

ข้อมูลห้องเรียน



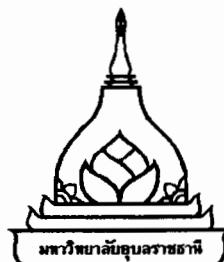
การพัฒนาการบรรจุแบบบรรยายการดัดแปลงแอคทิฟเพื่อยืดอายุ
การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเชอร์อับแห้ง

๑๙๔๙๖๐

สุภาวนี ภกการดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

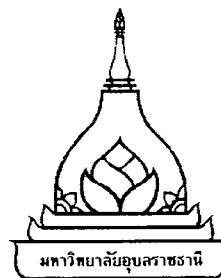
เลขที่ญี่งค์.....
เลขที่ห้องเรียน ท.ท.๑๐๖๔๖
วันที่อ่อนปี.....
๒๐ พฤษภาคม ๒๕๕๘



**DEVELOPMENT OF ACTIVE MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING
SYSTEMS FOR EXTENDING SHELF LIFE OF DRIED CHERRY
TOMATOES**

SUPAWINEE KAKARNEE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
MAJOR IN FOOD TECHNOLOGY
FACULTY OF AGRICULTURE
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2014
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์

เรื่อง การพัฒนาการบรรจุแบบบรรยายภาชนะด้ดแพรเชิงแอคทีฟเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์
มะเขือเทศเชอร์อับแห้ง

ผู้วิจัย นางสาวสุภาวนี กะการดี

คณะกรรมการสอบ

นายสุรัช นัทธี

ประธานกรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรเวทย์ อุทโธ

กรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิริยา พรหมกong

กรรมการ

ดร.จินดา�ณี แสงกานุจันวินิช

กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรเวทย์ อุทโธ)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิริยา พรหมกong)

(รองศาสตราจารย์ธีระพล บันสิทธิ์)

(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยากรณ์ พงษ์รัตน์)

คณบดีคณะเกษตรศาสตร์

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2557

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรเวทย์ อุทโ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิริยา พรหมกอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ นายสุรัช นันทรี ดร.อภิญญา เอกพงษ์ และดร. จินดา�ณี แสงกาญจนวนิช ที่กรุณาให้ความรู้ทางวิชาการ วิธีดำเนินการวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ และสนับสนุนทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณบุคลากรคณะเกษตรศาสตร์รวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่อำนวย ความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ และให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ ต่าง ๆ เป็นอย่างดี ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาปริญญาโท ที่ให้กำลังใจในการ ทำงานวิจัยด้วยดีเสมอมา และขอขอบพระคุณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ สนับสนุนทุนวิจัยอีกส่วนหนึ่ง

ขอกราบขอบพระคุณบิดา (นายจักรกฤษณ์ กะการดี) และมารดา (นางบุษบา กะการดี) ที่ให้ กำเนิด custody ดูแลอบรมสั่งสอน และเป็นกำลังสำคัญยิ่งในการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ของคุณน้องชาย (สิบตำรวจตรี ฐานกรุ๊ง กะการดี) ที่นำรักเป็นอีกหนึ่งกำลังใจที่สำคัญ ขอขอบคุณญาติ พี่น้องที่คอยดูแล อบรมสั่งสอน และให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน รวมทั้งขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วน ร่วมในการให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ที่ยังไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ คุณประโยชน์ทั้งหลายที่เกิดจาก งานวิจัยในครั้งนี้ขอมอบแด่ บิดา มารดา ครู อาจารย์ รวมทั้งผู้มีพระคุณทุกท่าน

ม.๖๒๕
สุภาวดี กะการดี
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง	: การพัฒนาการบรรจุแบบบรรยายการดัดแปลงแอดค์เพรเซิงแอคทีฟเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเชอร์อ์บแห้ง
ผู้วิจัย	: สุภาวดี ภการดี
ชื่อปริญญา	: วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	: เทคโนโลยีการอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา:	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรเวทย์ อุทโทร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิริยา พรหมกong
คำสำคัญ	: การบรรจุเชิงแอดค์เพร, การบรรจุแบบบรรยายการดัดแปลง มะเขือเทศเชอร์อ์บแห้ง, อายุการเก็บรักษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการเก็บรักษาของมะเขือเทศเชอร์อ์บแห้ง ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยหลักคือ (1) ระบบการบรรจุ (การบรรจุภายใต้สภาวะบรรยายอากาศปกติ และการบรรจุแบบบรรยายการดัดแปลงแอดค์เพรโดยใช้ของดูดซับออกซิเจน การบรรจุแบบสูญญากาศ และการบรรจุแบบพ่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 (v/v)) บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการบรรจุมะเขือเทศเชอร์อ์บแห้งคือถุงพลาสติกหลายชั้นประเททเมทัลไลซ์ (PET/Metallized PET/LLDPE) (2) อุณหภูมิการเก็บรักษา (10 องศาเซลเซียสและ 30 องศาเซลเซียส) และ (3) ระยะเวลาในการเก็บรักษา (30, 60, 90, 120 และ 150 วัน) ผลการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่มีการใช้ของดูดซับออกซิเจนลดลงไก้ล้เคียงร้อยละ 0 (v/v) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วันและมีแนวโน้มคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างอุณหภูมิในการเก็บรักษา ส่วนการบรรจุด้วยระบบการพ่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 flushing) และการบรรจุสูญญากาศ (vacuum) พบร่วมกับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในบรรยายการมีค่าไก้ล้เคียงหรือเท่ากับร้อยละ 0 (v/v) ตลอดอายุการเก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิ มะเขือเทศเชอร์อ์บแห้งที่เก็บรักษาในการบรรจุแบบบรรยายการดัดแปลง 2 อุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษาเพียง 30 วัน เนื่องจากมีการเจริญเติบโตเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้อาหารจนสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

ความชื้นของมะเขือเทศเชอร์อ์บแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสแนวโน้มสูงกว่าระดับความชื้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสในช่วง 30 วันแรก หลังจากนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องแต่อยู่ในระดับที่ไม่สูงมาก การสูญเสียน้ำหนักของมะเขือเทศเชอร์อ์บแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา โดยที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเกิดได้ในระดับที่สูงกว่าอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ค่าแรง

สูงสุด (Maximum load) จากการวัดเนื้อสัมผัสของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อเวลาผ่านไป อย่างไร้ตาม ผลการวิเคราะห์สถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างสิ่งทดลองสำหรับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านความชื้น การสูญเสียน้ำหนัก และค่าแรงสูงสุด ค่าความส่วนของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นเด่นอย่างทุกสิ่งทดลองเมื่อกีบรักษา 30 วัน ภายหลังจากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในทางตรงกันข้ามค่าสีแดงและค่าสีเหลืองมีแนวโน้มลดลง ซึ่งส่งผลให้อัตราส่วนระหว่าง a^* และ b^* (a^*/b^* ratio) มีค่าคงที่ในระหว่างการเก็บรักษา

ปริมาณไลโคพีนและปริมาณกรดทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และกรดแอลกอร์บิกในมะเขือเทศเชอร์อับแห้งมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากการระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน แต่การเปลี่ยนแปลงของสารทั้งสองมีแนวโน้มคงที่เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบที่โนลิกทั้งหมดและกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH assay) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น แต่ระดับการเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมดมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระดับการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จากการศึกษาสามารถสรุปในเบื้องต้นได้ว่าสารประกอบฟีโนลิกเป็นกลุ่มสารสำคัญที่ส่งผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศเชอร์อับแห้ง การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางเคมีเหล่านี้ของมะเขือเทศ อบแห้งไม่มีความแตกต่างกันระหว่างสิ่งทดลอง แม้ว่าปัจจัยหลักทั้งสามส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีในระหว่างการเก็บรักษา ($p < 0.05$)

ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะเขือเทศเชอร์อับแห้งในทุกสิ่งทดลอง ยกเว้นการบรรจุแบบบรรยายกาศดัดแปลง เมื่อกีบรักษาที่ 10°C และ 30°C มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของผลไม้แห้ง (มผช. 136/2550) นอกจากนี้ ผลการศึกษาแสดงให้ทราบว่าปริมาณเชื้อยีสต์และราเมี ปริมาณที่ต่ำมาก จากการทดสอบความชอบของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ในทุกสิ่งทดลองที่เก็บรักษาเป็นเวลา 90 วัน พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบสูญญากาศ โดยเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C สูงกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ในการพิรุณของการศึกษานี้แสดงให้ทราบว่าการใช้การบรรจุบรรยายกาศดัดแปลงแอคทีฟที่กำจัดออกซิเจนสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเชอร์อับแห้งได้ถึง 150 วัน ที่ อุณหภูมิ 10°C และ 30°C เมื่อเปรียบเทียบกับอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในการบรรจุแบบบรรยายกาศปกติ ซึ่งมีอายุการเก็บรักษาเพียง 30 วัน งานวิจัยนี้ได้เสนอแนะว่าการประยุกต์ใช้การบรรจุแบบแอคทีฟและวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่สามารถต้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้สูง ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C จะส่งผลดีต่อกุณภาพซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความชอบโดยรวมของผู้บริโภค

ABSTRACT

TITLE : DEVELOPMENT OF ACTIVE MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING SYSTEMS FOR EXTENDING SHELF LIFE OF DRIED CHERRY TOMATOES

AUTHOR : SUPAWINEE KAKARNDEE

DEGREE : MASTER OF SCIENCE

MAJOR : FOOD TECHNOLOGY

ADVISOR : ASST. PROF. WEERAWATE UTTO, Ph.D.

CO – ADVISOR : ASST. PROF. Wiriya Phomkong, Ph.D.

KEYWORDS : ACTIVE PACKAGING, MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING SYSTEMS, DRIED CHERRY TOMATOES, SHELF LIFE

The study was conducted to investigate quality changes of dried cherry tomatoes which were combinations of the main factors including (1) packaging systems (Air-packaging and Active Modified Atmosphere Packaging using oxygen absorbing sachet, vacuum packaging with CO₂ flushing (40 % v/v). All packages containing dried cherry tomatoes were PET/Metallized PET/LLDPE laminated plastic bags (2) temperature (10°C and 30°C), and (3) storage days (30, 60, 90, 120, and 150 days). The research results showed that oxygen concentrations in the packages having oxygen absorbing sachets were as low as 0% (v/v) when measured on day 30th. The concentrations were relatively stable throughout shelf life and they were not significantly different among the storage temperatures. The oxygen concentrations in packages with CO₂ flushing and vacuum packaging were approximately 0% (v/v) during the storage period, and there were no significant differences in oxygen concentrations among these packages during the storage period. Shelf life periods of dried cherry tomatoes packaged using air-packaging system, stored at 10 and 30°C were only 30 days due to visible microbial growth which principally was attributed to the growth

Moisture contents of the products kept at 10°C appeared to be higher than those kept at 30°C during 30 days. The moisture contents thereafter slightly

decreased. There was an increased trend in weight loss of dried cherry tomatoes. The extent of weight loss at 30°C was higher than that measured at 10°C. Values of maximum loads obtained from texture analysis of dried cherry tomatoes continuously increased. Statistical analyses showed that there were no significant differences among experimental treatments regarding quality changes in moisture contents, weight loss and maximum loads. Lightness of dried cherry tomatoes kept in all experimental treatments slightly increased during 30 days but insignificantly changed thereafter. In contrast to the lightness, redness and yellowness of the tomatoes decreased during storage, contributing relatively stable values of a^*/b^* ratio.

Lycopene contents and titratable acidity of dried cherry tomatoes tend to be continuously decreased during storage. Contents of total flavonoids and ascorbic acid rapidly decreased during the first 30 storage day whereas the contents became stable throughout the storage period. There were increases in total phenolic content and antioxidant activity of dried cherry tomatoes during storage. However the increasing extent of total phenolic content was higher than that of antioxidant activity. It can be learnt from the experimental results that phenolic compounds are key components attributing antioxidant activity of dried cherry tomatoes. Among these chemical quality attributes of dried cherry tomatoes, there were not significant differences between experimental treatments, although there were significant effects of individual factors ($p < 0.05$).

Total plate counts measured in dried cherry tomatoes in all experimental treatments excluding the air packaging kept at 10°C and 30°C quantitatively were lower than the standard level for industrially dried fruit (Thai Community Product Standard 136/2550). Experimental findings showed considerably low quantities of yeast and mold measured in dried cherry tomatoes. Results from preference tests using dried cherry tomatoes kept at 90 days showed that most consumers rated their overall preferences with significantly higher scores ($p < 0.05$) to the product contained in vacuum packages kept at 10°C, in comparisons to other experimental treatments.

