บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของมะละกอ

ในการผลิตมะละกอที่ทำแห้งโดยวิธีการออสโมซิสนั้นมีความจำเป็นที่ต้องมีการตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นทั้งทางกายภาพและเคมี โดยมะละกอที่นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นมะละกอพันธุ์แขกดำมีน้ำหนักในช่วง 0.8-1.2 กิโลกรัม เปลือกมีผิวเรียบและสีเขียวเข้ม ระยะความสุกหนึ่งในสี่ (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2545) เหตุผลที่เลือกมะละกอพันธุ์แขกดำเนื่องจากเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมาก มะละกอมีเนื้อหนา แน่นแข็ง กรอบและมีสีแดง ผลการตรวจวัดสมบัติทางเคมีและกายภาพของมะละกอ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบ สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของมะละกอ

	ค่าเฉลี่ย[ท] ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณความชื้น (%)	0.50 ±0.17
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (^{o}Brix)	11.3 ±0.2
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (g/ 100g)	7.52 ±0.07
ปริมาณกรด (% as citric acid)	0.110 ±0.004
ค่าเนื้อสัมผัส (hardness, g)	92.93 ±20.16
ค่าสีของเนื้อมะละกอ	
L*	55.26 ±1.57
a*	22.58 ±2.48
b*	33.13 ±1.74

[ท]ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ผลจากการวิเคราะห์พบว่า มะละกอมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 88 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 11 บริกซ์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ประมาณร้อยละ 7–8 ปริมาณกรดประมาณร้อยละ 0.1 ซึ่งสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของมะละกอมีค่าใกล้เคียงกับคุณภาพมะละกอสำหรับการออสโมซิสซึ่งรายงานโดย Rodrigues Cunha และ Hubinger (2003) โดยสมบัติของมะละกอเหล่านี้ ใช้เป็นตัวบ่งชี้ระดับความสุกของมะละกอเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลือกวัตถุดิบในการผลิตให้อยู่ในเกณฑ์เดียวกันทุกครั้งที่ทำการทดลอง โดยในงานวิจัยนี้เลือกเกณฑ์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในช่วง 10-12 บริกซ์ และค่าเนื้อสัมผัสในช่วง 70-110 กรัม ในการพิจารณาเลือกมะละกอเป็นวัตถุดิบในการทดลองแต่ละครั้ง

4.2 ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ที่ซึมเข้าเนื้อมะละกอในช่วงการ pretreatment

นำมะละกอมาหั่นเป็นชิ้นขนาด 1.5x1.5x3.0 เซนติเมตร จากนั้นแช่สารละลายผสมที่ประกอบด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.5% กรดซิตริก 1.0% และแปรแคลเซียมคลอไรด์เป็น 5 ระดับ คือ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0% (w/v) ตามวิธีการทดลองในข้อ 3.2

4.2.1 ผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อลักษณะเนื้อสัมผัส

ผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของมะละกอที่ภาวะการแช่ในสารละลายผสมเป็นเวลา 1 ถึง 7 วัน โดยใช้เครื่อง Texture analyzer หัววัด Cylinder probe ขนาด 2 มิลลิเมตร แรงที่วัดได้เป็นแรงกด แสดงถึงค่าความแข็งของเนื้อมะละกอ (hardness, g) โดยวัดค่าทุกวัน ผลของค่าเนื้อสัมผัส (hardness, g) แสดงดังตารางที่ 4.2

เมื่อนำผลของค่า hardness มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS พบว่าทั้งสองปัจจัย คือระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์และระยะเวลาที่ใช้ในการแช่มะละกอ ส่งผลให้ค่า hardness ของมะละกอมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ ข.1 (ภาคผนวก ข) โดยพบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ค่า hardness ของเนื้อมะละกอเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเวลาในการแช่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า hardness ในเนื้อมะละกอเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่แช่นานขึ้น และนอกจากนี้ยังพบอิทธิพลร่วมของค่า hardness ระหว่างระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์และระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ ($P \leq 0.05$) ซึ่งสามารถเห็นแนวโน้มได้อย่างชัดเจนดังรูปที่ 4.1

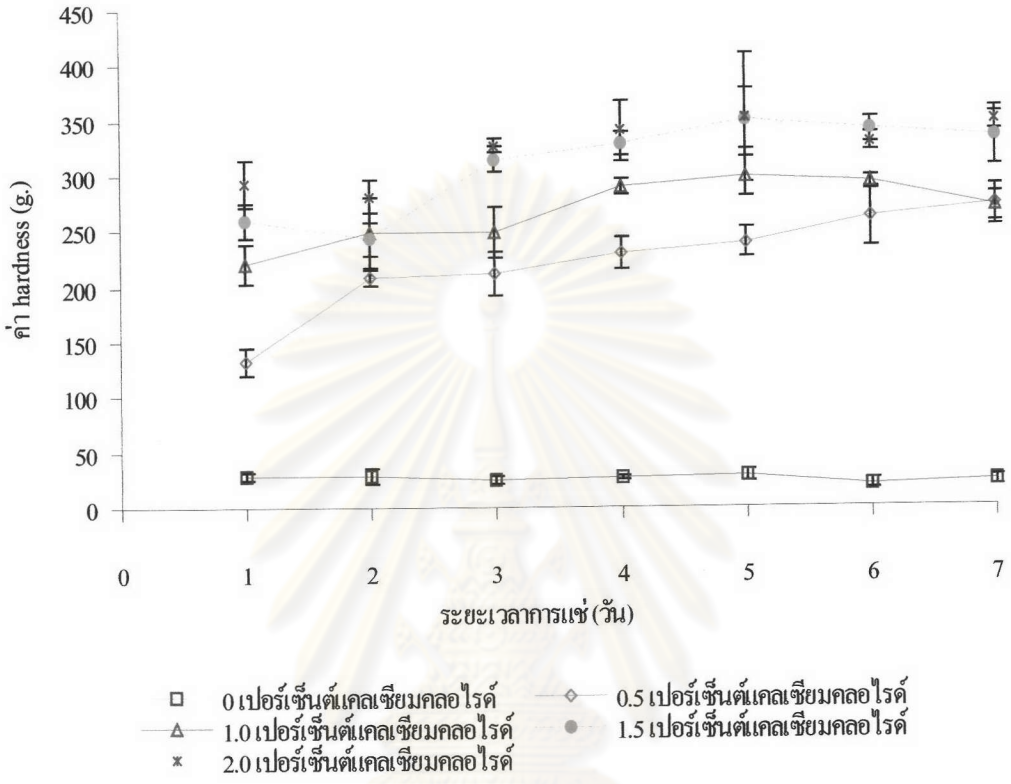
ผลการทดลอง (รูปที่ 4.1) พบว่ามะละกอที่แช่ในสารละลายผสมที่ไม่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ (0% $CaCl_2$) ส่งผลให้ค่าเนื้อสัมผัสของมะละกอที่วัดได้หลังการแช่เป็นเวลา 1 ถึง 7 วันมีค่า hardness ลดลงจากมะละกอสดเริ่มต้นก่อนการแช่ ซึ่งค่า hardness ของมะละกอสดเริ่มมีค่าอยู่ในช่วง 70-110 g (ตารางที่ 4.1) โดยค่าเนื้อสัมผัสหลังการแช่สารละลายผสมเป็นระยะเวลา 1 ถึง 7 วัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 20-30 กรัม ในขณะที่ภาวะการแช่ที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์จะส่งผลให้ค่าเนื้อสัมผัสสูงกว่ามะละกอเริ่มต้น และเมื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ยังส่งผลให้มีค่าเนื้อสัมผัสของมะละกอสูงขึ้นอีกด้วย แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมคลอไรด์ส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของมะละกอดีขึ้น โดยผลที่ได้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Quintero-Ramos และคณะ (2003)

ตารางที่ 4.2 ผลของปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ต่อลักษณะเนื้อสัมผัส (hardness) ของมะละกอในช่วงการ pretreatment

$CaCl_2$ (%)	Hardness (g) ระยะการแช่ (วัน)						
	1	2	3	4	5	6	7
0.00	$28.14^{a} \pm 3.16$	$27.66^{a} \pm 7.08$	$24.78^{a} \pm 3.26$	$26.73^{a} \pm 2.31$	$27.66^{a} \pm 5.11$	$20.20^{a} \pm 3.92$	$22.16^{a} \pm 3.93$
0.50	$132.00^{b} \pm 12.44$	$207.61^{c} \pm 7.23$	$211.21^{cd} \pm 19.23$	$230.17^{cdef} \pm 14.18$	$239.07^{cdefg} \pm 13.34$	$260.38^{fghij} \pm 25.29$	$271.28^{ghijk} \pm 18.92$
1.00	$220.32^{cdef} \pm 17.45$	$248.50^{efgh} \pm 31.40$	$249.28^{efgh} \pm 22.88$	$289.22^{ijkl} \pm 6.50$	$298.72^{klm} \pm 17.80$	$292.77^{ijkl} \pm 4.77$	$269.29^{ghijk} \pm 13.40$
1.50	$258.70^{fghi} \pm 15.90$	$242.97^{efg} \pm 14.46$	$314.91^{lmn} \pm 11.51$	$328.05^{mno} \pm 10.22$	$349.81^{o} \pm 27.28$	$340.00^{no} \pm 11.23$	$333.31^{no} \pm 26.33$
2.00	$293.55^{jkl} \pm 20.93$	$280.93^{hijk} \pm 14.81$	$327.02^{mno} \pm 5.77$	$339.91^{no} \pm 26.81$	$351.00^{o} \pm 58.44$	$329.07^{mno} \pm 7.29$	$347.18^{no} \pm 8.33$

a,b,c...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันมีค่าเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ศึกษาการซึมผ่านของปริมาณแคลเซียมในชิ้นแครอท โดยแปรระดับความเข้มข้นของแคลเซียม-คลอไรด์ ซึ่งพบว่าเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อปริมาณการซึมเข้าของแคลเซียมสูงขึ้นทำให้เนื้อสัมผัสของแครอทสูงขึ้นเนื่องจากการสร้างแคลเซียมเพกเทต



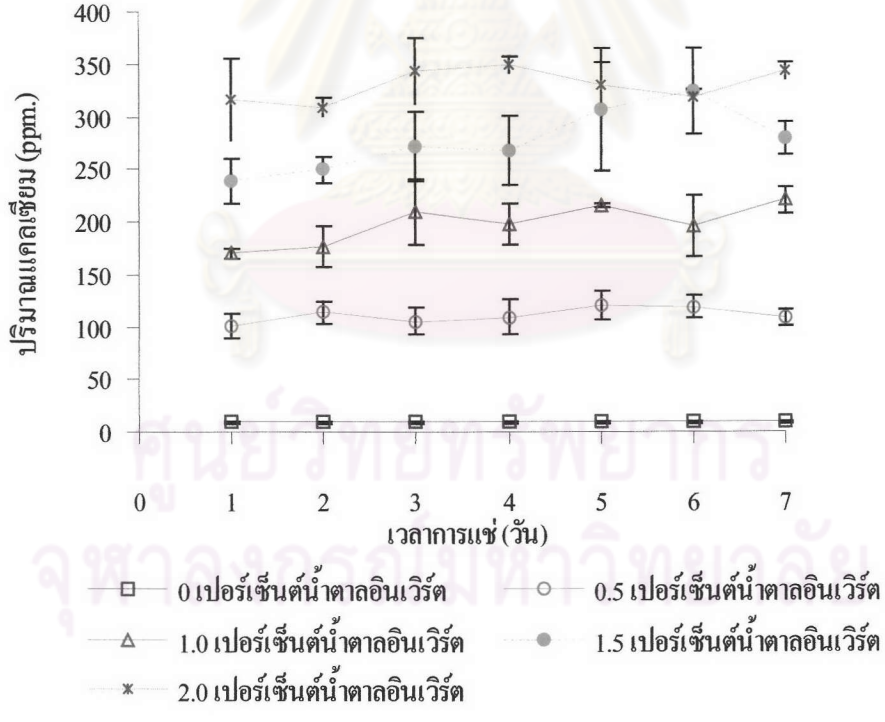
รูปที่ 4.1 ค่าเนื้อสัมผัส (hardness) ของมะละกอที่แปรความเข้มข้นแคลเซียมคลอไรด์ในช่วงการ pretreatment

การใช้แคลเซียมคลอไรด์ในสารละลายผสมในช่วงการ pretreatment ของการทำแห้งเพื่อช่วยให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้ดีขึ้น อาจอธิบายด้วยกลไกการสร้างความแน่นเนื้อของมะละกอเนื่องจากโครงสร้างของเซลล์มะละกอมีสารประกอบพวกเพกทิน (pectin) เมื่อมะละกอแช่ในสารละลายเกลือแคลเซียมจะเกิดการแทรกซึมของแคลเซียมอิออนเข้าไปในเนื้อมะละกอ และแคลเซียมอิออนจะไปจับกับโมเลกุลของเพกทินที่ถูกดึงหมู่เมทธิลออกแล้ว ได้เป็นสารประกอบแคลเซียมเพกเทตทำให้มะละกอคงรูปอยู่ได้ (Bourne, 1976) การซึมเข้าของแคลเซียมอาจวัดโดย Atomic absorption spectrophotometry ดังอธิบายในหัวข้อ 4.2.2

4.2.2 ผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าในเนื้อมะละกอ

ปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าในเนื้อมะละกอโดยการแช่มะละกอในสารละลายผสมเป็นเวลา 1-7 วัน ที่ระดับความเข้มข้นของปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ต่างกัน ปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าในเนื้อมะละกอ โดยหลักการ atomic absorption spectrophotometry ผลของการซึมเข้าของปริมาณแคลเซียมแสดงดังตารางที่ 4.3

จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ปริมาณแคลเซียมซึมเข้าในเนื้อมะละกอเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และพบว่าปริมาณแคลเซียมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อระยะเวลาการแช่เพิ่มขึ้น จากการคำนวณทางสถิติ (ตารางที่ ข.1) พบว่าระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์และเวลาที่ใช้ในการแช่ ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้า ($P>0.05$) ตารางที่ 4.3 แสดงผลของปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าในเนื้อมะละกอ เป็นระยะเวลา 1 ถึง 7 วัน และรูปที่ 4.2 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแคลเซียม



รูปที่ 4.2 ผลของการแช่แคลเซียมคลอไรด์ต่อการซึมเข้าของปริมาณแคลเซียมในเนื้อมะละกอ

ตารางที่ 4.3 ผลของปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าในเนื้อมะละกอที่แช่ในสารละลายผสมเป็นระยะเวลาต่างๆ

$CaCl_2$ (%)	ปริมาณแคลเซียม (ppm.) ระยะการแช่ (วัน)						
	1	2	3	4	5	6	7
0.00^{ns}	9.05^{a}± 0.50	9.05^{a}± 0.50	9.05^{a}±0.50	9.05^{a}±0.50	9.05^{a}± 0.50	9.05^{a}± 0.50	9.05^{a}± 0.50
0.50^{ns}	101.15^{b}±12.40	114.20^{b}±10.95	105.51^{b}±12.52	109.46^{b}±16.58	120.00^{b}±13.78	119.06^{b}±10.52	108.90^{b}± 7.93
1.00^{ns}	170.66^{c}± 5.05	177.36^{c}±19.21	209.71^{c}±31.03	198.37^{c}±19.03	215.63^{c}± 2.48	196.37^{c}±29.50	221.15^{c}±12.59
1.50^{ns}	238.66^{d}±21.99	250.05^{d}±12.87	271.63^{d}±33.34	268.23^{d}±32.76	307.20^{d} ±58.06	324.63^{d}±40.54	279.75^{d}±14.73
2.00^{ns}	316.01^{e} ±39.11	309.64^{e}± 7.93	344.17^{e}±30.90	349.63^{e}±7.08	330.20^{e}±21.66	318.14^{d}± 8.38	343.30^{e}±7.29

a,b,c...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างในแต่ละสดมภ์มีปริมาณแคลเซียมที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ns คือ ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

จากรูปที่ 4.2 สังเกตได้ว่าปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าในเนื้อมะละกอเพิ่มสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่เติมลงไปในสารละลาย แต่การเพิ่มขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อระยะเวลาในการแช่นานขึ้น แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าแคลเซียมซึมเข้าไปในเนื้อมะละกอในช่วงต้นของการแช่เท่านั้น

เมื่อเปรียบเทียบผลของค่า hardness และค่าแคลเซียมที่ซึมเข้าในเนื้อมะละกอ พิจารณาใช้ค่า hardness ในการเลือกภาวะการแช่ในช่วงการ pretreatment เนื่องจากปริมาณแคลเซียมที่ซึมเข้าไปในเนื้อมะละกอมากอาจจะส่งผลต่อรสชาติของมะละกอหลังจากการทำเป็นผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงสามารถแบ่งกลุ่มของค่า hardness ตามกลุ่มตัวเลขได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 มีค่า hardness $\geq$ 350 กรัม พบว่ามี 2 ภาวะ คือภาวะการแช่ 2% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 5 วัน มีค่า hardness 351.00 กรัม และ 1.5% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 5 วัน มีค่า hardness 349.81 กรัม จากการพิจารณาถึงการประหยัดสารเคมีในเวลาการแช่ที่เท่ากัน จึงเลือกภาวะการแช่ที่ 1.5% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 5 วัน เป็นตัวแทนในกลุ่มนี้

กลุ่มที่ 2 มีค่า hardness ในช่วง 340-349 กรัม พบว่ามี 3 ภาวะ คือภาวะการแช่ 2% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 4 วัน มีค่า hardness 339.91 กรัม 1.5% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 6 วัน มีค่า hardness 340.00 กรัม และ 2% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 7 วัน มีค่า hardness 347.18 กรัม จากการพิจารณาถึงการใช้เวลาในการแช่น้อยกว่า จึงเลือกภาวะการแช่ที่ 2% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 4 วัน เป็นตัวแทนของกลุ่ม

กลุ่มที่ 3 มีค่า hardness ในช่วง 325-339 กรัม พบว่ามี 4 ภาวะ คือ 1.5% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 7 วันมีค่า hardness 333.31 กรัม ภาวะการแช่ 2% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 3 วันมีค่า hardness 327.02 กรัม ภาวะการแช่ 1.5% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 4 วัน มีค่า hardness 328.05 กรัม และ 2% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 6 วันมีค่า hardness 329.07 กรัม จากการพิจารณาถึงการประหยัดสารเคมีจึงเลือกภาวะการแช่ 1.5 % $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 4 วัน

กลุ่มที่ 4 มีค่า hardness ในช่วง 315-329 กรัม พบว่ามี 1 ภาวะ คือ 1.5% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 3 วัน มีค่า hardness 314.91กรัม

กลุ่มที่ 5 มีค่า hardness ในช่วง 300-314 กรัม พิจารณาเลือกที่ภาวะการแช่ที่ 1.0% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 5 วัน มีค่า hardness 298.72 กรัม เพราะทางอุตสาหกรรมมีการใช้ที่ความเข้มข้นนี้ในการแช่ในผลไม้ทั่วไปในช่วงการ pretreatment

เลือกตัวแทนจาก 5 กลุ่มภาวะการแช่ เพื่อเป็นตัวแทนทำเป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนต่อไป

4.3 ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์และเวลาแช่ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิส

นำมะละกอที่ผ่านการแช่สารละลายผสมจากการเลือกภาวะในข้อ 4.2 ทั้ง 5 ภาวะการแช่เข้าสู่กระบวนการออสโมซิสซึ่งในขั้นนี้แช่มะละกอในสารละลายซูโครส 4 ระดับความเข้มข้น โดยเพิ่มความเข้มข้นให้สูงขึ้นเพื่อป้องกันการหดตัวของผลิตภัณฑ์ (Brown, 1969) จากนั้นนำมาอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส รายละเอียดดังข้อที่ 3.3 นำผลิตภัณฑ์มะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสประเมินผลคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านปริมาณความชื้น ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ค่าสีโดยระบบ CIE L*a*b* และผลของการทดสอบทางประสาทสัมผัส

4.3.1 ผลของภาวะการแช่ต่อคุณภาพของมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสด้านปริมาณความชื้น ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ผลของปริมาณความชื้น ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 คุณภาพของมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสที่ภาวะต่างๆ ในช่วงการ pretreatment

ภาวะการแช่	ปริมาณความชื้น ^{ns} (%)	ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ppm.)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ^{ns} (g/100 g)
1.0% $CaCl_2$ 5 วัน	15.44±0.46	151.31 ^{c}±2.90	26.79±0.63
1.5% $CaCl_2$ 3 วัน	15.75±0.31	116.58 ^{a}±10.73	26.54±0.47
1.5% $CaCl_2$ 4 วัน	15.36±0.13	130.44 ^{b}±4.59	27.13±0.47
1.5% $CaCl_2$ 5 วัน	15.51±0.27	150.65 ^{c}±7.43	26.11±0.39
2.0% $CaCl_2$ 4 วัน	15.40±0.29	124.95 ^{ab}±0.38	25.85±0.41

a,b,c...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.4) พบว่าภาวะการแช่ต่างกันไม่ส่งผลต่อความแตกต่างในปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ในขณะที่ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยปริมาณความชื้นของมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสทั้ง 5 ภาวะการแช่ อยู่ในช่วง 15-16 % และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีปริมาณอยู่ในช่วง 25-27% สาเหตุของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่แตกต่างกันนั้น พบว่าภาวะที่ระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณซัลเฟอร์ได-

ออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะภาวะการแช่ 3 วัน มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ในช่วง 106-126 ppm. ส่วนภาวะที่แช่ 5 วันมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ในช่วง 148-155 ppm. ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ไม่มีผลต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพราะปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของภาวะการแช่ 1% $CaCl_2$ 5 วัน และ 1.5% $CaCl_2$ 5 วัน มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ในกลุ่มเดียวกัน (ตารางที่ 4.4) แสดงให้เห็นว่าเวลาในการแช่มีผลต่อการซึมเข้าของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อเวลาการแช่นานขึ้นส่งผลให้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้าในเนื้อมะละกอมากขึ้น

4.3.2 ผลของภาวะการแช่ต่อคุณภาพด้านสี

วัดค่าสีโดย ระบบ CIE L*a*b* โดยที่ค่า L* บ่งบอกถึงค่าความสว่างมีค่าทั้งแต่ 0 คือค่าความสว่างน้อยที่สุด และ 100 บอกถึงค่าความสว่างมากที่สุด ค่า +a* บอกถึงค่าสีแดงโดยที่ค่า –a* บอกค่าสีเขียว ค่า -b* บอกถึงค่าสีน้ำเงิน ค่า +b* บอกถึงค่าสีเหลือง ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าสีของมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสที่ภาวะการแช่ต่างกัน

ภาวะการแช่	ค่าสี		
	L*	a*	b*
1.0% $CaCl_2$ 5 วัน	34.52±0.83	6.98±0.37	8.27±0.22
1.5% $CaCl_2$ 3 วัน	36.32±1.10	10.01±1.33	9.95±0.91
1.5% $CaCl_2$ 4 วัน	36.65±0.89	9.26±0.57	11.80±3.03
1.5% $CaCl_2$ 5 วัน	37.97±0.60	7.60±1.39	7.91±1.67
2.0% $CaCl_2$ 4 วัน	36.89±0.67	8.73±0.96	6.97±1.84
มะละกอสด	55.26±1.57	22.58±2.48	33.13±1.74

จากผลค่าสีของผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 ภาวะการแช่ พบว่าค่าสีของผลิตภัณฑ์ คือค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของมะละกอหลังจากการทำเป็นผลิตภัณฑ์แล้วมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสีของมะละกอสด โดยค่าสีของมะละกอสดมีค่า L* อยู่ในช่วง 54-56 ค่า a* อยู่ในช่วง 20-24 และ ค่า b* อยู่ในช่วง 32-34 ส่วนมะละกอที่ผ่านการทำแห้งโดยการออสโมซิสแล้วมีค่า L*อยู่ในช่วง 34-38 ค่า a* อยู่ในช่วง 5-10 และ b* อยู่ในช่วง 6-12 ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการออสโมซิสมีการเติมน้ำตาลเข้าไปในเนื้อมะละกอและผ่านกระบวนการอบแห้ง จึงทำให้ความสว่าง ความเป็นสีแดงและสีเหลืองลดลง

4.3.3 ผลของภาวะการแช่ต่อคุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัส

ในการตรวจสอบคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิส จากการวัดด้วยเครื่อง texture analyzer ใช้หัววัด แบบ BSK with knife อ่านค่าจากกราฟเป็น 3 ค่า คือค่าความแข็ง (hardness, g) ค่างานที่ใช้ในการตัด (cutting work, g.mm) และความเหนียวของผลิตภัณฑ์ (adhesiveness) ซึ่งเป็นพื้นที่ใต้กราฟส่วนที่เป็นลบ (g.mm) ผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าเนื้อสัมผัสของมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสที่ภาวะการแช่ต่างกัน

ภาวะการแช่	ความแข็ง (hardness, g)	ค่างานที่ใช้ในการตัด (cutting work, g.mm)	ค่าความเหนียว^{ns} (adhesiveness, g.mm)
1.0% $CaCl_2$ 5 วัน	1882.24^{ab} ±218.53	13228.97^{ab}±1601.52	127.64±22.95
1.5% $CaCl_2$ 3 วัน	1697.91^{a} ±242.94	12274.50^{a} ±1326.29	151.53±22.70
1.5% $CaCl_2$ 4 วัน	1878.16^{ab}±257.65	14558.45^{bc} ±2431.22	156.12±31.43
1.5% $CaCl_2$ 5 วัน	2026.57^{c} ±298.39	15372.27^{bc} ±2124.59	141.17±21.86
2.0% $CaCl_2$ 4 วัน	2087.89^{c} ±240.60	15673.49^{c} ±2535.69	132.97±24.13

a,b,c.. ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

ผลต่อค่าความแข็ง (hardness, g) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงแรงที่ใช้ในการตัดตัวอย่างให้ขาด พบว่าค่า hardness ของมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสของภาวะการแช่ด้วย 1.5% $CaCl_2$ 5 วันและภาวะการแช่ด้วย 2% $CaCl_2$ 4 วัน จะให้ค่า hardness สูงสุด และทั้งสองภาวะนี้ยังมีค่า cutting work ซึ่งบอกถึงงานที่ใช้ในการตัดมีค่าสูงอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าค่า hardness มีค่าสอดคล้องกับค่างานที่ใช้ในการตัด คือถ้าค่า hardness มีค่าสูง ค่างานที่ใช้ในการตัดสูงด้วยเช่นกัน ส่วนค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ (adhesiveness) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) การที่ค่า hardness ของผลิตภัณฑ์ที่สูงอาจเนื่องมาจากมะละกอเริ่มต้นก่อนการออสโมซิสมีค่าแข็งที่สุดอยู่แล้วจึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีค่า hardness ที่สูงด้วย ลักษณะเนื้อสัมผัสที่สูงจะเป็นชิ้นมะละกอที่เนื้อแน่นคงรูปร่างกว่าค่า hardness ที่น้อยกว่า ดังนั้นจึงน่าจะเป็นตัวแทนที่ดีของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งและเนื้อสัมผัสยังใกล้เคียงกับตัวอย่างทางการค้ามากที่สุด โดยใช้ตัวอย่างทางการค้าจากบริษัท ทวีผลสามร้อยยอด จำกัด (hardness: 2267.91 g, cutting work: 17043.72 g.mm, adhesiveness: 131.12 g.mm)

