วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 26 (ฉบับที่ 2) พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2564
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 26 (No.2) May – August 2021
บทความวิจัย

ผลของบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติต่อคุณภาพด้านกายภาพและจุลินทรีย์ของแผ่นแป้งโรตี

Effect of Environmentally Degradable Packaging on Physical and Microbiological Quality of Flatbread Roti

จิรพัฒน์ พ่วงกลาง และ ฐิติกร มหิสนันท์*
Chiraphat Phuangklang and Thitikorn Mahidsanan*
สาขาเทคโนโลยีการเกษตรและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
Department of Agricultural Technology and Environment, Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan

Received : 12 May 2020
Revised : 19 October 2020
Accepted : 22 October 2020

บทคัดย่อ

แป้งโรตีเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษาสั้นเนื่องจากการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ จึงมีการใช้บรรจุภัณฑ์ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา แต่บรรจุภัณฑ์จากพลาสติกสังเคราะห์เป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการย่อยสลายยาก ปัจจุบันมีการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติเพื่อทดแทนบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกสังเคราะห์ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ พอลิโพรไพลีน (PP) โพลีเอสเทอรีน/โพลีเอไมด์ (PE/PA) และบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ (EDP) ภายใต้สภาวะการบรรจุแบบสุญญากาศเป็นระยะเวลา 2 วัน ณ อุณหภูมิห้อง จากการศึกษาพบว่า ค่า water activity ของแผ่นแป้งโรตีทุกชุดการทดลองมีค่ามากกว่า 0.90 เมื่อพิจารณาค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าการเกาะติด และค่าความเคี้ยวได้ของแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในทุกบรรจุภัณฑ์ มีแนวโน้มให้ผลเชิงลบต่อคุณภาพด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบจากวันที่ 0 นอกจากนี้คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PP เมื่อเก็บรักษาผ่านไป 1 วัน มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 4.13 log CFU/g ซึ่งเกินกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 458/2547) ในทางตรงกันข้ามแผ่นแป้งโรตีที่เก็บรักษาในถุง PE/PA และ EDP ยังคงมีคุณภาพด้านจุลินทรีย์เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการเก็บรักษาแป้งโรตีที่บรรจุในถุง EDP สามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลาไม่เกิน 1 วัน และสามารถใช้ทดแทนพลาสติกสังเคราะห์กลุ่ม PP ได้

คำสำคัญ : แป้งโรตี ; บรรจุภัณฑ์ ; อายุการเก็บรักษา ; พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ

Abstract

Flatbread Roti product has a short shelf-life because of microbial spoilage. The packaging can be used as a material for extending the shelf-life, whereas the synthetic plastic packaging is harmful to environment due to the difficult degradation. In present, an environmentally degradable plastic (EDP) could be used for substituting synthetic plastic package. The aim of this research was to assess the potential of three packages such as polypropylene (PP), polyethylene/polyamide (PE/PA) and EDP under vacuum condition for 2 days at ambient temperature. The results showed that the water activity of all treatments was approximately > 0.90. Considering the texture analysis, hardness, springiness, cohesiveness and chewiness of all treatments had negatively affected the product quality when compared to 0 day. In addition, microbiological quality showed that the total viable count of Flatbread Roti preserved in PP was approximately 4.13 log CFU/g that did not meet Thai Community product standard (No. 458/2547). In contrast, Flatbread Roti preserved in PE/PA and EDP, was relevant to Thai Community product standard. This study indicated that the shelf-life of Flatbread Roti preserved in EDP was approximately 1 day for replacing the use of synthetic plastic material (PP).

Keywords : flatbread roti ; packaging ; shelf-life ; environmentally degradable plastics

***Corresponding author. E-mail :** thitikorn_mahi@hotmail.com

บทนำ

แผ่นแป้งโรตีเป็นส่วนประกอบหลักของขนมโรตีสายไหม โดยทั่วไปมีการวางจำหน่ายอย่างแพร่หลายที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา แต่มีการพบปัญหาของแผ่นแป้งที่มีอายุการเก็บรักษาสั้นจากการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์กลุ่มเชื้อรา และยังมีการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ก่อโรคที่เป็นดัชนีมาตรฐานความปลอดภัยทางจุลชีววิทยา เช่น *Bacillus cereus Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* (No. 458/2547) เนื่องจากคุณลักษณะทางกายภาพของแผ่นแป้งโรตีสดมีค่า water activity มากกว่า 0.90 อีกทั้งในระหว่างการบรรจุเป็นแบบดั้งเดิมที่ใช้ถุงพลาสติกแบบพอลิโพรไพลีน หรือโพลีเอสเทอรีน/โพลีเอไมด์ที่ภายในถุงมีสภาพการซึมผ่านของอากาศและไอน้ำที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ (Topas Advanced Polymers, 2012) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าว ดังนั้นควรมีการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ประเภทอื่นๆ เข้ามาช่วยปกป้องการปนเปื้อนจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุต่อการเสื่อมเสียและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาแผ่นแป้งโรตี

ในปัจจุบันบรรจุภัณฑ์อาหารมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากเป็นสิ่งที่ใช้ป้องกันผลิตภัณฑ์อาหารจากปัจจัยภายนอกที่จะส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ และมีบทบาทสำคัญในการรักษาคุณภาพของอาหารให้อยู่ในสภาพเดิม แต่สิ่งที่สำคัญที่สุดนั้นตัวบรรจุภัณฑ์จะต้องไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณค่าลง จึงมีการนำเอาวัสดุต่างๆ เข้ามาใช้ในการทำเป็นบรรจุภัณฑ์ เช่น พลาสติก ฯลฯ แต่วัสดุที่กล่าวข้างต้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Rudnik, 2012) จึงได้มีผู้คิดค้นพัฒนาเกี่ยวกับวัสดุจากธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย ซึ่งได้นำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์แทนพลาสติกสังเคราะห์ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Brebu, 2020; Cazón *et al*., 2017; Kabir *et al*., 2020) นอกจากนี้มีการนำมาประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ เนื้อสัตว์และปลา (Giro *et al*., 2020) ผักและผลไม้ (Ramesh *et al*., 2020) เป็นต้น

เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับพลาสติกที่ย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ (Environmentally Degradable Plastics: EDP) เป็นกลุ่มสารโพลีเมอร์ธรรมชาติและโพลีเมอร์สังเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปเป็นโพลีเมอร์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า 1000 ดาลตัน สามารถถูกย่อยสลายโดยกิจกรรมจากจุลินทรีย์จนได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ การย่อยสลายและการดูดซึมของ EDP นั้นสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วจึงไม่เกิดการสะสมของสารเคมีในสภาวะแวดล้อม อีกทั้งต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายไม่เกิน 180 วันตามมาตรฐานสากล (UNIDO, 2003)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ (EDP) ต่อคุณภาพของแผ่นแป้งโรตี เปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์สังเคราะห์ 2 ชนิด ได้แก่ พอลิโพรไพลีน (PP) และ โพลีเอสเทอรีน/โพลีเอไมด์ (PE/PA) โดยมีเกณฑ์พิจารณาคุณภาพของแผ่นแป้งโรตี เช่น ลักษณะทางกายภาพด้านค่าเนื้อสัมผัส ค่าสี และค่าปริมาณน้ำอิสระ รวมถึงความปลอดภัยทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์แป้งโรตีเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2 วัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมแผ่นแป้งโรตี

1.1 เตรียมแป้งสาลี แป้งมัน เกลือ และเบนโซอิกตามอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 1 ผสมให้เข้ากัน และนำน้ำสะอาดที่ผสมน้ำมันพืชใส่ลงไปอย่างช้าๆ ในแป้งที่ได้เตรียมไว้ หลังจากนั้นผสมให้เข้ากันด้วยการนวดแป้งเป็นเวลา 5 นาที และพักแป้งไว้ประมาณ 20-30 นาที เพื่อให้แป้งขึ้นตัว จากนั้นนำแป้งมานวดรอบที่ 2 ประมาณ 5 นาที แล้วนำไปใส่กระทะแบนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ให้เป็นวงกลม ไม่หนา หรือบางจนเกินไป ใช้เกรียงเกลี่ยให้เสมอกัน เมื่อแป้งสุกแล้วใช้เกรียงแซะแผ่นโรตีออกมาเรียงซ้อนกัน

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบแป้งโรตี

วัตถุดิบ	ปริมาณ (g)
แป้งสาลี	342.9
แป้งมัน	164.8
เกลือ	1.1
น้ำสะอาด	481.3
น้ำมันพืช	9.9
เบนโซอิก	1

1.2 ทำการบรรจุแผ่นแป้งโรตีใส่ถุงแต่ละชนิด ได้แก่ พอลิโพรไพลีน (PP) (ชุดควบคุม) โพลีเอสเทอรีน/โพลีเอไมด์ (PE/PA) (ชุดควบคุม) และพลาสติกย่อยสลายได้ (EDP) ปริมาณถุงละ 3 แผ่น จากนั้นทำการปิดผนึกด้วยสภาวะการบรรจุแบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25-30 องศาเซลเซียส) แล้วทำการวิเคราะห์คุณภาพแผ่นแป้งโรตีทุกวันที่ 0, 1, 2 ของการเก็บรักษา

2. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

2.1 การวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity; a_w)

นำตัวอย่างแผ่นแป้งโรตี วัดค่า a_w ด้วยเครื่อง Lab Master-aw neo (Novasina, Switzerland) ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง โดยทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

2.2 การวิเคราะห์ค่าสี (Color measurement)

นำตัวอย่างแผ่นแป้งโรตี วัดค่าสีด้วยเครื่อง Chroma meter รุ่น CR-410 (Konica minolta, Japan) วัดค่า L* a* และ b* โดยแกน L* จะบ่งบอกถึงความสว่าง จากค่า +L* แสดงถึงสีขาว จนไปถึง –L* แสดงถึงสีดำ แกน a* จะบ่งบอกถึงแกนสีเขียว (-a*) ไปจนถึงสีแดง (+a*) และส่วนแกน b* จะบ่งบอกถึงแกนสีน้ำเงิน (-b*) ไปจนถึงสีเหลือง (+b*) โดยทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

2.3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture profile analysis)

นำตัวอย่างแผ่นแป้งโรตีมาตัดให้มีขนาด 2x2 เซนติเมตร วัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer รุ่น CT3 10K (Brookfield, USA) โดยใช้หัวกดเบอร์ 18 ซึ่งวัดค่า ความแข็ง (Hardness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) การเกาะติด (Cohesiveness) และความเคี้ยวได้ (Chewiness) โดยทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

3. การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา (FDA-BAM, 2001)

3.1 การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable count)

ชั่งตัวอย่างแป้งโรตี 25 กรัม และปั่นในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.85% (w/v) ปริมาตร 225 มิลลิลิตร ตีบดด้วยเครื่องตีผสมตัวอย่าง (Stomacher) จะได้ตัวอย่างแป้งโรตีที่มีความเจือจางในระดับ 10^{-1} และทำการเจือจาง 10 เท่า (10-fold dilution) เป็นลำดับจนได้ความเจือจางที่เหมาะสม ปิเปตตัวอย่างแต่ละความเจือจาง 0.1 มิลลิลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar (PCA) ทำการเกลี่ยให้ทั่วด้วยแท่งแก้วรูปตัวแอล (spreader) ตามเทคนิค spread plate หลังจากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนโคโลนีในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีโคโลนีอยู่ในช่วง 30-300 CFU/g

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และเชื้อรา

ชั่งตัวอย่างแป้งโรตี 25 กรัม และปั่นในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.85% (w/v) ปริมาตร 225 มิลลิลิตร ตีบดด้วยเครื่องตีผสมตัวอย่าง (Stomacher) จะได้ตัวอย่างแป้งโรตีที่มีความเจือจางในระดับ 10^{-1} และทำการเจือจาง 10 เท่า (10-fold dilution) เป็นลำดับจนได้ความเจือจางที่เหมาะสม ปิเปตตัวอย่างแต่ละความเจือจาง 0.1 มิลลิลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato dextrose agar (PDA) ทำการเกลี่ยให้ทั่วด้วยแท่งแก้วรูปตัวแอล (spreader) ตามเทคนิค spread plate หลังจากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง (25-30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3-5 วัน ตรวจนับจำนวนโคโลนีในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีโคโลนีอยู่ในช่วง 30-300 CFU/g

