Agricultural Sci. J. 37 : 5 (Suppl.) : 216-219 (2006) ว. วิทย. กษ. 37 : 5 (พิเศษ) : 216-219 (2549)

ผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่ออุณหภูมิข้าวเปลือกและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวระหว่างเก็บรักษา
Effect of Ambient Temperature on Paddy Temperature and Quality Changes during Storage

อารีรัตน์ จิตบุญ[1] ศุภศักดิ์ ลิมปิติ[2] เมธินี เห่วซึ่งเจริญ[3] และทวีชัย นิมาแสง[4]
Areerat Jitboon[1], Supasark Limpiti[2], Methinee Haewsungcharern[3] and Thaveechai nimasang[4]

ABSTRACT

Paddy was stored for 6 month in 4 storage systems namely; the aeration with insulator bin, the aeration with non-insulator bin, the non-aeration with insulator bin and the non-aeration with non-insulator bin. The outside temperature was found to affect the temperature inside the bins. The average highest temperature found in the non-aeration with non-insulator bin was as high as 36.22 °C. The lower temperatures were found in the aeration with insulator bin, the aeration with insulator bin, and. the non-aeration with insulator bin. The temperature values were 34.02 °C, 31.52 °C, and 31.20 °C respectively. The highest temperature inside the non-aeration with non-insulator bin near the bin wall was noted to be 54.90 °C. The temperature of the wall was 65.01 °C. On the day that the ambient temperature was the highest, the highest temperature difference inside the bin at various locations was as high as 19.50 °C. This was the cause of moisture migration and condensation in the bin. The humidity inside the bins with non-aeration was consistent, but the humidity inside the bins with aeration varied with the outside air humidity. After 3 months of storage water activity values of paddy in each bin increased with the humidity of the ambient air. The values were in the range 0.65 – 0.71. Moisture content of the paddy in the bin varied between 6.45 – 12.86%. The lowest moisture was noted in the bins with aeration.

The high temperature inside the non-aeration with non-insulator bin caused increasing of yellowness (b* value) in paddy, brown rice, and milled rice. The b* value of milled rice rose from 6.58 to 13.44. The viscosity of the cooked rice was also higher and the paddy showed rapid aging after it had been stored for 3 months. These effects were increased when the storage duration was longer. The percentage of head rice was inversely decreased with the storage length.

The prediction of paddy temperature using finite difference model with 2 – dimensional cylindrical bin gave the root mean square error in the range of 2.11 – 8.69 °C.

Key word: silo management, Paddy temperature, Quality changes

บทคัดย่อ

เก็บรักษาข้าวเปลือกในถังเก็บ 4 แบบ ได้แก่ถังที่มีการระบายอากาศและหุ้มฉนวน, ถังที่มีการระบายอากาศไม่หุ้มฉนวน, ถังที่ไม่ระบายอากาศหุ้มฉนวน และไม่ระบายอากาศไม่หุ้มฉนวน เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าอุณหภูมิแวดล้อมภายนอกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังเก็บ ในถังที่ไม่ระบายอากาศและไม่หุ้มฉนวนมีอุณหภูมิสูงสุดแต่ละวันเฉลี่ยถึง 36.22 °C รองลงมาได้แก่ถังที่ระบายอากาศแต่ไม่หุ้มฉนวน,ถังที่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวน, และถังที่ไม่มีการระบายอากาศแต่หุ้มฉนวน มีค่าเท่ากับ 34.02, 31.52 และ 31.20 °C ตามลำดับ โดยอุณหภูมิบริเวณริมผนังในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศและไม่หุ้มฉนวน มีอุณหภูมิสูงถึง 54.90 °C ขณะที่อุณหภูมิผนังเท่ากับ 65.01 °C และในวันที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงที่สุด อุณหภูมิสูงสุดในถังเก็บแต่ละตำแหน่งมีความแตกต่างกันถึง 19.35 °C เป็นสาเหตุของการเคลื่อนที่ความชื้นและการควบแน่นเป็นหยดน้ำภายในถัง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศค่อนข้างมีความคงที่ แต่ถังเก็บที่ระบายอากาศจะแปรเปลี่ยนตามความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกค่อนข้างมาก พบว่าหลังจากเก็บรักษา 3 เดือนค่า water activity ของข้าวเปลือก

[1] สถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200
[1] Postharvest Technology Institute, Chiang Mai University 50200
[2] ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200
[2] Department of Agronomy, Faculty of Agricultural, Chiang Mai University 50200
[3] ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50100
[3] Department of Food Engineering, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University 50100
[4] ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200
[4] Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University 50200

สูงขึ้นตามความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ โดยข้าวเปลือกในถังเก็บทุกถังมีค่า water activity ระหว่าง 0.65 - 0.71 สำหรับความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกแต่ละถังมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 6.45 – 12.86% โดยถังที่มีการระบายอากาศมีความชื้นเมล็ดต่ำที่สุด

อุณหภูมิที่สูงในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศและไม่หุ้มฉนวนทำให้ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารเพิ่มขึ้น ค่า b* ของข้าวสารเพิ่มจาก 6.58 เป็น 13.44 ความหนืดของแป้งข้าวมีค่าสูงขึ้นและแสดงคุณสมบัติการเป็นข้าวเก่าอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน และสูงขึ้นเมื่ออายุเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณต้นข้าวมีแนวโน้มลดลง

ผลการทำนายอุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถังเก็บรูปทรงกระบอกโดยใช้ระเบียบวิธี finite difference ในสองมิติ มีความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error) อยู่ในช่วง 2.11 – 8.69 °C.

คำสำคัญ: การจัดการไซโล, อุณหภูมิข้าวเปลือก, การเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพ

คำนำ

การเก็บข้าวเปลือกในไซโลเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยรักษาผลผลิตไม่ให้เสื่อมสภาพระหว่างเก็บรักษา ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในแถบประเทศที่มีสภาพอากาศแห้งและเย็น (Temperate zone) (อำนาจ, 2524) แต่เมื่อนำมาใช้ในประเทศไทย ซึ่งเป็นเขตร้อนชื้นจึงทำให้เกิดปัญหาเน่าเสียของเมล็ดข้าวเปลือกในไซโลภายในเวลาไม่ถึง 4 เดือน สาเหตุที่ทำให้เมล็ดเกิดการเสื่อมสภาพระหว่างเก็บรักษาในไซโล คือ เมล็ดพืชคายความร้อนและความชื้นอันเนื่องมาจากการหายใจ และความแตกต่างของอุณหภูมิเมล็ดภายในไซโลที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมทำให้เกิดการสะสมความชื้นและควบแน่นเป็นหยดน้ำภายในถัง จนเกิดการเน่าเสียในระยะเวลาต่อมา (ไมตรี และคณะ, 2538 อ้างโดยกรมวิชาการเกษตร, 2543) การศึกษาด้านการเปลี่ยนแปลงภายในไซโล และการจัดการที่เหมาะสมยังมีผู้ศึกษาน้อย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีการวิจัยเพื่อหาข้อมูลต่างๆ ภายใต้สภาพแวดล้อมของประเทศไทย เพื่อรองรับนโยบายรับจำนำข้าวของรัฐบาล ซึ่งจะช่วยลดความเสียหายจากการเก็บรักษาและสามารถใช้ประโยชน์จากไซโลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

เก็บรักษาข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ความชื้นเมล็ดเฉลี่ย 13 % ในถังเหล็กโลหะ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 ม. สูง 0.85 ม. ที่สภาพเก็บรักษา 4 แบบ ตามแผนการทดลองแบบ Factorial in RCB จำนวน 3 ซ้ำ ให้ปัจจัย A เป็นสภาพถังเก็บที่มีการระบายอากาศ ด้วยอัตราการไหล 0.45 m^3/min-ton เมื่ออุณหภูมิในกองข้าวสูงถึง 32 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส และถังปิดไม่ระบายอากาศ ส่วนปัจจัย B คือหุ้มฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้ว ค่าความต้านทานความร้อน (R) เท่ากับ 1.88 m^2K/W และไม่หุ้มฉนวน วางถังในที่โล่งแจ้ง เป็นเวลา 6 เดือน ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ – กรกฎาคม 2548 วัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ จำนวน 6 จุด ห่างจากผนัง 0.05 และ 0.30 ม. สูงจากพื้นถัง 0.1, 0.4 และ 0.7 ม. (Fig. 1) และอากาศแวดล้อมทุกๆ ชั่วโมง ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและคุณภาพข้าวทุกเดือน

ทำนายอุณหภูมิภายในถังเก็บข้าวเปลือกด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยกำหนดสมมติฐาน ให้ความร้อนจำเพาะ ค่าการนำความร้อน และความหนาแน่นของข้าวเปลือกในถังเก็บมีค่าคงที่, การถ่ายเทความร้อนภายในถัง 2 ทิศทาง (two-dimension) คือในรัศมี และแนวตั้ง, คิดเฉพาะการนำความร้อนของข้าวเปลือก, อุณหภูมิที่ริมผนังเท่ากันทุกจุด

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลาของวัตถุรูปทรงกระบอก มีรูปสมการเป็น (Holdsworth,1997)

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) \quad (1)$$

เมื่อ $\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$, k คือ ค่าการนำความร้อน (W/m°K) , ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m^3), C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะ (J/kg.°K), T คือ อุณหภูมิของข้าวเปลือก (°C), r คือ ระยะทางจากจุดกึ่งกลางในแนวรัศมี (m),y คือ ระยะทางจากจุดกึ่งกลางในแนวตั้ง (m) และ t คือ ระยะเวลา (s)

จากระเบียบวิธี finite difference แบ่งรัศมีและความสูงเป็นส่วนๆ ได้เป็น 6 ส่วน (Fig. 2) ถือว่าอุณหภูมิจุดต่างๆ จะสมมาตรกันเมื่อห่างจากแนวกึ่งกลางเท่ากัน โดย m = ตำแหน่ง plane ในแนวรัศมี เริ่มต้น 0 ถึง 6 ระยะห่างระหว่าง plane = Δr, p = ตำแหน่ง plane ในแนวตั้ง เริ่มจาก 0 ถึง 6 ระยะห่างระหว่าง plane = Δy , n = ระยะเวลาที่ผ่านไป ให้ $\Delta r = \Delta y$ = 0.05 m. ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางในแนวรัศมี = mΔr, ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางในแนวตั้ง = pΔy

ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยวัดอุณหภูมิในถังเก็บข้าวเปลือก เทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง พิจารณาความถูกต้องแบบจำลอง โดยใช้ค่า Root Mean Square Error *(RMSE)* คำนวณจาก

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{p}\sum_{i=1}^{p}[T_{mea}(i) - T_{sim}(i)]^2} \qquad (2)$$

เมื่อ *p* คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด, *Tmea(i)* คือ อุณหภูมิที่ได้จากการวัดที่เวลา *i* ใดๆ และ *Tsim(i)* คือ อุณหภูมิที่ได้จากการทำนาย ที่เวลา *i* ใดๆ

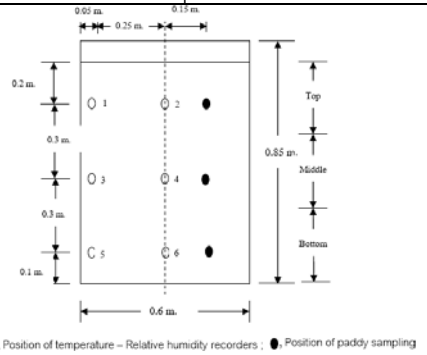

Figure 1 Position of temperature – Relative humidity recorders and paddy sampling.

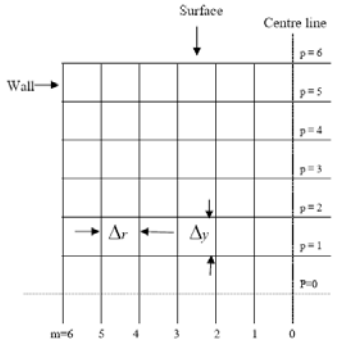

Figure 2 Diagram of 2 - dimensional bin used in finite difference method.

ผลและวิจารณ์

อากาศร้อนชื้นในเขตประเทศไทย ค่อนข้างจะเป็นอุปสรรคต่อการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตร ทั้งนี้เนื่องจากสภาพอากาศที่หลากหลายในแต่ละฤดูกาลส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังเก็บอยู่ตลอดเวลา ซึ่งในระหว่างการทดลองอุณหภูมิแวดล้อมจะอยู่ในช่วง 12.15 – 46.48 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 19.1 – 100 % อากาศแวดล้อมที่เสี่ยงต่อสภาพการเก็บรักษามากที่สุดคือช่วงที่อุณหภูมิแวดล้อมค่อนข้างสูงในฤดูร้อน รองลงมาคือ ช่วงที่อากาศมีความชื้นสูง และช่วงที่อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดในแต่ละวันมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก

ข้าวเปลือกที่เก็บรักษาในถังทั้ง 4 แบบ มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังที่แตกต่างกัน โดยในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศไม่หุ้มฉนวน (A0I0) จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยทุกตำแหน่งตลอดระยะเวลาเก็บรักษาสูงที่สุดเท่ากับ 32.46 °C รองลงมาได้แก่ถังเก็บที่ระบายอากาศไม่หุ้มฉนวน (A1I0) ถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศหุ้มฉนวน(A0I1) และถังเก็บที่ระบายอากาศหุ้มฉนวน(A1I1) มีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำและใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ 30.35 °C, 29.56 °C และ 29.48 °C (Fig. 3) จะเห็นว่าการหุ้มฉนวนสามารถป้องกันความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกได้มากกว่าการไม่หุ้มฉนวน ส่วนการระบายอากาศส่งผลให้อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในถังมีความสม่ำเสมอมากกว่าการไม่ระบายอากาศ แต่การระบายอากาศส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังโดยเฉพาะชั้นล่างเปลี่ยนแปลงตามความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกมากที่สุดเนื่องจากสัมผัสกับความชื้นเป็นส่วนแรก ส่วนกรณีที่ไม่ระบายอากาศความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังจะค่อนข้างคงที่ (Fig.4) นอกจากนี้ยังพบว่าในสภาพที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในถังสูงถึง 19.35 °C ในวันที่อุณหภูมิแวดล้อมสูงที่สุด และความแตกต่างของอุณหภูมิภายในถังเฉลี่ยตลอดระยะเวลาเก็บรักษาเท่ากับ 8.24 °C ซึ่งลักษณะดังกล่าวอาจก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในถังได้ (Hall, 1980) ส่วนสภาพการเก็บรักษาแบบอื่นๆ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.80–5.12 °C (Fig. 5)

ความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยข้าวเปลือกที่เก็บรักษาในสภาพที่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน ความชื้นเมล็ดลดลงจาก 12.60% เป็น 10.13% และมีค่าต่ำกว่าสภาพการเก็บรักษาอื่น ค่า Water Activity ของข้าวเปลือกจะเปลี่ยนแปลงตามอากาศแวดล้อม โดยในทุกถังจะมีค่าสูงขึ้นในช่วงฤดูฝน โดยมีค่าสูงถึง 0.71 ทำให้เสี่ยงต่อการเกิดเชื้อรา จึงพบเชื้อราชนิด storage fungi พวก *Aspergillus sp.*, *Penicillium*, *Rhizopus sp.*และพวก field fungi บางชนิดเมื่อนำมาเพาะเชื้อ โดยในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนพบมากที่สุด นอกจากนี้สภาพการเก็บรักษาดังกล่าวยังส่งผลให้ข้าวมีคุณสมบัติเป็นข้าวเก่าได้เร็วที่อายุเก็บรักษา 3 เดือน โดยข้าวจะมีความแข็งเพิ่มขึ้น และเกิดข้าวเหลืองมากกว่าสภาพเก็บแบบอื่นๆ ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงในถังเก็บ และกิจกรรมของเชื้อรา ทั้งนี้เพราะข้าวเหลืองสามารถเกิดจากปฏิกิริยาแบบ enzymatic reaction ที่เกิดจากการหายใจของเชื้อราร่วมกับความร้อนที่เกิดขึ้นในกองข้าว (Phillip *et al*, 1998) ส่วนเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวมีแนวโน้มลดลง ซึ่งในถังที่ระบายอากาศและหุ้มฉนวนให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงกว่าถังที่ไม่ระบายอากาศและไม่หุ้มฉนวน

ผลการทำนายอุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถังเก็บ มีความคลาดเคลื่อน (*RMSE*) อยู่ในช่วง 2.11 – 8.97 °C (Fig. 6) สาเหตุที่เกิดความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง เนื่องจากในที่นี้กำหนดให้การถ่ายเทความร้อนภายในถัง เกิดจากการนำความร้อนของข้าวเปลือกอย่างเดียว กรณีที่มีการระบายอากาศ มีการพาความร้อนเนื่องจากอากาศร่วมด้วย ซึ่งในที่นี้ไม่ได้คำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของอากาศในถัง

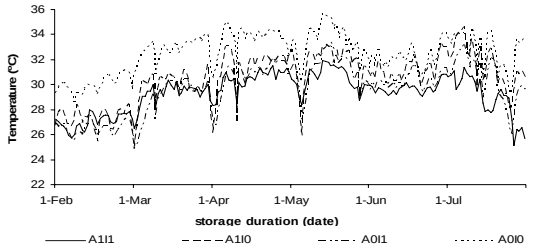

Figure 3 The average daily temperature of four storage conditions during storage.

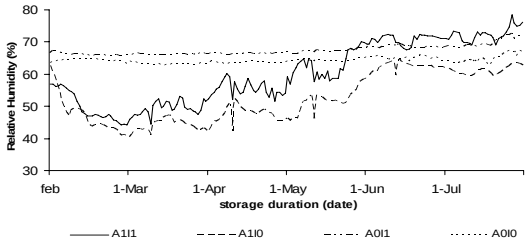

Figure 4 The average daily relative humidity of four storage conditions during storage.

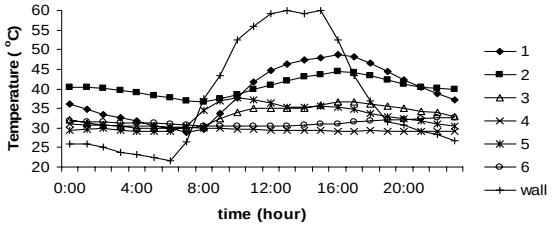

Figure 5 Difference of temperature in the non-aeration with non-insulator bin at position 1 to 6 at the highest ambient temperature day.

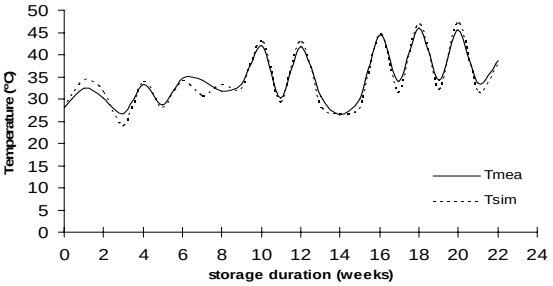

Figure 6 Comparison of temperature from measure (*Tmea*) and simulation (*Tsim*) at position m = 5, p = 6 in the non-aeration with non-insulator bin.

สรุป

อุณหภูมิแวดล้อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในถังเก็บตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยสภาพการเก็บรักษาที่ไม่มีฉนวนหุ้มและไม่มีการระบายอากาศ จะมีอุณหภูมิภายในถังค่อนข้างสูง และมีความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งสูงกว่าสภาพที่มีฉนวนหุ้มและระบายอากาศ ซึ่งอุณหภูมิในถังเก็บที่สูงส่งผลให้ข้าวสารมีสีเหลือง กลายเป็นข้าวเก่าได้เร็วขึ้น และมีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลง

ดังนั้นในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ความชื้นเมล็ดไม่เกิน 13% ในถังเก็บที่มีขนาดใหญ่หรือไซโล อุณหภูมิภายในถังเฉลี่ยตลอดระยะเวลาเก็บรักษาไม่ควรเกิน 30.35 °C และควรมีความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในถังโดยเฉลี่ยต่ำกว่า 5.12 °C ซึ่งการระบายอากาศจะช่วยลดการสะสมความร้อนและทำให้อุณหภูมิภายในถังเก็บมีความสม่ำเสมอกันมากขึ้น ส่วนการหุ้มฉนวนจะช่วยป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ถังเก็บ โดยลดความแตกต่างของอุณหภูมิบริเวณริมผนังและตรงกลางถัง ซึ่งเป็นสาเหตุของการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนภายในถัง และการเสื่อมเสียของเมล็ดข้าวเปลือก แต่อย่างไรก็ตามข้อควรระวังในการระบายอากาศคือ ถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงเมล็ดพืชอาจจะมีความชื้นเพิ่มขึ้น

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี 2547 ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้วิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2543. ผลงานวิชาการประจำปี 2543. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ; วันที่ 30 เมษายน - 4 พฤษภาคม 2544 ณ โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพมหานคร.

อำนาจ ธีระวนิช. 2524. การจัดการไซโลเมล็ดพืช. กรุงเทพฯ. คณะเศรษฐศาสตร์ และบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 192 หน้า.

Phillips S., S. Widjaja., A. Wallbride and R. Cooke. 1998. Rice Yellowing during post-harvest drying by aeration and during storage. Journal Stored Product Res. 24 (3): 173 – 181.

Hall, C. W. 1980. Drying and Storage of Agricultural crop. College of Washington State University Pullman, Washington. 381 pp.

Holdsworth, S.d. 1997. Thermal Processing of Packaged Foods. Blackie Academic & Professional, London.