4.3.4 ผลของภาวะการแช่ต่อคุณภาพทางด้านการยอมรับทางประสาทสัมผัส

เมื่อนำผลิตภัณฑ์มะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสทั้ง 5 ภาวะการแช่ มาทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้การทดสอบแบบ acceptance test (ภาคผนวก ค) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน จำนวน 2 ซ้ำ โดยมีตัวอย่างทางการค้าจากบริษัท ทวีผลสามร้อยยอด จำกัด มาทดสอบพร้อมกับมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสทั้ง 5 ภาวะการแช่ นำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี ลักษณะการหดตัวของผลิตภัณฑ์ รสชาติแปลกปลอม ค่าความแข็งและการยอมรับโดยรวม โดยในแต่ละด้านค่าที่มีคะแนนสูงเป็นค่าที่ดี ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสที่ภาวะต่างกัน

ภาวะการแช่	คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส				
	ค่าสี	ลักษณะปรากฏ (การหดตัว)	รสชาติแปลกปลอม	ความแข็งของเนื้อมะละกอ	การยอมรับโดยรวม
ตัวอย่างทางการค้า	$2.82^{a}\pm1.82$	$6.74^{c}\pm1.99$	$6.86^{c}\pm2.22$	$6.03^{d}\pm1.62$	$5.24^{b}\pm.08$
1.0% $CaCl_2$ 5 วัน	$5.15^{b}\pm1.76$	$4.58^{a}\pm2.12$	$6.54^{bc}\pm2.57$	$4.57^{a}\pm2.15$	$3.94^{a}\pm1.84$
1.5% $CaCl_2$ 3 วัน	$5.54^{b}\pm1.95$	$5.01^{ab}\pm2.01$	$5.97^{bc}\pm1.83$	$4.94^{ab}\pm1.85$	$4.77^{ab}\pm1.69$
1.5% $CaCl_2$ 4 วัน	$5.16^{b}\pm1.86$	$5.23^{ab}\pm1.77$	$5.88^{b}\pm1.72$	$5.17^{bc}\pm1.75$	$4.82^{ab}\pm1.50$
1.5% $CaCl_2$ 5 วัน	$4.83^{b}\pm2.10$	$5.80^{bc}\pm1.95$	$6.18^{bc}\pm2.00$	$5.62^{cd}\pm1.86$	$5.16^{b}\pm1.96$
2.0% $CaCl_2$ 4 วัน	$5.71^{b}\pm1.91$	$5.68^{b}\pm1.83$	$4.99^{a}\pm1.45$	$5.71^{cd}\pm1.83$	$4.43^{ab}\pm1.78$

a,b,c.. ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$)

ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสสามารถแยกอภิปรายในแต่ละด้านดังนี้

ผลต่อค่าสี ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีของมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสกับตัวอย่างทางการค้า พบว่าตัวอย่างทางการค้ามีสีเหลืองส้มในขณะตัวอย่างที่ได้จากการทดลองทุกภาวะการแช่มีค่าสีแดงมากกว่า สาเหตุที่ตัวอย่างทางการค้ามีสีซีดอาจเนื่องมาจากวัตถุดิบของมะละกอเริ่มต้นที่นำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์มีสีขาวปนส้ม สีของผลิตภัณฑ์จึงไม่มีความสม่ำเสมอ นอกจากนี้อาจเกิดจากการแช่สารละลายผสมในช่วงการ pretreatment นานเกินไป ซึ่งมีผลให้สีของมะละกอมีสีซีดเนื่องจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีสมบัติในการฟอกสีด้วย (Ough, 1983) ผลของค่าสีทั้ง 5 ภาวะการแช่พบว่าไม่มีความแตกต่างกันซึ่งตามตัวเลขสถิติอยู่ในกลุ่มเดียวกัน (ตารางที่ 4.7) การไม่มีความแตกต่างของค่าสีอาจเนื่องมาจากค่าสีของมะละกอเริ่มต้นมีสีระดับเดียวกัน

ลักษณะการหดตัว จากการทดสอบลักษณะการหดตัวของผลิตภัณฑ์โดยผู้ทดสอบประเมินลักษณะการหดตัว คือรูปร่างของผลิตภัณฑ์ยุบตัวลงไป พบว่าตัวอย่างทางการค้ามีการหดตัวน้อยที่สุด และตัวอย่างที่ภาวะการแช่ 1.5% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 5 วัน และ 2% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 4 วัน มีลักษณะการหดตัวน้อยใกล้เคียงกับตัวอย่างทางการค้า ในขณะที่ในตัวอย่างภาวะการแช่ที่ 1% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 5 วัน มีการหดตัวของผลิตภัณฑ์มากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ซึมเข้าไปน้อยที่สุดดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งผลของการหดตัวของผลิตภัณฑ์แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการแช่ที่เพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์แคลเซียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นมีผลให้การหดตัวของผลิตภัณฑ์น้อยกว่าการแช่ที่เปอร์เซ็นต์แคลเซียมคลอไรด์และเวลาในการแช่น้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาควบคู่กับรสชาติแปลกปลอม

รสชาติแปลกปลอม ในที่นี้ให้ผู้ทดสอบระบุรสเฝื่อนของมะละกอเนื่องจากเปอร์เซ็นต์แคลเซียมคลอไรด์ที่เข้าไปในเนื้อมะละกอมีผลต่อรสชาติ พบว่าที่ภาวะการแช่ 2% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 4 วัน ให้รสชาติที่ผิดปกติมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณแคลเซียมคลอไรด์มีการซึมเข้าไปมากที่สุด (ตารางที่ 4.3) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Luna-Guzman และ Barrett (2000) ซึ่งศึกษาผลของการใช้แคลเซียมคลอไรด์ในแคนตาลูปหลังการตัดแต่ง (fresh-cut) พบว่าแคนตาลูปที่ผ่านการแช่แคลเซียมคลอไรด์ 2.5% ส่งผลให้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนรสชาติขมมากที่สุด

ค่าความแข็ง จากผลของค่าความแข็งหรือแรงที่ใช้ในการตัดขาดตัวอย่าง พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนตัวอย่างทางการค้ามีความแข็งมากที่สุด และชุดการทดลองภาวะการแช่ที่ 1.5% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 5 วัน และภาวะ 2% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 4 วันมีค่าความแข็งใกล้เคียงกับตัวอย่างทางการค้า ซึ่งค่าความแข็งในช่วงนี้เป็นความแข็งที่ไม่กระด้างทำให้ผู้ทดสอบชิมมีความชอบมากที่สุด

ค่าการยอมรับโดยรวม จากผลของการยอมรับโดยรวมพบว่า ตัวอย่างการแช่ที่ 1.5% $CaCl_2$ เป็นเวลา 5 วัน มีผลการยอมรับใกล้เคียงกับตัวอย่างทางการค้ามากที่สุดในขณะที่ตัวอย่างอื่นมีค่าการยอมรับอยู่ในระดับเดียวกัน

จากผลของการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่ามะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ภาวะการแช่ 1.5% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 5 วัน เป็นภาวะที่มีการยอมรับมากที่สุดทั้งในด้านสี ลักษณะการหดตัว รสชาติ ความแข็ง และความชอบโดยรวม

จากการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งทั้ง 5 ภาวะของการแช่ โดยประเมินในด้านสี ความชื้น ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ลักษณะเนื้อสัมผัส และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าผลของระยะเวลาในการแช่และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ไม่มีผลต่อผลิตภัณฑ์มะละกอในด้านสี ปริมาณความชื้น และน้ำตาลรีดิวซ์

ส่วนปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่ามากขึ้นตามระยะเวลาการแช่มากขึ้น ดังนั้นจึงพิจารณาคัดเลือกภาวะการแช่จากลักษณะค่าเนื้อสัมผัสซึ่งวัดจากเครื่อง texture analyzer และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส จากการวิเคราะห์ทางสถิติเข้ามาช่วยในการเลือก พบว่ามะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ภาวะการแช่ 1.5% $CaCl_2$ 5 วัน และ 2% $CaCl_2$ 4 วัน ให้ค่าแรงมากที่สุดและค่ายังสอดคล้องกับค่าความแข็งในการทดสอบทางประสาทสัมผัส และเมื่อพิจารณาจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากตารางที่ 4.7 พบว่ามะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ภาวะการแช่ 1.5% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 5 วัน เป็นภาวะที่มีการยอมรับมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกภาวะการแช่ในภาวะนี้เพื่อใช้ทดลองในขั้นต่อไป

4.4 ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตร่วมกับสารละลายซูโครสที่มีต่อเวลาของการออสโมซิสและเวลาในการอบแห้ง

นำมะละกอที่ผ่านการคัดเลือกภาวะการแช่จากข้อ 4.3 เข้าสู่กระบวนการออสโมซิสตามรายละเอียดในข้อ 3.4 แปรเปอร์เซ็นต์น้ำตาลอินเวิร์ตในสารละลายซูโครสที่ 65 บริกซ์ เป็น 4 ระดับ คือ 0 5 10 15 % (v/v) เมื่อผสมน้ำตาลอินเวิร์ตแล้ว นำสารละลายซูโครสที่ใช้ในการออสโมซิส แต่ละชุดการทดลองมาตรวจสอบปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่แน่นอนอีกครั้ง โดยปริมาณน้ำตาลในสารละลายอินเวิร์ตแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงในสารละลายซูโครสที่ใช้ในการออสโมซิสทั้ง 4 ชุดการทดลอง

ระดับน้ำตาลอินเวิร์ต (%)	ปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตในสารละลายซูโครส (mg/100 ml)
0	0
5	252.5
10	352.3
15	473.1

เมื่อเติมน้ำตาลอินเวิร์ตลงในสารละลายซูโครสที่ 65 บริกซ์ ที่ระดับ 0 5 10 และ 15% จากการตรวจสอบปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่มีในสารละลาย พบว่าเมื่อไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตจะไม่พบน้ำตาลอินเวิร์ตในสารละลายที่ 65 บริกซ์ และเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตในสารละลายซูโครสเพิ่มขึ้นตามลำดับ การตรวจสอบปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตจะเป็นประโยชน์มากในกรณีที่ต้องการนำสารละลายซูโครสในการออสโมซิสมาใช้ซ้ำและศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

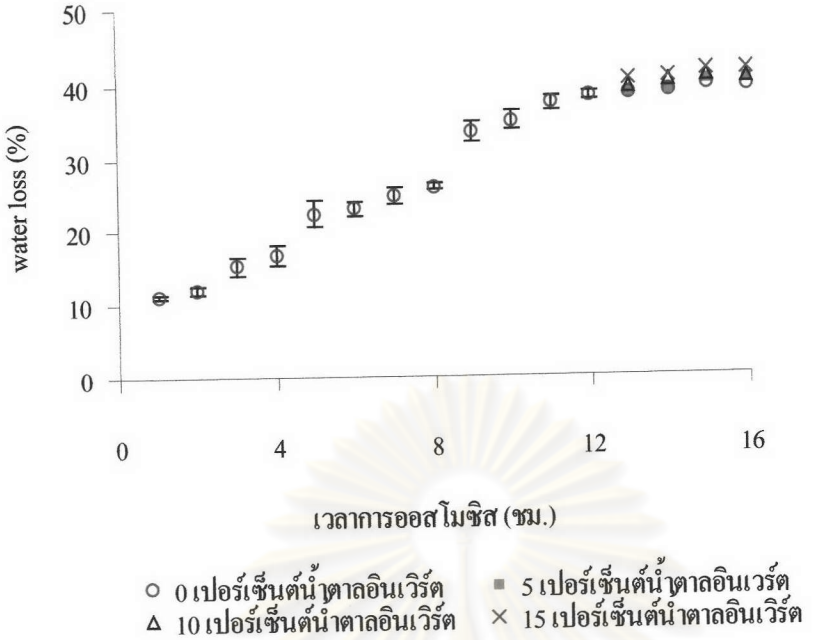
4.4.1 ผลของอัตราส่วนของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตร่วมกับซูโครสที่มีต่อการถ่ายโอนมวลสารในช่วงการออสโมซิส

4.4.1.1 ผลของน้ำตาลอินเวิร์ตต่อค่า water loss และ solid gain

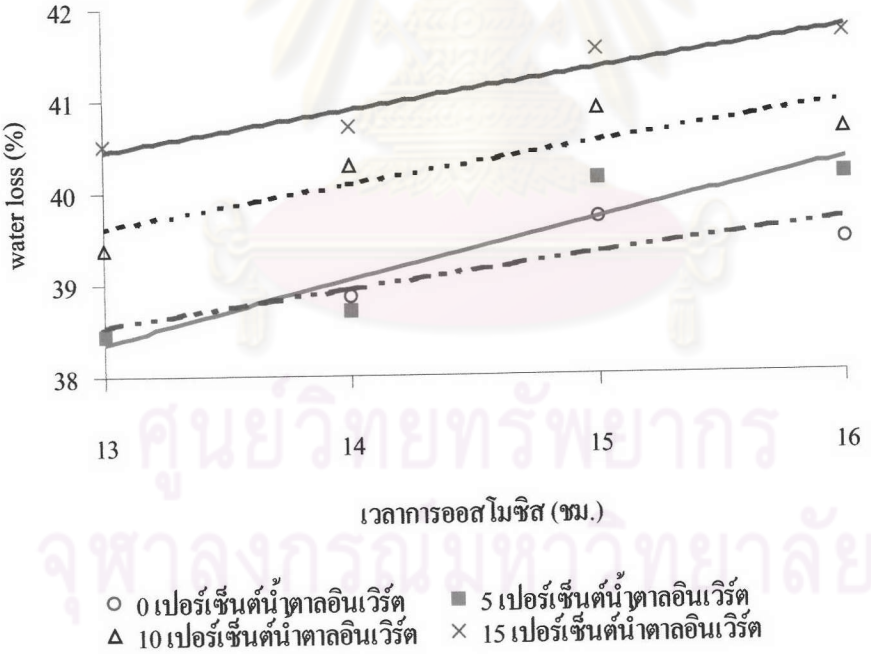
การถ่ายโอนมวลสารของมะละกอตลอดช่วงการออสโมซิส 16 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส 35 45 55 และ 65 บริกซ์โดยที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่ 0 5 10 และ 15%ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 65 บริกซ์ แสดงผลในเทอม water loss และ solid gain ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่า water loss ในระหว่างการออสโมซิส (รูปที่ 4.3 ก และ ข) พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการออสโมซิสให้นานขึ้นส่งผลให้มะละกอมีค่า water loss มากขึ้น และพบว่าเมื่อเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของสารละลายซูโครสให้สูงขึ้นค่า water loss จะมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าค่า water loss มีค่าสูงสุดในชั่วโมงแรกเมื่อเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของสารละลายซูโครสให้สูงขึ้น ผลของค่า water loss ยังให้ค่าในทำนองเดียวกันกับค่า solid gain คือเมื่อเวลาในการออสโมซิสเพิ่มขึ้นทำให้มะละกอมีค่า solid gain เพิ่มสูงขึ้นและค่า solid gain ยังเพิ่มตามความเข้มข้นของสารละลายซูโครสที่สูงขึ้นอีกด้วยดังแสดงในรูปที่ 4.4 ก และ ข สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของค่า water loss และ solid gain เนื่องจากความแตกต่างของความดันออสโมซิสระหว่างภายในเซลล์ของมะละกอและสารละลายน้ำตาลภายนอกมีค่าสูง ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลระหว่างน้ำกับน้ำตาลของชิ้นมะละกอและสารละลายซูโครสภายนอกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (Torreggiani, 1993) น้ำที่อยู่ภายในชิ้นมะละกอจึงแพร่ออกสู่สารละลายน้ำตาลภายนอกได้ดี ในขณะเดียวกันน้ำตาลที่มีอยู่มากในสารละลายภายนอกก็สามารถผ่านเข้าไปในชิ้นมะละกอได้ดีเช่นกัน ผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Ertekin และ Cakaloz (1996) ที่พบว่าในการทำแห้งโดยการออสโมซิสในถั่วลันเตาในสารละลายซูโครส เมื่อเพิ่มความเข้มข้นจาก 30-60 % ส่งผลให้ค่า water loss และ solid gain เพิ่มขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นที่สูงของสารละลายซูโครสทำให้มีแรงดันออสโมซิสสูงขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



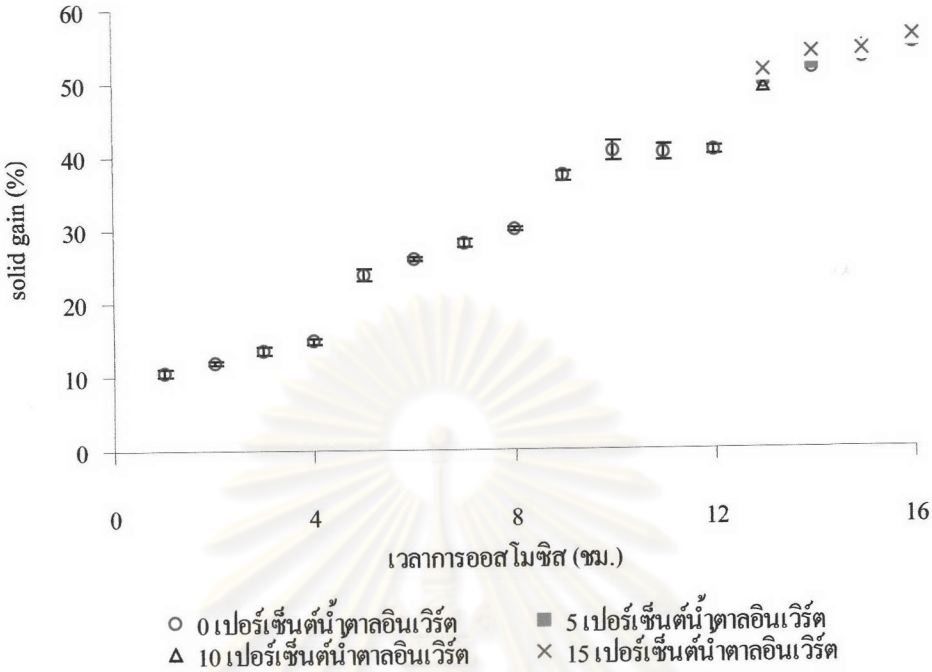
ก



ข

รูปที่ 4.3 ค่า water loss ของมะละกอ ก. ตลอดเวลาการออสโมซิส 16 ชั่วโมง
ข. ในชั่วโมงที่ 13-16

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก

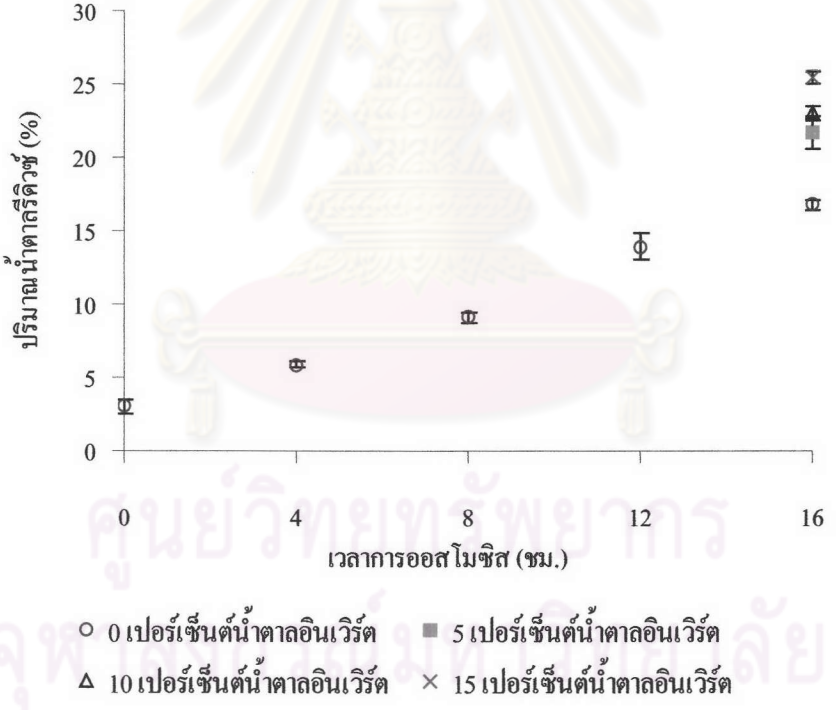
ข

รูปที่ 4.4 ค่า solid gain ของมะละกอ ก. ตลอดเวลาการออสโมซิส 16 ชั่วโมง
ข. ในชั่วโมงที่ 13-16

ผลของน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงในสารละลายซูโครส 65 บริกซ์ ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเมื่อระดับน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงในสารละลายซูโครสเพิ่มสูงขึ้น ค่า water loss และ solid gain ก็เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ (รูปที่ 4.3 และ 4.4) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลอินเวิร์ตเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ขนาดโมเลกุลเล็กกว่าน้ำตาลซูโครส ดังนั้นการแพร่เข้าของน้ำตาลจึงเกิดขึ้นมากกว่า (Karathanos et al., 1995) ส่วนในเรื่องขนาดโมเลกุลของน้ำตาลที่เล็กสอดคล้องกับรายงานของ Argaiz และคณะ (1994) ซึ่งทำแห้งมะละกอโดยการออสโมซิสพบว่า มะละกอที่แช่ใน corn syrup ที่มีขนาด dextrose equivalent (DE) สูงกว่าหรือมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าส่งผลให้มีค่า solid gain ที่สูงกว่า

4.4.1.2.ผลของน้ำตาลอินเวิร์ตต่อน้ำตาลรีดิวซ์ของมะละกอในช่วงการออสโมซิส

ผลของน้ำตาลอินเวิร์ตต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในช่วงการออสโมซิสเป็นเวลา 0-16 ชั่วโมง และมีการแปรน้ำตาลอินเวิร์ตในช่วงชั่วโมงที่ 13-16 แสดงดังรูปที่ 4.5



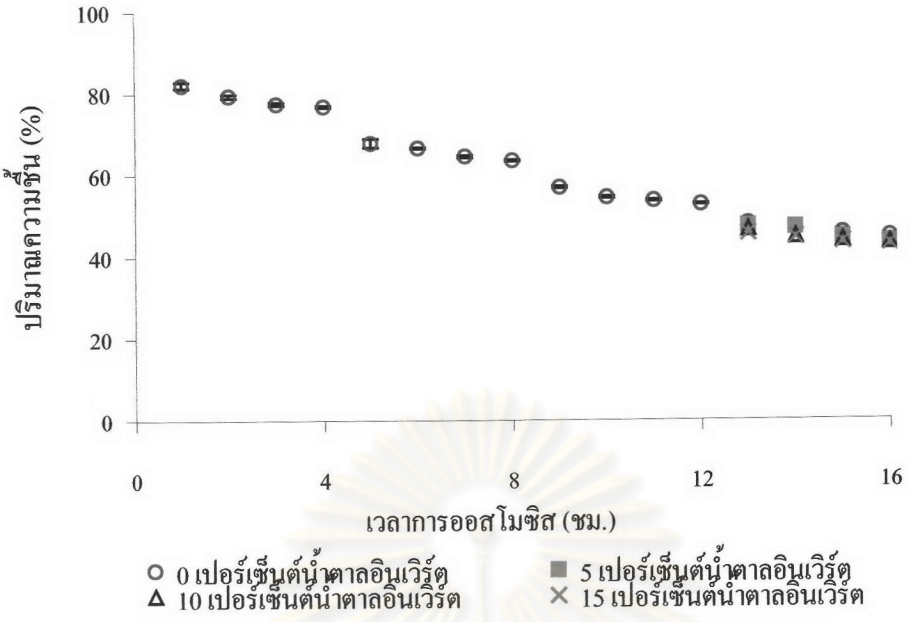
รูปที่ 4.5 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในช่วงการออสโมซิสซึ่งแปรระดับน้ำตาลอินเวิร์ตในชั่วโมงการออสโมซิสที่ 13-16 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.5 แสดงผลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในช่วงการออสโมซิสตั้งแต่เวลาที่ 0-16 ชั่วโมง โดยวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังการออสโมซิสทุก 4 ชั่วโมง พบว่าค่าน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการออสโมซิสเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้นนี้อาจเนื่องมาจากสารละลายซูโครสเกิดการแตกตัวระหว่างการออสโมซิส โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นผลให้สารละลายซูโครสเกิดการไฮโดรไลซิสเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวส่งผลให้สามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อมะละกอได้มากขึ้น ส่วนผลของการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่ระดับ 0 5 10 และ 15% ลงในสารละลายซูโครส 65 บริกซ์ พบว่าเมื่อระดับน้ำตาลอินเวิร์ตเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในมะละกอเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากน้ำตาลอินเวิร์ตมีองค์ประกอบของน้ำตาลรีดิวซ์ถึง 97% (NRCD Technology, 2003) แต่อย่างไรก็ตามผลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านการเกิดสีน้ำตาลในช่วงการเก็บรักษาได้ ซึ่งผลในด้านนี้จะแสดงในขั้นตอนต่อไป

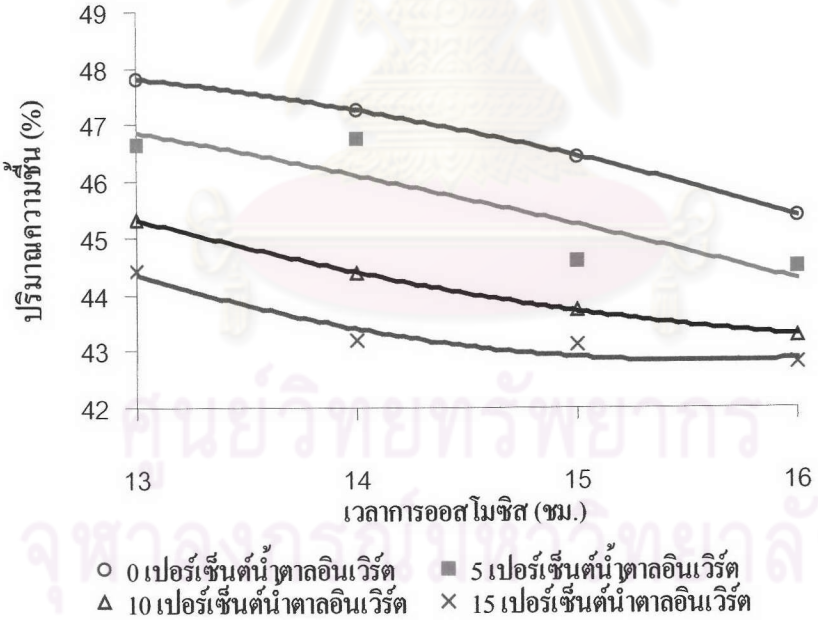
4.4.1.3 ผลของน้ำตาลอินเวิร์ตต่อปริมาณความชื้นในช่วงการออสโมซิส

การเปลี่ยนแปลงของความชื้นของมะละกอในช่วงการออสโมซิสเมื่อมีการแปรระดับน้ำตาลอินเวิร์ตในสารละซูโครส 65 บริกซ์ ที่ 0 5 10 และ 15% ตามลำดับแสดงดังในรูปที่ 4.6 โดยพบว่าเมื่อเวลาในการออสโมซิสเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นในมะละกอมีค่าลดลง ซึ่งมะละกอหลังผ่านกระบวนการออสโมซิสมีค่าความชื้นลดลงจาก 88% เหลือความชื้นประมาณ 44% จากรูปสังเกตได้ว่าปริมาณน้ำจะลดลงมากในชั่วโมงแรกของการเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส โดยปริมาณความชื้นที่ลดลงนี้สอดคล้องกับค่า water loss เนื่องจากการออสโมซิสเป็นการดึงน้ำออกภายนอกและมีปริมาณของแข็งเข้าสู่เนื้อเยื่อ ดังนั้นเมื่อเวลาการออสโมซิสเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีการถ่ายโอนมากขึ้น ปริมาณน้ำและความชื้นจึงลดลงด้วย และในทำนองเดียวกันเมื่อมีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมากขึ้น ปริมาณความชื้นก็ลดลงตามปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงไป เพราะน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวดึงน้ำออกได้ดีกว่าซึ่งเหมือนกับผลของค่า water loss ที่ส่งผลให้ความชื้นลดลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก



ข

รูปที่ 4.6 ปริมาณความชื้นของมะละกอ ก. ตลอดเวลาการออสโมซิส 16 ชั่วโมง
ข. ในชั่วโมงที่ 13-16

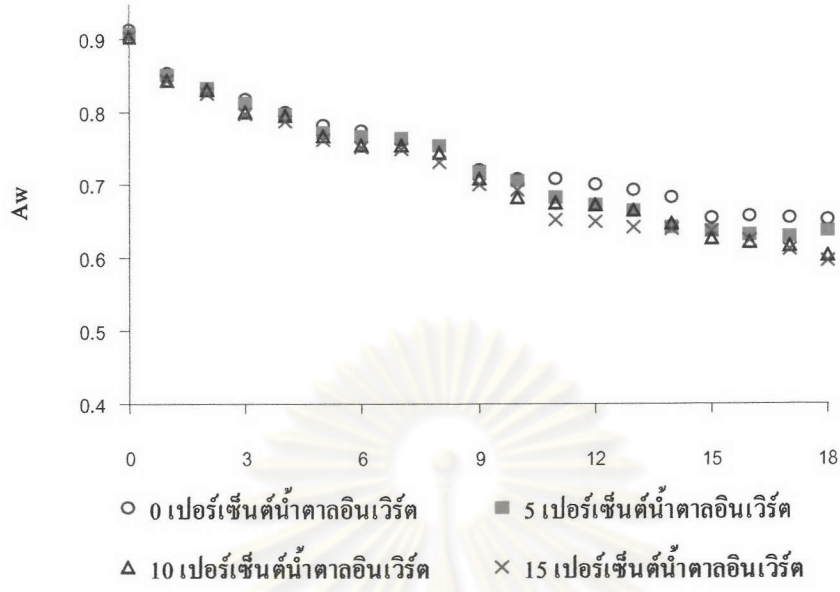
4.4.2 ผลของอัตราส่วนของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตร่วมกับซูโครสที่มีต่อค่า Aw ในช่วงการอบแห้ง

นำมะละกอที่ผ่านการออสโมซิสแล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แปรเวลาของการอบแห้งตั้งแต่ 1 ชั่วโมงจนผลิตภัณฑ์มีความชื้นไม่เกิน 18% สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการอบแห้งกับความชื้นของผลิตภัณฑ์ และระหว่างเวลาการอบแห้งกับค่า water activity (Aw) ของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่แตกต่างกันผลของปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงไปในสารละลายซูโครสที่ระดับต่างๆ ในช่วงเวลาในการอบแห้งต่อปริมาณความชื้นและค่า Aw แสดงดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

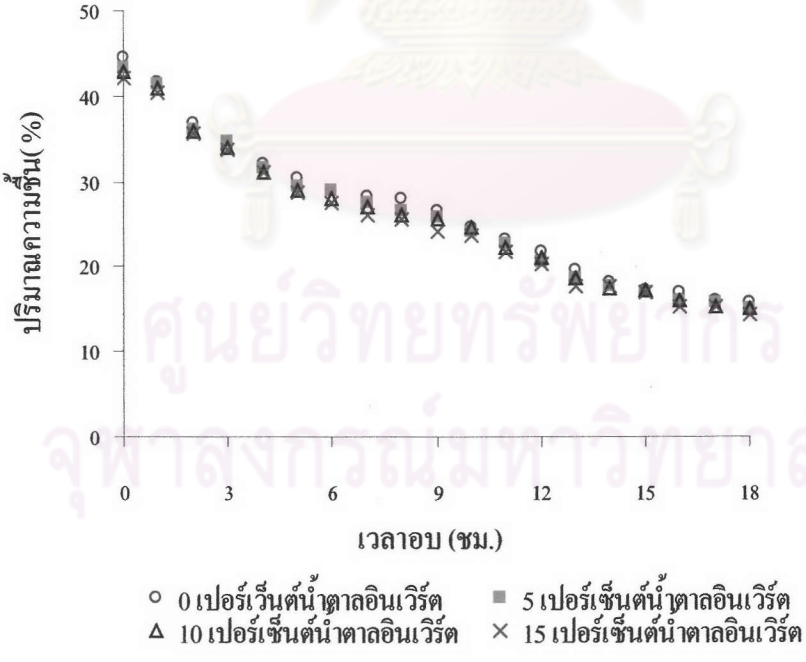
เมื่ออบแห้งมะละกอที่ผ่านการออสโมซิสที่แปรปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตในความเข้มข้นสุดท้าย ซึ่งแต่ละชุดการทดลองจะมีปริมาณความชื้นและ ค่า Aw ที่แตกต่างกัน โดยค่า Aw ของมะละกอที่ผ่านการออสโมซิสที่แปรน้ำตาลอินเวิร์ต 15% จะมีค่า Aw ต่ำสุด คือ 0.596 ส่วนมะละกอที่เติมอินเวิร์ต 10% และ 5% มีค่า 0.602 และ 0.635 ตามลำดับ ในขณะที่ชุดการทดลองที่ไม่เติมน้ำตาลอินมีเวิร์ตมีค่า Aw มากที่สุด คือ 0.652 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำตาลอินเวิร์ตช่วยลดค่า Aw ของมะละกอได้ สาเหตุที่น้ำตาลอินเวิร์ตสามารถลดค่า Aw ของมะละกอได้ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลอินเวิร์ตเป็นสารประกอบที่มีหมู่ hydroxyl ในโมเลกุลจำนวนมากกว่าซูโครสจึงมีผลให้เกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำเป็นอย่างดี ทำให้ปริมาณน้ำอิสระน้อยลงจึงสามารถลดค่า Aw ลงได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับสารละลายซูโครส (นิราศ กิ่งวาที, 2546)

เมื่อพิจารณาค่าความชื้นจากทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่าเมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นในเนื้อเยื่อมะละกอลดลงและพบว่าปริมาณความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในการอบแห้งช่วงชั่วโมงแรก (1-4 ชั่วโมง) ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และความชื้นจะลดช้าลงหลังการอบแห้งเป็นเวลานานขึ้นเนื่องจากกราฟมีความชันลดลงและเกือบคงที่ สำหรับเหตุผลที่ปริมาณความชื้นในช่วงการอบแห้งของแต่ละชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตแต่ละชุดการทดลองไม่ส่งผลต่อการอบแห้งมากนัก

จากการศึกษาผลของน้ำตาลอินเวิร์ตต่อการถ่ายโอนมวลสารของมะละกอในช่วงการออสโมซิส พบว่าน้ำตาลอินเวิร์ตส่งผลให้ค่า water loss และ solid gain มีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการเติมปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตมากขึ้น ส่วนในช่วงการอบแห้งน้ำตาลอินเวิร์ตส่งผลต่อค่า Aw มากกว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งค่า Aw จะเป็นตัวบ่งชี้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของอายุการเก็บรักษาในขั้นต่อไป



รูปที่ 4.7 ค่า Aw ของมะละกอที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับน้ำตาลอินเวิร์ตต่างๆ หลังอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.8 ค่าความชื้นของมะละกอที่ผ่านการออสโมซิสที่ระดับน้ำตาลอินเวิร์ตต่างๆ หลังอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 ศึกษาปริมาณร้อยละของน้ำตาลอินเวิร์ตที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะละกอออบแห้งและการเปลี่ยนแปลงในช่วงการเก็บรักษา

ในระหว่างการเก็บรักษาอาหาร ภาวะแวดล้อมต่างๆ อาทิ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ออกซิเจน และแสงส่งผลให้เกิดการกระตุ้นปฏิกิริยาต่างๆ ที่ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมคุณภาพด้านสี กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาเพื่อให้ทราบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์มะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสซึ่งแปรปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตในสารละลายซูโครส 65 บริกซ์ ที่ระดับ 0 5 10 และ 15% ในช่วงการออสโมซิส จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เก็บในถุง popypropylene ตามรายละเอียดข้อ 3.5 ศึกษาอายุการเก็บเป็นเวลา 21 สัปดาห์ โดยติดตามผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในด้านปริมาณความชื้น ค่าสีในระบบ CIE L*a*b* เนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง texture analyzer ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ การเกิดสีน้ำตาล ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์ รา และการทดสอบทางประสาทสัมผัส

4.5.1 ผลของอายุการเก็บรักษาต่อปริมาณความชื้น

ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่แปรน้ำตาลอินเวิร์ตในช่วงการออสโมซิสโดยเก็บรักษาเป็นเวลา 21 สัปดาห์ แสดงดังตารางที่ 4.9 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต (0% น้ำตาลอินเวิร์ต) เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ Brown (1969) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของขิงที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสและเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง 1-2 % ส่วนชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5 และ 15% พบว่าปริมาณความชื้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ตลอดอายุการเก็บ 21 สัปดาห์ ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลของการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตซึ่งมีสมบัติในการคงความชื้น (British sugar, 2004) ส่งผลให้ปริมาณความชื้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่ระยะการเก็บเดียวกัน จะไม่มีความแตกต่างในด้านความชื้นในผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลอินเวิร์ตต่างกัน

ตารางที่ 4.9 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 21 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	ปริมาณความชื้น(%)			
	trt 1	trt 2^{ns}	trt 3	trt 4^{ns}
0^{ns}	15.68^{c}±0.31	15.30±0.28	15.38^{ab}±0.48	15.34±0.55
3^{ns}	15.61^{c}±0.20	15.72±0.09	15.37^{ab}±0.12	15.24±0.51
6^{ns}	15.71^{c}±0.25	15.64±0.32	15.60^{ab}±0.34	15.60±0.48
9^{ns}	15.44^{bc}±0.25	15.65±0.16	15.68^{b} ±0.13	15.42±0.13
12	15.21^{abA}±0.13	15.60^{B}±0.13	15.40^{abAB}±0.07	15.60^{B}±0.22
15^{ns}	15.15^{ab}±0.08	15.54±0.51	15.55^{ab} ±0.07	15.42±0.44
18^{ns}	15.17^{ab}±0.02	15.32±0.28	15.05^{a} ±0.20	15.01±0.13
21^{ns}	15.04^{a}±0.20	15.36±0.45	15.30^{ab} ±0.58	15.47±0.50

A,B,C..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

a,b,c.. ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

trt 1 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 0% น้ำตาลอินเวิร์ต

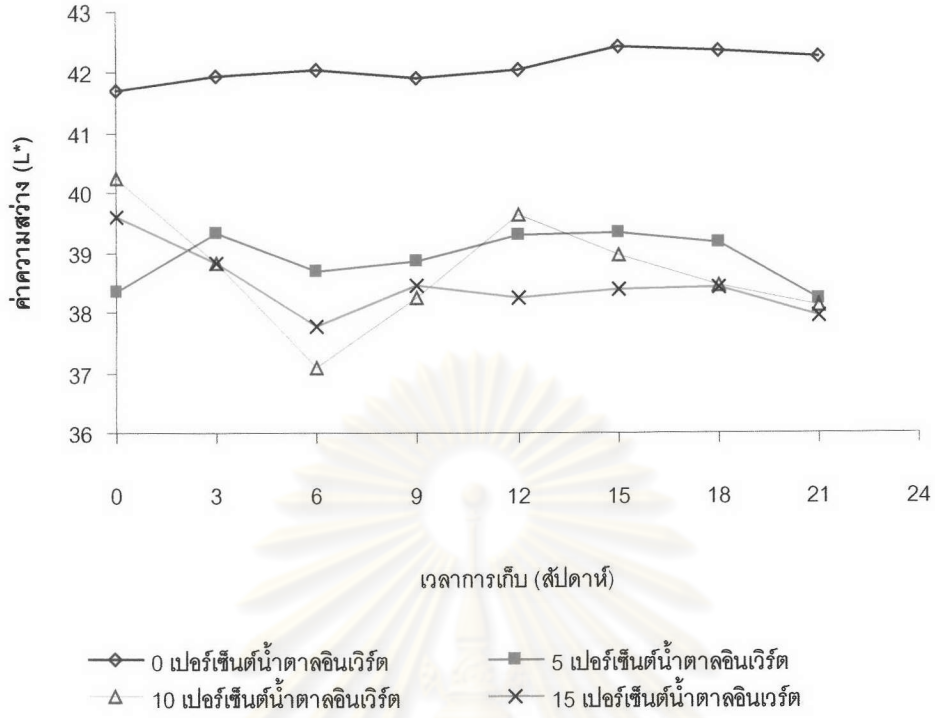
trt 2 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 5% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 3 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 10% น้ำตาลอินเวิร์ต

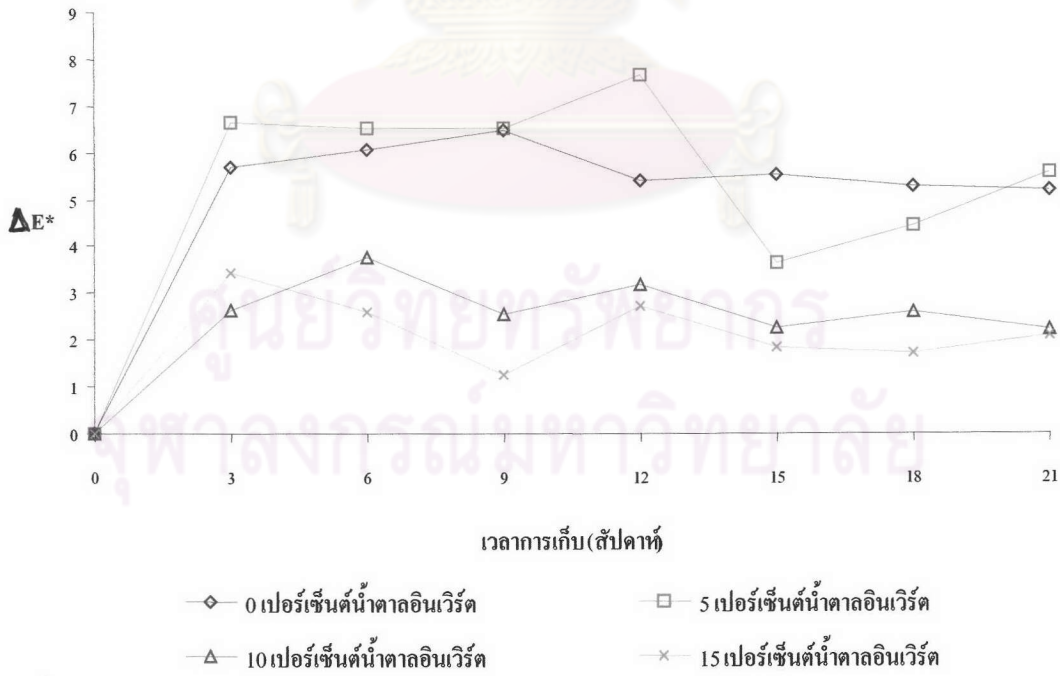
trt 4 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 15% น้ำตาลอินเวิร์ต

4.5.2 ผลของอายุการเก็บรักษาต่อค่าสีในระบบ CIE L*a*b*

เมื่อพิจารณาค่าสีมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสระหว่างการเก็บรักษา พบว่าค่าความสว่าง (L*) ในชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีค่าความสว่างมากที่สุด (รูปที่ 4.9) ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีการเกิดผลึกน้ำตาลทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีขาวส่งผลให้ค่าความสว่างสูง และเมื่อระยะการเก็บนานขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5 10 และ 15 % มีค่าความสว่างใกล้เคียงกันแต่มีค่าต่ำกว่าชุดที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต (ผลของค่า L*, a*, b* แสดงดังตารางที่ ข 25 ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.9 ค่าความสว่าง (L*) ของมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสตลอดระยะการเก็บ 21 สัปดาห์



รูปที่ 4.10 ค่าความแตกต่าง (ΔE^*) ของค่าสีในมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสตลอดระยะการเก็บรักษา 21 สัปดาห์

เมื่อนำค่าจากการวัดสีในระบบ CIE L*a*b* (ภาคผนวก ข.) นำมาคำนวณค่า ΔE^* โดยบ่งบอกมาจากความแตกต่างของค่าสีเริ่มต้นที่ 0 สัปดาห์ โดยถ้าค่า ΔE^* ที่มากกว่า 1 แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงของสีเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Hunt, 1998) จากรูปที่ 4.10 พบว่าเมื่อระยะการเก็บนานขึ้น ค่า ΔE^* มีค่าสูงขึ้นทั้ง 4 ชุดการทดลองโดยที่ชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าชุดที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5 10 และ 15% ตามลำดับ สาเหตุการเปลี่ยนแปลงของค่า ΔE^* อาจเนื่องมาจากการเกิดผลึกของน้ำตาลซูโครสที่เกาะบริเวณผิวหน้าและการเกิดสีน้ำตาลในชุดที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตในผลิตภัณฑ์ (ตามรูปที่ ง.1 ภาคผนวก ง)

4.5.3 ผลของอายุการเก็บรักษาต่อค่าเนื้อสัมผัส

ลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นซึ่งส่งผลโดยตรงกับการยอมรับของผู้บริโภค การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสเมื่อวัดด้วยเครื่อง texture analyzer แสดงดังตารางที่ 4.10 –4.12

ตารางที่ 4.10 ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มะละกอตลอดอายุการเก็บ 21 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าความแข็ง (hardness, g)			
	trt 1	trt 2	trt 3	trt 4 ^{ns}
0	2340.72^{aB}±112.32	2436.07^{aB}±212.59	1966.29^{abA}±223.29	2004.10^{A}±337.93
3	3011.58^{bC}±210.69	2505.01^{aB}±361.68	1767.06^{aA}±196.97	1898.07^{A}±186.26
6	3670.60^{cC}±276.88	2615.53^{abB}±460.24	2120.76^{bA}±341.45	2004.11^{A}±329.87
9	3622.72^{Cc}±473.72	2951.96^{bB}±302.97	1995.47^{abA}±332.25	1913.89^{A}±154.65
12	3745.86^{Cc}±424.26	2700.55^{abB}±166.24	2052.35^{bA}±273.85	1954.54^{A}±175.75
15	4100.82^{dC}±323.34	2919.97^{bB}±218.81	2150.92^{bA}±214.53	1992.44^{A}±157.94
18	4222.33^{dD}±310.70	2907.51^{bC}±161.21	2172.32^{bB}±240.18	1924.68^{A}±16.42
21	4428.85^{dC}±277.94	3165.10^{bB}±188.38	2205.73^{bA}±230.03	2043.67^{A}±90.20

A,B,C..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

a,b,c..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

trt 1 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 0% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 2 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 5% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 3 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 10% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 4 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 15% น้ำตาลอินเวิร์ต

ตารางที่ 4.11 ค่างานที่ใช้ในการตัดของผลิตภัณฑ์มะละกอตลอดอายุการเก็บ 21 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	งานที่ใช้ในการตัด (cutting work, g.mm)			
	trt 1	trt 2	trt 3	trt 4
0	$15635.89^{aB} \pm 1778.05$	$17314.56^{aC} \pm 2400.32$	$14858.43^{abcB} \pm 1514.36$	$12801.72^{aA} \pm 2112.76$
3	$23358.69^{bB} \pm 3748.90$	$17764.48^{aC} \pm 2028.61$	$13250.82^{aA} \pm 1248.64$	$12715.96^{aA} \pm 2057.94$
6	$29086.36^{dC} \pm 2422.76$	$18625.86^{aB} \pm 2002.57$	$14397.42^{abA} \pm 2595.68$	$15746.93^{cA} \pm 1878.54$
9	$25805.04^{bcC} \pm 1621.04$	$22379.39^{bcB} \pm 1106.20$	$14678.70^{abcA} \pm 2206.73$	$14309.03^{abcA} \pm 1566.37$
12	$28162.58^{cdC} \pm 3050.64$	$19918.26^{abB} \pm 2567.75$	$13054.18^{aA} \pm 1101.03$	$15256.36^{bcA} \pm 1388.37$
15	$29528.16^{dC} \pm 3669.16$	$21746.43^{bcB} \pm 2109.99$	$14791.23^{abcA} \pm 2174.05$	$14381.48^{abcA} \pm 1259.83$
18	$32088.41^{dD} \pm 3939.08$	$22931.99^{cC} \pm 1959.35$	$15913.76^{bcB} \pm 2547.03$	$13041.83^{aA} \pm 1428.05$
21	$32997.29^{dD} \pm 3657.18$	$21837.16^{bcC} \pm 2654.08$	$16748.20^{cB} \pm 843.05$	$13536.03^{abA} \pm 1158.23$

A,B,C..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

a,b,c..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

trt 1 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 0% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 2 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 5% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 3 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 10% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 4 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 15% น้ำตาลอินเวิร์ต

ตารางที่ 4.12 ค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์มะละกอตลอดอายุการเก็บ 21 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าความเหนียว (adhesiveness, g.mm)			
	trt 1^{ns}	trt 2	trt 3	trt 4
0	$120.96^{A} \pm 22.22$	$152.40^{abcB} \pm 35.35$	$170.53^{aB} \pm 29.46$	$167.64^{aB} \pm 27.15$
3	$135.43^{A} \pm 15.42$	$141.56^{abA} \pm 20.06$	$182.60^{abB} \pm 32.37$	$176.77^{abB} \pm 18.15$
6	$130.52^{A} \pm 12.09$	$173.07^{cdB} \pm 20.74$	$205.99^{bD} \pm 21.37$	$183.94^{abC} \pm 15.47$
9	$135.36^{A} \pm 19.67$	$190.13^{dB} \pm 41.13$	$208.56^{bB} \pm 28.26$	$245.21^{dC} \pm 33.08$
12	$116.98^{A} \pm 13.00$	$176.87^{cdB} \pm 22.48$	$209.02^{bC} \pm 26.79$	$215.68^{cC} \pm 19.27$
15	$118.24^{A} \pm 12.96$	$168.49^{bcdB} \pm 21.81$	$206.90^{bC} \pm 27.84$	$208.91^{bcC} \pm 19.76$
18	$121.84^{A} \pm 12.37$	$159.21^{abcB} \pm 12.84$	$201.47^{bC} \pm 22.58$	$206.71^{bcC} \pm 19.92$
21	$120.54^{A} \pm 15.17$	$138.45^{aB} \pm 13.22$	$190.46^{abC} \pm 17.64$	$205.77^{bcC} \pm 17.73$

A,B,C..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

a,b,c..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

trt 1 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 0% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 2 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 5% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 3 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 10% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 4 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 15% น้ำตาลอินเวิร์ต

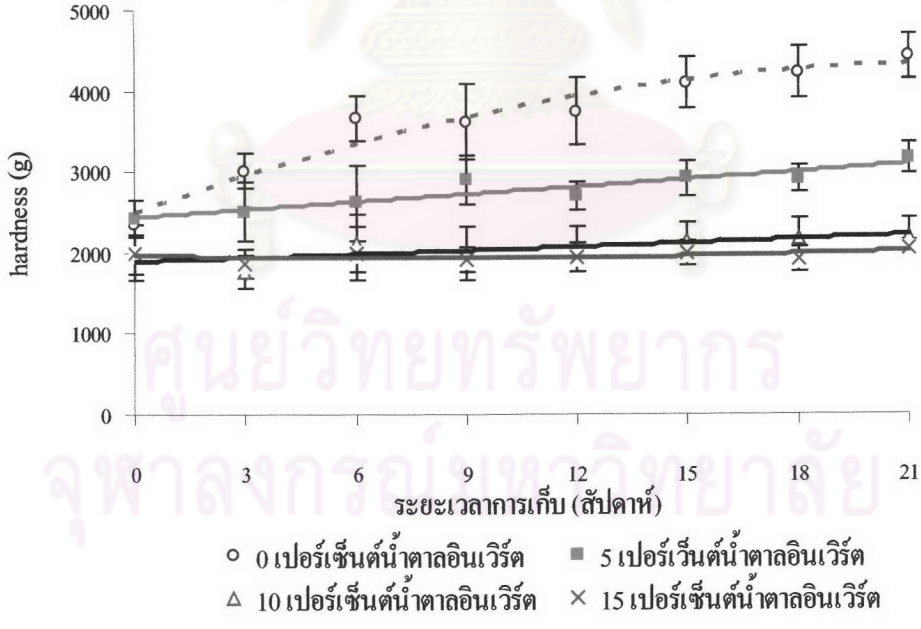
จากผลของการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่มีการแปรระดับน้ำตาลอินเวิร์ตทั้ง 4 ชุดการทดลอง ในช่วงการเก็บเริ่มต้น (0 สัปดาห์) พบว่าการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตลงในผลิตภัณฑ์ส่งผลให้ค่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในด้านความแข็ง (hardness) และงานที่ใช้ในการตัด (cutting work) มีค่าลดลง ส่วนค่าความเหนียวมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสที่ไม่ได้เติมน้ำตาลอินเวิร์ตและมีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5% มีค่า hardness ใกล้เคียงกันคือมีค่า 2340.72 g และ 2436.07g ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่ระดับ 10% และ 15% มีค่า hardness 1966.29 g และ 2004.10 g ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าชุดที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตน้อยกว่า โดยค่างานที่ใช้ในการตัดมีค่าสอดคล้องกับค่า hardness คือถ้าค่า hardness สูง ค่างานที่ใช้ในการตัดสูงเช่นกัน (ตารางที่ 4.10-4.11) ส่วนค่าความเหนียวพบว่าชุดที่ไม่เติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีค่าความเหนียวน้อยที่สุดคือ 120.96 g.mm ในขณะที่ชุดที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่ 5 10 และ 15% จะมีค่าความเหนียวเพิ่มขึ้นเป็น 152.40, 170.53 และ 167.64 g.mm ตามลำดับ

ผลของค่า hardness ในแต่ละชุดการทดลองเมื่อระยะเวลาการเก็บเดียวกัน พบว่าชุดที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10 และ 15 % มีค่า hardness ใกล้เคียงกัน และให้ค่าดีกว่าชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่ 0 และ 5 % ส่วนงานที่ใช้ในการตัด พบว่าแต่ละระยะเวลาการเก็บรักษา ชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10 และ 15 % มีค่าใกล้เคียงกันและค่าดีกว่าชุดที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่ 0 และ 5% แต่เมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่ 15 % มีค่าดีกว่าชุดที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10 % ส่วนค่าความเหนียว (ตารางที่ 4.12) พบว่าชุดที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีค่าความเหนียวน้อยที่สุดซึ่งแสดงให้เห็นว่าการไม่เติมน้ำตาลอินเวิร์ตส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะร่วนเปราะ

ส่วนผลของระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าในผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต (0% น้ำตาลอินเวิร์ต) ค่าเนื้อสัมผัส hardness และค่างานที่ใช้ในการตัดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นมากที่สุดหลังการเก็บเป็นเวลา 3 สัปดาห์ และยังคงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา 21 สัปดาห์ (รูปที่ 4.10 ละ 4.11) ส่วนค่าความเหนียวของชุดที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ตลอดการเก็บรักษา 21 สัปดาห์ สำหรับในชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่ 10 และ 15% พบว่าค่า hardness และค่างานที่ใช้ในการตัดมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งในชุดการทดลองที่เติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่ 15% ระยะเวลาการเก็บไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า hardness อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มมีค่ามากขึ้นในสัปดาห์ที่ 6-12 หลังจากนั้นค่าความเหนียวมีค่าลดลง (รูปที่ 4.12) สาเหตุการเปลี่ยนแปลงของค่าเนื้อสัมผัส (ค่า hardness และค่างานในการตัด) เมื่อมีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตในช่วงการออสโมซิส อาจเนื่องจากน้ำตาลอินเวิร์ตมีสมบัติในการคงความชื้น (British Sugar, 2004) ซึ่งสามารถดึงน้ำที่อยู่ภาย

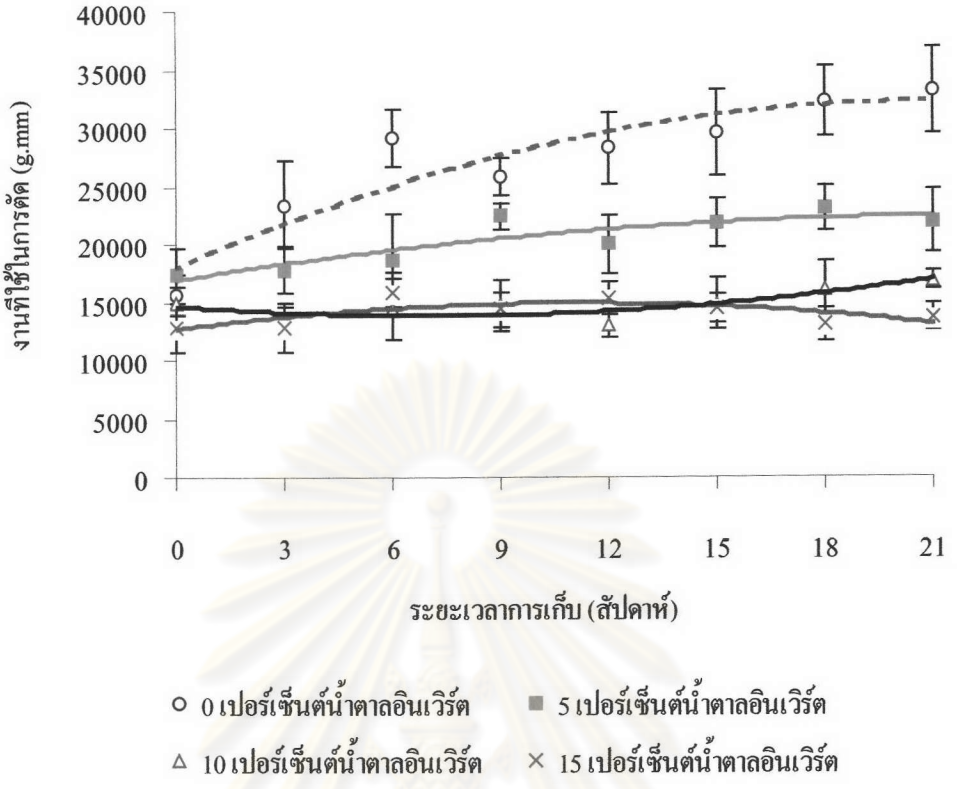
ในเนื้อมะละกอได้มากขึ้นทำให้มะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตในสารละลายซูโครส มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครสเป็นสารละลายออสโมติกเพียงอย่างเดียว และอีกประการหนึ่งคือ จากการที่น้ำตาลอินเวิร์ตเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวสามารถซึมเข้าในเนื้อมะละกอได้ดีกว่าน้ำตาลซูโครส จึงทำให้เนื้อสัมผัสของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งอ่อนนุ่มลง ผลยังสอดคล้องกับรายงานของ นิราศ กิ่งวาที (2546) ซึ่งศึกษาสมบัติและระดับของสารดูดความชื้น (humectants) ของสับปะรดที่ทำแห้งโดยการออสโมซิส พบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณสารดูดความชื้นในสารละลายซูโครสส่งผลให้ค่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อ่อนนุ่มลง

นอกจากนี้ชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตยังมีการเกิดผลึกของน้ำตาลรอบๆ ผิวของผลิตภัณฑ์ (crystallization) แสดงดังภาพที่ ง.1 และ ง.2 ในภาคผนวก ง. โดยชุดที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่ 15 % มีการเกิดผลึกน้ำตาลน้อยที่สุด ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Howell และ Hartel (2001) ศึกษาผลของการใช้น้ำตาลอินเวิร์ตเพื่อลดอัตราการเกิดผลึกใน thin sucrose film โดยแปรระดับของน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมเป็น 0 0.5 1 และ 5% พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ต สามารถลดอัตราการเกิดผลึกของ thin sucrose film ได้ และที่อินเวิร์ต 5% สามารถลดการเกิดผลึกได้ดีที่สุด



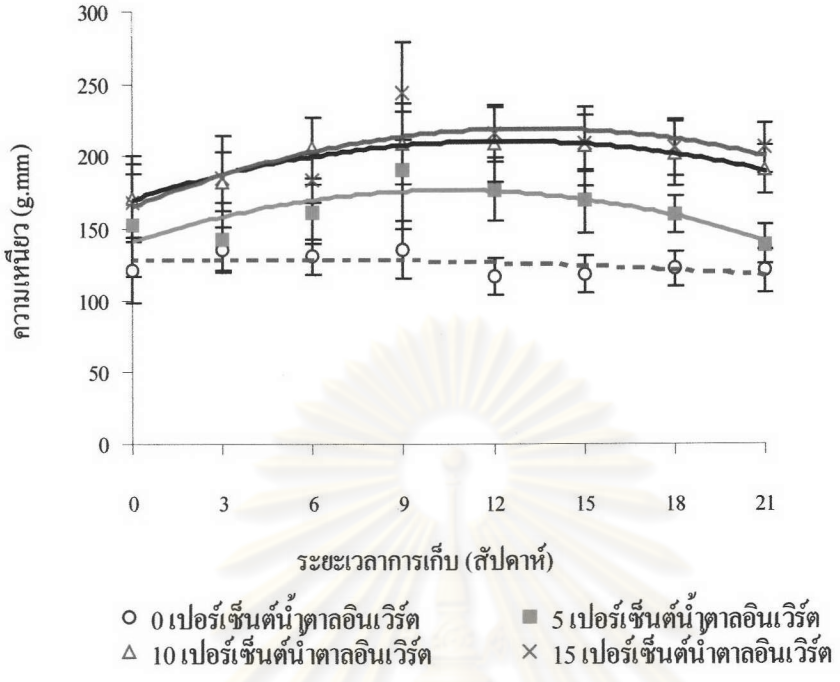
รูปที่ 4.11 ค่า hardness ของผลิตภัณฑ์มะละกอตลอดอายุการเก็บ 21 สัปดาห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 ค่างานที่ใช้ในการตัดของผลิตภัณฑ์มะละกอตลอดอายุการเก็บ 21 สัปดาห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 ค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์มะละกอตลอดอายุการเก็บรักษา 21 สัปดาห์

4.5.4 ผลของอายุการเก็บรักษาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของผลิตภัณฑ์ในช่วงการเก็บรักษาเพื่อให้ทราบถึงปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เหลืออยู่ เนื่องจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้งช่วงการผลิตและช่วงการเก็บรักษา (Chan และ Cavaletto, 1978) การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลโดยที่ bisulfite จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่แอลดีไฮด์เกิดเป็น hydroxysulfonate ซึ่งเป็นสารที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนได้ ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจึงถูกยับยั้ง (Davison and Juneja, 1990) นอกจากนี้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังช่วยยับยั้งจุลินทรีย์อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามหากปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์เหลือในผลิตภัณฑ์มากอาจมีผลกระทบต่อผู้บริโภคที่เป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ (Sapers, 1993) ผลของอายุการเก็บรักษาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตลอดอายุการเก็บ 21 สัปดาห์แสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลของอายุการเก็บรักษาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตลอดอายุการเก็บ 21 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ppm.)			
	trt 1	trt 2	trt 3	trt 4
0 ns	150.62 ^{h}±1.91	151.47 ^{h}±1.67	155.19 ^{h}±3.83	156.01 ^{h}±4.67
3 ns	128.65 ^{g}±3.12	128.59 ^{g}±1.95	131.60 ^{g}±1.82	131.57 ^{g}±2.59
6 ns	114.65 ^{f}±4.67	114.56 ^{f}±3.66	116.07 ^{f}±4.33	111.93 ^{f}±3.98
9 ns	103.51 ^{e}±2.73	103.24 ^{e}±1.76	104.45 ^{e}±3.46	104.48 ^{e}±2.50
12 ns	85.23 ^{d}±4.07	87.05 ^{d}±2.19	87.57 ^{d}±1.24	88.90 ^{d}±2.73
15 ns	70.13 ^{c}±1.83	73.63 ^{c}±0.76	73.23 ^{c}±1.08	73.57 ^{c}±1.71
18 ns	51.33 ^{b}±1.00	52.65 ^{b}±1.09	52.50 ^{b}±1.06	52.45 ^{b}±1.12
21 ns	46.13 ^{a}±0.41	46.16 ^{a}±0.63	46.88 ^{a}±0.93	47.69 ^{a}±0.35

a,b,c..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

trt 1 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 0% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 2 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 5% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 3 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 10% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 4 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 15% น้ำตาลอินเวิร์ต

เมื่อพิจารณาในแต่ละชุดการทดลองต่อผลของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของผลิตภัณฑ์ที่ระยะเวลาเดียวกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ชี้ให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชุดการทดลองมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05) นั่นแสดงว่าผลของน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงไปในสารละลายซูโครสในช่วงการออสโมซิสไม่มีผลต่อปริมาณซัลเฟอร์-ไดออกไซด์สุดท้ายในผลิตภัณฑ์ ส่วนผลของระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บนานขึ้นส่งผลให้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของผลิตภัณฑ์ลดลงทั้ง 4 ชุดการทดลอง ปริมาณซัล-เฟอร์ไดออกไซด์ที่เหลือหลังการเก็บเป็นระยะเวลา 21 สัปดาห์ แสดงดังตารางที่ 4.13 สาเหตุการลดลงของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บและเวลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลง เพราะโดยปกติแล้วปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถระเหยออกไปได้จากผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Silveira และคณะ (1996) ที่ศึกษาอายุการเก็บรักษาสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งโดยพบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นและเวลาการเก็บนานขึ้น ส่งผลให้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลง โดยการเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือนจะทำให้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์และพบว่าปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลงประมาณ 90% หลังการเก็บที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 เดือน

4.5.5 ผลของอายุการเก็บต่อปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์และ รา

การเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์จะเกิดเร็วกว่าปฏิกิริยาจากเอนไซม์หรือปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งจะเกิดอย่างช้า ๆ ในระหว่างการเก็บรักษา เพราะปริมาณน้ำในอาหารเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการควบคุมอัตราการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ ซึ่งในผลไม้แช่อิ่มอบแห้งจะมีปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ที่น้อยกว่าอาหารสดทั่วไปคือมีความชื้นไม่เกิน 18% (มาตรฐานอุตสาหกรรมผลไม้แห้ง, 2532) ผลของปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์และรา พบว่าทั้ง 4 ชุดการทดลอง จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 300 CFU/ml และไม่พบปริมาณยีสต์และราทั้ง 4 ชุดการทดลองเช่นกันโดยตามข้อกำหนดตามมาตรฐานของผลไม้แห้ง กำหนดให้มีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดมีได้ไม่เกิน 10,000 CFU/ml และปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 10 CFU/ml (มาตรฐานของผลไม้แห้ง, 2532) และพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ โดยทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้เพราะผลิตภัณฑ์มีค่า Aw ต่ำคืออยู่ในช่วง 0.59-0.65 (ตารางที่ ข.22 ในภาคผนวก ข) และนอกจากนี้อาจเป็นเพราะผลิตภัณฑ์มีสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งมีสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้เช่นกัน (Ough, 1983)

4.5.6 ผลของอายุการเก็บรักษาต่อการเกิดสีน้ำตาลและการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์

การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญทางเคมีของผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งในช่วงการเก็บรักษาคือการเกิดสีน้ำตาล โดยมีหลายปัจจัยที่ช่วยส่งเสริมในการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ เช่น ค่า Aw ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.5-0.7 (Forni et al., 1997) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณกรดอะมิโน และ ค่า pH เป็นต้น (Arnoldi, 2004) ในงานวิจัยครั้งนี้วัดการเกิดสีน้ำตาลโดยการสกัดตัวอย่างด้วยกรดอะซีติกจากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 nm (ดัดแปลงจาก Baloch, Buckle และ Edwards, 1973) ผลการเปลี่ยนแปลงแสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 nm ของมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสตลอดอายุการเก็บ 21 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 nm.			
	trt 1	trt 2	trt 3	trt 4
0	0.004^{aA} ±0.001	0.008^{aB}±0.001	0.011^{aC}±0.001	0.012^{aC}±0.001
3	0.005^{abA}±0.001	0.010^{bB}±0.001	0.012^{aC}±0.001	0.013^{aC}±0.001
6	0.007^{bA} ±0.001	0.011^{bB}±0.001	0.013^{abC}±0.001	0.017^{bD}±0.001
9	0.010^{cA} ±0.001	0.012^{bB}±0.001	0.016^{bC}±0.001	0.019^{bD}±0.001
12	0.013^{dA} ±0.000	0.016^{cB}±0.001	0.022^{cC}±0.001	0.027^{cD}±0.001
15	0.015^{eA} ±0.001	0.026^{dB}±0.001	0.031^{dC}±0.001	0.036^{dD}±0.001
18	0.019^{fA} ±0.001	0.029^{eB}±0.001	0.037^{eC}±0.001	0.044^{eD}±0.003
21	0.027^{gA} ±0.003	0.039^{fB}±0.001	0.052^{fC}±0.001	0.066^{fD}±0.003

A,B,C..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

a,b,c..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

trt 1 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 0% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 2 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 5% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 3 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 10% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 4 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 15% น้ำตาลอินเวิร์ต

ผลการวัดการเกิดสีน้ำตาลโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 nm. พบว่าค่าการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มขึ้นในมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตในปริมาณมากขึ้น และค่าการดูดกลืนแสงยังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะการเก็บที่นานขึ้นอีกด้วยสาเหตุเนื่องจากปฏิกิริยา Maillard ที่เกิดจากสารประกอบคาร์บอนิล (น้ำตาลรีดิวซ์) ทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนของโปรตีนในมะละกอและเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สีน้ำตาล โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงและยังแปรผันไปตามระยะเวลาอีกด้วย (Sapers, 1993) ผลที่ได้ยังสอดคล้องกับรายงานของ Wong และ Stanton (1989) โดยศึกษาการเกิดสีน้ำตาลของน้ำกีวีเข้มข้นในช่วงการเก็บรักษา พบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 nm ในน้ำกีวีเพิ่มจาก 0.05 เป็น 0.14 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 สัปดาห์ แต่อย่างไรก็ตามค่าการเปลี่ยนแปลงนี้ไม่ส่งผลอย่างชัดเจนเมื่อพิจารณาค่าทางด้านสี (รูปที่ 4.9-4.10)

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสในช่วงการเก็บรักษาเป็นเวลา 21 สัปดาห์

เวลาการเก็บ (สัปดาห์)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (g/100 g ของมะละกออบแห้ง)			
	trt 1	trt2	trt 3	trt 4
0	25.83^{cdeA} ±0.20	32.10^{dB} ±0.85	35.63^{cdC} ±0.09	41.53^{abD} ±0.99
3	25.92^{deA} ±0.43	32.03^{dB} ±0.51	35.19^{bcC} ±0.30	41.11^{abD} ±0.75
6	26.52^{eA} ±0.60	33.11^{dB} ±0.54	36.21^{eC} ±0.33	42.10^{cD} ±0.88
9	26.16^{deA} ±0.63	32.46^{dB} ±0.76	36.99^{dC} ±0.14	41.49^{abD} ±0.52
12	25.28^{cdA} ±0.25	30.93^{cB} ±0.48	35.73^{cdC} ±0.47	41.16^{deD} ±0.89
15	24.85^{bcA} ±0.56	29.60^{bB} ±0.63	35.34^{eC} ±0.53	41.06^{cD} ±0.71
18	24.16^{abA} ±0.94	28.90^{abB} ±0.63	34.67^{abC} ±0.16	40.34^{abD} ±0.19
21	23.41^{aA} ±0.39	27.97^{aB} ±0.21	34.11^{aC} ±0.34	39.10^{aD} ±0.10

A,B,C..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

a,b,c..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

trt 1 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 0% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 2 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 5% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 3 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 10% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 4 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 15% น้ำตาลอินเวิร์ต

ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในแต่ละชุดการทดลองพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของน้ำตาลอินเวิร์ตที่เติมลงไป คือชุดที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมากจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) แต่เมื่อเวลาการเก็บนานขึ้นค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย คือแต่ละชุดการทดลองลดลงประมาณ 1-2% การลดลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ อาจอธิบายได้ว่าปฏิกิริยา Maillard ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับหมู่อะมิโนของโปรตีนมีผลทำให้น้ำตาลรีดิวซ์ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการเกิดสีน้ำตาลในตารางที่ 4.14

4.5.7 ผลของอายุการเก็บต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ในช่วงการเก็บรักษาจำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อประเมินการยอมรับของผู้บริโภคเนื่องจากผลิตภัณฑ์อาจมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและเคมี สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสในช่วงการเก็บรักษานี้ให้ผู้ทดสอบพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ในด้านสี ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ปรากฏ (การหดตัวของผลิตภัณฑ์) และการยอมรับโดยรวมต่อลักษณะปรากฏ ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน โดยทดสอบการยอมรับ

แบบ acceptance test (9 คะแนนหมายถึงยอมรับมากที่สุดและ 1 คะแนน หมายถึงไม่ยอมรับมากที่สุด) แบบทดสอบตามภาคผนวก ค.2 ให้ผู้ทดสอบประเมินความชอบ จำนวน 30 คน ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ

ในช่วงแรกของการเก็บรักษา ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านสี พบว่าชุดที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีค่าการยอมรับน้อยที่สุด ในขณะที่ชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่ 5 10 และ 15 % มีค่าสูงกว่าและมีค่าใกล้เคียงกัน แต่หลังจากการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผ่านไปแล้ว 9 สัปดาห์ ค่าการยอมรับด้านสีในชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่ 10 และ 15 % มีค่ามากใกล้เคียงกัน ในขณะที่ชุดการทดลองที่เติมน้ำตาลอินเวิร์ต 5 % มีคะแนนการยอมรับน้อยกว่า และชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีการยอมรับน้อยที่สุด ส่วนผลการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ (ตารางที่ 4.17) พบว่าชุดที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 15 % มีคะแนนการยอมรับมากที่สุดใน 6 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา และในช่วงการเก็บสัปดาห์ที่ 9-21 ผลการยอมรับชุดที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10% มีคะแนนใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่ 15% ส่วนชุดที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่ 5% มีคะแนนน้อยกว่าและชุดที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตมีคะแนนการยอมรับน้อยที่สุดตลอดการเก็บรักษา ผลการยอมรับโดยรวมด้านลักษณะปรากฏ (ตารางที่4.18) พบว่าชุดที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่ 15% มีคะแนนการยอมรับมากที่สุดในช่วงการเก็บ 12 สัปดาห์แรก และหลังจากนั้นชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 10% มีคะแนนใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 15% มีคะแนนการยอมรับมากกว่า

การเติมปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ตในช่วงการออสโมซิสส่งผลให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ดี ทั้งสามด้านโดยชุดที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตที่ 15% มีคะแนนความชอบมากที่สุดเมื่อผ่านการเก็บเป็นเวลา 21 สัปดาห์

จากผลการตรวจสอบสมบัติทางเคมีและกายภาพในมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสที่เติมน้ำตาลอินเวิร์ตในปริมาณต่างกันนั้น พบว่าเมื่อเติมน้ำตาลอินเวิร์ตในผลิตภัณฑ์ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นหลังการเก็บเป็นเวลา 21 สัปดาห์ แต่ผลของน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าลดลงเล็กน้อยในขณะที่การเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น แต่ผลของการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ไม่มีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ คือชุดที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตสูงมีค่าการเกิดสีน้ำตาลสูงแต่มีคะแนนการยอมรับมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากมะละกอมีสีแดงทำให้ไม่สามารถมองเห็นการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามน้ำตาลอินเวิร์ตมีผลมากต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์คือชุดที่ไม่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตทำให้ผลิตภัณฑ์แห้ง แข็ง กระด้าง ส่วนชุดที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ตสูงกว่ามีค่าเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มกว่า จากข้อมูลการตรวจ

สอบทางเคมีและกายภาพ ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำตาลอินเวิร์ต 15 % เป็นชุดที่ดีที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์มะละกอแช่อิ่มอบแห้งตลอดอายุการเก็บรักษา 21 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์แสดงดังรูปที่ ง. 2 ใน ภาคผนวก ง

ตารางที่ 4.16 คะแนนประเมินผลทางประสาทสัมผัสของมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสในด้านสีตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	คะแนนประเมินผลด้านสี			
	trt 1	trt 2	trt 3	trt 4
0	$5.02^{bA}\pm1.33$	$6.42^{cB}\pm1.14$	$6.14^{c}\pm1.35$	$6.57^{dC}\pm1.46$
3	$3.57^{a}\pm1.70$	$6.16^{c}\pm0.9$	$6.09^{bc}\pm1.59$	$6.51^{d}\pm1.55$
6	$3.54^{a}\pm1.19$	$5.72^{b}\pm0.77$	$5.80^{ab}\pm1.40$	$6.32^{cdC}\pm1.21$
9	$3.35^{a}\pm1.03$	$5.62^{b}\pm0.80$	$5.84^{ab}\pm1.39$	$6.12^{bcC}\pm1.19$
12	$3.33^{a}\pm1.25$	$5.26^{a}\pm0.23$	$5.69^{aC}\pm1.05$	$5.85^{bC}\pm1.03$
15	$3.38^{a}\pm0.93$	$5.21^{a}\pm0.78$	$5.78^{aC}\pm1.37$	$5.91^{bC}\pm1.16$
18	$3.31^{a}\pm0.90$	$5.15^{a}\pm0.74$	$5.59^{aC}\pm1.04$	$5.60^{aC}\pm0.95$
21	$3.37^{a}\pm0.92$	$5.06^{a}\pm0.76$	$5.63^{aC}\pm1.04$	$5.58^{aC}\pm1.30$

A,B,C..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$)

a,b,c..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$)

trt 1 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 0% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 2 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 5% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 3 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 10% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 4 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 15% น้ำตาลอินเวิร์ต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 คะแนนประเมินผลทางประสาทสัมผัสของมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสในด้านลักษณะปรากฏตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	คะแนนประเมินผลด้านลักษณะปรากฏ			
	trt 1	trt 2	trt 3	trt 4
0	$5.04^{bA}\pm1.32$	$6.02^{cB}\pm1.01$	$5.99^{cB}\pm1.28$	$6.62^{dC}\pm1.39$
3	$3.33^{aA}\pm1.7$	$6.09^{cB}\pm1.13$	$5.90^{cB}\pm1.45$	$6.45^{dC}\pm1.57$
6	$3.38^{aA}\pm1.30$	$5.65^{bB}\pm0.82$	$5.82^{abcB}\pm0.95$	$6.27^{bcC}\pm1.16$
9	$3.23^{aA}\pm1.15$	$5.52^{bB}\pm0.81$	$5.81^{abcC}\pm0.95$	$6.13^{aC}\pm1.05$
12	$3.17^{aA}\pm0.86$	$5.12^{aB}\pm0.72$	$5.63^{abcC}\pm0.90$	$5.80^{aC}\pm1.05$
15	$3.22^{aA}\pm1.09$	$5.14^{aB}\pm0.74$	$5.72^{abC}\pm0.92$	$5.83^{aC}\pm1.10$
18	$3.18^{aA}\pm1.06$	$5.06^{aB}\pm0.75$	$5.54^{aC}\pm0.95$	$5.64^{aC}\pm1.02$
21	$3.20^{aA}\pm1.11$	$4.97^{aB}\pm0.77$	$5.56^{aC}\pm0.75$	$5.58^{aC}\pm1.03$

A,B,C..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$)

a,b,c..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$)

trt 1 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 0% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 2 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 5% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 3 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 10% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 4 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 15% น้ำตาลอินเวิร์ต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 คะแนนประเมินผลทางประสาทสัมผัสของมะละกอที่ทำแห้งโดยการออสโมซิสในด้านการยอมรับโดยรวมด้านลักษณะปรากฏตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 สัปดาห์

ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	คะแนนประเมินผลการยอมรับโดยรวมด้านลักษณะปรากฏ			
	trt 1	trt 2	trt 3	trt 4
0	$5.15^{bA}\pm1.37$	$6.19^{dB}\pm1.03$	$6.08^{bB}\pm1.66$	$6.61^{cC}\pm1.47$
3	$3.57^{aA}\pm1.80$	$6.37^{cdB}\pm1.18$	$6.00^{bB}\pm1.29$	$6.53^{cC}\pm1.59$
6	$3.76^{aA}\pm1.22$	$5.94^{bcB}\pm0.89$	$6.09^{bB}\pm0.94$	$6.47^{cC}\pm1.26$
9	$3.59^{aA}\pm1.05$	$5.85^{bB}\pm0.90$	$6.12^{bB}\pm0.94$	$6.31^{bcC}\pm1.18$
12	$3.48^{aA}\pm0.96$	$5.35^{aB}\pm0.91$	$5.89^{abB}\pm0.86$	$5.99^{abC}\pm1.14$
15	$3.51^{aA}\pm1.01$	$5.36^{aB}\pm0.92$	$6.04^{abC}\pm0.91$	$6.08^{aC}\pm1.19$
18	$3.48^{aA}\pm1.02$	$5.30^{aB}\pm0.80$	$5.77^{aC}\pm0.89$	$5.88^{aC}\pm1.11$
21	$3.48^{aA}\pm1.05$	$5.16^{aB}\pm0.83$	$5.77^{aC}\pm0.91$	$5.85^{aC}\pm1.14$

A,B,C..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$)

a,b,c..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$)

trt 1 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 0% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 2 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 5% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 3 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 10% น้ำตาลอินเวิร์ต

trt 4 แทนผลิตภัณฑ์มะละกอที่เติม 15% น้ำตาลอินเวิร์ต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย