TIChE
สมาคมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย
The Thai Institute of Chemical Engineering and Applied Chemistry

ผลของการให้ความร้อนในระหว่างการงอกที่มีต่อปริมาณสารกาบ้า สารต้านอนุมูลอิสระ และคุณภาพเนื้อสัมผัสของข้าวเปลือกงอกสายพันธุ์ต่างๆ

จักราวุฒิ เตโช[1]*, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์[2], สมเกียรติ ปรัชญาวรากร[3], สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา[4]

[1]สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
398 ถนนสวรรค์วิถี เมืองนครสวรรค์ นครสวรรค์ 60000 E-mail: jakkrawut_engineering@hotmail.com

[2]สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถนนประชาอุทิศ บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140 E-mail: somchart.sop@kmutt.ac.th

[3]ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถนนประชาอุทิศ บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140 E-mail: somkiat.pra@kmutt.ac.th

[4]ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถนนประชาอุทิศ บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 1014 E-mail: sakamon.dev@kmutt.ac.th

*Corresponding author: Tel: +66-9-4862-7773, E-mail: jakkrawut_engineering@hotmail.com

บทคัดย่อ: กระบวนการงอกทำให้คุณภาพเนื้อสัมผัส โดยเฉพาะการลดค่าความแข็งได้ และยังสามารถเพิ่มปริมาณสารแกมม่าอมิโนบิวทีริกแอซิด (กาบ้า) ได้ การให้ความร้อนร่วมกับสภาวะพร่องออกซิเจนในระหว่างกระบวนการงอกยังเพิ่มปริมาณสารกาบ้าได้มากกว่าวิธีการงอกแบบแช่น้ำเพียงอย่างเดียว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารกาบ้า คุณภาพเนื้อสัมผัส และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวเปลือกงอกหลังผ่านการให้ความร้อนในระหว่างการเพาะงอก ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าการให้ความร้อนในระหว่างการเพาะงอก ทำให้ปริมาณสารกาบ้าสูงกว่าที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน คุณภาพเนื้อสัมผัสในส่วนของค่าความแข็งมีค่าลดลง นอกจากนี้กระบวนการงอกทำให้กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ปริมาณสารกาบ้า, วิธีการเพาะงอก, คุณภาพเนื้อสัมผัส, สารต้านอนุมูลอิสระ, การให้ความร้อน

บทนำ

กรดแกมม่าอะมิโนบิวทีริกแอซิด (กาบ้า) เป็นกรดอะมิโนที่สังเคราะห์โดยกระบวนการ decarboxylation ของกรด L-glutamic และโดยมีเอนไซม์ glutamate decarboxylase (GAD, EC 4.1.1.15) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Bown และ Shelp, 1997) กาบ้าเป็นสารสื่อประสาทที่สำคัญในการยับยั้งประสาทของระบบประสาทส่วนกลาง (Malomouzh et al., 2015) ใช้ในการรักษาโรคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับภาวะนอนไม่หลับ ภาวะซึมเศร้า และความผิดปกติของระบบประสาท (Okada et al., 2000) จากประโยชน์ดังกล่าวทำให้อาหารที่ประกอบด้วยสารกาบ้าได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในบรรดาผู้บริโภคที่สนใจในอาหารเพื่อสุขภาพ ซึ่งหนึ่งในผลิตภัณฑ์อาหารนั้นคือข้าวกล้องงอก ซึ่งเป็นที่นิยมมากอย่างหนึ่งเนื่องจากอุดมไปด้วยสารอาหารต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือสารกาบ้า แม้ว่าข้าวบางสายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทยจะมีปริมาณสารกาบ้าอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูงคือ 28.3 มก/. 100 กรัม (Moongngarm and Saetung, 2010) แต่ก็มีบางสายพันธุ์ที่ปริมาณสารกาบ้าในข้าวตามธรรมชาติอยู่ในระดับต่ำคือ 2.88

มก/.100 กรัม (Techo et al., 2016) ซึ่งอาจไม่สามารถแสดงต่อกิจกรรมทางสรีรวิทยาใด ๆ ได้อย่างเพียงพอ ดังนั้น จึงมีความพยายามของคณะผู้วิจัยหลายกลุ่มที่ศึกษาวิธีการเพิ่มปริมาณสารกาบ้าในข้าว เช่น Komatsuzaki et al (2007) Kim et al (2015) Thuwapanichayanan et al (2015) และ Techo et al (2016) เป็นต้น

