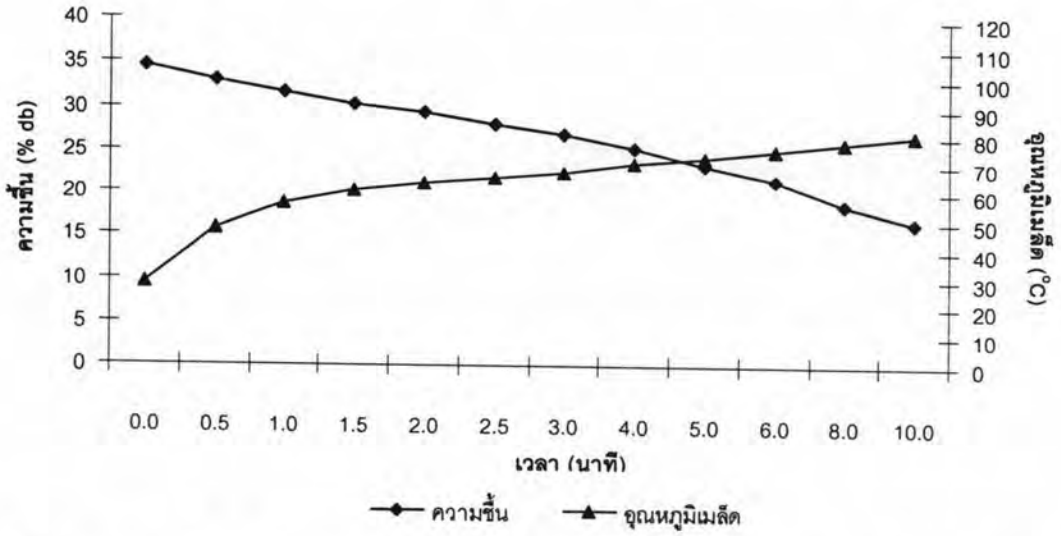
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

งานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชัน ขั้นตอนที่สองเป็นการศึกษาผลของการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน (การอบแบบฟลูอิไดซ์เบดและการอบในโรงเก็บ) ต่อปริมาณ 2AP และคุณภาพการสีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 *Oryza sativa* L. และขั้นตอนที่สามเป็นการศึกษาผลของการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งต่อคุณภาพข้าวเป็นระยะเวลา 6 เดือน

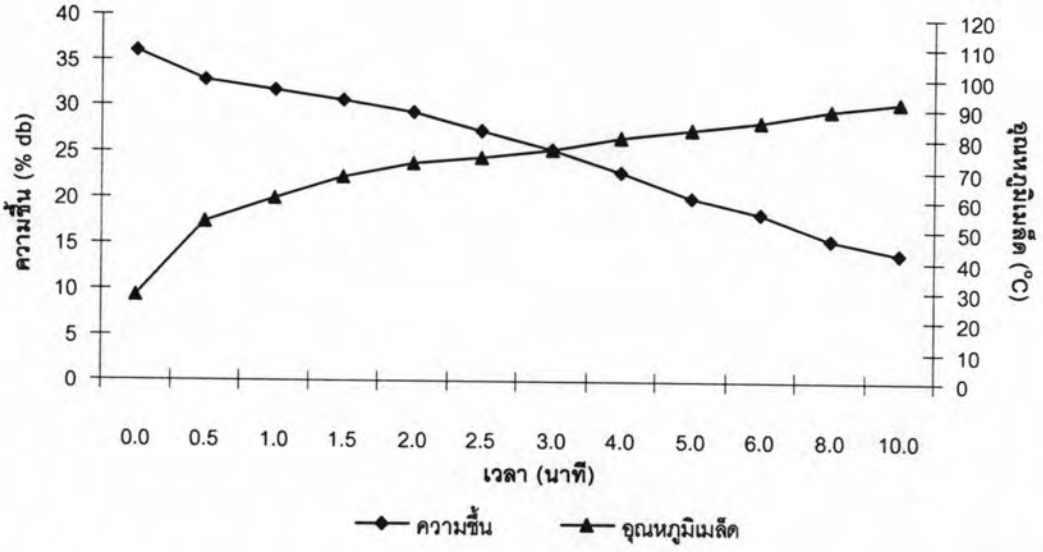
4.1 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชัน

ก) เมื่อเพิ่มความชื้นให้แก่ข้าวเปลือกจนมีค่าความชื้นเท่ากับ 35% db แล้วนำไปอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 100 115 125 135 และ 150°C นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ รวมทั้งค่าอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกที่วัดได้ (รูปที่ 4.1-4.5) พบว่าเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น ปริมาณความชื้นในข้าวเปลือกลดลง อุณหภูมิเมล็ดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

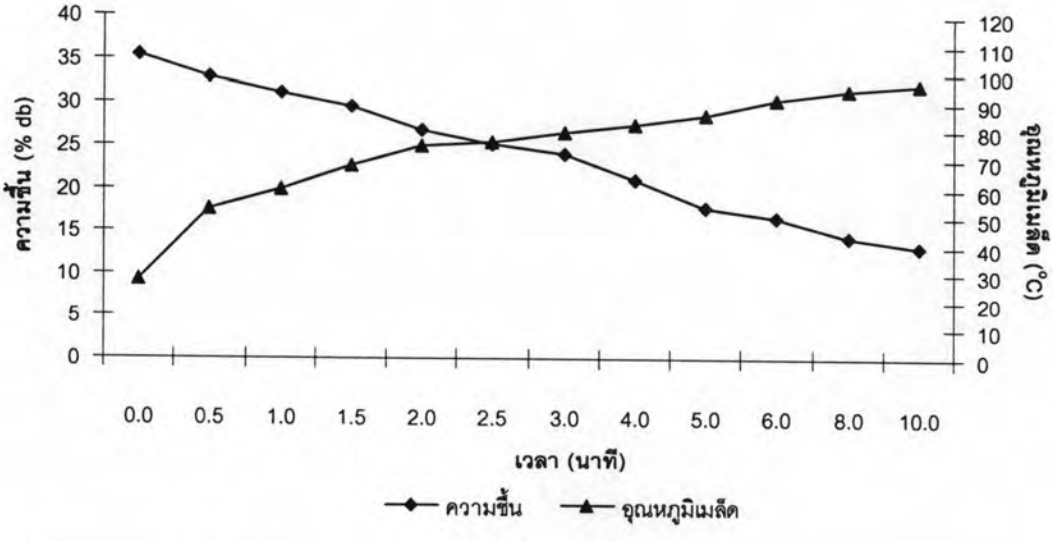


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 100°C

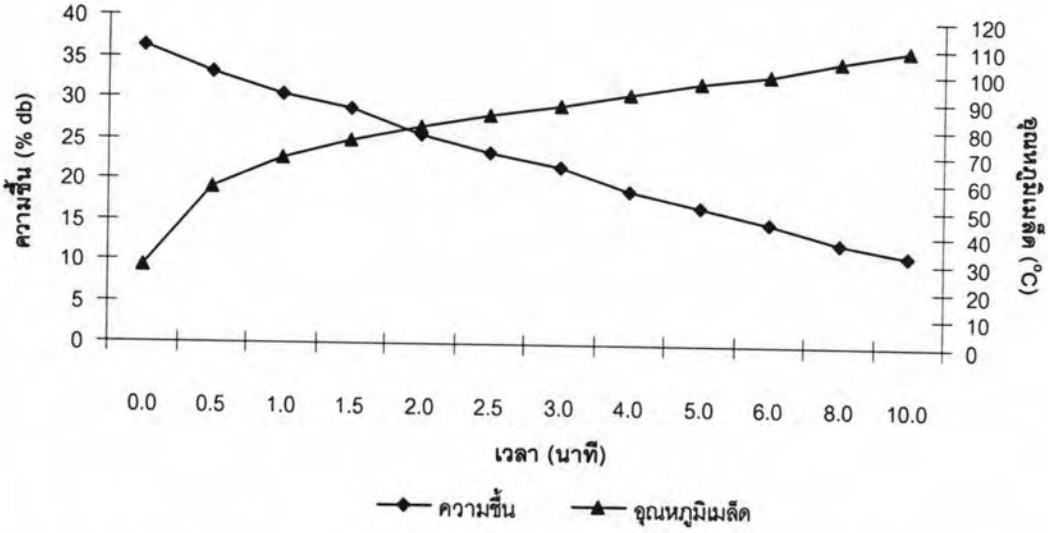
หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



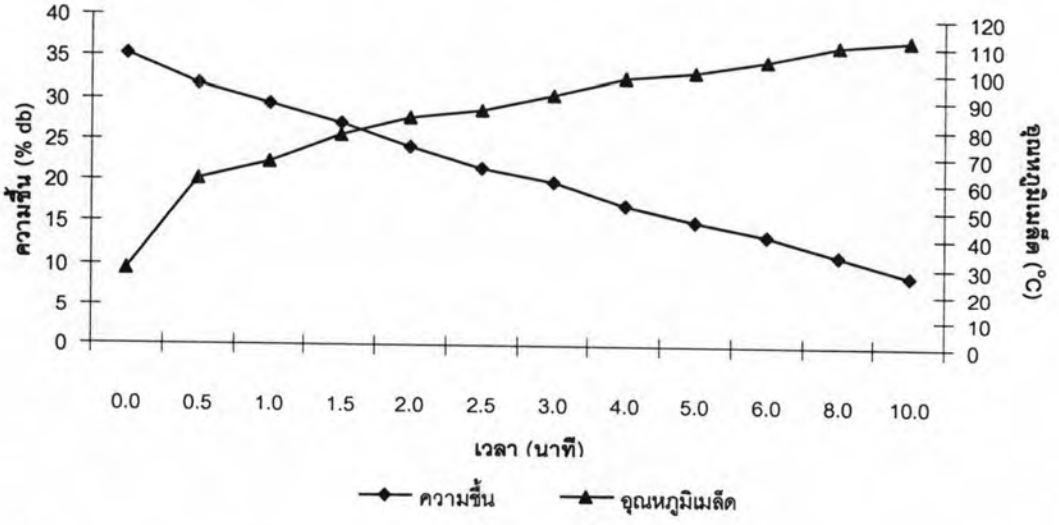
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 115°C



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 125°C



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 135°C



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 150°C

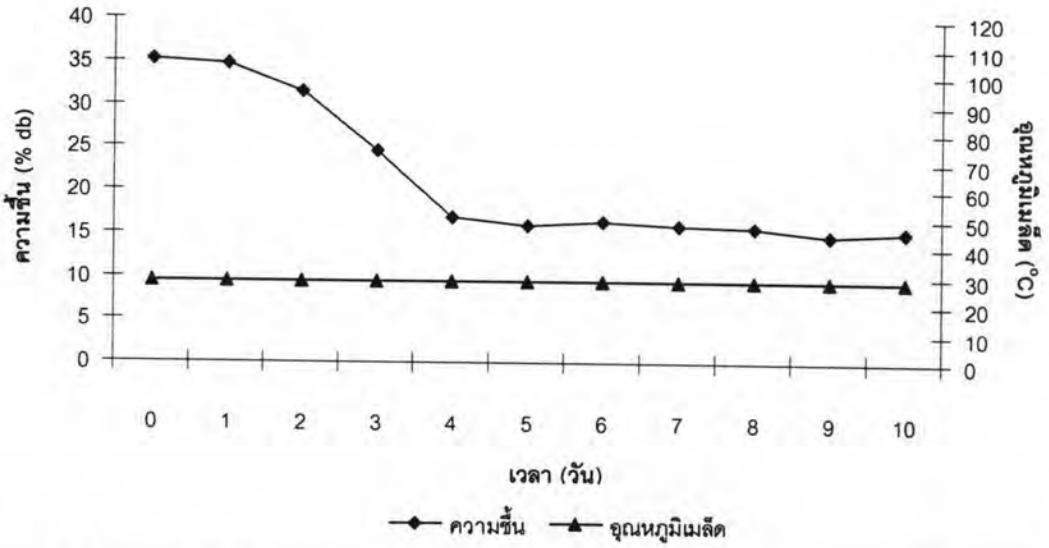
หากเปรียบเทียบที่ระยะเวลาการอบแห้งที่ 10 นาที พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้นจะทำให้ข้าวเปลือกมีน้ำหนักคงที่เร็วขึ้น ความชื้นต่ำลง (ตารางที่ 4.1) โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150°C เมื่อใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมด 10 นาที ความชื้นสุดท้ายเหลือเพียง 8.98% db เท่านั้น

ตารางที่ 4.1 ความชื้นของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 10 นาที

อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ความชื้น (% db)
100	16.59 ± 0.52
115	14.04 ± 0.41
125	13.28 ± 0.18
135	11.02 ± 0.50
150	8.98 ± 0.25

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอย่างอ้างอิง (รูปที่ 4.6) แสดงให้เห็นว่าในช่วง 4 วันแรกความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วทั้งนี้เนื่องจากความชื้นในช่วงดังกล่าวเป็นความชื้นในส่วนน้ำอิสระ (free water) จึงแพร่ออกสู่นอกได้ง่าย นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศแวดล้อมที่ใช้ในการตากในที่ร่มด้วย ถ้าอากาศแวดล้อมมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ตัวอย่างอาหารจะแพร่ความชื้นให้กับสิ่งแวดล้อมมากขึ้นตัวอย่างอาหารจึงแห้งได้เร็ว ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในระหว่างการลดความชื้นของตัวอย่างอ้างอิงมีค่าอยู่ที่ประมาณ 74.00 ± 6.28% หลังจากการตากในที่ร่มตั้งแต่วันที่ 5 เป็นต้นไปเห็นได้ว่าความชื้นจะลดลงอย่างช้าๆทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความชื้นดังกล่าวเป็นน้ำในส่วนที่เกาะเกี่ยวอยู่กับองค์ประกอบภายในเมล็ดพืช (bound water) จึงแพร่ออกมาอย่างช้าๆ และเข้าสู่สมดุลในที่สุด



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิเมล็ดของตัวอย่างอ้างอิงที่ผ่านการอบแห้งในโรงเก็บ

ข) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ รวมทั้งค่าอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกที่วัดได้ข้างต้น นำมาหาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิไดซ์เบดในการลดความชื้นจาก 35% db เป็น 23-25% db พร้อมทั้งค่าอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกที่วัดได้ พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 115 125 135 และ 150°C ต้องใช้เวลา 4 นาที 40 วินาที 3 นาที 25 วินาที 3 นาที 5 วินาที 2 นาที 35 วินาที และ 2 นาที 15 วินาที มีค่าอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกอยู่ที่ 71.45 78.13 81.08 83.30 และ 86.95°C ตามลำดับ หลังจากนั้นตัวอย่างข้าวเปลือกจะถูกนำไปอบแห้งต่อในโรงเก็บเพื่อลดความชื้นจาก 23-25% db เป็น 14-15% db การอบแห้งในขั้นตอนนี้จะทำให้ตัวอย่างมีการแพร่ความชื้นอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการลดอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกที่สูงภายหลังออกจากเครื่องฟลูอิไดซ์เบดให้ลดลงอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันการร้าวที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งต้องใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน สำหรับตัวอย่างอ้างอิงจะทำการลดความชื้นในโรงเก็บจาก 35% db เป็น 14-15% db พบว่าต้องใช้เวลา 5-7 วัน

4.2 ศึกษาผลของกระบวนการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน (การอบแบบฟลูอิดไดซ์เบดและการอบในโรงเก็บ) ต่อปริมาณสาร 2AP และคุณภาพการสีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 *Oryza sativa* L.

นำข้าวเปลือกที่ถูกปรับความชื้นอยู่ที่ 35% db อบแห้งในขั้นตอนที่ 1 ด้วยฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 100 115 125 135 และ 150°C จนความชื้นอยู่ในช่วง 23-25% db โดยเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกที่มีอุณหภูมิการอบแห้งต่างกันให้มีความชื้นอยู่ในช่วงดังกล่าวพิจารณา

จากผลการทดลองในข้อ 4.1(ข) และแสดงผลที่ได้ในตารางที่ 4.2 ต่อจากนั้นนำตัวอย่างไปอบแห้งในขั้นตอนที่ 2 ในโรงเก็บ (ตากในที่ร่ม) จนกระทั่งความชื้นอยู่ในช่วง 14-15% db

ตารางที่ 4.2 ระยะเวลาและอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกเมื่อผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิการอบแห้ง 100 115 125 135 และ 150°C เพื่อลดความชื้นจาก 35%db เป็น 23-25% db

อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	การอบขั้นที่ 1 ด้วยฟลูอิไดซ์เบด		
	เวลาในการอบแห้ง	ความชื้น (% db)	อุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือก (°C)
100	4 นาที 40 วินาที	24.02 ± 0.47	71.45 ± 0.69
115	3 นาที 25 วินาที	24.46 ± 0.52	78.13 ± 1.01
125	3 นาที 5 วินาที	23.95 ± 0.35	81.08 ± 0.94
135	2 นาที 35 วินาที	23.53 ± 0.15	83.30 ± 0.73
150	2 นาที 15 วินาที	23.98 ± 0.34	86.95 ± 0.81

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ภายหลังที่ตัวอย่างข้าวเปลือกผ่านการอบแห้งในขั้นตอนที่ 2 แล้วจะนำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆดังนี้

4.2.1 a_w และปริมาณความชื้น

จากการวิเคราะห์ a_w และปริมาณความชื้น พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ มี a_w และปริมาณความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.732-0.746 และปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 14.41-15.11% db (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 a_w และปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ที่เวลา 0 เดือน

อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	a_w	ความชื้น (% db)
ตัวอย่างอ้างอิง	0.742 ± 0.004^{ab}	14.86 ± 0.16^{bc}
100	0.746 ± 0.002^{a}	15.11 ± 0.04^{a}
115	0.740 ± 0.002^{b}	14.73 ± 0.08^{c}
125	0.732 ± 0.004^{c}	14.41 ± 0.16^{d}
135	0.744 ± 0.002^{ab}	14.98 ± 0.15^{ab}
150	0.745 ± 0.003^{a}	14.98 ± 0.04^{ab}

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2.2 เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น

หากเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างอ้างอิงที่ผ่านการอบแห้งในโรงเก็บกับตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบดซึ่งถือว่าเป็นการอบแห้งแบบลมร้อน พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบดในระหว่างการอบแห้ง ความชื้นถูกทำให้ลดลงอย่างรวดเร็ว ภายหลังจากการอบแห้งแล้วเมื่อทิ้งไว้จะทำให้ที่ผิวนอกของเมล็ดข้าวมีความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดลดต่ำลง ในขณะที่ภายในเมล็ดยังมีความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดสูงอยู่ ภายในแพร่ความชื้นให้กับภายนอก ภายนอกได้รับความชื้นเกิดการขยายตัว ภายในสูญเสียความชื้นเกิดการหดตัว เมื่อเกิดแรงทั้ง 2 พร้อมกันนำไปสู่การแตกร้าวในเมล็ดข้าว (Cnossen และคณะ, 2003) เมื่อนำไปสีข้าวจึงหักให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นต่ำกว่า นอกจากนี้ Juliano และ Perez (1983) ทดลองโดยนำข้าวพันธุ์ RD 4 IR841-67-1 CA-63G IR 42 ซึ่งมีปริมาณแอมิโลสต่างกันไปหุงแล้ววัดความแข็งของเมล็ดข้าวด้วยเครื่อง Instron cooked-rice hardness พบว่าข้าวในพันธุ์ที่มีแอมิโลสมากจะให้ความแข็งแรงของเมล็ดข้าวมากกว่า Webb และคณะ (1986) ทดลองในข้าวเชิงการค้าของอเมริกาทั้งหมด 28 ชนิด พบว่าข้าวที่มีความแข็งแรงมากจะให้ปริมาณข้าวต้นที่สูง ต่อมาธรรณพ เหล่ากุลดิลก (2548) ทดสอบปริมาณแอมิโลส ความแข็งของเมล็ดข้าวและเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นในข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณแอมิโลสเท่ากับ 30.25% เมื่อทำการวัดความแข็งของเมล็ดข้าวและเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจะให้ค่าเท่ากับ 52.76 N/cm^3 และ 51.50% ตามลำดับซึ่งต่ำกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ดังนั้นจึง

สรุปได้ว่าปริมาณของแอมิโลสที่มีอยู่ในข้าวมีความสัมพันธ์ต่อความแข็งแรงของเมล็ดข้าวและปริมาณข้าวต้นที่ได้ หากมีแอมิโลสสูงข้าวจะมีความแข็งแรงมากส่งผลให้ปริมาณข้าวต้นเพิ่มขึ้น สำหรับในการทดลองใช้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่มีแอมิโลสต่ำ (15-16%) (สุทธินี วานิชสำราญ, 2545) ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จึงมีโอกาสเกิดรอยร้าวภายในเมล็ดมาก ในระหว่างการขัดสีข้าวจึงมีความทนทานต่อการสีที่เกิดขึ้นได้ต่ำ ส่งผลให้ข้าวหักเพิ่มขึ้น และหากเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ที่เวลา 0 เดือน

อุณหภูมิอบแห้ง(^{o}C)	เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น
ตัวอย่างอ้างอิง	62.44 ± 0.85^{a}
100	41.18 ± 1.20^{e}
115	47.97 ± 0.27^{d}
125	50.62 ± 1.03^{c}
135	54.91 ± 0.32^{b}
150	54.63 ± 2.02^{b}

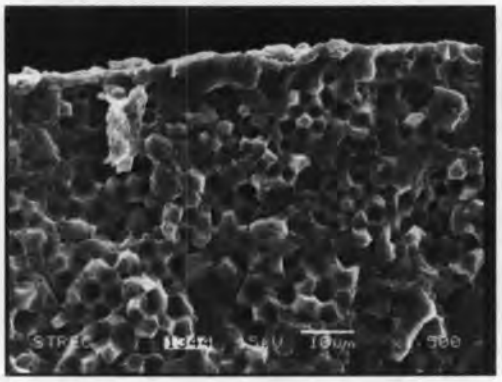
ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

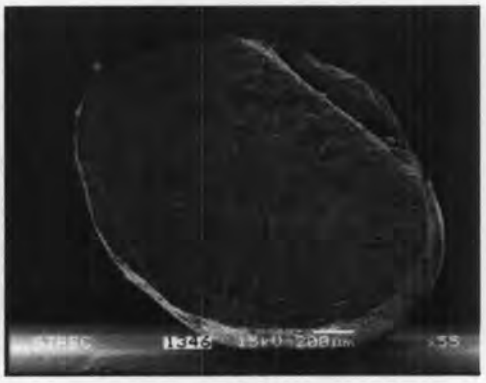
หลังจากนั้นนำตัวอย่างข้าวเปลือกไปส่องด้วยกล้อง Scanning electron microscopy พบว่ารูปร่างของเม็ดแป้งเดิมมีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยม (Hoseney,1998) มีมุมขนาด 3-8 μm (Bao และ Berman, 2003) (รูปที่ 4.7 A1-A2) เมื่อตัวอย่างข้าวเปลือกผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบด ทำให้เม็ดแป้งที่บริเวณขอบของเมล็ดข้าวมีการสูญเสียรูปร่างไปโดยส่วนใหญ่ มีการหลอมของเม็ดแป้งเกิดขึ้น เกิดเจลาติไนซ์บางส่วน (รูปที่ 4.7 B1-B2) ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกในการอบแห้งซึ่งมีค่า 35% db เป็นช่วงความชื้นที่ทำให้เกิดเจลาติไนเซชันแบบที่มีน้ำอยู่อย่างจำกัดได้ โดย Hoseney (1998) รายงานว่าการเกิดเจลาติไนเซชันที่สมบูรณ์ ต้องมีน้ำที่มากเกินพอในอัตราส่วนน้ำ : แป้งเป็น 2 : 1 เมื่อลดน้ำลงให้มีอยู่อย่างจำกัด โดยทดลองใน Wheat starch พบว่ามีการสูญเสีย birefringence ไป เกิดเจลาติไนซ์บางส่วนที่อัตราส่วนน้ำ : แป้งเป็น 0.35 : 1 ต่อมา Rudi และคณะ (2006) รายงานว่าการเกิดเจลาติไนเซชัน

I29 65609

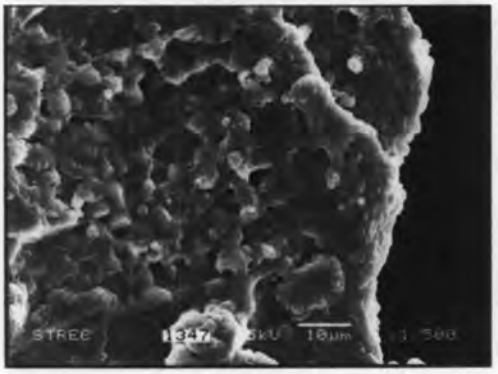
แบบที่มีน้ำอยู่อย่างจำกัดในแป้งข้าวเจ้าสามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงความชื้น 18-25% wb ในแป้งข้าวโพดเกิดขึ้นในช่วงความชื้น 20% wb ลักษณะโครงสร้างของเม็ดแป้งจะสูญเสียความเป็นผลึกไป นอกจากนี้แล้วในระหว่างการอบแห้งตัวอย่างข้าวเปลือกได้มีการสัมผัสกับความร้อน ความร้อนทำให้อุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกสูงขึ้นโดยสูงมากกว่า 70°C ซึ่งช่วงอุณหภูมิดังกล่าวอยู่ในช่วงเดียวกับอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวเจ้าที่มีค่าอยู่ในช่วง 68.0-78.0°C (กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) จากปัจจัยทั้งในเรื่องของปริมาณความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดข้างต้น จึงทำให้เม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะดังกล่าวได้ และเมื่อเย็นตัวลงโครงสร้างจะจับตัวกันแน่นขึ้น โดยการหลอมของเม็ดแป้งนั้นเปรียบเสมือนกาวที่คอยประสานรอยร้าวในเมล็ดข้าว



(A1)



(A2)

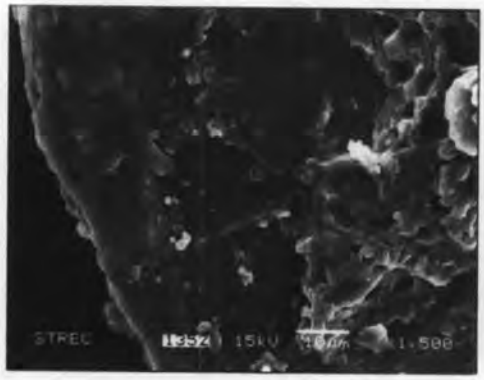


(B1)

(B2)

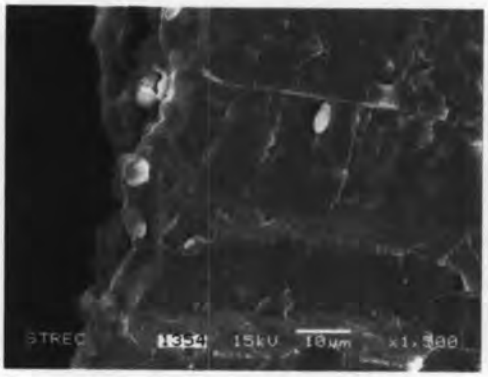
รูปที่ 4.7 ภาพตัดขวางของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ของตัวอย่างอ้างอิงและตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 100°C โดย A1 คือ ภาพบริเวณขอบของเมล็ดข้าวที่เป็นตัวอย่างอ้างอิงกำลังขยาย 1,500 เท่า, A2 คือ ภาพของเมล็ดข้าวที่เป็นตัวอย่างอ้างอิงกำลังขยาย 55 เท่า, B1 คือ ภาพบริเวณขอบของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 100°C กำลังขยาย 1,500 เท่า, B2 คือ ภาพของเมล็ดข้าวเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 100°C กำลังขยาย 55 เท่า

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(C1)

(C2)



(D1)

(D2)

รูปที่ 4.8 ภาพตัดขวางของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 115 และ 150°C โดย C1 คือ ภาพบริเวณขอบของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 115°C กำลังขยาย 1,500 เท่า, C2 คือ ภาพของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 115°C กำลังขยาย 55 เท่า, D1 คือ ภาพบริเวณขอบของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 150°C กำลังขยาย 1,500 เท่า, D2 คือ ภาพของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 150°C กำลังขยาย 55 เท่า

และเมื่อพิจารณาที่ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิอบแห้งต่างกัน พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น (150°C) เม็ดแป้งเกิดการหลอมมากขึ้น เกิดเจลาติไนซ์บางส่วนเพิ่มขึ้น ทำให้โครงสร้างจับตัวกันแน่นขึ้น ส่งผลให้ข้าวที่ได้มีลักษณะที่แข็ง แกร่ง เมื่อนำไปสีข้าวจึงทนต่อแรงกระแทกในการสีได้ดี ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงขึ้น (รูปที่ 4.8) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Poom sa-ad และคณะ (2002) และ Taweerattanapanish และคณะ (1999) ที่รายงานไว้ว่าการเปลี่ยนแปลงในข้าวที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะมีลักษณะคล้ายกับการเกิดในข้าวเก่า สามารถเร่งความเป็นข้าวเก่าได้ เช่นเดียวกับ Wiset และคณะ (2003) ที่ศึกษาผลการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงต่อสมบัติทางกายภาพ

และเคมีของข้าว ทดลองในข้าวทั้งหมด 3 พันธุ์คือ Langi Amaroo และ Chainart อบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิไดซ์เบด (100 125 และ 150°C) แล้วนำเป้าต่อด้วยอากาศแวดล้อม พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงขึ้น โครงสร้างเม็ดแป้งบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลง ผลการทดลองที่ได้ขัดแย้งกับ บุญมี และคณะ (2546) ซึ่งศึกษาผลการลดความชื้น และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคุณภาพการขัดสีของข้าวหอมมะลิ 105 โดยใช้วิธีการอบแห้งทั้งหมด 6 วิธี คือ ตากกลางแดด ใช้เครื่องลดความชื้นชนิดลมแห้งที่ 30 และ 40°C และใช้เครื่องลดความชื้นชนิดลมร้อนที่ 40 50 และ 70°C พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (30-40°C) ให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นที่สูงถึง 61% ในขณะที่อุณหภูมิอบแห้งสูง (70°C) ให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นต่ำเพียง 32% ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งไม่สูงพอที่จะทำให้อุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกอยู่ในช่วงอุณหภูมิของการเกิดเจลาติไนซ์ได้ ดังนั้นอุณหภูมิที่ 70°C จึงเป็นภาวะที่รุนแรงทำให้ข้าวหักได้ง่ายกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

4.2.3 ค่าสี

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อค่าสี โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกันส่งผลให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสาร และความเหลืองของข้าวสาร (b^*)แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่4.5)

ตารางที่ 4.5 ค่าสีของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ที่เวลา 0 เดือน

อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ดัชนีความขาว	b*
ตัวอย่างอ้างอิง	65.48 ± 0.43^{d}	9.01 ± 0.33^{c}
100	67.32 ± 0.50^{a}	8.57 ± 0.04^{d}
115	66.70 ± 0.24^{b}	8.91 ± 0.16^{c}
125	66.07 ± 0.18^{c}	9.25 ± 0.02^{b}
135	65.50 ± 0.09^{d}	9.80 ± 0.04^{a}
150	65.21 ± 0.21^{d}	9.96 ± 0.04^{a}

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

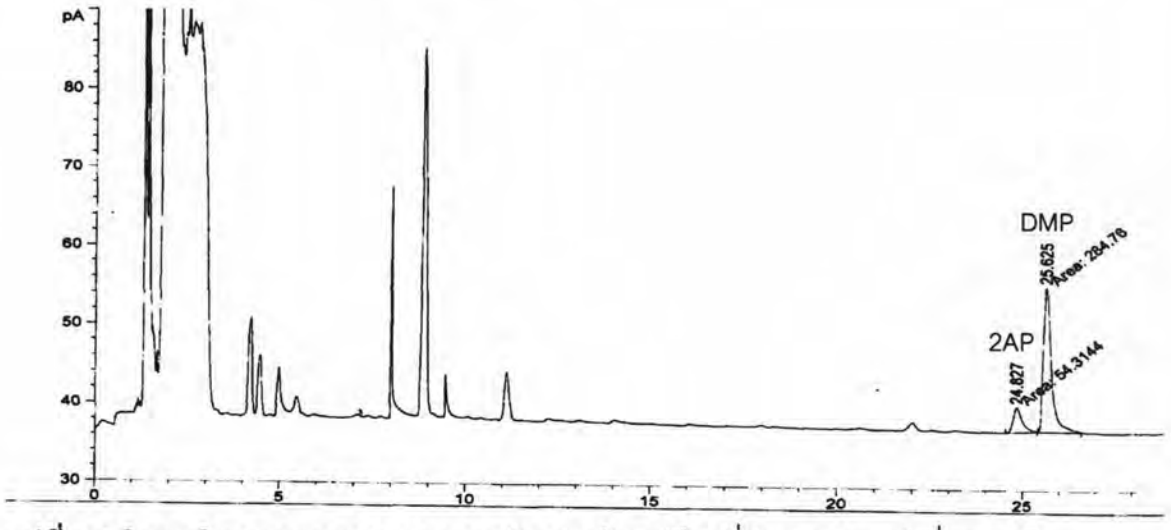
* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ซึ่งตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่ 100°C มีค่าดัชนีความขาวของข้าวสารเท่ากับ 67.32% ในขณะที่ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่ 150°C ให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสาร

เท่ากับ 65.21% สำหรับค่าความเหลือง (b*) พบว่าการอบแห้งที่ 100°C ให้ค่า b* เท่ากับ 8.57 และเมื่อผ่านการอบแห้งที่ 150°C ให้ค่า b* เท่ากับ 9.96 จะเห็นได้ว่าค่าดัชนีความขาวที่วิเคราะห์ได้สัมพันธ์กับค่าความเหลือง ชี้ให้เห็นว่าการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีแนวโน้มให้ความขาวในข้าวลดลง นั่นคือข้าวเริ่มมีสีเหลืองมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Soponronnarit และ Prachayawarakorn (1994) ศึกษาผลของการอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้นสูงโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดซ์เบด ทดลองอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 100 130 และ 150°C ผลการทดลองพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150°C ให้ค่าความขาวต่ำสุด เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นเข้าไปเร่งการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning โดยความร้อนจะเข้าไปตัดพันธะระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลออกให้กลายเป็นสารประกอบคีโตนทำให้ข้าวมีสีคล้ำขึ้น

4.2.4 ปริมาณ 2AP

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสาร 2AP โดยอาศัยเทคนิคของ Headspace Gas Chromatography (HS-GC) ซึ่งใช้ 2,4 dimethylpyridine (DMP) เป็นสารละลายมาตรฐานภายในพบว่า สาร 2AP มีค่า retention times เท่ากับ 24.83 นาที สารละลายมาตรฐาน DMP มี retention times เท่ากับ 25.63 นาที (รูปที่ 4.9)



รูปที่ 4.9 โครมาโตแกรมของสาร 2AP จากตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 115°C

นอกจากนี้แล้วยังพบอีกว่าตัวอย่างข้าวอ้างอิงซึ่งเป็นตัวอย่างข้าวเปลือกที่อบแห้งในโรงเก็บ (ตากในที่ร่ม) จะพบสาร 2AP มากถึง 1.4547 ppm ในขณะที่ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่ 100 115 125 135 และ 150°C พบปริมาณสาร 2AP เพียง 0.9964 0.9180

0.8954 0.7738 และ 0.7912 ppm ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวอย่างอ้างอิงพบว่าลดลง 31.50 36.89 38.45 46.81 และ 45.61% ตามลำดับเห็นได้ว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณสาร 2AP มีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 4..6) ผลการทดลองที่ได้ขัดแย้งกับ Sunthonvit และคณะ (2003) ที่ศึกษาผลของการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงต่อปริมาณสารหอมที่เป็นองค์ประกอบในข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิต่างกัน คือ 100 125 และ 150°C อบแห้งจนกระทั่งความชื้นลดลงจาก 26% wb เป็น 18% wb จากนั้นจะนำข้าวเปลือกจากขั้นตอนแรกมาอบแห้งในโรงเก็บจนกระทั่งได้ปริมาณความชื้นเป็น 13-14% wb ผลการทดลองพบว่าตัวอย่างอ้างอิง และตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 125 และ 150°C มีปริมาณ 2AP เท่ากับ 44.7 48.8 79.8 และ 124.8 ppb ตามลำดับโดยการเพิ่มขึ้นของสาร 2AP เนื่องจาก Millard reaction เห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้สาร 2AP เพิ่มขึ้นเล็กน้อยแทบจะไม่แตกต่างกัน ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากในการวิเคราะห์สารระเหยในการทดลองซึ่งใช้แบบ Likens and Nickerson apparatus for simultaneous distillation extraction (SDE) ซึ่งขั้นตอนในการสกัดต้องนำตัวอย่างข้าวเปลือกมาต้มกับตัวทำละลายและไอระเหยที่ได้นำไปควบแน่นและกลั่นแยกออกมา สารตั้งต้นของ 2AP ที่อยู่ในข้าวเมื่อได้รับความร้อนในช่วงเวลานานอาจเกิดปฏิกิริยาและสร้าง 2AP ขึ้นซึ่งไม่ใช่ 2AP ที่มีอยู่ในเมล็ดข้าว งานวิจัยนี้ได้นำเอาเทคนิคเฮดสเปซมาใช้ในการวิเคราะห์สารระเหยซึ่งถือว่าเป็นเทคนิคที่ได้รับการพัฒนามาแล้วว่าสะดวกและรวดเร็ว เป็นการวิเคราะห์ในระบบปิดและอัตโนมัติ ค่าที่วิเคราะห์ได้มีความแม่นยำ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Wongpornchai และคณะ (2004) ที่ศึกษาถึงอิทธิพลของการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆที่มีผลต่อสารหอมตลอดจนคุณภาพของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่สีได้ โดยใช้วิธีการอบแห้งทั้งหมด 6 วิธี คือ ตากกลางแดด ใช้เครื่องลดความชื้นชนิดลมแห้งที่ 30 และ 40°C และใช้เครื่องลดความชื้นชนิดลมร้อนที่ 40 50 และ 70°C และนำมาวิธีการวิเคราะห์สารระเหยแบบการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ในตัวอย่างข้าวดิบมาใช้ ซึ่งเป็นการสกัดที่ไม่ใช้ความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง เป็นวิธีที่มีความแม่นยำและใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์น้อย ผลการทดลองพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (30-40°C) ปริมาณสาร 2AP จะมีระดับที่สูง จากการทดลองในส่วนนี้เราจึงสามารถสรุปเกี่ยวกับแหล่งที่มาของสารหอม 2AP ได้ว่าเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ ไม่ได้เกิดจากปฏิกิริยา Maillard reaction ที่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง สาร 2AP ถูกสร้างขึ้นในส่วนอื่นๆ แล้วส่งถ่ายไปที่เมล็ดข้าวหรือสร้างขึ้นเองที่เมล็ดข้าว (นันทวรรณ รักพงษ์, 2547) และพบมากที่บริเวณเยื่อหุ้มและเนื้อเยื่อภายในเมล็ดซึ่งจะเกาะเกี่ยวอยู่โดยสร้างพันธะอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ เช่น แป้ง หรือกรดไขมัน เมื่อถูกความร้อนที่เพิ่มขึ้น ความร้อนจะเข้าไปกระตุ้นให้สาร 2AP ระเหยออกมาที่บริเวณผิวของเมล็ดมากขึ้น และระเหยออกสู่ภายนอกในที่สุด ทำให้ปริมาณ

สาร 2AP ที่เหลืออยู่ตรวจพบได้น้อยลง ดังนั้นความร้อนจึงถือว่าเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมการระเหยของสาร 2AP ไป

ตารางที่ 4.6 ปริมาณ 2AP ของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ที่เวลา 0 เดือน

อุณหภูมิอบแห้ง (^{o}C)	2AP (ppm)
ตัวอย่างอ้างอิง	1.4547 $\pm$ 0.0611^{a}
100	0.9964 $\pm$ 0.0314^{b}
115	0.9180 $\pm$ 0.0109^{c}
125	0.8954 $\pm$ 0.0289^{c}
135	0.7738 $\pm$ 0.0303^{d}
150	0.7912 $\pm$ 0.0432^{d}

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3 ศึกษาผลของการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งต่อคุณภาพข้าวเป็นเวลา 6 เดือน

นำตัวอย่างข้าวเปลือกที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 115 125 135 และ 150^{o}C ตามลำดับ (จากข้อ 4.2) มาแปรค่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 15^{o}C และอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 28-30 ^{o}C) เก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน สุ่มตัวอย่างทุกๆ 2 เดือนมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน a_w ปริมาณความชื้น เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น ดัชนีความขาวของข้าวสาร ความเหลืองของข้าวสารและ 2AP

แหล่งความแปรปรวน	a_w	ความชื้น	เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น	ดัชนีความขาว	b*	2AP
ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน) (A)	*	*	*	*	*	*
อุณหภูมิอบแห้ง (B)	*	*	*	*	*	*
อุณหภูมิเก็บรักษา (C)	*	*	*	*	*	*
A*B	*	*	*	*	*	*
A*C	*	*	ns	*	*	*
B*C	*	*	ns	*	ns	*
A*B*C	*	*	ns	*	*	*

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.7 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษา อุณหภูมิอบแห้งและอุณหภูมิเก็บรักษามีอิทธิพลต่อ a_w ความชื้น เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น ดัชนีความขาวของข้าวสาร b* และ 2AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาที่อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัย พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อ a_w ความชื้น เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น ดัชนีความขาวของข้าวสาร b* และ 2AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษามีผลต่อ a_w ความชื้น ดัชนีความขาวของข้าวสาร b* และ 2AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษามีผลต่อ a_w ความชื้น ดัชนีความขาวของข้าวสาร และ 2AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.1 a_w

การเปลี่ยนแปลง a_w ของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลาและอุณหภูมิเก็บรักษาต่างๆ พบว่า a_w ที่วัดได้อยู่ในช่วง 0.718-0.747 (ตารางที่ 4.8)

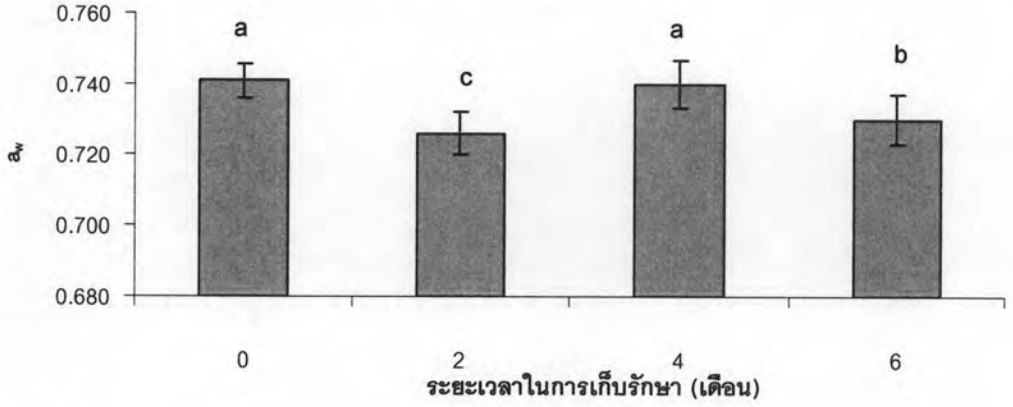
ตารางที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลง a_w ของตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลาและอุณหภูมิเก็บรักษาต่างๆ

การเก็บรักษา		a_w					
		อุณหภูมิอบแห้ง (^{o}C)					
อุณหภูมิเก็บรักษา (^{o}C)	เดือน	control	100	115	125	135	150
15	0	0.742 ± 0.004^{abcd}	0.746 ± 0.002^{ab}	0.740 ± 0.002^{bcdefg}	$0.732 \pm 0.004^{ijklmno}$	0.744 ± 0.002^{abc}	0.745 ± 0.003^{abc}
	2	$0.732 \pm 0.003^{hijklmno}$	$0.731 \pm 0.001^{ijklmno}$	$0.732 \pm 0.003^{hijklmno}$	0.723 ± 0.002^{pqrs}	0.728 ± 0.006^{mnopq}	0.722 ± 0.007^{qrst}
	4	0.740 ± 0.002^{bcdefg}	0.741 ± 0.003^{abcdef}	0.741 ± 0.002^{abcde}	$0.736 \pm 0.002^{defghijk}$	$0.738 \pm 0.004^{cdefghi}$	0.746 ± 0.002^{ab}
	6	$0.734 \pm 0.010^{fghijklm}$	0.729 ± 0.007^{lmnop}	$0.735 \pm 0.005^{efghijkl}$	$0.732 \pm 0.004^{ijklmno}$	$0.737 \pm 0.002^{defghij}$	$0.734 \pm 0.001^{ghijklm}$
อุณหภูมิห้อง	0	0.742 ± 0.004^{abcd}	0.746 ± 0.002^{ab}	0.740 ± 0.002^{bcdefg}	$0.732 \pm 0.004^{ijklmno}$	0.744 ± 0.002^{abc}	0.745 ± 0.003^{abc}
	2	0.729 ± 0.005^{klmnop}	0.727 ± 0.004^{nopq}	0.728 ± 0.001^{mnopq}	0.721 ± 0.006^{rst}	0.718 ± 0.003^{st}	0.720 ± 0.003^{rst}
	4	0.739 ± 0.004^{cdefgh}	$0.737 \pm 0.005^{defghij}$	0.740 ± 0.001^{bcdefg}	$0.734 \pm 0.002^{ghijklm}$	0.739 ± 0.003^{bcdefg}	0.747 ± 0.004^{a}
	6	0.730 ± 0.003^{klmno}	0.726 ± 0.010^{opqr}	0.726 ± 0.003^{opqr}	0.729 ± 0.003^{klmnop}	0.716 ± 0.005^{t}	$0.733 \pm 0.002^{hijklmn}$

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

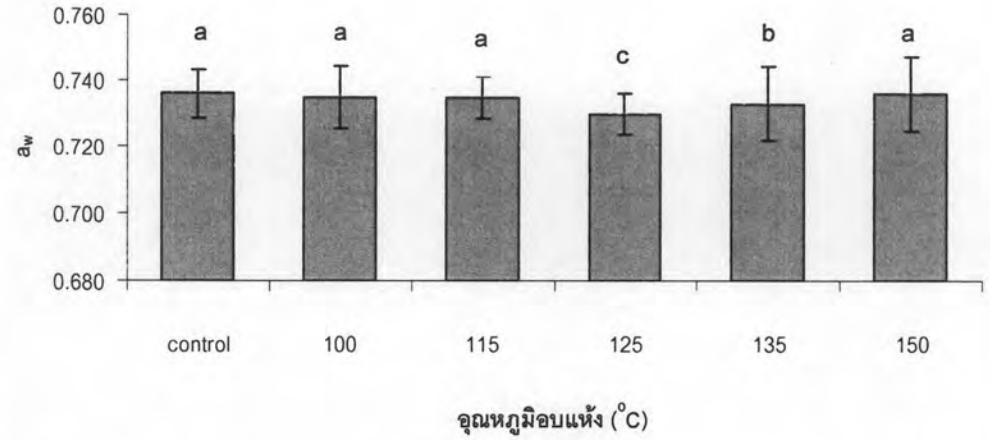
* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

และเมื่อพิจารณาที่ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อ a_w พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 0 2 4 และ 6 เดือน มีค่า a_w เท่ากับ 0.741 0.726 0.740 และ 0.730 ตามลำดับ (รูปที่ 4.10) โดยแปรผันตามสภาพบรรยากาศ และหากทำการเปรียบเทียบกันระหว่างตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าค่า a_w ที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 0.730-0.736 (รูปที่ 4.11) โดยตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีค่า a_w ต่ำกว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่ 15°C (รูปที่ 4.12)



รูปที่ 4.10 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อ a_w

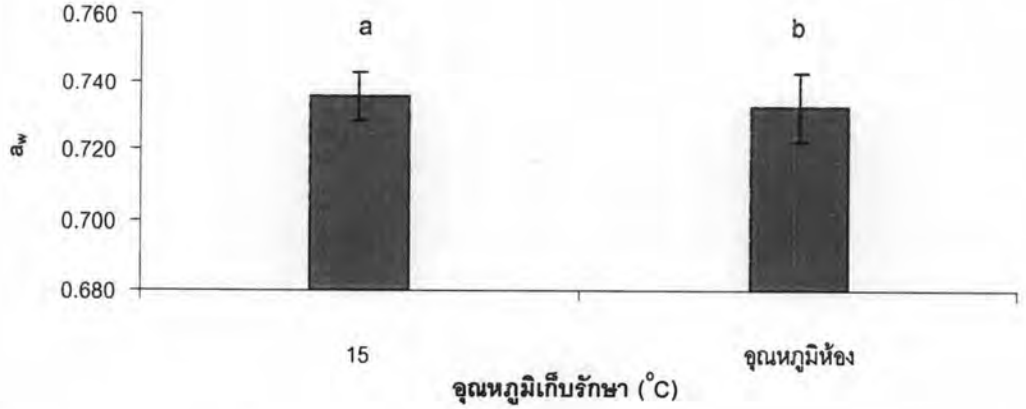
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อ a_w

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

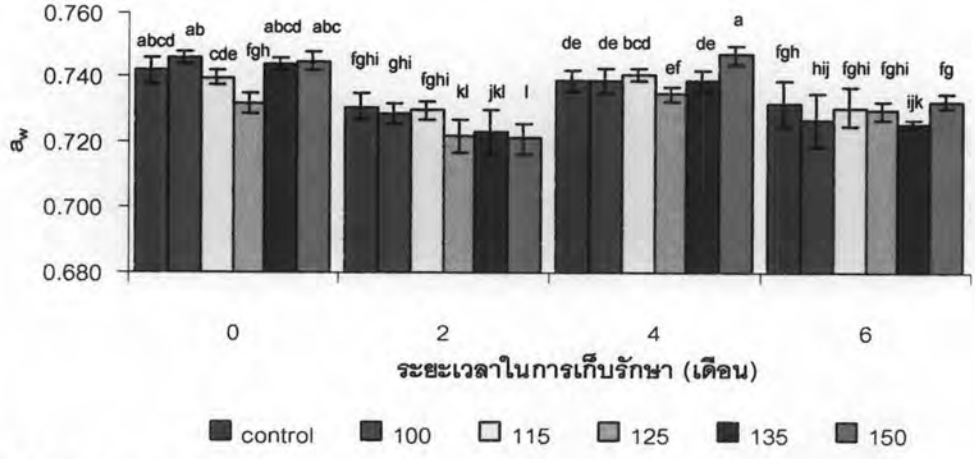
พระสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 ผลของอุณหภูมิเก็บรักษาต่อ a_w

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

และพบอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้ง (รูปที่ 4.13) ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ค่า a_w ลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

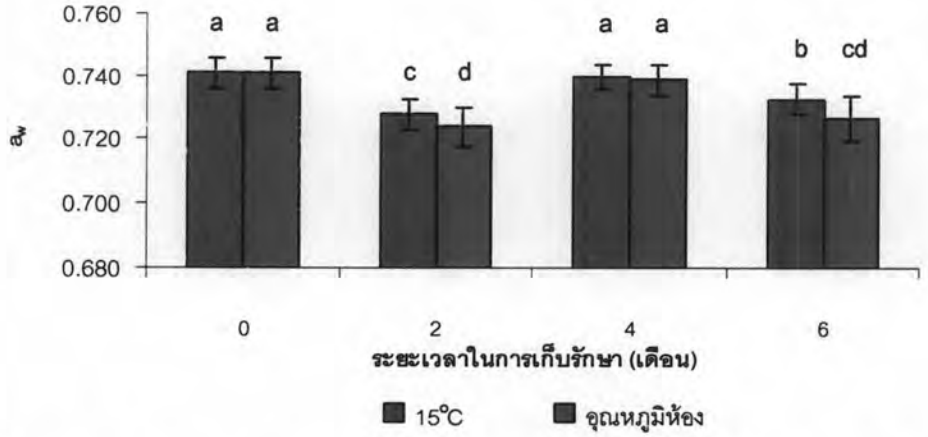


รูปที่ 4.13 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อ a_w

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

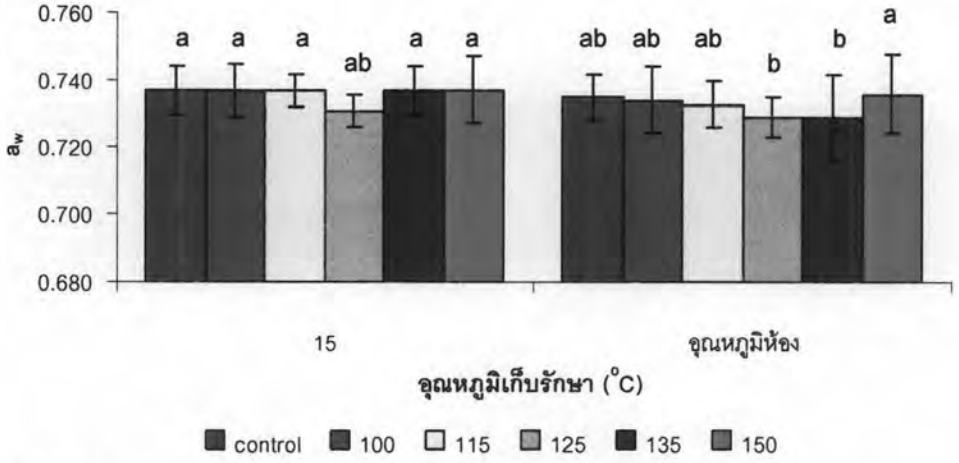
หากพิจารณาที่อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษา พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้ง 2 ดังกล่าวส่งผลให้ a_w แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นั่นคือตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาเวลา 0 เดือนมีค่า a_w เท่ากับ 0.741 เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน ตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่า a_w ลดลงเป็น 0.727 ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่ 15°C ที่มี a_w เท่ากับ 0.733 (รูปที่ 4.14) นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษา โดยตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งทุกๆภาวะการอบแห้ง

เมื่อเก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างกัน ส่งผลให้ a_w แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (รูปที่ 4.15)



รูปที่ 4.14 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อ a_w

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.15 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อ a_w

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.2 ปริมาณความชื้น

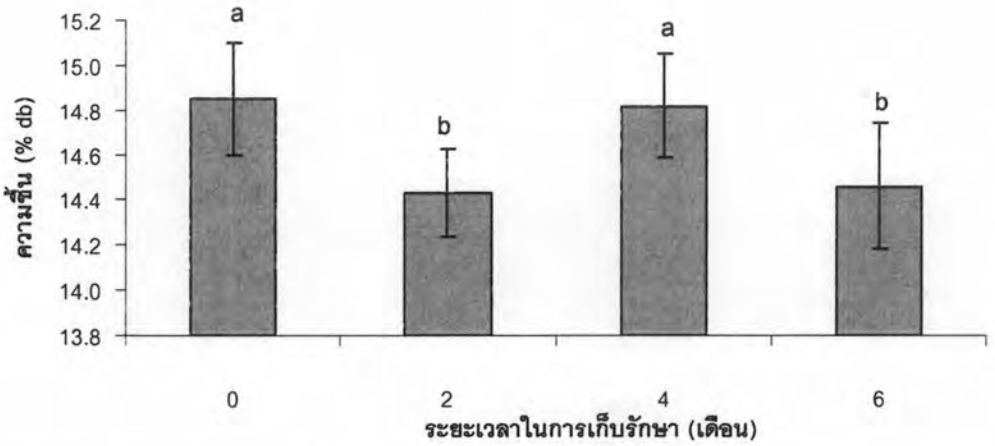
จากตารางที่ 4.10 พบว่าปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลา และอุณหภูมิเก็บรักษาต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 14.07-15.11% db และหากพิจารณาที่ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือนต่อปริมาณความชื้น พบว่าความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นั่นคือค่าความชื้นเริ่มต้นในเดือนที่ 0 อยู่ที่ 14.85% db เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือนค่าความชื้นลดลงอยู่ที่ 14.46% db (รูปที่ 4.16)

ตารางที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลาและอุณหภูมิเก็บรักษาต่างๆ

การเก็บรักษา		ความชื้น (% db) อุณหภูมิอบแห้ง (^{o}C)					
อุณหภูมิเก็บรักษา (^{o}C)	เดือน	control	100	115	125	135	150
15	0	14.86 ± 0.16^{bcde}	15.11 ± 0.04^{a}	14.73 ± 0.08^{defg}	14.41 ± 0.16^{klmn}	14.98 ± 0.15^{abc}	14.98 ± 0.04^{abc}
	2	14.67 ± 0.05^{efgh}	14.65 ± 0.04^{fghij}	14.66 ± 0.10^{efghi}	14.31 ± 0.04^{mnopq}	14.46 ± 0.08^{ijklmn}	14.32 ± 0.10^{lmnopq}
	4	14.80 ± 0.12^{cdef}	14.99 ± 0.10^{abc}	14.77 ± 0.13^{def}	14.51 ± 0.18^{hijklm}	14.90 ± 0.36^{abcd}	15.04 ± 0.14^{ab}
	6	14.63 ± 0.14^{fghij}	14.53 ± 0.07^{ghijkl}	14.61 ± 0.03^{fghijk}	14.29 ± 0.08^{nopq}	14.93 ± 0.07^{abcd}	14.90 ± 0.12^{abcd}
อุณหภูมิห้อง	0	14.86 ± 0.16^{bcde}	15.11 ± 0.04^{a}	14.73 ± 0.08^{defg}	14.41 ± 0.16^{klmn}	14.98 ± 0.15^{abc}	14.98 ± 0.04^{abc}
	2	14.62 ± 0.04^{fghijk}	14.39 ± 0.07^{lmno}	14.50 ± 0.07^{hijklm}	14.28 ± 0.11^{nopq}	14.15 ± 0.05^{qr}	14.19 ± 0.04^{opqr}
	4	14.74 ± 0.09^{defg}	14.90 ± 0.05^{abcd}	14.73 ± 0.22^{defg}	14.51 ± 0.17^{hijklm}	14.92 ± 0.16^{abcd}	15.01 ± 0.11^{abc}
	6	14.37 ± 0.05^{lmnop}	14.20 ± 0.09^{opqr}	14.38 ± 0.26^{lmno}	14.18 ± 0.13^{pqr}	14.07 ± 0.08^{r}	14.45 ± 0.15^{jklmn}

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

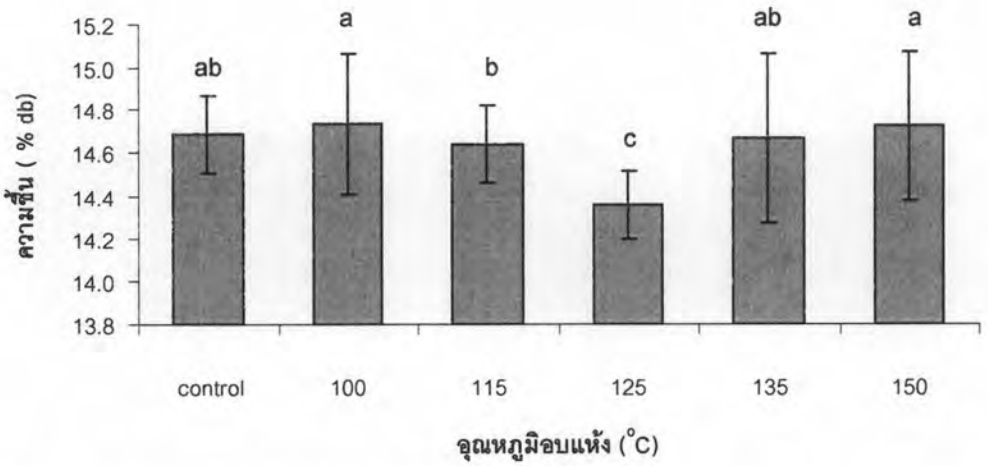
* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.16 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้น

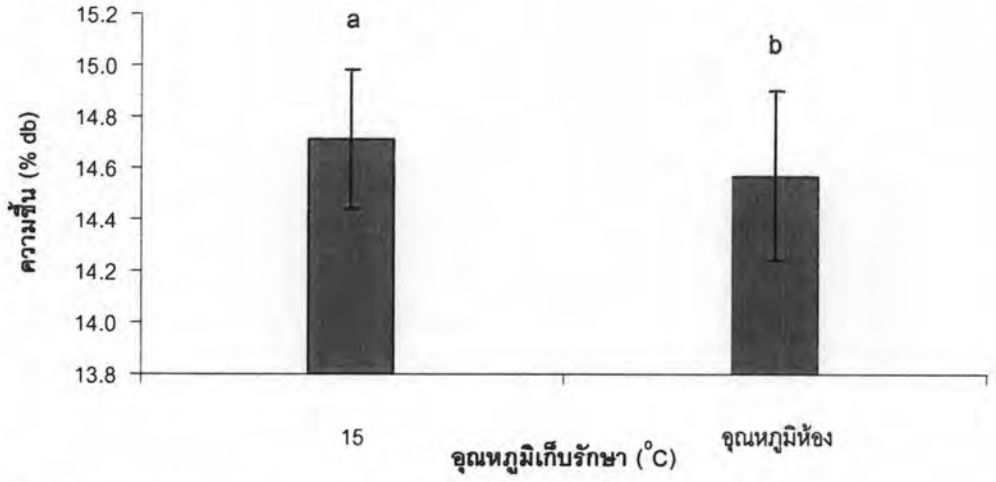
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

และเมื่อพิจารณาที่ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณความชื้น พบว่าปริมาณความชื้นที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 14.36-14.74% db (รูปที่ 4.17) นอกจากนี้แล้วอุณหภูมิในการเก็บรักษายังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของตัวอย่างข้าวเปลือก โดยตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องมีค่าความชื้นเท่ากับ 14.57% db ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาไว้ที่ 15°C ทั้งนี้เนื่องจากข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงมีการแลกเปลี่ยนความชื้นกับบรรยากาศและการซึมผ่านของไอน้ำดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (เพลงพิณ ศิวาพรรักษ์, 2541) (รูปที่ 4.18)



รูปที่ 4.17 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณความชื้น

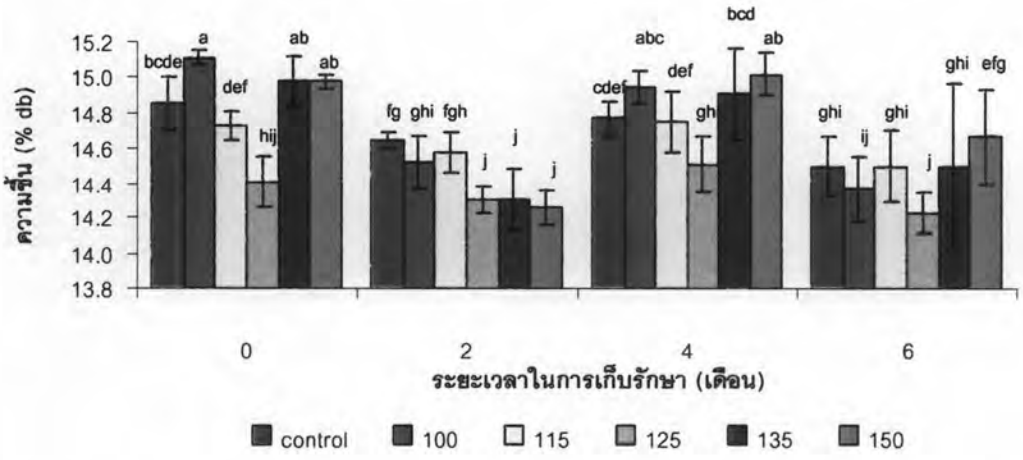
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.18 ผลของอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้น

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัย พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆเมื่อนำตัวอย่างข้าวเปลือกเหล่านั้นมาเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน ปริมาณความชื้นในตัวอย่างลดลง (รูปที่ 4.19)

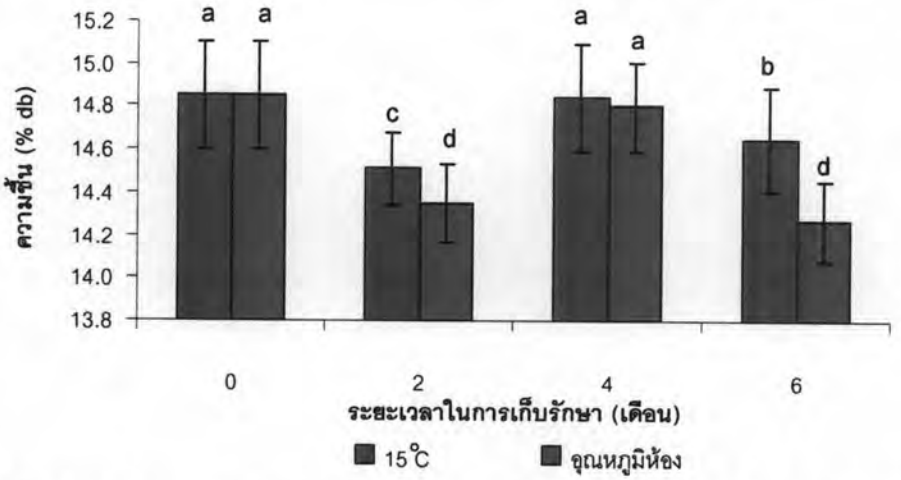


รูปที่ 4.19 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณความชื้น

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษา พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษามีค่าความชื้น 14.85% db หากทำการเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 4 ละ 6 เดือนให้ค่าความชื้น 14.35 14.80 และ 14.27% db ตามลำดับและหากเก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกไว้ที่ 15°C ให้ค่าความชื้น 14.51

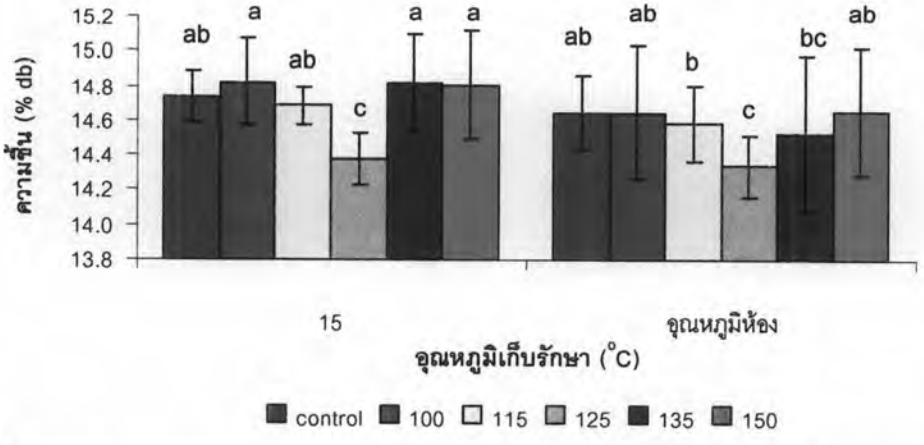
14.84 และ 14.65% db ตามลำดับเห็นได้ว่าตัวอย่างข้าวเปลือกเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ปริมาณความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และการเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องจะมีความชื้นต่ำกว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่ 15°C (รูปที่ 4.20)



รูปที่ 4.20 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้น

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

และเมื่อพิจารณาที่อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษา พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งทุกภาวะเมื่อนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิการเก็บรักษาต่างกัน ส่งผลให้ความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (รูปที่ 4.21)



รูปที่ 4.21 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้น

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ยกตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 6 เดือน มีปริมาณความชื้น 14.65% db ในขณะที่เก็บรักษาที่ 15°C ให้ค่าปริมาณความชื้นสูงกว่าโดยมีค่าเท่ากับ 14.82% db

การที่ความชื้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆลงๆสามารถอธิบายได้อย่างคร่าวๆด้วย Sorption Isotherm ซึ่ง Da-Wen Sun (1999) ได้รวบรวมเกี่ยวกับสมการ Sorption Isotherm ไว้มากมาย เช่น Modified-Chung-Phost, Modified-Henderson, Strohman Yoerger เป็นต้น โดยถือว่า สมการ Chung Phost (MCPE) เป็นสมการที่นิยม โดย Isotherm ที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับ Isotherm ที่ได้จากผลการทดลอง ดังนั้นจึงถือว่าเป็นสมการที่สามารถทำนายค่าได้อย่างแม่นยำ ซึ่งผู้ทดลองได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 5-40°C ในข้าวเปลือกชนิด Long-grain โดยถือว่าช่วงอุณหภูมิที่ทดลองดังกล่าวครอบคลุมอุณหภูมิที่งานวิจัยชิ้นนี้ใช้ในการเก็บรักษาข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

The Modified-Chung-Phost Equation (MCPE) อธิบายไว้ว่า

$$emc\ (\%db) = \frac{-1}{C3} \ln\left[\frac{(-T+C2)\ln a_w}{C1}\right]$$

โดยที่ค่า C1, C2 และ C3 เป็นค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง

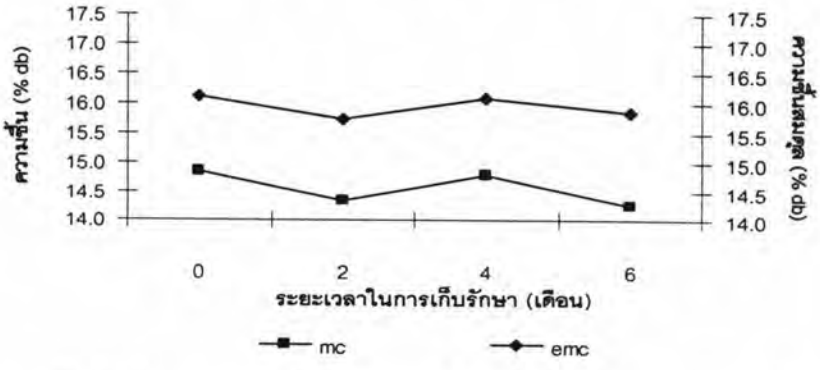
$C1 = 6.8195 \times 10^{2}$

$C2 = 6.0846 \times 10^{1}$

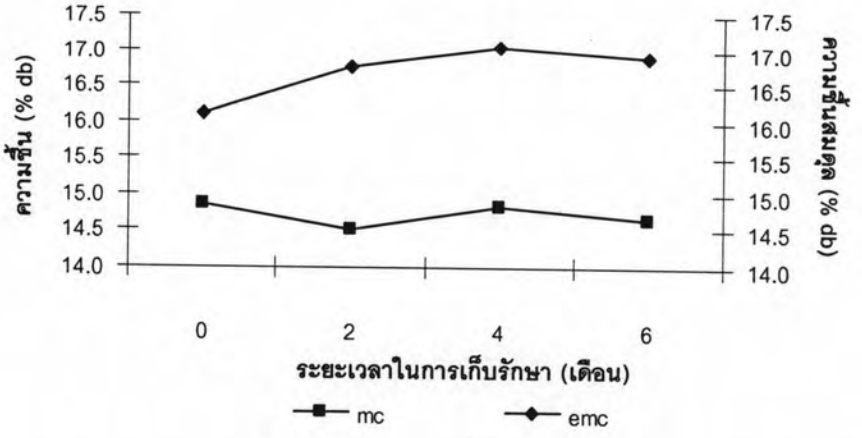
$C3 = 2.0012 \times 10^{-1}$

T = อุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส

ผลการทดลองที่ได้ พบว่าความชื้นของตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องและ 15°C มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นสมดุล ทั้งนี้เนื่องมาจากตัวอย่างมีการปรับตัวเข้าสู่สมดุล (รูปที่ 4.22-4.23)

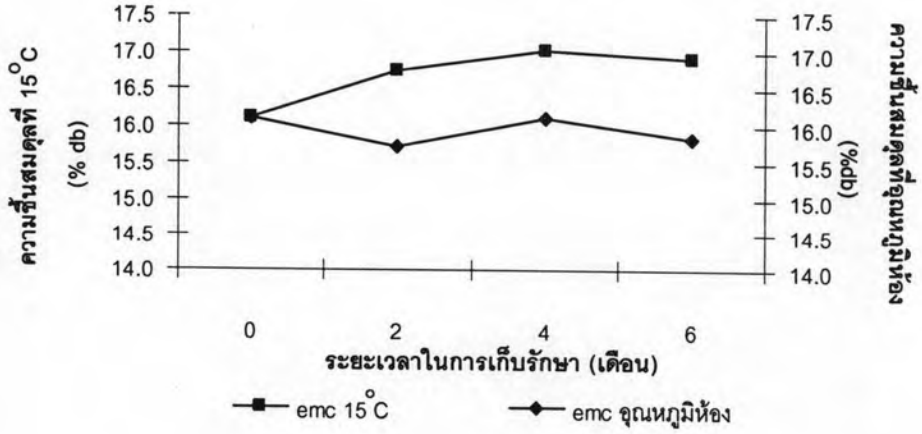


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความชื้นสมดุลของตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

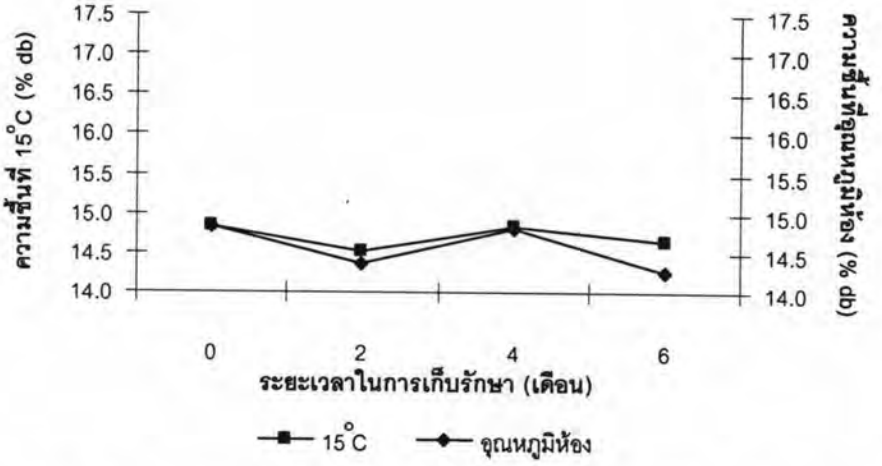


รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความชื้นสมดุลของตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่ 15°C

และหากเปรียบเทียบระหว่างค่าความชื้นสมดุลของตัวอย่างข้าวเปลือกทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 15°C (รูปที่ 4.24) พบว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่ 15°C มีค่าความชื้นสมดุลสูงกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นตัวอย่างที่เก็บรักษาที่ 15°C จึงควรมีค่าความชื้นสูงกว่าที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 4.25)



รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบระหว่างความชื้นสมดุลของตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ 15°C



รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบระหว่างความชื้นของตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 15°C

4.3.3 เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น

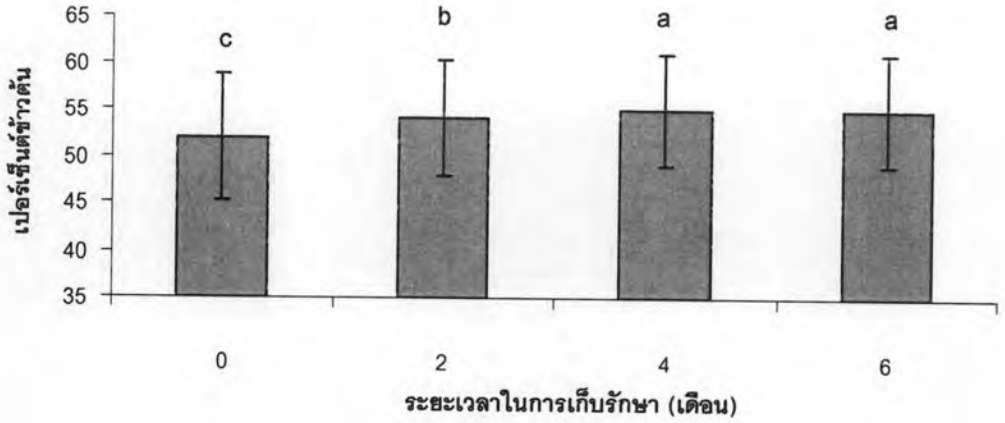
จากตารางที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นของตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลา และอุณหภูมิเก็บรักษาต่างๆ พบว่ามีค่า 41.23-64.09% และเมื่อพิจารณาที่ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเริ่มต้นของการเก็บรักษา (เดือน 0) มีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นเท่ากับ 51.97% เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือนให้ค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงถึง 55.02% (รูปที่ 4.26) ทั้งนี้เนื่องจากว่าในระหว่างการเก็บรักษาเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของโปรตีน สตาร์ช ไขมัน และเซลล์วอลล์ โดยส่วนของโปรตีนจะสร้างพันธะไดซัลไฟด์ซึ่งเป็นพันธะที่มีความแข็งแรง ช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างโปรตีนและไปแทรกระหว่างช่องว่างของเม็ดแป้ง เม็ดแป้งจึงมีการพองตัวต่ำ ส่วนของสตาร์ช เมื่อความชื้นในระหว่างการเก็บรักษาลดลงทำให้เพิ่มแรงยึดเกาะกันระหว่างเม็ดแป้ง เม็ดแป้งมีการพองตัวต่ำส่งผลต่อเนื้อสัมผัส ส่วนของไขมันเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิสได้ กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ไปรวมตัวกับ Amylose ได้ Amylose Lipid Complex ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสเช่นกัน สำหรับส่วนของเซลล์วอลล์ พบว่ามีการปลดปล่อยกรดฟีนอลิกทำให้เซลล์วอลล์ของข้าวแข็งขึ้น จากการเปลี่ยนแปลงสารทั้งหมดดังกล่าวส่งผลให้ข้าวมีลักษณะที่แข็งและแกร่งขึ้น เมื่อนำไปสีข้าวเก่าจึงให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นที่สูง (Zhou และคณะ, 2002)

ตารางที่ 4.10 ผลของอุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลา และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น

การเก็บรักษา		เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น อุณหภูมิอบแห้ง (^{o}C)					
อุณหภูมิเก็บรักษา (^{o}C)	เดือน	control	100	115	125	135	150
15	0	62.44 ± 0.85	41.23 ± 1.27	47.97 ± 0.27	50.62 ± 1.03	54.91 ± 0.32	54.63 ± 2.02
	2	63.11 ± 0.54	42.87 ± 0.76	51.94 ± 0.52	52.89 ± 1.36	55.74 ± 0.88	55.94 ± 1.44
	4	63.46 ± 0.66	44.52 ± 1.61	51.87 ± 0.79	54.62 ± 1.95	56.34 ± 0.63	56.86 ± 0.38
	6	63.48 ± 0.45	44.13 ± 0.87	52.08 ± 1.56	54.66 ± 1.25	56.42 ± 0.48	57.02 ± 0.64
อุณหภูมิห้อง	0	62.44 ± 0.85	41.23 ± 1.27	47.97 ± 0.27	50.62 ± 1.03	54.91 ± 0.32	54.63 ± 2.02
	2	63.82 ± 0.49	43.34 ± 1.44	52.89 ± 0.98	54.41 ± 1.86	56.32 ± 0.59	56.24 ± 0.59
	4	64.01 ± 0.44	44.41 ± 1.06	53.76 ± 1.09	55.53 ± 1.27	57.21± 0.74	57.75 ± 1.14
	6	64.09 ± 0.10	43.83 ± 0.59	53.86 ± 1.53	55.49 ± 0.88	57.28 ± 1.06	57.95 ± 0.41

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

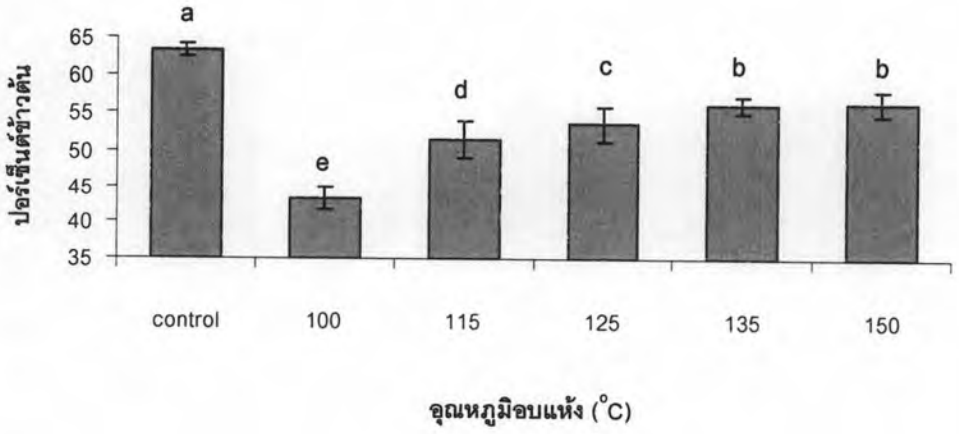
* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.26 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น พบว่าอุณหภูมิอบแห้งที่ต่างกันส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน ซึ่งตัวอย่างอ้างอิงตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่ 100 115 125 135 และ 150°C ให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นเท่ากับ 63.36 43.19 51.54 53.60 56.14 และ 56.38 ตามลำดับ (รูปที่ 4.27)

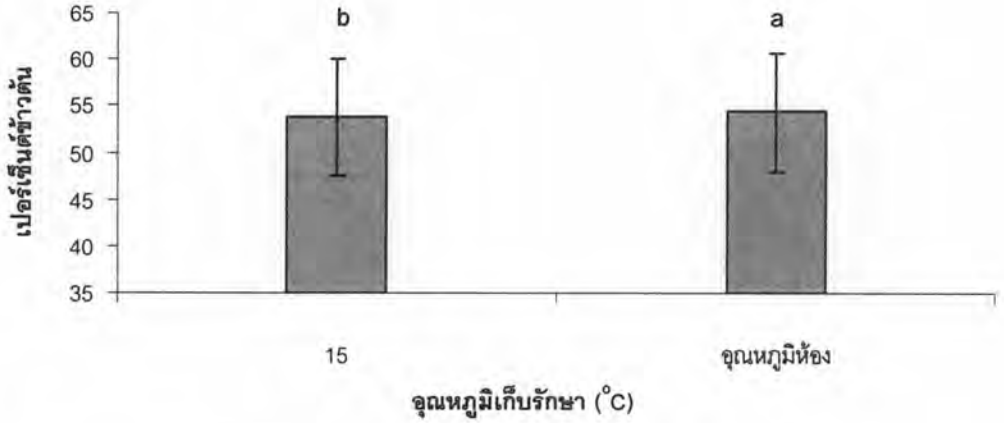


รูปที่ 4.27 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

และเมื่อพิจารณาที่ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกต่อปริมาณเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น พบว่าการเก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างกัน ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ 15°C ให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น 53.74 ส่วนข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นเท่ากับ

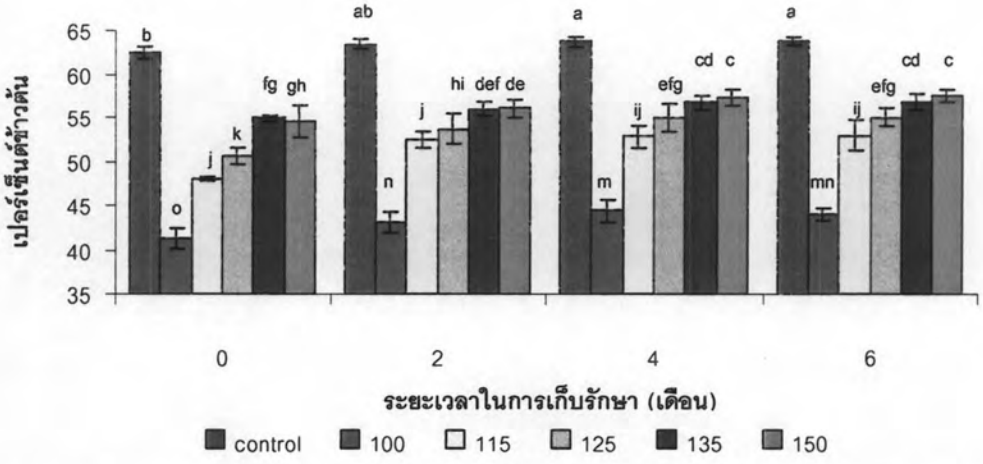
54.34 (รูปที่ 4.28) เห็นได้ว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิห้องจะให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นมากกว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิ 15°C ทั้งนี้เนื่องจากข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงจะมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้พันธะภายในของเมล็ดข้าวจับตัวกันแน่นกว่า จึงมีผลทำให้ข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงทนต่อแรงกระแทกในการขัดสีได้ดีกว่า สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chrastil (1990a) ที่ตรวจวัดการแตกหักของข้าวเปลือกพันธุ์ N.American ที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 10 เดือน ที่อุณหภูมิ 4 25 และ 37°C พบว่าข้าวที่เก็บรักษาที่ 37°C มีการแตกหักของเมล็ดข้าวน้อยที่สุด



รูปที่ 4.28 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น

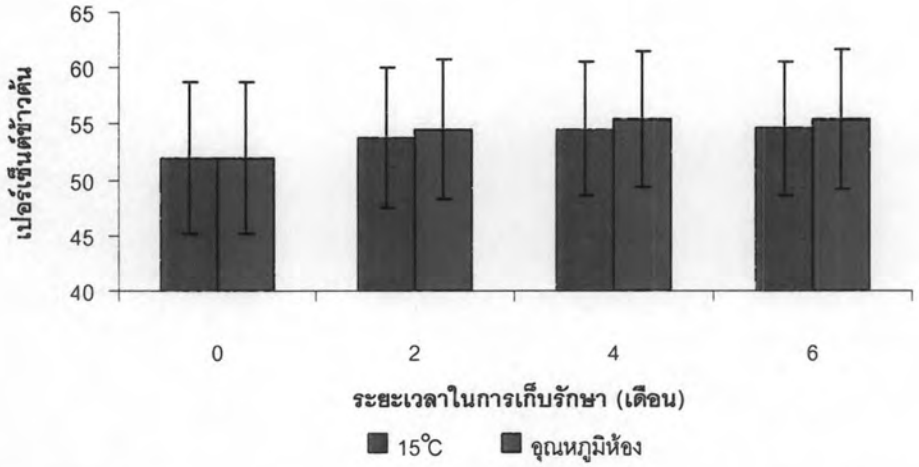
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

นอกจากนี้แล้วยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัย โดยอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้ง พบว่ามีผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (รูปที่ 4.29) นั่นคือตัวอย่างข้าวเปลือกเมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลานานขึ้น เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นเพิ่มขึ้น และเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยภายหลังการเก็บรักษาในเดือนที่ 3-4 สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษา และระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษา พบว่ามีผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นโดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้นานขึ้นไม่ว่าจะเป็นตัวอย่างข้าวเปลือกที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิใดๆก็ตามหากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง จะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นเพิ่มขึ้นมากกว่าเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับการเก็บรักษาไว้ที่ 15°C ซึ่งทางสถิติจะถือว่าไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 4.30-4.31)



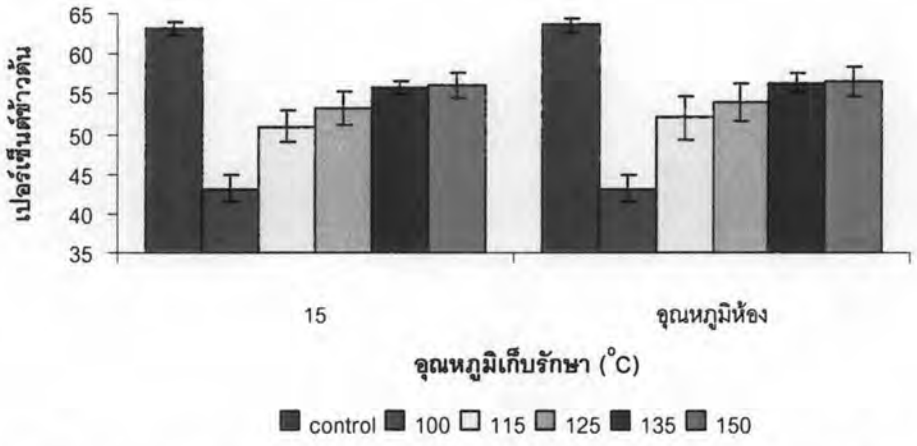
รูปที่ 4.29 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.30 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น

กราฟแท่งที่ไม่มีอักษรกำกับ ถือว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



รูปที่ 4.31 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น
กราฟแท่งที่ไม่มีอักษรกำกับ ถือว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.3.4 ค่าสี

ค่าดัชนีความขาวของข้าวสาร (WI) พบว่าอยู่ในช่วง 62.42-67.32 (ตารางที่ 4.11) และเมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลทำให้ดัชนีความขาวของข้าวสารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยการเก็บรักษาที่เวลา 0 2 4 และ 6 เดือนให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารอยู่ที่ 66.05 65.40 64.61 และ 64.21 ตามลำดับ (รูปที่ 4.32) สำหรับ b* ซึ่งเป็นค่าความเหลืองของข้าวสาร พบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลาและอุณหภูมิเก็บรักษาต่างๆ ตัวอย่างที่ได้ให้ค่า b* อยู่ในช่วง 8.57-11.48 (ตารางที่ 4.12) และเมื่อพิจารณาที่ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อ b* พบว่าข้าวที่เก็บนานขึ้น ความเหลืองของข้าวสารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) (รูปที่ 4.33) ผลการทดลองที่ได้ชี้ให้เห็นว่าดัชนีความขาวของข้าวสารมีความสัมพันธ์กับความเหลืองของข้าวสาร การที่ตัวอย่างมีการสูญเสียความขาวไปแสดงว่าตัวอย่างนั้นมีความเหลืองเพิ่มขึ้นนั่นเอง ซึ่งการที่เก็บรักษาข้าวนานขึ้นดัชนีความขาวของข้าวสารลดลง ความเหลืองของข้าวสารเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Barber (1972) ที่เก็บข้าวที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลาทั้งสิ้น 5 สัปดาห์ โดยก่อนการเก็บรักษามีอัตราส่วน albumins : globulins : prolamins : glutelins เป็น 15 : 10 : 6 : 69 หลังการเก็บรักษาอัตราส่วนของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไปเป็น 10 : 11 :3 :76 นอกจากนี้แล้วการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้กรดอะมิโนอิสระลดลงซึ่งจะสัมพันธ์กับการเกิด Maillard-type nonenzymatic browning และการสูญเสียความขาวที่เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลา และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

การเก็บรักษา		ดัชนีความขาว อุณหภูมิอบแห้ง (^{o}C)					
อุณหภูมิเก็บรักษา (^{o}C)	เดือน	control	100	115	125	135	150
15	0	65.48 ± 0.43^{efgh}	67.32 ± 0.50^{a}	66.70 ± 0.24^{b}	66.07 ± 0.18^{cd}	65.50 ± 0.09^{efg}	65.21 ± 0.21^{ghi}
	2	64.88 ± 0.40^{ijk}	66.79 ± 0.10^{b}	66.47 ± 0.22b^{c}	65.78 ± 0.05^{def}	65.13 ± 0.13^{ghij}	65.11 ± 0.25^{ghij}
	4	64.48 ± 0.44^{klmno}	65.11 ± 0.52^{ghij}	66.73 ± 0.28^{b}	64.39 ± 0.22^{lmnop}	64.07± 0.15^{opqr}	63.95 ± 0.19^{pqr}
	6	64.17 ± 0.20^{opq}	64.86 ± 0.21^{ijkl}	64.75 ± 0.08^{ijklm}	64.40 ± 0.18^{lmnop}	64.35 ± 0.29^{mnop}	63.77 ± 0.14^{qrs}
อุณหภูมิห้อง	0	65.48 ± 0.43^{efgh}	67.32 ± 0.50^{a}	66.70 ± 0.24^{b}	66.07 ± 0.18^{cd}	65.50 ± 0.09^{efg}	65.21 ± 0.21^{ghi}
	2	64.27 ± 0.40^{nop}	66.08 ± 0.10^{cd}	65.92 ± 0.16^{de}	65.41 ± 0.09^{fgh}	64.50 ± 0.25^{klmno}	64.44 ± 0.30^{klmno}
	4	63.70 ± 0.22^{rs}	65.14 ± 0.22^{ghij}	65.01 ± 0.28^{hij}	64.70 ± 0.19^{jklmn}	63.95 ± 0.19^{pqr}	64.13 ± 0.12^{opqr}
	6	63.42 ± 0.15^{s}	65.49 ± 0.62^{efg}	64.32 ± 0.10^{mnop}	64.46 ± 0.38^{klmno}	64.15 ± 0.18^{opqr}	62.42 ± 0.66^{t}

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

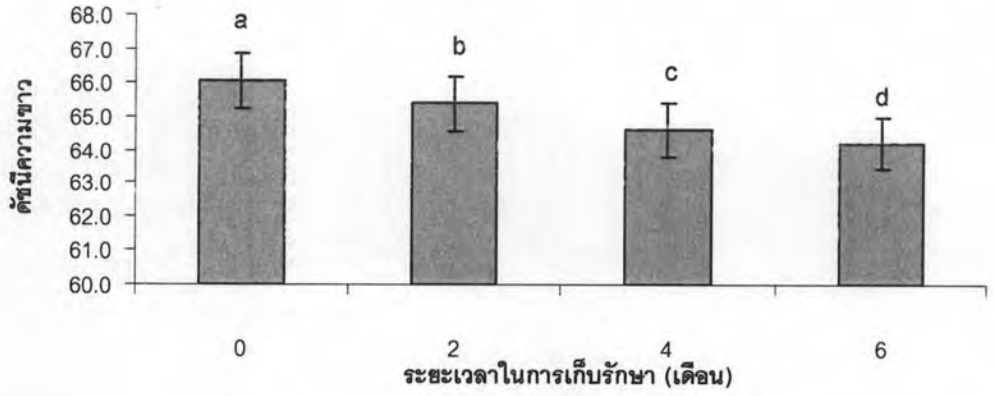
* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.12 ผลของอุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลา และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อความเหลืองของข้าวสาร

การเก็บรักษา		b*					
		อุณหภูมิอบแห้ง (^{o}C)					
อุณหภูมิเก็บรักษา (^{o}C)	เดือน	control	100	115	125	135	150
15	0	9.01 ± 0.33^{stu}	8.57 ± 0.04^{v}	8.91 ± 0.16^{tuv}	9.25 ± 0.02^{rst}	9.80 ± 0.04^{nop}	9.96 ± 0.04^{klmnop}
	2	$10.11 \pm 0.27^{ghijklmn}$	8.78 ± 0.34^{uv}	9.26 ± 0.20^{rst}	9.61 ± 0.12^{pqr}	10.05 ± 0.08^{jklmno}	10.10 ± 0.14^{hijklmn}
	4	10.08 ± 0.24^{ijklmno}	9.91 ± 0.54^{mnop}	9.22 ± 0.03^{rst}	10.50 ± 0.18^{cdefgh}	$10.38 \pm 0.15^{defghijkl}$	10.53 ± 0.15^{bcdef}
	6	$10.16 \pm 0.21^{fghijklmn}$	10.01 ± 0.38^{jklmnop}	$10.29 \pm 0.07^{efghijklm}$	10.50 ± 0.06^{cdefghi}	10.52 ± 0.16^{cdefg}	10.70 ± 0.20^{bcde}
อุณหภูมิห้อง	0	9.01 ± 0.33^{stu}	8.57 ± 0.04^{v}	8.91 ± 0.16^{tuv}	9.25 ± 0.02^{rst}	9.80 ± 0.04^{nop}	9.96 ± 0.04^{klmnop}
	2	$10.35 \pm 0.20^{efghijkl}$	9.40 ± 0.07^{qrs}	9.66 ± 0.44^{pq}	9.96 ± 0.14^{lmnop}	10.41 ± 0.03^{defghij}	10.48 ± 0.15^{defgh}
	4	10.08 ± 0.24^{ijklmno}	10.10 ± 0.12^{hijklmn}	$10.39 \pm 0.18^{defghijk}$	10.79 ± 0.34^{bcd}	10.68 ± 0.20^{bcde}	10.61 ± 0.14^{cdef}
	6	$10.16 \pm 0.21^{fghijklmn}$	10.02 ± 0.39^{jklmno}	10.94 ± 0.16^{b}	10.67 ± 0.29^{bcde}	10.84 ± 0.88^{bc}	11.48 ± 0.26^{a}

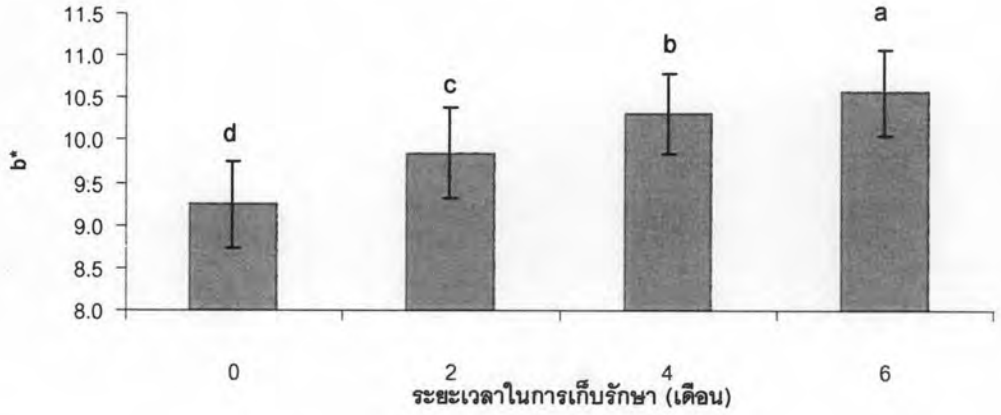
ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.32 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



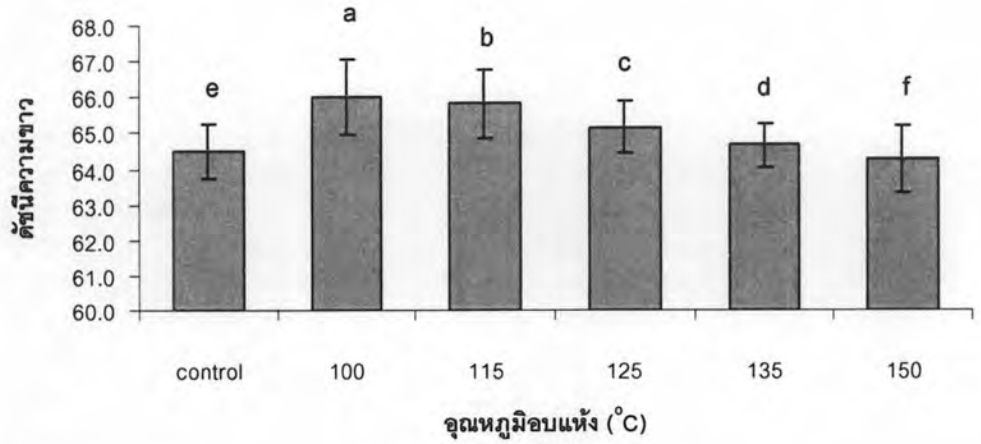
รูปที่ 4.33 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อความเหลืองของข้าวสาร

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Chrastil (1990b) รายงานว่าปริมาณโปรตีนในส่วน endosperm ของข้าวที่ผ่านการเก็บ รักษาไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่สมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะในโปรตีน oryzenin ซึ่งเป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในข้าว เกิดการออกซิไดซ์จาก cystein ไปเป็น cystine ซึ่งมีพันธะที่แข็งแรงขึ้น งามชื่น คงเสรี (2545) รายงานว่าโปรตีนของข้าวในระหว่างการเก็บรักษาในลักษณะดังกล่าว ทำให้ข้าวมีลักษณะที่แข็งและแกร่งขึ้นเมื่อนำไปขัดสีจะมีระดับการสีต่ำลง ส่งผลให้ข้าวมีสีคล้ำขึ้นได้ เพลงพิณ ศิวาพรรักษ์ (2541) ทดลองเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 25 และ 37°C เป็นเวลา 7 เดือนในถุงพลาสติก polypropylene หนา 20 μm พบว่าเมื่อนำข้าวเปลือกไปขัดสีและวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีของส่วน endosperm พบว่าค่า b* ที่แสดงถึงความเหลืองเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น

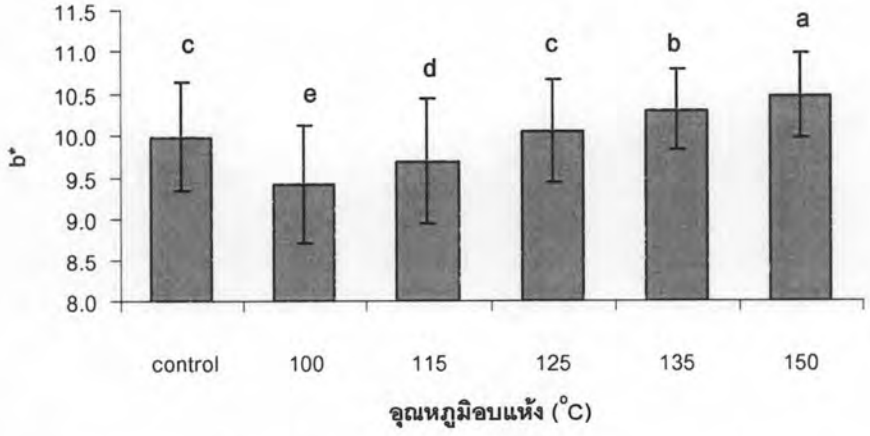
และเมื่อพิจารณาที่ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อดัชนีความขาวและความเหลืองของข้าวสาร พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น ให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารเพิ่มขึ้น ความเหลือง

