บทที่ 3

การทดลอง

ผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ยากิโตริชนิดดิบ ยากิโตริชนิดสุก ซอสหมักผลิตภัณฑ์ยากิโตริ และ ซอสราดผลิตภัณฑ์ยากิโตริ

ผลิตภัณฑ์ยากิโตริชนิดดิบ เตรียมจากบริษัท B. Food Products International จำกัด เตรียมโดย ใช้เนื้อไก่ส่วนสะโพกและขา ซึ่งผ่านการฆ่าเป็นเวลา 12-14 ชั่วโมง นำมาลอกหนังออก ตัดเป็นชิ้น ขนาดกว้าง 2.5-3 เซนติเมตร ยาว 2-2.5 เซนติเมตร หนา 1.5-2 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนัก พร้อมเศษที่เหลือจากการตัดชิ้นให้ได้ 54-56 กรัม เสียบด้วยไม้ไผ่ชนิดกลม ความยาว 15 เซนติเมตร ให้ส่วนของเนื้อไก่คลุมความยาวไม้ประมาณ 10-11 เซนติเมตร

ผลิตภัณฑ์ยากิโตริชนิดสุก เตรียมโดย แช่ผลิตภัณฑ์ยากิโตริที่เตรียมข้างต้นในซอสหมักในอัตราส่วนซอสหมัก 30 กรัมต่อยากิโตริ 1 ไม้ เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง นำออกมาย่างด้วยเตาถ่านไฟกลาง โดยชุบผลิตภัณฑ์ในซอสหมัก 2 ครั้งระหว่างการย่าง ย่างจนได้สีเหลืองทองตามมาตรฐานของบริษัทและให้อุณหภูมิภายในสูงกว่า 75 ^{o}C

ซอสหมัก เป็นซอสสีดำใสสำหรับหมักเพิ่มกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ เตรียมโดยสูตรเฉพาะของบริษัท B. Food Products International จำกัด

ซอสราด เป็นซอสข้นหนืดสีดำสนิท ใช้สำหรับเพิ่มกลิ่นรสผลิตภัณฑ์หลังผ่านการย่างโดยใช้ราดลงบนผลิตภัณฑ์ก่อนบริโภคในอัตราส่วนซอสราด 10 กรัมต่อยากิโตริ 1 ไม้ เตรียมโดยสูตรเฉพาะของบริษัท B. Food Products International จำกัด

สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

Thiobarbituric acid	(A.R.)
Glacial acetic acid	(A.R.)
Hydrochoric acid	(A.R.)
Sulfuric acid	(A.R.)
Sodium hydroxide	(A.R.)
Boric acid	(A.R.)

Catalyst (K_2SO_4:Se = 100:1)	(A Perstorp Analytical Company)
Methyl red	(A.R.)
Methylene blue	(A.R.)
Petroleum ether	(A.R.)

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางแบคทีเรีย

Plate Count Agar	(Difco Laboratory)
Peptone	(Life Technologies)
Sodium chloride	(Carlo Erba Reagenti)
Ethyl alcohol	(Commercial grade)

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมผลิตภัณฑ์และเก็บรักษา

Cryo-Test Chamber (Air Product, CT-1818-12F)

ถังบรรจุไนโตรเจนเหลว (Air Product, XL-55HP)

เครื่องแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ (Stationary air-blast freezer) ระดับอุตสาหกรรม รายละเอียดระบุในภาคผนวก ซ

เครื่องแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวน (Spiral air-blast freezer) ระดับอุตสาหกรรม รายละเอียดระบุในภาคผนวก ซ

เครื่องแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวแบบสายพาน (Cryo-QUICK^{TM}) ระดับอุตสาหกรรม รายละเอียดระบุในภาคผนวก ซ

เครื่องปิดผนึกสุญญากาศ (Lacovac, AG500) ความดันสุญญากาศ (-1 bar)

ตู้แช่เยือกแข็งแบบนอน (SANYO, SF-C95) อุณหภูมิ -18 °C

เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (CHINO, DR015) โดยใช้สาย thermocouple ชนิด Copper-constantan ช่วงการวัดอุณหภูมิ -200 ถึง 400 °C

เครื่องวัดอุณหภูมิระบบดิจิตอล (FLUKE, 51)

นาฬิกาจับเวลา

ถุงพลาสติกชนิด HDPE ขนาด 18*24 ซม.^{2} ความหนา 0.0895 มิลลิเมตร

ถุงพลาสติกชนิด Nylon 25 μm/PE film 60 μm ขนาด 18*24 ซม.^{2}

เครื่องวัดความเร็วลม (DIGICON, DA43)

เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ (DIGICON, DM750)

เตาไมโครเวฟ (Litton "Futura", AH15610.A) 2450 MHz., INPUT 1300 watts, OUTPUT 700 watts

ถ่านไม้โกงกางสำหรับย่าง

<u>อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ</u>

เครื่องวัดความชื้น (Moisture Analyser) (Satorius, MA30)

เครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร (Lloyd, T2000)

เครื่องชั่งน้ำหนัก (Sartorius, BA 4100S) ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

เครื่องวัดสี (Colorimeter) (Gretag, SPM50)

เตาเผา muffle furnace ช่วงอุณหภูมิ 200 - 1200 °C

ตู้อบช่วงอุณหภูมิ 50 - 250 °C (WTB binder, E-53)

ถ้วยอลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 ซม. ลึก 3 ซม.

<u>อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี</u>

ชุดเครื่องมือวิเคราะห์โปรตีน (Kjeldatherm and Vapodest I, Gerhardt, KT85)

ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ไขมัน (Soxhlet apparatus)

ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ค่า TBA

เครื่องบดอาหาร (Waring, 32BL79)

เครื่องชั่งน้ำหนัก (Sartorius, A200S) ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

เครื่องชั่งน้ำหนัก (Sartorius, B310S) ทศนิยม 3 ตำแหน่ง

<u>อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางแบคทีเรีย</u>

ตู้ถ่ายเชื้อ (ISSCO, BVT-123)

ตู้เลี้ยงเชื้อ (Memmert, B30) ช่วงอุณหภูมิ 25-80 °C

เครื่องชั่งน้ำหนัก (Sartorius, B310S) ทศนิยม 3 ตำแหน่ง

Autoclave (TOMY, SS-320)

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแต่ละผลิตภัณฑ์ที่นำมาแช่เยือกแข็งคือ เนื้อไก่ดิบ เนื้อไก่สุก และ ซอสราด นำมาวิเคราะห์ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมันของส่วนเนื้อดิบและสุก และเถ้าตามวิธีของ AOAC (1984) และวิเคราะห์ไขมันในส่วนซอสราดตามวิธีของ AOAC (1990) (วิธีวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ก) วิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

3.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง

3.2.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ และการละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ

3.2.1.1 ผลิตภัณฑ์ยากิโตริดิบ

เตรียมผลิตภัณฑ์ยากิโตริชนิดดิบตามวิธีที่ระบุในส่วนผลิตภัณฑ์ข้างต้น แบ่งเป็นชุด ชุดละ 5 ไม้ ชั่งน้ำหนัก บรรจุถุง HDPE ปิดผนึกที่ภาวะสุญญากาศ เรียงบนชั้นวางของรถเข็น

นำเข้าแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ แปรความเร็วลม 2 ระดับ โดยเปลี่ยนตำแหน่งรถเข็นในห้องแช่เยือกแข็ง คือ ความเร็วลมที่ 1 ตั้งรถเข็นใกล้กับทางออกของลมจากส่วนทำความเย็น และความเร็วลมที่ 2 ตั้งรถเข็นที่ตำแหน่งถัดจากรถเข็นคันแรก เดินเครื่องทำความเย็น บันทึกความเร็วลมที่ตำแหน่งเข้าและออกจากรถเข็นแต่ละคันเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย พร้อมทั้งบันทึก ค่าความชื้นสัมพัทธ์ และ อุณหภูมิ ของลมที่ออกจากเครื่อง บันทึกอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของตัวอย่างหลังจากเสร็จสิ้นการแช่เยือกแข็ง (การแช่เยือกแข็งใช้เวลา 4 ชั่วโมง) ได้ข้อมูลดังตารางที่ 3.1 นำตัวอย่างที่ได้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C ในกล่องกระดาษลูกฟูกก่อนการทดลองขั้นต่อไป

นำตัวอย่างที่ได้จากการแช่เยือกแข็งแต่ละความเร็วลมมาละลายน้ำแข็งด้วยเตาไมโครเวฟ ที่ระดับความเข้มของคลื่น 50 % และ 80 % ของกำลังสูงสุด โดยละลายครั้งละ 10 ไม้ (2 ถุง) จนอุณหภูมิกึ่งกลางของตัวอย่างเป็น -1 °C (ใช้เวลา 8 นาที และ 6 นาที สำหรับการละลายที่ระดับความเข้มคลื่น 50 % และ 80 % ตามลำดับ)

