ดัชนีน้ำตาลในข้าวเหนียวและข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมือง โดยใช้วิธี "การเลียนแบบการย่อยการดูดซึมน้ำตาลในหลอดทดลอง"

Glycemic Index of Glutinous and Non-Glutinous Landrace Rice Varieties Using *"In vitro Rapidly Available Glucose"*

สุนีย์ สหัสโพธิ์[1] ริญ เจริญศิริ[2] และ รัชนี คงคาฉุยฉาย[2]

Sunee Sahaspot[1]*, Rin Charoensiri[2] and Ratchanee Kongkachuichai[2]

[1]*ภาควิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร*

[2]*สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา*

[1]*Department of Food and Nutrition, Faculty of Home Economics Technology, Rajamagala University of Technology Phra Nakhon*

[2]*Institute of Nutrition, Mahidol University, Salaya*

วันที่รับบทความ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557

วันที่ตอบรับตีพิมพ์ 23 มิถุนายน พ.ศ. 2558

บทคัดย่อ

ข้าวเป็นอาหารหลักสำหรับประชากรมากกว่าครึ่งของโลก และเป็นแหล่งสำคัญของคาร์โบไฮเดรตซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสหลังจากถูกย่อยดังนั้นอัตราการย่อยและดูดซึมจึงเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับผู้บริโภค โดยเฉพาะผู้ป่วยเบาหวาน วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้คือ การวัดปริมาณแอมิโลส และอัตราการย่อยแป้ง โดยวิธี *in vitro* rapidly available glucose (RAG) รวมทั้งหาความสัมพันธ์ระหว่าง RAG กับปริมาณแอมิโลส และกับอัตราส่วนระหว่างแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน ในข้าวพื้นเมือง 31 สายพันธุ์ ผลการศึกษาพบว่า ข้าวเจ้ามีค่าแอมิโลส 21.7 - 36.0% และข้าวเหนียวมีค่าแอมิโลส 7.4 – 12.0% ส่วน RAG ในข้าวเจ้ามีค่า 12.49 - 26.00 และ 16.01 - 29.82 กรัม/100กรัมใ นข้าวกล้องและข้าวขัดสุก ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวเหนียวทุกสายพันธุ์มีค่า RAG>19.37 กรัม/100กรัม ข้าวสุก ค่า RAG พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.001$ กับค่าแอมิโลส และกับอัตราส่วนระหว่างแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน ทั้งในข้าวขัด (r =- *0.480 และ - 0.482*) และข้าวกล้อง(r = - *0.594* และ - *0.*587) ในรายงานวิจัยนี้พบว่าข้าวเจ้าแดงและข้าวมะลิแดงมีค่า RAG ต่ำที่สุด ซึ่งอาจใช้แนะนำในการจัดการอาหารให้แก่ผู้ป่วยเบาหวานหรือผู้บริโภค นอกจากนี้การศึกษาในหลอดทดลองสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่ดีที่สุด สำหรับการศึกษาหาค่าดัชนีน้ำตาลในมนุษย์ต่อไป

คำสำคัญ: ข้าวพื้นเมือง ดัชนีน้ำตาล การย่อยของน้ำตาลกลูโคส แอมิโลส ข้าว

* Corresponding author. E-mail :sunee.sah@rmutp.ac.th;sunee.sahaspot@gmail.com

Abstract

Rice is the staple food of over half of the world's population and is the predominant carbohydrate source which upon digestion yield glucose as the end product. Therefore, the rate of digestion and absorption is an important factor for consumers, especially for diabetic patients. The objective in this study was to determine amylose content and the rate of starch digestion (glycemic index) using *in vitro* rapidly available glucose (RAG). The correlations between RAG and percent amylose and ratio of amylose/amylopectin in 31 landrace rice varieties were also evaluated. It was found that amylose content ranged from 21.7 to 36.0% in non-sticky rice and 7.4 to 12.0% in sticky rice. The RAG among non-sticky landrace rice varieties ranged from 12.49 - 26.00 and 16.01 - 29.82 g/100g in cooked brown and polished rice, respectively. Whereas, the RAG of most cooked sticky landrace rice varieties was > 19.37 g/100g. The RAG was correlated negatively ($p<0.001$) with amylose content and amylose/amylopectin ratio in both polished rice ($r = -0.480, -0.482$) and brown rice ($r = -0.594, -0.587$). In the present study, it was found that khaw jao dang and mali-dang varieties showed the lowest RAG values which might be recommended for dietary management of diabetic patients and consumers. Moreover, *in vitro* data could be used as the screening tools for selecting the best rice varieties for further study of glycemic index in human.

Keywords: landrace rice, glycemic index, rapidly available glucose, amylose, rice

บทนำ

ข้าวเป็นอาหารหลักและพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ และมีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดของประเทศ นอกจากนี้ข้าวยังเป็นอาหารหลักของประชากรชาวโลกมากกว่าสามพันล้านคน โดยเฉพาะประเทศในแถบอาเซียน ข้าวนอกจากเป็นแหล่งของพลังงานที่สำคัญแล้ว ข้าวยังเป็นแหล่งที่ดีของวิตามิน เกลือแร่ และสารต้านอนุมูลอิสระชนิดต่างๆ (รัชนี คงคาฉุยฉาย และริญ เจริญศิริ, 2553, 2554) แต่ข้อมูลพื้นฐานทางด้านโภชนาการที่เกี่ยวข้องกับดัชนีน้ำตาลของข้าวมีน้อยมาก โดยเฉพาะข้าวพันธุ์พื้นเมือง ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าอุบัติการณ์ของโรคไม่ติดต่อเรื้อรังเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะโรคเบาหวาน จากรายงานของสมาพันธ์เบาหวานนานาชาติ (International Diabetes Federation [IDF], 2014) พบว่าในปี ค.ศ. 2014 ประชากรทั่วโลกเสียชีวิตด้วยสาเหตุจากโรคเบาหวานถึง 4.9 ล้านคนต่อปี หรือโดยเฉลี่ยมีการเสียชีวิตด้วยโรคนี้ 1 คนในทุก 7 วินาที สำหรับประเทศไทย ข้อมูลจากสำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุขพบว่า มีผู้เสียชีวิตจากเบาหวานในปีพ.ศ. 2556 ประมาณ 9,647 คน หรือเฉลี่ยประมาณวันละ 26 คน (กรมควบคุมโรค, 2556) และจากข้อมูลในรอบสิบปีที่ผ่านมา(พ.ศ. 2546-2555) พบคนไทยป่วยเป็นโรคเบาหวานเพิ่มขึ้นเกือบสามเท่า(กรมควบคุมโรครายงานประจำปี, 2556) สำหรับข้อมูลจากการสำรวจสถานะสุขภาพอนามัยของคนไทย (พ.ศ. 2551-2552) พบว่าคนไทยอายุตั้งแต่ 15 ปีขึ้นไปทั้งเพศชายและเพศหญิงกำลังเผชิญกับโรคเบาหวานเพิ่มมากขึ้น โดยพบความชุกของการเกิดโรคเบาหวานอยู่ที่ร้อยละ 6.9 (นุชรี อาบสุวรรณ และนิตยา พันธุเวทย์, 2556) ซึ่งในด้านการควบคุมและรักษาโรคเบาหวาน ผู้ป่วยมักได้รับการแนะนำ

ให้บริโภคอาหารที่มีดัชนีน้ำตาลต่ำ-ปานกลาง ข้าวถึงแม้จะเป็นอาหารหลักที่สำคัญ แต่เป็นที่ทราบกันดีว่าดัชนีน้ำตาลในข้าวโดยเฉพาะข้าวขัดมักจะอยู่ในช่วงดัชนีน้ำตาลที่สูง โดยรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ข้าวมีดัชนีน้ำตาลตั้งแต่ 54 ถึง 121 (Shobana *et al*., 2012) สาเหตุที่ระดับของดัชนีน้ำตาลในข้าวมีความแตกต่างกันนั้น อาจเนื่องมาจากหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น สายพันธุ์ที่แตกต่างกัน ปริมาณแอมิโลสหรืออัตราส่วนของปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกทินและคุณสมบัติอื่นๆ ของแป้งข้าว (Noda *et al*., 2008; Zhu, Liu, Wilson, Gu,& Shi, 2011; Denardin, Boufleur, Reckziegel, da Silva,& Walter, 2012; Parada & Aguilera, 2012)จากการศึกษาที่ผ่านมา แม้ว่าข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกทินจะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในด้านการแพทย์ต่อผู้ป่วยเบาหวาน แต่ปริมาณแอมิโลสเพียงอย่างเดียวไม่สามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดในเรื่องของการย่อยแป้ง หรือการทำนายค่าดัชนีน้ำตาลในข้าวพันธุ์นั้นๆ ได้ เนื่องจากมีรายงานวิจัยของ Panlasigui, *et al*.(1991) พบว่าข้าวซึ่งมีปริมาณแอมิโลสเท่ากัน แต่มีอัตราการย่อยแป้งและการตอบสนองของน้ำตาล (ดัชนีน้ำตาล) แตกต่างกันได้ ดังนั้นในปัจจุบันเชื่อว่าปริมาณแอมิโลสไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเพิ่มหรือลดลงของระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยเบาหวาน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Syahariza, Sar, Hasjim, Tizzotti, and Gilbert (2013) ที่แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของโครงสร้างของแอมิโลส และแอมิโลเพกทินที่แตกต่างกันในข้าว มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการย่อยแป้งและการเพิ่มหรือลดของระดับน้ำตาล

สำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน วัฒนธรรมในการบริโภคอาหารของคนไทยเปลี่ยนไปค่อนข้างมากซึ่งนำไปสู่ภาวะโรคอ้วนและเพิ่มความชุกของโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง โดยเฉพาะโรคเบาหวาน ดังนั้นการควบคุมหรือการป้องกันไม่ให้เกิดภาวะโรคอ้วนหรือเบาหวาน จึงมีคำแนะนำว่าควรเลือกรับประทานอาหารที่มีดัชนีน้ำตาลต่ำ-ปานกลาง ข้อดีของอาหารที่มีดัชนีน้ำตาลต่ำ-ปานกลาง คือช่วยลดและควบคุมน้ำหนักตัว นอกจากนี้อาหารที่มีดัชนีน้ำตาลต่ำ-ปานกลาง ยังช่วยในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและการตอบสนองของฮอร์โมนอินซูลินได้ดีอีกด้วย ประการสุดท้ายมีรายงานวิจัยพบว่า การรับประทานอาหารที่มีดัชนีน้ำตาลต่ำส่งผลให้การนอนหลับดีขึ้นมากกว่าอาหารที่มีดัชนีน้ำตาลสูง (Afaghi, O'Connor, & Chow, 2007) จากการที่ประชากรโลกมากกว่าร้อยละ 50 รับประทานข้าวเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะประเทศในแถบอาเซียน ดังนั้นการค้นหาพันธุ์ข้าวที่มีดัชนีน้ำตาลต่ำ-ปานกลาง น่าจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้บริโภคทั้งในคนปกติและผู้ป่วยเบาหวาน แต่เนื่องจากประเทศไทยมีสายพันธุ์ข้าวที่หลากหลาย โดยกรมวิชาการเกษตรรายงานว่า ประเทศไทยมีข้าวพื้นเมืองและข้าวป่ารวมกันมากกว่า 24,000 สายพันธุ์ การนำข้าวพื้นเมืองหลายๆ พันธุ์มาทำการทดสอบหาดัชนีน้ำตาลในคนนั้นทำได้ยาก เนื่องจากต้องใช้งบประมาณสูง และการทดสอบทำได้จำนวนตัวอย่างน้อย ดังนั้นในรายงานนี้จึงใช้วิธีการทดสอบหาดัชนีน้ำตาลในข้าวพื้นเมืองโดยใช้วิธีของ Englyst, Veenstra, and Hudson(1996) ซึ่งวิธีการทดสอบนี้ได้พัฒนาวิธีการวัดอัตราการย่อยแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตในข้าวหรืออาหารให้เป็นน้ำตาลในหลอดทดลอง โดยวิธีการทดสอบที่เรียกว่า rapidly available glucose (RAG) ซึ่งหมายถึงการวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยคาร์โบไฮเดรตด้วยเอนไซม์อย่างรวดเร็วภายในเวลา 20 นาที และ slowly available glucose (SAG) หมายถึงการวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยคาร์โบไฮเดรตที่เหลือด้วยเอนไซม์อีก 100 นาทีถัดมา ซึ่งวิธีการนี้เลียนแบบการย่อยการดูดซึมของน้ำตาลกลูโคสจากอาหารเหมือนในมนุษย์ ซึ่งการทดสอบนี้พบว่า ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองการหาดัชนีน้ำตาลในมนุษย์ โดยพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างค่า RAG กับค่าดัชนีน้ำตาล (Englyst, Englyst, Hudson, Cole, & Cummings, 1999) ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น แอมิโลส และดัชนีน้ำตาลในหลอดทดลองในข้าวพื้นเมืองสายพันธุ์ต่างๆ โดยใช้วิธี " *in vitro* rapidly

available glucose" รวมทั้งหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าRAG กับปริมาณแอมิโลส และอัตราส่วนระหว่างปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1.กลุ่มตัวอย่างข้าว

ข้าวในประเทศไทยอยู่ในวงศ์ *Oryza sativa* ตัวอย่างข้าวเหนียวและข้าวเจ้าพื้นเมือง ทั้งหมด 31 สายพันธุ์ (ทั้งข้าวกล้องและข้าวขัด) ได้รับจากเขตปฏิรูปที่ดิน สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อการเกษตรกรรม จังหวัดยโสธร ตัวอย่างข้าวทั้งหมดในรายงานวิจัยนี้ ถูกสุ่มมาจากสามแหล่งใหญ่ๆ แหล่งละอย่างน้อย 500-1000 กรัมต่อหนึ่งสายพันธุ์ แล้วนำข้าวจากแต่ละแหล่งมาอย่างละ 300 กรัมมารวมกันเป็นหนึ่งตัวอย่างต่อหนึ่งสายพันธุ์ (single composite sample)

2. วิธีการเตรียมตัวอย่าง

นำข้าวที่ได้มาคัดเมล็ดลีบ เมล็ดเสีย และแยกสิ่งแปลกปลอมออก หลังจากนั้นนำข้าวแต่ละสายพันธุ์ ทั้งข้าวกล้องและข้าวขัด แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่งนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดอาหารแห้ง (Moulinex; Masterchef 370) แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นทันที ส่วนที่สองนำมาทำความสะอาดโดยการล้างด้วยน้ำที่ปราศจากเกลือแร่ แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำมาบดให้ละเอียดแล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณแอมิโลส ส่วนที่สาม นำมาวิเคราะห์หาดัชนีน้ำตาลในหลอดทดลอง โดยนำข้าวประมาณ 200 กรัมมาหุงให้สุก โดยเริ่มจากการล้างข้าวด้วยน้ำที่ปราศจากเกลือแร่ 1 ครั้ง สำหรับข้าวกล้องเติมน้ำลงไปในอัตราส่วน 1:3 (ข้าวกล้อง 1 ส่วนต่อน้ำ3ส่วน) ส่วนข้าวขัด เติมน้ำในอัตราส่วน 1: 2 (ข้าวขัด 1 ส่วนต่อน้ำ 2ส่วน) และนำข้าวมาหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า หลังจากข้าวสุกตั้งทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 30 นาที และนำข้าวดังกล่าวมาวิเคราะห์หาดัชนีน้ำตาลในหลอดทดลองต่อไป

3.วิธีการวิเคราะห์

วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (Latimer, 2012)หาปริมาณแอมิโลสในข้าวตามวิธีของ Jain, *et al*.(2012) และวัดปริมาณสีที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectronic Unicon, Unicon Hellos Alpha & Beta, CA, USA) ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยใช้สารมาตรฐาน potato amylose (amylose type III, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) ส่วนการหาค่าแอมิโลเพกทินทำโดยการนำปริมาณแอมิโลสมาลบออกจาก 100 สำหรับการหาค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวในหลอดทดลองทำตามวิธีของ Englyst *et al*.(1996)ที่เรียกว่า "*in vitro* rapidly available glucose (RAG) and slowly available glucose (SAG) " วิธีการทดสอบโดยย่อคือ นำตัวอย่างข้าวสุกมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดอาหาร (Ultraturrax T25, Ika-Labortechnik, Japan) ชั่งตัวอย่างข้าวที่บดละเอียดแล้วประมาณ 0.3 ถึง 0.8 กรัมลงในหลอดทดลองที่มีฝาปิดขนาด 50 มิลลิลิตร (50 ml screw-cap tube) เติมสารละลายเป็ปซิน 5มิลลิลิตร และนำไปอุ่นที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นเติม 0.1 โมลาร์โซเดียมอะซิเตท10มิลลิลิตร และใส่ลูกแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 ซ.ม. จำนวน 5 ลูก และเติมสารละลายเอนไซม์ซึ่งประกอบไปด้วยสารอินเวอเทส (Invertase, Sigma-aldrich, St.Louis, MO, USA) แพนครีเอติน (Pancreatin, Sigma-aldrich, St.Louis, MO, USA) และแอมิโลกลูโคซิเดส (Amyloglucosidase, Sigam-aldrich, St.Louis, MO, USA) 2.5มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวอย่างไปอุ่นด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ซึ่งขั้นตอนนี้เรียกว่า ไฮโดรไลซิสของสตาร์ช(starch hydrolysis) หรือการย่อยแป้ง หลังจากนั้นดูดตัวอย่างมา 200 ไมโครลิตรใส่ลงในหลอดทดสอบที่มีสารละลายเอทานอล 66% ปริมาตร 4 มิลลิลิตร และนำหลอดทดลองตัวอย่างเดิมกลับไปอุ่นต่อทันที ด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลาอีก 100 นาที หลังจากนั้นดูดตัวอย่างที่ได้

จากการย่อยแป้ง (starch hydrolysis)มา 200 ไมโครลิตรใส่ลงในหลอดทดสอบที่มีสารละลายเอทานอล 66% ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ต่อจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้จากการย่อยแป้ง ที่เวลา 20 และ 120 นาที มาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยจากตัวอย่างข้าว โดยใช้ชุดทดสอบเอนไซม์กลูโคส ออกซิเดส-เปอร์ออกซิเดส (Glucoseoxidase-peroxidase kit; GOD-PAP, Sigma-aldrich, St.Louis, MO,USA)

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น แอมิโลส และแอมิโลเพกทินแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์สองซ้ำ(duplicate analysis) ส่วนค่า RAG และ SAG แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์สามซ้ำ(triplicate analysis) และการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมิโลสกับค่า RAG และอัตราส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพกทินกับค่า RAG ทั้งในข้าวเหนียวและข้าวเจ้า ทำโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Pearson correlation และใช้โปรแกรม SPSS version 13.0,$P < 0.001$

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1.ปริมาณความชื้นแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน

ตารางที่ 1 แสดงผลปริมาณความชื้นของข้าวพื้นเมืองแต่ละสายพันธุ์ ซึ่งในรายงานนี้พบว่า ปริมาณความชื้นในข้าวพื้นเมืองพันธุ์ต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ กล่าวคือ มีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 9.65 ถึง 13.80

ตารางที่ 1 ปริมาณความชื้น แอมิโลส และแอมิโลเพกทินในข้าวพื้นเมืองพันธุ์ต่างๆ (กรัมต่อ 100 กรัมข้าวดิบ)[1]

