

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของลำไยสด

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis) และทางกายภาพของเนื้อลำไยสดพันธุ์คอกจากสวนในจังหวัดสตูลนคร ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพเริ่มต้นของลำไยสด

คุณสมบัติของลำไย	ปริมาณเฉลี่ย*
ความชื้น (ร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก)	89.11±0.24
ใยอาหาร (ร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก)	0.19±0.07
เถ้า (ร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก)	0.30±0.14
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.80±0.14
ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้(ร้อยละของกรดซิตริก)	0.07±0.01
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้(°Brix)	19.20±0.00
ค่าความแน่นเนื้อ (firmness, g _{force})	154.39±8.98
ค่าความสว่าง (L*)	51.27±0.65
ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*)	-0.25±0.05
ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*)	1.85±0.45

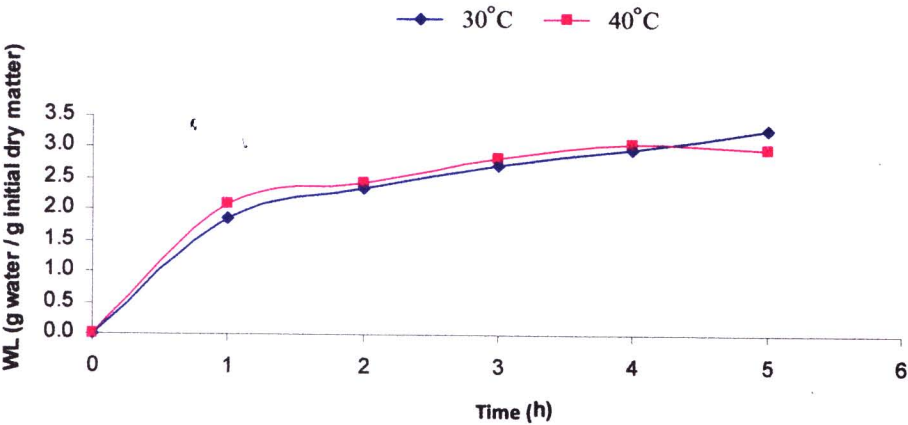
หมายเหตุ : * เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 2 พบว่าเนื้อลำไย ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 89.11 (โดยน้ำหนักเปียก) มีใยอาหารและเถ้าเฉลี่ยร้อยละ 0.19 และ 0.30 (โดยน้ำหนักเปียก) ตามลำดับซึ่งจะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกับที่ จริยา ปิติพรณรงค์ (2531) ได้รายงานถึงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อลำไย (ไม่ได้ระบุพันธุ์) ไว้ว่ามีองค์ประกอบ คือ ความชื้น ใยอาหาร และเถ้า ร้อยละ 81.10 0.28 และ 0.56 (โดยน้ำหนักเปียก) ตามลำดับ นอกจากนี้แล้วจากรายงานของสุริย์พันธุ์ บุญวิสุทธิ (2544) กล่าวว่าเนื้อลำไยสด (ไม่ได้ระบุพันธุ์) มีปริมาณความชื้น ใยอาหาร และเถ้า ร้อยละ 72.4 0.4 และ 0.5 (โดยน้ำหนักเปียก) ตามลำดับซึ่งก็พบว่ามีความใกล้เคียงกับงานวิจัยครั้งนี้ นอกจากนี้ พบว่าร้อยละของเนื้อลำไยที่ได้ (% yield) มีค่าเท่ากับ 60.44

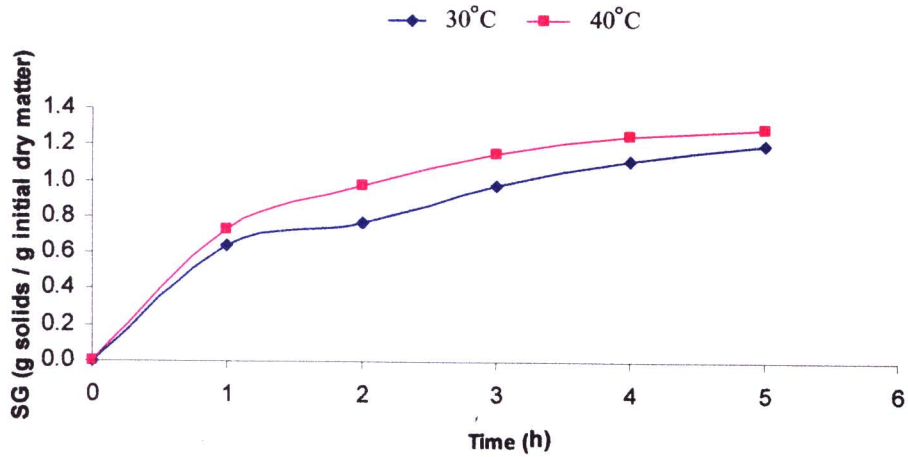
2. ผลของการหาอุณหภูมิและเวลาในการคั่งน้ำบางส่วนออกจากเนื้อลำไยโดยการออสโมซิสในสารละลายชนิดต่างๆ

2.1 ผลของการหาอุณหภูมิและเวลาในการคั่งน้ำบางส่วนออกจากเนื้อลำไยโดยการออสโมซิสในสารละลายซูโครส

จากการแช่ตัวอย่างเนื้อลำไยในสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 55 โดยน้ำหนักเป็นเวลา 0-5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 6-7 และตารางที่ 3 -4



ภาพที่ 6 ค่าการสูญเสียน้ำ (WL) ของเนื้อลำไยที่ออสโมซิสในสารละลายซูโครสเข้มข้นร้อยละ 55 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30 และ 40°ซ เป็นเวลา 0 - 5 ชั่วโมง



ภาพที่ 7 ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (SG) ของเนื้อลำไยที่ออสโมซิสในสารละลายซูโครสเข้มข้นร้อยละ 55 โดย น้ำหนักที่อุณหภูมิ 30 และ 40°ซ เป็นเวลา 0 - 5 ชั่วโมง

จากภาพที่ 6 และ 7 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบค่าการสูญเสีย น้ำ (WL) และค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็งของเนื้อลำไย (SG) ที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 55 โดยน้ำหนักเป็นเวลา 0-5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าค่าการสูญเสีย น้ำและค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็งของตัวอย่างเนื้อลำไยในทั้ง 2 อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วง 1 ชั่วโมงแรกของการออสโมซิสในทั้งสองอุณหภูมิที่ศึกษา

ตารางที่ 3 ค่าอัตราการสูญเสีย น้ำ (Rate of WL) ของเนื้อลำไยที่ออสโมซิสในสารละลายซูโครสที่สภาวะต่างๆ

สารละลาย	เวลา (ชั่วโมง)	Rate of WL (กรัม น้ำ/กรัม ตัวอย่างแห้ง เริ่มต้น. ชั่วโมง)	
		30°ซ	40°ซ
ซูโครส	1	1.85±0.04 ^b	2.09±0.01 ^a
	2	1.17±0.06 ^c	1.22±0.05 ^c
	3	0.91±0.04 ^d	0.94±0.01 ^d
	4	0.75±0.00 ^e	0.77±0.00 ^e
	5	0.66±0.03 ^f	0.60±0.01 ^f

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4 ค่าอัตราการเคลื่อนที่ของของแข็ง (Rate of SG) เข้าสู่เนื้อลำไยที่ออสโมซิสในสารละลายซูโครสที่สภาวะต่างๆ

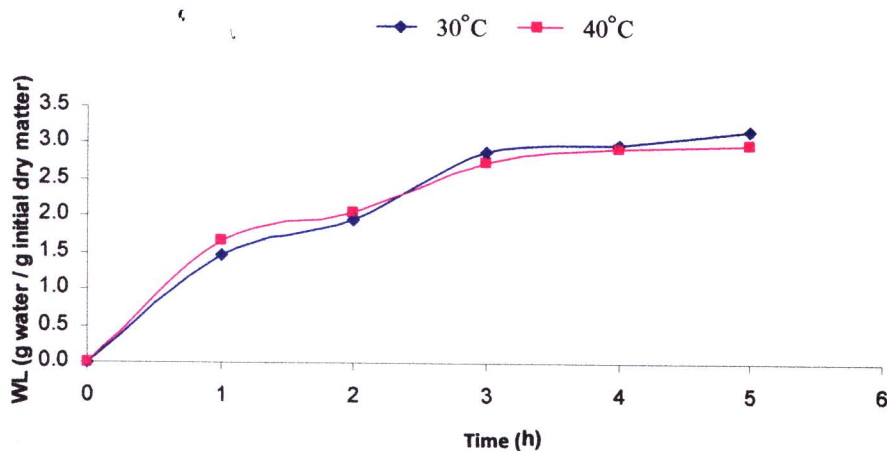
สารละลาย	เวลา (ชั่วโมง)	Rate of SG (กรัมของแข็ง/กรัมตัวอย่างแห้ง เริ่มต้น. ชั่วโมง)	
		30°ซ	40°ซ
ซูโครส	1	0.64±0.04 ^b	0.73±0.02 ^a
	2	0.38±0.06 ^d	0.49±0.03 ^c
	3	0.33±0.04 ^e	0.39±0.00 ^d
	4	0.28±0.00 ^f	0.31±0.01 ^e
	5	0.24±0.03 ^f	0.26±0.02 ^f

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

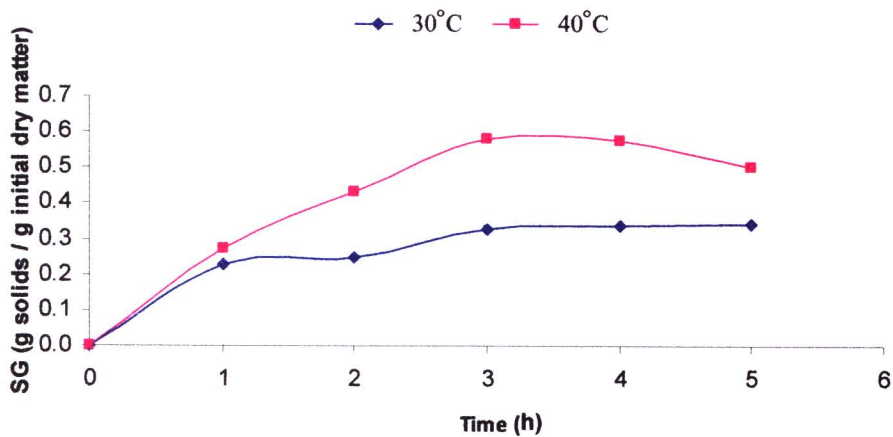
จากตารางที่ 3 และ 4 ซึ่งแสดงค่าอัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเคลื่อนที่ของของแข็งเข้าสู่เนื้อลำไยในสารละลายซูโครส พบว่าการออสโมซิสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะมีค่าอัตราการสูญเสียน้ำเท่ากับ 2.09 กรัม/กรัมตัวอย่างแห้งเริ่มต้น. ชั่วโมง และอัตราการเคลื่อนที่ของของแข็งเข้าสู่เนื้อลำไยเท่ากับ 0.73 กรัม/กรัมตัวอย่างแห้งเริ่มต้น. ชั่วโมง ซึ่งมีค่าสูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