ของข้าวสารลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 6 เดือน (รูปที่ 4.34-4.35) ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นจะไปเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยา Maillard ให้เพิ่มขึ้น ข้าวที่ได้จึงมีความขาวลดลงแสดงว่าข้าวมีความเหลืองเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.34 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

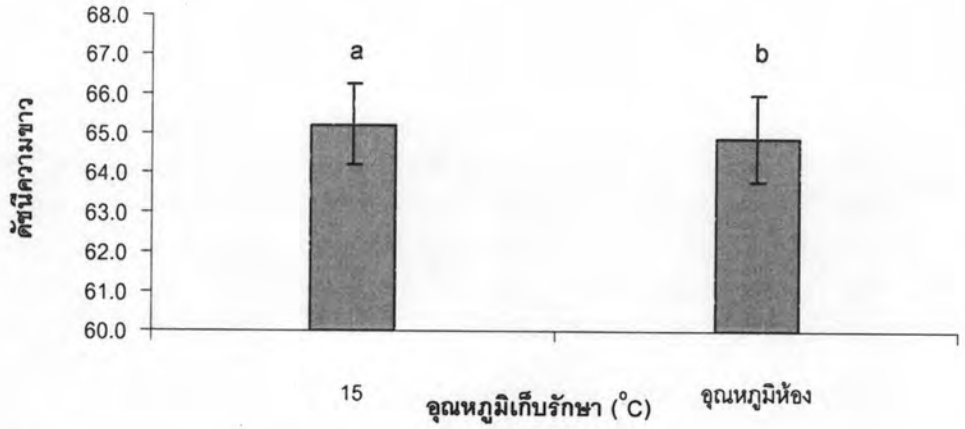
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.35 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อความเหลืองของข้าวสาร

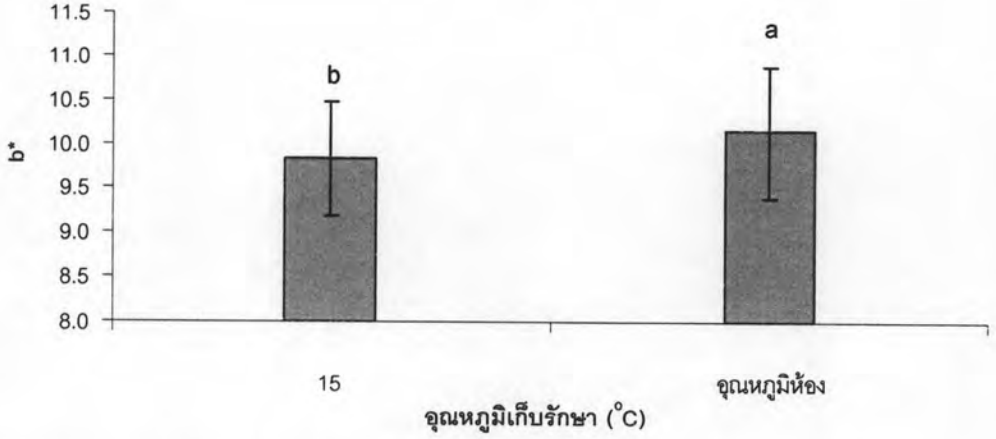
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวและความเหลืองของข้าวสาร พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน ดัชนีความขาวและความเหลืองของข้าวสารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าดัชนีความขาวของข้าวสารเท่ากับ 64.91 b* เท่ากับ 10.14 ในขณะที่ตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่ 15°C ให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารเท่ากับ 65.23 b* เท่ากับ 9.84 (รูปที่ 4.36-4.37)



รูปที่ 4.36 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

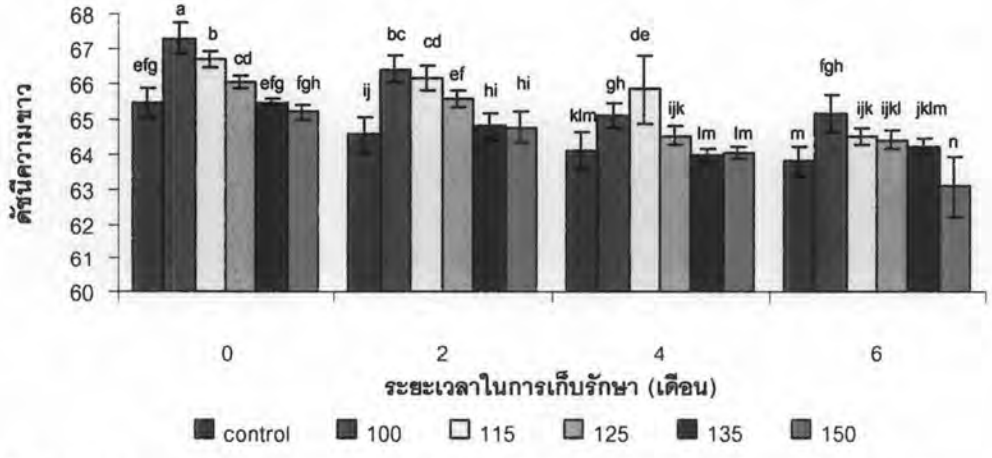


รูปที่ 4.37 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อความเหลืองของข้าวสาร

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

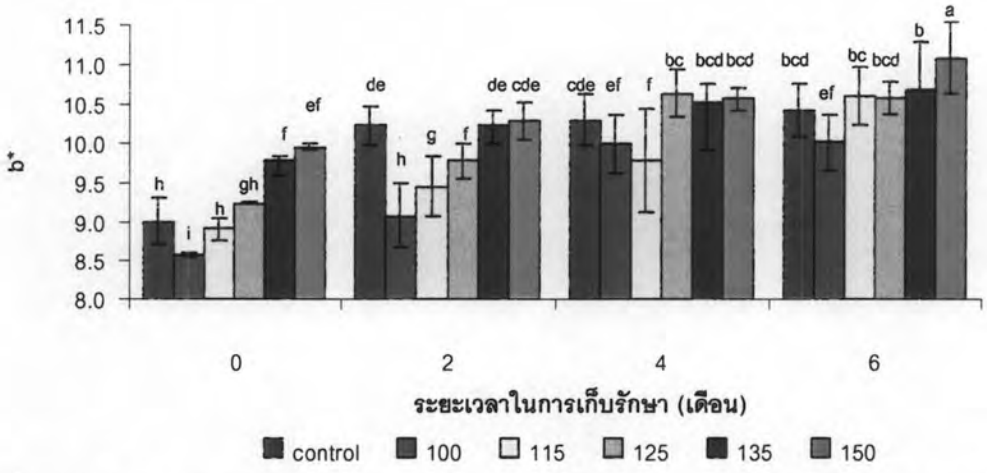
ซึ่งการที่ตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง มีค่าดัชนีความขาวของข้าวสารต่ำกว่าและความเหลืองของข้าวสารมากกว่าที่ 15°C เนื่องมาจากว่าอุณหภูมิการเก็บที่สูงชักนำให้ข้าวมีสีเหลืองที่มากกว่าและเร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chrastil (1990a) ซึ่งทำการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 4 25 และ 37°C เป็นเวลา 10 เดือนจากการตรวจสอบค่า b* ของข้าวกล้องพบว่า ค่า b ของข้าวกล้องเพิ่มขึ้น โดยข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C สีเข้มสุดรองลงมาเป็นข้าวที่เก็บรักษาที่ 25 และ 4°C ตามลำดับ ต่อมา Bason และคณะ (1990) พบว่า ส่วนเปลือกของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงจะมีสีเหลืองเข้มกว่าส่วนเปลือกของข้าวที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ

เมื่อพิจารณาที่อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัยของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้ง (รูปที่ 4.38-4.39) และระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษา (รูปที่ 4.40-4.41) พบว่าให้ค่าดัชนีความขาวและความเหลืองของข้าวสารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยหากเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกันในที่นี้คือ อุณหภูมิ 100 และ 150°C ที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 0 2 4 และ 6 เดือน พบว่าการอบแห้งที่ 100°C ให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารเป็น 67.32 66.43 65.12 และ 67.17 b* เท่ากับ 8.57 9.09 10.00 และ 10.02 ในขณะที่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 150°C มีค่าดัชนีความขาวของข้าวสารอยู่ที่ 65.21 64.77 64.04 และ 63.10 b* เท่ากับ 9.96 10.29 10.57 และ 11.09 ตามลำดับ เห็นได้ว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (150°C) ให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารต่ำกว่าและ b* มากกว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (100°C) ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ย่อมแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงข้าวสารที่ได้จะมีความขาวต่ำกว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ นั่นคือข้าวสารมีความเหลืองมากกว่า



รูปที่ 4.38 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

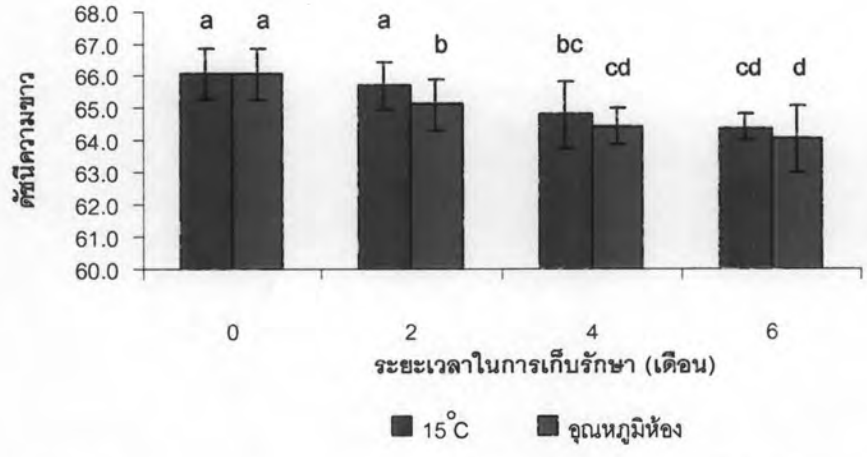
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.39 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อความเหลืองของข้าวสาร

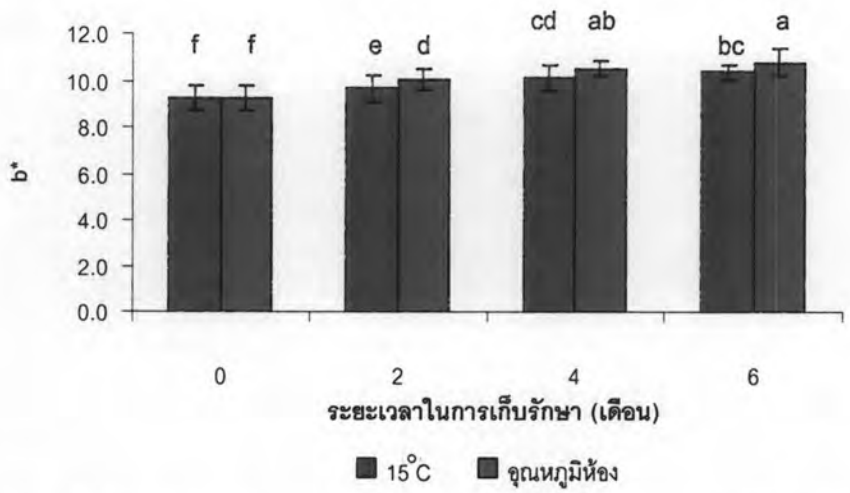
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

และหากนำตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งแล้วไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆกันเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิเก็บรักษาเดียวกัน หากเก็บรักษาไว้นานขึ้นดัชนีความขาวของข้าวสารลดลง b* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และถ้าทำการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าการเก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (15°C) ช่วยรักษาความขาวของข้าวสารและชะลอการเกิดสีเหลืองในข้าวสารได้ดีกว่า



รูปที่ 4.40 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

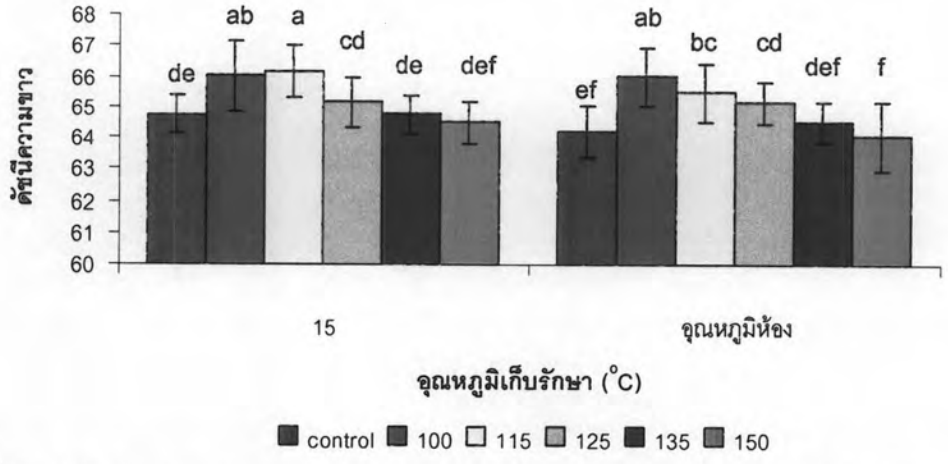
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.41 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อความเหลืองของข้าวสาร

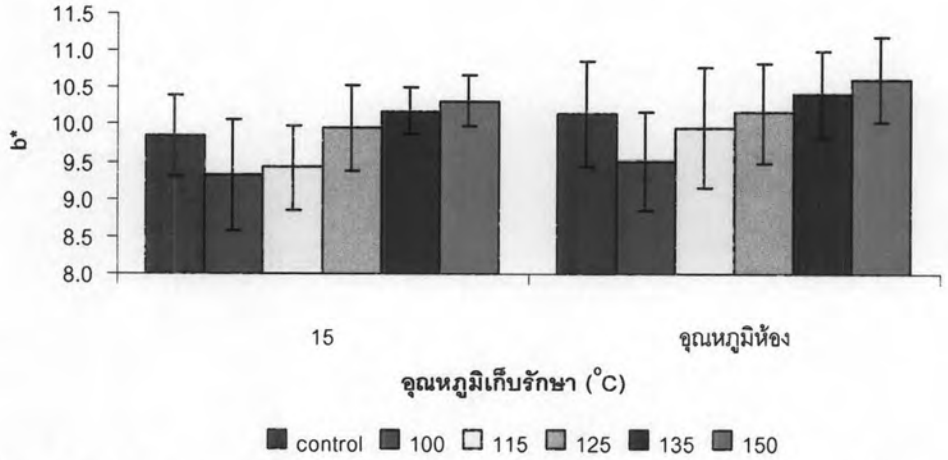
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษา พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้ง 2 นี้ส่งผลให้ดัชนีความขาวของข้าวสารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ b* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาที่ดัชนีความขาวของข้าวสาร พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน และทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกันให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารที่สูงในตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ และหากนำตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกันมาแปรค่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาเป็นที่ 15°C และอุณหภูมิห้อง ยกตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 115°C เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องจะให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารเท่ากับ 65.49 และถ้าเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกนี้ไว้ที่อุณหภูมิ 15°C จะให้ค่าดัชนีความขาวของข้าวสารมากกว่าซึ่งมีค่าเท่ากับ 66.16 (รูปที่ 4.42) และเมื่อพิจารณาที่ b* พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำให้ค่า b* ที่มากกว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง และตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องจะมีค่า b* มากกว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่ 15°C เล็กน้อยเท่านั้นซึ่งถือว่าไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 4.43)



รูปที่ 4.42 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวของข้าวสาร

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.43 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อความเหลืองของข้าวสาร

กราฟแท่งที่ไม่มีอักษรกำกับ ถือว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.3.5 ปริมาณ 2AP

จากตารางที่ 4.13 แสดงผลของอุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลา และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP พบว่าปริมาณ 2AP ที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 0.0947-1.4547 ppm

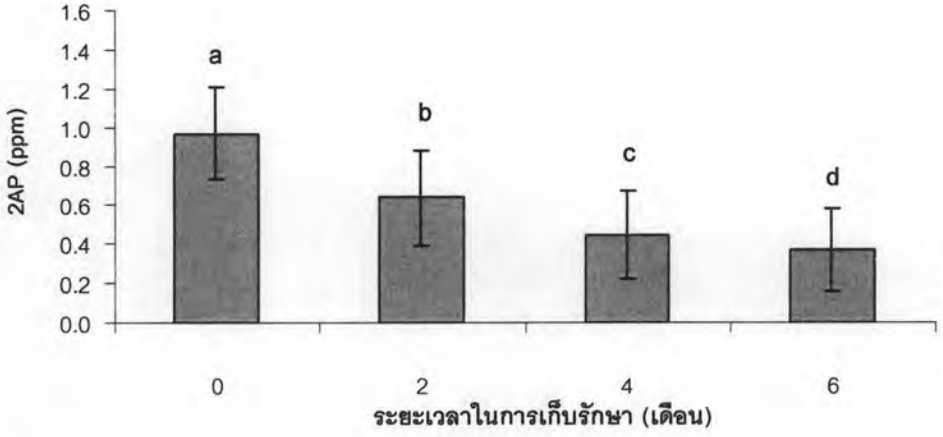
ตารางที่ 4.13 ผลของอุณหภูมิอบแห้ง ระยะเวลา และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP

การเก็บรักษา		2AP (ppm)					
		อุณหภูมิอบแห้ง (^{o}C)					
อุณหภูมิเก็บรักษา (^{o}C)	เดือน	control	100	115	125	135	150
15	0	1.4547 ± 0.0611^{a}	0.9964 ± 0.0314^{c}	0.9179 ± 0.0108^{d}	0.8954 ± 0.0289^{d}	0.7738 ± 0.0303^{f}	0.7912 ± 0.0432^{ef}
	2	1.1513 ± 0.0770^{b}	0.8316 ± 0.0382^{e}	0.7879 ± 0.0295^{ef}	0.7855 ± 0.0058^{ef}	0.7176 ± 0.0212^{g}	0.6573 ± 0.0186^{h}
	4	0.9852 ± 0.0670^{c}	0.6875 ± 0.0512^{gh}	0.5767 ± 0.0120^{i}	0.4961 ± 0.0469^{jk}	0.4795 ± 0.0144^{jkl}	0.4031 ± 0.0234^{mn}
	6	0.8335 ± 0.0453^{ef}	0.5852 ± 0.0089^{i}	0.5315 ± 0.0070^{ij}	0.4805 ± 0.0131^{jkl}	0.4244 ± 0.0184^{lm}	0.3511 ± 0.0645^{nc}
อุณหภูมิห้อง	0	1.4547 ± 0.0611^{a}	0.9964 ± 0.0314^{c}	0.9179 ± 0.0108^{d}	0.8954 ± 0.0289^{d}	0.7738 ± 0.0303^{f}	0.7912 ± 0.0432^{ef}
	2	0.7936 ± 0.1253^{ef}	0.4665 ± 0.0198^{kl}	0.4258 ± 0.0071^{lm}	0.3886 ± 0.0072^{mno}	0.3450 ± 0.0025^{op}	0.3334 ± 0.0227^{op}
	4	0.5009 ± 0.0319^{jk}	0.339 ± 0.0314^{op}	0.2632 ± 0.0309^{qr}	0.2395 ± 0.0160^{rs}	0.2084 ± 0.0164^{rstu}	0.1771 ± 0.0258^{tu}
	6	0.3094 ± 0.0326^{pq}	0.2317 ± 0.0236^{rst}	0.1959 ± 0.0146^{stu}	0.1786 ± 0.0116^{tu}	0.1542 ± 0.0101^{u}	0.0947 ± 0.0254^{v}

ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

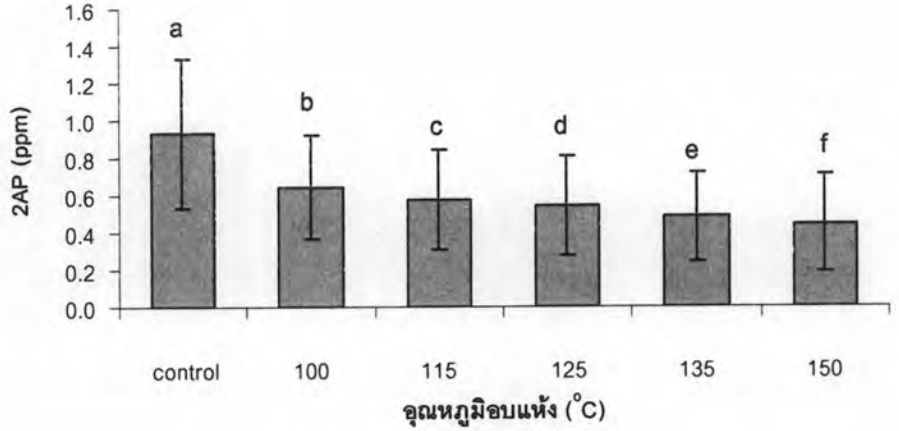
สำหรับตัวอย่างข้าวที่เก็บรักษานานขึ้น พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลให้ปริมาณ 2AP แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่เวลา 0 เดือนมีปริมาณ 2AP เริ่มต้นเท่ากับ 0.9716 ppm เมื่อเก็บรักษาข้าวนานขึ้น ปริมาณสาร 2AP ในเดือนที่ 6 ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเหลือเพียง 0.3642 ppm ถือว่าลดลงจากเดิมถึง 62.52% (รูปที่ 4.44) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Laksanalamai และ Ilangantileke (1993), Widjaja และคณะ (1996), Mahatheeranont และคณะ (2001) พบว่าสารหอม 2AP นอกจากในข้าวแล้วยังพบในใบเตยหอม สารนี้ไวต่อแสงและอุณหภูมิ เป็นเหตุให้ข้าวสารที่เก็บไว้เป็นเวลานานมีความหอมลดลงจนใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ไม่หอม Wongpornchai และคณะ (2004) ทำการเก็บรักษาข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105ภายหลังจากอบแห้งเป็นเวลา 10 เดือน พบว่าปริมาณสาร 2AP จากเดิม (เดือนที่ 1) 4.02 $\pm$ 0.60 ppm ลดลงเป็น 0.89 $\pm$ 0.12 ppm (เดือนที่ 10)



รูปที่ 4.44 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

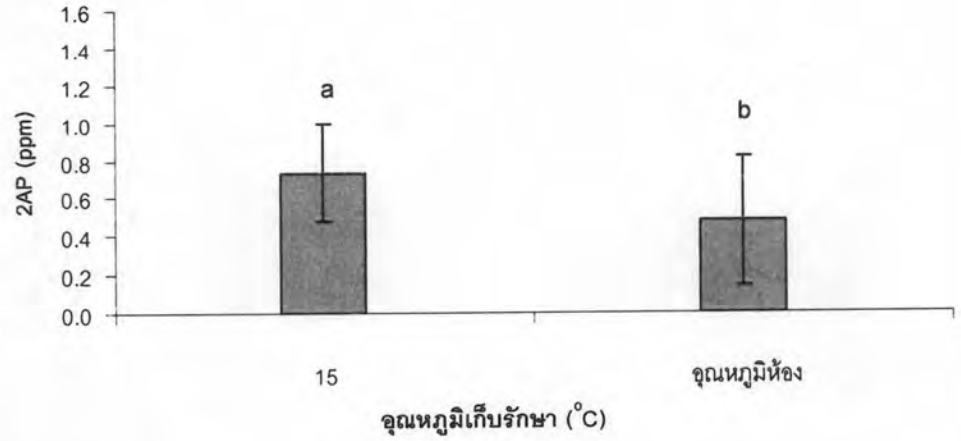
และเมื่อพิจารณาที่ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณ 2AP พบว่ามีผลทำให้ปริมาณ 2AP แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างข้าวเปลือกที่ได้จากตัวอย่างอ้างอิงและตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 115 125 135 และ 150°C มีปริมาณ 2AP เท่ากับ 0.9354 0.6424 0.5771 0.5450 0.4846 และ 0.4499 ppm ตามลำดับ (รูปที่ 4.45)



รูปที่ 4.45 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณ 2AP

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

นอกจากนี้แล้วอุณหภูมิในการเก็บรักษายังมีผลต่อปริมาณ 2AP โดยอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ต่างกันส่งผลให้ปริมาณ 2AP แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างข้าวที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณ 2AP ต่ำกว่าตัวอย่างข้าวที่เก็บรักษาที่ 15°C (รูปที่ 4.46) ซึ่ง Laksanalamai และ Ilangantileke (1993) รายงานว่ากลิ่นหอมจะลดลง 50% เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องปกติ และการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 10-15°C สามารถชะลอการลดลงของสาร 2AP ได้ดีกว่าการเก็บที่อุณหภูมิห้อง (พัสกร และคณะ, 2546) และทำให้ข้าวมีสมบัติต่างๆค่อนข้างคงที่ (เมธินี เหว่ซึ่งเจริญ และคณะ, 2546)

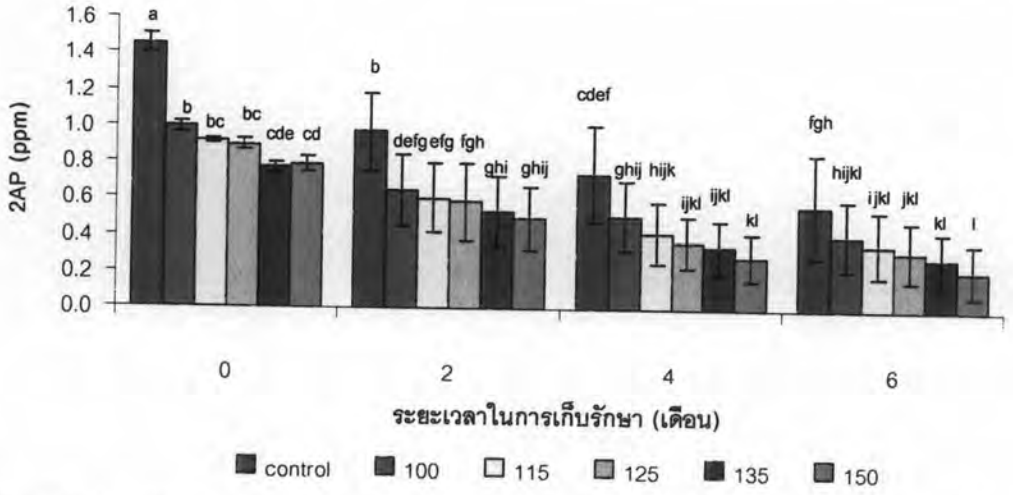


รูปที่ 4.46 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

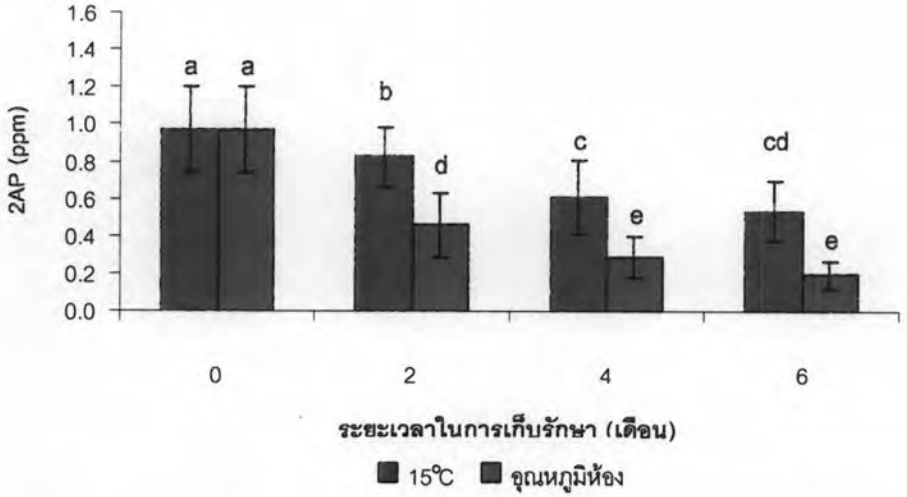
สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัย พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งให้ค่าปริมาณ 2AP แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างข้าวเปลือกที่สัมผัสกับความร้อนในระหว่างขั้นตอนการลดความชื้นน้อยกว่า (ตัวอย่างอ้างอิง) จะมีปริมาณ 2AP คงเหลือที่วิเคราะห์ได้ในแต่ละเดือนมากกว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่สัมผัสกับความร้อนในระหว่างขั้นตอนการลดความชื้นมากกว่าในที่นี้คือตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 150°C เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือนตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150°C ให้ค่าปริมาณ 2AP ลดลงถึง 61% เมื่อเทียบกับตัวอย่างอ้างอิง (รูปที่ 4.47) นอกจากนี้ยังพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษามีผลต่อปริมาณ 2AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณ 2AP จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 4 เดือนแรกหลังจากนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ และตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องจะมีการลดลงของสาร 2AP มากกว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15°C (รูปที่ 4.48)



รูปที่ 4.47 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณ 2AP

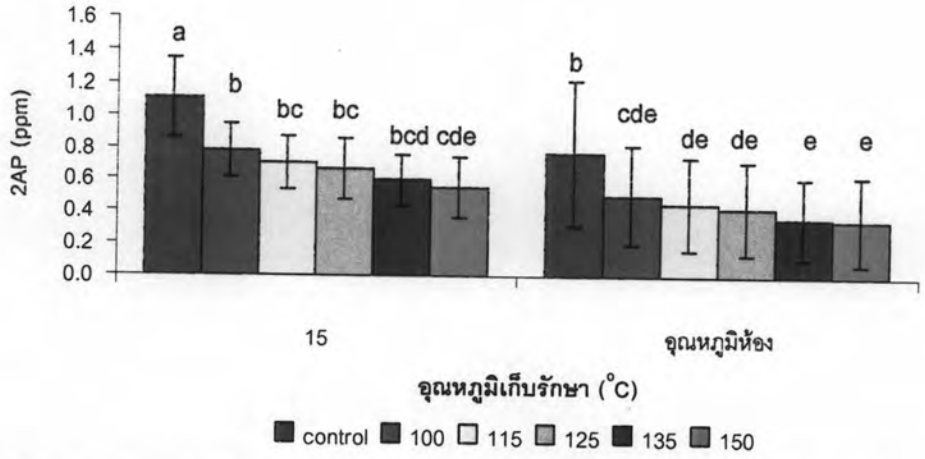
a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.48 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษากับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

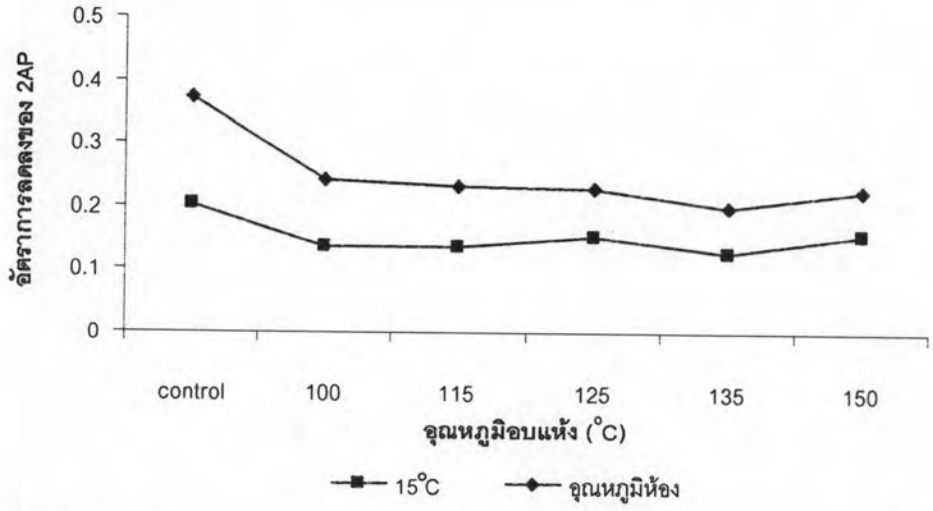
ในส่วนของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษา พบว่ามีผลต่อปริมาณ 2AP โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) หากเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่ 100 และ 150°C เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน พบว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (100°C) ให้ค่าปริมาณ 2AP เท่ากับ 0.7763 ppm (เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15°C) 0.5084 ppm (เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง) ส่วนตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (150°C) ให้ค่าปริมาณ 2AP เท่ากับ 0.5507 ppm (เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15°C) 0.3491 ppm (เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง) หากพิจารณาที่อุณหภูมิเก็บรักษาเดียวกันเห็นได้ว่าตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำคงเหลือปริมาณ 2AP มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และหากพิจารณาที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันแต่แปรค่าอุณหภูมิเก็บรักษา พบว่าการเก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิห้องคงเหลือปริมาณ 2AP ต่ำกว่าการเก็บรักษาไว้ที่ 15°C (รูปที่ 4.49)



รูปที่ 4.49 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับอุณหภูมิเก็บรักษาต่อปริมาณ 2AP

a, b, c... กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ดังนั้นหากนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาหาอัตราการลดลงของ 2AP พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งทุกๆภาวะหากทำการเก็บรักษาตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องจะมีอัตราการลดลงของ 2AP สูงกว่าการเก็บรักษาไว้ที่ 15°C อย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 4.50)



รูปที่ 4.50 อัตราการลดลงของ 2AP ในตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่ 15°C และอุณหภูมิห้อง