การป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยอบแห้งสีทองระหว่างการเก็บรักษา

โดย
นางสาวเมย์ สุรจิตตาภรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยอบแห้งสีทองระหว่างการเก็บรักษา

โดย
นางสาวเมย์ สุรจิตตาภรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

PREVENTION OF DARK COLOR FORMATION IN GOLDEN DRIED LONGAN DURING STORAGE

By

May Surajittaporn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Food Technology

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2009

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ การป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยอบแห้งสีทองระหว่างการเก็บรักษา” เสนอโดย นางสาวเมย์ สุรจิตตาภรณ์ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

…….....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตังกูร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศรากรณ์ มหาโยธี
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงใจ ถิรธรรมถาวร

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุศรากรณ์ มหาโยธี)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงใจ ถิรธรรมถาวร)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย)
...../...../.....

50403206 : สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
คำสำคัญ : เนื้อลำไยอบแห้งสีทอง/การเกิดสีน้ำตาล/กระบวนการพรีทรีทเม้นท์/
สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล/ทรีฮาโลส

เมย์ สุรจิตตาภรณ์ : การป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยอบแห้งสีทองระหว่างการเก็บรักษา. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.บุศรากรณ์ มหาโยธี, ผศ.ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย และ ผศ.ดร.ดวงใจ ถิรธรรมถาวร. 183 หน้า.

สีเป็นลักษณะคุณภาพที่สำคัญของเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ปัจจุบันเนื้อลำไยอบแห้งสีทองประสบปัญหาการเกิดสีน้ำตาลคล้ำหรือดำอย่างรวดเร็วในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการเกิดสีน้ำตาลดังกล่าว โดยปราศจากการใช้สารซัลไฟต์ในการยืด-อายุการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่อุณหภูมิห้อง จึงได้ศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอล ทรีฮาโลส และการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อลำไยอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาในถุงโพลีโพรไพลีนปิดสนิท เป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32$\pm$0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45$\pm$0.5% จากการศึกษาพบว่า พบว่าการใช้กลีเซอรอลและทรีฮาโลสในสารละลายออสโมติกสามารถลดค่า a_w ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติ โดยการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลำไยอบแห้งเกิดทั้งปฏิกิริยาที่อาศัยและไม่อาศัยเอนไซม์ ซึ่งการลวกเนื้อลำไยสดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ก่อนการแช่เนื้อลำไยในสารละลายออสโมติก สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO อันเป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ได้ และเมื่อทำการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งสีทองเป็นเวลา 5 เดือน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ช่วยรักษาคุณภาพด้านสีของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองได้ดีที่สุด คือ การแช่เนื้อลำไยในสารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับ ทรีฮาโลส 5 และ 10% ก่อนการอบแห้ง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ร่วมกับอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ส่งผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์น้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เพียงอุณหภูมิเดียว เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2552
ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. ..... 2. ..... 3. .....

50403206 : MAJOR : FOOD TECHNOLOGY
KEY WORDS : GOLDEN DRIED LONGAN/ BROWNING REACTIONS/ PRE-TREATMENT/ ANTI-BROWNING AGENTS/ TREHALOSE
MAY SURAJITTAPORN : PREVENTION OF DARK COLOR FORMATION IN GOLDEN DRIED LONGAN DURING STORAGE. THESIS ADVISORS : ASST.PROF. BUSARAKORN MAHAYOTHEE, Ph. D.,ASST.PROF. EKAPHAN KEAWMANEECHAI, Ph.D. ,AND ASST.PROF. DUANGJAI THIRATHAMTHAVORN, Ph. D. 183 pp.

Product color is the primary quality criterion affect consumer acceptance. The major problem of golden dried longan is the color turns to dark brown or black rapidly during storage at room temperature. The objective of this research is to prevent the dark color formation in golden dried longan without sulfites for maintaining the quality of golden dried longan during storage at room temperature. Study the effect of glycerol, trehalose and anti-browning agents on the color colour changes of golden dried longan during storage in polypropylene bag for 5 months at 32+0.5°C 45+0.5%RH. The result showed that adding glycerol and trehalose in osmotic solution can decreased the a_w of the sample significantly ($p<0.05$) compared with untreated sample. Browning of golden dried longan is caused by both enzymatic and non-enzymatic transformations. Blanching process using boiled water at 100°C for 10 minutes before immersing in osmotic solusion inhibited PPO activity that is cause of enzymatic browning reaction. After 5 months storage, The golden dried longan pre-treated with glycerol 20%+trehalose 5, 10% are the best conditions for preserving the color of dried longan. Considering the drying conditions, it was found that stepwise drying at 80°C for 2 hours and 70°C for 1 hours 30 minutes gave the lower browning than drying with single step at 70°C for 4 hours

Department of Food Technology Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2009
Student's signature .....
Thesis Advisors' signature 1. ..... 2. ..... 3. .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้เนื่องด้วย ผศ.ดร.บุศรากรณ์ มหาโยธี กราบขอบพระคุณที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และแนวทางที่ดีต่างๆ ตลอดจนตรวจสอบเล่มวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ และดูแลในหลายๆ ด้านจนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือในการทำวิจัย ขอบพระคุณผศ.ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย ผศ.ดร. ดวงใจ ถิรธรรมถาวร คณาจารย์และนักวิทยาศาสตร์ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่านที่ให้ความรู้และอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณโรงอบแห้ง โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด สำหรับการอบแห้งในระดับ pilot scale

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. เสริม จันทร์ฉาย และคุณนิรุตต์ ล้ำเลิศ ณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องอบแห้ง

ขอขอบคุณแหล่งทุนวิจัยซึ่งงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของ Research Project SFB 564 (Research for Sustsainable Land use and Rural Development in Mountainous Regions of Southeast Asia) สนับสนุนโดย Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) ประเทศสหพันธรัฐเยอรมนี ขอบคุณสำนักประสานงานโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และวิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรบ้านแคว อ.สารภี จ.เชียงใหม่ สำหรับความร่วมมือในการทำวิจัย

ขอขอบคุณคุณอนุวัฒน์ จรัสรัตนไพบูลย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดหาลำไยสดจากจังหวัดเชียงใหม่สำหรับการอบแห้งในการวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ นักศึกษาปริญญาโททุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจที่ดี

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวสุรจิตตาภรณ์ สำหรับกำลังใจที่สำคัญที่สุดในการศึกษาเล่าเรียน การทำงานวิจัย และทุกสิ่งทุกอย่างตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 3

สมมติฐานของการศึกษา..... 3

ขอบเขตของการศึกษา 4

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

ลำไย 5

การเกิดปฏิกิริยาแบบอาศัยเอนไซม์ 7

การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์โดยใช้ความร้อน..... 8

การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์โดยการใช้สารเคมี ที่ไม่ใช่สารประกอบซัลไฟต์..... 10

การเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ 23

3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 27

วัตถุดิบ..... 27

สารเคมี 27

อุปกรณ์และเครื่องมือ..... 28

วิธีการทดลอง..... 29

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของวัตถุดิบ 29

การผลิตเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง 31

บทที่ หน้า

ศึกษาผลของกระบวนการ pre-treatment ก่อนการอบแห้งเนื้อลำไย-อบแห้งสีทองต่อคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้ง 34

ศึกษาการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งสีทองด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ 2 อุณหภูมิต่อคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง 37

ศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองระหว่างการเก็บรักษา..... 38

4 ผลและวิจารณ์ผล 39

คุณภาพทางกายภาพและเคมีของลำไยสดก่อนการอบแห้ง..... 39

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อน 42

กราฟการทำแห้งของเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง..... 45

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวระหว่างการเก็บรักษา..... 46

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษา 82

การเปรียบเทียบคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวและสองอุณหภูมิ 111

5 สรุปผลการทดลอง..... 136

บรรณานุกรม..... 137

ภาคผนวก..... 150

ภาคผนวก ก..... 151

ภาคผนวก ข..... 162

ประวัติผู้วิจัย..... 183

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ส่วนประกอบทางเคมีของลำไยสดและลำไยอบแห้ง	6
2	การผลิตเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง	32
3	ชุดการทดลองศึกษาผลของ pre-treatment ต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง.....	35
4	คุณภาพทางกายภาพของเนื้อลำไยสดก่อนการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว....	40
5	คุณภาพทางกายภาพของเนื้อลำไยสดก่อนการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ	41
6	ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	48
7	ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	50
8	ปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	62
9	กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยสดก่อนการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว	68
10	กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยสดภายหลังการแช่สารละลาย-ออสโมติกชนิดต่างๆ.....	70
11	Pearson's correlation coefficients ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิด-สีน้ำตาลในเนื้อลำไยอบแห้งสีทองภายหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง.....	72
12	Pearson's correlation coefficients ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิด-สีน้ำตาลในเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	74

ตารางที่		หน้า
13	Pearson's correlation coefficients ของปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสกับค่าความสว่าง ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลและ ปริมาณHMF ของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านการอบแห้ง แบบอุณหภูมิเดียวภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	81
14	ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่ สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	83
15	ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่ สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	85
16	ค่า Hue (h*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่ สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	90
17	ค่า Chroma (C*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่ สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	91
18	กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยสดก่อนการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ	99
19	กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยสดภายหลังการแช่สารละลาย-ออสโมติกชนิดต่างๆ.....	100
20	กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่าน การแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	101
21	Pearson's correlation coefficients ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อ การเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลำไยอบแห้งสีทองภายหลังการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 80°Cเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และ 70°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง-30 นาที	103

ตารางที่		หน้า
22	Pearson's correlation coefficients ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	104
23	Pearson's correlation coefficients ของปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสกับค่าความสว่าง ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลและปริมาณ HMF ของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	110
24	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว ที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	163
25	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ ที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	164
26	ปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ ที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	165
27	ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	166
28	ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	167
29	กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	168

ตารางที่ หน้า

30 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 169

31 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 170

32 ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 171

33 ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 172

34 ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 173

35 ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 174

36 ค่า Hue (h*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 175

37 ค่า Chroma (C*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 176

38 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 177

ตารางที่ หน้า

39 ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 178

40 ปริมาณน้ำตาลซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 179

41 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 180

42 ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 181

43 ปริมาณน้ำตาลซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 182

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส	8
2	กลไกการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลโดยกรดแอสคอร์บิก	11
3	โครงสร้างโมเลกุลของเบต้าไซโลเด็กซ์ตริน.....	20
4	โครงสร้างโมเลกุลของทรีฮาโลส	22
5	แผนภาพการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด.....	24
6	การจัดเรียงเนื้อลำไยในถาดสำหรับการอบแห้งและการจัดเรียงถาดในตู้อบแห้ง	31
7	ขั้นตอนทั่วไปที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง	33
8	รูปแบบการบรรจุระหว่างการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง	38
9	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสำหรับการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว	43
10	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสำหรับการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ.....	44
11	การเปลี่ยนแปลงความชื้นเทียบกับเวลา (น้ำหนักแห้ง) ของเนื้อลำไยที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกชนิดต่างๆ ระหว่างการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว	45
12	การเปลี่ยนแปลงความชื้นเทียบกับเวลา (น้ำหนักแห้ง) ของเนื้อลำไยที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกชนิดต่างๆ ระหว่างการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ	46
13	ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%	52
14	การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิ-เดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% ..	53

ภาพที่ หน้า

15 ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 53

16 ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 55

17 การเปลี่ยนแปลงค่า Hue ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 56

18 การเปลี่ยนแปลงค่า Chroma ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 57

19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%..... 59

20 ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 65

21 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ PPOของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 71

22 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตสและซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ภายหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70+0.5°C ความเร็วลม 1 m/s 75

ภาพที่ หน้า

23 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%..... 77

24 ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 77

25 ปริมาณน้ำตาลซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 78

26 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตสและซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ที่ลดลงภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 79

27 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% .. 87

28 การเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 88

29 การเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 89

30 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%..... 93

ภาพที่ หน้า

31 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอลในเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%..... 95

32 ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 98

33 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตสและซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ภายหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงและ 70°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที..... 105

34 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 106

35 ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 107

36 ปริมาณน้ำตาลซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 107

37 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตสและซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ที่ลดลงภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%..... 108

38 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการอบแห้ง 111

ภาพที่ หน้า

39 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 112

40 ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการอบแห้ง 113

41 ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 114

42 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการอบแห้ง 115

43 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน สำหรับการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ 116

44 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 116

45 ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการอบแห้ง 117

46 ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 118

ภาพที่ หน้า

47 ค่าสีแดงของเนื้อลำไยอบแห้งที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน สำหรับการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ 119

48 การเปลี่ยนแปลงค่า Chroma ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวและสองอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 120

49 การเปลี่ยนแปลงค่า Hue ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวและสองอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 121

50 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อลำไย-อบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการอบแห้ง 123

51 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อลำไย-อบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%.. 124

52 ปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิ-เดียวเปรียบเทียบกับปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการอบแห้ง..... 125

53 ปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิ-เดียวเปรียบเทียบกับปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%..... 126

54 ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการอบแห้..... 127

ภาพที่ หน้า

55 ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว เปรียบเทียบกับปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสอง อุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 128

56 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิ-เดียวเปรียบเทียบกับปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5% 129

57 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ 130

58 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำตาลกลูโคสของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ 131

59 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการเก็บรักษาเนื้อลำไย-อบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวและสองอุณหภูมิ..... 132

60 ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ 133

61 ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการเก็บรักษาเนื้อลำไย-อบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวและสองอุณหภูมิ..... 133

62 ปริมาณน้ำตาลซูโครสของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำตาลซูโครสของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ..... 134

63 ปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวและสองอุณหภูมิ 135

64 กราฟมาตรฐานแกลลิกสำหรับการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ... 157

65 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณ HMF 158

ภาพที่ หน้า

66 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส 160
67 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส 160
68 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครส..... 161

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ลำไย *(Dimocarpus longan* Lour.) เป็นผลไม้ประเภท non-climacteric เป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญในการส่งออกของไทย ในปี 2552 (เดือนมกราคม-เดือนพฤศจิกายน) มีผลผลิต-สดรวมประมาณ 3.5 แสนตัน โดยมีการส่งออกในรูปลำไยสดประมาณ 2 แสนตัน คิดเป็น 58.58% มูลค่าประมาณ 3.2 พันล้านบาท ในรูปลำไยอบแห้ง 39.43% มูลค่าประมาณ 2.5 พันล้านบาท ลำไยกระป๋อง 1.94% มูลค่าประมาณ 300 ล้านบาท และในรูปลำไยแช่แข็ง 0.05% คิดเป็นมูลค่าประมาณ 10 ล้านบาท (สำนักงานปลัดกระทรวงพานิชย์ โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร, 2552) การแปรภาพที่นิยมมากที่สุดคือการผลิตลำไยอบแห้ง ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ลำไยอบแห้งแบบทั้งผลพร้อมเปลือก และเนื้อลำไยอบแห้ง ซึ่งเนื้อลำไยอบแห้ง แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติ และลำไยอบแห้งสีทอง ซึ่งกระบวนการผลิตเนื้อลำไยอบแห้ง 2 ชนิดมีความแตกต่างกันที่ลำไยอบแห้งสีทองจะมีการแช่เนื้อลำไยสดในสารละลายน้ำตาลก่อนการอบแห้ง ซึ่งจะส่งต่อการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดในระหว่างการผลิตและการเก็บรักษา ใน ขณะที่ลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ ซึ่งสีน้ำตาลทองเป็นสีที่ผู้บริโภคต้องการ แต่ในการผลิตและเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งพบปัญหาที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ คือ เนื้อลำไยอบแห้งจะเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลคล้ำหรือดำอย่างรวดเร็วในระหว่างการเก็บรักษาในถุงโพลีโพรพิลีน (polypropylene) ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการจำหน่ายสินค้าประเภทนี้ ซึ่งปัญหานี้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรบ้านแคว อำเภอบ้านแคว จังหวัดเชียงใหม่ก็ประสบปัญหานี้เช่นกัน จึงต้องการแก้ปัญหาดังกล่าว เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์และเพิ่มโอกาสทางการตลาด เนื่องจากลำไยเป็นผลไม้ตามฤดูกาล มีระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่สั้นเฉพาะช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน จึงมีการผลิตเพื่อเก็บไว้จำหน่ายตลอดทั้งปี

ปัจจุบันผู้ผลิตเนื้อลำไยอบแห้งนิยมใช้วัตถุเจือปนอาหารกลุ่มซัลไฟต์ ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เช่น โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (potassium metabisulphite) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulphite) เมตาไบซัลไฟต์ (metabisulphite) เป็นต้น ซึ่งการใช้วัตถุเจือปนอาหารในกลุ่มซัลไฟต์มีข้อจำกัดในการส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ เนื่องจากเป็นสารก่อภูมิแพ้ (food allergen) อีกทั้งผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulphur dioxide: SO_2) และซัลไฟต์ในปริมาณที่มากกว่า 10 mg/kg จะต้องระบุบนฉลาก หากต้องการส่งออกไปยังสหภาพยุโรป (Food Standards Agency, 2004) ซึ่งส่งผลต่อการเลือกซื้อของผู้บริโภคและสวนทางกับค่านิยมในการบริโภคในปัจจุบันที่มีความใส่ใจในสุขภาพและปลอดสารเคมี

จากการวิจัยของรุ่งทิพย์ (2549) ซึ่งทำการศึกษาการเกิดสีน้ำตาลในลำไยอบแห้งแบบทั้งผลพร้อมเปลือกพบว่าสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในเนื้อลำไยอบแห้งเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลทั้งแบบอาศัยเอนไซม์และไม่อาศัยเอนไซม์ โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและปฏิกิริยาระหว่างหมู่อะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อลำไยอบแห้ง ซึ่งการแก้ปัญหาการเกิดสีน้ำตาลคล้ำในเนื้อลำไย-อบแห้งจึงต้องควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 2 ชนิดข้างต้น โดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งการลวกที่อุณหภูมิ 85 ^{o}C ขึ้นไปสามารถทำลายเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้อย่างสมบูรณ์และการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล และการชะลอปฏิกิริยาระหว่างหมู่อะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อลำไยโดยการควบคุมค่าวอเตอร์แอคทิ-วิตี้ด้วยการใช้สารดูดความชื้น เช่น กลีเซอรอล เป็นต้น หรือการใช้น้ำตาลชนิดอื่นแทนน้ำตาลรีดิวซ์ (นิธิยา, 2545)

Mahayothee และคณะ (2009) ศึกษากระบวนการพรีทรีทเม้นท์ต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อลิ้นจี่ระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษา โดยการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่ กรด กลีเซอรอลและทรีฮาโลส พบว่า กระบวนการพรีทรีทเม้นท์ก่อนการอบแห้งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพดีขึ้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการพรีทรีทเม้นท์มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเนื้อลิ้นจี่อบแห้งทุกชุดการทดลองมีคุณภาพทางด้านสีดีกว่าตัวอย่างควบคุม ระหว่างการเก็บรักษาในช่วงแรกตัวอย่างควบคุมมีสีเข้มในขณะที่เนื้อลิ้นจี่ที่ผ่านกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ด้วยกลีเซอรอลและทรีฮาโลสมีความสว่างมากกว่า โดยเนื้อลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 5% มีคุณภาพด้านสีดีที่สุด รองลงมา ได้แก่ เนื้อลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 5% ร่วมกับทรีฮาโลส 5% เนื้อลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่ทรีฮาโลส 5% และเนื้อลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่กรดตามลำดับ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าทรีฮาโลสเป็นน้ำตาลที่มีความคงตัวมากที่สุดที่จะไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดเมลลาร์ด ดังนั้น

การแทนที่น้ำตาลรีดิวซิ่งด้วยทรีฮาโลสจึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้อบแห้งได้ นอกจากนี้การใช้กลีเซอรอลก็ไม่มีผลกับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์เช่นเดียวกัน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสีในเนื้อลำไยอบแห้งสีทองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยปราศจากสารในกลุ่มซัลไฟต์

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอลและทรีฮาโลสในการลดค่า a_w ในเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง และการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล (antibrowning) ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองในระหว่างการเก็บรักษา

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการใช้ความร้อนในการลวกเนื้อลำไยก่อนการอบแห้ง เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองในระหว่างการเก็บรักษา

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของการใช้เทคนิคการอบแห้งแบบ 2 อุณหภูมิ (stepwise drying) ต่อการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

1.2.4 เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองในระหว่างการเก็บรักษา

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การใช้กลีเซอรอลจะช่วยลดค่า a_w ในเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง ซึ่งอาจจะมีผลในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาทั้งที่อาศัยและไม่อาศัยเอนไซม์ได้ และการใช้ทรีฮาโลสซึ่งเป็นน้ำตาล non-reducing ช่วยในการจับน้ำทำให้อาหารมีลักษณะชุ่มชื้นและทรีฮาโลสเป็นสารให้ความหวานที่ไม่ใช่น้ำตาลรีดิวซ์ จึงสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดเมลลาร์ดระหว่างการเก็บรักษาได้ นอกจากนี้การใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจะช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการอบแห้งได้อีกทางหนึ่ง

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ลำไยที่เลือกใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ลำไยพันธุ์อีดอ ที่ไม่ผ่านการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ขนาด AA (เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 – 25 มิลลิเมตร) ซึ่งเป็นพันธุ์และขนาดที่ใช้ในการอบแห้งทั่วไป โดยเป็นลำไยจากจังหวัดเชียงใหม่ขนส่งมาที่กรุงเทพมหานครด้วยรถห้องเย็นและขนส่งจากกรุงเทพมหานครมาที่มหาวิทยาลัยด้วยรถกระบะและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส ระหว่างรอการอบแห้ง

1.4.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง คือ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งเนื้อลำไยอบแห้งมีค่า a_w น้อยกว่า 0.6 ซึ่งปลอดภัยต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

1.4.3 ศึกษาการใช้กลีเซอรอลที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 30% ในสารละลายออสโมติกที่ใช้แช่เนื้อลำไย และการใช้ทรีฮาโลสร่วมกับกลีเซอรอลในสารละลายออสโมติกที่ใช้แช่เนื้อลำไย เพื่อลดค่า a_w ในเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง

1.4.4 ศึกษาการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล (antibrowning) คือ เบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน โซเดียมแอสคอร์เบต และโซเดียมอีริธอร์เบต

1.4.5 ศึกษาการใช้ความร้อนโดยการลวกเนื้อลำไยก่อนการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

1.4.6 ศึกษาการใช้เทคนิคการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ (stepwise drying) ในการอบแห้ง โดยใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที

1.4.7 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 32$\pm$0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45$\pm$0.5% เป็นเวลา 5 เดือน โดยตัวอย่างลำไยอบแห้งจะถูกบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีนและกล่องกระดาษอีกชั้นหนึ่ง วิเคราะห์ตัวอย่างที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 1, 2, 3 และ 5 เดือน

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลำไย

ลำไยเป็นไม้ผลเขตร้อนและกึ่งร้อน (tropical and subtropical fruit) เป็นผลไม้ชนิด non-climacteric ที่จะเก็บเกี่ยวเมื่อแก่จัดพร้อมแก่การบริโภค โดยดัชนีการเก็บเกี่ยวลำไยทั่วไปจะใช้น้ำหนักผล สีผิว ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อลำไย (total soluble solids: TSS) ปริมาณกรดในเนื้อ (titratable acidity: TA) อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลและกรด (sugar/acid ratio) หรือนับวันหลังจากออกดอก (Jiang และคณะ, 2002) ลำไยเกิดการสูญเสียได้ง่ายภายใน 3-4 วัน ภายหลังการเก็บเกี่ยวที่อุณหภูมิ 26-32 องศาเซลเซียส (Jiang และ Li, 2001) พันธุ์ลำไยที่นิยมปลูกทางการค้าในประเทศไทยมี 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ดอหรืออีดอ พันธุ์ชมพูหรือสีชมพู พันธุ์แห้ว และพันธุ์เบี้ยวเขียวหรืออีเบี้ยวเขียว ซึ่งส่วนใหญ่ 66% เป็นพันธุ์อีดอ รองลงมาได้แก่ พันธุ์สีชมพู 10% พันธุ์แห้ว 8% พันธุ์เบี้ยวเขียว 7% ที่เหลือเป็นลำไยพันธุ์อื่น ๆ 9% โดยพันธุ์อีดอจะถูกนำมาแปรรูปเป็นลำไยอบแห้งมากที่สุด (ดำรง, 2541) โดยทั่วไปลำไยสดมีความหวานประมาณ 16–25% และลำไยแห้งมีความหวาน 75% (Menzel และ Waite, 2005)

จากการศึกษาส่วนประกอบที่มีอยู่ในเนื้อลำไยสดและลำไยแห้งพบว่าเนื้อลำไยมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์หลายชนิดด้วยกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 น้ำตาลหลักที่เป็นองค์ประกอบในลำไย ได้แก่ ซูโครส ฟรุกโตส และกลูโคส (Paull และ Chen, 1987; Li และ Li, 1999) และกรดอินทรีย์อีกหลายชนิด เช่น กรดกลูโคมิค กรดมาลิก และกรดซิตริก เป็นต้น รวมทั้งกรดอะมิโนอีก 9 ชนิด ได้แก่ แอสปาร์จีน ซีรีน กลูตามีน โปรลีน ไกลซีน อะลานีน วาลีน ลิวซีน ไทโรซีน เป็นต้น (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

สำหรับลำไยมีองค์ประกอบเป็นสารประกอบฟีนอลิคที่สำคัญ 3 ชนิด คือ กรดแกลลิค กรดเอลลาจิค และโคริลาจิน ซึ่งปริมาณที่พบจะแตกต่างกันในส่วนเนื้อ เปลือก และเมล็ด และขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ (Soong และ Barlow, 2004; Rangkadilok และคณะ, 2005)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของลำไยสดและลำไยแห้ง

ส่วนประกอบ	เนื้อลำไยสด	เนื้อลำไยแห้ง
ความชื้น (ร้อยละ)	81.10	17.80
ไขมัน (ร้อยละ)	0.11	0.40
เส้นใย (ร้อยละ)	0.28	1.60
โปรตีน (ร้อยละ)	0.97	4.60
เถ้า (ร้อยละ)	0.56	2.86
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	16.98	72.70
พลังงานความร้อน (กิโลแคลอรี่/100 กรัม)	72.79	311.80
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	5.70	27.70
เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.35	2.39
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/100 กรัม)	35.30	159.50
วิตามินซี (มิลลิกรัม/100 กรัม)	69.20	137.80
โซเดียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	4.50
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	2012.00
ไนอาซีน (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	3.03
กรดแพนโทธินิค (มิลลิกรัม /100 กรัม)	-	0.57
วิตามินบีสอง (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	0.375

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ อ้างโดย พาวิน (2543)

นอกจากนี้ในลำไยยังมีส่วนประกอบของเอนไซม์ที่สำคัญในผักและผลไม้ ได้แก่ เอนไซม์-โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase: PPO) ซึ่งอยู่ในชั้นเนื้อเยื่อไทลาคอยด์ (thylakoid membrane) ของคลอโรพลาสต์ (Trebst และ Depka, 1995)

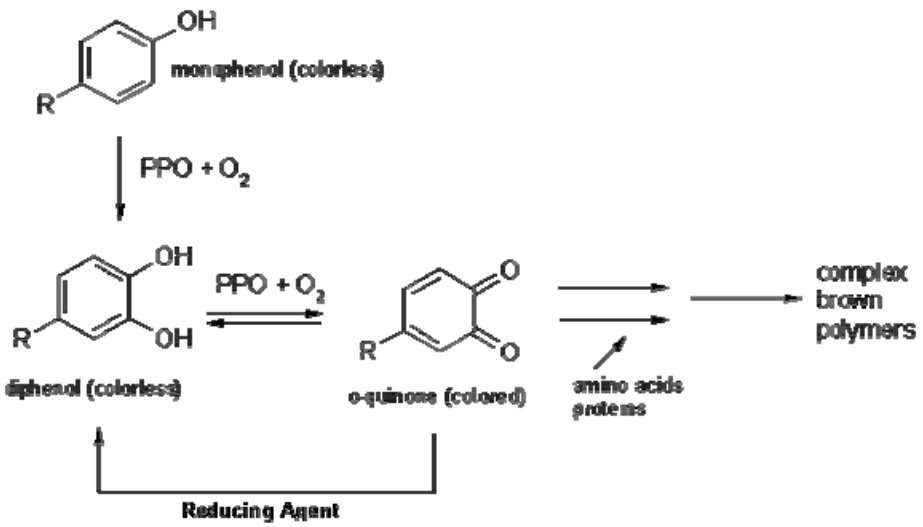
Jiang (1999) ทำการสกัดและศึกษาสมบัติบางประการของเอนไซม์ PPO ในลำไย พบว่าในเนื้อลำไยสดมีเอนไซม์ PPO 3.7% ของปริมาณโปรตีนทั้งหมดในเนื้อลำไยสด โดยเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยสดมี pH ที่เหมาะสม คือ 6.5 เมื่อใช้ 4-methylcatechol เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาและจะมีความคงตัวที่สุดที่ pH เท่ากับ 7 ซึ่งเอนไซม์ PPO ในลำไยจะมีความคงตัวเพิ่มขึ้นจาก pH 4.0 จนถึง pH 7.0 และจะลดลงจาก pH 7.0 ถึง pH 8.0 เอนไซม์ PPO มีอุณหภูมิ

ที่เหมาะสมที่ 35 องศาเซลเซียสและจะสูญเสียกิจกรรมของเอนไซม์ลง 50% เมื่อได้รับความร้อน 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลามากกว่า 20 นาที นอกจากนี้การทำงานของเอนไซม์ต้องอาศัยความจำเพาะเจาะจงต่อสารที่จะทำปฏิกิริยา จากการทดลองเอนไซม์ PPO ในลำไยไม่ทำปฏิกิริยากับสารโมโนฟีนอล (tyrosine และ *p*-cresol) ฟีนอล (resorcinol) และกรดคลอโรจีนิก เมื่อทดลองด้วย Clark O_2 electrode ในขณะที่ทำปฏิกิริยาได้ดีกับ pyrogallol, 4-methylcatechol และ catechol สำหรับสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา พบว่า การใช้ D-glutathione ในรูปรีดิวซ์ L-cysteine, thiourea, $FeSO_4$ และ $SnCl_2$ สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้ ในขณะที่การใช้ $MnSO_4$ และ $CaCl_2$ เพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของลำไย

เอนไซม์ PPO มีความสำคัญในผักและผลไม้ เนื่องจากมีบทบาทต่อการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ (enzymatic browning) ในผักผลไม้และผลิตภัณฑ์ผักผลไม้แปรรูป (Fennema, 1985) ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์เป็นสาเหตุหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงสีระหว่างการแปรรูปผักและผลไม้ (Almeida และ Nogueira, 1995) โดยเกิดขึ้นจากการออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกโดยอาศัยเอนไซม์ PPO ได้ผลิตภัณฑ์เป็นควิโนน และเกิดการพอลิเมอไรเซชั่นเป็นรงควัตถุเมลานิน (melanin pigment) ซึ่งมีสีน้ำตาลเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารโดยการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติของอาหาร (organoleptic properties) ซึ่งปฏิกิริยานี้มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค อายุการเก็บรักษาและคุณค่าของผลิตภัณฑ์อาหาร (Ruhiye และ Marshall, 2003)

2.2 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์

การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นเริ่มจากการเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชั่น (hydroxylation) ของสารประกอบโมโนฟีนอลกลายเป็นไดฟีนอลโดยอาศัยออกซิเจนและเอนไซม์ PPO จากนั้นสารประกอบออร์โธไดฟีนอลจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไป โดยจะถูกเร่งด้วยเอนไซม์ PPO ได้ผลิตภัณฑ์เป็นออร์โธควิโนนซึ่งจะถูกควบแน่นและเกิดปฏิกิริยาที่ไม่อาศัยเอนไซม์กับสารประกอบอื่น เช่น สารประกอบฟีนอลิก กรดอะมิโนต่อไป เพื่อผลิตรงควัตถุที่ให้สีน้ำตาลเข้มหรือดำ (melanin pigment) ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

2.2.1 การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์โดยการใช้ความร้อน

การใช้ความร้อนเป็นวิธีพื้นฐานที่ใช้ในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO (Terefe และคณะ, 2009) โดยการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงในระยะเวลาที่เหมาะสมจะช่วยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ฟีนอเลสและเอนไซม์อื่นๆ ที่มีอยู่ในพืชได้ ซึ่งอุณหภูมิและเวลามีความสัมพันธ์กันอย่างมากสำหรับการใช้ความร้อนในกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ก่อนการแปรรูปอาหาร โดยปัจจัยเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปริมาณเอนไซม์ที่มีในวัตถุดิบ (Eskin, Henderson และ Townsend, 1971)

Ndiaye, Xu และ Wang (2009) ศึกษาผลของการใช้ไอน้ำในการลวกต่อเอนไซม์ PPO เอนไซม์ POD และสีของชิ้นมะม่วง โดยการนำชิ้นมะม่วงที่มีความหนา 1 เซนติเมตร ผ่านการลวกด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 94$\pm$1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 1, 3, 5 และ 7 นาที พบว่าการลวกเป็นเวลา 5 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD ได้อย่างสมบูรณ์ เช่นเดียวกับเอนไซม์ PPO ที่ถูกยับยั้งอย่างสมบูรณ์เมื่อผ่านการลวกเป็นเวลา 7 นาที สำหรับการลวกเป็นเวลา 3 นาที ส่งผลให้เอนไซม์มีกิจกรรมที่ยังหลงเหลืออยู่ 2.85% และ 8.33% สำหรับเอนไซม์ PPO และ POD ตามลำดับ

Terefe และคณะ (2009) ทำการทดลองใช้ความร้อนและความดันสูงในการยับยั้งกิจกรรมของ PPO และ POD ในสตรอเบอร์รี่เข้มข้น จากการศึกษาความคงตัวต่อความร้อนและการใช้ความร้อนในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 25-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 15 และ 30 นาที พบว่า การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80-100

องศาเซลเซียส ทำให้เอนไซม์ PPO ในสตรอเบอร์รี่เข้มข้นสูญเสียกิจกรรมการทำงานลงเล็กน้อยซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อน โดยการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ในสตรอเบอร์รี่เข้มข้นที่มากที่สุด คือ สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ลงได้ 28% เมื่อผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองดังกล่าวพบว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40-70 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO แต่ช่วยส่งเสริมให้มีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้น 20-40% เช่นเดียวกับ เบญจา ชุตฤนตะศรีและอรรถพล นุ่มหอม (2006) ได้ทำการศึกษาการใช้ความร้อนยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในน้ำสับปะรดเข้มข้น โดยการให้ความร้อนแก่น้ำสับปะรดเข้มข้นที่อุณหภูมิ 40-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0-30 นาที พบว่าการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน โดยกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ลดลงประมาณ 60% เมื่อผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และการทำลายเอนไซม์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิมากกว่า 75 องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์จะคงเหลืออยู่เพียง 7% ภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และ 1.2% ภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

Kumar, Mohan และ Murugan (2008) ทำการทดลองใช้ความร้อนในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเชอร์รี่ โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 45, 55, 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่าเอนไซม์มีความคงตัวที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แต่ไม่มีความคงตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 75 องศาเซลเซียส โดยกิจกรรมของเอนไซม์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากการคลายตัวของโครงสร้างตติยภูมิ (terriary structure)

Valle, Aranguiz และ Leon (1998) ศึกษาผลของการลวกต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อแอปเปิ้ลอบแห้ง โดยการลวกเนื้อแอปเปิ้ลในน้ำเดือดอุณหภูมิ 97.3 องศาเซลเซียส การลวกด้วยไอน้ำเดือดอุณหภูมิ 97.3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 และ 60 วินาที และลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40, 55 และ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15, 30 และ 60 นาที พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ PPO จะลดลง 25-89% ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของตัวกลางและเวลาในการลวก ซึ่งน้ำมีประสิทธิภาพมากกว่าไอน้ำเนื่องจากสามารถถ่ายเทความร้อนไปสู่วัตถุดิบได้ดีกว่า และการใช้เวลาในการลวก 60 วินาที สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้มากกว่าการลวกนาน 30 วินาที 24%

Waliszewski, Marquez และ Pardio (2009) ทำการทดลองยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเมล็ดวานิลลาด้วยการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60, 65, 70, 75, 80 และ 85 องศาเซลเซียส

พบว่าการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเมล็ดวานิลลาได้ดีที่สุด

นอกจากนี้การใช้สารเคมี เช่น สารประกอบซัลไฟต์มีคุณสมบัติในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ได้ โดยซัลไฟต์จะทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งการทำงานของ PPO รวมทั้งสามารถทำปฏิกิริยากับสาร intermediate ป้องกันการเกิดรงควัตถุสีน้ำตาล (Wedzicha, 1987) แต่อย่างไรก็ตามการตกค้างของซัลไฟต์ในอาหารก่อให้เกิดอาการแพ้ (allergic) เช่น การเกิดโรคหอบหืด ดังนั้นปัจจุบันนักวิจัยจึงพยายามหาทางเลือกอื่นแทนการใช้ซัลไฟต์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งสารนั้นควรจะมีสมบัติคล้ายคลึงกับซัลไฟต์และต้องมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค แต่ในขณะนี้ยังไม่มีสารเคมีหรือวิธีการใดในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับซัลไฟต์ วิธีการที่ดีที่สุดในขณะนี้คือ การใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช่สารในกลุ่มซัลไฟต์ร่วมกัน เพื่อให้เกิดการเสริมฤทธิ์กัน (synergism) ของสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล

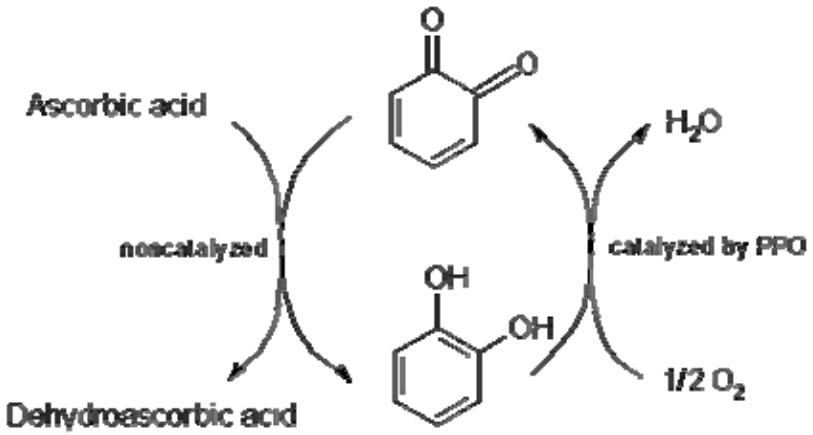
2.2.2 การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลโดยการใช้สารเคมีที่ไม่ใช่สารประกอบซัลไฟต์

สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลแทนสารประกอบซัลไฟต์ ได้แก่

- กรดแอสคอร์บิกและอนุพันธุ์ของกรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซีถูกใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลแทนการใช้ซัลไฟต์มาเป็นระยะเวลานานและเป็นสารที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก จากการทดลองเติมกรดแอสคอร์บิกหรือกรดอีรีธอร์บิกซึ่งเป็นไอโซเมอร์ของกรดแอสคอร์บิกลงในน้ำเชื่อมหรือสารละลายในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิ้ลและพีชแช่แข็งพบว่าสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ได้ (Sapers และคณะ, 1993) โดยกรดแอสคอร์บิกและกรดอีริธอร์บิกทำหน้าที่เป็นทั้งสารต้านอนุมูลอิสระและสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล (Sapers และ Ziolkowski, 1987) ในบางกรณีมีการใช้กรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริกและสารเพิ่มความแน่นเนื้อ (firming agent) เช่น แคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับกรดแอสคอร์บิก เพื่อปรับปรุงการแพร่ของสารเหล่านี้เข้าไปในตัวอย่างและในขณะเดียวกันก็ช่วยกำจัดออกซิเจนจากช่องว่างของผลิตภัณฑ์

หลักการทำงานของกรดแอสคอร์บิกในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล คือ กรดแอสคอร์บิกสามารถรีดิวซ์ควิโนนที่เกิดขึ้นจากการออกซิเดชันของโพลีฟีนอลโดยมี PPO เป็นตัวเร่ง การเกิดปฏิกิริยากลับไปเป็นไดฟีนอล ทำให้ไม่เกิดการรวมตัวของควิโนนเป็นรงควัตถุสีน้ำตาล กรดแอสคอร์บิกสามารถสลายตัวได้ง่ายเนื่องจากเป็นตัวรีดิวซ์ และเมื่อไม่มีสารมายับยั้งควิโนนก็จะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล นอกจากนี้ dehydroascorbic acid ซึ่งเป็นสารที่ไม่เสถียรที่ได้จากการรีดิวซ์ควิโนนอาจเป็นสาเหตุให้เกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กลไกการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลโดยกรดแอสคอร์บิก

สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกลุ่มกรดแอสคอร์บิกและอนุพันธ์ของกรดแอสคอร์บิกส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปเกลือของกรดแอสคอร์บิก เช่น แคลเซียมแอสคอร์เบต แมกนีเซียมแอสคอร์-เบต โซเดียมแอสคอร์เบต รวมทั้งกรดอีรีธอร์บิก และโซเดียมอีรีธอร์เบต เป็นต้น โดยโซเดียม-แอสคอร์เบตและโซเดียมอีรีธอร์เบตมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่าเกลือของกรดแอสคอร์บิกชนิดอื่นๆ (Sapers, 1988) ซึ่งเกลือทั้งสองชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลใกล้เคียงกัน (Sapers และ Ziolkowski, 1987)

Lamikanra และ Watson (2001) ทำการศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิกต่อกิจกรรมของเอนไซม์ POD และเอนไซม์ PPO ในแคนตาลูปตัดแต่ง โดยการแช่ชิ้นแคนตาลูปขนาด 200 กรัมในน้ำเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และแช่ในสารละลายอื่นๆ ได้แก่ กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1.25, 2.5 mM กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2.5 mM ร่วมกับ EDTA ความเข้มข้น 10 mM และกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 2.5 mM ร่วมกับ $MnCl_2$ ความเข้มข้น 2.5 mM เป็นเวลา 1 นาที และเก็บแคนตาลูปหลังการแช่สารละลายในบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่อุณหภูมิ 4 องศา-

เซลเซียส พบว่า กรดแอสคอร์บิกที่ทั้งสองความเข้มข้นช่วยลดปริมาณของเอนไซม์ PPO และ POD ระหว่างการตัดแต่ง ซึ่งช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แคนตาลูปตัดแต่งได้ นอกจากนี้ ไอออนของโลหะ เช่น Mn^{2+} ยังทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อีกด้วย

Kumar, Mohan และ Murugan (2008) ศึกษาประสิทธิภาพของสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่ L-cysteine, L-ascorbate, sodium diethydithiocarbamate (SDDC), thiourea, EDTA, β-mercaptoethanol, $CaCl_2$ และ sodium metabisulphite ความเข้มข้น 10 mM ในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเชอร์รี่ โดยใช้ catechol เป็นสารตั้งต้น พบว่า SDDC, L-cysteine และ L-ascorbate มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้ดี โดยมี % การยับยั้ง เท่ากับ 100, 98 และ 93% ตามลำดับ ในขณะที่ EDTA และ $CaCl_2$ ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้เพียงเล็กน้อย คือ 29, และ 1% ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Jiang (1999) ซึ่งพบว่าแอสคอร์เบตมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ PPO ในผล dog rose

Waliszewski, Marquez และ Pardio (2009) ศึกษาผลของการใช้สารเคมีชนิดต่างๆ ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเมล็ดวานิลลา ได้แก่ ซิสทีอีน EDTA โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ กรดแอสคอร์บิก Dithiothreitol และ 4-hexylresorcinol ความเข้มข้น 1 mM โดยใช้ catechol เป็นสารตั้งต้น พบว่า4-hexylresorcinol และกรดแอสคอร์บิกมีประสิทธิภาพในการเป็นสารยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้ดีที่สุด

Guerrero-Beltran, Swanson และ Barbosa-Canavas (2005) ทำการทดลองยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในมะม่วงเข้มข้นด้วย 4-hexylresorcinol ซิสทีอีน และกรดแอสคอร์บิก โดยการใช้มะม่วงเข้มข้นที่มี pH 3 ระดับ ได้แก่ 3.5, 4.0 และ 4.4 ร่วมกับ 4-hexylresorcinol ความเข้มข้น 40, 60 และ 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซิสทีอีน ความเข้มข้น 100, 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 250, 500 และ 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า ที่ pH 3.5 และ 4.0 การใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลต่างชนิดและความเข้มข้นต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ที่ pH 4.4 มีความแตกต่างกัน โดยการใช้กรดแอสคอร์บิกทุกความเข้มข้นและซิสทีอีนที่ระดับความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุดระหว่างการเก็บรักษา

Ozoglu และ Bayindirli (2002) ศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ในน้ำแอปเปิ้ลด้วยสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ ได้แก่ ซีสทีอีน กรดแอสคอร์บิก กรดซอร์-บิก กรดเบนโซอิก กรดซินนามิกและเบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน ที่ความเข้มข้น 0.3, 1 และ 1.8 mM

และศึกษาการใช้สารดังกล่าวร่วมกัน จากการทดลองพบว่าสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่มีประสิทธิภาพที่สุด คือ ซิสทีอีน กรดซินนามิกและกรดแอสคอร์บิก และการใช้สารร่วมกัน ได้แก่ กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.49 mM ซิสทีอีนความเข้มข้น 0.42 mM และกรดซินนามิกความเข้มข้น 0.05 mM

Gopalan, Pendharkar และ Subbulakshmi (1999) ทดลองใช้โซเดียมอีรีธอร์เบตในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นมันฝรั่ง โดยศึกษาผลของโซเดียมอีรีธอร์เบตในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ PPO ที่สกัดจากหัวมันฝรั่ง พบว่า โซเดียมอีรีธอร์เบตไม่มีผลในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ในทางตรงข้ามโซเดียมอีรีธอร์เบตสามารถเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้เล็กน้อย ซึ่งวิธีที่เหมาะสมในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของชิ้นมันฝรั่งคือการใช้สารละลายผสมที่ประกอบด้วยสารละลายโซเดียมอีรีธอร์เบต ความเข้มข้น 1000 ppm และสารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้น 0.2 M และปรับ pH ให้มีค่าระหว่าง 4-6

Sapers, Miller และ Choi (1995) ศึกษาการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในเห็ด โดยการใช้สารทดแทนซัลไฟต์ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล พบว่ามีสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช่สารในกลุ่มซัลไฟต์หลายชนิดที่สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในเห็ดและเห็ดที่ผ่านการแปรรูป โดยสามารถใช้แบบเดี่ยว (individual) หรือใช้สารหลายชนิดประกอบกัน (combination) ในบางกรณีอาจใช้ร่วมกับสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (antimicrobial agent) ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน เช่น pH ความเข้มข้นของสาร และระยะเวลาในการแช่ ซึ่งส่วนใหญ่การใช้สารหลายชนิดประกอบกันจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้แบบเดี่ยว จากการทดลองสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในเห็ดที่มีประสิทธิภาพ ได้แก่ สารละลายผสมของโซเดียมอีรีธอร์เบต 4.5% ซีสตีอีนไฮโดรคลอไรด์ 0.2-0.4% และ EDTA 1000 ppm ที่ผ่านการปรับ pH ด้วยโซเดียมไฮดรอก-ไซด์ เท่ากับ 5.5

- สารกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิก

สารในกลุ่มนี้จะยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ได้โดยคุณสมบัติในการเป็นสารจับโลหะ (chelating agent) ซึ่งจะจับโลหะทองแดงที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาของ PPO และในสภาพที่เป็นกรดจะทำให้เอนไซม์เสียสภาพธรรมชาติและช่วยลดค่า pH ของสารละลาย สารในกลุ่มกรด คาร์บอกซิลิก ได้แก่ กรดแอซีติก กรดซิตริก กรดฟอร์มิก กรดแลกติก กรดออกซา-ลิก กรดซักซินิก กรดทาร์ทาริก เป็นต้น โดยกรดออกซาลิก กรดออกซาโลอะซีติก และกรดทาร์ทาริกเป็นสารกลุ่มที่สามารถเป็นตัวยับยั้งได้ดีที่สุด ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยมาก รองลงมาคือ

กลุ่มกรดไพรูวิก กรดซิตริก กรดมาลิก และกรดแลกติก สารกลุ่มที่มีความสามารถในการยับยั้งน้อย ได้แก่ กรดแอซีติก กรดซักซินิก กรดฟูมาริก และกรดฟอร์มิก (Son และคณะ, 2001)

ในการทดสอบสารในกลุ่มคาร์บอกซิลิก กรดซิตริกเป็นสารที่มีการใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลกันอย่างแพร่หลาย โดยมีความสามารถในการยับยั้งการทำงานของ PPO (Torreggini และ Gilardi, 1993)

Jiang, Pen และ Li (2004) ทดลองใช้กรดซิตริกในการยืดอายุและปรับปรุงคุณภาพของแห้วจีนตัดแต่ง โดยการแช่แห้วจีนในสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน พบว่าการใช้สารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นต่ำๆ กระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในขณะที่ที่ความเข้มข้น 0.1 M หรือสูงกว่า 0.1 M จะยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ เนื่องจากกรดซิตริกไม่ใช่สารต้านอนุมูลอิสระ ความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ของกรดซิตริกเกี่ยวข้องกับความสามารถในการจับ Cu^{2+} ในเอนไซม์ฟีนอเลส โดยแห้วจีนที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซิตริก 0.1 M ยังคงมีสีสว่างและไม่มีการเจริญของจุลินทรีย์ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน

Yang และคณะ (2000) ศึกษาคุณสมบัติของเอนไซม์ PPO ในเนื้อกล้วย พบว่าเอนไซม์ PPO ในเนื้อกล้วยมีความคงตัวที่ pH 5-11 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และมีอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ 30 องศาเซลเซียส และคงตัวภายใต้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สำหรับการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ เอนไซม์ PPO ในเนื้อกล้วยสามารถถูกยับยั้งได้อย่างสมบูรณ์ด้วยกรดซิตริกและกรดแอซีติก ความเข้มข้น 10 mM

Son, Moon และ Lee (2000) ศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ด้วยกรดออกซาลิก พบว่ากรดออกซาลิกเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่รุนแรง โดยรูปแบบการยับยั้งสารตั้งต้น คือ catechol กับเอนไซม์ PPO เป็นแบบแข่งขัน (competitive) โดยความเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้กรดออกซาลิก คือที่ระดับความเข้มข้น 1.1 mM ซึ่งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับกรดโคจิก (kojic acid) และมีประสิทธิภาพมากกว่าซิสทีอีนและกลูต้าไธโอน

Dogan และคณะ (2007) ทำการทดลองยับยั้งเอนไซม์ PPO จากเห็ดและ *Ocimum basilicum* L. ด้วยกรดกลูตามิกที่ความเข้มข้นต่างกัน โดยใช้ catechol และ 4-methylcatechol เป็นสารตั้งต้น พบว่ากรดกลูตามิกเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่มีประสิทธิภาพ โดยเป็นตัวยับยั้งแบบไม่แข่งขัน (noncompetitive inhibitor) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของกรดกลูตามิกและโซเดียมเอไซด์พบว่ากรดกลูตามิก

มีประสิทธิภาพในการยับยั้งมากกว่าโซเดียมเอไซด์ ซึ่งประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของ กรดกลูตามิกขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นและแหล่งของเอนไซม์ด้วย

Robert, Rouch และ Cadet (1997) ศึกษาการยับยั้งเอนไซม์ PPO ในก้านปาล์ม (palmito stem) ด้วยกรดคาร์บอกซิลิก โดยใช้ 4-methylcatechol ที่ pH 5 เป็นสารตั้งต้น และศึกษาผลของ pH ต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO โดยมีกรดเบนโซอิก กรดซินนามิก และกรดซอร์บิกเป็นตัวยับยั้ง จากการศึกษาพบว่ากรดซินนามิกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ของสารในกลุ่มกรดเบนโซอิกและกลุ่มกรดซินนามิกพบว่า กรดที่มีพันธะคู่ระหว่างวงแหวนเบนซีนและหมู่คาร์-บอกซิลิกจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งสูงที่สุด ซึ่งประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์จะลดลงเมื่อมีการแทนที่ในวงแหวนเบนซีน สำหรับผลของ pH ต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ของกรดคาร์บอกซิลิกต่อเอนไซม์ PPO พบว่าประสิทธิภาพการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO จะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ลดลง เนื่องจากกรดคาร์บอกซิลิกจะอยู่ในภาพที่รวมตัวกัน (AH) ซึ่งมีความสามารถในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์

