บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของแคนตาลูป

ในการผลิตแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งจำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบและควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสม่ำเสมอกัน ในงานวิจัยนี้มีการตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นทั้งทางเคมีและทางกายภาพ โดยแคนตาลูปที่นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นแคนตาลูปพันธุ์ซันเลดี้ในระยะพัฒนาเต็มที่ (รอยแยกที่ขั้วมากกว่า 50%) ซึ่งมีน้ำหนักผลอยู่ในช่วง 1.5 -1.8 กิโลกรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 เซนติเมตร สาเหตุที่เลือกแคนตาลูปพันธุ์ซันเลดี้เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมาก มีผลผลิตตลอดปี ผลการตรวจวัดสมบัติทางเคมีและกายภาพของแคนตาลูป แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบ สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของแคนตาลูป

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย[1]±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณความชื้น (%น้ำหนักเปียก)	91.36±0.28
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (%w/w)	10.5±0.3
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (g/100g)	4.96±0.56
ค่าความเป็นกรด (%as citric acid)	0.07±0.01
ค่า sugar:acid ratio	148:1–156:1
ค่าความแข็ง (hardness, gf)	430.54±22.45
ค่าสีของเนื้อแคนตาลูป	
L*	62.56±1.88
a*	12.58±1.56
b*	30.96±1.16

[1] ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

จากผลการวิเคราะห์พบว่า แคนตาลูปมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 91 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 10-11 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ประมาณร้อยละ 4.5-5.5 ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริกร้อยละ 0.07 โดยสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแคนตาลูปที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Villanueva และคณะ (2004) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบ

ของแคนตาลูปในระหว่างการสุก พบว่าแคนตาลูปที่อยู่ในระยะเริ่มแก่จนถึงระยะสุกพร้อมบริโภคจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 9.1-14.6 และมีค่าใกล้เคียงกับคุณภาพของแคนตาลูปสดที่รายงานโดย USDA National Nutrient Database for Standard Reference (2005) โดยสมบัติเหล่านี้สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ระดับความสุกของแคนตาลูปได้ และจากรายงานของ Bianco และ Pratt (1977) พบว่าผลไม้ที่มีคุณภาพดีจะต้องมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 10 ในทางการค้าจะยอมรับผลิตภัณฑ์แคนตาลูปสดที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 (Hartz, 1996) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าความเป็นกรด ค่า sugar:acid ratio และค่าความแข็งเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกวัตถุดิบในการผลิตให้มีความสม่ำเสมอและอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงทุกครั้งที่ทำการทดลอง โดยคัดเลือกแคนตาลูปที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 10-11 ค่าความเป็นกรด (ในรูปของกรดซิตริก) ร้อยละ 0.07 ค่า sugar:acid ratio ในช่วง 148-156 และค่าความแข็งอยู่ในช่วง 410-465 กรัม เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกแคนตาลูปเป็นวัตถุดิบในการทดลองแต่ละครั้ง

4.2 ศึกษาการซึมเข้าของแคลเซียมคลอไรด์สู่เนื้อแคนตาลูปในช่วง pretreatment ก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิส

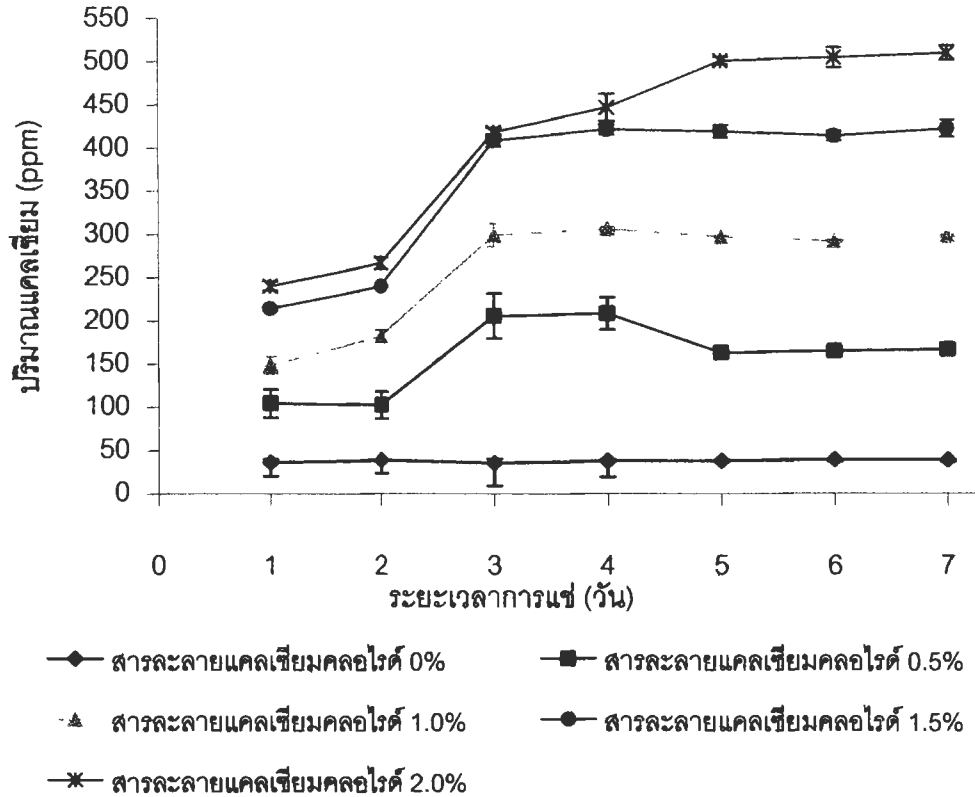
4.2.1 ผลของแคลเซียมคลอไรด์และระยะเวลาการแช่ต่อปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าในชิ้นแคนตาลูป

ผลของการซึมเข้าของปริมาณแคลเซียมในชิ้นแคนตาลูป แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์และระยะเวลาในการแช่มีผลต่อปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าชิ้นแคนตาลูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และยังพบอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยต่อปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าชิ้นแคนตาลูปอีกด้วย ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.1) โดยจะเห็นว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มมากขึ้น ปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าในชิ้นแคนตาลูปมีค่าเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 4.1) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณแคลเซียมที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มขึ้นถึงแค่จุดหนึ่ง (ประมาณวันที่ 4 ของการแช่) แล้วจะมีค่าค่อนข้างคงที่ถึงแม้ว่าระยะเวลาในการแช่จะเพิ่มมากขึ้นก็ตาม ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของอาพร ละออกอ (2547) ที่ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าในเนื้อมะละกอ โดยพบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์และระยะเวลาในการแช่เพิ่มมากขึ้น ปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าในเนื้อมะละกอมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 4.2 ผลของแคลเซียมคลอไรด์และระยะเวลาการแช่ต่อปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าในชิ้นแคนตาลูป

$CaCl_2$ (%)	ปริมาณแคลเซียม (ppm)						
	แช่ 1 วัน	แช่ 2 วัน	แช่ 3 วัน	แช่ 4 วัน	แช่ 5 วัน	แช่ 6 วัน	แช่ 7 วัน
0	36.38 ^{a}±3.89	39.07 ^{a}±0.08	35.58 ^{a}±5.02	37.97 ^{a}±1.65	38.32 ^{a}±1.15	39.32 ^{a}±0.26	39.02 ^{a}±0.16
0.5	104.76 ^{b}±16.02	102.97 ^{b}±15.39	205.80 ^{e}±26.16	208.30 ^{e}±18.53	163.15 ^{cd}±1.48	164.98 ^{cd}±2.58	166.20 ^{cd}±2.26
1.0	148.99 ^{c}±10.05	182.60 ^{d}±7.09	299.45 ^{h}±13.63	306.10 ^{h}±2.83	297.50 ^{h}±0.99	291.95 ^{h}±1.48	297.70 ^{h}±1.27
1.5	214.58 ^{e}±2.63	240.21 ^{f}±0.86	408.60 ^{i}±6.93	421.20 ^{i}±5.94	418.85 ^{i}±7.14	413.55 ^{i}±5.59	421.65 ^{i}±9.83
2.0	240.93 ^{f}±5.40	267.09 ^{g}±6.55	418.40 ^{i}±5.09	446.60 ^{j}±15.56	500.60 ^{k}±4.24	503.85 ^{k}±11.67	509.20 ^{k}±8.49

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



รูปที่ 4.1 ผลของการแช่แคลเซียมคลอไรด์ต่อการซึมเข้าของปริมาณแคลเซียมในชิ้นแคนตาลูป

นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับรายงานของ Luna-Guzman, Cantwell และ Barrett (1999) ศึกษาผลของการแช่แคนตาลูปชนิดพร้อมบริโภค (Fresh-cut) ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของแคนตาลูป พบว่าเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าในชิ้นแคนตาลูปก็มีค่าเพิ่มมากขึ้นและมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นด้วย และที่ระดับความเข้มข้นแคลเซียมคลอไรด์ 2.5% พบว่าแคนตาลูปที่เวลาการแช่ 5 นาที จะมีค่าความแข็งมากกว่าแคนตาลูปที่แช่ 2.5 และ 1 นาที ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) ซึ่งจากรายงานดังกล่าวข้างต้นพบว่าปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าในเนื้อผลไม้และระยะเวลาในการแช่จะมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้ในด้านความแข็ง ดังนั้นจึงศึกษาระยะเวลาการแช่ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของแคนตาลูปในด้านความแข็งในขั้นต่อไป

4.2.2 ผลของแคลเซียมคลอไรด์และระยะเวลาการแช่ต่อค่าความแข็งของแคนตาลูป

ผลการวัดค่าความแข็งของชิ้นแคนตาลูป พบว่าระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์มีผลต่อค่าความแข็งของชิ้นแคนตาลูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนระยะเวลาในการแช่ไม่มีผลต่อค่าความแข็งของชิ้นแคนตาลูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และไม่พบ

อิทธิพลร่วมระหว่างสองปัจจัยดังกล่าว (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.2) จึงรวมผลของระยะเวลาการแช่เข้าด้วยกัน ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลของแคลเซียมคลอไรด์และระยะเวลาการแช่ต่อค่าความแข็งของแคนตาลูปในช่วงการ pretreatment ที่ระยะเวลาการแช่ต่าง ๆ

$CaCl_2$	Hardness (gram force, gf)							
(%)	แช่ 1 วัน	แช่ 2 วัน	แช่ 3 วัน	แช่ 4 วัน	แช่ 5 วัน	แช่ 6 วัน	แช่ 7 วัน	ค่าเฉลี่ย
0	175.45	181.66	168.86	162.66	160.27	157.18	145.20	$164.47^{a}\pm12.11$
0.5	205.72	231.18	234.07	249.04	261.19	223.2	219.21	$231.94^{b}\pm18.61$
1.0	245.93	253.96	262.03	255.49	262.41	290.41	281.66	$264.56^{c}\pm15.88$
1.5	256.52	250.82	255.2	249.73	260.53	244.41	245.16	$251.77^{c}\pm5.97$
2.0	260.37	255.51	247.31	264.75	262.01	251.99	244.25	$255.17^{c}\pm7.71$

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

การที่ระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งนั้นเป็นผลเนื่องมาจากแคลเซียมอิออนช่วยรักษาความเสถียรของเซลล์เมมเบรน โดยช่วยชะลอการสลายตัวของ galactolipid และจากการเกิดสารประกอบแคลเซียมเพกเตต เนื่องจากแคลเซียมอิออนเข้าไปจับกับโมเลกุลของเพกตินในชั้นผนังเซลล์และชั้น middle lamella (Poovaiah, 1986; Jackman and Stanley, 1995) ทำให้ชิ้นแคนตาลูปมีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น โดยจากผลการทดลองที่ได้พบว่าค่าความแข็งของชิ้นแคนตาลูปจะขึ้นกับระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ ($p\leq0.05$) แต่ระยะเวลาการแช่ไม่ส่งผลต่อความแตกต่างของความแข็งอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) จึงวิเคราะห์ผลของระยะเวลาในการแช่เข้ากับระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์แล้วหาค่าเฉลี่ย เมื่อนำมาทดสอบทางสถิติพบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ชิ้นแคนตาลูปมีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น แต่การใช้แคลเซียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้น 1 1.5 และ 2% จะให้ค่าความแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.3)

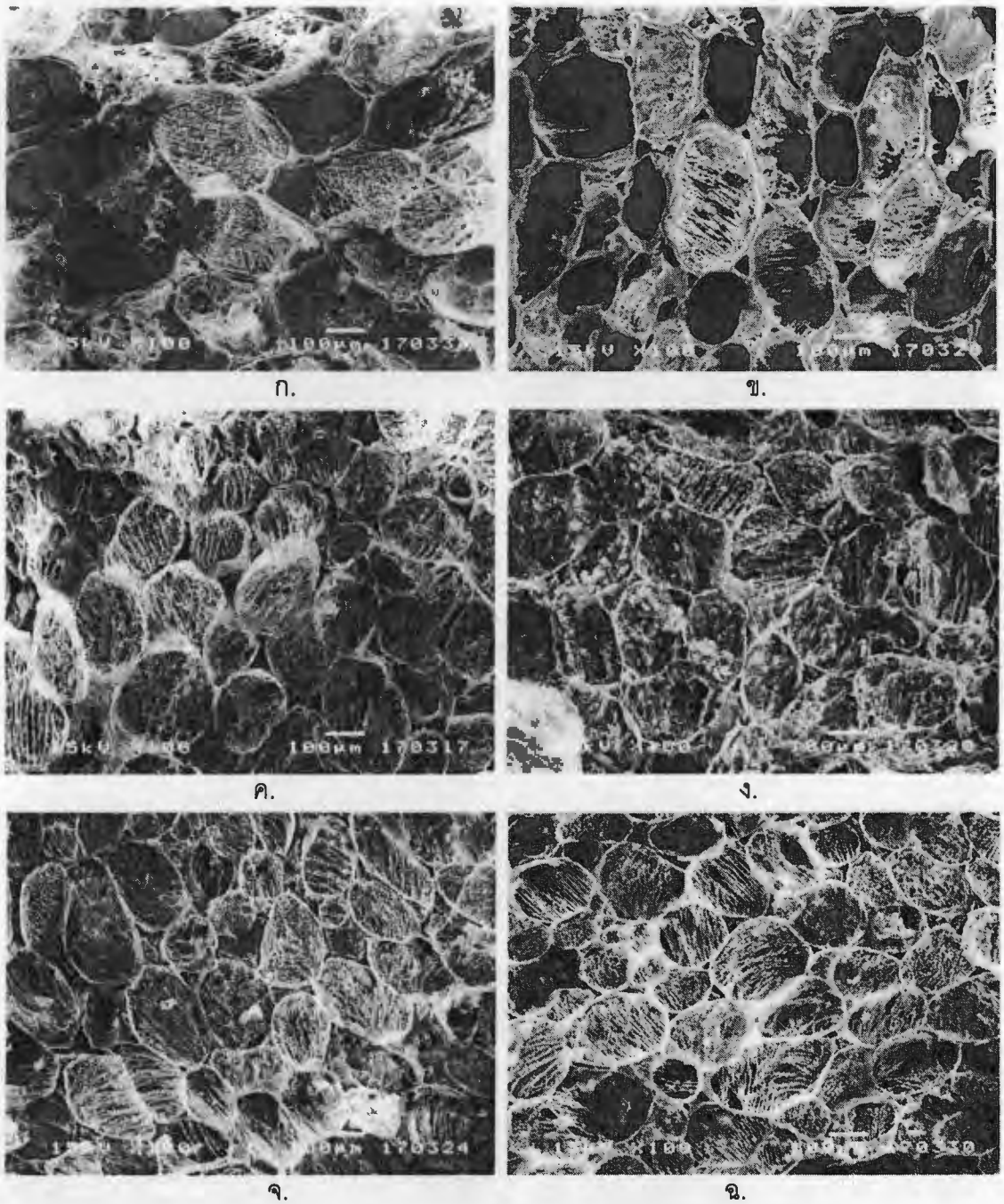
ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของเพชรพนา สงวนวงษ์วิจิตร (2541) ที่ศึกษาผลของการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของแคนตาลูปพันธุ์ซันเลดี้ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าการจุ่มแคนตาลูปในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.7% เป็นเวลา 15 นาที ทำให้มีปริมาณแคลเซียม

123065679

สะสมในส่วนเปลือก ส่วนต่อระหว่างเปลือกกับเนื้อและส่วนเนื้อในแคนตาลูปมากขึ้น และมีค่าความแน่นเนื้อในส่วนเปลือกและส่วนเนื้อมากกว่าแคนตาลูปที่ไม่ได้จุ่มสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

อย่างไรก็ตามการคัดเลือกภาวะการแช่ที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในช่วงการ pretreatment ไม่ได้ขึ้นกับการใช้ระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์สูงสุดอย่างเดียว เนื่องจากการใช้แคลเซียมในระดับที่สูงเกินไปอาจส่งผลให้เกิดรสขมในผลิตภัณฑ์ได้ (Bolin and Hoxsoll, 1989; Monsalve-Gonzalez et al., 1993) ดังเห็นได้จากรายงานของอาพร ละออกอ (2547) ที่ศึกษาผลของการแช่มะละกอในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ภาวะต่าง ๆ ต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่ามะละกอที่แช่ที่ภาวะความเข้มข้น 2% 4 วัน ผู้ทดสอบรับรู้รสขมได้มากที่สุด รองลงมาคือที่ภาวะความเข้มข้น 1.5% 4 วัน และจากรายงานของ Luna-Guzman และ Barrett (2000) ที่ศึกษาผลของการใช้แคลเซียมคลอไรด์ในแคนตาลูปพร้อมบริโภค (fresh-cut) พบว่าแคนตาลูปที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นคือจากความเข้มข้น 1% เป็น 2% จะมีคะแนนสำหรับการรับรู้รสขมเพิ่มขึ้นคือมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 4.8 เป็น 5.8 ตามลำดับ ดังนั้นจึงต้องหาเกณฑ์ในการคัดเลือกระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์และระยะเวลาการแช่ที่เหมาะสม โดยเมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ได้ร่วมกับรายงานต่าง ๆ ข้างต้น จึงเลือกใช้ปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าและค่าความแข็งของแคนตาลูปเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก โดยพบว่าการใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 1% จะให้ค่าความแข็งของชิ้นแคนตาลูปไม่แตกต่างกับการใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 1.5 และ 2% และเมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาในการแช่ของแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 1% จะพบว่าการใช้ระยะเวลาในการแช่ 6 วัน จะให้ค่าความแข็งมากที่สุด (ตารางที่4.3)

นอกจากการใช้ปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าและค่าความแข็งเป็นตัวเลือกระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์และระยะเวลาการแช่แล้วยังใช้ภาพถ่ายโครงสร้างภายในจากเครื่อง Cryo-SEM ในการร่วมพิจารณาด้วย (รูปที่ 4.2) โดยพบว่าเซลล์ของแคนตาลูปที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (0.5 - 2%) มีลักษณะกลมรีและอยู่ชิดกันมากจนแทบไม่เห็นช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular space) โดยเซลล์ของแคนตาลูปที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.5 และ 2.0% มีลักษณะคล้ายกันมาก (รูปที่ 4.2 จ. และ ฉ.) ในขณะที่เซลล์ของแคนตาลูปที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0% เป็นเวลา 6 วัน กับเซลล์ของแคนตาลูปสดมีลักษณะแตกต่างกัน โดยเซลล์ของแคนตาลูปที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์



ก. ข.

ค. ง.

จ. ฉ.

