

การลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยคลื่นไมโครเวฟแบบอัตโนมัติ

DEHYDRATION OF RICE PADDY BY USING AUTOMATIC MICROWAVE HEATING

ธนากรณ์ อุ่นพินิจ, วรินทร์ำไพ เศรษฐ์ธณบุตร, ทินกร คำแสน,

พนมกร ขวาของ และ อภิชาติ อัจฉนาเสียว

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น,

123 หมู่ 16 ถนนมิตรภาพ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Tanakorn Unpinit, Varinrumpai Seithtanabutara, Tinnakorn Kamsan,

Panomkorn Kwakong and Apichart Artnaseaw

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

123 Moo 6, Mittraphap Rd., Muang District, Khon Kaen 40002, Thailand

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการลดความชื้นข้าวเปลือกสายพันธุ์ต่าง ๆ ด้วยวิธีการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ การอบด้วยลมร้อน และการผึ่งแดดปกติ จากการทดลองพบว่ากรรมวิธีการอบที่เหมาะสม คือ การติดตั้งโปรแกรมการอบอัตโนมัติด้วยคลื่นไมโครเวฟที่มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในการอบเท่ากับ 240 วัตต์ โดยการเปิดคลื่น 3 วินาที และ ปิด 7 วินาที ในแต่ละรอบจะทำให้ความชื้น การแตกหัก ปริมาณไขมันอิสระ โปรตีน สารให้กลิ่นหอม 2AP ของเมล็ดข้าวจะลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการอบที่เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณวิตามิน B1 และ อะไมโลส จะลดลงเช่นกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น การอบด้วยคลื่นไมโครเวฟจะใช้ระยะเวลาสั้นกว่าและข้าวที่ผ่านการลดความชื้นมีคุณภาพที่ดีกว่า ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบในสภาวะนี้เป็นเวลา 360 วินาที จะมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเทียบเท่ากับข้าวเปลือกที่ผ่านการอบด้วยลมร้อน 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และข้าวเปลือกที่ผ่านการผึ่งแดดปกติเป็นเวลา 15 ชั่วโมง

คำสำคัญ: การลดความชื้น, ความร้อนไมโครเวฟ, ข้าวเปลือก, เมล็ดข้าว

ABSTRACT

This study aimed to investigate the dehydration of different kinds of rice paddy by using microwave heating, hot air blowing and natural drying. Results showed that the suitable method for moisture reduction of rice paddy was microwave heating at 240 watts with

automatic program as the heating cycles of 3 seconds on and 7 seconds off. The moisture content, broken percentage, fatty acid amount, protein and rice aroma concentration of 2AP decreased with the prolonging dehydration time. Also, the decrease of vitamin B1 and amylose amount depended on the kinds of rice paddy. Compared to the other methods, using microwave heating was done in the shorter time to obtain the dehydrated rice paddy with better properties. From 360 seconds of using automatic microwave heating under the optimum program, the dehydrated paddy had the comparative properties to those from blowing 45 °C of hot air for 18 h and from natural drying for 15 h.

KEYWORDS: dehydration, microwave heating, rice paddy, rice grain

1. บทนำ

ข้าวเปลือกคุณภาพดีจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวและกรรมวิธีการเก็บเกี่ยว ซึ่งช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวมากที่สุด สังเกตได้จากเมล็ดข้าวสุกเหลืองในรวงร้อยละ 80 ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวข้าว คือ ระหว่าง 28-36 วันหลังจากข้าวออกดอก โดยระยะนี้เมล็ดข้าวจะมีความชื้นระหว่าง 20-25% [1] จะทำให้ได้ผลผลิตสูงและข้าวมีคุณภาพดี การเก็บเกี่ยวข้าวโดยใช้รถเกี่ยวขนาดมันจะได้ข้าวเปลือกค่อนข้างสดที่มีความชื้นสูงอยู่ในช่วง 22-28 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งมีสิ่งเจือปนปะปนมาด้วยมาก ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่จะขายข้าวเปลือกทันทีหลังเก็บเกี่ยว ในการซื้อขายข้าวเปลือกขึ้น โรงสีหรือพ่อค้าจะประเมินราคาโดยการวัดความชื้นข้าวเปลือกเพื่อหักลดน้ำหนักเปรียบเทียบน้ำหนักข้าวเปลือกที่ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ ในข้าวเปลือก 1 ตัน ที่มีความชื้นเกินกว่า 15% จะถูกหักลดน้ำหนัก 15 กิโลกรัมต่อ 1% ของความชื้นที่เพิ่มขึ้น [2] ส่วนการใช้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว เพื่อประเมินราคาข้าวเปลือกขึ้นนั้น ไม่สามารถปฏิบัติได้ เนื่องจากข้าวที่มีความชื้นไม่สามารถนำไปขัดสีเป็นข้าวสารได้ ทำให้การกำหนดราคาเช่นนี้ ไม่สามารถใช้เป็นมาตรฐานได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการลดความชื้นของข้าวเปลือกที่สดใหม่ด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ ซึ่งในระหว่างการลดความชื้นที่อุณหภูมิแตกต่างกัน จะทำให้เกิดรอยร้าวในเมล็ดข้าวได้ และจะมีการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดข้าวอย่างชัดเจน การตรวจวัดความชื้นที่เป็นดัชนีสำคัญต่อการประเมินคุณภาพข้าว เป็นที่น่าสนใจว่า ผู้ประกอบการในประเทศฟิลิปปินส์ได้นำวิธีการประเมินคุณภาพข้าวกล้องโดยการลดความชื้นข้าวด้วยคลื่นไมโครเวฟ [3] ทั้งนี้คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง ทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่นต่อไป เกิดเป็นพลังงานจลน์กลายเป็นพลังงานความร้อน และลดความชื้นในข้าวได้ภายในระยะเวลาอันสั้น [4] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกสายพันธุ์ต่าง ๆ ด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน คือ การอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ การอบด้วยลมร้อนอุณหภูมิ

45 องศาเซลเซียส และการฝั่งแดดปกติ โดยจะสร้างโปรแกรมการอบลดความชื้นข้าวเปลือกแบบอัตโนมัติด้วยคลื่นไมโครเวฟ คุณภาพทั้งทางกายภาพและทางเคมีของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแต่ละวิธีจะถูกนำมาอธิบายเปรียบเทียบ