Overall, the present study shows that utilizations of active packaging which can get rid of oxygen can extend shelf life of dried cherry tomatoes to 150 days at both 10°C and 30°C, in comparisons to shelf life of the tomatoes contained in the air-

packaging which is only about 30 days. The study, however, points out that using active packaging and high oxygen barrier package together with 10°C storage temperature would be a suitable condition which is consistent to consumers' overall preferences of dried cherry tomatoes.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 มะเขือเทศเชอร์รี่	5
2.2 สารอาหารที่สำคัญในมะเขือเทศเชอร์รี่	6
2.3 การเลือมเสียที่สำคัญของมะเขือเทศเชอร์รี่อบแห้ง	13
2.4 การบรรจุแบบบรรยายการดัดแปลงแพรเซิงแอลูมิเนียมฟลามาร์บ์มะเขือเทศเชอร์รี่อบแห้ง	13
2.5 ซองดูดซับออกซิเจน (Oxygen absorbing sachet)	17
2.6 สรุปประเด็นสำคัญจากการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 วัสดุที่ใช้	22
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	22
3.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์	23
3.4 วิธีการทดลอง	24
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 บทนำ	32
4.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและการบอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์	32
4.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้น	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การสูญเสียน้ำหนัก	38
4.5 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส	39
4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าสี	43
4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคพีน (Lycopene)	50
4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total flavanoids)	53
4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid content)	56
4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมด (Total phenolic compound)	61
4.11 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity)	65
4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมด (Titratable acidity)	68
4.13 คุณภาพด้านเชื้อจุลินทรีย์	71
4.14 คะแนนความชอบของผู้บริโภค	73
4.15 สรุปประเด็นที่สำคัญ	74
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	76
5.2 แนวทางการนำไปใช้ประโยชน์	77
5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป	78
เอกสารอ้างอิง	79
ภาคผนวก	
ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้ง	91
ข การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้ง	98
ค การวิเคราะห์องค์ประกอบทางจุลินทรีย์ของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้ง	100
ง การศึกษาถลกไกการเปลี่ยนแปลงของก้าชอกซิเจนและสารต้านอนุมูลอิสระใน มะเขือเทศอบแห้ง	103
จ ตารางผลการวิเคราะห์ทางสถิติของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้ง	110
ประวัติผู้วิจัย	142

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศสายพันธุ์ต่าง ๆ	7
2.2 ปริมาณวิตามินซีในมะเขือเทศสายพันธุ์ต่าง ๆ	9
2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของมะเขือเทศสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่ผ่านการอบแห้ง	12
2.4 ตัวอย่างวัตถุทดลองซีเจนทั้งรูปแบบของขนาดเล็ก ฟิล์ม และรูปแบบอื่น ๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร	17
4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (dry basis: db) ของมะเขือเทศเชอร์อับแห้ง ที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	37
4.2 การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ) ของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งในบรรจุภัณฑ์ ที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	40
4.3 ค่าแรงสูงสุด (Maximum load: N) จากการวัดเนื้อสัมผัสของมะเขือเทศเชอร์อับแห้ง ในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	42
4.4 ค่าความสว่าง (L^*) ของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	45
4.5 ค่า a^* ของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ และในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	48
4.6 ค่าสีเหลือง (ค่า b^*) ของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	49
4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคพีน (Lycopene; mg/100g db) ของมะเขือเทศ เชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	52
4.8 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อับแห้ง ที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C และ 30 °C	55
4.9 ปริมาณกรดแอกโซร์บิกของมะเขือเทศเชอร์อับแห้ง (หน่วยคือ mg/100g) ที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	58

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10 ปริมาณสารประกอบพิโนลิกทั้งหมด (mg GAE/g) ของมะเขือเทศเชอร์อิ่บแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	63
4.11 กิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% Inhibition) ของมะเขือเทศเชอร์อิ่บแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	67
4.12 ปริมาณกรดทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อิ่บแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	70
4.13 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อิ่บแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	72
4.14 ปริมาณยีสต์และราขของมะเขือเทศเชอร์อิ่บแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	73
4.15 คะแนนความชอบของผู้บริโภคต่อมะเขือเทศเชอร์อิ่บแห้งที่เก็บรักษาด้วยวิธีต่าง ๆ	75

สารบัญภาพ

ตารางที่	หน้า
2.1 มะเขือเทศเชอรี่ (Cherry tomatoes: <i>Lycopersicum Esculentum</i>)	6
2.2 โครงสร้างของไลโคพีน ($C_{40}H_{56}$)	6
2.3 โครงสร้างของฟลาโวนอยด์	11
2.4 แบบจำลองแนวคิดการพัฒนาบรรจุภัณฑ์แอดทีฟสำหรับมะเขือเทศเชอรี่อบแห้ง	21
4.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุมะเขือเทศเชอรี่อบแห้งด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	33
4.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ภายในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุมะเขือเทศเชอรี่อบแห้งด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	34
4.3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความชื้นของมะเขือเทศเชอรี่อบแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	36
4.4 การสูญเสียน้ำหนักของมะเขือเทศเชอรี่อบแห้งในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	39
4.5 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าแรงสูงสุดที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสของมะเขือเทศเชอรี่อบแห้งในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	41
4.6 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมะเขือเทศเชอรี่อบแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ และในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C เป็นเวลา 150 วัน	44
4.7 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (ค่า a^*) ของมะเขือเทศเชอรี่อบแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	47
4.8 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองของมะเขือเทศเชอรี่อบแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	47
4.9 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนระหว่าง a^*/b^* (a^*/b^* ratio) ของมะเขือเทศเชอรี่อบแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคพีนของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ และในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C เป็นเวลา 150 วัน	53
4.11 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	56
4.12 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอกซ์คอร์บิคของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	59
4.13 แผนผังเส้นทาง (Pathway) การสืែอมสลายของกรดแอกซ์คอร์บิคในสภาวะมีอากาศ (เส้นประ) และไม่มีอากาศ (เส้นทึบ)	60
4.14 ปริมาณกรดแอกซ์คอร์บิคของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งในสิ่งทดลอง VAC-10 เปรียบเทียบกับปริมาณกรดแอกซ์คอร์บิคในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน ที่คำนายโดยสมการ Eq. 4.1	61
4.15 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบพิโนลิกทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	64
4.16 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% Inhibition) ของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	66
4.17 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C	71
5.1 แบบจำลองบรรจุภัณฑ์มะเขือเทศเชอร์อับแห้ง	78

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัจจัย

มะเขือเทศเป็นพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง ในการศึกษานี้เลือกใช้มะเขือเทศพันธุ์เชอรี่ เนื่องจากมะเขือเทศเชอรี่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง¹ เช่น สารไลโคพีน (Lycopene) วิตามินซี (Vitamin C) และสารฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (George et al., 2004) ซึ่งจะเกิดการเสื่อมเสียได้ง่ายเมื่อเก็บรักษาในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น เก็บ ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง บรรยากาศปกติ หรือสภาวะที่มีแสงสว่าง (เยาวภา สิริวัฒนา奴กุล, 2545; Dermesonlouoglou et al., 2007) ดังนั้น จึงมีการถอดความคุณภาพมะเขือเทศ ซึ่งการทำหั่นเป็นแนวทางหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการถอดความคุณภาพ (Akanbi, et al., 2006) อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบสำคัญและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) ของมะเขือเทศอบแห้ง (Sharma and Le Maguer, 1996) และผลิตภัณฑ์อบแห้งอื่น ๆ เช่น มันเทศอบแห้ง (Yang et al., 2010) และเด็กอบแห้ง (Senevirathne et al., 2010; Hiranvarachat et al., 2008) มีแนวโน้มที่จะเกิดการเสื่อมเสียจากการเกิดปฏิกิริยา กับ ก๊าซออกซิเจน (Oxidative reactions) เช่น การเสื่อมเสียของไลโคพีน (Sharma and Le Maguer, 1996; เยาวภา สิริวัฒนา奴กุล, 2545) วิตามินซี (Muratore et al., 2005; Zerdin et al., 2003) สารประกอบพิโนลิก (Serrano et al., 2008) และสารฟลาโวนอยด์ (พัชราภรณ์ และ ลัดดาวลักษณ์, 2547) การเสื่อมเสียเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นได้เร็วในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูง เช่น สภาวะอุณหภูมิห้อง (Robertson, 1993)

จากการศึกษาเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องพบว่ามะเขือเทศอบแห้งประเภทกึ่งแห้ง (Semi-dried tomatoes) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ระดับความชื้นสูง เช่น ระดับปริมาณน้ำอิสระ (Water activity: a_w) ของมะเขือเทศพันธุ์ Excell, Tadiro, และ Flavourine ซึ่งผ่านการทำแห้งด้วยสภาวะ 42°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง สูงประมาณ 0.95-0.96 (Toor and Savage, 2006) ซึ่งระดับความชื้นดังกล่าวสามารถส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเสื่อมเสียได้เนื่องจากเชื้อจุลทรรศ และหากเก็บรักษาในสภาพอากาศ (Atmospheric condition) สภาวะดังกล่าวอาจเร่งการเจริญเติบโต

¹ นอกเหนือจากนี้การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณส่วนหนึ่งในการดำเนินการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (สกอ.) เพื่อพัฒนาระบบการบรรจุภัณฑ์เชือเทศเชอรี่อบแห้ง ประจำปีงบประมาณ 2553

ของเชื้อจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ (Proliferations of aerobic micro-organisms) (Kurtmann et al., 2009)

จากข้อจำกัดในการเก็บรักษาจะมีเชือเทศอบแห้งภายใต้สภาวะบรรยายกาศปกติที่สรุปข้างต้นพบว่าการลดปริมาณออกซิเจนและ/หรือความชื้นในบรรยายการครอบ ๆ ผลิตภัณฑ์มีความสำคัญโดยเฉพาะบรรยายการในบรรจุภัณฑ์ (Package headspace) ซึ่งบรรจุผลิตภัณฑ์เพื่อวางแผนนำและเก็บรักษาภัณฑ์มีผู้บริโภค ในการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่าระบบบรรจุแบบบรรยายการดัดแปร (Modified Atmosphere Packaging: MAP) เป็นระบบบรรจุภายใต้สภาวะกําชองออกซิเจนความเข้มข้นต่ำที่มีศักยภาพในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเภทรวมทั้งอาหารแห้ง (งาม ทิพย์ ภู่ว่องศรม, 2550) หลักการโดยทั่วไปของระบบ MAP คือการลดความเข้มข้นของออกซิเจนในบรรยายการบรรจุภัณฑ์ (Charles et al., 2003) ซึ่งอาจจะดำเนินได้หลายกรรมวิธี เช่น การบรรจุแบบสูญญากาศ (Vacuum packaging) ซึ่งเป็นการสร้างสภาวะสูญญากาศภายในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถต้านการซึมผ่านออกซิเจนสูง (High oxygen barrier) เช่น พิล์มพลาสติก PET/LDPE² (Manju et al., 2007) ถึงแม้ว่าการสร้างสภาวะสูญญากาศจะสามารถกำจัดออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ได้ในระดับที่สูงมาก เช่น ประมาณ 0-1% O₂ ในบรรยายการบรรจุภัณฑ์ชุบถ้า สหูร์เนื้อ และชุบเนื้อ ถ้าและผัก (Ready to eat) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 29 วัน ณ อุณหภูมิ 3°C (Murcia et al., 2003) โดยสภาวะความเข้มข้นของกําชองออกซิเจนและอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ระดับต่ำนั้น สามารถช่วยลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในไขมันและโปรตีนของผลิตภัณฑ์ เช่น (Fuentes et al., 2010) แต่ลักษณะของบรรจุภัณฑ์อาจจะดูไม่สวยงาม เพราะบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว (Flexible materials) เช่น พิล์ม Nylon/PE³ (Hu et al., 2004) จะเกิดการหดผลิตภัณฑ์เนื่องมาจากการแตกต่างระหว่างความดันภายในและภายนอกบรรจุภัณฑ์ (Dobias et al., 2004) นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ที่มีมุนแผลคอม เช่น มันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ (Silva et al., 2004) อาจทำให้เกิดรูร้าวที่วัสดุบรรจุได้และส่งผลให้สูญเสียสภาวะสูญญากาศในบรรจุภัณฑ์ (Mann, 1968)

