TFE-06

อิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งและระยะเวลางอกที่มีต่อคุณภาพของแป้งข้าวกล้องงอก

*ณัฐพัชร์ สะอาดศรีวีรเดช[1], สมเกียรติ ปรัชญาวรากร[2]และ สมชาติโสภณรณฤทธิ์[1],

[1] *ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140*

[2] *สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140*

ผู้เขียนติดต่อ: ณัฐพัชร์ สะอาดศรีวีรเดช E-mail: saardsiweeradech@gmail.com

บทคัดย่อ

แป้งข้าวกล้องงอกมีสารอาหารมากกว่าแป้งข้าวกล้องโดยเฉพาะ γ-aminobutyric acid หรือที่รู้จักกันว่า กาบา (GABA) ดังนั้นการพัฒนาแป้งข้าวกล้องงอกมาใช้เป็นอาหารเสริมจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าให้กับแป้งข้าวกล้องงอก ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณสารกาบาและสมบัติด้านต่างๆของแป้งได้แก่ระยะเวลาที่ใช้ในการงอก และอุณหภูมิอบแห้ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของระยะเวลาการงอก และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งแบบฟลูอิไดเซชันที่มีต่อคุณภาพของแป้งข้าวกล้องงอก โดยพิจารณาปริมาณสารกาบา ความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลายน้ำของแป้ง ความหนืด และสมบัติการละลายของโปรตีน ในการเตรียมเพาะงอกทำได้โดยนำข้าวเปลือกมาแช่น้ำที่อุณหภูมิ 35°C เป็นระยะเวลา 60-76 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทำแห้งแบบฟลูอิไดเซชันที่อุณหภูมิ 90-150°C ด้วยความเร็วอากาศ 4 m/s ที่ความสูงเบด 10 เซนติเมตร จากผลการทดลองพบว่าการงอกส่งผลให้ปริมาณสารกาบาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญค่าความหนืดของน้ำแป้งข้าวกล้องงอกมีค่าลดลงตามระยะเวลาการงอกที่เพิ่มขึ้น สำหรับค่าดัชนีการดูดซับน้ำของแป้งข้าวกล้องงอกไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ค่าดัชนีการละลายน้ำของแป้งข้าวกล้องงอกเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้น ความสามารถในการละลายของโปรตีนในน้ำเพิ่มขึ้นขณะที่ค่าการละลายของโปรตีนในเบส (KOH)มีค่าลดลงตามระยะเวลาการงอก ภายหลังการอบแห้งพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลทำให้แป้งข้าวกล้องงอกมีค่าดัชนีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการละลายน้ำของแป้งข้าวกล้องงอกกับร้อยละการละลายของโปรตีนในเบสและในน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับค่าความหนืดของน้ำแป้งข้าวกล้องงอกพบว่าค่าความหนืดสูงสุดและค่าความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ:γ-aminobutyric acid; แป้งข้าวกล้องงอก; ค่าการละลายของโปรตีน; ฟลูอิไดเซชัน

1. บทนำ

ข้าวกล้องเป็นที่รู้จักและนิยมนำมารับประทาน เนื่องจากอุดมไปด้วยสารอาหารต่างๆ ใยอาหาร วิตามิน และแกมมาอะมิโนบิวทาริกแอซิต(Gammaaminobutyric acid) หรือที่รู้จักกันว่า กาบา (GABA) มากกว่าข้าวขาว [1] การนำข้าวกล้องมาผ่านการเพาะงอกทำให้ข้าวกล้องงอกที่ได้มีปริมาณสารกาบาสูงขึ้น [2] สารกาบาเกิดจากกระบวนการ decarboxylation ของกรดกลูตามิค [3,4] ซึ่งกรดนี้มีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาท (neurotransmitter) ในระบบสมองส่วนกลาง และเป็นสารสื่อประสาทประเภทสารยับยั้ง (inhibitor) [3] ช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (cardiovascular disease) และโรคมะเร็ง (cancer) [5]

ปัจจุบันนี้ผู้คนได้หันมาให้ความสำคัญเรื่องของสุขภาพมากขึ้นจึงมีได้มีแนวคิดในการนำข้าวกล้องงอกมาแปรรูปโดยจัดทำให้อยู่ในรูปแบบอาหารเสริม (food supplement) อย่างไรก็ตามข้าวกล้องงอกที่ผ่านการเพาะงอกนั้นมีความชื้นสูงถึง 55% (db.) ดังนั้นการทำแห้งด้วยวิธี