หมักตัวอย่างที่ละลายน้ำแข็งแล้วด้วยซอสหมัก ใช้ซอสหมัก 30 กรัม/ไม้ เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิขณะหมักไม่ให้เกิน 4 °C ชั่งน้ำหนักหลังการหมัก แล้วย่างด้วยเตาถ่านไฟกลางจนสีผิวเหลืองทอง ชั่งน้ำหนักหลังย่างแล้วเติมซอสราด 10 กรัม/ไม้ จากนั้นจึงประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 3.1 ภาวะการแช่เยือกแข็งยากิโตริดิบและสุก ด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่

อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ดิบและสุกก่อนแช่เยือกแข็ง 0.4 °C
ความเร็วลมเฉลี่ยของตำแหน่งที่ 1 ใน air-blast chamber = 2.1 m./s.
ความเร็วลมเฉลี่ยของตำแหน่งที่ 2 ใน air-blast chamber = 1.5 m./s.
% Relative humidity = 51 %
อุณหภูมิลมเฉลี่ย = -31 °C
เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งที่ความเร็วลม 2.1 m./s.
• อุณหภูมิเฉลี่ยที่จุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ดิบ = -17.1 °C
• อุณหภูมิเฉลี่ยที่จุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์สุก = -16.0 °C
เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งที่ความเร็วลม 1.5 m./s.
• อุณหภูมิเฉลี่ยที่จุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ดิบ = -16.6 °C
• อุณหภูมิเฉลี่ยที่จุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์สุก = -15.9 °C

ประเมินคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โดยการวิเคราะห์ค่า thawing loss, marinade gain weight และ cooking loss ดังต่อไปนี้

thawing loss เป็นค่าที่แสดงการเสียน้ำหนักจากการละลายน้ำแข็ง โดยชั่งน้ำหนักยากิโตริดิบในถุงก่อนละลายน้ำแข็ง แล้วละลายน้ำแข็งผลิตภัณฑ์ นำยากิโตริดิบออกวางบนตะแกรงที่มีช่องขนาด 2.3*2.3 ซม.^{2} เป็นเวลา 1 นาที แล้วชั่งน้ำหนัก คำนวนค่า thawing loss จาก

$$= \{(\underline{\text{น้ำหนักยากิโตริดิบและถุงก่อนละลาย - น้ำหนักถุงเฉลี่ย) - น้ำหนักยากิโตริดิบหลังละลาย}} \} * 100$$
$$\text{(น้ำหนักยากิโตริดิบและถุงก่อนละลาย - น้ำหนักถุงเฉลี่ย)}$$

marinade gain weight เป็นค่าที่แสดงการดูดกลืนซอสหมักของยากิโตริดิบ โดยนำยากิโตริดิบหมักในซอสหมัก 30 กรัม/ไม้ เป็นเวลา 30 นาที นำยากิโตริที่หมักแล้ววางบนตะแกรงที่มีช่องขนาด 2.3*2.3 ซม.^{2} เป็นเวลา 1 นาที ชั่งน้ำหนัก คำนวณค่า marinade gain weight จาก

$$= \underline{\text{(น้ำหนักยากิโตริดิบหลังหมัก - น้ำหนักยากิโตริดิบหลังละลายน้ำแข็ง)}} * 100$$
$$\text{น้ำหนักยากิโตริดิบหลังละลายน้ำแข็ง}$$

cooking loss เป็นค่าที่แสดงการเสียน้ำหนักจากขั้นตอนการทำให้สุกด้วยการย่างเตาถ่าน โดยนำยากิโตริหลังหมักย่างด้วยเตาถ่านไฟกลางจนได้สีเหลืองทอง คำนวณค่า cooking loss จาก

$$= \frac{\text{(น้ำหนักยากิโตริดิบหลังหมัก - น้ำหนักยากิโตริสุกหลังย่าง)}}{\text{น้ำหนักยากิโตริดิบหลังหมัก}} * 100$$

การประเมินคุณภาพทางกายภาพวางแผนการทดลองแบบ Symmetric Factorial Experiment ขนาด 2*2 ทดลอง 4 ซ้ำ

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม ความชุ่มน้ำ และความชอบรวม ใช้แบบทดสอบชนิด structured scoring test (แบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ค) ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน (ขั้นตอนการฝึกฝนแสดงในภาคผนวก ง) จำนวน 10 คน วางแผนการทดลองแบบ Factorial Randomized Complete Block Experiment ขนาด 2*2 ทดลอง 2 ซ้ำ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statgraphic ver. 5.0 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1957)

