บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การบ่มมะม่วงแก้ว

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการบ่มผลมะม่วงแก้ว

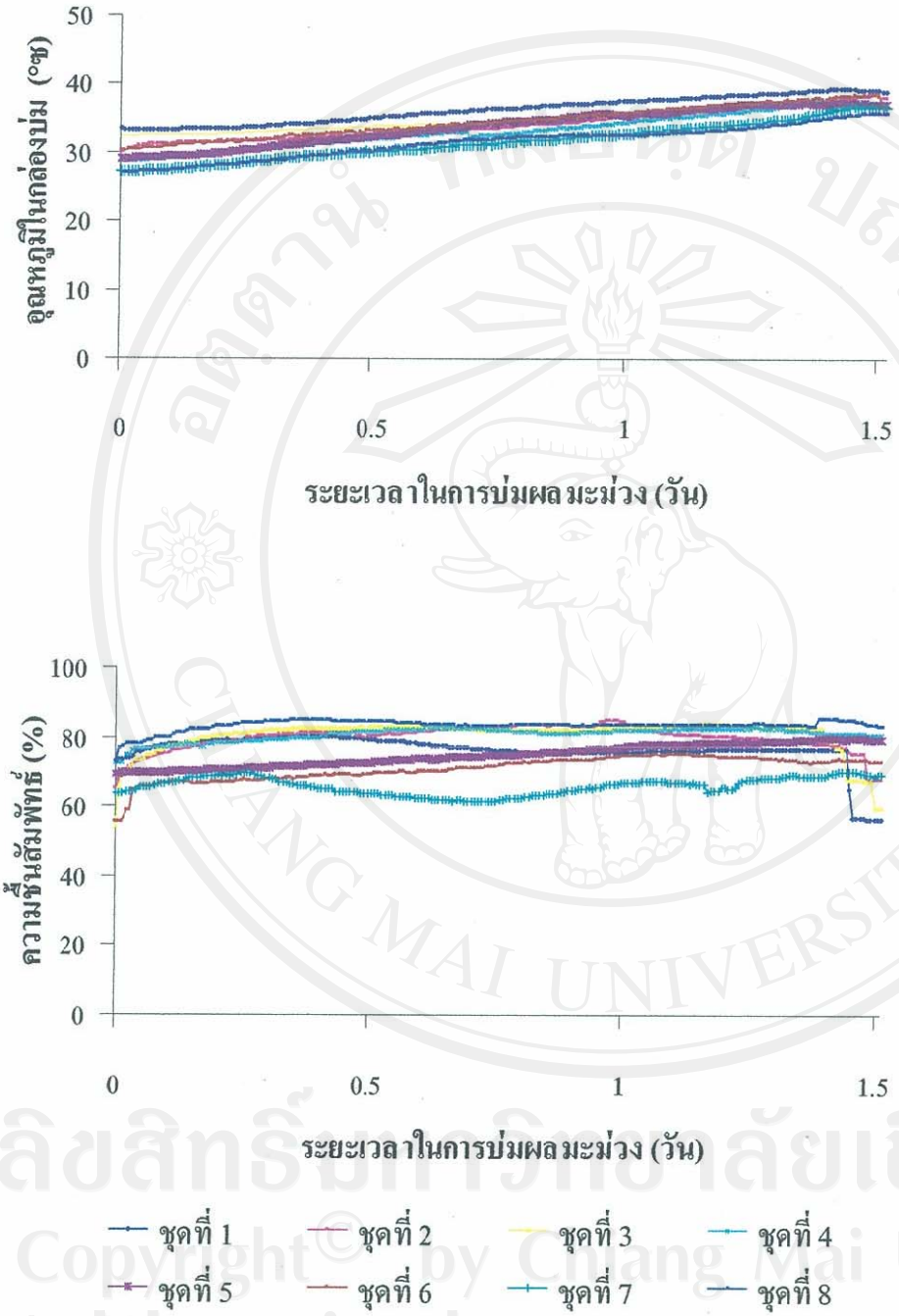
ระหว่างการบ่มผลมะม่วงแก้ว ได้บันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องโดยใช้ data logger ดังแสดงในภาพ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระหว่างการบ่มผลมะม่วงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น โดยอุณหภูมิระหว่างการบ่มผลมะม่วงอยู่ในช่วง 36-40 องศาเซลเซียส ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าผันแปรตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น คือ อยู่ในช่วง 65-80 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมะม่วงเป็นผลไม้ที่มีการหายใจแบบ climacteric คือ มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นระหว่างการสุก การหายใจจะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และพลังงานออกมา (สมการ (4.1)) พลังงานที่ได้จะเปลี่ยนเป็นรูปของพลังงานความร้อน ซึ่งพลังงานความร้อนนี้จะกระตุ้นกระบวนการเมแทบอลิซึม (ดนัย, 2544) จึงทำให้อุณหภูมิภายในกล่องสูงกว่าอุณหภูมิห้อง ส่วนไอน้ำที่ได้จากการหายใจของผลมะม่วงจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์ไบด์และได้แก๊สอะเซทิลีนออกมา ดังสมการ (4.2)

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{พลังงาน} \quad (4.1)$$

$$CaC_2\,(s) + H_2O\,(l) \longrightarrow CaO\,(s) + C_2H_2\,(g) \quad (4.2)$$

อะเซทิลีน (C_2H_2) สามารถกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีนและออกฤทธิ์ได้เช่นเดียวกับเอทิลีน (ดนัย, 2540) ทั้งนี้เพราะมีโครงสร้างคล้ายกัน แต่ต้องใช้ความเข้มข้นสูงกว่ามากจึงจะให้ผลเท่าเอทิลีน และอะเซทิลีนมีข้อเสีย คือ มีกลิ่นซึ่งอาจติดไปกับผลไม้ได้ (จริงแท้, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 4.1 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ภายในกล่องระหว่างการบ่มผลมะม่วงที่อุณหภูมิห้อง (33±2 องศาเซลเซียส) และความชื้นสัมพัทธ์ 45-60 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งเนื้อมะม่วงแก้วมีอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้อยู่ในช่วง 12-13

4.1.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลมะม่วงแก้ว

ระหว่างการบ่มผลมะม่วงได้สุ่มตรวจวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดซิตริก) เพื่อให้ได้มะม่วงแก้วที่จะนำไปใช้ในการทดลองที่ 2 มีอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้อยู่ในช่วง 12-13 รวมถึงการเปลี่ยนแปลงค่าสีเนื้อของผลมะม่วงแก้วในแต่ละวันของการบ่ม ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาการบ่มผลมะม่วงนานขึ้นปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าลดลง และ TSS:TA มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนสมบัติทางด้านกายภาพของเนื้อมะม่วงแก้ว พบว่าค่า L* และค่า h° ลดลง ในขณะที่ค่า C* เพิ่มมากขึ้นระหว่างการบ่มผลมะม่วงแก้ว ดังแสดงในตาราง 4.1 (ภาพภาคผนวก ฉ-2)

4.1.2.1 ค่า L*

การบ่มมะม่วงแก้วด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ผลมะม่วงแก้วสุกในระดับที่ต้องการ มีผลทำให้ค่า L* ของเนื้อมะม่วงลดลงตามลำดับ จากวันที่ 0 มีค่า L* เฉลี่ยเท่ากับ 76.69 และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับค่า L* ของวันที่ 1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 76.07 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่า L* ของวันที่ 1.5 (36 ชั่วโมง) ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการบ่ม เนื้อมะม่วงมีค่า L* เฉลี่ยเท่ากับ 72.95 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวันที่ 0 และ 1 ($p \leq 0.05$) (ภาพ 4.2 (A)) และค่า L* ของผลมะม่วงแต่ละชุดการทดลองในวันที่ 1.5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางภาคผนวก จ-1)

4.1.2.2 ค่า h°

การเปลี่ยนแปลงค่า h° ของเนื้อมะม่วงแก้วขณะบ่ม พบว่ามีค่าลดลงเมื่อผลมะม่วงสุกมากขึ้น คือ เนื้อมะม่วงในวันที่ 0 มีค่า h° เฉลี่ยเท่ากับ 98.96 และมีค่าลดลงเรื่อยๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเวลาผ่านไป คือ ในวันที่ 1 และ 1.5 มีค่า h° เฉลี่ยเป็น 92.74 และ 84.23 ตามลำดับ (ภาพ 4.2 (B)) ค่า h° ที่เข้าใกล้มุม 90 องศา หมายถึง สีของวัตถุจะเข้าใกล้สีเหลือง หากมีค่าเข้าใกล้ 180 องศา สีของวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเขียว (Coste *et al.*, 2005) แสดงว่าเนื้อมะม่วงแก้วเมื่อเริ่มสุกมีสีเหลือง เพราะมีค่า h° ลดลงเข้าใกล้มุม 90 องศา เนื่องจากระหว่างการสุกของผลไม้จะเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ที่เปลือกผลไม้ ทำให้สีเขียวหายไปและมีรงควัตถุสีเหลืองของแคโรทีนอยด์เกิดขึ้น (Mizrach *et al.*, 1999) ซึ่งรวมถึงเนื้อผลไม้ก็เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเช่นกัน (ดนัย, 2540) แม้ว่าค่า h° ในแต่ละชุดการทดลองในวันที่ 0 และ 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ในวันที่ 1.5 มีค่า h° ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางภาคผนวก จ-1)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2.3 ค่า C*

ผลการทดลองพบว่า ผลมะม่วงแก้วดิบในวันที่ 0 มีค่า C* เฉลี่ยเท่ากับ 25.91 เมื่อเวลาในการบ่มผ่านไปค่า C* เพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.05 และ 46.67 ในวันที่ 1 และ 1.5 ของการบ่มผลมะม่วง ตามลำดับ (ภาพ 4.2 (C)) ซึ่งค่า C* ระหว่างการสุกของผลมะม่วงแต่ละช่วงที่วิเคราะห์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และค่า C* ของผลมะม่วงแต่ละชุดการทดลองในวันที่ 1.5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางภาคผนวก จ-1) โดยการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อมะม่วงแก้วระหว่างการบ่มแสดงในภาพ 4.3

4.1.2.4 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

ภาพ 4.4 (A) ได้แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลมะม่วงแก้วขณะบ่มซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบ่มนานขึ้น เนื่องจากมะม่วงเป็นผลไม้ที่มีสตาร์ชสะสมอยู่ในผลมาก เมื่อผลไม้สุกสตาร์ชจึงถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของน้ำตาล ทำให้ผลไม้มีรสหวานขึ้น (จริงแท้, 2544) โดยมะม่วงแก้ววันที่ 0 มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ เฉลี่ยเท่ากับ 7.8 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มขึ้นเป็น 9.9 และ 13.9 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 และ 1.5 ตามลำดับ ซึ่งการบ่มผลมะม่วงแก้วในแต่ละวันมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าระหว่างกระบวนการสุกของผลมะม่วงแก้วมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้จากเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 7.8 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 13-14 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาทั้งสิ้นเพียง 1.5 วัน (36 ชั่วโมง) เท่านั้น และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้แต่ละชุดการทดลองของแต่ละช่วงที่วิเคราะห์มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางภาคผนวก จ-1)

ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ระหว่างการสุกของมะม่วงแก้ว ดังแสดงในภาพ 4.4 (B) พบว่าผลมะม่วงแก้วขณะกำลังสุกมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลง เนื่องจากระหว่างการสุกมีการใช้กรดอินทรีย์ไปในการหายใจ (ดนัย, 2540) โดยผลมะม่วงแก้วดิบก่อนนำมาบ่มมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เฉลี่ยเท่ากับ 3.00 เปอร์เซ็นต์ และลดลงเป็น 2.37 และ 1.17 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 และ 1.5 หลังการบ่ม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในแต่ละช่วงที่วิเคราะห์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ผลมะม่วงของแต่ละชุดการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางภาคผนวก จ-1)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของเนื้อมะม่วงแก้วระหว่างการบ่มผลมะม่วงที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1.5 วัน

จำนวนวันในการบ่ม	ค่า L*	ค่า h^o	ค่า C*	TSS (เปอร์เซ็นต์)	TA (เปอร์เซ็นต์)	TSS:TA
0	76.69±1.45**a**	98.96±2.04**a**	25.91±1.95**c**	7.8±0.14**c**	3.04±0.20**a**	2.62±0.21**c**
1	76.07±1.93**a**	92.74±2.69**b**	31.05±3.20**b**	9.9±0.46**b**	2.37±0.20**b**	4.32±0.42**b**
1.5	72.95±1.18**b**	84.23±2.41**c**	46.67±5.96**a**	13.9±0.22**a**	1.17±0.12**c**	12.25±1.20**a**
$LSD_{0.05}$	1.61	2.49	4.23	0.28	0.18	0.77
%CV	2.06	2.60	11.77	2.55	8.05	11.64

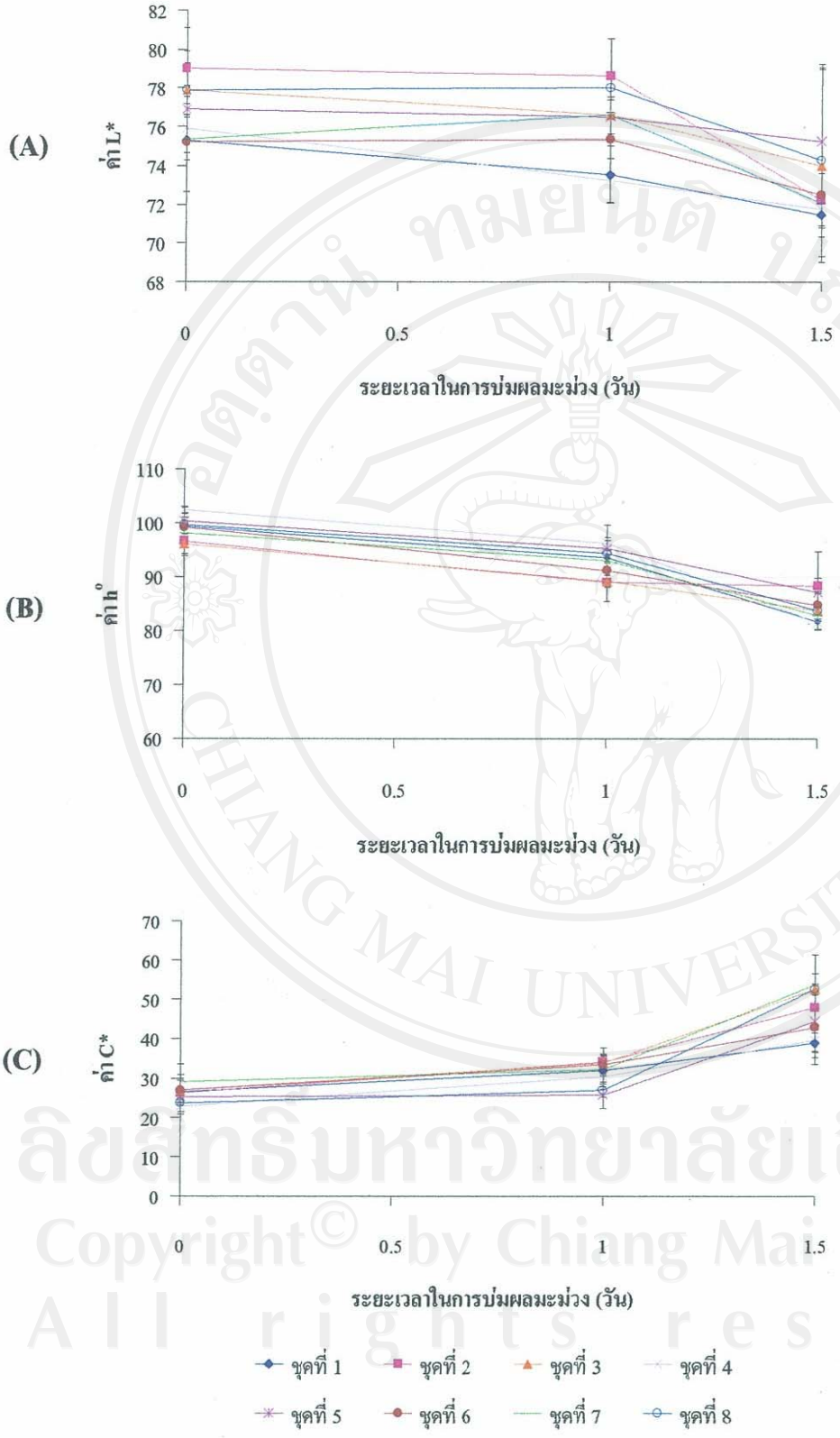
หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

TSS หมายถึง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

TA หมายถึง ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดซิตริก)

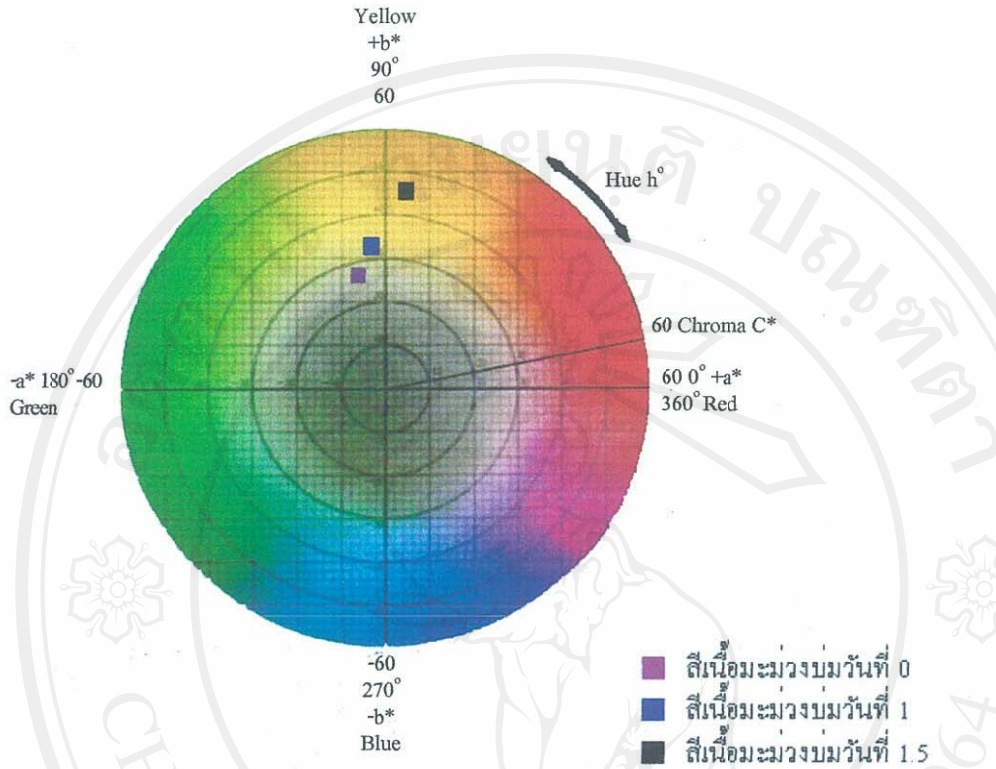
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่า L* (A), ค่า h° (B) และค่า C* (C) ของเนื้อมะม่วงแก้วระหว่างการบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1.5 วัน

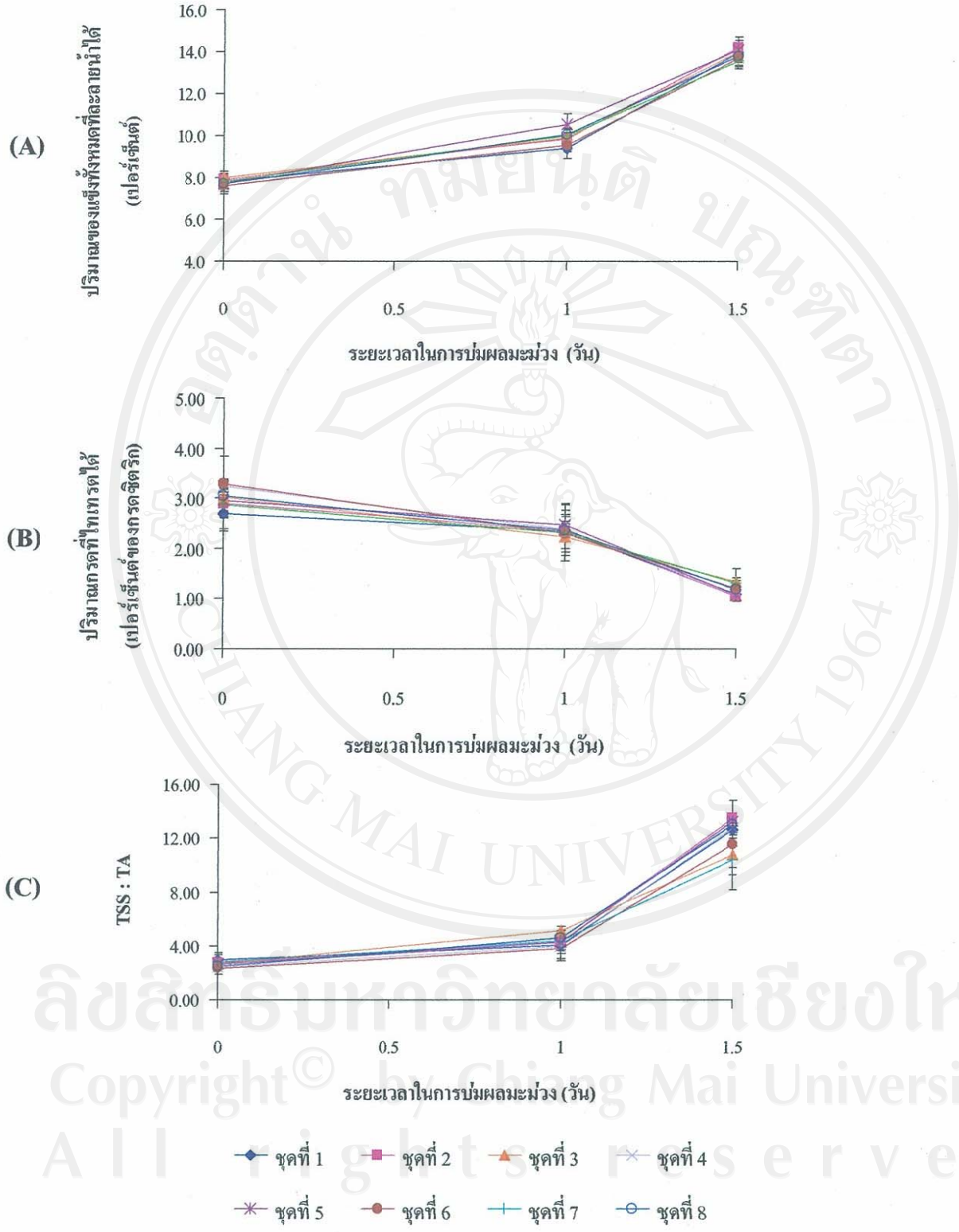
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.3 แสดงตำแหน่ง h° และ C* ของสีเนื้อมะม่วงแก้วระหว่างการบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1.5 วัน

สำหรับการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงแก้วระหว่างการบ่ม ดังแสดงในภาพ 4.4 (C) พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบ่มนานขึ้น โดยอัตราส่วนในแต่ละชุดการทดลองของแต่ละช่วงที่วิเคราะห์มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) มะม่วงแก้ววันที่ 0 มีอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ เฉลี่ยเท่ากับ 2.62 และเพิ่มขึ้นเป็น 4.32 และ 12.25 ในวันที่ 1 และ 1.5 ตามลำดับ ซึ่งการบ่มผลมะม่วงแก้วในแต่ละวันมีอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) (ตารางภาคผนวก จ-1)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (A), ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดซิตริก) (B) และอัตราส่วนของ TSS:TA (C) ของเนื้อมะม่วงแก้วระหว่างการบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1.5 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

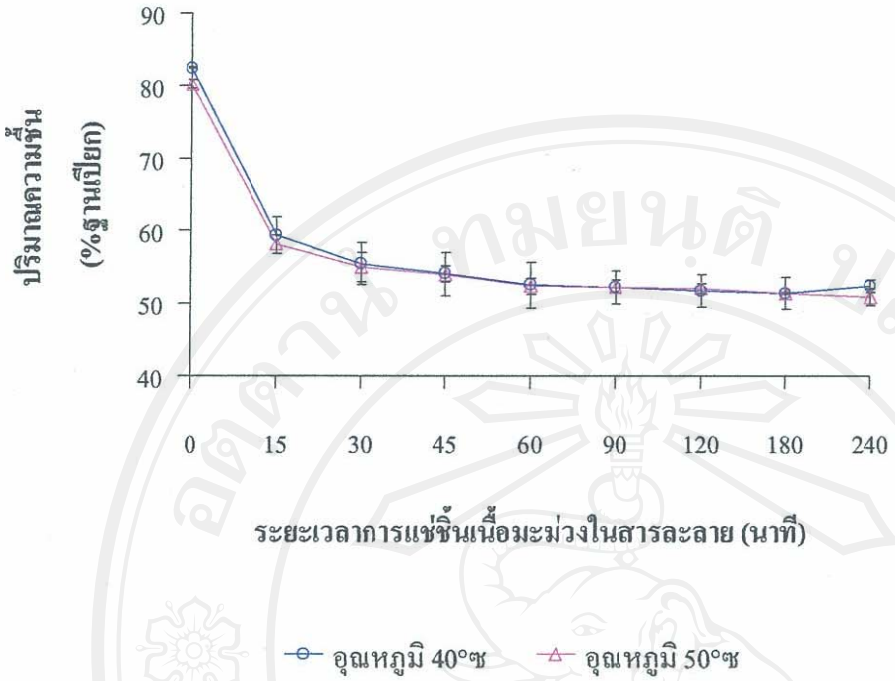
4.2 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงในสารละลายออสโมติก

ชิ้นเนื้อมะม่วงแก้วขนาด 0.5x0.5x0.5 เซนติเมตร จำนวน 1,500 กรัม ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 81-82 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เมื่อแช่ในสารละลายที่ประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส กลีเซอรอล โซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ โพแทสเซียมซอร์เบต และโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ เท่ากับ 55, 45, 2, 0.15, 0.25 และ 0.25 กรัม ตามลำดับ ในน้ำ 100 กรัม โดยใช้อัตราส่วนของเนื้อมะม่วงต่อสารละลาย เท่ากับ 1:1 แช่ชิ้นเนื้อมะม่วงในสารละลายอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 4 ชั่วโมง และสารละลายอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 4 ชั่วโมง โดยได้วิเคราะห์ค่าต่างๆ ได้แก่

4.2.1 ปริมาณความชื้นระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

ขณะที่ชิ้นเนื้อมะม่วงแก้วแช่ในสารละลายออสโมติก สุ่มตัวอย่างชิ้นเนื้อมะม่วงออกมาทุก 15 นาทีในช่วงชั่วโมงแรก และทุก 30 นาทีในช่วงชั่วโมงที่ 2 หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างทุกชั่วโมงจนครบเวลาที่กำหนด คือ 3 และ 4 ชั่วโมง พบว่าชิ้นเนื้อมะม่วงในทุกกรรมวิธีมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นประมาณ 81-82 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละกรรมวิธี ($p>0.05$) ปริมาณความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 30 นาทีแรก และค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น (ภาพ 4.6) เมื่อครบระยะเวลา 3 และ 4 ชั่วโมง ชิ้นเนื้อมะม่วงมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 51.36 และ 51.63 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ตามลำดับ (ตารางภาคผนวก จ-2) ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นเดียวกับเนื้อแอปเปิล (Sereno *et al.*, 2001; Nieto *et al.*, 2004) สับปะรด (Jena and Das, 2005) กะหล่ำดอก เห็ด และถั่วเขียว (Shukla and Singh, 2007) ที่ปริมาณความชื้นลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาในการแช่นานขึ้น แตกต่างจากเนื้อเกาลัดที่มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นภายหลังการแช่ในสารละลายซูโครสนาน 2 ชั่วโมง (Chenlo *et al.*, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก) ของชิ้นเนื้อมะม่วงระหว่างการแช่ในสารละลายออสโมติก ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 4 ชั่วโมง

ภายหลังชิ้นเนื้อมะม่วงผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน ปริมาณความชื้นสุดท้ายของชิ้นเนื้อมะม่วงในทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 51.22 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก นั่นคือทั้งอุณหภูมิสารละลาย ระยะเวลาในการแช่ และความสัมพันธ์ร่วมระหว่างอุณหภูมิของสารละลายและระยะเวลาในการแช่ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นภายหลังการออสโมติกดีไฮเดรชัน ดังแสดงในตาราง 4.2

การแช่ชิ้นอาหารในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง อาหารจะเกิดการออสโมซิสขึ้นทันที โดยเกิดการแพร่ของน้ำจากอาหารไปยังสารละลายด้วยความแตกต่างของแรงดันออสโมติก ในขณะที่ตัวถูกละลายในสารละลายจะแพร่เข้าไปยังอาหารด้วยความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างภายในเซลล์และสารละลายภายนอก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำและความเข้มข้นของตัวถูกละลายในชิ้นอาหาร (Barat *et al*., 2001) ในช่วงเริ่มต้นของการออสโมซิสจะมีอัตราการสูญเสียน้ำสูงมาก ส่วนช่วงต่อมาอัตราการสูญเสียน้ำจะลดลง (รัตนาและพิไลรัก, 2541) เช่น การแช่ชิ้นเนื้อแอปเปิลในสารละลายน้ำตาลกลูโคสและซูโครส พบว่ามีอัตราการสูญเสียน้ำสูงภายใน 2 ชั่วโมงแรก และค่อยๆ ลดลงในเวลาต่อมา (Nieto *et al*., 2004) การทำแห้งโดยอาศัยหลักการออสโมซิสจึงเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การกำจัดน้ำบางส่วนออกจากอาหารได้ ชิ้นเนื้อมะม่วงจึงมีปริมาณความชื้นสุดท้ายลดลงหลังผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

ตาราง 4.2 ปริมาณความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของชิ้นเนื้อมะม่วงก่อนและหลังกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 4 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (ชม.)	ความชื้นเริ่มต้น (%ฐานเปียก)	ความชื้นสุดท้าย (%ฐานเปียก)
40	3	82.34±2.27	49.80 ±1.65
40	4	82.42±1.21	52.72±0.88
50	3	79.74±1.51	51.50±1.27
50	4	80.65±2.15	50.84±1.19
เฉลี่ย		81.29±1.97	51.22±1.48
$LSD_{0.05}$	อุณหภูมิ	-	ns
	เวลา	-	ns
	อุณหภูมิ*เวลา	-	ns
%CV		2.26	0.02

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2.2 สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ

สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ คำนวณได้จากการนำค่าความชันของกราฟระหว่าง ln E กับเวลาในการแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงในสารละลายออสโมติก (ภาคผนวก ข และภาคผนวก ค) เมื่อนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำตามเอกสารของ Lazarides *et al.* (1997) (ภาคผนวก ก) ผลการคำนวณ พบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำจากเนื้อมะม่วงแก้วมีค่าอยู่ในช่วง 2.3653×10^{-10} ถึง 3.3608×10^{-10} ตารางเมตรต่อวินาที โดยที่ระยะเวลาในการแช่และความสัมพันธ์ร่วมระหว่างระยะเวลาในการแช่กับอุณหภูมิของสารละลายไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่พบว่าเฉพาะอุณหภูมิของสารละลายเท่านั้นที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยชิ้นเนื้อมะม่วงที่แช่ในสารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมากกว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยที่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่แช่ในสารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิ 40

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมากที่สุด คือ $3.3608x10^{-10}$ ตารางเมตรต่อวินาที แต่เมื่ออุณหภูมิสารละลายเพิ่มสูงขึ้นและระยะเวลาในการแช่นานขึ้น ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมีค่าลดลง ดังแสดงในตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำจากชิ้นเนื้อมะม่วงที่แช่ในสารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

เวลา (ชม.) / อุณหภูมิ (°ซ)		3	4	เฉลี่ย
40		$3.3608x10^{-10}$±0.14	$3.2359x10^{-10}$±0.15	$3.2984x10^{-10}$±0.09**a**
50		$2.7039x10^{-10}$±0.34	$2.3653x10^{-10}$±0.13	$2.5346x10^{-10}$±0.24**b**
เฉลี่ย		$3.0324x10^{-10}$±0.46	$2.8006x10^{-10}$±0.62	
$LSD_{0.05}$	อุณหภูมิ	0.28		
	เวลา	ns		
	อุณหภูมิ*เวลา	ns		
%CV		7.09		

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงในสารละลายที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ที่เพิ่มขึ้น อาจทำให้ชิ้นเนื้อมะม่วงที่มีขนาดเล็กเข้าสู่ระยะอิ่มตัวได้เร็วขึ้น น้ำในเซลล์จึงซึมผ่านผนังเซลล์ออกมาได้น้อยลง นอกจากนี้อัตราการแพร่ของตัวถูกละลายเข้าไปในเนื้อเยื่อของอาหารช้ากว่าการแพร่ของน้ำ จึงทำให้ตัวถูกละลายส่วนใหญ่อยู่ที่บริเวณผิวนอกของชิ้นอาหาร การกวนที่ไม่ต่อเนื่องตลอดเวลาอาจทำให้เกิดการอุดตันของตัวถูกละลายบริเวณผิวนอกของชิ้นเนื้อมะม่วง น้ำจึงแพร่ออกมาได้น้อย สอดคล้องกับ Tedjo *et al.* (2002) ที่อธิบายไว้ว่าระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันจะมีการสะสมของของแข็งบริเวณผิวนอกของอาหาร ทำให้เกิดชั้นน้ำตาลและมีความเหนียวที่บริเวณชั้นนี้เพิ่มขึ้น ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวจะไปขัดขวางการแพร่ของน้ำที่บริเวณผิวชั้นนอกออกมายังสารละลายออสโมติก ถึงแม้อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะช่วยลดปริมาณน้ำได้มากขึ้นก็ตาม เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้เซลล์เมมเบรนสูญเสียคุณสมบัติที่เป็นเยื่อเลือกสารผ่าน น้ำจึงผ่านออกมาได้ง่าย (Khin *et al.*, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยทั่วไปแล้ว อุณหภูมิสารละลายที่สูงขึ้นจะมีผลให้เกิดการสูญเสียน้ำและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำสูงขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงทำให้ความหนืดของสารละลายลดลง ส่งผลให้มีอัตราการแพร่ของน้ำในอาหารออกมายังสารละลายภายนอกมากขึ้น เช่น ชิ้นเนื้อแอปเปิล มันฝรั่ง (Lazarides *et al.*, 1997) และแครอท (Singh *et al.*, 2007: online) แต่การแช่เนื้ออะพริคอตในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 30 ถึง 50 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิในช่วงนี้ไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำของเนื้ออะพริคอต เพราะสารละลายยังมีความหนืดสูงอยู่ แต่หากเพิ่มอุณหภูมิสารละลายให้สูงกว่า 50 องศาเซลเซียส สารละลายน้ำตาลซูโครสจะมีความหนืดลดลง (Khoyi and Hesari, 2007)

สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 2.3653×10^{-10} ถึง 3.3609×10^{-10} ตารางเมตรต่อวินาที ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำตามคำทำนายของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยหั่นเนื้อแอปเปิลและสับปะรดเป็นชิ้นวงแหวน มีความหนา 8 มิลลิเมตร แช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 50, 60 และ 70 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำอยู่ในช่วง 0.78×10^{-10} ถึง 3.46×10^{-10} และ 1.90×10^{-10} ถึง 4.35×10^{-10} ตารางเมตรต่อวินาที สำหรับชิ้นเนื้อแอปเปิลและสับปะรด ตามลำดับ (Jena and Das, 2005) เช่นเดียวกับเนื้อแตงโมที่หั่นเป็นชิ้น มีความหนา 10, 20 และ 30 มิลลิเมตร แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 40, 50 และ 60 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำอยู่ในช่วง 1.03×10^{-8} ถึง 3.55×10^{-10} ตารางเมตรต่อวินาที (Falade *et al.*, 2006: online) ส่วนแครอทที่หั่นเป็นชิ้นลูกบาศก์ขนาด 1x1x1 เซนติเมตร แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสร่วมกับเกลือ ที่อุณหภูมิ 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำอยู่ในช่วง 1.59×10^{-9} ถึง 2.08×10^{-9} ตารางเมตรต่อวินาที (Singh *et al.*, 2007: online) และมะเขือเทศเชอรี่เมื่อแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสร่วมกับเกลือ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำอยู่ในช่วง 4.30×10^{-10} ถึง 1.77×10^{-9} ตารางเมตรต่อวินาที (Azoubel and Murr, 2004)

อย่างไรก็ตาม สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำจากชิ้นมะม่วงแก้วอยู่ในช่วงของสารที่เป็นของแข็งเหมือนกัน คือ มีค่าอยู่ในช่วง 10^{-14} ถึง 10^{-10} ตารางเมตรต่อวินาที (สุภาภรณ์, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.3 การสูญเสียน้ำ (water loss) และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (solids gain)

ระหว่างการออสโมซิส สามารถวัดประสิทธิภาพของกระบวนการออสโมซิสได้จากการถ่ายเทมวลที่เกิดขึ้นระหว่างสารละลายและชิ้นเนื้อมะม่วง เพื่อให้เกิดการกำจัดน้ำออกจากชิ้นเนื้อมะม่วงมากที่สุด ในขณะที่ต้องการสารถูกละลายชนิดต่างๆ ที่มีประโยชน์เข้าไปในชิ้นเนื้อมะม่วงเช่นกัน โดยสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นด้วยตัวบ่งชี้กระบวนการ ซึ่งแสดงด้วยค่าการสูญเสียน้ำและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น โดยคำนวณจากสูตร

$$\text{การสูญเสียน้ำ (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำเริ่มต้น} - \text{ปริมาณน้ำที่เวลาวัด}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

$$\text{ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด} - \text{ปริมาณของแข็งเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

ผลการคำนวณดังแสดงในตาราง 4.4 พบว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำจากเนื้อมะม่วงมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลาในการแช่และความสัมพันธ์ร่วมระหว่างอุณหภูมิสารละลายกับระยะเวลาที่ใช้แช่ชิ้นเนื้อมะม่วงไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำ นั่นคือ ทั้งอุณหภูมิสารละลายที่ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ร่วมกับระยะเวลาในการแช่ 3 และ 4 ชั่วโมง ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำจากเนื้อมะม่วงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) มีเฉพาะปัจจัยอุณหภูมิในการแช่ที่ 40 องศาเซลเซียส เท่านั้นที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำ คือ ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำมากกว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

สำหรับปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในชิ้นเนื้อมะม่วงที่แช่ในสารละลายออสโมติกมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของสารละลายและระยะเวลาในการแช่เพิ่มมากขึ้น โดยชิ้นเนื้อมะม่วงที่แช่ในสารละลายที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 19.14 เปอร์เซ็นต์ และค่าน้อยที่สุดพบในชิ้นเนื้อมะม่วงที่แช่ในสารละลายเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส คือ มีค่าเท่ากับ 15.39 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการแช่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เท่านั้นที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เพิ่มขึ้น($p\leq0.05$) คือ การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงในสารละลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการแช่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยระยะเวลาในการแช่และความสัมพันธ์ร่วมระหว่างอุณหภูมิสารละลายกับระยะเวลาที่ใช้แช่ชิ้นเนื้อมะม่วง ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้กรดอ่อนเป็นส่วนผสมของสารละลายออสโมติก สามารถทำให้น้ำตาลซูโครสบางส่วนเปลี่ยนเป็นอินเวอร์ตชูการ์ (invert sugar) ได้ ซึ่งอินเวอร์ตชูการ์นี้คือส่วนผสมของน้ำตาล D-glucose และ D-fructose รวมกันอยู่ในอัตราส่วนที่เท่ากัน (ศิริลักษณ์, 2523) ดังแสดงในสมการ (4.3)

$$\underset{\text{sucrose}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \xrightarrow{H^+} \underset{\text{glucose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{fructose}}{C_6H_{12}O_6} \qquad (4.3)$$

ตาราง 4.4 ปริมาณน้ำที่สูญเสียและปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในชิ้นเนื้อมะม่วงที่แช่ในสารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)
40	3	28.67±0.68	19.14±0.19
40	4	26.87±2.03	17.91±1.08
50	3	24.36±1.90	15.46±1.05
50	4	25.78±2.79	15.39±1.29
$LSD_{0.05}$	อุณหภูมิ	2.65	1.33
	เวลา	ns	ns
	อุณหภูมิ*เวลา	ns	ns
%CV		5.86	7.54

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การแช่ชิ้นผลไม้ลงไปในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง น้ำจะถูกดึงออกจากเซลล์โดยการออสโมซิส จนกระทั่งความร้อนไปทำลายเซลล์เมมเบรนซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกสารผ่าน (differentially permeable membrane) และเกิดการแลกเปลี่ยนกันระหว่างของแข็งที่ละลายน้ำได้กับของเหลวโดยการแพร่ (diffusion) น้ำตาลจะเข้าไปอยู่ในของเหลวภายในเซลล์ ซึ่งจะเกิดในพาเรนไคมา (parenchyma) โดยคาดว่าน้ำตาลจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสในผนังเซลล์ ความเข้มข้นของน้ำตาลในผนังเซลล์มีผลมาจากจำนวนของพันธะไฮโดรเจน และน้ำตาลจะถูกยึดเกาะอยู่ที่เซลล์จนกระทั่งเกิดภาวะสมดุลระหว่างการไหลเข้า-ออก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของโมเลกุลน้ำตาล น้ำตาลที่ยึดเกาะบริเวณองค์ประกอบของผนังเซลล์ทำให้ค่าวอเตอร์โพเทนเชียลภายในเซลล์ต่ำกว่าภายนอกเซลล์ น้ำจากสารละลายน้ำตาลเข้มข้นจึงแพร่กลับเข้าไปในเซลล์ใหม่ โปรโตพลาสต์ (protoplast) จึงเกิดการขยายตัว (ศิริลักษณ์, 2523; Bray *et al.*, 2000)

ผลการทดลองของ Salvatori and Alzamora (2000) พบว่าระยะเริ่มต้นที่เกิดการออสโมซิสของน้ำตาลกลูโคสในชิ้นเนื้อแอปเปิล ระหว่างที่เซลล์หดตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำ ผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อแอปเปิลมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ขณะที่บางส่วนยังคงมีแรงยึดต่อ plasmalemma แต่หลังการออสโมซิสผ่านไป 200 นาที เซลล์จะมีการจัดเรียงตัวใหม่ ซึ่งจะมีรูปทรงกลมเหมือนกับเซลล์ขณะสดอยู่และจะเห็นขอบเขตของ intercellular spaces ชัดเจนขึ้น เช่นเดียวกับการแช่ชิ้นเนื้อแอปเปิลในสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ และซูโครส 34.6 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าหลังกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเป็นเวลา 50 นาที เซลล์จะเกิดพลาสมอไลซิส (plasmolysis) เนื้อเยื่อหดตัว และขนาดของ intercellular spaces ลดลง จากนั้นเซลล์จะกลับมาเต่ง มีรูปร่างกลม และ plasmalemma ไม่มีความเสียหายเกิดขึ้นหลังการแช่ในสารละลายน้ำตาลกลูโคสและซูโครส เป็นเวลา 200 และ 250 นาที ตามลำดับ (Nieto *et al.*, 2004)

ขณะเกิดการออสโมซิส น้ำที่อยู่ภายในอาหารจะซึมผ่านผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ออกมาในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง ขณะเดียวกันตัวถูกละลายในสารละลายจะซึมผ่านผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไป การแพร่ของน้ำจากภายในอาหารและตัวถูกละลายในสารละลายเข้มข้นภายนอกเกิดขึ้นพร้อมกันแต่ในทิศทางตรงกันข้ามกัน (counter-current diffusion) (รัตนาและพิไลรัก, 2541) จึงทำให้ชิ้นเนื้อมะม่วงที่แช่ในสารละลายออสโมติกมีปริมาณของแข็งและการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น

4.2.4 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในชิ้นเนื้อมะม่วงและสารละลายออสโมติก

ขณะที่ชิ้นเนื้อมะม่วงแช่อยู่ในสารละลายออสโมติก ได้ทำการสุ่มตัวอย่างขึ้นมาเพื่อหาปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ พบว่าชิ้นเนื้อมะม่วงมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 13.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาผ่านไปชิ้นเนื้อมะม่วงมีปริมาณของแข็งหมดที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นจนถึงนาทีที่ 60 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.8 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มีค่าคงที่และค่อยๆ ลดลง ตามลำดับ ดังแสดงในภาพ 4.6 (A)

เมื่อเวลาผ่านไป 45 นาทีของการแช่ พบว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในชิ้นเนื้อมะม่วงมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มากกว่าชิ้นเนื้อมะม่วงที่แช่ในสารละลายอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และนาทีที่ 60 พบว่ามีความสัมพันธ์ร่วมระหว่างอุณหภูมิของสารละลายกับระยะเวลา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการแช่ โดยการแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงในสารละลายที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ให้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้สูงสุดท่ากับ 39.3 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มีค่าลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวก จ-3)

สำหรับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในสารละลายออสโมติก มีค่าเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 46.6 องศาบริกซ์ ภายหลังการแช่ชิ้นเนื้อมะม่วง 15 นาทีแรก ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ลดลงอย่างรวดเร็ว (ภาพ 4.6 (B)) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของชิ้นเนื้อมะม่วงที่เพิ่มสูงขึ้นในเวลา 15 นาทีแรกเช่นกัน การออสโมซิสจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งสารละลายเจือจางลง อัตราการถ่ายเทมวลสารลดลง และระบบปรับเข้าสู่ภาวะสมดุล

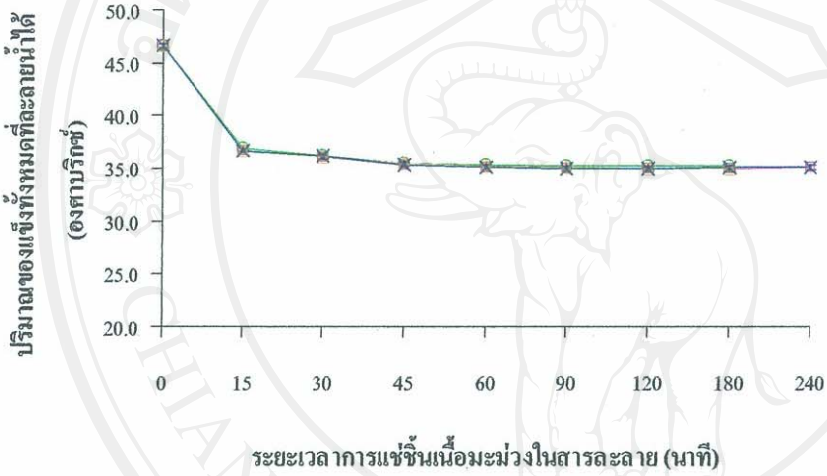
4.2.5 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

ภาพ 4.6 (C) แสดงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดซิตริก) ในชิ้นเนื้อมะม่วงระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.63 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกกรรมวิธีเมื่อระยะเวลาในการแช่นานขึ้น โดยในช่วงเวลานาทีที่ 30 ถึง 180 ของการแช่ชิ้นเนื้อมะม่วง มีเฉพาะสารละลายที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เท่านั้นที่ทำให้ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าน้อยกว่าสารละลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) สอดคล้องกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในชิ้นเนื้อมะม่วงที่มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากระหว่างการทำออสโมซิส ตัวถูกละลายบางส่วน เช่น กรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในผลไม้จะออสโมซิสออกไปกับน้ำด้วย โดยชิ้นเนื้อมะม่วงที่แช่ในสารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 4 ชั่วโมง มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เฉลี่ยเท่ากับ 0.14 และ 0.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และชิ้นเนื้อมะม่วงที่แช่ในสารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 4 ชั่วโมง มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เฉลี่ยเท่ากับ 0.30 และ 0.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลาในการแช่ และความสัมพันธ์ร่วมระหว่างอุณหภูมิของสารละลายกับระยะเวลาในการแช่ไม่มีผลต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวก จ-4)

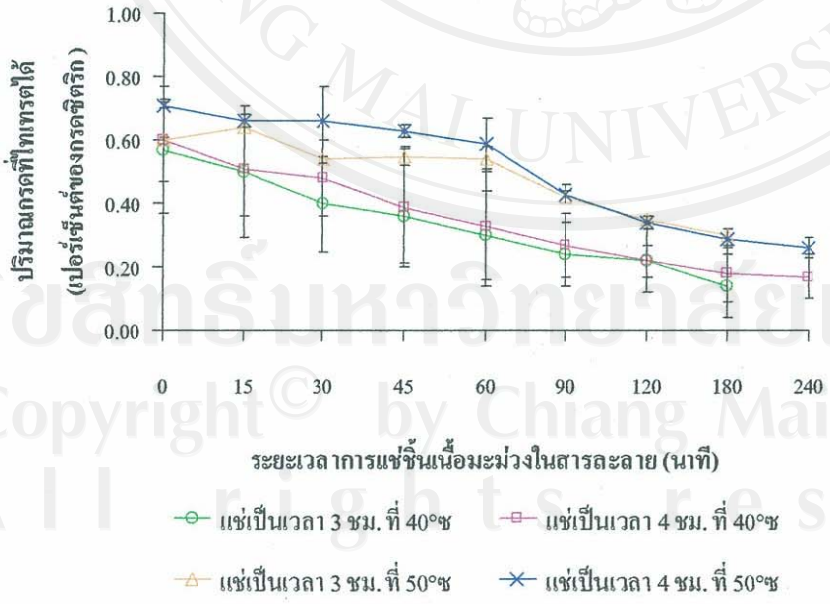
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(A)

(B)



(C)



ภาพ 4.6 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในชิ้นเนื้อมะม่วง (A), ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในสารละลายออสโมติก (B) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดซิตริก) ในชิ้นเนื้อมะม่วงระหว่างการออสโมติกดีไฮเดรชันที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 ผลของอุณหภูมิต่อการอบแห้งชิ้นเนื้อมะม่วงด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน

เมื่อชิ้นเนื้อมะม่วงผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันตามเวลาที่กำหนดแต่ละกรรมวิธีแล้ว ทำการกำจัดน้ำตาลส่วนเกินที่ผิวนอกออกโดยการล้างผ่านน้ำเย็นที่อุณหภูมิห้อง ปล่อยให้สะเด็ดน้ำ ซับด้วยกระดาษทิชชู จากนั้นนำมาผึ่งที่อุณหภูมิห้อง (33±2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้ผ้าขาวบางคลุมเพื่อป้องกันฝุ่นและแมลง