ชื่อพันธุ์ข้าว	ความชื้น[ns]	แอมิโลส	แอมิโลเพกทิน	แอมิโลส/แอมิโลเพกทิน[2]
ข้าวเจ้าแดง (ข้าวเจ้า)	12.49	34.3	65.7	0.522
ข้าวเจ้าแดงดอ (ข้าวเจ้า)	12.89	35.7	64.3	0.555
ข้าวเจ้าหอมนิล (ข้าวเจ้า)	9.65	24.1	75.9	0.318
ข้าวนางกอง (ข้าวเจ้า)	12.35	37.5	62.5	0.600
ข้าวมะลิดำ (ข้าวเจ้า)	11.73	21.7	78.3	0.277
ข้าวมะลิแดง (ข้าวเจ้า)	12.63	22.0	78.0	0.282
ข้าวโสมาลี (ข้าวเจ้า)	12.14	23.5	76.5	0.307
ข้าวหอม (ข้าวเจ้า)	12.55	23.5	76.5	0.307
ข้าวเหลือง (ข้าวเจ้า)	12.53	36.0	64.0	0.563
ข้าวเหลืองอ่อน (ข้าวเจ้า)	10.80	33.1	66.9	0.495
ข้าวก่ำน้อย (ข้าวเหนียว)	11.48	7.6	92.4	0.082
ข้าวก่ำเปลือกขาว (ข้าวเหนียว)	11.38	8.0	92.0	0.087
ข้าวก่ำใหญ่ (ข้าวเหนียว)	11.89	7.4	92.6	**0.080**
ข้าวขาวใหญ่ (ข้าวเหนียว)	12.90	6.8	93.2	0.073
ข้าวเขี้ยวงู (ข้าวเหนียว)	11.64	12.0	88.0	0.136

ตารางที่ 1 (ต่อ) ปริมาณความชื้น แอมิโลส และแอมิโลเพกทินในข้าวพื้นเมืองพันธุ์ต่างๆ (กรัมต่อ 100 กรัมข้าวดิบ)[1]

ชื่อพันธุ์ข้าว	ความชื้น[ns]	แอมิโลส	แอมิโลเพกทิน	แอมิโลส/แอมิโลเพกทิน[2]
ข้าวดอหางฮี (ข้าวเหนียว)	13.75	7.5	92.5	0.081
ข้าวนางนวล (ข้าวเหนียว)	11.98	7.8	92.2	0.085
ข้าวนางหก (ข้าวเหนียว)	13.26	7.4	92.6	0.080
ข้าวป้องแอ้ว (ข้าวเหนียว)	11.71	7.0	93.0	0.075
ข้าวปลาเข็ง (ข้าวเหนียว)	13.63	7.5	92.5	0.081
ข้าวพม่า (ข้าวเหนียว)	12.68	5.8	94.2	0.062
ข้าวม่วยหิน (ข้าวเหนียว)	13.00	9.1	90.9	0.100
ข้าวยืนกาฬสินธุ์ (ข้าวเหนียว)	13.80	6.7	93.3	0.072
ข้าวลำตาล (ข้าวเหนียว)	12.40	8.3	91.7	0.091
ข้าวเล้าแตก (ข้าวเหนียว)	12.62	7.3	92.7	0.079
ข้าวสันปลาหลาด (ข้าวเหนียว)	12.87	6.7	93.3	0.072
ข้าวสันป่าตอง (ข้าวเหนียว)	13.09	7.9	92.1	0.086
ข้าวแสนสะบาย (ข้าวเหนียว)	11.82	8.0	92.0	0.087
ข้าวหอมเสงี่ยม (ข้าวเหนียว)	12.94	6.1	93.9	0.065
ข้าวเหนียวแดง (ข้าวเหนียว)	10.97	9.3	90.7	0.103
ข้าวอิด่าง (ข้าวเหนียว)	12.37	6.2	93.8	0.066

[1]ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์สองซ้ำ

[2]อัตราส่วนระหว่างแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน(amylose and amylopectin ratio)

[ns]แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

แอมิโลส และแอมิโลเพกทินเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่เรียกว่าสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) ความแตกต่างของข้าวเหนียว (glutinous) และข้าวเจ้า(non-glutinous)สามารถสังเกตได้จากปริมาณของแอมิโลสที่อยู่ในข้าวสายพันธุ์นั้นๆ โดยเฉพาะข้าวที่มีลักษณะเหนียวนุ่มมักจะมีปริมาณแอมิโลสต่ำ ส่วนข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงมักจะมีลักษณะแข็งและร่วน ซึ่งไม่เป็นที่นิยมของผู้บริโภค Coffman and Juliano (1987) ได้ทำการแบ่งพันธุ์ข้าวออกเป็น 5 กลุ่มตามปริมาณของแอมิโลสคือ (I) ข้าวเหนียวมีปริมาณแอมิโลสอยู่ระหว่างร้อยละ 1 ถึง 2 (II) ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำมาก (very low amylose content) มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 2 ถึง 12 (III) ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสระดับต่ำ (low amylose content) มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 12 ถึง 20 (IV) ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสระดับปานกลาง (intermediate amylose content) มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 20 ถึง 25 และ (V) ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสระดับสูง (high amylose content) มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 25 ถึง 33 สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส ในข้าวพื้นเมืองสายพันธุ์ต่างๆ แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจากรายงานครั้งนี้พบว่าข้าวเหนียวมีปริมาณแอมิโลสอยู่ระหว่างร้อยละ 5.8 -12.0 ซึ่งมีปริมาณแอมิโลสอยู่ในเกณฑ์ระดับต่ำ ส่วนข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง (ร้อยละ 20-25) พบในข้าวเจ้าเช่นข้าวเจ้ามะลิดำ ข้าวเจ้ามะลิแดง ข้าวเจ้าหอม และข้าวเจ้าพันธุ์โสมาลี

เป็นต้น ซึ่งข้าวเหล่านี้มีลักษณะอ่อนนุ่มและการหุงต้มใช้น้ำน้อย สำหรับข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง คือมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 25-33 หรือมากกว่า ข้าวกลุ่มนี้เมื่อหุงสุกมักจะมีลักษณะแข็งและร่วน โดยในรายงานวิจัยนี้พบว่าข้าวเจ้าพันธุ์เหลืองอ่อน ข้าวเจ้าแดง ข้าวเจ้าแดงดอ ข้าวเจ้าเหลือง และข้าวเจ้านางกองมีปริมาณแอมิโลสตั้งแต่ร้อยละ 33.1 ถึง 37.5สาเหตุที่ค่าแอมิโลสในรายงานวิจัยนี้แตกต่างกับรายงานของ Coffman and Juliano, 1987 อาจเนื่องจากความแตกต่างของสภาพแวดล้อม อากาศ ปุ๋ยที่ใช้ แหล่งที่ปลูก (คุณสมบัติของดิน) และพันธุ์ข้าว ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อโครงสร้างของแป้งข้าว ระดับโปรตีน และอื่นๆ (Fitzerald, McCouch,& Hall, 2011) เป็นที่น่าสังเกตว่าอัตราส่วนระหว่างแอมิโลสและแอมิโลเพกทินของข้าวเจ้าสูงกว่าข้าวเหนียวประมาณ 20 เท่า ทำให้อัตราการย่อยแป้งและการดูดซึมของน้ำตาลกลูโคสช้าลง ซึ่งอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ข้าวเจ้ามีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าข้าวเหนียว

2. ค่าดัชนีน้ำตาลในหลอดทดลอง(RAG และ SAG)