3.2.1.2 ผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุก

นำผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุกที่เตรียมได้จากวิธีในส่วนผลิตภัณฑ์ บรรจุถุงชนิด Nylon/PE 5 ไม้/ถุง และบรรจุซอสราดยากิโตริในอัตราส่วน 10 กรัม/ไม้ ปิดผนึกแบบสุญญากาศ ใช้ภาวะการแช่เยือกแข็ง และละลายน้ำแข็ง ตามวิธีในข้อ 3.2.1.1 เตรียมตัวอย่างโดยนำตัวอย่างที่ผ่านการละลายน้ำแข็งออกจากถุง และอุ่นให้ความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ ที่ระดับความเข้มคลื่นสูงสุดเป็นเวลา 1 นาที 30 วินาที เพื่อให้อุณหภูมิภายในสูงกว่า 60 °C

ประเมินคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โดยการวิเคราะห์ค่า thawing loss และ heating loss ดังต่อไปนี้

thawing loss เป็นค่าที่แสดงการเสียน้ำหนักจากการละลายน้ำแข็ง โดยชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุกในถุงก่อนละลาย แล้วละลายน้ำแข็งผลิตภัณฑ์ นำยากิโตริสุกออกวางบนตะแกรงที่มีช่องขนาด 2.3*2.3 ซม.^{2} เป็นเวลา 1 นาที แล้วชั่งน้ำหนักหลังละลาย คำนวนค่า thawing loss จาก

$$= \{\frac{\text{(น้ำหนักยากิโตริสุก ซอสราดและถุงก่อนละลาย - น้ำหนักถุงเฉลี่ย) - น้ำหนักยากิโตริสุกและซอสราดหลังละลาย}}{\text{(น้ำหนักยากิโตริสุก ซอสราดและถุงก่อนละลาย - น้ำหนักถุงเฉลี่ย)}}\}*100$$

heating loss เป็นค่าที่แสดงการเสียน้ำหนักจากการอุ่นให้ร้อนของผลิตภัณฑ์ โดยชั่งน้ำหนักของยากิโตริหลังอุ่นด้วยคลื่นไมโครเวฟทันที คำนวณค่า heating loss จาก

= (น้ำหนักยากิโตริสุกและซอสราดหลังละลาย - น้ำหนักยากิโตริสุกและซอสราดหลังอุ่น) * 100
น้ำหนักยากิโตริสุกและซอสราดหลังละลาย

การประเมินคุณภาพทางกายภาพวางแผนการทดลองแบบ Symmetric Factorial Experiment ขนาด 2*2 ทดลอง 4 ซ้ำ ส่วนการประเมินผลด้านประสาทสัมผัส ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.1 ยืนยันผลการทดลองด้วยการหาความชื้นจากส่วนซอสราดยากิโตริด้วยเครื่อง moisture analyzer ใช้แผนการทดลองแบบ Symmetric Factorial Experiment ขนาด 2*2 ทดลอง 4 ซ้ำ และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดทางสถิติด้วยโปรแกรมและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ทำเช่นเดียวกันกับข้อ 3.2.1.1

3.2.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ และการละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่ง

3.2.2.1 ผลิตภัณฑ์ยากิโตริดิบ

ใช้ลักษณะการเตรียมตัวอย่างและภาวะการแช่เยือกแข็งแบบเดียวกับข้อ 3.2.1.1 นำตัวอย่างที่ได้จากการแช่เยือกแข็งแต่ละความเร็วลมมาละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่งที่ 2 อุณหภูมิ คือ อุณหภูมิห้อง (28-30 °C) และ อุณหภูมิ 4 °C ภายในช่องแช่เย็นของตู้เย็น จนกระทั่งอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เป็น -1 °C โดยใช้เวลา 3 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง สำหรับการละลายที่แต่ละอุณหภูมิดังกล่าวตามลำดับ หมักด้วยซอสหมัก ย่าง และเตรียมตัวอย่างทดสอบทางประสาทสัมผัสตามภาวะที่ระบุในข้อ 3.2.1.1

ประเมินผลด้านน้ำหนักด้วยค่าต่างๆ คือ thawing loss, marinade gain weight และ cooking loss การประเมินผลด้านประสาทสัมผัส และวิธีการประมวลผลข้อมูลทางสถิติทำเช่นเดียวกันกับข้อ 3.2.1.1

3.2.2.2 ผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุก

เตรียมตัวอย่างยากิโตริตามวิธีในส่วนผลิตภัณฑ์ ใช้ภาวะการแช่เยือกแข็งตามวิธีในข้อ 3.2.1.1 และภาวะการละลายน้ำแข็งตามวิธีข้อ 3.2.2.1