การผึ่งชิ้นเนื้อมะม่วงก่อนการทำแห้งนั้นเป็นการช่วยลดปริมาณความชื้นลงอีกระดับหนึ่ง เพื่อให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งเกิดขึ้นสูงสุด นั่นคือทำให้ชิ้นเนื้อมะม่วงเริ่มลอยขึ้นในเบดโดยใช้เวลาสั้นที่สุด

การอบแห้งแต่ละครั้งใช้ชิ้นเนื้อมะม่วงปริมาณ 300 กรัม เนื่องจากเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องต้นแบบขนาดเล็ก (2 ลิตร) อุณหภูมิอบแห้งที่ใช้ คือ 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วลมเท่ากับ 3.65 เมตรต่อวินาที อัตราการไหลเวียนของอากาศเท่ากับ 30.14 ลิตรต่อวินาที จนผลิตภัณฑ์มีความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 12-13 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก จากการทดลองพบว่าชิ้นเนื้อมะม่วงเริ่มลอยได้ในนาทีที่ 8-10 นับจากอุณหภูมิลมร้อนถึงตามที่กำหนด เนื่องจากการทำแห้งในช่วงแรก บริเวณผิวหน้าของชิ้นเนื้อมะม่วงจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้นน้ำจะเคลื่อนที่ออกมาด้วยอัตราเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้า ผิวหน้าของอาหารจึงยังเปียกอยู่ (วิไล, 2545) ชิ้นเนื้อมะม่วงจึงมีลักษณะเหนียวและติดกันเป็นก้อน จึงต้องมีการกวนระหว่างการอบแห้งร่วมด้วย

โดยทั่วไปแล้วการอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันนี้จะต้องมีการลดอุณหภูมิลง เพื่อระบายอากาศก่อนการปิดเครื่อง ซึ่งการลดอุณหภูมิจะทำให้ความชื้นลดลงมาอีกระดับหนึ่ง เห็นได้จากผลการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จากความชื้นเริ่มต้น 33 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งจนความชื้นลดมาถึง 19.5 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการลดอุณหภูมิเพื่อทำให้เย็นลงเป็นเวลา 30 นาที และทำการระบายอากาศ (อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส, ความชื้นสัมพัทธ์ 55-60 เปอร์เซ็นต์ และความเร็วลมที่ 1.5 เมตรต่อวินาที) เป็นเวลา 20 นาที ทำให้ความชื้นของข้าวเปลือกลดลงเหลือ 1 6.5 เปอร์เซ็นต์ (Soponronnarit *et al.*, 1999) ในการทดลองครั้งนี้จึงได้ทำการลดอุณหภูมิลงเป็นเวลา 5 นาที ในทุกกรรมวิธี

ระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็น 80 และ 65 นาที ตามลำดับ (รวมระยะเวลาการลดอุณหภูมิ) เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง อากาศสามารถรับไอน้ำได้มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (ดนัย, 2540) นอกจากนี้การใช้วิธีการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด ทำให้ทุกส่วนของชิ้นวัตถุดิบสามารถสัมผัสกับลมร้อนได้โดยตรง จึงมีพื้นที่สำหรับการระเหยน้ำมากและมีอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สม่ำเสมอทั่วทั้งเบด (Jowitt, 1977) ทำให้การอบแห้งชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาสั้นกว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

4.3.1 ปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน

ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก) ที่คำนวณได้มีค่าลดลงตามลำดับ (ภาพ 4.7) โดยที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผลไม้แห้ง (2533) (มอก. 919-2532) ได้กำหนดว่าต้องมีความชื้นไม่เกิน 18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณความชื้นในช่วง 12-13 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เนื้อมะม่วงอบแห้งที่ได้มีลักษณะที่ไม่แห้งและแข็งจนเกินไป

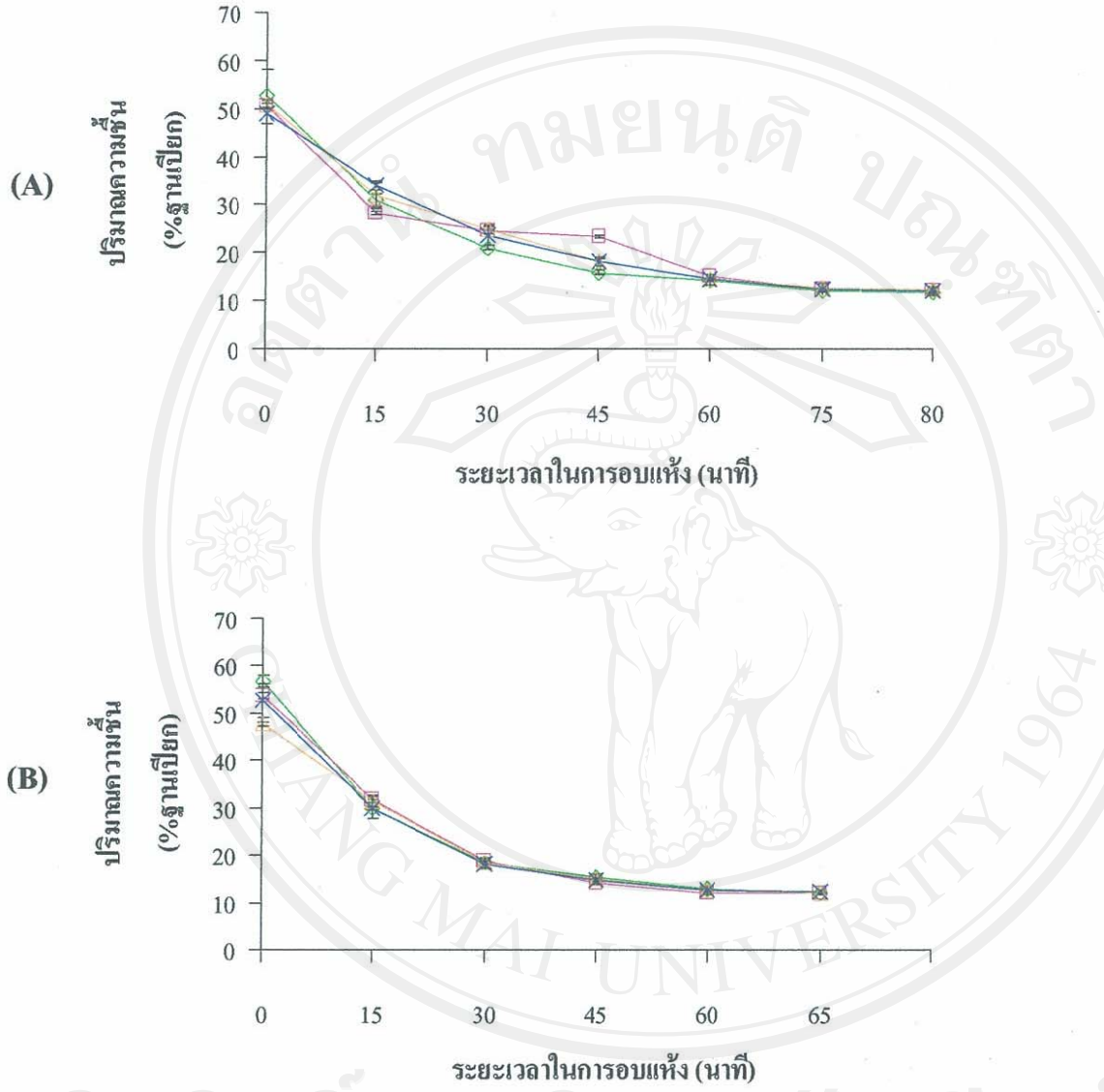
ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของเนื้อมะม่วงก่อนการอบแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 51.73 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก และความชื้นค่อยๆ ลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นสุดท้ายของเนื้อมะม่วงอบแห้ง (ภายหลังลดอุณหภูมิ) เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.14 และ 12.11 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในแต่ละอุณหภูมิอบแห้ง ดังแสดงในตาราง 4.5

4.3.2 ค่า a_w

ขณะอบแห้งได้สุ่มตัวอย่างชิ้นเนื้อมะม่วงออกมาเพื่อตรวจวัดค่า a_w ซึ่งคือปริมาณน้ำอิสระที่มีอยู่ในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้สำหรับการเจริญ และมีผลต่ออายุการเก็บรักษาอาหาร

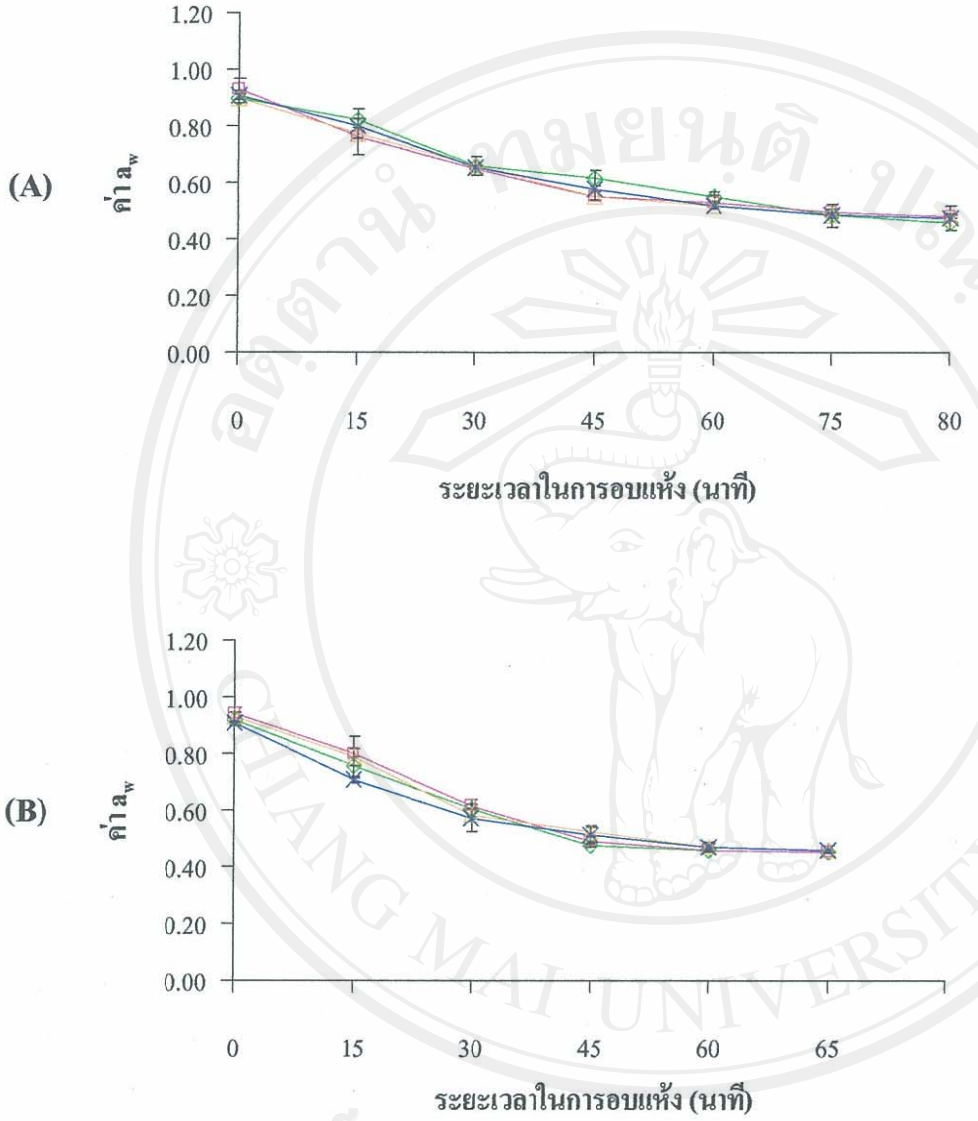
ค่า a_w ของชิ้นเนื้อมะม่วงก่อนการอบแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.92 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละกรรมวิธี ($p>0.05$) เมื่อเวลาการอบแห้งผ่านไป a_w มีค่าลดลง (ภาพ 4.8) ช่วงเวลาการอบแห้งที่ 30 ถึง 60 นาที พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทำให้ชิ้นเนื้อมะม่วงมีค่า a_w น้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ส่วนค่า a_w สุดท้ายของเนื้อมะม่วงอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.47 และ 0.46 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตาราง 4.6)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของชิ้นเนื้อมะม่วงระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (A) และ 70 องศาเซลเซียส (B)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของชิ้นเนื้อมะม่วงระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (A) และ 70 องศาเซลเซียส (B)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของชิ้นเนื้อมะม่วงระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอบแห้ง	ระยะเวลาการอบแห้ง (นาที)						
(°ซ)	0	15	30	45	60	75	Tempering
60	50.77±1.45	31.31±2.37	23.54±1.71**a**	18.91±3.18**a**	14.62±0.31**a**	12.42±0.25	12.14±0.24
70	52.69±3.76	30.74±1.02	18.52±0.17**b**	14.8±0.60**b**	12.51±0.33**b**	-	12.11±0.25
เฉลี่ย	51.73±2.83	31.03±1.72	21.03±2.91	16.86±3.03	13.57±1.16	12.42±0.25	12.13±0.24
$LSD_{0.05}$	ns	ns	1.14	1.79	0.45	-	ns
%CV	5.51	6.67	6.41	1.25	3.93	6.57	3.51

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของชิ้นเนื้อมะม่วงระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอบแห้ง	ระยะเวลาการอบแห้ง (นาที)						
(°ซ)	0	15	30	45	60	75	Tempering
60	0.91±0.02	0.79±0.03	0.66±0.01**a**	0.57±0.03**a**	0.53±0.02**a**	0.49±0.01	0.47±0.01
70	0.93±0.01	0.77±0.04	0.59±0.02**b**	0.50±0.02**b**	0.47±0.01**b**	-	0.46±0.01
เฉลี่ย	0.92±0.02	0.78±0.04	0.63±0.04	0.54±0.05	0.50±0.04	0.49±0.01	0.47±0.01
$LSD_{0.05}$	ns	ns	0.02	0.02	0.01	-	ns
%CV	2.38	5.87	4.38	5.24	3.06	5.98	3.90

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.3 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์เนื้อมะม่วงอบแห้ง

เมื่อได้ผลิตภัณฑ์เนื้อมะม่วงอบแห้งแล้ว จึงนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ได้แก่ สีของผลิตภัณฑ์ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดซิตริก)

4.3.3.1 สีของผลิตภัณฑ์เนื้อมะม่วงอบแห้ง

การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิทั้งสองระดับไม่มีผลต่อค่า L*, h^o และ C* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยค่าเฉลี่ยของค่าสีต่างๆ แสดงในตาราง 4.7 ถึงแม้ว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งจะเป็นปัจจัยหลักของการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ก็ตาม แต่ผลการทดลองอบแห้งชิ้นเนื้อมะม่วงพันธุ์เคนท์โดยไม่มีสารประกอบซัลไฟต์เป็นส่วนผสม พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 หรือ 60 องศาเซลเซียส (Pott *et al.*, 2005)

การทำแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนสีผิวของอาหารและเปลี่ยนการสะท้อนแสงของสี มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ ซึ่งเกิดขึ้นจากความร้อนและการออกซิเดชันระหว่างการอบแห้ง ยิ่งการอบแห้งใช้เวลานานและอุณหภูมิสูงยิ่งทำให้เกิดได้ง่ายและอาจเกิด browning reaction ได้ (นิธิยา, 2543) แต่การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงในสารละลายออสโมติกที่มีส่วนผสมของโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ซึ่งเป็นสารประกอบจำพวกซัลไฟต์จะทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ซึ่งช่วยป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้

4.3.3.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในผลิตภัณฑ์เนื้อมะม่วงอบแห้ง

คุณภาพทางเคมีของเนื้อมะม่วงอบแห้ง พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ($p>0.05$) ในตาราง 4.7 ได้แสดงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในเนื้อมะม่วงอบแห้งซึ่งมีค่าเท่ากับ 55.25 และ 54.92 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าเท่ากับ 0.21 และ 0.23 เปอร์เซ็นต์ของกรดซิตริก เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.7 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเนื้อมะม่วงอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอบแห้ง	คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเนื้อมะม่วงอบแห้ง				
(°ซ)	L*	h°	C*	TSS	TA
60	39.45±1.91	77.99±1.00	58.13±9.70	55.25±1.77	0.21±0.03
70	41.10±6.05	78.66±3.07	56.02±16.34	54.92±2.64	0.23±0.04
เฉลี่ย	40.28±1.17	78.33±0.48	57.08±1.50	55.08±0.23	0.22±0.01
$LSD_{0.05}$	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	11.38	3.17	33.89	4.01	16.21

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สำหรับความสัมพันธ์ร่วมระหว่างอุณหภูมิของสารละลายออสโมติก ระยะเวลาในการแช่และอุณหภูมิในการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์เนื้อมะม่วงอบแห้ง ดังแสดงในตาราง 4.8 พบว่าเนื้อมะม่วงที่ผ่านการแช่ในสารละลายออสโมติกอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (กรรมวิธีที่ 2) ให้ค่า L* เท่ากับ 47.95, h° เท่ากับ 81.06 และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 58.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่า C* และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกรรมวิธี ($p > 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.8 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเนื้อมะม่วงอบแห้งที่ผ่านกรรมวิธีแช่ในสารละลายออสโมติกอุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 4 ชั่วโมง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส

กรรมวิธีที่	คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเนื้อมะม่วงอบแห้ง				
	L*	h^o	C*	TSS	TA
1	38.52±2.14 **cd**	78.25±0.89 **b**	42.45±12.37	57.33±1.53 **ab**	0.18±0.02
2	47.95±1.39 **a**	81.06±1.09 **a**	47.92±17.16	58.33±0.58 **a**	0.18±0.02
3	40.93±4.06 **bc**	78.05±2.32 **b**	41.74±5.66	55.33±1.15 **c**	0.21±0.02
4	37.94±3.14 **cd**	77.83±1.35 **b**	53.14±7.94	55.67±1.53 **bc**	0.20±0.02
5	37.21±1.28 **cd**	76.63±0.68 **bc**	57.90±7.22	55.33±0.58 **c**	0.22±0.02
6	34.46±0.78 **d**	74.68±0.65 **c**	49.77±18.99	52.67±0.58 **d**	0.26±0.02
7	41.14±3.87 **bc**	79.04±1.46 **ab**	48.41±6.37	53.00±1.00 **d**	0.24±0.02
8	44.05±0.43 **ab**	81.09±2.95 **a**	43.24±5.34	53.00±0.00 **d**	0.27±0.01
เฉลี่ย	40.28±4.24	78.33±2.14	48.07±5.61	55.08±2.09	0.22±0.03
$LSD_{0.05}$ (A*B*C)	4.34	2.80	ns	1.73	ns
%CV	6.22	2.07	31.26	1.82	8.04

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

A หมายถึง ปัจจัยอุณหภูมิของสารละลายออสโมติก B หมายถึง ปัจจัยระยะเวลาในการแช่ C หมายถึง ปัจจัยอุณหภูมิในการอบแห้ง

TSS หมายถึง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ TA หมายถึง ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดซิตริก)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยที่

กรรมวิธีที่ 1 คือ การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิสารละลาย 40°ซ นาน 3 ชม. แล้วอบแห้งที่ 60°ซ
กรรมวิธีที่ 2 คือ การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิสารละลาย 40°ซ นาน 3 ชม. แล้วอบแห้งที่ 70°ซ
กรรมวิธีที่ 3 คือ การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิสารละลาย 40°ซ นาน 4 ชม. แล้วอบแห้งที่ 60°ซ
กรรมวิธีที่ 4 คือ การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิสารละลาย 40°ซ นาน 4 ชม. แล้วอบแห้งที่ 70°ซ
กรรมวิธีที่ 5 คือ การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิสารละลาย 50°ซ นาน 3 ชม. แล้วอบแห้งที่ 60°ซ
กรรมวิธีที่ 6 คือ การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิสารละลาย 50°ซ นาน 3 ชม. แล้วอบแห้งที่ 70°ซ
กรรมวิธีที่ 7 คือ การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิสารละลาย 50°ซ นาน 4 ชม. แล้วอบแห้งที่ 60°ซ
กรรมวิธีที่ 8 คือ การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิสารละลาย 50°ซ นาน 4 ชม. แล้วอบแห้งที่ 70°ซ

4.3.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะม่วงอบแห้ง

เนื้อมะม่วงอบแห้งที่ได้ในแต่ละกรรมวิธี นำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยการให้คะแนนแบบ 9-points hedonic scale ในด้านลักษณะปรากฏภายนอกโดยรวม และรสชาติโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิม (consumer test) จำนวน 50 คน ในแต่ละกรรมวิธี

ผลการประเมินลักษณะปรากฏภายนอกโดยรวม (overall appearance) ในด้านสี ขนาด และรูปร่าง พบว่าทั้งอุณหภูมิในการแช่ ระยะเวลาในการแช่ อุณหภูมิในการอบแห้ง และความสัมพันธ์ร่วมต่างๆ ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อคะแนนลักษณะปรากฏภายนอกโดยรวม ($p>0.05$) โดยมีคะแนนเฉลี่ยในทุกกรรมวิธีเท่ากับ 5.41 ซึ่งอยู่ระหว่างความรู้สึกเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย

ผลการสอบถามผู้ทดสอบชิม พบว่าเนื้อมะม่วงอบแห้งที่ได้มีรูปร่างลักษณะแปลกใหม่และมีชิ้นค่อนข้างเล็ก เนื่องจากระหว่างการอบแห้งจะเกิดการเคลื่อนย้ายของโมเลกุลน้ำในอาหาร ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อโครงสร้างของเซลล์ เมื่อมีการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์จะทำให้ผนังเซลล์เสียรูปทรงและยุบตัวเป็นผลให้เซลล์และเซลล์ข้างเคียงเหี่ยว อาหารที่ได้จึงเหี่ยว (concave) และมีปริมาตรลดลง (นิธิยา, 2543) เนื้อมะม่วงอบแห้งที่ได้จึงมีขนาดเล็กลงจากเดิมอีก แต่สีของผลิตภัณฑ์เป็นที่น่าพอใจของผู้ทดสอบชิม เพราะการที่ชิ้นเนื้อมะม่วงผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน ไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง เป็นผลให้กลิ่นและสีคงอยู่มากกว่า (รัตนาและคณะ, 2541) จึงสามารถรักษาสีของมะม่วงไว้ได้ คะแนนที่ได้จึงออกมาอยู่ในช่วงปานกลาง สอดคล้องกับการอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดซึ่งให้คุณภาพด้านสีดีกว่า มีปริมาณบีตา-แคโรทีนและคะแนนการยอมรับด้านรสชาติโดยรวมมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแครอทด้วยไมโครเวฟและการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Prakash *et al.*, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนการประเมินผลด้านรสชาติโดยรวม (overall flavor) พบว่าระยะเวลาในการแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงในสารละลายออสโมติก อุณหภูมิการทำแห้ง และความสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัยต่างๆ ไม่มีผลต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส แต่การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงในสารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เท่านั้นที่ได้รับคะแนนด้านรสชาติโดยรวมมากกว่าการแช่ในสารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยคะแนนด้านรสชาติโดยรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.71 ซึ่งอยู่ระหว่างความรู้สึกเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย

ผลไม้ที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน เมื่อนำไปอบแห้งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อบแห้งที่มีรสชาติดีขึ้น เนื่องจากระหว่างการทำออสโมซิส ตัวถูกละลายบางส่วน (กรดอินทรีย์ เกลือ หรือน้ำ) ที่มีอยู่ในผลไม้ออกไปกับน้ำด้วย และตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติก (ส่วนมากเป็นสารให้ความหวาน) จะซึมผ่านผนังเซลล์เข้ามา ทำให้เนื้อมะม่วงอบแห้งมีรสชาติค่อนข้างหวาน ซึ่งความชอบรสหวานนี้เป็นความชอบส่วนบุคคลของผู้ทดสอบชิมแต่ละคน คะแนนที่ได้จึงมีการกระจายค่อนข้างสูง ดังแสดงในตาราง 4.9

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.9 คะแนนผลการประเมินทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏภายนอกโดยรวมและรสชาติโดยรวมของเนื้อมะม่วงอบแห้งที่ผ่านกรรมวิธีต่างๆ

กรรมวิธีที่	คะแนนผลการประเมินทางประสาทสัมผัส	
	ลักษณะปรากฏภายนอกโดยรวม	รสชาติโดยรวม
1	5.52±1.57	5.88±1.62
2	5.69±1.66	5.86±1.75
3	5.39±1.67	6.05±1.69
4	5.43±1.58	5.71±1.51
5	5.78±1.57	5.96±1.34
6	4.88±1.44	5.47±1.43
7	5.21±1.48	5.32±1.83
8	5.39±1.45	5.42±1.59
เฉลี่ย	5.41±0.26	5.71±0.26
$LSD_{0.05}$ (A*B*C)	ns	ns
%CV	27.59	27.46

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

A หมายถึง ปัจจัยอุณหภูมิของสารละลายออสโมติก

B หมายถึง ปัจจัยระยะเวลาในการแช่

C หมายถึง ปัจจัยอุณหภูมิในการอบแห้ง

โดยที่

กรรมวิธีที่ 1 คือ การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิสารละลาย 40°ซ นาน 3 ชม. แล้วอบแห้งที่ 60°ซ

กรรมวิธีที่ 2 คือ การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิสารละลาย 40°ซ นาน 3 ชม. แล้วอบแห้งที่ 70°ซ

กรรมวิธีที่ 3 คือ การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิสารละลาย 40°ซ นาน 4 ชม. แล้วอบแห้งที่ 60°ซ

กรรมวิธีที่ 4 คือ การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิสารละลาย 40°ซ นาน 4 ชม. แล้วอบแห้งที่ 70°ซ

กรรมวิธีที่ 5 คือ การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิสารละลาย 50°ซ นาน 3 ชม. แล้วอบแห้งที่ 60°ซ

กรรมวิธีที่ 6 คือ การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิสารละลาย 50°ซ นาน 3 ชม. แล้วอบแห้งที่ 70°ซ

กรรมวิธีที่ 7 คือ การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิสารละลาย 50°ซ นาน 4 ชม. แล้วอบแห้งที่ 60°ซ

กรรมวิธีที่ 8 คือ การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิสารละลาย 50°ซ นาน 4 ชม. แล้วอบแห้งที่ 70°ซ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางประสาทสัมผัสกับพารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการลดความชื้นของเนื้อมะม่วง ได้แก่ อุณหภูมิของสารละลายออสโมติก ระยะเวลาในการแช่ และอุณหภูมิในการอบแห้ง พบว่าสมการดังกล่าวมีความสัมพันธ์แบบ Multiple Linear Regression โดยใช้ three-way interaction model ซึ่งได้สมการความสัมพันธ์ (coded equation) ดังนี้

ค่า L* = $40.274 - 1.060x_1 + 0.739x_2 + 0.827x_3 + 2.640x_1x_2 - 0.785x_1x_3 - 0.846x_2x_3 + 2.260x_1x_2x_3$ ($R^2 = 0.79$, adjust $R^2 = 0.70$)

ค่า h^o = $78.329 - 0.469x_1 + 0.673x_2 + 0.335x_3 + 1.529x_1x_2 - 0.310x_1x_3 + 0.122x_2x_3 + 0.878x_1x_2x_3$ ($R^2 = 0.69$, adjust $R^2 = 0.56$)

TA = $0.220 + 0.027x_1 + 0.010x_2 + 0.009x_3 - 0.003x_1x_2 + 0.011x_1x_3 - 0.004x_2x_3$ ($R^2 = 0.83$, adjust $R^2 = 0.77$)

TSS = $55.083 - 1.583x_1 - 0.833x_2 - 0.167x_3 + 0.333x_1x_2 - 0.500x_1x_3 + 0.250x_2x_3 + 0.417x_1x_2x_3$ ($R^2 = 0.85$, adjust $R^2 = 0.79$)

คะแนนรสชาติโดยรวม = $5.708 - 0.167x_1 - 0.083x_2 - 0.095x_3 - 0.883x_1x_2 + 0.033x_2x_3 + 0.115x_1x_2x_3$ ($R^2 = 0.58$, adjust $R^2 = 0.43$)

โดยที่ x_1 คือ อุณหภูมิของสารละลายออสโมติก
x_2 คือ ระยะเวลาในการแช่ชิ้นเนื้อมะม่วง
x_3 คือ อุณหภูมิในการอบแห้ง

สำหรับสมการความสัมพันธ์ของค่า C* และลักษณะปรากฏภายนอกโดยรวม พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง นั่นคือ ปัจจัยทั้ง 3 ในกระบวนการลดความชื้นของเนื้อมะม่วงไม่มีผลต่อค่าสังเกตดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนค่า R^2 ของสมการในด้านคะแนนรสชาติโดยรวมที่มีค่าต่ำนั้น เนื่องจากปัจจัยทั้ง 3 มีผลในระดับต่ำ จึงมีความเชื่อถือในสมการเพียง 58 เปอร์เซ็นต์ หรืออาจเนื่องมาจากระดับของแต่ละปัจจัยที่เลือกใช้อยู่ในช่วงที่ไม่ห่างกันมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ ผู้ทดสอบชิมแต่ละคนมีความชอบในรสชาติของผลิตภัณฑ์เนื้อมะม่วงอบแห้งแตกต่างกัน คะแนนที่ได้เมื่อเฉลี่ยแล้วจึงไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นสมการความสัมพันธ์ที่ได้นี้เป็นของพารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการลดความชื้นของเนื้อมะม่วง ได้แก่ อุณหภูมิของสารละลายออสโมติก (40, 50 องศาเซลเซียส) ระยะเวลาในการแช่ชิ้นเนื้อมะม่วง (3, 4 ชั่วโมง) และอุณหภูมิในการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน (60, 70 องศาเซลเซียส)

4.4 ผลของสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อมะม่วงแก้วอบแห้ง

หลังจากชิ้นเนื้อมะม่วงผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันและอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันที่สภาวะต่างๆ แล้ว ได้ทำการคัดเลือกเนื้อมะม่วงอบแห้งที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตซึ่งเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม และมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เหมาะสม ได้แก่ ค่าสี ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ โดยตัดสินจากคะแนนผลการประเมินทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคให้คะแนนมากที่สุด

เมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏภายนอกโดยรวม และรสชาติโดยรวมของผู้ทดสอบชิม พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของแต่ละสภาวะการผลิต ($p>0.05$) จึงได้พิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเนื้อมะม่วงอบแห้ง ซึ่งพบว่าชิ้นเนื้อมะม่วงที่แช่ในสารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่า L^*, h^o และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้สูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) สอดคล้องกับการแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีผลทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ เปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำมีค่ามากกว่าการแช่ในสารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) สำหรับระยะเวลาในการแช่ และอุณหภูมิในการอบแห้ง ถึงแม้ไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเนื้อมะม่วงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่การแช่ชิ้นเนื้อมะม่วงในสารละลายออสโมติกเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สามารถลดระยะเวลาในขั้นตอนออสโมติกดีไฮเดรชันและการอบแห้งลงได้ ดังนั้นจึงเลือกกรรมวิธีที่ชิ้นเนื้อมะม่วงแช่ในสารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 12-13 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เพื่อใช้ในการศึกษาวิธีการและอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เนื้อมะม่วงอบแห้งต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื้อมะม่วงอบแห้งที่ผลิตขึ้นตามกรรมวิธีที่ได้คัดเลือกแล้ว นำมาศึกษาผลของสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาแสดงดังตาราง 4.10

ตาราง 4.10 สภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้ง

กรรมวิธี	สภาพบรรจุภัณฑ์	อุณหภูมิเก็บรักษา (°ซ)
1	อลูมิเนียมเปลว	25±2
2	อลูมิเนียมเปลว	33±2
3	อลูมิเนียมเปลว + N_2(g)	25±2
4	อลูมิเนียมเปลว + N_2(g)	33±2

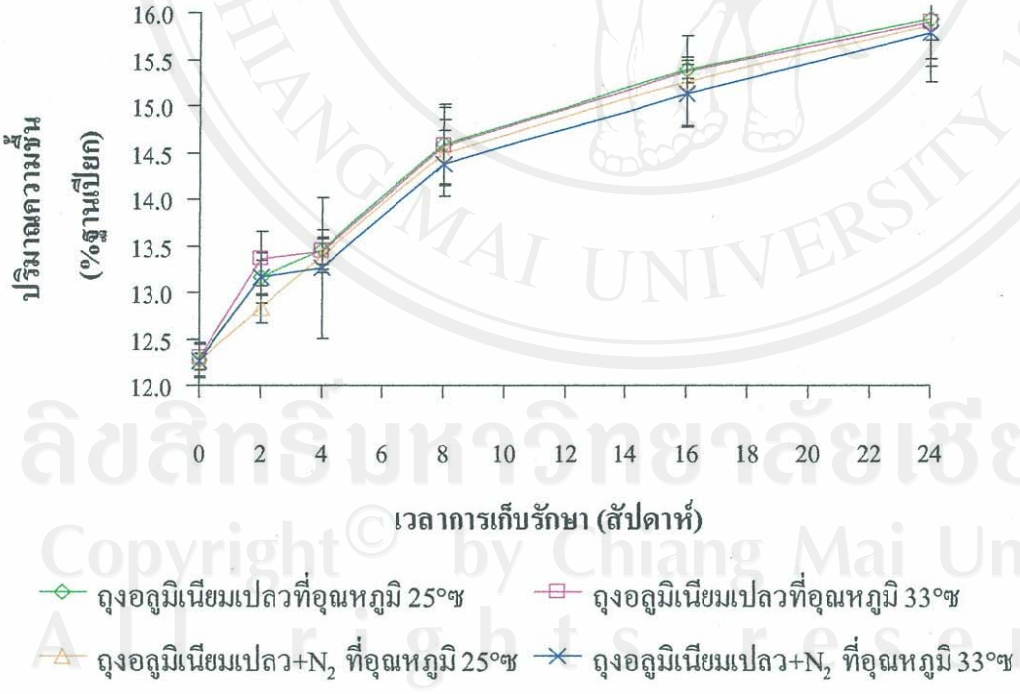
บรรจุเนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลว และถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนในถุงขนาด 5x7 นิ้ว โดยบรรจุน้ำหนัก 45 กรัมต่อถุง จำนวน 3 ซ้ำต่อกรรมวิธี จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่กำหนด คือ 25±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 64-78 เปอร์เซ็นต์ และที่อุณหภูมิห้อง (เดือนเมษายน-กันยายน) ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 33±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 36-49 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเมื่อวันเริ่มต้นและช่วงระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 2, 4, 8, 16 และ 24 สัปดาห์ คุณภาพที่ทำการวิเคราะห์ระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่

4.4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของเนื้อมะม่วงอบแห้งแสดงในภาพ 4.9 จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นของทุกกรรมวิธีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.28 เปอร์เซ็นต์ฐานปียก และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยเมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าเนื้อมะม่วงอบแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สำหรับสภาพบรรจุภัณฑ์และความสัมพันธ์ร่วมระหว่างอุณหภูมิในการเก็บรักษากับสภาพบรรจุภัณฑ์พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวก จ-5)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การที่ปริมาณความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นนี้ อาจเป็นไปได้ที่อากาศและความชื้นจากภายนอกสามารถซึมผ่านถุงอลูมิเนียมเปลว และเกิดการดูดความชื้นกลับเข้าสู่ผลิตภัณฑ์อีกครั้ง เนื่องจากตัวผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นต่ำ นอกจากนี้แผ่นอลูมิเนียมที่นำมารีดเป็นแผ่นบางๆ จะเกิดเป็นรูขนาดเล็กขึ้น ทำให้ไอน้ำสามารถซึมผ่านเข้ามาได้ โดยแผ่นอลูมิเนียมที่มีความหนา 8.9 ไมโครเมตร จะมีค่าการซึมผ่านของไอน้ำเป็น 0.3 มิลลิลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ (Robertson, 1993) อย่างไรก็ตาม ปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ได้หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ ของทุกกรรมวิธีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.88 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่เกินกว่าที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้งได้กำหนดไว้ให้มีได้ไม่เกิน 18 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับมะม่วงแก้วอบแห้งที่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 16.06 เมื่อเก็บรักษานาน 24 สัปดาห์ ในถุงอลูมิเนียมเปลว (ไพโรจน์และคณะ, 2545)



ภาพ 4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.2 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของเนื้อมะม่วงอบแห้งขณะเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ แสดงในภาพ 4.10 ซึ่งพบว่า a_w ของทุกกรรมวิธีมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้นเช่นเดียวกับปริมาณความชื้น โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไม่มีผลต่อค่า a_w อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อาหารแห้งที่มีปริมาณน้ำน้อยเป็น monolayer water เมื่อได้รับความชื้นเพิ่มขึ้นจะเปลี่ยนเป็น multilayer adsorption และถูกดูดซับเข้าไปในรูเล็กๆ และช่องว่างคาพิลลารี ทำให้เกิดการละลายของตัวถูกละลายได้ น้ำจะถูกจับอยู่ในอาหารโดยทางกลทำให้อาหารมีค่า a_w เพิ่มขึ้น (นิธิยา, 2549)

เมื่อพิจารณาสภาพบรรจุภัณฑ์ เห็นได้ว่าในสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษา ค่า a_w ของเนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวที่บรรจุแก๊สไนโตรเจนมีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับถุงอลูมิเนียมเปลวสภาพปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.52 และ 0.54 ตามลำดับ (ตารางภาคผนวก จ-6) โดยที่ค่า a_w ของเนื้อมะม่วงอบแห้งภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) คือ การบรรจุเนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวสภาพปกติเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 33 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.61 และ 0.60 ตามลำดับ และเนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 33 องศาเซลเซียส มีค่า a_w เฉลี่ยเท่ากับ 0.60 และ 0.59 ตามลำดับ ซึ่ง a_w ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าระดับปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ที่จุลินทรีย์ส่วนใหญ่สามารถเจริญได้ คือ 0.60

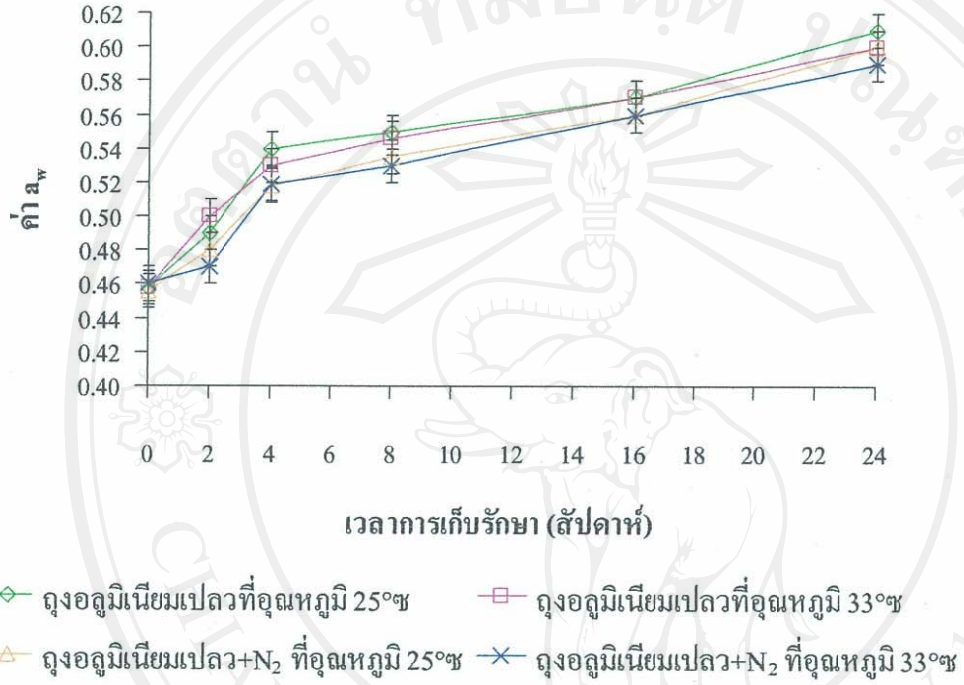
4.4.3 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของเนื้อมะม่วงอบแห้งแสดงในภาพ 4.11 (A) จะเห็นได้ว่าค่า L* ลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิในการเก็บรักษาตลอดระยะเวลา 24 สัปดาห์ พบว่าเนื้อมะม่วงอบแห้งที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมเปลวสภาพปกติและถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 33 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า L* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบสภาพบรรจุภัณฑ์ พบว่าเฉพาะในสัปดาห์ที่ 24 ของการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนให้ค่า L* มากกว่าเนื้อมะม่วงอบแห้งบรรจุในถุงอลูมิเนียมเปลวสภาพปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.41

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และ 36.51 ตามลำดับ และไม่มีความสัมพันธ์ร่วมระหว่างอุณหภูมิในการเก็บรักษากับสภาพบรรจุภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวก จ-7)



ภาพ 4.10 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์

4.4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า h^o ของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

การเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้งเป็นเวลา 24 สัปดาห์ พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น เนื้อมะม่วงอบแห้งมีค่า h^o ค่อนข้างคงที่ ดังแสดงในภาพ 4.11 (B)

เมื่อพิจารณาสภาพบรรจุภัณฑ์ อุณหภูมิในการเก็บรักษา และความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสภาพบรรจุภัณฑ์กับอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าทั้ง 3 ปัจจัยไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า h^o ของเนื้อมะม่วงอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยเนื้อมะม่วงอบแห้งมีค่า h^o เฉลี่ยสุดท้ายของทุกกรรมวิธีภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ เท่ากับ 78.10 (ตารางภาคผนวก จ-8)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

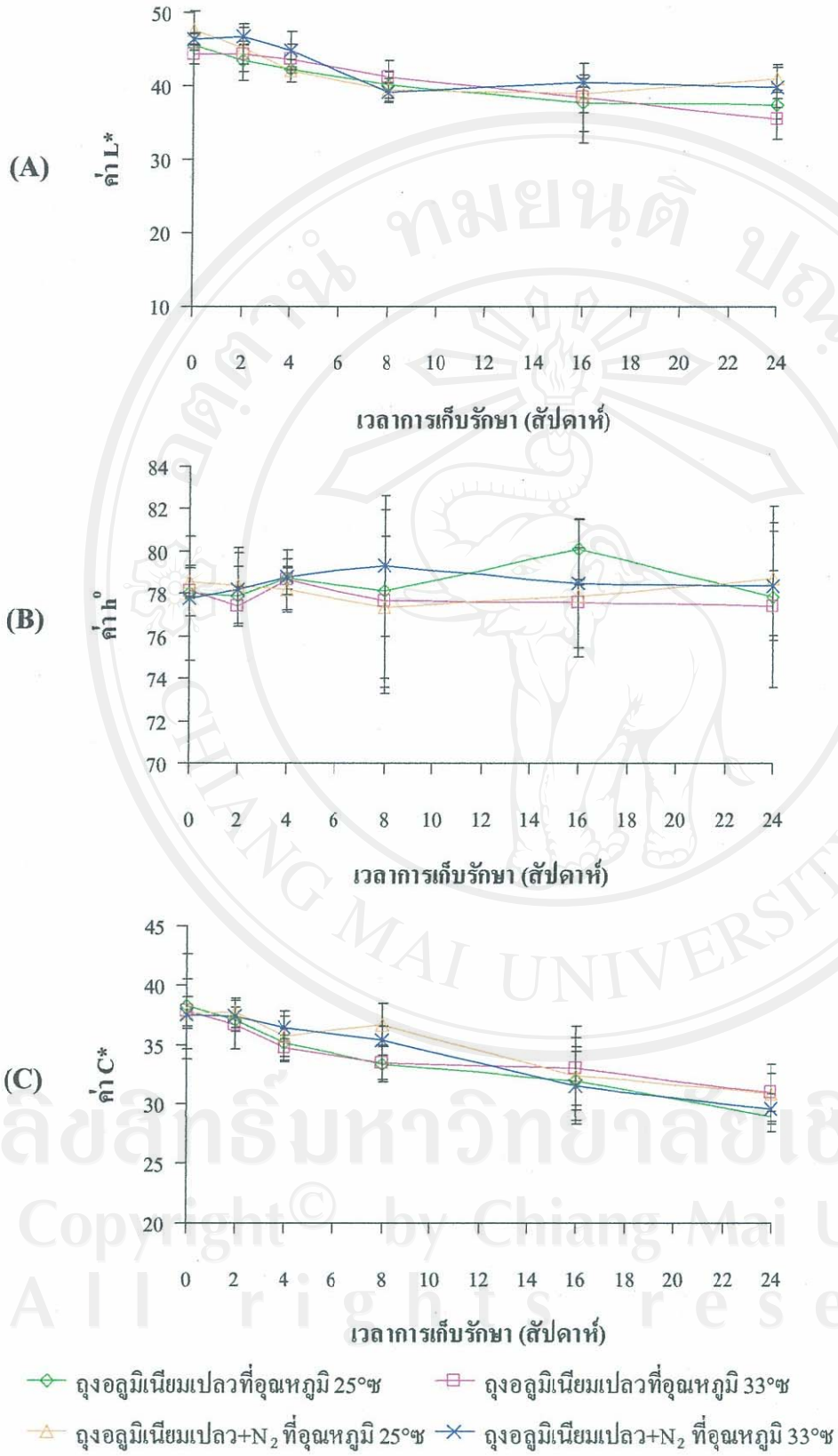
4.4.5 การเปลี่ยนแปลงค่า C* ของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงค่า C* ของเนื้อมะม่วงอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ ดังแสดงในภาพ 4.11 (C) ซึ่งเห็นได้ว่า C* ของทุกกรรมวิธีมีค่าลดลงแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยใน 4 สัปดาห์แรก เนื้อมะม่วงอบแห้งมีค่า C* ไม่แตกต่างจากสัปดาห์เริ่มต้น แต่ในสัปดาห์ที่ 8 ของการเก็บรักษา พบว่าสภาพบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า C* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) คือ เนื้อมะม่วงอบแห้งที่เก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนมีค่า C* มากกว่าเนื้อมะม่วงอบแห้งบรรจุในถุงอลูมิเนียมเปลวสภาพปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ซึ่งมีค่า C* เฉลี่ยเท่ากับ 36.03 และ 33.44 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษา และความสัมพันธ์ร่วมระหว่างอุณหภูมิในการเก็บรักษากับสภาพบรรจุภัณฑ์ พบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า C* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวก จ-9) ซึ่งแตกต่างจากการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งที่พบว่ามีค่า C* เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากมีปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์เกิดขึ้น (วัฒนา, 2545)

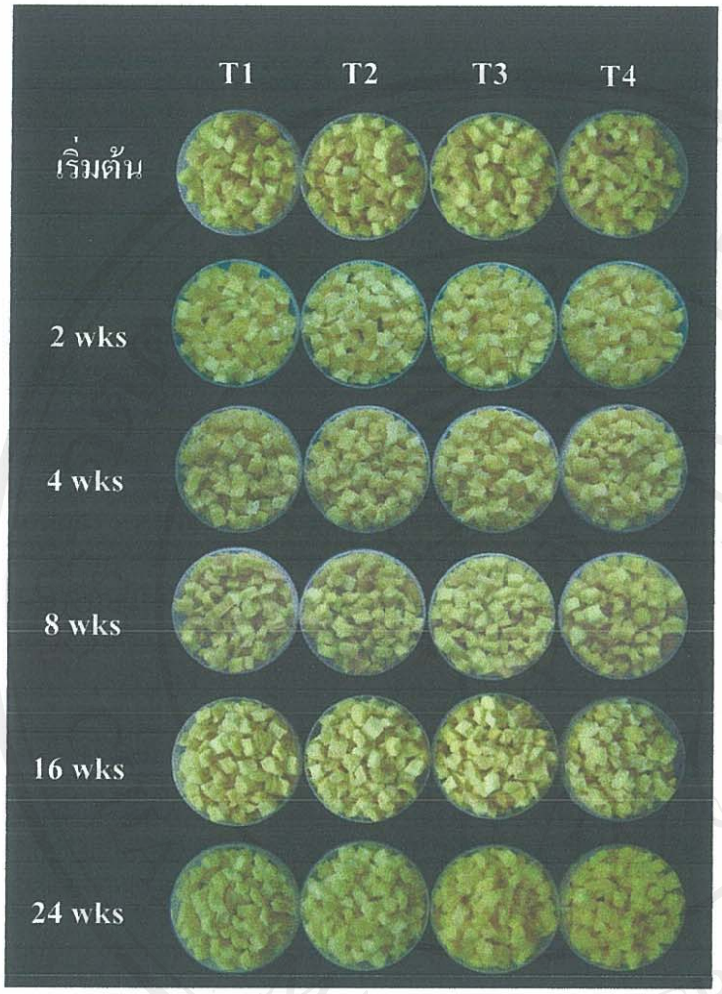
การที่ค่าสีของเนื้อมะม่วงอบแห้งมีค่าคงที่ หรือลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้นนั้น อาจเนื่องมาจากถุงที่ใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์เป็นถุงอลูมิเนียมเปลว (aluminium foil) ซึ่งอลูมิเนียมมีคุณสมบัติในการป้องกันแสงได้ (The International Aluminium Institute, 2000: online) จึงสามารถช่วยรักษาสีของผลิตภัณฑ์ไว้ แต่เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้นานถึงระยะหนึ่งแล้ว ถึงแม้ว่าอาหารนั้นจะไม่ได้เสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ก็ตาม แต่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพที่สามารถตรวจพบได้ ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงสี เช่น มีสีซีดลง เนื่องจากแสงทำให้สารสีทั้งคลอโรฟิลล์และแคโรทีนถูกทำลาย (นิธิยา, 2543) หรือเกิด browning เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบที่เร่งด้วยเอนไซม์และแบบที่ไม่อาศัยเอนไซม์ ทำให้ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม นอกจากนี้ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การเก็บรักษาเมล็ดทานตะวันอบแห้ง (นิรนาม, 2548: ระบบออนไลน์) หรือผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมันและไขมันเป็นส่วนประกอบ (ไพโรจน์, 2539) เป็นเวลานานจะเกิดกลิ่นเหม็นหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L* (A), ค่า h^o (B) และค่า C* (C) ของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



T1 คือ เนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°ซ

T2 คือ เนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33°ซ

T3 คือ เนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุก๊าซไนโตรเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°ซ

T4 คือ เนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุก๊าซไนโตรเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33°ซ

