



ผลของแคลเซียมคลอไรด์และสภาวะกรดต่อปริมาณสาร GABA อิสระ  
และคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวบ้านนา 432  
Effect of Calcium Chloride and Acid Condition on free GABA  
content and Pasting Properties of Germinated Brown Rice  
“Khao Banna 432” (*Oryza sativa* L. cv. PCRC92001-432)

ศุภรัตน์ คงวรรณ

ภาควิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยีการพัฒนามลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี, จันทบุรี 25230

E-mail: Jug.Jig@hotmail.com

### บทคัดย่อ

จากการศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์และสภาวะกรดของสารละลายต่อปริมาณสาร GABA อิสระ และคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวกล้องพันธุ์ข้าวบ้านนา 432 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ในสารละลายที่ใช้แช่ข้าว 8 ชนิด ที่มีความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 และ 1.0 mM และควบคุมค่าพีเอชด้วยบัฟเฟอร์ซิเตรทเป็น 3 และ 5 ได้แก่ P3 (citrate buffer pH 3), P5 (citrate buffer pH 5), C5 (0.5 mM CaCl<sub>2</sub>), C1 (1.0 mM CaCl<sub>2</sub>), C5/P3 (0.5 mM CaCl<sub>2</sub>, pH 3), C5/P5 (0.5 mM CaCl<sub>2</sub>, pH 5), C1/P3 (1.0 mM CaCl<sub>2</sub>, pH 3) และ C1/P5 (1.0 mM CaCl<sub>2</sub>, pH 5) โดยมีข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการงอกเป็นตัวอย่างควบคุม จากผลการทดลองพบว่า ข้าวกล้องงอกมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 6.60-7.15 การแช่ข้าวกล้องด้วยสารละลาย C1/P5 ส่งผลให้มีปริมาณสาร GABA อิสระ สูงที่สุด เท่ากับ 120.79 mg/100 g และมีปริมาณที่สูงกว่าข้าวกล้องที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์หรือสารละลายบัฟเฟอร์ซิเตรทเพียงอย่างเดียว โดยการแช่ในสารละลายทั้ง 8 ชนิด ส่งผลให้ข้าวกล้องงอกมีค่าความหนืดสูงสุดและค่าการคืนตัวที่ลดลง ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้น

## ABSTRACT

The effect of calcium chloride and acid condition on free GABA content and pasting properties of germinated brown rice (*Oryza sativa* L. cv. PCRC92001-432) was determined. The experimental design in CRD was conducted by using 8 soaking solutions consisted of different concentrations of 0, 0.5 and 1.0 mM of calcium chloride at pH 3 and 5 controlled by citrate buffer designated as; P3 (citrate buffer pH 3), P5 (citrate buffer pH 5), C5 (0.5 mM CaCl<sub>2</sub>), C1 (1.0 mM CaCl<sub>2</sub>), C5/P3 (0.5 mM CaCl<sub>2</sub>, pH 3), C5/P5 (0.5 mM CaCl<sub>2</sub>, pH 5), C1/P3 (1.0 mM CaCl<sub>2</sub>, pH 3) and C1/P5 (1.0 mM CaCl<sub>2</sub>, pH 5). The non germinated brown rice was served as control. The result showed that moisture content ranged from 6.60-7.15%. The highest free GABA content 120.79 mg/100 g of germinated brown rice produced from brown rice soaked in C1/P5 and were higher than those from soaked in calcium chloride and citrate buffer only. Then, soaking in 8 solution peak viscosity and set back from trough decrease while reducing sugar increase.

**คำสำคัญ:** แคลเซียมคลอไรด์ สภาวะกรด กาบาสีระ คุณสมบัตการเปลี่ยนแปลงความหนืด

**Keywords:** Calcium chloride, Acid condition, Free GABA, Pasting properties

## บทนำ

ข้าวเจ้าพันธุ์ข้าวบ้านนา 432 จัดเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่กรมการข้าวประกาศรับรองพันธุ์ในปี 2555 โดยจุดเด่นของข้าวสายพันธุ์นี้ คือเป็นพันธุ์ข้าวขึ้นน้ำที่ทนต่อสภาพน้ำท่วมขังลึก โดยเมล็ดข้าวมีลักษณะรูปร่างเรียวย สีขาวนวล มีปริมาณแอมิโลส ร้อยละ 28.9 ลักษณะของข้าวสุกไม่มีกลิ่นหอม การเกาะตัวของข้าวสุกมีลักษณะเหนียวปานกลางและให้เนื้อสัมผัสค่อนข้างนุ่มจึงเหมาะกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม การแปรรูปข้าว โดยเฉพาะการนำไปทำเส้นหมี่ และเส้นขนมจีน ซึ่งผลิตภัณฑ์เส้นที่ได้จะมีความเหนียว นุ่มมากกว่าผลิตภัณฑ์เส้นทั่วไปในท้องตลาด (กรมการข้าว, 2556) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่นำแข่งข้าวบ้านนา 432 มาใช้ทดแทนแป้งสาลี ร้อยละ 50 ในผลิตภัณฑ์ขนมปัง (โสพิศ และ ชนากานต์ 2558) ซึ่งให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่แตกต่างจากขนมปังสูตรพื้นฐาน จึงทำให้

ข้าวสายพันธุ์นี้เริ่มเป็นที่สนใจและมีความต้องการของตลาดอุตสาหกรรมแปรรูปมากขึ้น

สืบเนื่องจากในปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสนใจในเรื่องอาหารบำรุงสุขภาพที่มาจากธรรมชาติมากขึ้น โดยสังเกตได้จากการนิยมหันมาบริโภคข้าวกล้องงอก โดยการงอกของเมล็ดนั้นจะกระตุ้นให้เกิดการทำงานของไฮโดรไลติกเอนไซม์ ซึ่งมีกิจกรรมในการย่อยสแตร์ชและโปรตีน (Rimsten et al., 2003) นอกจากนี้การงอกของเมล็ดยังส่งผลให้มีการสะสมสารอาหารเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะกรดแกมมาแอมิโนบิวทริก (GABA) ซึ่งเป็นสารสื่อประสาท ช่วยรักษาโรคเกี่ยวกับระบบประสาท และช่วยควบคุมความดันโลหิต (Komatsuzaki et al., 2007)

