



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิฆ่าเชื้อต่อคุณภาพของโจ๊กพร้อมรับประทานบรรจุ
รีทอร์ทพouch

**Effects of sterilizations time and temperature on properties of Ready-to-Eat
porridge in retort pouch**

นางสาว มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์
นางสาว ชรินทร์ ฉายศิริโชติ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิมาเชื่อต่อคุณภาพของโจ๊กพร้อมรับประทานบรรจุ
รีทอร์ทเพาซ์

**Effects of sterilizations time and temperature on properties of Ready-to-Eat
porridge in retort pouch**

นางสาว มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

นางสาว ชรินทร์ ฉายศิริโชติ

12695269

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิฆ่าเชื้อต่อคุณภาพของโจ๊กพร้อมรับประทานบรรจุรีทอร์ท
แพซ

แหล่งเงิน ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ 2557 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 60,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2556 ถึง 30 กันยายน 2557

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

ผศ. ดร. มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ (หัวหน้าโครงการ)

ดร. ชรินทร์ ฉายศิริโชติ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ (ผู้ร่วมโครงการ)

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาและอุณหภูมิฆ่าเชื้อในกระบวนการฆ่าเชื้อเชิงการค้าในการผลิตโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือยพร้อมรับประทานบรรจุรีทอร์ทแพซโดยใช้หม้อฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อนสเปรย์ การทดลองแบ่งเป็นสองส่วน ได้แก่ 1) การศึกษาระดับการฆ่าเชื้อเชิงการค้า (F_0) ที่เหมาะสม โดยทำการศึกษา 3 ระดับ คือ 4 6 และ 8 นาที และ 2) การศึกษาผลของอุณหภูมิการฆ่าเชื้อ ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำการศึกษาที่ 122 116 และ 110 องศาเซลเซียส และคำนวณเวลาการฆ่าเชื้อเพื่อให้ได้ระดับการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมจากการทดลองก่อนหน้า โดยวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สี ความหนืด และค่าความแข็งของถั่วจากการศึกษาพบว่า ระดับการฆ่าเชื้อเชิงการค้า (F_0) ที่เหมาะสมและปลอดภัยต่อการบริโภค สำหรับผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวกล้องผสมถั่วและลูกเดือยพร้อมรับประทานบรรจุรีทอร์ทแพซ (น้ำหนักบรรจุ 202 ± 2 กรัม ลงในรีทอร์ทแพซ ขนาด $130 \times 170 \times 30$ มิลลิเมตร คือ 4.02 นาที นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อลดอุณหภูมิฆ่าเชื้อ ซึ่งทำให้ระยะเวลาฆ่าเชือนานขึ้น ทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่ความสว่างและความแข็งของถั่วและลูกเดือยลดลง

คำสำคัญ : โจ๊ก การฆ่าเชื้อเชิงการค้า รีทอร์ทแพซ คุณสมบัติทางกายภาพ

Research Title: Effects of sterilization time and temperature on properties of Ready-to-Eat porridge in retort pouch

Researchers: Asst. Prof. Dr. Maradee Phongpipatpong (Research leader)

Dr. Teerin Chysirichote (Co-researcher)

Faculty: Engineering

Department: Food Engineering

ABSTRACT

This research aims to study the effects of process temperatures and time of the commercial sterilization process of the brown rice porridge with legumes and Job's Tear in retort pouch using water spray retort. The works were separated into two parts; 1) Evaluating the sterility value (F_0 4, 6 and 8 minutes) for commercial sterilization and 2) determining the effect of sterilization temperature (122, 116 and 110 degree Celsius) on the physical properties of the products by calculating the process time to achieve the sterility value (F-value) obtained from the first experiment. The investigated physical properties consisted of viscosity and lightness of product and hardness of legumes and job's tear). The results showed that the appropriate level of sterility, which was safe for consumption, of this product (fill weight 202 ± 2 grams, pouch size 130 x 170 x 30 millimeters) was 4.02 minutes. Furthermore, it was shown that a reduction of the process temperature resulting in the longer process time increased the viscosity of product, while the lightness of product and the hardness of legumes and job's tear were decreased.

Keywords : Rice porridge, commercial sterilization, Retort pouch, Physical properties

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท เฮอร์ ดีไซน์ จำกัด ที่อนุเคราะห์
วัสดุดิบบางส่วนและรีทอร์ทเพาซ์ ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง สำหรับสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์การวิเคราะห์

ขอขอบคุณ คุณอำนาจ คุณตะกู คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ และคุณบุญนำ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่
ประจำห้องปฏิบัติการและธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านการดำเนินงานวิจัยและ
ข้อมูลในด้านเอกสารทำงานวิจัยนี้

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาว มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

นางสาว ชรินทร์ ฉายศิริ ไซติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
รายการสัญลักษณ์	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน	4
2.2 ความสามารถในการทนความร้อนของจุลินทรีย์	5
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการฆ่าเชื้อ โดยความร้อน	8
2.4 การคำนวณระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ และค่า Lethality	10
2.5 หม้อฆ่าเชื้อ (retort)	13
2.6 คุณสมบัติทางกายภาพ	17
2.7 คุณสมบัติเชิงความร้อน	21
2.8 รีทอร์ทแพช (retort pouch)	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	
3.1 วัสดุอุปกรณ์	25
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง	26
3.3 การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ	29
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 การศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในหม้อฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อนสเปร์ย์	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การศึกษาการแทรกผ่านความร้อนของโจ๊กข้าวกล็องหอมมะลิผสมถั่ว และลูกเดือย	34
4.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ	37
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	48
ภาคผนวก ก วิธีการทดลอง	49
ภาคผนวก ข U.S. FDA Regulations. (Code of Federal Regulations Title 21)	53
ภาคผนวก ค สรุปค่าใช้จ่ายดำเนินโครงการ	57
ประวัติผู้วิจัย	58

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตัวอย่างค่าความจุความร้อนและการนำความร้อน	22
2.2	ข้อดีและข้อเสียของรีทอร์ทพาซ์เมื่อเปรียบเทียบกับกระป๋องโลหะ และแก้ว	23
4.1	ผลวิเคราะห์ด้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์หลังการฆ่าเชื้อที่ระดับการฆ่าเชื้อต่างๆ	34
4.2	ระยะเวลาในการให้ความร้อน และระดับการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 110 116 และ 122 °ซ	37
4.3	ค่าความแข็งของถั่วแดง ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วดำ ถั่วค้ำและลูกเดือย ที่อุณหภูมิฆ่าเชื้อต่างกัน	40
4.4	ค่าความเป็นสีและความหนืดของ โจ๊กข้าวที่อุณหภูมิฆ่าเชื้อต่างกัน	40



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	จำนวนเชื้อที่รอดชีวิต	6
2.2	Thermal death time curve	7
2.3	การหาค่า F จาก Lethal rate curve	12
2.4	Heating curve	12
2.5	Cooling curve	12
2.6	หม้อฆ่าเชื้อแบบใช้ไอน้ำอิมตัว	14
2.7	หม้อฆ่าเชื้อแบบใช้ไอน้ำและอากาศร้อนผสมกัน	15
2.8	หม้อฆ่าเชื้อแบบให้น้ำร้อนท่วมบรรจุภัณฑ์	15
2.9	หม้อฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อนสเปรย์	16
2.10	กราฟความสัมพันธ์ของของไหลแบบนิวโตเนียน	19
2.11	การแบ่งชนิดของไหลแบบนอนิวโตเนียน	19
2.12	กราฟความสัมพันธ์ของของไหลแบบนิวโตเนียน	19
3.1	ขั้นตอนการบรรจุโถงข้าวกลิ้ง ถั่วและลูกเดือยในรีทอร์ทเพาซ์ชนิดถูงตั้ง	27
3.2	การปิดผนึกสนิทด้วยเครื่องปิดผนึกสุญญากาศ	27
3.3	ตำแหน่งการทดสอบการกระจายอุณหภูมิในหม้อฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อนสเปรย์	28
3.4	การติดตั้งโพรบวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งกึ่งกลางรีทอร์ทเพาซ์ โดยเทียบกับถั่วแดง	29
3.5	เครื่อง Colorimeter	29
3.6	เครื่อง Brookfield Viscometer	30
3.7	เครื่อง TA.XT plus texture analyzer	31
4.1	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ในหม้อฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อนสเปรย์ (การทดลองครั้งที่ 1)	32
4.2	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ในหม้อฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อนสเปรย์ (การทดลองครั้งที่ 2)	33
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา และระดับการ ฆ่าเชื้อ F_0 เท่ากับ 4.02 นาที ครั้งที่ 1	34
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา และระดับการ ฆ่าเชื้อ F_0 เท่ากับ 4.02 นาที ครั้งที่ 2	35
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา และระดับการ ฆ่าเชื้อ F_0 เท่ากับ 6.66 นาที ครั้งที่ 1	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา และระดับการ ฆ่าเชื้อ F_0 เท่ากับ 6.66 นาที ครั้งที่ 2	36
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา และระดับการ ฆ่าเชื้อ F_0 เท่ากับ 8.50 นาที ครั้งที่ 1	36
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา และระดับการ ฆ่าเชื้อ F_0 เท่ากับ 8.50 นาที ครั้งที่ 2	37
4.9	แผนผังกระบวนการผลิต ไอศกรีมรสผลไม้ผสมถั่วและลูกเกอด บรรจุรีทอร์ทเพาซ์	41



รายการสัญลักษณ์

		หน่วย
F_0	= ระดับการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °ซ	นาที
L^*	= ค่าความสว่าง	-
a^*	= ค่าความเป็นสีแดง	-
b^*	= ค่าความเป็นสีเหลือง	-
τ	= แรงเฉือน	Pa
k_1	= ดัชนีความหนืด	Pa·s ⁿ
$\frac{dv}{dy}$	= อัตราการเฉือน	s ⁻¹
n	= ดัชนียกกำลังสำหรับสมการ power law index	-
μ	= ความหนืด	cPs
C_p	= ความร้อนจำเพาะ	kJ/kg°C
k	= การนำความร้อน	W/m ² °C
T	= อุณหภูมิ	°C
D	= Decimal reducing time	นาที
N_0	= ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น	number
N	= ปริมาณจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่เมื่อเวลาผ่านไป t นาที	number
t	= เวลาให้ความร้อน	นาที
Z	= จำนวนอุณหภูมิเป็น ที่ทำให้ค่า D เปลี่ยนไป 1log cycle หรือร้อยละ 90	°C, °F
F	= ระดับการฆ่าเชื้อ	นาที
D_T	= Death rate time	นาที
U	= F	นาที
f_h	= เวลาที่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนไป 90 % หรือ 1 Log cycle	นาที
j_h	= lag period ของกราฟการให้ความร้อน	นาที
I_0	= ผลต่างระหว่างอุณหภูมิฆ่าเชื้อกับอุณหภูมิเริ่มต้นอาหาร	-
g	= ผลต่างระหว่างอุณหภูมิฆ่าเชื้อกับอุณหภูมิอาหารที่จุดสิ้นสุดการให้ความร้อน	-
B'	= เวลาในการฆ่าเชื้อทั้งหมด	นาที
B	= เวลาในการฆ่าเชื้อ	นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

หน่วย
นาที

CUT = เวลาที่อุณหภูมิภายในหม้อฆ่าเชื้อถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อ

ดัชนีกำกับ

p = โปस्टิน

f = ไขมัน

c = คาร์โบไฮเดรต

w = ไฟเบอร์

a = เต้า

t = สภาวะที่เวลาใดๆ

0 = สภาวะเริ่มต้น



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

“โจ๊ก” เป็นอาหารที่คนทั่วไปรู้จักเป็นอย่างดี และนิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวาง เพราะเป็นอาหารย่อยง่าย อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบ โจ๊กมักถูกบริโภคเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ อาหารเช้า อาหารสำหรับผู้สูงอายุและผู้ป่วยพักฟื้น โดยส่วนประกอบหลักของโจ๊ก คือ ข้าว ซึ่งถือว่าเป็นอาหารหลักของคนไทย แต่เนื่องจากการดำเนินชีวิตในปัจจุบันของผู้บริโภคมีข้อจำกัดทางด้านเวลา จึงไม่สะดวกต่อการทำโจ๊กรับประทานเอง เพราะมีหลายขั้นตอน ประกอบกับปัจจุบันนี้ผู้บริโภคต้องการผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมรับประทานที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ ปลอดภัยต่อการบริโภคและเก็บรักษาได้นาน แต่โดยปกติแล้ว โจ๊กมีอายุการเก็บไม่เกิน 1-2 วัน ที่อุณหภูมิห้อง สามารถเสื่อมเสียได้ด้วยจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงมีการศึกษาการผลิตและยืดอายุของโจ๊กโดยใช้กระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนทั้งที่บรรจุในกระป๋องและรีทอร์ทแพช เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารของโจ๊ก จึงมีการผลิตโจ๊กจากข้าวกล้องและผสมส่วนประกอบอื่นๆ เช่น ถั่วและธัญพืชอื่นๆ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการยืดอายุการเก็บของโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือยพร้อมรับประทานบรรจุรีทอร์ทแพช ด้วยกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนภายใต้แรงดันสูง เนื่องจากอาหารบรรจุรีทอร์ทแพชกำลังได้รับความนิยม และรีทอร์ทแพชสามารถทนต่ออุณหภูมิสูง และความดันในกระบวนการฆ่าเชื้อ มีน้ำหนักเบา สะดวกต่อการขนส่ง สามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารจากความชื้น แสง และอากาศ โดยเฉพาะก๊าซออกซิเจน ทำให้สามารถเก็บผลิตภัณฑ์อาหารได้ตั้งแต่ 3 เดือนถึง 2 ปี ซึ่งขึ้นกับชนิดอาหารและวัสดุที่ใช้

ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในรีทอร์ทแพชสามารถรักษารสชาติ เนื้อสัมผัสและคุณค่าทางอาหารได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้กระป๋อง เนื่องจากวัสดุที่ใช้มีความหนาแน่นน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นจึงทำให้ใช้เวลาในการฆ่าเชื่อน้อยลง โดยที่โจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือยจัดเป็นอาหารในกลุ่มที่มีความเป็นกรดต่ำ (Low acid food) ซึ่งมีความเสี่ยงสูงที่จะเป็นอันตรายจากจุลินทรีย์ก่อโรค โดยเฉพาะ *Clostridium botulinum* เป็นแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ทนร้อน และสร้างสารพิษที่เป็นอันตรายร้ายแรงถึงชีวิต การแปรรูปอาหารในกลุ่มนี้จึงใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อให้มั่นใจว่าปลอดภัยต่อการบริโภคและมีอายุการเก็บรักษาตามที่กำหนด นอกจากนี้เงื่อนไขทางด้านความปลอดภัยจากจุลินทรีย์แล้ว โจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือยมีเงื่อนไขด้านคุณภาพของตัวผลิตภัณฑ์ คือ สมบัติทาง

กายภาพ ได้แก่ สี ความหนืด และความแข็งของถั่ว ที่เปลี่ยนไปเมื่อได้รับความร้อนสูง ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต โจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือยบรรจุรีทอร์ทแพซจึงเป็นสิ่งที่ต้องศึกษาอย่างละเอียด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ออกแบบขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือยพร้อมรับประทานบรรจุรีทอร์ทแพซ

1.2.2 ศึกษาระดับของการให้ความร้อนในกระบวนการฆ่าเชื้อเชิงการค้าของโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือย

1.2.3 ทราบอิทธิพลของอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อเชิงการค้าที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพของโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือย ได้แก่ สี ความหนืด และความแข็งของถั่วและลูกเดือย

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษาระยะเวลาในการแช่และต้มลูกเดือย และถั่วทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วดำ ถั่วแดง และถั่วตาคั่ว เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่ยังคงสภาพดี ก่อนการแบ่งบรรจุรีทอร์ทแพซ

1.3.2 หาเวลาการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนเชิงการค้า โดยวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือยหลังจากผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อเชิงการค้าที่ระดับการฆ่าเชื้อ (F_0) ที่ 4 6 และ 8 นาที

1.3.3 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือย หลังจากผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อเชิงการค้าที่อุณหภูมิต่างกัน (122 116 และ 110 °ซ) โดยกำหนดระดับการฆ่าเชื้อเท่ากัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบกระบวนการเตรียมวัตถุดิบก่อนการบรรจุ และการฆ่าเชื้อเชิงการค้า ประกอบไปด้วย การเตรียมถั่วทั้ง 5 ชนิด ลูกเดือย และ โจ๊กข้าว

1.4.2 ทราบระดับการฆ่าเชื้อในกระบวนการฆ่าเชื้อเชิงการค้าของโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือย

1.4.3 ทราบอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการฆ่าเชื้อเชิงการค้าที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพของ
โจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือย ได้แก่ สี ความหนืด และความแข็งของถั่วและลูกเดือย

1.4.4 สามารถออกแบบกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูก
เดือยบรรจุรีทอร์ทแพคเกจพร้อมรับประทาน



บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

กระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน เป็นส่วนหนึ่งของการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน ซึ่งหมายถึง การทำให้อาหารที่บรรจุอยู่ในภาชนะปิดสนิทได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงเพื่อถนอมรักษาอาหาร เนื่องจากความร้อนจะทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย รวมทั้ง เอมไซม์ สารพิษ พยาธิ และแมลงต่างๆ ที่ไม่สามารถทนต่อความร้อนได้

การแปรรูปอาหารด้วยความร้อนนั้น แบ่งระดับของการให้ความร้อนที่ทำเป็น 2 วิธี คือ

2.1.1 กระบวนการการพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurization) คือ วิธีการถนอมอาหาร โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมากโดยมุ่งทำลายแบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ และก่อให้เกิดโรคกับมนุษย์ ส่วนจุลินทรีย์อื่นๆ ที่ทนความร้อนของการพาสเจอร์ไรซ์เมื่อมีการขยายจำนวนที่มากขึ้นสามารถทำให้อาหารเสื่อมเสียได้เช่นกัน ดังนั้นอาหารที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ ต้องใช้ความเย็นร่วมด้วยในขณะเก็บรักษา กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์สามารถแบ่งเป็น 2 วิธี ได้แก่

- 1) ระบบอุณหภูมิต่ำระยะเวลานาน (Low Temperature Long Time : LTLT) เป็นระบบที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °ซ นาน 30 นาที แล้วจึงทำให้เย็นทันที
- 2) ระบบอุณหภูมิสูงระยะเวลาดสั้น (High Temperature Short Time : HTST) เป็นระบบที่ให้ความร้อนในระดับสูงขึ้นแต่ใช้เวลาสั้นลง คือ ใช้อุณหภูมิ 75 °ซ นาน 15 วินาที แล้วจึงทำให้เย็นลงโดยเร็ว มักทำเป็นระบบต่อเนื่องในอาหารเหลว เช่น นม น้ำผลไม้ เป็นต้น

2.1.2 กระบวนการปลอดเชื้อ (sterilization) คือ วิธีการถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าการพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งอาจเป็นอุณหภูมิภายใต้ความดันหรือสูงกว่า เพื่อทำลายสิ่งมีชีวิตทั้งหลายรวมทั้งสปอร์ของจุลินทรีย์ให้หมดไป แต่ในทางอุตสาหกรรมอาหารสามารถทำได้เพียงให้ความร้อนเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียและเป็นโทษต่อผู้บริโภคเพื่อให้ผู้บริโภคปลอดภัยเมื่อบริโภคอาหารนั้นภายใต้สภาวะการเก็บรักษาและการขนถ่ายในสภาวะปกติ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในระดับนี้เรียกว่า กระบวนการฆ่าเชื้อเชิงการค้า (Commercial sterilization) อาหารที่ได้จากการ สเตอริไรซ์ ถือได้ว่าเป็นอาหารที่ปลอดเชื้อ สามารถเก็บรักษาได้นานในอุณหภูมิห้อง (วารุณี และคณะ, 2547)

2.1.3 กระบวนการปลอดเชื้อด้วยความร้อนเชิงการค้า (commercial sterilization) คือ การใช้ อุณหภูมิฆ่าเชื้อสูงกว่า 100 °ซ เพื่อทำให้อาหารปราศจากจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย และจุลินทรีย์

ก่อโรค มักนำมาใช้กับอาหารที่เป็นกรดต่ำ (Low acid food) คือ มีค่าพีเอช (pH) มากกว่า 4.6 และค่าวอเตอร์แอกติวิตี (aw) มากกว่า 0.85 เนื่องจากสภาวะดังกล่าวมีปริมาณกรดต่ำและปริมาณน้ำอิสระสูงพอที่ทำให้ *C. botulinum* ซึ่งเป็นแบคทีเรียทำให้เกิดโรค botulism ซึ่งสร้างสปอร์ที่ทนร้อน สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพไม่มีอากาศ (Anaerobic) ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดอุณหภูมิและเวลาฆ่าเชื้อที่เพียงพอจะทำลายสปอร์ของเชื้อนี้ ให้อยู่ในระดับที่อาหารจะปลอดภัย ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ต้องการใช้ในกระบวนการให้ความร้อนแก่อาหาร

2.2 ความสามารถในการทนความร้อนของจุลินทรีย์

ความสำคัญของกระบวนการให้ความร้อน คือ การทำลายจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ในผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บภายใต้สภาวะปกติ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ซึ่งอาจมีโทษต่อร่างกาย ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีภาวะที่ทำให้จุลินทรีย์จำเพาะชนิดเจริญได้ และเมื่อผ่านความร้อนแล้ว จุลินทรีย์แต่ละชนิดที่เจริญอาจทนความร้อนแตกต่างกัน นอกจากนี้ถ้าปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นแตกต่างกัน ก็จะมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ต้องการในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ทั้งนี้ความสามารถในการทนความร้อนของจุลินทรีย์เกี่ยวข้องกับค่าที่สำคัญต่างๆ ดังนี้

2.2.1 ค่า D (Decimal reducing time)

คือ เวลาเป็นนาที ที่อุณหภูมิคงที่ ในการทำลายจุลินทรีย์ให้ลดลงร้อยละ 90 หรือ 1 Log cycle จากจุลินทรีย์เริ่มต้น ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 จากการสร้างกราฟ Semi logarithmic ระหว่างจำนวนเชื้อที่รอดชีวิตกับเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิคงที่ ดังภาพที่ 2.1 พบว่า จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นจำนวน 100,000 เซลล์เมื่อได้รับความร้อนผ่านไป 10 นาที จำนวนจุลินทรีย์จะลดลง 1 Log cycle หรือ ค่า D คือ 10 นาที เหลือจุลินทรีย์ 10,000 เซลล์ ค่า D จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิฆ่าเชื้อ ดังนั้นจึงต้องเขียนอุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อกำกับไว้เสมอ โดยมีสัญลักษณ์ที่ใช้คือ D_T ค่า D นี้บอกถึงความสามารถในการทนความร้อนของจุลินทรีย์ ซึ่งกำหนดประเภทของจุลินทรีย์ตามความสามารถในการทนความร้อนที่อุณหภูมิ 121.1°C ดังนี้

$D_{121.1} > 1.0$ เป็น จุลินทรีย์ที่ทนความร้อนได้สูงมากๆ (Extremely high heat resistance)

$D_{121.1} > 0.1$ เป็น จุลินทรีย์ที่ทนความร้อนได้สูงมาก (High heat resistance)

$D_{121.1} > 0.01$ เป็น จุลินทรีย์ที่ทนความร้อน (Heat resistance)

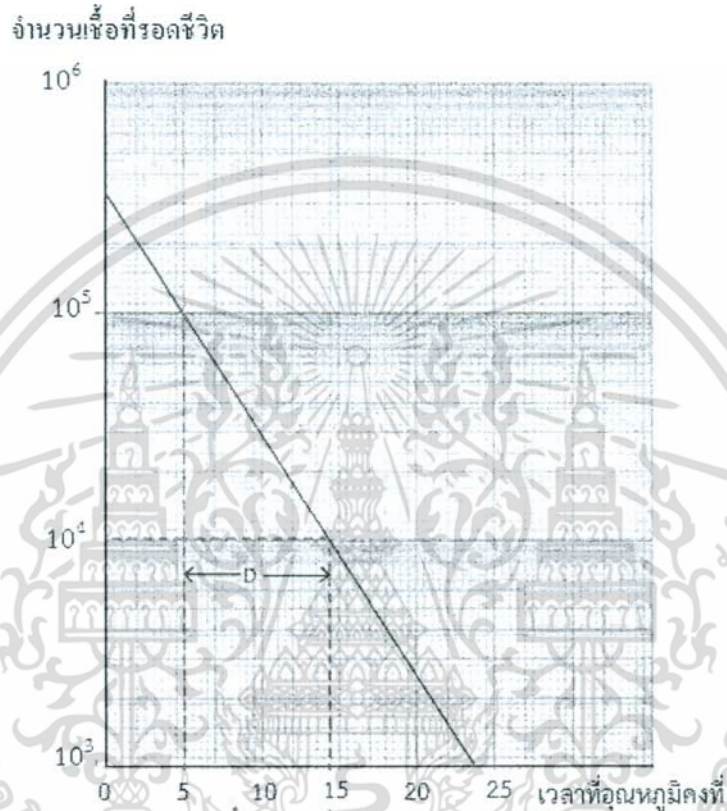
$D_{121.1} \leq 0.01$ เป็น จุลินทรีย์ที่ไม่ทนความร้อน (Not heat resistance)

$$\text{Log} \left(\frac{N}{N_0} \right) = \frac{t}{D} \quad (2.1)$$

$$D = \frac{t}{\text{Log}\left(\frac{N}{N_0}\right)} \quad (2.2)$$

โดย N_0 คือ ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น

N คือ ปริมาณจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่เมื่อให้ความร้อนผ่านไปเป็นเวลา t นาที



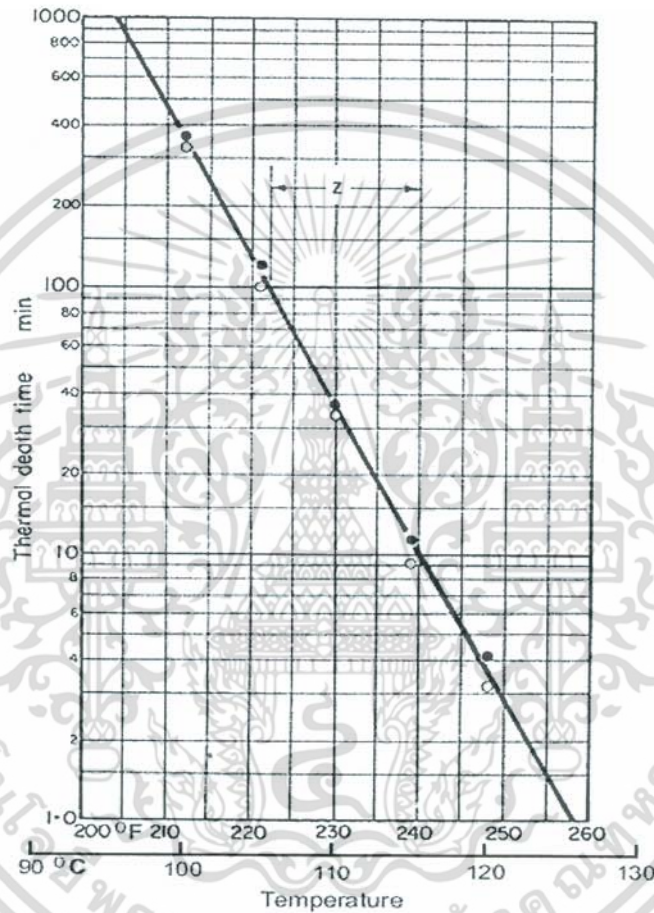
ภาพที่ 2.1 จำนวนเชื้อที่รอดชีวิต

2.2.2 ค่า Z

หมายถึง จำนวนอุณหภูมิเป็นองศาฟาเรนไฮต์ หรือองศาเซลเซียส ที่ทำให้ค่า D เปลี่ยนไป 1 Log cycle หรือ ร้อยละ 90 ค่า Z ได้จากการสร้างกราฟ ระหว่างค่า $\text{Log } D$ กับอุณหภูมิ (ภาพที่ 2.2) ค่า Z บ่งบอกถึงผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงค่า D หรือความไวต่อความร้อนของจุลินทรีย์ ถ้าจุลินทรีย์ใดมีค่า Z สูงแสดงว่าจุลินทรีย์นั้นไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

2.2.3 ค่า F

หมายถึง ระยะเวลาเป็นนาที ที่อุณหภูมิหนึ่งที่ใช้ในการฆ่าจุลินทรีย์จำนวนหนึ่งในอาหาร โดยปกติค่า F จะต้องระบุอุณหภูมิที่ใช้ฆ่าเชื้อ และค่า Z ของจุลินทรีย์ที่ใช้ศึกษา สัญลักษณ์ที่ใช้ คือ F^Z_T เช่น $F^{10}_{121.1}$ ซึ่งหมายถึง เวลาในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์จำนวนหนึ่งที่ 121.1 °ซ โดยจุลินทรีย์นั้นมีค่า Z เท่ากับ 10 °ซ และมักใช้สัญลักษณ์ F_0 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 และ 2.4



ภาพที่ 2.2 Thermal death time curve

ค่า F_0 มีความสำคัญในการคำนวณผลของการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิง (121.1 °ซ) เช่น การฆ่าเชื้ออาหารที่ 111.1 °ซ เท่ากับ 10 นาที จะมีระดับในการฆ่าเชื้อเท่ากับ การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิ 121.1 °ซ 1 นาที ในกรณีที่จุลินทรีย์มีค่า $z = 10$ °ซ

$$F = D_T(\text{Log } N_0 - \text{Log } N) \quad (2.3)$$

เมื่อ N_0 คือ ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น

N คือ ปริมาณจุลินทรีย์สุดท้ายที่เหลืออยู่

D_T คือ Decimal reducing time (นาที)

Lethal rate สามารถใช้คำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อ ในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อ เพื่อให้ได้ระดับการฆ่าเชื้อเท่ากับระดับที่ได้จากอุณหภูมิอ้างอิง (121.1 °ซ) โดยสมการ 2.4

$$\text{Lethal rate} = \frac{F_{121.1}^z}{F_T^z} = 10^{\frac{(T-121.1)}{z}} \quad (2.4)$$

ในทางปฏิบัติจะกำหนดว่าอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำจะต้องได้รับความร้อนอย่างต่ำ 3.0 นาที ($F_0 = 3$ นาที) สำหรับจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียแต่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ มักจะเป็นจุลินทรีย์กลุ่มทนความร้อนสูง และมีค่า D สูงกว่า *C. botulinum* 20 - 25 เท่า ดังนั้นผู้ผลิตอาหารส่วนใหญ่จะกำหนดอัตราการความเสี่ยงของการเสื่อมเสียที่ยอมรับได้ โดยในกลุ่มจุลินทรีย์กลุ่มที่ทนความร้อนสูงมาก (Thermophile) อาจกำหนดให้มีอัตราการเสื่อมเสียไม่มากกว่า 1 กระป๋องจาก 1,000 กระป๋อง (10^{-3}) นั่นคือ อาจใช้กระบวนการ 3D process

ในการคำนวณ ค่า F_0 ที่ต้องการในการทำลายเชื้อหรือสปอร์ในอาหารนั้น จะกำหนดจากข้อมูลความสามารถในการทนร้อนของจุลินทรีย์ (ค่า D หรือ ค่า Z) ซึ่งได้จากการทดลองกับเชื้อหรือสปอร์ที่เลี้ยงในสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ และอุณหภูมิของสารละลายจะเปลี่ยนแปลงทันทีโดยพิจารณาว่าต้องการลดปริมาณจุลินทรีย์ลงไปจำนวนเท่าใด ในความเป็นจริงสำหรับอาหารนั้นเมื่อได้รับความร้อนอุณหภูมิของอาหารจะไม่เปลี่ยนแปลงทันที จึงจำเป็นต้องหาอัตราการแทรกผ่านความร้อน (Heat penetration) ควบคุมไปด้วย เพื่อกำหนดระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ (Process time) สำหรับอาหารนั้น

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการฆ่าเชื้อโดยความร้อน

2.3.1 องค์ประกอบและธรรมชาติของอาหาร

องค์ประกอบและธรรมชาติของอาหาร โดยเฉพาะปริมาณกรด ความชื้น มีผลต่อการพิจารณาปริมาณความร้อนที่ต้องการในกระบวนการผลิต ปัจจัยเหล่านี้ ได้แก่

1) ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH)

ค่า pH ของอาหาร เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อชนิดของจุลินทรีย์ที่เจริญได้ และปริมาณความร้อนที่ต้องการ สปอร์ที่มีความสามารถทนต่อความร้อนสูง อาจรอดจากกระบวนการฆ่าเชื้อ แต่หากอาหารมีความเป็นกรด-ด่างต่ำ สปอร์เหล่านี้จะไม่สามารถเจริญ และทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค หรือทำให้อาหารเน่าเสีย

2) ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

ปริมาณน้ำในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ หรือเพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้ อาหารกระป๋องส่วนใหญ่มีค่า a_w สูงกว่า 0.98 ซึ่งจุลินทรีย์และสปอร์สามารถเจริญได้ดี ในอาหารที่มีค่า $a_w > 0.98$ เช่น *Staphylococcus aureus*

3) ความหนืด

ความหนืดมีผลต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อน และระดับของการผสมของอาหาร โดยอาหารที่มีความหนืดมากจะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ช้ากว่าอาหารที่มีความหนืดน้อย

4) ขนาดของชิ้นอาหาร

อาหารที่มีชิ้นขนาด และรูปร่างต่างกันจะทำให้ลักษณะการถ่ายโอนความร้อนได้แตกต่างกัน เช่น ชิ้นอาหารขนาดใหญ่จะมีการถ่ายโอนความร้อนช้ากว่าชิ้นอาหารขนาดเล็ก

5) วัตถุดิบเสีย

วัตถุดิบเสียและสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และสปอร์ เช่น เกลือพวกไนเตรท ใน ไตรท์ ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมัก ไส้กรอก ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนสูงมากในการฆ่าเชื้อ

6) น้ำหนักบรรจุ

หากบรรจุภัณฑ์มีน้ำหนักมากเกินไปทำให้อัตราการแทรกผ่านความร้อนลดลง

7) อัตราส่วนปริมาตรของแข็งต่อของเหลวที่บรรจุ

อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวที่บรรจุมีผลต่อปริมาณความร้อน ที่ต้องการในการฆ่าเชื้อเดียวกัน โดยการบรรจุของแข็งมากเกินไปจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนช้าลง

8) ช่องว่างเหนืออาหารในบรรจุภัณฑ์

หากช่องว่างมีไม่เพียงพออาจจะทำให้การหมุนเวียนของอาหารระหว่างการฆ่าเชื้อภายในบรรจุภัณฑ์ไม่ดี ส่งผลต่อการให้ความร้อนได้อย่างไม่ทั่วถึง

9) การเตรียมวัตถุดิบ

ในบางกรณีอาจมีการเตรียมวัตถุดิบด้วยการลวก การแช่น้ำหรือสารละลายเบี่ยงต้น ก่อนนำไปฆ่าเชื้อ ดังนั้นจึงสามารถลดปริมาณความร้อนในการฆ่าเชื้อลงได้

2.3.2 ลักษณะการถ่ายโอนความร้อนหรือการแทรกผ่านความร้อน

1) อาหารแข็งเป็นอาหารที่มีการถ่ายโอนความร้อนแบบการนำความร้อน ความร้อนจะถูกถ่ายโอนในทุกทิศทางแล้วผ่านโมเลกุลของอาหารที่เป็นของแข็งซึ่งไม่เคลื่อนที่

2) อาหารเหลว หรือมีอนุภาคอาหารขนาดเล็กในของเหลว (Liquid or particulate food) เช่น น้ำซूपและ โจ๊กข้าวสาลี (Jha และคณะ, 2012) เป็นต้น อาหารเมื่อได้รับความร้อน ส่วนที่เป็นของเหลวจะได้รับความร้อนก่อน ทำให้มีความหนาแน่นของเหลวน้อยลงจึงเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน ขณะที่ส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะมีความหนาแน่นมากกว่าและเคลื่อนที่ลงด้านล่าง ทำให้เกิดกระแสการพาแบบธรรมชาติ (Natural convection) และถ่ายโอนความร้อนเร็วกว่าแบบการนำ

3) อาหารที่มีชิ้นอาหารขนาดใหญ่ในของเหลว หรือ มีส่วนผสมของสารให้ความข้นหนืด จะให้ความร้อนจะมีการถ่ายเทความร้อนแบบผสม ซึ่งมีทั้งการนำและการพาความร้อน โดยในช่วงแรกจะเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบพา และเมื่อให้ความร้อนต่อไปการถ่ายเทความร้อนจะเปลี่ยนเป็นแบบการนำ

2.4 การคำนวณระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ (Process time) และ ค่า Lethality (F)

วิธีที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ

2.4.1 วิธีการทั่วไป (General method)

เป็นการหาค่า F (Lethality) ที่แท้จริงของกระบวนการฆ่าเชื้อที่สภาวะหนึ่ง ๆ โดยคำนวณค่า Lethal rate ดังสมการที่ 2.3 เมื่อสร้างกราฟระหว่าง Lethal rate กับเวลา ดังภาพที่ 2.3 สามารถคำนวณหาค่า F_0 (Lethality) จากพื้นที่ใต้กราฟ

2.4.2 วิธีการใช้สูตร (Formula method)

เนื่องจากวิธีการทั่วไปไม่สามารถคำนวณหรือประมาณเวลาในการฆ่าเชื้อได้โดยตรง จึงมีการพัฒนาการประมาณด้วยวิธีการใช้สูตรโดย Ball (1923) ซึ่งใช้อย่างกว้างขวาง (Heldman, 2011) วิธีการใช้สูตรใช้ในการหาระยะเวลาในการฆ่าเชื้อที่สภาวะของอุณหภูมิฆ่าเชื้อ และอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร โดยต้องอาศัยข้อมูลการแทรกผ่านความร้อน ซึ่งถูกพล็อตบนกระดาษกราฟ Semi-logarithmic กลับหัวจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอาหารไม่เป็นเส้นตรงในช่วงแรก คือช่วง Lag time จากนั้นความร้อนจะค่อยๆ แทรกผ่านเข้าไปภายในบรรจุภัณฑ์จนคงที่แล้ว การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจึงเป็นเส้นตรงดังภาพที่ 2.4 เช่นเดียวกับกระบวนการลดอุณหภูมิซึ่งอุณหภูมิอาหารไม่ลดลงทันทีตามอุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อแต่เมื่อเวลาผ่านไปการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอาหารจึงเป็นเส้นตรง ดังภาพที่ 2.5 (วารุณี และ คณะ, 2547)

U หรือ ค่า F ของกระบวนการ หาได้จากสมการที่ 2.5

$$U = F_0 \times 10^{\frac{(121.1-T)}{z}} \quad (2.5)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนด ($^{\circ}\text{C}$)

Z คือ 10°C สำหรับสปอร์ *C. botulinum*

F_0 คือ เวลา (นาที) ในการทำลาย *C. botulinum* ที่อุณหภูมิอ้างอิง 121.1°C
เวลาในการฆ่าเชื้อ (Process time) หาได้จากสมการที่ (2.6)

$$B = f_h (\text{Log } j_h \times I_0 - \text{Log } g) \quad (2.6)$$

เมื่อ B คือ เวลาในการฆ่าเชื้อ (นาที)

f_h คือ เวลา (นาที) ที่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนไป 90 % หรือ 1 Log cycle

j_h คือ lag period ของกราฟการให้ความร้อน

I_0 คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิฆ่าเชื้อกับอุณหภูมิเริ่มต้นอาหาร

g คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิฆ่าเชื้อกับอุณหภูมิอาหารที่จุดสิ้นสุดการให้ความร้อน

เวลาในการฆ่าเชื้อทั้งหมด (Total process time) คำนวณจากสมการที่ (2. 7) (Jha และคณะ, 2012)

$$B' = B + (0.58 \times CUT) \quad (2.7)$$

เมื่อ B' คือ เวลาในการฆ่าเชื้อทั้งหมด (นาที)

B คือ เวลาในการฆ่าเชื้อ (นาที)

