



Research Article

ข้าวกล้องพองจากข้าวหอมไชยาขึ้นรูปด้วยแผ่นความร้อน : องค์ประกอบและค่าดัชนีน้ำตาล

Puffed Brown Rice from Hom Chaiya using Heated Plate: Composition and Glycemic Index

สุภาพร อภิรัตน์านุสรณ์ *

Supaporn Apirattananusorn *

สาขาวิชานวัตกรรมอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

Program in Food Innovation and Nutrition, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University, Muang, Suratthani 84100, Thailand.

ABSTRACT

Article history:

Received: 2024-01-07

Revised: 2024-05-28

Accepted: 2024-08-16

Keywords:

Hom Chaiya rice;

puffed brown rice;

glycemic index;

glycemic load

The purpose of this research was to determine the proximate composition of Hom Chaiya rice, and glycemic index (GI) and glycemic load (GL) using *in vitro* starch digestion model of puffed brown rice from Hom Chaiya produced with a heated plate. The moisture content was found to be greater in raw white rice (14.40%) and raw brown rice (13.80%) than that in puffed brown rice (4.07%). Raw brown rice and puffed brown rice contained significantly ($p < 0.05$) higher levels of protein, fat, dietary fiber, and ash contents of 8.69-8.76%, 2.76-2.87%, 3.65-3.89%, and 1.16-1.25%, respectively - than raw white rice, which contained 8.05% 1.30%, 2.28%, and 0.70%, respectively. The carbohydrate content of puffed brown rice (79.6%) was higher than that of raw white rice (73.27%) and raw brown rice (69.50%). Cooked white rice contained 85.21% starch, which was higher than that in cooked brown rice (78.98%) and puffed brown rice (82.11%). Puffed brown rice showed a slower starch digestion rate than both cooked white rice and cooked brown rice. The GI value of puffed brown rice was 75.43, lower than that of cooked white rice (97.00) and cooked brown rice (89.89). In addition, the GL value of puffed brown rice was 18.27, lower than that of cooked white rice (40.32) and cooked brown rice (45.30). Therefore, consumption of Hom Chaiya puffed brown rice is likely to be beneficial for individuals seeking to control blood sugar level based on its GI and GL values.

* Corresponding author.

E-mail address: supapornapi@yahoo.com

Cite this article as:

Apirattananusorn, S. 2025. Puffed brown rice from Hom Chaiya rice by heated plate : Composition and glycemic index. *Recent Science and Technology* 17(3): 261749.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีข้าวหอมไชยา ค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index, GI) ค่ามวลน้ำตาล (Glycemic load, GL) โดยใช้วิธีแบบจำลองการย่อยในกระเพาะอาหาร (*In vitro* starch digestion) ของข้าวกล้องพองจากข้าวหอมไชยาที่ขึ้นรูปด้วยแผ่นให้ความร้อน พบว่าความชื้นในข้าวขาวดิบ (ร้อยละ 14.40) และข้าวกล้องดิบ (ร้อยละ 13.80) มีค่าสูงกว่าข้าวกล้องพอง (ร้อยละ 4.07) ข้าวกล้องดิบและข้าวกล้องพองมีโปรตีน ไขมัน โยอาหาร และเถ้า ร้อยละ 8.69-8.76, 2.76-2.87, 3.65-3.89 และ 1.16-1.25 ตามลำดับ สูงกว่าข้าวขาวดิบที่มีร้อยละ 8.05, 1.30, 2.28 และ 0.70 ตามลำดับ ข้าวกล้องพองมีคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ 79.6) สูงกว่าข้าวขาวดิบ (ร้อยละ 73.27) และข้าวกล้องดิบ (ร้อยละ 69.50) ข้าวขาวหุงสุกมีปริมาณสตาร์ชร้อยละ 85.21 มากกว่าข้าวกล้องหุงสุก (ร้อยละ 78.98) และข้าวกล้องพอง (ร้อยละ 82.11) ข้าวกล้องพองมีอัตราการย่อยสตาร์ชช้ากว่าข้าวขาวหุงสุก และข้าวกล้องหุงสุก และมีค่า GI เท่ากับ 75.43 ต่ำกว่าข้าวขาวหุงสุก (97.00) และข้าวกล้องหุงสุก (89.89) นอกจากนี้ข้าวกล้องพองมีค่า GL เท่ากับ 18.27 ต่ำกว่าข้าวขาวหุงสุกและข้าวกล้องหุงสุกที่มีค่าเท่ากับ 40.32 และ 45.30 ตามลำดับ ดังนั้นการบริโภคข้าวกล้องพองจากข้าวหอมไชยามีแนวโน้มส่งผลดีต่อผู้ที่ต้องการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดตามค่าของ GI และ GL

คำสำคัญ: ข้าวหอมไชยา, ข้าวกล้องพอง, ค่าดัชนีน้ำตาล, ค่ามวลน้ำตาล

1. บทนำ

ข้าวเป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญของประเทศไทย และเป็นอาหารหลักของผู้คนโดยเฉพาะในประเทศทวีปเอเชีย เช่น ไทย เวียดนาม ลาว กัมพูชา เกาหลี และญี่ปุ่น เป็นต้น วิสาหกิจชุมชนอนุรักษ์พันธุ์ข้าวหอมไชยาเป็นวิสาหกิจชุมชนที่มีการปลูกข้าวและอนุรักษ์พันธุ์ข้าวพื้นเมืองเพื่อสืบทอดภูมิปัญญาการปลูกข้าวโดยนำข้าวที่เก็บเกี่ยวได้เก็บไว้บริโภคและจำหน่าย รวมทั้งส่งเสริมการนำมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าความหลากหลายให้กับสินค้าการอนุรักษ์พันธุ์ข้าวพื้นเมืองนับว่าเป็นการเพิ่มความมั่นคงทางเศรษฐกิจและยังเป็นการรักษาความหลากหลายทางพันธุกรรมที่บ่งบอกถึงสภาพทางภูมิศาสตร์ของแต่ละท้องถิ่นได้เป็นอย่างดี (Kaewkaenkoon *et al.*, 2017)

ข้าวหอมไชยาเป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่ปลูกในพื้นที่อำเภอยะยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี แต่เดิมมีการเพาะปลูกต่อเนื่องกันมายาวนานจากรุ่นสู่รุ่น จนภายหลังมีการพัฒนาพันธุ์ข้าวที่เติบโตและเก็บเกี่ยวได้เร็วกว่าข้าวหอมไชยาจึงทำให้เกษตรกรหันไปปลูกข้าวชนิดนั้นแทน ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงของสังคมทำให้พื้นที่ทำนาและผู้สืบทอดการทำนาลดน้อยลง ข้าวหอมไชยาจึงเริ่มสูญหายไป อย่างไรก็ตามยังมีชาวอำเภอยะยาที่มีความต้องการอนุรักษ์พันธุ์ข้าวชนิดนี้ไว้ให้รุ่นลูกหลาน จึงมีการรวมกลุ่มกันเป็นวิสาหกิจชุมชนอนุรักษ์พันธุ์ข้าวหอมไชยา และสร้างศูนย์เรียนรู้อนุรักษ์พันธุ์ข้าวหอมไชยาขึ้น มีสมาชิกรวมกลุ่มกันปลูกข้าวหอมไชยาโดยมีพื้นที่เพาะปลูกรวมทั้งหมดเพียง 12 ไร่ (Somkeatkun and Ruengdet, 2020) เพื่อร่วมมือร่วมใจกันช่วยกันฟื้นฟูพันธุ์ข้าวหอมไชยามีให้สูญหายไป และช่วยกันผลักดันให้ข้าวหอมไชยาได้รับการรับรองเป็นสินค้าบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ หรือสินค้า GI (Geographical Indication)

ข้าวพอง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำข้าวสารหรือข้าวกล้อง เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ที่หุงหรือึ่งให้สุก มาผ่านการทำให้แห้ง ทอดหรือคั่วให้พอง กรณีที่ติดกันเป็นชั้นต้องแยกออก

ได้ง่ายด้วยมือ มีค่า a_w ต่ำ ไม่เกิน 0.6 (Thai Industrial Standards Institute, 2019) ข้าวพองยังคงได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากข้าวพองมีราคาไม่แพง บริโภคได้ง่าย ข้าวยังคงเป็นเมล็ดที่มีความกรอบนอก นุ่มภายใน ข้าวพองยังมีสตาร์ชทนต่อการย่อยสูงกว่าข้าวไม่พองทั่วไป จึงเหมาะเป็นอาหารว่างสำหรับผู้บริโภคที่คำนึงถึงปริมาณแคลอรีที่ได้รับ (Sonsomboonsuk *et al.*, 2024) ข้าวกล้องเป็นข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสี จึงยังคงมีสารอาหารต่าง ๆ มากกว่าข้าวขัดขาว ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการผลิตข้าวกล้องพองจากข้าวหอมไชยาโดยนำมาผลิตเป็นข้าวพองแบบไม่ทอดน้ำมัน ใช้หลักการการระเหยน้ำออกอย่างรวดเร็วทำให้เมล็ดข้าวสุกและเกิดพองตัวขึ้นด้วยเครื่องทำข้าวพองที่ขึ้นรูปด้วยแผ่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง ใช้เวลาในการผลิตที่รวดเร็วกว่าการทอดด้วยน้ำมัน (Bupata *et al.*, 2020) ผลผลิตทันทีที่ได้มีความกรอบปราศจากน้ำมันและนำมาบริโภคเป็นอาหารว่างได้ กระบวนการผลิตข้าวพองนี้อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการทนต่อการย่อยของสตาร์ชข้าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงองค์ประกอบของข้าวหอมไชยา และผลของการแปรรูปข้าวกล้องพองจากข้าวหอมไชยาที่มีผลต่อค่าดัชนีน้ำตาลและค่ามวลน้ำตาล การบริโภคอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลและค่ามวลน้ำตาลต่ำสามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดไม่ให้สูงเกินไป ป้องกันการเกิดโรคเบาหวานได้ งานวิจัยนี้เป็นการส่งเสริมให้เห็นคุณค่าของข้าวหอมไชยา ทำให้ผู้บริโภคหันมาบริโภคและเกษตรกรหันมาเพาะปลูกข้าวหอมไชยากันมากขึ้น

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัตถุดิบและการแปรรูปข้าวพอง

2.1.1 วัตถุดิบ

ข้าวหอมไชยา ได้แก่ ข้าวขาวดิบ (Raw white rice) และข้าวกล้องดิบ (Raw brown rice) (Figure 2 (a), (b)) ได้รับจากวิสาหกิจชุมชนอนุรักษ์พันธุ์ข้าวหอมไชยา เพาะปลูกบริเวณตำบล

ทุ่ง อำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี (เป็นข้าว ปี พ.ศ. 2563 เป็นปีที่ศึกษา)

2.1.2 การแปรรูปข้าวพอง

นำข้าวกล้องหอมไชยามาแปรรูปเป็นข้าวพองด้วยเครื่องทำข้าวพอง (Puffed rice machine ไม่ปรากฏยี่ห้อ) ขนาด 480 x 320 x 560 mm กำลังไฟฟ้า 1.4 กิโลวัตต์ แม่พิมพ์ทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 67 mm (Figure 1) อาศัยหลักการขึ้นรูปด้วยแผ่นให้ความร้อน ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 250 องศาเซลเซียส นำข้าวกล้องดิบจำนวน 500 กรัม ใส่ในกรวยของเครื่องทำข้าวพอง เมื่ออุณหภูมิถึงระดับที่ตั้งไว้ จึงปล่อยข้าวลงมาในแม่พิมพ์ แล้วอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนเป็นระยะเวลา 4-5 วินาที จนได้เป็นแผ่นข้าวพอง จากนั้นนำมาแยกออกจากกันด้วยมือได้เป็นข้าวกล้องพอง (Puffed brown rice) ที่ยังมีรูปทรงเป็นเมล็ด (Figure 2 (c))

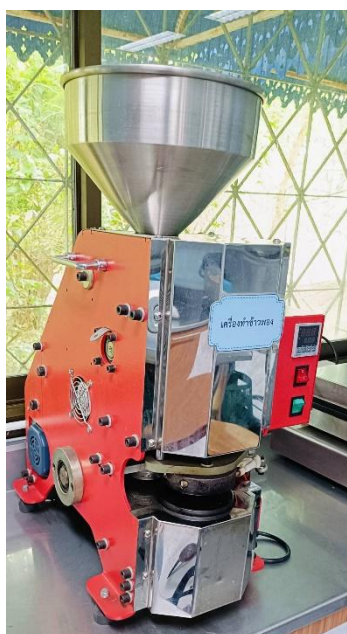


Figure 1 Puffed rice machine



(a) Raw white rice (b) Raw brown rice (c) Puffed brown rice

Figure 2 Hom Chaiya rice

2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ค่าสี และอัตราส่วนการพองตัว

นำข้าวขาวดิบ ข้าวกล้องดิบ และข้าวกล้องพอง มาวิเคราะห์องค์ประกอบตามวิธี AOAC (2016) ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน โยอาหาร เถ้า และคาร์โบไฮเดรต (ได้จากการคำนวณ) วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี (ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR-400) แสดงค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีเขียว-แดง (a^*) และค่าความเป็นสีน้ำเงิน-สีเหลือง (b^*) และวิเคราะห์อัตราส่วนการพองตัวของข้าวกล้องพองโดยดัดแปลงวิธีจาก Segnini *et al.* (2004) (อัตราส่วนการพองตัว = ปริมาตรของข้าวกล้องพอง/ปริมาตรของข้าวกล้องดิบ)

2.3 การหาค่าปริมาณสารทั้งหมด ค่าดัชนีน้ำตาล และค่ามวลน้ำตาล

2.3.1 การเตรียมตัวอย่างข้าวขาวหุงสุกและข้าวกล้องหุงสุก

นำข้าวดิบจำนวน 80 กรัม ล้างด้วยน้ำ 240 กรัม เป็นเวลา 30 วินาที เติมน้ำเปล่าจนมีน้ำหนัก 280 กรัม นำไปหุงข้าวจนสุกด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าอัตโนมัติ (ยี่ห้อ Sharp รุ่น KS-COM18)

2.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารทั้งหมด (Total starch) โดยใช้ Total starch test kit (Megazyme, Ireland) ตามวิธี AOAC 996.11 และ AACC 76-13.01

ซึ่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้ว 100 มิลลิกรัม เติมน้ำตาล ความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำละลาย 2 โมลาร์ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร กวนตัวอย่างด้วยแท่งแม่เหล็กคนสารในอ่างน้ำแข็งจนกระทั่งตัวอย่างละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 600 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 8 มิลลิลิตร และเอนไซม์ Thermostable α -amylase ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ตามด้วยเอนไซม์อะมิโลกลูโคซิเดส 0.1 มิลลิลิตร นำไปย่อยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร นำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล D-กลูโคส โดยใช้ตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลาย Glucose determination reagent (Glucose oxidase/ peroxidase; GOPOD reagent) ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง (Visible spectrophotometer ยี่ห้อ Metertech รุ่น SP880) ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายมาตรฐานกลูโคสความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร คำนวณปริมาณสารทั้งหมดดังสมการ

$$\text{สตาร์ชทั้งหมด (กรัม/ 100 กรัม)} = \Delta A \times F \times \frac{100}{0.1} \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{w} \times \frac{162}{180}$$

โดยที่

ΔA = ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อเทียบกับ blank
 F = Factor ที่ใช้เปลี่ยนหน่วยจากการดูดกลืนแสงเป็นไมโครกรัมของน้ำตาลกลูโคส
 $100/0.1$ = Volume correction (0.1 mL taken from 100 mL)
 $1/1000$ = ค่าการเปลี่ยนหน่วยจากไมโครกรัมเป็นมิลลิกรัม
 W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างในหน่วยมิลลิกรัม
 $= \text{Weight} \times [(100 - \text{Moisture content})/100]$
 $100/W$ = ค่าการเปลี่ยนหน่วยเป็น %
 $162/180$ = Factor สำหรับเปลี่ยน Free D-glucose เป็น Anhydro-glucose

2.3.3 การวิเคราะห์หาค่าดัชนีน้ำตาล และค่ามวลน้ำตาล

ตรวจวิเคราะห์หาค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index, GI) และค่ามวลน้ำตาล (Glycemic load, GL) โดยดัดแปลงตามวิธีของ Goñi *et al.* (1997) Sopade and Gidley (2009) และ Na-Nakorn *et al.* (2019) ใช้วิธีแบบจำลองการย่อยในกระเพาะอาหาร ด้วยการย่อยในหลอดทอง (*In vitro* starch digestion) โดยชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้ว 0.5 กรัม เติมสารละลายเอนไซม์ α -amylase (Porcine pancreatic α -amylase, A-3176, Sigma-Aldrich, 250 หน่วยต่อมิลลิกรัม, 20 มิลลิโมลาร์ โซเดียมบัฟเฟอร์ pH 6.9 ผสมกับ 6.7 มิลลิโมลาร์ โซเดียมคลอไรด์) ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายเอนไซม์ Pepsin (P-6887, Sigma-Aldrich) 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร, 0.02 โมลาร์ กรดไฮโดรคลอริก pH 2 ปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร แล้วนำไปย่อยในอ่างน้ำบ่มเขย่าควบคุมอุณหภูมิ (ยี่ห้อ Julabo รุ่น SW22) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และหยุดการทำงานของเอนไซม์ด้วยสารละลาย 0.02 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เติมสารละลายเอนไซม์ผสมระหว่าง Pancreatin (P-1750, Sigma-Aldrich, 2 หน่วยต่อมิลลิลิตร, 0.2 โมลาร์ NaOAc, pH 6) และ Amyloglucosidase (A-7420, Sigma-Aldrich, 28 หน่วยต่อมิลลิลิตร, 0.2 โมลาร์ NaOAc, pH 6) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร จากนั้นสุ่มตัวอย่างปริมาณ 100 ไมโครลิตร มาตรวจหาปริมาณน้ำตาลกลูโคสด้วยเครื่อง Glucose meter (ยี่ห้อ Accu-Chek รุ่น Performa) ตามระยะเวลาที่ 0, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 210 และ 240 นาที โดยเวลาที่ 0 นาที คือการสุ่มตัวอย่างมาก่อนเติมสารละลายเอนไซม์ผสม และนำค่าความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสในแต่ละระยะเวลาที่ได้ มาคำนวณหาร้อยละของสตาร์ชที่ถูกย่อยในแต่ละเวลา โดยเทียบกับปริมาณสตาร์ชทั้งหมดที่ได้ คำนวณตามวิธีการของ Na-Nakorn *et al.* (2019) และ Sopade and Gidley (2009) ตามสมการ First-order kinetic ดังนี้

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

โดยที่

C_∞ = ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยที่เวลา 240 นาที
 C_t = ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยที่เวลาต่าง ๆ
 k = อัตราการย่อยต่อนาที
 t = เวลาในการย่อย (นาที)

คำนวณหาค่า Hydrolysis index (HI) โดยนำค่าพื้นที่ใต้กราฟ (Area under curves, AUC) ของตัวอย่างเทียบกับค่า AUC ของขนมปังขาว (Reference food) ดังนี้

$$HI = \frac{AUC_{\text{sample}}}{AUC_{\text{white bread}}} \times 100$$

นำค่า HI มาคำนวณหาค่า GI ดังสมการ

$$GI = 39.51 + (0.570 \times HI)$$

นำค่า GI มาคำนวณค่า GL จากปริมาณ 180 g per serving ดังสมการ

$$GL = GI \times \frac{\text{Available carbohydrate per serving (g)}}{100}$$

2.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ Completely randomized design (CRD) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple rang test โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS version 21

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 องค์ประกอบทางเคมี ค่าสี และอัตราส่วนการพองตัวของข้าวหอมไชยา

ข้าวหอมไชยาที่เป็นข้าวขาวดิบบและข้าวกล้องดิบบมีความชื้นร้อยละ 14.40 และ 13.80 ตามลำดับ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) (Table 1) ข้าวกล้องเป็นข้าวที่ขัดสีเอาข้าวเปลือกออก และยังคงมีส่วนของจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวหรือรำข้าวติดเมล็ดอยู่ บริเวณจมูกข้าวและรำข้าวมีส่วนของโปรตีน ไขมัน โยอาหาร แร่ธาตุและวิตามิน อยู่จำนวนมาก (Sangkod *et al.*, 2021; Sivakamasundari *et al.*, 2021; Phanruang *et al.*, 2022) ดังนั้น จะเห็นว่าข้าวกล้องดิบบจากข้าวหอมไชยาจึงมีปริมาณโปรตีน ไขมัน โยอาหาร และเถ้า เท่ากับร้อยละ 8.69, 2.87, 3.89, และ 1.25 ตามลำดับ มากกว่าข้าวขาวดิบบอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ยกเว้นปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวขาวเช่นเดียวกับข้าวชนิดอื่นทั่วไป (Luh *et al.*, 1991) ปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าในข้าวกล้องมีค่าใกล้เคียงกับข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองในจังหวัดตรังที่มีการรายงานไว้ว่ามีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 6.38-8.79, 1.63-2.41 และ 1.25-1.75 ตามลำดับ (Chooklin *et al.*, 2017) เมื่อนำข้าวกล้องดิบมาแปรรูปเป็นข้าวกล้องพองพบว่ามีความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 4.07 มีปริมาณโปรตีน ไขมันใยอาหาร และเถ้า ใกล้เคียงกับข้าวกล้องดิบคือร้อยละ 8.76, 2.76, 3.65 และ 1.16 ตามลำดับ ยกเว้นคาร์โบไฮเดรตที่มีค่าสูงกว่าคือมีร้อยละ 79.6 เนื่องจากมีความชื้นน้อยกว่าข้าวขาวดิบ มีค่าสี L^* 95.33 ค่า a^* -0.14 และค่า b^* 25.31 (Table 2) มีลักษณะเป็นเมล็ดสีขาว ข้าวกล้องดิบมีลักษณะเป็นเมล็ดสีน้ำตาลอ่อน โดยมีค่า

สี L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 85.45, 1.26 และ 13.02 ตามลำดับ Chooklin *et al.* (2017) รายงานว่าข้าวกล้องมีค่าสี L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 60.81-66.08, 4.78-6.19 และ 19.45-24.78 ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกหรือรงควัตถุที่อยู่บริเวณรำข้าว ส่วนข้าวกล้องพองที่ทำจากข้าวกล้องดิบมีค่า a^* และ b^* เท่ากับ 0.98 และ 11.70 ใกล้เคียงกับข้าวกล้องดิบ แต่มีค่าความสว่างน้อยกว่าข้าวกล้องดิบ คือมีค่า L^* เท่ากับ 72.18 ข้าวกล้องพองที่ได้มีความกรอบเหมือนข้าวพองทั่วไป มีอัตราส่วนการพองตัวเท่ากับ 4.22 ± 0.84 สอดคล้องกับการพองตัวของข้าวขาวหอมปทุมธานี 1 ที่ขึ้นรูปด้วยแผ่นให้ความร้อนมีค่า $3.22-5.12$ ขึ้นอยู่กับความชื้นของข้าว อุณหภูมิ และระยะเวลาการให้ความร้อน (Bupata *et al.*, 2020)

Table 1 Proximate composition of Hom Chaiya rice

Composition (%)	Raw white rice	Raw brown rice	Puffed brown rice
Moisture	14.40±0.49 ^b	13.80±0.19 ^b	4.07±0.44 ^a
Protein	8.05±0.15 ^a	8.69±0.17 ^b	8.76±0.25 ^b
Fat	1.30±0.09 ^a	2.87±0.09 ^b	2.76±0.14 ^b
Dietary fiber	2.28±0.07 ^a	3.89±0.34 ^b	3.65±0.10 ^b
Ash	0.70±0.02 ^a	1.25±0.06 ^b	1.16±0.07 ^b
Carbohydrate	73.27±0.16 ^b	69.50±0.10 ^a	79.6±0.20 ^c

Mean values (dried wt.) of 3 replicate measurement $\pm$ standard deviation with different superscript letters along the same row are significantly different at $p < 0.05$

Table 2 Color values of Hom Chaiya rice

Color values	Raw white rice	Raw brown rice	Puffed brown rice
L^*	95.33±01.75 ^c	85.45±1.78 ^b	72.18±02.93 ^a
a^*	-0.14±0.04 ^a	1.26±0.10 ^b	0.98±00.44 ^b
b^*	25.31±0.09 ^b	13.02±0.09 ^a	11.70±0.14 ^a