- สารกลุ่มกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ

สารกลุ่มกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบเป็นที่รู้จักกันในการเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล แต่กลไกการยับยั้งการทำงานของ PPO โดยสารกลุ่มนี้ยังไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจน Kahn (1985) สันนิษฐานว่าซิสเตอีน (cysteine) ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับ PPO และเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับทองแดงที่มีความคงตัว นอกจากนี้ซิสเตอีนยังสามารถทำปฏิกิริยากับควิโนน และเกิดสารประกอบที่ไม่มีสี (Richard-Forget และคณะ, 1992) อย่างไรก็ตามสารกลุ่มกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น ซิสเตอีน และกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้นสูงๆ อาจทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในผักและผลไม้เมื่อใช้เป็นสารแช่ (dipping agent) (Mathew และ Parpia, 1971)

Sun และคณะ (2008) ศึกษาคุณสมบัติของเอนไซม์ PPO ที่สกัดจากเนื้อลิ้นจี่ โดยศึกษาผลของสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่ EDTA กรดแอสคอร์บิก $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ Na_2SO_3 และซีสทีอีน ความเข้มข้น 0.1 M พบว่าซีสทีอีนเป็นสารยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ที่ดีที่สุด เมื่อใช้ epicatechin เป็นสารตั้งต้น ในขณะที่ซีสทีอีน กรดแอสคอร์บิก และ Na_2SO_3 จะมีประสิทธิภาพดีเมื่อมี epicatechin และ catechol เป็นสารตั้งต้น ทั้งนี้เนื่องจากซีสทีอีน

สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่มีสีกับควิโนนได้ง่ายและเอนไซม์ PPO จะถูกยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โดยการเกิดสารประกอบที่มีความคงตัว

Gawlik-Dziki, Zlotek และ Swieca (2008) ศึกษาคุณสมบัติของเอนไซม์ PPO ในผักกาดหอม (butter lettuce) โดยศึกษาผลของสารยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก EDTA กรดเบนโซอิก ซีสทีอีน และกลูต้าไธโอน ความเข้มข้น 0.1,1.0 และ 10 mM โดยใช้ catechol ความเข้มข้น 10 mM เป็นสารตั้งต้น พบว่าสารยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ที่มีประสิทธิภาพในผักกาดหอม ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดแอสคอร์บิก และกลูต้าไธโอน ซึ่งสามารถเรียงลำดับประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในผักกาดหอม ได้ดังนี้ กรดเบนโซอิก>กลูต้าไธโอน=กรดแอสคอร์บิก>ซีสทีอีน>EDTA>กรดซิตริก

Altunkaya และ Gokmen (2009) ศึกษาผลของซีสทีอีนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบอาศัยเอนไซม์ โดยติดตามความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกในผักกาดหอมที่ผ่านการแช่ซีสทีอีน 0.05% พบว่าอัตราการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกในผักกาดหอมที่ผ่านการแช่ซีส-ทีอีนเหมือนกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผ่านการแช่สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล แต่ผักกาดหอมที่ผ่านการแช่ซีสทีอีนไม่เกิดกิจกรรมของเอนไซม์กับ catechol เมื่อวัดการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร การทำงานของซีสทีอีนซับซ้อน ระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบอาศัยเอนไซม์ ซีสทีอีนจะจับกับควิโนนเป็นสารประกอบของซีสทีอีนที่ไม่สามารถเป็นสารตั้งต้นในการเกิด-ปฏิกิริยาต่อไปได้แต่จะเป็นตัวยับยั้งแบบแข่งขันของเอนไซม์ PPO ซึ่งมีความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ PPO ได้ดีกว่าสารโพลีฟีนอล ในกรณีที่ระบบมีปริมาณสารพวกไธออล เช่น ซีสทีอีน มากเกินไป สารประกอบฟีนอลิกจะเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบของซีสทีอีนและจะป้องกันการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ การยับยั้งการสลายตัวของโพลีฟีนอลจากกิจกรรมของเอนไซม์ PPO โดยอาศัยซีสทีอีนสามารถอธิบายได้ 2 ประการ คือ เกิดการยับยั้งแบบแข่งขันของเอนไซม์และผลของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน 2 ครั้งของควิโนน ทำให้เกิดสารประกอบฟีนอลขึ้นมาใหม่

Gorny และคณะ (2002) กล่าวว่าซัลไฟต์ทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ซึ่งที่ pH ต่ำกว่า 4 ในขณะที่ที่ pH มากกว่า 4 ควิโนนจะรวมตัวกับซีสทีอีนหรือกลูต้าไธโอนเป็นสารไม่มีสี ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากที่ pH เป็นกลางเนื่องจากหมู่ไธออลของซีสทีอีนมีค่า pKa เท่ากับ 8.33 และเนื่องจากเนื้อเยื่อของผักมี pH เป็นกลาง การใช้ซีสทีอีนเพียงอย่างเดียวจึงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์

Dogan, Turan และ Dogan (2006) ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ของคุณสมบัติของเอนไซม์ PPO ในใบไทม์ (*Thymusbra spicata*) พันธุ์ต่างๆ โดยทดลองใช้สารยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ คือ กลูต้าไธโอนและซีสทีอีนที่ 3 ระดับความเข้มข้น ที่ pH 6.5 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้ catechol และ 4-methylcatechol เป็นสารตั้งต้น โดยอาศัยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร และใช้ pyrogallol เป็นสารตั้งต้นสำหรับการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร พบว่า ซีสทีอีนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ดีกว่ากลูต้าไธโอน โดยชนิดของการยับยั้งขึ้นอยู่กับแหล่งของเอนไซม์ PPO และปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ เช่นเดียวกับ Dogan และ Dogan (2004) ซึ่งศึกษาผลของกลูต้า-ไธโอนในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในใบไทม์ ที่ pH 6.5 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่ากลูต้าไธโอนสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในใบไทม์ได้และเป็นสารยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์แบบแข่งขัน

Gomez-Lopez (2002) ศึกษาสมบัติทางชีวเคมีของเอนไซม์ PPO ในอะโวคาโด 2 พันธุ์ โดยศึกษาผลของสารยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้แก่ ซีสทีอีน กรดแอสคอร์บิก ไกลซีน โซเดียมคลอไรด์ และ resorcinol พบว่า ซีสทีอีนเป็นสารยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งประสิทธิภาพในการยับยั้งจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซีสทีอีนและสามารถเรียงลำดับประสิทธิภาพของสารในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้ดังนี้ ซีสทีอีน>กรดแอสคอร์บิก>resorcinol>ไกลซีน>โซเดียมคลอไรด์ เช่นเดียวกับ Robert (1995) ซึ่งการยับยั้งเอนไซม์ PPO ในก้านปาล์มด้วยซีสทีอีน โดยใช้ซีสทีอีน ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.5 mM และมี 4-methylcatechol ความเข้มข้น 17.25 mM เป็นสารตั้งต้น พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ PPO จะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซีสทีอีน

Ding และคณะ (2002) ทำการทดลองยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ใน loquat ด้วยสารประกอบซัลไฟดริล (sulfhydryl compounds) โดยใช้กรดคลอโรจีนิก ความเข้มข้น 1.0 mM เป็นสารตั้งต้น และใช้สารประกอบซัลไฟดริลต่างชนิดและความเข้มข้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส pH 4.5 จากการทดลองพบว่า ซีสทีอีนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีที่สุด โดยความเข้มข้นของซีสทีอีนที่จะยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลใน loquat ได้ 90% ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของ loquat ได้แก่ ซีสทีอีนความเข้มข้น 0.6 mM สำหรับพันธุ์ Nagasaki และ 2.0 mM สำหรับพันธุ์ Yukawa หรือ Toi ซึ่งความแตกต่างอาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกภายใน loquat แต่ละสายพันธุ์ ซึ่งกลไกการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของซีสทีอีนมาจากสาเหตุ 2 ประการหลัก ไดแก่ 1) การยับยั้งเป็นผลมาจากการรวมตัวของควิโนน

และซีสทีอีน ทำให้เกิดสารประกอบที่ไม่มีสี 2) ซีสทีอีนยับยั้งเอนไซม์โดยตรงโดยการจับกับ Cu^{2+} ที่บริเวณเข้าทำปฏิกิริยา (active site)

- สารกลุ่มกรดฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกในการเกิดสีน้ำตาลเป็นปฏิกิริยาที่ซับซ้อน ความเข้มของสีน้ำตาลมีสาเหตุมาจาก PPO และสารประกอบฟีนอลิกโดยอาศัยออกซิเจน และขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบฟีนอลิกอีกด้วย (Amiot และคณะ, 1992) กรดฟีนอลิกยับยั้งการทำงานของ PPO โดยจับกับเอนไซม์ PPO ที่บริเวณ active site แต่ในขณะเดียวกันกรดฟีนอลิกยังสามารถเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้เช่นกัน (Janovitz-Klapp และคณะ, 1990)

Son, Moon และ Lee (2001) ศึกษาผลของการยับยั้งของสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นแอปเปิ้ล สำหรับสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกลุ่มกรดฟีนอลิก พบว่ากรดโคจิก (kojic acid) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งสูงที่สุด ในขณะที่ p-Coumalic acid, ferulic acid กรดซินนามิก และกรดแกลลิกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งใกล้เคียงกับกรดแอสคอร์บิก แต่กรดคลอโรจินิกและคาเฟ-อิกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งน้อยมาก

Chen, Wei และ Marshall (1991) ศึกษากลไกยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ด้วยกรดโคจิก ในเห็ด มันฝรั่ง และแอปเปิ้ล พบว่ากรดโคจิกมีความสามารถในการรีดิวซ์ควิโนนกลับไปเป็นสารไดฟีนอลขัดขวางการเกิดรงควัตถุเมลานินในขั้นตอนสุดท้ายของการเกิดปฏิกิริยา-สีน้ำตาล ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการทดลองพบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อการยับยั้งเอนไซม์ PPO ด้วยกรดโคจิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

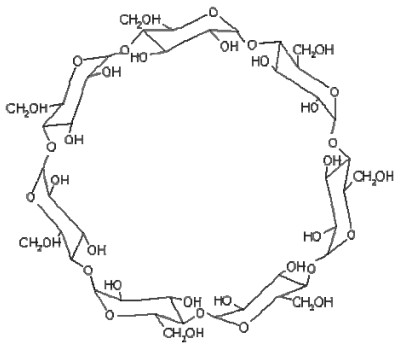
Narli, Kiralp และ Toppare (2006) ทดลองยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไทโรสิเนส (tyrosinase) ด้วยกรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และกรดซินนามิก ความเข้มข้น 0.001, 0.003 และ 0.005 M พบว่า กรดซินนามิกมีผลในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ดีที่สุด และกรดซอร์บิกมีประสิทธิภาพดีกว่ากรดซอร์บิกที่ความเข้มข้นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างที่แตกต่างกันของกรดเบนโซอิกและกรดซินนามิก อาจกล่าวได้ว่าพันธะคู่ระหว่างวงแหวนเบนซีนและกรดคาร์-บอกซิลิกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และกรดซินนามิกมีผลต่อเอนไซม์ PPO อิสระโดยเกิดการยับยั้งแบบไม่แข่งขัน ในขณะที่เอนไซม์ PPO ที่ถูกตรึงจะเกิดการยับยั้งแบบแข่งขัน เนื่องจากเอนไซม์เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเมื่อถูกเข้าจับในตัวกลาง ในขณะที่สารยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์สามารถจับกับเอนไซม์และสารประกอบ

เชิงซ้อนของเอนไซม์และสารตั้งต้นแต่หลังจากที่เอนไซม์เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจะสามารถจับกับตัวของเอนไซม์เองเท่านั้น

Shi และคณะ (2005) ศึกษาผลของการยับยั้งเอนไซม์ไดฟีนอเลสในเห็ดด้วยกรดซินนามิกและอนุพันธุ์ของกรดซินนามิก พบว่า กรดซินนามิก 4-hydroxycinnamic acid และ 4-methoxy-cinnamic acid มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไดฟีนอเลสและเป็นการยับยั้งแบบย้อนกลับได้ ในขณะที่ 2-hydroxycinnamic acid ไม่มีผลต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไดฟีนอเลส ซึ่งการยับยั้งของกรดซินนามิกและ 4-methoxycinnamic acid เป็นแบบไม่แข่งขัน ในขณะที่ 4-hydroxycinnamic acid เป็นการยับยั้งแบบแข่งขัน

- สารกลุ่มที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (complexing agent)

เบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน (betacyclodextrin) เป็นโอลิโกแซกคาไรด์ที่ได้จากแป้งโดยอาศัยปฏิกิริยาของเอนไซม์ไซโคลเด็กซ์ตรินไกลโคซิลทรานสเฟอเรส (cyclodextrin glycosyltransfe rase) ประกอบด้วยวงแหวนปิดของน้ำตาลกลูโคส 7 หมู่ที่เชื่อมด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคซิดิก เนื่องจากโครงสร้างของเบต้าไซโคลเด็กซ์ตรินทำให้โมเลกุลของเบต้าไซโคลเด็กซ์ตรินมีหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) อยู่ด้านนอกและมีหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) อยู่ด้านในช่องว่างของโมเลกุล (Szente และ Szejtli, 2004) และเนื่องจากเบต้าไซโคลเด็กซ์ตรินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนโมเลกุลอื่น (guest molecule) เช่น ไขมัน กลิ่นรส เป็นต้น จึง สามารถเข้าไปจับในช่องว่างภายในวงแหวนโมเลกุลของเบต้าไซโคลเด็กซ์ตรินได้ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยอาศัยแรงแวนเดอวาลส์ hydrophobic interaction และพันธะไฮโดรเจนในการยึดเกาะระหว่างโมเลกุลของเบต้าไซโคลเด็กซ์ตรินและ guest molecule ทำให้โมเลกุลนั้นๆ สูญเสียความสามารถในการทำปฏิกิริยากับสารอื่นและเกิดความคงตัวของอาหาร (Kaulpiboon, 2005) ในกรณีของการเกิดสีน้ำตาลเอนไซม์ PPO จะถูกจับไว้ภายในช่องว่างของเบต้าไซโคลเด็กซ์-ตริน ทำให้ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารตั้งต้นได้ (Martin Del Valle, 2004) จากการศึกษาในประเทศฝรั่งเศสพบว่าเบต้าไซโคลเด็กซ์ตรินมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในน้ำผักและผลไม้ได้ (Hicks และคณะ, 1996)



ภาพที่ 3 โครงสร้างโมเลกุลของเบต้าไซโลเด็กซ์ตริน

Hicks และคณะ (1996) ศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ในน้ำผักและผลไม้สดด้วยเบต้าไซโคลเด็กซ์ตรินในภาพที่ละลายและไม่ละลายน้ำโดยการใช้แบบเดี่ยวและใช้ร่วมกับฟอสเฟต พบว่าเบต้าไซโคลเด็กซ์ตรินในภาพที่ละลายและไม่ละลายน้ำสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ในน้ำแอปเปิ้ล น้ำแพร์ น้ำองุ่นขาวและน้ำเซอเลอรี่ได้ โดยผลของการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของไซโคลเด็กซ์ตรินที่ละลายน้ำขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไซโคลเด็กซ์ตรินที่ใช้ เบต้าไซโคลเด็กซ์ตรินที่ละลายน้ำได้ (hydroxyethyl หรือ maltosyl) ความเข้มข้น 1-1.5% (w/v) มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิ้ลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาหลายชั่วโมงในขณะที่น้ำแอปเปิ้ลชุดควบคุมเกิดสีน้ำตาลภายในเวลาน้อยกว่า 1 ชั่วโมง ความเข้มข้นของเบต้าไซโคลเด็กซ์ตรินที่สูงขึ้น (4-10%) สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิ้ลที่เก็บรักษาเป็นเวลา 1 วันได้อย่างสมบูรณ์ที่สภาวะเดียวกัน ซึ่งประสิทธิภาพของเบต้าไซโคลเด็กซ์ตรินจะสูงขึ้นอย่างมากเมื่อใช้ร่วมกับสารประกอบจำพวกฟอสเฟต ด้วยเหตุนี้การใช้เบต้าไซ-โคลเด็กซ์ตรินที่ละลายน้ำได้ 1% ร่วมกับสารประกอบฟอสเฟต 0.5% จึงสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิ้ลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน ได้อย่างสมบูรณ์และสามารถยืดอายุเก็บรักษาเป็น 2-3 สัปดาห์เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

Lante และ Zocca (2010) ทดลองเติมเบต้าไซโคลเด็กซ์ตรินในน้ำที่ใช้แช่มันฝรั่งก่อนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ precooked potatoes ที่บรรจุแบบสุญญากาศ โดยใช้เบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 0.25 และ 0.50 กรัมต่อลิตร และใช้เบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 0.25 และ 0.50 กรัมต่อลิตรร่วมกับกรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริก อย่างละ 2 กรัมต่อลิตร ภายหลังการแช่นำชิ้นมันฝรั่งบรรจุในถุง PE/PA แบบสุญญากาศและ precooked ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที

เมื่อพิจารณาคุณภาพด้านการเปลี่ยนแปลงสี พบว่า ทุกชุดการทดลองสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้เมื่อใช้ catechol เป็นสารตั้งต้น อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ดังกล่าวต้องมีการให้ความร้อนอีกครั้งหนึ่งซึ่งอาจทำให้เกิดสีคล้ำบริเวณผิวหน้าเนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ สารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่มีสีของกรดคลอโรจินิกและไอออนของเหล็กจะถูกออกซิไดส์เป็นสารประกอบที่มีสี จากการทดลองพบว่ามันฝรั่งชุดควบคุมมีค่าความสว่างซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกการเกิดสีน้ำตาลต่ำที่สุด ในขณะที่มันฝรั่งที่ผ่านการแช่เบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 0.50 กรัมต่อลิตร มีค่าความสว่างสูงที่สุดจึงสามารถยืนยันได้ว่าการแช่มันฝรั่งในสารละลายเบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน ช่วยยับยั้งการเกิดสีคล้ำภายหลังการให้ความร้อนได้ ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับ pH และสารประกอบเชิงซ้อนหรือสารจับโลหะ เช่น กรดซิตริกที่มีอยู่ในธรรมชาติของวัตถุดิบ โดยกรดซิตริกเพียงชนิดเดียวสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนของเหล็กได้ ในขณะที่ไซโคลเด็กซ์ตรินทำหน้าที่คล้ายสารต้านการเกิดออกซิเดชันลำดับที่ 2 (secondary antioxidant) ในการจับกับสารประกอบฟีนอล

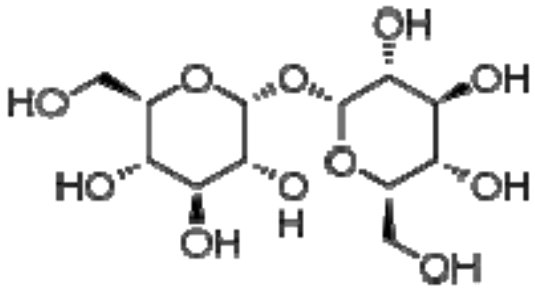
Sojo และคณะ (1999) ศึกษาผลของไซโคลเด็กซ์ตรินต่อการเกิดออกซิเดชันของไดฟีนอลที่ถูกกระตุ้นโดยเอนไซม์ PPO ของกล้วย พบว่าการใช้ไซโคลเด็กซ์ตรินไม่ทำให้เกิดการออกซิเดชันของโดปามีน (dopamine) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่มีอยู่ในธรรมชาติของกล้วย เนื่องจากสารประกอบฟีนอลในกล้วยมีคุณสมบัติเป็นไฮโดรฟิลลิกซึ่งไม่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไซโคลเด็กซ์ตริน อย่างไรก็ตามเมื่อใช้สารประกอบฟีนอลชนิดไฮโดรโฟบิก เช่น *tert*-butylcatechol เป็นสารตั้งต้น ไซโคลเด็กซ์ตริน เช่น β-, hydroxypropyl- β- และ maltosyl-β-CDs สามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ เนื่องจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ *tert*-butyl- catechol ภายในแกนของไซโคลเด็กซ์ตริน นอกจากนี้เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไซโคลเด็กซ์ตรินและใช้ร่วมกับ ophenol และกรดซินนามิก พบว่าสารเหล่านี้จะกระตุ้นเอนไซม์ที่ถูกยับยั้งให้ถึงระดับที่ไม่สามารถยับยั้งได้โดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารยับยั้งในแกนที่มีคุณสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกของไซโคลเด็กซ์ตริน จากการทดลองจะเห็นได้ว่าไซโคลเด็กซ์ตรินสามารถทำหน้าที่เป็นทั้งสารยับยั้งและกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ PPO ในกล้วย

- สารประกอบอื่นๆ

ทรีฮาโลส เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ชนิด non-reducing มีสูตรโมเลกุล คือ $C_{12}H_{22}O_{11}$ ประ กอบด้วยกลูโคส 2 โมเลกุล ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,1 ไกลโคซิดิก ดังภาพที่ 4 ทรีฮาโลสเป็นที่รู้จักกันสำหรับใช้เป็นสารปกป้องโครงสร้างและหน้าที่ของสารประกอบที่มีความไวในอาหารเนื่องจากการดูดความชื้น (Galmarini และคณะ, 2008) เป็นสารที่ให้ความหวาน

45% ของซูโครส ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของอาหารและมีความปลอดภัย (Portmann และ Birch, 1995) เนื่องจากทรีฮาโลสเป็นน้ำตาลชนิด non-reducing จึงไม่ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนหรือโปรตีนในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด และมีความคงตัวในสภาวะที่ pH ต่ำ ซึ่งน้ำตาลโมเลกุลคู่ส่วนใหญ่จะเกิดการแตกตัวเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Komes และคณะ, 2003) ทรีฮาโลสมีความ สามารถในการเกิดสถานะแก้วซึ่งมีความหนืดสูง ทำให้สารต่างๆ ที่มีผลในการเกิดปฏิกิริยาในเนื้อลำไยมีการเคลื่อนที่ต่ำ ทำให้อาหารมีความคงตัวเพิ่มขึ้น (Patist และ Zoerb, 2005) นอกจากนี้ยังมีการใช้ทรีฮาโลสแทนหรือร่วมกับซูโครสในอาหารเพื่อให้ความหวานที่เหมาะสมแต่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยอาศัยคุณสมบัติของทรีฮาโลสที่ทำให้ a_w ของอาหารลดลง

จากงานวิจัยของ Aktas และคณะ (2007) ได้ใช้กระบวนการพรีทรีทเมนท์ด้วยสารละลายทรีฮาโลสก่อนการอบแห้งผักและผลไม้ พบว่าช่วยลดปริมาณน้ำในผักอบแห้ง ลดการหดตัวของชิ้นตัวอย่าง และให้คุณสมบัติด้านสีที่ดีขึ้น



ภาพที่ 4 โครงสร้างโมเลกุลของทรีฮาโลส

Albanese และคณะ (2007) ศึกษาผลของการแช่ต่อการเก็บรักษาแอปเปิ้ลตัดแต่งที่อุณหภูมิต่ำ โดยการแช่เนื้อแอปเปิ้ลที่มีความหนา 1.5 เซนติเมตรในสารละลายผสมระหว่างทรีฮาโลส 0.8% (w/w) โซเดียมคลอไรด์ 0.1% (w/w) และซูโครส 1.0% (w/w) เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งการใช้โซเดียมคลอไรด์และซูโครสร่วมกับทรีฮาโลสมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่า a_w บนผิวหน้าของเนื้อแอปเปิ้ล จากการทดลองพบว่าการเคลือบสารละลายทรีฮาโลสบนชิ้นแอปเปิ้ลส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ การสูญเสียน้ำหนัก สี ปริมาณกรดมาลิก กรดแอสคอร์บิกและปริมาณสารโพลีฟีนอลน้อยกว่าชิ้นแอปเปิ้ลที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ ประสิทธิภาพของทรีฮาโลสในการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแอปเปิ้ลเกี่ยวข้องกับความยืดหยุ่นของพันธะไกลโคซิดิกระหว่างโมเลกุลของกลูโคส 2 โมเลกุลของทรีฮาโลสและ

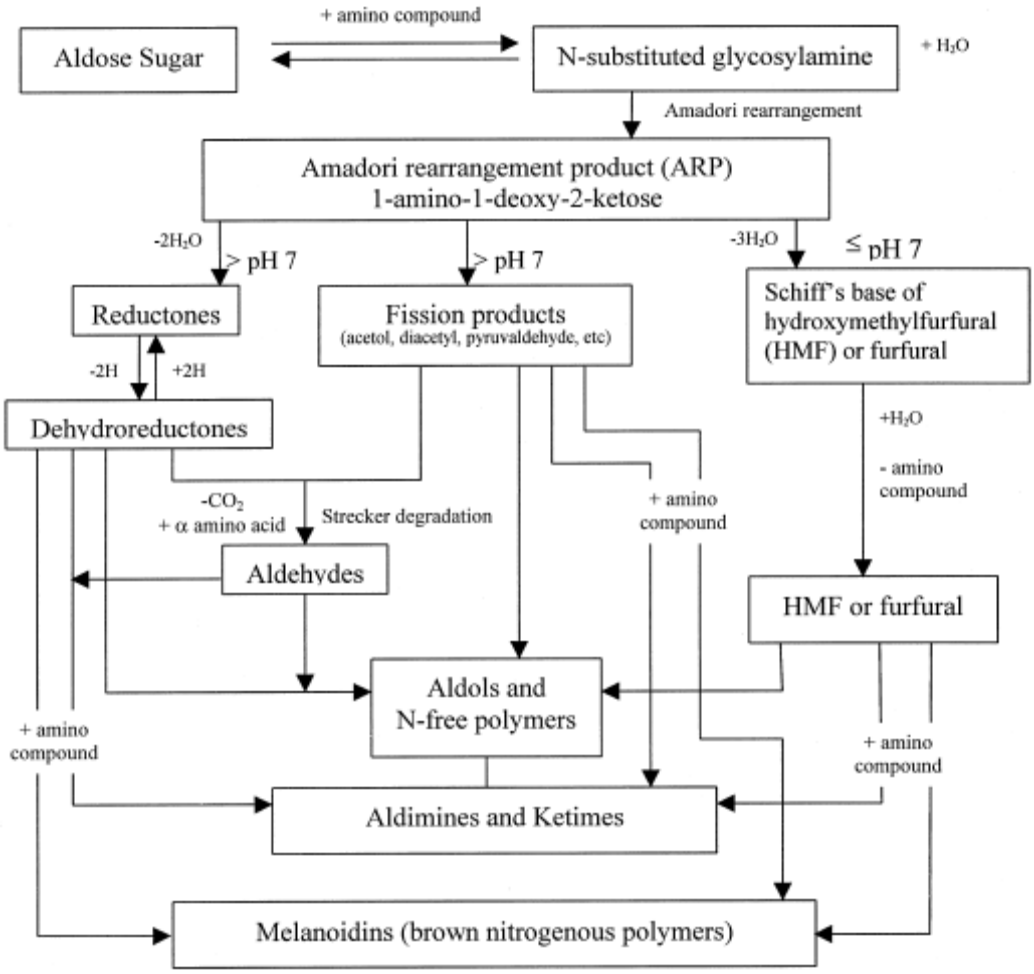
คุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสารประกอบโพลีฟีนอลให้เป็นหมู่ที่มีขั้ว ทำให้เกิดฟิล์มเคลือบผิวหน้าของชิ้นแอปเปิ้ลซึ่งช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและการสูญเสียน้ำหนัก

Aktas และคณะ (2007) ศึกษาผลของกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ผักด้วยทรีฮาโลสต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง โดยใช้แครอทและมันฝรั่ง ความหนา 1 มิลลิเมตร และชิ้นผักมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 20 มิลลิเมตร นำไปลวกด้วยไอน้ำเพื่อยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ และแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสและทรีฮาโลสความเข้มข้น 20% จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิคงที่ที่ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที พบว่ากระบวนการพรีทรีทเม้นท์ด้วยสารละลายซูโครสหรือทรีฮาโลสทำให้ผลิตภัณฑ์ผักอบแห้งมีลักษณะปรากฏที่ดีกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ ในขณะที่การลวกมีผลดีต่อสีของผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับการใช้สารละลายทรีฮาโลสซึ่งนอกจากจะป้องกันการหดตัวของผลิตภัณฑ์แล้วยังช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีอีกด้วย นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่ากระบวนการพรีทรีทเม้นท์ด้วยสารละลายซูโครสทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความนุ่มมากกว่า แต่การใช้ซูโครสมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดคาราเมลไลเซชันและทำให้ผลิตภัณฑ์มีผิวหน้าที่แฉะเหนียว ในทางตรงข้ามการใช้ทรีฮาโลสทำให้ผิวหน้าผลิตภัณฑ์แห้ง ชิ้นของผลิตภัณฑ์มีสีและกลิ่นของผักตามธรรมชาติ การใช้ทรีฮาโลสแทนน้ำตาลรีดิวซ์จึงสามารถยืดอายุของผลิตภัณฑ์อบแห้งได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีและการสูญเสียกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์

2.3 การเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์

Krokida และ Maroulis (2000) กล่าวว่า การเกิดสีน้ำตาลของผลไม้อบแห้งที่ปราศจากสารในกลุ่มซัลไฟต์ระหว่างการอบแห้งเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์และไม่อาศัยเอนไซม์ ในขณะที่การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดเมลลาร์ดจะเกิดมากระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อบแห้ง ซึ่งปฏิกิริยาเมลลาร์ดเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่คาร์บอนิลและหมู่อะมิโน การเกิดปฏิกิริยาขั้นต้นน้ำตาลรีดิวซิ่ง เช่น กลูโคส จะรวมตัวกับกรดอะมิโนอิสระได้ผลิตภัณฑ์ไกลโคซิลเอมีน (glycosilamine) ที่มีการแทนที่ของหมู่ไนโตรเจน (N-subsituted glycosilamine) ซึ่งจะมีการจัดเรียงโครงสร้างใหม่สารผลิตภัณฑ์อะมาโดริ (Amadori rearrangement) จากนั้นจะมีการแตกตัวของสารประกอบอะมาโดริ โดยจะขึ้นอยู่กับ pH ที่ pH ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 7 ส่วนใหญ่จะแตกตัวเป็น 1,2-enolization ที่มีการรวมตัวเฟอฟูรอล (furfural) หรือไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอล (hydroxymethylfurfural; HMF) ที่ pH มากกว่า 7 สารประกอบ

อะมาโดริส่วนใหญ่จะแตกตัวเป็น 2,3-enolization ซึ่งอยู่ในรูปรีดักโตน (reductone) เช่น 4-hydroxy-5-methyl-2,3-dihydrofuran-3-one และผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการแตกตัว เช่น acetol, pyruvaldehyde และ diacetyl ซึ่งสารประกอบเหล่านี้มีความไวที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ต่อไป หมู่คาร์บอนิลสามารถรวมตัวกับหมู่อะมิโนอิสระ ซึ่งมีผลให้เกิดการรวมตัวกันของไนโตรเจนกลายเป็นสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา ในขณะที่สารประกอบไดคาร์บอนิลจะทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนที่มีการรวมตัวกับอัลดีไฮด์และแอลฟาอะมิโนคีโตน ซึ่งปฏิกิริยานี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อ Strecker degradation หลังจากนั้นปฏิกิริยาขั้นสูงจะเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้แก่ cyclisations, dehydrations, retroaldolisation, re- arrangement, isomerizations และเกิดกระบวนการรวมตัวต่อไป และในที่สุดในขั้นตอนสุดท้ายจะเกิดการรวมตัวกันของพอลิเมอร์และโคพอลิเมอร์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบมีสีน้ำตาลเรียกว่าเมลานอยดิน (melanoidins) ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผนภาพการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ดัดแปลงจาก Hodge,1953

ปริมาณการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ขึ้นอยู่กับสารตั้งต้น pH อัตราส่วนของอะมิโนไนโตรเจนต่อน้ำตาลรีดิวซิ่ง ความร้อนระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา และการลดความชื้นที่ไม่เพียงพอในผลิตภัณฑ์อบแห้ง (Martin และคณะ, 2001)

การเกิดสีน้ำตาลแบบปฏิกิริยาเมลลาร์ดเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหารระหว่างการเก็บรักษาและการแปรรูป ทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการจากการถูกทำลายของกรดอะมิโนอิสระ ความสามารถในการย่อยลดลง และเกิดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โปรตีโอไลติกและไกลโคไลติก (Friedman, 1996)

การเปลี่ยนแปลงสีและการสูญเสียคุณภาพอื่นๆ เนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์สามารถป้องกันได้โดยการใช้สารประกอบซัลไฟต์ (Bolin และ Steele, 1987) แต่สารประกอบซัลไฟต์มีข้อจำกัดในการใช้งาน จึงมีแนวทางอื่นในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาล เช่น การลดการสัมผัสกับอุณหภูมิสูง การควบคุมค่า a_w (Labuza และ Saltmarch, 1981) หรือการกำจัดน้ำตาลรีดิวซิ่งโดยอาศัยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส (Low และคณะ, 1989)

การลดค่า a_w ในผลิตภัณฑ์อบแห้งทำได้โดยอาศัยกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน โดยใช้ตัวถูกละลาย ได้แก่ น้ำตาลซูโครส โซเดียมคลอไรด์ แลคโตส กลีเซอรอล เป็นต้น (Osorio และคณะ, 2007) จากการวิจัยของ Barbosa-Canovas และ Vega-Mercado (1996) พบว่าการใช้กลีเซอรอลในสารละลายออสโมติกช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งและช่วยเพิ่มความคงตัวของกลิ่นรสอีกด้วย

กลีเซอรอลเป็นสารประกอบทางเคมีอาจเรียกว่ากลีเซอรีน เป็นสารไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เป็นของเหลวข้นหนืด กลีเซอรอลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นสารอาหารที่ให้พลังงาน โครงสร้างของกลีเซอรอลมีหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำอยู่ 3 หมู่ ทำให้กลีเซอรอลมีคุณสมบัติในการละลายน้ำและดูดความชื้นในธรรมชาติ มีรสหวานและไม่มีพิษ กลีเซอรอลมีหน้าที่เป็นสารดูดความชื้น ตัวทำละลายและสารให้ความหวาน นอกจากนี้ยังช่วยถนอมอาหารได้อีกด้วย กลีเซอรอลสามารถใช้เติมลงในอาหารไขมันต่ำ (เช่น คุกกี้) เป็นสารให้ความข้นหนืดในเครื่องดื่ม ในทางการค้า และสามารถใช้ให้ความหวานแทนน้ำตาล โดยให้พลังงานประมาณ 27 แคลอรี่ต่อช้อนชาและมีความหวาน 60% ของน้ำตาลซูโครส

จากการทดลองของ Moreira และคณะ ในปี 2007 พบว่าการใช้กลีเซอรอลในสารละลายออสโมติกที่ใช้แช่แห้วก่อนการอบแห้งสามารถลดค่า a_w ของแห้วได้ โดย a_w ของแห้วจะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกลีเซอรอล และเมื่อเปรียบเทียบค่า a_w ของแห้วที่ผ่านการแช่

สารละลายกลีเซอรอลและน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้นเดียวกันภายหลังการอบแห้ง พบว่าการใช้สารละลายกลีเซอรอลทำให้เนื้อแห้วมีค่า a_w ต่ำกว่าการใช้สารละลายซูโครส 17.98%

นิษณา ลุงรุ่ง (2005) ทำการศึกษาการใช้สารกลีเซอรอล เพื่อลดค่า a_w ในผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้งแบบหวานน้อย โดยศึกษาความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ซึ่งพบว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 สามารถลดค่า a_w ได้ต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวนิษฐา ตรีหัตถ์ (2008) ศึกษาการชะลอการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษามะม่วงแช่อิ่ม-อบแห้งชนิดหวานน้อยที่ไม่มีการเติมสารกลุ่มเมตาไบซัลไฟต์ โดยใช้กลีเซอรอลความเข้มข้น 10 และ 20% ซอร์บิทอล 10 และ 20% และการใช้กลีเซอรอล 10% ร่วมกับซอร์บิทอล 10% พบว่าการใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลที่ความเข้มข้นต่างๆ สามารถลดค่า a_w ในมะม่วงอบแห้งได้เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม และเมื่อเปรียบเทียบค่า a_w ในมะม่วงอบแห้งที่ใช้สารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้น 10 และ 20% พบว่ามี ค่า a_w น้อยกว่าตัวอย่างควบคุมแต่ไม่การใช้กลีเซอรอลที่ 2ระดับความเข้มข้นนี้มีค่า a_w ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Eichner และ Kerel (1997) กล่าวว่าการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลจะทำให้ค่า a_w ต่ำลง แต่การเกิดสีน้ำตาลอาจจะสูงขึ้นเมื่อค่า a_w ต่ำ เนื่องจากความหนืดของอาหารลดลงจึงทำให้สารตั้งต้นเข้ามาทำปฏิกิริยาได้ดีขึ้น (Mayino, 2003) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Davies และ Labuza (2003) ทำการศึกษาการใช้กลีเซอรอลในการผลิตขนมขบเขี้ยว พบว่าในผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w ต่ำการใช้กลีเซอรอลทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ดีกว่าที่ a_w สูงกว่า

Schebor และคณะ (1999) ศึกษาความคงตัวต่อการแตกตัวและการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสของทรีฮาโลส ซูโครสและราฟฟิโนสในระบบที่มีความชื้นต่ำ พบว่าในระบบของทรีฮาโลสไม่เกิดการแตกตัวของน้ำตาลและในระบบของน้ำตาลราฟฟิโนสมีการแตกตัวเล็กน้อย ในขณะที่เกิดการแตกตัวอย่างมากในระบบของน้ำตาลซูโครสและส่งผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในระบบ เมื่อมีไลซีนและไกลซีนเป็นแหล่งของหมู่อะมิโน เมื่อพิจารณาการเกิดสีน้ำตาลพบว่าในการทดลองนี้ระบบของทรีฮาโลสและราฟฟิโนสเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าซูโครส ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลของทรีฮาโลสน้อยมากหรืออาจถือได้ว่าไม่เกิดเลยภายใต้สภาวะที่ทำการศึกษา จากผลการทดลองยืนยันได้ว่าทรีฮาโลสเป็นน้ำตาลที่มีความคงตัวอย่างมาก เช่นเดียวกับราฟฟิโนสที่ค่อนข้างมีความทนทานต่อการแตกตัว จึงสามารถกล่าวได้ว่าน้ำตาลทั้ง 2 ชนิดนี้มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดเมลลาร์ดได้น้อยมาก

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

ลำไยที่เลือกใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือลำไยพันธุ์อีดอ ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ประเทศไทยนิยมนำมาทำการอบแห้งในเชิงการค้าเพื่อการส่งออกโดยเลือกศึกษาในขนาดผลเกรดเอเอ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20-25 มิลลิเมตร ลำไยสดที่ใช้ศึกษามาจากแหล่งเดียวกัน คือสั่งซื้อจากสวนในจังหวัดเชียงใหม่ โดยเป็นลำไยที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2551 ลำไยสดจากสวนจะถูกเก็บเกี่ยว และบรรจุในตะกร้าพลาสติกและจัดส่งถึงสถานที่ทำการทดลองในจังหวัดนครปฐม จากนั้นทำการตัดขั้วของผลให้เหลือประมาณ 1 เซนติเมตร และคัดเลือกเฉพาะลำไยขนาด AA ที่ปราศจากโรค เชื้อรา และตำหนิต่างๆ เพื่อทำการทดลองต่อไป อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาลำไยสด คือ 7$\pm$0.5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 85$\pm$0.9%

3.2 สารเคมี

1. เอทานอล (Merck)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Merck)
3. เมทานอลสัมบูรณ์ (Absolute Methanol; max. 0.05%H_2O) (Merck)
4. ฟอร์มามายด์ (Merck)
5. Karl Fisher reagent (Hydranal Composite 5) (Riedel)
6. กรดแกลลิค (Fluka)
7. Folin-Ciocalteu phenol reagent (Fluka)
8. โซเดียมคาร์บอเนต (Ajak)
9. กรดแอซีติก (JT)
10. Trichloroacetic acid (Riedel)

11. 2-Thiobabyturic acid (Fluka)
12. 5-Hydroxymethyl-2-furaldehyde (Fluka)
13. Disodium hydrogen phosphate (Ajak)
14. Sodium dihydrogen orthophosphate (Ajak)
15. Pyrocatechol (Fluka)
16. น้ำกลั่น

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. มาตรดัชนีหักเห (Refractometer) (Pocket Refractometer PAL-1)
2. มาตรเทียบสี (colorimeter) (Miniscan รุ่น XE Plus บริษัท Hunter Lab, USA)
3. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (Thermoconstanter, TH200 Novasina, Switzerland)
4. เครื่องวัดปริมาณความชื้น Karl Fisher Titration ใช้ KF Titrino รุ่น 787 KF Titrino, 703 Ti Stand บริษัท Metrohm, Switzerland
5. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (Radiometer รุ่น PHM 210 บริษัท Metro Lab, France)
6. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer) (รุ่น Geneys-20 Thermo Spectronic, USA)
7. เครื่อง Homogenizer (รุ่น Ultra Turrax T25 Basic บริษัท Becthai, Malaysia)
8. เครื่องเหวี่ยง (Centrifuge) (รุ่น Universal 16 บริษัท Hettich, Germany)
9. เครื่องเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ (Refrigerated Centrifuge) (รุ่น Sorvall RC 6 N.Y.R, USA)
10. เครื่องชั่งน้ำหนักหยาบ 2 ตำแหน่ง (บริษัท Sartorius, Germany)
11. เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด 4 ตำแหน่ง (รุ่น BP 221S บริษัท Sartorius, Germany)
12. ตู้อบลมร้อนควบคุมอุณหภูมิ (Tray dryer)

13. เครื่อง High Pressure Liquid Chromatography (HPLC) โดยใช้คอลัมน์ Rezex RNM-Carbohydrate Na+ (8%) ยี่ห้อ Phenomenex ด้วย Refractive Index Detector (RI Detector)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบ

วิเคราะห์คุณภาพเริ่มต้นของลำไยสดก่อนการอบแห้งโดยวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี โดยทำการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- สีเนื้อและสีเปลือก โดยทำการวัดค่าสี 2 ด้านต่อผล จากลำไย 10 ผล วัดค่าสีในระบบ CIE LAB วัดค่า L* a* b* (โดยที่ในระบบสี L*a*b นี้ L* แสดงค่าความสว่างของสี ซึ่งมีค่า 0 - 100 ที่ 0 แสดงถึงสีดำ และ 100 แสดงถึงสีขาว, a* และ b* บอกทิศทางของสี โดย +a* หมายถึง อยู่ในทิศของสีแดง –a* หมายถึงอยู่ในทิศของสีเขียว, +b* หมายถึงอยู่ในทิศของสีเหลือง และ –b* หมายถึงอยู่ในทิศของสีน้ำเงิน) ด้วยมาตรเทียบสี
- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS) ของเนื้อลำไย โดยใช้มาตรดัชนีหักเห (Refractometer)
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของเนื้อลำไย โดยใช้การวัดด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง
- ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ของเนื้อลำไย โดยการไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก.2)
- ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไย โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องด้วยเครื่อง Karl Fischer Titrator (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก.3)
- ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ด้วยเครื่องวัดวอเตอร์แอคทิวิตี้ (รุ่น Thermoconstanter TH 200, Switzerland) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

- การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล การวัดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเนื้อลำไยสด โดยการวัดความเข้มของสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในเนื้อลำไยอบแห้ง อาศัยค่า optical density ของสารสกัดจากเนื้อลำไยอบแห้ง วัดการดูดกลืนแสงด้วย UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ดัดแปลงจาก Baloch และคณะ (1973) (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก.5)

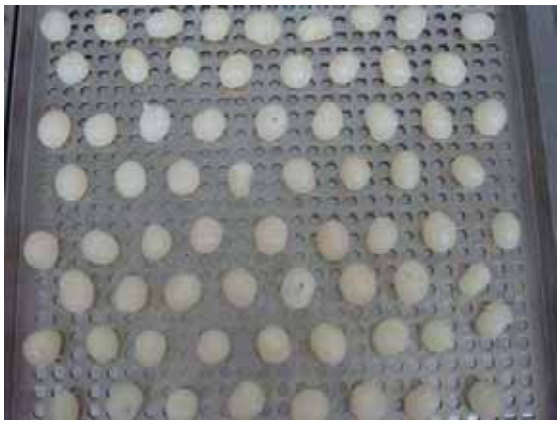
- ปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลรีดิวซ์ของเนื้อลำไยสด ได้แก่ น้ำตาล-กลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตส โดยวิธีโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงแยกสารเคมีภายใต้ความดันของเหลว (High Performance Liquid Chromatography; HPLC) (AOAC, 2000) สกัดน้ำตาลจากเนื้อลำไยโดยใช้สารละลายผสมของเอทานอลและน้ำ โดยใช้คอลัมน์ Rezex RNM-Carbohydrate Na+ (8%) ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายและมี detector แบบ Refractive Index detector (RI detector) (แสดงรายละเอียดในภาค ผนวก ก.8)

- ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic compounds; TPC) โดยอาศัยการสกัดด้วยเอทานอล นำสารที่สกัดได้ทำปฏิกิริยากับสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent และวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิคในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ดัดแปลงจาก Soong และ Barlow (2004) (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก.4)

- กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase (PPO) activity) โดยสกัด crude enzyme ด้วย 0.1 M โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์และ Polyvinyl-pyrolidone และนำ crude enzyme ที่ได้ทำปฏิกิริยากับ 4-methylcatechol วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร ทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 20 นาที ดัดแปลงจาก Coseteng และ Lee (1987) (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก.7)

3.4.2 การผลิตเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง

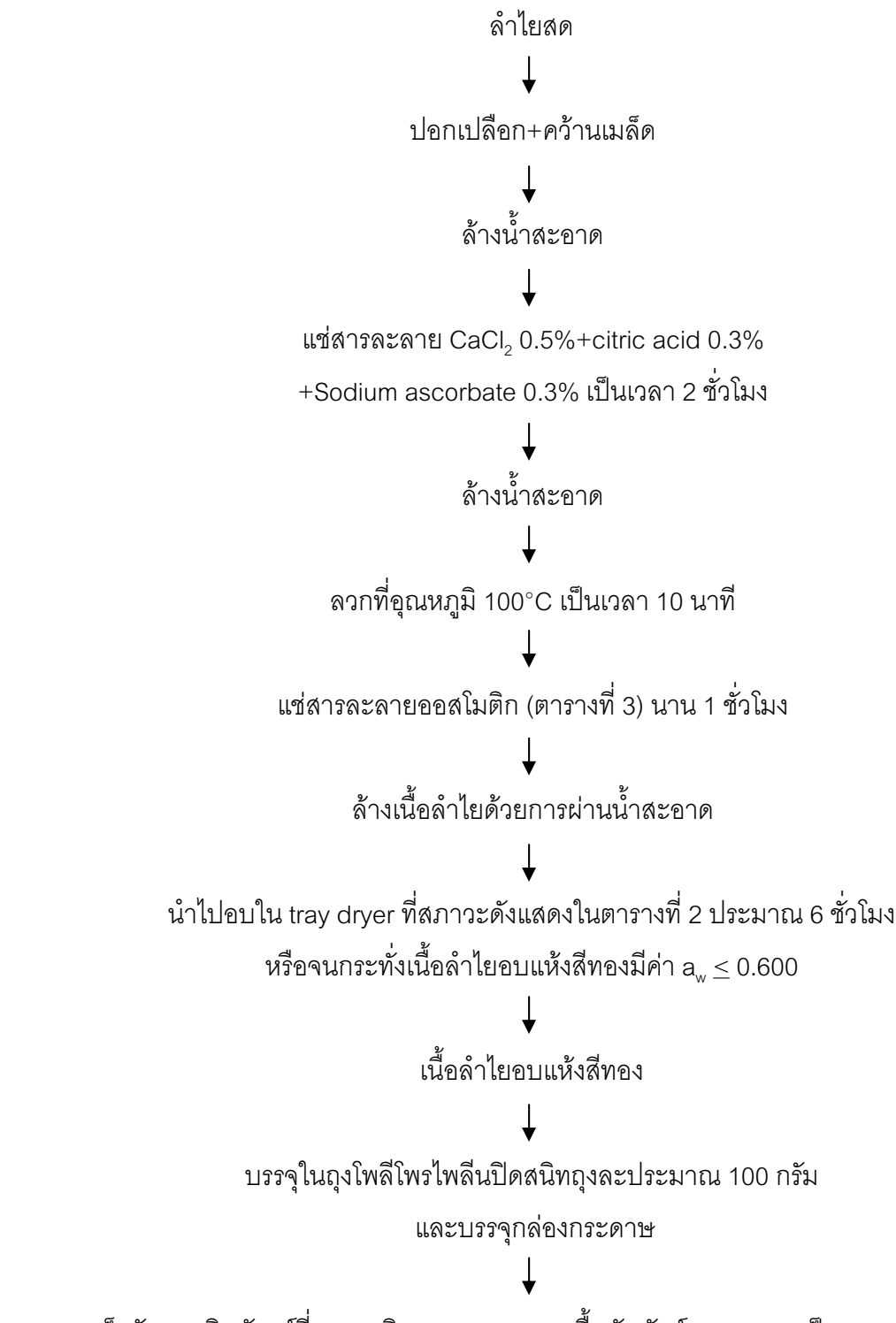
เนื้อลำไยที่ใช้ในการศึกษานี้จะถูกอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (tray dryer) ที่โรงอบแห้งโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร โดยการจัดเรียงเนื้อลำไยให้มีระยะห่างระหว่างผลที่ใกล้เคียงกัน เพื่อช่วยในการผ่านของลมร้อน (แสดงดังภาพที่ 6) ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70$\pm$0.6 องศาเซลเซียส และความเร็วลมคงที่ที่ 1 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมงสำหรับการอบแห้งแบบ stepwise มีการใช้ 2 อุณหภูมิ เริ่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และต่อด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง ทำการทดลองตามขั้นตอนทั่วไปในการผลิตเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง (ภาพที่ 7) โดยแต่ละชุดการทดลองทำการทดลอง 2 ซ้ำ ดังแสดงในตารางที่ 2 และอบแห้งจนกระทั่งเนื้อลำไยมีค่า a_w ประมาณ 0.550 - 0.600



ภาพที่ 6 การจัดเรียงเนื้อลำไยในถาดสำหรับการอบแห้งและการจัดเรียงถาดในตู้อบแห้ง

ตารางที่ 2 สภาวะที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง

ปีที่เก็บเกี่ยว	Lot No.	**สภาวะการอบแห้ง**
ปี พ.ศ. 2551	1	อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
	2	อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
	3	อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง
	4	อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง



ภาพที่ 7 ขั้นตอนทั่วไปในการผลิตเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง

- ติดตามพฤติกรรมการอบแห้ง (drying curve) ของเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ร่วมกับอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยการชั่งน้ำหนักเนื้อลำไย-อบแห้งที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการอบแห้งทุกๆ 20 นาที วิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยก่อนและหลังการอบแห้งแต่ละชุดการทดลอง

- ติดตามอุณหภูมิของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้งระหว่างการอบแห้งเนื้อ-ลำไยอบแห้งสีทอง โดยใช้ data collector บันทึกอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งในตำแหน่งที่แตกต่างกัน 10 ตำแหน่ง ทุกๆ 10 นาที

3.4.3 **ศึกษาผลของกระบวนการพรีทรีทเม้นท์** (pre-treatment) **ก่อนการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งสีทองต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้ง**

3.4.3.1 ศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอลและทรีฮาโลสในการลดค่า a_w ในเนื้อ-ลำไยอบแห้งสีทองและการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง โดยการแช่เนื้อลำไยสดในสารละลายออสโมติกก่อนการอบแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งชุดการทดลองที่ 1 การอบแห้งแบบธรรมชาติ หมายถึงเนื้อลำไยสดที่ผ่านการปอกเปลือกคว้านเมล็ด ล้างน้ำสะอาดและอบแห้งโดยไม่ผ่านกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ใดๆ และชุดการทดลองที่ 2 ชุดควบคุม คือเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการปอกเปลือกคว้านเมล็ด แช่สารละลายผสมของแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) กรดซิตริกและโซเดียมแอสคอร์เบต รวมทั้งผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาทีแต่ไม่ผ่านกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ด้วยการแช่สารละลายออสโมติก

ตารางที่ 3 ชุดการทดลองศึกษาผลของ pre-treatment ต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อลำไย-อบแห้งสีทอง

ชุดการทดลอง	สัญลักษณ์	สารละลายผสม*	ลวก	สารละลายออสโมติก
1	Natural	-	-	-
2	Control	/	/	-
3	G10	/	/	กลีเซอรอล 10%
4	G20	/	/	กลีเซอรอล 20%
5	G30	/	/	กลีเซอรอล 30%
6	G20+T5	/	/	กลีเซอรอล 20% + ทรีฮาโลส 5%
7	G20+T10	/	/	กลีเซอรอล 20% + ทรีฮาโลส 10%
8	G20+BCD	/	/	กลีเซอรอล 20% + เบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน1%
9	G20+Asc	/	/	กลีเซอรอล 20% + โซเดียมแอสคอร์เบต 1%
10	G20+Ery	/	/	กลีเซอรอล 20% + โซเดียมอีรีทอร์เบต1%

หมายเหตุ * หมายถึง สารละลายผสมของ CaCl2 0.5% กรดซิตริก 0.3% และโซเดียมแอสคอร์เบต 0.3%