ประเมินผลด้านน้ำหนักด้วยค่าต่างๆ คือ thawing loss และ heating loss การประเมินด้านประสาทสัมผัส และวิธีการประมวลผลข้อมูลทางสถิติทำเช่นเดียวกันกับข้อ 3.2.1.2

3.2.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวน และการละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ

3.2.3.1 ผลิตภัณฑ์ยากิโตริดิบ

เรียงยากิโตริดิบที่เตรียมจากวิธีในส่วนผลิตภัณฑ์ แต่ละไม้บนสายพานของเครื่องแช่เยือกแข็งโดยเรียงแถว 5 ไม้ แต่ละไม้ห่างกัน 5 ซม. และแต่ละแถวห่างกัน 20 ซม. แปรอุณหภูมิของลมที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งเป็น -30 และ -24 °C แช่เยือกแข็งจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่า -18 °C บันทึกเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง ค่าความชื้นสัมพัทธ์ และ ความเร็วลมภายในอุโมงค์ลม (ได้ข้อมูลดังตารางที่ 3.2) ตัวอย่างที่ได้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C ในกล่องกระดาษลูกฟูกก่อนการทดลองขั้นต่อไป

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ละลายน้ำแข็ง หมัก ย่าง การประเมินผลคุณภาพทางกายภาพด้าน thawing loss, marinade gain weight และ cooking loss และคุณภาพทางประสาทสัมผัส และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติตามวิธีในข้อ 3.2.1.1

3.2.3.2 ผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุก

เตรียมตัวอย่างยากิโตริตามวิธีในส่วนผลิตภัณฑ์ ใช้ภาวะการแช่เยือกแข็งตามวิธีในข้อ 3.2.3.1 และภาวะการละลายน้ำแข็งตามวิธีข้อ 3.2.1.1 และประเมินคุณภาพเช่นเดียวกับวิธีในข้อ 3.2.1.2

ตารางที่ 3.2 ภาวะการแช่เยือกแข็งยากิโตริดิบและสุก ด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวน

อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ดิบและสุกก่อนแช่เยือกแข็ง 0.4 °C
ความเร็วลมเฉลี่ยภายในอุโมงค์ = 2.9 m./s.
% Relative Humidity = 55 %
ที่อุณหภูมิลม -24 °C

- อุณหภูมิเฉลี่ยที่จุดกึ่งกลางผลิตภัณฑ์ดิบที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง = -17.1 °C
- อุณหภูมิเฉลี่ยที่จุดกึ่งกลางผลิตภัณฑ์สุกที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง = -17.9 °C
- เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง =2 ชั่วโมง 30 นาที

ที่อุณหภูมิลม -30 °C

- อุณหภูมิเฉลี่ยที่จุดกึ่งกลางผลิตภัณฑ์ดิบที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง = -17.5 °C
- อุณหภูมิเฉลี่ยที่จุดกึ่งกลางผลิตภัณฑ์สุกที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง = -18.0 °C
- เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง = 54 นาที

3.2.4 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวน และการละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่ง

3.2.4.1 ผลิตภัณฑ์ยากิโตริดิบ

เตรียมตัวอย่างยากิโตริตามวิธีในส่วนผลิตภัณฑ์ ใช้ภาวะการแช่เยือกแข็งตามวิธีในข้อ 3.2.3.1 และภาวะการละลายน้ำแข็งตามวิธีข้อ 3.2.2.1 และประเมินคุณภาพเช่นเดียวกับวิธีในข้อ 3.2.1.1

3.2.4.2 ผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุก

เตรียมตัวอย่างยากิโตริตามวิธีในส่วนผลิตภัณฑ์ ใช้ภาวะการแช่เยือกแข็งตามวิธีในข้อ 3.2.3.1 และภาวะการละลายน้ำแข็งตามวิธีข้อ 3.2.2.1 และประเมินคุณภาพเช่นเดียวกับวิธีในข้อ 3.2.1.2

3.2.5 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว และละลายน้ำแข็ง

3.2.5.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว

เตรียมตัวอย่างยากิโตริดิบ และสุกตามวิธีที่ระบุในส่วนผลิตภัณฑ์

นำตัวอย่างเข้าเครื่อง Cryo-Test Chamber เปิดเครื่องและปรับอุณหภูมิจำลองภาวะในการผลิตของเครื่อง CRYO-QUICK™ ที่ค่าอุณหภูมิกลางอุโมงค์เป็น -60, -70, -80 และ -90 °C (วิธีการปรับอุณหภูมิแสดงในภาคผนวก จ) นำมาหาเวลาการแช่เยือกแข็งที่ทำให้อุณหภูมิกึ่งกลางผลิตภัณฑ์ต่ำกว่า -18 °C ของแต่ละค่าอุณหภูมิกลางอุโมงค์ จากนั้นเปรียบเทียบผิวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการควบคุมแต่ละอุณหภูมิ เลือกภาวะที่ไม่ทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์เกิดรอยแตกร้าว

3.2.5.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการละลายน้ำแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ผลิตภัณฑ์ยากิโตริดิบ

นำยากิโตริดิบแช่เยือกแข็งตามภาวะของเครื่อง CRYO-QUICK™ ที่เลือกจากข้อ 3.2.5.1 บรรจุในถุง HDPE 5 ไม้/ถุง เก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ -18 °C ในกล่องกระดาษลูกฟูก แปรความเข้มคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ละลายน้ำแข็งเป็น 50 และ 80 % ของกำลังสูงสุด จนอุณหภูมิของตัวอย่างเป็น - 1 °C โดยใช้เวลา 8 และ 6 นาที สำหรับการละลายที่ระดับความเข้มคลื่น 50 % และ 80 % ตามลำดับ นำไปหมักด้วยซอสหมักยากิโตริ ย่าง และเตรียมตัวอย่างทดสอบทางประสาทสัมผัสตามวิธีในข้อ 3.2.1.1

ประเมินคุณภาพทางกายภาพเช่นเดียวกับวิธีในข้อ 3.2.1.1 วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design ทดลอง 6 ซ้ำ ส่วนคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design ทดลอง 2 ซ้ำ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยใช้วิธีเดียวกับข้อ 3.2.1.1

ผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุก

เตรียมผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุกตามวิธีในส่วนผลิตภัณฑ์ นำผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งตามภาวะของเครื่อง CRYO-QUICK™ ที่เลือกจากข้อ 3.2.5.1 แล้วบรรจุถุง Nylon/PE 5 ไม้/ถุง พร้อมซอสราดอัตราส่วน 10 กรัม/ไม้ เก็บรักษาตัวอย่างที่ได้ที่อุณหภูมิ -18 °C ในกล่องกระดาษลูกฟูก ใช้ภาวะการละลายน้ำแข็ง และการเตรียมตัวอย่าง ตามวิธีในข้อ 3.2.1.2

ประเมินผลคุณภาพทางกายภาพเช่นเดียวกับวิธีในข้อ 3.2.1.2 วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design ทดลอง 6 ซ้ำ ส่วนคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design ทดลอง 2 ซ้ำ และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทำเช่นเดียวกันกับข้อ 3.2.1.1

3.2.5.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่ง

ผลิตภัณฑ์ยากิโตริดิบ

เตรียมตัวอย่างยากิโตริตามวิธีในส่วนผลิตภัณฑ์

ใช้ภาวะการแช่เยือกแข็ง ที่เลือกได้จากข้อ 3.2.5.1 บรรจุในถุง HDPE 5 ไม้/ถุง เก็บรักษาตัวอย่างที่ได้ที่อุณหภูมิ -18 °C ในกล่องกระดาษลูกฟูก แปรอุณหภูมิอากาศนิ่งในการละลายน้ำแข็งเป็น อุณหภูมิห้อง (28-30 °C) และ อุณหภูมิ 4 °C ภายในช่องแช่เย็นของตู้เย็น จนกระทั่งอุณหภูมิกึ่งกลางถุงตัวอย่างเป็น -1 °C โดยใช้เวลา 3 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง สำหรับการละลายที่แต่ละอุณหภูมิดังกล่าวตามลำดับ นำไปหมัก ย่าง และเตรียมตัวอย่างทดสอบทางประสาทสัมผัสตามภาวะที่ระบุในข้อ 3.2.1.1

ประเมินคุณภาพทางกายภาพเช่นเดียวกับวิธีในข้อ 3.2.1.1 วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design ทดลอง 6 ซ้ำ ส่วนคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design ทดลอง 2 ซ้ำ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยใช้วิธีเดียวกับข้อ 3.2.1.1

ผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุก

เตรียมตัวอย่างยากิโตริตามวิธีในส่วนผลิตภัณฑ์ ใช้ภาวะการแช่เยือกแข็ง ที่เลือกจากข้อ 3.2.5.1 บรรจุถุง Nylon/PE 5 ไม้/ถุง พร้อมซอสราดอัตราส่วน 10 กรัม/ไม้ เก็บรักษาตัวอย่างที่ได้ที่อุณหภูมิ -18 °C ในกล่องกระดาษลูกฟูก ใช้ภาวะการละลายน้ำแข็ง และการเตรียมตัวอย่าง ตามวิธีในข้อ 3.2.1.2

ประเมินผลคุณภาพทางกายภาพเช่นเดียวกับวิธีในข้อ 3.2.1.2 วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design ทดลอง 6 ซ้ำ ส่วนคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design ทดลอง 2 ซ้ำ และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทำเช่นเดียวกันกับข้อ 3.2.1.1

3.3 ศึกษาผลของ ชนิดผลิตภัณฑ์ วิธีแช่เยือกแข็ง วิธีละลายน้ำแข็ง และ เวลาเก็บ ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยากิโตริ

เตรียมผลิตภัณฑ์ยากิโตริดิบ และสุก แช่เยือกแข็งด้วยวิธีลมเป่าแบบคงที่ ลมเป่าแบบสายพานวน และไนโตรเจนเหลว ตามภาวะต่อไปนี้

การแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบคงที่ นำยากิโตริดิบบรรจุในถุง HDPE 5 ไม้/ถุง และยากิโตริสุกบรรจุในถุง Nylon/PE 5 ไม้/ถุง พร้อมซอสราด 10 กรัม/ไม้ ปิดผนึกผลิตภัณฑ์ทั้งสองที่ภาวะสุญญากาศ เก็บไว้ที่ 0 °C ก่อนแช่เยือกแข็ง 5 ชั่วโมง แช่เยือกแข็งในภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.2 ผลิตภัณฑ์ที่ได้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C ในกล่องกระดาษลูกฟูก ใช้ภาวะการเก็บระดับอุตสาหกรรมภายในห้องเยือกแข็งของโรงงาน B. Food Products International Co.,Ltd.

การแช่เยือกแข็งลมเป่าแบบสายพานวน เตรียมยากิโตริดิบ เก็บไว้ที่ 0 °C ก่อนแช่เยือกแข็ง 5 ชั่วโมง เรียงบนสายพานโดยใช้ภาวะการแช่เยือกแข็งที่เหมาะสมจากข้อ 3.2 ผลิตภัณฑ์ที่ได้ บรรจุถุงพลาสติก HDPE 5 ไม้ต่อถุง ปิดผนึกที่ภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C ในกล่องกระดาษลูกฟูก ส่วนยากิโตริสุก บรรจุถุง Nylon/PE 5 ไม้ต่อถุง ปิดผนึกที่ภาวะสุญญากาศ เก็บที่ 0 °C ก่อนแช่เยือกแข็ง 5 ชั่วโมง เรียงถุงผลิตภัณฑ์บนสายพานเครื่องแช่เยือกแข็ง ใช้ภาวะการผลิตที่เหมาะสมในข้อ 3.2 ผลิตภัณฑ์ที่ได้ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C ในกล่องกระดาษลูกฟูก ใช้ภาวะการเก็บระดับอุตสาหกรรมภายในห้องเยือกแข็งของโรงงาน B. Food Products International Co.,Ltd.

การแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว เตรียมยากิโตริดิบและสุกเก็บไว้ที่ 0 °C ก่อนแช่เยือกแข็ง 5 ชั่วโมง เรียงบนสายพานของเครื่องแช่เยือกแข็ง โดยให้แต่ละไม้ห่างกัน 5 ซม. ใช้ภาวะการผลิตที่เหมาะสมของแต่ละผลิตภัณฑ์ในข้อ 3.2 ผลิตภัณฑ์ดิบหลังแช่เยือกแข็งบรรจุในถุง HDPE 5 ไม้/ถุง และผลิตภัณฑ์สุกหลังแช่เยือกแข็งบรรจุในถุง Nylon/PE 5 ไม้/ถุง พร้อมซอสราด 10 กรัม/ไม้ ปิดผนึกถุงที่ภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 °C ในกล่องกระดาษลูกฟูก ใช้ภาวะการเก็บระดับอุตสาหกรรมภายในห้องเยือกแข็งของโรงงาน B. Food Products International Co.,Ltd.