ในทางตรงกันข้ามกับการบรรจุแบบสูญญากาศ การลดความเข้มข้นของออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์อาจใช้กระบวนการพ่นกําช (Gaseous flushing) โดยกําชที่พ่นเข้าไปในบรรจุภัณฑ์อาจเป็นกําชคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งมีคุณสมบัติบังยั้งการเจริญเติบโตเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (Matan et al., 2006) กําชในไตรเจน (N₂) ซึ่งเป็นกําชที่ใช้ปรับสมดุลของอากาศ รวมทั้งยังช่วยบังยั้งการเจริญเติบโตเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น *Aspergillus flavus*⁴ ในถั่ว และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

2 12 µm-Polyester laminated with 300 gauge Low-Density Polyethylene จัดเป็นพิล์มที่มีความสามารถการต้านการซึมผ่านออกซิเจน (Manju et al., 2007)

3 Nylon® (Polyamide) laminated with Polyethylene

4 จุลินทรีย์สำคัญที่ส่งผลให้เกิดการผลิตสารพิษ Aflatoxin

ของไขมัน (Pascual et al., 2003; Oliu et al., 2008; Mexis et al., 2010) และ/หรือกําชผสม (Mixed gases) ที่มักจะมีส่วนผสมของออกซิเจนความเข้มข้นต่ำ เช่น บรรจุภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนระหว่าง กําชออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ 5% O₂ และ 3% CO₂ (Costa et al., 2011), 0% O₂ และ 20% CO₂ (Rubio et al., 2008), 80% CO₂ และ 10% O₂ (Chen and Xiong, 2008) โดยบรรจุภัณฑ์ที่มีการพ่นกําชนั้นจะมีรูปลักษณ์ที่พองตัว เช่น ถุงบรรจุมันฝรั่งทอด (Silva et al., 2010) อย่างไรก็ตาม ระบบการบรรจุแบบพ่นกําชจำเป็นที่จะต้องระวังในการเก็บรักษาที่อาจจะมีสิ่งที่ทึบแสง เช่น ขอบที่คมของผลิตภัณฑ์อาจเจาะถุงบรรจุภัณฑ์พ่นกําชให้เกิดรูร้าวได้ (Silva et al., 2010)

นอกเหนือจากระบบการบรรจุที่กล่าวข้างต้น ระบบการบรรจุเชิงแอคทีฟ (Active Packaging Systems: APS) เพื่อกำจัดออกซิเจน (Oxygen scavenging) เช่น การใช้ซองดูดซับกําชออกซิเจน (Oxygen absorbing sachet) ได้รับความนิยมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งที่มีองค์ประกอบของไขมันสูง เช่น ผลิตภัณฑ์ชีเรียล (Cereal products) แครกเกอร์ (Cracker) หรือ ผลิตภัณฑ์เนื้ออบแห้ง (Dried meat products) เพราะผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีแนวโน้มเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย (Brody et al., 2002) จากการศึกษาการเก็บรักษากล้วยทอดกรอบหรือกล้วยเบรกแทก (ภาษาถิ่น) (นิภาวรรณ และอรุณ 2553) และหมูตากแห้งทอดปรุงรสหรือหมูสูรรค์ (กฤติกา และกมลชนก, 2553) พบร่องรอยของการเสียหายจากการลดกําชออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพลาสติก (PET/mPET/LLDPE) ให้อยู่ในระดับ 0-0.02% ให้ตลอดอายุการเก็บรักษา 90 วัน ณ 30±5°C จากเอกสารที่เรียนรู้โดยงามทิพย์ ภู่โรdon (2550) พบร่องรอยของการเสียหายจากการลดกําชออกซิเจนจะได้รับความนิยม การใช้งานซองดูดซับกําชออกซิเจนควรจะระมัดระวัง ของอาจจะเกิดการแตก/ร้าว ซึ่งอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนระหว่างอาหารและสารดูดซับออกซิเจน เช่น ผงเหล็กปัจจุบันได้มีการพัฒนาฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่มีศักยภาพดูดซับออกซิเจน โดยฟิล์มประเภทดังกล่าว หรือเรียกว่า Multi-layer films มีชั้น (Layer) ที่สามารถดูดซับออกซิเจน เช่น EVOH/OS/CPP⁵ (Zerdin et al., 2003) เพื่อลดปัญหาการปนเปื้อนดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ฟิล์มดูดซับออกซิเจนอาจจะมีข้อจำกัดด้านความแข็งแรงหรือคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ เช่น การยึดตัว เนื่องจากมีองค์ประกอบของระบบดูดซับออกซิเจน

จากการตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่าวิธีการดังกล่าวยังไม่มีการศึกษาอย่างเป็นระบบในการนำหลักการ MAP ทั้งการพ่นกําชและหรือระบบ Active oxygen scavenging มาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเชอร์อบแห้งซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารและมูลค่าทางการตลาดที่สูง ดังนั้น การวิจัยนี้จึงเป็นแนวการพัฒนาและต่อยอดองค์ความรู้การบรรจุสำหรับมะเขือเทศเชอร์อบแห้ง

⁵ EVOH, OS และ CPP เป็นอักษรย่อที่บอกร่องกําชที่ประกอบของฟิล์มพลาสติกหลายชั้น (Multi-layer film) ซึ่งประกอบด้วย ชั้น Ethylene-vinyl alcohol copolymer, ชั้น Proprietary oxygen scavenging layer และ ชั้น Cast Polypropylene

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านเคมี กายภาพและจุลินทรีย์ รวมทั้งอายุการเก็บรักษา มะเขือเทศเชอร์อับแห้งภายใต้ระบบการบรรจุและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่าง ๆ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้ระบบบรรจุ บรรจุภัณฑ์ และสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเชอร์อับแห้ง และมีความเป็นไปได้ที่จะนำเทคโนโลยีการบรรจุที่พัฒนาขึ้นนี้ไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่มีกระบวนการผลิตหรือคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน เช่น เบเกอรี่ หรือผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความซึ้งปานกลาง

1.3.2 เพิ่มศักยภาพแนวทางการผลิต และมูลค่า การตลาดและการส่งออก สำหรับผลิตภัณฑ์ มะเขือเทศเชอร์อับแห้ง

1.3.3 นำผลการวิจัยไปเผยแพร่ต่อผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งมีศักยภาพที่จะนำการวิจัยไปสู่เชิงพาณิชย์ เช่น ผู้ประกอบการขนาดเบี้ยงและอาหารว่าง ที่มีเครื่องมือการบรรจุที่พร้อมจะดำเนินการปรับใช้ให้สอดคล้องกับระบบการบรรจุที่มีการพัฒนาขึ้นจากข้อเสนอการวิจัยนี้

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

การวิจัยจะดำเนินการเลือกชนิดระบบบรรจยากราดตัดแปรที่เหมาะสมกับการบรรจุ มะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุในถุงของประเภท PET/Metallized PET/LLDPE ที่ทำการเก็บรักษา ณ สภาวะ อุณหภูมิห้องและห้องเย็น การเลือกรอบดังกล่าวใช้การวิเคราะห์ 2 แบบคือ

1.4.1 เชิงปริมาณ เช่น การวิเคราะห์โลโคพิน และสารคุณภาพทางเคมี-กายภาพอื่น ๆ

1.4.2 เชิงคุณภาพ เช่น การทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์ภายใต้การบรรจุแบบต่าง ๆ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะเขือเทศเชอร์รี่

มะเขือเทศจัดเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากได้รับความนิยมในการบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั่วไปในประเทศไทยและต่างประเทศ อิกหั้งมะเขือเทศยังอุดมไปด้วยสารอาหารที่สำคัญ การบริโภคมะเขือเทศนิยมบริโภคหั้งแบบผลสดและแปรรูป เช่น น้ำมะเขือเทศ ซอสมะเขือเทศ และมะเขือเทศอบแห้ง เป็นต้น มะเขือเทศมีถิ่นกำเนิดในบริเวณแถบอเมริกาใต้ โดยเฉพาะแถบประเทศไทยและชิลี มะเขือเทศ (Tomato) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lycopersicum Esculentum* Mill. จัดอยู่ในพืชترรากุล Solanaceae ตระกูลเดียวกับพืชจำพวกพริก ยาสูบ มะเขือ และมันฝรั่ง ลักษณะของมะเขือเทศมีตั้งแต่ผลกลมไปจนถึงผลรี สีของผลมีตั้งแต่สีเหลืองจนถึงสีแดงเข้ม และมีขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ ขั้นอยู่กับสายพันธุ์ (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2531; โครงการสร้างเงินสร้างงาน, 2549) ในการศึกษานี้ เลือกใช้มะเขือเทศพันธุ์เชอร์รี่ เนื่องจากมะเขือเทศเชอร์รี่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ซึ่งจะได้นำเสนอต่อไป ตลอดจนเป็นโครงการต่อเนื่องจากการพัฒนามะเขือเทศเชอร์รี่อบแห้ง

มะเขือเทศเชอร์รี่ (Cherry tomatoes; *Lycopersicum Esculentum*) (ภาพที่ 2.1) มีลักษณะผลของมะเขือเทศเชอร์รี่จัดอยู่ในประเภทเบอร์รี่ (Berry) ซึ่งมีความแตกต่างจากมะเขือเทศผลใหญ่ที่มีรูปร่างลักษณะต่าง ๆ เช่น กลม กลมแบน กลมยาว หรือเป็นเหลี่ยม (นุชรัตน์ แก้วมาตย์ และจินตนา นาสิงห์ ทอง, 2551) มะเขือเทศเชอร์รี่มีคุณค่าทางอาหารที่สำคัญคือ ไลโคพีน (Lycopene) ที่ทำให้เกิดสีแดง วิตามินซี (Ascorbic acid) สารฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) และสารอื่น ๆ ที่สำคัญ เช่น แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) (Guti-Guerrero and Rebollos-Fuentes, 2009; Friedman, 2004; George et al., 2004; Chang et al., 2006) โดยสารต้านอนุมูลอิสระนี้มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ เช่น ช่วยในการสังเคราะห์คอลลาเจน (Collagen) ซึ่งเป็นสารที่จำเป็นในการสร้างกระดูก อวัยวะ ผิวหนัง และเนื้อเยื่อ ช่วยกระตุ้นการสร้างฮีโมโกลบิน ช่วยป้องกันและสร้างภูมิต้านทานโรค เช่น โรคมะเร็ง (ธรรมรัตน์ รุ่งสังข์, 2551) ตลอดช่วยป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจ (Cook and Samman, 1996)



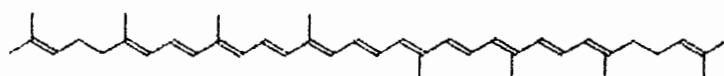
ภาพที่ 2.1 มะเขือเทศเชอร์ (Cherry tomatoes; *Lycopersicum Esculentum*)

ที่มา: Maki (2009)

2.2 สารอาหารที่สำคัญในมะเขือเทศเชอร์

2.2.1 ไลโคพีน (Lycopene)

สารไลโคพีน ($C_{40}H_{56}$) (ภาพที่ 2.2) จัดอยู่ในกลุ่มของแครอทีนอยด์ (Carotenoid) โดยไลโคพีนพบมากในพืชที่มีสีเหลือง ส้ม และส้มแดง เช่น มะเขือเทศ แตงโม มะละกอ เชอร์ เป็นต้น ตารางที่ 2.1 ได้สรุปปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศสายพันธุ์ต่าง ๆ พบร่วงดับไลโคพีนในมะเขือเทศ เชอร์มีแนวโน้มสูงกว่ามะเขือเทศสายพันธุ์อื่น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงคุณค่าทางโภชนาการที่สูงของมะเขือเทศเชอร์ (George et al, 2004) นอกจากนี้ ยังพบว่าไลโคพีนในเปลือกมีปริมาณสูงกว่าในเนื้อมะเขือเทศ โดยปริมาณไลโคพีนในเปลือกมีค่าอยู่ในช่วง $4.83 - 14.1 \text{ mg}/100\text{g}$ ส่วนไลโคพีนในเนื้อมีค่าอยู่ในช่วง $2.04 - 6.94 \text{ mg}/100\text{g}$ ไลโคพีนมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในไขมันและตัวทำละลายอินทรีย์ แครอทีนอยด์แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มที่มีออกซิเจนในไม่เลกุล โดยไลโคพีนจัดอยู่ในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน (นิธิยา รัตนานนท์, 2545)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของไลโคพีน ($C_{40}H_{56}$)

ที่มา: เยาวภา สิริวัฒนานุกูล (2545)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศสายพันธุ์ต่าง ๆ