ด้วยเหตุที่ข้าวกล้องงอกอุดมไปด้วยสารอาหารที่ให้คุณค่าทางโภชนาการ แต่การที่จะได้มาซึ่งข้าวกล้องงอกที่มีปริมาณสารอาหารที่เพิ่มมากขึ้นจากข้าวกล้องปกตินั้นจำเป็นต้องอาศัยปัจจัยเพื่อ

ทำให้กระบวนการงอกนั้นเกิดขึ้นอย่างเหมาะสม โดยปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิ ออกซิเจน ความชื้น (วัลลภ, 2540) และระยะเวลาในการแช่ ซึ่งนอกเหนือจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้นแล้วยังพบว่าค่าพีเอช (Chug et al., 2009) และปริมาณแคลเซียมในสารละลายที่ใช้ในการแช่ขั้วนั้นต่างก็ส่งผลให้มีปริมาณสาร GABA ที่เพิ่มสูงขึ้น โดย Baum et al. (1996) กล่าวว่า แคลเซียมอิสระเมื่อจับกับแคลโมดูลิน (Calmodulin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่อยู่ในเมล็ดข้าวจะช่วยให้มีการทำงานของเอนไซม์กลูตามิโนคาร์บอกซิเลสที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้มีการผลิตสาร GABA ที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยงานวิจัยส่วนใหญ่จะแยกศึกษาชนิดของสารละลายที่ใช้ในการแช่ขั้วที่ส่งผลต่อปริมาณสาร GABA ดังเช่น งานวิจัยของ Sunte et al. (2007) ได้ศึกษาผลของความแตกต่างของสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรทที่ค่าพีเอช 4, 4.5, 5, 5.5, 6 และ 6.5 และ Charoenthakij et al. (2009) ได้ศึกษาผลของสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท ที่ค่าพีเอช 3 และ พีเอช 7 ต่อปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้อง พบว่าปริมาณสาร GABA จะเพิ่มขึ้นในสถานะที่เป็นกรดอ่อนในขณะที่ ความเป็นกรดและด่าง (2552) ได้ศึกษาผลของ  $\text{CaCl}_2$  ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 mM ต่อปริมาณสาร GABA ของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 พบว่า แป้งข้าวกล้องที่ผ่านการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น สามารถช่วยเพิ่มปริมาณสาร GABA สูงสุดเท่ากับ 24.43 mg/100g โดยจากงานวิจัยข้างต้นพบว่าไม่ว่าจะแช่ข้าวกล้องในสารละลายที่มีสถานะเป็นกรดหรือสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก็ตามล้วนแต่สามารถเพิ่มปริมาณสาร GABA ในเมล็ดข้าวได้ ซึ่งทางผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดว่าหากมีการนำเมล็ดข้าวมาแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับสถานะกรดน่าที่จะมีโอกาสส่งผลให้ข้าวกล้องงอกที่ได้มีปริมาณสาร GABA

ที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์หรือในสถานะกรดเพียงอย่างเดียว และเมื่อสามารถผลิตข้าวกล้องงอกที่มีปริมาณสาร GABA ที่เพิ่มสูงขึ้นได้แล้วนั้น แต่การนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์ซึ่งไม่สามารถพิจารณาเฉพาะสาร GABA เพียงอย่างเดียว อาจต้องพิจารณาคูณสมบัติด้านความเหนียวร่วมด้วยซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่จะนำข้าวกล้องงอกไปใช้และปริมาณการนำไปใช้ที่เหมาะสม เนื่องจากข้าวกล้องที่ผ่านการแช่ในสารละลายจะส่งผลให้มีคุณสมบัติด้านความเหนียวที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจากงานวิจัยของ Charoenthakij et al. (2010) ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของสาร GABA กับคุณสมบัติด้านความเหนียวที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปัง โดยได้ศึกษาการแช่ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรทที่ค่าพีเอช 3 เปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการแช่พบว่าข้าวกล้องที่แช่ในสารละลายพีเอช 3 มีปริมาณ GABA สูงกว่า แต่มีค่าความเหนียวที่ต่ำกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการแช่ เมื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมปังจึงส่งผลให้มีค่าเนื้อสัมผัสด้านความนุ่มที่มากกว่า เมื่อใช้แป้งในปริมาณที่เท่ากัน

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับสถานะกรดของสารละลายที่ใช้ในการแช่ขั้วต่อคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพของข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวกล้องพันธุ์ชาวบ้านนา 432 ซึ่งเป็นพื้นเมืองของจังหวัดปราจีนบุรี

## วิธีการดำเนินการวิจัย

### 1. การเตรียมวัตถุดิบเมล็ดข้าว

นำเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ชาวบ้านนา 432 มาแกะเทาะเปลือกและคัดคุณภาพโดยการเลือกเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์หรือแตกหักออกไป จากนั้นล้างทำความสะอาด

และนำไปแช่ในสารละลายไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น ร้อยละ 0.1 เป็นเวลา 30 นาที เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ ที่ปนเปื้อนแล้วล้างออกด้วยน้ำปราศจากไอออน พักให้ สะเด็ดน้ำเพื่อเตรียมสำหรับการนำไปสกัดด้วยวิธีการที่ จะศึกษาต่อไป

## 2. การเตรียมเมล็ดข้าวกล้องอก

ศึกษาโดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่ม สมบูรณ์ในสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว 8 ชนิด ได้แก่ สารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรทพีเอช 3 และ พีเอช 5 (P3, P5) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 mM และ 1.0 mM (C5, C1) สารละลายแคลเซียม คลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 mM ในบัฟเฟอร์ซีเตรทพีเอช 3 (C5/P3) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 mM ในบัฟเฟอร์ซีเตรท pH 5 (C5/P5) สารละลาย แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.0 mM ในบัฟเฟอร์ซีเตรทพีเอช 3 (C1/P3) และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.0 mM ในบัฟเฟอร์ซีเตรทพีเอช 5 (C1/P5) โดยมีข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการงอกเป็นตัวอย่าง ควบคุม วิธีการงอกตัดแปลงจาก Charoenthakij et al. (2009) โดยนำเมล็ดข้าวกล้องมาแช่ในสารละลาย ต่างๆ ในอัตราส่วน 1:3 (w/v) และเก็บที่ตู้ควบคุม อุณหภูมิ 35±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยเปลี่ยนสารละลายทุก 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้าง ข้าวกล้องอกให้สะอาดด้วยน้ำกรองแล้วจึงนำไปทำให้ แห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 7 ชั่วโมง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี คุณสมบัติด้านความชื้น กิจกรมการทำงานของ เอนไซม์แอมิเลส หรือนำไปทำแห้งด้วยความเย็นแบบ freeze-drying และนำไปผ่านเครื่องบดและผ่าน ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช เพื่อนำมาวิเคราะห์ ปริมาณ GABA อิสระ

## 3. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

3.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (2000) วัดตัวอย่างละ 3 กรัม โดยนำตัวอย่างที่ผ่านการ บดละเอียด จำนวน 3 กรัม มาอบที่อุณหภูมิ 105±2 องศาเซลเซียส จนกว่าจะได้น้ำหนักที่คงที่และคำนวณ ความชื้นจากปริมาณน้ำที่หายไป รายงานในหน่วย ร้อยละ

3.2 วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ตามวิธี ของ Somogyi and Nelson (1952) วัดตัวอย่างละ 3 กรัม โดยการนำตัวอย่างที่ผ่านการบดละเอียด ความชื้น ไม่เกิน ร้อยละ 10 จำนวน 1 กรัม ผสมกับสารละลาย เอทานอล ความเข้มข้น ร้อยละ 50 จำนวน 5 มิลลิลิตร และนำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็ว 5,000 รอบ/ นาที เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นปิเปตส่วนที่เป็น สารละลาย จำนวน 1 มิลลิลิตร มาทำปฏิกิริยากับ Alkaline Copper Reagent และ Nelson Reagent และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโน เมตร เปรียบเทียบกับสารละลายกลูโคสมาตรฐาน รายงานในหน่วย mg/100g

3.3 การวิเคราะห์ GABA ตามวิธีการของ Varanyanond et al. (2005) โดยใช้เครื่อง HPLC ทำ การวัดตัวอย่างละ 3 กรัม นำตัวอย่าง 200-500 มิลลิกรัม ผสมกับน้ำปราศจากไอออน จำนวน 2 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็ว 2,264 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นปิเปตส่วนที่เป็น สารละลาย จำนวน 1 มิลลิลิตร ผสมกับ NaHCO<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.4 โมล จำนวน 200 ไมโครลิตร และ Dabsyl-Cl acetonitrile ความเข้มข้น 6 มิลลิโมล จำนวน 400 ไมโครลิตร โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นกรองตัวอย่าง ที่ได้ใส่ใน vial เพื่อเตรียมนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC (รุ่น Agilent 1100 , Agilent Technologies,

Calif., USA) คอลัมน์ (Supelcosil LC-DABS) ขนาด 4.6 มิลลิเมตร x 150 มิลลิเมตร โดยใช้ Acetonitrile-acetate pH 6.8 เป็น mobile phase อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตร/นาที อุณหภูมิของคอลัมน์ 40 องศาเซลเซียส ความยาวคลื่นของ UV detector เท่ากับ 315 นาโนเมตร รายงานในหน่วย mg/ 100g

#### 4. การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความหนืดและกิจกรรมเอนไซม์แอลฟาอะมิเลส

##### 4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความหนืด

นำเมล็ดข้าวกล้องงอก จำนวน 100 กรัม มาบดให้ละเอียดและผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช และนำตัวอย่างความชื้นไม่เกิน ร้อยละ 14 จำนวน 3 กรัม เติมน้ำกลั่น ปริมาณ 25 มิลลิลิตร นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความหนืดตามวิธีของ AACCC (2000) ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) รุ่น 4D ยี่ห้อ Newport เพื่อให้ได้อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัว (set back from trough) วัดค่าทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยแต่ละค่า รายงานในหน่วย Rapid Visco Unit (RVU)

4.2 กิจกรรมเอนไซม์แอลฟาอะมิเลส วิเคราะห์ตามวิธี AACCC (2000) โดยการตัวอย่างความชื้นไม่เกิน ร้อยละ 14 จำนวน 3 กรัม เติมน้ำกลั่น ปริมาณ 25 มิลลิลิตร นำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) รุ่น 4D ยี่ห้อ Newport รายงานเป็น Stiring number ที่มีค่าความหนืดในหน่วย centipoise (cP)

#### 5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลจำนวน 3 ซ้ำ มาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows Version 16.0 ทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ด้วย Duncan's new multiple range test (DMRT)

### ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

#### 1. คุณภาพทางเคมี

ชนิดของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวกล้องงอกส่งผลต่อคุณภาพทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยข้าวกล้องงอกมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง ร้อยละ 6.60-7.15

สำหรับปริมาณสาร GABA อิสระ ของข้าวกล้องงอกพบว่า เมื่อนำเมล็ดข้าวกล้องงอกมาผ่านกระบวนการงอก โดยการแช่ในสารละลาย P3, P5, C5, C1, C5/P3, C1/P3, C5/P5 และ C1/P5 ต่างส่งผลให้ข้าวกล้องงอกมีปริมาณสาร GABA อิสระเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องงอกที่ไม่ผ่านการงอก โดยข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลาย C5/P5 และ C1/P5 มีปริมาณสาร GABA อิสระ อยู่ระหว่าง 111.04-120.79 mg/100 g ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลาย P3, P5, C5 และ C1 เพียงอย่างเดียว ซึ่งมีปริมาณสาร GABA อิสระ อยู่ระหว่าง 16.37-33.29 mg/100 g ยกเว้นการแช่ในสารละลาย C5/P3 และ C1/P3 มีปริมาณสาร GABA อิสระในปริมาณที่ต่ำกว่าการแช่ในสารละลาย P3, P5, C5 และ C1 โดยมีปริมาณสาร GABA อิสระอยู่ระหว่าง 21.26-22.42 mg/100 g ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์และค่าพีเอชของสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรตที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ข้าวกล้องงอกมีปริมาณสาร GABA อิสระที่เพิ่มสูงขึ้น โดย Bown et al. (1997) ได้อธิบายว่า การลดระดับพีเอชใน ไซโตซอลถือเป็นการเพิ่มสภาวะกดดันให้กับพืช ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลสและมีความสำคัญต่อการสะสมสาร GABA

นอกจากนี้ Sunte et al. (2007) ได้ศึกษาผลของความแตกต่างของสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรทที่ค่าพีเอช แตกต่างกัน (4, 4.5, 5, 5.5, 6 และ 6.5) ต่อปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่าข้าวที่ผ่านการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรทพีเอช 5 มีปริมาณ GABA สูงสุด เท่ากับ 21.93 mg/100 g และ Horino et al. (1994) ได้ศึกษาปริมาณ GABA ในข้าวพันธุ์ Koshihikari พบว่าที่ค่าพีเอช 5.5 ส่งผลให้มีปริมาณ GABA สูงสุด โดยปริมาณ GABA จะเพิ่มขึ้นในสภาวะที่เป็นกรดอ่อนและเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในสภาวะที่เป็นเบส ทั้งนี้ Streeter and Thompson (1972) รายงานว่า ค่า พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสาร GABA อยู่ที่ค่าพีเอช ประมาณ 6.0 แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาพแวดล้อม เช่น ชนิดของพันธุ์ข้าว (Janooey et al., 2010) ระยะเวลาการเก็บวัตถุดิบ (Songtip et al., 2012) และขนาดของเอมบริโอ (Zhang et al., 2006) เป็นต้น ซึ่งปัจจัยทางสภาพแวดล้อมดังกล่าวอาจส่งผลให้เมื่อมีการใช้สภาวะในการงอกที่เหมือนกันกลับมีปริมาณสาร GABA ที่แตกต่างกัน นอกจากปัจจัยด้านสภาวะกรดของสารละลายแล้ว Knight et al. (1991) ได้กล่าวว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณสาร GABA ในพืช นั้นนอกจากสภาวะเครียดต่างๆ เช่น ความมืด การขาดออกซิเจนและสภาวะที่เป็นกรดแล้วนั้น การเพิ่มขึ้นของแคลเซียมไอออนในไซโตซอลรวมถึงการช่วยให้แคลเซียมแตกตัวอยู่ในรูปอิสระ (ศุภรัตน์ และคณะ, 2557) ก็ส่งผลให้เกิดจากการสะสมของปริมาณ GABA เพิ่มมากขึ้น โดยการที่แคลเซียมไอออนจับกับโปรตีนที่มีชื่อว่าแคลโมดูลินจะเป็นการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลสเพื่อผลิตสาร GABA ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชนิษฐา (2553) ได้ศึกษาสภาวะการงอกข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 โดยการแช่ใน

สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 mM เป็นเวลา 12-60 ชั่วโมง พบว่า ข้าวกล้องที่ผ่านการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1.0 mM เป็นเวลา 60 ชั่วโมง มีปริมาณสาร GABA สูงสุด เท่ากับ 24.43 mg/ 100 g ดังนั้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแช่ข้าวกล้องในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับสารละลายบัฟเฟอร์ ซีเตรทที่มีความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ และค่าพีเอชของสารละลายที่สูง สามารถช่วยเพิ่มปริมาณสาร GABA อิสระในข้าวกล้องงอกได้มากกว่าการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์หรือสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรทเพียงอย่างเดียว

สำหรับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นเป็นผลจากการทำงานของเอนไซม์แอมิเลสในระหว่างการงอก (Palmiano and Juliano, 1972) โดยในระหว่างกระบวนการงอกเอนไซม์แอมิเลสมีกิจกรรมในการย่อยแป้งได้น้ำตาลรีดิวซ์ เช่น กลูโคส มอลโตส (Bathgate and Palmer, 1973) ซึ่งสามารถตรวจสอบการทำงานของเอนไซม์ได้โดยการวัดค่า stirring number (SN) โดยค่า SN ที่ลดลงแสดงถึงการทำงานของเอนไซม์แอลฟาแอมิเลสที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจากการทดลองพบว่าการแช่ข้าวกล้องในสารละลาย P3, P5, C5, C1, C5/P3 ,C1/P3, C5/P5 และ C1/P5 ต่างส่งผลให้ข้าวกล้องงอกมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการงอก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Charoenthaikit et al. (2009) ได้ศึกษาการงอกของเมล็ดข้าวกล้องในสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรทที่มีค่าพีเอช 3 5 และ 7 ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และการทำงานของเอนไซม์แอลฟาแอมิเลส โดยการตรวจสอบด้วยค่า SN พบว่า เมื่อค่าพีเอชของสารละลายลดต่ำลงส่งผลให้ค่า SN มีค่าที่ลดลง ซึ่งแสดงถึงเอนไซม์แอลฟา

แอมิเลสมีการทำงานที่เพิ่มขึ้น ข้าวกล้องมีปริมาณ น้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มสูงขึ้น

## 2. คุณภาพทางกายภาพของแป้งข้าวกล้องงอก

จากการศึกษาคุณสมบัติด้านความหนืดของ แป้งข้าวกล้องงอก โดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ดังแสดงในรูปที่ 1 และตารางที่ 1 โดยเมื่อพิจารณาปัจจัยที่ศึกษา พบว่าชนิดของ สารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวกล้องส่งผลต่ออุณหภูมิเริ่ม เกิดความหนืด (pasting temperature) ค่าความหนืด สูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่า การคืนตัว (set back from trough) ของแป้งข้าว กล้องงอก โดยพบว่า แป้งข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการแช่ใน สารละลายมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด เท่ากับ 88.59 องศาเซลเซียส ความหนืดสูงสุด เท่ากับ 173.65 RVU ความหนืดต่ำสุด เท่ากับ 128.23 RVU ความหนืด สุดท้าย เท่ากับ 374.47 RVU และค่าการคืนตัว เท่ากับ 245.70 RVU ซึ่งค่าความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอกจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเมื่อนำไปแช่ในสารละลายต่างชนิด ดังนี้

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เมื่อเม็ดแป้ง ได้รับความร้อนและเกิดการพองตัวอย่างรวดเร็วจน ความหนืดเพิ่มขึ้น (Bao and Bergman, 2004) จาก การศึกษาพบว่า ข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลาย P5, C5, C1 และ C5/P5 มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดไม่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยมี ค่าอยู่ระหว่าง 83.64 - 85.29 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่า สูงกว่าข้าวกล้องงอกที่แช่ใน สารละลาย P3, C5/P3, C1/P3 และ C1/P5 โดยมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด อยู่ระหว่าง 79.15-79.70 องศาเซลเซียส