ภาพ 4.12 การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

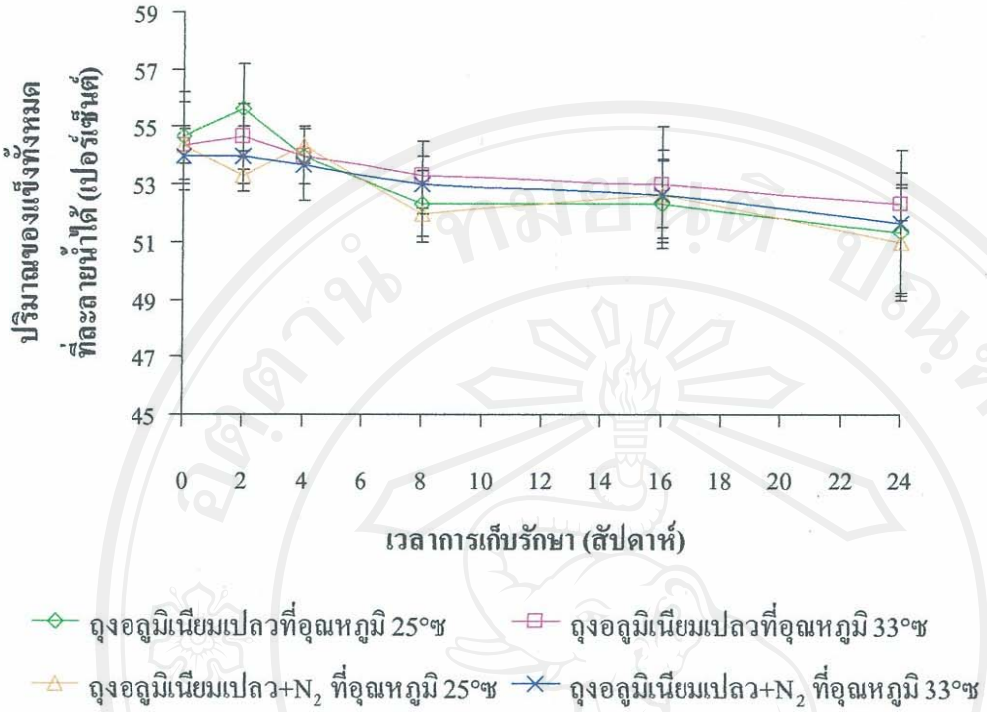
การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของเนื้อมะม่วงอบแห้งตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ พบว่าในทุกกรรมวิธีเนื้อมะม่วงอบแห้งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพ 4.13)

จากตารางภาคผนวก จ-10 เมื่อพิจารณาสภาพบรรจุภัณฑ์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ พบว่าเฉพาะสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษาเท่านั้นที่เนื้อมะม่วงอบแห้งบรรจุในถุงอลูมิเนียมเปลวสภาพปกติมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มากกว่าในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เฉลี่ยเท่ากับ 55.17 และ 53.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการเก็บรักษาที่ระยะอื่นๆ สภาพบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

สำหรับอุณหภูมิในการเก็บรักษาและความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสภาพบรรจุภัณฑ์กับอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ตลอดช่วงการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์

การลดลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของเนื้อมะม่วงอบแห้งเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สอดคล้องกับการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้ง (ประสิทธิ์, 2548) และผลอะพริคอต (Mahmutoglu *et al.*, 1996) ที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้นั้นส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลอาจลดลงเนื่องจากถูกใช้เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ หรือเกิดจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในเนื้อมะม่วงอบแห้งใช้เป็นแหล่งอาหารในการเจริญ ซึ่งผลการทดลองพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราทั้งหมดในเนื้อมะม่วงอบแห้งเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

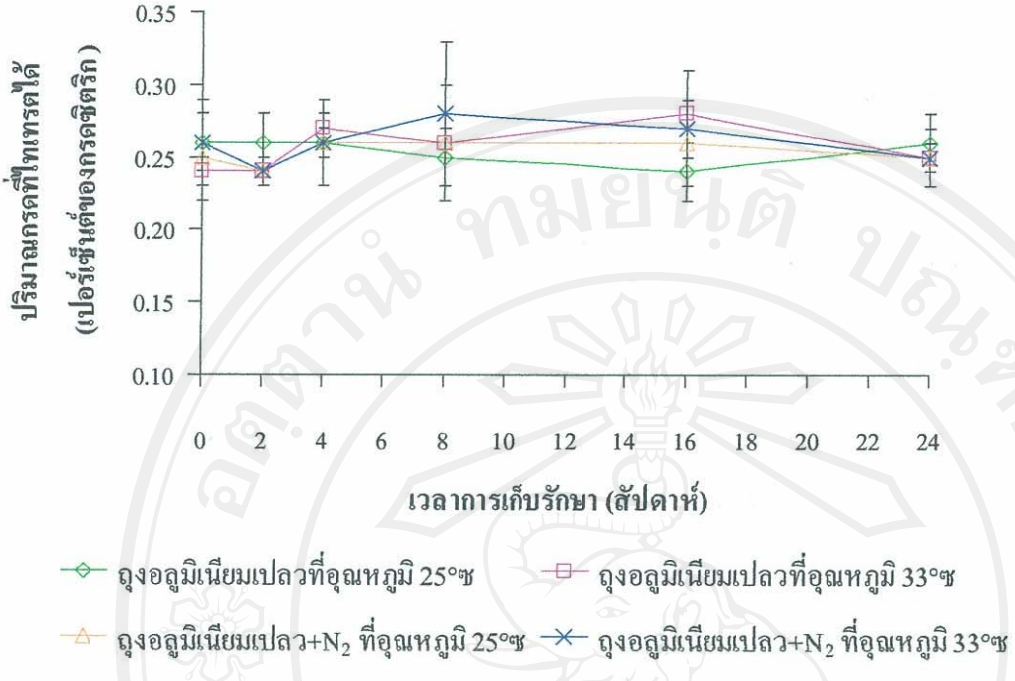


ภาพ 4.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์

4.4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดซิตริก) ของเนื้อมะม่วงอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ จากภาพ 4.14 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.24-0.27 เปอร์เซ็นต์ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่าทั้งสภาพบรรจุภัณฑ์ อุณหภูมิในการเก็บรักษา และความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสภาพบรรจุภัณฑ์กับอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางภาคผนวก จ-11 เช่นเดียวกับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงอบแห้งเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ไพโรจน์และคณะ, 2545) แตกต่างจากการเก็บรักษาพลับกึ่งแห้งที่มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (ธารา, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์

4.4.8 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

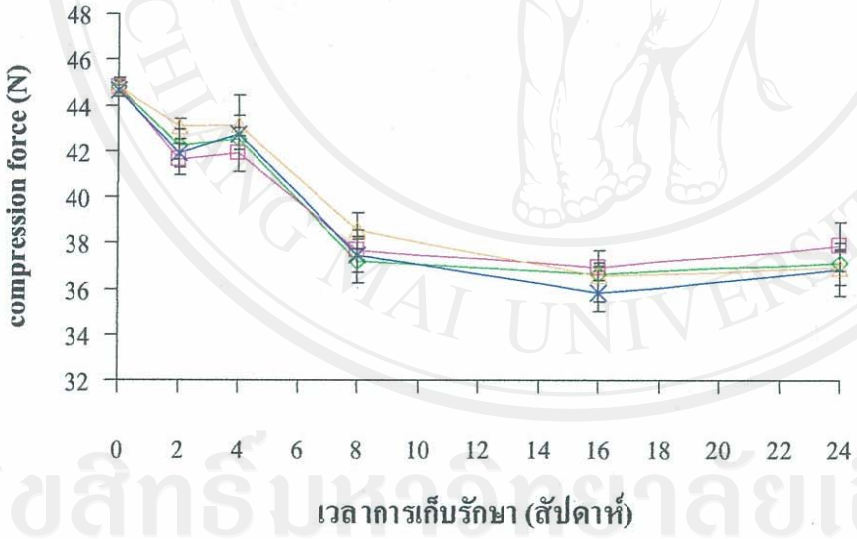
การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อมะม่วงอบแห้ง โดยการวัดค่าแรงกด (compression force, นิวตัน) ในช่วงการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ แสดงในภาพ 4.15 พบว่าแรงที่ใช้กดเริ่มต้นในทุกกรรมวิธีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 44.76 นิวตัน และมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าเฉพาะสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าแรงกดมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

สำหรับสภาพบรรจุภัณฑ์และความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสภาพบรรจุภัณฑ์กับอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแรงกดของเนื้อมะม่วงอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวก จ-12) โดยหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ เนื้อมะม่วงอบแห้งมีค่าแรงกดเฉลี่ยเท่ากับ 37.12 และ 37.86 นิวตัน เมื่อบรรจุในถุงอลูมิเนียมเปลวที่อุณหภูมิ 25 และ 33 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนเนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 25 และ 33 องศาเซลเซียส มีค่าแรงกดเฉลี่ยเท่ากับ 36.94 และ 36.84 นิวตัน ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยทั่วไปแล้ว ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่มีสารผสมกึ่งสมดุลระหว่างน้ำตาลและน้ำเชื่อมจะทำให้อาหารประเภทนี้มีผลึกน้ำตาลเกิดขึ้นเรื่อยๆ (ไพโรจน์, 2539) แต่การเติมกลีเซอรอลในสารละลายออสโมติกสามารถป้องกันการเกิดผลึกน้ำตาลและช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสได้ เช่นเดียวกับลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อมะม่วงอบแห้งที่มีค่าแรงเฉือน (shear force) ลดลงระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ (ไพโรจน์และคณะ, 2545) แตกต่างจากการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ที่มีค่าแรงเฉือนเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 48 สัปดาห์ (วัฒนา, 2545) และการเก็บรักษาเนื้อพลับกึ่งแห้งเป็นเวลา 16 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าแรงเฉือนและแรงกดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียส (ธารา, 2540)



ภาพ 4.15 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงกดของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.9 การเปลี่ยนแปลงคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏภายนอกโดยรวมของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

ระหว่างการเก็บรักษาได้ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 10 คน เพื่อให้คะแนนโดยแบบทดสอบ 9-points hedonic scale

คะแนนเฉลี่ยของการยอมรับด้านลักษณะปรากฏภายนอกโดยรวมของเนื้อมะม่วงอบแห้งในทุกกรรมวิธีมีค่าลดลงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ดังแสดงในภาพ 4.16 (A) คะแนนเฉลี่ยการยอมรับด้านลักษณะปรากฏภายนอกโดยรวมเมื่อเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 7.80 และภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 7.02 ซึ่งเป็นคะแนนที่อยู่ระดับความชอบปานกลาง เนื่องจากระหว่างการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงสีและรูปร่างเล็กน้อย โดยการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันทำให้ผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้มีสีใกล้เคียงสีธรรมชาติ เช่นเดียวกับการอบแห้งเนื้อมะม่วงแก้วด้วยวิธีสเปาเต็ดเบด และการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดร่วมกับไมโครเวฟ พบว่าเนื้อมะม่วงอบแห้งที่ได้มีผิวแห้งนวลสวยงามแตกต่างจากการอบแห้งแบบฟิกซ์เต็ดเบดที่มีผิวหน้าไม่แห้ง และต้องคลุกด้วยน้ำตาลไอซิ่งเพื่อให้ดูสวยขึ้น (คำนึงและเสรี, 2549)

เมื่อพิจารณาสภาพบรรจุภัณฑ์ อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา และความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสภาพบรรจุภัณฑ์กับอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าปัจจัยดังกล่าวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคะแนนการประเมินผลด้านลักษณะปรากฏภายนอกโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวก จ-13)

4.4.10 การเปลี่ยนแปลงคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นและรสชาติของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและรสชาติของเนื้อมะม่วงอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ ในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่างๆ พบว่าคะแนนผลการประเมินทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาในแต่ละกรรมวิธีมีค่าลดลงเช่นเดียวกับคะแนนผลการประเมินด้านลักษณะปรากฏภายนอกโดยนอกรวม เนื่องจากระหว่างการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้งมีกลิ่นและรสชาติผิดปกติเล็กน้อย ดังแสดงในภาพ 4.16 (B)

เมื่อพิจารณาสภาพบรรจุภัณฑ์ พบว่าใน 4 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา สภาพบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นและรสชาติของเนื้อมะม่วงอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ในสัปดาห์ที่ 8, 16 และ 24 พบว่าเนื้อมะม่วงอบแห้งที่เก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนมีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นและรสชาติมากกว่าการบรรจุในถุงอลูมิเนียม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปลวสภาพปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 7.15, 6.25 และ 5.80 เมื่อเก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมเปลวธรรมดาในสัปดาห์ที่ 8, 16 และ 24 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับเนื้อมะม่วงอบแห้งที่เก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมเปลวธรรมดาซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 5.95, 5.75 และ 5.30 ในสัปดาห์ที่ 8, 16 และ 24 ตามลำดับ

สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้งในสัปดาห์ที่ 16 และ 24 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคะแนนผลการประเมินด้านกลิ่นและรสชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีคะแนนผลการประเมินมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส โดยเนื้อมะม่วงอบแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 33 องศาเซลเซียส ในสัปดาห์ที่ 16 มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 6.55 และ 5.45 ตามลำดับ และสัปดาห์ที่ 24 มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 6.00 และ 5.10 ตามลำดับ

ส่วนความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสภาพบรรจุภัณฑ์กับอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าไม่มีความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัยทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางภาคผนวก จ-14)

แก๊สออกซิเจนเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน ถึงแม้เนื้อมะม่วงมีปริมาณไขมันเพียงเล็กน้อย แต่ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันทำให้เกิดไฮโดรเจน-เปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน ดีไฮเดรชัน หรือออกซิเดชัน จนกลายเป็นแอลดีไฮด์ คีโตน และกรด ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป (วิไล, 2545) และปริมาณน้ำในช่วง a_w ของอาหารกึ่งแห้ง (อยู่ในช่วง 0.60-0.85) ทำให้ผนังเซลล์ของอาหารเกิดการพองตัว แก๊สออกซิเจนสามารถซึมผ่านเข้าไปได้จึงเกิดกลิ่นเหม็นหืน นอกจากนี้การใช้กลีเซอรอลซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลไตรโอสในส่วนผสมของสารละลายออสโมติก มักเกิดปัญหาเรื่องรสชาติผิดปกติเช่นกัน ดังนั้นจึงควรใช้ในระดับความเข้มข้นต่ำ แต่ควรมากพอที่จะลดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญของจุลินทรีย์ลงมาในระดับที่ต้องการ (ไพโรจน์, 2539) การกำจัดออกซิเจนออกจากภาชนะบรรจุแล้วแทนที่ด้วยแก๊สไนโตรเจน จึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาหรือรักษาความคงตัวของผักและผลไม้อบแห้งได้นานขึ้น และช่วยลดการเหม็นหืนลงได้ (Kirwan, 2005: online) เนื่องจากไนโตรเจนเป็นแก๊สที่เฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ทั้งยังไม่มีกลิ่น รส และไม่เป็นพิษ จึงสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหารทุกชนิด

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมสลาย เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสลิพิดออกซิเดชัน ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ และการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ให้เกิดเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังเร่งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียอีกด้วย ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดความไม่คงตัวทั้งทางกายภาพและเคมีระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

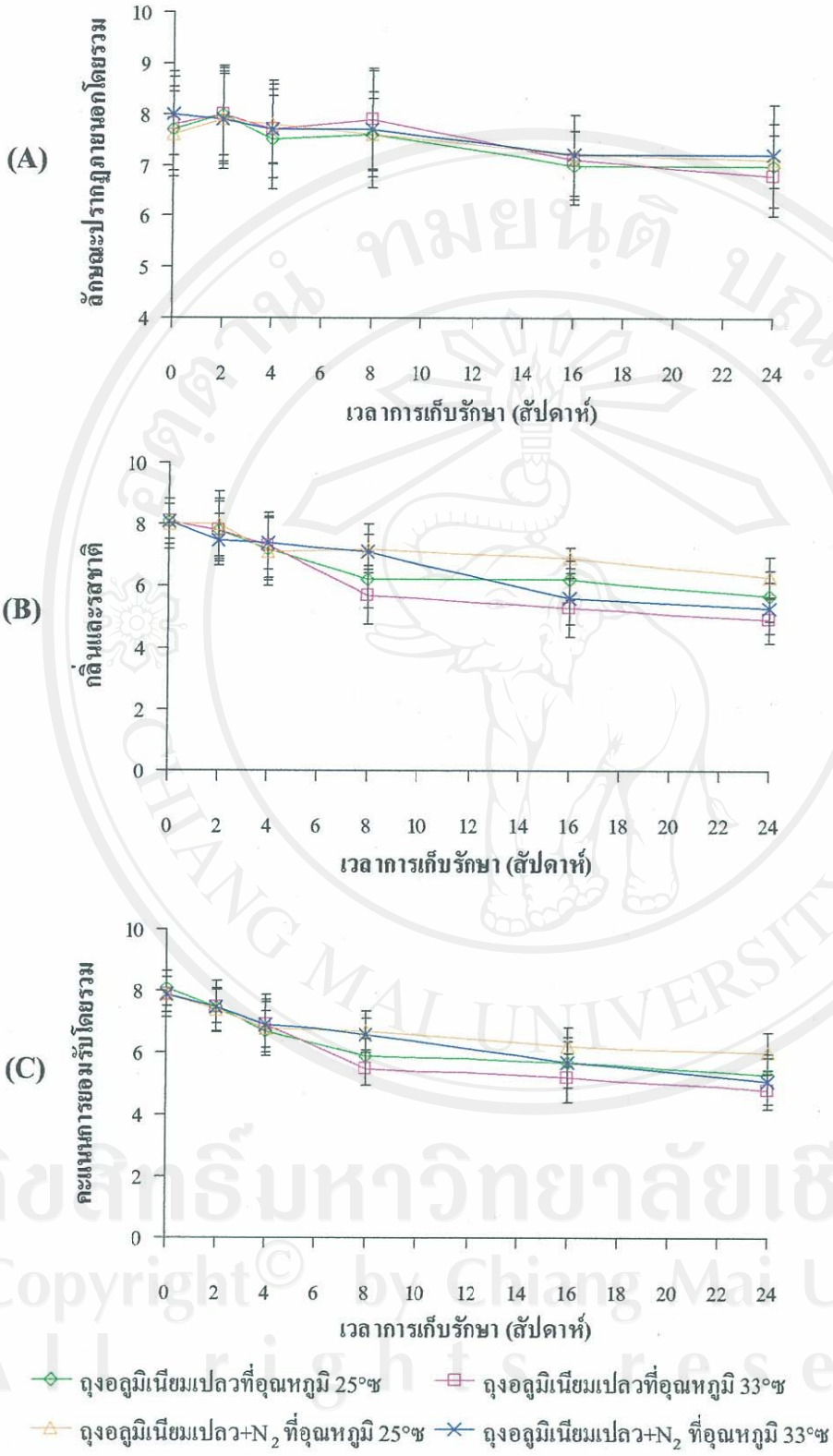
4.4.11 การเปลี่ยนแปลงคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับโดยรวมของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ พบว่าคะแนนผลการประเมินมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น เช่นเดียวกับคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏภายนอกโดยรวม และการยอมรับด้านกลิ่นและรสชาติ ดังแสดงในภาพ 4.16 (C)

