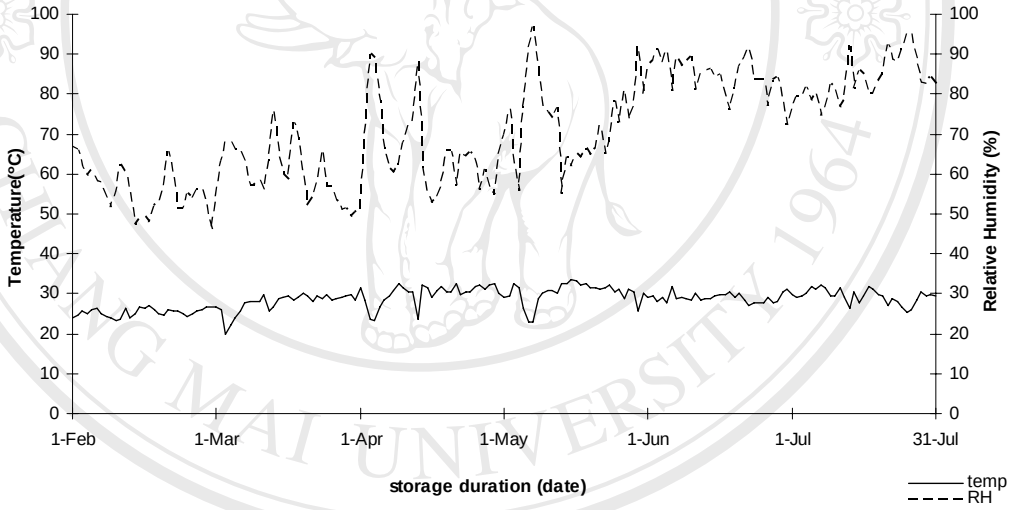
บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อม

ทำการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บเกี่ยวใหม่ ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2548 เป็นเวลา 6 เดือน ซึ่งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ของสภาพภูมิอากาศโดยทั่วไป แสดงดังรูป 4.1

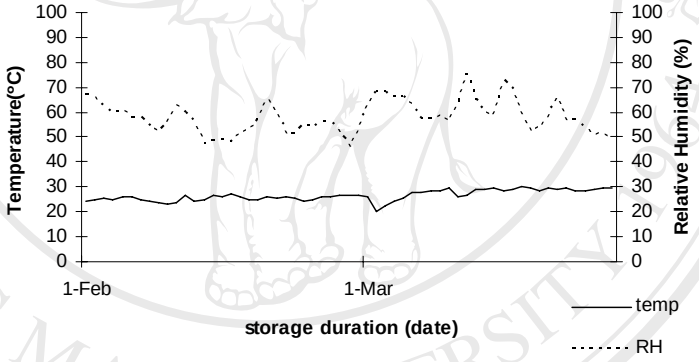


รูป 4.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศแวดล้อมตลอดระยะเวลา 6 เดือน

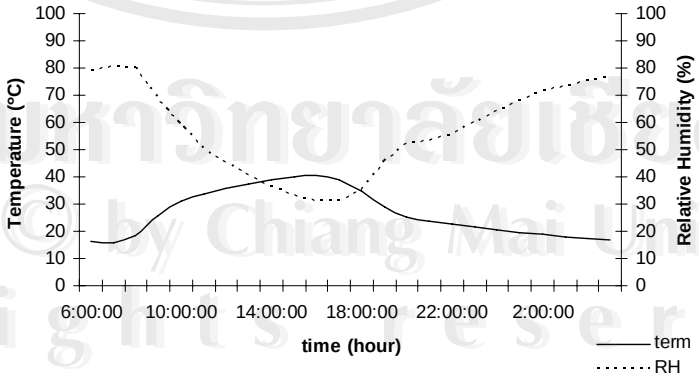
สภาพอากาศแวดล้อมบริเวณที่เก็บรักษาตลอดระยะเวลาการทดลอง มีอุณหภูมิเฉลี่ย 28.94 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 71.40 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งช่วงอุณหภูมิได้เป็น 3 ช่วงคือ ช่วงปลายฤดูหนาวที่มีอากาศค่อนข้างเย็น ช่วงฤดูร้อน และช่วงย่างเข้าสู่ฤดูฝน (ตาราง 4.1) ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทยที่เป็นเขตร้อนชื้น รวมทั้งมีสภาพอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล จากความผันแปรของสภาพอากาศแวดล้อมตามฤดูกาลเช่นนี้ มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังเก็บข้าวเปลือกอยู่ตลอดเวลา และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดังกล่าวก็ส่งผลต่อคุณภาพของข้าวเปลือกภายในถังเก็บระหว่างการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศแวดล้อมที่ค่อนข้างเย็น ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 28.80 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยอยู่ที่ 64.11 เปอร์เซ็นต์ (รูป 4.2) สำหรับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในรอบวันหรือ 24 ชั่วโมง มีอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 15.94 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 40.36 องศาเซลเซียส ส่วนความชื้นสัมพันธ์ในรอบวันโดยเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ ค่าความชื้นสัมพันธ์ต่ำสุดเท่ากับ 30.88 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นสัมพันธ์สูงสุดเท่ากับ 80.70 เปอร์เซ็นต์ (รูป 4.3) จะเห็นว่าในช่วงนี้มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกลางวัน – กลางคืนค่อนข้างมาก ซึ่งความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุด - ต่ำสุดเหล่านี้จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในถังเก็บแต่ละจุด และถ้าหากเกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในถัง ก็เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศภายในถังเก็บ โดยการพาความร้อนตามธรรมชาติ จนเกิดการสะสมความชื้นและเกิดการควบแน่นจนเป็นหยดน้ำบริเวณส่วนบนของถัง ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เมล็ดพืชเสียหายในระหว่างเก็บรักษา



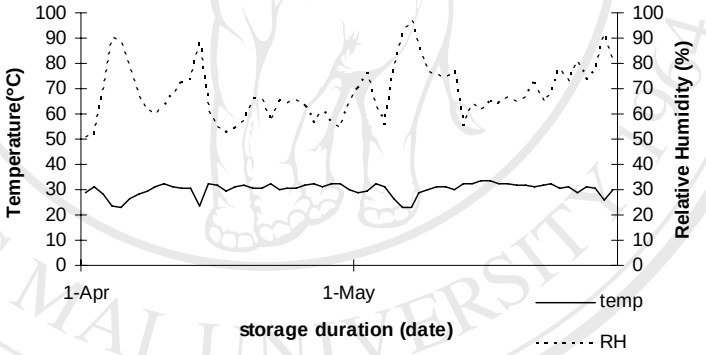
รูป 4.2 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศแวดล้อมช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – มีนาคม



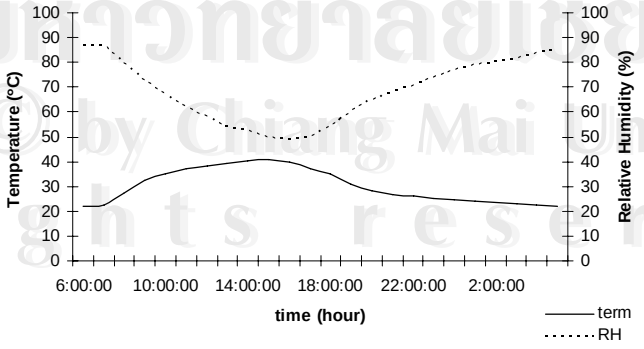
รูป 4.3 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศแวดล้อมในรอบวันช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – มีนาคม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศแวดล้อมที่ค่อนข้างร้อน ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 30.09 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยอยู่ที่ 68.67 เปอร์เซ็นต์ (รูป 4.4) สำหรับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในรอบวัน มีอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 21.89 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 40.85 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพันธ์ต่ำสุดเท่ากับ 48.78 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นสัมพันธ์สูงสุดเท่ากับ 87.05 เปอร์เซ็นต์ (รูป 4.5) ในช่วงนี้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกลางวัน - กลางคืนจะลดลง แต่อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันจะค่อนข้างสูง ซึ่งอุณหภูมิอากาศแวดล้อมที่ค่อนข้างสูงในช่วงนี้ ก็จะเป็นอีกแหล่งความร้อนหนึ่งที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในถังเก็บ และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเมล็ดข้าวเปลือกก็จะมีอัตราการหายใจที่สูงขึ้น เกิดเมทาบอลิซึมและทำให้เกิดความร้อน อีกทั้งหากอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนจัดและสูงกว่าอุณหภูมิของเมล็ดภายในถัง ก็จะเกิดการเคลื่อนที่ของอากาศร้อน โดยอากาศร้อนจะเคลื่อนที่ลงบริเวณส่วนกลางของถังและเคลื่อนที่ขึ้นตรงบริเวณใกล้ๆ ผนังเก็บ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เมล็ดพืชบริเวณส่วนล่างของถังเก็บเสียหาย หรือเกิดเชื้อราได้



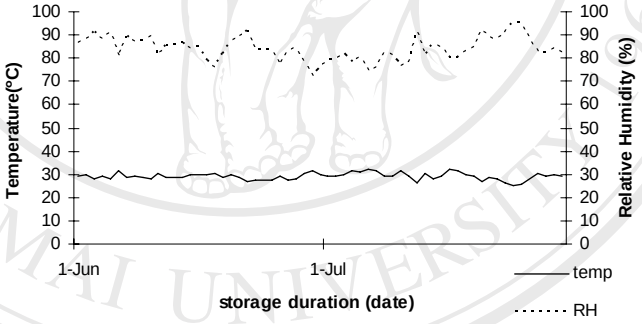
รูป 4.4 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศแวดล้อมช่วงเดือนเมษายน – พฤษภาคม



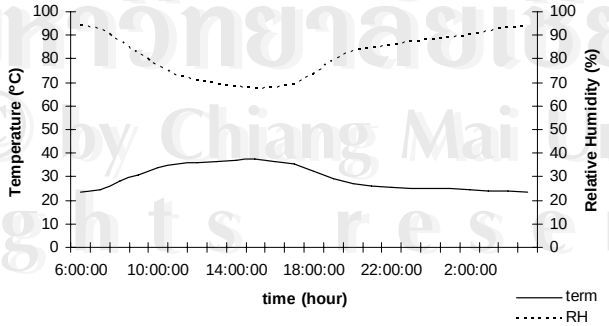
รูป 4.5 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศแวดล้อมในรอบวันช่วงเดือนเมษายน – พฤษภาคม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศแวดล้อมที่มีความชื้นในอากาศค่อนข้างสูงเมื่อย่างเข้าสู่ฤดูฝน ช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.19 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยอยู่ที่ 84.08 เปอร์เซ็นต์ (รูป 4.6) สำหรับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในรอบวัน มีอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 23.52 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 37.36 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพันธ์ต่ำสุดเท่ากับ 67.31 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นสัมพันธ์สูงสุดเท่ากับ 94.33 เปอร์เซ็นต์ (รูป 4.7) ซึ่งในช่วงนี้จะมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกลางวัน - กลางคืนแคบลง แต่จะมีความชื้นในอากาศค่อนข้างสูงเนื่องจากมีฝนตกอยู่เป็นประจำ และค่อนข้างมีความแปรปรวนตามสภาพฤดูกาลคือ ในวันมีเมฆและฝน อุณหภูมิอากาศแวดล้อมจะต่ำ แต่ในวันที่ไม่มีเมฆอากาศก็จะค่อนข้างร้อน อย่างไรก็ตามสิ่งที่น่ากังวล สำหรับสภาพอากาศเช่นนี้คือ เมื่อความชื้นภายนอกสูงจะทำให้เมล็ดที่แห้งเกิดการดูดกลับความชื้นเข้าไปทำให้มีความชื้นของเมล็ดสูงขึ้นจนเกิดความเสียหาย นอกจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศแวดล้อมจะขึ้นอยู่กับฤดูกาลแล้ว ปริมาณน้ำฝน และจำนวนชั่วโมงแสงแดด ถือว่ามีผลต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม ในระหว่างการเก็บรักษาด้วยเช่นกัน



รูป 4.6 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศแวดล้อมช่วงเดือนมิถุนายน – กรกฎาคม



รูป 4.7 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศแวดล้อมในรอบวันช่วงเดือนมิถุนายน – กรกฎาคม

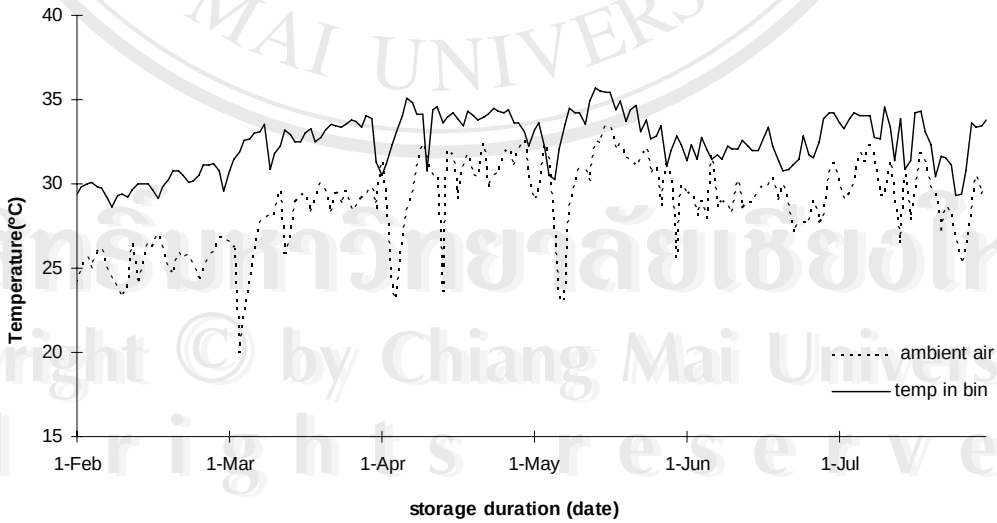
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมบริเวณที่วางถังเก็บในระหว่างการเก็บรักษา

เวลา	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			หมายเหตุ
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
ก.พ. – มี.ค.	12.12	45.36	28.80	19.51	98.88	64.11	ค่อนข้างเย็น/แห้ง
เม.ย. – พ.ค.	16.91	46.85	30.09	19.10	100	68.67	ร้อน/แห้ง
มิ.ย. – ก.ค.	20.25	45.68	29.19	42.17	100	84.08	ร้อน/ชื้น

4.2 ผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังเก็บ

การศึกษาถึงผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังเก็บ โดยให้ข้าวเปลือกที่เก็บในสภาพไม่ระบายอากาศและไม่หุ้มฉนวนเป็นสภาพควบคุม เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถังเก็บเมื่ออุณหภูมิอากาศแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป พบว่าอุณหภูมิของอากาศภายในถังเก็บมีความแปรปรวนและมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่จะมีช่วง time lag อยู่ระยะหนึ่ง (รูป 4.8)



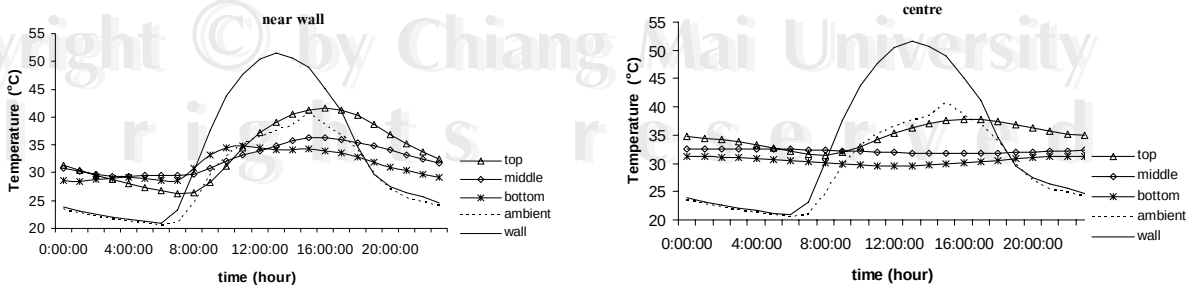
รูป 4.8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวันของสภาพอากาศแวดล้อมต่ออุณหภูมิในถังเก็บตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูป 4.8 พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยทุกตำแหน่งภายในถังเก็บจะสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อม และแปรเปลี่ยนไปตามอากาศแวดล้อมในแต่ละฤดูกาล กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูง อุณหภูมิภายในถังเก็บก็มีแนวโน้มที่สูงตาม และเมื่ออุณหภูมิอากาศแวดล้อมต่ำ อุณหภูมิภายในถังเก็บก็จะลดต่ำลงเช่นกัน โดยในช่วงเดือนกุมภาพันธ์จะมีอุณหภูมิแวดล้อมค่อนข้างต่ำ ส่งผลให้อุณหภูมิภายในถังเก็บแต่ละตำแหน่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 29.14 – 30.71 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิต่ำสุดถึง 18.10 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 37.70 องศาเซลเซียส และในช่วงที่สภาพอากาศแวดล้อมค่อนข้างร้อนในเดือนเมษายน อุณหภูมิในทุกตำแหน่งจะค่อนข้างสูงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 31.0 – 36.60 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 21.10 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 48.60 องศาเซลเซียส

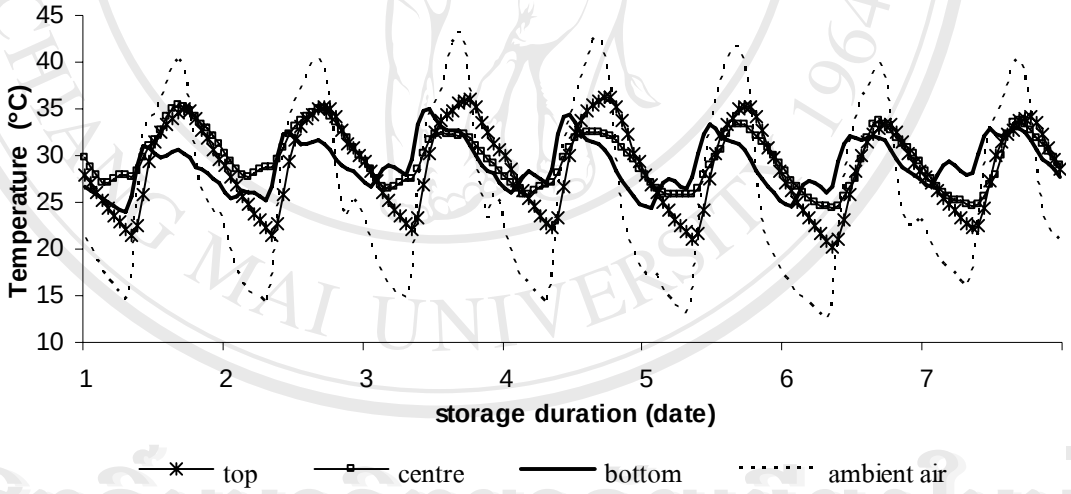
นอกจากนี้ยังพบว่าความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในถังเก็บ โดยที่ตำแหน่งริมผนังจะแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิแวดล้อมค่อนข้างสูงและมากกว่าที่บริเวณกลางถัง ส่วนบริเวณชั้นบนของถังก็พบการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นลงตามอุณหภูมิแวดล้อมค่อนข้างมากกว่าชั้นล่างและชั้นกลาง (รูป 4.9) โดยพบว่าอุณหภูมิภายในถังบริเวณริมผนังที่ชั้นบนมีอุณหภูมิสูงถึง 54.90 องศาเซลเซียส ในเดือนกรกฎาคม ซึ่งลักษณะดังกล่าวเกิดจากถังเก็บได้รับความร้อนจากอุณหภูมิแวดล้อมในระหว่างการเก็บรักษา และการนำความร้อนผ่านผนังถังและเมล็ดข้าวเปลือกเข้าไปภายในถัง แต่เนื่องจากเมล็ดข้าวมีคุณสมบัติที่เป็นฉนวนและมีสภาพการนำความร้อนต่ำ จึงทำให้อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในถังแตกต่างกัน โดยตำแหน่งที่อยู่ติดกับผนังจะมีอุณหภูมิสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ ซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งภายในถังเป็นสาเหตุที่ทำให้ข้าวเปลือกเกิดความเสียหาย จากการพาความร้อนตามธรรมชาติ ทำให้เกิดการสะสมความร้อนและความชื้นและเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำที่บริเวณส่วนล่างของถังซึ่งเย็นกว่าจนทำให้เมล็ดเน่าเสียเมื่อเก็บรักษาในระยะยาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บในรอบวันตำแหน่งริมผนังและกลางถัง

เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละวันในรอบสัปดาห์ พบว่าอุณหภูมิภายในถังเก็บจะไม่สูงขึ้นในทันที แต่จะค่อยๆ สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมเริ่มสูงขึ้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะเกิดขึ้นในเวลากลางวันและช่วงที่มีแสงแดดจัด แต่เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมเริ่มลดลงในช่วงตอนเย็นและกลางคืน อุณหภูมิภายในถังเก็บจะยังคงสภาพอุณหภูมิในระดับที่สูงอยู่ แล้วจะค่อยลดลงตามอุณหภูมิแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตามการลดลงของอุณหภูมิภายในถังเก็บจะไม่สามารถลดลงเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อมภายนอกได้ทัน เพราะเมื่อถึงรอบวันอีกวันหนึ่ง ข้าวเปลือกก็จะพบกับวัฏจักรการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแวดล้อมดังกล่าวเช่นเดิมอีก (รูป 4.10) จึงทำให้อุณหภูมิภายในถังเก็บมีช่วงอุณหภูมิสูงสุด – สุดต่ำสุดแคบกว่าอุณหภูมิแวดล้อม ดังนั้นอุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถังเก็บจึงมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อม นอกจากเมล็ดข้าวเปลือกจะได้รับความร้อนจากอุณหภูมิแวดล้อมแล้วยังได้รับความร้อนที่เกิดจากอิทธิพลการหายใจของเมล็ด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเมล็ดข้าวเปลือกถูกเก็บในสภาพที่มีอุณหภูมิสูงก็จะยิ่งเร่งกิจกรรมในเมล็ดให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้น (นุชนาท,2548) จึงเป็นสาเหตุทำให้อุณหภูมิภายในถังเก็บค่อนข้างสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อม



รูป 4.10 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในถังเก็บแต่ละวันในรอบสัปดาห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

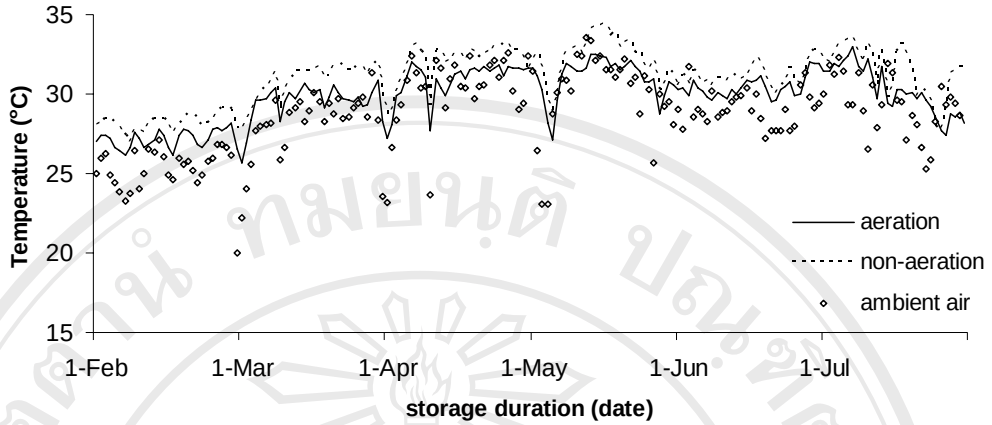
4.3 ผลของการระบายอากาศและการหุ้มฉนวนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บ

4.3.1 ผลของการระบายอากาศต่ออุณหภูมิภายในถังเก็บ

จากการศึกษาถึงผลของการระบายอากาศในถังเก็บข้าวเปลือกโดยใช้พัดลมระบายอากาศในลักษณะเป่าขึ้น ด้วยอัตราการไหลอากาศประมาณ 0.47 m^3/min/ตันข้าวเปลือก เมื่ออุณหภูมิในกองข้าวเปลือกที่ระดับผิวบนภายในถังเก็บสูงเกิน 32 องศาเซลเซียส พัดลมจะเริ่มทำงานโดยอัตโนมัติและจะทำการระบายอากาศในถังไปเรื่อยๆ จนกว่าอุณหภูมิในถังจะลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนด ซึ่งการเก็บรักษาเมล็ดพืชที่อุณหภูมิในระดับนี้ ขณะที่ความชื้นเมล็ดต่ำในระดับที่ปลอดภัยจะช่วยลดสภาวะการเสี่ยงของเมล็ดข้าวที่จะเกิดความเสียหายจากเมล็ดร้อนขึ้น หรือเกิดการสะสมความชื้น (Bala, 1997) ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดพืชมีการหายใจอยู่ตลอดเวลา ซึ่งการหายใจของเมล็ดทำให้เกิดความร้อนและความชื้นขึ้น นอกจากนี้สภาพอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงในเวลากลางวัน – กลางคืน และแต่ละฤดูกาล ก็ส่งผลต่ออุณหภูมิภายในถังทำให้อุณหภูมิในถังแต่ละจุดไม่มีความสม่ำเสมอและมีความแตกต่างกันบริเวณริมผนังและกลางถัง และตำแหน่งที่ลึกลงไป เป็นสาเหตุของการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนภายในถัง โดยอากาศร้อนจะเคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จนเกิดการสะสมความชื้นขึ้นภายในถัง ซึ่งการลดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิแต่ละจุดด้วยการระบายอากาศภายในถังสามารถป้องกันการพาความร้อนและการสะสมความชื้นที่เกิดขึ้นภายในถังได้ (Hall,1980)

อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละวันในถังเก็บที่มีการระบายอากาศ จะต่ำกว่าถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละตำแหน่งภายในถังเก็บอยู่ในช่วง 25.71 – 32.99 องศาเซลเซียส ส่วนในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 27.06 – 34.44 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (รูป 4.11) ทั้งนี้เนื่องจากการระบายอากาศจะช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นภายในถัง โดยอากาศเป็นตัวพาความร้อนที่เกิดจากการหายใจของเมล็ด และความร้อนจากสภาพอากาศแวดล้อมผ่านออกมาจากกองข้าวเปลือกในถังเก็บออกสู่ภายนอก ส่วนในสภาพที่ไม่มีการระบายอากาศความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาถูกเก็บและสะสมไว้ในถังเก็บ ประกอบกับถังเก็บอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง ส่งผลให้มีอุณหภูมิสูงกว่าในสภาพการเก็บที่มีการระบายอากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.11 อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละวันภายในถังเก็บที่ระบายอากาศและไม่ระบายอากาศตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

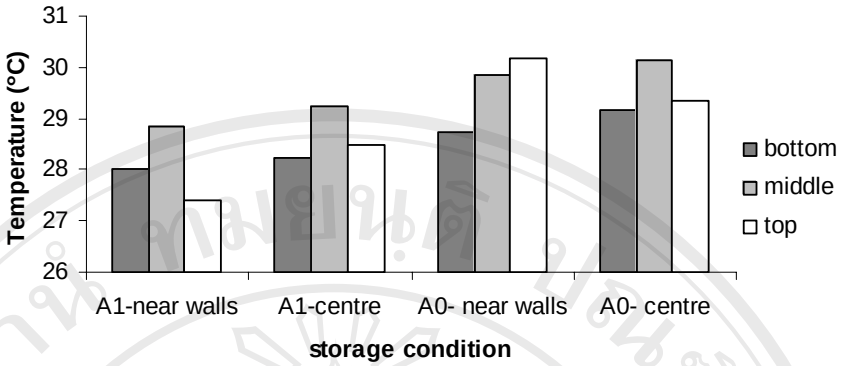
จากรูป 4.11 อุณหภูมิภายในถังเก็บที่ระบายอากาศและไม่ระบายอากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงและมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ตามสภาพอากาศแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล โดยอุณหภูมิในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม เนื่องจากเมล็ดข้าวเปลือกมีคุณสมบัติเป็นฉนวนและมีความจุความร้อนที่สูง เมื่ออุณหภูมิภายในถังเก็บสูงขึ้น และไม่มีการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นภายในถัง จึงเกิดสะสมความร้อนขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้อุณหภูมิภายในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถังเก็บแต่ละช่วง พบว่าถังเก็บที่ระบายอากาศ ในเดือนกุมภาพันธ์ อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละวันค่อนข้างต่ำกว่าในช่วงอื่น โดยอยู่ระหว่าง 26.16 – 27.81 องศาเซลเซียส และในเดือนมีนาคมอุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นโดยอยู่ในช่วง 25.71 – 30.66 องศาเซลเซียส ส่วนช่วงเดือนเมษายน – กรกฎาคม อุณหภูมิภายในถังเก็บค่อนข้างสูง เนื่องจากสภาพอากาศแวดล้อมค่อนข้างร้อนและมีจำนวนชั่วโมงแสงแดดมาก โดยอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 27.16 – 32.99 องศาเซลเซียส สำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศก็เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับสภาพถังเก็บที่ระบายอากาศ โดยในเดือนกุมภาพันธ์ มีอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละวันอยู่ระหว่าง 27.06 – 28.74 องศาเซลเซียส ในเดือนมีนาคมอุณหภูมิจะเริ่มสูงขึ้นโดยอยู่ในช่วง 27.83 – 32.01 องศาเซลเซียส และช่วงเดือนเมษายน – กรกฎาคม อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บสูงถึง 27.06 – 34.44 องศาเซลเซียส

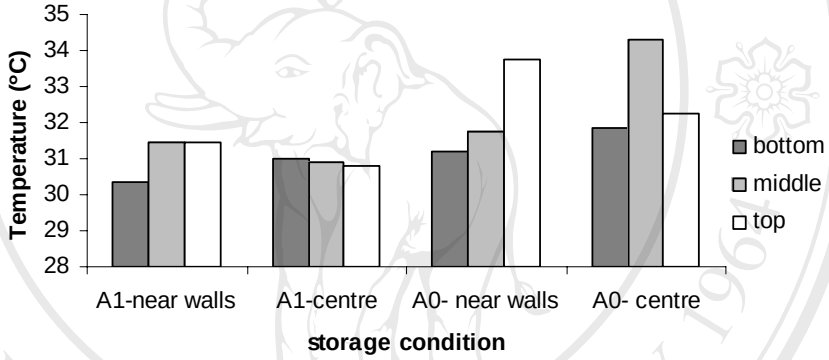
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้การระบายอากาศส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยในทุกตำแหน่งภายในถังเก็บมีค่าต่ำกว่าในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศ และอุณหภูมิแวดล้อมในแต่ละฤดูกาลก็ส่งผลให้อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศมีความแตกต่างกัน ดังแสดงในรูป 4.12 การแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในถังเก็บที่พบคือ ในช่วงที่สภาพอากาศค่อนข้างเย็น อุณหภูมิที่ริมผนังในชั้นบนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด แต่เมื่อสภาพอากาศแวดล้อมค่อนข้างร้อนก็พบว่าชั้นบนจะมีอุณหภูมิสูงกว่าในชั้นอื่นๆ ทั้งนี้เป็นผลมาจากตำแหน่งริมผนังบริเวณชั้นบนเป็นส่วนที่สัมผัสกับอากาศแวดล้อมและแสงแดดด้านบนโดยตรง และยาวนานกว่าตำแหน่งอื่นๆ จึงทำให้อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงได้มากที่สุด ส่วนบริเวณกลางถังในสภาพที่ไม่ระบายอากาศ บริเวณชั้นกลางจะมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงกว่าชั้นบนและชั้นล่าง ซึ่งอุณหภูมิที่สูงในชั้นกลางอาจจะไม่ใช่เป็นผลโดยตรงจากอุณหภูมิแวดล้อม แต่อาจเป็นผลมาจากการหายใจของเมล็ดระหว่างการเก็บรักษาร่วมด้วย เมื่อเมล็ดข้าวเปลือกมีการหายใจจะทำให้อุณหภูมิในถังเก็บเพิ่มสูงขึ้น และความร้อนที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องมีการระบายออกจากกองไม่น้อยกว่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหายใจของเมล็ด โดยข้าวเปลือกที่มีความชื้นเมล็ด 13 เปอร์เซ็นต์ มีความร้อนเกิดขึ้น 41 kJ/ตัน- วัน ถ้าหากความร้อนเหล่านี้ไม่ถูกระบายออกไปจากถัง ก็สะสมความร้อนสูงขึ้นเรื่อยๆ และอาจเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิขึ้นภายในถัง (Teter, 1979)

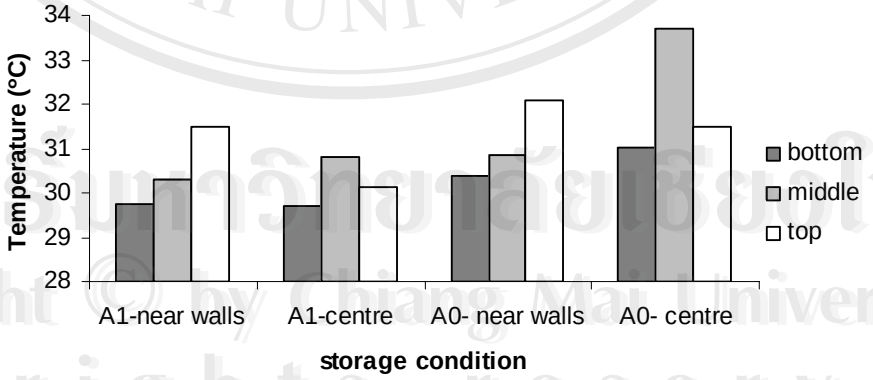
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก) อุณหภูมิภายในถังเก็บเดือนกุมภาพันธ์ – มีนาคม



(ข) อุณหภูมิภายในถังเก็บเดือนเมษายน – พฤษภาคม



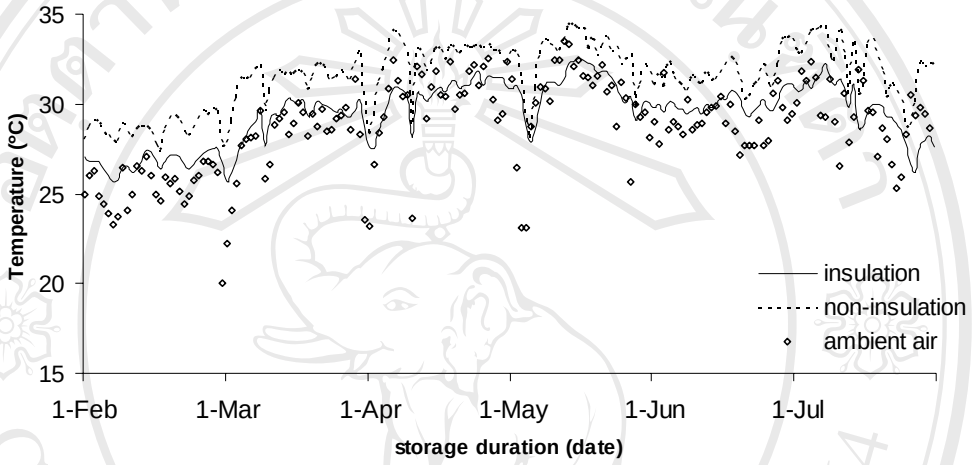
(ค) อุณหภูมิภายในถังเก็บเดือนมิถุนายน –กรกฎาคม

รูป 4.12 อุณหภูมิเฉลี่ยในถังเก็บที่ระบายอากาศ (A1) และถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศ (A0) ตำแหน่งริมผนังและกลางถัง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.2 ผลของการหุ้มฉนวนกันความร้อนต่ออุณหภูมิภายในถังเก็บ

จากการศึกษาถึงการใช้ฉนวนกันความร้อนหุ้มรอบถังเก็บข้าวเปลือก เพื่อป้องกันความร้อนจากอุณหภูมิแวดล้อม พบว่าอุณหภูมิภายในถังเก็บที่หุ้มฉนวนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละวัน ต่ำกว่าถังเก็บที่ไม่หุ้มฉนวน และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามสภาพอากาศแวดล้อม (รูป 4.13)



รูป 4.13 อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละวันในถังเก็บที่หุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวนตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

จากรูป 4.13 จะเห็นว่าอุณหภูมิภายในถังเก็บที่หุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวนมีการแปรเปลี่ยนไปตามสภาพอากาศแวดล้อม โดยอุณหภูมิภายในถังเก็บที่ไม่หุ้มฉนวนจะค่อนข้างสูงกว่าในสภาพที่มีฉนวนหุ้มและอุณหภูมิแวดล้อม เนื่องจากในถังเก็บที่ไม่หุ้มฉนวนมีการนำความร้อนจากอุณหภูมิแวดล้อมผ่านเข้ามาภายในถังได้ดีกว่าในสภาพที่หุ้มฉนวน ซึ่งการหุ้มฉนวนให้กับถังเก็บสามารถป้องกันความร้อนเข้าสู่ถังในระดับหนึ่ง แต่ไม่สามารถที่จะลดความร้อนที่เกิดจากการหายใจของเมล็ดในระหว่างการเก็บรักษาได้ ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษายังคงถูกสะสมอยู่ภายในถังเรื่อยๆ ซึ่งอุณหภูมิที่สูงจะส่งผลให้เมล็ดข้าวมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นและทำให้เมล็ดร้อนยิ่งขึ้น

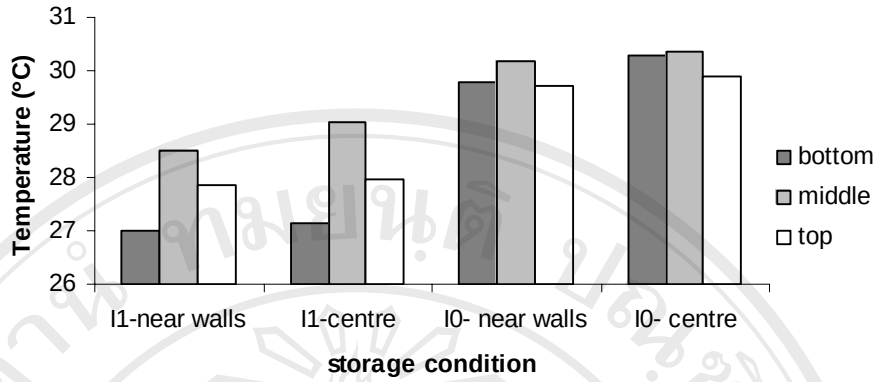
สำหรับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถังเก็บแต่ละช่วง มีความแตกต่างกันและขึ้นอยู่กับสภาพอากาศแวดล้อมเป็นสำคัญ โดยในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศแวดล้อมแต่ละวันค่อนข้างต่ำกว่าในช่วงอื่น ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บที่หุ้มฉนวนอยู่ในระดับต่ำเท่ากับ 26.16 – 27.81 องศาเซลเซียส ต่อมาในเดือนมีนาคมอุณหภูมิจะเริ่มสูงขึ้นเป็น 25.71 – 30.66 องศาเซลเซียส และช่วงเดือนเมษายน – กรกฎาคม อุณหภูมิภายในถังเก็บสูงถึง 26.16 – 32.54 องศา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

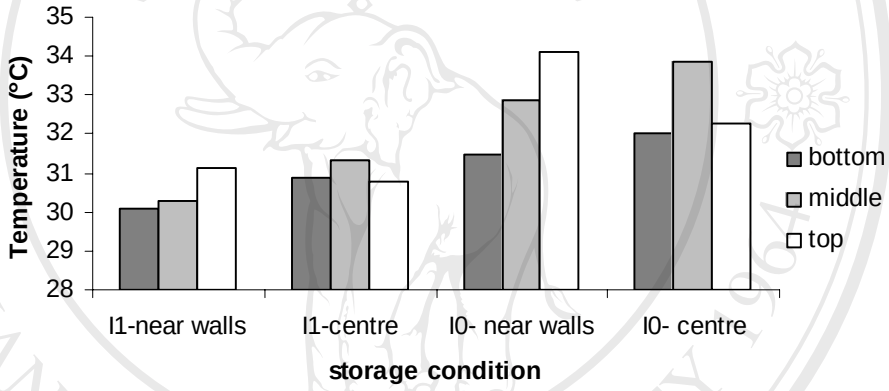
เซลเซียส สำหรับอุณหภูมิในถังเก็บที่ไม่หุ้มฉนวนมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเดียวกัน แต่อุณหภูมิจะค่อนข้างสูงกว่าถังเก็บที่หุ้มฉนวน โดยในเดือนกุมภาพันธ์อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละวันอยู่ระหว่าง 27.34 – 29.32 องศาเซลเซียส และตั้งแต่เดือนมีนาคม – กรกฎาคม อุณหภูมิภายในถังเก็บค่อนข้างสูง โดยอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 28.09 – 34.40 องศาเซลเซียส

การหุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวนส่งผลให้อุณหภูมิภายในถังเก็บแต่ละตำแหน่งมีความแตกต่างกัน โดยช่วงอายุเก็บรักษา 2 เดือนแรก บริเวณชั้นกลางทั้งที่ตำแหน่งริมผนังและกลางถัง จะมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงกว่าชั้นล่างและชั้นบน แต่เมื่อเก็บรักษาในเวลาต่อมาพบว่าที่ตำแหน่งริมผนังอุณหภูมิจะสูงขึ้น และสูงกว่าที่บริเวณกลางถัง โดยชั้นบนจะมีอุณหภูมิสูงที่สุด ส่วนที่บริเวณกลางถังยังคงพบว่าชั้นกลางยังคงมีอุณหภูมิสูงกว่าชั้นอื่นๆ (รูป 4.14) ซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งดังกล่าว สามารถแยกแหล่งที่มาของความร้อนที่เกิดขึ้นได้สองสาเหตุหลัก คือที่ตำแหน่งริมผนังเมล็ดข้าวเปลือกได้รับความร้อนจากอุณหภูมิแวดล้อมโดยตรง จึงทำให้ที่ริมผนังโดยเฉพาะที่ชั้นบนซึ่งมีพื้นที่สัมผัสกับแสงแดดมากที่สุด มีอุณหภูมิสูงกว่าชั้นอื่นๆ ส่วนบริเวณกลางถัง อุณหภูมิที่สูงในการเก็บรักษาน่าจะเกิดจากเมล็ดมีการหายใจและเกิดความร้อนขึ้นภายในถัง ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกสะสมอยู่บริเวณกลางถังเนื่องจากเมล็ดมีคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนต่ำจึงทำให้อุณหภูมิที่ตำแหน่งดังกล่าวสูงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งจากการทดลองพบลักษณะเช่นเดียวกันนี้ทั้งในถังที่หุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวน แต่ในถังที่ไม่หุ้มฉนวนจะมีอุณหภูมิสูงกว่าถังที่มีฉนวนหุ้ม

