ผลของการแช่ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในสารละลายไคโตซานร่วมกับกรด ต่อคุณภาพของแป้งข้าวกล้องงอก

Effect of Steeping Brown Rice (Khao Dawk Mali 105) in Chitosan with Acid Solution on the Qualities of Germinated Brown Rice Flour

อุบลรัตน์ ลี้กำจร[1] กมลวรรณ แจ้งชัด[1] ดวงกมล ฉายะศิริพันธ์[1] และ พัชรี ตั้งตระกูล[2]

Ubonrat Leekumjorn[1] Kamolwan Jangchud[1] Doungkamol Chayasiripan[1] and Patcharee Tungtrakul[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการแช่ข้าวกล้องด้วยสารละลายไคโตซานในกรดต่างชนิดกัน และระยะเวลาการงอกต่อคุณภาพของแป้งข้าวกล้องงอก จากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จัดสิ่งทดลองแบบ 3x4 แฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ปัจจัยแรกที่ศึกษาคือ สารละลายสำหรับแช่ข้าวกล้อง 3 ชนิด (น้ำรีเวอร์สออสโมซิส, สารละลายไคโตซาน ร้อยละ 0.5 ในกรดกลูตามิก ร้อยละ 1 และสารละลายไคโตซาน ร้อยละ 0.5 ในกรดแลกติก ร้อยละ 1) ปัจจัยที่สองคือ ระยะเวลาการงอก 4 ระดับ (24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง) ซึ่งมีตัวอย่างข้าวกล้องที่ไม่ได้งอกเป็นตัวอย่างควบคุม จากผลการทดลองพบว่า แป้งข้าวกล้องงอกที่ได้จากข้าวกล้องงอก มีปริมาณความชื้นร้อยละ 6.82-8.50 ซึ่งการงอกโดยแช่ด้วยสารละลายไคโตซานในกรดกลูตามิก (pH 3.54) ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณ GABA อิสระมีค่ามากกว่าการงอกโดยแช่ด้วยสารละลายไคโตซานในกรดแลกติก (pH 2.91) และน้ำRO (pH 7.69) ที่ระยะเวลาการงอกเดียวกัน เมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวกล้องงอกมีค่าลดลงในทางสถิติ ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณ GABA อิสระเพิ่มขึ้นในทางสถิติ ซึ่งการงอกโดยแช่ด้วยสารละลายไคโตซานในกรดกลูตามิกที่ระยะเวลา 36 ชั่วโมง ให้ปริมาณ GABA อิสระสูงสุด

ABSTRACT

This research aimed to study the effect of chitosan with different acid solutions and steeping times on the qualities of germinated brown rice flour from Khao Dawk Mali 105. The 3x4 full factorial arrangements in CRD was used: 3 levels of steeping solution (reverse osmosis water, chitosan 0.5%/ glutamic acid 1% and chitosan 0.5%/lactic acid 1%) and 4 levels of steeping time (24, 36, 48 and 60 h). The non-germinated brown rice serves as a control. The result showed that moisture content of germinated brown rice flour from germinated brown rice was 6.82-8.50%. Reducing sugar content and free GABA content under chitosan/glutamic acid (pH 3.54) condition were higher than under chitosan/ lactic acid (pH 2.91) and RO water (pH 7.69) condition at the same steeping time. As steeping time increased, peak viscosity significantly decreased while reducing sugar content and free GABA content were significantly increased. Steeping in chitosan/glutamic acid solution for 36 h provided the highest free GABA content.

Key Words: Khao Dawk Mali 105, germinated brown rice, Chitosan, Glutamic acid, Lactic acid, GABA

e-mail address: hironori_sayaka@hotmail.com

[1]ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Department of Product Development, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Bangkok 10900.

[2]สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University, Bangkok 10900