สายพันธุ์มะเขือเทศ	ปริมาณสารไลโคพีน (mg/100g; wet basis)	
	ส่วนเปลือก	ส่วนเนื้อ
มะเขือเทศเชอร์รี่พันธุ์ 818	14.1	6.94
มะเขือเทศเชอร์รี่พันธุ์ BR-124	10.2	4.89
มะเขือเทศเชอร์รี่พันธุ์ T56	12	3.78
มะเขือเทศพันธุ์ DT-2	8.1	5.22
มะเขือเทศพันธุ์ 5656	10.7	4.5
มะเขือเทศพันธุ์ 7711	8.97	4.37
มะเขือเทศพันธุ์ Rasmi	10.8	4.3
มะเขือเทศพันธุ์ Pusa Gaurav	10.2	3.98
มะเขือเทศพันธุ์ DTH-7	4.83	2.73
มะเขือเทศพันธุ์ FA-180	7.58	2.48
มะเขือเทศพันธุ์ R-144	6.24	2.04
มะเขือเทศพันธุ์ FA-574	6.12	2.18

ที่มา: George et al. (2004)

ไลโคพีนมีแนวโน้มที่จะเกิดการเสื่อมเสียได้ง่ายจากปัจจัยหลายประเภท เช่น กระบวนการผลิต (นิธิยา รัตนาปนท., 2545; เยาวภา สิริวัฒนาณกุล, 2545) และสภาวะแวดล้อมในระหว่างการเก็บรักษา (เยาวภา สิริวัฒนาณกุล, 2545) จากงานวิจัยของ Muratore et al. (2008) พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการทำแห้งมะเขือเทศเชอร์รี่มีผลต่อปริมาณของไลโคพีน โดยปริมาณไลโคพีนจะลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงและใช้เวลาในการทำแห้งนาน ในขณะที่งานวิจัยของ Sahlin et al. (2004) กล่าวว่ากระบวนการแปรรูปมีผลต่อปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศ โดยมะเขือเทศที่ผ่านการอบและการต้มจะมีปริมาณไลโคพีนสูงกว่าการทำทอต เนื่องจากการทอตเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูงรวมทั้งมีน้ำมัน ซึ่งไลโคพีนละลายได้ในน้ำมันจะทำให้เกิดการสูญเสียมากกว่า

อย่างไรก็ตาม การสูญเสียของไลโคพีนก็ยังคงเกิดขึ้นได้เนื่องจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น แสง ความร้อน และกรด จากรายงานวิจัยของเยาวภา สิริวัฒนาณกุล (2545) รายงานว่าปริมาณไลโคพีนใน

น่าสนใจในการทำการแปรรูปนอกเหนือจากการรับประทานสดในลักษณะเนื้องจากวิตามินซีสูงกว่ามะเขือเทศทั่วไป รวมทั้งมีสารอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อร่างกายมнѹжy

ตารางที่ 2.2 ปริมาณวิตามินซีในมะเขือเทศสายพันธุ์ต่าง ๆ

สายพันธุ์มะเขือเทศ	ปริมาณวิตามินซี		
	(mg/100g; wet basis)	ส่วนเปลือก	ส่วนเนื้อ
มะเขือเทศเชอร์รี่พันธุ์ 818	56	32.4	
มะเขือเทศเชอร์รี่พันธุ์ BR-124	40.6	29	
มะเขือเทศเชอร์รี่พันธุ์ T56	50.8	28.6	
มะเขือเทศพันธุ์ DT-2	25.9	15.2	
มะเขือเทศพันธุ์ 5656	20.1	13.4	
มะเขือเทศพันธุ์ 7711	17.2	12.7	
มะเขือเทศพันธุ์ Rasmi	42	14.8	
มะเขือเทศพันธุ์ Pusa Gaurav	13.4	9.2	
มะเขือเทศพันธุ์ DTH-7	24	10.7	
มะเขือเทศพันธุ์ FA-180	45.5	9.4	
มะเขือเทศพันธุ์ R-144	8.55	30.4	
มะเขือเทศพันธุ์ FA-574	9.4	8.4	

ที่มา: George et al. (2004)

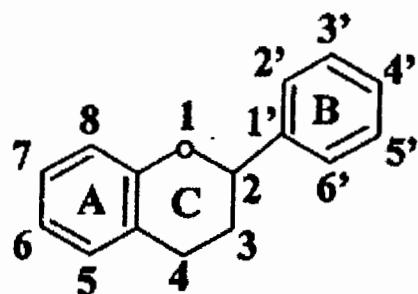
วิตามินซีมีแนวโน้มเกิดการสูญเสียได้ง่ายในระหว่างการแปรรูป โดยมีปัจจัยที่สำคัญคือแสงและอุณหภูมิ ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาระหว่างวิตามินซีและปัจจัยเหล่านี้ ส่งผลให้วิตามินซีเกิดการเสื่อมลาย นอกจากนี้ ก้าชอกอกชิเงนยังเป็นอีกปัจจัยที่มีผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่นำไปสู่การเสื่อมลายของวิตามินซี นอกจากนี้ การสูญเสียวิตามินซีอาจเกิดจากการใช้สารละลายประเภทด่าง การล้างหรือการแช่ และการปรุงอาหาร เช่น การต้มสุก (ธรรมรัตน์ รุ่งสังข์, 2551) จากงานวิจัยของ Georg et al. (2011) พบว่าวิตามินซีในมะเขือเทศมีแนวโน้มเกิดการสูญเสียสูงมากในระหว่างการแปรรูป

โดยวิตามินซีในมะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อนปริมาณวิตามินซีลดลงประมาณ 80% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณวิตามินซีในมะเขือเทศผลสด วิตามินซีอาจเกิดการสูญเสียได้ในระหว่างกระบวนการบรรจุและเก็บรักษา Muratore et al. (2005) รายงานว่าวิตามินซีในมะเขือเทศพลัมผลสด (Plum tomato) เมื่อเก็บรักษาที่ 15°C มีแนวโน้มเกิดการเสื่อมถลายได้ง่ายในบรรจุภัณฑ์ประเภท Polyolefin (ซึ่อเรียกรวมของฟิล์ม Polyethylene และ Polypropylene) ซึ่งมีสาเหตุจากการที่ฟิล์มดังกล่าวยอมให้ก๊าซออกซิเจนซึ่งผ่านฟิล์มเข้ามาในบรรจุภัณฑ์ได้ง่ายจึงเกิดการสะสมของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ส่งผลให้เกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างก๊าซออกซิเจนและวิตามินซี ซึ่งนำไปสู่การเสื่อมถลายของวิตามินซีได้ง่าย ในขณะที่อัตราการเสื่อมถลายเกิดขึ้นได้ช้าในฟิล์มที่มีองค์ประกอบของ PET ซึ่งมีคุณสมบัติต้านการซึมผ่านออกซิเจนได้สูง (High oxygen barrier property) Zerdin et al. (2003) รายงานว่าปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มซึ่งบรรจุในถุงฟิล์มซึ่งมีระบบตัดซับออกซิเจน (Oxygen scavenging: OS) ลดลงประมาณ 20% เมื่อเปรียบเทียบกับการลดลงของวิตามินซีในถุงฟิล์ม EVOH/CPP ที่สูงเกือบ 30% ในการเก็บรักษา 3 วัน ณ อุณหภูมิ 25°C ซึ่งผลการศึกษาของ Zerdin et al. (2003) แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบ OS ในการจำกัดออกซิเจนและชะลอการสูญเสียวิตามินซี นอกจากนี้ Zerdin et al. (2003) รายงานว่าการสูญเสียของปริมาณวิตามินซีสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของสีน้ำตาลในน้ำผลไม้ เพราะวิตามินซีเป็นสารต้านการเกิดสีน้ำตาลที่สำคัญ (Anti-browning agent) โดยที่การเกิดสีน้ำตาลในน้ำส้มที่บรรจุในถุงฟิล์ม OS มีแนวโน้มการเกิดสีน้ำตาลต่ำสุด

ในปัจจุบันงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการสูญเสียของวิตามินซีในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ อบแห้งในสภาวะการบรรจุต่าง ๆ ยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควร จึงควรที่จะมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของบรรจุภัณฑ์ที่เก็บรักษามะเขือเทศอบแห้ง ซึ่งบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษามะเขือเทศเช่น อบแห้งควรที่จะมีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนที่ดี มีอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่เหมาะสม รวมทั้งควรมีการป้องกันไม่ให้แสงส่องผ่านได้ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีในมะเขือเทศ

2.2.3 สารฟลาโวนอยด์ (Flavonoid)

ฟลาโวนอยด์เป็นกลุ่มของรงค์วัตถุที่พบในพืชที่มีสีเหลือง ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทไกโลไซด์ (Glycoside) ซึ่งไกโลไซด์เป็นสารประกอบอนทรีบิกลุ่มสำคัญกลุ่มนี้ สามารถพบได้จาก การสกัดพืชชั้นสูง มีโครงสร้างประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นน้ำตาลเรียกว่าไกโลโคเจน จับกับส่วนที่ไม่ใช่น้ำตาล เรียกว่าอะไกโลคอนหรือจีนิน (ภาพที่ 2.3) ไกโลไซด์ส่วนใหญ่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ สามารถนำมาใช้เป็นยา.rกษาโรคได้อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นยา.rกษาโรคมะเร็ง บำบัดอาการหัวใจเต้นผิดปกติ ใช้เป็นยาระบาย หรือนำมาใช้ในเครื่องสำอาง เป็นต้น ซึ่งฤทธิ์ทางเคมีที่สำคัญของไกโลไซด์ขึ้นอยู่กับส่วนของไกโลคอนเป็นส่วนใหญ่ (พรหมัย กันแก้ว, 2556)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของ flavonoid

ที่มา: Cook and Samman (1996)

flavonoid เป็นสารที่มีความคงทนต่อความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าแอนโทไซยานิน แต่เปลี่ยนสีได้ง่ายเมื่อรวมกับโลหะ flavonoid เป็นสารตั้งต้นที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่มีoenone เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พืชส่วนใหญ่มี flavonoid เป็นส่วนประกอบ โดยเฉพาะ flavonol เช่น เคอร์เชติน (Quercetin) และแคมพ์ฟีโรลไกลโคไซด์ (Kaempferol glycosides) (นิจิยา รัตนานันท์, 2545) flavonoid พูบมากในผลไม้ ผัก ถั่ว เมล็ด ดอกไม้ และเปลือกไม้ เช่น ชา หัวหอม แอปเปิล ไวน์แดง เป็นต้น (Cook and Samman, 1996)

ประโยชน์ของ flavonoid คือเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) โดยจะไปยับยั้ง Lipid peroxidation ในขั้นตอนแรกของการเกิดออกซิเดชัน (Initiation stage) โดยการไปจับกับ Superoxide anions และ hydroxyl radicals ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของ Low density lipoproteins (LDL) และยับยั้งการเกาะตัวกันของเกล็ดเลือดซึ่งช่วยแก้ปัญหารोคลอดเลือดหัวใจ (Cook and Samman, 1996) นอกจากนี้ flavonoid เป็นตัวยับยั้งเอ็นไซม์ เป็นตัวกันแสงเพราะ flavonoid ค่อนข้างคงตัวในช่วงความยาวคลื่นวิสิเบิล (Visible) และอุลตราร้าวiolet (Ultraviolet) (พัชราภรณ์ พิมพ์จันทร์ และลัดดาวลัย จำเริญพัฒนา, 2547)

ตารางที่ 2.3 เป็นการแสดงปริมาณ flavonoid ทั้งหมดในมะเขือเทศอบแห้ง โดยพบว่า มะเขือเทศสายพันธุ์ Sheng-Neu tomato และ I-Tien-Hung tomato จะมีปริมาณของ flavonoid ทั้งหมดเพิ่มมากขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการอบแห้ง เนื่องจากชนิดของ flavonoid ส่วนใหญ่ในเปลือกของมะเขือเทศคือ Chalcone naringenin และ Rutin flavonol และ Quercetin glycoside Chang et al, (2006) อธิบายว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณ flavonoid ทั้งหมดนี้ อาจเกิดจากปฏิกิริยา ชีวเคมีที่บริเวณเนื้อและเปลือกของมะเขือเทศระหว่างกระบวนการทำแห้ง ในขณะที่ Toor and Savage (2006) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ flavonoid ทั้งหมดในมะเขือเทศพันธุ์ Excell, Tradiro และ Flavourine (ตารางที่ 2.3) พบว่าปริมาณของ flavonoid จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งแบบ Semi-drying ซึ่ง Toor and

