การทำลายไข่มอดในข้าวอินทรีย์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ

พูนพัฒน์ พูนน้อย [1] เบญญทิพย์ มหาเทพ [2] และ ภิญญาพัชญ์ พุฒตาล [2]
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ หนองหาร สันทราย เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

การผลิตข้าวกล้องอินทรีย์มีข้อจำกัดในการใช้สารเคมีกำจัดแมลง ทำให้ข้าวอินทรีย์มีความเสี่ยงต่อการถูกทำลายโดยมอดข้าวสาร (*Sitophilus oryzae* L.) งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของระดับกำลังไมโครเวฟและเวลาที่มีผลต่ออัตราการตายของไข่มอดในข้าวกล้องอินทรีย์และคุณภาพของข้าว เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟไม่ทำให้เกิดสารพิษตกค้างในข้าว โดยใช้กำลังไมโครเวฟ 3 ระดับ คือ 0.41, 0.51 และ 0.64 กิโลวัตต์ และเวลาในการให้ความร้อน 3 ระดับ คือ 20, 30 และ 40 วินาที พบว่า การให้ความร้อนกับข้าวจนกระทั่งอุณหภูมิของข้าวสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตสำหรับการทำลายไข่มอดที่ 55 องศาเซลเซียส มีผลให้ไข่มอดถูกทำลายทั้งหมด การใช้ระดับกำลังไมโครเวฟที่ 0.64 กิโลวัตต์ สามารถทำลายไข่มอดได้สมบูรณ์ภายในระยะเวลา 30 วินาที แต่การใช้ระดับไมโครเวฟที่ 0.41 และ 0.51 กิโลวัตต์ ใช้เวลาเพื่อทำลายไข่มอดนาน 40 วินาที จึงจะทำลายไข่มอดอย่างสมบูรณ์ ส่วนที่เวลา 20 วินาที ไม่สามารถทำลายไข่มอดได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากอุณหภูมิของข้าวต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต กระบวนการทำลายไข่มอดด้วยไมโครเวฟไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น สี ปริมาณไขมัน และปริมาณโปรตีน แต่มีผลต่อการแตกหักของข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว จึงมีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้กระบวนการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเพื่อทำลายไข่มอดในกระบวนการผลิตข้าวอินทรีย์

คำสำคัญ : ข้าวกล้องอินทรีย์ / ไข่มอด / ไมโครเวฟ

---

[1] *อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร*

[2] *นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร*

Disinfestation of Weevil's Eggs in Organic Rice with Microwave Heating

Poonpat Poonnoy [1], Benyathip Mahathep [2], and Pinyapat Pudtaan [2]

Maejo University, Nong-harn, San-Sai, Chiangmai 50290

Abstract

Production of organic rice is restricted to the use of insecticides and other chemical compounds; therefore this product is at higher risk of infestation of rice weevil (*Sitophilus oryzae* L.). The damage caused by this insect is not acceptable for consumers. The objective of this project was, therefore, to study the effects of microwave power and process time to the mortality of rice weevil's eggs in organic rice and of the rice qualities. The samples were infested and treated with microwave under different power levels and heating times. The microwave power levels used in this study were 0.41, 0.51 and 0.64 kW; and the heating times were 20, 30 and 40 s. It was found that the weevil's eggs were completely disinfested when the temperature of rice increased beyond the critical temperature of 55 degree Celsius. Using microwave power at 0.64 kW required only 30 s to complete the disinfestation process; whereas, heating rice with microwave power at 0.41 kW and 0.51 kW required longer process time of 40s. Heating rice for 20s with all microwave levels could not completely disinfest weevil's eggs because the rice temperature was lower than the critical temperature. Employing of microwave heating in weevill's eggs disinfestation had no significant effect on rice qualities: i.e., moisture, color, fat and protein contents; but on fracturing ratio due to the rapid temperature elevation. It is possible to use microwave treatment for weevil's eggs disinfestation in organic rice production.