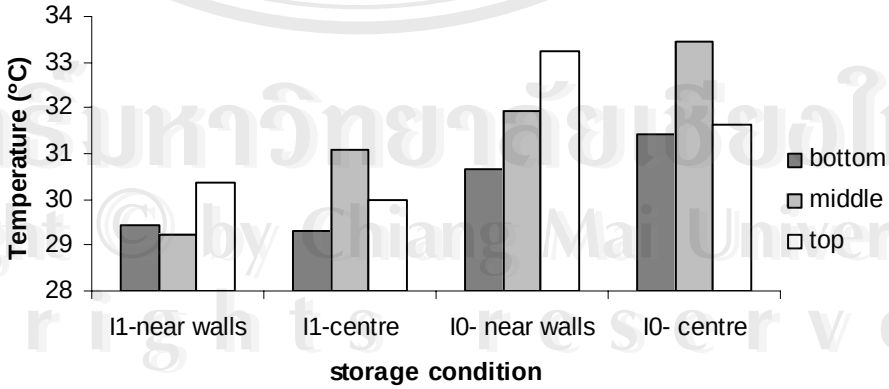
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก) อุณหภูมิภายในถังเก็บเดือนกุมภาพันธ์ – มีนาคม



(ข) อุณหภูมิภายในถังเก็บเดือนเมษายน – พฤษภาคม



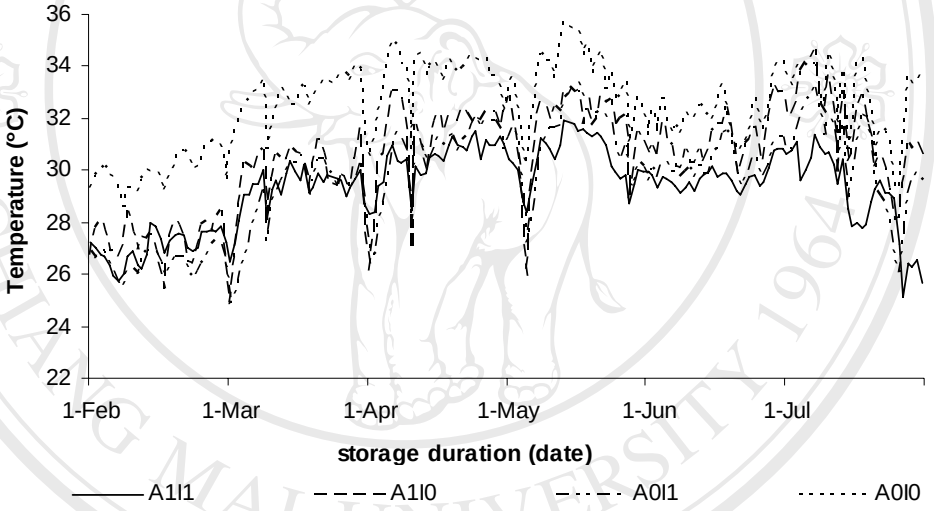
(ค) อุณหภูมิภายในถังเก็บเดือนมิถุนายน – กรกฎาคม

รูป 4.14 อุณหภูมิเฉลี่ยในถังเก็บที่หุ้มฉนวน (I1) และถังเก็บไม่หุ้มฉนวน (I0) ตำแหน่งริมผนังและกลางถัง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.3 ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างการระบายอากาศและการหุ้มฉนวนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังเก็บ

การศึกษาถึงปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัยการระบายอากาศและไม่ระบายอากาศ ร่วมกับปัจจัยที่หุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวน สามารถแบ่งได้ 4 สภาพการเก็บรักษา คือ สภาพถังเก็บที่มีการระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวน (A1I1), สภาพถังเก็บที่มีการระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน (A1I0), สภาพถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวน (A0I1) และสภาพถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน (A0I0) จากการทดลองพบว่าสภาพการเก็บรักษาที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังเก็บแตกต่างกัน ดังแสดงในรูป 4.15



รูป 4.15 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยแต่ละวันภายในถังเก็บสภาพต่างๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

จากรูป 4.15 อุณหภูมิภายในถังเก็บทุกถังมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงในทิศทางเดียวกัน ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะแปรเปลี่ยนตามสภาพอากาศแวดล้อมระหว่างการเก็บรักษา โดยในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยทุกตำแหน่งแต่ละวันสูงที่สุดเท่ากับ 32.46 องศาเซลเซียส รองลงมาได้แก่ถังเก็บที่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน ถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวน และ ถังเก็บที่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวน มีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำและใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ 30.35, 29.56 และ 29.48 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการหุ้มฉนวนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังเก็บ กล่าวคือการหุ้มฉนวนให้กับถังเก็บจะช่วยป้องกันความร้อนจากสภาพแวดล้อมที่จะมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในถังได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

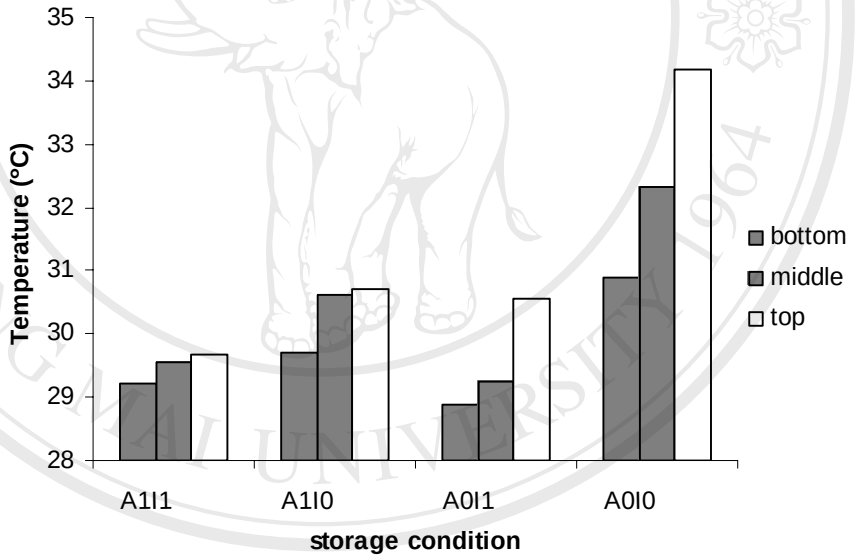
มากกว่าสภาพที่ไม่มีฉนวนหุ้ม ทั้งนี้เพราะฉนวนมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสัมผัสกับฉนวน ส่งผลให้สภาพการนำความร้อนเข้าสู่ถังเก็บได้ลดลง จึงทำให้ในถังเก็บที่มีฉนวนหุ้มทั้งในสภาพที่ระบายอากาศและไม่ระบายอากาศมีอุณหภูมิทุกตำแหน่งภายในถังเก็บโดยเฉลี่ยต่ำกว่าในถังเก็บที่ไม่หุ้มฉนวนร่วมกับไม่ระบายอากาศ แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในถังเก็บแต่ละช่วงในระหว่างการเก็บรักษาจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแวดล้อมที่ทำการเก็บรักษา ดังแสดงในตาราง 4.2 โดยในเดือนกุมภาพันธ์ – มีนาคม อุณหภูมิข้าวเปลือกเฉลี่ยภายในถังทุกๆ ถังจะค่อนข้างต่ำ เพราะสภาพอากาศแวดล้อมช่วงนี้ค่อนข้างเย็น แต่ในเดือนเมษายนเป็นต้นไป อุณหภูมิภายในถังเก็บทุกถังจะสูงขึ้น เพราะสภาพอากาศค่อนข้างร้อนจึงส่งผลให้อุณหภูมิภายในถังเพิ่มขึ้น

ตาราง 4.2 อุณหภูมิเฉลี่ยในถังเก็บสภาพต่างๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

เวลา	อุณหภูมิ (°C)	สภาพการเก็บรักษา				
		ambient	A_1I_1	A_1I_0	A_0I_1	A_0I_0
ก.พ. – มี.ค.	ต่ำสุด	12.12	20.00	16.97	20.10	18.10
	สูงสุด	45.36	35.80	37.96	35.00	45.50
	เฉลี่ย	27.06	28.11	28.47	27.64	31.31
เม.ย. – พ.ค.	ต่ำสุด	16.91	23.15	20.85	23.25	21.10
	สูงสุด	46.48	37.80	43.55	38.35	51.30
	เฉลี่ย	30.09	30.44	31.44	30.84	33.63
มิ.ย. – ก.ค.	ต่ำสุด	20.25	20.45	24.70	23.30	20.10
	สูงสุด	45.68	39.85	45.98	43.30	54.90
	เฉลี่ย	29.19	29.84	31.27	30.48	32.34

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภายใต้สภาพถังเก็บที่แตกต่างกันส่งผลต่ออุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในถังแตกต่างกัน (รูป 4.16) โดยในถังเก็บที่มีการระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวน อุณหภูมิมีความสม่ำเสมอกันมากกว่าถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศ โดยเฉพาะในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก หากพิจารณาอุณหภูมิที่ตำแหน่งริมผนังและกลางถังร่วมด้วยจะพบว่าที่ตำแหน่งกลางถังในชั้นบนมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ ดังแสดงในตาราง 4.3 ซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในถังน่าจะเป็นผลมาจากการนำความร้อนจากอากาศแวดล้อม และการสะสมความร้อนที่เกิดขึ้นของเมล็ดในระหว่างเก็บรักษา ประกอบกับปัจจัยร่วมของสภาพที่ไม่ระบายอากาศและไม่มีฉนวนหุ้มเพื่อป้องกันความร้อนจากอุณหภูมิแวดล้อม ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



รูป 4.16 อุณหภูมิเฉลี่ยในถังเก็บภายใต้สภาพการเก็บรักษาต่างๆ ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.3 อุณหภูมิเฉลี่ยในถังเก็บบริเวณริมผนังและกลางถังภายใต้สภาพการเก็บรักษาแบบต่างๆ

เวลา	trt	อุณหภูมิตำแหน่งริมผนัง				อุณหภูมิตำแหน่งกลางถัง			
		ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	เฉลี่ย	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	เฉลี่ย
ก.พ. – มี.ค.	A_1I_1	27.34	29.09	26.45	27.63	27.78	27.52	30.49	28.60
	A_1I_0	28.72	28.59	28.34	28.55	28.25	28.97	27.96	28.39
	A_0I_1	26.66	27.91	29.27	27.95	27.68	26.74	27.56	27.33
	A_0I_0	30.83	31.78	31.10	31.24	29.85	31.59	32.74	31.39
เม.ย. – พ.ค.	A_1I_1	29.93	30.28	30.36	30.19	30.28	30.94	30.83	30.68
	A_1I_0	30.79	32.61	32.54	31.98	30.64	31.09	30.98	30.90
	A_0I_1	30.24	30.30	31.90	30.81	30.02	30.80	31.80	30.88
	A_0I_0	32.17	33.17	35.64	33.66	31.10	32.94	36.77	33.60
มิ.ย. – ก.ค.	A_1I_1	29.35	28.75	30.54	29.55	29.79	28.44	29.51	29.24
	A_1I_0	30.15	31.87	32.47	31.50	30.08	30.93	32.15	31.05
	A_0I_1	29.52	29.70	30.18	29.80	29.36	30.14	32.63	30.71
	A_0I_0	31.21	32.02	34.00	32.41	30.12	31.89	34.76	32.26

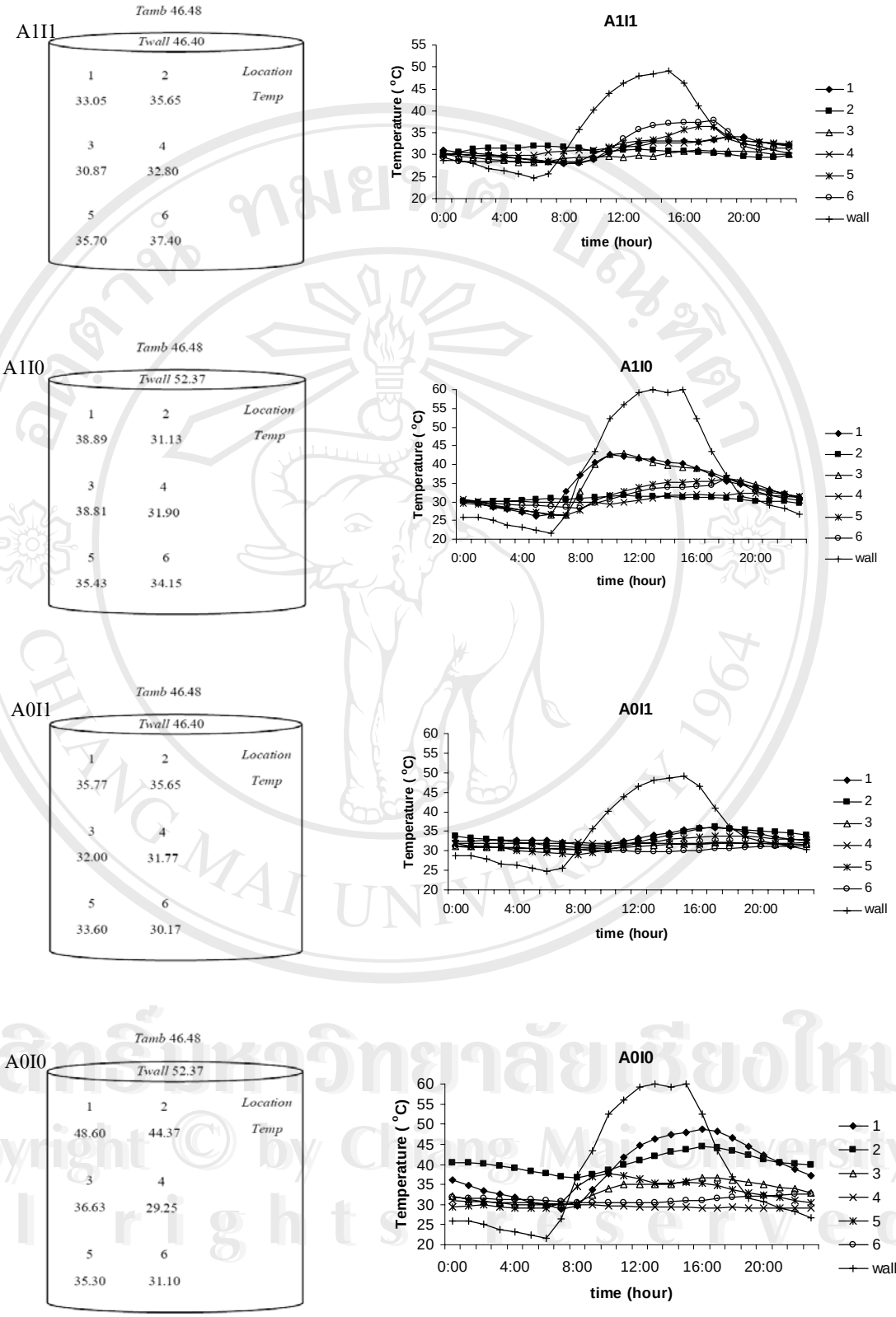
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในถังเก็บ

อุณหภูมิภายในถังเก็บแต่ละตำแหน่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และในแต่ละตำแหน่งก็มีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพการจัดการภายในถังเก็บที่สภาพต่างกัน โดยระหว่างการเก็บรักษาในวันที่อุณหภูมิแวดล้อมสูงสุด เมื่อเวลา 16.00 น.ของวันที่ 30 เมษายน 2548 พบว่าอุณหภูมิภายในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศและไม่หุ้มฉนวนบริเวณริมผนังจะมีอุณหภูมิสูงที่สุด โดยเฉพาะที่ตำแหน่งริมผนังชั้นบนและบริเวณกลางถัง ซึ่งมีความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในถังเก็บสูงถึง 19.35 องศาเซลเซียส รองลงมาได้แก่ถังเก็บที่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน, ถังเก็บที่ระบายอากาศหุ้มฉนวน และถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศหุ้มฉนวน มีความแตกต่างเท่ากับ 7.53, 6.53 และ 5.60 องศาเซลเซียส (รูป 4.17) ซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิที่สูงภายในถังเก็บจะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศลงบริเวณส่วนกลางถังเก็บและเคลื่อนที่บริเวณขอบใกล้ๆ ผนังถังเก็บ ซึ่งส่งผลให้เมล็ดข้าวเปลือกที่ส่วนล่างของถังเก็บเกิดความเสียหาย

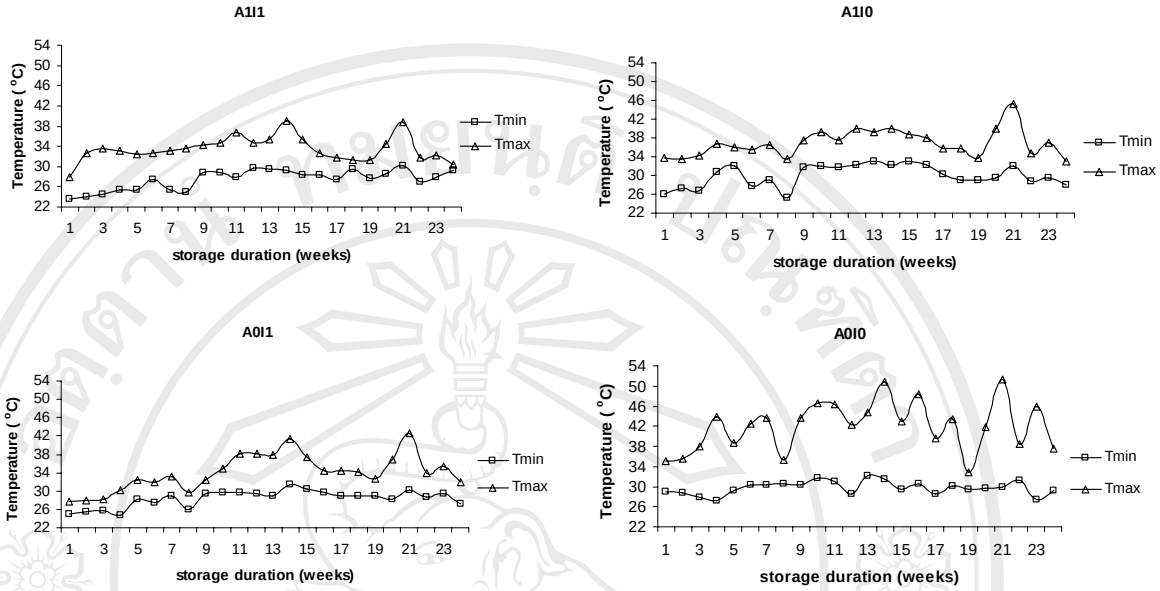
สำหรับความแตกต่างของอุณหภูมิภายในถังตลอดระยะเวลาเก็บรักษา พบว่าถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนมีความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในถังที่เวลาเดียวกันค่อนข้างสูงกว่าในถังเก็บสภาพอื่นๆ โดยเฉพาะในช่วงบ่ายที่เวลา 15.00 น. จะพบความแตกต่างของอุณหภูมิภายในถังค่อนข้างสูงกว่าเวลาอื่นๆ ดังแสดงรูป 4.18 จากการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในถังเก็บทุกๆ ชั่วโมง พบว่าในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน มีความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ในช่วง 0.10 – 25.30 องศาเซลเซียส และมีความแตกต่างของอุณหภูมิภายในถังเก็บที่สูงกว่าสภาพการเก็บรักษาอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดอายุเก็บรักษาเท่ากับ 8.24 องศาเซลเซียส รองลงมาได้แก่ถังเก็บที่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนมีความแตกต่างอยู่ในช่วง 0.61 – 13.87 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยตลอดอายุเก็บรักษาเท่ากับ 5.12 องศาเซลเซียส ส่วนถังเก็บที่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวนมีความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ในช่วง 0.30 – 13.20 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยตลอดอายุเก็บรักษาเท่ากับ 4.88 องศาเซลเซียส สำหรับในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวน มีความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ในช่วง 0.53 – 13.90 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยตลอดอายุเก็บรักษาต่ำที่สุดเท่ากับ 3.80 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.17 ความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในถังเก็บแบบต่างๆ ในวันที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุด ณ ตำแหน่ง 1-6 (ซ้าย) และการเปลี่ยนแปลงในรอบ24 ชั่วโมง (ขวา)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

