รายงานโครงการวิจัย
เรื่อง

การอบแห้งแบบพุ่งชนเพื่อการผลิตข้าวกาบา:จลนพลศาสตร์การอบแห้งและคุณภาพ

Impingement Drying for Producing GABA Rice: Drying Kinetics and Qualities Aspect

คณะผู้วิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร. สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล
(หัวหน้าโครงการวิจัย)
รศ.ดร.ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล
(ผู้ร่วมโครงการวิจัย)
ดร. จุฑารัตน์ ทะสะระ
(ผู้ร่วมโครงการวิจัย)
ดร. วีรยา คุ้มเมือง
(ผู้ร่วมโครงการวิจัย)

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2558

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้เพื่อศึกษาสมบัติเชิงอุณหกายภาพของข้าวกล้องงอก (ข้าวกาบา) และศึกษาปัจจัยของการอบแห้งที่มีผลต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพของข้าวกาบา 2 สายพันธุ์ คือ ข้าวสังข์หยดและข้าวเฉี้ยงพัทลุง การศึกษาสมบัติเชิงอุณหกายภาพของข้าวกาบา ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ เปอร์เซ็นต์ช่องว่างของอากาศ ความจุความร้อนจำเพาะ และความชื้นสมดุล พบว่า ความหนาแน่นปรากฏ เปอร์เซ็นต์ช่องว่างของอากาศ และความจุความร้อนจำเพาะ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความชื้นและเมื่อพิจารณาหาค่าความชื้นสมดุล พบว่าผลการจำลองด้วย สมการรูปแบบ Modified Oswin (1946) และ Modified GAB (1985) สามารถอธิบายผลการทดลองของข้าวกาบาพันธุ์สังข์หยดและเฉี้ยงพัทลุง ได้ดีที่สุด ตามลำดับ

กรณีศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งของข้าวกล้องงอก (ข้าวกาบา) ที่ความชื้นเริ่มต้นในช่วง 47-55% มาตรฐานแห้ง อุณหภูมิอบแห้งในช่วง 60-100°C ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบพุ่งชนของอากาศ ความเร็วลม 10.2-16.7 เมตรต่อวินาที จนเหลือความชื้นสุดท้ายในช่วง 20-25% มาตรฐานแห้ง พบว่า ความชื้นจะลดลงเมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงของความชื้นจะเป็นฟังก์ชันการลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลกับเวลาอบแห้ง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของข้าวกาบา หลังการอบแห้ง พบว่า คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ร้อยละข้าวเต็มเมล็ด ร้อยละข้าวท้องไข่ และการแตกร้าวของเมล็ดข้าวลดลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น สำหรับค่าสี (ในหน่วยของ CIE lab คือ L*, a* และ b*) ของข้าวกาบา พบว่าข้าวกาบาอบแห้ง มีสีที่คล้ำกว่าข้าวอ้างอิง (ทำแห้งด้วยการพาความร้อนตามธรรมชาติที่ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง) ทั้งนี้มีสาเหตุมาจาก ในกระบวนการทำข้าวงอก มีกระบวนการแช่น้ำ การนึ่ง และการอบแห้ง สามารถเพิ่มปรากฏการณ์ด้านสีเข้มขึ้นได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง สำหรับคุณภาพการหุงต้ม พบว่า อุณหภูมิการอบแห้งไม่มีผลต่ออัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว ปริมาณการดูดซับน้ำของข้าวหุงสุก ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำข้าวสุก และลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกอย่างมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) นอกจากนั้นคุณภาพทางเคมีของข้าวกาบาทั้ง 2 สายพันธุ์ พบว่ามีปริมาณสารกาบา สูงกว่าข้าวอ้างอิง ส่วนโปรตีนและไขมันใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับข้าวอ้างอิง อย่างไรก็ตาม ข้าวกาบาหุงสุกจะมีความนุ่มและเหนียวกว่าข้าวอ้างอิง และความยอมรับในการบริโภคโดยรวมมีแนวโน้มชอบมากกว่าข้าวอ้างอิงหุงสุก

ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง พบว่า อุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นและค่าความเร็วลมเพิ่มขึ้น ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีแนวโน้มลดลง

ABSTRACT

The objectives of this project were to study thermo-physical properties of γ-aminobutyric acid (GABA) rice varieties and to study the effect of drying strategies on kinetics and quality of the GABA Sangyod rice and Chiang Phatthalung rice cultivars. Thermo-physical properties of GABA rice in terms of apparent density, void fraction, specific heat capacity and equilibrium moisture content (EMC) were evaluated. The conclusion of results stated that the apparent density, percentage of void fraction and specific heat capacity of both GABA rice cultivars were linearly dependent on moisture content. For determination of equilibrium moisture content (EMC), the simulated result using the Modified Oswin (1946) and the Modified GAB (1985) model gave the best fitting for the moisture isotherms for GABA Sangyod rice and Chiang Phatthalung rice, respectively.

For studying drying kinetics of GABA rice with initial moisture content ranging of 47-55% dry-basis and drying temperature ranging of 60-100°C, the rice samples were dried by impingement with average air velocity ranges between 10.2 and 16.7 m/s. The final moisture content of dried rice were about 20-25% dry-basis.. The results concluded that the evolution of moisture transfer was negative exponential function of drying time.

For physical qualities analysis, the results showed that head rice yield (HRY), white belly and grain fissuring decreased with increase of drying temperature. For color measurement (L*, a*, b* CIE lab) of dried GABA rice varieties, the results found that the dried GABA rice varieties were darker than reference rice (rice dried with natural convection from research institute at Phatthalung province). This occurrence is because the soaking, steaming and drying during GABA parboiling process could enhance these color incidence corresponding to many research work related. For cooking quality evaluation, the elongation ratio, water uptake, solid loss and texture appearance of cooking GABA rice verities insignificantly changed with the drying temperatures (at the confident level of 95%). In addition, both GABA rice varieties had high GABA content than reference rice while protein and fat content of dried rice verities were the same amount as reference rice. However , both of cooked GABA rice verities were softer and stickier than the reference rice and the overall acceptability of GABA rice tend to be preferable.

For determination of specific energy consumption, the analysis was concluded that the increase of drying temperature and air flow rate tend to decrease of specific energy consumption.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ที่ได้สนับสนุนและให้ทุนงบประมาณแผ่นดินแบบทั่วไป อุดหนุนการทำโครงการวิจัยนี้ ขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์และสถานที่ในการดำเนินโครงการวิจัย ขอขอบคุณ แผนกวิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์และสถานที่ในการดำเนินโครงการวิจัยและสุดท้ายขอขอบคุณนักศึกษาและบุคลากรห้องปฏิบัติการทุกท่าน ที่ส่วนช่วยเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(5)
รายการตาราง	(7)
รายการรูป	(9)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1-2
1.3 ขอบเขตและวิธีดำเนินการวิจัย	1-3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	1-4
บทที่ 2 การตรวจเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความหมายและความสำคัญของข้าว	6
2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	9
2.3 คุณภาพของข้าว	10
2.4 กระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกจากข้าวเปลือก	15
2.5 การอบแห้ง	18
2.6 การอบแห้งแบบพุ่งชนของอากาศ (impingement drying)	28
2.7 การอบแห้งด้วยลมร้อนแบบถาด (tray drying)	29
2.8 การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด (infrared drying)	30
2.9 พารามิเตอร์พื้นฐานสำหรับการอบแห้ง	31
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	
3.1 วัตถุดิบ	3-1
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	3-1
3.3 เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง	3-1
3.4 ขั้นตอนการทดลอง	3-3

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลและอภิปรายผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดลองหาค่าสมบัติทางกายภาพและค่าทางความร้อนของข้าวกาบา	4-1
4.2 ผลการทดลองหาจลนพลศาสตร์และสมการการอบแห้งทางคณิตศาสตร์	4-8
4.3 อัตราการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง	4-18
4.4 คุณภาพของข้าวกาบา	4-20
4.5 คุณภาพการหุงต้ม เนื้อสัมผัส ทางเคมีและการทดสอบทางประสาทสัมผัส	4-28
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	5-1
เอกสารอ้างอิง	6-1

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวสังข์หยด	2-2
2.2	สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวเฉี้ยงพัทลุง	2-3
2.3	การจำแนกรูปร่างเมล็ดจากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง	2-5
2.4	การแบ่งชนิดข้าวตามอุณหภูมิแป้งสุกและการประมาณด้วยค่าการสลายของเมล็ดในด่างที่สัมพันธ์กับระยะเวลาในการหุงต้ม	2-7
2.5	คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวสาร ในปริมาณ 100 กรัม	2-8
2.6	อุณหภูมิระดับต่างๆที่เมล็ดพันธุ์พืชชนิดต่าง ๆ สามารถงอกได้	2-10
2.7	ตัวอย่างสมการอบแห้งเอมพิริเคิลที่ใช้ในการทำนายการอบแห้ง	2-18
4.1	ค่าคงตัวของสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลไอโซเทอมของข้าวกาบาพันธุ์สังข์หยดที่อุณหภูมิ 40-60°C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 10-90%	4-2
4.2.	ค่าคงตัวของสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลไอโซเทอมของข้าวกาบาพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงที่อุณหภูมิ 40-60°C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 10-90%	4-2
4.3	ค่าคงตัวของสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริเคิลของข้าวกาบาพันธุ์สังข์หยด อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C	4-13
4.4	ค่าคงตัวของสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริเคิลของข้าวกาบาพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C	4-15
4.4	ค่าคงตัวของสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริเคิลของข้าวกาบาพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C	4-15
4.5	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของข้าวกาบา 2 พันธุ์ อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C	4-17
4.6	อัตราการอบแห้งเฉลี่ยและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งข้าวกาบาพันธุ์สังข์หยด อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C ความเร็วลม 10.2-16.7m/s	4-18
4.7	อัตราการอบแห้งเฉลี่ย และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งข้าวกาบาพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C ความเร็วลม 10.2-16.7 m/s	4-19
4.8	ร้อยละข้าวเต็มเมล็ด ร้อยละข้าวแตกร้าว และร้อยละข้าวท้องไข่ของข้าวกาบาพันธุ์สังข์หยด อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C	4.21

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.9 ร้อยละข้าวเต็มเมล็ด ร้อยละข้าวแตกร้าว และร้อยละข้าวท้องไข่ของข้าวกาบาพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C 4.22

4.10 สีของข้าวกาบาพันธุ์สังข์หยด อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C 4-24

4.11 สีของข้าวกาบาพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C 4-25

4.12 อัตราการยืดตัวข้าวกาบา 2 สายพันธุ์ อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C 4-29

4.13 ระยะเวลาหุงต้ม ร้อยละปริมาณการดูดซับน้ำและร้อยละปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของข้าวกาบาพันธุ์สังข์หยด อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C 4.31

4.14 ระยะเวลาหุงต้ม ร้อยละปริมาณการดูดซับน้ำและร้อยละปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของข้าวกาบาพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C 4-32

4.15 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก พันธุ์สังข์หยด อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C 4-33

4.16 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก พันธุ์เฉี้ยงพัทลุง อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C 4-34

4.17 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการชิมของข้าวกาบาหุงสุกสังข์หยด อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C 4.37

4.18 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการชิมของข้าวกาบาหุงสุกเฉี้ยงพัทลุง อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C 4-38

รายการรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ข้าวสังข์หยด	2-2
2.2	ข้าวเฉี้ยงพัทลุง	2-3
2.3	โครงสร้างเมล็ดข้าว	2-4
2.4	ช่วงการอบแห้ง	2-11
2.5	ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง	2-13
2.6	ทิศทางการไหลของลมร้อนที่ออกจาก Nozzle	2-19
2.7	ทิศทางของลมร้อนจาก Nozzle มาสัมผัสกับผิวผลิตภัณฑ์	2-20
3.1	เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบพุ่งชนของอากาศ	3-2
3.2.	เครื่องวัดสีอาหาร Hunter Lab รุ่น Color Flex	3-7
3.3.	เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA. XT. Plus และลักษณะกราฟที่ได้จากเครื่อง Texture analyzer เมื่อ 1 = hardness และ 2 = stickiness	3-9
4.1	ไอโซเทอมความชื้นสมดุลของข้าวกาบา 2 สายพันธุ์ เปรียบเทียบผลการทดลองและผลจากแบบจำลองที่อุณหภูมิ 40°C	4-3
4.2	ไอโซเทอมความชื้นสมดุลของข้าวกาบา 2 สายพันธุ์ เปรียบเทียบผลการทดลองและผลจากแบบจำลองที่อุณหภูมิ 50°C	4-3
4.3	ไอโซเทอมความชื้นสมดุลของข้าวกาบา 2 สายพันธุ์ เปรียบเทียบผลการทดลองและผลจากแบบจำลองที่อุณหภูมิ 60°C	4-4
4.4	ไอโซเทอมความชื้นสมดุลข้าวกาบา 2 สายพันธุ์ ที่อุณหภูมิ 40-60°C	4-4
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นปรากฏกับความชื้นของข้าวกาบา 2 สายพันธุ์	4-5
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนช่องว่างของอากาศกับความชื้นของข้าวกาบา 2 สายพันธุ์	4-6
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความจุความร้อนจำเพาะกับความชื้นของข้าวกาบา 2 สายพันธุ์	4-7
4.8.	ปัจจัยของอุณหภูมิอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งของข้าวกาบาพันธุ์สังข์หยด อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C	4-9
4.9	ปัจจัยของอุณหภูมิอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งของข้าวกาบาพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C	4-10

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.10	เปรียบเทียบผลการทดลองอบแห้งกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของข้าวกาบา พันธุ์สังข์หยด อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C	4-12
4.11	เปรียบเทียบผลการทดลองอบแห้งกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของข้าวกาบา พันธุ์เฉี้ยงพัทลุง อุณหภูมิอบแห้ง 60-100°C	4-14
4.12.	ลักษณะโครงสร้างเม็ดสตาร์ชของข้าวอ้างอิง (ข้าวเปลือกจากศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าวพัทลุง) ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope กำลังขยาย ×1,000	4-26
4.13	ลักษณะการเกิดเจลาติไนซ์ของข้าวกาบา (ข้าวควบคุม) หลังแช่น้ำ ที่อุณหภูมิห้อง (30°C) เป็นเวลาประมาณ 36 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope กำลังขยาย ×1,000	4-27
4.14	ลักษณะการเกิดเจลาติไนซ์ไม่สมบูรณ์ของข้าวกาบา (ข้าวควบคุม) หลังแช่น้ำที่ อุณหภูมิห้อง (30°C) เป็นเวลาประมาณ 36 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope กำลังขยาย ×1,000	4.27
4.15	ลักษณะที่ปรากฏทางกายภาพหลังการหุงต้มของข้าวกาบา 2 สายพันธุ์ (ก) ข้าวสังข์หยด, (ข) ข้าวเฉี้ยงพัทลุง	4-35