Keywords: Organic Rice / Weevil's Eggs / Microwave

[1] *Lecturer, Food Engineering Program, Faculty of Engineering and Agro-Industry.*

[2] *Undergraduate Student, Food Engineering Program, Faculty of Engineering and Agro-Industry.*

1. บทนำ

ข้าวเป็นสินค้าส่งออกสำคัญของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2551 โดยส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศต่างๆ ถึง 10,216,043 ตัน รวมมูลค่า 203,218.7 ล้านบาท ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2550 (119,215.4 ล้านบาท) และ พ.ศ. 2549 (98,179.0 ล้านบาท) ตามลำดับ [1] ปริมาณข้าวที่ประเทศไทยส่งออกสูงเป็นอันดับหนึ่งของโลกโดยคิดเป็นร้อยละ 34 ของปริมาณข้าวทั้งหมดในตลาดโลก รองลงมาคือ ประเทศเวียดนาม และอินเดีย (ร้อยละ 20) ประเทศไทยมีตลาดส่งออกหลัก คือ ภูมิภาคเอเชียและตะวันออกกลาง ซึ่งบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก การลดต้นทุนการผลิตทั้งด้านแรงงานและวัตถุดิบ การปรับปรุงกระบวนการผลิต การจัดการดินและน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการปรับปรุงสายพันธุ์เพื่อให้ผลผลิตสูงและคุณภาพดีเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้ผู้ส่งออกข้าวสามารถแข่งขันด้านราคากับประเทศผู้ส่งออกอื่นได้

ข้าวอินทรีย์ (Organic rice) เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์อาหารอินทรีย์ (Organic foods) ซึ่งได้รับความนิยมมากในตลาดปัจจุบัน เนื่องจากผู้บริโภคเชื่อว่าการบริโภคอาหารที่ไม่มีสารพิษตกค้างร่วมกับการออกกำลังกายอย่างเหมาะสมจะทำให้สุขภาพแข็งแรงและปลอดจากโรค การผลิตข้าวอินทรีย์ จึงเป็นการเพิ่มโอกาสในการแข่งขันให้กับผู้ผลิตจากประเทศไทย อย่างไรก็ตามการผลิตข้าวอินทรีย์ต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดการเกษตรกรรมที่ดี (Good Agricultural Practice: GAP) และมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (Organic Agriculture Standard) ซึ่งมีข้อห้ามในการใช้สารเคมีทุกชนิด เช่น ปุ๋ยเคมี สารเคมีเพื่อป้องกันและกำจัดแมลง รวมถึงฮอร์โมนพืชสังเคราะห์ทั้งในระหว่างการเพาะปลูกและเก็บรักษา [2] ทำให้ข้าวอินทรีย์มีความเสี่ยงต่อการถูกแมลงศัตรูพืชเข้าทำลายสูง โดยเฉพาะมอดข้าวสาร

มอดข้าวสารหรือด้วงงวงข้าว (*Sitophilus oryzae* L.) เป็นแมลงศัตรูพืชหลักของข้าว มอดข้าวสารสามารถแพร่พันธุ์โดยการวางไข่ทั้งภายในและภายนอกเมล็ดข้าว เมื่อไข่ฟักตัวกลายเป็นตัวอ่อน ตัวอ่อนจะอาศัยอยู่ภายในเมล็ดข้าวโดยกัดกินเนื้อข้าวเป็นอาหารจนเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัย แล้วเจาะรูออกมาเพื่อรอแพร่พันธุ์ ในระหว่างนั้นตัวเต็มวัยจะแทะเมล็ดให้เป็นรอยพร้อมขับของเสียออกมาทำให้มีกลิ่นเหม็น ตัวเต็มวัยสามารถบินได้ไกลและขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว โดยทั่วไปแล้วการกำจัดมอดและเก็บรักษาข้าวจะใช้สารเคมีในการกำจัดและป้องกัน [3] โดยวิธีที่ใช้กันทั่วไป คือ การรมข้าวด้วยควันพิษของฟอสฟีน (Phosphines) หรืออะลูมิเนียมฟอสไฟด์ (Aluminium phosphide) ในภาชนะหรือโรงเก็บที่ปิดมิดชิด ไม่มีอากาศรั่วหรือใต้ผ้าพลาสติกเป็นเวลาอย่างน้อย 5 วัน การกำจัดมอดโดยใช้สารเคมีเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานาน หากปฏิบัติไม่ถูกต้องนอกจากจะทำให้การกำจัดมอดด้อยประสิทธิภาพ และแมลงอาจปรับตัวเพื่อสร้างความต้านทานต่อสารเคมี [4] นอกจากนี้ยังทำให้เกิดสารพิษตกค้างในผลิตภัณฑ์ เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ [5]

เนื่องจากการกำจัดมอดด้วยการรมควันพิษของอะลูมิเนียมฟอสไฟด์ไม่สามารถใช้กับการผลิตข้าวอินทรีย์ได้กำหนดไว้ในมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ข้อ 4.4.7 การใช้สมุนไพรเพื่อป้องกันมอดข้าวสารหรือด้วงงวงข้าวในผลิตภัณฑ์ข้าวอินทรีย์เป็นวิธีการหนึ่งที่ไม่ขัดต่อมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ กำหนดไว้ในมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ข้อ 4.4.5 [2] จากรายงานการวิจัยพบว่าการใช้ขิงแห้ง พริกแห้ง ใบมะกรูดแห้ง และข่าแห้งบดละเอียดบรรจุถุงผ้าใส่รวมกับข้าวกล้องและข้าวซ้อมมือ ระหว่างการเก็บรักษาทำให้ข้าวที่ใส่รวมกับสมุนไพรไม่มีแมลงเข้ารบกวนนานเป็นระยะเวลาหกเดือน อย่างไรก็ตามการใส่สมุนไพรรวมกับข้าวทำให้ข้าวมีกลิ่นของสมุนไพร [6] จากผลการการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการใช้สมุนไพรเพื่อป้องกันมอดข้าวสารมีผลต่อคุณภาพของข้าว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่น ซึ่งอาจไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ในการป้องกันมอดข้าวสารจึงอาจต้องใช้วิธีการทางกายภาพอื่นๆ เช่น การเก็บในสภาวะควบคุมบรรยากาศเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของมอดข้าวสารตัวเต็มวัย รวมถึงการทำลายไข่ของมอดข้าวสารที่อยู่ในข้าวโดยไม่ใช้สารเคมี

ในปัจจุบันเทคโนโลยีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น การอบแห้ง การอุ่นอาหาร รวมถึงการทำลายไข่และตัวเต็มวัยของแมลงศัตรูพืชในผลิตภัณฑ์อาหารสด เช่น มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ พันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง [7] และข้าว [4, 8] จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำคลื่นไมโครเวฟมาใช้ทำลายไข่มอดในข้าวอินทรีย์ของประเทศไทย

กลไกหลักของการเกิดความร้อนภายในอาหารเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ คือ การหมุนของโมเลกุลมีขั้ว (Polar molecule rotation) และการเคลื่อนที่ของไอออน (Ionic polarization) ความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานไมโครเวฟเป็นพลังงานความร้อนขึ้นอยู่กับความเข้มของพลังงานไมโครเวฟ ขนาด รูปร่าง และสมบัติไดอิเลคทริคของอาหารซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามองค์ประกอบของอาหาร [9] ส่วนการกระจายอุณหภูมิภายในอาหารขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าความจุความร้อนจำเพาะ [10] อาหารที่มีปริมาณไขมันสูงจะสามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟและเปลี่ยนเป็นความร้อนได้สูงกว่าอาหารที่มีปริมาณไขมันต่ำ [11] ทำให้อุณหภูมิในตำแหน่งที่มีไขมันสูงมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตำแหน่งนี้จึงมีโอกาสที่อาหารจะได้รับความเสียหายจากความร้อนจากการเพิ่มอุณหภูมิอย่างรวดเร็วหรือ Thermal runaway [10] ในทางตรงกันข้ามบริเวณที่มีไขมันต่ำจะเกิดความร้อนน้อยกว่าบริเวณที่มีไขมันสูง

การนำคลื่นไมโครเวฟมาใช้กำจัดไข่มอดในข้าวอินทรีย์จำเป็นต้องมีการศึกษาระดับพลังงานและเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากข้าวแต่ละชนิดมีขนาด รูปร่าง ความชื้น และองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน [12] การใช้ระดับพลังงานและเวลาที่เหมาะสมจะช่วยให้เกิดความร้อนอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งเมล็ดข้าว สามารถทำลายไข่มอดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ทำให้ข้าวได้รับความเสียหายจากความร้อน ในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาผลของกำลังไมโครเวฟและเวลาต่อการทำลายไข่มอด และคุณภาพของข้าวกล้องอินทรีย์ไทย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของระดับความเข้มของไมโครเวฟ และเวลาในการให้พลังงานไมโครเวฟต่อการทำลายไข่มอดในข้าวอินทรีย์ และคุณภาพของข้าวหลังได้รับความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ผลของการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบกำจัดไข่มอดด้วยไมโครเวฟในอุตสาหกรรมผลิตข้าวอินทรีย์ได้

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ในการวิจัยนี้ใช้ข้าวกล้องหอมมะลิอินทรีย์เมล็ดสมบูรณ์ไม่แตกหักเป็นตัวอย่างในการทดสอบโดยแบ่งบรรจุลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มล. จำนวน 10 ใบจากนั้นนำมอดตัวเต็มวัยที่มีอายุที่ใกล้เคียงกันใส่ลงไปในบีกเกอร์บรรจุตัวอย่างใบละ 100 ตัว ใช้ผ้าขาวบางครอบปากบีกเกอร์รัดให้แน่นเพื่อป้องกันไม่ให้มอดหนีออกไป จากนั้นนำไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (ยี่ห้อ Termaks รุ่น KBP6395F) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวางไข่และเจริญเติบโตของมอดข้าวสาร [3] เพื่อให้มอดตัวเต็มวัยวางไข่บนเมล็ดข้าวเป็นเวลา 3 วัน เมื่อครบกำหนดแล้วจึงคัดแยกมอดตัวเต็มวัยออก ได้ข้าวกล้องหอมมะลิอินทรีย์ที่มีไข่มอดพร้อมสำหรับการทดสอบ

2.2 การทดสอบ

2.2.1 การทดสอบผลของกำลังไมโครเวฟและเวลาต่ออัตราการรอดชีวิตของไข่มอด

นำข้าวกล้องอินทรีย์ที่มีไข่มอดจำนวน 250 ก. บรรจุลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มล. แล้วให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (ยี่ห้อ Panasonic รุ่น NN-S 235 WF) ตามระดับพลังงานไมโครเวฟและเวลาที่กำหนด เตาไมโครเวฟควบคุมระดับกำลังโดยการกำหนดจังหวะปิด-เปิดของแมกนีตรอน (Intermittent mode) ซึ่งระดับกำลังไมโครเวฟที่ใช้มีสามระดับ คือ 0.41, 0.51 และ 0.64 กิโลวัตต์ และระยะเวลาที่กำหนดมีสามระดับคือ 20, 30 และ 40 วินาที

เมื่อตัวอย่างได้รับความร้อนที่ระดับกำลังไมโครเวฟและเวลาที่กำหนดแล้ว ผู้วิจัยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอลความละเอียดในการวัด 0.1 (±0.2) องศาเซลเซียส (ยี่ห้อ Testo รุ่น 177-T3) วัดอุณหภูมิของตัวอย่างทันทีที่ความลึก 5 ซม. จากนั้นนำไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 เพื่อให้ไข่มอดที่ไม่ถูกทำลายด้วยความร้อนจากไมโครเวฟฟักตัว เป็นเวลา 30 วัน เพื่อคำนวณหาอัตราการตายของไข่มอด อัตราการตายของไข่มอดคำนวณหาได้จากสมการที่ 1 [4]

$$M_e = \left(1-\frac{N_s}{N_c}\right) \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ M_e คือ อัตราการตายของไข่มอด (ร้อยละ) N_s คือ จำนวนไข่มอดที่ฟักออกเป็นตัวในข้าวกล้องอินทรีย์ที่ได้ความร้อนจากไมโครเวฟ (ตัว) และ N_c คือจำนวนไข่มอดที่ฟักออกเป็นตัวในข้าวกล้องอินทรีย์ที่ไม่ได้ความร้อนจากไมโครเวฟ (ตัว)

2.2.2 การตรวจสอบคุณภาพของข้าวหอมมะลิอินทรีย์

สมบัติของตัวอย่างข้าวอินทรีย์ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน สี และการแตกหักของข้าวกล้องอินทรีย์ที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (กลุ่มตัวอย่างทดสอบ) ได้รับการตรวจสอบและเปรียบเทียบกับข้าวอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (กลุ่มตัวอย่างควบคุม)โดยมีวิธีการตรวจสอบดังนี้

1) การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน และปริมาณโปรตีน

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน และปริมาณโปรตีนในตัวอย่างข้าวกล้องอินทรีย์ทำโดยใช้วิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐาน AOAC [13]

2) การวัดสี

การวัดค่าสีของข้าวกล้องอินทรีย์ใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Mini Scan XE Plus ใช้หลอดชนิด Daylight color Mode D65 มุมตกกระทบ 10 องศา ตามมาตรฐานของ CIE (Commission International De L'eclairage) โดยทำการสุ่มข้าวกล้องอินทรีย์มาตรวจวัดค่า L* a* และ b* ทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ แล้วคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่าง (ΔL*) ค่าความเป็นสีแดง-สีเขียว (Δa*) และค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (Δb*) ซึ่งคำนวณได้จากผลต่างของค่า L* a* และ b* ของข้าวก่อนและหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ สำหรับตัวอย่างกลุ่มควบคุม ผู้วิจัยได้วัดค่าสีของข้าวพร้อมกับตัวอย่างกลุ่มทดสอบ ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีของตัวอย่างควบคุมนี้นำไปใช้เปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงสีของกลุ่มตัวอย่างทดสอบ

3) การหาปริมาณการแตกหักของข้าวอินทรีย์

นำตัวอย่างข้าวกล้องอินทรีย์มาคัดแยกเมล็ดแตกหักออกด้วยเครื่องคัดแยกแบบตะแกรงทรงกระบอกหมุน ขนาดหลุม 5 มม. ถาดรองรับทำมุม 30 องศา จากนั้นชั่งข้าวแตกหักที่ได้และคำนวณหาร้อยละการแตกหักได้จากสมการที่ 2

$$B_r = \left(\frac{m_b}{m_w}\right) \times 100 \qquad \textbf{(2)}$$

เมื่อ B_r คือ ปริมาณการแตกหักของข้าวกล้องอินทรีย์ (ร้อยละ) m_b คือ มวลของข้าวที่แตกหัก (ก.) และ m_w คือ มวลของข้าวเมล็ดสมบูรณ์ (ก.)

ในการวิจัยนี้ออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) และทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยการหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลของกำลังไมโครเวฟและเวลาต่ออัตราการตายของไข่มอด

จากผลการทดสอบ (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่าอัตราการตายของไข่มอดเพิ่มขึ้นตามระดับกำลังไมโครเวฟและเวลาที่ใช้ในกระบวนการให้ความร้อน เมื่อใช้เวลาในการให้ความร้อนคงที่เท่ากับ 20 วินาที อัตราการตายของไข่มอดมีค่าเท่ากับร้อยละ 20.34 ± 7.77, 60.71 ± 2.94 และ 81.36 ± 5.87 สำหรับกำลังไมโครเวฟ 0.41, 0.51 และ 0.64 กิโลวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มขึ้นตามระดับกำลังไมโครเวฟ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอัตราการตายของไข่มอดนี้พบได้เช่นเดียวกันกับการทำลายไข่มอดด้วยไมโครเวฟที่เวลาคงที่เท่ากับ 30 วินาที ซึ่งอัตราการตายของไข่มอดมีค่าเท่ากับ 62.71 ± 5.87, 91.53 ± 2.94 และ 100.00 ± 0.00 สำหรับกำลังไมโครเวฟ 0.41, 0.51 และ 0.64 กิโลวัตต์ ตามลำดับ สำหรับกระบวนการทำลายไข่มอดโดยใช้เวลา 40 วินาที อัตราการตายของไข่มอดมีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 100 สำหรับทุกระดับกำลังไมโครเวฟ

ตารางที่ 1 อัตราการตายของไข่มอดและอุณหภูมิของข้าวกล้องอินทรีย์หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

ระดับกำลังไมโครเวฟ (กิโลวัตต์)	เวลา (วินาที)	อัตราการตาย (ร้อยละ)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
0.41	20	20.34 ± 7.77	41.3 ± 2.5
	30	62.71 ± 5.87	48.3 ± 4.6
	40	100.00 ± 0.00	55.0 ± 1.7
0.51	20	60.71 ± 2.94	48.7 ± 0.7
	30	91.53 ± 2.94	53.5 ± 2.5
	40	100.00 ± 0.00	63.3 ± 4.2
0.64	20	81.36 ± 5.87	49.2 ± 3.5
	30	100.00 ± 0.00	62.5 ± 1.5
	40	100.00 ± 0.00	72.5 ± 0.8

อัตราการตายของไข่มอดนั้นมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของข้าว จากรายงานวิจัยพบว่า มอดและไข่มอดจะถูกทำลายอย่างสมบูรณ์เมื่ออุณหภูมิของข้าวสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส [4] จากผลการวัดอุณหภูมิของข้าวหลังจากผ่านกระบวนให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (ตารางที่ 1) พบว่า การใช้ระดับกำลังไมโครเวฟที่ 0.41, 0.51 และ 0.64 กิโลวัตต์ เป็นเวลานาน 40 วินาที และที่ระดับกำลังไมโครเวฟ 0.64 กิโลวัตต์ เป็นเวลานาน 30 วินาที ทำให้อุณหภูมิสุดท้ายของข้าวสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤต เป็นผลให้ไข่มอดถูกทำลายทั้งหมด ส่วนสภาวะการให้ความร้อนอื่นมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤตจึงมีไข่มอดบางส่วนไม่ถูกทำลายและฟักออกเป็นตัวอ่อนทำลายข้าวกล้องอินทรีย์ นอกจากนั้นจะสังเกตเห็นได้ว่าการใช้ระดับกำลังไมโครเวฟ 0.64 กิโลวัตต์ ส่งผลให้อุณหภูมิของข้าวเพิ่มขึ้นสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 30 วินาที เมื่อเทียบกับระดับกำลังไมโครเวฟที่ระดับ 0.51 และ 0.41 กิโลวัตต์ ที่ใช้เวลา 40 วินาที ดังนั้นอาจพิจารณาเลือกใช้ระดับกำลังไมโครเวฟ 0.64 กิโลวัตต์ ในการทำลายไข่มอดเนื่องจากใช้เวลาสั้นที่สุดในการทำลายมอด

อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ไม่ได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของข้าวกล้องอินทรีย์ระหว่างกระบวนการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่อง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ เวลาและอัตราการตายของไข่มอดได้ จึงควรมีการศึกษาผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อคุณภาพของข้าวเพิ่มเติม เพื่อประกอบการพิจารณากำหนดสภาวะในการให้ความร้อนที่เหมาะสม นอกจากนั้นในกรณีที่มีการนำวิธีการนี้ไปใช้ทำลายไข่มอดในอุตสาหกรรมผลิตข้าวอินทรีย์ ควรมีการศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในข้าวอินทรีย์ ซึ่งอาจบรรจุอยู่ภาชนะที่มีรูปทรงแตกต่างจากภาชนะที่ใช้การวิจัยนี้ เพราะรูปทรงของอาหารมีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ [14] ข้อมูลการกระจายตัวของอุณหภูมิสามารถนำไปกำหนดรูปแบบการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ เพื่อให้ข้าวกล้องอินทรีย์มีอุณหภูมิสม่ำเสมอกัน สามารถทำลายไข่มอดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2 ผลของกำลังไมโครเวฟและเวลาต่อคุณภาพของข้าวอินทรีย์

3.2.1 ปริมาณความชื้น โปรตีน และไขมัน

จากการเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของข้าวกล้องอินทรีย์ก่อนและหลังกระบวนการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ พบว่า ปริมาณความชื้นของข้าวก่อนและหลังกระบวนการให้ความร้อนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 แต่ปริมาณความชื้นของข้าวกล้องอินทรีย์มีแนวโน้มลดลงต่ำกว่าปริมาณความชื้นของข้าวก่อนกระบวนการให้ความร้อนเล็กน้อย (ตารางที่ 2) เนื่องจากในระหว่างกระบวนการความชื้นในเมล็ดข้าวได้รับพลังงานไมโครเวฟและเปลี่ยนเป็นความร้อนทำให้ความดันไอของน้ำเพิ่มขึ้นกระตุ้นให้เกิดการระเหยของน้ำในข้าว ซึ่งสังเกตได้จากการควบแน่นของไอน้ำที่เกาะบริเวณข้างภาชนะบรรจุตัวอย่างหลังจากให้ความร้อนกับข้าวอินทรีย์ด้วยไมโครเวฟ

ปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องอินทรีย์หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (ตารางที่ 2) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 เนื่องจากระดับพลังงานความร้อนที่เมล็ดข้าวได้รับไม่ก่อให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีน ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Vadivambal และคณะ [15] ได้ศึกษากระบวนการกำจัดแมลงและตัวอ่อนในข้าวสาลีด้วยไมโครเวฟ อย่างไรก็ตามคลื่นไมโครเวฟอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนโดยตรงจากอันตรกิริยาระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและโครงสร้างของโปรตีน [16] การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างนี้อาจมีผลต่อการดูดซึมโปรตีนของร่างกาย ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลของอันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟและโครงสร้างของโปรตีนในข้าวอินทรีย์

จากผลการศึกษาปริมาณไขมันในข้าวกล้องอินทรีย์โดยวิธีวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate Analysis) ซึ่งสกัดไขมันออกจากตัวอย่างด้วยอีเทอร์ (Ether Extraction) ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณไขมันก่อนและหลังกระบวนการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

3.2.2 ปริมาณการแตกหักของข้าว

จากผลการศึกษาปริมาณการแตกหักของข้าวกล้องอินทรีย์ (ตารางที่ 2) พบว่า ปริมาณการแตกหักของข้าวหลังกระบวนการให้ความร้อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 โดยการแตกหักของข้าวหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิในข้าวกล้องอินทรีย์อยู่ในช่วง 0.43 ถึง 1.15 องศาเซลเซียสต่อวินาที การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วอาจเป็นสาเหตุของการขยายตัวของเนื้อเมล็ดข้าว การขยายตัวอย่างรวดเร็วนี้อาจทำให้เกิดรอยร้าวบนเมล็ดและการแตกหักเมื่อมีแรงกระทำต่อเมล็ดข้าว จึงควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลของอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิต่อการแตกหักของเมล็ดข้าวเพื่อลดการแตกหักของข้าวในระหว่างกระบวนการทำลายไข่มอดด้วยไมโครเวฟ

ตารางที่ 2 คุณภาพของข้าวกล้องอินทรีย์กลุ่มควบคุมและกลุ่มทดสอบ

ตัวอย่าง	คุณภาพของข้าวกล้อง						
	ปริมาณความชื้น (%w.b.)	ปริมาณโปรตีน (%/$g_{dry\ matter}$)	ปริมาณไขมัน (%/$g_{dry\ matter}$)	ปริมาณแตกหัก (%)	สี		
					ΔL^*	Δa^*	Δb^*
กลุ่มควบคุม							
0 กิโลวัตต์	11.67 ± 0.67	8.91 ± 0.01	2.78 ± 0.05	0.18 ± 0.17	-0.57 ± 0.00 (L*= 53.24 ± 0.87)**	0.33 ± 0.33 (a*=1.41 ± 0.75)**	-0.87 ± 0.13 (b*=17.05 ± 0.69)**
กลุ่มทดสอบ							
0.41 กิโลวัตต์							
20 วินาที	11.33 ± 0.76	8.56 ± 0.28	2.89 ± 0.03	1.78 ± 0.19*	0.20 ± 0.02	-0.01 ± 0.53	-0.84 ± 0.37
30 วินาที	11.33 ± 0.58	8.79 ± 0.08	2.87 ± 0.03	1.87 ± 0.26*	0.31 ± 0.12	0.08 ± 0.49	-0.86 ± 0.17
40 วินาที	11.17 ± 0.58	8.18 ± 0.06	2.88 ± 0.00	1.61 ± 0.63*	0.75 ± 0.23	0.53 ± 0.44	-0.71 ± 0.56
0.51 กิโลวัตต์							
20 วินาที	11.33 ± 0.29	8.52 ± 0.08	2.99 ± 0.04	1.94 ± 0.17*	-0.59 ± 0.19	-0.08 ± 0.01	-0.88 ± 0.53
30 วินาที	11.17 ± 0.58	8.55 ± 0.10	2.94 ± 0.06	1.39 ± 0.22*	0.78 ± 0.46	0.03 ± 0.22	0.61 ± 0.37
40 วินาที	11.17 ± 0.29	8.45 ± 0.12	2.96 ± 0.01	1.67 ± 0.29*	-0.62 ± 0.64	-0.54 ± 0.24	-0.56 ± 0.41
0.64 กิโลวัตต์							
20 วินาที	11.33 ± 0.29	8.52 ± 0.15	3.12 ± 0.03	1.56 ± 0.25*	0.51 ± 0.66	-0.08 ± 0.62	-0.48 ± 0.85
30 วินาที	11.17 ± 0.58	8.13 ± 0.16	3.09 ± 0.13	1.15 ± 0.27*	0.65 ± 0.57	-0.32 ± 0.08	0.54 ± 0.78
40 วินาที	11.00 ± 0.50	8.60 ± 0.23	3.10 ± 0.11	1.51 ± 0.09*	0.09 ± 0.24	0.25 ± 0.43	0.71 ± 0.88

หมายเหตุ *มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) **ค่าสีของข้าวกลุ่มควบคุมเมื่อเริ่มการทดลอง

3.2.3 การเปลี่ยนแปลงสี

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยของ ΔL^* Δa^* และ Δb^* สำหรับข้าวกล้องอินทรีย์หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของกำลังไมโครเวฟและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่ออัตราการตายของไข่มอดข้าวสารและคุณภาพของข้าวกล้องอินทรีย์ สามารถสรุปได้ดังนี้

1) การให้ความร้อนกับข้าวกล้องอินทรีย์จนกระทั่งอุณหภูมิของข้าวอินทรีย์สูงกว่า 55 องศาเซลเซียส สามารถทำลายไข่มอดในข้าวอินทรีย์ได้ การใช้ระดับกำลังไมโครเวฟในระดับสูงสามารถทำลายไข่มอดได้ในระยะเวลาสั้นกว่าการใช้ระดับกำลังไมโครเวฟในระดับต่ำ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิโดยอาจใช้วิธีจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อกำหนดรูปแบบการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่เหมาะสมทำให้ข้าวอินทรีย์ได้รับความร้อนอย่างเพียงพอจนกระทั่งไข่มอดถูกทำลายจนหมดและไม่เกิดการไหม้ของเมล็ดข้าวจากปรากฏการณ์ Thermal runaway

2) การทำลายไข่มอดด้วยไมโครเวฟทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเมล็ดข้าวอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมินี้ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน และการเปลี่ยนแปลงสี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีผลต่อการแตกหักของข้าว จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเมล็ดข้าวต่อการแตกหักของข้าว

5. เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552, สถิติการส่งออก, [online], Available: http://www.oae.go.th/oae__report/export__import/export__result.php [25 กันยายน 2552].

2. สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์, 2548, มาตรฐานเกษตรอินทรีย์, [online], Available: http://www.actorganic-cert.or.th/download/ACTstandard2005.pdf [24 กันยายน 2552].

3. ชุมพล กันทะ, 2533, *หลักการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บ*, ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

4. Zhao, S., Qiu, C., Xiong, S., and Cheng, X., 2007, “A Thermal Lethal Model of Rice Weevils Subjected to Microwave Irradiation”, *Journal of Stored Products Research*, Vol. 43, No. 4, pp. 430-434.

5. กัญญา พุกสุ่น, 2536, ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสิ่งเป็นพิษทางการเกษตร : สารรมควัน [online], Available: http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc__toxic/a__tx__1__002c.asp?info__id=72 [28 กันยายน].

6. รุจิรา ปรีชา, สุเทพ ฤทธิ์แสวง, และสุนันทา วงศ์ปิยชน, 2551 “ประสิทธิภาพของพืชสมุนไพรต่อการเก็บรักษาข้าวกล้องและข้าวซ้อมมือ”, *การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2551*, 8-10 เม.ย. , ชลบุรี, หน้า 352-362.

7. Varith, J., Sirikajornjaru, W., and Kiatsiriroat, T., 2007, “Microwave-Vapor Heat Disinfestation on Oriental Fruit Fly Eggs in Mangoes”, *Journal of Food Processing and Preservation*, Vol. 31, No. 3, pp. 253-269.

8. Zhao, S., Xiong, S., Qiu, C., and Xu, Y., 2007, “Effect of Microwaves on Rice Quality”, *Journal of Stored Products Research*, Vol. 43, No. 4, pp. 496-502.

9. Dibben, D., 2001, “Electromagnetics: Fundamental Aspects and Numerical Modeling”, *Handbook of Microwave Technology for Food Applications*, Datta, A.K. and Anantheswaran, R.C., Marcel Dekker, New York, pp. 1-32.

10. Poonnoy, P., Tansakul, A., and Chinnan, M., 2007, “Artificial Neural Network Modeling for Temperature and Moisture Content Prediction in Tomato Slices Undergoing Microwave-Vacuum Drying”, *Journal of Food Science*, Vol. 72, No. 1, pp. E042-E047.

11. Zhang, H. and Datta, A. K., 2001, "Electromagnetics of Microwave Heating: Magnitude and Uniformity of Energy Absorption in an Oven", *Handbook of Microwave Technology for Food Applications*, Datta, A.K. and Anantheswaran, R.C., Marcel Dekker, New York, pp 33-67.

12. อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550, *ข้าว:วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 366 หน้า.

13. Horwitz, W. and Latimer, G. W., Ed., 2005, *Official Methods of Analysis of AOAC International*, AOAC International, Gaithersburg, Maryland.

14. Lin, Y. E., Anantheswaran, R. C., and Puri, V. M., 1995, "Finite Element Analysis of Microwave Heating of Solid Foods", *Journal of Food Engineering*, Vol. 25, No. 1, pp. 85-112.

15. Vadivambal, R., Jayas, D. S., and White, N. D. G., 2007, "Wheat Disinfestation Using Microwave Energy", *Journal of Stored Products Research*, Vol. 43, No. 4, pp. 508-514.

16. Sadeghi, A. A. and Shawrang, P., 2007, "Effects of Microwave Irradiation on Ruminal Protein Degradation and Intestinal Digestibility of Cottonseed Meal", *Livestock Science*, Vol. 106, No. 1, pp. 176–181.