รูปที่ 4.2 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน (Cryo-SEM) ของแคนตาลูปที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่แปรระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ระยะเวลาการแช่ 6 วัน

ก. แคนตาลูปสด

ข. แคนตาลูปที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0%

ค. แคนตาลูปที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5%

ง. แคนตาลูปที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1.0%

จ. แคนตาลูปที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1.5%

ฉ. แคนตาลูปที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 2.0%

ความเข้มข้น 0% เป็นเวลา 6 วัน จะมีลักษณะค่อนข้างรี มีช่องว่างระหว่างเซลล์มาก นั่นแสดงให้เห็นการแช่แคนตาลูปในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สามารถช่วยรักษาความคงรูปของเซลล์ได้ แม้ว่าเซลล์จะต้องผ่านความร้อนในกระบวนการผลิตขั้นต่อไปก็ตาม (รูปที่ จ.5 ในภาคผนวก จ.) และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะเซลล์ของแคนตาลูปที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าเซลล์ของแคนตาลูปที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 1.5 และ 2% มีลักษณะไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 1% แช่เป็นเวลา 6 วัน เป็นภาวะการแช่ที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในช่วงการ pretreatment เพื่อใช้ทำการทดลองในขั้นต่อไป

4.3 ศึกษาอิทธิพลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตร่วมกับน้ำตาลซูโครสที่มีต่อเวลาในการอบแห้ง

นำแคนตาลูปที่ผ่านการแช่สารละลายที่เลือกความเข้มข้นและเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 4.2 เข้าสู่กระบวนการผลิตดังรูปที่ 3.1 (ในบทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย) โดยแปรอัตราส่วนของน้ำตาลอินเวิร์ตลงในสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้น 50 องศาบริกซ์ เป็น 4 ระดับ คือ 0 5 10 และ 15% (v/v) เมื่อผสมน้ำตาลอินเวิร์ตแล้วตรวจสอบหาปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่แน่นอนอีกครั้งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำตาลทราย (2516) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.8 โดยผลการตรวจสอบปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตในสารละลายผสมที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 ซึ่งการตรวจสอบปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตจะเป็นประโยชน์ต่อการนำสารละลายซูโครสกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการออสโมซิสเพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิต

ตารางที่ 4.4 ปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่ใช้ในการออสโมซิสทั้งสี่ชุดการทดลอง

ชุดการทดลองที่	ปริมาณน้ำตาลซูโครส (%)	ปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ต (%)	ปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตในสารละลายออสโมติก (mg/100 ml)
1	100	0	0
2	95	5	306.14±0.87
3	90	10	458.23±0.88
4	85	15	669.40±1.80

จากนั้นนำแคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายออสโมติกที่แปรอัตราส่วนน้ำตาลอินเวิร์ตทั้งสี่ชุดการทดลอง ไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส บันทึก

น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เริ่มอบแห้งจนผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีน้ำหนักคงที่ตามช่วงเวลาที่กำหนด จากนั้นสร้างกราฟการอบแห้ง (drying curve) ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาในการอบแห้ง ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายลักษณะการอบแห้งของผลิตภัณฑ์

ทดลองอบแห้งแคนตาลูปที่แปรอัตราส่วนน้ำตาลอินเวิร์ตในสารละลายออสโมติกทั้งสี่ชุดการทดลอง ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 135.13 147.51 147.34 และ 138.84 กรัมน้ำต่อ100 กรัมของแข็ง ตามลำดับ (ตารางที่ ข.1) นำข้อมูลการอบแห้งที่ได้มาสร้างกราฟการอบแห้ง ได้ดังรูปที่ 4.3 โดยจากการทดลองจะได้ปริมาณความชื้นสุดท้ายที่คงที่ของแต่ละชุดการทดลองเป็นค่าปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10.14 10.02 11.93 และ 11.17 กรัมน้ำต่อ100 กรัมของแข็ง ตามลำดับ (ตารางที่ ข.1) และเนื่องจากปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแต่ละชุดการทดลองมีค่าไม่เท่ากัน จึงนำค่าปริมาณความชื้นสมดุลของแต่ละชุดการทดลองไปคำนวณหาค่าอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) ตามสมการ (4.1) เพื่อนำค่า MR ที่ได้มาคำนวณหาค่าอัตราการอบแห้ง (drying rate) ของแต่ละชุดการทดลอง และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้อธิบายการอบแห้ง

$$MR = \frac{\left(M - M_e\right)}{\left(M_0 - M_e\right)} \qquad \text{.....(4.1)}$$

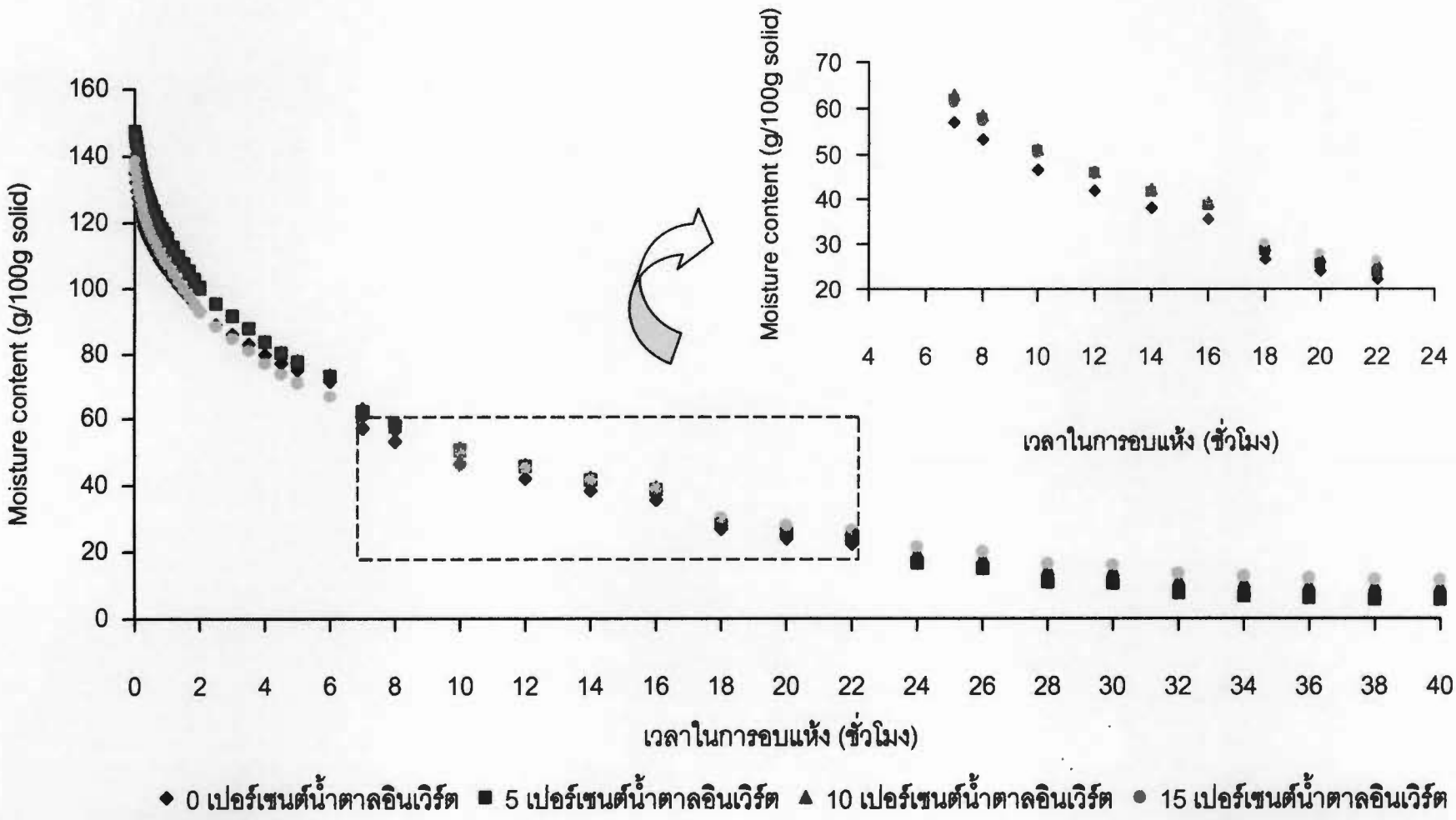
เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น

M = ปริมาณความชื้นที่เวลาใด ๆ (โดยน้ำหนักแห้ง)

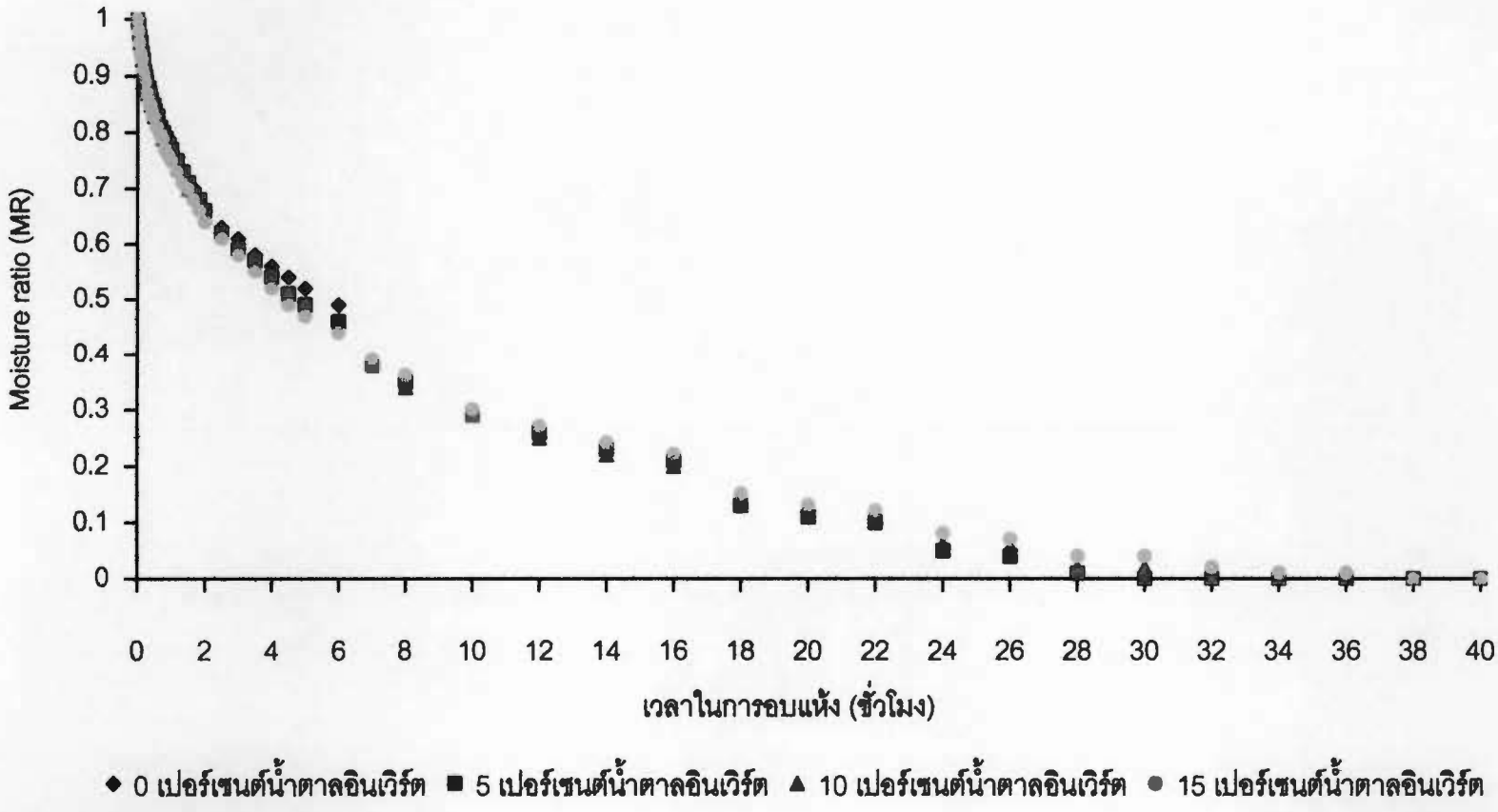
M_o = ปริมาณความชื้นที่เริ่มต้น (โดยน้ำหนักแห้ง)

M_e = ปริมาณความชื้นที่สมดุล (โดยน้ำหนักแห้ง)

นำข้อมูลการทดลองอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ทั้งสี่ชุดการทดลองมาแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้งเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ (4.1) (รูปที่ 4.4) จะสังเกตได้ว่าลักษณะกราฟการอบแห้งของทั้งสี่ชุดการทดลองมีลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งการที่ไม่เห็นความแตกต่างของการอบแห้งทั้งสี่ชุดการทดลองอย่างชัดเจน อาจเนื่องมาจากสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสมีความเข้มข้น (50 องศาบริกซ์) เท่ากันและปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงในสารละลายออสโมติกทั้งสี่ชุดการทดลองไม่แตกต่างกันมาก จึงไม่เห็นผลของน้ำตาลอินเวิร์ตต่อการอบแห้งได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 4.3 กราฟการอบแห้ง (อุณหภูมิในการอบ 60 องศาเซลเซียส) ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลที่แปรอัตราส่วนของน้ำตาลอินเวิร์ตที่ระดับต่าง ๆ



รูปที่ 4.4 กราฟ Moisture ratio (อุณหภูมิในการอบ 60 องศาเซลเซียส) ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลที่แปรอัตราส่วนของน้ำตาลอินเวิร์ตที่ระดับต่าง ๆ

จากนั้นนำค่า MR ที่ได้ของแต่ละชุดการทดลองมาคำนวณหาอัตราการอบแห้ง และเนื่องจากการทดลองใช้อุณหภูมิในการอบแห้งเพียงอุณหภูมิเดียว คือ 60 องศาเซลเซียส อีกทั้งการทดลองที่ได้มีลักษณะเป็นแบบ Exponential จึงสมมติให้การอบแห้งมีลักษณะตามแบบจำลองของ Henderson และ Pabis เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่มีรูปแบบสมการแบบ Exponential พจน์เดียวและเป็นสมการอย่างง่ายที่นิยมนำมาใช้กับการอบแห้งผลไม้ (Sankat, Castaigne and Maharaj, 1996; Nguyen and Price, 2007) เพื่อใช้ดูแนวโน้มของอัตราการอบแห้งแต่ละชุดการทดลอง โดยหาค่าคงที่การอบแห้ง (ค่าคงที่ k) ของการทดลองจากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln MR กับเวลาในการอบแห้ง และคำนวณหาอัตราการอบแห้งในรูปอนุพันธ์ของค่าอัตราส่วนความชื้นเทียบกับเวลาในการอบแห้ง ดังสมการ (4.2)

$$\begin{aligned} \text{Drying rate} &= -d(MR)/dt \;.\; \text{dry solid} \\ &= -d[a.\exp(-kt)]/dt \;.\text{dry solid} \\ &= a.k.\exp(-kt) \;.\text{dry solid} \end{aligned} \qquad \text{.....(4.2)}$$

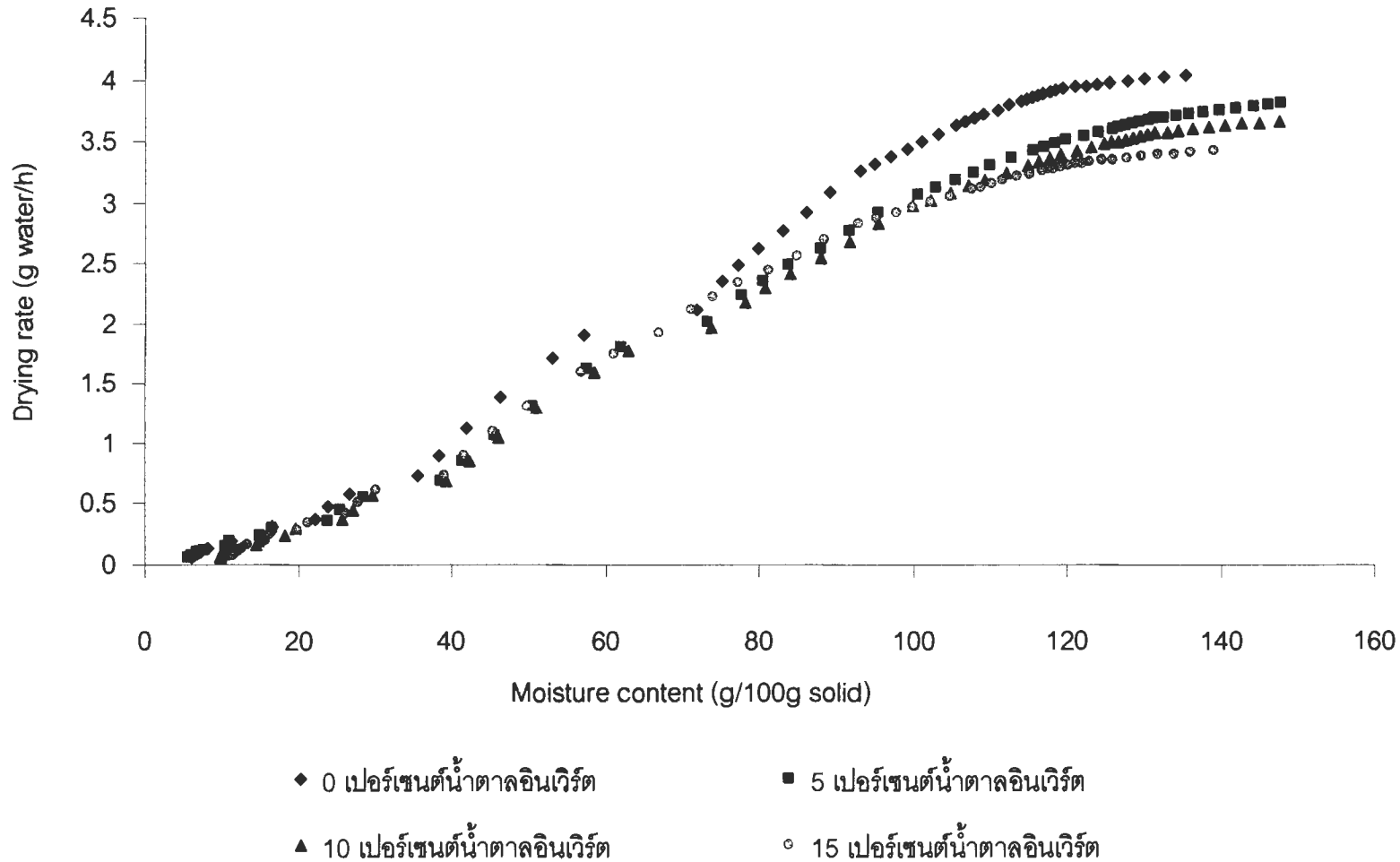
เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น

t = เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)

k = ค่าคงที่ของการอบแห้ง (1/ชั่วโมง)

a = ค่าคงที่

จากการคำนวณอัตราเร็วในการอบแห้งทั้งสี่ชุดการทดลองตามสมการ (4.2) พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองมีการอบแห้งส่วนใหญ่อยู่ในช่วง falling rate ตั้งแต่ช่วงต้นของการอบแห้ง เนื่องจากกราฟอัตราการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองมีช่วงที่เป็น constant rate แค่ช่วงต้นของการอบแห้งและเป็นช่วงที่สั้นมาก นอกนั้นผลิตภัณฑ์มีลักษณะการอบแห้งในช่วง falling rate ดังรูปที่ 4.5 โดยผลิตภัณฑ์แคนตาลูปที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตจะมีอัตราการอบแห้งเร็วที่สุด ซึ่งมีค่าคงที่ k มากที่สุด (ตารางที่ 4.5) และเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น มีผลให้อัตราการอบแห้งมีแนวโน้มลดช้าลง (ค่าคงที่ k ลดลง) แสดงว่าผลิตภัณฑ์แคนตาลูปที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตจะต้องใช้เวลาในการอบแห้งมากกว่าผลิตภัณฑ์แคนตาลูปที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลอินเวิร์ตมีสมบัติในการดูดความชื้นมากกว่าน้ำตาลซูโครส จึงจับกับน้ำได้ดีกว่าน้ำตาลซูโครสทำให้การระเหยของน้ำระหว่างการอบแห้งเกิดได้ช้าลง อัตราการอบแห้งจึงลดลง (Jackson, 1990)



รูปที่ 4.5 กราฟอัตราการอบแห้ง (อุณหภูมิในการอบ 60 องศาเซลเซียส) ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลที่แปรอัตราส่วนของน้ำตาลอินเวิร์ตที่ระดับต่าง ๆ

ตารางที่ 4.5 ค่าคงที่ k (อุณหภูมิในการอบ 60 องศาเซลเซียส) ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลที่แปรอัตราส่วนของน้ำตาลอินเวิร์ตที่ระดับต่าง ๆ

ชุดการทดลอง	ค่าคงที่ k (h^{-1})	r *
ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปที่เติม 0% น้ำตาลอินเวิร์ต	0.1075	0.9889
ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปที่เติม 5% น้ำตาลอินเวิร์ต	0.1067	0.9815
ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปที่เติม 10% น้ำตาลอินเวิร์ต	0.1045	0.9868
ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปที่เติม 15% น้ำตาลอินเวิร์ต	0.0960	0.9824

*r ทดสอบที่ p=0.05

จากการทดลองจะเห็นว่าค่าคงที่ k ของทั้งสี่ชุดการทดลองมีค่าแปรผันตรงกับอัตราการอบแห้งคือ เมื่อค่าคงที่ k เพิ่มขึ้น อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่ใช้มีผลต่อค่าคงที่ k ด้วยเช่นกัน โดยพบว่าเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตเพิ่มขึ้น ค่าคงที่ k มีแนวโน้มลดลง ส่งผลให้อัตราการอบแห้งมีค่าลดลง และจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งผลไม้โดยวิธีการแช่อิ่มอบแห้งจะพบว่าค่าคงที่ k ยังขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ความเร็วลม และขนาดความหนาของชิ้นผลไม้อีกด้วย โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิและความเร็วลมในการอบเพิ่มขึ้น ค่าคงที่ k มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อขนาดความหนาของชิ้นผลไม้ลดลง ค่าคงที่ k มีค่าเพิ่มขึ้น (El-Aouar, Azoubel and Murr, 2003; Simal et al., 2005; Tarigan et al., 2006; Nguyen and Price, 2007)

จากนั้นนำค่า MR ที่ได้จากการทดลองมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งผลไม้ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 (Karathanos and Belesssiotis, 1999; Dandamrongrak et al., 2002; Togrul and Pehlivan, 2002; Akpinar, Bicer and Midilli, 2003; Akpinar, Bicer and Yildiz, 2003; El-Aouar et al., 2003; Togrul and Pehlivan, 2003; Doymaz, 2004; Lahsasni et al., 2004; Togrul and Pehlivan, 2004; Mandala, Anagnostaras and Oikonomou, 2005; Simal et al., 2005; Menges and Ertekin, 2006; Baini and Langrish, 2007; Wang et al., 2007) คำนวณหาค่า Least Square โดยใช้ฟังก์ชัน Solver ในโปรแกรม Microsoft® Office Excel 2003 คัดเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความเหมาะสมกับผลการทดลองเพื่อใช้เป็นแบบจำลองในการทำนายลักษณะการอบแห้งของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง โดยเกณฑ์ในการคัดเลือกแบบจำลองจะพิจารณาจากค่า correlation coefficient (r) ค่า Mean Residue Least Square (MRS) และค่า Root Mean Square Error (RMSE) โดยแบบจำลองที่เหมาะสมจะต้องให้ค่า r สูง ค่า MRS และค่า RMSE ต่ำ

ตารางที่ 4.6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งผลไม้

แบบจำลอง	สมการแบบจำลอง	เอกสารอ้างอิง
Newton	$MR = \exp(-kt)$	Togrul and Pehlivan (2003), Doymaz (2004), Simal et al. (2005)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Karathanos and Belesssiotis (1999), Mandala et al. (2005)
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	Akpinar et al.(2003), Togrul and Pehlivan (2003), Doymaz (2004)
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Doymaz (2004), Lahsasni et al. (2004), Nguyen and Price (2007)
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	Togrul and Pehlivan (2003), Wang et al. (2007)
Two-term	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	Togrul and Pehlivan (2002), Lahsasni et al. (2004)
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	Lahsasni et al. (2004), Togrul and Pehlivan (2004), Menges and Ertekin (2006)
Approximation of diffusion	$MR = a \exp(-kt) +(1-a) \exp(-kbt)$	Togrul and Pehlivan (2004), Sacilik et al. (2006), Wang et al. (2007)
Verma	$MR = a \exp(-kt) +(1-a) \exp(-gt)$	Togrul and Pehlivan (2004), Baini and Langrish (2007)
Modified Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt) +b \exp(-gt) +c \exp(-ht)$	Karathanos (1999), Togrul and Pehlivan (2004), Menges and Ertekin (2006)

เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น t = เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง) a, b, c, g, h, n = ค่าคงที่ในแบบจำลอง และ k, k_0, k_1 = ค่าคงที่การอบแห้ง (1/h)

(Yaldiz and Ertekin, 1991; Togrul and Pehlivan, 2002; Akpinar et al., 2003; Doymaz, 2004; Lahsasni et al., 2004; Menges and Ertekin , 2006; Sacilik, Keskin and Elicin, 2006) ซึ่งค่า MRS และค่า RMSE สามารถคำนวณได้จากสมการ (4.3) และ (4.4) ตามลำดับ

$$MRS=\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{exp,i}-MR_{pre,i}\right)^2}{N-1} \qquad \text{.....(4.3)}$$

$$RMSE=\left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{pre,i}-MR_{exp,i}\right)^2\right]^{1/2} \qquad \text{.....(4.4)}$$

เมื่อ MRS = Mean Residue Least Square

RMSE = Root Mean Square Error

$MR_{exp,i}$ = MR ที่ได้จากการทดลองของข้อมูลชุดที่ i

$MR_{pre,i}$ = MR ที่ได้จากแบบจำลองของข้อมูลชุดที่ i

N = จำนวนข้อมูลการทดลอง

เมื่อพิจารณาค่า MRS ค่า RMSE และค่า r ของแบบจำลองการอบแห้งแบบต่าง ๆ (ตารางที่ 4.7-4.10) พบว่าแบบจำลองแบบ Modified Henderson and Pabis มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองมากที่สุด เนื่องจากให้ค่า r สูงกว่าแบบจำลองอื่น ๆ และให้ค่า MRS และค่า RMSE ต่ำสุด และเมื่อนำค่า MR ที่คำนวณได้จากแบบจำลองแบบ Modified Henderson and Pabis มาเปรียบเทียบกับค่า MR ที่ได้จากการทดลองพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันตลอดทุกช่วงของการอบแห้ง (รูปที่ 4.6) ทั้งสี่ชุดการทดลอง

การที่แบบจำลองแบบ Modified Henderson and Pabis สามารถทำนายค่า MR ของผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองได้ดีมากกว่าแบบจำลองอื่น ๆ อาจเนื่องจากแบบจำลองแบบ Modified Henderson and Pabis มีการแบ่งสมการในการทำนายการออกเป็นสามพจน์แทนลักษณะที่แตกต่างกันในชั้นต่าง ๆ ของเนื้อแคนตาลูปทำให้สามารถทำนายค่าการเปลี่ยนแปลง MR ได้ใกล้เคียงมากขึ้น ซึ่งจากภาพตัดขวางโดยใช้เครื่อง Image Analyzer จะพบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองมีลักษณะภายในชิ้นไม่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยเนื้อส่วนบริเวณขอบหรือบริเวณ

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลองแบบต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต

แบบจำลอง	ค่าสัมประสิทธิ์	MRS	RMSE	r
Newton	k = -0.1517	5.467×10^{-3}	3.788×10^{-2}	0.9927
Page	k = 0.2575			
	n = 0.6817	8.485×10^{-4}	5.879×10^{-3}	0.9963
Modified Page	k = 0.1367			
	n = 0.6817	8.485×10^{-4}	7.573×10^{-2}	0.9963
Henderson and Pabis	k = 0.1163			
	a = 0.8961	1.285×10^{-3}	8.904×10^{-3}	0.9948
Logarithmic	k = 0.1270			
	a = 0.8692			
	c = 0.0314	1.229×10^{-3}	8.515×10^{-3}	0.9946
Two-term	k_0 = -0.1417			
	a = 0.7728			
	k_1 = -0.0393			
	b = 0.1306	1.167×10^{-3}	8.904×10^{-3}	0.9950
Two-term exponential	k = 1.0804			
	a = 0.1154	2.510×10^{-3}	1.739×10^{-2}	0.9959
Approximation of	k = 0.0971			
diffusion	a = 0.7890			
	b = 16.1229	4.899×10^{-4}	3.394×10^{-3}	0.9981
Verma	k = 0.1017			
	a = 0.8325			
	g = 3.2808	2.230×10^{-4}	1.545×10^{-3}	0.9990
Modified Henderson	k = 0.1014			
and Pabis	a = 0.1577			
	b = 0.6694			
	g = 0.1007			
	c = 0.1617			
	h = 2.7773	2.218×10^{-4}	1.537×10^{-3}	0.9990

* r ทดสอบที่ p= 0.05

ตารางที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลองแบบต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5%

แบบจำลอง	ค่าสัมประสิทธิ์	MRS	RMSE	r
Newton	k = -0.1554	4.627×10^{-3}	3.206×10^{-2}	0.9931
Page	k = 0.2523			
	n = 0.6995	5.153×10^{-4}	3.570×10^{-3}	0.9977
Modified Page	k = 0.1396			
	n = 0.6995	5.153×10^{-4}	6.487×10^{-2}	0.9977
Henderson and Pabis	k = 0.1226			
	a = 0.9088	1.508×10^{-3}	1.045×10^{-2}	0.9942
Logarithmic	k = 0.1409			
	a = 0.8670			
	c = 0.0477	1.360×10^{-3}	9.421×10^{-3}	0.9940
Two-term	k_0 = -1.8968			
	a = 0.1864			
	k_1 = -0.1004			
	b = 0.8088	2.628×10^{-4}	1.056×10^{-2}	0.9991
Two-term exponential	k = 0.9772			
	a = 0.1278	1.854×10^{-3}	1.284×10^{-2}	0.9967
Approximation of	k = 0.1007			
diffusion	a = 0.8110			
	b = 19.9107	2.065×10^{-4}	1.431×10^{-3}	0.9991
Verma	k = 0.1007			
	a = 0.8110			
	g = 2.0056	2.065×10^{-4}	1.431×10^{-3}	0.9991
Modified Henderson	k = 0.1004			
and Pabis	a = 0.1522			
	b = 0.6567			
	g = 0.1004			
	c = 0.1864			
	h = 1.8968	2.050×10^{-4}	1.420×10^{-3}	0.9991

* r ทดสอบที่ p= 0.05

ตารางที่ 4.9 ค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลองแบบต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10%

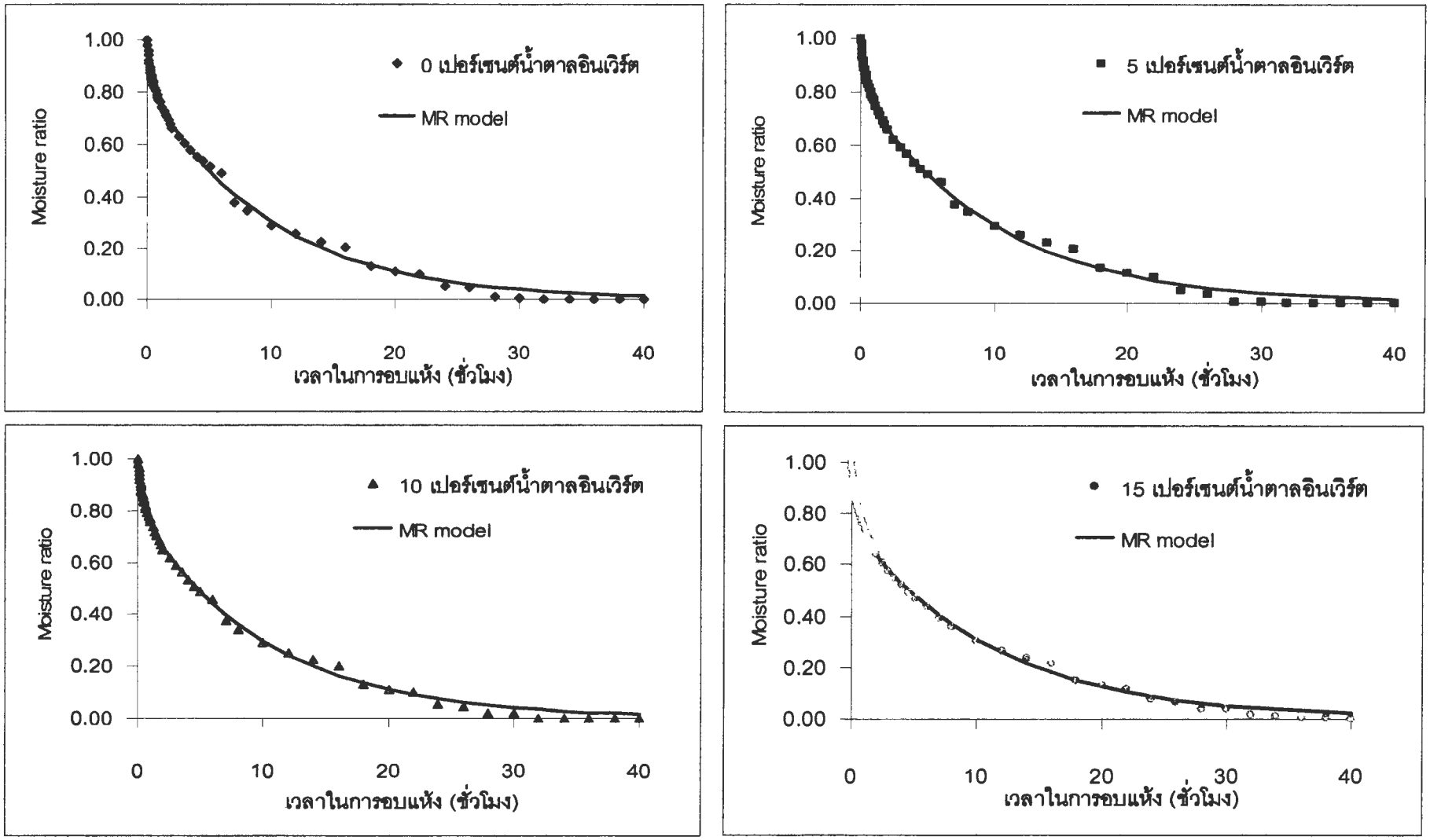
แบบจำลอง	ค่าสัมประสิทธิ์	MRS	RMSE	r
Newton	k = -0.1593	5.234×10^{-3}	3.630×10^{-2}	0.9929
Page	k = 0.2648			
	n = 0.6787	4.343×10^{-4}	3.009×10^{-3}	0.9979
Modified Page	k = 0.1412			
	n = 0.6787	4.343×10^{-4}	7.039×10^{-2}	0.9979
Henderson and Pabis	k = 0.1221			
	a = 0.8996	1.489×10^{-3}	1.031×10^{-2}	0.9941
Logarithmic	k = 0.1449			
	a = 0.8517			
	c = 0.0576	1.265×10^{-3}	8.764×10^{-3}	0.9939
Two-term	k_0 = -1.9273			
	a = 0.1894			
	k_1 = -0.0994			
	b = 0.7988	1.963×10^{-4}	1.042×10^{-2}	0.9993
Two-term exponential	k = 1.0005			
	a = 0.1287	2.231×10^{-3}	1.546×10^{-2}	0.9966
Approximation of	k = 0.1002			
diffusion	a = 0.8043			
	b = 22.0166	1.442×10^{-4}	9.988×10^{-4}	0.9993
Verma	k = 0.1002			
	a = 0.8043			
	g = 2.2058	1.442×10^{-4}	9.988×10^{-4}	0.9993
Modified Henderson	k = 0.0994			
and Pabis	a = 0.1417			
	b = 0.6517			
	g = 0.0994			
	c = 0.1894			
	h = 1.9275	1.357×10^{-4}	9.404×10^{-4}	0.9993

* r ทดสอบที่ p= 0.05

ตารางที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธ์จากแบบจำลองแบบต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต15%

แบบจำลอง	ค่าสัมประสิทธ์	MRS	RMSE	r
Newton	k = -0.1613	6.441×10^{-3}	4.462×10^{-2}	0.9918
Page	k = 0.2750			
	n = 0.6633	5.041×10^{-4}	3.493×10^{-3}	0.9983
Modified Page	k = 0.1386			
	n = 0.6461	5.464×10^{-4}	7.732×10^{-2}	0.9983
Henderson and Pabis	k = 0.1183			
	a = 0.8891	1.929×10^{-3}	1.336×10^{-2}	0.9923
Logarithmic	k = 0.1570			
	a = 0.8166			
	c = 0.0888	2.109×10^{-3}	1.461×10^{-2}	0.9921
Two-term	k_0 = -1.3945			
	a = 0.2269			
	k_1 = -0.0888			
	b = 0.7499	1.886×10^{-4}	1.336×10^{-2}	0.9993
Two-term exponential	k = 0.1369			
	a = 0.9293	2.997×10^{-3}	2.076×10^{-2}	0.9960
Approximation of	k = 0.0912			
diffusion	a = 0.7668			
	b = 20.2309	1.679×10^{-4}	1.164×10^{-3}	0.9992
Verma	k = 0.0912			
	a = 0.7668			
	g = 1.8452	1.679×10^{-4}	1.164×10^{-3}	0.9992
Modified Henderson	k = 0.0890			
and Pabis	a = 0.2298			
	b = 0.5201			
	g = 0.0887			
	c = 0.2269			
	h = 1.3945	1.321×10^{-4}	9.145×10^{-4}	0.9993

* r ทดสอบที่ p= 0.05

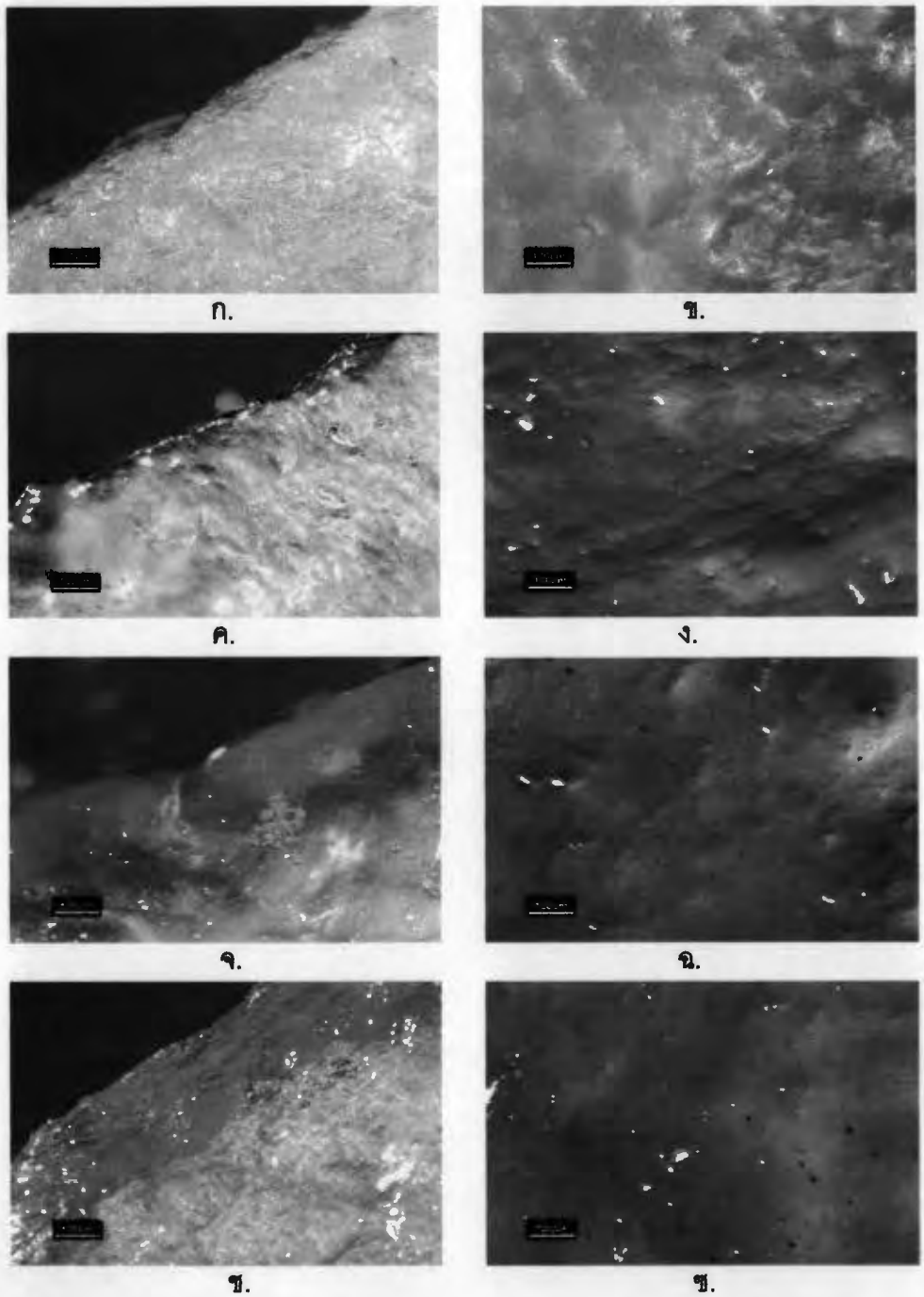


รูปที่ 4.6 กราฟ Moisture ratio (อุณหภูมิในการอบ 60 องศาเซลเซียส) ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลที่แปรอัตราส่วนของน้ำตาลอินเวิร์ตที่ระดับต่าง ๆ เปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Modified Henderson and Pabis [MR = a exp(-kt) +b exp(-gt) +c exp(-ht)]

ด้านนอกของผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะแห้งกว่าบริเวณเนื้อส่วนด้านในของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะชุ่มฉ่ำกว่า (รูปที่ 4.7) ทำให้การแพร่ของน้ำภายในผลิตภัณฑ์แต่ละส่วนมีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นแบบจำลองที่มีการทำนายลักษณะการอบแห้งมากกว่าหนึ่งพจน์จึงใช้ทำนายลักษณะการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองได้ดี

ซึ่งนอกจากผลการทดลองที่ได้ข้างต้นแล้ว ยังมีรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งหลายงานที่แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองแบบ Exponential ที่มีมากกว่าหนึ่งพจน์สามารถทำนายลักษณะการอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าแบบจำลองแบบ Exponential พจน์เดียว ดังเห็นได้จากงานวิจัยของ Lahsasni และคณะ (2004) ที่ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งผล prickly pear โดยทดลองอบแห้งผล prickly pear ด้วยเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยแปรอุณหภูมิในการอบ 50-60 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 23-24% ความเร็วลม 0.0277-0.0833 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พบว่า prickly pear มีอัตราการอบแห้งในช่วง falling rate เท่านั้น และพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง โดยอัตราการอบแห้งจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบและความเร็วลมเพิ่มมากขึ้น และเมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาสร้างแบบจำลองการอบแห้งแบบต่าง ๆ เพื่อใช้ในการทำนายการอบแห้ง พบว่าแบบจำลองแบบ two-term สามารถทำนายลักษณะการอบแห้งของ prickly pear ได้ดีที่สุด โดยให้ค่า r สูงถึง 0.9999

Togrul และ Pehlivan (2004) ศึกษาแบบจำลองเพื่อใช้อธิบายจลนพลศาสตร์การอบแห้งผลไม้บางชนิดโดยใช้การตากแดด โดยทดลองอบแห้งแอปริคอตสด แอปริคอตที่ผ่านการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แอปริคอตที่ผ่านการแช่โซเดียมไบซัลไฟต์ องุ่นที่ผ่านการแช่ในอิมัลชั่น (K_2CO_3 5% และน้ำมันมะกอก 0.05%) พีชสด มะเดื่อสด และลูกพลัมที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าผลไม้ทุกชุดการทดลองมีอัตราการอบแห้งในช่วง falling rate เท่านั้น และเมื่อนำค่า MR ของแต่ละชุดการทดลองมาสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ทำนายลักษณะการอบแห้ง พบว่าแบบจำลองแบบ Approximation of diffusion สามารถทำนายการอบแห้งของแอปริคอตสด แอปริคอตที่ผ่านการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์และมะเดื่อสดได้ดีที่สุด แบบจำลองแบบ Modified Henderson and Pabis สามารถทำนายการอบแห้งของแอปริคอตที่ผ่านการแช่โซเดียมไบซัลไฟต์ องุ่นที่ผ่านการแช่ในอิมัลชั่น และลูกพลัมที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ดีที่สุด และแบบจำลองแบบ Verma สามารถใช้ทำนายการอบแห้งของพีชสดได้ดีที่สุด ซึ่งจะสังเกตได้ว่าแบบจำลองที่แบ่งลักษณะการอบแห้งมากกว่าหนึ่งส่วนจะสามารถทำนายการอบแห้งผลไม้ต่าง ๆ ได้ดีทั้งผลไม้สดและผลไม้ที่ผ่านการ pretreatment



รูปที่ 4.7 ภาพตัดขวางจากเครื่อง Image analyzer แสดงบริเวณส่วนด้านนอก (ก,ค,จ,ช : กำลังขยาย 2 เท่า) และส่วนด้านใน (ข,ง,ฉ,ซ : กำลังขยาย 6 เท่า) ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในช่วงเริ่มต้นการเก็บรักษา

ก-ข ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต

ค-ง ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5%

จ-ฉ ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10%

ช-ซ ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 15%

จากนั้นนำค่าคงที่ต่าง ๆ ในแบบจำลอง Modified Henderson and Pabis ทั้งสี่ชุดการทดลองมาหาความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ โดยใช้โปรแกรม Microsoft® Office Excel 2003 พบว่ามีความสัมพันธ์กันแบบ polynomial กำลังสาม และสามารถแสดงความสัมพันธ์กับค่า MR ได้ดังสมการ (4.5)

$$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht) \quad \text{.....(4.5)}$$

เมื่อ $a = 0.0001x^3 - 0.0022x^2 + 0.0063x + 0.1577 \quad (r = 1)$

$k = -0.00001x^3 + 0.0002x^2 - 0.0008x + 0.1014 \quad (r = 1)$

$b = -0.0002x^3 + 0.0028x^2 - 0.0123x + 0.6694 \quad (r = 1)$

$g = -0.00001x^3 + 0.0002x^2 - 0.0006x + 0.1007 \quad (r = 1)$

$c = 0.00007x^3 - 0.0016x^2 + 0.0109x + 0.1617 \quad (r = 1)$

$h = -0.002x^3 + 0.0477x^2 - 0.3655x + 2.7773 \quad (r = 1)$

x = เปอร์เซนต์น้ำตาลอินเวิร์ต

t = เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)

อย่างไรก็ตามการศึกษาผลของปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งอย่างเดียวไม่สามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่เหมาะสมในการเติมลงในผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งได้ จำเป็นต้องพิจารณาควบคู่ไปกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ได้ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการเติมปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตนอกจากจะส่งผลต่ออัตราการอบแห้งแล้วการเติมปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ได้เหนียวเยิ้มเกินไปเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และอาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านอื่น ๆ ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการอบแห้งละคุณภาพสุดท้ายของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งทั้งสี่ชุดการทดลองในขั้นต่อไป

4.4 ศึกษาอิทธิพลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตร่วมกับน้ำตาลซูโครสที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการอบแห้ง

คัดเลือกข้อมูลที่มีการกระจายตัวตลอดช่วงของกราฟอัตราการอบแห้ง (จำนวน 8 จุด) ที่ได้จากข้อ 4.3 เพื่อนำมาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในแต่ละช่วงของการอบแห้ง โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงในด้านต่าง ๆ คือ ปริมาณความชื้น ค่า a_w ลักษณะเนื้อ

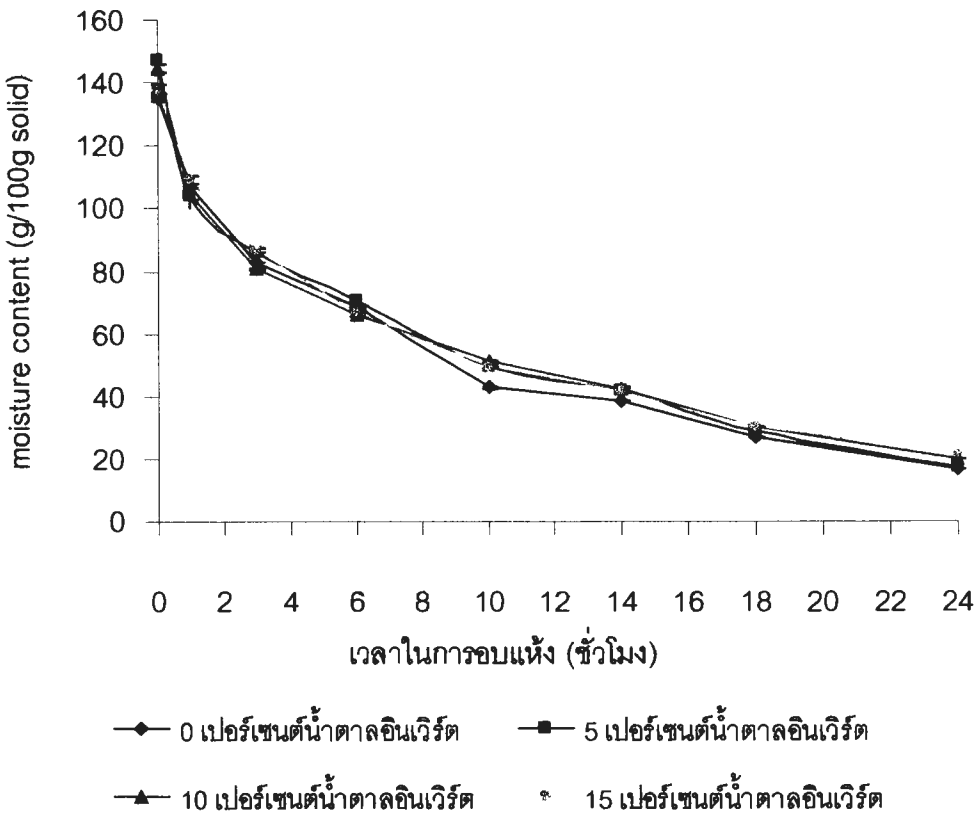
สัมผัส ค่าสี การเกิดสีน้ำตาล ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากกราฟอัตราการอบแห้งที่ได้จากข้อ 4.3 (รูปที่ 4.5) จะเห็นว่าจุดที่เป็นค่าความชื้นวิกฤตของทั้งสี่ชุดการทดลอง อยู่ที่ความชื้นประมาณ 90 กรัมน้ำต่อ100 กรัมของแข็ง ดังนั้นจึงใช้จุดนี้เป็นจุดในคัดการเลือกข้อมูลการอบแห้ง โดยข้อมูลที่เลือกมาตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ จุดเริ่มต้นของการอบแห้ง (ที่เวลาในการอบแห้ง 0 ชั่วโมง) จุดที่อยู่ก่อนค่าความชื้นวิกฤต (ที่เวลาในการอบแห้ง 1 ชั่วโมง) จุดค่าความชื้นวิกฤต (ที่เวลาในการอบแห้ง 3 ชั่วโมง) จุดที่อยู่หลังค่าความชื้นวิกฤต (ที่เวลาในการอบแห้ง 6 10 14 และ 18 ชั่วโมง) และจุดที่ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่า 18% (โดยน้ำหนักเปียก) หรือประมาณ 21.95 กรัมน้ำต่อ 100 กรัมของแข็ง (ที่เวลาในการอบแห้ง 24 ชั่วโมง) ซึ่งเมื่อนำผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบคุณภาพในด้านต่าง ๆ ได้ผล ดังนี้

4.4.1 ผลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตร่วมกับน้ำตาลซูโครสที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบแห้ง

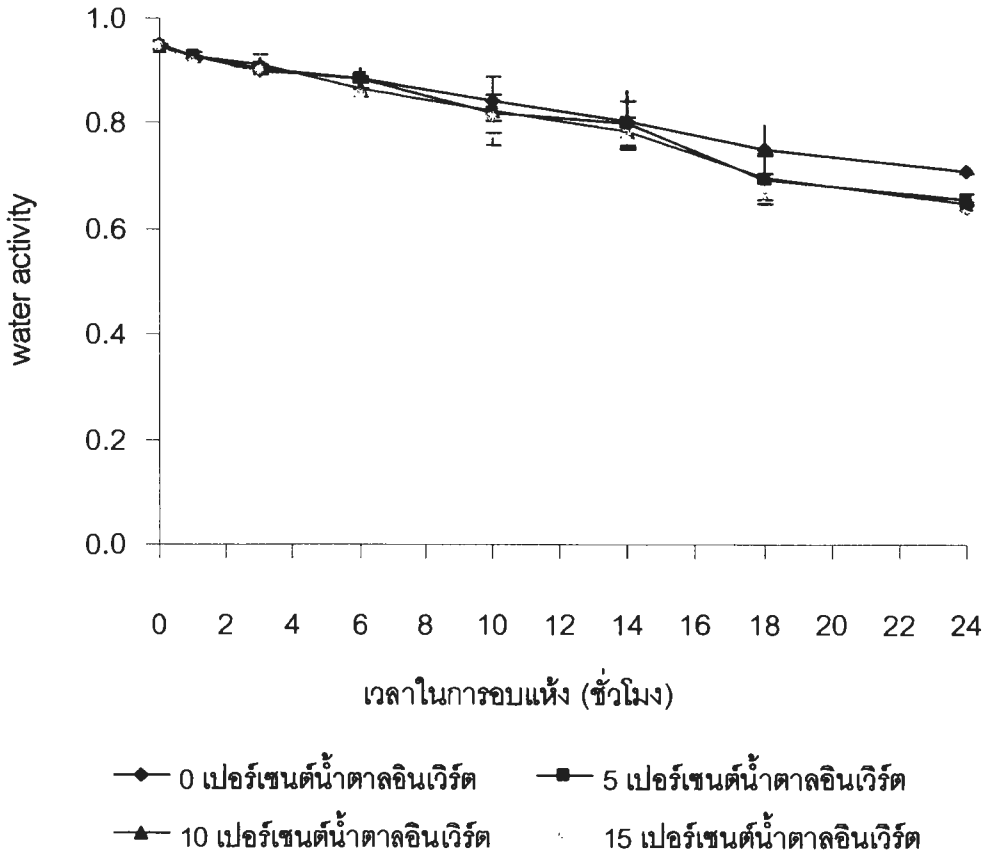
จากการติดตามปริมาณความชื้นและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบแห้ง พบว่าเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง ดังรูปที่ 4.8 โดยจะเห็นว่าปริมาณความชื้นที่ลดลงของผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกราฟการอบแห้ง (รูปที่ 4.3) ที่ได้จากข้อ 4.3 และพบว่าในช่วงก่อนจุดปริมาณความชื้นวิกฤต (3 ชั่วโมงแรกของการอบแห้ง) ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งทั้งสี่ชุดการทดลองมีการลดลงของปริมาณความชื้นใกล้เคียงกัน แต่หลังจากจุดปริมาณความชื้นวิกฤต (หลัง 3 ชั่วโมงแรกของการอบแห้ง) ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีอัตราการลดลงของปริมาณความชื้นมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงก่อนจุดปริมาณความชื้นวิกฤต น้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์จะเป็นน้ำอิสระ ดังนั้นในช่วงนี้จึงไม่เห็นความแตกต่างของปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลอง แต่หลังจากจุดปริมาณความชื้นวิกฤต น้ำที่เหลืออยู่ภายในผลิตภัณฑ์จะเป็นน้ำส่วน bound water ซึ่งจับกับองค์ประกอบต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์ จึงเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีการลดลงของปริมาณความชื้นมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลอินเวิร์ตมีสมบัติในการดูดความชื้นมากกว่าน้ำตาลซูโครส จึงจับกับน้ำส่วนที่เป็น bound water ได้ดีกว่าน้ำตาลซูโครสทำให้การระเหยของน้ำระหว่างการอบแห้งเกิดได้ช้า (Jackson, 1990) อัตราการอบแห้งจึงลดลง ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตจึงมีอัตราการอบแห้งเร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต และ

ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีปริมาณความชื้นสุดท้ายน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตเมื่อใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากัน (รูปที่ 4.8)



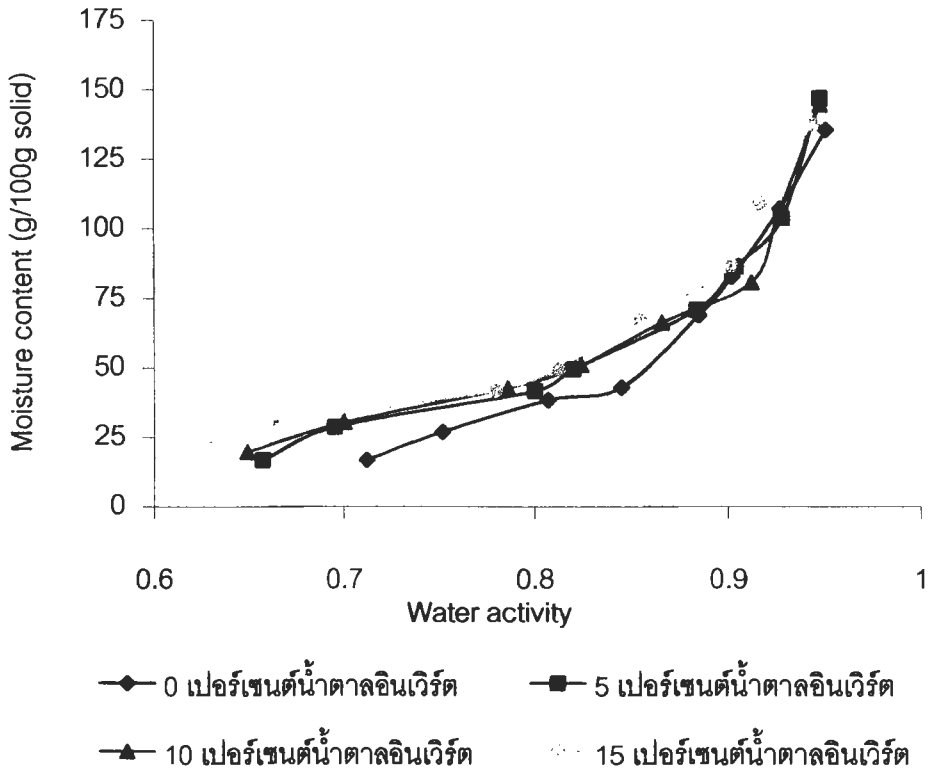
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ส่วนค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบแห้งก็มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน โดยในช่วงก่อนจุดปริมาณความชื้นวิกฤต ผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองมีการลดลงของค่า a_w ใกล้เคียงกัน แต่หลังจากจุดปริมาณความชื้นวิกฤต (หลัง 3 ชั่วโมง) ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 15% มีการลดลงของค่า a_w มากที่สุด (รูปที่ 4.9) รองลงมาคือผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10 5 และ 0% ตามลำดับ การที่ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตสามารถลดค่า a_w ได้มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต และค่า a_w ของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากน้ำตาลอินเวิร์ตมีสมบัติในการดูดความชื้น (Jackson, 1990; British, 2005) จึงจับกับน้ำได้ดีกว่าน้ำตาลซูโครส และเมื่อน้ำตาลอินเวิร์ตเพิ่มมากขึ้นก็จะตรึงน้ำได้มากขึ้นทำให้เคลื่อนที่อย่างอิสระได้น้อยลง จึงลดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

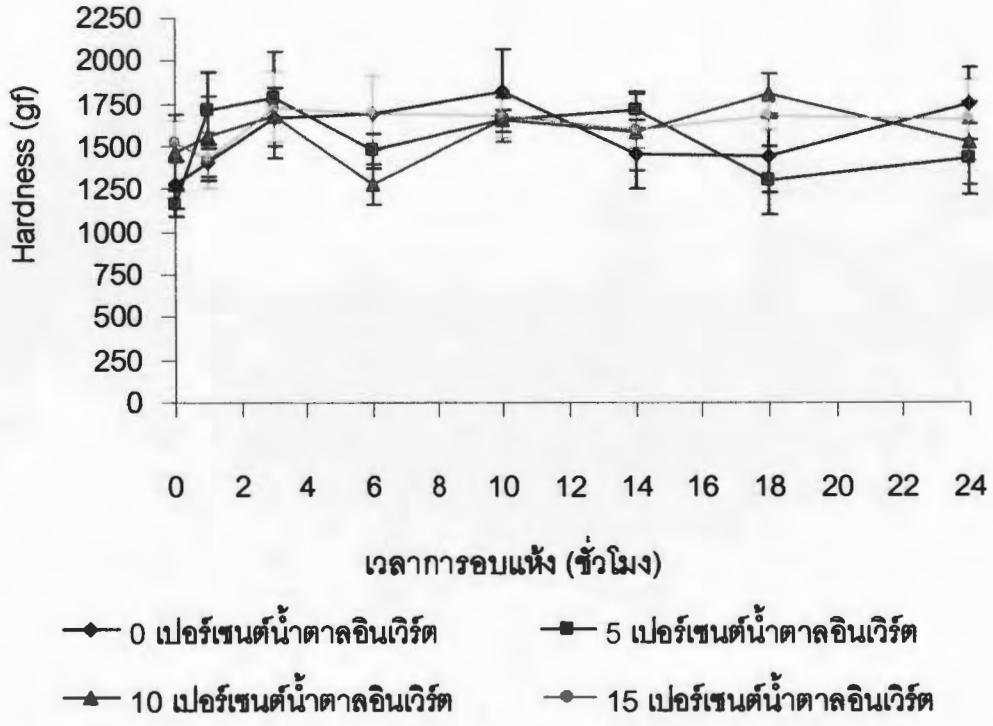
และเมื่อนำปริมาณความชื้นและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่ลดลงมาหาความสัมพันธ์ในรูปแบบของไอโซเทอร์ม พบว่าผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งทั้งสี่ชุดการทดลองมีรูปแบบไอโซเทอร์มคล้ายคลึงแบบ J- Shape (รูปที่ 4.10) ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง โดยรูปแบบไอโซเทอร์มแบบ J - Shape สามารถพบได้โดยทั่วไปในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง (Maroulis, Tsami and Marinos, 1988; Pott et al., 2005) แต่อย่างไรก็ตามลักษณะกราฟ J- Shape ของผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตก็มีลักษณะแตกต่างจากของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต (รูปที่ 4.10)



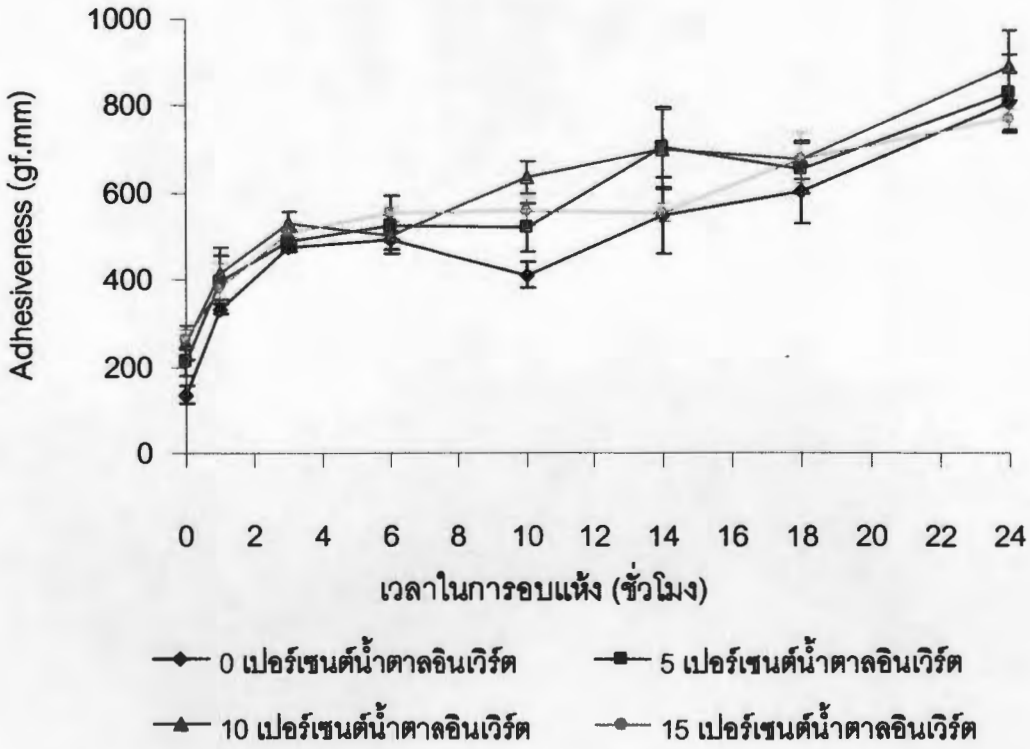
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่แปรปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตระดับต่าง ๆ อุณหภูมิในการอบ 60 องศาเซลเซียส

4.4.2 ผลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตร่วมกับน้ำตาลซูโครสที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบแห้ง

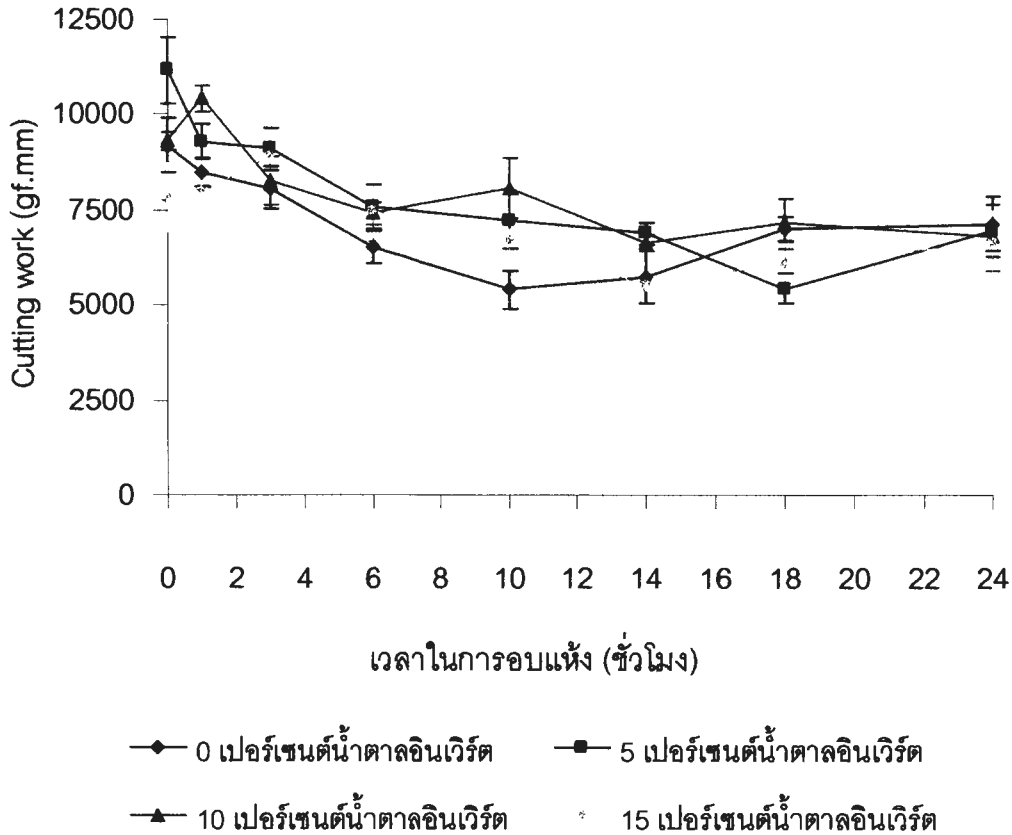
จากการติดตามลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองในระหว่างการอบแห้ง พบว่าค่าความแข็ง (hardness) ของผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาในการอบแห้ง (รูปที่ 4.11) ค่าความเหนียว (adhesiveness) ของผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.12) และค่างานที่ใช้ในการตัด (cutting work) มีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 4.13) เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตจะให้ค่าความเหนียวมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต และไม่พบความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง ค่าความเหนียว และค่างานที่ใช้ในการตัดของผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงในผลิตภัณฑ์มีปริมาณไม่แตกต่างกันมาก