Savage (2006) กล่าวว่าปริมาณฟลาโวนอยด์ลดลงประมาณ 10–15% โดยเฉพาะในมะเขือเทศพันธุ์ Excell ซึ่งการลดลงนี้อาจเกิดเนื่องจาก Flavonoid glycosides ถูกไฮโดรไลส์ (Hydrolysis) ยังไม่มีรายงานการศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์และ/หรือการเปลี่ยนแปลงฟลาโวนอยด์ในมะเขือเทศเชอร์อบแห้ง

ตารางที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของมะเขือเทศสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่ผ่านการอบแห้ง

มะเขือเทศ	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	
	ผลสด	อบแห้ง
Sheng-Neu tomato ¹	4.7 ± 0.1	8.9 ± 0.7
I-Tien-Hung tomato ¹	5.6 ± 0.3	8.4 ± 0.2
Excell ²	210 ± 7.2	179 ± 9.6
Tradiro ²	211 ± 10.7	183 ± 7.6
Flavourine ²	197 ± 13.6	176 ± 7.0

¹ mg (+)-catechin equivalents/100 g dry tomato โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งคือ 80 °C

2 ชั่วโมง และ 60 °C 6 ชั่วโมง

² mg rutin eq/100 g dry matter โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งคือ 42 °C 18 ชั่วโมง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Chang et al. (2006); Toor and Savage (2006)

2.2.4 สารอีน ๆ

สารสำคัญในมะเขือเทศนอกจากที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ยังมีสารอีน ๆ เช่น พีโนลิก (phenolic) (George et al., 2004; George et al., 2011; Chang et al., 2006; Serrano et al., 2008) ซึ่งพีโนลิกถือว่าเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็น Antioxidant สารพีโนลิกมีประโยชน์ต่อสุขภาพในการลดความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจในมนุษย์ (George et al., 2004) นอกจากนี้ มะเขือเทศยังประกอบไปด้วยสารสำคัญอีน ๆ เช่น Violaxanthin, Neoxanthin, Lutein, Zeaxanthin, α -cryptoxanthin, β -cryptoxanthin, α -carotene, β -carotene, γ -carotene, ζ -carotene, neurosporene, phytoene, phytofluene, cyclolycopene รวมทั้งโปรดีน การนำไปใช้เดรต ไขมัน ไขอาหาร และเก้า เป็นต้น ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากต่อร่างกายมนุษย์ (Guil-Guerrero and Rebollos-Fuentes, 2009)

2.3 การเสื่อมเสียสำคัญของมะเขือเทศเรื้อรังแห้ง

การทำแห้งเป็นกระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่นิยมมากวิธีหนึ่ง ซึ่งสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและยังเป็นวิธีการรักษาคุณค่าทางอาหารของมะเขือเทศเรื้อรัง ในระหว่างกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเรื้อรังแห้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกลีนรส สี สารสำคัญต่าง ๆ และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ได้ (Heredia et al., 2007) ถ้าใช้อุณหภูมิในการอบสูงหรือเวลานานจะส่งผลให้กลีนรส สี และสารสำคัญของมะเขือเทศลดลงได้ (Heredia et al., 2007) รวมทั้งการเก็บในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น เก็บในสภาวะที่มีความชื้นสูง ซึ่งทำให้ความชื้นของผู้บริโภคลดลงได้

จากที่กล่าวไว้ในข้อ 2.2 ซึ่งเป็นสารสำคัญต่าง ๆ ในมะเขือเทศเรื้อรัง โดยพบร่วมกับสารเหล่านี้ล้วนเป็นส่วนสำคัญของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ จากรายงานของ Toor and Savage (2006) พบว่าการสูญเสียไลโคพินในระหว่างการแปรรูปมะเขือเทศเกิดเนื่องจากอุณหภูมิ แสง ออกซิเจนและโลหะหนักบางชนิดซึ่งล้วนแล้วแต่มีผลต่อการเกิดไอโซเมอร์ไรเซชัน (Isomerisation) และปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่วนวิตามินซีจะเกิดการสูญเสียได้เนื่องจากแสง ออกซิเจน ความร้อนและเอนไซม์

นอกเหนือจากการเสื่อมเสียสารต้านอนุมูลอิสระของมะเขือเทศอบแห้ง พบร่วมความชื้นของตัวผลิตภัณฑ์เป็นสาเหตุการเสื่อมเสียที่สำคัญ เนื่องจากมะเขือเทศอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีระดับความชื้นปานกลาง (Semi-dried product) ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ประมาณร้อยละ 19% w/w dried basis (Toor and Savage, 2006) ซึ่งผลิตภัณฑ์อาจมีแนวโน้มเกิดการเสื่อมเสียได้ เนื่องจากเชื้อจุลทรรศน์ เช่น เชื้อยีสต์และรา ส่งผลต่อคุณภาพมะเขือเทศอบแห้ง (May and Fickak, 2003) มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ฉบับที่ 1471 (พ.ศ. 2550) หรือ มพช.136/2550 กำหนดให้เชื้อจุลทรรศน์ทั้งหมดต้องน้อยกว่า 1×10^6 โคลoniต่อกรัม และยีสต์ต้องไม่เกิน 1×10^4 โคลoniต่อตัวอย่าง 1 กรัม และราต้องไม่เกิน 500 โคลoniต่อกรัม

ถึงแม้ว่าการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ลงสามารถชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลทรรศน์ได้ แต่ในกรณีของมะเขือเทศอบแห้งนั้นพบว่าหากมีการลดความชื้นลงมากอาจส่งผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผสของผลิตภัณฑ์ เช่น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสแข็งกระด้างและหยาบ (Heredia et al., 2007) ซึ่งคุณภาพดังกล่าวไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์มะเขือเทศอบแห้งมีแนวโน้มสูญเสียความชื้นจากตัวผลิตภัณฑ์ไปยังสิ่งแวดล้อมที่มีความชื้นที่ต่ำกว่า (Heredia et al., 2007) และนำไปสู่การลดลงของความชื้นในตัวผลิตภัณฑ์และการเสื่อมเสียคุณภาพของเนื้อสัมผัสดังที่กล่าวข้างต้น

2.4 การบรรจุแบบบรรยายการตัดแพรเชิงแอกทีฟสำหรับมะเขือเทศเรื้อรังแห้ง

จากข้อมูลที่ได้รวบรวมในหัวข้อต่าง ๆ ข้างต้น พบร่วมกับอุณหภูมิการเก็บรักษาคงที่การเสื่อมเสียคุณภาพมะเขือเทศเรื้อรังแห้ง เช่น การเสื่อมเสียไลโคพิน วิตามินซี และฟลาโวนอยด์ มี

ความสัมพันธ์กับปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์หรือในสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ผลิตภัณฑ์ (Sharma & Le Mauguer, 1996; Muratore et al., 2005; พัชราภรณ์ พิมพ์จันทร์ และลัดดาวลัย จำเริญพัฒน์, 2547) ดังนั้น ความต้องการด้านการบรรจุภัณฑ์สามารถสรุปในเบื้องต้นคือ วัสดุบรรจุต้องมีคุณสมบัติต้านทานการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และ/หรือในบรรจุภัณฑ์ควรมีระบบกำจัดออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้ วัสดุบรรจุควรมีความสามารถในการป้องกันแสง เพราะแสง มีผลต่อการเสื่อมสภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น ไลโคพีน ซึ่งเมื่อทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จะสูญเสียเชื้อเพลิงไว้ในชุดใส่ทำให้ปริมาณไลโคพีนลดลง (เยาวภา สิริวัฒนา奴กุล, 2545)

ระบบการบรรจุซึ่งสามารถกำจัดออกซิเจนจัดเป็นระบบการบรรจุเชิงแอคทีฟ (Active Packaging System: APS) นอกจากระบบกำจัดออกซิเจนยังมีระบบอื่น ๆ เช่น ระบบกำจัดไอน้ำ ระบบกำจัดเอทิลีน และระบบปล่อยไօรэเหยอเทานอล ขณะการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (งามทิพย์ ภู่วรวิตร, 2550; Brody et al., 2002) Charles et al. (2003) กล่าวว่าระบบการบรรจุซึ่ง มีองค์ประกอบของบรรจุภัณฑ์แยกต่างจากอาหารปกติ เช่น O_2 10%, CO_2 5% หรือ O_2 ~0% จัดเป็นระบบการบรรจุแบบบรรจุภัณฑ์ดักแปร (Modified Atmosphere Packaging: MAP) โดยนิยมใช้กับการบรรจุผลิตภัณฑ์ภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งมีช่องว่างหรือบรรจุภัณฑ์ (Package headspace) เมื่อมีการนำระบบ APS มาใช้ร่วมกับระบบ MAP จะสามารถเรียกโดยรวมว่า ระบบ Active MAP เช่นการใช้ช่องดูดซับ O_2 ในถุงพลาสติกบรรจุภัณฑ์ ซึ่งเป็นผลให้อัตราการหายใจของมะเขือเทศลดลง (Charles et al., 2003) เมื่อพิจารณาระบบ Active MAP ซึ่งมีองค์ประกอบของ ช่องดูดซับออกซิเจน พบว่ามันจะเป็นระบบการบรรจุที่มีศักยภาพในการยืดอายุมะเขือเทศเชื่อมต่อแน่นหนา อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานการศึกษาระบบ Active MAP ดังกล่าวกับมะเขือเทศเชื่อมต่อแน่นหนา ดังนั้น การตรวจสอบสารจึงขอนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้วยการใช้ประโยชน์ระบบกำจัดออกซิเจนและ บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้ระบบดูดซับออกซิเจน

Mexis and Kontominas (2010) ได้ทำการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซในวัสดุ บรรจุ PET/LDPE และ LDPE/EVOH/LDPE พบว่าความเข้มข้นของออกซิเจนของบรรจุภัณฑ์เมล็ด อัลมอนล์ในบรรจุภัณฑ์ LDPE/EVOH/LDPE มีค่าต่ำกว่า PET/LDPE เพราะฟิล์ม LDPE/EVOH/LDPE นั้นสามารถต้านการซึมผ่านออกซิเจนสูงมาก โดยออกซิเจนสามารถซึมผ่านได้เพียง $2 \text{ ml} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$ ในขณะที่วัสดุบรรจุ PET/LDPE ออกซิเจนสามารถซึมผ่านได้ถึง $103 \text{ ml} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$ (Mexis and Kontominas, 2010) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Mexis et al. (2009) ได้ทำการทดสอบคุณภาพของผลวอลนัต (Walnut) ที่บรรจุใน (1) ถุง LDPE และเก็บในสภาวะอากาศ ปกติ (2) ถุง PET/PE ซึ่งมีการพ่นก๊าซในໂຕเรجن (N_2 Flushing) และ (3) ถุง PET/Silicon Oxide (SiOx)/PE บรรจุแบบมีก๊าซในໂຕเรجن พบว่าผู้บริโภคยังสามารถยอมรับคุณภาพของผลวอลนัตที่เก็บ

๗๗๑๐๖๔๖

รักษาเป็นเวลา 2, 5 และ 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 20°C ตามลำดับของทุกชนิดระบบบรรจุภัณฑ์ วัสดุบรรจุ PET/SiOx/PE จะมีความเข้มข้นของออกซิเจนที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ต่ำกว่า เพราะมีความสามารถในการต้านออกซิเจนสูง Novotni et al. (2011) ได้ทำการทดสอบความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซในวัสดุบรรจุภัณฑ์ชนิดปั๊มที่เก็บรักษาในอุณหภูมิ 18°C เป็นเวลา 22 วัน ซึ่งวัสดุบรรจุที่ใช้ในการทดสอบคือ (1) High Density Polyethylene (HDPE) และ (2) PET-PE/EVOH/PE พบว่าปริมาณฟืนอลลิกของชนิดปั๊มที่เก็บรักษาในถุง PET-PE/EVOH/PE จะลดลงน้อยกว่าที่เก็บในถุง HDPE เพราะภายนอกบรรจุภัณฑ์ PET-PE/EVOH/PE จะมีความเข้มข้นของออกซิเจนที่น้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ HDPE จากที่กล่าวสรุปข้างต้นแสดงให้ทราบว่าบรรจุภัณฑ์ที่มีความสามารถในการต้านการซึมผ่านออกซิเจน มีความจำเป็นสำหรับผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ไม่ต้องการเปลี่ยนแปลงเมื่อสัมผัสกับออกซิเจน