ทุก 1 เดือน นำตัวอย่างที่ได้จากการแช่เยือกแข็งทั้ง 3 วิธี จากห้องเก็บเยือกแข็งเก็บรักษาต่อในตู้เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 °C ที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สุ่มตัวอย่างมา ละลายน้ำแข็งด้วยอากาศนิ่ง และคลื่นไมโครเวฟตามภาวะที่ได้เลือกไว้จากข้อ 3.2 หลังจากนั้นนำยากิโตริดิบ หมัก ย่าง เติมซอสราดตามวิธีในข้อ 3.2.1.1 พร้อมทดสอบด้านต่างๆต่อไป ส่วนยากิโตริสุก ให้ความร้อนร้อนด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลังไฟสูงสุดเป็นเวลา 1 นาที 30 วินาที พร้อมทดสอบด้านต่างๆต่อไป ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดประเมินคุณภาพดังนี้

คุณภาพทางกายภาพ

ค่าสี (การประเมินแสดงในภาคผนวก ข) และ ค่าแรงตัดขาด (การประเมินแสดงในภาคผนวก ข) ใช้แผนการทดลอง Asymmetric Factorial Design ขนาด 2*3*2*6 ทดลอง 2 ซ้ำ

ค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก แยกพิจารณาเฉพาะชนิดของผลิตภัณฑ์ (ยากิโตริดิบ และยากิโตริสุก ตามวิธีในข้อ 3.2.1.1 และ 3.2.1.2 ตามลำดับ) ใช้แผนการทดลอง Asymmetric Factorial Design ขนาด 3*2*6 ทดลอง 2 ซ้ำ

ประเมินคุณภาพทางเคมี คือ ค่า TBA (Pearson, 1976) ประเมินคุณภาพทางแบคทีเรีย คือ จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (Atlas et al., 1984) ใช้แผนการทดลอง Asymmetric Factorial Design ขนาด 2*3*2*6 ทดลอง 2 ซ้ำ

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ประเมินคะแนน สี กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม ความชุ่มน้ำ และความชอบรวม ใช้แบบทดสอบประเภท structured scoring test (แบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ค) ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน (ขั้นตอนการฝึกฝนแสดงในภาคผนวก ง) จำนวน 10 คน ใช้แผนการทดลอง Factorial Randomized Complete Block Design ขนาด 2*3*2*6 ทดลอง 2 ซ้ำ

3.4 <u>ศึกษาผลของวิธีให้ความร้อนก่อนบริโภค และอายุการเก็บ ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุก</u>

นำผลิตภัณฑ์ยากิโตริสุก แช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวตามวิธีในข้อ 3.3 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 $^{\circ}C$ ในกล่องกระดาษลูกฟูก เป็นเวลา 5 เดือน ในแต่ละเดือน สุ่มตัวอย่างมาให้ความร้อน (โดยไม่ผ่านการละลายน้ำแข็ง) 2 วิธีคือ ต้มในน้ำเดือด 500 มิลลิลิตรต่อผลิตภัณฑ์ 1 ถุง เป็นเวลา 15 นาที และให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟสูงสุด เป็นเวลา 10 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้ ประเมินคุณภาพต่างๆต่อไปนี้

ประเมินคุณภาพทางกายภาพ คือ ค่าสี ค่าแรงตัดขาด (การประเมินแสดงในภาคผนวก ข) ค่า heating loss ซึ่งเป็นค่าที่แสดงการเสียน้ำหนักจากการให้ความร้อนผลิตภัณฑ์เยือกแข็ง โดยชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์เยือกแข็งในถุง กรีดบริเวณส่วนบนของถุงให้ทะลุทั้งสองด้านเป็นรอยเปิดยาว 0.5 ซม. เพื่อระบายไอน้ำและป้องกันการแตกของถุงระหว่างให้ความร้อน ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์พร้อมถุงหลังให้ความร้อนทันที คำนวนค่า heating loss จาก

$$= \frac{\text{(น้ำหนักผลิตภัณฑ์เยือกแข็งก่อนให้ความร้อน - น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังให้ความร้อนพร้อมถุง)}}{\text{(น้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนให้ความร้อน - น้ำหนักถุงเฉลี่ย)}} * 100$$

ประเมินคุณภาพทางเคมี คือ ค่า TBA (Pearson, 1976) และการประเมินคุณภาพด้านแบคทีเรีย คือ ค่าจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (Atlas et al., 1984) การประเมินคุณภาพทางกายภาพและเคมีวางแผนการทดลองแบบ Asymmetric Factorial Experiment ขนาด 2*6 ทดลอง 2 ซ้ำ

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม ความชุ่มน้ำ และความชอบรวม ใช้แบบทดสอบชนิด structured scoring test (แบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ค) ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน (ขั้นตอนการฝึกฝนแสดงในภาคผนวก ง) จำนวน 10 คน วางแผนการทดลองแบบ Factorial Randomized Complete Block Experiment ขนาด 2*6 ทดลอง 2 ซ้ำ