ทำการอบแห้งเนื้อลำไยตามข้อ 3.4.2 ทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที ทำการอบแห้ง 2 ซ้ำ จากวัตถุดิบลำไยสดที่ซื้อมาใน พ.ศ. 2551 2 ครั้ง (Lot ที่ 1 และ 2 จากตารางที่ 2)

3.4.3.2 ศึกษาผลของการใช้ความร้อนในการลวกเนื้อลำไยก่อนการอบแห้งเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO โดยการลวกเนื้อลำไยสดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยสดก่อนการลวก ภายหลังการแช่สารละลายผสมของ $CaCl_2$ กรดซิตริกและโซเดียมแอสคอร์เบต และภายหลังการลวก รวมทั้งวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ ที่ผ่านกระบวนการลวกและกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ด้วยสารละลาย-ออสโมติกชุดการทดลองต่างๆ ตามตารางที่ 3

วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SAS เวอร์ชัน 8.0 สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อลำไยอบแห้ง ดังต่อไปนี้

- สีเนื้อ โดยทำการวัดค่าสี 2 ด้านต่อผล ในแต่ละด้านวัด 3 ตำแหน่งจากลำไย 10 ผล วัดค่าสีในระบบ CIE LAB วัดค่า L* a* b* (โดยที่ในระบบสี L*a*b นี้ L* แสดงค่าความสว่างของสีซึ่งมีค่า 0 - 100 ที่ 0 แสดงถึงสีดำ และ 100 แสดงถึงสีขาว, a* และ b* บอกทิศทางของสี โดย +a* หมายถึงอยู่ในทิศของสีแดง –a* หมายถึงอยู่ในทิศของสีเขียว, +b* หมายถึงอยู่ในทิศของสีเหลือง และ –b* หมายถึงอยู่ในทิศของสีน้ำเงิน) ด้วยมาตรเทียบสี

- ปริมาณความชื้น โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี Karl Fischer Titration (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก.3)

- ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ด้วยเครื่องวัดวอเตอร์แอคทิวิตี้ (รุ่น Thermoconstanter TH 200, Switzerland) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

- ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยอาศัยการสกัดด้วยเอทานอล นำสารที่สกัดได้ทำปฏิกิริยากับสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิคในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ดัดแปลงจาก Soong และ Barlow (2004) (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก.4)

- การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning index) การวัดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้ง โดยการวัดความเข้มของสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในเนื้อลำไยอบแห้ง อาศัยค่า optical density ของสารสกัดจากเนื้อลำไยอบแห้ง วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-Vis Spectro- photometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ดัดแปลงจาก (Baloch และคณะ, 1973) (แสดงรายละเอียดในภาค ผนวก ก.5)

- ปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรัล (Hydroxymethylfurfural; HMF) ซึ่งเป็นสารตัวกลางในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดเมลลาร์ด เพื่อติดตามการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์ (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก.6)

- กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส โดยสกัด crude enzyme ด้วย 0.1 M โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์และ Polyvinyl- pyrolidone และนำ crude enzyme ที่ได้ทำปฏิกิริยากับ 4-methylcatechol วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร ทุกๆ 1 นาทีเป็นเวลา 20 นาที ดัดแปลงจาก Coseteng และ Lee (1987) (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก.7)

- ปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลรีดิวซ์ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตส เนื่องจากน้ำตาลดังกล่าวอาจเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดเมลลาร์ด ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง โดยวิธีโครมาโต-กราฟีของเหลวสมรรถนะสูงแยกสารเคมีภายใต้ความดันของเหลว (High Performance Liquid Chromatography; HPLC)(AOAC, 2000) สกัดน้ำตาลจากเนื้อลำไยโดยใช้สารละลายผสมของเอทานอลและน้ำ โดยใช้คอลัมน์ Rezex RNM-Carbohydrate Na+ (8%) ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายและมี detector แบบ Refractive Index detector (RI detector)(แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก.8)

3.4.4 ศึกษาผลของเทคนิคการอบแห้งแบบ 2 อุณหภูมิ (stepwise drying) ต่อคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง

ทำการอบแห้งเนื้อลำไยตามขั้นตอนในข้อ 3.4.2 และมีชุดการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3 เช่นเดียวกับข้อ 3.4.3.1 โดยอบแห้งเนื้อลำไยในเครื่องอบแห้งแบบถาดโดยใช้อุณหภูมิ 80 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที

ความเร็วลมคงที่ที่ 1 เมตรต่อวินาที จนกระทั่งค่า $a_w \leq 0.600$ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ จากวัตถุดิบลำไยสดที่ซื้อมาจากฤดูกาลเก็บเกี่ยวปี 2551

วิเคราะห์คุณภาพเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิภายหลังการอบแห้งเช่นเดียวกับข้อ 3.4.3

วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SAS เวอร์ชัน 8.0 สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.4.5 ศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองระหว่างการเก็บรักษา

ทำการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งสีทองทุกชุดการทดลองภายหลังการอบแห้งในถุงโพลี-โพรไพลีนปิดสนิทถุงละประมาณ 100 กรัม และบรรจุกล่องกระดาษอีกชั้นหนึ่งเช่นเดียวกับวิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรบ้านแคว อ.สารภี จ.เชียงใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 8 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 32$\pm$0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45$\pm$0.5% เป็นเวลา 5 เดือน

เก็บตัวอย่างเดือนที่ 0, 1, 2, 3 และ 5 จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเช่นเดียวกับข้อ 3.4.3

วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SAS เวอร์ชัน 8.0 สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ภาพที่ 8 รูปแบบการบรรจุระหว่างการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของลำไยสดก่อนการอบแห้ง

เนื่องจากลำไยสดที่ใช้ในการศึกษานี้มีการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส ในระหว่างรอการอบที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ จึงจำเป็นต้องนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นก่อนการอบแห้งในทุกชุดการทดลอง เพื่อควบคุมคุณภาพและมาตรฐานของวัตถุดิบเริ่มต้นก่อนนำมาทำการทดลอง

คุณภาพทางกายภาพและเคมีของลำไยสดก่อนการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวทั้ง 2 lot แสดงดังตารางที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าลำไยสดที่ใช้ทั้ง 2 lot มีค่าสีของเปลือกและสีของเนื้อลำไยมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยพบว่าเนื้อของลำไยสดมีค่า L* อยู่ในช่วง 37.24–38.38 ค่า a* อยู่ในช่วง 0.33–0.78 และค่า b* อยู่ในช่วง 1.93–2.24 สำหรับสีเปลือกของลำไยสดก่อนการอบแห้งพบว่ามีเปลือกสีเหลืองน้ำตาล ซึ่งบ่งบอกได้ว่าลำไยสดที่นำมาใช้นั้นอยู่ในระดับที่แก่เต็มที่พร้อมแก่การบริโภค (Jiang และคณะ, 2002) โดยมีค่า L* อยู่ในช่วง 47.18-47.56 ค่า a* อยู่ในช่วง 11.83-12.14 และค่า b* อยู่ในช่วง 23.17-24.66

ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) อยู่ในช่วง 18.85 – 19.20 องศาบริกซ์ ซึ่งถือได้ว่าเป็นลำไยสดที่มีคุณภาพดี และมีความสดตามที่ได้มีรายงานไว้โดย Menzel และ Waite (2005) ซึ่งรายงานว่าในเนื้อลำไยสดมี TSS อยู่ในช่วง 16 – 25% pH ของเนื้อลำไยสดมีค่าประมาณ 7 และมีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ประมาณ 0.06-0.07 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของตัวอย่าง

สำหรับคุณภาพของลำไยสดก่อนการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ (stepwise drying) แสดงในตารางที่ 5 พบว่าสีเนื้อมีค่า L* อยู่ในช่วง 35.61-35.73 ค่า a* อยู่ในช่วง 0.73-0.81 และค่า b* อยู่ในช่วง 1.93-2.24 และมีค่า TSS ประมาณ 19.25-19.95 องศาบริกซ์ ซึ่งถือได้ว่าเป็นลำไยสดที่มีคุณภาพดีเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

ตารางที่ 4 คุณภาพทางกายภาพของลำไยสดก่อนการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว (single step drying)

พารามิเตอร์	สมบัติทางกายภาพและเคมีของลำไยสดก่อนการอบแห้ง	
	Lot ที่ 1[ns]	Lot ที่ 2[ns]
สีเปลือก		
L*	47.56 ± 1.48	47.18 ± 1.33
a*	11.83 ± 0.80	12.14 ± 0.39
b*	24.66 ± 1.70	23.17 ± 0.92
สีเนื้อ		
L*	37.24 ± 1.10	38.38 ± 1.82
a*	0.73 ± 0.18	0.81 ± 0.55
b*	1.93 ± 0.47	2.24 ± 0.70
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	18.85 ± 0.24	19.20 ± 0.06
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	6.98 ± 0.56	6.99 ± 0.32
ปริมาณกรดทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเนื้อลำไย)	0.06 ± 0.01	0.07 ± 0.02
ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	78.63 ± 0.35	79.01 ± 0.21
วอเตอร์แอคทิวิตี้	0.989 ± 0.02	0.991 ± 0.00
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	1.45 ± 0.03	1.47 ± 0.11
การเกิดสีน้ำตาล (OD ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	0.050 ± 0.11	0.050 ± 0.06

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 5 คุณภาพทางกายภาพของลำไยสดก่อนการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ (stepwise drying)

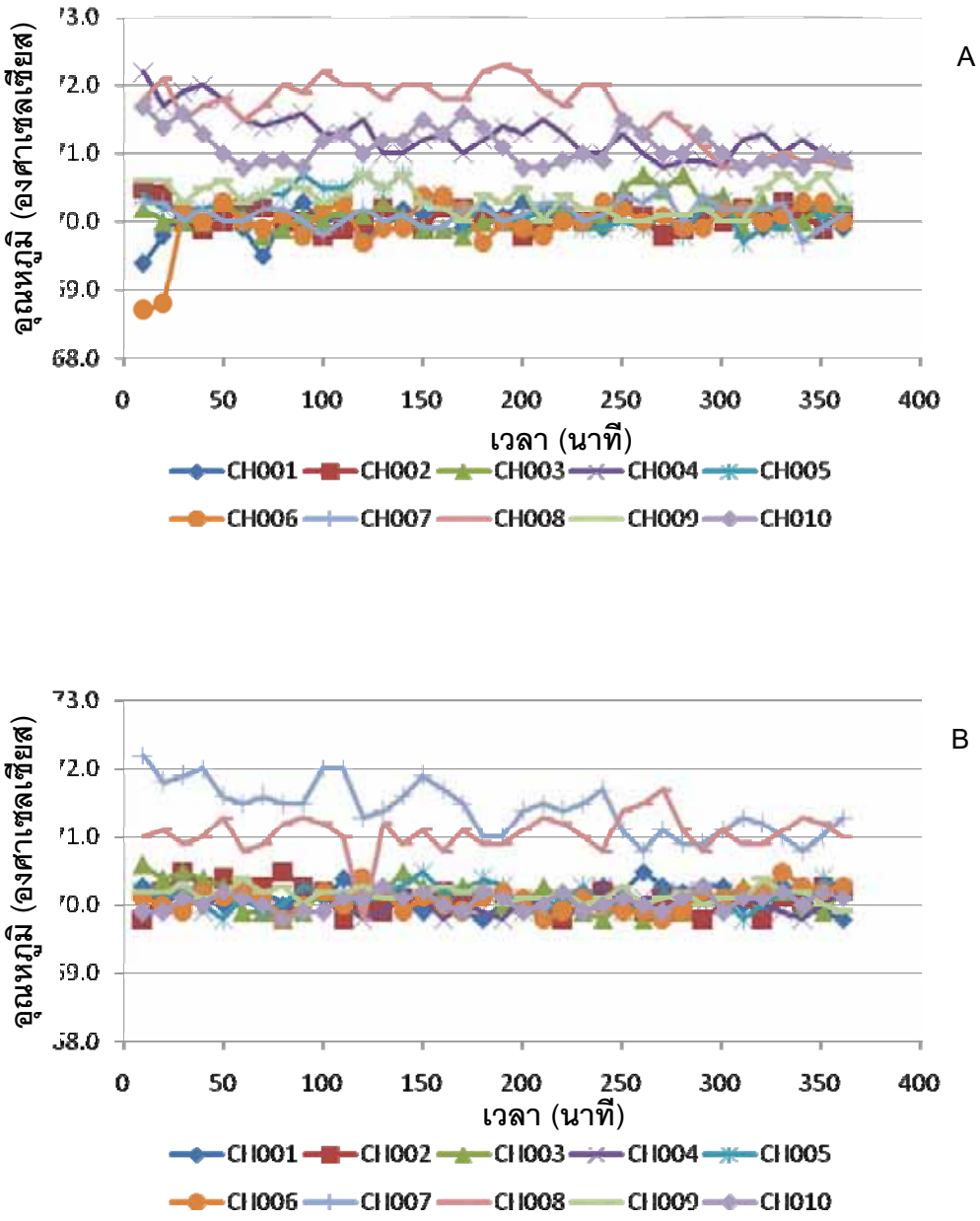
พารามิเตอร์	สมบัติทางกายภาพและเคมีของลำไยสดก่อนการอบแห้ง	
	Lot ที่ 1[ns]	Lot ที่ 2[ns]
สีเปลือก		
L*	45.62 ± 0.98	45.44 ± 1.33
a*	9.83 ± 0.65	9.74 ± 0.72
b*	24.88 ± 1.70	24.42 ± 0.92
สีเนื้อ		
L*	35.61 ± 1.32	35.73 ± 1.09
a*	0.62 ± 0.18	0.74 ± 0.55
b*	2.35 ± 0.36	2.43 ± 0.64
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	19.25 ± 0.24	19.95 ± 0.06
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	6.94 ± 0.72	6.68 ± 0.84
ปริมาณกรดทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเนื้อลำไย)	0.07 ± 0.06	0.07 ± 0.11
ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	73.52 ± 0.38	73.81 ± 0.77
วอเตอร์แอคทิวิตี้	0.999 ± 0.00	0.999 ± 0.02
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	1.87 ± 0.02	1.89 ± 0.01
การเกิดสีน้ำตาล (OD ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	0.06 ± 0.01	0.05 ± 0.01

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

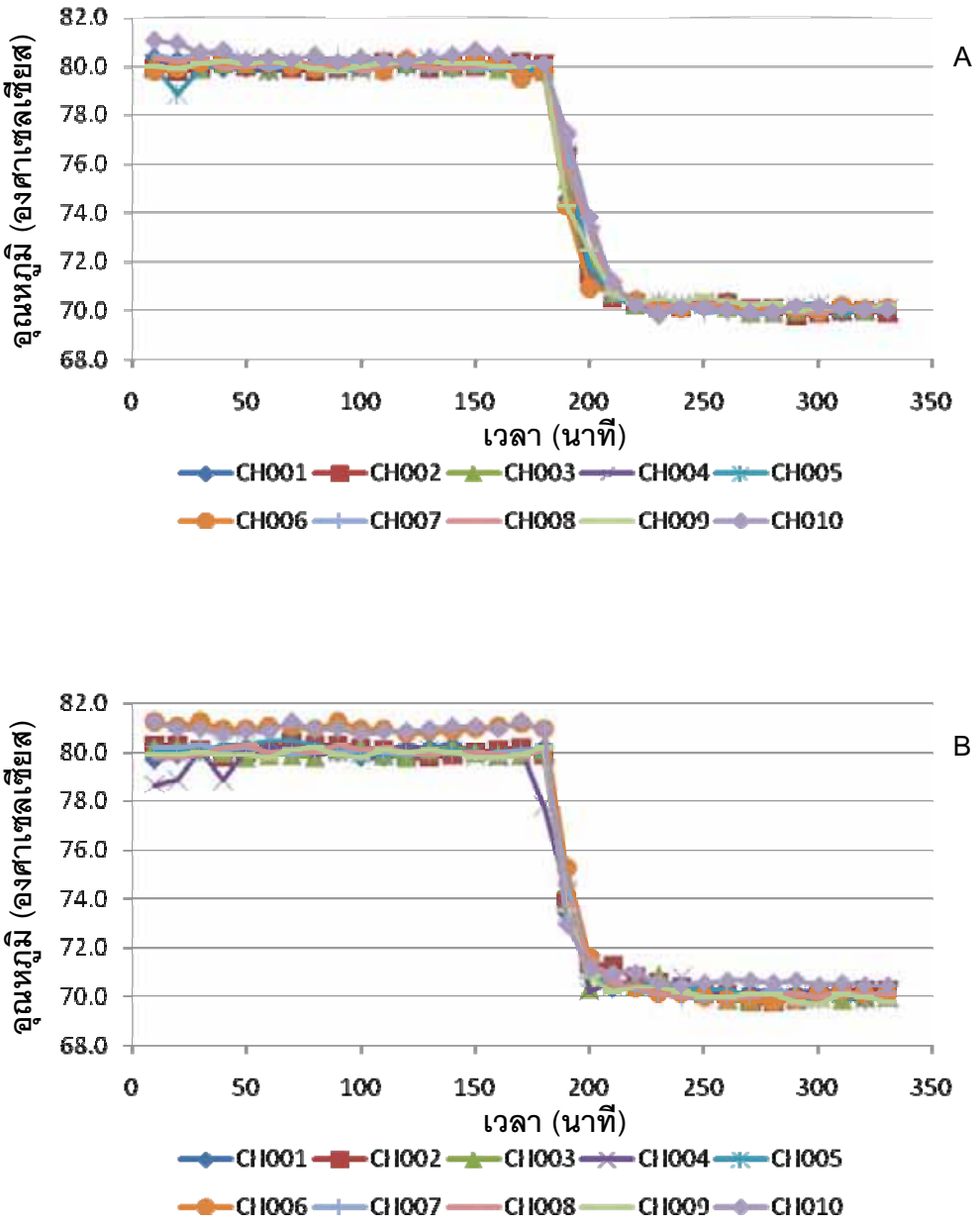
4.2 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อน

การอบแห้งแบบใช้ลมร้อนเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการทำแห้งอาหาร ผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้จะมีความชื้นต่ำซึ่งสามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิปกติเป็นระยะเวลานาน (Vega et al., 2007) ผลิตภัณฑ์อาหารจะมีความไวต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของอาหาร เช่น การเกิดออกซิเดชัน การเปลี่ยนแปลงสี การหดตัว รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีอื่นๆ ของอาหาร ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (Miranda, 2009)

การติดตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งระหว่างการอบแห้งเนื้อ-ลำไยแบบอุณหภูมิเดียวและแบบสองอุณหภูมิทำได้โดยการใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิ(data logger) โดยทำการติดตามอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง 10 ตำแหน่ง แสดงดังภาพที่ 9 และ 10 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสำหรับการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวค่อนข้างคงที่ ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 70-71 องศาเซลเซียส ตลอดการอบแห้ง เช่นเดียวกับการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิโดยอุณหภูมิในการอบแห้งในช่วง 3 ชั่วโมงแรกมีอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส และช่วงหลังประมาณ 70 องศาเซลเซียส และจากกราฟจะเห็นได้ว่าเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการ-ทดลองมีประสิทธิภาพและมีการควบคุมรวมถึงการกระจายของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งเป็นอย่างดี เนื่องจากอุณหภูมิระหว่างการอบแห้งค่อนข้างคงที่และใกล้เคียงกับที่ตั้งไว้ และการปรับอุณหภูมิลงจาก 80 องศาเซลเซียส เป็น 70 องศาเซลเซียส ในการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ มีการปรับอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว



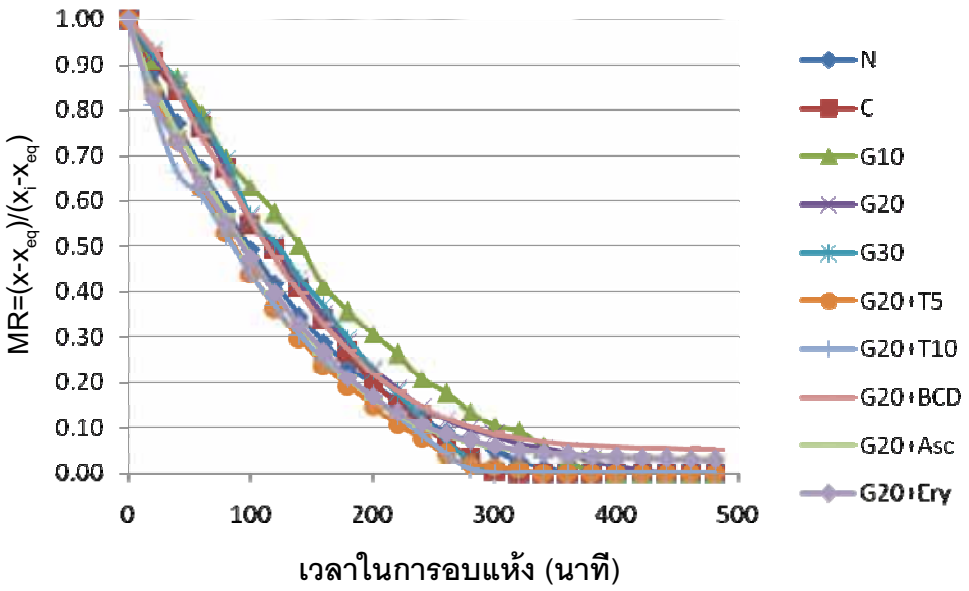
ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสำหรับการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว (A: อบแห้งครั้งที่ 1, B: อบแห้งครั้งที่ 2, CH: channel ที่วัดอุณหภูมิ)



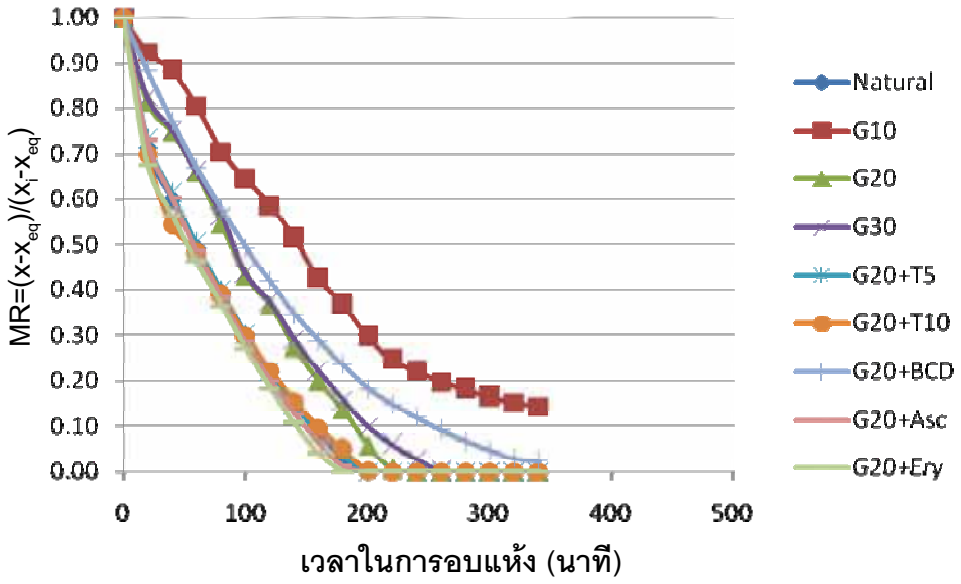
ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสำหรับการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ (A: อบแห้งครั้งที่ 1, B: อบแห้งครั้งที่ 2, CH: channel ที่วัดอุณหภูมิ)

4.3 กราฟการทำแห้งของเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง

จากภาพที่ 11 และ 12 จะเห็นว่ากราฟการทำแห้งของการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวและการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิมีรูปแบบที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ การลดลงของความชื้นของเนื้อลำไยจะลดลงอย่างต่อเนื่องในขณะที่ทำการอบแห้ง ซึ่งจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและจะลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงท้ายของการอบแห้งและจะค่อยๆ คงที่ในที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงแรกของการอบแห้งเนื้อลำไยยังคงมีปริมาณความชื้นสูง ซึ่งความชื้นหรือปริมาณน้ำในเนื้อลำไยในช่วงแรกส่วนใหญ่เป็นน้ำอิสระ (free water) ทำให้สามารถเคลื่อนตัวออกจากเนื้อลำไยไปสู่ภายนอกเพื่อทดแทนส่วนที่ระเหยไปจากผิวหน้าของเนื้อลำไยที่ระเหยไปสู่อากาศภายนอกระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อน จากนั้นการลดลงของความชื้นภายในเนื้อลำไยจะช้าลง และความชื้นของเนื้อลำไยในช่วงท้ายจะค่อนข้างคงที่เนื่องจากภายในเนื้อลำไยไม่มีน้ำอิสระหลงเหลืออยู่เลย



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงความชื้นเทียบกับเวลา (น้ำหนักแห้ง) ของเนื้อลำไยที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกชนิดต่างๆ ระหว่างการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงความชื้นเทียบกับเวลา (น้ำหนักแห้ง) ของเนื้อลำไยที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกชนิดต่างๆ ระหว่างการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ

4.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวระหว่างการเก็บรักษา

จากการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลมคงที่ 1 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีนปิดสนิทและบรรจุกล่องทึบแยกชิ้น เป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32$\pm$0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45$\pm$0.5% พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งสีทองมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาทั้งทางกายภาพและทางเคมี ดังต่อไปนี้

4.4.1 **ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้** (water activity, a_w)

ค่า a_w ของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวแสดงดังตารางที่ 6 พบว่าภายหลังการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งสีทองทุกชุดการทดลองมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.75 ซึ่งเป็นค่า a_w สำหรับเนื้อลำไยอบแห้งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.1385/2550) และมีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีค่า a_w สูงที่สุด คือ 0.565 รองลงมา คือชุดควบคุม มีค่า a_w เท่ากับ 0.444 และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ด้วยการแช่สารละลายออสโมติกชนิดต่างๆ มีค่า a_w ต่ำ อยู่ในช่วง 0.297-0.337 โดยเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 30% มีค่า a_w ต่ำที่สุด คือ 0.280 เช่นเดียวกับภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน เนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติยังคงมีค่า a_w สูงที่สุด คือ 0.597 รองลงมา คือ ชุดควบคุม มีค่า 0.517 และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ด้วยการแช่สารละลายออสโมติกชนิดต่างๆ ยังคงมีค่า a_w ต่ำอยู่ในช่วง 0.325-0.403 เนื่องจากการใช้กลีเซอรอลซึ่งเป็นสารดูดซับความชื้นในสารละลายออสโมติกมีส่วนช่วยในการลดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับที่ Moreira และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาการใช้สารละลายกลีเซอรอลในการแช่แห้ว พบว่าการใช้กลีเซอรอลในสารละลายออสโมติกที่ใช้แช่แห้วก่อนการอบแห้งสามารถลดค่า a_w ของแห้วได้ โดย a_w ของแห้วจะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกลีเซอรอลเนื่องจากกลีเซอรอลจัดเป็นสารโพลีออล (Ledward, 1981) ที่มีสมบัติในการลดค่า a_w ในผลิตภัณฑ์ (Obanu และ Ledward, 1986)

ตารางที่ 6 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้				
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural^{ns}	0.565±0.053^{A}	0.577±0.024^{A}	0.593±0.012^{A}	0.594±0.028^{A}	0.597±0.011^{A}
Control^{ns}	0.444±0.077^{B}	0.475±0.088^{B}	0.481±0.034^{B}	0.491±0.082^{B}	0.517±0.035^{B}
G10	0.310±0.010^{C,b}	0.345±0.022^{C,a}	0.347±0.004^{C,a}	0.357±0.012^{C,a}	0.378±0.010^{C,a}
G20	0.305±0.035^{C,b}	0.325±0.007^{C,ab}	0.333±0.002^{C,ab}	0.367±0.019^{C,a}	0.369±0.023^{C,a}
G30	0.280±0.004^{C,b}	0.299±0.016^{C,ab}	0.314±0.023^{C,ab}	0.317±0.002^{C,a}	0.325±0.001^{C,a}
G20+T5^{ns}	0.305±0.026^{C}	0.345±0.061	0.358±0.044	0.366±0.046	0.379±0.070
G20+T10^{ns}	0.337±0.029^{C}	0.369±0.018	0.380±0.033	0.386±0.022	0.403±0.027
G20+B-CD^{ns}	0.309±0.038^{C}	0.336±0.043	0.350±0.067	0.352±0.057	0.356±0.069
G20+Na Asc^{ns}	0.321±0.001^{C}	0.352±0.044	0.374±0.004	0.382±0.033	0.386±0.019
G20+Na Ery	0.297±0.013^{C,b}	0.316±0.004^{C,ab}	0.340±0.025^{C,a}	0.340±0.012^{C,a}	0.342±0.013^{C,a}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

จะเห็นได้ว่าระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน เนื้อลำไยอบแห้งในทุกๆ ชุดการทดลองมีค่า a_w เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและค่อนข้างคงที่ในระหว่างการเก็บรักษา สอดคล้องกับผลการทดลองของ Silveira และคณะ (1996) ที่ได้ทำการอบแห้งสับปะรดที่ผ่านการแช่สารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.25% กรดซิตริก 2% และสารละลายซูโครส 50% จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างในถุงโพลีโพรไพลีนปิดสนิท เป็นเวลา 4 เดือน ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และทำการวัดค่า a_w พบว่า a_w ของตัวอย่างคงที่ที่ 0.70 ระหว่างการเก็บรักษา จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเนื้อลำไยอบแห้งปลอดภัยจากการเจริญของจุลินทรีย์ทุกชนิดเนื่องจากมีค่า a_w น้อยกว่า 0.600 (นิธิยา, 2545)

4.4.2 **ปริมาณความชื้น** (Moisture Content)

ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองชุดการทดลองต่างๆ แสดงดังตารางที่ 7 จากการทดลองพบว่าปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 30% ภายหลังการอบแห้งมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด คือ 7.91% ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% มีปริมาณความชื้นสูงที่สุดภายหลัง คือ 10.16% และจะเห็นว่าระหว่างการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากความชื้นจากบรรยากาศภายนอกเคลื่อนที่ผ่านบรรจุภัณฑ์เข้าไปในตัวอย่างได้ ทำให้ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งชนิดของวัสดุที่ใช้ในการเป็นภาชนะบรรจุและสภาวะในการบรรจุมีผลต่อความคงตัวของอาหารในการเก็บรักษา (Cruess, 1966) และเมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองมีปริมาณความชื้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นเดียวกัน โดยเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด คือ 15.15% ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 30% มีปริมาณความชื้น 10.84% ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งในทุกชุดการทดลองภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 32 ± 0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ $45\pm0.5\%$ เป็นเวลา 5 เดือนยังคงมีปริมาณความชื้นต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับเนื้อลำไยอบแห้ง (มผช.1385/2550) ที่กำหนดให้มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 18%

ตารางที่ 7 ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา เป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ปริมาณความชื้น (%)				
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural	$9.47\pm0.00^{C,d}$	$12.07\pm0.06^{A,c}$	$14.03\pm0.05^{A,b}$	$14.29\pm0.34^{B,b}$	$15.15\pm0.00^{A,a}$
Control	$9.42\pm0.19^{C,c}$	$9.48\pm0.11^{F,c}$	$9.96\pm0.01^{G,b}$	$11.28\pm0.01^{F,a}$	$11.41\pm0.02^{I,a}$
G10	$10.16\pm0.02^{A,d}$	$10.57\pm0.11^{D,c}$	$10.52\pm0.00^{F,c}$	$13.97\pm0.01^{C,b}$	$14.40\pm0.01^{C,a}$
G20	$9.81\pm0.03^{B,c}$	$10.89\pm0.14^{C,b}$	$10.98\pm0.07^{E,b}$	$14.69\pm0.06^{A,a}$	$14.84\pm0.19^{B,a}$
G30	$7.19\pm0.02^{G,a}$	$9.85\pm0.35^{E,b}$	$10.33\pm0.30^{F,ab}$	$10.50\pm0.01^{G,a}$	$10.84\pm0.10^{J,a}$
G20+T5	$7.52\pm0.00^{F,d}$	$11.24\pm0.17^{B,c}$	$11.45\pm0.06^{D,c}$	$12.45\pm0.01^{D,a}$	$12.59\pm0.02^{G,a}$
G20+T10	$8.93\pm0.01^{D,e}$	$11.40\pm0.02^{B,d}$	$11.62\pm0.01^{D,c}$	$11.98\pm0.10^{E,b}$	$12.31\pm0.16^{H,a}$
G20+B-CD	$8.49\pm0.00^{E,e}$	$12.12\pm0.00^{A,d}$	$12.25\pm0.02^{B,c}$	$12.48\pm0.04^{D,b}$	$13.87\pm0.01^{E,a}$
G20+Na Asc	$9.38\pm0.23^{C,d}$	$11.21\pm0.02^{B,c}$	$12.02\pm0.04^{C,b}$	$12.10\pm0.04^{E,b}$	$14.12\pm0.00^{D,a}$
G20+Na Ery	$9.06\pm0.03^{D,e}$	$10.31\pm0.01^{D,d}$	$11.53\pm0.03^{D,c}$	$12.05\pm0.01^{E,b}$	$13.56\pm0.10^{F,a}$

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

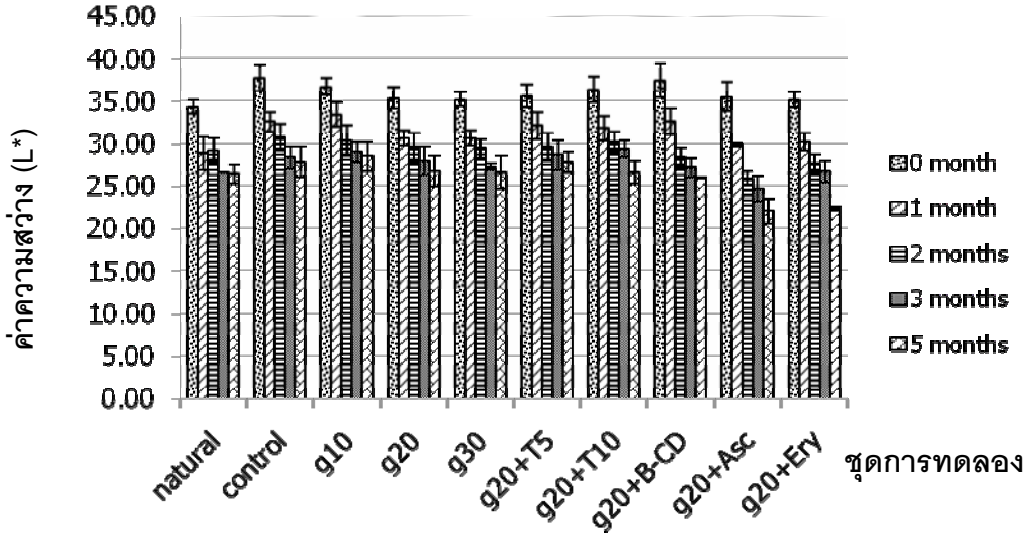
a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

4.4.3 การเปลี่ยนแปลงสี

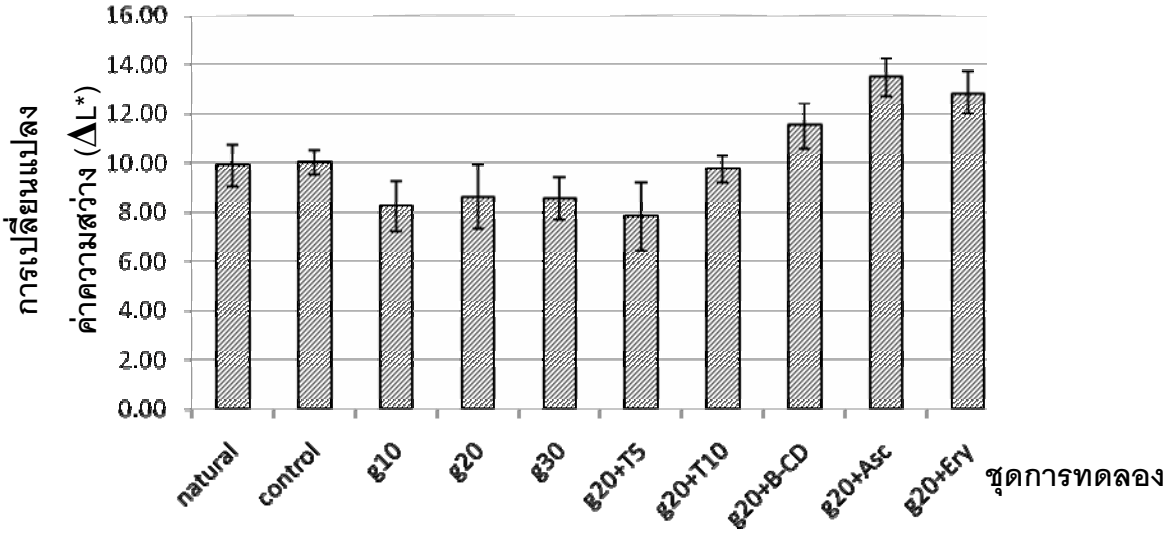
สีเป็นลักษณะคุณภาพที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคและเป็นดัชนีคุณภาพเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์อาหาร (Pott และคณะ, 2005) การพิจารณาสีของผลิตภัณฑ์เบื้องต้นอาศัยการรับรู้ทางประสาทสัมผัส โดยอาศัยตาของมนุษย์และการวิเคราะห์จากการมองเห็น การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์มีสาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาขององค์ประกอบในอาหารระหว่างกระบวนการอบแห้งและการเก็บรักษา การเกิดสีในผลิตภัณฑ์เป็นผลมาจากปฏิกิริยาหลายชนิด เช่น การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ และการถูกทำลายรงควัตถุ (Wong และ Stanton, 1992)

Ozkan และคณะ (2002) กล่าวว่าค่า L* เป็นค่าที่ใช้เป็นดัชนีบ่งบอกการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้ง จากการวิเคราะห์ค่า L* ของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองดังแสดงในภาพที่ 13 พบว่าภายหลังการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งสีทองทุกชุดการทดลองมีค่า L* อยู่ระหว่าง 34.38-37.82 ซึ่งเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีค่า L* ต่ำที่สุดคือ 34.38 แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองอื่น ($p \geq 0.05$) และระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน พบว่าค่า L* ของเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% ซึ่งค่า L* ของเนื้อลำไยอบแห้งจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 เดือน เมื่อพิจารณาค่า L* ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 32$\pm$0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45$\pm$0.5% เป็นเวลา 5 เดือน พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% มีค่า L* สูงสุดคือ 28.52 แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20, 30% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5 และ 10% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับเบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 1% (ตารางผนวกที่ 7) เนื่องจากกระบวนการออสโมติกที่ใช้ในการพรีทรีทเม้นท์ก่อนการอบแห้งมีประโยชน์ในการช่วยรักษาสีของผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบแห้งให้มีความสว่างและสม่ำเสมอสอดคล้องกับการทดลองของ Aktas และคณะ (2007) ซึ่งทำการทดลองโดยใช้กระบวนการพรีทรีทเม้นท์ด้วยการแช่สารละลายออสโมติกที่ประกอบด้วยทรีฮาโลสก่อนการอบแห้งผักและผลไม้ พบว่าการพรีทรีทเม้นท์ด้วยทรีฮาโลสในสารละลายออสโมติกช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติด้านสีที่ดีขึ้น เนื่องจากทรีฮาโลสเป็นน้ำตาลที่ไม่ใช่น้ำตาลรีดิวซ์จึงไม่สามารถทำปฏิกิยากับกรดอะมิโนหรือโปรตีนซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่-

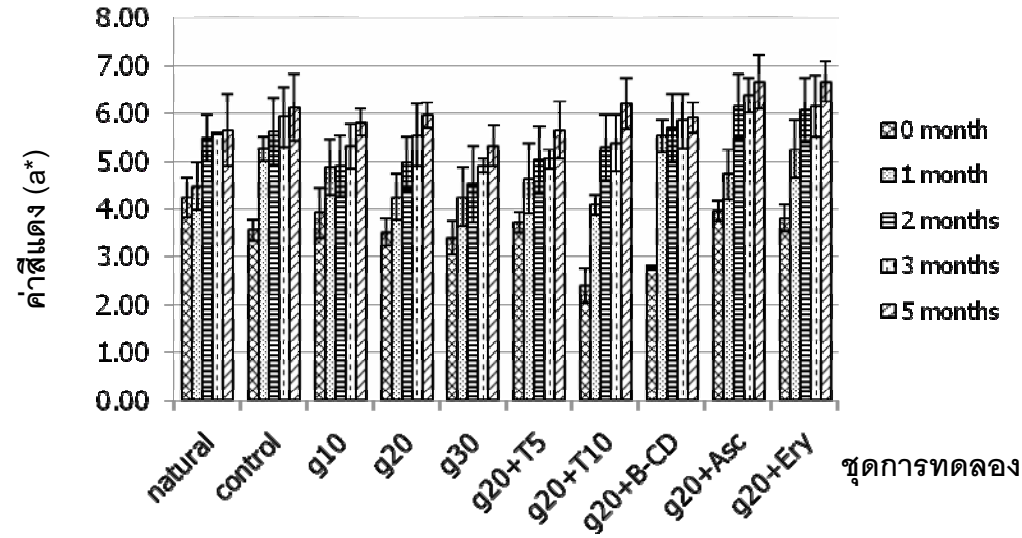
อาศัยเอนไซม์แบบเมลลาร์ดได้ และยังช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นและสีของผลิตภัณฑ์-อบแห้งอีกด้วย เช่นเดียวกับการทดลองของ Varanyanond และคณะ (2001) ซึ่งได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณทรีฮาโลสและซูโครสในสารละลายออสโมติกต่อคุณภาพของมะม่วงอบแห้ง พบว่ามะม่วงอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายซูโครส 50% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% มีค่าความสว่างสูงที่สุดภายหลังการอบแห้งและเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างระหว่างการเก็บรักษา (ΔL^*) ดังแสดงในภาพที่ 14 พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5% มีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างน้อยที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองอื่นๆ ($p<0.05$) เนื่องมา จากคุณสมบัติในการรักษาคุณภาพทางด้านสีของทรีฮาโลสดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



ภาพที่ 13 ค่าความสว่าง (L*) ในเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%



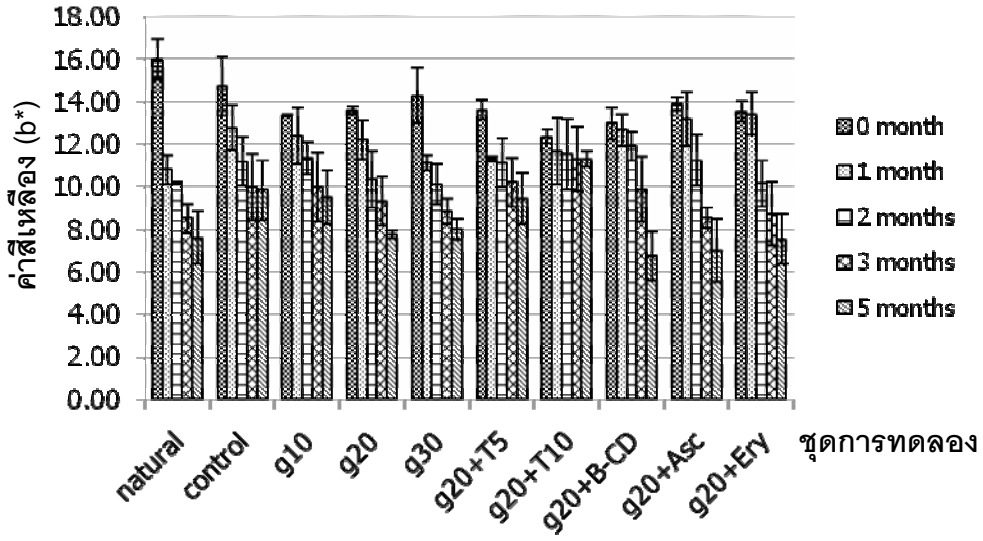
ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ในเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%



ภาพที่ 15 ค่าสีแดง (a*) ในเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

สำหรับค่า a* (ภาพที่ 15) พบว่าภายหลังการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีค่า a* สูงที่สุด ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% มีค่า a* ต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติไม่ได้ผ่านกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ใดๆ ก่อนการอบแห้งทำให้อาจเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลระหว่างการอบแห้ง ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งสีทองชุดการทดลองอื่นมีการผ่านกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ด้วยการแช่สารละลายออสโมติกที่มีกลีเซอรอลเป็นองค์ประกอบช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งได้ (Barbosa-Canovas และ Vega-Mercado, 1996) เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าค่า a* ของเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นและภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน พบว่าค่า a* ของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองทุกชุดการทดลองไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

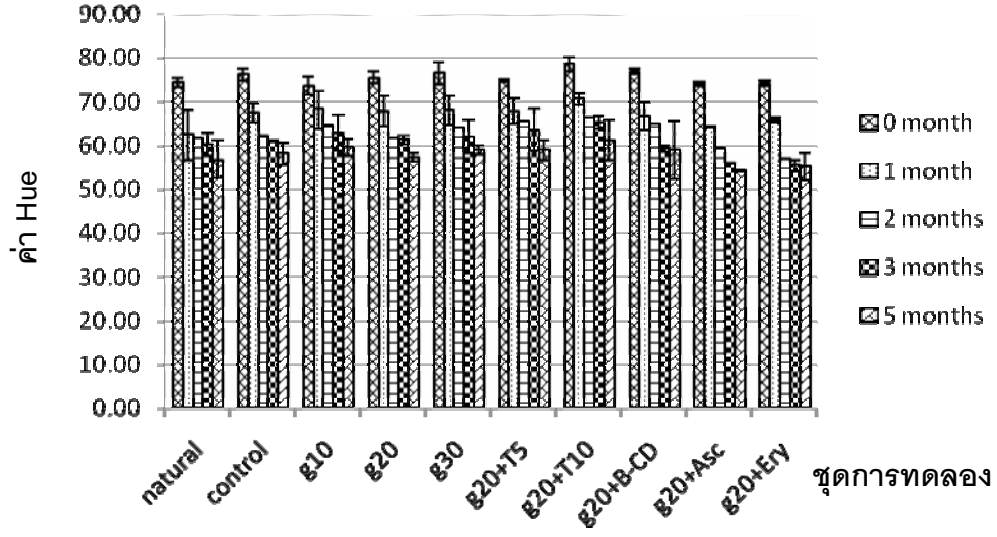
ค่า b* (ภาพที่ 16) ซึ่งแทนค่าสีเหลืองในผลิตภัณฑ์ พบว่าภายหลังการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองมีค่า b* ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และค่า b* ของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือนเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% มีค่า b* ต่ำที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% ซึ่งในระหว่างการเก็บรักษามีการลดลงของค่า b* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษายกเว้นเนื้อลำไยอบแห้งชุดควบคุมเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับเบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 1%



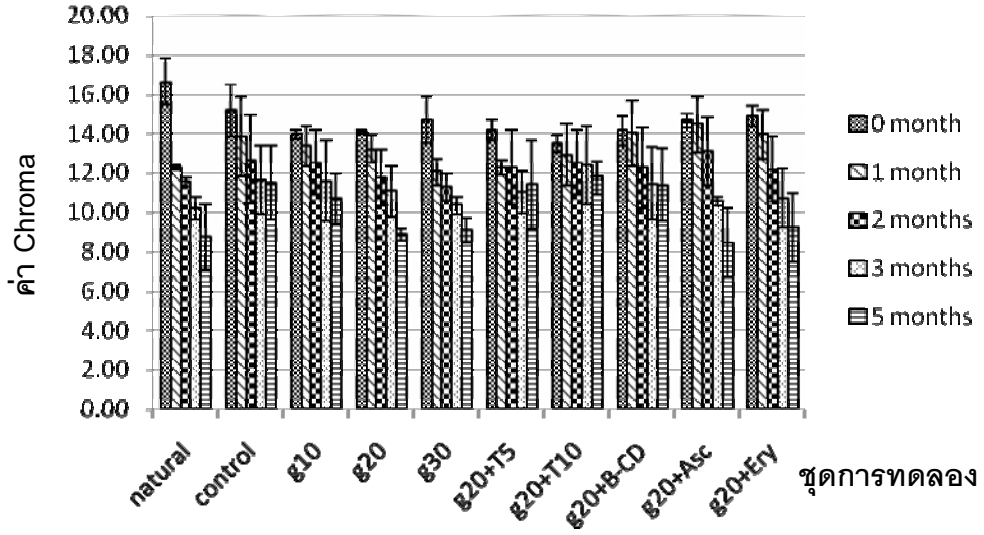
ภาพที่ 16 ค่าสีเหลือง (b*) ในเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

จากผลการทดลองที่กล่าวมาแล้วข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเนื้อลำไยอบแห้งสีทองทุกชุดการทดลองเกิดการเปลี่ยนแปลงสีเนื่องจากการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากค่า L* เป็นค่าที่ใช้สำหรับเป็นดัชนีที่บ่งบอกการเกิดสีดำคล้ำ (darkening) ระหว่างการเก็บรักษาที่เป็นผลมาจากทั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและ/หรือจากการเพิ่มขึ้นของรงควัตถุ (Lozano และคณะ, 1993) เช่นเดียวกับ Monsalve-Gonzalez และคณะ (1993) ซึ่งกล่าวว่าการลดลงของค่า L* และการเพิ่มขึ้นของค่า a* เป็นดัชนีที่ใช้บ่งบอกการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ได้ สอดคล้องกับการทดลองของวนิษฐา (2551) ซึ่งทำการศึกษาการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษามะม่วงแช่อิ่มอบแห้งชนิดหวานน้อยที่ไม่มีการเติมสารกลุ่มเมตาไบซัลไฟต์ จากการทดลองทางด้านการเปลี่ยนแปลงสี พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นค่า L* และ b* ของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง ในขณะที่ค่า a* มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์และการสูญเสียรงควัตถุเบต้าแคโรทีนระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เช่นเดียวกับ Pchayawarakorn และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสีระหว่างการเก็บรักษากระเทียมสไลด์อบแห้ง โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงค่า L, a และ b พบว่าระหว่างการเก็บรักษากระเทียมอบแห้งมีค่า L และ b ลงลง ในขณะที่ค่า a เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาแบบไม่อาศัยเอนไซม์ระหว่างการเก็บรักษาและการสลายตัวของรงควัตถุ นอกจากนี้จากการศึกษาของ Topoz (2008) พบว่า ผงปาปริการะหว่างการเก็บรักษามีค่า L*, a* และ b*

ลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ส่งผลให้ค่า L* และค่า b* ของผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งสำหรับค่า a* ให้ผลการทดลองที่ตรงข้ามกับผลการทดลองของเนื้อลำไยอบแห้ง เนื่องจากปาปริกาเป็นวัตถุดิบที่มีรงควัตถุสีแดงระหว่างการเก็บรักษาอาจมีการสลายตัวของรงวัตถุซึ่งแตกต่างกับเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่มีการเพิ่มขึ้นของค่า a*



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงค่า Hue ในเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงค่า Chroma ในเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ภาพที่ 17 และ 18 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า hue และค่า chroma ของเนื้อลำไยอบแห้ง-สีทองทุกชุดการทดลองระหว่างการเก็บรักษา โดยค่า hue เป็นค่าที่นิยมใช้บ่งบอกสีของผลิตภัณฑ์อาหาร ในขณะที่ค่า chroma เป็นค่าความอิ่มตัวของสี (saturation) ซึ่งจะแปรผันกับค่าความเข้มของสี อาจกล่าวได้ว่าค่า chroma เป็นค่าความเข้มหรือความบริสุทธิ์ของ hue (Zuo และคณะ, 2008) จากรูปจะเห็นว่าค่า hue และค่า chroma ของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองทุกชุด-การทดลองมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตารางผนวกที่ 13 และ14) ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าเนื้อลำไยอบแห้งเกิดการเปลี่ยนแปลงสีเป็นสีคล้ำเข้มเพิ่มมากขึ้นระหว่างการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส สามารถเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ และเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองมีค่า a_w 0.300-0.600 ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในด้านต่างๆ ได้ โดยเฉพาะการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ซึ่งค่า a_w มีผลโดยตรงกับปฏิกิริยานี้ กล่าวคืออัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์จะสูงขึ้นเมื่อค่า a_w มีค่ามากขึ้น (Fontana, 2003) ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์สูงสุดในหลายกรณีจะเกิดที่ a_w ในช่วง 0.300-0.700 (Maltini และคณะ, 2003) สอดคล้องกับการทดลองของ Maskan (2001) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของกีวีที่มีความหนา 5.03±0.236 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40±0.812 มิลลิเมตร ระหว่างการอบแห้งด้วย

ลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.29 เมตรต่อวินาทีในเครื่องอบแห้งแบบถาด จากการทดลองพบว่ากีวีมีค่า chroma และ hue ลดลง เช่นเดียวกับค่า b* ในขณะที่มีปริมาณการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์และไม่อาศัยเอนไซม์

