาะติดของชิ้นเนื้อลดลง ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dhillon และ Maurer (1975a) ซึ่งพบว่า summer sausage ที่ใช้ MDCM จะมีเนื้อนุ่มกว่า และมีการเกาะติดของชิ้นเนื้อต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้ MDCM และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mcmahon และ Dawson (1976) ซึ่งพบว่า เมื่อใช้ MDTM เพิ่มขึ้น ferment turkey sausage จะมี binding strength ลดลง

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชุ่มน้ำ พบว่า เมื่อใช้ MDCM เพิ่มขึ้นความชุ่มน้ำจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก MDCM มีความชื้นและไขมันสูงกว่าเนื้อไก่ส่วนอก ดังนั้นเมื่อใช้ MDCM มากขึ้น ความชุ่มน้ำจึงเพิ่มขึ้น ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Field และคณะ (1977) ซึ่งพบว่า เมื่อใช้ MSB เพิ่มขึ้น steak จะมี ความชุ่มน้ำเพิ่มขึ้น และกับงานวิจัยของ Uebersax และคณะ (1978a) ซึ่งพบว่า ความชุ่มน้ำของ meat loaves จะเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ MDTM เพิ่มขึ้นและสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hernandez, Baker และ Hotchkiss (1986) ซึ่งพบว่า เมื่อใช้ MDTM เพิ่มขึ้นมีผลให้ patties มีความชุ่มน้ำเพิ่มขึ้น

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเค็ม พบว่า เมื่อใช้ MDCM เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มที่ผลิตภัณฑ์จะมีรสเค็มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก MDCM เป็นแหล่งที่ดีของเกลือแร่ชนิดต่างๆและพบว่าเมื่อใช้ MDCM เพิ่มขึ้นคะแนนความชอบโดยรวมจะลดลง

เมื่อเปรียบเทียบคะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของทั้ง 6 ตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างchicken croquettes ที่ใช้เนื้อไก่ส่วนอกกับ MDCM ในอัตราส่วน 80 : 20 มีคะแนนของคุณลักษณะด้านสีของเปลือกนอก สีของเนื้อใน กลิ่นของเครื่องเทศ และความเค็มไม่แตกต่างจากค่าอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และมีคะแนนของคุณลักษณะที่เหลือใกล้เคียงกับค่าอุดมคติ ถึงแม้ว่าจะมีคะแนนความชอบโดยรวมต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้เนื้อไก่ส่วนอกเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อคำนวณต้นทุนในการผลิตพบว่า ใช้ต้นทุนต่ำกว่าถึง 13 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นตัวอย่างที่ใช้เนื้อไก่ส่วนอกกับ MDCM ในอัตราส่วน 80 : 20 จึงได้รับเลือกเพื่อพัฒนาในขั้นตอนต่อไป

5.4 ศึกษาผลของการแปรปริมาณมันเทศที่มีต่อลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ผลค่าความสว่างบริเวณเปลือกนอก พบว่า เมื่อใช้มันเทศเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างบริเวณเปลือกนอกจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อใช้มันเทศเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะแห้งทำให้มีความสามารถในการเกาะติดกับเกล็ดขนมปังซึ่งให้ความสว่างแก่ผลิตภัณฑ์ลดลง ดังนั้นเปลือกนอกของผลิตภัณฑ์จึงมีความสว่างลดลง ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rasco และคณะ (1987) ซึ่งพบว่า ผลิตภัณฑ์ deep-fried fish ที่คลุกเกล็ดขนมปังจะมีความสว่างมากกว่าตัวอย่างที่ไม่คลุกเกล็ดขนมปัง

ผลค่าสีแดงของเปลือกนอก พบว่า เมื่อใช้มันเทศเพิ่มขึ้น ค่าสีแดงบริเวณเปลือกนอกจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยา Maillard reaction ระหว่างน้ำตาลในเกล็ดขนมปังและมันเทศกับกรดอะมิโนในเนื้อสัตว์ ให้สารสีน้ำตาล ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสีแดงเพิ่มขึ้น ผลการทดลองดังกล่าว

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rodriguez-Saona, Wrolstad และ Pereira (1997) ซึ่งพบว่า ผลิตภัณฑ์ potato chip มักเกิดการ browning เนื่องจากปฏิกิริยา Maillard reaction ทำให้ ผลิตภัณฑ์มีความสว่างลดลงและมีสีแดงเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับ Yang และคณะ (1999) ซึ่ง พบว่า potato product มักเกิดการเปลี่ยนแปลงสีเนื่องจากปฏิกิริยา Maillard reaction

ผลค่าสีเหลืองบริเวณเปลือกนอก พบว่าทั้ง 3 ตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก β-carotene ซึ่งเป็นรงควัตถุหลักที่ให้สีเหลืองในมันเทศ เมื่อสัมผัสความร้อนจะเกิดปฏิกิริยา cis-trans isomerization ทำให้สีซีดลง ดังนั้นจึงไม่พบความแตกต่างของค่าสีเหลืองบริเวณเปลือกนอก ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Spanos, Chen และ Schwartz (1993) ซึ่งพบว่า ความร้อนจะก่อให้เกิดปฏิกิริยา isomerization ของ β-carotene ทำให้ ผลิตภัณฑ์มีสีซีดลง

จากผลค่าความสว่างบริเวณเนื้อใน พบว่า ทั้ง 3 ตัวอย่าง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก บริเวณเนื้อในได้รับความร้อนในระดับต่ำกว่าบริเวณเปลือกนอก ปฏิกิริยา Maillard reaction ที่เกิดขึ้นจึงไม่รุนแรงพอที่จะมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความสว่างของเนื้อใน

จากผลค่าสีแดงบริเวณเนื้อใน พบว่าเมื่อใช้มันเทศเพิ่มขึ้น ค่าสีแดงจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยา Maillard reaction ที่อาจจะมีผลอย่างมีนัยสำคัญดังได้กล่าวข้นต้น

จากผลค่าสีเหลืองบริเวณเนื้อใน พบว่า เมื่อใช้มันเทศเพิ่มขึ้น ค่าสีเหลืองบริเวณเนื้อในจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในมันเทศมี β-carotene ซึ่งเป็นรงควัตถุหลักที่ให้สีเหลือง ดังนั้นเมื่อใช้มันเทศเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จึงมีค่าสีเหลืองบริเวณเนื้อในเพิ่มขึ้น แต่บริเวณด้านในของผลิตภัณฑ์ไม่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนเท่ากับด้านนอก ดังนั้นปฏิกิริยา isomerization อาจจะไม่ได้เกิดมากพอ จึงทำให้ปริมาณของมันเทศมีอิทธิพลต่อค่าสีเหลืองเพียงปัจจัยเดียว ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Spanos และคณะ (1993) ซึ่งพบว่า β-carotene เป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลือง ซึ่งพบมากในมันเทศ

จากผล ค่า hardness พบว่า เมื่อใช้มันเทศเพิ่มขึ้น ค่า hardness จะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในสูตรที่ใช้มันเทศเพิ่มขึ้น จะใช้แป้ง pregelatinized ซึ่งช่วยในการอุ้มน้ำในปริมาณที่ต่ำลง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแห้งแข็ง ดังนั้นแรงที่ใช้ในการทำให้ผลิตภัณฑ์แยกออกจึงเพิ่มขึ้น

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีของเปลือกนอก พบว่า เมื่อใช้มันเทศเพิ่มขึ้น สีของเปลือกนอกจะเข้มขึ้น และจะให้ผลเช่นเดียวกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีของเนื้อใน คือ เมื่อใช้มันเทศเพิ่มขึ้น สีของเนื้อในจะเข้มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยา Maillard reaction ที่ก่อให้เกิดสารสีน้ำตาลนั่นเอง

ผลการทดสอบทางทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของเครื่องเทศ พบว่าเมื่อใช้มันเทศเพิ่มขึ้น กลิ่นของเครื่องเทศจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก มันเทศซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์โบไฮเดรตจะสร้างกลิ่น starchy flavor หรือ sweet potato flavor ดังนั้น เมื่อใช้มันเทศเพิ่มขึ้น กลิ่นเหล่านี้จะเพิ่มขึ้น และการรับรู้กลิ่นของเครื่องเทศจะลดลง ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Collins และ Abdulaziz (1982) ซึ่งพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากมันเทศจะให้ sweet potato flavor หรือ starchy flavor

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการเกาะติดของชิ้นเนื้อ พบว่า เมื่อใช้มันเทศเพิ่มขึ้น การเกาะติดของชิ้นเนื้อจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากในตัวอย่างที่ใช้มันเทศเพิ่มขึ้น จะใช้แป้ง pregelatinized ลดลง ทำให้การ binding ของชิ้นเนื้อลดลง ดังนั้นผลิตภัณฑ์จึงมีการเกาะติดของชิ้นเนื้อลดลง

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชุ่มน้ำ พบว่า เมื่อใช้มันเทศเพิ่มขึ้น ความชุ่มน้ำจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณแป้ง pregelatinized ที่ใช้ในสูตรลดลง ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์น้อยลง ผลิตภัณฑ์จึงมีลักษณะแห้ง และให้ dry mouthfeel ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ McComber, Lohnes และ Osman (1987) ซึ่งพบว่า มันที่ผ่านการทำให้สุก จะให้ลักษณะ dry mouthfeel

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเค็ม พบว่า เมื่อใช้มันเทศเพิ่มขึ้น ความเค็มจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก ในสูตรที่ใช้มันเทศเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่ใช้จะลดลง และมีลักษณะความเป็นแป้งเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ความสามารถในการรับรู้รสเค็มลดลง ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Beggs, Bower และ Brown (1997) ซึ่งพบว่า frankfurter ในสูตรที่ใช้แป้งสูง และใช้น้ำต่ำ จะมีรสเค็มลดลง

ผลการทดสอบความชอบโดยรวม พบว่า ตัวอย่างที่ใช้มันเทศ 10% โดยน้ำหนักผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ถึงแม้จะไม่ต่างจากตัวอย่างที่มิได้ใช้มันเทศผสม แต่เมื่อเปรียบเทียบคะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ของทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างที่ใช้มันเทศ 10% จะมีคะแนนของคุณลักษณะด้านสีของเปลือกนอก สีของเนื้อใน กลิ่นของเครื่องเทศ การเกาะติดของชิ้นเนื้อ ความเค็ม ใกล้เคียงกับค่าอุดมคติ และยังมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ดังนั้นจึงเลือกสูตรดังกล่าวเพื่อพัฒนาในขั้นตอนต่อไป

5.5 ศึกษาผลของสภาวะแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของ Chicken croquettes ระหว่างการเก็บ