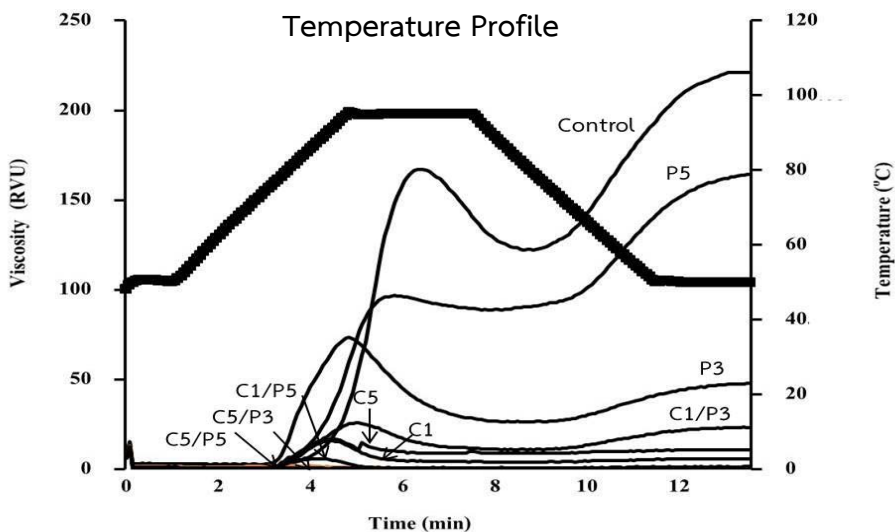
จากการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการแช่ ข้าวกล้องในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับ สารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรทโดยการเพิ่มความเข้มข้นของ แคลเซียมคลอไรด์และค่าพีเอชของสารละลายมีผลทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าการแช่ใน การละลายบัฟเฟอร์ซีเตรทที่หรือแช่ในสารละลาย แคลเซียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้สาเหตุอาจเป็น ผลมาจากทั้งปริมาณแคลเซียมและกรดที่มีใน สารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าว ซึ่งแคลเซียมมีผลต่อการ ขัดขวางการจับกับน้ำของเม็ดแป้ง (Funami et al., 2008) และความเข้มข้นของกรดส่งผลต่อการทำลาย พันธะในโครงสร้างของแป้ง ซึ่งล้วนส่งผลต่อค่าความ หนืดแทบทั้งสิ้น โดย ฐิติกริช และคณะ (2555) ได้ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง ที่ผ่านการดัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร พบว่า แป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความ หนืด เท่ากับ 73.30 องศาเซลเซียส ในขณะที่แป้งที่ ผ่านการดัดแปรมีการพองตัวที่รวดเร็วและเกิดความ หนืดที่อุณหภูมิต่ำในทันที

สำหรับค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ของแป้งข้าว กล้องงอก พบว่า แป้งข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลาย P5 มีค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดต่ำสุด ที่มี ค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เท่ากับ 96.92 RVU และ 88.60 RVU ตามลำดับ และเมื่อ ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นประกอบกับ สารละลายมีค่าพีเอชที่ลดลงส่งผลให้แป้งข้าวกล้องงอก มีค่าความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด ลดลง ตามลำดับ ซึ่งแป้งข้าวกล้องที่แช่ในสารละลาย C1/P3 มีค่าความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด ต่ำที่สุด เท่ากับ 1.08 RVU และ 0.12 RVU ตามลำดับ โดยทั้งนี้

อาจเป็นผลมาจากการทำงานร่วมกันระหว่างแคลเซียมคลอไรด์และกรดที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่สูงขึ้นและค่าพีเอชที่ต่ำส่งผลให้แป้งข้าวกล้องงอกมีค่าความหนืดสูงสุดและค่าความหนืดต่ำสุดลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Bryant and Hamaker (1997) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับปริมาณเกลือแคลเซียมในสารละลายต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวโพด พบว่า ค่าพีเอชที่สูงขึ้นจะเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายของเกลือ และจะกระตุ้นให้หมู่ไฮดรอกซิลของเม็ดแป้งเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับเกลือ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการอุ้มน้ำ และส่งผลให้ แป้งข้าวโพดมีค่าความหนืดที่ลดลง นอกจากนี้ Ahmad and Williams (1999) อธิบายว่า การเกิดเจลลิตินขึ้นของแป้งนั้นสามารถขึ้นอยู่กับการปรับสภาพนอก ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำ ค่าพีเอช และเกลือบางชนิด สำหรับปัจจัยเกี่ยวกับไอออนของเกลือที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของแป้งนั้นสามารถเกิดขึ้นได้จากการจับกันระหว่างสารประกอบที่มีประจุในเกลือกับหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของเม็ดแป้ง (Oosten, 1990) ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการพองตัวที่ลดลง อีกทั้งยังสามารถละลายแอมิโลส (amylose leaching) ที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลเม็ดแป้ง (Samutsri and Supphantharika, 2012)

เมื่อพิจารณาค่าการคืนตัว (set back from trough) ของแป้งข้าวกล้องงอก โดยค่าการคืนตัวของแป้งข้าวกล้องงอกแสดงถึงการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นเมื่อนำแป้งที่ผ่านการเกิดเจลมาแล้ว ปล่อยให้เย็นตัวลงโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินจะมาเชื่อมต่อกันเองใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน และขั้วน้ำที่เคยจับอยู่ออกจากโมเลกุล ทำให้เกิดเป็นผลึกใหม่ โดยจะแสดงค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นจากความหนืดต่ำสุดเนื่องจากการจัดเรียงโครงสร้างใหม่ของแป้ง โดยจากผลการทดลอง พบว่าค่าพีเอชของสารละลายบัฟเฟอร์ลดลง จากพีเอช 5 ไปเป็น พีเอช 3 ส่งผลให้แป้งข้าวกล้องงอกมีค่าการคืนตัวที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จาก 75.60 RVU ไปเป็น 21.32 RVU หรือการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จากที่ ระดับ 0.5 mM ไปเป็น 1.0 mM ก็ส่งผลให้แป้งข้าวกล้องงอกมีค่าการคืนตัวของแป้งที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จาก 4.92 RVU และ 1.96 RVU ตามลำดับ และเมื่อนำข้าวกล้องแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับสารละลายบัฟเฟอร์ซิเตรท (C5/P3, C1/P3, C5/P5 และ C1/P5) ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่สูงขึ้นและค่าพีเอชของสารละลายที่ลดต่ำลง ส่งผลให้แป้งข้าวกล้องงอกมีค่าการคืนตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) อยู่ระหว่าง 0.24-1.04 RVU





รูปที่ 1 กราฟคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวบานนา 432 ที่แช่ในสารละลายต่างๆ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

ซึ่งต่ำกว่าการแช่ด้วยสารละลาย P3, P5, C5 และ C1 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถลดการคินตัวของแป้งข้าวกล้องงอกบ้านนา 432 ได้ โดยการแช่ข้าวกล้องในสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรทที่มีค่าพีเอชที่ต่ำกว่าประกอบกับมีปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นมากกว่าการแช่ข้าวในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์หรือสารละลายบัฟเฟอร์เพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 1 คุณภาพทางเคมีและคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลายต่างๆ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

สถานะ	ความชื้น (%) <sup>ns</sup>	ปริมาณ GABA อิสระ (mg/100g)	น้ำตาลรีดิวซ์ (mg/100g)	Stirring number (cP)	อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (°C)	ค่าความหนืด (RVU)			
						ความหนืดสูงสุด	ความหนืดต่ำสุด	ความหนืดสุดท้าย	ค่าการคินตัว
Control	7.02 (0.01)	3.07 <sup>f</sup> (0.08)	11.30 <sup>f</sup> (1.53)	1,930.50 <sup>a</sup> (66.01)	88.52 <sup>a</sup> (0.55)	173.65 <sup>a</sup> (2.90)	128.23 <sup>a</sup> (0.66)	374.47 <sup>a</sup> (3.27)	245.70 <sup>a</sup> (1.84)
P3	6.84 (0.01)	16.37 <sup>e</sup> (0.04)	572.61 <sup>ef</sup> (17.17)	310.00 <sup>c</sup> (7.07)	79.55 <sup>d</sup> (0.55)	72.68 <sup>c</sup> (3.45)	25.28 <sup>c</sup> (1.47)	46.60 <sup>c</sup> (3.00)	21.32 <sup>c</sup> (1.53)
P5	6.86 (0.03)	31.87 <sup>c</sup> (0.93)	398.44 <sup>ef</sup> (18.85)	1,295.50 <sup>b</sup> (57.28)	84.48 <sup>bc</sup> (0.57)	96.92 <sup>b</sup> (2.55)	88.60 <sup>b</sup> (1.98)	164.20 <sup>b</sup> (3.68)	75.60 <sup>b</sup> (1.70)
C5	6.74 (0.05)	30.81 <sup>c</sup> (0.11)	268.00 <sup>ef</sup> (19.80)	148.00 <sup>e</sup> (1.41)	83.63 <sup>c</sup> (0.55)	16.44 <sup>e</sup> (0.85)	4.80 <sup>e</sup> (0.00)	9.72 <sup>e</sup> (0.06)	4.92 <sup>e</sup> (0.06)
C1	7.15 (0.06)	33.29 <sup>c</sup> (0.39)	265.00 <sup>ef</sup> (37.34)	96.00 <sup>fs</sup> (2.83)	84.48 <sup>bc</sup> (0.57)	15.80 <sup>e</sup> (2.21)	3.76 <sup>e</sup> (0.00)	5.36 <sup>ef</sup> (0.00)	1.92 <sup>f</sup> (0.51)

**ตารางที่ 1** คุณภาพทางเคมีและคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลายต่างๆ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (ต่อ)

สภาวะ	ความชื้น (%) <sup>ns</sup>	ปริมาณ GABA อิสระ (mg/100g)	น้ำตาลรีดิวซ์ (mg/100g)	Stirring number (cP)	อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (°C)	ค่าความหนืด (RVU)			
						ความหนืดสูงสุด	ความหนืดต่ำสุด	ความหนืดสุดท้าย	ค่าการคืนตัว
C5/P3	6.79 (0.03)	22.42 <sup>d</sup> (0.01)	30,765.99 <sup>b</sup> (415.61)	43.50 <sup>s</sup> (3.54)	79.59 <sup>d</sup> (0.79)	2.08 <sup>f</sup> (0.11)	0.04 <sup>f</sup> (0.00)	0.40 <sup>s</sup> (0.10)	0.24 <sup>f</sup> (0.20)
C1/P3	7.02 (0.03)	21.26 <sup>d</sup> (0.24)	33,353.01 <sup>a</sup> (166.30)	40.00 <sup>s</sup> (0.00)	79.70 <sup>d</sup> (0.00)	1.08 <sup>f</sup> (0.48)	0.12 <sup>d</sup> (0.06)	0.20 <sup>d</sup> (0.06)	0.32 <sup>d</sup> (0.00)
C5/P5	6.67 (0.03)	111.04 <sup>b</sup> (1.60)	9,632.80 <sup>d</sup> (220.18)	201.00 <sup>d</sup> (2.83)	85.29 <sup>b</sup> (0.60)	25.84 <sup>d</sup> (2.60)	10.72 <sup>f</sup> (0.91)	23.24 <sup>s</sup> (1.53)	12.52 <sup>f</sup> (0.62)
C1/P5	6.78 (0.08)	120.79 <sup>a</sup> (2.46)	13,074.08 <sup>c</sup> (99.97)	61.50 <sup>fs</sup> (9.19)	79.15 <sup>d</sup> (1.12)	5.84 <sup>f</sup> (0.11)	0.36 <sup>f</sup> (0.17)	1.40 <sup>f</sup> (0.06)	1.04 <sup>f</sup> (0.23)

หมายเหตุ: <sup>a-s</sup> ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดที่มีตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และ ( ) คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

บัฟเฟอร์ซิเตรท พีเอช 3 (P3)

บัฟเฟอร์ซิเตรท พีเอช 5 (P5)

แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 mM (C5)

แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.0 mM (C1)

แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 mM ในบัฟเฟอร์ซิเตรท พีเอช3 (C5/P3)