จากตารางภาคผนวก จ-15 เมื่อพิจารณาสภาพบรรจุภัณฑ์ พบว่าใน 4 สัปดาห์แรกของการเก็บรักษา สภาพบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ในสัปดาห์ที่ 8, 16 และ 24 พบว่าเนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนมีคะแนนการยอมรับโดยรวมมากกว่าการบรรจุเนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวสภาพปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยเนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 6.65, 5.95 และ 5.55 สำหรับเนื้อมะม่วงอบแห้งเก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมเปลวสภาพปกติมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 5.70, 5.45 และ 5.05 ในช่วงการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 8, 16 และ 24 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่ามีแต่เฉพาะสัปดาห์ที่ 16 และ 24 ของการเก็บรักษาเท่านั้นที่อุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อคะแนนการยอมรับโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) คือ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับโดยรวมของเนื้อมะม่วงอบแห้งมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีคะแนนการยอมรับโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับ 5.95 และ 5.65 ตามลำดับ ส่วนเนื้อมะม่วงอบแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 5.45 และ 4.95 ในสัปดาห์ที่ 16 และ 24 ตามลำดับ โดยไพโรจน์ (2539) ได้กล่าวไว้ว่าหากอุณหภูมิในการเก็บรักษาลดลง อาหารกึ่งแห้งจะมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิต่ำทำให้จุลินทรีย์มีอัตราการเจริญลดลงและช่วยชะลอปฏิกิริยาเมลลาร์ดให้เกิดช้าลงได้ โดยอัตราเร็วของปฏิกิริยานี้จะเพิ่มขึ้นเป็น 2-3 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 องศาเซลเซียส (นิธิยา, 2549) นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสภาพบรรจุภัณฑ์กับอุณหภูมิในการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.16 การเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏภายนอกโดยรวม (A), ด้านกลิ่นและรสชาติ (B) และด้านการยอมรับโดยรวม (C) ของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.12 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านจุลชีววิทยาของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในเนื้อมะม่วงอบแห้งตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ ในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ โดยตรวจนับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ระดับความเจือจางของสารละลายตัวอย่างเท่ากับ 10^{-2} (1:100) พบว่าจุลินทรีย์ทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นในทุกกรรมวิธี แต่เนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงที่บรรจุแก๊สไนโตรเจนมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าในถุงอลูมิเนียมเปลวสภาพปกติ (ภาพ 4.17 (A))

จากตารางภาคผนวก จ-16 เมื่อพิจารณาสภาพบรรจุภัณฑ์ พบว่าในสัปดาห์ที่ 16 และ 24 ของการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 8.65 และ 8.71 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าการบรรจุในถุงอลูมิเนียมเปลวสภาพปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ มีจุลินทรีย์ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 11.05 และ 14.50 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าในสัปดาห์ที่ 4 และ 24 อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ การเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้งที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นผลให้มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 7.26 และ 10.87 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ที่มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 7.64 และ 12.33 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ และเฉพาะการเก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 8 พบว่ามีความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสภาพบรรจุภัณฑ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา โดยเนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 7.95 โคโลนีต่อกรัม

การเปลี่ยนแปลงปริมาณยีสต์ทั้งหมดในเนื้อมะม่วงอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ เมื่อตรวจนับปริมาณยีสต์ที่ระดับความเจือจางของสารละลายตัวอย่างเท่ากับ 10^{-1} พบว่าปริมาณยีสต์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (ภาพ 4.17 (B)) เมื่อพิจารณาสภาพบรรจุภัณฑ์ พบว่าเฉพาะสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนมีปริมาณยีสต์น้อยกว่าถุงอลูมิเนียมเปลวสภาพปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณยีสต์ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 1.32 และ 1.47 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ ยีสต์สามารถเจริญได้ในสภาพที่ไม่มีอากาศ แต่ส่วนมากมักเจริญได้ดีเมื่ออยู่ในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจนเพื่อใช้ในการหายใจ (Wikipedia

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Foundation, 2007: online) เนื่องจากสภาพที่ไม่มีอากาศจะไปขัดขวางกระบวนการเมแทบอลิซึม ทำให้ยีสต์เจริญได้ช้าลง (Polonelli *et al.*, 1992)

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าสัปดาห์ที่ 2 ถึง 16 ของการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้งที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส มีปริมาณยีสต์ทั้งหมดมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางภาคผนวก จ-17

สำหรับความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสภาพบรรจุภัณฑ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาพบว่าเฉพาะการเก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 2 มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณยีสต์ทั้งหมด ($p \leq 0.05$) โดยที่เนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวสภาพปกติเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส มีปริมาณยีสต์ทั้งหมดมากที่สุด คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.28 โคโลนีต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับถุงอลูมิเนียมเปลวสภาพปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 33 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.14, 1.17 และ 1.19 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และพบว่าปริมาณยีสต์ทั้งหมดในเนื้อมะม่วงอบแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า ภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์

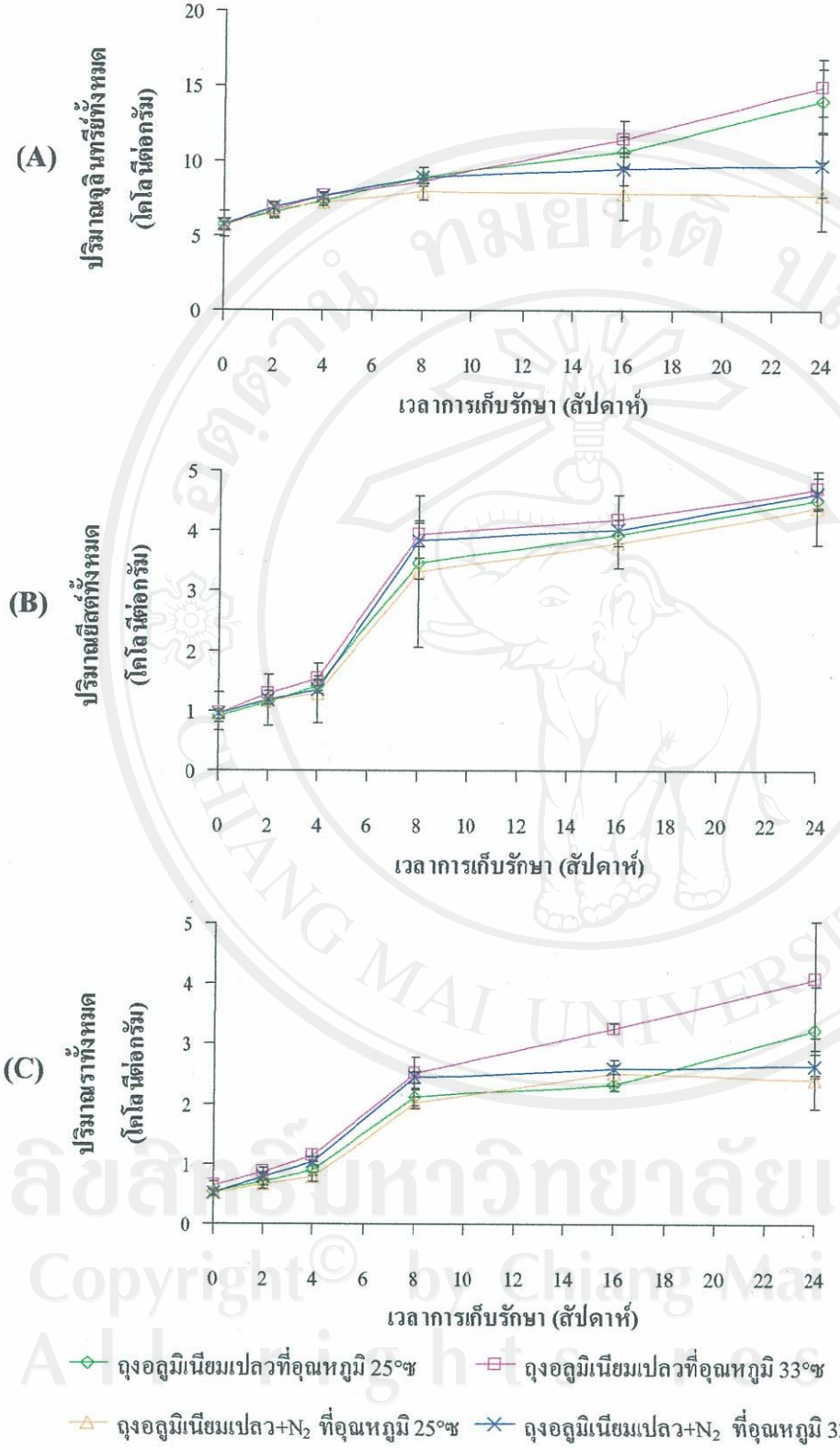
การเปลี่ยนแปลงปริมาณราทั้งหมดในเนื้อมะม่วงอบแห้ง ให้ผลเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์ทั้งหมด นั่นคือ เมื่อตรวจนับปริมาณราที่ระดับความเจือจางของสารละลายตัวอย่างเท่ากับ 10^{-1} พบว่ามีปริมาณราทั้งหมดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ ดังแสดงในภาพ 4.17 (C)

ในสัปดาห์ที่ 16 และ 24 ของการเก็บรักษา พบว่าเนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนมีปริมาณราน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.56 และ 2.53 โคโลนีต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อมะม่วงอบแห้งที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมเปลวสภาพปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.79 และ 3.66 โคโลนีต่อกรัม ของสัปดาห์ที่ 16 และ 24 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าสัปดาห์ที่ 4, 8 และ 16 ของการเก็บรักษาอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำให้เนื้อมะม่วงอบแห้งเกิดราน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางภาคผนวก จ-18

ในสัปดาห์ที่ 16 ของการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้ง พบว่ามีความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสภาพบรรจุภัณฑ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส มีปริมาณรามากที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (A), ปริมาณยีสต์ทั้งหมด (B) และปริมาณราทั้งหมด (C) ของเนื้อมะม่วงอบแห้งในสภาพบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.25 โคโลนีต่อกรัม และมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 33 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.52 และ 2.59 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวสภาพปกติ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบปริมาณราน้อยที่สุด คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.32 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งปริมาณราทั้งหมดในเนื้อมะม่วงอบแห้งเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า ภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์

การบรรจุเนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงที่บรรจุแก๊สไนโตรเจนมีจุลินทรีย์น้อยกว่าถุงสภาพปกติ อาจเนื่องจากการบรรจุที่มีการไล่แก๊สออกซิเจนออกแล้วแทนที่ด้วยแก๊สไนโตรเจน ทำให้จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนเจริญได้น้อยลง

กิจกรรมของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้งที่ a_w ต่ำกว่า 0.60 ราส่วนใหญ่ถูกยับยั้งการเจริญที่ a_w ต่ำกว่า 0.70 และยีสต์ส่วนใหญ่ถูกยับยั้งการเจริญที่ a_w ต่ำกว่า 0.80 (วิไล, 2545) แต่มิได้หมายความว่าไม่มีจุลินทรีย์อยู่ในอาหาร เพราะจุลินทรีย์อาจปนเปื้อนในอาหารมาก่อน หรือปนเปื้อนระหว่างการทำแห้งก็เป็นได้ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถมีชีวิตอยู่ได้ระยะเวลาหนึ่งเมื่อความชื้นไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (สุมณฑา, 2545) เช่นเดียวกับกับปริมาณความชื้นและค่า a_w ของเนื้อมะม่วงอบแห้งที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ถึงแม้ a_w มีค่าอยู่ในช่วง 0.45-0.60 ซึ่งกิจกรรมของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้ง แต่หากสภาวะเหมาะสมจากการเก็บอาหารไว้นานๆ และมีอากาศกับความชื้นเกิดขึ้นในช่วงหลังของการเก็บรักษา ทำให้จุลินทรีย์ที่อ่อนแอในตอนแรกสามารถเจริญได้ (ไพโรจน์, 2539) โดยจุลินทรีย์ ยีสต์ และรา จะใช้น้ำตาลและกรดอินทรีย์ในเนื้อมะม่วงอบแห้งเป็นแหล่งอาหารในการเจริญ จึงทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในเนื้อมะม่วงอบแห้งลดลงระหว่างการเก็บรักษา

อย่างไรก็ตามปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้งเป็นเวลา 24 สัปดาห์ มีค่าต่ำกว่า $1x10^4$ และ $1x10^2$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ตามลำดับ ตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้งกำหนดไว้ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533) เนื่องจากตัวถูกละลายที่ใช้ในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันได้แก่ เกลือ น้ำตาล โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ โพแทสเซียมซอร์เบต และสารประกอบในรูปของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (ปรียา, 2543; ไพโรจน์, 2539; มาลัยวรรณและคณะ, 2545; Sofos and Busta, 1993) เช่นเดียวกับเนื้อพลับกึ่งแห้งที่ใช้โพแทสเซียมซอร์เบตเป็นส่วนผสมในกระบวนการแปรรูปแทนสารกันรา โดยโพแทสเซียมซอร์เบตจะแตกตัวอยู่ในรูปของกรดซอร์บิก ทำให้เนื้อพลับกึ่งแห้งมีปริมาณยีสต์และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ราต่ำ (ธารา, 2540) แต่ในเนื้อลำไยอบแห้งพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราสูงเกินมาตรฐาน เนื่องจากเนื้อลำไยก่อนอบแห้งมีวิธีการปฏิบัติไม่ถูกต้องตามสุขลักษณะที่ดี ทั้งด้านสถานที่ ภาชนะอุปกรณ์ และการเก็บรักษา (สุรภา, 2548) ดังนั้นทุกขั้นตอนในการแปรรูปอาหารควรปฏิบัติให้ถูกต้องตามสุขลักษณะที่ดีเพื่อลดและป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ต่างๆ เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค

4.5 อายุการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้ง

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมีของเนื้อมะม่วงอบแห้ง พบว่าคุณลักษณะทางกายภาพและเคมี มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม ค่าที่วิเคราะห์ได้ยังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้งกำหนดไว้ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533) เมื่อนำผลการประเมินทางประสาทสัมผัสมาพิจารณาจะเห็นได้ว่าคะแนนการยอมรับของเนื้อมะม่วงอบแห้งมีค่าลดลงตามอายุการเก็บรักษา แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 24 ของการเก็บรักษา เนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ได้รับคะแนนด้านกลิ่นและรสชาติ และการยอมรับโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับ 4.90 และ 4.80 ตามลำดับ โดยได้ต่ำกว่า 5 คะแนน ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์การตัดสินใจในการยอมรับผลิตภัณฑ์ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาด้วยกรรมวิธีอื่นๆ ($p>0.05$) และการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้งที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เป็นปัจจัยที่มีผลให้คะแนนด้านการยอมรับโดยรวมน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เนื้อมะม่วงอบแห้งเมื่อเก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมเปลวในสภาพปกติและบรรจุแก๊สไนโตรเจนเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 33 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษาได้นานอย่างน้อย 24 สัปดาห์ โดยการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ได้รับคะแนนด้านกลิ่นและรสชาติ และการยอมรับโดยรวมมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved