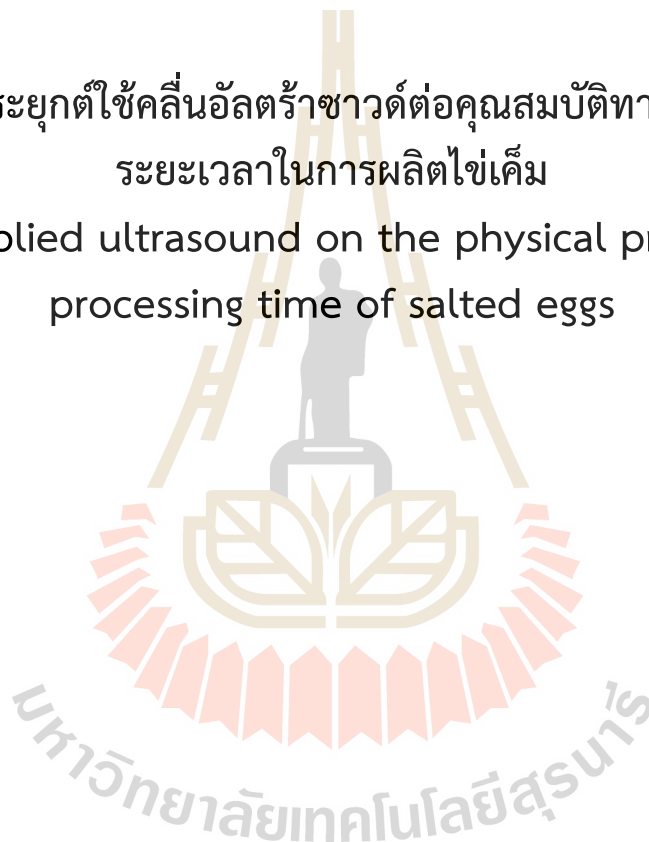




รายงานการวิจัย

ผลของการประยุกต์ใช้คลื่นอัลตราซาวด์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและ
ระยะเวลาในการผลิตไข่เค็ม

Effect of applied ultrasound on the physical properties and
processing time of salted eggs



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

ผลของการประยุกต์ใช้คลื่นอัลตราซาวด์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและ
ระยะเวลาในการผลิตไข่เค็ม
Effect of applied ultrasound on the physical properties and
processing time of salted eggs

หัวหน้าโครงการ

ดร. ธนาวิทย์ กุศลตันรักษ์

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาหาร

สำนักวิชา เทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2557
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

2 ธันวาคม 2563

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ในด้านการดำเนินการวิจัย อาทิเช่น นางสาวจินต์จุฑา กรรณเทพ นายณัฐวุฒิ ดำระกอก ที่ช่วยดำเนินงานวิจัย นักวิทยาศาสตร์ และพนักงานวิทยาศาสตร์ประจำศูนย์เครื่องมือ 3 ที่อำนวยการอุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการ ดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะเกิดขึ้นไม่ได้ หากไม่ได้รับทุนสนับสนุนจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2557 จึงขอขอบคุณมา ณ. โอกาสนี้

ธนาวิทย์ กุรัตนรักษ์



บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตไข่เค็มเป็นกระบวนการถนอมอาหารที่ใช้เวลาในการดองไข่เปิดในน้ำเกลือความเข้มข้น 25% (w/w) นานประมาณ 28 วัน การประยุกต์ใช้คลื่นอัลตราซาวด์เพื่อเร่งกระบวนการดองให้เร็วขึ้น โดยใช้คลื่นอัลตราซาวด์ความถี่ 37 kHz เป็นเวลา 0, 120, 180 และ 240 นาที พบว่า ค่าฮอกยูนิตของไข่มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่ได้รับคลื่นอัลตราซาวด์แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ การใช้คลื่นอัลตราซาวด์ทุกช่วงเวลาในกระบวนการดอง ทำให้ค่าความชื้น เเปอร์เซ็นต์เกลือในไข่ขาวและไข่แดง ที่ระยะเวลาการดอง 21 วัน มีค่าใกล้เคียงกับการดองแบบปกติที่ 28 วัน แต่ค่าความแข็งของไข่แดงที่ผ่านคลื่นอัลตราซาวด์มีแนวโน้มที่จะสูงกว่า และการให้คลื่นอัลตราซาวด์แบบเป็นจังหวะ โดยให้คลื่น 2 ชั่วโมง และพัก 24 ชั่วโมงในน้ำเกลือสลับไปมา ใช้เวลาในการดอง 14 วัน จะมีผลของความชื้นและเปอร์เซ็นต์เกลือเทียบทั้งในไข่ขาวและไข่แดงเท่าการดองแบบปกติ 28 วันและการให้คลื่นอัลตราซาวด์ 2 ชั่วโมงและดองไว้ 21 วัน แต่ความแข็งของไข่แดงจะมีค่าต่ำกว่าการดอง ขณะที่สีของไข่แดงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

Abstract

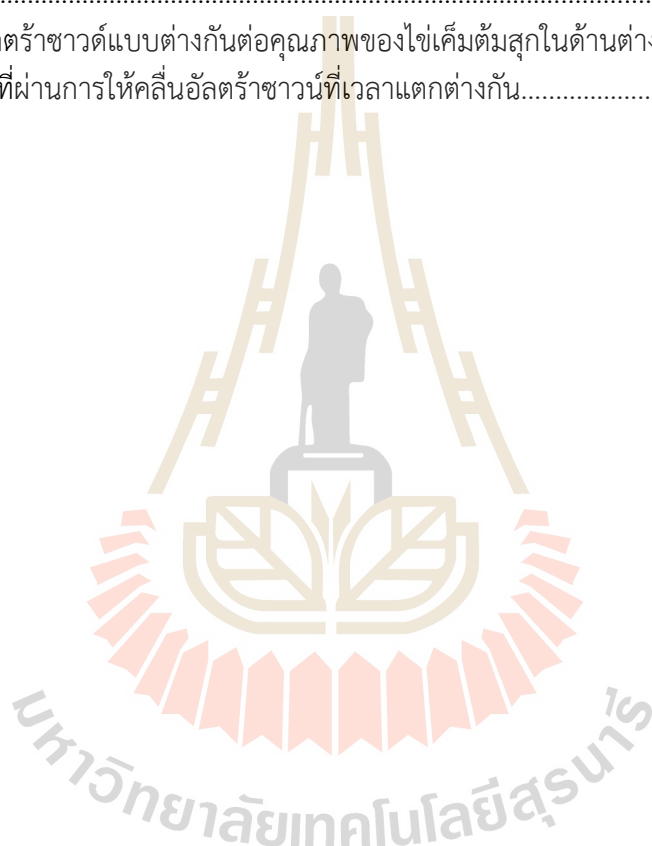
Salted egg production is food preservation. For traditional process, duck egg is pickled in salt solution, NaCl 25% (w/w), for 28 days. Ultrasound will be used to accelerate the pickling process. Ultrasound frequency at 37 kHz was applied for 0, 120, 180 and 240 minutes. The results showed that haugh unit trended to decrease when egg was irradiated by ultrasound but no significant different. Pickled egg with all treatments of ultrasound for 21 days had the moisture, % salt in both white and yolk egg similar to traditional pickled for 28 days. But the yolk of ultrasound treatment was more hardness than the traditional process. Furthermore, the pulsed ultrasound process between irradiation for 2 hr and pickled for 24 hr was also studied. The pulsed process could accelerate pickling time remain 14 days and the moisture, % salt in both white and yolk egg similar to the salted egg of ultrasound 21 days and traditional 28 days. However the hardness of yolk was lower than them.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
.....	3
.....	
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
วัตถุประสงค์ และเครื่องมือ.....	5
วิธีการทดลองและการตรวจวิเคราะห์.....	5
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
ผลการวิจัย	7
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
.....	17
.....	
บรรณานุกรม	18
ประวัตินักวิจัย.....	20

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ผลของสีไข่แดงของไข่เป็ดดิบที่ผ่านคลื่นอัลตราซาวด์ที่เวลาต่างๆ โดยใช้ระบบการวัดสีแบบ munsel color system.....	7
ตารางที่ 2 แสดงเนื้อสัมผัส ความแข็งและความยืดหยุ่นของไข่แดงของไข่เค็มต้มสุกที่ระยะเวลาการดองต่างๆ.....	13
ตารางที่ 3 เนื้อสัมผัส ความแข็งและความยืดหยุ่นของไข่ขาวของไข่เค็มต้มสุกระยะเวลาการดองต่างๆ.....	14
ตารางที่ 4. ผลของคลื่นอัลตราซาวด์แบบต่างกันต่อคุณภาพของไข่เค็มต้มสุกในด้านต่างๆ.....	15
ตารางที่ 5 ค่าสีของไข่เค็มที่ผ่านการให้คลื่นอัลตราซาวด์ที่เวลาแตกต่างกัน.....	16



สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเปลือกไข่ (มิลลิเมตร) ต่อเวลาที่ใช้ คลิ่นอัลตราซาวนด์ (นาทึ)	7
รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Haugh unit ต่อเวลาที่ใช้คลิ่นอัลตราซาวนด์ (นาทึ)	8
รูปที่ 3 A) เปอร์เซ็นต์เกลือในไข่ขาวระหว่างการดอง B) เปอร์เซ็นต์เกลือในไข่แดง ระหว่างการดอง.....	9
รูปที่ 4 A) เปอร์เซ็นต์ความชื้นในไข่ขาวระหว่างการดอง B) เปอร์เซ็นต์ความชื้นใน ไข่แดงระหว่างการดอง.....	11
รูปที่ 5 แสดงผลของเปอร์เซ็นต์ของปริมาณไขมันทั้งหมดในไข่แดงต่อเวลา (นาทึ) ที่ใช้คลิ่นอัลตราซาวนด์และจำนวนวันที่เก็บรักษาไข่	12
รูปที่ 6 แสดงผลของเปอร์เซ็นต์ของปริมาณไขมันอิสระ (oil exudation) ในไข่แดง ต่อเวลา (นาทึ) ที่ใช้คลิ่นอัลตราซาวนด์และจำนวนวันที่เก็บรักษาไข่.....	13



บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ไข่เป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีสารอาหารหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ เช่น โปรตีน ไขมัน วิตามินและแร่ธาตุ เป็นต้น ดังนั้นไข่จึงเป็นอาหารที่มีคุณค่าสูง และราคาไม่สูงมากนัก โดยไข่ที่คนนิยมบริโภคมีอยู่ สองประเภทหลักๆ คือ ไข่ไก่ และไข่เป็ด และสามารถนำไปปรุงเป็นอาหารได้หลากหลายชนิด รวมถึงการถนอมอาหารและการแปรรูปเช่น ไข่เค็ม ไข่เยี่ยวม้า เป็นต้น

ไข่เค็มเป็นการถนอมอาหารด้วยเกลือเพื่อเป็นการยืดอายุการเก็บที่คนเอเชียรวมถึงคนไทยนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย การผลิตไข่เค็มถือเป็นเทคโนโลยีชาวบ้านที่ทำกันมานานจนถึงปัจจุบัน การบริโภคไข่เค็มนอกจากการรับประทานทั้งฟองแล้ว ยังมีการนำส่วนของไข่แดงเค็มไปทำเป็นไส้ขนม เช่น ขนมเปียะ ขนมไหว้พระจันทร์ ซาลาเปา ตลอดจนไข่เป็นส่วนประกอบในอาหารต่างๆ โดยทั่วไปกรรมวิธีการผลิตไข่เค็มมีอยู่ 2 วิธี คือ การแช่ไข่ในน้ำเกลือ และการพอกไข่ด้วยดินผสมเกลือ อย่างไรก็ตามวิธีการพอกไข่ด้วยดินผสมเกลือยังเป็นการยากในการหาดินที่มีคุณสมบัติเฉพาะในการพอกไข่ ต้องใช้แรงงานจำนวนมากในการเตรียมดินและพอก เพราะต้องมีการผสมเกลือและแกลบเข้าไปในการผลิต รวมทั้งมีขั้นตอนในการเตรียมดินที่ยุ่งยาก เปลืองเกลือที่ใช้ไปในการพอกไข่ ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงมาก ขณะที่วิธีการผลิตโดยใช้วิธีแช่ไข่ลงในน้ำเกลือเป็นวิธีที่สะดวกและง่าย อาศัยหลักการแพร่ผ่านการถ่ายโอนมวลภายใต้ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยเกลือจะแพร่เข้าสู่ไข่ขณะเดียวกันความชื้นจะเคลื่อนที่ออกจากไข่สู่สารละลายเกลือ (Wang et al., 2013) แต่ยังคงใช้ระยะเวลาในการผลิต นานประมาณ 21-28 วัน (Chi and Tseng, 1998, Kaewmanee et al., 2011, Wibawati, et al., 2013) ดังนั้นการศึกษาวินิจฉัยนี้เพื่อศึกษาการลดเวลาในการเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายเทมวลให้รวดเร็วและลดเวลาในกระบวนการผลิตไข่เค็ม โดยคุณภาพไม่แตกต่างจากไข่เค็มที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

คลื่นอัลตราซาวด์ (ultrasound) ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานหลากหลายด้านไม่ว่าจะเป็นทางการแพทย์ วัสดุศาสตร์ การวิเคราะห์การตรวจสอบต่างๆ แบบไม่ทำลาย นอกจากนี้ยังสามารถนำอัลตราซาวด์มาประยุกต์ใช้ในงานพัฒนาการแปรรูปอาหารมากมายเช่น การสกัด (extraction), การตกผลึก (crystallization) การแช่แข็ง (freezing) การกรอง (filtration) และ การทำแห้ง (drying) เป็นต้น (Mason et al., 1996)

ในการผลิตไข่เค็ม มีกระบวนการหลักที่เกิดขึ้นในระหว่างการดอง คือกระบวนการ osmotic dehydration ซึ่งเป็นกระบวนการดึงน้ำออก โดยการแช่อาหารในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง นอกจากนี้การใช้คลื่นอัลตราซาวด์ยังมีผลทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสารในระหว่างกระบวนการ osmotic dehydration ในแอปเปิ้ลแช่ส้มเพิ่มขึ้น (Simal. et al., 1998) ดังนั้น ในกระบวนการผลิตไข่เค็มที่อาศัยหลักการ osmotic dehydration เช่นเดียวกับการทำแอปเปิ้ลแช่ส้ม จึงอาจสามารถนำคลื่นอัลตราซาวด์มาประยุกต์ใช้ได้ เพื่อเป็นการลดระยะเวลาการผลิตไข่เค็มลง การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นเกลือ และเนื้อสัมผัสของไข่เค็มที่มีการให้คลื่นอัลตราซาวด์ก่อนกระบวนการผลิต เพื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น เกลือ และเนื้อสัมผัส ของไข่เค็มจากกระบวนการผลิตแบบดองในน้ำเกลือ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของคลื่นอัลตราซาวด์ต่อคุณสมบัติของไข่
2. เพื่อศึกษาผลของคลื่นอัลตราซาวด์ต่อการระยะเวลาในกระบวนการผลิตไข่เค็ม
3. เพื่อศึกษาผลของคลื่นอัลตราซาวด์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไข่เค็ม

ขอบเขตของการวิจัย

ผลของคลื่นอัลตราซาวด์ต่อระยะเวลาในการผลิตไข่เค็มและคุณสมบัติทางกายภาพของไข่เค็ม

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1 ลดระยะเวลาในการผลิตไข่เค็ม
- 2 สามารถนำไปต่อยอดในการผลิตไข่เค็มในระดับอุตสาหกรรม
- 3 ทราบผลของอัลตราโซนิก (อัลตราซาวด์) ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไข่



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้คลื่นอัลตราโซนิก หรือคลื่นอัลตราซาวด์ (Ultrasound) ซึ่งเป็นพลังงานที่เกิดจากคลื่นเสียงที่มีการสั่นของคลื่นประมาณ 20,000 ครั้งต่อวินาที หรือสูงกว่า (Hoover., 2000) ส่วนคำว่า อัลตราโซนิก (Ultrasonic) หรือโซนิเคชัน (Sonication) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับคลื่นเสียงหรืออัลตราซาวด์ในช่วงความถี่ที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยินได้ คลื่นอัลตราซาวด์ (ultrasound) ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานหลากหลายด้านไม่ว่าจะเป็นทางการแพทย์ วัสดุศาสตร์ การวิเคราะห์การตรวจสอบต่างๆ แบบไม่ทำลาย การนำอัลตราซาวด์มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหรือในกระบวนการแปรรูปอาหาร สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1. การใช้อัลตราซาวด์กำลังต่ำและความถี่สูง (low power and high frequencies) ซึ่งใช้ในด้านการวิเคราะห์เป็นส่วนใหญ่ และ 2. การใช้อัลตราซาวด์กำลังสูงความถี่ต่ำ หรือที่เรียกว่า พาวเวอร์อัลตราซาวด์ (Power ultrasound) ที่มักนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร (Mason., 1998)

การใช้ power ultrasound ในกระบวนการแปรรูปอาหารนั้น ทำให้เกิดผลต่อคุณสมบัติทางกล และทางเคมีของอาหาร เนื่องจากคลื่นอัลตราซาวด์ทำให้เกิดปรากฏการณ์แควิเทชัน (cavitation) โดยปรากฏการณ์นี้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในตัวกลาง หรือสารละลายที่ได้รับคลื่นเสียงอัลตราซาวด์ โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี และกายภาพ เนื่องมาจากฟองอากาศที่เกิดขึ้น การที่ฟองอากาศเกิดขึ้นได้นั้น เนื่องจากโครงสร้างของของเหลวที่ได้รับคลื่นอัลตราซาวด์จะถูกบีบอัด และคลายตัว ซ้ำไปซ้ำมาเป็นจำนวนหลายพันรอบ ทำให้เกิดฟองอากาศขึ้น และฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในของเหลวนี้จะสัมผัสกับแรงสั่นที่เกิดจากคลื่นอัลตราซาวด์เป็นระยะ และเกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างกัน เป็นผลทำให้ฟองอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้นไปเรื่อยๆ จนกระทั่งแตกออกในที่สุด (Atchley and Crum., 1998) โดยผลของการเกิด cavitation นี้มีผลทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการต่างๆ เช่น การสกัด (extraction), การตกผลึก (crystallization) การแช่แข็ง (freezing) การกรอง (filtration) การทำแห้ง (drying) และ กระบวนการแพร่และกระบวนการออสโมติก เป็นต้น (Mason, 1998, Simal et al., 1998)

ในกระบวนการผลิตที่อาศัยหลักการแพร่โดยธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสาร และเวลาซึ่งปรกติแล้วจะใช้เวลานาน อย่างเช่น

Chen และคณะ 1999 ได้ศึกษาการดองไข่เค็มตามธรรมชาติ พบว่าต้องใช้เวลาประมาณ 4 สัปดาห์ (28 วัน) ขึ้นอยู่กับรสชาติที่ต้องการนอกจากนี้อัตราการแพร่ยังขึ้นกับอุณหภูมิด้วย ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อเร่งกระบวนการถ่ายเทมวลนี้ให้รวดเร็วยิ่งขึ้นซึ่งจะใช้วิธีที่ต่างกันไป รวมถึง Kaewmanee และคณะ 2009 ได้ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไข่เค็ม

Simal และคณะ 1998 ได้ทำการศึกษาการเพิ่มการแพร่ของซูโครส โดยใช้ แอปเปิ้ลหั่นเป็นลูกเต๋าวัดขนาด 1 cm^3 ในสารละลายซูโครส 70 %w/w และให้คลื่นอัลตราซาวด์ที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าการแพร่ โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมีค่าจาก $2 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ที่ 40 องศาเซลเซียส ถึง $6.8 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ที่ 70 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกันกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของซูโครสที่มีค่าเฉลี่ยที่ $7 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$

Carcel และคณะ 2007 ได้ศึกษาผลของการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ต่อการถ่ายเทมวลของแอปเปิ้ลที่แช่ในสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 30 °brix พบว่า คลื่นอัลตราซาวด์ ที่ทุกความเข้มสามารถเพิ่มความสามารถในการแพร่ของน้ำ และของแข็งได้สูงกว่าการแช่โดยปราศจากการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ โดยความเข้มคลื่นอัลตราซาวด์ที่ 11.5 W/cm^2 เป็นเวลา 45 นาที สามารถเพิ่มการแพร่ของน้ำได้ 117 % และการแพร่ของของแข็ง 137 % เมื่อเทียบกับการแช่ธรรมดา

Wang และคณะ 2013 ได้ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทมวลของเกลือในการผลิตไข่เค็มภายใต้ความดันสูงเป็นจังหวะ (Pulsed pressured osmotic dehydration) ที่ 140 kPa และความดันบรรยากาศ ที่อัตรา 8:16 นาที ในน้ำเกลือ 25 %w/w พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแพร่ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยความเข้มข้นในไข่ขาวและไข่แดงลดลง ขณะที่ปริมาณเกลือในไข่ขาวและไข่แดงเพิ่มขึ้น ส่วนความแข็งของไข่แดงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการดองเมื่อเทียบกับการดองแบบปกติ ที่เวลาเดียวกัน

Deng และ Zhao 2007 ได้ศึกษาผลของการใช้ความดันสุญญากาศและอัลตราซาวด์แบบเป็นจังหวะ ในกระบวนการเชื่อมแอปเปิ้ลฟูจิ โดยหั่นแอปเปิ้ลขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 15 มิลลิเมตรหนา 15 มิลลิเมตรจุ่มในสารละลายน้ำเชื่อมฟรุกโตส 60%w/w เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 55 รอบต่อนาที ใช้ความดันสุญญากาศ 13 mPa เป็นเวลา 5 นาที สลับกับความดันบรรยากาศ 5 นาที หรือใช้คลื่นอัลตราซาวด์ 185 W เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำที่เร็วกว่าวิธีความดันสุญญากาศแบบเป็นจังหวะ และแช่ธรรมดาตามลำดับ ขณะที่ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นวิธีความดันสุญญากาศแบบเป็นจังหวะ จะทำให้มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นเร็วกว่าและมากกว่าการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ และแช่ธรรมดาตามลำดับ แต่คลื่นอัลตราซาวด์จะทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างมากที่สุด

McDonnell และคณะ 2014 ได้ศึกษาผลของความเข้มอัลตราซาวด์ 4.2, 11 และ 19 W/cm^2 เป็นเวลา 10, 25 และ 40 นาที ต่อการดองเนื้อหมูในเกลือ พบว่าคลื่นอัลตราซาวด์สามารถเพิ่มการสกัดโปรตีนยกเว้นที่ 4.2 W/cm^2 (10 และ 25 นาที)

อย่างไรก็ดีการใช้พลังงานภายนอกเช่นคลื่นอัลตราซาวด์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทมวลนั้นอาจทำให้คุณสมบัติของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ดังการศึกษาของ McDonnell และคณะ 2014 พบว่าคลื่นอัลตราซาวด์สามารถช่วยเร่งกระบวนการถ่ายเทมวลของเกลือสู่เนื้อหมู แต่ก็สามารถทำให้โปรตีนเกิดการเสื่อมสภาพ นอกจากนี้ Arzeni และคณะ 2012 ได้ทำการศึกษาผลของคลื่นอัลตราซาวด์ต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไข่ขาว พบว่าคลื่นอัลตราซาวด์สามารถ ทำให้ความหนืดปรากฏของไข่ขาวลดลง พื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ (surface hydrophobicity) เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อปริมาณหมู่ซัลฟไฮดริล (Sulphydryl content)

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ และเครื่องมือ

3.1.1 ไข่

ไข่เป็ดซื้อจากฟาร์มในจังหวัดนครราชสีมา

3.1.2 การเตรียมสารละลายเกลือ

ใช้ NaCl (เกลือแกง) ทางการค้าเกรด 99.9% (เกลือยี่ห้อ ประุงทิพย์) โดยชั่งเกลือ 25 g เติมน้ำกลั่น 75 mL เพื่อให้ได้สารละลาย NaCl ความเข้มข้น 25% (w/w)

3.1.3 อ่างอัลตราโซนิก (ultrasonic bath)

ใช้อ่างอัลตราโซนิกยี่ห้อ Elma รุ่น Transsonic Digitalis ห้องปฏิบัติการอาคารเครื่องมือ 3 หมายเลขเครื่อง 6640 - 025 - 01 / 43 / 017 - 320000 - 03111

3.2 วิธีการทดลองและการตรวจวิเคราะห์

3.2.1 วิธีการทดลอง

1. นำไข่เป็ดสดมาล้างทำความสะอาด ใส่ในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำสะอาด จนท่วมไข่ทั้งฟอง นำบีกเกอร์ที่บรรจุไข่ใส่ในอ่างอัลตราโซนิกที่บรรจุน้ำ RO ประมาณ 2/3 ของอ่าง เปิดให้คลื่นอัลตราซาวด์กับไข่ โดยใช้ Ultrasound Power = 100% และ ความถี่ของคลื่น 37 kHz เป็นเวลา 0 (ตัวควบคุม) 120, 180 และ 240 นาที จากนั้น บรรจุไข่ในขวดโหลโดยใช้ไข่ 1 ฟอง ต่อ น้ำเกลือ 120 mL ดองทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28 - 32 องศาเซลเซียส) สุ่มตัวอย่างออกมารับวิเคราะห์ปริมาณเกลือ ความชื้น เนื้อสัมผัส ในไข่ขาวและไข่แดง เมื่อดองครบ 0, 2, 7, 14, 21 และ 28 วัน

3.2.2 วิธีการวัดค่าฮอกยูนิตของไข่ไก่ (Haugh Unit)

ชั่งน้ำหนักไข่เป็ดทั้งฟอง จากนั้นนำไข่เป็ดตอกลงบนจานก้นแบน ใช้เวอร์เนียร์คาร์ิเปอร์วัดความสูงของไข่ขาว 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยความสูงใน 1 ฟอง และนำค่าความสูงของไข่ขาวมาคำนวณค่าฮอกยูนิต ตามสมการ

ฮอกยูนิต (HU) = $100 \log (H - 1.7W^{0.37} + 7.57)$ เมื่อ H คือ ความสูงไข่ขาว (มิลลิเมตร) และ W คือ น้ำหนักฟองไข่ (กรัม)

3.2.3 วิธีการตรวจวิเคราะห์ปริมาณเกลือและความชื้นในไข่ขาวและไข่แดงต้มสุก (AOAC., 2000

อ้างถึงใน Keawmanee et al., 2011)

การวิเคราะห์ปริมาณเกลือ โดยนำตัวอย่าง (ไข่แดง 1 กรัม หรือ ไข่ขาว 0.5 กรัม) เติมน้ำ 0.1 N AgNO₃ 20 mL และ HNO₃ 10 mL แล้วนำไปต้มบน Hot plate จนของแข็งละลาย นำส่วนผสมที่ได้ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมน้ำ 5% ferric alum indicator 5 mL แล้วนำไปไทเทรตด้วย 0.1 N KSCN จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน

$$\text{ปริมาณเกลือ (\%)} = 5.8 \times [(V_1 \times N_1) - (V_2 \times N_2)] / W$$

โดย V_1 = ปริมาตรของ $AgNO_3$ (mL); N_1 = ความเข้มข้นของ $AgNO_3$ (N); V_2 = ปริมาตรของ KSCN (mL); N_2 = ความเข้มข้นของ KSCN (N) และ W = น้ำหนักของตัวอย่าง (g)
วิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยใช้เครื่อง Moisture analyser ที่ห้องปฏิบัติการ อาคารเครื่องมือ 3

3.2.4 การตรวจวัด Texture profile analysis (TPA) ของไข่ขาวต้มสุก (Bourne., 1978 อ้างถึงใน Keawmanee et al., 2011)

ตรวจวัดโดยใช้เครื่อง Texture Analyser โดยไข่ขาวตัดให้ได้ขนาด $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$ นำตัวอย่างไข่ขาวที่ได้ไปวัด TPA โดยใช้ cylindrical probe เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm และตั้งค่า Distance 50%, Pre-test speed เท่ากับ 2 mm/s, Post-test speed เท่ากับ 5 mm/s และระยะเวลาระหว่างการกด 2 ครั้ง เท่ากับ 3 วินาที โดยไข่ขาววัดค่า Hardness, adhesiveness, springiness, cohesiveness, gumminess, chewiness และ resilience

3.2.5 การตรวจวัด Hardness ของไข่แดงต้มสุก (Bourne, 1978 อ้างถึงใน Keawmanee et al., 2011)

ตรวจวัดโดยใช้เครื่อง Texture Analyser โดยใช้ไข่แดงทั้งหมด นำไข่แดงไปวัดค่า Hardness โดยใช้ cylindrical aluminum probe เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm และตั้งค่า Distance 50%, Pre-test speed เท่ากับ 2 mm/s, Post-test speed เท่ากับ 5 mm/s

3.2.6 การวิเคราะห์หาไขมันในไข่แดงต้มสุก (Lai et al., 1999 อ้างถึงใน Keawmanee et al., 2011)

การวิเคราะห์หาไขมัน ใช้ไข่แดงต้มสุก 3 กรัม นำมาทำให้ผสมและโฮโมจีไนซ์กับ สารละลาย n-hexane/2-propanol (3 : 2, v/v) ปริมาตร 35 มิลลิลิตร ด้วยความเร็วรอบ 5000 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 จากนั้นสารละลายไประเหยในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส แล้วนำไปอบแห้ง ที่ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ น้ำหนักที่เหลืออยู่คือปริมาณไขมันทั้งหมด (total lipid content)

