ผลของการให้ความร้อนในระหว่างการงอกที่มีต่อปริมาณสารกาบ้า สารต้านอนุมูลอิสระ และเนื้อสัมผัสของข้าวเปลือกงอกสายพันธุ์ต่างๆ

จักราวุฒิ เตโช[1*]
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ถ.สวรรค์วิถี เมืองนครสวรรค์ จ.นครสวรรค์ 60000
สมชาติ โสภณรณฤทธิ์[2] **สมเกียรติ ปรัชญาวรากร**[3] **และ สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา**[4]
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

กระบวนการงอกทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุก โดยเฉพาะค่าความแข็งลดลง และยังสามารถเพิ่มปริมาณสารแกมมา-อะมิโนบิวทีริกแอซิด (กาบ้า) ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการให้ความร้อนโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบกระแสชนร่วมกับสภาวะพร่องออกซิเจนในระหว่างกระบวนการงอกยังช่วยเพิ่มปริมาณสารกาบ้าได้มากกว่าวิธีการงอกแบบแช่น้ำเพียงอย่างเดียว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารกาบ้า เนื้อสัมผัส และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวเปลือกงอกหลังผ่านการให้ความร้อนในระหว่างการเพาะงอกจากผลการวิจัยพบว่าการให้ความร้อนในระหว่างการเพาะงอกทำให้ปริมาณสารกาบ้าสูงกว่ากรณีที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน กระบวนการงอกทำให้เนื้อสัมผัสในแง่ของค่าความแข็งมีค่าลดลง และยังทำให้กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นด้วย

คำสำคัญ : ปริมาณสารกาบ้า / วิธีการเพาะงอก / การให้ความร้อน / กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ / เนื้อสัมผัส

* *Corresponding Author : jakkrawut_engineering@hotmail.com*

[1] *อาจารย์ สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*

[2] *ศาสตราจารย์ สายวิชาเทคโนโลยีพลังงานคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ*

[3] *รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์*

[4] *ศาสตราจารย์ ห้องปฏิบัติการวิจัยการแปรรูปอาหารขั้นสูงภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์*

Effect of Thermal Treatment during Rice Germination on γ-aminobutyric acid, Antioxidant Activity and Texture of Germinated Rice of Different Varieties

Jakkrawut Techo[1*]
Nakhon Sawan Rajabhat Universtiy, Sawanwithi Road, Mueang Nakhon Sawan, Nakhon Sawan 60000
Somchart Soponronnarit[2], **Somkiat Prachayawarakorn**[3] **and Sakamon Devahastin**[4]
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Pracha-Uthit Road, Bangkok 10140

Abstract

Germination can improve the textural property of cooked rice, especially by decreasing the hardness; the process also helps increase the content of γ-aminobutyric acid (GABA) in the rice. The GABA content of germinated rice prepared by soaking in combination with heating by impinging stream dryer (ISD) and hypoxic-state treatment has also been noted to be significantly higher than that of the germinated rice prepared only by soaking. The objective of this study was therefore to compare the changes in the GABA content, texture and antioxidant activity of germinated rice after heat treatment. It was observed that the heat treatment could increase the GABA content of the germinated rice compared to that of the untreated rice. Germination process decreased the hardness and increasedthe antioxidant activity of the cooked germinated rice.

Keywords : γ-aminobutyric Acid / Germination Method / Heat Treatment / Antioxidant Activity / Textural Property

* *Corresponding Author : jakkrawut_engineering@hotmail.com*

[1] *Division of Industrial Technology, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology.*

[2] *Professor, Division of Energy Technology, School of Energy, Environment and Materials.*

[3] *Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering.*

[4] *Professor, Advanced Food Processing Research Laboratory, Department of Food Engineering, Faculty of Engineering.*

1. บทนำ

กรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (γ-aminobutyric acid: GABA) เป็นกรดอะมิโนที่สังเคราะห์โดยกระบวนการ decarboxylation ของกรด L-glutamic และโดยมีเอนไซม์ glutamate decarboxylase (GAD, EC 4.1.1.15) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [2] กาบ้าเป็นสารสื่อประสาทที่สำคัญในการยับยั้งประสาทของระบบประสาทส่วนกลาง [9] ใช้ในการรักษาโรคต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับภาวะนอนไม่หลับ ภาวะซึมเศร้า และความผิดปกติของระบบประสาท [12] จากประโยชน์ดังกล่าวทำให้อาหารที่ประกอบด้วยสารกาบ้าได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในบรรดาผู้บริโภคที่สนใจในอาหารเพื่อสุขภาพ ซึ่งหนึ่งในผลิตภัณฑ์อาหารนั้นคือข้าวกล้องงอก ซึ่งเป็นที่นิยมมากอย่างหนึ่งเนื่องจากอุดมไปด้วยสารอาหารต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือสารกาบ้า แม้ว่าข้าวบางสายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทยจะมีปริมาณสารกาบ้าอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูงคือ 28.3 มก./100 กรัม [11] แต่ก็มีบางสายพันธุ์ที่ปริมาณสารกาบ้าในข้าวตามธรรมชาติอยู่ในระดับต่ำคือ 2.88 มก./100 กรัม [13] ซึ่งอาจไม่สามารถแสดงต่อกิจกรรมทางสรีรวิทยาใดๆ ได้อย่างเพียงพอ ดังนั้นจึงมีความพยายามของคณะผู้วิจัยหลายกลุ่มที่ศึกษาวิธีการเพิ่มปริมาณสารกาบ้าในข้าว เช่น Komatsuzaki และคณะ [7] Kim และคณะ [6] Thuwapanichayanan และคณะ [15] และ Techo และคณะ [14] เป็นต้น