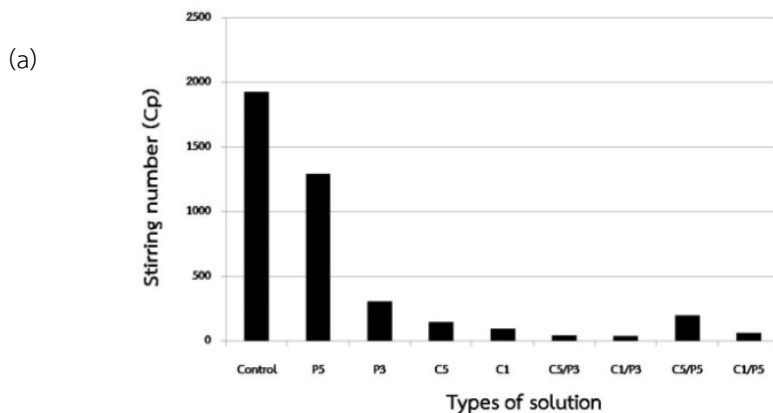
แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.0 mM ในบัฟเฟอร์ซิเตรท พีเอช3 (C1/P3)

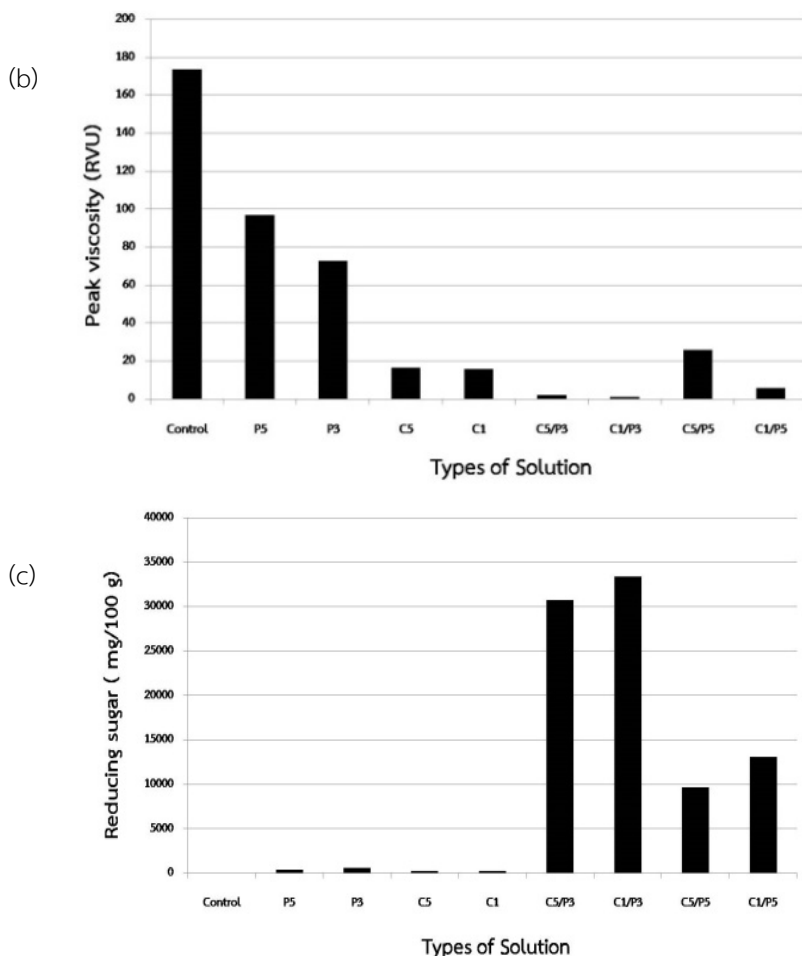
แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 mM ในบัฟเฟอร์ซิเตรท พีเอช5 (C5/P5)

แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.0 mM ในบัฟเฟอร์ซิเตรท พีเอช5 (C1/P5)

จากการตรวจสอบความสัมพันธ์ของคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพของแป้งข้าวกล้องงอกพบว่าการทำงานของเอนไซม์แอลฟาแอมิเลสที่มีผลมาจากกระบวนการงอกของเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์กับค่าคุณภาพ ได้แก่ ความหนืด และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2 (a, b และ c)

โดยเมื่อข้าวกล้องงอกมีค่า SN ที่ลดลง นั้นหมายถึงเอนไซม์แอลฟาแอมิเลสมีการทำงานที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ข้าวกล้องงอกมีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ที่ลดต่ำลง ในขณะที่น้ำตาลรีดิวซ์มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ





รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ของคุณภาพข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวบานนา 432 ที่แช่ในสารละลายต่างๆ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (a) Stirring number (b) Peak viscosity และ(c) Reducing sugar

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองพบว่า การแช่ข้าวกล้องงอกด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับสารละลายบัฟเฟอร์ โดยการเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์และค่าพีเอชของสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท ส่งผลให้ข้าวกล้องงอกมีปริมาณสาร GABA อิสระ สูงกว่าการแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์หรือสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรทเพียงอย่างเดียว ซึ่งสถานะที่มีปริมาณ GABA อิสระสูงที่สุด คือ การแช่ข้าวกล้องงอกด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 mM ใน

สารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท pH 5 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แต่ในขณะเดียวกันข้าวกล้องงอกจะมีคุณสมบัติด้านความหนืดที่ลดลง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ในการนำข้าวกล้องงอกข้าวบานนา 432 ไปใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาจต้องพิจารณาทั้งปริมาณ GABA และคุณสมบัติด้านความหนืดควบคู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ ซึ่งหากเลือกสภาวะการงอกที่ให้ GABA อิสระปริมาณสูงสุดควรเลือกใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการความข้นหนืดมาก เช่น ผลิตภัณฑ์แห้งกรอบหรือผลิตภัณฑ์ซูพรีนิตไล

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ KMUTNB-NEW-57-07

## เอกสารอ้างอิง

- กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2556). ข้าวพันธุ์ข้าว บ้านนา 432. วารสารกรมการข้าว. 1(1): 8-10.
- ชนิษฐา วงศ์บาส, กมลวรรณ แจ่มชัด, อนุวัตร แจ่มชัด, พัชรีย์ ตั้งตระกูล และสุคันธรส ธาดากิตติสาร. (2552). ผลของสภาวะในการงอกที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวเหนียวกล้องงอก ใน เรื่องเต็มการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ, หน้า 630-638.
- ฐิติรักษ์ วรรณพัฒนผดุง, แสงระวี สุทธิปริญญาพันธ์ และ ผดุงขวัญ จิตโรภาส. (2555). คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งมันสำปะหลังตัดแปดด้วยเทคนิคการใช้ต่างในแอลกอฮอล์. ใน การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 13 มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 838-47.
- วัลลภ สันติประชา. (2540). เทคโนโลยีเมล็ดพืช. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- ศุภรัตน์ คจวรรณ, กมลวรรณ แจ่มชัด และอนุวัตร แจ่มชัด. (2557). ผลของไคโตซานและสารละลายกรดร่วมกับระยะเวลาในการแช่ที่มีต่อคุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์และปริมาณ GABA ของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105. วารสารวิจัย มช. 19(3): 414-450.
- AACC. (2000). Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10<sup>th</sup> ed., Method 61-02. The Association: St. Paul, Minnesota.
- Ahmad, F.B. and Williams, P.A. (1999). Effect of salt on the gelatinization and rheological properties of sago starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47: 3359-3366.
- AOAC. (2000). Official Method of Analysis. 18<sup>th</sup> ed., The Association of Official Analytical Chemists Arlington, Virginia.
- Bao, J., Bergman, C.J. (2004). The functionality of rice starch. In: *Starch in food: Structure, function and applications*, A.-C. Eliasson (Ed.), Woodhead Publishing Ltd. and CRC Press LLC: Boca Raton, FL: pp. 258-294.
- Bathgate, G.N. and Palmer, G.H. (1973). The *in vivo* and *in vitro* degradation of barley and starch granules. *Journal of the Institute of Brewing* 79: 402.
- Baum, G., Yadun, S.L., Fridmann, Y., Arazi, T., Katsnelson, H., Zik, M. and Fromm, H. (1996). Calmodulin binding to glutamate decarboxylase is required for regulation of glutamate and GABA metabolism and normal development in plants. *The EMBO Journal* 15(12): 2988-2996.
- Bown, A.W. and Shelp, B.J. (1997). The metabolism and functions of  $\gamma$ -aminobutyric acid. *Plant Physiology* (115): 1-5.
- Bryant, C. M. and Hamaker, B.R. (1997). Effect of lime on gelatinization of corn flour and starch. *Cereal Chemistry* 74(2):171-175.
- Charoenthakij, P. Jangchud, K., Jangchud, A and Prinyawiwatkul, W. (2010). Germination Conditions Affect Selected Quality of Composite Wheat-Germinated Brown Rice Flour and Bread Formulations. *Journal of Food Science* 75: 312-318.
- Charoenthakij, P. Jangchud, K., Jangchud, A., Piyachomkwan, K., Tungtrakul, P. and Prinyawiwatkul, W. (2009). Germination condition affects physicochemical properties of germinated brown rice flour. *Journal of Food Science* 74: 658-665.
- Chug, H.J, Jang, S.H, Cho, H.Y and Lim, S.T. (2009) Effect of steeping and anaerobic treatment on GABA content in germinated waxy hull less barley.

- Journal of Food Science and Technology 49: 1712-1716.
- Funami, T., Noda, S., Hiroe, M., Asai, I., Ikeda, S. and Nashinari, K. (2008). Functions of iota-carrageenan on the gelatinization and retrogradation behaviors of corn starch in the presence or absence of various salts. *Food Hydrocolloids* (22): 1273-1282.
- Horino T, Mori Y and Saikusa T. (1994). Distribution of free amino acids in the rice kernel and kernel fractions and the effect of water soaking on the distribution. *Journal Agricultural Food Chemistry* 42: 1122-1 125.
- Jannoey, P., Niamsup, H., Lumyong, S., Suzuki, T., Katayama, T. and Chairote, G. (2010). Comparison of gamma – amino butyric acid production in Thai rice grains. *Journal of Microbial Biotechnology* 26: 257-263.
- Knight, M.R, Campbell A.K, Smith, S.M and Trewavas, A.J. (1991). Transgenic plant aequorin reports the effect of touch and cold shock and elicitors on cytoplasmic calcium. *Nature* 352: 524-526.
- Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. and Kimura, T. (2007). Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in geminated brown rice. *Journal of Food Engineering* 78: 556-560.
- Oosten, B.J. (1990). Interaction between starch and electrolytes. *Starch/Starke*. 42: 327-330.
- Palmiano, E. P. and Juliano, B. O. (1972). Biochemical changes in the rice grain during germination. *Plant Physiology* 49: 751-756.
- Rimsten, L., Haraldsson, A.K., Andersson, R., Alming, M., Sandberg, A.S. and Aman, P. (2003). Effects of malting on beta-glucanase and phytase activity in barley grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82(8): 904 - 912.
- Samutsri, W. and Suphantharika, M. (2012). Effect of salts on pasting, thermal, and rheological properties of rice starch in the presence of non-ionic and ionic hydrocolloids. *Carbohydrate Polymers* 87: 1559–1568.
- Somogyi S and Nelson N. (1952). A photometric adaption of somogyi and method for the determination of cellulose. *Biological Chemistry*. 153: 1.
- Songtip, P., Jangchud, K., Jangchud, A. and Tungtrakul, P. (2012). Physicochemical property changes in germinated brown rice flour from different storage periods of paddy rice. *International Journal of Food Science and Technology* 47: 682–688.
- Streeter, J.G. and Thompson, J.F. (1972). Anaerobic accumulation of gamma-aminobutyric acid and alanine in radish leaves (*Raphanus sativus L.*). *Plant Physiology* 49: 572–578.
- Sunte, J., Srijesdaruk, V and Tangwongchai, R. (2007). Effects of soaking and germinating process on gamma-aminobutyric acid (GABA) content in germinated brown rice (Hom mali 105). *Agricultural Science Journal* 38(6) (Suppl): 103-106.
- Varanyanond, W., Tungtrakul, P., Surojanametakul V., Watanasiritham, L. and Luxiang W. (2005). Effects of water soaking on gamma-aminobutyric acid (GABA) in germ of different Thai rice varieties. *Kasetsart Journal (Natural Science)* 39: 411– 415.

