



การปรับปรุงกระบวนการแช่ด้วยการพ่นไอน้ำเพื่อลดระยะเวลาการผลิตข้าวหนึ่ง

พิมพ์พรณ ปรี่องาม*

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์

สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สมเกียรติ ปรัชญาวารากร

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-6504-5685 อีเมล: fengpppn@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2017.10.002

รับเมื่อ 3 สิงหาคม 2559 ตอรับเมื่อ 25 ตุลาคม 2559 เผยแพร่ออนไลน์ 20 ตุลาคม 2560

© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ขั้นตอนการแช่ในการผลิตข้าวหนึ่งนั้นใช้เวลามากซึ่งมีผลต่อเวลารวมที่ใช้ในการผลิตข้าวหนึ่ง ในงานวิจัยนี้จึงได้มีการปรับปรุงกระบวนการแช่ เพื่อให้เวลารวมของระบบผลิตข้าวหนึ่งลดลง โดยพ่นไอน้ำให้กับข้าวเปลือกก่อนนำไปแช่ การศึกษาใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1 ที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 13.5–14% (db) พ่นไอน้ำอุณหภูมิ 102°C ให้แก่ข้าวเปลือกที่ระยะเวลา 2, 7, 17 และ 32 นาที แล้วแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้นสูงขึ้นประมาณ 1.5 เท่า เมื่อนำไปแช่จึงมีความชื้นสูงกว่าข้าวเปลือกที่ไม่ได้ผ่านการพ่นไอน้ำ จากนั้นผึ่งให้แห้งที่สภาวะแวดล้อม จนเหลือความชื้นสุดท้าย 14–16% (db) ข้าวเปลือกที่ผ่านการพ่นไอน้ำก่อนแช่มีแนวโน้มร้อยละผลผลิตต้นข้าวสูงกว่าข้าวที่แช่อย่างเดียว โดยที่ร้อยละผลผลิตต้นข้าวจะเพิ่มตามระยะเวลาการแช่ แต่เมื่อการแช่เข้าสู่ชั่วโมงที่ 5–6 พบว่า ข้าวเปลือกที่ผ่านการพ่นไอน้ำเป็นเวลานาน 17 นาที และ 32 นาที จะมีร้อยละผลผลิตต้นข้าวลดลง นอกจากนี้การพ่นไอน้ำก่อนการแช่ จะทำให้ค่าดัชนีความขาวและร้อยละข้าวท้องไขมีค่าลดลง ข้าวเปลือกที่ผ่านการพ่นไอน้ำนาน 17 นาที และ 32 นาที แล้วนำมาแช่นาน 3 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ จะมีระดับการเกิดเจลลาคีโนเซชันใกล้เคียงกับข้าวที่น้ำแช่น้ำร้อนเพียงอย่างเดียวนาน 4 ชั่วโมง

คำสำคัญ: ร้อยละผลผลิตต้นข้าว, ดัชนีความขาวของข้าว, ข้าวท้องไข, เจลลาคีโนเซชัน

การอ้างอิงบทความ: พิมพ์พรณ ปรี่องาม สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ สมเกียรติ ปรัชญาวารากร และ สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา, “การปรับปรุงกระบวนการแช่ด้วยการพ่นไอน้ำเพื่อลดระยะเวลาการผลิตข้าวหนึ่ง,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 27, ฉบับที่ 4, หน้า 655–665, ต.ค.–ธ.ค. 2560

Pre-steaming Technique on Paddy Soaking Process to Improve Parboiling Production Time

Pimpan Pruengam*

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, Thailand

Somchart Soponronnarit

Division of Energy Technology, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand

Somkiat Prachayawarakorn

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand

Sakamon Devahastin

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08-6504-5685, E-mail: fengpppn@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2017.10.002

Received 3 August 2016; Accepted 25 October 2016; Published online: 20 October 2017

© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The soaking operation in parboiling process was time consuming and predominantly controlled the parboiling process. In the present study, the soaking operation was improved to reduce time consumption of the parboiling process by pre-steaming the paddy prior to soaking. Chainat 1 paddy variety was used as a test material, having initial moisture at approximately 13.5–14% (db). The paddy was blown with saturated steam at 102°C for 2, 7, 17 and 32 min. Then, the paddy was soaked in 70°C water for 6 h. The initial moisture content of pre-steaming paddy was thus about 1.5 times higher than that of non-treatment. After soaking, paddy was shade dried at ambient temperature until its moisture content reached 14–16% (db). Head rice yield of soaked paddy from the process with pre-steaming was higher than that from the counterpart without pre-steaming. The head rice yield level of soaked paddy increased with an increase in soaking time. However, when the soaking time reached 5 and 6 h, head rice yield of the paddy, which underwent longer pre-steaming time for 17 and 32 min, decreased. In addition, pre-steaming before soaking caused whiteness index and white belly to decrease. The paddy undergoing 17 min pre-steaming with 3 h soaking and 32 min pre-steaming with 2 h soaking could maintain similar degree of gelatinization to the one undertaking only 4 h soaking.

Keywords: Head Rice Yield, Whiteness Index, White Belly, Gelatinization

1. บทนำ

ข้าวจัดเป็นหนึ่งในธัญพืชที่สำคัญที่สุด เนื่องจากประชากรกว่า 3,000 ล้านคนทั่วโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ข้าวเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของไทย โดยส่วนใหญ่ส่งออกข้าวในลักษณะของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ เช่น ข้าวหอมมะลิ ข้าวขาว และข้าวเหนียว ในปี 2558 ที่ผ่านมา ประเทศไทยสามารถส่งออกข้าวได้มากถึง 9.79 ล้านตัน ซึ่งประกอบด้วยข้าวหนึ่ง 2.32 ล้านตัน [1] ข้าวหนึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวที่เป็นที่นิยมและมีความต้องการบริโภคเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้บริโภคที่อยู่ในตะวันออกกลางและแอฟริกาข้าวหนึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามินบี และแร่ธาตุมากกว่าข้าวธรรมดา [2]-[4] ข้าวหนึ่งที่หุงจนสุกแล้วมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งและเหนียวน้อยกว่าข้าว [5] แต่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวขาว อย่างไรก็ตามประเทศไทยไม่นิยมนำมารับประทานภายในประเทศ เนื่องด้วยข้าวหนึ่งมีกลิ่นและรสไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

วัตถุประสงค์หลักของการผลิตข้าวหนึ่ง เพื่อลดปริมาณข้าวที่กระหว่างการขัดสี ลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดข้าวในระหว่างการขัดสี กระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง ประกอบไปด้วย กระบวนการแช่ (Soaking) ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของการทำข้าวหนึ่ง จากนั้นจะไปผ่านการนึ่ง (Steaming) และการอบแห้ง (Drying) การเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการแช่ (Hydrothermic Treatment) เพื่อเพิ่มความชื้นให้กับเมล็ดข้าวเปลือก ทำให้ช่องว่าง (Void Space) ระหว่างเปลือกข้าว (Hull) และเมล็ดข้าว (Kernel) ลดลง น้ำจะเข้าไปแทนที่อากาศ เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัวขึ้น ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความเข้มข้นมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืรอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้มีความหนืดขึ้น เมื่อเม็ดแป้งเกิดการเจลลิตาในเซชัน (Gelatinization) และทำให้เนื้อข้าวเกาะตัวกันแน่นขึ้น เป็นผลให้ได้ปริมาณต้นข้าวและสารอาหารในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น [6]

ในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง การแช่เป็นขั้นตอนหนึ่ง

ที่สำคัญซึ่งจะใช้เวลาค่อนข้างนาน เพื่อต้องการให้ข้าวดูดซับน้ำได้อย่างเพียงพอสำหรับกระบวนการเกิดเจลลิตาในเซชัน หลักของการแช่ คือจะต้องใช้เวลาไม่นานและเมล็ดข้าวดูดซับน้ำได้สม่ำเสมอทั่วถึง ข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการแช่ควรมีความชื้นอย่างน้อย 43% (db) [7] โดยทั่วไปอุณหภูมิน้ำที่ใช้แช่อยู่ในช่วงระหว่าง 60 ถึง 70°C ระยะเวลาแช่ประมาณ 5-12 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและอุณหภูมิน้ำที่ใช้แช่ อุณหภูมิที่ใช้ควรเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลิตาในเซชัน ถ้าหากใช้อุณหภูมิที่สูงเกินอุณหภูมิเจลลิตาในเซชันถึงแม้ว่าสามารถลดเวลาการแช่ลงได้ก็จริงแต่ข้าวดูดซับน้ำมากเกินไปจนความจำเป็นทำให้เปลือกและเยื่อหุ้มผลแตกข้าวและเปิดออก ซึ่งส่งผลให้เมล็ดข้าวเกิดการปนเปื้อนหรือสัมผัสกับสิ่งสกปรกในกระบวนการผลิต [8]

ดังนั้นการศึกษาเพื่อลดระยะเวลาในการแช่จึงมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง การเพิ่มอุณหภูมิของข้าวก่อนที่จะแช่น้ำน่าจะช่วยให้ระยะเวลาในการแช่ลดลงเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิของเมล็ดข้าวสูงขึ้นน่าจะช่วยให้ น้ำแพร่เข้าสู่เมล็ดข้าวได้เร็วขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นช่วยเพิ่มพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของน้ำ ในการเพิ่มอุณหภูมิของเมล็ดข้าวนี้สามารถทำได้โดยการพ่นไอน้ำอ้อมตัวให้กับเมล็ดข้าว [9] ซึ่งผลการศึกษานี้เป็นการพ่นไอน้ำที่มีต่อระยะเวลาในการแช่น้ำยังไม่มียารายงานในวารสารต่าง ๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการพ่นไอน้ำก่อนการแช่ข้าวเปลือกที่มีต่อระยะเวลาการผลิตและคุณภาพข้าวหนึ่ง

2. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวหนึ่งเนื่องมาจากการแช่

การแช่ข้าวเปลือกทำให้มีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบภายในข้าว มีลักษณะทำให้เกิดการออกเนื่องจากมีน้ำซึมเข้าสู่เมล็ดทำให้เอนไซม์ที่อยู่ภายในเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสให้กลายเป็นน้ำตาลรีดิซ (Reducing Sugar) มีสารประกอบฟีนอลิกและกรดอะมิโนเพิ่มเล็กน้อย [10] ในการแช่ข้าวหนึ่งอาจมีเชื้อจุลินทรีย์ทำให้เกิดกลิ่นหมักขึ้น ซึ่งแก้ไขได้ด้วยการแช่ในน้ำร้อนแทนน้ำเย็น

การแช่ข้าวเปลือกทำให้วิตามินที่ละลายน้ำได้ซึมเข้าสู่เมล็ด โดยเฉพาะวิตามินบี ชนิดไทอะมีนและกรดนิโคตินิก สำหรับแร่ธาตุก็จะซึมเข้าสู่เมล็ดมากขึ้นเช่นกัน แต่ถ้าเปลือกแยกออกก็จะทำให้สูญเสียวิตามินและแร่ธาตุลงในน้ำบางส่วน [11] การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเนื่องจากการแช่มีดังนี้

2.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้น

การแช่จะทำให้เมล็ดข้าวมีความชื้นเพิ่มขึ้นและเม็ดแป้งขยายตัว เป็นผลให้เปลือกข้าวปริ ในงานวิจัยของ Miah *et al.* [12] แช่ข้าวเปลือกในน้ำอุณหภูมิสูงจึงต้องมีการเผื่อระว่างอย่างใกล้ชิดเพื่อจะได้หยุดกระบวนการแช่เมื่อข้าวมีความชื้นประมาณ 43% (db) ทั้งนี้สอดคล้องกับ Bhattacharaya [2] ว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่ควรมีความชื้นน้อยสุดประมาณ 40–45 % (db) เพื่อให้เพียงพอที่จะเกิดเจลลาทีโนเซชันได้สมบูรณ์

ในระหว่างการแช่นั้นปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกมีการเพิ่มอย่างรวดเร็ว [12] โดยน้ำจะซึมตามรูเล็ก ๆ (Capillary Imbibition) บริเวณผิวของข้าวเปลือก ความแตกต่างของความดันไอ (Vapour Pressure) ระหว่างน้ำกับข้าวเปลือกจะเป็นตัวเร่งการเคลื่อนที่ของน้ำ ทำให้เปลือกและช่องว่างระหว่างเปลือกกับเมล็ดส่วนในเต็มไปด้วยน้ำอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การแช่น้ำร้อนเป็นเวลานานๆ จะช่วยสลายพันธะไฮโดรเจน ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของเม็ดสตาร์ชอ่อนแอลง น้ำจึงสามารถผ่านเข้าไปในเมล็ดข้าวได้มากขึ้น ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่แช่ สอดคล้องกับ Thakur *et al.* [13] ใช้ข้าวเมล็ดเรียวยาวพันธุ์ PR116 แช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 30, 45 และ 60°C พบว่า ถ้าอุณหภูมิการแช่เพิ่มสูงขึ้นอัตราการดูดซับน้ำ (Water Absorption Rate) จะเพิ่มขึ้นด้วย