นอกเหนือจากการใช้วัสดุบรรจุซึ่งมีความสามารถต้านการซึมผ่านออกซิเจนได้สูง ข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงให้ทราบว่าวัตถุหรือของดูดซับออกซิเจน (Oxygen scavenging sachet) มีความสามารถในการช่วยการเสื่อมเสียอาหารได้ ยังไม่มีรายงานการศึกษาการใช้ของดูดซับออกซิเจน กับการบรรจุภัณฑ์เชือเทศหรืออบแห้ง Silva et al. (2004) ได้ศึกษาระบบการบรรจุภัณฑ์ร่องแพนทอด ด้วยการบรรจุแบบพ่นก๊าซในไตรเจน (Nitrogen flushing) การบรรจุแบบสูญญากาศ (Vacuum packaging) และการบรรจุโดยใช้ของดูดซับออกซิเจน (Oxygen absorber) พบว่าระบบการบรรจุทั้งสามประเภทนี้สามารถลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน และระบบการบรรจุทั้งสามช่วยป้องกันการสูญเสีย Polyunsaturated fatty acids ในผลิตภัณฑ์ มันฝรั่งแผ่นทอดกรองได้ ตลอดจนลดการเสื่อมเสียของอาหารในเรื่องของการเปลี่ยนสี กลิ่น (off-flavor) และสามารถยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ได้ (Silva et al., 2004) เมื่อพิจารณา ระบบทั้งสาม พบว่าระบบการพ่นก๊าซอาจเหมาะสมกับสินค้าที่มีราคาสูงเนื่องจากราคาต้นทุนของก๊าซในไตรเจน ในขณะที่การบรรจุแบบสูญญากาศทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนรูปได้ (แตกหักเสียหาย) ส่วนการบรรจุโดยใช้วัตถุดูดออกซิเจนสามารถทำได้ง่าย โดยการบรรจุร่วมกับผลิตภัณฑ์ลงไปในบรรจุภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ไม่ต้องเสียการแตกหักเสียหาย อย่างไรก็ตาม ผู้ประกอบการต้องแนะนำผู้บริโภค เพราะผู้บริโภคอาจเกิดความเข้าใจผิดว่าวัตถุดูดออกซิเจนสามารถรับประทานได้หรือเป็นส่วนปรุงรสของมันฝรั่ง (Silva et al., 2004)

นิภาวรรณ ศิริวงศ์ และ อรุณช หวังแอบกลาง (2553) พบว่าบรรจุภัณฑ์ที่ใส่ของดูดซับออกซิเจน จะมีความเข้มข้นของออกซิเจนในบรรยากาศที่ต่ำกว่าบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ใส่ของ เมื่อทำการทดสอบเป็นเวลา 90 วัน ณ อุณหภูมิห้อง ขึ้นอยู่กับชนิดของบรรจุภัณฑ์ โดยบรรจุภัณฑ์ PET/metallized PET/LLDPE (หรือเรียกว่าบรรจุภัณฑ์เมทัลไลซ์) มีความเหมาะสมที่จะใช้กับของดูดซับออกซิเจน เพราะป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนและไอน้ำได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับถุง PP ที่ยอมให้ออกซิเจน

ซึ่มผ่านได้ง่าย นอกจานี้ ค่าการเกิดกลิ่นทีน (Peroxide Value: PV) ของผลิตภัณฑ์กลัวเบรกแตก (กลัวสุกหดกรอบ) ซึ่งบรรจุในบรรจุภัณฑ์เมทัลไลซ์ฟิล์มที่บรรจุของดูดซับออกซิเจน มีค่า PV ต่ำที่สุด (ทำการทดสอบเป็นเวลา 90 วัน ที่ อุณหภูมิห้อง) เมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์เมทัลไลซ์ฟิล์มที่ไม่ใช่ของดูดซับออกซิเจน และ ฟิล์ม PP ที่ใส่แล้ว/หรือไม่ใส่ของดูดซับออกซิเจน ดังนั้น จึงแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของของเมทัลไลซ์ฟิล์มมีความสามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนได้ดี และมีคุณสมบัติในการป้องกันแสงซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจานี้ วัตถุดูดซับออกซิเจนยังดูดซับออกซิเจนที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ จึงทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ลดลงจนเกือบเป็นศูนย์ นอกจานี้ ความชื้นและค่า O_2 ของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา (ทำการทดสอบเป็นเวลา 90 วัน ณ อุณหภูมิห้อง) โดยที่กลัวเบรกแตกในบรรจุภัณฑ์เมทัลไลซ์ฟิล์มจะมีปริมาณความชื้นและค่า O_2 ต่ำกว่าบรรจุภัณฑ์ PP แต่ผลของของดูดซับออกซิเจนต่อคุณสมบัติถังกล่าวไม่ชัดเจน

กฤติกา สิงห์สุข และ กมลชนก คำแผ่น (2553) รายงานว่าการใช้ของดูดซับออกซิเจนร่วมกับถุง เมทัลไลซ์ (PET/mPET/LLDPE) ในการบรรจุหมูสวาร์ค (หมูตากแห้งทอด) สามารถลดความเข้มข้นของออกซิเจนให้อยู่ในระดับที่ต่ำมากคืออยู่ในระดับ ~0.02% (v/v) ตลอดอายุการเก็บรักษา 90 วัน ที่ อุณหภูมิห้อง โดยระดับความเข้มข้นดังกล่าวต่ำกว่าระบบการบรรจุแบบปกติ หรือถุง PP ที่บรรจุของดูดซับออกซิเจน เมื่อเปรียบเทียบที่จำนวนของดูดซับออกซิเจน พบร่วงเมทัลไลซ์ที่ใส่ของดูดซับออกซิเจน 1 ซองมีประสิทธิภาพในการลดการสะสมออกซิเจนในบรรยายการบรรจุภัณฑ์ได้ใกล้เคียงกับ การใช้ของดูดซับออกซิเจน 2 ซอง ส่วนค่าเกิดกลิ่นทีน (Rancidity) โดยวิเคราะห์จากค่า TBA (Thiobarbituric acid) จากงานวิจัยพบว่าค่า TBA ของหมูสวาร์คที่บรรจุในถุง PP มีค่าสูงกว่าในถุง เมทัลไลซ์ ณ วันที่ 90 เช่นเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบการใช้และไม่ใช้ของดูดซับออกซิเจนพบว่าหมูสวาร์คที่บรรจุในถุงที่ไม่มีของดูดซับออกซิเจนมีค่าสูงกว่าในถุงที่มีของดูดซับออกซิเจน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของถุงเมทัลไลซ์และถุงดูดซับออกซิเจนว่าสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันของหมูสวาร์คได้

Berenzon and Saguy (1998) พบร่วงการใช้บรรจุภัณฑ์กระป๋องในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์รวมกับการใช้วัตถุดูดซับออกซิเจน พบร่วงปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์จะลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 52 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ใช้วัตถุดูดซับออกซิเจน เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิในการเก็บรักษา (15, 25 และ 35°C) พบร่วงที่ อุณหภูมิสูงอัตราการลดลงของออกซิเจนจะสูง ดังนั้น ที่ อุณหภูมิ 35°C จึงมีความเข้มข้นของออกซิเจนน้อยที่สุด นอกจานี้ ยังได้รายงานว่าไօรະเหย Hexanal ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของการวัดกลิ่นทีนในผลิตภัณฑ์อาหารมีค่าต่ำในแครกเกอร์ที่บรรจุในระบบที่มีของดูดซับออกซิเจน

2.5 ซองดูดออกซิเจน (Oxygen absorbing sachet)

ซองดูดซับออกซิเจน (Oxygen absorbing sachet) จัดเป็นรูปแบบที่สำคัญหนึ่งของวัสดุดูดออกซิเจน (Oxygen absorber) ซึ่งมีรูปแบบเป็นซองขนาดเล็ก (Sachet) ซึ่งได้รับความนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เนื่องจากสามารถใช้งานได้สะดวก โดยสามารถใส่ลงในบรรจุภัณฑ์บรรจุอาหารได้เลย วัสดุบรรจุและบรรจุภัณฑ์ที่ใช้กับวัสดุดูดออกซิเจนต้องมีความสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้สูง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัสดุพิล์มหลายชั้น (multi-layer film) ที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Oxygen transmission rate: OTR) ต่ำกว่า $20 \text{ ml} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{atm}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ (Brody et al., 2001) เช่น พิล์มหลายชั้นที่มีองค์ประกอบของ ethylene vinyl alcohol (EVOH), polyvinylidene chloride (PVDC) หรืออะลูมิเนียม (งามทิพย์ ภู่โรม, 2550) ในตารางที่ 2.4 แสดงตัวอย่างของวัสดุดูดออกซิเจนทั้งประเภทซองและพิล์มที่จัดจำหน่ายในทางการค้า

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างวัสดุดูดออกซิเจนทั้งรูปแบบซองขนาดเล็ก พิล์ม และรูปแบบอื่น ๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

Company	Trade name	Type	Principle/Active substances
Mitsubishi Gas Chemical Co., Ltd. (Japan)	Ageless®	Sachets/label s	Iron based
Toppan Printing, Co., Ltd. (Japan)	Freshilizer®	Sachets	Iron based
Toagosei Chem.Ind.Co. (Japan)	Vitalon®	Sachets	Iron based
Nippon Soda Co., Ltd. (Japan)	Seaqul®	Sachets	Iron based
Finetec Co., Ltd. (Japan)	Sanso-cut®	Sachets	Iron based
Toyo Pulp Co. (Japan)	Tamotsu™	Sachets	Catechol
Toyo Seikan Kaisha Ltd. (Japan)	Oxyguard™	Plastic trays	Iron based
Dessicare Ltd. (US)	O-Buster	Sachets	Iron based
Multisorb technologies Inc. (US)	FreshMax® FreshPax®	Labels Sachets	Iron based
Amoco Chemicals (US)	Amosorb®	Plastic film	Unknown

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างวัตถุกุดช์ออกซิเจนทั้งรูปแบบของขนาดเล็ก พิล์ม และรูปแบบอื่น ๆ ที่ใช้ใน
อุตสาหกรรมอาหาร (ต่อ)

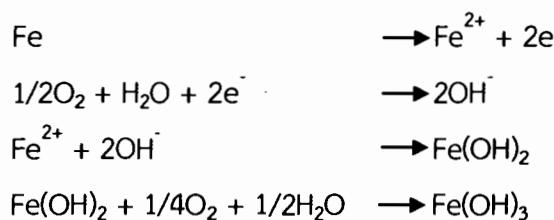
Company	Trade name	Type	Principle/Active substances
Ciba Specialty Chemicals (Switzerland)	Shelfplus™ O ₂	Plastic film	Iron based
W.R and Co. (US). Grace	PureSeal®	Bottle crowns	Ascorbate/metallic salts
CSIRO/Southcorp Packaging (Australia)	Darex® Zero ₂ ™	Bottle crowns Plastic film	Ascorbate/sulphite Photosensitive dye/organic compound
Cryovac Sealed Air Co.(US)	OS1000®/OS20 00®	Plastic film	Light activated scavenger
Stand Industrie (France)	ATCO® Oxycap® ATCO®	Sachets Bottle crowns Labels	Iron based Iron based Iron based
Bioka Ltd. (Finland)	Bioka®	Sachets	Enzyme based

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ahvenainen and Hurme (1997), Vermeiren et al. (1999); Vermeiren et al. (2003)

ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาวัตถุกุดช์ช์บออกซิเจนในรูปแบบของคุณภาพช์บออกซิเจน เนื่องจากสามารถใช้งานได้ง่ายเพียงนำไปใส่ในบรรจุภัณฑ์ร่วมกับผลิตภัณฑ์อาหารก่อนการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ แม้ว่าวัตถุกุดช์ออกซิเจนในรูปแบบของขนาดเล็ก สามารถใช้งานได้ง่าย แต่อาจเสี่ยงต่อการร้าวของซอง และทำให้ผลเหล็กหรือสารเคมีอื่น ๆ ปนเปื้อนกับอาหาร เมื่อรับประทานแล้วเป็นอาจอันตรายต่อสุขภาพได้ ดังนั้น จึงต้องมีการเขียนคำเตือนว่า “ห้ามรับประทาน” หรือ “DO NOT EAT” ไว้ที่ซอง นอกจากนี้ วัตถุกุดช์ออกซิเจนประเภทของขนาดเล็กอาจมีข้อจำกัดเรื่องตำแหน่งการวางซองในบรรจุภัณฑ์ โดยต้องมีการวางซองในตำแหน่งที่สัมผัสอากาศได้ทั่วถึง ส่งผลให้ไม่เหมาะสมกับอาหารบางชนิด โดยเฉพาะเครื่องดื่ม (งามพิพย์ ภู่วโรดม, 2550)

ซองคุณภาพช์บออกซิเจนบรรจุสารเคมีที่ใช้คุณภาพช์บออกซิเจน ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เป็นผงเหล็ก (Iron powder) เป็นตัวคุณภาพช์บออกซิเจน เช่น ซองคุณภาพช์บออกซิเจนที่มีชื่อทางการค้า Ageless® (บริษัท Mitsubishi Gas

