

ผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อ อัตราการเหลืองของข้าวเปลือกขึ้น

Effect of Temperature and Relative Humidity on Yellowing Rate of Paddy

นิรชรา ศรีสุบัต¹ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์¹ และ ทิพาพร อยู่วิทยา²

Nirachara Srisubati, Somchart Soponronnarit, and Tipaporn Yoovidhya

ABSTRACT

The effects of temperature and relative humidity in storage chambers on yellowing rate of paddy were investigated and then an empirical equation for predicting the yellowing rate was developed. Paddy was conditioned using saturated salt solutions at relative humidities from 80 to 95 % and temperatures 35, 45, 55, 60, and 65°C. The yellowing rate was found to follow the zero order kinetics. The yellowing constant values (k) increased exponentially with temperature while increased linearly with water activity. The magnitude of activation energy varied from 130-145 kJ/mol. A predictive equation for determining yellowing rate was $\ln k = \alpha - \delta a_w - \epsilon/T + (\gamma a_w)/T$ where a_w is water activity (valid from 0.80 to 0.95), T is absolute temperature (valid from 308 to 338 K) and α , δ , ϵ and γ are constants. The results of variance analysis showed that temperature, water activity and their interaction significantly influenced the yellowing rate of paddy.

Key words : paddy, temperature, relative humidity, yellowing

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาปัจจัยของ
อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ส่งผลต่อการ

เปลี่ยนแปลงอัตราการเหลืองของข้าวเปลือก พร้อม
ทั้งสร้างสมการแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์
ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ โดยทำการทดลองในระบบปิด
ที่อุณหภูมิ 35, 45, 55, 60, และ 65°C และ

1 คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

School of Energy and Materials, King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand.

2 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand.

ความชื้นสัมพัทธ์ 80 - 95 % (ควบคุมโดยสารละลายเกลืออิ่มตัว) จากการศึกษาพบว่าอัตราการเหี่ยวของข้าวเปลือกเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ค่าพลังงานกระตุ้นอยู่ในช่วง 130-145 kJ/mol ค่าคงที่อัตราการเหี่ยวเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิแบบเอกซโพเนนเชียล และเพิ่มขึ้นตาม water activity แบบเชิงเส้น สามารถเขียนสมการทำนายอัตราการเหี่ยวได้ว่า $\ln k = \alpha - \delta a_w - \varepsilon/T + (\gamma a_w)/T$ เมื่อ k คือ ค่าคงที่อัตราการเหี่ยว (b unit/day) a_w คือ water activity T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ ส่วน α , δ , ε และ γ คือค่าคงที่ สมการนี้ใช้ได้กับอุณหภูมิ 308-338 K และ a_w 0.80-0.95 จากการศึกษาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคงที่อัตราการเหี่ยวพบว่า อุณหภูมิ a_w และ ปฏิสัมพันธ์ร่วมของทั้งสอง ปัจจัยมีอิทธิพลต่ออัตราการเหี่ยวของข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำนำ

สีของข้าวเปลือกเป็นคุณลักษณะสำคัญประการหนึ่งที่ใช้กำหนดคุณภาพและราคาของข้าว ทั้งนี้ราคาของข้าวขึ้นกับรสนิยมของผู้บริโภคในแต่ละท้องที่ โดยทั่วไปแล้วข้าวเปลือกจะเหลืองขึ้นในขั้นตอนต่างๆ หลังจากการเก็บเกี่ยวไปจนถึงการเก็บรักษา โดยตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการเหี่ยวของข้าวเปลือกคือ อุณหภูมิ ความชื้นของข้าว และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม

Gras *et al.* (1989) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเหลืองของข้าวสารสองสายพันธุ์เนื่องจากผลของอุณหภูมิ a_w และองค์ประกอบของอากาศในการเก็บรักษา และพบว่า ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเหี่ยวคือ อุณหภูมิ และ a_w O_2 มีผลต่อความเหลืองของข้าวเล็กน้อย ส่วน CO_2 ไม่มีผลต่ออัตราการเหี่ยวของข้าวสาร และเสนอสมการทำนายอัตราการเหี่ยว คือ $k = \alpha \cdot e^{\beta/T} (a_w)^\gamma [O_2]^\delta$ เมื่อ k = อัตราการ

เหี่ยว (Hunter b unit/day) T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K) a_w = water activity O_2 = ปริมาณออกซิเจน (mol/m^3) ส่วน α , β , γ และ δ คือค่าคงที่ สมการนี้ใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิ 35-60°C และ $a_w = 0.4-0.8$

Bason *et al.* (1990) พบว่า อุณหภูมิและ a_w มีอิทธิพลต่อการเหี่ยวของข้าวเปลือก O_2 มีผลเล็กน้อย ส่วน CO_2 ไม่มีผล และสามารถใช้อสมการของ Gras *et al.* (1989) ทำนายอัตราการเหี่ยวของข้าวเปลือกได้ในช่วงอุณหภูมิและ a_w เช่นเดียวกัน

Phillip *et al.* (1988) ศึกษาการเหี่ยวของข้าวเปลือกระหว่างการทำแห้งโดยการระบายอากาศ และเก็บรักษาข้าวเปลือกระยะเวลาหนึ่งปี ทำการระบายอากาศด้านล่างกองข้าวเปลือก ความชื้นเริ่มต้น 22.4% ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศ 75% อัตราการไหลของอากาศ 1.5 $m^3/min-ton$ paddy พบว่าสามารถลดความชื้นให้เหลือ 14%wb. โดยใช้เวลามากกว่า 8 สัปดาห์ และสังเกตเห็นความเหลืองเมื่อเวลาผ่านไป 5 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองความเหลืองเท่ากับ 4.5-5.5% และพบเชื้อราเจริญได้ดีที่ชั้นบนสุดของกองข้าว สาเหตุที่แท้จริงของการเหลืองยังไม่ทราบแน่ชัด แต่อาจสัมพันธ์กับสภาพความชื้นสูงและการเจริญของเชื้อราก่อนหรือระหว่างการอบแห้ง

Phillips *et al.* (1989) ศึกษาการเหี่ยวของข้าวเปลือกระหว่างการอบแห้ง โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 แบบ คือ ข้าวเปลือกขึ้นกองผึ่งในอากาศแวดล้อมในที่โล่งและในโกดัง ข้าวเปลือกขึ้นบรรจุในกระสอบกองผึ่งในอากาศแวดล้อมในที่โล่งและในโกดัง ข้าวเปลือกอบแห้งกองผึ่งในอากาศแวดล้อมในที่โล่งและในโกดัง และข้าวเปลือกอบแห้งบรรจุในกระสอบกองผึ่งในอากาศแวดล้อม ในที่โล่งและในโกดัง ข้าวเปลือกมีความชื้นมากกว่า 20% wb ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในช่วง 44-84% ผลการทดลองพบว่ากองข้าวเปลือกขึ้นพบความเหลือง 100% ที่กึ่งกลางกองภายใน 5 วัน เกิดเชื้อราอย่างรุนแรงใน

เวลา 2 วัน อุณหภูมิวัดได้ 65°C ในเวลา 6 วัน ส่วนในกองข้าวเปลือกอบแห้งบรรจุกระสอบวัดอุณหภูมิได้ 40°C เมื่อเวลาผ่านไป 30 วัน ความเหลืองเปลี่ยนแปลง 1-3%

Yap *et al.* (1988) ศึกษาผลของความชื้น สายพันธุ์ และการบ่ม (aging) ที่มีต่อการเหลืองของข้าว ความชื้นเริ่มต้นของข้าว 12-20% ทดลองที่ 60°C เป็นเวลา 4 วัน และฆ่าเชื้อราที่ผิวข้าวก่อนเริ่มการทดลอง ทั้งข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร จากการทดลองพบว่า การเก็บข้าวที่ 60°C เป็นเวลา 4 วัน มีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* และ b^* ตามระบบการวัดสีของ Hunter ของข้าวกล้อง และข้าวสาร ค่า b^* ของข้าวเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นของข้าว ซึ่งค่า b^* ของข้าวเปลือกสูงกว่าข้าวกล้องหรือข้าวสาร และค่า b^* ในข้าวเก่ามีค่าสูงกว่าในข้าวใหม่นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวกล้องสายพันธุ์ต่าง ๆ มีอัตราการเหลืองไม่แตกต่างกัน

