

**จลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร 2-Acetyl-1-Pyrroline (2-AP)
ในข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีการชะลอการลดความชื้นหลังการเก็บเกี่ยว**
Kinetic Changes of 2-Acetyl-1-Pyrroline (2-AP) Contents of Khao Dawk Mali 105 Affected by
Delayed Moisture Reduction after Harvested

สุพรรณิการ์ ปักเคธาติ¹ วีระเวทย์ อุทโท² กฤตยา อุทโท³ กฤษณา สุตทะสาร⁴ และนิตยา ภูงาม⁵
Supannikar Pakkethati¹, Weerawate Utto², Grittaya Utto³, Grissana Sudtasarn⁴ and Nittaya Phungam⁵

Abstract

This research was conducted to study kinetic changes of 2-Acetyl-1-Pyrroline (2-AP) contents of Khao Dawk Mali 105 paddy rice, of which removing of moisture content were delayed after harvested (DEL-paddy rice). Such delay was considered typical among Thai farmers who had to queue up and to wait for selling their paddy rice at rice mills. In the study, Khao Dawk Mali 105 paddy rice, harvested in 2017, was delayed its moisture removing for 48 h thereafter was sun-drying until it was 14% (w/w dried basis). The rice was filled 20 kg a sack, and later kept at 10, 24 and 27 °C for 3 months. The 2-AP contents of the DEL-paddy rice were determined periodically and were compared to those of paddy rice of which was immediately removed after harvesting (IMM-paddy rice). The results showed that 2-AP content of the DEL-paddy rice averagely was 0.78-fold lower than that of the IMM-paddy rice and all types of paddy rice decreased. The reductions characteristically were first-order reactions. Extents of the 2-AP reductions increased as the storage temperatures were elevated. The kinetics of the 2-AP reductions were reasonably predicated by the first-order fractional conversion model of which root mean square of error (RMSE) and R² values was in a range of 0.16-0.29 and 0.88-0.94, respectively.

Keywords: 2-Acetyl-1-Pyrroline (2-AP), Khao Dawk Mali 105, first-order kinetic reaction

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ศึกษาจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร 2-AP ของข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ที่ล่าช้าในการลดความชื้นภายหลังการเก็บเกี่ยว (DEL-paddy rice) ความล่าช้าดังกล่าวเป็นเรื่องทั่วไปของชาวนาไทยที่ต้องเข้าคิวเพื่อรอการจำหน่ายข้าวเปลือกที่โรงสี การศึกษานี้ใช้ข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ฤดูปลูกปี 2560 โดยชะลอการลดความชื้นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นตากให้เมล็ดมีความชื้นเท่ากับ 14% (w/w dried basis) และบรรจุลงในกระสอบ ๒๐ กิโลกรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 24 และ 27 °C เป็นเวลา 3 เดือน ทำการวิเคราะห์ปริมาณสาร 2-AP ของข้าวเปลือกในช่วงเวลาต่างๆ พร้อมกับเปรียบเทียบกับปริมาณสาร 2-AP ของข้าวเปลือกที่ลดความชื้นทันทีภายหลังการเก็บเกี่ยว (IMM-paddy rice) ผลการศึกษาพบว่าปริมาณสาร 2-AP เริ่มต้นของข้าวเปลือก DEL-paddy rice ต่ำกว่าของข้าวเปลือก IMM-paddy rice เท่ากับ 0.78 เท่า ปริมาณสาร 2-AP ในข้าวเปลือกลดลงจากค่าเริ่มต้น และมีลักษณะของปฏิกิริยาอันดับที่ 1 และเกิดขึ้นได้มากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร 2-AP ทำนายได้ดีด้วยสมการประเภท first-order fractional conversion model มีค่า RMSE และ R² อยู่ในช่วง 0.16-0.29 และ 0.88-0.94 ตามลำดับ

คำสำคัญ: สาร 2-Acetyl-1-Pyrroline (2-AP) ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ปฏิกิริยาอันดับ 1

¹ กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

² Division of Rice Research and Development, Rice Department, Chatuchak, Bangkok 10900

³ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

⁴ Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190

⁵ คณะบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

⁶ Faculty of Management Science, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190

⁷ ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี อำเภอเมือง อุบลราชธานี 34000

⁸ Ubon Ratchathani Rice Research Center, Mueang, Ubon Ratchathani 34000

⁹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดธัญบุรี

¹⁰ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin

คำนำ

ข้าวหอมมะลิไทย เป็นที่นิยมทั้งในประเทศและต่างประเทศ ประเทศไทยส่งออกข้าวหอมมะลิสู่ตลาดโลก โดยเฉลี่ยปีละ 25 ล้านตันข้าวเปลือก (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2561) ข้าวหอมมะลิมิคุณสมบัติโดดเด่นด้าน เนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่ม เมล็ดยาว และมีกลิ่นหอม การเก็บเกี่ยวข้าวหอมมะลิจะเริ่มขึ้นในช่วงปลายเดือนตุลาคมถึงต้นเดือนธันวาคม ด้วยวิธีการเก็บเกี่ยวที่รวดเร็วโดยใช้เครื่องเกี่ยวนวด จึงทำให้ปริมาณข้าวหอมมะลิออกสู่ตลาดเป็นปริมาณมากในช่วงต้นฤดูเก็บเกี่ยว ปัจจุบัน เกษตรกรนิยมขายข้าวเปลือกสดให้กับโรงสีหรือทำข้าว ทำให้การลดความชื้นข้าวเปลือกตกอยู่กับผู้ประกอบการโรงสี หากผู้ประกอบการมีเครื่องอบลดความชื้นข้าวเปลือกจะได้รับการลดความชื้นในระยะเวลาอันเหมาะสม แต่ปัญหาการลดความชื้นล่าช้าสามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีที่มีข้าวมีจำนวนมาก จำเป็นต้องกองข้าวและต่อคิวเข้าเครื่องอบ ผู้ประกอบการได้ตั้งข้อสังเกตว่าการชะลอการทำให้ข้าวเปลือกอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของข้าวสาร ปัญหาการจัดการข้าวเปลือกภายหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญ คือ การจัดการความชื้นของข้าวเปลือก อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา โดยปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพของข้าวสาร (Chrastil, 1990; Juliano, 1985) คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสโดยเฉพาะด้านกลิ่นหอม และรสชาติของข้าวเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (Champagne, 2008) สำหรับในข้าวขาวดอกมะลิ 105 Mahatheeranont *et al.* (2001) พบว่า สารระเหย 2-Acetyl-1-Pyrroline (2-AP) เป็นสารสำคัญที่มีบทบาทในการให้กลิ่นของข้าวหอม การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจุลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร 2-AP ของข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ที่ล่าช้าในการลดความชื้นภายหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อประโยชน์ในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การจัดการข้าวเปลือกและการเก็บรักษา ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในฤดูนาปี พ.ศ. 2560 จากจังหวัดอุบลราชธานี ดำเนินการเก็บเกี่ยวในวันและแปลงนาเดียวกัน (เดือนพฤศจิกายน 2560) โดยแบ่งข้าวเปลือกภายหลังการเก็บเกี่ยวออกเป็น 2 ส่วนที่เท่ากัน ข้าวเปลือกส่วนที่ 1 นำมาลดความชื้นข้าวเปลือกทันที โดยวิธีตากแดด (Immediately moisture reduced paddy rice, IMM-paddy rice) กระทั่งมีความชื้นต่ำกว่า 14 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) และนำมาเก็บในถุงพลาสติกสาน (50x75 เซนติเมตร) จำนวน 12 ถุงๆ ละ 20 กิโลกรัม ข้าวเปลือกส่วนที่ 2 นำมาเก็บในถุงพลาสติกสาน (50x75 เซนติเมตร) วางในที่ร่ม เป็นเวลา 2 วัน (Delayed moisture reduced paddy rice, DEL-paddy rice) ก่อนนำมาลดความชื้นข้าวเปลือกกระทั่งมีความชื้นต่ำกว่า 14 เปอร์เซ็นต์ และเก็บในถุงพลาสติกสาน (50x75 เซนติเมตร) จำนวน 12 ถุงๆ ละ 20 กิโลกรัม ภายหลังจากการบรรจุข้าวเปลือกในกระสอบได้นำมาเก็บรักษาในห้องควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 10 24 และ 27°C (อุณหภูมิละ 4 กระสอบ) เก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน **การวิเคราะห์ปริมาณสาร 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP) ของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา** สุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกจากทุกสิ่งทดลองระหว่างการเก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 0 1 2 3 4 5 8 10 และ 12 นำตัวอย่างข้าวเปลือกมากระเทาะ ขัดสี และบด เพื่อวิเคราะห์สาร 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP) ด้วยวิธี Headspace-gas chromatography ตามวิธีของ Sriseadka *et al.* (2006) **การวิเคราะห์ผลทดลอง** การวิจัยนี้ได้วางแผนการทดลองแบบ split-split plot (ปัจจัย คือ สภาวะการทำแห้งข้าวเปลือก ระยะเวลาการเก็บรักษา และ อุณหภูมิการเก็บรักษา) จำนวน 4 ซ้ำ (replicates) ผลจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร 2-AP ในระหว่างการเก็บรักษาได้นำมาศึกษาจุลนพลศาสตร์ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ kinetic model ประเภท first-order fractional conversion model (Eq. 1) ความแม่นยำของการทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสมการจะใช้การประเมินจากค่า root mean square of error (RMSE) ซึ่งควรมีค่าที่ต่ำกว่า 2 (Yang and Chinnan, 1998) และค่า R² ซึ่งควรมีค่าเข้าใกล้ 1 ในการศึกษาเบื้องต้นได้ทำการพิจารณาความเหมาะสมของลำดับปฏิกิริยาเคมีของการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร 2-AP พบว่ามีลักษณะของปฏิกิริยาอันดับที่ 1 (ไม่แสดงข้อมูล) ทั้งนี้ปฏิกิริยาอันดับที่ 1 เป็นลักษณะทั่วไปของปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและกระบวนการทางชีวเคมีทั่วไปในผลผลิตเกษตรและผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป (Robertson, 2013)

$$\frac{C_{2AP,i} - C_{2AP,inf}}{C_{2AP,0} - C_{2AP,inf}} = \exp(-k_{2AP}t) \quad (\text{Eq. 1})$$

โดยที่ $C_{2AP,i}$ คือ ปริมาณของสาร 2-AP ที่เวลาใดๆ (mg/kg)

$C_{2AP,0}$ คือ ปริมาณของสาร 2-AP เริ่มต้น (mg/kg)

$C_{2AP,inf}$ คือ ปริมาณของสาร 2-AP ที่เวลา infinite ในที่นี้กำหนดเป็นเวลาลิ้นสุดของการเก็บรักษา (mg/kg)

k_{2AP} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร 2-AP (ต่อสัปดาห์)

t คือ ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)

ผล

ปริมาณสาร 2-AP เริ่มต้นของข้าวเปลือก IMM-paddy rice มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.31 mg/kg ในขณะที่ปริมาณสาร 2-AP เริ่มต้นของข้าวเปลือก DEL-paddy rice มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.59 mg/kg ซึ่งต่ำกว่าประมาณ 0.78 เท่า ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน พบว่า ปริมาณสาร 2-AP ของข้าวเปลือกทั้ง 2 ประเภท มีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น (75-80% จากค่าเริ่มต้น) การลดลงเกิดขึ้นในอัตราเร็วในช่วง 4 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา จากนั้นปริมาณสาร 2-AP มีแนวโน้มคงที่ในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ปริมาณ 2-AP ของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าข้าวเปลือกซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงภายหลังจากการสิ้นสุดระยะเวลาเก็บรักษา (Figure 1) อย่างไรก็ตาม ปริมาณสาร 2-AP ของข้าวเปลือกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 24 และ 27°C ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เมื่อทำการทำนายการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร 2-AP ในสภาวะการเก็บรักษาอุณหภูมิต่างๆ ด้วยสมการ Eq. 1 พบว่า สามารถทำนายแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงได้เป็นอย่างดี โดยมีค่า RMSE และ R^2 อยู่ในช่วง 0.16-0.29 และ 0.88-0.94 ตามลำดับ (Table 1) ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร 2-AP (k_{2AP}) ของข้าวเปลือก IMM-paddy rice ซึ่งได้จากการทำนายด้วย Eq. 1 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 10°C เป็น 24°C แต่ค่าดังกล่าวไม่แตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิ 24 และ 27°C ในกรณีของข้าวเปลือก DEL-paddy rice พบว่าค่า k_{2AP} ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ในช่วง 4 สัปดาห์แรก พบการเบี่ยงเบนที่ชัดเจนของปริมาณสาร 2-AP ที่ได้จากการทำนายด้วย Eq. 1 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์

