Thai JPEN

Better Nutrition for Better Life

บทความทบทวนวิชาการ/ Review article

Received: 3 July 2020
Revised: 20 December 2020
Accepted: 31 January 2021

ข้าวไทย 3 สายพันธุ์ กับ การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด
Three Rice of Thailand on Blood Glucose Control

พิธพร ธาดามาตากุล[1], ปทิตตา ส่งศิริ[2], วรัญญา เตชะสุขถาวร[3]

[1]ฝ่ายโภชนาการ โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์ อินเตอร์เนชั่นแนล
[2]ศูนย์โภชนาการและการกำหนดอาหาร โรงพยาบาลเทพธารินทร์
[3]ภาควิชาโภชนาการและการกำหนดอาหาร คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Pithaporn Thadamatakul[1], Patitta Songsiri[2], Varanya Techasukthavorn[3]

[1]Department of Nutrition, Bumrungrad International Hospital
[2]Centre of Nutrition and Dietetic, Theptarin Hospital
[3]Department of Nutrition and Dietetics, Faculty of Allied Health Sciences, Chulalongkorn University

Thai JPEN 2021;29(1):24-33.

บทคัดย่อ

ข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทย และยังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในต่างประเทศทั่วโลก อาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารจำพวกข้าว และแป้ง มีบทบาทสำคัญในการทำให้ภาวะโภชนาการของผู้ป่วยดีขึ้น และจัดการความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังได้ เช่น โรคอ้วน โรคเบาหวาน เป็นต้น บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนคุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ คุณประโยชน์ของข้าว และค่าดัชนีน้ำตาล และทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด โดยเลือกข้าวไทย 3 สายพันธุ์ที่เป็นที่นิยม ได้แก่ ข้าว กข43 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวทับทิมชุมแพ และจากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวแต่ละสายพันธุ์แตกต่างกัน อาจมาจากองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของข้าวแต่ละชนิดที่ไม่เหมือนกัน เช่น ใยอาหาร ปริมาณแป้งในเมล็ดข้าว การขัดสี ขนาดของเมล็ดข้าว เป็นต้น ซึ่งในทางปฏิบัติยังควรที่จะต้องคำนึงถึงปริมาณของการรับประทานข้าวเป็นสำคัญร่วมกับการพิจารณาเลือกพันธุ์ข้าวที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ร่วมกับการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการรับประทานอาหารโดยองค์รวม

Abstract

Rice is the main food of Thai people and becomes popular in many countries around the world. Carbohydrate, especially founded in rice and starch, plays an important role to improve nutritional status and manage the risks of non-communicable diseases, such as obesity and diabetes. This article aimed to review chemical

Corresponding Author:
Pithaporn Thadamatakul, Department of Nutrition, Bumrungrad International Hospital
Bangkok, THAILAND
E-mail: pithaporn.th@gmail.com

and physical characteristic, health benefits, and glycemic index of rice. Moreover, this article will mentioned the effects of rice on glycemic control represented by 3 chosen rice; RD43, Rice-berry, and Thabthim-Chumphae Rice. The findings suggested that different types of rice present with different glycemic index. This may result from the different compositions in fiber level, starch level, rice milling, and grain size. From nutrition practical perspective, we should consider the volume of rice as the first priority. Then the suggestions about the glycemic index level and nutritional level along with overall dietary behavior modification.

คำสำคัญ: ข้าวไทย, น้ำตาลในเลือด, ค่าดัชนีน้ำตาล, เบาหวาน
Keywords: thai rice, blood glucose, glycemic Index, diabetes