2.2 ผลของการหาอุณหภูมิและเวลาในการดึงน้ำบางส่วนออกจากเนื้อลำไยโดยการออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน

จากการแช่ตัวอย่างเนื้อลำไยในสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินความเข้มข้นร้อยละ 55 โดยน้ำหนักเป็นเวลา 0-5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 8-9 และตารางที่ 5-6



ภาพที่ 8 ค่าการสูญเสียน้ำ (WL) ของเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินเข้มข้นร้อยละ 55 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 30 และ 40°C เป็นเวลา 0 - 5 ชั่วโมง



ภาพที่ 9 ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (SG) ของเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินเข้มข้นร้อยละ 55 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 30 และ 40°ซ เป็นเวลา 0 - 5 ชั่วโมง

จากภาพที่ 8 และ 9 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของของแข็งของเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายมอลโทเดกซ์ทริความเข้มข้นร้อยละ 55 โดยน้ำหนักเป็นเวลา 0-5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าค่าดังกล่าวทั้งสองจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วง 1 ชั่วโมงแรกของการออสโมซิสในทั้งสองอุณหภูมิที่ศึกษา

ตารางที่ 5 ค่าอัตราการสูญเสียน้ำ (Rate of WL) ของเนื้อลำไยที่ออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินที่สถานะต่างๆ

สารละลาย	เวลา (ชั่วโมง)	Rate of WL (กรัมน้ำ/กรัมตัวอย่างแห้งเริ่มต้น.ชั่วโมง)	
		30°ซ	40°ซ
มอลโทเดกซ์ทริน	1	1.47±0.02 ^b	1.65±0.00 ^a
	2	0.98±0.00 ^d	1.03±0.00 ^c
	3	0.96±0.00 ^d	0.91±0.00 ^c
	4	0.75±0.03 ^f	0.74±0.00 ^f
	5	0.64±0.00 ^g	0.60±0.00 ^h

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 6 ค่าอัตราการเคลื่อนที่ของของแข็ง (Rate of SG) เข้าสู่เนื้อลำไยที่ออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินที่สภาวะต่างๆ

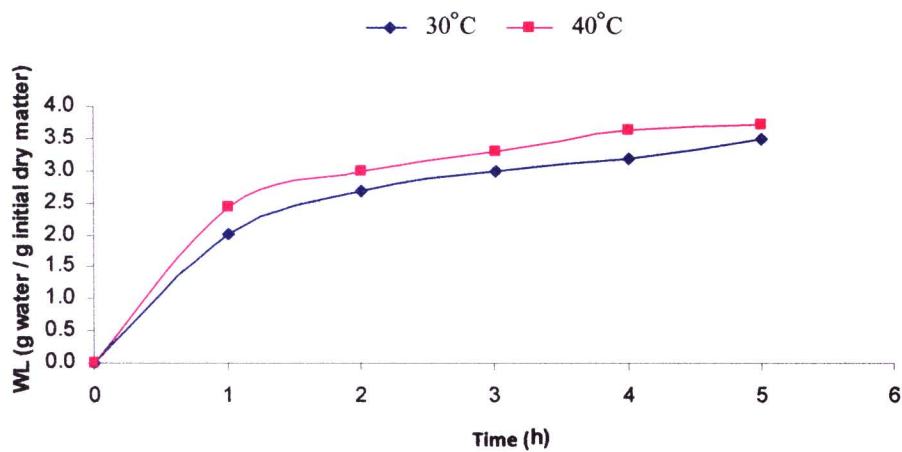
สารละลาย	เวลา (ชั่วโมง)	Rate of SG (กรัมของแข็ง/กรัมตัวอย่างแห้งเริ่มต้น.ชั่วโมง)	
		30°ซ	40°ซ
มอลโทเดกซ์ทริน	1	0.23±0.02 ^b	0.27±0.01 ^a
	2	0.12±0.00 ^{de}	0.22±0.00 ^{bc}
	3	0.11±0.00 ^{ef}	0.19±0.01 ^c
	4	0.08±0.03 ^{fg}	0.14±0.02 ^d
	5	0.07±0.00 ^g	0.10±0.01 ^{egf}

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

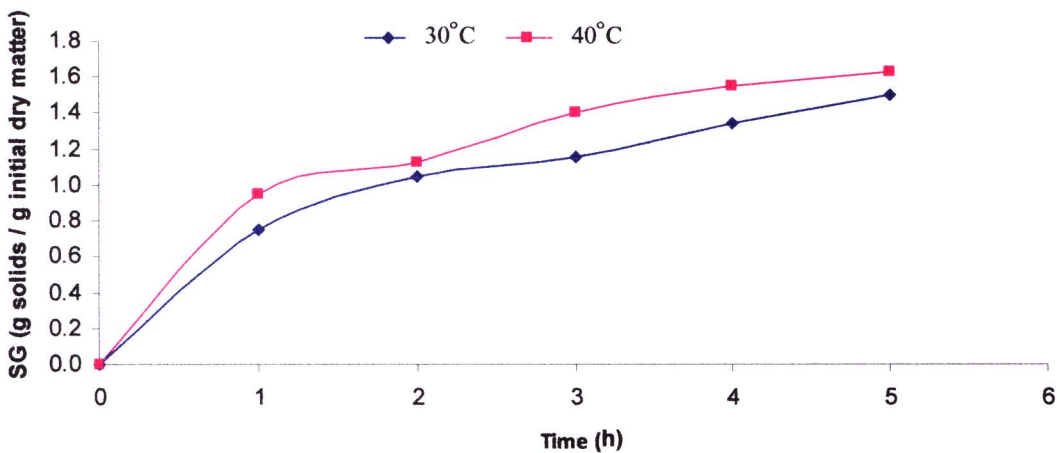
จากตารางที่ 5 และ 6 ซึ่งแสดงค่าอัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเคลื่อนที่ของของแข็งเข้าสู่เนื้อลำไยในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน พบว่าการออสโมซิสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะมีค่าอัตราการสูญเสียน้ำเท่ากับ 1.65 กรัม/กรัมตัวอย่างแห้งเริ่มต้น.ชั่วโมง และอัตราการเคลื่อนที่ของของแข็งเข้าสู่เนื้อลำไยเท่ากับ 0.27 กรัมของแข็ง/กรัมตัวอย่างแห้งเริ่มต้น.ชั่วโมง ซึ่งมีค่าสูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

2.3 ผลของการหาอุณหภูมิและเวลาในการดึงน้ำบางส่วนออกจากเนื้อลำไยโดยการออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอล

จากการแช่ตัวอย่างเนื้อลำไยในสารละลายซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 55 โดยน้ำหนักเป็นเวลา 0-5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 10-11 และตารางที่ 7-8



ภาพที่ 10 ค่าการสูญเสียน้ำ (WL) ของเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซอร์บิทอลเข้มข้นร้อยละ 55 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 30 และ 40°ซ เป็นเวลา 0 - 5 ชั่วโมง



ภาพที่ 11 ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (SG) ของเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซอร์บิทอลเข้มข้นร้อยละ 55 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 30 และ 40°ซ เป็นเวลา 0 - 5 ชั่วโมง

จากภาพที่ 10 และ 11 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของของแข็งของเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 55 โดยน้ำหนักเป็นเวลา 0-5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าค่าทั้งสองดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วง 1 ชั่วโมงแรกของการออสโมซิสในทั้งสองอุณหภูมิที่ศึกษา

ตารางที่ 7 ค่าอัตราการสูญเสียน้ำ (Rate of WL) ของเนื้อลำไยที่ออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอลที่สภาวะต่างๆ

สารละลาย	เวลา (ชั่วโมง)	Rate of WL (กรัมน้ำ/กรัมตัวอย่างแห้งเริ่มต้น.ชั่วโมง)	
		30°ซ	40°ซ
ซอร์บิทอล	1	2.02±0.10 ^b	2.44±0.02 ^a
	2	1.34±0.04 ^d	1.50±0.03 ^c
	3	1.00±0.01 ^f	1.10±0.00 ^c
	4	0.80±0.01 ^h	0.91±0.01 ^g
	5	0.70±0.02 ⁱ	0.75±0.02 ^{hi}

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 8 ค่าอัตราการเคลื่อนที่ของของแข็ง (Rate of SG) เข้าสู่เนื้อลำไยที่ออสโมซิสในในสารละลายซอร์บิทอลที่สภาวะต่างๆ

สารละลาย	เวลา (ชั่วโมง)	Rate of SG (กรัมของแข็ง/กรัมตัวอย่างแห้งเริ่มต้น.ชั่วโมง)	
		30°ซ	40°ซ
ซอร์บิทอล	1	0.75±0.10 ^b	0.95±0.01 ^a
	2	0.52±0.04 ^{cd}	0.56±0.05 ^c
	3	0.39±0.01 ^{egf}	0.47±0.01 ^{de}
	4	0.34±0.01 ^{fg}	0.39±0.00 ^{ef}
	5	0.30±0.02 ^{fg}	0.33±0.01 ^g

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 7 และ 8 ซึ่งแสดงค่าอัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเคลื่อนที่ของของแข็งเข้าสู่เนื้อลำไยที่ออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 55 โดยน้ำหนักเป็นเวลา 0-5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าการออสโมซิสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะมีค่าอัตราการสูญเสียน้ำเท่ากับ 2.44 กรัม น้ำ/กรัมตัวอย่างแห้งเริ่มต้น.ชั่วโมง และอัตราการเคลื่อนที่ของของแข็งเข้าสู่เนื้อลำไยเท่ากับ 0.95 กรัมของแข็ง/กรัมตัวอย่างแห้งเริ่มต้น.ชั่วโมง ซึ่งมีค่าสูงที่สุด (p≤0.05)

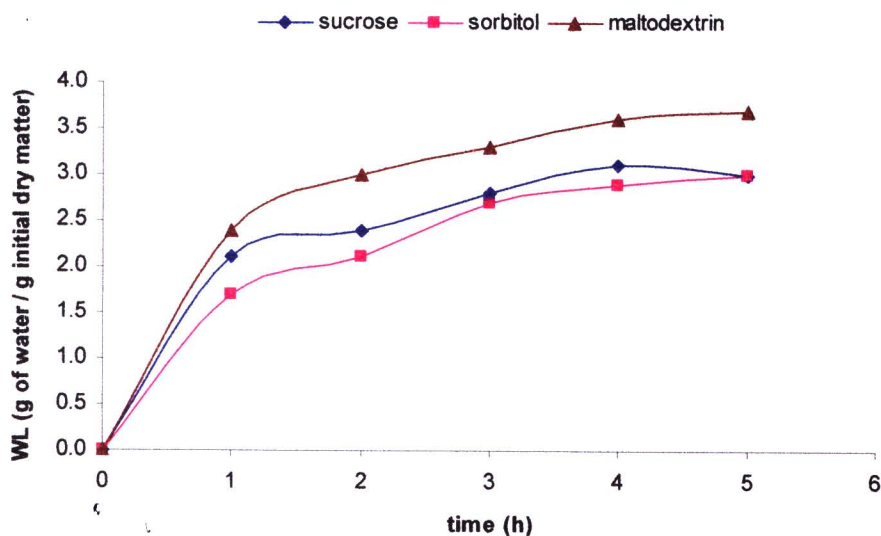
จากผลของการศึกษาหาสภาวะในการคึ่งน้ำบางส่วนออกจากเนื้อลำไยโดยการออสโมซิสในสารละลายซูโครส สารละลายมอลโทเดกซ์ทรินและสารละลายซอร์บิทอลดังแสดงในภาพที่ 6-11 และตารางที่ 3-8

จะเห็นได้ว่าการออสโมซิสเนื้อลำไยในสารละลายทุกชนิดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าอัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเคลื่อนที่ของของแข็งเข้าสู่เนื้อลำไยมีค่าสูงสุด ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการช่วงแรกของการออสโมซิสจะมีความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างเนื้อลำไยและสารละลายน้ำตาลที่ใช้อยู่มาก และเมื่อเวลาในการออสโมซิสเพิ่มขึ้นจะทำให้ความแตกต่างของแรงดันออสโมติกลดลงเนื่องจากระบบพยายามเข้าสู่สมดุลทำให้ค่าอัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเคลื่อนที่ของของแข็งเข้าสู่เนื้อลำไยลดลงด้วย สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิในการออสโมซิสจาก 30 เป็น 40 องศาเซลเซียส จะทำให้อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำและตัวถูกละลายเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเกิดการพองตัว (swelling) และอ่อนตัว (plasticizing) ของเซลล์เมมเบรน รวมทั้งการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจะทำให้ความหนืดของสารละลายออสโมติกลดลง ซึ่งผลไม้สามารถสัมผัสกับสารละลายได้ดีขึ้น น้ำจึงเคลื่อนที่ออกมาได้ดีขึ้น (ซูทวีป ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา 2542) ดังนั้นการออสโมซิสขึ้นลำไยในสารละลายทั้ง 3 ชนิดที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจึงเป็นสภาวะที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลได้สูงสุด

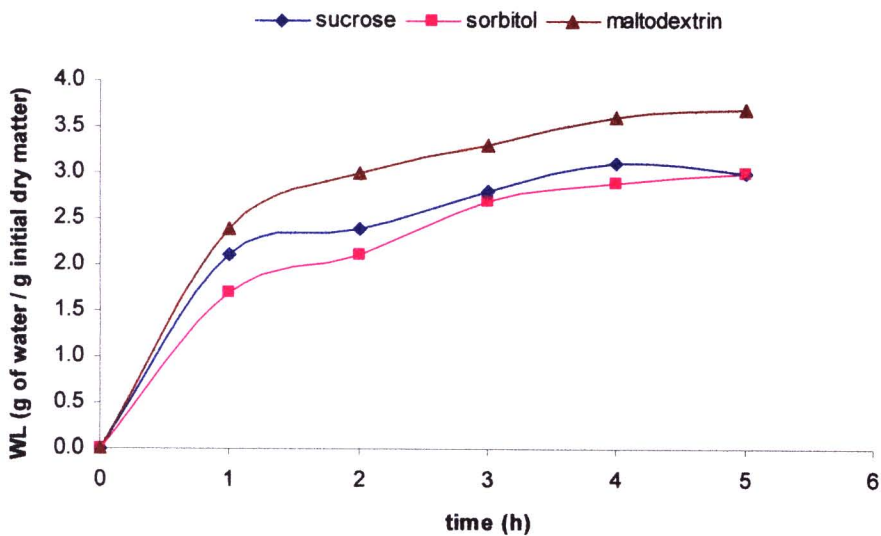
ผลของงานวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Ngamjit and Sanguansri (2009) ซึ่งได้ศึกษาเกี่ยวกับการออสโมซิสขึ้นเงาะในสารละลาย sucrose, trehalose และ maltitol ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 55 โดยน้ำหนักโดยใช้อัตราส่วนเงาะต่อสารละลายเป็น 1 ต่อ 3 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0-5 ชั่วโมงก่อนนำไปแช่เยือกแข็งที่ -40 องศาเซลเซียส พบว่าการออสโมซิสที่ 1 ชั่วโมง จะทำให้อัตราการสูญเสียน้ำออกจากชิ้นเงาะและอัตราการเคลื่อนที่ของของแข็งเข้าสู่ชิ้นเงาะมีค่าสูงสุด Dermesonlouoglou and others (2007) ได้ศึกษาการออสโมซิสของมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0-400 นาที โดยใช้สารละลาย glucose, high DE maltodextrin (HDEM) และสารละลายผสมระหว่าง oligofructose และ trehalose ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง พบว่าการใช้เวลาในการออสโมซิสนาน 60 นาที จะทำให้มีค่าการสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของของแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมากและเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง Levi and others (1983) รายงานว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการออสโมซิสขึ้นมะละกอให้สูงขึ้นจะทำให้ความแน่นเนื้อของมะละกอลดลงจึงส่งผลให้อัตราการสูญเสียน้ำออกจากชิ้นมะละกอเพิ่มขึ้นแต่การใช้อุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียสจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสที่ไม่ต้องการได้ Tregunno and Goff (1996) รายงานว่าการออสโมซิสขึ้นแอปเปิ้ลในสารละลาย sucrose, sorbitol และ 42 DE Corn syrup solid ที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักโดยใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 40 นาที ก่อนนำไปแช่เยือกแข็งจะช่วยลดปริมาณน้ำในชิ้นตัวอย่างได้ดีแต่การออสโมซิสที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะทำให้เนื้อเยื่อของผลไม้เกิดความเสียหายและส่งผลเสียต่อเนื้อสัมผัสของแอปเปิ้ลหลังการแช่เยือกแข็ง

ดังนั้นผู้วิจัยจึงคัดเลือกสภาวะการออสโมซิสเนื้อลำไยในสารละลายซูโครส สารละลายซอร์บิทอล และสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน ที่ 1 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะในการทดลองขั้นต่อไป

แม้ว่าในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้วางแผนการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิและเวลาในการออสโมซิสเนื้อลำไยในสารละลายแต่ละชนิดแยกจากกัน แต่อย่างไรก็ตามก็เป็นไปได้ที่จะเปรียบเทียบให้เห็นถึงค่าการสูญเสียน้ำและการเคลื่อนที่ของของแข็งเข้าสู่เนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายทั้ง 3 ชนิดโดยในที่นี้จะขอเปรียบเทียบเฉพาะที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเท่านั้นซึ่งผลแสดงในภาพที่ 12-13



ภาพที่ 12 ค่าการสูญเสียน้ำ(WL) ออกจากเนื้อลำไยเมื่อออสโมซิสในสารละลายซูโครส สารละลายมอลโทเดกซ์ทริน และสารละลายซอร์บิทอลเข้มข้นร้อยละ 55 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 13 ค่าการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (SG) ของเนื้อลำไยเมื่อออสโมซิสในสารละลายซูโครส สารละลายมอลโทเดกซ์ทรินและสารละลายซอร์บิทอลเข้มข้นร้อยละ 55 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 12 และ 13 พบว่าค่าการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อลำไยและการเคลื่อนที่ของของแข็งเข้าสู่เนื้อลำไยเมื่อออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอลจะสูงกว่าในสารละลายซูโครสและสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน (แม้จะไม่ได้เปรียบเทียบค่าทางสถิติ) ทั้งนี้เพราะว่าสารละลายซอร์บิทอลมีค่ามวลโมเลกุล (molecular weight) เท่ากับ 182.14 กรัม/โมล ซึ่งต่ำกว่าน้ำตาลซูโครส (342 กรัม/โมล) และมอลโทเดกซ์ทริน (DE 12.06) โดยทั่วไปแล้วที่

ระดับความเข้มข้นที่เท่ากันสารที่มีมวลโมเลกุลต่ำกว่าจะทำให้เกิดค่าความดันออสโมติก (osmotic pressure) สูงกว่า (Ngamjit and Sanguansri 2009) จึงเป็นเหตุให้น้ำเคลื่อนที่ออกจากชิ้นอาหารได้มากกว่าและในขณะเดียวกันตัวถูกละลายที่มีขนาดเล็กกว่าก็สามารถที่จะเคลื่อนที่เข้าไปในชิ้นอาหารได้มากกว่า ผลงานวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Contreras and Smyrl (1981) ซึ่งพบว่า High fructose corn syrup สามารถลดปริมาณน้ำในชิ้นผลไม้และขณะเดียวกันก็เคลื่อนตัวแทรกผ่านเข้าไปในชิ้นผลไม้ได้มากกว่าซูโครส ทั้งนี้เพราะ High fructose corn syrup มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าซูโครส Tregunno and Goff (1996) ได้ศึกษาการออสโมซิสขึ้นแอปเปิ้ลในสารละลายซูโครส ซอร์บิทอลและ 42 DE corn syrup ที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสพบว่าสารละลายซอร์บิทอลจะทำให้สามารถดึงน้ำออกจากชิ้นแอปเปิ้ลได้มากที่สุดและตามด้วยสารละลายซูโครสและสารละลาย 42 DE corn syrup ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะซอร์บิทอลมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าซูโครสและ 42 DE corn syrup นอกจากนี้ Ngamjit and Sanguansri (2009) รายงานว่าการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครส (sucrose) ทรีฮาลอส (trehalose) และมอลทิทอล (maltitol) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักจะทำให้ค่าการสูญเสียน้ำและการเคลื่อนที่ของของแข็งเข้าสู่ชิ้นเงาะไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดมีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกันมากนั่นเอง (ซูโครส = 342 ทรีฮาลอส = 342 และมอลทิทอล = 344)

2.4 ผลของสภาวะในการออสโมซิสต่อค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ของชิ้นเนื้อลำไย

จากการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่า a_w ของเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายทั้ง 3 ชนิดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส แสดง ดังในตารางที่ 37 ในภาคผนวก ก ซึ่งพบว่าชนิดของสารละลายและอุณหภูมิมีผลทำให้ค่า a_w ของตัวอย่างชิ้นลำไยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05) นอกจากนี้ชนิดของสารละลายหรืออุณหภูมิต่างก็มีผลต่อค่า a_w อย่างไม่มีนัยสำคัญด้วย (p>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่ากิจกรรมของน้ำของเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายชนิดต่างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของการออสโมซิส (°ซ)	สารละลายที่ใช้ในการออสโมซิส*		
	ซูโครส	มอลโทเดกซ์ทริน	ซอร์บิทอล
30	0.979±0.001	0.980±0.001	0.978±0.001
40	0.978±0.001	0.979±0.000	0.977±0.001

หมายเหตุ : ตัวอย่างเนื้อลำไยสดที่ไม่ผ่านการออสโมซิสมีค่า a_w เป็น 0.980±0.001

* เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

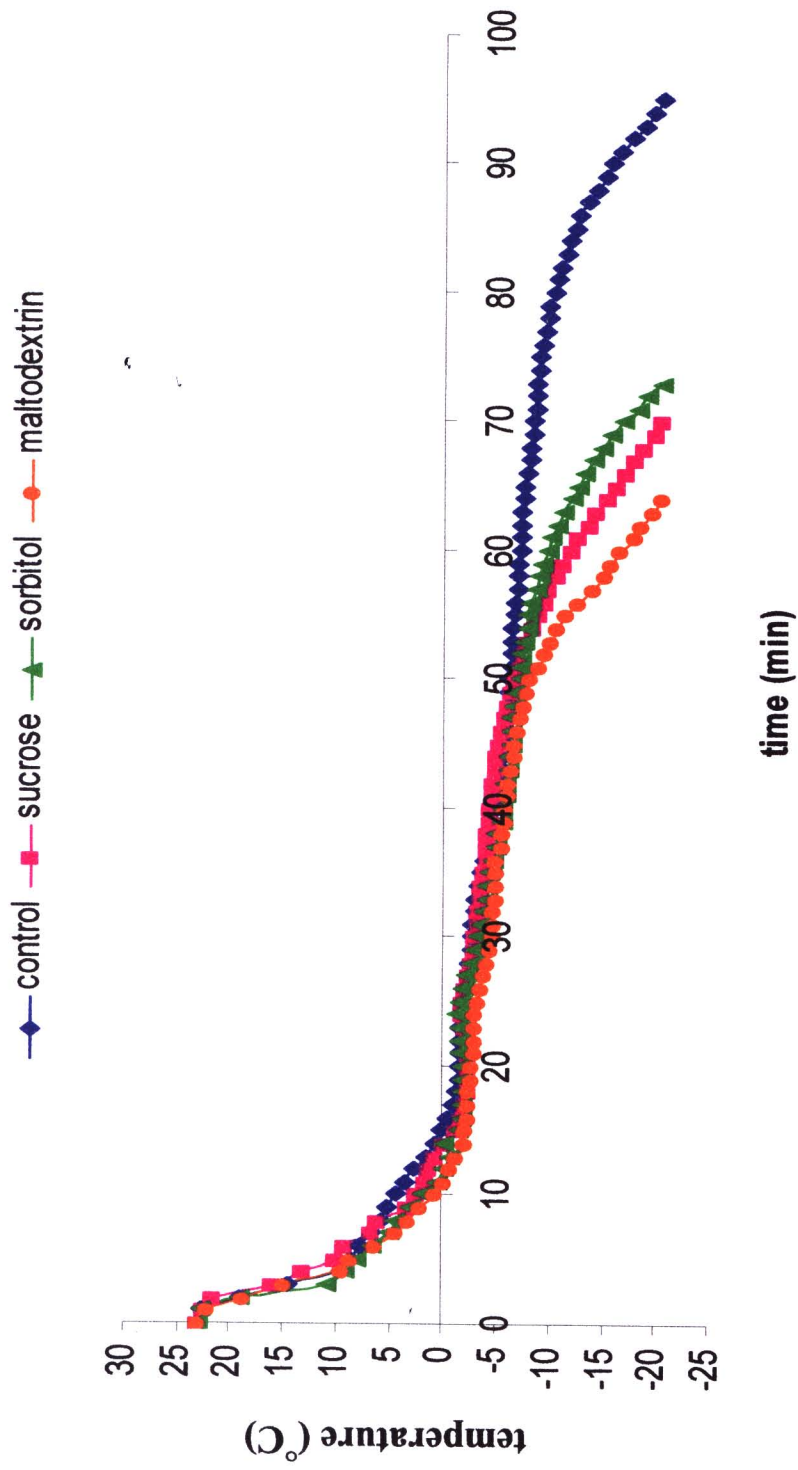
จากตารางที่ 9 ซึ่งแสดงค่า a_w ของเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครส สารละลายมอลโทเดกซ์ทริน และสารละลายซอร์บิทอล ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าค่า a_w ของเนื้อลำไยจะอยู่ระหว่าง 0.977 ถึง 0.980 ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) แสดงว่าสภาวะการออสโมซิสไม่มีผลต่อค่า a_w ของเนื้อลำไย (p>0.05) แต่อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลาย

ซอร์บิทอลจะมีค่า a_w ต่ำกว่าตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครส และสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน ตามลำดับ (แม้จะไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ) และการออสโมซิสในสารละลายทั้ง 3 ชนิดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจะมีค่า a_w ต่ำกว่าที่ 30 องศาเซลเซียส (แม้จะไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ) ผลของค่า a_w ได้สนับสนุนข้อสรุปที่ว่าสารที่มีขนาดเล็กกว่าสามารถดึงน้ำออกจากตัวอย่างเนื้อลำไยและแพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อลำไยได้มากกว่าสารที่มีขนาดใหญ่กว่าและการเพิ่มอุณหภูมิในการออสโมซิสจะช่วยทำให้การแพร่ของน้ำออกจากเนื้อลำไยได้มากขึ้น

3. ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสต่อลักษณะคุณภาพของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บในสภาพแช่เยือกแข็ง

3.1 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสต่อค่าอัตราการแช่เยือกแข็งและเวลาในการแช่เยือกแข็งขึ้นลำไย

จากการนำตัวอย่างเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครส สารละลายมอลโทเดกซ์ทริน สารละลายซอร์บิทอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 55 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนสารละลายต่อชิ้นลำไยเป็น 1 ต่อ 3 และออสโมซิสที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 1 ชั่วโมง รวมทั้งตัวอย่างเนื้อลำไยที่ไม่ผ่านการออสโมซิส (ตัวอย่างควบคุม) ไปแช่เยือกแข็งด้วยตู้แช่เยือกแข็งแบบลมตีฝัด (air blast freezer) ที่อุณหภูมิ -35 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของเนื้อลำไยเป็น -18 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 1



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับเวลาในระหว่างการแช่แข็งเนื้อลำไยที่ผ่านและไม่ผ่านการออกซิโมซิส

จากภาพที่ 14 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับเวลาในระหว่างการแช่เยือกแข็งเนื้อลำไยที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่าในช่วงแรกของการแช่เยือกแข็งนั้นอุณหภูมิของตัวอย่างเนื้อลำไยจะลดลงอย่างรวดเร็วและจากนั้นเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียสพบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะเกิดขึ้นน้อยทำให้ลักษณะกราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความชัน หลังจากนั้นอุณหภูมิของตัวอย่างจะลดลงอีกครั้งหนึ่งจนถึง -18 องศาเซลเซียส ซึ่งจากกราฟการแช่เยือกแข็งที่ได้สามารถหาจุดเยือกแข็งเริ่มต้น (initial freezing point) ได้จากจุดที่อุณหภูมิเริ่มคงที่ในช่วงเวลาสั้นๆ (ซึ่งอยู่ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส) และขณะเดียวกันก็สามารถหาระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งได้ จากค่าจุดเยือกแข็งเริ่มต้นและเวลาในการแช่เยือกแข็งจะทำให้สามารถหาอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งได้ ซึ่งผลการทดลองหาค่าต่างๆในการแช่เยือกแข็งตัวอย่างเนื้อลำไยแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าจุดเยือกแข็งเริ่มต้น (initial freezing point) เวลาในการแช่เยือกแข็ง (freezing time) และอัตราการแช่เยือกแข็ง (Freezing rate) ของเนื้อลำไยที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิส

ลักษณะการออสโมซิส	จุดเยือกแข็ง เริ่มต้น (°ซ)	เวลาในการแช่เยือก แข็ง (นาที)	อัตราการแช่เยือก แข็ง (°ซ / นาที)
ไม่ผ่านออสโมซิส (ตัวอย่างควบคุม)	-1.5±0.14 ^a	93±0.71 ^a	0.18±0.01 ^c
ออสโมซิสในสารละลายซูโครส	-2.2±0.28 ^b	67±2.12 ^b	0.24±0.01 ^a
ออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน	-1.9±0.14 ^b	71±2.12 ^b	0.23±0.01 ^b
ออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอล	-3.0±0.01 ^c	62±0.71 ^c	0.24±0.01 ^a

หมายเหตุ: a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 10 พบว่าตัวอย่างชิ้นลำไยสดที่ไม่ผ่านการออสโมซิสจะมีค่าจุดเยือกแข็งเริ่มต้นและเวลาในการแช่เยือกแข็งเป็น -1.5 องศาเซลเซียสและ 93 นาทีตามลำดับ Huiling and others (2006) รายงานว่าค่าจุดเยือกแข็งเริ่มต้นของลำไย 4 สายพันธุ์ในประเทศจีน ได้แก่ พันธุ์ Shixia Chuliang Gushan 2 และ Dawuyuan มีค่าเป็น -3.49 -3.03 -2.63 และ -2.04 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยเฉพาะพันธุ์ Dawuyuan มีค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับพันธุ์คอกของไทยมากที่สุดนี้เพราะมีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกัน

สำหรับตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครส สารละลายมอลโทเดกซ์ทรินและสารละลายซอร์บิทอลจะมีค่าจุดเยือกแข็งเริ่มต้น เป็น -2.2 -1.9 และ -3.0 องศาเซลเซียสตามลำดับ และมีระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งเป็น 67 71 และ 62 นาทีตามลำดับ ดังนั้นการออสโมซิสในสารละลายต่างๆจะทำให้ค่าอุณหภูมิจุดเยือกแข็งเริ่มต้นและเวลาในการแช่เยือกแข็งลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ($p \leq 0.05$)

เป็นที่น่าสังเกตว่าการออสโมซิสตัวอย่างเนื้อลำไยในสารละลายซอร์บิทอลจะทำให้เนื้อลำไยมีจุดเยือกแข็งเริ่มต้นและเวลาในการแช่เยือกแข็งต่ำกว่าในกรณีที่ออสโมซิสในสารละลายซูโครสและสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน ทั้งนี้เป็นเพราะการออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอลจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อลำไยมากกว่าและก็มีการแพร่ผ่านของของแข็งเข้าไปในเนื้อลำไยมากกว่าด้วย จึงทำให้เหลือปริมาณน้ำเหลวในชิ้นลำไยน้อยกว่าหรือความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (solute concentration) ในเนื้อลำไยมีค่าสูงกว่านั้นเอง ซึ่งสภาวะการดังกล่าวส่งผลให้เนื้อลำไยมีค่าจุดเยือกแข็งเริ่มต้นและเวลาในการแช่เยือกแข็งต่ำลง งานวิจัยครั้งนี้ให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kozłowicz and Kluza (2006) ซึ่งพบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำตาลกลูโคส แอ็กคาโรส น้ำผึ้งและน้ำตาลอ้อย (cane sugar) ลงไปในเนื้อผลไม้ผสมบดที่ทำจากแอปเปิ้ลและสตอรี่ (apple-pear puree) จะทำให้ปริมาณของแข็งในเนื้อผลไม้บดเพิ่มขึ้นและส่งผลให้อุณหภูมิที่ทำให้เริ่มเกิดผลึกน้ำแข็งขึ้นในเนื้อผลไม้บดลดลง

เมื่อคำนวณหาอัตราการแช่เยือกแข็ง (Freezing rate) ตามสมการที่ (3) พบว่าตัวอย่างเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครส สารละลายมอลโทเดกซ์ทรินและสารละลายซอร์บิทอลจะมีค่าอัตราการแช่เยือกแข็งเท่ากับ 0.24 0.23 และ 0.24 °ซ/นาที่ ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างเนื้อลำไยที่ไม่ผ่านการออสโมซิสจะมีค่าดังกล่าวเป็น 0.18 °ซ/นาที่ (ตารางที่ 10) ดังนั้นการออสโมซิสตัวอย่างเนื้อลำไยก่อนการแช่เยือกแข็งจึงทำให้อัตราการแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิส ทั้งนี้เนื่องจากการออสโมซิสตัวอย่างเนื้อลำไยด้วยสารละลายน้ำตาลสามารถดึงน้ำบางส่วนออกจากเนื้อลำไยและขณะเดียวกันก็มีการแพร่ผ่านของปริมาณของแข็งไปในเนื้อลำไยจึงมีผลทำให้อัตราในการแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองในตารางที่ 10 พบว่าการแช่เยือกแข็งเนื้อลำไยทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้า (slow freezing) เพราะมีค่าอัตราการแช่เยือกแข็งอยู่ในช่วง 0.18 – 0.24 °ซ/นาที่

โดยทั่วไปแล้วการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว (fast freezing) จะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการแช่เยือกแข็งมีค่ามากกว่า 0.83 °ซ/นาที่ แต่หากอัตราการแช่เยือกแข็งต่ำกว่านี้จะเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้า และโดยทั่วไปอัตราการแช่เยือกแข็งในเชิงการค้า (commercial freezing rate) จะอยู่ในช่วง 0.20 - 0.83 °ซ/นาที่ (Brown 1991)

ดังนั้นจึงพบว่าการออสโมซิสตัวอย่างเนื้อลำไยด้วยสารละลายทั้ง 3 ชนิดก่อนนำไปแช่เยือกแข็งในตู้แช่เยือกแข็งแบบลมสัมผัส (air blast freezer) ที่อุณหภูมิ -35 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของเนื้อลำไยเป็น -18 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดอัตราการแช่เยือกแข็งที่ยังคงอยู่ในช่วงที่ใช้ในเชิงการค้า

3.2 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสต่อลักษณะคุณภาพของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งที่เวลาต่างๆ

จากการนำตัวอย่างเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครส สารละลายมอลโทเดกซ์ทริน สารละลายซอร์บิทอลเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และตัวอย่างเนื้อลำไยที่ไม่ผ่านการออสโมซิสไปแช่เยือกแข็งจนมีอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น -18 องศาเซลเซียส แล้วนำเก็บไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 1 2 3 และ 4 เดือน ในทุกๆช่วงของการเก็บจะสุ่มตัวอย่างลำไยแช่เยือกแข็งออกมาละลายน้ำแข็งที่ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ก่อนนำไปตรวจวัดคุณสมบัติด้านต่างๆ ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

3.2.1 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บต่อค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการละลายน้ำแข็ง (%Drip loss)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการละลายน้ำแข็งของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งเป็นระยะเวลา 0 1 2 3 และ 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 41 ในภาคผนวก ก พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการละลายน้ำแข็งอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ sub plot คือชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและ main plot คือระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งต่างมีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการละลายน้ำแข็งอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 11 และ 12

ตารางที่ 11 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสต่อค่าการสูญเสียน้ำในระหว่างการละลายน้ำแข็งของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็ง

ลักษณะการออสโมซิส	ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการละลายน้ำแข็ง (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)
ไม่ผ่านออสโมซิส (ตัวอย่างควบคุม)	2.80±0.37 ^a
ออสโมซิสในสารละลายซูโครส	1.42±0.13 ^c
ออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน	1.95±0.33 ^b
ออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอล	1.28±0.19 ^c

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 11 พบว่าตัวอย่างเนื้อลำไยที่ไม่ผ่านการออสโมซิส (ตัวอย่างควบคุม) มีค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการละลายน้ำแข็งเป็นร้อยละ 2.80 ซึ่งมีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) สำหรับตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซอร์บิทอลและสารละลายซูโครสมีค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการละลายน้ำแข็งเป็นร้อยละ 1.28 และ 1.42 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ทั้งนี้เพราะการออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอลและซูโครสมีการกักน้ำบางส่วนออกได้มากกว่าตัวอย่างที่ออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินและตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการออสโมซิส จึงทำให้ปริมาณน้ำที่จะกลายเป็นผลึกน้ำแข็งในตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซอร์บิทอลและซูโครสนี้น้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ ขณะเดียวกันอัตราการแช่เยือกแข็งของเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอลและซูโครสมีค่าสูงกว่าอีกสองตัวอย่าง ดังนั้นการใช้ชนิดของสารละลายน้ำตาลที่มีขนาดมวโมเลกุลต่างกันจึงทำให้ความเสียหายของเซลล์อันเกิดจากผลึกน้ำแข็งแตกต่างกัน (Marani and others 2007)

ตารางที่ 12 ผลของเวลาเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งต่อค่าการสูญเสียน้ำในระหว่างการละลายน้ำแข็งของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็ง

ระยะเวลาการเก็บแบบแช่เยือกแข็ง (เดือน)	ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการละลายน้ำแข็ง (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)
0	1.54±0.57 ^c
1	1.80±0.58 ^b
2	1.86±0.66 ^{ab}
3	2.07±0.75 ^a
4	2.05±0.72 ^a

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 12 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บเนื้อลำไยในสภาพแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้นจาก 0 เดือนเป็น 1 ถึง 4 เดือนจะทำให้ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการละลายน้ำแข็งของเนื้อลำไยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นจะเกิดการเกิดผลึกใหม่ (recrystallization) เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อใดก็ตามที่เกิดการเกิดผลึกใหม่จะส่งผลให้เกิดการทำลายโครงสร้างของเซลล์อาหารเพิ่มขึ้นซึ่งก็ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำในระหว่างการละลายน้ำแข็งเพิ่มขึ้น (Karl and others 1975) เป็นที่น่าสังเกตว่าค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการละลายน้ำแข็งของเนื้อลำไยจะเริ่มคงที่ตั้งแต่ระยะเวลาเก็บตั้งแต่ 3 เดือนขึ้นไป

3.2.2 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บต่อปริมาณความชื้น (%MC)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสและการเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งเป็นระยะเวลา 0 ถึง 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 42 ในภาคผนวก ก พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ sub plot คือเฉพาะชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสนั้นที่มีผลต่อปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสต่อปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง

ลักษณะการออสโมซิส	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
ไม่ผ่านออสโมซิส (ตัวอย่างควบคุม)	86.12±0.84 ^a
ออสโมซิสในสารละลายซูโครส	74.74±0.61 ^c
ออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน	81.60±0.70 ^b
ออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอล	72.55±0.70 ^d

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 13 ซึ่งแสดงผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสต่อปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็งพบว่าตัวอย่างเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครส สารละลายมอลโทเดกซ์ทรินและสารละลายซอร์บิทอลจะมีปริมาณความชื้นเป็นร้อยละ 74.74 81.60 และ 72.55 ตามลำดับซึ่งมีค่าน้อยกว่า ($p\leq0.05$) ตัวอย่างเนื้อลำไยที่ไม่ผ่านการออสโมซิสซึ่งมีความชื้นร้อยละ 86.12 และตัวอย่างเนื้อลำไยที่ผ่านออสโมซิสด้วยสารละลายซอร์บิทอลมีปริมาณความชื้นต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายซอร์บิทอลทำให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากตัวอย่างในช่วงการออสโมซิสมากที่สุดจึงทำให้เหลือปริมาณน้ำในตัวอย่างเนื้อลำไยน้อยกว่าการออสโมซิสด้วยสารละลายอื่นๆ ดังนั้นหลังจากนำตัวอย่างลำไยแช่เยือกแข็งที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซอร์บิทอลไปละลายน้ำแข็งจึงทำให้ตัวอย่างหลังการละลายน้ำแข็งมีค่าความชื้นต่ำสุด

3.2.3 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (%TS)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 0 ถึง 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 43 ในภาคผนวก ก พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็ง ไม่มีผลต่อค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ sub plot คือชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและ main plot คือระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งต่างมีผลต่อค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 14 และ 15

ตารางที่ 14 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสต่อค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง

ลักษณะการออสโมซิส	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (°Brix)
ไม่ผ่านออสโมซิส (ตัวอย่างควบคุม)	11.26±0.98 ^d
ออสโมซิสในสารละลายซูโครส	22.60±0.82 ^b
ออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน	16.48±0.58 ^c
ออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอล	25.19±0.43 ^a

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 14 ซึ่งแสดงผลของชนิดของสารที่ใช้ในการออสโมซิสต่อค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง พบว่าตัวอย่างเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครส สารละลายมอลโทเดกซ์ทรินและสารละลายซอร์บิทอลจะมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เป็น 22.6 16.48 และ 25.19°Brix ตามลำดับซึ่งมีค่าสูงกว่า ($p\leq0.05$) ตัวอย่างเนื้อลำไยที่ไม่ผ่านการออสโมซิสซึ่งมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เป็น 11.26°Brix และตัวอย่างเนื้อลำไยที่ผ่านออสโมซิสด้วยสารละลายซอร์บิทอลมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ สูงกว่า ($p\leq0.05$) ในทุกตัวอย่าง ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างเนื้อลำไยได้รับของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นในช่วงของการออสโมซิสนั่นเอง

ตารางที่ 15 ผลของเวลาเก็บในสภาพแช่เยือกแข็ง ต่อค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังผ่านการละลายน้ำแข็ง

ระยะเวลาการเก็บแบบแช่เยือกแข็ง (เดือน)	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (°Brix)
0	18.31±5.95 ^c
1	18.63±6.08 ^{bc}
2	19.03±5.83 ^{ab}
3	19.38±5.63 ^a
4	19.08±5.64 ^{ab}

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 15 ซึ่งแสดงผลของเวลาเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งต่อค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังผ่านการละลายน้ำแข็ง พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในเนื้อลำไยทุกตัวอย่างเพิ่มขึ้นแต่ระยะเวลาในการเก็บที่ 2 3 และ 4 เดือน จะ

มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ไม่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อเวลาเก็บเพิ่มขึ้นจะทำให้ตัวอย่างแช่เยือกแข็งสูญเสียน้ำหนักออกไปในระหว่างการละลายน้ำแข็งเพิ่มขึ้นจึงทำให้เนื้อลำไยมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นซึ่งก็ส่งผลให้เนื้อลำไยมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นนั่นเอง

3.2.3 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บต่อค่าความแน่นเนื้อ (firmness)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแน่นเนื้อของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 0 ถึง 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 44 ในภาคผนวก ก พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งไม่มีผลต่อค่าความแน่นเนื้ออย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งต่างก็มีผลต่อค่าความแน่นเนื้ออย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 16 และ 17

ตารางที่ 16 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสต่อค่าความแน่นเนื้อของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง

ลักษณะการออสโมซิส	ค่าความแน่นเนื้อ (g_{force})
ไม่ผ่านออสโมซิส (ตัวอย่างควบคุม)	70.75 ± 6.84^c
ออสโมซิสในสารละลายซูโครส	91.34 ± 3.1^a
ออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน	84.25 ± 6.50^b
ออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอล	92.93 ± 3.22^a

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 16 ซึ่งแสดงผลของชนิดของสารที่ใช้ในการออสโมซิสต่อค่าความแน่นเนื้อของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง พบว่าตัวอย่างเนื้อลำไยที่ออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครส สารละลายมอลโทเดกซ์ทรินและสารละลายซอร์บิทอลจะมีค่าความแน่นเนื้อเป็น 91.34 84.25 และ 92.93 g_{force} ตามลำดับซึ่งมีค่าสูงกว่า ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างเนื้อลำไยที่ไม่ผ่านการออสโมซิสซึ่งมีค่าความแน่นเนื้อเป็น 70.75 g_{force} และตัวอย่างเนื้อลำไยที่ผ่านออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครสและสารละลายซอร์บิทอลมีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่า ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างเนื้อลำไยที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะซอร์บิทอลและซูโครสสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในเซลล์ของเนื้อลำไยได้ใกล้เคียงกันและมากกว่ามอลโทเดกซ์ทริน ดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดความแน่นเนื้อในตัวอย่างมากกว่า ผลงานวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Danila and Gianni (2001) ซึ่งรายงานว่าการละลายน้ำตาลที่ใช้ในการออสโมซิสจะมีผลช่วยป้องกันการเสื่อมคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้จากการแช่เยือกแข็งได้และทำให้ความรุนแรงในการยุบตัวของเซลล์ผักและผลไม้ลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิส Dermesonlouoglou and Taoukis (2006) ซึ่งได้ศึกษาเรื่องการดองน้ำ

บางส่วนออกจากผักผลไม้สดบางชนิดด้วยวิธีออสโมซิสในสารละลาย Oligofructose และ high-DE maltodextrin ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง ก็พบว่าการทำออสโมซิสช่วยลดการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งได้ ทั้งนี้เพราะมีการเพิ่มขึ้นของของแข็งในตัวอย่างผักผลไม้และขณะเดียวกันก็มีการเคลื่อนที่ของน้ำบางส่วนออกจากผักผลไม้ ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะทำให้ผักผลไม้ เหลือน้ำที่จะกลายเป็นผลึกน้ำแข็งน้อยลง ดังนั้นการทำลายโครงสร้างหรือเนื้อเยื่อของผักผลไม้จากผลึกน้ำแข็งจึงเกิดได้น้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ออสโมซิสก่อนแช่เยือกแข็ง

ตารางที่ 17 ผลของเวลาเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งต่อค่าความแน่นเนื้อของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง

ระยะเวลาการเก็บแบบแช่เยือกแข็ง (เดือน)	ค่าความแน่นเนื้อ (g_{force})
0	90.15±8.30 ^a
1	86.60±10.39 ^{ab}
2	84.98±9.46 ^b
3	82.18±10.76 ^{bc}
4	80.16±11.44 ^c

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 17 ซึ่งแสดงผลของเวลาเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งต่อค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลาย พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้นจาก 0 เดือน เป็น 4 เดือน จะทำให้ค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างเนื้อลำไยลดลงจาก 90.15 g_{force} เป็น 80.16 g_{force} ($p \leq 0.05$) งานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dermesonlouoglou and other (2007) ซึ่งรายงานว่าการเพิ่มเวลาเก็บตัวอย่างมะเขือเทศแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าเนื้อสัมผัสของมะเขือเทศลดลงซึ่งอาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของเซลล์และเพคติน โดยปริมาณเพคตินจะลดลงและจะมีการทำลายโครงสร้างของเซลล์มะเขือเทศเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น

3.2.5 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็น กรด-ด่าง ของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 0 ถึง 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 45 ในภาคผนวก ก พบว่าอิทธิพลร่วมของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่าความเป็น กรด-ด่าง อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อีกทั้ง sub plot คือชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิส และ main plot คือ ระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งต่างก็มีผลต่อค่าค่าความเป็น กรด-ด่างอย่างไม่มีนัยสำคัญอีกด้วย ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 18



ตารางที่ 18 ค่าความเป็น กรด-ด่าง (pH) ของเนื้อลำไยที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสก่อนแช่เยือกแข็งและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งเป็นระยะเวลา 0 ถึง 4 เดือน

สารละลายที่ใช้ในการออสโมซิส	ระยะเวลาเก็บแบบแช่เยือกแข็ง (เดือน)*				
	0	1	2	3	4
ไม่ผ่านออสโมซิส	4.72±0.45	4.86±0.30	4.81±0.33	5.05±0.49	4.99±0.69
ซูโครส	5.28±0.76	5.23±0.51	5.30±0.51	5.25±0.46	5.09±0.42
มอลโทเดกซ์ทริน	4.96±0.73	5.00±0.69	5.19±0.20	5.26±0.34	5.21±0.31
ซอร์บิทอล	5.18±0.51	5.17±0.54	5.29±0.38	5.35±0.59	5.30±0.43

หมายเหตุ : * เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

จากตารางที่ 18 ซึ่งแสดงค่าความเป็น กรด-ด่าง ของเนื้อลำไยที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสก่อนแช่เยือกแข็งและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของชิ้นลำไยในสภาวะการทดลองที่ใช้จะอยู่ในช่วง 4.72 ถึง 5.35 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในตัวอย่างชิ้นลำไยที่ผ่านการออสโมซิสเกิดการถ่ายโอนมวลสารระหว่างชิ้นลำไยและสารละลายออสโมซิส ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างไม่แตกต่างกันมากนัก ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ngamjit and Sanguansri (2009) ซึ่งพบว่าตัวอย่างชิ้นเงาะที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสก่อนแช่เยือกแข็ง และเก็บเป็นระยะเวลา 3 วัน และ 60 วัน มีค่าความเป็นกรด-ด่าง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

3.2.6 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บต่อค่าความสว่าง (L^*)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสว่างของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 0 ถึง 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 46 ในภาคผนวก ก พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่าความสว่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่มีเฉพาะ sub plot ซึ่งก็คือชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสเท่านั้นที่มีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสต่อค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็ง หลังการละลายน้ำแข็ง

ลักษณะการออสโมซิส	ค่าความสว่าง
ไม่ผ่านออสโมซิส (ตัวอย่างควบคุม)	51.92±3.83 ^a
ออสโมซิสในสารละลายซูโครส	48.44±5.48 ^{ab}
ออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน	51.08±3.91 ^a
ออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอล	46.47±5.14 ^b

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 19 ซึ่งแสดงผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสต่อค่าความสว่างของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง พบว่าตัวอย่างเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครสและสารละลายซอร์บิทอลจะมีค่าความสว่างเป็น 48.44 และ 46.47 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินและตัวอย่างเนื้อลำไยที่ไม่ผ่านการออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็งซึ่งมีค่าความสว่างเป็น 51.08 และ 51.92 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในช่วงการออสโมซิสด้วยสารละลายซอร์บิทอล สารละลายซูโครสและสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินเกิดการสูญเสียน้ำและการเคลื่อนที่ของของแข็งเข้าสู่เนื้อลำไยที่แตกต่างกัน โดย การออสโมซิสด้วยสารละลายซอร์บิทอลจะทำให้ น้ำเคลื่อนที่ออกจากตัวอย่างมากที่สุด และมีการแพร่ของของแข็งเข้าสู่ตัวอย่างมากที่สุดซึ่งอาจเป็นผลทำให้ค่าความสว่างของตัวอย่างลดลงมากที่สุด

3.2.7 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บต่อค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นสีแดง-เขียว ของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 0 ถึง 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 47 ในภาคผนวก ก พบว่าอิทธิพลร่วมและปัจจัยหลักคือชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งต่างก็มีผลต่อค่าความเป็นสีแดง-เขียว อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ค่าความเป็นสีแดง-เขียว ของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสซึ่งเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งเป็นระยะเวลาต่างๆ

สารละลายที่ใช้ในการออสโมซิส	ระยะเวลาเก็บแบบแช่เยือกแข็ง (เดือน)*				
	0	1	2	3	4
ไม่ผ่านออสโมซิส	-2.86±0.03	-3.20±0.48	-2.91±0.71	-2.76±0.71	-3.06±0.53
ซูโครส	-2.74±0.06	-3.03±0.47	-2.70±1.29	-2.84±0.38	-3.07±0.30
มอลโทเดกซ์ทริน	-2.15±0.14	-2.69±0.06	-2.63±0.73	-2.88±0.66	-2.70±0.34
ซอร์บิทอล	-2.75±0.04	-2.75±0.18	-3.05±0.16	-3.10±0.06	-3.04±0.13

หมายเหตุ : * เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

จากตารางที่ 20 ซึ่งแสดงค่าความเป็นสีแดง-เขียว ของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งระยะเวลา 0 ถึง 4 เดือน พบว่าค่าความเป็นสีแดง-เขียวของเนื้อลำไยจะอยู่ในช่วง -2.15 ถึง -3.20 อาจเนื่องจากเนื้อลำไยตามธรรมชาตินั้นไม่มีลักษณะของสีแดง-เขียว จึงทำให้ค่าที่ได้แตกต่างกันน้อยมากในแต่ละสภาวะการทดลอง

3.2.8 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บต่อค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*)

จากการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน ของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 0 ถึง 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 48 ในภาคผนวก ก พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน อย่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05) แต่ sub plot คือชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและ main plot คือระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน อย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) ดังแสดงในตารางที่ 21 และ 22

ตารางที่ 21 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิส ต่อค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน ของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง

ลักษณะการออสโมซิส	ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน
ไม่ผ่านออสโมซิส (ตัวอย่างควบคุม)	3.38±1.89 ^b
ออสโมซิสในสารละลายซูโครส	3.20±1.19 ^b
ออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน	4.58±1.20 ^a
ออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอล	2.99±1.18 ^b

หมายเหตุ : a, b ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 21 ซึ่งแสดงผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสต่อค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน ของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง พบว่าเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินจะมีค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน เท่ากับ 4.58 ซึ่งสูงกว่า ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสในสารละลายซูโครส มอลโทเดกซ์ทรินและซอร์บิทอล

ตารางที่ 22 ผลของเวลาในการเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งต่อค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน ของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง

ระยะเวลาการเก็บแบบแช่เยือกแข็ง (เดือน)	ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน
0	2.53 ± 1.07^b
1	2.48 ± 1.18^b
2	3.59 ± 1.37^{ab}
3	4.35 ± 1.17^a
4	4.72 ± 1.29^a

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 22 ซึ่งแสดงผลของเวลาในการเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งต่อค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน ของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง พบว่าที่ระยะเวลาในการเก็บเนื้อลำไยเป็น 3 และ 4 เดือน จะทำให้ตัวอย่างมีค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน สูงกว่าเมื่อเก็บไว้เพียง 0 และ 1 เดือน ($p \leq 0.05$)

จากผลการวัดสีพบว่าเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส (ตัวอย่างควบคุม) หลังการละลายน้ำแข็งแล้วจะมีสีขาวปนเหลืองและมีค่าความสว่างสูงแต่ตัวอย่างแช่เยือกแข็งที่ผ่านการออสโมซิสเมื่อนำมาละลายน้ำแข็งจะมีความสว่างลดลงส่วนความเป็นสีเหลืองจะยังคงใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิสยกเว้นตัวอย่างที่ออสโมซิสด้วยสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินจะมีความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นซึ่งอาจเกิดจากสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินเกิดความขุ่นขึ้นในช่วงท้ายๆ ของช่วงโมเมนต์ของการออสโมซิสอันเกิดจากแซ็กคาไรด์ขนาดใหญ่ที่ละลายน้ำได้เกิดการรวมตัวเป็นแซ็กคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำและเกิดเป็นตะกอนแขวนลอยอยู่ในสารละลาย (Petersen 1975) ดังนั้นจึงอาจมีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำบางส่วนมาเคลือบติดแน่นอยู่ที่ผิวของเนื้อลำไยจึงอาจเป็นเหตุให้ผิวลำไยหลังการละลายน้ำแข็งมีความเป็นสีเหลืองมากกว่าตัวอย่างอื่น

3.2.9 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บต่อค่าความแตกต่างของสีรวม (ΔE^*)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแตกต่างของสีรวมของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 0 ถึง 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 49 ในภาคผนวก ก พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บ

แบบแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่าความแตกต่างของสีรวมอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่มีเฉพาะชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสเท่านั้นที่มีผลต่อค่าความแตกต่างของสีรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิส ต่อค่าความแตกต่างของสีรวม (ΔE^*) ของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง

ลักษณะการออสโมซิส	ค่าความแตกต่างของสีรวม (ΔE^*)
ไม่ผ่านออสโมซิส (ตัวอย่างควบคุม)	4.87 ± 1.16^b
ออสโมซิสในสารละลายซูโครส	6.62 ± 1.85^a
ออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน	4.53 ± 1.47^b
ออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอล	7.40 ± 2.01^a

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 23 ซึ่งแสดงผลของชนิดของสารที่ใช้ในการออสโมซิส ต่อค่าความแตกต่างของสีรวมของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง พบว่าเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครสและสารละลายซอร์บิทอลจะมีค่าความแตกต่างของสีรวมสูงกว่า เนื้อลำไยที่ไม่ผ่านและผ่านออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน ($p\leq0.05$) ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นจากตัวอย่างแช่เยือกแข็งที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายทั้งสองเมื่อนำมาละลายน้ำแข็งแล้วมีค่าความสว่างต่ำกว่าตัวอย่างอื่นนั่นเอง

จากการศึกษาผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาเก็บแบบแช่เยือกแข็งต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็ง พบว่าการออสโมซิสก่อนแช่เยือกแข็งจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของตัวอย่างในระหว่างการแช่เยือกแข็งและในระหว่างเก็บแบบแช่เยือกแข็งได้เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิสก่อนแช่เยือกแข็ง เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสก่อนแช่เยือกแข็งพบว่าการออสโมซิสด้วยสารละลายซอร์บิทอลและสารละลายซูโครสจะทำให้ตัวอย่างแช่เยือกแข็งมีการสูญเสียน้ำระหว่างการละลาย (drip loss) ต่ำสุดและมีค่าความแน่นเนื้อ (firmness) หลังการละลายสูงสุด

สำหรับผลของระยะเวลาในการเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของตัวอย่างเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำในระหว่างการละลายเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้ค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างลดลงทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ (recrystallization) เพิ่มขึ้นตามเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง

3.3 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสต่อคะแนนความชอบในด้านต่างๆของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งในระหว่างการเก็บในสภาพแช่เยือกแข็ง

จากการนำตัวอย่างเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครส สารละลายมอลโทเดกซ์ทริน สารละลายซอร์บิทอล และตัวอย่างเนื้อลำไยที่ไม่ผ่านการออสโมซิสไปแช่เยือกแข็งและเก็บไว้เป็นระยะเวลา 0 ถึง

4 เดือน และในทุกช่วงของการเก็บจะสุ่มตัวอย่างออกมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทดสอบหาคะแนนความชอบโดยผู้ทดสอบชิม ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

3.3.1 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บต่อค่าคะแนนความชอบด้านสีของเนื้อลำไยหลังการละลายน้ำแข็ง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านสีของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการออสโมซิสและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 0 ถึง 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 50 ในภาคผนวก ก พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่าคะแนนความชอบด้านสีอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งต่างก็มีผลต่อค่าคะแนนความชอบด้านสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 24 และ 25

ตารางที่ 24 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิส ต่อค่าคะแนนความชอบด้านสีของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง

ลักษณะการออสโมซิส	ค่าคะแนนความชอบด้านสี
ไม่ผ่านออสโมซิส (ตัวอย่างควบคุม)	6.05±1.52 ^{ab}
ออสโมซิสในสารละลายซูโครส	6.36±1.35 ^a
ออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน	5.78±1.55 ^b
ออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอล	6.28±1.32 ^a

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 24 ซึ่งแสดงผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสต่อค่าคะแนนความชอบด้านสีของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง พบว่าการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครสและสารละลายซอร์บิทอลก่อนแช่เยือกแข็งจะทำให้เนื้อลำไยหลังการละลายน้ำแข็งมีค่าคะแนนความชอบด้านสีเป็น 6.36 และ 6.28 ซึ่งอยู่ในช่วงขอบเล็กน้อยถึงปานกลางและคะแนนดังกล่าวนี้มีค่าสูงกว่า ($p\leq0.05$) ในตัวอย่างที่ออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน

ตารางที่ 25 ผลของเวลาในการเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งต่อค่าคะแนนความชอบด้านสีของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็ง และเก็บหลังการละลายน้ำแข็ง

ระยะเวลาการเก็บแบบแช่เยือกแข็ง (เดือน)	ค่าคะแนนความชอบด้านสี
0	6.37±1.32 ^a
1	6.28±1.41 ^a
2	6.10±1.34 ^{abc}
3	5.93±1.64 ^{bc}
4	5.90±1.51 ^c

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 25 ซึ่งแสดงผลของเวลาในการเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งต่อค่าคะแนนความชอบด้านสีของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าคะแนนความชอบด้านสีของเนื้อลำไยทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงโดยเฉพาะในเดือนที่ 3 และ 4 จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เมื่อเทียบกับเดือนที่ 0 และ 1

3.3.2 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บต่อค่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อลำไยหลังการละลายน้ำแข็ง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งระยะเวลา 0 ถึง 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 51 ในภาคผนวก ก พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่มีเฉพาะชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสนั้นๆที่มีผลต่อค่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 26

ตารางที่ 26 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิส ต่อค่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อ
ลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง

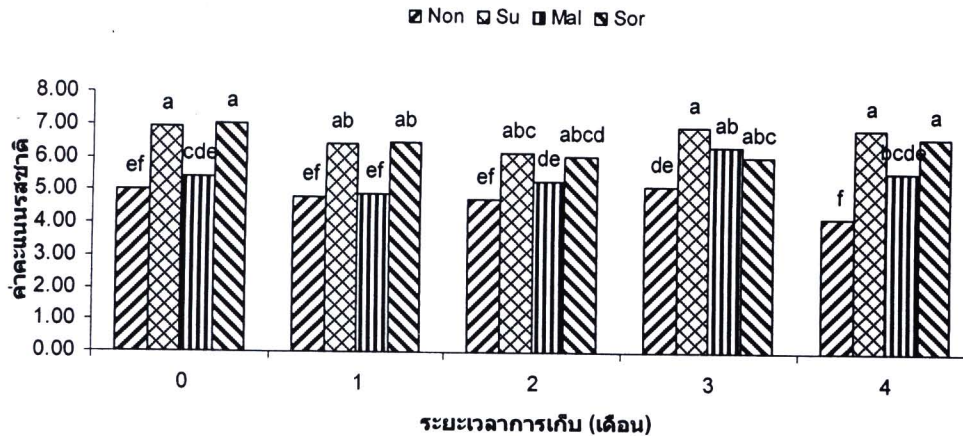
ลักษณะการออสโมซิส	ค่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส
ไม่ผ่านออสโมซิส (ตัวอย่างควบคุม)	5.21±1.75 ^b
ออสโมซิสในสารละลายซูโครส	6.04±1.61 ^a
ออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน	5.51±1.55 ^b
ออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอล	6.06±1.75 ^a

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น
ร้อยละ 95

จากตารางที่ 26 ซึ่งแสดงผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิส ต่อค่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลาย พบว่าตัวอย่างเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครสและสารละลายซอร์บิทอลจะมีค่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสเป็น 6.04 และ 6.06 ตามลำดับซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงขอบเล็กน้อยและคะแนนดังกล่าวก็สูงกว่า ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินซึ่งมีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสเพียง 5.21 และ 5.51 ตามลำดับทั้งนี้อาจเนื่องมาจากตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอลและซูโครสมีค่าความแน่นเนื้อ (firmness) สูงกว่านั่นเอง (ตารางที่ 16) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ngamjit and Sanguansri (2009) ซึ่งพบว่าตัวอย่างชิ้นเงาที่ผ่านการออสโมซิสก่อนแช่เยือกแข็งจะได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากกว่าตัวอย่างชิ้นเงาแช่เยือกแข็งที่ไม่ได้ผ่านการออสโมซิสอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ Dermesonlouoglou and others (2007) รายงานว่าตัวอย่างมะเขือเทศที่ผ่านการออสโมซิสในสารละลายกลูโคส สารละลายมอลโทเดกซ์ทริน สารละลายโอลิโกฟรุคโตส และสารละลายผสมระหว่างโอลิโกฟรุคโตสและทรีฮาโลส จะได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงกว่าตัวอย่างมะเขือเทศแช่เยือกแข็งที่ไม่ผ่านการออสโมซิส

3.3.3 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บต่อค่าคะแนนความชอบด้านรสชาติของเนื้อลำไยหลังการละลายน้ำแข็ง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านรสชาติของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งระยะเวลา 0 ถึง 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 52 ในภาคผนวก ก พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่าคะแนนความชอบด้านรสชาติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 คะแนนความชอบด้านรสชาติของเนื้อลำไยที่ผ่านและไม่ผ่านการออสมิซิสก่อนการแช่เยือกแข็งและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งเป็นระยะเวลาต่างๆ

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากภาพที่ 15 ซึ่งแสดงค่าคะแนนความชอบด้านรสชาติของเนื้อลำไยที่ผ่านและไม่ผ่านการออสมิซิสก่อนการแช่เยือกแข็งและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 0 ถึง 4 เดือน พบว่าตัวอย่างเนื้อลำไยที่ผ่านการออสมิซิสด้วยสารละลายซูโครสและสารละลายซอร์บิทอลจะมีค่าคะแนนความชอบด้านรสชาติสูงกว่า ($p \leq 0.05$) ในอีกสองตัวอย่างยกเว้นในเดือนที่ 3 ของการเก็บรักษาพบว่าตัวอย่างที่ผ่านการออสมิซิสด้วยสารละลายซูโครส สารละลายมอลโทเดกซ์ทรินและสารละลายซอร์บิทอลจะมีค่าคะแนนความชอบด้านรสชาติไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

3.3.4 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสมิซิสและระยะเวลาในการเก็บต่อค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของเนื้อลำไยหลังการละลายน้ำแข็ง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส ของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสมิซิสและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งระยะเวลา 0 ถึง 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 53 ในภาคผนวก ก พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสมิซิสและระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสมิซิสและระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งต่างก็มีผลต่อค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 27 และ 28

ตารางที่ 27 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสต่อค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส ของเนื้อลำไย
แช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง

ลักษณะการออสโมซิส	ค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส
ไม่ผ่านออสโมซิส (ตัวอย่างควบคุม)	5.09±1.66 ^c
ออสโมซิสในสารละลายซูโครส	6.44±1.47 ^a
ออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน	5.49±1.36 ^b
ออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอล	6.17±1.54 ^a

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 27 ซึ่งแสดงผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสต่อค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง พบว่าตัวอย่างเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครสและสารละลายซอร์บิทอลจะมีค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสเป็น 6.44 และ 6.17 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าได้รับความชอบในช่วงขอบเล็กน้อยถึงปานกลางและคะแนนดังกล่าวนี้ก็สูงกว่า ($p \leq 0.05$) ในตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินซึ่งได้รับคะแนนความชอบเพียง 5.09 และ 5.49 ตามลำดับ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานของ Dermesonlouoglou and others (2008) ซึ่งรายงานว่าตัวอย่างที่ออสโมซิสในสารละลายต่างๆ ก่อนการแช่เยือกแข็งจะได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการออสโมซิสก่อนแช่เยือกแข็ง

ตารางที่ 28 ผลของเวลาในการเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งต่อค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส ของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง

ระยะเวลาการเก็บแบบแช่เยือกแข็ง (เดือน)	ค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส
0	6.13±1.51 ^a
1	5.88±1.64 ^{ab}
2	5.74±1.73 ^{ab}
3	5.72±1.60 ^b
4	5.52±1.48 ^b

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 28 ซึ่งแสดงผลของเวลาในการเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บเป็นระยะเวลา 3 เดือน

ขึ้นไปจะทำให้ค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของเนื้อลำไยในทุกตัวอย่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะเมื่อระยะเวลาเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการสูญเสียในระหว่างการละลายน้ำแข็ง (driploss) เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทำให้สารให้กลิ่นรสในลำไยสูญเสียไปมากด้วยนั่นเองซึ่งก็ส่งผลให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นรสลดลงตามระยะเวลาเก็บที่เพิ่มขึ้น

3.3.4 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บต่อค่าคะแนนความชอบโดยรวมของเนื้อลำไยหลังการละลายน้ำแข็ง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคะแนนความชอบโดยรวม ของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการออสโมซิสและเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งระยะเวลา 0 ถึง 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 54 ในภาคผนวก ก พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่าคะแนนความชอบโดยรวมอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งต่างก็มีผลต่อค่าคะแนนความชอบโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 29 และ 30

ตารางที่ 29 ผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิส ต่อค่าคะแนนความชอบรวมของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง

ลักษณะการออสโมซิส	ค่าคะแนนความชอบโดยรวม
ไม่ผ่านออสโมซิส (ตัวอย่างควบคุม)	5.09±1.54 ^c
ออสโมซิสในสารละลายซูโครส	6.45±1.53 ^a
ออสโมซิสในสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน	5.58±1.40 ^b
ออสโมซิสในสารละลายซอร์บิทอล	6.34±1.58 ^a

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 29 ซึ่งแสดงผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิส ต่อค่าคะแนนความชอบรวมของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งหลังการละลายน้ำแข็ง พบว่าตัวอย่างเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครสและสารละลายซอร์บิทอลจะมีค่าคะแนนความชอบรวมเป็น 6.45 และ 6.34 ตามลำดับซึ่งถือว่ามีความชอบในช่วงขอบเล็กน้อยถึงปานกลางและคะแนนดังกล่าวก็สูงกว่า ($p \leq 0.05$) ในตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิสและตัวอย่างที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน ซึ่งได้รับคะแนนความชอบเป็น 5.09 และ 5.58 ตามลำดับ ผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลงานของ Dermesonlouoglou and others (2007) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการออสโมซิสมะเขือเทศในสารละลายชนิดต่างๆ ได้แก่ สารละลายกลูโคส สารละลายมอลโทเดกซ์ทริน สารละลายโอลิโกฟรุกโตส และสารละลายผสมระหว่างโอลิโกฟรุกโตสและทรีฮาโลสจะได้รับคะแนนความชอบรวมสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็ง ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 30 ผลของเวลาในการเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งต่อค่าคะแนนความชอบรวมของเนื้อลำไยแช่เยือกแข็ง
หลังการละลายน้ำแข็ง

ระยะเวลาการเก็บแบบแช่เยือกแข็ง (เดือน)	ค่าคะแนนความชอบโดยรวม
0	6.13±1.65 ^a
1	6.04±1.52 ^{ab}
2	5.93±1.57 ^{abc}
3	5.70±1.52 ^{bc}
4	5.53±1.73 ^c

หมายเหตุ : a, b.. ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 30 ซึ่งแสดงผลของเวลาในการเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งต่อคะแนนความชอบรวมของเนื้อลำไยหลังการละลายน้ำแข็งพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บเป็นระยะเวลา 3 เดือนขึ้นไปจะทำให้ค่าคะแนนความชอบโดยของเนื้อลำไยในทุกตัวอย่างลดลง ($p \leq 0.05$)

จากผลการศึกษาเรื่องผลของชนิดของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสและระยะเวลาเก็บในสภาพแช่เยือกแข็งต่อคะแนนความชอบในด้านต่างๆของเนื้อลำไย พบว่าตัวอย่างเนื้อลำไยแช่เยือกแข็งที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายซูโครสและสารละลายซอร์บิทอลเมื่อนำมาละลายน้ำแข็งแล้วจะได้รับค่าคะแนนความชอบด้านสี เนื้อสัมผัส รสชาติ กลิ่นรส และความชอบรวมสูงกว่าตัวอย่างเนื้อลำไยที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินและตัวอย่างเนื้อลำไยที่ไม่ผ่านการออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็ง และเมื่อระยะเวลาในการเก็บแบบแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส และความชอบรวมลดลงในทุกตัวอย่าง