

# ผลของสภาวะอบแห้งและอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดอบกรอบ

## Effect of drying conditions and shelf life of crispy cricket product

สุภาภรณ์ พรหมพันธ์<sup>1\*</sup>, สุกัญญา สายธิ<sup>1</sup> และ ชนิษฐา วงศ์باسก<sup>1</sup>

Supakarn Promkhan<sup>1\*</sup>, Sukanya Saithi<sup>1</sup> and Chanidda Wongbasg<sup>1</sup>

**บทคัดย่อ:** ปัจจุบันตลาดมีความต้องการจิ้งหรีดอบกรอบสูงขึ้น ส่งผลให้ธุรกิจการเลี้ยงและแปรรูปแมลงมีแนวโน้มทางการตลาดที่ดี เป็นโอกาสที่วิสาหกิจขนาดย่อมสามารถเข้าถึงและสร้างส่วนแบ่งทางการตลาดได้หากมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณภาพและมาตรฐาน ซึ่งจะเป็นการยกระดับสินค้า OTOP ในท้องถิ่นให้สามารถแข่งขันในตลาดที่สูงได้ต่อไป งานวิจัยนี้มุ่งศึกษากรรมวิธีการอบแห้งจิ้งหรีดสายพันธุ์ทองแดงลาย (สะตัง) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดอบกรอบที่มีคุณภาพ และศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จากการศึกษาสภาวะการอบแห้งจิ้งหรีดที่อุณหภูมิ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบจิ้งหรีด คือที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดอบกรอบที่มีความชื้นร้อยละ 6.10 ค่าปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) เท่ากับ 0.1566 และค่าสี  $L^*$ ,  $C^*$  และ  $h^\circ$  เท่ากับ 22.8, 15.0 และ 78.4 ตามลำดับ มีโปรตีนร้อยละ 62.94 และให้พลังงานทั้งหมด 432.66 กิโลแคลอรี/100 ก. คุณค่าทางอาหารต่างๆ เช่น วิตามินเอ, บี 1, บี 2, แคลเซียม และเหล็ก เท่ากับ 16.25 ไมโครกรัม, 0.048 มก., 2.658 มก., 149.34 มก. และ 6.58 มก. ต่อ 100 ก. ตามลำดับ อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อบรรจุผลิตภัณฑ์ในกระป๋องพลาสติก (PET) และมีการใช้สารดูดซับออกซิเจนสามารถเก็บรักษาได้นาน 102 วัน ในขณะที่บรรจุในซองอลูมิเนียมฟอยล์ และมีการเติมก๊าซไนโตรเจนจะสามารถเก็บรักษาได้นาน 167 วัน

**คำสำคัญ:** จิ้งหรีด, การอบแห้ง, อายุการเก็บรักษา

**ABSTRACT:** Recently, market has higher demand for crispy cricket. It results a good market trend in cricket farming and processing. That is an opportunity of small enterprises can access and get a market share if products were developed with a good quality and high standard. It will be upgrading OTOP products to be able to reach higher competition in the market. This research aims to study drying process of cricket (*Acheta domestica*) in order to obtain the high quality crispy cricket and to study shelf life of the products. The studied of cricket drying conditions at 50, 55 and 60°C showed that the optimal condition was 60°C for 8 hrs. Dried cricket product had moisture content at 6.10%,  $a_w$  at 0.1566 and color values ( $L^*$ ,  $a^*$  and  $h^\circ$ ) at 22.8, 15.0 and 78.4, respectively. Protein content was 62.94% and energy was 432.66 kcal/100g. Nutrition values of the product such as Vitamin A, B1, B2 calcium and iron were 16.25  $\mu$ g, 0.048 mg, 2.658 mg, 149.34 mg and 6.58 mg/100 g, respectively. Product shelf life at 25°C in plastic cans (PET) and using oxygen absorber was 102 days. While the products in aluminium foil bags and added nitrogen gas can be stored for 167 days.

**Keywords:** cricket, drying process, shelf life

Received December 12, 2018

Accepted June 12, 2019

<sup>1</sup> สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร 47160

<sup>1</sup> Department of Food Science and Technology, Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of Technology Isan, Sakon Nakhon, 47160

\* Correspondence author : s\_promkhan@hotmail.com

## บทนำ

จากข้อมูลจากองค์การอาหารและการเกษตร ระบุไว้ว่า อนาคตการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกจะมากถึง 9,000 ล้านคน ในปี 2050 FAO (2013) ได้มีการประเมินว่า “แหล่งอาหารและโปรตีนจะมีอย่างจำกัด” แหล่งอาหารทดแทนจึงเข้ามาแทนที่อาหารหลักเพราะประชากรที่เพิ่มขึ้นอาหารจึงไม่เพียงพอ การเลี้ยงแมลงจึงเป็น Novel Food (อาหารใหม่) ประเทศไทยซึ่งเป็นแหล่งผลิตพืชผลทางการเกษตรมีระบบนิเวศอันสมบูรณ์จึงเป็นเป้าหมายของทางเลือกผู้บริโภคทั่วโลก ขณะเดียวกันถือเป็นโอกาสของเกษตรกรไทยรวมถึงผู้ประกอบการสามารถเพิ่มช่องทางตลาดนวัตกรรมอาหารใหม่ โดยในปี 2561 ตลาดในสหภาพยุโรปทั้งหมด 28 ประเทศ ประกาศให้นำเข้าแมลงอย่างเป็นทางการ นับว่าเป็นช่องทางตลาดใหม่ (ประชาชาติธุรกิจ, 2559) จึงหรีดถือเป็นแมลงเศรษฐกิจของไทยที่มีศักยภาพสูง กำลังการผลิตในระยะ 2-3 ปีมีการขยายอย่างมาก โดยมีมูลค่าเกือบ 1,000 ล้านบาท/ปี และยังเป็นอาหารที่กำลังได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ อาทิ เยอรมนี อังกฤษ สหรัฐอเมริกา เป็นต้น โดยสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์และส่วนผสมได้หลากหลาย ช่วยเพิ่มมูลค่าสินค้าจำพวก Snack Food ด้วยการปรุงแต่งเป็นรสชาติต่างๆ รวมถึงผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดผงเพื่อนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจุบันตลาดมีความต้องการจิ้งหรีดอบกรอบมากถึง 1.6 ตันต่อวัน (ฐานเศรษฐกิจ, 2560) ในขณะที่สามารถผลิตได้ 1 ตัน แสดงให้เห็นว่าธุรกิจการเลี้ยงและแปรรูปแมลงมีแนวโน้มทางการตลาดที่ค่อนข้างสูง มีโอกาสที่วิสาหกิจขนาดย่อมสามารถเข้าถึงและสร้างส่วนแบ่งทางการตลาดได้ หากมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณภาพและมาตรฐาน เป็นการยกระดับสินค้าโอท็อปในท้องถิ่นให้สามารถเข้าแข่งขันในตลาดที่สูงได้ต่อไป ซึ่งการอบแห้ง (dehydration) เป็นวิธีการถนอมอาหารที่นิยมใช้มานาน เป็นการลดความชื้นของอาหารด้วยการระเหยน้ำออก ด้วยการอบแห้ง การลดปริมาณน้ำในอาหารโดยการอบแห้ง ทำให้อาหารมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity;  $a_w$ ) น้อยกว่า 0.6 ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก่อ