Chemical Co. Ltd. ประเทศญี่ปุ่น) โดยกลไกสำคัญของการดูดซับคือการทำปฏิกิริยาระหว่างก๊าซ O₂ และผงเหล็ก โดยมีความชื้นหรือไอน้ำในบรรยากาศเป็นสิ่งกระตุ้น (Rooney, 1995; Floros et al., 1997) เมื่อผงเหล็กได้รับความชื้นจากอาหารจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับก๊าซออกซิเจนเป็นสนิมเหล็ก ตามปฏิกิริยาที่แสดงใน Eq. 0-1



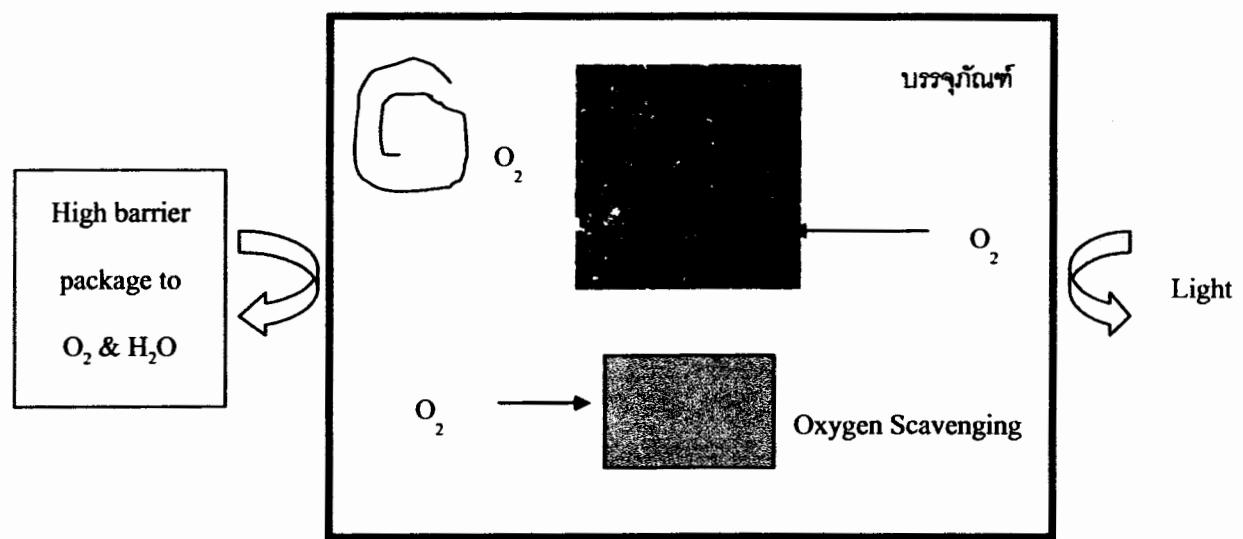
ภายใต้สภาวะที่ปิดผนึกสนิท (Hermetic seals) บริมาณผงเหล็กที่จะใช้นั้นขึ้นอยู่กับระดับก๊าซออกซิเจนเริ่มต้นในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ บริมาณออกซิเจนซึ่งคล้ายในผลิตภัณฑ์อาหาร และอัตราการซึมผ่านพิล์มของก๊าซออกซิเจน ซึ่งโดยทั่วไปผงเหล็ก 1 g สามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนได้ 300 ml และในทางการค้านั้นมีของขนาดเด็กหลายขนาด ที่สามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนตั้งแต่ 20 ถึง 200 ml (Brody et al., 2001) วัตถุดูดก๊าซออกซิเจนประเภทผงเหล็กมีทั้งประเภทที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ทันทีที่สัมผัสกับออกซิเจน (Self-reacting type) เช่น Ageless® Type GLS ซึ่งจะต้องเก็บวัตถุดูดออกซิเจนประเภทนี้ไว้ภายใต้สภาวะออกซิเจนความเข้มข้นต่ำมาก (Low or zero oxygen atmosphere) และอาจมีบางประเภทที่จะไม่มีการดูดออกซิเจนจนกว่าค่า water activity (a_w) จะมีค่าสูงกว่า 0.85 นอกจากนี้ มีวัตถุดูดซับออกซิเจน เช่น Ageless® Type G และ Freshilizer® Type C ที่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาน้ำเพื่อช่วยรักษาความดันภายในบรรจุภัณฑ์ ทำให้ไม่เกิดการบุบตัวหรือเสียรูปทรงของบรรจุภัณฑ์ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นก๊าซ CO₂ อาจช่วยชะลอการเริ่มเติบโตเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์บางประเภทได้

นอกจากผงเหล็กแล้ว สารเคมีดูดซับก๊าซออกซิเจนประเภทอื่น ๆ เช่น Ascorbic acid, Catechol, Glucose oxidase, Ethanol oxidase หรือ Polyunsaturated fatty acid โดยกลไกและการใช้ประโยชน์ทางการค้าของสารเคมีเหล่านี้สามารถหารายละเอียดเพิ่มเติมได้ในเอกสารที่เกี่ยวข้อง (Brody et al., 2001; Vermeiren et al., 2003) นอกจากนี้ มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อนำจุลินทรีย์ประเภท Aerobic microorganisms เช่น *Pichia subpelliculosa* มาประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดูดก๊าซออกซิเจน (Altieri et al., 2004) ยังไม่มีการรายงานการใช้ประโยชน์ในทางการค้า

2.6 สรุปประเด็นสำคัญจากการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มะเขือเทศเชอร์เป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น สารไลโคพีน วิตามินซี และสารฟลาโวนอยด์ เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และจะเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย เมื่อเก็บรักษาในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น เก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง ในบรรยากาศปกติ หรือ สภาวะที่มีแสงสว่าง ดังนั้น จึงมีการถอดความคุณภาพมะเขือเทศ ซึ่งการทำแห้งเป็นแนวทางหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการถอดความคุณภาพ อย่างไรก็ตาม สารสำคัญในมะเขือเทศเชอร์มีแนวโน้มที่จะเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากความร้อนในระหว่างการแปรรูป และการเกิดปฏิกิริยา กับก้าชออกซิเจนในระหว่าง การเก็บรักษา รวมทั้งการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อจุลทรรศน์ เพราะมะเขือเทศเชอร์อบแห้งจัดเป็น ประเภทกึ่งแห้ง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีระดับความชื้นสูง ดังนั้น เพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษาของมะเขือเทศเชอร์ การทำจัดออกซิเจนและ/หรือความชื้นในบรรยากาศรอบ ๆ ผลิตภัณฑ์ จึงมีความสำคัญ ซึ่งพบว่า ระบบการบรรจุแบบบรรจุภัณฑ์ดัดแปลง (Modified Atmosphere Packaging: MAP) ไม่ว่าจะเป็น การบรรจุแบบสูญญากาศ การบรรจุแบบพ่นก้าช การบอนไดออกไซด์ความชื้นสูง หรือการบรรจุแบบบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงแอคทีฟ (Active MAP) มีศักยภาพที่จะใช้กับการเก็บรักษาของมะเขือเทศเชอร์ อบแห้ง โดยในการวิจัยนี้จะได้ดำเนินการศึกษาต่อไป

จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวข้างต้น จึงมีแนวคิดออกแบบจำลองการยึดอายุการเก็บรักษา มะเขือเทศเชอร์อบแห้ง ดังภาพที่ 2.4 โดยแบบจำลองดังกล่าวเป็นการจำลองการยึดอายุการเก็บรักษา มะเขือเทศเชอร์อบแห้งภายใต้สภาวะในถุง โดยที่ถุงสามารถป้องกันปัจจัยภายนอกที่สามารถทำให้มะเขือเทศ เชอร์อบแห้งเสื่อมเสีย เช่น การเสื่อมเสียของไลโคพีน วิตามินซี ฟลาโวนอยด์ และสารสำคัญอื่น ๆ ซึ่ง วัสดุบรรจุจะต้องมีความสามารถในการป้องกันออกซิเจนและความชื้นเข้าภายในถุง รวมทั้งป้องกันแสง ได้ เพราะแสงมีผลต่อการเสื่อมสภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ ภายในถุงบรรจุกัณฑ์ควรมี ระบบกำจัดออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสียได้ ดังนั้น จึงต้องมีสารดูดซับความชื้นบรรจุภายใน วัสดุบรรจุต้องมีคุณสมบัติต้านทานการซึมผ่านของก้าช ออกซิเจน เมื่อพิจารณาระบบ Active MAP ซึ่งมีองค์ประกอบของช่องดูดซับออกซิเจน พบร่วมน้ำจะ เป็นระบบการบรรจุที่มีศักยภาพในการยึดอายุของมะเขือเทศเชอร์อบแห้ง โดยสามารถสรุปแนวทางสำคัญ ในการยึดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเชอร์อบแห้งด้วยการบรรจุแอคทีฟที่มีการกำจัดก้าช ออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ ตามแบบจำลองแนวคิดการพัฒนาบรรจุภัณฑ์แอคทีฟสำหรับมะเขือเทศเชอร์ อบแห้งที่แสดงในภาพ



สิ่งแวดล้อม

ภาพที่ 2.4 แบบจำลองแนวคิดการพัฒนาบรรจุภัณฑ์酰ทีฟสำหรับมะเขือเทศเชอร์อิบแห้ง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุดิบ

3.1.1 มะเขือเทศเชอร์รี่สต็อก (*Lycopersicon esculentum*) สายพันธุ์ราชินี ระยะสุกสีแดง จากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลตอนตูม อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

3.1.2 กรดซิตริก (Citric acid monohydrate) บริษัท Fisher Scientific ประเทศไทย สำหรับอเมริกา

3.1.3 เกลือโซเดียมคลอไรด์ ยี่ห้อปรุงทิพย์ (Prung Thip) ความบริสุทธิ์อย่างละ 99.9 บริษัทอุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

3.1.4 น้ำตาลซูคคาโลส ดี-เอ็น (D-et) บริษัท ยูซิง จำกัด กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์ในการผลิตมะเขือเทศเชอร์รี่อบแห้ง

3.2.1.1 ตู้อบแห้ง Hot air oven BINDER รุ่น FED 240-M ประเทศไทยเยอรมนี

3.2.1.2 เครื่องซั่งหคนิยม 2 ตำแหน่ง METTLER รุ่น PB -S3202 ประเทศไทยญี่ปุ่น

3.2.1.3 หม้ออะลูมิเนียม ตราจะระเข้า บริษัท ฉีอ จีน จำกัด ประเทศไทย

3.2.1.4 ถังกวนความจุ 100 ลิตร บริษัท สยามเอวีເອັນ จำกัด ประเทศไทย

3.2.1.5 เครื่องกวน ออกแบบโดย ผศ.ดร.วิริยา พรหมกong

3.2.2 อุปกรณ์ในการบรรจุ

3.2.2.1 ถุง PET/Metallised PET/LLDPE ขนาดประมาณ 6×9 นิ้ว บริษัทไทยเพล็กซิเบลแพค จำกัด ประเทศไทย

3.2.2.2 เครื่องปิดผนึกแบบมือกด บริษัท Wenzhou Fable Machinery ประเทศจีน

3.2.2.3 เครื่องปิดผนึกสูญญากาศ บริษัท MULTIVAC BETTER PACKAGING ยี่ห้อ MULYIVAC รุ่น A 300/42 ประเทศไทยเยอรมนี

3.2.2.4 เครื่องซั่งหคนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น PB -S3202 บริษัท METTLER ประเทศไทยญี่ปุ่น

3.2.2.5 ตู้แข็งเย็นควบคุมอุณหภูมิ 10°C บริษัท พี. เจ. เครื่องเย็นварิน ประเทศไทย

3.2.2.6 ตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิ (Incubator) 30°C บริษัท Multivac ประเทศไทยเยอรมันนี

3.2.2.7 วัตถุดูดซับออกซิเจน (Wonder Keep[®] RP-100) ในรูปแบบของขนาดเล็ก (sachet) บริษัท เจนจาร์สเคมีพพลาส จำกัด ประเทศไทย

3.2.2.8 กําชการ์บอนไดออกไซด์เข้มข้น 40% v/v CO₂ โดยมี N₂ balance บริษัท กษิติศ เทρดดิ้ง จำกัด ประเทศไทย

3.2.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์

3.2.3.1 เครื่องซั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง SARYORIUS รุ่น BP2215 ประเทศไทยอังกฤษ

3.2.3.2 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Texture Analyzer Univeral Testing LLOYD รุ่น Model LR5K ประเทศไทยอเมริกา