คำนำ

ข้าวกล้องงอก สามารถผลิตได้โดยการแช่ข้าวกล้องด้วยน้ำ และเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามกระบวนการชีวเคมี โดยเริ่มจากการดูดซึมน้ำเข้าสู่เมล็ด ส่งผลให้เอนไซม์ถูกกระตุ้นให้เกิดการทำงาน ซึ่งเอนไซม์อะมิเลสย่อยคาร์โบไฮเดรตให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ส่วนเอนไซม์โปรติเอสย่อยโปรตีนได้เป็นกรดอะมิโน (Palmiano and Juliano, 1972) การงอกสามารถผลิตได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจน และออกซิเจนต่ำ ซึ่งการงอกในสภาวะที่มีออกซิเจนจะแสดงให้เห็นในส่วนราก และปลอกหุ้มต้นอ่อน ส่วนการงอกในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำจะแสดงให้เห็นปลอกหุ้มต้นอ่อนเพียงอย่างเดียว (Magneschi and Perata, 2009) โดยคุณประโยชน์ที่เพิ่มขึ้นในข้าวกล้องงอกได้แก่ ใยอาหาร อินโนซิทอล แกมมาออริซานอล และกรดแกมมาอะมิโนบิวทีริค (gamma- aminobutyric acid, GABA) เป็นต้น (Kayahara, 2002) ดังนั้นการนำข้าวกล้องหรือข้าวเปลือกมางอก เป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้กับข้าววิธีหนึ่ง ซึ่งผลพลอยได้จากการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการงอก คือทำให้ข้าวกล้องงอกมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มและรับประทานง่าย (พัชรี, 2550)

ไคโตซาน คือ สารพอลิเมอร์ชีวภาพที่สกัดจากไคติน สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอ่อน ซึ่งมีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อาหาร เครื่องสำอาง การเกษตร เป็นต้น (พูนทรัพย์, 2548) นอกจากนี้ยังมีการนำไคโตซานมาใช้ในกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก เนื่องจากสามารถเพิ่มปริมาณ GABA ในข้าวกล้องงอก ซึ่ง Oh (2003) ได้ศึกษาการแช่ข้าวกล้องด้วยสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าการแช่ข้าวกล้องด้วยสารละลายไคโตซานในกรดกลูตามิกส่งผลให้มีปริมาณ GABA สูงสุด เนื่องจากกรดกลูตามิกเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ GABA ส่วนไคโตซานก็มีส่วนช่วยให้แคลเซียมแตกตัวอยู่ในรูปแบบอิสระ ซึ่งแคลเซียมอิสระนี้เมื่อจับกับแคลโมดูลิน (calmodulin) จะช่วยให้การผลิต GABA เพิ่มขึ้น (Shelp *et al*., 1999) และจากการศึกษาของ Charoenthaikij *et al*.,(2009) พบว่าการงอกที่ pH 3 ส่งผลให้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์กข6 มีปริมาณ GABA อิสระสูงสุด มากกว่าการงอกที่ pH 5, 7 และน้ำปราศจากไอออน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการแช่ข้าวกล้อง ด้วยสารละลายไคโตซานในกรดต่างชนิดกัน และระยะเวลาการงอกต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าวกล้องงอก จากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. การเตรียมวัตถุดิบข้าวกล้อง

นำเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ที่เก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวเป็นระยะเวลา 5 เดือน มากะเทาะเปลือกออก คัดคุณภาพเมล็ด โดยเลือกเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ออกไป และนำไปบรรจุในภาชนะปิดเพื่อนำเมล็ดข้าวกล้องไปงอก

2. ศึกษาอัตราการงอกของข้าว

สุ่มเลือกข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 100 เมล็ด โดยไม่คำนึงขนาด รูปร่าง น้ำหนัก โรคหรือแมลงที่ติดมากับเมล็ด ทำการทดลอง 4 ซ้ำ โดยนำข้าวกล้องไปฆ่าเชื้อโดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 เป็นเวลา 30 นาที ตามวิธีการของ Ohtsubo *et al*. (2005) แล้วนำมาใส่ในจานเพาะ (petri dish) โดยมีกระดาษกรองเบอร์ 1 เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร อยู่ด้านล่าง หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร นำไปงอกในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 อุณหภูมิ 35±2°C และเปิดไฟเป็นเวลา 16 ชั่วโมง หลังจากนั้นปิดไฟอีก 8 ชั่วโมง จนครบ 24 ชั่วโมง นำข้าวออกมานับจำนวนเมล็ดที่งอก เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การงอก (ดัดแปลงจาก ISTA, 2009)

3. **ศึกษาผลของสารละลายที่แช่ข้าวกล้องต่อคุณภาพของแป้งข้าวกล้องงอก**

โดยนำเมล็ดข้าวกล้องที่ได้จากการกะเทาะเปลือกไปฆ่าเชื้อโดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 เป็นเวลา 30 นาที ทำการศึกษาโดยจัดสิ่งทดลองแบบ 3x4 แฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ปัจจัยแรกคือ ชนิดของสารละลายแช่ข้าวระหว่างการงอก 3 ชนิด ได้แก่ น้ำรีเวอร์สออสโมซิส, สารละลายไคโตซาน(ร้อยละ 0.5)ในกรดกลูตามิก(ร้อยละ 1) และสารละลายไคโตซาน(ร้อยละ 0.5)ในกรดแลกติก (ร้อยละ 1) และปัจจัยที่สอง คือ ระยะเวลาการงอกข้าว 4 ระดับ ได้แก่ 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง ซึ่งมีตัวอย่างข้าวกล้องที่ไม่ได้งอกเป็นตัวอย่างควบคุม (Control) วิธีการงอกดัดแปลงจากวิธีการของ Charoenthaikij *et al*.,(2009) โดยเตรียมข้าวกล้องจำนวน 200 กรัม อัตราส่วนข้าวกล้องต่อน้ำเป็น 1:3 น้ำหนักโดยปริมาตร แล้วนำไปงอกในตู้บ่ม (incubator) อุณหภูมิ 35±2°C และสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้แช่ข้าวระหว่างการงอกทุกๆ 3 ชั่วโมง เพื่อนำมาวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter ยี่ห้อ Eutech รุ่น CyberScan pH 510 ประเทศสิงคโปร์ ซึ่งมีการเปลี่ยนน้ำทุกๆ 6 ชั่วโมง ยกเว้นช่วงเวลากลางคืนที่เปลี่ยนน้ำทุก 12 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำข้าวกล้องงอกบางส่วนมาทำให้แห้งโดยวิธีการทำแห้งแบบ freeze-drying และนำตัวอย่างไปบดโดยใช้โกร่งบดตัวอย่าง เพื่อนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณ GABA ส่วนข้าวกล้องงอกที่เหลือนำไปอบที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง มีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 14 บดข้าวกล้องงอกให้ละเอียด (สามารถร่อนผ่านตะแกรงร่อน 100 เมช) และบรรจุแป้งข้าวกล้องงอกในถุงพลาสติกชนิดโพรพิลีน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18±2 °C เพื่อรอวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2000) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ตามวิธีการของ Somogyi and Nelson (1952) ปริมาณ GABA ในรูปของ GABA อิสระ ตามวิธีการของ Cohen and Michaud (1993) และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืด โดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ยี่ห้อ Newport รุ่น 4D ประเทศออสเตรเลีย

4. **การวิเคราะห์ผลทางสถิติ**

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน ถ้าพบนัยสำคัญทางสถิติ จึงคำนวณค่า Duncan's new multiple range test (DMRT) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลอง

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของการงอกต่อคุณภาพของแป้งข้าวกล้องงอก

จากการศึกษาอัตราการงอกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 100 เมล็ด พบว่ามีอัตราการงอกร้อยละ 95.75±0.96 แสดงว่าข้าวกล้องมีอัตราการงอกสูง และเมื่อนำข้าวกล้องมาศึกษาชนิดของสารละลายแช่ข้าวระหว่างการงอก 3 ชนิด ได้แก่ น้ำรีเวอร์สออสโมซิส (RO) สารละลายไคโตซานในกรดกลูตามิก (CG) และสารละลายไคโตซานในกรดแลกติก (CL) ที่ระยะเวลาการงอกข้าว 4 ระดับ ได้แก่ 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเมล็ดข้าวดัง Figure1 โดยข้าวกล้องเมื่อผ่านกระบวนการงอกจะแสดงให้เห็นในส่วนของปลอกหุ้มต้นอ่อน (coleoptiles) ซึ่งสามารถเห็นชัดเจนที่ระยะเวลาการงอก 36 ชั่วโมง และจะเห็นชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้น โดยการงอกด้วยน้ำ จะมีส่วนของปลอกหุ้มต้นอ่อนยาวกว่าการงอกโดยแช่ด้วยสารละลายไคโตซานในกรดกลูตามิก ที่ระยะเวลาเดียวกัน ส่วนการงอกโดยแช่ด้วยสารละลายไคโตซานในกรดแลกติก ไม่สามารถแสดงให้เห็นส่วนของปลอกหุ้มต้นอ่อน

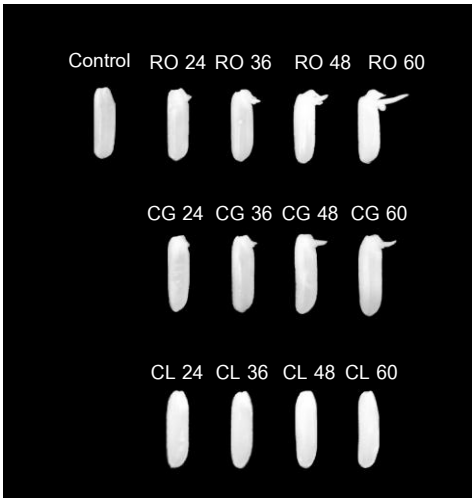

Figure1 Germinated brown rice of KDML 105 during germination;

RO=reverse osmosis water, CG=chitosan/glutamic acid and CL=chitosan/lactic acid.

คุณภาพทางเคมีของแป้งข้าวกล้องงอก

จากการศึกษาค่า pH ระหว่างการงอก พบว่าเมื่อทำการงอกด้วยน้ำที่ระยะเวลา 60 ชั่วโมง pH มีค่าลดลง จาก 7.69 ถึง 5.75 เพราะการงอกโดยแช่ข้าวกล้องในน้ำ เป็นการงอกในสภาวะออกซิเจนต่ำ (hypoxia) ทำให้โทโนพลาสต์ ซึ่งเป็นเยื่อหุ้มของแวคิวโอล มีการซึมผ่านโปรตอนออกมา ส่งผลให้เกิดความเป็นกรดในไซโทพลาสซึม เรียกว่า ไซโทพลาสซึม แอซิดดิฟิเคชั่น (cytoplasm acidification) (Magneschi and Perata, 2009) จึงส่งผลให้ pH มีค่าลดลง ขณะที่การงอกด้วยสารละลายไคโตซานในกรดกลูตามิก และสารละลายไคโตซานในกรดแลกติก ซึ่งมีสภาพเป็นกรดอยู่แล้ว pH จึงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 3.54 ถึง 3.86 และ 2.91 ถึง 3.05 ตามลำดับ และค่า pH ยังส่งผลต่อความยาวของปลอกหุ้มต้นอ่อน ซึ่งการงอกด้วยน้ำจะทำให้ปลอกหุ้มต้นอ่อนยาวกว่าการงอกด้วยสารละลายไคโตซานในกรด เช่นเดียวกับการศึกษาของ Agic *et al.* (2009) เมื่อแช่ต้น red clover (*Trifolium pratense* L.) ในสารละลาย pH 5 และ 6 ส่งผลให้รากฝอยมีความยาวมากกว่าในสารละลาย pH 4 และ 7

ส่วนการศึกษาปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณ GABA อิสระ ดังแสดงใน Table1 พบว่าแป้งข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 6.82-8.50 น้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเพิ่มขึ้นในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้น เนื่องจากเอนไซม์อะมิเลสมีปริมาณเพิ่มขึ้นในระหว่างการงอก (Palmiano and Juliano, 1972) ซึ่งส่งผลให้มีกระบวนการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น จากการศึกษาของ Tian *et al.* (2010) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของเมล็ดข้าวโอ๊ตระหว่างการงอก พบว่าในระหว่างกระบวนการงอกปริมาณน้ำตาลอิสระ และน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น จากผลทดลองการงอกโดยแช่ด้วยสารละลายไคโตซานในกรดกลูตามิก และสารละลายไคโตซานในกรดแลกติก มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่าการงอกด้วยน้ำ ที่ระยะเวลาเดียวกัน เนื่องจากการงอกในสภาวะที่เป็นกรดสามารถเร่งการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลได้ดีกว่า ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์ด้วยกรด

ปริมาณ GABA อิสระมีค่าเพิ่มขึ้นในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มระยะเวลาการงอก สารอาหารในเมล็ดข้าว โดยเฉพาะในส่วนของโปรตีนถูกย่อยสลายได้เป็นกรดอะมิโน เช่น กลูตาเมต ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ GABA อิสระ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Ohtsubo *et al*. (2005) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ GABA ระหว่างการงอกในระยะเวลาต่างๆ ได้แก่ 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการงอกส่งผลให้ปริมาณ GABA เพิ่มสูงขึ้น จากผลการทดลอง พบว่าการงอกโดยแช่ด้วย

สารละลายไคโตซานในกรดกลูตามิก จะมีปริมาณ GABA อิสระสูงกว่าการงอกโดยแช่ด้วยสารละลายไคโตซานในกรดแลกติก และน้ำ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Oh (2003) ซึ่งได้แช่ข้าวกล้องด้วยสารละลายต่างๆ ที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าการแช่ข้าวกล้องด้วยสารละลายไคโตซานในกรดกลูตามิกส่งผลให้มีปริมาณ GABA สูงสุด เนื่องจากกรดกลูตามิกเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ GABA เมื่อนำมาเป็นสารละลายสำหรับแช่ข้าวกล้องระหว่างการงอก จึงส่งผลให้ปริมาณ GABA เพิ่มสูงขึ้น ส่วนไคโตซานมีส่วนช่วยให้แคลเซียมแตกตัวอยู่ในรูปอิสระเมื่อแคลเซียมอิสระจับกับแคลโมดูลิน (calmodulin) ก็จะช่วยให้การผลิต GABA เพิ่มขึ้น (Shelp *et al*., 1999) จากผลการทดลอง พบว่าการแช่ข้าวกล้องด้วยสารละลายไคโตซานในกรดกลูตามิก และสารละลายไคโตซานในกรดแลกติกมีปริมาณ GABA อิสระสูงสุด ที่ระยะเวลา 36 ชั่วโมง เท่ากับ 139.37 และ 22.77 mg/100g ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณ GABA อิสระสูงกว่าการแช่ด้วยน้ำที่ระยะเวลาเดียวกัน เมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้นเป็น 48-60 ชั่วโมง ปริมาณ GABA อิสระมีค่าลดลง อาจเกิดจากกลูตาเมต และGABA ถูกลำเลียงเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างพลังงานสำหรับการเจริญของต้นอ่อน (Shelp *et al*., 1999) จึงส่งผลให้ปริมาณ GABA อิสระลดลง โดยชนิดของกรดที่ใช้ร่วมกับไคโตซานในการศึกษานี้ กรดกลูตามิกมีผลต่อการผลิต GABA มากกว่ากรดแลกติก ดังนั้นจากผลการศึกษานี้สรุปได้ว่า ไคโตซานน่าจะมีผลต่อการผลิต GABA น้อยกว่าชนิดของสารละลายกรดที่ใช้แช่ข้าวกล้อง

Table1 Moisture, reducing sugar and free GABA content of germinated brown rice flour

Steeping	Germination time (h)	Moisture (%wet basis)	Reducing Sugar (mg/100g flour)	Free GABA (mg/100g flour)
Control	0	7.24(0.60)^{cde}	9.34(0.31)^{m}	1.51(0.24)^{h}
RO	24	8.15(0.44)^{ab}	128.22(2.19)^{l}	15.25(0.64)^{ef}
	36	7.85(0.41)^{bc}	161.04(1.90)^{k}	17.43(0.34)^{e}
	48	7.70(0.39)^{bcd}	270.02(2.18)^{j}	17.70(0.65)^{e}
	60	7.82(0.09)^{bc}	354.04(1.10)^{h}	23.79(4.31)^{d}
CG	24	8.50(0.78)^{a}	307.66(2.20)^{i}	76.18(5.44)^{c}
	36	8.03(0.18)^{ab}	690.11(2.20)^{d}	139.37(1.45)^{a}
	48	7.64(0.14)^{bcd}	2,934.38(1.10)^{b}	133.06(6.25)^{b}
	60	7.72(0.39)^{bc}	4,945.67(1.09)^{a}	133.35(2.42)^{b}
CL	24	7.04(0.92)^{de}	427.01(1.85)^{g}	19.12(0.24)^{de}
	36	6.82(0.83)^{e}	467.65(1.87)^{f}	22.77(0.75)^{d}
	48	7.33(0.08)^{cde}	495.21(1.59)^{e}	11.86(0.41)^{f}
	60	7.55(0.45)^{bcd}	1,376.70(1.89)^{c}	6.30(0.15)^{g}

RO=reverse osmosis water, CG=chitosan/glutamic acid and CL=chitosan/lactic acid.

$^{a-i}$ Means within the same column different letters and significantly different ($p \leq 0.05$). Data in parenthesis are standard deviation.

นอกจากนี้ pH เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการงอก เนื่องจาก pH ส่งผลต่อการเกิดกิจกรรมแอลฟา-อะมิเลส (Agic *et al*., 2009) จากการศึกษาของ Charoenthaikij *et al*.(2009) ทำการงอกข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ กข6 พบว่าการงอกที่ pH 3 ส่งผลให้มีปริมาณ GABA อิสระสูงสุด มากกว่าการงอกที่ pH 5, 7 และน้ำปราศจากไอออน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Banchuen *et al*. (2010) ทำการงอกข้าวกล้องพันธุ์เผือกน้ำ พันธุ์สังข์หยดพัทลุง และพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง พบว่าการงอกที่ pH 3 ส่งผลให้ปริมาณ GABA สูงสุด

มากกว่าการงอกที่ pH 2, 5, 7 และน้ำกลั่น เมื่อพิจารณาลักษณะเมล็ดข้าวกล้องงอก และความยาวของปลอกหุ้มต้นอ่อนที่งอกระหว่างการแช่ (Figure1) กับปริมาณ GABA อิสระในข้าวกล้องงอก (Table1) พบว่าปริมาณ GABA ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการงอกของข้าวกล้อง

คุณภาพทางกายภาพของแป้งข้าวกล้องงอก

จากผลการศึกษา พบว่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอกจากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 อยู่ในช่วง 71.00-72.67 °C ดังแสดงใน Table2 ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวกล้องงอก มีค่าลดลงในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน Figure 2 เนื่องจากในระหว่างกระบวนการงอก เมล็ดข้าวมีการผลิตเอนไซม์อะมิเลส ซึ่งมีหน้าที่ในการย่อยคาร์โบไฮเดรตให้มีโมเลกุลเล็กลง เมื่อเพิ่มระยะเวลาการงอกจึงส่งผลให้เกิดกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้น (Mohan *et al.*, 2010) และจะส่งผลให้แป้งข้าวกล้องงอกมีความหนืดลดลง จากการศึกษาของ Ayernor and Ocloo (2007) ได้ศึกษาผลของการงอกข้าวเปลือกที่ระยะเวลา 0, 5, 7 และ 9 วัน ส่งผลให้ความหนืดของแป้งลดลงเมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้น ซึ่งความหนืดที่ลดลงเกิดจากการย่อยแป้งโดยเอนไซม์ที่ถูกสร้างขึ้นในระหว่างการงอก ส่วนการงอกโดยแช่ด้วยสารละลายไคโตซานในกรดกลูตามิก และสารละลายไคโตซานในกรดแลกติก จะมีค่าความหนืดลดลงมากกว่าการงอกโดยแช่ด้วยน้ำที่ระยะเวลาเดียวกัน เนื่องจากสารละลายไคโตซานในกรดกลูตามิก และสารละลายไคโตซานในกรดแลกติก มีสภาวะความเป็นกรดมากกว่าน้ำ จึงส่งผลให้เกิดการย่อยแป้งได้ดีกว่า จากปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์ด้วยกรด

ค่าการคืนตัวของแป้งข้าวกล้องงอกมีค่าลดลงในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้น เนื่องจากการคืนตัวเกิดจากการจัดเรียงตัวของโครงสร้างภายในเจลแป้ง (อะมิโลส และอะมิโลเพกติน) (BeMiller, 2007) ซึ่งคาร์โบไฮเดรตจะถูกย่อยสลายไปเมื่อเพิ่มระยะเวลาการงอก และการงอกโดยแช่ด้วยสารละลายไคโตซานในกรดกลูตามิก จะมีค่าการคืนตัวลดลงมากกว่าการงอกโดยแช่ด้วยสารละลายไคโตซานในกรดแลกติก และน้ำ

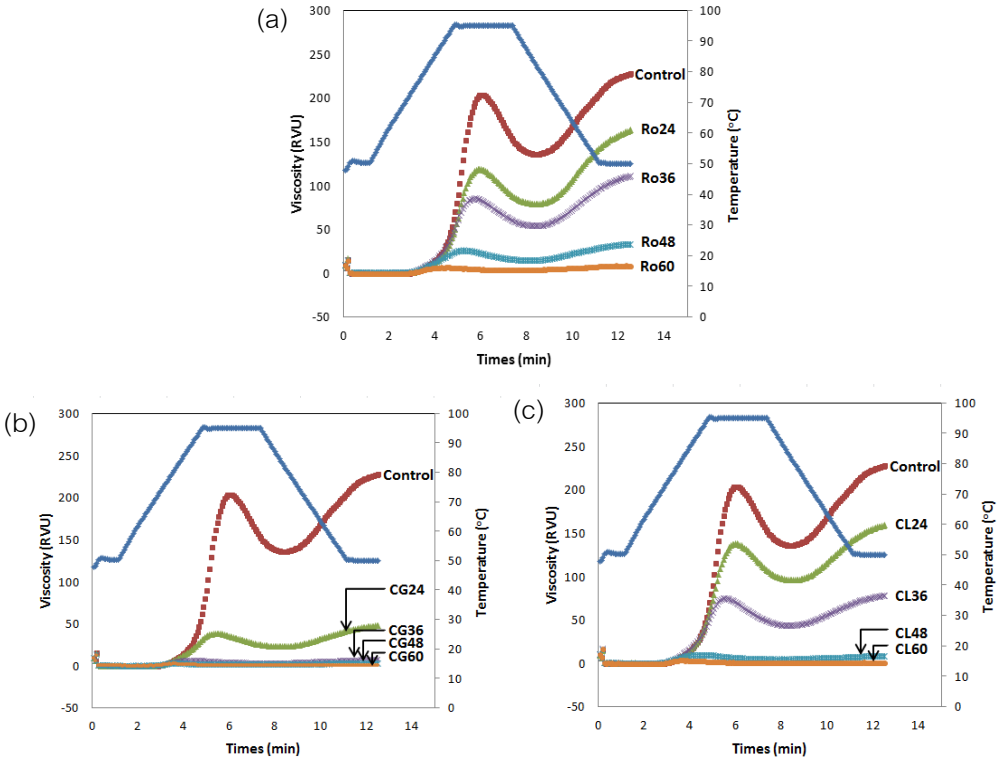

Figure2 Pasting profile of germinated brown rice flour in different steeping times and germination times; (a) reverse osmosis water, (b) chitosan/glutamic acid and (c) chitosan/lactic acid.

Table2 Pasting properties of germinated brown rice flour

Steeping	Germination time (h)	P_{Temp} (°C)	Viscosity (RVU)				
			PV	TV	BD	FV	ST
Control	0	72.43(0.31)[a]	212.87(0.87)[a]	141.64(2.35)[a]	71.23(2.92)[a]	238.09(2.71)[a]	96.44(1.22)[a]
RO	24	72.67(0.79)[a]	163.24(0.72)[b]	110.70(1.24)[b]	52.66(0.44)[b]	206.75(3.18)[b]	96.05(1.96)[a]
	36	72.29(0.26)[a]	88.88(1.72)[d]	56.20(1.73)[d]	32.68(0.19)[d]	115.77(1.88)[d]	59.57(0.74)[c]
	48	72.15(0.25)[ab]	27.03(0.16)[g]	14.82(0.15)[g]	12.20(0.22)[f]	34.49(0.22)[g]	19.67(0.16)[f]
	60	72.19(0.56)[ab]	7.05(0.45)[i]	3.37(0.49)[h]	3.68(0.08)[h]	8.83(0.79)[h]	5.46(0.31)[g]
CG	24	72.16(0.55)[ab]	40.26(0.37)[f]	23.82(0.47)[f]	16.44(0.64)[e]	49.62(0.41)[f]	25.80(0.31)[e]
	36	71.42(0.89)[c]	7.41(0.16)[i]	3.85(0.13)[h]	3.57(0.18)[h]	8.17(0.30)[h]	4.32(0.22)[h]
	48	71.40(0.45)[c]	2.93(0.20)[k]	1.46(0.19)[i]	1.46(0.22)[i]	2.45(0.28)[i]	0.99(0.18)[i]
	60	71.45(0.70)[c]	2.44(0.34)[k]	0.04(0.32)[j]	2.40(0.57)[i]	0.70(0.34)[j]	0.65(0.26)[i]
CL	24	71.53(0.40)[bc]	144.05(0.69)[c]	99.97(0.91)[c]	44.08(0.23)[c]	166.20(0.76)[c]	66.23(0.25)[b]
	36	71.00(0.47)[c]	77.82(0.59)[e]	45.12(0.47)[e]	32.71(1.02)[d]	81.25(0.33)[e]	36.13(0.23)[d]
	48	71.10(0.15)[c]	9.81(0.30)[h]	4.09(0.56)[h]	5.71(0.31)[g]	8.33(0.87)[h]	4.24(0.30)[h]
	60	71.23(0.72)[c]	3.70(0.31)[j]	0.09(0.58)[j]	3.62(0.28)[h]	0.86(0.46)[j]	0.78(0.19)[i]

P_{Temp}: Pasting Temperature, PV: Peak Viscosity, TV: Trough Viscosity, BD: Breakdown, FV: Final Viscosity, ST: Setback from Trough
RO= reverse osmosis water, CG=chitosan/glutamic acid and CL=chitosan/lactic acid. [a-k] Means within the same column different letters and significantly different ($p \leq 0.05$). Data in parenthesis are standard deviation.

สรุป

จากการศึกษา พบว่าการงอกโดยแช่ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยสารละลาย 3 ชนิด เมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณ GABA อิสระมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความหนืดสูงสุดและการคืนตัวมีค่าลดลงในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งการงอกโดยแช่ด้วยสารละลายไคโตซานในกรดกลูตามิก ที่ระยะเวลา 36 ชั่วโมง มีปริมาณ GABA อิสระในแป้งข้าวกล้องงอกสูงสุด (139.37 mg/100g) ดังนั้นจึงสามารถนำแป้งข้าวกล้องงอกในสภาวะนี้ไปเป็นส่วนผสมในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้

เอกสารอ้างอิง

พัชรี ตั้งตระกูล. 2550. GABA ในคัพภะข้าวและข้าวกล้องงอก. **สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. 37(4): 291-296.

พูนทรัพย์ วิชัยพงษ์. 2548. **ไคติน-ไคโตซาน**. แหล่งที่มา: http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/bsp_12_2548_chitin-chitosan.pdf, 2 ตุลาคม 2555.

Agic, D., G. Bukvic, S. Grljusic, D. Beslo, J. Horvatic and D. Novoselovic. 2009. Effect of pH on α-Amylase Activity and Early Seedling Growth of Red Clover (*Trifolium pratense* L.). **Not. Bot. Hort. Agrobot**. 37 (2): 77-80.

AOAC. 2000. **Official Method of Analysis.** 17th ed. The Assciation of official Analysis Chemists Arlington, Virginia.

Ayernor, G.S. and F.C.K. Ocloo. 2007. Physico-chemical changes and diastatic activity associated with germinating paddy rice (PSB.Rc 34). **African Journal Food Science**. 1: 037-041.

Banchuen, J., P. Thammarutwasik, B. Ooraikul, P. Wuttijumnong and P. Sirivongpaisal. 2010. Increasing the bio-active compounds contents by optimizing the germination condition of Southern Thai Brown Rice. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**. 32(3):219-230.

BeMiller, J.N. 2007. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. Second Edition. AACC international, Inc. United States of American.

Charoenthaikij, P., K. Jangchud, A. Jangchud and P. Tungtrakul. 2009. Germination Conditions Affect Physicochemical Properties of Germinated Brown Rice Flour. **Journal of Food Science**. 74(9): C658-C665.

Cohen, S.A. and D.P. Michaud. 1993. Synthesis of a fluorescent derivatizing reagent, 6-Aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate, and its application for the analysis of the hydrolysate amino acids via high performance liquid chromatography. **Anal Biochem**. 211: 279-287.

ISTA (International Seed Testing Association), 2009. **International Rules for Seed Testing**. Bassersdorf, Switzerland. pp. 2-18.

Kayahara, H. 2002. Elucidation of functionality of GABA and probability for novel foodstuff. **Japan Food Sci**. 41: 39-45.

Magneschi L. and P. Perata. 2009. REVIEW: Rice germination and seedling growth in the absence of oxygen. **Annals of Botany**. 103:181-196.

Mohan, B.H., N.G. Malleshi and T. Koseki. 2010. Physico-chemical characteristics and non-starch polysaccharide contents of *Indica* and *Japonica* brown rice and their malts. **LWT-Food Science and Technology**. 43: 784-791.

Oh, S. 2003. Stimulation of γ-Aminobutyric Acid Synthesis Activity in Brown Rice by a Chitosan/Glutamic Acid Germination Solution and Calcium/Calmodulin. **Biochemistry and Molecular Biology**. 36 (3): 319-325.

Ohtsubo, K., K. Suzuki, Y. Yasui and T. Kasumi. 2005. Bio-functional components in the processed pre-germinated Brown rice by a twin-screw extruder. **Food Composition and Analysis**. 18: 303-316.

Palmiano, E.P. and B.O. Juliano. 1972. Biochemical changes in the rice grain during germination. **Plant Physiological**. 49: 751-756.

Shelp, B.J., A.W. Bown and M.D. McLean. 1999. Metabolism and Functions of Gamma aminobutyric acid . **Trend in Plant Science**. 4: 446-452.

Somogyi,S. and N.Nelson. 1952. A photometric adapyion of somogyi and method for the determination of cellulose. **Biol Chem**. 153: 1.

Tian, B., B. Xie, J. Shi, J. Wu, Y. Cai, T. Xu, S. Xue and Q. Deng. 2010. Physicochemical changes of oat seeds during germination. **Food Chemistry**. 119: 1195-1200.