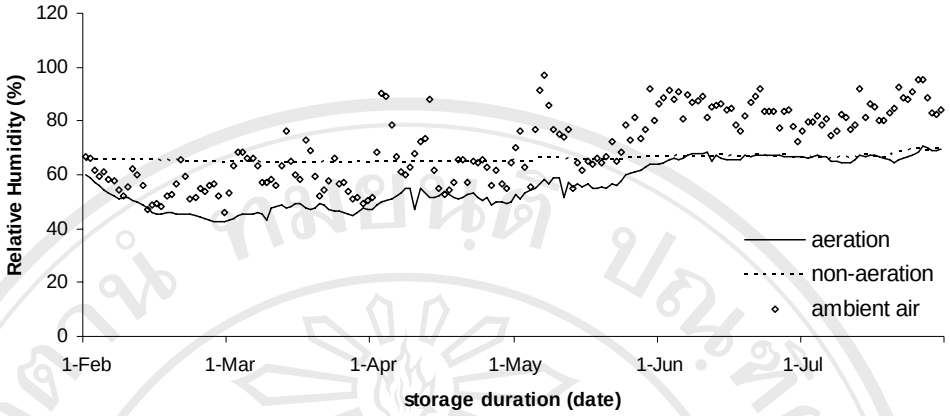


รูป 4.18 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ภายในถังเก็บที่เวลา 15.00 น. ภายใต้สภาพการเก็บรักษาต่างๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

4.3.4 ผลของการระบายอากาศต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บข้าวเปลือก

จากการทดลองพบว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศจะค่อนข้างสูงและคงที่มากกว่าถังเก็บที่ระบายอากาศ ดังแสดงในรูป 4.19 ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บข้าวเปลือกจะแสดงให้เห็นถึงปริมาณน้ำหรือความชื้นที่มีรอบๆ เมล็ดพืชในถังเก็บ ถ้าหากความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูง แสดงว่าสภาพนี้ไม่เหมาะสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพืชแห้ง เพราะสภาพที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงเหมาะแก่การทำงานของจุลินทรีย์หรือการเกิดเชื้อราทำลายผลผลิตในระหว่างการเก็บรักษา และมีผลต่อการเกิดความชื้นสมดุลของเมล็ดข้าวเปลือก โดยเมล็ดพืชจะมีการปรับเข้าสู่ภาวะสมดุลกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่รอบๆ เมล็ดในขณะนั้น แต่อย่างไรก็ตามความชื้นสัมพัทธ์ในถังเก็บระหว่างการทดลองยังไม่ถึงจุดวิกฤติที่เป็นอันตรายต่อการเก็บรักษา และเกิดความเสียหายระหว่างการเก็บรักษาที่เวลา 6 เดือน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.19 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยแต่ละวันในถังที่ระบายอากาศและไม่ระบายอากาศตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

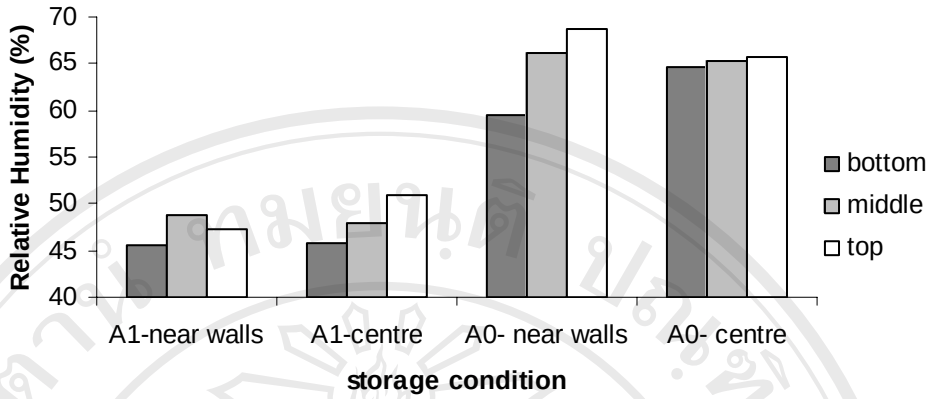
จากรูป 4.19 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บข้าวเปลือกที่ระบายอากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปค่อนข้างสูงในแต่ละฤดูกาล ส่วนในสภาพที่ไม่ระบายอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังจะค่อนข้างคงที่และไม่แปรผันตามความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก ทั้งนี้เนื่องจากในถังเก็บที่ระบายอากาศ ได้นำอากาศแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์ขณะนั้นผ่านเข้าไปในถัง โดยไม่มีการปรับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศให้อยู่ในระดับที่คงที่ หากอากาศที่นำเข้าสู่ถังเก็บมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ก็ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศรอบๆ เมล็ดภายในถังมีค่าต่ำ ในขณะเดียวกันหากอากาศแวดล้อมในขณะที่ระบายอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง ก็ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์รอบๆ เมล็ดภายในถังเก็บสูงขึ้นตาม

สำหรับการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บที่ระบายอากาศในแต่ละช่วง พบว่าช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – มีนาคม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมค่อนข้างต่ำ เมื่อมีการระบายอากาศจึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในถังค่อนข้างต่ำโดยมีค่าอยู่ในช่วง 45.49 – 50.99 เปอร์เซ็นต์ และในเดือนเมษายน - พฤษภาคม ความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังจะเริ่มสูงขึ้นเล็กน้อย โดยอยู่ในช่วง 47.79 – 59.29 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงเดือนมิถุนายน – กรกฎาคม ความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บมีค่าสูงสุด โดยอยู่ระหว่าง 60.72 – 69.92 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมค่อนข้างสูงเพราะย่างเข้าสู่ฤดูฝน เมื่อมีการระบายอากาศจึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บมีค่าสูงขึ้น สำหรับการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศจะค่อนข้างคงที่ตลอดทั้ง 6 เดือน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 61.72 – 69.87 เปอร์เซ็นต์

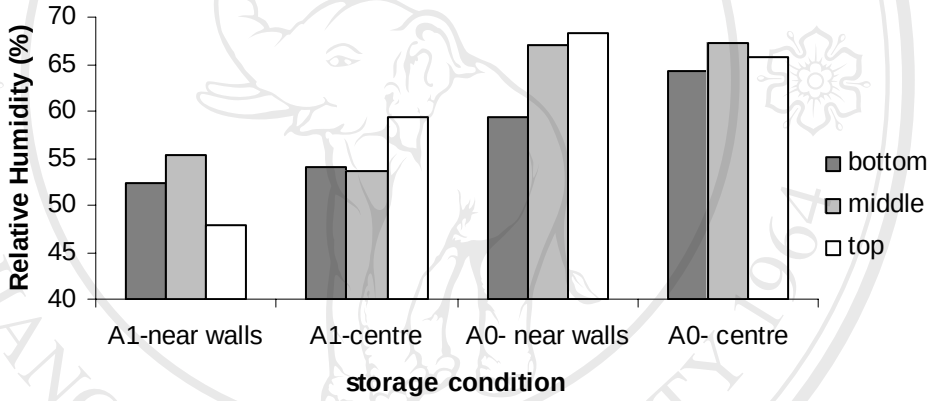
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้การระบายอากาศและไม่ระบายอากาศยังมีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บแต่ละชั้นแตกต่างกัน ดังแสดงในรูป 4.20 โดยความแตกต่างดังกล่าวขึ้นอยู่กับสภาพอากาศแวดล้อม กล่าวคือในช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมค่อนข้างต่ำ เมื่อมีการระบายอากาศทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังบริเวณชั้นล่างมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าชั้นกลางและชั้นบน แต่ในช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมสูง จึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บที่ชั้นล่างมีค่าค่อนข้างสูงเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากชั้นล่างเป็นส่วนแรกที่สัมผัสกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมที่ระดับต่างๆ ผ่านเข้าไป จึงส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเปลี่ยนแปลงตามเพื่อปรับเข้าสู่สมดุล ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของดามร(2547) ที่ได้ศึกษาถึงรูปแบบการสะสมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในกองเมล็ดข้าวเปลือก พบว่าความชื้นอากาศในกองข้าวจะมีการแปรเปลี่ยนตามระดับความชื้นในอากาศเป็นหลัก ซึ่งจะเห็นว่าสภาพการเก็บรักษาที่มีการระบายอากาศ มีความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาตามความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อม ส่วนสภาพที่ไม่ระบายอากาศความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บจะค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในถังเก็บนั้นค่อนข้างคงที่ และไม่ได้รับความชื้นสัมพัทธ์จากอากาศแวดล้อม แต่ลักษณะดังกล่าวเป็นผลเสียในแง่ของการเก็บรักษาเมล็ดพืชในระยะยาว เนื่องจากไม่มีถ่ายเทอากาศร้อน อีกทั้งยังทำให้เกิดการสะสมความร้อนและความชื้นภายในถัง ซึ่งการเก็บรักษาเมล็ดข้าวเปลือกในสภาพที่ร้อนและชื้นเป็นระยะเวลานานอาจจะส่งผลให้เมล็ดเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นในการระบายอากาศจึงเป็นวิธีที่ช่วยระบายความร้อนออกจากกองข้าวได้ และหากมีการปรับระดับความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าสู่ถังเก็บให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยน่าจะช่วยป้องกันความเสียหายดังกล่าวได้

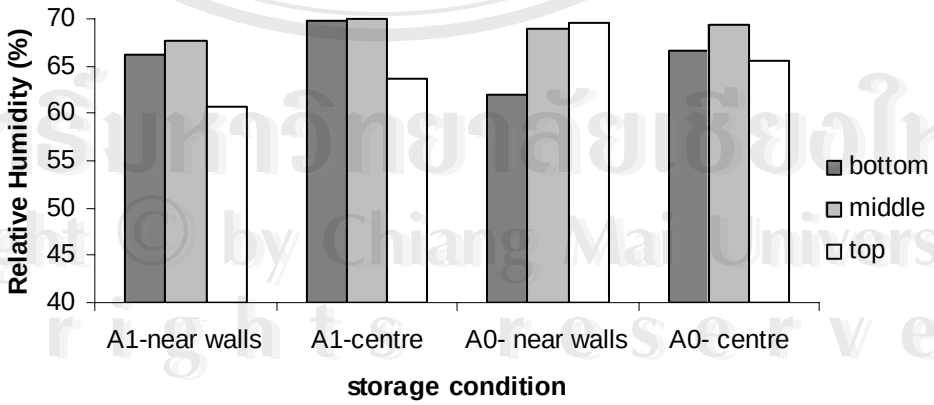
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในถังเก็บเดือน กุมภาพันธ์ – มีนาคม



(ข) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในถังเก็บเดือน เมษายน– พฤษภาคม



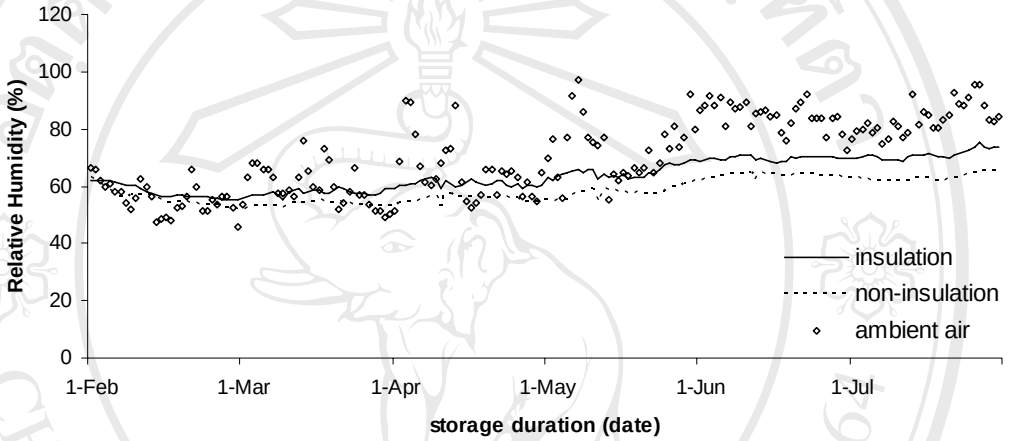
(ค) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในถังเก็บเดือน มิถุนายน– กรกฎาคม

รูป 4.20 ความชื้นสัมพัทธ์ในถังเก็บที่ระบายอากาศ (A1) และถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศ (A0) ตำแหน่งริมผนังและกลางถัง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.5 ผลของการหุ้มฉนวนต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในถังเก็บข้าวเปลือก

การหุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวนรอบถังเก็บมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บไม่มากนัก โดยในถังเก็บข้าวเปลือกที่มีฉนวนหุ้มจะมีความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังสูงกว่าถังเก็บที่ไม่หุ้มฉนวนเพียงเล็กน้อย และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นตามสภาพอากาศแวดล้อมภายนอก (รูป 4.21)



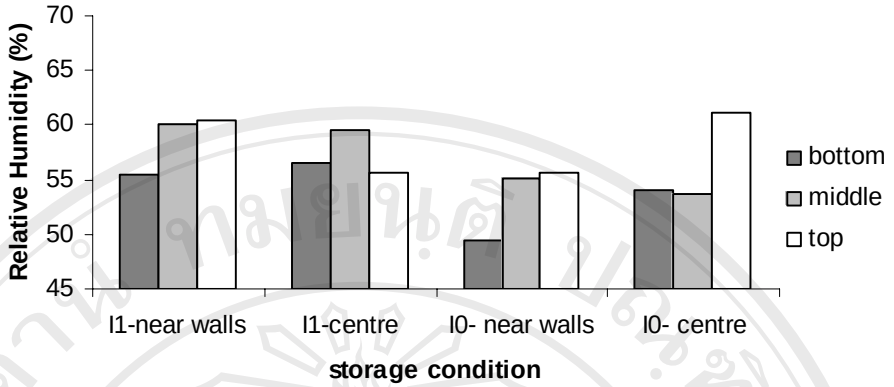
รูป 4.21 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยแต่ละวันภายในถังเก็บที่หุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวนตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

จากรูป 4.21 จะเห็นว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บที่หุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวนจะเกิดการแปรเปลี่ยนที่สัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมน้อยมาก โดยความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บจะสูงขึ้นอย่างช้าๆ เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งสภาพการเก็บที่มีฉนวนหุ้มจะมีค่าสูงกว่าสภาพที่ไม่มีฉนวนหุ้มเล็กน้อย กล่าวคือภายในถังเก็บที่หุ้มฉนวนมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 55.43 – 73.67 เปอร์เซ็นต์ โดยจะเริ่มมีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น จากเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาและมีค่าสูงสุดในเดือนกรกฎาคม ส่วนในถังเก็บที่ไม่หุ้มฉนวนมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเดียวกัน โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 49.49 – 66.75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน่าจะเป็นผลจากอุณหภูมิภายในถังเก็บที่ถูกสะสมอยู่ภายในถังเป็นตัวกำหนดระดับความชื้นสัมพัทธ์รอบๆ เมล็ดข้าวเปลือก เมื่อมีการนำความร้อนจากสภาพแวดล้อมผ่านเข้ามาภายในถังและความร้อนที่เกิดจากการหายใจของเมล็ดร่วมด้วย ส่งผลให้อุณหภูมิในถังเก็บมีค่าสูง ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกมีการปรับเข้าสู่ภาวะสมดุลกับสภาพอากาศภายในถังเก็บ จึงเป็นสาเหตุให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเปลี่ยนแปลง

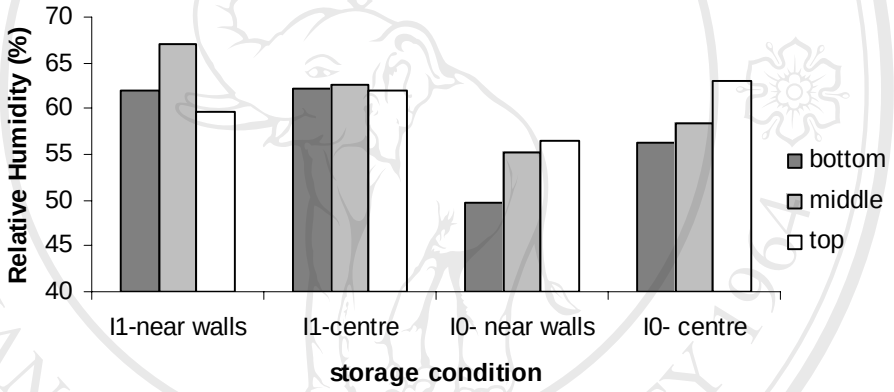
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลของการหุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวนยังมีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในถังเก็บแต่ละชั้นแตกต่างกัน ดังแสดงในรูป 4.22 พบว่าในถังเก็บที่หุ้มฉนวน บริเวณริมผนังมีความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูงกว่าบริเวณกลางถัง และที่ชั้นกลางสูงกว่าชั้นล่างและชั้นบน ส่วนในถังเก็บที่ไม่มีฉนวนหุ้ม กลับพบว่าตำแหน่งกลางถังจะมีความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูงกว่าบริเวณริมผนังและที่ชั้นบนสูงกว่าชั้นล่างและชั้นกลาง นอกจากนี้พบว่าเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นความชื้นสัมพัทธ์ ที่ชั้นกลางและชั้นบน ในบริเวณกลางถังจะสูงขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นผลมากจากอุณหภูมิของข้าวเปลือกในถังเก็บที่ตำแหน่งกลางถังค่อนข้างสูง ทำให้เมล็ดมีการหายใจสูงส่งผลให้เกิดความร้อนและความชื้นในบริเวณดังกล่าวจนมีการสะสมเพิ่มขึ้น อีกทั้งความแตกต่างของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในถังยังส่งผลให้เกิดการพาความร้อนตามธรรมชาติและมีการสะสมความชื้นทำให้ บริเวณกลางถังมีความชื้นสูง ซึ่งเมล็ดก็จะปรับสภาพเข้าสู่ภาวะสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในถัง ส่วนสภาพถังเก็บที่มีฉนวนหุ้มนั้น ฉนวนจะช่วยลดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในถัง จึงลดความเสี่ยงของการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนภายในถัง และการสะสมความชื้นที่สูงดังเช่นกรณีที่ไม่มีฉนวนหุ้ม ดังนั้นการที่ความชื้นสัมพัทธ์บริเวณริมผนังมีค่าค่อนข้างสูงน่าจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่เป็นผลโดยตรงจากอุณหภูมิแวดล้อมทำให้ข้าวเปลือกบริเวณริมผนังมีการดูดและคายความชื้นและปรับเข้าสู่สภาวะสมดุลได้มากกว่าที่ตำแหน่งกลางถัง

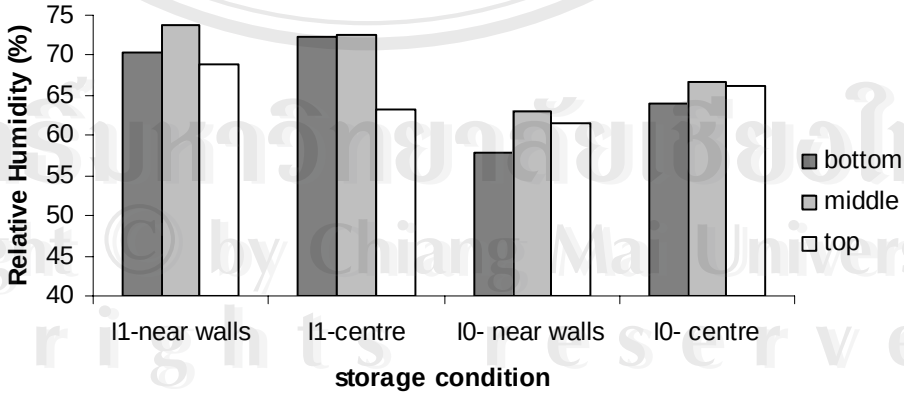
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในถังเก็บเดือนกุมภาพันธ์ – มีนาคม



(ข) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในถังเก็บเดือนเมษายน– พฤษภาคม



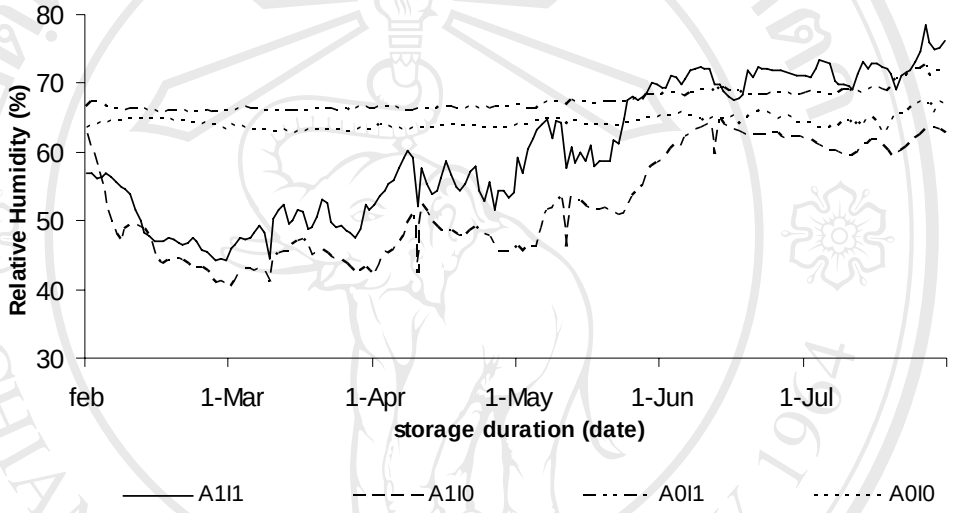
(ค) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในถังเก็บเดือนมิถุนายน– กรกฎาคม

