ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

RMUTT Research Journal
Science and Technology
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

ผลของการให้ความร้อนระดับสเตอริไรส์ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์

Effect of Sterilization Process on Physicochemical Properties of Lotus Leaf Wrapped Rice in Retort Pouch Product

สุนัน ปานสาคร* จตุรงค์ ลังกาพินธุ์ เพียงรวี ปาณศรี ฐิติมา ไชยดำ

Sunan Parnsakhorn*, Jaturong Langkapin, Peangrawee Pansri and Thitima Chaiyadam

*ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND

*Corresponding Author: E-mail: sunan.p@en.rmutt.ac.th

ARTICLE INFO

Article history:
Received 9 August 2019
Revised 18 September 2019
Accepted 30 October 2019
Available Online 6 April 2020
DOI: xxxxxxxxxxxxxxxxx

Keywords: wrapped rice, lotus leaf, sterilization, retort pouch

ABSTRACT

The aim of research is study the effect of sterilization process on physicochemical properties of lotus leaf wrapped rice in retort pouch product that were sterilized at 121 ℃ for 15, 30 and 45 minutes respectively. The calculating of F value (F_0), moisture content, water activity, color value, color deference, hardness value, sensory evaluation and total viable count were determined. The result showed that the F value (F_0) of retort pouches sterilized at 121 ℃ for 15, 30 and 45 minutes are 10.9, 19.7 and 42.1 minutes consecutively and total microorganisms were found < 10 CFU/g, which is in the safe criteria for consumption. No significant color value (L*, a*, b*) was found in each lotus leaf wrapped rice in retort pouch product ($p > 0.05$), while the color difference (ΔE^*) was increased from 1.42, 1.84 and 2.48 with product sterilized at 121 ℃ for 15, 30 and 45 minutes respectively. It was also found that the hardness value of all lotus leaf wrapped rice in retort pouch product were a significant downward trend ($p \leq 0.05$) when increasing the heating time. Including, after heating process the moisture content and water activity

Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Vol 19, Issue 1, 2020
ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

values were presented between 62-66 %wb and 0.87-0.92, respectively. The lotus leaf wrapped rice in retort pouch product were heated with microwave before consumption, indicated that most consumers are more satisfied than not heating.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการให้ความร้อนระดับสเตอริไรส์ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ที่อุณหภูมิ 121 °C เวลา 15 30 และ 45 min ตามลำดับ การคำนวณหาค่า F_0 ความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ค่าสี ความแตกต่างสีโดยรวม ความแข็ง ความพึงพอใจของผู้บริโภค และปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 30 และ 45 min ให้ค่า F_0 เท่ากับ 10.9 19.7 และ 42.1 min ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม < 10 CFU/g อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภค ค่าสี L* a* b* ในแต่ละสภาวะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในขณะที่ค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE^*) เพิ่มขึ้นจาก 1.42 1.84 และ 2.48 หลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 30 และ 45 min ตามลำดับ ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อน รวมไปถึงปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระพบว่าหลังการให้ความร้อนมีค่าความชื้นเพิ่มขึ้นระหว่าง 62-66 %wb และปริมาณน้ำอิสระในช่วง 0.87-0.92 ในการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคพบว่าการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟกับผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ก่อนการบริโภคมีค่าความพึงพอใจสูงกว่าการไม่ให้ความร้อน

คำสำคัญ: ข้าวห่อใบบัว ใบบัว การสเตอริไรส์ บรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์

บทนำ

ข้าวห่อใบบัว เมนูที่หารับประทานได้ไม่ง่ายนัก เป็นอาหารสูตรโบราณ มีมานานตั้งแต่สมัยราชวงศ์เหลียงทางตอนใต้ของจีน เป็นการนำข้าวมาผัดกับเครื่องเทศต่าง ๆ และผสมกับส่วนประกอบหลากหลายชนิด เช่น เนื้อหมู กุนเชียง เห็ดหอม กุ้งแห้ง ไข่เค็ม เม็ดบัว จากนั้นนำไปห่อรวมกันในใบบัวแล้วนำไปนึ่งจนได้ออกมาเป็นข้าวอบใบบัวที่มีกลิ่นหอมของใบบัวช่วยเพิ่มความอยากอาหาร และมีคุณค่าทางโภชนาการเนื่องจากในข้าวห่อใบบัวมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ข้าวที่เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตให้พลังงานแก่ร่างกาย (1) มีเนื้อสัตว์เป็นแหล่งโปรตีนช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ มีไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวให้พลังงานและความอบอุ่นแก่ร่างกาย (2) มีเห็ดหอมที่มีสรรพคุณทางยาช่วยป้องกันโรคกระดูกในเด็ก ถ้ารับประทานเป็นประจำจะช่วยป้องกันการอักเสบของผิวหนัง ช่วยป้องกันการเกิดอาการตับแข็งและหลอดเลือดแข็งตัว มีเส้นใยช่วยทำให้ขับถ่ายได้ง่าย นอกจากนี้ยังช่วยจับสารเคมีที่เป็นพิษ และทำให้ผ่านลำไส้ได้อย่างรวดเร็ว ลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งลำไส้ได้ (3) มีเม็ดบัวมีมีวิตามินซีสูง โปรตีนสูงและยังมีฟอสฟอรัส เหล็ก แต่ส่วนประกอบหลักจะเป็นคาร์โบไฮเดรตมากถึง 60 % ไม่มีไขมัน จึงช่วยให้อิ่มง่ายและให้พลังงานมาก มีสรรพคุณเด่นช่วยในเรื่องของการบำรุงเลือดสำหรับสตรีที่ประจำเดือนมาไม่ปกติ อีกทั้งยังช่วยขับลม แก้ท้องผูก ท้องเฟ้อ (4-5) เป็นต้น

ข้าวเป็นธัญพืชซึ่งประชากรโลกบริโภคเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชีย ข้าวเป็นธัญพืชสำคัญที่สุดในด้านโภชนาการ ซึ่งคนส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวในลักษณะข้าวหุงสุกหรือการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดังนั้นข้าวห่อใบบัวจึงเป็นทางเลือกหนึ่ง

