

การประเมินค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว กข43 และผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคการเลียนแบบการย่อยของน้ำตาล

Evaluation of the Glycemic Index of RD43-Rice, and Its Products by Means of in Vitro Glucose Digestion Mimic Techniques

ธาริณี นิลกำแพง^{1*}Tarinee Nilkamheang^{1*}

Received: October 27, 2020

Revised: January 21, 2021

Accepted: February 9, 2021

บทคัดย่อ

ข้าว กข43 เป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำและมีค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ในระดับปานกลาง โดยค่าดัชนีน้ำตาลดังกล่าวอยู่ในระดับที่ต่ำเมื่อเทียบกับข้าวสายพันธุ์อื่น จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำแป้งฟลาวร์ข้าวจากข้าวสายพันธุ์ กข 43 ไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด ได้แก่ เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นพาสต้า ขนมปัง และขนมเค้ก โดยมีมุ่งหวังเพื่อลดค่าดัชนีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ทำการประเมินค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเทคนิคเลียนแบบการย่อยน้ำตาลในหลอดทดลอง โดยทำการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยเร็ว (rapidly available glucose, RAG) ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยช้า (slowly available glucose, SAG) ค่าคงที่ของการย่อยได้ (the kinetic constant; k) ค่าดัชนีการย่อยได้ (Hydrolysis index; HI) และ ค่าดัชนีน้ำตาล (eGI) ผลการทดลองพบว่าค่า RAG, k และ HI ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิด มีความสอดคล้องกับค่า eGI โดยที่ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า RAG, k และ HI ในระดับต่ำจะทำให้มีค่า eGI ที่ระดับต่ำ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า RAG, k และ HI ในระดับสูง ส่งผลให้มีค่า eGI ที่ระดับสูงเช่นกัน การใช้แป้งฟลาวร์ข้าว กข43 ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวและเส้นพาสต้าไม่ทำให้ค่า eGI ของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลง โดยเส้นก๋วยเตี๋ยวและเส้นพาสต้าจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 มีค่า eGI เท่ากับ 51.47 และ 54.87 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ ($GI \leq 55$) ในขณะที่การใช้แป้งฟลาวร์ข้าว กข43 ในการแปรรูปขนมปังและขนมเค้กทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลลดลง โดยขนมปังจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 มีค่า eGI เท่ากับ 63.64 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าดัชนีน้ำตาลปานกลาง ($GI = 56-69$) และผลิตภัณฑ์ขนมเค้กจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 มีค่า eGI เท่ากับ 285.92 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าดัชนีน้ำตาลสูง ($GI > 70$)

คำสำคัญ : ผลิตภัณฑ์จากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยเร็ว ค่าคงที่ของการย่อยได้ ค่าดัชนีการย่อยได้ ดัชนีน้ำตาล

ABSTRACT

RD43- rice has a low amylose content and a moderate glycemic index. The Glycemic Index of this rice is low in compared with other rice varieties. Based on the above data, the researcher has the idea of converting rice flour from RD43-rice into four products: noodles, pasta, bread and cakes, with the aim of reducing the glycemic index in the product. Those products were analyzed the Glycemic Index by means of in vitro glucose digestion mimic techniques. These techniques were analyzed the rapidly available glucose content (RAG), the slowly available glucose content (SAG), the kinetic constant (k), hydrolysis index (HI) and the glycemic index value (eGI). The results of the experiment showed that the RAG, k, and HI values of all four products correspond to the eGI values. Where products with low RAG, k, and HI values produce low eGI values, while in products with high RAG, k and HI resulting in a high eGI as well. The use of RD43- rice flour for processing noodle and pasta products did not change the eGI of the product. The rice noodles and pasta noodles from RD43-rice flour had eGI values of 51.47 and 54.87, respectively, which were in the low GI range ($GI \leq 55$). On the other hand, the use of RD43- rice flour in bread and cakes processing, lowered the glycemic index. RD43-rice flour bread had an eGI value of 63.64 which was in the mid-medium glycemic index range ($GI = 56-69$), and RD43-rice flour cakes were eGI value of 285.92, which is in the high glycemic index range ($GI > 70$).

Keywords: RD43-rice flour products, rapidly available glucose content (RAG), the kinetic constant (k), Hydrolysis index (HI), glycemic index value (eGI).

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนศาสตร์ การกำหนดอาหาร และความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

บทนำ

ค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index) หรือ GI เป็นหน่วยวัดผลของคาร์โบไฮเดรตต่อระดับน้ำตาลในเลือด คาร์โบไฮเดรตจะแตกตัวเป็นน้ำตาลอย่างรวดเร็วในระหว่างการย่อยอาหารโดยค่า GI มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ขึ้นกับว่าอาหารนั้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดมากหรือน้อย หลังการบริโภคอาหารนั้น เป็นเวลา 2 ถึง 3 ชั่วโมง ซึ่งค่า GI สามารถจำแนกได้ 3 ระดับ คือ ค่า GI สูง (มีค่ามากกว่า 70) ค่า GI ปานกลาง (56-69) และค่า GI ต่ำ (มีค่าน้อยกว่า 55) [1] โดยการบริโภคอาหารที่มีค่า GI ต่ำ หรือมีค่า GI ลดลง จะช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด และลดความเสี่ยงในการเกิดโรคได้

วิธีการวิเคราะห์ค่าดัชนีน้ำตาลในอาหารตามหลักสากลนั้นจะใช้วิธีการทดลองในคน (In vivo experiment) โดยใช้อาสาสมัครที่มีสุขภาพแข็งแรงเป็นกลุ่มตัวอย่าง แต่เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อค่า GI และการทำการทดลองในคนนั้นค่อนข้างยุ่งยาก และเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ต่อมา Englyst et al. (1992) [2] ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์อัตราการย่อยแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตในอาหารให้เป็นน้ำตาลในหลอดทดลอง (In vitro experiment) ซึ่งจะแบ่งย่อยเป็น Rapidly available glucose (RAG) และ Slowly available glucose (SAG) โดยจะหมายถึงปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการย่อยคาร์โบไฮเดรตด้วยเอนไซม์อย่างรวดเร็วภายในเวลา 20 นาที (RAG) และอีก 100 นาทีถัดมา (SAG) ซึ่งวิธีการนี้ได้เลียนแบบวิธีการย่อยการดูดซึมของน้ำตาลในคน การทดสอบด้วยวิธีนี้พบว่าให้ผลสอดคล้องกับการทดลองในมนุษย์โดยเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างค่า RAG และค่า GI มีความสอดคล้องกัน ต่อมา Sopade and Gidley (2009) และ Mahasukhonthachat et al. (2010) [3-4] ได้ศึกษาอัตราการย่อยแป้งในหลอดทดลองด้วยเอนไซม์ย่อยแป้ง ที่ระยะเวลา 0-180 นาที แล้วคำนวณอัตราการย่อยได้แป้งตามสมการ the modified first-order kinetic แล้วนำค่าอัตราการย่อยแป้งที่ได้มาคำนวณค่าดัชนีน้ำตาลโดยประมาณ (Estimated Glycemic Index; EGI) จากสมการ $GI = 39.21 + (0.803 \times H90)$ [5] ซึ่งจากการศึกษายืนยันผลระหว่างห้องปฏิบัติการที่ผ่านมาพบว่า เป็นวิธีการที่ได้ผลการทดสอบที่สัมพันธ์ไปในทาง

เดียวกับการทดสอบในมนุษย์และสัตว์ทดลอง ทั้งยังเป็นวิธีที่ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบ

การบริโภคอาหารของคนในสังคมไทยนิยมรับประทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตโดยเฉพาะข้าวเป็นอาหารหลัก ดังนั้นจึงเป็นปัญหากับผู้ป่วยเบาหวานที่จำเป็นต้องควบคุมปริมาณอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเพื่อไม่ให้ปริมาณน้ำตาลในกระแสเลือดเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งในประเทศไทยพบผู้ที่เป็นเบาหวาน 4.4 ล้านคน มากเป็นอันดับ 4 รองจาก จีน อินเดีย และญี่ปุ่น [6] ในด้านการควบคุมและรักษาโรคเบาหวาน ผู้ป่วยมักได้รับการแนะนำให้บริโภคอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ Chiu et al. (2011) [7] ศึกษาพบว่าคนที่รับประทานอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำอย่างต่อเนื่องสามารถลดอัตราการป่วยเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 รวมทั้งโรคหลอดเลือดหัวใจเมื่อเปรียบเทียบกับคนที่ไม่ได้รับประทานอาหารดัชนีน้ำตาลต่ำ

มีผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิดที่มีแบ่งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ผลิตภัณฑ์จำพวกเส้น ก๋วยเตี๋ยว ก๋วยจั๊บ และพาสต้า รวมทั้งผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น ขนมปังและเค้ก ซึ่งส่วนใหญ่ทำมาจากแป้งสาลีหรือแป้งชนิดอื่น เช่น แป้งมันสำปะหลัง โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ในระดับสูง [8-10] และเป็นที่น่าสนใจที่มีหลายงานวิจัยทำการศึกษาคำแนะนำแป้งข้าวมาใช้ทดแทนแป้งสาลีเนื่องจากกลูเตนจากข้าวสาลีเป็นสารก่อภูมิแพ้ (allergen) โดยนำมาใช้ทดแทนในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ขนมปัง [11] ขนมเค้ก [12] เส้นพาสต้า [13] รวมทั้งแป้งข้าวเป็นวัตถุดิบหลักในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว [14]

ข้าวพันธุ์ กข43 เป็นพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง ที่ได้รับการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี ให้ผลผลิตสูง ต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืช และได้รับการรับรองพันธุ์ เมื่อวันที่ 17 กันยายน 2552 [15] เป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลส ระดับต่ำ (ปริมาณอะมิโลส < ร้อยละ 20) และมีค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ในระดับปานกลาง (GI = 56-69) จากการทดสอบในข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำจำนวน 27 พันธุ์ [16] ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสในระดับสูง (ปริมาณอะมิโลสร้อยละ 25-33) ส่งผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลง

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนาการ การกำหนดอาหาร และอาหารปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

ระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ เพราะโครงสร้างที่เป็นเส้นตรงของอะมิโลสทำให้ร่างกายย่อยเป็นน้ำตาลและดูดซึมได้ช้ากว่าอะมิโลเพคตินซึ่งมีโครงสร้างเป็นโซกิ้ง [17] จากการศึกษาของ Wasusun et al. (2017) [16] ข้าวพันธุ์ กข 43 ซึ่งมีปริมาณอะมิโลสเท่ากับร้อยละ 18.82 และมีค่าสูงกว่าข้าวพันธุ์ กข15 ที่มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 14-17 และทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลข้าวพันธุ์ กข43 ($GI = 57.6$) ต่ำกว่าข้าวพันธุ์ กข15 ($GI = 69.1$) อย่างไรก็ตามข้าวทั้งสองสายพันธุ์จัดเป็นข้าวที่มีค่าดัชนีน้ำตาลระดับปานกลาง ($GI = 56-69$) ปริมาณอะมิโลสนอกจากจะมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีน้ำตาลแล้วยังมีความสัมพันธ์กับค่า RAG และ SAG จากการศึกษาของ Sahaspot et al. (2015) [18] ทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณ RAG และ SAG ในข้าวเหนียวและข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมืองรวม 31 พันธุ์ พบว่าข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าข้าวเหนียวมีค่า RAG ต่ำกว่าในขณะที่ค่า SAG ส่วนใหญ่สูงกว่า และพบว่าค่า RAG มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณอะมิโลส ค่า RAG และ SAG หมายถึงปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่จะถูกปลดปล่อยเข้าสู่กระแสเลือดจากอาหารที่บริโภคใน 20 นาที (RAG) และอีก 100 นาทีถัดมาหรือเวลาที่ 120 (SAG) โดยทั้ง 2 ค่ามีความสำคัญเนื่องจาก อาหารที่มีค่า RAG สูง และค่า SAG ต่ำ หมายความว่าแบ่งหรือคาร์โบไฮเดรตในอาหารนั้นสามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสได้อย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าค่า RAG และ SAG จึงเป็นอีกตัวแปรที่มีความสำคัญที่จะสามารถใช้ในการบ่งชี้ถึงค่าดัชนีของน้ำตาลในอาหารได้ ซึ่ง Sahaspot et al. (2015) [18] ระบุว่าข้าวที่มีปริมาณค่า RAG อยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า 10 กรัมต่อ 100 กรัมข้าวสุก) สามารถแปลผลได้ว่าข้าวสายพันธุ์นั้นมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ ส่วนข้าวที่มีค่า RAG อยู่ระหว่าง 10-18 กรัมต่อ 100 กรัมข้าวสุก เป็นข้าวที่มีค่าดัชนีน้ำตาลระดับปานกลาง อย่างไรก็ตามนอกจากปัจจัยด้านสายพันธุ์ข้าว และปริมาณอะมิโลสที่แตกต่างกันที่ส่งผลต่อความสามารถในการย่อยได้ รวมทั้งส่งผลต่อค่าดัชนีน้ำตาลในอาหารแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อความสามารถในการย่อยได้ เช่น ขนาดของเม็ดแป้ง โครงสร้างและความหนาแน่นของผลึกของแป้ง ระดับการเจลาติไนซ์เซชัน การพองตัวของเม็ดแป้ง

การแตกตัวของผลึกแป้งในระหว่างกระบวนการหุงต้ม รวมทั้งปริมาณโปรตีนและไขมันที่เป็นองค์ประกอบในอาหาร [19-20] ซึ่งปริมาณ โปรตีน และ ไขมันที่มีอยู่ในอาหาร สามารถไปจับโมเลกุลของอะมิโลสในอาหาร กลายเป็นโมเลกุลเชิงซ้อนระหว่าง amylose-protein complexes และ amylose-lipid complexes และส่งผลให้การปลดปล่อยน้ำตาลในโครงสร้างเกิดได้ช้าลง มีผลโพลดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดได้ [21]

จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำแป้งฟลาวร์ข้าวจากข้าวสายพันธุ์ กข43 ไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด ได้แก่ เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นพาสต้า ขนมปัง และขนมเค้ก โดยมุ่งหวังเพื่อลดค่าดัชนีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว และทำการประเมินค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเทคนิคเลียนแบบการย่อยน้ำตาลในหลอดทดลอง โดยทำการวิเคราะห์ค่าดังต่อไปนี้

1) การวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยเร็ว (rapidly available glucose, RAG) ที่นาทีที่ 20 และ ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยช้า (slowly available glucose, SAG) เป็นปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เหลืออยู่ที่ถูกย่อยในอีก 100 นาทีถัดมา (นาทีที่ 120) [2] และ

2) ประเมินค่าดัชนีน้ำตาล (eGI) โดยใช้เทคนิคติดตามการย่อยแป้งในตัวอย่างด้วยเอนไซม์ในหลอดทดลอง เป็นเวลา 180 นาที [3-5]

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. การเตรียมแป้งฟลาวร์ข้าว กข43

เมล็ดข้าวสายพันธุ์ กข43 นำมาบดแห้งด้วยเครื่องบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช นำแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 ที่ได้ไปวิเคราะห์ทางเคมีและประเมินค่าดัชนีน้ำตาล และใช้เป็นวัตถุดิบแป้งฟลาวร์ข้าวในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นพาสต้า ขนมปัง และขนมเค้กต่อไป

2. การเตรียมข้าว กข43 หุงสุก

เมล็ดข้าวสายพันธุ์ กข43 นำมาหุงสุกด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:1.5 โดยน้ำหนัก นำข้าว

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนศาสตร์ การกำหนดอาหาร และอาหารปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

กข43 หุงสุก ที่ได้ไปวิเคราะห์ทางเคมีและประเมินค่าดัชนีน้ำตาลต่อไป

3. การทำเส้นก๋วยเตี๋ยว (ดัดแปลงจาก Sirilert, 2010) [14]

เตรียมส่วนผสมน้ำแป้ง 2 สูตร ได้แก่ 1) น้ำแป้งข้าวเจ้า (แป้งข้าวเจ้าตราเหรียญทองคู่) ผสมกับแป้งมันสำปะหลัง และ 2) น้ำแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 ผสมกับแป้งมันสำปะหลัง ในอัตราส่วนน้ำแป้งข้าวต่อแป้งมันสำปะหลัง 80:20 โดยน้ำหนัก บ่มน้ำแป้งทิ้งไว้ 8 ถึง 10 ชั่วโมง เพื่อให้แป้งดูดน้ำ จากนั้นนำน้ำแป้งมาแผ่ให้เป็นแผ่นและผ่านการอบไอน้ำที่อุณหภูมิน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส 3 ถึง 5 นาที นำมาผึ่งลมประมาณ 1 ชั่วโมง และนำมาตัดเป็นเส้น ก่อนบ่มทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 12 ชั่วโมง จะได้เส้นก๋วยเตี๋ยวสด นำตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวไปวิเคราะห์ทางเคมีและประเมินค่าดัชนีน้ำตาลต่อไป

4. การทำพาสต้า (ดัดแปลงจาก Sutirawattananon, 2015) [13]

เตรียมส่วนผสมของแป้ง 2 สูตร ได้แก่ 1) แป้งสาลีขนมปัง (แป้งสาลีตราห่าน) ร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก และ 2) แป้งฟลาวร์ข้าวต่อแป้งสาลีในอัตราส่วน 50:50 โดยน้ำหนัก นำส่วนของแป้งในแต่ละสูตรมาร่อนให้เข้ากันด้วยตะแกรง เติมน้ำมัน น้ำเย็น และไข่ไก่ ผสมและนวดให้เข้ากันจนกระทั่งได้ก้อนโด นำก้อนโดมาแบ่งชิ้นละ 250 กรัม รีดให้เป็นแผ่นหนา 0.15 ถึง 0.2 เซนติเมตร ตัดให้เป็นเส้นขนาด 0.2 เซนติเมตร $\times$ 0.3 เซนติเมตร $\times$ 4.5 เซนติเมตร นำไปผ่านไอน้ำ 3 นาที แล้วลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จนมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 นำไปวิเคราะห์ทางเคมีและประเมินค่าดัชนีน้ำตาลต่อไป

5. การทำขนมปัง (ดัดแปลงจาก Thanavarakom, 2014) [11]

เตรียมส่วนผสมแป้ง 2 สูตร ได้แก่ 1) แป้งสาลีขนมปัง (แป้งสาลีตราห่าน) ร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก และ 2) แป้งฟลาวร์ข้าวต่อแป้งสาลีในอัตราส่วน 50:50 โดยน้ำหนัก นำส่วนของแป้งแต่ละสูตรมาร่อนผ่านตะแกรงลงในอ่างผสม จากนั้นเติมน้ำตาลทราย ยีสต์ และเกลือ

ลงไป นำส่วนผสมมาตีผสมด้วยความเร็วต่ำเป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากัน จากนั้นค่อยๆ เติมน้ำลงไป ตีผสมนาน 3 นาที เมื่อโดเริ่มจับตัวเป็นก้อนให้เปลี่ยนความเร็วในการตีผสมเป็นความเร็วปานกลาง ตีผสมนาน 3 นาที จากนั้นเติมเนยขาวลงไป ตีผสมนาน 12 นาที นำโดขนมปังที่ได้มาใส่ภาชนะและบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที โดยหลังบ่มแล้ว 1 ชั่วโมง นำโดมานวดไล่อากาศออก และบ่มต่อจนครบ 90 นาที นำก้อนโดมาตัดแบ่งเป็นก้อน ก้อนละ 185 กรัม จากนั้นนำมานวดให้เป็นก้อนกลม พักไว้ที่อุณหภูมิห้อง นำใส่ในพิมพ์และบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที นำไปอบที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักและนำไปวิเคราะห์ทางเคมีและประเมินค่าดัชนีน้ำตาลต่อไป

6. การทำเค้ก (ดัดแปลงจาก Chueamchaitrakun, 2011) [12]

เตรียมส่วนผสมแป้ง 2 สูตร ได้แก่ 1) แป้งสาลีเค้ก (แป้งสาลีตราพัดโบก) ร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก และ 2) แป้งฟลาวร์ข้าวต่อแป้งสาลีในอัตราส่วน 50:50 โดยน้ำหนัก ผสมเนยเค็มและอิมัลซิไฟเออร์ (EC25) ที่ส่วนผสมด้วยความเร็วปานกลางจนมีลักษณะเป็นครีม ประมาณ 15 นาที เติมน้ำตาลและกัวร์กัมม์ ตีให้เข้ากับครีมด้วยความเร็วปานกลาง ประมาณ 15 นาที เติมน้ำไข่ไก่ ผสมให้เข้ากัน ด้วยความเร็วระดับต่ำ เติมน้ำ มอลต์โคเดกตริน ผงฟู เกลือที่ผสมกันแล้ว สลับกับนมที่เติมกลิ่น โดยใช้ความเร็วต่ำ ตักใส่พิมพ์ประมาณ 300 กรัม อบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 นาที นำบัตเตอร์เค้กออกจากพิมพ์ และพักให้เย็นบนตะแกรง ชั่งน้ำหนักและนำไปวิเคราะห์ทางเคมีและประเมินค่าดัชนีน้ำตาลต่อไป

7. การวิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณอาหารและปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC [22] จากนั้นคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (ร้อยละ) (โดยใช้ 100 -

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนาการ การกำหนดอาหาร และความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

ผลรวมของปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และใยอาหาร) และคำนวณค่าพลังงานทั้งหมดมีหน่วยเป็นกิโลแคลอรีต่อ 100 กรัมตัวอย่าง โดยคำนวณจาก (ปริมาณโปรตีน (กรัม) $\times 4$ + ปริมาณไขมัน (กรัม) $\times 9$ + ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (กรัม) $\times 4$)

8. การประเมินค่าดัชนีน้ำตาล

การประเมินค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเทคนิคเลียนแบบการย่อยน้ำตาลในหลอดทดลอง โดยการวิเคราะห์ค่าดังต่อไปนี้

1) การวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยเร็ว (rapidly available glucose, RAG) ที่นาทีที่ 20 และปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยช้า (slowly available glucose, SAG) เป็นปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เหลืออยู่ที่ถูกย่อยในอีก 100 นาทีถัดมา (นาทีที่ 120) [2]

วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ย่อยช้าและเร็ว ตามวิธีของ Englyst et al. (1992) [2] นำตัวอย่างข้าวมาบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างข้าว 0.5 กรัม ลงในหลอดทดลองที่มีฝาขนาด 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายเปปซินปริมาตร 5 มิลลิลิตร และนำไปอุ่นที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นเติมโซเดียมอะซิเตทความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และใส่ลูกแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร จำนวน 5 ลูก และเติมสารละลายเอนไซม์ซึ่งประกอบไปด้วยเอนไซม์อินเวอร์เทส (invertase) แพนครีเอติน (pancreatin) และอะไมโลกลูโคซิเดส (amyloglucosidase) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวอย่างไปอุ่นด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ซึ่งขั้นตอนนี้เรียกว่า ไฮโดรไลซิสของสตาร์ช (starch hydrolysis) หรือการย่อยแป้ง หลังจากนั้นดูดตัวอย่างมา 200 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลายเอทานอลร้อยละ 66 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร และนำหลอดทดลองตัวอย่างเดิมกลับไปอุ่นต่อทันที ด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอีก 100 นาที หลังจากนั้นดูดตัวอย่างที่ได้จากการย่อยแป้ง (starch hydrolysis) มา 200 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลายเอทานอลร้อยละ 66 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร

นำตัวอย่างที่ได้จากการย่อยแป้งที่เวลา 20 และ 120 นาที มาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยเร็ว (rapidly available glucose, RAG) และปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยช้า (slowly available glucose, SAG) ตามลำดับ โดยการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโดยใช้ชุดทดสอบปริมาณน้ำตาลจาก Megazyme International (Ireland) และเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาล โดยใช้กราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคส คำนวณหาปริมาณน้ำตาล ($\mu\text{g glucose/g sample}$)

2) ประเมินค่าดัชนีน้ำตาล (eGI) โดยใช้เทคนิคติดตามการย่อยแป้งในตัวอย่างด้วยเอนไซม์ในหลอดทดลอง เป็นเวลา 180 นาที [3-5]

ค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic Index) คัดแปลงจากวิธีของ Mahasukhonthachat et al. (2010), Sopade and Gidley (2009) และ Goni et al. (1997) [3-5] นำตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร ปริมาตร 0.5 กรัม ผสมกับสารละลายเอนไซม์อัลฟาอะไมเลส (alpha amylase) (ละลายเอนไซม์ 40 มิลลิกรัม ในสารละลายโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 1.2 โมลาร์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายเอนไซม์เปปซิน (ละลายเอนไซม์ 1 กรัม ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.5) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปบ่มในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ จำนวน 5 มิลลิลิตร แล้วเติมเอนไซม์แพนครีเอติน และเอนไซม์กลูโคซิเดส 3 ยูนิต ในสารละลายอะซิเตตบัฟเฟอร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร พร้อมทั้งสารละลายอะซิเตตบัฟเฟอร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำร้อนที่มีการเขย่าตลอดเวลา เก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 160, 180 นาที นำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโดยใช้ชุดทดสอบปริมาณน้ำตาลจาก Megazyme International (Ireland) และเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลโดยใช้กราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคส คำนวณหาค่าคงที่ของการย่อยได้ (the kinetic constant; k), ค่าดัชนีการย่อยได้ (Hydrolysis index; HI) และค่าดัชนีน้ำตาล (estimate

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนศาสตร์ การกำหนดอาหาร และความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

Glycemic Index, eGI) ตามวิธีของ Goni et al. (1997) [5] ดังสมการ A first order equation ดังนี้

$$C=C_{\infty} (1-e^{-kt})$$

เมื่อ

C = ค่าความเข้มข้นของการย่อยที่เวลา t (μg/g)

C_∞ = สมดุลของความเข้มข้นของการย่อย (μg/g)

k = the kinetic constant (นาที⁻¹)

t = เวลา (นาที)

หลังจากนั้นคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) ดังสมการ

$$AUC = C_{\infty} (t_f - t_0) - (C_{\infty}/k)[1 - \text{Exp}[-k(t_f - t_0)]]$$

คำนวณค่าดัชนีการย่อยได้ (Hydrolysis Index, HI) ดังสมการ

$$HI = \frac{\text{AUC of test food}}{\text{AUC of reference sample}} \times 100 (\%)$$

หมายเหตุ: พื้นที่ใต้กราฟคำนวณเทียบกับตัวอย่างอ้างอิงคือขนมปังขาว (ยี่ห้อฟาร์มเฮ้าส์)

ค่าดัชนีน้ำตาล (estimate Glycemic Index, eGI) ตามสมการ

$$eGI = 39.71 + (0.549 \times HI)$$

9. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางเคมีและการประเมินดัชนีน้ำตาลวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely randomized design) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Pair-t test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลการทดลอง และวิจารณ์

1. การวิเคราะห์ทางเคมีของข้าว กข43 หุงสุกและแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43

สำหรับการวิเคราะห์หาค่าดัชนีน้ำตาลในตัวอย่างมีความจำเป็นต้องควบคุมปริมาณคาร์โบไฮเดรตในตัวอย่างให้มีปริมาณที่เท่ากัน โดยการศึกษาในครั้งนี้

อ้างอิงปริมาณคาร์โบไฮเดรตสำหรับการวิเคราะห์ค่าดัชนีน้ำตาลในหลอดทดลองจาก Argyri et al. (2016) [23] ซึ่งกำหนดให้ตัวอย่างที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เท่ากันคือ เท่ากับ 0.25 กรัม จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง ฟลาวัวร์ข้าว กข43 และข้าว กข43 หุงสุก ผลการทดลองพบว่าแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 มีปริมาณความชื้นที่น้อยกว่าข้าว กข43 หุงสุก ทำให้สัดส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ใยอาหารและเถ้าของแป้งฟลาวัวร์ข้าวมีค่าที่สูงกว่าข้าวหุงสุก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p≤0.05) ดังแสดงใน Table 1 แม้ว่าปริมาณไขมันของทั้งสองตัวอย่าง ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p≤0.05) ดังนั้นสำหรับการวิเคราะห์หาค่าดัชนีน้ำตาลในตัวอย่าง เพื่อให้ตัวอย่างมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เท่ากันคือเท่ากับ 0.25 กรัมจึงใช้ปริมาณตัวอย่าง 0.53 และ 0.31 กรัม สำหรับตัวอย่างข้าว กข43 หุงสุก และแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 ตามลำดับต่อไป

จากการพิจารณากราฟการปลดปล่อยน้ำตาลโดยใช้เทคนิคติดตามการย่อยแป้งในตัวอย่างข้าว กข43 หุงสุก และแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 ด้วยเอนไซม์ในหลอดทดลอง ดังแสดงใน Figure 1 จะเห็นได้ว่าในสถานะที่ทำการศึกษาโดยใช้ตัวอย่างที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เท่ากัน คือเท่ากับ 0.25 กรัม สามารถย่อยปริมาณคาร์โบไฮเดรตดังกล่าวได้หมดภายในเวลา 120 นาที ซึ่งพบว่าหลังนาที่ที่ 120 ปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างเริ่มคงที่ ดังนั้นในการทดลองเพื่อประเมินค่าดัชนีน้ำตาลในตัวอย่างโดยใช้วิธีเลียนแบบการย่อยการดูดซึมของน้ำตาลของคนในหลอดทดลองโดย

1) วิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยเร็ว (rapidly available glucose, RAG) และ ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยช้า (slowly available glucose, SAG) [2] และ

2) ประเมินค่าดัชนีน้ำตาล (eGI) โดยใช้เทคนิคติดตามการย่อยแป้งในตัวอย่างด้วยเอนไซม์ในหลอดทดลองเป็นเวลา 180 นาที (ดัดแปลงจากวิธีของ Goni et al. (1997), Sopade and Gidley (2009) และ Mahasukhonthachai et al. (2010) [3-5]) คำนวณหาค่าคงที่ของการย่อยได้

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนาการ การกำหนดอาหาร และอาหารปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

(the kinetic constant; k), ค่าดัชนีการย่อยได้ (HI) โดย น้ำตาลโดยประมาณ (estimate Glycemic Index; eGI)
 $HI = (\text{พื้นที่ใต้กราฟของตัวอย่าง} / \text{พื้นที่ใต้กราฟของขนมปังขาว (Reference food)}) \times 100$ จากนั้นคำนวณหาค่าดัชนี โดย $eGI = 39.71 + (0.549 \times HI)$

Table 1 Chemical analysis of RD43-rice-cooked and RD43-rice flour.

Sample	Moisture (%)	Protein (%)	Fat (%)	Fiber (%)	Ash (%)	Carbohydrates (%)	Energy (kcal)	Amount of sample for GI determination (g)**
RD 43 rice cooked	51.60±2.26	0.34±0.10	0.11±0.09	0.42±0.02	0.27±0.03	47.25±2.25	191.41±9.51	0.53
RD 43 rice flour	10.72±1.45	6.85±0.31	0.03±0.02	2.25±0.33	0.54±0.06	79.61±1.17	346.14±5.7	0.31
N	12	12	12	12	12	12	12	
Sig.	0.000*	0.000*	0.125	0.000*	0.001*	0.003*	0.000*	

* indicated significantly different at 95% confidence interval ($p \leq 0.05$) as measured by paired t-test.

** indicated the amount of sample (g) which composed of 0.25 g of available carbohydrate for GI determination

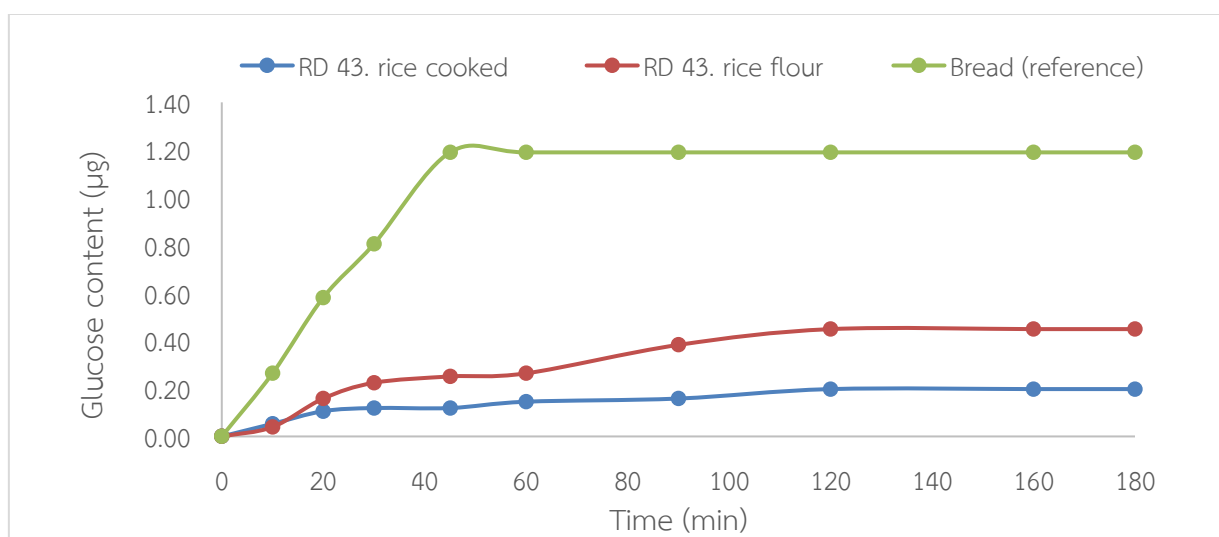


Figure 1 In vitro starch digestibility during 180 min of RD 43-rice cooked and RD 43-rice flour compared with reference sample (white bread)

2. การเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยเร็ว และปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยช้าของข้าว กข 43 หุงสุกและแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43

ค่า RAG และ SAG เป็นอีกพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญที่จะสามารถใช้ในการบ่งชี้ถึงค่าดัชนีของน้ำตาลในอาหารได้ ค่า RAG และ SAG หมายถึงปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่จะถูกปลดปล่อยเข้าสู่กระแสเลือดจาก

อาหารที่บริโภคใน 20 นาที (RAG) และอีก 100 นาทีถัดมา (นาทีที่ 120) (SAG) อาหารที่มีค่า RAG สูง และค่า SAG ต่ำ หมายความว่าแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตในอาหารนั้นสามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสได้อย่างรวดเร็วช้าที่มีปริมาณค่า RAG อยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า 10 กรัมต่อ 100 กรัมข้าวสุก) สามารถแปลผลได้ว่าข้าวสายพันธุ์นั้น มีค่าดัชนีน้ำตาล

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนศาสตร์ การกำหนดอาหาร และอาหารปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

ต่ำ ส่วนข้าวที่มีค่า RAG อยู่ระหว่าง 10-18 กรัมต่อ 100 กรัมข้าวสุก เป็นข้าวที่มีค่าดัชนีน้ำตาลระดับปานกลาง [17-18]

ผลการประเมินค่า RAG และ SAG พบว่า ปริมาณ RAG และ SAG ของข้าว กข43 หุงสุกมีค่าเท่ากับ 2.61 และ 0.93 $\mu\text{g glucose/g sample}$ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าค่า RAG และ SAG ของแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.10 และ 0.17 $\mu\text{g glucose/g sample}$ ตามลำดับ (Table 2) โดยมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่า แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตในข้าว กข43 หุงสุก สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสได้อย่างรวดเร็วกว่าแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 แม้ว่าจากผลการทดลองในครั้งนี้ค่าปริมาณ RAG และ SAG ของข้าว กข43 หุงสุกที่ได้จะมีค่าที่ต่ำกว่า จากการศึกษาของ Wasusun et al. (2017) [16] ที่พบว่าค่า RAG และ SAG ของข้าว กข43 หุงสุกมีค่าที่ 21.85 และ 12.64 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่า RAG และ SAG พบว่าทั้งข้าว กข43 หุงสุก และแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 มีค่า RAG สูงกว่าค่า SAG ในปริมาณเท่ากับ 2.81 และ 6.47 เท่าตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณ SAG (ปริมาณการย่อยน้ำตาลที่นาที่ 120) ของแป้ง ฟลาวร์ข้าว กข43 มีค่าที่ต่ำกว่า RAG (ปริมาณน้ำตาลที่ย่อยได้ที่นาที่ 20) ยังเป็นการสนับสนุนว่า แป้งฟลาวร์ข้าว กข43 มีการปลดปล่อยน้ำตาลออกมาได้ช้ากว่า ข้าว กข43 หุงสุก ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างทั้ง 2 ผ่านกระบวนการแปรรูปที่แตกต่างกันโดยข้าวหุงสุกจะผ่านกระบวนการหุงสุกด้วยความร้อนสูง ในระหว่างกระบวนการดังกล่าว อนุภาคเม็ดแป้งจะเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชัน ได้เป็น gelatinized starch [24-26] ในขณะที่แป้งฟลาวร์ข้าว กข43 ผ่านกระบวนการเชิงกลในการบดให้เป็นผงด้วยเครื่องปั่น (บดแห้ง) และร้อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะทำให้ขนาดอนุภาคของเม็ดแป้งมีขนาดเล็กลง ทำให้เอนไซม์สามารถเข้าถึงอนุภาคเม็ดแป้งได้ง่ายขึ้น และส่งเสริมให้เกิดการย่อยด้วยเอนไซม์ [26-28] อย่างไรก็ตามใน

ระหว่างกระบวนการเจลาติไนซ์เม็ดแป้งจะเกิดการบวม (swelling) และแตกออก ส่งผลให้ง่ายต่อการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ และจะปลดปล่อยน้ำตาลออกมาได้อย่างรวดเร็ว [29] จึงเป็นเหตุผลที่แป้งที่ถูกเจลาติไนซ์แล้วในข้าวหุงสุกซึ่งอยู่ในโครงสร้างที่ง่ายต่อการถูกย่อยจึงทำให้ข้าวหุงสุกปลดปล่อยปริมาณน้ำตาลออกมาได้มากกว่าและสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้

3. การเปรียบเทียบค่าคงที่ของการย่อยได้ ค่าดัชนีการย่อยได้ และค่าดัชนีน้ำตาล ของข้าว กข43 หุงสุกและแป้งฟลาวร์ข้าว กข43

ค่าคงที่ของการย่อยได้ (k) และค่าดัชนีการย่อยได้ (HI) เป็นอีกพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการย่อยของแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในอาหารและสามารถนำไปใช้ในการประเมินหาค่าดัชนีน้ำตาล (eGI) ในตัวอย่างได้ [2-5] ซึ่งมีหลายงานวิจัยที่พบว่าค่าอัตราการย่อยได้หรือค่าดัชนีการย่อยได้ (HI) มีความสอดคล้องกับค่าดัชนีน้ำตาล (eGI) ทั้งในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว [10, 29] เส้นพาสต้า [9, 30] ขนมปัง [31-32] และขนมเค้ก [33] โดยอาหารที่มีค่า HI ต่ำ ส่งผลให้ค่า eGI ต่ำด้วย การศึกษาของ Barine and Yorte (2016) [31] ได้อธิบายว่าอาหารที่มีค่า k ในระดับต่ำแสดงว่ามีความสามารถในการทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในระดับสูงและการศึกษาของ Jaisut et al. (2009) [34] พบว่า ค่า kinetic constant (k) และ ค่า equilibrium concentration (C_∞) เป็นพารามิเตอร์ ที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการย่อยได้ของแป้งในข้าวกล้อง ดังนั้นอาหารที่มีค่า k และ HI ต่ำ จึงสามารถใช้บ่งชี้ถึงการมีค่า eGI ในระดับต่ำได้

ผลการทดลองในการศึกษาครั้งนี้พบว่า ค่า k ของแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 และข้าว กข43 หุงสุก มีค่าเท่ากับ 0.1729 และ 0.1924 นาที่⁻¹ ตามลำดับ (Table 2) จะเห็นได้ว่าค่า k ของข้าว กข43 หุงสุกมีค่ามากกว่าแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่า HI ของข้าว กข43 หุงสุก (ร้อยละ 28.29) ที่สูงกว่าแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 (ร้อยละ 21.26) และยังสอดคล้องกับค่า RAG และ SAG ที่สูงกว่า (หัวข้อที่ 2) แสดงให้เห็นว่า แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตในข้าว กข43 หุงสุก มีความ

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนศาสตร์ การกำหนดอาหาร และอาหารปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

สามารถทนต่อถูกย่อยด้วยเอนไซม์ต่ำกว่าแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 ส่งผลทำให้ข้าว กข43 หุงสุก มีค่า eGI ที่สูงกว่าแป้ง ฟลาวร์ข้าว กข43 อย่างไรก็ตามพบว่าทั้งค่า k, HI และ eGI ของแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 และข้าว กข43 หุงสุก มีความแตกต่างกัน อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณา ค่า eGI ของข้าว กข43 หุงสุก พบว่ามีค่าเท่ากับ 55.24 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ ($GI \leq 55$) ถึง ปานกลาง ($GI = 56-69$) และมีค่าที่ใกล้เคียงกับการศึกษาของ

Wasusun et al. (2017) [16] ที่พบว่าข้าว กข43 หุงสุก มีค่า GI เท่ากับ 57.5 ในขณะที่แป้งฟลาวร์ข้าว กข43 มีค่า eGI เท่ากับ 51.38 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ ($GI \leq 55$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากกระบวนการแปรรูปที่แตกต่างส่งผลทำให้ความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ของอนุภาคเม็ดแป้งในข้าวหุงสุกและแป้งฟลาวร์ข้าวมีความแตกต่างกัน (ดังอธิบายในหัวข้อ 2) ส่งผลทำให้ทั้งค่า k, HI และค่า eGI ของข้าวหุงสุกมีค่าที่มากกว่าแป้งฟลาวร์ข้าว

Table 2 Rapidly Available Glucose (RAG), Slowly Available Glucose (SAG), the kinetic constant (k), Hydrolysis Index (HI) and Estimated glycemic index (eGI) of RD43-rice cooked and RD43-rice flour.

Sample	RAG ($\mu\text{g/g}$)	SAG ($\mu\text{g/g}$)	k (min^{-1})	HI (%)	eGI
RD43 rice cooked	2.61 $\pm$ 0.22	0.93 $\pm$ 0.19	0.1924 $\pm$ 0.0637	28.29 $\pm$ 9.57	55.24 $\pm$ 5.25
RD43 rice flour	1.10 $\pm$ 0.25	0.17 $\pm$ 0.04	0.1729 $\pm$ 0.0287	21.26 $\pm$ 6.22	51.38 $\pm$ 3.41
N	12	12	12	12	12
Sig.	0.001*	0.002*	0.132	0.346	0.346

* indicated significantly different at 95% confidence interval ($p \leq 0.05$) as measured by paired t-test.

4. การวิเคราะห์ทางเคมีของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นพาสต้า ขนมปัง และขนมเค้กจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43

ในการทดลองทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีระหว่างผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นพาสต้า ขนมปัง และขนมเค้กจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 และผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นพาสต้า ขนมปัง และขนมเค้กจากแป้งตามท้องตลาด ได้แก่ แป้งข้าวตามท้องตลาด (แป้งข้าวเจ้าตราเหรียญทองคู่) (rice starch) สำหรับผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว แป้งสาลีขนมปัง (แป้งสาลีตราห่าน) (bread wheat flour) สำหรับผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าและขนมปัง และแป้งสาลีเค้ก (แป้งสาลีตราพัดโบก) (cake wheat flour) สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมเค้กตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า

ผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวตามท้องตลาด (แป้งข้าวเจ้า

ตราเหรียญทองคู่) (rice starch) (Table 3) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 เป็นแป้งที่เตรียมจากการนำส่วนของเมล็ดข้าวมาลดขนาดโดยการบดให้เป็นผง (โม้แห้ง) ไม่มีกระบวนการในการกำจัดโปรตีนและไขมันออกจากแป้งเพื่อให้ได้สตาร์ชเพียงอย่างเดียว ในขณะที่แป้งข้าวตามท้องตลาด (แป้งข้าวเจ้าตราเหรียญทองคู่) เป็นสตาร์ชบริสุทธิ์ที่ผ่านกระบวนการในการกำจัดโปรตีนและไขมันแล้ว ดังนั้นแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 ที่ได้จึงยังมีโปรตีนและไขมันในแป้งจึงทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 มีปริมาณโปรตีนและไขมันที่สูงกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวตามท้องตลาด และเนื่องจากกระบวนการกำจัดอาจทำให้มีสารประกอบอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ จำพวกแร่ธาตุ ถูกกำจัดออกไปด้วยสอคล้องกับผลปริมาณเถ้าของเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวตามท้องตลาดที่มีค่าต่ำกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 ในขณะที่มีปริมาณ

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนศาสตร์ การกำหนดอาหาร และอาหารปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

คาร์โบไฮเดรตที่สูงกว่าและปริมาณใยอาหารไม่แตกต่างกัน เป็นที่น่าสังเกตว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวตามท้องตลาดมีค่าปริมาณพลังงานที่ต่ำกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 ทั้งนี้ปริมาณพลังงานที่มากกว่าอาจมาจากปริมาณของไขมันและโปรตีนที่ยังไม่ได้ถูกกำจัดออกจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 ดังนั้นสำหรับการวิเคราะห์หาค่าดัชนีน้ำตาลในตัวอย่างเพื่อให้ตัวอย่างมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เท่ากัน คือ เท่ากับ 0.25 กรัม จึงใช้ปริมาณตัวอย่าง 0.28 และ 0.30 กรัม สำหรับตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าว และเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 ตามลำดับต่อไป

ผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข 43 มีปริมาณโปรตีน ใยอาหาร และเส้นใยที่ต่ำกว่า ผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าจากแป้งสาลี (แป้งขนมปัง) (Table 3) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งข้าวมีองค์ประกอบของโปรตีนที่ต่ำกว่า และองค์ประกอบของไขมัน เกล็ด และเส้นใยที่สูงกว่าแป้งสาลี [30] ประกอบกับแป้งสาลีชนิดแป้งขนมปังเป็นแป้งสาลีชนิดโปรตีนสูง ส่งผลทำให้เส้นพาสต้าจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 มีปริมาณโปรตีน และใยอาหารที่ต่ำกว่าเส้นพาสต้าจากแป้งสาลี ในขณะที่ปริมาณไขมันไม่มีความแตกต่างกัน เป็นที่น่าสังเกตได้ว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตของเส้นพาสต้าจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 มีค่าสูงกว่าเส้นพาสต้าจากแป้งสาลีส่งผลทำให้มีค่าปริมาณพลังงานที่สูงกว่าด้วย ดังนั้นสำหรับการวิเคราะห์หาค่าดัชนีน้ำตาลในตัวอย่าง เพื่อให้ตัวอย่างมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เท่ากันคือเท่ากับ 0.25 กรัม จึงใช้ปริมาณตัวอย่าง 0.37 และ 0.35 กรัม สำหรับตัวอย่างเส้นพาสต้าจากแป้งสาลี และเส้นพาสต้าจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 ตามลำดับต่อไป

ผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งฟลาวร์ข้าว มีปริมาณโปรตีน และใยอาหารที่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งสาลี (แป้งขนมปัง) (Table 3) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งข้าวมีองค์ประกอบของโปรตีนที่ต่ำกว่า

และองค์ประกอบของไขมัน เกล็ด และเส้นใยที่สูงกว่าแป้งสาลี [30] ประกอบกับแป้งสาลีชนิดแป้งขนมปังเป็นแป้งสาลีชนิดโปรตีนสูง จึง ทำให้ขนมปังจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 มีปริมาณโปรตีนและใยอาหารที่ต่ำกว่าขนมปังจากแป้งสาลี ในขณะที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่สูงกว่า แต่ปริมาณไขมันและเกล็ดไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นสำหรับการวิเคราะห์หาค่าดัชนีน้ำตาลในตัวอย่าง เพื่อให้ตัวอย่างมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เท่ากัน คือ เท่ากับ 0.25 กรัม จึงใช้ปริมาณตัวอย่าง 0.44 และ 0.40 กรัม สำหรับตัวอย่างขนมปังจากแป้งสาลี และขนมปังจากแป้ง ฟลาวร์ข้าว กข43 ตามลำดับต่อไป

ผลิตภัณฑ์ขนมเค้กจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 มีปริมาณไขมัน ใยอาหาร เกล็ด และคาร์โบไฮเดรตที่สูงกว่า ผลิตภัณฑ์ขนมเค้กจากแป้งสาลี (แป้งเค้ก) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณโปรตีน พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากแป้งสาลีชนิดแป้งเค้กเป็นแป้งสาลีชนิดโปรตีนต่ำกว่าแป้งสาลีชนิดแป้งขนมปัง ทำให้ขนมเค้กจากแป้ง ฟลาวร์ข้าว กข43 และขนมเค้กจากแป้งสาลีไม่มีความแตกต่างกันดังกล่าว ดังนั้นสำหรับการวิเคราะห์หาค่าดัชนีน้ำตาลในตัวอย่าง เพื่อให้ตัวอย่างมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เท่ากัน คือ เท่ากับ 0.25 กรัม จึงใช้ปริมาณตัวอย่าง 0.91 และ 0.84 กรัม สำหรับตัวอย่างขนมเค้กจากแป้งสาลี และขนมเค้กจากแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 ตามลำดับต่อไป

จากการพิจารณากราฟการปลดปล่อยน้ำตาลโดยใช้เทคนิคติดตามการย่อยแป้งในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นพาสต้า ขนมปัง และขนมเค้กจากแป้งตามท้องตลาดและแป้งฟลาวร์ข้าว กข43 ด้วยเอนไซม์ในหลอดทดลอง ดังแสดงใน Figure 2 จะเห็นได้ว่าในสถานะที่ทำการศึกษาโดยใช้ตัวอย่างที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เท่ากันคือเท่ากับ 0.25 กรัม สามารถย่อยปริมาณคาร์โบไฮเดรตดังกล่าวได้หมดภายในเวลา 120 นาที ซึ่งพบว่าหลังจากที่ 120 ปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างเริ่มคงที่

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนศาสตร์ การกำหนดอาหาร และความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

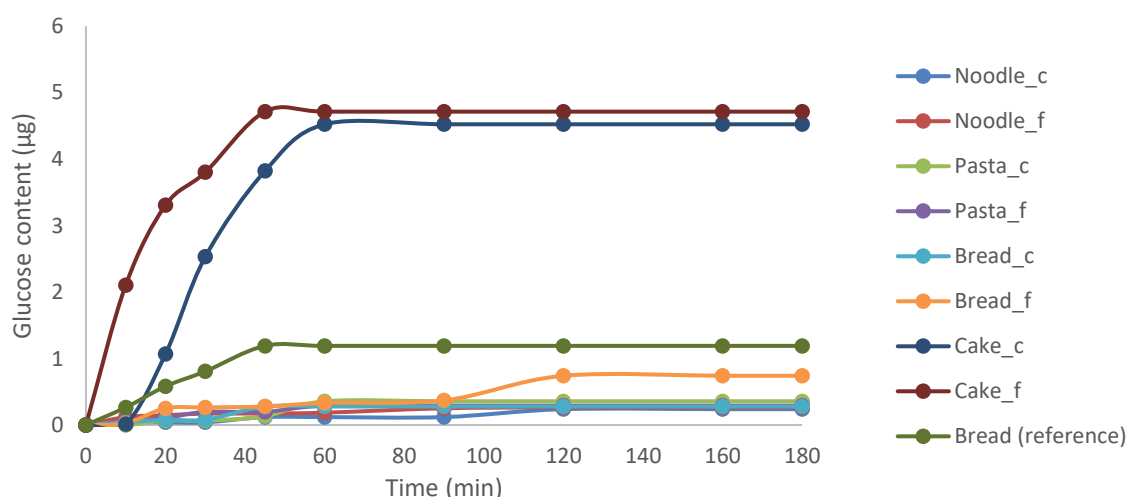
¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

Table 3 Chemical analysis of rice starch noodle, RD43 rice flour noodle, wheat pasta, RD43 rice flour pasta, wheat bread, RD43 rice flour bread, wheat cake and RD43 rice flour cake.

Sample		Moisture (%)	Protein (%)	Fat (%)	Fiber (%)	Ash (%)	Carbohy- -drates (%)	Energy (kcal)	Amount of sample for GI determination (g)**
Noodle	rice starch	5.27±0.07	3.48±0.12	1.96±0.42	1.10±0.08	0.33±0.00	89.85±0.38	382.96±1.87	0.28
	RD43 rice flour	7.53±0.14	3.76±0.11	3.74±0.86	1.32±0.14	0.17±0.01	83.48±1.02	376.25±2.09	0.30
	N	12	12	12	12	12	12	12	
	Sig.	0.000*	0.041*	0.032*	0.077	0.000*	0.001*	0.014*	
Pasta	wheat (bread) flour	5.63±0.06	19.28±0.18	5.47±0.15	0.79±0.04	0.85±0.01	67.98±0.34	398.25±0.54	0.37
	RD43 rice flour	5.25±0.03	17.58±0.09	5.54±0.18	0.11±0.00	0.82±0.00	70.70±0.26	402.99±0.96	0.35
	N	12	12	12	12	12	12	12	
	Sig.	0.001*	0.000*	0.632	0.000*	0.007*	0.000*	0.002*	
Bread	wheat (bread) flour	25.37±0.25	11.55±0.39	2.67±0.10	2.78±0.01	0.58±0.01	57.05±0.36	298.49±1.50	0.44
	RD43 rice flour	22.25±0.32	10.09±0.14	2.72±0.05	1.97±0.01	0.55±0.02	62.42±0.24	314.55±1.62	0.40
	N	12	12	12	12	12	12	12	
	Sig.	0.000*	0.004*	0.485	0.000*	0.081	0.000*	0.000*	
Cake	wheat (cake) flour	47.75±0.18	9.15±0.10	13.93±0.19	0.41±0.02	1.15±0.01	27.61±0.37	272.39±0.44	0.91
	RD43 rice flour	41.48±0.34	9.18±0.14	17.58±0.35	0.65±0.01	1.20±0.00	29.92±0.47	314.59±2.63	0.84
	N	12	12	12	12	12	12	12	
	Sig.	0.000*	0.778	0.000*	0.000*	0.001*	0.003*	0.000*	

* indicated significantly difference at 95% confidence interval ($p \leq 0.05$) as measured by paired t-test.

** indicated the amount of sample (g) which composed of 0.25 g of available carbohydrate for GI determination

**Figure 2** In vitro starch digestibility during 180 min of rice starch noodle, RD43 Rice flour noodle, wheat pasta, RD43 Rice flour pasta, wheat bread, RD43 Rice flour bread, wheat cake and RD43 Rice flour cake compared with reference sample (white bread).

Note: Noodle_c: Rice starch Noodle; Noodle_f: RD43 Rice flour Noodle; Pasta_c: Wheat (bread) flour Pasta; Pasta_f: RD43 rice flour Pasta.; Bread_c: Wheat (bread) flour Bread; Bread_f: RD43 rice flour Bread; Cake_c: Wheat (bread) flour Cake; Cake_f: RD43 rice flour Cake. and Bread (reference): Commercial bread.

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนาการ การกำหนดอาหาร และความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

5. การวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยเร็ว และ ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยช้า ของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นพาสต้า ขนมปัง และขนมเค้กจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43

ในการทดลองทำการเปรียบเทียบค่า RAG และ SAG ระหว่างผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นพาสต้า ขนมปัง และขนมเค้กจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 และผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นพาสต้า ขนมปัง และขนมเค้กจากแป้งตามท้องตลาด ได้แก่ แป้งข้าวตามท้องตลาด (rice starch) สำหรับผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว แป้งสาลีขนมปัง (bread wheat flour) สำหรับผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าและขนมปัง และแป้งสาลีเค้ก (cake wheat flour) สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมเค้กตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า

ผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข 43 มีค่า RAG สูงกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวตามท้องตลาด (Table 4) แสดงให้เห็นว่า แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตในเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสได้อย่างรวดเร็วกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวตามท้องตลาด ซึ่งสอดคล้องกับการมีค่า k, HI และค่า eGI ที่สูงกว่า (หัวข้อ 6) แม้ว่าจะเป็นความแตกต่าง อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) เป็นที่น่าสังเกตได้ว่าค่า SAG ของเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 มีค่าที่สูงกว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวตามท้องตลาด ทั้งนี้อาจเนื่องจากองค์ประกอบของโปรตีนและไขมันที่มีมากกว่าในเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 (Table 2) อาจสามารถไปรวมตัวอะมิโลสเกิดเป็นโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่าง amylose-protein complexes หรือ amylose-lipid complexes [21] หลังจากที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์เป็นเวลา 120 นาที ส่งผลทำให้ค่า SAG เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 มีค่าที่ลดลงได้ เมื่อเปรียบเทียบค่า RAG และ SAG ของทั้งเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 และ เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวตามท้องตลาด พบว่าค่า RAG มีค่าที่ต่ำกว่าค่า SAG แสดงให้เห็นว่าแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตในทั้งเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 และเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวตามท้องตลาด

สามารถถูกย่อยได้อย่างช้าในนาที่ที่ 20 (RAG) และย่อยได้มากขึ้นที่นาที่ที่ 120 (SAG) ซึ่งถือเป็นสมบัติที่ดีของผลิตภัณฑ์ที่จะปลดปล่อยน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดอย่างช้าๆ อย่างไรก็ตามความแตกต่างของทั้งค่า RAG และ SAG ในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวทั้ง 2 ชนิด พบว่าไม่ส่งผลให้ค่า eGI ของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวทั้ง 2 ชนิดมีความแตกต่างกัน (หัวข้อ 6)

ผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข 43 มีค่า RAG และ SAG สูงกว่าผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าจากแป้งสาลี (แป้งขนมปัง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) (Table 4) แสดงให้เห็นว่า แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตในเส้นพาสต้าจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสได้อย่างรวดเร็วกว่าเส้นพาสต้าจากแป้งสาลี (แป้งขนมปัง) ซึ่งสอดคล้องกับการมีค่า k, HI และค่า eGI ที่สูงกว่า (หัวข้อ 6) เมื่อเปรียบเทียบค่า RAG และ SAG ของเส้นพาสต้าจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 พบว่าค่า RAG มีค่าที่สูงกว่าค่า SAG ในขณะที่เส้นพาสต้าจากแป้งสาลี (แป้งขนมปัง) ค่า RAG ต่ำกว่าค่า SAG โดยเป็นการสนับสนุนให้เห็นว่าแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตในเส้นพาสต้าจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 สามารถถูกย่อยได้อย่างรวดเร็วตั้งแต่นาที่ที่ 20 (RAG) และย่อยได้ช้าลงที่นาที่ที่ 120 (SAG) ในขณะที่แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตในเส้นพาสต้าจากแป้งสาลี (แป้งขนมปัง) ย่อยได้ช้าในช่วง 20 นาทีแรกและย่อยได้มากขึ้นที่นาที่ที่ 120 ทั้งนี้อาจเนื่องจากองค์ประกอบของโปรตีนและใยอาหารที่มีมากกว่าในเส้นพาสต้าจากแป้งสาลี (แป้งขนมปัง) (Table 2) โดยโปรตีนอาจสามารถไปรวมตัวอะมิโลสเกิดเป็นโครงสร้างเชิงซ้อนระหว่าง amylose-protein complexes [21] รวมทั้งปริมาณใยอาหารในตัวอย่างที่อาจไปมีผลทำให้ความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ของเส้นพาสต้าจากแป้งสาลี (แป้งขนมปัง) ช้ากว่าเส้นพาสต้าจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 อย่างไรก็ตามความแตกต่างของทั้งค่า RAG และ SAG ในผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าทั้ง 2 ชนิด พบว่าไม่ส่งผลให้ค่า eGI ของผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าทั้ง 2 ชนิดมีความแตกต่างกัน (หัวข้อ 6)

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนศาสตร์ การกำหนดอาหาร และความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

ผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 มีค่า RAG และ SAG สูงกว่าผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งสาลี (แป้งขนมปัง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) (Table 4) แสดงให้เห็นว่า แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตในขนมปังจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสได้อย่างรวดเร็วกว่าขนมปังจากแป้งสาลี (แป้งขนมปัง) อย่างไรก็ดีพบว่าไม่สอดคล้องกับค่า k, HI และค่า eGI ที่พบว่าขนมปังจากแป้งสาลี (แป้งขนมปัง) มีค่าสูงกว่าขนมปังจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 (หัวข้อ 6) เมื่อเปรียบเทียบค่า RAG และ SAG ของทั้งขนมปังจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 และขนมปังจากแป้งสาลี (แป้งขนมปัง) พบว่าค่า RAG มีค่าที่ต่ำกว่าค่า SAG แสดงให้เห็นว่าแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตในทั้งขนมปังจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 และขนมปังจากแป้งสาลี (แป้งขนมปัง) สามารถถูกย่อยได้อย่างช้าๆ ในนาที่ที่ 20 (RAG) และย่อยได้มากขึ้นที่นาที่ที่ 120 (SAG) ซึ่งถือเป็นสมบัติที่ดีของผลิตภัณฑ์ที่จะปลดปล่อยน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดอย่างช้าๆ แม้ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่า RAG และ SAG ของขนมปังจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 จะสูงกว่าแต่กลับพบว่าค่า eGI ที่ต่ำกว่าขนมปังจากแป้งสาลี (แป้งขนมปัง) (หัวข้อ 6)

ผลิตภัณฑ์ขนมเค้กจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 มีค่า RAG และ SAG ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ขนมเค้กจากแป้งสาลี (แป้งเค้ก) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) (Table 4) แสดงให้เห็นว่า แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตในขนมเค้กจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสได้ช้ากว่าขนมเค้กจากแป้งสาลี (แป้งเค้ก) ซึ่งสอดคล้องกับการมีค่า k, HI และค่า eGI ที่ต่ำกว่า (หัวข้อ 6) เมื่อเปรียบเทียบค่า RAG และ SAG ของทั้งขนมเค้กจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 และขนมเค้กจากแป้งสาลี (แป้งเค้ก) พบว่าค่า RAG มีค่าที่สูงกว่าค่า SAG แสดงให้เห็นว่าแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตในทั้งขนมเค้กจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 และขนมเค้กจากแป้งสาลี (แป้งเค้ก) สามารถถูกย่อยได้อย่างรวดเร็วในนาที่ที่ 20 (RAG) และย่อยได้ช้าลงในนาที่ที่ 120 (SAG) ซึ่งเป็นสมบัติที่ไม่พึง

ประสงค์เนื่องจากอาหารจะมีการปลดปล่อยน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้แม้ทั้งขนมเค้กจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 และขนมเค้กจากแป้งสาลี (แป้งเค้ก) จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ได้อย่างรวดเร็ว แต่การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 ร้อยละ 50 ในผลิตภัณฑ์ขนมเค้กจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 ทำให้มีค่า eGI ที่ต่ำกว่าขนมเค้กจากแป้งสาลี (แป้งเค้ก) (หัวข้อ 6)

6. การวิเคราะห์ค่าคงที่ของการย่อยได้ ค่าดัชนีการย่อยได้ และค่าดัชนีน้ำตาล ของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นพาสต้า ขนมปัง และขนมเค้กจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข 43

ในการทดลองทำการเปรียบเทียบค่าคงที่การย่อยได้ (k) ค่าดัชนีการย่อยได้ (HI) และ ดัชนีน้ำตาล (eGI) ระหว่างผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นพาสต้า ขนมปัง และขนมเค้กจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 และผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นพาสต้า ขนมปัง และขนมเค้กจากแป้งตามท้องตลาด ได้แก่ แป้งข้าวตามท้องตลาด (rice starch) สำหรับผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว แป้งสาลีขนมปัง (bread wheat flour) สำหรับผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าและขนมปัง และแป้งสาลีเค้ก (cake wheat flour) สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมเค้กตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า

ผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข 43 มีค่า k, HI และ eGI ที่สูงกว่าของเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวตามท้องตลาด (Table 4) ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินค่า RAG และ SAG ของแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข 43 ที่สูงกว่าของเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวตามท้องตลาด (หัวข้อ 5) เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวตามท้องตลาดและเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 มีค่า eGI มีค่าเท่ากับ 48.71 และ 51.47 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ ($GI \leq 55$) ซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่าการศึกษาของ Kraiseang and Srikaeo (2011) [10] ที่พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าว มีค่า k, HI และ eGI เท่ากับ 0.004, 86.39 และ 79.03 ตามลำดับ และเมื่อทดแทนปริมาณแป้งข้าวด้วยแป้งดัดแปรอะมิโลสสูง ร้อยละ 5 ถึง ร้อยละ 25 พบว่า ทำให้ทั้งค่า k, HI และ eGI มีค่า

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนาการ การกำหนดอาหาร และความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

ลดลง โดยค่า eGI อยู่ระหว่าง 66.61-74.62 อย่างไรก็ตาม การศึกษาในครั้งนี้พบว่าทั้งค่า k, HI และ eGI แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการใช้แป้งพลาเวอร์ข้าว กข43 แทนแป้งข้าวตามท้องตลาด ร้อยละ 100 ไม่ทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลของเส้นก๋วยเตี๋ยวเปลี่ยนแปลง

ผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าจากแป้งพลาเวอร์ข้าว กข 43 มีค่า k HI และ eGI ที่สูงกว่าของเส้นพาสต้าจากแป้งสาลี (แป้งขนมปัง) (Table 4) ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินค่า RAG และ SAG ของเส้นพาสต้าจากแป้งพลาเวอร์ข้าว กข43 ที่มีค่าที่สูงกว่าเส้นพาสต้าจากแป้งสาลี ดังแสดงในหัวข้อที่ 5 อย่างไรก็ตาม การศึกษาในครั้งนี้พบว่า ผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าจากแป้งสาลี และ ผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าจากแป้งพลาเวอร์ข้าว กข43 มีค่า eGI เท่ากับ 49.80 และ 54.87 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ ($GI \leq 55$) ค่า HI และ eGI ในการศึกษาครั้งนี้พบว่ามีค่าที่ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการศึกษาของ Osorio-Díaz et al. (2008) [9] ที่ทำการศึกษาการทดแทนแป้งสาลีชนิด durum ด้วยแป้งจากถั่วลูกไก่ (chickpea flour) ในอัตราส่วน ร้อยละ 20 และ 40 พบว่า ค่า eGI ลดลงจาก 80.68 เป็น 70.70 และ 61.45 สำหรับพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งจากถั่วลูกไก่ในอัตราส่วน ร้อยละ 20 และ 40 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม อย่างไรก็ดี ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Milde-Laura et al. (2018) ที่พบว่าค่า k, HI และ eGI ของเส้นพาสต้าที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งข้าวโพด ในสัดส่วน 4:1 มีค่าเท่ากับ 0.02, 42.25 และ 45.95 สำหรับค่า k, HI และ eGI ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องปริมาณโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ส่งเสริมให้เกิด starch-protein interaction ทำให้แป้งอยู่ในโครงสร้างที่ยากต่อการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ ซึ่งสนับสนุนกับผลในการศึกษาครั้งนี้ที่เส้นพาสต้าจากแป้งสาลีมีปริมาณโปรตีนที่มากกว่าเส้นพาสต้าจากแป้งพลาเวอร์ข้าว กข43 (ดังแสดงในหัวข้อ 4) ส่งผลทำให้มีค่า eGI ที่มีค่าสูงกว่าแม้ว่าจะสูงกว่าอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่า

การใช้แป้งพลาเวอร์ข้าว กข43 แทนแป้งสาลี ร้อยละ 50 ไม่ทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลของเส้นพาสต้าเปลี่ยนแปลง

ผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งพลาเวอร์ข้าว กข43 มีค่า k, HI และ eGI ต่ำกว่าขนมปังจากแป้งสาลี (แป้งขนมปัง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) (Table 4) ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินค่า RAG และ SAG ในหัวข้อที่ 5 การศึกษาในครั้งนี้พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งพลาเวอร์ข้าว กข 43 มีค่า eGI เท่ากับ 63.64 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าดัชนีน้ำตาลปานกลาง ($GI = 56-69$) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งสาลี มีค่า eGI เท่ากับ 77.54 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าดัชนีน้ำตาลสูง ($GI > 70$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ferrer-Mairal et al. (2012) [32] พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมปังจากข้าวสาลีมีค่า k, HI และ eGI เท่ากับ 0.35, 85.5 และ 82.2 ตามลำดับ และเมื่อทดแทนแป้งสาลีด้วย resistance starch ร่วมกับ dextrins ที่ระดับร้อยละ 9 พบว่า ทำให้มีค่า k, HI และ eGI ลดลงอยู่ที่ 0.32, 79.1 และ 76.4 ตามลำดับ การลดลงของทั้ง 3 ค่าแสดงถึงความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ของแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตในผลิตภัณฑ์มีค่าที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณโปรตีนที่เพิ่มมากขึ้นในผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งพลาเวอร์ข้าว กข43 (หัวข้อ 4) ซึ่งปริมาณโปรตีน ที่มีอยู่ในอาหาร สามารถไปจับโมเลกุลของอะมิโลสในอาหารกลายเป็นโมเลกุลเชิงซ้อนระหว่าง amylose-protein complexes ส่งผลให้การปลดปล่อยน้ำตาลในโครงสร้างเกิดได้ช้าลง มีผลไปลดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดได้ [21] แสดงให้เห็นว่าการใช้แป้งพลาเวอร์ข้าว กข43 แทนแป้งสาลี ร้อยละ 50 ทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ขนมปังลดลง

ผลิตภัณฑ์ขนมเค้กจากแป้งพลาเวอร์ข้าว กข43 มีค่า k, HI และ eGI ต่ำกว่าขนมเค้กจากแป้งสาลี (แป้งเค้ก) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) (Table 4) ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินค่า RAG และ SAG ขนมเค้กจากแป้งพลาเวอร์ข้าว กข43 มีค่าต่ำกว่าขนมเค้กจากแป้งสาลี (แป้งเค้ก) ดังแสดงในหัวข้อที่ 5 การศึกษาในครั้งนี้พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมเค้กจากแป้งสาลีและขนมเค้กจากแป้งพลาเวอร์ข้าว กข43 มีค่า

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนาการ การกำหนดอาหาร และความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

eGI เท่ากับ 549.98 และ 285.92 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าดัชนีน้ำตาลสูง ($GI > 70$) จะเห็นได้ว่าค่า eGI ในการทดลองครั้งนี้มีค่าค่อนข้างสูงกว่าการศึกษาของ Gularte et al. (2012) [33] ที่พบว่าขนมเค้กจากแป้งสาลีมีค่า eGI เท่ากับ 89 และเมื่อทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งจากถั่ว 4 ชนิด ได้แก่ chickpea, pea, lentil และ bean ในอัตราส่วน ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก พบว่าทำให้ค่า eGI ลดลง เท่ากับ 69, 74 และ 79 สำหรับแป้งจากถั่ว pea, lentil และ bean ตามลำดับ ในขณะที่แป้งจากถั่ว chickpea ทำให้ค่า eGI เพิ่มขึ้นเป็น 88 และการลดลงของค่า eGI ในขนมเค้กจากแป้งถั่ว ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณ

แป้งทนน้อยที่มีอยู่ในถั่ว รวมทั้งองค์ประกอบโปรตีนและไขมันที่อาจเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ได้ยากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ ปริมาณโปรตีนและไขมัน ในผลิตภัณฑ์ขนมเค้กจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 สูงกว่าในขนมเค้กจากแป้งสาลี ดังแสดงในหัวข้อ 4 ทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลของขนมเค้กจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 มีค่าลดลง 1.92 เท่าจากขนมเค้กจากแป้งสาลี แสดงให้เห็นว่าการใช้แป้ง ฟลาวัวร์ข้าว กข43 แทนแป้งสาลี ร้อยละ 50 ทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ขนมเค้กลดลง

Table 4 Rapidly Available Glucose (RAG), Slowly Available Glucose (SAG), The kinetic constant (k), Hydrolysis Index (HI) and Estimated glycemic index (eGI) of rice starch noodle, RD43 Rice flour noodle, wheat pasta, RD43 Rice flour pasta, wheat bread, RD43 Rice flour bread, wheat cake and RD43 Rice flour cake.

	Samples	RAG ($\mu\text{g/g}$)	SAG ($\mu\text{g/g}$)	k (min^{-1})	HI (%)	eGI
Noodle	rice starch	1.72 $\pm$ 0.05	2.46 $\pm$ 0.05	0.1483 $\pm$ 0.0046	16.39 $\pm$ 2.55	48.71 $\pm$ 1.40
	RD43 rice flour	1.83 $\pm$ 0.29	2.15 $\pm$ 0.17	0.1779 $\pm$ 0.0102	20.89 $\pm$ 3.32	51.47 $\pm$ 2.82
	N	12	12	12	12	12
	Sig.	0.553	0.039*	0.315	0.136	0.204
Pasta	wheat (bread) flour	1.15 $\pm$ 0.04	1.33 $\pm$ 0.07	0.2870 $\pm$ 0.0967	18.39 $\pm$ 0.45	49.80 $\pm$ 0.25
	RD43 rice flour	2.17 $\pm$ 0.04	1.87 $\pm$ 0.10	0.2448 $\pm$ 0.0976	27.61 $\pm$ 8.82	54.87 $\pm$ 4.84
	N	12	12	12	12	12
	Sig.	0.000*	0.002*	0.000*	0.145	0.144
Bread	wheat (bread) flour	3.50 $\pm$ 0.11	3.65 $\pm$ 0.03	0.2633 $\pm$ 0.0574	68.92 $\pm$ 5.40	77.54 $\pm$ 2.96
	RD43 rice flour	4.00 $\pm$ 0.09	5.22 $\pm$ 0.12	0.1527 $\pm$ 0.0122	43.60 $\pm$ 7.27	63.64 $\pm$ 3.99
	N	12	12	12	12	12
	Sig.	0.004*	0.000*	0.000*	0.008*	0.008*
Cake	wheat (cake) flour	27.88 $\pm$ 0.41	21.54 $\pm$ 3.57	0.1937 $\pm$ 0.1088	929.46 $\pm$ 87.95	549.98 $\pm$ 48.28
	RD43 rice flour	13.40 $\pm$ 0.70	12.34 $\pm$ 0.41	0.2419 $\pm$ 0.0800	448.48 $\pm$ 42.63	285.92 $\pm$ 23.40
	N	12	12	12	12	12
	Sig.	0.000*	0.011*	0.001*	0.001*	0.001*

* indicated significantly difference at 95% confidence interval ($p \leq 0.05$) as measured by paired t-test.

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนศาสตร์ การกำหนดอาหาร และความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

สรุปผล

ข้าว กข43 เป็นข้าวที่มีรายงานว่ามีความเข้มข้นน้ำตาลในระดับปานกลาง จากผลการศึกษาของ Wasusun et al. (2017) [16] ที่ทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีน้ำตาลในข้าวหุงสุก กข43 เทียบกับข้าว กข15 โดยทำการศึกษาในมนุษย์ พบว่าข้าว กข43 มีความเข้มข้นน้ำตาลอยู่ที่ 57.8 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าข้าวพันธุ์ กข15 ที่มีความเข้มข้นน้ำตาลอยู่ที่ 69 และยังทำการวิเคราะห์ปริมาณของน้ำตาลกลูโคสที่แตกตัวเร็ว (RAG) และปริมาณน้ำตาลที่แตกตัวช้า (SAG) โดยการศึกษาในหลอดทดลองของข้าวจำนวน 27 พันธุ์ ผลการทดลองพบว่าข้าว กข43 มีค่า RAG และ SAG อยู่ที่ 21.8 และ 12.64 mg/ 100 g ซึ่งมีความเข้มข้นน้อยกว่าข้าวพันธุ์ กข15 จากข้อมูลเบื้องต้นดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยชิ้นนี้ ที่มีความประสงค์ต้องการนำแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 ไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นพาสต้า ขนมปัง และขนมเค้ก โดยมุ่งหวังเพื่อลดค่าดัชนีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว และทำการประเมินดัชนีน้ำตาลในแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 และผลิตภัณฑ์ โดยใช้เทคนิคเลียนแบบการย่อยการดูดซึมของน้ำตาลของคนในหลอดทดลอง โดยทำการวิเคราะห์ค่าดังต่อไปนี้

1) วิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยเร็ว (rapidly available glucose, RAG) และ ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยช้า (slowly available glucose, SAG) [2] และ

2) ประเมินค่าดัชนีน้ำตาล (eGI) โดยใช้เทคนิคติดตามการย่อยแป้งในตัวอย่างด้วยเอนไซม์ในหลอดทดลอง เป็นเวลา 180 นาที (ดัดแปลงจากวิธีของ Goni et al. (1997), Sopade and Gidley (2009) และ Mahasukhonthachat et al. (2010) [3-5])

การประเมินค่าดัชนีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นพาสต้า ขนมปัง และขนมเค้ก ที่แปรรูปจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 โดยใช้วิธีเลียนแบบการย่อยการดูดซึมของน้ำตาลของคนในหลอดทดลอง ได้ข้อสรุปดังนี้

การวิเคราะห์ค่าดัชนีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิด พบว่าค่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยเร็ว (RAG)

ค่าคงที่ของการย่อยได้ (k) และค่าดัชนีการย่อยได้ (HI) มีความสอดคล้องกับค่าดัชนีน้ำตาล (eGI) โดยที่ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า RAG, k และ HI ในระดับต่ำจะทำให้มีค่า eGI ที่ต่ำด้วย ในขณะที่ในผลิตภัณฑ์ที่มีค่า RAG, k และ HI ในระดับสูงส่งผลให้ มีค่า eGI ที่สูงเช่นกัน

การใช้แป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 แทนแป้งข้าวตามท้องตลาด ร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก ไม่ทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลของเส้นก๋วยเตี๋ยวเปลี่ยนแปลง เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 มีค่า eGI เท่ากับ 51.47 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ ($GI \leq 55$)

การใช้แป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 แทนแป้งสาลี ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ไม่ทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลของเส้นพาสต้าเปลี่ยนแปลง ผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 มีค่า eGI เท่ากับ 54.87 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ ($GI \leq 55$)

การใช้แป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 แทนแป้งสาลี ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ขนมปังลดลง ผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 มีค่า eGI เท่ากับ 63.64 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าดัชนีน้ำตาลปานกลาง ($GI = 56-69$)

การใช้แป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 แทนแป้งสาลี ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ขนมเค้กลดลง ขนมเค้กจากแป้งฟลาวัวร์ข้าว กข43 มีค่า eGI เท่ากับ 285.92 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าดัชนีน้ำตาลสูง ($GI > 70$)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะสาธารณสุขศาสตรมหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้งบประมาณจากทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทอาจารย์และบุคลากรสายสนับสนุน ประจำปีงบประมาณ 2562 (เงินรายได้) ทำให้ผลงานวิจัยโครงการนี้เกิดขึ้นได้ ขอขอบคุณบุคลากรทุกท่าน และเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ สำหรับการอำนวยความสะดวก ทั้งอาคาร สถานที่ และเครื่องมือในการวิจัย จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนศาสตร์ การกำหนดอาหาร และความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

เอกสารอ้างอิง

- [1] Wongpiyachon, S., Songchitsomboon, S., Wasusan, A., Sukviwat, W., Maneenin, P. and Cheaupan, K. (2016). Glycemic index of 8 Thai rice varieties. Pathumthani Rice Research Center. 27-41.
- [2] Englyst, H.N., Kingman, S.M. and Cummings, J.H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*. 46: S33-S50.
- [3] Sopade, P.A. and Gidley, M.J. (2009). A rapid In- vitro digestibility assay based on glucometry for investigating kinetics of starch digestion. *Starch/ Stärke*. 61(5): 245-255.
- [4] Mahasukhonthachat, K., Sopade, P.A. and Gidley, M.J. (2010). Kinetics of starch digestion and functional properties of twin-screw extruded sorghum. *Journal of Cereal Science*. 51(3): 392-401.
- [5] Goni, I., Garcia-Aolnso, A. and Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*. 17(3): 427-437.
- [6] Strategic Planning and Evaluation Group (2016). Annual report, 2016. Bureau of Non- Communicable Diseases (NCDs), Department of Disease Control, Ministry of Public Health. Bangkok: The War Veterans Organization of Thailand Press. (in Thai).
- [7] Chiu, C-J., Liu, S., Willett, W.C., Wolever, T.M., Brand-Miller, J.C., Barclay, A.W., Taylor, A. (2011). Informing food choices and health outcomes by use of the dietary glycemic index. *Nutrition Reviews*. 69(4): 231-242.
- [8] Goni, I., Garcia-Diz, L., Manas, E., and Saura-Calixto, F. (1996). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chemistry*. 56(4): 445-449.
- [9] Osorio-Diaz, P., Agama-Acevedo, E., Mendoza-Vinalay, M., Tovar, J. and Bello-Perez, L.A. (2008). Pasta added with chickpea flour: chemical composition, In vitro starch digestibility and predicted glycemic index. *Ciencia Y Tecnologia Alimentaria*. 6(1): 6-12.
- [10] Kraiseang, K. and Srikaeo, K. (2012). Effects of amylose content on starch digestion rate and glycemic index of rice noodles. In *Proceedings of 9th National Conference of Kasetsart University, Thailand*. December 6-7, 2012. 445-451.
- [11] Thanavarakom, T. (2014). Effect of protein and baking conditions on quality of rice flour bread. Master's thesis. Kasetsart University. Thailand. 94 p.
- [12] Chueamchaitrakun, P. (2011). Characterization of hysicochemical properties of glutinous rice and mixed glutinous-Hom- Mali rice flours and their utilization for butter cake. Doctor's thesis. Kasetsart University. Thailand. 298 p.
- [13] Sutirawattananon, M. (2015). Increase of resistant starch in rice pasta products. Research report of Suranaree University of Technology. Thailand. 84 p.
- [14] Sirilert, T. (2010). Development of rice noodle: texture and quick blanching

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนศาสตร์ การกำหนดอาหาร และอาหารปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

- time. *Journal of Food Technology*, Siam University. 5(1): 18-23.
- [15] Nakprachy, S., Thammasorn, B., Suongtho, S., Ruechaikham, C., Inman, A., Nisayhay, P., et al. (2017). Rice variety RD43. *Thai Rice Research Journal*. 8(2): 27-44.
- [16] Wasusun, A., Wongpiyachon, S., Songchitsomboon, S., Sukviwat, W., Maneein, P. and Pakkethati, S. (2017). Rice variety RD43: medium glycemic index rice for niche market. In *Proceedings of 34th Conference of Rice and Cold Grain*, Thailand. 309-320.
- [17] Nounmusig, J., Kongkachuichai, R., Sirichakwai, P., Wongwichain, C. and Saengkrajang, W. (2018). Glycemic index, glycemic load and serum insulin response of alternative rice noodles from mixed Sago Palm flour (*Metroxylon* spp.) and Chiang rice flour. *Burapha Science Journal*. 23(2): 839-851.
- [18] Sahaspot, S., Charoensiri, R. and Kongkachuichai, R. (2015). Glycemic index of glutinous and non-glutinous landrace rice varieties using “In vitro rapidly available glucose”. *Burapha Science Journal*. 20(2): 1-13.
- [19] 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.
- [20] Parada, J. and Aguilera, J.M. (2012). Effect of native crystalline structure of isolate potato starch on gelatinization behavior and consequently on glycemic response. *Food Research International*. 45: 238-243.
- [21] Zhiqiang, J., Fenglin, B., Yanbin, C. and Bianxia, B. (2019). Interactions between protein, lipid and starch in foxtail millet flour affect the in vitro digestion of starch. *CyTA-Journal of Food*. 17(1): 640-647.
- [22] A.O.A.C. (1990). Official method of analysis. 15th ed. Association of Official analytical chemist, Washington D.C. 1298 p.
- [23] Argyri, K., Athanasatou, A., Bouga, M. and Kapsokafalou, M. (2016). The potential of an in vitro digestion method for predicting glycemic response of foods and meals. *Nutrients*. 8(4): 209 (12 pages).
- [24] Syafutri, M.I., Pratama, F., Syaiful, F. and Faizal, A. (2016). Effects of varieties and cooking methods on physical and chemical characteristics of cooked rice. *Rice Science*. 23(5): 282-286.
- [25] Saleh, M. and Meullenet, J.F. (2015). Cooked rice texture and rice flour pasting properties; impacted by rice temperature during milling. *Journal of Food Science and Technology*. 52(3): 1602-1609.
- [26] Horstmann, S.W., Lynch, K.M. and Arendt, E.K. (2017). Review: starch characteristics linked to gluten-free products. *Foods*. 6(29): 1-21.
- [27] Thiranusornkij, L., Thamnarathip, P., Chandrachai, A., Kuakpetoon, D. and Adisakwattana, S. (2018). Physiochemical properties of Hom Nil (*Oryza sativa*) rice

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนาการ การกำหนดอาหาร และอาหารปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150

- flour as gluten free Ingredient in bread. Foods. 7(159): 1-13.
- [28] Wu, T., Wang, L., Li, Y., Qian, H., Liu, L., Tong, L., Zhou, X., Wang, L. and Zhou, S. (2019). Effect of milling methods on the properties of rice flour and gluten-free rice bread. Food Science and Technology. 108: 137-144.
- [29] Ahmed, I., Qazi, I.M., Li, Z. and Ullah, J. (2016) Rice noodles: materials, processing and quality evaluation. Proceedings of the Pakistan Academy of Science. 53(3): 215-238.
- [30] Milde-Laura, B., Chigal-Paola, S. and Chiola-Zayas- María, O. (2018). Nutritional characterization of gluten free non-traditional pasta. International Journal of Food Science and Nutrition. 3(5): 19-24.
- [31] Barine, K.K.D and Yorte, G.S (2016). In vitro starch hydrolysis and prediction of glycemic index (PGI) in “Amala” and plantain based baked products. Journal of Food Research. 5(2): 73-80.
- [32] Ferrer- Mairal, A., Peñalva-Lapuente, C., Iglesia, I., Urtasum, L., De Migue-Etayo, P., Remón, S., et al. (2012). In vitro and in vivo assessment of the glycemic index of bakery product: influence of the reformulation of ingredients. European Journal of Nutrition. 51: 947-954.
- [33] Gularte, M.A., Gómez, M. and Rosell, C.M. (2012). Impact of legume flours on quality and in vitro digestibility of starch and protein from gluten- free cakes. Food and Bioprocess Technology. 5(8): 3142-3150.
- [34] Jaisut, D., Prachyawarakorn, S., Varanyanon, W., Tungtrakul, P. and Soponnarit, S. (2009) Accelerated aging of jasmine brown rice by high- temperature fluidization technique. Food Research International. 42(5-6): 674-681.

*Corresponding author: Tarinee.n@msu.ac.th

¹หลักสูตรโภชนศาสตร์ การกำหนดอาหาร และอาหารปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹Nutritional Science, Dietetic and Food Safety Program, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Maha Sarakham Province, 44150