ส่วนการหาไขมันที่หลั่งออกมา (oil exudation) ทำโดย นำไข่แดงต้มสุกจำนวน 5 กรัม มาผสมกับน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร และโฮโมจีไนซ์ด้วยความเร็วรอบ 5000 rpm เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ $9500 \times g$ เป็นเวลา 30 นาทีที่ 25°C นำส่วนใสมาผสมกับสารละลาย n-hexane/2-propanol (3 : 2, v/v) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แยกชั้นไขมันกับตัวทำละลายด้วย กรวยแยก (separating funnel) แล้วนำไประเหยตัวทำละลายในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส แล้วนำไปอบแห้ง ที่ 105 องศาเซลเซียสจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ น้ำหนักที่ได้คือไขมันอิสระ (free lipid) แล้วนำไปคำนวณหา

$$\% \text{oil exudation} = \frac{\text{น้ำหนักของไขมันอิสระ} \times 100}{\text{น้ำหนักไขมันทั้งหมด}}$$

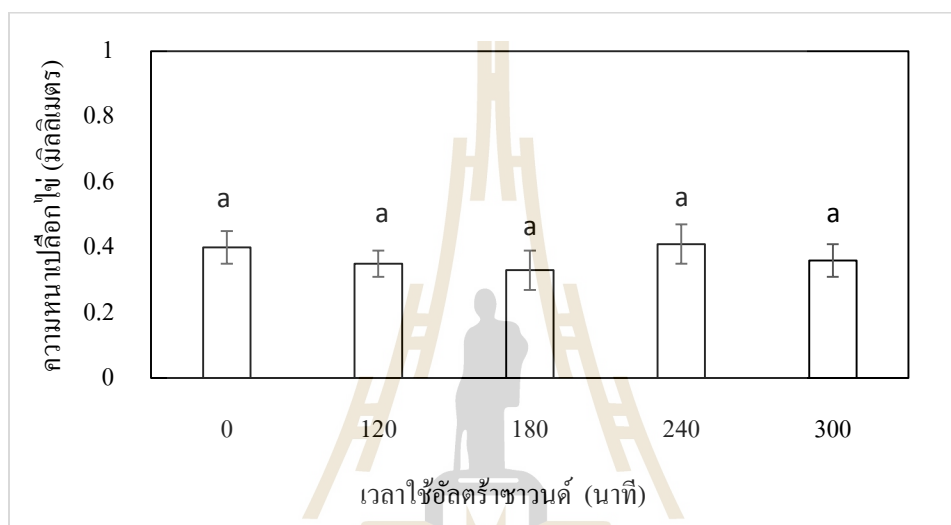
3.2.7 การตรวจวัดสี

ใช้ Munsell book และเครื่องวัดค่าสี Hunter Lab

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การศึกษาผลของเวลาที่คลีนอัลตราโซนิคมีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไข่ดิบ

จากการวิเคราะห์คุณภาพของไข่ดิบ โดยนำตัวอย่างไข่เป็ดดิบมาวิเคราะห์ทางกายภาพ โดยวัดความสูงของไข่แดงและนำมาคำนวณค่า haugh unit (Monira et al., 2003) วัดความหนาของเปลือกไข่ สีของไข่แดง และการวิเคราะห์ค่าความชื้นของไข่แดงและไข่ขาว (AOAC method, 925.10) มีผลการวิเคราะห์ดังนี้



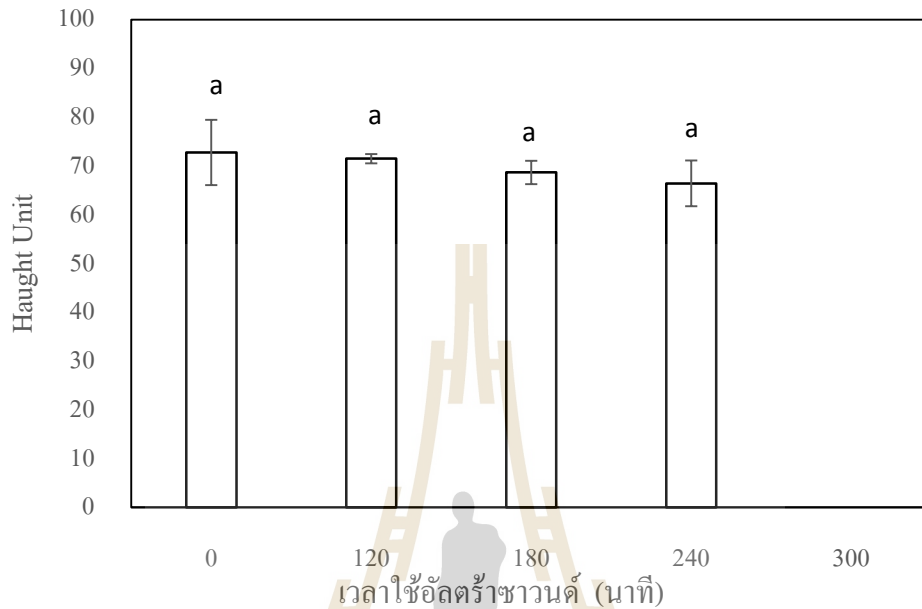
รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเปลือกไข่ (มิลลิเมตร) ต่อเวลาที่ใช้คลีนอัลตราซาวนด์ (นาที) โดย a เป็นความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

คลีนอัลตราซาวด์ไม่มีผลต่อความหนาของเปลือกไข่ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่าไข่ที่ไม่ผ่าน (0 นาที) และผ่านคลีนอัลตราซาวด์ที่เวลา 120, 180, 240 และ 300 นาที มีค่าของความหนาเปลือกไข่ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 1 ผลของสีไข่แดงของไข่เป็ดดิบที่ผ่านคลีนอัลตราซาวด์ที่เวลาต่างๆ โดยใช้ระบบการวัดสีแบบ munsel color system

เวลาที่ใช้คลีนอัลตราซาวนด์ (นาที)	ค่าของสี (Hue, Value, Croma)
0	2.5yr6/14
120	2.5yr6/14
180	2.5yr6/14
240	2.5yr6/14
300	2.5yr6/14

จากตารางที่ 1 พบว่าตัวอย่างไข่เป็ดไม่ผ่านคลิ่นอัลตราซาวนด์ (Control) และที่ผ่านคลิ่นอัลตราซาวนด์เป็นเวลา 120, 180, 240 และ 300 นาทีที่มีค่าของสีไข่แดงไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบโดยใช้ระบบการวัดสีแบบ munsel color system โดยมีค่าของ hue เท่ากับ 2.5yr ค่าของ value เท่ากับ 6 และ chroma เท่ากับ 14



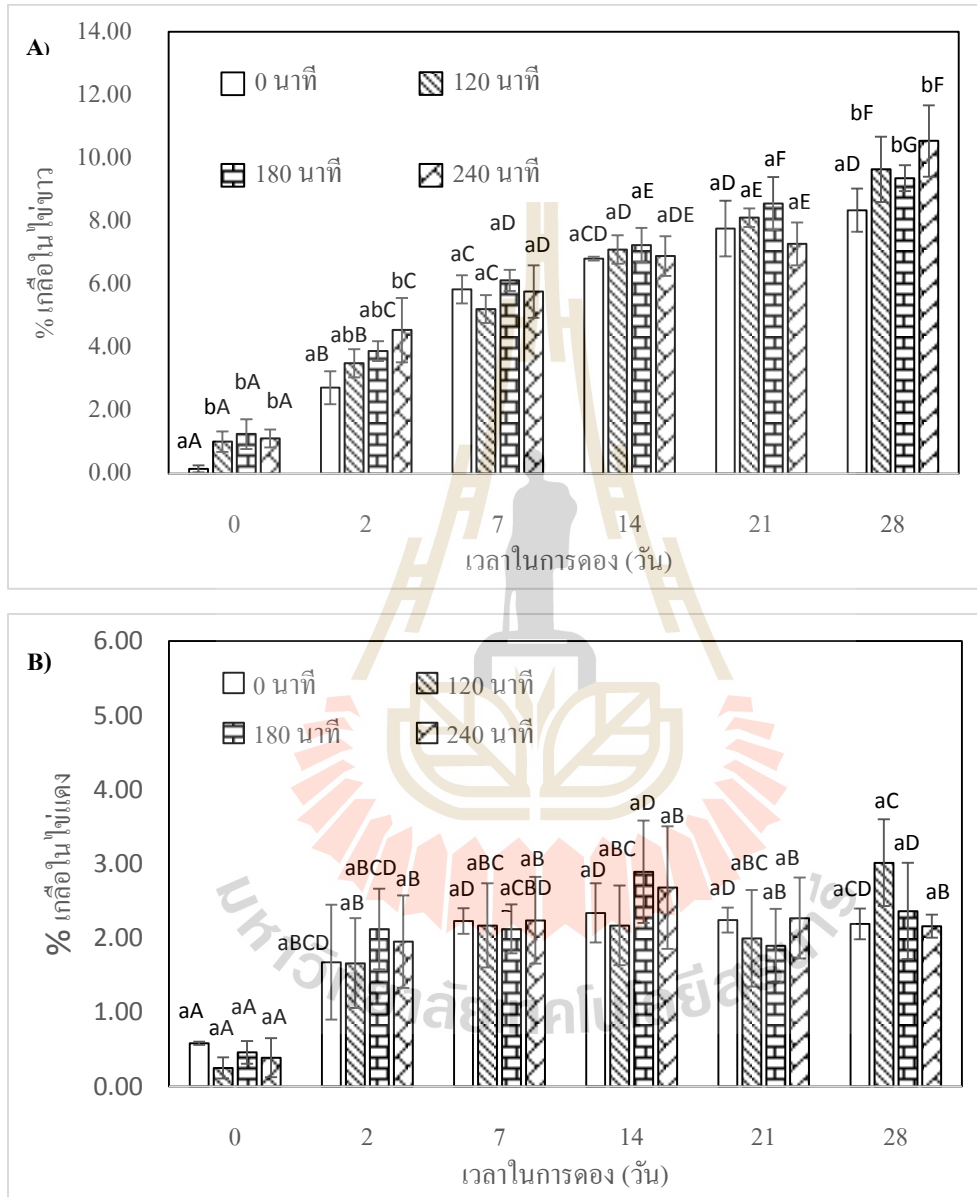
รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Haught unit ต่อเวลาที่ใช้คลิ่นอัลตราซาวนด์ (นาที) โดย a เป็นความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการวัดค่า Haught unit (HU) ของไข่ที่ผ่านการอัลตราซาวนด์เป็นเวลา 120, 180, 240 และ 300 นาทีเปรียบเทียบกับไข่ที่ยังไม่ได้รับการให้คลิ่นอัลตราซาวนด์ (0 นาที) พบว่า ไข่ที่ได้รับคลิ่นอัลตราซาวนด์ทำให้ค่า HU มีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับค่า HU ของไข่สดที่ไม่ได้รับคลิ่นอัลตราซาวนด์ (รูปที่ 2) หากแต่ยังไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกจากนี้ยังพบว่าไข่ที่ผ่านคลิ่นอัลตราซาวนด์เป็นเวลา 300 นาทีที่มีผลทำให้ไข่แดงแตกออกมารวมกับไข่ขาวจึงไม่สามารถวัดค่า Haught unit ได้

การให้คลิ่นอัลตราซาวนด์มีผลทำให้ค่า HU ของไข่มีแนวโน้มลดลงนั้นอาจเนื่องมาจาก คลิ่นอัลตราซาวนด์จะทำให้โปรตีนไข่ขาวแตกตัว มีขนาดเล็กลงเป็นหน่วยย่อย และการได้รับคลิ่นอัลตราซาวนด์เป็นเวลานาน อาจมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) โดยสายโซ่โพลีเปปไทด์อาจแตกออกทำให้เกิดชิ้นส่วนของโมเลกุลย่อยที่มีขนาดเล็กลง (Sala et al., 1995, Jovanovic et al., 2016)

4.2 การศึกษาผลของการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ในกระบวนการทำไข่เค็ม

ผลการศึกษาของการทำไข่เค็มที่ใช้คลื่นอัลตราซาวด์ที่เวลา 0, 120, 180 และ 240 นาที และตรวจผลเป็นเวลา 28 วันเพื่อเปรียบเทียบกับการทำไข่เค็มโดยใช้วิธีปกติ (0 นาที) โดยวิเคราะห์ %เกลือ ความชื้น ปริมาณไข่แดง และลักษณะเนื้อสัมผัส มีผลวิเคราะห์ดังนี้



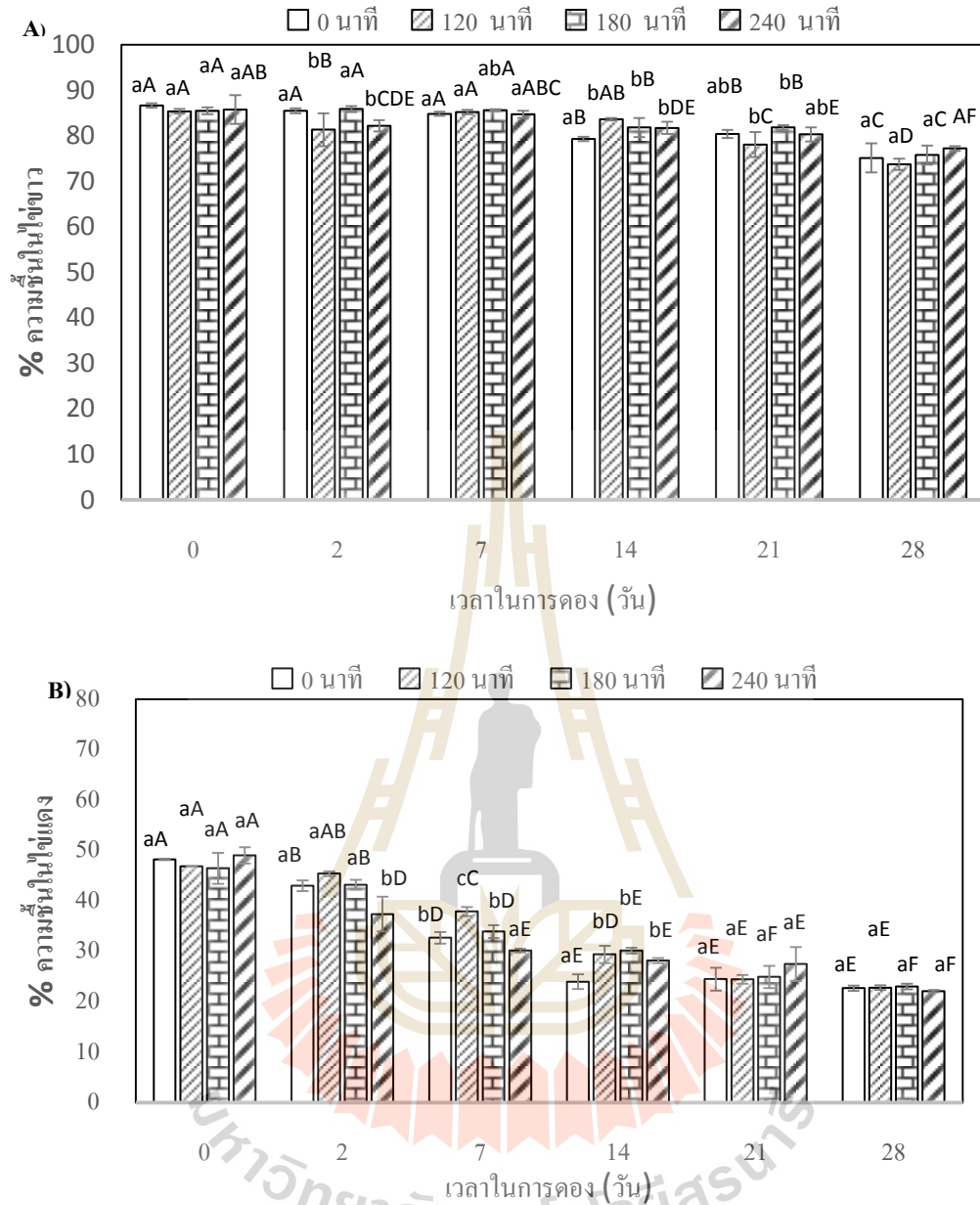
รูปที่ 3 A) เปอร์เซ็นต์เกลือในไข่ขาวระหว่างการดอง B) เปอร์เซ็นต์เกลือในไข่แดงระหว่างการดอง โดยอักษร abc และ ABC เป็นความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการใช้คลื่นอัลตราซาวด์(นาที)ต่างกันในเวลาการดองเดียวกัน และ ระยะเวลา(วัน)ในการดองที่ต่างกัน ตามลำดับ

หมายเหตุ วันที 0 หมายถึงหลังจากนำไปผ่านคลื่นอัลตราซาวด์แล้วนำไปวัดเปอร์เซ็นต์เกลือ

จากรูปที่ 3A แสดงผลของเปอร์เซ็นต์เกลือในไข่ขาวเมื่อพิจารณาต่อเวลาที่ใช้คลื่นอัลตราซาวด์ (ชั่วโมง) พบว่าในวันแรกหลังผ่านการให้คลื่นอัลตราซาวด์ที่เวลาต่างๆ แล้ว (วันที่ 0) เปอร์เซ็นต์เกลือในไข่ขาวเพิ่มมากกว่าไข่ที่ไม่ผ่านคลื่นอัลตราซาวด์ อาจเนื่องมาจากปรากฏการณ์จากแคปวิเทชัน (cavitation) ของคลื่นอัลตราซาวด์ทำให้โครงสร้างของไข่เสียหาย เกลือจึงสามารถซึมผ่านได้ดีขึ้น อีกทั้งคลื่นอัลตราซาวด์ทำให้เกิดกระแสขนาดเล็กซึ่งช่วยเร่งกระบวนการถ่ายเทมวลของเกลือเพิ่มขึ้น (Simal et al., 1998, Zhang et al., 2015) แต่เมื่อเทียบเวลาอัลตราซาวด์ที่ใช้ 120, 180 และ 240 นาที พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของเปอร์เซ็นต์เกลือในไข่ขาว และเมื่อเก็บตัวอย่างที่ 7, 14, 21, 28 วันพบว่า ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์เกลือในไข่ขาวเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ไข่ที่ผ่านคลื่นอัลตราซาวด์จะมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เกลือที่สูงกว่าที่ไม่ผ่านอัลตราซาวด์ ส่วนเปอร์เซ็นต์เกลือในไข่แดงนั้นพบว่าเวลาที่ใช้คลื่นอัลตราซาวด์นั้นให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 3B แต่ปัจจัยที่ทำให้ปริมาณเกลือในไข่แดงเพิ่มขึ้นนั้น คือระยะเวลาการดอง ซึ่งปริมาณเกลือในไข่แดงจะเพิ่มขึ้นช้ากว่าในไข่ขาว เนื่องจากระยะเวลาการดองที่เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำในไข่แดงจะลดลง เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของไข่แดงและไข่ขาว ทำให้เกลือซึมผ่านเข้าไปได้ยาก และอีกสาเหตุคือ ไข่แดงมีปริมาณไขมันมากซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการซึมผ่านของเกลือ (Kaewmanee et al., 2011)

