การผลิตไข่เค็มแดงชนิดเค็มน้อยด้วยเกลือและมอลโตเด็กซ์ตริน

Saltiness reduction in salted egg yolk production with salt and maltodextrin

กุลพร พงษ์ไพร

KULLAPRON PONGPARAI

อัมพวัน สุขนิล

AMPAWAN SUKNIL

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
2564

การผลิตไข่เค็มแดงชนิดเค็มน้อยด้วยเกลือและมอลโตเด็กซ์ตริน

Saltiness reduction in salted egg yolk production with salt and maltodextrin

กุลพร พงษ์ไพร

KULLAPRON PONGPRAI

อัมพวัน สุขนิล

AMPAWAN SUKNIL

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อโครงงานพิเศษ การผลิตไข่เค็มแดงชนิดเค็มน้อยด้วยเกลือและมอลโตเด็กซ์ตริน

ชื่อ นามสกุล กุลพร พงษ์ไพร และอัมพวัน สุขนิล

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

ปีการศึกษา 2564

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ศุภัคษร มาแสวง

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษได้ให้ความเห็นชอบโครงงานพิเศษฉบับนี้แล้ว

.....**ประธานกรรมการ**

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์)

.....**กรรมการ**

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.น้อมจิตต์ สุธีบุตร)

.....**กรรมการ**

(ดร.ศุภัคษร มาแสวง)

โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

.....

(อาจารย์นพพร สกุลยืนยงสุข)
รักษาการหัวหน้าสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
วันที่.....เดือน..... พ.ศ. .....

.....

(อาจารย์ปิยะธิดา สีหะวัฒนกุล)
คณบดีคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
วันที่.....เดือน..... พ.ศ. .....

ชื่อโครงงานพิเศษ การผลิตไข่เค็มแดงชนิดเค็มน้อยด้วยเกลือและมอลโตเด็กซ์ตริน

ชื่อ นามสกุล กุลพร พงษ์ไพร และอัมพวัน สุขนิล

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะ เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2564

บทคัดย่อ

การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงแนวคิดใหม่ของการแปรรูปไข่แดงเค็มโดยใช้เฉพาะไข่แดงโดยตรง โดยที่ส่วนของไข่ขาวยังถูกใช้ประโยชน์อื่นๆ ได้ วิธีการนี้ช่วยเร่งเวลาการดองเกลือบ่มจาก 4 สัปดาห์ สำหรับการดองไข่ทั้งเปลือกเหลือเพียง 5 วัน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าปริมาณของเกลือและมอลโตเด็กซ์ตรินในสารละลายเกลือ (เกลือร้อยละ 20 และ 26, มอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 10 และ 20) และระยะเวลาที่ใช้ในการดองเกลือ (0-5 วัน) ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณความชื้นของไข่แดงลดลง อีกทั้งทำให้ปริมาณเกลือและปริมาณไขมันสูงขึ้น ซึ่งทำให้ให้ไข่แดงมีค่าความสว่าง (L*) และดัชนีสีเหลือง (b*) ลดลงในขณะที่ค่าดัชนีสีแดงกลับสูงขึ้น ($p<0.05$) นอกจากนี้ไข่แดงมีค่าความแข็ง ค่าความเหนียว และค่าความเคี้ยวได้สูงขึ้นส่วนค่าความเหียวติดและความยืดหยุ่นลดลงเมื่อความเข้นข้นของสารละลายเกลือและเวลาในการดองเกลือเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ไข่แดงเค็มในการผลิตชนิดเค็มน้อยโดยวิธีการดองในสารละลายเกลือโดยใช้ไข่แดงโดยตรงในสารละลายน้ำเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อย 20 และมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 20 ทำให้ไข่เค็มมีปริมาณเกลือต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่นๆ ที่ทำการศึกษา ผลทางเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีและกายภาพของไข่แดงเค็มด้วยกระบวนการดองเกลือแบบใหม่นี้สามารถผลิตไข่แดงเค็มที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับไข่แดงเค็มเชิงพานิชซึ่งผลิตด้วยการใช้วิธีการหมักไข่แบบเปลือกแบบดั้งเดิมแต่มีปริมาณเกลือที่ลดลง ($p<0.05$) ซึ่งถือเป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีผลิตไข่แดงเค็มชนิดเค็มน้อยที่มีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ไข่แดง, ไข่เค็ม, การดองเกลือ, โซเดียมคลอไรด์, มอลโตเด็กซ์ตริน

Special project Saltiness reduction in salted egg yolk production with salt and maltodextrin

Authors Kullaporn Pongprai and Ampawan Suknil

Dedree Bachelor of Science

Major program Food Science and Technology

Faculty Home Economics Technology

Academic Year 2021

ABSTRACT

This study demonstrates a new concept of salted yolks processing using only the yolk directly, with the egg white portion being further utilized. This salting process accelerated the salting time from 4 weeks for whole egg pickling to only 5 days. The results showed that the increasing of amount of salt and maltodextrin in the salt solution (20 and 26% of salt, 10 and 20% of maltodextrin) and salting time (0-5 days), resulting in a decrease in the moisture content of the yolk as well as the increase in the amount of salt and fat content in salted yolk. These caused a lower in brightness (L*) and a yellow index (b*), while a higher red index ($p<0.05$) of salted yolk. Moreover, salted yolk has higher hardness, cohesiveness, gumminess and chewiness, while showed lower adhesiveness and springiness which the increasing of salt solution concentration and salting time ($p<0.05$). Pickling of egg yolks directly in a solution of 20% of sodium chloride mixed with 20% of maltodextrin resulted in the lowest salt content. The comparison of the chemical and physical quality for salted egg yolks, this new separted yolk salting generated salted yolks of similar quality to those of commercial salted egg yolks which was produced using the traditional egg-shell method but lower in salt content ($p<0.05$). Thus, this novel salting process can be a guideline for the development of an efficient low-salt egg yolk production method.

Key Words: Egg yolk, Salted egg, Salting process, Soduim chloride, Maltodextrin

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษ เรื่องการผลิตไข่เค็มแดงชนิดเค็มน้อยด้วยเกลือและมอลโตเด็กซ์ตริน ได้รับทุนสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนเพื่อการวิจัยภายใต้โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.ศุภัคษร มาแสวง ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษที่ให้คำปรึกษาในการทำวิจัย รวมถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ประธานกรรมการ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.น้อม จิตต์ สุธีบุตร กรรมการสอบโครงงานพิเศษ และคณาจารย์สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่านที่ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ช่วยเหลือในระหว่างการดำเนินงานตลอดจนการจัดทำโคงงานพิเศษเล่มนี้ ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานของห้องปฏิบัติงาน เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ในการการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ขอบคุณคนในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจและการสนับสนุนเป็นอย่างดี จนกระทั้งสำเร็จการศึกษาและทางคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานพิเศษเล่มนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจศึกษา ค้นคว้าข้อมูลไม่มากก็น้อย หากโครงงานพิเศษฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำกราขอภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

กุลพร พงษ์ไพร

อัมพวัน สุขนิล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญแผนภูมิ	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ไข่และองค์ประกอบของไข่	4
2.2 เกลือและหน้าที่ของเกลือ	9
2.3 การผลิตไข่เค็ม (Salted Eggs)	13
2.4 การพัฒนากระบวนการผลิตไข่เค็ม	16
2.5 ผลของการดองเกลือที่ต่อคุณสมบัติของไข่แดงและไข่ขาว	20
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง	34
3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	34
3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง	36
3.2.1 ศึกษาชนิดของความเข้มข้นของเกลือ และเวลาที่เหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตไข่แดงเค็ม	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 ศึกษาอัตราส่วนของเกลือและมอลโตเด็กซ์ตรินที่เหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตไข่แดงเค็มสูตรเค็มน้อยด้วยมอลโตเด็กซ์ตริน	38
3.2.3 เปรียบเทียบคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ไข่แดงเค็มที่ผลิตโดยใช้เกลือร้อยละ 20 และมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 20 เป็นเวลา 4 วันกับผลิตภัณฑ์เชิงพานิช	40
3.3 สถานที่และระยะเวลาในการดำเนินการทดลอง	41
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	42
4.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของเกลือและระยะเวลาที่ใช้ในการดองไข่แดงเค็มที่ต่างกัน	42
4.2 การศึกษาผลของอัตราส่วนของเกลือและมอลโตเด็กซ์ตรินที่ใช้ในการดองไข่แดงเค็มชนิดเค็มน้อย	53
4.3 การศึกษาคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ไข่แดงเค็มชนิดเค็มน้อยกับผลิตภัณฑ์จากท้องตลาด	61
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	64
5.1 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	64
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารอ้างอิง	66
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก การผลิตไข่แดงเค็ม	72
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของไข่แดงเค็ม	75
ภาคผนวก ค มาตรฐานผลิตภัณฑชุมชนม ผช. ๒๗/๒๕๔๖ ไขเค็ม	84
ประวัติผู้ศึกษา	93

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 โปรตีนของไข่ขาว	7
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของไข่เป็ดสดและไข่เค็มที่มีระยะเวลาการดองเกลือต่างกัน	20
3.1 ส่วนผสมในการผลิตไข่แดงเค็ม 15 ฟอง	33
3.2 ส่วนผสมในการผลิตไข่แดงเค็มสูตรเค็มน้อยด้วยมอลโตเด็กซ์ตริน 15 ฟอง	35
4.1 ลักษณะที่ปรากฏของไข่แดงเค็มที่ใช้ชนิดของเกลือและระยะเวลาในการดองต่างกัน	38
4.2 ปริมาณความชื้น ปริมาณเกลือ และปริมาณไขมันของไข่แดงเค็มที่การดองเกลือในสารละลานเกลือ (NaCl) ความเข้มข้นร้อยละ 20 และ 26 เป็นเวลา 5 วัน	41
4.3 ค่าสีของไข่แดงเค็มที่การดองเกลือในสารละลานเกลือ (NaCl) ความเข้มข้นร้อยละ 20 และ 26 เป็นเวลา 5 วัน	42
4.4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่แดงเค็มที่การดองเกลือในสารละลานเกลือ (NaCl) ความเข้มข้นร้อยละ 20 และ 26 เป็นเวลา 5 วัน	46
4.5 เปรียบเทียบภาพลักษณะปรากฏภายนอกและภายในของไข่แดงเค็มที่การดองเกลือในสารละลายเกลือผสมกับมอลโตเด็กซ์ตริน เป็นเวลา 6 วัน	47
4.6 ปริมาณความชื้น ปริมาณเกลือ และปริมาณไขมันของไข่แดงเค็มที่การดองเกลือในสารละลานเกลือผสมกับมอลโตเด็กซ์ตริน เป็นเวลา 5 วัน	49
4.7 ค่าสีของไข่แดงเค็มที่การดองเกลือในสารละลานเกลือผสมกับมอลโตเด็กซ์ตริน เป็นเวลา 5 วัน	52
4.8 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่แดงเค็มที่การดองเกลือในสารละลานเกลือผสมกับมอลโตเด็กซ์ตริน เป็นเวลา 5 วัน	54
4.9 เปรียบเทียบภาพลักษณะปรากฏภายนอกและภายในของไข่แดงเค็มที่การดองเกลือในสารละลายเกลือผสมกับมอลโตเด็กซ์ตริน เป็นเวลา 6 วัน	55
4.10 เปรียบเทียบลักษณะที่ปรากฏของไข่แดงเค็มที่ผลิตโดยการดองในสารละลายเกลือผสมกับมอลโมเด็กซ์ตรินและไข่แดงเค็มยี่ห้อ ซีพี	56
4.11 เปรียบเทียบคุณภาพของไข่แดงเค็มที่ผลิตโดยการดองในสารละลายเกลือผสมกับมอลโมเด็กซ์ตรินและไข่แดงเค็มยี่ห้อ ซีพี	57

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของไข่	5
2.2 ภาพจำลองตัดขวางของเปลือกไข่ไก่	6
2.3 การผลิตไข่เค็มด้วยวิธีการดองแบบพอกด้วยดิน	13
2.4 การผลิตไข่เค็มด้วยวิธีการดองแบบแห้ง	14
2.5 การผลิตไข่เค็มด้วยวิธีการดองน้ำเกลือ	14
2.6 การผลิตไข่เค็มจากไข่เป็ดด้วยเกลือโดยใช้วิธีการพอกดิน (coating) หรือวิธีการแช่น้ำเกลือ	16
2.7 ไข่แดงเป็ด (Y) ผลิตด้วยวิธีพอกดินผสมเกลือ (C) หรือแช่น้ำเกลือ (I) ที่เวลาดองเกลือ	21
2.8 การสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและการส่งผ่านอิเล็กตรอนของเม็ดไข่แดงจากไข่	23
2.9 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของไขในระหว่างการเกลือ	24
2.10 ผลของความเข้มข้นที่แตกต่างกันของเกลือต่อค่า pH ของไข่แดงและไข่ขาวในระหว่างการดองเกลือ (A) ไข่ดิบ (B) ไข่สุก	26
4.1 ภาพถ่ายส่วนที่เป็นน้ำของไข่แดงเค็ม (ลูกศร) ไข่แดงแช่ในสารละลายเกลือ (NaCl) 20% (w/v) เป็นเวลา 3 วัน	39
4.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเกลือ และเวลาในการทำเกลือที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัส (Hardness (a), Adhesiveness (b), Apringiness (c), Cohesiveness (d), Gumminess (e) และ Chewiness (f)) ของไข่แดงเค็ม	44
4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณความชื้น (a), ปริมาณเกลือ (b) และปริมาณไขมัน (c) ของไข่แดงเค็มที่ดองเกลือในสารละลายเกลือผสมมอลโตเด็กซ์ตรินมีระยะเวลาการดองเกลือ 0-5 วัน	50

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่	หน้า
3.1 ขั้นตอนการผลิตไข่แดงเค็มด้วยสารละลายน้ำเกลือ	33
3.2 ขั้นตอนการผลิตไข่แดงเค็มด้วยสารละลายน้ำเกลือและมอลโตเด็กซ์ตริน	35
ก.1 กระบวนการผลิตไข่แดงเค็ม	68
ค.1 กราฟที่ได้จากการทำ Texture Profile Analysis	74

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ไข่เค็มเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคในประเทศแถบเอเชีย เช่น จีน เกาหลีใต้ ไทย มาเลเซีย และสิงคโปร์ เป็นต้น (keawmanee et al., 2009) ไข่เค็มเป็นวิธีการถนอมอาหารโดยใช้เกลือเพื่อให้สามารถเก็บไว้ทานได้นานขึ้น เนื่องจากเกลือเกิดการออสโมซิสผ่านรูของเปลือกไข่เข้าไปภายใน (ganesan et al., 2014) ทำให้ไข่มีค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ลดลง ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (ปารมี และคณะ 2562) และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับไข่อีกด้วย ผลิตภัณฑ์นี้มักใช้ไข่เป็ดในการผลิตเนื่องจากจะให้ไข่เค็มที่มีคุณภาพดี เช่น ไข่แดงมีสีแดงเข้ม มีไขมันเยิ้ม (oil exudation) และเป็นเนื้อทราย (Chi and Tseng, 1998; Keawmanee et al., 2009) ไข่เค็มที่ผลิตได้อาจใช้บริโภคโดยตรง หรือใช้ทำไส้ขนมต่างๆ เช่น ขนมเปี๊ยะ ขนมไหว้พระจันทร์ ขนมบ๊ะจ่าง เป็นต้น (ปารมี และคณะ, 2562) ไข่เค็มที่ผลิตได้ในปัจจุบันมักมีคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งมักถูกในไปใช้เป็นส่วนประการอาหารเฉพาะไข่แดงเค็ม ส่วนที่เป็นไข่ขาวเค็มจะถูกทิ้งไปเป็นจำนวนมากเนื่องจากระหว่างการดองไข่ขาวจะสูญเสียความหนืด กลายเป็นน้ำและมีความเค็มทำให้นำไปใช้ประโยชน์ได้ค่อยข้างจำกัด (Chi and Tseng, 1998; Keawmanee et al., 2009) ผู้วิจัยจึงต้องการลดปัญหาการทิ้งไข่ขาวเค็ม โดยการแยกไข่ขาวออกไป แล้วนำเฉพาะส่วนไข่แดงทำผลิตเป็นไข่แดงเค็ม ส่วนไข่ขาวที่เหลือจะเป็นผลพลอยได้ ใช้ทำประโยชน์อื่นๆ ได้หลายชนิด เช่น ไข่ขาวผง ใช้เป็นส่วนผสมของยาและเครื่องสำอาง ใช้ทำกาวและหมึกพิมพ์ เป็นต้น (ณรงค์ และสุชาดา, 2535) ดังนั้นการแยกไข่แดงมาทำเป็นไข่เค็มจะช่วยให้การใช้ไข่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ใช้เวลาในการผลิตน้อยลง รวมถึงไข่แดงเค็มที่ได้จะมีคุณภาพที่สม่ำเสมอ โดยปกติไข่เค็มพอกและไข่เค็มดองน้ำเกลือมีการผลิตโดยใช้สูตรแบบดั้งเดิมที่ให้ไข่เค็มที่มีความเค็มมาก แต่ปัจจุบันผู้บริโภคมีความตื่นตัวและตระหนักถึงโทษของการบริโภคอาหารที่มีรสเค็มจัด ทำให้เป็นที่น่าสนใจในการปรับปรุงสูตรการผลิตไข่เค็มให้มีความเค็มน้อยลง แต่ยังคงรักษาคุณภาพและลักษณะที่ดีของ

ไข่เค็มได้ การดึงน้ำออก (dehydration) และปริมาณเกลือถึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อความแข็งของไข่แดงเค็ม อย่างไรก็ตามมีการศึกษาการใช้สารที่ทำให้เกิดออสโมติก (osmotic reagent) ในการผลิตไข่เค็มแดง แบบแช่ในน้ำเกลือ เช่น น้ำตาลทราย กลูโคส มอลโตเด็กซ์ตริน โซเดียมคลอไรด์ และโพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นต้น (Wang, 2017) ซึ่งสามารถทำให้ไข่แดงกลายเป็นไข่แดงเค็มในเวลาเพียง 1 วัน (Saeaung et al., 2010)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของชนิดเกลือ และระบบของน้ำเกลือและสารทำให้เกิดการออสโมติก เช่น maltodextrin เพื่อลดปริมาณความเค็มและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตไข่แดงเค็ม ที่มีต่อคุณภาพของไข่แดงเค็ม ด้านกายภาพและเคมี รวมถึงการเปรียบเทียบความคุณภาพแตกต่างระหว่างไข่แดงเค็มกับผลิตภัณฑ์เชิงการค้าในท้องตลาด

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตไข่แดงเค็ม

1.2.2 เพื่อศึกษาระบบของเกลือและมอลโตเด็กซ์ตรินที่เหมาะสมในการลดปริมาณความเค็มของไข่แดงเค็ม

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ไข่ที่ใช้ในการทำวิจัยเป็นไข่เป็ดและไข่ไก่ อายุการผลิตไม่เกิน 5 วัน ที่ซื้อจากที่ Tesco Lotus ซึ่งไข่แดงเค็มทำการผลิตด้วยวิธีการแยกแต่ไข่แดงออกมาดองในสารละลายน้ำเกลือและสารละลายเกลือ-มอลโตเด็กซ์ตริน (DE 20-30)

1.3.2 ตัวแปรที่ใช้ได้แก่

1.3.2.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ความเข้มข้นของเกลือ ระยะเวลาในการดอง และสารทำให้เกิดออสโมติก ได้แก่ มอลโตเด็กซ์ตริน (DE 10-20)

1.3.2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ คุณภาพด้านกายภาพและเคมีของไข่แดงเค็มเมื่อเวลาผ่านไป

1.3.3 ระยะเวลาในการดำเนินการทดลอง

18 มกราคม 2563 ถึง สิงหาคม 2564

1.3.4 สถานที่การทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าน่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบว่าความเข้มของเกลือและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไข่แดงเค็ม

1.4.2 ได้สูตรการผลิตไข่แดงเค็มชนิดเค็มน้อย โดยใช้สารทำให้เกิดออสโมติก เช่น มอลโตเด็กซ์ตริน ทำให้ผู้บริโภคได้รับประทานไข่เค็มที่มีคุณภาพเหมือนไข่เค็มดั้งเดิม แต่มีความเค็มน้อยลง

1.4.3 ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของไข่แดงเค็มในขณะที่ดองเค็มในระยะเวลาที่ต่างกัน

1.4.4 ทำให้ทราบถึงคุณภาพที่แตกต่างกันของไข่แดงเค็มที่ดิบและสุก

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไข่และองค์ประกอบของไข่

ไข่เป็นอาหารที่สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิด และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะสำหรับเด็กไข่มีสารอาหารหลายชนิด ไข่ขาวมีโปรตีนสูง มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย และในไข่แดงก็มีสารอาหารหลายชนิดเช่นกันทั้งโปรตีน ไขมัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไขมันไม่อิ่มตัว จึงช่วยลดอัตราเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจขาดเลือด ไข่มีวิตามินเกือบทุกชนิด ยกเว้นวิตามินซี นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุสูง เช่น กรดโฟลิก ธาตุเหล็ก ช่วยป้องกันโลหิตจาง และมีคุณค่าเทียบเท่าธาตุเหล็กในเนื้อสัตว์แต่เคี้ยวและย่อยง่ายกว่า นอกจากนี้ยังมีโคลีนซึ่งช่วยเสริมสร้างความจำ (สำโรงการแพทย์, 2556)

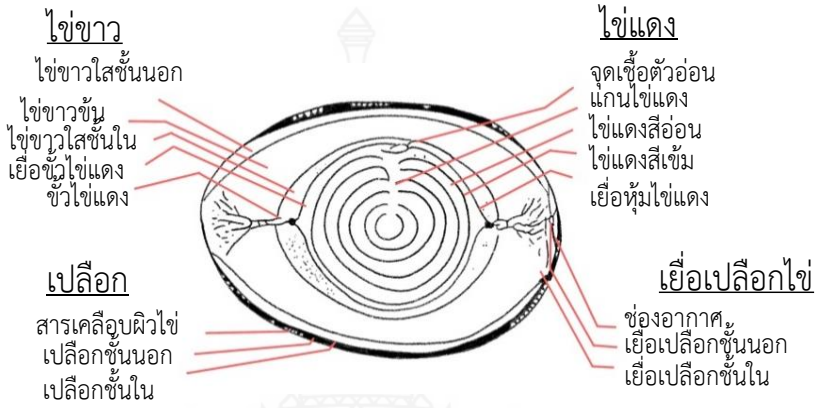
ไข่แม้จะมีคุณค่าและสารอาหารหลากหลาย แต่ก็มีโคเลสเตอรอล ไข่ฟองเล็กมีโคเลสเตอรอลสูงกว่าฟองใหญ่เมื่อเทียบในปริมาณเท่ากัน จึงควรเลือกรับประทานไข่ที่มีขนาดใหญ่ เช่น ไข่เป็ด ไข่ไก่ มากกว่าไข่ฟองเล็ก เช่น ไข่นกกระทา (สำโรงการแพทย์, 2556)

2.1.1 ส่วนประกอบของไข่

ไข่ (ภาพที่ 2.1) ล้อมรอบด้วยเปลือกปูนและมีรูพรุนหนา 0.2–0.4 มม. เปลือกของไข่ไก่มีสีขาวเหลืองถึงน้ำตาล ไข่เป็ดมีสีขาวถึงเขียว และไข่นกป่าส่วนใหญ่จะมีลายจุดที่มีลักษณะเฉพาะ ด้านในของเปลือกหุ้มด้วยเยื่อบางๆ 2 แผ่นที่เกาะติดกัน (ชั้นในและชั้นนอก) เยื่อทั้งสองแยกจากกันที่ปลายด้านใหญ่ของไข่เพื่อสร้างช่องว่างอากาศ เรียกว่า เซลล์อากาศ เซลล์อากาศจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 มม.ของไข่สด และจะมีเพิ่มขนาดระหว่างการเก็บรักษาจึงสามารถใช้กำหนดอายุของไข่ได้ ไข่ขาว (albumen) เป็นของเหลวคล้ายเจลที่มีน้ำที่มีองค์ประกอบสามชนิดที่มีความหนืดต่างกัน ส่วนด้านในของไข่ คือ ไข่แดง ล้อมรอบด้วยไข่ขาว ชั้นไข่ขาวบาง ๆ แต่แข็งแรงมาก (ชั้น chalaziferous) ล้อมรอบไข่แดงอย่างใกล้ชิด และจะแตกกิ่งที่ด้านตรงข้ามของไข่แดงออกเป็นสอง chalazae ที่ขยายออกเป็น ไข่ขาวชั้นที่หนาขึ้นมีลักษณะเป็นเกลียวคล้ายเชือกสองเส้น บิดตามเข็มนาฬิกาที่ปลายไข่ขนาดใหญ่และทวนเข็มนาฬิกาที่ปลายเล็ก ทำหน้าที่เป็นที่ยึดเพื่อให้ไข่แดงอยู่ตรงกลาง ในไข่ที่ถูกเปิดออกส่วนนี้จะยังติดอยู่กับไข่แดง ส่วนที่เป็น germinated disc (blastoderm)

อยู่ที่ส่วนบนของไข่แดงด้านใดด้านหนึ่ง ไข่แดงประกอบด้วยชั้นสลับกันของส่วนสีเข้มและสีอ่อนจากตรงกลางของไข่แดง

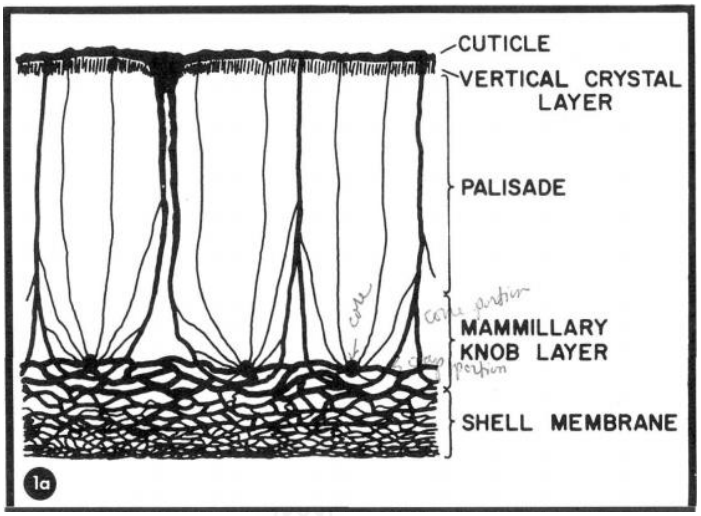
น้ำหนักเฉลี่ยของไข่ คือ 58 กรัม ส่วนประกอบหลักของมันคือน้ำ (~ 74%) โปรตีน (~ 12%) และไขมัน (~ 11%) สัดส่วนของไข่สามส่วนหลัก คือ ไข่แดง สีขาว และ เปลือก



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของไข่

ที่มา : ที่มา : Belitz et al. (2009)

2.1.1.1 เปลือกไข่ (Shell egg) ประกอบด้วยผลึกแคลไซต์ที่ฝังอยู่ในเมทริกซ์อินทรีย์หรือโครงร่างของเส้นใยโปรตีนที่พันกันและมวลทรงกลม (proteinmucopolysaccharide complex) ในสัดส่วน 50: 1 นอกจากนี้ยังมีแมกนีเซียมคาร์บอเนตและฟอสเฟตจำนวนเล็กน้อย โครงสร้างเปลือกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่: ชั้นหนังกำพร้า (cuticle or bloom), ชั้นฟองน้ำ (spongy layer), mammillary layer และ เยื่อเปลือกไข่ (pore or shell membrane) ชั้นเป็นรูพรุน เปลือกนอกสุดเป็นชั้นที่บางมาก (10 μm) โปร่งแสง เป็นชั้นโปรตีนที่เมือกใสที่เรียกว่าหนังชั้นหนังกำพร้า ชั้นที่เป็นฟองน้ำประกอบด้วยสารแคลเซียมมีความหนาเป็นสองในสามส่วนของความหนาของเปลือก ชั้น mammillary layer ประกอบด้วยชั้นเล็กๆ ของอนุภาคที่มีลักษณะคล้ายลูกตุ้ม โดยด้านหนึ่งยึดติดกับชั้นที่เป็นรูพรุนอย่างแน่นหนา และอีกด้านหนึ่งติดกับพื้นผิวด้านนอกของเยื่อเปลือกไข่ ชั้นนอกเกาะติดกับชั้นของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมอย่างใกล้ชิด รูพรุนเล็กๆ ที่ขยายผ่านเปลือกจะถูกมองว่าเป็นรูพรุนหรือช่องเปิดเป็นวงกลม (7000–17,000 ต่อไข่) โปรตีนชั้นหนังกำพร้าปิดรูพรุนบางส่วนแต่ยังคงซึมผ่านเส้นใยได้ในขณะที่จำกัด การแทรกซึมของจุลินทรีย์



ภาพที่ 2.2 ภาพจำลองตัดขวางของเปลือกไข่ไก่

ที่มา : Parsons (1982)

2.1.1.2 อัลบูเมน (Albumen or Egg White) เป็นสารละลายของโปรตีนหลายชนิดละลายอยู่ 10% ส่วนประกอบอื่นๆ มีอยู่ในปริมาณที่ต่ำมาก อัลบูเมนลักษณะคล้ายเจลที่เข้มและแตกต่างจากไข่ขาวชนิดเจือจาง (เปรียบเทียบ ภาพที่ 2.1) เฉพาะในเนื้อหาประมาณสี่เท่าของโอโวมูซิน อัลบูเมนเป็นของเหลวซึ่งความเครียดหนืดของไข่ขาวขึ้นอยู่กับแรง ค่า pH ของไข่ขาวที่ฟักใหม่คือ 7.6 –7.9 และเพิ่มขึ้นเป็น 9.7 ระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากการแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านเข้ามาในเปลือก โดยการเพิ่มขึ้นของ pH ขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิของการเก็บรักษา ตัวอย่าง เช่น ไข่ขาวมี pH ที่ 9.4 หลังจากเก็บรักษา 21 วันที่ 3–35 ° C

2.1.1.3 โปรตีน (Protein) จากตารางที่ 2.1 แสดงรายการโปรตีนไข่ขาวที่สำคัญที่สุดตามลำดับความอุดมสมบูรณ์ในไข่ขาว คาร์โบไฮเดรตในองค์ประกอบไกลโคโปรตีน โปรตีนไข่ขาวหลายชนิดมีฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น เอนไซม์ (เช่น ไลโซไซม์) ไข่ การแยกโปรตีนสีขาวค่อนข้างง่าย กิจกรรมทางชีวภาพอาจเกี่ยวข้องกับการป้องกันไข่จากการเน่าเสียของจุลินทรีย์ ไข่ขาวได้รับการรักษาด้วยแอมโมเนียมซัลเฟตอิ่มตัวในปริมาตรเท่ากัน ส่วนโกลบูลินตกตะกอนร่วมกับไลโซไซม์ โอโวมูซิน และโกลบูลินอื่นๆ

ตารางที่ 2.1 โปรตีนของไข่ขาว

โปรตีน	เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมด (%)	อุณหภูมิเสียสภาพ (°C)	น้ำหนักโมเลกุล (kcal)	Isoelectric point (pH)
Ovalbumin	54	84.5	44.5	4.5
Conalbumin	12	61.5	76	6.1
Ovomucoid	11	70.0	28	4.1
Ovomucin	3.5		$5.5\text{-}8.3 \times 10^6$	4.5-50
Lysozyme	3.4	75.0	14.3	10.7
Ovoglobulin G_2	4	92.5	30-45	5.5
Ovoglobulin G_3	4			2.8
Flavoprotein	0.8		32	4.0
Ovoglycoprotein	1.0		24	3.9
Ovomacroglobulin	0.5		760-900	4.5
Ovoinhibitor	1.5		49	5.1
Avidin	0.05		68.3	9.5
Cystatin	0.05		12.7	5.1

ที่มา : Belitz et al. (2009)

2.1.1.4 ไข่แดงเป็นอิมัลชันไขมันในน้ำที่มีน้ำหนักแห้งประมาณ 50% ประกอบด้วยไขมัน 65% โปรตีน 31% และคาร์โบไฮเดรต 4% วิตามิน และแร่ธาตุ ส่วนประกอบหลักของไข่แดงคือ LDL (68%; cf. 3.5 1.2), HDL (16%), ลิฟติน (10%) และฟอสวิติน (4%) การถ่ายเทน้ำจากไข่ขาวจะทำให้ปริมาณไข่แดงลดลง 2-4% ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 1-2 สัปดาห์ ไข่แดงเป็นไข่แดง แรงตึงผิวคือ 0.044 Nm-1 (25 ° C) ในขณะที่ pH ของมันคือ 6.0 และแตกต่างจากไข่ขาวเพียงเล็กน้อย (เป็น 6.4–6.9)) แม้หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลานาน ไข่แดงมีอนุภาคที่มีขนาดต่างกันซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น สองกลุ่ม:

2.1.1.4.1 หยดไข่แดงที่มีขนาดผันแปรสูงโดยมีช่วงเส้นผ่านศูนย์กลาง 20-40 μm มีลักษณะคล้ายหยดไขมันประกอบด้วยไขมันส่วนใหญ่และบางส่วนเป็นส่วนผสมของไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDL)

2.1.1.4.2 เม็ดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0–1.3 μm กล่าวคือ มีขนาดเล็กกว่าหยดไข่แดงอย่างมาก และมีขนาดที่สม่ำเสมอกว่าแต่มีรูปร่างที่สม่ำเสมอน้อยกว่า พวกมันมีโครงสร้างพื้นฐานและประกอบด้วยโปรตีนแต่ยังมีไขมัน รงควัตถุ และแร่ธาตุด้วย

2.1.1.5 รงควัตถุ หรือ สารสี (Colorant) ของไข่แดงซึ่งผลิตโดยแคโรทีนอยด์ในอาหาร ถือเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพของไข่แดง โดยปกติแซนโทฟิล (xanthophylls) จะถูกดูดซึมจากอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งลูทีน (lutein) ตามด้วย luteinmono- และ diester, 3 –oxolutein และซีแซนทีน (zeaxanthin) สีของไข่แดงสามารถทำให้เข้มขึ้นได้ด้วยองค์ประกอบอาหารเลี้ยงสัตว์ที่เหมาะสม สารสีเหล่านี้ละลายได้ในน้ำมัน ได้แก่ β-apo-8 -carotene ethyl ester, ซีแซนทีน (5,6 -dihydro- 5 -apo-β-carotene6') และแคนทาแซนธิน (canthaxanthin)

2.1.1.6 สารให้กลิ่น (Aroma Substances) ทั่วไปของไข่ขาวและไข่แดงยังไม่ทราบ แน่ชัดว่าเป็นสารใด "กลิ่นคาว" ที่อาจเกิดขึ้นในไข่เกิดจาก Trimethylamine (TMA) ซึ่งมีระดับของกลิ่นที่ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่าง (pH) (25 μg/kg, pH 7.9) เนื่องจากมีเพียงรูปแบบที่ไม่แยกจากกันเท่านั้นที่มีกลิ่นที่ออกฤทธิ์ TMA เกิดจากการย่อยสลายโคลีนของจุลินทรีย์ เช่น การให้อาหารปลาป่นหรือกากถั่วเหลือง เช่น กากถั่วเหลือง โดยปกติ TMA จะไม่รบกวนเนื่องจากจะถูกออกซิไดซ์ด้วยเอนไซด์เป็นออกไซด์ของ TMA ที่ไม่มีกลิ่น อย่างไรก็ตาม ในอาหารสัตว์ เช่น กากถั่วเหลือง มีสารที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยานี้ได้

2.1.1.7 ไขมัน (Lipid) ไข่แดงประกอบด้วยไขมัน 32.6% ลิพิดเหล่านี้เกิดขึ้นเนื่องจากไลโปโปรตีนจึงมีความเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับโปรตีนที่เกิดขึ้นในไข่แดง องค์ประกอบของกรดไขมันของลิพิดขึ้นอยู่กับอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ อย่างไรก็ตามการรวมกรดไขมันแต่ละชนิดนั้นแตกต่างกันมาก การเติมไขมันที่อุดมไปด้วยกรดไลโนเลอิกลงในอาหารสัตว์ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง สารตะกั่ว เป็นต้น

2.1.1.8 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ในไข่ขาวมีประมาณ 1% ซึ่งจับอยู่กับโปรตีนบางส่วน (ประมาณ 0.5%) และปราศจากโปรตีน (0.4–0.5%) คาร์โบไฮเดรตที่เป็นอิสระ ได้แก่ กลูโคส (98%) และ แมนโนส, กาแลกโตส, อาราบิโนส, ไซโรส, ไรโบส และ ดีออกซีไรโบส รวม 0.2–2.0 มก. / 100 ก. ในไข่ขาวไม่มีโอลิโกแซ็กคาไรด์อิสระหรือโอลิโกส คาร์โบไฮเดรตจับอยู่กับโปรตีน มี

เมนโนส กาแลคโตส และกลูโคซามีนเป็นหลัก และยังมีกรดเซียลิกและกาแลคโตซามีนอยู่ด้วย คาร์โบไฮเดรตในไข่แดงมีประมาณ 1% ของวัตถุแห้ง โดยจับกับโปรตีน 0.2% คาร์โบไฮเดรตอิสระที่มีอยู่นอกเหนือจากกลูโคสเป็นโมโนแซ็กคาไรด์ชนิดเดียวกันที่มีอยู่ในไข่ขาว

2.1.1.9 แร่ธาตุ (Minerals) ไข่อุดมไปด้วยฟอสฟอรัส แคลเซียม โพแทสเซียม และมีโซเดียมในปริมาณปานกลาง (142 มก. ต่อ 100 กรัมของไข่ทั้งฟอง) (ตารางที่ 3) นอกจากนี้ยังมีธาตุที่จำเป็นทั้งหมด เช่น ทองแดง เหล็ก แมกนีเซียม แมงกานีส ซีลีเนียม และ สังกะสี โดยที่ไข่แดงเป็นส่วนประกอบหลักในการจัดหาธาตุเหล็กและสังกะสี การมีอยู่ของแร่ธาตุและธาตุอาหารรองในไข่นั้นค่อนข้างน่าสนใจเนื่องจากการขาดธาตุเหล่านี้ (Zn, Mg และ Se) บางส่วนมีความเกี่ยวข้องกับภาวะซึมเศร้าและความเหนื่อยล้า และการพัฒนาของโรคทางพยาธิวิทยา ความเข้มข้นของธาตุบางชนิด (ซีลีเนียม ไอโอดีน) อาจเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญขึ้นอยู่กับอาหารของไก่

2.1.1.10 วิตามินและโคลีน (Vitamin and Choline) ในไข่และไข่แดงเป็นอาหารที่อุดมด้วยวิตามินซึ่งมีวิตามินทั้งหมด ยกเว้น วิตามินซี (ascorbic acid) ไข่แดงมีวิตามิน A, D, E, K, B1, B2, B5, B6, B9 และ B12 ในปริมาณสูง ในขณะที่ไข่ขาวมีวิตามิน B2, B3 และ B5 สูง แต่ยังมีวิตามิน B1, B6, B8, B9 และ B12 ในปริมาณมากด้วย การกินไข่สองฟองต่อวันครอบคลุมความต้องการวิตามิน 10% ถึง 30% ของมนุษย์ เป็นที่น่าสังเกตว่าเนื้อหาของวิตามินที่ละลายน้ำมันได้ เช่น วิตามิน A, D, E, K ในไข่แดงขึ้นอยู่กับอาหารของไก่เป็นหลัก นอกจากวิตามินเหล่านี้แล้ว ไข่ยังเป็นแหล่งสำคัญของโคลีนซึ่งมีความเข้มข้นในไข่แดงเป็นหลัก (680 มก.) / 100) ก. ในไข่แดง เทียบกับ 1 มก. / 100 ก. ในไข่ขาว) ไข่ลวกเป็นแหล่งโคลีนหลักที่สองรองจากตับเนื้อ พบโคลีนเป็นทั้งที่ละลายน้ำได้ (โคลีนอิสระ ฟอสโฟโคลีน และกลีเซอโรฟอสโฟโคลีน) และรูปแบบที่ละลายในไขมัน (ฟอสฟาติดิลโคลีนและเอส) phingomyelin) และมีหน้าที่ที่สำคัญและหลากหลายทั้งในการบำรุงและการเจริญเติบโตของเซลล์ในทุกช่วงชีวิต โดยมีบทบาทบางอย่างในการส่งสัญญาณประสาท การพัฒนาสมอง และความสมบูรณ์ของกระดูก (Réhault-Godbert et al., 2019)

2.2 เกลือและหน้าที่ของเกลือ (Salt)

2.2.1 หลักการถนอมอาหารโดยใช้เกลือ

มนุษย์เริ่มใช้เกลือในการถนอมอาหารมาตั้งแต่สมัยที่มนุษย์เริ่มรู้จักการใช้โลหะบรอนซ์โดยชาวอียิปต์เป็นพวกแรกที่ใช้เกลือเป็นตัวช่วยรักษาเนื้อปลา โดยทำเป็นปลาเค็ม การถนอม

อาหารโดยใช้เกลือถือเป็นวิธีที่เก่าแก่และเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ส่วนใหญ่จะใช้เกลือในอาหารประเภทโปรตีน เช่น เนื้อสัตว์ต่างๆ ปลา และอาหารที่มีรสหวานจัด เพื่อลดรสหวานที่มากเกินไป นอกจากนี้เกลือยังช่วยลดรสขมได้อีกด้วย ซึ่งมักจะเติมลงในเบียร์ที่มีแอลกอฮอล์สูง และกาแฟดำ (Borgstrom, 1968)

เกลือ เป็นสารที่ประกอบด้วยโซเดียม(Na) ร้อยละ 39.39 และคลอไรด์(Cl) ร้อยละ 60.61 มีรูปร่างเป็นผลึกรูปลูกบาศก์สีขาว ละลายน้ำได้ประมาณร้อยละ 26.4 โดยน้ำหนัก เมื่อละลายน้ำจะมีรสขมเล็กน้อย มีปฏิกิริยาเป็นกลาง ดูดความชื้นได้ประมาณร้อยละ 1.5 ที่อุณหภูมิ 30 อาศาเซลเซียส มีจุดหลอมเหลวที่ 77.7 องศาเซลเซียส (ภิภพ, 2507) หน้าที่หลักในการถนอมอาหารของเกลือ คือ เกลือจะทำให้ค่า water activity ของอาหารลดลง (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532) เมื่อเกลือละลายในน้ำ โมเลกุลของน้ำจะมาจับเกาะกับเกลือ เกิดเป็นion hydration มีผลทำให้ความเป็นอิสระของน้ำเปลี่ยนแปลงไป (กล้าณรงค์, 2521)

นอกจากนี้เกลือยังเป็นสารที่มีค่าแรงออสโมติคสูง เมื่อใส่ในอาหารจะทำให้น้ำในอาหารถูกดึงออกมา และน้ำจากเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ เนื่องจากเซลล์ของจุลินทรีย์เกิดลักษณะเซลล์เหี่ยว (plasmolysis) (กล้าณรงค์, 2521)

2.2.2 ตัวอย่างชนิดของเกลือ

2.2.2.1 เกลือสีชมพู หรือเกลือหิมาลัยมีต้นกำเนิดมาจากเทือกเขาหิมาลัยในประเทศปากีสถาน มีสีชมพูเพราะมีไอเอิร์นออกไซด์ (Iron oxide) เป็นส่วนประกอบ เกลือหิมาลัยจัดว่าเป็นเกลือบริสุทธิ์ เชื่อกันว่าเกิดจากการระเหยและตกผลึกของน้ำทะเลยุคโบราณเมื่อหลายล้านปีก่อน ผ่านการสกัดด้วยมือและไม่มีการเติมสารเคมีหรือสารปรุงแต่งใดๆ จึงเป็นธรรมชาติและมีแร่ธาตุมากกว่าเกลือที่ใช้กันอยู่ทั่วไป (เนตรนภา, 2562)

2.2.2.2 เกลือสีชมพูมีแร่ธาตุจำนวน 84 ชนิด ซึ่งมีความสำคัญต่อร่างกายของมนุษย์ในการบำรุงกระดูก กล้ามเนื้อ และระบบไหลเวียนโลหิต การใช้เกลือหิมาลายันสีชมพูในการปรุงอาหารแทนเกลือปกติก็เป็นการดูแลสุขภาพได้โดยวิธีง่ายๆ (ผาสุข, 2561)

2.2.2.3 เกลือสีชมพู ประกอบด้วย sodium chloride 85% และ potassium, calcium, magnesium และ bicarbonate รวมกัน 15% ซึ่งเป็นแร่ธาตุชนิดเดียวกันกับที่อยู่ใน

น้ำเกลือแร่ ดังนั้นเราจึงสามารถนำมาผสมน้ำดื่ม เพื่อทดแทนการดื่มน้ำเกลือแร่ได้ โดยไม่ต้องกังวลเรื่องของน้ำตาลและวัตถุกันเสียที่มากับเครื่องดื่มเกลือแร่ (ผาสุข, 2561)

2.2.2.4 การมีกรดในร่างกายมากเกินไปส่งผลต่อสุขภาพ ไม่ว่าจะเป็นการเกิดอนุมูลอิสระ กระดูกพรุน ก้อนนิ่ว หรือ น้ำหนักตัวเพิ่ม ใช้น้ำดื่ม 1 แก้วในอุณหภูมิปกติผสมกับเกลือหิมาลัยสีชมพู 1 ช้อนชา สามารถช่วยลดภาวะกรดได้เป็นอย่างดี สารอาหารในเกลือสีชมพู สามารถทำให้อาหารถูกดูดซึมได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ระบบการย่อยอาหารเป็นไปอย่างดี เกลือสีชมพูไม่เพียงแต่ขจัดสารพิษให้กับร่างกายแต่ยังสามารถจับความชื้นในอากาศที่อยู่รอบๆ จึงนิยมนำมาทำเป็นโคมไฟหินเกลือ โดยเมื่อความร้อนในหลอดไฟระเหยน้ำที่เกลือจับมาได้ ไอน้ำที่ระเหยไปนั้นจะเป็นไอน้ำที่บริสุทธิ์เนื่องจากสารพิษต่างๆที่มากับไอน้ำในตอนแรกได้ถูกกรองโดยก้อนเกลือแล้ว (ผาสุข, 2561)

2.2.2.5 เกลือหิมาลัยมีประโยชน์สุขภาพมากมาย เพราะมีแร่ธาตุและสารอาหารรองมากถึง 84 ชนิด มีปริมาณโปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กมากกว่าเกลือทั่วไป แต่มีปริมาณโซเดียมน้อยกว่า คือ ในปริมาณ 1 กรัมเท่ากัน เกลือทั่วไปมีโซเดียม 381 มิลลิกรัม ส่วนเกลือหิมาลัยโซเดียมน้อยกว่า คือ 368 กรัม นอกจากนี้ เกลือบริโภคทั่วไปบางยี่ห้อมีสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนที่อาจเป็นอันตรายต่อร่างกาย เกลือหิมาลัยซึ่งเป็นเกลือธรรมชาติจึงอาจปลอดภัยและดีต่อสุขภาพมากกว่า แต่ถึงอย่างไรแล้วก็พบว่าแร่ธาตุหลายๆ ชนิดที่ปะปนในเกลือหิมาลัยนั้นอาจจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ โดยเฉพาะตะกั่วที่ปะปนมา ทำให้เกลือที่ขุดได้บางแหล่งไม่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยหากว่าไม่กำจัดสิ่งเจือปนอย่างโลหะหนักเหล่านี้ก่อน ซึ่งในงานวิจัยบางงานก็มีการพูดว่า แม้ว่าเกลือหิมาลัยที่กำจัดสิ่งเจือปนที่เป็นอันตรายออกแล้วนั้นจะสามารถใช้ปรุงอาหารได้รสชาติดี เนื่องจากมีรสชาติที่ไม่เค็มจัดเท่าเกลือบริสุทธิ์ แต่ก็ไม่ค่อยต่างจากเกลือสินเธาว์หรือเกลือสมุทรบ้านเรา (ผาสุข, 2561)

2.2.2.6 ดอกเกลือ คือผลผลิตแรกของการทำนาเกลือ ซึ่งมีลักษณะเป็นเกลือทะเลที่อยู่บนผิวน้ำ หากชิมรสจะมีความรู้สึกว่าไม่เค็มมากเท่าไรและมีความหวานบ้างเล็กน้อยดอกเกลือที่มีความบริสุทธิ์มากๆ จะอุดมไปด้วยแร่ธาตุหลากหลายชนิด เช่น ไอโอดีน แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น (จินดารัตน์, 2562)

2.2.2.7 ดอกเกลือมีค่าความชื้นสูงกว่าเกลือธรรมดาทั่วไปถึง 5 เท่า ทำให้สามารถนำแร่ธาตุเหล่านั้นซึมซับสู่ผิวหนังอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นที่นิยมในการนำมาใช้รักษาโรคผิวหนังและใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์สปา รวมไปถึงผลิตภัณฑ์บำรุงผิว ซึ่งดอกเกลือนั้นมีความแตกต่าง

จากเกลือทั่วไปคือ ดอกเกลือจะมีความเค็มน้อยกว่าเกลือทั่วไป ดอกเกลือใช้สำหรับในการรักษาสุขภาพในด้านโรค ด้านความงาม และการปรุงอาหารที่ไม่ต้องการรสเค็มมากนัก ส่วนเกลือทั่วไปจะให้ประโยชน์ทางด้านการปรุงอาหารประเภทกะปิ ปลาร้า หรือซอสและผักดอง เป็นต้น (สาวิตตรี, 2558)

2.2.3 ขั้นตอนการแทรกซึมของเกลือเข้าไปในอาหาร

กล้าณรงค์ (2521) ได้กล่าวถึงกระบวนการหมักอาหารด้วยเกลือ มีขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.2.3.1 การเกิดแรงดันออสโมติค (Osmotic stage) เมื่อนำอาหารไปแช่ในสารละลายเกลือ ความเข้มข้นของเกลือในอาหารจะน้อยกว่าความเข้มข้นของเกลือในสารละลายเกลือ ทำให้น้ำในอาหารถูกดึงออกสู่สารละลายเกลือ เนื่องจากเกิดแรงดันออสโมติค จะทำให้น้ำหนักของอาหารลดลง โปรตีนจะละลายปนกับน้ำออกจากเซลล์ของอาหารด้วย

2.2.3.2 การเปลี่ยนคุณสมบัติของโปรตีน (Protein denatured) ในขณะที่น้ำออกมานอกเซลล์อาหารเกลือจะซึมเข้าไปแทนที่จนกระทั่งความเข้มข้นของเกลือในอาหารสูงขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดหนึ่งโปรตีนในอาหารจะหยุดละลายและเสียรูปไป ช่องว่างภายในเซลล์อาหารจะถูกแทนที่ด้วยเกลือ ทำให้อาหารมีสีขุ่น

2.2.3.3 ขั้นสมดุล (Equilibium stage) เกลือจะซึมเข้าไปในอาหารจนถึงจุดสมดุล คือ ความเข้มข้นของเกลือในอาหารจะเท่ากับความเข้มข้นของเกลือในสารละลายเกลือ น้ำหนักของอาหารจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักของเกลือที่เข้าไปแทนอยู่ในอาหาร

2.2.4 เกลือกับการเปลี่ยนแปลงของอาหาร

เกลือมีผลช่วยให้ไข่เกิดเจลได้ดีขึ้น และมีผลทำให้โมเลกุลของโปรตีนเปลี่ยนคุณสมบัติไป(Denatured) โดยจะเปลี่ยนคุณสมบัติจากการละลายน้ำได้เป็นไม่ละลายน้ำ และตกตะกอนแข็ง (ศิริลักษณ์, 2525) ในการทำผักดองที่แช่น้ำเกลือ หรือใส่เกลือเป็นเม็ดลงไปในผัก เกลือจะดูดน้ำออกจากเซลล์ผักได้เป็นน้ำเกลือ ช่วยทำให้ผักกรอบและมีเนื้อแน่นขึ้น (ดรุณี, 2534) นอกจากนี้เกลือยังมีผลต่อลักษณะเนื้อที่หุงต้มด้วย คือ จะทำให้เนื้อนุ่มขึ้น ให้รสชาติที่ดี (ศิริลักษณ์, 2525) การใช้เกลือในการทำไข่เค็มนั้น เกลือจะช่วยให้เนื้อสัมผัส สี ของไข่เป็ดดีขึ้น เนื้อสัมผัสของไข่

เป็ดสดต้มจะมีลักษณะยืดหยุ่น (rubbery) และแข็ง มีสีขาวเหลือง เมื่อเป็นไข่เค็ม เนื้อสัมผัสจะนุ่มขึ้น มีสีขาวขุ่น นอกจากนี้เกลือยังช่วยปรับปรุงให้ไข่เค็มมีรสชาติดีขึ้น มีกลิ่นเค็มของเกลือ (ธานี, 2536)

2.3 การผลิตไข่เค็ม (Salted Eggs)

ไข่เค็มเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ไข่ดองที่ใช้ในการถนอมอาหารที่ได้รับความนิยมมากในประเทศไทย โดยทั่วไปแล้ว ไข่เค็มสามารถทำได้โดยการต้มไข่ในน้ำเกลืออิ่มตัว (immersing method) หรือโดยการเคลือบไข่ด้วยดินเหนียวผสมกับเกลือ (coating method) ใช้เวลาประมาณ 15 ถึง 30 วัน (Chi and Tseng 1998; Lai and others 1999) โดยทั่วไปแล้วไข่เค็มจะถูกทำให้ร้อนโดยการต้ม ทอดในกระทะ และอื่นๆ ก่อนบริโภค นอกจากใช้เป็นอาหารปกติในรูปของไข่ทั้งฟองแล้ว ยังใช้ไข่แดงเค็มเป็นไส้ในอาหารบางชนิด เช่น ขนมไหว้พระจันทร์ ของหวานอื่นๆ และเกี๊ยวข้าวเหนียว วิธีการแช่สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น การผลิตไข่เค็ม (Yang and Chen 2001) วิธีการแช่จะเร็วกว่าการเคลือบด้วยดินเหนียว และสะดวกกว่าสำหรับการผลิตไข่เค็ม (Yang and Chen 2001) ในระหว่างการเกลือไข่แดงจะค่อยๆ กลายเป็นไข่แดง ในทางกลับกัน ไข่ขาวจะสูญเสียความเครียดและเป็นน้ำ (Chi and Tseng 1998) Chi and Tseng (1998) รายงานว่าการใส่เกลือทำให้เกิดความชื้นจากไข่แดงและการแพร่กระจายของเกลือลงในไข่ขาวและไข่แดง การเปลี่ยนแปลงทั้งหมดเกิดขึ้นในช่วงเวลา การใส่เกลือจะเป็นตัวกำหนดลักษณะพิเศษของไข่เค็มทั้งแบบดิบและแบบปรุงสุก

ไข่เค็มเป็นการถนอมอาหารแบบหนึ่งที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาไข่ให้นานยิ่งขึ้น โดยทั่วไปการดองไข่เค็มมักจะใช้ไข่เป็ดในการดองเนื่องจากไข่แดงมีปริมาณไขมันสูง มีสีแดงเข้มสวย รวมทั้งมีเปลือกไข่ที่หนาไม่แตกง่าย การเลือกไข่เป็ดควรเลือกไข่สีขาวนวลด้านไม่มันเงาเปลือกหนาไม่มีรอยบุบหรือร้าวจะทำให้ไข่เค็มของเราออกมาไข่แดงใหญ่สีสวย น่ากิน การทำไข่เค็มนั้นมีอยู่หลายวิธีตั้งแต่ระดับง่ายๆ อย่างการดองในน้ำเกลือ การพอกด้วยเกลือ จนถึงการพอกด้วยดินเหนียวและดินจอมปลวก การทำไข่เค็มสามารถทำได้ 3 ดังนี้

2.3.1 การดองแบบพอกดิน

ไข่เค็มยอดนิยมที่หลายคนคงคุ้นเคยกันอยู่แล้วในชื่อ “ไข่เค็มไชยา” ของฝากขึ้นชื่อจากจากจังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นภูมิปัญญาชาวบ้านที่สืบทอดกันมารุ่นต่อรุ่น มีความพิเศษอยู่ที่การนำดินจอมปลวกมาใช้ในการทำไข่เค็ม เหตุที่เลือกใช้ดินจอมปลวกเพราะเป็นดินที่มีความเหนียว มีเนื้อ

ดินละเอียด ไม่มีเศษหินหรือทรายผสมเหมือนดินอื่นๆ วิธีทำเริ่มจากการล้างไข่เป็ดให้สะอาด จากนั้นนำดินจอมปลวกมาผสมกับเกลือและน้ำอุ่นให้เข้ากัน จุ่มไข่เป็ดลงในดินที่เตรียมไว้ให้ดินพอกไข่ให้ทั่วและมีความหนาพอสมควร จากนั้นนำไปคลุกกับขี้เถ้าแกลบ ตัวขี้เถ้าจะช่วยไม่ให้ไข่ติดกันและทำให้ความเค็มที่อยู่ในดินติดอยู่กับไข่ ดองทิ้งไว้ประมาณ 20 วันจึงมีความเค็มที่พอเหมาะจะนำไปต้มเป็นไข่เค็มได้ การที่ไข่มีรสเค็มเป็นเพราะบนเปลือกไข่มีรูพรุนขนาดเล็กกระจายอยู่ ทำให้ความเค็มของเกลือที่เราผสมไว้ในดินค่อยๆ ซึมเข้าไปในรูพรุนของเปลือกไข่ซึ่งเราเรียกหลักการนี้ว่า “ออสโมซิส (Osmosis)” เป็นการแพร่ผ่านของสารละลาย (เกลือ) ที่มีความเข้มข้นมากกว่าไปหาสารละลายมีความเข้มข้นน้อยกว่า (ไข่ขาวและไข่แดงของไข่เป็ด) ยิ่งพอกไข่ทิ้งไว้นานยิ่งทำให้ไข่มีรสชาติเค็มขึ้นเรื่อยๆ นั่นเอง

ภาพที่ 2.3 การผลิตไข่เค็มด้วยวิธีการดองแบบพอกด้วยดิน

ที่มา : ณัฐณิชา (2563)

2.3.2 การดองแบบแห้ง

วิธีนี้เป็นวิธีที่ทั้งง่าย ขั้นตอนไม่ยุ่งยาก ใช้วัตถุดิบน้อย เป็นการดองไข่เค็มโดยการใช้เกลือพอกไข่ไว้ให้ทั่วเพื่อให้ความเค็มจากเกลือซึมเข้าสู่ไข่เป็ด โดยอาศัยหลักการออสโมซิสเช่นเดียวกับการพอกดิน ซึ่งวิธีนี้ความเค็มจะเข้าสู่ไข่โดยตรงทำให้ไข่มีความเค็มมากกว่าการพอกแบบอื่นทั้งยังใช้ระยะเวลาสั้นกว่าอีกด้วย วิธีการดองเริ่มจากล้างไข่เป็ดให้สะอาด พักไว้ให้สะเด็ดน้ำนำไปแช่น้ำส้มสายชูประมาณ 10 นาที เพื่อให้น้ำส้มสายชูทำปฏิกิริยากับเปลือกไข่ทำให้เปลือกไข่บางลงความเค็มซึมผ่านได้ง่ายขึ้นและช่วยลดระยะเวลาในการดอง เมื่อครบเวลาให้ตักไข่เป็ดขึ้นแล้วคลุกกับเกลือ พยายามให้เกลือพอกไข่ให้ทั่ว เก็บใส่ภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิดดองทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง ใช้

ระยะเวลา 3 วันจึงนำมาทอดเป็นไข่ดาว และดองต่อจนครบ 5 วันจึงนำมาต้มได้ ก่อนนำมาใช้ให้ล้างเกลือที่พอกไว้ออกก่อน

ภาพที่ 2.4 การผลิตไข่เค็มด้วยวิธีการดองแบบแห้ง

ที่มา : ณัฐณิชา (2563)

2.3.3 การดองน้ำเกลือ

การดองด้วยวิธีนี้ถือเป็นวิธีที่นิยมกันมาก โดยส่วนมากการดองด้วยน้ำเกลือจะต้องใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว (น้ำเกลือ) ที่มีความเข้มข้นประมาณ 30-35% ซึ่งถือว่ามีความหนาแน่นสูงมาก ทำให้เวลาเราดองจึงต้องหาถุงน้ำหรือภาชนะวางทับไข่ให้จมน้ำเกลือ เป็นน้ำที่มีแรงตึงผิว (surface tension) สูงมาก จึงทำให้น้ำเกลือนั้นซึมผ่านรูพรุนที่เปลือกไข่ยากขึ้น ทำให้ต้องใช้เวลาดองนาน บางวิธีก็ใช้การเติมเหล้าขาวลงไปเพื่อลดแรงตึงผิวของน้ำเกลือทำให้เกลือนั้นซึมผ่านเปลือกไข่ได้ดี อีกทั้งแอลกอฮอล์ยังสามารถเร่งการตกตะกอนของโปรตีนในไข่ได้ดีขึ้น ทำให้ไข่มันในไข่แดงแยกตัวออกมา ส่งผลให้ไข่แดงเค็มที่ดองแตกมันและมีความมันเยิ้มเพิ่มขึ้น ด้วยระยะเวลาในการดองไข่เค็มที่นาน ส่งผลทำให้ไข่เค็มที่ดองนั้นถูกดึงน้ำมากขึ้น จนเกิดปรากฏการณ์ “salting out” ในไข่แดง ทำให้ไข่แดงแข็งระหว่างดอง ส่วนไข่ขาวยังเหลวอยู่เนื่องจากปรากฏการณ์ของไอออนโซเดียมและคลอไรด์นั้นป้องกันการรวมตัวของอัลบูมินในไข่ขาวจึงทำให้ไข่ขาวไม่แข็งนั่นเอง

ภาพที่ 2.5 การผลิตไข่เค็มด้วยวิธีการดองน้ำเกลือ

ที่มา : ณัฐณิชา (2563)

เริ่มจากการล้างไข่เป็ดให้สะอาดพักไว้ให้สะเด็ดน้ำนำไปแช่น้ำส้มสายชูประมาณ 10 นาทีเพื่อทำให้เปลือกไข่บางลง ความเค็มซึมผ่านได้ง่ายขึ้น ช่วยลดระยะเวลาในการดอง ระหว่างรอใส่น้ำและเกลือสมุทรรวมกันในหม้อยกขึ้นตั้งไฟกลาง ต้มให้เกลือละลายดี ปิดไฟพักไว้จนเย็นสนิท เมื่อแช่ไข่ครบเวลาให้ล้างเอาเยื่อเปลือกไข่ออกให้หมด ผึ่งให้แห้ง ใส่ไข่ลงในโหลแก้วเทน้ำเกลือให้ท่วมไข่ ใช้ถุงร้อนใส่น้ำมัดถุงให้แน่นวางทับไข่ให้จม ดองทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง ใช้ระยะเวลา 5 วันจึงนำมาทอดเป็นไข่ดาวและดองต่อจนครบ 10 วัน จึงนำมาต้มเป็นไข่เค็ม

2.4 การพัฒนากระบวนการผลิตไข่เค็ม

2.2.1 การพัฒนากระบวนการผลิตไข่เค็ม

โซเดียมคลอไรด์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดในการแปรรูปไข่ ในแง่ของการเก็บรักษาหรือการถนอมอาหาร โซเดียมคลอไรด์มีบทบาทในการลดการเจริญเติบโตของเชื้อโรคจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย ซึ่งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษา การเติมเกลือลงในอาหารจะทำให้เซลล์จุลินทรีย์ได้รับการดูดซึมโดยการดูดซึมเนื่องจากการสูญเสียน้ำภายในเซลล์ ดังนั้นการเจริญเติบโตของพวกเขาจึงล่าช้าหรือการตายของจุลินทรีย์เกิดขึ้น (Davidson, 2001) โซเดียมคลอไรด์ไม่เพียงแต่มีประโยชน์สำหรับการเก็บรักษาไข่เท่านั้น แต่ยังปรับเปลี่ยนลักษณะของไข่อีกด้วย ในระหว่างกระบวนการทำเกลือ โซเดียมคลอไรด์จะค่อยๆ แพร่กระจายเข้าไปในไข่ขาวและไข่แดงผ่านรูพรุนและเยื่อหุ้มของเปลือกไข่โดยใช้วิธีการหมักหรือพอกดิน เยื่อหุ้มชั้นในของไข่เป็นอุปสรรคสำคัญในการแพร่เกลือ (Chen et al., 1999) การแพร่ขยายจะเกิดขึ้นเร็วกว่า 5 เท่า ในไข่ที่ไม่มีเยื่อเมมเบรนของเปลือกชั้นในเมื่อเทียบกับการไข่ที่มีเปลือกชั้นในมีเปลือกชั้นในอยู่ เมื่อเกลือแทรกเข้าไปในไข่ปริมาณเกลือจะเพิ่มขึ้นพร้อมกับความชื้นของไข่ขาวและไข่แดงที่ลดลงในเวลาเดียว เมื่อปริมาณเกลือเพิ่มขึ้น การสูญเสียความชื้นจะเด่นชัดมากขึ้น การสูญเสียความชื้นจากไข่แดงของไข่เป็ดมีมากกว่าไข่แดงของไข่ไก่ (Chi and Tseng, 1998) เนื่องจากความแตกต่างของขนาดรูพรุนและโครงสร้างของเปลือกระหว่างไข่ของสัตว์ปีกทั้งสองชนิด โดยทั่วไปการสูญเสียความชื้นของไข่แดงจะมากที่สุดในช่วงหลังของการต้มน้ำเกลือ เนื่องจากเยื่อหุ้มไข่แดงอ่อนตัวลง อย่างไรก็ตามความชื้นในไข่ขาวของไข่เป็ดและไข่ไก่ลดลงในอัตราที่ใกล้เคียงกัน (Chi and Tseng, 1998) การเปลี่ยนแปลงที่ค่อยเป็นค่อยไปเหล่านี้เมื่อเวลาผ่านไปจะมีการสูญเสียความชื้นควบคู่ไปกับการสะสมของปริมาณเกลือในผลิตภัณฑ์ไข่

เค็ม ส่วนใหญ่จะใช้เป็นตัวกำหนดลักษณะหรือคุณภาพของไข่เค็มที่เก็บรักษาไว้ทั้งในรูปแบบดิบและปรุงสุกแล้ว นอกจากการสูญเสียความชื้นแล้ว เกลือยังมีบทบาทในการสร้างเนื้อสัมผัสที่ละเอียดและน้ำมันที่หลั่งออกมาจากไข่แดงหลังการปรุงอาหาร ไข่ขาวเค็มที่ปรุงแล้วยังแสดงความแตกต่างเล็กน้อยในเนื้อสัมผัสเมื่อเปรียบเทียบกับไข่ขาวปรุงสุกที่ไม่ผ่านการปรุง ปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ของไข่ขาวในระหว่างการเก็บรักษาจะกระตุ้นให้เกิดการรวมตัวของโปรตีนไข่ขาว ส่งผลให้มีโครงสร้างที่หยาบกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไข่ขาวดิบ เนื้อสัมผัส ลักษณะ และรสชาติของไข่ขาวเค็มเป็นปัจจัยกำหนดการยอมรับของผู้บริโภค (Kaewmanee et al., 2011)

ไข่สามารถเก็บรักษาได้โดยการพอกไข่ (coating) ด้วยดินเหนียวผสมกับเกลือหรือไข่ต้มในน้ำเกลืออิ่มตัว (ภาพที่ 2.6) หรือวิธีการแช่ในน้ำเกลือ (brining) :ซึ่งการผลิตไข่เค็มด้วยวิธีการแช่ในน้ำเกลือทำได้เร็วกว่าและสะดวกกว่าเมื่อเทียบกับวิธีพอกดิน (Yang and Chen, 2001) กระบวนการดองเกลือทั้งวิธีการพอกเกลือและการแช่น้ำเกลือ ตลอดจนระยะเวลาในการดองเกลือส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเนื้อสัมผัสของไข่สด (Kaewmanee et al., 2009b) สำหรับวิธีการพอกเกลือนั้น การกำหนดสูตรของเกลือหรือดินได้ผ่านการพัฒนาสูตรและมีความต่อเนื่องโดยมีเป้าหมายระยะยาวในการสร้างผลิตภัณฑ์ไข่เค็มทีมีคุณภาพดี (Yuwawutto, 1995) ปริมาณเกลือที่ใช้ในสูตรมีผลอย่างมากต่อคุณลักษณะของไข่เค็ม สูตรประกอบด้วยดินเหนียว 60% และเกลือแสงอาทิตย์ 40% เพื่อการเคลือบที่เหมาะสม ควรเติมน้ำที่ระดับ 32.4 มล./100 กรัมของดินที่ใช้พอกไข่เพื่อให้มีการพอกเกลือที่เหมาะสม กระบวนการถนอมรักษาไข่เค็มด้วยวิธีนี้จะเสร็จภายใน 25 วันหลังจากเริ่มกระบวนการพอกเกลือและมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ 1.71% และ 3.98% ในไข่แดงและไข่ขาว (ไข่เค็มต้ม) ตามลำดับ

ภาพที่ 2.6 การผลิตไข่เค็มจากไข่เป็ดด้วยเกลือโดยใช้วิธีการพอกดิน (coating) หรือวิธีการแช่น้ำเกลือ (brining) ที่มา : Benjakul and Kaewmanee, (2017)

2.4.2 การผลิตไข่เค็มโซเดียมต่ำ

การพัฒนาไข่เค็มโซเดียมต่ำที่พอกดินผสมด้วยฟางข้าวเป็นสิ่งที่น่าสนใจสำหรับคนที่ต้องการอาหารที่มีเกลือต่ำ (Yimtoe et al., 2001) เยื่อฟางข้าวเตรียมโดยการต้มฟางข้าวในสารละลายด่างตามด้วยการล้างและตากให้แห้ง หลังจากการอบแห้งเนื้อฟางข้าวจะถูกนำไปผสมกับน้ำเกลือที่มีโซเดียมคลอไรด์ 60% (เกลือแสงอาทิตย์) และโพแทสเซียมคลอไรด์ 40% ส่วนผสมจะกระจายเป็นชั้นบาง ๆ และไข่ถูกพอกด้วยดินผสมฟางข้าว หลังจาก 25 วัน ต่อมาไข่ขาวมีความชื้น 82.07% และมีปริมาณโซเดียมไอออนต่ำ (944 มก./100 กรัมของไข่ขาว) เมื่อเทียบกับไข่เค็มจากไข่เป็ดที่ผลิตด้วยสูตรดั้งเดิม (1690 มก./100 กรัมของไข่ขาว) ส่วนไข่แดงเค็มประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์ 1.71% ความชื้น 34.78% และไขมัน 40.04% จากการทดสอบความชอบของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์ไข่เป็ดเค็มต่ำที่เก็บรักษาไว้โดยใช้เนื้อฟางข้าวมีความพึงพอใจปานกลาง โดยผู้บริโภค 78% ยอมรับผลิตภัณฑ์ (Yimtoe et al., 2001)

2.4.3 การลดระยะเวลาในการผลิตไข่เค็มด้วยกรด

เนื่องจากเปลือกไข่ขัดขวางการแทรกซึมของโซเดียมคลอไรด์ไปยังในไข่แดง การลดความหนาของเปลือกจึงเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้เร่งการแทรกซึมของเกลือลงในไข่และเร่งเวลาในการดำเนินการดองเกลือได้ การใช้กรดในการเตรียมไข่เป็ดส่งผลให้ความหนาของเปลือกลดลงพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของการแทรกซึมของเกลือตามมา (Williams and Dillard, 1973; Heath and Wallace, 1978) เพื่อกระตุ้นให้เปลือกบางและการแทรกของเกลือเข้าไปในไข่ ไข่เป็ดที่ผ่านการแช่กรดโดยเฉพาะด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ทำให้อัตราการแทรกซึมของเกลือเพิ่มขึ้น 2-10 เท่า เป็นผลให้การก่อตัวของเจลาตินของไข่แดงถูกกระตุ้น เปลือกไข่มีความหนาน้อยกว่า 0.2 มิลลิเมตร เมื่อแช่ไข่ในกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล เป็นเวลา 30 นาที (Lai et al., 1999). อย่างไรก็ตาม การใช้กรดอนินทรีย์ เช่น ไฮโดรคลอริก อาจไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นกรดอินทรีย์อาจเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับผู้บริโภคในด้านความปลอดภัย

2.4.4 การลดระยะเวลาในการผลิตไข่เค็มด้วยเอนไซม์

นอกจากนี้การใช้เอนไซม์โปรตีเอสในการปรับสภาพไข่อาจเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการย่นระยะเวลาในกระบวนการดองเกลือ (salting process) ให้สั้นลง เอนไซม์โปรตีเอสจากย่อยโปรตีนในเยื่อหุ้มเปลือกออก ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกในการเคลื่อนที่ของเกลือผ่านเยื่อหุ้มที่เสียหายจากการย่อยด้วยเอนไซม์แล้ว อันที่จริงกระบวนการดองเกลือได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถทำให้ลดระยะเวลาลงโดยใช้กรดอะซิติกและเอนไซม์นิวทราส (โปรตีเอสที่เป็นกลาง) ในการปรับสภาพเบื้องต้นก่อนทำเค็ม (Kaewmanee et al., 2012) กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับการแช่ไข่ในกรดอะซิติก 5% เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยแช่ในเอนไซม์นิวทราส 0.25% (น้ำหนัก/ปริมาตร) เป็นเวลา 90 นาที ก่อนที่จะดองเกลือ การปรับสภาพด้วยโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulfate) (0.5%, น้ำหนัก/ปริมาตร) เพื่อให้โปรตีนในเยื่อหุ้มเปลือกอ่อนตัวลง อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์บนเปลือกไข่เป็ดสดและเพิ่มการซึมผ่านของโซเดียมคลอไรด์ในไข่ในระหว่างกระบวนการถนอมอาหารด้วยการดองเกลือ (Lian et al., 2014).

2.4.5 การลดระยะเวลาในการผลิตไข่เค็มด้วยการแรงดัน

ในการลดระยะเวลาในการเก็บรักษา จำเป็นต้องมีการเพิ่มการเคลื่อนย้ายของเกลือผ่านเปลือกและเยื่อหุ้มเปลือกไข่ ซึ่งเทคโนโลยีแรงดันสูงถูกนำมาใช้เพื่อให้เกลือแทรกเข้าไปในไข่ได้เร็วขึ้น การผลิตไข่เค็มเร็วขึ้นโดยใช้แรงดันไฮโดรสแตติก (Kunkriangwong et al., 2002) โดยเฉพาะอย่างยิ่งไข่เป็ดที่ถูกแช่ในสารละลายเกลืออิ่มตัวภายใต้แรงดันไฮโดรลิกที่ 500 กิโลปาสกาล (kPa) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ไข่เค็มที่ผลิตโดยกระบวนการนี้มีไข่ขาวที่มีเนื้อสัมผัสนุ่มเนื้อนุ่มและไข่แดงเป็นสีส้มมันเงาซึ่งผู้วิจัยพบว่าเป็นที่ยอมรับอย่างมาก อีกทั้งเทคโนโลยีที่คล้ายคลึงกับการกระตุ้นด้วยแรงดันน้ำ (pulsed pressed-water cycle) ถูกนำไปใช้เพื่อเร่งกระบวนการดองเกลือของไข่เป็ด (Wang et al., 2013) Shiquan et al. เพื่อลดระยะเวลาในกระบวนการทำดองเกลือในการผลิตไข่เค็ม (2013)

2.4.6 การผลิตไข่แดงเค็มจากไข่แดงที่แยกจากส่วนอื่นของไข่

โดยทั่วไปแล้ว ไข่แดงเค็มซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากกว่ามากกว่าไข่ขาวเค็มและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากขึ้นเรื่อยๆ อีกทั้งไข่ขาวเค็มมักถูกทิ้งเนื่องจากมีการใช้ประโยชน์ได้อย่างจำกัด เพื่อป้องกันการสูญเสียไข่ขาว กลุ่มวิจัยหลายกลุ่มได้พยายามผลิตไข่แดงเค็มด้วยเกลือหลังจากแยกจากไข่ออกไปแล้ว (Chen et al., 1991; Wang, 1991) ขั้นตอนการทดสอบเหล่านี้ส่วน

ใหญ่ไม่ประสบความสำเร็จในการผลิตไข่แดงเค็ม ในการทำผลิตภัณฑ์ไข่แดงเค็มอาจเกี่ยวข้องกับความเร็วของการแพร่กระจายและความเข้มข้นสุดท้ายของโซเดียมคลอไรด์ในไข่เค็ม (Wang, 1991) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตไข่แดงเค็มที่ผลิตแยกออกจากส่วนอื่นๆ ของไข่

2.4.7 การเพิ่มการออกฤทธิ์ทางชีวภาพในลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ด้วยสารสกัดจากธรรมชาติ

เพื่อเพิ่มการออกฤทธิ์ทางชีวภาพและประสิทธิภาพในการเก็บรักษาไข่ จึงมีการใช้สารประกอบหรือสารสกัดบางอย่างร่วมกับกระบวนการดองเกลือของไข่ ตัวอย่างเช่น การใช้ควันเหลวในการผลิตไข่เค็มเพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติการต้านจุลินทรีย์ ศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ และคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส ไข่เค็มที่ผลิตด้วยการแช่น้ำเกลือที่ผสมของเสียที่เป็นของเหลวของแกมเบียร์ (สารสกัดจากใบของเถาไม้เอเชียตะวันออกเฉียงใต้เขตร้อนที่มีแทนนิน) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและยืดอายุการเก็บรักษาไข่เค็มได้เป็นเวลา 63 วัน (Novia et al., 2014) การใช้น้ำมันสกัดจากกระเทียมในระหว่างการดองเกลือของไข่เป็ดช่วยเพิ่มฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย เช่น *Escherichia coli, Salmonella enteritidis และ Staphylococcus aureus* (Harlina et al., 2012) ดังนั้นส่วนผสมหรือสารเคมีที่ใช้ระหว่างการดองเกลืออาจส่งผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส อายุการเก็บรักษา และความปลอดภัยของไข่เค็มได้

2.5 ผลของการดองเกลือที่ต่อคุณสมบัติของไข่แดงและไข่ขาว

2.5.1 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของไข่เป็ดในระหว่างการทำเกลือ

การเปลี่ยนแปลงของความชื้นและปริมาณเกลือของไข่เป็ดที่ได้จากกระบวนการดองเกลือแบบต่างๆ ระหว่างกระบวนการ 7 สัปดาห์ พบว่าปริมาณความชื้นที่ลดลงเมื่อปริมาณเกลือเพิ่มขึ้นในไข่ขาวและไข่แดง เมื่อเวลาดองเกลือเพิ่มขึ้นความชื้นของไข่ขาวก็ค่อยๆ ลดลง ซึ่งความชื้นของไข่ขาวจากวิธีการแช่จะต่ำกว่าวิธีการเคลือบด้วยดินผสมเกลือเล็กน้อยเนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำจากไข่ขาวไปยังน้ำเกลือด้วยวิธีออสโมซิส ในช่วงสัปดาห์แรกของการดองเกลือ ไข่แดงจะแข็งตัวโดยเฉพาะที่ผิว เรียกว่า 'ไข่แดงด้านนอก' ในขณะที่พบไข่แดงเหลวที่มีความหนืดอยู่ภายใน เรียกว่า 'ไข่แดงด้านใน' โดยการแข็งตัวของไข่แดงค่อยๆเกิดไปที่ศูนย์กลางของไข่แดง การกำจัดน้ำ (dehydration) พบมากที่ไข่แดงด้านนอกเมื่อเทียบกับไข่แดงด้านใน มากขึ้นในไข่แดงภายนอกเมื่อเปรียบเทียบกับไข่แดงภายในและไม่มีความแตกต่างของความชื้นของไข่แดงด้านนอกระหว่างการพอก

ดินเหนียวกับวิธีการแช่ในน้ำเกลือ อย่างไรก็ตามไข่แดงด้านในจากวิธีการแช่น้ำเกลือมีความชื้นต่ำกว่าวิธีการพอกด้วยดินหลังการดอง 4 สัปดาห์ (Kaewmanee et al., 2009)

ปริมาณเกลือของไข่ขาวจากวิธีการดองเกลือด้วยวิธีแช่ในน้ำเกลือและการพอกดินเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเกลือที่เพิ่มขึ้นหลังจากดองเกลือ หลังการดองเกลือเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ปริมาณเกลือที่สูงขึ้นสังเกตได้จากไข่ขาวที่ได้จากวิธีการแช่น้ำเกลือ ในขณะที่การดองเกลือที่สัปดาห์ที่ 7 ไข่ขาวจากการแช่น้ำเกลือและการพอกเกลือมีปริมาณเกลือ 9.98% และ 6.90% ตามลำดับ ปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในไข่แดงจากทั้งสองวิธี อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของปริมาณเกลือระหว่างส่วนด้านในและด้านนอกของไข่แดง ปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้นในไข่ขาวเร็วกว่าและสูงกว่าที่พบในไข่แดง ผลลัพธ์นี้บ่งชี้ว่าการดึงน้ำออกของไข่แดงที่อาศัยกระบวนการออสโมติกควบคู่ไปกับการเพิ่มปริมาณเกลือในไข่ขาว การลดความชื้นของไข่แดงในระหว่างการดองเกลือส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของไข่ (Chi and Tseng, 1998) ปริมาณเกลือที่สูงขึ้นในไข่ขาวอาจทำให้น้ำย้ายจากไข่แดงไปยังไข่ขาวได้ และน้ำจะย้ายไปยังสิ่งแวดล้อมนอกเปลือกไข่ การแพร่ของเกลือไปที่ไข่ขาวด้วยวิธีการแช่น้ำเกลือส่วนใหญ่เกิดจากความเข้มข้นของเกลือที่สูงขึ้น (25%) เมื่อเปรียบเทียบกับการพอกดิน (เกลือ 18.35%) ยิ่งความเข้มข้นของเกลือต่างกันสูงขึ้นทำให้เกิดแรงดัน osmotic มากขึ้น ส่งผลให้มีการเคลื่อนย้ายของเกลือเข้าสู่ไข่มากขึ้น

การหลั่งน้ำมัน (oil exudation) ของไข่แดงจากการพอกดินและวิธีการแช่น้ำเกลือในระหว่างการดองเกลือเพิ่มขึ้นตามเวลาเกลือที่เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปไข่แดงด้านนอกมีการหลั่งน้ำมันสูงกว่าไข่แดงด้านใน ปรากฏการณ์นี้เห็นได้ชัดในไข่แดงที่ได้จากไข่เค็มโดยการพอกดิน อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างในการหลั่งของน้ำมันระหว่างส่วนด้านในและด้านนอกของไข่แดงที่ได้จากวิธีการแช่เกลือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังจาก 4 สัปดาห์ของการดองเกลือ การดึงน้ำออกระหว่างการดองเกลือและการมีอยู่ของเกลือในไข่แดงอาจช่วยเพิ่มการหลั่งของน้ำมันได้ (Schultz et al. 1968) ชี้ให้เห็นว่าการกำจัดน้ำออกจากไข่แดงช่วยเพิ่มไขมันที่สกัดได้ โดยไขมันอิสระอาจถูกปล่อยออกมาจากไมเซลล์ของไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่เกิดจากการกำจัดน้ำออกและปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้น อัตราการดองเกลือที่ต่ำลงอาจกระตุ้นการหลั่งของน้ำมันได้มากขึ้น การค่อยๆ เปลี่ยนสภาพของโปรตีนไข่แดงที่ได้รับผลกระทบจากเกลืออาจทำให้สูญเสียคุณสมบัติในการทำให้เป็นอิมัลชันมากขึ้นเมื่อดองเกลือ ด้วยเหตุนี้จึงมีการปล่อยไขมันอิสระในปริมาณที่สูงขึ้น

การเกิดออกซิเดชันของไขมันที่สกัดจากไข่แดงเค็มที่ได้จากวิธีการพอกดินและวิธีการแช่น้ำเกลือ ค่า TBARS ที่ใช้ในการตรวจสอบออกซิเดชันของลิพิด รวมถึง malonaldehyde ซึ่งอาจเกิดจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนที่มีอย่างน้อย 3 ตัว พันธะคู่ (Gordon et al., 2001) ในช่วงสัปดาห์ที่ 3 และ 5 พบค่า TBARS ที่สูงขึ้นในไข่แดงที่ได้จากวิธีการพอกดินเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแช่น้ำเกลือ ซึ่งเกิดขึ้นโดยการปลดปล่อยไขมันอิสระมากขึ้นในระยะเวลานั้น หลังจากสัปดาห์ที่ 5 ไข่แดงที่ได้จากวิธีการแช่น้ำเกลือจะมีค่า TBARS สูงกว่าไข่แดงจากวิธีการพอกดิน ตามปกติแล้วค่า CDA ที่สูงขึ้นของไขมันที่สกัดจากไข่แดงเค็ม หลังจาก 2 สัปดาห์ของการดองเกลือ และพบสูงสุดในสัปดาห์ที่ 5 ของการดองเกลือ (Gordon et al., 2001) โดยทั่วไปการลดลงของปริมาณ CDA เกิดขึ้นกับค่า TBARS ที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังจากดองเกลือเป็นเวลา 2 สัปดาห์ สิ่งนี้บ่งชี้ว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากย่อยสลายองค์ประกอบทางเคมีแสดงออกเป็นปริมาณ CDA ต่อผลิตภัณฑ์ที่เกิดออกซิเดชัน Yang และ Chen (1989) รายงานว่าการเกิดผลิตภัณฑ์ออกซิไดซ์ของคอเลสเตอรอลในไข่แดงเค็มขึ้นอยู่กับสภาวะการแปรรูป เช่น การหุงต้มอาหาร การสัมผัสกับความร้อนและออกซิเจน เวลาในการเก็บรักษา และการฉายรังสีแกรมมา เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของไข่เป็ดสดและไข่เค็มที่มีระยะเวลาการดองเกลือต่างกัน

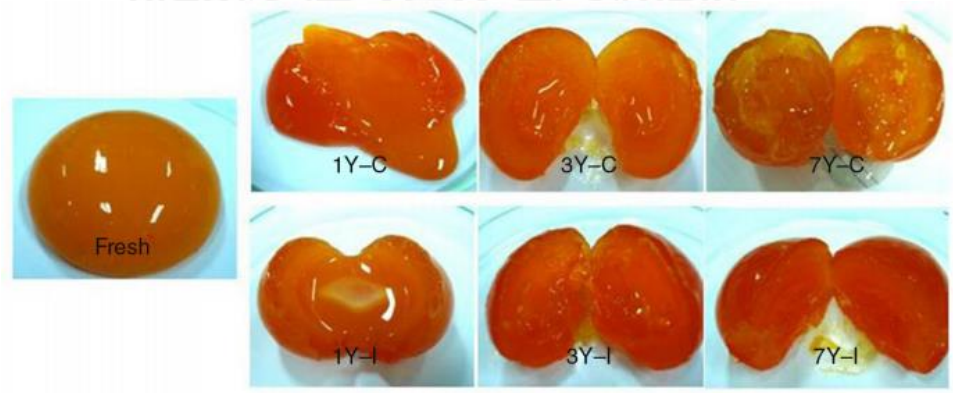
		องค์ประกอบทางเคมี (% Wet Weight Basis)					
		ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า	เกลือ
ไข่ขาว	ไข่สด	87.72	8.6-10.5	0.00-0.03	1.01-3.5	0.70	0.39
	ดอง 7 วัน	85.19	10.1	0.03	1.66	3.02	3.96
	ดอง 14 วัน	83.59	9.55	0.05	2.77	4.04	6.90
ไข่แดง	ไข่สด	43.51	14.1-16.0	35.80-37.25	1.6-3.4	5.59-2.20	0.45
	ดอง 7 วัน	36.2-39.8	16.7-19.5	38.39-47.57	3.1-4.1	1.91-2.28	0.54-0.67
	ดอง 14 วัน	20.0-26.5	17.6-21.3	38.39-47.57	0.3-1.5	2.20-2.45	0.84-0.87

ที่มา : Benjakul and Kaewmanee, (2017)

2.5.2 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ (physicochemical properties) และคุณสมบัติการไหล (rheological properties) ในระหว่างการดองเกลือ

2.5.2.1 การแข็งตัวของไข่แดงและการหลั่งของน้ำมัน

ในระหว่างการดองเกลือ ไข่แดงจะค่อยๆ แข็งตัวขึ้น ลักษณะของไข่แดงเป็ดในขั้นตอนต่างๆ ของการดองเกลือโดยการแช่ในน้ำเกลือหรือโดยวิธีการพอกเกลือแสดงในภาพที่ 2.7 ไข่แดงเค็มจะเปลี่ยนเป็นเจลยืดหยุ่น การแข็งตัวของไข่แดงเกิดขึ้นใกล้ผิวผิวที่ vitelline หรือเยื่อหุ้มไข่แดง และเคลื่อนเข้าด้านในไปยังศูนย์กลางของไข่แดง (Kaewmanee et al., 2009a) กระบวนการแข็งตัวแบบค่อยเป็นค่อยไปนี้เกิดขึ้นพร้อมกับการก่อตัวภายนอกของผนังกึ่งแข็งที่ล้อมรอบไข่แดงเค็ม ไข่แดงภายในยังอยู่ในรูปของเหลว แต่จะเหนียวขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปเนื่องจากด้านนอกไข่แดงที่ดองเกลือจะคายน้ำมากขึ้น เมื่อโปรตีนจากไข่แดงมีความเข้มข้นมากขึ้น การจับตัวกันระหว่างโมเลกุลโปรตีนซึ่งรวมถึงไลโปโปรตีนก็จะเพิ่มขึ้น โปรตีนจากไข่แดงเข้มข้นและกับปริมาณไขมันที่สูงจะทำให้เกิดเครือข่ายของเจลที่แข็งแรงที่สุด ซึ่งบ่งชี้ว่าโมเลกุลของไขมันไข่แดงนี้เองที่มีบทบาทในการสร้างโครงสร้างเจลโปรตีน (Kiosseoglou, 2003) ในไข่แดงมีอนุภาคหลายประเภท เช่น ทรงกลม (แกรนูลหรือไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ) จะถูกแขวนลอยในสารละลายโปรตีน (พลาสมา) ทั้งชิ้นส่วน เม็ดโปรตีน และพลาสมาของไข่แดง มีความสามารถในการสร้างเจล (Woodward and Cotterill, 1987)



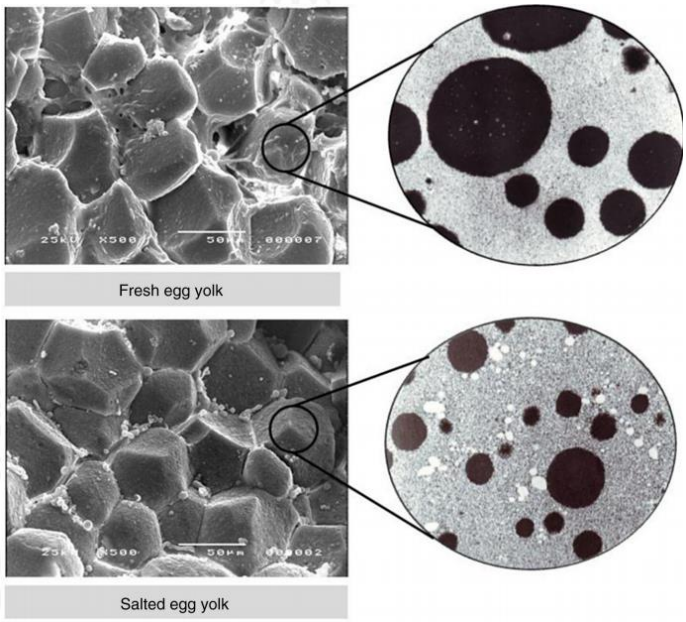
ภาพที่ 2.7 ไข่แดงเป็ด (Y) ผลิตด้วยวิธีพอกดินผสมเกลือ (C) หรือแช่น้ำเกลือ (I) ที่เวลาดองเกลือต่างกัน 0, 3 หรือ 7 สัปดาห์ โดยไข่แดงเป็ดสด (0 สัปดาห์); 1Y-C คือไข่แดงเค็มแบบพอกเกลือ (1 สัปดาห์); 1Y-I ไข่แดงเค็มแบบแช่น้ำเกลือ (1 สัปดาห์); 3Y-C, ไข่แดงเค็มพอกเกลือ (3 สัปดาห์); 3Y-I, ไข่แดงเค็มแบบแช่เกลือ (3 สัปดาห์); 7Y-C, ไข่แดงเค็มแบบพอกเกลือ (7 สัปดาห์); 7Y-I ไข่แดงเค็มแบบแช่น้ำเกลือ (7 สัปดาห์) ที่มา : Benjakul and Kaewmanee, (2017)

ในขณะที่กระบวนการดองเกลือดำเนินไป การคายน้ำจะเกิดขึ้นทำให้ของแข็งในไข่แดงเข้มข้นมากขึ้น ด้วยการเพิ่มเวลาการดองเกลือปริมาณเกลือในไข่แดงจะเพิ่มขึ้น และการคายน้ำของไข่แดงจะมากขึ้นอย่างชัดเจยซึ่งส่งผลทำให้ไข่แดงแข็งตัว การก่อตัวของไข่แดงเค็มถูกควบคุมโดยระดับการแทรกซึมของโซเดียมคลอไรด์ (Lai et al., 1999) การแทรกซึมของเกลือลงในไข่แดงทำให้เกิดการหยุดชะงักเสียสภาพของโปรตีน ทำให้โปรตีนมีคุณสมบัติการทำงานที่ดีขึ้นตามที่ระบุไว้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไข่แดงเป็นส่วนประกอบ (Kiosseoglou and Sherman, 1983; Foegeding et al., 2001) ความสามารถของอิเล็กโทรไลต์ในการมีอิทธิพลต่อโครงสร้างของโปรตีนทรงกลมนั้นไม่เพียงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเกลือเท่านั้น แต่ยังขึ้นกับความแรงไอออนิกของเกลือด้วย (Shenstone, 1968) ที่ความแรงของไอออนิกต่ำ โครงสร้างโปรตีนจะถูกควบคุมโดยปฏิกิริยาของไฟฟ้าสถิต ที่ความแรงของไอออนิกที่สูงขึ้น ความสามารถของเกลือในการทำให้โครงสร้างโปรตีนเสถียรนั้นสัมพันธ์กับการให้ความดูดซับน้ำของโมเลกุลโปรตีนอันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่เกิดจากเกลือในบริเวณใกล้เคียงกับโปรตีน (Harrison and Cunningham, 1986) ด้วยการเพิ่มเวลาในการดองเกลือและที่ความเข้มข้นของเกลือที่สูง ปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีนจึงเป็นที่นิยมมากกว่าปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีนเกิดได้ดีกว่าปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับโปรตีนเนื่องจากขาดโมเลกุลของน้ำในระบบ ซึ่งกระตุ้นให้เกิดการรวมตัวของโมเลกุลโปรตีน (Puppo and Anon, 1999)

ไข่แดงไม่ใช่สารละลายโปรตีนบริสุทธิ์ แต่เป็นการกระจายตัวของอนุภาคที่ประกอบด้วยไมเซลล์ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำและเม็ดไลโปโปรตีนความหนาแน่นสูง ไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นกลางซึ่งไม่ชอบน้ำถูกฝังอยู่ภายในอนุภาค ในขณะที่โปรตีนจะล้อมอยู่ที่พื้นผิวของอนุภาค (Paraskevopoulou และ Kiosseoglou, 1997) ดังนั้นการเกิดเจลของไข่แดงจึงเป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคไข่แดงไม่เสถียร ศึกษาผลของเกลือโซเดียมต่อการรวมตัวของไข่แดงฟอสวิติน ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีฟอสโฟรีเลตในไข่แดง (Castellani et al., 2005) ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์มีอิทธิพลอย่างมากต่อการตกตะกอนของโมเลกุลฟอสวิติน การตกตะกอนของฟอสวิตินที่ 0.15 โมลาร์ของความเข้มข้นไอออนิกนั้นสูงกว่าที่สังเกตได้ที่ 0.05 โมลาร์ภายใต้ความแรงของไอออนิกที่สูงขึ้น พันธะเชื่อมข้ามฟอสโฟแคลซิกระหว่างกลุ่มฟอสเฟตของโปรตีนสามชนิด (ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ไลโพวิเทลลิน และฟอสวิติน) จะเกิดขึ้น (Causeret et al. , 1991) มีการตั้งสมมติฐานการเกิดพันธะเชื่อมข้ามไอออนิกระหว่างไพเพอร์และกลุ่มฟอสเฟตของฟอสโฟเซอรีลตกค้างของฟอสโฟ

โปรตีน การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้นำไปสู่การทำลายแกรนูลที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ ส่วนการแยกตัวของเม็ดไข่แดงทั้งหมดเกิดขึ้นเมื่อเติมโซเดียมคลอไรด์ 1.71 โมลาร์ลงในไข่แดง (Chang et al., 1977)

เม็ดของไข่แดงเค็มมีความหนาแน่นมากกว่าไข่แดงของไข่เป็ดสด ซึ่งมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ภาพที่ 2.8) พบว่ามีโปรตีนทรงกลมขนาดใหญ่กว่าในไข่แดงสดเมื่อเทียบกับไข่แดงเค็ม (ภาพที่ 2.8) สำหรับไข่แดงเค็ม จะสังเกตน้ำมันทรงกลมที่ส่วนต่อประสานของทรงกลมไข่แดง ซึ่งบ่งชี้ว่ามีหยดน้ำมันถูกปล่อยออกมาจากโครงสร้างไขมันและโปรตีน โดยรวมแล้วโครงสร้างของไลโปโปรตีนถูกทำลายเนื่องจากกระบวนการดองเกลือ และบางส่วนของไขมันในไข่แดงกลายเป็นอิสระ นำไปสู่การปลดปล่อยน้ำมันอิสระซึ่งเป็นหนึ่งในคุณลักษณะที่ต้องการของไข่แดงเค็ม



ภาพที่ 2.8 การสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและการส่งผ่านอิเล็กตรอนของเม็ดไข่แดงจากไข่แดงสดและไข่เค็ม ที่มา : Benjakul and Kaewmanee, (2017)