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า แบบจำลองทำนายอัตราการเหลืองของ Gras *et al.* (1989) ที่เสนอไว้ มีข้อจำกัดการใช้คือ สามารถใช้คำนวณทำนายในช่วงความชื้นข้าวต่ำ ($a_w = 0.4-0.8$) เท่านั้น ซึ่งเป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นแล้ว ส่วนในช่วงหลังการเก็บเกี่ยวและรอการลดความชื้นยังไม่มีการศึกษาไว้ งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสถานะแวดล้อม ที่มีต่ออัตราการเหลืองของข้าวเปลือกขึ้น โดยเน้นศึกษาในสถานะที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูง พร้อมทั้งหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าว

อุปกรณ์และวิธีการ

การออกแบบการทดลอง

เลือกใช้แผนการทดลองแบบ 5×3 factorial design (fixed effect model) ทำการทดลองซ้ำสองครั้ง

และใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ในการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิ a_w และปฏิสัมพันธ์ร่วมของปัจจัยทั้งสองที่มีต่ออัตราการเหลืองของข้าว

การเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือก

นำข้าวเปลือกจากการเก็บเกี่ยวใหม่ ๆ มาทำความสะอาดคัดแยกเศษฟาง หญ้า และดินออก และนำมาปรับความชื้นให้ได้ประมาณ 24% dry-basis จากนั้นเก็บในถุงพลาสติก ที่อุณหภูมิ 5°C ที่งั่วอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาใช้งานเพื่อให้เกิดความสมดุล โดยการทดลองนี้ได้เตรียมตัวอย่างข้าวเปลือกสำหรับการทดลองทั้งหมดไว้ โดยเก็บในถุงพลาสติกปิดสนิทที่ 5°C และก่อนเริ่มการทดลองทุกครั้ง ต้องทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของตัวอย่างเริ่มต้น

การทดลอง

ชุดทดลองประกอบด้วยกล่องพลาสติกใส พร้อมฝาขนาด 17×24.5×8 cm ภายในมีถาดแก้วขนาด 15×22×4 cm สำหรับบรรจุสารละลายเกลืออิมิตัวชนิดต่างๆ เหนือถาดแก้วมีตะแกรงพลาสติกขนาด 15×24×2 cm วางอยู่ เริ่มการทดลองโดยชั่งน้ำหนักข้าวเปลือก 160 g เกลี่ยให้สม่ำเสมอทั่วตะแกรง ซึ่งวางอยู่บนถาดแก้วบรรจุสารละลายเกลืออิมิตัวชนิดต่างๆ ซึ่งให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเหนือสารละลายเท่ากับ 80, 85 และ 95% ที่อุณหภูมิ 35, 45, 55, 60 และ 65°C เกลือที่ใช้ได้แก่ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, KCl, $\text{BaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ และ K_2SO_4 (สมชาติ, 2537 ; ASTM, 1991) จากนั้นปิดฝากล่องให้สนิท และปิดทับด้วยเทปกาวยาวขนาดความกว้าง 2.5 นิ้วตามรอยผนึก และควบคุมอุณหภูมิโดยวางกล่องทดลองในตู้อบไฟฟ้า เมื่อครบตามเวลาต่างๆ จึงเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกมาวิเคราะห์ความชื้น และคุณภาพการสี จากนั้นนำข้าวสารมาวัด

ค่าความขาว โดยใช้ Kett digital whiteness meter for rice (model C-300) และวัดความเหลือง (ค่า b ตามระบบการวัดสีของ Hunter) โดยใช้เครื่องวัดสี Juki รุ่น JP 7100

ผลและวิจารณ์

อัตราการเปลี่ยนแปลงความเหลืองศึกษาได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองตามระบบของ Hunter เมื่อเทียบกับเวลา ซึ่งผลจากการทดลองเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศคงที่ การเปลี่ยนแปลงค่า b นั้นมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับเวลา (Figure 1) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้เป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ซึ่งเกิดด้วยอัตราคงที่เมื่อปัจจัยอื่น ๆ คงที่ เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\frac{db}{dt} = k \quad \dots\dots\dots (1)$$

k คือค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์ เมื่ออินทิเกรตสมการที่ (1) ในช่วง $b = b_0$ ที่ $t = 0$ และ $b = b$ ที่ $t = t$ จะได้

$$b = b_0 + kt \quad \dots\dots\dots (2)$$

ความชันของกราฟใน Figure 1 คือ k ซึ่งที่อุณหภูมิ และ water activity (a_w) ค่าต่างๆ สามารถหาค่า k ได้จากความชันของกราฟที่สภาวะนั้นๆ ได้ ดัง Table 1

เมื่อนำค่า k ที่ได้มาพลอตกับ a_w เปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิต่างๆ พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง k และ a_w เป็นเส้นตรงที่มี r^2 สูงถึง 0.9 ในทุก ๆ อุณหภูมิ (Figure 2) โดยความชันเส้นกราฟเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ถ้าเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า k กับอุณหภูมิ จะได้ความสัมพันธ์แบบเอกซโปเนนเชียล (Figure 3) ซึ่งสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ในรูปแบบของสมการอาร์เรเนียส คือ

$$k = k_0 \cdot e^{E_a/RT} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{RT} \quad \dots\dots\dots (4)$$

เมื่อ E_a = พลังงานกระตุ้น, kJ/mole

T = อุณหภูมิ, K

R = gas constant

จากสมการที่ (4) เมื่อพลอตกราฟระหว่าง $\ln k$ กับ $1/T$ จะได้กราฟเป็นเส้นตรงดัง Figure 4 เมื่อทำ

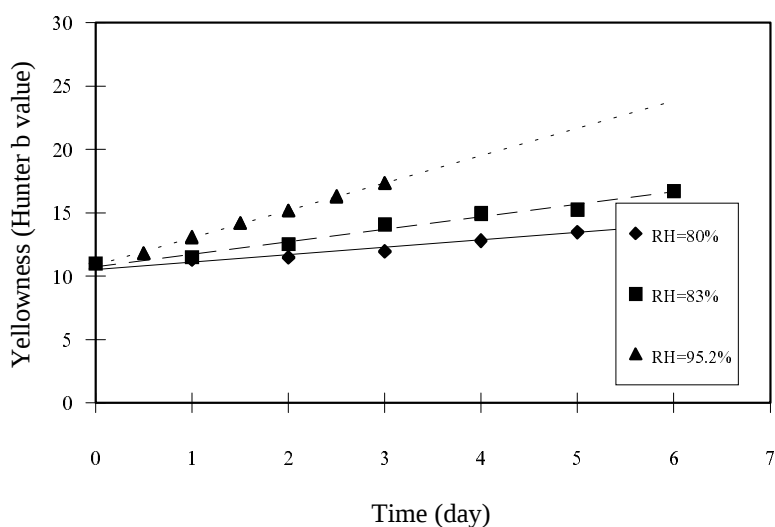
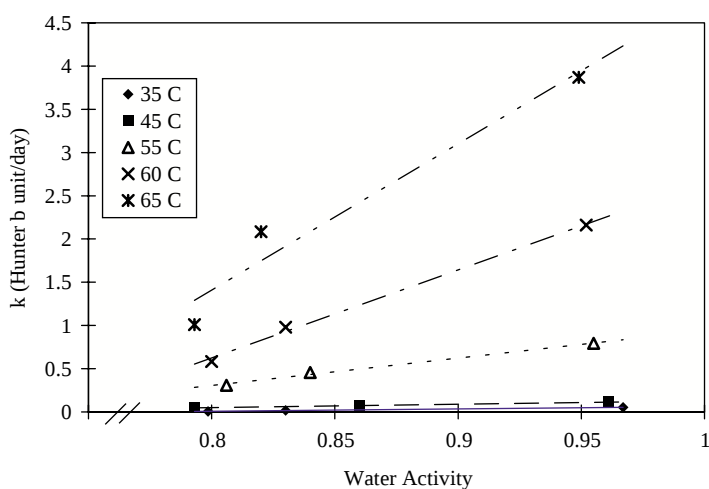


Figure 1 Relationship between yellowness and time at 60°C at different relative humidities.