สำหรับค่าดัชนีน้ำตาล (RAG และ SAG) แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งปริมาณ RAG ถึงแม้จะเป็นการทดสอบในหลอดทดลอง แต่สามารถใช้บ่งบอกถึงปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่จะเข้าสู่กระแสเลือดจากอาหารที่บริโภคในช่วงเวลา 20 นาทีแรก ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าข้าวที่มีปริมาณค่าRAG อยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า 10 กรัมต่อ 100 กรัมข้าวสุก) ถึงระดับปานกลาง (10 - 18 กรัมต่อ 100 กรัมข้าวสุก) สามารถแปลผลได้ว่าข้าวชนิดนั้นหรือสายพันธุ์นั้นน่าจะมีค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลางเช่นกัน (Mayo Clinic, 2014) จากรายงานวิจัยนี้พบว่าค่า RAG ในข้าวเจ้ากล้องมีค่าตั้งแต่ 12.49 (ข้าวเจ้าแดง) ถึง 19.39 (ข้าวหอม) กรัมต่อ 100 กรัมข้าวสุก และข้าวเจ้าขัดมีค่าตั้งแต่ 16.01 (ข้าวเจ้าแดง) ถึง 23.53 (ข้าวหอม) กรัมต่อ 100 กรัมข้าวสุก ในขณะที่ข้าวเหนียวกล้องมีค่าRAG ตั้งแต่ 18.58 (ข้าวแสนสะบาย) ถึง 25.04 (ข้าวก่ำน้อย) กรัมต่อ 100 กรัมข้าวสุก และข้าวเหนียวขัดมีค่าตั้งแต่ 19.85 (ข้าวเหนียวแดง) ถึง 29.52 (ข้าวหอมเสงี่ยม) กรัมต่อ 100 กรัมข้าวสุก(ดังแสดงในตารางที่ 2) โดยจะเห็นได้ว่า ข้าวเหนียวส่วนใหญ่มีค่า RAG สูงกว่าข้าวเจ้า ยกเว้นข้าวเจ้ามะลิดำที่ทั้งข้าวกล้องและข้าวขัดมีค่า RAG สูงที่สุด คือ 26.00 และ 29.82 กรัมต่อ 100 กรัมข้าวสุก ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยของริญ เจริญศิริรัชนี คงคาฉุยฉาย และนฤมล รัตนากรพันธ์ (2551)ที่พบว่าข้าวเหนียวมีค่า RAG สูง และมีปริมาณแอมิโลสต่ำ และสอดคล้องกับรายงานวิจัยของMiller, Wolever, and Powell (2003); Yu, Lin, Lee,and Chung (2014) เช่นกันจากรายงานวิจัยในครั้งนี้พบว่าข้าวเจ้ากล้องที่มีค่าRAG ต่ำที่สุดคือข้าวเจ้าแดงและข้าวเจ้ามะลิแดง โดยมีค่า RAG ประมาณ 12.49 และ13.85 กรัมต่อ100กรัมข้าวสุก รองลงมาได้แก่ข้าวเหลือง ข้าวเจ้าแดงดอและข้าวเจ้าหอมนิล (16.91 ถึง17.67 กรัมต่อ 100 กรัมข้าวสุก) ส่วนข้าวเจ้าขัด พบว่าข้าวที่มีค่า RAGต่ำที่สุดได้แก่ ข้าวเจ้าแดง (16.01 กรัมต่อ100กรัมข้าวสุก) และข้าวเหลือง (17.10 กรัมต่อ 100กรัมข้าวสุก) เป็นที่น่าสังเกตว่าข้าวทั้งสองสายพันธุ์มีปริมาณแอมิโลสและอัตราส่วนของปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกทินอยู่ในระดับสูงที่สุดเช่นกัน คือประมาณร้อยละ 34.3 และ 36.0และ 0.522 และ 0.563 ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ 1) ผลจากรายงานวิจัยนี้สอดคล้องกับหลายรายงานวิจัย ซึ่งพบว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสและอัตราส่วนของปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกทินสูงมีผลต่ออัตราการย่อยและการดูดซึมของแป้งส่งผลให้อัตราการดูดซึมของน้ำตาลช้าลงและส่งผลดีคือช่วยกระตุ้นให้การทำงานของฮอร์โมนอินซูลินดีขึ้น นอกจากนี้จากรายงานวิจัยของBehall, Scholfield, and Canary (1988); Behall, Scholfield, Yuhaniak, and Cannary (1989); Frie, Siddhuraju, and Becker (2003)พบว่าแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงมีความสัมพันธ์เชิงลบกับระดับน้ำตาลกลูโคส และทำให้การเคลื่อนตัวของอาหารในลำไส้ช้าลง ส่งผลทำให้รู้สึกอิ่มได้นานมากกว่าแป้งข้าวที่มีแอมิโลสหรืออัตราส่วนระหว่างแอมิโลสและแอมิโลเพกทินที่ต่ำ ซึ่งส่งผลดีต่อผู้ป่วยเบาหวาน เพราะคาร์โบไฮเดรตในข้าวจะถูกย่อยและดูดซึมอย่างช้าๆ ดังนั้นจึงช่วยในการรักษาระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยเบาหวาน

และด้วยเหตุที่น้ำตาลกลูโคสค่อยๆ ขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้ช่วยกระตุ้นการทำงานของฮอร์โมนอินซูลินให้ดีขึ้นตามไปด้วย(Behall *et al*., 1988; Frei *et al*., 2003) ดังนั้นจากรายงานวิจัยนี้อาจสันนิษฐานได้ว่าข้าวเจ้าพันธุ์ที่มีค่า RAG ปานกลาง-ต่ำ เช่น ข้าวเจ้าแดง (ทั้งข้าวกล้องและข้าวขัด) ข้าวเจ้ากล้องมะลิแดงข้าวเหลือง(ทั้งข้าวกล้องและข้าวขัด) ข้าวเจ้ากล้องแดงดอ และข้าวเจ้ากล้องหอมนิล น่าจะมีค่าการตอบสนองต่อน้ำตาลในเลือด (ดัชนีน้ำตาล)ในระดับปานกลาง-ต่ำได้เช่นกัน