รูป 4.22 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในถังเก็บที่หุ้มฉนวน (I1) และถังเก็บที่ไม่หุ้มฉนวน (I0) ตำแหน่งริมผนังและกลางถัง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.6 ผลของการระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวนต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บข้าวเปลือก

สำหรับปฏิสัมพันธ์ร่วมของสภาพถังเก็บที่ระบายอากาศและไม่ระบายอากาศ ร่วมปัจจัยของการหุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวน ต่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บ พบว่าสภาพการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังแตกต่างกัน โดยมีการแปรเปลี่ยนไปตามสภาพความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมในแต่ละช่วง ดังแสดงในรูป 4.23



รูป 4.23 การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศภายในถังเก็บข้าวเปลือกแต่ละวันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

จากรูป 4.23 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บที่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวน และถังเก็บที่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงในทิศทางเดียวกัน และแปรเปลี่ยนตามสภาพอากาศแวดล้อมระหว่างการเก็บรักษาค่อนข้างสูง โดยถังเก็บที่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำที่สุด โดยมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยทุกตำแหน่งภายในถังอยู่ในช่วง 39.50 – 65.55 เปอร์เซ็นต์ ส่วนถังเก็บที่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวนมีค่าอยู่ในช่วง 43.42 – 81.50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวน และถังเก็บในสภาพที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศค่อนข้างสูงและคงที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 67.42 และ 64.42 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการระบายอากาศมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บค่อนข้างมาก กล่าวคือ การระบายอากาศส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังได้มากกว่าสภาพที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่มีการระบายอากาศ ทั้งนี้เพราะอากาศที่ระบายความร้อนผ่านกองข้าวเปลือกภายในถังเป็นอากาศแวดล้อมตามธรรมชาติ และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูง เมล็ดก็จะดูดความชื้นเข้าไปเพื่อปรับเข้าสู่สมดุล จึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในถังเก็บที่มีการระบายอากาศทั้งในสภาพที่มีฉนวนหุ้มและไม่มีฉนวนหุ้ม มีการเปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมค่อนข้างสูงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังแสดงในตาราง 4.4 จะเห็นว่าในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – เมษายน ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในถังที่มีการระบายอากาศมีค่าต่ำ แต่ในเดือนพฤษภาคมเป็นต้นไป ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในถังเก็บจะค่อยๆสูงขึ้นตามลำดับ ส่วนสภาพถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวนนั้น ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในถังมีความคงที่และไม่แปรเปลี่ยนตามบรรยากาศแวดล้อม ทั้งนี้เพราะทั้งสองสภาพไม่ได้สัมผัสกับความชื้นของบรรยากาศภายนอก จึงทำให้การดูดและคายความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกภายในถังเกิดจากอุณหภูมิของข้าวเปลือกภายในถังเท่านั้น

ตาราง 4.4 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในถังเก็บสภาพต่างๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

เวลา	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	สภาพการเก็บรักษา				
		ambient	A_1I_1	A_1I_0	A_0I_1	A_0I_0
ก.พ. – มี.ค.	ต่ำสุด	30.9	29.00	32.40	44.97	45.63
	สูงสุด	80.7	69.70	69.00	70.70	79.90
	เฉลี่ย	57.9	49.63	45.84	66.17	63.83
เม.ย. – พ.ค.	ต่ำสุด	48.78	28.60	34.95	55.00	46.87
	สูงสุด	87.05	81.85	62.75	73.60	80.30
	เฉลี่ย	68.67	58.35	49.09	66.77	63.92
มิ.ย. – ก.ค.	ต่ำสุด	67.3	47.30	47.25	52.55	32.40
	สูงสุด	100.00	70.60	72.50	85.05	88.90
	เฉลี่ย	84.08	71.08	61.72	69.25	64.82

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สภาพการเก็บรักษาที่แตกต่างกันส่งผลต่อความชื้นสัมพัทธ์แต่ละตำแหน่งภายในถังมีความแตกต่างกัน โดยในถังเก็บที่มีการระบายอากาศร่วมกับการหุ้มฉนวน บริเวณชั้นกลางจะมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงที่สุด แต่ถังเก็บที่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนบริเวณชั้นล่างกลับมีค่าสูงที่สุด ส่วนในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวนพบว่าที่ชั้นล่างและกลางจะมีความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูง แต่ในกรณีที่ไม่หุ้มฉนวนกลับพบว่าชั้นบนมีความชื้นสัมพัทธ์สูงที่สุด นอกจากนี้หากพิจารณาความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในถังที่ตำแหน่งริมผนัง และกลางถังร่วมด้วยจะพบว่าที่ตำแหน่งกลางถังมีความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูงกว่าบริเวณริมผนัง ดังแสดงในตาราง 4.5 ทั้งนี้ความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์แต่ละตำแหน่งภายในถัง เกิดจากการดูดและคายความชื้นของเมล็ดเพื่อเข้าสู่ภาวะสมดุล ซึ่งความร้อนและความชื้นที่เกิดขึ้นภายถัง ทำให้เมล็ดมีการปรับเข้าสู่สมดุลเป็นผลให้ความชื้นสัมพัทธ์รอบๆ เมล็ดขณะนั้นเปลี่ยนแปลงไป

ตาราง 4.5 ความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยแต่ชั้นในถังเก็บสภาพต่างๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

เวลา	trt	ความชื้นสัมพัทธ์ตำแหน่งริมผนัง				ความชื้นสัมพัทธ์ตำแหน่งกลางถัง			
		ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	เฉลี่ย	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	เฉลี่ย
ก.พ. – มี.ค.	A_1I_1	43.74	51.02	53.51	49.42	45.38	51.65	52.51	49.85
	A_1I_0	47.25	46.74	41.23	45.07	46.32	44.04	49.48	46.61
	A_0I_1	67.12	69.00	67.23	67.78	67.64	67.45	58.60	64.56
	A_0I_0	51.72	63.35	70.14	61.74	61.76	63.31	72.72	65.93
เม.ย. – พ.ค.	A_1I_1	55.80	63.88	53.17	57.62	55.61	55.60	66.01	59.08
	A_1I_0	48.68	46.78	42.41	45.95	52.62	51.50	52.56	52.23
	A_0I_1	68.10	70.24	66.12	68.15	68.70	69.48	57.96	65.38
	A_0I_0	50.75	63.71	70.46	61.64	59.86	65.15	73.62	66.21
มิ.ย. – ก.ค.	A_1I_1	70.49	74.36	67.92	70.92	70.88	74.90	67.51	71.10
	A_1I_0	62.00	61.07	53.52	58.86	68.86	64.94	59.91	64.57
	A_0I_1	70.02	72.97	69.67	70.89	73.88	70.20	58.75	67.61
	A_0I_0	53.91	65.07	69.67	62.88	59.22	68.56	72.24	66.67

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาในถังเก็บสภาพต่างๆ

4.4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นเมล็ดข้าวเปลือก

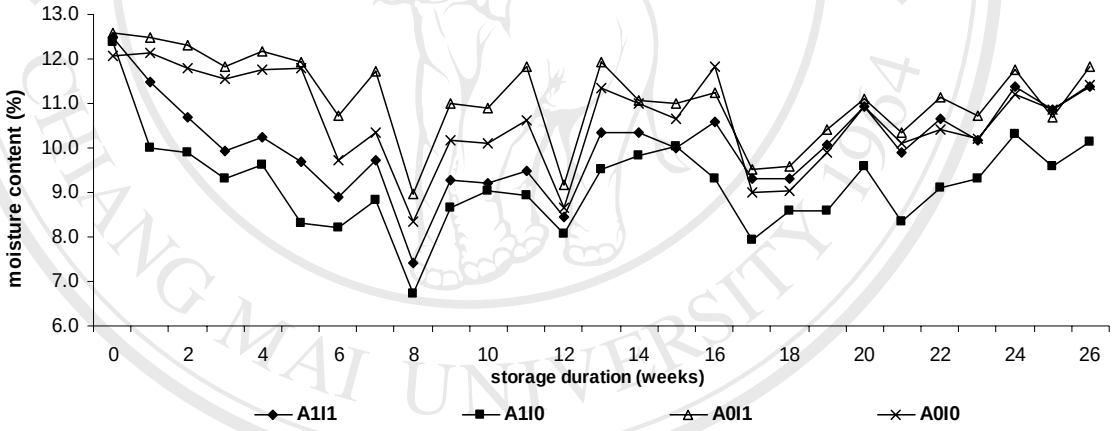
สภาพการเก็บรักษาที่มีการระบายอากาศและการหุ้มฉนวนส่งผลให้ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดระยะเวลาเก็บรักษา และมีแนวโน้มแปรเปลี่ยนไปตามฤดูกาล คือในช่วงที่สภาพอากาศแวดล้อมค่อนข้างร้อนและแห้ง เปอร์เซ็นต์ความชื้นเมล็ดก็จะลดลง แต่เมื่ออากาศแวดล้อมมีความชื้นสูงกลับพบว่าความชื้นเมล็ดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูป 4.24) โดยถังเก็บที่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน มีความชื้นเมล็ดค่อนข้างต่ำที่สุดโดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 6.72 – 10.30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสภาพการเก็บรักษาที่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวน มีค่าอยู่ในช่วง 7.41 – 11.48 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสภาพที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวน และสภาพที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน มีความชื้นเมล็ดในระดับที่สูงกว่าโดยอยู่ในช่วง 8.95 – 12.50 และ 8.34 – 12.13 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และพบว่าในทุกสภาพการเก็บรักษาที่ตำแหน่งชั้นล่างและกลางจะมีความชื้นเมล็ดค่อนข้างสูงกว่าชั้นบน โดยเฉพาะในถังที่ไม่ระบายอากาศ น่าจะเป็นผลจากการที่อุณหภูมิภายในถังเก็บค่อนข้างสูงตลอดระยะเวลาเก็บรักษา จึงทำให้เกิดการสะสมความร้อนและการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนขึ้นภายในถังเก็บ จนเกิดความชื้นสะสมภายในถัง ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกที่ตำแหน่งดังกล่าวมีความชื้นเมล็ดค่อนข้างสูงกว่าในบริเวณอื่น

จะเห็นว่าในถังเก็บที่ระบายอากาศจะมีความชื้นเมล็ดต่ำกว่าในสภาพที่ไม่ระบายอากาศและมีความแตกต่างอยู่ในช่วง 0.36 – 2.88 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เป็นเพราะเมล็ดข้าวเปลือกมีคุณสมบัติเป็น hygroscopic material ซึ่งมีการแลกเปลี่ยนความชื้นภายในเมล็ดตามอุณหภูมิและความชื้นของสิ่งแวดล้อมเพื่อเข้าสู่ภาวะสมดุลกับสภาพแวดล้อมอยู่ตลอดเวลา (Esmay *et al*., 1999) ดังนั้นเมื่อมีการระบายอากาศ เมล็ดข้าวเปลือกจะมีการดูดรับและคายความชื้นออกมาจนทำให้ความชื้นสมดุลของเมล็ดข้าวเปลือกเปลี่ยนไปตามสภาพอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม ซึ่งจะเห็นว่าในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – พฤษภาคม (ในสัปดาห์ที่ 1- 17) สภาพอากาศแวดล้อมค่อนข้างร้อนและแห้ง เมื่อมีการระบายอากาศ จึงส่งผลให้เมล็ดข้าวเปลือกมีการคายความชื้นจนสมดุลกับบรรยากาศแวดล้อม ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกจึงลดลง แต่ในช่วงที่สภาพอากาศแวดล้อมค่อนข้างชื้นและมีฝนตกในเดือนมิถุนายน – กรกฎาคม เมื่อระบายอากาศเมล็ดข้าวก็จะดูดรับความชื้นจากบรรยากาศจนเข้าสู่ภาวะสมดุลเป็นผลให้ความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น แต่อัตราการเพิ่มไม่สูงมากนักเพราะในช่วงเวลาดังกล่าวมีการระบายอากาศค่อนข้างน้อยกว่า จากเงื่อนไขของการระบายอากาศที่จะเกิดขึ้นเมื่อข้าวเปลือกในถังเก็บมีอุณหภูมิสูง แต่ในฤดูฝนอากาศแวดล้อมค่อนข้างเย็นเนื่องจากมีฝนตกและเมฆมาบดบังแสงแดดจึงมีการระบายอากาศจำนวนน้อยครั้ง ส่วนในถังเก็บที่ไม่ระบาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อากาศจะมีความชื้นเมล็ดสูงกว่าในถังเก็บที่ระบายอากาศ อาจเป็นผลมาจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในถังเก็บค่อนข้างคงที่จึงทำให้เมล็ดข้าวเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับเข้าสู่ภาวะสมดุลกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์รอบๆ เมล็ดไม่มากเท่ากับสภาพที่ระบายอากาศ ทั้งนี้เนื่องจากในสภาพปิดและไม่มีการระบายอากาศ ความชื้นเมล็ดจะถูกกำหนดโดยอุณหภูมิและความชื้นภายในถังเก็บ

สำหรับถังเก็บที่ไม่หุ้มฉนวนมีความชื้นเมล็ดต่ำกว่าในถังเก็บที่หุ้มฉนวนและมีความแตกต่างกันอยู่ในช่วง 0.16 – 1.44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการแปรเปลี่ยนของความชื้นเมล็ดที่ขึ้นลงน่าจะมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในถังเก็บที่มีผลต่อการเกิดความร้อนและความชื้นขึ้นภายในถัง ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกมีการดูดและคายความชื้นเพื่อปรับเข้าสู่ภาวะสมดุลกับอากาศภายในถังแต่ละเวลาแตกต่างกันไป

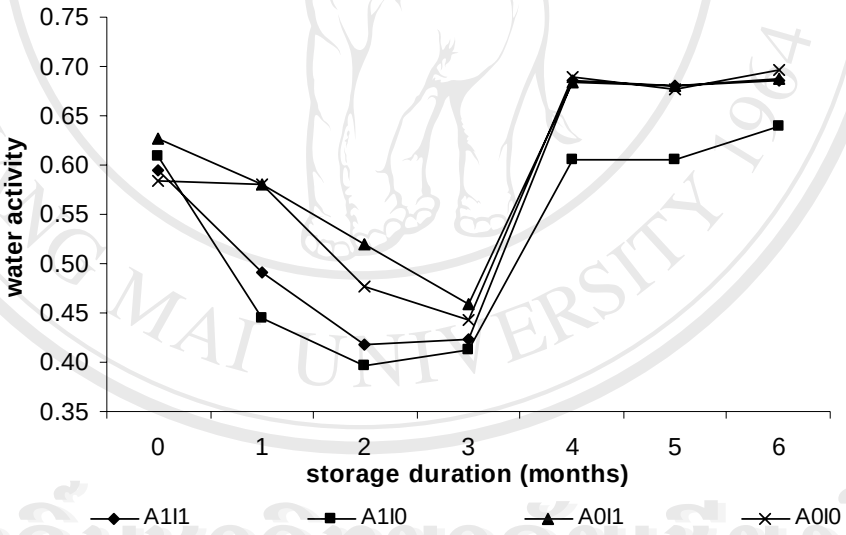


รูป 4.24 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นเฉลี่ยของเมล็ดข้าวเปลือกในสภาพต่างๆ ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.2 การเปลี่ยนแปลงค่า Water Activity

การเก็บข้าวเปลือกในสภาพถังเก็บที่ต่างกันส่งผลให้ค่า Water Activity (a_w) มีความแตกต่างกัน และแปรเปลี่ยนขึ้นลงตามฤดูกาล ดังรูป 4.25 โดยข้าวเปลือกในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวนมีค่า a_w อยู่ในระดับค่อนข้างสูงอยู่ในช่วง 0.44 – 0.71 ส่วนในถังเก็บที่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวน มีค่าอยู่ในระดับต่ำกว่าโดยอยู่ในช่วง 0.39 – 0.64 โดยค่า a_w มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกัน คือค่า a_w จะลดลงจากเริ่มเก็บรักษาในเดือนกุมภาพันธ์และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ตั้งแต่เดือนที่ 1-3 โดยในเดือนเมษายนมีค่าต่ำที่สุด และจะเริ่มสูงขึ้นในเดือนที่ 4-6 (เดือนพฤษภาคม – กรกฎาคม) ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากสภาพอากาศแวดล้อมระหว่างเก็บรักษา ทั้งนี้เพราะค่า a_w มีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของอากาศที่อยู่รอบเมล็ด เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำ ค่า a_w ก็มีค่าต่ำ แต่เมื่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูง โดยเฉพาะในช่วงที่เข้าสู่ฤดูฝนจึงทำให้ค่า a_w มีค่าสูงขึ้นตาม



รูป 4.25 การเปลี่ยนแปลงค่า Water activity ของข้าวเปลือกที่สภาพการเก็บรักษาต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

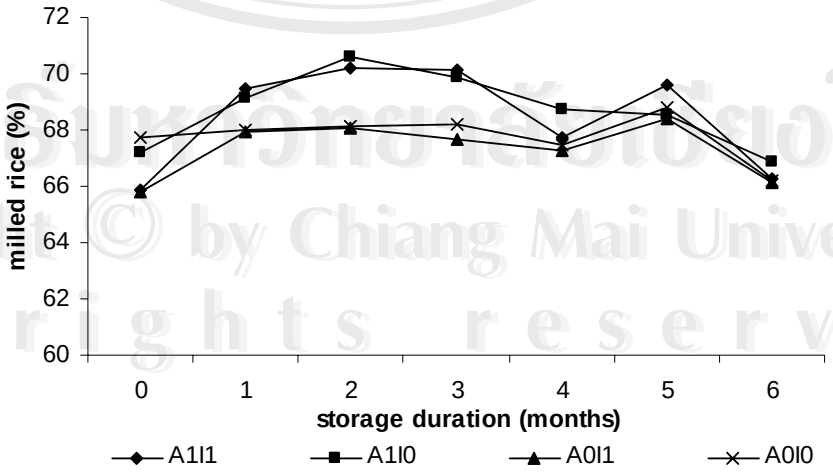
สำหรับค่า a_w ในแต่ละตำแหน่ง พบว่าถังเก็บที่ระบายอากาศ ข้าวเปลือกบริเวณชั้นล่างมีค่า a_w โดยเฉลี่ยสูงกว่าชั้นกลางและชั้นบน ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการระบายอากาศ เนื่องจากชั้นล่างจะสัมผัสกับบรรยากาศแวดล้อมเป็นส่วนแรก ค่า a_w ของข้าวเปลือกจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามความชื้นในบรรยากาศได้มากกว่าบริเวณอื่น ส่วนสภาพถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวนนั้น

ชั้นล่างและชั้นกลางจะมีค่า a_w สูงกว่าชั้นบน และสภาพที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนกันความร้อนพบว่าชั้นกลางมีค่า a_w สูงที่สุด ทั้งนี้น่าจะเกิดจากอุณหภูมิของข้าวเปลือกในถังค่อนข้างสูง ทำให้เกิดการพาความร้อนตามธรรมชาติ และมีการสะสมความชื้นขึ้นในถังที่บริเวณดังกล่าว จึงส่งผลให้เมล็ดข้าวเปลือกที่บริเวณชั้นล่างและชั้นกลางมีค่า a_w สูงกว่าบริเวณอื่น

4.4.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพการสีของข้าว

เปอร์เซ็นต์ข้าวสาร

การเก็บรักษาข้าวเปลือกในสภาพที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ข้าวสารหลังการขัดสีที่แตกต่างกัน (ดังรูป 4.26) โดยข้าวเปลือกที่เก็บรักษาในสภาพที่ระบายอากาศ ซึ่งมีความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกก่อนการขัดสีอยู่ในช่วง 7.07 – 10.75 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ข้าวสารเฉลี่ยอยู่ในช่วง 64.99 – 71.06 เปอร์เซ็นต์ ส่วนถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศมีความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกก่อนการขัดสีอยู่ในช่วง 7.53 – 11.68 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ข้าวสารอยู่ในช่วง 64.57 – 70.41 เปอร์เซ็นต์ โดยในถังเก็บที่ระบายอากาศจะมีเปอร์เซ็นต์ข้าวสารสูงกว่าในสภาพที่ไม่ระบายอากาศ และมีความแตกต่างกันเท่ากับ 0.88 – 1.32 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่งผลให้เมล็ดข้าวเปลือกมีอัตราการหายใจและเมทาบอลิซึมสูงจนเกิดการสูญเสียมวลแห้งมากกว่าในสภาพถังเก็บที่ระบายอากาศ แต่อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์ข้าวสารแต่ละสภาพการเก็บรักษา เมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาและหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลานาน 6 เดือน ไม่มีความแตกต่างกัน



