ค่าดัชนีน้ำตาล มวลน้ำตาลและการตอบสนองของระดับซีรั่มอินซูลินของเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกจากส่วนผสมของแป้งสาคูและแป้งข้าวเจ้ียง

Glycemic Index, Glycemic Load and Serum Insulin Response of Alternative Rice Noodles from Mixed Sago Palm Flour (*Metroxylon* spp.) and Chiang Rice Flour

จุรีภรณ์ นวนมุสิก[1*], รัชนี คงคาฉุยฉาย[2], ประไพศรี ศิริจักรวาล[3], จันทิรา วงศ์วิเชียร[4] และ วราศรี แสงกระจ่าง[4]

Jureeporn Nounmusig[1], Ratchanee Kongkachuichai[2], Prapaisri Sirichakwal[3], Chantira Wongwichain[4] and Warasri Saengkrajang[4]

[1]*สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*

[2]*ฝ่ายเคมีอาหาร สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล*

[3]*ฝ่ายมนุษยโภชนาการ สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล*

[4]*สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*

[1]*Public Health Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University*

[2]*Food Chemistry Division, Institute of Nutrition, Mahidol University*

[3]*Human Nutrition Division, Institute of Nutrition, Mahidol University*

[4]*Food Science and Technology Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University*

Received : 13 March 2018

Accepted : 19 June 2018

Published online : 25 June 2018

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index, GI), มวลน้ำตาล (glycemic load, GL) และการตอบสนองของระดับซีรั่มอินซูลินของเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกจากส่วนผสมของแป้งสาคูและแป้งข้าวเจ้ียง อาสาสมัครที่เข้าร่วมวิจัยเป็นผู้ที่มีสุขภาพดี จำนวน 12 คน (เพศชาย 6 คน และหญิง 6 คน) อายุเฉลี่ย 21.2±0.4 ปี ค่าดัชนีมวลกายปกติ (20.8±1.3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) ระดับน้ำตาลในเลือดหลังอดอาหาร (4.7±0.2 Mmol/L) และ HbA1C (5.3±0.2%) อยู่ในระดับปกติ อาสาสมัครรับประทานเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกแบบสุ่มเลือก โดยเว้นระยะทุก 1 สัปดาห์สลับกับอาหารอ้างอิง การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์ระดับน้ำตาลในเลือดและซีรั่มอินซูลินจะเก็บที่เวลา 0, 15, 30, 45, 60, 90 และ 120 นาที หลังรับประทานอาหารศึกษา ผลการศึกษาพบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือก คือเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (GI=53.6±8.3%) เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่มีค่าดัชนีน้ำตาลปานกลาง (GI=63.1±9.8%) การตอบสนองของระดับซีรั่มอินซูลินของเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกพบว่ามีระดับต่ำกว่าสารละลายกลูโคสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่เวลา 45, 60 และ 90 นาทีหลังรับประทานอาหารศึกษา ($p<0.05$) ค่ามวลน้ำตาลของเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกต่อปริมาณ 1 ทัพพี (60 กรัม) พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กมีค่ามวลน้ำตาลระดับต่ำ (GL=8.8) เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่มีมวลน้ำตาลปานกลาง (GL=10.8) การศึกษานี้สรุปนี้ว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกจากแป้งสาคูและแป้งข้าวเจ้ียงสามารถนำมารับประทานเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ดีเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับการป้องกันหรือดูแลผู้ป่วยโรคเบาหวาน

คำสำคัญ : ดัชนีน้ำตาล, มวลน้ำตาล, เส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือก, สาคู, โรคเบาหวาน

***Corresponding author. E-mail** : Pooh_2ch@hotmail.com

Abstract

The objective of this study was to determine the glycemic index (GI), glycemic load (GL) and serum insulin response of alternative rice noodles from mixed Sago Palm flour (*Metroxylon* spp.) and Chiang rice flour. Twelve healthy subjects (6 males and 6 females, age 21.2±0.4, normal BMI 20.8±1.3 kg/m^2, normal FBS 4.7±0.2 Mmol/L and normal HbA1C 5.3±0.2%) were recruited for this study. The alternative rice noodles were consumed in random order between the reference food sessions with at least a week gap between measurements. The blood glucose and serum insulin were collected and evaluated at 0, 15, 30, 45, 60, 90 and 120 minute after food consumption. The alternative rice noodles, small and big rice noodles showed the low GI value (GI=53.6±8.3) and medium GI value (GI=63.1±9.8), respectively. Serum insulin response was significantly lower for the alternative rice noodles compared to glucose solution at 45, 60 and 90 minute ($p<0.05$). According to GL classification, 1 ladle (60 g) of small rice noodles was referred as low GL (GL=8.8), whilst big rice noodle was categorized as a medium GL (10.8). The alternative rice noodles from Sago palm flour and Chiang rice flour could have implication for the management and prevention of type 2 diabetes.