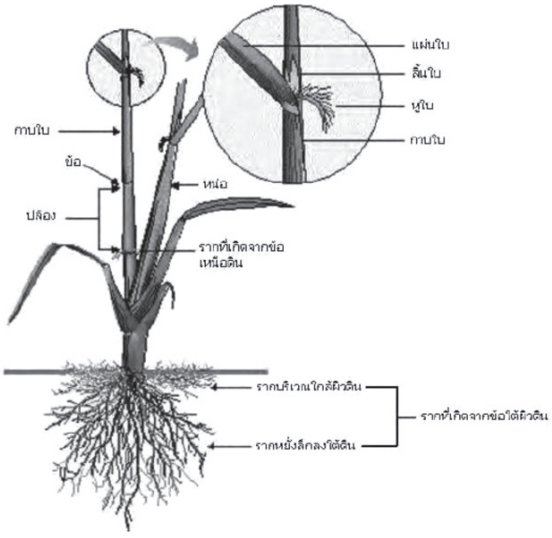
บทนำ

จากรายงาน World Agricultural Supply and Demand Estimates ของ United States Department of Agriculture (USDA) เมื่อวันที่ 12 พ.ค. พ.ศ. 2563 ได้รายงานปริมาณผลผลิตและความต้องการบริโภคข้าวของโลก พบว่าประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตข้าวมากถึง 2.4 ล้านตันต่อปี ใกล้เคียงกับประเทศจีนที่มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 2.3 ล้านตันต่อปี จากการผลิตข้าวทั่วโลกทั้งหมด 502 ล้านตันต่อปี และมีการบริโภคข้าวอยู่ที่ 498.1 ล้านตันต่อปี[1] ในกลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกมีวัฒนธรรมการบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก รวมถึงประเทศไทย ซึ่งขึ้นชื่อว่าเป็นประเทศแห่งการทำเกษตรกรรมมาเป็นเวลานาน มีการทำนา ผลิตข้าว ส่งขายทั้งในประเทศและนอกประเทศ จนเป็นรายได้หลักให้กับเกษตรกรไทยหลายครัวเรือน นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีการวิจัยและพัฒนาสายพันธุ์ข้าวอย่างต่อเนื่อง ภายใต้การดำเนินงานของสำนักวิจัยและพัฒนาข้าว สังกัดกรมการข้าว เพื่อให้เกษตรกรได้เลือกไปปลูกให้เหมาะสมกับพื้นที่การเกษตรและสภาพแวดล้อม ปัจจุบันกรมการข้าวมีพันธุ์ข้าวที่รองรับการปลูกมากถึง 116 สายพันธุ์[2] ข้าวที่นิยมปลูกในประเทศไทย มี 4 ประเภท ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ (ข้าวหอมมะลิ105 ข้าวหอมมะลิทุ่งกุลา) ข้าวขาว (ข้าวเสาไห้) ข้าวเหนียว (ข้าวเหนียวเขี้ยวงู ข้าวเหนียวดำหรือข้าวก่ำ) และข้าวเพื่อสุขภาพ (ข้าวกล้อง ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวสังข์หยด) อย่างไรก็ตาม เมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยเพื่อพัฒนาข้าวเพื่อสุขภาพมากขึ้น และเกิดประเภทของข้าวที่ถูกพัฒนาให้เฉพาะกับกลุ่มผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมน้ำหนักและผู้ป่วยเบาหวานที่มีปัญหาในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ซึ่งการริเริ่มพัฒนาวิจัยข้าวสำหรับผู้ป่วยเบาหวานนั้น สามารถรับกับสถานการณ์ความชุกของโรคเบาหวานที่เพิ่มขึ้นทุกๆ ปี โดยในปี พ.ศ. 2562 สมาพันธ์เบาหวานนานาชาติเผยแพร่รายงาน IDF Diabetes Atlas ว่าสถานการณ์เบาหวานทั่วโลกอยู่ประมาณร้อยละ 9 และมีผู้ที่มีระดับน้ำตาลในเลือดสูงแต่ยังไม่เป็นเบาหวาน (impaired glucose tolerance) อยู่ประมาณร้อยละ 7.7 ของประชากรทั่วโลก ในส่วนของประเทศไทยจากการสำรวจสภาวะสุขภาพประชาชนไทยโดยการตรวจร่างกาย ครั้งที่ 5 ประจำปี พ.ศ. 2556-2557 พบว่าประชากรไทยอายุ 15 ปีขึ้นไปมีความชุกของเบาหวานถึงร้อยละ 8.9 แต่มีผู้เป็นโรคเบาหวานที่ได้รับการรักษาและควบคุมระดับน้ำตาลได้ดีแค่เพียงร้อยละ 23.7 เท่านั้น[3] ดังนั้นการดูแลโภชนาการ การเลือกรับประทานอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต หรือข้าว ซึ่งมีการบริโภคเป็นอาหารหลักนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้ผู้ป่วยมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นและลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคแทรกซ้อน บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนลักษณะทางกายภาพ ทางเคมีและลักษณะทั่วไปของข้าว เปรียบเทียบความแตกต่างของข้าวขาวและข้าวกล้อง เปรียบเทียบปัจจัยทางเคมีและกายภาพที่ส่งผลต่อค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index) ในข้าว และทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของข้าวไทย 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าว กข43 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวทับทิมชุมแพ

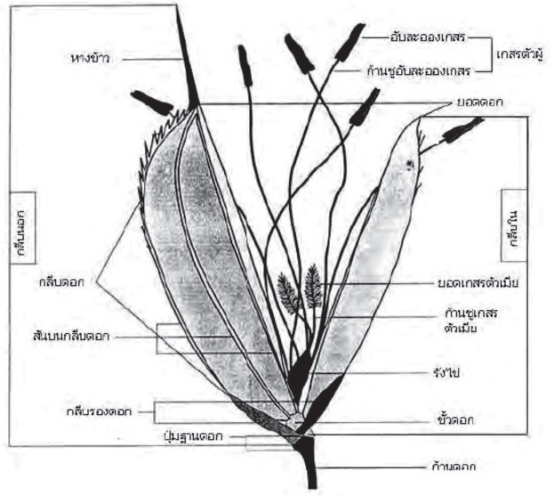
ข้าว

ข้าว (Rice) เป็นพืชตระกูลหญ้าในวงศ์ Poaceae หรือ Gramineae สกุล Oryza โดยมีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Oryza sativa* ข้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวแบบระบบรากฝอย ลักษณะลำต้นเป็นทรงกระบอก ภายในกลวง มีข้อ ปล้อง และมีตาตาม

บริเวณข้อซึ่งสามารถแตกหน่อได้เฉลี่ย 5-15 หน่อ ใบของต้นข้าวมีลักษณะเรียวยาวคล้ายใบหญ้า มีกาบใบห่อหุ้มตาและลำต้นเอาไว้ ด้านนอกของใบบริเวณข้อต่อมีส่วนที่ยื่นออกมาคล้ายหางกระรอก เรียกว่า หูใบ ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของต้นข้าวที่แตกต่างจากพืชตระกูลหญ้าอื่น ๆ ดังรูปที่ 1 ดอกของข้าวมีลักษณะเป็นช่อประกอบไปด้วยดอกย่อยจำนวนมาก ดังรูปที่ 2 หลังการผสมเกสรช่อดอกนี้จะกลายเป็นรวงข้าว เมล็ดข้าวสุกแก่และเก็บเกี่ยวได้ในระยะเวลา 25-30 วัน[4]



รูปที่ 1 ลักษณะของต้นข้าว



รูปที่ 2 ลักษณะของดอกข้าว

โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวเป็นผลเมล็ดเดียวหรือ caryopsis มีผนังผลเชื่อมติดกับเมล็ด แม้รูปร่างของเมล็ดข้าวจะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ แต่มีโครงสร้างหลักเหมือนกัน โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ด เรียกว่า แกลบ และส่วนเนื้อผลหรือผลแท้ (true fruit หรือ caryopsis grain) เรียกว่า ข้าวกล้อง[5,6] ดังรูปที่ 3 และ 4

1. แกลบ (hull หรือ husk) คือส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว ประกอบด้วยเปลือกใหญ่ (lemma) เปลือกเล็ก (palea) หาง (awn) ขั้วเมล็ด (rachilla) และกลีบรองเมล็ด (sterile lemmae) เชื่อมต่อกับก้าน เปลือกใหญ่จะห่อหุ้มอยู่สองในสามของเนื้อที่เมล็ด และมีเปลือกเล็กอยู่ภายใน

2. ข้าวกล้อง (caryopsis หรือ brown rice) คือส่วนที่ใช้บริโภค ประกอบด้วย

a. เยื่อหุ้มผล (caryopsis coat) แบ่งเป็นเนื้อเยื่อสามชั้น ได้แก่ เยื่อชั้นนอก (pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) และเยื่อคั่น (nucellus)

b. เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer) อยู่ด้านในต่อจากเยื่อคั่น เป็นเนื้อเยื่อชนิดเดียวกับเนื้อเมล็ด (endosperm) ประกอบด้วย โปรตีนและไขมัน