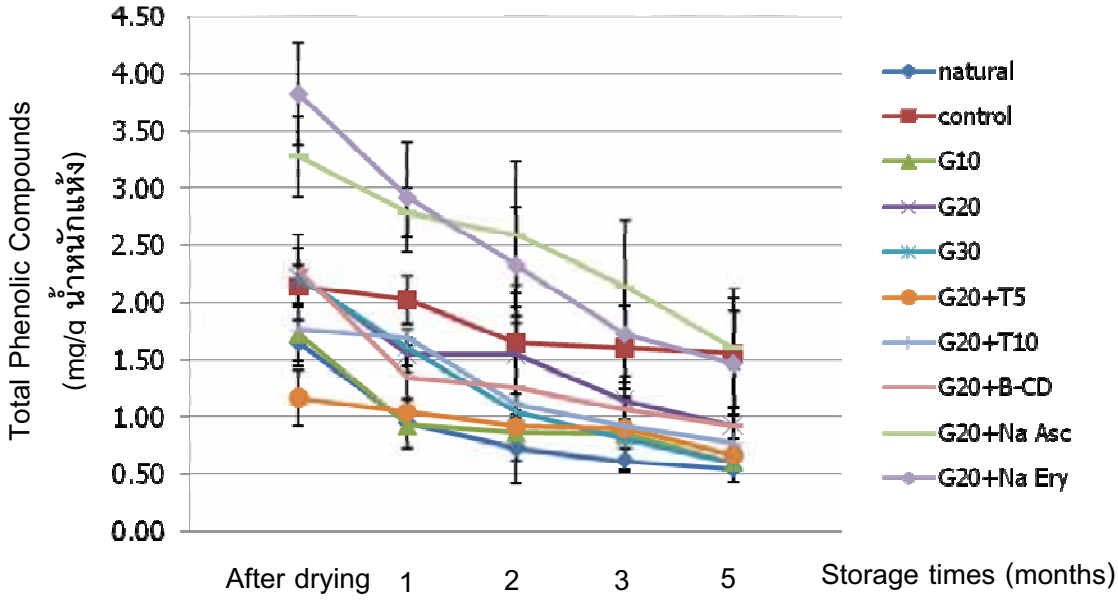
4.4.4 การเกิดสีน้ำตาล

การเกิดสีน้ำตาลของผลไม้อบแห้งที่ปราศจากซัลไฟต์ระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษามีสาเหตุจากปฏิกิริยาที่อาศัยเอนไซม์และไม่อาศัยเอนไซม์ ซึ่งการวัดการเกิดสีน้ำตาลโดยทั่วไปสามารถติดตามได้โดยการวัดปริมาณสารตั้งต้น สารตัวกลางและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาสีน้ำตาล โดยอาศัยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ

4.4.4.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ โดยสารประกอบฟีนอลิกจะเป็นสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งสามารถถูกเร่งด้วยเอนไซม์ PPO และออกซิเจนกลายเป็นสารออร์โทควิโนนและสารผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่เป็นสาเหตุของเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหาร

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเนื้อลำไยอบแห้งสีทองชุดการทดลองต่างๆ แสดงดังภาพที่ 19 พบว่าภายหลังการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1% มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด คือ 3.83 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมา คือเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% มีปริมาณ 3.28 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งไม่แตกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติ ชุดควบคุม เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้น 10, 20, 30% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับเบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 1% ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5% มีปริมาณฟีนอลิกต่ำที่สุด คือ 1.17 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

เมื่อทำการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งสีทองเป็นเวลา 5 เดือน พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ยกเว้นเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับเบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 1% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1% โดยเมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่อายุการเก็บ-รักษา 5 เดือน พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียม-อีรีธอร์เบต 1% ยังคงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด คือ 1.47 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับเนื้อลำไยอบแห้งชุดควบคุมและเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% (ตารางผนวกที่ 1) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อลำไยสดก่อนการอบแห้ง ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 1.46 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง พบว่าภายหลังการอบแห้งเนื้อลำไยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการศึกษาของรุ่งทิพย์ (2549) ซึ่งพบว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในลำไยอบแห้งแบบทั้งผลพร้อมเปลือกพันธุ์อีดอมีปริมาณเพิ่มขึ้นภายหลังการอบแห้ง เช่นเดียวกับการทดลองของ Rangkadilok และคณะ (2005) ซึ่งพบว่า

เนื้อลำไยอบแห้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นภายหลังการอบแห้งแบบทั้งผลที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

นอกจากนี้จากผลการทดลองที่แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงในระหว่างการเก็บรักษา อาจเนื่องมาจากมีการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ขึ้น ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นเริ่มจากการเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชั่น (hydroxylation) ของสารประกอบโมโนฟีนอลกลายเป็นไดฟีนอลโดยอาศัยออกซิเจนและเอนไซม์ PPO จากนั้นออร์โธไดฟีนอลจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไปโดยจะถูกเร่งด้วย PPO ได้ผลิตภัณฑ์เป็นออร์โธควิโนนซึ่งจะถูกควบแน่นและเกิดปฏิกิริยาที่ไม่อาศัยเอนไซม์กับสารประกอบอื่น เช่น สารประกอบฟีนอลิก กรดอะมิโนต่อไป เพื่อผลิตรงควัตถุที่ให้สีน้ำตาลเข้มหรือดำ (melanin pigment) ต่อไป จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ลดลงในระหว่างการเก็บรักษาอาจถูกใช้ไปเป็นสารในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล สอดคล้องกับการทดลองของ Cheng และ Crisosto (1995) ที่ได้ทำการศึกษาการเกิดสีน้ำตาล ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก-ทั้งหมด และกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในสารสกัดที่ได้จากพีชและเนกทารีน พบว่าการเกิดสีน้ำตาลในสารสกัดดังกล่าวขึ้นอยู่กับเอนไซม์ PPO และกรดคลอโรจินิก (สารประกอบฟีนอลิก) ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมานี้เป็นองค์ประกอบหลักของการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Ye และคณะ (2007) ซึ่งทำการศึกษาสารประกอบโพลีฟีนอลิกและการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิ้ลที่ผ่านกระบวนการแปรรูป พบว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีความสัมพันธ์อย่างมากกับการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ โดยแอปเปิ้ลไซเดอร์ที่มีสารประกอบโพลีฟีนอลสูงจะเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์มาก จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้งสองพบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมาก (r^2 = 0.925) และจากการทดลองดังกล่าวยังพบว่าในแอปเปิ้ลพันธุ์ฟูจิภายหลังการเกิดสีน้ำตาลมีปริมาณฟีนอลิกลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะคลอโรจินิกและคะเตชิน ซึ่งคะเตชินเป็นโพลีฟีนอลหลักในการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิ้ล (Liu, 2004) และยังพบว่าการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิ้ลพันธุ์ Golden Delicious, Empire และ Rome ก็มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเช่นเดียวกัน (Ye และคณะ, 2007)

4.4.4.2 ปริมาณไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอล (HMF)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดเมลลาร์ดเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิด-สีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยอบแห้งสีทอง ซึ่งสามารถติดตามได้โดยการวิเคราะห์ปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรัลหรือ HMF ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดย HMF เป็นสารตัวกลางของปฏิกิริยาเมลลาร์ด ก่อนจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ผลิตภัณฑ์เป็นรงควัตถุสีน้ำตาล โดยอาศัยการวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 443 นาโนเมตร (Lara และคณะ, 2001)

จากการศึกษาปริมาณ HMF ของเนื้อลำไยอบแห้งภายหลังการอบแห้งและการเก็บรักษา พบว่าภายหลังการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองมีปริมาณ HMF ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) (ตารางที่ 8) โดยภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% มีปริมาณ HMF มากที่สุด คือ 88.20 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติ เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5 และ 10% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับเบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 1% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1% ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือนเนื้อลำไยอบแห้งในทุกชุดการทดลองมีปริมาณ HMF ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 30% มีปริมาณ HMF ต่ำที่สุด จากตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่าเนื้อลำไยอบแห้งส่วนใหญ่มีปริมาณ HMF เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ยกเว้นเนื้อลำไย-อบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 30% ที่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ HMF แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 8 ปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอล (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)				
	0 เดือน^{ns}	1 เดือน^{ns}	2 เดือน	3 เดือน^{ns}	5 เดือน
Natural	31.63±2.54^{b}	34.82±9.78^{b}	37.05±0.11^{AB,ab}	52.94±7.62^{ab}	65.81±5.88^{AB,a}
Control	30.59±6.59^{b}	38.97±0.36^{ab}	28.45±2.68^{B,b}	49.87±3.99^{ab}	59.54±7.09^{B,a}
G10	38.48±6.36^{b}	37.44±3.17^{b}	50.26±1.75^{AB,b}	47.45±5.51^{b}	85.24±6.66^{AB,a}
G20	41.30±3.27^{b}	35.95±2.70^{b}	57.63±5.04^{A,ab}	60.55±4.99^{ab}	88.20±6.15^{A,a}
G30^{ns}	40.39±1.17	43.86±1.49	49.51±3.59^{AB}	56.97±3.95	60.29±9.88^{B}
G20+T5	36.16±2.82^{b}	41.98±2.63^{b}	42.38±9.65^{AB,b}	48.20±3.27^{b}	83.41±8.93^{AB,a}
G20+T10	33.22±3.99^{c}	41.92±2.52^{bc}	41.66±6.52^{AB,bc}	51.66±0.05^{ab}	65.35±7.07^{AB,a}
G20+B-CD	32.19±5.76^{b}	39.63±4.32^{b}	53.63±6.54^{A,b}	54.24±1.16^{b}	76.82±8.56^{AB,a}
G20+Na Asc	34.64±2.30^{b}	43.17±10.35^{b}	42.83±3.58^{AB,b}	60.78±8.50^{a}	73.49±4.92^{AB,a}
G20+Na Ery	39.96±1.16^{bc}	36.02±7.08^{c}	45.07±1.29^{AB,bc}	55.13±4.95^{b}	76.32±6.72^{AB,a}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

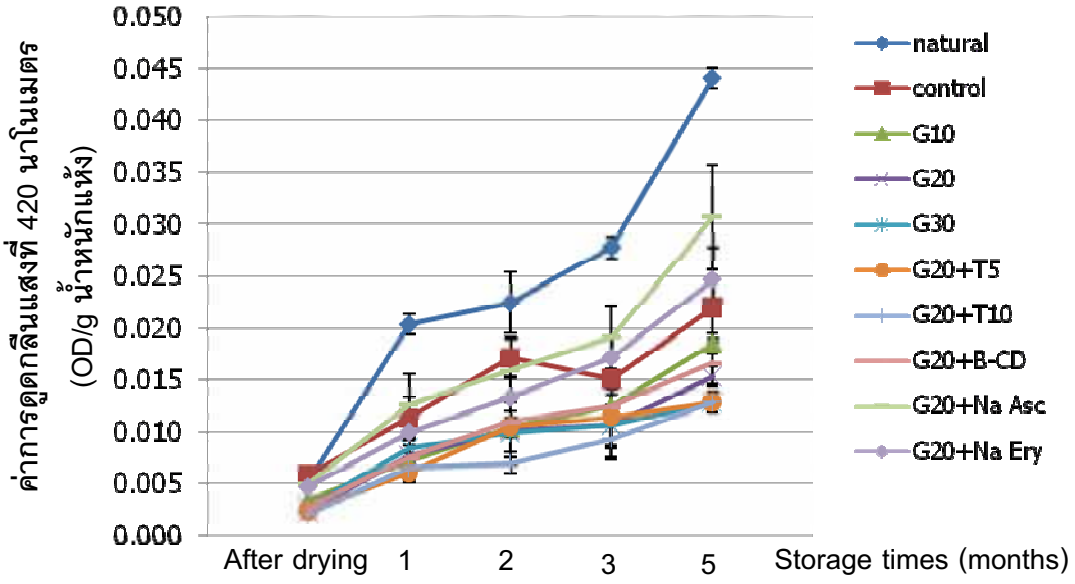
จากผลการทดลองดังกล่าวอาจเนื่องจากเนื้อลำไยอบแห้งสีทองในแต่ละชุดการทดลองมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่เท่ากัน การติดตามปริมาณสาร HMF ซึ่งเป็นสาร intermediate อาจเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาในขั้นต่อไปที่ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารสีน้ำตาลที่ไม่อาศัย-เอนไซม์ชนิดเมลลาร์ด สอดคล้องกับการทดลองของ Grozdenovic และคณะ (2007) ซึ่งได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลไม้อบแห้งที่มีการใช้บรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจาก HMF เป็นสารตัวกลางของการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งจะเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ต่อไป ดังนั้นในบางช่วงเวลาที่มีปริมาณ HMF เพิ่มนั่นคือน้ำตาลรีดิวซ์ได้ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนมากในช่วงนั้นและเกิดเป็น HMF มากและเมื่อ HMF เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็นเมลานอยดินส่งผลให้ปริมาณ HMF ลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Burdurlu และคณะ (2003) พบว่าเมื่อเก็บรักษาน้ำแอปเปิ้ลเข้มข้นที่อุณหภูมิ 20 และ 37 องศา-เซลเซียส ทำให้น้ำแอปเปิ้ลมีปริมาณ HMF เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ช่วงท้ายของการเก็บรักษาโดยเฉพาะในช่วง 4 ถึง 5 เดือนหลัง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ HMF เริ่มต้น พบว่าปริมาณ HMF ระหว่างการเก็บรักษามีปริมาณเพิ่มขึ้น 100-142 เท่า และ Rada-Mendoza และคณะ (2004) ศึกษาการเกิดสาร HMF ระหว่างการเก็บรักษาแยมและอาหารสำเร็จรูปที่มีผลไม้เป็นองค์ประกอบ โดยทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 2, 5, 9 และ 12 เดือน พบว่าตัวอย่างผลิตภัณฑ์แยมและอาหารสำเร็จรูปที่มีผลไม้เป็นองค์ประกอบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีปริมาณ HMF เกิดขึ้นเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่ตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีปริมาณ HMF เพิ่มขึ้นอย่างมากระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน จึงสามารถกล่าวได้ว่าการเกิดสาร HMF ขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษา นอกจากนี้ Tosun และ Ustun (2003) พบว่าปริมาณ HMF ของผลิตภัณฑ์ white hard grape pekmez ซึ่งเป็นอาหารพื้นเมืองของประเทศตุรกี ซึ่งมีองุ่นแห้งเป็นองค์ประกอบและคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่อยู่ในรูปกลูโคสและฟรุกโตส ระหว่างการเก็บ-รักษาเป็นเวลา 8 เดือน มีปริมาณ HMF เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) เนื่องจากมีองค์ประกอบของน้ำตาลและโปรตีนจำนวนมาก โดยปริมาณ HMF ที่เพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับการเกิดสีคล้ำในผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ค่า L ของผลิตภัณฑ์ลดลงในขณะที่ค่า a และ b เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

4.4.4.3 ปริมาณการเกิดสีน้ำตาล

การวัดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลอาจวัดได้จากปฏิกิริยาขั้นตอนสุดท้าย คือ วัดความเข้มของสีน้ำตาลที่เกิดขึ้น โดยอาศัยค่า optical density ของสารละลายนิยมวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นช่วง 420-490 นาโนเมตร (นิธิยา, 2545)

จากการวัดการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองโดยอาศัยคุณสมบัติการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร พบว่าภายหลังการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งชุดควบคุมมีการเกิดสีน้ำตาลมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติ เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1% จากภาพที่ 20 แสดงให้เห็นว่าเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองมีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเฉพาะในช่วง 1 เดือนแรกของการเก็บรักษา สอดคล้องกับการศึกษาของ Koca Burdurlu และ Karadeniz (2007) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของแครอทอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เก็บรักษาในถุงชนิดโพลีโพรไพลีนที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าแครอทอบแห้งที่การเก็บรักษาทุกสภาวะมีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน เนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีการเกิดสีน้ำตาลสูงที่สุด (0.044 OD/กรัม น้ำหนักแห้ง) รองลงมา คือเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% (0.031 OD/กรัม น้ำหนักแห้ง) เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1% (0.025 OD/กรัม น้ำหนักแห้ง) และเนื้อลำไยอบแห้งชุดควบคุม (0.022 OD/กรัม น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 4) ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 30% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สาร ละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5 และ 10% มีการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับเบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 1%



ภาพที่ 20 ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ากระบวนการพรีทรีทเม้นท์ด้วยการแช่สารละลายออสโมติกจะช่วยลดค่าการเกิดสีน้ำตาลเริ่มต้นของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองภายหลังการอบแห้งได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งค่า a_w เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญและมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดเมลลาร์ด เนื่องจากปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นในอาหารที่มีค่า a_w ปานกลางได้ยากกว่า a_w สูงๆ ซึ่งในระบบที่มีค่า a_w ต่ำการเคลื่อนที่ของสารที่เข้าทำปฏิกิริยาจะจำกัดแม้จะมีความเข้มข้นมากแต่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้น้อยกว่า a_w สูง ดังนั้นการลดค่า a_w ในผลิตภัณฑ์อบแห้ง โดยอาศัยการอบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชันส่งผลในการลดการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดเมลลาร์ดได้ ดังผลการทดลองข้างต้นเห็นได้ว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกมีการเกิดสีน้ำตาลภายหลังการอบแห้งและระหว่างการเก็บรักษาน้อยกว่าเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติ และเนื้อลำไยอบแห้งชุดควบคุม ยกเว้นเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1% เนื่องจากคุณสมบัติของสารที่ใช้ในสาร ละลายออสโมติก ดังเช่นที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่ากลีเซอรอลสามารถลดค่า a_w ในเนื้อลำไยอบแห้งซึ่งส่งผลต่อการลดการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากนี้

การใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลร่วมกับกลีเซอรอลก็สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ได้เช่นกัน

เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5 และ 10% มีการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติของกลีเซอรอลในการลดค่า a_w ของเนื้อลำไยอบแห้งและคุณสมบัติของทรีฮาโลสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ชนิด non-reducing จึงไม่สามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนหรือโปรตีนในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ มีความคงตัวที่ pH ต่ำ ซึ่งน้ำตาลโมเลกุลคู่อื่นๆ จะเกิดการแตกตัวเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Komes และคณะ, 2005) สามารถป้องกันโครงสร้างหรือหน้าที่ของสารที่มีความไวในการเกิดปฏิกิริยาโดยอาศัยการดูดความชื้น (desiccation) (Crowe และคณะ, 1984) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการลดค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย (Galmarini และคณะ, 2008)

สำหรับการใช้สารละลายกลีเซอรอลร่วมกับสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลอื่นๆ จะเห็นว่าการใช้เบต้าไซโคลเด็กซ์ตรินช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ได้ แม้จะไม่เทียบเท่ากับการใช้ทรีฮาโลสแต่ให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากเบต้าไซโคลเด็กซ์ตรินมีความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอื่น (Del Valle, 2004) โดยอาศัยโครงสร้างที่เป็นวงแหวนภายนอกเป็นหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) และภายในเป็นหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group)(Jarunee, 2005) ส่วนใหญ่นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์น้ำผักและน้ำผลไม้ในการดึง PPO จากน้ำผลไม้เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล โดยอาศัยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Del Valle, 2004) และสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับกรดคลอโรจินิกหรือสารตั้งต้นของ PPO อื่นๆ เพื่อป้องกันการสัมผัสกับPPO ในน้ำผลไม้ที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อน (Irwin และคณะ, 1994) แต่ในการทดลองนี้เห็นว่ามีประสิทธิภาพน้อยกว่าการใช้ทรีฮาโลสอาจเนื่องมาจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนต้องอาศัยการเคลื่อนที่ของสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา แต่ในกรณีของผลไม้อบแห้งอาจมีน้ำในปริมาณต่ำ ทำให้มีการเคลื่อนที่ของสารต่างๆ อย่างจำกัด ทำให้ประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเบต้าไซโคลเด็กซ์ตรินลดลง

จากผลการทดลองสำหรับการเกิดสีน้ำตาลดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นสอดคล้องกับการทดลองของ Mahayothee และคณะ (2009) ที่ได้ทำการศึกษาผลของพรีทรีทเม้นท์ต่อการเปลี่ยนแปลงสีของลิ้นจี่ระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษา โดยศึกษาผลของกลีเซอรอล ซูโครสและทรีฮาโลสในสารละลายออสโมติกต่อการเกิดสีน้ำตาลในลิ้นจี่อบแห้ง โดยการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที ทำการเก็บรักษาในถุงโพลีโพรไพลีนปิดสนิทที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่ากระบวนการพรีทรีทเม้นท์ช่วยลดการเกิดสีน้ำตาล-

เริ่มต้นของลิ้นจี่อบแห้งได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อศึกษาผลของการเก็บรักษา พบว่าลิ้นจี่อบแห้งทุกชุดการทดลองมีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน โดยเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 5% ทรีฮาโลส 5% และกลีเซอรอล 5% ร่วมกับทรีฮาโลส 5% ให้ผลในการชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามการพรีทรีทเม้นท์ด้วยกลีเซอรอล 5% และทรีฮาโลส 5% ให้ผลการทดลองด้านการเปลี่ยนแปลงสีที่ดีที่สุด เนื่องจากสามารถยับยั้งหรือลดการเกิดสีน้ำตาลทั้งที่อาศัยและไม่อาศัยเอนไซม์ในเนื้อลิ้นจี่อบแห้งได้และให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง โดยมีต้นทุนที่เหมาะสม

4.4.4.4 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

การเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์เป็นผลมาจากการเกิดออกซิเดชันของสารประกอบ-ฟีนอลิกโดยอาศัยเอนไซม์ PPO ได้สารประกอบควิโนนและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันต่อเป็นรงควัตถุเมลานิน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหาร (Martinez and Whitaker, 1995) และมีบทบาทต่อการยอมรับของผู้บริโภค อายุการเก็บรักษาและคุณค่าของผลิตภัณฑ์

การทำงานของเอนไซม์ PPO ในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เนื่องจากเอนไซม์ PPO มีความจำเพาะเจาะจงต่อสารตั้งต้นและมีความคงตัวที่สภาวะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืช โดยสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาขั้นต้นของเอนไซม์ PPO สารประกอบฟีนอลิกหลายชนิดมีความสามารถในการเป็นสารตั้งต้น ซึ่ง 4-methylcatechol และ catechol เป็นสารตั้งต้นของเอนไซม์ PPO ในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ในลำไย

จากขั้นตอนทั่วไปที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง ดังแสดงในภาพที่ 7 การลวกเนื้อลำไยสดในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ก่อนการแช่สารละลายออสโมติกชนิดต่างๆ และการอบแห้ง พบว่าการลวกสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO จาก 0.050 ± 0.012 ยูนิตต่อกรัมน้ำหนักแห้งลงเหลือเพียง 0.039 ± 0.009 ยูนิตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง คิดเป็น 22% ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยสดก่อนการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว

ตัวอย่าง	กิจกรรมของเอนไซม์ PPO (ยูนิตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)
เนื้อลำไยสด	0.050 ± 0.012^{a}
เนื้อลำไยหลังการแช่สารละลาย*	$0.048+0.019^{a}$
เนื้อลำไยหลังการลวก	0.039 ± 0.009^{b}

หมายเหตุ : a,b,c หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

* หมายถึง สารละลายที่แคลเซียมคลอไรด์ 0.5% กรดซิตริก 0.3% และโซเดียมแอสคอร์เบต 0.3%

จะเห็นว่าการใช้ความร้อนโดยการลวกวัตถุดิบก่อนการอบแห้งช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยสดได้ ซึ่งโดยทั่วไปการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70-90 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้ สอดคล้องกับการทดลองของ Valle และคณะ (1998) ที่ได้ทำการทดลองลวกเนื้อแอปเปิ้ลก่อนกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่า การใช้ความร้อนในการลวกแอปเปิ้ลช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ลง 25-89% ขึ้นอยู่กับตัวกลางในการให้ความร้อนและเวลาในการลวก โดยการใช้น้ำเป็นตัวกลางในการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบดีกว่าการใช้ไอน้ำเนื่องจากน้ำมีการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่า เช่นเดียวกับChutintrasri และ Noomhorm (2006) ได้ทำการศึกษาการใช้ความร้อนในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในน้ำสับปะรดเข้มข้น โดยการให้ความร้อนแก่น้ำสับปะรดเข้มข้นที่อุณหภูมิ 40-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0-30 นาที พบว่าการทำลายเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน โดยกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ลดลงประมาณ 60% เมื่อผ่านการให้ความร้อน 40-60 องศา-เซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที และการทำลายเอนไซม์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิมากกว่า 75 องศาเซลเซียส โดยกิจกรรมของเอนไซม์จะคงเหลืออยู่เพียง 7% ภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และ 1.2% ภายหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที นอกจากนี้ Castro และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ความร้อนในการลวกพริกหวาน พบว่าการลวกที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียสสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากเอนไซม์ PPO มีความคงตัวต่อความร้อน แต่อย่างไรก็ตามการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โดยอาศัยการใช้ความร้อนยังขึ้นกับอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน โดยปัจจัยเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของเอนไซม์ในวัตถุดิบแต่ละชนิด

ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อนการอบแห้ง ภายหลังจากการปอกเปลือกและคว้านเมล็ดลำไยแล้วมีการนำเนื้อลำไยสดแช่ในสารละลายผสมของแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% กรดซิตริก 0.3% และโซเดียมแอสคอร์เบต 0.3% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนนำไปแช่สารละลายออสโมติก แล้วอบแห้งต่อไป ซึ่งในขั้นตอนนี้ส่งผลต่อการลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ลง 12.50% ดังแสดงในตารางที่ 6 การใช้กรดซิตริกที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกลุ่มของกรดคาร์บอกซิลิก ซึ่งมีความสามารถในการจับโลหะเช่นเดียวกับไอออนของคลอไรด์และช่วยลด pH ของระบบ โดยกรดซิตริกถูกนำมาใช้ในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในผักและผลไม้อย่างกว้างขวาง (Pizzocaro และคณะ, 1993) นอกจากนี้การใช้โซเดียมแอสคอร์เบตร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์และกรดซิตริกยังส่งผลให้การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ดีขึ้น เนื่องจากโซเดียมแอสคอร์เบตเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเช่นเดียวกับแคลเซียมคลอไรด์และกรดซิตริก ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มกรดแอสคอร์บิกและอนุพันธ์ของกรดแอสคอร์บิก โดยสารในกลุ่มนี้จะรีดิวซ์ควิโนนที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาสีน้ำตาลกลับไปเป็นสารประกอบโพลีฟีนอลดังเดิม

นอกจากนี้กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันยังช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้บางส่วน ดังแสดงในตารางที่ 10 จากการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยสดภายหลังการแช่สารละลายออสโมติกชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับเนื้อลำไยสดภายหลังการลวก พบว่าการแช่เนื้อลำไยสดในสารละลายออสโมติกช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในชุดการทดลองที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5 และ 10% สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับเบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 1% สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% และสารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1% ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของสารที่ใช้ในสารละลายออสโมติกได้แก่ กลีเซอรอล ทรีฮาโลส เบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน โซเดียมแอสคอร์เบตและโซเดียมอีรีธอร์เบต

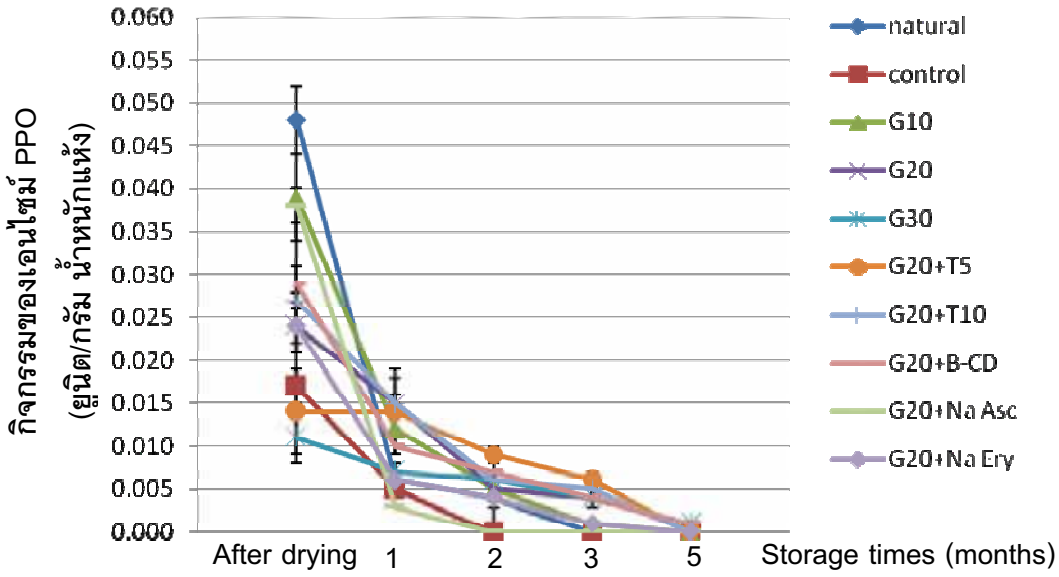
ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าเอนไซม์ PPO เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ในผักและผลไม้ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าภายหลังการลวกเนื้อลำไยสดในน้ำเดือดก่อนการแช่สารละลายออสโมติกและการแช่สารละลายออสโมติกสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้บางส่วน แต่ไม่สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้อย่างสมบูรณ์ จึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ต่อไปได้ เมื่อมีสารตั้งต้นและมีสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา จึงจำเป็นต้องติดตามกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งและการเก็บรักษา เพื่อทำนายการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ในเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง

ตารางที่ 10 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยสดภายหลังการแช่สารละลายออสโมติกชนิดต่างๆ

ชุดการทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์ PPO (ยูนิตต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)
เนื้อลำไยหลังการลวก	0.039 ± 0.003^{a}
กลีเซอรอล 10%	$0.038+0.002^{a}$
กลีเซอรอล 20%	$0.035+0.001^{b}$
กลีเซอรอล 30%	$0.037+0.002^{a}$
กลีเซอรอล 20% + ทรีฮาโลส 5%	$0.028+0.001^{d}$
กลีเซอรอล 20% + ทรีฮาโลส 10%	$0.030+0.000^{cd}$
กลีเซอรอล 20% + เบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน1%	$0.035+0.001^{b}$
กลีเซอรอล 20% + โซเดียมแอสคอร์เบต 1%	$0.032+0.002^{c}$
กลีเซอรอล 20% + โซเดียมอีรีทอร์เบต1%	$0.035+0.001^{b}$

หมายเหตุ : a,b,c หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

จากการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยอบแห้งสีทองภายหลังการอบแห้ง พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO สูงที่สุดและแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยอบแห้งสีทองทุกชุดการทดลองระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 21 แต่อย่างไรก็ตามภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\geq0.05$) โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO 0.000 ยูนิตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางผนวกที่ 6) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าไม่มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO หลงเหลืออยู่ในเนื้อลำไยอบแห้ง



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

จากการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลโดยพิจารณาค่า Pearson's correlation coefficients ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง ได้แก่ a_w ปริมาณความชื้น ค่าความสว่าง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณสาร HMF ปริมาณการเกิดสีน้ำตาล และกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ภายหลังการอบแห้งแสดงในตารางที่ 11

จากค่า Pearson's correlation coefficients ของปัจจัยต่างๆ ของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองภายหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า a_w มีความสัมพันธ์กับปริมาณสาร HMF และปริมาณความชื้นมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่า a_w ของเนื้อลำไยอบแห้งแปรผันแบบผกผันกับปริมาณ HMF สอดคล้องกับการทดลองของ Zanoni และคณะ (1999) ซึ่งทำการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากการอบแห้งของมะเขือเทศ พบว่าค่า a_w ของมะเขือเทศที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 และ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ลดลงภายหลังการอบแห้ง ในขณะที่ปริมาณ HMF เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 11 Pearson's correlation coefficients ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลำไยอบแห้งสีทองภายหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

		Correlations						
		a_w	mc	L*	TPC	HMF	DB	PPO
a_w	Pearson Correlation	1	.	.	.	.	.	.
	Sig.	.	.	.	.	.	.	.
	N	10	.	.	.	.	.	.
mc	Pearson Correlation	0.337	1	.	.	.	.	.
	Sig.	0.314	.	.	.	.	.	.
	N	10	10	.	.	.	.	.
L*	Pearson Correlation	-0.148	0.132	1	.	.	.	.
	Sig.	0.682	0.716	.	.	.	.	.
	N	10	10	10	.	.	.	.
TPC	Pearson Correlation	-0.279	0.175	-0.134	1	.	.	.
	Sig.	0.435	0.628	0.713	.	.	.	.
	N	10	10	10	10	.	.	.
HMF	Pearson Correlation	**-0.657**	-0.105	-0.42	0.268	1	.	.
	Sig.	**0.039**	0.773	0.227	0.455	.	.	.
	N	10	10	10	10	10	.	.
DB	Pearson Correlation	0.621	0.420	-0.017	0.415	-0.399	1	.
	Sig.	0.056	0.227	0.962	0.233	0.254	.	.
	N	10	10	10	10	10	10	.
PPO	Pearson Correlation	0.498	**0.673**	-0.217	0.041	-0.31	0.360	1
	Sig.	0.143	**0.033**	0.547	0.911	0.383	0.307	.
	N	10	10	10	10	10	10	10

หมายเหตุ: ตัวเลขที่แสดงตัวหนาในตาราง หมายถึง ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เช่นเดียวกับ Toor และ Savage (2006) ซึ่งพบว่าปริมาณ HMF ของมะเขือเทศภายหลังการอบแห้งแบบกึ่งแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อค่า a_w ลดลง ในขณะที่ไม่พบ HMF ในมะเขือเทศสดก่อนการอบแห้ง และ Ameur, Trystram และ Birlouez-Aragon (2006) ศึกษาการเกิดสาร HMF

ในคุ้กกี้ระหว่างการอบที่อุณหภูมิ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส พบว่าระหว่างกระบวนการอบคุ้กกี้จะมีค่า a_w ลดลง ในขณะที่ปริมาณ HMF ในคุ้กกี้เพิ่มขึ้น Maltini และคณะ (2003) กล่าวว่าปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดเมลลาร์ดส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้อบแห้งที่มีค่า a_w ปานกลาง อาหารประเภท intermediate moisture foods และน้ำผลไม้เข้มข้น ซึ่งการอธิบายการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดส่วนใหญ่จะอธิบายได้ด้วยกราฟแบบระฆังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับค่า a_w โดยการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดส่วนใหญ่จะเกิดที่ช่วง a_w 0.3-0.7 ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ 1) ความเข้มข้นของสารตั้งต้น โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อ a_w ลดลง 2) การเคลื่อนที่ของสารตั้งต้นในเมตริกซ์ โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงเมื่อ a_w ลดลง Eichner และ Karel (1972) ระบุว่าการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลลงไปในระบบ ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิกริยาเพิ่มขึ้นที่ a_w ต่ำและการเกิดสีน้ำตาลสูงสุดจะเกิดที่ a_w ต่ำลง

เมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation coefficients ของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน พบว่า a_w ของเนื้อลำไยอบแห้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณการเกิดสีน้ำตาลและค่าความสว่างของเนื้อลำไยอบแห้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก โดยค่าความสว่างแปรผันแบบผกผันกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ดังแสดงในตารางที่ 12

Mahayothee และคณะ (2009) พบว่า การลดค่า a_w ของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งในการทดลองจะช่วยลดการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากที่ a_w ต่ำสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยามีการเคลื่อนที่อย่างจำกัดแต่สารตั้งต้นจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ค่า a_w ของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับปริมาณการเกิดสีน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังการเก็บรักษา เช่นเดียวกับ Chung และ Toyomizu (1976) ซึ่งศึกษาอิทธิพลของ a_w ต่อการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้อบแห้ง โดยการทดลองผลของ a_w ต่อการเกิดสีน้ำตาลในระบบที่มีกรดอะมิโนและไขมัน พบว่าการเกิดรงควัตถุสีน้ำตาลแบบไฮโดรฟิลิกจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า a_w เพิ่มขึ้นจากค่า a_w ประมาณ 0 จนถึงจุดสูงสุด 0.41-0.67 และจะลดลงเมื่อ a_w สูงกว่า 0.67 สอดคล้องกับ Ozdemir และคณะ (2001) ซึ่งศึกษาการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อเฮเซลนัทคั่ว โดยใช้เฮเซลนัทที่ผ่านการเก็บในเกลืออิ่มตัวที่ a_w 0.29-0.83 เป็นเวลา 4 เดือน จากนั้นคั่วที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่า a_w มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อเฮเซลนัทคั่ว โดยเนื้อเฮเซลนัทคั่วจะมีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่อ a_w เพิ่มขึ้น โดยที่ a_w 0.29 มีการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุด

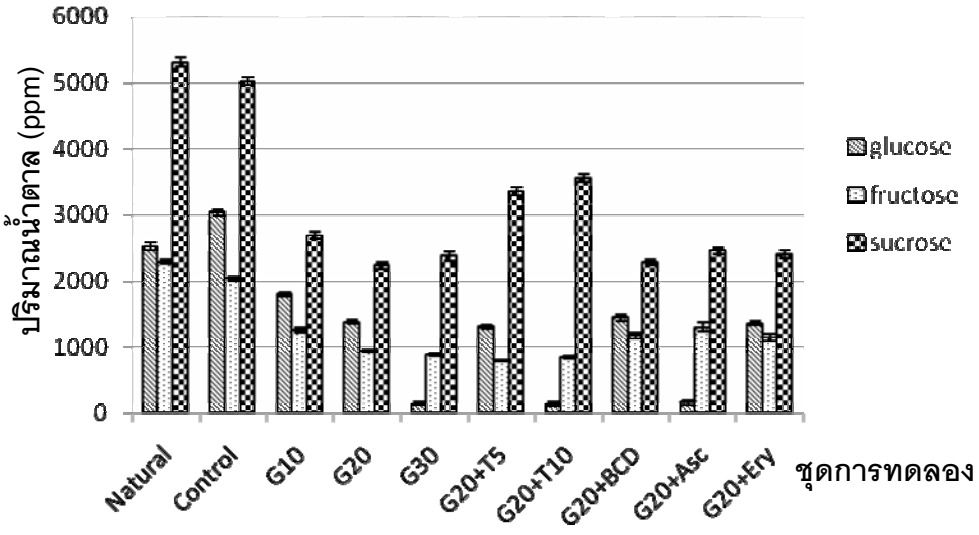
ตารางที่ 12 Pearson's correlation coefficients ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

		Correlations						
		a_w	m/c	L*	TPC	HMF	DB	PPO
a_w	Pearson Correlation	1	.	.	.	.	.	.
	Sig.	.	.	.	.	.	.	.
	N	10	.	.	.	.	.	.
m/c	Pearson Correlation	0.253	1	.	.	.	.	.
	Sig.	0.481	.	.	.	.	.	.
	N	10	10	.	.	.	.	.
L*	Pearson Correlation	0.234	-0.212	1	.	.	.	.
	Sig.	0.515	0.557	.	.	.	.	.
	N	10	10	10	.	.	.	.
TPC	Pearson Correlation	-0.025	-0.068	**-0.646**	1	.	.	.
	Sig.	0.946	0.853	**0.043**	.	.	.	.
	N	10	10	10	10	.	.	.
HMF	Pearson Correlation	-0.43	0.597	0.032	-0.132	1	.	.
	Sig.	0.215	0.079	0.930	0.715	.	.	.
	N	10	10	10	10	10	.	.
DB	Pearson Correlation	**0.717**	0.575	-0.384	0.192	-0.230	1	.
	Sig.	**0.020**	0.082	0.273	0.595	0.523	.	.
	N	10	10	10	10	10	10	.
PPO	Pearson Correlation	-0.447	-0.211	0.116	-0.251	0.110	-0.425	1
	Sig.	0.195	0.558	0.749	0.484	0.762	0.221	.
	N	10	10	10	10	10	10	10

หมายเหตุ: ตัวเลขที่แสดงตัวหนาในตาราง หมายถึง ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.4.5 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตสและซูโครส

ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสในเนื้อลำไยอบแห้งชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 22 โดยเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสและซูโครสสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่เนื้อลำไยอบแห้งชุดควบคุมซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองอื่นๆ ($p<0.05$) สำหรับปริมาณน้ำตาลกลูโคส พบว่า เนื้อลำไยอบแห้งชุดควบคุมมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่เนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองอื่นๆ ($p<0.05$)

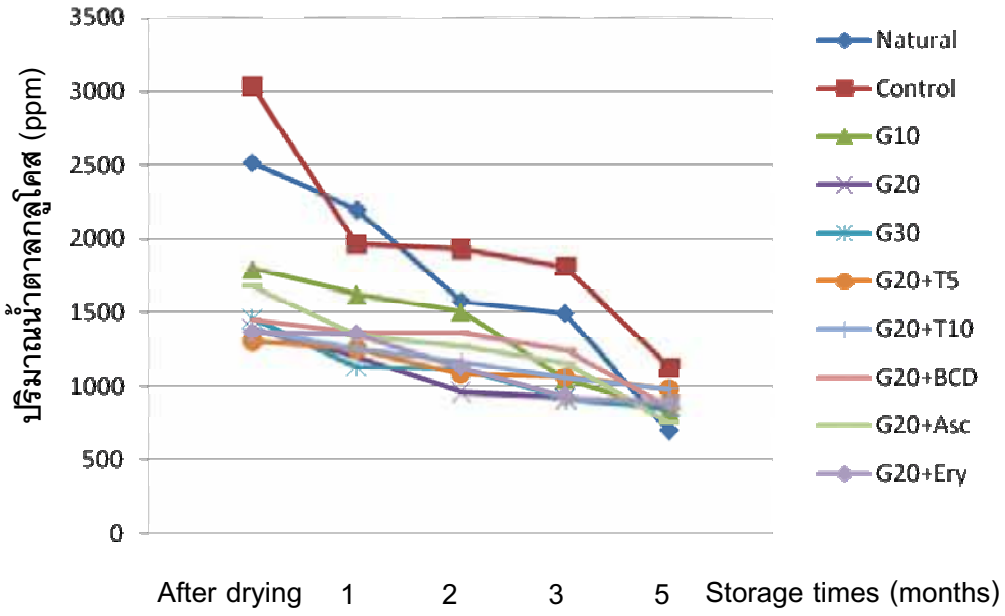


ภาพที่ 22 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ภายหลังการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 70±0.5 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1 m/s

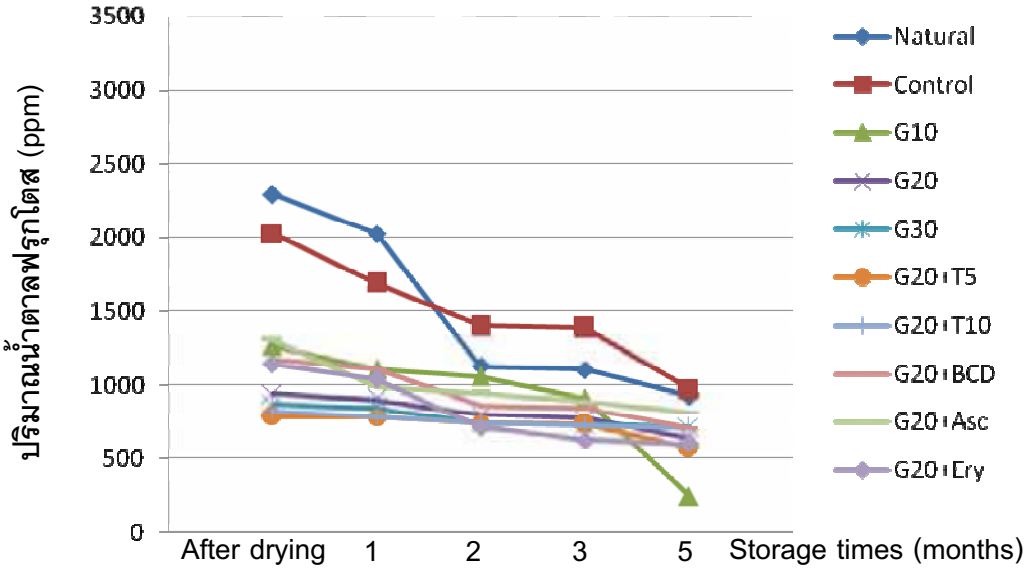
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ด้วยการแช่สารละลายออสโมติกมีปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสสูงกว่าเนื้อลำไยที่ผ่านกระบวนการพรีทรีทเม้นท์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากอาจมีการสูญเสียน้ำตาลดังกล่าวจากกระบวนการลวกที่มีอุณหภูมิสูงและมีความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างน้ำเดือดที่ใช้ในการลวกและเนื้อลำไยสด และการเคลื่อนที่ของน้ำตาลออกจากเนื้อลำไยสู่สารละลายออสโมติกในกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นภายในเนื้อลำไยและสารละลายออสโมติก สอดคล้องกับการทดลองของ Pedreschi, Kaack และ

Grandy (2004) ซึ่งพบว่าการแช่ชิ้นมันฝรั่งในน้ำกลั่นช่วยลดปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสอันเป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ได้ เช่นเดียวกับกระบวนการลวกที่อุณหภูมิ 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำตาลออกสู่น้ำที่ใช้ในการลวก เช่นเดียวกับ Yamaki และ Ino (1992) พบว่ากระบวนการลวกและการแช่สารละลายออสโมติกส่งผลให้ชิ้นแอปเปิ้ลสูญเสียน้ำตาลซูโครสและฟรุกโตสที่มีอยู่ในเนื้อแอปเปิ้ลตามธรรมชาติในปริมาณมาก เนื่องจากกระบวนการแพร่ของน้ำตาลโดยอาศัยความแตกต่างระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ นอกจากนี้การลวกยังทำให้เกิดการทำลายเนื้อเยื่อส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำตาลซูโครสและฟรุกโตสที่มีอยู่ในเนื้อแอปเปิ้ลได้มากขึ้น เช่นเดียวกับ Nieto, Castro และ Alzamora (2001) ซึ่งพบว่ากระบวนการลวกทำให้เกิดการแพร่ของตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกเข้าสู่ชิ้นตัวอย่างเพิ่มขึ้น แต่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำตาลฟรุกโตสและซูโครสจากตัวอย่างไปสู่ตัวกลางที่ใช้ในการแช่มากขึ้น

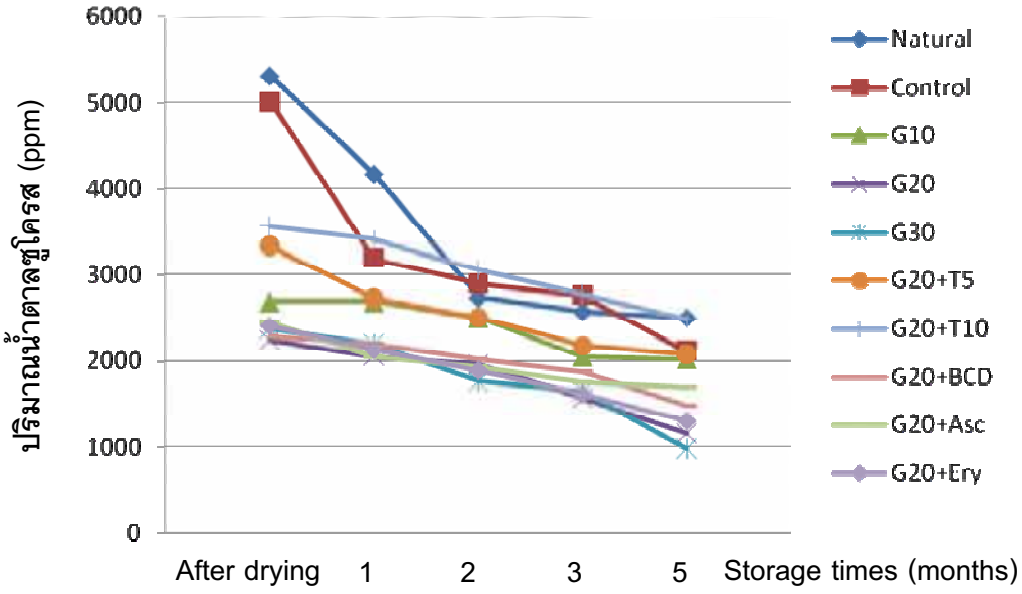
เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งชุดการทดลองต่างๆ พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองมีปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ดังแสดงในภาพที่ 23, 24 และ 25 และเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสในเนื้อลำไยอบแห้งที่อายุการเก็บรักษา 1,2,3 และ 5 เดือน พบว่าปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสในเนื้อลำไยอบแห้งชุดการทดลองต่างๆ ในแต่ละเดือนของการเก็บรักษามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นเดียวกัน (ตารางผนวกที่ 15, 16 และ 17) สอดคล้องกับ Wang และคณะ (2006) ซึ่งกล่าวว่าปริมาณซูโครสจะลดลงระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากการแตกตัวเป็นกลูโคสและฟรุกโตสโดยอาศัยกรดในการแตกตัว (acid hydrolysis) ในขณะที่ปริมาณกลูโคสและฟรุกโตสจะลดลงเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิด-เมลลาร์ด เช่นเดียวกับ Chang, Chen และ Shu (1998) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลของ Mei syrup ระหว่างการเก็บรักษา พบว่าน้ำตาลมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยน้ำตาลซูโครสและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะมีปริมาณลดลงในขณะที่ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นจากการติดตามปริมาณสาร HMF



ภาพที่ 23 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

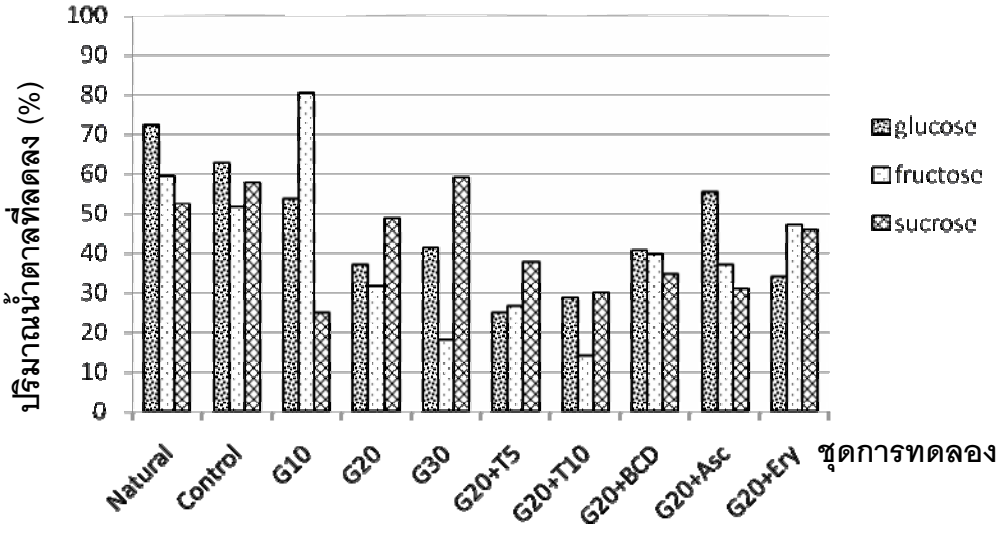


ภาพที่ 24 ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%



ภาพที่ 25 ปริมาณน้ำตาลซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

จากรูปดังกล่าวจะเห็นว่าระหว่างการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติและเนื้อลำไยอบแห้งชุดควบคุมมีปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสสูงกว่าเนื้อลำไยอบแห้งชุดการทดลองอื่นๆ ที่ผ่านกระบวนการพรีทรีทเม้นท์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และจะมีปริมาณลดลงอย่างมากระหว่างการเก็บรักษา จากภาพที่ 26 เห็นได้ว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5 และ 10% มีการปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซิ่งและมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดเมลลาร์ดลดลงน้อยที่สุด



ภาพที่ 26 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ที่ลดลงภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือนที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

Laroque และคณะ (2008) ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัย-เอนไซม์ชนิดเมลลาร์ด โดยพิจารณาบทบาทของน้ำตาล ได้แก่ น้ำตาลไรโบส ไซโลส อะราบิโนส กลูโคส และฟรุกโตส ความเข้มข้น 30 mg/ml โดยอาศัยโปรตีน ความเข้มข้น 12 mg/ml ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าน้ำตาลไรโบสสามารถเกิดปฏิกิริยาได้มากที่สุด ซึ่งสามารถเรียงลำดับความความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของน้ำตาลได้ดังนี้ น้ำตาลไรโบส>ไซโลส>อะราบิโนส>กลูโคส~ฟรุกโตส โดยน้ำตาลเพนโตสจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลเฮกโซส จากการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้น้ำตาลในระบบมีความเข้มข้นลดลงระหว่างการให้ความร้อน ในขณะที่มีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น Olivier และคณะ (2006) กล่าวว่ารงควัตถุเมลานอยดินเกิดจากการรวมตัวกันของน้ำตาล 4 โมลกับหมู่ของกรดอะมิโน 1 โมล ในขณะที่ Kwak และ Lim (2004) พบว่าน้ำตาลไซโลส อะราบิโนส กลูโคส มอลโตส และฟรุกโตสมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ในระบบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แต่น้ำตาลกลูโคสสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลฟรุกโตส

จากการหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสกับค่าความสว่างของเนื้อลำไยอบแห้ง ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลและปริมาณ HMF พบว่าปริมาณของน้ำตาลฟรุกโตสมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณ HMF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 13 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำตาลฟรุกโตสจะมีปริมาณลดลง เมื่อ HMF มีปริมาณเพิ่มขึ้น นั่นคือมีการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดเมลลาร์ดเกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา สอดคล้องกับการศึกษาของ Makawi และคณะ (2009) ซึ่งศึกษาปริมาณ HMF ในผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งที่วางขายในท้องตลาดซึ่งมีการเติมน้ำตาลฟรุกโตสในส่วนผสมมีการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณ HMF เพิ่มขึ้นในขณะที่น้ำตาลฟรุกโตสที่เติมลงไปมีปริมาณลดลงระหว่างการเก็บรักษาและ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ HMF ในน้ำผึ้งที่มีการเติมน้ำตาลฟรุกโตสและไม่ได้เติม พบว่าน้ำผึ้งที่มีการเติมน้ำตาลฟรุกโตสมีปริมาณ HMF มากกว่าน้ำผึ้งที่ไม่ได้เติม

ตารางที่ 13 Pearson's correlation coefficients ของปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตสและซูโครสกับค่าความสว่าง ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลและปริมาณ HMF ของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

		Correlations					
		GLU	FRUC	SU	L*	HMF	DB
GLU	Pearson Correlation	1	·	·	·	·	·
	Sig.	·	·	·	·	·	·
	N	10	·	·	·	·	·
FRUC	Pearson Correlation	-0.032	1	·	·	·	·
	Sig.	0.931	·	·	·	·	·
	N	10	10	·	·	·	·
SU	Pearson Correlation	0.181	0.247	1	·	·	·
	Sig.	0.617	0.492	·	·	·	·
	N	10	10	10	·	·	·
L*	Pearson Correlation	0.483	0.483	0.286	1	·	·
	Sig.	0.157	0.479	0.423	·	·	·
	N	10	10	10	10	·	·
HMF	Pearson Correlation	0.009	**-0.640**	-0.233	0.032	1	·
	Sig.	0.979	**0.046**	0.516	0.930	·	·
	N	10	10	10	10	10	·
DB	Pearson Correlation	-0.549	0.557	0.379	-0.384	-0.230	1
	Sig.	0.100	0.094	0.281	0.273	0.523	·
	N	10	10	10	10	10	10

หมายเหตุ: ตัวเลขที่แสดงตัวหนาในตาราง หมายถึง ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษา

ภายหลังจากการอบแห้งเนื้อลำไยชุดการทดลองต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที ความเร็วลมคงที่ที่ 0.1 เมตรต่อวินาที ทำการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งสีทองในถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรไพลีนปิดสนิทและบรรจุกล่องทึบเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32$\pm$0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45$\pm$0.5% พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งสีทองมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งทางกายภาพและทางเคมี ดังต่อไปนี้

4.5.1 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (water activity, a_w)

ค่า a_w ของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ด้วยการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ และอบแห้งแบบสองอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 14 พบว่าภายหลังการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีค่า a_w สูงที่สุด คือ 0.531 ซึ่งแตกต่างกับค่า a_w ของเนื้อลำไยอบแห้งชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สาร ละลายกลีเซอรอล 30% มีค่า a_w ต่ำที่สุด คือ 0.226 ซึ่งเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกทุกชุดการทดลองมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.226 และ 0.278 และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) เช่นเดียวกับภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน พบว่าค่า a_w ของเนื้อลำไยอบแห้งมีค่าค่อนข้างคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษา โดยเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติยังคงมีค่า a_w สูงที่สุด คือ 0.632 รองลงมา คือเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10 และ 20% คือ 0.407 และ 0.306 ตามลำดับ การลดลงของค่า a_w ของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกเป็นผลมาจากการใช้กลีเซอรอลที่เป็นสารโพลีออลที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วสำหรับการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว

ตารางที่ 14 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา เป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้				
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural^{ns}	0.531±0.015^{A}	0.536±0.077^{A}	0.557±0.030^{A}	0.613±0.050^{A}	0.632±0.065^{A}
G10	0.256±0.059^{B,b}	0.271±0.017^{B,b}	0.272±0.001^{B,b}	0.289±0.054^{B,b}	0.407±0.010^{B,a}
G20^{ns}	0.236±0.032^{B}	0.238±0.068^{B}	0.242±0.017^{B}	0.292±0.007^{B}	0.306±0.018^{CD}
G30^{ns}	0.226±0.010^{B}	0.238±0.008^{B}	0.243±0.052^{B}	0.251±0.018^{B}	0.286±0.017^{D}
G20+T5	0.255±0.005^{B,b}	0.270±0.034^{B,b}	0.281±0.006^{B,b}	0.288±0.020^{B,ab}	0.334±0.010^{BCD,a}
G20+T10	0.278±0.022^{B,b}	0.309±0.023^{B,ab}	0.314±0.028^{B,ab}	0.315±0.052^{B,ab}	0.359±0.019^{BCD,a}
G20+B-CD^{ns}	0.261±0.063^{B}	0.261±0.035^{B}	0.289±0.018^{B}	0.291±0.040^{B}	0.315±0.011^{CD}
G20+Na Asc	0.277±0.020^{B,b}	0.293±0.014^{B,ab}	0.303±0.021^{B,ab}	0.316±0.039^{B,ab}	0.356±0.038^{BCD,a}
G20+Na Ery^{ns}	0.272±0.028^{B}	0.282±0.052^{B}	0.312±0.060^{B}	0.318±0.058^{B}	0.367±0.059^{CB}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน

4.5.2 **ปริมาณความชื้น** (Moisture Content)

ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิในทุกชุดการทดลองภายหลังการอบแห้งอยู่ในช่วง 7.49-9.22% โดยปริมาณความชื้นในเนื้อลำไยอบแห้งจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างการเก็บรักษา เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน พบว่า เนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด คือ 13.16% ในขณะที่เนื้อลำไย-อบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5% มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด คือ 8.96% และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 15 แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณความชื้นสำหรับการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ เนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองมีปริมาณความชื้นที่ตรงตามกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับเนื้อลำไยอบแห้ง (มผช.1385/2550) ที่กำหนดให้เนื้อลำไยอบแห้งต้องมีความชื้นไม่เกิน 18%

ตารางที่ 15 ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา เป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ปริมาณความชื้น (%)				
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural	$7.49\pm0.25^{C,d}$	$7.97\pm0.18^{F,c}$	$9.96\pm0.00^{CB,b}$	$10.32\pm0.01^{CD,b}$	$13.16\pm0.08^{A,a}$
G10	$7.79\pm0.05^{C,c}$	$10.40\pm0.06^{A,b}$	$10.40\pm0.11^{A,b}$	$10.44\pm0.02^{C,b}$	$10.83\pm0.04^{E,a}$
G20	$8.21\pm0.08^{B,e}$	$9.94\pm0.07^{B,d}$	$10.14\pm0.10^{AB,c}$	$11.40\pm0.00^{A,b}$	$12.84\pm0.02^{B,a}$
G30	$7.69\pm0.01^{C,e}$	$8.24\pm0.00^{E,d}$	$9.00\pm0.02^{E,c}$	$9.72\pm0.04^{E,b}$	$10.52\pm0.00^{F,a}$
G20+T5	$7.08\pm0.42^{D,c}$	$7.37\pm0.02^{G,c}$	$8.25\pm0.15^{F,b}$	$8.61\pm0.00^{F,ab}$	$8.96\pm0.03^{I,a}$
G20+T10	$6.99\pm0.01^{D,c}$	$8.12\pm0.04^{EF,b}$	$8.24\pm0.04^{F,d}$	$8.46\pm0.30^{F,b}$	$9.36\pm0.05^{H,a}$
G20+B-CD	$7.61\pm0.02^{C,e}$	$8.19\pm0.01^{E,d}$	$9.28\pm0.13^{DE,c}$	$11.11\pm0.09^{B,b}$	$11.38\pm0.04^{D,a}$
G20+Na Asc	$8.22\pm0.05^{B,e}$	$8.77\pm0.05^{D,d}$	$9.32\pm0.03^{D,c}$	$9.53\pm0.12^{E,b}$	$9.84\pm0.02^{G,a}$
G20+Na Ery	$9.22\pm0.03^{A,d}$	$9.46\pm0.07^{C,cd}$	$9.72\pm0.31^{C,c}$	$10.17\pm0.06^{D,d}$	$12.00\pm0.02^{C,a}$

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

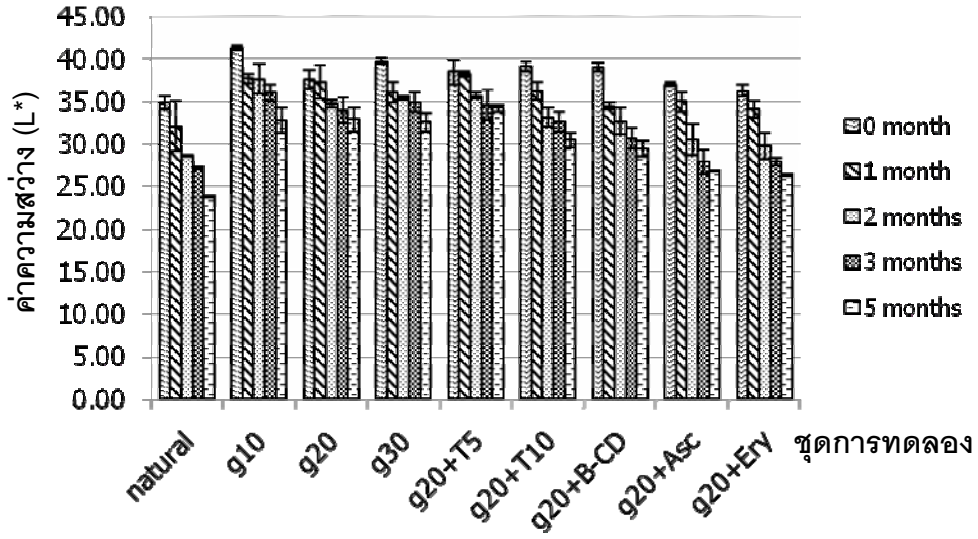
A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

4.5.3 การเปลี่ยนแปลงสี

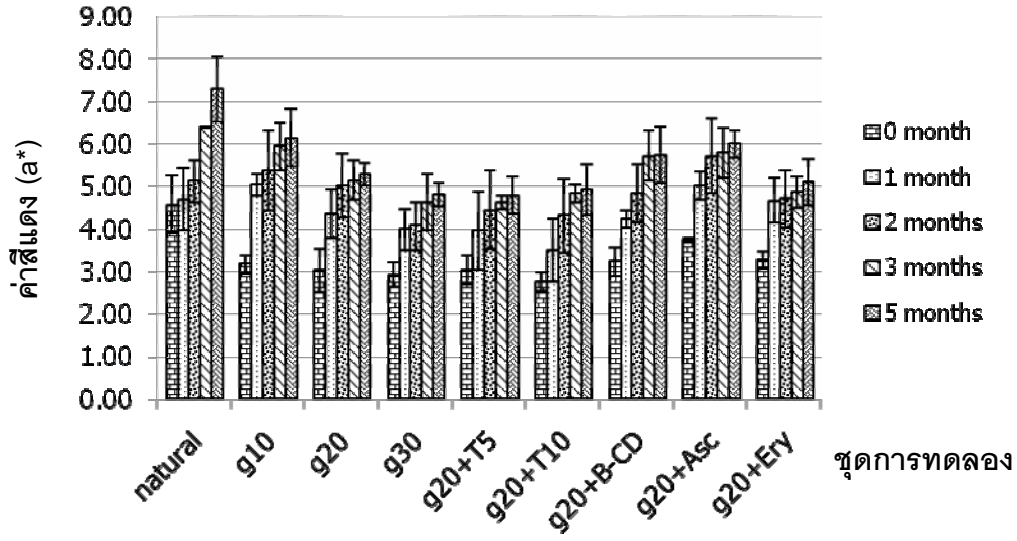
การอบแห้งแบบสองอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์อบแห้ง รวมทั้งมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงสี เนื่องจากอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์

การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิแสดงดังภาพที่ 27 พบว่า ภายหลังการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% มีค่าความสว่างมากที่สุด คือ 41.39 แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 30% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5 และ 10% ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีค่าความสว่างน้อยที่สุด คือ 34.93 ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1% ทั้งนี้เนื่องจากผลของการทำพรีทรีทเม้นท์ด้วยการแช่สารละลายออสโมติก และคุณสมบัติในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของทรีฮาโลส เช่นเดียวกับการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน พบว่า ค่าความสว่างของเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิมีค่าความสว่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติยังคงมีค่าความสว่างน้อยที่สุดเท่ากับ 23.89 และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1% เช่นเดียวกับภายหลังการอบแห้ง ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5% มีค่าความสว่างสูงที่สุด คือ 34.27 แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สาร ละลายกลีเซอรอล 10, 20, 30% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5%



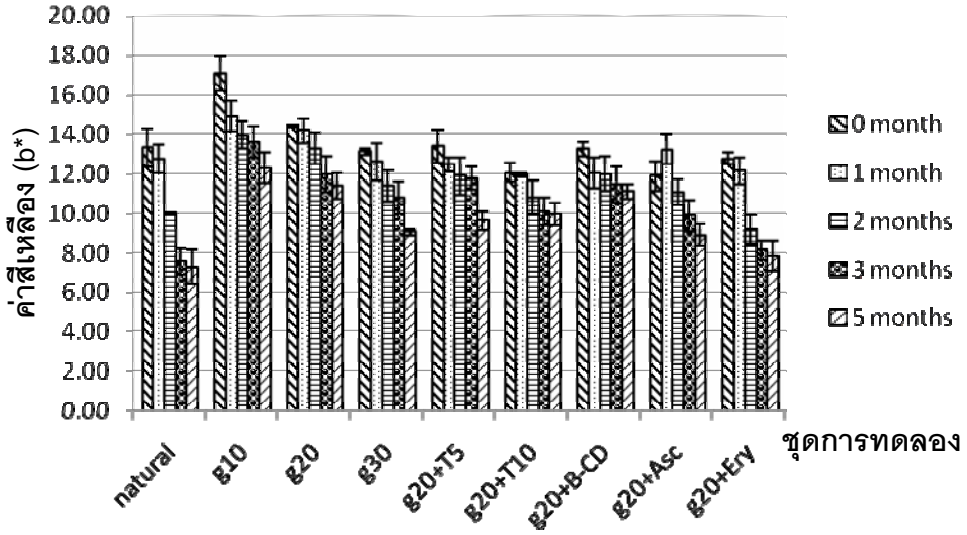
ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ในเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

สำหรับค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิภายหลังการอบแห้งและระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน แสดงดังภาพที่ 28 พบว่าภายหลังการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิค่าสีแดงของเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีค่าสีแดงสูงที่สุด คือ 4.60 และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% มีค่าสีแดงต่ำที่สุด คือ 2.77 และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) กับทุกชุดการทดลอง ยกเว้นเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติ โดยค่าสีแดงของเนื้อลำไยอบแห้งจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน (ตารางผนวกที่ 10) และภายหลังการเก็บรักษาพบว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5% มีค่าสีแดงต่ำที่สุด คือ 4.82 ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) กับทุกชุดการทดลอง ยกเว้นเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติเช่นเดียวกับภายหลังการอบแห้ง และเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีค่าสีแดงสูงที่สุด คือ 7.31 และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) กับเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับ เบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 1% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1%



ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (a*) ในเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

จากภาพที่ 29 จะเห็นว่าภายหลังการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% มีค่าสีเหลืองสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่า เนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองมีค่าสีเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นเนื้อลำไยอบ แห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับเบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 1% และที่อายุการเก็บรักษา 5 เดือน เนื้อลำไย-อบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% ยังคงมีค่าสีเหลืองสูงที่สุดและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ($p \geq 0.05$) เช่นเดียวกับภายหลังการอบแห้ง (ตารางผนวกที่ 12)



ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลือง (b*) ในเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

การเปลี่ยนแปลงค่า Hue และค่า Chroma ของเนื้อลำไยอบแห้งชุดการทดลองต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน แสดงดังตารางที่ 16 และ 17 จากตารางดังกล่าวเห็นได้ว่าค่า Hue และ Chroma ของเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้นค่า Chroma ของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับเบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 1% เช่นเดียวกับค่าสีเหลือง

ตารางที่ 16 ค่า Hue (h*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ค่า hue (h*)				
	0 เดือน	1 เดือน^{ns}	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural	70.52±2.72^{B,a}	60.35±1.78^{b}	57.61±1.77^{B,b}	57.38±1.42^{C,b}	55.66±2.09^{C,b}
G10	75.65±2.69^{AB,a}	73.50±0.91^{a}	70.15±0.28^{A,b}	66.86±0.25^{AB,bc}	65.66±0.28^{A,c}
G20	75.75±2.59^{A,a}	73.10±0.21^{ab}	70.41±0.08^{A,bc}	68.06±1.69^{AB,cd}	65.55±0.55^{A,d}
G30	75.10±3.76^{AB,a}	73.02±1.27^{a}	69.83±2.53^{A,ab}	67.03±0.62^{AB,b}	65.62±2.13^{A,b}
G20+T5	75.40±0.90^{AB,a}	73.40±2.19^{ab}	69.05±2.47^{A,bc}	68.60±3.61^{A,bc}	64.97±1.52^{A,c}
G20+T10	74.96±3.05^{AB,a}	73.82±1.51^{ab}	69.82±2.40^{A,bc}	65.43±1.26^{AB,cd}	64.09±0.93^{A,d}
G20+B-CD	73.70±0.13^{AB,a}	70.50±6.94^{ab}	67.92±1.88^{A,bc}	64.48±0.67^{B,b}	63.32±0.49^{A,b}
G20+Asc	72.41±0.41^{AB,a}	68.75±5.07^{a}	61.47±0.74^{B,b}	59.79±1.64^{c,b}	56.94±2.16^{BC,b}
G20+Ery	74.91±1.45^{AB,a}	68.90±3.77^{b}	60.88±0.10^{B,c}	59.82±0.42^{c,c}	59.23±0.41^{B,c}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 17 ค่า Chroma (C*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ค่า Chroma (C*)				
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural	$14.70\pm0.06^{AB,a}$	$14.13\pm1.64^{BC,a}$	$11.88\pm0.56^{AB,ab}$	$9.14\pm2.09^{C,d}$	$8.60\pm0.80^{C,b}$
G10	$17.82\pm1.48^{A,a}$	$15.85\pm1.59^{A,ab}$	$15.15\pm0.63^{A,ab}$	$14.94\pm1.90^{A,ab}$	$12.72\pm1.34^{A,b}$
G20^{ns}	15.05 ± 0.06^{AB}	15.01 ± 0.87^{AB}	14.29 ± 0.33^{A}	12.48 ± 3.28^{ABC}	12.36 ± 1.52^{A}
G30	$13.71\pm1.96^{B,a}$	$13.44\pm0.11^{BC,ab}$	$12.36\pm0.04^{AB,ab}$	$11.18\pm0.38^{BC,bc}$	$9.92\pm0.09^{ABC,c}$
G20+T5	$13.96\pm1.42^{B,a}$	$13.38\pm0.48^{C,a}$	$12.77\pm0.89^{AB,ab}$	$12.18\pm0.30^{ABC,ab}$	$10.60\pm1.33^{ABC,b}$
G20+T10^{ns}	12.55 ± 1.99^{B}	12.71 ± 0.98^{C}	11.89 ± 2.39^{AB}	11.09 ± 0.54^{BC}	10.49 ± 0.12^{ABC}
G20+B-CD^{ns}	13.93 ± 1.67^{B}	13.30 ± 1.28^{C}	12.98 ± 1.76^{AB}	12.84 ± 1.04^{AB}	11.57 ± 2.26^{AB}
G20+Asc	$14.19\pm1.55^{B,a}$	$12.59\pm2.10^{C,ab}$	$12.47\pm0.06^{AB,ab}$	$11.42\pm1.12^{BC,ab}$	$10.61\pm0.94^{ABC,b}$
G20+Ery	$13.68\pm1.08^{B,a}$	$12.60\pm0.97^{C,ab}$	$10.50\pm0.32^{B,bc}$	$9.39\pm1.42^{BC,c}$	$9.14\pm0.45^{BC,c}$

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

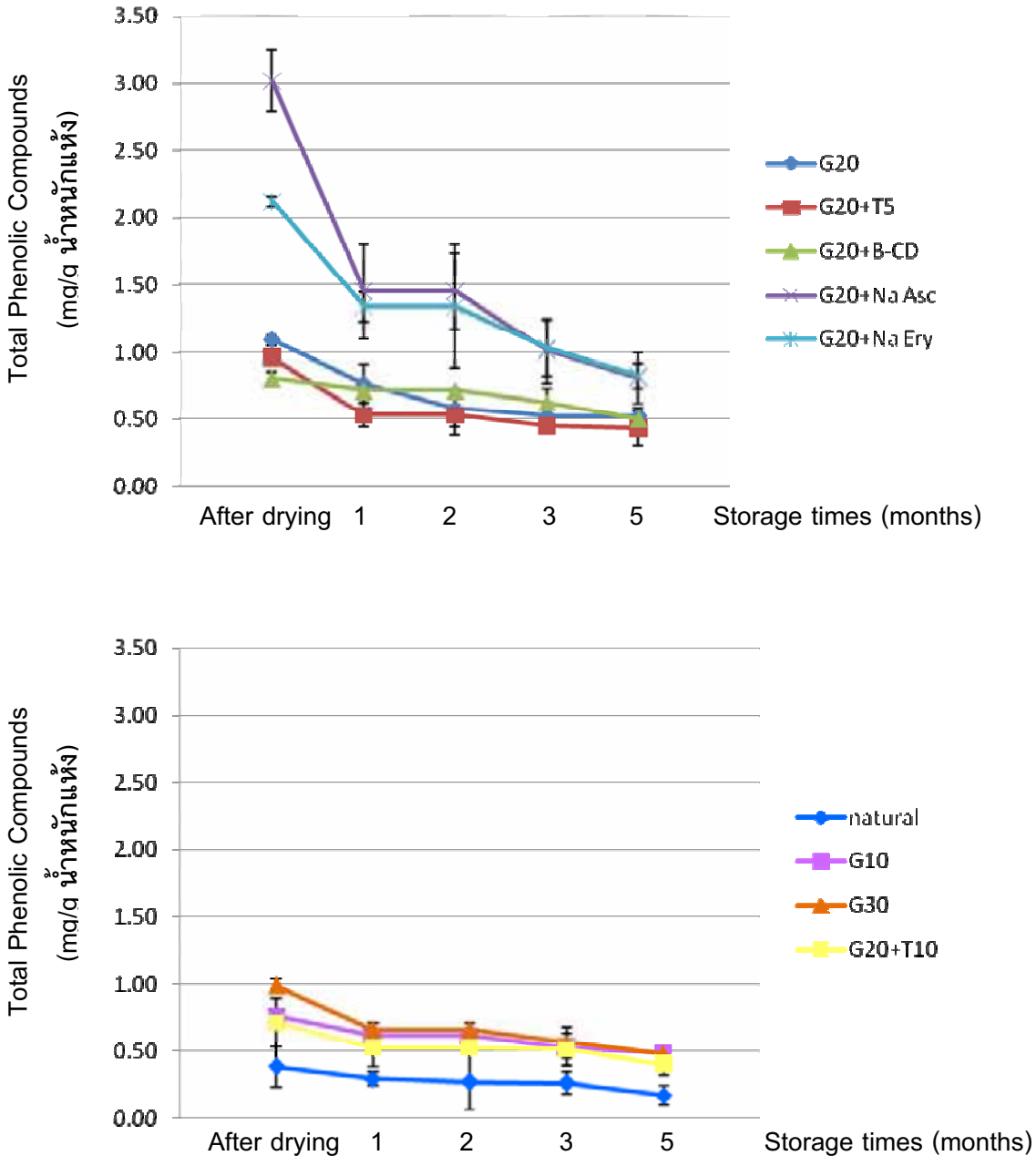
a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

4.5.4 การเกิดสีน้ำตาล

อัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ ความเข้มข้นและธรรมชาติของสารตั้งต้น โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งสูงขึ้น ดังนั้นการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิโดยใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นได้แก่ 80 องศาเซลเซียส และ 70 องศาเซลเซียส จึงอาจมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลำไยอบแห้ง

4.5.4.1 สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ พบว่าภายหลังการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด คือ 3.02 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเนื้อลำไยอบแห้งจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ยกเว้นเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติ และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% ดังแสดงในภาพที่ 30 จะเห็นได้ว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับอีรีธอร์เบต 1% มีการลดลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอย่างรวดเร็วภายหลังการเก็บรักษา 1 เดือน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่อาศัยเอนไซม์ ที่มีสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารตั้งต้นถูกออกซิไดส์ด้วยเอนไซม์ฟีนอเลสได้รงควัตถุสีน้ำตาลจากการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน (Friedman, 1996)



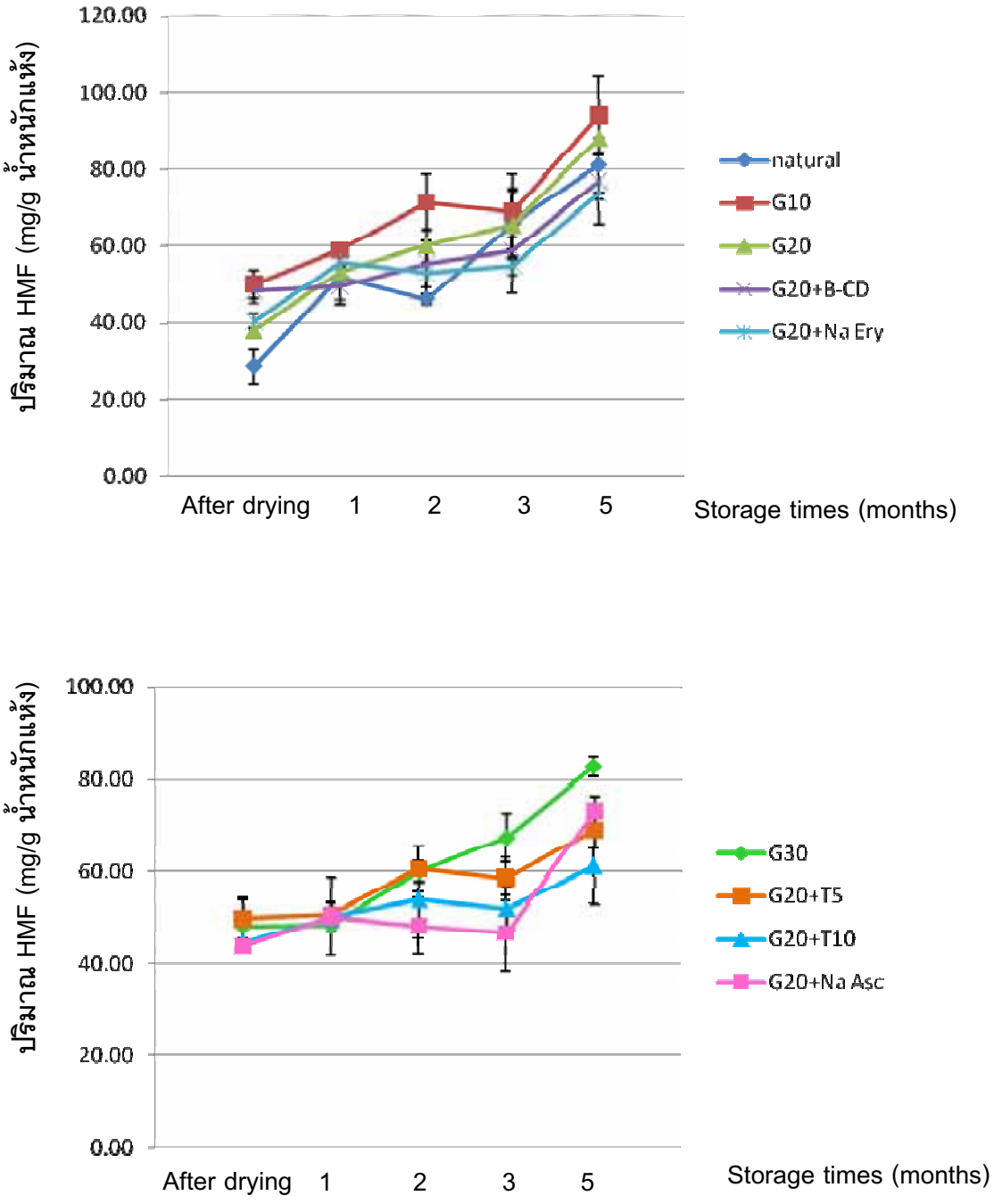
ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกภายหลังการเก็บเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิเป็นเวลา 5 เดือน พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1% มีสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด คือ 0.83 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% ที่มีสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 0.81 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางผนวกที่ 2) ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกเหล่านี้สามารถเกิดสีน้ำตาลได้ต่อไป ในสภาวะที่มีเอนไซม์และออกซิเจนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเนื้อลำไยอบแห้งสองชุดการทดลองนี้อาจมีการเกิดสีน้ำตาลได้มากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ในขณะเดียวกันจะเห็นว่าเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกต่ำที่สุด คือ 0.18 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติไม่ได้ผ่านกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ใดๆ ก่อนการอบแห้ง รวมถึงการลวกซึ่งใช้สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ด้วย จึงอาจเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่อาศัยเอนไซม์และใช้สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษาส่งผลให้เนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยที่สุด

4.5.4.2 ปริมาณไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอล (HMF)

ไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอล (HMF) เป็นสาร intermediate ที่ได้จากปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดเมลลาร์ดในขั้นต้น นิยมใช้เป็นดัชนีของกระบวนการผลิตและ/หรือการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ (Rada-Mendoza และคณะ, 2004)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ HMF ในเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิแสดงดังภาพที่ 31 พบว่าภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน เนื้อลำไยอบแห้งในทุกชุดการทดลองมีปริมาณ HMF ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% มีปริมาณ HMF น้อยที่สุดเท่ากับ 61.15 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% มี HMF ในปริมาณมากที่สุด คือ 94.22 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางผนวกที่ 3) และพบว่าปริมาณ HMF ในเนื้อลำไยอบแห้งมีปริมาณเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา จึงอาจกล่าวได้ว่ามีการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์เกิดขึ้น



ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอลในเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

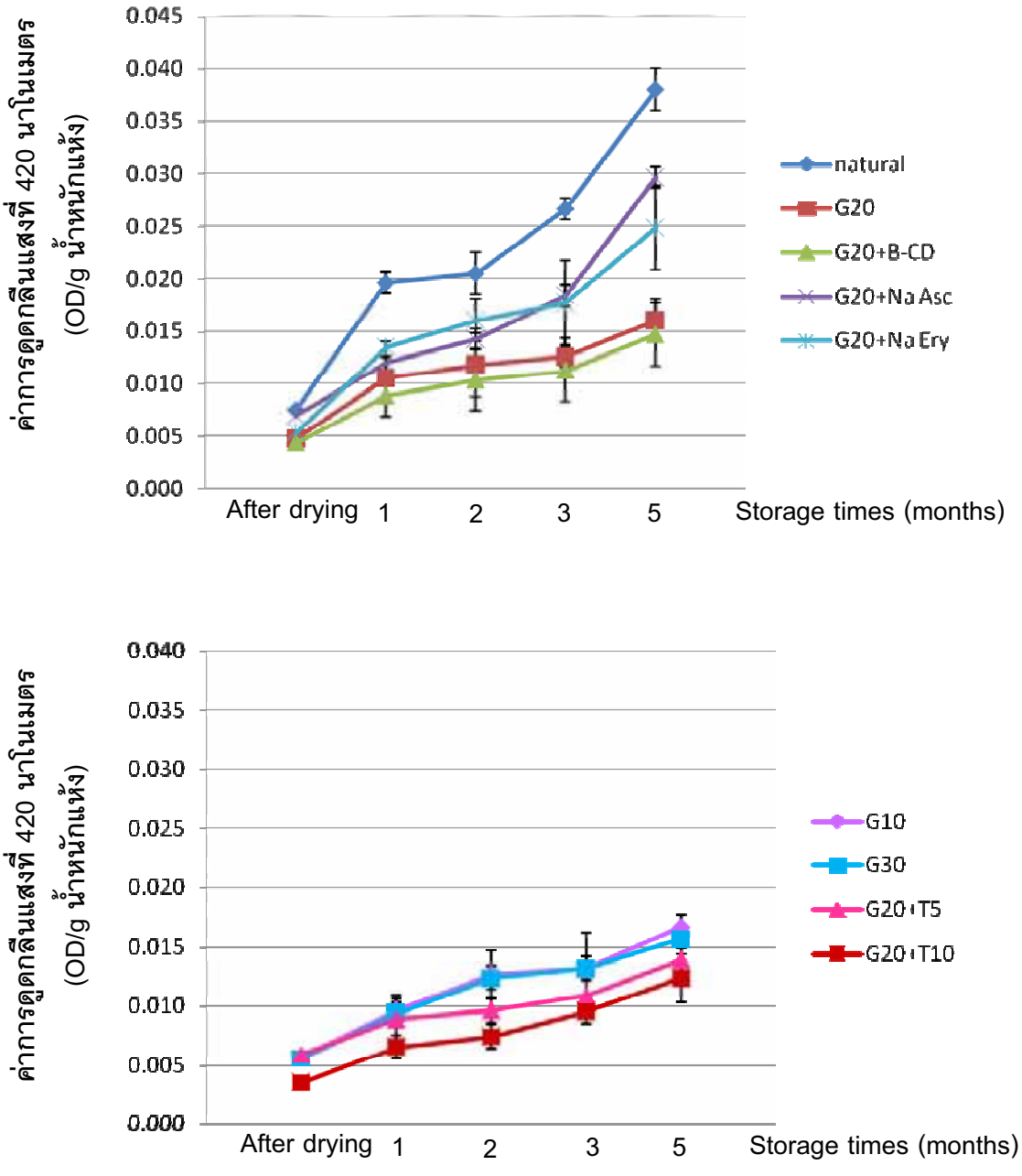
จากผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Rada-Mendoza และคณะ (2004) พบว่าผลิตภัณฑ์แยมและอาหารเด็กอ่อนที่มีองค์ประกอบของผลไม้ มีปริมาณ HMF เพิ่ม ขึ้นระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 เดือน เนื่องจากมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.825-0.838 ซึ่งเหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดเมลลาร์ด เช่นเดียวกับการทดลองในเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่มี a_w อยู่ในช่วง 0.226-0.531 ซึ่งยังคงเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ได้

Buedu, Elustondo และ urbicain (2001) ทำการศึกษาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัย-เอนไซม์ของน้ำพีชเข้มข้นระหว่างการเก็บรักษา โดยใช้น้ำพีชเข้มข้นที่มีความเข้มข้นต่างกันในช่วง 12-89 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 3, 15, 30 และ 37 องศาเซลเซียส พบว่า น้ำพีชเข้มข้นที่ทุกความเข้มข้นมีการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาที่ทุกอุณหภูมิ เช่นเดียวกับ Burdurlu และ Karadeniz (2003) ที่ทำการทดลองในน้ำแอปเปิ้ลเข้มข้นความเข้มข้น 65, 70 และ 75 องศาบริกซ์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 20 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน พบว่า น้ำแอปเปิ้ลเข้มข้นมีปริมาณ HMF เพิ่มมากขึ้นระหว่างการเก็บรักษาในทุกอุณหภูมิ แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ต่ำกว่าการเก็บที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้เห็นได้ว่าภายหลังการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอลมีปริมาณ HMF มากกว่าเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติ และภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10,20 และ 30% มีปริมาณ HMF มากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ

4.5.4.3 ปริมาณการเกิดสีน้ำตาล

เนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิภายหลังการอบแห้งมีปริมาณการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ดังภาพที่ 32 โดยเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีการเกิดสีน้ำตาลมากที่สุด คือ 0.008 OD ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมา คือ เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์-เบต 1% ที่มีการเกิดสีน้ำตาล เท่ากับ 0.007 OD ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% มีปริมาณการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุด คือ 0.003 OD ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางผนวกที่ 5)

จากรูปจะเห็นว่าปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิในทุกชุดการทดลองมีปริมาณการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน และภายหลังการเก็บรักษา พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีการเกิดสีน้ำตาลมากที่สุด 0.038 OD ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมา คือเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1% ที่มีปริมาณการเกิดสีน้ำตาล 0.030 และ 0.025 OD ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% ยังคงมีปริมาณการเกิดน้อยที่สุด คือ 0.012 OD ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) กับเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10, 20, 30% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับ เบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 1%



ภาพที่ 32 ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

4.5.4.4 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยสดก่อนการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ แสดงดังตารางที่ 18 ซึ่งจะเห็นว่าการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% กรดซิตริก 0.3% และโซเดียมแอสคอร์เบต 0.3% ในกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยสดได้ 5.56% ในขณะที่การใช้ความร้อนโดยการลวกเนื้อลำไยสดในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที ภายหลังการแช่ในสารละลายดังกล่าวช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยสดได้อีก 21.57% เนื่องจากความร้อนสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้เช่นเดียวกับแคลเซียมคลอไรด์ กรดซิตริกและโซเดียมแอสคอร์เบต ซึ่งเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลดังที่กล่าวมาแล้วสำหรับการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว

ตารางที่ 18 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยสดก่อนการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ

ตัวอย่าง	กิจกรรมของเอนไซม์ PPO (ยูนิตต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)
เนื้อลำไยสด	0.054 ± 0.009^{a}
เนื้อลำไยหลังการแช่สารละลาย*	0.051 ± 0.013^{a}
เนื้อลำไยหลังการลวก	0.040 ± 0.011^{b}

หมายเหตุ : a,b,c หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

* หมายถึง สารละลายที่ประกอบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% กรดซิตริก 0.3% และโซเดียมแอสคอร์เบต 0.3%

นอกจากนี้กระบวนการพรีทรีทเม้นท์ด้วยการแช่สารละลายออสโมติกยังช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้บางส่วนเช่นกัน จากตารางที่ 19 จะเห็นว่า เนื้อลำไยสดที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกชนิดต่างๆ มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO น้อยกว่าเนื้อลำไยสดที่ไม่ได้ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่ากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในวัตถุดิบได้ สอดคล้องกับการทดลองของ Amparo และคณะ (2005) ทำการศึกษาผลของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในแอปเปิ้ล โดยใช้น้ำเชื่อมอิ่มตัวของน้ำตาลซูโครสเป็นสารละลายออสโมติก พบว่าแอปเปิ้ลที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO น้อยกว่าแอปเปิ้ลสด เนื่องจากการแพร่ของตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกและสารละลายออสโมติกเข้าสู่ช่องว่างภายในเซลล์ทำให้สภาวะแวดล้อมของเอนไซม์มีปริมาณความชื้นต่ำและความเข้มข้นของ-

ก๊าซออกซิเจนมีจำกัด กระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันจึงส่งผลต่อความสามารถในการเข้าจับกันของเอนไซม์ PPO และสารตั้งต้น

ตารางที่ 19 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยสดภายหลังการแช่สารละลายออสโมติกชนิดต่างๆ

ชุดการทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์ PPO (ยูนิตต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)
เนื้อลำไยหลังการลวก	0.040 ± 0.001^{a}
กลีเซอรอล 10%	0.031 ± 0.000^{d}
กลีเซอรอล 20%	0.038 ± 0.002^{b}
กลีเซอรอล 30%	0.038 ± 0.001^{b}
กลีเซอรอล 20% + ทรีฮาโลส 5%	0.035 ± 0.001^{c}
กลีเซอรอล 20% + ทรีฮาโลส 10%	0.037 ± 0.000^{b}
กลีเซอรอล 20% + เบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน1%	0.038 ± 0.001^{b}
กลีเซอรอล 20% + โซเดียมแอสคอร์เบต 1%	0.035 ± 0.001^{c}
กลีเซอรอล 20% + โซเดียมอีรีทอร์เบต1%	0.037 ± 0.003^{b}

หมายเหตุ : a,b,c หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

ภายหลังการอบแห้งเนื้อลำไยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO สูงที่สุด คือ 0.048 ± 0.006 ยูนิตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณที่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1% มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO น้อยที่สุด 0.006 ± 0.001 ยูนิตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์ PPO (ยูนิตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)				
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน^{ns}
Natural	0.048±0.006^{A,a}	0.006±0.002^{C,b}	0.005±0.001^{B,b}	0.005±0.001^{A,b}	0.000±0.000^{c}
G10	0.027±0.004^{C,a}	0.022±0.003^{A,b}	0.007±0.002^{A,c}	0.004±0.001^{A,d}	0.000±0.000^{e}
G20	0.026±0.003^{C,a}	0.007±0.002^{C,b}	0.004±0.001^{B,c}	0.004±0.001^{A,c}	0.000±0.001^{d}
G30	0.029±0.002^{BC,a}	0.006±0.001^{C,b}	0.004±0.001^{B,c}	0.002±0.000^{B,d}	0.000±0.000^{d}
G20+T5	0.032±0.005^{B,a}	0.006±0.002^{C,b}	0.004±0.001^{B,c}	0.002±0.000^{B,d}	0.000±0.000^{d}
G20+T10	0.025±0.003^{C,a}	0.007±0.002^{C,b}	0.007±0.002^{A,b}	0.004±0.001^{A,c}	0.000±0.001^{d}
G20+B-CD	0.026±0.003^{C,a}	0.016±0.003^{B,b}	0.007±0.001^{A,c}	0.004±0.001^{A,d}	0.001±0.001^{e}
G20+Na Asc	0.018±0.002^{D,a}	0.006±0.002^{C,b}	0.001±0.001^{C,c}	0.000±0.000^{C,c}	0.000±0.000^{c}
G20+Na Ery	0.006±0.001^{E,a}	0.004±0.000^{D,b}	0.001±0.000^{C,c}	0.000±0.000^{C,c}	0.000±0.000^{c}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน

จากผลการทดลองในตารางที่ 18 พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองลดลงอย่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน และที่อายุการเก็บรักษา 5 เดือนเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองมีกิจกรรมของเอนไซม์ 0.000-0.001 ยูนิตต่อกรัมน้ำหนักแห้งและมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ค่า Pearson's correlation coefficients ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลำไยอบแห้งสีทองภายหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงและอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที แสดงในตารางที่ 21 พบว่า ค่าความสว่างและปริมาณ HMF มีความสัมพันธ์กับค่า a_w ในเชิงลบ ปริมาณ HMF มีความสัมพันธ์กับค่าความสว่างในเชิงบวก และกิจกรรมของเอนไซม์ PPO มีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเชิงลบ

สำหรับค่า Pearson's correlation coefficients ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิภายหลังการเก็บ-รักษาเป็นเวลา 5 เดือนที่อุณหภูมิ 32 ± 0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ $45\pm0.5\%$ แสดงในตารางที่ 22 พบว่า ค่าความสว่างมีความสัมพันธ์กับค่า a_w ในเชิงลบเช่นเดียวกับภายหลังการอบแห้ง ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลมีความสัมพันธ์กับค่า a_w ในเชิงบวกและปริมาณการเกิดสีน้ำตาลมีความสัมพันธ์กับค่าความสว่างในเชิงลบ

Labuza และ Saltmarch (1981) กล่าวว่า ปริมาณน้ำอิสระในอาหารอาจกระตุ้นการเกิดสีน้ำตาลโดยการส่งเสริมให้เกิดการเคลื่อนที่ของสารตั้งต้น ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มปริมาณน้ำอิสระอาจลดอัตราการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากการเจือจางสารในการเกิดปฏิกริยา โดยการเคลื่อนที่ของสารเป็นปัจจัยที่สำคัญในระบบที่มี a_w ต่ำ ในขณะที่การเจือจางเป็นปัจจัยสำคัญในระบบที่มี a_w สูง ดังนั้นโดยทั่วไปอัตราการเกิดสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่อ a_w เพิ่มขึ้นที่ปริมาณความชื้นต่ำจนถึงช่วง a_w สูงสุด คือ 0.4-0.8 และเมื่อ a_w สูงกว่า 0.8 อัตราการเกิดสีน้ำตาลจะลดลง

ตารางที่ 21 Pearson's correlation coefficients ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลำไยอบแห้งสีทองภายหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที

		Correlations						
		a_w	m/c	L*	TPC	HMF	DB	PPO
a_w	Pearson Correlation	1	.	.	.	.	.	.
	Sig.	.	.	.	.	.	.	.
	N	10	.	.	.	.	.	.
m/c	Pearson Correlation	-0.159	1	.	.	.	.	.
	Sig.	0.684	.	.	.	.	.	.
	N	10	10	.	.	.	.	.
L*	Pearson Correlation	**-0.699**	-0.352	1	.	.	.	.
	Sig.	**0.049**	0.353	.	.	.	.	.
	N	10	10	10	.	.	.	.
TPC	Pearson Correlation	-0.286	0.654	-0.281	1	.	.	.
	Sig.	0.456	0.056	0.464	.	.	.	.
	N	10	10	10	10	.	.	.
HMF	Pearson Correlation	**-0.797**	-0.235	**0.848**	0.056	1	.	.
	Sig.	**0.01**	0.543	**0.004**	0.886	.	.	.
	N	10	10	10	10	10	.	.
DB	Pearson Correlation	0.575	0.146	-0.482	0.265	-0.392	1	.
	Sig.	0.105	0.708	0.188	0.490	0.297	.	.
	N	10	10	10	10	10	10	.
PPO	Pearson Correlation	0.646	**-0.702**	-0.097	**-0.715**	-0.337	0.363	1
	Sig.	0.06	**0.035**	0.804	**0.030**	0.375	0.337	.
	N	10	10	10	10	10	10	10

หมายเหตุ: ตัวเลขที่แสดงตัวหนาในตาราง หมายถึง ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

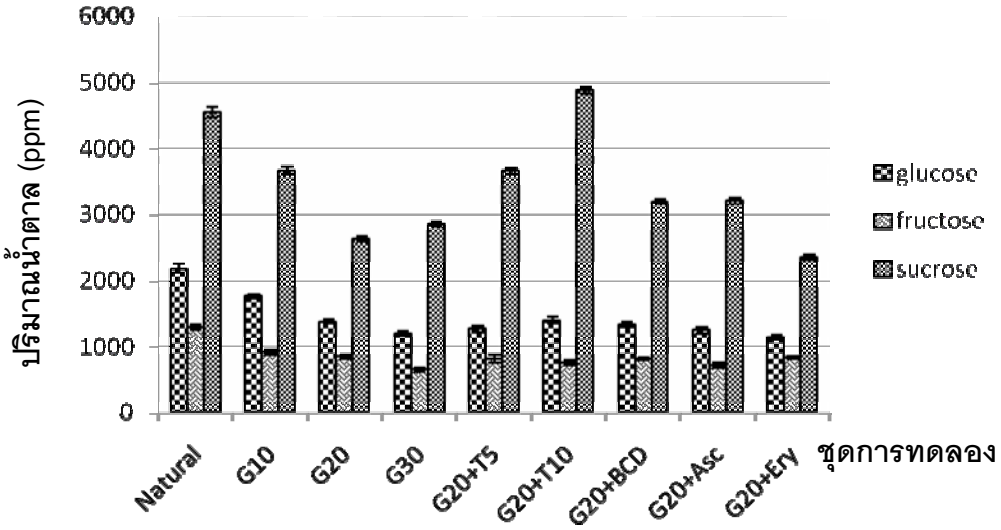
ตารางที่ 22 Pearson's correlation coefficients ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

		Correlations						
		a_w	m/c	L*	TPC	HMF	DB	PPO
a_w	Pearson Correlation	1	.	.	.	.	.	.
	Sig.	.	.	.	.	.	.	.
	N	10	.	.	.	.	.	.
m/c	Pearson Correlation	0.461	1	.	.	.	.	.
	Sig.	0.212	.	.	.	.	.	.
	N	10	10	.	.	.	.	.
L*	Pearson Correlation	**-0.667**	-0.455	1	.	.	.	.
	Sig.	**0.050**	0.219	.	.	.	.	.
	N	10	10	10	.	.	.	.
TPC	Pearson Correlation	-0.525	-0.153	-0.098	1	.	.	.
	Sig.	0.146	0.695	0.802	.	.	.	.
	N	10	10	10	10	.	.	.
HMF	Pearson Correlation	0.119	0.558	0.191	-0.105	1	.	.
	Sig.	0.760	0.119	0.623	0.788	.	.	.
	N	10	10	10	10	10	.	.
DB	Pearson Correlation	**0.782**	0.492	**-0.870**	-0.007	0.087	1	.
	Sig.	**0.013**	0.179	**0.002**	0.986	0.825	.	.
	N	10	10	10	10	10	10	.
PPO	Pearson Correlation	-0.212	0.099	-0.049	-0.033	-0.034	-0.234	1
	Sig.	0.584	0.800	0.9	0.932	0.93	0.544	.
	N	10	10	10	10	10	10	10

หมายเหตุ: ตัวเลขที่แสดงตัวหนาในตาราง หมายถึง ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

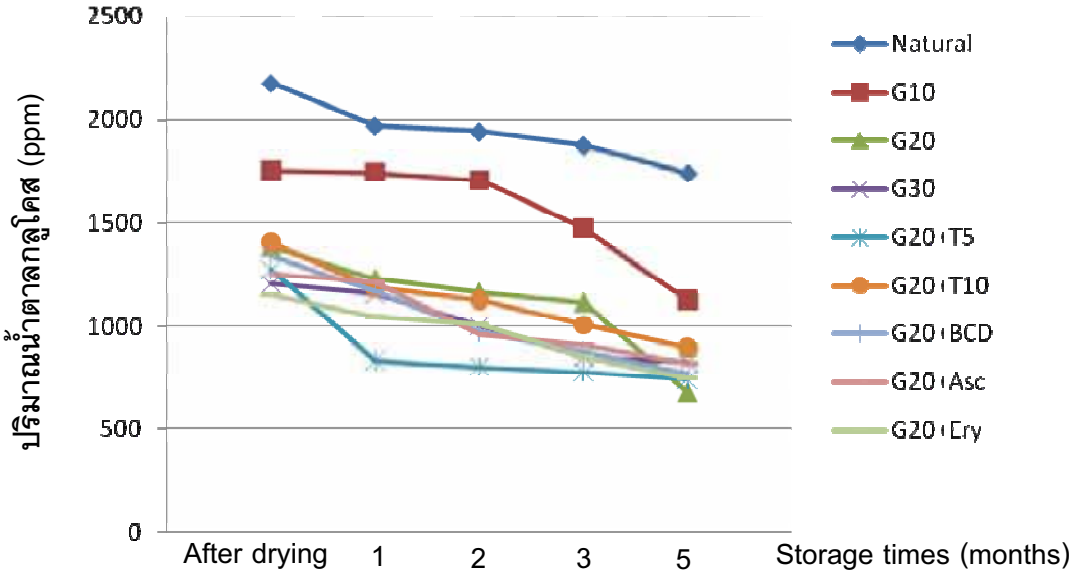
4.4.5 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตสและซูโครส

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตสและซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที แสดงดังภาพที่ 33 พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีปริมาณกลูโคสสูงที่สุด ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1% มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสน้อยที่สุด สำหรับปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสสูงที่สุดเช่นกัน รองลงมา ได้แก่ เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% และ 20% ตามลำดับ จากภาพที่ 33 แสดงให้เห็นว่าน้ำตาลซูโครสในเนื้อลำไยแต่ละชุดการทดลองภายหลังการอบแห้งมีปริมาณมากกว่าน้ำตาลชนิดอื่นๆ มาก โดยเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% มีน้ำตาลซูโครสมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ เนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติ (ตารางผนวกที่ 18, 19 และ 20)

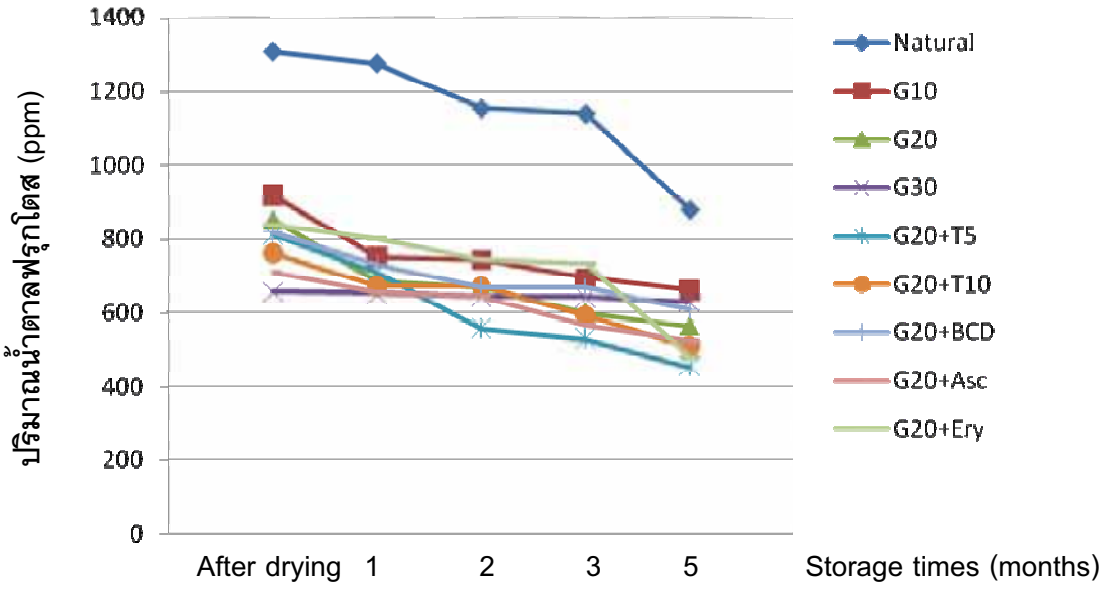


ภาพที่ 33 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ภายหลังการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงและอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที

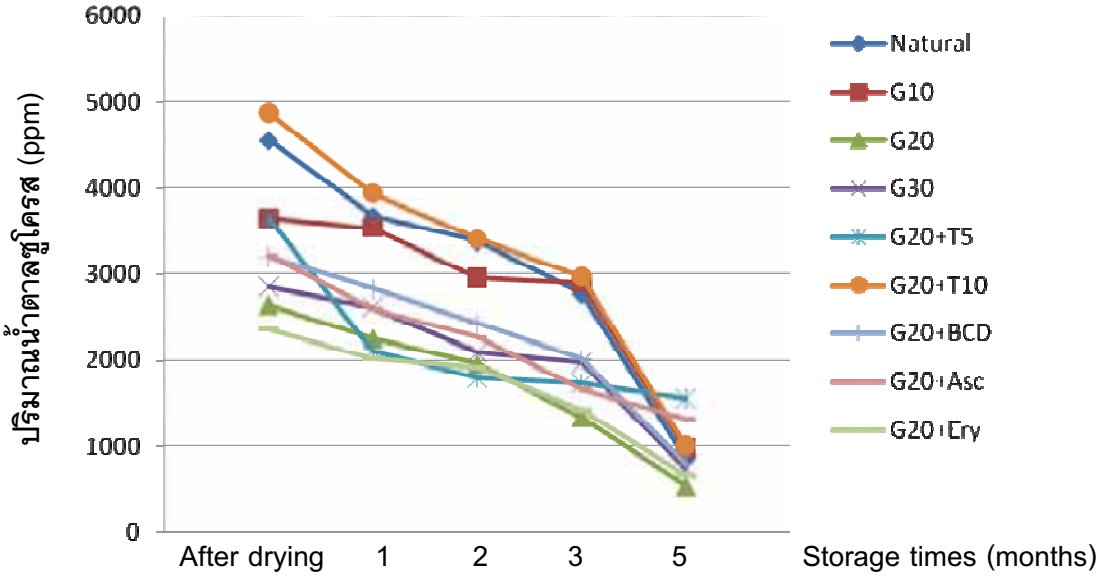
เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองมีปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน เนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติและเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ โดยเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองมีปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตสและซูโครสที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 34, 35 และ 36



ภาพที่ 34 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

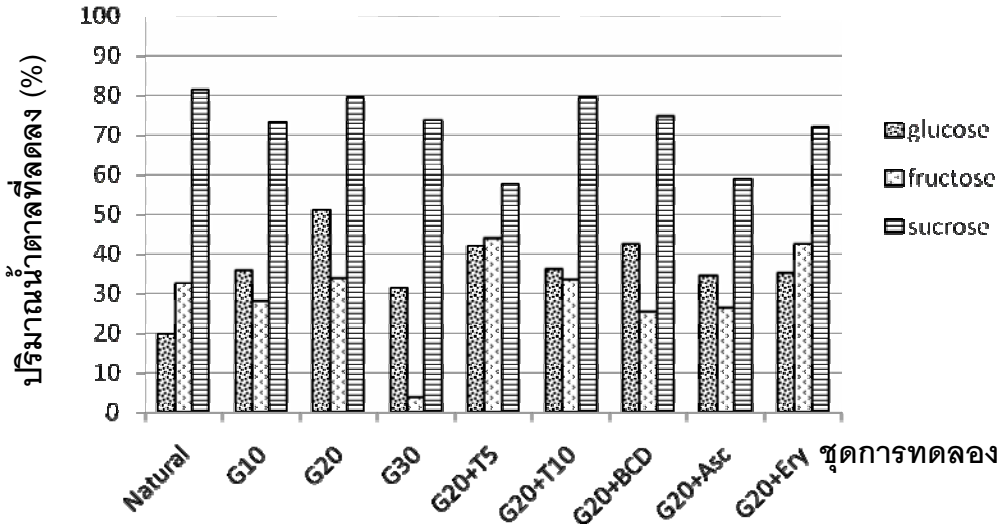


ภาพที่ 35 ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%



ภาพที่ 36 ปริมาณน้ำตาลซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสที่ลดลงภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำตาลภายหลังการอบแห้ง พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสลดลงมากที่สุด ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5% มีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสลดลงมากที่สุด และเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติมีปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลงมากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 37



ภาพที่ 37 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ที่ลดลงภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

Dills (1993) กล่าวว่ากลูโคสและฟรุกโตสเป็นน้ำตาลรีดิวซิ่งที่สามารถเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดเมลลาร์ดกับโปรตีนและกรดอะมิโนได้ โดยในการเกิดปฏิกิริยาในขั้นต้นฟรุกโตสสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่ากลูโคส และการเกิดเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดเมลลาร์ดยังทำให้เกิดการสูญเสียน้ำตาลและกรดอะมิโนในผลิตภัณฑ์อาหารอีกด้วย

จากค่า Pearson's correlation coefficients ของปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตสและซูโครสกับค่าความสว่าง ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลและปริมาณ HMF ของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ดังตารางที่ 23 แสดงให้เห็นว่าปริมาณกลูโคสมีความสัมพันธ์กับปริมาณฟรุกโตสและปริมาณการเกิดสีน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 23 Pearson's correlation coefficients ของปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตสและซูโครสกับค่าความสว่าง ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลและปริมาณ HMF ของเนื้อลำไยอบแห้ง-สีทองที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

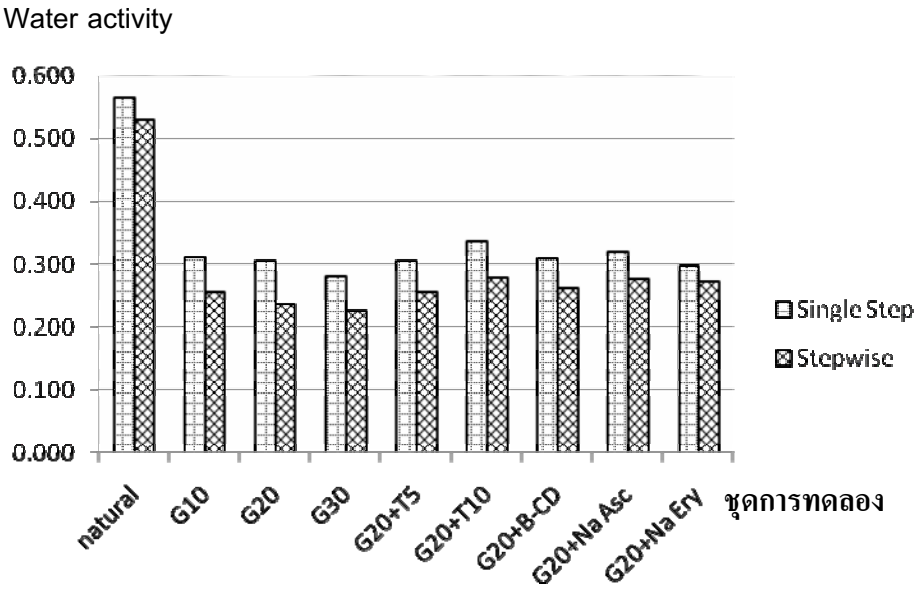
		Correlations					
		GLU	FRUC	SU	L*	HMF	DB
GLU	Pearson Correlation	1	·	·	·	·	·
	Sig.	·	·	·	·	·	·
	N	10	·	·	·	·	·
FRUC	Pearson Correlation	**0.869**	1	·	·	·	·
	Sig.	**0.002**	·	·	·	·	·
	N	10	10	·	·	·	·
SU	Pearson Correlation	0.001	-0.243	1	·	·	·
	Sig.	0.998	0.528	·	·	·	·
	N	10	10	10	·	·	·
L*	Pearson Correlation	-0.559	-0.473	0.405	1	·	·
	Sig.	0.117	0.198	0.279	·	·	·
	N	10	10	10	10	·	·
HMF	Pearson Correlation	0.26	0.492	-0.464	0.191	1	·
	Sig.	0.499	0.179	0.208	0.623	·	·
	N	10	10	10	10	10	·
DB	Pearson Correlation	**0.774**	0.600	-0.438	-0.87	0.087	1
	Sig.	**0.021**	0.088	0.238	0.002	0.825	·
	N	10	10	10	10	10	10

หมายเหตุ: ตัวเลขที่แสดงตัวหนาในตาราง หมายถึง ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.6 การเปรียบเทียบคุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวและสองอุณหภูมิ

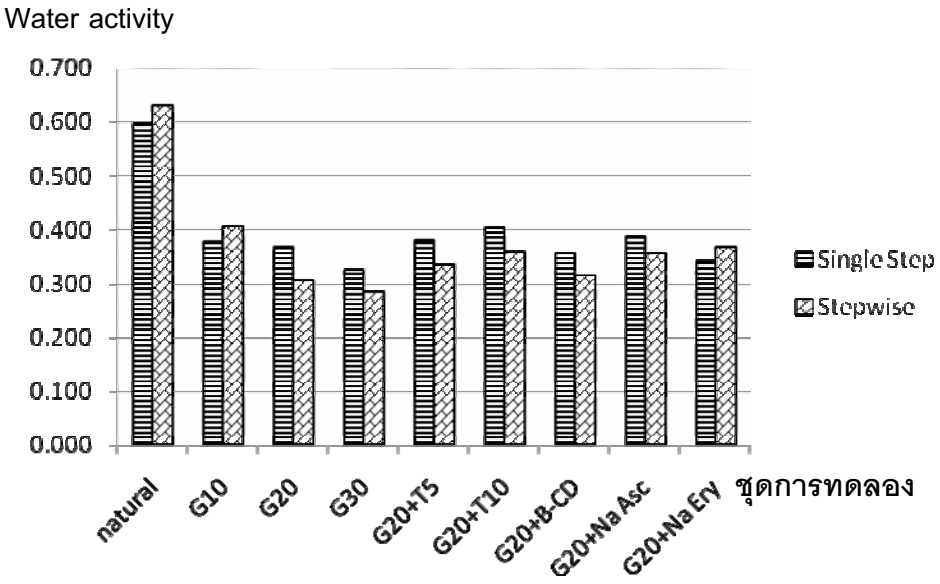
4.6.1 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (water activity, a_w)

จากการเปรียบเทียบค่า a_w ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวกับค่า a_w ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิดังภาพที่ 38 จะเห็นว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิจะมีค่า a_w ต่ำกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว เนื่องจากการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิเริ่มจากการใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ต่อด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที ซึ่งเป็นอุณหภูมิเริ่มต้นที่สูงกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ 70 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำอิสระในเนื้อลำไยสดเกิดการเคลื่อนที่และระเหยออกมาจากวัตถุดิบได้ง่ายและรวดเร็วกว่า



ภาพที่ 38 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการอบแห้ง

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า a_w ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือนกับเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ พบว่า a_w ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิส่วนใหญ่มีค่า a_w ต่ำกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว ดังแสดงในภาพที่ 39 เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่สูงกว่าในช่วง 3 ชั่วโมงแรก ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.286-0.632 โดยเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 30% มีค่า a_w ต่ำสุดทั้งที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวและสองอุณหภูมิ

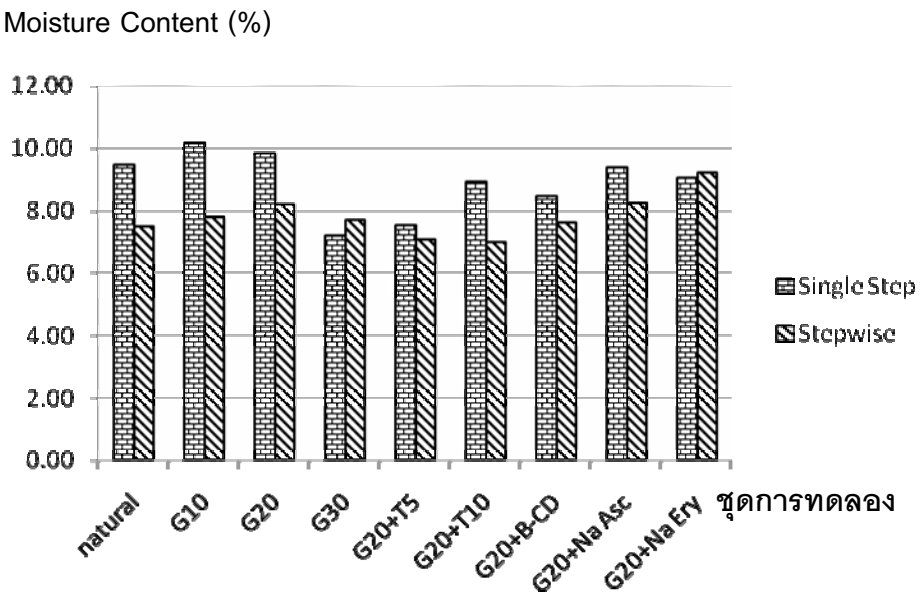


ภาพที่ 39 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์-แอคทิวิตี้ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการเก็บ-รักษา เป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

4.6.2 **ปริมาณความชื้น** (Moisture Content)

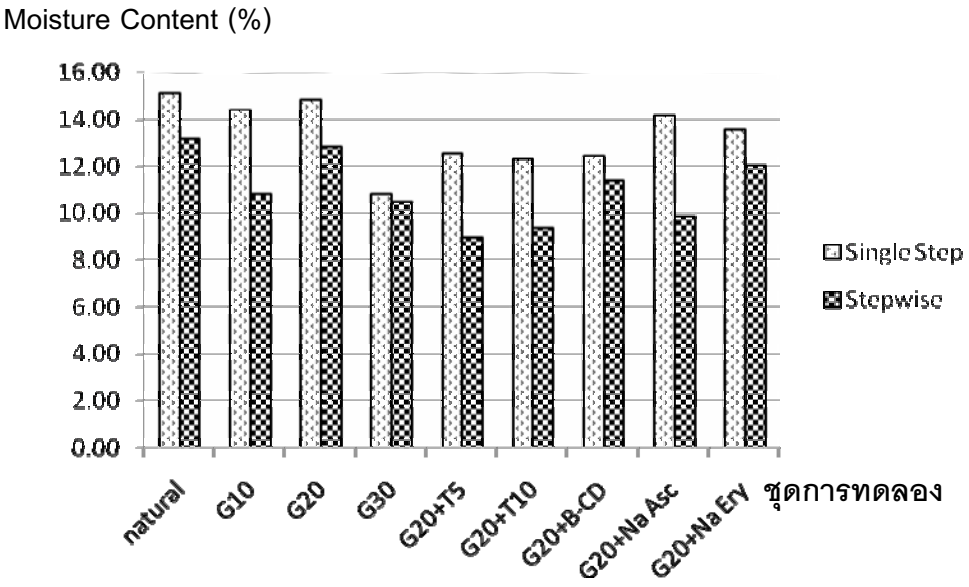
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวกับปริมาณ-ความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิภายหลังการอบแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 40 พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งสองแบบอุณหภูมิส่วนใหญ่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิ-เดียวเช่นเดียวกับค่า a_w เนื่องจากการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงกว่าในช่วงต้นของการอบแห้งทำให้ความชื้นในเนื้อลำไยระเหยออกจากวัตถุดิบได้ดีกว่าเช่นเดียวกัน ยกเว้นเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 30% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล

20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับเบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 1% ที่มีปริมาณความชื้นสำหรับการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิใกล้เคียงหรือน้อยกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเล็กน้อย



ภาพที่ 40 ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการอบแห้ง

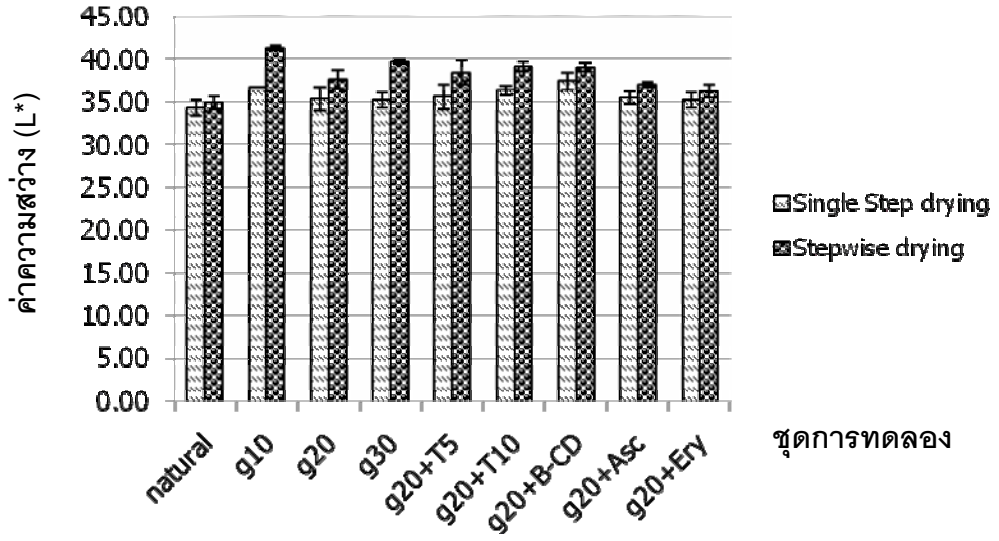
นอกจากนี้จากการเปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือนกับเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว พบว่าปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิมีค่าระหว่าง 10.84-15.15% ในขณะที่ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวมีค่าระหว่าง 8.96-13.16% จะเห็นได้ว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิภายหลังการเก็บรักษามีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 41 ซึ่งมีข้อดีในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในระยะเวลานานขึ้น เนื่องจากความชื้นที่ต่ำกว่าทำให้ลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งได้ แต่อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าอัตราการเสื่อมเสียสูงสุดของผลไม้อบแห้งเกิดขึ้นที่ปริมาณความชื้น 5-8% (Woodroof และ Luh, 1986)



ภาพที่ 41 ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

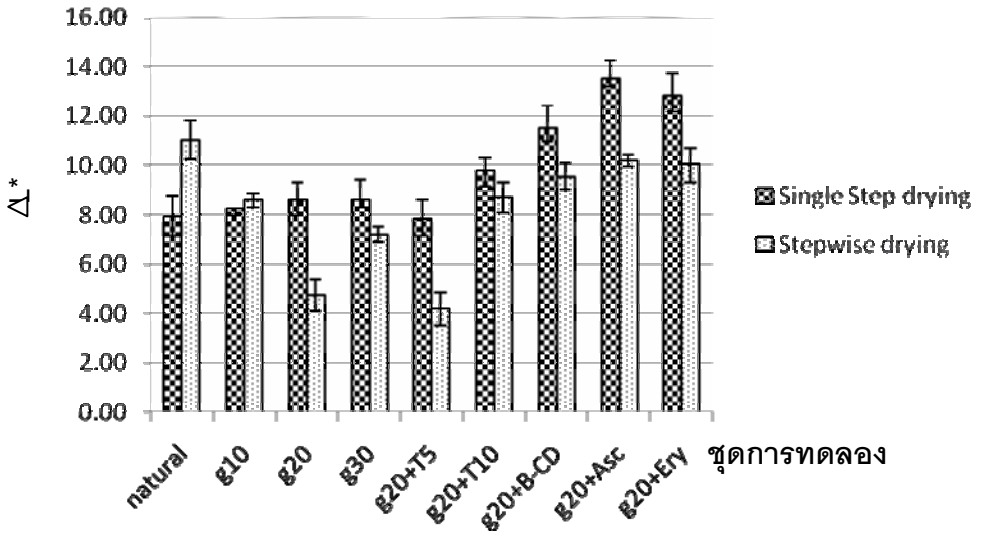
4.5.3 การเปลี่ยนแปลงสี

จากการเปรียบเทียบค่าความสว่างของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิกับการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวภายหลังการอบแห้ง ในภาพที่ 42 พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิมีค่าความสว่างสูงกว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิมีส่วนช่วยในการปรับปรุงสีของผลิตภัณฑ์ให้มีความสว่างเพิ่มขึ้นได้ (Chua และคณะ, 2001) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Chua และคณะ (2000) ที่ทำการศึกษาผลการอบแห้งแบบต่อเนื่องและการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เกษตร พบว่าการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่มีการลดลอุณหภูมิลงในช่วงท้ายของการอบแห้งช่วยรักษาความสว่างและลดการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งการปรับอุณหภูมิลงในช่วยท้ายของการอบแห้งช่วยป้องกันการเกิดสีดำคล้ำที่ผิวนอกของตัวอย่างกล้วยอบแห้ง

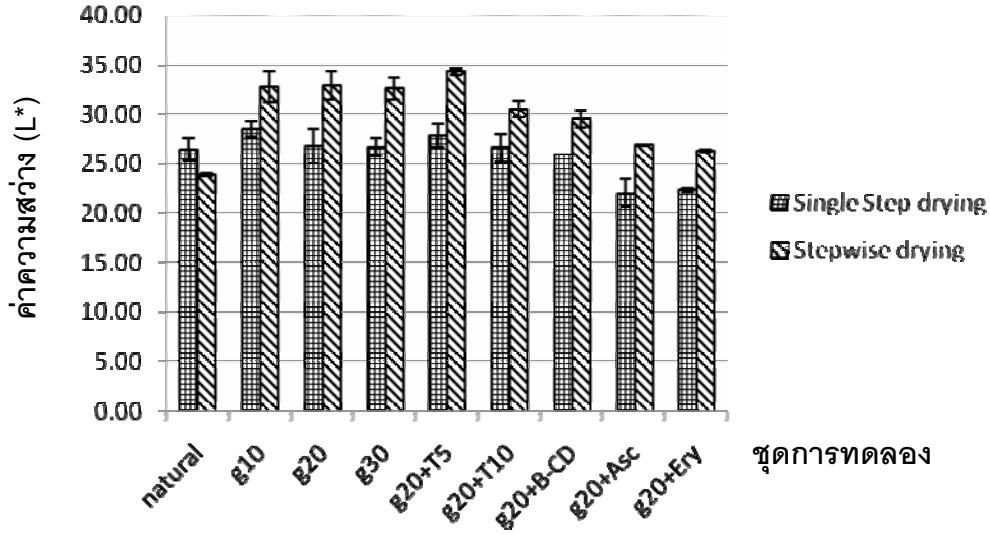


ภาพที่ 42 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการอบแห้ง

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (Δ L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน โดยพิจารณาจากค่าความสว่างของเนื้อลำไยอบแห้งที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบแห้ง พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง คือ มีค่าความสว่างลดลงน้อยกว่าเนื้อลำไยที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 43 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทำพรีทรีทเม้นท์ด้วยการแช่สารละลายออสโมติกช่วยรักษาสีของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่า สอดคล้องกับการทดลองของ Chua และคณะ (2001) ซึ่งทำการทดลองอบแห้งกล้วยแบบสองอุณหภูมิพบว่า การอบแห้งแบบสองอุณหภูมิช่วยลดการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ได้ ทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีความสว่างและสม่ำเสมอ โดยมีความสว่างมากกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว และเนื่องจากการที่เนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างน้อยกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว ส่งผลให้ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน เนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิยังคงมีค่าความสว่างมากกว่าเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 44 โดยเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5% มีค่าความสว่างสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10, 20 และ 30% ($p\geq0.05$)

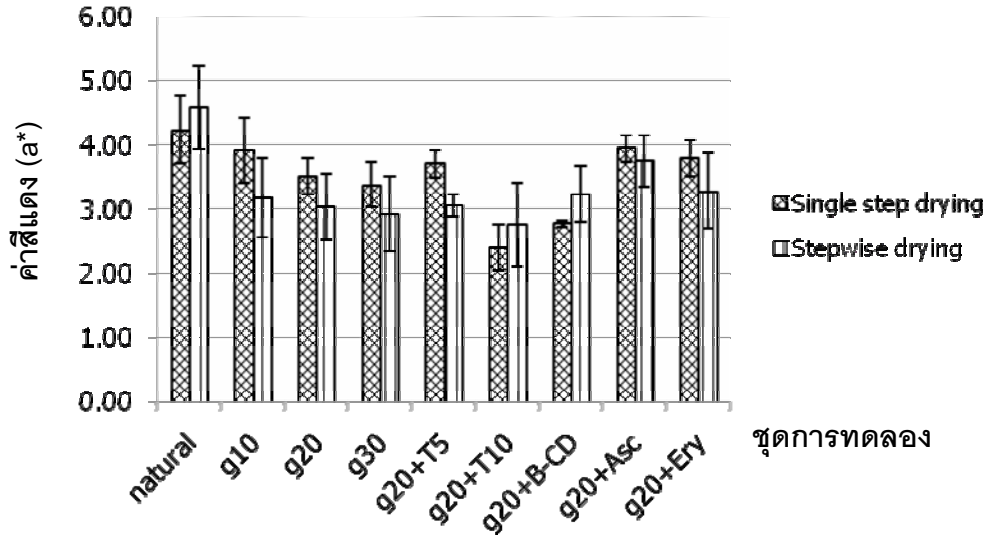


ภาพที่ 43 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน สำหรับการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ



ภาพที่ 44 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการเก็บรักษา เป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

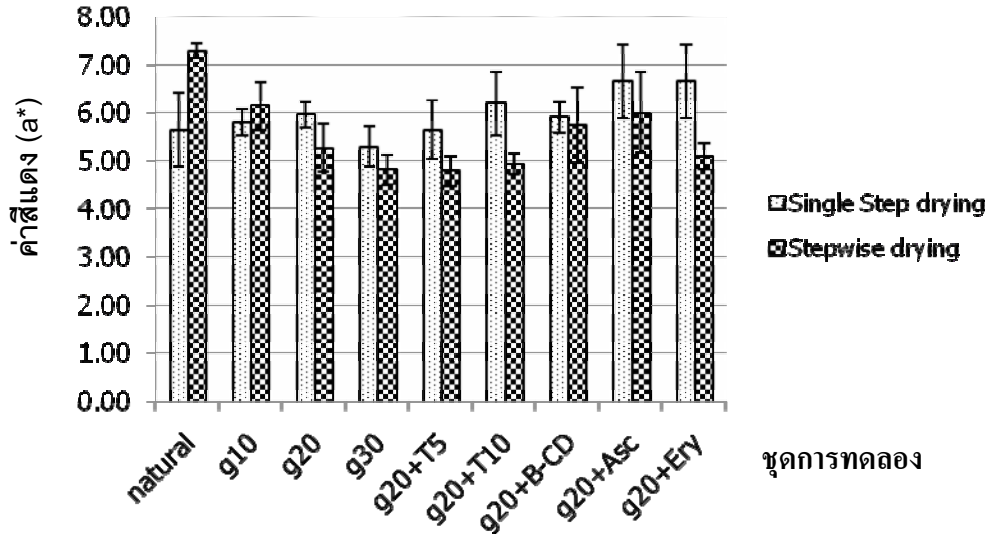
เมื่อเปรียบเทียบค่าสีแดงของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งทั้งแบบอุณหภูมิเดียวและสองอุณหภูมิได้ผลการทดลอง ดังภาพที่ 45



ภาพที่ 45 ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการอบแห้ง

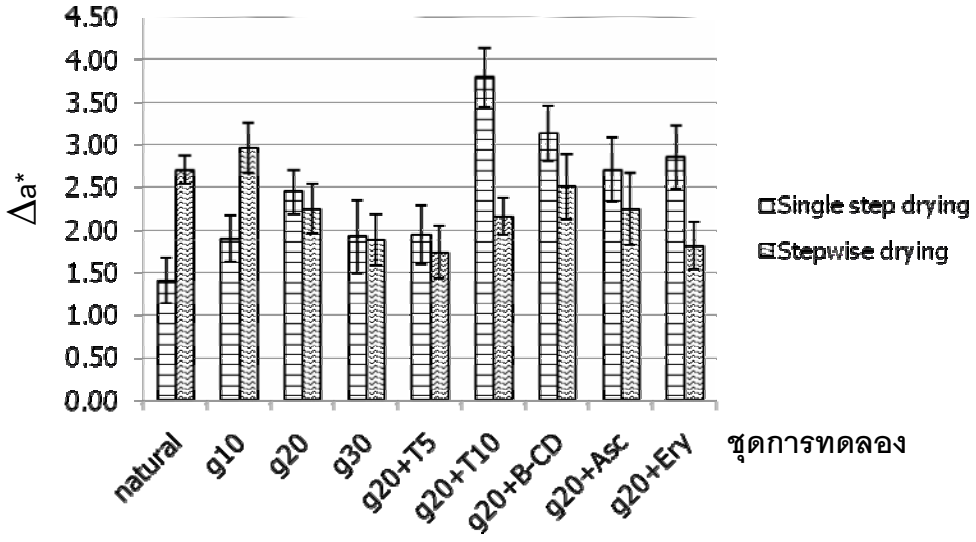
จากรูปจะเห็นว่าการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิทำให้เนื้อลำไยอบแห้งภายหลังการอบแห้งส่วนใหญ่มีค่าสีแดงน้อยกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้นเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติ เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับเบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 1% ที่มีค่าสีแดงของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิมากกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิบริเวณผิวหน้าของตัวอย่างและอัตราการระเหยของน้ำอาจมีผลกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและอัตราการระเหยของน้ำออกจากตัวอย่างมีผลต่ออุณหภูมิที่ผิวหน้าของตัวอย่าง ซึ่งส่งผลต่อการเกิดการเคลื่อนที่ของความชื้นเช่นเดียวกัน โดยอัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความชื้นภายในตัวอย่างเช่นเดียวกับการแพร่ของความชื้นที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและปริมาณน้ำ ซึ่งความชื้นบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์จะเป็นชั้นบางๆ ที่ช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสี

เมื่อพิจารณาค่าสีแดงของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองแบบภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน พบว่า เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิส่วนใหญ่มีค่าสีแดงน้อยกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว ดังแสดงในภาพที่ 46 สำหรับเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติและเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% พบว่าการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิให้ค่าสีแดงมากกว่าการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิค่อนข้างมากเช่นกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการอบแห้งแบบธรรมชาติ เป็นกระบวนการอบแห้งโดยการนำลำไยสดมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดก่อนการอบแห้งเท่านั้น จึงอาจมีน้ำตาลเกาะอยู่ที่ผิวในปริมาณมาก รวมทั้งยังไม่ผ่านกระบวนการลวก เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ทำให้อาจเกิดปฏิกิริยาที่อาศัยเอนไซม์และไม่อาศัยเอนไซม์ระหว่างการอบแห้งได้ โดยเฉพาะปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์แบบเมลลาร์ด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยทั่วไปปฏิกริยาสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์แบบเมลลาร์ดส่วนใหญ่สามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิห้อง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาก็จะสูงขึ้นด้วย

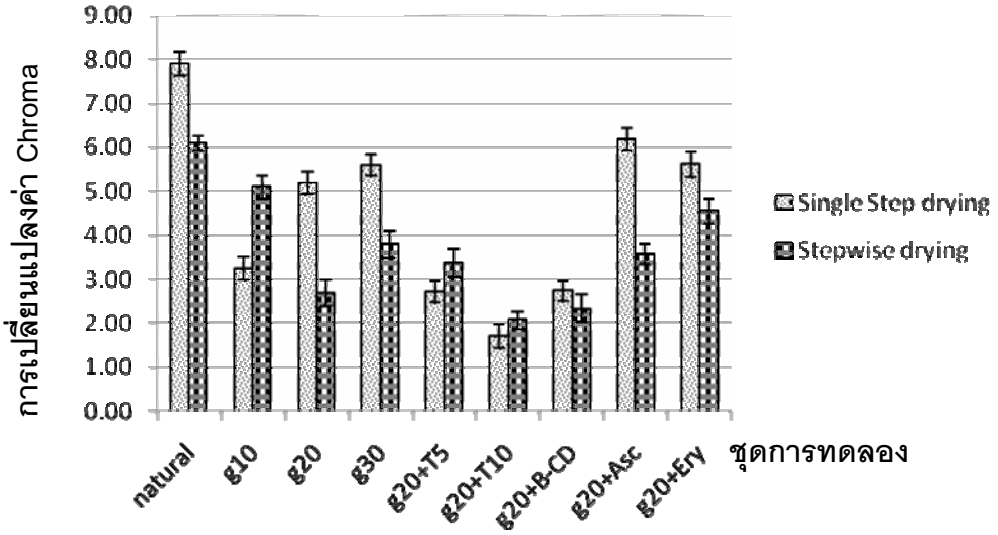


ภาพที่ 46 ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับค่าสีแดงของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

จากภาพที่ 47 ซึ่งแสดงค่าสีแดงที่เปลี่ยนแปลงไป (Δa^*) ของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองแบบระหว่างการเก็บรักษา พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิทุกชุดการทดลอง ยกเว้นเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติ เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงน้อยกว่าเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเฉพาะเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าสีแดงที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าแตกต่างกันอย่างมาก จึงอาจกล่าวได้ว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% มีการเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นๆ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดงเป็นดัชนีที่บ่งบอกการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ได้อีกทางหนึ่ง (Zuo, Seog และ Lee, 2008)

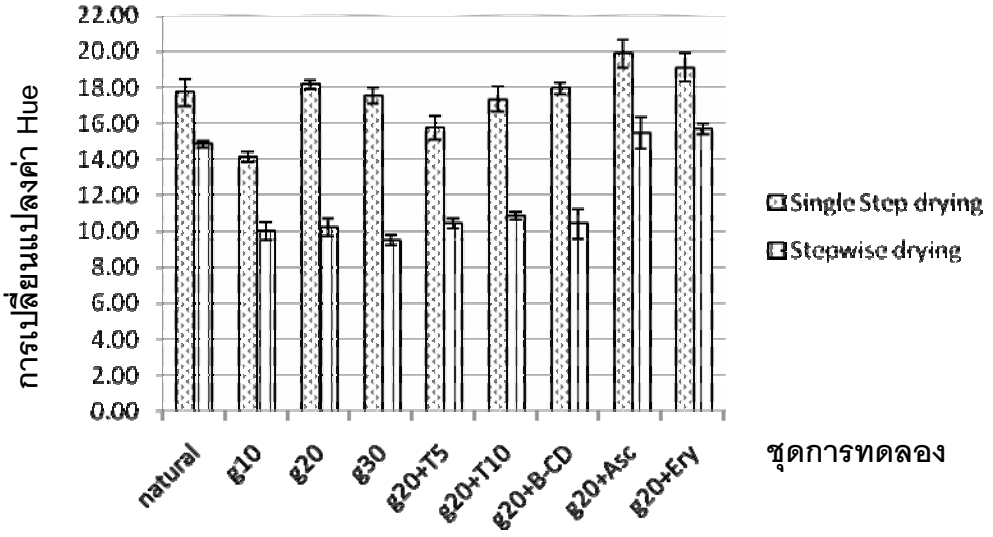


ภาพที่ 47 ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยอบแห้งที่เปลี่ยนแปลงไป (Δ a*) ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน สำหรับการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ



ภาพที่ 48 การเปลี่ยนแปลงค่า Chroma ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวและสองอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า Chroma ของเนื้อลำไยอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน พบว่า เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% ในการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวมีการลดลงของค่า Chroma น้อยกว่าการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ และจากภาพที่ 48 จะเห็นได้ว่า เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% ของการอบแห้งทั้ง 2 สภาวะมีการเปลี่ยนแปลงค่า Chroma น้อยกว่าชุดการทดลองอื่นๆ



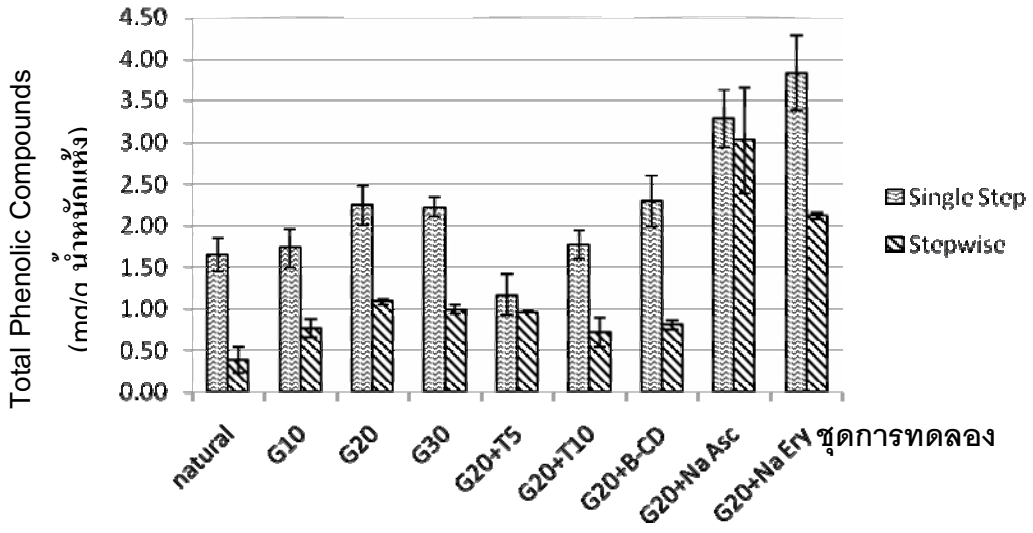
ภาพที่ 49 การเปลี่ยนแปลงค่า Hue ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวและสองอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

จากภาพที่ 49 แสดงให้เห็นว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงค่า Hue น้อยกว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10, 20, 30% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5 และ 10% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับเบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 1% ที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงค่า Chroma ใกล้เคียงกัน ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต1% ที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองสภาวะมีการเปลี่ยนแปลงค่า Chroma มากกว่าเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติ

4.6.4 การเกิดสีน้ำตาล

4.6.4.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิภายหลังการอบแห้ง แสดงดังภาพที่ 50 จะเห็นได้ว่าภายหลังการอบแห้งปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิทุกชุดการทดลองมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณสารประกอบ-ฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเกิดการสลายตัวในระหว่างการอบแห้งเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์และจากความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง (thermal reaction)(Raynal, Moutounet และ Souquet, 1989) สอดคล้องกับการทดลองของ Larrauri, Ruperez และ Saura-Calixto (1997) ซึ่งทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อความคงตัวของโพลีฟีนอลและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของ red grape pomace peels โดยทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 100 และ 140 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะลดลงเช่นเดียวกับความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่นเดียวกับ Caro และคณะ (2004) ที่ทำการทดลองในพรุน โดยทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 85 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าสารประกอบฟีนอลิกในพรุนอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งที่ 85 องศาเซลเซียสมีปริมาณน้อยกว่าที่ 60 องศาเซลเซียส

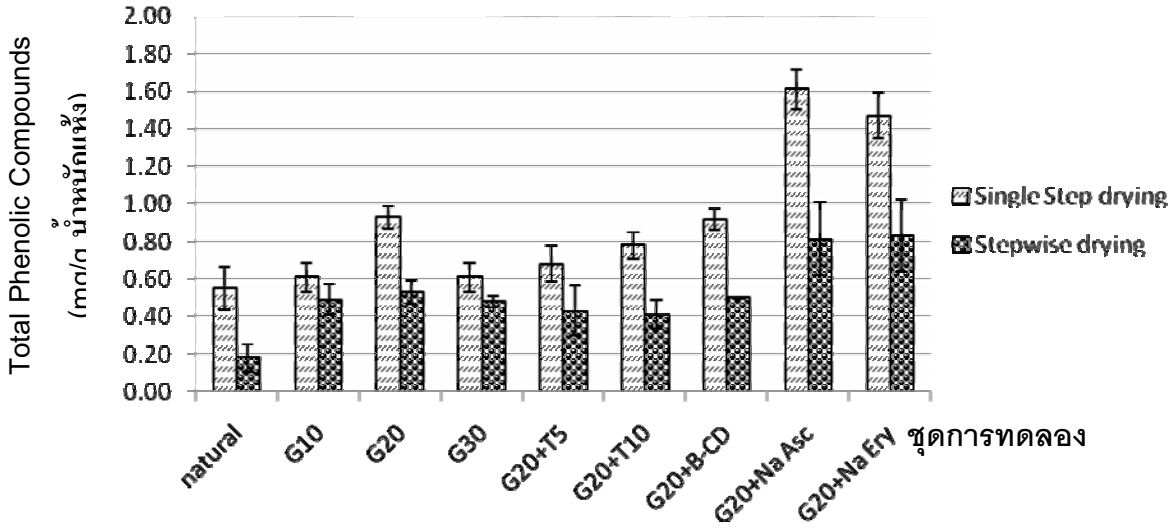


ภาพที่ 50 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว เปรียบเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการอบแห้ง

Toor และ Savage (2006) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งแบบกึ่งแห้ง (semi-drying) ต่อองค์ประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศ โดยทำการอบแห้งมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส พบว่า มะเขือเทศแบบกึ่งแห้งมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงระหว่างการอบแห้งเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ PPO และ POD (peroxidase) เช่นเดียวกับ Kerkhofs (2003) ในทางตรงกันข้าม Lavelli และคณะ (1999) รายงานว่าสารประกอบฟีนอลิกในมะเขือเทศอบแห้งจะเพิ่มขึ้น เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลฟีนอลอิสระเพิ่มมากขึ้นจากการแตกตัวของฟลาโวนอยด์ไกลโคไซด์ (flavonoid glycoside) และการปลดปล่อยออกมาจากผนังเซลล์ ซึ่งแตกต่างจากในลำไยอบแห้ง เนื่องจากลำไยมีฟลาโวนอยด์ไกลโคไซด์น้อยกว่ามะเขือเทศและลำไยอบแห้งมีเอนไซม์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากกว่าจึงใช้สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งอาจไม่เพียงพอในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้

จากผลการทดลองดังกล่าวเห็นได้ว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1%ของการอบแห้งทั้งสองแบบเป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด

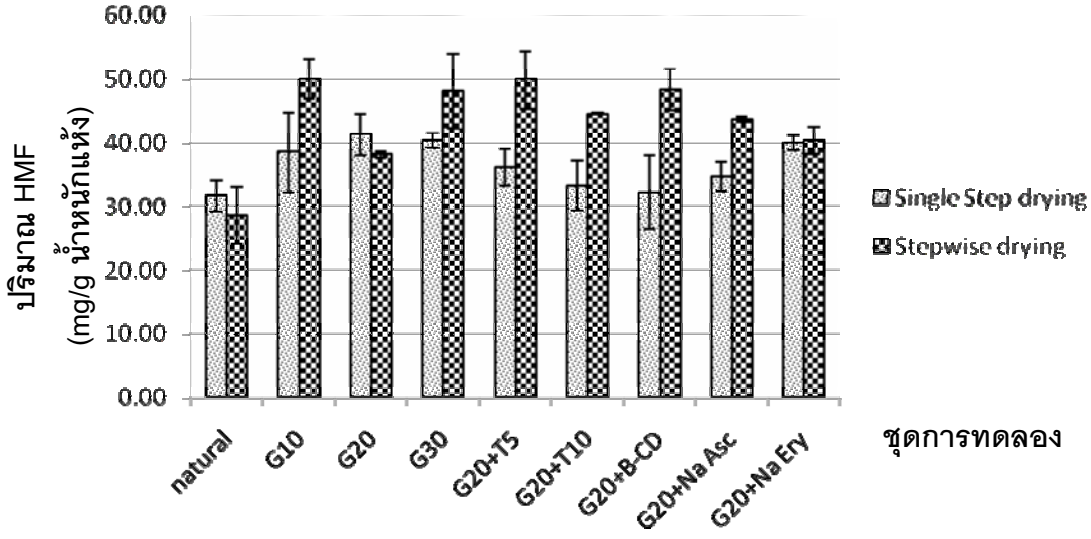
เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ของเนื้อลำไยอบแห้งทั้งสองแบบ พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ เมื่อผ่านการเก็บรักษาแล้วจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยมากประมาณ 0.18-0.83 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 0.55-1.61 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเริ่มต้นภายหลังการอบแห้งคือ 0.39-3.02 และ 1.17-3.83 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 51



ภาพที่ 51 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว เปรียบเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32$\pm$0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45$\pm$0.5%

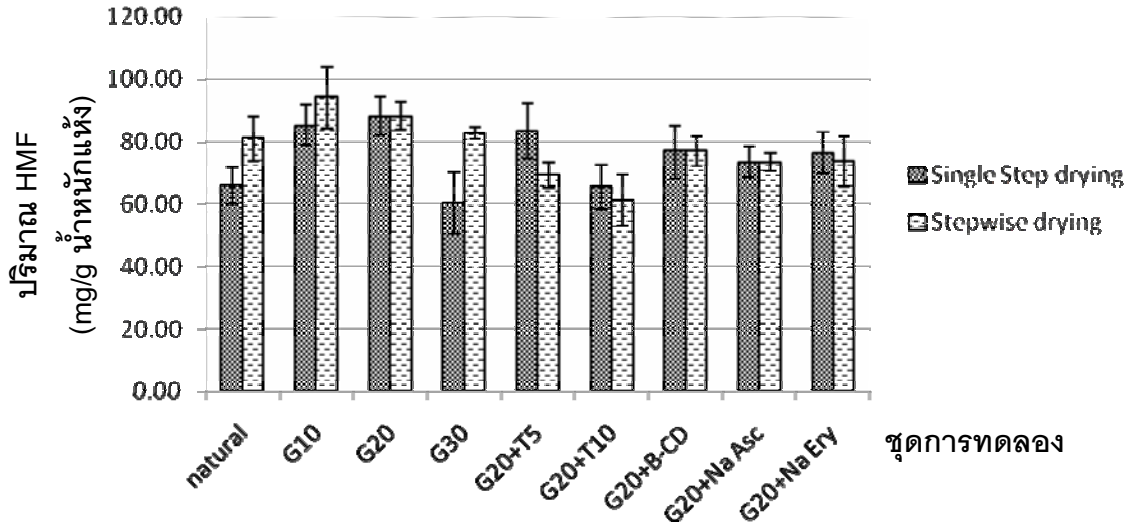
4.6.4.2 ปริมาณไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอล (HMF)

จากภาพที่ 52 เห็นว่าปริมาณ HMF ของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสอง-อุณหภูมิส่วนใหญ่จะมีปริมาณ HMF มากกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว ยกเว้นเนื้อลำไย-อบแห้งแบบธรรมชาติและเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ที่มีปริมาณ HMF น้อยกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1% มีปริมาณ HMF ค่อนข้างใกล้เคียงกันสำหรับการอบแห้งทั้งสองแบบ



ภาพที่ 52 ปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว เปรียบเทียบกับปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอลของของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ ชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการอบแห้ง

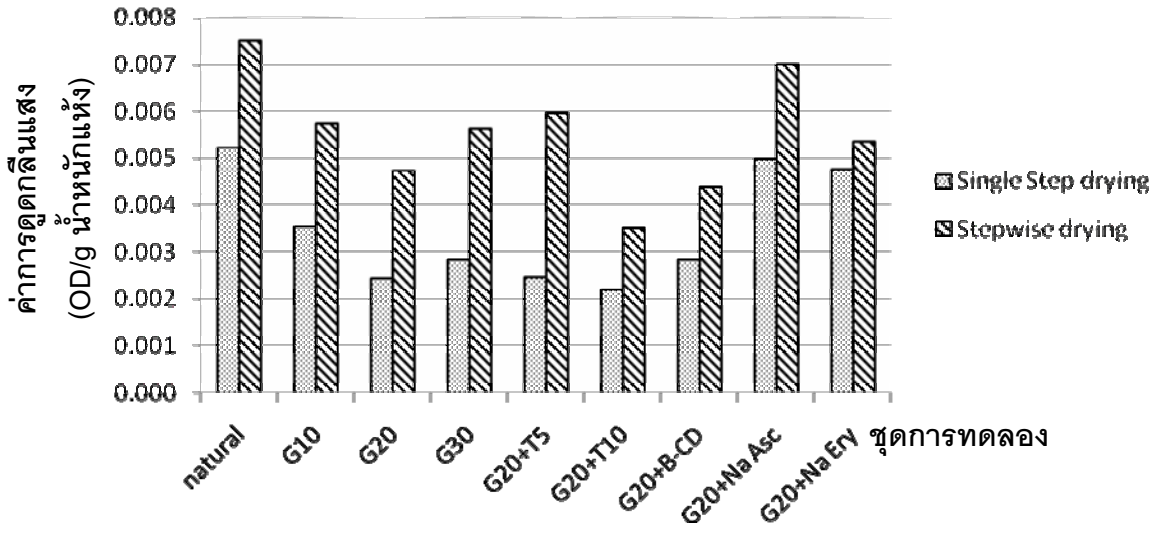
ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองแบบมีปริมาณ HMF ค่อนข้างใกล้เคียงกันโดยเฉพาะเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับเบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 1% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1% ดังภาพที่



ภาพที่ 53 ปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว เปรียบเทียบกับปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอลของของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ ชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

4.6.4.3 ปริมาณการเกิดสีน้ำตาล

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองแบบภายหลังการอบแห้ง ดังภาพที่ 54 จะเห็นว่าการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิส่งผลให้เนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองมีปริมาณการเกิดสีน้ำตาลมากกว่าเนื้อลำไยที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวในทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณการเกิดสีน้ำตาลในทุกชุดการทดลองภายหลังการอบแห้งแล้วพบว่าปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

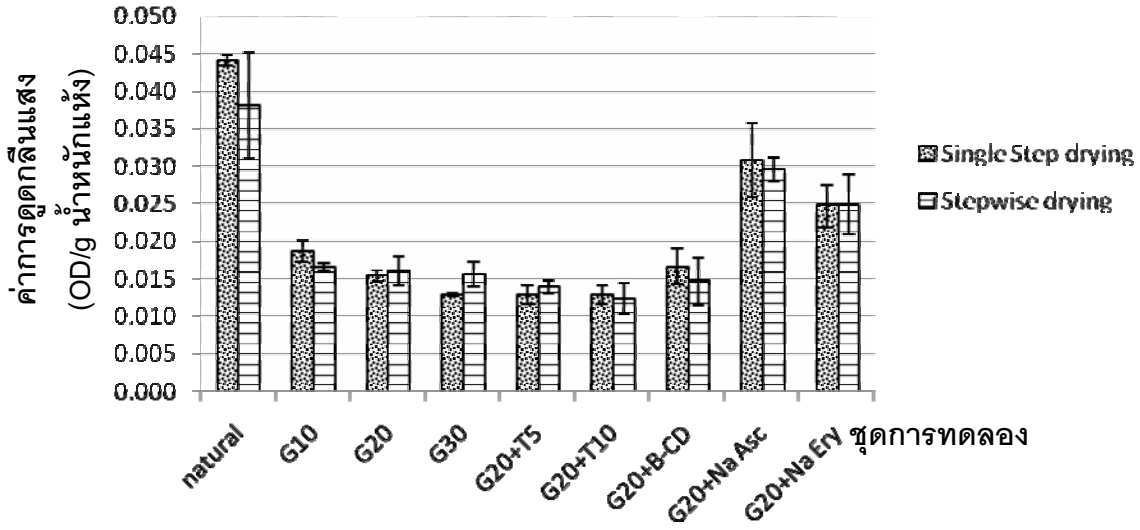


ภาพที่ 54 ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการอบแห้ง

จากผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ Vega-Galvez และคณะ (2008) ที่ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อคุณภาพของพริกหวานอบแห้ง โดยทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที และศึกษาผลของกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ด้วยการแช่สารละลาย $CaCl_2$ 1% เป็นเวลา 10 นาที พบว่าพริกหวานที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีการเกิดสีน้ำตาลมากที่สุด โดยพริกหวานที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจะมีการเกิดสีน้ำตาลมากที่สุด รองลงมา คือ 70, 60 และ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียสค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในขณะที่พริกหวานที่ผ่านกระบวนการพรีทรีทเม้นท์มีการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุด คือ 0.011 OD ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อเทียบกับพริกหวานที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการพรีทรีทเม้นท์ 0.038 OD ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลในพริกหวานอบแห้งส่วนใหญ่เกิดจากเกิดสารประกอบสีน้ำตาลเนื่องจากพริกหวานมีน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนอยู่เป็นจำนวนมาก และการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลระหว่างการอบแห้งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นในสภาวะที่มีสารตั้งต้นในปริมาณมากก็สามารถเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เช่นเดียวกับ Miranda และคณะ (2009) ซึ่งทำการอบแห้งเนื้อว่านหางจระเข้ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลโดยตรงต่อการเกิดสีน้ำตาล เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น จะมีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นด้วย การเกิดสีน้ำตาลสูงสุดเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ

90 องศาเซลเซียส (0.255 OD ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ซึ่งคิดเป็น 3 เท่าของการเกิดสีน้ำตาลที่ 50 องศาเซลเซียส โดยการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อว่านหางจระเข้อบแห้งที่ทั้ง 5 อุณหภูมินี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อว่านหางจระเข้เกิดเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่อาศัยเอนไซม์ขนิดเมลลาร์ด ซึ่งมีการติดตามได้จากการลดลงของน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโน

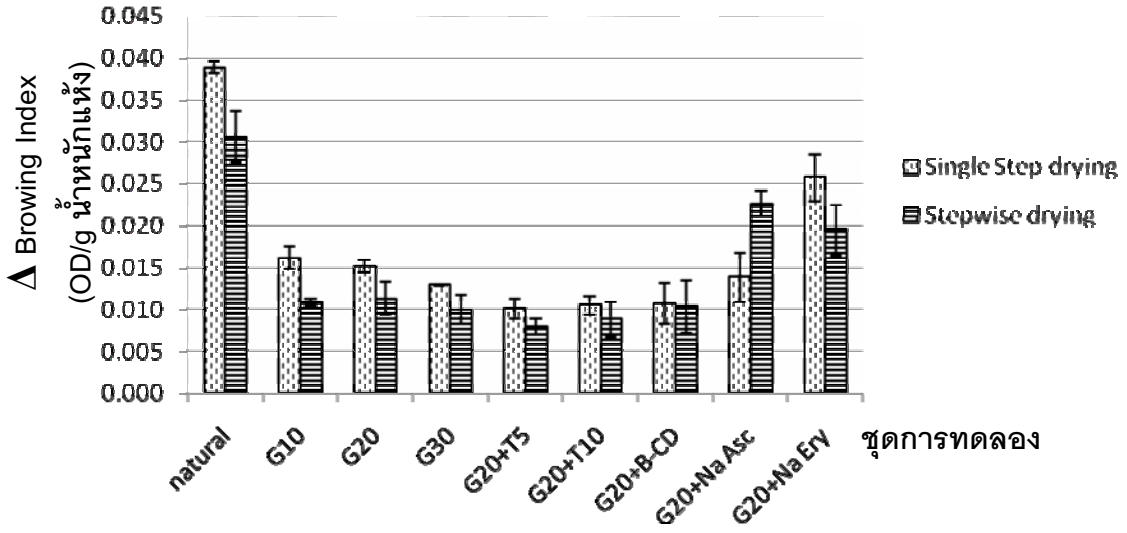
การเปรียบเทียบการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งทั้งแบบอุณหภูมิเดียวและสองอุณหภูมิภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน แสดงดังภาพที่ 55



ภาพที่ 55 ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิชุดการทดลองต่างๆ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32$\pm$0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45$\pm$0.5%

จากรูปจะเห็นว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ สำหรับเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติ เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 10% เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับเบต้าไซโคลเด็กซ์ตริน 1% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% มีการเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าเนื้อลำไยอบแห้งในชุดดังกล่าวที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20, 30% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล

20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5% มีการเกิดสีน้ำตาลที่สูงกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว และสำหรับเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1% ที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองแบบมีการเกิดสีน้ำตาลที่เท่ากัน แม้ว่าภายหลังการอบแห้งเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิจะมีการเกิดสีน้ำตาลมากกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวก็ตาม แสดงให้เห็นว่าเนื้อลำไยอบแห้งสองแบบอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงการเกิดสีน้ำตาลที่น้อยกว่าเนื้อลำไย-อบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว แสดงดังภาพที่ 56

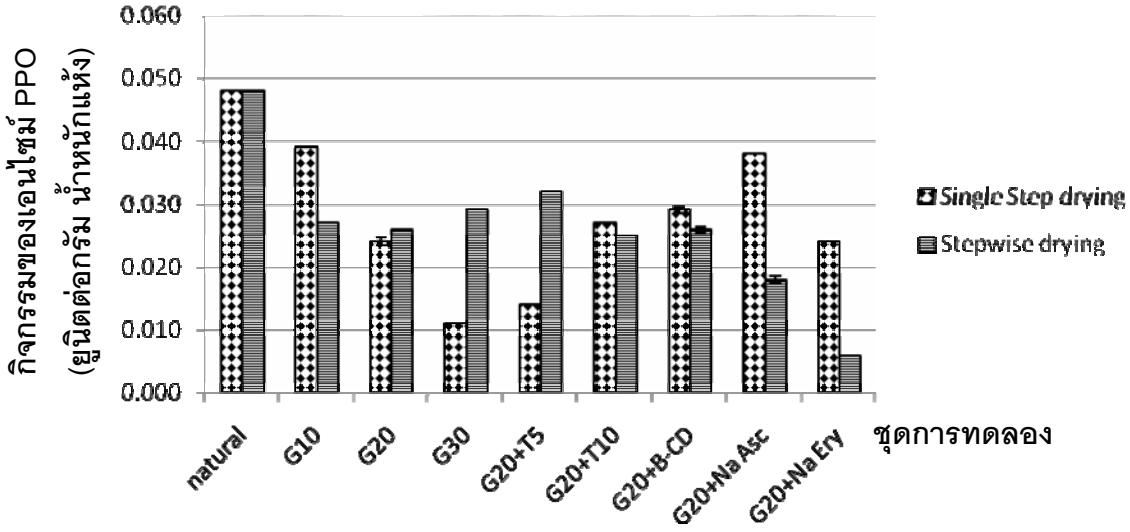


ภาพที่ 56 การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ ชุดการทดลองต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

4.6.4.4 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของเนื้อลำไยอบแห้งภายหลังการอบแห้งทั้ง 2 สภาวะ แสดงดังภาพที่ 57 เนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติที่ผ่านการอบแห้งทั้งสภาวะมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เท่ากัน และมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ สำหรับการอบแห้งทั้ง 2 สภาวะ โดยเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20 และ 30% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5% ที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO น้อยกว่าการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ

ในชุดการทดลองเดียวกัน ในขณะที่ชุดการทดลองอื่นๆ เนื้อลำไยที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO น้อยกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว

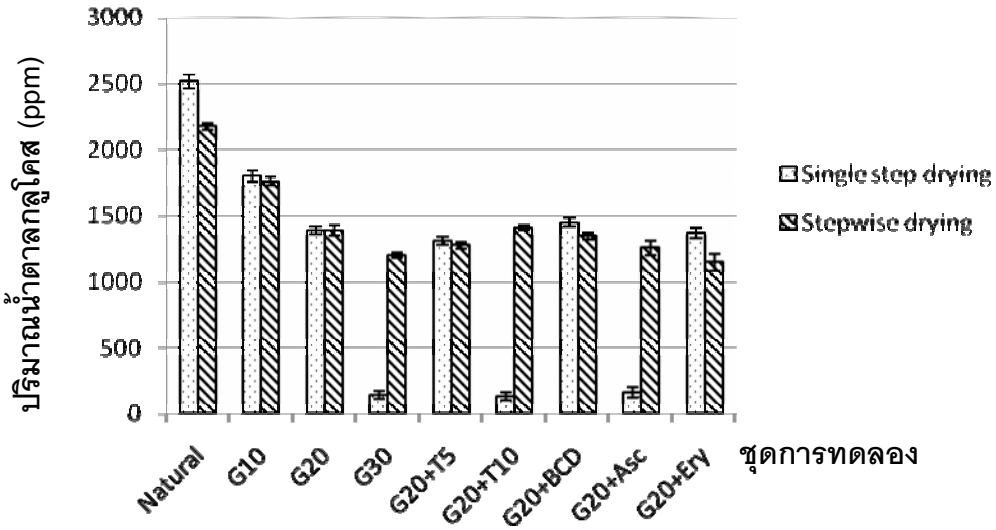


ภาพที่ 57 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 2 สภาวะมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO อยู่ในช่วง 0.000-0.001 ยูนิตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งอาจถือได้ว่าไม่มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO หลงเหลืออยู่เลย

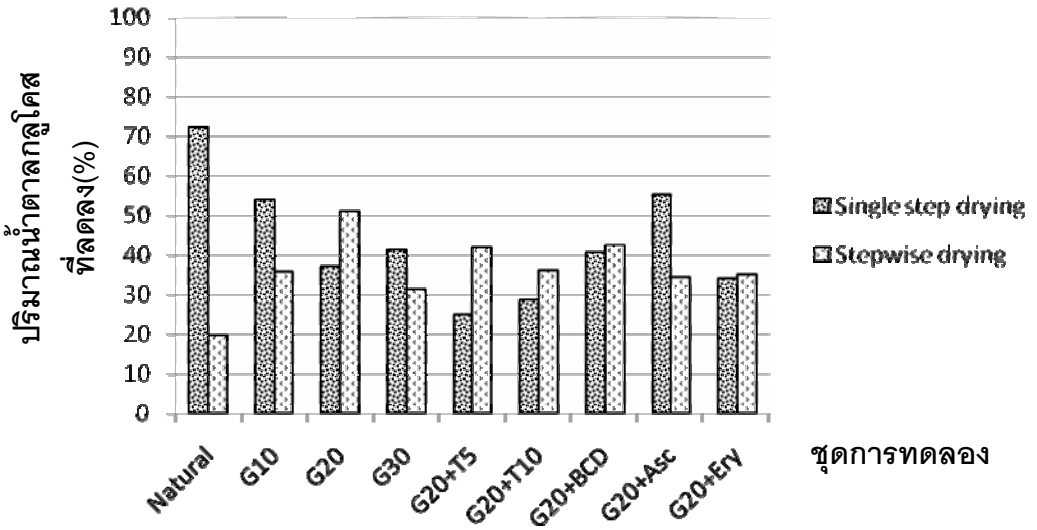
4.6.5 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตสและซูโครส

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคสของเนื้อลำไยอบแห้งภายหลังการอบแห้งทั้ง 2 สภาวะ แสดงดังภาพที่ 58 พบว่าเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิส่วนใหญ่มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสน้อยกว่าเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



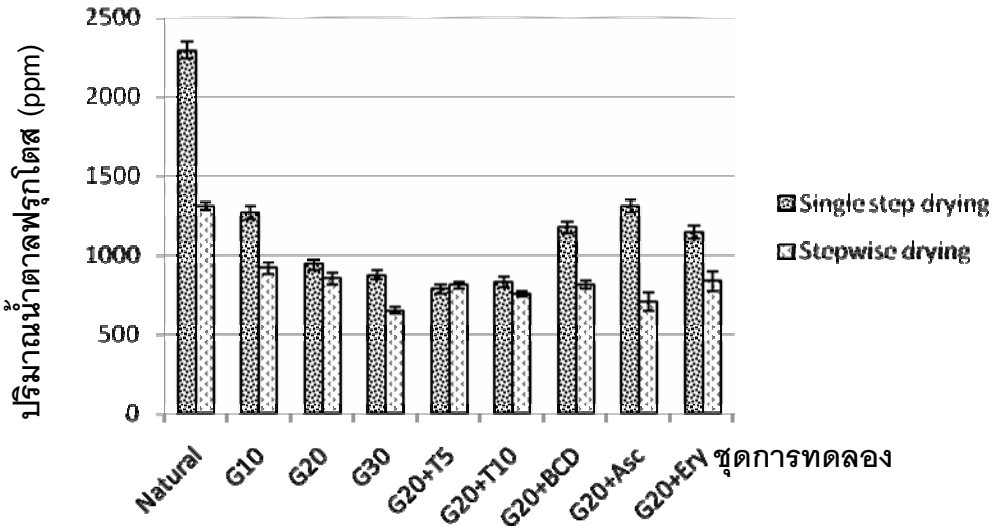
ภาพที่ 58 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำตาลกลูโคสของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ

จากภาพที่ 59 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลกลูโคสของเนื้อลำไยอบแห้งทั้ง 2 สภาวะที่ลดลงระหว่างการเก็บรักษา พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติ เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10, 30% และเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมแอสคอร์เบต 1% ที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสลดลงน้อยกว่าการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

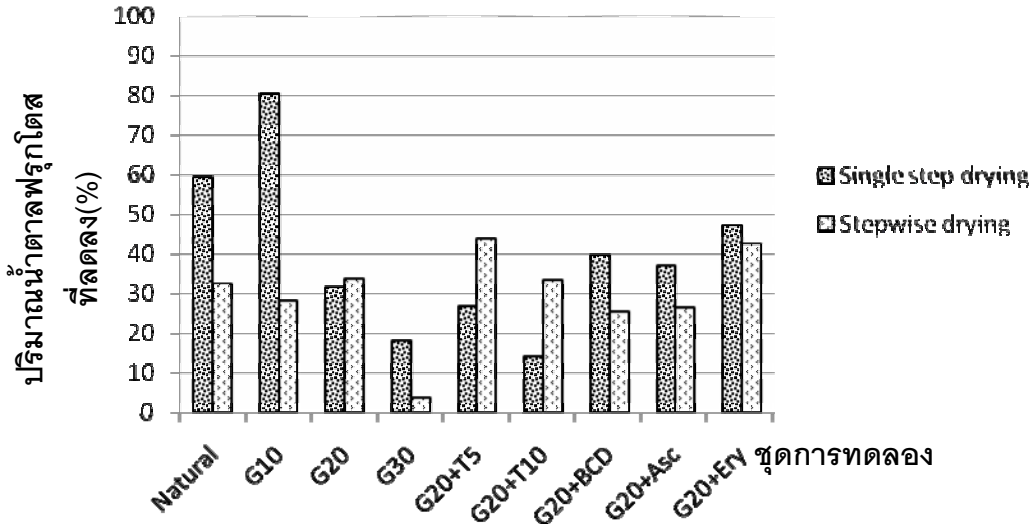


ภาพที่ 59 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวและสองอุณหภูมิ

สำหรับปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส พบว่าภายหลังการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเนื้อลำไยอบแห้งทุกชุดการทดลองมีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสมากกว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 60 ซึ่งจะเห็นว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 5 และ 10% ที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 2 สภาวะมีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสในปริมาณน้อยและปริมาณค่อนข้างใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ดังแสดงในภาพที่ 61 พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 2 สภาวะมีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสลดลงใกล้เคียงกันมาก สำหรับเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติและเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 10% ที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิมีปริมาณฟรุกโตสที่ลดลงมากกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวมาก ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5% ที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิมีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสลดลงมากกว่าเนื้อลำไยชุดการทดลองเดียวกันที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว

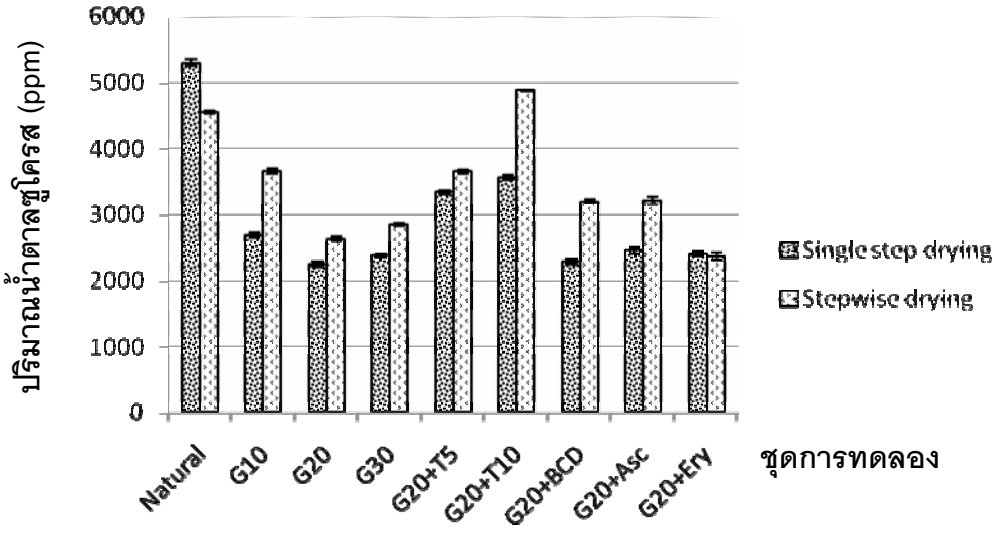


ภาพที่ 60 ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ

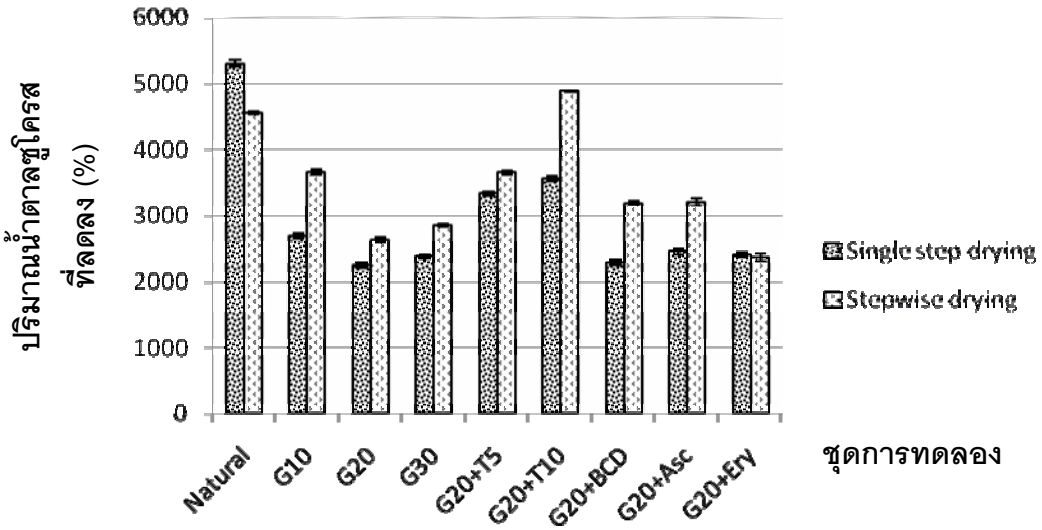


ภาพที่ 61 ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวและสองอุณหภูมิ

ปริมาณน้ำตาลซูโครสของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำตาลซูโครสของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิแสดงในภาพที่ 62 จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำตาลซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 2 สภาวะมีปริมาณน้ำตาลซูโครสใกล้เคียงกัน โดยเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิส่วนใหญ่มีปริมาณน้ำตาลซูโครสสูงกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียว ซึ่งเนื้อลำไยอบแห้งแบบธรรมชาติภายหลังการอบแห้งทั้ง 2 สภาวะมีปริมาณน้ำตาลซูโครสสูงกว่าเนื้อลำไยอบแห้งชุดการทดลองอื่นๆ และเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลซูโครสระหว่างการเก็บรักษา พบว่าเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิมีปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลงมากกว่าเนื้อลำไยอบแห้งแบบ-อุณหภูมิเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้นเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับโซเดียมอีรีธอร์เบต 1% ดังแสดงในภาพที่ 63



ภาพที่ 62 ปริมาณน้ำตาลซูโครสของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวเปรียบ-เทียบกับปริมาณน้ำตาลซูโครสของเนื้อลำไยภายหลังการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิ



ภาพที่ 63 ปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวและสองอุณหภูมิ

การสูญเสียปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษาอาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิด-เมลลาร์ดทำให้เกิดรงควัตถุสีน้ำตาล ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่เข้าทำ-ปฏิกิริยา ปัจจัยในกระบวนการให้ความร้อน ค่า pH และปริมาณของกรดอะมิโนรวมถึงปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง จากผลการทดลองดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น พบว่าการอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที มีการสูญเสียน้ำตาลกลูโคสมากกว่าการอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากการใช้อุณหภูมิเริ่มต้นในการอบแห้งสูงกว่า ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดเมลลาร์ดมากกว่า Martins และคณะ (2001) กล่าวว่า เมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนในกระบวนการแปรรูปสูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่อะมิโนและน้ำตาลเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งอุณหภูมิมีผลต่อค่าคงที่อัตราเกิดปฏิกิริยา (k) ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการของ Arrhenius (Arrhenius equation)

$$k = A^{*}\exp(-E_a/RT)$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่อัตราเกิดปฏิกิริยา R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ (8.3 $Jmol^{-1}K^{-1}$)

E_a คือ พลังงานกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

- การใช้กลีเซอรอลและทรีฮาโลสในสารละลายออสโมติกสามารถลดค่า a_w ในเนื้อลำไย-อบแห้งสีทองได้
- การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาลแบบอาศัยเอนไซม์ สามารถทำได้โดยการลวกเนื้อลำไยสดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และการแช่สารละลายผสมของแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% กรดซิตริก 0.3% และโซเดียม-แอสคอร์เบต 0.3%
- การเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลำไยอบแห้งสีทองระหว่างการเก็บรักษาเกิดทั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่อาศัยเอนไซม์และไม่อาศัยเอนไซม์
- การอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ส่งผลต่อการเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เพียงอุณหภูมิเดียว
- สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเนื้อลำไยอบแห้งสีทองให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดสีน้ำตาลน้อยระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32$\pm$0.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45$\pm$0.5% ได้แก่ การแช่สารละลายกลีเซอรอล 20% ร่วมกับทรีฮาโลส 5 และ 10%

บรรณานุกรม

กรมส่งเสริมการส่งออก กระทรวงพาณิชย์. 2553. [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553 http://www.depthai.go.th

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. มาตรฐานเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง. [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 เดือนมกราคม พ.ศ. 2553 http://www.oae.go.th/longan49/standard.htm

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 487 หน้า.

นิษณา ลุงรุ่ง และ บุศรากรณ์ มหาโยธี. 2548. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งชนิดที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำ ปราศจากสารกลุ่มเมตาไบซัลไฟต์และไม่มีการเติมวัตถุกันเสีย และศึกษาอายุการเก็บ. โครงงานวิจัยสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม.

พงษ์ศักดิ์ อังกสิทธิ์ ดุษฎี ณ ลำปาง และรำไพพรรณ อภิชาติพงศ์ชัย. 2542. ลำไย: ไม้ผลเศรษฐกิจสำคัญเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรม. โรงพิมพ์มิ่งเมือง, เชียงใหม่. 258 หน้า.

พาวิน มะโนชัย. 2543. ลำไย. พิมพ์ครั้งที่ 2. สิรินาฏการพิมพ์, เชียงใหม่. 115 หน้า.

รุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม. 2549. การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในกระบวนการอบแห้งลำไย (*Euphoria Longana Lam.*) แบบทั้งผล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร. 133 หน้า.

วนิษฐา ตรีหัตถ์. 2008. การชะลอการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษามะม่วงแช่อิ่มอบแห้งชนิดหวานน้อยที่ไม่มีการเติมสารกลุ่มเมตาไบซัลไฟต์.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร. 142 หน้า.

ศรัณยา ลาภส่งผล. 2550. ผลของสภาวะการอบแห้งต่อสารประกอบระเหยง่ายที่ให้กลิ่นรสและสารประกอบฟีนอลิกในลำไยอบแห้งพร้อมเปลือกและชาลำไย.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร. 112 หน้า.

Aktas, T., Fujii, S., Kawano, Y. and Yamamoto, S. 2007. Effects of pretreatments of sliced vegetables with trehalose and quality of dried products. Food and Bioproducts Processing. 85(3): 178-183.

Albanese, D., Cinquanta, L. and Matteo, M. D. 2007. Effects of an innovative dipping treatment on the cold storage of minimally processed *Annurca* apples. Food Chemistry. 105: 1054-1060.

Altunkaya, A. and Gokmen, V. 2009. Effect of various anti-browning agents on phenolic compounds profile of fresh lettuce (*L. sativa*). Food Chemistry. 117: 122-128.

Ameur, L. A., Mathieu, O., Lalanne, V., Trystram, G. and Birlouez-Aragon, I. 2007. Comparison of the effects of sucrose and hexose on furfural formation and browning in cookies baked at different temperatures. Food Chemistry. 101: 1407-1416.

Amiot, M. J., Tacchini, M., Aubert, S. and Nicolas, J. 1992. Phenolic composition and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. Journal of Food Science. 57: 958-962.

Amparo, Q., Isabel, H., Isabel, P., Virginia, L., Empar, L. and Angeles, L. 2005. Polyphenoloxidase (PPO) activity and osmotic dehtdration in Granny Smith apple. Journal of the Science of Food and Agriculture. 85(6): 1017-1020.

Balakrishnan, M., Thirupathi, V. and Devadas, C. T. 2001. Role of food additives in food processing-an overview. Beverage and Food World.

Baloch, A. K., Buckle, K. A., and Edwards, R. A. 1973. Measurement of non-enzymic browning of dehydrated carrot. Journal of Food Science and Agricultural. 24: 389-398.

Barbosa-Canovas, G. V and Vega-Mercado. 1996. Dehydration of Foods. New York.

Bolin, H. R. and Steele, R. J. 1987. Nonenzymatic browning in dried apple slices during storage. Journal of Food Science. 52: 1654-1657.

Buedo, A. P., Elustondo, M. P. and Urbicain, M. J. 2000. Non-enzymatic browning of peach juice concentrate during storage. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 1(4): 255-260.

Burdurlu, H. S. and Karadeniz, F. 2003. Effect of storage on nonenzymatic browning of apple juice concentrates. Food Chemistry. 80(1): 91-97.

Caro, A., Piga, A., Pinna, I., Fenu, P. M. and Agabbio, M. 2004. Effect of drying conditions and storage period on phenolic content, antioxidant capacity, and ascorbic acid of prunes. Journalof Agricultural and Food Chemistry. 52(15): 4780-4784.

Castro, S. M., Saraiva, J. A., Lopez-da-Silva, J. A., Delgadillo, I., Loey, A. V., Smout, C. and Hendrickx, M. Effect of thermal blanching and of high pressure treatments on sweet green and red bell pepper fruits (*Capsicum annuum* L.). Food Chemistry. 107(4): 1436-1449.

Chang, W. M., Chen, Y. T. and Shu, C. C. 1998. The browning factors and analysis of browning speed in mei syrup during storage. Food Preservation Science. 2: 87-93.

Chen, J. S., Wei, C. I. and Marshall, M. R. 1991. Inhibition mechanism of kojic acid on polyphenol oxidase. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 39(11): 1897-1901.

Cheng, G. W. and Crisosto. C. H. 1995. Browning potential, phenolic composition, and polyphenoloxidase activity of buffer extracts of peach and nectarine skin tissue. Journal of American Society for Horticultural Science. 120(5): 835-838.

Chua, K. J., Mujumdar, A. S., Chou, S. K., Hawlader, M. N. A. and Ho, J. C. 2000. Heat pump drying of banana, guava and potato pieces: effect of cyclical variations of air temperature on convective drying kinetics and colour change. Drying technology-An international Journal. 18(5): 907-936.

Chua, K. J., Mujumdar, A. S., Chou, S. K., Hawlader, M. N. A. and Ho, J. C. 2001. Batch drying of banana pieces-effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour. Food Research International. 34: 721-731.

Chung, C. and Toyomizu, M. 1976. Studies on the browning of dehydrated foods as a function of water activity-I Effect of Aw on browning in amino acid-lipid systems. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. 42(6): 697-702.

Chutintrasri, B. and Noomhorm, A. 2006. Thermal inactivation of polyphenoloxidase in pineapple puree. Lebensmitted-Wissenschaft and Technology. 39: 492-495.

Coseteng, M. Y. and Lee, C. Y. 1987. Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentration in relation to degree of browning. Food Science. 52: 985-989.

Crowe, J. H., Crowe, L. M. and Chapman, D. 1984. Preservation of membranes in anhydrobiotic organisms: The role of trehalose. Science. 223: 701-703.

Dills, W. L. 1993. Protein fructosylation: fructose and the maillard reaction. The American Journal of Clinical Nutrition. 58: 779-787.

Ding, C., Chachin, K., Ueda, Y. and Wang, C. Y. 2002. Inhobition of loquat enzymatic browning by sulfhydryl compounds. Food Chemistry. 76: 213-218.

Dogan, S., Turan, P. and Dogan, M. 2006. Some kinetic properties of polyphenol oxidase from *Thymbra spicata* L. var. *spicata*. Process Biochemistry. 41: 2379-2385.

Dogan. S., Turan, P, Dogan, M., Alkan, M. and Arslan, O. 2007. Inhibition kinetics of polyphenol oxidase by glutamic acid. European Food Research Technology. 225: 67-73.

Eichner, K. and Karel, M. 1997. The influence of water content and water activity on the sugar-amino browning reaction in model systems under various conditions. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 20: 218-223.

Fontana, A. J. “Water activity: why it is important for food safety”. First NSF Conference on Food Safety, November 1998: 177-185.

Friedman, M. 1996. Food Browning and its prevention. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 44(3): 631-653.

Galmarini, M. V., Chirife, J., Zamora, M. C. and Perez, A. 2008. Deterimination and correlation of the water activity of unsaturated, supersaturated and saturated trehalose solutions. Lebensmitted-Wissenschaft and Technology. 41: 628-631.

Gawlik-Dziki, U, Zlotek, U. and Swieca, M. 2008. Characterization of polyphenol oxidase from butter lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata L.). Food Chemistry. 107. 129-135.

Gomez-Lopez, V. M. 2002. Some biochemical properties of polyphenol oxidase from two varieties of avocado. Food Chemistry. 77: 163-169.

Gopalan, H. S., Pendharkar, M. B. and Subbulakshmi, G. 1999. Application of sodium erythorbate in controlling browning of diced potatoes. Journal of Food Science and Technology. 36(3). 769-773.

Gorny, J. R., Hess-Pierce, B., Cifuentes, A. and Kader, A. A. 2002. Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. Postharvest Biology and Technology. 24: 271-278.

Grozdenovic, J. J., Aljilji, A. R., Lazic, V. L., Tepic, A. N. and Svrzic, G. V. 2007. Influence of protective characteristics of packaging material on packed dried fruits. APTEFF. 38: 21-28.

Guerrero-Beltran, J. A., Swanson, B. G. and Barbasa-Canovas, G. V. 2005. Inhibition of polyphenoloxidase in mango pureee with 4-hexylresorcinol, cysteine and ascorbic acid. Lebensmitted-Wissenschaft and Technology. 38(6). 625-630.

Hicks, K. B., Haines, R. M., Tong, C. B. S., Sapers, G. M., El-Atawy, Y., Irwin, P. L. and Seib, P. A. 1996. Inhibition of enzymatic browning in fresh fruit and vegetable juices by soluble and insoluble forms of beta-cyclodextrin alone or combination with phosphates. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 44: 2591-2598.

Irwin, P. L., Pfeffer, P. E., Doner, L. W., Sapers, G. M., Brewster, J. D. and Nagahashi, G. 1994. Binding geometry, stoichimetry, and thermodynamics of cyclo-maltooligosaccharides (cyclodextrin) inclusion complex formation with chlorogenic acid, the major substrate of apple polyphenol oxidase. Carbohydrate Research. 256: 13-27.

Jamradloedluk, J., Nathakaranakule, A., Soponronnarit, S. and Prachayawarakorn, S. 2007. Influence of drying medium and temperature on drying kinetics and quality attributes of durian chip. Journal of Food Engineering. 78(1). 198-295.

Janovitz-klapp, A. H., Richard, F. C., Goupy, P. M. and Nicolas, J. J. 1990. Inhibition studies on apple polyphenol oxidase. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 38: 926-931.

Jiang Y. 1999. Purification and some properties of polyphenol oxidase of longan fruit. Food Chemistry. 66:75-79.

Jiang Y. and Li, Y. B. 2001. Effect of chitosan coating on post harvest life and quality of longan fruit. Food Chemistry. 73:139-143.

Jiang, Y. M., Zhang, Z., Joyce, D. C. and Ketsa, S. 2002. Postharvest biology and handling fruit (*Dimocarpus longan Lour.*). Postharvest Biology and Technology. 36: 241-252.

Jiang, Y., Pen, L. and Li, J. 2004. Use of citric acid for shelf life and quality maintenance of fresh-cut Chinese water chestnut. Journal of Food Engineering. 63: 325-328.

Kaulpiboon, J. "Applications of cyclodextrins in food and drug". Thammasart Medical Journal, May-August 2005: 230-236.

Kerkhofs, N. S. 2003. An investigation of influence of air-drying on the antioxidamt components and antioxidant activity of New Zealand grown tomatoes. B. Sc. (Honours), Lincoln University.

Koca, N., Burdurlu, H. S. and Karadeniz, F. 2007. Kinetics of colour changes in dehydrated carrots. Journal of Food Engineering. 78: 449-455.

Komes, D., Lovric, T., Kovacevic, G. K. and Gracin, L. 2003. Study of trehalose addition on aroma retention in dehydrated strawberry puree. Food Technology and Biotechnology. 41(2): 111-119.

Komes, D., Lovric, T., Ganic, K. K., Kljusuric, G. J. and Banovic, M. 2005. Trehalose improves flavor retention in dehydrated apricot puree. International of Food Science and Technology. 40: 425-435.

Krokida, M. K. and Maroulis, Z. B. 2000. The effect of drying methods on viscoelastic of dehydrated fruits and vegetables. International Journal of Food Science and Technology. 35(4): 391-400.

Kumar, V.B., Mohan, T.C. and Murugan, K. 2008. Purification and kinetic characterization of polyphenol oxidase from Barbados cherry (malpighia glabra L.). Food Chemistry. 110: 328-333.

Kwak, E. J. and Lim, S. I. 2004. The effect of sugar, amino acid, metal ion, and NaCl on model maillard reaction under pH control. Amino Acids. 27: 85-90.

Lamikanra, O. and Watson, M. A. 2001. Effects of ascorbic acid on peroxidase and polyphenoloxidase activities in fresh-cut cantaloupe melon. Journal of Food Science. 66(9). 1283-1286.

Lante, A. and Zocca, F. 2010. Effect of beta-cyclodextrin addition on quality of precooked vacuum packed potatoes. Food Science and Technology. 43: 409-414.

Lara, M., Sonia, C., Dino, M., Nicoli, M. C. and Lerie, C. R. 2001. Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. Trends in Food Science and Technology. 11: 340-346.

Laroque, D., Insian, C., Berger, C., Vouland, E. and Duffosse, L. 2008. Kinnetic study on the maillard reaction. Consideration of sugar reactivity. Food Chemistry. 111: 1032-1042.

Larrauri, J. A., Ruperez, P. and Saura-Calixto, F. 1997. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 45(4): 1390-1393.

Lavelli. V., Hippeli, S., Peri, C. and Elstner, E. F. 1999. Evaluation of radical scavenging activity of fresh and air-dried tomatoes by three model reactions. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 47(9). 3826-3831.

Ledwart, D. A. 1981. Intermediate moisture meats. In: Developments in meat science-II. Elsvier Applied Science, London: 92-157.

Li, H. Y. and Li, C. F. 1999. The early high quality and high production techniques for longan tree. South China Fruit. 28: 31-34.

Liu, J. B. 2004. Study on sugar organic acid and phenolic compounds of processing apple fruit. Master of Science dissertation, Shandong Agricultural, China.

Lozano, P. G., Barret, D. M., Wrolstad, R. E. and Durst, R. W. Enzymatic browning inhibited in fresh and dried apple rings by pineapple juice. Journal of Food Science. 58(2): 399-404.

Mahayothee, B., Udomkun, P., Nagle, M., Haewsungcharoen, M., Janjai, S. and Muller, J. 2009. Effects of pretreatments on colour alterations of loitchi during drying and storage. European Food Research Technology. 229: 329-337.

Makawi, S. Z. A., Taha, M. I., Zakaria, B. A., Siddig, B., Mahmod, H., Elhussein, A. R. M. and Kariem, E. A. G. 2009. Identification and Quantification of 5-hydroxymethyl furfural HMF in some sugar-containing food products by HPLC. Pakistan Journal of Nutrition. 8(9): 1391-1369.

Maltini, E., Torreggiani, D., Venir, E. and Bertolo, G. 2003. Water activity and the preservation of plant foods. Food Chemistry. 82: 79-86.

Martinez, M. V. and Whitaker, J. R. 1995. The biochemistry and chemical enzymatic browning. Trends in Food Science and Technology. 6(6): 195-200.

Martins, S. I. F. S., Jongen, W. M. F. and Van Boekel, M. A. J. S. 2001. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. Trends in Food Science and Technology. 11: 364–373.

Maskan, M. 2001. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering. 48: 169-175.

Mathew, A. G. and Parpia. H. A. B. 1971. Food browning as a polyphenol reaction. Advance in Food Research. 19: 75-145.

Menzel, C. M. and Waite, G. K. 2005. Litchi and Longan. Botany,production and uses. Cromwell Press. Trowbridge. 305p.

Miranda, M., Maureira, H., Rodriguez, K. and Vega-Galvez, A. 2009. Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (Aloe Barbadensis Miller) gel. Journal of Food Engineering. 91: 297-304.

Monsalve-Gonzalez, A., Barbosa-Canovas, G. V., Cavalieri, R. P., Mcevily, A. J. and Iyengar, R. 2006. Control of browning during storage of apple sice preserved by combined methods. 4-hyxylresorcinaol as anti-browning agent. Journal of Food Science. 58(4): 797-800.

Montes, C., Vicario, I. M., Raymundo, M., Fett, R. and Heredia, F. J. 2005. Application of tristimulus colorimetry to optimize the extraction of anthocyanins from Jaboticaba (*Myricia Jaboticaba* Berg.). Food Research International. 38(8-9): 983-988.

Moreina, R., Chenlo, F., Torres, M. D. and Vazquez, G. 2007. Effect of stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solutions. Lebensmitted-Wissenschaft and Technology. 40. 1507-1514.

Narli, I., Kiralp, S. and Toppare, L. 2006. Preventing inhibition tyrosinase with modified electrodes. Analytica Chemica Acta. 572: 25-31.

Nieto, A., Castro, M. A. and Alzamora, S. M. 2001. Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango. Journal of Food Engineering. 50: 175-185.

Olivier, C. M., Melton, L. D. and Stanley, R. A. 2006. Glycation of caseinate by fructose and fructo-oligosaccharides during controlled heat treatment in the “dry” state. Journal of the Science of Food and Agriculture. 86: 722-731.

Osorio, C., Franco, M. S., Castano, M. P., Gonzalez-Miret, M. L., Heredia, F. J. and Morales, A. L. 2007. Colour and flavor changes during osmotic dehydration of fruits. Innovative Food Science and Engineering Technologies. 8: 353-359.

Ozdemir, M., Seyhan, F. G., Bakan, A. K., Ilter, S., Ozay, G. and Devres, O. 2001. Analysis of internal browning of roasted hazelnuts. Food Chemistry. 73: 191-196.

Ozkan, M., Kirca, A. and Cemeroglu, B. 2002. Effect of moisture content on CIE color values in dried apricots. European Food Research and Technology. 216: 217-219.

Ozuglu, H. and Bayindirli. A. 2002. Inhibition of enzymic browning in cloudy apple juice with selected antibrowning agents. 13(4-5). 213-221.

Patist, A. and Zoerb. H. 2005. Preservation mechanisms of trehalose in food and biosystems. Colloids and Surfaces. 40: 107-113.

Paull, R. E. and Chen, N. J. 1987. Changes in longan and rambutan during postharvest Storage. HortScience. 22(6): 1303-1304.

Pedreschi, F., Kaack, K. and Grandy, K. 2004. Reduction of acrylamide formation in potato slices during frying. Lebensmitted-Wissenschaft and Technology. 37(6): 679-685.

Pizzocaro, F., Torreggiani, D. and Gilardi, G. 1993. Inhibition of apple polyphenol oxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride. Journal of Food Processing and preservation. 17(1): 21-30.

Portmann, M. O. and Birch, G. 1995. Sweet taste and solution properties of α-α trehalose. Journal of the Science of Food and Agriculture. 69: 275-281.

Pott, I., Neidhart, S., Muhbauer, W. and Carle, R. 2005. Quality improvement of non sulphited mango slices by drying at high temperatures. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 6(4): 412-419.

Prachayawarakorn, S., Sawangduanpen, S., Saynamphueng, S., Poolpatarachewin, T., Soponronnarit, S. and Nathakarakule, A. 2004. Kinetics of colour change during storage of dried garlic slices as affected by relative humidity and temperature. Journal of Food Engineering. 62: 1-7.

Rada-Mendoza, M., Sanz, M. L., Olano, A. and Villamiel, M. 2004. Foemation of hydroxymethylfurfural and furasine during the storage of jams and fruit-based infant foods. Food Chemistry. 85: 605-609.

Rangkadilok, N., Worasuttayangkurn, L., Bennett, R. N. and Satayavivad, J. 2005. Identification and quantification of polyphenolic compounds in longan (*Euphoria longana Lam.*) fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 53: 1387-1392.

Raynal, J., Moutounet, M. and Souquet, J. M. 1989. Invention of phenolic compounds in plum technology. 1. Changes during drying. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 37: 1046-1050.

Richard-Forget, F. C., Goupy, P. M. and Nicolas, J. J. 1992. Cysteine as an inhibitor of enzymatic browning. 2. Kinetics studies. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 40: 2108-2113.

Robert, C., Rouch, C. and Cadet, F. 1997. Inhibition of palmito (Acanthophoenix rubra) polyphenol oxidase by carboxylic acids. Food Chemistry. 59(3). 355-360.

Rocha, T. Lebert, A. and Marty-Audouin, C. 1993. Effect of pre-treatments and drying conditions on drying rate and colour retention of basil. Lebensmitted-Wissenschaft and Technology. 26: 456-463.

Sapers, G. M. and Ziolkowski, M. A. 1987. Comparison of erythorbic and ascorbic acids as inhibitors of enzymatic browning in apple. Journal of Food Science. 52. 1732-1747.

Sapers, G. M. 1993. Browning of foods: Control by sulfites, antioxidants and other means. Food Technology. 47(10): 75-84.

Sapers, G. M., Miller, R. L. and Choi, S. W. 1995. Mushroom discoloration: new process for improving shelf life and appearance. Mushroom News. 43(3). 7-13.

Schebor, C., Burin, L., Buera, M. P. and Chirife, J. 1999. Stability to hydrolysis and browning of trehalose, sucrose and raffinase in low-moisture systems in relation to their use as protectants of dry biomaterials. Lebensmitted-Wissenschaft and Technology. 32: 481-485.

Shi, J. and Le Maguer, M. 2002. Osmotic dehydration of food: Mass transfer modeling aspects. Food Reviews International. 18(4): 305-335.

Shi, Y., Chen, Q., Wang, Q., Song, K. and Qiu, L. 2005. Inhibitory effects of cinnamic acid and its derivatives on the diphenolase activity of mushroom (*Agaricus bisporus*) tyrosinase. Food Chemistry. 92: 707-712.

Silveira, E. T. F., Rahman, M. S. and Buckle, K. A. 1996. Osmotic dehydration of pineapple: kinetics and product quality. Food Research International. 29(3-4): 227-233.

Sojo, M. M., Nunez-Delicado, E., Garcia-Carmona, F. and Sanchez-Ferrer, S. 1999. Cyclodextrins as activator and inbitor of latent banana pulp polyphenol oxidase. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 47(2): 518-523.

Soliva-Fortuny, R. C., Grigelmo-Miguel, N., Odriozola-Serrano, I., Gorinstein, S. and Martin-Belloso, O. 2001. Browning Evaluation of ready-to-eat apples as affected by modified atmosphere packaging. Journalof Agricultural and Food Chemistry. 49: 3685-3690.

Son, S. M., Moon, K. D. and Lee, C. Y. 2000. Kinetic study of oxalic acid inhibition on enzymatic browning. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48(6). 2071-2074.

Son, S. M., Moon, K. D. and Lee, C.Y. 2001. Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices. Food Chemistry. 73(1): 23-30.

Soong, Y. Y. and Barlow, P. J. 2004. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit Seeds. Food Chemistry. 88: 411-417

Sun, J., Shi, J., Zhao, M., Xue, S. J., Ren, J. and Jiang, Y. 2008. A comparative analysis of property of lychee polyphenoloxidase using endogenous and exogenous substrates. Food Chemistry. 108: 818-823.

Szente, L. and Szejtli, J. 2004. Cyclodextrins as food ingredients. Food Science and Technology. 15: 137-142.

Talcott, S. T. and Howard, L. R. 1999. Phenolic autooxidation is responsible for color degradation in processed carrot puree. Journalof Agricultural and Food Chemistry. 47(5): 2109-2115.

Toor, R. K. and Savage, G. P. 2006. Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. Food Chemistry. 94: 90-97.

Topuz, A. 2008. A novel approach for color degradation kinetics of paprika as a function of water activity. Lebensmitted-Wissenschaft and Technology. 41: 1672-1677.

Trebst, A. and Depka, B. 1995. Polyphenol oxidase and photosynthesis research. Photosynthesis Research. 46: 41-44.

Valle, J. M., Aranguiz, V. and Leon, H. 1998. Effects of blanching and calcium infiltration on PPO activity, texture, microstructure and kinetics of osmotic dehydration of apple tissue. Food Research International. 31(8): 557-569.

Valle, M. and E. M. 2004. Cyclodextrins and their uses: a review. Process Biochemistry. 39: 1033-1046.

Varanyanond, W., Boonbumrung, S., Tamura, H., Yoshizawa, T. and Matsubara, Y. 2001. Osmotic dehydration of mango: influence of trehalose and sucrose contents on the product quality. Technical Bulletin Factory and Agricultural Kawana University. 53: 43-49.

Vega, A., Elsa, U., Lemus, R. and Miranda, M. 2007. Hot-air drying characteristics of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) and influence of temperature on kinetic parameters. Lebensmitted-Wissenschaft and Technology.40: 1698-1707.

Walisezewski, K. N., Marquez, O. and Pardio, V. T. 2009. Quantification and characterization of polyphenol oxidase from vanilla bean. Food Chemistry. 117: 196-203.

Wang, C., Lin, P. and Chang, J. 2006. Fermentative conversion of sucrose and pineapple waste into hydrogen gas in phosphate-buffered culture seeded with municipal sewage sludge. Process Biochemistry. 41(6): 1353-1358.

Wedzicha, B. L. 1987. Role of sulphur dioxide. Food Science and Technology Today. 1: 169-171.

Wong, M. and Stanton, D. W. 1992. Effect of removal of amino acids and phenolic compounds on non-enzymatic browning in stored kiwi fruit juice concentrates. Lebensmitted-Wissenschaft and Technology. 26: 138-143.

Woodroof, J. G. and Luh, B. S. 1986. Commercial Fruit Processing. Westport, CN: The AVI Publishing Company.

Yamaki, S. and Ino, M. 1992. Alteration of cellular compartmentation and membrane permeability to sugars inmature and mature apple fruit. Journal of American Society and Horticultural Science. 117: 951-954.

Yang, C., Fujita, S., Ashrafuzzaman, M. D., Nakamura, N. and Hayashi, N. 2000. Purification and characterization of polyphenol oxidase from banana (*Musa sapientum* L.) pulp. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48(7). 2732-2735.

Ye, S., Yu-xin, Y., Heng, Z., Yuan-peng, D., Feng, C. and Shu-wei, W. 2007. Polyphenolic compounds and the degree of browning in processing apple varieties. Agricultural Sciences. 6(5). 607-612.