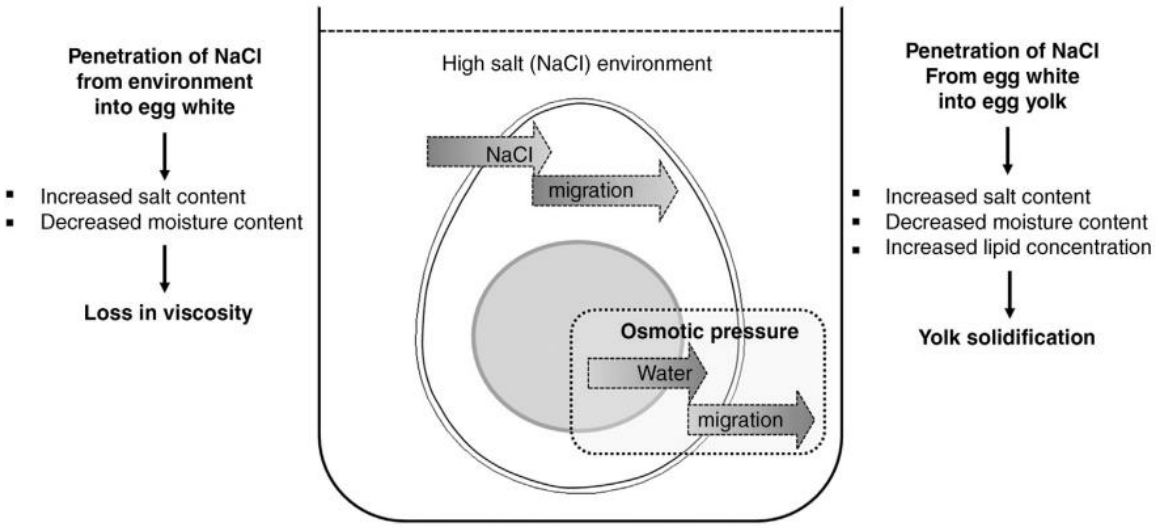
2.5.2.2 พฤติกรรมการไหลของไข่แดง (Rheological behavior):

การทำความเข้าใจคุณสมบัติการไหลของไข่แดง (เช่น การเสียรูปและการไหลของไข่แดงภายใต้การใช้แรงดัน) สามารถให้ทราบข้อมูลโครงสร้างจุลภาค (microstructure) วิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของอาหารคือ การทดสอบการด้วยคลื่นความถี่ซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุของไข่แดง การใช้ช่วงความถี่ที่กำหนด (วัดเป็นเฮิรตซ์) การทดสอบ

พฤติกรรมการไหลของไข่แดงมีความหนืดหรือคุณสมบัติยืดหยุ่น เมื่อมีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0% ถึง 3.0% (น้ำหนัก/น้ำหนัก) การเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นที่เกิดขึ้นในพฤติกรรมความหนืดของไข่แดงอย่างเด่นชัด (Kaewmanee et al., 2013) โดยพื้นฐานแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงของโซล-เจล ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงนี้ storage modulus (G′) ถูกตรวจวัดเพื่อบ่งชี้ความยืดหยุ่น หน่วยวัด G′ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ความดัน คือ ปาสกาล (Pa) โดยที่ 1 Pa = 1 N/m^2 ตัวบ่งชี้ความหนืดของไข่แดงคือ Loss modulus (G″) ซึ่งวัดในหน่วย Pa โดย storage modulus, loss modulus และอัตราส่วน (G″/G′ หรือ tanδ) มีการรายงานในช่วงความถี่ (เฮิรตซ์) เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น (แกน x) โมดูลัสการจัดเก็บ (ยืดหยุ่น) และโมดูลัสการสูญเสีย (ความหนืด) ก็เพิ่มขึ้นเมื่อมีโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นต่างกัน (0– 2.5%) ข้อยกเว้นคือ โซเดียมคลอไรด์ 3.0% ซึ่งความถี่ที่เพิ่มขึ้นมีผลเพียงเล็กน้อยต่อ storage modulus (ตัวบ่งชี้ความยืดหยุ่นของไข่แดง) และ loss modulus (ตัวบ่งชี้ความหนืดของไข่แดง) อัตราส่วนที่ลดลง (G″/G′ หรือ tanδ) เกิดขึ้นกับความถี่ที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เปลี่ยนแปลงจาก 0 ถึง 1.0%; ระดับโซเดียมคลอไรด์ที่สูงขึ้น (1.5–3.0 %) ส่งผลให้อัตราส่วนเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (G″/G′ หรือ tanδ) เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 3.0% การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในลักษณะ viscoelastic เกิดขึ้นที่ความถี่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่าของ G′ (elastic) มากกว่า G″ (viscosity) ตลอดช่วงความถี่ทั้งหมด (0.01–10 Hz) แสดงว่าไข่แดงกลายเป็นเจลที่โซเดียมคลอไรด์ 3.0% อย่างไรก็ตาม ที่ระดับการคายน้ำที่ต่ำกว่าโดยใช้ความเข้มข้นของเกลือน้อยกว่า 3.0% การเติมโซเดียมคลอไรด์อาจปรับพฤติกรรมความหนืดของไข่แดงของไข่เป็ดได้ซึ่งจะส่งผลให้เกิดเครือข่ายเจลในการผลิตไข่เค็ม

2.5.2.3 การทำให้ไข่ขาวเป็นของเหลว (Egg white liquefaction)

กระบวนการดองเกลือ (salting process) ทำให้ไข่ขาวมีความหนืดต่ำ ซึ่งมีแนวโน้มมากขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนไข่ขาวที่มีความเข้มข้นที่เกิดจากเกลือ หลังจากดองเกลือเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ความหนืดของไข่ขาวจะลดลงจาก 90.55 (ไข่สด) เป็น 42.19 centipoise หรือ cP (Chi and Tseng, 1998) โปรตีนจากไข่ขาวจะมีปฏิสัมพันธ์น้อยลงเมื่อเวลาในการดองเกลือเพิ่มขึ้น โปรตีนจากไข่ขาวได้รับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ส่งผลให้ความหนืดลดลง (Yang and Baldwin, 1995) ไข่ขาวที่เป็นน้ำของไข่เค็มสามารถแยกออกจากไข่แดงที่แข็งตัวได้ง่ายทั้งก่อนและหลังปรุงสุก การเปลี่ยนแปลงโดยรวมของไข่แดงและไข่ขาวในระหว่างการดองเกลือได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของไข่ในระหว่างการเกลือ

ที่มา : Benjakul and Kaewmanee, (2017)

2.5.3 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเนื้อสัมผัสของไข่ในระหว่างการดองเกลือ

2.5.3.1 ผลของเกลือต่อคุณสมบัติเนื้อสัมผัสของไข่แดงดิบ

เนื่องจากไข่แดงดิบเริ่มแข็งตัวหลังจากดองในน้ำเกลือความเข้มข้น 20% เป็นเวลา 14 วัน ไข่แดงดิบที่สุ่มตัวอย่างจากไข่ที่ดองเกลือเป็นเวลา 14 วันในน้ำเกลือ 20% และ 25% และเป็นเวลา 21, 28 และ 35 วัน ในน้ำเกลือที่ความเข้มข้น 10%, 15%, 20% และ 25% ถูกนำมาวัดค่าความแข็ง (hardness) และความยืดหยุ่น (springiness) ของเจล ผลการทดลองแสดงว่าไข่แดงเค็มดิบมีแนวโน้มของความแข็งที่เพิ่มขึ้นส่วนค่าความยืดหยุ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการดองเกลือและความเข้มข้นของน้ำเกลือเพิ่มขึ้น ผลการทดลองนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นของเกลือในสารละลายน้ำเกลือที่สูงขึ้นทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีนในระดับที่สูงขึ้น ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการสร้างเครือข่ายเจลในไข่แดง การก่อตัวของเครือข่ายเจลเป็นผลมาจากการเสียสภาพของโปรตีน ซึ่งช่วยเพิ่มปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลและเปลี่ยนไข่แดงให้เป็นโครงสร้างให้มีความแข็งและความยืดหยุ่น (Paraskevopoulou and Kiosseoglou, 1997)

2.5.3.2 ผลของการใช้เกลือต่อคุณสมบัติเนื้อสัมผัสของไข่ขาวและไข่แดงที่สุกแล้ว

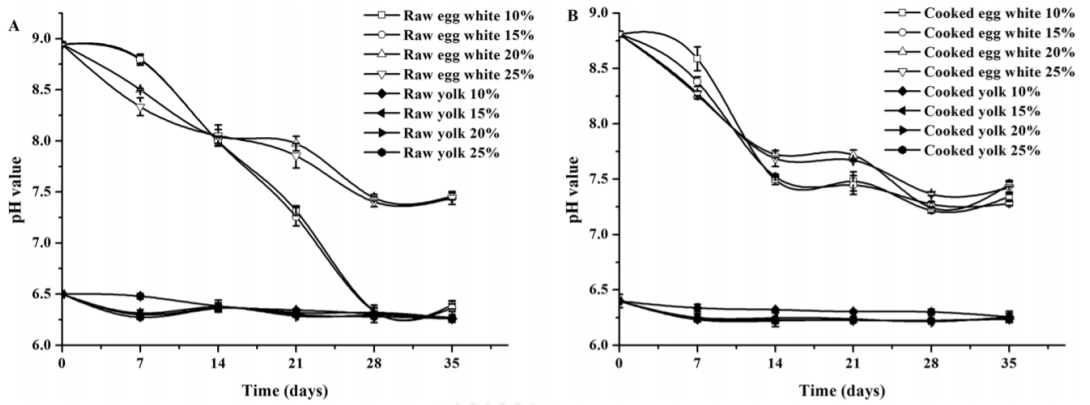
ความแข็งของไข่ขาวสุกลดลงเมื่อเวลาในการดองเกลือผ่านไป 0–21 วัน และค่าความแข็งเพิ่มขึ้นในวันที่ 28 ของการดองเกลือ แล้วลดลงอีกครั้งในวันที่ 35 ของการดองเกลือ

ไข่ขาวที่สุกที่ดองในน้ำเกลือความเข้มข้น 10% มีความแข็งสูงกว่าไข่ที่แช่ในน้ำเกลือ 15, 20 และ 25% ($P<0.05$) ค่าความแข็งแสดงให้เห็นการการแปรผันที่คล้ายกับพฤติกรรมการไหล (rheology behaviour) ความยืดหยุ่น (springiness) ของไข่ขาวสุกมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาดองเกลือและความเข้มข้นของเกลือในสารละลายน้ำเกลือเพิ่มขึ้น ความแข็งและความยืดหยุ่นที่ลดลงของไข่ขาวสุกอาจเกิดจากโซเดียมไอออนที่ส่งผลโดยตรงต่อการยืดตัวของโมเลกุลโปรตีน และเพิ่มส่วนประกอบที่รวมตัวกันแบบสุ่มของเจลโปรตีน ซึ่งท้ายที่สุดจะนำไปสู่เนื้อสัมผัสที่หยาบและโครงสร้างเจลที่ไม่สม่ำเสมอในไข่ขาว นอกจากนี้ไอออนของโลหะและค่า pH ยังมีบทบาทสำคัญในพฤติกรรมการเกิดเจลของโปรตีนในไข่ขาว ปริมาณ NaCl ในไข่ขาวจะเพิ่มขึ้นตามเวลาในการดองเกลือและความเข้มข้นของเกลือในสารละลายน้ำเกลือที่เพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของ NaCl ที่สูงจะทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลลดลง (Croguennec et al., 2002) นอกจากนี้การเติมเกลือจะเพิ่มอุณหภูมิการเสียสภาพของโปรตีนในสารละลายและชะลอการรวมตัวของโมเลกุลโปรตีนได้ (Rita de Cassia et al., 2007) ซึ่งจะทำให้ความแข็งและความสปริงของไข่ขาวลดลง ความแข็งที่เพิ่มขึ้นซึ่งสังเกตพบในวันที่ 28 ของการดองเกลืออาจเกิดจากผลของเกลือที่มีต่อปฏิกิริยาไฟฟ้าสถิต (electric interactions) ไอออนบวกของโลหะสามารถป้องกันประจุลบของโปรตีน ซึ่งจะช่วยลดแรงผลักและเพิ่มปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนได้จึงส่งเสริมการรวมตัวของโมเลกุล (Wei and Tong, 2011; Huang et al., 1999) และปรับปรุงความแข็งของไข่ขาว

2.5.4 ผลของเกลือต่อค่า pH ของไข่แดงเป็ดและไข่ขาว

ค่า pH ของไข่ขาวเท่ากับ 8.94 และ 8.81 และ pH ของไข่แดง 6.50 และ 6.40 สำหรับไข่เค็มดิบและไข่เค็มที่ปรุงสุกแล้วตามลำดับ ขณะที่การดองเกลือยังคงดำเนินต่อไป ค่า pH ของไข่ขาวเค็มดิบและไข่ขาวเค็มสุกมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P <0.05$) ในช่วงแรกจากนั้นค่า pH เริ่มคงที่ในช่วงสุดท้ายของการดองเกลือ อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของค่า pH จะแปรผันตามความเข้มข้นของเกลือ ความเข้มข้นของเกลือ (20% และ 25%) ในน้ำเกลือดังกล่าวทำให้ค่า pH ของไข่ขาวสูงกว่าความเข้มข้นของเกลือที่ต่ำกว่า (10% และ 15%) ($P <0.05$) ทั้งในไข่เค็มดิบและไข่เค็มที่ปรุงสุกแล้ว นอกจากนี้ ค่า pH ของไข่แดงเค็มสุกจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลังถูกดองเกลือเป็นเวลา 7 วัน ($P <0.05$) ซึ่งการลดลงของค่า pH จะลดลงอย่างช้าๆ หลังจากช่วงเวลานี้ ค่า pH ของไข่แดงดิบและไข่แดงสุกมีอัตราการลดลงใกล้เคียงกันเมื่อทำการดองในน้ำเกลือความเข้นข้น 15, 20 และ 25% แต่ลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับไข่ที่ดองในน้ำเกลือความเข้มข้น 10% ($P <0.05$) หลังจากดอง

เกลือ 35 วัน ค่า pH ของไข่ขาวดิบ ไข่ขาวสุก ไข่แดงดิบ และไข่แดงสุกลดลงเป็น 6.33, 7.21, 6.26 และ 6.21 ตามลำดับ (Xu et al., 2017)



ภาพที่ 2.10 ผลของความเข้มข้นที่แตกต่างกันของเกลือต่อค่า pH ของไข่แดงและไข่ขาวในระหว่างการดองเกลือ (A) ไข่ดิบ (B) ไข่สุก (ที่มา : Xu et al., 2017)

การลดลงของค่า pH ของไข่ขาวเค็มและไข่แดงเค็มจากการเพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้นเวลาที่ใช้ในการดองเกลือ อาจเกิดจากการทำลายโปรตีนพื้นฐาน (เช่น ไลโซไซม์) ในไข่ขาวโดยกระบวนการเอนโดสโมซิส การลดความชื้นของไข่ช่วยเพิ่มการปลอดปล่อยก๊าซของกรดคาร์บอนิคจากไข่ และเพิ่มขึ้นของไขมันในไข่แดง การที่ไข่ขาวทั้งแบบดิบและแบบสุกมีค่า pH สูงกว่าจะมีปริมาณเกลือมากกว่าไข่ขาวเค็มดิบสุก อาจเป็นผลจากการลดลงของปริมาณโอโวมิวซิน (ovomucin level) ในไข่ขาว แสดงให้เห็นว่าค่า pH มีความสัมพันธ์เชิงลบกับระดับโอโวมูซินในไข่ขาว (Zuo, 2013). ไข่เค็มในน้ำเกลือที่มีปริมาณเกลือสูงกว่าทำให้ไข่เค็มมีปริมาณเกลือในไขขาวสูงกว่าด้วย ซึ่งจะทำให้โครงสร้างโอโวมิวซินแตกตัวและยังเป็นสาเหตุให้ไข่ขาวเหลว ส่วนการลดลงของโอโวมิวซินนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของค่า pH ในไข่ขาว ยิ่งไปกว่านั้นในไข่ที่ดองในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นต่ำ (10% และ 15%) ค่า pH ของไข่ขาวดิบมีค่าสูงกว่า pH ของไข่ขาวเค็มสุกหลังการดองเกลือ 0-14 วัน แต่มีค่า pH ต่ำกว่าข่าวเค็มสุกหลังการดองเค็ม 21-35 วัน ปรากฏการณ์นี้อาจทำให้เกิดความคงตัวต่อความร้อนของไลโซไซม์ภายใต้สภาวะการดองเกลือที่แตกต่างกัน ในช่วงแรกของกระบวนการดองเกลือ ไข่ขาวจะเป็นด่างเล็กน้อย ส่วนไลโซไซม์มีความคงตัวทางความร้อนต่ำมากภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง (Makki and Durance, 1996) ซึ่งความร้อนอาจทำลายไลโซไซม์ได้ การทำให้ค่า pH ของไข่ขาวเค็มสุกต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไข่ขาวเค็บดิบ ค่า pH ของไข่ขาวที่มีค่ามักจะเป็นกลางในช่วงท้ายของการดองเกลือ ค่า pH ที่

สูงขึ้นของไข่ขาวดิบเมื่อเทียบกับไข่ขาวสุกในไข่เค็มที่ดองในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น (20% และ 25%) อาจเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนพื้นฐาน (เช่น ไลโซไซม์) (Gosal and Ross-Murphy, 2000) นอกจากนี้ความเข้มข้นของ NaCl ที่สูงยังสามารถกระตุ้นให้เกิดการรวมตัวทางความร้อนของโปรตีนได้ (Kaewmanee et al., 2011) เป็นผลให้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนกับโปรตีนและโมเลกุลในสารละลายเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในโปรตีนซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ค่า pH สูงขึ้นในไข่ขาวเค็มที่สุกเมื่อเทียบกับไข่ขาวเค็มดิบ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิธีการผลิตไข่เค็มสามารถทำได้โดยการแช่ไข่ในน้ำเกลืออิ่มตัว หรือเคลือบไข่ด้วยเกลือที่มีส่วนผสมของเกลือ เถ้า และผงอิฐ ค่าความแข็ง (hardness) และพบการยึดเกาะ (adhesiveness) ของไข่แดงเค็มที่ผลิตด้วยวิธีการพอกเกลือมีค่าสูงกว่าการผลิตไข่เค็มด้วยวิธีแช่น้ำเกลือ ในขณะที่การแตกตัว (fracturability), gumminess และความเคี้ยวได้ (chewiness) ของไข่แดงเค็มที่ผลิตด้วยวิธีการแช่น้ำเกลือ (Kaewmanee et al., 2009) กระบวนการหลักในการทำไข่เค็มคือการดองเกลือ (ใช้ NaCl) ซึ่งจะให้รสเค็มและยังทำหน้าที่เป็นสารกันบูดอีกด้วย แต่อย่างก็ตามการบริโภคเกลือเพิ่มขึ้นและการขาดโพแทสเซียมเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะความดันโลหิตสูง ความดันโลหิตสูงและความเสี่ยงโรคหลอดเลือดสมองตีบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการบริโภคโซเดียมและมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณโพแทสเซียม อาหารที่มีการดัดแปลงสัดส่วนของโพแทสเซียม : โซเดียม ที่ 2 : 1 เป็นกลยุทธ์ที่สำคัญมากในการป้องกันและรักษาความดันโลหิตสูง (Adrogué et al., 2007) มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการบริโภคโพแทสเซียมกับความดันโลหิต ($p = 0.04$) โดยทั่วไปอาการความดันโลหิตสูงพบได้บ่อยในกลุ่มผู้ป่วยที่ไม่รับประทานโพแทสเซียมเป็นประจำ (51.7%) ผู้ที่บริโภคเกลือมากเกินไป จึงมีการศึกษาวิจัยเพื่อผลิตไข่เค็มโซเดียมต่ำ ด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่

Ariviani et al. (2017) ได้พัฒนาไข่เค็มโซเดียมต่ำที่มีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระด้วยนวัตกรรมในกระบวนการดองเกลือโดยใช้สารสกัดใบสัก (teak leave) เข้มข้นและสารโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ทดแทนการใช้เกลือ ผลการวิจัยพบว่าการทดแทนเกลือด้วย KCl ไม่ส่งผลต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ของไข่เค็ม แต่ลดคุณภาพทางประสาทสัมผัสซึ่งรวมถึงคุณภาพของรสชาติ สี รสและความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ไข่เค็ม การเพิ่มสารสกัดจากใบสักช่วยเพิ่มทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัสและ TPC ของไข่เค็มที่ผลิตด้วยการทดแทนเกลือด้วย KCl ปริมาณ TPC เพิ่มขึ้นเมื่อ

เพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดใบสักที่ใช้ในการดองเกลือ การทดแทนเกลือด้วย KCl หรือการเพิ่มสารสกัดจากใบสักได้รับการพิสูจน์แล้วว่าช่วยเพิ่มกิจกรรมการขจัดอนุมูลอิสระของไข่เค็ม จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าไข่เค็มโซเดียมต่ำที่ได้มีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระซึ่งผลิตโดยใช้สูตรการดองเกลือที่คัดเลือกมามีคุณสมบัติทางโภชนาการและทางประสาทสัมผัสที่เทียบได้กับไข่เค็มที่ผลิตโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

วิธีการทำเกลือส่งผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของไข่ขาวและไข่แดง โดยเฉพาะหลังปรุง [4] โดยทั่วไป ไข่เป็ดเค็มสามารถแปรรูปได้สองวิธี วิธีหนึ่งเกี่ยวข้องกับการต้มไข่ในน้ำเกลือประมาณ 15-30 วัน และอีกวิธีหนึ่งเกี่ยวข้องกับการเคลือบไข่ด้วยส่วนผสมคล้ายดินเหนียวซึ่งประกอบด้วยดินสีแดง เกลือ และน้ำในระยะเวลาเท่ากัน [6], [7] นักวิจัยบางคนรายงานผลของการเคลือบหรือวิธีการแช่แบบขั้นตอนเดียวต่อองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเนื้อสัมผัส [8] เมื่อเทียบกับวิธีการเคลือบ วิธีการแช่จะเร็วกว่าและสะดวกกว่าสำหรับการผลิตไข่เค็ม [9] เทคโนโลยีใหม่บางอย่าง เช่น แรงดันพัลซิ่งถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มการถ่ายเทมวลของการคายน้ำด้วยออสโมติกในวิธีการจุ่ม [5] มีการรายงานวิธีการแช่สองวิธีสำหรับการผลิตไข่เค็ม ซึ่งเกี่ยวข้องกับขั้นตอนหนึ่งหรือสองขั้นตอน การแช่แบบขั้นตอนเดียวเป็นกระบวนการทำเกลือแบบดั้งเดิม โดยที่ไข่เป็ดจะใส่เกลือโดยตรงในของเหลวที่มีเกลือสูง การแช่สองขั้นตอนเกี่ยวข้องกับการใส่เกลือตามลำดับของไข่เป็ดที่ความเข้มข้นของของเหลวเกลือสองระดับ เมื่อเทียบกับการแช่แบบขั้นตอนเดียว ปริมาณ NaCl สุดท้ายของไข่ขาวและไข่แดงในการแช่แบบสองขั้นตอนสามารถควบคุมได้ดีกว่า และอาจแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการกระจายเกลือในไข่ขาวและไข่แดงที่ไม่สม่ำเสมอได้ การแช่แบบสองขั้นตอนอาจลดปริมาณเกลือลง และสารละลายเกลือสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เป้าหมายของเราคือเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการในการผลิตไข่เค็มที่มีโซเดียมคลอไรด์ต่ำซึ่งมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ต่ำในไข่ขาว ทำให้ไข่มีรสชาติดีขึ้นและมีสุขภาพดีขึ้นเมื่อเทียบกับไข่เค็มแบบดั้งเดิม เนื่องจากการบริโภคเกลือในปริมาณมากนั้นเชื่อมโยงกับความดันโลหิตสูงและโรคหัวใจ [10]. ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธีการจุ่มแบบสองขั้นตอนในการศึกษานี้

Zou et al. (2018) ได้พัฒนากระบวนการผลิตไข่เค็มโซเดียมต่ำ โดยศึกษาผลของการทำการเตรียมไข่ขั้นตอน (pretreatment) ด้วยคลอรีนไดออกไซด์ที่มีต่อจุลินทรีย์ในเปลือกไข่ และกระบวนการแช่น้ำเกลือสองขั้นตอนที่มีต่อปริมาณเกลือในไข่ขาวและคุณภาพของไข่เค็ม กระบวนการที่เหมาะสมที่สุดมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ 1) ล้างไข่ด้วยน้ำแล้วฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 30.0–50.0 มก./ลิตร เป็นเวลา 3-5 นาที 2) ทำการดองเกลือในน้ำเกลือแรกที่มีความเค็ม 16.0%–20.0% เป็น

เวลา 10 วัน 3) นำไข่ถ่ายโอนไปยังน้ำเกลือที่สองที่มีเกลือ 4.0%–6.0%, โป๊ยกั๊ก 0.05%–0.10% และหนามจีน (Chinese prickly) เป็นเวลา 20-25 วัน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่เหมาะสมที่สามารถผลิตไข่เค็มจากไข่เป็ดคุณภาพสูงที่มีปริมาณเกลือในไข่ขาวต่ำและปริมาณน้ำมันในไข่แดงสูง

ไข่ขาวเค็มของไข่เป็ดแบบดั้งเดิมมีปริมาณเกลือสูงมาก ดังนั้นจึงมีการใช้อาหารอย่างจำกัด อย่างไรก็ตาม การทิ้งไข่ขาวเค็มจะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ มาตรฐานการครองชีพที่สูงขึ้นในไต้หวันได้เพิ่มความตระหนักเกี่ยวกับสุขภาพ ผู้บริโภคจึงสนใจอาหารเพื่อสุขภาพ ดังนั้นจึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องพัฒนาวิธีการแปรรูปไข่เป็ดเค็มโดยใช้ไข่แดงสดโดยตรง เพิ่มประโยชน์ของไข่ขาว และกำหนดสภาวะการดองที่เหมาะสมที่สุดโดยมีปริมาณเกลือลดลงเมื่อแปรรูปไข่เป็ดเค็ม จึงสามารถพัฒนาไข่เป็ดเค็มที่มีสุขภาพดีขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้

หลายกลุ่มได้แยกไข่แดงออกจากไข่ขาวก่อนที่จะนำไปต้มเพื่อรักษาหน้าที่ของไข่ขาว แต่กระบวนการหมักเหล่านี้ไม่ประสบความสำเร็จ (Lai and others 1999; Hwang 2002) แม้ว่าระยะเวลาในการใส่เกลือจะลดลงเหลือ 2-3 วัน แต่ไข่แดงกลายเป็นน้ำและไม่มีลักษณะที่พึงประสงค์ (เชียงและชุง, 2529) การสัมผัสโดยตรงระหว่างสารละลายน้ำเกลือที่อิ่มตัวด้วยเกลือและไข่แดงที่หมักไว้ทำให้เกิดการไล่ระดับการแพร่กระจายที่มาก ส่งผลให้มีปริมาณเกลือสูงในไข่แดงที่หมักไว้หลังการแยก แม้จะมีข้อดีของการแยกน้ำเกลือออกจากไข่แดง (เช่น ระยะเวลาการต้มที่สั้นกว่าและไข่ขาวที่ไม่บุบสลาย) แต่ความพ่ายแพ้ที่สำคัญของกระบวนการหมักไข่แดงที่แยกจากกันก็คือความเค็มที่มากเกินไป ตามรายงานของ ลิมปภัส (2004) เลาหรัตนหิรัญ (2548) และเพชรชุทัยรุ่ง (2548) ภาวะขาดน้ำและปริมาณเกลือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความกระด้างของไข่แดงเค็ม อย่างไรก็ตาม มีการศึกษาเพียงไม่กี่ชิ้นที่ประยุกต์ใช้การคายน้ำแบบออสโมติก (OD) กับกระบวนการหมักไข่แดงที่แยกจากกัน OD ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของแรงดันออสโมติกภายในและภายนอกเซลล์และเป็นกระบวนการกำจัดน้ำ สารออสโมติกหลายชนิด เช่น ซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส น้ำเชื่อมข้าวโพด และโซเดียมคลอไรด์ ใช้สำหรับ OD (Azuara et al., 2002) Saeung and others (2010) รายงานว่าไข่แดงสามารถเค็มได้ภายใน $<$ 1 วันโดยใช้ไข่แดงไก่ที่แยกจากกัน สารละลายน้ำเกลือประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์ โพแทสเซียมคลอไรด์ และซูโครส ผลการศึกษาพบว่าอัตราการแพร่ของน้ำตาลผ่านไข่แดงช้ากว่าเกลือมาก เนื่องจากน้ำตาลมีน้ำหนักโมเลกุลสูง และน้ำตาลส่วนใหญ่ยังคงอยู่บนผิวไข่แดง ซึ่งจำกัดการดูดซึมเกลือ อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของเกลือในไข่แดงเค็มยังคงสูง (4.09 ±0.55

มก./กรัม) และใกล้เคียงกับปริมาณเกลือในระดับสูงที่พบในไข่แดงเค็มเชิงพาณิชย์ (ช่วงประมาณ 2.84-4.15 มก./กรัม; Saeaung et al., 2553).

Wang (2007) ได้เสนอแนวคิดใหม่ของการแปรรูปไข่แดงเค็มโดยใช้ไข่แดงของไข่เป็ดสด ไข่แดงเค็มผลิตขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับแนวปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีและช่วยให้สามารถตรวจสอบย้อนกลับของวัตถุดิบได้ดีขึ้น วิธีการนี้ยังป้องกันการทำให้เค็ม (curing) ของอัลบูมินหรือไข่ขาวซึ่งปกติจะเกิดขึ้นการดองเกลือเพื่อผลิตไข่เค็มแบบดั้งเดิม และไข่ขาวที่แยกออกมาสามารถใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆได้กระบวนการผลิตไข่แดงเค็มที่คิดค้นใหม่นี้ช่วยเร่งเวลาการบ่มจาก 4 สัปดาห์ให้เหลือเพียง 4 วัน สารละลายน้ำเกลือที่ใช้ในการดอง คือ สารผสมของโซเดียมคลอไรด์และมอลโทเดกซ์ทริน ซึ่งการทดสอบทางประสาทสัมผัสบ่งชี้ว่ากระบวนการผลิตไข่แดงเค็มแบบใหม่นี้ทำให้ไข่แดงเค็มที่ได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับกระบวนการที่ใช้วิธีการหมักไข่แบบทั้งเปลือกไข่โดยวิธีแบบดั้งเดิมอีกด้วย

เนื่องจากความต้องการของผู้บริโภค ส่วนประกอบที่มีถูกนำไปใช้ประโยชน์ไข่เค็ม คือ ไข่แดง จำเป็นต้องพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับการผลิตไข่แดงเค็ม ซึ่งแยกจากไข่ขาวโดยเน้นที่การผลิตไข่แดงเค็มโดยตรงที่มีน้ำมันหลั่งออกมาสูง หากสามารถแยกไข่แดงออกจากไข่ขาวก่อนการเก็บรักษาได้ คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของการเกิดฟอง การทำให้เป็นอิมัลชัน และการเกิดเจลของไข่ขาวที่ไม่ผ่านการดองเกลือนั้นสามารถใช้ประโยชน์ได้โดยไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับปริมาณเกลือ สำหรับไข่เค็มซึ่งไม่ได้แยกไข่แดงและไข่ขาวแยกออกจากกัน ไข่ขาวเค็มมีมูลค่าทางตลาดของต่ำ ไข่ขาวเค็มอาจนำไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกคุณภาพสูงต่อไปได้ แต่ควรมีการตรวจสอบการใช้ไข่ขาวเป็ดเค็มในผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปเพิ่มเติม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาหารที่ต้องการให้มีปริมาณเกลือสูง การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตที่ประหยัดเพื่อขจัดส่วนที่ไม่ต้องการออกจากไข่ขาวที่เก็บรักษาไว้ เช่น เกลือ และการรักษาส่วนประกอบที่มีคุณค่าทางโภชนาการของไข่ขาวสำหรับใช้ในอาหารเพื่อปรับปรุงคุณภาพและคุณสมบัติเชิงหน้าที่จึงต้องให้ความสนใจเพิ่มเติม วิธีการต่างๆ เช่น การใช้กรดอินทรีย์เพื่อทำให้เปลือกบางและเอนไซม์โปรตีเอสเพื่อทำลายเยื่อหุ้มเปลือกไข่ จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงเพิ่มเติมสำหรับนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์เพื่อลดเวลาสำหรับการดองเกลือไข่เป็ดในเชิงพาณิชย์ซึ่งขณะนี้ใช้เวลาอยู่ที่ 2-4 สัปดาห์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้พัฒนากระบวนการผลิตไข่แดงเค็มชนิดเค็มน้อยโดยการแยกไข่ขาวออกไป เพื่อให้สามารถนำไข่ขาวไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ได้ และยังต้องลดเวลาในการดองเกลือด้วยวิธีแช่ในน้ำเกลือผสมกับมอลโตเด็กซ์ตริน เพื่อทดแทนการใช้เกลือบางส่วนเปรียบเทียบกับคุณภาพของไข่แดงเค็มที่มีจำหน่ายในท้องตลอดอีกด้วย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 ไข่เป็ด อายุไม่เกิน 5 วัน จาก Tesco Lotus

3.1.1.2 ตัวอย่างไข่แดงเค็ม ตรา ซีพี

3.1.1.3 เกลือป่น ตราปรุงทิพย์

3.1.1.4 Maltodextrin (food grade) ร้านกรุงเทพเคมี

3.1.1.5 น้ำดื่ม ตราสิงห์

3.1.2 อุปกรณ์ที่ในการผลิต

3.1.2.1 เครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียด 2 ตำแหน่ง

3.1.2.2 เครื่องวัดความเค็ม (salinity meter refractometer) รุ่น S-28

3.1.2.3 ถ้วย

3.1.2.4 ช้อน

3.1.2.5 กล่องพลาสติกแบบสุญญากาศ Super lock (airtight box)

3.1.3 อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

3.1.3.1 เครื่องวัดค่าสี (spectrophotometer) ยี่ห้อ konica minolta รุ่น CM-3500d

3.1.3.2 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer) ยี่ห้อ stable micro system รุ่น TA-xt2i

3.1.4 อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

3.1.4.1 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ยี่ห้อ binder รุ่น BD 1150

3.1.4.2 เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ sartorius รุ่น ED 224S

3.1.4.3 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (water activity meter) ยี่ห้อ AQUALAB รุ่น 4TE

3.1.4.4 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น

3.1.4.4.1 ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (moisture can)

3.1.4.4.2 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (crucible)

3.1.4.5 วิเคราะห์ค่าเกลือ

3.1.4.5.1 เตาให้ความร้อน (hot plate)

3.1.4.5.2 ตู้ดูดควัน (fume hoods)

3.1.4.6 วิเคราะห์ปริมาณไขมัน

3.1.4.6.1 อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (soxhlet) ยี่ห้อ FOSS รุ่น 2055

3.1.4.6.2 ทิมเบิล (thimble)

3.1.4.6.3 กระดาษกรอง (filter paper)

3.1.4.7 โถดูดความชื้น (desiccator)

3.1.4.8 ช้อนตักสาร (spatula)

3.1.4.9 โกร่งสำหรับบดอาหาร (mortar and pestle)

3.1.4.10 ที่คีบ (tong)

3.1.4.11 เครื่องแก้ว ได้แก่ บีกเกอร์ (beaker) ขนาด 250 มิลลิลิตร, บิวเรต (buret) ขนาด 50 มิลลิลิตร, ปิเปต (pipette) ขนาด 10 มิลลิลิตร, ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer Flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร, ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร, และ 1000 มิลลิลิตร, หลอดหยด (dropper) และแท่งแก้วคนสาร (stirring rod)

3.1.6 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.6.1 ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether)

3.1.6.2 สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (Silver nitrate, $AgNO_3$) เข้มข้น 0.1 N

3.1.6.3 สารละลายแอมโมเนียมไทโอไซยาเนต (Ammonium Thiocyanate, NH_4SCN) เข้มข้น 0.1 N

3.1.6.4 สารละลายอิ่มตัวแอมโมเนียมเฟอร์ริกซัลเฟต ($FeNH_4(SO_4)2 \cdot 12H_2O$)

3.1.6.5 กรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3)

3.1.6.6 น้ำกลั่น

3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.2.1 ศึกษาชนิดของความเข้มข้นของเกลือ และเวลาที่เหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตไข่แดงเค็ม

ทำการผลิตไข่แดงเค็มด้วยวิธีการแช่ในน้ำเกลือโดยแยกไข่แดงของไข่เป็ดออกจากไข่ขาว แล้วนำไข่แดงไปแช่ในสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นร้อย 20 และร้อยละ 26 ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เกลืออิ่มตัว (Wang, 2017) โดยมีอัตราส่วนไข่ 30 ฟอง ต่อน้อยเกลือ 3 ลิตร ซึ่งขั้นตอนในการทำไข่เค็มได้แสดงใน แผนภาพที่ 3.1 และ ภาคผนวก ก ทำการเก็บตัวอย่างไข่แดงเค็มเพื่อทำการวิเคราะห์ที่ 1 2 3 4 5 และ 6 วัน เพื่อทำการวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Mutiple Rande Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

แผนภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตไข่แดงเค็มด้วยสารละลายน้ำเกลือและมอลโตเด็กซ์ตริน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Wang (2017)

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมในการผลิตไข่แดงเค็ม 15 ฟอง

ส่วนผสม	ความเข้มข้นของสารละลายเกลือ (NaCl)	
	20 % (w/w)	**26 % (w/w)**
น้ำสะอาด (กรัม)	600	2,400
เกลือป่น (กรัม)	780	2,220

หมายเหตุ : ดัดแปลงจาก Wang (2017)

นำไข่แดงเค็มจากที่ได้จากข้อ 3.2.1 มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ทั้งตัวอย่าที่ยังดิบและตัวอย่างที่อบจนสุก ชุดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.2.1.1 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของไข่แดงเค็มจากท้องตลาด

3.2.1.1.1 ตรวจวัดค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี Spectrophoto meter ยี่ห้อ KONIA MINOLTA รุ่น CM-3500d โดยนำผลิตภัณฑ์ไข่แดงเค็มจากตลาดโดยวัดตัวอย่างละ 5 ครั้ง จากผิวนอกและตรงกลางของไข่แดงเค็ม โดยวัดค่าการส่องผ่านของแสง (Transmittance) จากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างและแสดงผลค่าที่วัด ได้แก่ ค่าสี L* (ค่าความสว่าง) a* (+ หมายถึง วัตถุมีสีแดง, - หมายถึง วัตถุมีสีเขียว) และ b* (+ หมายถึง วัตถุมีสีเหลือง, - หมายถึง วัตถุมีสีน้ำเงิน)

3.2.1.1.2 ตรวจวัดค่าเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-xt2i ในการทดสอบแรงกด (compression test) โดยใช้หัวกด (compression probe) P50 ตั้งโปรแกรมให้หัวกดลงไปในตัวอย่างด้วยความแรง (trigger force) 5 กรัม, แรงกด (Load cell) 50 กิโลกรัม ความเร็วในการกด 5 มิลลิเมตรต่อวินาที และรายงานเนื้อสัมผัสเป็น Texture profile analysis (TPA) ได้แก่ ค่าความแข็ง (Hardness), ค่าความยืดหยุ่น (Springiness), Adhisiveness, Gumminess และ Chwiness โดยวัดตัวอย่างละ 5 ครั้ง (ภาคผนวก ข)

3.2.1.2 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของไข่แดงเค็มจากท้องตลาด

3.2.1.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นด้วยวิธีการอบแห้ง (drying method) ด้วยตู้อบลมร้อนโดยวัดตัวอย่างละ 3 ครั้ง แล้วชั่งตัวอย่างก่อนอบ แล้วนำไปอบจนได้น้ำหนักที่คงที่ชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณความชื้นในอาหาร (ภาคผนวก ข)

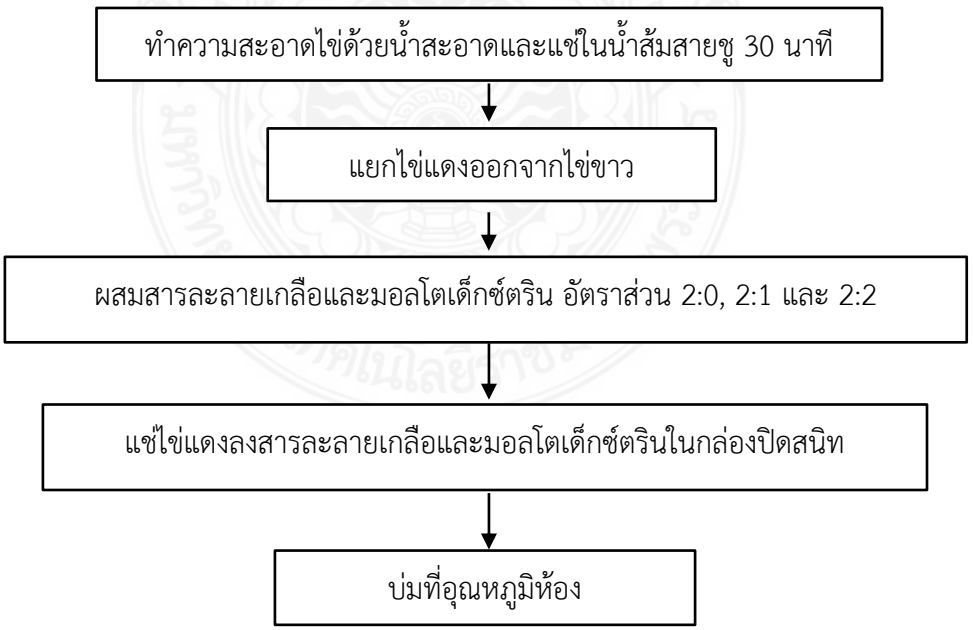
3.2.1.2.2 การวิเคราะห์ค่าเกลือโดยวิธีการไทเตรทตามวิธีของ Mohr (USDA,1963) ภายใต้สภาวะกรด โดยโซเดียมคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐาน

ซิลเวอร์ไนเตรทในปริมาณที่มากเกินพอแล้วจะเหลือซิลเวอร์ไนเตรทอยู่ จึงนำไปไทเตรทกับสารละลายแอมโมเนียมไซยาเนต โดยมีเฟอร์ริกอลัมเป็นอินดิเคเตอร์ โดยจะวิเคราะห์จากตัวอย่างละ 3 ครั้ง (ภาคผนวก ข)

3.2.1.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ตัวอย่างละ 3 ครั้ง นำมาบดให้ละเอียดแล้วสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ ในอุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (ภาคผนวก ข)

3.2.2 ศึกษาอัตราส่วนของเกลือและมอลโตเด็กซ์ตรินที่เหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตไข่แดงเค็มสูตรเค็มน้อยด้วยมอลโตเด็กซ์ตริน

การทำไข่แดงเค็มชนิดเค็มน้อยด้วยวิธีการแช่ในน้ำเกลือโดยใช้เฉพาะไข่แดงของไข่เป็ดที่แยกจากไข่ขาวแล้วตามขั้นตอนที่แสดงในแผนภาพที่ 3.2 และภาคผนวก ก โดยเปรียบเทียบคุณภาพของไข่แดงเค็มที่แช่ในสารละลายซึ่งมีส่วนผสมของเกลือและมอลโตเด็กซ์ตริน ในอัตราส่วน 2:0, 2:1 และ 2:2 ดังแสดงในตารางที่ 3.2 โดยทำการแช่เป็นเวลา 6 วัน โดยไข่แดงเค็มจะถูกเก็บตัวอย่างทุกวันเพื่อทำการวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan"s New Mutiple Rande Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05



แผนภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการผลิตไข่แดงเค็มสูตรเค็มน้อยด้วยมอลโตเด็กซ์ตริน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Wang (2017)

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมในการผลิตไข่แดงเค็มสูตรเค็มน้อยด้วยมอลโตเด็กซ์ตริน 15 ฟอง

ส่วนผสมในน้ำเกลือ	ปริมาณ (กรัม)		
	สูตร 2:0 (20% NaCl)	สูตร 2:1 (20% NaCl + 10% Maltodextrin)	สูตร 2:2 (20% NaCl + 20% Maltodextrin)
น้ำสะอาด (กรัม)	2,400	2,400	2,400
เกลือป่น (กรัม)	600	600	600
มอลโตเด็กซ์ตริน (กรัม)	-	300	600

หมายเหตุ : ดัดแปลงจาก Wang (2017)

นำไข่แดงเค็มจากที่ได้จากข้อ 3.2.2 มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ทั้งตัวอย่าที่ยังดิบและตัวอย่างที่อบจนสุก ชุดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.2.2.1 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของไข่แดงเค็มจากท้องตลาด

3.2.2.1.1 ตรวจวัดค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี Spectrophoto meter ยี่ห้อ KONIA MINOLTA รุ่น CM-3500d โดยนำผลิตภัณฑ์ไข่แดงเค็มจากตลาดโดยวัดตัวอย่างละ 5 ครั้ง จากผิวนอกและตรงกลางของไข่แดงเค็ม โดยวัดค่าการส่องผ่านของแสง (Transmittance) จากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างและแสดงผลค่าที่วัด ได้แก่ ค่าสี L* (ค่าความสว่าง) a* (+ หมายถึง วัตถุมีสีแดง, - หมายถึง วัตถุมีสีเขียว) และ b* (+ หมายถึง วัตถุมีสีเหลือง, - หมายถึง วัตถุมีสีน้ำเงิน)

3.2.2.1.2 ตรวจวัดค่าเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-xt2i ในการทดสอบแรงกด (compression test) โดยใช้หัวกด (compression probe) P50 ตั้งโปรแกรมให้หัวกดลงไปในตัวอย่างด้วยความแรง (trigger force) 5 กรัม, แรงกด (Load cell) 50 กิโลกรัม ความเร็วในการกด 5 มิลลิเมตรต่อวินาที และรายงานเนื้อสัมผัสเป็น Texture profile analysis (TPA) ได้แก่ ค่าความแข็ง (Hardness), ค่าความยืดหยุ่น (Springiness), Adhisiveness, Gumminess และ Chwiness โดยวัดตัวอย่างละ 5 ครั้ง (ภาคผนวก ข)

3.2.2.2 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของไข่แดงเค็มจากท้องตลาด

3.2.2.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นด้วยวิธีการอบแห้ง (drying method) ด้วยตู้อบลมร้อนโดยวัดตัวอย่างละ 3 ครั้ง แล้วชั่งตัวอย่างก่อนอบ แล้วนำไปอบจนได้น้ำหนักที่คงที่ชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณความชื้นในอาหาร (ภาคผนวก ข)

3.2.2.2.2 การวิเคราะห์ค่าเกลือโดยวิธีการไทเตรทตามวิธีของ Mohr (USDA,1963) ภายใต้สภาวะกรด โดยโซเดียมคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทในปริมาณที่มากเกินพอแล้วจะเหลือซิลเวอร์ไนเตรทอยู่ จึงนำไปไทเตรทกับสารละลายแอมโมเนียมไซยาเนต โดยมีเฟอร์ริกอลัมเป็นอินดิเคเตอร์ โดยจะวิเคราะห์จากตัวอย่างละ 3 ครั้ง (ภาคผนวก ข)

3.2.2.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ตัวอย่างละ 3 ครั้ง นำมาบดให้ละเอียดแล้วสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ ในอุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (ภาคผนวก ข)

3.2.3 เปรียบเทียบคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ไข่แดงเค็มที่ผลิตโดยใช้เกลือร้อยละ 20 และมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 20 เป็นเวลา 4 วันกับผลิตภัณฑ์เชิงพานิช

นำผลิตภัณฑ์ไข่แดงเค็มที่ผลิตโดยใช้เกลือร้อยละ 20 และมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 20 เป็นเวลา 4 วันมาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ไข่เค็มเชิงพานิชณ์ ยี่ห้อซีพี มาทำการตรวจสอบคุณภาพด้านกายภาพและเคมี โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลด้วยวิธี t-test โดยมีการตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

3.2.3.1 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของไข่แดงเค็มจากท้องตลาด

3.2.3.1.1 ตรวจวัดค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี Spectrophoto meter ยี่ห้อ KONIA MINOLTA รุ่น CM-3500d โดยนำผลิตภัณฑ์ไข่แดงเค็มจากตลาดโดยวัดตัวอย่างละ 5 ครั้ง จากผิวนอกและตรงกลางของไข่แดงเค็ม โดยวัดค่าการส่องผ่านของแสง (Transmittance) จากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างและแสดงผลค่าที่วัด ได้แก่ ค่าสี L* (ค่าความสว่าง) a* (+ หมายถึง วัตถุมีสีแดง, - หมายถึง วัตถุมีสีเขียว) และ b* (+ หมายถึง วัตถุมีสีเหลือง, - หมายถึง วัตถุมีสีน้ำเงิน)

3.2.3.1.2 ตรวจวัดค่าเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-xt2i ในการทดสอบแรงกด (compression test) โดยใช้หัวกด (compression probe) P50 ตั้งโปรแกรมให้หัวกดลงไปในตัวอย่างด้วยความแรง (trigger force) 5 กรัม, แรงกด (Load cell) 50 กิโลกรัม ความเร็วในการกด 5 มิลลิเมตรต่อวินาที และรายงานเนื้อสัมผัสเป็น Texture profile analysis

(TPA) ได้แก่ ค่าความแข็ง (Hardness), ค่าความยืดหยุ่น (Springiness), Adhisiveness, Gumminess และ Chwiness โดยวัดตัวอย่างละ 5 ครั้ง (ภาคผนวก ข)

3.2.3.2 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของไข่แดงเค็มจากท้องตลาด

3.2.3.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นด้วยวิธีการอบแห้ง (drying method) ด้วยตู้อบลมร้อนโดยวัดตัวอย่างละ 3 ครั้ง แล้วชั่งตัวอย่างก่อนอบ แล้วนำไปอบจนได้น้ำหนักที่คงที่ชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณความชื้นในอาหาร (ภาคผนวก ข)

3.2.3.2.2 การวิเคราะห์ค่าเกลือโดยวิธีการไทเตรทตามวิธีของ Mohr (USDA,1963) ภายใต้สภาวะกรด โดยโซเดียมคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทในปริมาณที่มากเกินพอแล้วจะเหลือซิลเวอร์ไนเตรทอยู่ จึงนำไปไทเตรทกับสารละลายแอมโมเนียมไซยาเนต โดยมีเฟอร์ริกอลัมเป็นอินดิเคเตอร์ โดยจะวิเคราะห์จากตัวอย่างละ 3 ครั้ง (ภาคผนวก ข)

3.2.3.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ตัวอย่างละ 3 ครั้ง นำมาบดให้ละเอียดแล้วสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ ในอุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (ภาคผนวก ข)

3.3 สถานที่และระยะเวลาในการดำเนินการทดลอง

3.3.1 สถานที่ทำการทดลอง

สถานที่ดำเนินงานเชิงปฏิบัติการทดลอง ณ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ห้องปฏิบัติการ 521, 621 และ622 สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

3.3.2 ระยะเวลาในการดำเนินการทดลอง

การทดลองนี้เริ่มตั้งแต่ กุมภาพันธ์ - สิงหาคม 2564

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของเกลือและระยะเวลาที่ใช้ในการดองไข่แดงเค็มที่ต่างกัน

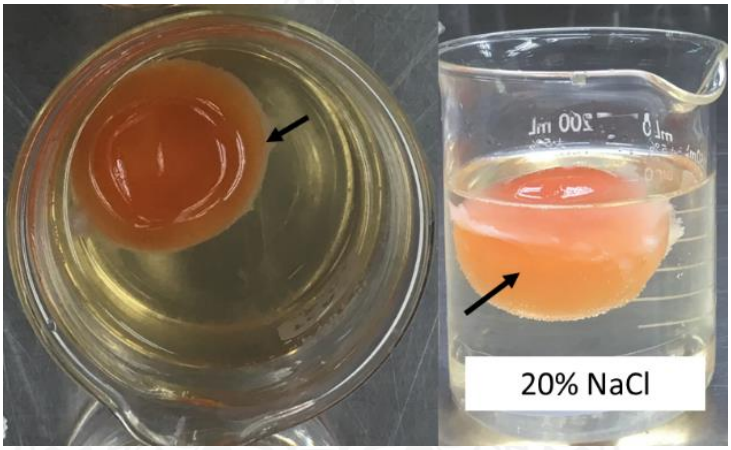
ผลการทดสอบคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีไข่แดงเค็มที่ใช้ชนิดของเกลือและระยะเวลาในการดองต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.1 ลักษณะที่ปรากฏของไข่แดงเค็มที่ใช้ชนิดของเกลือและระยะเวลาในการดองต่างกัน

คุณภาพ	**สารละลายเกลือร้อยละ 20**			**สารละลายเกลือร้อยละ 26**		
	1 วัน	**3 วัน**	**5 วัน**	**1 วัน**	**3 วัน**	**5 วัน**
ลักษณะที่ปรากฏ	สีส้มแดง แข็งน้อย ข้างในไม่แข็ง ผิวนอกเป็นเมือก มีกลิ่นคาวไข่	สีส้มแดง ด้านใน เริ่มแข็ง ไม่มีเมือก มีกลิ่นคาวไข่เล็กน้อย	สีส้มแดง แข็งทั้งหมด ไม่มีเมือก ไม่มีกลิ่นคาวไข่	สีส้มแดง แข็งน้อย ข้างในไม่แข็ง ผิวนอกเป็นเมือก มีกลิ่นคาวไข่	สีส้มแดง ด้านในเริ่มแข็ง ไม่มีเมือก มีกลิ่นคาวไข่	สีส้มแดง เกือบแข็งทั้งหมด ไม่มีเมือก ไม่มีกลิ่นคาวไข่
รสชาติ	เค็มน้อย	เค็ม	เค็มมาก	เค็มน้อย	เค็ม	เค็มมาก

4.1.1 การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมติก (Osmotic dehydration)

เกลือแกง หรือ โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl) มีการเคลื่อนที่จากน้ำเกลือผ่านเปลือกไข่ไปยังไข่ขาวและไข่แดงในระหว่างกระบวนการหมักแบบดั้งเดิม ในเวลาเดียวกันไข่ขาวและไข่แดงจะปริมาณน้ำลดลง ไข่แดงเริ่มแข็งตัวใกล้เยื่อหุ้มไข่แดงและเคลื่อนเข้าหาศูนย์กลางเมื่อไข่แดงแข็งตัว อย่างไรก็ตาม ไข่แดงกลายเป็นน้ำใกล้เยื่อหุ้มไข่แดงและแข็งอยู่ตรงกลางของไข่แดงที่แยกจากกันจุ่มลงในสารละลายเกลือเท่านั้น (ภาพที่ 4.1) เนื่องจากไข่แดงมีโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำในจำนวนมาก การดูดซึมจึงเกิดขึ้นและน้ำปริมาณมากจะเข้าสู่ไข่แดง ไข่แดงเค็มที่ดองในน้เกลือไว้จะถูกคายน้ำออกมาควบคู่ไปกับการแพร่ของโมเลกุลเกลือ ดังนั้นสถานะการเติมน้ำของไข่แดงจึงปรากฏว่าเป็นผลจากทั้งสองอย่าง



ภาพที่ 4.1 ภาพถ่ายส่วนที่เป็นน้ำของไข่แดงเค็ม (ลูกศร) ไข่แดงแช่ในสารละลายเกลือ (NaCl) 20% (w/v) เป็นเวลา 3 วัน

จากการศึกษาของ Hwang (2002) ซึ่งได้ผลิตไข่แดงเค็มจากไข่เป็ดโดยใช้เฉพาะไข่แดงและดองเกลือในสารละลายเกลือความเข้มข้น 20% กรดซิตริก 0.3% และเฟอร์ริกซิเตรต 0.2% ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 32 ชั่วโมง พบว่าปริมาณความชื้นและปริมาณเกลือของไข่แดงเค็มเท่ากับ 37% และ 2.20% ตามลำดับ การศึกษานี้ปรับปรุงการคายน้ำของไข่แดงเค็ม ซึ่งคุณภาพของไข่แดงเค็มยังไม่ใกล้เคียงกับมาตรฐานของไข่แดงเค็มทางการค้าซึ่งมีปริมาณความชื้นประมาณ 20–25% (Saeaung et al., 2010)

การดึงน้ำออก (Dehydration) เป็นสิ่งสำคัญมากในการผลิตไข่แดงเค็มโดยใช้เฉพาะไข่แดงของไข่เป็ด การดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมติกเป็นหนึ่งในเทคนิคการถนอมอาหารเพื่อแปรรูปอาหารแห้ง

ตัวทำละลายประเภทต่างๆ เช่น ฟรุกโตส น้ำเชื่อมข้าวโพด กลูโคส โซเดียมคลอไรด์ และซูโครส ถูกใช้เป็นสารออสโมติกสำหรับการทำออสโมซิส จากผลของการทดลองของ Wang (2017) ในการวิจัยนี้จึงใช้มอลโตเด็กซ์ตรินและเกลือเป็นสารออสโมติกและน้ำเกลือตามลำดับ เพื่อเร่งการดึงน้ำออกจากไข่แดง สำหรับสารละลายน้ำเกลือ ค่า a_w ของโซเดียมคลอไรด์ 20% เท่ากับ 0.835 และค่า a_w ของสารละลายน้ำเกลือลดลงเมื่อเติมมอลโทเดกซ์ทริน โดยค่า a_w ของสารละลายที่มีโซเดียม 20% และมอลโทเดกซ์ทริน 20% เท่ากับ 0.776 ซึ่งอยู่ใกล้กับ aw ของสารละลายเกลืออิ่มตัว (26% NaCl, a_w = 0.746) โดยคาดว่าสารละลายที่เตรียมทั้งสองนี้จะทำให้เกิดแรงดันออสโมติกที่คล้ายคลึงกัน เนื่องจากมีค่า a_w ใกล้เคียงกัน

4.1.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น ปริมาณเกลือ และปริมาณไขมันสีของไข่แดงเค็ม

จากผลในตารางที่ 4.2 ความชื้นของไข่แดงดิบมีค่า 44.91% การเพิ่มขึ้นของเวลาที่ใช้ในการดองเกลือ (salting time) และความเข้มข้นของเกลือในน้ำเกลือเป็นผลให้ความชื้นของไข่แดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) หลังจากการดองน้ำเกลือ 5 วัน พบว่าปริมาณความชื้นของไข่แดงถูกทำให้ลดลงจาก 22.95% ถึง 30.33% ระหว่างการดองเกลือโมเลกุลของเกลือได้แพร่จากน้ำเกลือเข้าไปยังไข่แดง ซึ่งทำเป็นสาเหตุให้น้ำมีการแพร่ออกมาจากไข่แดงออกมายังน้ำเกลือในทิศทางตรงกันข้ามโดยผ่านเยื่อหุ้มไข่แดง ซึ่งทำให้ปริมาณความชื้นในไข่แดงลดลง (Rong et al., 2006) การลดความชื้นที่มากขึ้นในไข่ที่ดองเกลือในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นของเกลือสูงอาจเป็นผลมาจากแรงดันออสโมติกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเร่งการอพยพของโมเลกุลของน้ำ (Xu et al., 2017)

ในระหว่างการดองเกลือความแตกต่างของปริมาณเกลือจะนำไปสู่การไล่ระดับแรงดันออสโมติกผ่านระบบเมมเบรนแบบกึ่งซึมผ่านได้ (semipermeable membrane system) ซึ่งประกอบด้วยเยื่อหุ้มชั้นในและเยื่อหุ้มเซลล์ของไข่แดง ซึ่งขับเคลื่อนการเอนโดสโมซิสของเกลือและเพิ่มปริมาณเกลือในไข่แดง (Xu et al., 2017) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ปริมาณเกลือจากไข่แดงของไข่เป็ดสดเท่ากับ 0.32% การเพิ่มระยะเวลาในการดองในน้ำเกลือและความเข้มข้นของเกลือในสารละลายน้ำเกลือมีผลทำให้ปริมาณเกลือในไข่แดงของไข่เค็มดิบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) หลังจาก 5 วันของการดองเกลือ ปริมาณเกลือจะเพิ่มขึ้นเป็นระดับสูงสุด 2.25% และ 3.29% ในไข่แดงเค็มดิบ

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไขมันทั้งหมดในไข่แดงในระหว่างการดองเกลือนั้นสัมพันธ์กับการดูดซึมเกลือ (NaCl) และการเพิ่มและการสูญเสียความชื้น ตามที่ได้มีการรายงานก่อนหน้านี้โดย Lai et al. (1997) ปริมาณไขมันทั้งหมดของไข่แดง เพิ่มขึ้นจาก 34 เป็น 46% ใน 4 วันแรกแรก แล้วลดลงเหลือ 31% ในขณะที่ปริมาณไขมันทั้งหมดลดลงจาก 64 เป็น 53% แสดงให้เห็นว่าปริมาณไขมันทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการดองน้ำเกลือ ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นใน 4 วันแรกและลดลงในวันที่ 5 (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณความชื้น ปริมาณเกลือ และปริมาณไขมันของไข่แดงเค็มที่การดองเกลือในสารละลานเกลือ (NaCl) ความเข้มข้นร้อยละ 20 และ 26 เป็นเวลา 5 วัน

สารละลายเกลือ	เวลาการดองเกลือ (วัน)	ความชื้น (%)	ปริมาณเกลือ (%)	ปริมาณไขมัน (%)
ไข่แดงดิบ	0	45.37±0.33	0.22±0.02	35.74±0.09
20% NaCl	1	44.04±0.07	1.09±0.04	36.38±0.03
	2	41.38±0.17	1.92±0.03	38.04±0.09
	3	39.78±0.09	2.41±0.03	40.39±0.05
	4	38.26±0.09	3.09±0.04	42.70±0.04
	5	36.69±0.11	4.92±0.03	40.88±0.08
26% NaCl	1	42.72±0.05	1.20±0.03	37.30±0.05
	2	40.76±0.13	5.37±0.04	39.18±0.05
	3	36.59±0.15	4.83±0.05	41.38±0.03
	4	33.58±0.17	4.39±0.02	45.51±0.14
	5	30.09±0.12	4.46±0.18	44.25±0.11

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ไขมันส่วนใหญ่ในไข่แดงมีอยู่ในไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) (Lai et al, 1999) หลังจากการดองในน้ำเกลืออาจเกิดขึ้นเนื่องจากโครงสร้างของ LDL ถูกทำลาย เมื่อไข่ถูกแช่น้ำเกลือเกิน 4 วัน บางทีเยื่อหุ้มไข่แดงที่เริ่มเสียสภาพธรรมชาติ อาจทำให้ความชื้นของน้ำเกลือซึมเข้าไปในไข่แดงและทำให้พันธะระหว่างโปรตีนไขมันอิสระถูกเจือจาง (ไลโปโปรตีนที่เริ่มเสียสภาพ) จะกลายเป็น

เจลระหว่างการดองเกลือ ตัวบ่งชี้คุณภาพของไข่เค็มหากอัตราส่วนการหลั่งน้ำมันออกมาสูงพร้อมกับการก่อตัวของเม็ดไข่แดง (granular yplk) และ 4-5 วันเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่แดงเค็ม (Lai et al, 1999)

4.1.3 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของไข่แดงเค็ม

ผลการศึกษาผลของความเข้มข้นของเลือในสารละลายที่ใช้ดองไข่แดงได้แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าสีของไข่แดงเค็มที่การดองเกลือในสารละลานเกลือ (NaCl) ความเข้มข้นร้อยละ 20 และ 26 เป็นเวลา 5 วัน

สารละลายเกลือ	เวลาการดองเกลือ (วัน)	ค่าสี		
		L*	a*	b*
ไข่แดงดิบ	0	47.58±0.05^{a}	0.21±0.01^{i}	35.77±0.08^{k}
20% NaCl	1	35.47±3.15^{c}	7.84±0.16^{e}	16.26±0.69^{b}
	2	34.72±1.67^{d}	9.72±0.36^{d}	14.35±0.75^{d}
	3	32.04±1.49^{c}	9.97±0.34^{b}	12.92±1.13^{f}
	4	30.21±1.34^{f}	10.16±0.51^{b}	11.95±0.75^{g}
	5	30.75±2.15^{f}	12.97±0.32^{b}	12.03±0.95^{g}
26% NaCl	1	37.12±0.95^{a}	8.76±0.56^{d}	18.13±1.08^{a}
	2	36.34±1.42^{b}	9.45±0.74^{c}	16.48±0.86^{b}
	3	33.27±1.26^{e}	10.01±0.39^{b}	15.01±0.67^{c}
	4	30.79±0.63^{f}	11.12±0.66^{a}	13.62±1.34^{e}
	5	30.54±1.84^{f}	11.36±0.82^{a}	13.47±1.12^{e}

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ไข่แดงเริ่มเกิดเป็นชั้นที่แข็งหลังจากการดองเกลือ 2 วัน ส่วนสีของไข่แดง แสดงให้เห็นความสว่าง (L*) และดัชนีสีเหลือง (b*) ของไข่แดงภายนอกและภายในลดลงทีละน้อย ส่วนดัชนีสีแดง

(a*) กลับเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการดองเกลือน้อยกว่า 4 วัน หลังจากนั้น ค่า L* และ b* จะเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่า a* เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของค่าสีอาจเกิดจากการสูญเสียน้ำของไข่แดงในระหว่างการดองเกลือ ค่าสีเหลืองของไข่แดงมาจากแซนโทฟิลล์และซีแซนทีน (Chi and Tseng, 1998) และได้รับอิทธิพลจากความเข้มข้นของรงควัตถุ ไข่แดงที่เก็บไว้ที่ความชื้นต่ำเป็นเวลานานจะกลายเป็นสีเหลืองเข้มขึ้นเนื่องจากมีการสูญเสียความชื้น สิ่งนี้ชี้ให้เห็นว่าสีส้มของไข่แดงเค็มอาจเกิดจากความเข้มข้นของรงควัตถุเม็ดสีที่เพิ่มขึ้น สีของไข่แดงยังเข้มขึ้นในระหว่างการดองเกลือ (ตารางที่ 4.1 และ 4.5) ดังนั้นการสูญเสียน้ำของไข่แดง ระหว่างการดองจึงส่งผลต่อทั้งเนื้อสัมผัสและสีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลการทดลองมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chi และ Tseng (1998) และ Lai et al (1999)

4.1.4 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่แดงเค็ม

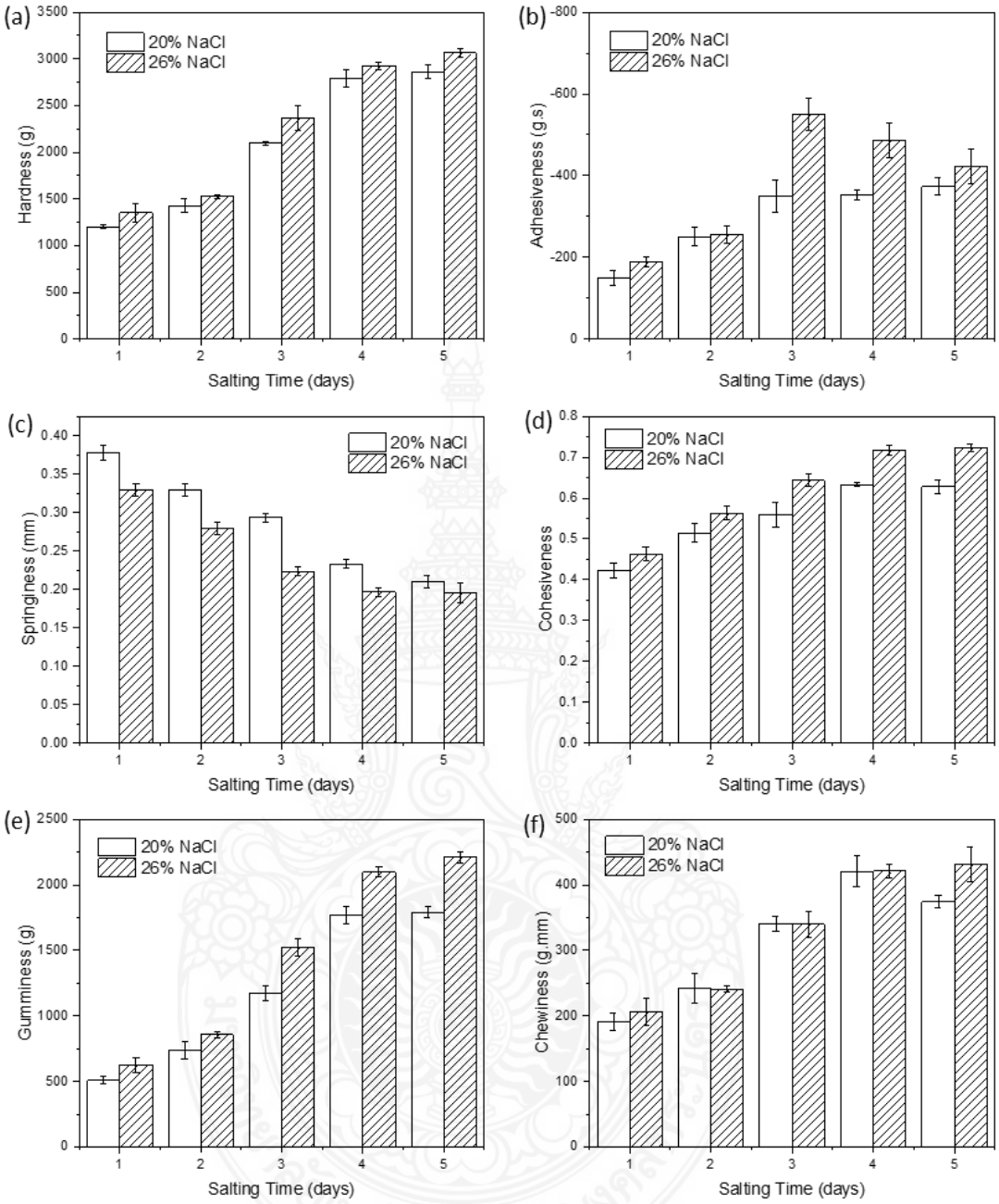
การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยการวัดค่า ความแข็ง (Hardness), Adhesiveness, ความยืดหยุ่น (Springiness), ความเหนียว (Cohesiveness), Gumminess และ Chewiness ที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางกลของอาหาร (Liu et al., 2018) ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของไข่แดงเค็มในระหว่างการดองเกลือแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.2 พบว่าค่าความแข็ง (Hardness) ของไข่แดง และความเหนียว (Cohesiveness) ของไข่แดงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเวลาในการดองเกลือเพิ่มขึ้น ($p<0.05$)

ค่าความแข็งของไข่แดงสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันที่หลั่งออกมาในระหว่างการดองเกลือ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่รายงานโดย Valverde et al (2016) ซึ่งอธิบายว่าเม็ดเจลมีความต้านทานต่อการเสียรูปและการแตกหักน้อยกว่าเจลไข่แดงและพลาสมา การศึกษาเหล่านี้ยังชี้ให้เห็นว่าโครงสร้างของเม็ดเจลของไข่แดงได้รับการเสริมความแข็งแรงด้วยไอโอนิกที่สูงขึ้น ความยืดหยุ่น (Springiness) ของไข่แดงลดลงอย่างเห็นได้ชัด ($p<0.05$) ในเวลาต่อมา ซึ่งบ่งชี้ว่าเนื้อเจลจะจับตัวได้ดีขึ้นและมีเม็ดโปรตีนไข่แดงรวมกันแน่นในเวลาต่อมาของการดองเกลือ

เนื่องจากไข่แดงดิบเริ่มแข็งตัวหลังจากการดองเกลือลงในสารละลายน้ำเกลือ 20% เป็นเวลา 5 วัน ไข่แดงดิบจะสุ่มตัวอย่างจากไข่ที่ดองเกลือเป็นเวลา 5 วันในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้น 20% และ 26% เพื่อตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสได้แก่ ความแข็ง (Hardness), Adhesiveness, ความยืดหยุ่น (Springiness), ความเหนียว (Cohesiveness), Gumminess และ Chewiness

ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.2 ไข่แดงเค็มดิบมีแนวโน้มความแข็งที่เพิ่มขึ้น และแนวโน้มที่ลดลงของค่าความยืดหยุ่นเมื่อเวลาในการดองเกลือและความเข้มข้นของสารละลายเกลือเพิ่มขึ้น ผลการทดลองนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นของเกลือในสารละลายน้ำเกลือที่สูงขึ้นทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีนในระดับที่สูงขึ้น ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการสร้างเครือข่ายเจลในไข่แดง การก่อตัวของเครือข่ายเจลเป็นผลมาจากการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน ซึ่งช่วยเพิ่มปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลโปรตีนและเปลี่ยนไข่แดงให้มีเป็นโครงสร้างที่ความแข็งและความยืดหยุ่น

ความแข็งที่เพิ่มขึ้นของไข่แดงอาจเกิดจากโซเดียมไอออนที่ส่งผลโดยตรงต่อการยืดตัวของโมเลกุลโปรตีน และเพิ่มส่วนประกอบที่รวมตัวกันแบบสุ่มในเจล ซึ่งท้ายที่สุดจะนำไปสู่เนื้อสัมผัสที่หยาบและโครงเจลที่ไม่สม่ำเสมอในไข่แดงเค็ม นอกจากนี้ไอออนของโลหะและค่า pH ยังมีบทบาทสำคัญในพฤติกรรมการเกิดเจลของโปรตีนในไข่แดง ปริมาณ NaCl ในไข่ขาวจะเพิ่มขึ้นตามเวลาในการดองเกลือและความเข้มข้นของเกลือในสารละลายน้ำเกลือเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของ NaCl ที่สูงจะทำให้ความสามารถในการกักเก็บน้ำของเจลลดลง (Croguennec et al., 2002) นอกจากนี้การเติมเกลือจะเพิ่มอุณหภูมิการเปลี่ยนสภาพของโปรตีนในสารละลายและทำให้ชะลอการรวมตัวของโมเลกุลโปรตีน (Rita de Cassia et al., 2007) ซึ่งจะทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นและค่าความยืดหยุ่นลดลง ความแข็งที่เพิ่มขึ้นสังเกตพบในวันที่ 3 ของการดองเกลืออาจเกิดจากผลกระทบของเกลือต่อปฏิกิริยาไฟฟ้าสถิต ไอออนบวกของโลหะสามารถป้องกันประจุลบของโปรตีน ซึ่งจะช่วยลดแรงผลักและเพิ่มปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลของโปรตีน ซึ่งส่งเสริมการรวมตัวของโมเลกุล (Huang et al., 1999) และช่วยเพิ่มความแข็งของไข่แดงเค็ม



ภาพที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเกลือ และเวลาในการทำเกลือที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัส (Hardness (a), Adhesiveness (b), Apringiness (c), Cohesiveness (d), Gumminess (e) และ Chewiness (f)) ของไข่แดงเค็ม

ดังแสดงในภาพที่ 4.2 ค่าความแข็งของไข่แดงเค็มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามมาด้วยการลดลงเมื่อเวลาการดองเกลือและความเข้มข้นของเกลือในสารละลายน้ำเกลือเพิ่มขึ้น ความแข็งของไข่แดงเค็มถึงระดับสูงสุดที่ 2843.83 กรัมในวันที่ 4 ในสารละลายน้ำเกลือ 26% แต่พบว่าลดลงในวันที่ 5 ใน

น้ำเกลือ 20% และ 26% คำอธิบายที่เป็นไปได้สำหรับความแข็งที่เพิ่มขึ้นในระยะเริ่มแรกของการดองเกลือคือ ปริมาณเกลือที่กระจายเข้าสู่ไข่แดงไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการรวมตัวของโปรตีน แต่ส่งผลให้เกิดการแตกของก้อนไข่แดงและการปล่อยเม็ดไข่แดง ดังนั้นจึงส่งเสริมให้เกิดเจลและเพิ่มความแข็งของไข่แดงได้ สาเหตุของความแข็งของไข่แดงลดลงในช่วงท้ายของการดองเกลืออาจเป็นเพราะเม็ดไข่แดงและเม็ดไข่แดงจะค่อยๆ เล็กลง และการหลั่งของน้ำมันของไข่แดงจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการดองเกลือผ่านไปในระหว่างการดองเกลือ ส่งผลให้หยดน้ำมันที่หลั่งออกมาจากไข่แดงทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นระหว่างเม็ดโกลบูลาโปรตีนของไข่แดง สุดท้ายความยืดหยุ่นของไข่แดงเมื่อเวลาในการดองเกลือเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความเข้มข้นของเกลือในสารละลายน้ำเกลือสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเสียสภาพของโปรตีนโดยการเกิดเอนโดสโมซิสและผลของการดึงน้ำออกด้วยเกลือ ซึ่งทำให้เม็ดโปรตีนจับกันอย่างหลวมๆ ไข่แดงจึงลดความยืดหยุ่น (springiness) ของไข่แดงเค็ม (Xu et al., 2017)

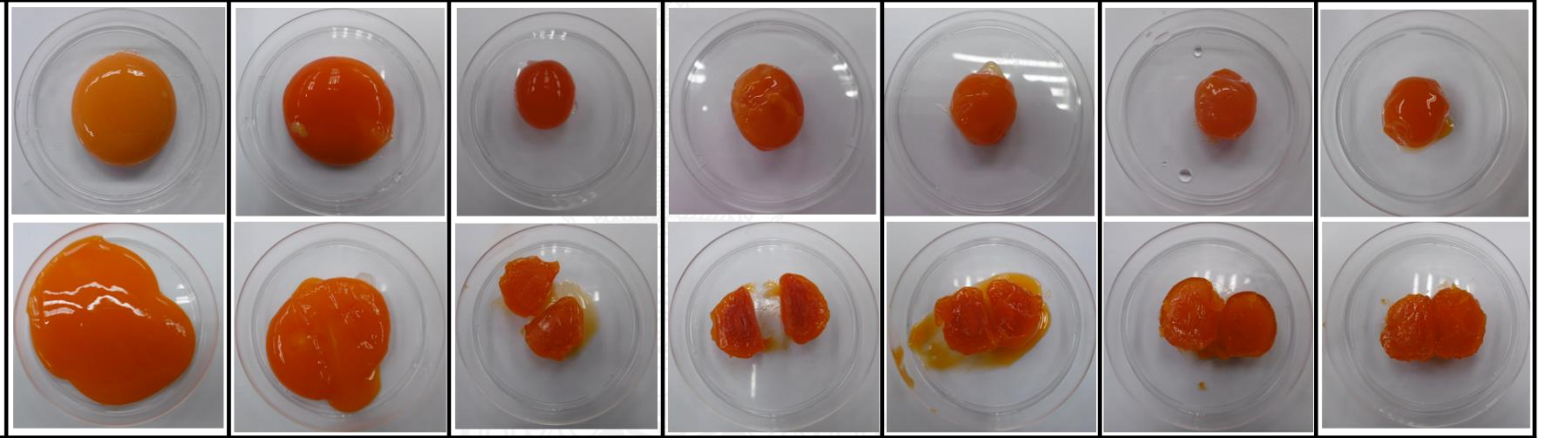
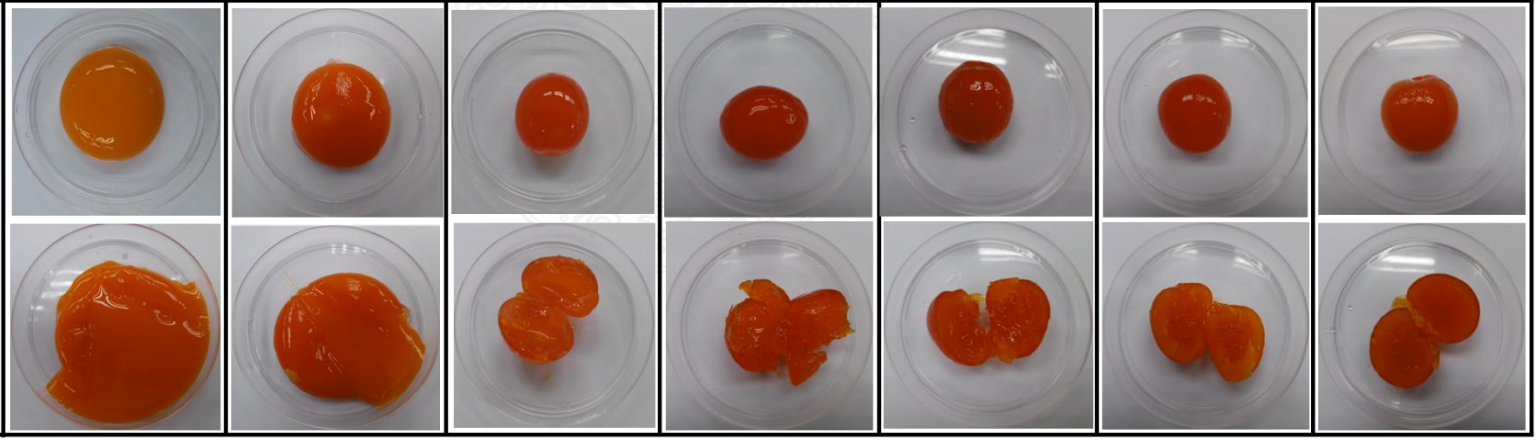
ค่า Adhesiveness, Cohesiveness, Gumminess และ Chewiness ของไข่แดงมีค่าเพื่อขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเกลือและระยะเวลาในการดองเกลือเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) หลังจากการแช่ไข่แดงในสารละลายเกลือเป็นเวลา 5 วัน แสดงให้เห็นไข่แดงมีความเหนียวและความเคี้ยวหนึบสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลจากโปรตีนหรือไลโปโปรตีนมีความเข้มข้นมากขึ้นหรือมีปฏิสัมพันธ์กันในระดับที่สูงขึ้นเมื่อมีปริมาณไอออนของเกลือสูงขึ้น (Lai et al., 1999)

ตารางที่ 4.4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่แดงเค็มที่การดองเกลือในสารละลานเกลือ (NaCl) ความเข้มข้นร้อยละ 20 และ 26 เป็นเวลา 5 วัน

สารละลายเกลือ	เวลาการดองเกลือ (วัน)	ลักษณะเนื้อสัมผัส					
		Hardness (g)	Adhesiveness (g.s)	Springiness (mm)	Cohesiveness	Gumminess (g)	Chewiness (g.mm)
20% NaCl	1	1202.55±23.67^{g}	-147.61±18.52^{a}	0.38±0.01^{a}	0.42±0.02^{f}	507.83±28.69^{i}	191.25±12.81^{d}
	2	1428.71±73.72^{ef}	-250.28±23.29^{abc}	0.33±0.02^{b}	0.52±0.02^{d}	735.69±65.26^{g}	242.73±22.33^{c}
	3	2097.01±17.98^{d}	-350.27±39.13^{abcd}	0.29±0.01^{c}	0.56±0.03^{c}	1175.99±57.99^{e}	340.79±10.72^{b}
	4	2791.23±98.16^{b}	-352.69±12.80^{abcd}	0.23±0.03^{d}	0.63±0.01^{b}	1770.92±63.30^{c}	420.82±23.48^{a}
	5	2863.62±77.58^{b}	-373.58±20.93^{abcd}	0.21±0.01^{ef}	0.63±0.02^{b}	1792.43±40.72^{c}	374.25±18.91^{b}
26% NaCl	1	1353.71±97.55^{f}	-187.75±12.36^{ab}	0.33±0.01^{b}	0.46±0.02^{e}	625.95±60.54^{h}	206.28±21.69^{cd}
	2	1528.70±20.27^{e}	-225.26±20.46^{abc}	0.28±0.02^{c}	0.56±0.02^{c}	857.60±21.36^{f}	241.20±14.87^{c}
	3	2363.68±34.79^{c}	-550.27±38.39^{d}	0.22±0.01^{de}	0.64±0.01^{b}	1523.42±66.05^{d}	339.65±29.29^{b}
	4	2924.56±38.36a^{b}	-486.03±83.79^{cd}	0.20±0.01^{f}	0.72±0.01^{a}	2096.89±36.60^{b}	421.08±19.03^{a}
	5	3063.62±44.65^{a}	-423.58±42.52^{bcd}	0.19±0.03^{f}	0.72±0.01^{a}	2210.96±43.16^{a}	431.19±26.56^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบภาพลักษณะปรากฏภายนอกและภายในของไข่แดงเค็มที่การดองเกลือในสารละลายเกลือผสมกับมอลโตเด็กซ์ตริน เป็นเวลา 6 วัน

สารละลายเกลือ	เวลาในการดองเกลือ (วัน)						
	0 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	6 วัน
20% NaCl							
26% NaCl (สารละลายเกลืออิ่มตัว)							

4.2 การศึกษาผลของอัตราส่วนของเกลือและมอลโตเด็กซ์ตรินที่ใช้ในการดองไข่แดงเค็มชนิดเค็มน้อย

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น ปริมาณเกลือ และปริมาณไขมันสีของไข่แดงเค็ม

ผลการทดสอบคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีไข่แดงเค็มที่ใช้ชนิดของเกลือและระยะเวลาในการดองต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9 กระบวนการดองเกลือจะทำให้ไข่แดงแข็งตัวและกำจัดความชื้นออกจากไข่แดง ปริมาณความชื้นของไข่แดงเค็มในสารละลายน้ำเกลือต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 ค่า a_w ของสารละลายน้ำเกลือ 20% ผสมมอลโตเด็กซ์ตริน 20% เท่ากับ 0.776 ซึ่งใกล้เคียงกับค่า a_w ของสารละลายเกลืออิ่มตัว (26% NaCl, a_w = 0.746) ซึ่งบ่งชี้ว่า a_w ของน้ำเกลือที่ใช้ในการดองเกลือยู่ในช่วงนี้ทำให้เกิดแรงดันออสโมติกที่เพียงพอต่อการผลิตไข่แดง จากการทดลองพบว่าปริมาณความชื้นของไข่แดงในน้ำเกลือในสารละลายน้ำเกลือ 20%ผสมมอลโตเด็กซ์ตริน 20% นั้นมีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากลดลงเหลือ 36.49% หลังจาก 1 วัน และเหลือ 22.27% เมื่อสิ้นสุดน้ำเกลือ (5 วัน) ปริมาณความชื้นของตัวอย่างไข่แดงเค็มดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับของไข่แดงเค็มเชิงพาณิชย์ (ประมาณ 20-26%; Saeung, et al., 2010) และลดลงเร็วขึ้นเมื่อมีการเติมมอลโทเดกซ์ทริน อย่างไรก็ตามไข่แดงเค็ม ที่ทำการดองในสารละลายเกลืออิ่มตัว (26% NaCl) มีสร้างพื้นที่ที่เป็นน้ำและมีความชื้น 25.10% ในวันที่ 4 และ วันที่ 5 ของการดองเกลือ ดังนั้นเมื่อทำการเติมมอลโตเด็กซ์ตริน (maltodextrin) ในเปอร์เซ็นต์ที่สูงขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการดึงน้ำออกสูงขึ้นและส่งผลให้มีความชื้นใกล้เคียงกับค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ทางการค้า ซึ่งผลการทดลองมีความใกล้เคียงกับการศึกษาของ Wang (2017) ซึ่งได้ใช้มอลโตเด็กซ์ตรินในการผลิตไข่แดงเค็มจากไข่แดงของไข่เป็ดโดยตรงที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 20 เพื่อทดแทนเกลือบางส่วนทำให้ลดเวลาในการผลิตไข่แดงเค็มเหลือเพียง 5 วัน เท่านั้น

ปริมาณเกลือ (NaCl) ของไข่แดงจะเพิ่มขึ้นตามเวลาของการดองไข่แดงในน้ำเกลือโดยใช้วิธีการแบบเดิม (Chi and Tseng, 1998; Lai et al., 2010) อย่างไรก็ตาม ปริมาณเกลือของไข่แดงเค็มจากการทดลองดองเกลือในสารละลายเกลืออิ่มตัว (26% NaCl) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็น 1.20% หลังจาก 1 วัน (ตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.3) แต่ลดลงอย่างรวดเร็ว เป็น 5.37% ตามลำดับในวันถัดไป ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายโปรตีนหรือพลาสมาของไข่แดงสามารถสร้างเจลได้ (Woodward and Cotterill, 2006) ดังนั้นไข่แดงเค็มจากไข่เป็ดจะเปลี่ยนเป็นเจลยืดหยุ่นได้หลังจากผ่านการดองเกลือเป็นเวลานาน Kaewmanee et al. (2013) ได้รายงานถึงการ

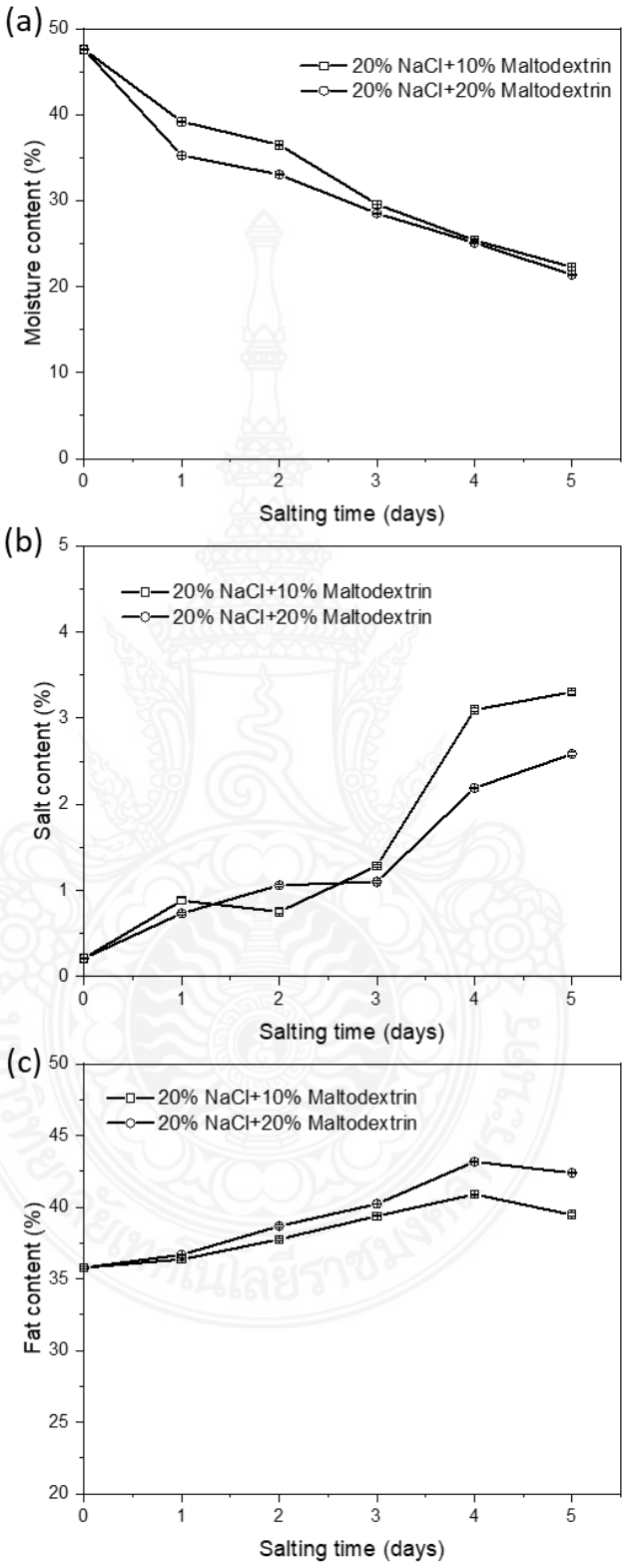
เปลี่ยนแปลงในโครงสร้างเครือข่ายของโปรตีนเมื่อความเข้มข้นของเกลือ (NaCl) เพิ่มขึ้นจาก 0.22% เป็น 3.00% (w/w) และการเปลี่ยนแปลงของโซลเจล (sol-gel transition) เกิดขึ้นที่ความเข้มข้นของเกลือ 1.5% (w/w)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณความชื้น ปริมาณเกลือ และปริมาณไขมันของไข่แดงเค็มที่การดองเกลือในสารละลานเกลือผสมกับมอลโตเด็กซ์ตริน เป็นเวลา 5 วัน

สารละลายเกลือ	เวลาการดองเกลือ (วัน)	ความชื้น (%)	ปริมาณเกลือ (%)	ปริมาณไขมัน (%)
ไข่แดงดิบ	0	47.58±0.05^{a}	0.21±0.01^{i}	35.77±0.08^{k}
2:1	1	39.19±0.04^{b}	0.88±0.03^{g}	36.35±0.10^{j}
(20% NaCl + 10%	2	36.49±0.04^{c}	0.75±0.03^{h}	37.76±0.08^{h}
มอลโตเด็กซ์ตริน)	3	29.57±0.04^{f}	1.28±0.02^{e}	39.37±0.04^{f}
	4	25.40±0.04^{h}	3.09±0.02^{b}	40.88±0.03^{c}
	5	22.27±0.03^{j}	3.30±0.02^{a}	39.47±0.10^{e}
2:2	1	35.27±0.03^{d}	0.73±0.02^{h}	36.68±0.03^{i}
(20% NaCl + 20%	2	33.03±0.07^{e}	1.06±0.01^{f}	38.67±0.04^{g}
มอลโตเด็กซ์ตริน)	3	28.53±0.05^{g}	1.10±0.01^{f}	40.22±0.03^{d}
	4	25.10±0.06^{i}	2.19±0.01^{d}	43.17±0.05^{a}
	5	21.38±0.03^{k}	2.58±0.03^{c}	42.38±0.04^{b}

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

นอกจากนี้ Telis และ Kieckbusch (1998) รายงานว่าการเกิดเจลลดลงเมื่อความเข้มข้นของเกลือ (NaCl) เพิ่มขึ้นเป็น 4% อาจเป็นเพราะความต้านทานของโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นเพื่อที่จะเข้าใกล้กันเนื่องจากความเข้มข้นของไอออนที่สูงขึ้น โครงสร้างของไข่แดงที่แช่ในสารละลายเกลือบริสุทธิ์ที่มีความเข้มข้นสูงอาจสลายตัว ส่งผลให้มีสภาพเป็นน้ำ (water-filled state) เกิดขึ้นได้ ปริมาณเกลือ (NaCl) ในบริเวณด้านนอกของไข่แดงเค็มที่ดองเกลือในสารละลายที่มีมอลโทเดกซ์ทริน 20%



ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณความชื้น (a), ปริมาณเกลือ (b) และปริมาณไขมัน (c) ของไข่แดงเค็มที่ดองเกลือในสารละลายเกลือผสมมอลโตเด็กซ์ตรินมีระยะเวลาการดองเกลือ 0-5 วัน

ส่วนสารละลายเกลือ 20% เริ่มต้นที่ 0.21% และค่อยๆ เพิ่มขึ้นเป็น 2.58% ในวันที่ 5 (ตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.3) ซึ่งคล้ายกับผลการศึกษาคุณภาพไข่เค็มที่สังเกตได้โดยใช้วิธีการแบบเดิม โมเลกุลของมอลโตเด็กซ์ตรินมีขนาดใหญ่เกินไปไม่สามารถจะผ่านเยื่อหุ้มไข่แดงได้ และมอลโทเดกซ์ตรินจึงอาจยังชะลอการซึมผ่านของเกลือที่แพร่เข้าไปในไข่แดงได้ ส่งผลให้ปริมาณเกลือของไข่แดงเค็มที่ผลิตโดยการดองในสารละลายเกลือและมอลโทเดกซ์ตรินค่อยๆ เพิ่มขึ้นทีละน้อย แต่ปริมาณเกลือของไข่แดงในสารละลายเกลืออย่างเดียวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ปริมาณไขมันของไข่แดงในระหว่างการดองเกลือดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.3 ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการดองเกลือที่เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) โดยทั่วไปแล้วการหลั่งน้ำมันเป็นหนึ่งในลักษณะที่ต้องการของไข่เค็ม Schultz et al., (1968) แสดงให้เห็นว่าการเอาน้ำออกจากไข่แดงช่วยเพิ่มไขมันที่สกัดได้ ดังนั้นการดึงน้ำออกในระหว่างการดองเกลืออาจเพิ่มการหลั่งของน้ำมัน ไขมันอิสระอาจหลุดออกจากไมเซลล์ของไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำที่เกิดจากการดึงน้ำออกและปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้น การดึงน้ำออกจากโปรตีนอาจเกิดจากการทำให้โปรตีนในไข่แดงเสียสภาพพร้อมกับทำให้เกิดการสูญเสียคุณสมบัติในการทำให้เป็นอิมัลชันเมื่อทำการดองเกลือ โครงสร้างเจลที่อ่อนแอของโปรตีนไข่แดงจะเกิดขึ้นเมื่อขาดน้ำ ทำให้เกิดอันตรกิริยาที่ไม่ชอบน้ำและพันธะไฮโดรเจน (Paraskeyopoulou et al., 2000)

ปริมาณไขมันของไข่แดงในระหว่างการดองเกลือดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.3 ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการดองเกลือที่เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) โดยทั่วไปแล้วการหลั่งน้ำมันเป็นหนึ่งในลักษณะที่ต้องการของไข่เค็ม Schultz et al., (1968) แสดงให้เห็นว่าการเอาน้ำออกจากไข่แดงช่วยเพิ่มไขมันที่สกัดได้ ดังนั้นการดึงน้ำออกในระหว่างการดองเกลืออาจเพิ่มการหลั่งของน้ำมัน ไขมันอิสระอาจหลุดออกจากไมเซลล์ของไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำที่เกิดจากการดึงน้ำออกและปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้น การดึงน้ำออกจากโปรตีนอาจเกิดจากการทำให้โปรตีนในไข่แดงเสียสภาพพร้อมกับทำให้เกิดการสูญเสียคุณสมบัติในการทำให้เป็นอิมัลชันเมื่อทำการดองเกลือ โครงสร้างเจลที่อ่อนแอของโปรตีนไข่แดงจะเกิดขึ้นเมื่อขาดน้ำ ทำให้เกิดอันตรกิริยาที่ไม่ชอบน้ำและพันธะไฮโดรเจน (Paraskeyopoulou et al., 2000)

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของไข่แดงเค็ม

ผลการตรวจสอบค่าสีของไข่แดงเค็มที่เตรียมจากไข่แดงโดยตรงด้วยการแช่ในสารละลายเกลือร้อยละ 20 ผสมกับมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 10 และร้อยละ 20 ในตารางที่ 4.7 พบว่าค่าความสว่าง (L*) และดัชนีสีเหลือง (b*) ของไข่แดง ในขณะที่ค่าดัชนีสีแดง (a*) กลับเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการดองเกลือเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.7 ค่าสีของไข่แดงเค็มที่การดองเกลือในสารละลานเกลือผสมกับมอลโตเด็กซ์ตริน

สารละลายเกลือ	เวลาการดองเกลือ (วัน)	ค่าสี		
		L*	a*	b*
ไข่แดงดิบ	0	45.37±0.33^{a}	18.81±2.55^{a}	25.56±1.50^{a}
2:1 (20% NaCl + 10% มอลโตเด็กซ์ตริน)	1	37.48±2.67^{b}	9.26±1.97^{g}	14.49±1.66^{c}
	2	33.24±2.92^{e}	10.13±1.45^{f}	12.25±3.17^{d}
	3	32.75±2.07^{f}	12.82±3.73^{e}	10.94±3.32^{e}
	4	30.30±1.63^{h}	13.62±1.48^{d}	9.83±2.04^{f}
	5	30.28±1.07^{h}	14.21±1.97^{c}	9.21±1.42^{f}
2:2 (20% NaCl + 20% มอลโตเด็กซ์ตริน)	1	36.16±2.85^{c}	10.32±3.92^{f}	15.14±2.28^{b}
	2	34.91±3.72^{d}	12.76±3.92^{e}	13.67±1.48^{c}
	3	32.12±2.21^{f}	12.09±1.07^{e}	10.96±1.52^{e}
	4	31.41±3.78e^{g}	14.41±0.98^{c}	9.88±5.01^{f}
	5	30.44±1.97^{h}	16.94±1.43^{b}	7.32±1.58^{g}

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

อีกทั้งการเพิ่มปริมาณของมอลโตเด็กซ์ตรินมีผลทำให้ค่าดัชนีสีแดง (a*) มีค่าสูงขึ้นอีกด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าสีอาจเกิดจากการสูญเสียน้ำของไข่แดงในระหว่างการดองเกลือ ค่าสีเหลืองของไข่แดงมาจากแซนโทฟิลล์และซีแซนทีน (Chi and Tseng, 1998) และได้รับอิทธิพลจากความเข้มข้นของรงควัตถุ ไข่แดงที่เก็บไว้ที่ความชื้นต่ำเป็นเวลานานจะกลายเป็นสีเหลืองเข้มขึ้นเนื่องจากมี

การสูญเสียความชื้น สิ่งนี้ชี้ให้เห็นว่าสีส้มของไข่แดงเค็มอาจเกิดจากความเข้มข้นของรงควัตถุเม็ดสีที่เพิ่มขึ้น สีของไข่แดงยังเข้มขึ้นในระหว่างการดองเกลือ (ตารางที่ 4.9) ดังนั้นการสูญเสียน้ำของไข่แดงระหว่างการดองจึงส่งผลต่อทั้งเนื้อสัมผัสและสีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลการทดลองมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chi และ Tseng (1998) และ Lai et al (1999)

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่แดงเค็ม

การวิเคราะห์โปรไฟล์พื้นผิวแสดงให้เห็นว่าค่าความแข็ง (Hardness) และ Cohesiveness เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและถึงค่าสูงสุดในวันที่ 5 ของการดองเกลือ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.8) ไขมันอิสระที่ปล่อยออกมาจากไลโปโปรตีนสามารถทำให้ไข่แดงมีความเหนียวมากขึ้น นอกจากนี้ ความเหนียวที่เพิ่มขึ้นอาจเกี่ยวข้องกับการเสริมเครือข่ายที่เหมือนเจล เนื่องจากไข่แดงจะแข็งตัวขึ้นเรื่อยๆ ภายหลังการดองเกลือเป็นเวลา 5 วัน ส่งผลให้ค่าการยึดเกาะ (Cohesiveness) ในไข่แดงสูงขึ้น ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.8) สำหรับการแตกของไข่แดง ซึ่งตรวจสอบได้จากแรงของการแตกหักในการกดครั้งแรก มันเพิ่มขึ้นจากวันที่ 2 เป็นวันที่ 3 และลดลงในวันที่ 4-5 ของการดองเกลือ การแตกหักที่ลดลงเกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นพร้อมกันกับการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์ออกซิเดชัน เช่น อัลดีไฮด์อาจทำหน้าที่เป็นโปรตีนเชื่อมขวาง ส่งผลให้โครงสร้างแข็งแรงขึ้นในวันที่ 4 และ 5 ส่วนการแตกหักที่เพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 2-3 อาจเกี่ยวข้องกับการลดปริมาณน้ำในไข่แดง และสามารถทำได้จากเนื้อสัมผัสที่เป็นเม็ดทรายซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ไข่เค็มของผู้บริโภค (Chi and Tseng, 1998)

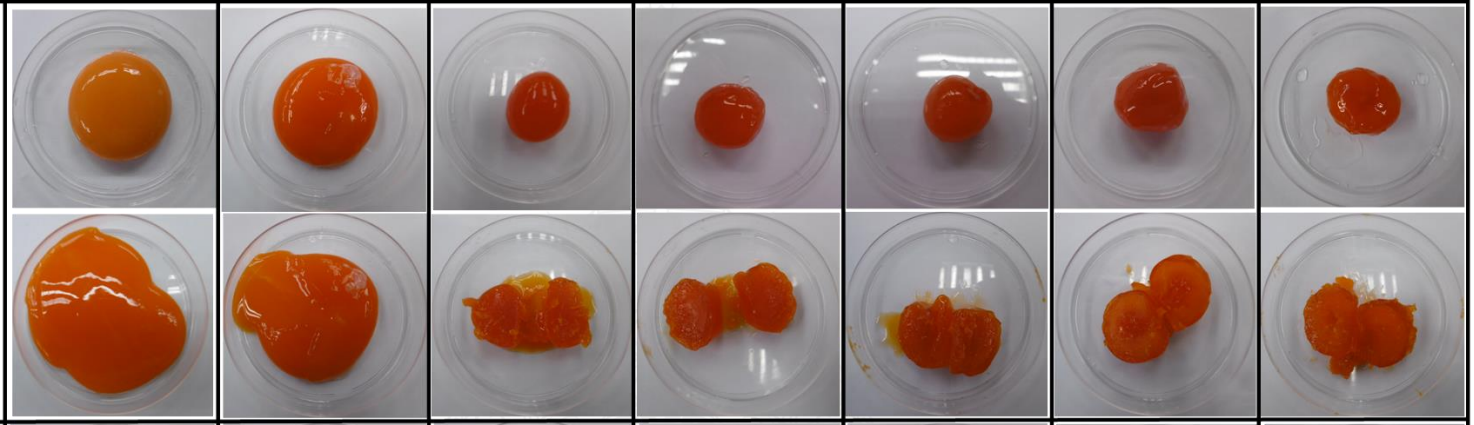
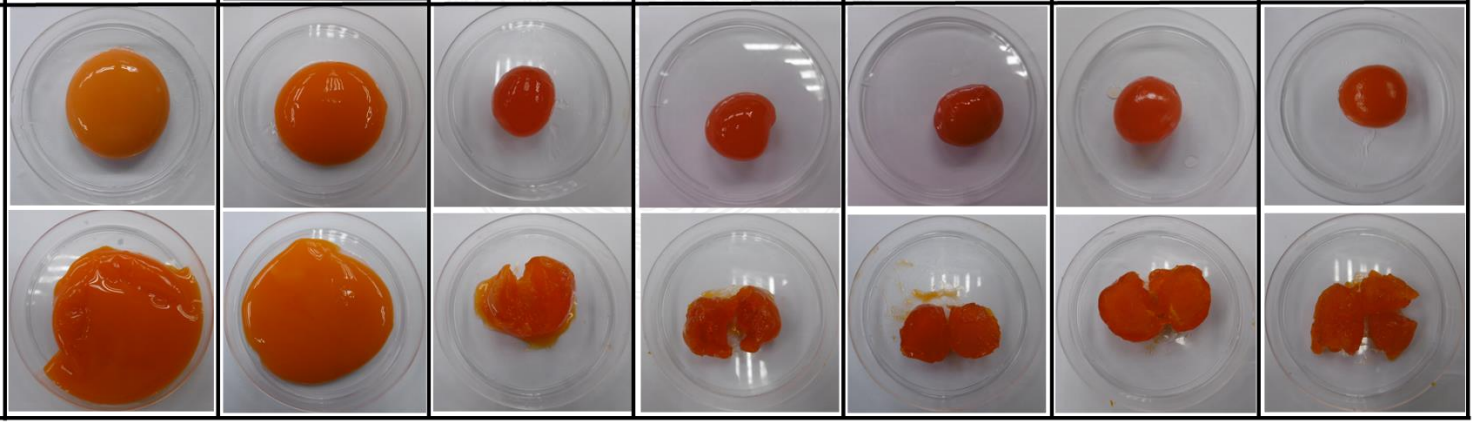
สำหรับค่าความเหนียวแน่น (Cohesiveness) พบมีค่าเพิ่มขึ้นหลังการดองเกลือเป็นเวลา 1-5 วัน ส่วนกระบวนการดองเกลือทำให้ไข่แดงเป็นเวลา 5 วัน ในสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 20 และมีระยะเวลาการดองเกลือที่นานขึ้นทำให้ไข่แดงเค็มมีค่า Gumminess และ Chewiness เพิ่มสูงขึ้น ($p<0.05$) เป็นผลจากการดึงน้ำออกจากไข่แดงที่อัตราสูงกว่าเนื่องจากความเข้มข้นของสารออสโมติกมีปริมาณที่สูงกว่า ซึ่งโปรตีนหรือไลโปโปรตีนมีความเข้มข้นมากขึ้นหรือมีปฏิสัมพันธ์กันในระดับที่สูงขึ้น (Lai et al., 1999)

ตารางที่ 4.8 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่แดงเค็มที่การดองเกลือในสารละลานเกลือผสมกับมอลโตเด็กซ์ตริน เป็นเวลา 5 วัน

สารละลายเกลือ	เวลาการดองเกลือ (วัน)	ลักษณะเนื้อสัมผัส					
		Hardness (g)	Adhesiveness (g.s)	Springiness (mm)	Cohesiveness	Gumminess (g)	Chewiness (g.mm)
2:1	1	1248.96±36.76^{h}	-102.76± 6.52^{a}	0.42± 0.01^{a}	0.33±0.00^{g}	412.60±8.93^{i}	172.82±7.63^{j}
(20% NaCl + 10%	2	1515.35±94.51^{f}	-129.69± 27.21^{a}	0.40±0.01^{bc}	0.36±0.01^{f}	501.95±18.44^{hi}	202.49±10.07^{i}
มอลโตเด็กซ์ตริน)	3	1926.56± 36.16^{d}	-291.22± 12.37^{d}	0.38±0.00^{d}	0.37±0.00^{ef}	709.93±6.81^{g}	271.78±2.94^{g}
	4	2511.28± 24.33^{c}	-382.15± 15.49^{e}	0.36±0.01^{e}	0.45±0.02^{d}	1135.34±48.35^{d}	405.55±10.03^{d}
	5	2989.65± 59.43^{b}	-262.98± 30.80^{cd}	0.34±0.01^{f}	0.52±0.01^{b}	1576.02±56.63^{b}	530.15±20.08^{b}
2:2	1	1369.98± 34.92^{g}	-128.53± 7.74^{a}	0.42±0.01^{ab}	0.34±0.01^{g}	469.39±14.18^{i}	195.02±3.74^{i}
20% NaCl + 20%	2	1666.92± 37.18^{e}	-175.20± 13.48^{b}	0.39±0.01^{cd}	0.39±0.01^{e}	579.49±32.96^{h}	225.97±12.41^{h}
มอลโตเด็กซ์ตริน	3	2401.23± 45.24^{c}	-267.29± 8.11^{cd}	0.37±0.01^{e}	0.46±0.01^{d}	1017.57±23.98^{f}	372.73±7.82^{f}
	4	2889.20± 42.07^{b}	-358.18± 5.03^{e}	0.33±0.01^{fg}	0.51±0.01^{c}	1359.82±12.37^{c}	450.67±13.00^{c}
	5	3476.91± 58.11^{a}	-244.44± 12.12^{c}	0.32±0.01^{g}	0.54±0.02^{a}	1821.07±59.21^{a}	581.84±17.89^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบภาพลักษณะปรากฏภายนอกและภายในของไข่แดงเค็มที่การดองเกลือในสารละลายเกลือผสมกับมอลโตเด็กซ์ตริน เป็นเวลา 6 วัน

สารละลายเกลือ	เวลาในการดองเกลือ (วัน)						
	0 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	6 วัน
20% NaCl + 10% Maltodextrin							
20% NaCl + 20% Maltodextrin							

4.3 การศึกษาคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ไข่แดงเค็มชนิดเค็มน้อยกับผลิตภัณฑ์จากท้องตลาด

ผลการทดสอบคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของไข่แดงเค็มจากท้องตลาด ยี่ห้อ ซีพี แสดงดังตารางที่ 4.10 และ 4.11

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบลักษณะที่ปรากฏของไข่แดงเค็มที่ผลิตโดยการดองในสารละลายเกลือผสมกับมอลโมเด็กซ์ตรินและไข่แดงเค็มยี่ห้อ ซีพี

คุณภาพ	**ไข่แดงเค็ม ยี่ห้อ ซีพี**	**ไข่เค็มชนิดเค็มน้อย (20% NaCl + 20% มอลโตเด็กซ์ตริน) (4 วัน)**
ลักษณะที่ปรากฏ		
คุณภาพ	สีแดงเข้ม แข็งทั้งด้านในและด้านนอก ไม่เหนียวติดมือ	สีแดง แข็งทั้งด้านในและด้านนอก เหนียวติดมือเล็กน้อย
รสชาติ	เค็มเล็กน้อย มัน	เค็มเล็กน้อย มัน

ไข่แดงเค็มที่เตรียมวิธีการดองในสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ผสมกับมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 20 ซึ่งเป็นการผลิตไข่แดงเค็มชนิดเค็มน้อย โดยใช้ไข่แดงโดยตรงเป็นเวลา 4 วัน ซึ่งเป็นสูตรที่ใช้ปริมาณเกลือในสารละลายเกลือต่ำที่สุด และมีคุณภาพด้านสี และลักษณะเนื้อสำผัสใกล้เคียงกับไข่เค็มเชิงการค้ามากที่สุด โดยทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ได้แก่ ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส ปริมาณความชื้น ปริมาณเกลือ และปริมาณไขมัน และเปรียบเทียบกับคุณภาพของไข่แดงเค็มเชิงพาณิชย์ยี่ห้อ ซีพี ด้วยเทคนิค t-test ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.11 พบว่าไข่แดงเค็มไข่แดงเค็มที่เตรียมวิธีการดองในสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ผสมกับมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 20 มีค่าสี L* และ a* สูงกว่า แต่มีค่า b* ต่ำกว่า ไข่เค็มยี่ห้อซีพี ซึ่งสอดคล้อง

ลักษณะปรากฏในตารางที่ 4.10 ซึ่งไข่แดงเค็มยี่ห้อซีพีมีสีแดงเข้มกว่า อาจเป็นจากการที่รงควัตถุในไข่แดงมีความเข้มข้นสูงกว่าเนื่องจากไข่แดงเค็มยี่ห้อซีพีมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าไข่เค็มที่ผลิตโดยใช้สารละลายเกลือที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ผสมกับมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 20 แสดงให้เห็นถึงการดึงน้ำด้วยอัตราที่สูงกว่า

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบคุณภาพของไข่แดงเค็มที่ผลิตโดยการดองในสารละลายเกลือผสมกับมอลโมเด็กซ์ตรินและไข่แดงเค็มยี่ห้อ ซีพี

ผลการวิเคราะห์คุณภาพ	**ไข่แดงเค็ม ยี่ห้อ ซีพี**	**ไข่แดงเค็มชนิดเค็มน้อย (20% NaCl + 20% Maltodextrin)**
ค่าสี		
-L*	30.23±2.13^{b}	31.41±3.78^{a}
-a*	12.46±1.47^{b}	14.41±0.98^{a}
-b*	11.14±1.28^{a}	9.88±5.01^{b}
Texture (N)		
-Hardness (g)	2917.6±2.43^{a}	2889.20± 42.07^{a}
-Adhesiveness (g.s)	-341.32±24.76^{a}	-358.18± 5.03^{a}
-Springiness (mm)	0.38±0.17^{a}	0.33±0.01^{b}
-Cohesiveness	0.49±0.12^{a}	0.51±0.01^{a}
-Gumminess (g)	1325.35±16.14^{a}	1359.82±12.37^{a}
-Chewiness (g.mm)	424.32±18.21^{a}	450.67±13.00^{a}
Moisture Content (%)	22.95±0.06^{b}	25.10±0.06^{a}
a_w	0.94±0.01^{a}	0.93±0.01^{a}
ค่าเกลือ (%)	3.02±0.31^{a}	2.19±0.01^{b}
ปริมาณไขมัน (%)	46.39±0.08^{a}	43.17±0.05^{b}

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวนอนที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในการทำ t-test

ลักษณะเนื้อสัมผัสแสดงให้เห็นความแตกต่างเล็กน้อยเมื่อใช้ไข่แดงเค็มจากกระบวนการที่ในงานวิจัยเปรียบเทียบกับไข่แดงเค็มเชิงพาณิชย์โดยใช้กระบวนการแบบดั้งเดิมโดย ส่วนค่าความแข็ง Hardness, Adhesiveness, Cohesiveness, Gumminess และ Chewiness ของไข่แดงเค็มทั้งสองตัวอย่างไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ค่าความยืดหยุ่น (springiness) ของไข่แดงเค็มยี่ห้อซีพีมีค่าสูงกว่า ($p<0.05$) ไข่แดงเค็มที่เตรียมโดยกระบวนการที่สารละลายเกลือที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ผสมกับมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 20 โดยใช้ไข่แดงโดยตรงมีคุณภาพที่แตกต่างจากไข่แดงเค็มเชิงพาณิชย์ยี่ห้อซีพี และมีปริมาณเกลือที่ต่ำกว่าไข่แดงเค็มเชิงพาณิชย์ยี่ห้อซีพีซึ่งถือเป็นข้อดีในการพัฒนาสูตรการผลิตไข่แดงเค็มชนิดเค็มน้อยได้

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ความเข้นข้นของเกลือในสารละลายเกลือ (ร้อยละ 20 และ ร้อยละ 26) และเวลาที่ใช้ในการดองเกลือที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณความชื้นของไข่แดงลดลง ในขณะที่ปริมาณเกลือ และปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น

5.1.2 การกระบวนการดองเฉพาะส่วนไข่แดงที่แยกจากส่วนอื่นของไข่โดยตรงในสารละลายเกลือ และสารละลายเกลือผสมกับมอลโตเด็กซ์ตริน สามารถลดระยะเวลาในการดองเกลือสำหรับการผลิตได้ภายใน 5 วัน ซึ่งใช้เวลาสั้นกว่าวิธีดั้งเดิมโดยการใช้ไข่ทั้งฟอง (15-30 วัน)

5.1.3 การศึกษานี้แสดงให้เห็นแนวทางใหม่ในการปรับปรุงความเค็มของไข่แดงเค็มที่ดองเกลือโดยใช้กระบวนการดองเฉพาะส่วนไข่แดงที่แยกจากส่วนอื่นของไข่โดยตรง ซึ่งการใช้มอลโตเด็กซ์ตริน (Maltodextrin) ได้ถูกใช้เป็นสารช่วยดึงน้ำออกและทดแทนการใช้เกลือในการผลิตไข่เค็มแดง

5.1.4 การใช้มอลโตเด็กซ์ตรินที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ผสมกับเกลือที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ในสารละลายน้ำเกลือที่มีไฮเปอร์โทนิกเพื่อป้องกันการใส่เกลือมากเกินไปของไข่แดงดองเกลือไว้ เป็นการผลิตไข่แดงเค็มชนิดเค็มน้อยที่มีเกลือที่มีปริมาณเกลือลดลงซึ่งใกล้เคียงกับระดับเกลือต่ำของไข่แดงที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ อีกทั้งยังคงคุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง (Hardness), Adhesiveness, Gumminess และ Cohesiveness ใกล้เคียงกับผลิตเชิงพาณิชย์ ยี่ห้อซีพี

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 นวัตกรรมการผลิตไข่เค็มชนิดเค็มน้อยนี้อาจนำไปใช้กับการผลิตไข่เค็มทั้งฟอง ทั้งที่เตรียมจากไข่เป็ดและไข่ไก่ เพื่อเปรียบเทียบกับการผลิตจากไข่แดงโดยตรง

5.2.2 กระบวนการผลิตอาจใช้สารออสโมติกชนิดอื่นเพื่อทดแทนการใช้เกลือได้ เช่น กลูโคส ไซรัป น้ำตาลทราย หรืออาจใช้เกลือชนิดอื่นที่ไม่มีความเค็มเช่น โพแทสเซียมคลอไรด์ หรือแคลเซียมคลอไรด์เพื่อทดแทนหรือลดการใช้เกลือในการดองเกลือ

5.2.3 ควรทำการเปรียบเทียบคุณภาพของไข่แดงเค็มที่ทำให้สุกโดยการอบ หรือ นึ่ง กับผลิตภัณฑ์ไข่แดงเค็มดิบที่ผลิตด้วยการดองไข่แดงในน้ำเกลือโดยตรงเพื่อให้ทราบถึงคุณภาพของไข่แดงเค็มที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเสียสภาพของโปรตีนด้วยความร้อน

เอกสารอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2521. **เกลือคุณสมบัติและการใช้ในอุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 49 หน้า

จินดารัตน์ สิริวิจักษณ์. 2562. **มหัศจรรย์ "ดอกเกลือ" กับคุณประโยชน์รอบด้าน**. สืบค้นออนไลน์จาก https://www.sanook.com/health/19313/ วันที่ 1 สิงหาคม 2564

ณรงค์ นิยมวิทย์ และ สุชาดา งามประภาวัฒน์. 2535. **ไข่เค็มหลอด.** รายงานการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 30 สาขาเศษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ สังคมศาสตร์ ศึกษาศาสตร์ มนุษยศาสตร์ สิ่งแวดล้อม, คณะคหกรรมศาสตร์ อุตสาหกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์, 29 มกราคม- 1 กุมภาพันธ์ 2535. กรุงเทพฯ. หน้า 293-305. (858 หน้า).

ณัฐณิชา ทวีมาก. 2563. **วิทยาศาสตร์แห่งไข่เค็ม.** สืบค้นออนไลน์จาก https://krua.co/cooking_post/scienceofsaltedegg/ วันที่ 1 สิงหาคม 2564

เนตรนภา ปะวะคัง. 2562. **"เกลือหิมาลัย" มีประโยชน์กว่าเกลือทั่วไปจริงหรือ?**. สืบค้นออนไลน์จาก https://www.sanook.com/health/16953/ วันที่ 1 สิงหาคม 2564.

ปรามี หนูนิ่ม, สมหวัง เล็กจริง, และ สุลาวรรณ หอมแก้ว. คุณภาพและระยะเวลาการเก็บรักษาไข่แดงเค็มอบพร้อมปรุง. **วารสารแก่นเกษตร.** 47 ฉบับพิเศษ 2, 2562, หน้า 1089-1096.

ผาสุก แก้วเจริญตา. 2561. **กินล้างโรค**. กรุงเทพฯ : หจก. ภาพพิมพ์. 162 หน้า.

ภิภพ กมลรัตน์. 2507. **ผลการใช้เกลือสมุทรและเกลือสินเธาว์ในการทำปลาเค็ม.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพัฒนาอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริลักษณ์ สินธวาลัย. 2525. **หลักการประกอบอาหาร**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 247 หน้า.

สาวิตตรี สระทองเทียน. 2558. **Easy cooking: Easy Party**. สำนักพิมพ์ Eeveryday. กรุงเทพฯ. 168 หน้า.

Adrogué, H.J. and Madias, N. E. 2007. Sodium and Potassium in the Pathogenesis of Hypertension. **The New England Journal of Medicine**, 356, 1966-1978

Belitz, H.-D., Grosch, W., and Schieberle, P. 2009. **Food Chemistry**, 4th revised and extended ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, pp. 546-561.

Benjakul, S. and Kaewmanee, T. 2017. Chapter 39: **Sodium Chloride Preservation in Duck Eggs**. In: Patricia Hester, editors: Egg Innovation and Strategies for Improvement, Oxford: Academic Press; 2017, pp. 415-426.

Borgstrom, G. 1968. Principles of Food Science-Food Microbiology and Biochemistry. American Public Health Association, Macmillan, NY.

Chi, S-P. and Tseng, K. H. 1998. Physicochemical properties of salted pickled yolks from duck and chicken eggs. **Journal of Food Science**, 63(1), 27-30.

Croguennec, T., Nau, F., Brule,́ G. 2002. Influence of ph and salts on egg white gelation. **Journal of Food Science**. 67(2): 608–614.

Ganesan, P., Keawmanee, T., Benjakul, S., and Baharin, B. S., 2014. Comparative study on the nutritional value of pidan and salted duck egg. **Korean Journal of Food Science Animal Resource**. 34(1): 1-6.

Gordon, M.H. 2001. **Measuring antioxidant activity, in Antioxidants in Food**, ed. by Pokorny J, Yanishlieva N and Gordon MM. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 73–82

Gosal, W.S., Ross-Murphy, S.B. 2000. Globular protein gelation. **Current Opinion in Colloid & Interface Science.** 5(3–4): 188–194.

Huang, J.J., Tsai, J.S., Pan, B.S. 1999. Pickling time and electrodialysis affects functional properties of salted duck egg white. **Journal of Food Biochemistry**. 23(6): 607–618.

Hwang, I.H. 2000. **Studies on changes of physicochemical properties of salted duck egg during pickling**. PhD thesis, Department of animal science and technology, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.

Kaewmanee, T., Benjakula, S. and Visessanguan, W. 2009. Effect of salting processes on chemical composition, textural properties and microstructure of duck egg. **Journal of science food agriculture**, 89: 625–633.

Kaewmanee, T., Benjakul, S., Visessanguan, W. 2011. Effect of NaCl on thermal aggregation of egg white proteins from duck egg. **Food Chemistry**. 125(2): 706–712.

Kaewmanee, T., Benjakul, S., Visessanguan, W. (2 0 09 a). Changes in chemical composition, physical properties and microstructure of duck egg as influenced by salting. Food Chem. 112, 560–569.

Keawmanee, T., Benjakul, S., and Visessanguan, W. (2009b). Effect of salting processes on chemical composition, textural properties and microstructure of duck egg. J. Sci. Food Agric. 89, 625-633.

Kaewmanee, T., Benjakul, S., Visessanguan, W. and Gamonpilas, C. (2013). Effect of sodium chloride and osmotic dehydration on viscoelastic properties and thermal-induced transitions of duck egg yolk. Food and Bioprocess Technology, 6: 367-376.

Lai, K.-M., Chi, S.-P., & Ko, W.-C. 1999. Changes in Yolk States of Duck Egg during Long-Term Brining. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 47(2): 733–736.

Lai, K.M., Chung, W.H., Jao, C.L. and Hsu, K.C. 2010. Oil exudation and histological structures of duck egg yolks during brining. **Poultry science**. 89: 738-744.

Makki, F. and Durance, T.D. 1996. Thermal inactivation of lysozyme as influenced by pH, sucrose and sodium chloride and inactivation and preservative effect in beer. **Food Research International**. 29(7):635– 645.

Paraskevopoulou, A. and Kiosseoglou, V. 1997. Texture profile analysis of heat-formed gels and cakes prepared with low cholesterol egg yolk concentrates. **Journal of Food Science.** 62(1): 208–211.

Parrons, A. H. 1982. Structure of the Eggshel, **Poultry Science** 61: 2013-2021.

Rita de Cassia, S.S., Coimbra, J.S., Rojas, E.E.G., Minim, L.A., Oliveira, F.C., and Minim, V.P. 2007. Effect of pH and salt concentration on the solubility and density of egg

yolk and plasma egg yolk. **LWT-Food Science and Technology**. 40(7): 1253–1258.

Rong, J., Zhang, Z. and Han, X. 2006. Dynamic analysis on quality of salted eggs in pickling process. **Journal of Huazhong Agricultural University**. 25(6):676–678.

Saeaung, W., Laoharatanahirun, A., Boonyaprapasorn, A. and Thipayarat, A. 2010. **Novel processing of salted yolk production using separated yolk brining methodology.** Food Innovation Asia Conference: Indigenous Food Research and Development to Global Market, June 17–18, BITEC, Bangkok, Thailand.

Schultz, J.M., Snyder, H.E. and Forsythe, R.H., 1968. Co-dried carbohydrates effect on the performance of egg yolk solids. **Journal of Food Science**. 33:507–513.

Réhault-Godbert, S., Guyot, N. and Nys, Y. 2019. The Golden Egg: Nutritional value, bioactivities, and emerging benefits for human health. **Nutrients**. 11 (684): 1-26.

Telis, V.R.N. and Kieckbusch, T.G. 1998. Viscoelasticity of frozen/thawed egg yolk as affected by salts, sucrose and glycerol. **Journal of Food Science**, 63: 20-24.

Wang, T-H. 2017. Salting yolks directly using fresh duck egg yolks with salt and maltodextrin. **Japan Poultry Science Association.** 54(1): 97-102.

Wei HP, Tong QG. The Characteristics chages study during egg yolk salting process. **Chinese Agricultural Science Bulletin**. 2011; 27(11), 74–77.

Woodward, S.A. and Cotterill, O.J. (2006). Texture and microstructure of cooked whole egg and heat-formed gels of stirred egg yolk. **Journal of Food Science**, 52: 63-67.

Xu, L., Zhao, Y., Xu, M., Yao Y., Nie, X., Du, H., and Tu, Y. (2017). Effects of salting treatment on the physicochemical properties, textural properties, and microstructures of duck eggs. **PLos ONE**, 12(8), 1-17.

Yang, S.C. and Hsu, H.K. 1989. Scanning electron microstructure of the yolk of duck egg and duck egg products. **Journal of the Chinese Chemical Society**, 27:460–472.

Yang, S.C., and Chen, K.N.. 2001. The oxidation of cholesterol in the yolk of selective traditional chinese egg products. **Poultry** Sciecnce, 80(3), 370–5.

Zuo, S.M. (2013). **The gel property of ovomucin and its effect on egg white gel [dissertation]**. Wuhan: Hua Zhong Agricultural University.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การผลิตไข่แดงเค็ม

กรรมวิธีการผลิตไข่แดงเค็ม

1. เลือกไข่เป็ดที่นำหนักประมาณ 65-75 กรัม ที่เปลือกไม่มีรอยร้าวหรือรอยแตก ซึ่งสามารถตรวจสอบด้วยการแช่ในน้ำหากไข่จมน้ำแสดงเป็นไข่ที่ดี ส่วนไข่ที่ลอยน้ำอาจมีรอยแตกต้องถูกคัดแยกออกไป

2. ทำความสะอาดไข่เป็ดด้วยน้ำสะอาดเพื่อล้างสิ่งสกปรกที่เปลือออกไปอาจใช้แปรงขัดบริเวณเปลือก แล้วผึ่งลมให้เปลือกแห้ง

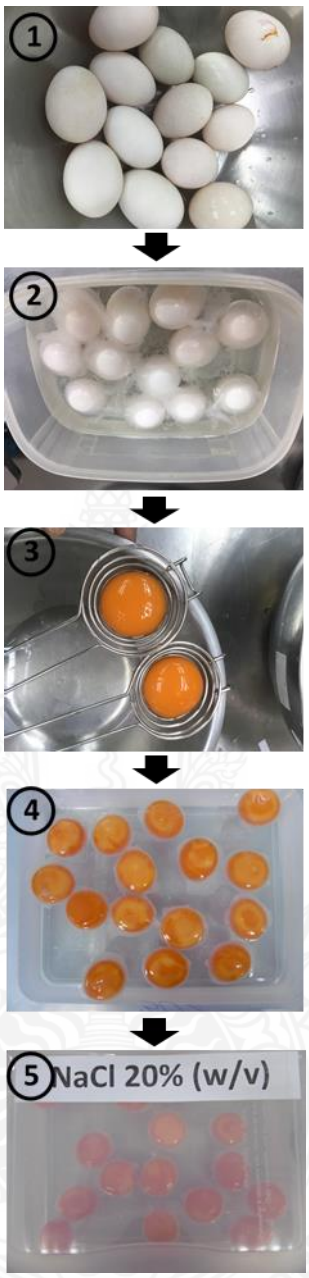
3. แช่ไข่ที่ทำความสะอาดแล้วในน้ำส้มสายชูเป็นเวลา 30 นาที เพื่อเป็นการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่อาจปนเปื้อนมากับไข่

4. ทำการแยกเอาเฉพาะไข่แดงเพื่อใช้ในการทำไข่แดงเค็ม โดยใช้ตะแกรงแยกไข่

5. เตรียมสารละลายน้ำเกลือโดยต้มน้ำให้เดือด 5 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้อุ่นจึงละลายเกลือและมอลโตเด็กซ์ตรินตามความเข้มข้นที่ต้องการ ได้แก่ สารละลายเกลือ 20%, สารละลายเกลือ 26%, สารละลายเกลือ 20% ผสมกับมอลโตเด็กซ์ดริน 10% (20% NaCl+10% Maltodextrin) และสารละลายเกลือ 20% ผสมกับมอลโตเด็กซ์ดริน 20% (20% NaCl+20% Maltodextrin) กวนผสมให้เกลือและมอลโตเด็กซ์ตรินละลายจนหมด

6. นำไข่แดงที่แยกจากไข่ขาวแล้วใส่ลงสารละลายโดยใช้อัตราส่วนไข่ 30 ฟอง ในสารละลาย 3 ลิตร เป็นเวลา 6 วัน

7. เมื่อครบเวลาที่กำหนดให้นำไข่แดงออกมาจากน้ำเกลือและล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพตามแผนการทดลอง



แผนภูมิที่ ก.1 กระบวนการผลิตไข่แดงเค็ม

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของไข่แดงเค็ม

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อนไฟฟ้า (Hot air oven)
2. โถดูดความชื้น (desiccator)
3. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (moisture can)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

1. อบภาชนะ สำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็รเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง
2. ทำเช่นเดียวกันกับข้อ 1 จนได้ผลต่างน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-2 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นนอนนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง
4. อบซ้ำจนได้ผลต่างน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
5. ทำการคำนวณปริมาณความชื้น

สูตรการคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อบอบและหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100$$

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

1. สารเคมี

ปีโตรเลียม อีเทอร์ (Petrolium ether)

2. อุปกรณ์

2.1 อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (Soxtherm) ประกอบด้วย บีกเกอร์ (Boiling flask) เครื่องควบคุมความร้อน เครื่องปั๊มลม และ เครื่องทำความเย็น (Cooling tower)

2.2 หลอดใส่ตัวอย่าง (Thimble)

2.3 สำลี

2.4 ตู้อบไฟฟ้า (Hot Air Oven)

2.5 โถดูดความชื้น (Descicator)

2.6 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3. วิธีวิเคราะห์

3.1 อบบีกเกอร์สำหรับหาไขมัน ในตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

3.2 ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบฐ้าหนัก ถ้าตัวอย่างมีไขมันมาก ให้ชั่ง 1 – 2 กรัม ถ้าตัวอย่างมีไขมันน้อย ให้ชั่ง 3 – 5 กรัม ห่อให้มิดชิด แล้วใส่ในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง (Thimble) คลุมด้วยสำลีเพื่อให้ตัวทำละลายมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

3.3 นำหลอดใส่ตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์

3.4 เติมตัวทำละลาย (ปิโตรเลียมอีเทอร์) ในบีกเกอร์ประมาณ 150 มิลลิลิตร หรือจนท่วมตัวอย่าง

3.5 ประกอบชุดสกัดไขมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำเย็นหล่ออุปกรณ์ควบแน่น เปิดเครื่องปั๊มลม และเปิดเครื่องควบคุมความร้อน

3.6 ใช้เวลาในการสกัดไขมัน ประมาณ 1 ชั่วโมง (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ชนิด และปริมาณ ไขมันในตัวอย่าง)

3.7 ทำการ ล้าง (Rinse) โดยปรับปุ่มที่ด้านข้าง (ขวามือ) ให้อยู่ในตำแหน่ง Recovery จนตัวทำละลายลดต่ำกว่าตัวอย่าง แล้วปรับปุ่มที่ด้านข้างมาทที่ตำแหน่ง Circulation นาน 30 นาที

3.8 ระเหยตัวทำละลายออก โดยปรับปุ่มที่ด้านข้างให้อยู่ในตำแหน่ง Recovery จนตัวทำละลายระเหยหมด

3.9 นำบีกเกอร์ (Boiling flask) มาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาทีทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

3.10 ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์ (Boiling flask) แล้วอบซ้ำนาน 30 นาทีจนกระทั่งผลต่างของน้ำหนัก 2 ครั้งติดกัน ไม่เกิน 1 - 3 มิลลิกรัม

4. การคำนวณ

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

หรือ

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{b - a}{W} \times 100$$

เมื่อ b = น้ำหนักบีกเกอร์รวมไขมัน

a = น้ำหนักบีกเกอร์ (boiling flask)

w = น้ำหนักตัวอย่าง

การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis, TPA)

(ดัดแปลงจาก Huttner et al., 2010)

ทำการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (TA-XT2i, Stable Micro Systems) โดยวัดจากกึ่งกลางของขนมปัง ทำการกด 2 ครั้ง ด้วยหัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร กำหนดสภาวะในการทำงานของเครื่อง Texture analyser ได้แก่ pre-test speed 1 mm/sec, test speed 1 mm/sec, post-test speed 1 mm/sec, distance 50% ทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปัง ด้านค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความเคี้ยวได้ (Chewiness) และค่าความยืดหยุ่น (springiness) โดย

- **ค่าความแข็ง (Hardness)** (F1) คือ แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดหรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก มีหน่วยเป็นหน่วยของแรง
- **ค่าความเคี้ยวได้ (Chewiness)** คือ พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวอาหารโดยคำนวณจาก

  Chewiness=gumminess x springiness หรือ

  Chewiness =hardness x cohesiveness x springiness

- **ค่า Gumminess** คือ พลังงานที่ทำให้อาหารกึ่งของแข็ง ซึ่งมีค่าความแข็งน้อย (hardness) แต่พลังงานยึดเกาะกันภายใน (cohesiveness) สูง แตกออกจนสามารถกลืนได้

  Gumminness = hardness x cohesiveness

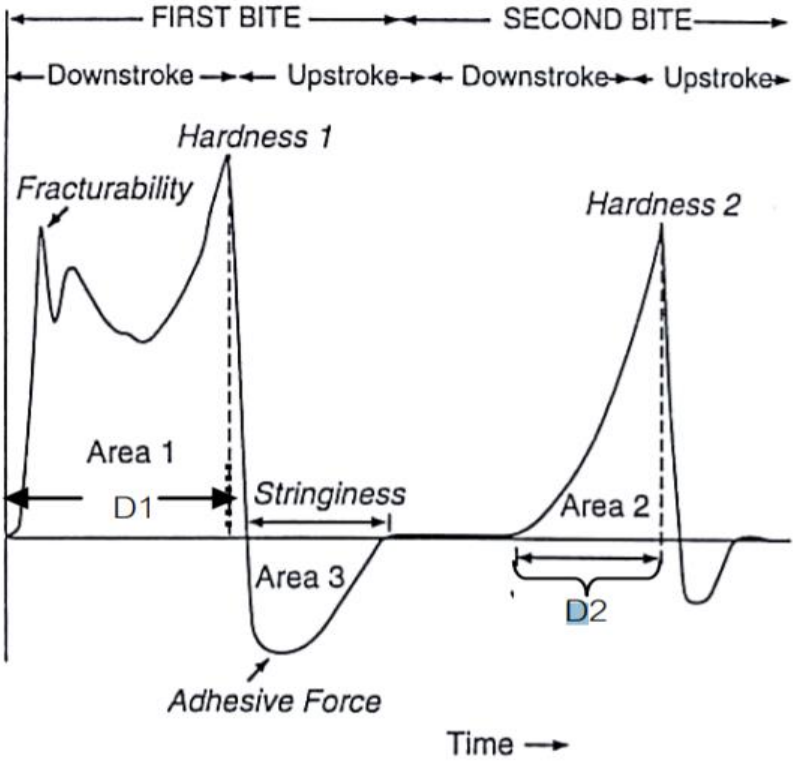
  และ Cohesiveness คือ พลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร หาได้จาก อัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟส่วนที่เป็นค่าบวกของการกดหรือการเคี้ยวครั้งที่ 2 (Area 2) และครั้งที่ 1 (Area 1)

  Cohesiveness = Area 2/Area 1

- **ค่าความยืดหยุ่น (Springiness)** คือ เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการคืนตัวของตัวอย่างหลังการเสียรูปจากการกดครั้งแรก (เดิมเรียกว่า elasticity) ค่านี้สามารถอธิบายได้หลายแบบ ที่นิยมคืออธิบายในรูปของอัตราส่วนของระยะเวลา หรือระยะทางที่วัสดุเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอย่างที่วัดได้จากการกดถึงแรงสูงสุดครั้งที่สองต่อค่าดังกล่าวของตัวอย่างที่วัดได้จากการกดครั้งแรก คำนวณจาก

Springiness = D2/D1

ค่า Adhisessiveness คือ งานที่จำเป็นในการดึงหัววัด หรือหัวกด หรือฟันออกจากตัวอย่าง หรืออาหาร ในกราฟ TPA คือพื้นที่ใต้กราฟส่วนที่มีค่าเป็นลบของช่วงการกด หรือการเคี้ยวที่ 1 (Area 3) มีหน่วยเป็นแรงคูณด้วยเวลา เช่น N.s บางทีเรียก stickiness



ภาพที่ ค.1 กราฟที่ได้จากการทำ Texture Profile Analysis

ที่มา: ธัญญาภรณ์ (2550)

การวิเคราะห์ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในตัวอย่างไข่เค็ม

(ตามวิธี AOAC (2000))

1. คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐาน KSCN

เตรียมสารละลายมาตรฐาน ดังนี้

1. ชั่ง $AgNO_3$ มา 16.9208 กรัม แล้วละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตรสารละลายเป็น 1 ลิตร
2. ชั่ง KSCN มา 9.7340 กรัม แล้วละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรสารละลายเป็น 1 ลิตร

ปิเปตสารละลาย $AgNO_3$ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย HNO_3 ความเข้มข้น 3 M ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายเฟอร์ริคอะลัมปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วทำการทดลองซ้ำอีก 1 ครั้ง ใช้ปริมาตรสารละลาย KSCN ที่ไทเทรตเท่ากับ 10.1 มิลลิลิตร คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐาน KSCN

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง

$AgNO_3$ + KSCN ----> AgSCN + KNO3 (1)

จำนวนกรัมสมมูลของ AgNO3 = $\frac{\mathbf{16.9208}}{\mathbf{169}}$ = 0.1001 กรัมสมมูล

ความเข้มข้นของ AgNO3 : $\boldsymbol{C = \frac{m}{v} = \frac{0.1001}{1}}$ = 0.1001 N

จำนวนโมลของ KSCN = จำนวนโมลของ AgNO3

$$CV_{KSCN} = CV_{AgNO3}$$

$$C_{KSCN} \times 10.4\ mL = 0.1001 \times 10.0\ mL$$

$$C_{KSCN} = \frac{\mathbf{0.1001 \times 10.0\ mL}}{\mathbf{10.4\ mL}}$$

$$C_{KSCN} = 0.0963\ N$$

ความเข้มข้นของสารละลาย KSCN จากการไตเตรทครั้งที่ 1 ได้เท่ากับ 0.0963 N

ความเข้มข้นของสารละลาย KSCN จากการไตเตรทครั้งที่ 2 คำนวณได้ในทำนองเดียวกันได้ความเข้มข้นเท่ากับ 0.0991 N

∴ ความเข้นข้นเฉลี่ยของสารละลาย KSCN เท่ากับ 0.0977 N

2. คำนวณหาปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในตัวอย่างไข่เค็ม

ชั่งตัวอย่างไข่แดงเค็มประมาณ 1 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) เติมสารละลาย $AgNO_3$ ความเข้มข้น 0.1001 N ในปริมาตรที่มากเกินพอปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปเติมสารละลาย HNO_3 ความเข้มข้น 3 M ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายตัวอย่างไปต้มด้วยไฟอ่อนบนเตาไฟฟ้าจนกระทั่งตะกอนสีขาวของ AgCl2 ละลายจนหมด (โดยปกติใช้เวลา 10 นาที) แล้วนำมาสารละลายตัวอย่างมาลดอุณหภูมิโดยการหล่อเย็นด้วยน้ำก๊อก จากนั้นเติมสารละลายเฟอร์ริกอะลัม ($FeNH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) ความเข้มข้น 5 %(w/v) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เป็นอินดิเคเตอร์ เขย่าสารละลายให้เข้ากัน จากนั้นนำไปไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน KSCN ความเข้มข้น 0.1 N จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อนแบบถาวร บันทึกปริมาตรที่ใช้ในการไทเตรท นำไปคำนวนปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ (%) = 5.8 x [(V1 x N1) – (V2 x N2)] / W

เมื่อ V1 = ปริมาตรของ $AgNO_3$ (mL)

N1 = ความเข้มข้นของ $AgNO_3$ (N)

V2 = ปริมาตรของ KSCN (mL)

N2 = ความเข้มข้นของ KSCN (N)

และ W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง

$Cl^- + Ag^+ \longrightarrow AgCl$ (2)

$Ag^+ +$ ที่เหลือ $+ KSCN \longrightarrow AgKSCN$ (3)

หากใช้สารละลาย KSCN ในการไตเตรท 18.2 ml

จำนวนโมลของ AgNO3 เริ่มต้น

$$\text{Mol } AgNO_3 = \frac{cv}{100} = \frac{0.1001 \times 20}{1000} = 0.002 \text{ mol}$$

จำนวนโมลของ KSCN ที่ทำปฏิกิริยา

$$\text{mol KSCN} = \frac{0.0977 \times 18.2}{1000} = 1.78 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

จากปฏิกิริยาที่ 2 ได้จำนวนโมลของ $AGNO_3$ เหลือจากการทำปฏิกิริยา

$$\text{Mol } AgNO_3 = \frac{0.0977 \times 18.2}{1000} = 1.78 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

ดังนั้น

จำนวนโมลของ $AgNO_3$ ที่ทำปฏิกิริยากับ KSCN เท่ากับ $0.002 - 1.78 \times 10^{-3} = 2.20 \times 10^{-4}$ mol

จากปฏิกิริยาที่ 1 Ag^+ 1 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Cl^- 1 โมล

ดังนั้น Ag^+ 2.20×10^{-4} mol = 2.20×10^{-4} mol

∴ในสารละลายตัวอย่างปริมาตร 4 มิลลิลิตร มี Cl^- เท่ากับ 2.20×10^{-4} mol

สารละลายตัวอย่างที่เจือจาง 10 มิลลิลิตร มี $Cl^- = \frac{(2.20 \times 10^{-4}) \times 10}{4} = 5.50 \times 10^{-4}$ mol

ดังนั้นในสารละลายตัวอย่างปริมาตร 5 มิลลิลิตร มี Cl^- เท่ากับ 5.50×10^{-4} mol

สารละลายตัวอย่างที่เจือจาง 50 มิลลิลิตร มี $Cl^- = \frac{(5.50 \times 10^{-4}) \times 50}{5} = 5.50 \times 10^{-3}$ mol

ในสารละลายตัวอย่างปริมาตร 50 มิลลิลิตร มี Cl^- เท่ากับ 5.50×10^{-3} mol = 0.1953 กรัม

ซึ่ง Cl^- 35.5 กรัม ได้มาจาก NaCl 58.5 กรัม

Cl^- 0.1953 กรัม ได้มาจาก $NaCl = \frac{58.5 \times 0.1953}{35.5} = 0.3218$ กรัม

ดังนั้นในตัวอย่าง 3.1016 กรัม มี NaCl = 0.3218 กรัม

ดังนั้นในตัวอย่าง 100 กรัม มี $NaCl = \frac{0.3218 \times 100}{3.1016} = 10.38$ %

∴ ในตัวอย่างโมโรมิมีปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 10.38 ต่อกรัมเปียกตัวอย่าง

ภาคผนวก ค

มาตรฐานผลิตภัณฑชุมชนม ผช. ๒๗/๒๕๔๖

ไขเค็ม

มาตรฐานผลิตภัณฑชุมชน
ไขเค็ม

๑. ขอบขาย

๑.๑ มาตรฐานผลิตภัณฑชุมชนนี้ครอบคลุมไขเค็มดองน้ำเกลือและไขเค็มพอกที่ทำจากไขทั้งฟอง ซึ่งอาจเปนไขเค็มดิบ หรือไขเค็มตมสุกก็ได

๒. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใชในมาตรฐานผลิตภัณฑชุมชนนี้มีดังตอไปนี้

๒.๑ ไขเค็ม หมายถึง ไขทั้งฟองที่ผานการคัดเลือกและทำความสะอาดแลว เชน ไขเปด ไขนกกระทา นำมาดองเค็มดวยวิธีการดองเปยก หรือการดองแหง ในชวงระยะเวลาที่เหมาะสม โดยอาจมีการจำหนายในลักษณะของไขเค็มดิบ หรือตมสุกก็ได

๒.๒ ไขเค็มดองน้ำเกลือ หมายถึง ไขเค็มที่ไดจากการดองเปยกโดยแชไขในน้ำเกลือที่มีความเขมขนที่เหมาะสมโดยใหไขจมอยูภายใตระดับน้ำเกลือ ในชวงระยะเวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้อาจเติมไอโอดีนหรือสมุนไพรอื่นๆ ดวยหรือไมก็ได

๒.๓ ไขเค็มพอก หมายถึง ไขเค็มที่ไดจากการดองแหงโดยพอกไขดวยของผสมที่มีเกลือเปนองคประกอบหลักและสวนประกอบอื่นๆ เชน ดินหรือดินสอพอง น้ำ ขี้เถาแกลบ ในอัตราสวนที่เหมาะสม และในชวงระยะเวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้อาจเติมไอโอดีนดวยหรือไมก็ได

๓. ประเภทและชนิด

๓.๑ ไขเค็ม แบงตามกรรมวิธีการผลิตออกเปน ๒ ประเภท คือ

๓.๑.๑ ไขเค็มดองน้ำเกลือ

๓.๑.๒ ไขเค็มพอก

๓.๒ ไขเค็มแตละประเภท แบงออกเปน ๒ ชนิด คือ

๓.๑.๑ ไขเค็มดิบ

๓.๑.๒ ไขเค็มตมสุก

๔. คุณลักษณะที่ตองการ

๔.๑ ลักษณะทั่วไป

ตองเปนไปตามตารางที่ ๑

เมื่อตรวจสอบโดยวิธีใหคะแนนตามขอ ๙.๑ แลว ตองไดคะแนนเฉลี่ยของแตละลักษณะจากผูตรวจสอบทุกคนไมนอยกวา ๓ คะแแนน และตองไมมีลักษณะใดได ๑ คะแนน จากผูตรวจสอบ

ตารางที่ ๑ ลักษณะทั่วไป

(ขอ ๔.๑)คนใดคนหนึ่ง

ที่	สมบัติที่ต้องการ	ไข่เค็ม	ไข่เค็มต้มสุก
๑	ลักษณะภายนอก	ไขเค็มดองน้ำเกลือ เปลือกไข่ต้องสะอาด ไมแตก ราว หรือบุบ	เปลือกไขต่องสะอาด ไมแตก ร้าวหรือบุบ
		ไขเค็มพอก เมื่อนำสิ่งที่พอกออกแล่วทำความสะอาด เปลือกไขต้องไมแตก ราว หรือบุบ	
๒	ลักษณะภายใน	ต่องไมมีสีผิดปกติ ไขแดงและไขขาวแยกกันเห็นไดชัดเจน	ต้องไม่มีสีผิดปกติ ไข่แดงและไข่ขาวแยกกันเห็นได้ชัดเจน
		ไขขาวส วนที่ติดไข แดงยังคงมีลักษณะเปนไขขาวข่น สีคอนข้างใสไมมีสิ่งผิดปกติใดๆ ปรากฏอยู่	ไข่ขาวมีสีขาว เนื้อเรียบ นิ่ม ไม่กระด้าง ไม่มีสิ่งผิดปกติใดๆ ปรากฏอยู่
		ไข่แดง มีสีเข้ม ค่อนข้างเป้นทรงกลม มีความมัน	ไข่แดงมีสีเข้ม มีลักษณะเป็นมัน มองเห็นได้ชัด
		มีกลิ่นตามธรรมชาติของไข่เค็ม ไม่มีกลิ่นผิดปกติอื่นที่ไม่พึงประสงค์	มีกลิ่นตามธรรมชาติของไข่เค็ม ไม่มีกลิ่นผิดปกติอื่นที่ไม่พึงประสงค์
๓	รส	เมื่อทำให้ไข่สุก ไข่ขาวมีรถเค็ม ไข่แดง มีรสมันและเค็มพอเหมาะ	ไข่ขาวมีรสเค็ม ไข่แดงมีรสมันและเค็มพอเหมาะ

๔.๒ จุลินทรีย

๔.๒.๑ จำนวนจุลินทรียทั้งหมด ตองไมเกิน ๑ × ๑๐๔

โคโลนีตอตัวอยาง ๑ กรัม

๔.๒.๒ ซาลโมเนลลา ตองไมพบในตัวอยาง ๒๕ กรัม

๔.๒.๓ คลอสตริเดียม เพอรฟริงเจนส ตองไมพบในตัวอยาง ๐.๑ กรัม

๔.๒.๔ สตาฟโลค็อกคัส ออเรียส ตองไมพบในตัวอยาง ๐.๑ กรัม

๔.๒.๕ ตองไมมีราปรากฏใหเห็นไดอยางชัดเจน

๔.๓ สารปนเปอน

๔.๓.๑ ตะกั่ว ตองไมเกิน ๑ มิลลิกรัมตอกิโลกรัม

๔.๓.๒ ปรอท ตองไมตองไมเกิน ๐.๐๒ มิลลิกรัมตอกิโลกรัม

๕. สุขลักษณะ

๕.๑ สุขลักษณะในการทำไขเค็ม ใหเปนไปตามคำแนะนำตามภาคผนวก ก.

๖. การบรรจุ

๖.๑ ใหบรรจุไขเค็มในภาชนะบรรจุที่สะอาด แหง สามารถปองกันการปนเปอนจากสิ่งสกปรกภายนอก และกันการกระทบกระแทกได

๖.๒ จำนวนไขเค็มในแตละภาชนะบรรจุ ตองไมนอยกวาที่ระบุไวที่ฉลาก

๗. เครื่องหมายและฉลาก

๗.๑ ที่ภาชนะบรรจุไขเค็มทุกหนวย อยางนอยตองมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจงรายละเอียดต่อไปนี้ใหเห็นไดงาย ชัดเจน

(๑) ชื่อเรียกผลิตภัณฑเชน ไขเค็มพอกดินสอพอง ไขเค็มดองน้ำเกลือ

(๒) จำนวนที่บรรจุ เปนฟอง

(๓) วัน เดือน ปที่ทำ และวัน เดือน ปที่หมดอายุ หรือขอความวา “ควรบริโภคกอน (วัน เดือน ป)”

(๔) ข้อแนะนำในการทำเพื่อบริโภค (เฉพาะไขเค็มดิบ) เช่น “เริ่มทอดไข่ดาว (วัน เดือน ป)” หรือ “เริ่มต้มได้ (วัน เดือน ป)”

(๕) ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

๘. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

๘.๑ รุ่น ในที่นี้หมายถึง ไข่เค็มประเภทและชนิดเดียวกันที่ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

๘.๒ การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

๘.๒.๑ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบการบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน ๕ หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๖. และ ข้อ ๗. จึงจะถือว่าไข่เค็มรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๘.๒.๒ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป ให้ชักตัวอย่างไข่เค็มโดยวิธีสุ่มจากตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบตามข้อ ๘.๒.๑ แล้ว ภาชนะบรรจุละ ๑ ฟอง และถือว่าไข่เค็ม ๑ ฟอง นั้นเป็น ๑ ตัวอย่างทดสอบ (เฉพาะไข่เค็มดิบให้ชักตัวอย่างเพิ่มอีก ๑ ชุด สำหรับทดสอบรส) เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามที่กำหนดในข้อ ๔.๑ จึงจะถือว่าไข่เค็มรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๘.๒.๓ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบจุลินทรีย์ และสารปนเปื้อน ให้ชักตัวอย่างไข่เค็มโดยวิธีสุ่มจากตัวอย่างที่ได้ตามข้อ ๘.๒.๑ ภาชนะบรรจุละ ๑ ฟอง รวม ๕ ฟอง มาทำเป็นตัวอย่างรวมเมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๔.๒ และข้อ ๔.๓ จึงจะถือว่าไข่เค็มรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๘.๓ เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างไข่เค็มต้องเป็นไปตามข้อ ๘.๒.๑ ข้อ ๘.๒.๒ และข้อ ๘.๒.๓ ทุกข้อ จึงจะถือว่าไข่เค็มรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

๙. การทดสอบ

๙.๑ การทดสอบลักษณะทั่วไป

๙.๑.๑ ให้แต่งตั้งคณะผู้ตรวจสอบ ประกอบด้วยผู้ที่มีความชำนาญในการตรวจสอบไข่เค็มอย่างน้อย ๕ คน แต่ละคนจะแยกกันตรวจและให้คะแนนโดยอิสระ

๙.๑.๒ วิธีตรวจสอบ

๙.๑.๑.๑ ไข่เค็มดิบ

(๑) ตัวอย่างชุดที่ ๑ ตรวจพินิจลักษณะภายนอกแล้วตอกไข่ใส่ในชามกระเบื้องสีขาว ตรวจสอบลักษณะภายในโดยการตรวจพินิจ

(๒) ตัวอย่างชุดที่ ๒ นำมาต้มให้สุกโดยใช้ไฟอ่อน ประมาณ ๑๕ ถึง ๒๐ นาที ตรวจสอบรสโดยการชิม

๙.๑.๑.๒ ไข่เค็มต้มสุก

ตรวจพินิจลักษณะภายนอกแล้วผ่าไข่เค็มออกเป็น ๒ ซีกตามแนวยาว วางบนจานกระเบื้องสีขาว ตรวจสอบลักษณะภายใน และรส โดยการตรวจพินิจและการชิม

๙.๑.๓ หลักเกณฑ์การให้คะแนน ให้เป็นไปตามตารางที่ ๒

ตารางที่ ๒ หลักเกณฑ์การให้คะแนน

(ข้อ ๙.๑.๓)

สมบัติที่ต้องการ	เกณฑ์กำหนด		ระดับการตัดสิน (คะแนน)			
	ไข่เค็มดิบ	ไข่เค็มต้มสุก	ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง
ลักษณะภายนอก	ไข่เค็มดองน้ำเกลือ เปลือกไข่ ต้องสะอาด ไม่แตก ร้าวหรือบุบ	เปลือกไข่ต้องสะอาด ไม่แตก ร้าว หรือบุบ	๔	๓	๒	๑
	ไข่เค็มพอก เมื่อนำสิ่งที่พอก ออกแล้วทำความสะอาด เปลือกไข่ต้องไม่แตก ร้าว หรือบุบ		๔	๓	๒	๑

ลักษณะภายใน	ต้องไม่มีสีผิดปกติ ไข่แดงและ ไข่ขาวแยกกันเห็นได้ชัดเจน	ต้องไม่มีสีผิดปกติ ไข่แดง และไข่ขาวแยกกันเห็นได้ ชัดเจน	๔	๓	๒	๑
	ไข่ขาวส่วนที่ติดไข่แดงยังคง มีลักษณะเป็นไข่ขาวข้น สีค่อน ข้างใส ไม่มีสิ่งผิดปกติใดๆ ปรากฏอยู่	ไข่ขาวมีสีขาว เนื้อเรียบนิ่ม ไม่กระด้าง ไม่มีสิ่งผิดปกติใดๆ ปรากฏอยู่	๔	๓	๒	๑
	ไข่แดง มีสีเข้ม ค่อนข้างเป็น ทรงกลม มีความมัน	ไข่แดงมีสีเข้ม มีลักษณะ เป็นมัน มองเห็นได้ชัด	๔	๓	๒	๑
	มีกลิ่นตามธรรมชาติของไข่เค็ม ไม่มีกลิ่นผิดปกติอื่นที่ไม่พึงประสงค์	มีกลิ่นตามธรรมชาติของ ไข่เค็ม ไม่มีกลิ่นผิดปกติ อื่น ที่ไม่พึงประสงค์	๔	๓	๒	๑
รส	ไข่ขาวมีรสเค็ม ไข่แดงมีรสมัน และเค็มพอเหมาะ	ไข่ขาวมีรสเค็ม ไข่แดงมีรส มันและเค็มพอเหมาะ	๔	๓	๒	๑

๙.๒ การทดสอบจุลินทรีย

ให้ใช้วิธีทดสอบตาม AOAC หรือ BAM หรือวิธีทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ

๙.๓ การทดสอบสารปนเปื้อน

ให้ใช้วิธีทดสอบตาม AOAC หรือ BAM หรือวิธีทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ

๙.๔ การทดสอบการบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก ให้ตรวจพินิจ

ภาคผนวก ก.

สุขลักษณะ

(ข้อ ๕.๑)

ก.๑ สถานที่ตั้งและอาคารผลิต

ก.๑.๑ สถานที่ตั้งตัวอาคารและที่ใกลเคียง ควรอยูในที่ที่จะไมทำใหไขเค็มที่ผลิตเกิดการปนเปอนได้ง่าย โดย

ก.๑.๑.๑ สถานที่ตั้งตัวอาคารและบริเวณโดยรอบ ควรสะอาด ไมมีน้ำขังแฉะและสกปรก

ก.๑.๑.๒ ควรอยูหางจากบริเวณหรือสถานที่ที่มีฝุนมากผิดปกติ

ก.๑.๑.๓ ไมควรอยูใกลเคียงกับสถานที่นารังเกียจ

ก.๑.๒ อาคารผลิตมีขนาดเหมาะสม มีการออกแบบและกอสรางในลักษณะที่งายแกการบำรุงรักษา การทำความสะอาด และสะดวกในการปฏิบัติงาน โดย

ก.๑.๒.๑ พื้น ฝาผนัง และเพดานของอาคารสถานที่ผลิต กอสรางดวยวัสดุที่คงทน เรียบ ทำความสะอาดและซอมแซมใหอยูในสภาพที่ดีตลอดเวลา

ก.๑.๒.๒ ควรแยกบริเวณผลิตไขเค็มออกเปนสัดสวน ไมอยูใกลหองสุขา ไมมีสิ่งของที่ไมใชแล้วหรือไมเกี่ยวของกับการผลิตอยูในบริเวณผลิต

ก.๑.๒.๓ พื้นที่ปฏิบัติงาน มีบริเวณเพียงพอ แสงสวาง และการระบายอากาศที่เหมาะสม

ก.๒ เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณในการผลิต

ก.๒.๑ ภาชนะหรืออุปกรณในการผลิตที่สัมผัสกับไขเค็ม ทำจากวัสดุมีผิวเรียบ ไมเปนสนิม ลางทำความสะอาดไดงาย

ก.๒.๒ เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณที่ใช สะอาด และเหมาะสมกับการใชงาน ไมกอใหเกิดการปนเปอน ติดตั้งไดงาย มีปริมาณเพียงพอ รวมทั้งสามารถทำความสะอาดไดงายและทั่วถึง

ก.๓ การควบคุมกระบวนการผลิต

ก.๓.๑ วัตถุดิบและสวนผสมในการผลิตไขเค็ม สะอาด มีคุณภาพดีมีการลางหรือทำความสะอาดกอนนำไปใช

ก.๓.๒ การผลิต การเก็บรักษา ขนยาย และขนสงผลิตภัณฑไขเค็ม ควรปองกันการปนเปอนและการเสื่อมเสียของไขเค็ม

ก.๔ การสุขาภิบาล การบำรุงรักษา และการทำความสะอาด

ก.๔.๑ น้ำที่ใชลางทำความสะอาดเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ และมือผูทำไขเค็ม เปนน้ำสะอาดและมีปริมาณเพียงพอ

ก.๔.๒ ควรมีวิธีการปองกันและกำจัดสัตวนำเชื้อ แมลงและฝุนผง ไมใหเขาในบริเวณผลิตตามความเหมาะสม

ก.๔.๓ ควรมีการกำจัดขยะ สิ่งสกปรก และน้ำทิ้ง อยางเหมาะสม เพื่อไมกอใหเกิดการปนเปื้อนกลับลงสูไขเค็ม

ก.๔.๔ สารเคมีที่ใชลางทำความสะอาด และใชกำจัดสัตวนำเชื้อและแมลง ควรใชในปริมาณที่เหมาะสม และเก็บแยกจากบริเวณที่ผลิตไขเค็ม เพื่อไมใหปนเปอนลงสูไขเค็มได

ก.๕ บุคลากรและสุขลักษณะผูปฏิบัติงาน

ผูทำไขเค็มทุกคนตองรักษาความสะอาดสวนบุคคลใหดี เชน สวมเสื้อผาที่สะอาด ควรมีผาคลุมผมเพื่อปองกันไมใหเสนผม หลนลงในไขเค็ม ไมควรไวเล็บยาว ควรลางมือใหสะอาดกอนปฏิบัติงานทุกครั้ง

ประวัติผู้ศึกษา

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวกุลพร พงษ์ไพร
วัน เดือน ปีเกิด	5 สิงหาคม พ.ศ.2542
ที่อยู่ปัจจุบัน	999/207 หมู่บ้านปัณฐิญา ถ.พุทธรักษา ต.แพรกษา อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ 10280
Email	kullapon-p@rmutp.ac.th
วุฒิการศึกษา	ระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2564 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอุตรดิตถ์ดรุณี พ.ศ. 2560
ทุนการศึกษา/ ทุนวิจัย/	ทุนเพื่อการวิจัยภายใต้โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่จากกองทุนเพื่อการวิจัยภายใต้โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564
รางวัลและผลงานดีเด่น	ไม่มี

ประวัติผู้ศึกษา

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวอัมพวัน สุขนิล
วัน เดือน ปีเกิด	1 พฤศจิกายน พ.ศ.2542
ที่อยู่ปัจจุบัน	248/389 หมู่5 หมู่บ้านทัศรินทร์ ต.แพรกษา ถ.พุทธรักษา อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ 10280
Email	ampawan-s@rmutp.ac.th
วุฒิการศึกษา	ระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2564 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเทพศิรินทร์ สมุทรปราการ พ.ศ. 2560
ทุนการศึกษา/ ทุนวิจัย/	ทุนเพื่อการวิจัยภายใต้โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่จากกองทุนเพื่อการวิจัยภายใต้โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564
รางวัลและผลงานดีเด่น	ไม่มี