ฟลูอิไดเซชันจึงเป็นวิธีที่นำมาใช้หลังจากเพาะงอก เนื่องจากเป็นการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้มีอัตราการอบแห้งสูง ช่วยประหยัดเวลาในการอบแห้งและลดปริมาณจุลินทรีย์อีกด้วย [6] ในขณะเดียวกันการใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งข้าวกล้องงอกนั้นอาจส่งผลต่อสมบัติด้านต่างๆ ของแป้งเช่น ความหนืด การละลายน้ำและการพองตัวของแป้ง ตลอดจนความสามารถในการละลายของโปรตีน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติด้านต่างๆ ของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีฟลูอิไดเซชันที่อุณหภูมิ 90, 110, 130 และ 150°C โดยสมบัติของแป้งที่สนใจหลังจากอบแห้งจะพิจารณาในด้านการดูดซับน้ำและการละลายน้ำของแป้งข้าวกล้องงอก สมบัติด้านความหนืด ปริมาณโปรตีน ความสามารถในการละลายของโปรตีน และปริมาณสารกาบา

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมวัตถุดิบและตัวอย่างข้าวกล้องงอก

นำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 จากศูนย์วิจัยข้าวสกลนครที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนพฤศจิกายน มาล้างจากนั้นนำมาแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 60-76 ชั่วโมง โดยทำการเปลี่ยนน้ำทุก 4 ชั่วโมง ลักษณะของข้าวภายหลังการแช่น้ำเมื่องอกแล้วจะพบว่ามีตุ่มเล็กๆออกมา บริเวณจมูกข้าวมีความยาวประมาณ 0.5-2 มิลลิเมตร

2.2. การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดแบบอากาศร้อน

ระบบการอบแห้งของฟลูอิไดซ์เบดแบบอากาศร้อนประกอบด้วย ฮีตเตอร์ขนาด 12 kW ซึ่งทำการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ PID controller ซึ่งมีความถูกต้อง ±1°C สำหรับห้องอบแห้งนั้นใช้เป็นสแตน-เลสทรงกระบอกสูง 140 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm พัดลมแบบเหวี่ยงใบพัดโค้งหลังทำงานด้วยระบบมอเตอร์ขนาด 1.5 kW โดยที่อากาศแวดล้อมถูกดูดเข้าสู่ระบบ จากนั้นจะไหลผ่านฮีตเตอร์เพื่ออุ่นอากาศให้ร้อนจนได้อุณหภูมิที่ต้องการ อากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่โดยนำมาผสมกับอากาศที่ดูดเข้ามาในระบบ สำหรับการทดลองใช้ตัวอย่างข้าวกล้องงอก 2 กิโลกรัม ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 110 130 และ 150°C โดยใช้เบดที่มีความสูง 10 cm และความเร็วอากาศ 4 m/s โดยทำการอบแห้งจนได้ความชื้น 14-16% (d.b.) จากนั้นนำตัวอย่างข้าวไปเก็บที่อุณหภูมิ 4-6°C เพื่อรอการทดสอบคุณภาพและสมบัติด้านต่างๆ

2.3 ปริมาณสารกาบา

ข้าวกล้องงอกหลังจากกะเทาะเปลือกนำมาบดโดยใช้ ultra centrifugal mill (Model no.ZM 100, Restch, Hann, Germany) และใช้ตะแกรงขนาด 120-mesh จากนั้นนำตัวอย่างแป้ง 0.5g ผสมน้ำ 1.8 mL และ sulfosalicylic acid 200 µL ผสมด้วยเครื่องผสมจนเป็นสารละลายจากนั้นนำมาปั่นแยกด้วยเครื่องเหวี่ยงแยกที่ 4,200 rpm เป็นระยะเวลา 10 นาที เพื่อแยกสารแขวนลอยออก จากนั้นนำมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยใช้วิธีของ Cohen และ Michaud [7] โดยใช้คอลัมน์ (supelcosil-LC-DABS) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.6 mm ยาว 150 mm อุณหภูมิคอลัมน์ 40°C และใช้ Acetonitrile เป็น Mobile phase ที่อัตราการไหล 1 mL/min โดยใช้สารตัวอย่างที่ฉีด 10 µL และ Ultraviolet detector กำหนดที่ 315 nm สำหรับปริมาณกาบาแสดงผลโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการทดลองสามครั้ง

2.4 ดัชนีการดูดซับน้ำและดัชนีการละลายน้ำ (Water Absorption Index, WAI และ Water Solubility Index)

ดัชนีการดูดซับและการละลายน้ำของแป้งหาโดยวิธีของ Lin *et al.* [8] ดัดแปลงโดยนำตัวอย่างแป้งข้าวกล้องงอก 0.5g ที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 mesh ผสมน้ำ 15 mL ในหลอดเซนตริฟิวส์ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนจากนั้นนำไปใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีการเขย่าเป็นเวลา 30 นาที พร้อมกับคนเป็นระยะ แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปเหวี่ยงแยกที่ 5000 x g เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายใส (supernatant) มาใส่ใน moisture can ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน เพื่อนำไปหาดัชนีการละลายน้ำของแป้ง ส่วนที่เหลือ (swollen granules) นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาดัชนีการดูดซับน้ำ สำหรับสารละลายส่วนบนนำไปใส่ตู้อบที่ 103°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมงจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก

โดยดัชนีการดูดซับน้ำและดัชนีการละลายน้ำของแป้งข้าวกล้องงอกคำนวณได้จากสมการที่ 1 และสมการที่ 2

$$\text{ดัชนีการดูดซับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักของ swollen granules}*100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}*(100-\text{ดัชนีการละลายน้ำ})} \quad (1)$$

$$\text{ดัชนีการละลายน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งที่ละลายอยู่ใน supernatant}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \quad (2)$$

2.5 สมบัติด้านความหนืด (Pasting Properties)

สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้างกล้องงอกหาโดย Rapid Visco Analyser, RVA (Newport Scientific, model no. RAV-4, Warriewood, Australia) ตามวิธีมาตรฐาน AACC 61-02 [9] นำตัวอย่างแป้งข้าวกล้องงอก 3.5g (16% d.b.) กับน้ำกลั่น 25 mL ใส่ในกระป๋อง (RVA aluminum canister) ผสมให้เข้ากันโดยเริ่มต้นใช้ความเร็ว 960 rpm เป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นเปลี่ยนความเร็วเป็น 160 rpm ส่วนอุณหภูมิเริ่มแรกกำหนดให้ใช้ที่ 50°C เป็นเวลา 1.5 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิที่อัตรา 12°C ต่อนาที จนได้ 95°C และรักษาอุณหภูมินี้ไว้เป็นเวลา 2.5 นาทีจากนั้นลดอุณหภูมิ ด้วยอัตรา 12°C จนถึง 50°C และรักษาอุณหภูมินี้ไว้เป็นเวลา 2 นาที

2.6 ปริมาณโปรตีน (Protein Total)

ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างแป้งข้าวกล้องงอกหาโดยวิธี Kjeldhal method AOAC [10] ชั่งตัวอย่างแป้งข้าวกล้องงอก 0.5 g ใส่ในหลอดย่อย จากนั้นเติม Kjeldahl tabs (Kjeldahl catalyst 90%/tabs: 3.5g K_2SO_4 + 0.4g $CuSO_4$) 2 เม็ด และ 96-98% H_2SO_4 12 mL เขย่าเบาๆ แล้วนำไปย่อยประมาณ 2 ชั่วโมง เมื่อได้สารละลายใสแล้วทิ้งให้เย็นจากนั้นเติมน้ำกลั่น 75 mL เติมสารละลาย 50% NaOH แล้วนำไปกลั่นลงในสารละลาย 4% Boric acid 25 mL ที่เตรียมไว้เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปไตเตรทกับสารละลาย 0.1M HCl จนได้จุดยุติสีชมพู ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดคำนวนได้จากสมการที่ 3 สำหรับปริมาณโปรตีนคูณ %N ด้วย 5.7

$$\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด}(\%N_{total}) = \frac{1.4007*(V_{HCl\ Titration}-V_{Blank\ Titration})*[HCl]}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \quad (3)$$

2.7 ความสามารถในการละลายของโปรตีน

ความสามารถในการละลายของโปรตีน (Protein Solubility) หาโดยวิธีของ Elkhalifa & Bernhardt [11] ดัดแปลงโดยชั่งตัวอย่างแป้งข้าวกล้องงอก 1.5 g ผสมกับ 0.2% KOH 75mL จากนั้นคนเป็นเวลา 20 นาที สารผสมที่ได้นำไปเหวี่ยงแยกที่ 2,700 rpm เป็นเวลา 15 นาที เพื่อแยกชั้นสารละลาย ปิเปตสารละลายส่วนบน 15 mL ลงในหลอดย่อยและเติม Kjeldahl tabs 2 เม็ด ตามด้วย 96-98% H_2SO_4 12.5 mL กับ 2 mL H_2O_2 ปริมาณไนโตรเจนในสารละลายหาตาม Kjeldhal method AOAC [10] สำหรับความสามารถในการละลายของโปรตีนในน้ำทำได้โดยเปลี่ยนตัวทำละลายจาก 0.2% KOH เป็นน้ำกลั่น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในสารละลายคำนวณได้จากสมการที่ 4 และความสามารถในการละลายของโปรตีนคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$\text{ปริมาณไนโตรเจนในสารละลาย}(\%N_{sup}) = \frac{1.4007*(V_{HCl\ Titration}-V_{Blank\ Titration})*[HCl]*75}{15*\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}} \quad (4)$$

$$\text{ร้อยละการละลายของโปรตีน} = \frac{\text{ปริมาณโปรตีนในสารละลาย}*100}{\text{ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในตัวอย่าง}} \quad (5)$$

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 คุณภาพและสมบัติของแป้งข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาเพาะงอกต่างๆ

3.1.1 ปริมาณสารกาบา

ตารางที่ 1 ปริมาณสารกาบาที่ระยะเวลางอกต่างๆ

เวลาการงอก (ชั่วโมง)	GABA mg/100g
0	2.46±0.52[a]
60	30.03±1.43[b]
64	31.23±2.47[b]
68	40.23±0.63[c]
72	28.7±0.62[b]
76	26.63±0.83[c]

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

การศึกษาสภาวะการงอกที่ให้ปริมาณสารกาบามากที่สุด ทำโดยการเพาะงอกข้าวที่เวลาต่างๆกัน พบว่าเวลาที่ใช้ในการเพาะงอกตั้งแต่ 60 ชั่วโมงมีร้อยละของการงอก 95% ขึ้นไป ปริมาณสารกาบาที่ระยะเวลาการงอกต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1 การที่ข้าวเมื่อผ่านการเพาะงอกมีปริมาณสารกาบาเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากระหว่างการงอกเกิดกระบวนการทางชีวเคมี โดยเกิดการกระตุ้นของเอนไซม์ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอาหารในเมล็ดข้าว นอกจากนั้นระหว่างการงอกยังมีการเพิ่มขึ้นของโปรติเอสเอนไซม์ (Protease enzyme) และจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป [12] ซึ่งเอนไซม์ตัวนี้ทำหน้าที่ไฮโดรไลท์กรดอะมิโนและเอไมด์ [13] ส่งผลให้มีปริมาณของกรดกลูตามิกมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณสารกาบาเพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่เวลาการงอกเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารกาบาอย่างมีนัยสำคัญ โดยระยะเวลาที่ทำให้ได้ปริมาณสารกาบามากที่สุดคือการเพาะงอกที่ 68 ชั่วโมง ซึ่งได้ปริมาณสารกาบา 40.23 mg/100g หลังจากนั้นปริมาณสารกาบาเริ่มลดลง ซึ่งการที่มีปริมาณสารกาบาลดลงเนื่องจากในการเจริญเติบโตมีการใช้สารกลูตาเมตและกาบา ดังนั้นการเพาะงอกเป็นเวลานานส่งผลทำให้ข้าวกล้องงอกที่ได้มีปริมาณสารกาบาลดลงตามวัฏจักรเครป [14]

3.1.2 สมบัติด้านความหนืด

ค่าความหนืดของน้ำแป้งข้าวกล้องงอกแสดงผลในด้าน peak viscosity (PV), final viscosity (FV), pasting temperature (P_{temp}), และ setback viscosity (SBV) โดยการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งที่ระยะเวลาการงอกต่างกันแสดงดังตารางที่ 2 จากการทดสอบสมบัติด้านความหนืด พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการเพาะงอกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืด โดยแป้งข้าวกล้องงอกที่ใช้ระยะเวลาเพาะงอกนานขึ้นมีผลทำให้ Peak Viscosity, Setback และ Final Viscosity) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) การที่แป้งมีความหนืดลดลงเนื่องจากระหว่างการเพาะงอกมีปริมาณ α-amylase มากขึ้น [15] ซึ่งทำหน้าที่ไฮโดรไลซ์โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินเกิดเป็นองค์ประกอบของน้ำตาลโมเลกุลเล็กๆ ส่งผลให้ค่าความหนืดของแป้งที่ใช้เวลาเพาะงอกนานมีค่าลดลง [16] นอกจากนั้นแป้งที่ใช้ระยะเวลาในการงอกนานขึ้นมีค่า Setback ลดลงแสดงถึงแนวโน้มของค่าการคืนตัวของแป้งสุก (retrogradation) ที่ลดลง [17]

3.1.3 ดัชนีการดูดซับและดัชนีการละลายน้ำของแป้งข้าวกล้องงอก

ดัชนีการดูดซับและดัชนีการละลายน้ำของแป้งข้าวกล้องงอกแสดงดังตารางที่ 3 พบว่าแป้งข้าวกล้องงอกมีค่าการละลายน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากระหว่างการเพาะงอกโมเลกุลขนาดใหญ่จำพวกคาร์โบไฮเดรตถูกไฮโดรไลซ์ได้แป้งที่มีโมเลกุลเล็กลง [18] ส่งผลทำให้แป้งข้าวกล้องงอกมีค่าการละลายน้ำเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการเพาะงอกเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการดูดซับน้ำของแป้งข้าวกล้องงอกไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 2 คุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอกที่เวลาการเพาะงอกต่างกัน

Germination time (hr)	Pasting temperature (°C)	
		Peak viscosity
0	73.12±0.45[a]	4494.30±67.86[f]
60	74.85±0.52[a]	1707.30±8.62[e]
64	74.57±1.67[a]	1421.00±47.03[d]
68	73.97±0.98[a]	1118.30±15.01[c]
72	74.77±0.53[a]	939.00±31.51[b]
76	74.52±1.24[a]	690.00±8.54[a]

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ตารางที่ 3 ดัชนีการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index ,WAI) และดัชนีการละลายน้ำ (Water Solubility Index, WSI) ของแป้งข้าวกล้องงอก

Germination time (hr)	%WSI	WAI
0	5.15±0.10[a]	2.93±0.03[a]
60	7.20±0.06[b]	2.90±0.07[a]
64	7.47±0.09[b]	2.86±0.05[a]
68	8.51±0.10[c]	2.89±0.02[a]
72	9.00±0.19[d]	2.83±0.04[a]

76	9.80±0.30[e]	2.85±0.02[a]

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

3.1.4 ปริมาณโปรตีน

เมื่อนำข้าวไปผ่านกระบวนการงอกที่เวลาต่างๆ กัน พบว่าปริมาณโปรตีนในข้าวที่ผ่านการเพาะงอกลดลงอย่างมีนัยสำคัญดังตารางที่ 4 การลดลงของโปรตีนเป็นผลมาจากระหว่างการเพาะงอกมีปริมาณโปรติเอสเอนไซม์ (Protease enzyme) เพิ่มขึ้น [12] ซึ่งทำหน้าที่ไฮโดรไลซ์โปรตีนโดยทำให้โมเลกุลขนาดใหญ่ของเปปไทด์มีขนาดของโมเลกุลเล็กลง [13] ซึ่งระหว่างการงอกมีการใช้กรดอะมิโนในการเจริญเติบโตตามวัฏจักรเครปส่งผลให้โปรตีนลดลง

ตารางที่ 4 ปริมาณโปรตีนทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาการงอกต่างๆ

Germination time (hr)	Protein content
0	8.22±0.02[b]
60	8.06±0.07[a]
64	8.07±0.02[a]
68	8.08±0.02[a]
72	8.07±0.05[a]
76	8.06±0.02[a]

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

3.1.5 ความสามารถในการละลายของโปรตีน

โปรตีนในข้าวประกอบด้วย 4 ชนิดหลักๆตามความสามารถในการละลาย ได้แก่ Albumins ละลายในน้ำ Globulins ละลายในเกลือ Glutelins ละลายในกรดหรือเบสและ Prolamins ละลายในแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 70-90% โดยอัตราส่วนของโปรตีนแบ่งเป็น 5 : 10 : 80 : 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ [19] สำหรับความสามารถในการละลายของโปรตีนจะพิจารณาในส่วนของ Glutelins และ Albumins โดยค่าการละลายของโปรตีนของแป้งข้าวกล้องงอกที่ใช้ระยะเวลาเพาะงอกต่างกันแสดงดังตารางที่ 5 พบว่าข้าวเมื่อผ่านการเพาะงอกมีความสามารถในการละลายของโปรตีนในสารละลายเบสลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ระหว่างการงอกเกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนที่สะสม โดยมีสัดส่วนของ Albumins และ Globulin เพิ่มขึ้น [20] Horiguchi & Kitagishi [13] ได้อธิบายว่าในขณะที่ Glutelins ถูกไฮโดรไลซ์จะมีสัดส่วนของ Albumin และ Globulin เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการที่มีสัดส่วนของ Glutelins ลดลง ในขณะที่ Albumin และ Globulin เพิ่มขึ้น จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้โปรตีนในข้าวมีความสามารถในการละลายในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ลดลงส่วนความสามารถในการละลายของโปรตีนในน้ำเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5 ความสามารถในการละลายของโปรตีนในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และน้ำ

Germination time (hr)	Protein solubility, %	
	KOH	H_2O
0	86.22±0.88[b]	3.69±0.11[a]
60	78.55±0.91[a]	4.51±0.42[b]
64	78.57±0.18[a]	4.59±0.13[b]
68	78.37±0.06[a]	4.17±0.01[ab]
72	78.75±0.19[a]	4.61±0.11[b]
76	78.51±0.27[a]	4.42±0.13[ab]

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

3.2 คุณภาพและสมบัติของแป้งข้าวกล้องงอกหลังการอบแห้งด้วยวิธีฟลูอิไดเซชัน

จากการหาระยะเวลาการงอกที่เหมาะสมของแป้งข้าวกล้องงอกเพื่อให้ได้ปริมาณสารกาบาสูงที่สุด พบว่าระยะเวลางอกที่ 68 ชั่วโมง ทำให้ได้ปริมาณสารกาบาสูงที่สุดคือ 40.23 mg/100g จึงนำข้าวกล้องงอกที่ผ่านการเพาะงอกเป็นเวลา 68 ชั่วโมง มาใช้ในการอบแห้งด้วยวิธีฟลูอิไดเซชันที่อุณหภูมิ 90, 110, 130 และ 150°C เพื่อให้ได้ความชื้น 16% d.b.

3.2.1 ดัชนีการดูดซับและดัชนีการละลายน้ำของแป้งข้าวกล้องงอกหลังจากผ่านการอบแห้ง

ค่าดัชนีการดูดซับน้ำและการละลายน้ำของแป้งข้าวกล้องงอกภายหลังการอบแห้งแสดงดังตารางที่ 6 พบว่าแป้งข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งมีแนวโน้มของค่าดัชนีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากการที่เม็ดแป้งบางส่วนเกิดเจลาติไนซ์อีกทั้งความร้อนทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งถูกทำลายด้วยเหตุนี้ทำให้แป้งข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งมีค่าดัชนีการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น ขณะที่ค่าการละลายน้ำของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านการอบแห้ง ซึ่งการลดลงของค่าการละลายน้ำของแป้งสันนิษฐาน

ตารางที่ 7 คุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอกเพาะงอกหลังจากผ่านอบแห้งด้วยวิธีฟลูอิไดเซชันจนได้ความชื้น 16% d.b.

Drying temperature (°C)	Pasting temperature (°C)	Centipoint (cP)		
		Peak viscosity	Setback	Final viscosity
BR	72.35±0.48[a]	4621.33±34.93[f]	1097.00±29.60[b]	2669.00±45.13[b]
GBR	72.65±0.88[a]	2052.67±64.86[a]	480.33±7.23[a]	923.67±17.21[a]
90	74.00±0.95[ab]	4090.67±94.00[d]	1072.00±5.29[b]	2618.30±31.47[b]
110	75.30±0.95[b]	4400.33±28.29[e]	1265.30±8.50[c]	3325.00±64.97[d]
130	78.52±0.42[c]	3128.00±66.19[c]	1307.30±8.08[d]	3421.70±38.84[d]
150	75.13±0.83[b]	2540.67±5.51[b]	1104.30±8.14[b]	2879.70±15.63[c]

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

ว่าเป็นผลจากการฟอร์มตัวของโครงสร้างที่เป็นผลึกของอะไมโลสกับไลปิดประกอบกับการเสียสภาพของโปรตีน เนื่องจากความร้อนในการอบแห้งส่งผลให้แป้งข้าวกล้องงอกมีค่าการละลายน้ำลดลง

ตารางที่ 6 ดัชนีการดูดซับและดัชนีการละลาย น้ำหลังจากผ่านการอบแห้ง ของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผ่านการเพาะงอก 68 ชั่วโมง

Drying temperature (°C)	%WSI	WAI
BR	5.58±0.36[c]	3.40±0.09[a]
GBR	9.96±0.28[d]	3.32±0.01[a]
90	4.75±0.12[b]	3.76±0.05[b]
110	4.18±0.08[a]	4.17±0.10[c]
130	3.90±0.07[a]	5.13±0.14[d]
150	5.73±0.14[c]	5.69±0.09[e]

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

3.2.2 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอกหลังจากผ่านการอบแห้งด้วยวิธีฟลูอิไดเซชัน

ตารางที่ 7 แสดงสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวกล้องงอกมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านการอบแห้ง (GBR) ซึ่งภายหลังจากผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 และ 110°C พบว่าค่าความหนืดสูงสุด(Peak viscosity) มีแนวโน้มกลับมาสูงมากขึ้น เนื่องจากการเกิดการเชิงซ้อนของอะไมโลสกับไลปิดและการเสียสภาพของโปรตีนเนื่องจากความร้อนทำให้แป้งข้าวกล้องงอกละลายน้ำได้ลดลงส่งผลให้ความหนืดสูงสุดสูงขึ้น ขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งเป็น 130 และ 150°C ส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดที่ได้มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการอบแห้งที่ 90 และ 110°C ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 และ 150°C ทำให้แป้งข้าวกล้องงอกสูญเสียความเป็นผลึก (crystalline) และความเป็นระเบียบของโมเลกุล [21] ส่งผลให้ส่วนของอะไมโลสสามารถละลายน้ำได้ [18]

3.2.3 ปริมาณโปรตีนและความสามารถในการละลายของโปรตีนของแป้งข้าวกล้องงอกหลังผ่านการอบแห้ง

ตารางที่ 8 แสดงค่าการละลายของโปรตีนในน้ำ และใน KOH สำหรับแป้งข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าความสามารถในการละลาย

ตารางที่ 8 ความสามารถในการละลายของโปรตีนในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Glutelins) และในน้ำ (Albumin) หลังผ่านการอบแห้ง

Drying temperature (°C)	Protein solubility, %	
	KOH	H_2O
BR	76.95±0.31[f]	12.22±0.71[c]
GBR	75.06±0.07[e]	12.73±0.60[c]
90	66.48±0.06[d]	7.29±0.31[b]
110	63.48±0.04[c]	6.56±0.59[ab]
130	54.15±0.03[b]	5.83±0.89[ab]
150	52.44±0.52[a]	4.83±0.05[a]

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

ละลายของโปรตีนทั้งในน้ำและในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากแป้งข้าวมีอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีนอยู่ที่ 80.5°C ส่วน Glutelins และ Albumins มีระดับการเสียสภาพอยู่ที่ 82.2 และ 73.3°C ตามลำดับ [22] ด้วยเหตุนี้การอบแห้งที่อุณหภูมิ 90°C ขึ้นไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

โครงสร้างของโปรตีนเป็นผลให้ความสามารถในการละลายของโปรตีนทั้งในน้ำและในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลดลง

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของระยะเวลาการเพาะงอกที่มีต่อสมบัติของแป้งข้าวกล้องงอกพบว่าปริมารสารกาบา ค่าการละลายของโปรตีนในน้ำ และค่าดัชนีการละลายน้ำของแป้งข้าวกล้องงอกเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าดัชนีการดูดซับน้ำของแป้งข้าวกล้องงอกไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับค่าความหนืดและค่าการละลายของโปรตีนในเบสของแป้งข้าวกล้องงอกลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาในการเพาะงอกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากระหว่างการงอกโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตถูกไฮโดรไลซ์โดยเอนไซม์ การที่ค่าการละลายของโปรตีนในเบสลดลงสันนิษฐานว่าน่าจะมาจากการที่โปรตีนถูกไฮโดรไลซ์ทำให้สัดส่วนของ Glutelins ที่ละลายได้ในกรดหรือเบสลดลง ขณะที่มีสัดส่วนของ Albumins ที่ละลายได้ในน้ำเพิ่มขึ้น ภายหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 - 150°C พบว่าแป้งข้าวกล้องงอกมีค่าดัชนีการละลายน้ำ ค่าการละลายของโปรตีนในน้ำและในเบสลดลง ขณะที่ค่าดัชนีการดูดซับน้ำและความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอกมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับแป้งข้าวกล้องงอกที่ไม่ผ่านการอบแห้ง ซึ่งผลดังกล่าวสันนิษฐานว่าเป็นผลมาจากการที่โปรตีนเกิดการเสียสภาพเนื่องจากความร้อนในการอบแห้งและการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสกับไลปิด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติสำหรับเงินอุดหนุนในการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1]Musa, Asma S. N., Umar, I. M. and Ismail, M. (2011). Physicochemical properties of germinated brown rice (Oryza sativa L.) starch, African Jounal of Biotechnology, Vol. 10, No. 33, pp. 6281-6291.

[2]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. J,* Vol. 38, No. 6,pp. 103-106.

[3]Jakobs, C., Jaeken, J. and Gibson, KM. (1993). Inherited disorders of GABA metabolism, Journal of Inherited Metabolic Disease, Vol. 16, No. 4, pp. 704-15.

[4]Wong, CG., Bottiglieri, T. and Carter Snead III, O. (2003). GABA, γ-hydroxybutyric acid, and neurological disease, The Official Journal Of The American Neurological Association And The Child Neurology Society, Vol. 54, No. IS6, pp. S3-S12.

[5]Dinesh Babu, U., Subhasree, R.S., Bhakyaraj, R. and Vidhyalakshmi, R. (2009). Brown Rice-Beyond the Color Reviving a Lost Health Food-A Review, American-Eurasian Journal of Agronomy, Vol. 2, No. 2, pp. 67-72.

[6]Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Varanyanond, W. and Soponronnarit, S. (2011). Germinated Brown Rice Drying by Hot Air Fluidization Technique, Drying Technology, Vol. 29, pp. 55-63.

[7]Cohen, S.A. and Michaud, D.P. (1993). Synthesis of a fluorescent derivatizing reagent, 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccini- midyl carbamate, and its application for the analysis of hydrolysate amino acids via high-performance liquid Chromatography. Analytical Biochemistry, Vol. 211, No.2, pp. 279–287.

[8]Lin, Q.L., Xiao, H.X., Tian, W., Li, L.H. and Yu, F.X. (2011). Physico-Chemical Properties of

Flour, Starch, and Modified Starch of Two Rice Varieties, agricultural sciences in china, Vol.10, No. 6, pp. 960-968.

[9] AACC. (2000). Approved Methods of the *American Association of Cereal Chemistrys*, 10th Edition, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.

[10] AOAC. (1995). *Official Methods of Analysis of AOAC, International,* 16th Edition, Washing-ton DC : Association of Official Analytical Chemists.

[11] Elkhalifa, A.E.O. and Bernhardt, R. (2010). Influence of grain germination on function properties of sorghum flour, Food Chemistry, Vol. 121, pp. 387-392.

[12] Palmiano, E.P. and Juliano, B.O. (1972). biochemical changes in the rice grain during germination, American Society of Plant Biologists, Vol.49, May 1972, pp.751-756.

[13] Horiguchi, T. and Kitagishi, K. (1976). Protein metabolism in rice seedling, Soil Science and Plant Nutrition, Vol. 22, No. 3, pp. 327-333.

[14] Bown, A.W. and Shelp, B.J. (1997). The metabolism and functions of gamma-aminobutyric acid, Plant Physiology, Vol. 115, pp. 1-5.

[15]Kaur, K. and Singh, N. (2000). Amylose-lipid complex formation during cooking of rice flour, Food Chemistry, Vol. 71, pp. 511-517.

[16]Capanzana, M.V. and Buckle, K.A. (1997). Optimisation of Germination Condition by Response Surface Methodology of a High amylosa Rice (Oryza sativa) Cultivar, Lebensm Wiss Tech, Vol. 30, pp. 155-163.

[17]Jangchud, K., Phimolsiripol, Y. and Haruthaithanasan, V. (2003). Physi-cochemi- cal Properties of Sweet Potato Flour and Starch as Affected by Blanching and Processing, Starch/Starke, Vol. 55, pp. 258-264.

[18]Davies, T., Miller, D.C. and Procter, A.A. (1980). Inclusion Complexes of Free Fatty Acids with Amylose, Starke, Vol. 32, p. 149-158.

[19]Bewley, J.D. and Black, M. (1994). *Seeds: Physiology of Development and Germination,* 2nd Edition, Plenum Publishing Corporation., New York, pp. 17-19.

[20]Lasztity, R. (1996). *The Chemistry of Cereal Proteins, 2nd Edition*, Publisher: CRC Press, Inc., United states of America, P. 11.

[21]Vermeylen, R. et al. (2006). Structural Transformations during Gelatinization of Straches in Limited Water: Combined Wide- and Small-Angle X-ray Scattering Study, Biomacromolecules, Vol. 7, pp. 1231-1238.

[22]Ju, Z.Y., Hettiarachchy, N.S. and Rath, N. (2001). Extraction, Denaturation and Hydrophobic Properties of Rice Flour Proteins, Journal of Food Science, Vol. 66, March 2001, No. 2, pp. 229-232