Komatsuzaki et al. (2007) ศึกษาการให้สภาวะอับอากาศแก่ข้าวสายพันธุ์ญี่ปุ่น ผลการวิจัยพบว่าสภาวะอับอากาศ ทำให้ประมาณสารกาบ้าสูงกว่าข้าวที่งอกโดยวิธีการแช่เพียงอย่างเดียว 2.5 เท่า Kim et al (2015) ศึกษาผลของความดันที่มีต่อปริมาณสารกาบาในข้าวปลือก และพบว่าการให้ความดันสูงทำให้ปริมาณสารกาบ้าสูงกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความดันสูงประมาณ 2.92 เท่า Thuwapanichayanan et al. (2014) ศึกษาการให้ความร้อนโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 120°C ของข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 1 ในระหว่างกระบวนการงอก ซึ่งพบว่าปริมาณการบ้าสูงกว่าตัวอย่างข้าวที่เตรียมโดยการแช่น้ำรวมกับสภาวะอับอากาศและการแช่เพียงอย่างเดียว Techo et al (2016) ศึกษาการให้ความร้อนข้าวสายพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในระหว่างการงอก โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบกระแสชนเพียง 2 วินาที พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150-170°C ในระหว่างการงอกทำให้ปริมาณสารกาบ้าเพิ่มขึ้นถึง 17.3 เท่าเมื่อเทียบกับปริมาณสารกาบ้าของข้าวที่ได้จากธรรมชาติ จากการตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนในระหว่างการงอกของข้าวเป็นหนึ่งในวิธีการสำคัญที่จะช่วยเพิ่มปริมาณสารกาบ้าได้ แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างของปริมาณสารกาบ้าของข้าวนั้น พบว่ามีปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ สายพันธุ์ของข้าว ซึ่งจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนต่อปริมาณสารกาบ้าของข้าวในระหว่างกระบวนการงอกสายพันธุ์ที่แตกต่างกันยังมีรายงานที่ค่อนข้างน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการให้ความร้อนของข้าวงอกที่มีสายพันธุ์แตกต่างกันต่อคุณภาพทางด้านต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณสารกาบ้า สมบัติของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในแง่ของปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมและสารต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของข้าวงอกอีกด้วย

วิธีการวิจัย

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 ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 14 % ฐานแห้ง เก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4-6°C ก่อนการทดลองวิจัย

เครื่องอบแห้งแบบกระแสชน(ISD)

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

การเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือกงอกโดยวิธีการแช่น้ำ

ล้างข้าวเปลือกในน้ำให้สะอาดรวมทั้งคัดเมล็ดลีบทิ้ง แช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 35°C จำนวน 4 กก. เปลี่ยนน้ำทุก 4 ชม. จนกระทั่งได้เปอร์เซ็นต์การงอกเท่ากับ 95% และความยาวของคัพภะเท่ากับ 1-2 มม. ใช้เวลา 48 ชม.สำหรับ SP. 1 และ 60 ชม.สำหรับ KDML 105 และ KD-MJ 2 หลังจากนั้นหยุดการงอกกระทั่งความชื้นของข้าวงอกลดลงเหลือ 16.5% ฐานแห้ง

การเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือกงอกโดยวิธีการแช่น้ำร่วมกับการให้สภาวะพร่องออกซิเจน

ข้าวเปลือกที่ล้างให้สะอาด แช่ในอ่างน้ำอุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 12 ชม. หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกไปใส่ในขวดโหลแก้วปิดฝาสนิท 3 ใน 8 ของขวดโหลเพื่อสร้างสภาวะพร่องออกซิเจนแก่ข้าวเปลือกงอก เป็นเวลา 48 ชม.สำหรับ SP. 1 และ 60 ชม.สำหรับ KDML 105 และ KD-MJ 2 หลังจากนั้นหยุดการงอกกระทั่งความชื้นของข้าวงอกลดลงเหลือ 16.5% ฐานแห้ง

การเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือกงอกโดยวิธีการแช่น้ำร่วมกับการให้ความร้อนและการให้สภาวะพร่องออกซิเจน