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

ของผู้บริโภค ถึงแม้ข้าวห่อใบบัวจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่ด้วยขั้นตอนการผลิตที่ค่อนข้างยุ่งยาก ส่วนผสมหลากหลายชนิดจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่หารับประทานได้ค่อนข้างยาก ประกอบกับข้าวห่อใบบัวมีข้อเสียในแง่มีอายุการเก็บรักษาได้ในระยะเวลาสั้น เนื่องจากเกิดการเน่าเสียและอาหารที่เสื่อมคุณภาพ ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร เช่น ปฏิกิริยาทางเคมี เป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ของจุลินทรีย์ เอนไซม์ของจุลินทรีย์จะทำให้เกิดลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปเช่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส การเกิดแก๊ส การไหลเยิ้มของของเหลว และเดิมทีผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวนิยมนำข้าวเสาไห้มาเป็นวัตถุดิบหลัก เนื่องจากมีลักษณะการแยกตัวของเมล็ดข้าวค่อนข้างดี เป็นข้าวในกลุ่มอะไมโลสสูง (6) ซึ่งเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็ง อย่างไรก็ตามด้วยคนปัจจุบันหันมาใส่ใจสุขภาพกันมากขึ้นดังนั้นข้าวขาวดอกมะลิ 105 จึงเป็นข้าวที่ได้รับความนิยมในการบริโภคอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นข้าวที่มีกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์ เมล็ดเรียวยาวสวยงามเมื่อนำมาหุงสุกจะให้เนื้อสัมผัสที่นุ่มและให้พลังงานแก่ร่างกายและมีคุณค่าทางโภชนาการ (7) จากข้อมูลที่กล่าวมาทั้งหมดงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์โดยใช้ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เพื่อให้สะดวกต่อการบริโภคและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานขึ้น

บรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์พบว่าเป็นภาชนะบรรจุที่เข้ามาแทนกระป๋อง สามารถปิดผนึกสนิท มีความแข็งแรง สามารถทนต่อความร้อนและความดันสูงได้ใช้บรรจุอาหารที่ต้องการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ภายใต้สภาวะปลอดเชื้อแบบเชิงการค้าได้เหมือนกับกระป๋องโดยฆ่าเชื้อในหม้อฆ่าเชื้อภายใต้แรงดัน อาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อสามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ อีกทั้งสะดวกต่อการขนย้าย พกพา และพร้อมรับประทาน เพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้บริโภค (8-9) ทั้งนี้การฆ่าเชื้อด้วยความร้อนภายใต้สภาวะปลอดเชื้อแบบเชิงการค้าต้องคำนึงถึงตัวแปรหนึ่งที่สำคัญ ได้แก่ ค่า F_0 ซึ่งหมายถึงเวลาของการฆ่าเชื้อที่เทียบเท่า ณ อุณหภูมิ 121 °C (250 °F) ของกระบวนการฆ่าเชื้อที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิอื่น ๆ ซึ่งตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 335 พ.ศ. 2556 อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทกำหนดให้ค่า F_0 ที่ใช้ในการฆ่าเชื้ออาหารที่เป็นกรดต่ำจะต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 3 min เพื่อให้เพียงพอต่อการทำลายสปอร์ของ *Clostridium Botulinum* ซึ่งค่า F_0 ของ ผลิตภัณฑ์จากข้าวหุงสุกมักจะมีค่าอยู่ในช่วง 3-7 min (10)

ในปัจจุบันจะพบผลิตภัณฑ์อาหารบรรจุในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ มีผลิตขึ้นอย่างแพร่หลายและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เช่น สุภาพร และ กฤตภาส (11) ได้พัฒนาบรรจุภัณฑ์น้ำพริกพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ พบว่า เมื่อฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 min สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องได้เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ในปี 2557 มาฤดี และ ธีรินทร์ (12) ศึกษาผลของระยะเวลาและอุณหภูมิฆ่าเชื้อต่อคุณภาพของโจ๊กพร้อมรับประทานบรรจุรีทอร์ทเพาช์และรายงานว่าระดับการฆ่าเชื้อเชิงการค้า (F_0) ที่เหมาะสมและปลอดภัยต่อการบริโภคคือ 4.02 min นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อลดอุณหภูมิฆ่าเชื้อ ซึ่งทำให้ระยะเวลาฆ่าเชื้อนานขึ้น ทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น พฤกษา (13) ได้ศึกษาผลของเวลาการให้ความร้อนต่อลักษณะทางกายภาพของปลาทูต้มเค็มในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์พบว่าการฆ่าเชื้อที่ 121 °C เป็นเวลา 30 40 และ 50 min ให้ค่า F_0 เท่ากับ 7.7 8.8 และ 12.1 min ตามลำดับ และตรวจไม่พบค่าจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) ต่อมา Thakur and Rai (14) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการและการประเมินอายุการเก็บของข้าวผสมเครื่องเทศหุงสุกในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ พบว่า การฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 117.67 °C เป็นเวลา 22.4 min ให้ค่า F_0 เท่ากับ 8.7 min และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีที่สุดและสามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลา 180 วัน จากข้อมูลที่กล่าวมาดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความประสงค์ที่จะศึกษาผลของการให้ความร้อนระดับสเตอริไรส์ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์

Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Vol 19, Issue 1, 2020
ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับผู้บริโภค ช่วยส่งเสริมให้ผู้บริโภคได้รับสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เป็นการส่งเสริมและรักษาภูมิปัญญาท้องถิ่นให้คงอยู่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายมากขึ้น รวมถึงผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนี้จะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของผู้ประกอบการในการนำไปขยายต่อเชิงพาณิชย์ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างข้าวห่อใบบัว

จัดซื้อข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 คุณภาพดี เมล็ดสมบูรณ์ สะอาด จากร้านค้าที่ได้มาตรฐาน ควบคุมความชื้นเริ่มต้นของข้าวที่ 10-12 %wb. บรรจุสภาวะสุญญากาศถุงละ 1,000 g เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C จนกว่าจะนำไปใช้ในการทดสอบ จากนั้นเตรียมส่วนผสมในการทำข้าวห่อใบบัว ประกอบด้วย น้ำซอสปรุงรส เห็ดหอม เม็ดบัว กุ้งแห้ง หมู กุนเชียง ไข่เค็ม และข้าวขาวดอกมะลิ 105 หุงสุก

ขั้นตอนการเตรียมข้าวหุงสุกโดยชั่งตัวอย่างข้าวจำนวน 500 g และชั่งน้ำสะอาดที่ผ่านการกรองแล้วจำนวน 500 g ใส่ลงในหม้อหุงข้าวไฟฟ้าและทำการเปิดสวิตช์เพื่อทำการหุงสุกจนได้ตัวอย่างข้าวหุงสุกที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก และนำใบบัวหลวงมาตัดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25 cm นึ่งให้ความร้อนเป็นเวลา 15 min จากนั้นนำตัวอย่างข้าวหุงสุกที่ได้เตรียมไว้ชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 150 g ผสมกับน้ำซอสปรุงรสคลุกเคล้าให้เข้ากัน นำส่วนผสมอื่นจัดเรียงในใบบัว แล้วนำข้าวที่คลุกเคล้าใส่ลงใบบัว ทำการห่อข้าวในใบบัวและนึ่งให้ความร้อนเป็นเวลา 30 min ขั้นตอนนี้เป็นการให้ความร้อนเบื้องต้นกับข้าวห่อใบบัวในทุกตัวอย่าง และใช้เป็นตัวอย่างควบคุมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อนระดับระดับสเตอริไรส์ จากนั้นทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีพร้อมทั้งทำการทดสอบซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ

การเตรียมตัวอย่างสำหรับกระบวนการฆ่าเชื้อเพื่อหาค่า F_o

นำตัวอย่างข้าวห่อใบบัวที่ได้จากการเตรียมและผ่านการนึ่งที่เวลา 30 min โดยมีน้ำหนักประมาณ 170 g ต่อห่อ หรือที่ขนาดประมาณ 8x10x4 cm (กว้างxยาวxสูง) บรรจุในถุงรีทอร์ทเพาช์แบบถุงตั้ง (Stand-up pouch) ขนาด 10 x 16 cm (บริษัท ปทุม เฟล็กซ์ แพ็คเกจจิ้ง จำกัด) ทำการการไล่อากาศ และปิดผนึกปากถุงด้วยเครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน สำหรับตัวอย่างที่จะนำไปใช้หาค่า F_0 ทำการเจาะรูที่ 1/3 ของความสูงจากก้นถุงรีทอร์ทเพาช์ซึ่งเป็นจุดที่ร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์และเสียบสายวัดอุณหภูมิ (Thermocouple Type T) ปลายสายวัดอุณหภูมิด้านในถุงเจาะทะลุข้าวห่อใบบัวไปยังตำแหน่งกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์แล้วทำการไล่อากาศและปิดผนึก

ขั้นตอนการฆ่าเชื้อ

นำตัวอย่างข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการเตรียมและเสียบสายวัดอุณหภูมิเรียบร้อยแล้ววาง ณ ตำแหน่งกลางหม้อฆ่าเชื้อ (รีทอร์ทแรงดันสูงชนิด Water Spray Retort, (National Direct Network Co., Ltd, Thailand)) ในขณะที่ตัวอย่างข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ถุงอื่น ๆ จัดวางในตำแหน่งชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง ของหม้อฆ่าเชื้อ จากนั้นนำสายวัดอุณหภูมิต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger, National Instruments Model NI 9211, Hungary) และทำการฆ่าเชื้อที่ 121 °C เป็นเวลา 15 min โดยทำการบันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 1 min บันทึกอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์และหม้อฆ่าเชื้อตั้งแต่การให้ความร้อน (Heating) การคงอุณหภูมิ (Holding) ตามเวลาที่กำหนด และเมื่อครบเวลา ผลิตภัณฑ์จะถูกลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วด้วยการสเปรย์น้ำ (Cooling) และควบคุมแรงดันภายในรีทอร์ทเพื่อป้องกันการปริหรือแตกของถุงรีทอร์ทเพาช์ โดยเมื่ออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ถูกลดลงไปถึงอุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับ 40 °C จึงจะถูกนำออกจากหม้อฆ่าเชื้อเพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมี

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

ต่อไป ทำการทดสอบใหม่โดยการเปลี่ยนสภาวะการทดสอบเป็นการฆ่าเชื้อที่ 121 °C เป็นเวลา 30 min และ 121 °C เป็นเวลา 45 min ตามลำดับ

คำนวณหาค่า F_0

ทำการคำนวณหาค่า F_0 ของแต่ละช่วงเวลาการฆ่าเชื้อโดยวิธี Patashnik's Method (15) คำนวณหาค่า Lethal Rate ของแต่ละช่วงเวลา ตามสมการที่ (1) และคำนวณค่า Lethal Rate สะสม (Running Total) เพื่อนำมาใช้คำนวณหาค่า F_0 ตามสมการที่ (2)

$$L = 10^{[\frac{(T-250)}{18}]} \quad (1)$$

$$F_0 = t[\frac{(L_1+L_2)}{2} + \frac{(L_2+L_3)}{2} + \cdots + \frac{(L_{n-1}+L_n)}{2}] \quad (2)$$

โดยที่ L คือ Lethal rate เวลาเทียบเท่าของประสิทธิผลการฆ่าเชื้อ ณ อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งกับอุณหภูมิอ้างอิง (°F)

T คือ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่เวลาใดๆ (°F)

L_1 คือ Lethal rate ณ เวลาการทดสอบเริ่มต้น

L_n คือ Lethal rate ณ เวลาการทดสอบใด ๆ

t คือ ช่วงเวลาการทดสอบวัดอุณหภูมิ (1 min)

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

1. ปริมาณความชื้น (Moisture Content): อ้างอิงวิธีการทดสอบจากมาตรฐาน AOAC (16) โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างข้าว 2 g (น้ำหนักก่อนอบ) อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven, Model WTB Binder, Germany) ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 16 hr จากนั้นนำตัวอย่างพร้อมภาชนะใส่ในโถดูดความชื้นทันทีเป็นเวลา 30 min และชั่งน้ำหนักหลังการอบ คำนวณหาค่าความชื้นด้วยสมการที่ (3) รายงานผลในหน่วยเปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (%wb)

$$\text{เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (\%wb)} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนอบ-น้ำหนักหลังอบ}) \times 100}{\text{ตัวอย่างก่อนอบ}} \quad (3)$$

2. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w): หาปริมาณน้ำอิสระ (aw) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Model Aqualab Model 3 TE, USA) โดยวิเคราะห์ในส่วนขององค์ประกอบที่เป็นข้าว

3. ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Viable Count): อ้างอิงวิธีการทดสอบจาก Maturin และ Peeler (17)

4. ค่าสี (Color): วัดค่าสีด้วยเครื่อง Color Difference Meter (Model JC801, Tokyo, Japan) โดยวิเคราะห์ในส่วนขององค์ประกอบที่เป็นข้าว โดยที่ค่า L* คือ ค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว สำหรับค่า a* คือค่าความเป็นสีเขียว (Greenness) เมื่อมีค่าเป็นลบและมีค่าความเป็นสีแดง (Redness) เมื่อมีค่าเป็นบวก และค่า b* คือค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) เมื่อมีค่าเป็นบวกและค่าความเป็นสีน้ำเงิน (Blueness) เมื่อมีค่าเป็นลบ ซึ่งก่อนทำการวัดค่าสี เครื่องวัดสีจะถูกปรับเทียบความเที่ยงตรงของค่าสีด้วย Standard Calibration Plate ค่า L* a* และ b* เท่ากับ 98.11 -0.11 และ -0.08 ตามลำดับ

5. การหาค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE*): นำข้อมูลค่า L* a* b* ที่ได้วัดจากเครื่องวัดสีที่แต่ละสภาวะการทดสอบ (ก่อนและหลังการฆ่าเชื้อที่ระยะเวลาต่าง ๆ) มาคำนวณหาค่าความแตกต่างสีโดยรวมด้วยสมการที่ (4)

$$\Delta E^* = [(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2]^{1/2} \quad (4)$$

โดยที่ ΔE^* คือ ค่าความแตกต่างสีโดยรวม

L_0^*, a_0^*, b_0^* คือ ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ

L^*, a^*, b^* คือ ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่สภาวะต่างๆ

6. ค่าความแข็ง ทดสอบค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron Universal Tester Machine, Model LRX Plus, UK)

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

ตามวิธีการกดแบบ Back Extrusion ค่าที่อ่านได้เป็นความแข็งของตัวอย่างในหน่วยของนิวตัน (19)

7. การทดสอบระดับความพึงพอใจของผู้บริโภค (Sensory Evaluation): ทดสอบความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวผู้บริโภคจำนวน 30 คน โดยวิธี Hedonic Scaling 9 point ซึ่งมี 9 คะแนน ได้แก่ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง 2 หมายถึง ไม่ชอบมาก 3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง 4 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย 5 หมายถึง เฉย ๆ 6 หมายถึง ชอบเล็กน้อย 7 หมายถึง ชอบปานกลาง 8 หมายถึง ชอบมาก และ 9 หมายถึง ชอบมากอย่างยิ่ง (20) โดยทำการประเมินทางประสาทสัมผัสในด้าน สี กลิ่น รส การแยกตัวของเมล็ด ความแข็ง ความเหนียว ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม

การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One–Way Analysis of Variance (ANOVA)) ที่ระดับความแตกต่างทางสถิติ 95 % และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan New's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการศึกษาและอธิปรายผล

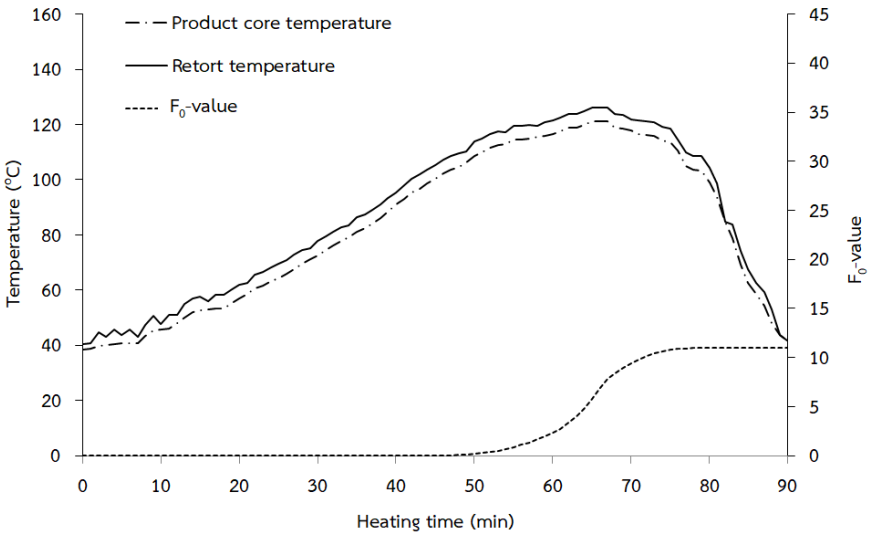
จากการศึกษาผลของการให้ความร้อนระดับสเตอริไรส์ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ โดยแปรระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ 3 ระดับ ได้แก่ 121 °C เป็นเวลา 15 min 30 min และ 45 min ตามลำดับ ทั้งนี้ได้ทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัว ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ค่าสี ค่าความแตกต่างของสีโดยรวม ค่าความแข็ง การทดสอบระดับความพึงพอใจของผู้บริโภค และปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม พร้อมทั้งคำนวณหาค่า F_0 ของกระบวนการให้ความร้อน ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 1-6 และตารางที่ 1-3

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการคำนวณหาค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์

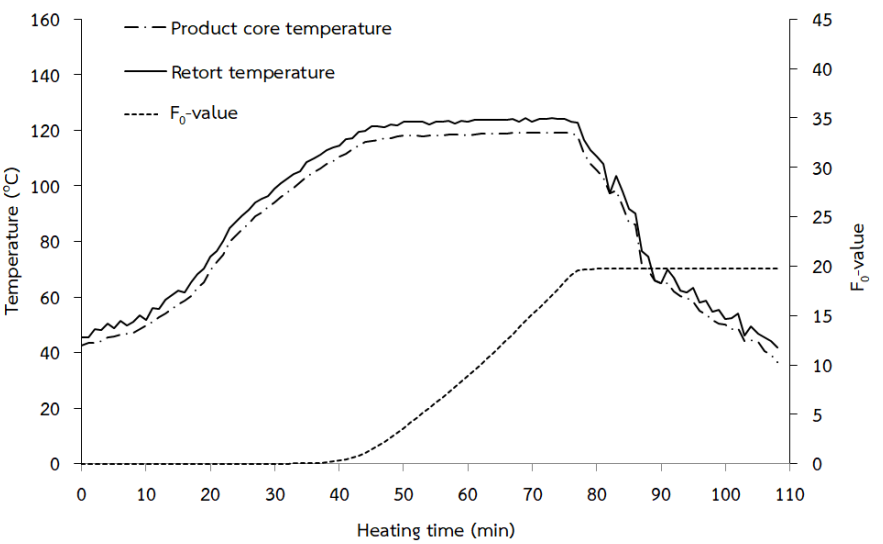
จากการให้ความร้อนระดับสเตอริไรส์ผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวที่อุณหภูมิ 121 ℃ เป็นเวลา 15 30 และ 45 min ตามลำดับ พบว่า จากรูปที่ 1-3 แสดงระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 121 ℃ ใช้เวลา 60 45 และ 50 min ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการพบว่า ใช้เวลาทั้งสิ้น 90 110 และ 130 min ตามลำดับ การทดสอบแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์แตกต่างจากอุณหภูมิภายในหม้อฆ่าเชื้อประมาณ 5-6 ℃ จากการคำนวณหาค่า F_0 ด้วยวิธีการของ วิธี Patashnik's Method (15) แสดงดังรูปที่ 1-3 พบว่าที่อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อ 121 °C เป็นเวลา 15 30 และ 45 min ให้ค่า F_0 เท่ากับ 10.9 19.7 และ 42.1 min ตามลำดับ ทั้งนี้เวลาที่ได้จากการคำนวณหาค่า F_0 เป็นเวลาเทียบเท่าของประสิทธิผลการฆ่าเชื้อ ณ อุณหภูมิอ้างอิง คือ 121 °C (250 °F) ของทั้งกระบวนการตั้งแต่การเพิ่มอุณหภูมิ การคงอุณหภูมิ และการลดอุณหภูมิ ดังนั้นจากรูปที่ 1-3 พบว่า เวลาของกระบวนการทดสอบไม่เท่ากันจึงส่งผลต่อค่า F_0 ที่แตกต่างกัน โดยค่า F_0 ที่ได้จากการทดสอบเป็นไปตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขที่กำหนดให้อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิทและมีความเป็นกรดต่ำต้องผ่านการฆ่าเชื้อที่ F_0 ไม่ต่ำกว่า 3 min (21) จากการทดสอบหาค่า F_0 ของงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลด้านการประเมินคุณภาพทางจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภคดังที่จะได้รายงานในหัวข้อต่อไป เมื่อพิจารณา F_0 ของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน เช่น มาฤดี และ ธีรินทร์ (12) รายงานว่าระดับการฆ่าเชื้อเชิงการค้าค่า (F_0) ของผลิตภัณฑ์โจ๊กพร้อมบริโภคบรรจุรีทอร์ทเพาช์ที่เหมาะสมและปลอดภัยต่อการบริโภคคือ 4.02 min พฤกษา (13) พบว่า การฆ่าเชื้อปลาทูต้มเค็มในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ 121 °C เป็นเวลา 30 40 และ 50 min ให้ค่า F_0 เท่ากับ 7.7 8.8 และ 12.1 min ตามลำดับ Thakur and Rai (14)

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

ได้ศึกษาข้าวผสมเครื่องเทศหุงสุกในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ พบว่า การฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 117.67 ℃ เป็นเวลา 22.4 min ให้ค่า F_0 8.7 min และ Nalini et al., (22) รายงานระดับการฆ่าเชื้อที่ปลอดภัยต่อการบริโภคผลิตภัณฑ์ไก่พริกไทยในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ คือ 7.2 min เป็นต้น

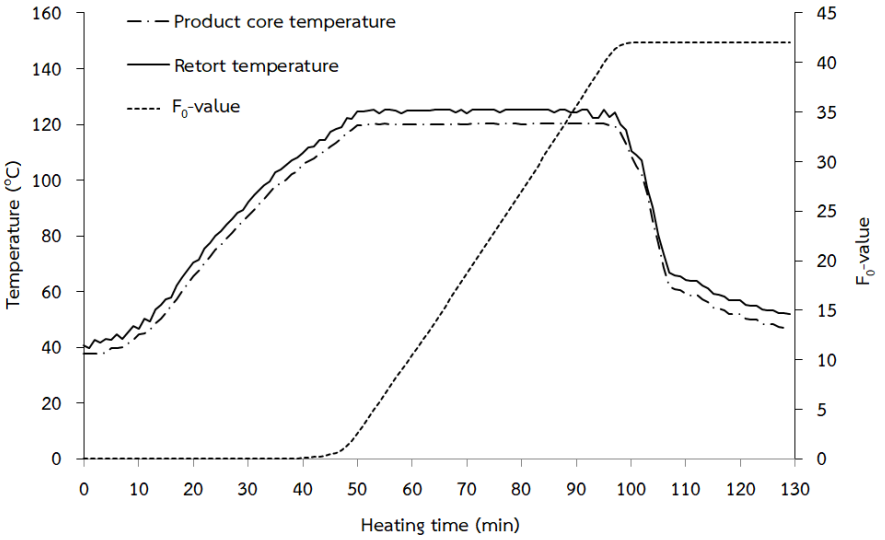


รูปที่ 1 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ระหว่างการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 ℃ เวลา 15 min



รูปที่ 2 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ระหว่างการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 ℃ เวลา 30 min

Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Vol 19, Issue 1, 2020
ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)



รูปที่ 3 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่า F_0 ของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ระหว่างการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 ℃ เวลา 45 min

ผลของกระบวนการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์

ค่าสีนับเป็นปัจจัยหนึ่งของการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นในกระบวนการผลิตข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์จึงคำนึงถึงปัจจัยนี้เป็นอันดับแรกๆ โดยงานวิจัยทำการวัดค่าสีจากข้าวในผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 30 และ 45 min ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของข้าวห่อใบบัวทุกสภาวะการทดสอบ LLW-control LLW-(121-15) LLW-(121-30) และ LLW-(121-45) อยู่ในช่วง 34.15-35.52 ซึ่งอยู่ในกลุ่มสีค่อนข้างคล้ำ และไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ทุกสภาวะการทดสอบและให้ค่าอยู่ในช่วง 21.02-22.89 อย่างไรก็ตามพบว่าค่าความเป็นสีแดง (a*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากตัวอย่างข้าวห่อใบบัวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (LLW-control) และเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนเป็น 15 30 และ 45 min ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่าสีแบบแยกทีละค่าทั้งค่า L* a* b* ของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเนื่องจากข้าวที่นำมาผลิตผลิตภัณฑ์มีการผสมคลุกเคล้ากับน้ำซอสปรุงรสที่มีสีค่อนข้างคล้ำ ดังนั้นเมื่อผ่านการให้ความร้อนด้วยเวลาที่แตกต่างกันจึงไม่เห็นผลการเปลี่ยนแปลงค่าสีอย่างชัดเจน แต่จากการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE^*) ของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ พบว่า การเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนจาก 15 min (LLW-(121-15)) เป็น 30 min (LLW-(121-30)) และ 45 min (LLW-(121-45)) ให้ค่า ΔE^* เพิ่มขึ้นจาก 1.42 1.84 และ 2.48 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (LLW-control) นั้นหมายความว่าการให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์นานขึ้นส่งผลให้ค่าสีโดยรวมในทิศทางที่สีมีความคล้ำมากขึ้น อาจเนื่องมาจากในน้ำซอสมีส่วนผสมของน้ำตาล เมื่อได้รับความร้อนในเวลาที่นานขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล สีจึงมีความเข้มมากขึ้น สอดคล้องกับ Bindu et al. (23) และ พฤกษา (13) ที่แสดงให้เห็นว่าค่าความแตกต่างสีโดยรวมของผลิตภัณฑ์เนื้อหอยและปลาทูต้มเค็มพร้อมรับประทานในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์เพิ่มขึ้นหลังจากผ่านการฆ่าเชื้อ Majumdar

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

et al., (24) พบว่า ค่า L* b* และ a* ของผลิตภัณฑ์แกงกุ้งในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่า F_0 เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลซึ่งเป็นปฏิกิริยาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขององค์ประกอบของอาหารระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโน มักเกิดในขณะที่อาหารผ่านความร้อน (25)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ก่อนและหลังการฆ่าเชื้อระดับสเตอริไรส์

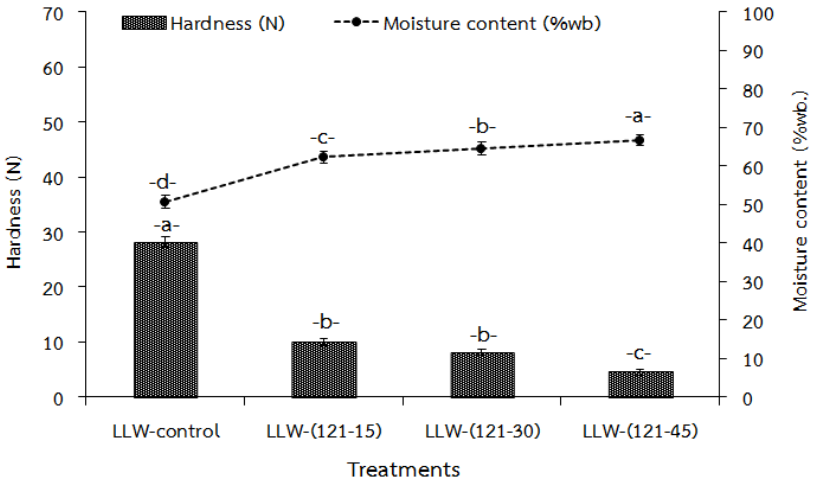
Parameters	Process treatment*			
	LLW-control	LLW-(121-15)	LLW-(121-30)	LLW-(121-45)
L*	35.38±1.80[a]	35.52±0.99[a]	33.64±1.33[a]	34.15±0.13[a]
a*	9.12±0.55[b]	10.11±0.84[a]	9.72±0.21[ab]	10.17±0.15[a]
b*	21.02±1.89[a]	22.02±1.79[a]	21.12±0.98[a]	22.89±0.87[a]
ΔE*	**-**	**1.42**	**1.84**	**2.48**

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ (ค่าเฉลี่ย±SD.)

[ab] อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบโดย DMRT (mean ± SD) โดยกำหนดให้ LLW-control คือ ข้าวห่อใบบัวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ; LLW-(121-15) คือ ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 min ; LLW-(121-30) คือ ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 30 min ; LLW-(121-45) คือ ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 45 min

จากการทดสอบความแข็งหรือลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ก่อนและหลังการฆ่าเชื้อแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) หลังผ่านการให้ความร้อนโดยพบว่า ข้าวห่อใบบัวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (LLW-control) ให้ค่าความแข็งเท่ากับ 28.18 N และลดลงเท่ากับ 9.93 N และ 8.12 N สำหรับข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 min (LLW-(121-15)) และ 30 min (LLW-(121-30)) ตามลำดับ ทั้งนี้ทั้ง 2 สภาวะนี้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากนั้นเพิ่มเวลาในการฆ่าเชื้อนานขึ้นเป็น 45 min ที่อุณหภูมิเดิม (LLW-(121-45)) พบว่าค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 4.55 N เมื่อนำมาเปรียบเทียบผลที่ได้กับปริมาณความชื้นพบว่าเป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามแสดงดังรูปที่ 4 โดยความชื้นของข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ 50 %wb. สำหรับข้าวห่อใบบัวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและความชื้นในช่วง 62-66 %wb. สำหรับข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15-45 min ทั้งนี้ด้วยเวลาที่นานขึ้นในการให้ความร้อนอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในโมเลกุลของเม็ดแป้ง และส่งผลให้ เม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพกระบวนการที่เรียกว่าเจลาติไนซ์เซชัน เมื่อเพิ่มความร้อนสูงขึ้นจนความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเรียกเม็ดแป้งเกิดการพองตัวจนถึงจุดสูงสุดและเกิดความหนืดสูงที่สุดเม็ดแป้งก็จะแตกออกซึ่งไม่สามารถคืนสภาพได้ และความชื้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เนื้อสัมผัสมีลักษณะนุ่มขึ้นหรือค่าความแข็งลดลง ผลการทดสอบสอดคล้องกับ Leelayuthsoontorn and Thipayarat (26) และ โสรยา และคณะ (27) ที่รายงานว่าเวลาและอุณหภูมิที่ให้กับข้าวระหว่างการหุงส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส และปริมาณความชื้นหลังการหุง

Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Vol 19, Issue 1, 2020
ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)



รูปที่ 4 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งและความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ก่อนและหลังการฆ่าเชื้อระดับสเตอริไรส์

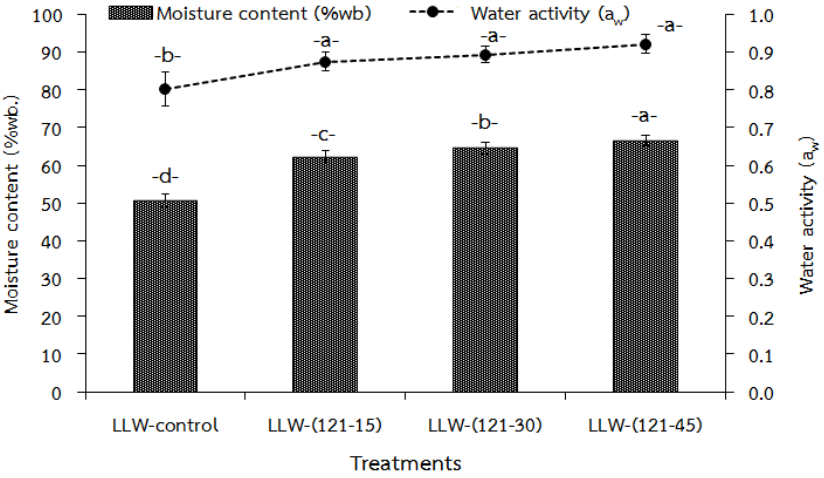
[ab] อักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสภาวะทดสอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบโดย DMRT (mean± SD)

โดยกำหนดให้ LLW-control คือ ข้าวห่อใบบัวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน; LLW-(121-15) คือ ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 min; LLW-(121-30) คือ ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 30 min; LLW-(121-45) คือ ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 45 min

ความชื้นและปริมาณน้ำอิสระมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหารโดยเฉพาะการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ อาหารที่มีความชื้นหรือปริมาณน้ำสูงจะเป็นอาหารที่เสื่อมเสียง่ายเนื่องจากมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ทำให้อาหารเสื่อมเสีย อีกทั้งความชื้นและปริมาณน้ำอิสระมีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงความร้อนของอาหารด้านต่างๆ ซึ่งทั้ง 2 ปัจจัยนี้มีความสอดคล้องกันแสดงดังรูปที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ก่อนและหลังการฆ่าเชื้อระดับสเตอริไรส์ ในส่วนกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัว พบว่า ปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งต่อคุณภาพการหุงสุกของข้าว และส่งผลไปยังการยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากหากความชื้นต่ำจะส่งผลให้เนื้อสัมผัสของข้าวค่อนข้างแข็งและในทางตรงกันข้ามหากความชื้นสูงมากเกินไปจะทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวแฉะไม่น่ารับประทาน ปริมาณน้ำอิสระบอกถึงปริมาณน้ำในอาหาร ซึ่งส่งผลให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย ทั้งนี้น้ำที่มีอยู่ในอาหารแต่ละชนิดมีการยึดติดอยู่ในโครงสร้างหรือโมเลกุลของสารอื่น ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของอาหารในรูปแบบ และความแข็งแรงต่างกัน รวมถึงปริมาณน้ำในอาหารมีผลต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ดีในอาหารที่ความชื้นสูง อย่างไรก็ตามจากประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 355) พ.ศ.2556 กล่าวว่าค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity) ของอาหารชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทจะมีค่ามากกว่า 0.85 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่พบว่า ปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (LLW-control) มีค่าเท่ากับ 0.80 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในช่วง 0.87-0.92 สำหรับข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15-45 min สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุภาพร และ กฤตภาส (11) ศึกษาพัฒนา

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

บรรจุภัณฑ์น้ำพริกสวรรค์หอยนางรมและน้ำพริกตะลิงปลิงพร้อมบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทพบว่าให้ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ระหว่าง 0.88-0.89 และ 0.84-0.86 ตามลำดับ



รูปที่ 5 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ก่อนและหลังการฆ่าเชื้อระดับสเตอริไรส์

[ab] อักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสภาวะการทดสอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบโดย DMRT (mean ± SD)

โดยกำหนดให้ LLW-control คือ ข้าวห่อใบบัวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ; LLW-(121-15) คือ ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 min ; LLW-(121-30) คือ ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 30 min ; LLW-(121-45) คือ ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 45 min

ตารางที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพทางจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ก่อนและหลังการฆ่าเชื้อระดับสเตอริไรส์

*ตัวอย่าง	ปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม (CFU/g)
LLW-control	10
LLW-(121-15)	<10
LLW-(121-30)	<10
LLW-(121-45)	<10

*โดยกำหนดให้ LLW-control คือ ข้าวห่อใบบัวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ; LLW-(121-15) คือ ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 min ; LLW-(121-30) คือ ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 30 min ; LLW-(121-45) คือ ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 45 min

การผลิตอาหารเพื่อการบริโภค สิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึง คือ ความปลอดภัยของผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องทำการทดสอบปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ ซึ่งให้ผลการทดลองดังตารางที่ 2 ผลการประเมิน พบว่าปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมในผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวใน

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

บรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ก่อนการฆ่าเชื้อให้ค่าเท่ากับ 10 CFU/g และลดลง < 10 CFU/g หลังการให้ความร้อนระดับระดับสเตอริไรส์ในทุกสภาวะการทดสอบ ซึ่งปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมลดลงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัย อ้างอิงได้จากมาตรฐานตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.746/2548 กำหนดมาตรฐานของข้าวหลามบรรจุในภาชนะปิดสนิท ให้มีการปนเปื้อน ของจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน $1x10^4$ โคโลนี/ตัวอย่าง 1 กรัม และประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 355) พ.ศ.2556 กำหนดจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ไม่เกิน $1x10^4$ โคโลนี/ตัวอย่าง 1 กรัม ในอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ก่อน (LLW-(121-30)) และหลังให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (LLW-(121-30)-Heat)

Treatment	Color value			Water activity (a_w)	Hardness (N)
	L*	a*	b*		
LLW-(121-30)	33.64±1.33	9.73±0.21	21.12±0.98	0.89±0.01	8.12±0.36
LLW-(121-30)-Heat	31.26±1.25	9.83±0.43	19.69±1.01	0.91±0.01	6.39±0.41

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ (ค่าเฉลี่ย±SD.)

โดยกำหนดให้ LLW-(121-30) คือ ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 30 min; LLW-(121-30)-Heat คือ ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 30 min และให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟก่อนการบริโภค

ระดับความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟก่อนการบริโภค

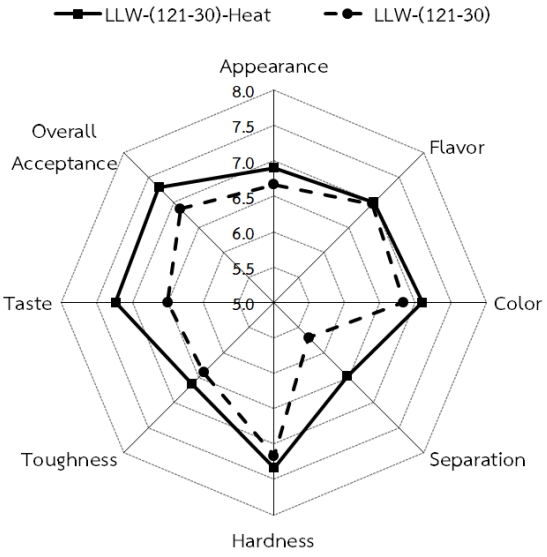
จากขั้นตอนการฆ่าเชื้อทั้ง 3 สภาวะการทดสอบพบว่าตัวอย่าง LLW-(121-30) ถึงแม้ว่าจะให้ค่า F_0 ที่มากกว่าเกณฑ์มาตรฐานอาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิทและมีความเป็นกรดต่ำ แต่เมื่อนำมาพิจารณาในด้านผลการทดสอบทางกายภาพและการสังเกตโดยเฉพาะค่าความแข็ง และความชื้น พบว่าให้คุณลักษณะที่ดีของเมล็ดข้าวแยกเป็นเมล็ดไม่แฉะ รวมถึงส่วนประกอบอื่นๆ ของข้าวห่อใบบัวสมบูรณ์ไม่นิ่มและแข็งจนเกินไป เมื่อทดสอบทางจุลินทรีย์พบว่าปลอดภัยสำหรับการบริโภค ดังนั้นจึงได้นำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป

ในการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์สามารถบริโภคได้ทั้งในรูปแบบการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟก่อนการบริโภค (LLW-(121-30)-Heat) และไม่ผ่านการให้ความร้อน (LLW-(121-30)) หรือกล่าวได้ว่าฉีกถุงแล้วรับประทานทันที อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลการประเมินระดับความพึงพอใจของผู้บริโภคกับทั้ง 2 สภาวะที่กล่าวมาพบว่าการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟกับผลิตภัณฑ์ก่อนการบริโภคเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภคมากกว่าแสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดต่อไป ทั้งนี้เมื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพแสดงดังตารางที่ 3 พบว่าค่า L* a* b* และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของทั้ง 2 สภาวะมีค่าใกล้เคียงกันในขณะที่ค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงจาก 8.12 N เป็น 6.39 N หรือผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวมีลักษณะนุ่มขึ้นและสอดคล้องกับระดับคะแนนความพึงพอใจของผู้บริโภคที่นิยมข้าวห่อใบบัวที่มีความนุ่มมากกว่า

ขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ คือ การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการเปรียบเทียบความพึงพอใจของผู้บริโภค ของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 30 min (LLW-(121-30)) กับข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 30 min

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

และให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟก่อนการบริโภค (LLW-(121-30)-Heat) โดยพิจารณาจากความพึงพอใจของผู้บริโภคจำนวน 30 คน ที่ระดับคะแนนสูงสุด 9 คะแนน ในด้าน สี กลิ่น รส การแยกตัวของเมล็ด ความแข็ง ความเหนียว ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม ให้ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 6 พบว่า การให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ก่อนการบริโภค ให้ค่าระดับความพึงพอใจในด้านในด้าน สี กลิ่น รส การแยกตัวของเมล็ด ความแข็ง ความเหนียว ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม เท่ากับ 7.10 7.06 7.23 6.47 7.33 6.63 6.90 และ 7.30 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการบริโภคที่ให้ค่าเท่ากับ 6.83 6.97 6.50 5.70 7.17 6.40 6.67 และ 6.87 ตามลำดับ



รูปที่ 6 ระดับความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์

โดยกำหนดให้ LLW-(121-30) คือ ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 30 min; LLW-(121-30)-Heat คือ ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 30 min และให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟก่อนการบริโภค

สรุปผล

การศึกษาผลของการให้ความร้อนระดับสเตอริไรส์ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ ด้วยอุณหภูมิและความดันสูงเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สะดวกต่อการบริโภคและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้นนั้น โดยทำการศึกษาการให้ความร้อน 3 ระดับ ได้แก่ 121 °C เป็นเวลา 15 min 30 min และ 45 min ให้ค่า F_0 เท่ากับ 10.9 19.7 และ 42.1 min ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากทั้ง 3 สภาวะอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภคหรือปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม < 10 CFU/g ประกอบกับเมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของค่าสี (L*, a*, b*) ของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการฆ่าเชื้อเล็กน้อย ในขณะที่ค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE*) เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์มีแนวโน้มลดลงหลังผ่านการให้ความร้อนด้วยเวลาที่นานขึ้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบผลที่ได้กับปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระพบว่าเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม ในด้านความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ พบว่า ผู้

ทดสอบให้ค่าความพึงพอใจในระดับชอบมากโดยเฉพาะการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟก่อนการบริโภค

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่อุดหนุนทุนวิจัยประเภทงบประมาณกองทุนส่งเสริมงานวิจัยฯ ประจำปีงบประมาณ 2562

เอกสารอ้างอิง

1. ชยกร พาลสิงห์, ดวงไกร ทวีสุข. แหล่งพลังงานและการออกกำลังกาย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. พ.ค.-มิ.ย. 2556;31(3):316-322.

2. อัญชลี ศรีจำเริญ. อาหารและโภชนาการ:การป้องกันและบำบัดโรค. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2556.

3. เนตรนภิส ธนนิเวศน์กุล. อาหารและโภชนาการ (เห็ดคุณค่าทางอาหาร). นิตยสารหมอชาวบ้าน. ก.ค. 2549;เล่มที่:327.

4. Bhat R, Sridhar KR. Nutritional quality evaluation of electron beam-irradiated lotus (*Nelumbo nucifera*) seeds. Food Chem. 2008;107(1):174-184.

5. นิรนาม. สรรพคุณทางยา ของเม็ดบัว [อินเทอร์เน็ต]. สืบค้นเมื่อวันที่14 มิถุนายน 2562. จาก: https://www.honestdocs.co/medicinal-properties-of-lotus-seeds

6. อรอนงค์ นัยวิกุล. ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2547.

7. วิกิพีเดีย . ข้าวหอมมะลิ [อินเทอร์เน็ต]. สืบค้นเมื่อวันที่ 2 มกราคม 2562. จาก: https://th.wikipedia.org/wiki/ข้าวหอมมะลิ

8. Jun S, Cox LJ, Huang A. Using the flexible retort pouch to add value to agricultural products. Honolulu (HI): University of Hawaii. 6 p. (Food Safety and Technology; FST-18); 2006.

9. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, นิธิยา รัตนาปนนท์. วัสดุที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ [อินเทอร์เน็ต]. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 มิถุนายน 2562. จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0473/retort-pouch -รีทอร์ทเพาช์

10. วรรณดี มหรรณพกุล, ปฏิญญา จิยิพงศ์, คชศักดิ์ วงษ์สง่า. เทคโนโลยีการผลิตข้าวสำเร็จรูปในถุงรีทอร์ต. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. ก.ย. 2552;181:36-43.

11. สุภาพร อภิรัตนานุสรณ์, กฤตภาส จินาภาค. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์น้ำพริกพร้อมบริโภค [Development of Packages for Ready-to-Eat Chili Paste Products]. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ต.ค.-ธ.ค. 2556;36(4):451-464.

12. มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์, ธีรินทร์ ฉายศิริโชติ. ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิฆ่าเชื้อต่อคุณภาพของโจ๊กพร้อมรับประทานบรรจุรีทอร์ทเพาช์. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2557.

13. พฤกษา สวาทสุข. ผลของเวลาการให้ความร้อนต่อลักษณะทางกายภาพของปลาทูต้มเค็มในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาช์ [Effect of heating time on physical properties of Thai style stewed mackerel in salty soup packed in retort pouch]. วารสารแก่นเกษตร.มี.ค.-เม.ย. 2559;44(2):257-264.

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

14. Thakur RS, Rai DC. Development and optimization of shelf stable ready to eat palak paneer. International Journal of Chemical Studies. 2018;6(1):1670-1680.

15. Shri KS, Steven JM, Syed SH, Rizvi. Food process engineering: theory and laboratory experiments. John Wiley & Sons, US; 2000.

16. AOAC. Official Methods of AOAC International. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Virginia; 2000.

17. Maturin L, Peeler JT. Chapter 3. Aerobic Plate Count," In: Food and Drug Administration (FDA), Bacteriological Analytical Manual Online. 8th ed. Silver Spring, Berlin; 2001.

18. Mokrzycki WS, Tatol M. Colour difference ΔE - A survey. Faculty of Mathematics and Informatics University of Warmia and Mazury. Poland; 2012.

19. Reyes VG, Jindal VK. A small sample back extrusion test for measuring texture of cooked rice. J Food Quality. 1989;13(2): 109-118.

20. กาญจนา มหัทธนทวี คุลิกา จันทรศรี และดวงตา สว่างภพ. ข้าวกล้องผสมหุงสุกไว [Quick-Cooking Mixed Brown Rice]. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. มิ.ย.2555; 8(1):35-46.

21. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 355) พ.ศ. 2556 เรื่อง อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท. หน้า 88-92.

22. Nalini P, Robinson JJ, Abraham V, Appa RR, Narendra BT, Nobal Rajkumar R, Rajkumar, Kathiravan R.S. Shelf-Life of Ready-To-Eat Retort Processed Pepper Chicken. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2018;7(3):832-840.

23. Bindu J, Ravishankar CN, Gopal TKS. Shelf-life evaluation of ready-to-eat black clam (*Villorita cyprinoides*) product in indigenous retort pouch. J Food Eng. 2007;78(3):995-1000.

24. Majumdar RK, Roy D. Sensory characteristics of retort-processed freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) in curry medium. Int J Food Prop. 2017;20(11):2487-2498.

25. วิไล รังสาดทอง. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด; 2557.

26. Leelayuthsoontorn P, Thipayarat A. Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. Food Chem. 2006;96(4):606-613.

27. โสรยา เกิดพิบูลย์, ดาริกา เจริญดี, เณศรา จันต๊ะวงศ์, พนัชกร อัศวจิต. ผลของวิธีการหุงที่มีต่อสัณฐานวิทยาและสมบัติเชิงกายภาพของข้าวฮางในระหว่างการหุง [Effect of Cooking Methods on Morphological and Physical Properties of Hang Rice during Cooking]. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. พ.ค.-ส.ค.2555;43(2)พิเศษ:41-44.