วารสารเกษตรนเรศวร
ISSN : 0859-3027
ISSN (Online) : 2730-356X

บทความวิจัย

อิทธิพลของอุณหภูมิเก็บรักษาในสภาวะเร่งและบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของน้ำตาลเคลือบคาราเมล

กติกา ปัญญาคำ[2] บุญส่ง แสงอ่อน[1] และ พีระศักดิ์ ฉายประสาท[1,2*]

[1]คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000
[2]โรงงานน้ำตาลพิษณุโลก 8/8 หมู่ 8 ไผ่ล้อม บางกระทุ่ม พิษณุโลก 65110
*Corresponding author: peerasakc@gmail.com
(Received April 26,2021; Revised August 17,2021 ; Accepted November 4,2021)

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาในสภาวะเร่งและบรรจุภัณฑ์ที่มีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บของน้ำตาลเคลือบคาราเมลน้ำตาลเคลือบคาราเมลชนิดใหม่ถูกเตรียมขึ้นแล้วบรรจุในถุงพลาสติกชนิด Linear low density polyethylene (LLDPE) ปิดผนึกเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ปิดผนึกจากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และ คุณภาพทางประสาทสัมผัส ทุก 3 วัน เป็นเวลา 24 วัน นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan New Multiple Range Test (DMRT) ($P \leq 0.05$) ผลการศึกษาพบว่าน้ำตาลเคลือบคาราเมลที่เตรียมขึ้นมีค่าสี (1441 ICUMSA Unit) สูงกว่าน้ำตาลทรายขาว conductivity ash (%), การตกตะกอน (%), ปริมาณความชื้น (%) วอเตอร์แอคทีวิตี้ (Water Activity, Aw) และ F มีค่า 0.03, 0.0025, 0.10, 0.41 และ 0.79 ตามลำดับค่า brix (%), purity (%), reducing sugar (%) และ polarization (%) มีค่า 34.95, 65.11, 0.20 และ 99.63 ตามลำดับคุณภาพทางกายภาพเคมีและจุลชีววิทยาของน้ำตาลเคลือบคาราเมลผ่านมาตรฐานของโรงงานน้ำตาลพิษณุโลก จำนวน Total plate count จำนวนยีสต์และรามีค่า <1 cfu/10 กรัม *Escherichia coli* Coliform *Staphylococcus aureus* มีค่าน้อยกว่า 3 MPN/g และตรวจไม่พบ *Salmonella* ในน้ำตาล 25 กรัม ผู้ชิมยอมรับผลิตภัณฑ์น้ำตาลเคลือบคาราเมลและเครื่องดื่มกาแฟที่เติมน้ำตาลชนิดนี้ในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติคาราเมล เนื้อสัมผัสและการยอมรับโดยรวมในระดับปานกลางถึงมากและพบว่าผู้ชิมให้คะแนนความชอบในด้านต่างๆ ใกล้เคียงกับน้ำตาลทรายขาวแต่มีค่าสูงกว่าน้ำตาลคาราเมลตลอดอายุการเก็บรักษาจึงมีความเป็นไปได้ในการนำผลิภัณฑ์น้ำตาลนี้ออกสู่ตลาดการเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บรักษาจากอุณหภูมิ 35°C ทุกๆ 10 องศาเซลเซียสเป็น 45°C และ 55°C มีผลกระทบสำคัญต่อการจับตัวเป็นก้อนของผลึกที่ไม่พึงประสงค์โดยเกิดการจับตัวเป็นก้อนแบบไม่กลับคืนสภาพเดิมและมีผลต่อการทำให้เกิดสีน้ำตาลเข้มขึ้นการจับตัวเป็นก้อนแบบไม่กลับคืนสภาพผลึกเดิมถูกพบเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่ 55°C นาน 6 วัน ตรวจพบการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 55°C นาน 18 และ 21 วัน ตามลำดับการบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในถุงพลาสติกใสชนิด LLDPE ปิดผนึกช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงค่าสีน้ำตาลและความชื้น ($P \leq 0.05$) การเก็บรักษาที่อุณหภูมิไม่เกิน 35°C ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ และยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ ผลิตภัณฑ์มีความชื้นและค่า วอเตอร์แอคทีวิตี้ (Water Activity, Aw) ต่ำจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทนทานต่อการเน่าเสีย

และมีอายุการเก็บที่ยาวนาน ผลการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์น้ำตาลเคลือบคาราเมลเป็นการบรรจุน้ำตาลในถุงพลาสติก LLDPE และปิดผนึก ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและความปลอดภัยที่ได้มาตรฐาน เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิไม่เกิน 35 °C จะช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ดีตลอดอายุการเก็บรักษา

คำสำคัญ: น้ำตาลเคลือบคาราเมล, การเก็บรักษาในสภาวะเร่ง, คุณภาพน้ำตาล

วารสารเกษตรนเรศวร
ISSN : 0859-3027
ISSN (Online) : 2730-356X

Research Article

Effects of Accelerated Storage Temperature and Packaging on Quality and Shelf Life of Caramel Granulated Sugar

Katika Panyakam [1] Boonsong Saengon[2] and Peerasak Chaiprasart[1,2*]

1 Department of Agricultural science, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environments, Naresuan University 65000, Thailand

2 Phitsanulok Sugar Factory, Phitsanulok 65110, Thailand

*Corresponding author: peerasakc@gmail.com

(Received April 26,2021; Revised August 17,2021 ; Accepted November 4,2021)

Abstract

The objective of this research was to study the effects of accelerating temperature for storage condition and the packaging on quality and shelf life of caramel granulated sugar. The new sugar coated with caramel was prepared, packed in linear low- density polyethylene (LLDPE) bag and unsealed LLDPE bag and stored under 35, 45 and 55°C for 24 days.The samples were analyzed every three days for physical, chemical, microbiological and sensory evaluation quality. Data were analyzed with Analysis of Variance (ANOVA) and Duncan New Multiple Range test (DMRT) ($P \leq 0.05$). The results revealed that caramel granulated sugar was higher in color (1441 ICUMSA unit) than that in white sugar. The conductivity ash (%), sediment (%), moisture content (%) Aw and F were 0.03, 0.0025, 0.10, 0.41 and 0.79, respectively. The brix (%), purity (%), reducing sugar (%) and polarization (%) were 34.95, 65.11, 0.20 and 99.63, respectively. The physical, chemical and micrological quality of this sugar were in accordance with Phitsanulok. Sugar Mill Company standard. The numbers of total plate count, molds and yeast count were less than 1 cfu/10 gram. *Escheri chia coli,* Coliform bacteria and *Staphylococcus* aureus were less than 3 MPN/gram. Salmonella was absent in 25 grams of sugar. Sensory acceptance scores on appearance, color, flavor, texture and overall acceptance of both caramel granulated sugar and caramel granulated sugar added coffee drink were higher than that of crystal caramel sugar. The scores were equivalent to moderate and good likene ss scale. Therefore, a new product launch is promising. Increasing on the storage temperature from ambient temperature (35°C) every 10°C to 45°C and 55°C majorly affected this change of crystal appearance to undesirable caking and increasing of browning color. Undesirable caking of the sugar was found under 55°C for 6 days. Browning color of the sugar was significant difference under 55°C for 18 and 21 days. Under 35 and 45° C of storage temperature, LLDPE bag retarded this color change of this sugar under the storage condition ($P \leq 0.05$). Storage of the sugar at 35oC retarded the quality change and

extended the shelf life of the product. The results indicated that this sugar was safe and met standard of quality and safety for consumption throughout the storage condition. Packing the sugar in LLDPE bag and sealing could maintain the product quality throughout the storage time.