2.2 การเปลี่ยนแปลงร้อยละผลผลิตต้นข้าว (Head Rice Yield; HRY)

ปริมาณข้าวหักในระหว่างการกะเทาะและขัดสีขึ้นอยู่กับเงื่อนไขสภาวะในการทำข้าวหนึ่ง จากงานวิจัยของ Miah

et al. [12] ข้าวที่ผ่านการแช่และหนึ่งจะทำให้เมล็ดข้าวมีความแข็งเพิ่มขึ้น การนี้ทำให้ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นเนื่องจากการควบแน่นของไอน้ำทำให้น้ำแพร่เข้าไปภายในเมล็ดข้าวเปลือก และทำให้แป้งภายในเมล็ดข้าวเปลือกเกิดเจลลาทีโนเซชันสมบูรณ์ขึ้น ช่วยประสานรอยร้าวภายในเมล็ด (Internal Fissuring) ทำให้น้ำเชื่อมข้าวเกาะตัวกันแน่นขึ้น เมื่อนำไปขัดสีจะมีปริมาณข้าวที่แตกหักลดลง ส่งผลให้ร้อยละผลผลิตต้นข้าวสูงขึ้น นอกจากนี้ระยะเวลาการแช่ส่งผลต่อร้อยละผลผลิตต้นข้าวและรอยร้าวในเมล็ด เมื่อระยะเวลาการแช่ยาวนานขึ้นจะทำให้ร้อยละผลผลิตต้นข้าวและข้าวที่ไม่หักมีปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้พบว่ารอยร้าวของข้าวจะเริ่มลดลงเมื่อแช่น้ำเป็นเวลานานกว่า 30 นาที

2.3 การเปลี่ยนแปลงสี

การเปลี่ยนแปลงสีของข้าวในระหว่างกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งนั้น เป็นผลมาจากของปัจจัยที่แตกต่างกันในการผลิต เช่น อุณหภูมิน้ำแช่ ระยะเวลาการแช่ ระยะเวลาการอบแห้ง และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง [8], [14]

Sareepuang *et al.* [15] ศึกษาการผลิตข้าวหนึ่งโดยใช้ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำแช่ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำแช่จะทำให้ความสว่าง (Lightness) ของข้าวหนึ่งลดลงแต่ค่าสี (a^* และ b^*) เพิ่มขึ้น ข้อมูลนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Islam *et al.* [16]

การเปลี่ยนแปลงระดับสีของข้าวหนึ่งนอกจากจะเกิดจากเม็ดสีในเปลือกหรือรำแล้ว ยังมีสาเหตุจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีในข้าวด้วย จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวจากกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง [8], [17]–[19] ได้รายงานว่า การเปลี่ยนสีของข้าวหนึ่งมีสาเหตุหลักมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction) ชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non-Enzymatic Browning Reaction) เกิดขึ้นโดยที่น้ำตาลรีดิวซ์ที่มีในข้าวทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนโปรตีน ซึ่งในช่วงการแช่และการหนึ่งจะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด สอดคล้องกับงานวิจัย

ของ Lambert *et al.* [20] ที่พบว่า ข้าวที่ผ่านการแช่จะมีระดับของน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการเกิดสีน้ำตาลมีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านการแช่

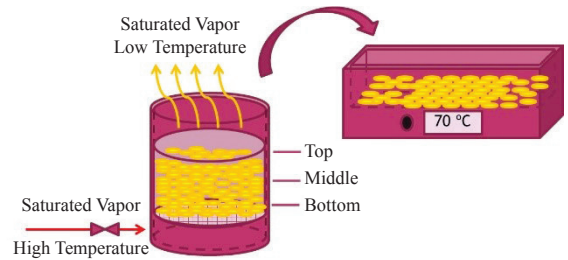
2.4 การเปลี่ยนแปลงร้อยละข้าวท้องไข้ (White Belly)

ข้าวท้องไข้ เกิดจากเจลาทีนในเซชันไม่สมบูรณ์ [21] เมล็ดข้าวจะมีจุดขาวขุ่นคล้ายขอลกเกิดขึ้นภายในเมล็ดซึ่งเกิดมาจากการจับตัวกันอย่างหลวมๆ ระหว่างแป้งและโปรตีนทำให้เกิดเป็นช่องอากาศเล็กๆ ภายในเมล็ดจึงเห็นเป็นลักษณะที่บวม ขาวท้องไข้ก็เป็นตัวกำหนดคุณภาพ และราคาของข้าวหนึ่งเช่นกัน เพราะเมื่อนำไปสีจะทำให้ได้ตันข้าวต่ำกว่าเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่มีท้องไข้เมื่อข้าวเปลือกได้รับความชื้นประมาณ 40–45% (db) เมื่อนำไปสีจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้อย่างสมบูรณ์ไม่มีข้าวท้องไข้หรือไม่มีจุดขาวที่ปรากฏภายในบริเวณเอนโดสเปิร์มและความโปร่งแสงในเมล็ดสม่ำเสมอ จากงานวิจัยของ Miah *et al.* [22] แช่ข้าวในน้ำอุณหภูมิ 80°C พบว่า หลังการแช่ 45 นาที เมล็ดข้าวเกิดเจลมากกว่า 57% ทำให้สีข้าวขุ่นในเมล็ดข้าวลดลง ทำให้ในเนื้อเมล็ดข้าวมีความใสมากขึ้น เมื่อแช่ข้าวนาน 120 นาที ค่าความใสของเมล็ดข้าวจะเพิ่มขึ้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Marshall *et al.* [23]

2.5 การเกิดเจลาทีนในเซชัน

Miah *et al.* [22] ได้ศึกษาอิทธิพลของการแช่ข้าวเปลือกในน้ำร้อนที่ระยะเวลาต่างๆ ต่อระดับการเกิดเจลาทีนในเซชันของเมล็ดสตาร์ช พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการแช่ค่าเอนทัลปีของการเกิดเจลาทีนในเซชันลดลงแสดงให้เห็นว่าข้าวมีการเกิดเจลาทีนในเซชันได้ง่ายขึ้น

Lambert *et al.* [20] ได้ใช้ข้าวกล้องเมล็ดยาวพันธุ์ Puntal ความชื้นเริ่มต้น 14% (db) มาทำการแช่แล้วหนึ่งด้วยสภาวะที่ต่างกันเพื่อทำการศึกษาระดับของการเกิดเจลาทีนในเซชัน พบว่า ที่สภาวะการหนึ่งเดียวกันระดับการเกิดเจลาทีนในเซชันของข้าวกล้องจะขึ้นอยู่กับความชื้นของข้าวกล้องหลังการแช่



รูปที่ 1 ฟันไอน้ำให้แก่ข้าวเปลือกก่อนนำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

3. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

ในการทดลองใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1 จากศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวชัยนาท มีความชื้นเริ่มต้น 13.5–14% (db) นำข้าวเปลือก 5 kg ใส่ในถังฟันไอน้ำซึ่งเป็นถังสเตนเลส 2 ชั้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 290 mm สูง 300 mm ด้านล่างของถังชั้นในมีรูเล็กๆ หลายรูคล้ายตะแกรงเพื่อให้ไอน้ำไหลผ่านเมล็ดข้าวได้ และเจาะรูด้านข้างสำหรับต่อสายเทอร์โมคัปเปิล ใส่ถังสเตนเลสที่บรรจุข้าวลงในถังฟันไอน้ำอีกชั้น ดังแสดงในรูปที่ 1 จากนั้น ฟันไอน้ำอุณหภูมิ 102°C ที่ผลิตด้วยหม้อไอน้ำขนาด 100 kg/h ด้วยอัตราการไหล 5.92 cm³/s ผ่านข้าวเปลือกที่ระยะเวลา 2, 7, 17, 32 นาที เก็บตัวอย่างข้าวเปลือกไปหาค่าความชื้น นำข้าวเปลือกที่ผ่านการฟันไอน้ำที่เวลาต่างๆ ไปใส่อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) น้ำร้อนไว้ที่ 70°C และแช่เป็นระยะเวลา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างข้าวเปลือกที่แช่น้ำไปหาค่าความชื้นทุกๆ ชั่วโมง และนำข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่มามาแผ่เป็นชั้นบางผืนไว้ในร่มที่อุณหภูมิแวดล้อม (Shade Dry) 2–3 วันเป็นการลดความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกให้ความชื้นนั้นลงมาอยู่ที่ระดับความชื้นประมาณ 14–16% (db) วัดความชื้นเบื้องต้นด้วยเครื่องวัดความชื้นข้าว (KETT, RICETER F-514, Japan)

ในส่วนของการแช่ข้าวเปลือกที่ไม่ได้ผ่านการฟันไอน้ำจะนำไปแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 70°C แล้วผึ่งให้แห้ง เก็บตัวอย่างข้าวเปลือกไปหาค่าความชื้น เช่นเดียวกัน

3.1 การตรวจสอบคุณภาพของข้าว

3.1.1. การหาความชื้นของข้าวเปลือกใช้ตู้อบไฟฟ้า (Mimmert, model ULE500, Schwabach, Germany) ตั้งอุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชม. [25]

3.1.2. ร้อยละผลผลิตต้นข้าว หาได้จากสัดส่วนน้ำหนักของต้นข้าวซึ่งหมายถึงเมล็ดข้าวที่มีความยาวไม่น้อยกว่าสามในสี่ของความยาวเมล็ดเดิมต่อน้ำหนักข้าวเปลือก มีรายละเอียดการทดลองดังนี้ กะเทาะข้าวเปลือกน้ำหนัก 250 กรัม ด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกแบบลูกกลิ้งยาง (Ngeksenghuat, P-1, Bangkok, Thailand) ให้เปลือกหลุดออกได้ข้าวกล้อง นำข้าวกล้องที่ได้ไปขัดขาวด้วยเครื่องขัดขาว (Ngeksenghuat, K-1, Bangkok, Thailand) นาน 1 นาที นำข้าวสารที่ได้ไปแยกส่วนที่เป็นต้นข้าวและข้าวหักออกจากกันด้วยเครื่องคัดขนาดข้าวตามความยาวของเมล็ด (Ngeksenghuat, I-1, Bangkok, Thailand) คำนวณค่าร้อยละผลผลิตต้นข้าว ดังสมการ

$$\text{ร้อยละผลผลิตต้นข้าว} = \frac{\text{น้ำหนักของต้นข้าว}}{\text{น้ำหนักของข้าวเปลือก}} \times 100$$

3.2 ค่าดัชนีความขาว (Whiteness Index, WI)

นำตัวอย่างข้าวสารที่ได้จากเครื่องขัดขาวใส่ลงในถ้วยแก้วสำหรับใส่ตัวอย่าง วัดด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Flex ใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 และมุมผู้สังเกต (View Angle) คือ 10° วัดสีในระบบ CIE ก่อนวัดค่าสีของตัวอย่างได้ทำการสอบเทียบเครื่องกับแผ่นสีขาวมาตรฐานซึ่งมีค่า $L^* = 93.19$, $a^* = -1.12$ และ $b^* = 1.33$ จากนั้นจึงสุ่มตัวอย่างมาตรวจสี ค่าที่วัดได้จากข้าวสารที่ผ่านการแช่แต่ละชุดจะให้ค่าสีเป็น ค่า L^* , a^* และ b^* คำนวณค่าดัชนีความขาว ดังสมการ [24]

$$\text{ค่าดัชนีความขาว} = 100 - [(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5}$$

โดยที่ L^* คือ ค่าที่แสดงถึงความสว่าง a^* คือ ค่าที่แสดงถึงความแดงและสีเขียว และ b^* คือ ค่าที่แสดงถึงความเหลืองและสีน้ำเงินของวัตถุ

3.3 ร้อยละข้าวท้องไข่

คือจำนวนข้าวที่เป็นจุดขาวที่บวมเกินกว่าร้อยละ 50 ของเมล็ด จากการสุ่มตัวอย่างของข้าวจำนวน 100 เมล็ด ใส่ถ้วยใส่โดยไม่ให้ข้าวซ้อนทับกัน ใช้แสงไฟส่องย้อนจากด้านล่างด้วยเพื่อให้เห็นเมล็ดข้าวท้องไข่ชัดเจน แล้วเลือกเฉพาะเมล็ดที่มีจุดขาวบวม ที่บวมเกิน 50%

3.4 การเกิดเจลลิตินในเซชัน

เริ่มจากเตรียมตัวอย่างแป้งข้าวโดยบดข้าวสารให้เป็นผงด้วยเครื่อง Ultra Centrifugal Mill (Retsch, model no. ZM 100, Hann, Germany) แล้วร่อนด้วยตะแกรงที่มีความละเอียด 125 μm นำผงแป้งที่ได้ใส่ Pan แล้วเติมน้ำกลั่นให้เป็นสารละลายมีความเข้มข้น 30% (w/w โดยน้ำหนักแห้ง) จากนั้นนำ Pan แป้งตัวอย่างและ Reference Indium Pan ใส่ในช่องวางของเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC; model no. DSC-7, Perkin Elmer, Norwalk, CT) โดยให้ Profile อุณหภูมิ 25–110°C ที่อัตรา 10°C ต่อนาที แล้วคำนวณค่าระดับการเกิดเจลลิตินในเซชันดังสมการนี้

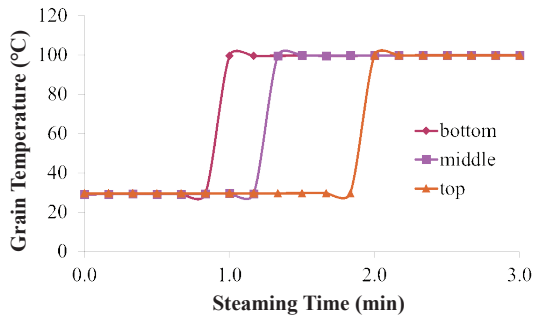
$$\text{การเกิดเจลลิตินในเซชัน} = \left[1 - \frac{\Delta H}{\Delta H^*} \right] \times 100$$

เมื่อ ΔH และ ΔH^* คือ ค่าเอนทัลปีของแป้งที่เกิดเจลลิตินในเซชัน และเอนทัลปีของแป้ง (ข้าวอ้างอิง) ที่ไม่ได้เกิดเจลลิตินในเซชัน (J/g)

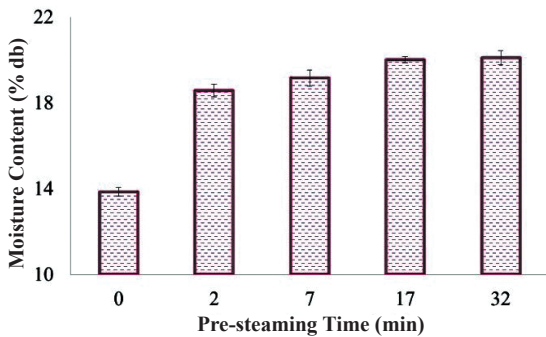
4. ผลการทดลอง

4.1 ผลของระยะเวลาการพ่นไอน้ำและการแช่ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าว

จากการทดลองนำข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1 ที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 13.5–14% (db) ข้าวเปลือกมีอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 27–29°C มาผ่านการพ่นไอน้ำที่อุณหภูมิ 102°C ข้าวเปลือกในถังทุกตำแหน่งจะมีอุณหภูมิเท่ากับไอน้ำที่พ่นหลังจากผ่านไป 2 นาที ดังรูปที่ 2 จากนั้นทำการพ่นไอน้ำต่ออีกเป็นเวลารวม 7 นาที 17 นาที และ 32 นาที การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกใน



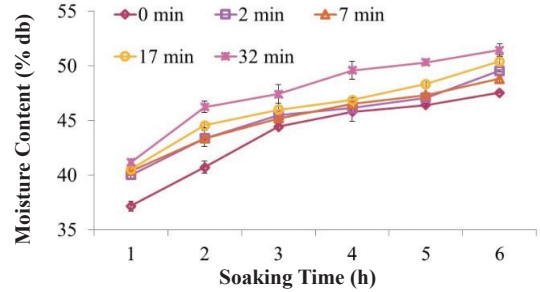
รูปที่ 2 อุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถึงหนึ่ง ระหว่างพ่นไอน้ำ



รูปที่ 3 ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกที่เพิ่มขึ้นระหว่างการพ่นไอน้ำอุณหภูมิ 102°C ที่ระยะเวลาต่างๆ

ระหว่างการพ่นด้วยไอน้ำแสดงดังรูปที่ 3 พบว่า ข้าวเปลือกที่ผ่านการพ่นไอน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นเพิ่มตามระยะเวลาการพ่นไอน้ำ เนื่องจากมาจากความชื้นที่ข้าวเปลือกสัมผัสกับไอน้ำนั้น จะมีไอน้ำบางส่วนแทรกไปตามรูพรุนของเปลือกข้าว หลังการพ่นไอน้ำ 2–32 นาที ข้าวเปลือกมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 18.5–20% (db)

เมื่อนำข้าวเปลือกที่ผ่านการพ่นไอน้ำเป็นระยะเวลาต่างๆ และที่ไม่ผ่านการพ่นไอน้ำ ไปใส่อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) ซึ่งมีน้ำร้อนอุณหภูมิ 70°C แช่เป็นเวลา 1–6 ชั่วโมง พบว่า ข้าวเปลือกมีความชื้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการแช่ ดังรูปที่ 4 ในการผลิตข้าวหนึ่งนั้น ข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการแช่ควรมีความชื้นอย่างน้อย 43% (db) [8] จากข้อมูลในรูปที่ 4 พบว่า หลังการแช่



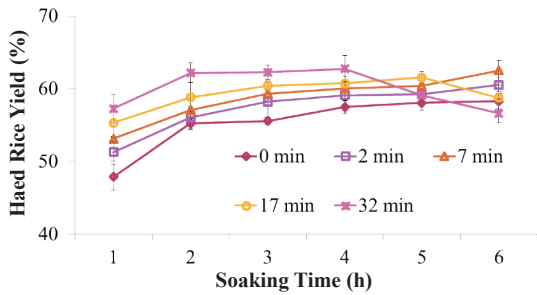
รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกที่ผ่านการพ่นไอน้ำระยะเวลา 0–32 นาที ในแต่ละชั่วโมงการแช่

2 ชั่วโมง ข้าวเปลือกที่ผ่านการพ่นไอน้ำก่อนการแช่จะมีระดับความชื้นเพิ่มสูงกว่า 43% (db) ในทุกๆ ระยะเวลาการพ่นไอน้ำ ในขณะที่ข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการพ่นไอน้ำจะต้องใช้เวลาแช่ 3 ชั่วโมง และข้าวเปลือกที่ผ่านการพ่นไอน้ำเป็นเวลา 2 นาที 7 นาที และ 17 นาที จะมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นใกล้เคียงกันและมีความชื้นต่ำกว่าข้าวที่ผ่านการพ่นไอน้ำเป็นเวลา 32 นาที ในทุกๆ ชั่วโมงการแช่

การแช่ข้าวเปลือกในช่วงแรกนั้นความชื้นของข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากโมเลกุลของน้ำจะเกาะติดรอบๆ ผิวข้าวเปลือก จากนั้นจะแทรกผ่านรูเล็กๆ ของเปลือก ความแตกต่างของความดันไอระหว่างน้ำและเปลือกข้าวจะช่วยแรงน้ำ เข้าไปแทนที่ช่องว่างระหว่างเปลือกกับเอนโดสเปิร์ม รวมทั้งระหว่างช่องว่างเซลล์ทั้งในเปลือกและเมล็ดข้าว เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง อัตราเร็วของการดูดซึมน้ำลดลงทำให้ความชื้นของข้าวเปลือกที่เพิ่มขึ้นลดลงเช่นกัน

4.2 ผลของระยะเวลาการพ่นไอน้ำและการแช่ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละผลผลิตต้นข้าว

ข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1 เมื่อทำมาผ่านการพ่นไอน้ำและการแช่น้ำร้อน พบว่า ร้อยละผลผลิตต้นข้าวของข้าวเปลือกในกรณีพ่นไอน้ำก่อนที่จะนำไปแช่มีแนวโน้มสูงกว่าแบบที่แช่อย่างเดียว และยังสูงกว่าข้าวเปลือกอ้างอิง

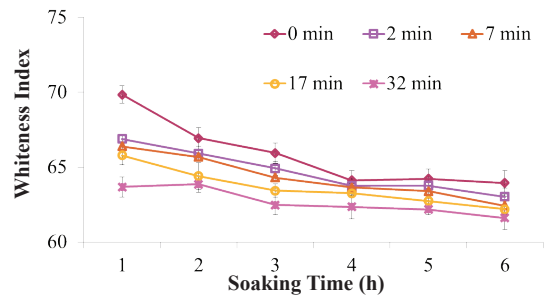


รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงร้อยละผลผลิตต้นข้าวของข้าวเปลือกที่ผ่านการพ่นไอน้ำระยะเวลา 0–32 นาที ในแต่ละชั่วโมงการแช่

ซึ่งมีร้อยละผลผลิตต้นข้าว 43.46% ข้าวเปลือกที่แช่โดยไม่ผ่านการพ่นไอน้ำ (0 นาที) และข้าวเปลือกที่ผ่านการพ่นไอน้ำเป็นเวลา 2 ถึง 7 นาที จะมีค่าร้อยละผลผลิตต้นข้าวเพิ่มตามระยะเวลาการแช่ ดังแสดงในรูปที่ 5 เนื่องมาจากในระหว่างการแช่น้ำจะเข้าไปแทนที่รูพรุนในเมล็ดข้าว และการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 70°C อาจทำให้เกิดเจลลาที่ในเซชันบางส่วน ร้อยละผลผลิตต้นข้าวจึงสูงขึ้น แต่สำหรับข้าวเปลือกที่ผ่านการพ่นไอน้ำเป็นเวลา 17 นาที จะมีค่าร้อยละผลผลิตต้นข้าวลดลง เมื่อเข้าสู่ชั่วโมงแช่ที่ 6 และข้าวเปลือกที่ผ่านการพ่นไอน้ำเป็นเวลา 32 นาที เมื่อเข้าสู่ชั่วโมงที่ 5 จะมีร้อยละผลผลิตต้นข้าวลดลงด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากข้าวเปลือกดูดซึมน้ำมากเกินไปจนความจำเป็น ณ จุดนั้นข้าวเปลือกมีความชื้นสูงกว่า 50% (db) ทำให้เปลือกและเยื่อหุ้มผลแตกร้าวและเปิดออก เนื้อข้าวภายในขยายตัวพองขึ้นจนแตกออก ทั้งนี้เมื่อพิจารณาที่ความชื้นเท่ากัน พบว่า ข้าวเปลือกที่พ่นไอน้ำเป็นเวลานานกว่าจะมีร้อยละผลผลิตต้นข้าวสูงกว่า เนื่องจากระดับการเกิดเจลลาที่ในเซชันสูงกว่า ดังแสดงในหัวข้อ 4.5

4.3 ผลของระยะเวลาการพ่นไอน้ำและการแช่ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงดัชนีความขาวของข้าว

หลังจากพ่นไอน้ำอุณหภูมิ 102°C ผ่านข้าวเปลือกเป็นระยะเวลาต่างๆ แล้วนำข้าวเปลือกไปแช่น้ำอุณหภูมิ

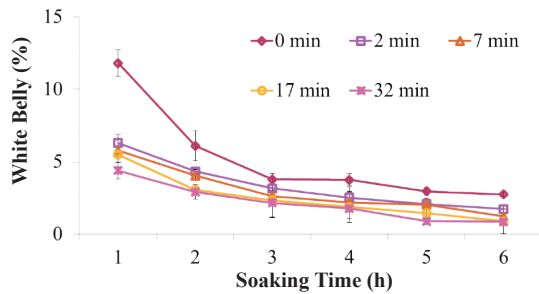


รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความขาวของข้าวเปลือกที่ผ่านการพ่นไอน้ำระยะเวลา 0–32 นาที ในแต่ละชั่วโมงการแช่

70°C เป็นเวลา 1–6 ชั่วโมง จากนั้นทำการวัดค่าสีของข้าว พบว่าข้าวที่ไม่ผ่านการพ่นไอน้ำเมื่อนำไปแช่น้ำแล้วจะมีค่าดัชนีความขาวสูงกว่าข้าวที่ผ่านการพ่นไอน้ำในทุกๆ เงื่อนไข ดังรูปที่ 6 เป็นเพราะความชื้นเริ่มต้นของข้าวที่ผ่านการพ่นไอน้ำก่อนแช่มีค่าสูงกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการพ่นไอน้ำ ทั้งนี้ค่าความชื้นเริ่มต้นส่งผลต่อค่าดัชนีความขาวของข้าว โดยที่ดัชนีความขาวจะมีค่าลดลงเมื่อความชื้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ข้าวเปลือกผ่านการพ่นไอน้ำ นอกจากนี้เมื่อระยะเวลาแช่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Miah *et al.* [22] และ Lambert *et al.* [20] เนื่องจากระดับน้ำตาลรีดิวซ์ที่ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นรวมทั้งเม็ดสีของรำและเปลือกกระจายเข้าสู่เอนโดสเปิร์มระหว่างการแช่

4.4 ผลของระยะเวลาการพ่นไอน้ำและการแช่ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละข้าวท้องไข

ข้าวเปลือกที่ผ่านการพ่นไอน้ำนาน 2 ถึง 32 นาที จะมีค่าร้อยละข้าวท้องไขต่ำกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการพ่นไอน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 7 นอกจากนี้ข้าวเปลือกที่แช่น้ำ 1 ชั่วโมงโดยไม่ผ่านการพ่นไอน้ำมาก่อนนั้น มีข้าวท้องไขสูงสุดคือ 11.8% และมีความชื้นหลังการแช่เท่ากับ 37% (db) แต่เมื่อความชื้นหลังการแช่สูงกว่า 40% (db) ในทุกๆ เงื่อนไขจะมีข้าวท้องไขลดลงเหลือเพียง 4–6% ระยะเวลาการแช่ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ร้อยละข้าวท้องไขลดลง นั้นอาจเนื่อง



รูปที่ 7 ผลของระยะเวลาการพ่นไอน้ำและการแช่ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าร้อยละข้าวท้องไข้ของข้าวเปลือก

มาจากการแช่น้ำเป็นเวลานานขึ้น ส่งผลให้เกิดการกระจายความชื้นภายในเมล็ดข้าวทั่วกัน ทำให้ความแตกต่างของความชื้น (Moisture Gradient) ภายในเมล็ดข้าวก่อนที่จะนำไปนึ่งมีค่าลดลง [22] ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Kar *et al.* [26] ที่รายงานว่า จุดศูนย์กลางในเมล็ดข้าวลดลงเมื่อระยะเวลาแช่เพิ่มขึ้น

4.5 ผลของระยะเวลาการพ่นไอน้ำและการแช่ที่มีผลต่อการเกิดเจลาทีไนเซชัน

ในการทดสอบระดับการเกิดเจลาทีไนเซชันได้ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการใดๆ เป็นข้าวอ้างอิง เพื่อหาค่าเอนทัลปีของแป้งที่ไม่ได้เกิดเจลาทีไนเซชัน เลือกตัวอย่างข้าวจากเงื่อนไขหลังจากผ่านกระบวนการแช่แล้วมีความชื้นประมาณ 46% (db) เพื่อเตรียมแป้งสำหรับการเกิดเจลาทีไนเซชันด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter ได้ผลดังตารางที่ 1 พบว่าทุกเงื่อนไขมีค่าเอนทัลปีของแป้งที่เกิดเจลาทีไนเซชันลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิง และพบว่าระดับการเกิดเจลาทีไนเซชันของข้าวที่ผ่านการแช่ทั้งสามตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 33–35% นอกจากนี้ค่าร้อยละผลผลิตต้นข้าวดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2 ของข้าวทั้งสามตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 58–62% โดยที่ข้าวเปลือกที่พ่นไอน้ำเป็นระยะเวลา 32 นาที และแช่เป็นเวลา 2 ชั่วโมงให้ค่าร้อยละผลผลิตต้นข้าวสูงที่สุด

ตารางที่ 1 ค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของข้าวเปลือก ระดับการเกิดเจลาทีไนเซชัน และร้อยละผลผลิตต้นข้าว ของข้าวที่ผ่านการแช่ในเงื่อนไขต่างๆ

	เอนทัลปี (จูล/กิโลกรัม)	การเกิดเจลาทีไนเซชัน (ร้อยละ)	ผลผลิตต้นข้าว (ร้อยละ)
ข้าวเปลือก	8.89	0.00	43.36
แช่น้ำ 4 ชั่วโมง	5.91	33.52	58.02
พ่นไอน้ำ 17 นาที และแช่น้ำ 3 ชั่วโมง	5.85	34.19	59.36
พ่นไอน้ำ 32 นาที และแช่น้ำ 2 ชั่วโมง	5.72	35.65	62.16

5. สรุป

จากการศึกษาอิทธิพลของการพ่นไอน้ำก่อนการแช่ข้าวเปลือกที่มีต่อระยะเวลาการผลิตข้าวหนึ่งและคุณภาพข้าวหนึ่ง พบว่า การพ่นไอน้ำทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้นสูงขึ้นประมาณ 1.5 เท่า และหลังจากนำไปแช่พิจารณาที่ความชื้นข้าวเปลือกระดับเดียวกันจะใช้เวลาแช่น้อยกว่าข้าวเปลือกที่ไม่ได้ผ่านการพ่นไอน้ำ ในส่วนการเปลี่ยนแปลงร้อยละผลผลิตต้นข้าวหลังผ่านผึ่งให้แห้งที่สภาวะแวดล้อม พบว่า การพ่นไอน้ำก่อนที่นำไปแช่มีแนวโน้มร้อยละผลผลิตต้นข้าวสูงกว่าแบบที่แช่อย่างเดียว นอกจากนี้ร้อยละผลผลิตต้นข้าวยังเพิ่มตามระยะเวลาการแช่ ยกเว้นกรณีที่ข้าวเปลือกผ่านการพ่นไอน้ำเป็นเวลานาน (17 นาที และ 32 นาที) เมื่อการแช่เข้าสู่ชั่วโมงที่ 5–6 จะมีร้อยละผลผลิตต้นข้าวลดลง เนื่องมาจากข้าวเปลือกดูดซึมน้ำมากเกินความจำเป็น ทำให้เปลือกข้าวและเยื่อหุ้มผลแตกร้าวเปิดออก เนื้อข้าวสุกจึงพองบานออก นอกจากนี้ข้าวที่นำไปแช่โดยไม่ผ่านการพ่นไอน้ำมีค่าดัชนีความขาวและร้อยละข้าวท้องไข้สูงกว่าข้าวที่ผ่านการพ่นไอน้ำก่อนนำไปแช่ในทุกๆ ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการพ่นไอน้ำนาน 17 นาที และ 32 นาที ก่อนนำมาแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 70°C นาน 3 ชั่วโมงและ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ จะมี

ระดับการเกิดเจลาทีนในเซชันและให้ค่าร้อยละผลผลิตต้นข้าวใกล้เคียงกับข้าวที่น้ำแช่น้ำร้อนเพียงอย่างเดียว นาน 4 ชั่วโมง ดังนั้นการพ่นไอน้ำเป็นเวลา 17 นาที หรือ 32 นาที จะช่วยลดระยะเวลาในการแช่ลงได้ 1–2 ชั่วโมง ซึ่งหากมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องเทคนิคการพ่นไอน้ำก่อนการแช่น้ำสามารถที่จะนำมาช่วยลดเวลารวมของการผลิตข้าวหนึ่งได้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการนำข้าวที่ผ่านการพ่นไอน้ำก่อนแช่มาทดสอบเพิ่มเติม โดยทำการนึ่งและลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้ง เพื่อให้เป็นข้าวหนึ่งที่สมบูรณ์ และศึกษาผลของระยะเวลาการพ่นไอน้ำที่ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกเสียสภาพ

กิตติกรรมประกาศ

จากวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (Grant no. DPG5980004) และคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thai Rice Exporters Association. (2016, January). TREA Press Release. Thai Rice Exporters Association, Thailand [Online]. 6(1), pp. 1–3. Available: <http://www.thairiceexporters.or.th/Press%20release/2016/TREA%20Press%20Release%20-%20January%202016%20-%2029012016.pdf>
- [2] K. R. Bhattacharya, “Parboiling of rice,” in *Rice Chemistry and Technology*, 2nd ed. Juliano, B.O. Ed.; American Association of Cereal Chemists: St. Paul, MN, 1985, pp. 289–348.
- [3] N. Ramalingham and S. A. Raj, “Studies on the soak water characteristics in various paddy parboiling methods,” *Bioresource Technology*, vol. 55, pp. 259–261, 1996.
- [4] V. Subrahmanyam, A. Sreenivasan, and H. P. Das Gupta, “Studies on quality in rice I: Effect of milling on the chemical composition and commercial qualities of raw and parboiled rice,” *Indian Journal of Agricultural Science*, vol. 8, pp. 459–486, 1938.
- [5] V. Derycke, G. E. Vandeputte, R. Vermeylen, W. De Man, B. Goderis, M. H. J. Koch, and J. A. Delcour, “Starch gelatinization and amylose–lipid interactions during rice parboiling investigated by temperature resolved wide angle X-ray scattering and differential scanning calorimetry,” *Journal of Cereal Science*, vol. 42, pp. 334–343, 2005.
- [6] G. Elbert, M. P. Tolaba, and C. Suárez, “Model application: Hydration and gelatinization during rice parboiling,” *Drying Technology*, vol. 19, no. 3–4, pp. 571–581, 2001.
- [7] F. Gariboldi, “Rice parboiling. fao agricultural development paper no 97,” in *Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy*, 1974, pp. 31–32.
- [8] S. Bhatthacharya and P. V. S. Rao, “Effect of processing conditions on quality of parboiled rice,” *Journal of Agricultural Food Chemistry*, vol. 14, pp. 476–479, 1966.
- [9] T. Swasdisevi, W. Sriariyakula, W. Tia, and S. Soponronnarit, “Effect of pre-steaming on production of partially-parboiled rice using hot-air fluidization technique,” *Journal of Food Engineering*, vol. 96, pp. 455–462, 2010.
- [10] F. Wu, N. Yang, A. Touré, A. Jin, and X. Xu, “Germinated brown rice and its role in human health,” *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 53, no. 5, pp. 451–463, 2013.
- [11] O. Naivikul, “Rice,” in *Rice: Science and Technology*, 1st ed.; Kasetsart University Press, Bangkok, Thailand, 2004 (in Thai).



- [12] M. A. K. Miah, A. Haque, M. P. Douglass, and B. Clarke, "Parboiling of rice. Part I: Effect of hot soaking time on quality of milled rice," *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 35, pp. 527–537, 2002.
- [13] A. Kr. Thakur and A. K. Gupta, "Water absorption characteristics of paddy, brown rice and husk during soaking," *Journal of Food Engineering*, vol. 75, pp. 252–257, 2006.
- [14] P. Pillaiyar and R. Mohandas, "Hardness and color in parboiled rice produced at low and high temperature," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 18, pp. 7–9, 1981.
- [15] K. Sareepuang, S. Siriamornpun, L. Wiset, and N. Meeso, "Effect of soaking temperature on physical, chemical and cooking properties of parboiled fragrant rice," *World Journal of Agricultural Sciences*, vol. 4, pp. 409–415, 2008.
- [16] M. R. Islam, N. Shimizu, and T. Kimura, "Energy requirement in parboiling and Its relationship to some important quality indicators," *Journal of Food Engineering*, vol. 63, pp. 433–439, 2003.
- [17] S. Bhatthacharya, "Kinetics on colour changes in rice due to parboiling," *Journal of Food Engineering*, vol. 29, pp. 99–106, 1996.
- [18] T. Kimura, K. R. Bhattacharya, and S. Z. Ali, "Discoloration characteristics of rice during parboiling (I): Effect of processing conditions on the color intensity of parboiled rice," *Journal of the Society of Agricultural Structures*, vol. 24, pp. 23–30, 1993.
- [19] P. Sirisoontarak and A. Noomhorm, "Changes to physicochemical properties and aroma of irradiated rice," *Journal of Stored Products and Research*, vol. 42, pp. 264–276, 2006.
- [20] L. Lamberts, E. De Bie, V. Derycke, W. S. Veraverbeke, W. De Man, and J. A. Delcour, "Effect of processing conditions on color change of brown and milled parboiled rice," *Cereal Chemistry*, vol. 83, no. 1, pp. 80–85, 2006.
- [21] J. Buggenhout, K. Brijs, and J. A. Delcour, "Impact of starch gelatinization and kernel fissuring on the milling breakage susceptibility of parboiled brown rice," *Cereal Chemistry*, vol. 90, no. 5, pp. 490–496, 2013.
- [22] M. A. K. Miah, A. Haque, M. P. Douglass, and B. Clarke, "Parboiling of rice. Part II: Effect of hot soaking time on the degree of starch gelatinization," *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 37, pp. 539–545, 2002.
- [23] W. E. Marshall, J. I. Wadsworth, L. R. Verma, and L. Velupillai, "Determining the degree of gelatinization in parboiled rice: Comparison of a subjective and objective method," *Cereal Chemistry*, vol. 70, pp. 226–230, 1993.
- [24] Aacc, *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, 9th ed. American Association of Cereal Chemists: St. Paul, MN, 1995.
- [25] J. Sripinyowanich, and A. Noomhorm, "A new model and quality of unfrozen and frozen cooked rice dried in a microwave vibro-fluidized bed dryer," *Drying Technology*, vol. 29, pp. 735–748, 2011.
- [26] N. Kar, R. K. Jain, and P. P. Srivastav, "Parboiling of dehusked rice," *Journal of Food Engineering*, vol. 39, pp. 17–22, 1999.