Keywords : glycemic index, glycemic load, alternative rice noodles, Sago Palm (*Metroxylon* spp.), Diabetes mellitus

บทนำ

สาคู มีชื่อสามัญ Sago palm ชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Metroxylon sagus* Rott. อยู่ในวงศ์ PALMAE เป็นพืชท้องถิ่นในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบมากในมาเลเซีย นิวกินี อินโดนีเซีย และหมู่เกาะต่างๆ ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Flach, 1983) สำหรับประเทศไทยพบในเขตหลายจังหวัดทางภาคใต้ เช่น นครศรีธรรมราช ยะลา ปัตตานี นราธิวาส สงขลา สตูล เป็นต้น (Sriroth *et al*., 1999) สาคูมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ภายในส่วนกลางของลำต้นประมาณ 300 กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (Ehara, 2006) จากรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าแป้งสาคูเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ดีสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานเนื่องจากเป็นแป้งที่ร่างกายมีความสามารถในการย่อยและการดูดซึมต่ำ จากสารสำคัญที่มีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสและการดูดซึมของผนังลำไส้เล็ก (Karim *et al*., 2008 และ Srichuwong *et al*., 2005) และเป็นแป้งกลุ่มที่มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณร้อยละ 40 (Boonying *et al*., 2010) ซึ่งปริมาณอะไมโลสสูงมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดต่ำเพราะร่างกายย่อยเป็นน้ำตาลและดูดซึมได้ช้าจากขนาดโมเลกุลและโครงสร้างที่เป็นเส้นตรง (**α**-D-(1,4) linkage) ขณะที่ amylopectin เป็นแป้งที่ย่อยได้ง่ายเนื่องจากโครงสร้างเป็นแขนง **α**-D-(1,4) และ **α**-D-(1,6) linkages) พันธะจึงถูกย่อยสลายเป็นน้ำตาลกลูโคสได้ง่าย (Sajilata *et al*., 2006 และ Yang *et al*., 2006) นอกจากนี้การศึกษาที่ผ่านมาของ Nounmusig *et al*. (2016) ค้นพบข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ คือพันธุ์เฉี้ยง ซึ่งเป็นข้าวกลุ่มที่มีค่าดัชนีปานกลาง (57.2±5.6%) เนื่องจากเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (28.9±0.3%) แต่ไม่นิยมนำมาหุงบริโภคเนื่องจากเป็นกลุ่มข้าวแข็ง ส่วนใหญ่จะนำมาแปรรูปเป็นเส้นขนมจีนและเส้นก๋วยเตี๋ยว

การพัฒนาเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกจากแป้งสาคูและแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เฉี้ยงที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ เป็นประเด็นที่น่าสนใจเพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตทางเลือกในการป้องกันหรือลดความรุนแรงของโรคเบาหวาน American Diabetes Association (2008) ได้แนะนำเป้าหมายที่สำคัญในการรักษาหรือป้องกันโรคเบาหวานด้วยอาหารว่า

ควรเลือกรับประทานอาหารที่ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเปลี่ยนแปลงอยู่ในระดับปกติ ซึ่งสารอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือด (Pasupuleti & Anderson, 2008) ตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรตต่อระดับน้ำตาลในเลือด เรียกว่าค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index; GI) (Jenkins *et al*., 1981) อาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูงมีผลทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและลดลงสู่ระดับต่ำกว่าปกติอย่างรวดเร็ว นำมาสู่การตอบสนองของอินซูลินในปริมาณที่สูง ทำให้เบต้าเซลล์ในตับอ่อนทำงานหนักจนอ่อนล้าเป็นสาเหตุสำคัญของโรคเบาหวาน (Hopping *et al*., 2010 และ Hodge *et al*., 2004) ซึ่งเป็นปัญหาด้านสาธารณสุขที่สำคัญ ข้าวเป็นอาหารหลักและพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ โดยเฉพาะข้าวขาวที่พบว่าคนไทยรับประทานเกือบทุกมื้อ แต่การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการบริโภคข้าวขาวมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคเบาหวาน (Hu *et al.,* 2012 และ Mohan *et al*., 2009) สาเหตุสำคัญมาจากการที่ข้าวขาวมีค่าดัชนีน้ำตาลสูง (Teresa *et al*., 2014; Ranawana *et al*., 2009 และ Atkinson *et al*., 2008) การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกจากแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ดี เพื่อเป็นอาหารทางเลือกที่ดีต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดและการตอบสนองของระดับซีรั่มอินซูลิน สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งข้าวแป้งทางเลือกที่เหมาะสำหรับการรับประทานในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหรือภาวะแทรกซ้อนต่างๆ ของผู้ป่วยโรคเบาหวานต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลและมวลน้ำตาลของเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกจากแป้งสาคูและแป้งข้าวเฉี้ยง
2. เพื่อศึกษาผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับซีรั่มอินซูลินของเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกจากแป้งสาคูและแป้งข้าวเฉี้ยง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือก

1.1 การเตรียมแป้งข้าวเฉี้ยง

แป้งข้าวเฉี้ยง เตรียมโดยนำเมล็ดข้าวเจ้าพันธุ์เฉี้ยง มาคัดสิ่งสกปรกออก นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นบดให้ละเอียดด้วยเครื่องโม่หินไฟฟ้า (Stone mill) และร่อนด้วย Retch Test Sieve 180 ไมโครเมตร บรรจุถุงพลาสติก ปิดปากถุงให้แน่นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้สำหรับการทำเส้นก๋วยเตี๋ยว