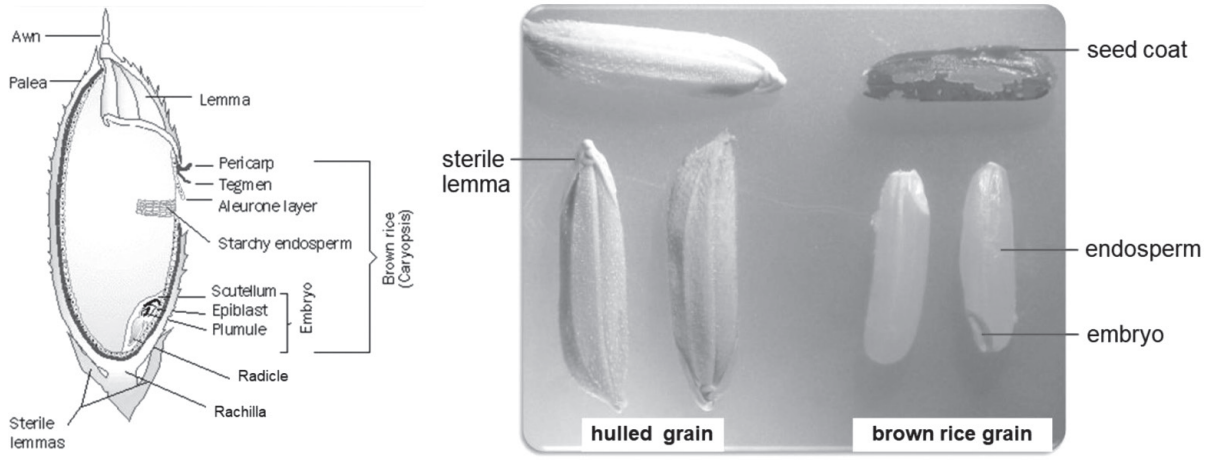
c. เนื้อเมล็ด (endosperm) เป็นส่วนประกอบหลักของเมล็ดข้าว โดยมีส่วนที่เป็นแป้ง (starchy endosperm) หรือ ข้าวสาร เป็นองค์ประกอบหลัก

d. คัพภะ (embryo) อยู่บริเวณด้านท้องของเมล็ดติดกับส่วนที่เป็นแป้ง เป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นอ่อน (plumule) ต่อไป

ส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวนอกเหนือจากส่วนเนื้อข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ โดยหลังกระบวนการสีข้าวเพื่อให้ได้ข้าวสารจะมีผลผลิตอื่น ๆ ได้แก่

1. แกลบ (hull หรือ husk) เป็นส่วนผสมของเปลือกเมล็ด กลีบเลี้ยง ฟางข้าวและขั้วเมล็ด ปริมาณร้อยละ 20-24 ของข้าวเปลือก สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล

2. รำ (bran) เป็นส่วนผสมของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด คัพภะและผิวนอกของข้าวสาร มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 8-10 ของข้าวเปลือก มีคุณค่าทางอาหารสูงทั้งโปรตีน กรดไขมันและสารแกมมา-ออไรซานอล (gamma oryzanol) ปัจจุบันนิยมนำมาสกัดเป็นน้ำมัน เพื่อการประกอบอาหาร ผสมในอาหารเสริมสำหรับเด็ก และเป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอาง



รูปที่ 3 และ **รูปที่ 4** โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

3. ข้าวสาร (milled rice) มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 68-70 ของข้าวเปลือก เป็นข้าวที่ผ่านการขัดสีจนมีความขาวเสมอกัน มีสารอาหารหลักคือแป้งประมาณร้อยละ 90 และโปรตีนอีกเล็กน้อย ข้าวที่ผ่านการขัดขาวจะมีทั้งข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหัก ขึ้นอยู่กับคุณภาพและจำนวนครั้งในการสีข้าว

4. จมูกข้าว (germ) คือส่วนของคัพภะที่หลุดออกจากเนื้อเมล็ดในระหว่างกระบวนการสีข้าว ทำให้ข้าวสารเกิดรอยเว้าแหว่ง ไม่สมบูรณ์เต็มเมล็ด โดยในกระบวนการสีข้าวจะพบจมูกข้าวผสมรวมอยู่ในส่วนของรำข้าว จมูกข้าวเป็นส่วนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงจึงนิยมนำมาสกัดเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและเครื่องดื่ม

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวและส่วนต่างๆ ของข้าว

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวขึ้นกับพันธุ์ข้าว วิธีและสภาวะการปลูก รวมถึงกระบวนการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปเป็นข้าวสาร ข้าวที่ผ่านการขัดขาวจะทำให้ส่วนของคัพภะและเยื่อหุ้มต่าง ๆ หลุดออกไป ส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการและองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ [6]

การจำแนกประเภทข้าว

การแบ่งชนิดของข้าวสามารถแบ่งได้หลายแบบขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนก เช่น แบ่งตามประเภทของเนื้อแข็งในเมล็ดข้าวสาร สภาพพื้นที่เพาะปลูก ฤดูปลูก อายุการเก็บเกี่ยว รูปร่างของเมล็ดข้าวสาร และความไวต่อแสง เป็นต้น

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงการจำแนกชนิดข้าวตามประเภทของเนื้อแข็งในเมล็ดข้าวสาร แบ่งเป็นสองชนิด คือ ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว โดยข้าวทั้งสองชนิดนั้นมีต้นและลักษณะอื่น ๆ เหมือนกันทุกประการ แตกต่างกันเพียงแค่ลักษณะเนื้อแข็งในเมล็ด ซึ่งเป็นผลจากสัดส่วนปริมาณแป้งอะมิโลส (amylose) และอะมิโลเพกติน (amylopectin) ที่ต่างกัน ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำจะมีความเหนียว เกาะติดกันเป็นก้อน ปริมาณอะมิโลสที่สูงขึ้นจะทำให้ข้าวมีความร่วนมากขึ้นและมีความนุ่มน้อยลง

1. อะมิโลส เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของกลูโคสต่อกันเป็นแนวยาว (linear chain) เมื่อทำให้สุกและปล่อยให้เย็นตัวลงจะคืนตัวเป็นของแข็ง (retrogradation) มีผลให้ข้าวสุกร่วนและแข็งกระด้างมากขึ้น

2. อะมิโลเพกติน เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของกลูโคสเชื่อมต่อกันแบบแยกเป็นกิ่งก้านสาขา (branched chain) เมื่อทำให้สุก (gelatinized) และปล่อยให้เย็นตัวลงจะคงสภาพเดิม ทำให้ข้าวสุกเหนียวติดกัน

เมล็ดข้าวเหนียวมีอะมิโลส ประมาณร้อยละ 0-2 และมีอะมิโลเพกตินเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่เมล็ดข้าวเจ้าประกอบด้วยอะมิโลส ประมาณร้อยละ 15-34 พันธุ์ข้าวอะมิโลสต่ำ เช่น ขาวดอกมะลิ 105 กข15 กข21 และปทุมธานี1 พันธุ์ข้าวอะมิโลสปานกลาง เช่น ขาวปากหม้อ ขาวตาแห้ง17 กข7 กข23 สุพรรณบุรี60 พันธุ์ข้าวอะมิโลสสูง เช่น เหลืองใหญ่148 น้ำสะกุย19 เหลืองประทิว123 เล็บมือนาง111 ปิ่นแก้ว56

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีระหว่างส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดข้าว ต่อน้ำหนัก 100 กรัม

องค์ประกอบ	แกลบ	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	รำข้าว	จมูกข้าว
โปรตีน (กรัม)	2.0-2.8	7.1-8.3	6.3-7.1	11.3-14.9	14.1-20.6
ไขมัน (กรัม)	0.3-0.8	1.6-3.1	0.3-0.7	15.0-19.7	16.6-20.5
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (กรัม)	22-34	73-87	77-89	34-62	34-41
แป้ง (กรัม)	1.5	66.4	77.6	13.8	2.1
เส้นใยอาหาร (กรัม)	34.5-45.9	0.6-1.0	0.2-0.5	7.0-11.4	2.4-3.5
น้ำตาล (กรัม)	0.6	0.7-1.9	0.1-0.5	5.5-6.9	8.0-12.0

ที่มา Rice: Chemistry and Technology

ตารางที่ 2 วิตามินในข้าวส่วนต่าง ๆ ที่ความชื้นร้อยละ 14

องค์ประกอบ (μg /g)	แกลบ	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	รำข้าว	จมูกข้าว
วิตามิน A (retinol)	0	0-0.11	0-trace	0-3.6	0-1.0
วิตามิน E (tocopherol)	-	9-25	trace-3	26-130	76
วิตามิน B_1 (thiamin)	0.9-2.1	2.9-6.1	0.2-1.1	12-24	17-59
วิตามิน B_2 (riboflavin)	0.5-0.7	0.4-1.4	0.3-0.6	1.8-4.3	1.7-4.3
วิตามิน B_3 (niacin)	16-42	35-53	13-24	267-499	28-83
วิตามิน B_5 (pantothenic acid)	-	9-15	3-7	20-61	11-28
วิตามิน B_6 (pyridoxine)	-	5-9	0.4-1.2	20-61	11-28
วิตามิน B_7 (biotin)	-	0.04-0.10	0.01-0.06	0.2-0.5	0.3-0.5
วิตามิน B_9 (folate)	-	0.1-0.5	0.03-0.14	0.4-1.4	0.8-4.1
วิตามิน B_{12} (cobalamine)	-	0-0.004	0-0.0014	0-0.004	0-0.01

ที่มา The Rice Grain and its gross composition

กข11 กข13 ปทุมธานี60 เป็นต้น[5]

คุณสมบัติของข้าวต่อค่าดัชนีน้ำตาล

ข้าว เป็นอาหารหลักประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ได้รับความนิยมในการบริโภค จำเป็นต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อทำให้สุกแล้วจึงบริโภคได้ มีวิธีการหุงหรือปรุงประกอบเพื่อให้ได้ข้าวสุกหลายวิธีด้วยกัน เช่น ต้ม นึ่งด้วยความร้อน นึ่งด้วยความดัน นึ่งด้วยไอน้ำ หุงสุกด้วยไมโครเวฟ เป็นต้น กระบวนการสุกของข้าว ก็เสมือนการสุกของแป้งที่ถูกสะสมไว้ในรูปของเม็ดแป้ง (starch granule) ในเมล็ดข้าวนั่นเอง แป้งในข้าวเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดโฮโมพอลีแซ็กคาไรด์ (homopolysaccharide) ประกอบด้วยโมโนแซ็กคาไรด์เพียงชนิดเดียวคือ กลูโคส เชื่อมต่อกับพันธะไกลโคซิดิก และประกอบด้วยพอลิเมอร์ 2 ชนิดคือ อะมิโลส และอะมิโลเพกติน

ค่าดัชนีน้ำตาลมีความสัมพันธ์กับปัจจัยทั้งภายในโครงสร้างของข้าว และปัจจัยภายนอกหลายอย่าง จากการศึกษาของ Foster และคณะ พบว่าข้าวที่มีองค์ประกอบของอะมิโลสมากจะทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดขึ้นช้ากว่าการบริโภคข้าวที่มีสัดส่วนของอะมิโลเพกตินมาก เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของอะมิโลสมีคุณสมบัติทนต่อการย่อยได้มากกว่าอะมิโลเพกติน จึงถูกย่อยและดูดซึมในลำไส้อย่างช้า ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวที่หุงสุกแล้วมีปริมาณอะมิโลสน้อยกว่าข้าวดิบ ซึ่งอาจเกิดจากพันธะโมเลกุลแป้งที่แตกตัวระหว่างการหุงด้วยความร้อน[10]

ตารางที่ 3 วิตามินในข้าวส่วนต่าง ๆ ที่ความชื้นร้อยละ 14

องค์ประกอบ (mg/g)	**แกลบ**	**ข้าวกล้อง**	**ข้าวสาร**	**รำข้าว**	**จมูกข้าว**
แคลเซียม (calcium)	0.6-1.3	0.1-0.5	0.1-0.3	0.3-1.2	0.2-1.0
แมกนิเซียม (magnesium)	0.3	0.2-1.5	0.2-0.5	5-13	4-13
ฟอสฟอรัส (phosphorus)	0.3-0.7	1.7-4.3	0.8-1.5	11-25	10-21
โพแทสเซียม (potassium)	1.5-7.5	0.6-2.8	0.7-1.3	10-20	11-15

ที่มา The Rice Grain and its gross composition

ตารางที่ 4 การจำแนกชนิดข้าวตามประเภทของเนื้อแข็งในเมล็ดข้าวสาร

ประเภทข้าว	**ร้อยละปริมาณอะมิโลส**	**ลักษณะข้าวสุก**
ข้าวเหนียว	0 - 2	เหนียวมาก
ข้าวเจ้า		
- ข้าวอะมิโลสต่ำ	10 - 19	เหนียว - นุ่ม
- ข้าวอะมิโลสปานกลาง	20 - 25	ค่อนข้างร่วนไม่แข็ง
- ข้าวอะมิโลสสูง	26 - 34	ร่วนและแข็ง

ที่มา หนังสือ คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย

ใยอาหารเป็นอีกองค์ประกอบของข้าวที่สำคัญที่มีผลต่อค่าดัชนีน้ำตาลเช่นเดียวกับปริมาณอะมิโลส ซึ่งพบว่าข้าวที่มีสัดส่วนของใยอาหารในปริมาณมาก สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดอย่างช้า ๆ เนื่องจากการที่ใยอาหารช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่ร่างกาย จึงสามารถช่วยให้ค่าดัชนีน้ำตาลลดต่ำลงได้ ตัวอย่างเช่น ข้าวซ้อมมือมีใยอาหารมากกว่าข้าวขาว ทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าข้าวขาว แต่ก็ไม่เสมอไปทุกครั้ง หากมีปัจจัยอื่นเกี่ยวข้องและแสดงอิทธิพลมากกว่า[11]

ขนาดของเมล็ดข้าว อนุภาคของเม็ดแป้งในข้าวก็มีผลต่อค่าดัชนีน้ำตาลเช่นกัน พบว่าข้าวที่มีขนาดเมล็ดเล็กกว่า หรือข้าวที่ผ่านการป่น บดให้มีขนาดเล็กลง จะมีพื้นที่ที่สามารถทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ในการย่อยได้มากกว่า สามารถย่อยและดูดซึมได้เร็ว ส่งผลให้ค่าดัชนีน้ำตาลสูงกว่าได้[12]

นอกจากนี้ การสุกของแป้งคือ การเพิ่มอุณหภูมิจนเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเม็ดแป้ง และเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ เรียกว่า กระบวนการเจลาติไนซ์เซชัน (gelatinization) อยู่ที่ช่วงอุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามแป้งแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิเจลาติไนซ์ที่แตกต่างกันตามชนิดของพืช แต่เมื่อแป้งสุกถูกทิ้งไว้ให้เย็นตัวลง จะเกิดกระบวนการรีโทรกราเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัวของแป้ง ส่งผลให้แป้งมีการจัดเรียงตัวของโครงร่างผลึกที่มีความแข็งแรงกว่าเดิมและเกิดความต้านทานต่อการย่อยได้

ข้าวพันธุ์ กข43

ข้าวพันธุ์ กข43 (RD43 Rice) ถูกคัดเลือกจากการผสมข้ามพันธุ์ลูกผสมเดี่ยวระหว่างพันธุ์ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรีกับพันธุ์สุพรรณบุรี1 ที่ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี โดยปกติข้าวพันธุ์ กข43 ควรปลูกในพื้นที่นาชลประทาน พื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังเป็นเวลานาน หรือพื้นที่ที่เกษตรกรมีเวลาทำนาน้อยกว่าพื้นที่ปลูกข้าวอื่น ๆ รวมไปถึงในพื้นที่ที่มีปัญหาวัชพืชระบาดในนาข้าวแล้ว เนื่องจากพันธุ์ข้าวที่มีความต้านทานต่อโรคใบไหม้และปัญหาเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระดับปานกลาง ในพื้นที่การเกษตรที่มีปัญหาเพลี้ยกระโดดจึงสามารถปลูกได้ ข้าวพันธุ์ กข43 รูปร่างเมล็ดยาวเรียว ท้องไข่น้อย ขนาดเมล็ดข้าวยาว x กว้าง x หนา = 7.5 x 2.1 x 1.8 มิลลิเมตร คุณภาพของเมล็ดทางการหุงต้มรับประทานดี เวลาสุกข้าวจะนุ่ม เหนียว มีกลิ่นหอมอ่อนๆ ใกล้เคียงกับข้าวหอมดอกมะลิ 105[13] โดยมี

ตารางที่ 5 คุณสมบัติทางโภชนาการในเมล็ดข้าวพันธุ์ กข43 100 กรัม

คุณสมบัติทางโภชนาการ	ปริมาณต่อข้าวพันธุ์ กข43	100 กรัม
พลังงาน	350	กิโลแคลอรี
คาร์โบไฮเดรต	79.04	กรัม
ใยอาหาร	2.61	กรัม
โปรตีน	6.72	กรัม
ไขมัน	0.8	กรัม
ธาตุเหล็ก	0.5	มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	65.85	มิลลิกรัม
แคลเซียม	16.28	มิลลิกรัม
ค่าดัชนีน้ำตาล	57.5	

ที่มา: ข้อมูลโภชนาการ ข้าวพันธุ์ กข43[14]

คุณสมบัติทางโภชนาการแสดงดังตารางที่ 5

จากโครงการวิจัยความร่วมมือระหว่างกองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กับคณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล ได้นำข้าวหลายสายพันธุ์รวมถึงข้าวพันธุ์ กข 43 มาศึกษาในห้องปฏิบัติการโดยจำลองสถานะถึงการย่อยและดูดซึมน้ำตาลในลำไส้เล็กของมนุษย์ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ค่ากลูโคสที่ถูกย่อยเร็ว (rapidly available glucose; RAG) และค่ากลูโคสที่ถูกย่อยช้า (slowly available glucose; SAG) โดยทำการวัดที่นาทีที่ 20 และ 120 ของการทดสอบหลังเติมเอนไซม์ย่อยอาหาร ผลทดสอบพบว่าข้าวพันธุ์ กข 43 ให้มีค่า RAG 21.85 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ให้ปริมาณกลูโคสที่ใช้ได้เร็วน้อยกว่าข้าวสายพันธุ์อื่น ซึ่งน่าจะเป็นผลจากปริมาณอะมิโลสต่ำอยู่ประมาณร้อยละ 18.82 เท่านั้น ทำให้เกิดการศึกษาในระยะต่อไปในกลุ่มผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 (ไม่พึ่งอินซูลิน) จำนวน 12 คน เพื่อศึกษาค่าดัชนีน้ำตาล ในผู้ป่วยหลังการบริโภคข้าว โดยให้ผู้ทดสอบรับประทานข้าวและไก่นึ่ง หุงข้าวโดยหม้อหุงข้าวที่คำนวณสัดส่วนน้ำจากค่าอะมิโลส สำหรับกลุ่มควบคุมจะได้รับสารละลายกลูโคส 150 มิลลิลิตรร่วมกับไก่นึ่ง จากนั้นนำผลการทดสอบระดับน้ำตาลมาคำนวณหาค่าดัชนีน้ำตาล พบว่าข้าวพันธุ์ กข 43 มีค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ที่ 57.5 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลปานกลางค่อนข้างต่ำ[15] จากข้อมูลดัชนีน้ำตาลข้างต้น ข้าวพันธุ์นี้เหมาะที่จะเป็นทางเลือกสำหรับการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดี เป็นข้าวเพื่อสุขภาพ สำหรับคนทั่วไปและในผู้ป่วยโรคเบาหวาน

ข้าวไรซ์เบอร์รี่

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (riceberry rice) เป็นข้าวเจ้าที่ได้รับการปรับปรุงสายพันธุ์ โดยศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เกิดจากการผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิล ที่มีสีม่วงดำและมีจุดเด่นคือ ความนุ่ม ความหอม อร่อย และเหนียวหนึบมากกว่าข้าวเจ้าทั่ว ๆ ไป กับข้าวขาวดอกมะลิ105 หรือที่ต่างชาติรู้จักกันว่า ข้าวหอมมะลิไทย ซึ่งเป็นข้าวเจ้าที่นิยมบริโภคมากที่สุดและเป็นสินค้าส่งออกสำคัญของประเทศไทย ลักษณะเมล็ดข้าวเป็นสีขาว เรียวยาวและมีกลิ่นหอมคล้ายใบเตย นิยมปลูกในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เกิดเป็นเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีความนุ่ม ความหอม และรสชาติหวานกลมกล่อม[16]

ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีลักษณะเด่นสำคัญคือ เมล็ดข้าวสีม่วงเข้มคล้ายผลเบอร์รี่สุก ซึ่งสีม่วงเข้มของข้าวสายพันธุ์นี้เกิดจากสารต้านอนุมูลอิสระ ชนิดแอนโธไซยานิน (anthocyanin) ข้าวไรซ์เบอร์รี่จึงเป็นข้าวที่มีสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง เมล็ดข้าวมีผิวมันวาวและขนาดเรียวยาว โดยเมล็ดข้าวที่สีเปลือกออกแล้วจะมีขนาดประมาณ 7-7.5 มิลลิเมตร[17]

ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง (ตารางที่ 6) เนื่องจากผ่านกระบวนการสีข้าวน้อยกว่าข้าวขาว ทำให้ยังคงเหลือส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดและจมูกข้าวมากกว่า รวมถึงมีค่า

ตารางที่ 6 คุณสมบัติทางโภชนาการในเมล็ดข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ 100 กรัม

คุณสมบัติทางโภชนาการ	ปริมาณต่อข้าวไรซ์เบอร์รี่ 100 กรัม	
อุณหภูมิแป้งสุก	< 70	องศาเซลเซียส
ธาตุเหล็ก	1.3-1.8	มิลลิกรัม
ธาตุสังกะสี	3.19	มิลลิกรัม
โอเมกา 3	25.51	มิลลิกรัม
วิตามิน อี	678	ไมโครกรัม
โฟเลต	48.1	ไมโครกรัม
เบต้า-แคโรทีน	63	ไมโครกรัม
โพลีฟีนอล	113.5	มิลลิกรัม
แทนนิน	89.33	มิลลิกรัม
แกมมา-โอไรซานอล	462	ไมโครกรัม
ค่าอะมิโลส	14-18	กรัม
ค่าดัชนีน้ำตาล	62	

ที่มา วิทยาศาสตร์ข้าวและหน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว

ดัชนีน้ำตาลอยู่ในระดับปานกลางค่อนข้างต่ำ ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดค่อย ๆ ขึ้นอย่างช้า ๆ เนื่องจากร่างกายสามารถเปลี่ยนแป้งในข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นน้ำตาลได้ช้า จึงเป็นข้าวที่เหมาะสำหรับผู้ที่มีภาวะน้ำตาลสูง[16]

ข้าวไรซ์เบอร์รี่อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด เช่น แอนโธไซยานิน เบต้า-แคโรทีน แกมมา-โอไรซานอล วิตามินอี และแทนนิน[16] สารแอนโธไซยานินในข้าวไรซ์เบอร์รี่มีผลช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด จากงานวิจัยในผู้ใหญ่สุขภาพดี พบว่าระดับน้ำตาลในเลือดหลังการรับประทานผลิตภัณฑ์ขนมปังจากข้าวไรซ์เบอร์รี่นั้นมีค่าต่ำกว่าการรับประทานขนมปังที่ทำจากแป้งสาลี และข้าวหอมมะลิ [18]

ทั้งยังช่วยเพิ่มปริมาณของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) และกระบวนการ glutathione peroxidase (GPx) ภายในตับ ลดการอักเสบของตับจากภาวะน้ำหนักเกิน ช่วยลดน้ำหนักในสัตว์ทดลองอีกด้วย นอกจากนี้การได้รับสารสกัดแอนโธไซยานินร่วมกับสารกาบา (γ-aminobutyric acid; GABA) จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ ช่วยลดระดับน้ำตาล ไตรกลีเซอไรด์ และคอเลสเตอรอลในเลือด รวมถึงลดภาวะดื้อต่ออินซูลินในหนูทดลอง จึงช่วยจำกัดโอกาสการเกิดโรคเบาหวานและภาวะแทรกซ้อนจากโรคเบาหวานอีกด้วย[19]

นอกจากส่วนของเมล็ดข้าวแล้ว สารแอนโธไซยานินยังพบในรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ รวมทั้งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ (bioactive compounds) เช่น สารฟีโนลิก ฟลาโวนอยด์ โพรแอนโธไซยานิน โทโคไตรอีนอล(วิตามินอี) แกมมาโอไรซานอล กรดเฟอรูลิก และเบต้า-แคโรทีน การศึกษาผลของน้ำมันที่สกัดจากรำข้าวไรซ์เบอร์รี่พบว่า สามารถลดภาวะดื้อต่ออินซูลินในสัตว์ทดลองที่มีภาวะน้ำตาลสูง รวมถึงกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนอินซูลินและเพิ่มการทำงานของ glucose transporter 4 (GLUT4) ในกลไก glucose transporter proteins[20] อีกทั้งเพิ่มระดับของ LDL receptor และ HMG-CoA reductase mRNA ส่งผลให้ระดับคอเลสเตอรอลในตับและหลอดเลือดลดลงเช่นกัน[21]

การรับประทานข้าวไรซ์เบอร์รี่ สารสกัดหรือผลิตภัณฑ์จากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีผลเชิงบวกต่อสุขภาพของในหลาย ๆ ด้าน เช่น ช่วยลดระดับน้ำตาลในหลอดเลือด ลดภาวะดื้อต่อฮอร์โมนอินซูลิน ลดระดับคอเลสเตอรอล การอักเสบของตับและลดน้ำหนักได้ ทั้งนี้การศึกษาผลจากการรับประทานข้าวและผลิตภัณฑ์จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ในกลุ่มผู้ป่วยเบาหวานหรือผู้ที่มีภาวะระดับน้ำตาลในเลือดสูงยังค่อนข้างจำกัด

ข้าวทับทิมชุมแพ

ข้าวทับทิมชุมแพ (Thabthim Chumphae rice หรือ Chumphae ruby rice) เป็นข้าวในกลุ่มข้าวเจ้า ที่ผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่างข้าวสังข์หยดของภาคใต้ และข้าวเจ้าขาวหอมมะลิ 105 จากภาคตะวันออก เฉียงเหนือของประเทศไทย มีลักษณะเด่นที่สำคัญคือ เมล็ดข้าวเรียวยาวและมีเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวสีแดง เมื่อนำมาหุงสุกเมล็ดข้าวจะมีสีแดงใสคล้ายทับทิม รสชาติเหนียวนุ่มคล้ายข้าวญี่ปุ่นเนื่องจากมีปริมาณอะมิโลสต่ำ นอกจากนี้ยังคุณค่าทางโภชนาการสูง มีโปรตีน ธาตุเหล็ก ฟอสฟอรัส และสารต้านอนุมูลอิสระ[22] ดังตารางที่ 7 คุณสมบัติทางโภชนาการในเมล็ดข้าวกล้องทับทิมชุมแพ 100 กรัม

สารต้านอนุมูลอิสระอีกชนิดที่พบมากในข้าวทับทิมชุมแพ คือ ฟีโนลิกและฟลาโวนอยด์ ฟีโนลิกเป็นทั้งสารต้านอนุมูลอิสระและสารต้านการกลายพันธุ์ สามารถลดความเสี่ยงต่อโรคหัวใจขาดเลือดและโรคมะเร็ง[25] จากงานวิจัยพบว่า กรดฟีโนลิกมีฤทธิ์ต้านการออกซิเดชันของไขมันแอลดีแอล (low density lipoprotein; LDL) เช่นเดียวกันกับฟลาโวนอยด์ สารพฤกษเคมีอีกชนิดหนึ่งที่มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเนื้องอกและหลอดเลือดภายในเนื้องอกได้เช่นกัน[25] นอกจากนี้ข้าวทับทิมชุมแพยังมีสารแอลฟา-โทโคฟีรอล และ

ตารางที่ 7 คุณสมบัติทางโภชนาการในเมล็ดข้าวกล้องทับทิมชุมแพ 100 กรัม

คุณสมบัติทางโภชนาการ	ปริมาณต่อข้าวกล้องทับทิมชุมแพ 100 กรัม	
ธาตุเหล็ก	1.34	มิลลิกรัม
แคลเซียม	8.01	มิลลิกรัม
โอเมก้า 3	25.35	มิลลิกรัม
โอเมก้า 6	610.98	มิลลิกรัม
โอเมก้า 9	812.7	มิลลิกรัม
ฟีโนลิก	7,048.13	มิลลิกรัม
ฟลาโวนอยด์	5,233.14	มิลลิกรัม
แอนโธไซยานิน	0.058	มิลลิกรัม
สารต้านอนุมูลอิสระรวม	308	มิลลิกรัม
วิตามินบี1	0.17	มิลลิกรัม
ใยอาหาร	4.32	กรัม
ค่าอะมิโลส	12.63	กรัม
ค่าดัชนีน้ำตาล	58.8	

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว

แกมมา-โอไรซานอล ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ช่วยลดการดูดซึมคอเลสเตอรอลจากอาหารและลดการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในตับ ขณะเดียวกันก็ช่วยเพิ่มระดับไขมันดีในร่างกาย ช่วยลดโอกาสการตีบตันของหลอดเลือดและโอกาสการเกิดโรคหัวใจ เพิ่มการไหลเวียนของโลหิตและเพิ่มระดับฮอร์โมนอินซูลินในร่างกาย จึงสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยเบาหวานได้[24]

จากงานวิจัยของมหาวิทยาลัยขอนแก่นพบว่า การได้รับสารไฮโดรไลเสทจากรำข้าวทับทิมชุมแพระยะเวลานาน 3 สัปดาห์ ช่วยลดระดับความดันโลหิต ลดความต้านทานหลอดเลือด (vascular resistance) และลดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) ในหนูทดลองที่มีภาวะความดันโลหิตสูง รวมทั้งเพิ่มการคลายตัวของหลอดเลือดเมื่อได้รับยากลุ่มแอซิติลโคลีนได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[25] นอกจากนี้ยังมีสารอาหารและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูง มีใยอาหารและสารพฤกษเคมี (phytochemicals) ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้ ช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดก่อนอาหาร ลดระดับไขมันไตรกลีเซอไรด์ และลดการหลั่งอินซูลินในหนูทดลองที่กินอาหารโดยมีสัดส่วนไขมันและน้ำตาลฟรุกโทสสูงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน[26] อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีงานวิจัยที่ทดสอบในมนุษย์เพื่อตรวจสอบถึงประสิทธิผลของการบริโภคสารไฮโดรไลเสทจากรำข้าวทับทิมชุมแพ

สรุป

ข้าวไทย ถือว่าเป็นข้าวที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง มีการบริโภคอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศและต่างประเทศ การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวให้ดีต่อสุขภาพยิ่งขึ้น ได้แก่ การพัฒนาข้าวดัชนีน้ำตาลต่ำ เพื่อชะลอการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือด การพัฒนาข้าวที่มีสารต่านอนุมูลอิสระและคุณค่าทางโภชนาการสูง ซึ่งเป็นความท้าทายของภาคอุตสาหกรรมข้าวในปัจจุบัน จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลในข้าวแต่ละสายพันธุ์แตกต่างกันมาจากองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของข้าวแต่ละชนิดที่ไม่เหมือนกัน ได้แก่ ปริมาณใยอาหาร ปริมาณแป้งในเมล็ดข้าว ดังเช่นค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวกล้องจะต่ำกว่าข้าวขาวเมื่อเปรียบเทียบในสายพันธุ์ข้าวเดียวกัน สายพันธุ์ข้าวที่ได้รับรองว่ามีค่าดัชนีน้ำตาลค่อนข้างต่ำที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่ ข้าว กข43 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวทับทิมชุมแพ ซึ่งพัฒนามาจากการวิจัยดัดแปลงและผสมพันธุ์ข้าว ให้มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ นอกจากนี้ ยังพบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวทับทิมชุมแพเป็นข้าวที่สีสารพฤกษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระสูง ส่งผลต่อสุขภาพเชิงบวกเมื่อได้บริโภค อย่างไรก็ตาม ยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีกมากที่ส่งผลต่อค่าดัชนีน้ำตาล เช่น การขัดสี ขนาดของเมล็ดข้าว วิธีการปรุงให้ข้าวสุก ปฏิกิริยาของข้าวในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เป็นต้น ดังนั้นในทางปฏิบัติหรือการให้คำแนะนำทางด้านโภชนาการนั้น ยังต้องพิจารณาพฤติกรรมการบริโภคอาหารโดยรวมรายบุคคล และต้องคำนึงถึงปริมาณของการรับประทานข้าวเป็นสำคัญที่สุด ร่วมกับการเลือกชนิดของข้าวที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ภายใต้คำแนะนำของแพทย์และนักกำหนดอาหารต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. United State Department of Agricultural. World Agricultural Supply and Demand Estimates Technology [Internet] 2020 [cited 2020 June 14]. Available from: URL: https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/wasde0520.pdf
2. สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. องค์ความรู้เรื่องข้าว-พันธุ์ข้าว. [อินเทอร์เน็ต] 2561 [เข้าถึงเมื่อ 2563 มิถุนายน 14]; เข้าถึง

ได้จาก: URL: http://www.ricethailand.go.th/Rkb/varieties/index.php-file=content.php&id=1.htm

3. สมาคมโรคเบาหวานแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, สมาคมต่อมไร้ท่อแห่งประเทศไทย, กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข และคณะ. แนวทางเวชปฏิบัติสำหรับโรคเบาหวาน 2560. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ร่มเย็นมีเดีย, 2560. หน้า 5-9.
4. สมัคร ยิ่งยง, ลือชัย อารยะรังสฤษฏ์, สมทรง โชติชื่น. สุดยอดข้าวไทย. กรุงเทพฯ: บริษัท ข้าวรัชมงคล จำกัด, 2551.
5. จารุวรรณ บางแวก. คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2547.
6. อรรถพร ปัญญา. การพัฒนาชุดตรวจสอบข้าวเก่าอย่างง่าย [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต]. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, 2557.
7. Jinsong Bao. Rice: Chemistry and Technology. 4th edition. Dokata: the AACC International Press, 2018.
8. Champagne ET, Wood DF, Juliano BO, Bechtel DB. The rice grain and its gross composition, rice chemistry and technology. [Internet] 2004 January [cited 2020 June 14]; Available from: URL:https://www.researchgate.net/publication/289987328_CHAPTER_4_THE_RICE_GRAIN_AND_ITS_GROSS_COMPOSITION)
9. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. [อินเทอร์เน็ต] [เข้าถึงเมื่อ 2563 มิถุนายน 14]; เข้าถึงได้จาก: URL: http://agron.agri.kps.ku.ac.th/index.php/en/2015-04-20-02-02-25/020229212/chapter2
10. Foster-Powell K, Holt SH, Brand-Miller JC. International table of glycemic index and glycemic load values. Am J Clin Nutr 2002;76(1):5-56.
11. Chang UJ, Hong YH, Jung EY, Suh HJ. Rice and the glycemic index. In: Watson RR, Zibadi S, Preedy VR, editors. Wheat and rice in disease prevention and health. San Diego: Academic Press; 2014:357-63.
12. Lee C, Shin JS. Effects of different fiber content of rice on blood glucose and triglyceride levels in normal subject. J Korean Soc Food Sci Nutr 2002;31(6):1048-51.
13. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. พันธุ์ข้าว กข43 (RD๔๓). [อินเทอร์เน็ต] 2560 [เข้าถึงเมื่อ 2563 มิถุนายน 14]; เข้าถึงได้จาก: http://www.ricethailand.go.th/rkb3/15%E0%B8%81%E0%B8%8243.pdf
14. กรมการข้าว. ข้าว กข43. 2560. [อินเทอร์เน็ต] [เข้าถึงเมื่อ 2563 มิถุนายน 14]; เข้าถึงได้จาก: https://www.thairicedb.com/rice-detail.php?id=27.
15. อังศุธรย์ วสุสัณห์, สุนันทา วงค์ปิยชน, ศรีวัฒนา ทรงจิตสมบูรณ์, วัชรี สุขวิวัฒน์, ปราณี มณีนิล และสุพรรณิการ์ ปักเคธาติ. ข้าวพันธุ์กข43 : ข้าวดัชนีน้ำตาลปานกลาง สำหรับตลาดข้าวเฉพาะ. วารสารวิชาการข้าว 2560;8(2):45-53.
16. กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. Thai rice for life. นนทบุรี: บริษัท ศิริวัฒนาอินเตอร์พริ้นท์ จำกัด (มหาชน), 2559.
17. ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวและหน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว. [อินเทอร์เน็ต] 2554 [เข้าถึงเมื่อ 2563 มิถุนายน 8]; เข้าถึงได้จาก: http://dna.kps.ku.ac.th/index.php/articles-ricersc-rgdu-knowledge/29-2015-03-27-02-0415/53-riceberry
18. Chusak C, Pasukamonset P, Chantarasinlapin P, Adisakwattana S. Postprandial glycemia, insulinemia, and antioxidant status in healthy subjects after ingestion of bread made from anthocyanin-rich riceberry rice. Nutrients 2020;12(3):782.
19. Chaiyasut C, Sivamaruthi BS, Pengkumsri N, Keapai W, Kesika P, Saelee M, et al. Germinated Thai black rice extract protects experimental diabetic rats from oxidative stress and other diabetes-related consequences. Pharmaceuticals 2017;10(1):3.
20. Boue SM, Daigle KW, Chen MH, Cao H, Heiman ML. Antidiabetic potential of purple and red rice (*oryza sativa* l.) bran extracts. J Agric Food Chem 2016;64(26):5345-453.
21. Kongkachuichai R, Prangthip P, Surasiang R, Posuwan J, Charoensiri R, Kettawan A, et al. Effect of Riceberry oil (deep purple oil; *Oryza sativa* Indica) supplementation on hyperglycemia and change in lipid profile in Streptozotocin (STZ)-induced diabetic rats fed a high fat diet. Int Food Res J 2013;20(2):873-82.
22. โครงการ Thai Rice For life. [อินเทอร์เน็ต] 2559 [เข้าถึงเมื่อ 2563 มิถุนายน 14]; เข้าถึงได้จาก: URL: http://www.thairiceforlife.com/
23. ชาติชาย ศิริพัฒน์. ข้าวทับทิมชุมแพ. [อินเทอร์เน็ต] 2557 [เข้าถึงเมื่อ 2562 สิงหาคม 26]; เข้าถึงได้จาก: URL: https://www. thairath.co.th/ content/461181
24. นิภาพร ชนะคช. แกมมาออริซานอล สาระสำคัญในข้าว. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 2560;56(205):26-7.
25. Chumjit S, Sangartit W, Senaphan K, Tubsakul A, Pakdeechote P, Kukongviriyaporn V, et al. Antihypertensive and antioxidative effects of Tubtim Chum Phae Rice bran hydrolysates in L-NAME-induced hypertensive rats. Srinagarind Med J 2016;61.
26. Ponglong J, Senggunprai L, Tungsutjarit P, Changsri R, Proongkhong T, Thawornchinsombut S, et al. Hydrolysate and ethanolic extract of Tubtim-Chumphae Rice bran improve insulin resistance in high fat-high fructose diet fed rats. Srinagarind Med J 2018;59.