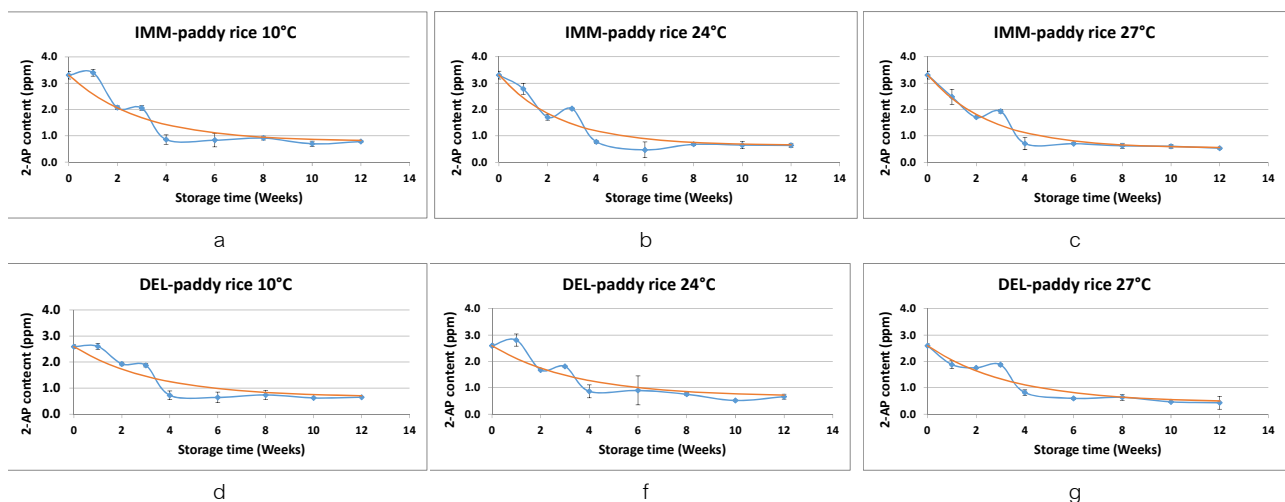


Figure 1 Changes of 2-AP contents empirically measured (dot-and-line symbol) and those predicted by the first-order fractional conversion model (Eq. 1). Figure 1a-c represent 2-AP contents of IMM-paddy rice and figure 1d-f represent 2-AP contents of DEL-paddy rice. The storage temperatures were 10, 24 and 27°C in respect to the alphabet order (i.e. a-c as well as d-f).

Table 1 Coefficients of Eq. (1) utilized to predict 2-AP contents as well as values of RMSE and R^2

Temperatures	k_{2AP}		RMSE		R^2	
	IMM-paddy rice	DEL-paddy rice	IMM-paddy rice	DEL-paddy rice	IMM-paddy rice	DEL-paddy rice
10°C	0.34	0.29	0.26	0.22	0.89	0.88
24°C	0.39	0.29	0.29	0.22	0.92	0.89
27°C	0.39	0.29	0.29	0.16	0.94	0.91

วิจารณ์ผลการทดลอง

ปริมาณสาร 2-AP เริ่มต้นของข้าวเปลือก DEL-paddy rice ต่ำกว่าของข้าวเปลือก IMM-paddy rice อธิบายได้ว่าในระหว่าง 48 ชั่วโมงที่ข้าวเปลือกสดภายหลังการเก็บเกี่ยว (ความชื้นเริ่มต้น 25% w.b.) ซึ่งอยู่ในระหว่างการรอเพื่อลดความชื้น มีการลดลงของปริมาณสาร 2-AP ตามขึ้น (2546) รายงานว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้นที่สูงเกิดการเสื่อมคุณภาพได้เร็ว เนื่องจากเมล็ดมีอัตราการหายใจสูง ส่งผลให้เกิดความร้อนและเร่งการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี นำไปสู่การเร่งการเสื่อมคุณภาพ การลดลงของปริมาณสาร 2-AP เป็นผลจากหลายกลไก เช่น การสูญเสียโครงสร้างของ 2-AP (structural degradation) การระเหยของสาร 2-AP ซึ่งเป็นสารระเหยได้ง่าย (Widjaja *et al.*, 1996) หรือการสูญเสียจากการทำงานของเอนไซม์ (Yoshihashi

et al., 2005) เมื่อพิจารณาการลดลงของปริมาณสาร 2-AP ซึ่งอาจเป็นผลจากกลไกต่างๆ พบว่า เกิดขึ้นด้วยอัตราที่สูงในช่วง 4 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษาส่งผลให้เกิดการลดลงของปริมาณสาร 2-AP เกิดขึ้นอย่างมาก ภายหลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในอัตราที่ต่ำทำให้ปริมาณสาร 2-AP เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหรือมีแนวโน้มที่คงที่ อัตราของการเปลี่ยนแปลงในสองช่วงที่ต่างกันนั้นเกี่ยวข้องกับปริมาณสาร 2-AP ที่หลงเหลือจากการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ ปริมาณสาร 2-AP ในช่วงแรกของการเก็บรักษามีปริมาณที่สูงส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้ในอัตราที่สูง แต่เมื่อปริมาณ 2-AP เหลือในระดับที่ต่ำส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในอัตราที่ต่ำ ทั้งนี้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับปริมาณสารที่หลงเหลือดังกล่าวเป็นลักษณะโดยทั่วไปของจุลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเคมีอันดับที่ 1 (Robertson, 2013) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร 2-AP จึงทำนายได้ดีด้วยสมการ first-order fractional conversion (Eq. 1)

ค่า k_{2AP} ซึ่งเป็นค่าที่แสดงอัตราการลดลงของปริมาณ 2-AP พบว่า ข้าวเปลือก IMM-paddy rice มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการเก็บรักษา สอดคล้องกับ Juliano (1985) ที่รายงานว่าเมล็ดข้าวสารที่ผลิตจากข้าวเปลือกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35°C มีการสูญเสียสาร 2-AP มากกว่าข้าวสารที่ผลิตจากข้าวเปลือกเก็บรักษาที่ 2 และ 20°C อย่างไรก็ตามค่า k_{2AP} ที่อุณหภูมิ 24 และ 27°C ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิน้อย ทั้งนี้อุณหภูมิ 27°C เป็นผลของการวางแผนเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องแต่อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเดือน ธันวาคม-กุมภาพันธ์นั้นต่ำกว่า 35°C ผู้วิจัยจะได้ทำการศึกษาต่อไปที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น ในขณะที่ค่า k_{2AP} ของข้าวเปลือก DEL-paddy rice ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และอาจเป็นผลจากปริมาณเริ่มต้นของสาร 2-AP ที่มีอยู่ในปริมาณที่ต่ำ ดังนั้นอัตราการลดลงจึงเกิดขึ้นได้น้อย ผลการศึกษาดังกล่าวสนับสนุนลักษณะของปฏิกิริยาอันดับที่ 1 แต่ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนไม่ชัดเจน

สรุปผลการทดลอง

ปริมาณสาร 2-AP เริ่มต้นของข้าวเปลือกที่ลดความชื้นต่ำกว่าของข้าวเปลือกที่ลดความชื้นทันที ผลการศึกษาจุลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร 2-AP ในข้าวทั้งสองประเภทแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของอัตราการเปลี่ยนแปลงกับปริมาณสาร 2-AP ในข้าวเปลือกซึ่งสามารถทำนายได้ด้วยสมการ first-order fractional conversion model ในขณะที่ความสัมพันธ์กับอุณหภูมิการเก็บรักษาชัดเจนในกลุ่มข้าวเปลือกลดความชื้นทันที

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว และห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนในเรื่องของสถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- งามชื่น คงเสรี. 2546. ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 167 หน้า.
- พัศกร เจียรตะกูล, เมธิณี เทวซึ่งเจริญ และศุภศักดิ์ ลิ้มปิติ. 2546. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวขาวดอกมะลิ 105. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 34 (4-6): 149-152.
- สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. 2561. ผลผลิตข้าว: เนื้อที่เพาะปลูก ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ของข้าวนาปี และนาปรัง ปี 2556-2561. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.thaiceexporters.or.th/production.htm>. (20 พฤษภาคม 2561).
- Champagne, E.T. 2008. Rice aroma and flavor: A literature review. Cereal Chemistry Journal 85: 445-454.
- Chrastil, J. 1990. Chemical and physicochemical changes of rice during storage at different temperatures. Journal of Cereal Science 11: 71-85.
- Juliano, B.O. 1985. Rice: Chemistry and technology. American Association Cereal Chemists Inc., St. Paul, Minnesota. 480p.
- Mahatheeranont, S., S. Keawsa-ard and K. Dumri. 2001. Quantification of the rice aroma compound, 2-acetyl-1-pyrroline, in uncooked khao dawk mali 105 brown rice. Journal of agricultural and food chemistry 49: 773-779.
- Robertson, G.L. 2013. Food Packaging: Principles and Practice. 3rd ed. New York: Taylor and Francis Group.
- Seisadka, T., S. Wongpornchai and P. Kitsawatpaiboon. 2006. Rapid method for quantitative analysis of the aroma impact compound, 2-acetyl-1-pyrroline, in fragrant rice using automated headspace gas chromatography. Journal of agricultural and food chemistry 54: 8183-8189.
- Widjaja, R., J. Craske and M. Wootton. 1996. Changes in volatile components of paddy, brown and white fragrant rice during storage. Journal of the science of food and agriculture 71: 218-224.
- Yang, C.C. and M.S. Chinnan. 1988. Modeling the effect of O₂ and CO₂ on respiration and quality of stored tomatoes. Trans. ASAE 31: 920-925.
- Yoshihashi, T., T.T. Nguyen, W. Surojanametukul, P. Tungtrakul and W. Varanyanond. 2005. Effect of storage conditions on 2-acetyl-1-pyrroline in aromatic rice variety, Khao Dawk Mali 105. Journal of Food Science 70(1):34-37.