PROCEEDING OF RMUTTO RESEARCH CONFERENCE 2012

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมสัมมนาทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ครั้งที่ 5

วันที่ 14 - 16 พฤษภาคม 2555

ณ โรงแรมแกรนด์จอมเทียน พาเลซ พัทยา จังหวัดชลบุรี

สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
43 หมู่ 6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
Website: http://irdrmutto.ac.th
E-mail: svptawan@hotmail.com, ird2rmutto@gmail.com

สารบัญ

หน้า

สารจากผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา ..... ก
บทบรรณาธิการ ..... ข
สารบัญ ..... ค
โครงการประชุมสัมมนาทางวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ครั้งที่ 5 ..... ค
คำสั่งแต่งตั้งคณะกรรมการดำเนินการ โครงการประชุมสัมมนาวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ครั้งที่ 5 ..... ฎ
กำหนดการนำเสนอผลงานวิจัย ..... ฒ

ภาคบรรยาย
วันที่ 14 พฤษภาคม 2555 (ห้องศรุตศา)
Session 1 กลุ่มแพทยศาสตร์
การศึกษาเพื่อดูความเป็นไปได้ในการใช้การวิเคราะห์ลายนิ้วมือในการช่วยคัดกรองเด็กออทิสติก 1
โดย คุณกมลวรรณ ตั้งเจริญบำรุงสุข
ผลของเอชเอ็มจีบี 1 ต่อการเพิ่มจำนวนและการเคลื่อนที่ของเซลล์สร้างเส้นใยเอ็นยึดปริทันต์ 5
โดย คุณอธิษฐาน ชิตานุวัฒน์
ประสิทธิผลของโปรแกรมส่งเสริมพฤติกรรมจำกัดน้ำต่อการควบคุมน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นระหว่างวันฟอกเลือดในผู้ป่วยที่ฟอกเลือดด้วยเครื่องไตเทียม 10
โดย คุณนุชนารถ แก้วกันเนตร
ความสัมพันธ์ระหว่างแบบแผนการดำเนินชีวิต การสนับสนุนทางสังคม กลุ่มอาการ และภาวะซึมเศร้าของผู้ป่วยวัยผู้ใหญ่ที่มีภาวะกล้ามเนื้อหัวใจตายเฉียบพลัน 15
โดย คุณสุจิตราภรณ์ พิมพ์โพธิ์
การระบุและการตรวจหาการปนเปื้อนของไฮโดรควิโนนในโลชั่นและครีม โดยฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและคีโมเมทริกส์ 22
โดย คุณอรุณชัย ตั้งเจริญบำรุงสุข

Session 2 กลุ่มแพทยศาสตร์/กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ต่อ)
กลุ่มแพทยศาสตร์
สถานการณ์และการคาดคะเนแนวโน้มการเกิดโรคไข้เลือดออกในจังหวัดพังงา 30
โดย คุณวัชระ เกตุทอง

กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
การบำบัดสีในกลุ่มสีอะโซในน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้าไหมโดยกระบวนการทางชีวภาพ 35
โดย คุณสุกฤตา บูรณ์เจริญ
ประสิทธิภาพของเรซินจากธูปฤาษีในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสีย 40
โดย คุณจารุดา วิพายา
การศึกษาประสิทธิภาพการลดไนเทรตในน้ำบาดาลโดยใช้ถ่านกัมมันต์ 43
โดย คุณนาวิน แก้วเพชร
การใช้ตะกอนน้ำประปาทดแทนดินเหนียวในการผลิตเครื่องปั้นดินเผา 47
โดย คุณนพดล ประวัติวิไล

Session 3 กลุ่มวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
การวิจัยและพัฒนาเครื่องคัดแยกหินออกจากข้าว 50
โดย คุณผดุงศักดิ์ วานิชชัง
การศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน 55
โดย คุณภูสิทธิ์ พลสิมมา

[redacted]

การอบแห้งอาหารปลาด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชันระดับห้องปฏิบัติการ 66
โดย คุณมนูญ สุขสวัสดิ์
การวัดอัตราผุกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีตด้วยผลตอบสนองกระแสแบบพัลส์ 71
โดย คุณสมชาติ โสนะแสง
The Characteristic Properties of Paddy from the Pneumatic Dryer with Smooth-pipe Drying Column 76
โดย คุณวิทยา ชื่นสำโรง

การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน

The Comparative Study Germinated Brown Rice Drying Using Superheated Steam and Hot Air

เชิดศักดิ์ คงขวัญ วทัญญู รอดประพัฒน์ และ กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์

Cherdsak Kongkwan Wathanyoo Rordprapat and Kittisak Witinantakit

สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จ.ชลบุรี

E-mail: cherd.sak@hotmail.com โทร. 084-1377587

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวกล้องงอกโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง โดยนำข้าวเปลือกหอมมะลิ 105 มาทำความสะอาด กะเทาะ แล้วแช่น้ำที่อุณหภูมิ 35-40°C นาน 8 ชั่วโมง และเพาะให้งอกที่อุณหภูมิแวดล้อมนาน 24-27 ชั่วโมง มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 45-51% (d.b.) หลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 140 และ 160°C และความเร็วตัวกลาง 1.0 1.5 และ 2.0 m/s ให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 13-14% (d.b.) จากผลการทดลอง พบว่า การอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยอากาศร้อนมีอัตราการลดความชื้นสูงกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง และการเพิ่มความเร็วและอุณหภูมิของตัวกลางส่งผลให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น สำหรับด้านคุณภาพของข้าวกล้องงอก พบว่า ข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าความสว่างต่ำกว่าและมีค่าสีแดงสูงกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ส่วนค่าสีเหลืองมีค่าใกล้เคียงกับข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน ข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีเปอร์เซ็นต์การร้าว การยืดตัว การสูญเสียเนื้อแป้งและเวลาในการหุงต้มต่ำกว่าข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน และปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าน้อยกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนอย่างชัดเจน

คำสำคัญ: ข้าวกล้องงอก คุณภาพ ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

Abstract

This research work is a comparative study of germinate brown rice (GBR) drying using superheated steam (SH) and hot air (HA) as drying media. Prior to drying, Khao Dawk Mali 105 paddy was cleaned, dehulled and soaked at temperatures of 35-40°C for 8 h and then germinated at ambient temperature for 24-27 h. The drying conditions were set at temperatures of 120, 140 and 160°C, and velocities of 1.0, 1.5 and 2.0 m/s. GBR with the initial moisture content of 45-51% (d.b.) was dried down to the final moisture content of 13-14% (d.b.). The experimental results showed that HA drying provided the higher moisture reduction rate than SH drying. Increases in drying temperature and velocity led to the higher drying rate. Consideration of GBR qualities indicated that GBR prepared by SH drying method had lower lightness and higher redness values than that prepared by HA drying method. However, yellowness values of the GBR prepared by both methods were comparable. In addition, the SH drying method provided GBR with the lower percentages of cracking, elongation, and solid loss, and the shorter cooking time compared to the HA drying method. GABA content of the GBR obtained by the SH drying method was found to be significantly lower than that obtained by the HA drying method.

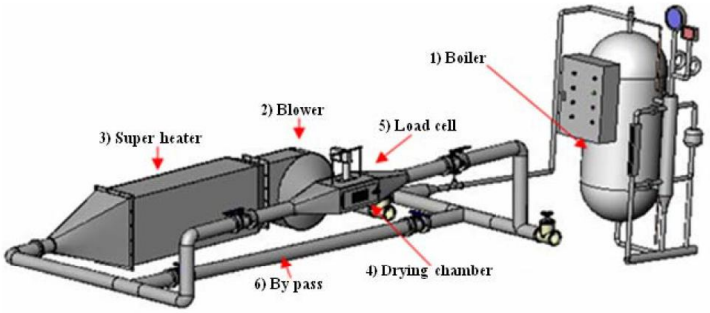
Keywords: Germinated brown rice, Qualities, Superheated steam

1. บทนำ

ข้าวกล้องงอก (Germinated brown rice) ถือเป็นนวัตกรรมหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมากจากกลุ่มผู้เลือกบริโภคอาหารที่เป็นธรรมชาติ เนื่องจากเป็นอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพมีคุณค่าทางโภชนาการสูงมีสาร GABA (Gamma- aminobutyric acid) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการลดความดันโลหิต และลดอาการอัลไซเมอร์ (Komatsuzaki, et al. 2007) อีกทั้งข้าวกล้องงอกที่หุงสุกจะมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มง่ายแก่การรับประทาน ข้าวกล้องงอกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแช่และเพาะที่อุณหภูมิเหมาะสมจนเกิดการงอกของราก จากการศึกษาผลของกระบวนการแช่ และกระบวนการงอกต่อปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องหอมมะลิ 105 (*Oryza sativa L.*) พบว่าปริมาณสาร GABA มีค่าสูงขึ้นประมาณ 9.2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการดังกล่าว (จารุรัตน์, 2550) หลังจากนั้นลดความชื้นลงเพื่อให้สะดวกในการเก็บรักษา จึงควรมีการศึกษากระบวนการลดความชื้นของข้าวกล้องงอกด้วยวิธีการที่เหมาะสม วิธีการลดความชื้นที่นิยมกันคือ ใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการลดความชื้น เนื่องจากเป็นการอบแห้งที่ไม่ยุ่งยากและราคาเครื่องจักรไม่สูงมาก ส่วนการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นวิธีการอบแห้งที่ได้รับความสนใจและเนื่องจากไม่มีออกซิเจนในระบบจึงทำให้สีและคุณค่าทางอาหาร อีกทั้งโครงสร้างของวัสดุนั้นสูญเสียน้อยมาก (ณรงค์, 2544) ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวกล้องงอก โดยใช้ ไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนเพื่อศึกษาหาอุณหภูมิและความเร็วของตัวกลางในการอบแห้งข้าวกล้องงอกที่เหมาะสม และใช้อธิบายลักษณะการลดความชื้น โดยประเมินคุณภาพของข้าวกล้องงอกศึกษาเปอร์เซ็นต์การร้าว การเปลี่ยนแปลงของสี คุณภาพการหุงต้ม และปริมาณสาร GABA

2. วิธีการทดลอง

เครื่องอบแห้งระดับห้องปฏิบัติการที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถใช้ไอน้ำ และอากาศร้อน เป็นตัวกลางในการอบแห้งได้ ซึ่งประกอบด้วย 1) เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) กำลังการผลิตไอน้ำ 20 kg/h 2) พัดลมแบบใบพัดโค้งหลัง (Blower) ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง 9 in ควบคุมโดยใช้เครื่องปรับความเร็วรอบ (Inverter) ยี่ห้อ Fuji Electric FA รุ่น Frno75CIS-7A 3) อุปกรณ์ให้ความร้อน (Super heater) ขนาด 4.5 kW 4) ห้องอบแห้ง (Drying chamber) ขนาด 20×30×15 cm^3 5) เครื่องบันทึกน้ำหนัก (Load cell weighing indicator) รุ่น PT650D ความละเอียด ±0.1g และ 6) ท่อ By pass ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งระดับห้องปฏิบัติการ

ก่อนการทดลองอบแห้งต้องเตรียมตัวอย่างข้าวกล้องงอกโดยนำข้าวเปลือกหอมมะลิ 105 มาทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดแบบตะแกรงโยกและลมดูดเพื่อแยกเมล็ดลีบและสิ่งเจือปนต่างๆ ออก จากนั้นทำการกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกแบบลูกยางยี่ห้อ Satake นำข้าวกล้องที่ได้ไปคัดแยกข้าวเต็มเมล็ดด้วยเครื่องคัดเกรดข้าว (Rice grader) รวมไปถึงการคัดแยกด้วยมือ จากนั้นแช่ข้าวกล้องในน้ำอุณหภูมิ 35-40°C นาน 8 ชั่วโมง (จารุรัตน์, 2550) และเพาะให้งอกที่อุณหภูมิแวดล้อมระยะเวลาประมาณ 24-27 ชั่วโมง สังเกตรากเทียมจะงอกที่บริเวณจมูกข้าวเกิดจุดขาว (White chit) เป็นตุ่มเล็กๆ ขนาดประมาณ 0.5-2.0 mm นำตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่ได้ไปอบด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Superheated steam, SH) และอากาศร้อน (Hot air, HA) ที่อุณหภูมิอบแห้ง 120 140 และ160°C ความเร็วตัวกลาง 1.0 1.5 และ 2.0 m/s ทำการบันทึกค่าน้ำหนักของข้าวกล้องงอกในช่วงที่อบแห้งจนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง แล้วจึงนำตัวอย่างข้าวกล้องงอกทั้งก่อนและหลังการอบแห้งไปหาความชื้นด้วยตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (AOAC, 1990) จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาจลนพลศาสตร์การอบแห้งข้าวกล้องงอก เพื่อหาเวลาในการอบแห้งข้าวกล้องงอกให้มีความชื้นประมาณ 14% (d.b.) แล้วทำการอบแห้งข้าวกล้องงอกตามเวลาดังกล่าวทุกๆ เงื่อนไขการทดลอง นำข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งแล้วผึ่งด้วยอากาศแวดล้อม เป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้ความชื้นสม่ำเสมอกัน จากนั้นนำไปทดสอบคุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ ค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Spectophoto meter ระบบ Hunter lab ความละเอียด ± 0.01 โดยแสดงค่าที่วัดได้เป็นค่าความสว่าง (L) ค่าสีเขียวหรือสีแดง (a) และค่าสีน้ำเงินหรือสีเหลือง (b) ทดสอบการร้าว (Cracking) โดยนำตัวอย่างข้าวกล้องงอกตัวอย่างละ 100 เมล็ด ส่องด้วยแสงไฟจากด้านล่างเลือกเฉพาะเมล็ดที่มีการร้าวน้อยกว่า 80% ของพื้นที่ทั้งหมดของเมล็ดข้าวกล้องงอก และทดสอบคุณภาพการหุงต้ม (Cooking qualities) ได้แก่ เวลาในการหุงสุก (Cooking time) (Juliano,1985) การยืดตัวตามความยาว (Elongation) การสูญเสียเนื้อแป้ง (Solid loss) (Gujral and Kumar, 2003) วิเคราะห์หาปริมาณสาร GABA (Khuhawar and Rajper, 2003) ด้วยเครื่อง HPLC (High performance liquid chromatography) และนำผลการทดสอบคุณภาพไปวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยตัวกลางต่างชนิดกัน และเปรียบเทียบกับข้าวกล้องงอกที่ลดความชื้นโดยการเป่าด้วยอากาศแวดล้อม (Reference)

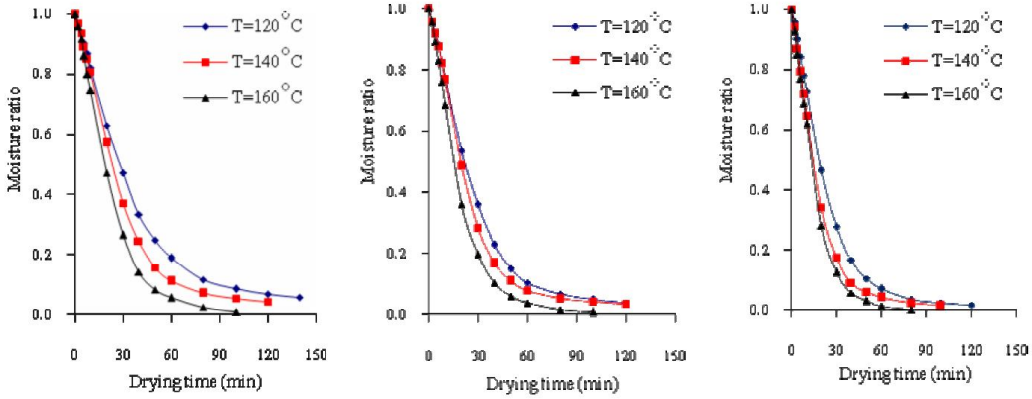
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการทดลองอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (SH) และอากาศร้อน (HA) ที่อุณหภูมิ 120 140 และ160°C และความเร็วตัวกลาง 1.0 1.5 และ 2.0 m/s เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิ ความเร็ว ต่ออัตราการอบแห้ง และเปรียบเทียบคุณสมบัติของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้ง ได้แก่ สี การร้าว การหุงต้ม และปริมาณสาร GABA

3.1 อิทธิพลของอุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอก

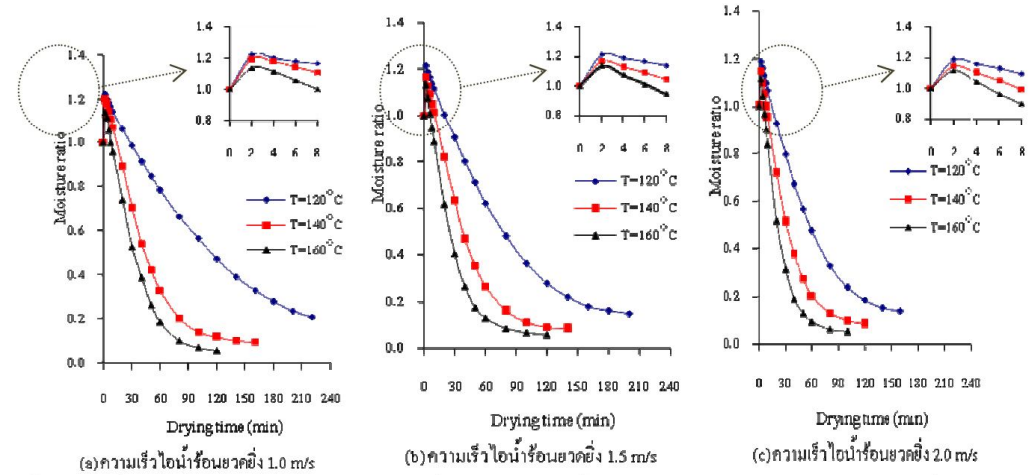
การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่สภาวะต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2(a) -2(c) พบว่าในช่วง 30-40 min แรกของการอบแห้ง ข้าวกล้องงอกมีความชื้นสูงอุณหภูมิและความชื้นที่ผิวข้าวกล้องงอกยังคงที่ ส่งผลให้อัตราการอบแห้งในช่วงนี้คงที่ จากนั้นความชื้นที่ผิวของข้าวกล้องงอกลดลงมากความชื้นภายในเมล็ดจะค่อยๆ แพร่ออกสู่ผิวของข้าวกล้องงอก ซึ่งการลดความชื้นในช่วงนี้จะเป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นอัตราการลดความชื้นของข้าวกล้องงอกจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวของข้าวกล้องงอกและอากาศร้อนที่มากขึ้นทำให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น

ส่วนการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอกซึ่งผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 3(a)-3(c) พบว่า เกิดการควบแน่นในช่วง 1-2 min แรก เนื่องจากไอน้ำร้อนยวดยิ่งซึ่งมีอุณหภูมิสูงเมื่อสัมผัสกับผิวของข้าวกล้องงอกซึ่งมีอุณหภูมิต่ำทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำส่งผลให้ความชื้นของข้าวกล้องงอกเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 120°C จะเกิดการควบแน่นของไอน้ำมากที่สุด และไอน้ำจะควบแน่นน้อยลงเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น จากนั้นน้ำที่ควบแน่นจะระเหยออกจากผิวของข้าวกล้องงอกทำให้เกิดช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ จนกระทั่งน้ำที่ผิวของข้าวกล้องงอกเริ่มแห้ง น้ำหรือความชื้นที่อยู่ภายในข้าวกล้องงอกจะค่อยๆ แพร่ออกมาระเหยที่ผิว ดังนั้นการอบแห้งในช่วงนี้จึงเป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิสูงมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจากสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิต่ำและที่อุณหภูมิต่ำจะเกิดการควบแน่นของน้ำมากกว่า โดยเฉพาะการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจาก 120°C เป็น 140°C จะสังเกตเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนดังแสดงในภาพที่ 3(a) และความแตกต่างนี้จะมีค่าลดลงเมื่อความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพิ่มสูงขึ้นดังแสดงในภาพที่ 3(c) ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวของผลิตภัณฑ์และของไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มากขึ้นทำให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น



(a) ความเร็วอากาศร้อน 1.0 m/s (b) ความเร็วอากาศร้อน 1.5 m/s (c) ความเร็วอากาศร้อน 2.0 m/s

ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วของอากาศร้อนแตกต่างกัน

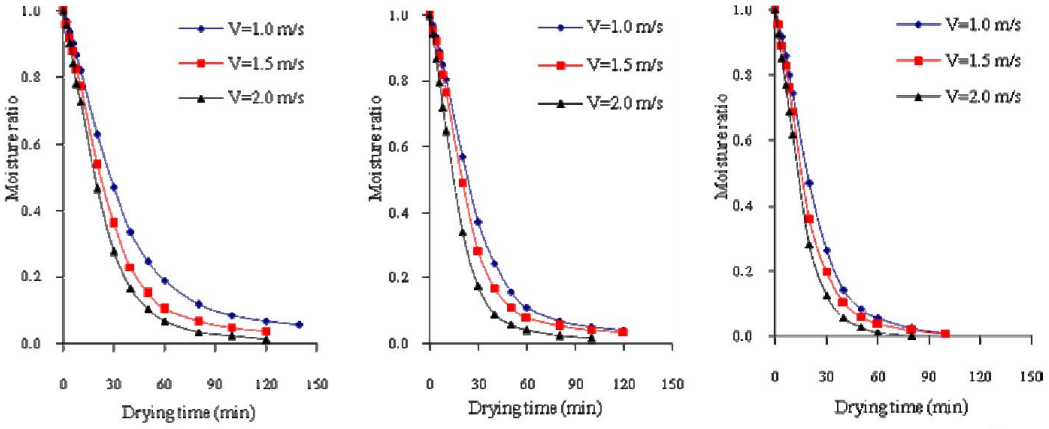


(a) ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 1.0 m/s (b) ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 1.5 m/s (c) ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2.0 m/s

ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งแตกต่างกัน

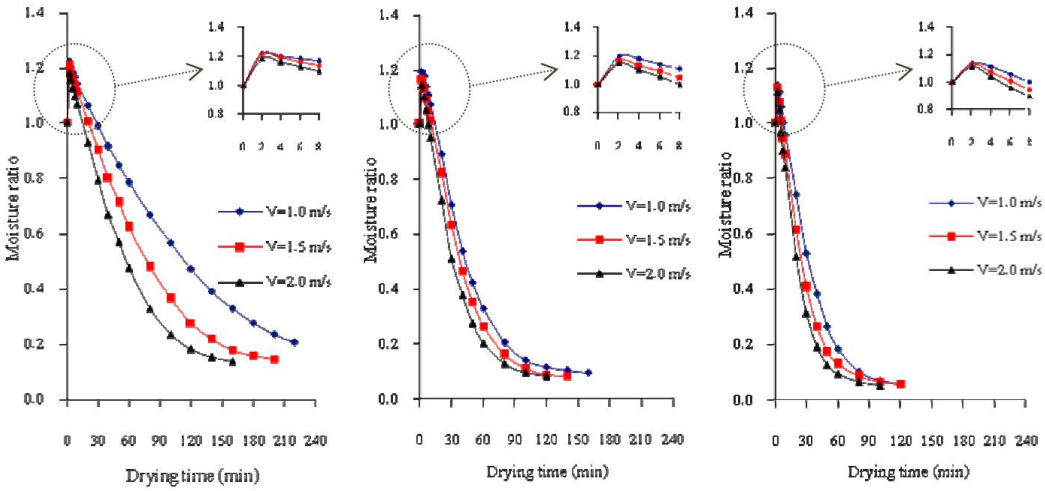
3.2 อิทธิพลของความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอก

จากการศึกษาผลของความเร็วตัวกลางในการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยอากาศร้อน พบว่าเมื่อความเร็วตัวกลางสูงขึ้นอัตราการลดความชื้นของข้าวกล้องงอกจะสูงขึ้นในทุกๆ อุณหภูมิการอบแห้ง เนื่องจากความเร็วของตัวกลางที่เพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานต่อการถ่ายเทความร้อนและมวลที่ผิวของข้าวกล้องงอกมีค่าลดลง จึงส่งผลให้อัตราการลดความชื้นสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วของตัวกลางในการอบแห้งดังแสดงในภาพที่ 4(a)-4(c) ส่วนการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในช่วง 1-2 min แรกของการอบแห้งจะเกิดการควบแน่นของไอน้ำที่ผิวของข้าวกล้องงอกเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่มีมาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลที่ส่วนของผิวเท่านั้น แต่เมื่อเพิ่มความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะทำให้น้ำที่บริเวณผิว มีความหนาลดลง ส่งผลให้ความต้านทานต่อการถ่ายเทความร้อนและมวลลดลง ดังนั้นการใช้ความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สูง จึงสามารถเพิ่มอัตราการลดความชื้นได้ดังแสดงในภาพที่ 5(a)-5(c) และพบว่าที่อุณหภูมิต่ำการเปลี่ยนแปลงความเร็วของตัวกลางในการอบแห้งจะส่งผลต่ออัตราการอบแห้งมากกว่าที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นจะทำให้อิทธิพลของอุณหภูมิส่งผลต่ออัตราการอบแห้งมากกว่าอิทธิพลของความเร็ว ดังนั้นความเร็วของตัวกลางจะมีผลต่ออัตราการลดความชื้นน้อยลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิตัวกลางให้สูงขึ้น



(a) อากาศร้อนอุณหภูมิ 120°C (b) อากาศร้อนอุณหภูมิ 140°C (c) อากาศร้อนอุณหภูมิ 160°C

ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่ความเร็วอากาศร้อนต่างๆ

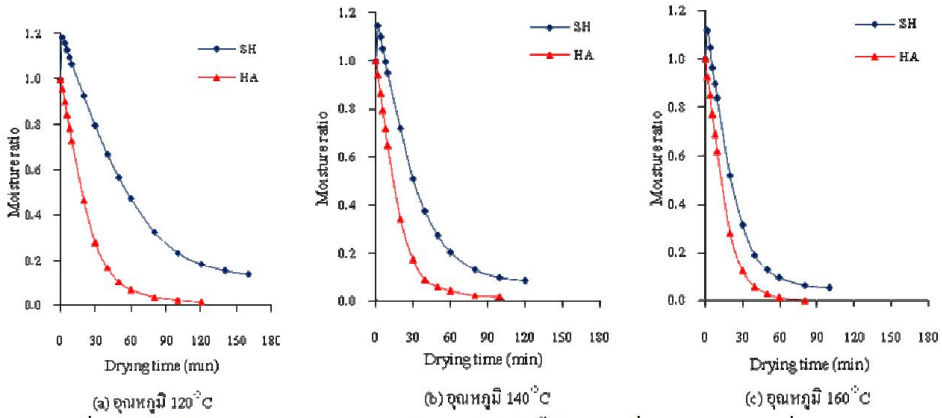


(a) ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 120°C (b) ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 140°C (c) ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 160°C

ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่างๆ

3.3 ผลการเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน

จากการศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่เงื่อนไขการอบแห้งเดียวกันดังแสดงในภาพที่ 6(a)-6(c) พบว่าอัตราการลดความชื้นด้วยอากาศร้อนสูงกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เนื่องจากการอบแห้งด้วยอากาศร้อนไม่มีการควบแน่นของไอน้ำโดยเฉพาะที่อุณหภูมิอบแห้ง 120°C จะมีความแตกต่างอย่างชัดเจนแต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิตัวกลางให้สูงขึ้นจาก 120°C ไปจนถึง 160°C ทำให้อัตราการลดความชื้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนเริ่มมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งอุณหภูมิตัวกลางในการอบแห้งที่ทำให้อัตราการอบแห้งของทั้งสองวิธีเท่ากันนั้นเรียกว่า อุณหภูมิอินเวอร์ชัน (Inversion temperature) ซึ่งในการทดลองอบแห้งข้าวกล้องงอกในงานวิจัยนี้ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 160°C ยังไม่ทำให้อัตราการอบแห้งข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ดังนั้นอุณหภูมิอินเวอร์ชันในการอบแห้งข้าวกล้องงอกต้องสูงกว่านี้ (160°C) จึงจะทำให้การอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีอัตราการลดความชื้นเท่ากับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน(Schwartze and Brocker, 2002)



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่ความเร็วตัวกลาง 2.0 m/s และอุณหภูมิอบแห้งแตกต่างกัน

3.4 คุณภาพข้าวกล้องงอก

ข้าวกล้องเมื่อผ่านกระบวนการแช่ที่ 8 ชั่วโมง และเพาะให้งอกที่เวลาประมาณ 24-27 ชั่วโมง มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 45-51% (d.b.) เมื่ออบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 13-14% (d.b.) จากนั้นจึงตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การร้าว การเปลี่ยนแปลงของสี คุณภาพการหุงต้ม และปริมาณสาร GABA จากตารางที่ 1 พบว่า การเปลี่ยนแปลงสีของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning reaction) แบบเมลลาร์ด โดยข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในช่วงแรกของการอบแห้งจะเกิดการควบแน่นของไอน้ำที่บริเวณผิวของข้าวกล้องงอก ความร้อนแฝงจากการควบแน่นของไอน้ำที่บริเวณผิวของข้าวกล้องงอกนี้จะถ่ายเทไปยังเมล็ดข้าวกล้องงอกทำให้อุณหภูมิของเมล็ดข้าวกล้องงอกเพิ่มสูงขึ้นเร่งให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมากขึ้น (Rordprapat et al., 2005) ทำให้ค่าความสว่าง (L) ของข้าวกล้องงอกมีค่าต่ำกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนและข้าวอ้างอิง (Reference) อย่างชัดเจน ค่าสีแดง (a) มีค่าสูงกว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนและข้าวอ้างอิง ส่วนค่าสีเหลือง (b) มีค่าสูงกว่าข้าวอ้างอิงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) สำหรับข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนจะมีค่าความสว่าง และค่าสีเหลือง สูงกว่าข้าวอ้างอิง แต่มีค่าสีแดงต่ำกว่าข้าวอ้างอิง อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเพิ่มความเร็วตัวกลางในการอบแห้งให้สูงขึ้นค่าความสว่างมีแนวโน้มสูงขึ้นในขณะที่ค่าสีแดงและสีเหลืองมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก เนื่องจากอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวกล้องงอก (วรินธร และสุนัน, 2552) และข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนหลังการอบแห้งจะมีลักษณะสีที่ขาวขุ่นมากขึ้นเมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น (อธิคม, 2546)

ตารางที่ 1 สีของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้ง

Drying condition	Velocity (m/s)	Final moisture content (% d.b.)	Color		
			L	a	b
Reference	-	14.00	51.41 ± 0.01^{g}	3.68 ± 0.01^{h}	14.63 ± 0.10^{a}
HA120	1.0	13.72	56.93 ± 0.32^{h}	3.16 ± 0.25^{de}	15.92 ± 0.15^{b}
	1.5	13.85	57.92 ± 0.57^{j}	2.84 ± 0.21^{b}	16.34 ± 0.31^{f}
	2.0	13.38	57.30 ± 0.79^{i}	2.71 ± 0.21^{a}	16.09 ± 0.25^{ed}
HA140	1.0	14.24	59.44 ± 0.45^{m}	3.18 ± 0.17^{ef}	16.15 ± 0.12^{de}
	1.5	13.72	60.74 ± 0.45^{n}	3.05 ± 0.09^{cd}	16.01 ± 0.13^{bcd}
	2.0	14.55	60.59 ± 0.54^{n}	2.97 ± 0.08^{c}	15.96 ± 0.14^{bc}
HA160	1.0	13.98	58.58 ± 0.07^{k}	3.47 ± 0.06^{g}	16.31 ± 0.21^{f}
	1.5	13.34	59.10 ± 0.53^{l}	3.29 ± 0.11^{f}	16.25 ± 0.15^{ef}
	2.0	14.42	58.15 ± 0.42^{j}	3.53 ± 0.06^{g}	16.36 ± 0.21^{f}
SH120	1.0	13.72	42.48 ± 0.71^{a}	6.64 ± 0.22^{m}	16.27 ± 0.21^{ef}
	1.5	13.34	44.81 ± 0.21^{b}	5.51 ± 0.17^{ij}	16.08 ± 0.08^{cd}
	2.0	14.07	48.01 ± 0.44^{f}	5.52 ± 0.18^{ij}	16.71 ± 0.23^{hi}
SH140	1.0	13.04	45.50 ± 0.40^{c}	5.71 ± 0.12^{k}	16.37 ± 0.17^{f}
	1.5	13.25	47.23 ± 0.29^{e}	5.67 ± 0.14^{k}	16.79 ± 0.12^{i}
	2.0	13.55	47.89 ± 0.48^{f}	5.44 ± 0.12^{i}	16.66 ± 0.10^{hi}
SH160	1.0	13.68	46.17 ± 0.39^{d}	6.22 ± 0.24^{l}	16.64 ± 0.16^{gh}
	1.5	13.90	47.05 ± 0.41^{e}	5.59 ± 0.13^{jk}	16.53 ± 0.13^{g}
	2.0	14.20	48.03 ± 0.61^{f}	5.43 ± 0.22^{i}	16.39 ± 0.10^{f}

Values in the same column with different superscripts mean that the values are significantly different ($p<0.05$)

จากตารางที่ 2 แสดงคุณภาพการหุงต้ม เปอร์เซ็นต์การร้าว และปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้งในทุกๆ เงื่อนไขการอบแห้ง พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนมีเปอร์เซ็นต์การร้าวสูงขึ้นมากกว่าข้าวอ้างอิง เนื่องจากการอบแห้งของทั้งสองวิธีใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงในช่วง 120-160°C ทำให้ความแตกต่างของความชื้นที่บริเวณผิวและแกนกลางของเมล็ดข้าวกล้องงอกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดความเค้นภายในเมล็ดมากขึ้น นำไปสู่การร้าวของเมล็ดข้าวกล้องงอกมากขึ้น แต่การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีเปอร์เซ็นต์การร้าวน้อยกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนในทุกๆ เงื่อนไขการอบแห้ง เนื่องจากข้าวกล้องงอกเกิดการควบแน่นของไอน้ำทำให้มีความชื้นเริ่มต้นสูงขึ้น และได้รับความร้อนสูง ส่งผลให้แป้งเกิดการพองตัวและถูกทำให้สุกที่เรียกว่า การเกิดเจลาทิไนเซชัน (Gelatinization) (อธิคม,2546) โครงสร้างโมเลกุลภายในเมล็ดข้าวยึดตัวเข้าด้วยกันและเกาะกันแข็งแรงขึ้น ทำให้รอยร้าวภายในเมล็ดข้าวสามารถผสานกันได้ แต่เนื่องจากในการอบแห้งต้องลดความชื้นข้าวกล้องงอกให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 13-14% (d.b.) ซึ่งต่ำกว่า 28% (d.b.) ทำให้เกิดการร้าวสูง (Taechapiroj et al., 2003) โดยเฉพาะช่วงอัตราการอบแห้งลดลงปริมาณความร้อนส่วนใหญ่จะถูกนำไปเพิ่มอุณหภูมิให้แก่เมล็ดข้าวกล้องงอก ส่งผลให้เมล็ดข้าวกล้องงอกมีอุณหภูมิสูงมากจนโครงสร้างของเมล็ดสตาร์ชเปลี่ยนแปลงเกิดโพรงช่องว่างขึ้น และมีความแตกต่างของความชื้นที่บริเวณผิวและแกนกลางของเมล็ดข้าวกล้องงอกมากขึ้น ทำให้เกิดความเค้นขึ้นภายในเมล็ดมากขึ้นด้วย ซึ่งนำไปสู่การร้าวเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 2 คุณภาพการหุงต้ม เปอร์เซ็นต์การร้าว และปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้ง

Drying condition	Velocity (m/s)	Final moisture content (% d.b.)	Cooking qualities			Cracking (%)	GABA (mg/100g Dry weight)
			Cooking time (min)	Elongation (%)	Solid loss (%)		
Reference	-	14.00	23.00 ± 0.00^{f}	10.48 ± 0.19^{e}	3.22 ± 0.19^{b}	70.10 ± 0.10^{a}	34.32 ± 5.94^{g}
HA120	1.0	13.72	19.33 ± 0.58^{cd}	12.61 ± 1.98^{f}	3.49 ± 0.38^{bc}	99.90 ± 0.32^{g}	-
	1.5	13.85	19.67 ± 0.58^{de}	9.67 ± 0.28^{de}	3.53 ± 1.15^{bc}	99.90 ± 0.32^{g}	-
	2.0	13.38	19.67 ± 0.58^{de}	8.27 ± 0.36^{bcd}	3.79 ± 0.30^{bc}	99.80 ± 0.42^{g}	27.62 ± 3.04^{f}
HA140	1.0	14.24	20.00 ± 0.00^{de}	9.37 ± 1.10^{cde}	3.31 ± 0.34^{b}	100.00 ± 0.00^{g}	-
	1.5	13.72	20.00 ± 0.00^{de}	10.86 ± 0.86^{e}	3.49 ± 0.35^{bc}	100.00 ± 0.00^{g}	-
	2.0	14.55	20.00 ± 0.00^{de}	9.92 ± 0.99^{de}	3.53 ± 0.31^{c}	100.00 ± 0.00^{g}	26.30 ± 3.04^{e}
HA160	1.0	13.98	20.33 ± 0.58^{e}	10.05 ± 0.89^{de}	3.79 ± 0.50^{bc}	100.00 ± 0.00^{g}	-
	1.5	13.34	20.00 ± 1.00^{de}	10.73 ± 0.81^{e}	3.13 ± 0.14^{bc}	100.00 ± 0.00^{g}	-
	2.0	14.42	20.33 ± 0.58^{e}	9.65 ± 1.05^{de}	3.41 ± 0.52^{bc}	100.00 ± 0.00^{g}	22.45 ± 3.32^{d}
SH120	1.0	13.72	16.67 ± 0.58^{a}	10.83 ± 1.99^{e}	1.66 ± 0.10^{a}	76.60 ± 4.55^{b}	-
	1.5	13.34	17.00 ± 1.00^{a}	7.61 ± 0.39^{abc}	1.98 ± 0.04^{a}	86.50 ± 3.63^{c}	-
	2.0	14.07	18.67 ± 0.58^{bc}	7.74 ± 1.68^{abc}	1.80 ± 0.07^{a}	99.10 ± 0.99^{fg}	5.10 ± 0.75^{b}
SH140	1.0	13.04	18.00 ± 0.00^{b}	7.33 ± 0.47^{ab}	1.43 ± 0.04^{a}	86.30 ± 5.08^{c}	-
	1.5	13.25	18.67 ± 0.58^{bc}	7.59 ± 0.49^{abc}	1.43 ± 0.09^{a}	94.40 ± 2.27^{e}	-
	2.0	13.55	18.00 ± 0.00^{b}	5.94 ± 0.34^{a}	1.47 ± 0.09^{a}	96.90 ± 2.23^{f}	4.01 ± 0.57^{a}
SH160	1.0	13.68	18.00 ± 0.00^{b}	6.34 ± 0.90^{a}	1.58 ± 0.10^{a}	93.40 ± 2.63^{de}	-
	1.5	13.90	18.00 ± 0.00^{b}	6.92 ± 0.79^{ab}	1.54 ± 0.06^{a}	91.70 ± 3.59^{d}	-
	2.0	14.20	18.00 ± 0.00^{b}	5.88 ± 0.29^{a}	1.53 ± 0.11^{a}	98.50 ± 0.97^{fg}	6.41 ± 1.42^{c}

Values in the same column with different superscripts mean that the values are significantly different ($p<0.05$)

คุณภาพการหุงต้มของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน ได้ทำการศึกษาในหัวข้อเวลาในการหุงสุก (Cooking time) การยืดตัวตามความยาว (Elongation) และการสูญเสียเนื้อแป้ง (Solid loss) พบว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งทำให้ข้าวกล้องงอกหุงสุกได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน และการอบแห้งด้วยตัวกลางทั้งสองชนิดใช้เวลาในการหุงสุกน้อยกว่าข้าวกล้องงอกอ้างอิงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เนื่องจากการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนทำให้ข้าวกล้องงอกเกิดการแตกร้าวสูงมากกว่าข้าวอ้างอิง ผลจากการแตกร้าวทำให้ในขณะหุงต้มน้ำสามารถซึมผ่านเข้าในเมล็ดได้ดีขึ้นทำให้แป้งสุกเร็วขึ้น ส่วนการยืดตัวตามความยาวและการสูญเสียเนื้อแป้ง พบว่าข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าการยืดตัวและการสูญเสียเนื้อแป้งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่มีค่าใกล้เคียงกับข้าวอ้างอิง เนื่องจากการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเกิดเจลาทิไนเซชันภายในเมล็ดแป้งส่งผลให้โครงสร้างภายในผนึกกันแน่นทำให้การพองและยืดตัว มีค่าลดลงและสูญเสียเนื้อแป้งในการหุงต้มลดลงตามไปด้วย (Swasdisevi et al., 2010)

การศึกษาผลกระทบของการอบแห้งต่อปริมาณสาร GABA พบว่า การใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการอบแห้งนานส่งผลให้ปริมาณสาร GABA เกิดการสูญสลายได้ (วรินธร และสุนัน, 2552) ดังนั้นการตรวจสอบหาปริมาณสาร GABA จะเลือกเฉพาะเงื่อนไขที่ใช้ความเร็วตัวกลางสูงสุดคือ 2.0 m/s เพราะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด จากการทดลอง พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ปริมาณสาร GABA จะมีค่าลดลงและมีค่าน้อยกว่าข้าวอ้างอิง แต่ยังคงมีค่าสูงกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เนื่องจากความร้อนแฝงจากการควบแน่นของไอน้ำที่บริเวณ

ผิวของข้าวกล้องงอกในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งถ่ายเทไปยังเมล็ดข้าวกล้องทำให้เกิดอุณหภูมิที่สูงขึ้นภายในเมล็ดข้าวกล้องงอก (อธิคม, 2546) อีกทั้งผลจากการควบแน่นของไอน้ำทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้นเพื่อให้ได้ความชื้นตามที่ต้องการ (13-14% (d.b.)) ซึ่งอาจเป็นผลทำให้เกิดการสูญสลายของปริมาณสาร GABA ได้มากกว่า

4. สรุป

จากการศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนพบว่า อัตราการลดความชื้นข้าวกล้องงอกจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วตัวกลาง และการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยอากาศร้อนมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในทุกๆ สภาวะเดียวกัน เนื่องจากอุณหภูมิในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งยังสูงไม่ถึงค่าอุณหภูมิอินเวอร์ชัน เมื่อนำข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งไปทดสอบคุณภาพด้านต่างๆ พบว่า การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง มีค่าความสว่างต่ำกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนและข้าวกล้องงอกอ้างอิง ในขณะที่ค่าสีแดงสูงกว่าข้าวกล้องงอกที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนและข้าวกล้องงอกอ้างอิง ส่วนค่าสีเหลืองมีค่าใกล้เคียงกับข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนและมีค่าสูงกว่าข้าวกล้องงอกอ้างอิง ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีสีเข้มขึ้นคล้ายกับข้าวนึ่งส่วนข้าวที่ผ่าน การอบแห้งด้วยอากาศร้อนมีสีขาวขุ่นขึ้น ด้านคุณภาพการหุงต้มข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองวิธีมีการแตกร้าวสูงขึ้นมากกว่าข้าวกล้องงอกอ้างอิงในทุกเงื่อนไขการอบแห้ง แต่ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีเปอร์เซ็นต์ การร้าว การยืดตัวตามความยาว การสูญเสียเนื้อแป้งในการหุงต้ม และใช้เวลาในการหุงต้มต่ำกว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนและข้าวอ้างอิง ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนเกิดการร้าวทั้งหมด มีการยืดตัวตามความยาวและการสูญเสียเนื้อแป้งในการหุงต้มใกล้เคียงกับข้าวอ้างอิงแต่ใช้เวลาในการหุงสุกต่ำกว่า การใช้อุณหภูมิสูงขึ้นในการอบแห้ง มีแนวโน้มทำให้ปริมาณสาร GABA ลดลง และการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งทำให้สาร GABA สูญสลายมากกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนเนื่องจากความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นภายในเมล็ดข้าวกล้องงอกเร่งให้เกิดการสูญสลายของสาร GABA

5. เอกสารอ้างอิง

จารุรัตน์ สันเต. 2550. ผลของกระบวนการแช่และกระบวนการงอกของข้าวกล้อง (หอมมะลิ 105) ต่อปริมาณสารแกมมาอะมิโน บิวเทอริกเอซิดในข้าวกล้องงอก. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ฉรงค์ อึ้งกิมบ้วน. 2544. การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วรินธร ยิ้มย่อง และสุนัน ปานสาคร. 2552. ศึกษาผลของอุณหภูมิในการลดความชื้นที่มีต่อปริมาณกรดแกมมาแอมิโนบิวทิริกในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกเพื่อการเพิ่มมูลค่าผลิตผลทางการเกษตร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

อธิคม จิรจินดาเดิศ. 2546. การนึ่งข้าวกล้องด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

AOAC.1990. Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Arlington.

Gujral, H.S., and Kumar, V. 2003. Effect of accelerated aging on the physicochemical and textural properties of brown and milled rice. Journal of Food Engineering. 59 : 117-121.

Juliano, B.O. 1985. Critical and tests for rice grain qualities. In rice: Chemistry and Technology 2nd edition. Edited by B.O. Juliano The American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, USA. 443-524.

Khuhawar, M.Y. and Rajper, A.D. 2003. Liquid chromatographic determination of gamma-aminobutyric acid in cerebrospinal fluid using 2-hydroxynaphthaldehyde as derivatizing reagent. Journal of Chromatography B, 788: 413-418.

Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. and Kimura, T., 2007. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. Journal of Food Engineering. 78 : 556-560.

Rordprapat, W., Nathakaranakule, A., Tia, W., and Soponronnarit, S., 2005. Comparative study of fluidized bed paddy drying using hot air and superheated steam. Journal of Food Engineering. 71(1): 28-36.

Schwartze, J.P. and Brocker, S. 2002. A Theoretical Explanation for the Inversion Temperature. Chemical Engineering Journal. 86 : 61-67.

Swasdisevi, T., Sriariyakula, W., Tia, W. and Soponronnarit, S. 2010. Effect of pre-steaming on production of partially-parboiled rice using hot-air fluidization technique. Journal of Food Engineering. 96 : 455-462.

Taechapiroj, C. Dhuchakallaya, I. Soponronnarit, S. and Prachayawarakorn, S. 2003. Superheated steam fluidized bed paddy drying. Journal of Food Engineering. 58: 67-73.