Table 1 Experimental results of rate of yellowing at different temperatures and water activities.

Temperature (°C)	Salt solution	a_w	Calculated ¹ emc (%db.)	Actual emc (%db.)	k (b unit/day)	r^2
35	(NH ₄) ₂ SO ₄	0.798	16.91	16.94	7.20×10^{-3}	0.93
45	(NH ₄) ₂ SO ₄	0.793	16.53	14.88	4.81×10^{-2}	0.96
55	KCl	0.806	16.60	14.03	3.07×10^{-1}	0.98
60	KCl	0.800	16.34	14.21	5.84×10^{-1}	0.95
65	KCl	0.793	16.05	13.47	1.01	0.99
35	KCl	0.830	17.75	17.93	1.88×10^{-2}	0.99
45	BaCl ₂ .H ₂ O	0.860	18.38	18.65	5.14×10^{-2}	0.91
55	BaCl ₂ .H ₂ O	0.840	17.51	18.39	4.57×10^{-1}	0.99
60	BaCl ₂ .H ₂ O	0.830	17.11	19.48	9.79×10^{-1}	0.98
65	BaCl ₂ .H ₂ O	0.820	16.72	18.20	2.08	0.99
35	K ₂ SO ₄	0.967	24.29	30.97	5.19×10^{-2}	0.97
45	K ₂ SO ₄	0.961	23.36	30.60	1.15×10^{-1}	0.99
55	K ₂ SO ₄	0.955	22.53	27.90	7.92×10^{-1}	0.93
60	K ₂ SO ₄	0.952	22.14	29.40	2.16	0.99
65	K ₂ SO ₄	0.949	21.78	26.83	3.87	1.00

¹ Calculated from Henderson's equation**Figure 2** Relationship between rate of yellowing and water activity at different temperatures.

รีเกรชัน สามารถหาค่า E_a และ $\ln k_0$ ได้จากความสัมพันธ์และจุดตัดแกนตั้งของกราฟตามลำดับ โดยค่าต่าง ๆ แสดงไว้ใน Table 2 และเมื่อนำค่า E_a และ $\ln k_0$ มาพลอตกราฟสัมพันธ์กับ a_w จะได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงดัง Figures 5 และ 6 ตามลำดับ โดยได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ (5) และ (6)

$$E_a = 215499.5 - 89069.28a_w \dots\dots\dots (5)$$

$$\ln k_0 = 71.87 - 25.32a_w \dots\dots\dots (6)$$

เมื่อแทนค่าสมการที่ (5) และ (6) ลงในสมการที่ (4) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง k , T และ a_w ดังนี้

$$\ln k = 71.87 - 25.32a_w - \frac{25919.13}{T} + \frac{10712.78a_w}{T} \dots\dots\dots (7)$$

หรือแสดงด้วยสมการย่อเป็น

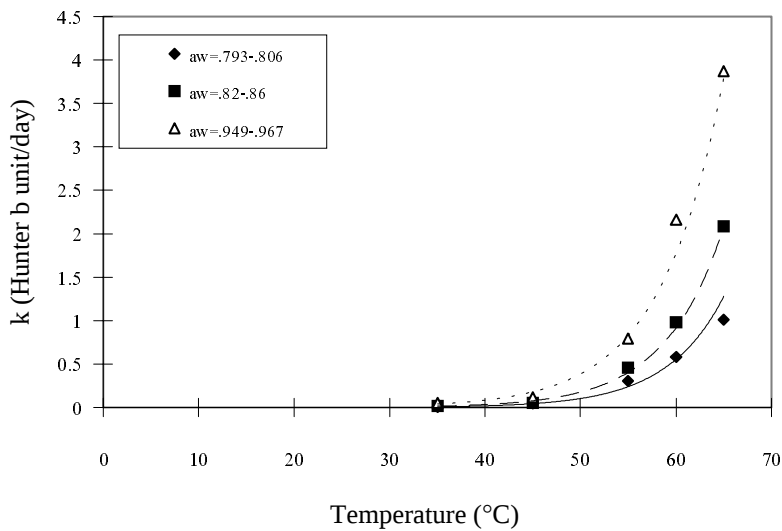


Figure 3 Relationship between rate of yellowing and temperature at different water activities.