1.2 การเตรียมแป้งสาคู

แป้งสาคู เตรียมโดยนำต้นสาคูแก่ ปอกเปลือกออก บดให้ละเอียด คั้นน้ำแยกเอาแต่แป้ง ล้างจนน้ำใสจะได้เนื้อแป้งเป็นสีขาว นำแป้งสีขาวมาอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นบดให้ละเอียด และร่อนด้วย Retch Test Sieve 180 ไมโครเมตร บรรจุถุงพลาสติก ปิดปากถุงให้แน่นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้สำหรับการทำเส้นก๋วยเตี๋ยว

1.3 การทำเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กทางเลือก

เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กทางเลือก ดัดแปลงวิธีการทำจาก Sirilert (2009) ที่ส่วนผสมเป็นน้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยนำแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เฉี้ยงและแป้งสาคู ผสมกันในอัตราส่วน 40:60 บ่มน้ำแป้งทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง ตักน้ำแป้งไปนึ่งไอน้ำที่อุณหภูมิน้ำเดือด (100 องศาเซลเซียส) ปิดฝาทำการนึ่งนาน 2 นาที นำถาดออกทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วลอกแผ่น

ก๋วยเตี๋ยวออก ผึ่งลมบนตะแกรงลวดประมาณ 1 ชั่วโมง และบ่มทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 12 ชั่วโมงและนำมาตัดเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก และนำก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

1.4 การทำเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ทางเลือก

เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ ดัดแปลงวิธีการทำจาก Rodmui (2009) ที่ส่วนผสมเป็นน้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยนำแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เฉี้ยงและแป้งสาคู ผสมกันในอัตราส่วน 40:60 บ่มน้ำแป้งทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง ตักน้ำแป้งไปนึ่งไอน้ำที่อุณหภูมิน้ำเดือด (100 องศาเซลเซียส) ปิดฝาทำการนึ่งนาน 2 นาที นำถาดออกทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วลอกแผ่นก๋วยเตี๋ยวออก

2. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี

2.1 ศึกษาองค์ประกอบทางโภชนาการ

การศึกษาองค์ประกอบทางโภชนาการของเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งสาคู ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ความชื้น เถ้า ไขมัน และใยอาหาร โดยวิธีการของ AOAC (2005) และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่อ 100 กรัม จากสูตร

คาร์โบไฮเดรต = 100-โปรตีน-ความชื้น-เถ้า-ไขมัน-เส้นใย (1)

คำนวณค่าคาร์โบไฮเดรตส่วนที่ร่างกายสามารถย่อย ดูดซึม และให้พลังงานต่อร่างกาย (Available carbohydrate; availCHO) จากสูตร

availCHO (กรัม) = คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด – ใยอาหาร (2)

2.2 ศึกษาปริมาณอะไมโลส

ปริมาณอะไมโลสวัดจากสีที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งสาคูและสารละลายไอโอดีน โดยวัดจากค่าการดูดกลืนแสง 620 นาโนเมตร ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันนั้นจะบอกถึงระดับของปริมาณอะไมโลสในแป้งสาคู (Juliano *et al*., 1981)

3. ศึกษาปริมาณเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกในการศึกษาค่าดัชนีน้ำตาล

ปริมาณเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกสำหรับการศึกษาค่าดัชนีน้ำตาล คือปริมาณอาหารเท่ากับ Available carbohydrate (AvailCHO) 50 กรัม (ISO 26642, 2010) คำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณเส้นก๋วยเตี๋ยว (กรัม)} = \frac{(100 \times 50)}{\text{ปริมาณ AvailCHO ต่อ 100 กรัม}} \quad (3)$$

4. ศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลของเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือก

4.1 อาสาสมัครในการศึกษา

อาสาสมัครในการศึกษาค่าดัชนีน้ำตาล อ้างอิงตามเอกสาร ISO 26642 (2010) กำหนดว่าควรใช้อาสาสมัครไม่น้อยกว่า 6 คน โดยมีเกณฑ์ในการคัดเข้า (Inclusion criteria) คือ ผู้ที่มีสุขภาพดี เพศชายและหญิงในสัดส่วนใกล้เคียงกัน อายุระหว่าง 20-45 ปี ระดับ fasting blood sugar, total cholesterol, Triglyceride, LDL, HDL อยู่ในเกณฑ์ปกติ

4.2 จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

การศึกษานี้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ เลขที่เอกสารรับรอง WUEC-16-050-01 โดยอาสาสมัครจะต้องลงนามหนังสือยินยอมเข้าร่วมโครงการให้เรียบร้อยก่อนดำเนินการศึกษา

4.3 อาหารอ้างอิง

อาหารอ้างอิงคือผงกลูโคส (Utopian,Thailand) ซึ่งผงกลูโคสจากแต่ละกระป๋องจะนำมาผสมรวมกัน สุ่มปริมาณ 100 กรัม เพื่อวิเคราะห์ค่าความชื้น (AOAC, 2005)

4.4 การเตรียมความพร้อม 1 วันก่อนศึกษาค่าดัชนีน้ำตาล

ก่อนทำการศึกษาค่าดัชนีน้ำตาล 1 วัน อาสาสมัครจะต้องปฏิบัติตัวดังต่อไปนี้

1) มื้อเย็น (ก่อนเวลา 20.00 น.) อาสาสมัครรับประทานอาหารมาตรฐานที่เหมือนกันทุกครั้ง คือข้าวกะเพราไก่ ไข่ดาว แกงจืดผักกาดขาวกับเต้าหู้ไก่สับ และฝรั่ง ที่ผู้วิจัยได้เตรียมไว้ให้