ข้าวเปลือกที่ล้างให้สะอาด แช่ในอ่างน้ำอุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 12 ชม. จากนั้นให้ความร้อนในระหว่างกระบวนการงอกโดยใช้เครื่อง ISD อุณหภูมิ 130 140 150 160 170 180 และ 190°C หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกใส่ในขวดโหลแก้วปิดฝาสนิทเป็นเวลา 48 ชม. สำหรับ SP. 1 และ 60 ชม. สำหรับ KDML 105 และ KD-MJ 2 หลังจากนั้นหยุดการงอกกระทั่งความชื้นของข้าวงอกลดลงเหลือ 16.5% ฐานแห้ง

การวิเคราะห์หาปริมาณสารกาบ้า

วิเคราะห์หาปริมาณสารกาบ้า โดยวิธีที่ปรับปรุงจาก Lin and Wang (1980) วิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC Agilent 1100 Series, Agilent Technologies, Calif., USA ใช้คอลัมน์ Supelcosil™ LC-DABS, 4.6 mm I.D. ×150 mm, Sigma-Aldrich Co. LLC, St. Luis, Mo., USA

การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลรวม

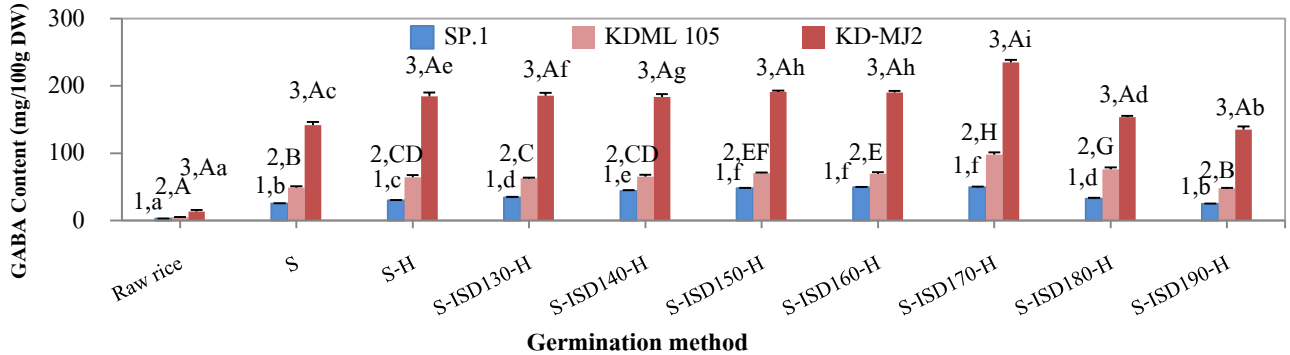
วิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลรวมของข้าวงอกโดยใช้วิธีการทดสอบ Folin-Ciocalteu reagents (FCR) ตามวิธีการของ Palamanit et al. (2013)

การวิเคราะห์หาคุณภาพเนื้อสัมผัส

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

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ปริมาณสารกาบ้าของข้าวงอกที่เตรียมโดยวิธีการงอกที่แตกต่างกันของข้าวเปลือก 3 สายพันธุ์



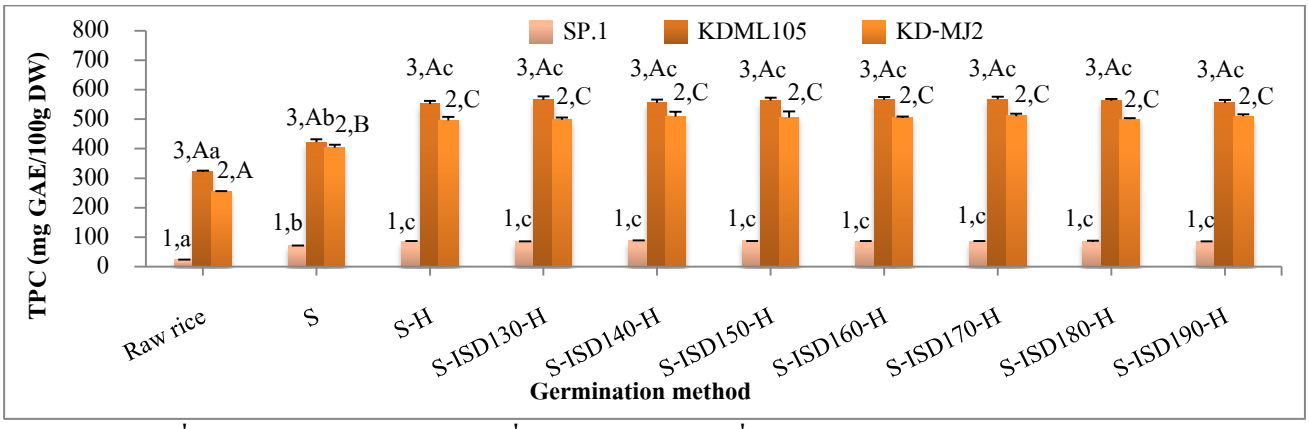
รูปที่ 2 ปริมาณสารกาบ้าของข้าวงอกที่เตรียมโดยวิธีการงอกที่แตกต่างกันของข้าวเปลือก 3 สายพันธุ์

เปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวงอกที่เตรียมโดย SP.1 เพิ่มขึ้นเป็น 95% ที่ 48 ชม. ในขณะที่ KDML 105 และ KD-MJ 2 จะใช้เวลา 60 ชม. และเปอร์เซ็นต์การงอกไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากเวลาข้างต้น ปริมาณสารกาบ้าของข้าวโดยธรรมชาติของ SP.1 เท่ากับ 2.88 มก./100 กรัม KDML 105 เท่ากับ 5.05 มก./100 กรัม และ KD-MJ 2 เท่ากับ 13.57 มก./100 กรัม ปริมาณสารกาบ้าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการงอกเพิ่มขึ้นในทุกสายพันธุ์ โดยวิธีการงอกแบบ S-ISD-H ทำให้ได้ปริมาณสารกาบ้าสูงกว่าวิธีการงอกแบบ S-H และ S ยกเว้นวิธีการงอกแบบ S-ISD180-H และ S-ISD190-H ที่ทำให้ปริมาณสารกาบ้าลดลง อุณหภูมิในการให้ความร้อนในช่วงระหว่างกระบวนการงอกที่ 150-170 °C ทำให้ได้ปริมาณสารกาบ้าสูงสุดใน SP.1 เท่ากับ 49.7 มก./100 กรัม ในขณะที่อุณหภูมิในการให้ความร้อนในระหว่างกระบวนการงอกที่ 170 °C ทำให้ได้ปริมาณสารกาบ้าสูงสุดใน KDML 105 และ KD-MJ 2 ซึ่งเท่ากับประมาณ 97.9 และ 235 มก./100 กรัม ตามลำดับ จากผลการวิจัยนี้พบว่า KD-MJ 2 มีความไวต่อความร้อนมากกว่า KDML 105 และ SP.1 โดยปริมาณสารกาบ้าเพิ่มขึ้นสูงสุด 17.3, 25 และ15.6 เท่าสำหรับ KD-MJ 2 KDML 105 และ SP. 1ตามลำดับ (เปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก) ความแตกต่างของปริมาณสารกาบ้าในวิธีการงอกแบบ S-ISD-H เกิดขึ้นเนื่องจากการอุณหภูมิในการให้ความร้อนของเมล็ดในระหว่างกระบวนการงอก ทั้งนี้ความแตกต่างของปริมาณสารกาบ้านี้สัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์ GAD ซึ่ง Zhang et al. (2007) รายงานว่ากิจกรรมของเอนไซม์ GAD ของเมล็ดข้าวสูงที่สุดในช่วงอุณหภูมิประมาณ 40°C ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดปริมาณสารกาบ้าที่สูงสุดของการทดลองนี้ที่พบว่าการให้ความร้อนในระหว่างกระบวนการงอกโดยใช้เครื่อง ISD ที่อุณหภูมิลมร้อน 170 °C ทำให้ได้อุณหภูมิเมล็ดโดยเฉลี่ยประมาณ 40.5 °C ดังนั้นข้าวงอกที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิ 170 °C จะทำให้ได้ปริมาณสารกาบ้าสูงสุด แต่หากใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปเช่น 190 °C อุณหภูมิเฉลี่ยเมล็ดข้าวเท่ากับ 43°C ส่งผลให้ปริมาณสารกาบ้าลดลง 50 % เมื่อเปรียบเทียบกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 170 °C ดังแสดงในรูปที่ 2 และยังพบว่าปริมาณสารกาบ้าของข้าวงอกที่เตรียมจาก KD-MJ2 สูงกว่า KDML 105 และ SP.1 ทั้งนี้จากการศึกษาของ Jannoey et al. (2007) พบว่าปริมาณสารกาบ้าที่แตกต่างกันในระหว่างกระบวนการงอกในข้าวเกิดขึ้นเนื่องจากการการมีลักษณะทางพันธุกรรมที่แตกต่างกันของข้าวแต่ละสายพันธุ์นั่นเอง