Keywords: caramel granulated sugar, accelerated storage, sugar quality

บทนำ

ปัจจุบันความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมีความหลากหลายตามวัตถุประสงค์การใช้งานของกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอื่นๆ มากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่นกลุ่มเครื่องดื่มประเภทต่างๆ ขนมหวาน เบเกอรี่ อาหารขบเคี้ยว และอาหารอีกหลายชนิด ซึ่งจะเลือกใช้น้ำตาลที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำน้ำตาลเพื่อเป็นสารให้ความหวานไปใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารและเครื่องดื่ม เพื่อเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติหรือกลิ่นที่พึงประสงค์และดึงดูดผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น จึงทำให้ผู้ผลิตน้ำตาลมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลสูตรใหม่ออกสู่ตลาดหลายชนิดเพื่อตอบสนองความต้องการและเป็นทางเลือกของผู้บริโภค ตัวอย่างเช่น น้ำตาลคาราเมลและผลิตภัณฑ์คาราเมล ปกติคาราเมลจะเป็นน้ำตาลที่ไม่อยู่ในรูปผลึกและทำให้เป็นผลึกได้ยากซึ่งจะมีส่วนประกอบที่เป็นของแข็งของผลิตภัณฑ์น้ำตาล นมและเม็ดไขมันกระจายอยู่อย่างทั่วถึงรวมทั้งส่วนประกอบอื่น เช่น น้ำและเกลือ เป็นต้น ส่วนประกอบเหล่านี้จะถูกเคี่ยวตามระยะเวลาที่เหมาะสมจนได้กลิ่นรส และสีที่พึงประสงค์ของคาราเมลต่อผู้บริโภค (Miller & Hartel, 2015; Mayhew et al., 2017) คาราเมลมีสูตรที่แตกต่างกันและผ่านระบบการให้ความร้อนตามระยะเวลาที่เหมาะสมแตกต่างกัน (เสาวลักษณ์ และวรนุช, 2550; Amelia et al., 2017; Chung et al., 1998; Senga & Sharma, 2012) ความร้อนจะช่วยควบคุมการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลและความชื้นในผลิตภัณฑ์สุดท้าย (deMan, 1990)

ปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล (caramelization) คือ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non enzymatic browning reaction) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของโมเลกุลน้ำตาลด้วยความร้อนสูงและมีการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารที่มีกลิ่นและรสเฉพาะตัวเรียกว่า คาราเมล (caramel) การนำคาราเมลมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสร้างความหลากหลายของผลิตภัณฑ์กำลังได้รับความนิยม เนื่องจากคาราเมลมีรสชาติและเนื้อสัมผัสที่เป็นเอกลักษณ์ ซึ่งช่วยดึงดูดความสนใจของผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น (Miller & Hartel, 2015; Vagoner et al., 2016) ทั้งนี้คาราเมลมีลักษณะเฉพาะของสี และกลิ่นตามธรรมชาติที่เกิดจากปฏิกิริยา Caramelization และ Maillard browning reaction ด้วยการรีดิวซ์น้ำตาลและกรดอะมิโน (Mayhew et al., 2017, Steiner et al., 2002) ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) ชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non enzymatic browning reaction) เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวส์ (reducing sugar) กับกรดแอมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ โดยมีความร้อนเร่งปฏิกิริยา (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2010) ส่งผลให้อุตสาหกรรมน้ำตาลพยายามพัฒนาผลิตภัณฑ์ในรูปของคาราเมลหลายรูปแบบ เช่น น้ำตาลคาราเมล น้ำตาลเคลือบคาราเมล คาราเมลไซรัปหรือน้ำเชื่อมกลิ่นคาราเมล เป็นต้นซึ่งกระบวนการผลิตจะแตกต่างกันตามชนิดของผลิตภัณฑ์

น้ำตาลคาราเมล (caramel sugar) เป็นน้ำตาลที่ได้จากการเคี่ยวจนเกิดเป็นผลึกสีน้ำตาลซึ่งมีขนาดเม็ดใหญ่ และมีกลิ่นหอมของคาราเมล อย่างไรก็ตามในการนำไปใช้ประกอบอาหารหรือเครื่องดื่มมีข้อจำกัดเรื่องการละลายที่ช้า เนื่องจากน้ำตาลคาราเมลมีความความเหนียวหนืดต้องเคี่ยวน้ำตาลออกมาในลักษณะของผลึกขนาดใหญ่จึงทำให้อุตสาหกรรมน้ำตาลมีแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ขึ้นมาทดแทน ได้แก่ น้ำตาลเคลือบคาราเมลซึ่งความแตกต่างที่สำคัญของน้ำตาลเคลือบคาราเมลกับน้ำตาลคาราเมลคือน้ำตาลเคลือบคาราเมลจะใช้น้ำตาลทรายขาวเป็นวัตถุดิบ และเคลือบด้วยน้ำคาราเมลเพื่อให้น้ำตาลมีสีและกลิ่นเฉพาะตัวของคาราเมล ซึ่งเหมาะแก่การนำไปใช้เป็นส่วนประกอบอาหาร ต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ขนมหวาน หรือเครื่องดื่ม เช่น กาแฟ นม และอื่น ๆ เพราะละลายง่ายแต่ยังคงให้สีและกลิ่นของคาราเมลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ อายุการเก็บรักษา

ซึ่งสะท้อนถึงความต้องการของผู้ใช้ในอนาคต (Man & Jones, 1998) ผลิตภัณฑ์น้ำตาลเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน (Frazier et al., 1988; Jay et al., 2005) การเก็บรักษาในสภาวะเร่งจะช่วยให้เกิดความสะดวกในการประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการประเมินอายุการเก็บได้สะดวกและรวดเร็วกว่าการประเมินคุณภาพตามสภาพการเก็บรักษาตามปกติ และจะทำให้สามารถนำผลิตภัณฑ์ใหม่ออกสู่ตลาดได้ทันตามเวลาที่กำหนด (Man & Jones, 1996)

ในอุตสาหกรรมน้ำตาลทรายมีปัญหาเรื่องการจับตัวเป็นก้อนแข็ง (Caking) ซึ่งมีผลต่อภาพลักษณ์ของมาตรฐานการผลิตและคุณภาพน้ำตาล จึงต้องมีการเก็บรักษาน้ำตาล ได้แก่ การเก็บรักษาในสภาวะเร่ง คือการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในสภาวะควบคุมที่สามารถเร่งการเสื่อม เสียของผลิตภัณฑ์ได้ เช่น อุณหภูมิสูงกว่าปกติ ความเข้มข้นของออกซิเจนสูงกว่าปกติ ผลิตภัณฑ์โรงงานน้ำตาลจัดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30-35 °C ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อยู่ระหว่าง 68–71% เนื่องจากน้ำตาลเคลือบคาราเมลเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด และมีสูตรที่เป็นเอกลักษณ์ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาสูตรน้ำตาลเคลือบคาราเมลชนิดใหม่ขึ้นมาเพื่อออกสู่ตลาด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิต่างๆ ตลอดจนอิทธิพลของบรรจุภัณฑ์ต่ออายุการเก็บรักษา นอกจากปัจจัยทางด้านอุณหภูมิที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาแล้วยังมีปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ ความชื้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้คือ เพื่อศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำตาลเคลือบคาราเมล เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่เก็บรักษาในสภาวะเร่งต่อคุณภาพและอายุการเก็บและเพื่อศึกษาอิทธิพลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของน้ำตาลเคลือบคาราเมล

อุปกรณ์และวิธีการ

ตอนที่ 1 การศึกษาคุณภาพของน้ำตาลเคลือบคาราเมล

1.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำตาลเคลือบคาราเมล

น้ำตาลเคลือบคาราเมลเป็นตัวอย่างน้ำตาลที่ผลิตขึ้นจากน้ำตาลทรายขาวแล้วเคลือบคาราเมลตามกรรมวิธีและสูตรของโรงงานน้ำตาลพิษณุโลก น้ำตาลดังกล่าวถูกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสก่อนดำเนินการวิเคราะห์ หลังจากนั้นดำเนินการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และคุณภาพด้านประสาทสัมผัส ของน้ำตาลเคลือบคาราเมลซึ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35 °C ตรวจผลทุก ๆ 12 วัน นาน 24 วัน เปรียบเทียบกับน้ำตาลทรายขาวของโรงงานน้ำตาลพิษณุโลกและน้ำตาลคาราเมลของบริษัทอื่นที่มีขายในท้องตลาด (control)