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณ *B. cereus*

ชั่งตัวอย่างแป้งโรตี 25 กรัม และปั่นในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.85% (w/v) ปริมาตร 225 มิลลิลิตร ตีบดด้วยเครื่องตีผสมตัวอย่าง (Stomacher) จะได้ตัวอย่างแป้งโรตีที่มีความเจือจางในระดับ 10^{-1} และทำการเจือจาง 10 เท่า (10-fold dilution) เป็นลำดับจนได้ความเจือจางที่เหมาะสม ปิเปตตัวอย่างแต่ละความเจือจาง 0.1 มิลลิลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Mannitol egg yolk polymyxin agar (MYP) ทำการเกลี่ยให้ทั่วด้วยแท่งแก้วรูปตัวแอล (spreader) ตามเทคนิค spread plate หลังจากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนโคโลนีสีชมพูในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีโคโลนีอยู่ในช่วง 30-300 CFU/g

3.4 การวิเคราะห์ปริมาณ *S. aureus*

ชั่งตัวอย่างแป้งโรตี 25 กรัม และปั่นในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.85% (w/v) ปริมาตร 225 มิลลิลิตร ตีบดด้วยเครื่องตีผสมตัวอย่าง (Stomacher) จะได้ตัวอย่างแป้งโรตีที่มีความเจือจางในระดับ 10^{-1} และทำการเจือจาง 10 เท่า (10-fold dilution) เป็นลำดับจนได้ความเจือจางที่เหมาะสม ปิเปตตัวอย่างแต่ละความเจือจาง 0.1 มิลลิลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Mannitol salt agar (MSA) ทำการเกลี่ยให้ทั่วด้วยแท่งแก้วรูปตัวแอล (spreader) ตามเทคนิค spread plate

หลังจากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนโคโลนีสีเหลืองในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีโคโลนีอยู่ในช่วง 30-300 CFU/g

3.5 การวิเคราะห์ปริมาณ *E. coli*

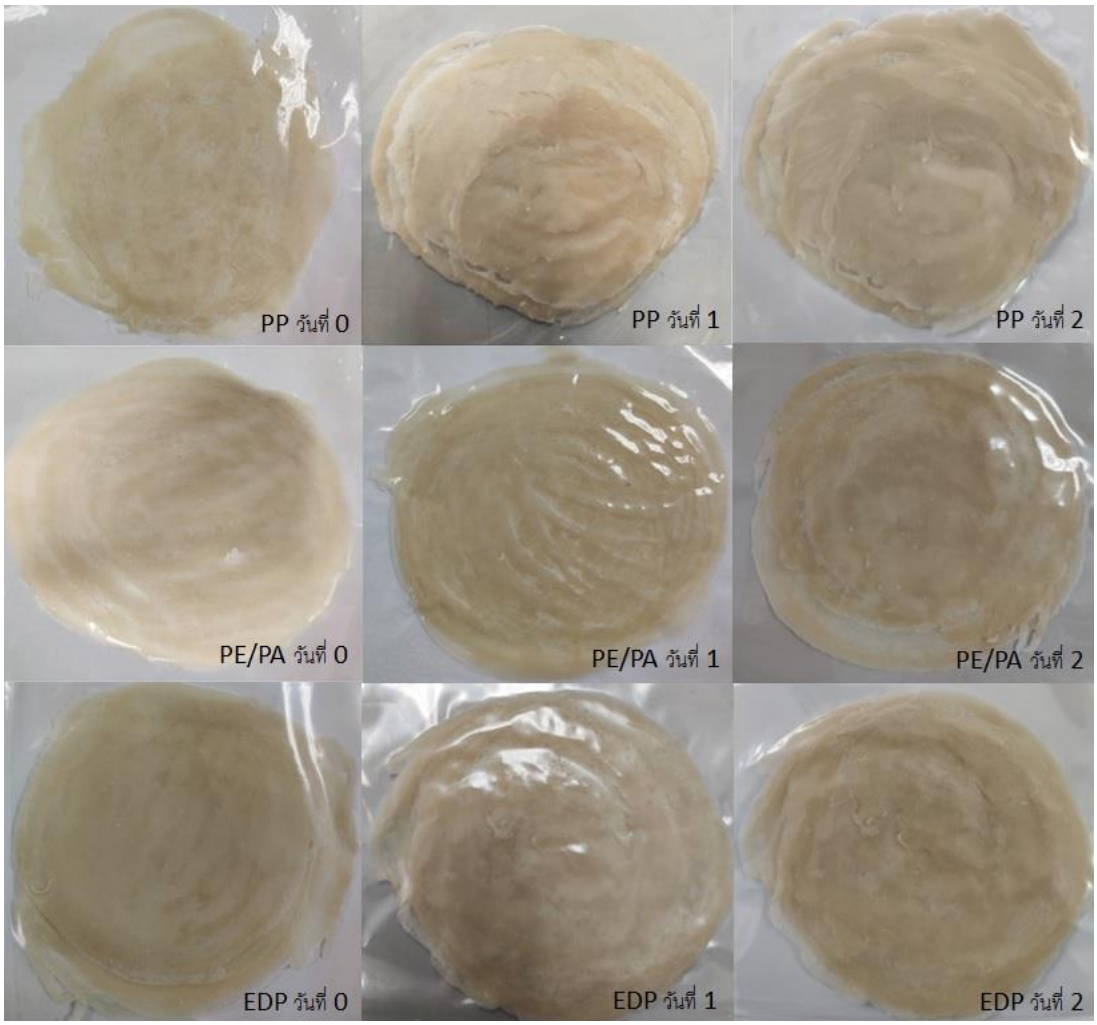
ชั่งตัวอย่างแผ่นแป้งโรตี 25 กรัม และปั่นในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.85% (w/v) ปริมาตร 225 มิลลิลิตร ตีบดด้วยเครื่องตีผสม (Stomacher) จะได้ตัวอย่างแผ่นแป้งโรตีความเจือจาง 10^{-1} ปิเปตตัวอย่างแป้งโรตีความเจือจาง 10^{-1} ใส่ในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ LST broth ที่มีหลอดดักแก๊ส (Durham tube) บรรจุอยู่ภายใน ความเจือจางละ 3 หลอด ทำการเจือจางตัวอย่างให้มีระดับความเจือจาง 10^{-1} 10^{-2} และ 10^{-3} รวมเป็น 9 หลอด จากนั้นนำไปเข้าตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง หลังจากนั้นคัดเลือกหลอดที่มีการเกิดแก๊สจาก LST broth ถ่ายเชื้อจากหลอดที่เกิดแก๊สลงในหลอดอาหาร EC broth ที่มีหลอดดักแก๊ส (Durham tube) บรรจุอยู่ภายใน บ่มใน Water bath ที่อุณหภูมิ 44.5 องศาเซลเซียส เริ่มคัดเลือกหลอดที่เกิดแก๊สที่เวลา 24 ชั่วโมง ถ้าให้ผล negative (ไม่เกิดแก๊ส) ให้บ่มต่อจนครบ 48 ชั่วโมง จากนั้นคัดเลือกหลอด EC broth ที่เกิดแก๊สไปอ่านค่าจากตาราง MPN 3:3:3 มีหน่วยเป็น MPN/g

4. การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

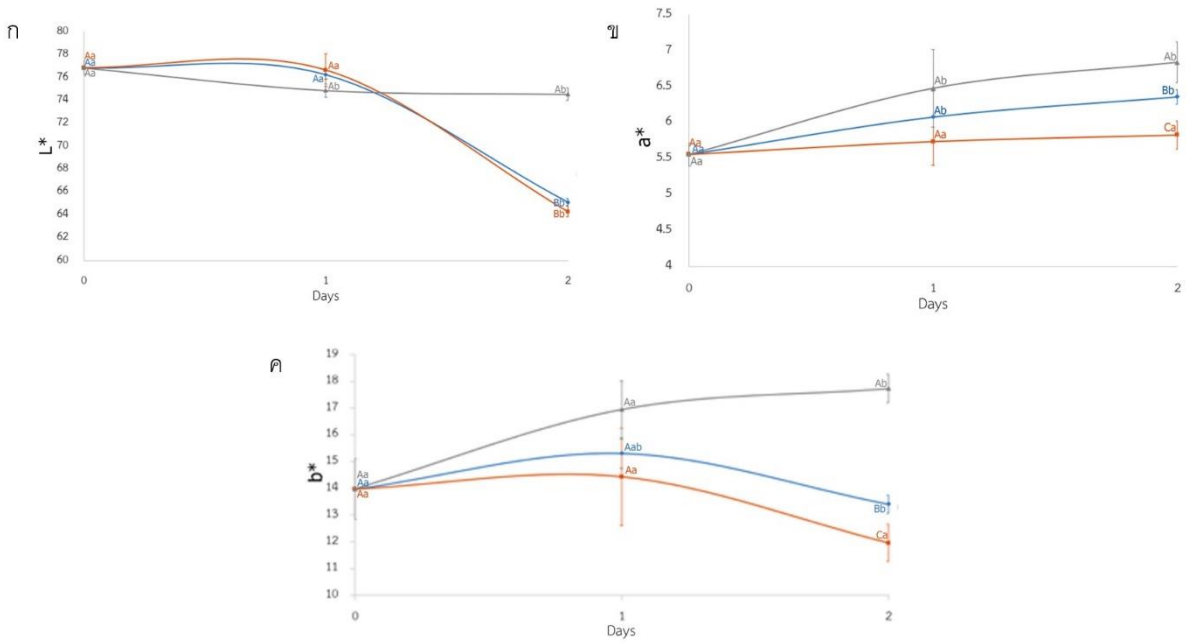
วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และนำข้อมูลทั้งหมดของการวิจัยมาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS

ผลการวิจัย

ภาพที่ 1 ลักษณะปรากฏของของแผ่นแป้งโรตีที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ แบบสุญญากาศ ได้แก่ PP (Control) PE/PA (Control) และ EDP เป็นเวลา 0-2 วัน ส่วนภาพที่ 2 แสดงถึงผลการทดสอบคุณภาพทางด้านค่าสีของแผ่นแป้งโรตี ภาพที่ 2 ก แสดงกรณีแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง EDP ในวันที่ 0 พบว่ามีค่าสี L* เริ่มต้นเท่ากับ 76.87±0.60 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2 วันมีค่าความสว่างลดลง (L* = 64.30±0.47) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PE/PA เก็บรักษาผ่านไป 2 วัน พบว่าแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง EDP มีค่าความสว่าง (L* = 64.30±0.47) แผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PP มีค่าความสว่าง (L* = 65.13±0.29) ซึ่งน้อยกว่าแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PE/PA (L* = 74.56±0.57) เมื่อพิจารณาภาพที่ 2 ข ค่าความเป็นสีแดง (a*) พบว่าแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง EDP ในวันที่ 0 มีค่าความเป็นสีแดง (a*) เท่ากับ 5.56±0.16 แต่เมื่อเก็บรักษาผ่านไป 2 วัน ค่าสี a* มีค่าเท่ากับ 5.83±0.20 ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) กรณีเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุใน PP และ PE/PA ในการเก็บรักษาผ่านไป 2 วัน พบว่าแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง EDP มีค่าสี a* (5.83±0.20) ที่น้อยกว่าแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PP (6.36±0.11) และ PE/PA (6.84±0.29) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ในภาพที่ 2 ค แสดงถึงแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง EDP ในวันที่ 0 มีค่าสี b* = 13.97±1.13 เมื่อเก็บรักษาผ่านไป 2 วัน มีค่าสี b* = 11.96±0.70 ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) กรณีเปรียบเทียบกับแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุใน PP และ PE/PA ที่เก็บรักษาผ่านไป 2 วัน พบว่าแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง EDP มีค่าสี b* (11.96±0.70) ที่น้อยกว่าแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PP (13.41±0.35) และ PE/PA (17.73±0.54) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 1 ลักษณะปรากฏของของแผ่นแป้งโรตีที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ แบบสุญญากาศ ได้แก่ PP (Control) PE/PA (Control) และ EDP เป็นเวลา 0-2 วัน

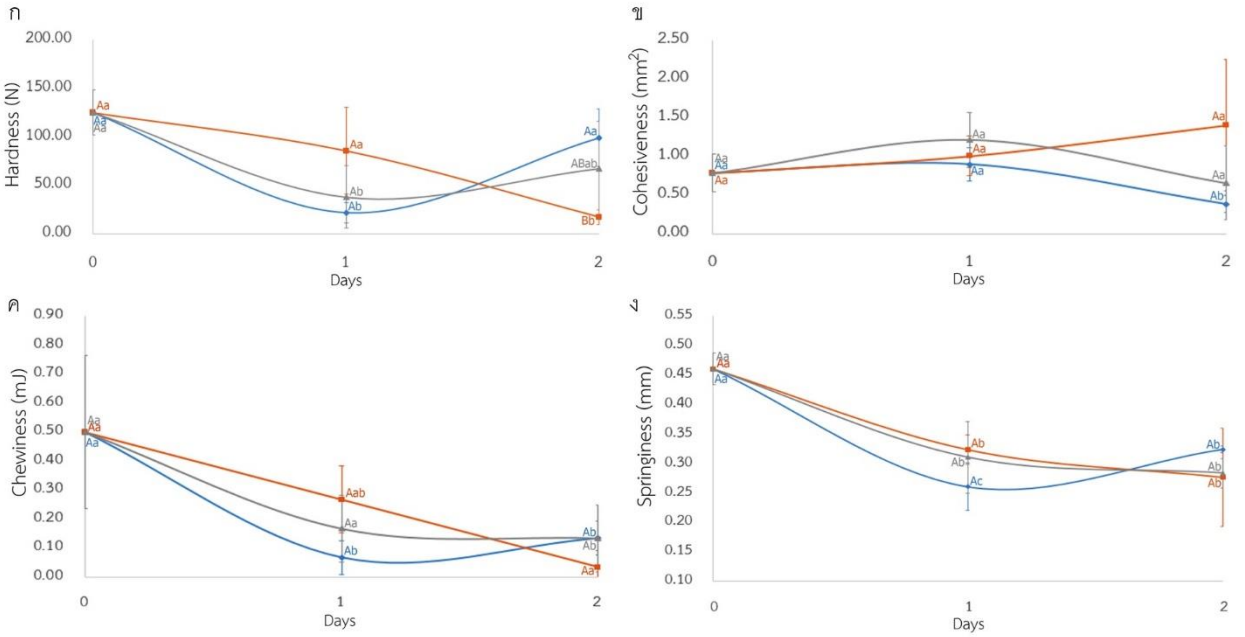


ภาพที่ 2 ค่าสี L* (ก) a* (ข) และ b* (ค) ของแผ่นแป้งโรตีที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ได้แก่ PP (- ◆ -) PE/PA (- ▲ -) และ EDP (- ■ -) เป็นเวลา 0-2 วัน

หมายเหตุ : $^{A-C}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงค่าการวิเคราะห์ของแต่ละบรรจุภัณฑ์ในวันเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P < 0.05$)

$^{a-c}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงค่าการวิเคราะห์แต่ละวันในบรรจุภัณฑ์ชนิดเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P < 0.05$)

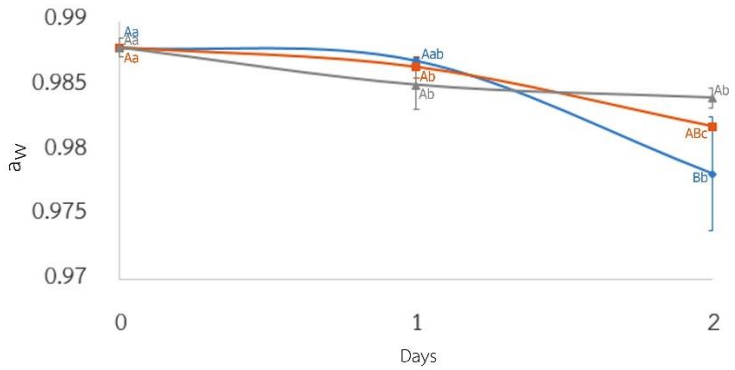
เมื่อพิจารณาภาพที่ 3 ก จากการเก็บรักษาแผ่นแป้งโรตีเป็นเวลา 1 วัน พบว่าแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง EDP จะมีค่า Hardness (85.67±44.38 N) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PP (22±10.54 N) และแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PE/PA (38±32.14 N) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนกรณีวันที่ 2 ของการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบวันที่ 0 พบว่าแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง EDP มีค่า Hardness ลดลงเหลือ 17.33±7.57 N อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งเมื่อพิจารณาการเก็บรักษาในวันที่ 2 พบว่าแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง EDP มีค่า Hardness ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PP และ PE/PA ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากค่า Cohesiveness (ภาพที่ 3 ข) Chewiness (ภาพที่ 3 ค) และค่า Springiness (ภาพที่ 3 ง) พบว่าแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดนั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเก็บรักษาผ่านไปเป็นเวลา 2 วัน กรณีค่า a_w (ภาพที่ 4) แผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PP ในวันที่ 0 มีค่า a_w เท่ากับ 0.9880 เมื่อเก็บรักษาผ่านไป 2 วันจะมีค่า a_w ลดลงเหลือ 0.9872 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และในการเก็บรักษาแผ่นแป้งโรตีในถุง EDP และ PE/PA เป็นเวลา 2 วัน พบว่า มีค่า a_w เท่ากับ 0.9819 และ 0.9841 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างอย่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนกรณีแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง EDP ในวันที่ 0 มีค่า a_w = 0.9880 เมื่อทำการเก็บรักษาผ่านไป 2 วัน มีค่า a_w ลดลง (0.9819) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 3 ค่า Hardness (ก) Cohesiveness (ข) Chewiness (ค) และ Springiness (ง) ของแผ่นแป้งโรตีที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ได้แก่ PP (-◆-) PE/PA (-▲-) และ EDP (-■-) เป็นเวลา 0-2 วัน

หมายเหตุ : $^{A-C}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงค่าการวิเคราะห์ของแต่ละบรรจุภัณฑ์ในวันเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P < 0.05$)

$^{a-c}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงค่าการวิเคราะห์แต่ละวันในบรรจุภัณฑ์ชนิดเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P < 0.05$)



ภาพที่ 4 ค่า a_w ของแผ่นแป้งโรตีที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ได้แก่ PP (-◆-) PE/PA (-▲-) และ EDP (-■-) เป็นเวลา 0-2 วัน

หมายเหตุ : $^{A-C}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงค่าการวิเคราะห์ของแต่ละบรรจุภัณฑ์ในวันเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P < 0.05$)

$^{a-c}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงค่าการวิเคราะห์แต่ละวันในบรรจุภัณฑ์ชนิดเดียวกัน มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P < 0.05$)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา (ตารางที่ 2) พบว่าวันที่ 0 แผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด มีการเจริญของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์รา จำนวนน้อยกว่า 2 log CFU/g และน้อยกว่า 1 log CFU/g ตามลำดับ แต่เมื่อเก็บรักษาผ่านไป 1 วัน แผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PP มีการเจริญของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.13 log CFU/g ซึ่งเกินกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 458/2547) ที่กำหนดว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 4 log CFU/g และยีสต์ราต้องน้อยกว่า 1 log CFU/g ในขณะเดียวกันการเก็บรักษาแผ่นแป้งโรตีผ่านไป 1 วัน ในถุง EDP และ PE/PA มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์รา น้อยกว่า 2 log CFU/g และน้อยกว่า 1 log CFU/g ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PP อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเก็บรักษาเวลา 2 วัน พบว่า แผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PP มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.47 log CFU/g และยีสต์รา 4.03 log CFU/g เปรียบเทียบกับแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง EDP ซึ่งมีการเจริญของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 3.19 log CFU/g และยีสต์รา 3.27 log CFU/g และแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุใน PE/PA มีการเจริญของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 3.19 log CFU/g และยีสต์ราน้อยกว่า 1 log CFU/g เมื่อพิจารณาระดับการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ก่อโรคที่เป็นดัชนีมาตรฐานความปลอดภัยทางจุลชีววิทยา เช่น *B. cereus S. aureus* และ *E. coli* อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 458/2547 ในระหว่างการเก็บรักษาแผ่นแป้งโรตีในทุกสภาวะการบรรจุ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการเก็บรักษาแผ่นแป้งโรตีเป็นเวลาไม่เกิน 1 วัน ในถุง EDP และ PE/PA มีการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PP

ตารางที่ 2 คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของแผ่นแป้งโรตีที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เป็นเวลา 0-2 วัน

ตัวอย่าง	ปริมาณจุลินทรีย์														
	Total viable count (log CFU/g)			Yeast & Mold (log CFU/g)			*B. cereus* (log CFU/g)			*S. aureus* (log CFU/g)			*E. coli* (MPN/g)		
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2
PP (control)	<2	4.13	4.47	<1	<1	4.03	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<3	<3	<3
PE/ PA (control)	<2	<2	3.19	<1	<1	<1	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<3	<3	<3
EDP	<2	<2	3.19	<1	<1	3.27	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<3	<3	<3

Polypropylene (PP), Polyethylene/Polyamide (PE/PA), Environmentally Degradable Plastics (EDP)

วิจารณ์ผลการวิจัย

สภาวะการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์แป้งโรตีนั้น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพในด้านค่าสี โดยแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุภายในถุง PP และ EDP เก็บรักษาเป็นเวลา 2 วัน มีค่าความสว่าง (L*) น้อยกว่าแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุภายในถุง PE/PA แต่เมื่อพิจารณาภาพรวมในค่าสี a * และ b* ของแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุถุง PP และ EDP ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าค่าสี a* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันค่าสี b* มีแนวโน้มลดลง ผลการทดลองที่เกิดขึ้นมีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Gökmen & Senyuva (2006) ที่อธิบายว่าผลิตภัณฑ์จากแป้งอาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ส่งผลกระทบต่อค่าสี L* a* และ b* ในลักษณะแนวโน้มคล้ายคลึงกัน กลไกเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning) เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวส์ (กลูโคสและฟรุกโตส) กับกลุ่มกรดอะมิโนอิสระของโปรตีน โดยเฉพาะกรดกลูตามิกและกลูตามีนที่มีปริมาณสูงที่สุดในวัตถุดิบหลัก โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากในแป้งสาลีนั้นมีองค์ประกอบทั้งน้ำตาลและกรดอะมิโน (D'appolonia & Rayas-Duarte, 1994; Hidalgo & Brandolini, 2011; Litwinek *et al.*, 2020) นอกจากนี้ยังมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rufián-Henares *et al.* (2009) ที่นำเสนอข้อมูลว่าอุณหภูมิในการแปรรูปอาหารจะกระตุ้นปฏิกิริยาเมลลาร์ดทำให้ค่าสี L* ของผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลีลดลง

ส่วนกรณีแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PE/PA เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2 วัน มีค่าสี L* มากกว่าแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PP และ EDP เนื่องจากส่วนผสม PA มีสภาพการให้ซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (oxygen permeability) เพียง 10 cm^3/m^2*d*bar แต่ในทางตรงกันข้ามถุง PP มีค่าการซึมผ่านของออกซิเจนสูงในช่วง 800-900 cm^3/m^2*d*bar และบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติมีค่าการซึมผ่านของน้ำมากกว่า 100 g/m^2*d อีกทั้งมีการซึมผ่านของออกซิเจนได้บางส่วน ซึ่งน้ำอาจเป็นปัจจัยร่วมกับออกซิเจนในการกระตุ้นอัตราการเกิดออกซิเดชันที่สูง ส่งผลให้แผ่นแป้งโรตีในถุง PP และ EDP มีสีคล้ำกว่า (Siracusa *et al.*, 2014; Topas Advanced Polymers, 2012)

กรณีคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสพบว่า ค่าเนื้อสัมผัสความแข็งของแผ่นแป้งที่บรรจุในถุง PP มีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติของถุง PP มีสภาพการให้ซึมผ่านของน้ำในเพียง 0.7-0.8 g/m^2*d ทำให้สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้มากกว่า PE/PA และบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ ส่งผลให้แผ่นแป้งโรตีในถุง PP นั้นมีการเพิ่มขึ้นของค่า Hardness ซึ่งในการเปลี่ยนแปลงค่า Hardness ตั้งแต่วันที่ 0 จนถึงวันที่ 2 เกิดจากปฏิกิริยารีโทรกราเดชัน (Retrogradation) หรือการคืนตัวของสตาร์ช โดยโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินจะรวมตัวกับน้ำที่มีปริมาณอย่างจำกัดภายในผลิตภัณฑ์ มีผลต่อเนื่องกับระดับค่า a_w ที่ลดลง จากนั้นโมเลกุลน้ำตาลกลูโคสภายในสายจะเชื่อมต่อกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนและขับน้ำที่เคยจับอยู่ออกจากโมเลกุล เกิดเป็นผลึกใหม่ที่แข็งแรง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่แข็งขึ้น (Culetu *et al*., 2018; Zhong *et al.,* 2020) ส่วนกรณีถุง EDP มีค่าการให้น้ำซึมผ่านมากกว่า100 g/m^2*d อาจส่งผลให้ค่าความแข็งของแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง EDP น้อยกว่าแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PP และ PE/PA เมื่อพิจารณาภาพรวมของค่า Cohesiveness, Chewiness และ Springiness ของแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในทุกบรรจุภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงจากวันที่ 0 หากเก็บรักษาต่อไปอาจจะทำให้ค่าเนื้อสัมผัสเหล่านี้เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านลบต่อผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fik *et al.* (2012) ได้พิสูจน์ว่าค่า Cohesiveness, Chewiness และ Springiness ของผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลีมีการเปลี่ยนแปลงจากวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากที่กล่าวมาข้างต้น การที่ค่าเนื้อสัมผัสและค่าสีของแผ่นแป้งโรตีมีการเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเก็บรักษามีแนวโน้มคุณภาพเชิงลบเมื่อเปรียบเทียบกับวันเริ่มต้น (วันที่ 0) อาจส่งผลให้ผู้บริโภคไม่สามารถยอมรับคุณลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน ซึ่งคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มแข็งขึ้น อีกทั้งคุณลักษณะด้านสีมีความสว่างลดลง ทำให้เป็นดัชนีของการเสื่อมเสียด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย (Bejosano *et al.,* 2005)

เมื่อพิจารณาคุณภาพด้านจุลชีววิทยาของแผ่นแป้งโรตีโดยใช้เกณฑ์หลักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 458/2547 บ่งชี้ว่าการเก็บรักษาแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง EDP นั้นมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้ดีกว่าถุง PP (Zhong *et al.,* 2020) จึงมีการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์ราที่ต่ำกว่าแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุถุง PP จากการรายงานของ Topas Advanced Polymers (2012) พบว่าคุณสมบัติของพลาสติก PP มีสภาพการให้ซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนในช่วง 800-900 cm^3/m^2*d*bar ในขณะที่พลาสติกที่มีส่วนผสมจากพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติกลุ่ม starch และ cellulose มีสภาพการให้ซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนในช่วง 11-12 และ 0.8-0.9 cm^3/m^2*d*bar ตามลำดับ อีกทั้งความหนาของบรรจุภัณฑ์ที่มีส่วนผสมจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ เท่ากับ 100 μm ถึงแม้บรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดจะทำการบรรจุแบบสุญญากาศ แต่คุณสมบัติในป้องกันการซึมผ่านของอากาศและออกซิเจนที่แตกต่างกัน ทำให้มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถุง PP ที่มีการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนมากที่สุด เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ชอบแก๊สออกซิเจน (aerobic microorganisms) อีกทั้งค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่สูงตั้งแต่ 0.9-1.0 จะส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าวเช่นเดียวกัน (Pereira *et al.,* 2020; Noseda *et al.,* 2012) กรณีผลการตรวจวิเคราะห์จุลินทรีย์ก่อโรคในอาหาร ได้แก่ *B. cereus S. aureus* และ *E. coli* ไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าว เนื่องจากในการเติมโซเดียมเบนโซเอต (1000 ppm) ที่ใช้เป็นวัตถุกันเสียหรือปัจจัยร่วมที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ โดยมีผลต่อผนังเซลล์และเอนไซม์ของจุลินทรีย์ โดยเบนโซเอตจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการดูดซึมของสารอาหารเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ก่อโรคเกิด

ความผิดปกติ ในขณะเดียวกันจะยับยั้งการสร้างเอนไซม์บางชนิด และหยุดปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ที่มีความสำคัญต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ก่อโรคในอาหารไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Axel *et al.,* 2017; Nisar *et al*., 2020)

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการเก็บรักษาแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุงทั้ง 3 ชนิดแบบสุญญากาศ (PP PE/PA และ EDP) พบว่าการเก็บรักษาแป้งโรตีที่บรรจุในถุง PE/PA สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุดเป็นระยะเวลาไม่เกิน 2 วัน ส่วนการเก็บรักษาแผ่นแป้งโรตีในถุง PP พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินมาตรฐาน มผช. 458/2547 ในวันที่ 1 แต่ในการเก็บรักษาแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุในถุง EDP สามารถเก็บรักษาได้ไม่เกิน 1 วัน ซึ่งมีคุณภาพด้านจุลินทรีย์เป็นไปตามมาตรฐาน มผช. 458/2547 เมื่อพิจารณาคุณลักษณะด้านสีของแผ่นแป้งโรตีที่บรรจุถุง PP และ EDP มีแนวโน้มคล้ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับวันที่ 0 เนื่องจาก PP และ EDP มีสภาพการซึมผ่านของออกซิเจนสูงและมีการซึมผ่านของน้ำสูง ตามลำดับ ซึ่งอาจจะเป็นปัจจัยร่วมในการเร่งอัตราการเกิดออกซิเดชัน อย่างไรก็ตามผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าพลาสติกย่อยสลาย EDP สามารถเก็บรักษาแผ่นแป้งโรตีได้ดีกว่าพลาสติกสังเคราะห์ (PP) จึงสามารถใช้ทดแทนพลาสติกสังเคราะห์กลุ่ม PP ได้ เพื่อช่วยลดปัญหาการใช้วัสดุสังเคราะห์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากคุณลักษณะของแผ่นแป้งโรตีสดมีค่า a_w ที่สูง (มากกว่า 0.90) สภาวะดังกล่าวมีความเสี่ยงต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียและมีอายุการเก็บรักษาสั้น ผู้วิจัยมีข้อสังเกตว่าควรใช้วิธีการแปรรูปอาหารอื่นๆ เข้าร่วมด้วย เช่น การทำแห้ง (dehydration) เพื่อลดค่า a_w ให้ต่ำกว่า 0.60 อีกทั้งช่วยยืดอายุการเก็บรักษาแผ่นแป้งโรตีได้นานยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามต้องมีการศึกษาคุณลักษณะด้านกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของแผ่นแป้งโรตีที่ผ่านการทำแห้งควบคู่กันไปด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลางนครราชสีมา ที่ได้สนับสนุน อนุเคราะห์เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Axel, C., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2017). Mold spoilage of bread and its biopreservation: A review of current strategies for bread shelf life extension. *Critical reviews in food science and nutrition, 57*, 3528-3542.

Bejosano, F. P., Joseph, S., Lopez, R. M., Kelekci, N. N., & Waniska, R. D. (2005). Rheological and sensory evaluation of wheat flour tortillas during storage. *Cereal chemistry*, *82*(3), 256-263.

Brebu, M. (2020). Environmental Degradation of Plastic Composites with Natural Fillers—A Review. *Polymers*, *12*(1), 166.

Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez, J. A., & Vázquez, M. (2017). Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, *68*, 136-148.

Culetu, A., Duta, D.E., & Andlauer, W. (2018). Influence of black tea fractions addition on dough characteristics, textural properties and shelf life of wheat bread. *European Food Research and Technology, 244*, 1133–1145.

D'appolonia, B. L., & Rayas-Duarte, P. (1994). Wheat carbohydrates: structure and functionality. In *Wheat* (pp. 107-127). Springer, Boston, MA.

FDA-BAM. (2001). *In FDA's bacteriological analytical manual*. Retrieved March 1, 2019, from https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam

Fik, M., Surówka, K., Maciejaszek, I., Macura, M., & Michalczyk, M. (2012). Quality and shelf life of calcium-enriched wholemeal bread stored in a modified atmosphere. *Journal of Cereal Science*, *56*(2), 418-424.

Gökmen, V. & Senyuva, H.Z. (2006). Study of colour and acrylamide formation in coffee, wheat flour and potato chips during heating. *Food Chemistry, 99,* 238–243.

Giro, T., Beloglazova, K., Rysmukhambetova, G., Simakova, I., Karpunina, L., Rogojin, A., & Andreeva, S. (2020). Xanthan-based biodegradable packaging for fish and meat products. *Foods and Raw Materials*, *8*(1), 67-75.

Hidalgo, A. & Brandolini, A. (2011). Evaluation of heat damage , sugars , amylases and colour in breads from einkorn , durum and bread wheat flours. *Journal of Cereal Science, 54,* 90–97.

Kabir, E., Kaur, R., Lee, J., Kim, K. H., & Kwon, E. E. (2020). Prospects of biopolymer technology as an alternative option for non-degradable plastics and sustainable management of plastic wastes. *Journal of Cleaner Production*, 120536.

Litwinek, D., Gambus, H., Mickowska, B., Ziec, G., & Berski, W. (2020). Aminoacids composition of proteins in wheat and oat flours used in breads production. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, *9*(4), 1725-1733.

Nisar, N., Mustafa, F., Tahir, A., Qadri, R., Yang, Y., Khan, M. I., & Wang, F. (2020). Proximate composition, functional properties and quantitative analysis of benzoyl peroxide and benzoic acid in wheat flour samples: effect on wheat flour quality. *PeerJ*, *8*, e8788.

Noseda, B., Islam, M.T., Eriksson, M., Heyndrickx, M., De Reu, K., Van Langenhove, H., & Devlieghere, F. (2012). Microbiological spoilage of vacuum and modified atmosphere packaged Vietnamese Pangasius hypophthalmus fillets. *Food Microbiology, 30*, 408–419.

Pereira, A. P. M., Freire, L., Alvarenga, V. O., Crucello, A., Morassi, L. L., Silva, F. P., ... & Sant'Ana, A. S. (2020). Occurrence and enumeration of rope-producing spore forming bacteria in flour and their spoilage potential in different bread formulations. *LWT*, 110108.

Ramesh, M., Narendra, G., & Sasikanth, S. (2020). A review on biodegradable packaging materials in extending the shelf life and quality of fresh fruits and vegetables. In *Waste Management as Economic Industry Towards Circular Economy* (pp. 59-65). Springer, Singapore.

Rudnik, E. (2012). 10 Compostable Polymer Materials: Definitions, Structures, and Methods of Preparation. *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics: Properties, Processing and Applications*, 189.

Rufián-Henares, J. A., Delgado-Andrade, C., & Morales, F. J. (2009). Assessing the Maillard reaction development during the toasting process of common flours employed by the cereal products industry. *Food Chemistry*, *114*(1), 93-99.

Siracusa, V., Ingrao, C., Lo Giudice, A., Mbohwa, C., & Dalla Rosa, M. (2014). Environmental assessment of a multilayer polymer bag for food packaging and preservation: An LCA approach. *Food Research International, 62,* 151–161.

Thai Community product standard (No. 458/2547). *Roti Sai Mai.* Retrieved March 1, 2019, from http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4158/%E0%B9%82%E0%B8%A3%E0%B8%95%E0%B8%B5%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B9%84%E0%B8%AB%E0%B8%A1 (in Thai)

Topas Advanced Polymers. (2012). High barrier for antiseptic packaging. Retrieved September 3, 2020, from https://topas.com/sites/default/files/rj_topas_flexpack-antiseptic_barrier_12-06.pdf

United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). (2003). *Brief Guidelines on Environmentally Degradable Plastics (EDP).* Retrieved March 1, 2019, from http://capacitydevelopment.unido.org/wp-content/uploads/2014/11/81.-EDP-Environmentally-Degradable-Polymeric-Materials-and-Plastics-Brief-Guidelines.pdf

Zhong, Y., Godwin, P., Jin, Y., & Xiao, H. (2020). Biodegradable polymers and green - based antimicrobial packaging materials: A mini-review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, *3*, 27–35.