โรค และยับยั้งการสร้างสารพิษของเชื้อรา (อาทิตยาและอมรชัย, 2557) และการอบแห้งยังทำให้อาหารมีน้ำหนักเบา ลดปริมาตร สะดวกต่อการขนส่ง การบริโภค หรือการนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปต่อเนื่องด้วยวิธีอื่นๆ ธวัชและพิริยะ (2557) กล่าวว่าอาหารอบกรอบ ควรเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนได้ดี เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหาร งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษากิจกรรมวิธีการอบจิ้งหรีด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดอบกรอบที่มีคุณภาพและมีมาตรฐานการผลิต รวมถึงศึกษาอายุการเก็บในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน เพื่อกำหนดชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดอบกรอบให้มีคุณภาพ มีอายุการเก็บรักษาที่มากกว่า 3 เดือน ช่วยเพิ่มรายได้ให้กับกลุ่มผู้เลี้ยงและแปรรูปแมลงต่อไป

## วิธีการศึกษา

### ศึกษาสายพันธุ์ที่เหมาะสมในการแปรรูปจิ้งหรีดอบกรอบ

นำจิ้งหรีด 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ทองแดงลายหรือสะดิง (*Acheta domestica*) และพันธุ์ทองดำ (*Gryllus bimaculatus*) จากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้เลี้ยงและแปรรูปจิ้งหรีดพังโคน อ.พังโคน จ.สกลนคร ดำเนินการความสะอาด ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 40 นาที อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 8-10 ชั่วโมง เพื่อให้มีปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช ศึกษาคุณภาพทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี (โปรตีน, ไขมัน, ความชื้น, เถ้า และใยอาหาร) (AOAC, 2000) ค่า aw ด้วยเครื่องวัด aw AQUA LAB รุ่น 4TE ประเทศสหรัฐอเมริกาและค่าสี  $L^*$ ,  $C^*$  และ  $h^\circ$  ด้วยเครื่องวัดสี Color Flex รุ่น CX 1498 ประเทศสหรัฐอเมริกา

### ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งจิ้งหรีดอบกรอบ

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมการอบแห้งจิ้งหรีดโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomize Design (CRD) ปัจจัยที่ศึกษา คือ อุณหภูมิในการอบ 3 ระดับ ได้แก่ 50, 55 และ 60

องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยใช้จิ้งหรีดที่ได้จากการคัดเลือกสายพันธุ์ข้างต้น ล้างทำความสะอาด ซ้ำเช็ดที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 40 นาที นำไปคั่วพร้อมสมุนไพร นาน 30 นาที เกลี่ยลงถาด นำเข้าอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิต่างๆ วัดปริมาณความชื้น และ ค่า  $a_w$  ทุก 2 ชั่วโมง โดยจะหยุดการอบเมื่อตัวอย่างมีค่า  $a_w$  ต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก่อโรค รวมทั้งยับยั้งการสร้างสารพิษของเชื้อรา (อาทิตยา และอมรชัย, 2557)

### ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดอบกรอบที่พัฒนาได้

วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่า  $a_w$  และค่าสี  $L^*$ ,  $C^*$  และ  $h^\circ$  ซึ่งค่า  $L^*$  แสดงถึงความสว่างของผลิตภัณฑ์ (0-100) ค่า  $C^*$  แสดงความเข้มของสี และค่า  $h^\circ$  คือค่ามุมของสี มีตำแหน่งอยู่ที่ใดในกราฟมีหน่วยเป็นองศา โดยค่า  $h^\circ$  มีค่าตั้งแต่ 0 องศา (สีแดง) 90 องศา (สีเหลือง) 180 องศา (สีเขียว) 270 องศา (สีน้ำเงิน) คุณภาพทางเคมีด้านองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน, ไขมัน, ความชื้น, เถ้า และใยอาหาร (AOAC, 2000) คุณค่าโภชนาการ ได้แก่ พลังงานทั้งหมด, พลังงานจากไขมัน, ไขมันทั้งหมด, ไขมันอิ่มตัว, โคลเลสเตอรอล, โปรตีน, คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด, ใยอาหาร, น้ำตาล, โซเดียม, วิตามินเอ, วิตามินบี 1, วิตามินบี 2, แคลเซียม, เหล็ก, เถ้า และ ความชื้น (AOAC, 2000) และคุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา (BAM, 2001) ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดอบกรอบที่บรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน

ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ โดยบรรจุจิ้งหรีดอบกรอบปริมาณ 20 กรัม ในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือ กระป๋องพลาสติก PET (Polyethylene Terephthalate) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ซม. สูง 6 ซม. หุ้มด้วยฟิล์มหด (shrink film) และใช้สารดูดซับออกซิเจน (Oxygen Absorber) ขนาด 100 ลบ.ซม. และของอลูมิเนียม

พอยล์ขยายกันขนาด 12x20 ซม. ที่มีการเติมก๊าซไนโตรเจน เก็บผลิตภัณฑ์ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส สุ่มตรวจสอบคุณภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์สัปดาห์ละครั้ง ได้แก่ ค่า  $a_w$  และ Thiobarbituric acid-reactive substance (TBARS) โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจาก Jaysingh and Cornforth (2003)

### การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ผลการทดลองโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

### ผลการศึกษาและวิจารณ์

#### สายพันธุ์ที่เหมาะสมในการแปรรูปจิ้งหรีดอบกรอบ

จากผลการวิเคราะห์ พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของจิ้งหรีดสายพันธุ์ทองแดงลาย (สะตัง) มีปริมาณโปรตีน ไขมัน ใยอาหาร เถ้า และความชื้น เท่ากับร้อยละ 63.52, 16.41, 8.68, 3.79 และ 8.56 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และ จิ้งหรีดสายพันธุ์ทองดำมีปริมาณโปรตีน ไขมัน ใยอาหาร เถ้า และความชื้น เท่ากับร้อยละ 56.76, 20.30, 6.85, 3.67 และ 12.72 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ทศนีย์ และคณะ (2544) ที่ศึกษาคุณค่าทางอาหารในแมลง 18 ชนิด เช่น จิ้งหรีด แมงกระซอน แมลงจิ้งจอก พบว่า ในแมลงดังกล่าว มีโปรตีนอยู่ระหว่างร้อยละ 38.6-65.5 และมีไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 4.70-34.19 ของน้ำหนักแห้ง โดยจากการทดลองชี้ให้เห็นว่าจิ้งหรีดทองแดงลาย (สะตัง) มีโปรตีนสูงกว่าและสามารถอบแห้งแล้วได้ค่า  $a_w$  ต่ำกว่าพันธุ์ทองดำ (Table 1-2) ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น จึงเลือกนำจิ้งหรีดสายพันธุ์ทองแดงลาย (สะตัง) ไปทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

**Table 1** Physical properties of dried cricket (*A. domestica* and *G. bimaculatus*)

Sample	$a_w$	Color		
		$L^*$	$C^*$	$h^\circ$
<i>A. domestica</i>	0.15±0.00 <sup>b</sup>	41.68±0.28 <sup>a</sup>	16.59±0.17 <sup>a</sup>	76.12±0.25 <sup>a</sup>
<i>G. bimaculatus</i>	0.27±0.01 <sup>a</sup>	27.14±0.42 <sup>b</sup>	10.32±0.26 <sup>b</sup>	64.66±0.70 <sup>b</sup>

Values are expressed as mean ± SD within the same column with different letters are significantly different

( $P \leq 0.05$ )

**Table 2** Chemical properties of dried cricket (*A. domestica* and *G. bimaculatus*)

Chemical properties	Sample	
	<i>A. domestica</i>	<i>G. bimaculatus</i>
Protein (%)	63.52±1.14 <sup>a</sup>	56.76±0.22 <sup>b</sup>
Fat (%)	16.41±0.27 <sup>b</sup>	20.30±1.00 <sup>a</sup>
Crude fiber (%)	8.68±0.15 <sup>a</sup>	6.85±0.05 <sup>b</sup>
Ash (%) <sup>ns</sup>	3.79±0.01	3.67±0.09
Moisture (%)	8.56±1.07 <sup>b</sup>	12.72±1.11 <sup>a</sup>

Values are expressed as mean ± SD within the same row with different letters are significantly different ( $P \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> The average of each data set horizontally not significantly different ( $P > 0.05$ )

### อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งจิ้งหรีดอบกรอบ

นำจิ้งหรีดสายพันธุ์ทองแดงลาย (สะตัง) ล้างทำความสะอาด ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 40 นาที แล้วนำไปคว่ำพร้อมสมุนไพร นาน 30 นาที เกลี่ยลงถาด นำเข้าอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส โดยวัดค่าความชื้น และค่า  $a_w$  ทุก 2 ชั่วโมง แล้วยุติการอบเมื่อค่า  $a_w$  ต่ำกว่า 0.6 (Table 3) พบว่า สภาวะที่

เหมาะสมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่นาน คือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง โดยมีความชื้นร้อยละ 6.10 และค่า  $a_w$  เท่ากับ 0.1566 ซึ่งค่า  $a_w$  เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การเกิด hydrolytic rancidity และการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัส เช่น ความกรอบของผลิตภัณฑ์ (Shaviklo et al., 2015)

**Table 3** Moisture contents and  $a_w$  values of dried cricket

Time (hr)	moisture (%)						$a_w$					
	50°C		55°C		60°C		50°C		55°C		60°C	
0 <sup>ns</sup>	65.53	±0.95	63.65	±3.06	67.61	±1.47	0.9610	±0.00	0.9653	±0.00	0.9527	±0.00
2 <sup>ns</sup>	60.12	±1.05	58.65	±3.20	59.22	±3.76	0.9500	±0.00	0.9521	±0.00	0.9558	±0.00
4	54.48	±1.34 <sup>a</sup>	50.74	±4.79 <sup>b</sup>	45.71	±3.60 <sup>c</sup>	0.9450	±0.00 <sup>ns</sup>	0.9434	±0.00 <sup>ns</sup>	0.9462	±0.00 <sup>ns</sup>
6	48.51	±1.11 <sup>a</sup>	48.12	±0.71 <sup>a</sup>	22.35	±0.38 <sup>b</sup>	0.9211	±0.00 <sup>a</sup>	0.9366	±0.00 <sup>a</sup>	0.7839	±0.04 <sup>b</sup>
8	43.55	±0.79 <sup>a</sup>	38.90	±2.28 <sup>b</sup>	8.20	±1.08 <sup>c</sup>	0.9192	±0.00 <sup>a</sup>	0.8897	±0.02 <sup>b</sup>	0.1859	±0.00 <sup>c</sup>
10	36.74	±1.31 <sup>a</sup>	22.49	±2.85 <sup>b</sup>	6.10	±1.02 <sup>c</sup>	0.8833	±0.01 <sup>a</sup>	0.7934	±0.02 <sup>b</sup>	0.1566	±0.00 <sup>c</sup>
12	25.33	±0.99 <sup>a</sup>	7.84	±1.12 <sup>b</sup>	-	-	0.7611	±0.00 <sup>a</sup>	0.4970	±0.01 <sup>b</sup>	-	-
14	9.21	±4.98	-	-	-	-	0.5134	±0.02	-	-	-	-

Values are expressed as mean ± SD within the same row of data set with different letters are significantly different ( $P \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> The average of each data set horizontally not significantly different ( $P > 0.05$ )

### คุณภาพของผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดอบกรอบที่พัฒนาได้

ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดอบกรอบสายพันธุ์ทองแดงลาย (สะตึง) ที่ได้จากระบวนการอบแห้งข้างต้น จาก Table 4 แสดงค่าคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่า aw เท่ากับ 0.1967 และ ค่าสี ซึ่งผลิตภัณฑ์มีค่า L\*, C\* และ h เท่ากับ 22.85, 15.08 และ 78.40 ตามลำดับ ค่าคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าคุณค่าทางโภชนาการ (พลังงานทั้งหมด, พลังงานจากไขมัน, ไขมันทั้งหมด, ไขมันอิ่มตัว, โคลเลสเตอรอล, โปรตีน, คาร์โบไฮเดรต

ทั้งหมด, โยอาหาร, น้ำตาล, โซเดียม, วิตามินเอ, วิตามินบี 1, วิตามินบี 2, แคลเซียม, เหล็ก, เถ้า และ ความชื้น) พบว่า จิ้งหรีดอบกรอบ 100 ก. ให้พลังงาน 432.66 กิโลแคลอรี มีโปรตีนและแคลเซียม สูงถึง 62.94 ก. และ 149.34 มก. ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าปริมาณโปรตีนที่ได้จากไข่ไก่ 1 ฟอง หมูบด 100 ก. และเนื้อไก่ 100 กรัม ที่ให้โปรตีน 13, 18 และ 28 ก. ตามลำดับ (นันทยา และคณะ, 2549) และค่าคุณภาพด้านจุลินทรีย์ ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 250 CFU/ก. ปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 10 CFU/ก.

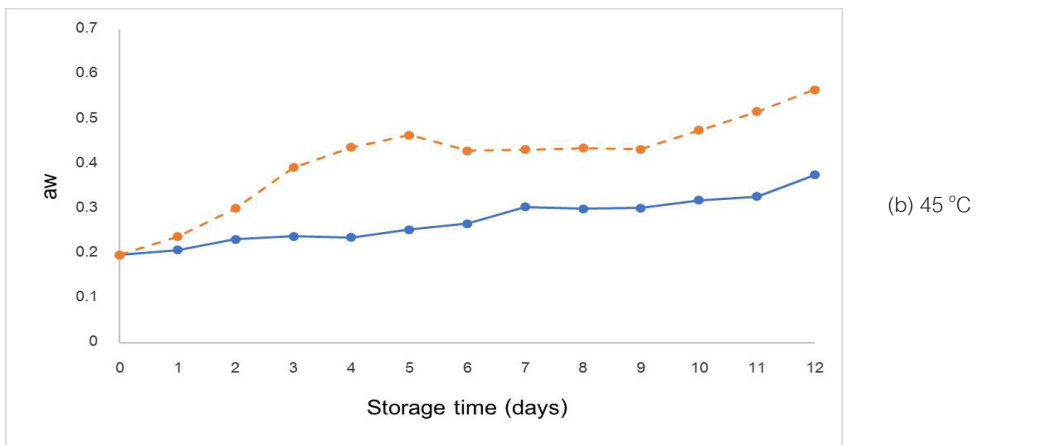
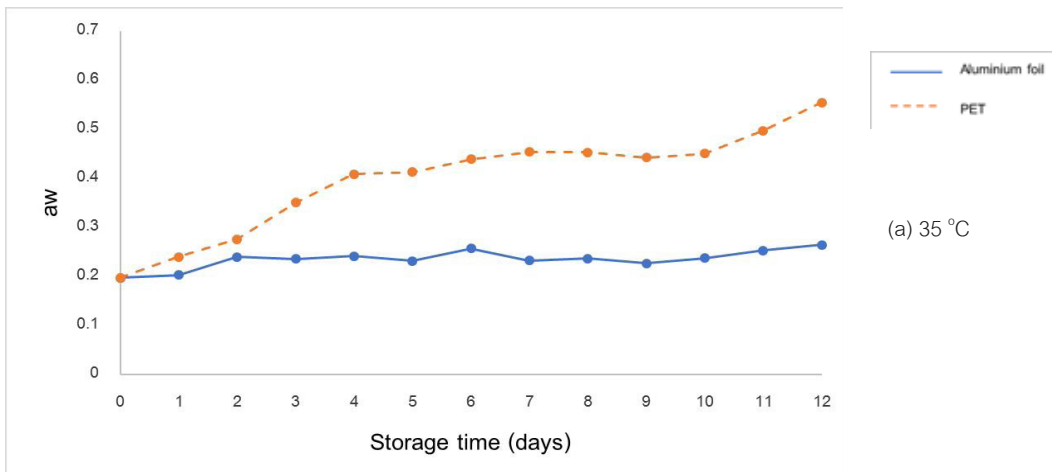
**Table 4** Physical, chemical and microbiological properties of crispy cricket product

Properties	values
1. Physical properties	
Water activity ( $a_w$ )	0.1967
Color	
L*	22.85
C*	15.08
h°	78.40
2. Chemical Properties	
Energy (Kcal/100g)	432.66
Energy from fat (Kcal/100g)	140.94
Total fat (g/100g)	15.66
Saturated fat (g/100g)	5.59
Cholesterol (mg/100g)	238.13
Protein (g/100g)	62.94
Total carbohydrate (g/100g)	9.99
Dietary fiber (g/100g)	0.00
Sugars (g/100g)	0.00
Sodium (Na) (mg/100g)	1,040.55
Vitamin A ( $\mu$ g/100g)	16.25
Vitamin B1 (mg/100g)	0.048
Vitamin B2 (mg/100g)	2.658
Calcium (Ca) (mg/100g)	149.34
Iron (Fe) (mg/100g)	6.58
Ash (g/100g)	5.58
Moisture (g/100g)	5.83
3. Microbiological properties	
Total plate count (CFU/g)	< 250
Yeast and mold (CFU/g)	< 10
<i>Staphylococcus aureus</i> (CFU/g)	< 10

### อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดอบกรอบในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า  $a_w$  และ TBARS ของผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดอบกรอบขนาดบรรจุ 20 ก. บรรจุในกระป๋องพลาสติก PET ร่วมกับใช้สารดูดซับออกซิเจน ขนาด 100 ลบ.ซม. และบรรจุซองอลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 12x20 ซม. ที่มีการเติมก๊าซไนโตรเจนซึ่งเป็นก๊าซเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ละลายในน้ำและไขมันได้น้อยมาก จึงสามารถใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารทุกชนิดเพื่อใช้ในการรักษาระดับความดันภายในบรรจุภัณฑ์ ป้องกันการยุบตัวของบรรจุภัณฑ์และการแตกหักเสียรูปของผลิตภัณฑ์ (สุขเกษม, 2555) แล้วคำนวณอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ โดยค่า  $a_w$  เป็นค่าที่บ่งบอกถึง

ปริมาณน้ำอิสระภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะส่งผลต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความกรอบและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ ผลการวิเคราะห์ในผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดอบกรอบบรรจุกระป๋องพลาสติก PET และในซองอลูมิเนียมฟอยล์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส พบว่า ค่า  $a_w$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา (Figure 1) โดยค่า  $a_w$  เริ่มต้นของจิ้งหรีดอบกรอบเท่ากับ 0.1967 และเมื่อระยะเวลาผ่านไป 12 สัปดาห์ อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดอบกรอบที่เก็บรักษาในกระป๋องพลาสติก PET มีค่า  $a_w$  สูงกว่าที่เก็บในซองอลูมิเนียมฟอยล์ โดยมีค่า  $a_w$  เท่ากับ 0.5915 และ 0.4571 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอลูมิเนียมฟอยล์สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซชนิดต่างๆ ได้ดี (ธวัช, 2557)



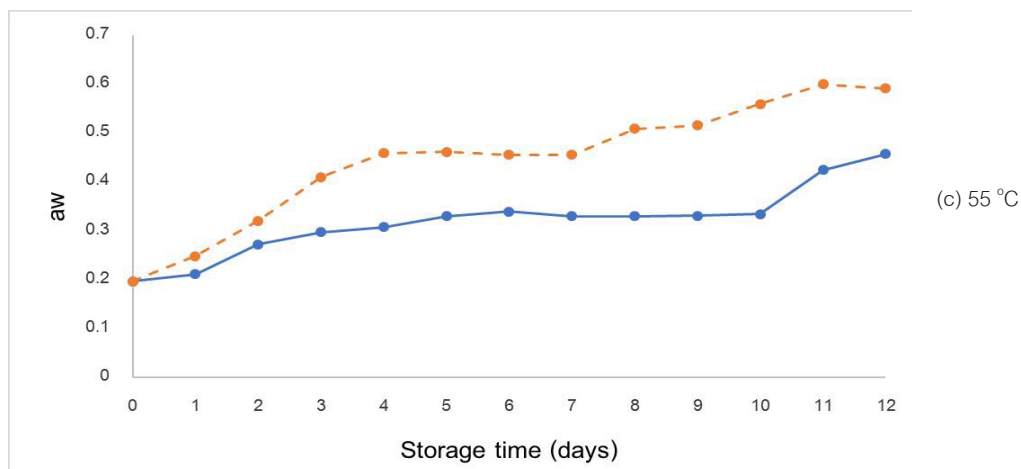


Figure 1  $a_w$  value changes in crispy cricket stored at (a) 35 °C, (b) 45 °C and (c) 55 °C

การวิเคราะห์ค่า TBARS เป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้ในการติดตามกระบวนการเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน (Gray, 1978) โดยเป็นการวัดการเพิ่มขึ้นของสารสีแดงที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง 2-thiobarbituric acid (TBA) และ Malonaldehyde เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นทุติภูมิที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยแสดงให้เห็นถึงปริมาณของสารประกอบที่ระเหยได้จากปฏิกิริยา หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นดัชนีที่ใช้ติดตามระดับการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ (Pearson, 1976) หรือการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ตามระยะเวลาการเก็บ สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของอาหารได้ (ณัฐชา, 2547) โดยทั่วไปค่า TBARS ที่มากกว่า 3 mg MDA/kg จะทำให้ผู้บริโภครับรู้กลิ่นแปลกปลอมทางประสาทสัมผัสต่ออาหารได้ และถ้าค่ามากกว่า 7 mg MDA/kg ไขมันจะเสื่อมคุณภาพมากขึ้นและมีกลิ่นรุนแรง (สุพรรณพันธ์ และ ณัฐชา, 2554) ทั้งนี้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับธรรมชาติของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ด้วย (Lopacka et al., 2017) เช่น จากการศึกษารายงานของ Campo et al. (2006) พบว่า หากเนื้อสัตว์มีค่า TBARS สูงกว่า 2.28 mg MDA/kg จะส่งกลิ่นหืนที่ค่อนข้างรุนแรงและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยจากผลการวิเคราะห์ พบว่า ค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์จึงหรือติดอบกรอบบรรจุกระป๋อง PET และซองอลูมิเนียมฟอยล์ มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Figure 2) โดยค่า TBARS เริ่มต้นของผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 1.61 mg MDA/kg ซึ่งค่า

TBARS ของตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS สูงกว่าที่ 35 และ 45 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิด Malonaldehyde การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันจึงเกิดได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (Raharjo and Sofos, 1993) ค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์ในสัปดาห์ที่ 12 ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในกระป๋อง PET และซองอลูมิเนียมฟอยล์ ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีค่า TBARS เท่ากับ 2.65 และ 2.57 mg MDA/kg ตามลำดับ

การทำนายอายุการเก็บ จากการวิเคราะห์ค่า TBARS ซึ่งเป็นดัชนีแสดงถึงคุณภาพทางด้านกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์อาหาร การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีของสารประกอบเหล่านี้ดำเนินไปเรื่อยๆ โดยสัมพันธ์กับความเร็ว อัตรา และ จลนพลศาสตร์ (Kinetic) ของปฏิกิริยา (กีรตินาฎ, 2553) ความสัมพันธ์ของจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาจะทำให้สามารถเปรียบเทียบอัตราของปฏิกิริยาของตัวอย่างได้ โดยการนำข้อมูลมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่เกิดขึ้นกับเวลา เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยา ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า TBARS กับระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่า TBARS เป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ เนื่องจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง TBARS กับระยะเวลาการเก็บรักษา (t) ได้กราฟเส้นตรงที่มี

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) สูงที่สุด (Table 5) สอดคล้องกับ Labuza and Riboh (1982) ที่กล่าวว่า ปฏิริยาการเสื่อมเสียในอาหารส่วนใหญ่จัดเป็น ปฏิริยาอันดับศูนย์หรือหนึ่ง และสามารถใช้ในการ ทำนายอายุการเก็บรักษา โดยมีความชันของกราฟ

เป็นค่าคงที่ของอัตราปฏิริยา (Reaction rate constant;  $k$ ) ซึ่งค่า  $k$  ของผลิตภัณฑ์จึงหีตออบ กรอบบรรจุกระป๋องพลาสติก PET และซองอลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ แสดงดัง Table 6

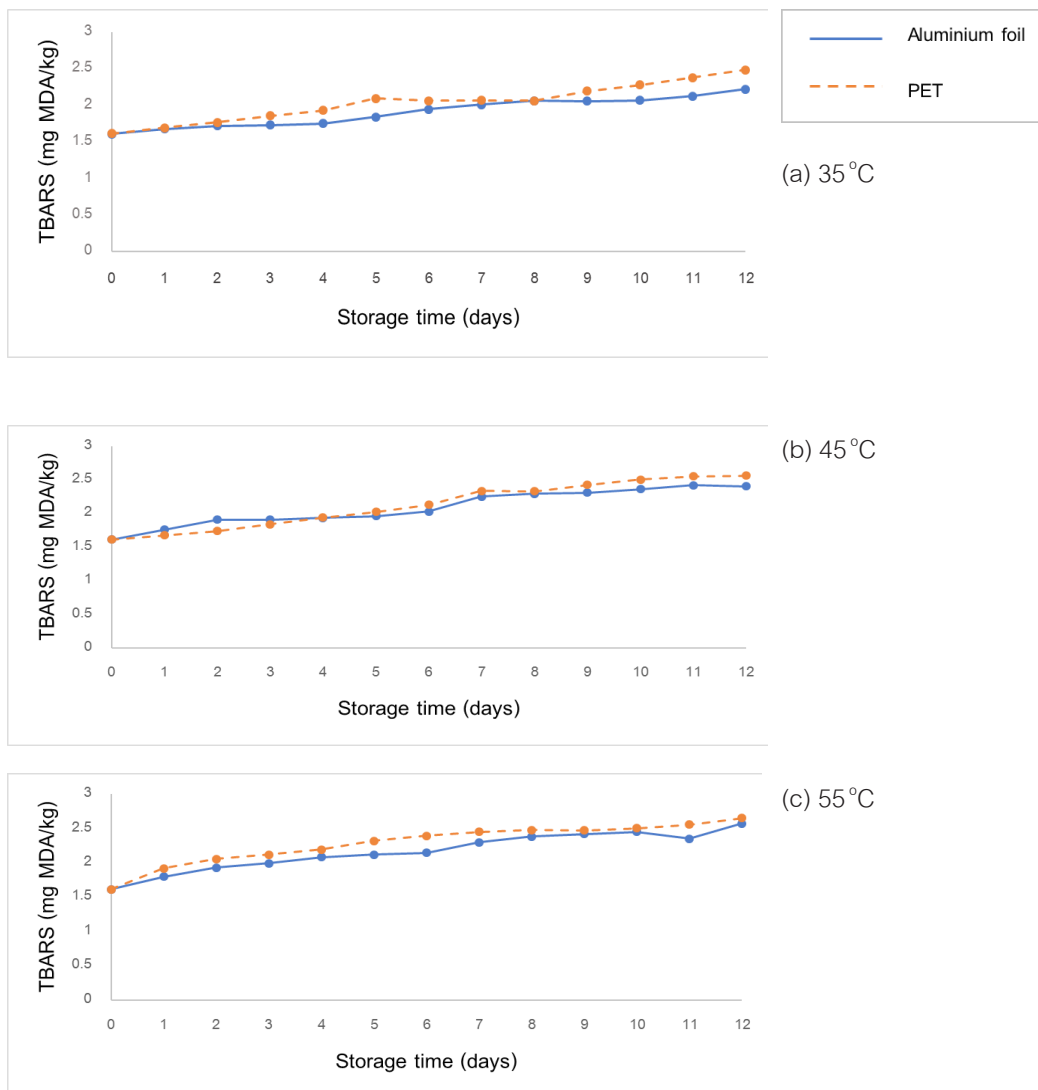


Figure 2 TBARS value changes in crispy cricket stored at (a) 35 °C, (b) 45 °C and (c) 55 °C.



Table 5 R-square of each kinetic model of crispy cricket based on TBARS

Kinetic model	R-square		
	35°C	45°C	55°C
Zero-order			
PET	0.9564	0.9806	0.8878
Aluminium foil	0.9696	0.9483	0.9561
First-order			
PET	0.9536	0.9733	0.8419
Aluminium foil	0.9604	0.9367	0.9315
Second-order			
PET	0.9424	0.9603	0.7874
Aluminium foil	0.9253	0.9181	0.8974

จาก Table 6 พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา (k) จะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อนำค่า k มาแทนค่าในสมการของปฏิกิริยาอันดับที่ศูนย์ ( $t = (C_{final} - C_0)/k$ ) เพื่อทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์จึงหรีดอบกรอบ จากงานวิจัยเบื้องต้นพบว่า TBARS เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับกลิ่นหืนทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค โดยค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์จึงหรีดอบกรอบที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบต่ำกว่า 5 คะแนน (จาก 9 คะแนน) และไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 50 ขึ้นไป มีค่า 2.57 mg MDA/kg

$$t = (C_{final} - C_0)/k \quad (1)$$

เมื่อ  $C_{final}$  หมายถึง ค่า TBARS สุดท้ายที่ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์

$C_0$  หมายถึง ค่า TBARS ที่จุดเริ่มต้น

k หมายถึง อัตราปฏิกิริยา (reaction rate constant)

t หมายถึง ระยะเวลาในการเก็บรักษา

จากสมการที่ (1) เมื่อนำค่าอายุการเก็บที่คำนวณได้มาสร้างกราฟอายุการเก็บ (Shelf-life plot) โดยใช้สมการอาร์เรเนียส พล็อตระหว่างค่าอายุการเก็บ ( $\ln$  Shelf-life) กับส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์ ( $1/T$ ) (Figure 3) เพื่อทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์จึงหรีดอบกรอบที่บรรจุ

ในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ที่อุณหภูมิต่างๆ (Table 7) พบว่า หากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จึงหรีดอบกรอบที่บรรจุในกระป๋องพลาสติก และใช้สารดูดซับออกซิเจน ขนาด 100 ลบ.ซม. จะมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 97 วัน และที่บรรจุของอุณหภูมิเนียมพอยล์ขยายกันขนาด 12x20 ซม. ที่มีการเติมก๊าซไนโตรเจนจะมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 148 วัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากของอุณหภูมิเนียมพอยล์สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและความชื้นได้ดี (รวมลิ และสะอาด, 2560) โดยของอุณหภูมิเนียมพอยล์มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำ 0.06571 มล./ตร.ม/วัน และมีค่าการซึมผ่านออกซิเจน 0.00873 ก./ตร.ม/วัน ในขณะที่ PET มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำ 0.22830 มล./ตร.ม/วัน และมีค่าการซึมผ่านออกซิเจน 0.21402 ก./ตร.ม/วัน (Dutta & Dutta, 2016) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ในของอุณหภูมิเนียมพอยล์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ช้ากว่า อีกทั้งทั้งกระป๋อง PET มีคุณสมบัติใสและโปร่งแสงทำให้แสงสามารถกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้อีกด้วย

จากการคำนวณค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา (Activation energy;  $E_a$ ) ของผลิตภัณฑ์ ทั้ง 2 บรรจุภัณฑ์ พบว่า มีค่าไม่สูงมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับระดับของพลังงานดังกล่าวในกลุ่มของอาหารที่เกิดการออกซิเดชันของไขมันที่จะมีระดับของพลังงานทั่วไปอยู่ในช่วง 40-100 กิโลจูล/โมล (Bin and Labuza, 1993) ซึ่งค่า  $E_a$  ที่ต่ำเป็นดัชนีที่บ่งชี้ว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันใน

ผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นได้ค่อนข้างง่ายจึงส่งผลให้เกิดกลิ่นหืนได้เร็ว (กีรตินาฏ, 2553) โดยค่า  $E_a$  ของ จิ้งหรีดอบกรอบที่บรรจุในบรรจุในกระป๋อง PET มีค่า  $E_a$  ต่ำกว่าที่บรรจุในซองอลูมิเนียมฟอยล์ แสดง

ให้เห็นว่าจิ้งหรีดอบกรอบที่บรรจุในกระป๋อง PET เกิดกลิ่นหืนได้ง่ายกว่าที่บรรจุในซองอลูมิเนียมฟอยล์

Table 6 Reaction rate constants (k) of crispy cricket

Sample	Reaction rate constant (k)		
	35°C	45°C	55°C
PET	0.0726	0.0790	0.0865
Aluminium foil	0.0511	0.0659	0.0800

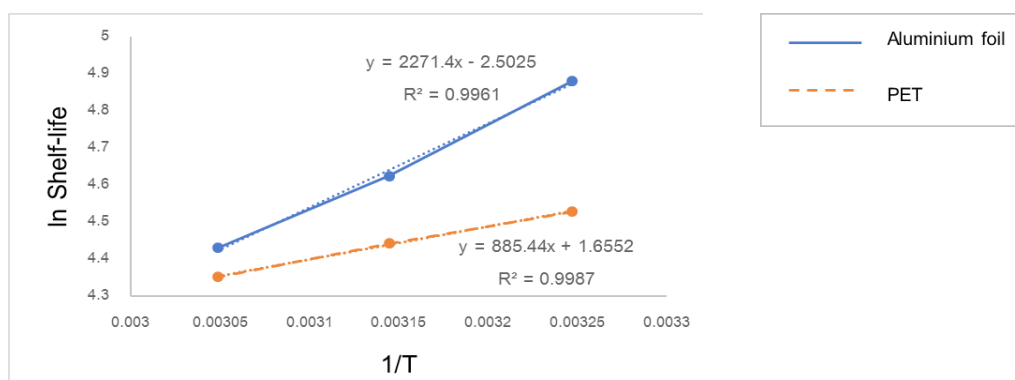


Figure 3 Shelf-life plot crispy cricket in different packages (PET and Aluminium foil).

Table 7 Shelf-life evaluation of crispy cricket in different packages (PET and Aluminium foil)

Sample	Slope ( $E_a/R$ )	$E_a$ (J/mole)	Shelf-life (days)				R-square
			15°C	25°C	30°C	40°C	
PET	886.012	7,366.30	113	102	97	89	0.9987
Aluminium foil	2,268.818	18,862.95	218	167	148	116	0.9961

### สรุป

การวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีของจิ้งหรีดสายพันธุ์ทองแดงลาย (สะตัง) และสายพันธุ์ทองดำ พบว่า จิ้งหรีดทองแดงลาย (สะตัง) มีโปรตีนสูงกว่าจิ้งหรีดทองดำ โดยมีปริมาณโปรตีน ไขมัน โยอาหาร ใย และความชื้น เท่ากับร้อยละ 63.52, 16.41, 8.68, 3.79 และ 8.56 ตามลำดับ และสามารถอบแห้งแล้วได้ค่า  $a_w$  ต่ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์

สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น จึงเลือกนำจิ้งหรีดสายพันธุ์ทองแดงลายไปทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งจิ้งหรีด พบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งจิ้งหรีดเพื่อให้ได้จิ้งหรีดอบกรอบที่มีความกรอบ และมีค่า  $a_w$  ต่ำ ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบและมีอายุการเก็บรักษาที่นาน คือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง โดยผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดอบกรอบที่ได้มีค่า  $a_w$  เท่ากับ 0.1566 มีความชื้นร้อยละ 6.10 และมีค่า  $L^*$ ,  $C^*$

และ ho เท่ากับ 22.85, 15.08 และ 78.40 ตามลำดับ และเมื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงหัตถ์ครอบ พบว่า จิ้งหรีดครอบ 100 ก. ให้พลังงาน 432.66 กิโลแคลอรี และให้โปรตีนและแคลเซียม 62.94 ก. และ 149.34 มก. ตามลำดับ เมื่อนำค่าอายุการเก็บที่คำนวณได้มาสร้างกราฟอายุการเก็บ พบว่า เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์จิ้งหรีดครอบที่บรรจุในกระป๋อง PET และมีการใช้สารดูดซับออกซิเจนขนาด 100 ลบ.ซม. สามารถเก็บรักษาได้นาน 102 วัน ในขณะที่เมื่อเก็บรักษาในซองอลูมิเนียมฟอยล์ขยายกันขนาด 12x20 ซม. และมีการเติมก๊าซไนโตรเจนสามารถเก็บรักษาได้นาน 167 วัน ซึ่งผลิตภัณฑ์นี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของไขมันค่อนข้างสูง ดังนั้นหากต้องการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้น เพื่อให้มีเวลามากพอในการส่งเสริมการตลาดและเป็นผลดีในเชิงพาณิชย์ จึงอาจจะเลือกใช้ถุงลามิเนตอลูมิเนียม หรือกระป๋องอลูมิเนียม ที่มีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้ดีกว่า และสามารถป้องกันแสงสว่างส่องผ่านเข้าไปด้านใน รวมถึงใช้สารดูดซับออกซิเจนที่มีขนาดเหมาะสมกับอากาศที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุ ร่วมกับการใช้ก๊าซเฉื่อย ซึ่งจะป้องกันการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีขึ้น

### เอกสารอ้างอิง

- กีรตินาฏ พูลเกษร. 2553. การพัฒนาสารป้องกันการเกาะติดสำหรับมะละกอแช่िमอบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ณัฐชา เปี่ยมคล้าย. 2547. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทอดทุเรียนสุกแช่แข็งด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ประชาชาติธุรกิจ. 2559. รอบรู้เศรษฐกิจตามติดตลาดโลก. หนังสือพิมพ์ประชาชาติธุรกิจ. 39: 7-9 พฤศจิกายน 2559. หน้า 5.
- ฐานเศรษฐกิจ. 2560. จิ้งหรีดสัตว์เศรษฐกิจส่งออกใหม่. หนังสือพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ. 37(3249) 2-5 เมษายน 2560.
- นันทยา จงใจเทศ, พิมพร วัชรพงศ์กุล, ปิยนันท์ เผ่าม่วง และ เพ็ญไพยม ประภาศิริ. 2549. คุณภาพโปรตีนและไขมันในแมลงกินได้. กองโภชนาการ. สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- ทัศนีย์ แจ่มจรรยา, สุภาพ ณ นคร, พินิจ หวังสมนึก, ไพรัช ทาบทวีพร, และญาดา พลแสน. 2544. ความหลากหลายของแมลงที่ใช้เป็นอาหารในเขตจังหวัดขอนแก่น. แก่นเกษตร. 29: 1-9.
- ธวัช นุสนธรา. 2557. บรรจุภัณฑ์พลาสติกกับคุณภาพของอาหารโอท็อป. ธรรมชาติศาสตร์ปริวรร. 62: 35-37.
- ธวัช นุสนธรา และพิริยะ ศรีเจ้า. 2557. การเก็บสินค้าอาหารประเภททอดหรืออบกรอบด้วยบรรจุภัณฑ์. แหล่งข้อมูล: [http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss\\_j/2557\\_62\\_195\\_P14-17.pdf](http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2557_62_195_P14-17.pdf) ค้นเมื่อ 10 เมษายน 2562.
- รอมดี เจดอเลาะ และ สะอาด อาแซ. 2560. บรรจุภัณฑ์และอายุการเก็บรักษามะตะปะฮาลาดพื้นเมืองสำเร็จรูป. วิทยาศาสตร์บูรพา. 22: 78-91.
- สุขเกษม สิทธิพนธ์. 2555. การบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร. เอกสารการสอนชุดวิชาเทคโนโลยีการถนอมและแปรรูปอาหาร มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.
- สุพรรณพันธ์ โลหะลักษณะเดช และณัฐา คเชนทร์ภักดี. 2554. การศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์บูหีนิมทอดปรุงรส. วิจัยเทคโนโลยีการประมง. 5: 105-110.
- อาทิตยา พัฒนิบูลย์ และ ดร.อมรชัย อภรณ์วิธานพ. 2557. เทคโนโลยีการอบแห้ง. แหล่งข้อมูล: [http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/tn234a\\_p64-67.pdf](http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/tn234a_p64-67.pdf) ค้นเมื่อ 10 เมษายน 2562.
- AOAC. 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. 17th edition. The Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.
- BEM. 2001. Bacteriological Analytical Manual. Available Source: <http://www.cfsan.fda>

- gov. Accessed Dec.1, 2015.
- Bin, F. and T.P. Labuza. 1993. Shelf-life prediction: theory and application. *Food Control*. 4: 125-133.
- Campo, M.M., G.R. Nute, S.I. Hughes, M. Enser, J.D. Wood, and R.I. Richardson. 2006. Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Sci*. 72: 303-311.
- Dutta, A. and G. Dutta. 2016. Comparing optimum barrier variables of aluminium and MPET foil based laminates for coffee packaging. *JAPR*. 8: 51-60.
- FAO. 2013. Edible insects Future prospects for food and feed security. Available Source: <http://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf>
- Gray, J.I. 1978. Measurement of lipid oxidation: A review. *AOCS*. 55: 539-546.
- Jaysingh, P. and D.P. Cornforth. 2003. Comparison of antioxidant effect of milk mineral, butylated hydroxy toluene and sodium tripolyphosphate in raw and cooked ground pork. *Meat Sci*. 66: 83-9.
- Lopacka, J., A. Poltorak, and A. Wierzbicka. 2017. Effect of reduction of oxygen concentration in modified atmosphere packaging on bovine *M. longissimus lumborum* and *M. gluteus medius* quality traits. *Meat Sci*. 124: 1-8.
- Pearson, D. 1976. *The chemical analysis of foods*. 7th edition. Edinburgh: Churchill Livingstone, New York.
- Raharjo S. and J.N. Sofos. 1993. Methodology for measuring malonaldehyde as a product of lipid peroxidation in muscle tissues: A review. *Meat sci*. 35: 145-169.
- Shaviklo, A.R., M. Azaribeh, Y. Moradi and P. Zangeneh. 2015. Formula optimization and storage stability of extruded puffed corn-shrimp snacks. *JFST*. 63: 307-314.