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



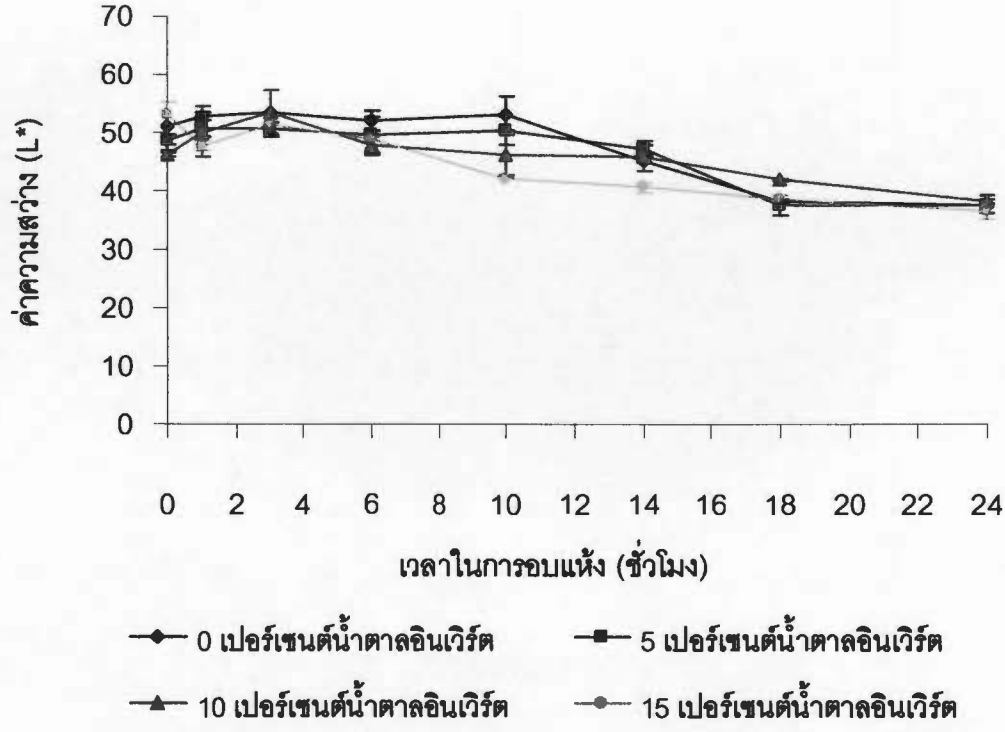
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



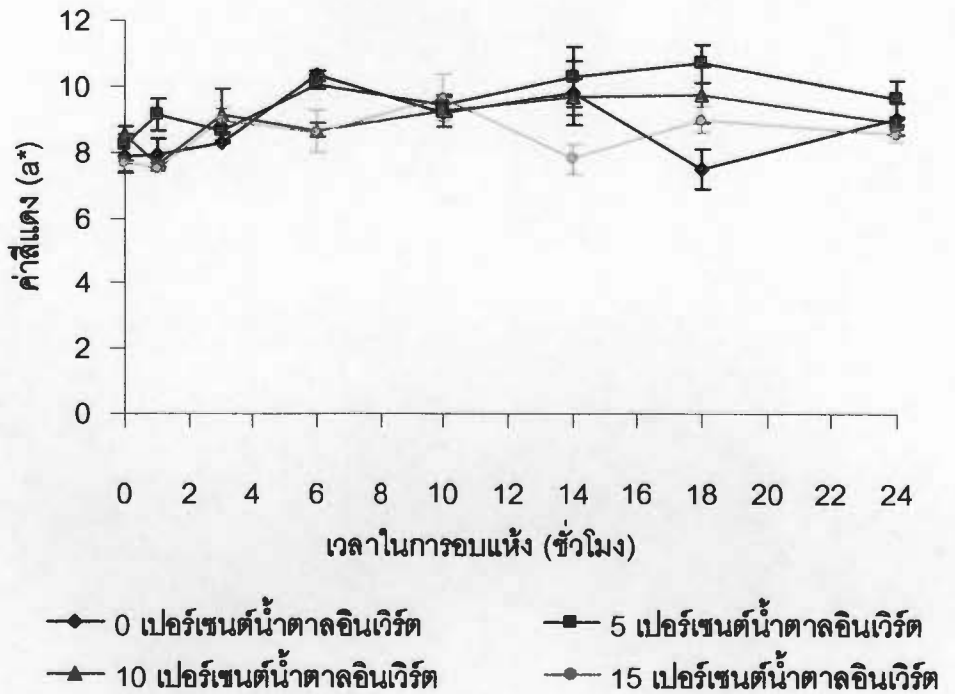
รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่างานที่ใช้ในการตัดของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

4.4.3 ผลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตร่วมกับน้ำตาลซูโครสที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบแห้ง

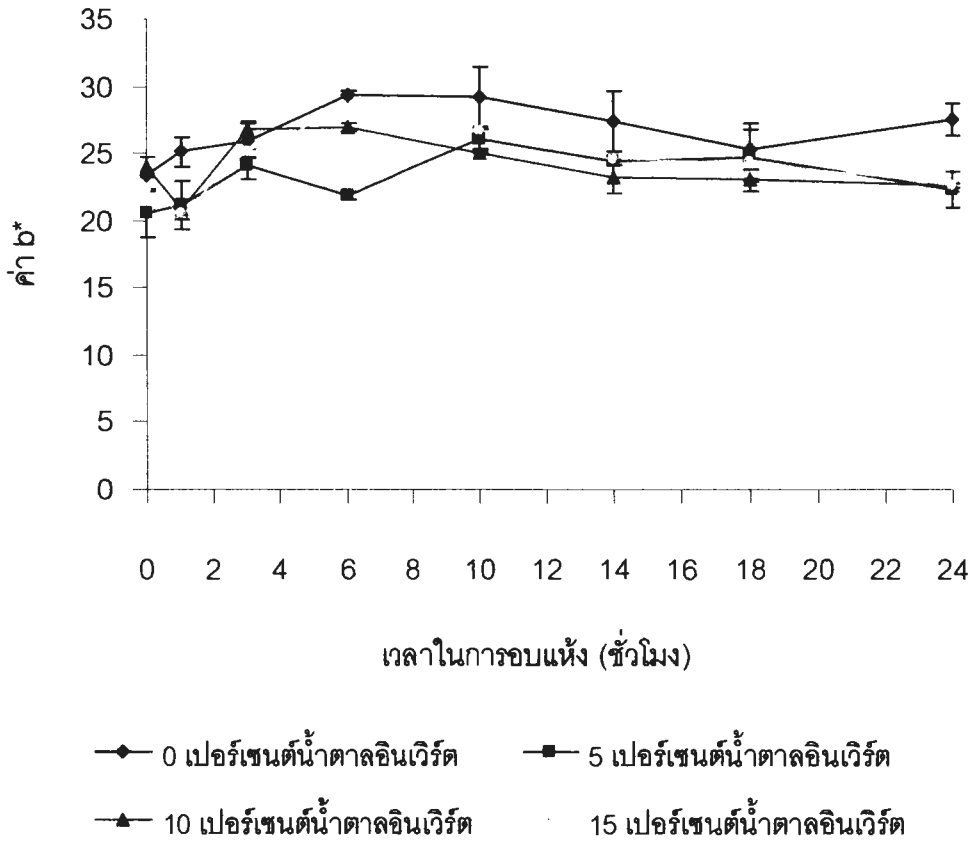
จากการติดตามค่าสีของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปทั้งสี่ชุดการทดลองตลอดระยะเวลาในการอบแห้ง พบว่าค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลอง มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 4.14) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดขึ้นเพราะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.17) และผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างที่แตกต่างกันคือ ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตจะมีการลดลงของค่าความสว่างมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต และเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตเพิ่มขึ้นค่าความสว่างมีค่าลดลงมากขึ้น ส่วนค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองการอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาในการอบแห้ง (รูปที่ 4.15 และ 4.16)



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



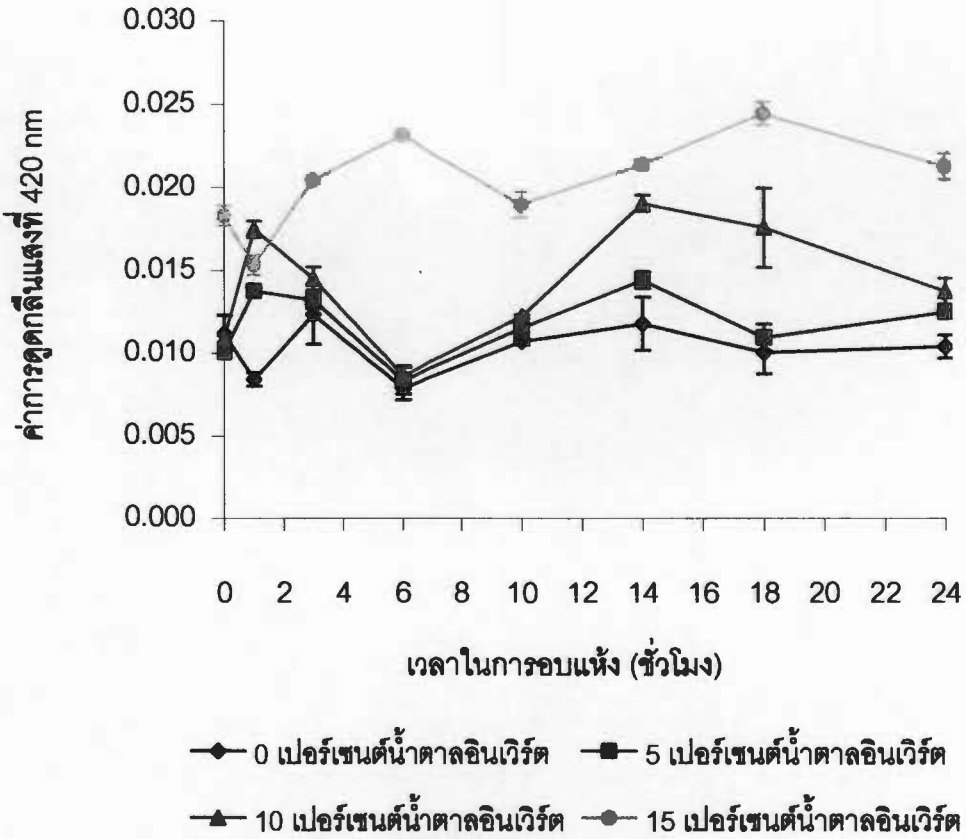
รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (a*) ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

4.4.4 ผลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตร่วมกับน้ำตาลซูโครสที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบแห้ง

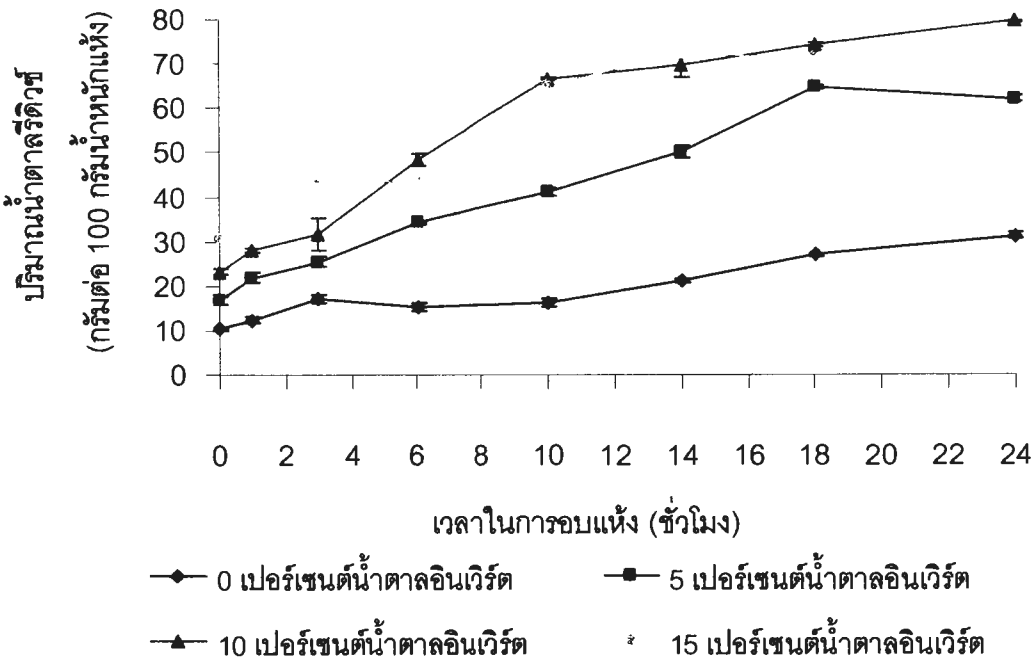
จากการติดตามค่าการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองในระหว่างการอบแห้ง โดยใช้กรดอะซิติกความเข้มข้น 2% เป็นตัวสกัด แล้วนำสารละลายที่สกัดได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 15 % มีค่าการเกิดสีน้ำตาลมากที่สุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10 5 และ 0% ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตจึงเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ดได้ดีกว่า มีผลทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm มีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต (รูปที่ 4.17) แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 15% มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm มากกว่าผลิตภัณฑ์อีกสามชุดการทดลองอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 15% มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ



รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

4.4.5 ผลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตร่วมกับน้ำตาลซูโครสที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบแห้ง

จากการติดตามปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบแห้งทั้งสี่ชุดการทดลอง พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 4.18 ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการอบแห้งมีการสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์และจากการที่น้ำตาลซูโครสถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรดและความร้อนเพิ่มมากขึ้นตามเวลาการอบแห้ง จึงทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์ก็มีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10 และ 15% มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ใกล้เคียงกัน รองลงมาคือผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5 และ 0% ตามลำดับ



รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

4.4.6 ผลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตร่วมกับน้ำตาลซูโครสที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบแห้ง

จากการติดตามปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งทั้งสี่ชุดการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ตลอดระยะเวลาในการอบแห้ง (ตารางที่ ข.17) อาจเนื่องจากความแปรปรวนของชิ้นแคนตาลูปแต่ละชิ้นที่สุ่มมาตรวจสอบ อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งทั้งสี่ชุดการทดลองมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์คงเหลือในผลิตภัณฑ์น้อยมากคือมีค่า 7.08 6.64 6.90 และ 4.15 ppm ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากกระบวนการผลิตมีการต้มไล่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อนเข้าสู่กระบวนการออสโมซิสและใช้เวลาอบแห้งนาน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์คงเหลืออยู่น้อย ซึ่งตามข้อกำหนดของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดให้มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งได้ไม่เกิน 1000 ppm (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532) ส่วนตามข้อกำหนดของ FDA ของประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดให้มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างได้ไม่เกิน 2000 ppm สำหรับผลไม้อบแห้ง และไม่เกิน 150 ppm สำหรับ glazed fruit อีกทั้งให้มีการแสดงปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์บนฉลากผลิตภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างเกิน 10 ppm เพื่อความปลอดภัยสำหรับผู้บริโภคที่เป็นโรคหอบหืด (Papazian, 2007; U.S.Food and Drug Administration, 2007)

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบแห้งในด้านต่าง ๆ พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการอบแห้งไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาค่าคงที่ k ที่ได้จากข้อ 4.3 พบว่าค่าคงที่ k มีค่าต่างกันน้อยมาก จึงอาจเป็นสาเหตุให้ความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองในระหว่างการอบแห้งมีน้อยมาก

จากนั้นมีการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองเพื่อให้ผู้ทดสอบอธิบายเปรียบเทียบลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายหลังการอบแห้ง (ปริมาณความชื้นต่ำกว่า 18% (โดยน้ำหนักเปียก) หรือประมาณ 21.95% (โดยน้ำหนักแห้ง)) โดยใช้แบบทดสอบแบบ quantitative descriptive analysis ทดสอบคุณภาพในด้านต่าง ๆ ดังนี้ สีของผลิตภัณฑ์ ความคงรูปของผลิตภัณฑ์ การมีผลึกน้ำตาลบนผิวหน้า ค่าความแข็ง ค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบแบบไม่ฝึกฝน จำนวน 30 คน จำนวน 2 ซ้ำ (แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังภาคผนวก ง.1) ได้ผลดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของแคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายละลายน้ำตาลที่แปรอัตราส่วนของน้ำตาลอินเวิร์ตที่ระดับต่าง ๆ

ลักษณะที่ทดสอบ	ชุดการทดลองที่			
	1	2	3	4
สีของผลิตภัณฑ์	$3.35^{A}\pm1.67$	$5.98^{B}\pm1.76$	$6.09^{B}\pm1.67$	$7.42^{C}\pm1.56$
ความคงรูปของผลิตภัณฑ์	$4.88^{A}\pm2.51$	$4.97^{A}\pm2.04$	$6.91^{B}\pm1.87$	$7.24^{B}\pm1.56$
การเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้า	$2.75^{A}\pm1.97$	$6.18^{B}\pm1.91$	$7.57^{C}\pm1.42$	$7.09^{C}\pm1.56$
ความแข็งของผลิตภัณฑ์ ^{ns}	4.77 ± 2.24	4.24 ± 2.12	4.02 ± 2.09	3.89 ± 1.84
ความเหนียวของผลิตภัณฑ์ ^{ns}	3.66 ± 2.03	3.96 ± 1.99	4.43 ± 2.15	4.39 ± 2.26
ความชอบโดยรวม	$4.72^{A}\pm2.00$	$5.38^{AB}\pm1.64$	$5.68^{B}\pm2.19$	$5.82^{B}\pm1.77$

A,B,C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

ns ข้อมูลในแถวแนวนอนเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

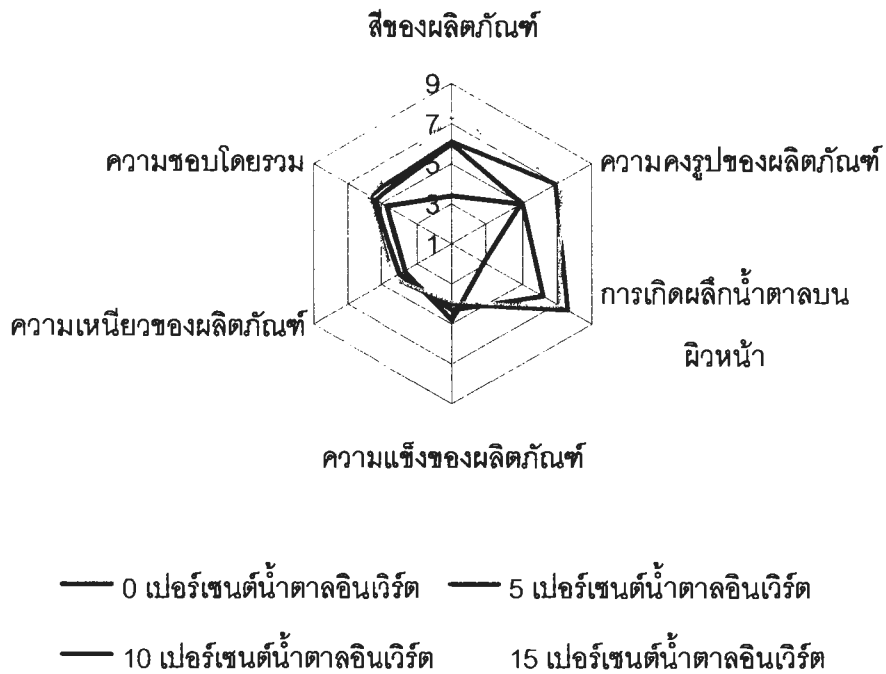
ชุดการทดลองที่ 1 แทนผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 0%

ชุดการทดลองที่ 2 แทนผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5%

ชุดการทดลองที่ 3 แทนผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10%

ชุดการทดลองที่ 4 แทนผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 15%

จากตารางที่ 4.11 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตได้รับคะแนนในด้านสีของผลิตภัณฑ์มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 15% ได้รับคะแนนด้านสีมากที่สุด และพบว่าเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตเพิ่มมากขึ้น ผู้ทดสอบให้คะแนนด้านสีเพิ่มมากขึ้น ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะความแปรปรวน ค.3) นั่นคือ ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตเพิ่มขึ้น ผลการทดสอบด้านความคงรูปของผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีความคงรูปมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต และเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มีคะแนนความคงรูปเพิ่มมากขึ้น ($p \leq 0.05$) ผลการทดสอบด้านการเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีการเกิดผลึกมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต และเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตเพิ่มมากขึ้น ผลิตภัณฑ์มีการเกิดผลึกน้ำตาลที่ผิวหน้าลดลง ($p \leq 0.05$) ส่วนผลการทดสอบทางด้านความแข็งและความเหนียวของผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองมีคะแนนด้านความแข็งและค่าความเหนียวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีคะแนนในด้านความแข็งมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต และผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีคะแนนในด้านความเหนียวมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต ซึ่งสอดคล้องกับผลการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งและค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบแห้ง ส่วนผลการทดสอบด้านความชอบโดยรวมพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีคะแนนด้านความชอบโดยรวมมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต และเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มีคะแนนด้านความชอบโดยรวมเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 15% มีคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด และเมื่อนำคะแนนการทดสอบทั้งหกด้านของผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองมาสร้างความสัมพันธ์แบบใยแมงมุม (รูปที่ 4.19) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10 และ 15% มีคุณลักษณะใกล้เคียงกันและแตกต่างจากคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5% และผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ของคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายละลายน้ำตาลที่แปรอัตราส่วนของน้ำตาลอินเวิร์ตที่ระดับต่าง ๆ

ซึ่งจากข้อมูลที่ได้จากการอบแห้งในข้อ 4.3 เมื่อนำมาพิจารณาควบคู่กับการติดตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ได้จากข้อ 4.4 เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่เหมาะสมในการเติมลงในผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีอัตราการอบแห้งเร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต และเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตเพิ่มมากขึ้น อัตราการอบแห้งมีแนวโน้มลดลง โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 15% มีอัตราการอบแห้งช้าที่สุด และเมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองในระหว่างการอบแห้ง พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการอบแห้งไม่ต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 15% จะมีคะแนนด้านความชอบโดยรวมมากที่สุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10 5 และ 0% ตามลำดับ แต่ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 15% จะมีลักษณะเยิ้มติดมือ ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการในผลิตภัณฑ์ อีกทั้งผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 15% ต้องใช้เวลาในการอบแห้งนานเนื่องจากมีอัตราการอบแห้งช้ากว่าชุดการทดลองอื่น ๆ (รูปที่ 4.5) ทำให้เป็นการ

สิ้นเปลืองเวลา พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง และต้นทุนในการผลิต ดังนั้นจึงเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 0 5 และ 10% ไปทำการทดลองเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาต่อไป

4.5 ศึกษาปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา

ในระหว่างการเก็บรักษาอาหาร ภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน และแสง จะกระตุ้นปฏิกิริยาทางเคมี ส่งผลให้อาหารเกิดการเสื่อมคุณภาพด้านสี กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาเพื่อให้ทราบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว งานวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 4.3 และข้อ 4.4 (3 ชนิด) โดยเก็บผลิตภัณฑ์ในถุง PP ขนาด 6x10 เซนติเมตร บรรจุในภาวะบรรยากาศปกติ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลซียส) สุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพทุก 3 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 24 สัปดาห์ ติดตามผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในด้านปริมาณความชื้น ค่า a_w ค่าเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง Texture analyzer ค่าสีในระบบ CIE L*a*b* การเกิดสีน้ำตาล ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ การทดสอบทางประสาทสัมผัส และสุ่มตัวอย่างทุก 4 สัปดาห์เพื่อตรวจสอบปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์และรา ตามรายละเอียดในข้อ 3.4

4.5.1 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์

ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ในช่วงการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.12) แสดงให้เห็นว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ทั้งสามชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.4) โดยผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5 และ 10% ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไปแล้ว 24 สัปดาห์ไม่พบความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ในแต่ละชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.5) แต่จะสังเกตได้ว่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ส่วนปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีค่าคงที่

ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 24 สัปดาห์ ทั้งนี้อาจเนื่องจากน้ำตาลอินเวิร์ตมีสมบัติในการดูดความชื้น (British sugar, 2005) จึงช่วยชะลอการสูญเสียความชื้นออกไปจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Brown (1969) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของขิงที่ผ่านการทำแห้งโดยการออสโมซิสพบว่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง 1-2% เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป 12 สัปดาห์ และสอดคล้องกับงานของอาพร ละออกอ (2547) ที่ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มะละกอที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5 และ 15% ไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 21 สัปดาห์ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.12 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในช่วงการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ	ปริมาณความชื้น (กรัมน้ำต่อ 100 กรัมของแข็ง)		
(สัปดาห์)	0% น้ำตาลอินเวิร์ต^{ns}	5% น้ำตาลอินเวิร์ต^{ns}	10% น้ำตาลอินเวิร์ต^{ns}
0	$17.15^{A}\pm0.06$	$17.29^{B}\pm0.02$	$20.19^{C}\pm0.10$
3	$17.12^{A}\pm0.07$	$17.32^{B}\pm0.04$	$20.18^{C}\pm0.05$
6	$17.09^{A}\pm0.07$	$17.34^{B}\pm0.02$	$20.20^{C}\pm0.06$
9	$17.10^{A}\pm0.07$	$17.32^{B}\pm0.04$	$20.20^{C}\pm0.04$
12	$17.08^{A}\pm0.09$	$17.33^{B}\pm0.02$	$20.21^{C}\pm0.07$
15	$17.06^{A}\pm0.06$	$17.32^{B}\pm0.03$	$20.21^{C}\pm0.04$
18	$17.01^{A}\pm0.03$	$17.34^{B}\pm0.04$	$20.23^{C}\pm0.06$
21	$17.03^{A}\pm0.05$	$17.34^{B}\pm0.05$	$20.25^{C}\pm0.04$
24	$16.98^{A}\pm0.03$	$17.35^{B}\pm0.03$	$20.25^{C}\pm0.03$

A,B,C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ข้อมูลในแถวแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ในช่วงการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ แสดงดังตารางที่ 4.13 ผลชี้ให้เห็นว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน ปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงในผลิตภัณฑ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.6) ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีค่า a_w ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต และเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงในผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งมีค่า a_w ลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนหลังจากการเก็บรักษาผ่านไปแล้ว 12 สัปดาห์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10% มีค่า a_w ต่ำที่สุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5% และผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลอินเวิร์ตมีสมบัติในการดูดจับน้ำ ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์จึงลดลง (British, 2005) และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ทั้งสามชุดการทดลองมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.7) การที่ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น อาจเป็นผลเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียความชื้นออกไปในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้เกิดการรวมตัวของผลึกน้ำตาลที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ แต่ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5 และ 10% ไม่มีผลึกน้ำตาลเกิดขึ้นที่ผิวหน้าผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 24 สัปดาห์ (รูปที่ 4.24 และรูปที่ 4.26-4.28) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลอินเวิร์ตมีสมบัติในการดูดความชื้น ทำให้จับกับน้ำได้ดี จึงช่วยชะลอการสูญเสียน้ำและการเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์ได้

ตารางที่ 4.13 ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในช่วงการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	a_w		
	0% น้ำตาลอินเวิร์ต	5% น้ำตาลอินเวิร์ต	10% น้ำตาลอินเวิร์ต
0	$0.714^{dB} \pm 0.005$	$0.645^{bA} \pm 0.002$	$0.6520^{cA} \pm 0.006$
3	$0.685^{cC} \pm 0.003$	$0.645^{bA} \pm 0.001$	$0.655^{cB} \pm 0.004$
6	$0.655^{aC} \pm 0.003$	$0.643^{bA} \pm 0.007$	$0.650^{cAB} \pm 0.005$
9^{ns}	$0.654^{a} \pm 0.010$	$0.640^{ab} \pm 0.020$	$0.639^{b} \pm 0.008$
12	$0.653^{aC} \pm 0.009$	$0.636^{aB} \pm 0.006$	$0.6230^{aA} \pm 0.003$
15	$0.651^{aC} \pm 0.005$	$0.636^{aB} \pm 0.002$	$0.625^{aA} \pm 0.004$
18	$0.671^{bB} \pm 0.007$	$0.636^{aA} \pm 0.001$	$0.629^{aA} \pm 0.001$
21	$0.657^{aC} \pm 0.001$	$0.635^{aB} \pm 0.024$	$0.628^{aA} \pm 0.003$
24	$0.661^{aC} \pm 0.006$	$0.636^{aB} \pm 0.001$	$0.626^{aA} \pm 0.001$

A,B,C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

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

ns ข้อมูลในแถวแนวนอนเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.5.2 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมักเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่สำคัญคือ การเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์ ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งผลึกน้ำตาลที่เกิดขึ้นย่อมส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในงานวิจัยจึงติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาโดยการวัดค่าความแข็ง (hardness) ค่าความเหนียว (adhesiveness) และค่างานที่ใช้ในการตัด (cutting work) โดยค่าลักษณะเนื้อสัมผัสทั้งสามค่านี้มีความสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยค่าความแข็งจะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงแรงที่ใช้ในการกัดผลิตภัณฑ์ให้ขาดออกจากกัน ส่วนค่าความเหนียวเป็นค่าที่บ่งบอกถึงค่าความเหนียวติดฟันหรือการเกาะติดฟัน และค่างานที่ใช้ในการตัดคือค่าที่บอกถึงงานที่ใช้ในการเคี้ยวผลิตภัณฑ์ โดยผลการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็ง ค่าความเหนียว และค่างานที่ใช้ในการตัดของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษาแสดงดังตารางที่ 4.14 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.14 ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในช่วงการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าความแข็ง (hardness, gf)		
	0% น้ำตาลอินเวิร์ต	5% น้ำตาลอินเวิร์ต	10% น้ำตาลอินเวิร์ต
0^{ns}	$930.87^{a}\pm29.86$	$945.53^{a}\pm15.92$	$985.80^{a}\pm37.87$
3^{ns}	$1008.64^{b}\pm20.52$	$970.20^{ab}\pm26.38$	$1028.42^{b}\pm13.84$
6	$1158.46^{bB}\pm19.23$	$1001.59^{bcA}\pm38.78$	$1066.68^{bcA}\pm53.67$
9	$1152.73^{bB}\pm24.37$	$1033.97^{cdeA}\pm12.03$	$1087.58^{cdA}\pm14.96$
12	$1170.77^{bB}\pm42.07$	$1008.22^{bcdA}\pm29.10$	$1066.90^{bcA}\pm15.05$
15	$1268.01^{cB}\pm54.43$	$1020.97^{bcdA}\pm25.17$	$1093.26^{cdA}\pm10.68$
18	$1284.66^{cB}\pm23.75$	$1064.68^{defA}\pm17.26$	$1103.38^{cdA}\pm19.95$
21	$1332.30^{cB}\pm22.44$	$1088.88^{efA}\pm14.09$	$1116.09^{dA}\pm17.71$
24	$1346.41^{cB}\pm30.30$	$1104.10^{fA}\pm21.81$	$1124.49^{dA}\pm11.86$

A,B,C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

a,b,c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

ns ข้อมูลในแถวแนวนอนเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.15 ค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในช่วงการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าความเหนียว (adhesiveness, gf.mm)		
	0% น้ำตาลอินเวิร์ต	5% น้ำตาลอินเวิร์ต^{ns}	10% น้ำตาลอินเวิร์ต^{ns}
0^{ns}	863.47^{c}±12.76	859.25±17.48	861.51±21.44
3	752.36^{bA}±43.49	874.43^{B}±14.88	838.26^{B}±18.04
6	698.74^{bA}±7.36	865.76^{B}±14.88	868.45^{B}±10.47
9	642.33^{aA}±22.06	864.31^{B}±11.70	859.45^{B}±20.66
12	637.92^{aA}±21.46	871.68^{B}±27.48	873.94^{B}±8.09
15	633.14^{aA}±11.07	892.88^{B}±14.87	869.78^{B}±19.14
18	609.46^{aA}±18.53	838.92^{B}±13.34	835.37^{B}±14.86
21	607.94^{aA}±14.99	846.96^{B}±15.51	842.39^{B}±11.84
24	601.60^{aA}±30.59	847.16^{B}±10.20	840.88^{B}±8.32

A,B,C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

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

ns ข้อมูลในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.16 ค่างานที่ใช้ในการตัดของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในช่วงการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ^{ns} (สัปดาห์)	ค่างานที่ใช้ในการตัด (cutting work, gf.mm)		
	0% น้ำตาลอินเวิร์ต^{ns}	5% น้ำตาลอินเวิร์ต^{ns}	10% น้ำตาลอินเวิร์ต^{ns}
0	4180.86±66.69	4237.23±64.45	4239.13±32.95
3	4251.82±179.39	4205.08±33.74	4243.16±17.90
6	4365.50±125.36	4297.46±128.51	4273.08±166.59
9	4379.44±178.94	4361.24±165.24	4305.52±166.59
12	4458.14±6.97	4306.87±58.09	4273.88±109.37
15	4487.66±46.38	4407.64±125.13	4310.73±111.66
18	4525.11±41.97	4426.65±38.53	4426.37±44.80
21	4431.83±85.50	4422.38±69.38	4403.42±49.81
24	4444.43±57.11	4411.10±35.60	4418.57±78.45

ns ข้อมูลในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

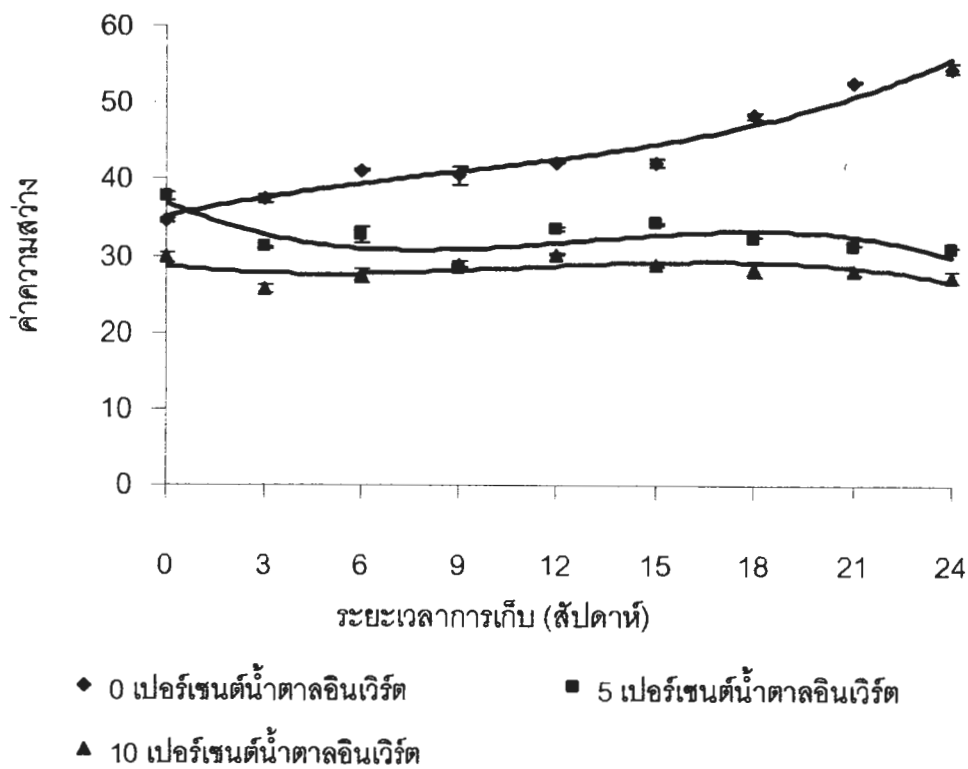
ผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งทั้งสามชุดการทดลองที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน พบว่าในช่วง 3 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ทั้งสามชุดการทดลองมีค่าความแข็งไม่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.8) แต่หลังจากนั้นพบว่าปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงในผลิตภัณฑ์มีผลต่อค่าความแข็งและค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่างานที่ใช้ในการตัด ($p > 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีค่าความแข็งมากที่สุดและมีค่าความเหนียวน้อยที่สุด และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ทั้งสามชุดการทดลองมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.9-ค.11) ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียน้ำออกไปและมีค่า a_w ลดลง แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตจะมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตทั้งสองชุดการทดลองอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากการมีผลึกน้ำตาลเกิดที่ผิวหน้าผลิตภัณฑ์ ส่วนค่าความเหนียวและค่างานที่ใช้ในการตัดไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ($p > 0.05$) ยกเว้นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่ค่าความเหนียวมีค่าลดลง ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณผลึกน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความเปราะมากขึ้น ค่าความเหนียวจึงลดลง ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าเติมน้ำตาลอินเวิร์ตลงในผลิตภัณฑ์สามารถรักษาคุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านความเหนียวได้ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5 และ 10% มีค่าไม่แตกต่างกัน

ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของอาพร ละออกอ (2547) ที่ศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของมะละกอแช่อิ่มอบแห้ง โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 21 สัปดาห์ พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน ผลิตภัณฑ์มะละกอที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีค่าความแข็งมากที่สุด และเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงในผลิตภัณฑ์มากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตจะมีค่าความเหนียวมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีค่าความแข็งและค่างานที่ใช้ในการตัดเพิ่มมากขึ้น ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าความเหนียวมีค่าเพิ่มมากขึ้นเฉพาะในผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับรายงานของศุภลักษณ์ ขจรศักดิ์เมธี (2548) ที่ศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของฝรั่งแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำผึ้งเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมน้ำผึ้ง พบว่าเมื่อเติมน้ำผึ้งลงในผลิตภัณฑ์จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งลดลง ค่าความเหนียวมีค่าเพิ่มขึ้น และค่างานที่

ใช้ในการตัดมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากน้ำผึ้งมีน้ำตาลฟรุกโตสเป็นองค์ประกอบ จึงเป็นการปรับสัดส่วนของน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายออสโมติก ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมน้ำผึ้ง

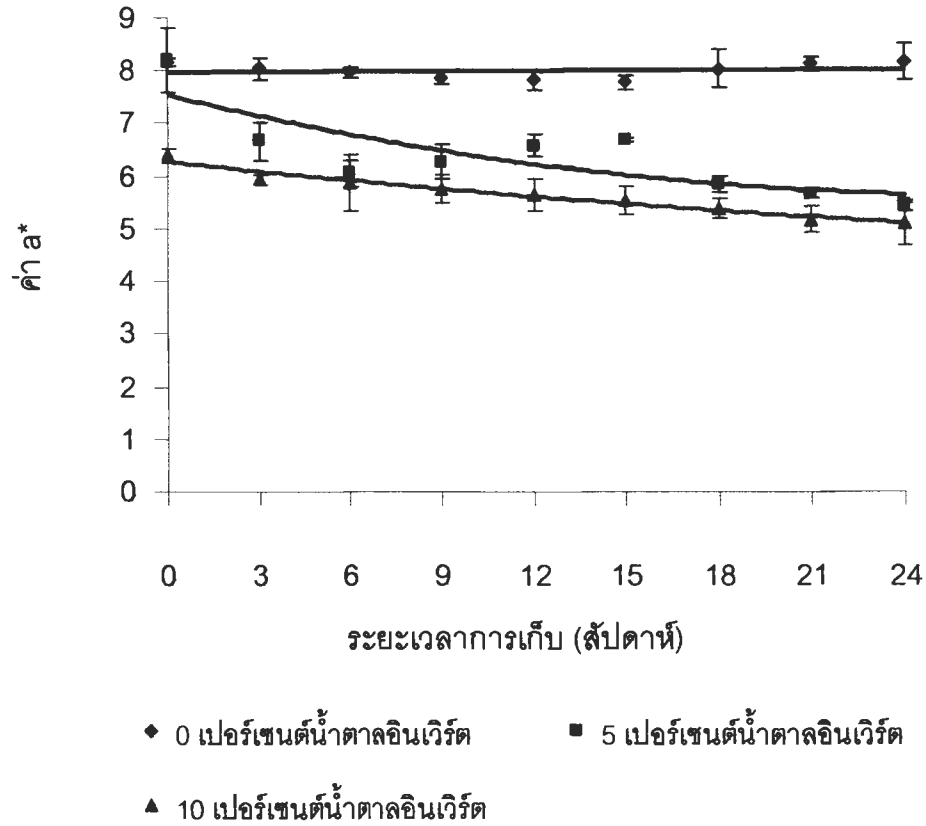
4.5.3 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาค่าสีในระบบ CIE L*a*b* ของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ (ตารางที่ ข.18) พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L*) ของผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.20) ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีผลึกน้ำตาลเกิดขึ้นที่ผิวหน้าเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ส่งผลค่าความสว่างที่วัดได้มีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีแนวโน้มคงที่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น

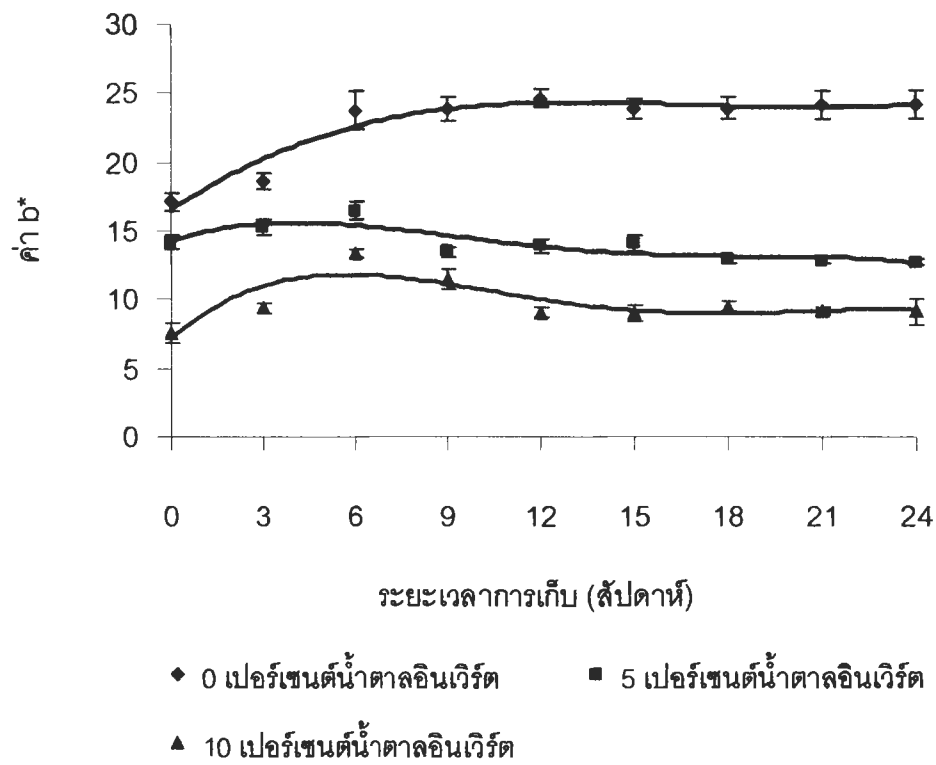


รูปที่ 4.20 ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในช่วงการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ส่วนค่าสีแดงและสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ทั้งสามชุดการทดลองเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น พบว่าค่าสีแดงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย (รูปที่4.21) และค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่4.22) ในขณะที่ค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตทั้งสองชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 9 จากนั้น



รูปที่ 4.21 ค่า a* ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในช่วงการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



รูปที่ 4.22 ค่า b* ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในช่วงการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ค่าสีเหลืองมีค่าลดลงเล็กน้อย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาอาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด

เมื่อนำค่าจากการวัดสีในระบบ CIE L*a*b* (ตารางที่ ข.18) มาคำนวณค่า ΔE^*_{ab} ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกความแตกต่างของค่าสีเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับค่าสีในช่วงเริ่มต้นของการเก็บรักษา (0 สัปดาห์) โดยถ้าค่า ΔE^*_{ab} มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Hunt, 1998) โดยผลการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งแสดงดังตารางที่ 4.17 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จะเห็นความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงค่าสีมากขึ้น แต่ค่า ΔE^*_{ab} ของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตจะมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยกว่า โดยผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการน้ำตาลอินเวิร์ตจะมีการเปลี่ยนแปลงของค่า ΔE^*_{ab} มากที่สุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5 และ 10% ตามลำดับ การที่ผลิตภัณฑ์ทั้งสามชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงของค่า ΔE^*_{ab} ในระหว่างการเก็บรักษาอาจเนื่องมาจากการเกิดผลึกน้ำตาลที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ในผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต การเกิดสีน้ำตาลและการมีน้ำเชื่อมที่บริเวณผิวนอกของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต (รูปที่ 4.27 และ 4.28)

ตารางที่ 4.17 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในช่วงการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE^*_{ab})		
	0% น้ำตาลอินเวิร์ต	5% น้ำตาลอินเวิร์ต	10% น้ำตาลอินเวิร์ต
0	-	-	-
3	3.16	6.92	4.52
6	9.35	5.90	6.30
9	8.93	9.64	4.13
12	10.69	4.47	1.70
15	9.78	3.73	1.93
18	15.27	6.21	2.67
21	19.36	7.19	2.76
24	21.07	7.56	3.27

ค่า ΔE^*_{ab} ของผลิตภัณฑ์ในแต่ละสดมภ์เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าสีหลังการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่าง ๆ เทียบกับค่าสีในช่วงเริ่มต้นของการเก็บรักษา

4.5.4 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงของการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์

ในระหว่างการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมักเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่สำคัญคือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด เนื่องจากผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมีค่า a_w ในช่วง 0.65-0.75 ซึ่งเป็นช่วงที่ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดได้ดี ผลของปฏิกิริยาทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มหรือคล้ำขึ้น ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นในงานวิจัยจึงติดตามการเปลี่ยนแปลงการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์โดยการสกัดตัวอย่างผลิตภัณฑ์ด้วยกรดอะซิติกความเข้มข้น 2% (v/v) จากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm (ดัดแปลงจากวิธีของ Baloch และคณะ,1973) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.7 โดยผลการวัดค่าการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 24 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่าการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในช่วงการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 nm		
(สัปดาห์)	0% น้ำตาลอินเวิร์ต	5% น้ำตาลอินเวิร์ต	10% น้ำตาลอินเวิร์ต
0	$0.011^{aA}\pm0.001$	$0.013^{aB}\pm0.000$	$0.014^{aC}\pm0.000$
3	$0.028^{bA}\pm0.007$	$0.046^{bB}\pm0.002$	$0.043^{bB}\pm0.002$
6	$0.041^{cA}\pm0.008$	$0.052^{cB}\pm0.009$	$0.047^{cAB}\pm0.002$
9	$0.045^{cdA}\pm0.001$	$0.058^{cdB}\pm0.001$	$0.061^{dC}\pm0.004$
12	$0.050^{deA}\pm0.001$	$0.057^{cdeB}\pm0.002$	$0.064^{dC}\pm0.004$
15	$0.055^{efA}\pm0.005$	$0.059^{deA}\pm0.001$	$0.069^{eB}\pm0.000$
18	$0.056^{efA}\pm0.001$	$0.062^{defB}\pm0.002$	$0.071^{eC}\pm0.001$
21	$0.057^{efA}\pm0.002$	$0.063^{efB}\pm0.001$	$0.071^{eC}\pm0.001$
24	$0.058^{fA}\pm0.001$	$0.065^{fB}\pm0.001$	$0.072^{eC}\pm0.001$

A,B,C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

a,b,c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกันปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงในผลิตภัณฑ์มีผลต่อค่าการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.12) โดยเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงในผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น

ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ทั้งสามชุดการทดลองมีค่าการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.13) ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ดเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น (Sapers, 1993) และสอดคล้องกับค่า ΔE^*_{ab}ของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าค่าการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ทั้งสามชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นมากในช่วงต้นของการเก็บรักษา (12 สัปดาห์แรก) หลังจากนั้นก็จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Silveira และคณะ (1996) ที่ศึกษาการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน ที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น โดยที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 25 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์มีค่าการการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นคือ 0.008 เป็น 0.014 ภายหลังการเก็บรักษาผ่าน 4 เดือน และเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์ก็มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นด้วย โดยผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดกลืนแสงเป็น 0.046 ภายหลังการเก็บรักษา 4 เดือน

4.5.5 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากน้ำตาลรีดิวซ์เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด (Fennema, 1996) นอกจากนี้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อีกด้วย จึงจำเป็นต้องติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.19

ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้ง พบว่าที่ระยะเวลาเดียวกัน เมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงในผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น มีผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.14) และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10% มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.15) ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตและผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5% ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าลดลงเช่นกันแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

ตารางที่ 4.19 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในช่วงการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (%)		
	0% น้ำตาลอินเวิร์ต^{ns}	5% น้ำตาลอินเวิร์ต^{ns}	10% น้ำตาลอินเวิร์ต
0	$47.89^{A}\pm2.80$	$64.94^{B}\pm5.60$	$83.69^{dC}\pm1.80$
3	$47.52^{A}\pm0.59$	$63.89^{B}\pm4.65$	$81.27^{bcdC}\pm0.68$
6	$47.08^{A}\pm1.06$	$61.47^{B}\pm1.68$	$82.44^{cdC}\pm0.12$
9	$46.95^{A}\pm4.81$	$60.92^{B}\pm2.44$	$79.83^{abcC}\pm1.64$
12	$46.18^{A}\pm3.45$	$60.09^{B}\pm2.07$	$78.69^{abC}\pm3.50$
15	$45.52^{A}\pm2.87$	$59.93^{B}\pm0.41$	$78.03^{aC}\pm0.93$
18	$45.79^{A}\pm1.82$	$59.88^{B}\pm0.56$	$77.97^{aC}\pm0.98$
21	$45.22^{A}\pm1.24$	$59.87^{B}\pm0.50$	$77.69^{aC}\pm1.02$
24	$44.11^{A}\pm1.33$	$59.71^{B}\pm0.98$	$77.48^{aC}\pm0.79$

A,B,C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

a,b,c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

ns ข้อมูลในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

นัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.19) การที่ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10% มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงมากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$) เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10% ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์มากกกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5 และ 0% จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ดได้มากกว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จึงมีค่าลดลงมาก ซึ่งสอดคล้องกับค่าการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10% มีค่าการเกิดสีน้ำตาลมากที่สุด ผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Silveira และคณะ (1996) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป 4 เดือน ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงจากเริ่มต้นของการเก็บรักษาคือ 35.48% เป็น 34.58% ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลรีดิวซ์ถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งสอดคล้องกับค่าการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

4.5.6 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์และราในผลิตภัณฑ์

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมีค่า a_w ต่ำ การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์จึงเกิดจากเชื้อราและยีสต์เป็นสำคัญ ซึ่งผลการตรวจหาปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์และรา พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสามชุดการทดลอง มีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดน้อยกว่า 300 CFU/g และไม่พบปริมาณยีสต์และรา ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์ทั้งสามชุดการทดลองมีค่า a_w ต่ำ (0.62-0.68) เชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคจึงไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งตามข้อกำหนดของมาตรฐานอุตสาหกรรมผลไม้แห้ง กำหนดให้มีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดได้ไม่เกิน 10,000 CFU/g และปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 100 CFU/g (มาตรฐานอุตสาหกรรมผลไม้แห้ง, 2532)

4.5.7 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงของการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ในช่วงการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาจมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและเคมีจำเป็นต้องมีการทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อประเมินการยอมรับของผู้บริโภค สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสในช่วงการเก็บรักษานี้ จะให้ผู้ทดสอบพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ในด้านสี การเกิดสีน้ำตาล ความคงรูปของผลิตภัณฑ์ การเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์ และการยอมรับโดยรวมด้านลักษณะปรากฏ โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน โดยทดสอบการยอมรับแบบ acceptance test (9 คะแนน หมายถึงยอมรับมากที่สุด และ 1 คะแนน หมายถึงไม่ยอมรับมากที่สุด) ให้ผู้ทดสอบประเมินการยอมรับ จำนวน 30 คน ทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี แสดงดังตารางที่ 4.20 พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านสีมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.16) โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10% ได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุด และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ทั้งสามชุดการทดลองมีคะแนนการยอมรับในด้านสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.17-ค.19) โดยผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีคะแนนการยอมรับด้านสีลดลงมากที่สุด และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 6 สัปดาห์ ผู้ทดสอบเริ่มไม่ให้การยอมรับในด้านสีของผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตทั้งสองชุดการทดลอง ผู้ทดสอบยังให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาในการ

เก็บรักษา 24 สัปดาห์ โดยผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10% มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5%

ตารางที่ 4.20 คะแนนประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งทางด้านการยอมรับด้านสีตลอดระยะเวลาการเก็บ 24 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ	คะแนนการยอมรับด้านสี		
(สัปดาห์)	0% น้ำตาลอินเวิร์ต	5% น้ำตาลอินเวิร์ต	10% น้ำตาลอินเวิร์ต
0	$6.92^{fA}\pm0.94$	$7.18^{eB}\pm0.68$	$7.48^{eC}\pm0.71$
3	$6.22^{eA}\pm1.25$	$6.72^{bcB}\pm0.83$	$7.42^{deC}\pm1.22$
6	$4.42^{dA}\pm1.12$	$6.33^{aB}\pm0.92$	$7.23^{cdC}\pm0.94$
9	$4.35^{dA}\pm1.07$	$6.63^{bB}\pm0.72$	$7.08^{bcC}\pm0.85$
12	$4.30^{cdA}\pm1.24$	$7.05^{deB}\pm1.08$	$7.07^{bcC}\pm0.83$
15	$4.10^{bcA}\pm1.32$	$6.90^{cdB}\pm0.96$	$6.83^{aB}\pm0.83$
18	$4.05^{bcA}\pm1.18$	$6.65^{bB}\pm1.24$	$7.10^{cC}\pm0.84$
21	$3.83^{abA}\pm0.91$	$6.50^{abB}\pm0.91$	$6.87^{abC}\pm0.82$
24	$3.67^{aA}\pm0.71$	$6.33^{aB}\pm0.71$	$6.77^{aC}\pm0.77$

A,B,C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

a,b,c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับการเกิดสีน้ำตาล แสดงดังตารางที่ 4.21 พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านการเกิดสีน้ำตาลมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.16) และสังเกตได้ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์เป็นต้นไป ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตได้รับคะแนนการยอมรับด้านการเกิดสีน้ำตาลลดลงมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตทั้งสองชุดการทดลอง ทั้งที่ความเป็นจริงแล้วผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตทั้งสองชุดการทดลองมีค่าการเกิดสีน้ำตาลมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตดังเห็นได้จากตารางที่ 4.18 ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งมีสีส้ม ผู้ทดสอบจึงไม่สามารถเห็นการเกิดสีน้ำตาลได้อย่างชัดเจน จึงทำให้ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ได้ไม่สอดคล้องกับค่าการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์

ทั้งสามชุดการทดลองมีคะแนนการยอมรับในด้านการเกิดสีน้ำตาลลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.17-ค.19) โดยผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตได้รับคะแนนการยอมรับลดลงมากที่สุด และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 18 สัปดาห์ ผู้ทดสอบเริ่มไม่ให้การยอมรับในด้านการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต ในขณะที่ผู้ทดสอบยังให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตทั้งสองชุดการทดลองตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 24 สัปดาห์ โดยผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10% มากที่สุด

ตารางที่ 4.21 คะแนนประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งทางด้านการยอมรับการเกิดสีน้ำตาลตลอดระยะเวลาการเก็บ 24 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	คะแนนการยอมรับด้านการเกิดสีน้ำตาล		
	0% น้ำตาลอินเวิร์ต	5% น้ำตาลอินเวิร์ต	10% น้ำตาลอินเวิร์ต
0	$7.57^{fA} \pm 0.94$	$8.07^{dB} \pm 0.83$	$7.70^{eA} \pm 0.79$
3	$7.43^{fA} \pm 1.25$	$7.90^{dC} \pm 1.12$	$7.63^{eB} \pm 0.81$
6	$6.70^{eA} \pm 1.18$	$7.20^{cB} \pm 1.13$	$7.23^{dB} \pm 1.07$
9	$6.50^{eA} \pm 1.12$	$7.32^{cB} \pm 0.76$	$7.21^{dB} \pm 0.49$
12	$5.25^{dA} \pm 1.28$	$6.00^{bB} \pm 1.17$	$6.49^{cC} \pm 1.11$
15	$5.13^{cdA} \pm 1.14$	$6.03^{bB} \pm 1.04$	$6.33^{bcC} \pm 0.89$
18	$4.97^{bcA} \pm 1.16$	$5.70^{aB} \pm 1.02$	$6.13^{abC} \pm 0.78$
21	$4.83^{abA} \pm 1.02$	$5.53^{aB} \pm 0.97$	$6.07^{abC} \pm 0.74$
24	$4.67^{aA} \pm 0.80$	$5.47^{aB} \pm 0.97$	$5.93^{aC} \pm 0.74$

A,B,C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

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

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับความคงรูปของผลิตภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.22 พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีคะแนนการยอมรับด้านความคงรูปของผลิตภัณฑ์มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.16) และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ทั้งสามชุดการทดลองมีคะแนนการยอมรับด้านความคงรูปของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.17-

ค.19) โดยผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีคะแนนการยอมรับลดลงมากที่สุด และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 6 สัปดาห์ ผู้ทดสอบเริ่มไม่ให้การยอมรับด้านความคงรูปของผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตเช่นเดียวกับการไม่ยอมรับในด้านสี ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตทั้งสองชุดการทดลอง ผู้ทดสอบยังให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 24 สัปดาห์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10% มีคะแนนการยอมรับด้านความคงรูปของผลิตภัณฑ์ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5% อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.22)

ตารางที่ 4.22 คะแนนประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งทางด้านการยอมรับความคงรูปของผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาการเก็บ 24สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	คะแนนการยอมรับด้านความคงรูปของผลิตภัณฑ์		
	0% น้ำตาลอินเวิร์ต	5% น้ำตาลอินเวิร์ต	10% น้ำตาลอินเวิร์ต
0	$5.67^{dA} \pm 1.23$	$7.50^{fC} \pm 0.86$	$7.23^{cdB} \pm 0.77$
3	$5.32^{cA} \pm 1.22$	$7.17^{eC} \pm 1.34$	$6.90^{abB} \pm 1.09$
6	$3.77^{aA} \pm 1.22$	$6.73^{dB} \pm 0.78$	$7.38^{dC} \pm 0.98$
9	$3.74^{aA} \pm 1.16$	$7.29^{efC} \pm 0.90$	$7.02^{bcB} \pm 0.80$
12	$4.13^{bA} \pm 1.31$	$6.29^{cB} \pm 1.42$	$7.44^{dC} \pm 0.88$
15	$4.18^{bA} \pm 1.15$	$6.30^{cB} \pm 1.37$	$7.37^{dC} \pm 0.74$
18	$4.15^{bA} \pm 0.98$	$6.00^{bB} \pm 1.11$	$7.08^{bcC} \pm 0.74$
21	$4.00^{abA} \pm 0.83$	$5.80^{abB} \pm 0.92$	$6.88^{abC} \pm 0.69$
24	$3.97^{abA} \pm 0.76$	$5.60^{aB} \pm 0.89$	$6.73^{aC} \pm 0.58$

A,B,C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

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

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับการเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.23) พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีคะแนนการยอมรับด้านการเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.16) และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ทั้งสามชุดการทดลองมีคะแนนการยอมรับด้านการเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ค.17-ค.19) โดยผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีคะแนนการยอมรับลดลงมากที่สุด โดยเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไปเพียง 3 สัปดาห์ ผู้ทดสอบก็ไม่ให้การยอมรับในด้านการเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตแล้ว ในขณะที่ผู้ทดสอบยังให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตทั้งสองชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 24 สัปดาห์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10% มีคะแนนการยอมรับดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5%

ตารางที่ 4.23 คะแนนประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งทางด้านการยอมรับการเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาการเก็บ 24 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	คะแนนการยอมรับด้านการเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์		
	0% น้ำตาลอินเวิร์ต	5% น้ำตาลอินเวิร์ต	10% น้ำตาลอินเวิร์ต
0	$7.20^{fA} \pm 0.68$	$7.80^{dB} \pm 0.76$	$7.90^{eB} \pm 0.61$
3	$6.10^{eA} \pm 0.88$	$7.43^{cB} \pm 1.04$	$7.43^{dB} \pm 0.86$
6	$3.30^{dA} \pm 1.42$	$7.43^{cB} \pm 0.82$	$7.43^{dB} \pm 0.90$
9	$3.13^{cdA} \pm 1.82$	$7.29^{cB} \pm 0.76$	$7.11^{bcB} \pm 0.88$
12	$2.82^{bA} \pm 1.69$	$6.84^{bB} \pm 0.94$	$7.18^{cC} \pm 0.79$
15	$2.85^{bcA} \pm 1.46$	$6.85^{bB} \pm 0.72$	$7.14^{bcC} \pm 0.77$
18	$2.65^{abA} \pm 1.00$	$6.52^{aB} \pm 0.62$	$6.98^{bC} \pm 0.58$
21	$2.47^{aA} \pm 0.63$	$6.40^{aB} \pm 0.62$	$6.62^{abC} \pm 0.52$
24	$2.48^{aA} \pm 0.50$	$6.33^{aB} \pm 0.66$	$6.57^{aC} \pm 0.50$

A,B,C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
a,b,c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับโดยรวมด้านลักษณะปรากฏ แสดงดังตารางที่ 4.24 พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีคะแนนการยอมรับด้านการยอมรับโดยรวมด้านลักษณะปรากฏมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราห์ความแปรปรวน ค.16) และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ทั้งสามชุดการทดลองมีคะแนนการยอมรับด้านการยอมรับโดยรวมด้านลักษณะปรากฏลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางวิเคราะห์ความแปรปปรวน ค.17-ค.19) โดยผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีคะแนนการยอมรับลดลงมากที่สุด และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 6 สัปดาห์ ผู้ทดสอบเริ่มไม่ให้

การยอมรับด้านความชอบโดยรวมด้านลักษณะปรากฏในผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตทั้งสองชุดการทดลอง ผู้ทดสอบยังให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 24 สัปดาห์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10% มีคะแนนการยอมรับโดยรวมดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5%

ตารางที่ 4.24 คะแนนประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งทางด้านการยอมรับโดยรวมด้านลักษณะปรากฏตลอดระยะเวลาการเก็บ 24 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	คะแนนการยอมรับโดยรวมด้านลักษณะปรากฏ		
	0% น้ำตาลอินเวิร์ต	5% น้ำตาลอินเวิร์ต	10% น้ำตาลอินเวิร์ต
0	$7.48^{eA}\pm0.58$	$7.67^{eB}\pm0.56$	$7.57^{deAB}\pm0.49$
3	$6.05^{dA}\pm0.91$	$7.43^{dB}\pm0.91$	$7.35^{cB}\pm0.92$
6	$4.53^{bcA}\pm0.94$	$7.03^{cdB}\pm0.56$	$7.59^{eC}\pm0.73$
9	$4.54^{bcA}\pm1.24$	$6.97^{cB}\pm0.87$	$7.55^{deC}\pm0.50$
12	$4.63^{cA}\pm1.14$	$6.61^{bB}\pm0.86$	$7.47^{cdeC}\pm0.51$
15	$4.53^{bcA}\pm0.82$	$6.50^{bB}\pm0.86$	$7.40^{cdC}\pm0.72$
18	$4.33^{bA}\pm0.72$	$6.20^{aB}\pm0.89$	$7.13^{bC}\pm0.68$
21	$4.10^{aA}\pm0.84$	$6.17^{aB}\pm0.70$	$7.05^{bC}\pm0.67$
24	$4.02^{aA}\pm0.79$	$6.13^{aB}\pm0.73$	$6.86^{aC}\pm0.63$

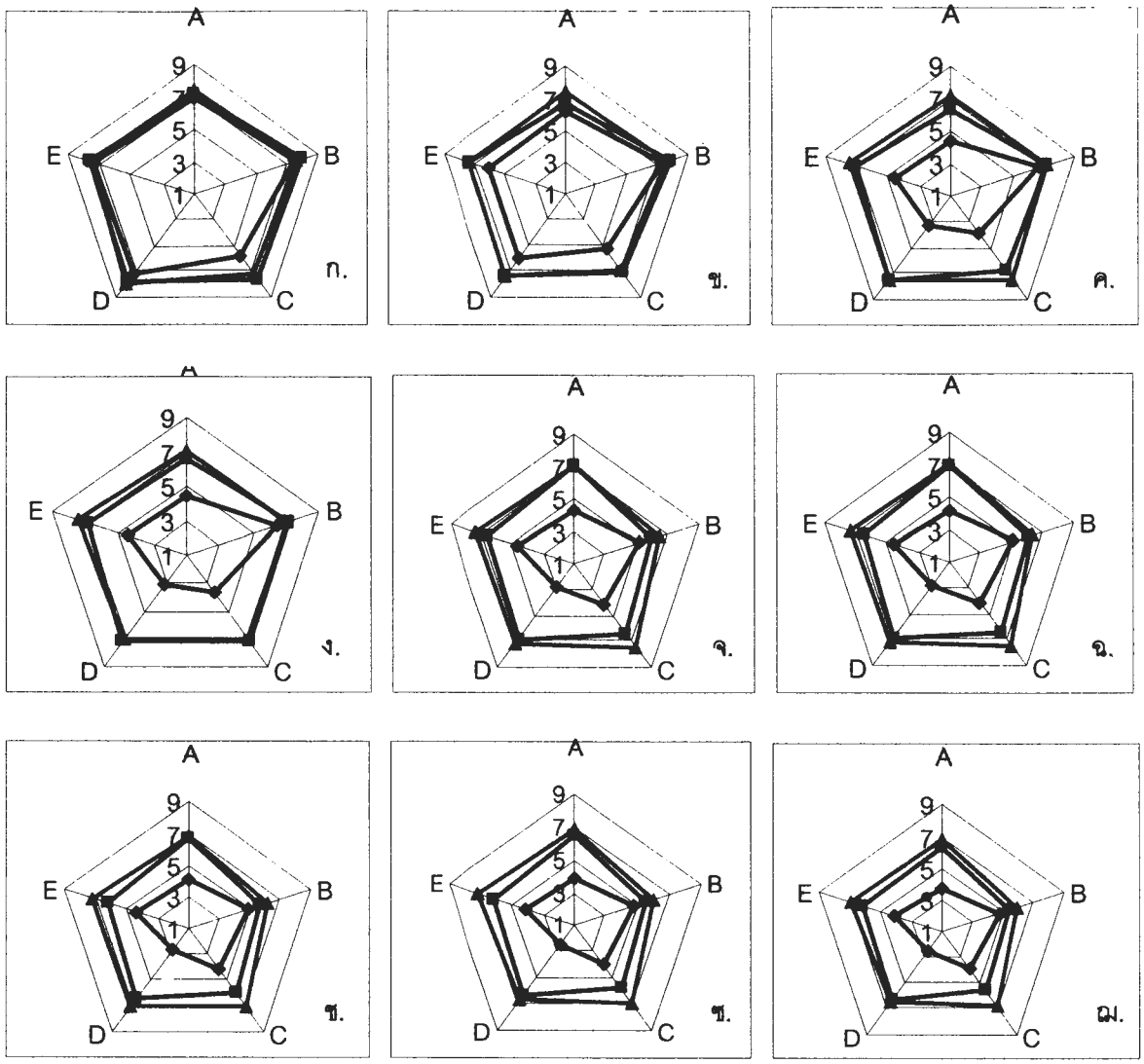
A,B,C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

a,b,c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

เมื่อนำผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสทั้งห้าด้านในแต่ละช่วงเวลาของการเก็บรักษามาสร้างความสัมพันธ์แบบใยแมงมุม (รูปที่ 4.23) พบว่าในช่วงเริ่มต้นของการเก็บรักษา (0 สัปดาห์) ผลิตภัณฑ์ทั้งสามชุดการทดลองมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตเริ่มมีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตทั้งสองชุดการทดลองและเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไปแล้ว 3 สัปดาห์ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตทั้งสองชุดการทดลองมีคะแนนยอมรับทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 24 สัปดาห์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10% มีคะแนนการยอมรับมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5%

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 24 สัปดาห์ แสดงให้เห็นว่าการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตลงในผลิตภัณฑ์ในช่วงการออสโมซิส ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต และยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา นั่นแสดงว่าการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตลงในผลิตภัณฑ์สามารถยืดระยะเวลาการยอมรับของผู้บริโภคได้ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10% จะมีคะแนนการยอมรับในทุก ๆ ด้านมากที่สุดเมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์

เมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งทั้งสามชุดการทดลอง พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตทั้งสองชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ (ปริมาณความชื้น ค่า a_w ค่าสี และเนื้อสัมผัส) น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต แต่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี (ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และค่าการเกิดสีน้ำตาล) มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต และคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ และเมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายจากเครื่อง Image analyzer และจากเครื่อง Cryo - SEM พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตทั้งสองชุดการทดลองไม่มีผลึกน้ำตาลเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แม้จะผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลานาน 24 สัปดาห์ (รูปที่ 4.24 4.28 และ 4.30) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีผลึกน้ำตาลเกิดขึ้นที่ผิวหน้าตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นของการเก็บรักษา (0 สัปดาห์) (รูปที่ 4.25 และ 4.29) และผลึกน้ำตาลมีปริมาณมากขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ (รูปที่ 4.27 4.28 และ 4.30) จากภาพต่าง ๆ ข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตลงในผลิตภัณฑ์สามารถชะลอการเกิดผลึกน้ำตาลบนผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ในการเก็บรักษาได้ ดังนั้นการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตในช่วง 5-10% (v/v) ของสารละลายออสโมติกทั้งหมดในช่วงการออสโมซิสสามารถปรับปรุงคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งได้ และสามารถชะลอการเกิดผลึกน้ำตาลที่บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาได้



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ของคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ช่วงการเก็บรักษาต่าง ๆ

(A: การยอมรับด้านสี B: การยอมรับด้านการเกิดสีน้ำตาล C: การยอมรับด้านความคงรูปของผลิตภัณฑ์ D: การยอมรับด้านการเกิดผลึกน้ำตาล E: การยอมรับโดยรวมด้านลักษณะปรากฏ)

ก. : ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บ 0 สัปดาห์

ข. : ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บ 3 สัปดาห์

ค. : ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บ 6 สัปดาห์

ง. : ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บ 9 สัปดาห์

จ. : ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บ 12 สัปดาห์

ฉ. : ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บ 15 สัปดาห์

ช. : ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บ 18 สัปดาห์

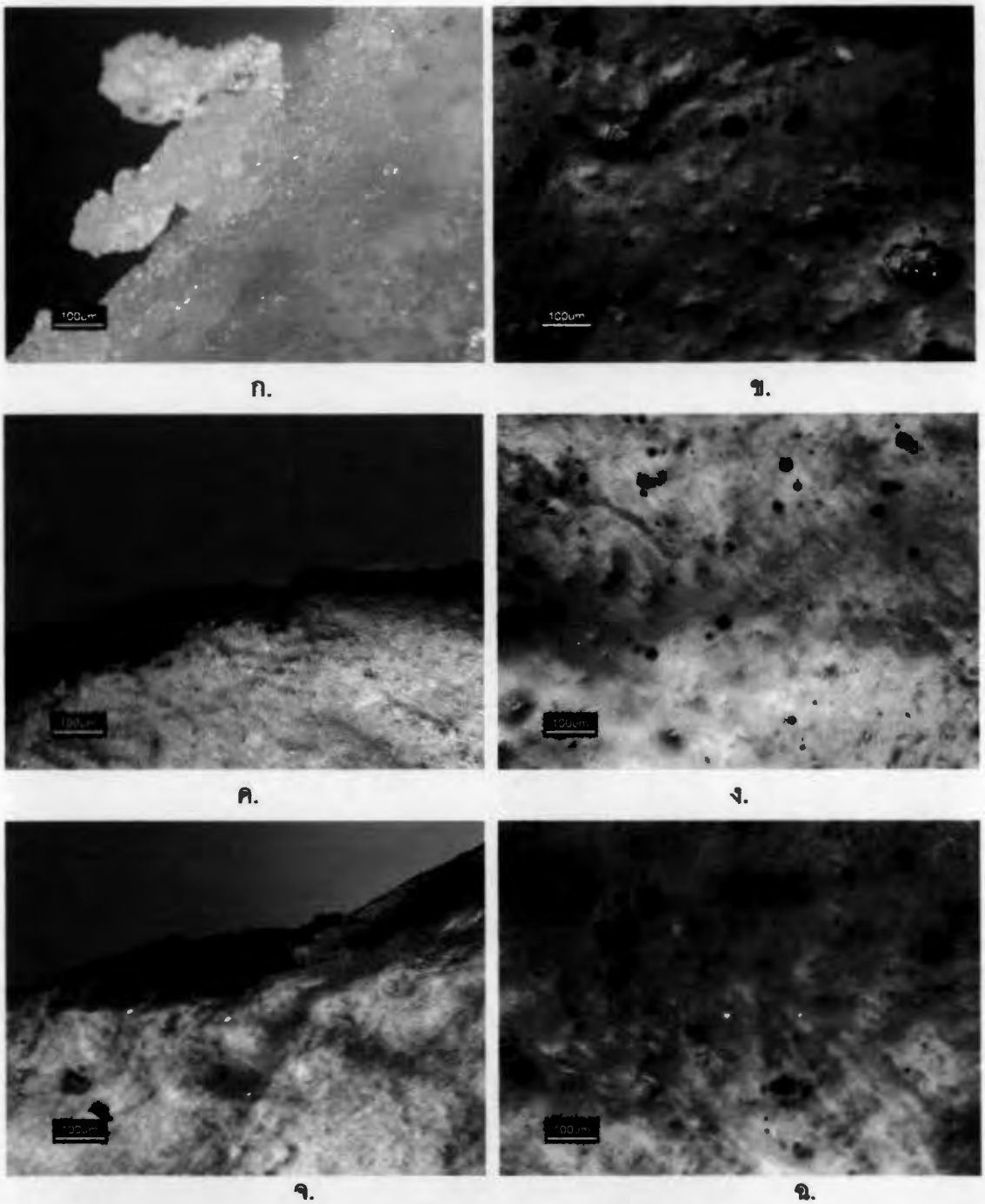
ซ. : ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บ 21 สัปดาห์

ฌ. : ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บ 24 สัปดาห์

------- ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 0%

------- ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5%

------- ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10%



ก. ข.

ค. ง.

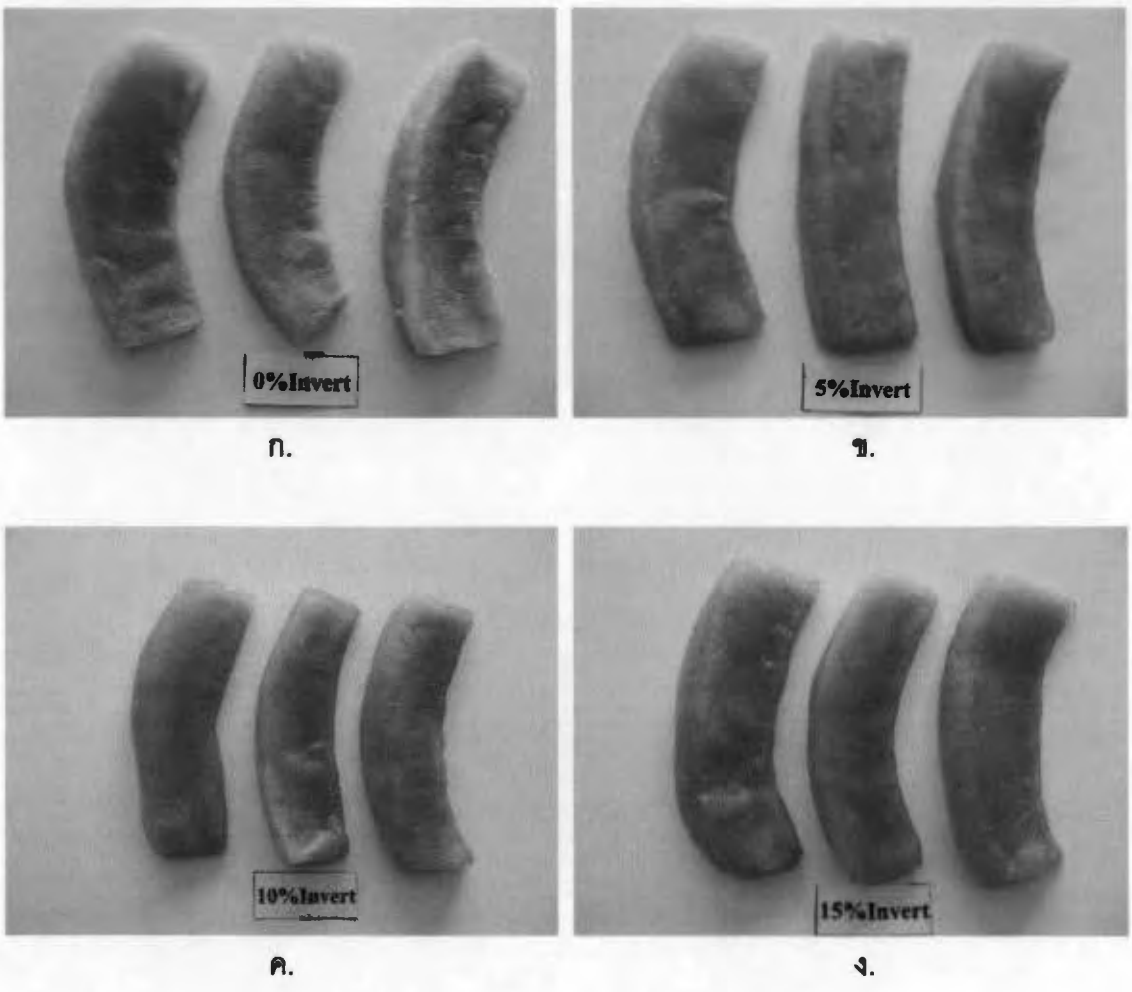
จ. ฉ.

รูปที่ 4.24 ภาพตัดขวางจากเครื่อง Image analyzer แสดงบริเวณส่วนด้านนอก (ก,ค,จ : กำลังขยาย 2 เท่า) และส่วนด้านใน (ข,ง,ฉ : กำลังขยาย 6 เท่า) ของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์

ก-ข ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต

ค-ง ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5%

จ-ฉ ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10%



ก. ข.

ค. ง.

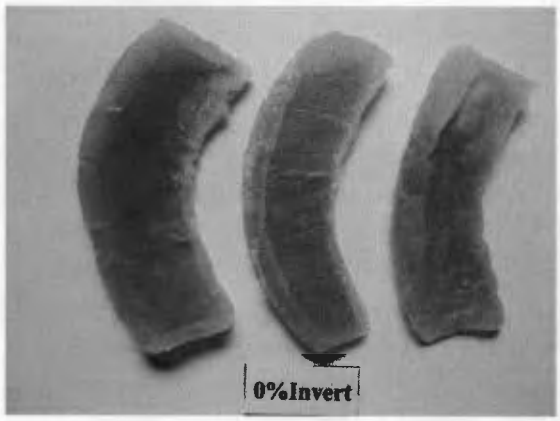
รูปที่ 4.25 ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในช่วงเริ่มต้นการเก็บรักษา (0 สัปดาห์)

ก. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต

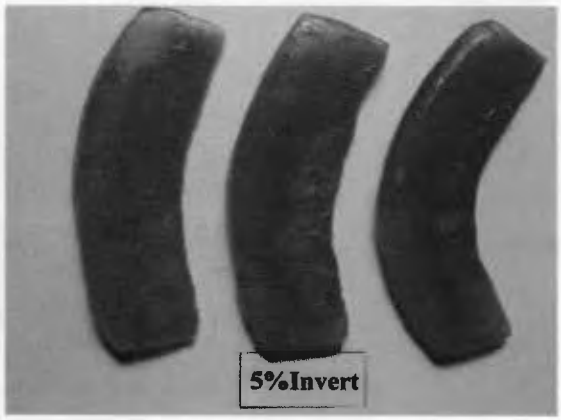
ข. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5%

ค. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10%

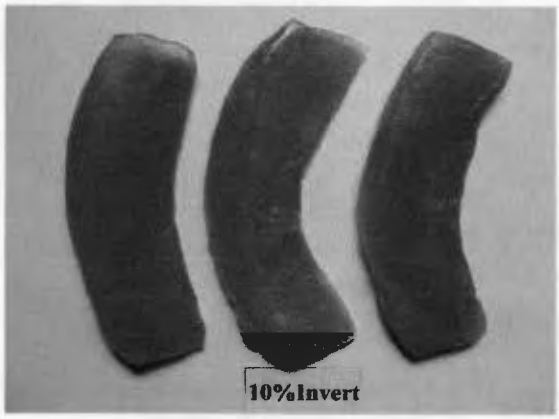
ง. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 15%



ก.



ข.



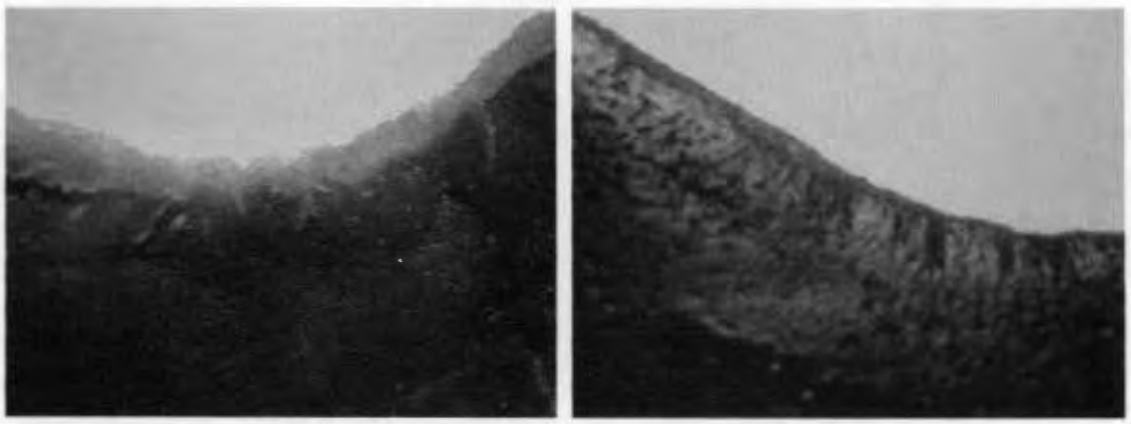
ค.

รูปที่ 4.26 ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์

ก. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต

ข. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5%

ค. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10%



ก.

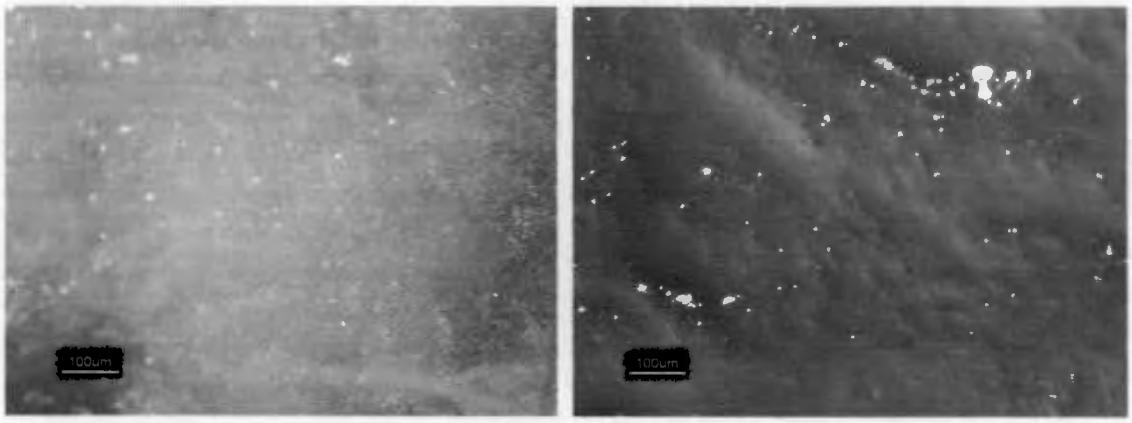
ค.

รูปที่ 4.27 บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์

ก. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต

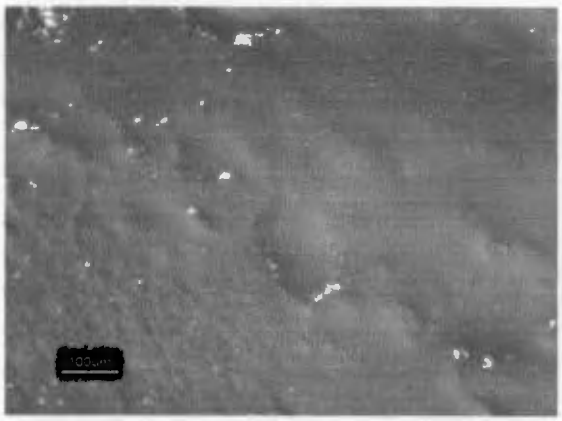
ข. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5%

ค. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10%



ก.

ข.



ค.

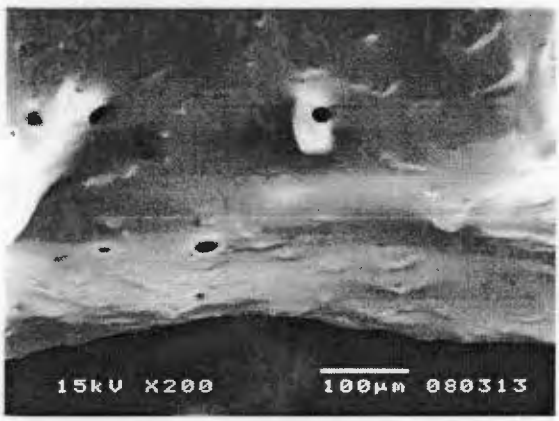
รูปที่ 4.28 ภาพถ่ายจากเครื่อง Image analyzer แสดงบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ (กำลังขยาย 1 เท่า)

ก. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต

ข. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5%

ค. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10%

ก. ข.



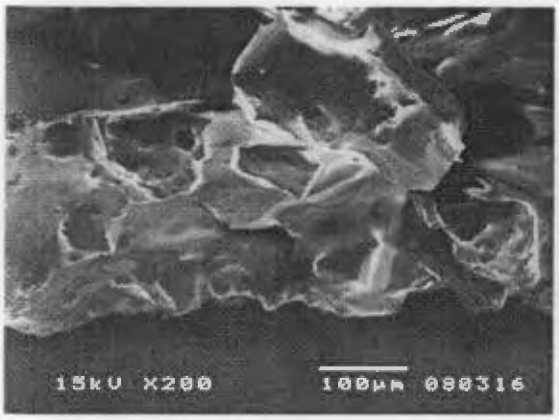
ค.

รูปที่ 4.29 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน (Cryo-SEM) บริเวณขอบและผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งในช่วงต้นของการเก็บรักษา (0 สัปดาห์)

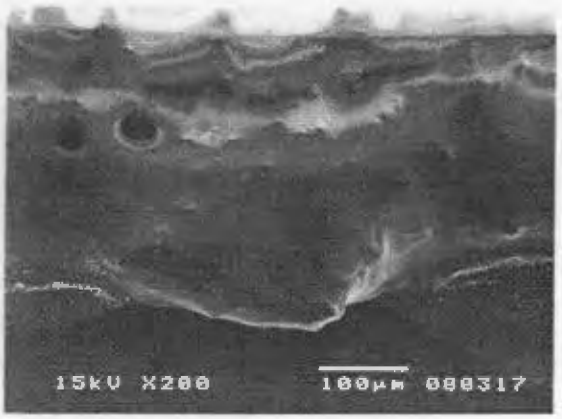
ก. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต

ข. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5%

ค. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10%



ก.



ข.

ค.

รูปที่ 4.30 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน (Cryo-SEM) บริเวณขอบและผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์

ก. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต

ข. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5%

ค. ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10%