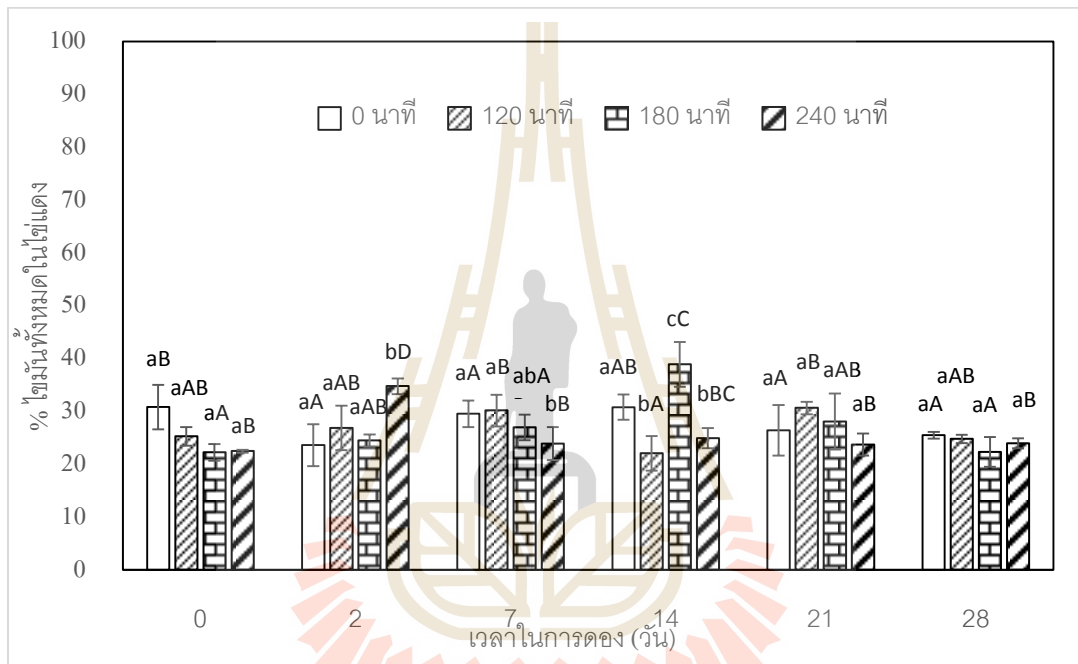
ความชื้นในไข่ขาวค่อนข้างจะคงที่ ที่เวลาในการดองต่างๆ และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4A และซึ่งเป็นผลที่ไปในทางเดียวกันกับการทดลองของ Kaewmanee และคณะ (2011) และเมื่อพิจารณาถึงผลของเวลาที่ใช้คลื่นอัลตราซาวด์ (ชั่วโมง) พบว่าให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ

จากรูปที่ 4B ที่แสดงผลของเปอร์เซ็นต์ความชื้นในไข่แดงต่อระยะเวลา (วัน) ในการดองไข่ และเวลาที่ใช้คลื่นอัลตราซาวด์ (ชั่วโมง) เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความชื้นในไข่แดงต่อผลของเวลาที่ใช้คลื่นอัลตราซาวด์ (ชั่วโมง) พบว่าคลื่นอัลตราซาวด์ที่เวลาต่างๆ ไม่มีผลให้ความชื้นในไข่แดงแตกต่างกันทางสถิติ ที่ความชื้น 95 % แต่เมื่อพิจารณาผลของเปอร์เซ็นต์ความชื้นในไข่แดงต่อจำนวนวันที่เก็บรักษาไข่นั้น พบว่าความชื้นลดลงตามระยะเวลาที่ดอง และที่ 28 วันมีความชื้นต่ำสุด ตามด้วย 21 วัน 14 วัน 7 วัน และ 2 วัน แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เนื่องมาจากเกลือได้แพร่ผ่านเข้าไปในไข่แดงเพิ่มขึ้นในแต่ละวัน และจะทำให้เกิดการคายน้ำออกมาจากไข่ทำให้ความชื้นลดลง (Kaewmanee et al., 2011)

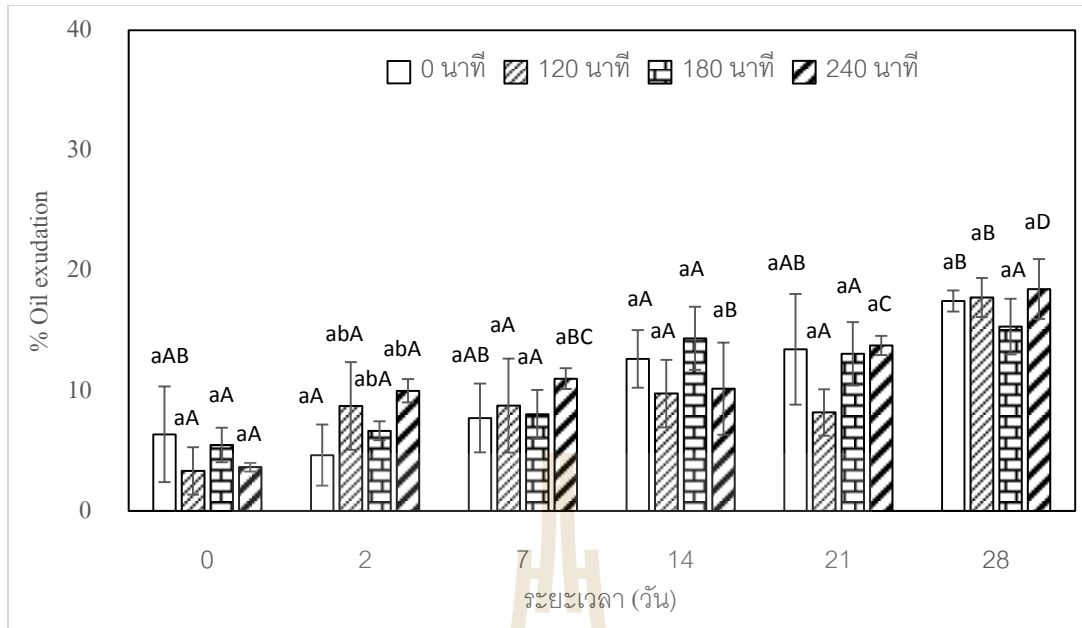


รูปที่ 4 A) เปอร์เซ็นต์ความชื้นในใบขาวระหว่างการดอง B) เปอร์เซ็นต์ความชื้นในใบแดงระหว่างการดอง โดยอักษร abc และ ABC เป็นความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการใช้คลอรีนอัลตราขาวด์ (นาที) ต่างกันในเวลาการดองเดียวกัน และ ระยะเวลา(วัน)ในการดองที่ต่างกัน ตามลำดับ
หมายเหตุ วันที่ 0 หมายถึงหลังจากนำใบไปผ่านคลอรีนอัลตราขาวด์แล้วนำไปวัดความชื้น

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5 แสดงผลของอัลตราซาวด์ต่อเปอร์เซ็นต์ไขมันทั้งหมดในไข่แดง ที่เวลา 0, 120, 180 และ 240 นาที และระยะเวลาในการดอง 0, 2, 7, 14, 21 และ 28 วัน พบว่าคลื่นอัลตราซาวด์ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ไขมันทั้งหมดในไข่แดง ขณะที่ผลของคลื่นอัลตราซาวด์ต่อเปอร์เซ็นต์ไขมันเอกซูเดท (oil exudate) ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าคลื่นอัลตราซาวด์ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ไขมันเอกซูเดทอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อดองในน้ำเกลือนานขึ้นจะทำให้ เปอร์เซ็นต์ไขมันเอกซูเดทนั้นมีแนวโน้มสูงขึ้นอาจเนื่องมาจากไขมันอิสระถูกปลดปล่อยจาก ไกลโพรตีนไมเซลล์ (lipoprotein micelles) ความหนาแน่นต่ำ เพราะโปรตีนในไข่แดงเกิดการเสียสภาพทำให้เสียคุณสมบัติของสารอิมัลซิไฟจากเกลือ (Kaewmanee et al., 2009)



รูปที่ 5 แสดงผลของเปอร์เซ็นต์ของปริมาณไขมันทั้งหมดในไข่แดงต่อเวลา (นาที) ที่ใช้คลื่นอัลตราซาวด์และจำนวนวันที่เก็บรักษาไข่ อักษร abc และ ABC เป็นความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการใช้คลื่นอัลตราซาวด์(นาที)ต่างกันในเวลาการดองเดียวกัน และ ระยะเวลา(วัน)ในการดองที่ต่างกัน ตามลำดับ



รูปที่ 6 แสดงผลของเปอร์เซ็นต์ของปริมาณไขมันอิสระ (oil exudation) ในไข่แดงต่อระยะเวลา (นาที) ที่ใช้คลื่นอัลตราซาวด์และจำนวนวันที่เก็บรักษาไข่ อักษร abc และ ABC เป็นความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการใช้คลื่นอัลตราซาวด์(นาที)ต่างกันในการทดลองเดียวกัน และ ระยะเวลา(วัน)ในการดองที่ต่างกันตามลำดับ

ตารางที่ 2 แสดงเนื้อสัมผัส ความแข็งและความยืดหยุ่นของไข่แดงของไข่เค็มต้มสุกที่ระยะเวลาการดองต่างๆ

เวลา (นาที)	ความแข็ง (Hardness) g.					
	0 วัน	2 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
0	1269.6 ± 21.5	2144.3 ± 303.8	2171.8 ± 87.6	2238.8 ± 48.6	2747.9 ± 45.4	1343.7 ± 36.5
120	995.3 ± 26.1	1763.5 ± 29.1	2152.4 ± 31.9	2639.1 ± 33.8	2525.8 ± 54.6	1373.2 ± 41.1
180	912 ± 20.1	1432.4 ± 90.1	1798.5 ± 45.2	3037.5 ± 50.5	1533.5 ± 31.9	2745 ± 15.9
240	573.5 ± 16.1	1210.4 ± 45.2	1839.4 ± 10.5	2444.2 ± 19.8	2166.4 ± 24.5	1868.4 ± 22.2
	ความยืดหยุ่น (Springiness) mm.					
0	0.5 ± 0.17	0.75 ± 0.22	0.39 ± 0.07	0.3 ± 0.09	0.32 ± 0.03	0.15 ± 0.07
120	0.31 ± 0.07	0.69 ± 0.07	0.35 ± 0.02	0.3 ± 0.02	0.22 ± 0.04	0.14 ± 0.01
180	1.26 ± 0.11	0.32 ± 0.07	0.52 ± 0.02	0.27 ± 0.04	0.27 ± 0.09	0.34 ± 0.03
240	1.07 ± 0.16	0.31 ± 0.01	0.32 ± 0.08	0.39 ± 0.06	0.28 ± 0.03	0.18 ± 0.02

ตารางที่ 3 เนื้อสัมผัส ความแข็งและความยืดหยุ่นของไข่ขาวของไข่เค็มต้มสุกระยะเวลาการดองต่างๆ

เวลา (นาท)	ความแข็ง (Hardness) g.					
	0 วัน	2 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
0	912.1 ± 10.1	925.1 ± 35.41	561.1 ± 27.65	332.4 ± 31	359.77 ± 45.52	557.6 ± 36.27
120	736.9 ± 19.07	660.8 ± 28.74	521.9 ± 22.44	392.6 ± 16.35	549.1 ± 14.92	535.67 ± 31.56
180	660.1 ± 13.81	522.2 ± 19.77	385.3 ± 16.66	279.27 ± 25.44	455.77 ± 35.62	368.3 ± 39.43
240	603.7 ± 13.9	450.6 ± 25	263.6 ± 38.1	346.13 ± 32.21	573.1 ± 43.31	518.73 ± 69.4
	ความยืดหยุ่น (Springiness) mm.					
0	1.27 ± 0.1	0.85 ± 0.19	0.57 ± 0.05	0.63 ± 0.07	0.44 ± 0.03	0.49 ± 0.06
120	0.84 ± 0.2	0.83 ± 0.1	0.68 ± 0.2	0.16 ± 0.07	0.44 ± 0.06	0.57 ± 0.03
180	1.13 ± 0.2	0.81 ± 0.06	0.53 ± 0.07	0.48 ± 0.08	0.52 ± 0.06	0.63 ± 0.11
240	1.4 ± 0.07	0.9 ± 0.06	0.6 ± 0.19	0.62 ± 0.05	0.65 ± 0.03	0.59 ± 0.07

จากการศึกษาผลของคลื่นอัลตราซาวด์ต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของไขขาวและไขแดง ดังตารางที่ 2 และ 3 พบว่า คลื่นอัลตราซาวด์ที่ระยะเวลา 0, 120, 180 และ 240 นาที่ มีผลทำให้ค่าความแข็ง (Hardness) ของไขแดงและไขขาวมีค่าความแข็งลดลงตามระยะเวลาการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ หลังจากนั้นระยะเวลาการดองนานขึ้นค่าความแข็งของไขแดงเค็มจะมีค่าสูงขึ้นจากวันที่ 0 จนถึงวันที่ 14 ของทุกระยะเวลาทำให้คลื่นอัลตราซาวด์ (ตารางที่ 2) และเริ่มคงที่หลังจากนั้น ขณะที่ความแข็งของไขขาวจะค่อยๆ ลดลงเมื่อระยะเวลาการดองนานขึ้นจากวันที่ 0 ถึงวันที่ 14 ของทุกระยะเวลาทำให้คลื่นอัลตราซาวด์ (ตารางที่ 3) และเริ่มคงที่หลังจากนั้น อาจเนื่องมาจากการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ช่วยให้เกล็ดสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในไข่ได้เร็วขึ้น (Dang et al., 2014) ซึ่งปริมาณเกล็ดที่ผ่านเข้ามามีผลทำให้ไขแดงเริ่มแข็งตัวบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ และไขแดงภายในเซลล์ยังคงอยู่ในรูปของเหลว แต่มีความหนืดของไขมากขึ้นเนื่องจากการคายน้ำออกมาด้านนอก (Kiosseoglou, 2003) นอกจากนี้ปัจจัยหลักที่มีผลทำให้ค่า Hardness ของไขแดงเพิ่มขึ้น อาจมาจากปริมาณความชื้นในไขแดงที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้ไขแดงเกิดการอัดรวมตัวกันแน่นขึ้น นอกจากนี้ไขแดงที่ได้ยังมีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นเม็ดทราย (gritty) (Keawmanee et al., 2011) ขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ดองส่งผลต่อความแข็งของไขแดงและไขขาวเนื่องจากการสูญเสียโครงสร้างของโปรตีน (Wang et al., 2013) ส่วนความยืดหยุ่น (Springiness) ของทั้งไขแดงจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อได้รับคลื่นอัลตราซาวด์ และลดลงตามระยะเวลาในการดองในช่วงวันที่ 0 ถึงวันที่ 14 และค่อยๆ คงที่ (ตารางที่ 2) ขณะที่ความยืดหยุ่นของไขขาวจะไม่เปลี่ยนแปลงจากการได้รับคลื่นอัลตราซาวด์หากแต่จะลดลงตามระยะเวลาในการดองในช่วงวันที่ 0 ถึงวันที่ 7 และค่อยๆ คงที่ (ตารางที่ 3)

ผลการทดลองใช้อัลตราซาวด์ในกระบวนการทำไข่เค็มที่ระยะเวลา 120, 180 และ 240 นาที่ ข้างต้น พบว่าสามารถใช้เวลาการดองได้ 21 วัน จะมีค่าต่าง ๆ เช่นเปอร์เซ็นต์เกลือ และความชื้น ใกล้เคียงกับการดองแบบปกติที่ 28 วัน ทุกระยะเวลาที่ได้รับคลื่นอัลตราซาวด์ แต่มีความแตกต่างทางด้านความแข็งในไขแดง

4.3 การศึกษาผลของการใช้จิ้งหะคลีนอัลตราซาวด์ในกระบวนการทำไข่เค็ม

จากผลการทดลองข้างต้น จึงได้ทำการศึกษาผลของการให้คลีนอัลตราซาวด์แบบเป็นจิ้งหะเพิ่มเติม กล่าวคือ ให้คลีนอัลตราซาวด์ 2 ชั่วโมง (120 นาที) และพักไว้ 24 ชั่วโมง และนำไปให้คลีนอัลตราซาวด์อีก 2 ชั่วโมงสลับกันในน้ำเกลือ ได้ผลดังตารางที่ 4 พบว่าการใช้คลีนอัลตราซาวด์แบบเป็นจิ้งหะ เป็นเวลา 14 วัน จะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์เกลือ ความชื้น ในไข่ขาวและไข่แดง รวมถึงค่า % oil extrusion มีค่าใกล้เคียงกับการดองแบบปกติ (คลีนอัลตราซาวด์ 0 ชั่วโมง) ที่ใช้เวลา 28 วัน และ การใช้คลีนอัลตราซาวด์ 2 ชั่วโมงและดองไว้เป็นเวลา 21 วัน แต่ผลทางด้านเนื้อสัมผัส ค่าความแข็ง (hardness) ทั้งไข่ขาวและไข่แดงของการใช้คลีนอัลตราซาวด์แบบเป็นจิ้งหะนี้จะมีค่าต่ำกว่าการดองทั้ง 2 แบบ (คลีนอัลตราซาวด์ 0 และ 2 ชั่วโมง) อาจเนื่องมาจากการได้รับคลีนอัลตราซาวด์หลายรอบทำให้โครงสร้างในไข่แดงถูกทำลายขณะที่ความยืดหยุ่น (springiness) จะมีค่าใกล้เคียงกัน ในทุกแบบ

ตารางที่ 4. ผลของคลีนอัลตราซาวด์แบบต่างกันต่อคุณภาพของไข่เค็มต้มสุกในด้านต่างๆ

	คลีนอัลตราซาวด์		
	0 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	จิ้งหะ 2/14
ระยะเวลาดอง (วัน)	28	21	14
% เกลือในไข่ขาว	7.76±1.75	8.12±0.29	7.68 ± 0.45
% เกลือในไข่แดง	2.19±0.2	1.99±0.65	1.65 ± 0.24
% ความชื้นในไข่ขาว	75.14±3.18	73.74±1.26	78.22 ± 0.37
% ความชื้นในไข่แดง	22.68±0.52	24.43±0.86	24.51 ± 2.57
% oil extrusion	12.65±0.87	8.20±1.93	8.93 ± 2.54
ความแข็ง (hardness) g ของไข่แดง.	1343.7±36.5	2525.8±54.6	708.4±33.3
ความยืดหยุ่น (springiness) mm. ของไข่แดง	0.15±0.07	0.22±0.04	0.28±0.16
ความแข็ง (hardness) g ของไข่ขาว	557.6±36.27	549.1±14.92	352±44.4
ความยืดหยุ่น (springiness) mm. ของไข่ขาว	0.49±0.06	0.44±0.06	0.5±0.05

จากผลการทดลองค่าสีของไข่ที่ผ่านการให้คลีนอัลตราซาวด์ที่ระยะเวลา 0 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง และการใช้จิ้งหะคลีนอัลตราซาวด์ ดังตารางที่ 5 พบว่า ไข่ที่ผ่านการให้คลีนอัลตราซาวด์มีค่า L^* และ b^* มีแนวโน้มลดลง เมื่อเทียบกับไข่ที่ดองแบบไม่ใช้คลีนอัลตราซาวด์ (0 ชั่วโมง) ขณะที่ค่า a^* ที่ระยะเวลาการให้คลีนอัลตราซาวด์ที่ 2 ชั่วโมง และการใช้จิ้งหะคลีนอัลตราซาวด์ มีค่าสูงกว่าไข่ที่ดองแบบไม่ใช้คลีนอัลตราซาวด์ อาจ เนื่องจากปริมาณเกลือที่แพร่ผ่านเปลือกไข่เข้ามา ทำให้ปริมาณความชื้นของไข่ลดลง ส่งผลต่อความเข้มข้นของเม็ดสีที่เพิ่มสูงขึ้น ความเข้มข้นของเกลือมีผลทำให้ปริมาณไขมันอิสระถูกขับออกมา ซึ่งปริมาณไขมันอิสระสามารถละลายเม็ดสีได้ (Lai et al., 1999) ทั้งนี้การใช้คลีนอัลตราซาวด์อาจเกิดความร้อนขึ้นเล็กน้อย ส่งผลให้เกลือสามารถแพร่ผ่านเข้ามาในไข่

ได้เร็วขึ้นและทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ การเสียสภาพของโปรตีนและปริมาณความชื้นที่ลดลง อาจส่งผลต่อความชื้นของสีกาแฟเช่นกัน (Dang et al., 2014)

ตารางที่ 5 ค่าสีของไข่เค็มที่ผ่านการให้คลื่นอัลตราซาวด์ที่เวลาแตกต่างกัน

เวลา	ระยะเวลา ดอง	การทดสอบสี		
		L*	a*	b*
0 ชั่วโมง	28 วัน	72.59 ^a ± 0.57	11.95 ^{ab} ± 1.51	29.46 ^a ± 1.08
2 ชั่วโมง.	21 วัน	69.84 ^{ab} ± 1.90	13.42 ^b ± 0.62	28.79 ^{ab} ± 1.85
จิ้งหะ 2/14	14 วัน	70.05 ^{ab} ± 6.60	14.42 ^b ± 3.42	27.19 ^{ab} ± 8.03

หมายเหตุ อักษร abc เป็นความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



บทสรุป

จากผลการศึกษาผลของการประยุกต์ใช้คลื่นอัลตราซาวด์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและระยะเวลาในการผลิตไข่เค็มพบว่าการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ ที่เวลา 2 ชั่วโมง (120 นาที) สามารถช่วยลดระยะเวลาการดองลงได้ จาก 28 วัน เหลือ 21 วัน โดยที่ เปอร์เซ็นต์เกลือ ความชื้น และเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกัน และการเพิ่มเวลาการให้คลื่นอัลตราซาวด์นานขึ้นที่เวลา 180 และ 240 นาที ไม่สามารถช่วยลดระยะเวลาในการดองให้น้อยลงได้ แต่การให้คลื่นอัลตราซาวด์แบบเป็นจังหวะ (ให้คลื่นอัลตราซาวด์ 2 ชั่วโมง และพักได้ 24 ชั่วโมง สลับกัน) สามารถลดระยะเวลาการดองเหลือ 14 วัน โดยที่ ค่าเปอร์เซ็นต์เกลือ ความชื้น ยังคงใกล้เคียงกับการดองแบบปรกติ อย่างไรก็ตาม ค่าความแข็งในไข่แดงของการให้คลื่นอัลตราซาวด์แบบเป็นจังหวะจะมีค่าน้อยกว่า ขณะที่ค่าสีมีความแตกต่างกันเล็กน้อย



บรรณานุกรม

- [AOAC] Assoc. of Official Analytical Chemists. 2000. Official methods of analysis. 17th ed. Washington, D.C.: Assoc. of Official Analytical Chemists.
- Arzeni C., Perez O.E. and Pilosof A.M.R. 2012. Functionality of egg white proteins as affected by high intensity ultrasound. *Food Hydrocolloids*, 29 (2): 308-316,
- Atchley, A. A. and Crum L. A. 1998. Acoustic cavitation and bubbles dynamics. pp.1- 64. In “Ultrasounds, its chemical, physical and biological effects”. K. S. Suslick (ed.). VCH Publishers, Inc. New York.
- Carcel, J.A., Benedito, J., Rossello, C., and Mulet, A., 2007. Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. *Journal of Food Engineering*. 78: 472-479.
- Chen, X.D., Freeman, Y., Guo, F. and Chen, P. 1999. Diffusion of Sodium Chloride through chicken eggshell in relation to an ancient method of egg preservation. *Trans IChemE Part C*. 77: 40-46
- Chi, S.P. and Tseng, K.H. 1998. Physicochemical properties of salted pickled yolk from duck and chicken egg. *Journal of Food Science*. 33: 507-513.
- Dang, K.L.M., Le, T.Q., Songsermpong, S. 2014. Effect of ultrasound treatment in the mass transfer and physical properties of salted duck eggs. *Kasetsart J. (Nat sci)*, 48: 942-953
- Deng, Y. and Zhao Y. 2008. Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji). *Journal of Food Engineering* 85: 84-93
- Hoover, D. G. 2000. Ultrasound. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies. *Journal of Food Science. Supplement*. 93-95.
- Jovanović, J.R., Stefanović, A.B., Šekuljica, N.Ž., Tanasković, S.M.J., Dojčinović, M.B., Bugarski, B.M. and Knežević-Jugović, Z.D. 2016. Ultrasound pretreatment as an useful tool to enhance egg white Protein Hydrolysis: Kinetics, Reaction Model, and Thermodynamics. *Journal of Food Science*. 81: C2664-C2675
- Kaewmanee, T., Benjakul, S., and Visessanguan, W. 2009. Changes in chemical composition, physical properties and microstructure of duck egg as influenced by salting. *Food Chemistry*. 112: 560-569.
- Kaewmanee, T., Benjakul, S., and Visessanguan, W. 2011. Effects of salting processes and time on the chemical composition, Textural properties, and microstructure of cooked duck egg. *Journal of food science*, 74(2), 139-147.

Lai K.M., Chi S.P. and Ko W.c. 1999. Changes in yolk states of duck egg during long-term brining. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 47(2):177-6.

Mason, T.J., Paniwnyk, L., and Lorimer, J.P. 1996. The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochemistry*. 3: 253 - 260.

Mason, T.J. 1998. Power ultrasound in food processing – the way forward. In: Povey, M.J.W. and Mason, T.J. *Ultrasound in Food Processing*. 105 - 126. Blackie Academic & Professional.

McDonnell, C.K., Allen, P., Morin, C. and Lyng, J.G. 2014. The effect of ultrasonic salting on protein and water-protein interactions in meat. *Food Chem*. 147: 245-251

Monira, K.N., Salahuddin and Miah, G. (2003) Effect of Breed and Holding Period on Egg Quality Characteristics of Chicken. *International journal of Poultry Science*, 2 (4): 261–263

Sala, F. J., J. Burgos, S. Condon, P. Lopez, P., J. Raso (1995): Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes. U: *New Methods of Food Preservation*. Gould, G. W. (ured.), Blackie Academic & Professional: London.

Simal, S., Benedito, J., Sanchez, E.S. and Rossello C. (1998) Use of ultrasound to increase mass transports rates during osmotic dehydration. *Journal of food engineering*, 36, 323-336

Wang, X., Gao, Z., Xiao, H., Bai, J. (2013) Enhanced mass transfer of osmotic dehydration and changes in microstructure of pickled salted egg under pulsed pressure. *Journal of Food Engineering*, 117, 141-150

Wibawanti, J.M.W., Meihu, M, Hintono, A., and Pramono, Y.B. 2013. The characteristics of salted egg in the presence of liquid smoke. *Journal of applied Food Technology*, 2(2): 68-70.

Zhang, Y.N., Zhang, Y.N., Du, X.Z. and Xia, H.Z., (2015) Enhancement of heat and mass transfer by cavitation. *Materials Science and Engineering* 72: 012002

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย): นาย ธนาวิทย์ กุลรัตน์รักษ์ (Mr. Thanawit Kulrattanak)

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรศัพท์มือถือ โทรสาร และ E-mail

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ. มหาวิทยาลัย อ. เมือง, จ. นครราชสีมา, 30000

โทรศัพท์ 044-224467, โทรศัพท์มือถือ 0841551149

E-mail: k-thanawit@sut.ac.th

Academic Background

B.Eng. Food Engineering, Kasetsart University, Thailand (1996)

M.Eng. Nuclear Technology, Chulalongkorn University, Thailand (2000)

Thesis title: Detection of free radicals in some irradiated crops, spices and herbs

Ph.D. Food Process Engineering, Wageningen University, Netherlands (2010)

Thesis title: Deterministic ratchets for suspension fractionation

Publications

Warit Jawjit, Siriuma Jawjit and **Thanawit Kulrattanak** (2020) Life Cycle Greenhouse Gases Emissions of Processed Frozen Chicken. **Thai Science and Technology Journal (TSTJ)**. **28(9):** 1643-1654

Kuenchan Na-Nakorn, **Thanawit Kulrattanak**, Bruce R. Hamaker and Sunanta Tongta (2019) Starch digestion kinetics of extruded reformed rice is changed in different ways with added protein or fiber. **Food & Function**. 10: 4577-4583

Nampueng Kamkla, Teerayoot Girdthai, **Thanawit Kulrattanak** and Patcharin Siringan (2019) Effect of Ultrasound on Germination Improvement of Soybean Seeds. **3rd International Symposium on Agricultural Technology 2019 (ISAT 2019) and 17th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology 2019 (ISBB 2019)** (2-5 July 2019) 215-218.

J. Saelim, A. Cheepo, M. Lertsungnoen and **T. Kulrattanak** (2019) Rice straw delignification using ozone. **Food Engineering Network of Thailand 2019 Conference**. (28-29 March 2019) 15-23

P. Sukumpanpong, S. Udom, P. Sridech, M. Lertsungnoen and **T. Kulrattanak** (2019) Effect of ozone on chlorpyrifos in chili spur pepper (*Capsicum annuum Linn.*). **Food Engineering Network of Thailand 2019 Conference**. (28-29 March 2019) 6-14.

T. Kulrattanak, N. Damrakoh, P. Sungvalpradith and J. Saelim (2018) Emulsification via Venturi Device. **Food Engineering Network of Thailand 2018 Conference**. (3 April 2018) 22-30.

P. Chirinang, R. Oonsivilai, **T. Kulrattanak** (2014) Ultrasound assisted extraction for preparation dietary fiber from cassava pulp. *Advanced Materials Research*. Vols. 931-932: 1502-1506.

T. Machikowa, **T. Kulrattanak**, S. Wonprasaid. (2013) Effects of Ultrasonic Treatment on Germination of Synthetic Sunflower Seeds. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 73:53-55

R. Oonsivilai, C. Chanphuak, P. Srisutor, **T. Kulrattanak**, M. Sutheerawattananond, A. Oonsivilai, (2011) Dietary Fiber Prepared from Cassava byproduct. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 60:1121-1124

T. Kulrattanak, R.G.M. van der Sman, C.G.P.H. Schroen, R.M. Boom. (2011) Analysis of particle motion in deterministic ratchet via experiment and simulation. *Microfluidics and Nanofluidics*. 10(4): 843-853

T. Kulrattanak, R.G.M. van der Sman, Y.S. Lubbersen, C.G.P.H. Schroen, H.T.M. Pham, P.M. Sarro, R.M. Boom. (2011) Mixed motion in deterministic ratchets due to anisotropic permeability. *Journal of Colloid & Interface Science*, 354: 7-14.

H.T.M. Pham, **T. Kulrattanak**, R.G.M. van der Sman, C.G.P.H. Schroen, R.M. Boom, P.M. Sarro. (2009) Deterministic ratchets for particle separation fabricated with Si MEMS technology. Proceedings of the Eurosensors XXIII. *Procedia Chemistry*, 1:345-348.

T. Kulrattanak, R.G.M. van der Sman, C.G.P.H. Schroen, R.M. Boom. (2008) Classification and evaluation of microfluidic devices for continuous suspension fractionation. *Advances in Colloid and Interface Science*. 142: 53-66.