2) งดเครื่องดื่มที่มีคาเฟอีน เช่น ชา กาแฟ น้ำอัดลม เป็นต้น

3) งดเว้นกิจกรรมการออกกำลังกายทุกชนิด หรือการทำกิจกรรมที่มากกว่าวิถีชีวิตปกติ

4.5 การศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลและการเปลี่ยนแปลงระดับซีรั่มอินซูลิน

อาสาสมัครแต่ละคนจะเข้าร่วมการศึกษาทั้งหมด 5 ครั้ง (สารละลายกลูโคส 3 ครั้ง เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก 1 ครั้ง และเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ 1 ครั้ง) เว้นระยะทุก 1 สัปดาห์ ในแต่ละครั้งที่เข้าร่วมโครงการ มีรายละเอียดการเก็บตัวอย่างเลือดหลังรับประทานอาหารศึกษา ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.5.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือด

การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานอาหารแต่ละชนิด จะเก็บตัวอย่างเลือดครั้งละ 2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดเลือด Sodium fluoride ที่เวลา 0, 15, 30, 45, 60, 90 และ 120 นาทีหลังรับประทานอาหาร จากนั้นปั่นแยกพลาสมาด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ความเร็ว 2,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที วิเคราะห์ระดับน้ำตาลในแต่ละช่วงเวลาจากตัวอย่างพลาสมา ด้วยวิธี Glucose oxidase method

4.5.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนอินซูลินในเลือด

การเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนอินซูลินในเลือดหลังรับประทานอาหารแต่ละชนิด จะเก็บตัวอย่างเลือด 3 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 15, 30, 45, 60, 90 และ 120 นาทีหลังรับประทานอาหาร ใส่ในหลอดเลือด clotted blood วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที ปั่นแยกซีรั่มด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ความเร็ว 2,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที วิเคราะห์ระดับซีรั่มอินซูลินโดยใช้ Insulin ELISA-Kit

4.5.3 คำนวณค่าดัชนีน้ำตาลในเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือก

การคำนวณค่าดัชนีน้ำตาล ใช้หลักการของ Wolever (2006) ซึ่งค่าระดับน้ำตาลในเลือดตลอด 2 ชั่วโมงที่ศึกษาจะมาคำนวณค่าพื้นที่ใต้กราฟ (incremental area under the curve, iAUC) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกและสารละลายกลูโคส ด้วยโปรแกรม GraphPad Prism for Window version 5.0.

ค่าดัชนีน้ำตาล คำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟของอาหารศึกษาหารด้วยพื้นที่ใต้กราฟของอาหารอ้างอิงคูณด้วย 100 โดยค่าที่ได้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ สูง (GI$\geq$70), กลาง (GI=56-69) และต่ำ (GI$\leq$55)

การศึกษานี้เปรียบเทียบค่าดัชนีน้ำตาลและมวลน้ำตาลของเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกกับข้าวหอมมะลิ ซึ่งเป็นข้าวเจ้าที่นิยมรับประทานในประเทศไทยจากการศึกษาก่อนหน้านี้ (Nounmusig *et al*., 2017)

5. ศึกษาค่ามวลน้ำตาลของเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือก

มวลน้ำตาลของเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือก เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดเมื่อรับประทานในแต่ละครั้ง (Galgani *et al*., 2006) คำนวณได้จากสูตร

$$GL = \frac{GI \times \text{AvailCHO ต่อหนึ่งหน่วยบริโภค}}{100} \quad (3)$$

AvailCHO คือ คาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานต่อร่างกายได้

6.การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) แสดงออกมาในรูปของ means ± SEM และ means ± SD ส่วนความแตกต่างทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดและซีรั่มอินซูลินในแต่ละช่วงเวลาระหว่างสารละลายกลูโคส และเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกทั้ง 2 ชนิด วิเคราะห์โดยใช้ one-way analysis of variance (ANOVA) กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p< 0.05$

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. องค์ประกอบทางเคมีของเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือก

ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกและอาหารอ้างอิง (ผงกลูโคส) แสดงข้อมูลดัง**ตารางที่** 1 พบว่าปริมาณความชื้นในผงกลูโคสเท่ากับ 8.75 ± 0.01 กรัม/100 กรัม จึงต้องใช้ปริมาณผงกลูโคสเพื่อการศึกษา (AvailCHO เท่ากับ 50 กรัม) เท่ากับ 54.4±0.1 กรัม ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของแป้งสาคูพบว่าเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง เท่ากับ 32.2±0.3% (Juliano, 2004) ขณะที่การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าแป้งสาคูมีปริมาณอะไมโลส ประมาณ 40% (Boonying *et al*., 2010) โดยปริมาณอะไมโลสที่แตกต่างกันส่วนหนึ่งมาจากอายุของต้นสาคูที่ต่างกัน (Tie, 2004).

ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของเส้นก๋วยเตี๋ยวพบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สดและเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้งมาจากส่วนประกอบในสัดส่วนแป้งสาคูและแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เฉี้ยงที่เท่ากัน (แป้งสาคู:แป้งข้าวเฉี้ยง = 60:40) ดังนั้นเมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีพบว่าภาวะความชื้นมาตรฐานแห้ง เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กและเส้นใหญ่มีองค์ประกอบทางเคมีไม่แตกต่างกัน ยกเว้นใยอาหารที่พบในเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก (2.37 กรัม/100 กรัม) ในปริมาณที่สูงกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ (1.79 กรัม/100 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของผงกลูโคส เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก และเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่น้ำหนัก 100 กรัม*

สารอาหาร*	ผงกลูโคส	เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สด		เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแห้ง	
		Wet basis	Dry basis	Wet basis	Dry basis
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	365.2±0.8	119.6±0.2	398.7±0.1	345.0±0.2	399.6±0.1
ความชื้น (กรัม)	8.7±0.2	70.0±0.1	-	13.7±0.1	-
โปรตีน (กรัม)	ND	0.98±0.02	3.28±0.05	2.58±0.02	2.99±0.02
ไขมันทั้งหมด (กรัม)	ND	ND	ND	ND	ND
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (กรัม)	91.3±0.2	28.9±0.1	96.4±0.1	83.7±0.1	96.9±0.1
ใยอาหาร (กรัม)	ND	0.54±0.02	1.79±0.07[b]	2.04±0.03	2.37±0.03[a]
คาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานต่อร่างกาย (กรัม)	91.3±0.2	28.4±0.1	94.6±0.1	81.6±0.0	94.5±0.0
เถ้า (กรัม)	ND	0.10±0.01	0.32±0.02[a]	0.09±0.01	0.11±0.01[b]
ปริมาณที่ใช้ในการศึกษาค่าดัชนีน้ำตาล (กรัม)	54.4±0.1	176±1	52.9±0.1	61.3±0.1	52.9±0.0

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

* คือ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

ND; Not detected

2. ข้อมูลทั่วไปอาสาสมัคร

อาสาสมัครที่เข้าร่วมวิจัย มีจำนวน 12 คน เป็นเพศชายและเพศหญิงในสัดส่วนเท่ากัน อายุเฉลี่ย 21.2±0.4 ปี ค่าดัชนีมวลกายอยู่ในเกณฑ์ปกติ เท่ากับ 20.8±1.3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ระดับน้ำตาลในเลือดหลังอดอาหารและ HbA_1C อยู่ในเกณฑ์ปกติ เท่ากับ 4.7±0.2 Mmol/L และ 5.3±0.2% ตามลำดับ ส่วนระดับไขมันในเลือด ซึ่งได้แก่ค่า total cholesterol, triglyceride, LDL-cholesterol และ HDL-cholesterol อยู่ในเกณฑ์ปกติ เท่ากับ 5.1±0.8, 1.2±0.4, 3.5±0.8และ 1.5±0.1 Mmol/L ตามลำดับ (National Heart, Lung, and Blood Institute, 2001) แสดงข้อมูลพื้นฐานอาสาสมัครดัง**ตารางที่ 2**

ตารางที่ 2 ข้อมูลพื้นฐานอาสาสมัคร 12 คน ที่ผ่านการคัดกรองเข้าร่วมโครงการ

ข้อมูลพื้นฐาน	ค่าปกติ*	จำนวน = 12 คน (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
อายุ (ปี)	20-45	21.2±0.4
ค่าดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/ตารางเมตร)	18.5-22.9	20.8±1.3
Fasting blood sugar (Mmol/L)	5.5	4.7±0.2
HbA1C (%)	< 5.7	5.3±0.2
Total cholesterol (Mmol/L)	< 5.2	5.1±0.8
Triglyceride (Mmol/L)	< 1.7	1.2±0.4
LDL-cholesterol (Mmol/L)	<4.1	3.5±0.8
HDL-cholesterol (Mmol/L)	> 1.3	1.5±0.1

*National Institutes of Health (National Heart, Lung, and Blood Institute), 2001.

LDL, low density lipoprotein; HDL, high density lipoprotein

3. การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดและค่าดัชนีน้ำตาลในเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือก

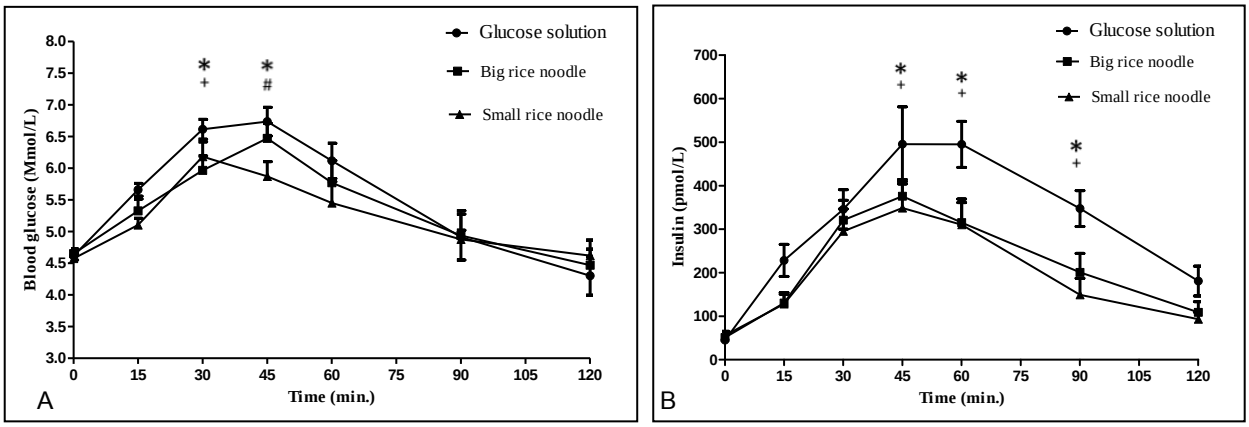
การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดของอาสาสมัครหลังดื่มสารละลายกลูโคส 50 กรัมและเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกที่เวลา 0, 15, 30, 45, 60, 90 และ 120 นาที แสดงดัง**ภาพที่** 1A ซึ่งจะเห็นว่าระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นสูงสุด (Postprandial blood glucose peak value , PV) หลังดื่มสารละลายกลูโคส 30 นาทีและยังคงมีระดับสูงถึงนาทีที่ 45 ขณะที่การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กและเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ ที่เวลา 30 และ 45 นาทีมีการเปลี่ยนแปลงจากเริ่มต้นน้อยมากและน้อยกว่าสารละลายกลูโคสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดเท่ากับ 6.2±0.2 Mmol/L และ 6.5±0.2 Mmol/L หลังรับประทานเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กและเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ทางเลือกตามลำดับ ระดับน้ำตาลในเลือดจะกลับเข้าสู่สภาวะปกติที่เวลา 90 นาทีทั้งในกลุ่มที่ดื่มสารละลายกลูโคสและเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือก

ค่าดัชนีน้ำตาลของเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือก พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (GI= 53.6±8.3%) ขณะที่เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่มีค่าดัชนีน้ำตาลปานกลาง (GI= 63.1±9.8%) แสดงข้อมูลดัง**ตารางที่ 3** ถือว่าเป็นอาหารทางเลือกที่สำคัญเนื่องจากข้าวขาวซึ่งเป็นอาหารหลัก ส่วนใหญ่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูง (Truong *et al*., 2014; Ranawana *et al*., 2009 และ Atkinson *et al*., 2008) เหตุผลส่วนหนึ่งมาจากข้าวขาวมีปริมาณอะไมโลสต่ำ (12–17%) (Prathepha *et al*., 2005) เส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ-ปานกลาง น่าจะมาจากโครงสร้างของแป้งสาคูและแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เฉี้ยงเป็นอาหารกลุ่มที่มีปริมาณอะไมโลสสูง การศึกษาที่ผ่านมาพบความสัมพันธ์เชิงบวกของอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำกับปริมาณอะไมโลสในอาหาร เนื่องจากโครงสร้างแป้งที่เป็นอะไมโลสเป็นเส้นตรง สายยาวเกาะกันโดยพันธะ α-1,4 glycosidic bonds มีความแข็งแรงกว่าโครงสร้างของ amylopectin ซึ่งมีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านและเชื่อมกันด้วยพันธะ α-1,6 glycosidic (Jain *et al*., 2012) จึงมีผลต่ออัตราการย่อยของเอนไซม์อะไมเลสที่ลำไส้เล็กต่ำ นอกจากนี้แป้งสาคูยังมีสารประกอบสำคัญที่มีผลยับยั้งการย่อยและการดูดซึมบริเวณลำไส้เล็ก (Karim *et al*, 2008; Benmoussa *et al*., 2007 และ Srichuwong *et al*, 2005)

อาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ-ปานกลาง จะมีผลดีในการเป็นอาหารทางเลือกสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานหรือผู้ที่ต้องการลดน้ำหนัก เพราะเป็นอาหารที่ย่อยและการดูดซึมช้า อาหารจะไปสัมผัส L-cell ของลำไส้เล็กส่วนปลาย (distal small intestine) ซึ่งทำหน้าที่ในการสร้างฮอร์โมน GLP-1 เพิ่มสูงขึ้น (Vollmer *et al*., 2008 และ Jenkins *et al*., 2002) บทบาทสำคัญในการช่วยให้ β-cell ในตับอ่อนมีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ช่วยให้อินซูลินทำงานได้ดีขึ้นและมีส่วนในการกระตุ้นให้สมองส่วนควบคุมความหิวอิ่มทำงานมีประสิทธิภาพเกิดภาวะอิ่มนานขึ้น

4. การเปลี่ยนแปลงระดับซีรั่มอินซูลิน

การเปลี่ยนแปลงระดับซีรั่มอินซูลินของอาสาสมัครหลังดื่มสารละลายกลูโคสและเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือก ที่เวลา 0, 15, 30, 45, 60, 90 และ 120 นาที แสดงดัง**ภาพที่** 1B พบว่าก่อนรับประทานอาหารศึกษาค่าซีรั่มอินซูลินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เมื่อดื่มสารละลายกลูโคสพบว่าระดับซีรั่มอินซูลินเพิ่มขึ้นสูงสุดที่นาทีที่ 45 - 60 และค่อยๆ ลดลงในนาทีที่ 90 และเปลี่ยนแปลงสูงกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกทั้ง 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ขณะที่การเปลี่ยนแปลงของระดับซีรั่มอินซูลินหลังรับประทานเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กและเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติตลอด 120 นาทีหลังรับประทาน ($p>0.05$)



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดและซีรั่มอินซูลินหลังรับประทานสารละลายกลูโคส (—●—) เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ทางเลือก (—■—) และเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กทางเลือก (—▲—)

*เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กทางเลือกมีระดับน้ำตาลในเลือดและซีรั่มอินซูลินแตกต่างจากสารละลายกลูโคสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

+เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ทางเลือกมีระดับน้ำตาลในเลือดและซีรั่มอินซูลินแตกต่างจากสารละลายกลูโคสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

#เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กทางเลือกมีระดับน้ำตาลในเลือดและซีรั่มอินซูลินแตกต่างจากเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ทางเลือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

5. ค่ามวลน้ำตาลในเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือก

มวลน้ำตาลในเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกเป็นค่าที่บอกถึงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดต่อปริมาณอาหารที่ได้รับในแต่ละครั้ง เนื่องจากค่าดัชนีน้ำตาลเป็นค่าที่บอกถึงการเปลี่ยนแปลงต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรต 50 กรัมที่เท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติต้องพิจารณาตามปริมาณอาหารที่รับประทานในแต่ละครั้ง (Galgani *et al*., 2006) ค่ามวลน้ำตาลของเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิจากการศึกษาที่ผ่านมา (Nounmusig *et al*., 2017) แสดงข้อมูลดัง**ตารางที่** 3 พบว่าในปริมาณต่อหน่วยบริโภคที่เท่ากัน เส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือกมีค่ามวลน้ำตาลต่ำกว่าข้าวหอมมะลิประมาณ 2 เท่า เช่นค่ามวลน้ำตาลต่อปริมาณ 1 ทัพพี เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กมีค่ามวลน้ำตาลต่ำที่สุดเท่ากับ 8.8 รองลงมาคือเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ เท่ากับ 10.8 ขณะที่ข้าวหอมมะลิมีค่ามวลน้ำตาลสูงถึง 18.0

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีน้ำตาลและมวลน้ำตาลของเส้นก๋วยเตี๋ยวทางเลือก

อาหารศึกษา	GI (%)	ปริมาณต่อหน่วยบริโภค (ทัพพี)	น้ำหนัก (กรัม)	GL
เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ทางเลือก	63.1±9.8	1	60	10.8
		1.5	90	16.1
		2	120	21.5
		2.5	150	26.9
		3	180	32.3
เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กทางเลือก	53.6±8.3	1	60	8.8
		1.5	90	13.1
		2	120	17.5
		2.5	150	21.9
		3	180	26.3
ข้าวหอมมะลิ*	90.7±4.3	1	60	18.0
		1.5	90	26.9
		2	120	35.9
		2.5	150	44.9
		3	180	53.9

GI, Glycemic index; GL, glycemic load

* Nounmusig *et al*., 2017

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้พัฒนาแหล่งคาร์โบไฮเดรตทางเลือกสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน คือเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กและเส้นใหญ่จากแป้งสาคูและแป้งข้าวเฉี้ยง ที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดและซีรั่มอินซูลินต่ำกว่าสารละลายกลูโคสและข้าวหอมมะลิ สามารถนำมารับประทานเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ดีเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับการป้องกันหรือดูแลผู้ป่วยโรคเบาหวาน

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ขอขอบคุณอาสาสมัครทุกท่านที่เสียสละเวลาอันมีค่าเข้าร่วมการศึกษาครั้งนี้ และขอบคุณผู้บริหารและบุคลากรของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช และสถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ อนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ และครุภัณฑ์ในการดำเนินงานวิจัย

ท้ายที่สุดการศึกษาครั้งนี้จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ถ้าไม่ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

เอกสารอ้างอิง

AOAC. (2005). Official methods of analysis, 18th edn. Association of Official; Analytical Chemists, Washington DC.

Atkinson, F.S., Foster-Powell, K., & Brand-Miller, J.C. (2008). International tables of glycemic index and glycemic load values. *Diabetes Care*, *31*, 2281–2283.

Benmoussa, M., Moldenhauer, K.A.K., & Hamaker, B.R. (2007). Rice amylopectin fine structure variability affects starch digestion properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *55*, 1475-1479.

Boonying, S., Suwonsichon, S., & Sompongse, W. (2010). Chemical and physical properties of sago starch and effects of wheat flour substitution with sago starch on cookie qualities. *Proceedings of 47th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry*, (pp.61-68). Kasetsart Univ., Bangkok (Thailand). (in Thai).

Ehara, H. (2006). Geographical distribution and specification of Metroxylon palms. *Japanese Journal of Tropical Agriculture*, *50*, 229-233.

Flach M. (1983). The sago palm. FAO plant production and protection paper 47, AGPC/MISC/80. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Galgani, J., Aguirre, C., & Díaz, E. (2006). Acute effect of meal glycemic index and glycemic load on blood glucose and insulin responses in humans. *Nutrition Journal*, *5*, 22.

Hodge, A.M., English, D.R., O'Dea, K., & Giles, G.G. (2004). Glycemic index and dietary fiber and the risk of type 2 diabetes. *Diabetes Care*, *27*, 2701-2706.

Hopping, B.N., Erber, E., Grandinetti, A., Verheus, M., Kolonel, L.N., & Maskarinec, G. (2010). Dietary fiber, magnesium, and glycemic load alter risk of type 2 diabetes in a multiethnic cohort in Hawaii. *Journal of Nutrition*, *140*, 68-74.

Hu, E.A., Pan, A., Malik, V., & Sun, Q. (2012). White rice consumption and risk of type 2 diabetes: meta-analysis and systematic review. *British Medical Journal, 344*, e1454.

Jenkins, D.J.A., Kendall, C.W.C., Augustin, L.S.A., Franceschi, S., Hamidi, M., Marchie, A., Jenkins, A.L., & Axelsen, M. (2002). Glycemic index: overview of implications in health and disease. *American journal of clinical nutrition, 76(*suppl), 266-273.

Juliano, B.O., Perez, C.M., & Blakeney, A.B. (1981). International Cooperative testing on the amylose content of milled rice. *Starch*, 33(5), 157-162.

Juliano, B.O. (2004). Rice. In: Wrigley C, Corke, H, Walker, C.E, editors. Encyclopedia of grain science eds. New York: Academic Press. p 41–74.

Karim, A. A., Tie, A., Pei-Lang, Manan, D. M. A., & Zaidul, I. S. M. (2008). Starch from the sago (*Metroxylon sagu*) palm tree-properties, prospects, and challenges as a new industrial source for food and other uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 7,* 215–228.

Mohan, V., Radhika, G., Sathya, R.M., Tamil, S.R., Ganesan, A., & Sudha, V. (2009). Dietary carbohydrates, glycemic load, food groups and newly detected type 2 diabetes among urban Asian Indian population in Chennai, India (Chennai Urban Rural Epidemiology study 59). *British Journal of Nutrition*, *102*, 1498–1506.

National Institutes of Health (National Heart, Lung, and Blood Institute). (2001). National cholesterol education program expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult Treatment Panel III).

Nounmusig, J., Kongkachuichai, R., Saengkrajang, W, Sirichakwal, S.S., & wongwichain, C. (2016). Glycemic index and chemical properties of Sago palm (*Metroxylon* spp.) and Chiang Phatthalung rice variety. Nakhon Si Thammarat: Nakhon Si Thammarat Rajabhat University. (in Thai).

Nounmusig, J., Kongkachuichai, R., Sirichakwal, S.S., Komindr, S. Yamborisut, U., & Chunhabundit, R. (2017). Effect of high- and low- glycemic index and glycemic load set-menu on blood glucose, insulin, glucagon-like peptide-1, glucose-dependent insulinotropic polypeptide, fullness, and satiety in patients with type 2 diabetes. Nakhon Pathom, Thailand: Mahidol University, PHD thesis.

Pasupuleti, V.K., & Anderson, J.W. (2008). On nutraceuticals and diabetes prevention and management In: Nutraceuticals, glycemic health and type 2 diabetes, 1st ed. Iowa: Blackwell Publishing and the Institute of food Technologists, pp. 1-10.

Prathephaa, P., Daipolmakb, V., Samappitoc, S., & Baimaid, V. (2005). An assessment of alkali degradation, waxy protein and their relation to amylose content in Thai rice. *Cultivars Science Asia*, *31*, 69-75.

Ranawana, D.V., Henry, C.J.K., Lightowler, H.J., & Wang, D. (2009). Glycaemic index of some commercially available rice and rice products in Great Britain. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *60*(S4), 99-110.

Rodmui, A. (2009). The production of noodle from Hom Nin rice flour. *Journal of Food Technology, Siam University*, *5*(1), 64-71. (in Thai).

Sajilata, M.G., Singhal,R.S., & Kulkarni, P.R. (2006). Resistant Starch-A Review. Comprehensive Reviews in *Food Science and Food Safety*, *5*, 1-17.

Sirilert, T. (2009). Development of rice Noodle : texture and quick blanching time. *Journal of Food Technology, Siam University*, *5*(1), 18-25. (in Thai).

Srichuwong, S., Sunarti, T.C., Nishima, T., Usono, N., & Hisamatsu, M. (2005). Starches from different botanical sources I. Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. *Carbohydrate Polymers*, *60,* 529–538.

Sriroth, K., Oates, C.G, Hicks, A., Chollakup, S., & Piyachomkwan, K. (1999). Structural and functional properties of Thai sago (*Metroxylon* spp.) starch extracted from different trunk portions. Proceeding of th 1st reginal round table meeting: Sustainable small scale sago starch extraction and utilisation: Guidelines for the sago industry, (pp. 137-185). Kasetsart Univ., Bangkok (Thailand). (in Thai).

Tie, A.P.L. 2004. Physico-chemical properties of sago starch in sago palm (Metroxylon sagu) at different growth stages [MSc thesis]. School of Industrial Technology, Univ. Sains Malaysia.

The International Organization for Standardization. (2010). Food products-Determination of the glycemic index (GI) and relevant classification. ISO26642.

Vollmer, K., Holst, J.J., Baller, B., Ellrichmann, M., Nauck, M.A., Schmidt, W.E., & Meier, J.J. (2008). Predictors of incretin concentrations in subjects with normal, impaired, and diabetic glucose tolerance. *Diabetes*, *57*(3), 678–687.

Wolever, T.M.S. (2006). Physiological mechanisms and observed health impacts related to the glycaemic index: some observations. *International Journal of Obesity*, *30*, 72-78.

Yang, Y.X., Wang, H.W., Cui, H.M., Wang, Y., Yu, L.D., Xiang, S.X., & Zhou, S.Y. (2006). Glycemic index of cereals and tubers produced in China. *World Journal of Gastroenterology*, *12*, 3430-3433.