

ผลของเทคนิคฟลูอิดไรซ์เบดแบบอากาศร้อนขึ้นต่อคุณภาพของข้าวกล้องกึ่งนึ่งสุภาพ
Effect of humidified hot air fluidized bed technique on healthy partially parboiled brown rice quality

ชัยวัฒน์ รัตนมีชัยสกุล¹ สมเกียรติ ปรัชญาวารากร² และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์¹
Chaiwat Rattanamechaiskul¹, Somkiat Prachayawarakorn² and Somchart Soponronnarit¹

Abstract

Partially parboiled brown rice can reduce the starch digestibility and the glycemic index since amylose-lipid complexes, acting as a resistance to enzymatic digestion, are formed. The extent of the amylose-lipid complex formation depended on the combined effects of operating condition and degree of starch gelatinization. The objectives of this work were therefore to study the drying kinetics, the glycemic index and the textural property of brown rice after treated by humidified hot air and hot air fluidized bed. The samples, "Phitsanulok 2" rice variety, were dried by humidified and non-humidified hot air at temperatures of 100 to 150°C. At such a drying temperature range, the relative humidity was given in the range of 6.1-7.2% and 0.9-4.3% for the humidified and non-humidified hot air, respectively. The results revealed that the drying rate of humidified hot air was less than that of the non-humidified hot air because the difference of water vapor concentration between brown rice surface and drying air was lower in the humidified air than in the other one. The degrees of gelatinization, as measured by a differential scanning calorimeter, and degrees of crystallinity at peak 20° of treated brown rice, corresponding to the peak of amylose-lipid complexes as measured by X-ray diffractometer, were also higher when the sample was treated by the humidified hot air. For the starch digestibility, treated brown rice by the humidified hot air at temperatures of 150°C was the slowest of all. In addition, for the textural property, the treated brown rice was harder than the reference rice and it increased with an increase in degrees of gelatinization.

Keywords: partially parboiled brown rice, fluidized bed, humidified hot air, glycemic index

บทคัดย่อ

ข้าวกล้องกึ่งนึ่งสุภาพสามารถลดความสามารถในการย่อยสลายและดัชนีไกลซีมิกของข้าวได้ ทั้งนี้เนื่องจากการรวมตัวของสารประกอบเชิงซ้อนอะไมโลส-ลิพิด ระหว่างกระบวนการเจลาทีไนซ์เซชัน โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการรวมตัวของสารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าวคือระดับของการเกิดเจลาทีไนซ์เซชัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงจลนศาสตร์ของการอบแห้ง ระดับของการเกิดเจลาทีไนซ์เซชัน ดัชนีไกลซีมิกและคุณภาพของข้าวกล้อง ภายหลังจากการให้ความร้อนด้วยอากาศร้อนขึ้นและอากาศร้อน โดยใช้ข้าวสายพันธุ์พิษณุโลก 2 อุณหภูมิในการให้ความร้อนอยู่ในช่วง 100-150°C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร้อนขึ้นมีค่า 6.1-7.2% และอากาศร้อนมีค่า 0.9-4.3% จากการทดลองพบว่า การให้ความร้อนด้วยอากาศร้อนขึ้นมีอัตราการอบแห้งต่ำกว่าการใช้อากาศร้อน เนื่องจากความแตกต่างของปริมาณความชื้นระหว่างผิวของข้าวกล้องและอากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าน้อยกว่าอากาศร้อน ส่วนระดับของการเกิดเจลาทีไนซ์เซชันจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง differential scanning calorimeter และระดับความเป็นผลึกของ V_{type} ที่ peak 20° จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer ของข้าวกล้องที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยอากาศร้อนขึ้น มีค่ามากกว่าข้าวกล้องที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิเดียวกัน สำหรับค่าดัชนีไกลซีมิกพบว่าข้าวกล้องที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยอากาศร้อนขึ้นที่อุณหภูมิ 150°C มีแนวโน้มลดลงมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับการให้ความร้อนด้วยอากาศร้อนและข้าวกล้องอ้างอิง ส่วนสมบัติด้านเนื้อสัมผัสพบว่า ข้าวกล้องที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นมากขึ้นตามระดับของการเกิดเจลาทีไนซ์เซชัน

คำสำคัญ: ข้าวกล้องกึ่งนึ่งสุภาพ ฟลูอิดไรซ์เบด อากาศร้อนขึ้น ดัชนีไกลซีมิก

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ท่าพระ กรุงเทพฯ 10140

¹ Energy Technology Division, School of Energy Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Tungkrui, Bangkok 10140

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ท่าพระ กรุงเทพฯ 10140

² Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Tungkrui, Bangkok 10140

คำนำ

คาร์โบไฮเดรตที่ได้จากข้าวนั้น ถือได้ว่าเป็นแหล่งพลังงานหลักในการดำรงชีวิตของประชากรกว่าครึ่งหนึ่งของโลก รวมทั้งประเทศไทย ข้าวซึ่งเก็บเกี่ยวที่ความชื้นสูงจำเป็นต้องผ่านการบวกรลดความชื้นอย่างรวดเร็วเพื่อเก็บรักษา โดยขณะผ่านกระบวนการความร้อนส่งผลให้สสารเกิดเจลาทีไนซ์เซชัน ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของสสารและสมบัติด้านเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลง ผลจากการเปลี่ยนแปลงนี้ส่งผลทั้งในแง่ดีและแง่เสียต่อสมบัติทางกายภาพของข้าว ข้อดีคือ ร้อยละต้นข้าวมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากกระบวนการเกิดเจลาทีไนซ์เซชันสามารถผสมผสานรอยร้าวในเมล็ดข้าวได้ ส่วนข้อเสียคือ เมื่อสสารเกิดเจลาทีไนซ์เซชัน ส่งผลให้ค่าดัชนีไกลซีมิก (GI) นั้นเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากโครงสร้าง semi-crystalline ของสสารถูกทำลาย ทำให้สามารถย่อยและดูดซึมได้ง่ายขึ้นในลำไส้เล็ก (Jung และคณะ, 2009) (ค่า GI เป็นดัชนีตรวจวัดผลของอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีต่อระดับน้ำตาลกลูโคสในกระแสเลือดหลังจากรับประทานอาหารนั้น 2 ถึง 3 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบกับน้ำตาลกลูโคสหรือขนมปังขาวซึ่งกำหนดให้ค่า GI เท่ากับ 100) อย่างไรก็ตามข้อด้อยนี้ได้ถูกยกเว้นในกรณีของข้าวกล้อง (Jaisut และคณะ, 2008) เนื่องจากอะไมโลสเกิดการรวมตัวกับลิพิดกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอะไมโลส-ลิพิดได้ในระหว่างกระบวนการเจลาทีไนซ์ การเกิดขึ้นของสารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าวเกิดจากการแตกตัวของเม็ดสสารกับลิพิดในรำข้าวที่ติดตรงส่วนของสสารที่หุ้มผิวของเม็ดสสารไว้ระหว่างกระบวนการเจลาทีไนซ์เซชัน จากสมบัติของสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำจึงทำให้สามารถต้านทานการย่อยจากเอนไซม์อะไมเลสได้ ส่งผลให้ค่า GI ลดต่ำลง และจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การบริโภคอาหารที่มีค่า GI ต่ำ (GI = 65) สามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวานชนิดที่ 2 (insulin resistance) ได้ 1.37 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับการบริโภคอาหารที่มีค่า GI สูง (GI = 79) (McGonigal และ Kapustin, 2008) สำหรับการรวมตัวของสารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าวนั้นขึ้นอยู่กับระดับของการเกิดเจลาทีไนซ์เซชัน ระดับของการเกิดเจลาทีไนซ์เซชันขณะที่อบแห้งจะสูงหรือต่ำนั้นขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าว ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในการให้ความร้อน ดังนั้นการให้ความร้อนด้วยอากาศร้อนชื้น (HHA) น่าจะให้ระดับการเกิดเจลาทีไนซ์ที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับอากาศร้อนปกติ (HA) เนื่องจากการให้ความร้อนด้วย HHA จะเกิดการควบแน่นของไอน้ำ ประการที่สองอัตราการอบแห้งของวัสดุขณะอบแห้งด้วย HHA ต่ำกว่าการใช้ HA (Jaritontovait และคณะ, 2007) ด้วยเหตุผลดังกล่าวการใช้ HHA ในการให้ความร้อนจึงทำให้สสารเกิดเจลาทีไนซ์เซชันมากกว่าการใช้ HA ส่งผลให้มีการรวมตัวของสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสและลิพิดได้มากขึ้น ซึ่งน่าจะช่วยให้ค่า GI ของข้าวกล้องที่ผ่านการอบแห้งด้วย HHA ต่ำกว่าในกรณี HA ซึ่งจะเป็นข้อดีสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนศาสตร์ของการอบแห้งด้วย HHA และ HA ระดับของการเกิดเจลาทีไนซ์เซชัน ร้อยละต้นข้าวกล้อง วิเคราะห์โครงสร้างผลึก ค่า GI และสมบัติด้านเนื้อสัมผัส

อุปกรณ์และวิธีการ

ข้าวเปลือกสายพันธุ์พิษณุโลก 2 มีปริมาณอะไมโลส 28.6% จากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีถูกนำมาเพิ่มความชื้น เพื่อให้ได้ความชื้นที่ 33.3% (d.b.) และเก็บในอุณหภูมิ 4-6°C (นำออกมาคลุกทุก ๆ 24 ชั่วโมง) เป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นนำมาให้ความร้อนด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรเซชัน ซึ่งระบบอบแห้งประกอบไปด้วย Boiler ไฟฟ้า ขนาด 21 kW สำหรับผลิตไอน้ำที่อุณหภูมิ 103 °C เพื่อเพิ่มความชื้นให้อากาศร้อน ฮีตเตอร์ขนาด 12 kW ควบคุมอุณหภูมิโดย PID controller ความแม่นยำ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ห้องอบแห้งสแตนเลสทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm พัดลมแบบใบพัดโค้งหลังทำงานด้วยมอเตอร์ขนาด 1.5 kW โดยอากาศถูกส่งผ่านฮีตเตอร์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการและถูกหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ 80% จากนั้นไอน้ำจะถูกส่งเข้าระบบเพื่อเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในกรณีของ HHA นำตัวอย่างของข้าวเปลือกประมาณ 2.0 kg มาอบแห้งที่อุณหภูมิระหว่าง 100-150°C ความชื้นสัมพัทธ์ของ HHA มีค่า 6.1-7.2% และ HA มีค่า 0.9-4.3% ด้วยความเร็วอากาศ 3.2 m/s ที่ความสูงเบด 10 cm ตัวอย่างข้าวภายหลังจากการอบแห้งนำมาเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลาประมาณ 30 นาที หลังจากนั้นถูกนำมาเป่าลมด้วยอากาศแวดล้อมเป็นเวลา 30 นาที จนกระทั่งมีความชื้นลดลงเหลือ 13-15% (d.b.) จากนั้นนำตัวอย่างข้าวไปเก็บที่อุณหภูมิ 4-6°C เป็นระยะเวลา 14 วัน เพื่อรอการทดสอบคุณภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้ ระดับของการเกิดเจลาทีไนซ์เซชันโดยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) ร้อยละต้นข้าวกล้องโดยคำนวณจากสัดส่วนระหว่างน้ำหนักของต้นข้าวกล้องต่อน้ำหนักของข้าวเปลือก การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกโดยเครื่อง X-Ray diffract (XRD) ค่า GI ด้วยวิธีการของ Goni และคณะ, 1997 และสมบัติด้านเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer

ผลและวิจารณ์ผล

Figure 1a แสดงเส้นเฉพาะของการอบแห้งข้าวเปลือกในขณะอบแห้งด้วย HHA และ HA พบว่ามีการควบแน่นของไอน้ำเกิดขึ้นในช่วงแรกสำหรับ HHA ส่งผลให้ ความชื้นของเมล็ดข้าวมีค่าสูงขึ้นในช่วง 30s แรกของกระบวนการให้ความร้อน หลังจากช่วงของการควบแน่น จะเป็นช่วงของการอบแห้งซึ่งจากผลที่ได้จะเห็นว่าอัตราการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วย HHA มีค่าต่ำกว่าการใช้ HA เนื่องจากอัตราส่วนความชื้นของไอน้ำในอากาศในกรณีของ HHA มีค่ามากกว่า HA สำหรับอุณหภูมิของเมล็ดข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วย HHA มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงของการควบแน่นเนื่องจากการคายความร้อนแฝงของไอน้ำ เมื่ออุณหภูมิเมล็ดข้าวมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างช่วงของการควบแน่นจะสิ้นสุดลง และจากการคายพลังงานความร้อนของไอน้ำนี้ จึงทำให้อุณหภูมิของเมล็ดข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วย HHA มีค่ามากกว่าการให้ความร้อนด้วย HA ที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกันดังแสดงใน Figure 1b ดังนั้นจึงส่งผลให้ระดับของการเกิดเจลลาคาที่ไนซ์เซชันมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในการให้ความร้อนดังแสดงใน Table 1 ส่วนผลการวิเคราะห์ระดับความเป็นผลึกดังแสดงใน Table 2 และ Figure 3 พบว่าโครงสร้างผลึกของข้าวสายพันธุ์พิษณุโลก 2 เป็นชนิด A-type Peak ซึ่งสังเกตจากมุมที่ 15°, 17°, 18°, 23° เมื่ออบแห้งผ่านไประดับความเป็นผลึกชนิด A-type มีแนวโน้มลดลงตามระดับของการเกิดเจลลาคาที่ไนซ์เซชันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจากผลที่ได้จะเห็นว่าระดับของเจลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลบแห้งสูงขึ้น และข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วย HHA มีระดับเจลสูงกว่าในกรณี HA สำหรับระดับความเป็นผลึกของ V_n-type ที่ 20° ซึ่งเป็นลักษณะโครงสร้างผลึกของสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสและลิปิดนั้นมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามระดับของการเกิดเจลลาคาที่ไนซ์เซชันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการอบแห้งด้วย HHA มีระดับผลึกดังกล่าวมากกว่าการอบแห้งด้วย HA การอบแห้งด้วย HHA ที่อุณหภูมิ 150°C มีค่าระดับผลึกของ V_n สูงสุดเท่ากับ 2.0±0.1 จึงทำให้ค่า GI และร้อยละของ Total starch hydrolysis มีค่าต่ำที่สุด ดังแสดงใน Table 2 และ Figure 4 ตามลำดับ สำหรับร้อยละต้นข้าวกล้องดังแสดงใน Figure 2 พบว่า ร้อยละต้นข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามระดับของการเกิดเจลลาคาที่ไนซ์เซชัน เนื่องจากการเกิดเจลลาคาที่ไนซ์เซชันทำให้เมล็ดข้าวมีความแข็งเพิ่มขึ้น และจากการที่รอยแตกภายในเมล็ดข้าวสามารถประสานกันอย่างสนิท ส่งผลให้เมล็ดข้าวสามารถต้านทาน stress ที่เกิดจากการอบแห้ง รวมถึงทนทานต่อการกระแทกเปลือกได้ดีขึ้น ส่วนสมบัติด้านเนื้อสัมผัสดังแสดงใน Table 3 พบว่า ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน ด้วย HHA มีค่าความแข็งมากกว่าข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วย HA ที่อุณหภูมิเดียวกันและค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในการให้ความร้อน

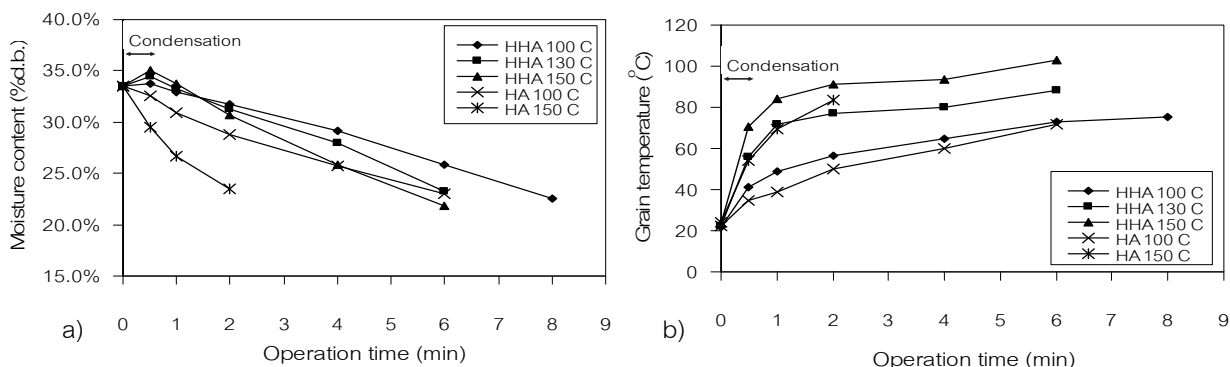


Figure 1 a) Moisture content of paddy by humidification and hot air and b) Evolution of grain temperatures

Table 1 Thermal analysis results of paddy rice flour at various conditions

Drying media	T (°C)	Relative humidity (%)	Transition temperature (°C)			ΔH (J/g)	DG (%)
			T _o	T _p	T _c		
	Reference		61.6	67.7	73.8	6.8	0.0
HA	100	4.3	62.1	68.5	74.7	5.7	16.2
	150	0.9	62.8	69.2	75.3	5.1	34.7
HHA	100	6.1	62.5	68.7	75.1	5.6	17.6
	130	7.2	63.9	69.8	77.1	4.4	36.0
	150	6.4	64.7	70.3	76.9	3.9	44.1

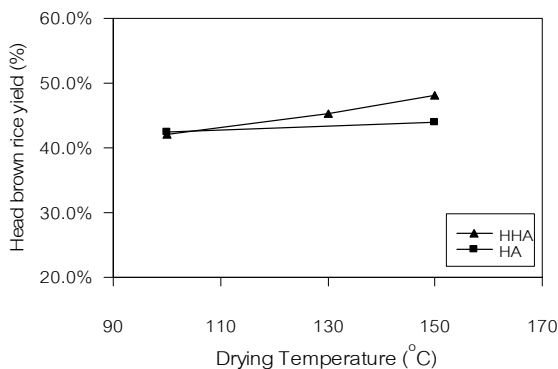


Figure 2 Head rice yield of treated brown rice

Table 2 Degree of crystallinity and GI of treated brown rice

Drying media	T (°C)	Degree of crystallinity of A type (%)	Degree of crystallinity of V type (%)	GI
Reference		14.5 ± 0.0	ND	68.9 ± 0.7 ^a
HA	100	13.3 ± 0.1	0.8 ± 0.0	65.3 ± 0.4 ^b
	150	9.7 ± 0.1	1.4 ± 0.1	61.3 ± 0.5 ^c
HHA	100	12.2 ± 0.5	0.9 ± 0.1	64.1 ± 1.1 ^d
	130	9.3 ± 0.2	1.6 ± 0.1	59.8 ± 0.3 ^e
	150	7.6 ± 0.2	2.0 ± 0.1	58.4 ± 0.2 ^f

a, b, c, d, e, f superscripts are significantly different (p<0.05)

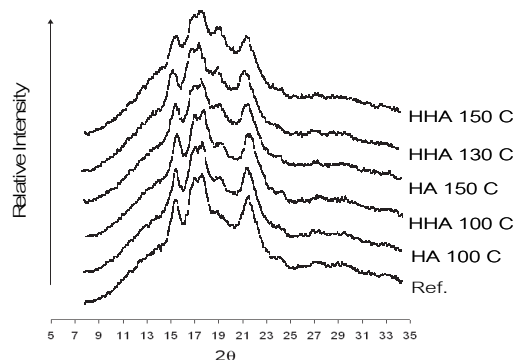


Figure 3 XRD patterns of treated brown rice

Table 3 Textural properties of cooked brown rice

Drying media	T (°C)	Hardness (N)
Reference		125.8 ± 5.5 ^e
HA	100	139.6 ± 5.4 ^d
	150	148.9 ± 2.5 ^{bc}
HHA	100	141.8 ± 2.2 ^{cd}
	130	152.2 ± 6.5 ^{ab}
	150	160.1 ± 3.9 ^a

a, b, c, d, e superscripts are significantly different (p<0.05)

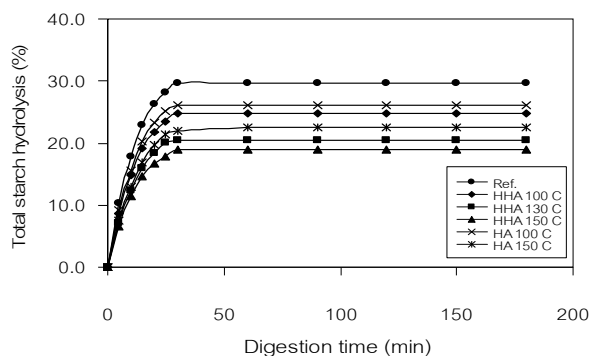


Figure 4 In vitro starch hydrolysis rate of treated brown rice

สรุป

ความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงของการควบแน่นรวมทั้งอัตราการอบแห้งที่ต่ำกว่าของการให้ความร้อนด้วย HHA ทำให้ระดับของการเกิดเจลลิตินในซีเซชันมีค่าสูงกว่าการให้ความร้อนด้วย HA ส่งผลให้เกิดการรวมตัวของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสและลิพิดมีเพิ่มขึ้นและ GI มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามระดับของการเกิดเจลลิตินในซีเซชัน และระดับของการเกิดเจลลิตินที่เพิ่มขึ้นนี้ยังส่งผลให้ร้อยละต้นข้าวกลิ้งและความแข็งของข้าวหลังการหุงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก The Royal Golden Jubilee Ph.D. Program under The Thailand Research Fund และ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

Goni, I., A.A. Garcia and C.F. Saura. 1997. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. Nutrition Research. 17: 427-437.

Jaisut, D., S. Prachayawarakorn, W. Varanyanond, P. Tungtrakul and S. Soponronnarit. 2008. Effects of temperature and tempering time on starch digestibility of brown fragrant rice. Journal of Food Engineering 86: 251-258.

Jariyontontivait, W., S. Prachayawarakorn, C. Taechapairoj and S. Soponronnarit. 2007. Parboiling rice using humidified hot air fluidization technique. Asia-Pacific Drying Conference 1: 576-582.

Jung, E.Y., H.J. Suh, W.S. Hong, D.G. Kim, Y.H. Hong, I.S. Hong and U.J. Chang. 2009. Uncooked rice of relatively low gelatinization degree resulted in lower metabolic glucose and insulin responses compared with cooked rice in female college students. Nutrition Research 29: 457-461.

McGonigal, A. and J. Kapustin. 2008. Low-glycemic index diets: should they be recommended for diabetics?. Nurse Practitioners 4: 688-696.