2. วิธีการดำเนินการ

2.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบข้าวเปลือกด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลองคือ (1) ข้าวเจ้านาปีพันธุ์ชัยนาท (2) ข้าวเหนียวนาปรังพันธุ์ข้าวเหนียวแดง (3) ข้าวเหนียวนาปีพันธุ์ กข6 (4) ข้าวเจ้านาปรังพันธุ์ปทุมธานี1 และ (5) ข้าวเจ้าหอมดอกมะลิ 105 ที่ได้จากเก็บเกี่ยวไม่เกิน 2 ชั่วโมง จะถูกนำมาวัดความชื้น จากนั้นข้าวเปลือกตัวอย่างละ 200 กรัม จะผ่านการลดความชื้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 100-300 วัตต์ ด้วยรอบการอบ 1 รอบ เป็นเวลา 3 นาที การอบ 2 รอบ (ในแต่ละรอบ เปิด 1.30 นาที แล้วปิด 1.30 นาที) และ 3 รอบ (ในแต่ละรอบ เปิด 1 นาที แล้วปิด 1 นาที) ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบจะถูกนำมาหาปริมาณการแตกหักและปริมาณความชื้นที่หลงเหลือ ซึ่งในการวัดเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว ทำได้โดยนำข้าวเปลือกตัวอย่างไปกะเทาะเปลือก โดยไม่ต้องมีการขัดสีของเมล็ดข้าว จากนั้น ทำการชั่งน้ำหนักของเมล็ดข้าวที่เหลือ แล้วทำการแยกเมล็ดที่สมบูรณ์ เมล็ดที่แตกหักขนาดใหญ่ เมล็ดที่แตกหักอย่างละเอียด และส่วนที่เป็นคัพพะของข้าว จะต้องทำการแยกออกด้วยตะแกรงจากนั้นเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวที่มีการแตกหักน้อยกว่า 4 ส่วนของเมล็ดข้าวทั้งหมด และหาเปอร์เซ็นต์การแตกหักของข้าว

จากนั้นจะมีการประเมินกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม เพื่อนำไปออกแบบรูปแบบการสำหรับการอบข้าวเปลือกแบบอัตโนมัติ (pulse width modulation หรือ PWM) โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ โดยจะทำการติดตั้งโปรแกรมเพื่อใช้กับใช้เครื่องไมโครเวฟกำลัง 800 วัตต์ มีทั้งหมด 3 รูปแบบ โดยทำการกำหนดช่วงเวลาในการเปิดคลื่นไมโครเวฟเป็นระยะเวลา 30% และปิดเป็นระยะเวลา 70% ของช่วงเวลาในแต่ละรอบ ซึ่งจะใช้เวลา 10 วินาทีต่อรอบ (เปิด 3 วินาที ปิด 7 วินาที) 20 วินาทีต่อรอบ (เปิด 6 วินาที ปิด 14 วินาที) และ 30 วินาทีต่อรอบ (เปิด 9 วินาที ปิด 21 วินาที) เพื่อให้มีอัตราการถ่ายเทกำลังไฟฟ้าโดยเฉลี่ยเท่ากันของแต่ละรอบ ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบด้วยโปรแกรมทั้งสามที่ระยะเวลาการอบต่าง ๆ จะถูกนำมาหาเปอร์เซ็นต์การแตกหัก ปริมาณความชื้นที่หลงเหลือ และคุณภาพของเมล็ดข้าว

2.2 การลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยการฝั่งแดด

ข้าวเปลือก 4 กิโลกรัม ถูกนำมาเกลี่ยให้เสมอกันในภาชนะ แล้วนำไปฝั่งแดด ในช่วงเวลา 10:00-16:00 น. ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยจะประมาณ 40-50 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างทุก

ๆ 1 ชั่วโมง เพื่อนำมาทดสอบหาปริมาณความชื้นที่หายไป ทั้งนี้จะทำการผึ่งแดด 1-2 วัน จนกระทั่งครบ 45 ชั่วโมง (เฉพาะในช่วงเวลาที่กำหนด) ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบจะถูกนำมาหาปริมาณการแตกหักและปริมาณความชื้นที่หลงเหลือ และคุณภาพของเมล็ดข้าว

2.3 การลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยการอบลมร้อน

ข้าวเปลือก 500 กรัม จากนั้นนำไปลดความชื้นภายใต้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Dryer) หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างทุก ๆ 2 ชั่วโมง เพื่อวัดปริมาณความชื้นที่ลดลง การทดลองนี้จะสิ้นสุดลง เมื่อปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกลดลงจนเหลือความชื้นไม่เกิน 14% ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบจะถูกนำมาหาปริมาณการแตกหักและปริมาณความชื้นที่หลงเหลือ และคุณภาพของเมล็ดข้าว

2.4 การวิเคราะห์คุณภาพข้าว

ปริมาณอะไมโลสของข้าวและความเข้มข้นของกลีโคเจนข้าว จะถูกวิเคราะห์โดยใช้วิธีมาตรฐาน [5] ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวจะถูกวิเคราะห์โดยการไตเตรท [6] และปริมาณโปรตีนด้วยวิธีการไฮโดรไลซิสและการไตเตรท [7]

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 สภาวะที่เหมาะสมในการอบข้าวเปลือกด้วยคลื่นไมโครเวฟ

จากการใช้คลื่นไมโครเวฟกำลังไฟฟ้ามากกว่า 300 วัตต์ ในการอบข้าวเปลือกด้วยรอบการอบ 1 รอบ เป็นเวลา 3 นาที การอบ 2 รอบ (ในแต่ละรอบ เปิด 1.30 นาที แล้วปิด 1.30 นาที) จะทำให้เมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแตกเสียหาย เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟที่มีกำลังสูงนี้จะไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำในเมล็ดข้าว ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกไม่สามารถคายความร้อนได้ทัน เพราะได้รับความร้อนตลอดเวลา จึงเกิดการสะสมความร้อนสะสมภายใน ทำให้เมล็ดข้าวแตกร้าวและเกือบไหม้ ดังนั้นการอบข้าวเปลือกแต่ละชนิดด้วยเครื่องไมโครเวฟ จึงเลือกดำเนินการที่กำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟที่ต่ำกว่า 300 วัตต์ ซึ่งจะพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการอบจะเป็นแบบการอบ 3 รอบ โดยในแต่ละรอบจะทำการเปิดปิดแบบดำเนินการด้วยตนเอง (manual operation) โดยให้กำลังไฟเป็นช่วง ๆ ช่วงละ 1 นาที สลับกันไป ทั้งนี้สภาวะการอบที่เหมาะสมของข้าวเปลือกแต่ละชนิด จะขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าวเปลือกนั่นเอง ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งกำลังไฟฟ้าจะใช้ต่ำลงหากความชื้นเริ่มต้นมีปริมาณน้อย โดยปริมาณการแตกหักจะอยู่ในช่วง 14-15% สำหรับเมล็ดข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 18-27% และค่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกจะลดลงอยู่ในช่วง 10.2-12.6% นั่นคือการใช้คลื่นไมโครเวฟแบบรอบเปิดปิดเช่นนี้สำหรับการอบข้าวเปลือก จะทำให้

ข้าวเปลือกมีปริมาณความชื้นที่ลดลงในระยะเวลาสั้นและลดการแตกหักของเมล็ดข้าวได้ งานวิจัยนี้จึงทำการสร้างสภาวะการอบลดความชื้นแบบการเปิดปิดคลื่นอัตโนมัติขึ้น โดยใช้เครื่องไมโครเวฟที่มีกำลัง 800 วัตต์ ทำการปรับเวลาการเปิดปิดการปล่อยคลื่นไมโครเวฟที่เรียกว่า pulse width modulation หรือ PWM ซึ่งได้มีการคำนวณใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละรอบการอบที่มีค่าต่ำกว่า 300 วัตต์ เพื่อหลีกเลี่ยงความสูญเสียของเมล็ดข้าวตั้งที่ทำการทดสอบเริ่มต้นแล้ว ในที่นี้ ได้มีการทดสอบการอบข้าวเปลือกที่กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่าง ๆ ของเครื่องไมโครเวฟที่มีกำลัง 800 วัตต์ ด้วยการปรับเปลี่ยนช่วงระยะเวลาการเปิดปิดคลื่นไมโครเวฟที่ค่าต่าง ๆ เพื่อให้เมล็ดข้าวมีระยะเวลาในการคายความร้อนหลังจากเผชิญคลื่นได้อย่างเพียงพอ พบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับการอบข้าวเปลือกเพื่อให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุดคือ 240 วัตต์ ซึ่งสามารถกำหนดได้ด้วยการปรับสัดส่วนระยะเวลาการเปิดปิดคลื่นไมโครเวฟเป็น 3:7 ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทดสอบการอบข้าวเปลือกภายใต้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยนี้ ด้วยช่วงระยะเวลาการเปิดปิด 3 รูปแบบ คือ ในแต่ละรอบการอบที่ใช้เวลาทั้งหมด 10 20 และ 30 วินาทีต่อรอบ

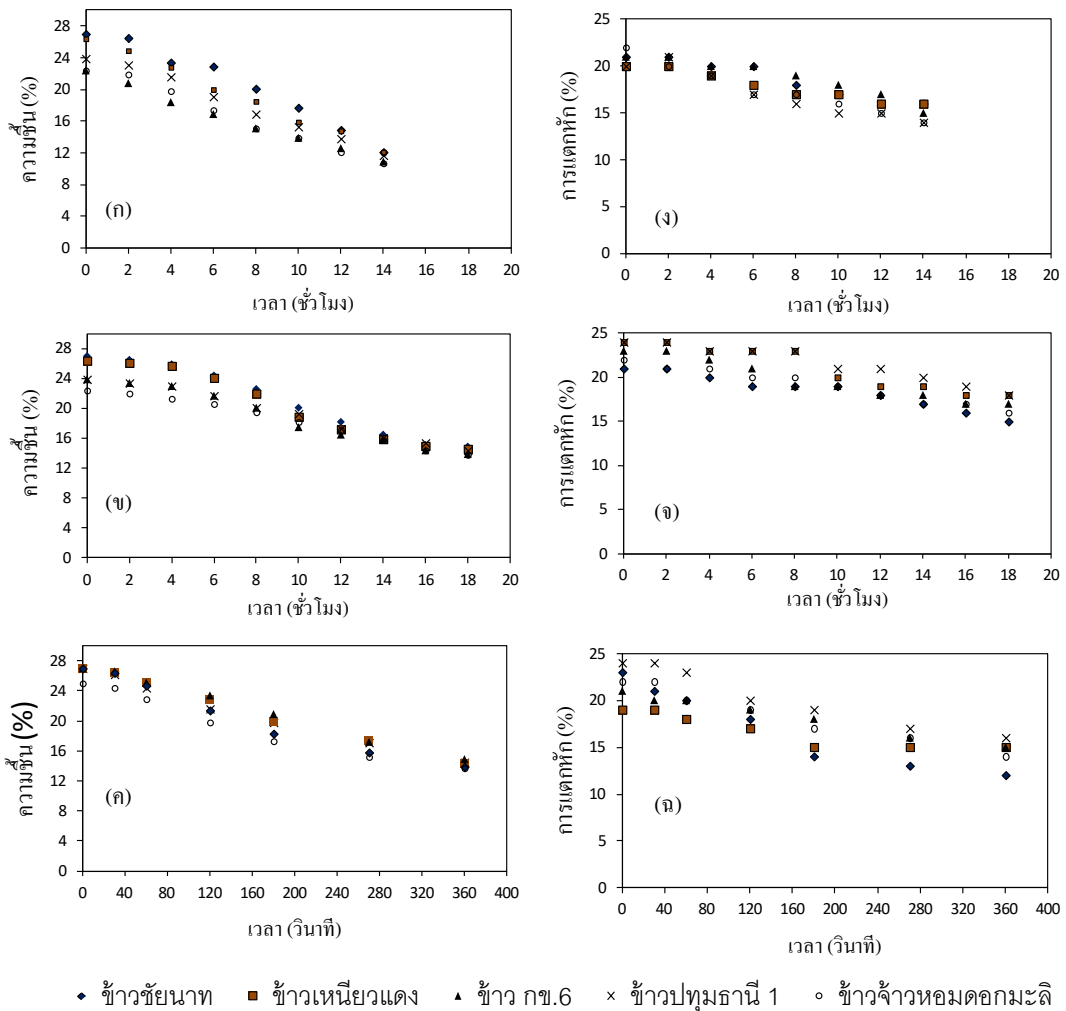
ตารางที่ 1 คุณลักษณะของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบ 3 รอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ (แต่ละรอบ เปิด 1 นาที ปิด 1 นาที)

ชนิดข้าว	ความชื้นเริ่มต้น (%)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	แตกหัก (%)	ความชื้นหลังอบ (%)
ข้าวเจ้านาปรัง พันธุ์ปทุมธานี 1	27	300	14	11.6
	25	300	14	10.9
	18	200	15	10.2
ข้าวเจ้านาปี พันธุ์ชัยนาท	27	300	14	11.6
	25	200	14	12.6
	18	100	15	11.1
ข้าวเหนียนาปรัง พันธุ์ข้าวเหนียวแดง	27	300	15	11.6
	25	200	14	12.6
	18	100	14	11.1
ข้าวเหนียนาปี พันธุ์ข6	27	300	15	11.6
	25	200	14	12.6
	18	100	15	11.1
ข้าวเจ้า หอมดอกมะลิ 105	27	300	14	11.6
	25	200	13	12.6
	18	100	14	11.1

3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้น

เมื่อนำข้าวเปลือกแต่ละชนิดมาลดความชื้นแบบธรรมชาติ โดยการผึ่งแดดที่ช่วงเวลา 10:00-16:00 น. จากรูปที่ 1(ก) พบว่า เมล็ดข้าวเปลือกได้รับความร้อนจากแสงแดดจนเกิดเป็นความร้อนสะสมทำให้มีการหายใจคายความชื้นออกมาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีค่าลดลงตามระยะเวลาที่เผชิญแดดโดยมีการลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากภายในเมล็ดข้าวเปลือกมีความชื้นสูง ทำให้การถ่ายเทมวลของน้ำจากเมล็ดข้าวออกจากไปยังผิวหน้าเกิดขึ้นได้ง่าย และรวดเร็วในทำนองเดียวกัน เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาการตากแดด ดังแสดงในรูปที่ 1(ง) เนื่องจากความชื้นของเมล็ดข้าวมีค่าลดลงนั่นเอง จะเห็นได้ว่าหลังจากการผึ่งแดดเป็นเวลา 14 ชั่วโมง เมล็ดข้าวเปลือก จะมีความชื้นอยู่ในช่วง 10-12% และมีปริมาณการแตกหักเป็น 14-16%

ในการลดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกด้วยลมร้อน อาศัยหลักการที่ว่า เมื่อลมร้อนพัดผ่านหน้าเมล็ดข้าวเปลือกที่มีความชื้นมาก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของเมล็ดข้าวแล้วจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ ทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของเมล็ดข้าวมีค่าต่ำกว่าความดันไอด้านในเมล็ดข้าว ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำ ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากเมล็ดข้าว [5] จากการอบเมล็ดข้าวเปลือกด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 1(ข) พบว่า การลดลงของความชื้นเมล็ดข้าวสามารถถูกแบ่งออกพิจารณาได้สามช่วงด้วยกัน นั่นคือช่วงที่หนึ่ง ช่วงเวลาเริ่มต้นการอบลมร้อน 4 ชั่วโมงแรก เมล็ดข้าวจะทำการหายใจคายความชื้นของเมล็ดได้น้อย อันเนื่องมาจากความร้อนสะสมภายในเมล็ดข้าวเปลือกยังมีไม่มากพอ ช่วงที่สอง ช่วงเวลา 4-12 ชั่วโมงของการอบลมร้อน จะพบว่าข้าวมีการคายความชื้นได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากความร้อนสะสมภายในเมล็ดเพิ่มมากขึ้น เมล็ดข้าวจึงทำการคายความชื้นออกจากได้มากขึ้น ทำให้ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกลดลงอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม กราฟในช่วงสุดท้ายของการอบแห้งที่ช่วงเวลา 12-18 ชั่วโมง มีความชันลดลง เนื่องมาจากน้ำภายในเมล็ดข้าวเคลื่อนผ่านผิวเมล็ดข้าวที่แข็งออกมาได้ยาก นั่นคืออัตราสารคายความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีอัตราค่อนข้างคงที่ อันเนื่องมาจากเมล็ดจะรักษาสมดุลและความคงสภาพทางกายภาพไว้ [1] ในทำนองเดียวกัน เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาการอบลมร้อน ดังแสดงในรูปที่ 1(จ) เนื่องจากความชื้นของเมล็ดข้าวมีค่าลดลงนั่นเอง จะเห็นได้ว่าหลังจากการผึ่งแดดเป็นเวลา 18 ชั่วโมง เมล็ดข้าวเปลือกจะมีความชื้นอยู่ในช่วง 13-15% และมีปริมาณการแตกหักเป็น 16-18% ซึ่งมีการสูญเสียของข้าวเปลือกอย่างเด่นชัดกว่าการใช้วิธีการผึ่งแดด ทั้งนี้เนื่องจากการอบลมร้อนจะทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นที่ผิวเมล็ดข้าวเร็วกว่านั่นเอง ในขณะที่ความชื้นด้านในเมล็ดยังคงมีสะสมอยู่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านผิวที่แห้งได้ง่าย จึงส่งผลให้เกิดการแตกหักในปริมาณที่มากขึ้น

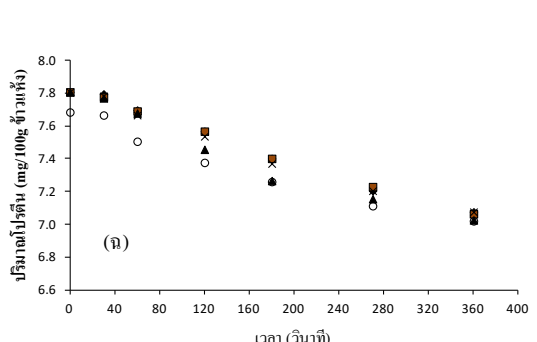
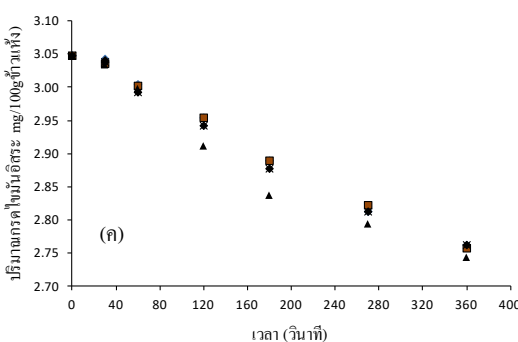
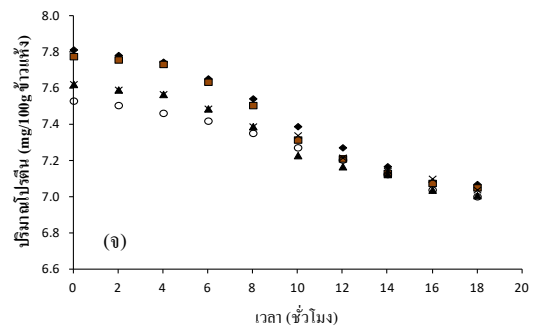
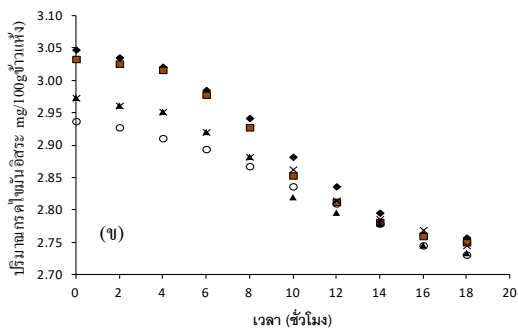
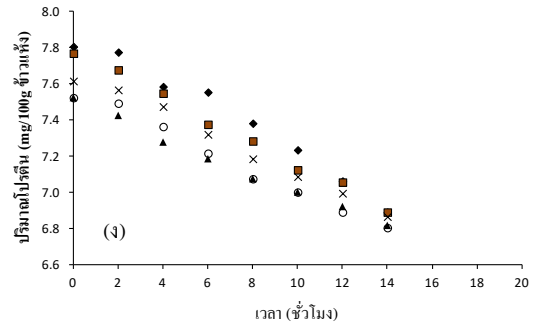
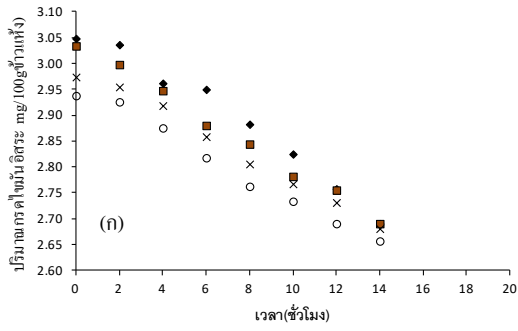


◆ ข้าวชัยนาท ■ ข้าวเหนียวแดง ▲ ข้าว กข.6 × ข้าวปทุมธานี 1 ○ ข้าวเจ้าหอมดอกมะลิ

รูปที่ 1 คุณสมบัติของเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วย (ก, ง) การผึ่งแดด (ข, จ) การอบลมร้อน 45°C และ (ค, ฉ) การอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ

เมื่อนำเมล็ดข้าวเปลือกมาลดความชื้นด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ติดตั้งโปรแกรมการอบทั้ง 3 รูปแบบ พบว่าเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการอบด้วยรูปแบบ 20 วินาทีและรูปแบบ 30 วินาที จะเกิดฟองตัวอย่างรวดเร็วและเกิดการแตกหัก เนื่องจากมีการสะสมความร้อนมาก ทำให้เกิดการคายความร้อนอย่างต่อเนื่องจนความชื้นหายไปนั่นเอง ดังนั้นรูปแบบโปรแกรมอัตโนมัติที่เหมาะสมสำหรับการอบเมล็ดข้าวเปลือก คือ รูปแบบ 10 วินาที คือ เปิดคลื่น 3 วินาทีแล้วปิด 7 วินาทีสลับกัน จนกระทั่งครบกำหนดเวลาที่ต้องการอบ พบว่าที่ความชื้นเริ่มต้นของข้าวแต่ละชนิดอยู่ในช่วง 25-27% เมื่อเวลาในการอบไล่ความชื้นผ่านไป ทำให้เมล็ดข้าวตัวอย่างมีปริมาณความชื้นและ

เปอร์เซ็นต์การแตกหักค่อย ๆ ลดลงตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1(ค) และ 1(ง) จนกระทั่งครบเวลาการอบ 360 วินาที ความชื้นของข้าวตัวอย่างแต่ละชนิดอยู่ในช่วง 14-15% และการแตกหัก 12-16%



◆ ข้าวชัยนาท ■ ข้าวเหนียวแดง ▲ ข้าว กข.6 × ข้าวปทุมธานี1 ○ ข้าวเจ้าหอมดอกมะลิ

รูปที่ 2 (ก-ค) ปริมาณกรดไขมันอิสระ และ (ง-จ) ปริมาณโปรตีนของเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยการผึ่งแดด การอบลมร้อน 45°C และ การอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ

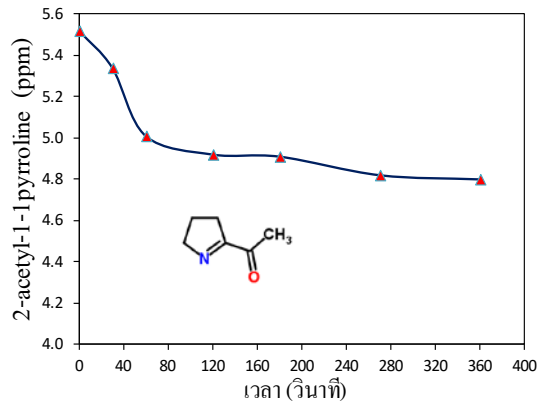
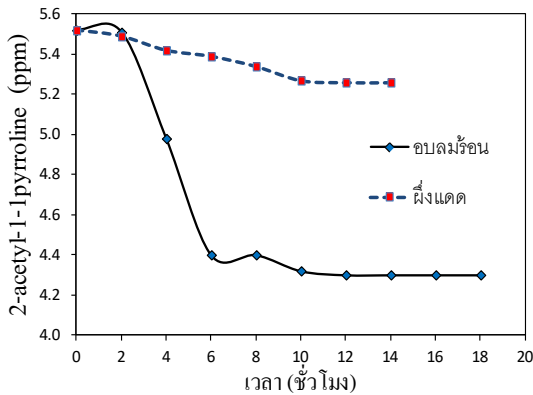
จากการเปรียบเทียบปริมาณความชื้นเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบทั้ง 3 วิธี ผลการทดลองยืนยันได้ว่า การอบเมล็ดข้าวเปลือกด้วยคลื่นไมโครเวฟจะใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่า อีกทั้งเป็นที่น่าสังเกตว่า เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ จะมีค่าน้อยกว่าของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบด้วยการผึ่งแดดและการอบลมร้อน เนื่องจากกลไกการถ่ายเทความร้อนภายใต้คลื่นไมโครเวฟ เป็นการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก (Dielectric Heating) โดยอาศัยคลื่นไมโครเวฟผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ ทำให้พลังงานส่วนหนึ่งของการแผ่รังสีถูกวัสดุดูดกลืนเอาไว้ และทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของโมเลกุลจนเกิดเป็นพลังงานความร้อนขึ้นในวัสดุ ดังนั้นน้ำที่อยู่ในโมเลกุลก็จะได้รับความร้อนและเกิดการแพร่ไปยังบริเวณผิวของวัสดุ [8] จึงสามารถให้ความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว และสามารถกระจายความร้อนในเนื้อวัสดุได้อย่างทั่วถึงกว่าการให้ความร้อนโดยการผา การอบเมล็ดข้าวด้วยคลื่นไมโครเวฟจึงช่วยในสะสมความร้อนและคายความชื้นภายในเมล็ดได้อย่างสม่ำเสมอต่างกับการใช้ลมร้อนในการอบ เพราะความร้อนที่ถูกถ่ายเทไปที่ผิววัสดุเข้าไปยังภายในเนื้อเมล็ดข้าวแล้วค่อยมีการคายความชื้นออกมา