CUT คือ เวลา (นาที) ที่อุณหภูมิภายในหม้อฆ่าเชื้อถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนด

Gopinath (2007) ศึกษาระดับความร้อนในกระบวนการฆ่าเชื้อหมึกผัดมาชะล่าบรรจุกระป๋องเหล็กชุบโครเมียม โดยใช้อุณหภูมิฆ่าเชื้อ 121 °ซ และทดลองเปลี่ยนแปลงค่า F_0 เป็น 7, 8 และ 9 นาที ใช้น้ำหนักตัวอย่างเท่ากัน คือ 160 กรัมต่อกระป๋อง ผลการศึกษาพบว่า เมื่อ F_0 เพิ่มขึ้นเป็น 7, 8 และ 9 นาที เวลาในการฆ่าเชื้อ (B) เพิ่มขึ้นเป็น 32.0 34.0 และ 36.0 นาที ตามลำดับ ผลของสี แสดงให้เห็นว่า เมื่อ F_0 เพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) ลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดเมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ความแดง (a^*) เพิ่มขึ้น เนื่องจากอาหารได้รับความร้อนเป็นเวลานานจึงเร่งอัตราการเกิดสีน้ำตาล ในขณะที่ค่าความเหลือง (b^*) ลดลง จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส พบว่า เมื่อเพิ่มค่า F_0 ค่าความแข็ง การเกาะกัน ความเหนียว ความเค็ง และความเคียวได้ลดลง แสดงถึงเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มลง เช่นเดียวกับ กิตติศักดิ์ (2010) ซึ่งได้ศึกษาผลของระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อน้ำพริกกะปิบรรจุกระป๋องโดยกำหนดค่า F_0 ที่แตกต่างกัน 3 ระดับคือ 5 10 และ 15 นาที พบว่า หลังจากการฆ่าเชื้อคุณภาพแตกต่างจากน้ำพริกกะปิบรรจุกระป๋องก่อนการฆ่าเชื้อทุกคุณลักษณะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha=0.05$) น้ำพริกกะปิจะมีค่า L^* ลดลงในขณะที่ค่า a^* และค่าสี b^* เพิ่มขึ้นเมื่อระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้น และยังพบว่าที่ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) ที่ 5 นาที น้ำพริกกะปิมีความแตกต่างด้านคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha=0.05$)

2.5 หม้อฆ่าเชื้อ (Retort)

คือ อุปกรณ์ที่สร้างจากโลหะหนาทนความร้อนมักประกอบขึ้นเป็นรูปทรงกระบอก มีฝาครอบปิดสนิทและมีการปิดล็อกแน่นหนา ส่วนใหญ่ห่อหุ้มด้วยฉนวน ใช้สำหรับบรรจุและส่งผ่านกระบวนการให้ความร้อนแก่อาหารในภาชนะที่ปิดสนิท โดยเฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ และสปอร์ของเชื้อจุลินทรีย์ (วารุณี และคณะ, 2547)

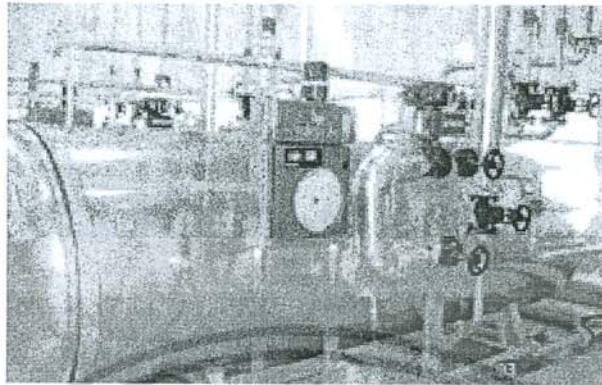
2.5.1 ประเภทของหม้อฆ่าเชื้อ

หากแบ่งตามลักษณะของตัวกลางการให้ความร้อน มีดังนี้ (วารุณี และคณะ, 2547)

1) หม้อฆ่าเชื้อแบบใช้ไอน้ำอิ่มตัว (Saturated steam retort)

เมื่อไอน้ำอิ่มตัวกลั่นตัวลงที่ด้านนอกจะมีการถ่ายเทความร้อนแฝง ไปยังอาหาร ถ้ามีอากาศอยู่ในหม้อฆ่าเชื้อ อากาศนี้จะรวมตัวเป็นฉนวนฟิล์มอยู่รอบๆ กระป๋องและขัดขวางการควบแน่นของไอน้ำอิ่มตัว ดังนั้นจึงต้องกำจัดอากาศภายในหม้อฆ่าเชื้อทั้งหมดออกไปก่อนโดยการแทนที่ด้วยไอน้ำ หลังจากการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนเป็นขั้นตอนของการหล่อเย็นให้กับบรรจุภัณฑ์ด้วยน้ำเย็น ไอน้ำจะควบแน่นอย่างรวดเร็ว ขณะที่อาหารซึ่งเย็นตัวลงอย่างช้าๆ แต่ความดันภายในบรรจุภัณฑ์ยังคงสูงอยู่ ความดันอากาศที่ยังคงสูงอยู่นี้จะป้องกันแรงดันที่ปิดผนึก เมื่ออากาศเย็นลงต่ำกว่า 100 °ซ ความดัน

อากาศจะลดลง และเป็นลงจนกระทั่งอุณหภูมิประมาณ 40°C ที่อุณหภูมินี้บรรจุก๊าซจะแห้งเองเพื่อป้องกันสนิมและฉลากจะติดแน่นยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2.6 หม้อฆ่าเชื้อแบบใช้ไอน้ำอ้อมตัว

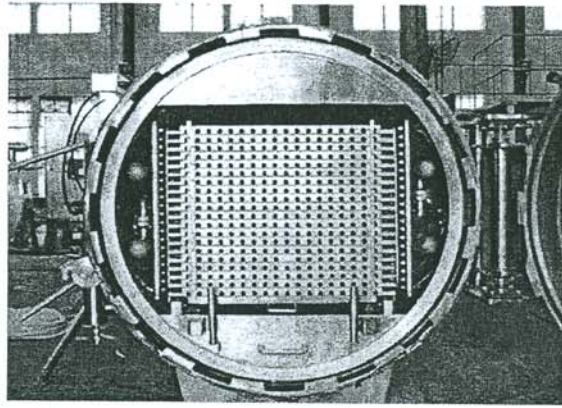
ที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com> (2014)

2) หม้อฆ่าเชื้อแบบใช้ไอน้ำและอากาศร้อนผสมกัน (Steam-air retort)

เป็นการใช้ไอน้ำในการฆ่าเชื้อในขณะที่มีการอัดอากาศ เพื่อต่อต้านความดันที่เกิดขึ้นภายในบรรจุก๊าซที่อุณหภูมิฆ่าเชื่อนั้นๆ ทำให้สามารถใช้ในการฆ่าเชื้ออาหารในบรรจุก๊าซหลายชนิดมากกว่าเครื่องที่ใช้ไอน้ำเพียงอย่างเดียว การควบคุมอัตราส่วนของไอน้ำต่ออากาศเป็นจุดควบคุมสำคัญเพื่อให้ทั้งอุณหภูมิ และความดันเป็นไปตามข้อกำหนดเกี่ยวกับการฆ่าเชื้อ ลักษณะที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ การที่ต้องออกแบบให้มีพัดลมหรือกลไกที่ทำให้ไอน้ำและอากาศผสมกันอย่างสม่ำเสมอและกระจายตัวอย่างทั่วถึง

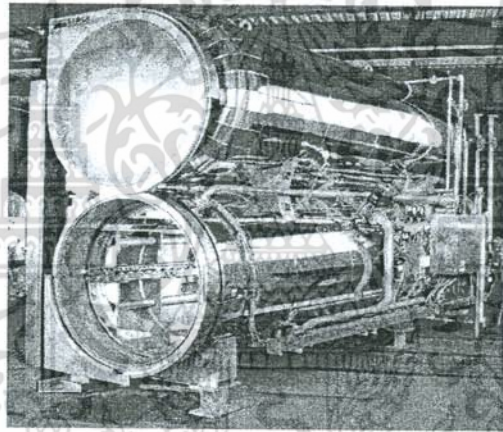
3) หม้อฆ่าเชื้อแบบให้น้ำร้อนท่วมบรรจุก๊าซ (Full water immersion retort)

หม้อฆ่าเชื้อประเภทนี้ ใช้น้ำร้อนเป็นตัวกลางให้ความร้อน ซึ่งน้ำร้อนจะท่วมบรรจุก๊าซตลอดเวลาในการฆ่าเชื้อ ดังนั้นจึงสามารถใช้ได้ทั้งการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรซ์ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 100°C และแบบสเตอริไรซ์ที่มีอุณหภูมิสูง เช่น ที่อุณหภูมิ 125°C โดยการอัดความดันเข้าไปในหม้อฆ่าเชื้อ อาจใช้ไอน้ำอ้อมตัว (Saturated steam) หรือใช้อากาศแต่ส่วนใหญ่นิยมใช้อากาศในการควบคุมความดันภายในหม้อฆ่าเชื้อ ส่วนวิธีการทำน้ำร้อนอาจใช้ไอน้ำฉีดเข้าผสมกับน้ำโดยตรง หรือใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการปั้มน้ำผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหมุนวนในหม้อฆ่าเชื้อตลอดเวลา



ภาพที่ 2.7 หม้อฆ่าเชื้อแบบใช้ไอน้ำและอากาศร้อนผสมกัน

ที่มา : <http://www.tradeindia.com> (2014)



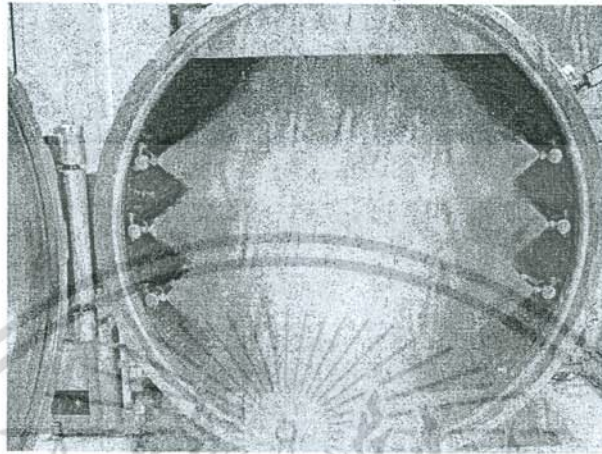
ภาพที่ 2.8 หม้อฆ่าเชื้อแบบให้น้ำร้อนท่วมบรรจุภัณฑ์

ที่มา : <http://www.stockamerica.com> (2010)

4) หม้อฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อนสเปรย์ (Hot water spray retort)

หม้อฆ่าเชื้อประเภทนี้ ใช้น้ำร้อนเป็นตัวกลางให้ความร้อน และมีการหมุนเวียนน้ำด้วยเครื่องปั๊ม น้ำ การทำน้ำร้อนมีทั้งระบบพ่นไอน้ำผสมกับน้ำโดยตรง แต่โดยทั่วไปมักใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งอยู่ภายนอกหม้อฆ่าเชื้อและควบคุมความดันด้วยอากาศอัด ซึ่งควบคุมได้ง่ายกว่าเครื่องฆ่าเชื้อแบบน้ำท่วม อุณหภูมิน้ำจะค่อยๆ สูงขึ้นจากการปั๊ม น้ำ หมุนเวียนผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้สามารถลดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลงอย่างฉับพลันได้ อย่างไรก็ตามหาก

ออกแบบไม่ดีพออาจก่อให้เกิดปัญหาการกระจายตัวของอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอขึ้นได้ บรรจุภัณฑ์ที่นำมาใช้กับหม้อฆ่าเชื้อประเภทนี้ คือ บรรจุภัณฑ์ประเภทรูปทรงยี่ดหุ่ย่น เช่น รีทอร์ทแพคเกจ เพราะเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีความแข็งแรง สามารถทนความร้อน และความดันสูงได้



ภาพที่ 2.9 หม้อฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อนสเปรย์
ที่มา : <http://www.stockamerica.com> (2010)

2.5.2 ขั้นตอนการทำงานภายในหม้อฆ่าเชื้อ

โดยการทำงานภายในหม้อฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงภายใต้ความดันไอน้ำ ประกอบด้วย

1) การไล่อากาศ (Venting)

เป็นขั้นตอนที่ช่วยให้อุณหภูมิทุกตำแหน่งภายในหม้อฆ่าเชื้อเท่ากัน เมื่อเปิดไอน้ำ อิมตัวเข้าภายในหม้อฆ่าเชื้อ มีอากาศอยู่รอบๆ บรรจุภัณฑ์ทำให้ความร้อนกระจายไม่สม่ำเสมอ เพราะความร้อนจากไอน้ำจะถ่ายเทความร้อนที่สะสมอยู่ให้แก่อากาศที่อยู่ในลักษณะเป็นฉนวนห่อหุ้มอาหารภายในบรรจุภัณฑ์ เมื่อไอน้ำถ่ายเทความร้อนแล้วกลั่นตัวเป็นหยดน้ำไหลลงส่วนล่างของหม้อฆ่าเชื้อ ดังนั้นในช่วงการไล่อากาศช่วงแรก เมื่อเริ่มเปิดไอน้ำเข้าหม้อฆ่าเชื้อจะมีไอน้ำกลั่นตัวปริมาณมากไหลออกทางท่อระบายน้ำส่วนล่างของหม้อฆ่าเชื้อ และอาจมีน้ำกลั่นตัวของไอน้ำที่ตกค้างอยู่ในท่อไอน้ำไหลรวมออกมา จึงต้องเปิดทางระบายน้ำไว้จนกว่าจะแน่ใจว่าน้ำกลั่นตัวถูกระบายออกจากหม้อฆ่าเชื้อได้ก่อนที่จะปิดท่อทางระบายน้ำ เหลือไว้แต่ช่องรูระบายไอน้ำที่บริเวณส่วนล่างของหม้อฆ่าเชื้อหรือมีการติดตั้งอุปกรณ์ดักน้ำกลั่นตัวจากไอน้ำไว้ที่ท่อระบายน้ำเพื่อระบายน้ำกลั่นตัวของไอน้ำออกจากหม้อฆ่าเชื้อได้โดยอัตโนมัติ

2) ช่วงเวลาที่อุณหภูมิในหม้อฆ่าเชื้อถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนด (Come-up time)

คือ ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มเปิด ให้น้ำเข้าหม้อฆ่าเชื้อผ่านขั้นตอนการไล่อากาศจนถึงอุณหภูมิภายในหม้อฆ่าเชื้อขึ้นถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนด ในทางปฏิบัติเมื่อเปิด ให้น้ำเข้าหม้อฆ่าเชื้อเพื่อไล่ อากาศออกจากหม้อฆ่าเชื้อจะมีน้ำกลั่นตัว ซึ่งต้องระบายออกให้หมดก่อนจึงจะปิดท่อทางระบายน้ำ เป็นผลทำให้อุณหภูมิในหม้อฆ่าเชื้อสูงขึ้นจนถึงเวลาและถึงอุณหภูมิการไล่อากาศที่เป็นข้อกำหนดที่ตั้งไว้จึงปิดวาล์วท่อทางระบายอากาศทั้งหมด อุณหภูมิภายในหม้อฆ่าเชื้อจะสูงขึ้นรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ ฆ่าเชื้อที่กำหนดจึงเริ่มเข้าช่วงเวลาที่ฆ่าเชื้อ

3) ช่วงเวลาฆ่าเชื้อ (Cooking time)

เมื่ออุณหภูมิในหม้อฆ่าเชื้อสูงขึ้นถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่กำหนดและคงที่สม่ำเสมอ โดยการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทในแทงก์แก้วของหม้อฆ่าเชื้อ จึงเริ่มทำการจับเวลาฆ่าเชื้อ ในการกำหนดเวลาฆ่าเชื้อที่เหมาะสมสำหรับการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องขึ้นกับการทนความร้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร คุณสมบัติลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารและการศึกษา อัตราการแทรกผ่านความร้อนเข้าไปสู่ใจกลางอาหารซึ่งเป็นจุดร้อนช้า โดยคำนึงถึงการรักษาคุณภาพ คุณลักษณะที่ดีและคุณค่าทางอาหารให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

4) ช่วงการลดอุณหภูมิ (Cooling)

เมื่อครบกำหนดเวลาฆ่าเชื้อแล้วผลิตภัณฑ์อาหารต้องทำให้เย็นลง โดยเร็วด้วยน้ำ สะอาดที่มีคลอรีนอิสระ 0.5-1 ส่วนในล้านส่วน การทำให้อาหารเย็นลงเพื่อหยุดยั้งการเสื่อมคุณภาพ ของผลิตภัณฑ์เนื่องจากความร้อนสะสมและต้องทำให้อาหารกระป๋องเย็นลงเพียงพอที่ยับยั้งการเจริญ ของจุลินทรีย์ประเภททนความร้อนที่อาจทนได้ที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เป็นการฆ่า เชื้อเพื่อการค้า ดังนั้นอุณหภูมิของอาหารต้องทำให้ลดต่ำลงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 45 °ซ

2.6 คุณสมบัติทางกายภาพ

2.6.1 สี

สี เป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณภาพ และการยอมรับของผู้บริโภค แสดงถึงความสดใหม่ หรือบ่งบอกการเสื่อมเสียของอาหาร การเปลี่ยนแปลงของสีในอาหารอาจเกิดจากปัจจัย หลายประการ เช่น ชนิดและความเข้มข้นของรงควัตถุ กระบวนการแปรรูปอาหาร การเก็บรักษาอาหาร ความร้อน เอนไซม์ การเปลี่ยนแปลง ค่า pH สารเคมี ออกซิเจน และแสง เป็นต้น นอกจากนี้ยังเกิดจาก ปฏิกิริยาต่างๆ ระหว่างองค์ประกอบของอาหารเอง เช่น ปฏิกิริยามเมลลาร์ด ด้วยเหตุนี้จึงมีความ จำเป็นต้องรักษา และควบคุมให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีสีสม่ำเสมอ ด้วยการวัดและประเมินสีในขั้นตอน

ต่างๆ ได้แก่ การรับวัตถุดิบ การคัดเลือก ระหว่างการแปรรูป ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป และระหว่างการเก็บรักษา (พิมพ์เพ็ญ และคณะ, 2556)

Sreenath และคณะ (2009) ทำการฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์ปลาลัง (Indian mackerel) ในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง ตรวจสอบคุณภาพที่เปลี่ยนไประหว่างการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 115, 121 และ 130 °ซ โดยกำหนดค่า F_0 ประมาณ 8 นาที พบว่า อุณหภูมิฆ่าเชื้อที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าความสว่างของเนื้อปลา (L^*) เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อสั้นทำให้การเกิดปฏิกิริยา เมลลาร์ดบนเนื้อปลาลดลง ขณะที่ค่าความแดง (a^*) ลดลง และค่าความเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากการเสียสภาพทางธรรมชาติของไมโอโกลบิน (Myoglobin) และปฏิกิริยาออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ที่ใช้อุณหภูมิฆ่าเชื้อที่ 130 °ซ มีเนื้อสัมผัส สี และคะแนนรสชาติสูงสุดเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 115 และ 121 °ซ จึงสรุปได้ว่ากระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงช่วยลดเวลาในการให้ความร้อนแก่อาหาร ทำให้อาหารมีเนื้อสัมผัส สี และรสชาติที่ดีเมื่อเทียบกับอุณหภูมิต่ำ

