การประยุกต์เครื่องอุ่นและแสดงอาหารด้วยรังสีอินฟราเรดเพื่อความปลอดภัยทางอาหารของผลิตภัณฑ์ชุมชน กรณีศึกษา : ข้าวหลาม

An Application of the Infrared Display Warmer to Improve the Food Safety for Community Products, Case Study: Glutinous Rice in the Bamboo (Khao-lam)

รจนา ประไพนพ*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

จันทร์เพ็ญ ตั้งจิตรเจริญกุล

ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐานและพลศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

Rotchana Prapainop*

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Si Racha,

Kasetsart University, Sriracha Campus, Tungsukla, Sriracha, Chonburi 20230

Janpen Tangjitjaroenkun

Department of Basic Science and Physical Education, Faculty of Science at Si Racha,

Kasetsart University, Sriracha Campus, Tungsukla, Sriracha, Chonburi 20230

บทคัดย่อ

บทความนี้ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอการประยุกต์เครื่องอุ่นและแสดงอาหารด้วยรังสีอินฟราเรดเพื่อความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์อาหารจากชุมชน กรณีศึกษาข้าวหลาม โดยเครื่องที่นำเสนอได้ถูกออกแบบสำหรับบรรจุข้าวหลาม 20 กระบอก (กระบอกขนาดกลาง) อุปกรณ์หลัก คือ หลอดอินฟราเรดขนาด 500 วัตต์ จำนวน 4 หลอด และกระจกทนความร้อน วิธีการศึกษานี้แบ่งเป็น (1) การวัดการใช้พลังงานของเครื่อง อุณหภูมิของข้าวหลาม และอากาศภายในเครื่อง และ (2) การตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์และการสำรวจทัศนคติผู้บริโภค ผลการศึกษาพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปประมาณ 9.3 kW-h ต่อการเปิดการทำงานของเครื่อง 7 ชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยข้าวหลามในเครื่อง 77.5 °C ผลการตรวจปริมาณจุลินทรีย์เมื่อเก็บตัวอย่างจำนวน 3 วัน ณ เวลาที่ 0, 3, 6, 24, 27, 30, 48, 51 และ 54 ชั่วโมง สำหรับข้าวหลามชุดที่หนึ่งที่ถูกเก็บไว้ในเครื่องอุ่นและแสดงอาหารนั้นตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์แม้เวลาผ่านไป 3 วัน นับจากวันที่ผลิต ในขณะที่สำหรับข้าวหลามชุดที่สองซึ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** rotchana@eng.src.ku.ac.th DOI 10.14456/tstj.2015.25

พบว่าจำนวนเชื้อจุลินทรีย์มีค่าเกินมาตรฐานความปลอดภัยทางอาหารเมื่อเก็บไว้เกิน 2 วัน นับจากวันที่ผลิต สำหรับผลสำรวจทัศนคติผู้บริโภคพบว่าร้อยละ 93 ของผู้ตอบแบบสอบถามมีความเห็นว่าการใช้งานเครื่องอุ่นและแสดงอาหารมีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ต่อไปโดยส่งผลให้ตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น

คำสำคัญ : ความปลอดภัยด้านอาหาร; ผลิตภัณฑ์ชุมชน; ข้าวหลาม; เครื่องอุ่นและแสดงอาหาร

Abstract

This article is to present an application of an infrared display warmer for community food products for a case study of the glutinous rice in the bamboo (Khao-lam). The project aims to improve the food safety for community products. The machine storage/display capacity is 20 (for the medium size). The machine mainly consists of infrared heating bulbs (4 pieces, 500 Watt each) and thermal resistant glasses. The study includes measuring the electrical energy consumption/average product/inside air temperatures, counting and analyzing a number of bacteria of the samples and surveying the customers' opinions. It was found that the average energy usage for 7 hour operating was 9.3 kW-h, the average temperature was 77.5 °C. The results of bacteria counting for samples collecting for 3 days at 0, 3, 6, 24, 27, 30, 48, 51 and 54 hour show that the total number of bacteria in samples from the products stored at room temperature are over the food safety guideline after 2 days from the cooking date. While the samples from the products stored inside the display warmer has no significant number of bacteria. From the survey of customers' opinions, 93 % of people being interviewed showed positive feedback on the usage of the display warmer, if the display warmer is used commercially, they will buy more products.

Keywords: food safety; community products; glutinous rice in the bamboo (Khao-lam); food display warmer

1. บทนำ

ข้าวหลามเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ชุมชนที่มีส่วนช่วยขับเคลื่อนเศรษฐกิจชุมชนมาอย่างยาวนาน อย่างไรก็ตาม การจะคงไว้ซึ่งรสชาติที่ดีและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามมาตรฐานความปลอดภัยของอาหารขึ้นกับวิธีการจัดเก็บและแสดงระหว่างที่จำหน่ายผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปผู้ประกอบการจะทำการผลิตข้าวหลามทุกวันในเวลาเช้าตรู่ตามจำนวนการสั่งซื้อของร้านค้าย่อย ร้านค้าย่อยจะใช้เวลาจำหน่ายสินค้าตลอดวัน จากการสำรวจพบว่าลักษณะสภาพปัจจุบัน คือ ร้านค้าจะใช้วิธีแสดงสินค้าในพื้นที่โล่งไม่ได้มีการใช้อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิข้าวหลามแต่อย่างใด และปัญหาที่พบตามมา คือ ผู้บริโภคบางส่วนพบว่ารสชาติเปลี่ยนแปลงไป หรือมีกลิ่นบูดเน่าเสีย เนื่องจากหากไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ โดยทั่วไปอาหารจะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิ

สิ่งแวดล้อมภายในเวลาครึ่งชั่วโมง [1] การที่แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 5-63 °C [2] และอากาศประเทศไทยมีอุณหภูมิประมาณ 30-40 °C จึงเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้เป็นอย่างดีหากไม่มีการควบคุมอุณหภูมิของอาหาร

แบคทีเรียในอาหารก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ ได้ อาทิ โรคอาหารเป็นพิษ โรคติดเชื้อจากอาหาร [3] การอุ่นอาหารที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที สามารถทำลายแบคทีเรียบางชนิดได้ แต่แบคทีเรียบางชนิดที่ทนความร้อนสูงจะต้องใช้ความร้อนประมาณ 65 °C [4] มาตรฐานการควบคุมอุณหภูมิอาหารของบางประเทศระบุว่าอาหารที่ปรุงสุกและพร้อมรับประทานและอยู่ระหว่างการรอจำหน่ายต้องควบคุมอุณหภูมิให้ไม่น้อยกว่า 63 °C [5] มาตรฐานทั่วไประบุว่าจำนวนแบคทีเรียในอาหารปรุงสุกพร้อมรับประทานควรจะน้อยกว่า 10^4 CFU g^{-1} (หรือ < 4 $\log_{10}$ CFU g^{-1}) [6, 7] การใช้งานเครื่องอุ่นและแสดงอาหารจึงเป็นส่วนสำคัญสำหรับความปลอดภัยของอาหาร ข้าวหลามจัดได้ว่าเป็นอาหารปรุงสุกจึงควรได้รับการควบคุมอุณหภูมิเช่นกัน การให้ความร้อนแก่อาหารมีหลายวิธี วิธีที่ใช้ในบทความนี้เป็นการให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด เมื่อรังสีอินฟราเรดกระทบกับอาหารหรือชิ้นวัสดุพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับและกลายเป็นพลังงานความร้อนสะสมในวัสดุ นักประดิษฐ์หลายคนได้ออกแบบและจดสิทธิบัตรเครื่องอุ่นอาหารที่ใช้ความร้อนจากรังสีอินฟราเรดตัวอย่างดังต่อไปนี้

เมื่อ ค.ศ. 1982 Craig และ Minor [8] ได้จดสิทธิบัตรตู้อุ่นและทำอาหาร (food warming and cooking cabinet) ด้วยการจัดวางหลอดอินฟราเรดในแนวตั้งสองฝั่งตรงกันข้ามกัน ต่อมาในปี ค.ศ. 2001 Gordon [9] ก็ได้จดสิทธิบัตรเครื่องอุ่นอาหารด้วยรังสีอินฟราเรด (infrared food warmer) โดยภายในตู้กระจกประกอบด้วยชั้นหนึ่งชั้นหรือหลายชั้นโดยมีแผ่นอินฟราเรดอยู่บนอาหารหรือแผ่นอินฟราเรดสัมผัสกับอาหาร แผ่นอินฟราเรดประกอบด้วยกริดใยแก้ว (fiberglass support grid) และวัสดุผสมระหว่างคาร์บอนและสารโพลิเมอร์ที่สามารถปล่อยรังสีอินฟราเรดที่ตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยผ่านแผ่น และเมื่อไม่นานมานี้ในปี ค.ศ. 2011 Chung และ Schroeder [10] ได้จดสิทธิบัตรตู้อุ่นอาหาร (food warming cabinet) โดยใช้หลักการเดียวกันคือใช้หลอดรังสีอินฟราเรด (infrared heater) โดยออกแบบให้หลอดความร้อนอยู่ใต้ถาดอาหารและอยู่ในถาดอาหารและควบคุมอุณหภูมิของถาดอาหารด้วยระบบคอมพิวเตอร์

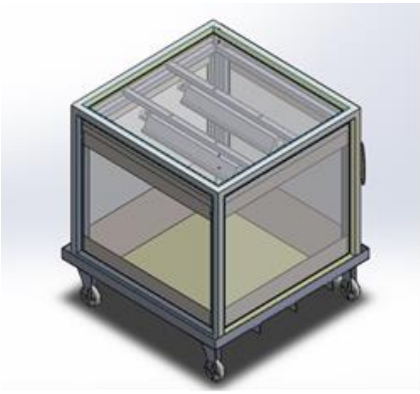
เครื่องอุ่นและแสดงอาหารที่ใช้ในการศึกษานี้ใช้หลักการเดียวกันข้างต้นคือใช้ความร้อนจากรังสีอินฟราเรดที่ต่อกับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแต่จะแตกต่างที่การออกแบบ โดยเครื่องที่ใช้ในการศึกษานี้ได้รับการออกแบบเพื่อการอุ่นข้าวหลามที่ต้องการพื้นที่หรือปริมาตรจัดแสดงที่เหมาะสม และขนาดสำหรับสินค้าปริมาณ 1 กระจาด หรือประมาณบรรจุข้าวหลามขนาดกลาง 20 กระบอก การออกแบบรูปทรงสี่เหลี่ยมเพื่อความสะดวกในการประกอบและความสะดวกในการใช้งานของผู้ใช้ซึ่งสามารถนำข้าวหลามทั้งกระจาดใส่ในเครื่องได้ อนึ่งเครื่องอุ่นและแสดงอาหารที่ใช้ในศึกษานี้ได้รับการออกแบบและประกอบโดยประสงค์ และคณะ ในปี พ.ศ. 2556 [11]

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิจัยเชิงบูรณาการ โดยศึกษาผลด้านพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และอุณหภูมิข้าวหลามที่ควบคุมได้ ด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพอัน ได้แก่ การตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่อยู่ในข้าวหลามกรณีที่เก็บในเครื่องอุ่นและแสดงอาหารเปรียบเทียบกับกรณีที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง และด้านทัศนคติผู้บริโภคที่มีต่อการใช้เครื่องอุ่น

และแสดงอาหารว่าการใช้งานเครื่องนี้มีผลต่อการซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคหรือไม่ การศึกษานี้จุดมุ่งหมายเพื่อส่งเสริมความปลอดภัยด้านอาหารอันเป็นการยกระดับผลิตภัณฑ์ชุมชนและลดจำนวนของเสียซึ่งจะช่วยเพิ่มรายได้ให้แก่ชุมชนได้อย่างยั่งยืน ถึงแม้ว่าโครงการนี้ได้ยกประเด็นข้าวหลามมาศึกษาแต่ผลที่ได้จากโครงการยังสามารถประยุกต์กับผลิตภัณฑ์ชุมชนชนิดอื่นต่อไปได้ อนึ่งต้นแบบเครื่องอุ่นและแสดงอาหารในบทความนี้เป็นเพียงแบบเบื้องต้น ผลที่ได้จากการศึกษาจะนำไปสู่การพัฒนาปรับปรุงต้นแบบต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องอุ่นและแสดงอาหาร (รูปที่ 1) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ใช้หลักการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด ประกอบด้วยหลอดความร้อนอินฟราเรด (infrared) ขนาด 500 วัตต์ จำนวน 4 หลอด (รวมเป็น 2,000 วัตต์) ขนาดของเครื่องซึ่งวัดจากภายนอกเครื่องเท่ากับ 70×70×70 cm โครงของเครื่องทำจากเหล็กฉาก 5 cm ผนังทั้งสี่ด้านทำจากกระจกทนความร้อนด้านละ 60×60 cm ส่วนด้านบนและด้านล่างเป็นแผ่นอลูมิเนียมขนาด 70×70 cm นอกจากนี้เครื่องอุ่นและแสดงอาหารยังประกอบด้วยเทอร์โมสแตทสำหรับควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในเครื่อง เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศภายในซึ่งติดตั้งที่ด้านบนของเครื่อง และมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์เสริม ได้แก่ เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิอาหาร และเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิอากาศภายนอกเครื่อง โดยขนาดเครื่องอุ่นและแสดงอาหารถูกออกแบบสำหรับบรรจุข้าวหลามขนาดกลางได้ครั้งละประมาณ 20 กระบอก ข้าวหลามที่ศึกษามาจากแหล่งผลิตเดียวกันที่ผลิตวันและเวลาเดียวกัน รสชาติเหมือนกันคือข้าวเหนียวขาวหน้ากะทิผสมเผือก ขนาดกระบอกข้าวหลามเท่ากัน (ขนาดกลาง)



(ก) ภาพจำลอง

(ข) เครื่องอุ่นและแสดงอาหารพร้อมข้าวหลาม

รูปที่ 1 เครื่องอุ่นและแสดงอาหาร

วิธีการที่ใช้มีทั้งการทดลองและการสำรวจ สำหรับการสำรวจใช้สำหรับการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ผลด้านทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่อเครื่องอุ่นและแสดงอาหาร ในขณะเดียวกันมีการเก็บข้อมูลปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และสุ่มวัดอุณหภูมิข้าวหลามเพื่อประเมินค่าอุณหภูมิและพลังงานในสภาวะการทำงานที่มีภาระมาก (กล่าวคือ ข้าวหลามเข้าออกเครื่องต่อวันมีปริมาณมากกว่าร้อยกระบอกต่อวัน) นอกจากนี้ยังวัดค่าพลังงานและอุณหภูมิในขณะที่ตรวจวิเคราะห์ปริมาณของจุลินทรีย์ด้วย โดยมีรายละเอียด

ดังต่อไปนี้

2.1 วิธีการเก็บตัวอย่างข้าวหลามเพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์และบันทึกผลของอุณหภูมิขณะเก็บตัวอย่าง

2.1.1 เปิดเครื่องอุ่นและแสดงอาหารที่ระยะเวลา 0, 24 และ 48 ชั่วโมง ตั้งค่าอุณหภูมิที่เทอร์โมสแตท 70 °C เพื่อควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในเครื่อง และปิดการทำงานของเครื่องที่ระยะเวลา 6, 30 และ 54 ชั่วโมง (หมายเหตุ หลังจากปิดการทำงานของเครื่อง เก็บข้าวหลามทั้ง 2 ชุด ไว้ที่อุณหภูมิห้อง)

2.1.2 แบ่งข้าวหลามเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 ข้าวหลามที่อยู่ภายในเครื่องอุ่นและแสดงอาหาร และชุดที่ 2 ข้าวหลามที่เก็บที่อุณหภูมิห้องตลอดเวลา

2.1.3 เก็บตัวอย่างข้าวหลามทั้งสองชุดที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน ได้แก่ ที่ระยะเวลา 0, 3, 6, 24, 27, 30, 48, 51 และ 54 ชั่วโมง ตามลำดับ วิธีการเก็บตัวอย่างข้าวหลามเป็นดังนี้ ใช้ช้อนสแตนเลสที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อตักข้าวหลามที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างผิวบนสุดและท้ายสุดของเนื้อข้าวหลามในกระบอก เมื่อเก็บตัวอย่างเสร็จนำกระบอกข้าวหลามใส่ในเครื่องต่อ

2.1.4 บันทึกผลอุณหภูมิของห้องและอุณหภูมิของข้าวหลามขณะเก็บตัวอย่างโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ และอ่านค่าอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องโดยใช้เทอร์โมสแตท และนอกจากนี้บันทึกค่าจากมิเตอร์พลังงานไฟฟ้าเป็นหน่วย kW-h

2.1.5 ตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดบนจานเพาะเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีของเชื้อและบันทึกผล

2.2 วิธีการตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) โดยตรวจตามวิธีของ AOAC [12]

ชั่งตัวอย่างข้าวหลามที่เก็บในระยะเวลาต่าง ๆ ปริมาณ 10 กรัม ใส่ขวดบรรจุสารละลาย 0.1 % peptone water ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ (aseptic technique) เขย่าให้เข้ากัน และทำการเจือจางตัวอย่างที่ระดับความเจือจางช่วง 10^{-2} ถึง 10^{-5} ด้วยสารละลาย 0.1 % peptone water ปิเปตสารละลายที่ระดับความเจือจางที่เตรียมไว้ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงบนผิวหน้าจานอาหาร plate count agar (PCA) เกลี่ยส่วนที่เป็นสารละลายที่เจือจางด้วยแท่งแก้วรูปตัวแอลปราศจากเชื้อ โดยทำการทดลองความเจือจางละ 3 ซ้ำ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยเลือกนับจานอาหารที่มีโคโลนีในช่วง 30-300 โคโลนี หาค่าเฉลี่ยและรายงานผลเป็นจำนวน colony forming unit ต่อ 1 กรัมตัวอย่าง (CFU/g)

2.3 การตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อแบคทีเรียที่เจริญบนจานอาหาร

คัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่มีลักษณะโคโลนีที่แตกต่างกันบนจานอาหาร PCA โดยวิธีการ cross streak plate บนจานอาหาร nutrient agar (NA) ให้ได้เชื้อบริสุทธิ์และตรวจดูลักษณะการเจริญของเชื้อบนอาหารแข็งและศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยเลือกโคโลนีเดี่ยวมาย้อมแกรม ส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเพื่อศึกษารูปร่าง ลักษณะการจัดเรียงตัวและการติดสีแกรมของเชื้อ [13]

2.4 การสำรวจผลด้านทัศนคติของผู้บริโภค

การสำรวจผลด้านทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่อเครื่องอุ่นและแสดงอาหาร นักวิจัยได้แจกข้าวหลามโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายแก่ผู้บริโภคที่มาร่วมพิธีเปิดงานเกษตรแฟร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ประจำปี พ.ศ. 2557 โดยมีเงื่อนไขว่าผู้บริโภคต้องบริโภคข้าวหลามที่ได้รับแจกทันทีหลังจากได้รับ

ข้าวหลามที่ผ่านการอุ่นในเครื่องที่ศึกษาและผู้บริโภคตอบแบบสอบถามที่ได้ออกแบบขึ้น

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลด้านพลังงาน

จากการศึกษาของประสงค์ และคณะ [11] ที่อุ่นข้าวหลามจำนวน 12 กระบอก โดยใช้เครื่องอุ่นและแสดงอาหาร (เครื่องเดียวกันกับที่ใช้ในบทความนี้) และเก็บข้อมูลอุณหภูมิของข้าวหลามและอากาศในเครื่องทุก ๆ 10 นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในขณะเดินเครื่องได้เปิดหลอดอินฟราเรดทั้งหมด และมีการตัด-ต่อ (on/off) เป็นระยะ ๆ ด้วยการควบคุมอุณหภูมิอากาศในเครื่องด้วยเทอร์โมสแตท วัดอุณหภูมิข้าวหลามด้วยเทอร์โมมิเตอร์ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของข้าวหลามและระยะครึ่งหนึ่งของความสูงของเนื้อข้าวหลามในกระบอก จะเห็นว่าหลังจากใส่ข้าวหลามที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น 42 °C เข้าไปในเครื่องอุ่นและแสดงอาหาร อุณหภูมิข้าวหลามจะสูงขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาทีข้าวหลามจะมีอุณหภูมิสูงถึง 63 °C (อุณหภูมิขั้นต่ำในมาตรฐานความปลอดภัยทางอาหาร [5]) และเมื่อให้ข้าวหลามอยู่ในเครื่องต่อไปจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ แต่จะค่อย ๆ สูงขึ้นทีละน้อย และอุณหภูมิข้าวหลามเฉลี่ยในช่วงระยะเวลา 2 ชั่วโมงนี้เท่ากับ 70.7 °C พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไป 1.82 kW-h (ในเวลา 2 ชั่วโมง)

สำหรับการศึกษาครั้งนี้จะต่างจากของประสงค์ และคณะ [11] โดยทำการวัดค่าอุณหภูมิ ณ เวลา 0, 3, 6, 24, 27, 30, 48, 41 และ 54 ชั่วโมง ในขณะที่ทำการเก็บตัวอย่างข้าวหลามเพื่อวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรีย จากการทำงานของเครื่องวันละ 6 ชั่วโมง พบว่าข้าวหลามในเครื่องจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 77.5 °C พลังงานที่ใช้ในการอุ่นข้าวหลาม 3 กระบอกในช่วงเวลา 6 ชั่วโมง เท่ากับ 6.34 kW-h

นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทยอยใส่ข้าวหลามครั้งละ 20 กระบอก และแจกให้ผู้บริโภคระหว่างวันเพื่อเป็นกรณีศึกษาสำหรับการนำไปใช้ในสภาพที่ภาระการทำงานหนัก (กล่าวคือ ข้าวหลามที่เข้าออกเครื่องต่อวันมีจำนวนมาก) ปริมาณข้าวหลามที่ใส่เครื่องอุ่นเฉลี่ย 20 กระบอกต่อชั่วโมง เมื่อเปิดการทำงานของเครื่องเป็นเวลา 7 ชั่วโมง และพักเครื่อง 1 ชั่วโมง พบว่าใช้พลังงานทั้งสิ้น 9.3 kW-h เมื่อคำนวณที่ค่าไฟฟ้ายูนิตละ 4 บาท การใช้งานประมาณ 7 ชั่วโมงต่อวัน จะสิ้นเปลืองค่าไฟฟ้าประมาณ 37.2 บาท โดยภาพรวม ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จะขึ้นกับปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อวัน ความถี่ในการเปิด-ปิดฝาเครื่อง อุณหภูมิข้าวหลามเริ่มต้น อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม การตั้งค่าเทอร์โมสแตท เป็นต้น

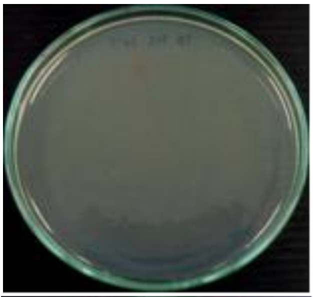
ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ($\log_{10}$ CFU/g ± SD) ของตัวอย่างข้าวหลามชุดที่ 1 และชุดที่ 2 เมื่อเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 54 ชั่วโมง ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ($\log_{10}$ CFU/g ± SD)*	
	ข้าวหลาม ชุดที่ 1	ข้าวหลาม ชุดที่ 2
0 ชม.	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
3 ชม.	0.00 ± 0.00	2.48 ± 0.12
6 ชม.	0.00 ± 0.00	2.71 ± 0.05
24 ชม.	0.00 ± 0.00	2.85 ± 0.08
27 ชม.	0.00 ± 0.00	2.93 ± 0.08
30 ชม.	0.00 ± 0.00	3.86 ± 0.06
48 ชม.	0.00 ± 0.00	4.18 ± 0.13
51 ชม.	0.00 ± 0.00	4.87 ± 0.11
54 ชม.	0.00 ± 0.00	5.91 ± 0.02

*เป็นค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีจากตัวอย่างข้าวหลามที่ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.2 ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

ตัวอย่างข้าวหลาม 2 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 ข้าวหลามที่เก็บไว้ในเครื่องอุ่นและแสดงอาหาร อุณหภูมิ 70 °C และชุดที่ 2 ข้าวหลามที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28 °C) โดยเก็บตัวอย่างข้าวหลามแต่ละชุดในระยะเวลาต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 54 ชั่วโมง โดยตัวอย่างข้าวหลามที่เก็บจากทั้ง 2 ชุด นำมาตรวจนับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 1 และรูปที่ 2

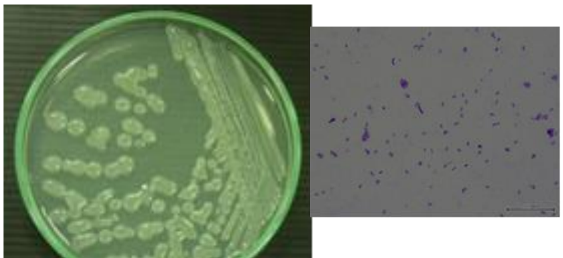


(ก) ข้าวหลามชุดที่ 1

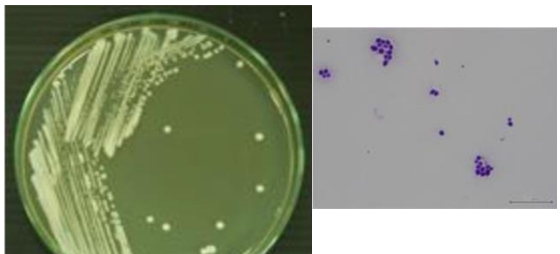
(ข) ข้าวหลามชุดที่ 2

รูปที่ 2 โคโลนีของเชื้อจากตัวอย่างข้าวหลามเมื่อเก็บตัวอย่างในวันที่ 3 ที่เวลา 54 ชั่วโมง

จากผลการทดลองพบว่าข้าวหลามชุดที่ 1 ที่เก็บในเครื่องไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ตั้งแต่เริ่มต้นเก็บตัวอย่าง (0 ชั่วโมง) จนสิ้นสุดระยะเวลาการอุ่นในระยะเวลา 54 ชั่วโมง ในขณะที่ข้าวหลามชุดที่ 2 ซึ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องพบการเจริญของเชื้อตั้งแต่ชั่วโมงที่ 3 โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 2.48 $\log_{10}$ CFU/g และจำนวนเชื้อจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ จนถึงระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างในชั่วโมงที่ 54 มีจำนวนเชื้อเพิ่มขึ้นเป็น 5.91 $\log_{10}$ CFU/g โดยจากรูปที่ 2 พบว่าลักษณะโคโลนีและรูปร่างของเชื้อจุลินทรีย์ที่ตรวจพบมี 2 แบบ ได้แก่ (1) โคโลนีรูปร่างไม่แน่นอน (irregular) โคโลนีค่อนข้างหนา เจริญสูงขึ้นจากผิวหน้าอาหารและมีเมือกเยิ้ม ย้อมติดสีแกรมบวก รูปร่างเป็นท่อนและพบเอนโดสปอร์ ซึ่งลักษณะเหมือนกับเชื้อ *Bacillus* sp. และ (2) โคโลนีรูปร่างกลม (circular) เจริญนูนโค้งจากผิวหน้าอาหารแต่ไม่สูงกว่าผิวหน้าอาหารเท่าใดนัก (convex) ผิวหน้าเรียบ (smooth) ริมของโคโลนีเรียบไม่มีรอยหักเว้า (entire) เมื่อย้อมสีพบว่ารูปร่างเป็นรูปไข่ พบการแตกหน่อ ลักษณะเหมือนเชื้อยีสต์ (รูปที่ 3)



(ก)



(ข)

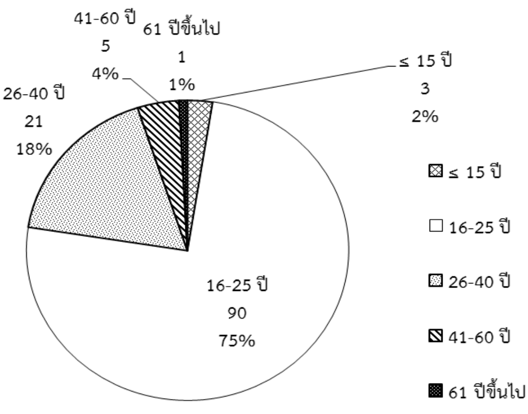
รูปที่ 3 ลักษณะโคโลนีและรูปร่างของจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 1000X ที่ตรวจพบในข้าวหลามแบบที่ 1 (ก) และแบบที่ 2 (ข)

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 เปรียบเทียบจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของตัวอย่างข้าว

หลามทั้ง 2 ชุด แสดงให้เห็นว่า ข้าวหลามในชุดที่ 1 อุณหภูมิขณะเก็บตัวอย่างของเครื่องมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ภายในข้าวหลามได้โดยไม่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เมื่อทำการเก็บตัวอย่างข้าวหลามจากเครื่องอุ่นและแสดงอาหารเป็นเวลาทั้งสิ้น 54 ชั่วโมง ในขณะที่ข้าวหลามในชุดที่ 2 ซึ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง พบการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนขึ้นไปเรื่อย ๆ ตั้งแต่การเก็บตัวอย่างชั่วโมงที่ 3 จนสิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง เมื่อพิจารณาระยะเวลาในเก็บข้าวหลามเพื่อความปลอดภัยในการรับประทาน จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ข้าวหลาม สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [7] ระบุเกณฑ์ในด้านเชื้อจุลินทรีย์ โดยกำหนดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม หรือ 4 $\log_{10}$ CFU/g จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดจากตัวอย่างข้าวหลามชุดที่ 1 ที่เก็บไว้ในเครื่องอุ่นเป็นเวลา 54 ชั่วโมง สามารถรับประทานได้เนื่องจากตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ ในขณะที่ข้าวหลามชุดที่ 2 ซึ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง จำนวนเชื้อจุลินทรีย์จะไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานในระยะเวลา 2 วัน แต่เมื่อเข้าสู่วันที่ 3 พบว่าจำนวนเชื้อจุลินทรีย์มีค่ามากกว่า 4 $\log_{10}$ CFU/g แสดงว่าข้าวหลามที่เก็บที่อุณหภูมิปกติระยะเวลาที่ปลอดภัยในการรับประทาน ไม่ควรเกิน 2 วัน เมื่อพิจารณาจากจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด

3.3 ผลด้านทัศนคติของผู้บริโภค

การสำรวจทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์และเครื่องอุ่นและแสดงอาหาร ในงานเกษตรแฟร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (ในวันที่ 26 สิงหาคม 2557) นอกจากเป็นการประเมินผลการทำงานของเครื่องอุ่นฯที่การทำงานปริมาณมากต่อวันแล้วยังทำให้ทราบทัศนคติของผู้บริโภคเพื่อประกอบการตัดสินใจขยายผลสู่เชิงพาณิชย์ต่อไป จำนวนผู้ตอบแบบสอบถามแบบสุ่มมีทั้งสิ้น 120 คน โดยจากการสอบถามพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามทุกคนเคยรับประทานข้าวหลามมาก่อน โดยผู้ตอบคำถามเป็นเพศชาย 70 คน (58 %) และหญิง 48 คน (40 %) และอื่น ๆ (ไม่ระบุ) 2 คน (2 %) ช่วงอายุผู้ตอบแบบสอบถามดังรูปที่ 4

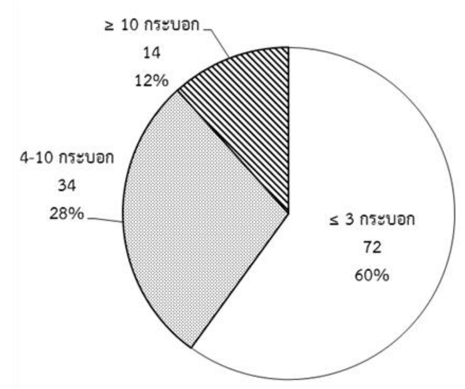


รูปที่ 4 ข้อมูลผู้ตอบแบบสอบถามแบ่งตามช่วงอายุ

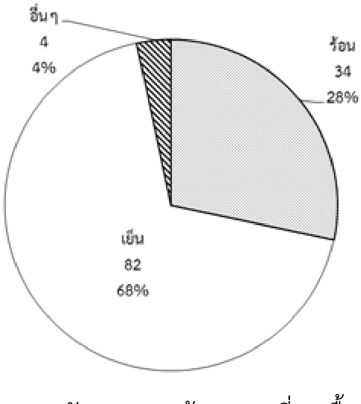
จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าผู้ตอบคำถามส่วนใหญ่เป็นผู้ชาย และส่วนใหญ่เป็นวัยรุ่นอายุไม่เกิน 25 ปี อาจเป็นไปได้ว่าการตั้งแสดงเครื่องอุ่นและแสดงอาหารอยู่ในโซนผลงานคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนหนึ่งจึงเป็นนิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา ซึ่งมีจำนวนผู้ชายมากกว่าผู้หญิง ประกอบกับระหว่างวันมีคณะครูและนักเรียนมัธยมปลายเดินทางมาร่วมงานและได้ร่วมตอบแบบสอบถาม กลุ่มคนอายุระหว่าง 16-25 ปีจึงเป็นคนส่วนใหญ่ที่ตอบแบบสอบถามนี้ รูปที่ 5 แสดงข้อมูลจำนวนข้าวหลามเฉลี่ยต่อปีที่ผู้ตอบแบบสอบถามเคยซื้อและคุณลักษณะข้าวหลามที่เคยซื้อ

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าถึงแม้ว่าผู้ตอบแบบสอบถามทุกคนเคยรับประทานข้าวหลามมาก่อน แต่จำนวนเฉลี่ยที่ซื้อข้าวหลามต่อปีนั้นน้อยมาก ประมาณ

60 % ของผู้ตอบแบบสอบถามเคยซื้อเพียงแค่ไม่เกิน 3 กระบอกต่อปี อาจบ่งบอกถึงความนิยมของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อคนรุ่นใหม่นั้นน้อยลง หรือคุณภาพและ/หรือคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไม่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค เมื่อพิจารณาจากการตอบคำถาม



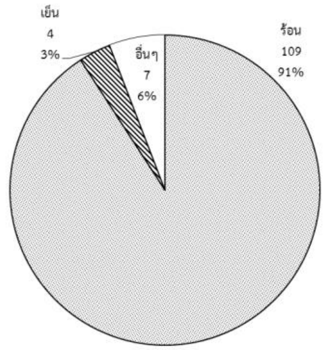
(ก) จำนวนเฉลี่ยต่อปีที่เคยซื้อ



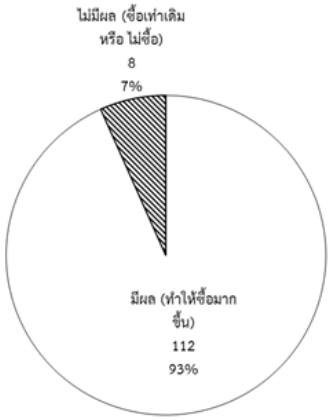
(ข) คุณลักษณะของข้าวหลามที่เคยซื้อ

รูปที่ 5 จำนวนข้าวหลามเฉลี่ยต่อปีและคุณลักษณะของข้าวหลามที่ผู้ตอบแบบสอบถามเคยซื้อ

เกี่ยวกับคุณลักษณะของข้าวหลามที่ผู้ตอบแบบสอบถามเคยซื้อพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ (68 %) ได้รับข้าวหลามที่เย็นเมื่อซื้อ มีเพียง 28 % ของผู้ตอบแบบสอบถามที่ได้ข้าวหลามที่ร้อนขณะซื้อ จากการสอบถามพบว่าลักษณะข้าวหลามที่เคยซื้อร้อนหรือเย็นนั้นขึ้นกับเวลาด้วย กล่าวคือ หากซื้อข้าวหลามช่วงเช้าผู้บริโภคจะได้ข้าวหลามที่ร้อนแต่เวลาอื่น ๆ ตลอดวันมักเป็นข้าวหลามที่เย็น สำหรับผู้บริโภคส่วนน้อย (4 %) ตอบในช่องอื่น ๆ และระบุว่าเคยมีประสบการณ์ได้รับข้าวหลามที่บูดหรือเก่า ซึ่งบ่งบอกถึงการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์สินค้ายังไม่ดีพอ สอดคล้องกับผลทางชีวภาพที่หลังข้าวหลามผ่านการปรุงสุกมาแล้วหลายชั่วโมงจะมีปริมาณแบคทีเรียเจริญเติบโตมาก หากผู้บริโภคซื้อสินค้าที่ผ่านการปรุงสุกมาเป็นเวลาหลายชั่วโมงหรือเกิน 2 วัน โดยไม่มีการ



(ก) ทัศนคติของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะข้าวหลามที่ใช้เครื่องอุ่นและแสดงอาหาร



(ข) ผลต่อการตัดสินใจซื้อข้าวหลามในอนาคต

รูปที่ 6 ทัศนคติของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะข้าวหลามที่ใช้เครื่องอุ่นและแสดงอาหาร และผลต่อการตัดสินใจซื้อข้าวหลามในอนาคต

ควบคุมอุณหภูมิจะมีโอกาสได้รับสินค้าที่บูดหรือเน่าเสีย ซึ่งสอดคล้องกับแบบสอบถามเกี่ยวกับทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่อเครื่องอุ่นและแสดงอาหาร (รูปที่ 6)

จากรูปที่ 6 พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ (91 %) เห็นว่าข้าวหลามที่ได้รับจากเครื่องอุ่นและแสดงอาหารจะร้อน แต่มีผู้บริโภคบางส่วน 9 % ตอบว่าไม่ร้อน ปัญหาเกิดจากการที่เครื่องต้องใช้เวลาประมาณ 30 นาที ขึ้นไปในการอุ่นให้ได้อุณหภูมิ 63 °C ขึ้นไป ในสภาวะการใช้งานจริงมีโอกาสที่ผู้ใช้งานจะนำข้าวหลามเข้าเครื่องและใช้เวลาน้อยไปในการอุ่น ผลที่ได้คือข้าวหลามยังไม่อุ่นพอ การสำรวจนี้ทำให้เห็นข้อจำกัดประการหนึ่งของเครื่อง คือ ระยะเวลาในการรออุณหภูมิให้เพิ่มขึ้นถึงค่าที่กำหนด อย่างไรก็ดี จากการสำรวจนี้พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ (93 %) ให้ความเห็นว่าการใช้เครื่องอุ่นและแสดงข้าวหลามมีผลต่อการตัดสินใจซื้อข้าวหลาม โดยมีผลทำให้ตัดสินใจซื้อมากขึ้น ส่วนน้อยคิดว่าไม่มีผลต่อการตัดสินใจ อาจมีสาเหตุบางส่วนมาจากการที่ได้รับข้าวหลามที่ไม่ร้อนพอจากข้อจำกัดในการใช้งานของเครื่องตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

เครื่องอุ่นและแสดงอาหารด้วยรังสีอินฟราเรดสามารถช่วยควบคุมอุณหภูมิข้าวหลามให้ผ่านเกณฑ์ด้านความปลอดภัยทางอาหารได้ ระยะเวลาในการรอให้ข้าวหลามในเครื่องมีอุณหภูมิถึง 63 °C ประมาณ 30 นาที กรณีข้าวหลามหมุนเวียนในเครื่อง 140 กระบอกต่อวัน พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระยะเวลา 7 ชั่วโมง สำหรับเครื่อง และแสดงในงานวิจัยนี้ประมาณ 9.3 kW-h เมื่อตั้งค่าเทอร์โมสแตทที่ 70 °C อุณหภูมิเฉลี่ยของข้าวหลามที่ควบคุมได้จะมีค่ามากกว่า 70 °C เนื่องจากความร้อนมีการสะสมอยู่ภายในกระบอกข้าวหลาม ผลทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพเห็นได้ชัดว่าการใช้ความร้อนสูงเช่นนี้สามารถทำลายแบคทีเรียได้หมด ในขณะที่ข้าวหลามที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องจะมีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้นตามเวลาและไม่ควรนำมาจำหน่ายหรือรับประทานหลังจากผลิตแล้ว 2 วัน เนื่องจากมีจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนด ทางด้านผู้บริโภคให้ความพึงพอใจเครื่องอุ่นและแสดงข้าวหลามโดยมีความเห็นว่าการใช้เครื่องดังกล่าวจะส่งผลให้ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อข้าวหลามต่อไปได้มากขึ้น ผู้ประกอบการสามารถนำข้อมูลนี้ไปประกอบการตัดสินใจเพื่อการลงทุน

อย่างไรก็ดี ผลการทดลองที่ไม่ได้แสดงในบทความนี้ คือ เมื่อเก็บข้าวหลามในเครื่องอุ่นและแสดงอาหารเป็นเวลาหลายชั่วโมง ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์จะค่อย ๆ แห้งลง ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการเก็บรักษาข้าวหลามในเครื่องด้วยการหุ้มปากกระบอกข้าวหลามเพื่อลดการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ข้าวหลามยังคงคุณลักษณะที่ต้องการ ได้แก่ สี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (ศธ. 0513.30401/135)

6. รายการอ้างอิง

[1] ทัตพงศ์ แผ่เกียรติวงศ์, ยศธร ทองคำ และวชิรพล แสนโช้ง, 2554, เครื่องอุ่นอาหารด้วยแสง, โครงงานคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา, ชลบุรี.

[2] Trickett, J. 2001, The prevention of food poisoning, 4th Ed., Nelsonthornes, Cheltenham.

[3] กันยา หว่านณรงค์, 2555, แบคทีเรียในอาหาร, ว.เพื่อการวิจัยและพัฒนา องค์การเภสัชกรรม 19 (2): 12-15.

[4] ILSI Europe Emerging Microbiological Issue Task Force, 2011, The Enterobacteriaceae and their significance to the food industry. International Life Sciences Institute (ILSI) Report, December.

[5] Food Standard Agency, 2006, Guidance on temperature control legislation in the United Kingdom, EC Regulation 852/2004.

[6] NSW Food Authority, 2009, Microbiological quality guide for ready-to-eat foods: A guide to interpreting microbiological results.

[7] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2548, มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ข้าวหลาม, มผช. 746/2548.

[8] Craig, E.M. and Minor, J.M., 1982, Food warming and cooking cabinet, US patent No. US4345143 A.

[9] Gordon, L., 2001, Infrared food warmer, US patent No. US6297481 B1.

[10] Chung, T.T. and Schroeder, J., 2011, Food warming cabinet, US patent No. US20110 171355 A1.

[11] ประสงค์ จำปาอินทร์, จักรพันธ์ แจ้งเหตุผล, ณปภัช ลพหล้า และณัฐดนัย นาคสีคร้าม, 2556, ต้นแบบเครื่องอุ่นและแสดงข้าวหลาม, โครงงานคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา, ชลบุรี.

[12] Association of Official Analytical Chemists, 1990, Official Methods of Analysis, 15th Ed., AOAC, Arlington, VA.

[13] Bartholomew, J.W. and Finkelstein, H., 1958, Relationship of cell wall staining to Gram differentiation, J. Bacteriol. 75: 77-84.