สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาสมบัติของวัตถุดิบเริ่มต้น

ในการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งแมคคาดาเมีย มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบเริ่มต้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบคุณภาพแมคคาดาเมียภายหลังการอบแห้งที่ภาวะต่างๆ ในงานวิจัยนี้ตรวจสอบคุณภาพแมคคาดาเมียเบื้องต้นทั้งทางกายภาพและทางเคมี โดยแมคคาดาเมียที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วย พันธุ์ 344 508 660 และ 741 จากจังหวัดเชียงใหม่ เก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงปี พ.ศ. 2549-2550 นำเมล็ดทุกพันธุ์มาผสมกัน และสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ ผลการตรวจวัดสมบัติทางเคมีและกายภาพของแมคคาดาเมีย แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบเริ่มต้น

สมบัติทางกายภาพ	**ค่าเฉลี่ย[1]±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน**	
ขนาดทรงกลม	เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.63±0.06 เซนติเมตร	
ค่าสีของเนื้อในแมคคาดาเมีย	ภายนอก	ภายใน
	L^* = 63.88±5.65 a^* = 1.96±0.79 b^* = 24.94±2.58	L^* = 65.71±8.07 a^* = -0.25±0.86 b^* = 17.42±1.88
สมบัติทางเคมี		
ค่า SG	SG $\leq$ 1	
ความชื้น Nut-in-shell (NIS)	14.05±0.76% (dry basis)	
ค่า a_w	0.85±0.01	
ปริมาณไขมัน	78.22±0.75% (dry basis)	
ค่าเปอร์ออกไซด์	1.93±0.21 meqO_2/kg oil	
ปริมาณเถ้า	1.41±0.16% (dry basis)	
ปริมาณโปรตีน	7.24±0.23% (dry basis)	
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง	0.10±0.01 g/100g (wet basis)	

[1]ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

Weinert (1993) รายงานว่า แมคคาดาเมียควรมีขนาดระหว่าง 1.91-2.79 เซนติเมตร และ Cavaletto (1981a) กล่าวว่า แมคคาดาเมียขนาดเล็กควรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 1.6-2.22 เซนติเมตร แมคคาดาเมียที่มีขนาดเล็กจนเกินไป จะมีค่าใช้จ่ายในการจัดการสูง และมีโอกาสแตกหักค่อนข้างสูงในระหว่างการกะเทาะกะลาทั้งนี้เนื่องมาจากมีช่องว่างระหว่างเนื้อในและกะลาแมคคาดาเมียน้อย จากการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่า แมคคาดาเมียที่ปลูกในประเทศไทย มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.63 เซนติเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

Wall และ Gentry (2006) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลรีดิวซิ่งต่อการเกิดสีน้ำตาลของแมคคาดาเมียจากฮาวาย ระหว่างกระบวนการอบแห้ง พบว่าแมคคาดาเมียก่อนการอบแห้ง มีค่าความสว่างภายใน (L*) ประมาณ 87-90 และปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง 0.35-0.65 g/100g d.b. ในการทดลองนี้ พบว่า แมคคาดาเมียที่นำมาใช้ในการทดลอง มีค่าความสว่างภายใน (L*) ก่อนการอบแห้งน้อยกว่า ค่าที่ได้จากงานวิจัยของ Wall และ Gentry (2006) โดยมีค่าประมาณ 66 และปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งประมาณ 0.1g/100g ซึ่งปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งที่ได้ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งในแมคคาดาเมียที่ปลูกในประเทศไทยของ ณัฐพงษ์ เจนวิพากษ์และคณะ (2548) และ เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจำรอง ดาวเรือง. (2549) ซึ่งพบว่า แมคคาดาเมียตั้งแต่ก่อนระยะการเก็บเกี่ยวปกติ 2 สัปดาห์ ถึง หลังระยะการเก็บเกี่ยว 2 สัปดาห์ มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งประมาณ 0.09-0.16%

Leverinton (1971) พบว่า ความชื้นแมคคาดาเมียทั้งกะลาหลังเก็บเกี่ยว อาจมีค่าสูงได้ถึง 25% w.b. Weinert (1993) รายงานว่า ปริมาณความชื้นแมคคาดาเมียหลังการเก็บเกี่ยว แปรผันอยู่ระหว่าง 10–29% (w.b.) และ ณัฐพงษ์ เจนวิพากษ์และคณะ (2548) ศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวแมคคาดาเมีย ที่สถานีทดลองเกษตรที่สูงแม่จอนหลวง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ค่าความชื้นแมคคาดาเมียทั้งกะลา ตั้งแต่ก่อนระยะการเก็บเกี่ยวปกติ 2 สัปดาห์ ถึง หลังระยะการเก็บเกี่ยว 2 สัปดาห์ มีค่าระหว่าง 21-23% w.b. เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจำรอง ดาวเรือง (2549) ศึกษาองค์ประกอบของแมคคาดาเมียที่ปลูกในประเทศไทย ที่สถานีทดลองเกษตรที่สูงแม่จอนหลวง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ค่าความชื้นแมคคาดาเมียทั้งกะลา ตั้งแต่ก่อนระยะการเก็บเกี่ยวปกติ 2 สัปดาห์ ถึง หลังระยะการเก็บเกี่ยว 2 สัปดาห์ มีค่าระหว่าง 21-23% w.b. เช่นเดียวกันกับ Kowitz (2004) ศึกษาการอบแห้งแมคคาดาเมียด้วยปั๊มความร้อน ซึ่งค่าความชื้นแมคคาดาเมียทั้งกะลาก่อนอบแห้งมีค่าระหว่าง 21-23% w.b. จากการวิเคราะห์ พบว่าปริมาณความชื้นแมคคาดาเมียทั้งกะลามีค่าประมาณ 14.05% w.b. ซึ่งน้อยกว่างานวิจัยอื่นๆ ทั้งนี้อาจเนื่องจากหลังการเก็บเกี่ยวอาจมีการนำวัตถุดิบไปตากแดดและผึ่งลมก่อนขนส่งมายัง

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำให้ค่าความชื้นแมคคาดาเมียทั้งกะลาลดลงและการขนส่งโดยรถโดยสารจากเชียงใหม่มายังภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารใช้เวลา 1 วัน อาจทำให้สูญเสียความชื้นส่วนหนึ่งในระหว่างการขนส่ง

แมคคาดาเมียที่มีปริมาณไขมันมากและมีคุณภาพหลังการอบที่ดี สามารถจัดเกรดตามปริมาณไขมันได้ 3 เกรด ดังนี้ เกรดที่ 1 มีปริมาณไขมันมากกว่า 75% เกรดที่ 2 มีปริมาณไขมัน 65-75% และเกรดที่ 3 มีปริมาณไขมัน 45-65% (Macfarlane and Harris, 1981) จากตารางที่ 2.1 ตามข้อมูลโภชนาการของ USDA (2007) แมคคาดาเมียมีปริมาณไขมันอยู่ประมาณ 75% ณัฐพงษ์ เจนวิพากษ์และคณะ (2548) และ เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจำรอง ดาวเรือง(2549) สกัดไขมันแมคคาดาเมียตามวิธีของ AOAC (1995) พบว่า ปริมาณไขมัน ตั้งแต่ก่อนระยะการเก็บเกี่ยวปกติ 2 สัปดาห์ ถึง หลังระยะการเก็บเกี่ยว 2 สัปดาห์ มีค่าระหว่าง 74-77% จัดอยู่ในเกรดที่ 1 และเกรดที่ 2 ขวัญแก้ว กังสดาลอำไพ จุฑาทิพย์ ศุภชยวีรกุล และศจีนา วิวัฒน์บุตรสิรี (2549) พบว่า น้ำมันแมคคาดาเมียจากการบีบอัดและการสกัดกากแมคคาดาเมียด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ มีปริมาณ 72-78% ปริมาณไขมันที่แตกต่างกันอาจเกิดขึ้นเนื่องจากหลายปัจจัย เช่น ความสมบูรณ์ของดิน ปริมาณน้ำ ตลอดจนสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน (Mason, 1983) ปริมาณไขมันจะสอดคล้องกับค่า SG กล่าวคือ แมคคาดาเมียที่ลอยน้ำจะมีค่า SG$\leq$1 แสดงว่ามีไขมัน$\geq$72% และแมคคาดาเมียที่จมน้ำจะมีค่า SG$\geq$1 จะมีไขมัน$\leq$72% ซึ่งแมคคาดาเมียที่นำมาใช้ในงานวิจัยจัดเป็นแมคคาดาเมีย เกรด 1 มีปริมาณไขมันมากกว่า 78% d.b. และ ค่า SG$\leq$1

ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นเกณฑ์บอกระดับการเหม็นหืนของผลิตภัณฑ์ Kaijser และคณะ (2000) รายงานว่า แมคคาดาเมียที่ปลูกที่นิวซีแลนด์ 4 สายพันธุ์ มีค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ระหว่าง 0.56-3.61 meqO_2/kg oil จากการตรวจสอบสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบเริ่มต้นที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ พบว่า มีค่าเปอร์ออกไซด์ ประมาณ 1.9 meqO_2/kg oil ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนมะคาเดเมียอบ ฉบับที่ 1145 (พ.ศ. 2549) กำหนดให้ค่าเปอร์ออกไซด์ในมะคาเดเมียอบหลังการทอดไม่ควรเกิน 30 meqO_2/kg oil ดังนั้น ค่าเปอร์ออกไซด์ในวัตถุดิบเริ่มต้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

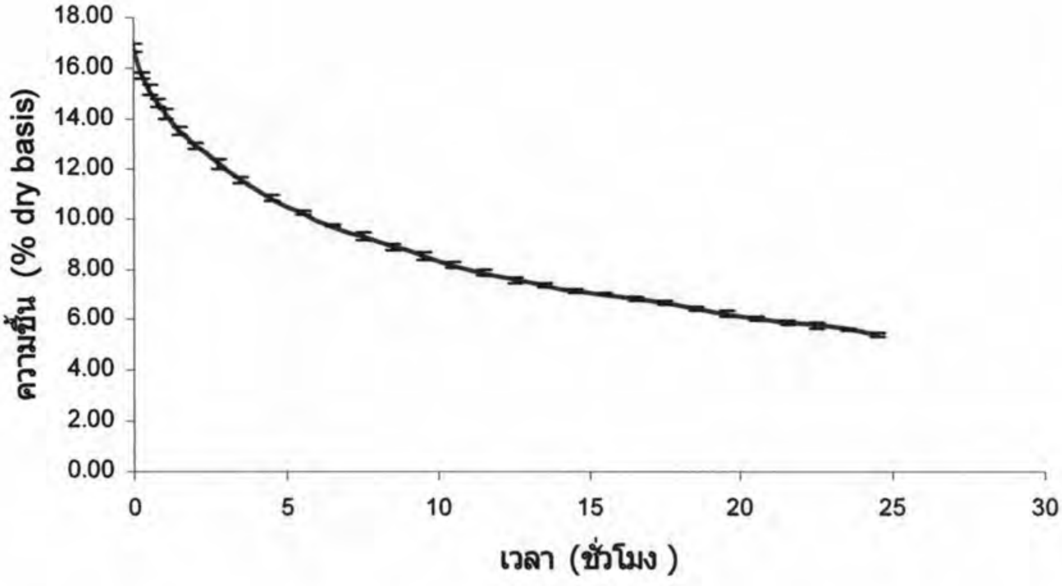
จากตารางที่ 2.1 ตามข้อมูลโภชนาการของ USDA (2007) รายงานว่า แมคคาดาเมีย 100 กรัม มีปริมาณเถ้า 1.14 กรัม ณัฐพงษ์ เจนวิพากษ์และคณะ (2548) และเหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจำรอง ดาวเรือง(2549) พบว่า แมคคาดาเมียตั้งแต่ก่อนระยะการเก็บเกี่ยวปกติ 2 สัปดาห์ ถึง หลังระยะการเก็บเกี่ยว 2 สัปดาห์ มีปริมาณเถ้า 1.2-1.3% ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณเถ้าของแมคคาดาเมียที่ใช้ในงานวิจัยที่มีค่า 1.41%

USDA (2007) รายงานว่า แมคคาดาเมีย 100 กรัม มีปริมาณโปรตีนประมาณ 7.91 กรัม และ ณัฐพงษ์ เจนวิพากษ์และคณะ (2548) และ เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจำรอง ดาวเรือง (2549) พบว่า แมคคาดาเมียตั้งแต่ก่อนระยะการเก็บเกี่ยวปกติ 2 สัปดาห์ ถึง หลังระยะการเก็บเกี่ยว 2 สัปดาห์ มีปริมาณโปรตีนประมาณ 9-10% แมคคาดาเมียที่นำมาทดลองมีปริมาณโปรตีน 7.24% ซึ่งใกล้เคียงค่าที่รายงานโดย USDA (2007)

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแมคคาดาเมียที่ปลูกในประเทศไทย พบว่า ปริมาณโปรตีน ไขมันและเถ้ามีค่าใกล้เคียงกับสมบัติทางโภชนาการของแมคคาดาเมียที่รายงานโดย USDA (2007) แต่ค่าความสว่าง (L*) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งของแมคคาดาเมียที่ปลูกในประเทศไทยมีค่าน้อยกว่าค่าดังกล่าวของแมคคาดาเมียที่ปลูกที่ฮาวาย (Wall and Gentry, 2006) ซึ่งอาจมีผลต่อคุณภาพด้านสีของแมคคาดาเมีย กล่าวคือ ค่าความสว่างภายในเมล็ดของแมคคาดาเมียภายหลังการอบแห้ง อาจจะมีค่าลดลงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพด้านสีต่ำกว่าแมคคาดาเมียที่ปลูกที่ฮาวาย

4.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลา (Nut in shell) ด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ในขั้นตอนที่ 2 เป็นการหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลาด้วยปั๊มความร้อน โดยลดความชื้นแมคคาดาเมียจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 17% d.b. ให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 5% d.b. โดยความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลาด้วยวิธีปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.1 พบว่า การอบแห้งแมคคาดาเมียจำนวน 2 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้น 17% d.b. เพื่อได้ความชื้นสุดท้ายที่ 5.31% d.b. ความเร็วลม 0.3 m/s ความชื้นสัมพัทธ์อากาศขาเข้า 22.29% และความชื้นสัมพัทธ์ขาออก 24.71% ใช้เวลาทั้งหมด 24.5 ชั่วโมง (ตารางที่ ข.1) โดยความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่เริ่มต้นอบแห้งจนถึงชั่วโมงที่ 10 ของการอบแห้ง หลังจากนั้นเริ่มลดช้าลงจนกระทั่งสิ้นสุดการอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากช่วงแรกของการอบแห้งเกิดการระเหยของน้ำที่ผิวแมคคาดาเมียซึ่งเป็นการระเหยของน้ำอิสระ (Free water) หลังจากนั้น น้ำเกี่ยวพัน (Bounded water) หรือไอน้ำภายในแมคคาดาเมียจะเคลื่อนที่มาที่ผิวแมคคาดาเมีย และระเหยออกสู่อากาศ ปริมาณความชื้นจะลดต่ำลงเรื่อยๆ โดยอัตราการระเหยของน้ำจะถูกควบคุมโดยความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในแมคคาดาเมีย ทำให้ขั้นตอนนี้ทำให้ปริมาณความชื้นลดช้าลงในขั้นตอนนี้

Kowitz (2004) อบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลาที่ความชื้นเริ่มต้น 21-23 % w.b. ด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 30 35 40 45 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่า ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.6 m/s ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 25% ใช้เวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียจำนวน 60 กิโลกรัม ทั้งหมด 240 ชั่วโมง โดยในช่วง 48 ชั่วโมงแรกของการอบแห้งความชื้นแมคคาดาเมียลดลงอย่างรวดเร็วถึง 7.5% w.b. และจะเริ่มลดช้าลงจนได้ความชื้นสุดท้าย 4.5% w.b.

Silva และคณะ (2005) อบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลาจำนวน 0.9 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้น 10% d.b. ด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ที่อุณหภูมิ 58-68 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1 m/s พบว่า ในช่วง 200 นาทีแรกของการอบแห้งทุกอุณหภูมิ ความชื้นแมคคาดาเมียลดลงอย่างรวดเร็ว และจะเริ่มลดช้าลงจนได้ความชื้นแมคคาดาเมียเนื้อใน 1.5% d.b. รวมใช้เวลาในการอบแห้งทั้งสิ้น 4.5-5.5 ชั่วโมง

Prichavudhi และ Yamamoto (1965) พบว่า การอบแห้งแมคคาดาเมียที่อุณหภูมิห้องและ ที่ 38 องศาเซลเซียส สามารถอบแห้งแมคคาดาเมียได้ทุกค่าความชื้น โดยไม่เกิดสีน้ำตาลกลางเมล็ด การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงถึง 62 องศาเซลเซียส และ 71 องศาเซลเซียส โดยไม่ทำให้เกิดสีน้ำตาลกลางเมล็ดแมคคาดาเมียสามารถทำได้เมื่อแมคคาดาเมียมีความชื้นเริ่มต้นเป็น 6% w.b. และ 8% w.b. ซึ่งโดยทั่วไปการอบแห้งแมคคาดาเมียจะใช้เวลานาน ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน

Wall และ Gentry (2006) อบแห้งแมคคาดาเมียที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ตามด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน และต่อด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส รวมทั้งสิ้น 17 วัน เพื่อลดความชื้นจาก 16-24% d.b. เหลือ 1.5% d.b. ซึ่งวิธีนี้เป็นมาตรฐานตามวิธีของ Australian Macadamia Society (2004)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาวิธีการอบแห้งเพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมีย โดยยังคงรักษาคุณภาพของแมคคาดาเมียไว้ แบ่งการอบแห้งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 เป็นการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลาด้วยวิธีปั๊มความร้อน อุณหภูมิในการอบแห้งคือ 40 องศาเซลเซียส อบแห้งจนกระทั่งความชื้นลดลงที่ 2 ระดับความชื้น ระดับที่ 1 ความชื้นประมาณ 8.7% d.b. (8% w.b.) สาเหตุที่เลือกระดับความชื้นนี้ เนื่องมาจากงานวิจัยของ Prichavudhi และ Yamamoto (1965) กล่าวไว้ว่า การอบแห้งจนแมคคาดาเมียทั้งกะลามีความชื้น 8.7% d.b. จะสามารถอบแห้งแมคคาดาเมียต่อที่อุณหภูมิสูงได้โดยไม่เกิดสีน้ำตาล และระดับความชื้นที่ 2 ความชื้นประมาณ 11.11% d.b. (10% w.b.) ที่ระดับความชื้นนี้ ปริมาณความชื้นแตกต่างกับที่ 8.7% d.b. เพียงเล็กน้อย แต่ระยะเวลาในการลดความชื้นแมคคาดาเมียจาก 11.11% d.b. เป็น 8.7% d.b. ใช้เวลาต่างกันถึง 5.5 ชั่วโมง ดังนั้นหากสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้อีกโดยที่ไม่กระทบต่อคุณภาพแมคคาดาเมีย จะช่วยลดพลังงานในการอบแห้ง ซึ่งเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการอบแห้งแมคคาดาเมีย แมคคาดาเมียที่ถูกลดความชื้นอยู่ที่ 2 ระดับความชื้นจะถูกอบต่อที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 1.52-2.04% d.b.

(1.5-2% w.b.) ซึ่งเป็นค่าความชื้นที่ทำให้แมคคาดาเมียมีความเสถียรเกิดการเสื่อมเสียน้อยที่สุด (Dominguez *et al.*, 2007)

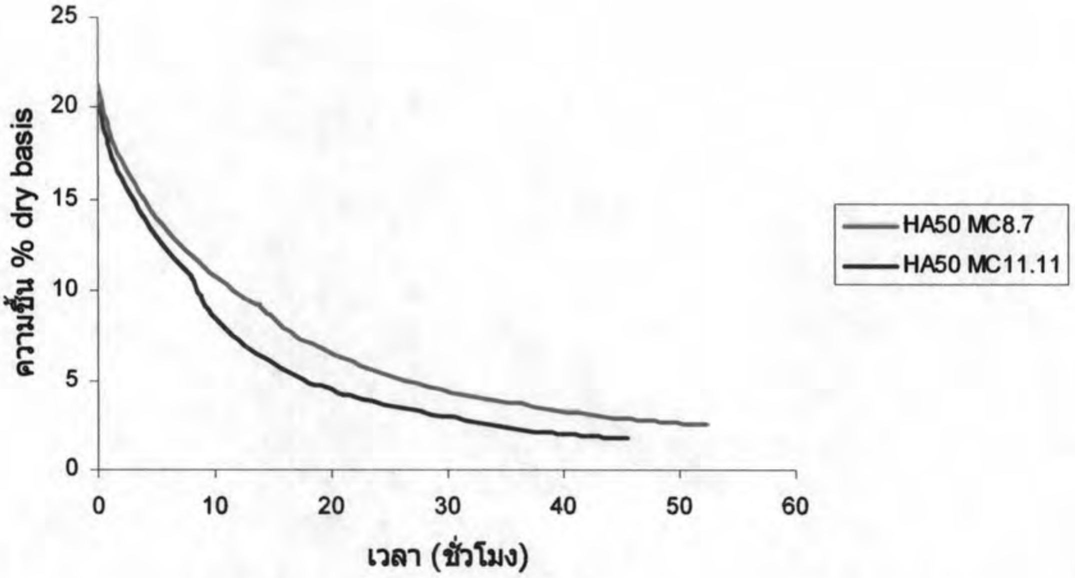
จากผลการทดลองในขั้นตอนที่ 4.2 ทำให้ทราบเวลาในการลดความชื้นแมคคาดาเมียโดยที่ความชื้นเริ่มต้นเป็น 17% d.b. ลงที่ระดับความชื้น 2 ระดับ คือ ระดับที่ 1 ความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งที่ 8.7% d.b. และระดับที่ 2 ความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งที่ 11.11% d.b. ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยปั๊มความร้อนความชื้นเริ่มต้นของแมคคาดาเมียทั้งกะลา 17% d.b.ที่อุณหภูมิในการอบแห้ง 40 องศาเซลเซียส

ความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง (% d.b.)	เวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยปั๊มความร้อน (ชั่วโมง)
8.7	9.5
11.11	4

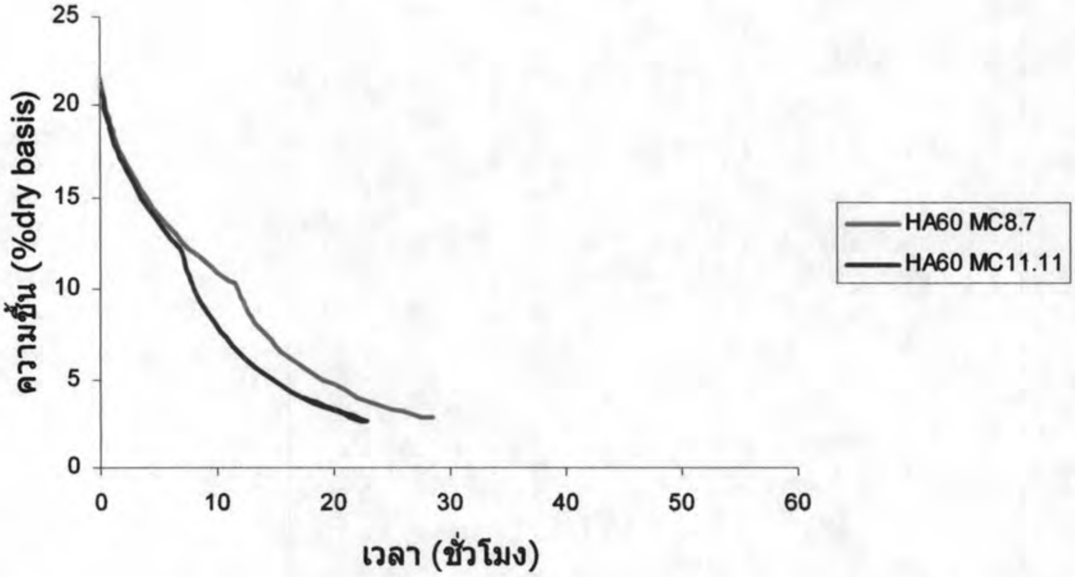
4.3 ศึกษาความสัมพันธ์ของความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลาด้วยวิธีปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

ในขั้นตอนนี้เป็นการหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลา โดยลดความชื้นแมคคาดาเมียจากความชื้นเริ่มต้น 20-22% d.b. ให้เหลือ 8.7% d.b. และ 11.11% d.b. ด้วยวิธีการอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แล้วลดความชื้นต่อจนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 1.52-2.04% d.b. โดยวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน มีภาวะการอบแห้งทั้งหมด 6 ภาวะ (ตารางที่ 3.2) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียของ 6 ภาวะ แสดงในรูปที่ 4.2-4.4



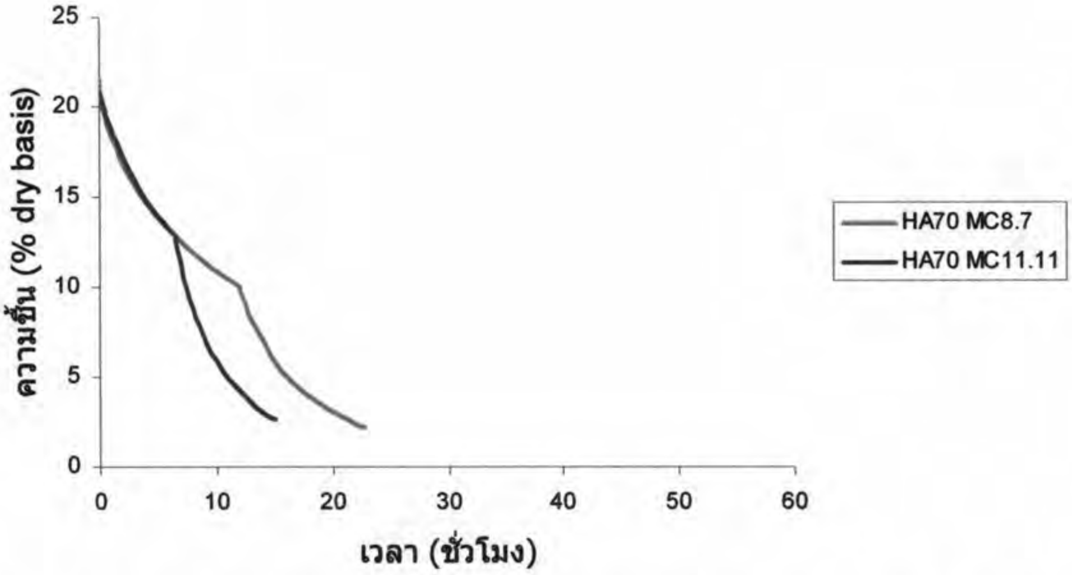
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียด้วยวิธีปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 8.7% d.b. และ 11.11% d.b.

การอบแห้งแมคคาดาเมียที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 20-21% d.b. โดยใช้ปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยในขั้นตอนการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ลดความชื้นจาก 20-21% d.b. ถึง 8.7% d.b. และ 11.11% d.b. ใช้เวลา 13.75 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ และ อบต่อด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้นสุดท้าย 2.51% d.b. และ 1.72% d.b. ใช้เวลา 38.5 และ 37.5 ชั่วโมง ตามลำดับ รวมใช้เวลาทั้งหมดสองขั้นตอน 52.25 ชั่วโมง 45.5 ชั่วโมง ตามลำดับ (ตารางที่ ข.2 และ ข.3) การอบแห้งแบบสองขั้นตอนโดยความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งเป็น 11.11% d.b. ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าที่ความชื้น 8.7% d.b. เนื่องจากเวลาในการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนในขั้นตอนแรกของการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งที่ 11.11% d.b. ใช้เวลาสั้นกว่าที่ความชื้น 8.7% d.b. 5.75 ชั่วโมง



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียด้วยวิธีปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 8.7% d.b. และ 11.11% d.b.

การอบแห้งแมคคาดาเมียที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 20-21% d.b. โดยใช้ปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนเป็น 8.7% d.b. และ 11.11% d.b. ได้ความชื้นสุดท้ายเป็น 2.61% d.b. และ 2.82% d.b. ตามลำดับ ใช้เวลาในการอบแห้งทั้งสิ้น 28.5 และ 22.75 ชั่วโมงตามลำดับ (ตารางที่ ข.4 และ ข.5) โดยในขั้นตอนแรกการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ลดความชื้นเริ่มต้นถึงความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 8.7% d.b. และ 11.11% d.b. ใช้เวลา 11.5 และ 6.83 ชั่วโมงตามลำดับ และอบต่อในขั้นตอนที่สองด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 17 และ 15.92 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า เวลาในการอบแห้งทั้งสองขั้นตอน ที่ความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 11.11% d.b. ใช้เวลาสั้นกว่าที่ 8.7% d.b. ประมาณ 5 ชั่วโมง



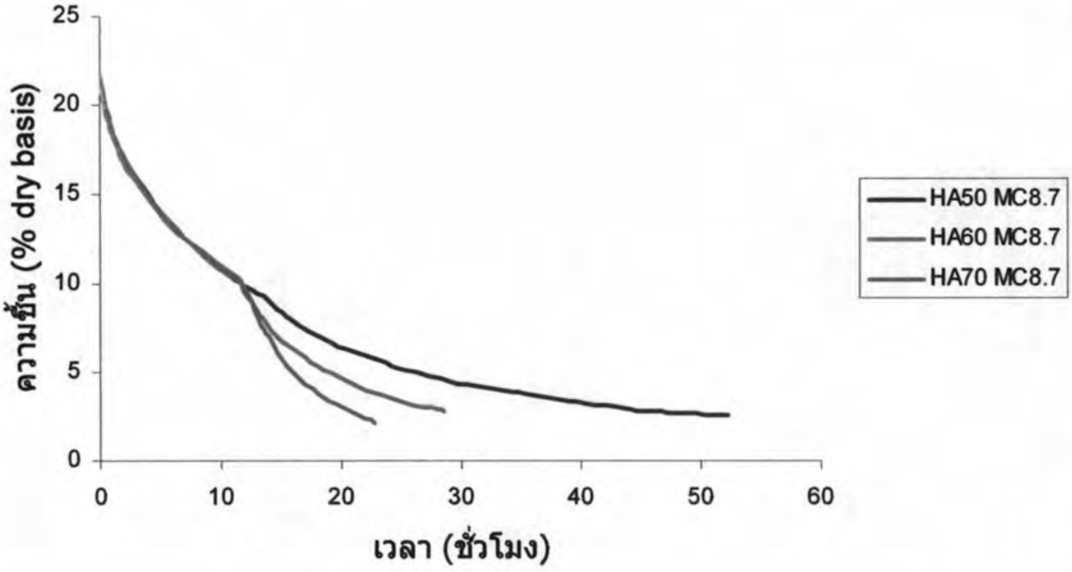
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียด้วยวิธีปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 8.7% d.b. และ 11.11% d.b.

การอบแห้งแมคคาดาเมียที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 20-21% d.b. โดยใช้ปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยในขั้นตอนการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ลดความชื้นจาก 20-21% d.b. ถึง 8.7% d.b. และ 11.11% d.b. ใช้เวลา 12 และ 6.5 ชั่วโมง ตามลำดับ อบต่อด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้นสุดท้าย 2.17% d.b. และ 2.61% d.b. ใช้เวลา 10.73 และ 8.5 ชั่วโมง ตามลำดับ รวมใช้เวลาทั้งหมดสองขั้นตอน 22.73 ชั่วโมง และ 15 ชั่วโมง ตามลำดับ (ตารางที่ ข.6 และ ข.7) พบว่า การอบแห้งแบบสองขั้นตอนที่มีความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนเป็น 11.11% d.b. ใช้เวลาสั้นกว่าที่ความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งที่ 8.7% d.b. 6.5 ชั่วโมง

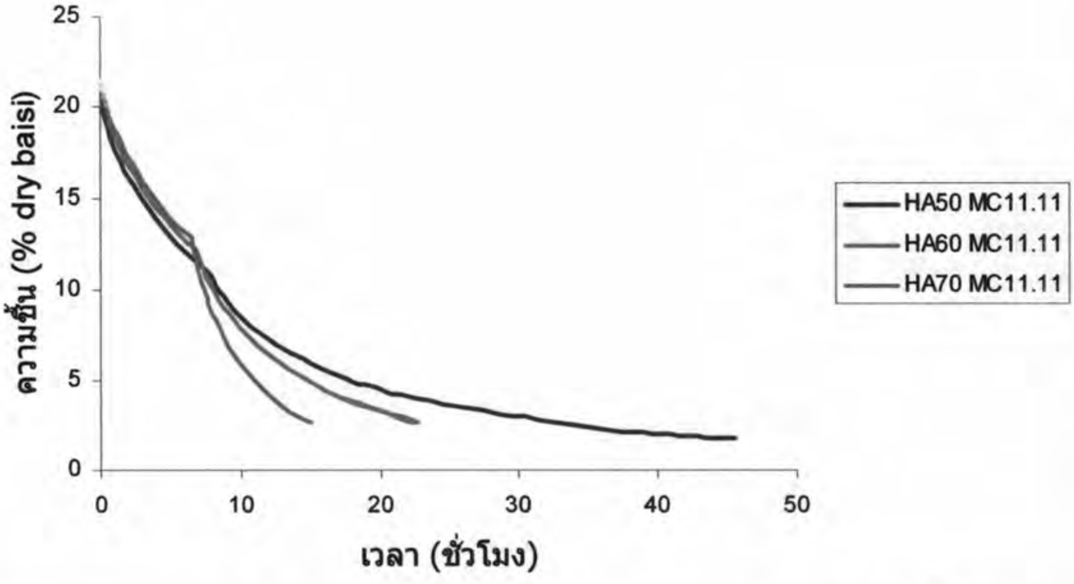
จากความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งในรูปที่ 4.2-4.4 พบว่า เมื่ออบแห้งแมคคาดาเมียที่ความชื้นเริ่มต้น 20-22% d.b. โดยใช้วิธีปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เพื่อลดความชื้นแมคคาดาเมียลงจนถึงความชื้นในการเปลี่ยนระดับการอบแห้งที่ 8.7% d.b. ใช้เวลา 12-14 ชั่วโมง และที่ความชื้นในการเปลี่ยนระดับการอบแห้งที่ 11.11% d.b. ใช้เวลา 6.5-8 ชั่วโมง เวลาในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งที่แตกต่างกันขึ้นกับหลายปัจจัยอาทิเช่น ความแตกต่างของความชื้นเริ่มต้นในแต่ละภาวะการอบแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์อากาศขณะทำการอบแห้ง โดยแมคคาดาเมียที่ความชื้นเริ่มต้นสูงจะใช้เวลาในการอบแห้งจนถึงระดับความชื้นในการเปลี่ยน

ขั้นตอนการอบแห้งนานกว่าแมคคาดาเมียที่มีความชื้นเริ่มต้นต่ำ และเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนที่ใช้ในการทดลองไม่ได้เป็นระบบปิดสมบูรณ์ทำให้ไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อากาศได้ ดังนั้น ขณะทำการอบแห้ง ถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ น้ำในแมคคาดาเมียจะระเหยสู่อากาศได้ดีกว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูง ทำให้การอบแห้งที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้าต่ำใช้เวลาน้อยกว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้าสูง

นำผลการอบแห้งที่มีการเปลี่ยนระดับความชื้นการอบแห้งเดียวกันมาเปรียบเทียบ แสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียด้วยวิธีปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 8.7% d.b.



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียด้วยวิธีปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 11.11% d.b.

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่า เมื่ออบแห้งโดยวิธีปั๊มความร้อนตามด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความชื้นแมคคาดาเมียจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 60 และ 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นจะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวนอกและภายในแมคคาดาเมียต่างกันมากขึ้น ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าไปภายในแมคคาดาเมียเพิ่มขึ้น ทำให้ความแตกต่างระหว่างความดันไอภายในแมคคาดาเมียกับอากาศโดยรอบภายนอกสูงขึ้น ส่งผลให้การแพร่ความชื้นจากภายในแมคคาดาเมียเคลื่อนที่มา ยังผิวนอกได้เร็วขึ้น ทำให้ความชื้นลดลงเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ โดยเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งที่ 8.7% d.b. ใช้เวลา 22.7, 28.5 และ 52.3 ชั่วโมงตามลำดับ และที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งที่ 11.11% d.b. ใช้เวลา 15, 22.8 และ 45.5 ชั่วโมงตามลำดับ

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งสองขั้นตอน สรุปเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแต่ละขั้นตอน และความชื้นสุดท้าย แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความชื้นแมคคาดาเมียทั้งกะลาและเวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียที่ภาวะต่างๆ

ภาวะการอบแห้ง	ความชื้นแมคคาดาเมียทั้งกะลา (% d.b.)		เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)		
	เริ่มต้น	สุดท้าย	ปั๊มความร้อน	ลมร้อน	รวมเวลา
HA50 MC8.7	21.23	2.51	13.75	38.5	52.25
HA60 MC8.7	21.64	2.61	11.5	17	28.5
HA70 MC8.7	21.05	2.17	12	10.73	22.7
HA50 MC11.11	20.26	1.72	8	37.5	45.5
HA60 MC11.11	21.34	2.82	6.83	15.92	22.8
HA70 MC11.11	21.53	2.61	6.5	8.5	15

จากตารางที่ 4.3 ช่วงความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งที่ความชื้น 8.7% d.b. อยู่ในช่วง 9-10% d.b. และช่วงการเปลี่ยนระดับความชื้น 11.11% d.b. อยู่ในช่วง 10-13% d.b. ความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความชื้นแมคคาดาเมียในแต่ละเมล็ด

เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแมคคาดาเมียโดยวิธีปั๊มความร้อนที่ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับลมร้อน (50-70 องศาเซลเซียส) กับการอบแห้งโดยวิธีอื่น (ตารางที่ 4.4) พบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งในการทดลองนี้ ที่อุณหภูมิ 40-70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาทั้งหมด 15-52.25 ชั่วโมง ซึ่งสั้นลงมากเมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (Kowitz, 2004) 9-13 วัน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณ แมคคาดาเมียที่ใช้อบแห้งต่างกัน Kowitz (2004) อบแห้งแมคคาดาเมียจำนวน 60 กิโลกรัม แต่ในการทดลองนี้อบแห้งแมคคาดาเมียจำนวน 2 กิโลกรัม ทำให้เวลาที่ได้จากการทดลองน้อยกว่ามาก และเมื่อเทียบเวลาที่ใช้ในการอบแห้งในการทดลองนี้กับการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ที่อุณหภูมิ 58–68 องศาเซลเซียส (Silva *et al.*, 2005) พบว่า แม้ว่าอุณหภูมิในการอบแห้งจะอยู่ในช่วงใกล้กันแต่เวลาที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ (4.5-5.5 ชั่วโมง) ใช้เวลาสั้นกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณแมคคาดาเมียในการอบแห้งที่ต่างกัน แมคคาดาเมียที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟจำนวน 0.9 กิโลกรัม ซึ่งน้อยกว่าแมคคาดาเมียในการทดลองนี้ (2 กิโลกรัม) นั่นคือ แม้ว่าอบแห้งที่อุณหภูมิใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณที่ใช้อบแห้งต่างกัน ก็ทำให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งต่างกัน โดยการอบแห้งแมคคาดาเมียปริมาณมาก ใช้เวลามากกว่าการอบแห้งแมคคาดาเมียปริมาณน้อย

ตารางที่ 4.4 เวลาในการอบแห้งแมคคาดาเมียโดยวิธีต่างๆ

ประเภทการอบแห้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		เวลาในการอบแห้ง		
	ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 2	ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 2	รวม
แบบถังเก็บ	10-20		10-21 วัน (Kowitz, 2004)		
แบบลมร้อน	อุณหภูมิห้อง 52, 60 และ 71	52	4 วัน	3 วัน	7 วัน
			(Prichavudhi and Yamamoto, 1965)		
แบบถังเก็บร่วมกับลมร้อน	อุณหภูมิห้อง	38 → 50 → 60	5 วัน	3 → 5 → 2	15 วัน
			(Mason and McConachie, 1994)		
แบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ	58 60 และ 62	64 66 และ 68	4.5-5.5 ชั่วโมง (Silva *et al*., 2005)		
แบบปั๊มความร้อน	30-50		9-13 วัน (Kowitz, 2004)		
แบบปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน	40	50 60 และ 70	15-52.25 ชั่วโมง (การทดลองนี้)		

เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งที่ต่างกันที่ภาวะการอบแห้งทั้ง 6 ภาวะ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความชื้นเริ่มต้นแมคคาดาเมียทั้งกะลาก่อนการอบแห้ง อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศขณะทำการอบแห้ง เป็นต้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ยากแก่การควบคุม เช่น ความชื้นแมคคาดาเมียทั้งกะลาก่อนการอบแห้ง แม้ว่าได้ทำการเพิ่มความชื้นก่อนการอบแห้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ความชื้นแมคคาดาเมียหลังการเพิ่มความชื้นมีค่าใกล้เคียงกับผลสดหลังการเก็บเกี่ยวคือมากกว่า 20% d.b. และให้ปริมาณความชื้นแมคคาดาเมียในแต่ละเมล็ดใกล้เคียงกันก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาความไม่เท่ากันของความชื้นแมคคาดาเมียในแต่ละเมล็ดให้หมดไปได้ อีกสาเหตุหนึ่งอาจมาจากในการเก็บเกี่ยว แมคคาดาเมียสุกและหล่นไม่พร้อมกันจึงต้องรอและใช้ระยะเวลาในการรวบรวมผลิตผลเพื่อส่งมายังห้องปฏิบัติการจึงทำให้ผลสดที่ส่งมามีความแตกต่างของความชื้นก่อนเพิ่มความชื้นมาก

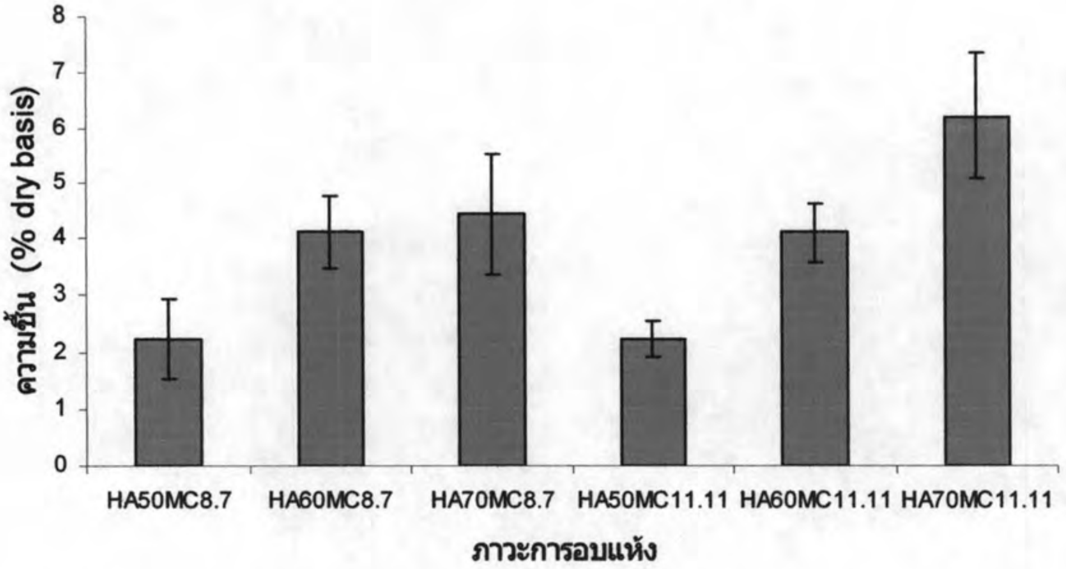
แม้ว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแมคคาดาเมียโดยปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อนจะสั้น แต่สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือคุณภาพที่ได้จากแต่ละภาวะการอบแห้ง ดังนั้นจึงต้องตรวจสอบคุณภาพทั้งทางกายภาพและทางเคมี เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง

4.4 ศึกษาคุณภาพเนื้อในแมคคาดาเมียภายหลังการอบแห้งโดยปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน

นำเนื้อในแมคคาดาเมียที่ได้หลังจากการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลาโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อนที่ภาวะต่างๆ ไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ค่า a_w ค่าสีภายในและภายนอกในระบบ CIE (L*a*b*) ค่าเปอร์ออกไซด์ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง ได้ผลการวิเคราะห์ แสดงในข้อ 4.4.1-4.4.4

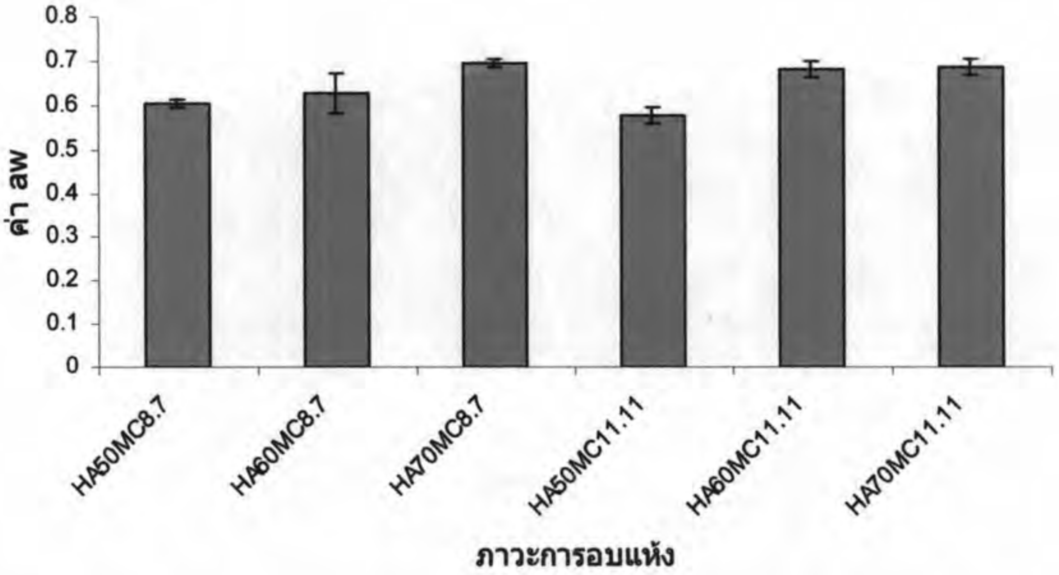
4.4.1 ผลของอุณหภูมิและความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนในการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลาต่อปริมาณความชื้น และค่า a_w ของเนื้อในแมคคาดาเมีย

หลังการอบแห้งโดยปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน สุ่มตัวอย่างหาปริมาณความชื้น (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.1) และ วัดค่า a_w (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.4) พบว่า ที่อุณหภูมิการอบแห้งต่ำแมคคาดาเมียที่ได้จะมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าอุณหภูมิการอบแห้งสูง แสดงในรูปที่ 4.7 ปริมาณความชื้นเนื้อในแมคคาดาเมียที่ได้มีค่าค่อนข้างสูง โดยอยู่ระหว่าง 2.22-6.20% d.b. (ตารางที่ ข.8) ทั้งที่ความชื้นแมคคาดาเมียทั้งกะลามีค่าระหว่าง 1.91-3.53% d.b. ปริมาณความชื้นเนื้อในแมคคาดาเมียที่ได้ไม่อยู่ในช่วง Minimum Integral Entropy Zone (1.2-1.6 % d.b.) ซึ่งเป็นช่วงที่แมคคาดาเมียมีอัตราการเกิดการเสื่อมเสียน้อย (Dominguez *et al.*, 2007)



รูปที่ 4.7 ปริมาณความชื้นเนื้อในแมคคาดาเมียภายหลังการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน

ที่อุณหภูมิการอบแห้งต่ำจะให้ค่า a_w ต่ำกว่าอุณหภูมิการอบแห้งสูงเนื่องจากความชื้นเนื้อในที่ได้จากการอบที่อุณหภูมิต่ำมีค่าต่ำ จึงทำให้ค่า a_w ต่ำลงไปด้วย เมื่อพิจารณาที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งที่ระดับเดียวกันพบว่า ค่า a_w ที่ได้อยู่ในช่วง 0.58-0.69 (ตารางที่ ข.9) แสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งค่าที่ได้ไม่อยู่ในช่วง Minimum Integral Entropy Zone (ค่า a_w 0.36-0.44) ซึ่งเป็นช่วงที่แมคคาดาเมียมีอัตราการเกิดการเสื่อมเสียน้อย (Dominguez *et al.*, 2007) โดยค่าที่ได้จากการทดลองเป็นช่วงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์มีค่าสูง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) และในช่วงดังกล่าวทำให้อัตราการเกิด ปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชันสูงด้วย (Gordon, 2004)



รูปที่ 4.8 ค่า a_w เนื้อในแมคคาดาเมียภายหลังการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน

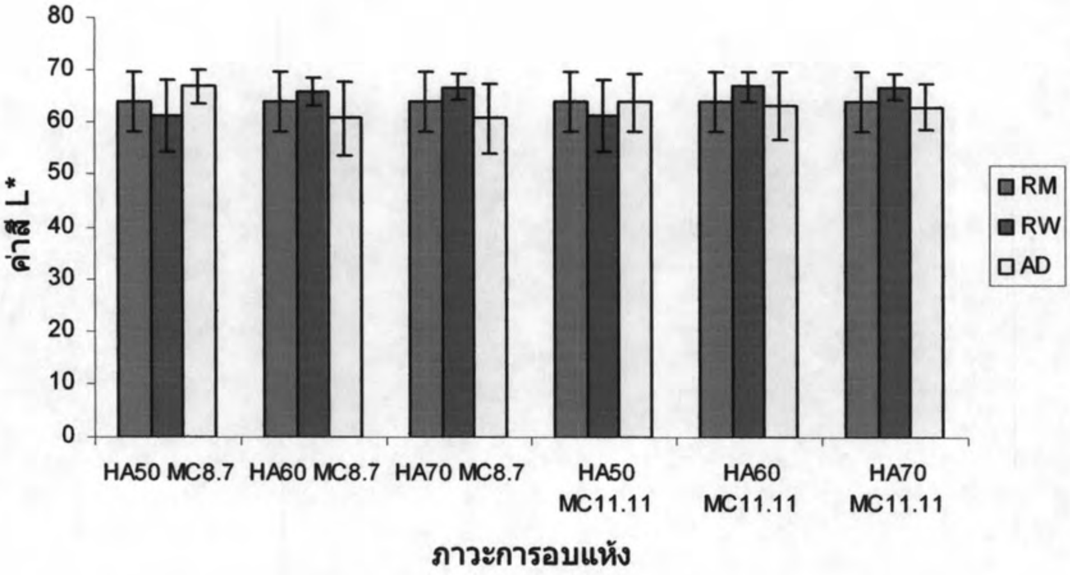
4.4.2 ผลของอุณหภูมิและความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนในการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลาต่อค่าสีภายในและภายนอกของเนื้อในแมคคาดาเมียในระบบ CIE (L*a*b*)

หลังการเพิ่มความชื้นและอบแห้งแมคคาดาเมียโดยปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน กะเทาะกะลาแมคคาดาเมีย (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.1) แล้วนำเนื้อในแมคคาดาเมียที่ได้ วัดค่าสีในระบบ CIE (L*a*b*) ด้วย เครื่องวัดสี Color Flex (HunterLab รุ่น 45/0, USA) และคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.5) พบว่า ค่าสี L* ของวัตถุดิบเริ่มต้นไม่แตกต่างกับค่าสี L* ของแมคคาดาเมียหลังเพิ่มความชื้น อุณหภูมิของภาวะอบแห้งมีผลต่อค่าสีของแมคคาดาเมีย กล่าวคือ ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งเดียวกัน ที่อุณหภูมิในการอบแห้งต่ำจะให้ค่าสี L* ภายนอกและภายในสูงที่สุด และที่อุณหภูมิในการอบแห้งสูงจะให้ค่าสี L* ภายนอกและภายในที่ต่ำสุด ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งที่ 11.11% d.b. เห็นการเปลี่ยนแปลงค่าสี L* ชัดกว่าที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งที่ 8.7% d.b. ที่อุณหภูมิอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส พบว่า มีการเกิดสีน้ำตาลกลางเมล็ดแมคคาดาเมียเล็กน้อย แสดงว่า การอบแห้งแมคคาดาเมียด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แม้จะลดระดับความชื้นเริ่มต้นเหลือประมาณ 11.11% d.b. ก็ไม่สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลกลางเมล็ดได้ แต่ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 และ 60 องศาเซลเซียส หากลดระดับความชื้นเริ่มต้นเหลือประมาณ 8.7% d.b. และ 11.11% d.b. จะสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลกลางเมล็ดได้ ภาวะการอบแห้งที่ให้ค่าสี L* ภายนอกและภายในมากที่สุด คือ การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน 40 องศา

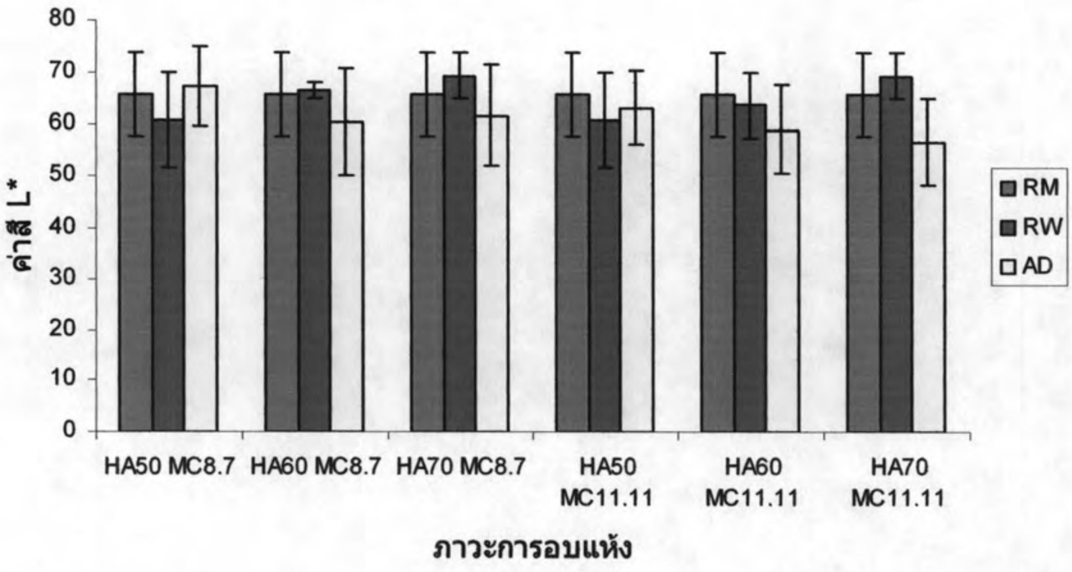
เซลเซียสร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยมีความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งที่ 8.7% d.b. รองลงมา คือ การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน 40 องศาเซลเซียสร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อน อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยมีความชื้นในการเปลี่ยนระดับการอบแห้งที่ 11.11% d.b. แสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10 (ตารางที่ ข.10)

ค่าสี b* บวกแสดงสีเหลือง พบว่า ค่าสี b* ภายนอกมีค่าสูงกว่าภายในทุกภาวะการอบแห้ง และทุกลักษณะแมคคาดาเมีย วัตถุดิบเริ่มต้น (Raw Material: RM) หลังเพิ่มความชื้น (Rewetting: RW) และภายหลังการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน (After Drying: AD) และการอบแห้งแมคคาดาเมียที่อุณหภูมิการอบแห้งต่ำ 50 องศาเซลเซียส จะให้ค่าสี b* ภายในสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง 60 และ 70 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 (ตารางที่ ข.10)

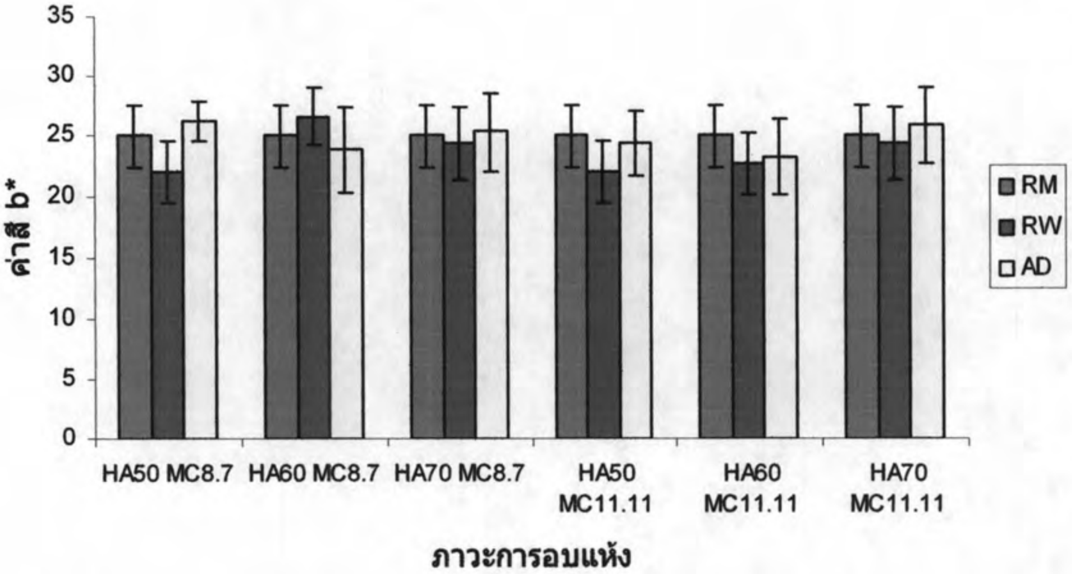
ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Prichavudhi และ Yamamoto (1965) ที่พบว่าการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลาที่อุณหภูมิสูง 62 ^{o}C และ 71 ^{o}C หากแมคคาดาเมียมีความชื้นเริ่มต้นเป็น 6% w.b. (6.32% d.b). และ 8% w.b. (8.7% d.b.) จะไม่เกิดสีน้ำตาลกลางเมล็ด



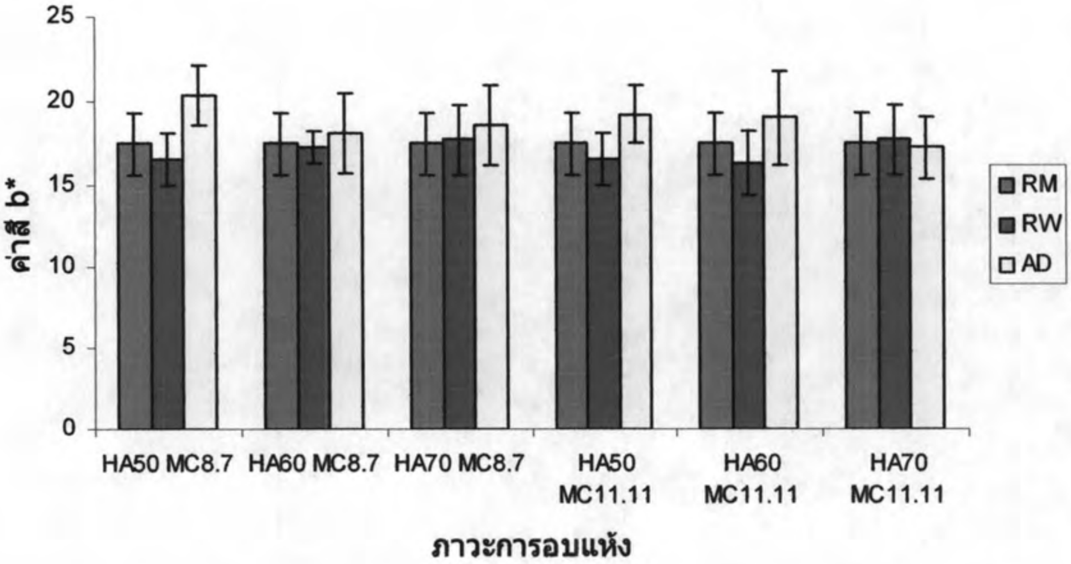
รูปที่ 4.9 ค่าสี L* ภายนอกของเนื้อในแมคคาดาเมีย วัตถุดิบเริ่มต้น (RM) หลังเพิ่มความชื้น (RW) และภายหลังการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน (AD)



รูปที่ 4.10 ค่าสี L* ภายในของเนื้อในแมคคาดาเมีย วัตถุดิบเริ่มต้น (RM) หลังเพิ่มความชื้น (RW) และภายหลังการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน (AD)



รูปที่ 4.11 ค่าสี b* ภายนอกของเนื้อในแมคคาดาเมีย วัตถุดิบเริ่มต้น (RM) หลังเพิ่มความชื้น (RW) และภายหลังการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน (AD)

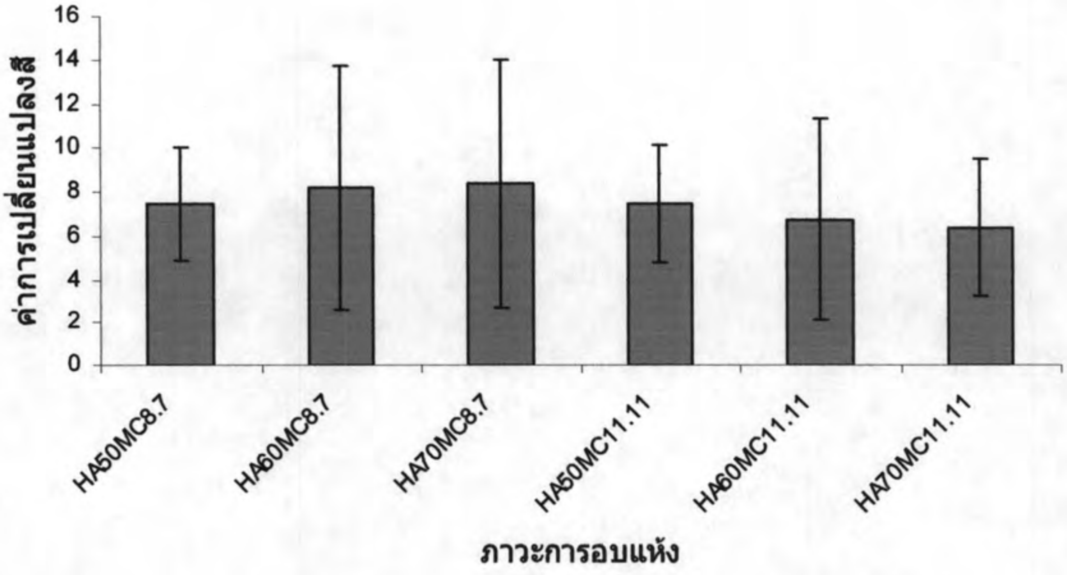


รูปที่ 4.12 ค่าสี b* ภายในของเนื้อในแมคคาดาเมีย วัตถุดิบเริ่มต้น (RM) หลังเพิ่มความชื้น (RW) และภายหลังการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน (AD)

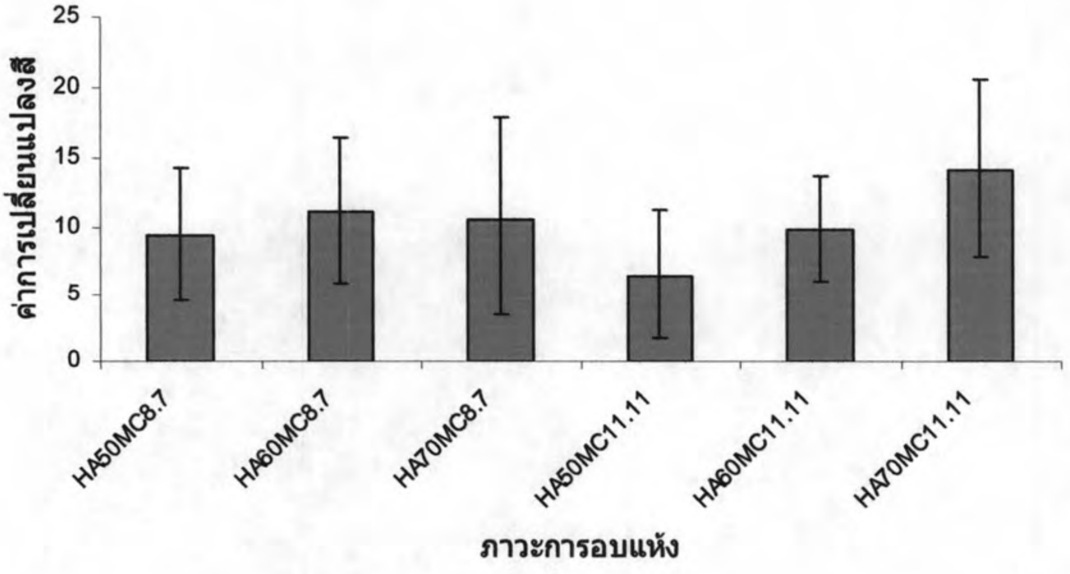
จากการวิเคราะห์ค่าสี L* ภายนอก b* ภายนอก และ L* ภายในของเนื้อในแมคคาดาเมียจาก 6 ภาวะอบแห้ง พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิการอบแห้งด้วยลมร้อนและค่าความชื้นเริ่มต้นในการอบแห้งขั้นตอนที่สองด้วยลมร้อน ไม่มีปฏิสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่อิทธิพลดังกล่าวมีผลต่อค่าสี b* ภายใน อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) (ตารางที่ ค.1 และ ค.2)

เมื่อพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงสีแมคคาดาเมียหลังอบแห้งเทียบกับแมคคาดาเมียหลังการเพิ่มความชื้น พบว่า แมคคาดาเมียมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีภายในเมล็ดสูงกว่าภายนอกเมล็ดทุกภาวะการอบแห้ง ยกเว้นภาวะการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสในขั้นตอนที่สอง ที่ความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งที่ 11.11% d.b. จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายนอกสูงกว่าภายในเมล็ด ดังในรูปที่ 4.13 และ 4.14 (ตารางที่ ข.10)

สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายนอกของเนื้อในแมคคาดาเมียหลังอบแห้งเทียบกับแมคคาดาเมียหลังเพิ่มความชื้น



รูปที่ 4.14 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายในของเนื้อในแมคคาดาเมียหลังอบแห้งเทียบกับแมคคาดาเมียหลังเพิ่มความชื้น

การเปลี่ยนแปลงภายในเนื้อในแมคคาดาเมีย ค่าสี b* และค่าการเปลี่ยนแปลงสีมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิในการอบแห้งและความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง แต่ทั้งสองปัจจัยนี้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภายนอก ซึ่งพบว่า ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการ

อบแห้งเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น แมคคาดาเมียมีแนวโน้มสีเข้มขึ้น โดยค่าสี L* ภายนอกมีแนวโน้มลดลง ค่าการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อในแมคคาดาเมียภายหลังการอบแห้งเทียบกับวัตถุดิบหลังเพิ่มความชื้น พบว่า อุณหภูมิของภาวะอบแห้งและความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง มีผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อในแมคคาดาเมีย กล่าวคือ ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งเดียวกัน ที่อุณหภูมิในการอบแห้งต่ำจะให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายในต่ำ และที่อุณหภูมิในการอบแห้งสูงจะให้ค่าสีค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายในเพิ่มขึ้น ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งที่ 11.11% d.b. เห็นการเปลี่ยนแปลงชัดกว่าที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งที่ 8.7% d.b. โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายในต่ำกว่า 60 และ 70 องศาเซลเซียสตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงสีนี้อาจเกิดจากการทำงานของอินเวอร์เทส ซึ่งพบว่า อุณหภูมิภายในเมล็ดระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าสูง (ตารางที่ 4.5) ซึ่งอยู่ในช่วง optimum temperature ของเอนไซม์ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงน้ำตาลนอนรีดิวซิ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซิ่ง ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาเมลลาร์ด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีภายในมากขึ้น นอกจากนี้อาจเกิดจากความเข้มข้นของน้ำตาลภายในเพิ่มขึ้นเพราะความชื้นภายในเมล็ดแพร่ไปสู่ที่ผิว ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสีภายในเมล็ดชัดกว่าภายนอกเมล็ด ซึ่งเป็นผลจากอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิในการอบแห้งกับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิภายในเมล็ดแมคคาดาเมียทั้งกะลาในระหว่างการอบแห้ง

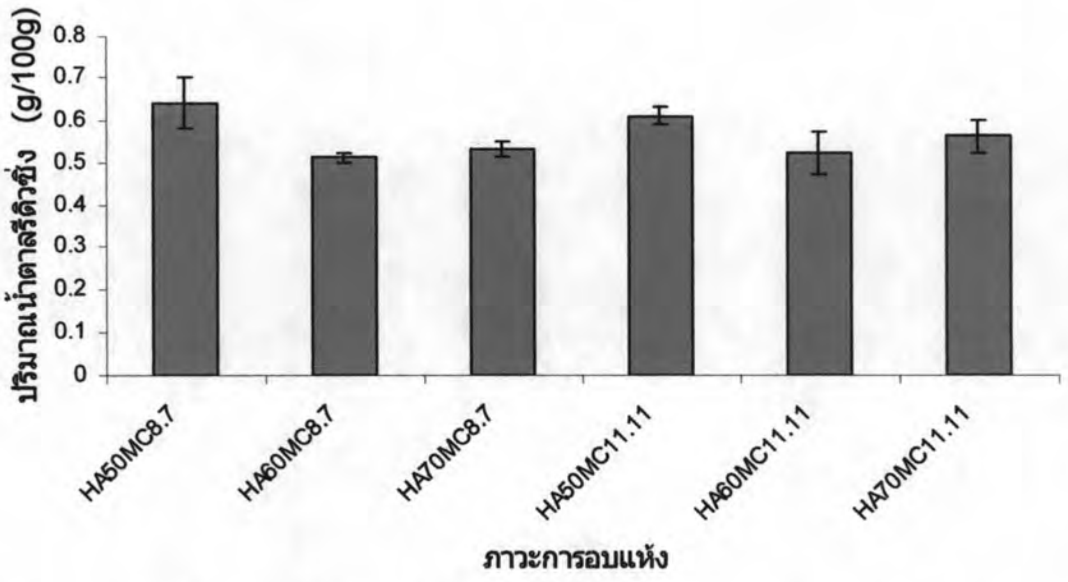
อุณหภูมิการอบแห้ง	อุณหภูมิภายในเมล็ดในระหว่างอบแห้ง (^{o}C)	
	ความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 8.7% d.b.	ความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 11.11% d.b.
50	45.1±1.2	45.6±0.8
60	53.5±1.4	53.4±1.6
70	58.7±2.6	57.9±2.3

ภาวะการอบแห้งที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายในน้อยที่สุด คือ การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน 40 องศาเซลเซียสร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อน อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยมีความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้งที่ 11.11% d.b. รองลงมา คือ การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน 40 องศาเซลเซียสร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อน อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยมีความชื้นในการเปลี่ยนระดับการอบแห้งที่ 8.7% d.b. ดังในรูปที่ 4.15 และ 4.16

จากการวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายในเนื้อในแมคคาดาเมียหลังอบแห้งเทียบกับแมคคาดาเมียหลังเพิ่มความชื้น พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิการอบแห้งด้วยลมร้อนและค่าความชื้นเริ่มต้นในการอบแห้งขั้นตอนที่สองด้วยลมร้อน มีผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายในของเนื้อในแมคคาดาเมียอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีภายนอกของเนื้อในแมคคาดาเมียอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ ค.1 และ ค.2)

4.4.3 ผลของอุณหภูมิและความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนในการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลาต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง

นำแมคคาดาเมียที่ผ่านการอบแห้งโดยวิธีปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อนทั้ง 6 ภาวะ ที่สกัดไขมันแล้วมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.7) พบว่า ที่ความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 8.7% d.b. และ 11.11% d.b. อุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง โดยที่อุณหภูมิในการอบแห้งต่ำจะมีน้ำตาลรีดิวซิ่งเหลืออยู่มากกว่าที่อุณหภูมิการอบแห้งสูง ผลที่ได้สอดคล้องกับค่าสี L* ในรูปที่ 4.6 คือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งลดลงมากที่อุณหภูมิในการอบแห้งสูง เนื่องจากถูกนำไปใช้ในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด ทำให้ค่าสี L* ของแมคคาดาเมียที่อบที่อุณหภูมิสูงมีค่าน้อยกว่าค่าสี L* ที่อุณหภูมิต่ำ ค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งของการอบแห้งแมคคาดาเมียโดยวิธีปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อนทั้ง 6 ภาวะ แสดงในรูปที่ 4.15 (ตารางที่ ข.11)



รูปที่ 4.15 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งของเนื้อในแมคคาดาเมียที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน

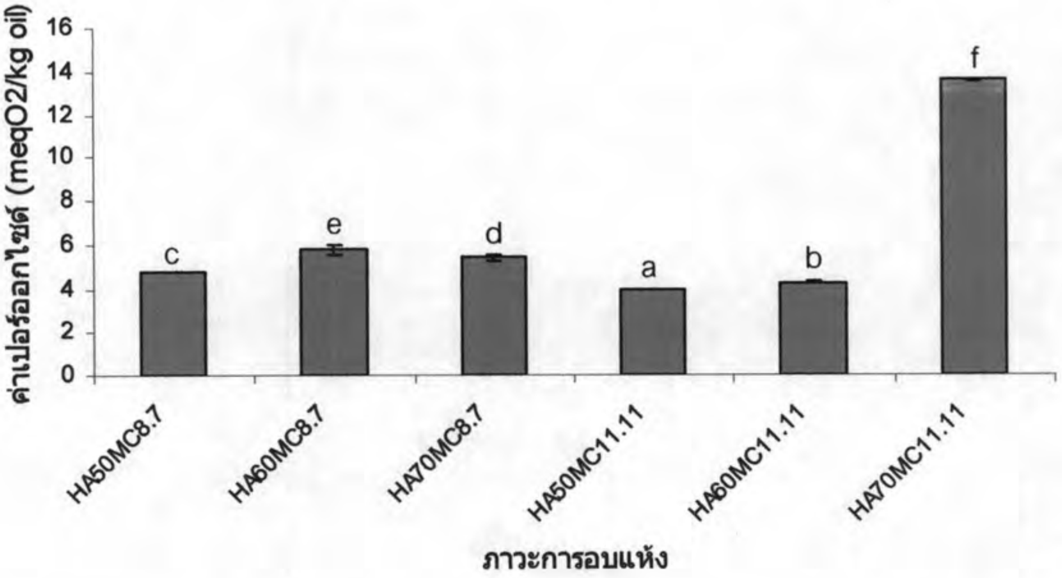
แมคคาดาเมียในงานวิจัยมีความชื้นเริ่มต้น 14.05% d.b. (ตารางที่ 4.1) ซึ่งน้อยกว่าแมคคาดาเมียหลังเก็บเกี่ยวทั่วไป จึงมีขั้นตอนการเพิ่มความชื้นเพื่อให้แมคคาดาเมียมีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกับแมคคาดาเมียหลังเก็บเกี่ยว และเพื่อลดความแตกต่างปริมาณความชื้นในแต่ละเมล็ด โดยขั้นตอนนี้ไม่มีในกระบวนการผลิตแมคคาดาเมียในอุตสาหกรรม ซึ่งปริมาณน้ำที่เพิ่มจากขั้นตอนนี้อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำตาลซูโครส ส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งในแมคคาดาเมียหลังเพิ่มความชื้น (แมคคาดาเมียก่อนเพิ่มความชื้น มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง 0.1g/100g) ทำให้แมคคาดาเมียหลังอบแห้งมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งสูงกว่า งานวิจัยของ Wall และ Gentry (2006) ซึ่งรายงานว่า แมคคาดาเมียที่ปลูกในฮาวายหลังอบแห้ง มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง 0.00-0.04g/100g db

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งภายในเนื้อในแมคคาดาเมีย 6 ภาวะการอบแห้ง พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิการอบแห้งด้วยลมร้อน และค่าความชื้นเริ่มต้นในการอบแห้งขั้นตอนที่สองด้วยลมร้อน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางที่ ค.3)

4.4.4 ผลของอุณหภูมิและความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนในการอบแห้งแมคคาดาเมียทั้งกะลาต่อค่าเปอร์ออกไซด์

หลังการอบแห้ง กะเทาะกะลาแมคคาดาเมียแล้วนำเนื้อในแมคคาดาเมียไปสกัดไขมัน เพื่อหาค่าเปอร์ออกไซด์(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.6) ค่าเปอร์ออกไซด์ที่ได้ใช้เป็น ตัวชี้บ่งความหืนของแมคคาดาเมียได้ (Fourie and Basson, 1989) และ ค่ามาตรฐานเปอร์ออกไซด์แมคคาดาเมียหลังการทอด ไม่ควรเกิน 30 meq O_2/kg oil (ผลิตภัณฑ์ชุมชน มะคาเดเมียอบ ฉบับที่ 1145, 2549) จากการทดลอง (รูปที่ 4.16) พบว่า ภาวะที่ค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ภายใต้มาตรฐานทุกภาวะการอบแห้ง (ตารางที่ ข.12) แมคคาดาเมียผ่านลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจะมีค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำ และค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น ที่ความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอน 11.11% d.b. ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แมคคาดาเมียจะมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงที่สุด ที่ความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 8.7% d.b. ค่าเปอร์-ออกไซด์ของแมคคาดาเมียหลังอบแห้งด้วยลมร้อนทุกอุณหภูมิการอบแห้ง มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ที่ความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 11.11% d.b. แมคคาดาเมียที่ผ่านลมร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเปอร์ออกไซด์สูง แสดงว่า ความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 8.7% d.b. สามารถรักษา

ค่าเปอร์ออกไซด์ได้ดีทุกอุณหภูมิการอบแห้งแต่ความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 11.11% d.b สามารถรักษา ค่าเปอร์ออกไซด์ได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.16 ค่าเปอร์ออกไซด์ของเนื้อในแมคคาดาเมียที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน

จากการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ของเนื้อในแมคคาดาเมียหลังอบแห้ง 6 ภาวะการอบแห้ง พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิการอบแห้งด้วยลมร้อนและค่าความชื้นเริ่มต้นในการอบแห้งขั้นตอนที่สองด้วยวิธีอบลมร้อน มีผลต่อค่าเปอร์ออกไซด์ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.4)

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพแมคคาดาเมียหลังการอบแห้ง (หัวข้อ4.4.1-4.4.4) พบว่า การอบแห้งแมคคาดาเมียขั้นตอนแรกด้วยวิธีปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยลดความชื้นเริ่มต้นเหลือ 11.11% d.b. และอบแห้งขั้นตอนที่สองด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ได้ค่าสี L* สูง และ ค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำที่สุด มีค่าความชื้น 1.43 % d.b. และ ค่า a_w 0.58 เป็นภาวะที่น่าสนใจในการนำมาศึกษาต่อในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการอบแห้งแมคคาดาเมีย ซึ่งภาวะการอบแห้งนี้ใช้เวลาในการอบแห้งทั้งสิ้น 45.5 ชั่วโมง

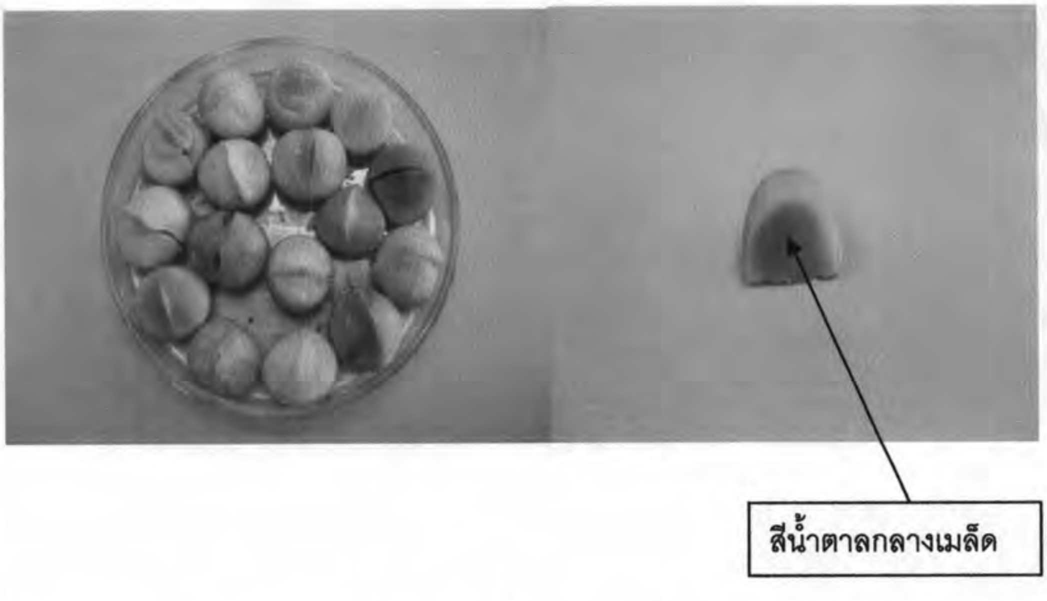
4.5 ศึกษาคุณภาพเนื้อในแมคคาดาเมียหลังอบแห้งด้วยวิธีที่ใช้ในอุตสาหกรรมเทียบกับการอบแห้งแมคคาดาเมียโดยปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน

ขั้นตอนนี้เป็นการเปรียบเทียบคุณภาพเนื้อในแมคคาดาเมียจากวิธีการอบแห้งที่ใช้ในอุตสาหกรรม อบแห้งแมคคาเมียที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน อบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ขั้นตอนสุดท้ายอบด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน (Australian Macadamia Society, 2004) กับวิธีปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนระดับ 11.11% d.b. อบปริมาณ 2 กิโลกรัม แต่ละวิธีการอบแห้ง ได้ผลคุณภาพของแมคคาดาเมีย แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 คุณภาพแมคคาดาเมียหลังอบแห้งด้วยวิธีที่ใช้ในอุตสาหกรรมกับวิธีปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน

คุณภาพ			วิธีที่ใช้ในอุตสาหกรรม	ปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน
ปริมาณความชื้น (% d.b.)			1.03±0.06	1.47±0.08
ค่า a_w			0.29±0.00	0.34±0.01
ค่าสี	L*	ภายนอก	68.31±8.18	70.14±3.98
		ภายใน	68.51±10.32	73.62±3.63
	a*	ภายนอก	4.20±3.66	1.74±1.68
		ภายใน	3.98±4.76	-1.56±0.31
	b*	ภายนอก	27.94±2.4	26.86±2.10
		ภายใน	25.99±3.93	22.12±0.71
ค่าการเปลี่ยนแปลงสี		ภายนอก	7.06±3.66	4.33±0.37
		ภายใน	11.95±7.96	4.11±0.7
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง (g/100g)			0.15±0.00	0.21±0.00
ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq O_2/kg oil)			11.24±1.46	5.67±0.58

จากการทดลองพบว่าคุณภาพแมคคาดาเมียหลังการอบแห้งด้วยวิธีที่ใช้ในอุตสาหกรรม แมคคาดาเมียบางเมล็ดภายนอกมีสีเข้มและเกิดสีน้ำตาลกลางเมล็ด ดังรูปที่ 4.17 ค่าสี L* น้อยกว่าวิธีปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน และค่าสี a* และ ค่าสี b* สูงกว่าวิธีปั๊มความร้อนร่วมกับลมร้อน ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง ที่พบว่า แมคคาดาเมียที่ได้จากวิธีที่การอบแห้งที่ใช้ในอุตสาหกรรม มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งเหลือน้อยกว่าวิธีที่ได้จากการทดลอง ทั้งนี้ เนื่องมาจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งถูกใช้ไปในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล จากการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ของแมคคาดาเมียที่ได้จากวิธีที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีค่าสูงกว่าวิธีที่ได้จากการทดลองถึง 2 เท่า แสดงถึงการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนระดับ 11.11% d.b. สามารถผลิตแมคคาดาเมียอบแห้งที่มีคุณภาพดีกว่าการอบแห้งที่ใช้ในอุตสาหกรรม



รูปที่ 4.17 แมคคาดาเมียหลังการอบแห้งด้วยวิธีที่ใช้ในอุตสาหกรรม และการเกิดสีน้ำตาลกลางเมล็ด

4.6 ศึกษาบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพของแมคคาดาเมียโดยวิธีปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 11.11% d.b. จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 1.5-2% d.b. นำแมคคาดาเมียมากะเทาะกะลาออก แล้วบรรจุเนื้อในแมคคาดาเมียลงบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด

ได้แก่ ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และ ถุง Nylon ซึ่งบรรจุลงในกล่องกระดาษ แสดงในรูปที่ 4.18 และ 4.19 ทำการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ค่า a_w ค่าสีภายในและภายนอกในระบบ CIE L*a*b* ค่าเปอร์ออกไซด์ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง ทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 1 เดือน ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในข้อ 4.6.1-4.6.4

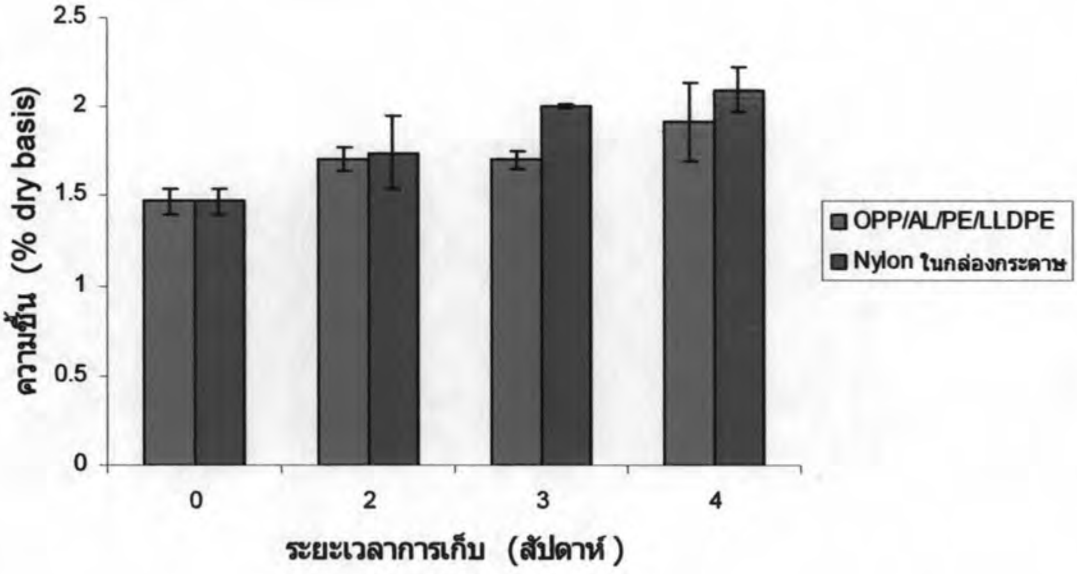
รูปที่ 4.18 แมคคาดาเมียอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ ถุง OPP/AL/PE/LLDPE

รูปที่ 4.19 แมคคาดาเมียอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ ถุง Nylon บรรจุลงในกล่องกระดาษ

4.6.1. ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ต่อปริมาณความชื้นและค่า a_w ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 เดือน

ปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร ปริมาณความชื้นต่ำ อายุการเก็บรักษาจะนานขึ้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) จากการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 29-33 องศาเซลเซียส ผ่านไป 2 3 และ 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณความชื้นในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE มีค่า 1.7 1.7 และ 1.91%

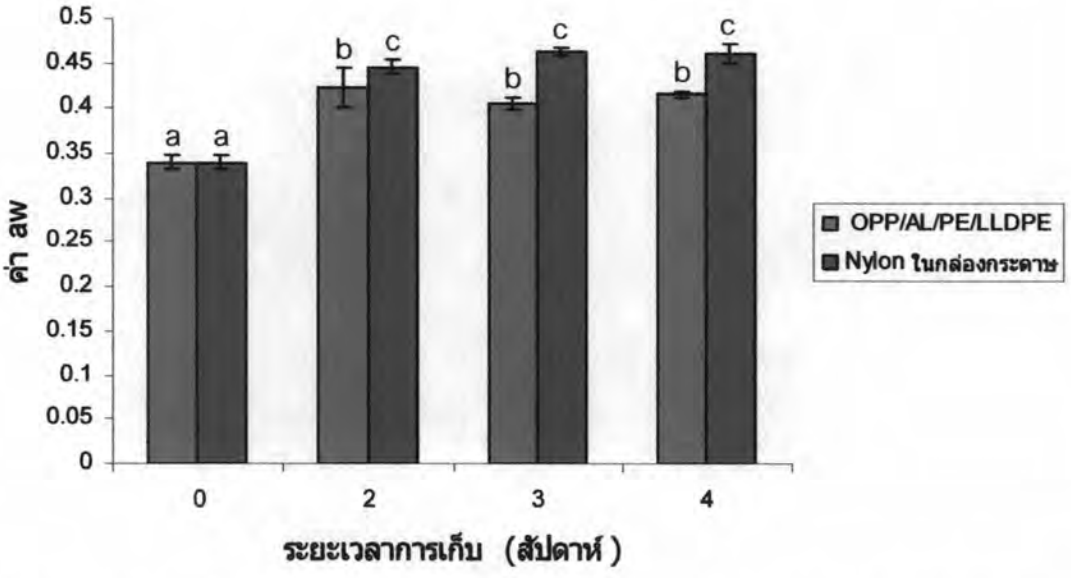
d.b. และปริมาณความชื้นในบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่า 1.74 2.00 และ 2.09% d.b. ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 4.20 (ตารางที่ ข.13) โดยปริมาณความชื้นของแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ มากกว่าแมคคาดาเมียที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon มีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ 16 $cc/m^2/24hr$ ซึ่งมากกว่าบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE ซึ่งมีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ 0.5-6 $cc/m^2/24hr$ ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาภายในเนื้อในแมคคาดาเมีย ส่งผลต่อคุณภาพในด้านอื่น เช่น ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าสี ดังนั้น บรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE สามารถชะลอการเพิ่มปริมาณความชื้นแมคคาดาเมียหลังอบแห้งได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ



รูปที่ 4.20 ปริมาณความชื้นของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตลอดระยะการเก็บ 1 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง 29-33 องศาเซลเซียส พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บไม่มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ ค.5) นั่นคือ บรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และ ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ มีความสามารถในการรักษาปริมาณความชื้นแมคคาดาเมียอบแห้ง ที่อุณหภูมิห้อง 29-33 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 1 เดือน ใกล้เคียงกัน

ค่า a_w มีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาทางเคมีหลายชนิด ค่า a_w ในช่วง 0.36-0.44 ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่แมคคาดาเมียมีเสถียรภาพสูงสุด (Dominguez *et al*., 2007) จากการวัดค่า a_w ของแมคคาดาเมียอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองชนิด พบว่า ค่า a_w ของแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE ตลอดระยะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 29-33 องศาเซลเซียส มีค่าน้อยกว่าในบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE มีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ 0.5-6 $cc/m^2/24hr$ ซึ่งน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ซึ่งมีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ 16 $cc/m^2/24hr$ ซึ่งค่า a_w ของแมคคาดาเมียอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE มีค่า 0.405-0.423 ซึ่งอยู่ในช่วงที่แมคคาดาเมียมีเสถียรภาพสูง (0.36-0.44) ในขณะที่ค่า a_w ของแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ มีค่า 0.446-0.463 ซึ่งค่าที่ได้ไม่อยู่ในช่วงที่แมคคาดาเมียมีเสถียรภาพสูง โดยค่า a_w ของแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ตลอดระยะการเก็บรักษา 1 เดือน มีแนวโน้มสูงขึ้น ในทุกๆสัปดาห์ เช่นเดียวกับปริมาณความชื้น ดังแสดงในรูปที่ 4.21 (ตารางที่ ข.14) ดังนั้น บรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE จึงมีความสามารถในการรักษาค่า a_w ของแมคคาดาเมียได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ



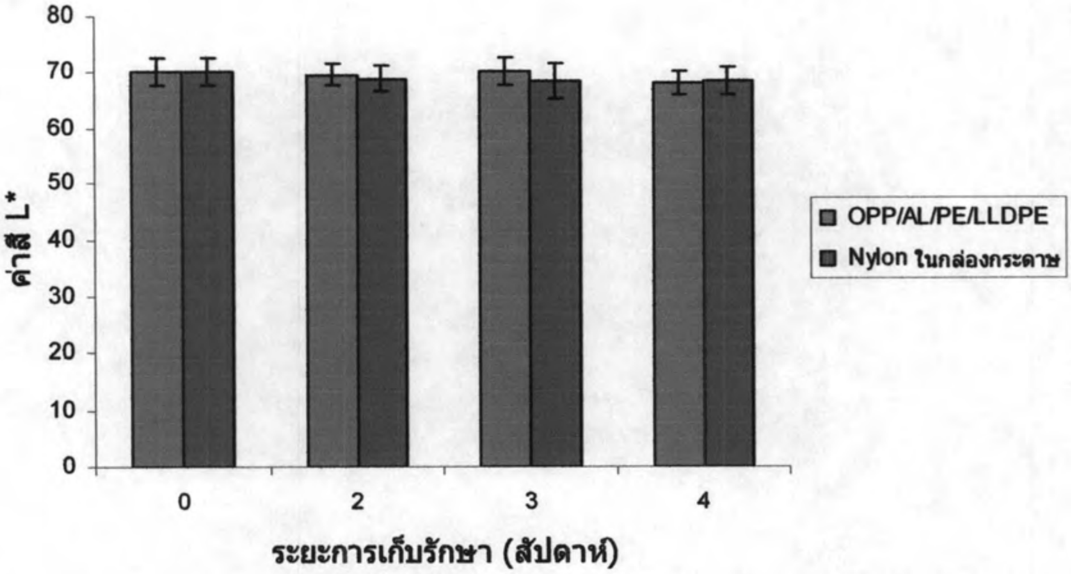
รูปที่ 4.21 ค่า a_w ของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และ ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน

จากการวิเคราะห์ค่า a_w ตลอดระยะการเก็บ 1 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง 29-33 องศาเซลเซียส พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บมีผลต่อค่า a_w อย่าง

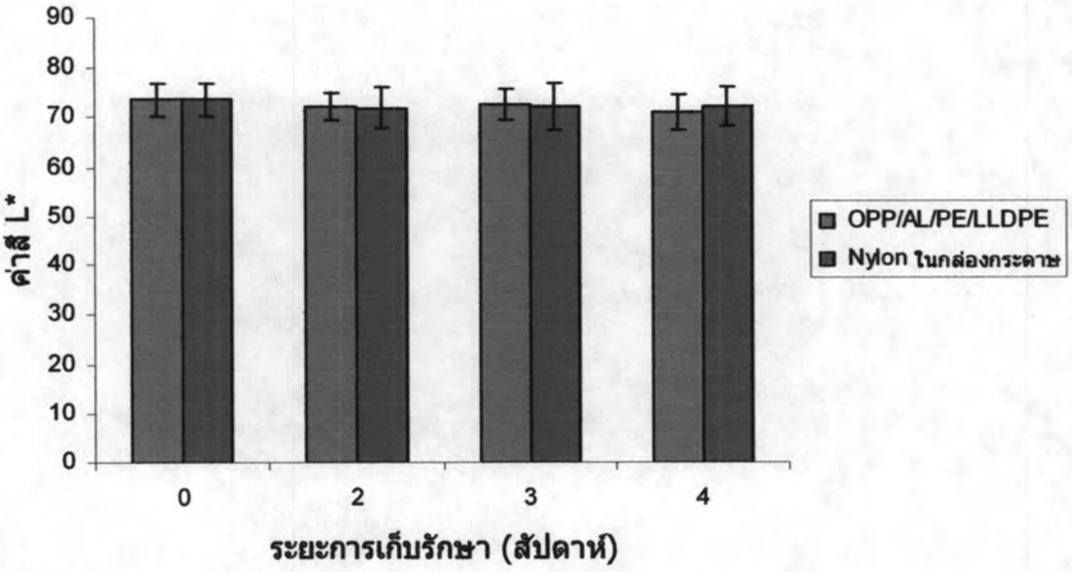
มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.6) โดยบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE มีความสามารถในการรักษา ค่า a_w แมคคาดาเมียอบแห้ง ที่อุณหภูมิห้อง 29-33 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 1 เดือน ได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ

4.6.2 ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ต่อค่าสีภายในและภายนอกในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 เดือน

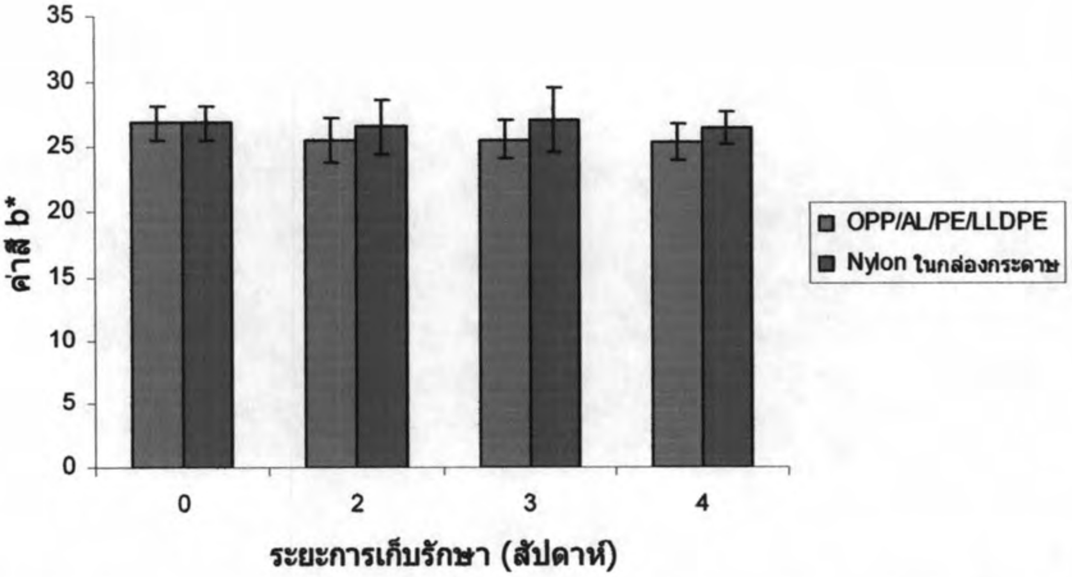
ค่าสี L* ภายนอกของแมคคาดาเมียที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตลอดการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 29-33 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE ในขณะที่ค่าสี L* ภายในของแมคคาดาเมียทั้งสองบรรจุภัณฑ์ไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงในรูปที่ 4.22 และ 4.23 (ตารางที่ ข.15) ค่าสี L* ที่ลดลงเนื่องมาจากสารสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ค่าสี b* ในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันมากนักค่าสี b* บวกแสดงสีเหลือง ตลอดการเก็บรักษา 1 เดือน แมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ค่าสี b* ภายนอกและภายใน มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสี b* ภายนอกและภายในของแมคคาดาเมียที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/ PE/LLDPE ในรูปที่ 4.24 และ 4.25 (ตารางที่ ข.15) ปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดขึ้นได้ในอาหารที่มีสารประกอบอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซิ่ง เกิดสารประกอบเชิงซ้อนอนุพันธุ์ฟูแรนวงแหวน เช่น HMF (5-Hydroxymethyl-2-furaldehyde) มีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาล และน้ำตาลแดง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ดังนั้น ค่าสี L* ที่ลดลง และ ค่าสี b* ที่เพิ่มขึ้นจึงแสดงออกถึงการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในแมคคาดาเมีย นอกจากนี้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำตาลซูโครสด้วยเอนไซม์อินเวอร์เทสเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นในปฏิกิริยาเมลลาร์ด ทำให้เกิดสารสีน้ำตาลมากขึ้น (Albertson *et al.*, 2005)



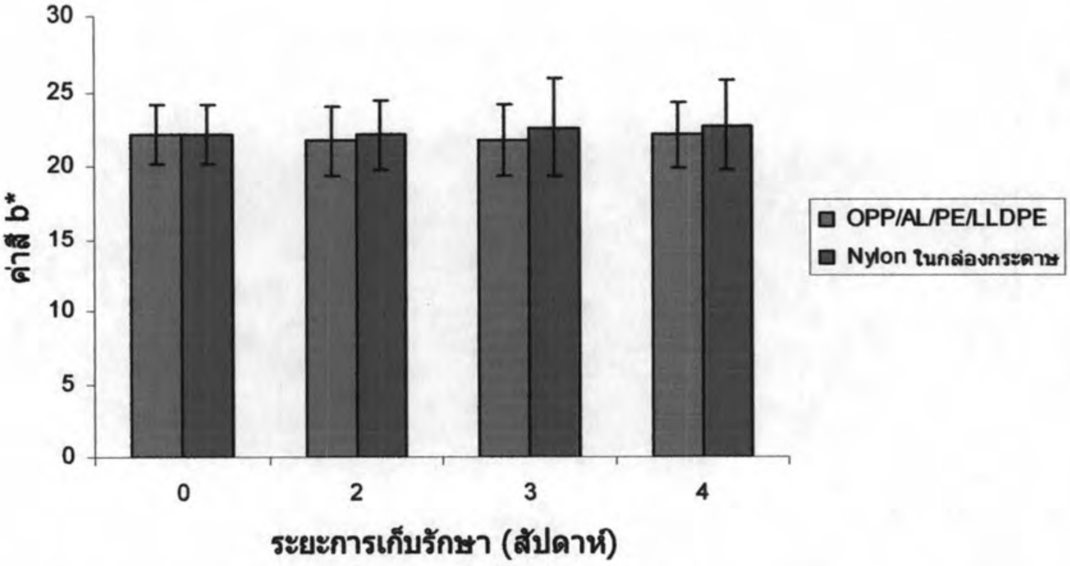
รูปที่ 4.22 ค่าสี L* ภายนอกของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน



รูปที่ 4.23 ค่าสี L* ภายในของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน



รูปที่ 4.24 ค่าสี b* ภายนอกของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน

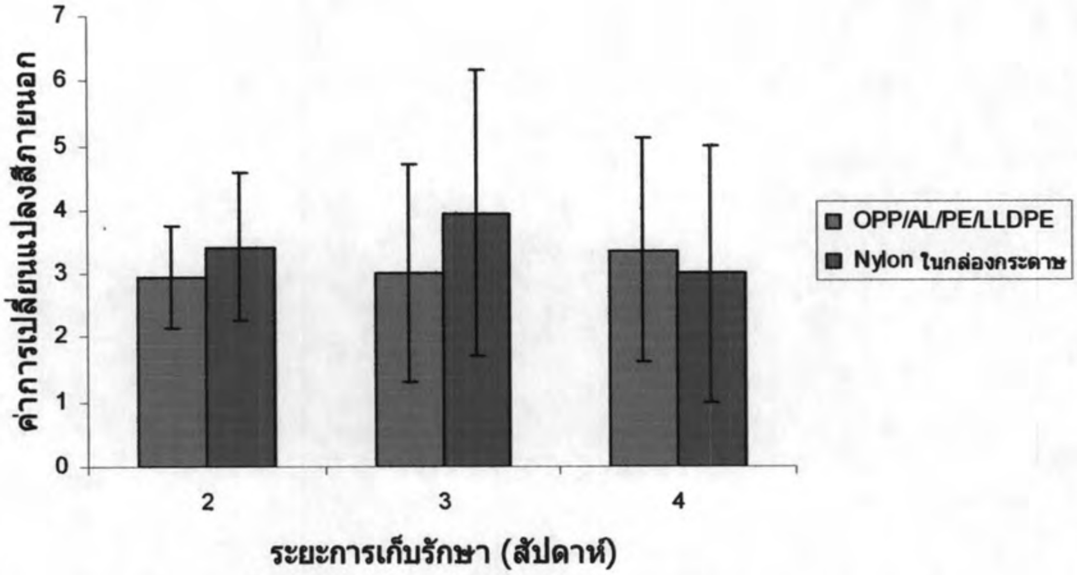


รูปที่ 4.25 ค่าสี b* ภายในของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน

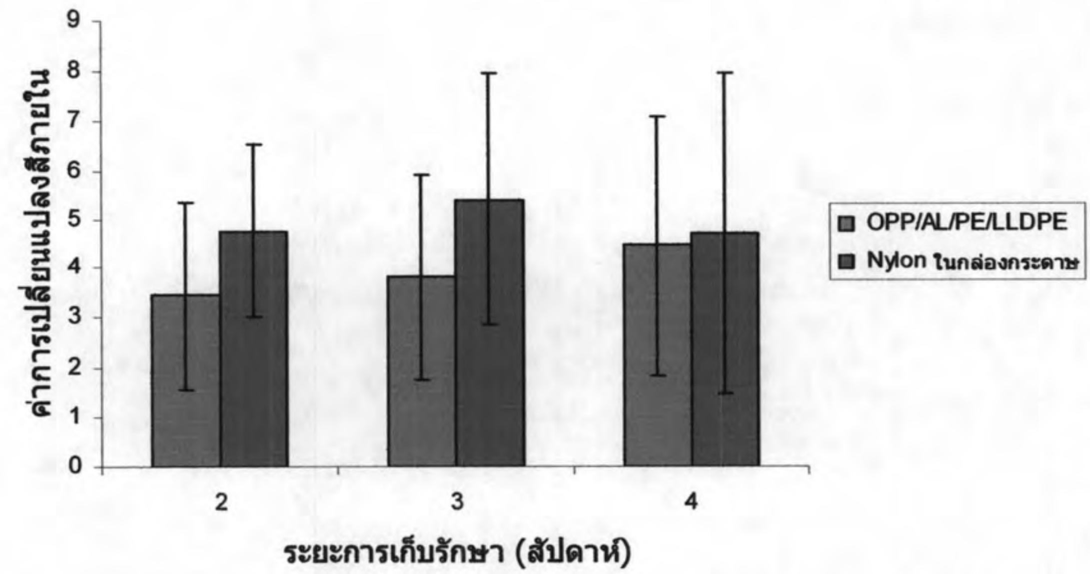
สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวิเคราะห์ค่าสี L* และ b* ภายนอกและภายในของเนื้อในแมคคาดาเมียอบแห้ง ตลอดระยะการเก็บ 1 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง 29-33 องศาเซลเซียส พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บ ไม่มีผลต่อค่าสี L* และ b* ภายนอกและภายในของเนื้อในแมคคาดาเมียอบแห้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ ค.7 และ ค.8) นั่นคือ บรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และ ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ มีความสามารถในการรักษาค่าสี L* และ b* ของแมคคาดาเมียอบแห้ง ที่อุณหภูมิห้อง 29-33 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 1 เดือน ใกล้เคียงกัน

ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายในและภายนอกของ ทั้งสองบรรจุภัณฑ์มีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา 1 เดือน แสดงในรูปที่ 4.26 และ 4.27 (ตารางที่ ข.16)



รูปที่ 4.26 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายนอกของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และ ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน



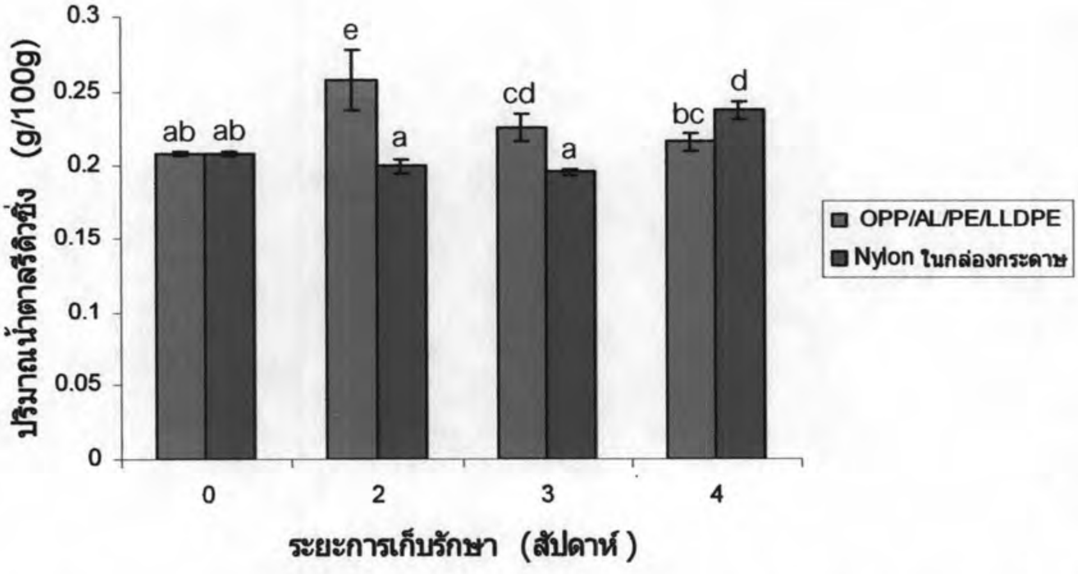
รูปที่ 4.27 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายในของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และ ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน

จากการวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายนอกและภายในของเนื้อในแมคคาดาเมียอบแห้ง ตลอดระยะการเก็บ 1 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง 29-33 องศาเซลเซียส พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บ ไม่มีผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงสีภาย

นอกและภายในของเนื้อในแมคคาดาเมียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ ค.7 และ ค.8) ที่อุณหภูมิ 29-33 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 1 เดือน

4.6.3 ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 เดือน

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งสามารถใช้อธิบายค่าสีของแมคคาดาเมียได้ โดยพบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งของแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE ในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษามีค่าต่ำที่สุดและมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากนั้นลดลง ค่าที่ได้สอดคล้องกับค่าสี L* ในหัวข้อ 4.5.2 กล่าวคือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งที่เหลือน้อย เพราะถูกนำไปเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดทำให้สีแมคคาดาเมียเข้มขึ้น ค่าสี L* จึงมีค่าลดลง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งของแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะการเก็บรักษา การเพิ่มขึ้นของน้ำตาลรีดิวซิ่งนี้เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำตาลซูโครสด้วยเอนไซม์อินเวอร์เทส ทำให้น้ำตาลรีดิวซิ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้น (Albertson *et al.*, 2005) แสดงในรูปที่ 4.28 (ตารางที่ ข.17)

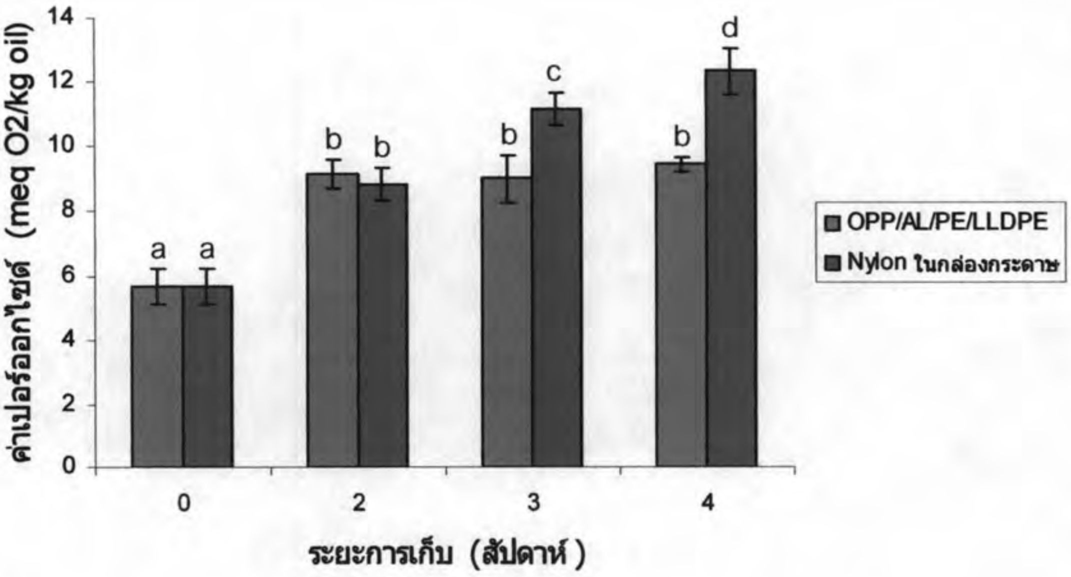


รูปที่ 4.28 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งตลอดการเก็บ 1 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง 29-33 องศาเซลเซียส พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บมีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.9)

4.6.4 ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ต่อค่าเปอร์ออกไซด์ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 เดือน

ค่าเปอร์ออกไซด์บ่งบอกถึงระดับความหืนของแมคคาดาเมีย (Fourie and Basson, 1989) จากรูปที่ 4.29 (ตารางที่ ข.18) พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ของแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักตลอดระยะการเก็บ 1 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่ค่าเปอร์ออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ มีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกสัปดาห์ เนื่องจากการซึมผ่านออกซิเจนที่แตกต่างกัน โดยบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE มีค่าการซึมผ่านออกซิเจน 0.2-5 $g/m^2/24hr$ ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ถุง Nylon มีค่าการซึมผ่านออกซิเจน 30-120 $g/m^2/24hr$ ซึ่งมากกว่าบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE ดังนั้น ภายในบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ จึงมีการซึมผ่านออกซิเจนสูงกว่าในบรรจุภัณฑ์อลูมิเนียม ซึ่งออกซิเจนเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน (Irwin and Hedges, 2004) เมื่อปริมาณออกซิเจนมากพอทำให้เกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชันต่อเนื่อง ส่งผลให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูงขึ้น จากผลการทดลองทางกายภาพ พบว่า แมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 มีกลิ่นหืนแรง แต่ไม่พบกลิ่นหืนนี้ในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และเมื่อพิจารณาตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ฉบับที่ 1145 (พ.ศ.2549) ซึ่งกำหนดให้ค่าเปอร์ออกไซด์ในแมคคาดาเมียหลังทอดไม่ควรเกิน 30 $meqO_2/kg$ oil พบว่า แมคคาดาเมียอบแห้งในทั้งสองบรรจุภัณฑ์ ตลอดการเก็บรักษา 1 เดือน ที่ อุณหภูมิห้อง 29-33 องศาเซลเซียส มีค่าน้อยกว่าข้อกำหนด



รูปที่ 4.29 ค่าเปอร์ออกไซด์ของเนื้อในแมคคาดาเมียในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE และถุง Nylon ในกล่องกระดาษ ในระยะการเก็บรักษา 1 เดือน

จากผลการทดลอง พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ในแมคคาดาเมียหลังอบแห้งมีค่าค่อนข้างสูง (5.67±0.58 meqO_2/kg oil) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวัตถุดิบเริ่มต้นที่มีค่าเปอร์ออกไซด์สูงอยู่เป็นทุนเดิม (5.39±0.61 meqO_2/kg oil) และขั้นตอนการเพิ่มความชื้นแมคคาดาเมียก่อนการอบแห้ง

จากการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ ตลอดการเก็บ 1 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง 29-33 องศาเซลเซียส พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บมีผลต่อค่าเปอร์ออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.10) โดยบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE มีความสามารถในการรักษากลิ่นหืนแมคคาดาเมียอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 29-33 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 1 เดือน ได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.5.2 พบว่า ค่า a_w มีความสัมพันธ์กับค่าเปอร์ออกไซด์ จากรูปที่ 4.23 ตลอดการเก็บรักษา 1 เดือน แมคคาดาเมียแห้งในบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษมีค่า a_w สูง จะมีค่าเปอร์ออกไซด์สูง และแมคคาดาเมียอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE มีค่า a_w ต่ำ จะมีค่าเปอร์ออกไซด์ และในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 แมคคาดาเมียอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษมีค่า a_w 0.463 และ 0.46 ตามลำดับ จะมีค่า a_w สูงมากอย่างเห็นได้ชัด ผลที่ได้สนับสนุนงานวิจัยของ Dominguez และคณะ

(2007) พบว่า ค่า a_w ที่อยู่ในช่วง 0.36-0.44 แมคคาดาเมียจะมีความคงตัวสูงสุด และที่ค่า a_w มากกว่าหรือน้อยกว่าช่วงดังกล่าว แมคคาดาเมียจะมีความคงตัวน้อย ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูง และที่ค่า a_w มากกว่า 0.44 ค่าสี L* จะมีค่าลดลงโดยสีที่เข้มขึ้นเกิดจากปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน

จากผลทางคุณภาพในหัวข้อ 4.6.1 บรรจุภัณฑ์ถุง OPP/AL/PE/LLDPE สามารถรักษาคุณภาพแมคคาดาเมียที่อบด้วยปั๊มความร้อนอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับลมร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นในการเปลี่ยนขั้นตอนการอบแห้ง 11.11% d.b. และระยะเวลาในการเก็บที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 1 เดือน ในด้านปริมาณความชื้น ค่า a_w ค่าสี ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง และกลิ่นหืนได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ถุง Nylon ในกล่องกระดาษ