Komatsuzaki [7] ศึกษาการให้สภาวะอับอากาศแก่ข้าวสายพันธุ์ญี่ปุ่น ผลการวิจัยพบว่าสภาวะอับอากาศ ทำให้ประมาณสารกาบ้าสูงกว่าข้าวที่งอกโดยวิธีการแช่เพียงอย่างเดียว 2.5 เท่า Kim [6] ศึกษาผลของความดันที่มีต่อปริมาณสารกาบ้าในข้าวเปลือก และพบว่าการให้ความดันสูงทำให้ปริมาณสารกาบ้าสูงกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความดันสูงประมาณ 2.92 เท่า [15] ศึกษาการให้ความร้อนโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 120°C ของข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 1 ในระหว่างกระบวนการงอก ซึ่งพบว่าปริมาณการบ้าสูงกว่าตัวอย่างข้าวที่เตรียมโดยการแช่น้ำรวมกับสภาวะอับอากาศและการแช่เพียงอย่างเดียว และงานวิจัยของ Techo [14] ศึกษาการให้ความร้อนข้าวสายพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในระหว่างการงอก โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบกระแสชนเพียง 2 วินาที พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150-170°C ในระหว่างการงอกทำให้ปริมาณสารกาบ้าเพิ่มขึ้นถึง 17.3 เท่าเมื่อเทียบกับปริมาณสารกาบ้าของข้าวที่ได้จากธรรมชาติ จากการตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนในระหว่างการงอกของข้าวเป็นหนึ่งในวิธีการสำคัญที่จะช่วยเพิ่มปริมาณสารกาบ้าได้ แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างของปริมาณสารกาบ้าของข้าวนั้น พบว่ามีปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ สายพันธุ์ของข้าว ซึ่งจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนต่อปริมาณสารกาบ้าของข้าวในระหว่างกระบวนการงอกสายพันธุ์ที่แตกต่างกันยังมีรายงานที่ค่อนข้างน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะศึกษาผลของการให้ความร้อนของข้าวงอกที่มาจากสายพันธุ์แตกต่างกันต่อคุณภาพทางด้านต่างๆ ได้แก่ ปริมาณสารกาบ้าสมบัติของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในแง่ของปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดและสารต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงเนื้อสัมผัสของข้าวงอกอีกด้วย

2. วิธีการวิจัย

2.1 อุปกรณ์

ใช้ข้าวเปลือก 3 สายพันธุ์คือ

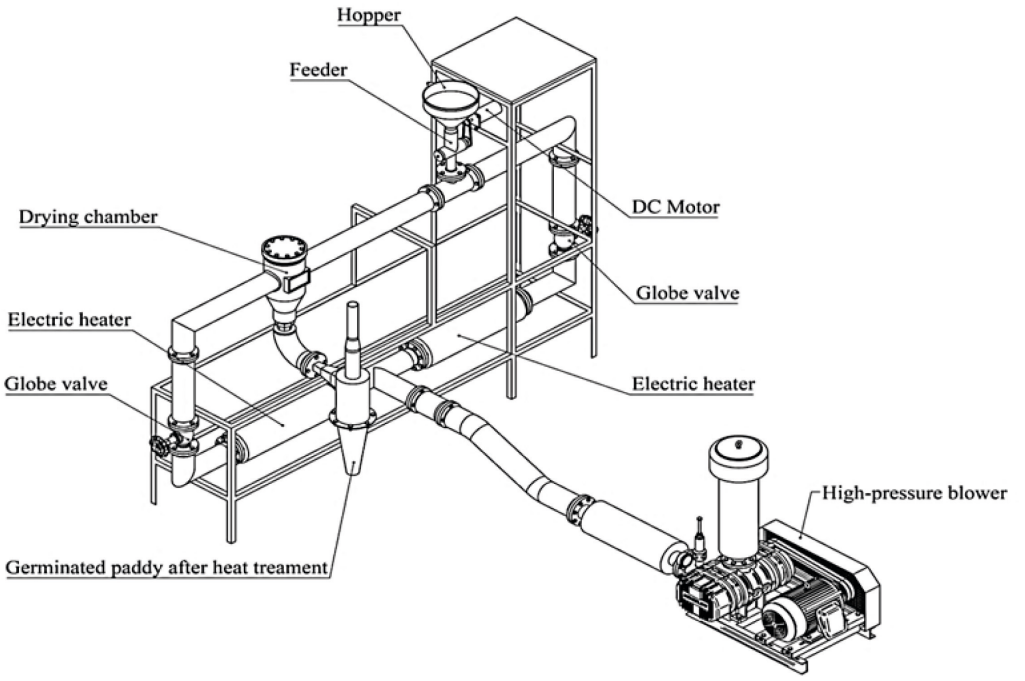
1) ข้าวสุพรรณบุรี 1 (SP.1) เก็บเกี่ยวเดือนมีนาคม 2558

2) ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105) เก็บเกี่ยวเดือนพฤศจิกายน 2558 และ

3) ข้าว กข - แม่โจ้ 2 (KD-MJ2) เก็บเกี่ยวเดือนพฤศจิกายน 2559 ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ14% ฐานแห้ง เก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4-6°C ก่อนการทดลองวิจัย

2.2 เครื่องอบแห้งแบบกระแสชน (ISD)

ISD แสดงดังรูปที่ 1 นำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้ความร้อนกับข้าวเปลือกในระหว่างกระบวนการงอก ความเร็วลมร้อนที่ใช้เท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที ระยะห่างของกระแสชนเท่ากับ 5 ซม. อัตราการป้อนข้าวเปลือกที่ 80 กก./ชม.



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบกระแสชน

2.3 การเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือกงอกโดยวิธีการแช่น้ำ

ล้างข้าวเปลือกในน้ำให้สะอาดรวมทั้งคัดเมล็ดลีบทิ้ง แช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 35°C จำนวน 4 กก. ในอัตราส่วน 1/2 (W/V) เปลี่ยนน้ำทุก 4 ชม. จนกระทั่งได้เปอร์เซ็นต์การงอกเท่ากับ 95% และความยาวของคัพภะเท่ากับ 1-2 มม. ใช้เวลา 48 ชม.สำหรับ SP. 1 และ 60 ชม.สำหรับ KDML105 และ KD-MJ2 หลังจากนั้นหยุดการงอกกระทั่งความชื้นของข้าวงอกลดลงเหลือ 16.5% ฐานแห้ง

2.4 การเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือกงอกโดยวิธีการแช่น้ำร่วมกับการให้สภาวะพร่องออกซิเจน

ข้าวเปลือกที่ล้างให้สะอาด แช่ในอ่างน้ำอุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 12 ชม. (S) ในอัตราส่วน 1/2 (W/V) หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกไปใส่ในขวดโหลแก้วในปริมาณ 3 ใน 8 ของขวดโหลแล้วปิดฝาให้สนิท เพื่อสร้างสภาวะพร่องออกซิเจนแก่ข้าวเปลือกงอก (H) เป็นเวลา 48 ชม.สำหรับ SP. 1 และ 60 ชม.สำหรับ KDML105 และ KD-MJ2 หลังจากนั้นหยุดการงอกกระทั่งความชื้นของข้าวงอกลดลงเหลือ 16.5% ฐานแห้ง

2.5 การเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือกงอกโดยวิธีการแช่น้ำร่วมกับการให้ความร้อนและการให้สภาวะพร่องออกซิเจน

ข้าวเปลือกที่ล้างให้สะอาด แช่ในอ่างน้ำอุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 12 ชม. ในอัตราส่วน 1/2 (W/V) จากนั้นให้ความร้อนในระหว่างกระบวนการงอกโดยใช้เครื่อง ISD ที่อุณหภูมิ 130 140 150 160 170 180 และ190°C หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกใส่ในขวดโหลแก้วปิดฝาสนิทเป็นเวลา 48 ชม. สำหรับ SP. 1 และ 60 ชม. สำหรับ KDML105 และ KD-MJ2 หลังจากนั้นหยุดการงอกกระทั่งความชื้นของข้าวงอกลดลงเหลือ 16.5% ฐานแห้ง

2.6 การวิเคราะห์หาปริมาณสารกาบ้า

วิเคราะห์หาปริมาณสารกาบ้า โดยวิธีที่ปรับปรุงจาก Thuwapanichayanan และคณะ [15] วิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC (Agilent 1100 Series, Agilent Technologies, Calif., USA) ใช้คอลัมน์ Supelcosil™ LC-DABS มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 มม. และสูง 150 มม. (Sigma-Aldrich Co. LLC, St. Luis, Mo., USA) อุณหภูมิคอลัมน์เท่ากับ 35ºC ใช้อะซีโตไนไตรล์ (Acetonitrile, ACN) เป็น mobile phase ที่มีอัตราการไหล 1 มิลลิลิตร/นาที และ injection volume 5 ไมโครลิตร ใช้ ultraviolet detector ที่ความยาวคลื่น 465 นาโนเมตร