Zuo, L., Seog, E. J. and Lee, J. H. 2008. Effects of ascorbic and citric acids on CIE color values of fresh-cut apple cubes. Journal of Food technology. 6(1): 20-24.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี

1. การวัดค่าสี

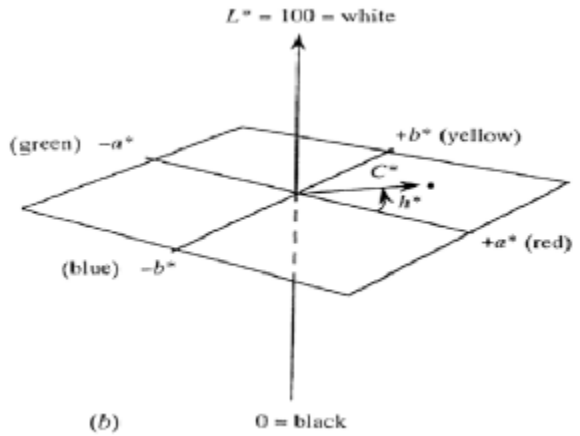
วัดค่าสีในระบบ CIE L* a* b* ด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab (รุ่น Miniscan XE plus, USA) โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง D - light 65 มุมสังเกต 10 องศา ทำการ Calibrate เครื่องวัดสี ด้วยแผ่นกระเบื้องสีดำและสีขาวตามลำดับ นำตัวอย่างเนื้อลำไยอบแห้งมาวัดค่าสี โดยการวัดตัวอย่างละ 10 เม็ด วัดสีสีเนื้อทั้ง 2 ด้าน ทำการทดลอง 2 ซ้ำ จากนั้นคำนวณค่า h° (hue angle) ซึ่งเป็นตัวเลขที่ระบุว่าสีมีตำแหน่งอยู่ที่ใดในกราฟมีหน่วยเป็นองศา ตามสูตรที่ 1

$$h^{\circ} = \tan^{-1} (b^*/a^*) \qquad (1)$$

เมื่อ $h^{\circ} = 90^{\circ}$ แสดงว่าเป็นสีเหลือง
$h^{\circ} = 180^{\circ}$ แสดงว่าเป็นสีเขียว
$h^{\circ} = 270^{\circ}$ แสดงว่าเป็นสีน้ำเงิน
$h^{\circ} = 0^{\circ}$ แสดงว่าเป็นสีแดง

คำนวณค่า C* (Chroma) ซึ่งเป็นตัวเลขที่แสดงถึงความอิ่มตัวของสี ตามสูตรที่ 2

$$C^* = [(a^*)2 + (b^*)2]1/2 \qquad (2)$$



2. ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้

นำตัวอย่างลำไยสดจำนวน 5 ผลมาหั่นให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นนำมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 5 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ทำการไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล โดยขณะไทเทรตใช้แท่งแม่เหล็กกวนสารละลายตลอดเวลา จากนั้นไทเทรตจนกระทั่งถึงจุดยุติ ซึ่งสารละลายจะมี pH เท่ากับ 8.1 (วัด pH ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด–ด่าง) บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดเมื่อเทียบกับกรดซิตริกตามสมการด้านล่าง

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมด} = \frac{\text{ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)} \times 0.0067 \times 100}{\text{(มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง) น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

3. ปริมาณความชื้นด้วยวิธี Karl Fisher Titration

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.1.1 ลำไยสด ใช้ตัวอย่างลำไยสด 3 ผล มาหั่นให้มีขนาดเล็กลง แล้วนำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน เก็บตัวอย่างที่ได้ไว้ในบีกเกอร์ซึ่งมีการปิดปากบีกเกอร์ด้วยพาราฟิล์ม (parafilm) เพื่อป้องกันการระเหยออกของความชื้น

3.1.2 ลำไยแห้ง ใช้ตัวอย่างลำไย 3 ผล มาหั่นให้ละเอียดอย่างรวดเร็ว แล้วเก็บใส่ในบีกเกอร์ที่ปิดด้วยพาราฟิล์ม

3.2 วิธีการวิเคราะห์

เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่อง Karl Fischer Titrator แล้วทำ Titer ก่อนการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในตัวอย่าง การทำ Titer เป็นการหาค่าความเข้มข้นของ Karl Fischer Reagent (KFR) (หาว่า 1 มิลลิลิตรของ Karl Fischer Reagent สามารถทำปฏิกิริยาพอดีกับน้ำกี่มิลลิกรัม เช่น ปกติ Composite 5 จะมีค่าประมาณ 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) โดยกด In เพื่อดูดเมทานอลสัมบูรณ์ (absolute methanol) เข้าสู่ถ้วยใส่ตัวอย่าง จากนั้นใช้ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร ดูดสารฟอร์มามายด์ (formamide) ลงในถ้วยใสตัวอย่าง โดยใช้อัตราส่วนของเมทานอลสัมบูรณ์และฟอร์มามายด์ประมาณ 2:1

จากนั้นกดปุ่ม mode เพื่อเลือก method H2O Titer แล้วกดปุ่ม start เพื่อทำ conditioning ซึ่งเป็นการกำจัดน้ำในถ้วยเปล่าขณะที่ยังไม่มีตัวอย่าง โดยจะมีค่า drift ขึ้นที่หน้าจอ พร้อมทั้งมีการกระพริบที่ไฟ cond. รอจนกระทั่งไฟ cond. นิ่ง และขึ้นคำว่า drift OK แล้วกดปุ่ม start อีกครั้งและใช้กระบอกฉีดยาดูดน้ำกลั่นปริมาตร 10 ไมโครลิตร หรือ 0.01 กรัม ใส่ลงในถ้วยใส่ตัวอย่าง ปิดฝาอย่างรวดเร็ว ใส่ตัวเลขของน้ำหนักน้ำ กดปุ่ม enter เพื่อไทเทรตหาค่าความเข้มข้นของสาร Hydranol Composite 5 จนถึงจุดยุติ ทำการไทเทรต 2 ซ้ำ

สำหรับตัวอย่างลำไยที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น นำมาวิเคราะห์โดยกดปุ่ม mode เพื่อเลือก method KFT กดปุ่ม start เพื่อทำ conditioning รอจนกระทั่งไฟ cond. นิ่ง และขึ้นคำว่า drift OK แล้วกดปุ่ม start อีกครั้งเพื่อใส่ตัวอย่างลงในถ้วย (ตัวอย่างลำไยอบแห้งควรใช้ตัวอย่างประมาณ 0.2000 – 0.3000 กรัม และตัวอย่างสดใช้ตัวอย่างประมาณ 3-4 หยด โดยดูดสารละลายด้วยหลอดฉีดยา แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก) ปิดฝาถ้วยอย่างรวดเร็วและใส่ค่าน้ำหนักของตัวอย่างอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง จากนั้นปั่นผสมตัวอย่างในถ้วย 10 นาที เพื่อให้ตัวอย่างเกิดการกระจายตัว และกดปุ่ม enter เมื่อเครื่องไทเทรตเสร็จจะปรากฏคำว่า KFR และร้อยละปริมาณความชื้น (% MC) ที่หน้าจอของเครื่อง จากนั้นกดปุ่ม stop แล้วดูดตัวอย่างออกจากถ้วย ทำการไทเทรต 2 ซ้ำ

4. ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงวิธีจาก Maisuthisakul และคณะ, 2007)

4.1 การเตรียมสารสกัด

4.1.1 นำตัวอย่างที่ผ่านการแช่เยือกแข็งมาบดใน blender เป็นเวลา 1 นาที

4.1.2 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการบดแล้วจำนวน 10±0.10 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร

4.1.3 เติมเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่ชั่งตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว

4.1.4 นำไปสกัดในที่มืดที่อุณหภูมิปกติเป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้ continuous shaker ซึ่งมีการเขย่าตลอดเวลาเพื่อให้มั่นใจว่าสกัดได้สมบูรณ์

4.1.5 กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 4

4.1.6 ระเหยเอทานอลออกด้วยเครื่อง rotary evaporator ที่ความดัน 50 มิลลิเมตรปรอท และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สารสกัดที่ได้จะมีลักษณะที่ข้นหนืดและเหนียว

4.1.7 ชั่งน้ำหนักสารสกัดที่ได้หลังจากระเหยเอทานอลออกจนหมด และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนด้วยทศนิยม 4 ตำแหน่ง

4.1.8 หากไม่ได้นำไปวิเคราะห์โดยทันที ให้เก็บไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

4.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิค

4.2.1 ชั่งน้ำหนักกรดแกลลิคจำนวน 0.1±0.10 กรัม (จดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน)

4.2.2 ละลายกรดแกลลิคที่ได้ด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น สารละลายที่ได้ใช้เป็นสารละลาย stock

4.2.3 ปิเปตสารละลาย stock ที่เตรียมไว้มา 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิคที่ความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

4.3 การวิเคราะห์

4.3.1 ชั่งน้ำหนักสารสกัดที่ได้จำนวน 0.2±0.10 กรัม (จดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ในขวดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตรด้วยเมทานอล จะได้สารละลายของสารสกัดที่มีความเข้มข้นประมาณ 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

4.3.2 ปิเปตสารละลายที่ได้ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent ความเข้มข้นร้อยละ 10 (โดยปริมาตรต่อปริมาตร) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่า แล้วตั้งทิ้งไว้ 3 นาที

4.3.3 เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 7.5

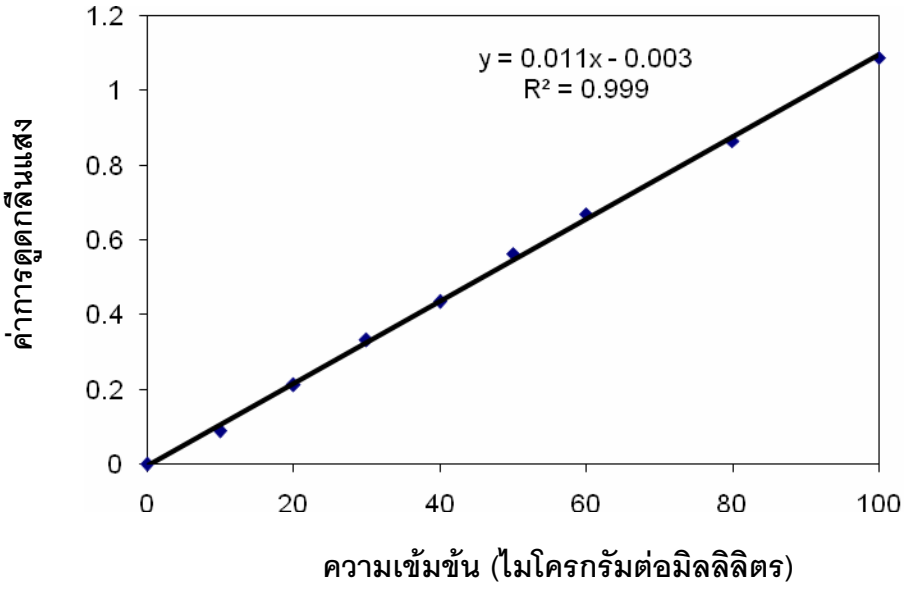
(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer

4.3.4 ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 120 นาที

4.3.5 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

4.3.6 ใช้กรดแกลลิคเป็นสารละลายมาตรฐานในการทำ calibration curve โดยใช้สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิคที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่เตรียมไว้ในข้อ 4.2 มาทำเช่นเดียวกับข้อที่ 4.3.1-4.3.5 ตัวอย่างกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิคแสดงดังภาพที่ 72

4.3.7 คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐาน แล้วรายงานผลอยู่ในหน่วยของมิลลิกรัมเมื่อเทียบกับกรดแกลลิค (mg gallic acid equivalent; mg GAE) ต่อกรัมน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง



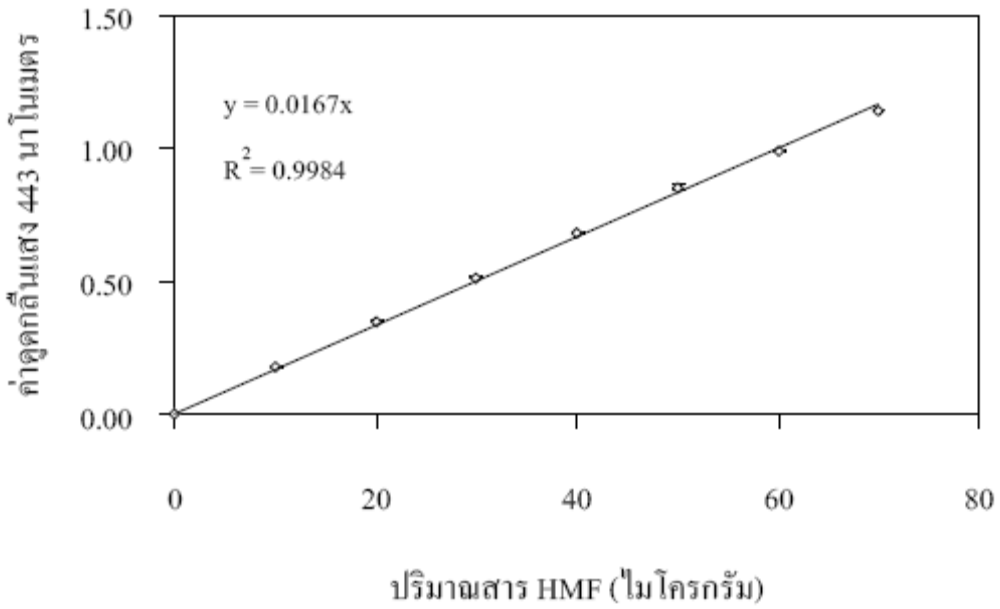
ภาพที่ 64 กราฟมาตรฐานแกลลิกสำหรับการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

5. ปริมาณการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (ดัดแปลงจากวิธีการของ Baloch และคณะ, 1973)

ชั่งตัวอย่างเนื้อลำไยอบแห้ง 5 กรัม ปั่นให้ละเอียด ใส่ลงในบีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร เติม 2 % acetic acid 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้นาน 10 นาทีปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่อง homogenizer ชนิด UltraTurrax T25 basic 30 วินาทีกรองด้วยกระดาษ Whatman เบอร์ 4 เส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิลิตร วัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร โดยใช้ 2% acetic acid เป็น blank

6. ปริมาณสาร HMF (5-hydroxymethyl-2-furfural) (ดัดแปลงจากวิธีการของ Rttanathanalerk และคณะ, 2005)

สารเคมี 12 % w/w trichloroacetic acid (TCA), 0.025 M thiobabituric acid (TBA) สารละลาย (5-hydroxymethyl-2-furfural) ให้อยู่ในช่วง 0-25 mg/kg, 95 % ethyl alcohol ชั่งตัวอย่างแห้ง 1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ 100 มิลลิลิตรแล้วเติม 95 % ethyl alcohol 20 มิลลิลิตร Homogenized ด้วย UltraTurrax T25 basic เป็นเวลา 1 นาที centrifuge ต่อด้วยความเร็วรอบ 9,000 rpm × นาน 40 นาที ดูดสารละลายส่วนที่ใสมา 2 มิลลิลิตร ใส่ใน screw cap tube ขนาด 16 มิลลิลิตร เติม 12 % w/w trichloroacetic acid 2 มิลลิลิตร เติม 0.025 M thiobabituric acid 2 มิลลิลิตร ผสมสารละลายโดยใช้ vertex mixer นำ screw cap tube พร้อมสารละลายตัวอย่างไปวางใน water bath ที่อุณหภูมิ 40$\pm$0.5 องศาเซลเซียส นาน 50 นาที ทำให้เย็นโดยนำหลอดทดลองไป tap water จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectro- photometer ที่ความยาวคลื่น 443 นาโนเมตร นำค่าที่วัดได้เทียบกับกราฟมาตรฐานในภาพที่ 65



ภาพที่ 65 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณ HMF (5-hydroxymethyl-2-furfural)

7. กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO)

สารเคมีที่ใช้ monobasic sodiumphosphate monohydrate (NaH_2PO_4), dibasic sodiumphosphate (Na_2HPO_4), polyvinylpyrolidone (PVP), 4-methylcatechol

การเตรียมสารเคมี Sodium phosphate buffer pH 6.8 ความเข้มข้น 0.1 M

- เตรียม 0.2 M monobasic sodiumphosphate monohydrate โดยใช้ monobasic 27.6 กรัม เติมน้ำให้ครบ 1000 มิลลิลิตร
- เตรียม 0.2 M dibasic sodiumphosphate โดยใช้ dibasic 28.4 กรัม เติมน้ำให้ครบ 1000 มิลลิลิตร
- นำ 0.2 M monobasic sodiumphosphate monohydrate ผสมกับ 0.2 M dibasic sodiumphosphate และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 200 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PPO

7.1 บดตัวอย่างเนื้อลำไยน้ำหนัก 2 กรัม ร่วมกับ 0.1 M sodium phosphate buffer 10 มิลลิลิตร และ PVP 0.2 กรัม ด้วยเครื่อง homogenizer

7.2 เทของเหลวที่ปั่นได้ใส่หลอดเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่ความเร็ว 19000g เป็นเวลา 20 นาที แล้วเก็บสารละลายส่วนใสไว้ (crude enzyme extract)

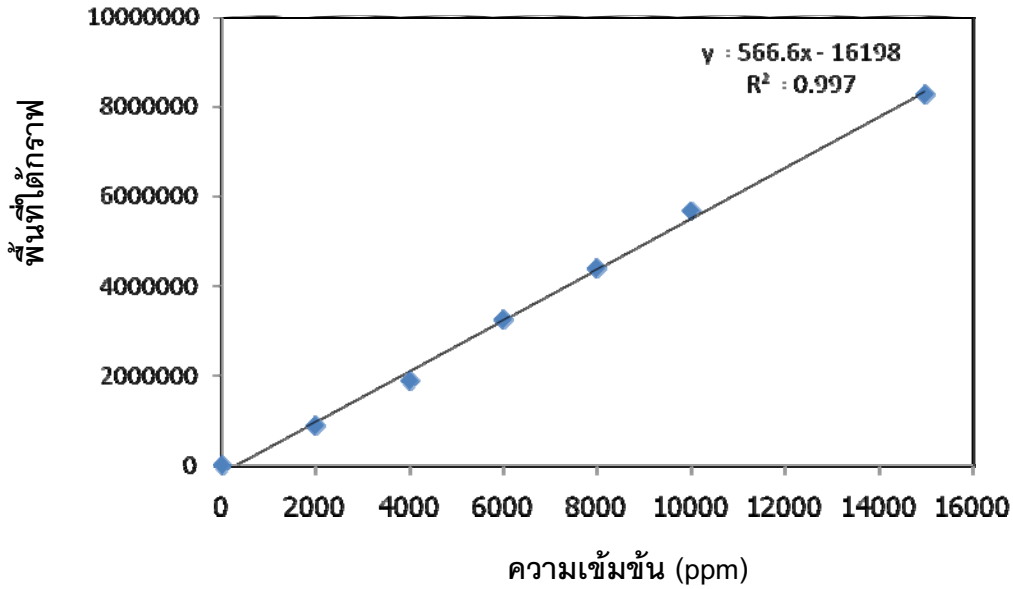
7.3 นำสารละลายใสที่ได้ 0.5 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลอง เติม 0.1 M sodium phosphate buffer 2 มิลลิลิตร และ 4-methylcatechol 0.1 M ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex

7.4 นำสารผสมที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร ทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 20 นาที

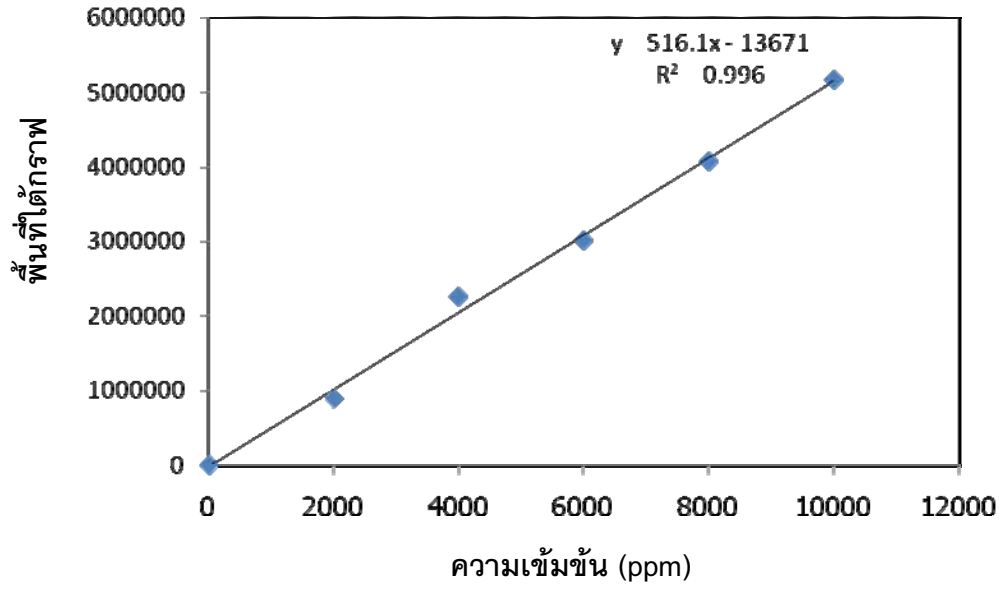
ทำการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ที่สกัดได้โดยเอนไซม์ 1 หน่อย เท่ากับการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสง 0.001 ต่อนาทีต่อมิลลิลิตรของเอนไซม์สกัด

8. ปริมาณน้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโตส ด้วยวิธี HPLC ตามวิธีการของ AOAC (1995)

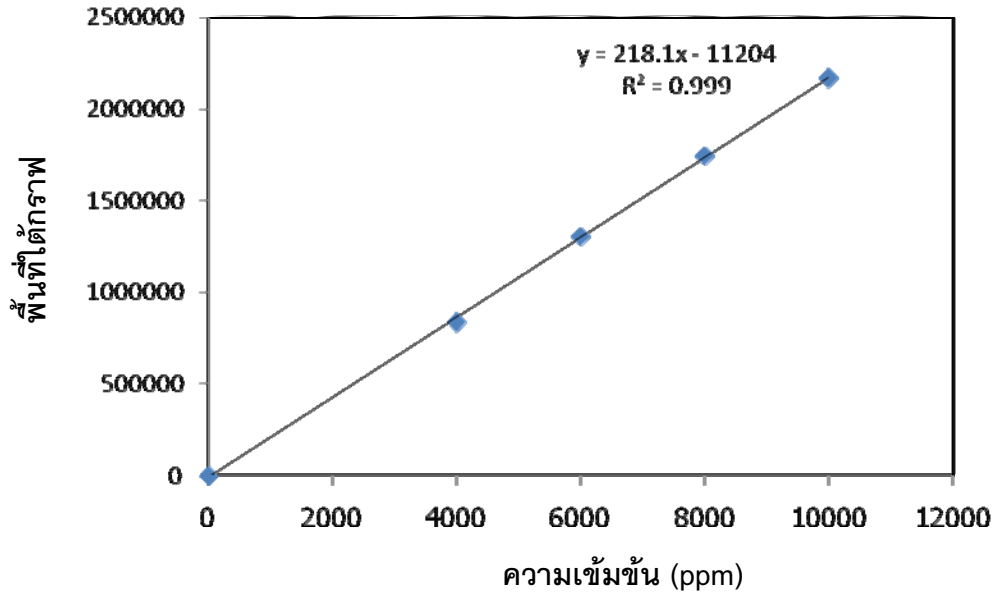
ชั่งตัวอย่างบดหนัก 5 กรัม เติมเอธานอลผสมน้ำ (60:40) ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ให้ความร้อนโดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตรด้วยขวดปรับปริมาตร นำสารสกัดที่ได้มากรองด้วย membrane filter 0.45 ไมครอน จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลด้วยเครื่อง High pressure liquid chromatography (HPLC) โดยใช้คอลัมน์ Rezex RNM-Carbohydrate Na+ (8%) ยี่ห้อ Phenomenex ด้วย Refractive Index Detector (RI Detector) ใช้ตัวอย่างในการฉีดปริมาตร 20 ไมโครลิตร อัตราการไหล 0.4 มิลลิลิตรต่อนาทีอุณหภูมิภายในคอลัมน์ 80 องศาเซลเซียส เวลาในการวิเคราะห์ 40 นาที เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลในเนื้อลำไยอบแห้งกับกราฟมาตรฐานของสารละลายน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส ความเข้มข้น 0, 2000, 4000, 6000, 8000 และ 10000 ppm ในภาพที่ 66, 67 และ 68



ภาพที่ 66 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส



ภาพที่ 67 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส



ภาพที่ 68 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครส

ภาคผนวก ข

ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ 24 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง)				
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural^{ns}	1.65±0.20^{AB}	0.95±0.22^{C}	0.74±0.32^{B}	0.63±0.11^{C}	0.55±0.12^{C}
Control^{ns}	2.15±0.18^{AB}	2.03±0.21^{ABC}	1.65±0.44^{AB}	1.61±0.36^{AB}	1.56±0.48^{AB}
G10	1.73±0.23^{AB,a}	0.93±0.03^{C,b}	0.87±0.16^{B,b}	0.86±0.32^{C,b}	0.61±0.06^{C,b}
G20^{ns}	2.24±0.24^{AB}	1.55±0.15^{BC}	1.15±0.61^{AB}	0.93±0.21^{C}	0.93±0.50^{C}
G30^{ns}	2.22±0.11^{AB}	1.61±0.16^{ABC}	1.05±0.06^{AB}	0.81±0.02^{C}	0.61±0.09^{C}
G20+T5^{ns}	1.17±0.25^{B}	1.05±0.11^{C}	0.92±0.21^{AB}	0.90±0.05^{C}	0.68±0.07^{C}
G20+T10^{ns}	1.77±0.17^{AB}	1.69±0.35^{ABC}	1.11±0.18^{AB}	0.92±0.10^{C}	0.78±0.06^{C}
G20+B-CD	2.29±0.31^{AB,a}	1.35±0.28^{C}	1.26±0.63^{AB,b}	1.07±0.09^{B,b}	0.92±0.11^{BC,b}
G20+Na Asc^{ns}	3.28±0.35^{AB}	2.79±0.21^{AB}	2.60±0.64^{A}	2.15±0.59^{A}	1.61±0.52^{A}
G20+Na Ery	3.83±0.45^{A,a}	2.92±0.48^{A}	2.33±0.50^{AB,bc}	1.73±0.42^{A,bc}	1.47±0.46^{A,c}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 25 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)				
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural^{ns}	0.39±0.15^{C}	0.30±0.25^{C}	0.28±0.21^{B}	0.27±0.18^{B}	0.18±0.07^{D}
G10^{ns}	0.77±0.11^{BC}	0.62±0.07^{BC}	0.62±0.04^{B}	0.53±0.18^{AB}	0.49±0.23^{BCD}
G20	1.09±0.04^{BC,a}	0.77±0.14^{B,b}	0.59±0.15^{B,b}	0.53±0.09^{AB,b}	0.53±0.06^{ABC,b}
G30	0.99±0.05^{BC,a}	0.80±0.05^{B,b}	0.67±0.05^{B,bc}	0.57±0.11^{AB,cd}	0.48±0.03^{BCD,d}
G20+T5	0.96±0.01^{BC,a}	0.57±0.09^{BC,b}	0.53±0.15$^{B.b}$	0.45±0.04^{B,b}	0.43±0.13^{BCD,b}
G20+T10	0.72±0.18^{BC,a}	0.55±0.14^{BC,ab}	0.53±0.05^{B,ab}	0.52±0.12^{AB,ab}	0.41±0.08^{CD,b}
G20+B-CD	0.81±0.05^{BC,a}	0.76±0.02^{B,ab}	0.72±0.22^{B,ab}	0.63±0.11^{AB,ab}	0.50±0.00^{CD,b}
G20+Na Asc	3.02±0.63^{A,a}	1.77±0.35^{A,ab}	1.45±0.28^{A,ab}	1.01±0.44^{A,ab}	0.81±0.19^{ABCD,b}
G20+Na Ery^{ns}	2.12±0.04^{AB}	1.41±0.11^{A}	1.34±0.46^{A}	1.03±0.41^{A}	0.83±0.29^{A}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 26 ปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ปริมาณสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอล (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)				
	0 เดือน	1 เดือน^{ns}	2 เดือน^{ns}	3 เดือน^{ns}	5 เดือน^{ns}
Natural	28.58±4.50^{C,c}	52.03±15.94^{abc}	46.16±11.36^{ab}	65.98±20.78^{ab}	81.07±7.24^{AB,a}
G10	50.04±3.08^{A,b}	58.95±1.06^{b}	71.34±17.32^{b}	68.89±24.90^{b}	94.22±9.93^{A,a}
G20	38.03±0.56^{B,d}	53.59±1.77^{c}	60.16±4.20^{b}	65.50±23.65^{b}	88.17±4.34^{AB,a}
G30	48.18±5.89^{A,c}	48.39±1.30^{c}	59.99±2.30^{b}	67.47±23.24^{b}	82.87±2.17^{AB,a}
G20+T5^{ns}	49.95±4.50^{A}	50.72±2.77	60.59±14.95	58.44±20.74	69.23±4.17^{AB}
G20+T10^{ns}	44.62±0.06^{AB}	50.13±3.10	54.01±8.45	52.04±19.71	61.15±8.16^{AB}
G20+B-CD^{ns}	48.34±3.21^{A}	49.66±4.71	55.42±22.04	58.89±20.37	76.93±4.77^{AB}
G20+Na Asc	43.80±0.45^{AB,b}	50.32±8.44^{ab}	48.23±9.15^{ab}	46.75±18.30^{ab}	73.33±2.99^{AB,a}
G20+Na Ery	40.41±2.19^{B,b}	55.84±1.18^{ab}	53.19±6.37^{ab}	55.06±21.21^{ab}	73.59±7.93^{AB,a}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 27 ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ปริมาณการเกิดสีน้ำตาล (OD ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)				
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural	$0.005\pm0.000^{AB,d}$	$0.020\pm0.021^{A,c}$	$0.022\pm0.003^{A,c}$	$0.028\pm0.001^{A,b}$	$0.044\pm0.001^{A,a}$
Control	$0.006\pm0.000^{A,d}$	$0.011\pm0.012^{B,c}$	$0.015\pm0.002^{B,bc}$	$0.017\pm0.001^{BCD,b}$	$0.022\pm0.003^{CD,a}$
G10	$0.004\pm0.000^{BCD,d}$	$0.007\pm0.008^{CD,c}$	$0.010\pm0.001^{CD,b}$	$0.013\pm0.000^{CDE,b}$	$0.019\pm0.001^{DE,a}$
G20	$0.002\pm0.000^{E,c}$	$0.008\pm0.011^{CD,b}$	$0.010\pm0.000^{CD,b}$	$0.011\pm0.002^{E,b}$	$0.015\pm0.001^{EF,a}$
G30	$0.003\pm0.000^{CDE,d}$	$0.008\pm0.009^{CD,c}$	$0.010\pm0.000^{CD,bc}$	$0.011\pm0.002^{E,b}$	$0.013\pm0.000^{F,a}$
G20+T5	$0.002\pm0.000^{E,c}$	$0.006\pm0.006^{D,b}$	$0.011\pm0.003^{CD,a}$	$0.012\pm0.003^{DE,a}$	$0.013\pm0.001^{F,a}$
G20+T10	$0.002\pm0.000^{DE,c}$	$0.007\pm0.007^{D,b}$	$0.007\pm0.001^{D,b}$	$0.009\pm0.002^{E,b}$	$0.013\pm0.001^{F,a}$
G20+B-CD	$0.003\pm0.000^{DE,d}$	$0.008\pm0.008^{CD,c}$	$0.011\pm0.001^{C,b}$	$0.012\pm0.001^{CDE,b}$	$0.017\pm0.002^{EF,a}$
G20+Na Asc	$0.005\pm0.000^{AB,c}$	$0.013\pm0.015^{B,bc}$	$0.016\pm0.003^{B,b}$	$0.019\pm0.006^{B,b}$	$0.031\pm0.005^{B,a}$
G20+Na Ery	$0.005\pm0.000^{ABC,d}$	$0.010\pm0.011^{BC,c}$	$0.013\pm0.002^{BC,bc}$	$0.017\pm0.002^{CB,b}$	$0.025\pm0.003^{C,a}$

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 28 ปริมาณการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ปริมาณการเกิดสีน้ำตาล (OD ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)				
	0 เดือน^{ns}	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural	0.008±0.000^{c}	0.020±0.001^{A,b}	0.020±0.002^{A,b}	0.027±0.001^{A,b}	0.038±0.007^{A,a}
G10	0.006±0.000^{c}	0.010±0.001^{CD,bc}	0.013±0.002^{BCD,ab}	0.013±0.003^{CD,ab}	0.017±0.001^{C,a}
G20	0.005±0.000^{b}	0.011±0.002^{BC,ab}	0.012±0.003^{BCD,a}	0.013±0.001^{D,a}	0.016±0.002^{C,a}
G30	0.006±0.000^{c}	0.009±0.001^{CD,bc}	0.012±0.001^{BCD,ab}	0.013±0.001^{BCD,ab}	0.016±0.002^{C,a}
G20+T5	0.006±0.000^{b}	0.009±0.002^{CD,ab}	0.010±0.001^{DE,ab}	0.011±0.000^{D,ab}	0.014±0.001^{C,a}
G20+T10	0.003±0.000^{c}	0.007±0.001^{D,bc}	0.007±0.001^{E,bc}	0.010±0.001^{D,ab}	0.012±0.002^{C,a}
G20+B-CD	0.004±0.000^{b}	0.009±0.002^{CD,ab}	0.010±0.003^{CDE,ab}	0.011±0.003^{D,a}	0.015±0.003^{C,a}
G20+Na Asc	0.007±0.000^{d}	0.012±0.002^{BC,c}	0.014±0.001^{CB,c}	0.018±0.001^{B,b}	0.030±0.001^{B,a}
G20+Na Ery	0.005±0.000^{c}	0.013±0.000^{B,b}	0.016±0.002^{B,b}	0.018±0.004^{BC,b}	0.025±0.004^{B,a}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 29 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	กิจกรรมของเอนไซม์ PPO (ยูนิตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)				
	0 เดือน^{ns}	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural	0.028±0.004^{B,a}	0.006±0.002^{D,b}	0.004±0.003^{D,c}	0.000±0.000^{C,d}	0.000±0.000^{d}
Control	0.017±0.002^{D,a}	0.005±0.001^{D,b}	0.000±0.001^{E,c}	0.000±0.000^{C,c}	0.000±0.000^{c}
G10	0.039±0.005^{A,a}	0.012±0.003^{B,b}	0.005±0.001^{C,c}	0.001±0.000^{C,d}	0.000±0.001^{e}
G20	0.024±0.007^{C,a}	0.015±0.004^{A,b}	0.005±0.001^{C,c}	0.004±0.001^{B},c	0.001±0.000^{d}
G30	0.011±0.003^{F,a}	0.007±0.001^{D,b}	0.006±0.001^{B,b}	0.004±0.001^{B,c}	0.001±0.000^{d}
G20+T5	0.014±0.005^{E,a}	0.014±0.002^{A,a}	0.009±0.001^{A,b}	0.006±0.001^{A,c}	0.000±0.000^{d}
G20+T10	0.027±0.001^{B,a}	0.015±0.003^{A,b}	0.006±0.001^{B,c}	0.005±0.001^{A,c}	0.000±0.000^{d}
G20+B-CD	0.029±0.007^{B,a}	0.010±0.001^{C,b}	0.007±0.002^{A,c}	0.004±0.001^{B,d}	0.001±0.000^{e}
G20+Na Asc	0.038±0.002^{A,a}	0.003±0.000^{E,b}	0.000±0.000^{E,c}	0.000±0.000^{C,c}	0.000±0.000^{c}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 30 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ค่าความสว่าง (L*)				
	0 เดือน^{ns}	1 เดือน^{ns}	2 เดือน^{ns}	3 เดือน^{ns}	5 เดือน
Natural	34.38±0.85^{a}	28.92±1.92^{b}	29.26±1.42^{b}	26.68±0.00^{b}	22.47±1.13^{B,b}
Control	37.82±0.50^{a}	32.61±1.13^{ab}	30.80±0.53^{ab}	28.39±1.24^{b}	22.39±0.82^{B,b}
G10^{ns}	36.77±0.01	33.48±0.49	30.37±1.82	29.09±1.20	28.52±0.74^{A}
G20	35.41±1.30^{a}	30.71±0.94^{ab}	29.62±0.74^{b}	27.95±1.65^{b}	26.81±1.76^{A,b}
G30	35.28±0.86^{a}	30.70±0.85^{b}	29.46±0.16^{b}	27.31±0.42^{b}	26.70±0.96^{A,b}
G20+T5	35.67±1.39^{a}	32.16±1.54^{ab}	29.70±0.64^{ab}	28.69±1.78^{b}	27.84±1.14^{A,b}
G20+T10	36.39±0.53^{a}	31.87±1.44^{ab}	30.22±1.21^{ab}	29.04±1.01^{ab}	26.63±1.41^{A,b}
G20+B-CD	37.45±0.93^{a}	32.67±1.53^{ab}	28.37±1.13^{b}	27.23±1.13^{b}	25.94±0.04^{AB,c}
G20+Asc	35.57±0.75^{a}	29.92±0.22^{b}	25.94±0.78^{bc}	24.67±1.49^{c}	22.08±1.42^{B,c}
G20+Ery	35.23±0.87^{a}	30.23±1.06^{b}	27.69±1.04^{b}	26.76±1.28^{bc}	22.37±0.21^{B,c}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 31 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ค่าความสว่าง (L*)				
	0 เดือน	1 เดือน^{ns}	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural	34.93±0.77^{D,a}	32.14±2.97^{ab}	28.71±0.07^{C,bc}	27.21±0.13^{E,cd}	23.89±0.11^{E,d}
G10	41.39±0.27^{A,a}	37.73±0.54^{bc}	37.66±1.74^{A,ab}	36.06±1.00^{A,ab}	32.81±1.55^{AB,c}
G20^{ns}	37.65±1.09^{BCD}	37.33±1.93	34.76±0.40^{ABC}	34.08±1.51^{B}	32.92±1.42^{AB}
G30	39.80±0.31^{AB,a}	36.17±1.24^{b}	35.52±0.22^{AB,bc}	35.00±1.09^{AB,bc}	32.61±1.12^{AB,c}
G20+T5	38.47±1.37^{ABC,a}	38.23±0.31^{a}	35.72±0.34^{AB,ab}	34.57±1.79^{AB,b}	34.27±0.33^{A,b}
G20+T10^{ns}	39.19±0.61^{ABC}	36.32±1.06	33.18±1.12^{ABC}	32.61±1.20^{BC}	30.50±0.87^{ABC}
G20+B-CD	39.04±0.54^{ABC,a}	34.54±0.43^{ab}	32.72±1.60^{ABC}	30.71±1.19^{CD,b}	29.50±0.88^{BCD,b}
G20+Asc	37.09±0.26^{BCD,a}	35.03±1.15^{a}	30.55±1.77^{BC,b}	28.01±1.43^{DE,b}	26.89±0.06^{CDE,b}
G20+Ery	36.32±0.69^{CD,a}	34.12±1.03^{a}	29.83±1.51^{BC,b}	28.03±0.44^{DE,b}	26.30±0.14^{DE,b}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 32 ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ค่าสีแดง (a*)				
	0 เดือน	1 เดือน^{ns}	2 เดือน^{ns}	3 เดือน^{ns}	5 เดือน^{ns}
Natural^{ns}	4.25±1.41^{A}	4.48±1.04	5.49±0.49	5.58±0.01	5.66±0.76
Control	3.57±0.22^{ABC,b}	5.27±0.26^{ab}	5.62±0.93^{ab}	5.93±0.83^{a}	6.13±1.39^{a}
G10	3.93±0.51^{AB,b}	4.88±0.57^{ab}	4.91±1.32^{ab}	5.32±0.47^{a}	5.82±0.27^{a}
G20	3.52±0.28^{ABC,a}	4.26±0.48^{a}	4.97±0.55^{ab}	5.55±0.66^{bc}	5.97±0.26^{c}
G30	3.39±0.35^{BC,b}	4.26±0.92^{ab}	4.52±0.91^{ab}	4.91±0.15^{a}	5.32±0.43^{a}
G20+T5	3.72±0.21^{AB,b}	4.64±0.73^{ab}	5.04±1.04^{a}	5.05±0.21^{a}	5.66±0.61^{a}
G20+T10	2.41±0.36^{D,c}	4.09±0.22^{bc}	5.29±1.38^{ab}	5.38±0.58^{ab}	6.21±1.24^{a}
G20+B-CD	2.78±0.05^{CD,b}	5.54±0.33^{a}	5.69±0.92^{a}	5.85±0.58^{a}	5.92±0.32^{a}
G20+Asc^{ns}	3.96±0.21^{AB}	4.73±0.53	6.15±0.67	6.39±0.36	6.67±1.25
G20+Ery^{ns}	3.81±0.28^{AB}	5.26±1.20	6.08±0.67	6.16±1.65	6.67±1.41

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 33 ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ค่าสีแดง (a*)				
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural	$4.60\pm0.66^{A,b}$	$4.71\pm1.69^{A,b}$	$5.15\pm0.01^{ABC,ab}$	$6.41\pm0.99^{A,ab}$	$7.31\pm0.17^{A,a}$
G10	$3.19\pm0.95^{AB,b}$	$5.05\pm0.17^{A,a}$	$5.39\pm0.14^{AB,a}$	$5.95\pm0.69^{AB,a}$	$6.16\pm0.49^{AB,a}$
G20	$3.04\pm0.52^{AB,b}$	$4.37\pm0.21^{AB,a}$	$5.03\pm0.12^{ABC,a}$	$5.16\pm0.84^{ABC,a}$	$5.29\pm0.51^{B,a}$
G30	$2.93\pm1.21^{B,b}$	$4.01\pm0.32^{AB,ab}$	$4.09\pm0.54^{D,ab}$	$4.63\pm0.03^{C,a}$	$4.82\pm0.30^{B,a}$
G20+T5	$3.06\pm0.18^{AB,b}$	$3.98\pm0.37^{AB,ab}$	$4.47\pm0.86^{BCD,a}$	$4.65\pm0.63^{C,a}$	$4.80\pm0.31^{B,a}$
G20+T10	$2.77\pm1.06^{B,c}$	$3.51\pm0.59^{B,bc}$	$4.34\pm0.32^{CD,ab}$	$4.85\pm0.01^{BC,a}$	$4.94\pm0.22^{B,a}$
G20+B-CD	$3.24\pm0.44^{AB,b}$	$4.25\pm0.72^{AB,ab}$	$4.85\pm0.27^{ABCD,a}$	$5.73\pm0.59^{ABC,a}$	$5.75\pm0.90^{AB,a}$
G20+Asc	$3.76\pm0.39^{AB,b}$	$5.04\pm0.41^{A,a}$	$5.73\pm0.16^{A,a}$	$5.80\pm0.29^{ABC,a}$	$6.01\pm0.83^{AB,a}$
G20+Ery	$3.29\pm0.59^{AB,b}$	$4.68\pm0.50^{AB,a}$	$4.72\pm0.15^{BCD,a}$	$4.89\pm0.80^{BC,a}$	$5.11\pm0.28^{B,a}$

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 34 ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ค่าสีเหลือง (b*)				
	0 เดือน^{ns}	1 เดือน^{ns}	2 เดือน^{ns}	3 เดือน^{ns}	5 เดือน
Natural	16.02±0.96^{a}	10.83±0.69^{ab}	10.17±0.05^{b}	8.53±0.68^{b}	7.62±1.64^{B,b}
Control^{ns}	14.75±1.37	12.78±1.05	11.22±1.14	10.02±1.56	9.86±1.40^{B}
G10ns	13.38±0.07	12.41±1.32	11.36±0.76	10.01±2.11	9.52±1.28^{AB}
G20	13.62±0.16^{a}	12.23±0.93^{ab}	10.36±1.34^{bc}	9.33±1.13^{cd}	7.79±0.18^{B,d}
G30	14.30±1.29^{a}	11.17±0.36^{b}	10.14±0.92^{bc}	8.88±0.61^{cd}	8.03±0.47^{B,d}
G20+T5	13.64±0.48^{a}	11.34±0.12^{ab}	11.16±1.14^{ab}	10.23±1.14^{ab}	9.46±1.18^{AB,b}
G20+T10^{ns}	12.37±0.35	11.69±1.57	11.54±1.64	11.34±1.91	11.34±0.35^{A}
G20+B-CD^{ns}	12.99±0.74	12.69±0.74	11.93±0.64	9.90±1.83	6.76±1.12^{B}
G20+Asc	13.91±0.29^{a}	13.19±1.27^{a}	11.26±1.18^{ab}	8.57±0.50^{b}	7.03±1.88^{B,b}
G20+Ery	13.55±0.46^{a}	13.46±1.00^{a}	10.17±1.07^{ab}	8.76±1.88^{ab}	7.57±1.15^{B,b}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 35 ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

	ค่าสีเหลือง (b*)				
ชุดการทดลอง	**0 เดือน**	**1 เดือน**^{ns}	**2 เดือน**	**3 เดือน**	**5 เดือน**
Natural	13.31±0.17^{B,a}	12.76±2.08^{a}	10.01±0.67^{C,ab}	7.56±1.85^{C,b}	7.26±0.84^{E,b}
G10	17.09±1.28^{A,a}	14.90±1.60^{ab}	13.94±0.61^{A,ab}	13.62±1.77^{A,ab}	12.31±1.25^{A,b}
G20^{ns}	14.40±0.20^{AB}	14.14±0.85	13.27±0.30^{AB}	11.97±3.20^{AB}	11.37±1.44^{AB}
G30	13.11±1.70^{B,a}	12.61±0.01^{ab}	11.38±0.24^{ABC,ab}	10.77±0.40^{ABC,bc}	9.03±0.24^{BCDE,c}
G20+T5	13.38±1.42^{B,a}	12.49±0.62^{a}	11.89±0.62^{ABC,ab}	11.79±0.57^{AB,ab}	9.61±1.32^{BCDE,b}
G20+T10^{ns}	12.05±1.77^{B}	11.94±0.85	10.81±0.62^{BC}	10.10±0.60^{BC}	9.97±0.03^{ABCD}
G20+B-CD^{ns}	13.24±1.61^{B}	12.03±1.58	12.00±1.79^{ABC}	11.47±0.87^{AB}	11.11±2.07^{ADC}
G20+Asc	11.88±1.50^{B,a}	13.23±2.40^{ab}	11.06±0.02^{ABC,ab}	9.87±1.13^{BC,ab}	8.88±0.58^{CDE,b}
G20+Ery	12.76±0.96^{B,a}	12.16±1.23^{a}	9.18±0.29^{C,b}	8.12±1.17^{C,b}	7.85±0.36^{DE,b}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 36 ค่า Hue (h*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ค่า hue (h*)				
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural	74.51±1.01^{BC,a}	62.41±1.79^{B,b}	61.69±1.63^{C,b}	60.19±1.26^{AB,b}	56.76±1.94^{ABC,b}
Control	76.30±1.31^{ABC,a}	67.45±0.26^{AB,b}	62.12±0.18^{ABC,c}	60.91±1.57^{AB,c}	58.07±0.57^{ABC,c}
G10	73.66±0.9^{4C,a}	68.25±1.36^{AB,ab}	64.50±1.08^{AB,bc}	62.74±1.78^{AB,bc}	59.52±1.32^{AB,c}
G20	75.50±1.27^{ABC,a}	67.79±0.44^{AB,b}	61.79±1.00^{ABC,c}	61.34±0.94^{AB,c}	57.34±0.24^{ABC,c}
G30	76.55±0.47^{ABC,a}	68.06±1.41^{AB,b}	64.09±0.83^{AB,bc}	62.04±0.98^{AB,bc}	59.01±1.35^{ABC,c}
G20+T5	74.78±0.30^{BC,a}	67.77±0.99^{AB,ab}	65.37±1.77^{A,bc}	63.53±1.17^{A,bc}	59.02±1.14^{ABC,c}
G20+T10	78.51±1.73^{A,a}	70.62±1.42^{A,b}	66.41±1.48^{A,bc}	65.18±1.50^{A,bc}	61.15±1.88^{A,c}
G20+B-CD	76.88±0.57^{AB,a}	66.61±1.23^{AB,b}	64.89±0.81^{AB,b}	59.27±1.53^{AB,bc}	58.94±1.26^{ABC,c}
G20+Asc	74.12±0.52^{BC,a}	64.19±0.23^{AB,b}	59.39±0.21^{BC,c}	56.04±0.13^{B,cd}	54.25±1.17^{C,d}
G20+Ery	74.20±0.57^{BC,a}	65.75±0.54^{AB,b}	56.89±1.33^{C,c}	55.47±1.11^{B,c}	55.10±1.46^{BC,c}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 37 ค่า Chroma (C*) ของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ค่า Chroma (C*)				
	0 เดือน^{ns}	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural	16.64±4.19^{a}	12.25±0.13^{ab}	11.56±0.23^{ab}	10.20±0.58^{b}	8.74±1.67^{b}
Control^{ns}	15.17±2.35	13.83±2.00	12.69±2.44	11.61±1.76	11.50±0.90
G10^{ns}	13.95±0.21	13.37±1.02	12.56±2.63	11.59±1.05	10.70±1.26
G20	14.07±0.09^{a}	13.21±0.69^{ab}	11.75±1.41^{ab}	11.07±1.30^{bc}	8.88±0.29^{c}
G30	14.70±1.18^{a}	12.06±0.68^{b}	11.28±0.66^{b}	10.36±0.45^{bc}	9.09±0.62^{c}
G20+T5^{ns}	14.14±0.52	12.26±0.39	12.26±1.89	11.03±1.08	11.41±0.22
G20+T10^{ns}	13.49±0.42	12.93±1.55	12.53±1.63	12.38±1.96	11.79±0.84
G20+B-CD^{ns}	14.13±0.73	14.00±2.65	12.25±5.03	11.46±1.87	11.39±0.86
G20+Asc^{ns}	14.65±0.33	14.46±1.38	13.09±3.72	10.56±0.20	8.47±0.26
G20+Ery^{ns}	14.85±0.52	13.99±3.23	12.17±2.66	10.71±1.49	9.22±0.75

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 38 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ปริมาณน้ำตาลกลูโคส (ppm)				
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural	2516±53^{B,a}	2202±24^{A,b}	1578±38^{B,c}	1490±34^{B,d}	695±27^{D,e}
Control	3036±43^{A,a}	1963±51^{B,b}	1931±41^{A,bc}	1814±41^{A,d}	1124±33^{A,e}
G10	1799±32^{C,a}	1624±33^{C,b}	1505±47^{B,c}	1045±37^{E,d}	829±19^{C,e}
G20	1386±28^{F,a}	1207±27^{F,b}	963±23^{G,c}	923±23^{F,cd}	873±14^{C,e}
G30	1454±31^{E,a}	1131±30^{G,b}	1112±34^{E,bc}	913±18^{F,d}	854±17^{C,e}
G20+T5	1309±33^{G,a}	1255±29^{E,b}	1084±51^{F,c}	1063±57^{E,cd}	977±21^{B,e}
G20+T10	1380±34^{F,a}	1261±28^{E,b}	1168±41^{E,c}	1059±48^{E,d}	981±18^{B,e}
G20+BCD	1446±41^{E,a}	1363±42^{D,b}	1358±37^{C,bc}	1243±25^{C,d}	855±25^{C,e}
G20+Asc	1680±38^{D,a}	1341±51^{D,b}	1269±26^{D,c}	1162±26^{D,d}	749±19^{D,e}
G20+Ery	1364±26^{F,a}	1354±49^{D,ab}	1132±22^{E,b}	934±31^{F,d}	896±26^{C,e}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

ตารางที่ 39 ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส (ppm)				
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural	2293±26^{A,a}	2027±62^{A,b}	1126±43^{B,c}	1105±51^{B,cd}	930±18^{AB,e}
Control	2026±35^{B,a}	1691±39^{B,b}	1399±49^{A,c}	1388±68^{A,c}	977±23^{A,d}
G10	1268±38^{D,a}	1111±27^{C,b}	1059±27^{C,b}	905±29^{C,d}	248±12^{F,e}
G20	941±19^{F,a}	902±29^{E,ab}	803±22^{E,c}	778±18^{E,c}	643±13^{D,d}
G30	874±23^{G,a}	849±18^{F,ab}	746±23^{F,c}	735±24^{E,c}	715±23^{C,c}
G20+T5	788±17^{H,a}	787±27^{G,ab}	743±21^{F,b}	739±21^{E,b}	577±22^{E,c}
G20+T10	834±24^{G,a}	790±29^{G,b}	745±18^{F,b}	724±22^{E,b}	714±13^{C,b}
G20+BCD	1175±53^{E,a}	1106±39^{C,a}	865±15^{E,c}	849±37^{D,c}	709±27^{C,d}
G20+Asc	1308±62^{C,a}	988±28^{D,b}	947±34^{D,b}	891±32^{D,c}	822±32^{B,c}
G20+Ery	1146±57^{E,a}	1043±27^{CD,b}	716±36^{FG,c}	630±16^{F,d}	606±39^{D,d}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 40 ปริมาณน้ำตาลซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบอุณหภูมิเดียวที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ปริมาณน้ำตาลซูโครส (ppm)				
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural	5313±68^{A,a}	4172±72^{A,b}	2746±39^{C,c}	2586±38^{C,d}	2512±32^{A,d}
Control	5014±57^{B,a}	3198±54^{C,b}	2901±36^{B,bc}	2769±23^{A,d}	2114±42^{B,e}
G10	2696±62^{E,a}	2696±72^{D,a}	2502±31^{D,c}	2053±29^{D,d}	2018±38^{C,d}
G20	2248±49^{G,a}	2057±37^{F,b}	1964±36^{F,c}	1568±34^{G,d}	1154±29^{F,e}
G30	2379±67^{F,a}	2197±42^{E,b}	1761±29^{H,c}	1650±28^{F,cd}	976±39^{G,e}
G20+T5	3344±59^{D,a}	2729±54^{D,b}	2513±31^{D,c}	2178±19^{D,d}	2077±35^{C,d}
G20+T10	3565±64^{C,a}	3409±59^{B,b}	3062±46^{A,c}	2779±47^{B,d}	2494±41^{A,e}
G20+BCD	2289±43^{G,a}	2200±34^{E,ab}	2028±29^{E,c}	1867±51^{E,d}	1488±33^{E,e}
G20+Asc	2451±41^{E,a}	2043±37^{F,b}	1926±26^{F,bc}	1747±46^{E,cd}	1693±39^{D,d}
G20+Ery	2408±54^{E,a}	2133±33^{E,b}	1890±19^{G,c}	1619±39^{F,d}	1305±26^{E,e}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 41 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ปริมาณน้ำตาลกลูโคส (ppm)				
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural	2176±66^{A,a}	1967±36^{A,a}	1938±29^{A,ab}	1873±33^{A,b}	1743±47^{A,c}
G10	1757±37^{B,a}	1746±34^{B,a}	1705±27^{B,a}	1472±54^{B,c}	1127±52^{B,d}
G20	1386±28^{C,a}	1233±53^{C,b}	1165±45^{C,c}	1116±41^{C,c}	680±42^{E,d}
G30	1204±34^{E,a}	1154±39^{D,b}	1001±36^{D,c}	853±23^{EF,d}	826±22^{C,d}
G20+T5	1275±52^{CD,a}	836±28^{F,b}	806±22^{F,b}	780±47^{G,d}	741±36^{D,d}
G20+T10	1403±49^{C,a}	1183±58^{CD,b}	1125±34^{C,b}	1003±34^{D,c}	894±14^{C,d}
G20+BCD	1343±34^{C,a}	1171±49^{D,b}	972±29^{E,c}	876±23^{G,d}	771±27^{D,e}
G20+Asc	1256±55^{D,a}	1214±52^{C,ab}	960±20^{E,c}	907±27^{E,d}	821±35^{C,e}
G20+Ery	1152±39^{E,a}	1044±38^{E,b}	1010±31^{D,b}	851±25^{EF,c}	747±25^{D,d}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 42 ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส (ppm)				
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural	1306±36^{A,a}	1275±43^{A,ab}	1152±59^{A,b}	1138±53^{A,b}	879±38^{A,c}
G10	919±38^{B,a}	752±51^{C,b}	743±37^{B,b}	695±34^{B,bc}	661±46^{B,c}
G20	853±27^{C,a}	686±44^{D,b}	671±43^{C,b}	600±31^{C,c}	563±39^{BC,c}
G30^{ns}	657±29E	652±51D	645±32C	642±33C	630±52B
G20+T5	812±57C^{,a}	712±43^{C,b}	556±26^{D,c}	529±20^{E,c}	455±49^{D,d}
G20+T10	762±37D^{,a}	671±38^{D,b}	671±27^{C,b}	592±29^{CD,c}	507±61^{C,d}
G20+BCD	817±26C^{,a}	732±29^{C,b}	668±38^{C,c}	667±42^{BC,c}	609±41^{B,c}
G20+Asc	712±39D^{,a}	657±32^{D,b}	647±41^{C,b}	565±46^{D,bc}	524±27^{C,c}
G20+Ery	838±22C^{,a}	800±41^{B,a}	744±34^{B,b}	735±32^{B,b}	481±37^{CD,c}

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแถวเดียวกัน

ตารางที่ 43 ปริมาณน้ำตาลซูโครสของเนื้อลำไยอบแห้งแบบสองอุณหภูมิที่ผ่านการแช่สารละลายออสโมติกต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 32±0.5°C ความชื้นสัมพัทธ์ 45±0.5%

ชุดการทดลอง	ปริมาณน้ำตาลซูโครส (ppm)				
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	5 เดือน
Natural	$4554\pm74^{B,a}$	$3680\pm68^{B,b}$	$3374\pm55^{A,c}$	$2768\pm34^{B,d}$	$853\pm36^{D,e}$
G10	$3660\pm58^{C,a}$	$3548\pm57^{C,b}$	$2958\pm44^{B,c}$	$2906\pm37^{A,c}$	$983\pm45^{C,d}$
G20	$2640\pm33^{F,a}$	$2247\pm43^{F,b}$	$1950\pm29^{F,c}$	$1335\pm34^{E,d}$	$543\pm36^{F,e}$
G30	$2848\pm34^{E,a}$	$2614\pm41^{E,b}$	$2085\pm36^{E,c}$	$1971\pm41^{C,d}$	$744\pm23^{E,e}$
G20+T5	$3650\pm46^{C,a}$	$2102\pm32^{H,b}$	$1792\pm27^{G,c}$	$1730\pm29^{D,c}$	$1555\pm42^{A,e}$
G20+T10	$4873\pm54^{A,a}$	$3941\pm44^{A,b}$	$3407\pm37^{A,c}$	$2972\pm20^{A,d}$	$1003\pm54^{C,e}$
G20+BCD	$3203\pm38^{D,a}$	$2828\pm47^{D,b}$	$2428\pm33^{C,c}$	$2019\pm63^{C,d}$	$802\pm32^{D,e}$
G20+Asc	$3216\pm49^{D,a}$	$2602\pm52^{E,b}$	$2265\pm39^{D,c}$	$1670\pm54^{D,d}$	$1324\pm43^{B,e}$
G20+Ery	$2361\pm37^{G,a}$	$2014\pm29^{G,b}$	$1910\pm27^{F,bc}$	$1419\pm46^{E,d}$	$665\pm26^{E,e}$

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ในแถวหรือคอลัมน์เดียวกัน

A,B,C,D หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในคอลัมน์เดียวกัน

a,b,c,d หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) นางสาวเมย์ สุรจิตตาภรณ์
(ภาษาอังกฤษ) MISS MAY SURAJITTAPORN

ที่อยู่ 109/30 หมู่ 4 ต.หนองพลับ อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2549	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2550	ศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การเสนอผลงาน

เมย์ สุรจิตตาภรณ์ และบุศากรณ์ มหาโยธี. 2552. “ ผลของ pre-treatment ต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อลำไยอบแห้งสีทองในระหว่างการเก็บรักษา” ในการประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 8 ระหว่างวันที่ 6-9 พฤษภาคม 2552 ณ โรงแรม ดิ เอ็ม เพรส, เชียงใหม่ (ภาคบรรยาย)