

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของลักษณะผิวหน้าผักต่อความสามารถในการยึดเกาะและการต้านทานความร้อนของ *Salmonella* ในระหว่างการอบแห้ง ดำเนินการทดลองโดยนำแครอทมาหั่นเป็นแท่งขนาด 3×1×1 เซนติเมตร และตัดผิวหน้าด้านหนึ่งตามความยาวของแครอทให้มีผิวหน้าที่มีลักษณะแตกต่างกัน 2 แบบ คือแบบพื้นฉลอมและแบบคลื่น โดยให้มีความขรุขระ (ความสูงของพื้นฉลอมหรือความสูงของสันคลื่น) มีค่าเท่ากับ 20-80% ของความสูงของชิ้นแครอท เพื่อจำลองการยึดเกาะของแบคทีเรียบนผิวหน้าอาหารที่มีลักษณะแตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า *Salmonella* ที่ยึดเกาะบนผิวหน้าอาหารที่มีความขรุขระมาก จะมีค่าการต้านทานความร้อนที่สูงขึ้นในระหว่างการอบแห้ง โดยต้องใช้เวลาอบแห้งนานขึ้นกว่าการอบแห้งตัวอย่างแครอทที่มีผิวหน้าเรียบประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ผลการทำลายหรือลดจำนวน *Salmonella* ลง 4 log อย่างไรก็ตามรูปแบบการตัดไม่มีผลต่อค่าการต้านทานความร้อนของ *Salmonella* ในระหว่างการอบแห้ง

**คำสำคัญ:** แครอท; การอบแห้ง; ลักษณะผิวหน้าอาหาร; การวิเคราะห์ภาพ; *Salmonella*

### Abstract

The objective of the present study was to investigate the effects of artificially prepared topographical features on the attachment ability and heat resistance of *Salmonella* on model food surface during hot air drying. Carrot was used as a model food material. Carrot sticks (3×1×1 cm) were artificially textured on one side with either shark tooth or wavy (crinkle) cut; the cut was artificially made to amplify the possible effect of surface roughness, which resembles topographical features of food surface and their changes, on the bacterial cell behavior. The degree of roughness was varied in the range of 20-80% of the total height of a stick. Approximately 0.2-0.7 log increase in the number of *Salmonella* was observed on the rough surfaces as compared to smooth control samples since larger surface areas were available for bacterial cell attachment. *Salmonella* attached on the surfaces with higher wave height also exhibited higher heat resistance (up to 2 h extra drying time was required to achieve 4-log reductions of *Salmonella* as compared to the time required by the control sample). However, the effect of cut pattern on bacterial cell behavior was not observed.

**Keywords:** Carrot; drying; food surface characteristics; image analysis; *Salmonella*

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
รายการตาราง	จ
รายการรูปประกอบ	ฉ
รายการสัญลักษณ์	ช
<b>บทที่ 1.</b>	
<b>บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2.</b>	
<b>ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
2.1 <i>Salmonella</i> spp.	4
2.2 การศึกษาค่าการต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์	8
2.3 ทฤษฎีการอบแห้ง	11
2.4 การวิเคราะห์ภาพ (Analysis of image)	18
<b>บทที่ 3.</b>	
<b>วิธีการดำเนินการวิจัย</b>	<b>24</b>
3.1 <i>Salmonella</i> Anatum	24

3.2	แครอต	24
3.3	การอบแห้ง	26
3.4	การวิเคราะห์คุณภาพของตัวอย่าง	26
3.5	การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	29
<b>บทที่ 4.</b>		
	<b>ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง</b>	<b>30</b>
4.1	ผลของลักษณะผิวหน้าฝักและความขรุขระต่อความสามารถในการยึดเกาะของ <i>Salmonella</i>	30
4.2	ผลของลักษณะผิวหน้าฝักและความขรุขระต่อค่าการต้านทานความร้อนของ <i>Salmonella</i> ระหว่างการอบแห้ง	36
<b>บทที่ 5.</b>		
	<b>สรุปผลการทดลอง</b>	<b>46</b>
5.1	สรุปผลการทดลอง	46
5.2	ข้อเสนอแนะ	46
	<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>47</b>

## รายการตาราง

ตาราง		หน้า
4.1	แสดงพื้นที่ผิว และปริมาตรของแคโรทที่มีลักษณะผิวหน้าที่แตกต่างกัน	31
4.2	แสดงจำนวน <i>Salmonella</i> บนแคโรทที่มีลักษณะผิวหน้าที่แตกต่างกัน	32
4.3	ค่าพารามิเตอร์ $b, n$ และค่าเวลาที่ใช้ในการลดจำนวน <i>S. Anatum</i> ในแคโรทที่มีผิวหน้าแตกต่างกัน $4 \log_{10}$ ในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	44
4.4	ค่าความชื้นสุดท้าย, $a_w$ และค่าการลดลงของ <i>Salmonella</i> บนแคโรทอบแห้งที่มีผิวหน้าแตกต่างกัน	45

## รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า	
2.1	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ <i>Salmonella</i>	5
2.2	กราฟการรอดชีวิตของจุลินทรีย์แบบไม่เป็นเส้นตรง	10
2.3	กราฟอัตราการอบแห้ง (Drying rate curved)	15
2.4	ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพ	22
3.1	ลักษณะผิวหน้าฝักที่สร้างขึ้นแบบต่างๆ	25
3.2	ขั้นตอนการประมวลผลภาพ (Image Processing)	29
4.1	Intensity map แสดงลักษณะพื้นผิวแคโรทรูปแบบพื้นฉลามก่อนการอบแห้ง	33
4.2	Intensity map แสดงลักษณะพื้นผิวแคโรทรูปแบบคลื่นก่อนการอบแห้ง	34
4.3	ภาพขาว-ดำ (Binary image) แสดงลักษณะพื้นผิวแคโรทสกรูปแบบพื้นฉลามที่ความ ขรุขระต่างๆ	35
4.4	ภาพขาว-ดำ (Binary image) แสดงลักษณะพื้นผิวแคโรทสกรูปแบบคลื่นที่ความ ขรุขระต่างๆ	35
4.5	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวของแคโรทที่มีลักษณะผิวหน้า แบบพื้นฉลาม (a) และ แบบคลื่น (b) ในระหว่างการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส	37
4.6	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของแคโรทที่มีลักษณะผิวหน้า แบบพื้นฉลาม (a) และแบบคลื่น (b) ในระหว่างการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส	38
4.7	การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของแคโรทที่มีลักษณะผิวหน้า แบบพื้นฉลาม (a) และแบบคลื่น (b) ในระหว่างการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส	39
4.8	การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของแคโรทที่มีลักษณะผิวหน้า แบบพื้น ฉลาม (a) และแบบคลื่น (b) ในระหว่างการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส	41
4.9	การเหลือรอดของ <i>Salmonella</i> บนผิวหน้าแคโรทที่มีลักษณะผิวหน้า แบบพื้นฉลาม (a) และแบบคลื่น (b) ในระหว่างการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส	43

### รายการสัญลักษณ์

$a_w$	=	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้
$b$	=	Scale factor ซึ่งเป็นค่าคงที่เป็นสมบัติของจุลินทรีย์
$c_1, c_2, c_3$	=	ค่าคงที่แสดงลักษณะของจุลินทรีย์แต่ละชนิด
$d$	=	มวลของวัสดุแห้งที่ไม่มีความชื้น (kg)
$F_o$	=	ความถี่ของจุดสีขาว (พิกเซลที่ถูกลบ) ที่เวลาเริ่มต้น
$F_t$	=	ความถี่ของจุดสีขาว (พิกเซลที่ถูกลบ) ที่เวลาการอบแห้งใดๆ
$k_p, k_2, m$	=	ค่าคงที่แสดงลักษณะของจุลินทรีย์แต่ละชนิดโดยเฉพาะการถูกทำลาย
$M_d$	=	ปริมาณความชื้น (มาตรฐานแห้ง)
$M_{eq}$	=	ปริมาณความชื้นสมดุล
$M_i$	=	ปริมาณความชื้นเริ่มต้น
$M_o$	=	ปริมาณความชื้นที่เวลาการอบแห้งใดๆ
$n$	=	Shape factor เป็นค่าคงที่ที่แสดงลักษณะของกราฟ
$N$	=	จำนวนจุลินทรีย์ที่เวลาใดๆ
$N_o$	=	จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น
$R$	=	แฟคเตอร์ความขรุขระ คำนวณได้จากการวิเคราะห์ภาพ (Image analysis)
$S(t)$	=	จำนวนเซลล์ที่เหลือรอด ณ เวลาใดๆ
$t$	=	เวลา
$V$	=	ปริมาตรของตัวอย่าง ( $m^3$ ) ที่เวลาการอบแห้งใดๆ
$V_i$	=	ปริมาตรของตัวอย่าง ( $m^3$ ) ที่เวลาเริ่มต้น
$x$	=	ความสูงของคลื่น หน่วยเป็น เซนติเมตร