จากผลการคำนวณ % freezing loss พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิแช่เยือกแข็งสูงขึ้น มีผลให้ % freezing loss จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงใช้เวลานาน ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ซึ่งจะทำลายเนื้อเยื่อและทำให้โปรตีนเสียสภาพในการจับน้ำ จึงเกิดการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อได้ง่าย (Sack et al., 1993) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Petrovic, Grujic และ Petrovic (1993) ซึ่งพบว่าอัตราการแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่า % weight loss ระหว่าง freezing, thawing, cooking และ water holding capacity โดยเมื่อใช้อัตราการแช่เยือกแข็งที่สูงกว่าจะช่วยลด % weight loss ของเนื้อวัว แต่เมื่อใช้อัตราการแช่เยือกแข็งต่ำมีผลให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักขณะละลายน้ำแข็งและปรุงอาหารเพิ่มขึ้น และทำให้เนื้อวัวมีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง แต่ % freezing loss ในการทดลองนี้พบว่ามีค่าต่ำมาก เนื่องจากการแช่เยือกแข็งโดยใช้ liquid– nitrogen freezing ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งน้อยมาก และมักจะเกิดการสูญเสียน้ำหนักขณะแช่เยือกแข็งน้อยกว่า 1% โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (Sebranek, 1982)

<u>ช่วงที่1</u>

พบอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิแช่เยือกแข็งกับระยะเวลาในการเก็บต่อ % thawing loss และค่า hardness โดยที่ระยะเวลาในการเก็บเดียวกันเมื่ออุณหภูมิแช่เยือกแข็งสูงขึ้น มีผลให้ % thawing loss เพิ่มขึ้น และค่า hardness จะลดลง โดยที่ระดับอุณหภูมิแช่เยือกแข็งสูง ๆ จะเกิดการสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เมื่อละลายน้ำแข็งมากกว่าเมื่อแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงๆ จะเกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ซึ่งจะทำลายโครงสร้างของโปรตีนหรือเส้นใยที่ทำหน้าที่จับกับน้ำ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงมักจะมีค่า water holding capacity (WHC) ต่ำ เมื่อละลายน้ำแข็งจึงเกิดการสูญเสียน้ำออกมามาก และผลิตภัณฑ์จะเกิดการหดตัวและเกิดความพรุนบริเวณภายใน ดังนั้น เมื่อได้รับแรงกดจะเสียน้ำออกมาได้ง่ายและเร็ว จึงส่งผลให้ค่าแรงที่ใช้ในการทำให้ผลิตภัณฑ์แยกออก (hardness) ลดลง และเมื่อพิจารณาที่ระดับอุณหภูมิการแช่เยือกแข็งเดียวกันพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น % thawing loss จะเพิ่มขึ้นและค่า hardness จะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากระหว่างช่วงการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็งนั้นจะมีการสูญเสียน้ำและเกิดการระเหยของน้ำสู่บรรยากาศและอาจเกิดการตกผลึกใหม่เนื่องจากอุณหภูมิของตู้แช่เยือกแข็งไม่คงที่ (Chu et al., 1987) ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งมีผลต่อการเสื่อมสภาพของโปรตีน ทำให้สูญเสียน้ำเมื่อนำผลิตภัณฑ์มาละลายน้ำแข็งเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ค่าแรงที่ใช้ในการทำให้ผลิตภัณฑ์แยกออกลดลง

พบอิทธิพลของอุณหภูมิแช่เยือกแข็งและระยะเวลาในการเก็บต่อ % weight loss โดยเมื่ออุณหภูมิแช่เยือกแข็งและระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น % weight loss จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงๆ จะมีผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่กว่าและเกิดการระเหิดของผลึกน้ำแข็งและการระเหยของน้ำบริเวณผิวหน้าผลิตภัณฑ์สู่บรรยากาศขณะเก็บในตู้แช่เยือกแข็งมากกว่าตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ ๆ นอกจากนี้ผลจากความม่คงที่ของอุณหภูมิของตู้แช่เยือกแข็งยังส่งผลให้เกิดการตกผลึกใหม่ ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเดิม ซึ่งสร้างความเสียหายให้กับเนื้อเยื่อ และคุณภาพในการจับน้ำของโปรตีน จึงเกิดการสูญเสียน้ำออกไปได้ (Ben–gigirey et al., 1996)

จากการทดสอบ TBA พบว่าค่า TBA จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากขณะเก็บโดยการแช่เยือกแข็งนั้นจะเกิดการสูญเสียน้ำและไขมันออกมาจากผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้บริเวณภายในผลิตภัณฑ์มีรูพรุนเพิ่มขึ้น ทำให้อากาศสามารถแทรกเข้าไปภายในตัวผลิตภัณฑ์และทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน ก่อให้เกิด malonaldehyde เพิ่มมากขึ้น เมื่อวัด TBA จึงมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ น้ำที่สูญเสียออกมายังนำเอา เกลือ และ heme pigments ซึ่งเป็นตัวเร่งการเกิด lipid oxidation โดยการ decompose hydrogenperoxide ทำให้เกิด free radicals ทำให้เกิดกลไกการเกิด lipid oxidation เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น (Dhillon and Maurer, 1975b)

จากการวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียและ *Salmonella* พบว่ามีแบคทีเรียทั้งหมด < 30 โคโลนี / กรัม และไม่พบ *Salmonella* เนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาผลิตผ่านการให้ความร้อนโดยต้มในน้ำเดือด 100°C ผลิตภัณฑ์จึงมีแบคทีเรียเริ่มต้นในปริมาณต่ำ

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า อุณหภูมิแช่เยือกแข็งและระยะเวลาในการเก็บไม่มีผลต่อคะแนนด้านสีของเนื้อใน กลิ่นของเครื่องเทศ การเกาะติดของชิ้นเนื้อและความชอบโดยรวม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในระหว่างการเก็บ 2 สัปดาห์แรกผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ผู้ทดสอบจึงไม่สามารถแยกความแตกต่างของคุณลักษณะดังกล่าวได้ และพบอิทธิพลร่วมกับระหว่างอุณหภูมิแช่เยือกแข็งกับระยะเวลาในการเก็บต่อคะแนนด้านสีของเปลือกนอกและความชุ่มน้ำ เนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงจะสูญเสียน้ำมากกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ ตัวถูกละลายและองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ เช่น heme pigments จะละลายออกมาและก่อให้เกิดรูพรุนภายในผลิตภัณฑ์ทำให้ออกซิเจนแทรกเข้าไปได้มากขึ้นและเกิดการออกซิเดชันของ heme pigments ซึ่งมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ ทำให้สีเปลือกนอกเข้มขึ้น นอกจากนี้การสูญเสียน้ำจะทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์เสียไป โปรตีนจับน้ำได้น้อยลง ผลิตภัณฑ์เกิดการหดตัวและแห้ง ความชุ่มน้ำจึงลดลง (Ben–gigirey et al., 1996) การออกซิเดชันของ heme pigments

และการสูญเสียน้ำในผลิตภัณฑ์จะเกิดขึ้นเรื่อยๆ และค่อยๆเพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น จึงมีผลให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้นและความชุ่มน้ำลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น

พบอิทธิพลของอุณหภูมิแช่เยือกแข็งต่อคะแนนด้านการหืนและความเค็ม โดยเมื่ออุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีกลิ่นหืนเพิ่มขึ้นและความเค็มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็งสูงๆ โครงสร้างผลิตภัณฑ์จะเสียหายและเกิดการสูญเสียน้ำออกมามากกว่าที่อุณหภูมิต่ำๆ น้ำที่เสียออกมาในขั้นตอนละลายน้ำแข็งจะนำเอาเกลือ ไขมัน heme pigments ออกมาสัมผัสกับอากาศและเร่ง lipid oxidation นอกจากนี้ความร้อนยังทำให้ heme pigments เกิดการแตกตัวอยู่ในรูป ferric และ ferrous iron และเร่งปฏิกิริยา lipid oxidation เพิ่มมากขึ้น โดยการทำปฏิกิริยากับ hydrogenperoxide ให้ free radicals ในช่วง propagation step (Keceli and Gordon, 2002) ก่อให้เกิดกลิ่นหืนหรือ warmed-over-flavor เพิ่มมากขึ้น และน้ำที่เสียออกมานี้ยังมีเกลือละลายปนออกมาด้วย ดังนั้นความเค็มของตัวอย่างจึงลดลง

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองในช่วงที่ 1 พบว่าอุณหภูมิแช่เยือกแข็ง -80°C เป็นอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งที่มี %freezing loss, % thawing loss และ % weight loss ต่ำที่สุด ค่า hardness สูงที่สุด รองลงมาคือ -70°C และ -60°C ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาค่า TBA พบว่าทั้ง 3 ตัวอย่าง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาคะแนนด้านสีของสีของเนื้อใน กลิ่นของเครื่องเทศ กลิ่นหืน การเกาะติดของชิ้นเนื้อ และความเค็มพบว่าตัวอย่างที่ แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –60°C และ -70°C ไม่แตกต่างกัน และตัวอย่างที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ –80°C ยังมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าอีกด้วย นอกจากนี้การแช่เยือกแข็งด้วยอุณหภูมิสูงๆ จะใช้ไนโตรเจนเหลวในปริมาณสูง (เลิศเกียรติ, 2542) และต้องใช้ต้นทุนสูงกว่า ดังนั้นจึงคัดเลือกอุณหภูมิ -70°C เป็นสภาวะในการแช่เยือกแข็งในการทดลองขั้นต่อไป

<u>ช่วงที่2</u> พบอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิแช่เยือกแข็งกับระยะเวลาในการเก็บต่อ % thawing loss, hardness และค่าสีแดงของเปลือกนอก เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาในการเก็บเดียวกัน พบว่าเมื่ออุณหภูมิแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น % thawing loss และค่าสีแดงของเปลือกนอกจะเพิ่มขึ้น และค่า hardness จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิทั้งสามที่ใช้ ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำจากผลิตภัณฑ์ในปริมาณมากกว่า ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียโครงสร้างไป มีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงและเกิดการหดตัวเมื่อได้รับแรงกดจึงสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายและเร็วภายในระยะเวลาสั้นๆ จึงใช้แรงในการทำให้ผลิตภัณฑ์แยกออก (hardness) ลดลง นอกจากนี้ heme pigments ซึ่งเป็นรงควัตถุที่สามารถละลายในน้ำได้จะละลายปนออกมากับน้ำออกมาและเกิดออกซิเดชันเปลี่ยนรูปจาก oxymyoglogin เป็น metmyoglobin ผลิตภัณฑ์จึงมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น และยิ่งผลิตภัณฑ์สูญเสียน้ำมากขึ้นก็จะส่งผลให้ heme pigments ถูกปลดปล่อยออกมาในปริมาณที่มากขึ้น ผลิตภัณฑ์ก็ยิ่งมีสี