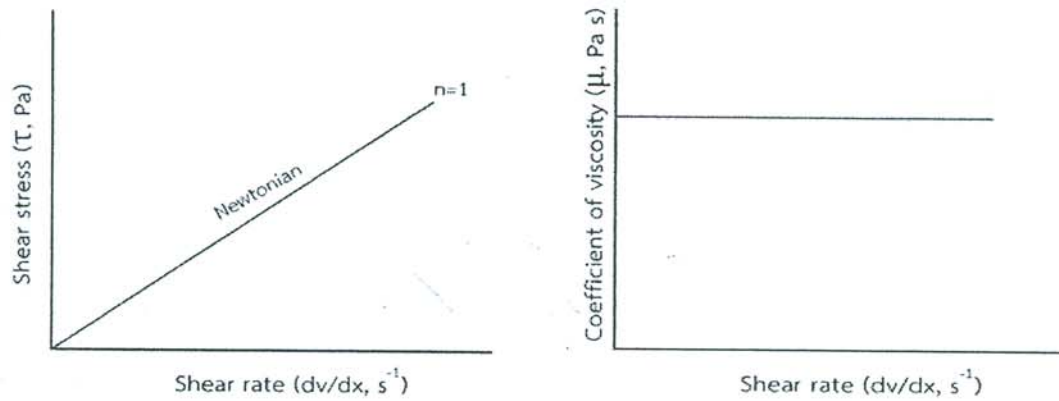
Jang และ Lee (2012) ได้ทำการศึกษาคุณภาพของโจ๊กไก่ผสมโสมบรรจุด้วยพลาสติกทนความร้อนที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °ซ นาน 20 นาที F_0 เท่ากับ 4 นาที หลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °ซ เป็นเวลา 28 สัปดาห์ พบว่าความสว่าง (L^*) และความเหลือง (b^*) มีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงสัปดาห์ที่ 20 หลังจากนั้นค่าดังกล่าวไม่มีการเปลี่ยนแปลง

2.6.2 ความหนืด

ความหนืด เป็นคุณสมบัติหนึ่งของการไหลของของเหลว แสดงถึงความต้านทานการไหลของของเหลว ซึ่งเกิดจากความสัมพันธ์ของแรงเฉือนและอัตราเฉือน สามารถจำแนกได้ 2 ชนิด (Heldman, 2011) คือ

1) ของไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian fluid)

ของไหลที่มีกราฟความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ระหว่างความเค้นเฉือน (Shear stress) กับอัตราเฉือน (Shear rate) เส้นกราฟเริ่มต้นที่จุดกำเนิด (0,0) ดังภาพที่ 2.12ก ความหนืดของของไหลประเภทนิวโตเนียน จะคงที่ไม่ขึ้นกับอัตราเฉือน (ภาพที่ 2.12ข) ตัวอย่างของไหลประเภทนี้ ได้แก่ ของเหลวที่เป็นเนื้อเดียวและไม่มีอนุภาคแขวนลอย เช่น น้ำ น้ำมันพืช น้ำส้มสายชู น้ำเกลือ น้ำเชื่อม และนมขาดมันเนย เป็นต้น



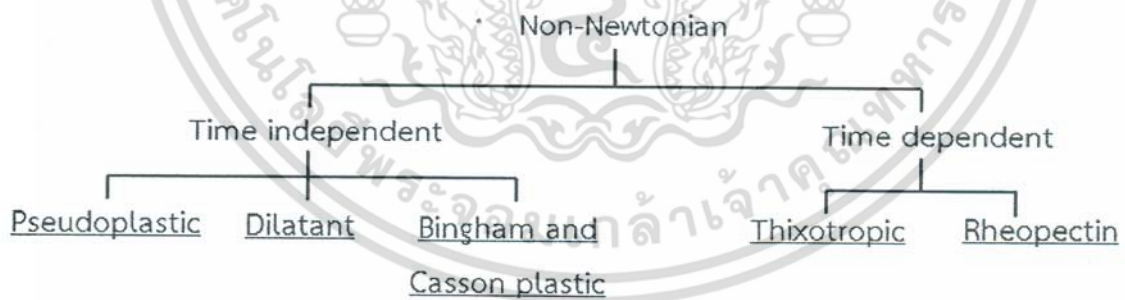
ก. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนกับอัตราเฉือน ข. ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือน

ภาพที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ของของไหลแบบนิวโตเนียน

ที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0914/newtonian-fluid> (2014)

2) ของไหลแบบนอนนิวโตเนียน (Non-Newtonian fluid)

แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ขึ้นกับเวลา (Time dependent) และไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent) ทั้งยังสามารถแบ่งเป็นประเภทย่อยได้อีก ดังภาพที่ 2.11 ตัวอย่างของของไหลที่เป็นของไหลแบบนอนนิวโตเนียน ได้แก่ สารละลายเข้มข้นของโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น กัม สตาร์ช และ โปรริน



ภาพที่ 2.11 การแบ่งชนิดของไหลแบบนอนนิวโตเนียน

ของไหลหลายชนิด เมื่อนำมาทำการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนกับอัตราเฉือนในรูป Log แล้วได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง สมการที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์เช่นนี้คือสมการยกกำลัง ซึ่งมีรูปสมการดังนี้

$$\tau = k_1 \left(\frac{dv}{dy} \right)^n \quad (2.8)$$

เมื่อ τ คือ แรงเฉือน (Pa)

k_1 คือ ค่าดัชนีความหนืด (Pa·sⁿ)

dv/dy คือ อัตราการเฉือน (s⁻¹)

n คือ ดัชนียกกำลัง (Power law index), $n = 1$ แสดงถึงของไหลแบบนิวโตเนียน, $n > 1$ แสดงถึงของไหลแบบนอนนิวโตเนียน ชนิด Dilatant, $n < 1$ แสดงถึงของไหลแบบนอนนิวโตเนียน ชนิด Pseudoplastic

ความหนืด (μ , cPs) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.9

$$\mu = k_1 \left(\frac{dv}{dy} \right)^{n-1} \quad (2.9)$$

Manohar (1997) ศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีของ โจ๊กข้าวสาลี ซึ่งเตรียมจากปลายข้าวสาลี (dalia) พบว่าโจ๊กข้าวสาลีมีพฤติกรรมการไหลเป็นแบบซูโดพลาสติก ทุกอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษา และค่าของตัวแปรดัชนียกกำลัง (n) อยู่ในช่วง 0.44 ถึง 0.57 นอกจากนี้ ค่าดัชนีความหนืด (k_1) อยู่ในช่วง 1.699-12.016 Pa·sⁿ ซึ่งพบว่ามีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อ อุณหภูมิของโจ๊กข้าวสาลี และขนาดของเมล็ดข้าวสาลีมีค่าลดลง

Rao และคณะ (1997) กล่าวว่า แป้งเป็นส่วนประกอบของอาหารที่เป็นแหล่งของพลังงาน และเป็นวัตถุดิบที่ช่วยเพิ่มความเหนียวแก่อาหาร แต่หากใช้ที่ความเข้มข้นสูงเกินไป อุณหภูมิของแป้งจะมีการพองตัวลดลง อีกทั้งเมื่อได้รับความร้อนสูง อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ เช่น ความหนืด และอัตราการไหล

Jang และ Lee (2012) ได้ทำการศึกษาคุณภาพของ โจ๊กไก่ผสม โสมบรจุด้วยพลาสติกทนความร้อน ที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C F₀ เท่ากับ 4 นาที นาน 20 นาที หลังจากการ

เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °ซ เป็นเวลา 28 สัปดาห์ พบว่า สัปดาห์ที่ 4 ถึงสัปดาห์ที่ 16 ความหนืดของ โจ๊ก เพิ่มขึ้นจาก 775 ถึง 2025 เซนติพอยส์ แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 16 ถึงสัปดาห์ที่ 28 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ความหนืด

2.6.3 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture)

ลักษณะเนื้อสัมผัส เกี่ยวข้องกับความต้านทานแรงดันหรือแรงกด สัมพันธ์เกี่ยวข้องกับ วัตถุประสงค์ที่เป็นของแข็งและความต้านทานดังกล่าว อาจหมายถึง แรงกด (Compression) หรือลักษณะของ แรงเฉือน (Shear) ลักษณะของเนื้อสัมผัสมีบทบาทที่สำคัญในการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ และเป็น ดัชนีในการคาดคะเนถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการผลิต การเก็บรักษา การขนส่ง และการกระจายสินค้า เป็นต้น ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส เช่น ค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความเปราะ (Brittleness) ค่าความเคี้ยวได้ (Chewiness) และค่าการเกาะกัน (Cohesiveness) เป็นต้น

Ghannam (1998) ศึกษาเนื้อสัมผัสจากกราฟการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Force deformation curve) ของถั่วแดงในระหว่างการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 20 30 40 และ 60 °ซ ซึ่งทำการวัดเนื้อสัมผัส แสดงผล ในเทอมของค่าความแข็ง โดยแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมีลักษณะคล้ายกัน แม้มีอุณหภูมิใน การแช่น้ำที่แตกต่างกัน นั่นคือ สภาวะเริ่มต้นมีการดูดน้ำมาก ทำให้ค่าความแข็งเปลี่ยนแปลงตามเวลา และเมื่อเวลานานขึ้น กระบวนการดูดน้ำเริ่มคงที่ ส่งผลให้ค่าความแข็งไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 34 ± 2 นิวตัน ทั้งนี้เนื่องมาจากขนาดรูพรุนภายในเมล็ดจำกัดความสามารถในการดูดน้ำ

2.7 คุณสมบัติเชิงความร้อน

สมบัติเชิงความร้อน คือ การตอบสนองของวัสดุต่อการให้ความร้อน เช่น การดูดซับพลังงาน ของของแข็งในรูปของความร้อนด้วยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและขนาด ซึ่งพลังงานจะถ่ายเทไปยัง บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ถ้าวัดสองบริเวณมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เรียกว่า การถ่ายเทความร้อน โดยที่ค่าคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุ (พิมพ์เพ็ญ และคณะ, 2556) ได้แก่

2.7.1 ความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity ; c_p)

หมายถึง ปริมาณความร้อน (J) ที่ทำให้วัสดุมวล 1 กิโลกรัม มีอุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 องศา เซลเซียส หน่วยพื้นฐานในระบบ SI คือ $\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$ และเนื่องจากน้ำเป็นส่วนประกอบหลักของอาหาร ดังนั้นค่าความร้อนจำเพาะของอาหารจึงขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ หรือความชื้นของอาหาร อาหารที่มีความชื้นสูงจะมีค่าความร้อนจำเพาะใกล้เคียงกับน้ำ เช่น ความร้อนจำเพาะของน้ำนม

2.7.2 การนำความร้อน (Thermal conductivity ; k)

แสดงถึงอัตราเร็วของการส่งผ่านพลังงานความร้อน โดยการนำความร้อนของสาร ซึ่งเป็น การส่งผ่านความร้อนภายในโมเลกุลของสาร จากโมเลกุลที่มีระดับพลังงานสูงกว่า ไปยังระดับที่ต่ำกว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการนำความร้อนของอาหาร เช่น ปริมาณน้ำในอาหาร ส่วนประกอบของอาหารที่ไม่ใช่ น้ำ (ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และใยอาหาร) สถานะของน้ำในอาหาร ความพรุน

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่าความจุความร้อนและการนำความร้อน

ชนิด	ปริมาณน้ำ (%ฐานเปียก)	อุณหภูมิ (°C)	ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg °C)	ค่าการนำความร้อน (W/m ² °C)	อ้างอิง
ถั่วเขียว	9.9 - 18.3	0-50	1.63-2.45	0.092 - 0.141	Ravikanth และคณะ (2012)
ถั่วแดง (ลวก)	11.6 - 62.0	20	3.147	0.27	Legrand และคณะ (2007)
แป้งจากถั่วดำ	3.81 - 28.3	23.7	1.092 - 1.573	0.109 - 0.213	Mahapatra และคณะ (2013)
แป้งจากถั่วดำ	25	100	3.059	0.369	Bornhorst และคณะ (2014)

2.8 รีทอร์ทแพคเกจจิ้ง (Retort pouch)

บรรจุภัณฑ์เพื่อการฆ่าเชื้อประเภทรูปทรงยืดหยุ่น ทำจากฟิล์มหลายชนิดมาเชื่อมประสาน ขึ้นรูปเป็นถุง (pouch) เป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถปิดผนึกสนิท มีความแข็งแรง สามารถทนร้อน และความดันสูงได้ ใช้บรรจุอาหารที่ต้องการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนได้เหมือนกับกระป๋อง แต่โดยทั่วไปจะทำการฆ่าเชื้อในหม้อฆ่าเชื้อชนิดใช้น้ำร้อนสเปรย์ อาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อสามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ เช่นเดียวกับอาหารกระป๋อง วัสดุที่ใช้ทำรีทอร์ทแพคเกจจิ้ง โดยทั่วไปประกอบด้วย พลาสติก 2-4 ชนิด เชื่อมประสานกัน ได้แก่

PE = Polyester

AL = Aluminium

CPP = Cast Polypropylene

ON = Nylon

ON/CPP มีลักษณะใส จึงนิยมใช้ทำถุงที่ต้องการแสดงให้ผู้บริโภคเห็นผลิตภัณฑ์ด้านใน ขณะที่ PE/AL/CPP และ PE/ON/AL/CPP เป็นถุงทึบ แต่เนื่องจาก PE/ON/AL/CPP มีความแข็งแรงมากกว่า PE/AL/CPP จึงนิยมนำมาใช้ทำถุงชนิด Standing pouch และถุงบรรจุขนาดใหญ่ส่วนถุงที่มี

โครงสร้างเป็น PE/Al/PP เป็นฉนวนที่นิยมใช้มากที่สุด แต่มีข้อจำกัด คือเป็นฉนวนที่บวมไม่สามารถมองเห็นผลิตภัณฑ์ภายในถุงได้

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของรีทอร์ทแพคเกจเมื่อเปรียบเทียบกับกระป๋องโลหะและแก้ว

ข้อดี	ข้อเสีย
<p>1. รีทอร์ทแพคเกจมีความหนาแน่นน้อยกว่า จึงมีการถ่ายเทความร้อนได้เร็วกว่ากระป๋องหรือแก้ว ดังนั้นจึงช่วยลดเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ทำให้ประหยัดพลังงาน และลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ</p> <p>2. เปิดได้ง่ายจึงไม่ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยเปิดและไม่มีอันตรายจากการเปิดเพื่อบริโภค และรีทอร์ทแพคเกจบางชนิดมีชิปติดอยู่เพื่อช่วยให้ความสะดวกในการปิดและเปิดใหม่</p> <p>3. สามารถพิมพ์ลวดลายบนภาชนะได้โดยตรงและสวยงามกว่า ทำให้มีความคงทนและดึงดูดต่อผู้บริโภคมากกว่า</p> <p>4. ช่วยลดต้นทุนการขนส่งเนื่องจากรีทอร์ทแพคเกจมีลักษณะแบนบาง และน้ำหนักเบาจึงสามารถขนส่งได้มากขึ้นในแต่ละครั้ง</p>	<p>1. การผลิตต้องควบคุมอย่างละเอียด เพราะการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนในถุงฆ่าเชื้อค่อนข้างยุ่งยาก เช่น ต้องควบคุมความดันไม่ให้มีความแตกต่างกันระหว่างภายในถุงและภายนอกถุง หากไม่ควบคุมอาจทำให้รอยปิดผนึกแตกและแยกจากกัน</p> <p>2. ต้นทุนในการผลิตสูง เนื่องจากตัวภาชนะมีราคาแพง มีการลงทุนในเรื่องของเครื่องจักรสูง</p> <p>3. การบรรจุทำได้ช้าและยุ่งยากกว่าการใช้กระป๋อง</p>

สาริตา และคณะ (2006) ทำการศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หมอยอบบรรจุรีทอร์ทแพคเกจโดยการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน 4 สภาวะ จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับหมอยอบสุกควบคุม พบว่าที่สภาวะการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °ซ เป็นเวลา 10 นาที คุณลักษณะทางกายภาพคือค่าสีและเนื้อสัมผัสมีค่าใกล้เคียงกับหมอยอบสุกควบคุมและยังสามารถยืดอายุการเก็บหมอยอบได้ถึง 75 วันที่อุณหภูมิ 30 °ซ โดยผู้บริโภคยังให้การยอมรับเช่นเดียวกับคนูป (2549) ได้ทำการศึกษาเพื่อยืดอายุการเก็บของห่อหมกปลาช่อนโดยบรรจุในรีทอร์ทแพคเกจ ขนาด 110x160 มิลลิเมตร ขนาดบรรจุ 100 กรัม และฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 °ซ เป็นเวลา 45 นาที ค่า F_0 เท่ากับ 8.711 นาทีพบว่าค่าสี ค่า a_w และ ค่า pH มีค่าใกล้เคียงกับห่อหมกปลาช่อนต้นตำรับ และยังสามารถเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รักษาที่อุณหภูมิห้องได้อย่างน้อย 6 สัปดาห์ โดยคุณค่าทางด้านต่างๆไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลของอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่มีต่อคุณลักษณะของเนื้อกระเข้ตุ๋นบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ โดยพรพรรณ (2550) ทำการเปรียบเทียบระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน พบว่าที่ 118 °ซ ค่า F เท่ากับ 7 นาที เป็นค่าที่ได้รับการยอมรับสูงสุดในด้านความเหนียว ความฉ่ำน้ำ และค่าสี ซึ่งแตกต่างกับเนื้อกระเข้ตุ๋นต้นแบบอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha=0.05$)

Mohan และคณะ (2008) ศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนของกุ้งขาวอินเดีย (*Fenneropen aesusindicus*) บรรจุรีทอร์ทเพาซ์ เปรียบเทียบกับการใช้กระป๋องอลูมิเนียม โดยกุ้งน้ำหนัก 197 กรัมถูกบรรจุในกระป๋องขนาด 301x206 และในรีทอร์ทเพาซ์ขนาด 160x200 มิลลิ เมตร ใช้อุณหภูมิ ฆ่าเชื้อ 121 °ซ F_0 ประมาณ 8 นาที พบว่าที่น้ำหนักกุ้งเท่ากันการใช้รีทอร์ทเพาซ์ใช้เวลาในการฆ่าเชื้อ น้อยกว่า เนื่องจากรีทอร์ทเพาซ์บางกว่าและมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากกว่า และพบว่า ค่าความแข็ง (Hardness) ความเคี้ยวได้ (Chewiness) และความเค็ง (Springiness) ของกุ้งในรีทอร์ทเพาซ์สูงกว่าในกระป๋อง แต่การเกาะกัน (Cohesiveness) และ ความยืดหยุ่น (Resilience) ในรีทอร์ทเพาซ์และกระป๋อง ไม่แตกต่างกัน และจากการประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่ากุ้งบรรจุรีทอร์ทเพาซ์เป็นที่ยอมรับและมีคุณภาพที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับการบรรจุกระป๋อง

Byun และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาการใช้สารอินทรีย์เคลือบในรีทอร์ทเพาซ์ ในชั้น polyethylene terephthalate (PET) แทนการใช้สารอนินทรีย์ซึ่งที่นิยมใช้ คือ อลูมิเนียมเพื่อลดต้นทุนการผลิต ในผลิตภัณฑ์ข้าวปรุงสุกพร้อมรับประทาน ผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติทางกายภาพ คุณภาพ และระยะเวลาการเก็บรักษา แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงสามารถใช้สารอินทรีย์ แทนสารอนินทรีย์ที่ใช้เคลือบได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุ

3.1.1.1 วัตถุดิบ ได้แก่ ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วตาคำ ลูกเดือย ข้าวกล้องหอมมะลิ น้ำซูปผัก ซีอิ้วขาวเกลือ พริกไทย ซึ่งได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัทเฮลท์ดีไซน์ จำกัด เก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°C ก่อนนำมาใช้ในการทดลอง

3.1.1.2 รีทอร์ทเพาซ์ (PET12/ALU9/NY15/ CPP70) ชนิดสูงตั้งได้ ขนาด 130 x 170 x 30 มิลลิเมตร ความหนาชั้นสูง 118 ± 5 ไมครอน

3.1.2 อุปกรณ์

3.1.2.1 อุปกรณ์สำหรับผลิตโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือย ได้แก่

- 1) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 2) ถ้วยตวงของเหลว ซ้อนตวง และกระบอกลดตวง
- 3) อุปกรณ์เครื่องครัว ได้แก่ หม้อสแตนเลส กระจกอบ ท็อปพี
- 4) เทอร์โมมิเตอร์
- 5) หม้อต้มอัดความดัน
- 6) เครื่องปิดผนึกสุญญากาศ
- 7) เต้าแก๊ส

3.1.2.2 อุปกรณ์สำหรับศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อเชิงการค้า ได้แก่

- 1) หม้อฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อนสเปรย์
- 2) ชุดอุปกรณ์วัดระดับการฆ่าเชื้อ (F_0)
- 3) เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K
- 4) Data logger

3.1.2.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่

- 1) เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) ยี่ห้อ Juki Instrument รุ่น Model JC801
- 2) เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer) ยี่ห้อ Brookfield Engineering Laboratories รุ่น LVDV-II + Pro

3) เครื่องวัดค่าความแข็ง (Texture analyzer) ยี่ห้อ Stable Micro system Ltd รุ่น
TA.XT plus texture analyzer

3.1.2.4 อุปกรณ์วัดข้อมูลทางสถิติ

ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์ และ โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์ทางสถิติ

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

3.2.1 การเตรียมโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือย

3.2.1.1 การเตรียมถั่ว 5 ชนิดและลูกเดือย

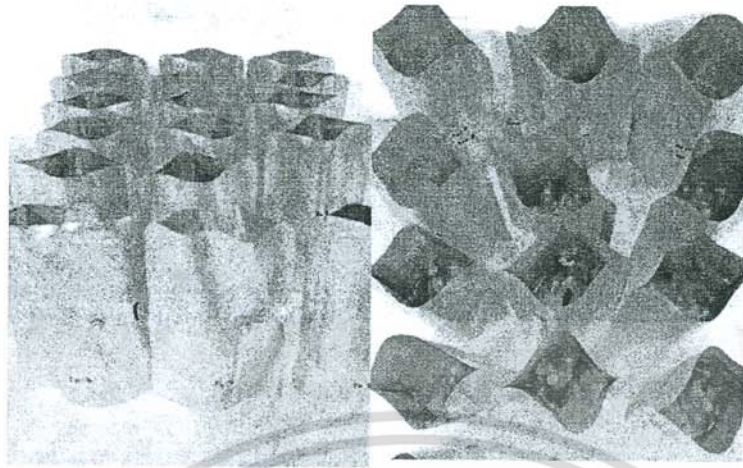
หลังจากล้างวัตถุดิบแต่ละชนิด ประกอบด้วย ถั่วดำ ถั่วแดง ถั่วดำดำ ลูกเดือย ถั่วเขียวและถั่วเหลืองนำมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 2 3 5 6 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ (ระยะเวลาการแช่ได้จากการศึกษาเวลาในการดูดน้ำจนอิ่มตัว หรือน้ำหนักคงที่ และ ไม่มีการสียรูปร่าง) จากนั้นนำไปต้มในหม้ออัดความดัน (ความดันคงที่ไม่เกิน 80 kPa) เป็นเวลา 30 15 20 20 15 และ 20 นาที ตามลำดับ ซึ่งถั่วยังสามารถคงสภาพเพื่อสามารถนำไปบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ ในขั้นตอนต่อไปได้

3.2.1.2 การเตรียม โจ๊กข้าวกล้อง

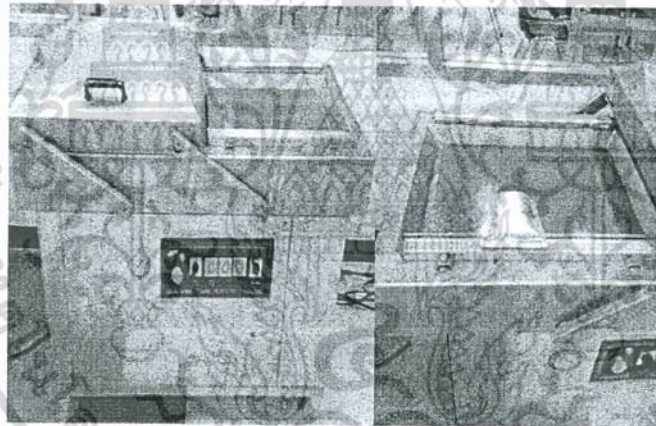
ต้มข้าวกล้องหอมมะลิ น้ำ และน้ำซุสผัก ผสมกันในอัตราส่วน 1.0 : 7.3 : 7.5 ในหม้ออัดความดัน (ความดันคงที่ไม่เกิน 80 kPa) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นผสมเครื่องปรุงรส ได้แก่ ซีอิ๊วขาว เกลือ และพริกไทย ปริมาณร้อยละ 0.98 0.39 และ 0.06 ของโจ๊กข้าวกล้อง ตามลำดับ

3.2.1.3 การผลิต โจ๊กข้าวกล้องผสมถั่ว 5 ชนิดและลูกเดือย

นำถั่วและลูกเดือยจากการทดลองที่ 3.2.1.1 มาผสมกับ โจ๊กข้าวจากการทดลอง 3.2.1.2 ในอัตราส่วนถั่วเขียว : ลูกเดือย : ถั่วดำดำ : ถั่วเหลือง : ถั่วดำ : ถั่วแดง : โจ๊กข้าว คือ 1 : 1 : 1 : 1 : 1 : 1 : 19 ในรีทอร์ทเพาซ์ชนิดสูงตั้งได้ขนาด 130x170x30 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 3.1 ปริมาณรวม 202 ± 2 กรัมต่อถุง จากนั้นปิดผนึกสนิทด้วยเครื่องปิดผนึกสูญญากาศ (ภาพที่ 3.2) จากนั้นนำไปเข้ากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนต่อไป



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการบรรจุอิฐขาวกลึง ถั่วและลูกเคียวในรีทอร์ทเพาซ์ชนิดถลุงตั้ง



ภาพที่ 3.2 การปิดผนึกสนิทด้วยเครื่องปิดผนึกสุญญากาศ

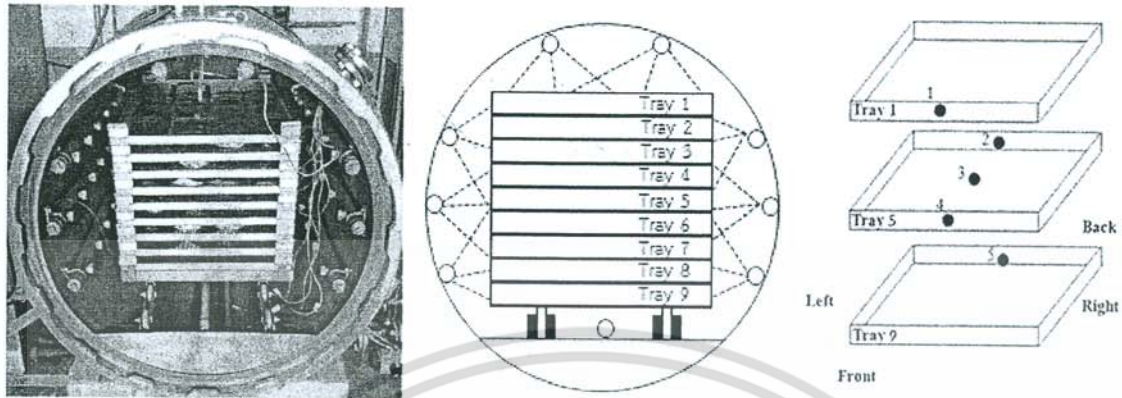
3.2.2 กระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนภายใต้แรงดันสูง

3.2.2.1 การทดสอบการกระจายของอุณหภูมิในหม้อฆ่าเชื้อ

(Temperature Distribution Test)

นำรีทอร์ทเพาซ์ (บรรจุน้ำ) จัดวางบนถาดในหม้อฆ่าเชื้อ 6x4 ถาดต่อถาด จำนวน 9 ถาดและกั้นติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล (ชนิด K) ที่ตำแหน่งต่างๆ ในหม้อฆ่าเชื้อตามภาพที่ 3.3 เพื่อวัด

อุณหภูมิในระหว่างการฆ่าเชื้อภายในหม้อฆ่าเชื้อ จากนั้นวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ร้อนซ้ำที่สุด เพื่อใช้เป็นตำแหน่งในวัดอุณหภูมิสำหรับหาค่า F_0 ต่อไป



ภาพที่ 3.3 ตำแหน่งการทดสอบการกระจายอุณหภูมิในหม้อฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อนสเปรย์

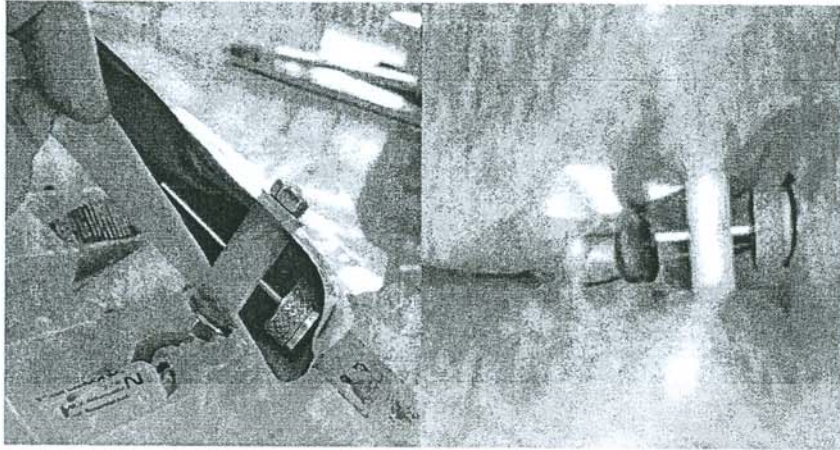
3.2.2.2 การศึกษาระดับการฆ่าเชื้อ (ค่า F_0) ที่เหมาะสม

โจ๊กข้าวผสมถั่วและลูกเดือยที่เตรียมดังข้อ 3.2.2 ฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 122°C โดยกำหนดค่า F_0 ประมาณ 4 6 และ 8 นาที ค่า F_0 ที่ได้จากการทดลองคำนวณจากอุณหภูมิของอาหารที่เวลาใดๆ โดยใช้วิธีการทั่วไป (General method) และสร้างกราฟระหว่าง Lethal rate ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.1 กับเวลา (Lethal rate curve) ดังภาพที่ 2.3 พื้นที่ใต้กราฟเป็นค่า F_0 (Lethality)

ตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิของอาหาร จุดกึ่งกลางรีโอร์ทเพาซ์ ดังภาพที่ 3.4 โดยปลายโพรบวัดอุณหภูมิจะเสียบกับถั่วแดง เพราะถั่วแดงมีขนาดเมล็ดใหญ่ที่สุดเทียบกับถั่วชนิดอื่น ซึ่งถั่วที่ใช้วัดจะวางไว้ที่ตำแหน่งที่ร้อนซ้ำที่สุดจากการทดลอง 3.2.3.1 ตัวอย่างหลังการฆ่าเชื้อถูกส่งตรวจวิเคราะห์ด้านจุลินทรีย์ ได้แก่ Total plate count (TPC) และ Thermophilic anaerobic bacteria เพื่อเลือก F_0 ต่ำสุดจากตัวอย่างที่ไม่พบทั้ง TPC และ Thermophilic anaerobic bacteria (FDA, 2013)

3.2.2.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิฆ่าเชื้อต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

โจ๊กข้าวผสมถั่วเตรียมดังข้อ 3.2.2 ทำการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 122 116 และ 110°C กำหนดค่า F_0 คงที่ซึ่งได้จากการทดลอง 3.2.2.2 เพื่อทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของโจ๊กข้าวผสมถั่ว ได้แก่ สีและความหนืดของโจ๊กข้าว และความแข็งของเมล็ดถั่วและลูกเดือย



ภาพที่ 3.4 การติดตั้งโพรบวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งกึ่งกลางรีทอร์ทเพาซ์ โดยเทียบกับถั่วแดง

3.3 การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

3.3.1 การวัดค่าสี

หลังจากนำเชื้อตัวอย่างแล้ว ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง แยกถั่วและลูกเต๋ยออกจากโถกั่ววกล้อม จากนั้นบดข้าวผ่านตะแกรงกรอง บรรจุลงในถ้วยแก้วทรงกระบอกสำหรับวัดค่าสี และวัดค่าสีด้วย เครื่อง Colorimeter (Juki Instrument, model JC801, Japan) ดังภาพที่ 3.5 ซึ่งทำการปรับมาตรฐานเครื่องด้วยแผ่นมาตรฐานสีดำและแผ่นแป่งสีขาว ตั้งค่าความสว่างแสง D65 และมุมมาตรฐาน 10° (Jang และ Lee, 2012) บันทึกค่าสีระบบ CIE ในเทอมของ L^* (ค่าความสว่าง) a^* (ค่าความเป็นสีเขียว) และ b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) โดยทำ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง และวัดตัวอย่างละ 3 ค่า



ภาพที่ 3.5 เครื่อง Colorimeter

3.3.2 การวัดค่าความหนืด

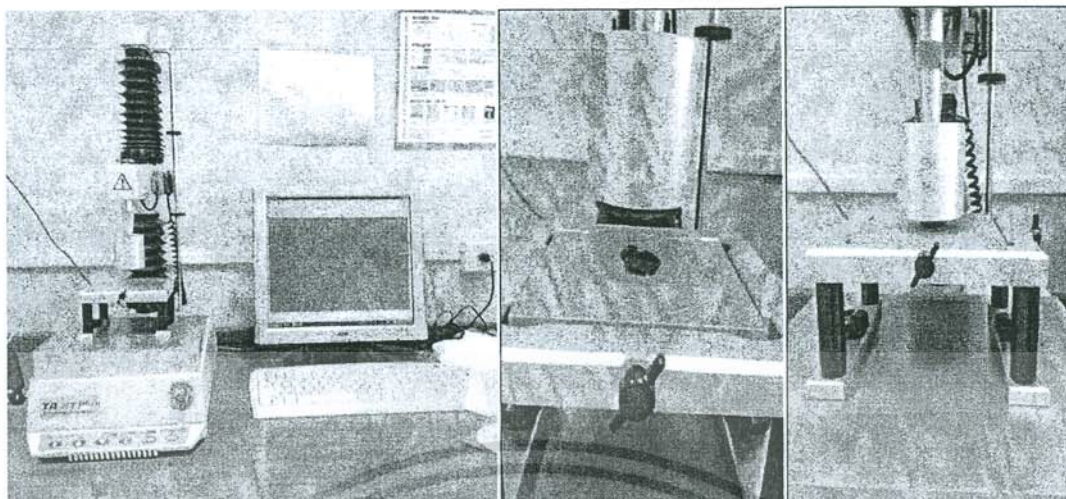
วัดความหนืด โฉกข้าวกล็องที่ได้แยกถั่วและลูกเดือยออกแล้ว โดยปริมาณตัวอย่างที่ใช้วัดความหนืดต่อครั้ง เท่ากับ 500 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 25 ± 1 °ซ และวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer (Brookfield Engineering Laboratories, LVDV-II + Pro) หัววัด LV-3 ความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ครั้ง



ภาพที่ 3.6 เครื่อง Brookfield Viscometer

3.3.3 การวัดค่าความแข็ง

ค่าความแข็งของถั่ว 5 ชนิดและลูกเดือย วัดได้โดยการทดสอบแรงกดสูงสุด ด้วยเครื่อง TA.XT plus texture analyzer (Stable Micro system Ltd., Surry UK) ด้วยวิธีการกด (Compression test) ใช้หัววัดชนิดทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม. ระยะระหว่างหัววัดกับฐาน 10 มม. ระยะทางที่หัววัดกดตัวอย่าง 90% strain ความเร็วก่อนวัด 1 มม./วินาที ขณะวัด 1 มม./วินาที และหลังวัด 10 มม./วินาที ชักตัวอย่างถั่วแต่ละชนิดและลูกเดือยจากโฉกข้าวกล็องผสมถั่ว 5 ชนิดและ ลูกเดือยที่อุณหภูมิ 25 °ซ จากนั้นวางตัวอย่างลงตรงกลางฐานกด จัดตั้งอุปกรณ์ดังภาพที่ 3.14 ทำการเชื่อมต่อกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แล้วกดหัววัดลง ค่าที่อ่านได้เป็นค่าที่ความแข็งของถั่วแต่ละชนิดจากค่าแรงกดสูงสุด หน่วยเป็นนิวตัน (N) บันทึกค่าด้วยซอฟต์แวร์ Exponent 32 วัดค่าตัวอย่างละ 5 ครั้ง



ภาพที่ 3.7 เครื่อง TA.XT plus texture analyzer

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

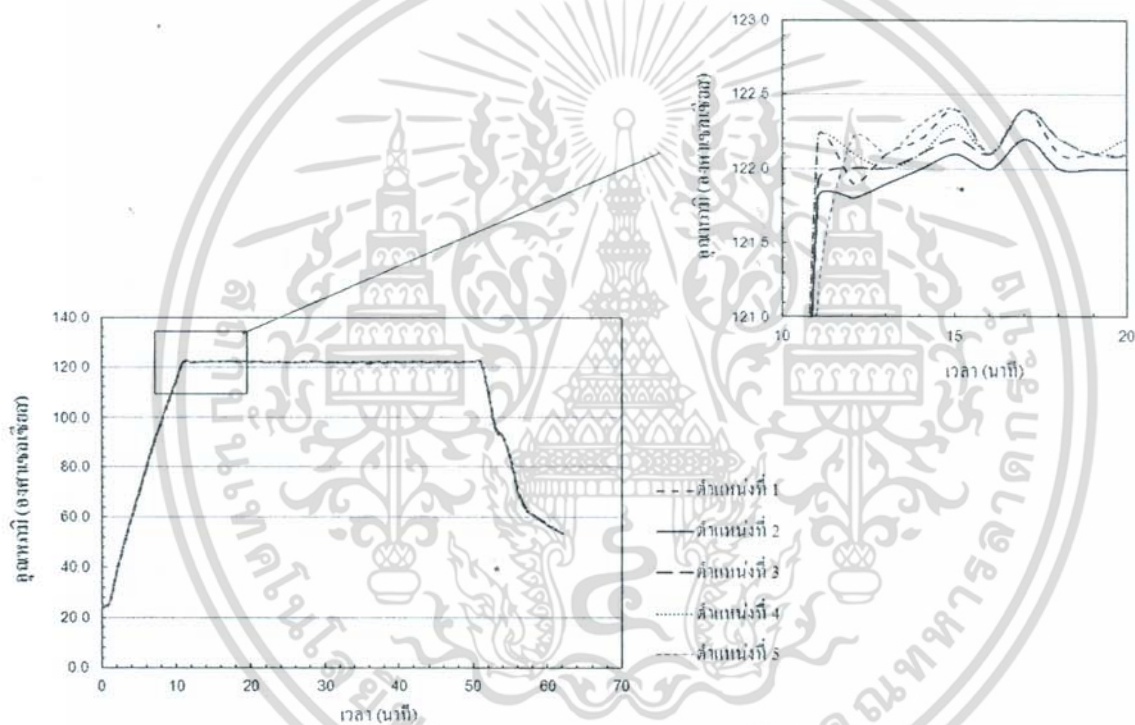
คุณสมบัติทางกายภาพของโจ๊กข้าวผสมถั่ว 5 ชนิดและลูกเต๋อย ที่ผ่านกระบวนการทั้งหมด ดังที่กล่าวมาแล้วนั้น สามารถวัดผลความแตกต่างทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์แบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance (ANOVA) ที่ได้ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ผลการทดลองแสดงเป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS (Ver. 20)

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในหม้อฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อนสเปรย์

จากการศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในหม้อฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อนสเปรย์ เพื่อหาจุดร้อนช้าภายในหม้อฆ่าเชื้อ โดยทำการวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆหม้อฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อนสเปรย์ พบว่าจุดด้านหลังสุดของถาดที่ 5 (ล่างสุด) หรือตำแหน่งที่ 2 ในภาพที่ 3.3 เป็นจุดร้อนช้าที่สุดทั้งจากทั้ง 2 การทดลอง ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.1 และ 4.2



ภาพที่ 4.1 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ในหม้อฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อนสเปรย์ (การทดลองครั้งที่ 1)

ตำแหน่งที่ 1 คือ ด้านหน้าของหม้อฆ่าเชื้อ บนถาดบนสุด

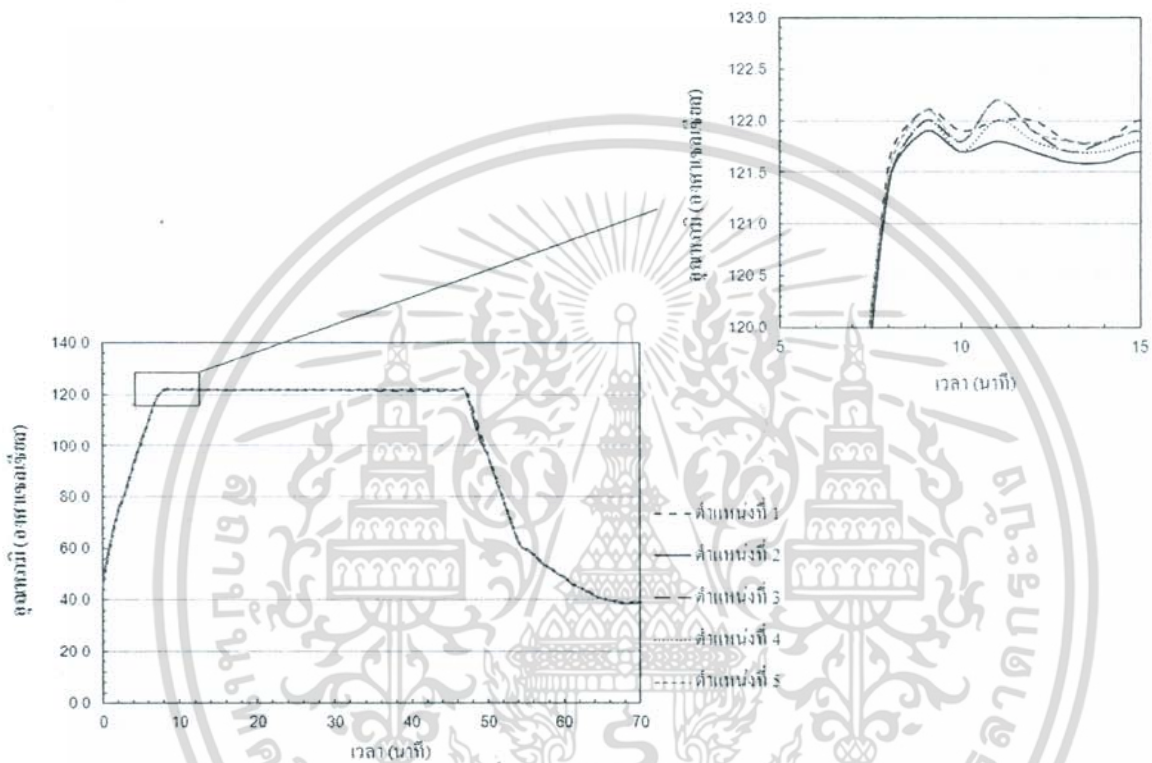
ตำแหน่งที่ 2 คือ ด้านในสุดของหม้อฆ่าเชื้อ บนถาดบนสุดชั้นกลาง

ตำแหน่งที่ 3 คือ ตำแหน่งกลางหม้อฆ่าเชื้อ บนถาดชั้นกลาง

ตำแหน่งที่ 4 คือ ด้านหน้าของหม้อฆ่าเชื้อ บนถาดบนสุด

ตำแหน่งที่ 5 คือ ด้านในของหม้อฆ่าเชื้อ บนถาดล่างสุด

โดยอุณหภูมิขึ้นช้ากว่าตำแหน่งอื่นอยู่ประมาณ 1 – 2 นาที อาจเกิดจากบริเวณดังกล่าวอยู่ไกลจากทางเข้าของลม ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดความดัน จึงการมีการลดลงของความดันระหว่างกระบวนการ และตำแหน่งดังกล่าวอยู่ด้านล่างสุดจึงอาจได้รับความร้อนจากน้ำที่สเปรย์ผ่านตัวอย่างด้านบนซึ่งดึงความร้อนไปก่อนหน้า ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในอาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อ การทดลองเพื่อหาระดับของการฆ่าเชื้อจึงเลือกตำแหน่งดังกล่าวเป็นจุดที่ใช้วัดอุณหภูมิของอาหาร ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของอาหารตำแหน่งอื่นๆ



ภาพที่ 4.2 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ในหม้อฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อนสเปรย์ (การทดลองครั้งที่ 2)

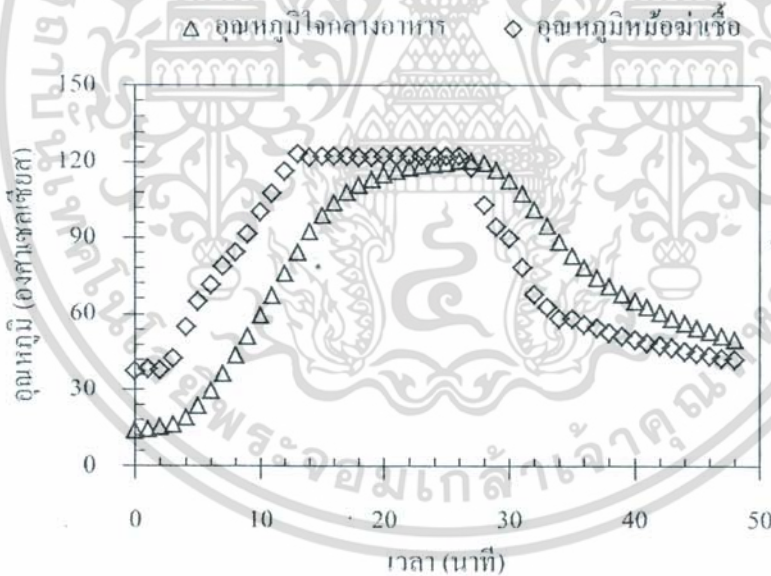
- ตำแหน่งที่ 1 คือ ด้านหน้าของหม้อฆ่าเชื้อ บนถาดบนสุด
- ตำแหน่งที่ 2 คือ ด้านในสุดของหม้อฆ่าเชื้อ บนถาดบนสุดชั้นกลาง
- ตำแหน่งที่ 3 คือ ตำแหน่งกลางหม้อฆ่าเชื้อ บนถาดชั้นกลาง
- ตำแหน่งที่ 4 คือ ด้านหน้าของหม้อฆ่าเชื้อ บนถาดบนสุด
- ตำแหน่งที่ 5 คือ ด้านในของหม้อฆ่าเชื้อ บนถาดล่างสุด

4.2 การศึกษาการแทรกผ่านความร้อนของโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือย

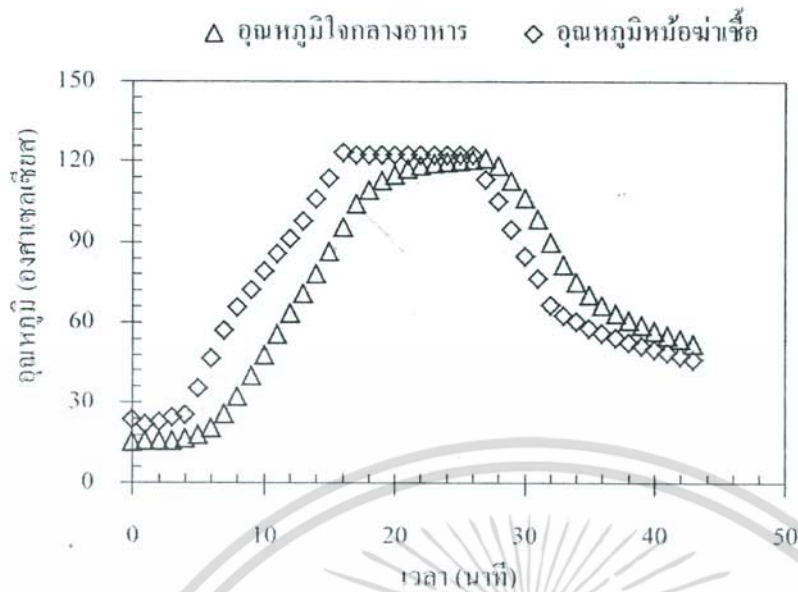
ค่า F_0 ที่คำนวณได้พื้นที่ใต้กราฟการแทรกผ่านความร้อนดังแสดงในภาพที่ 4.3 - 4.8 ซึ่งใช้อุณหภูมิฆ่าเชื้อที่ 122 °ซ ด้วยระยะเวลาที่ต่างกัน เท่ากับ 4.02 6.66 และ 8.50 นาที ตารางที่ 4.1 แสดงผลวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ ระบุว่าไม่พบทั้งจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count, TPC) และจุลินทรีย์ทนร้อน (Thermophilic anaerobic bacteria) ในตัวอย่างที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระดับการฆ่าเชื้อทั้ง 3 ระดับข้างต้น ดังนั้นระดับฆ่าเชื้อทั้ง 3 ระดับจึงสามารถใช้ในกระบวนการทำให้ปลอดเชื้อเชิงการค้าได้ งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ระดับการฆ่าเชื้อที่ต่ำที่สุด ในที่นี้คือ ระดับการฆ่าเชื้อ เท่ากับ 4.02 นาที เพื่อทำการทดลองผลของอุณหภูมิจากอาหารในการฆ่าเชื้อที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพต่อไป

ตารางที่ 4.1 ผลวิเคราะห์ด้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์หลังการฆ่าเชื้อที่ระดับการฆ่าเชื้อต่างๆ

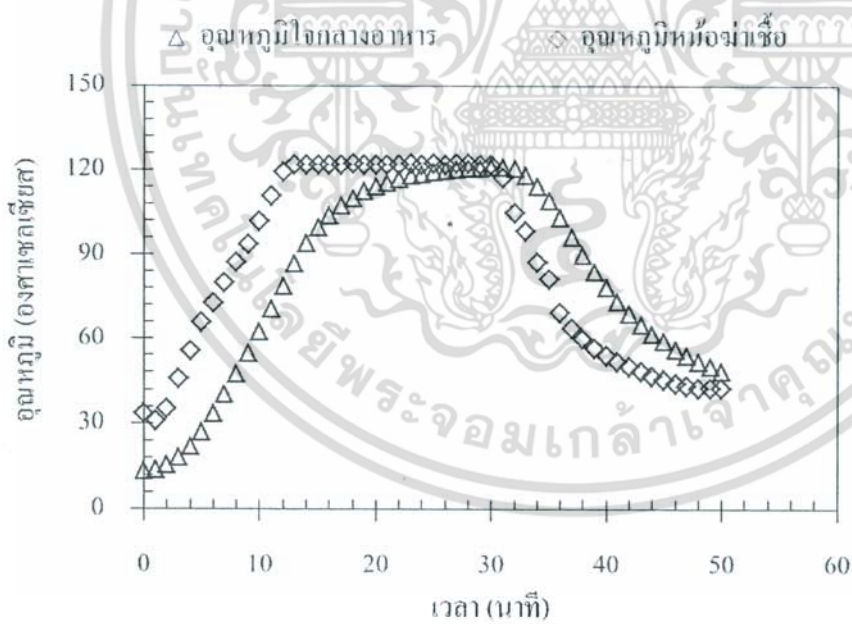
F_0 (นาที)	จุลินทรีย์ทนร้อน (55 °ซ)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (37 °ซ)
4.02	ไม่พบ	ไม่พบ
6.66	ไม่พบ	ไม่พบ
8.50	ไม่พบ	ไม่พบ



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ กับเวลา และระดับการฆ่าเชื้อ F_0 เท่ากับ 4.02 นาที ครั้งที่ 1

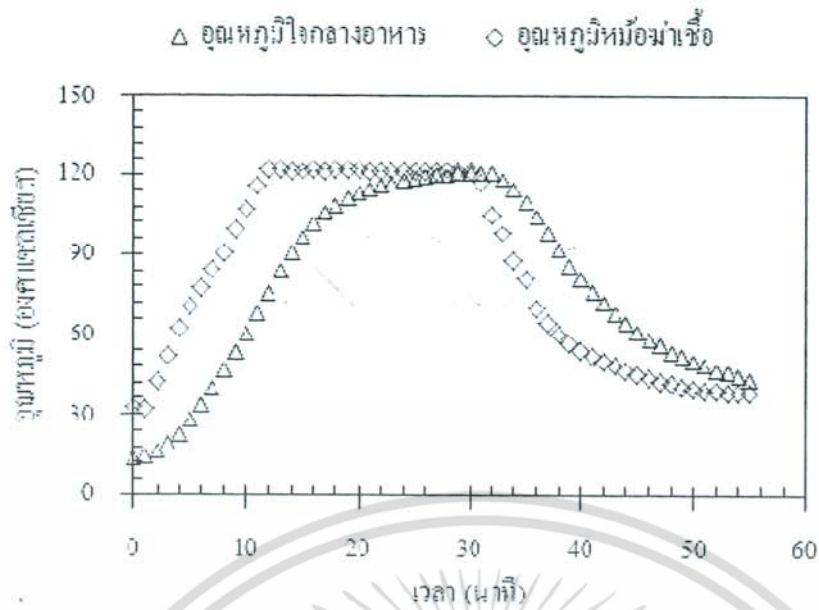


ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา และระดับการฆ่าเชื้อ F_0 เท่ากับ 4.02 นาที ครั้งที่ 2

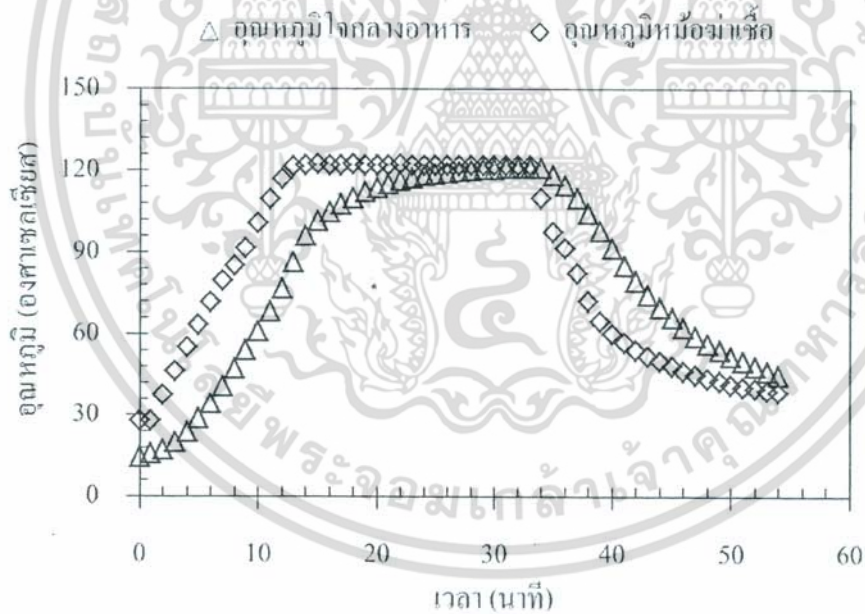


ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา และระดับการฆ่าเชื้อ F_0 เท่ากับ 6.66 นาที ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

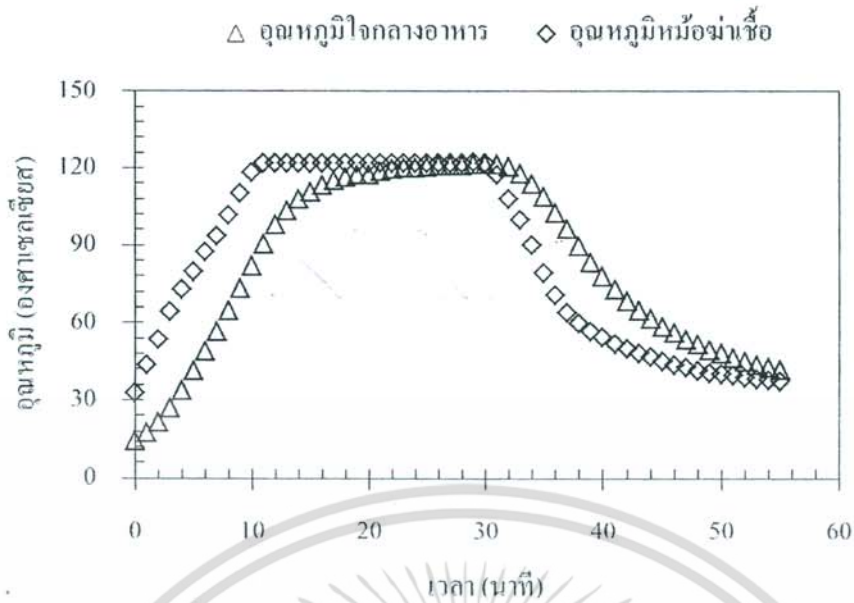


ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา และระดับการฆ่าเชื้อ F_0 เท่ากับ 6.66 นาที ครั้งที่ 2



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา และระดับการฆ่าเชื้อ F_0 เท่ากับ 8.50 นาที ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา และระดับการฆ่าเชื้อ F_0 เท่ากับ 8.50 นาที ครั้งที่ 2

4.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ

อุณหภูมิมื้อเช้าจากการทดลอง 4.2.2 ที่ 122 °ซ สำหรับระดับการฆ่าเชื้อเท่ากับ 4.02 นาที ถูกทดลองมาที่อุณหภูมิ 110 และ 116 °ซ โดยคำนวณจากสมการที่ 2.4 ที่ระดับการฆ่าเชื้อเท่าเดิม คือ 4.02 นาที ได้เวลาการฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.3 หลังกระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ทำการวัดคุณสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ 4.2 ระยะเวลาในการให้ความร้อน และระดับการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 110 116 และ 122 °ซ

อุณหภูมิ (°ซ)	ระยะเวลาในการให้ความร้อน (นาที)
122	27
116	40
110	83

4.3.1 ความแข็ง

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความแข็งของถั่วทั้ง 5 ชนิดและลูกเดือย หลังทำการเตรียมก่อนการฆ่าเชื้อตามสภาวะที่ได้จากผลการทดลองที่ 3.1 และฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 122 °ซ และ 110 °ซ (ค่า F เท่ากับ 4.02 นาที) พบว่าเมื่อทำการลดอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อจาก 122 °ซ เป็น 116 และ 110 °ซ ถั่วและลูกเดือยมีค่าความแข็งลดลง แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการฆ่าเชื้อที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการลดค่าความแข็งมากกว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น และพบว่าถั่วในโຈ้กที่เตรียมด้วยวิธีดั้งเดิมแตกต่างกับถั่วและลูกเดือยในโຈ้กที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 110 °ซ อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($\sigma = 0.05$)

4.3.2 ค่าสี

โຈ้กข้าวผสมถั่วและลูกเดือยผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 122 °ซ และ 110 °ซ และค่า F 4.02 นาที วัดค่าสีดังแสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าการลดลงของอุณหภูมิฆ่าเชื้อจาก 122 °ซ เป็น 116 และ 110 °ซ มีผลให้ค่าความสว่าง L^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\sigma = 0.05$) เป็น 47.79 45.75 และ 44.20 ตามลำดับ ซึ่งอาจเกิดจากระยะเวลาที่ได้รับความร้อนนานขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียสารให้สี เช่น คลอโรฟิลล์ในถั่วเขียว แอนโทไซยานินในถั่วแดงและถั่วดำ โดยผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานของ Sreenath et al. (2009) ที่ทำการศึกษาคุณภาพที่เปลี่ยนแปลงไปของปลาลังในน้ำเกลือบรรจุกระป๋องและพบว่า การฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ค่า L^* เพิ่มขึ้น อันเป็นผลมาจากอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่สูงขึ้นทำให้ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อสั้นลง ส่งผลให้ปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งทำให้เกิดสีน้ำตาลบนเนื้อปลาลดลง และพบว่าเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุในเนื้อปลาด้วย ด้วยเหตุนี้โຈ้กข้าวผสมถั่วที่ 110 °ซ จึงมีสีเข้มที่สุดเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิฆ่าเชื้อ 116 และ 122 °ซ อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อลดลงพบว่าค่าความเป็นสีแดง a^* คือ 9.21 8.68 และ 9.01 ตามลำดับและแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($\sigma = 0.05$) ขณะที่ค่าความเป็นสีเหลือง b^* มีค่าต่ำสุด 7.26 ที่อุณหภูมิฆ่าเชื้อ 110 °ซ และจากผลการทดลองดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสีของโຈ้กข้าวผสมถั่วและลูกเดือยที่เตรียมโดยวิธีดั้งเดิม ซึ่งมีค่า L^* 44.19 a^* 13.08 และ b^* 6.43 พบว่าโຈ้กข้าวผสมถั่วและลูกเดือยฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 110 °ซ ค่าสีใกล้เคียงที่สุดเมื่อเทียบกับโຈ้กข้าวผสมถั่วที่ 116 และ 122 °ซ จึงเลือกสภาวะดังกล่าวเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป แม้ว่าจะมีสีเข้มที่สุดก็ตาม

4.3.3 ความหนืด

ค่าความหนืดของโຈ้กข้าวผสมถั่ว และลูกเดือยหลังการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 110 116 และ 122 °ซ (ค่า F เท่ากับ 4.02 นาที) ดังตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าค่าความหนืดของโຈ้กข้าวผสมถั่วและลูกเดือยที่ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 110 และ 116 °ซ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($\sigma = 0.05$) แต่แตกต่างจากโຈ้กข้าวผสมถั่วและลูกเดือยที่เตรียมโดยวิธีดั้งเดิม และโຈ้กข้าวผสมถั่วและลูกเดือยที่ฆ่า

เชื้อที่ 122 °ซ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\sigma = 0.05$) จากการศึกษาพบว่าแนวโน้มการลดลงของความหนืดเมื่ออุณหภูมิฆ่าเชื้อสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อ โฉกข้าวผสมถั่วและลูกเดือยได้รับความร้อนในช่วงแรกจะเกิดการพองตัวทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ต่อมาได้รับความร้อนทำให้พันธะถูกทำลายส่งผลให้ความหนืดลดลง ดังนั้นจึงพบว่าการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 และ 110 °ซ ซึ่งใช้ระยะเวลาที่นานกว่าที่อุณหภูมิ 122 °ซ (ค่า F 4.02 นาที) ผลลัพธ์ที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น

ดังนั้นในกรณีที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดมาก และสีสว่างจึงควรเลือกใช้อุณหภูมิต่ำ แต่เพิ่มเวลาในการฆ่าเชื้อ เพื่อให้ได้ระดับการฆ่าเชื้อที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค จากการศึกษาทดลองทั้งหมด จึงสามารถออกแบบขั้นตอนการผลิต โฉกข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือยบรรจุรีทอร์ทเพาช์ จากการทดลองทั้งหมดสามารถอธิบายได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.9



ตารางที่ 4.3 ค่าความแข็งของถั่วแดง ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วดำ ถั่วตาดำ ถั่วตาขาวและลูกเดือยที่อุณหภูมิมาซึ่งต่างกัน

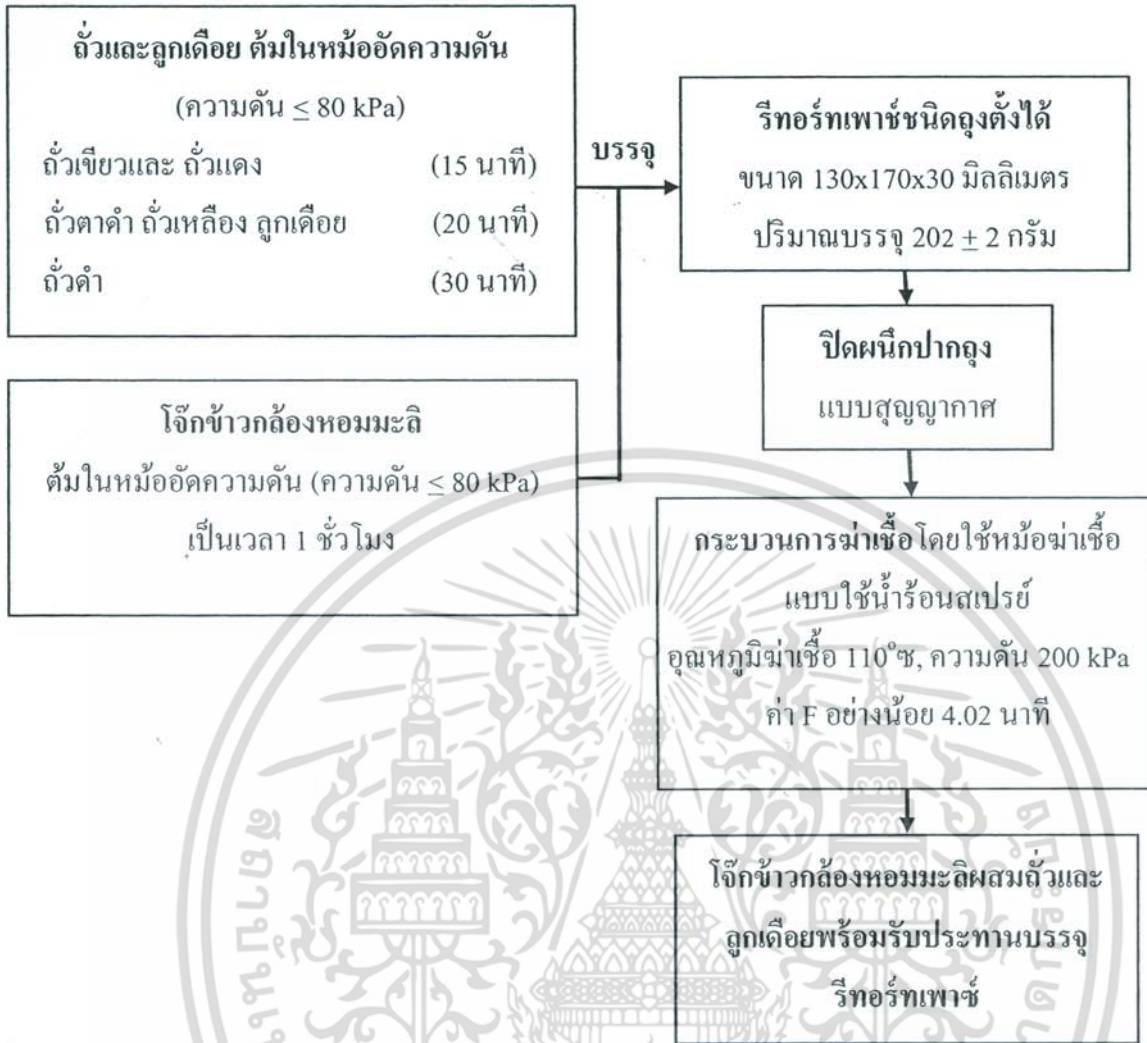
อุณหภูมิ (°ซ)	ค่าความแข็ง (นิวตัน)					
	ถั่วแดง	ถั่วเขียว	ถั่วเหลือง	ถั่วตาดำ	ถั่วตาขาว	ลูกเดือย
122 °ซ	146.87±48.55 ^a	27.17±3.67 ^a	52.24±8.17 ^a	58.83±10.60 ^a	107.15±27.69 ^a	48.20±14.91 ^a
116 °ซ	112.95±13.85 ^b	25.24±5.01 ^a	34.02±15.05 ^c	50.817.47 ^{ab}	85.94±20.59 ^{ab}	42.53±11.76 ^{ab}
110 °ซ	107.36±22.69 ^b	22.45±5.72 ^a	39.65±9.52 ^{bc}	42.91±8.80 ^b	81.03±17.25 ^b	30.69±9.39 ^b

a, b, c... หมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\sigma = 0.05$)

ตารางที่ 4.4 ค่าความเป็นเนื้อและความหนืดของโจ๊กข้าวที่อุณหภูมิมาซึ่งต่างกัน

อุณหภูมิ (°ซ)	L*		a*		b*		ความหนืด (เซนติพอยต์)
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
122	47.79±0.44 ^a	9.21±0.15 ^a	7.54±0.13 ^{ab}	2272.33±9.09 ^c			
116	45.75±0.35 ^b	8.68±0.78 ^b	8.04±0.19 ^a	3430.00±120.68 ^a			
110	44.20±0.37 ^c	9.02±0.06 ^b	7.26±0.88 ^b	3564.00±31.53 ^a			

a, b, c... หมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\sigma = 0.05$)



ภาพที่ 4.9 แผนผังกระบวนการผลิต โจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมข้าวเหนียวและลูกเดือยบรรจุรีทอร์ทเพาซ์

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อเชิงการค้าของโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือยบรรจุ รีทอร์ทแพช แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 หัวข้อ คือ การศึกษาขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบของกระบวนการฆ่าเชื้อเชิงการค้าของโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือยบรรจุรีทอร์ทแพช การศึกษาการกำหนดระดับการฆ่าเชื้อของโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือยบรรจุรีทอร์ทแพช และคุณสมบัติทางกายภาพ (สี ความหนืดและค่าความแข็งของถั่ว) ของโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือยบรรจุ รีทอร์ทแพช ให้ผลดังนี้

5.1.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบของกระบวนการฆ่าเชื้อเชิงการค้าของโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่ว และลูกเดือยบรรจุรีทอร์ทแพช ประกอบด้วย 1) ถั่วและลูกเดือย เตรียมโดยการแช่น้ำ ถั่วดำ ถั่วแดง ถั่วดำดำ ลูกเดือย ถั่วเขียว และถั่วเหลือง เป็นเวลา 2 2 3 5 6 และ 6 ชั่วโมง จากนั้นนำมาต้มในหม้ออัดความดัน (ความดันไม่เกิน 80 kPa) เป็นเวลา 15 15 30 20 20 และ 20 นาทีตามลำดับ และ 2) โจ๊กข้าว เตรียมโดยต้มในหม้ออัดความดัน (ความดันไม่เกิน 80 kPa) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

5.1.2 ระดับการฆ่าเชื้อในกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนเชิงการค้าที่เลือกสำหรับโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือยบรรจุรีทอร์ทแพชขนาด 130 x 170 x 30 มิลลิเมตร (200 ± 2 กรัม) คือ 4.02 นาที เนื่องจากผลิตภัณฑ์หลังผ่านกระบวนการไม่พบทั้ง Total plate count (TPC) และ Thermophilic anaerobic bacteria

5.1.3 ที่ระดับการฆ่าเชื้อ 4.02 นาที เมื่อทำการลดอุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ ทำให้ค่าความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ค่าสีและค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นมีผลต่อประสิทธิภาพในกระบวนการฆ่าเชื้อ ดังนั้นควรมีการควบคุมสภาวะในกระบวนการก่อนการฆ่าเชื้อ เช่น มีการป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมระหว่างเตรียมและจัดสถานที่ในการผลิตที่เหมาะสม อุณหภูมิต่ำเพื่อลดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

5.2.2 งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาคุณสมบัติทางจุลินทรีย์ และทางกายภาพเป็นหลัก ดังนั้นในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ จึงควรประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือยร่วมด้วย

5.2.3 ในการผลิตผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวกล้องหอมมะลิผสมถั่วและลูกเดือยบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ในเชิงพาณิชย์จำเป็นต้องมีการตรวจสอบภาชนะบรรจุหลังกระบวนการฆ่าเชื้อ เนื่องจากอาจจะเกิดการฉีกขาดของรอยตะเข็บของถุงฆ่าเชื้อ ในระหว่างกระบวนการผลิตและให้ความร้อน และควบคุมเครื่องจักรในการฆ่าเชื้อโดยผู้ที่มีความชำนาญเท่านั้น เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการปฏิบัติงาน และเพื่อความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

5.2.4 ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อลดอุณหภูมิการฆ่าเชื้อลง ซึ่งมีผลให้ระยะเวลาฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ ดังนั้น การเพิ่มอุณหภูมิและลดระยะเวลาการฆ่าเชื้อจึงเป็นแนวทางในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะเรื่องของสี และเนื่องจากรังควัตถุในถั่วมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระจึงควรพัฒนากระบวนการเพื่อลดการสูญเสียรังควัตถุเหล่านั้นจากการให้ความร้อนเป็นเวลานาน



เอกสารอ้างอิง

- กรมอนามัย. 2553. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://nutrition.anamai.moph.go.th>. (สืบค้นข้อมูลวันที่ 19 มีนาคม 2557).
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีแป้ง. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กิตติศักดิ์ วสันตวิงศ์, วรรณิการ์ สุรรักษ์ดิษฐ์ และศิริพร บุญจะกุล. 2553. ผลของระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อน้ำพริกกะปิบรรจุกระป๋อง. รายงานวิจัย. หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.
- งามชื่น คงเสรี. 2538. การปรับปรุงคุณภาพข้าวสารเพื่อการบริโภคและส่งออก. เอกสารการฝึกอบรม หลักสูตรการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของข้าว. ปทุมธานี : ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี.
- จรรย์ พานิชย์กุล. 2537. สตาร์ชและการเปลี่ยนแปลงระหว่างการทำให้แป้งสุก. วารสารจารย์พา. 11 : หน้า 22-24.
- จารุวรรณ บัวทอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. การดูดซึมน้ำในช่วงการงอกของเมล็ด. 2551. สาขาเทคโนโลยีการเกษตรวิชาเอกพืชศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- คนุพล จีรวรรณพันธุ์. 2549. ห่อหมกปลาช่อนพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว. วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตร์บัณฑิต. สาขาวิชาศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิตย์ ศกุนรักษ์. 2541. สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 21-78
- พรพรรณ ชิวรักษ์, นฤมล วิลัยกรวง และสุภเวท มานิชม. 2550. กระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเนื้อกระเข้ต้นบรรจุของรีทอร์ทเพาซ์. รายงานวิจัย. สาขาวิศวกรรมอาหาร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, เกียรติคุณ รัตนาปนันท และนิธิยา รัตนาปนันท. 2556. Color. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2310/color>. (สืบค้นข้อมูลวันที่ 18 มีนาคม 2557)
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, เกียรติคุณ รัตนาปนันท และนิธิยา รัตนาปนันท. 2556. Thermal Properties. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0989/thermal-properties>. (สืบค้นข้อมูลวันที่ 18 มีนาคม 2557)
- วันดี กฤษณพันธุ์. 2535. สมุนไพรสารพัดประโยชน์. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- วารุณี วรรณญาณนท์ และวารุณี ครุส่ง. 2547. หลักการผลิตและฆ่าเชื้ออาหารในภาชนะปิดสนิทด้วยความร้อน. กรุงเทพฯ วรรณภัทรสิน : หน้า 2-213.

สาริตา มหศักดิ์สุนทร, สุชาดา มุกดา, จิรวัดน์ กัณฑ์กรียงวงศ์ และ วรพจน์ สุนทรสุข. 2549. การขยายอายุการเก็บหมอยอโดยการใช้รีทอร์ทเพาซ์. รายงานวิจัย. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Azadbakht, M., Khoshtaghaza, M.H., Ghobadian, B. and Minaei, S. 2013. **Thermal Properties of Soybean Pod as a Function of Moisture Content and Temperature.** American Journal of Food Science and Technology. 1(2) : 9-13.

Byun, Y., Hong, S.I., Mangalassary, S., Bae, H.J., Cooksey, K., Park, H.J., and Whiteside, S. 2010. **The Performance of Organic and Inorganic Coated Retort Pouch Materials on the Shelf Life of Ready-to-Eat Rice Products.** LWT - Food Science and Technology. 862-866.

CFR - Code of Federal Regulations Title 21. 2013. **FDA U.S. Food and Drug Administration.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm>. (สืบค้นข้อมูลวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2557)

Fellows, P.J. 1990. **Food Processing Technology.** Great Britain : Ellis Horwood Limited.

Ghannam, N.A. 1998. **Interpretation of the Force Deformation Curves of Soaked Red Kidney Beans (*Phaseolus vulgaris L.*).** International Journal of Food Science and Technology. 33(6) : 509-515.

Gopinath, S.P. 2007. **Standardization of Process Parameters for Ready-to-Eat Fish Product in Indigenous Polymer Coated Tin-Free Steel Cans.** Degree of Doctor of Philosophy, Faculty of Marine Sciences, Cochin University of Science and Technology. Cochin.

Heldman, D.R. 2011. **Food Preservation Process Design.** Burlington : Elsevier.

Heldman, D.R. and Lund, D.B. 1992. **Thermal Properties of Food.** Handbook of Food Engineering. 1st ed. New York : Marcel Dekker.

Holdsworth, D. and Simpson, R. 2008. **Thermal Processing of Packaged Foods.** 2nd ed. New York : Springer.

Jang, D.H. and Lee, K.T. 2012. **Quality Changes of Ready-to-Eat Ginseng Chicken Porridge during Storage at 25 °C.** Meat science. 92(4) : 469-473.

- Jha, A., Murli, Patel, A.A., Gopal, T.K.S. and Ravishankar, C.N. 2011. **Development of Process for Manufacture of Long-Life Dairy Dessert Kheer and Its Physico chemical Properties.** International Journal of Dairy Technology. 64(4) : 591-597.
- Jha, A., Murli, Patel, A.A., Gopal, T.K.S. and Ravishankar, C.N. 2012. **Development of Process for Shelf Stable Dairy Dessert Dalia and Its Physico-Chemical Properties.** International Journal of Food Science and Technology. 49(1) : 80-88.
- Juliano, B.O. 1993. **Grain Structure Composition and Consumer Criteria for Quality of Rice in Human Nutrition.** FAO Food and Nutrition Series.
- Leach, H.W., and Schoch, T.J. 1962. **Structure of the Starch Granule.** Cereal Chemistry. 36(1) : 318-327.
- Legrand, A., Leuliet, J.C., Duquesne, S., Kesteloot, R., Winterton, P. and Fillaudeau, L. 2007. **Physical, Mechanical, Thermal and Electrical Properties of Cooked Red Bean (*Phaseolus vulgaris L.*) for Continuous Ohmic Heating Process.** Journal of Food Engineering. 81 (1) : 447-458.
- Mahapatra, A.k., Melton, S.L. and Isang, E.M. 2013. **Effect of Moisture Content on Thermal Properties of Cowpea Flours.** Agricultural Engineering International: CIGR Journal. 15(2) : 251- 255.
- Manohar, R.S., Manohar, B. and Rao, P.H. 1998. **Rheological Characterization of Wheat Porridge (cooked dalia), a Semi-Liquid Breakfast Food.** Journal of Cereal Science. 27(1) : 103-108.
- Mohan, C.O., Ravishankar, C.N., Gopal, T.K.S. and Bindu, J. 2008. **Thermal Processing of Prawn Kuruma in Retortable Pouches and Aluminium Cans.** International Journal of Food Science and Technology. 43(2) : 200-207.
- Nagano, H., Abe, J. and Hizukuri, S.J. 1985. **Structure of Starch.** Applied Biochemistry. 7 : 235.
- Pan, Z. and Tangratnavalee, W. 2003. **Characteristics of Soy Beans as Affected by Soaking Conditions.** Lebensmittel-Wissenschaft and Technology. 36 (1) : 143-151.
- Rao, M.A., Okeckwu, P.E., Silva, P.M.S. and Oliveira, J.C. 1997. **Carbohydrate Polymers.** 33(1) : 273-283.

- Ravikanth, L., Jayas, D.S., Alagusundaram, K. and Chelladurai, V. 2012. **Measurement of Thermal Properties of Mung Bean (*Vigna radiate*)**. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 55(6) : 2245-2250.
- Sanders, J.P.M. 1996. **Starch Manufacturing in the World**. Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology. Bangkok : AIT Center.
- Santos, B.D., Vianello, S.R.P., Fernandes, K.F. and Bassinello, P.Z., 2013. **Hardness of Carioca Beans (*Phaseolus vulgaris L.*) as Affected by Cooking Methods**. LWT-Food Science and Technology. 54 : 13-17.
- Sreenath, P.G., Abhilash, S., Ravishankar, C.N., Anandan, R. and Gopal, T.K.S. 2009. **Heat Penetration Characteristics and Quality Changes of Indian Mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) Canned in Brine and Different Retort Temperature**. Journal of Food Process Engineering. 32(6) : 893-915.
- Swinkels, J.J.M. 1985. **Source of Starch, its Chemistry and Physics in Starch Conversion Technology**. Edited by G.M.A. Van Beynum and J.A. Roels. New York : Marcel Dekker, Inc.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วิธีการทดลอง

- ก.1 วิธีการวัดสี
- ก.2 วิธีการวัดความหนืด
- ก.3 วิธีการวัดค่าความแข็ง

ภาคผนวก ข U.S. FDA Regulation

Code of Regulations Title 21

ภาคผนวก ค สรุปค่าใช้จ่ายดำเนินโครงการ



ภาคผนวก ก

วิธีการทดลอง

ภาคผนวก ก1 วิธีการวัดสี

ขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ใช้ Colorimeter (Juki Instrument, model JC801, Japan)

เตรียมตัวอย่าง สำหรับวัดค่า โดยการแยกตัวอย่างออกจากโถงข้าวผสมถั่วและลูกเดือย จากนั้นนำตัวอย่าง ข้าวผ่านตะแกรงกรอง จากนั้นทำการวัดค่าตามขั้นตอน ดังนี้

1. เปิดเครื่อง
2. เลือก "Measurement" กด "Enter"
3. ทำการปรับมาตรฐานเครื่อง โดยการปิดแผ่นกำบังแสงแล้วครอบกล่องทึบแสงบนตัวเครื่อง จากนั้นกด "F1" (Measures) เปิดแผ่นกำบังแสงออก แล้ววางแผ่นมาตรฐานแป้งสีขาวลงบนเครื่อง จากนั้นครอบกล่องทึบแสงบนตัวเครื่อง แล้ว กด "F1" (Measures)
4. กด "F4" เพื่อตั้งค่าการวัด โดยตั้งค่าความสว่างแสง D65 และมุมมาตรฐาน 10°
5. ใส่ปริมาณตัวอย่างที่จะทำการวัดประมาณร้อยละ 80 ของถ้วยแก้วทรงกระบอกขนาด 35x15x2 มิลลิเมตร ครอบกล่องทึบแสง วัดค่าด้วยการกด "F1" และออกจากโปรแกรมด้วยการกด "F10"
6. บันทึกค่าสีระบบ CIE ในเทอมของ L^* (ค่าความสว่าง) a^* (ค่าความเป็นสีแดง) และ b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) ทำซ้ำ 3 ครั้ง

ภาคผนวก ก2 วิธีการวัดความหนืด

ก2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) เครื่อง Brookfield Viscometer (Brookfield Engineering Laboratories, LVDV-II + Pro)
- 2) หัวเข็มเบอร์ LV-03
- 3) บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร

ก2.2 วิธีการปรับมาตรฐาน

ให้ตั้งเครื่องให้อยู่ในแนวระดับโดยสังเกตลูกน้ำให้อยู่กึ่งกลาง เสียบปลั๊กและเปิดสวิตช์เครื่องจะ
ให้ Remove spindle (ถ้ามีหัวเข็มอยู่ให้เอาออกหรือถอด Cap spindle ออก) หลังจากนั้นกดปุ่มใดๆ
เครื่องจะทำการ Set Auto zero แล้วเครื่องจะบอกให้ Replace spindle ให้ใส่หัวเข็มที่ใช้วัดลงไปให้
แน่นพอดี การเลือกใช้หัวเข็มที่ใช้วัดพิจารณาจากลักษณะอาหารที่ต้องการจะวัด อาหารที่ข้นหนืดมาก
ให้ใช้หัวเข็มวัดขนาดเล็กและความเร็วต่ำ อาหารที่ข้นหนืดน้อยให้ใช้หัวเข็มวัดขนาดใหญ่ความเร็วสูง

ก2.3 การตั้งค่าการวัด

ตั้งค่าหัววัดเป็น LV-03 ใช้ความเร็วรอบในการหมุนในช่วง 25 RPM

ก2.4 วิธีการวัด

วิเคราะห์ความหนืดตามวิธีของ รัชนีชา. (2546) โดยทำการเทตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร จำนวน 500
มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ปรับหัววัดจุ่มอยู่ในตัวอย่างที่จะวัด โดยให้ตัวอย่างตรงกับ
ระดับเครื่องหมายที่กำกับในหัววัด เปิดให้เครื่องทำการวัดพร้อมกับจับเวลา 1 นาที แล้วอ่านค่า
เปอร์เซ็นต์การบิด (% Torque) ความหนืด (เซนติพอยส์) และอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) บันทึกค่าความ
หนืดที่ให้ค่า %Torque > 75 ขึ้นไป (โดยปกติค่าความหนืดที่ยอมรับได้มีค่า % Torque อยู่ระหว่าง 10-
100 แต่ถ้าต้องการค่าที่ถูกต้องมากๆ ควรปรับให้ค่า %Torque ที่อ่านได้ใกล้เคียง 100) ทำการวัด 3 ซ้ำ
โดยควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างที่วัดให้อยู่ในช่วง 25 ± 1 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก ก3 วิธีการวัดค่าความแข็ง

ก3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส TA.XT plus texture analyzer (Stable Micro system Ltd., Surry UK)
- 2) Probe P/50 ; 50mm. Ø cylindric stainless
- 3) ตู้น้ำหนักขนาด 10 กิโลกรัม
- 4) Load Cell ขนาด 50 กิโลกรัม

ก3.2 การตั้งค่าการวัด

- 1) Test Mode and Option
Measure force in compression
Return to Start
- 2) Parameters
Pre test speed : 1 mm/s
Test speed : 1 mm/s
Post test speed : 10.0 mm/s
Distance : 90 %
- 3) Trigger
Type : Auto
Force : 5 g
Stop plot at : Final
Auto tare : X
- 4) Break
Detect : Off
- 5) Units
Force : Grams
Distance : %Strain

ก3.3 วิธีการวัด

- 1) ประกอบหัววัดแบบ P/50 และฐานเข้ากับตัวเครื่อง
- 2) เปิดเครื่องและคอมพิวเตอร์
- 3) เข้าโปรแกรม Texture Exponent 32
- 4) ทำการปรับมาตรฐานโดยเลือก TA setting ปรับมาตรฐานน้ำหนักโดยใช้ตุ้มน้ำหนัก 10 กิโลกรัม และปรับมาตรฐานความสูงโดยกำหนดให้สูงกว่าตัวอย่างโดยงานวิจัยนี้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถั่วและลูกเต๋อยโดยเฉลี่ยมีขนาด 5.0-7.5 มิลลิเมตร จึงกำหนดความสูงเป็น 10 มิลลิเมตร
- 5) นำตัวอย่างออกมา 1 ชิ้น และทำเครื่องตามตำแหน่งที่ต้องการวัด
- 6) เดินเครื่องโดยการควบคุมตำแหน่งกดให้มั่นคง รอจนกระทั่งเครื่องทำงานเสร็จ
- 7) ทำการวัดแรงกด 5 ซ้ำ
- 8) บันทึกข้อมูลที่ได้เป็นกราฟ โดยแกน X เป็นระยะทาง (deformation,mm) และแกน y เป็นแรงกด (force, N)
- 9) ทำการวิเคราะห์ค่าความแข็งจากค่าแรงกดสูงสุด มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)



ภาคผนวก ข

U.S. FDA Regulations

Code of Federal Regulations Title 21

[Code of Federal Regulations]

[Title 21, Volume 2]

[Revised as of April 1, 2013]

[CITE: 21CFR113.3]

TITLE 21--FOOD AND DRUGS

CHAPTER I--FOOD AND DRUG ADMINISTRATION

DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES

SUBCHAPTER B--FOOD FOR HUMAN CONSUMPTION

PART 113 -- THERMALLY PROCESSED LOW-ACID FOODS PACKAGED IN
HERMETICALLY SEALED CONTAINERS

Subpart A--General Provisions

Sec. 113.3 Definitions.

For the purposes of this part, the following definitions apply:

(a) *Aseptic processing and packaging* means the filling of a commercially sterilized cooled product into presterilized containers, followed by aseptic hermetical sealing, with a presterilized closure, in an atmosphere free of microorganisms.

(b) *Bleeders* mean openings used to remove air that enters with steam from retorts and steam chambers and to promote circulation of steam in such retorts and steam chambers. Bleeders may serve as a means of removing condensate.

(c) *Come-up-time* means the time which elapses between the introduction of steam into the closed retort and the time when the retort reaches the required processing temperature.

(d)*Commercial processor* includes any person engaged in commercial, custom, or institutional (church, school, penal, or other organization) processing of food, including pet food. Persons engaged in the production of foods that are to be used in market or consumer tests are also included.

(e)*Commercial sterility*: (1) "Commercial sterility" of thermally processed food means the condition achieved--

(i) By the application of heat which renders the food free of--

(a) Microorganisms capable of reproducing in the food under normal nonrefrigerated conditions of storage and distribution; and

(b) Viable microorganisms (including spores) of public health significance; or

(ii) By the control of water activity and the application of heat, which renders the food free of microorganisms capable of reproducing in the food under normal nonrefrigerated conditions of storage and distribution.

(2) "Commercial sterility" of equipment and containers used for aseptic processing and packaging of food means the condition achieved by application of heat, chemical sterilant(s), or other appropriate treatment that renders the equipment and containers free of viable microorganisms having public health significance, as well as microorganisms of nonhealth significance, capable of reproducing in the food under normal nonrefrigerated conditions of storage and distribution.

(f)*Critical factor* means any property, characteristic, condition, aspect, or other parameter, variation of which may affect the scheduled process and the attainment of commercial sterility.

(g)*Flame sterilizer* means an apparatus in which hermetically sealed containers are agitated at atmospheric pressure, by continuous, discontinuous, or reciprocating movement, with impinging gas flames to achieve sterilization temperatures. A holding period in a heated section may follow the initial heating period.

(h)*Headspace, gross* is the vertical distance between the level of the product (generally the liquid surface) in an upright rigid container and the top edge of the container (the top of the double seam of a can or the top edge of a glass jar).

(i) *Headspace, net* of a container is the vertical distance between the level of the product (generally the liquid surface) in the upright rigid container and the inside surface of the lid.

(j) *Hermetically sealed container* means a container that is designed and intended to be secure against the entry of microorganisms and thereby to maintain the commercial sterility of its contents after processing.

(k) *Incubation* means the holding of a sample(s) at a specified temperature for a specified period of time for the purpose of permitting or stimulating the growth of microorganisms.

(l) *Initial temperature* means the average temperature of the contents of the coldest container to be processed at the time the thermal processing cycle begins, as determined after thorough stirring or shaking of the filled and sealed container.

(m) *Lot* means that amount of a product produced during a period of time indicated by a specific code.

(n) *Low-acid foods* means any foods, other than alcoholic beverages, with a finished equilibrium pH greater than 4.6 and a water activity (a_w) greater than 0.85. Tomatoes and tomato products having a finished equilibrium pH less than 4.7 are not classed as low-acid foods.

(o) *Minimum thermal process* means the application of heat to food, either before or after sealing in a hermetically sealed container, for a period of time and at a temperature scientifically determined to be adequate to ensure destruction of microorganisms of public health significance.

(p) *Operating process* means the process selected by the processor that equals or exceeds the minimum requirements set forth in the scheduled process.

(q) *Retort* means any closed vessel or other equipment used for the thermal processing of foods.

(r) *Scheduled process* means the process selected by the processor as adequate under the conditions of manufacture for a given product to achieve commercial sterility. This process may be in excess of that necessary to ensure destruction of microorganisms of public health significance, and shall be at least equivalent to the process established by a competent processing authority to achieve commercial sterility.

(s) *Shall* is used to state mandatory requirements.

(t)*Should* is used to state recommended or advisory procedures or to identify recommended equipment.

(u)*Vacuum-packed products* means those products that are sealed in a container under the vacuum specified in the scheduled process, the maintenance of which vacuum is critical to the adequacy of the scheduled process.

(v)*Vents* means openings through the retort shell, controlled by gate, plug cock, or other adequate valves used for the elimination of air during the venting period.

(w)*Water activity* (a_w) is a measure of the free moisture in a product and is the quotient of the water vapor pressure of the substance divided by the vapor pressure of pure water at the same temperature.



ภาคผนวก ก
สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย

หมวดค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่าย (บาท)
งบบุคลากร :ค่าจ้างชั่วคราว	-
งบดำเนินงาน	
ค่าตอบแทน	-
ค่าใช้สอย	7,040
- ค่าบริการตรวจวิเคราะห์	
ค่าวัสดุ	
- น้ำมันดีเซลสำหรับหม้อไอน้ำ	1,300
- อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และไฟฟ้า	4,499
- สารเคมี	10,142
- อุปกรณ์สำหรับตรวจวิเคราะห์	37,019
ค่าสาธารณูปโภค	
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	-

งบประมาณที่จ่ายไปแล้ว รวมทั้งสิ้น 60,000.00 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ผศ.ดร. มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์
2. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Asst.Prof.Dr. Maradee Phongpipatpong
3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์

หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520

โทรศัพท์ 02-739-2348 ต่อ 21 โทรสาร 02-739-2348 ต่อ 13

E-mail kpmarade@kmitl.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

ปริญญาเอก วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (สาขา Chemical engineering)
University of Waterloo, Canada

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขา Agricultural and food engineering)
Asian Institute of Technology

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (สาขาวิศวกรรมเคมี)
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

5. สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ

- 1) การหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร
- 2) การทำแห้งอาหารและผลิตภัณฑ์อาหารแห้งสำเร็จรูปประเภทต่าง ๆ
- 3) กระบวนการแปรรูปอาหารด้วยเครื่องอิเล็กทรอนิกส์

6. ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอก

6.1 โครงการ“การพัฒนาค้นแบบแผงลอยอนามัยสำหรับการให้บริการอาหารในเขต
ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร” ทุน วช 2555 (หัวหน้าโครงการ)

6.2 โครงการ “การประยุกต์ใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการเอนแคปซูลชิ้นกะทิ” ทุน
สกว. 2555 (หัวหน้าโครงการ)

- 6.3 โครงการ "การผลิตน้ำตาลผงเพื่อสุขภาพจากน้ำตาลมะพร้าว" ทุน สกว. ปี 2554 (หัวหน้าโครงการ)
- 6.4 โครงการการผลิตอาหารเพื่อสุขภาพจากถั่ว 5 สีสำหรับผู้สูงวัย ด้วยกรรมวิธีเอ็กซ์ทรักชัน" ทุน วช. ปี 2553 (หัวหน้าโครงการ)
- 6.5 โครงการ“การพัฒนาศักยภาพผู้ประกอบการร้านอาหารในบริเวณเขตลาดกระบังและทำ อากาศยานสุวรรณภูมิ : มาตรฐานอาหารความสะอาด และความปลอดภัยของอาหาร” ทุนวช. ปี 2554 (ผู้ร่วมโครงการ)
- 6.6 โครงการ “ผลิตภัณฑ์เต้าหู้และนมถั่วเหลืองที่มีสาร GABA สำหรับผู้สูงอายุ” ทุน วช. ปี 2553 (ผู้ร่วมโครงการ)
- 6.7 มาฤดี ผ่องทิพัฒน์พงศ์ ลภัสญดา จิรเพ็ญทอง ผัสพร ผ่องมาลัยณัฐภูมิ ชื่อเจริญกิจ พัชรินทร์ ชูศรีทอง และ กรุณา วงษ์กระจ่าง, 2553 “การเอนแคปซูเลชันน้ำมันมะพร้าว บริสุทธิ์ด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย” การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตร แห่งประเทศไทยครั้งที่ 11, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม ทุนคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.(หัวหน้าโครงการ)
- 6.8 พรธนิภา ฤาไชยชัย, มาฤดี ผ่องทิพัฒน์พงศ์, 2552, “ผลของสภาวะการทำอิมัลชันไฟโคชัน ต่อคุณสมบัติด้านรีโอโลยีของผลิตภัณฑ์สเปรดจากน้ำมันมะพร้าวอินทรีย์”การประชุม วิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 19 จ. กาญจนบุรี ทุนคณะ วิศวกรรมศาสตร์ สจล. (หัวหน้าโครงการ)
- 6.9 โครงการ “ผลของความชื้นในการเก็บรักษาต่อการดูดกลืนความชื้นของน้ำตาลทรายขาว” ทุนวิจัย สกว. -IRPUS 2552 (หัวหน้าโครงการ)
- 6.10 โครงการ “ผลของความชื้นในการเก็บรักษาต่อการดูดกลืนความชื้นของน้ำตาลทรายขาว” ทุนวิจัย สกว. -IRPUS 2552 (หัวหน้าโครงการ)
- 6.11 โครงการ “การหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของกาแฟ” ทุนวิจัย สกว. -IRPUS 2552 (หัวหน้าโครงการ)
- 6.12 โครงการ “การสกัดสารสำคัญจากส้มแขกด้วยคลื่นอุลตราโซนิค” ทุนวิจัย สกว. -IRPUS 2551 (หัวหน้าโครงการ)
- 6.13 มาฤดี ผ่องทิพัฒน์พงศ์ และจุฬาลักษณ์ จารุณูช (2551) “ความสัมพันธ์ระหว่าง คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของปลายข้าวต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก

กระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชัน” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 จ.เชียงใหม่ ทุนสกว. (หัวหน้าโครงการ)

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ดร. ชรินทร์ ฉายศิริโชติ (ผู้ร่วมวิจัย)
2. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Dr. Teerin Chysirichote
3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์

หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520

โทรศัพท์ 02-739-2348 โทรสาร 02-739-2348 ต่อ 13

E-mail kcteerin@kmitl.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

ปริญญาเอก วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (สาขา Chemical engineering)
Tokyo Institute of Technology

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขา Food engineering)
King Mongkut's University of Technology Thonburi

ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สาขา Food science and technology)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ

- 1) Fermentation & Bioprocess
- 2) Microbiological kinetics
- 3) Thermal processing of foods

6. ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ

- 6.1 Chysirichote, T., Reiji, T., Asami, K. and Ohtaguchi, K., 2013, Effects of Starch and Protein on Glucosamine Content in the Biomass of *Monascus ruber*, **Journal of Chemical Engineering of Japan**, 46(10), 695–698.
- 6.2 Reiji, T., Chysirichote, T., Asami, K. and Ohtaguchi, K., 2013, Effect of Oxygen Mass Transfer between the Gas and Liquid Phases on the Production of *Monascus Red* Pigments by *Monascus ruber*, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 46 (8), 546–549.
- 6.3 Chysirichote, T., Reiji, T., Asami, K. and Ohtaguchi, K., 2013, **Quantification of the glucosamine content in the filamentous fungus *Monascus ruber* cultured on solid surfaces**, *Journal of basic microbiology*, Available online on 17 May 2013.
- 6.4 Chysirichote, T., Reiji, T., Asami, K. and Ohtaguchi, K., 2013, *Monascus red pigment production on rice using packed bed column*, The 78th Annual Meeting of the Society of Chemical Engineers of Japan, Society of Chemical Engineers of Japan, March 17-19. Osaka, Japan.
- 6.5 Reiji, T., Chysirichote, T., Asami, K. and Ohtaguchi, K., 2013, 紅麹菌 *Monascus ruber* の色素生成反応に及ぼす菌糸形態の影響解析. 化学工学会第 78 年会. 化学工学会, March 17-19. Osaka, Japan.
- 6.6 Chysirichote, T., Asami, K. and Ohtaguchi, K., 2012, Increasing red pigment production in rice fermentation by increasing surface area of rice substrate, 4th **Multidisciplinary International Student Workshop (MISW2012)**, August 9-10. Tokyo, Japan.
- 6.7 Chysirichote, T., Reiji, T., Asami, K. and Ohtaguchi, K., 2012, Substrate preparation for increasing red pigment from rice fermentation by *Monascus ruber*, **The 77th Annual Meeting of the Society of Chemical Engineers of Japan**, Society of Chemical Engineers of Japan, March 15-17. Tokyo, Japan.
- 6.8 Chysirichote, T., Asami, K. and Ohtaguchi, K., 2011, Relation between Hyphal Growth and Red Pigment Production of the Fungus *Monascus ruber* NBRC 32318 on Rice Starch Agar, **Journal of chemical engineering of Japan**, 44, 989-994.

- 6.9 Reiji, T., Chysirichote, T., Asami, K. and Ohtaguchi, K., 2011, 紅麹菌 *Monascus ruber* の色素生成反応に及ぼす酸化ストレスの応答解析. 化学工学会第 43 秋季大会, 化学工学会. P10092, September 14-16. Nagoya, Japan.
- 6.10 Chysirichote, T., Reiji, T., Asami, K. and Ohtaguchi, K., 2011, Glucosamine Estimation of *Monascus ruber* during Solid State Cultivation, **The 76th Annual Meeting of the Society of Chemical Engineers of Japan, Society of Chemical Engineers of Japan**, February 22-24. Tokyo, Japan.
- 6.11 Chysirichote, T., Asami, K. and Ohtaguchi, K. 2010. Kinetics of Growth of the Fungus *Monascus ruber* on Rice Agar, **Proceedings for the 5th International Conference on Innovations in Food and Bioprocess (IFBT'10)**, 7-9 Dec. 2010. Pathumthani, Thailand.