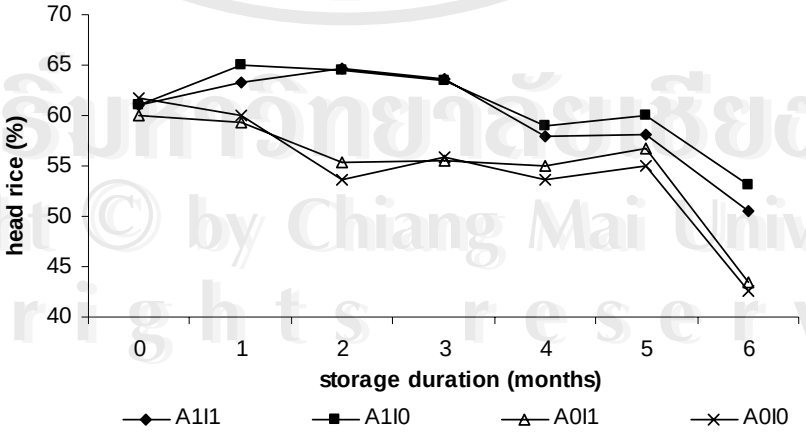
รูป 4.26 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ข้าวสารในสภาพการเก็บรักษาต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

จากการเก็บรักษาเมล็ดข้าวเปลือกในสภาพที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวที่แตกต่างกัน และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น (รูป 4.27) โดยในสภาพถังเก็บที่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวน และถังเก็บที่ระบายอากาศแต่ไม่หุ้มฉนวน ซึ่งมีความชื้นเมล็ดก่อนการขัดสีอยู่ในช่วง 7.07 – 10.75 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวค่อนข้างสูงโดยมีค่าระหว่าง 49.50 - 65.48 และ 50.56 – 66.30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวน และไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน มีความชื้นเมล็ดก่อนการขัดสีอยู่ในช่วง 7.53 – 11.68 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวค่อนข้างต่ำโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 43.01 – 60.21 และ 40.75 – 61.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งการเก็บรักษาข้าวเปลือกในถังเก็บที่ระบายอากาศมีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงกว่าข้าวเปลือกที่เก็บไว้โดยไม่ระบายอากาศ โดยเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวต่างกันเท่ากับ 3.16 – 10.09 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าข้าวเปลือกที่เก็บรักษาในสภาพที่ระบายอากาศจะมีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงกว่าสภาพที่ไม่ระบายอากาศ น่าจะเป็นผลจากระยะเวลาและอุณหภูมิของข้าวเปลือกในระหว่างการเก็บรักษา ที่ส่งผลให้เมล็ดข้าวมีความชื้นลดลง ทำให้เมล็ดมีความแข็งเพิ่มขึ้น เพราะแรงเกาะตัวของ micelle ในเมล็ดแป้งเพิ่มมากขึ้น (Juliano, 1985) เป็นผลให้เมล็ดข้าวสามารถทนต่อแรงกะเทาะได้มากขึ้น มีการแตกหักของข้าวน้อยลง ซึ่งในการทดลองจะเห็นว่าสภาพที่ระบายอากาศจะมีความชื้นเมล็ดก่อนการขัดสีต่ำกว่าสภาพที่ไม่ระบายอากาศ ดังนั้นการระบายอากาศน่าจะมีส่วนทำให้เมล็ดแป้งแข็งเพิ่มขึ้นจึงมีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวที่สูงกว่า และมีการแตกหักของข้าวน้อยกว่าสภาพที่ไม่ระบายอากาศ

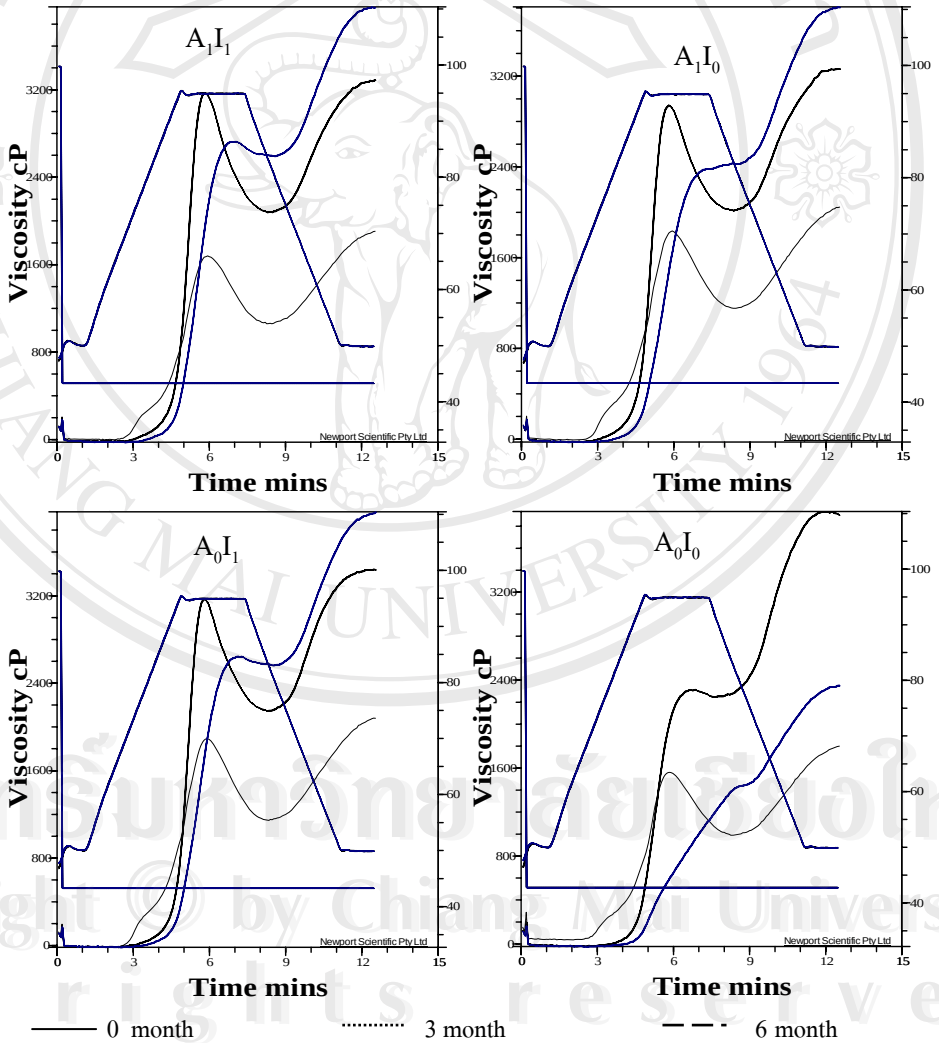


รูป 4.27 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวในสภาพการเก็บรักษาต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.4 คุณสมบัติความหนืดของแป้งข้าว

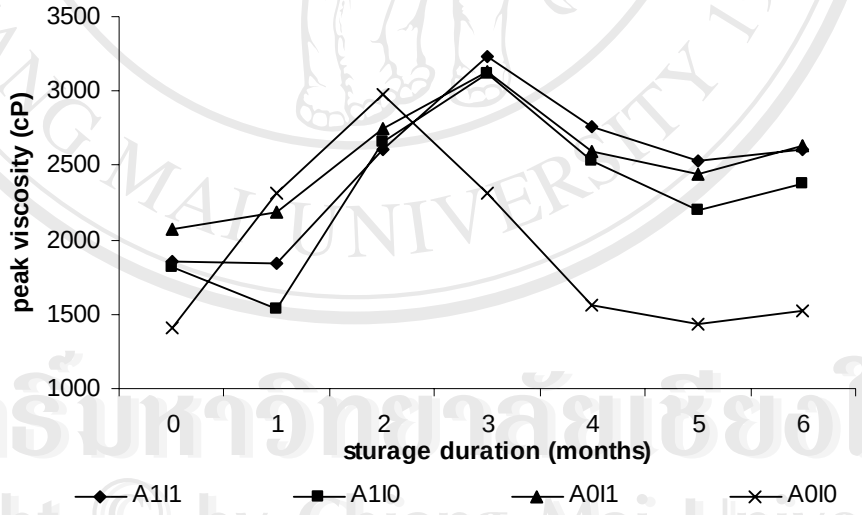
คุณสมบัติของแป้งจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพถังเก็บที่มีปัจจัยหลักคือการระบายอากาศและการหุ้มฉนวน ดังแสดงในรูป 4.28 ซึ่งค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ที่แตกต่างกันนั้น เป็นค่าที่บอกถึงความนุ่มหรือการพองตัวของแป้ง และความแข็งของข้าวสุก โดยคุณสมบัติความหนืดของแป้ง จะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษา (ละมุล, 2541) หรือลดลงตามอุณหภูมิของการอบแห้งที่สูงขึ้น (วทัญญู และคณะ, 2548)



รูป 4.28 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติความหนืดของแป้งข้าวที่เก็บรักษาในสภาพที่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

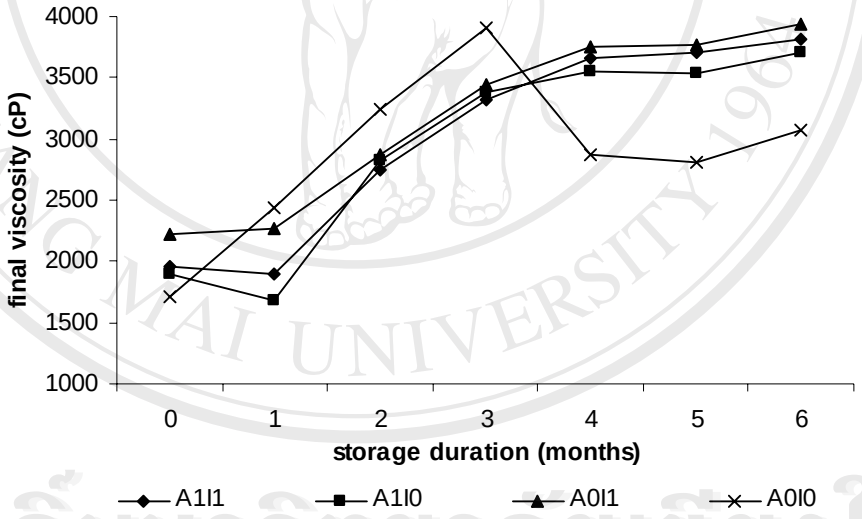
การเปลี่ยนแปลงค่า peak viscosity ของแป้งข้าว แสดงดังรูป 4.29 โดยข้าวเปลือกที่เก็บรักษาในสภาพไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนจะมีค่า peak viscosity สูงสุดเมื่อเก็บไว้นาน 2 เดือน หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มที่ลดลง ส่วนการเก็บในสภาพอื่นๆ จะมีค่าสูงสุดเมื่อเก็บรักษาไว้นาน 3 เดือนและหลังจากนั้นก็จะมีแนวโน้มที่ลดลงเช่นกัน แต่ยังคงระดับที่สูงกว่าการเก็บในสภาพที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน แสดงว่าแป้งข้าวที่ได้จากการเก็บข้าวเปลือกในสภาพที่ระบายอากาศและหุ้มฉนวนเกิดเจลาทิไนซ์ (gelatinization) ที่มากกว่า ทำให้เม็ดแป้งมีความสามารถดูดซับน้ำได้ปริมาณมาก จึงทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวมากขึ้น เป็นผลให้แป้งมีค่าความหนืดสูง คือมีความนุ่มมากกว่า ส่วนถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน ซึ่งภายในถังมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อได้รับความร้อนเม็ดแป้งที่ถูกน้ำจะพองตัวและทำให้โปรตีนแตกตัวและแทรกเข้าไปอยู่ภายในช่องว่างระหว่างเม็ดแป้ง ซึ่งมีผลทำให้ข้าวมีการเกาะตัวกันแน่น และมีความแข็งมากขึ้น เมื่อนำไปวัดค่าความหนืด จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของเม็ดแป้งลดลง



รูป 4.29 การเปลี่ยนแปลงของค่า peak viscosity ของข้าวเปลือกในถังเก็บที่สภาพการเก็บรักษาต่างๆ ในแต่ละเดือนตลอดระยะเวลาเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ของแป้ง พบว่าค่า final viscosity จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษาโดยค่า final viscosity ของแป้งข้าวที่สภาพการเก็บแบบไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในช่วง 3 เดือนแรก ส่วนในถังเก็บในสภาพอื่นๆ มีค่าสูงสุดในเดือนที่ 6 (รูป 4.30) ซึ่งความหนืดสุดท้ายนี้เป็นความหนืดที่เกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลแป้งเรียงตัวกันอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเรียกว่าการคืนสภาพของน้ำแป้งสุก (retrogradation) ซึ่งมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่า setback หรือความแข็งของแป้งข้าว (จารนัย, 2537) ดังนั้นแสดงว่าในช่วง 3 เดือนแรกของการเก็บรักษา ข้าวเปลือกในถังที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนมีค่า final viscosity สูง ซึ่งมีผลต่อการคืนตัวของน้ำแป้งสุกได้ดีกว่าข้าวเปลือกที่เก็บในสภาพอื่นๆ ทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจเป็นเพราะอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงในระหว่างเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของละมุล (2541) ที่พบว่าข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จะมีค่า final viscosity สูงกว่าสภาพการเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส



รูป 4.30 การเปลี่ยนแปลงของค่า final viscosity ของแป้งข้าวในถังเก็บที่สภาพการเก็บรักษาต่างๆ ในแต่ละเดือน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

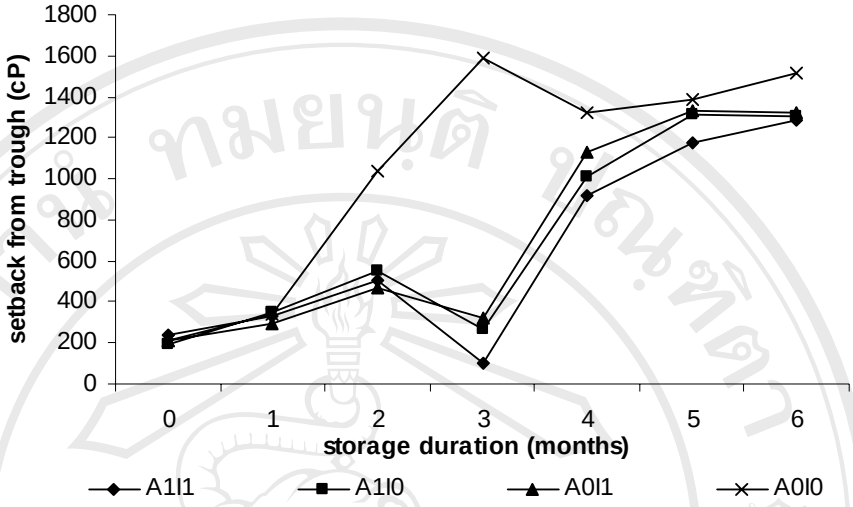
สำหรับค่า Setback ของแป้งข้าวจะบ่งชี้ถึงความแข็งของแป้ง จากการทดลองจะเห็นว่าค่า Setback ของแป้งข้าวที่เก็บรักษาในสภาพที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน มีค่า Setback ที่สูงกว่าสภาพอื่นๆ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพแป้งดังกล่าวมีลักษณะเป็นในลักษณะเดียวกันทั้งถัง โดยในสภาพการเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนจะมีค่า Setback ที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาได้นาน 3 เดือน ส่วนใน

สภาพอื่นๆ ค่า Setback จะค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเก็บรักษานาน 6 เดือน (รูป 4.31) แสดงว่าในสภาพการเก็บรักษาแบบไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน ทำให้คุณสมบัติของข้าวมีความแข็งและเป็นข้าวเก่าได้เร็วกว่า ซึ่งจากรายงานของยุพร (2539) เมื่อทดสอบการชิมข้าวเก่าและข้าวใหม่ พบว่าข้าวเก่าจะแข็งกว่าข้าวใหม่ ซึ่งเนื้อสัมผัสของข้าวเก่าที่แข็งจะให้ค่า Setback สูง และจากการทดลองของ Noomhorm และคณะ (1997) ได้ทำการเก็บรักษาข้าวเหนียวพันธุ์ RD6 และ RD10 เป็นระยะเวลา 8 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง 28 – 30 องศาเซลเซียส พบว่าค่า Setback ของข้าวทั้งสองพันธุ์มีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

จากการทดลองจะเห็นว่าสภาพการเก็บรักษาที่แตกต่างกันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแป้งข้าวในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากอุณหภูมิภายในถังเก็บระหว่างเก็บรักษา ทั้งนี้เพราะในสภาพที่ไม่ระบายอากาศและไม่หุ้มฉนวน มีอุณหภูมิภายในถังที่ค่อนข้างสูงและสูงกว่าถังเก็บสภาพอื่นๆ จึงทำให้แป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกในสภาพการเก็บดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก ซึ่งจากรายงานของละมุล (2541) พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูงกจะทำให้ข้าวมีการปรับสภาพการละลาย การเกิดเจลแป้งและโปรตีนในเมล็ดกลายเป็นสารคงที่และละลายน้ำได้น้อยลงมีผลให้เมล็ดข้าวแข็ง และพบว่าการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีค่า Setback สูงกว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมีค่าสูงเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นเช่นกัน

จากผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแป้งนั้น มีการทดลองเกี่ยวกับวิธีเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของข้าวใหม่ให้เป็นข้าวเก่าเร็วขึ้น โดยการอบข้าวเปลือกที่มีความชื้นเมล็ดมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ในเวลา 40 นาที แล้วนำไปลดความชื้นต่อที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส จนเหลือความชื้นสุดท้าย 14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถเร่งการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของข้าวได้ โดยไม่กระทบต่อคุณภาพการสีของข้าว (ใจทิพย์และคณะ, 2546) จะเห็นว่าอุณหภูมิจะเป็นตัวเร่งให้เกิดข้าวเก่า และเมื่อพิจารณาการเก็บข้าวเปลือกในถังที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน ซึ่งอุณหภูมิภายในถังจะค่อนข้างสูงจึงเสมือนกับว่าเป็นการเร่งให้ข้าวเก่าเร็วยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่นานขึ้นในทุกสภาพการเก็บรักษา ก็ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติทางเคมีของเม็ดแป้ง ในด้านความหนืดของแป้ง โดยทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวจะเปลี่ยนไปโดยมีความเป็นข้าวเก่าสูงขึ้น และมีความแข็งร่วนมากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.31 การเปลี่ยนแปลงของค่า Setback ของข้าวเปลือกในถังเก็บที่สภาพการเก็บรักษาต่างๆ ในแต่ละเดือน

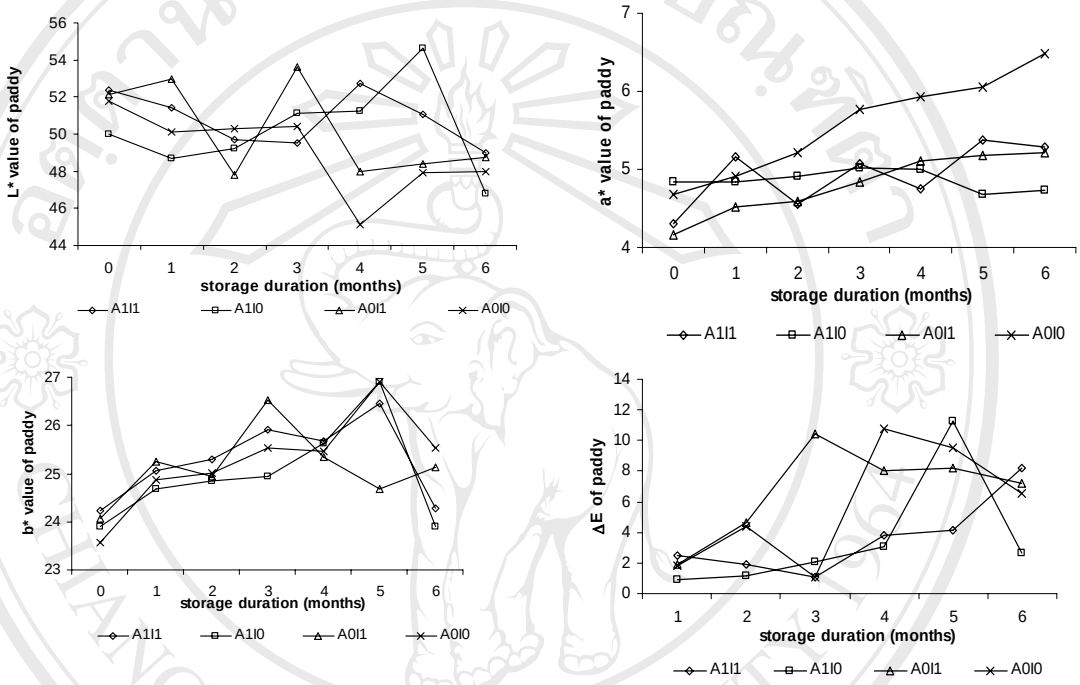
4.4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

ข้าวเปลือก

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวเปลือกไม่ค่อยมีความสำคัญในการซื้อขายมากนัก เนื่องจากต้องนำไปกะเทาะและขัดสีให้อยู่ในรูปข้าวสาร ซึ่งตลาดหรือผู้บริโภคจะพิจารณาคุณภาพข้าวจากข้าวสารที่ได้จากการสี ในการทดลองครั้งนี้ได้วัดการเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวเป็นค่า L*, a*, b* (CIELAB) โดยการเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวเปลือกในระหว่างเก็บรักษาแสดงดังรูป 4.32 ในแต่ละสภาพการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงสีค่อนข้างน้อย โดยจะเริ่มพบความแตกต่างของค่าสีเมื่อเก็บรักษานานกว่า 4 เดือนเป็นต้นไป จะเห็นว่าค่า a* โดยเฉลี่ยของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 4.30 – 6.47 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงค่าสีที่มีแนวโน้มเป็นสีแดง โดยเฉพาะในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น สำหรับค่า L* (brightness) และ b* (yellowness) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสว่างและค่าสีเหลืองนั้น จะเห็นว่าในทุกสภาพการเก็บรักษาค่า L* จะมีค่าอยู่ในช่วง 47.48 – 52.39 และส่วนค่า b* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 23.57 – 26.90 จากการประเมินค่าสี L* , a* และ b* ของข้าวเปลือกจะเห็นว่าในสภาพที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนจะมีสีเหลืองเข้มและแสดงออกค่าสีแดงได้ชัดเจนกว่าการเก็บรักษาสภาพอื่นๆ เนื่องจากสภาพดังกล่าวมีอุณหภูมิในระหว่างเก็บรักษาค่อนข้างสูง ซึ่งจากการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รายงานของนิรชรา (2542) ที่ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและอุณหภูมิต่อความเหลืองของข้าวเปลือก พบว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นร่วมกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้ข้าวเกิดความเหลืองได้เร็วขึ้น และจากการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม (ΔE) ของข้าวเปลือก จะเห็นว่าสีของข้าวเปลือกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น



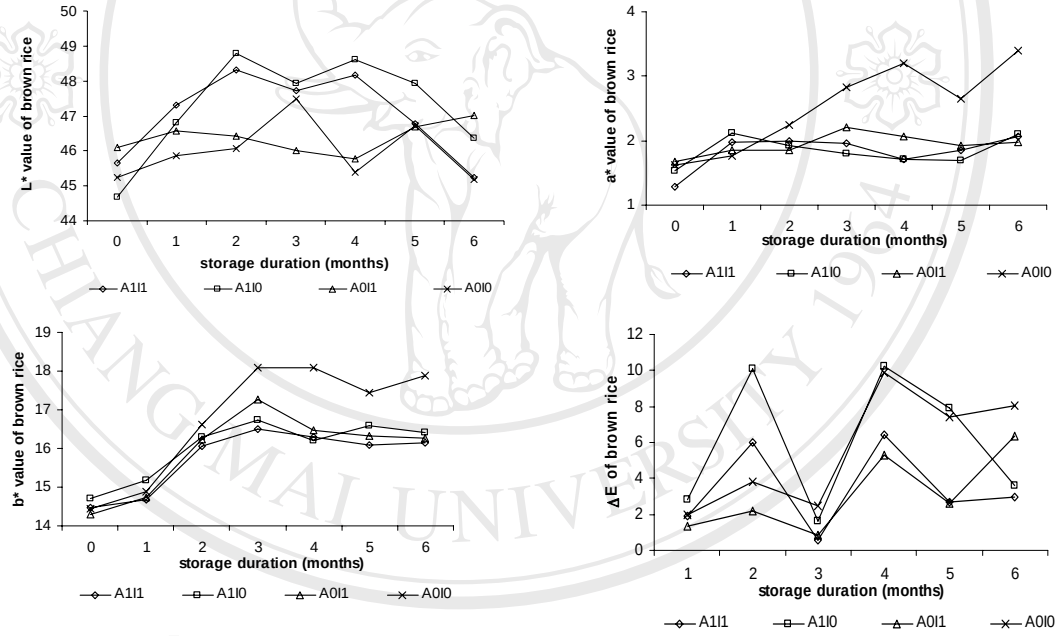
รูป 4.32 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวเปลือกในถังเก็บที่สภาพการเก็บรักษาต่างๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ข้าวกล้อง

ค่าสีของข้าวกล้องในระหว่างเก็บรักษา แสดงดังรูป 4.33 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกับข้าวเปลือก คือ ค่า a* ของข้างกล้องที่ผ่านการเก็บรักษาในสภาพที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นที่อายุเก็บรักษา 3 เดือน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.63 – 3.40 สภาพการเก็บรักษาอื่นมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 1.28 – 2.20 ส่วนค่า L* จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 44.67 – 48.78 สำหรับค่า b* หรือค่าสีเหลืองของข้าวกล้องจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเดือนที่ 1 – 3 โดยสภาพที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนจะมีค่า b* สูงอยู่ในช่วง 14.43 – 18.08 ส่วนสภาพการเก็บรักษาอื่นๆ มีการเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันแต่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า และมีค่าใกล้เคียงกันโดยอยู่ในช่วง 14.31 – 17.26 และจากการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมของข้าวกล้อง ในแต่ละสภาพการเก็บรักษาจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น โดยเฉพาะใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สภาพการเก็บรักษาที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูงในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ละมุล (2541) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อความเหลืองของข้าวกล้อง โดยทำการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 25 และ 27 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูงทำให้สีเหลืองของข้าวกล้องเพิ่มขึ้น และจากการรายงานของ Chrastil (1990) ซึ่งเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 4 , 25 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 เดือน จากการตรวจสอบค่า b ของข้าวกล้อง พบว่าค่า b ของข้าวกล้องเพิ่มขึ้น โดยข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสมีมีเข้มที่สุด รองลงมาคือที่ 25 และ 4 องศาเซลเซียสตามลำดับ และมีค่าสูงกว่าข้าวที่เก็บเกี่ยวใหม่

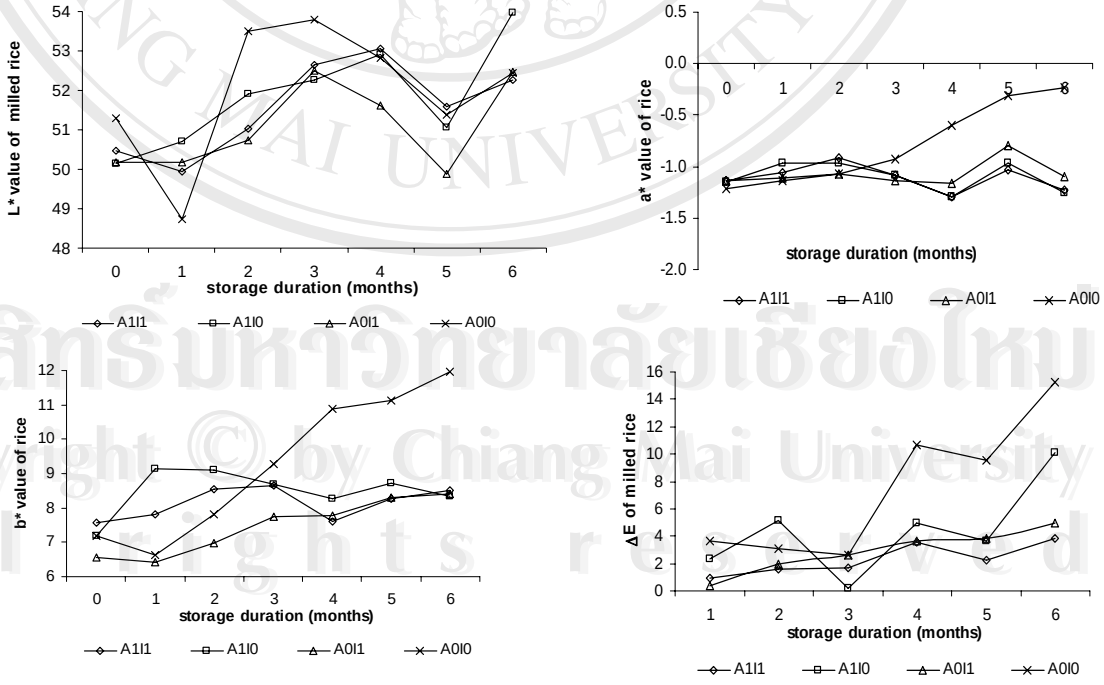


รูป 4.33 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวกล้องในถังเก็บที่สภาพการเก็บรักษาต่างๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าวสาร

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวสารระหว่างเก็บรักษาแสดงดังรูป 4.34 โดยค่า a* ของข้าวสารจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ซึ่งแสดงว่าวัตถุนั้นเข้าใกล้สีเทามากขึ้น ซึ่งจากการเก็บรักษาในสภาพที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนจะมีค่า a* เข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด โดยค่า a* จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเดือนที่ 3 - 6 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือนมีค่าอยู่ในช่วง -1.21 ถึง – 0.24 ส่วนสภาพการเก็บรักษาอื่นๆ มีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่า a* อยู่ในช่วง -1.17 ถึง -0.80 ส่วนค่า L* จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 48.84 – 53.97 สำหรับค่า b* ซึ่งจะนำมาอธิบายความเหลืองของข้าวสารนั้น มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นในทุกสภาพการเก็บรักษา โดยค่า b* ของข้าวสารในสภาพที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนจะมีค่า b* สูงสุด โดยค่า b* จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังเริ่มต้นเก็บรักษา และมีค่าสูงที่สุดในเดือนที่ 6 โดยการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือนมีค่าอยู่ในช่วง 6.63 – 11.97 ส่วนสภาพการเก็บรักษาอื่นๆ มีค่า b* เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันแต่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า และมีค่าใกล้เคียงกันโดยอยู่ในช่วง 6.40 – 9.12 หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม จะเห็นว่า ในแต่ละสภาพการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงสีไปในทิศทางเดียวกันโดยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น โดยสภาพการเก็บรักษาที่ไม่มีการระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนมีค่า ΔE สูงกว่าสภาพการเก็บรักษาแบบอื่นๆ



รูป 4.34 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวสารในถังเก็บที่สภาพการเก็บรักษาต่างๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าวสารที่ได้ผ่านการเก็บรักษาในถังที่ไม่ระบายอากาศร่วมกันไม่หุ้มฉนวนมีสีเหลืองมากกว่าสภาพการเก็บรักษาแบบอื่นๆ เนื่องจากมีค่า b* ที่สูงแสดงว่ามีสีเหลืองที่มากขึ้นด้วย โดยเฉพาะที่อายุเก็บรักษา 6 เดือน จะมีสีเหลืองเข้มมากกว่าในการเก็บสภาพอื่นๆ ดังแสดงในรูป 4.35 ซึ่งการเกิดสีเหลืองของข้าวสารที่ผ่านการเก็บรักษาในสภาพดังกล่าว น่าจะเป็นผลจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บที่ค่อนข้างสูงในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่ง Phillip *et al* (1998) ได้รายงานว่าสาเหตุการเกิดข้าวเหลืองสามารถเกิดจากปฏิกิริยาแบบ enzymatic reaction ที่เกิดจากการหายใจของเชื้อราร่วมกับความร้อนที่เกิดขึ้นในกองข้าว และสอดคล้องกับการศึกษาของ Indudhara Syamy *et al.* (1971) ที่พบว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกในสภาพที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงจะทำให้สีของเมล็ดข้าวสารเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากสีของเอนโดสเปิร์มเป็นสีเหลืองหรือปนน้ำตาล ซึ่งทำให้เกิดข้าวเหลือง

รูป 4.35 สีของข้าวสารในถังเก็บที่สภาพการเก็บรักษาต่างๆ อายุการเก็บรักษา 6 เดือน

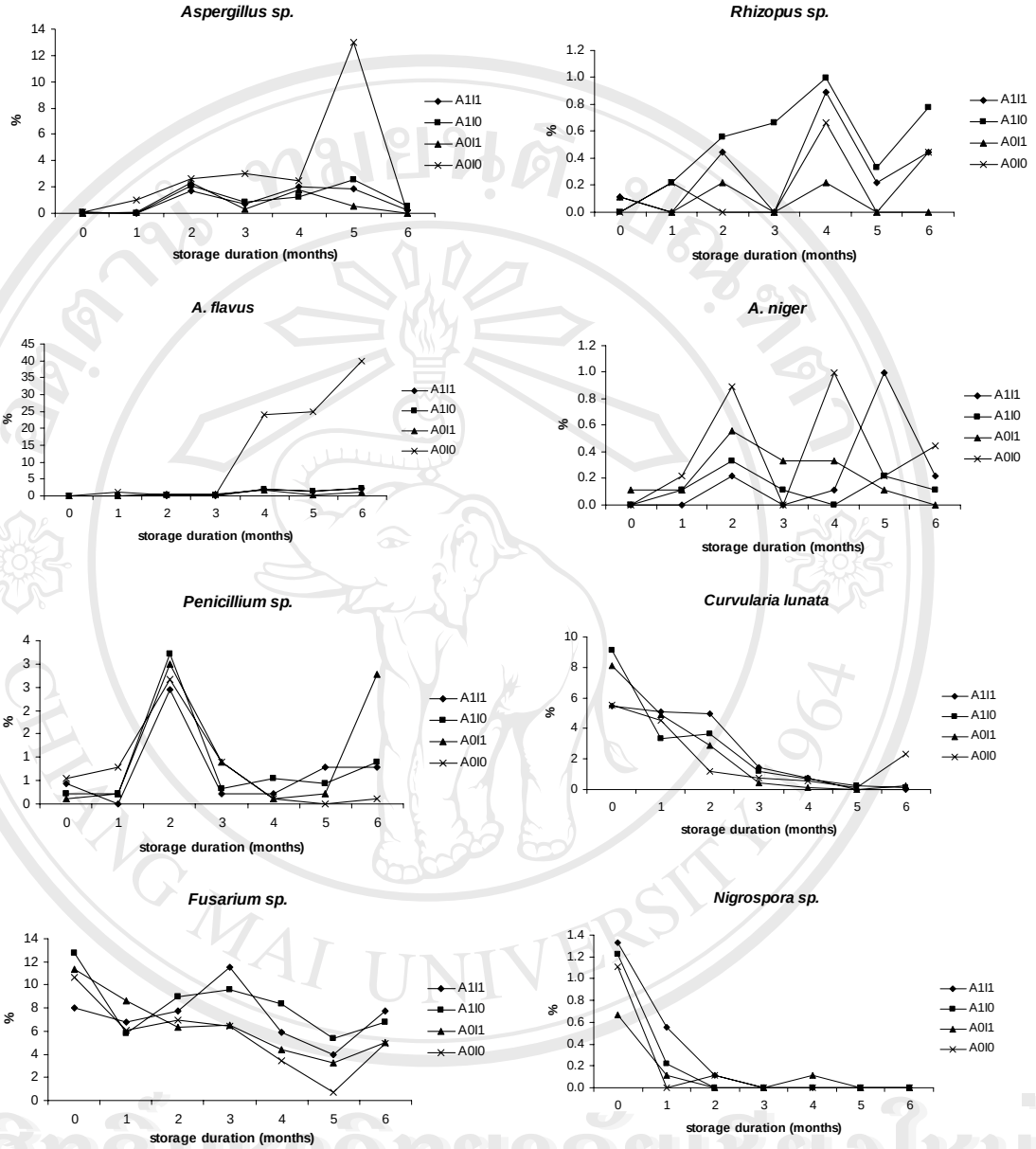
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.6 เชื้อราที่พบในระหว่างการเก็บรักษาในสภาพต่างๆ

จากการตรวจหาปริมาณเชื้อราในเมล็ดข้าวเปลือกที่เก็บรักษาในสภาพที่แตกต่างกัน พบว่ามีเชื้อราเกิดขึ้นเมื่อนำมาเพาะ เชื้อราที่พบได้แก่ Aspergillus, Penicillium, Rhizopus, Nigrospora, *Curvularia lunata*, *Fusarium* spp., *Drechslera* spp., *Curvularia* spp., *A. flavus* และ *A. niger* โดยเมื่อเริ่มทำการเก็บรักษา พบว่ามีเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดได้แก่ *Fusarium* spp. Nigrospora และ *Curvularia lunata* โดยเฉพาะ *Fusarium* spp. พบมากถึง 10.69% และเมื่อเก็บรักษานานขึ้นกลับพบน้อยลง แต่พบเชื้อราบางชนิดเมื่อเก็บรักษานานขึ้นได้แก่ Aspergillus, Penicillium, และ Rhizopus โดยในสภาพที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนจะพบ *Aspergillus flavus*, ในเดือนที่ 4 พบสูงถึง 32% ในชั้นกลางและชั้นบน และในเดือนที่ 5 พบมากที่ชั้นล่างส่วนในเดือนที่ 6 พบสูงใกล้เคียงกันทุกชั้นโดยมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 39.78% ส่วน *A. niger* พบมากในถังเก็บที่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวน และถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน สำหรับ Rhizopus พบมากในถังเก็บที่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวนและไม่หุ้มฉนวน โดยในบางเดือนพบว่าที่ชั้นล่างมีเชื้อรามากที่สุด ส่วน Penicillium พบมากในทุกสภาพการเก็บรักษา (รูป 4.36 และตาราง 4.6) อย่างไรก็ตามข้าวเปลือกที่ผ่านการเก็บรักษานาน 6 เดือนยังมีสภาพปกติจากการสังเกตด้วยตาเปล่า

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกในสภาพที่ไม่ระบายอากาศและไม่หุ้มฉนวน มีการตรวจพบปริมาณเชื้อราค่อนข้างสูงกว่าสภาพการเก็บรักษาอื่นๆ น่าจะเกิดจากความชื้นภายในถัง เพราะในสภาพการเก็บที่ไม่ระบายอากาศ และไม่หุ้มฉนวน ส่งผลให้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเก็บค่อนข้างสูง ประกอบกับเมล็ดมีการหายใจอยู่ตลอดเวลาจนทำให้มีความร้อนและความชื้นสะสมภายในถังเก็บมากยิ่งขึ้น เมื่อภายในถังเก็บมีความชื้นจึงทำให้เหมาะแก่การเจริญเติบโตของเชื้อรา ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ เรืองฤทธิ์ (2546) ได้ศึกษาถึงความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดข้าวเปลือก พบว่าความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราที่ติดมากับข้าวเปลือกได้มากกว่าอุณหภูมิ แต่อย่างไรก็ตามหากทั้งความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นพร้อมๆ กัน ก็ส่งผลให้ปริมาณเชื้อราเพิ่มขึ้นมากกว่า เพราะทั้งสองปัจจัยก็ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราทั้งสิ้น นอกจากนี้ผลจากอุณหภูมิที่สูงระหว่างการเก็บรักษา ก็ยังพบเชื้อราในกลุ่ม Aspergillius glaucus group ที่สามารถเจริญได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 20 – 40 องศาเซลเซียส (Hall ,1970) ซึ่ง Raper และ Fennell (1975) รายงานว่า *Aspergillus flavus* และ *A. glaucus* เป็นกลุ่มที่เข้าทำลายเมล็ดข้าวในโรงเก็บมากที่สุด ส่วนในญี่ปุ่นพบว่า Penicillium เป็นเชื้อราที่มีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดโรคข้าวในโรงเก็บ (Tatsomo, 1963)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.36 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ของเชื้อราที่พบในข้าวเปลือกที่สภาพการเก็บรักษาต่างๆ ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.6 ชนิดของเชื้อราที่พบในแต่ละเดือนในระหว่างเก็บรักษา (เปอร์เซ็นต์)

ชนิดเชื้อรา	เดือนที่						
	0	1	2	3	4	5	6
Aspergillus sp.	0.08	0.28	2.19	1.22	1.86	4.50	0.19
A. niger	0.03	0.11	0.50	0.11	0.36	0.39	0.19
Rhizopus sp.	0.06	0.11	0.31	0.17	0.69	0.14	0.42
Nigrospora sp.	1.08	0.22	0.06	0.00	0.03	0.00	0.00
Curvularia lunata	7.06	4.47	3.19	0.97	0.53	0.08	0.67
Fusarium sp.	10.69	6.83	7.53	8.53	5.53	3.31	6.11
Penicillium	0.33	0.31	2.83	0.58	0.25	0.36	1.14
A.flavus	0.08	0.28	0.33	0.33	7.53	1.17	11.39

4.5 การใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิข้าวเปลือกภายในถังเก็บ

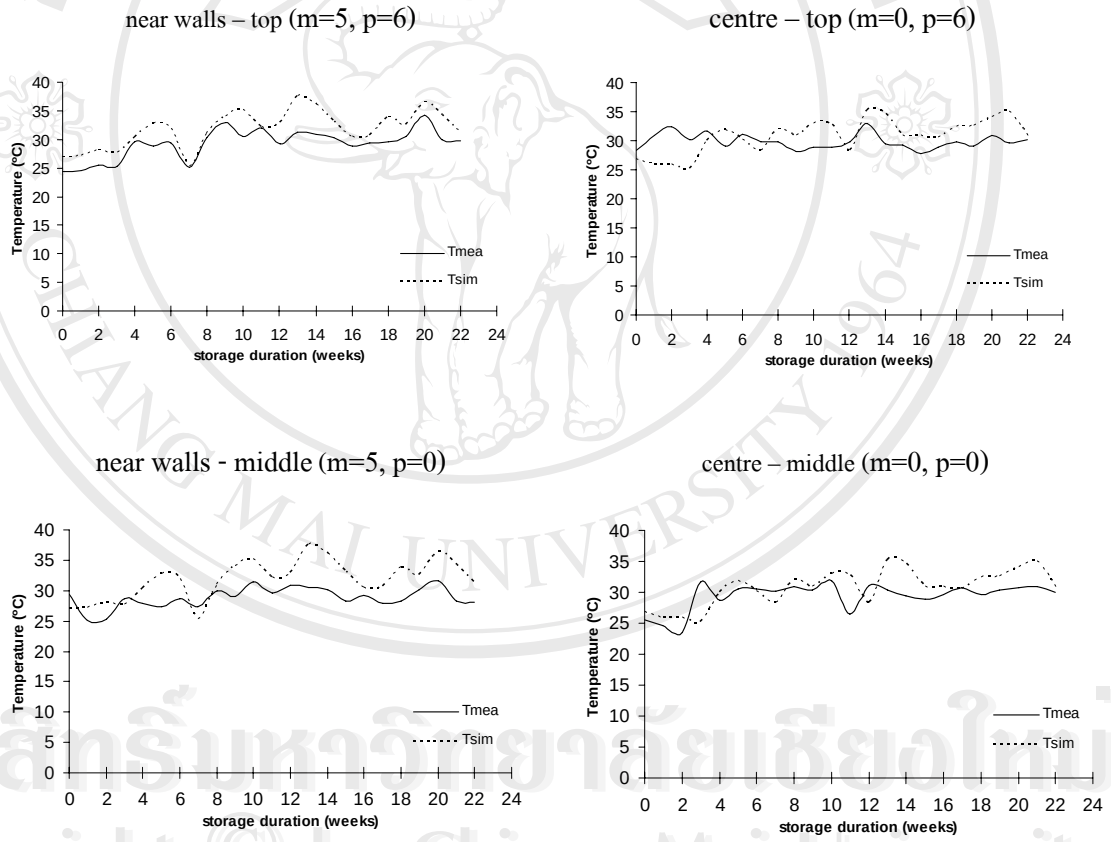
การทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังเก็บข้าวเปลือกกำหนดให้

1. การถ่ายเทความร้อนภายในถังคิดเฉพาะการนำความร้อนของข้าวแปลือกอย่างเดียว
2. สมบัติทางความร้อนมีค่าคงที่ ได้แก่
   - ความร้อนจำเพาะของข้าวเปลือกเท่ากับ 1.79 kJ/kg.°C
   - ค่าการนำความร้อนของข้าวเปลือกเท่ากับ 0.106 W/m.K
   - ความหนาแน่นของข้าวเปลือกเท่ากับ 579 kg/m^3 (ASAE, 1993)
3. การถ่ายเทความร้อนภายในถังคิด 2 ทิศทาง (two-dimension)นั่นคือ
   - แนวรัศมี $\Delta r = 0.05$ m.
   - แนวตั้ง $\Delta y = 0.05$ m.
4. อุณหภูมิที่ริมผนังเท่ากันทุกจุด ไม่ว่าจะเป็นส่วนบน ส่วนกลางหรือส่วนล่าง
5. ผลต่างของอุณหภูมิอากาศแวดล้อมระหว่างกลางวัน – กลางคืน มีค่าอยู่ในช่วง 4.08 – 28.64 องศาเซลเซียส โดยระหว่างการเก็บรักษามีอุณหภูมิกลางวันสูงสุดอยู่ที่ 46.48 และอุณหภูมิกลางคืนต่ำสุดอยู่ที่ 12.15 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังเก็บสภาพที่มีการระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวน

อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในถังเก็บที่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวนที่คำนวณโดยวิธี finite difference เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ แสดงดังรูป 4.37 พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา มีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.80 – 3.82 องศาเซลเซียส โดยที่ตำแหน่งริมผนังชั้นบน (m=5, p=6) (รายละเอียดแต่ละตำแหน่งดังรูป 3.5) มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่ากับ 2.80 องศาเซลเซียส ส่วนตำแหน่งริมผนังชั้นกลาง(m=5, p=0) ตำแหน่งกลางถังชั้นบน(m=0, p=6) และตำแหน่งกลางถังชั้นกลาง(m=0, p=0) มีความคาดเคลื่อนใกล้เคียงกันโดยเท่ากับ 3.37, 3.47 และ 3.82 องศาเซลเซียส

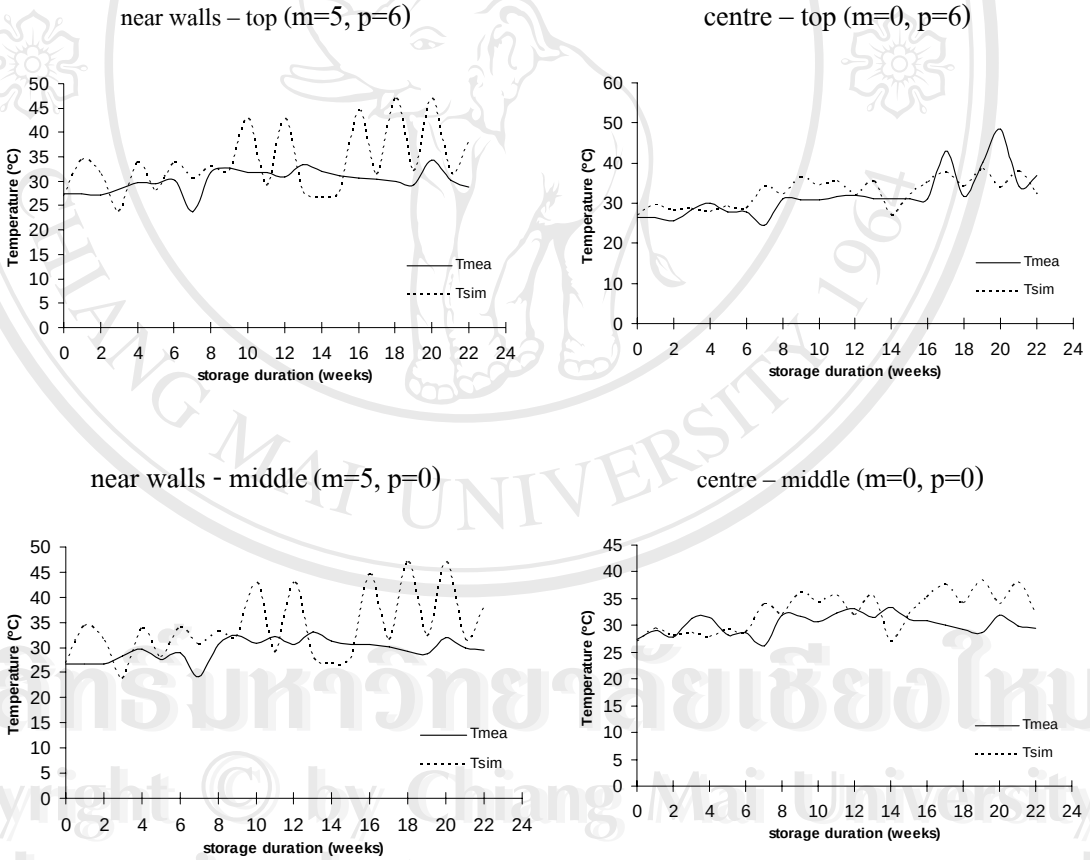


รูป 4.37 เปรียบเทียบอุณหภูมิข้าวเปลือกที่ได้จากการวัด และจากแบบจำลองที่ตำแหน่งต่างๆ ของถังเก็บในสภาพระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังเก็บสภาพที่มีการระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน

อุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนในถังเก็บที่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวนในทุกๆ ตำแหน่งภายในถังมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าในถังเก็บที่มีการระบายอากาศและหุ้มฉนวน (รูป 4.38) โดยความคาดเคลื่อนดังกล่าวอยู่ในช่วง 4.16 – 8.98 องศาเซลเซียส โดยตำแหน่งริมผนังชั้นบน (m=5, p=6) และริมผนังชั้นกลาง(m=5, p=0) มีความคลาดเคลื่อนสูงถึง 8.98 และ 8.97 องศาเซลเซียส รองลงมาได้แก่ตำแหน่งกลางถังชั้นบน(m=0, p=6) มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ที่ 5.14 องศาเซลเซียส ส่วนที่ตำแหน่งกลางถังชั้นกลาง(m=0, p=0) มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 4.16 องศาเซลเซียส

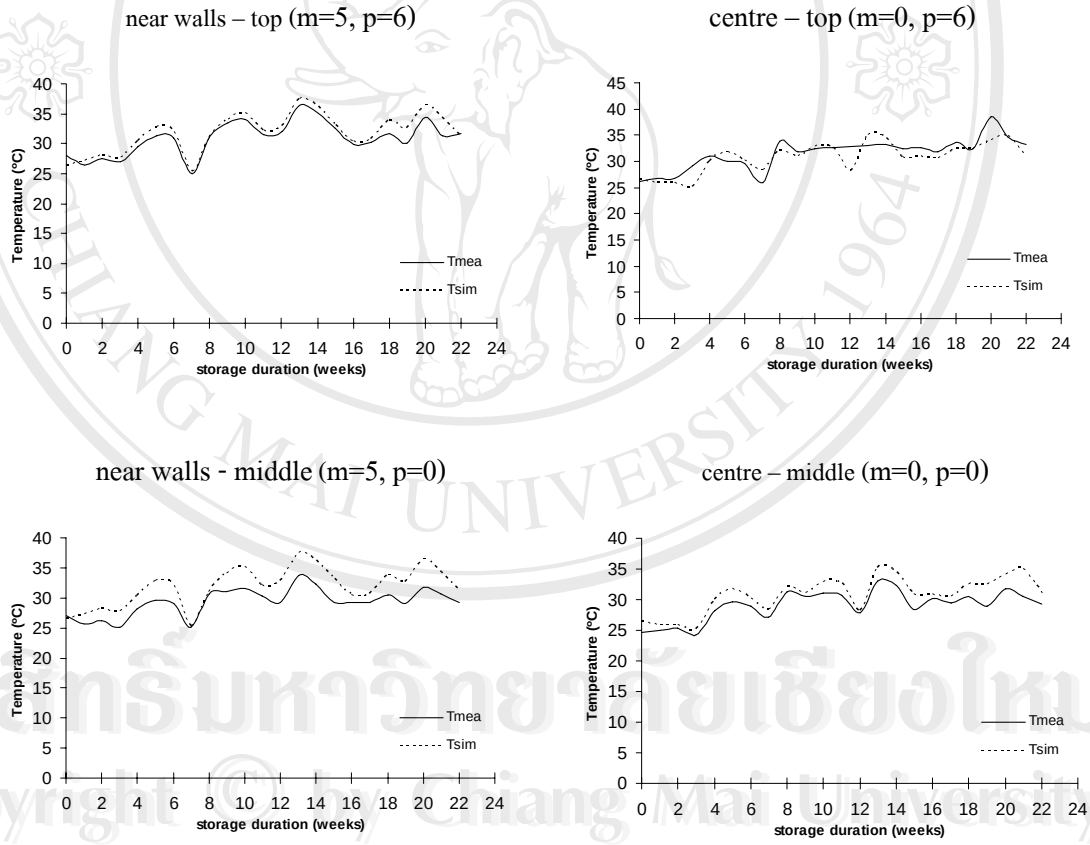


รูป 4.38 เปรียบเทียบอุณหภูมิข้าวเปลือกที่ได้จากการวัด และจากแบบจำลองที่ตำแหน่งต่างๆ ของถังเก็บในสภาพระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังเก็บสภาพที่ไม่การระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวน

สำหรับอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวนมีความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.67 – 4.04 องศาเซลเซียส แสดงดังรูป 4.39 โดยที่ตำแหน่งริมผนังชั้นบน (m=5, p=6) และริมผนังชั้นกลาง (m=5, p=0) มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงเท่ากับ 4.04 และ 2.91 องศาเซลเซียส ส่วนที่ตำแหน่งกลางถังชั้นบน(m=0, p=6) และกลางถังในชั้นกลาง (m=0, p=0) มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิค่อนข้างน้อยและใกล้เคียงกันเท่ากับ 2.67 และ 2.18 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าบริเวณริมผนังอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่วัดได้จริงค่อนข้างมากกว่าบริเวณกลางถัง โดยอุณหภูมิที่ได้จากทำนายจะมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จริง

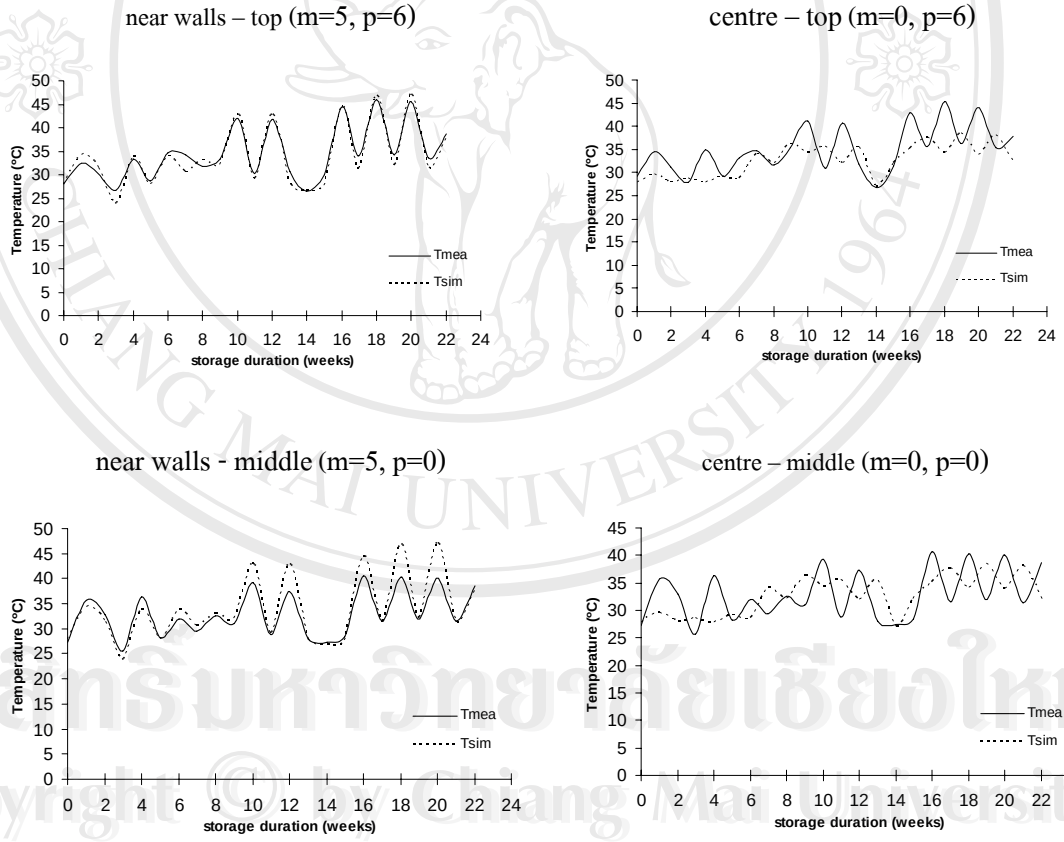


รูป 4.39 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากการวัด และจากแบบจำลองที่ตำแหน่งต่างๆ ของถังเก็บในสภาพไม่ระบายอากาศร่วมกับหุ้มฉนวน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังเก็บสภาพที่ไม่การระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน

อุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองในถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศร่วมกับไม่หุ้มฉนวน จะมีความแม่นยำที่ตรงกันข้ามกับถังเก็บที่ไม่ระบายอากาศแต่มีฉนวนหุ้ม โดยที่บริเวณริมผนังจะมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าบริเวณกลางถัง (รูป 4.40) โดยความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.11 – 6.26 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิบริเวณริมผนังในชั้นบน (m=5, p=6) และริมผนังในชั้นกลาง (m=5, p=0) ค่อนข้างมีความแม่นยำมากที่สุด โดยความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิเท่ากับ 2.11 และ 3.41 องศาเซลเซียส ส่วนตำแหน่งกลางถังชั้นบน (m=0, p=6) และกลางถังในชั้นกลาง (m=0, p=0) มีความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิค่อนข้างมากอยู่ที่ 6.26 และ 5.65 องศาเซลเซียส



รูป 4.40 เปรียบเทียบอุณหภูมิข้าวเปลือกที่ได้จากการวัด และจากแบบจำลองที่ตำแหน่งต่างๆ ของถังเก็บในสภาพไม่ระบายอากาศไม่หุ้มฉนวน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการทดลองพบความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่วัดได้จริงค่อนข้างมากโดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 2.11 – 8.98 องศาเซลเซียส ซึ่งความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่ได้จากการทำนายเนื่องจากคิดเฉพาะการนำความร้อนของข้าวเปลือกอย่างเดียว โดยไม่ได้คำนึงถึงอากาศที่แทรกอยู่ระหว่างเมล็ดข้าวเปลือก ทำให้ค่าการนำความร้อนที่ใช้ในการคำนวณมากกว่าความเป็นจริง อุณหภูมิที่ทำนายได้จึงสูงกว่าค่าที่วัดได้จริง นอกจากนี้ยังไม่ได้คำนึงถึงการพาความร้อนของอากาศภายในถังเมื่อมีการระบายอากาศ และการหายใจของเมล็ดข้าวเปลือกภายในถังเก็บ และยังมีความแปรปรวนของสภาพอากาศแวดล้อมแต่ละฤดูกาลร่วมด้วย โดยระหว่างทดลองอุณหภูมิแวดล้อมมีแตกต่างกันค่อนข้างมาก โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางวันที่อุณหภูมิภายนอกค่อนข้างสูงทำให้มีเกิดความคลาดเคลื่อนสูง แต่ในเวลากลางคืนหรือช่วงที่อุณหภูมิภายนอกไม่ค่อยมีความแปรปรวนมากนัก ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ทำนายได้ก็จะคลาดเคลื่อนน้อยมาก บางตำแหน่งก็เท่ากับ 0 ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิแวดล้อม เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมมีความแปรปรวนสูงจึงส่งผลให้การนำความร้อนของข้าวเปลือกในถังเก็บแต่ละสภาพและแต่ละตำแหน่งมีแปรปรวนค่อนข้างสูง การทดลองจะเห็นว่าการทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังเหล็กที่มีฉนวนหุ้มจะมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าถังเหล็กที่ไม่หุ้มฉนวน โดยในถังเก็บที่หุ้มฉนวนมีความแตกต่างอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 2.80 – 4.04 องศาเซลเซียส ส่วนถังเก็บที่ไม่มีฉนวนหุ้มมีความแตกต่างสูงถึง 8.98 องศาเซลเซียส

ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Able and Basunia (1996) ที่ทำนายการกระจายอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกภายในถังเก็บตามสภาวะที่แปรผันตามฤดูกาลโดยใช้ระเบียบวิธี finite difference พบว่าอุณหภูมิในถังเก็บโลหะ ช่วงฤดูร้อนมีความแตกต่างอยู่ที่ 2.9 องศาเซลเซียส และในฤดูหนาวมีความแตกต่างกันเท่ากับ 1.9 องศาเซลเซียส ส่วนในถังเก็บที่ทำจากไม้ ในช่วงฤดูร้อนมีความแตกต่างอุณหภูมิอยู่ที่ 2.3 องศาเซลเซียส และในฤดูหนาวมีความแตกต่างกันเท่ากับ 1.7 องศาเซลเซียส แต่จะเห็นว่ามีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ทำนายและจากการวัดจริงไม่มากนัก อาจเนื่องมาจากสภาพอากาศแวดล้อมของประเทศญี่ปุ่นส่วนใหญ่ค่อนข้างเย็นและมีความแปรปรวนของอุณหภูมิอากาศแวดล้อมน้อยกว่าที่ประเทศไทยจึงทำให้การทำนายการนำความร้อนมีความใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง ดังนั้นในการทำนายการนำความร้อนตามสภาพอากาศที่แปรผันตามฤดูกาลในประเทศไทยซึ่งมีความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละช่วงค่อนข้างสูงอาจได้ผลการทำนายไม่ค่อยแม่นยำมากนัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้การทดสอบการนำความร้อนส่วนใหญ่มักจะกระทำในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมหรือคงที่จึงจะได้ผลการทำนายที่แม่นยำ จากการทดลองของ พิรัญชนา (2548) ได้ทำนายอุณหภูมิภายในผลมะม่วงเมื่อเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 13.0 $\pm$ 0.5 องศาเซลเซียส และอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 48.0 $\pm$ 0.5 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิมะม่วงที่ได้จากการทำนายมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่วัดได้จริง มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยเป็น 1.25 และ 1.99 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved