

ผลของระดับปริมาณอะไมโลสของข้าวกล้องที่มีต่อคุณลักษณะ การดูดซึมน้ำระหว่างกระบวนการแช่

The effect of amylose content on water absorption characteristics of brown rice during soaking process

สุนัน ปานสาคร^{1*} และ จตุรงค์ ลังกาพินธุ์¹

Sunan Parnsakhorn^{1*} and Jaturong Langkapin¹

บทคัดย่อ: ข้าวกล้องสามสายพันธุ์ได้แก่ หอมปทุม กข7 และ กข41 ที่มีค่าอะไมโลสเท่ากับ 18.09, 23.18 และ 28.84% และจัดอยู่ในกลุ่มอะไมโลสต่ำ อะไมโลสปานกลาง และอะไมโลสสูง ตามลำดับ ถูกนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี รวมทั้งนำเมล็ดข้าวกล้องดังกล่าวมาแช่ในน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 30, 45 และ 60 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งปรับค่าระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ pH5 และ pH7 จนกระทั่งความชื้นคงที่ เพื่อวิเคราะห์หาสมการทางคณิตศาสตร์ของลักษณะการดูดซึมน้ำของข้าวกล้องระหว่างกระบวนการแช่บนพื้นฐานสมการอ้างอิงของ Crank (1975) จากการทดสอบลักษณะการดูดซึมน้ำของข้าวกล้องทั้งสามพันธุ์ พบว่าปริมาณอะไมโลสที่แตกต่างกันส่งผลต่อลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นที่แตกต่างกันในทั้งสามอุณหภูมิ (30, 45 และ 60 องศาเซลเซียส) โดยเฉพาะค่าอะไมโลสต่ำสามารถดูดซึมน้ำได้อย่างรวดเร็ว จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นระหว่างกระบวนการแช่และการประมาณค่าด้วยสมการพื้นฐาน $MR = A_i \exp(-Kt)$ ซึ่งใช้กับวัตถุรูปทรงกระบอก เมื่อค่า “K” คือสัมประสิทธิ์อัตราการดูดซึมน้ำ (the coefficient of water absorption rate) และค่า “ A_i ” คือ ค่าคงที่แสดงรูปร่างของวัตถุ (Shape factor) จากการวิเคราะห์ค่า “K” และ “ A_i ” ของข้าวกล้องทั้งสามสายพันธุ์ในช่วงอุณหภูมิการแช่ 30 ถึง 60 องศาเซลเซียส พบว่าที่ pH 5 ให้ค่า “K” ในช่วง 0.7406-2.1751 h⁻¹ และที่ pH 7 ให้ค่า “K” ในช่วง 0.6430-1.5632 h⁻¹ โดยค่า “ A_i ” มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่นานขึ้นของกระบวนการแช่

คำสำคัญ: ปริมาณอะไมโลส, การดูดซึมน้ำ, สัมประสิทธิ์การดูดซึมน้ำ, ข้าวกล้อง

ABSTRACT: Three brown rice varieties are Thai Pathumthani Fragrant Rice (Pathumthani F.), RD 7 and RD 41 containing 18.09, 23.18 and 28.84 % of amylose content were categorized as low, medium and high amylose content, respectively and the physicochemical characteristics were determined. All brown rice kernels were steeped in water adjusted pH to 5.0 and 7.0 at three different temperature levels (30, 45 and 60°C) until reaching equilibrium moisture content. The water absorption characteristics were measured and reported base on Crank (1975) equation. The results found that the difference in amylose content of brown rice has significant effect on water absorption characteristics at three temperature levels (30, 45 and 60°C) especially within low amylose content group. Therefore, the Pathumthani F. rice could absorb water more rapidly than RD 7 and RD 41. Using the measured moisture data, a non-linear regression method was applied to approximate the diffusion equation $MR = A_i \exp(-Kt)$ for infinite cylinder shape. The coefficient of water absorption rate (K) and the geometrical shape factor using the value of constant A_i were estimated. Analysis of variance showed that the coefficient of water absorption rate of three brown rice varieties were 0.7406-2.1751 h⁻¹ for soaking in a buffer solution (pH 5.0) and 0.6430-1.5632 h⁻¹ for soaking in a solution at pH 7.0 at the three soaking temperatures ranging from 30 to 60°C. Moreover the value of geometric factor increased when the soaking temperature was higher and soaking time was longer.

Keywords: Amylose content, Water absorption, Coefficient of water absorption rate; Brown rice

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Thanyaburi Thanyaburi Pathumthani 12110

* Corresponding author: sunanpan@yahoo.com

บทนำ

ข้าว (rice) เป็นพืชกลุ่มธัญพืชที่เป็นอาหารหลักของประชากรกว่าครึ่งโลก หลังการเก็บเกี่ยวข้าวจะถูกนำมาลดความชื้นเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และบางส่วนนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ประเทศไทยมีข้าวอยู่หลากหลายสายพันธุ์ เช่น ข้าวหอมมะลิ, กข 7, กข 41 และอื่นๆ ที่ใช้บริโภคภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศ ทำรายได้จำนวนมหาศาล แต่หากแบ่งกลุ่มของข้าวตามปริมาณอะไมโลส สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ จะมีลักษณะเหนียวนุ่ม ข้าวที่มีอะไมโลสปานกลางจะมีลักษณะค่อนข้างร่วนไม่แข็ง และข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะมีลักษณะร่วนและแข็ง (งามชื่น และคณะ, 2547) ปัจจุบันการบริโภคข้าวมิได้เพียงบริโภคเพื่อให้อิ่มเท่านั้นแต่ผู้บริโภคยังคำนึงถึงคุณค่าทางอาหาร ดังนั้นผู้บริโภคจึงหันมาให้ความสนใจบริโภคข้าวกล้องมากขึ้นกว่าการบริโภคข้าวขัดขาวเนื่องจากข้าวกล้องมีสารอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามินบี วิตามินอี แร่ธาตุที่แยกไปอยู่ในส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว และข้าวกล้องยังมีส่วนช่วยป้องกันและยับยั้งการเกิดโรคมะเร็ง (Hoseney, 1994; Meyer et al., 2000) รวมถึงปัจจุบันกระแสเรื่องการดูแลสุขภาพกำลังเป็นที่แพร่หลายและได้รับความสนใจ ดังนั้นผลิตภัณฑ์อาหารที่เกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นอาหารเสริมหรืออาหารเพื่อสุขภาพจึงได้รับความนิยม ถึงแม้ราคาจะสูงเมื่อเทียบกับกลุ่มอาหารทั่วไป จึงส่งผลให้ข้าวกล้องซึ่งมีคุณค่าทางอาหารสูงกลายเป็นวัตถุดิบหลักที่มักนำมาใช้ในการแปรรูปเป็นอาหารเพื่อสุขภาพในรูปแบบต่างๆ เช่น ข้าวกล้องหุงสุกพร้อมบริโภค ข้าวกล้องหุงสุกใส่ในภาชนะพลาสติกอ่อนตัว เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคุณสมบัติต่างๆ ของข้าวกล้องในแต่ละสายพันธุ์ที่ผู้ประกอบการต้องมิจึงเป็นเรื่องสำคัญมาก

เมื่อพิจารณากระบวนการแปรรูปข้าวกล้องในผลิตภัณฑ์ต่างๆ พบว่า ด้วยเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างแข็งของเมล็ดข้าวกล้องรวมถึงข้าวกล้องมีเยื่อสีน้ำตาลที่ห่อหุ้มเมล็ดซึ่งขัดขวางการดูดซึมน้ำในระหว่างการแช่และ

หุง (รัชนีวรรณ และคณะ, 2556; Horigane et al., 2006) ดังนั้นก่อนการแปรรูปข้าวกล้องจึงต้องนำไปผ่านการแช่น้ำเพื่อให้เมล็ดข้าวดูดซึมน้ำเข้าไปภายในเมล็ดจะได้สะดวกต่อการแปรรูปต่อไป จากรายงานวิจัยที่ได้มีการเผยแพร่ การแช่ข้าวในน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และลักษณะปรากฏหลังการหุงของเมล็ดข้าว (Koide et al., 2001) สภาวะการแช่ เช่น ค่าความเป็นกรดของน้ำที่ใช้แช่ อุณหภูมิ และเวลา มีผลอย่างยิ่งต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำ การเปลี่ยนแปลงค่าสี การละลายของแป้งข้าวโดยเฉพาอย่างยิ่งที่อุณหภูมิสูงจะเกิดการสูญเสียของสารอาหารในเมล็ดข้าว (Kim et al., 2004; Yamakura et al., 2005; Thakur and Gupta, 2006; Chung et al., 2009) รวมถึงการแช่ข้าวในน้ำที่นานจนเกิดการปริแตกของเมล็ดหรือความชื้นสูงเกินไปจะส่งผลต่อการเสียรูปร่างของเมล็ดข้าวหลังการหุงสุก (Bhattacharya, 1985) นอกจากนี้ยังมีรายงานเรื่องการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นระหว่างการแช่ข้าวยังขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของเมล็ดข้าว ปริมาณอะไมโลส ระดับของโปรตีน เป็นต้น (Bett-Garber et al., 2007)

จากที่กล่าวมาทั้งหมดจึงพบว่าผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องมีแนวโน้มการบริโภคเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแต่ละกระบวนการไม่สามารถหลีกเลี่ยงขั้นตอนการแช่ข้าวกล้องในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อเพิ่มความชื้นให้กับข้าวกล้องได้ และจากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าข้อมูลพื้นฐานทางด้านลักษณะการดูดซึมน้ำของข้าวกล้องที่มีปริมาณอะไมโลสต่างกันของข้าวสายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย รวมถึงการอ้างอิงสมการลักษณะการดูดซึมน้ำของข้าวกล้องโดยการสร้างสมการพื้นฐานยังไม่มีรายงานวิจัยที่ชัดเจน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาระดับปริมาณอะไมโลสของข้าวกล้องที่มีต่อคุณลักษณะการดูดซึมน้ำระหว่างกระบวนการแช่เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปพัฒนากระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์จากข้าวที่ขั้นตอนการผลิตต้องเกี่ยวข้องกับการแช่ข้าวในน้ำ เช่น ข้าวหนึ่งจากข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกสด ข้าวกล้องงอกแห้ง น้ำข้าวกล้องงอก แป้งข้าวกล้อง รวมทั้งข้าวกล้องหุงสุกเพื่อการบริโภค

หรือกระบวนการแปรรูปข้าวกล้องในรูปแบบอื่นๆต่อไป

วิธีการศึกษา

เตรียมตัวอย่างข้าวกล้อง: จัดซื้อข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวหอมมะลิ (Pathum F.), กข 7 (RD 7), กข 41 (RD 41) จากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ซึ่งเป็นข้าวใหม่ อายุหลังการเก็บเกี่ยวไม่เกิน 1 เดือน หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกแต่ละสายพันธุ์แยกใส่ถุง ถุงละ 1 กิโลกรัม จัดเก็บในตู้เย็น (4 ± 1 องศาเซลเซียส) รอการนำมาทดสอบ ก่อนการทดสอบนำข้าวเปลือกออกจากตู้เย็นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงกะเทาะเอาเปลือกออกด้วยเครื่องกะเทาะ (NW 2000, TURBO) พร้อมทั้งคัดข้าวหักออกเพื่อให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดทั้งหมด ทดสอบความชื้นของข้าวกล้องเริ่มต้นด้วยการอบ โดยชั่งน้ำหนักข้าวกล้อง 30 กรัม อบที่อุณหภูมิ 120 ± 1 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง (AOAC, 2000)

ขั้นตอนการแช่: เตรียมตัวอย่างข้าวกล้องแต่ละพันธุ์โดย ชั่งเมล็ดข้าวกล้องด้วยเครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง ปริมาณ 20 กรัม/หนึ่งห่อ และห่อด้วยผ้าขาวบาง และนำน้ำกลั่นมาทำการปรับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำตามที่ตั้งไว้ (pH 5) โดยใช้กรดแอซิติก (Acetic acid) พร้อมทั้งอ่านค่าด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (ยี่ห้อ Sartorius รุ่น Docu-pH) หลังจากนั้นชั่งน้ำที่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างแล้ว 400 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เตรียมไว้ระหว่างนั้นทำการปรับอุณหภูมิของน้ำในอ่างต้มน้ำ (Water bath) โดยเลือกตั้งค่าอุณหภูมิที่ 30 ± 1 องศาเซลเซียส เมื่อได้อุณหภูมิตามต้องการนำบีกเกอร์ที่มีน้ำปรับค่าความเป็นกรด-ด่างแล้ววางด้านใน โดยให้ระดับน้ำในอ่างน้ำสูงกว่าระดับน้ำในบีกเกอร์ วัดอุณหภูมิของน้ำในบีกเกอร์ด้วยเทอร์โมมิเตอร์จนได้ตามต้องการ (30 ± 1 องศาเซลเซียส) หลังจากนั้นจึงเริ่มการแช่ตัวอย่างข้าวกล้องโดยนำตัวอย่างข้าวกล้องที่ห่อด้วยผ้าขาวบางใส่ในบีกเกอร์จำนวน 15 ห่อ พร้อมทั้งเริ่มจับเวลา 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างข้าวกล้อง 1 ห่อ

ขึ้นจากน้ำและซับน้ำออกจากเมล็ดข้าวกล้องจนแห้ง ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปพร้อมบันทึกผล ทำเช่นนี้จนกระทั่งน้ำหนักข้าวกล้องคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นนำไปคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นต่อไป ทำการทดลองซ้ำโดยปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 7 (ระดับกลาง) และอุณหภูมิของน้ำ 45 ± 1 องศาเซลเซียส และ 60 ± 1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยทำเช่นนี้กับทุกสายพันธุ์ข้าว

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าตัวแปรต่างๆ: จากการทดลองแช่ข้าวกล้องในน้ำที่อุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ สามารถนำมาวิเคราะห์หาสมการการดูดซึมน้ำโดยอ้างอิงสมการจาก Crank (1975)

$$M = M_s - (M_s - M_o) A_i \exp(-D \lambda_i^2 t) \quad (1)$$

$$\text{หรือ } \ln[(M_s - M)/(M_s - M_o)] = -D \lambda_i^2 t + \ln A_i$$

$$\text{หรือ } MR = \ln[(M_s - M)/(M_s - M_o)] = -Kt + \ln A_i \quad (2)$$

จากสมการที่ 2 โดยที่ค่า MR คือ อัตราส่วนความชื้น, M_s คือ ความชื้นอิ่มตัว (%w.b.), M_o คือ ความชื้นเริ่มต้น (%w.b.), M คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ ระหว่างการแช่ (%w.b.), A_i คือ ค่าคงที่แสดงรูปร่างของวัตถุ (Shape factor), D คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (m^2/s), λ คือ รูปร่างเรขาคณิต, t คือ เวลาของการแช่ (ชั่วโมง) และ K คือ สัมประสิทธิ์อัตราการดูดซึมน้ำ (The coefficient of water absorption rate, h^{-1})

ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

การวัดขนาดและรูปร่าง : ประกอบด้วย ขนาด (Size) วัดขนาดเมล็ดข้าวกล้องด้านยาว (a) กว้าง (b) และหนา (c) ด้วยเครื่องเวอร์เนียร์ดิจิตอล (ยี่ห้อ Metutoyo รุ่น 6) ความละเอียดในการวัด 0.01 มิลลิเมตร คำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (Geometric mean diameter) ค่าความเป็นทรงกลม (Sphericity) และพื้นที่ผิว (Surface area) ด้วยสมการพื้นฐานอ้างอิงจาก McCabe and Smith (1984) ซึ่งใช้กับวัตถุที่มีรูปร่างไม่เป็นทรงเรขาคณิต

น้ำหนัก (Weight): นับเมล็ดข้าวกล้องที่สมบูรณ์ในแต่ละพันธุ์จำนวน 1,000 เมล็ด แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Sartorius

รุ่น ED224S) รายงานผลเป็นน้ำหนักใน 1000 เมล็ด (AACC, 1976)

ความหนาแน่น (Density): ทดสอบหาค่าความหนาแน่นของเมล็ดข้าวกล้องด้วยเครื่องวัดความหนาแน่นขนาดเล็ก (Density kit) ประกอบเข้ากับเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Sartorius รุ่น ED224S)

ค่าสี (Color): เครื่องมือที่ใช้ในวัดค่าสี คือ Color Difference Meter (Model JC801, Tokyo, Japan) รายงานผลในรูปของ L^* , a^* , b^* ก่อนทำการวัดค่าสี เครื่องวัดสีจะถูกปรับเทียบความเที่ยงตรงของค่าสีด้วย Standard Calibration Plate ค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 98.11, -0.11 and -0.08 ตามลำดับ

ปริมาณอะไมโลส (Amylose content): การตรวจสอบปริมาณอะไมโลสนั้นตรวจวัดจากสีที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งข้าวและสารละลายไอโอดีน โดยวัดจากค่าการดูดกลืนแสง 620 นาโนเมตร ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันนั้นจะบอกถึงระดับของปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าว (Juliano, 1971)

การวิเคราะห์ข้อมูล: ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 18 ที่ระดับความแตกต่างทางสถิติ 95% และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan New's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวกล้อง 3 พันธุ์

การทดสอบค่าอะไมโลสของข้าวกล้องตัวอย่างทั้ง 3 พันธุ์พบว่า ข้าวหอมปทุมให้ค่าอะไมโลส 18.09

เปอร์เซ็นต์, กข7 ให้ค่าอะไมโลส 23.18 เปอร์เซ็นต์ และ กข41 ให้ค่าอะไมโลส 28.84 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในกลุ่มอะไมโลส ต่ำ กลาง และสูง ตามลำดับจาก Table 1 แสดงลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวกล้อง 3 พันธุ์พบว่าข้าวพันธุ์หอมปทุม, กข7, กข41 มีขนาด (Size) และค่าความเป็นทรงกลม (Sphericity) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยที่ กข7 ให้ค่าความเป็นทรงกลมสูงสุด (0.43) หรือเท่ากับ 43 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ หอมปทุม และ กข41 ให้ค่าความเป็นทรงกลมเท่ากับ 0.40 และ 0.39 ตามลำดับ หรือกล่าวได้ว่า ข้าว กข41 มีลักษณะเมล็ดเรียวยาวในขณะที่หอมปทุม และ กข7 เมล็ดสั้นกว่าและมีค่าความหนาของเมล็ดที่มากกว่า กข41 นั้นจึงส่งผลสอดคล้องกับค่าพื้นที่ผิว (Surface area) ของข้าวกล้อง กข7 มีค่าสูงสุด (39.05 ± 2.20 ตารางมิลลิเมตร) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับข้าวกล้องหอมปทุม และ กข7 ที่มีค่าเท่ากับ 35.95 ± 2.46 ตารางมิลลิเมตร และ 34.60 ± 3.30 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาคุณลักษณะด้านความหนาแน่น (Density) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (Geometric mean diameter) และน้ำหนักของเมล็ดข้าวใน 1000 เมล็ดพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ของข้าวกล้องทั้งสามพันธุ์

ค่าสีของข้าวกล้องถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดคุณภาพของข้าวกล้อง จาก Table 1 แสดงค่าสีในรูปแบบของค่า $L^*a^*b^*$ ซึ่งพบว่าข้าวกล้องทั้งสามพันธุ์ (หอมปทุม, กข7, กข41) ให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) แตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ในขณะที่ค่าความสว่าง (L^*) ของข้าวหอมปทุม และ กข7 มีค่าไม่แตกต่างกัน (> 64) และ กข 41 มีค่าความสว่างของเมล็ดต่ำกว่าเล็กน้อย (> 62)

Table 1 Physical characteristics of Thai Pathumthani fragrant rice (PATHUM F.), RD7 and RD41

Parameter		Value (mean ± SD)*		
		PATHUM F.	RD7	RD41
Size	Length (a, mm)	7.53 ± 0.29 ^b	7.04 ± 0.34 ^c	7.77 ± 0.34 ^a
	Width (b, mm)	2.11 ± 0.14 ^b	2.20 ± 0.07 ^a	2.05 ± 0.13 ^c
	Thickness (c, mm)	1.72 ± 0.07 ^b	1.80 ± 0.07 ^a	1.70 ± 0.09 ^b
Color	L*	64.27 ± 0.28 ^a	64.25 ± 0.53 ^a	62.80 ± 0.76 ^b
	a*	5.39 ± 0.17 ^b	4.82 ± 0.14 ^c	5.73 ± 0.22 ^a
	b*	24.93 ± 0.30 ^a	23.32 ± 0.15 ^c	24.43 ± 0.23 ^b
1000 grain weight (g)		21.33 ± 0.16 ^a	21.62 ± 0.09 ^a	21.75 ± 0.28 ^a
Geometric mean diameter, $d_p = (axbxc)^{1/3}$ (mm)		3.01 ± 0.07 ^a	3.03 ± 0.10 ^a	3.00 ± 0.12 ^a
Sphericity, $\phi = (axbxc)^{1/3} / a$		0.40 ± 0.01 ^b	0.43 ± 0.01 ^a	0.39 ± 0.01 ^c
Surface area, $s = d_p^2 \cdot \phi$ (mm ²)		35.95 ± 2.46 ^b	39.05 ± 2.20 ^a	34.60 ± 3.30 ^c
Density (g/cm ³)		1.45 ± 0.25 ^a	1.40 ± 0.05 ^a	1.42 ± 0.03 ^a

Remark: SD = Standard deviation, Values followed by the same letter in the same row are not significantly different ($p < 0.05$).

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของข้าวกล้องระหว่างกระบวนการแช่

ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นกับเวลาของข้าวกล้อง 3 พันธุ์ ระหว่างการแช่ในน้ำที่อุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกันแสดงดัง Figure 1 ซึ่งพบว่าทุกสภาวะการทดสอบให้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกันนั่นคือ อัตราการดูดซึมน้ำของข้าวกล้องทั้งสามพันธุ์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ โดยอัตราการดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าวกล้องมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 1 ชั่วโมงแรก โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง (60 องศาเซลเซียส) และค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุล (Equilibrium) ในที่สุด (Bandyopadhyay and Roy, 1978; Lin, 1993; Bello et al., 2004) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในช่วงแรกของการแช่นั้น น้ำจะซึมเข้าสู่ช่องว่างภายในเมล็ดข้าวอย่างรวดเร็วและค่อยๆ ซาลงเมื่อเวลาผ่านไป โดยการแช่ข้าวกล้องที่อุณหภูมิสูงและเวลานานสังเกตได้ชัดเจนว่าน้ำที่ใช้ในการแช่จะค่อนข้างขุ่น ทั้งนี้อาจเกิดการละลายของคาร์โบไฮเดรตจากเมล็ดข้าวกล้องปะปนออกมา ซึ่ง

การละลายนี้จะเป็นผลให้เยื่อหุ้มผนังของข้าวถูกทำลาย ดังนั้นจึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งให้น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดได้อย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับการรายงานผลของ Sindhu and Khetarpaul (2005) ซึ่งพบว่า การแช่ข้าวที่อุณหภูมิสูงขึ้น และระยะเวลานานขึ้น มีผลทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการแช่

นอกจากนี้ยังพบว่าการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ระดับ pH5 (ความเป็นกรดอ่อนๆ) ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความชื้นได้สูงกว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง pH7 (กลาง) เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเดียวกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ความเป็นกรดอ่อนๆ ช่วยในการกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีและขบวนการเมตาบอลิซึมภายในเมล็ด ทำให้เมล็ดสร้างเอนไซม์ต่างๆ เพื่อย่อยสลายสารอาหารที่สะสมในเมล็ดและใช้เป็นพลังงาน ซึ่งส่วนที่ถูกย่อยเป็นส่วนแรกคือผิวของเมล็ด ดังนั้นจึงส่งผลให้น้ำซึมผ่านเมล็ดได้อย่างรวดเร็วขึ้น นอกจากอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำแล้วคุณสมบัติของปริมาณอะไมโลสยังส่งผลเช่น

เดียวกัน พบว่าข้าวกล้องที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำจะดูดซึมน้ำได้ดีกว่าข้าวกล้องที่มีอะไมโลสสูง ซึ่งปริมาณอะไมโลสของข้าวเป็นคุณภาพทางเคมีที่มีความจำเป็น

ในการใช้เป็นข้อมูลเพื่อจะบอกถึงลักษณะของแป้งข้าวเพื่อใช้ในการแปรรูปหรือคุณภาพการหุงต้มเพื่อรับประทาน (งามชื่น และคณะ, 2547)

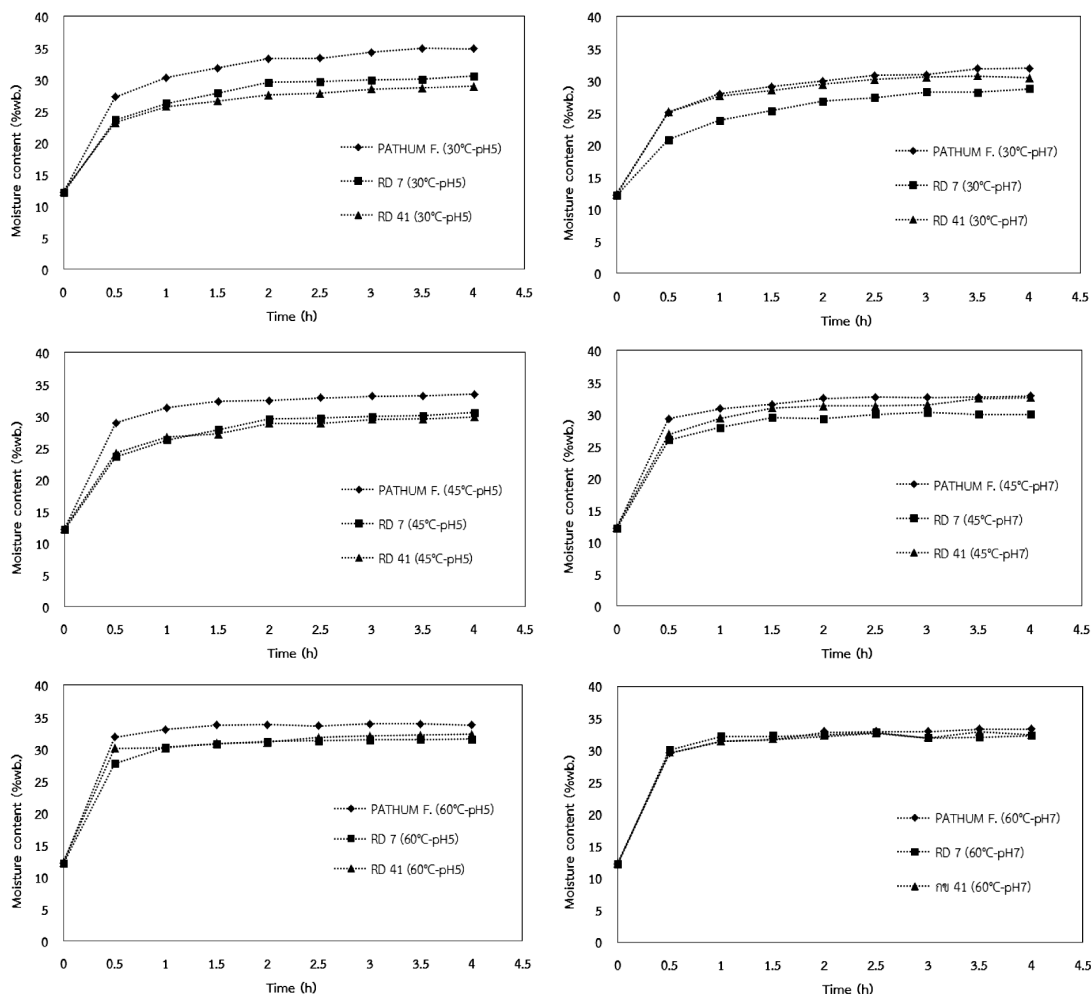


Figure 1 Moisture gain by Thai Pathumthani fragrant rice (PATHUM F.), RD 7 and RD 41 during soaking at 30°C, 45°C and 60°C with pH 5 and pH 7

ผลการศึกษาสมการความสัมพันธ์การดูดซึมน้ำของข้าวกล้อง 3 พันธุ์

จากสมการการดูดซึมน้ำของข้าวกล้องโดยอ้างอิงจากสมการของ Crank (1975) พบว่าจาก Table 2 การแช่ข้าวกล้องพันธุ์หอมปทุม ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ข้าวกล้องสามารถดูดซึมน้ำได้สูงสุด ทั้งนี้พิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์อัตราการดูดซึมน้ำ

(K) ซึ่งมีค่าสูงสุด 2.1751 h^{-1} เมื่อเทียบกับการแช่ข้าวกล้องพันธุ์เดียวกันที่อุณหภูมิต่ำกว่า (30 และ 45 องศาเซลเซียส) สอดคล้องกับการแช่ข้าวกล้องพันธุ์ กข7 และ กข41 ซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และพบว่าการแช่ข้าวกล้องหอมปทุมในน้ำที่ปรับค่าความเป็นกรดต่างระดับ 7 หรือมีค่าความเป็นกลาง ในน้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 30-60 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มของ

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมน้ำสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการแช่สูงขึ้น และให้ค่าสูงสุดที่การแช่ 60 องศาเซลเซียส โดยได้ค่า K เท่ากับ 1.5632 h^{-1} รวมถึงค่า A_i หรือค่าคงที่แสดงลักษณะรูปร่างของเมล็ดข้าวกล้อง พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเมล็ดข้าวดูดซึมน้ำเข้าสู่เมล็ดสูงขึ้นหรืออนุภาคของเม็ดแป้งเกิดการพองตัวระหว่างกระบวนการแช่ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการวิจัยของ Thakur and Gupta (2006) โดยที่การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นที่สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและระยะเวลาการแช่นานขึ้นมีแนวโน้มเกิดขึ้นเช่นเดียวกันกับข้าวพันธุ์ กข 7 และ กข 41 ดังแสดงใน Table 2

นอกจากนี้หากพิจารณาผลของค่าความเป็นกรดต่างที่มีต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำพบว่า การแช่ข้าวกล้องที่ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำระดับ 5 (pH5) หรือค่าความเป็นกรดอ่อนๆ ให้แนวโน้มของการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าการแช่ข้าวกล้องในน้ำที่ระดับค่า pH7 (ระดับกลาง) เช่น การแช่ข้าวกล้องหอมปทุมที่ความเป็นกรดต่างของน้ำระดับ 7 (pH7) ให้ค่า K เท่ากับ 0.765 h^{-1} , 1.103 h^{-1} และ 1.5632 h^{-1} ที่อุณหภูมิ 30, 45 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปรับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำลดลง (pH5) โดยมีค่าเท่ากับ 1.1510 h^{-1} , 1.2727 h^{-1} และ 2.1751 h^{-1} ที่อุณหภูมิ 30, 45 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

Table 2 Estimated values of parameters of Crank equation for Thai Pathumthani fragrant rice, RD 7 and RD 41 during soaking at 30°C, 45°C and 60°C with pH5 and pH 7

Rice variety	pH	M_s (%wb.)	Temperature (°C)	A_i	$K(\text{h}^{-1})$	r^2
PATHUM F.	5	33.04	30	1.1056	1.1510	0.9527
			45	2.0192	1.2727	0.9421
			60	2.9749	2.1751	0.8745
	7	32.93	30	1.6859	0.7650	0.9550
			45	2.3938	1.1032	0.9259
			60	1.5366	1.5632	0.9400
RD 7	5	31.31	30	1.5733	0.7406	0.9571
			45	1.2840	1.4757	0.9527
			60	1.6954	1.8404	0.9540
	7	31.36	30	1.4348	0.6430	0.9816
			45	1.4133	0.9710	0.9536
			60	2.8608	1.4787	0.8565
RD 41	5	30.36	30	1.2771	1.0694	0.9747
			45	1.4095	1.1291	0.9691
			60	2.0261	1.4579	0.8390
	7	32.21	30	1.6528	0.9740	0.9815
			45	1.7210	0.9969	0.9791
			60	2.2167	1.4450	0.9170

จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล แสดงค่าทางสถิติที่คำนวณได้จากโปรแกรม SPSS เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสัมประสิทธิ์อัตราการดูดซึมน้ำ ($K(h^{-1})$) จาก Table 3 พบว่าค่า P-value ของอันตรกิริยาปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิพบว่ามีความมากกว่าระดับนัยสำคัญร้อยละ 5 ($P>0.05$) สรุปได้ว่า

ปัจจัยร่วมทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการดูดซึมน้ำ ($K(h^{-1})$) ในขณะที่หากพิจารณาปัจจัยแยกของทั้งสองปัจจัยนี้พบว่ามีความน้อยกว่าระดับนัยสำคัญร้อยละ 5 ($P<0.05$) สรุปได้ว่าปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการดูดซึมน้ำ ($K(h^{-1})$) ซึ่งได้แสดงรายละเอียดใน Figure 2 และ Figure 3

Table 3 ANOVA for the coefficient of water absorption rate ($K(h^{-1})$) of Thai Pathumthani fragrant rice, RD 7 and RD 41 at different pH treatments and different temperatures.

Source	SS	df	MS	F-value	P-value
A	0.936	1	0.936	30.838	0.000
B	5.492	2	2.746	90.498	0.000
A*B	0.042	2	0.021	0.688	0.507
Error	1.457	48	0.030		
Total	90.466	54			

Remark: A = pH (5 and 7); B = Temperature (30, 45 and 60°C)

จาก Figure 2 และ Figure 3 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมน้ำ (K) ของข้าวกล้องทั้งสามพันธุ์พบว่าอุณหภูมิและพันธุ์ข้าวมีผลอย่างยิ่งต่ออัตราการดูดซึมน้ำ เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิการแช่ 3 ระดับ คือ 30, 45 และ 60 องศาเซลเซียส ให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมน้ำ (K) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในทั้งสามพันธุ์ข้าวทั้งการแช่ที่ระดับ pH5 (Figure 2) และ pH7 (Figure 3) โดยเฉพาะที่ข้าวกล้องอะไมโลสต่ำและอุณหภูมิการแช่สูง (หอมปทุมแช่น้ำ 60 องศาเซลเซียส ระดับค่าความเป็นกรดต่าง 5) ให้อัตราการดูดซึมน้ำเท่ากับ $2.1751 h^{-1}$ ในขณะที่แนวโน้มของอัตราการดูดซึมน้ำ

ต่ำสุด ได้แก่ ข้าวกล้อง กข7 (อะไมโลสระดับปานกลาง) แช่น้ำที่อุณหภูมิต่ำ 30 องศาเซลเซียส ระดับค่าความเป็นกรดต่าง 7 (ระดับกลาง) ให้อัตราการดูดซึมน้ำเท่ากับ $0.643 h^{-1}$ เมื่อพิจารณาค่าคงที่แสดงรูปร่างของวัตถุ (A_p) พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่นานขึ้นของกระบวนการแช่จะส่งผลชัดเจนต่อการเพิ่มขึ้นของค่าดังกล่าวในทุกพันธุ์ข้าวและสูงสุด (2.9749) เมื่อการแช่ข้าวกล้องอะไมโลสต่ำ คือ หอมปทุม ในน้ำอุณหภูมิสูง (60 องศาเซลเซียส) และมีความเป็นกรดอ่อนๆ นั้นหมายความว่าข้าวกล้องดังกล่าวที่สภาวะนี้มีลักษณะการขยายตัวของเมล็ดค่อนข้างสูงกว่าข้าวกล้องที่สภาวะอื่นๆ

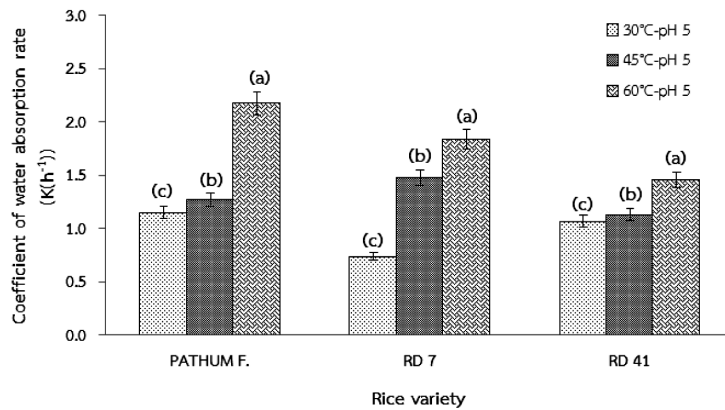


Figure 2 The coefficient of water absorption ($K(h^{-1})$) of rice variety during soaking at 30°C, 45°C and 60°C with pH5

^{ab}: letters indicate differences among each treatment ($P < 0.05$)

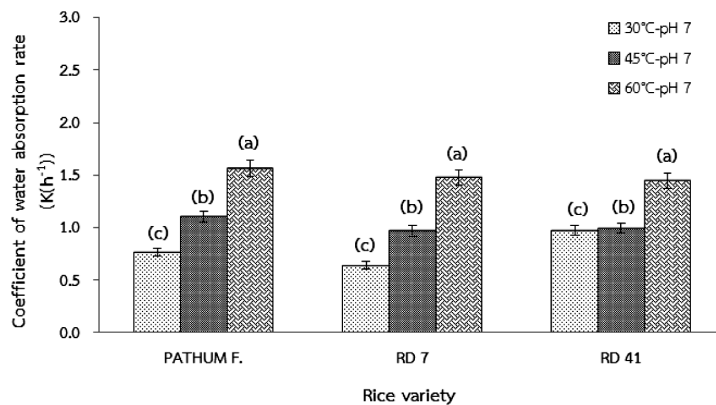


Figure 3 The coefficient of water absorption ($K(h^{-1})$) of rice variety during soaking at 30°C, 45°C and 60°C with pH7

^{ab}: letters indicate differences among each treatment ($P < 0.05$)

สรุป

จากการศึกษาคุณลักษณะการดูดซึมน้ำของข้าวกล้อง 3 พันธุ์ ได้แก่ หอมปทุม กข7 และ กข41 ซึ่งพบว่ามีค่าอะไมโลสเท่ากับ 18.09 เปอร์เซ็นต์, 23.18 เปอร์เซ็นต์ และ 28.84 เปอร์เซ็นต์ และจัดอยู่ในกลุ่มอะไมโลสต่ำ กลาง และสูง ตามลำดับ การแช่ข้าวกล้องกระทำในน้ำควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับคือ 30, 45 และ 60 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งมีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ pH5 และ pH7 ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมน้ำของข้าวกล้องทุกสภาวะพิจารณาด้วย

สมการอ้างอิง Crack (1975) สมการความสัมพันธ์ที่ได้สามารถนำไปใช้ทำนายลักษณะการดูดซึมน้ำของข้าวกล้องที่มีค่าอะไมโลสใกล้เคียงกันได้ในการพัฒนากระบวนการผลิตและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับข้าวกล้องต่อไป จากการศึกษาพบว่าอัตราการดูดซึมน้ำของข้าวกล้องทั้ง 3 พันธุ์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการแช่โดยเฉพาะในช่วง 0.5-1 h แรกและมีแนวโน้มลดลงและคงที่ในที่สุด ทั้งนี้นอกจากอุณหภูมิแล้วการแช่ข้าวกล้องในน้ำที่มีค่าความเป็นกรดอ่อนๆ (pH5) สามารถช่วยกระตุ้นการดูดซึมน้ำให้เกิดได้เร็วกว่าการแช่ข้าวกล้องในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างระดับกลาง

(pH7) และหากพิจารณาลักษณะการดูดซึมน้ำจากสมการอ้างอิงพบว่าอัตราการดูดซึมน้ำสูงสุด (2.1751 h^{-1}) เมื่อแช่ข้าวกล้องอะไมโลสต่ำและอุณหภูมิการแช่สูง (หอมปทุมแช่น้ำ 60 องศาเซลเซียส) โดยที่น้ำมีค่าความเป็นกรดอ่อนๆ (pH5) ในขณะที่แนวโน้มของอัตราการดูดซึมน้ำต่ำสุด (0.643 h^{-1}) ได้แก่ ข้าวกล้องกข7 (อะไมโลส ระดับปานกลาง) แช่น้ำที่อุณหภูมิต่ำ 30 องศาเซลเซียส ระดับค่าความเป็นกรดต่างแบบกลาง (pH7) รวมถึงการเพิ่มขึ้นของค่าคงที่แสดงรูปร่างของวัตถุ (A_r) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่นานขึ้นของกระบวนการแช่

คำขอบคุณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณและสถานที่เพื่อทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- งามชื่น คงเสรี. 2547. การสร้างคำแนะนำการหุงต้มข้าวหอมมะลิไทย. หน้า 63-73. ใน: งามชื่น คงเสรี, (ผู้รวบรวม). คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย. เอกสารวิชาการฉบับพิเศษ. บริษัทเจริญพัฒนาเอ็กซ์เพรส จำกัด, กรุงเทพฯ.
- รัชนิกรวรรณ สะอาดศรีวีระเดช, สุภัทร ไชยกุล และ ฉัตรภา หัตถโกศล. 2556. ผลของอุณหภูมิและเวลาการแช่ต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวกล้องอินทรีย์. ว. วิทย์. กษ. 44(2)(พิเศษ): 9-12.
- AACC.1976. Approved methods of analysis. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota, USA.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17thed. AOAC International, Maryland, USA.
- Bandyopadhyay, S., and N.C. Roy. 1978. A semi-empirical correlation for prediction of hydration characteristics of paddy during parboiling. Journal of Food Technology. 13(2): 91-98.
- Bello, M., Tolaba, M.P., and C. Suarez. 2004. Factors affecting water uptake of rice grain during soaking. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 37(8): 811-816.
- Bett-Garber, K. L., Champagne, E. T., Ingram, D. A., and A. M. McClung. 2007. Influence of water-to-rice ratio on cooked rice flavor and texture. Cereal Chemistry. 84(6): 614-619.
- Bhattacharya, K. R. 1985. Parboiling of rice. Pages 305-306 in: Rice Chemistry and Technology. AACC International: St. Paul, MN.
- Chung, H.J. Jang, S.H. Cho, H.Y., and S.T. Lim. 2009. Effects of steeping and anaerobic treatment on GABA (g-aminobutyric acid) content in germinated waxy hull-less barley. LWT- Food Science and Technology. 42(10): 1712-1716.
- Crank, J. 1975. The mathematics of diffusion. Oxford University Press, New York.
- Horigane, A. K., Takahashi, H., Maruyama, S., Khtsubo, K., and M. Yoshida. 2006. Water penetration into rice grains during soaking observed by gradient echo magnetic resonance imaging. Journal of Cereal Science. 44(3): 307-316.
- Hoseney, R.C. 1994. Principles of cereal science and technology. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota.
- Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Science Today. 16(4): 334-340.
- Kim, S.Y., Park, H.J., and S.J. Byun. 2004. Method for preparing germinated brown rice having improved texture and cookability without microbial contamination and a germinated brown rice obtained therefrom. U.S Patent no. US 7,217,436 B2, June 2004.
- Koide, S., Tako, T., and Y. Nishiyama. 2001. Open crack formation in rice with cracked endosperm and cracked surface during soaking. (In Japanese with English abstract) J. Jpn. Soc. Food Sci. Technol. 48(1): 69-72.
- Lin, S. H. 1993. Water uptake and gelatinization of white rice. Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie, 26(3): 276-278.
- McCabe, W. L., and J.C. Smith. 1984. Unit operations of chemical engineering. 3rd ed. McGraw-Hill, Japan.
- Meyer, K. A., Kushi, L. H., Jacobs, Jr., D. R., Slavin, J., Sellers, T. A., and A.R. Folsom. 2000. Carbohydrates, dietary fiber and incident type 2 diabetes mellitus in older women. Am. J. Clin. Nutr. 71: 921-930.
- Sindhu, S.C., and N. Khetarpaul. 2005. Development acceptability and nutritional evaluation of an indigenous food blend fermented with probiotic organisms. Nutrition and Food Science. 35(1): 20-27.
- Thakur, A. K., and A.K. Gupta. 2006. Water absorption characteristics of paddy, brown rice and husk during soaking. Journal of Food Engineering. 75(2): 252-257.
- Yamakura, M., Haraguchi, K., Okadome, H., Suzuki, K., Tran, U. T., Horigane, A. K., Yoshida, M., Homma, S., Sasagawa, A., Yamazaki, A., and K. Ohtsubo. 2005. Effects of soaking and high-pressure treatment on the qualities of cooked rice. J. Appl. Glycosci. 52(2): 85-93.