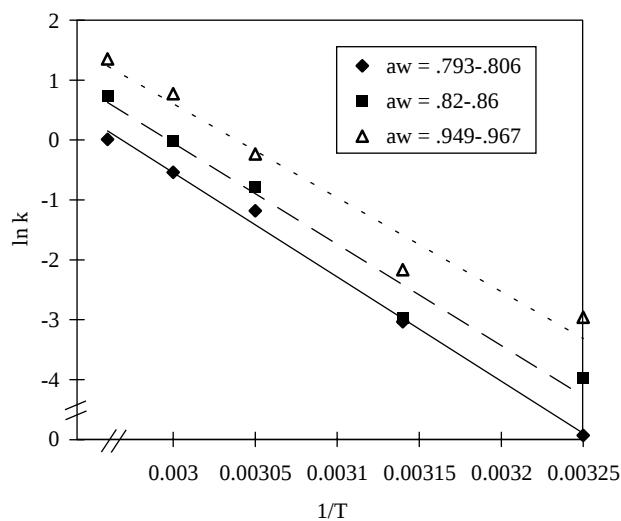


Figure 4 Relationship between $\ln k$ and $1/T$.

$$\ln k = \alpha - \delta a_w - \varepsilon/T + (\gamma a_w)/T \dots\dots (8)$$

เมื่อ k = อัตราการเหือง, b unit/day

a_w = water activity, decimal

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์, K

α = 71.87 δ = 25.32

ε = 25919.13 γ = 10712.78

สมการนี้ใช้ได้ที่อุณหภูมิ 308-338 K และ water activity 0.80-0.95

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี analysis of variance แสดงใน Table 3 เห็นได้ว่าค่า F_o ของ อุณหภูมิ water activity และปฏิสัมพันธ์ร่วม ที่ได้จากการคำนวณ มีค่ามากกว่าค่า F_o จากตาราง F-distribution ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้งอุณหภูมิ water activity

และปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัยดังกล่าว มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเหืองของข้าวเปลือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเชิงเส้นตรงที่เลือกใช้พบว่า แบบจำลองที่เลือกใช้เหมาะสมกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และสมมุติฐานที่ตั้งไว้นั้นถูกต้อง นั่นคือปัจจัยทั้งสองและปฏิสัมพันธ์ร่วมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเหืองของข้าวเปลือก ซึ่งทราบจาก normal probability plot ที่มีการกระจายเป็นปกติมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง (Figure 7) และจาก residuals plot (Figure 8) ซึ่งได้กราฟที่ไม่มีรูปแบบเฉพาะใด ๆ (structureless) และข้อมูลส่วนใหญ่ตกอยู่ในช่วงกลาง ๆ

Table 2 Activation energy and $\ln k_0$ at different water activities.

Range of water activity	Activation energy (J/mole)	$\ln k_0$	r^2
0.793-0.806	144,740	51.68	0.99
0.820-0.86	140,620	50.69	0.97
0.949-0.967	130,360	47.65	0.96

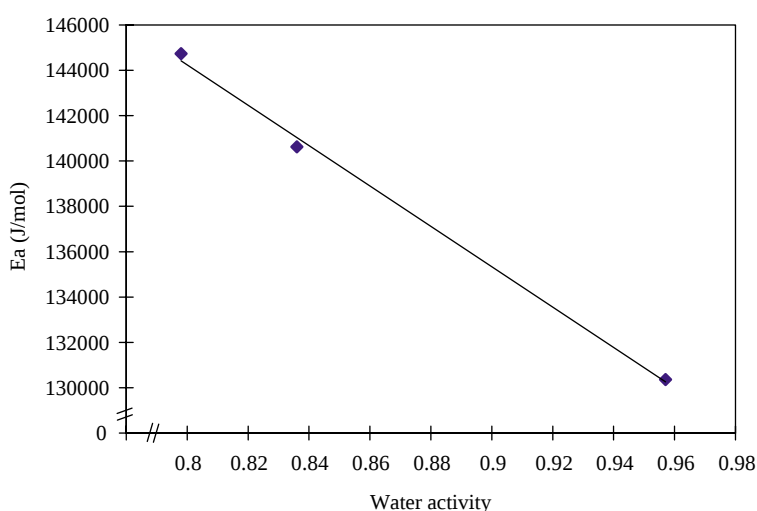


Figure 5 Relationship between activation energy (E_a) and water activity.

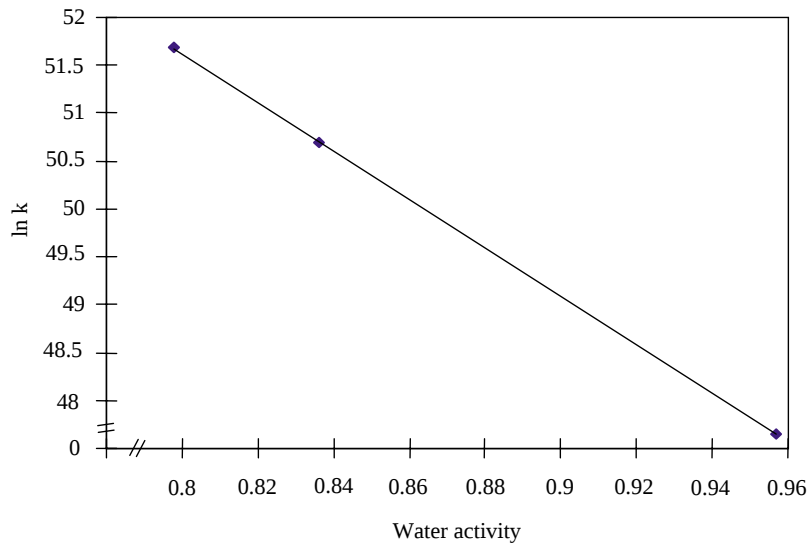


Figure 6 Relationship between $\ln k_0$ and water activity.

Table 3 Variance analysis of rate of yellowing.

Source of variation	Sum of square	Degree of freedom	Mean square	F ₀
Temperature	22.20	4	5.55	21788.14
Water activity	5.31	2	2.66	10432.82
Interaction	5.94	8	0.74	2913.31
Error	3.82×10^{-3}	15	2.55×10^{-4}	
Total	33.45	29		

สรุป

อัตราการเหลืองของข้าวเปลือกเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ มีค่าพลังงานกระตุ้นในช่วง 130-145 kJ/mol โดยที่ค่าคงที่อัตราการเหลืองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับ water activity และมีความสัมพันธ์แบบ exponential กับอุณหภูมิ สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ได้คือ

$$\ln k = \alpha - \delta a_w - \varepsilon/T + (\gamma a_w)/T$$

เมื่อ k = อัตราการเหลือง b unit/day

a_w = water activity, decimal

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์, K

α = 71.87 δ = 25.32

ε = 25919.13 γ = 10712.78

สมการนี้ใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิ 308-338 K และ water activity ในช่วง 0.80-0.95

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอุณหภูมิ water activity และปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการเหลืองของข้าวเปลือก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจาก

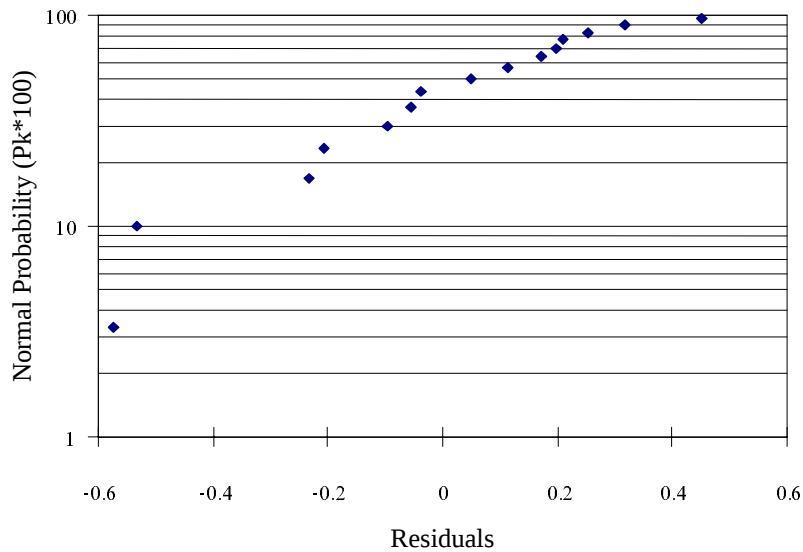


Figure 7 Normal probability plot.

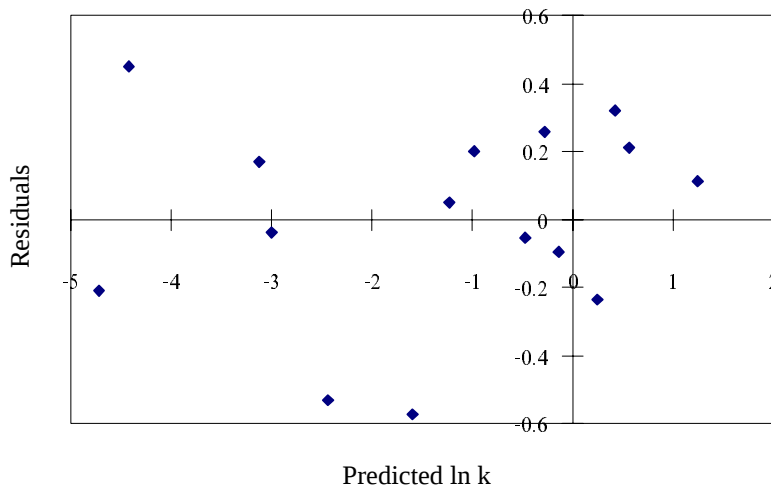


Figure 8 Plot of residuals versus predicted value.

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเชิงเส้นตรงที่เลือกใช้พบว่า เหมาะสมกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองและสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่า ปัจจัยทั้งสองและปฏิสัมพันธ์ร่วมของทั้งสองปัจจัยมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนของข้าวเปลือก นั้นถูกต้อง

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัย และขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีที่ให้ความอนุเคราะห์

ในการทดสอบคุณภาพข้าว

เอกสารอ้างอิง

- สมชาติ โสภณธนฤทธิ์. 2537. การอบแห้งเมล็ดพืช. พิมพ์ครั้งที่ 6, คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ. 384 น.
- ASTM. 1991. Standard Recommended Practice for Maintaining Constant Relative Humidity by Means of Aqueous Solutions. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- Bason, M.L., P.W. Gras, H.J. Banks, and L.A. Esteves. 1990. A quantitative study of the influence of temperature, water activity and storage atmosphere on the yellowing of paddy endosperm. *J. Cereal Sci.* 12 : 193-201.
- Gras, P.W., H.J. Banks, M.L. Bason, and L.P. Arriola. 1989. A quantitative study of the

influence of temperature, water activity and storage atmosphere on the yellowing of milled rice. *J. Cereal Sci.* 9 : 77-89.

- Phillips, S., R. Mitfa, and A. Wallbridge. 1989. Rice yellowing during drying delays. *J. Stored Products Research* 25 : 155-164.
- Phillips, S., S. Winjaja, A. Wallbridge, and R. Cooke. 1988. Rice yellowing during post-harvest drying by aeration and during storage. *J. Stored Products Research* 24 : 173-181.
- Yap, A.B., B.O. Juliano, and C.M. Perez. 1988. Artificial yellowing of rice at 60°C, pp. 1-31 *In* The 11th ASEAN Technical Seminar on Grain Post-Harvest Technology, August 23-26, 1988, Kuala Lumpur.

วันรับเรื่อง : 19 ส.ค. 40

วันรับตีพิมพ์ : 2 มี.ค. 41