



KKU Res.j. 2014; 19(3) : 414-450

<http://resjournal.kku.ac.th>

ผลของไคโตซานและสารละลายกรดร่วมกับระยะเวลาในการแช่ที่มีต่อคุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์และปริมาณ GABA ของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

Effect of Chitosan and Acid solution coordination Steeping time on Physiochemical Properties and GABA content of Germinated Brown Rice Flour Produced from Brown Rice (*Oryza sativa* L.cv. 105)

ศุภรัตน์ กงวรรณ^{1*}, กมลวรรณ แจ่มชัด¹ และอนุวัตร แจ่มชัด¹Surathanan kongwan^{1*}, Kamolwan Jangchud¹ and Anuvat Jangchud¹¹ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Department of Product Development, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University

*Correspondent author: Surathanank@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

จากการศึกษาผลของสารละลายร่วมกับระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยจัดสิ่งทดลองแบบ 5x4 แฟกเตอร์เรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ ปัจจัยที่ศึกษา คือ สารละลาย 5 ชนิด ได้แก่ น้ำกรอง, สารละลายบัฟเฟอร์ซิเตรท pH 3, สารละลายไคโตซาน pH 3 (ไคโตซาน ร้อยละ 0.5 ในสารละลายบัฟเฟอร์ซิเตรท pH 3), สารละลายบัฟเฟอร์ซิเตรท pH 5 และสารละลายไคโตซาน pH 5 (ไคโตซาน ร้อยละ 0.5 ในสารละลายบัฟเฟอร์ซิเตรท pH 5) ที่ระยะเวลาการแช่ 4 ระดับ คือ 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง โดยมีข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการงอกเป็นตัวอย่างควบคุม จากผลการทดลองพบว่า แป้งข้าวกล้องงอกมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5.35-7.29 แป้งข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลายไคโตซาน pH 5 มีปริมาณสาร GABA อิสระ, ความหนืดสูงสุด และค่าการคืนตัวสูงกว่าแป้งข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ซิเตรท pH 3, และสารละลายไคโตซาน pH 3 สำหรับการแช่ข้าวกล้องในทุกลำดับที่ศึกษา พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดสูงสุดและค่าการคืนตัวลดลงทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณ GABA อิสระเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p < 0.05$)

Abstract

This research was conducted to determine the effect of solution and steeping time on physical and chemical properties of germinated brown rice flour (*Oryza sativa* L. cv. 105). The 5x4 full factorial in CRD was conducted: 5 levels of solution (Reverse osmosis water, Citrate buffer pH3, Chitosan/citrate pH3, Citrate buffer pH5 and Chitosan/citrate pH5) and 4 levels of steeping time (12, 24, 36 and 48 h). The non germinated brown rice was serves as a control. The result showed that moisture content ranged from 5.35-7.29%. Free GABA content, peak viscosity and set back of flour produced from brown rice soaked in chitosan/citrate pH5 were higher than those from soaked in citrate buffer pH3

and chitosan/citrate pH3. For all studied soaking solutions, as steeping time increased, peak viscosity, set back from trough decreased but reducing sugar and free GABA content increased.

คำสำคัญ: ไคโตซาน กาบอสิสระ คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด

Keywords: Chitosan, Free GABA, Pasting properties

1. บทนำ

ในปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสนใจในเรื่องอาหารบำรุงสุขภาพที่มาจากธรรมชาติมากขึ้น โดยสังเกตได้จากการนิยมหันมาบริโภคข้าวกล้องงอก โดยการงอกของเมล็ดนั้นจะกระตุ้นให้เกิดการทำงานของไฮโดรไลติกเอนไซม์ซึ่งมีกิจกรรมในการย่อยสลายและโปรตีน (14) นอกจากนี้การงอกของเมล็ดยังส่งผลให้มีการสะสมสารอาหารเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะกรดแอมมาเอมิโนบิวทริก (GABA) ซึ่งเป็นสารสื่อประสาทช่วยรักษาโรคเกี่ยวกับระบบประสาทและช่วยควบคุมความดันโลหิต (12)

ด้วยเหตุที่ข้าวกล้องงอกอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ แต่การได้มาซึ่งข้าวกล้องงอกที่มีปริมาณสารอาหารที่เพิ่มมากขึ้นจากข้าวกล้องปกติจำเป็นต้องอาศัยปัจจัยเพื่อทำให้กระบวนการงอกเกิดขึ้นอย่างเหมาะสม โดยปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิ ออกซิเจน ความชื้น และระยะเวลาในการแช่ ซึ่งนอกเหนือจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้นแล้วยังพบว่าค่าความเป็นกรดต่าง (7) และคุณสมบัติของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวก็ส่งผลต่อปริมาณสาร GABA ที่แตกต่างกันอีกด้วย โดยเฉพาะสารละลายที่สามารถเพิ่มการจับตัวระหว่างแคลเซียมกับโปรตีนในเมล็ดข้าว (แคลโมดูลิน) โดย Baum และคณะ (4) กล่าวว่าแคลเซียมอิสระเมื่อจับกับแคลโมดูลิน (calmodulin) จะช่วยให้การทำงานของเอนไซม์กลูตามิกดีคาร์บอกซิเลสเพิ่มมากขึ้น โดยส่งผลทำให้มีการผลิตสาร GABA ที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Oh (13) พบว่าการแช่ข้าวในสารละลายไคโตซานสามารถช่วยเพิ่มปริมาณสาร GABA ได้ โดยได้ศึกษาการแช่ข้าวกล้องที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าการแช่ข้าวกล้องด้วยสารละลายไคโตซานร่วมกับกรดกลูตามิกส่งผลให้มีปริมาณ GABA สูงสุด เนื่องจากไคโตซานมีส่วนช่วยให้แคลเซียม

แตกตัวอยู่ในรูปอิสระ ซึ่งแคลเซียมอิสระนี้เมื่อจับกับแคลโมดูลิน จะช่วยให้การผลิต GABA เพิ่มขึ้น (15) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาผลของการแช่ข้าวกล้องด้วยสารละลายไคโตซานในสารละลายกรดที่มีค่าความเป็นกรดต่างที่แตกต่างกันร่วมกับระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพบางประการของแป้งข้าวกล้องงอกผลิตจากข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

2. วิธีวิจัย

2.1 การเตรียมวัตถุดิบข้าวกล้อง

นำเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มากะเทาะเปลือกและคัดคุณภาพโดยการเลือกเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์หรือแตกหักออกไป จากนั้นล้างทำความสะอาดและนำไปแช่ในสารละลายไฮโปคลอไรต์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 เป็นเวลา 30 นาที เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนแล้วล้างออกด้วยน้ำปราศจากไอออน พักให้สะเด็ดน้ำเพื่อเตรียมสำหรับการนำไปงอกด้วยวิธีการที่จะศึกษาต่อไป

2.2 การศึกษาผลของสารละลายร่วมกับระยะเวลาในการแช่ที่มีต่อคุณภาพของแป้งข้าวกล้องงอก

จัดตั้งทดลองแบบ 5x4 แฟกทอเรียล ในแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ ปัจจัยที่ศึกษา คือ สารละลาย 5 ชนิด ได้แก่ น้ำกรอง, สารละลายบัฟเฟอร์ซิเตรท pH 5, สารละลายไคโตซาน pH 5 (ไคโตซาน ร้อยละ 0.5 ในสารละลายบัฟเฟอร์ซิเตรท pH 5), สารละลายบัฟเฟอร์ซิเตรท pH 3 และสารละลายไคโตซาน pH 3 (ไคโตซาน ร้อยละ 0.5 ในสารละลายบัฟเฟอร์ซิเตรท pH 3) ที่ระยะเวลาการแช่ 4 ระดับ คือ 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง โดยมีข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการงอกเป็นตัวอย่างควบคุม

วิธีการรอกคัดแปลงจาก Charoenthakij และคณะ (6) โดยการนำเมล็ดข้าวกล้องมาแช่ในอัตราส่วนข้าวกล้องต่อสารละลาย เท่ากับ 1:3 (w/v) และเก็บที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง ทำการเปลี่ยนน้ำทุก 12 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด นำข้าวกล้องงอกที่ได้ล้างด้วยน้ำสะอาดและนำไปอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ยกเว้นการวิเคราะห์ปริมาณ GABA อิสระ เตรียมตัวอย่างด้วยการทำแห้งแบบ freeze-drying จากนั้นนำไปผ่านเครื่องบดและผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช เพื่อเตรียมสำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืด โดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) รุ่น 4D ยี่ห้อ Newport ตามวิธีการของ AACC (2) และคุณภาพทางเคมี การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (1) วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ตามวิธีการของ Somogyi และคณะ (16) และวิเคราะห์ปริมาณ GABA อิสระ ตามวิธีการของ Varanyanond และคณะ (18)

2.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows Version 12.0 ถ้าพบนัยสำคัญทางสถิติจะคำนวณ ค่า Duncan's new multiple range test (DMRT) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลอง

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ผลของสารละลายร่วมกับระยะเวลาในการแช่ที่มีต่อคุณภาพของแป้งข้าวกล้องงอก

จากการศึกษาคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพของแป้งข้าวกล้องงอก พบว่า

3.1.1 คุณภาพทางเคมี

จากผลการศึกษาพบว่า สารละลายแต่ละชนิด ได้แก่ น้ำกรอง, สารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท pH 5, สารละลายไคโตซาน pH 5, สารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท pH 3 และสารละลายไคโตซาน pH 3 ร่วมกับระยะเวลาการแช่ที่ 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง ส่งผลต่อปริมาณความชื้น ปริมาณ GABA อิสระ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ดังแสดงในตารางที่ 1

โดยพบว่าแป้งข้าวกล้องงอกที่ได้จากการแช่ในสารละลายทั้ง 5 ชนิด มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง ร้อยละ 5.35-7.29 สำหรับปริมาณสาร GABA อิสระ ของแป้งข้าวกล้องงอก พบว่าเมื่อระยะเวลาในการแช่ข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณ GABA อิสระของแป้งข้าวกล้องงอกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการรอก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Islam และคณะ(10) ได้ศึกษาปริมาณสาร GABA ในข้าวที่ผ่านการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรทเป็นเวลา 12-48 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณสาร GABA เพิ่มขึ้นจาก 9.12 ไปเป็น 39.04 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ทั้งนี้เนื่องจากการแช่เมล็ดข้าวในน้ำเป็นสถานะที่ทำให้เมล็ดข้าวได้รับออกซิเจนลดลง (hypoxia)(8) ซึ่งสถานะที่เมล็ดข้าวได้รับออกซิเจนลดลงนี้ถือเป็นการเพิ่มสภาวะความกดดัน (Stress) ให้กับเมล็ดข้าวในระหว่างการรอก ดังนั้นเมล็ดข้าวจะมีการตอบสนองต่อสภาวะแวดล้อมเพื่อการเจริญเติบโต โดยจะส่งผลให้กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลต เพื่อสังเคราะห์กรดกลูตามิกไปเป็นสาร GABA (5,15) ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์สาร GABA เป็นกระบวนการทางอ้อมที่เกิดขึ้นในวัฏจักรเครปป์ ซึ่งเป็นวัฏจักรการเจริญเติบโตของพืช (15) ดังนั้นเมื่อระยะเวลาในการแช่ข้าวมากขึ้น จะส่งผลให้มีการสะสมปริมาณสาร GABA ที่เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาผลของความแตกต่างของชนิดสารละลายที่ใช้แช่ข้าวในระยะเวลาการแช่เดียวกัน โดยเปรียบเทียบระหว่าง น้ำกรอง, สารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท pH 3 และสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท pH 5 พบว่า แป้งข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท pH 5 มีปริมาณสาร GABA อิสระสูงสุด เท่ากับ 40.38 มิลลิกรัม/100 กรัม ที่ระยะเวลาแช่ 48 ชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าแป้งข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท pH3 และแช่ในน้ำกรอง ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sunte และคณะ(17) ได้ศึกษาผลของความแตกต่างของสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท ที่ pH ต่างกัน (pH 4, 4.5, 5, 5.5, 6 และ 6.5) ต่อปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่าข้าวที่ผ่านการแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท pH 5 มีปริมาณ GABA สูงสุดเท่ากับ 21.93 มิลลิกรัม/100 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับคำอธิบายของ Bown

ตารางที่ 1 ปริมาณความชื้น น้ำตาลรีดิวิซ์ และปริมาณ GABA อิสระ ของแป้งข้าวกล้องงอก

สภาวะ	ระยะเวลาแช่ (ชั่วโมง)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	น้ำตาลรีดิวิซ์ (มิลลิกรัม/100กรัม)	GABA อิสระ (มิลลิกรัม/100กรัม)
สภาวะควบคุม	0	7.02 ^b (0.01)	11.30 ^h (0.02)	3.15 ⁿ (0.92)
RO	12	7.29 ^a (0.03)	131.85 ^{gh} (3.23)	5.22 ^m (0.19)
	24	6.74 ^{cd} (0.05)	152.08 ^{gh} (6.07)	11.01 ⁱ (0.24)
	36	7.15 ^b (0.06)	209.06 ^{gh} (2.11)	14.71 ^{ij} (0.34)
	48	6.84 ^c (0.01)	268.00 ^{gh} (2.43)	18.68 ^h (0.03)
C5	12	6.86 ^c (0.03)	138.24 ^{gh} (4.86)	14.81 ^{ij} (0.83)
	24	6.79 ^{cd} (0.03)	168.29 ^{gh} (2.10)	26.80 ^f (0.72)
	36	6.67 ^d (0.03)	174.38 ^{gh} (5.55)	37.41 ^d (1.30)
	48	7.02 ^b (0.03)	205.18 ^{gh} (8.52)	40.38 ^c (0.92)
CC5	12	6.43 ^{ef} (0.20)	154.36 ^{gh} (3.20)	16.41 ⁱ (0.40)
	24	5.85 ^h (0.03)	175.82 ^{gh} (2.40)	25.03 ^g (1.22)
	36	6.52 ^e (0.03)	182.48 ^{gh} (2.76)	38.87 ^{cd} (1.15)
	48	6.38 ^f (0.01)	235.97 ^{gh} (1.21)	46.30 ^a (0.33)
C3	12	6.78 ^{cd} (0.08)	394.03 ^f (3.21)	11.80 ^{kl} (0.82)
	24	5.90 ^h (0.08)	584.07 ^e (15.78)	13.20 ^{jk} (1.14)
	36	6.73 ^{cd} (0.08)	5,276.47 ^d (242.75)	19.50 ^h (0.30)
	48	6.10 ^g (0.04)	30,765.59 ^b (318.98)	30.10 ^e (0.96)
CC3	12	6.38 ^f (0.01)	405.51 ^{ef} (6.73)	20.19 ^h (1.52)
	24	5.42 ⁱ (0.01)	668.86 ^e (15.70)	26.31 ^{ig} (0.18)
	36	6.40 ^{ef} (0.03)	18,225.24 ^c (554.25)	38.08 ^d (0.36)
	48	5.35 ⁱ (0.01)	3,353.01 ^a (207.16)	44.59 ^b (0.52)

RO = น้ำปราศจากไอออน

C3 = สารละลายซิเตรทบัฟเฟอร์ pH3

C5 = สารละลายซิเตรทบัฟเฟอร์ pH5

CC3 = สารละลายไคโตซาน pH3

CC5 = สารละลายไคโตซาน pH5

ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่มีตัวอักษรแตกต่างกัน a-n หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตัวเลขในเครื่องหมาย (วงเล็บ) หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

ตารางที่ 2 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอก

สภาวะ	ระยะเวลา แช่ (ชั่วโมง)	อุณหภูมิเริ่ม เกิดความหนืด (°C)	ค่าความหนืด (RVU)			
			ความหนืดสูงสุด	ความหนืดต่ำสุด	ความหนืดสุดท้าย	ค่าการคืนตัว
สภาวะควบคุม	0	75.10 ^a (0.03)	175.58 ^b (0.51)	125.33 ^a (1.24)	228.53 ^a (1.27)	103.25 ^a (0.03)
RO	12	75.93 ^a (0.04)	186.86 ^a (5.91)	129.82 ^a (4.20)	228.05 ^b (5.13)	98.23 ^b (0.97)
	24	75.13 ^a (1.03)	93.75 ^c (4.08)	65.45 ^c (2.71)	133.60 ^c (3.48)	68.15 ^f (0.92)
	36	74.00 ^{ab} (0.49)	69.52 ^{gb} (1.12)	47.39 ^f (0.65)	100.28 ^f (1.09)	52.88 ^h (0.55)
	48	73.93 ^{ab} (0.64)	53.96 ⁱ (1.93)	35.53 ^h (0.23)	78.32 ⁱ (0.91)	42.80 ^j (0.73)
C5	12	74.40 ^{ab} (0.00)	148.87 ^c (0.00)	112.26 ^b (0.00)	201.49 ^c (0.46)	89.23 ^b (0.45)
	24	74.33 ^{ab} (0.11)	125.75 ^d (0.01)	95.25 ^d (2.45)	176.12 ^d (2.61)	80.88 ^c (0.22)
	36	72.48 ^{ab} (0.60)	71.76 ^{fg} (3.72)	48.94 ^f (4.07)	101.44 ^f (6.82)	52.50 ^h (2.75)
	48	70.50 ^b (4.45)	40.79 ^k (0.71)	23.61 ^j (0.65)	53.71 ^k (0.91)	30.10 ^l (0.21)
CC5	12	72.10 ^b (2.31)	147.95 ^c (1.90)	108.21 ^c (2.40)	196.64 ^d (3.01)	88.44 ^c (0.59)
	24	72.00 ^b (3.32)	91.78 ^c (0.12)	63.02 ^e (0.00)	128.56 ^c (0.12)	65.53 ^g (0.12)
	36	74.80 ^{ab} (0.67)	44.97 ^j (0.71)	27.29 ⁱ (0.89)	61.48 ^j (0.41)	34.19 ^k (0.48)
	48	73.25 ^{ab} (0.69)	10.95 ⁿ (0.16)	4.79 ^l (0.68)	14.01 ^m (1.23)	9.22 ^h (0.41)
C3	12	74.78 ^{ab} (0.60)	74.27 ^f (0.58)	46.77 ^f (1.00)	91.69 ^g (1.65)	44.92 ⁱ (0.65)
	24	74.03 ^{ab} (0.46)	31.97 ^l (0.06)	14.04 ^k (0.35)	31.31 ^l (0.42)	17.26 ^m (0.06)
	36	72.90 ^{ab} (0.00)	8.61 ⁿ (0.46)	2.48 ^m (0.00)	6.35 ⁿ (0.35)	3.52 ^o (0.35)
	48	72.45 ^{ab} (0.02)	4.93 ^o (0.35)	-0.92 ⁿ (0.47)	-0.54 ^o (0.30)	0.38 ^p (0.17)
CC3	12	73.68 ^{ab} (2.23)	66.20 ^h (0.11)	42.80 ^g (0.59)	85.97 ^h (0.65)	43.17 ^j (0.06)
	24	73.65 ^{ab} (0.07)	28.51 ^m (0.12)	13.75 ^k (0.30)	31.72 ^l (0.06)	17.97 ^m (0.35)
	36	74.39 ^{ab} (1.05)	8.74 ^h (0.29)	1.17 ^{lm} (0.00)	2.80 ^{no} (0.54)	1.63 ^p (0.54)
	48	72.88 ^{ab} (1.10)	5.40 ^o (0.18)	-1.05 ⁿ (0.29)	-0.34 ^o (0.23)	0.71 ^p (0.06)

RO = น้ำปราศจากไอออน

C3 = สารละลายซีเตรทบัฟเฟอร์ pH3

C5 = สารละลายซีเตรทบัฟเฟอร์ pH5

CC3 = สารละลายไคโตซาน pH3

CC5 = สารละลายไคโตซาน pH5

ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่มีตัวอักษรแตกต่างกัน a-q หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

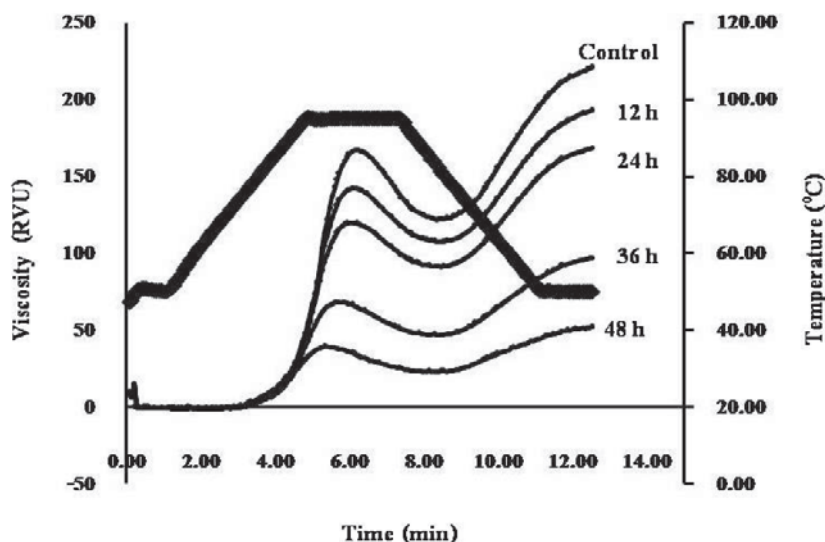
ตัวเลขในเครื่องหมาย (วงเล็บ) หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

และคณะ (5) ได้อธิบายว่า การลดระดับ pH ใน cytosolic ถือเป็นการเพิ่มสภาวะกดดันให้กับพืช ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งต่อการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลสและมีความสำคัญต่อการสะสมสาร GABA ขณะที่เมื่อเพิ่มไคโตซาน ร้อยละ 0.5 ลงในสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท pH3 และสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท pH5 พบว่าแป้งข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลายไคโตซาน pH3 และ pH5 มีปริมาณ GABA อิสระเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เท่ากับ 44.59 มิลลิกรัม/100 และ 46.30 มิลลิกรัม/100 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาการแช่ 48 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Oh (13) ได้ศึกษาปริมาณ GABA ในข้าวที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแลคติก ความเข้มข้น 5 mM และไคโตซาน 50 ppm ในสารละลายกรดแลคติก ความเข้มข้น 5 mM พบว่า ข้าวที่แช่ในสารละลายไคโตซานมีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากไคโตซานอาจมีความสามารถในการเป็นสารกระตุ้น (cell elicitor) ในพืชได้ ดังนั้น ไคโตซานจึงมีความสามารถในการกระตุ้นปริมาณแคลเซียมในเซลล์พืช (3) โดย Knight และคณะ (11) กล่าวว่า การเพิ่มขึ้นของ cytosolic Ca^{2+}

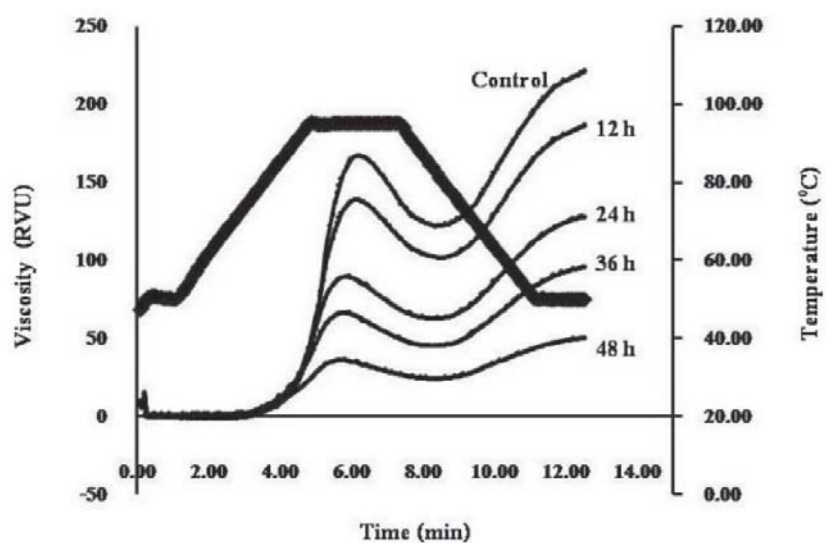
ส่งผลให้เกิดจากการสะสมของปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น โดยที่ Ca^{2+} จับกับโปรตีนที่มีชื่อว่า calmodulin และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลส สำหรับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์พบว่าเมื่อระยะเวลาในการแช่ข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของแป้งข้าวกล้องงอกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นผลจากการทำงานของเอนไซม์เอมิลเลสในระหว่างการงอก ซึ่งในระหว่างการงอกเอนไซม์เอมิลเลสมีกิจกรรมในการย่อยแป้งได้น้ำตาลรีดิวซ์ เช่น กลูโคส มอลโตส ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Charoenthaikij และคณะ (6) โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์เอมิลเลสเพิ่มมากขึ้นซึ่งส่งผลให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

3.1.2 คุณภาพทางกายภาพ

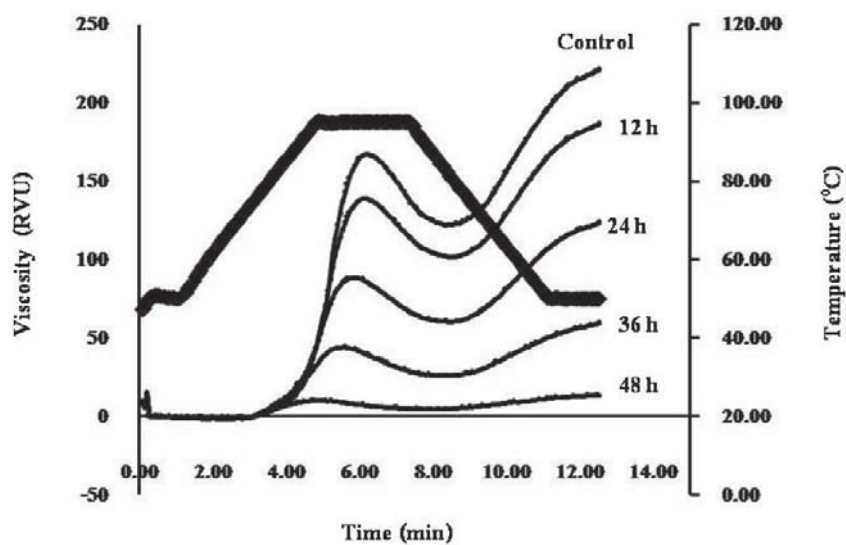
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอกโดยใช้เครื่อง RVA (Rapid Viscosity Analyzer) สามารถสรุปได้ดังข้อมูลในตารางที่ 2 และ ภาพที่ 1-5



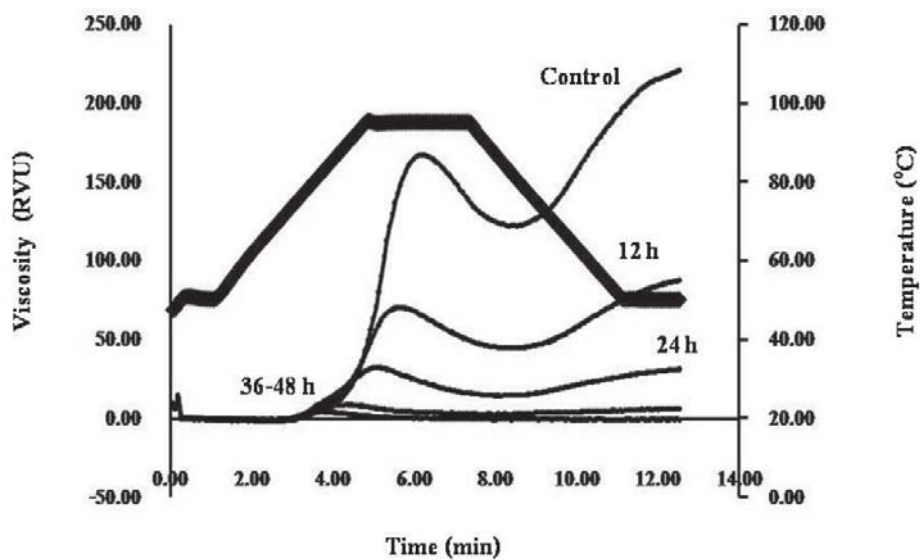
รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำปราศจากไอออน เป็นเวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง



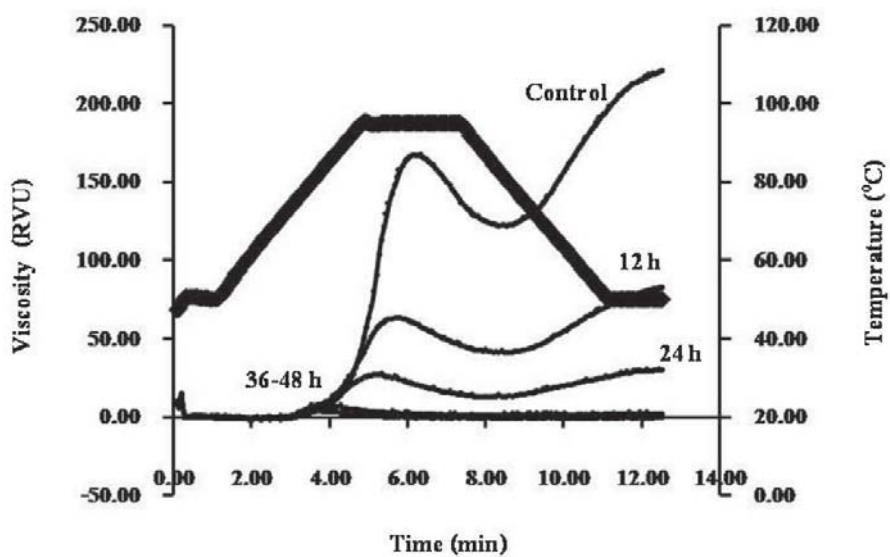
รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอก ที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท pH 5 เป็นเวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอก ที่แช่ในสารละลายไคโตซาน pH 5 เป็นเวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอก ที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท pH 3 เป็นเวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอก ที่แช่ในสารละลายไคโตซาน pH 3 เป็นเวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) ของแป้งข้าวกึ่งงอก พบว่า ค่า pH ของสารละลายในการแช่ข้าวที่สูงขึ้นและระยะเวลาในการแช่ข้าวที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่ออุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าวกึ่งงอกทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 73.39-74.40 องศาเซลเซียส

สำหรับค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (tough viscosity) ของแป้งข้าวกึ่งงอก พบว่า ค่า pH ของสารละลายที่สูงขึ้นและระยะเวลาในการแช่ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดของแป้งข้าวกึ่งงอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้นจาก 12 ชั่วโมงไปเป็น 48 ชั่วโมง ส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดของแป้งข้าวกึ่งงอกลดลง และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของ ค่า pH ของสารละลายที่ใช้แช่ข้าวที่ระยะเวลาการแช่เดียวกัน พบว่า แป้งข้าวกึ่งงอกที่แช่ในน้ำกรอง (pH6.8) ให้ค่าความหนืดสูงสุดและค่าความหนืดต่ำสุดสูงที่สุด เท่ากับ 53.52-186.56 RVU และ 35.57-129.82 RVU รองลงมาคือ แป้งข้าวกึ่งงอกที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท pH 5, สารละลายไคโตซาน pH 5, สารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท pH 3 และสารละลายไคโตซาน pH3 ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุที่แป้งข้าวกึ่งงอกมีความหนืดสูงสุดลดลงเนื่องจากในระหว่างการงอกของเมล็ดจะมีการผลิตเอนไซม์แอมิเลสซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในการย่อยคาร์โบไฮเดรต (แอมิโลสและแอมิโลเพกทิน) ให้มีโมเลกุลขนาดเล็กที่สามารถละลายน้ำได้จึงส่งผลให้ความหนืดของแป้งลดลง (9) และแป้งเกิดการไฮโดรไลซิสเนื่องจากความเป็นกรดของสารละลายที่แช่ เมื่อพิจารณาค่าการคืนตัว(setback) ของแป้งข้าวกึ่งงอก ซึ่งแสดงถึงการเกิดรีโทรเกรเดชันจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมล็ดข้าวที่ผ่านการแช่น้ำและในสารละลายมีการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ลดลง โดยเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่จะส่งผลให้ค่าการคืนตัวของแป้งข้าวกึ่งงอกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกึ่งงอกที่ไม่ผ่านการงอก

ดังนั้นสภาวะสำหรับวิธีการงอกเพื่อให้ได้ปริมาณ GABA อิสระสูง คือ การแช่ข้าวกึ่งงอกด้วยไคโตซาน ร้อยละ 0.5 ในสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท pH 5 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทั้งนี้การเลือกใช้ไปเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์

อาจต้องพิจารณาหลายปัจจัยร่วมกันและขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะความหนืด ถ้าในแง่สารละลายนานขึ้น ทำให้ได้ปริมาณ GABA สูงขึ้น แต่ความหนืดของสารละลายแป้งข้าวกึ่งงอกจะลดลง

4. สรุป

จากผลการทดลองพบว่า การแช่ข้าวกึ่งงอกด้วยไคโตซาน ร้อยละ 0.5 ในสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท pH 5 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ส่งผลให้แป้งข้าวกึ่งงอกมีปริมาณสาร GABA อิสระ ความหนืดสูงสุดและค่าการคืนตัวสูงกว่าแป้งข้าวกึ่งงอกที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ซีเตรท pH 3, และสารละลายไคโตซาน pH 3 แต่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำกว่า ($p<0.05$) สำหรับการแช่ข้าวกึ่งงอกในสารละลายทั้ง 5 ชนิด พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้นค่าความหนืดสูงสุดและค่าการคืนตัวลดลงและมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณ GABA อิสระเพิ่มขึ้นทางสถิติ ($p<0.05$)

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) AOAC. 2000. Official Method of Analysis. 18th ed., The Association of official Analytical Chemists Arlington, Virginia.
- (2) AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th ed., Method 61-02. The Association: St. Paul, Minnesota.
- (3) Bach M, Schnitzler JP and Seitz HU. Elicitor-induced changes in Ca^{2+} influx, K^+ efflux, and 4-hydroxybenzoic acid synthesis in protoplasts of *Daucus carota* L. Plant Physiology. 1993; 103: 407-412.

- (4) Baum G, Yadun SL, Fridmann Y, Arazi T, Katsnelson H, Zik M and Fromm H. Calmodulin binding to glutamate decarboxylase is required for regulation of glutamate and GABA metabolism and normal development in plants. *The EMBO Journal*. 1996; 15(12): 2988-2996.
- (5) Bown AW and Shelp BJ. The metabolism and functions of γ -aminobutyric acid. *Plant Physiology*. 1997; 115: 1-5.
- (6) Charoenthakij P, Jangchud K, Jangchud A, Piyachomkwan K, Tungtrakul P and Prinyawiwatkul W. Germination condition affects physicochemical properties of germinated brown rice flour. *Journal of Food Science*. 2009; 74: 658-665.
- (7) Chug HJ, Jang SH, Cho HY and Lim ST. Effect of steeping and anaerobic treatment on GABA content in germinated waxy hull less barley. *Journal of food Science and Technology*. 2009; 49: 1712-1716
- (8) Dewar J, Taylor JRN and Berjak P. Determination of improved steeping conditions for sorghum malting. *Journal of Cereal Science*. 1997; 26: 129-136.
- (9) Helland MH, Wicklund T and Narvhus JA. Effect of germination time on alpha-amylase production and viscosity of maize porridge. *Food Research International*. 2002; 35: 315-321.
- (10) Islam MA and Becerra JX. Analysis of chemical components involved in germination process of rice variety jhapra. *Journal of Scientific Research*. 2012; 4(1): 251-262.
- (11) Knight MR, Campbell AK, Smith SM, Trewavas AJ. Transgenic plant aequorin reports the effect of touch and cold shock and elicitors on cytoplasmic calcium. *Nature*. 1991; 352: 524-526.
- (12) Komatsuzaki N, Tsukahara K, Toyoshima H, Suzuki T, Shimizu N and Kimura T. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. *Journal of Food Engineering*. 2007; 78: 556-560.
- (13) Oh SH. Stimulation of γ -aminobutyric acid synthesis activity in brown rice by a chitosan/glutamic acid germination solution and calcium/calmodulin. *Biochemistry and Molecular Biology*. 2003; 36(3): 319-325.
- (14) Rimsten L, Haraldsson AK, Andersson R, Alming M, Sandberg AS and Aman P. Effects of malting on beta-glucanase and phytase activity in barley grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2003; 82(8): 904 - 912.
- (15) Shelp BJ, Bown AW and Melean MD. Metabolism and functions of gamma-amino butyric acid. *Trends in Plant Science*. 1999; 4(11): 446-452.
- (16) Somogyi S and Nelson N. A photometric adaption of somogyi and method for the determination of cellulose. *Biological Chemistry*. 1952; 153:1.
- (17) Sunte J, Srijesdaruk V and Tangwongchai R. Effects of soaking and germinating process on gamma- aminobutyric acid (GABA) content in germinated brown rice (Hom mali 105). *Agricultural Science Journal*. 2007; 38(6) (Suppl):103-106.
- (18) Varanyanond W, Tungtrakul P, Surojanametakul V, Watanasiritham L and Luxiang W. Effects of water soaking on gamma-aminobutyric acid (GABA) in germ of different Thai rice varieties. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 2005; 39:411– 415.