คล้ำและมีค่าสีแดงของเปลือกนอกของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (Lee et al., 1975) และเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น การสูญเสียน้ำในผลิตภัณฑ์จะเพิ่มมากขึ้น ค่า hardness จะยิ่งลดลง เกิดการออกซิเดชันของ heme pigments เพิ่มขึ้น ค่าสีแดงของเปลือกนอกจึงยิ่งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

พบอิทธิพลของอุณหภูมิแช่เยือกแข็งต่อ % weight loss โดยเมื่ออุณหภูมิแช่เยือกแข็งสูงขึ้น ค่า % weight loss จะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผลของผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นเมื่อแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงดังได้กล่าวข้างต้น ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บสูงกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำ ๆ เนื่องจากระหว่างการเก็บนั้นจะเกิดการระเหิดของผลึกน้ำแข็งและเกิดการระเหยของน้ำออกไปสู่บรรยากาศ

พบอิทธิพลของระยะเวลาในการเก็บต่อค่า % weight loss และค่า TBA โดยเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น % weight loss และค่า TBA จะสูงขึ้นทั้งนี้เนื่องจากขณะเก็บโดยแช่เยือกแข็งจะมีการสูญเสียน้ำสู่บรรยากาศและผลจากการแปรปรวนของอุณหภูมิตู้แช่เยือกแข็งทำให้เกิดการตกผลึกใหม่ผลิตภัณฑ์มีผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขึ้น มีผลทำให้ % weight loss เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อเวลาในการเก็บเพิ่มมากขึ้นจะเกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้นจะส่งผลให้เกิด lipid oxidation เพิ่มขึ้น เมื่อวัด ค่า TBA จึงมีค่าเพิ่มขึ้น

ส่วนในด้านสีของเปลือกนอกนั้นพบอิทธิพลของระยะเวลาในการเก็บต่อค่าความสว่างและค่าสีเหลืองของเปลือกนอก โดยเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างและค่าสีเหลืองจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลจากการเกิด lipid oxidation และการออกซิเดชัน ของ heme pigments ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น และส่งผลให้ค่าความสว่างและค่าสีเหลืองลดลง

จากผลการวัดสีของเนื้อในพบว่า ระยะเวลาในการเก็บมีอิทธิพลต่อค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของเนื้อใน โดยเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้นค่าสีแดงจะเพิ่มขึ้นและค่าสีเหลืองจะลดลง ทั้งนี้เมื่อเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น การสูญเสียน้ำจากผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิด lipid oxidation เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเร่งปฏิกิริยาของ heme pigments และเกิดการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ให้มีสีเข้มขึ้น ค่าสีแดงจึงเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ค่าสีเหลืองลดลง แต่ไม่มากพอที่ที่จะส่งผลกับค่าความสว่าง เนื่องจากบริเวณเนื้อในจะได้รับความร้อนในระดับต่ำกว่าบริเวณเปลือกนอก

พบอิทธิพลของอุณหภูมิแช่เยือกแข็งต่อค่าสีแดงของเนื้อใน โดยเมื่ออุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น ค่าสีแดงจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เป็นผลจากการ oxidation ของ heme pigments ดังกล่าวข้างต้นเช่นกัน

นอกจากนี้พบว่าอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งและระยะเวลาในการเก็บไม่มีอิทธิพลต่อค่าความสว่างของเนื้อในอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากระดับการออกซิเดชันไม่มากพอที่จะส่งผลแก่ค่าความสว่างเพราะบริเวณเนื้อในมีการสัมผัสกับอากาศและได้รับผลของความร้อนน้อยกว่าบริเวณเปลือกนอก ($p > 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด พบว่า มีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด < 30 โคโลนี / กรัม และไม่พบ *Salmonella* ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาผลิต chicken croquettes ผ่านการให้ความร้อนโดยการต้มที่อุณหภูมิ 100°C ดังนั้นผลิตภัณฑ์จึงมีปริมาณแบคทีเรียเริ่มต้นในปริมาณต่ำ

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าอุณหภูมิแช่เยือกแข็งและระยะเวลาในการเก็บไม่มีผลต่อคะแนนด้านกลิ่นของเครื่องเทศ เนื่องจากกลิ่นน้ำมันจากการทอดกลบกลิ่นของเครื่องเทศจนผู้ทดสอบไม่สามารถ detect ความแตกต่างของกลิ่นเครื่องเทศได้ และพบอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิแช่เยือกแข็งและระยะเวลาในการเก็บต่อคะแนนด้านสีของเปลือกนอก ความเค็ม และคะแนนความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่ออุณหภูมิแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น จะเกิดการสูญเสียน้ำซึ่งจะละลายเกลือออกมาด้วยทำให้ความเค็มลดลง และยังนำเอาไขมันและ heme pigments ออกมาสู่บรรยากาศ ทำให้ lipid oxidation เกิดขึ้นได้ง่ายและ heme pigments จะเร่งปฏิกิริยา lipid oxidation ให้เพิ่มมากขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีสีคล้ำขึ้นโดยเฉพาะบริเวณเปลือกนอกเพราะสัมผัสอากาศและความร้อนสูง และเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มมากขึ้น การสูญเสียน้ำสู่บรรยากาศจะมากขึ้นเนื่องจากการระเหิดของผลึกน้ำแข็ง การระเหยของน้ำบริเวณผิวหน้า และอาจเนื่องมาจากอุณหภูมิของตู้แช่เยือกแข็งไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดการตกผลึกใหม่ เกิดเป็นผลึกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำลายเนื้อเยื่อและก่อให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีน ทำให้คุณสมบัติในการจับน้ำและเนื้อเยื่อน้อยลง จึงเกิดการสูญเสียน้ำออกมามาก จึงส่งผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ ดังได้กล่าวข้างต้น

พบอิทธิพลของอุณหภูมิแช่เยือกแข็งต่อคะแนนสีของเนื้อใน กลิ่นหืน การเกาะติดของชิ้นเนื้อและความชุ่มน้ำ โดยเมื่ออุณหภูมิแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น สีของเนื้อในและกลิ่นหืนจะเพิ่มขึ้น ส่วนการเกาะติดของชิ้นเนื้อและความชุ่มน้ำจะลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจาก การสูญเสียน้ำ การเกิดออกซิเดชันของไขมันและ heme pigments ดังได้กล่าวข้างต้น และพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น คะแนนด้านกลิ่นหืนจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเกาะติดของชิ้นเนื้อและความชุ่มน้ำจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก ระหว่างการเก็บจะเกิดการระเหยของน้ำและอาจเกิดการตกผลึกใหม่ เพราะอุณหภูมิของตู้แช่เยือกแข็งที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำเพิ่มมากขึ้นและเกิดการปลดปล่อยองค์ประกอบที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ดังกล่าวข้างต้น

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีการสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า ทั้งในขั้นตอนการแช่เยือกแข็ง การเก็บ และการละลายน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิสูงจะใช้เวลานานกว่าก่อให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่าซึ่งจะทำความเสียหายแก่ผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของโปรตีน โปรตีนจึงมีความสามารถในการจับกับน้ำลดลง เกิดรูพรุน ออกซิเจนจึง

แทรกเข้าไปภายในผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น นอกจากนี้น้ำที่สูญเสียออกจากผลิตภัณฑ์จะมีเกลือ ไขมัน และ heme pigments ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ปนออกมาด้วย มีผลให้ความเค็มลดลง เกิด lipid oxidation และเกิด oxidation ของ heme pigments ซึ่งก่อให้เกิด metmyoglobin ผลิตภัณฑ์จึงมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น นอกจากนี้ความร้อนยังมีผลให้ heme pigments เกิดการเสียสภาพ และเกิดการแตกตัวเป็นอิออนของเหล็กซึ่งอาจอยู่ในรูป Fe^{3+} หรือ Fe^{2+} ซึ่งเร่งปฏิกิริยา lipid oxidation ก่อให้เกิดการหืนและเพิ่มค่า TBA แก่ผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น แต่ในการทดลองนี้ไม่พบความแตกต่างของ TBA ในผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทั้ง 3 แต่พบว่าค่า TBA จะเพิ่มเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่ม ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น เมื่อนำผลิตภัณฑ์มาละลายน้ำแข็ง จะเกิดการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนเสื่อมสภาพในการจับน้ำอย่างถาวร เมื่อผลิตภัณฑ์สูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น โอกาสที่ ไขมัน และ heme pigments จะถูกปลดปล่อยออกมาสัมผัสกับอากาศ และเกิดออกซิเดชันจึงเพิ่มขึ้น มีผลให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้น การเกาะติดของชิ้นเนื้อ ความชุ่มน้ำ ความเค็มและกลิ่นเครื่องเทศลดลง

5.6 ศึกษาผลการเติม dl-α-tocopherol ต่อคุณภาพของ chicken croquettes

แช่เยือกแข็ง chicken croquettes ตามสภาวะที่คัดเลือกได้จากข้อ 5.5 คำนวณ % freezing loss บรรจุและปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บไว้ในตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ $-20 \pm 2^{\circ}C$ นาน 4 เดือน จากนั้นสุ่มมาชั่งน้ำหนักและคำนวณ % weight loss, % thawing loss, TBA วัดสีและเนื้อสัมผัส วิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและ *Salmonella*

จากการคำนวณ % freezing loss พบว่า % freezing loss ลดลง เมื่อเติม dl-α -tocopherol เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก dl–α-tocopherol มีหมู่ OH ที่สามารถจับกับน้ำในผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียน้ำไปขณะแช่เยือกแข็งน้อยลง นอกจากนี้ ยังพบว่า dl-α-tocopherol สามารถช่วยลด drip loss ในผลิตภัณฑ์ด้วย (Jensen et al., 1998) นอกจากนี้ Misumoto และคณะ (1995) ยังพบว่าการเสริม α-tocopherol ช่วยทำให้ steak เนื้อวัว มี cell ที่แข็งแรงขึ้นและเพิ่มความสามารถในการ binding ของโปรตีนกับน้ำ ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียน้ำน้อยลง

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Eikelenboom และคณะ (2000) ซึ่งศึกษาผลของการใช้วิตามิน E ในเนื้อวัว พบว่าสามารถลดการเกิด drip loss และช่วยรักษา water-holding capacity ในเนื้อวัว

พบอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ dl-α-tocopherol กับระยะเวลาในการเก็บต่อค่า % weight loss, % thawing loss ค่า TBA และค่าสีแดงของเนื้อใน เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาในการเก็บเดียวกันพบว่า เมื่อปริมาณ dl-α-tocopherol เพิ่มขึ้น มีผลให้ % weight loss,

% thawing loss ค่า TBA และค่าสีแดงของเนื้อในลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก dl-α-tocopherol เป็น chain-breaking antioxidant ซึ่งมีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิด lipid oxidation โดยการให้ไฮโดรเจนแก่ free radicals ทำให้ปฏิกิริยา lipid oxidation สิ้นสุดลง ลดการหืน และลดการเปลี่ยนแปลงสี ดังนั้นค่า TBA และค่าสีแดงจึงลดลง (Houben, Eikelenboom and Hoving-Bolink, 1998; Uebersax, Dawson and Uebersax, 1978b) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า α-tocopherol มีประสิทธิภาพสูงในการชะลอการเกิด lipid oxidation แม้จะอยู่ในสภาวะที่มีตัวเร่ง เช่น heme pigments หรือ non–heme pigments (Keceli and Gordon, 2002) ส่วนค่า % weight loss และ % thawing loss นั้น พบว่าจะลดลงเมื่อใช้ dl–α-tocopherol ในปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก dl-α-tocopherol มีโครงสร้างที่สามารถจับกับ H อะตอม ในโครงสร้างของน้ำ ดังนั้นเมื่อใช้ในปริมาณมากขึ้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์มี water-holding capacity เพิ่มขึ้น (Eikelenboom et al. ,2000) และเมื่อพิจารณาที่ระดับปริมาณ dl-α-tocopherol เดียวกัน พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น การสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์จะเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่า % weight loss, % thawing loss เพิ่มขึ้น และส่งผลให้เกิดการออกซิเดชันของไขมันและ heme pigments เพิ่มขึ้น ค่า TBA ที่วัดได้จึงเพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์มีสีแดงเข้มขึ้น

พบอิทธิพลของปริมาณ dl-α-tocopherol ต่อค่า hardness โดยเมื่อใช้ dl-α-tocopherol ในปริมาณเพิ่มขึ้น ค่า hardness จะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ Mitsumoto และคณะ (1995) รายงานว่า dl-α – tocopherol-acetate มีผลในการช่วยปรับปรุง water-holding capacity ในเนื้อวัว ดังนั้น เมื่อแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์จะสูญเสียน้ำน้อยกว่าและมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าตัวอย่างที่ไม่เติม dl-α-tocopherol เนื่องจาก dl-α-tocopherol จะช่วยลดการเสียสภาพของโปรตีน โปรตีนจึงสามารถจับกับน้ำได้ดีขึ้น ผลิตภัณฑ์จึงไม่เกิดรูพรุนภายใน ไม่หดตัวและสามารถอุ้มน้ำไว้ในผลิตภัณฑ์ได้ดี (Misumoto and et al,1995) เมื่อใช้แรงกดจึงสูญเสียน้ำออกมาได้ยากกว่าดังนั้นจึงต้องใช้แรงในการทำให้ผลิตภัณฑ์แยกออกมากขึ้น

พบอิทธิพลของระยะเวลาในการเก็บต่อค่า hardness โดยเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น ค่า hardness จะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากขณะเก็บโดยการแช่เยือกแข็ง ผลิตภัณฑ์จะเกิดการสูญเสียน้ำโดยการระเหยไปกับสิ่งแวดล้อมและอาจเกิดเนื่องจากการเสื่อมสภาพของโปรตีนในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้ความสามารถในการจับตัวกันของผลิตภัณฑ์ลดลง ผลิตภัณฑ์จะเกิดการเสียโครงสร้าง เกิดรูพรุน ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง การเกาะติดของชิ้นเนื้อลดลง มีการหดตัว และมีลักษณะที่นิ่มลง ดังนั้นค่าแรงที่ใช้ในการทำให้ผลิตภัณฑ์แยกออกจึงลดลง

พบอิทธิพลของปริมาณ dl-α–tocopherol ต่อความสว่างและค่าสีแดงของเปลือกนอก ทั้งนี้เนื่องจากใน chicken croquettes มี MDCM ซึ่งมี heme pigments เป็นองค์ประกอบอยู่เป็น

จำนวนมาก heme pigments เหล่านี้จะเกิดการออกซิเดชั่นและเปลี่ยนรูปจาก oxymyoglobin เป็น metmyoglobin ซึ่งมีสีน้ำตาล ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น แต่เมื่อเติม dl-α-tocopherol การออกซิเดชันของ heme pigments จะลดลง เนื่องจาก dl-α-tocopherol จะแย่งจับกับออกซิเจนทำให้โอกาสที่ heme pigments ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนลดน้อยลง เกิด metmyoglobin ในปริมาณลดลง ผลิตภัณฑ์จึงสีคล้ำน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่เติม dl-α-tocopherol และส่งผลให้ค่าสีแดงลดลงและมีความสว่างมากขึ้น และเมื่อเติม dl-α- tocopherol ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น การออกซิเดชันของ heme pigments จะยิ่งต่ำลง และเกิด metmyoglobin น้อยลง ผลิตภัณฑ์จึงมีสีน้ำตาลลดน้อยลง ส่งผลให้ค่าสีแดงลดลงและค่าความสว่างมากยิ่งขึ้น (Sheldon et al., 1997)

พบอิทธิพลของระยะเวลาในการเก็บต่อค่าสีแดงของเปลือกนอก ค่าความสว่างและค่าสีเหลืองของเปลือกนอกและเนื้อใน โดยเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น ค่าสีแดงจะเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างและค่าสีเหลืองจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการเก็บโดยการแช่เยือกแข็ง จะเกิดการระเหิดของผลึกน้ำแข็ง ทำให้โปรตีนเสียสภาพและมีความสามารถในการจับน้ำลดลง เมื่อนำมาละลายน้ำแข็งจึงเกิดการสูญเสียน้ำในปริมาณมาก และน้ำที่สูญเสียออกมาจะนำเอา heme pigments ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำออกมาสัมผัสกับอากาศ เกิด heme oxidation และเปลี่ยนรูปจาก oxymyoglobin เป็น metmyoglobin ที่มีสีน้ำตาล มีผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น และส่งผลค่าสีแดงเพิ่มขึ้นและค่าความสว่างและค่าสีเหลืองลดลง (Jantawat and Dawson; 1977, Dawson and Gartner, 1983)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด พบว่า มีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด < 30 โคโลนี / กรัม และไม่พบ *Salmonella* ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาผลิต chicken croquettes ผ่านการให้ความร้อนโดยการต้มที่อุณหภูมิ 100°C ดังนั้นผลิตภัณฑ์จึงมีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในปริมาณต่ำ

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าปริมาณ dl - α - tocopherol กับระยะเวลาในการเก็บไม่มีผลต่อคะแนนด้านความชอบโดยรวม และพบอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ dl-α-tocopherol กับระยะเวลาในการเก็บต่อคะแนนด้านสีของเนื้อใน กลิ่นของเครื่องเทศ และความเค็ม โดยเมื่อใช้ปริมาณ dl-α-tocopherol เพิ่มขึ้น สีของเนื้อในจะเข้มน้อยลง กลิ่นของเครื่องเทศและความเค็มจะเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ dl-α-tocopherol ช่วยเพิ่ม water-holding capacity ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำน้อยลง ดังนั้นการสูญเสียกลิ่นเครื่องเทศและความเค็มจึงลดลง และการเกิด lipid oxidation ลดน้อยลงด้วย นอกจากนี้ dl-α-tocopherol ยังเป็น antioxidants ที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถชะลอ lipid oxidation ได้ดี มีผลให้ความคงตัวของกลิ่นรสสูงขึ้น และ

เมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น การสูญเสียกลิ่นรสขณะเก็บโดยการแช่เยือกแข็งจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการตกผลึกใหม่ที่ส่งผลให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ซึ่งจะทำลายเนื้อเยื่อ ทำให้โปรตีนเสียสภาพและมีความสามารถในการจับน้ำลดน้อยลง เมื่อนำมาละลายน้ำแข็งจึงเกิดการสูญเสียของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ในปริมาณมาก ทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียกลิ่นของเครื่องเทศและความเค็มเพิ่มขึ้น และเกิดการปลดปล่อย heme pigments ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำออกมาสัมผัสกับอากาศ เกิด heme oxidation เพิ่มขึ้น มีผลให้เกิด metmyoglobin ซึ่งมีสีน้ำตาลในปริมาณเพิ่มมากขึ้น ผลิตภัณฑ์จึงมีสีเข้มขึ้น นอกจากนี้ยังปลดปล่อยไขมันออกมาสัมผัสกับอากาศ และเกิด lipid oxidation ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหืนเพิ่มขึ้นและมีความคงตัวของกลิ่นรสลดลง แต่สามารถชะลอการเสื่อมเสียดังกล่าวได้โดย ใช้ dl-α-tocopherol ซึ่งพบว่าเมื่อใช้ในปริมาณที่สูงขึ้น จะยิ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการชะลอออกซิเดชันได้ดี (Ahn et al., 1998)

พบอิทธิพลของปริมาณ dl-α-tocopherol ต่อคะแนนด้านสีของเปลือกนอก กลิ่นหืน และความชุ่มน้ำ โดยเมื่อใช้ dl-α-tocopherol ในปริมาณเพิ่มขึ้น สีของเปลือกนอกจะเข้มน้อยลง กลิ่นหืนลดลง และ มีความชุ่มน้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก dl-α-tocopherol มีสามารถในการชะลอ lipid oxidation และ heme oxidation นอกจากนี้ dl-α-tocopherol ยังมีความเสถียรภาพในสภาวะที่มีตัวเร่ง คือ heme pigments ผลิตภัณฑ์จึงมีความคงตัวของสีและกลิ่นรสมากขึ้น (Mercier et al., 1998) และยังช่วยในการอุ้มน้ำในผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มน้ำเพิ่มขึ้น และพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น มีผลให้สีของเปลือกนอกเข้มขึ้นและกลิ่นหืนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและ heme และมีผลให้ความชุ่มน้ำลดลง เนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ดังได้กล่าวข้างต้น

เมื่อพิจารณาคะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยรวม พบว่า chicken croquettes ที่เติม dl-α-tocopherol 200 ppm ช่วยเพิ่ม water-holding capacity ทำให้ % freezing loss, % weight loss และ% thawing loss ลดลง มีประสิทธิภาพในการรักษาความคงตัวของสีและกลิ่นรสได้ดีที่สุดและมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และสามารถเก็บได้นานกว่า 4 เดือนเนื่องจากยังตรวจไม่พบ *Salmonella* และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด < 30 โคโลนี / กรัม