ปริมาณฟีนอลรวมของข้าวงอกที่เตรียมโดยวิธีการงอกที่แตกต่างกันของข้าวเปลือก 3 สายพันธุ์

รูปที่ 3 แสดงปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่เตรียมโดยวิธีการงอกที่แตกต่างกัน ปริมาณ 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 ในตัวอย่างข้าวทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มเวลางอกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการกระตุ้น phenylalanine ammonia lyase (PAL) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการ phenylpropanoid ที่ตอบสนองต่อการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในช่วงการงอก (Keles and Oncel, 2002; Shao and Bao, 2015) นอกจากเวลาในการงอกแล้ววิธีการงอกยังส่งผลกระทบต่อปริมาณ TPC อย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธีการงอกแบบ S-H ทำให้ TPC สูงกว่าวิธี S เนื่องจากในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ อนุมูลอิสระที่มีความเป็นพิษสูง เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ ออกซิเจนอะตอมเดี่ยว ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และไฮดรอกซิลจะถูกผลิตขึ้น (Blokhina et al., 2003) เซลล์พืชจึงมีกลไกในการป้องกันตนเองจากอนุมูลอิสระเหล่านี้ (Keles and Oncel, 2002) โดยกลไกการป้องกันการตอบสนองต่อความเครียดจากสภาวะพร่องออกซิเจน ได้แก่ ระบบเอนไซม์ เช่น ซุปเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเทสเอนไซม์คะตาเลส และ ascorbate peroxidase และระบบที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ได้แก่ การสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระที่มีมวลโมเลกุลต่ำ เช่น สารประกอบฟีนอล โทโคเฟอรอล แอสคอร์เบท และกลูต้าไทโอน (Shen et al., 2015) ดังนั้น TPC ของข้าว

งอกที่เตรียมด้วยวิธี S-H จึงมีปริมาณสูงกว่าข้าวงอกที่เตรียมด้วยวิธี S และการทดลองนี้ยังพบว่าปริมาณ TPC ของข้าวงอกมีค่าแตกต่างกันในข้าวแต่ละสายพันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับ Maisuthisakul and Changchub (2014) ที่รายงานว่าข้าวที่มี genotypes ต่างกันจะมีปริมาณ TPC ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3 ปริมาณสารกาบ้าของข้าวงอกที่เตรียมโดยวิธีการงอกที่แตกต่างกันของข้าวเปลือก 3 สายพันธุ์

คุณภาพเนื้อสัมผัสของข้าวงอกที่เตรียมโดยวิธีการงอกที่แตกต่างกันของข้าวเปลือก 3 สายพันธุ์

ตารางที่ 1 รวมถึงคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของข้าวงอก 3 สายพันธุ์ที่เตรียมโดยวิธีการงอกต่าง ๆ

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}

* ND = Not detected

ตารางที่ 1 แสดงคุณภาพเนื้อสัมผัสของข้าวงอกหุงสุกที่ผลิตด้วยวิธีการงอกที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าการงอกมีผลต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสทั้งในแง่ของค่าความแข็งและค่าความเหนียว โดยเวลาการงอกที่ 48, 60 และ 60 ชั่วโมงให้ค่าความแข็งต่ำสุดของข้าวหุงสุกสำหรับ SP.1 KDML 105 และ KD-MJ2 ตามลำดับ ค่าความแข็งต่ำสุดเนื่องจากการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงนั่นคือแป้งโปรตีนและ non-starch polysaccharides (Megat-Rusydi et al., 2011) นอกจากเวลาในการงอกแล้ววิธีการงอกยังส่งผลต่อค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือโดยวิธีการงอกแบบ S-H และ S-ISD-H มีค่าความแข็งของข้าวหุงสุกสูงกว่าที่เตรียมโดยวิธี S ทั้งนี้อาจเป็นเพราะข้าวหุงสุกโดยวิธีการงอกแบบ S จะแช่ข้าวเปลือกในน้ำตลอดในช่วงระยะเวลาในการงอก ในขณะที่วิธีการงอกแบบ S-H และ S-ISD-H จะแช่ข้าวเปลือกไว้เพียง 12 ชม .ดังนั้นการแช่น้ำโดยตลอดของวิธีการงอกแบบ S อาจทำให้

แป้งละลายในน้ำ ส่งผลให้เมล็ดอ่อนลงมากกว่าวิธี S-H และ S-ISD-H ในส่วนคุณภาพเนื้อสัมผัสในแง่ของค่าความเหนียวพบว่าการงอกมีผลต่อค่าความเหนียวอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการงอกไม่มีผลต่อค่าความเหนียวในข้าวงอกที่เตรียมโดย KDML 105 และ KD-MJ2 ยกเว้น SP.1 ที่ไม่สามารถตรวจพบค่าความเหนียวได้ ดังแสดงในตารางที่ 1

สรุปผลการทดลอง

ระยะเวลางอกและวิธีการงอกของข้าวมีผลต่อปริมาณสารกาบ้า สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และคุณภาพเนื้อสัมผัส โดยพบว่าการให้ความร้อนในระหว่างการงอกทำให้ได้ปริมาณสารกาบ้าสูงสุด ยกเว้นวิธี S-ISD180-H และ S-ISD190-H ที่ทำให้ปริมาณสารกาบ้าลดลงในทุกสายพันธุ์ แต่อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนในระหว่างกระบวนการงอกไม่มีผลต่อ TPC แต่สภาวะพร่องออกซิเจนสามารถทำให้ TPC เพิ่มขึ้นได้เมื่อเทียบกับการแช่น้ำเพียงอย่างเดียวในทุกสายพันธุ์ ในการศึกษาครั้งนี้ความแข็งของข้าวปรุงสุกไม่มีผลกระทบต่อความเครียดจากสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้สามารถนำมาใช้ในการผลิตข้าวที่สามารถใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่ดีได้ ซึ่งคณะผู้วิจัยขอแนะนำว่า การให้ความร้อนโดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมในระหว่างการงอกสามารถที่จะเพิ่มปริมาณสารกาบ้าในข้าวงอกได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สถานที่ทำวิจัยจากคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ และคณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ การตรวจสอบคุณภาพเนื้อสัมผัสจากภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี รวมทั้งทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สัญญารับทุนเลขที่ DPG 5980004) นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่สนับสนุนอุปกรณ์ในการตรวจสอบปริมาณสารกาบ้าและปริมาณฟีนอลรวมในข้าวงอกอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] Bown, A.W. and Shelp, B.J., Plant Physiol., 15 (1997) 1.

[2] Blokhina, O., Virolainen, E. Fagerstedt, K.V., Ann. Bot., 91 (2003) 179.

[3] Caceres, P. J., Martinez-Villaluenga, C., Amigo, L., Frias, J., Food Chem., 152 (2014) 407.

[4] Jannoey, P., Niamsup, H., Lumyong, S., Tajima, S., Nomura, M., Chairote, G., CHIANG MAI J SCI., 37(1) (2010) 124.

[5] Keles, Y., Oncel, I., Plant Sci., 163 (2002) 783.

[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., Jeong, S. H., Food Chem., 166 (2015) 86.

[7] Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N., Kimura, T., J., Food Eng., 78 (2007) 556.

[8] Maisuthisakul, P., and Changchub, L., INT J FOOD PROP., 17 (2014) 855.

[9] Malomouzh, A.I., Petrov, K.A., Nurullin, L.F., Nikolsky, E.E., J Neurochem., 135 (2015) 1149.

[10] Megat-Rusydi, M.R., Noraliza, C.W., Azrina, A., Zulkhairi, A., Int Food Res J., 18 (2011) 705.

[11] Moongngarm. A., Nattawat, S., Food Chem., 122 (2010) 782.

[12] Okada, T., Sugishita, T., Murakami, T., Murai, H., Saikusa, T., Horino, T., Onoda A., Kajimoto, O., Takahashi, R., Takahashi, H., J JPN SOC FOOD SCI., 47 (2000) 596.

[13] Techo, J., Prachayawarakorn, S., Devahastin, S., Soponronnarit, S., Wattanasiritham, L., Thuwapanichayanan, R., The 9th TSAE International Conference, (2016) 8-10 Sept.

[14] Thuwapanichayanan, R., Umaporn Y., Donludee J., Soponronnarit, S., Prachayawarakorn, S., FOOD BIOPROD PROCESS., 95 (2015) 55.

[15] Shao, Y. F., Bao, J. S., Food Chem., 180 (2015) 86.

[16] Shen, S., Wang, Y., Li, M., Xu, F., Chai, L., Bao, J., J Funct Foods., 19 (2015) 641.

[17] Zhang, H., Yao, Hui-yuan., Chen, F., Wang, X., Food Chem., 101 (2007) 1670.