2.7 การวิเคราะห์หาปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมด

วิเคราะห์หาปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดของข้าวงอก โดยใช้วิธีการทดสอบ Folin-Ciocalteu reagents (FCR) ตามวิธีการของ Palamanit และคณะ [13]

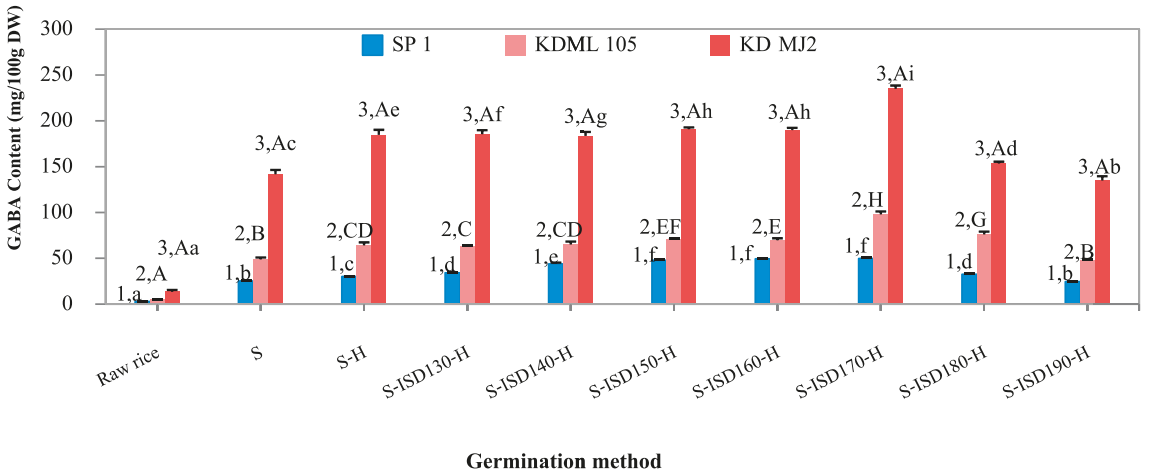
2.8 การวิเคราะห์หาเนื้อสัมผัส (Texture)

วัดคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของข้าวงอกหุงสุกด้วย Texture Analyzer (TA.XT Plus, Stable Micro System, Ltd in Godalming, Surrey UK) โดยค่าความแข็งและความเหนียวของข้าวงอกใช้หัวกดทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม. แรงจากหัวกดที่กดลงบนเมล็ดข้าวแทนแรงในการเคี้ยวข้าว โดยหัวกดกดลงด้วยความเร็ว 1 มม./วินาที และถูกยกกลับด้วยความเร็ว 10 มม./วินาที

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ปริมาณสารกาบ้าของข้าวงอกที่เตรียมโดยวิธีการงอกที่แตกต่างกันของข้าวเปลือก 3 สายพันธุ์

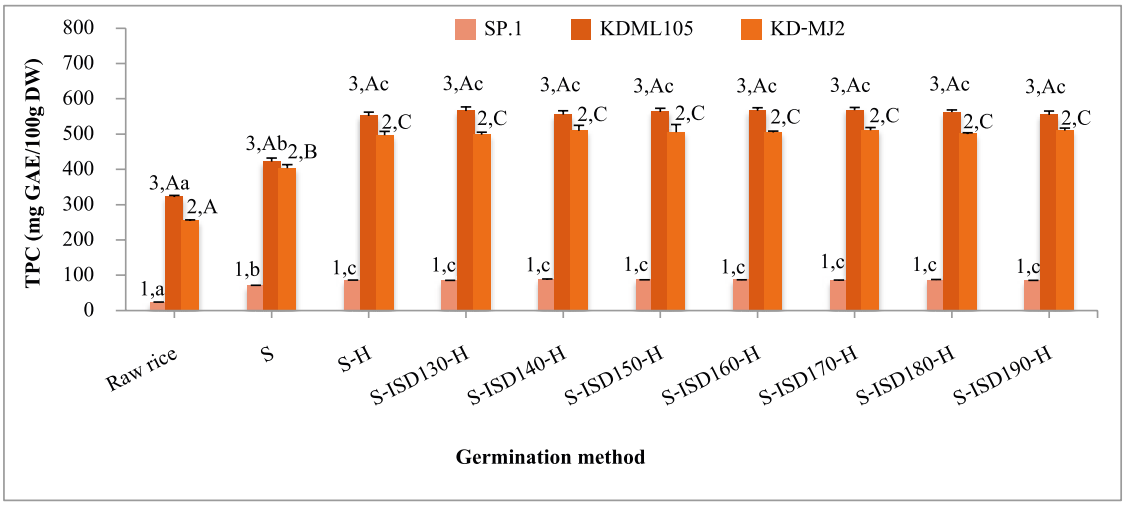
เปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวงอกที่เตรียมโดย SP.1 เพิ่มขึ้นเป็น 95% ที่ 48 ชม. ในขณะที่ KDML 105และ KD-MJ2 จะใช้เวลา 60 ชม. และเปอร์เซ็นต์การงอกไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากเวลาข้างต้นปริมาณสารกาบ้าของข้าวโดยธรรมชาติของ SP.1 เท่ากับ 2.88 มก./100 กรัม KDML 105เท่ากับ 5.05 มก./100 กรัม และ KD-MJ2 เท่ากับ 13.57 มก./100 กรัม ปริมาณสารกาบ้าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการงอกเพิ่มขึ้นในทุกสายพันธุ์ โดยวิธีการงอกแบบS-ISD-H ทำให้ได้ปริมาณสารกาบ้าสูงกว่าวิธีการงอกแบบ S-H และ S ยกเว้นวิธีการงอกแบบ S-ISD180-H และ S-ISD190-H ที่ทำให้ปริมาณสารกาบ้าลดลง อุณหภูมิในการให้ความร้อนในช่วงระหว่างกระบวนการงอกที่ 150-170ºC ทำให้ได้ปริมาณสารกาบ้าสูงสุดใน SP.1 เท่ากับ 49.7 มก./100 กรัม ในขณะที่อุณหภูมิในการให้ความร้อนในระหว่างกระบวนการงอกที่ 170ºC ทำให้ได้ปริมาณสารกาบ้าสูงสุดใน KDML 105 และ KD-MJ2 ซึ่งเท่ากับประมาณ 97.9 และ 235 มก./100 กรัม ตามลำดับ จากผลการวิจัยนี้พบว่า KD-MJ2 มีความไวต่อความร้อนมากกว่า KDML 105 และ SP.1 โดยปริมาณสารกาบ้าเพิ่มขึ้นสูงสุด 17.3, 25 และ 15.6 เท่าสำหรับ KD-MJ2 KDML 105 และ SP.1 ตามลำดับ (เปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก) ความแตกต่างของปริมาณสารกาบ้าในวิธีการงอกแบบ S-ISD-H เกิดขึ้นเนื่องจากการอุณหภูมิในการให้ความร้อนของเมล็ดในระหว่างกระบวนการงอก ทั้งนี้ความแตกต่างของปริมาณสารกาบ้านี้สัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์ GAD ซึ่ง Zhang และคณะ [18] รายงานว่ากิจกรรมของเอนไซม์ GAD ของเมล็ดข้าวสูงที่สุดในช่วงอุณหภูมิประมาณ 40ºC ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดปริมาณสารกาบ้าที่สูงสุดของการทดลองนี้ที่พบว่าการให้ความร้อนในระหว่างกระบวนการงอกโดยใช้เครื่อง ISD ที่อุณหภูมิลมร้อน 170ºC ทำให้ได้อุณหภูมิเมล็ดโดยเฉลี่ยประมาณ 40.5ºC ดังนั้นข้าวงอกที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิ 170ºC จะทำให้ได้ปริมาณสารกาบ้าสูงสุด แต่หากใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปเช่น 190ºC อุณหภูมิเฉลี่ยเมล็ดข้าวเท่ากับ 43ºC ส่งผลให้ปริมาณสารกาบ้าลดลง 50% เมื่อเปรียบเทียบกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 170ºC ดังแสดงในรูปที่ 2 และยังพบว่าปริมาณสารกาบ้าของข้าวงอกที่เตรียมจาก KD-MJ2 สูงกว่า KDML 105 และ SP.1 ทั้งนี้จากการศึกษาของ Jannoey และคณะ [4] พบว่าปริมาณสารกาบ้าที่แตกต่างกันในระหว่างกระบวนการงอกในข้าวเกิดขึ้นเนื่องจากการการมีลักษณะทางพันธุกรรมที่แตกต่างกันของข้าวแต่ละสายพันธุ์นั่นเอง



รูปที่ 2 ปริมาณสารกาบ้าของข้าวงอกที่เตรียมโดยวิธีการงอกที่แตกต่างกันของข้าวเปลือก 3 สายพันธุ์
Values are means ± SD (n = 3). Different letters over bars indicate significant differences amongst germination methods ($p < 0.05$).

3.2 ปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดของข้าวงอกที่เตรียมโดยวิธีการงอกที่แตกต่างกันของข้าวเปลือก 3 สายพันธุ์

รูปที่ 3 แสดงปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดที่เตรียมโดยวิธีการงอกที่แตกต่างกันปริมาณ TPC ของข้าวกล้องก่อนการงอกของ SP.1 (23.7 มก./100 กรัม) KDML 105 (321.8 มก./100 กรัม) และ KD-MJ2 (254.3 มก./100 กรัม) ปริมาณ TPC ในตัวอย่างข้าวทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มเวลางอกเพิ่มขึ้นทั้งนี้อาจเป็นเพราะการกระตุ้น phenylalanine ammonia lyase (PAL) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการ phenylpropanoid ที่ตอบสนองต่อการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิคต่างๆ ที่เกิดขึ้นในช่วงการงอก [3, 5, 16] นอกจากเวลาในการงอกแล้ววิธีการงอกยังส่งผลกระทบต่อปริมาณ TPC อย่างมีนัยสำคัญโดยวิธีการงอกแบบ S-H ทำให้ TPC สูงกว่าวิธี S เนื่องจากในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ อนุมูลอิสระที่มีความเป็นพิษสูงเช่น ซูเปอร์ออกไซด์ ออกซิเจนอะตอมเดี่ยว ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และไฮดรอกซิลจะถูกผลิตขึ้น [1] เซลล์พืชจึงมีกลไกในการป้องกันตนเองจากอนุมูลอิสระเหล่านี้ [5] โดยกลไกการป้องกันการตอบสนองต่อความเครียดจากสภาวะพร่องออกซิเจนได้แก่ระบบเอนไซม์ เช่นซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส เอนไซม์คะตาเลส และascorbate peroxidase และระบบที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ได้แก่ การสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระที่มีมวลโมเลกุลต่ำ เช่นสารประกอบฟีนอล โทโคเฟอรอล แอสคอร์เบท และกลูต้าไทโอน [17] ดังนั้น TPC ของข้าวงอกที่เตรียมด้วยวิธี S-H จึงมีปริมาณสูงกว่าข้าวงอกที่เตรียมด้วยวิธี S และการทดลองนี้ยังพบว่าปริมาณ TPC ของข้าวงอกมีค่าแตกต่างกันในข้าวแต่ละสายพันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับ Maisuthisakul และ Changchub [8] ที่รายงานว่าข้าวที่มี genotypes ต่างกัน จะมีปริมาณ TPC ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3 ปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดของข้าวงอกที่เตรียมโดยวิธีการงอกที่แตกต่างกันของข้าวเปลือก 3 สายพันธุ์
Values are means ± SD (n = 3). Different letters over bars indicate significant differences amongst germination methods ($p < 0.05$).

3.3 เนื้อสัมผัสของข้าวงอกที่เตรียมโดยวิธีการงอกที่แตกต่างกันของข้าวเปลือก 3 สายพันธุ์

ตารางที่ 1 แสดงเนื้อสัมผัสของข้าวงอกหุงสุกที่ผลิตด้วยวิธีการงอกที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าการงอกมีผลต่อเนื้อสัมผัสทั้งในแง่ของค่าความแข็งและค่าความเหนียว โดยเวลาการงอกที่48, 60 และ 60 ชั่วโมงให้ค่าความแข็งต่ำสุดของข้าวหุงสุกสำหรับ SP.1 KDML 105 และ KD-MJ2 ตามลำดับ ค่าความแข็งต่ำสุดเนื่องจากการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงนั่นคือแป้งโปรตีนและ non-starch polysaccharides [10] นอกจากเวลาในการงอกแล้ววิธีการงอกยังส่งผลต่อค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญกล่าวคือโดยวิธีการงอกแบบ S-H และ S-ISD-H มีค่าความแข็งของข้าวหุงสุกสูงกว่าที่เตรียมโดยวิธีS ทั้งนี้อาจเป็นเพราะข้าวหุงสุกโดยวิธีการงอกแบบ S จะแช่ข้าวเปลือกในน้ำตลอดในช่วงระยะเวลาในการงอก ในขณะที่วิธีการงอกแบบ S-H และ S-ISD-H จะแช่ข้าวเปลือกไว้เพียง 12 ชม. ดังนั้นการแช่น้ำโดยตลอดของวิธีการงอกแบบ S อาจทำให้แป้งละลายในน้ำ ส่งผลให้เมล็ดอ่อนลงมากกว่าวิธี S-H และ S-ISD-H ในส่วนเนื้อสัมผัสในแง่ของค่าความเหนียวพบว่าการงอกมีผลต่อค่าความเหนียวอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการงอกไม่มีผลต่อค่าความเหนียวในข้าวงอกที่เตรียมโดย KDML 105 และ KD-MJ2 ยกเว้น SP.1 ที่ไม่สามารถตรวจพบค่าความเหนียวได้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เนื้อสัมผัสของข้าวงอก 3 สายพันธุ์ที่เตรียมโดยวิธีการงอกต่างๆ

Germination method	SP.1		KDML105		KD-MJ2	
	Hardness (N)	Stickiness (N)	Hardness (N)	Stickiness (N)	Hardness (N)	Stickiness (N)
Raw rice	159.7 ± 3.1^{a}	ND	143.0 ± 4.0^{a}	-1.0 ± 0.1^{b}	61.9 ± 2.2^{d}	-0.8 ± 0.2^{b}
S	120.4 ± 4.7^{a}	ND	103.9 ± 5.0^{a}	-2.9 ± 0.8^{a}	31.0 ± 4.0^{a}	-5.0 ± 1.0^{a}
S-H	127.7 ± 4.9^{b}	ND	120.0 ± 3.3^{b}	-2.2 ± 0.8^{a}	44.3 ± 4.2^{b}	-4.2 ± 0.5^{a}
S-ISD130-H	130.2 ± 7.6^{bc}	ND	127.9 ± 5.4^{bc}	-2.4 ± 1.0^{a}	45.9 ± 4.1^{bc}	-4.4 ± 0.6^{a}
S-ISD140-H	133.4 ± 6.2^{b}	ND	120.8 ± 4.8^{b}	-2.4 ± 1.0^{a}	41.3 ± 3.2^{b}	-4.9 ± 0.3^{a}
S-ISD150-H	130.1 ± 5.4^{bc}	ND	121.9 ± 4.0^{b}	-2.6 ± 1.0^{a}	43.5 ± 3.9^{b}	-4.5 ± 1.0^{a}
S-ISD160-H	132.0 ± 5.5^{bc}	ND	125.5 ± 5.1^{bc}	-2.2 ± 1.0^{a}	47.7 ± 3.1^{bc}	-4.7 ± 0.6^{a}
S-ISD170-H	135.3 ± 3.7^{bc}	ND	124.9 ± 5.8^{b}	-2.0 ± 1.1^{a}	47.0 ± 4.8^{bc}	-4.9 ± 0.8^{a}
S-ISD180-H	133.7 ± 7.6^{bc}	ND	120.8 ± 4.7^{b}	-2.8 ± 1.2^{a}	45.1 ± 4.4^{b}	-4.1 ± 0.8^{a}
S-ISD190-H	134.3 ± 3.2^{b}	ND	120.9 ± 5.9^{b}	-2.6 ± 1.1^{a}	46.5 ± 4.8^{bc}	-4.1 ± 0.7^{a}

$^{a-d}$Means with different superscripts in the same column are significantly different (p <0.05).

* ND = Not detected

4. สรุปผลการทดลอง

ระยะเวลางอกและวิธีการงอกของข้าวมีผลต่อปริมาณสารกาบ้า ปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมด และเนื้อสัมผัสโดย พบว่าการให้ความร้อนในระหว่างการงอกทำให้ได้ปริมาณสารกาบ้าสูงสุด ยกเว้นวิธี S-ISD180-H และ S-ISD190-H ที่ทำให้ปริมาณสารกาบ้าลดลงในทุกสายพันธุ์ แต่อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนในระหว่างกระบวนการงอกไม่มีผลต่อ TPC แต่สภาวะพร่องออกซิเจนสามารถทำให้ TPC เพิ่มขึ้นได้เมื่อเทียบกับการแช่น้ำเพียงอย่างเดียวในทุกสายพันธุ์ ในการศึกษาครั้งนี้ความแข็งของข้าวปรุงสุกไม่มีผลกระทบต่อความเครียดจากสิ่งแวดล้อมการศึกษานี้สามารถนำมาใช้ในการผลิตข้าวที่สามารถใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่ดีได้ซึ่งคณะผู้วิจัยขอแนะนำว่า การให้ความร้อนโดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมในระหว่างการงอกสามารถที่จะเพิ่มปริมาณสารกาบ้าในข้าวงอกได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถานที่ทำวิจัยจากคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ และคณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ การตรวจสอบเนื้อสัมผัสจากภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี รวมทั้งทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สัญญารับทุนเลขที่ DPG5980004, BRG 5880015 และ RTA 5880009) นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่สนับสนุนอุปกรณ์ในการตรวจสอบปริมาณสารกาบ้าและปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดในข้าวงอกอีกด้วย [1]

6. เอกสารอ้างอิง

1. Blokhina, O., Virolainen, E. and Fagerstedt, K.V., 2003, “Antioxidants, Oxidative Damage and Oxygen Deprivation Stress: AReview,” *Annals of Botaby*, 91, pp. 179-194.

2. Bown, A.W. and Shelp, B.J., 1997, "The Metabolism and Functions of γ-aminobutyric Acid,” *Plant Physiology*, 15, pp. 1–5.

3. Caceres, P.J., Martinez-Villaluenga, C., Amigo, L. and Frias, J., 2014, “Maximizing the Phytochemical Content and Antioxidant Activity of Ecuadorian Brown Rice Sprouts through Optimal Germination Conditions,” *Food Chemistry*, 152, pp. 407–414.

4. Jannoey, P., Niamsup, H., Lumyong, S., Tajima, S., Nomura, M. and Chairote, G., 2010, “γ-Aminobutyric Acid (GABA) Accumulation in Rice during Germination,” *Chiang Mai Journal of Science*, 37, pp. 124-133.

5. Keles, Y. and Oncel, I., 2002, "Response of Antioxidative Defense System to Temperature and Water Stress Combinations in Wheat Seedlings," *Plant Science*, 163, pp. 783–790.

6. Kim, Y.M., Lee, H.S., Jang, Y.G., Park, J.H., Li, M., Kim, S., Lee, R.Y., Noh, H.Y., Lee, J. and Jeong, S.H., 2015, "Effects of High Hydrostatic Pressure Treatment on the Enhancement of Functional Components of Germinated Rough Rice (*Oryza Sativa* L.)," *Food Chemistry*, 166, pp. 86-92.

7. Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. and Kimura, T., 2007, "Effect of Soaking and Gaseous Treatment on GABA Content in Germinated Brown Rice,"*Journal of Food Engineering*, 78, pp. 556–560.

8. Maisuthisakul, P. and Changchub, L., 2014, "Effect of Extraction on Phenolic Antioxidant of Different Thai Rice (*Oryza Sativa* L.) Genotypes," *International Journal of Food Properties*, 17 (4), pp. 855-865.

9. Malomouzh, A.I., Petrov, K.A., Nurullin, L.F. and Nikolsky, E.E., 2015, "Metabotropic GABA Receptors Mediate GABA Inhibition of Acetylcholine Release in the Rat Neuromuscular Junction," *Journal of Neurochemistry*, 135, pp. 1149–1160.

10. Megat-Rusydi, M.R., Noraliza, C.W., Azrina, A. and Zulkhairi, A., 2011, "Nutritional Changes in Germinated Legumes and Rice Varieties," *International Food Research Journal*, 18, pp. 705–713.

11. Moongngarm, A. and Nattawat, S., 2010, "Comparison of Chemical Compositions and Bioactive Compounds of Germinated Rough Rice and Brown Rice," *Food Chemistry*, 122, pp. 782-788.

12. Okada, T., Sugishita, T., Murakami, T., Murai, H., Saikusa, T., Horino, T., Onoda A., Kajimoto, O., Takahashi, R. and Takahashi, H., 2000, "Effect of the Defatted Rice Germ Enriched with GABA for Sleeplessness, Depression, Autonomic Disorder by Oral Administration," *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology-Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, 47, pp. 596–603.

13. Palamanit, A., Prachayawarakorn, S., Soponronnarit, S. and Tungtrakul, P., 2013,"Effects of Inlet Air Temperature and Spray Rate of Coating Solution on Quality Attributes of Turmeric Extract Coated Rice Using Top-spray Fluidized Bed Coating Technique," *Journal of Food Engineering*, 114, pp. 132 -138.

14. Techo, J., Prachayawarakorn, S., Devahastin, S., Soponronnarit, S., Wattanasiritham, L. and Thuwapanichayanan, R., 2016,"Effect of Heat Treatment on Increases GABA (γ-Aminobutyric Acid) Content in Germinated Paddy," *Proceedings of the 9th TSAE International Conference*, Bangkok, Thailand, pp. 141-147.

15. Thuwapanichayanan, R., Umaporn, Y., Donludee, J., Soponronnarit, S. and Prachayawarakorn, S., 2015, "Enhancement of γ-Aminobutyric Acid in Germinated Paddy by Soaking in Combination with Anaerobic and Fluidized Bed Heat Treatment," *Food and Bioproducts Processing*, 95, pp. 55-62.

16. Shao, Y.F. and Bao, J.S., 2015, "Polyphenols in Whole Rice Grain: Genetic Diversity and Health Benefits," *Food Chemistry*, 180, pp. 86-97.

17. Shen, S., Wang, Y., Li, M., Xu, F., Chai, L. and Bao, J., 2015, "The Effect of Anaerobic Treatment on Polyphenols, Antioxidant Properties, Tocols and Free Amino Acids in White, Red, and Black Germinated Rice (*Oryza Sativa* L.)," *Journal of Functional Foods*, 19, pp. 641-648.

18. Zhang, H., Yao, Hui-yuan., Chen, F. and Wang, X., 2007, "Purification and Characterization of Glutamate Decarboxylase from Rice Germ," *Food Chemistry*, 101, pp. 1670–1676.