1.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำตาล

1. คุณภาพทางกายภาพ วิเคราะห์ตามวิธีการของ ICUMSA ได้แก่ ค่าสี (Color) (ICUMSA Method GS 1/3-7 (2011)) การตกตะกอน (Sediment) ค่า Water activity (aw) วิเคราะห์ด้วยเครื่องวัด Aw (Novasina รุน aw–center 200 S/N) (ICUMSA GS 2/3 -19 (2007)) ปริมาณความชื้น (Moisture) (ICUMSA Method GS 2/1/3/9-15 (2007)) การนำไฟฟ้าของเถ้า (Conductivity Ash) (ICUMSA Method GS 1/3/4/7/8-13 (1994))

2. คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าบริกซ์ (%) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง hand refractometer ค่า Purity (%) ค่า Reducing sugar (%) ตามวิธีของ ICUMSA Method GS 2/3/9-5 (2011) และ ค่า Polarization (%) (ICUMSA METHOD GS 1/2/3/9-1 (2011))

3. คุณภาพทางจุลชีววิทยา ได้แก่ Total plate count จำนวนเชื้อราและยีสต์ วิเคราะห์ตามวิธีการของ ICUMSA Method GS2/3-41 (2011) วิเคราะห์ Coliform and *Esherichia coli* (U. S. FDA., in BAM: Chapter 4 (2017)) และ *Salmonella spp*. (U. S. FDA., in BAM: Chapter 5 (2018))

4. คุณภาพทางประสาทสัมผัส ดำเนินการทดสอบความชอบต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลเคลือบคาราเมลและเครื่องดื่มกาแฟที่เติมน้ำตาลเคลือบคาราเมล โดยใช้การทดสอบการยอมรับแบบ 9 ระดับ (9-Point hedonic scale) โดย 9 หมายถึงชอบมากที่สุด 1 หมายถึงไม่ชอบมากที่สุด ในด้านลักษณะปรากฏ (ความมันวาวและไม่จับตัวเป็นก้อน) สี รสชาติคาราเมล เนื้อสัมผัสและการยอมรับโดยรวม (Meligard et.al, 2006) ใช้ผู้ชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน (untrained panelist) จำนวน 42 คน

ตอนที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและบรรจุภัณฑ์ในสภาวะเร่งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำตาลเคลือบคาราเมล

2.1 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในสภาวะเร่งต่อคุณภาพน้ำตาลเคลือบคาราเมล

ดำเนินการโดยนำน้ำตาลเคลือบคาราเมลที่บรรจุถุง Linear low density polyethylene (LLDPE) ปิดผนึกปริมาณ 1 กิโลกรัม บ่มที่อุณหภูมิ 35 °C, 45 °C และ 55 °C (ทำ 3 ซ้ำ) เก็บตัวอย่างวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีทำนองเดียวกับตอนที่ 1 ทุก 12 วันเป็นเวลา 24 วัน เปรียบเทียบกับน้ำตาลทรายขาวของโรงงานน้ำตาลพิษณุโลกและน้ำตาลคาราเมลชุดควบคุมจากบริษัทอื่นที่จำหน่ายตามท้องตลาด

2.2 การศึกษาอิทธิพลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา

ดำเนินการโดยนำตัวอย่างน้ำตาลเคลือบคาราเมล น้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลคาราเมลจากบริษัทอื่น บรรจุถุง Linear low density polyethylene (LDPE) ถุงละ 1 กิโลกรัม ปิดผนึกเก็บรักษาที่อุณภูมิ 35°C, 45 °C และ 55 °C เปรียบเทียบกับน้ำตาลทรายชนิดดังกล่าวที่ไม่ปิดผนึกถุง เก็บตัวอย่างน้ำตาลวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ เคมี จุลชีววิทยาและการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทุก 12 วัน เป็นเวลา 24 วันด้วยวิธีการทำนองเดียวกับตอนที่ 1 และประเมินการยอมรับลักษณะปรากฏของน้ำตาลคาราเมล ในด้านการจับตัวเป็นก้อน (caking) โดยใช้การทดสอบการยอมรับแบบ 3 ระดับ (3-Point hedonic scale) โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญ 3 คนประเมินคะแนนการยอมรับได้เป็น 3 ระดับ ดังนี้ คือ 1 คะแนน = ยอมรับไม่ได้ (ผลิตภัณฑ์จับตัวเป็นก้อน) 2 คะแนน = ไม่มั่นใจว่ายอมรับได้ 3 = ยอมรับได้ (ผลิตภัณฑ์ไม่จับตัวเป็นก้อน) เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ทุก ๆ 3 วัน ตลอดอายุการเก็บรักษา

นำข้อมูลที่ได้จากตอนที่ 1 2 และ3 มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) และจำแนกความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) ($P \leq 0.05$) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ผลการทดลองและวิจารณ์

ตอนที่ 1 การศึกษาคุณภาพน้ำตาลเคลือบคาราเมล

1.1 ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี

จาก Table 1 พบว่า น้ำตาลเคลือบคาราเมลมีค่าคุณภาพทางกายภาพ และเคมี ใกล้เคียงกับน้ำตาลทรายขาว โดยมีค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้ (Water Activity, Aw) 0.4 ความชื้น 0.1% ยกเว้นค่าสีที่มีค่าสูงกว่าน้ำตาลทรายขาว ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานน้ำตาลของ โรงงานน้ำตาลพิษณุโลก, (2563) จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นว่าน้ำตาลเคลือบคาราเมลมีมาตรฐานคุณภาพด้านกายภาพ-เคมี ผ่านมาตรฐานของโรงงานน้ำตาล

พิษณุโลก (โรงงานน้ำตาลพิษณุโลก, 2562) ค่าสีของน้ำตาลเคลือบคาราเมลมีค่าสูง เพราะการเคลือบคาราเมลส่งผลทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลซึ่งเป็นผลมาจาก Maillard reaction และ caramelization (Mayhew et al., 2017) และทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสหวานและมีกลิ่น รส ของคาราเมลอีกด้วย

ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้ (Water Activity, Aw) และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีค่าต่ำ การควบคุมความชื้นในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำตาลควรใช้ไซโล ที่มีระบบควบคุมอุณหภูมิและการไหลเวียนอากาศที่เหมาะสม เพื่อควบคุมความชื้นถ้าไม่สามารถทำได้การเก็บรักษาน้ำตาลในถุงจะมีความสำคัญเป็นอย่างมาก (Bostock, 2003)

การเคลือบคาราเมลทำให้ค่าดัชนีความปลอดภัยในการเก็บรักษาน้ำตาลในลักษณะแบบเทกอง (F หรือ safety factor) มีค่า 0.79 จึงควรมีความระมัดระวังเรื่องความสูงและมุมลาดเอียงในกรณีที่เก็บรักษาน้ำตาลแบบเทกองของผลิตภัณฑ์นี้

Table 1 Physico-chemical quality of caramel granulated sugar

Quality	Amount
Color value (ICUMSA Unit)	1,441
Conductivity Ash (%)	0.03
Sediment (%)	0.0025
Moisture (%)	0.10
% Brix	34.95
% Purity	65.11
% Reducing Sugar	0.20
Polarization (%)	99.63
Water activity (A_W)	0.41
F*	0.79

Remark * F (safety factor): Safety Index for Sugar Storage in Bulk

1.2 คุณภาพทางจุลชีววิทยา

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาตั้งแต่วันผลิตจนถึง 24 วัน (Table 2) พบว่าจำนวน TPC ยีสต์ และรา <1 CFU/10 กรัม *Escherichia coli* Coliform bacteria และ Staphylococcus aureus มีค่า <3 MPN/กรัม และตรวจไม่พบ Salmonella ในตัวอย่างน้ำตาล 25 กรัม แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีจำนวนจุลินทรีย์ที่ต่ำ และตรวจไม่พบจุลินทรีย์ก่อโรค ผลิตภัณฑ์น้ำตาลดังกล่าวจึงมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค และมีคุณภาพตามมาตรฐานของโรงงานน้ำตาลพิษณุโลก จุลินทรีย์ที่พบไม่สามารถเจริญได้จึงไม่เกิดการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์เนื่องจากค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้ (Water Activity, Aw) ของน้ำตาลมีค่าน้อยกว่า 0.60 จึงยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกชนิดได้ (Jay et. al, 2005) โดยปกติน้ำตาลซึ่งใช้เป็น

ส่วนประกอบของอาหารเป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกประเมินว่าไม่ว่องไวต่อเชื้อจุลินทรีย์หรือมีความเสียงต่ำต่อการเจริญของจุลินทรีย์จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่เน่าเสียยากและมีความปลอดภัย (Pierson & Corlett, 1992)

Table 2 Microbial quality of caramel granulated sugar during storage at 35 °C for 24 days

Microorganisms	Number of Microorganisms		
	0 Day	12 Day	24 Day
Total Plate Count (CFU/10g)	< 1	< 1	< 1
Yeast and Mold count (CFU/10g)	< 1	< 1	< 1
Escherichia coli (MPN/g)	< 3	< 3	< 3
Coliform bacteria (MPN/g)	< 3	< 3	< 3
Staphylococcus aureus (MPN/g)	< 3	< 3	< 3
Salmonella (CFU/25g)	ND*	ND*	ND*

Remark: ND* = not detected

1.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส ของผลิตภัณฑ์น้ำตาลเคลือบคาราเมลและเครื่องดื่มกาแฟที่เติมน้ำตาลเคลือบคาราเมล (ดัง Figure 1 และ 2) จาก Figure 1 พบว่าผู้ชิมยอมรับผลิตภัณฑ์น้ำตาลเคลือบคาราเมลโดยมีคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมอยู่ในช่วง 7.1 ถึง 7.6 ไม่แตกต่างทางสถิติจากน้ำตาลทรายขาว ($P \geq 0.05$) และมีคะแนนความชอบสูงกว่าน้ำตาลคาราเมลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.0.5$) จาก Figure 2 พบว่าผู้ชิมชอบเครื่องดื่มกาแฟที่เติมน้ำตาลเคลือบคาราเมลเช่นเดียวกับกาแฟที่เติมน้ำตาลทรายขาว คะแนนความชอบเครื่องดื่มกาแฟที่เติมน้ำตาลเคลือบคาราเมลมีค่าสูงกว่าเครื่องดื่มที่เติมน้ำตาลคาราเมล สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม แสดงว่าผลิตภัณฑ์น้ำตาลเคลือบคาราเมลสามารถทดแทนน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลคาราเมลได้ และสามารถดึงดูดผู้ใช้น้ำตาลและผู้บริโภคเครื่องดื่มกาแฟที่เติมน้ำตาลชนิดนี้ได้และเป็นทางเลือกของผู้บริโภค จึงมีความเป็นไปได้ในการนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวออกสู่ตลาด

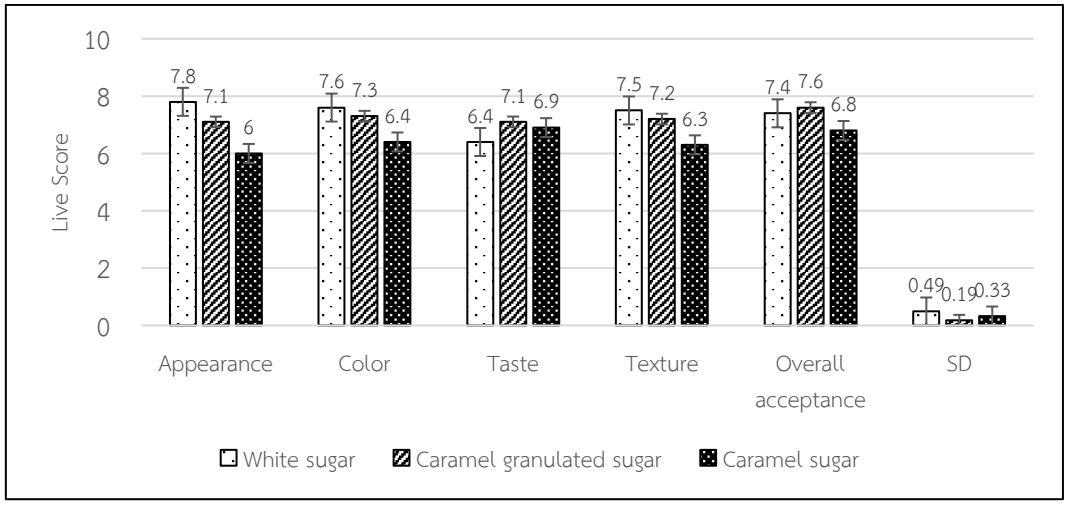

Figure 1 Acceptance score of refined sugar caramel granulated sugar and caramel sugar

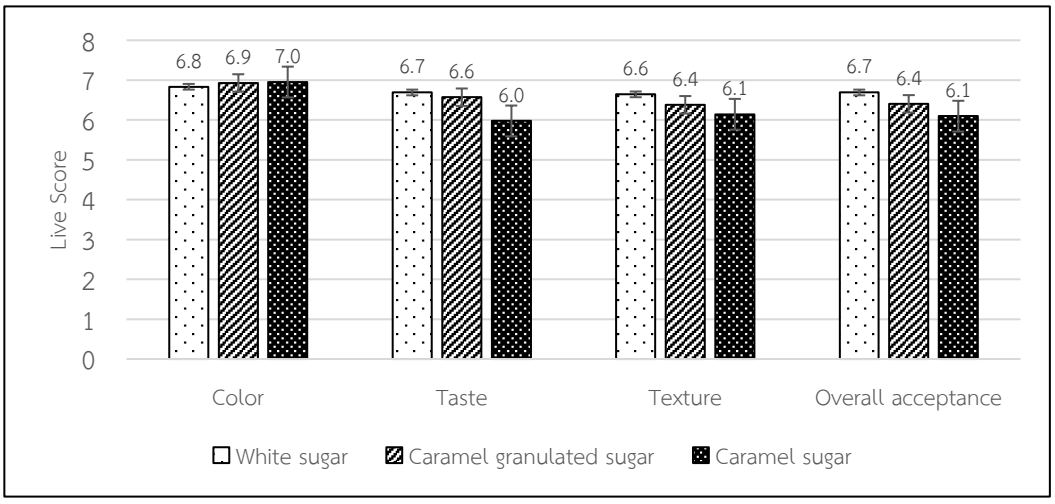

Figure 2 Acceptance score of drink supplemented with refined sugar, caramel granulated sugar and caramel sugar

ตอนที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในสภาวะเร่งและบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำตาลเคลือบคาราเมล

2.1 อิทธิพลของอุณหภูมิในสภาวะเร่งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิการเก็บรักษาน้ำตาลเคลือบคาราเมลในสภาวะเร่งอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยาและทางประสาทสัมผัสของน้ำตาล ผลการศึกษาดัง Table 3 4 5 และ Figure 3

Table 3 Water Activity of caramel granulated sugar packed in unscaled LDPE plastic bac storage at 35 45 and 55°C for 0-24 days

Process	Temperature (°C)	Water activity (A_W)		
		Storage period (Day)		
		0	12	24
Sealed caramel granulated sugar	35	0.409±0.002[a]	0.439±0.005[a]	0.483±0.008[a]
Unsealed caramel granulated sugar	35	0.409±0.002[a]	0.432±0.005[ab]	0.490±0.003[a]
Sealed caramel granulated sugar	45	0.409±0.002[a]	0.438±0.003[ab]	0.461±0.001[b]
Unsealed caramel granulated sugar	45	0.409±0.002[a]	0.423±0.007 [b]	0.463±0.010[b]
Sealed caramel granulated sugar	55	0.409±0.002[a]	0.438±0.011[ab]	0.490±0.003[a]
Unsealed caramel granulated sugar	55	0.409±0.002[a]	0.406±0.010[c]	0.461±0.001[b]

Remark: means superscripted with different small letter on the same column indicated significant differed at (P<0.05)

จาก Table 3 พบว่า ค่า วอเตอร์แอคทีวิตี้ (Water Activity, Aw) ของน้ำตาลเคลือบคาราเมลเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาทุกระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นและแตกต่างกันทุก 10 °C ซึ่งค่า วอเตอร์แอคทีวิตี้ (Water Activity, Aw) ดังกล่าว มีค่าน้อยกว่า 0.60 จึงสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ทุกชนิด (Jay et al., 2005) ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำตาลชนิดนี้ (Table 4) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยทุกระดับอุณหภูมิตามระยะเวลาที่เก็บรักษา (Table 4) ซึ่งผลิตภัณฑ์ในกลุ่มลูกอมที่มีน้ำตาลก็ตรวจพบความชื้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษายาวนานขึ้น (Renumarn & Choosuk, 2019) อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความชื้นลดต่ำลง เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 24 วัน ปกติน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ จะมีมาตรฐานความชื้นไม่เกิน 0.1% (สมบัติ, 2546) น้ำตาลเคลือบคาราเมลใช้น้ำตาลทรายขาวเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต แสดงว่ากระบวนการผลิตน้ำตาลคาราเมลยังสามารถควบคุมเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในระดับ 0.1% ได้ดี อย่างไรก็ตามคาราเมลที่เคลือบเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ จะมีน้ำตาลรีดิวส์เป็นส่วนประกอบทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติการดูดความชื้น (hygroscopic property) มากขึ้น (สมบัติ, 2546)

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำตาลเคลือบคาราเมล (ดัง Figure 3) จาก Figure 3 พบว่าสีของน้ำตาลเคลือบคาราเมลเข้มขึ้น เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบว่าควรหลีกเลี่ยงความชื้นและอุณหภูมิที่สูงในการเก็บรักษาน้ำตาลเพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์และป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำตาล (de Aguiar et al., 2015) เนื่องจากอุณหภูมิและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นมีผลโดยตรงต่อปฏิกิริยา Maillard ของน้ำตาลเคลือบคาราเมล โดยทำให้เกิดสีน้ำตาลเข้มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บน้ำตาลไว้ในอุณหภูมิที่สูงเกิน 38 °C (สมบัติ, 2546)

Table 4 Moisture content of caramel granulated sugar packed in unscaled LDPE plastic bac storage at 35 45 and 55°C for 0-24 days

Process	Temperature (°C)	Moisture content (%)		
		Storage period (Day)		
		0	12	24
Sealed caramel granulated sugar	35	0.100±0.001[a]	0.087±0.006[c]	0.130±0.000 [c]
Unsealed caramel granulated sugar	35	0.100±0.001[a]	0.103±0.005[a]	0.110±0.000 [a]
Sealed caramel granulated sugar	45	0.100±0.001[a]	0.100±0.000[a]	0.123±0.005 [b]
Unsealed caramel granulated sugar	45	0.100±0.001[a]	0.083±0.005[a]	0.100±0.000 [d]
Sealed caramel granulated sugar	55	0.100±0.001[a]	0.080±0.000[b]	0.110±0.000 [a]
Unsealed caramel granulated sugar	55	0.100±0.001[a]	0.113±0.015[a]	0.123±0.005 [b]

Remark: means superscripted with different small letter on the same column indicated significant differed at (P<0.05)

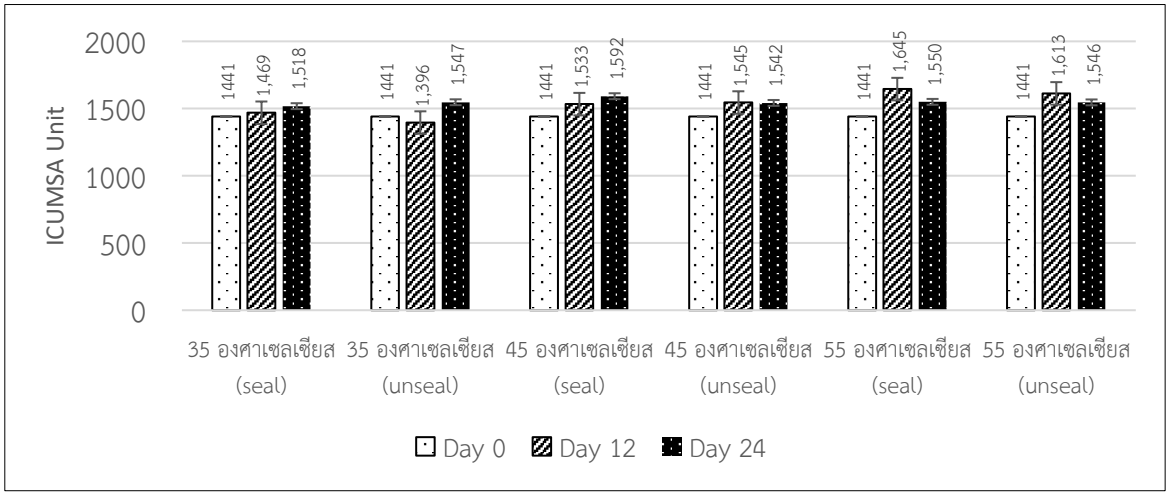

Figure 3 Coler value (ICUMSA unit) of caramel granulated sugar packed in unscaled LDPE plastic bac storage at 35 45 and 55°C for 0-24 days

Table 5 Number of microorganisms of caramel granulated sugar packed in unscaled LDPE plastic bac storage at 35 45 and 55°C for 0-24 days

Packaging style LLDPE	Temperature (°C)	Number of Microorganisms					
		TPC (CFU/10g)	Y&M (CFU/10g)	EC (MPN/g)	Co (MPN/g)	SL (CFU/25g)	Sa (MPN/g)
Sealed packaging	35	< 1	< 1	< 3	< 3	ND	< 3
Unsealed packaging	35	< 1	< 1	< 3	< 3	ND	< 3
Sealed packaging	45	< 1	< 1	< 3	< 3	ND	< 3
Unsealed packaging	45	< 1	< 1	< 3	< 3	ND	< 3
Sealed packaging	55	1	< 1	< 3	< 3	ND	< 3
Unsealed packaging	55	2	< 1	< 3	< 3	ND	< 3

Remark:TPC = Total plate count ,Y&M = Yeast and Mold count,EC = *Escherichia coli*
Co = Coliform bacteria, Sa = *Staphylococcus aureus*, SL = *Salmonella*, ND = not detected

2.2 อิทธิพลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของน้ำตาลเคลือบคาราเมล ระหว่างการเก็บรักษา

2.2.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของบรรจุภัณฑ์ LLDPE ต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส ของผลิตภัณฑ์น้ำตาลเคลือบคาราเมล ดัง Table 3, 4, 5 และ Figure 5, 6

จาก Table 3 พบว่าค่า วอเตอร์แอคทีวิตี้ (Water Activity, Aw) ของน้ำตาลเคลือบคาราเมลบรรจุถุงปิดผนึกมีค่าเท่ากับ 0.483a และค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้ (Water Activity, Aw) ของน้ำตาลเคลือบคาราเมลบรรจุถุงไม่ปิดผนึกมีค่าเท่ากับ 0.490a ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จาก Table 4 พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของน้ำตาลเคลือบคาราเมลบรรจุถุง LLDPE และปิดผนึกมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นเล็กน้อยและมีค่าต่ำกว่าที่ไม่ปิดผนึกถุงที่อุณหภูมิ 35 °C เมื่อเทียบกับน้ำตาลที่ไม่ปิดผนึกในภาชนะบรรจุในช่วง 12 วัน อย่างไรก็ตามพบว่า การเก็บรักษาน้ำตาลนาน 24 วัน ในถุง LLDPE ทั้งแบบปิดผนึก และไม่ปิดผนึกมีแนวโน้มปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาทุกระดับอุณหภูมิ การเก็บรักษาในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นจะทำให้ได้ข้อสรุปการควบคุมความชื้นของบรรจุภัณฑ์ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูฝนที่มีความชื้นสูง

ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้ (Water Activity, Aw) ของน้ำตาลเคลือบคาราเมลที่บรรจุถุงและปิดผนึกมีค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้ (Water Activity, Aw) เพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์ความชื้นเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 °C เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นซึ่งจะมีผลกระทบต่อการจับตัวเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ แต่ไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของน้ำตาลเคลือบคาราเมล

ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาซึ่งการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิเกิน 35 °C ทำให้เกิดการสะสมความชื้นบริเวณผิวหน้าผลึกน้ำตาลและทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนระหว่างผลึก (สมบัติ, 2546) การบรรจุน้ำตาลลงในถุงช่วยป้องกันการปนเปื้อนทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาลงในผลิตภัณฑ์ใหม่ นอกจากนี้ยังช่วยทำให้ง่ายต่อการดูแลและการขนส่ง ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสี รสชาติ และความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้ (Stollman et al., 1996) ซึ่งผลการทดลองครั้งนี้ขัดแย้งกับของ Stollman โดยพบว่า ถุงพลาสติก LLDPE ไม่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีได้ในสภาวะเร่งอุณหภูมิ ทั้งนี้เพราะเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจะเร่งปฏิกิริยา Maillard ซึ่งบรรจุภัณฑ์ไม่สามารถป้องกันความร้อนระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้จึงมีสีเข้มขึ้นอย่างไรก็ตาม สำหรับถุงพลาสติก LLDPE เป็นบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านเข้าออกของไอน้ำและออกซิเจนได้โดยมีคุณสมบัติอยู่ระหว่าง LDPE และ HDPE ถุง LLDPE ควบคุมความชื้นและแก๊สได้ดีกว่า LDPE แต่มีความมันวาว เหนี่ยว นิ่ม ยืดยุ่นได้ดีกว่า LDPE (Qiu et al., 2006, Stollman et al., 1996)

2.2.2 ผลการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำตาลเคลือบคาราเมลและเครื่องดื่มกาแฟที่เติมน้ำตาลเคลือบคาราเมล ดัง Figure 4 และ 5

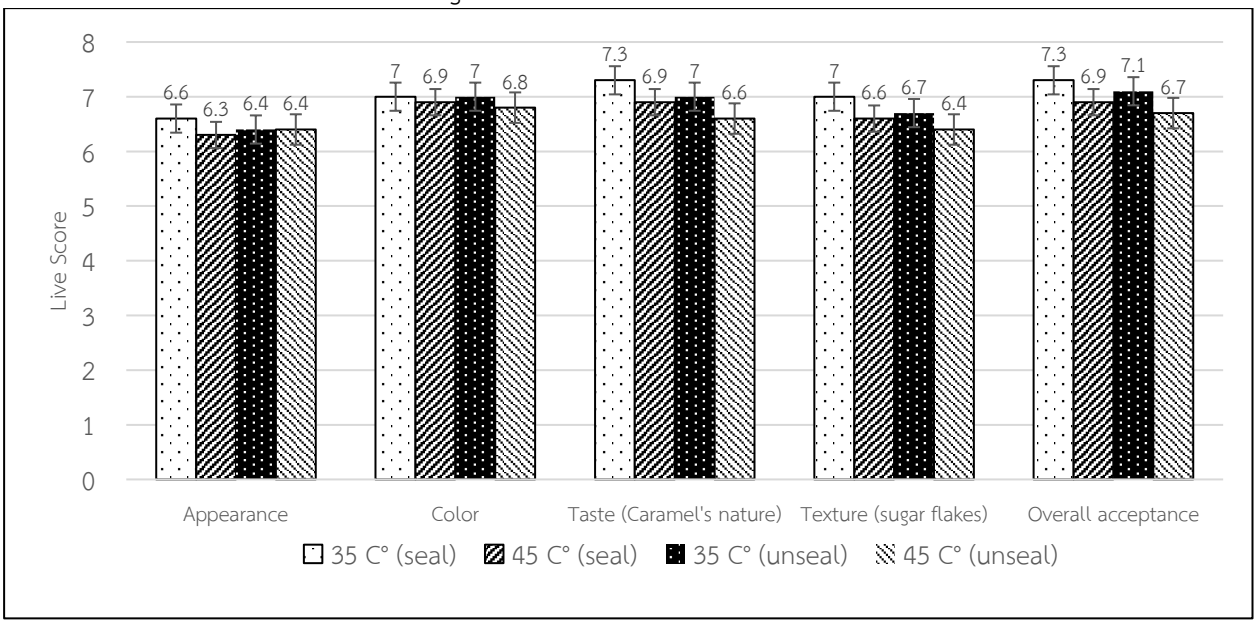

Figure 4 Acceptance score as crystal appearance color flavor texture and over all accept and of caramel granulated sugar packed (remark: undesirable crystal appearance (caking) detected at 6 days)

จาก Figure 4 พบว่าผู้ชิมยอมรับผลิตภัณฑ์น้ำตาลเคลือบคาราเมลที่ไม่บรรจุถุงและบรรจุถุงเก็บในที่อุณหภูมิ 35 และ 45 °C โดยยอมรับในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมเช่นเดียวกับน้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลคาราเมล

การทดสอบการยอมรับของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกาแฟที่เติมน้ำตาลเคลือบคาราเมลพบว่าผู้ชิมยอมรับเครื่องดื่มที่เติมน้ำตาลเคลือบคาราเมลที่ไม่ปิดผนึก และปิดผนึกถุงทุกระดับอุณหภูมิ เช่นเดียวกับน้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลคาราเมล

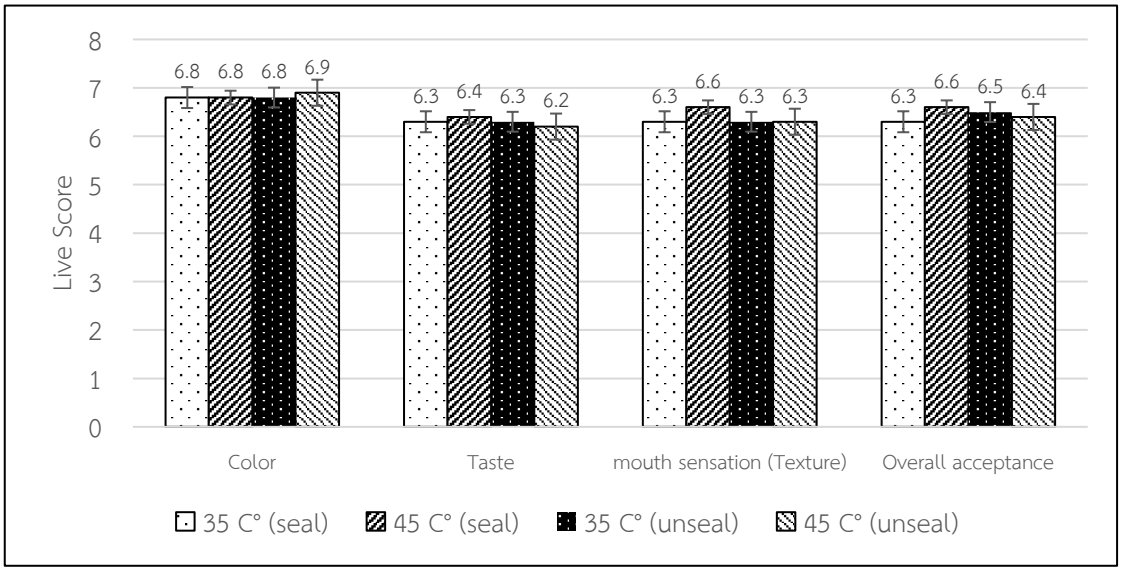

Figure 5 Acceptance score as color flavor texture and over all acceptance of coffer drink added with caramel granulated sugar (remark: undesirable crystal appearance (caking) detected at 6 days)

2.2.3 ผลการทดสอบลักษณะปรากฏ (การจับตัวเป็นก้อนของผลึกน้ำตาล) ของผลิตภัณฑ์น้ำตาลเคลือบคาราเมลที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 °C

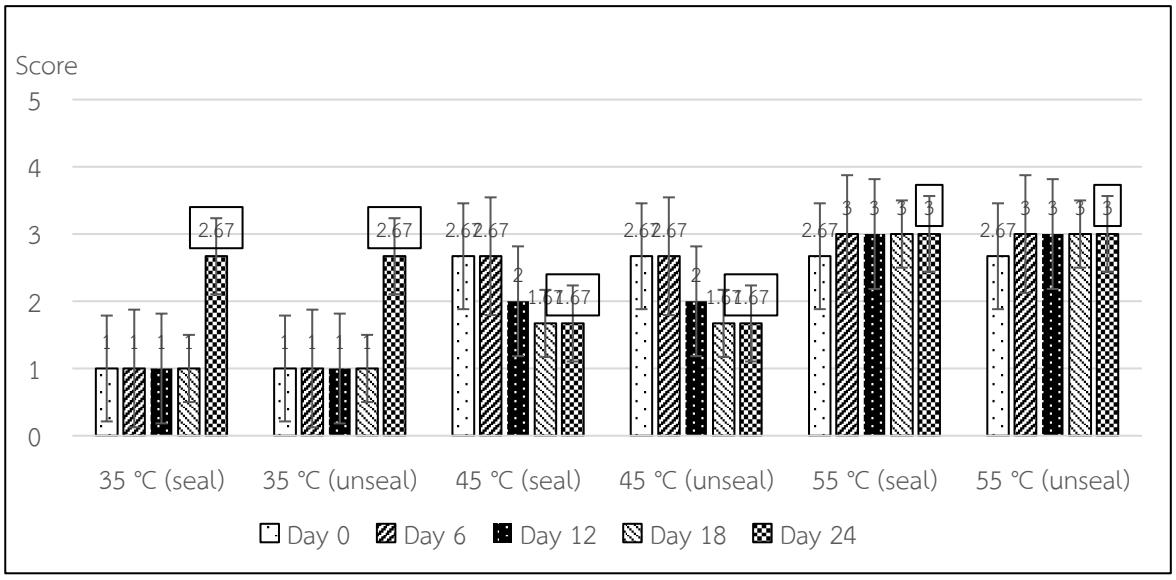

Figure 6 Acceptance score as crystal appearance (caking of crystal) of caramel granulated sugar packed in unscaled LDPE plastic bac storage at 35 45 and 55°C for 0-24 days (1 point = acceptance) (2 point = unsure acceptance) (3 point = unacceptance) (remark: undesirable caking occurred 55 °C)

ผลการศึกษา (Figure 6) พบว่าคะแนนการยอมรับลักษณะปรากฏ (การจับตัวเป็นก้อน) ลดลงตั้งแต่วันที่ 6 ของการเก็บรักษา และพบว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับไม่ได้ที่อุณหภูมิ 55 °C ทั้งน้ำตาลที่บรรจุถุงและไม่บรรจุถุง แสดงว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 °C มีผลอย่างยิ่งต่อการจับตัวก้อนของน้ำตาลเคลือบคาราเมลทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับในด้านลักษณะปรากฏและเป็นจุดยุติของอายุการเก็บ (Break point) ของผลิตภัณฑ์ในขณะที่การเก็บที่อุณหภูมิ 45 °C มีผลทำให้คะแนนอยู่ในระดับ 2 ส่วนการเก็บที่อุณหภูมิ 35 °C มีผลน้อยมากต่อการจับตัวเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 ยังไม่พบจุดยุติของอายุการเก็บในด้านลักษณะปรากฏจึงไม่สามารถคำนวณค่า Q10 ของผลิตภัณฑ์นี้ได้ การศึกษาครั้งนี้จึงควรเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นี้ทุก 10 °C ต่อไปเพื่อให้ถึงจุดยุติของการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเพื่อคำนวณหาค่า Q10 ต่อไป แสดงว่าผลิตภัณฑ์อาหารดังกล่าวมีอายุการเก็บที่ยาวนานมาก (Man & Jones, 1996) จึงควรเก็บรักษาน้ำตาลดังกล่าวเพื่อให้ทราบจุดยุติของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 °C ต่อไป การที่ผลิตภัณฑ์น้ำตาลจับตัวเป็นก้อน (Caking) เกิดจากอิทธิพลหลายปัจจัยได้แก่ ปริมาณความชื้น ความชื้นสัมพัทธ์ขนาดเม็ดน้ำตาล รูปทรงผลึก อุณหภูมิ และ flow function ของน้ำตาล ความชื้นสัมพัทธ์ของน้ำตาล ปริมาณความชื้นและค่า วอเตอร์แอคทีวิตี้ (Water Activity, Aw) ของน้ำตาลจะมีความแปรผันตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศมีความสัมพันธ์กับค่า วอเตอร์แอคทีวิตี้ (Water Activity, Aw) ซึ่งมีผลต่อปริมาณความชื้นของน้ำตาล นอกจากนี้แผ่นฟิล์มบางๆ ของน้ำตาลที่อิ่มตัวที่เคลือบอยู่ผิวนอกของผลึกน้ำตาลยังมีผลทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนของน้ำตาลและผลิตภัณฑ์อีกด้วย (Roge & Mathlouthi, 2003; Chitprasert et al.; Ergun et al., 2010) การเคลือบคาราเมลที่ผิวด้านนอกของน้ำตาลและอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น จึงมีผลสำคัญต่อการจับตัวเป็นก้อนของน้ำตาลเคลือบคาราเมล นอกจากนี้ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ยังเกี่ยวข้องกับการดูดความชื้นของน้ำตาลโดย น้ำตาลรีดิวส์มีคุณสมบัติดูดความชื้นได้ดีน้ำตาลทรายที่มี purity ต่ำ (ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์สูง) จะทำให้มีคุณสมบัติดูดความชื้นได้เร็วขึ้น และถ้าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศยิ่งสูงขึ้น การดูดซับความชื้นของน้ำตาลยิ่งเร็วมากขึ้น (สมบัติ, 2546) ดังนั้นน้ำตาลที่บรรจุในภาชนะปิดสนิทจะช่วยชะลอหรือป้องกันความชื้นจากบรรยากาศได้

สรุป

ผลการศึกษาคุณภาพทางกายเคมี จุลชีววิทยา และด้านประสาทสัมผัสของน้ำตาลเคลือบคาราเมล พบว่าน้ำตาลเคลือบคาราเมลมี คุณภาพทางกายภาพเคมีได้แก่ ค่าสี (ICUMSA Unit) Conductivity ash (%) Sediment (%) Moisture (%) Brix (%) Pinky (%) Polarization Reducing sugar (%) และค่า F ผ่านมาตรฐานของโรงงานน้ำตาลพิษณุโลก โดยน้ำตาลเคลือบคาราเมลมีค่าสี (ICUMSA unit) ที่สูงกว่าน้ำตาลทรายขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา มีค่า < 1 cfu/10 g *Escherichia coli* Coliform bacteria <3 MPN/gm และตรวจไม่พบ *Salmonella* ในตัวอย่าง 25 กรัม จำนวนจุลินทรีย์ที่พบมีค่าต่ำตรวจไม่พบเชื้อโรคและผ่านมาตรฐานโรงงานน้ำตาลพิษณุโลก แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคผู้ชิมยอมรับผลิตภัณฑ์เคลือบคาราเมล และเครื่องดื่มกาแฟที่เติมผลิตภัณฑ์น้ำตาลชนิดนี้ในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัสและการยอมรับโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงมาก และไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลทรายขาวชุดควบคุม ($P \geq 0.05$)

การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในสภาวะเร่งต่อคุณภาพของน้ำตาลเคลือบคาราเมลและอายุการเก็บ พบว่าการเพิ่มอุณภูมิในการเก็บรักษาจาก 35 °C เป็น 45 °C และ 55 °C มีผลกระทบสำคัญต่อลักษณะปรากฏในด้านการจับตัวเป็นก้อน (caking) โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน 55°C ทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนของผลึกแบบไม่คืนสภาพเดิมภายใน 6 วัน การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 °C และ 45 °C ไม่มีผลกระทบ

ต่อคุณภาพประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์และเครื่องดื่มกาแฟที่เติมน้ำตาลเคลือบคาราเมลการเก็บที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 °C ทำให้เกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น บรรจุภัณฑ์ LLDPE ปิดสนิทช่วยรักษาและชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ได้ คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 °C และ 45 °C จากข้อมูลดังกล่าวแสดงว่าผลิตภัณฑ์น้ำตาลเคลือบคาราเมลมีคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยาเฉพาะตัวและผ่านมาตรฐานของโรงงานน้ำตาลพิษณุโลกและมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำตาลทรายขาวควรหลีกเลี่ยงการเก็บน้ำตาลในที่มีอุณหภูมิสูงเกิน 35 °C เพราะมีผลกระทบสำคัญต่อคุณภาพบางประการของผลิตภัณฑ์ เช่น การจับตัวเป็นก้อนและเกิดสีน้ำตาลที่เข้มขึ้น ซึ่งจะมีผลต่ออายุการเก็บรักษา

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร และโรงงานน้ำตาลพิษณุโลก ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และสำหรับการดำเนินการวิจัยโครงการเรื่อง “อิทธิพลของอุณหภูมิเก็บรักษาในสภาวะเร่งและบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของน้ำตาลเคลือบคาราเมล” ที่ให้ความร่วมมือในการศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, (2010), *Maillard reaction/ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด, food network solution*. สืบค้น 25 กรกฎาคม 2564, จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0397/maillard-reaction[27/10/2564]

โรงงานน้ำตาลพิษณุโลก. (2562). *มาตรฐานน้ำตาลทรายขาว*. เอกสารหมายเลข RF-MR-02. 3 หน้า.

โรงงานน้ำตาลพิษณุโลก. (2563). *มาตรฐานน้ำตาลทองธรรมชาติ*. เอกสารหมายเลข RF-MR-04. 2 หน้า.

สมบัติ ขอทวีวัฒนา. (2546). *เทคโนโลยีน้ำตาล*. กรุงเทพ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 520 หน้า.

เสาวลักษณ์ วิเศษศรี และวรนุช ศรีเจษฎารักข์. (2550). กระบวนการผลิตคาราเมลเพื่อให้ได้คาราเมลชนิดที่ 4 ที่มีคุณสมบัติเหมาะสม. *วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร*, 38 (6) (พิเศษ), 95-98.

Andrews, H. W., Wang, H., Andrew, J., Ge, B., Zhang, G. & Hammack, T.(1998). In USFBA bacteriological analytical manual chapter 5 : salmonella. Hypertext source: bacteriological analytical manual, 8th edition, Revision A, 1998. Chapter 5.

Bostock, P. (2003). A theory of sugar drying. caking of white crystalline sugar. Reims Cedex 2, France. *International Sugar Journal*. 105(1251), 128-136.

Chung, M., Roger Ruan R., Chen Paul L. & Wang Xiaoan. (1998). Physical and chemical properties of caramel systems. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol*. 32, 162-166.

de Aguiar, C. L., Rocha, A. L. B., Jambassi, J. R., Baptista, A. S. & Lima, R. B. (2015). Factors affecting color formation during storage of white crystal sugar. *Focusing on Modern Food Industry*. Volume 4, 1-10.

Chitprasert, P., Chedchant J., Wanchaitanawong, P. & Poovarodom, N. (2006). Effects of grain size, reducing sugar content, temperature and pressure on caking of raw sugar. *Kasetsart Journal*. (*Natural Science*) 40, 141-147.

deMan, JM. (1990). Principles of food chemistry. *USA Avi Publication:* (pp100-112), N.Y.

Ergun R., Lietha R. and Hartel R. W. (2010). Moisture and shelf life in sugar confections. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50:2, 162-192.

Frazeir, W.C. & Westhoff, D.C. (1998). *Food microbiology*. 4 thuds. McGraw-Hill, book company, New York.

International commission for uniform methods of sugar analysis (ICUMSA) methods book 1994: method GS 1/3/4/7/8-13 (1994). *The determination of conductivity ash in raw brown sugar*, juice, syrup and molasses – Official

International commission for uniform methods of sugar analysis (ICUMSA) methods book 2007: methods GS 2/3 -19 (2007). *The determination of insoluble matter in white sugar by membrane filtration* – Official

International commission for uniform methods of sugar analysis (ICUMSA) methods book 2007: method GS 2/1/3/9-15 (2007). *The determination of sugar moisture by loss on drying* – Official

International commission for uniform methods of sugar analysis (ICUMSA) methods book 2011: method GS 1/3-7 (2011). *color in brown sugar* – Official.

International commission for uniform methods of sugar analysis (ICUMSA) methods book 2011: method GS1/2/3/9-1 (2011). *The determination of the polarization of raw sugar by polarimetry* - Official

International commission for uniform methods of sugar analysis (ICUMSA) methods book 2011: method GS 2/3/9-5 (2011). *The determination of reducing sugars in purified sugar by knight and allen EDTA method* – Official (Reference) Method.

International commission for uniform methods of sugar analysis (ICUMSA) methods book 2011: method GS2/3-41 (2011). *The determination of the total mesophilic bacterial count in refined sugar products by the pour plate method or the membrane filtration method* - Official

Jay, J. M., Loessner, M. J. & Golden, D. A. (2005). Modern food microbiology. *7th ed. Springer Science and Business Media Inc.*, New York.

Man, C. M. D & jones, A. A. (1996). Shelf life evaluating of food. *Blackie Academic and Professional* (pp 321), London.

Mayhew, E. J., Schmidt, S. J., & Lee, S. (2017). Sensory and physical effects of sugar reduction in a caramel coating system. *Journal of Food Science*. 82(8), 1935-1946.

Meilgard, M. C., Thomas, Carr B., Gail, & Vance C. (2006). Sensory evaluation techniques, *Fourth Edition*. 464 p.

Miller, E. & Hartel, R. W. (2015). Sucrose crystallization in caramel. *Journal of Food Engineering*. 153, 28-38.

Peter, F., Stephen, D. W., Michael, A. G. & William, B. (1998). In USFDA bam chapter 4: enumeration of *Escherichia coli* and the coliform bacteria. *Hypertext source: bacteriological analytical manual, 8th Edition, Revision A*, 1998. Chapter 4.

Pierson, M.D. & Corlett, Jr, D.A. (1992). HACCP. *Principles and applications. Chapman and Hall* (pp. 32-33), New York.

Qiu L., Chen W. and Qu B. (2006). Morphology and thermal stabilization mechanism of LLDPE/MMT and LLDPE/LDH nanocomposites. *ScienceDirect*. 47(3), 922-930.

Renumarn, P. & Choosuk, N. (2019). Influence of packaging and storage condition on the quality and shelf-life of chewy santol (Kraton-Yee) candies. *King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, *EDP Sciences* (1-6) Thailand.

Roge, B. & Mathlouthi, M. (2003). Caking of white crystalline sugar. *International Sugar Journal*. 105, 128–136.

Sengar, G. & Sharma, H. K. (2012). Food caramels: a review. *Journal of Food Technol Association of Food Scientists & Technologists* (pp. 1-11), India.

Steiner, A. E., Foegeding, E. A. & Drake, M. (2002). Descriptive analysis of caramel texture. *Journal of Sensory Studies* 18 (2003), 277-289.

Stollman, U., Johnson, F. & Leufwen, A. (1996). Packaging and food quality in shelf-life evaluation chapter 4. (pp. 52-71).

Wagoner, T. B., Paige, J. L., & Allen, F. E. (2016). Caramel as a model system for evaluating the roles of mechanical properties and oral processing on sensory perception of texture. *Journal of Food Science*. 81(3), 736-744.