ถึงแม้ว่าจะมีรายงานวิจัยที่พบว่าอาหารที่มีปริมาณแอมิโลสสูง จะทำให้การตอบสนองต่อน้ำตาลในเลือดหรือค่าดัชนีน้ำตาลต่ำลง เช่น รายงานวิจัยของ Yamasaki *et al*.(2007) ที่ทำการศึกษาในสัตว์ทดลองโดยให้อาหารที่มีปริมาณแอมิโลสแตกต่างกัน (ระดับกลางและสูง)พบว่าสัตว์ทดลองที่กินอาหารที่มีแอมิโลสสูงมีการตอบสนองของน้ำตาลในเลือดต่ำกว่าสัตว์ทดลองที่กินอาหารที่มีแอมิโลสระดับกลาง อย่างไรก็ตาม รายงานของ Panlasigui *et al*.(1991)พบว่าค่าแอมิโลสอย่างเดียวไม่สามารถเป็นปัจจัยชี้วัดความสามารถในการย่อยแป้งและการตอบสนองต่อระดับน้ำตาลได้ แต่อาจมีปัจจัยอย่างอื่นที่แตกต่างกัน เช่นกระบวนการหุงต้ม กระบวนการเจลาติไนเซชันที่ใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกันซึ่งอาจส่งผลต่อความสามารถในการแตกตัวของโครงสร้างแป้ง รวมทั้งอาจมีปัจจัยร่วมอื่นๆ ด้วยซึ่งจากข้อมูลนี้สามารถสนับสนุนผลการวิเคราะห์ค่า RAG ในข้าวบางสายพันธุ์ เช่น ข้าวนางกองและข้าวเหลืองอ่อนซึ่งเป็นสายพันธุ์ข้าวที่มีแอมิโลสสูง แต่มีค่า RAG สูงกว่าข้าวบางสายพันธุ์ที่มีแอมิโลสต่ำกว่า ดังแสดงในตารางที่ 2 และเมื่อพิจารณาค่าRAG และ SAG (ตารางที่ 2) จากรายงานวิจัยนี้พบว่า ข้าวเหนียวจะมีปริมาณค่า RAG สูงกว่าข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นที่น่าสังเกตว่าข้าวเหนียวที่มีค่า RAG สูงบางสายพันธุ์ เช่น ข้าวเหนียวพันธุ์ป้องแอ้ว ข้าวเหนียวขาวใหญ่ ข้าวเหนียวอิด่าง และข้าวเหนียวยืนกาฬสินธุ์ สามารถเป็นแหล่งที่ให้พลังงานอย่างรวดเร็วได้ เนื่องจากข้าวสายพันธุ์ที่มีค่า RAG สูงและมีปริมาณ SAG ต่ำ หมายความว่า แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตในข้าวพันธุ์นั้นสามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสได้เกือบทั้งหมดอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาอันสั้น ซึ่งโดยปกติแล้วร่างกายสามารถนำกลูโคสไปใช้เป็นพลังงานได้ทันที ดังนั้นจึงสันนิฐานได้ว่าข้าวเหนียวทั้ง 4 สายพันธุ์ น่าจะเป็นพันธุ์ข้าวที่เมื่อบริโภคแล้วจะทำให้ร่างกายได้รับพลังงานทันที จึงส่งผลดีกล่าวคือทำให้ร่างกายมีกำลังในการทำงานได้เร็วขึ้นกว่าการรับประทานข้าวเหนียวพันธุ์อื่นๆ และในรายงานวิจัยนี้ยังพบข้าวเจ้าอีกหนึ่งสายพันธุ์คือข้าวเจ้าขัดมะลิดำ ที่พบว่ามีค่า RAGสูงที่สุด คือมีค่า 29.82 กรัมต่อ100กรัมข้าวสุก และมีค่า SAG ต่ำมาก คือประมาณ 0.37 กรัมต่อ 100กรัมข้าวสุก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้าวเจ้าพันธุ์นี้น่าจะเป็นแหล่งที่ให้พลังงานได้อย่างรวดเร็วเช่นกัน เพราะปริมาณของคาร์โบไฮเดรตสามารถถูกย่อยให้เป็นน้ำตาลกลูโคสได้เกือบหมดภายในช่วงเวลา20 นาทีแรก ดังนั้นข้าวสายพันธุ์ดังกล่าวจึงไม่เหมาะที่จะให้ผู้ป่วยเบาหวานบริโภค แต่น่าจะใช้ในการส่งเสริมทำเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับผู้ที่ต้องการใช้พลังงานอย่างรวดเร็ว เช่นทำเป็นเครื่องดื่มสำหรับนักกีฬา หรือสำหรับผู้ป่วยหลังพักฟื้นหรือผู้ที่ต้องการใช้พลังงานทันที

ตารางที่ 2 ปริมาณ RAG และ SAG ในข้าวพื้นเมืองพันธุ์ต่างๆ (กรัมต่อ 100 กรัมข้าวสุก)[1]

ชื่อพันธุ์ข้าว	RAG[2] (ข้าวกล้อง)	RAG[2] (ข้าวขัด)	SAG[3] (ข้าวกล้อง)	SAG[3] (ข้าวขัด)
ข้าวเจ้าแดง (ข้าวเจ้า)	**12.49**	16.01	10.43	8.59
ข้าวเจ้าแดงดอ (ข้าวเจ้า)	17.86	20.86	6.09	4.84

ตารางที่ 2(ต่อ) ปริมาณ RAG และ SAG ในข้าวพื้นเมืองพันธุ์ต่างๆ (กรัมต่อ 100 กรัมข้าวสุก)[1]

ชื่อพันธุ์ข้าว	RAG[2] (ข้าวกล้อง)	RAG[2] (ข้าวขัด)	SAG[3] (ข้าวกล้อง)	SAG[3] (ข้าวขัด)
ข้าวเจ้าหอมนิล (ข้าวเจ้า)	17.67	18.67	4.90	2.50
ข้าวนางกอง (ข้าวเจ้า)	18.28	21.75	6.34	3.61
ข้าวมะลิดำ (ข้าวเจ้า)	26.00	**29.82**	7.57	**0.37**
ข้าวมะลิแดง (ข้าวเจ้า)	13.85	19.73	8.15	7.78
ข้าวโสมาลี (ข้าวเจ้า)	18.20	19.75	8.00	6.29
ข้าวหอม (ข้าวเจ้า)	19.39	23.53	5.30	3.42
ข้าวเหลือง (ข้าวเจ้า)	16.91	17.10	5.88	4.76
ข้าวเหลืองอ่อน (ข้าวเจ้า)	18.10	20.14	3.44	1.62
ข้าวก่ำน้อย (ข้าวเหนียว)	25.04	26.48	6.24	5.97
ข้าวก่ำเปลือกขาว (ข้าวเหนียว)	19.37	20.17	2.94	2.00
ข้าวก่ำใหญ่ (ข้าวเหนียว)	19.81	21.73	5.29	4.82
ข้าวขาวใหญ่ (ข้าวเหนียว)	20.64	23.43	2.22	0.73
ข้าวเขี้ยวงู (ข้าวเหนียว)	21.05	23.37	3.95	3.56
ข้าวดอหางฮี (ข้าวเหนียว)	21.51	27.00	4.72	2.01
ข้าวนางนวล (ข้าวเหนียว)	20.54	22.28	6.54	3.58
ข้าวนางหก (ข้าวเหนียว)	19.51	21.54	5.21	2.59
ข้าวป้องแอ้ว (ข้าวเหนียว)	24.63	24.56	1.00	0.72
ข้าวปลาเข็ง (ข้าวเหนียว)	21.22	27.80	4.27	1.89
ข้าวพม่า (ข้าวเหนียว)	22.90	23.52	2.99	2.51
ข้าวม่วยหิน (ข้าวเหนียว)	19.92	20.93	2.70	2.35
ข้าวยืนกาฬสินธุ์ (ข้าวเหนียว)	21.71	21.98	4.93	0.50
ข้าวลำตาล (ข้าวเหนียว)	19.71	21.34	5.87	3.79
ข้าวเล้าแตก (ข้าวเหนียว)	20.47	21.44	3.40	1.48
ข้าวสันปลาหลาด (ข้าวเหนียว)	21.10	26.09	3.09	1.49
ข้าวสันป่าตอง (ข้าวเหนียว)	20.45	21.32	7.49	4.88
ข้าวแสนสะบาย (ข้าวเหนียว)	18.58	23.10	5.14	3.68
ข้าวหอมเสงี่ยม (ข้าวเหนียว)	23.03	29.52	2.96	1.21
ข้าวเหนียวแดง (ข้าวเหนียว)	18.63	19.85	5.09	3.10
ข้าวอิด่าง (ข้าวเหนียว)	22.45	22.88	6.38	0.94

[1]ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์สามซ้ำ

[2]RAG (rapidly availableglucose) หมายถึงปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยคาร์โบไฮเดรตด้วยเอนไซม์อย่างรวดเร็วภายในเวลา 20 นาที

[3]SAG (slowly available glucose) หมายถึงปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยคาร์โบไฮเดรตที่เหลือด้วยเอนไซม์อีก 100 นาทีถัดมา

3. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมิโลส และอัตราส่วนระหว่างปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกทินกับ RAG

การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยใช้เพียร์สัน (Pearson correlation) ระหว่างปริมาณแอมิโลสกับ RAG และอัตราส่วนระหว่างปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกทินกับ RAG ของข้าวสายพันธุ์ต่างๆพบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเชิงลบระหว่างปริมาณแอมิโลสกับ RAG (ทั้งข้าวกล้องและข้าวขัด) ด้วย ค่า r =- 0.594 และ - 0.480 ตามลำดับ และอัตราส่วนระหว่างปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกทินกับ RAGด้วย ค่าr = -0.587 และ -0.482 ในข้าวกล้องและข้าวขัด ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งแสดงว่าปริมาณแอมิโลสและอัตราส่วนระหว่างปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน มีผลแบบผกผันต่ออัตราการย่อยแป้งในข้าว อย่างไรก็ตามแม้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson correlation) จากรายงานวิจัยนี้จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p< 0.001$แต่ค่าสหสัมพันธ์เชิงลบเหล่านี้ พบว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยที่ผ่านมาที่ได้กล่าวว่า สาเหตุที่ทำให้ระดับของดัชนีน้ำตาลในข้าวมีความแตกต่างกันนั้น อาจเนื่องมาจากหลายปัจจัยด้วยกัน เช่นสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน ปริมาณ แอมิโลสหรืออัตราส่วนของปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกทินและคุณสมบัติอื่นๆ ของแป้งข้าว เช่นขนาดของเม็ดแป้ง (granule size) โครงสร้างและความหนาแน่นผลึกของแป้ง (architectureand crystalline pattern) ระดับการเจลาทิไนเซชัน การพองตัวของเม็ดสตาร์ช การแตกตัวของผลึกในสตาร์ชกระบวนการหุงต้ม (cooking process) ปริมาณโปรตีน ผนังเซลล์ที่หนาซึ่งช่วยในการจับเม็ดแป้ง และปริมาณไขมันซึ่งจะจับตัวเป็นสารประกอบกับแอมิโลส ส่งผลทำให้การย่อยแป้งทำได้ยากขึ้นและยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่แป้งในเมล็ดข้าว โดยคุณสมบัติเหล่านี้มีผลต่อการย่อยแป้ง ซึ่งจะส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดและการตอบสนองของอินซูลินได้ (Noda *et al*., 2008; Zhu *et al*., 2011; Denardin *et al*., 2012; Parada & Aguilera, 2012) ส่วนการที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้าวกล้องมีค่าสูงกว่าข้าวขัดเล็กน้อย อาจเป็นเพราะข้าวกล้องมีปริมาณใยอาหารมากกว่าข้าวขัด เนื่องจากข้าวกล้องไม่ผ่านขบวนการขัดสีข้าวกล้องจึงมีผนังเซลล์ที่หนากว่าข้าวขัดจึงส่งผลทำให้การแตกตัวของข้าวกล้องใช้เวลาในการย่อยเป็นน้ำตาลกลูโคสนานกว่าข้าวขัด

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของแอมิโลสกับ RAG และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างแอมิโลสและแอมิโลเพกทินกับ RAG ในข้าวกล้องและข้าวขัด

ชนิดข้าว	ความสัมพันธ์	r	*p-value*
ข้าวกล้อง	RAG: แอมิโลส	-0.594	0.001
	RAG: อัตราส่วนระหว่างแอมิโลสและแอมิโลเพกติน	-0.587	0.001
ข้าวขัด	RAG: แอมิโลส	-0.480	0.006
	RAG: อัตราส่วนระหว่างแอมิโลสและแอมิโลเพกติน	-0.482	0.006

สรุปผลการวิจัย

จากรายงานวิจัยนี้พบว่า ข้าวเหนียวมีปริมาณค่า RAG หรือค่าดัชนีน้ำตาลในหลอดทดลองสูงกว่าข้าวเจ้าส่วนข้าวเหนียวบางสายพันธุ์ เช่น ข้าวเหนียวพันธุ์ป้องแอ้ว ข้าวเหนียวขาวใหญ่ ข้าวเหนียวอิด่าง ข้าวเหนียวยืนกาฬสินธุ์ และข้าวเจ้ามะลิดำ มีค่า RAG สูงและมีค่า SAG ต่ำข้าวพันธุ์เหล่านี้ จึงสามารถเป็นแหล่งที่ให้พลังงานอย่างรวดเร็วได้ จากการศึกษานี้พบว่า ข้าวเจ้ากล้องและขัดแดง ข้าวกล้องและขัดเหลือง และข้าวกล้องมะลิแดงมีค่า RAG ต่ำ อย่างไรก็ตาม ผลจากรายงานวิจัยครั้งนี้เป็นผลการทดสอบค่าดัชนีน้ำตาลในหลอดทดลองที่เรียกว่า *in vitro* ดังนั้นจึงน่าจะมีการนำข้าวพันธุ์ที่มีค่า RAG ต่ำ-ปานกลางมาทำการศึกษาวิจัยหาค่าดัชนีน้ำตาลในคน (*in vivo*) ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมโรค สำนักงานโรคไม่ติดต่อ.*ข้อมูลโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง*.(2556).วันที่ค้นข้อมูล 13พฤศจิกายน 2557, เข้าถึงได้จาก: http://www.thaincd.com/information-statistic/non-communicable-disease-data.php.

กรมควบคุมโรค สำนักงานโรคไม่ติดต่อ.*รายงานประจำปี 2556*.(2556). วันที่ค้นข้อมูล 13พฤศจิกายน 2557, เข้าถึงได้จาก:http://thaincd.com/document/file/download/paper-manual/NCDannualReport2013.pdf.

นุชรี อาบสุวรรณ และนิตยา พันธุเวทย์. (2556). *ประเด็นสารรณรงค์วันเบาหวานโลก ปี 2556 (ปีงบประมาณ 2557)*. วันที่ค้นข้อมูล 25 สิงหาคม 2557, เข้าถึงได้จาก:http://www.dpck5.com/SRRTcenter/7NOV56pdf.

รัชนี คงคาฉุยฉาย และริญ เจริญศิริ. (2553). ปริมาณคุณค่าโภชนาการของข้าวพื้นเมืองในเขตปฏิรูปที่ดิน อำเภอกุดชุม จังหวัดยโสธร.*วารสารโภชนาการสาร, 45*(2), 14-31.

รัชนี คงคาฉุยฉาย และริญ เจริญศิริ.(2554). สารต้านอนุมูลอิสระและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพื้นเมืองในเขตปฏิรูปที่ดิน อำเภอกุดชุม จังหวัดยโสธร.*วารสารโภชนาการสาร, 46*(1), 25-42.

ริญ เจริญศิริ รัชนี คงคาฉุยฉาย และนฤมล รัตนากรพันธ์.(2551). การคัดเลือกดัชนีน้ำตาลของข้าวสายพันธุ์ต่างๆจากการปรับปรุงสายพันธุ์และจากแหล่งต่างๆในกรุงเทพมหานคร โดยใช้การทดสอบ “*In vitro* rapidly available glucose”. *วารสารโภชนาการสาร, 43*(3), 16-27.

Afaghi, A., O’Connor, H., & Chow, C.M. (2007). High-glycemic-index carbohydrate meals shorten sleep onset1–3. *American Journal of Clinical Nutrition, 85,* 426-430.

Behall, K.M., Scholfield, D.J., & Canary, J. (1988).Effect of starch structure on glucose and insulin responses inadults.*American Journal of Clinical Nutrition, 47,* 428-432.

Behall, K.M., Scholfield, D.J., Yuhaniak, I., & Canary, J.(1989). Diets containing high amylose vs amylopectin starch: Effect on metabolic variables in human subjects. *American Journal of Clinical Nutrition, 49,* 337-344.

Coffman, W.R.,& Juliano, B.O. (1987).Rice.In R.A. Olson,& K.J. Frey. (Eds). *Nutritional quality of cereal grains: Genetic and agronomic improvement (vol. 5)*(pp.101-131). Madison: American Society of Agronomy.

Denardin, C.C., Boufleur, N., Reckziegel, P., da Silva, L.P., & Walter, M. (2012).Amylose content in rice (Oryza sativa) affects performance, glycemic and lipidic metabolism in rats. *Ciencia Rural, 42,* 381-387.

Englyst, K.N., Englyst H.N., Hudson, G.J., Cole, T.T., & Cummings, J.H. (1999). Rapidly available glucose in foods: an invitro measurement that reflects the glycemic response. *American Journal of Clinical Nutrition, 69,* 448-454.

Englyst, H.N., Veenstra J., & Hudson, G.J. (1996). Measurement of rapidly available glucose (RAG) in plants foods: a potential in vitro predictor of the glycemic response. *British Journal of Nutrition, 175*(3), 327-337.

Fitzerald, M.A., McCouch, S.R., & Hall, R.D. (2011). Not just a grain: the quest for quality. *Trends in plant Science,14*, 133-139.

Frie, M., Siddhuraju, P., & Becker, K. (2003). Studies on the in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. *Food Chemistry, 83,* 395-402.

International Diabetes Federation: IDF (2014). *IDF Diabetes Atlas* (6th ed.). Retrieved November 13, 2014, from http://www.idf.org/diabetesatlas

Jain, A., Rao, S.M., Sethi, S., Ramesh, A., Tiwari, S., Mandal, K., et al. (2012).Effect of cooking on amylose content of rice.*European Journal of Experimental Biology, 2*(2), 385-388.

Latimer, G.W. (2012). *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*(19th ed.). AOAC INTERNATIONAL, Maryland, USA.

Mayo Clinic. (2014). Retrieved November 13, 2014, from http://www.mayoclinic.org/healthy-lifestyle/nutrition-and-healthy-eating/in-depth/glycemic-index-diet/art-20048478 :

Miller, B., Wolever, T.M., &Powell, F. (2003).*The New Glucose Revolution; the authoritative guide to the glycemic index*. New York: Marlowe & company.

Noda, T., Takigawa, S., Matsuura-Endo, C., Suzuki, T., Hashimoto, N., Kotterachchi, N.S., et al. (2008). Factors affecting the digestibility of raw and gelatinized potato starches. *Food Chemistry, 110,* 465-470.

Panlasigui, L., Thompson, L.U., Juliano, B.O., Perez, C.M., Yiu, S.H., & Greenberg, G.R. (1991). Rice varieties with similar amylose content differ in starch digestibility and glycemic response in humans. *American Journal of Clinical Nutrition, 54,* 871-877.

Parada, J., & Aguilera, J.M. (2012).Effect of native crystalline structure of isolated potato starch on gelatinization behavior and consequently on glycemic response.*Food Research International, 45,* 238-243.

Shobana, S., Kokila, A., Lakshmipriya, N., Subhaashini, S., Bai, M.R., Mohan, V., et al. (2012).Glycaemic index of three India rice varieties.*International Journal of Food Science and Nutrition, 63,*178-183.

Syahariza, Z.A., Sar, S., Hasjim, J., Tizzotti, M., & Gilbert R.G. (2013). The importance of amylose and amylopectin fine structure for starch digestibility in cooked rice grains.*Food Chemistry, 136,* 742-749.

Yamasaki, M., Watanabe, M., Yoneyama, T., Nogi, A., Wang, L., & Shiwaku, K. (2007). Influence of rice with different amylose contents on postprandial glycemic response. *Journal of Rural Medicine, 1,* 51-58.

Yu, SY., Lin, S.T., Lee, J.H., & Chung, H.J. (2014). Impact of molecular and crystalline structures on in vitro digestibility of waxy rice starches.*Carbohydrate Polymer, 112,* 729-735.

Zhu, L.J., Liu, Q.Q., Wilson, J.D., Gu, M.H., & Shi, Y.C. (2011). Digestibility and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa L.)* flours and starches differing in amylose content.*Carbohydrate Polymers, 86*(4), 1751-1759.