3.3 คุณสมบัติทางเคมีของข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้น

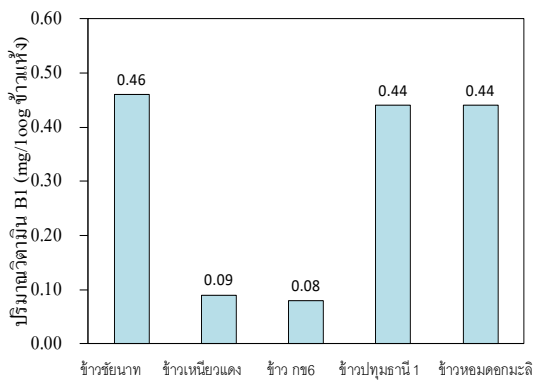
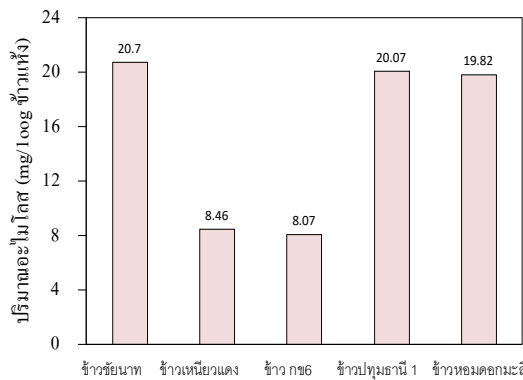
กลิ่นเหม็นหืนส่วนใหญ่ในระหว่างการเก็บรักษาข้าว มีสาเหตุจากการที่ลิพิดในรำข้าวถูกไฮโดรไลซิส โดยเอนไซม์ไลเปสเกิดเป็นกรดไขมันอิสระมากขึ้น ทำให้เกิดผลโดยตรงในเรื่องของกลิ่นและรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ [9] ดังนั้นการใช้กระบวนการทางความร้อน เป็นหนทางในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสก่อนการเก็บรักษา และยังเป็น การลดความชื้นข้าวภายหลังจากการเก็บเกี่ยวได้อย่างดี [10] ดังนั้นข้าวที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษา ในที่นี้จะส่งผลให้ข้าวมีปริมาณกรดไขมันอิสระลดลง (รูปที่ 2(ก-ค)) นอกจากนี้ ปริมาณโปรตีนก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของข้าว ซึ่งโปรตีนจะเป็นตัวขัดขวางการซึมของน้ำเข้าไปภายในเมล็ดข้าว และมีส่วนทำให้ระยะเวลาการหุงต้มข้าวให้สุกนานขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้เมล็ดแกร่งขึ้น ชัดสีออกได้ยาก ข้าวที่มีโปรตีนสูงอาจจะมีสีคล้ำกว่าข้าวที่มีโปรตีนต่ำ ข้าวที่มีโปรตีนสูงจะทำให้ความเหนียวของข้าวลดลงด้วย การอบลดความชื้นจะทำให้ปริมาณโปรตีนของข้าวลดลงตามไปด้วย (รูปที่ 2(ง-จ)) จะเห็นได้ว่าปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณโปรตีนของข้าวแต่ละชนิดจะมีค่าใกล้เคียงกัน ประมาณ 2.65-2.78 และ 6.8-7.1 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมข้าวแห้งตามลำดับ หลังผ่านการลดความชื้นด้วยการผึ่งแดด ช่วง 10:00-16:00 น. เป็นเวลา 15 ชั่วโมง การอบลมร้อนที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 800 วัตต์ ปล่อยคลื่น 3 วินาที ปิดคลื่น 7 วินาที สลับกัน เป็นเวลา 360 วินาที

กลิ่นหอม (Aroma) ที่เป็นเอกลักษณ์ในข้าว เกิดจากผสมผสานระหว่างสารหอมระเหยและสารกึ่งหอมระเหยมากมายหลายชนิด กลิ่นหอมเป็นลักษณะประจำพันธุ์ ข้าวที่มีกลิ่นหอมเนื่องจาก

ภายในเมล็ดมีสาร 2-acetyl-1-pyrroline ในข้าวหอมพันธุ์ต่าง ๆ จะมีสารนี้ประมาณ 0.04-0.09 ไมโครกรัม/กรัม สารที่ทำให้เกิดกลิ่นหอมในข้าวคือสารหอมระเหยที่มีชื่อว่า 2-acetyl-1-pyrroline (2-อะเซทิล-1-ไพโรลีน) หรือเรียกสั้น ๆ ว่าสาร 2AP สารที่ว่านี้คือสารเดียวกันกับที่พบในใบเตย ซึ่งเป็นสารที่พบมากในข้าวหอม [11] สาร 2AP เป็นสารประกอบในกลุ่ม pyrrole มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนห้าเหลี่ยมที่มีไนโตรเจนเกาะอยู่ในวง มีพันธะระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนเป็นพันธะคู่หนึ่งพันธะ และมีหมู่ acetyl เกาะอยู่กับคาร์บอนตำแหน่งที่สองของวง สาร 2AP มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า 5-acetyl-3,4-dihydro-2H-pyrroline มีสูตรโมเลกุลคือ C₆H₉NO มีสมบัติทางกายภาพเป็นของเหลวใสไม่มีสี และมีคุณสมบัติเป็นเบสเล็กน้อย เมื่อเก็บไว้นานจะเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือสีน้ำตาลเข้ม ระเหยง่ายและไม่เสถียรเมื่ออยู่ในรูปสารบริสุทธิ์ [12]



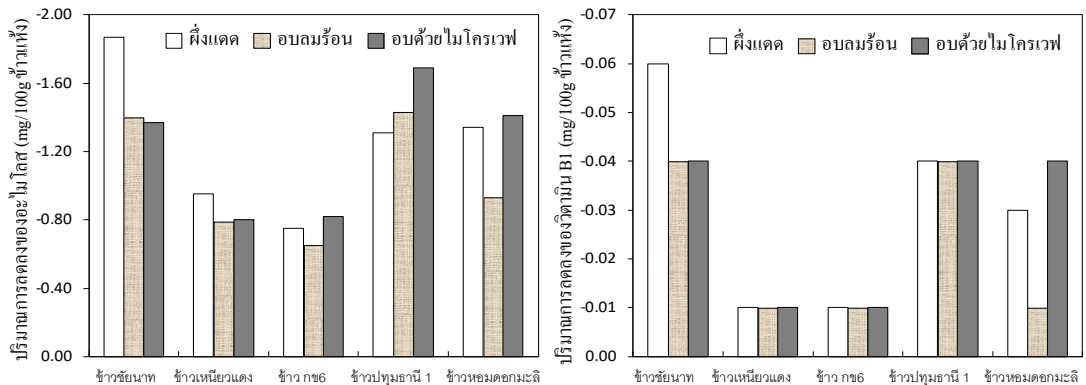
รูปที่ 3 ปริมาณกลิ่นของข้าวหอมดอกมะลิหลัง (ซ้าย) การลดความชื้นด้วยการผึ่งแดด และอบลมร้อน 45°C และ (ขวา) การลดความชื้นด้วยการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ



รูปที่ 4 คุณภาพเริ่มต้นของข้าวเปลือกแต่ละชนิดก่อนนำไปลดความชื้น (ซ้าย) ปริมาณอะไมโลส และ (ขวา) ปริมาณวิตามิน B1

ข้าวหอมที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั่วโลกมากที่สุด คือ ข้าวบาสมชาติ และข้าวขาวดอกมะลิ 105 เนื่องจากมีกลิ่นหอมและมีคุณภาพการหุงต้มดี [9] ข้าวเจ้าหอมดอกมะลิที่เก็บเกี่ยวไม่เกิน 2 ชั่วโมง จะมีปริมาณสาร 2AP ประมาณ 5.5 พีพีเอ็ม (0.110 ไมโครกรัมต่อกรัม) เมื่อผ่านการลดความชื้นจะทำให้กลิ่นหอมลดลงไป จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าการผึ่งแดดจะทำให้กลิ่นหอมสูญเสียน้อยการลดความชื้นด้วยวิธีอื่น ๆ ในที่นี้วิธีการอบด้วยลมร้อนจะทำให้กลิ่นหอมหายไปอย่างรวดเร็ว เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณสาร 2AP ที่หลงเหลืออยู่ในข้าวภายหลังการลดความชื้นพบว่าจะมีค่าเป็น 5.26 พีพีเอ็ม (0.105 ไมโครกรัมต่อกรัมต่อกรัม) 4.3 พีพีเอ็ม (0.086 ไมโครกรัมต่อกรัมต่อกรัม) 4.8 พีพีเอ็ม (0.096 ไมโครกรัมต่อกรัมต่อกรัม) ด้วยการผึ่งแดดเป็นเวลา 15 ชั่วโมง การอบลมร้อนเป็นเวลา 18 ชั่วโมง และการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นเวลา 360 วินาทีตามลำดับ

แป้งในพืชประกอบด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกันของอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin) ซึ่งอะไมโลสเป็นโมเลกุลของกลูโคสต่อกันเป็นสายยาว 70-300 โมเลกุล บิดเป็นเกลียว (helix) ไม่แตกแขนงไม่ละลายน้ำ ทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีนได้สารสีน้ำเงินปนดำ ส่วนอะไมโลเพกตินเป็นโมเลกุลของกลูโคสต่อเป็นสายยาวและแตกกิ่งก้านละลายน้ำได้เมื่อทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีนจะได้สารสีม่วง โดยทั่วไปมักนิยมแบ่งประเภทข้าวโดยกล่าวถึงอะไมโลสเป็นหลักสำคัญ อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ข้าวเจ้ามีอะไมโลสสูงในระหว่างการหุงต้ม จะดูดน้ำได้มากกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ ปริมาณอะไมโลสทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลง หรือร่วนมากขึ้น ข้าวที่มีอะไมโลสสูงเมื่อหุงต้มสุก จึงร่วนกว่าและแข็งกว่าข้าวเหนียวที่มีอะไมโลสต่ำ เมื่อหุงต้มลักษณะข้าวสุกจะเหนียวมาก [5] จากการทดสอบหาปริมาณอะไมโลส พบว่าข้าวเปลือกก่อนลดความชื้นชนิดข้าวเหนียวแดงและข้าว กข1 จะมีปริมาณอะไมโลสอยู่ในช่วง 8-8.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของข้าวแห้ง ซึ่งมีค่าน้อยกว่าข้าวเจ้า (ข้าวชัยนาท ข้าวปทุมธานี และข้าวเจ้าหอมดอกมะลิ) ที่มีปริมาณอะไมโลสอยู่ในช่วง 19-21 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของข้าวแห้ง (รูปที่ 4(ก)) ในทำนองเดียวกัน ข้าวเหนียวจะมีปริมาณวิตามิน B1 (0.08-0.09 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมข้าวแห้ง) ต่ำกว่าข้าวเจ้า (0.44-0.46 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมข้าวแห้ง) ดังแสดงในรูปที่ 4(ข) เมื่อเมล็ดข้าวผ่านการลดความชื้นแล้ว จะทำให้โมเลกุลของน้ำบางส่วนหลุดออกจากโมเลกุลของแป้ง



รูปที่ 5 คุณภาพของข้าวเปลือกหลังจากผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีการต่าง ๆ (ซ้าย) ปริมาณการลดลงของวิตามิน B1 และ (ขวา) ปริมาณการลดลงของอะไมโลส

ความร้อนที่ใช้ในการลดความชื้น จะทำให้มีการสูญเสียอะไมโลสและวิตามิน B1 (รูปที่ 5) ขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ ได้แก่ การหึ่งแดดช่วง 10:00-16:00 น. เป็นเวลา 14 ชั่วโมง การอบลมร้อน 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 800 วัตต์ ที่ใช้โปรแกรมการปล่อยคลื่น 3 วินาที ปิดคลื่น 7 วินาที สลับกันเป็นเวลา 360 วินาที พบว่าข้าวเหนียวที่ผ่านการอบทั้งสามวิธีการจะมีการลดลงของอะไมโลสและวิตามิน B1 ที่ใกล้เคียงกัน และมีปริมาณการลดลงที่ต่ำกว่าข้าวเจ้า เนื่องจากข้าวเจ้าดูดน้ำได้มากกว่าข้าวเหนียว ดังนั้นเมื่อมีการลดความชื้นด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ จะทำให้ความชื้นคายออกมาได้ง่ายกว่า ความร้อนที่สะสมในเมล็ดข้าวจะมีอิทธิพลต่อการสลายตัวของอะไมโลสและวิตามิน B1 จะเห็นได้ว่าปริมาณอะไมโลสและวิตามิน B1 ในข้าวเจ้าหลังผ่านการลดความชื้นจะมีการลดลงมากกว่า ซึ่งการใช้วิธีทั้งสามในการลดความชื้นข้าวเหนียว จะทำให้ทั้งปริมาณอะไมโลสและปริมาณวิตามินมีค่าลดลงที่ใกล้เคียงกัน เป็นที่น่าสังเกตว่าข้าวชัยนาทไม่ควรผ่านการลดความชื้นด้วยการหึ่งแดด เพราะจะส่งผลให้มีการสูญเสียอะไมโลสและวิตามินที่สูง เช่นเดียวกัน ข้าวหอมดอกมะลิควรผ่านการลดความชื้นด้วยการอบลมร้อนเพื่อลดการสูญเสียอะไมโลสและวิตามิน

4. สรุป

สภาวะที่เหมาะสมในการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยไมโครเวฟที่ใช้ในบ้านเรือน จะเป็นการอบแบบ 3 รอบ โดยในแต่ละรอบจะใช้การเปิดปิดให้กำลังไฟเป็นช่วง ๆ ช่วงละ 1 นาที สลับกันไป ทั้งนี้ สภาวะการอบที่เหมาะสมของข้าวเปลือกแต่ละชนิด จะขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ ความชื้นเริ่มต้น และชนิดข้าวเปลือก เมื่อติดตั้งโปรแกรมการอบอัตโนมัติเพิ่มเติม โดยทำการปรับเวลาการเปิดปิด

การปล่อยคลื่นไมโครเวฟ ด้วยโปรแกรมอัตโนมัติให้มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เท่ากันเป็น 240 วัตต์ พบว่าการเปิดคลื่น 3 วินาที และปิด 7 วินาทีในแต่ละรอบ จะเป็นโปรแกรมการอบที่เหมาะสมที่สุด จากการเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวด้วยวิธีการผึ่งแดดช่วง 10:00-16:00 น. เป็นระยะเวลา 15 ชั่วโมง อบลมร้อนที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และอบด้วยคลื่นไมโครเวฟที่โปรแกรมไว้เป็นเวลา 360 วินาที พบว่าความชื้น การแตกหัก ปริมาณไขมันอิสระ โปรตีน สาร 2AP วิตามิน B1 และอะไมโลส ของข้าวจะลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการอบ ส่วนปริมาณวิตามิน B1 และอะไมโลสจะลดลงเช่นกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของข้าวด้วย ซึ่งการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟจะใช้ระยะเวลาสั้นกว่า และข้าวที่ผ่านการลดความชื้นมีคุณภาพทั้งทางกายภาพและเคมีที่ดีกว่า โดยข้าวที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟสุดท้ายที่ 360 วินาที จะมีความชื้น 14-15% การแตกหัก 12-16% กรดไขมันอิสระ 2.74-2.76 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมข้าวแห้ง โปรตีน 7.01-7.07 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมข้าวแห้ง สาร 2AP 4.8 พีพีเอ็ม (หรือ 0.096 ไมโครกรัมต่อกรัม) ดังนั้นการลดความชื้นด้วยคลื่นไมโครเวฟโปรแกรมอัตโนมัตินี้ สามารถใช้เป็นตัวแทนในการไล่ความชื้นข้าวก่อนการประเมินราคา ก่อนการขายได้ แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีอีกหลายปัจจัยที่ส่งผลทำให้การแตกหักของเมล็ดข้าวเพิ่มมากขึ้น เช่น กรรมวิธีการเก็บเกี่ยว กรรมวิธีการเก็บรักษาเมล็ดข้าว ซึ่งในงานวิจัยที่กำลังดำเนินการศึกษาต่อเนื่องได้มุ่งประเด็นไปยังปัจจัยสภาวะการดำเนินการอบเมล็ดข้าวเปลือกด้วยเครื่องไมโครเวฟที่ติดตั้งโปรแกรมเปิดปิดคลื่นโดยอัตโนมัติ ที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของเมล็ดข้าวทั้งเชิงคุณภาพด้านกายภาพและสารอาหาร โดยเฉพาะปริมาณสารให้กลิ่นหอม 2AP ของข้าวเจ้าหอมดอกมะลิ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท (Research and Researcher for Industry: MAG) สัญญาเลขที่ MSD5710080 สนับสนุนโดย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

References

- [1] Intawong, Pasinee. (2009). **Effect of temperature on the grain broken during the whitening process**. Master thesis (Chemical Engineering). KhonKaen University. (In Thai)
- [2] Artnasiew, Apichart, Jindamanee Nitsayan. (2011). "Increasement of rice dehusker". **TICHE International Conference 2011**. 10-11 November 2011. The 60th Anniversary

- of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center. (Prince of Songkla University). (In Thai)
- [3] Zhao, Siming, Shanbai Xiong, Chengguang Qiu, and Yongliang Xu. (2007). "Effect of microwaves on rice quality". **Journal of Stored Products Research**. 43(4): 496-502.
- [4] Sun, Qingjie, Tao Wang, Liu Xiong, and Yunxia Zhao. (2013). "The effect of heat moisture treatment on physicochemical properties of early indica rice". **Food chemistry**. 141(2): 853-857.
- [5] Pisithkul, Kraisi, Sakd Jongkaewwattana, Sugunya Wongpornchai, Vanna Tulyathan, and Sawit Meechoui. (2010). "Partial characterization of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105 as affected by accelerated aging factors". **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences** 9: 305-317.
- [6] AOAC. (1995). **Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists**. 16th edition. Method 993.13. Arlington. VA.
- [7] Leesawatwong, M., S. Jamjod, J. Kuo, B. Dell, and B. Rerkasem. (2005). "Nitrogen fertilizer increases seed protein and milling quality of rice". **Cereal Chemistry** 82(5): 588-593.
- [8] Saekoa, Archara, Supawan Tirawanitchakoon, Yuttana Tirawanitchakoon. (2013). "Effect of Drying with Heat Convection and Heat Radiation on Drying Kinetics and Quality Aspect of Black Pepper". **Burapha Sci**. 18: 166-180. (In Thai)
- [9] Liu, Lei, Daniel LE Waters, Terry J. Rose, Jinsong Bao, and Graham J. King. (2013). "Phospholipids in rice: significance in grain quality and health benefits: a review". **Food chemistry** 139(1): 1133-1145.
- [10] Janka, Nittaya, Chairat Rattanameechaisakoon. (2015). "Prediction on free fatty acid content of purple rice using response surface methodology". **Journal of Thai Interdisciplinary Research**. 10(3): 24-30. (In Thai)
- [11] Worrarith, Wassana. (1995). **Development Thai Aroma Rice species**. Pitsanulok Rice Research center. Department of Agriculture. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (In Thai)
- [12] Kantong, Srisawadi (1990). **Fragrance Gene and Molecular Basis of Fragrant Rice**. Master Thesis (Agricultural Science). Agriculture Faculty. Ubonratchanee University. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



ธนากร อุ๋นพินิจ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เลขที่ 123 หมู่ 16 ถนนมิตรภาพ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น รหัสไปรษณีย์ 40002 ที่อยู่ เลขที่ 94 หมู่ 2 ตำบลลำพาน อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000 เบอร์ติดต่อ 0823032809



วรินทร์ไพ เศรษฐ์ธณบุตร ผศ.ดร. และอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เลขที่ 123 หมู่ 16 ถนนมิตรภาพ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น รหัสไปรษณีย์ 40002 เบอร์ติดต่อ 043-362240 ต่อ 45703 (ที่ทำงาน) 0864599202 (มือถือ)



ทินกร คำแสน ดร. และอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เลขที่ 123 หมู่ 16 ถนนมิตรภาพ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น รหัสไปรษณีย์ 40002 เบอร์ติดต่อ 043-362240 (ที่ทำงาน) 0815745559 (มือถือ)



พนมกร ขวาชอง ผศ.ดร. และอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เลขที่ 123 หมู่ 16 ถนนมิตรภาพ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น รหัสไปรษณีย์ 40002 เบอร์ติดต่อ 043-362240 (ที่ทำงาน) 0898406586 (มือถือ)



อภิชาติ อางหาเสี้ยว ผศ.ดร. และอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เลขที่ 123 หมู่ 16 ถนนมิตรภาพ
ตำบลในเมือง อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น รหัสไปรษณีย์ 40002
เบอร์ติดต่อ 043-362240 (ที่ทำงาน) 0812667120 (มือถือ)