Mean values of 3 replicate measurement $\pm$ standard deviation with different superscript letters along the same row are significantly different at $p < 0.05$

Table 3 Starch content, GI and GL value of Hom Chaiya rice

Parameter	Cooked white rice	Cooked brown rice	Puffed brown rice
% Starch (dried wt.)	85.21±0.44 ^c	78.98±0.01 ^a	82.11±0.16 ^b
GI	97.00±0.82 ^c	89.89±0.86 ^b	75.43±0.33 ^a
GL	40.32±0.34 ^b	45.30±0.43 ^c	18.27±0.08 ^a

Mean values of 3 replicate measurement $\pm$ standard deviation with different superscript letters along the same row are significantly different at $p < 0.05$

3.2 ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด ค่าดัชนีน้ำตาล และค่ามวลน้ำตาล

ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดในข้าวหอมไชยา พบว่าข้าวขาวหุงสุกมีค่าร้อยละ 85.21 มีค่ามากกว่าข้าวกล้องหุงสุกที่มีสตาร์ชร้อยละ 78.98 (Table 3) ข้าวกล้องหุงสุกโดยทั่วไปมีปริมาณไขมันใยอาหาร และเถ้า ที่มากกว่าข้าวขาวหุงสุกจึงทำให้มีปริมาณสตาร์ชน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวชนิดเดียวกัน (Wongpiyachon *et al.*, 2017; Kaur *et al.*, 2016) แต่พบว่าข้าวกล้องพองจากข้าวกล้องหอมไชยามีปริมาณสตาร์ชร้อยละ 82.11 สูงกว่าข้าวกล้องหุงสุก (ร้อยละ 78.98) อาจเนื่องมาจากการทำข้าวกล้องพองที่ใช้อุณหภูมิสูง (250 องศาเซลเซียส) ทำให้เม็ดสตาร์ชแตกตัวและกระจายตัวออกมาได้ดี

ค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index) หรือค่า GI เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณน้ำตาลในเลือดที่เพิ่มขึ้นหลังจากการรับประทานอาหารเทียบกับกลูโคสโดยให้ค่าของกลูโคสที่วัดได้เทียบเท่ากับ 100 สามารถแบ่งอาหารตามค่า GI ได้ 3 ชนิด ได้แก่ อาหารที่มีค่า GI ต่ำ ($GI \leq 55$) อาหารที่มีค่า GI ปานกลาง ($GI = 56-69$) และอาหารที่มีค่า GI สูง ($GI \geq 70$) (Sethupathy *et al.*, 2020) เมื่อทดสอบความสามารถในการย่อยของข้าวโดยใช้วิธีแบบจำลองการย่อยในกระเพาะอาหารด้วยการย่อยในหลอดทดลองโดยคำนวณเป็นร้อยละของสตาร์ชที่ถูกย่อย (% Digested starch) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ (Digestion time) เทียบกับขนมปัง (White bread) พบว่าข้าวกล้องพองที่ทำจากข้าวกล้องหอมไชยา (PBR) มีอัตราการย่อยสตาร์ชช้ากว่าข้าวกล้องหุงสุก (CBR) และข้าวขาวหุงสุก (CWR) เมื่อเวลาผ่านไป 240 นาที (Figure 3) อาจมีผลมาจากระดับการเกิดเจลลิตในเซชัน ลักษณะการพองตัวของเม็ดสตาร์ช การเกิดผลึกใหม่ของสตาร์ช องค์ประกอบของเมล็ดข้าว ได้แก่ โปรตีน และไขมัน ที่สามารถไปเกาะจับกับโมเลกุลของอะไมโลส เกิดการจัดเรียงตัวใหม่เกาะเกี่ยวกับโปรตีนหรือไขมันเกิด

เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความคงทนต่อการย่อย รวมถึงปริมาณของอะไมโลส ที่มีผลทำให้น้ำตาลถูกย่อยได้ช้าลง และมีผลต่อการลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ มีรายงานว่าข้าวหอมไชยามีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 18.82 และมีโปรตีนร้อยละ 8.66-9.78 และอุดมไปด้วยวิตามิน (เอ อี บี 1 และ บี 2) แร่ธาตุ (เหล็ก สังกะสี และแคลเซียม) แกมมาโอริซานอล กรดแกมมา-อะมิโนบิวทีริก (GABA) และสารพฤกษเคมีต่าง ๆ (Rattanadet, 2019; Zhiqiang *et al.*, 2019; Itagi *et al.*, 2023; Venkatachalam and Charoenphun, 2023) ข้าวกล้องมีสารออกฤทธิ์ตามธรรมชาติที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย Panlasigui and Thompson (2006) รายงานว่าการบริโภคข้าวกล้องที่มีค่า GI ต่ำกว่าข้าวขาวสามารถป้องกันการเกิดโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ในคนทั่วไป และสามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยโรคเบาหวานได้

จากการทดลองพบว่าข้าวขาวหุงสุกมีค่า GI เท่ากับ 97.00 สูงกว่าข้าวกล้องหุงสุกที่มีค่า GI 89.89 และข้าวกล้องพองที่มีค่า 75.43 (Table 3) ข้าวกล้องพองจากข้าวหอมไชยา มีค่า GI ใกล้เคียงกับข้าวพองจากข้าวขาวที่รายงานไว้ว่ามีค่า GI เท่ากับ 74 (Kaur *et al.*, 2016) จึงเป็นไปได้ว่าการบริโภคข้าวพองช่วยให้การย่อยเป็นกลูโคสช้าลงมากกว่าการบริโภคข้าวหุงสุก ส่วนค่ามวลน้ำตาล (Glycemic load) หรือค่า GL เป็นปริมาณน้ำตาลหรือคาร์โบไฮเดรตในอาหารที่จะทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นต่อจำนวนหนึ่งหน่วยบริโภค มีอยู่ 3 ระดับ คืออาหารที่มีค่า GL ต่ำ (≤ 10) อาหารที่มีค่า GL ปานกลาง (11-19) และอาหารที่มีค่า GL สูง (≥ 20) (Venn and Green, 2007) ในที่นี้จะเห็นว่าการบริโภคข้าวกล้องพอง จำนวน 180 กรัม มีค่า GL เท่ากับ 18.27 ต่ำกว่าข้าวขาวหุงสุกและข้าวกล้องหุงสุกที่มีค่า 40.32 และ 45.30 ตามลำดับ

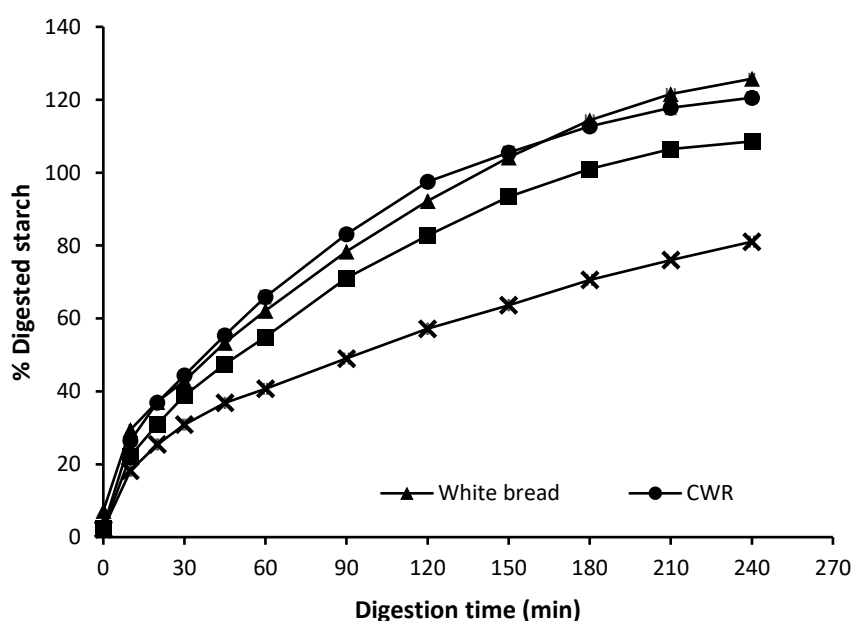


Figure 3 *In vitro* starch digestibility of CWR (Cooked white rice), CBR (Cooked brown rice) and PBR (Puffed brown rice) compared with white bread (Reference sample) during 240 min

4. สรุป

การศึกษาการทำข้าวกล้องพองจากข้าวหอมไชยาโดยการขึ้นรูปด้วยแผ่นให้ความร้อนมีผลต่อระดับการย่อยของสตาร์ชในระบบจำลองการย่อย โดยมีผลทำให้มีอัตราการย่อยสตาร์ชในสภาวะจำลองช้ากว่าข้าวกล้องหุงสุก และข้าวขาวหุงสุก และมีค่า GI และ ค่า GL ที่ต่ำกว่าด้วย คือมีค่า 75.43 และ 18.27 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าการบริโภคข้าวกล้องพองจากข้าวหอมไชยามีแนวโน้มที่ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด โดยทำให้การย่อยเป็นกลูโคสช้าลงมากกว่าการบริโภคข้าวหุงสุกทั่วไป ถึงแม้ว่าข้าวกล้องพองจากข้าวหอมไชยายังคงเป็นอาหารที่มีค่า GI สูง ($GI \geq 70$) แต่ก็มีค่า GL ปานกลาง ($GL = 11-19$) อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาลงเพิ่มเติมในสิ่งมีชีวิต (*In vivo* method) รวมถึงมีการทดสอบทางด้านกายภาพ เช่น เนื้อสัมผัส และประเมินทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องพอง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขานวัตกรรมอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และกองบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ที่ให้การสนับสนุนสถานที่และงานบริการวิชาการในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2016. **Official Methods of Analysis of AOAC International** (20th ed). Gaithersburg, USA.
- Bupata, C., Pathaveerat, S. and Sanchatjate, P. 2020. Study on puffing of rice using a rice cake machine. **Thai Society of Agricultural Engineering Journal** 26(2): 37-46. (in Thai)
- Chooklin, S., Muadsri, T. and Purintrapibal P. 2017. Nutritional values of Trang indigenous brown rice. **Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal** 12(2): 285-296. (in Thai)
- Goñi, I., Garcia-Alonso, A. and Saura-Calixto, F. 1997. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research** 17(3): 427-437.
- Itagi, H., Sartagoda, K.J.D., Pratap, V., Roy, P., Tiozon, R.N., Regina, A. and Sreenivasulu, N. 2023. Popped rice with distinct nutraceutical properties. **LWT - Food Science and Technology** 173: 114346.
- Kaur, B., Ranawana, V. and Henry, J. 2016. The glycaemic index of rice and rice products : A review, and table of GI values. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 56: 215-236.
- Kaewkaenkoon, K., Pattamang, W., Pang-On, N., Lapjit, F.P., Phumchantuk, P., Borisutdhi, Y. and Choenkwan, S. 2017. In-situ rice genetic conservation through local communities : A lesson on conservation in Northeast Thailand. **Khon Kaen Agriculture Journal** 45 (Suppl. 1): 1528-1533. (in Thai)
- Luh, B.S., Barber, S. and Benedito de Barber, C. 1991. Rice bran : Chemistry and technology, pp. 732-781. In Luh, B.S., ed. **Rice utilization**. Springer Publishers, New York.
- Na-Nakorn, K., Kulrattanarak, T., Hamaker, B.R. and Tongta, S. 2019. Starch digestion kinetics of extruded reformed rice is changed in different ways with added protein or fiber. **Food and Function** 10(8): 4577-4583.
- Panlasigui, L.N. and Thompson, L.U. 2006. Blood glucose lowering effects of brown rice in normal and diabetic subjects. **International Journal of Food Sciences and Nutrition** 57(3-4): 151-158.
- Phanruang, S., Thongnoi, P. and Buabdee, O. 2022. Development of rice germ powder fortified protein. **PSRU Journal of Science and Technology** 7(1): 129-139. (in Thai)
- Rattanadet, W. 2019. Impact of germination on the chemical profile of HomChaiya Rice Wort and Beer. Master of Science, Prince of Songkla University, Hatyai Campus.
- Sangkod, U., Junrod, K., Aiamsaard, K., Thampitak, K. and Hwanhlem, N. 2021. Chemical characteristics of rice bran and its growth enhancement of probiotic *Pediococcus acidilactici* V202. **Naresuan Agriculture Journal** 18(2): 1-11. (in Thai)
- Segnini, S., Pedreschi, F. and Djemek, P. 2004. Volume measurement method of potato chips. **International Journal of Food Properties** 7(1): 37-44.
- Sethupathy, P., Suriyamoorthy, P., Moses, J.A. and Chinnaswamy, A. 2020. Physical, sensory, in-vitro starch digestibility and glycaemic index of granola bars prepared using sucrose alternatives. **International Journal of Food Science & Technology** 55(1): 348-356.
- Sivakamasundari, S. K., Priyanga, S., Moses, J. A. and Anandharamakrishnan, C. 2021. Impact of processing techniques on the glycemic index of rice. **Critical**

Reviews in Food Science and Nutrition 62(12): 3323-3344.

Somkeatkun, W. and Ruengdet, K. 2020. The farming promotion approaches of local Chaiya native rice in Chaiya district, Suratthani province. **Journal of Liberal Arts and Management Science Kasetsart University** 7(2): 37-53. (in Thai)

Sonsomboonsuk, S., Junyusen, T., Moolkaew, P., Junyusen, P., Treeamnuk, T., Taengsopha, P., Chatchavanthatri, N., Nawong, S. and Pakawanit, P. 2024. Effects of cooking methods on the physicochemical, textural and microstructural properties of hot salt puffed germinated brown rice. **Journal of Agriculture and Food Research** 15: 101001.

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.

Thai Industrial Standards Institute. 2019. **OTOP Standard 743/2019 Puffed rice**. Ministry of Industry. (in Thai)

Venkatachalam, K. and Charoenphun, N. 2023. Influence of Pomelo (*Citrus maxima*) Pericarp essential oil on the physicochemical properties of HomChaiya rice (*Oryza sativa* L. cv. HomChaiya) flour-derived edible films. **Membranes** 13(4): 435.

Venn, B.J. and Green, T.J. 2007. Glycemic index and glycemic load: measurement issues and their effect on diet-disease relationships. **European Journal of Clinical Nutrition** 61(Suppl. 1): s122-s131.

Wongpiyachon, S., Songchitsomboon, S., Wasusun, A., Sukviwat, W. and Maneenin, P. 2017. Glycemic index of 12 Thai rice varieties. **Thai Rice Research Journal** 8(2): 54-69. (in Thai)

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.