3.2.3.3 เครื่องวัดสี (Hunter Lab) Hunter Lab Color Flex รุ่น Model 45/0 S/N CX-0413 ประเทศไทยอเมริกา

3.2.3.4 เครื่อง Spectrophotometer Shimadzu รุ่น UVmini-1240 ประเทศไทยญี่ปุ่น

3.2.3.5 เครื่องผสม (Vortex) Vortex Genie รุ่น G-560E ประเทศไทยอเมริกา

3.2.3.6 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Auto clave) HIRAYAMA บริษัท HIRAYAMA MANUFACTURING CORP. ประเทศไทยญี่ปุ่น

3.2.3.7 เครื่องเขย่า (Stomacher) IVL ประเทศไทยเป็น

3.2.3.8 ตู้บ่มเชื้อควบคุมอุณหภูมิ (Incubator) รุ่น 9010-0075 ED 400 บริษัทไซแอนติฟิค โพรโนชั่น จำกัด ประเทศไทย

3.2.3.9 Water bath ยี่ห้อ Heto รุ่น SBD-50 ประเทศไทยเดนมาร์ค

3.2.3.10 เครื่องวัดกําชภายในบรรจุภัณฑ์ (Packaging Atmosphere Analysis) รุ่น MAP test 3050 ประเทศไทยอังกฤษ

3.2.3.11 เครื่องบรรจุสูญญากาศ บริษัท MULTIVAC BETTER PACKAGING ประเทศไทยเยอรมัน

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.3.1 เอกเซน (Hexane) J.T. Baker ประเทศไทยอเมริกา

3.3.2 อะซิโตน (Acetone) ความเข้มข้นร้อยละ 99.9 J.T.Baker ประเทศไทยอเมริกา

3.3.3 เอทานอล (Ethanol) ความเข้มข้น 95% ยี่ห้อ S.ISS ประเทศไทย

3.3.4 โซเดียมไนเตรต (NaNO₂) Ajax ประเทศไทยนิวซีแลนด์

3.3.5 อัลูมิเนียมคลอไรด์ (AlCl₃) Ajax ประเทศไทยนิวซีแลนด์

3.3.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) Ajax ประเทศไทยนิวซีแลนด์

3.3.7 รูทิน ไฮเดรต (Rutin hydrate) SIGMA-ALDRICH ประเทศไทยอเมริกา

- 3.3.8 กรดออกชาลิก (Oxalic acid) Ajax ประเทคนิชแอลน์ด์
- 3.3.9 กรดซิตริก (Acetic acid) ความเข้มข้นร้อยละ 99.7 J.T.Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.3.10 กรดเมตาฟอสฟอริก (HPO_3) Lubon ประเทศจีน
- 3.3.11 ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล (2,6 dichlorophenol indophenols) ความเข้มข้นร้อยละ 98 Ajax ประเทคนิชแอลน์ด์
- 3.3.12 $NaHCO_3$ Ajax ประเทคนิชแอลน์ด์
- 3.3.13 Ascorbic acid Analytical Grade ความเข้มข้นร้อยละ 99 Ajax ประเทคนิชแอลน์ด์
- 3.3.14 Folin-Ciocacateu phenol reagent Analytical Grade ความเข้มข้น 2 นาอร์มอล ยี่ห้อ Sigma ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 3.3.15 Sodium carbonate anhydrous (Na_2CO_3) Analytical Grade ความเข้มข้นร้อยละ 99.8 Ajax ประเทคนิชแอลน์ด์
- 3.3.16 กรดแกลลิก (Gallic acid) ความเข้มข้นร้อยละ 98 SIGMA ALDRICH ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.3.17 เมทานอล (Metanol) J.T. Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.3.18 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) SIGMA-ALDRICH ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.3.19 อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับแบคทีเรียทั้งหมด (Plate count agar) Difco ประเทศฝรั่งเศส
- 3.3.20 อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับยีสต์และรา (Potato dextrose agar) Difco ประเทศฝรั่งเศส

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมมะเขือเทศเชือรือบแห้ง

3.4.1.1 การเตรียมตัวอย่างมะเขือเทศ

ถังทำความสะอาดมะเขือเทศด้วยน้ำสะอาดและเก็บสิ่งสกปรก และ/หรือลูกที่เน่าออก จากนั้นทำการผึ่งมะเขือเทศบนกระดาษชำระอเนกประสงค์ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องและเจาะรูมะเขือเทศโดยใช้เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตรแหง 16 รู/ตารางเซนติเมตร ทั่วทั้งผลมะเขือเทศ จากนั้นลวกมะเขือเทศที่อุณหภูมิ $80^{\circ}C$ นาน 3 นาที และทำการหล่อเย็นด้วยน้ำ (อุณหภูมิห้อง ประมาณ $37^{\circ}C$) และวางบนกระดาษชำระอเนกประสงค์สะอาดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที ซับให้แห้งก่อนนำไปทำการแซ่บ (ข้อมูลจากงานวิจัยเรื่องการถ่ายโอนมวลของมะเขือเทศเชือรือบในระหว่างการทำแห้งแบบօสถไมค์ติก ดำเนินการศึกษาโดย วิริยา พรหมกong และคณะ, 2554)

3.4.1.2 การแซ่บมะเขือเทศ

เตรียมสารละลายนในการแซ่บคือเกลือเข้มข้น 1% (w/w) กรดซิตริก 1% (w/w)

และซูคาโรส 0.075% (w/w) โดยอัตราส่วนระหว่างสารละลายน้ำมะเขือเทศคือ 10 : 1 ทำการแช่อิ่ม เป็นเวลา 6 ชั่วโมงที่ความเร็วรอบ 96 รอบ/นาที โดยการแช่อิ่มได้ดำเนินการที่อุณหภูมิห้อง (วิริยา พรมกong และคณะ, 2554)

3.4.1.3 การอบแห้งมะเขือเทศเชอร์

ภายหลังจากแช่อิ่ม ล้างมะเขือเทศที่ผ่านการแช่อิ่มแล้วด้วยน้ำสะอาดหนึ่งครั้ง แล้วผึ่งให้แห้งบนกระดาษชำระสะอาดที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C นาน 52 ชั่วโมง (วิริยา พรมกong และคณะ 2554)

3.4.2 บรรจุภัณฑ์และระบบการบรรจุมะเขือเทศเชอร์อบแห้ง

ภายหลังจากการอบแห้งได้ทำการบรรจุมะเขือเทศอบแห้ง 20 กรัมต่อซอง (มะเขือเทศ 1 ถุง มีน้ำหนัก ประมาณ 1 กรัม) ในถุง PET/Metallised PET/LLDPE ขนาดประมาณ 6×9 นิ้ว วัสดุบรรจุประเภทนี้มีคุณสมบัติต้านทานการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้ในระดับที่สูง และมีความทึบแสงเพื่อช่วยลดการเสื่อมเสียของสารสำคัญในอาหารที่อาจจะเสื่อมเสียได้เร็วภายในได้สภาวะการเก็บรักษาที่มีแสง เช่น การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ของมะเขือเทศไว้ในชุดใส ซึ่งทำให้ปริมาณไลโคพีนลดลง (เยาวภา สิริวัฒนาภูกุล, 2545) ในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้ทำการเตรียมตัวอย่างมะเขือเทศเชอร์อบแห้งให้ได้ตามปริมาณที่ต้องการก่อนการบรรจุ ซึ่งในการเตรียมตัวอย่างมะเขือเทศเชอร์อบแห้งนั้นมีข้อจำกัดเรื่องตู้อบลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องเตรียมตัวอย่างหลายครั้ง โดยภายหลังจากการอบแห้งในแต่ละครั้งผู้วิจัยได้นำตัวอย่างบรรจุลงในถุงเมทัลไลซ์และนำไปแข็งที่อุณหภูมิ -20°C เมื่อได้มะเขือเทศเชอร์ครบตามจำนวน ผู้วิจัยได้ทำการละลายน้ำแข็งตัวอย่างที่ทำการแช่แข็งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปอบให้ความชื้นจนได้ระดับความชื้นเท่ากับ 80 – 90 %db (วิริยา พรมกong และคณะ, 2554) จากนั้นจึงนำมะเขือเทศเชอร์อบแห้งไปทำการบรรจุลงในถุงที่มีระบบบรรจุต่างๆ (ก่อนการปิดฝา) ซึ่งประกอบด้วย

3.4.2.1 การบรรจุภายในได้สภาวะบรรจุอากาศปกติ (Air-packaging)

การบรรจุภายในได้สภาวะบรรจุอากาศปกติเป็นการบรรจุที่ไม่ได้มีการตัดแพรสภาวะบรรจุอากาศในบรรจุภัณฑ์ด้วยวิธีใด ๆ เมื่อทำการบรรจุมะเขือเทศอบแห้งลงไปในถุงแล้วทำการปิดฝาถุงด้วยความร้อน (Heat-sealing) การบรรจุนี้ได้กำหนดเป็นสิ่งทดลองควบคุม (Control)

3.4.2.2 การบรรจุแบบบรรจุอากาศดัดแปร (Modified Atmosphere Packaging หรือ MAP)

การบรรจุแบบบรรจุอากาศดัดแปรที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วยระบบการบรรจุต่าง ๆ ดังนี้

- 1) การบรรจุแบบการกำจัดออกซิเจนออกซิเจน (Oxygen scavenging)

การบรรจุแบบการกำจัดออกซิเจนในบรรจุอากาศถุงพลาสติกบรรจุ

มะเขือเทศ ได้ใช้ของดูดซับออกซิเจน (Oxygen absorber ตามรายละเอียดที่แสดงในหัวข้อ 3.2.2.7) จำนวน 1 ชอง ต่อ ถุงพลาสติก 1 ถุง งานนี้ทำการปิดผนึกด้วยความร้อน

การศึกษานี้ได้วิเคราะห์จนพลศาสตร์ (Kinetic) ของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศของถุงพลาสติกที่บรรจุของดูดซับออกซิเจนจำนวนต่าง ๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ เพื่อเป็นการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกใช้ของดูดซับออกซิเจน เช่น จำนวนของดูดซับออกซิเจนต่อบรรจุภัณฑ์ โดยรายละเอียดของการศึกษาได้นำเสนอในภาคผนวก ง

2) การบรรจุแบบสูญญากาศ (Vacuum packaging)

การบรรจุแบบสูญญากาศทำโดยการดูดอากาศในบรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่องบรรจุสูญญากาศ (ตามรายละเอียดที่แสดงในหัวข้อ 3.2.2.3) และทำการปิดผนึกถุงด้วยความร้อน ด้วยความดัน 988 mbar เวลา 5 วินาที

3) การบรรจุพ่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 flushing)

การบรรจุแบบพ่นก๊าซ CO_2 ได้ใช้ก๊าซ CO_2 ความเข้มข้น 40 % (v/v) (ปรับสมดุลของระดับความเข้มข้นของก๊าซด้วย N_2) พ่นเข้าไปในถุงพลาสติกบรรจุมะเขือเทศอย่างแห้ง โดยใช้ระบบการพ่นก๊าซ (Gas flushing) ของเครื่องบรรจุสูญญากาศ ภายหลังจากการพ่นก๊าซได้ทำการปิดผนึกด้วยความร้อนในสภาวะเดียวกับการบรรจุสูญญากาศ

3.4.2.3 สภาวะการเก็บรักษา

ภายหลังจากการบรรจุมะเขือเทศอย่างแห้งด้วยระบบต่าง ๆ ได้ทำการแบ่งถุงมะเขือเทศออกเป็นจำนวนเท่า ๆ กัน และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($32-35^\circ\text{C}$) และ $10-12^\circ\text{C}$ (อุณหภูมิแข็งเย็น) โดยทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน และทำการวิเคราะห์องค์ประกอบและลักษณะของมะเขือเทศอย่างทุก ๆ 1 เดือน ในช่วงเวลาศึกษาดังกล่าว

3.4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบมะเขือเทศเชอร์อับแห้ง

3.4.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของมะเขือเทศเชอร์อับแห้ง

1) ไลโคพีน (Lycopene)

การวิเคราะห์ไลโคพีนได้ดำเนินการโดยประยุกต์วิธีของ Toor and Savage (2004) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ ตัวอย่างมะเขือเทศเชอร์อับแห้ง 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูป楚พูที่ห่อด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ เติมสารผสม Hexane : Acetone : Ethanol 25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาทีเติมน้ำกลิ้น 10 มิลลิลิตร ทิ้งให้สารละลายแยกชั้นเป็นเวลา 2 นาที แล้วแยกชั้น Hexane ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีฝาปิด นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 472 นาโนเมตร ส่วน Blank ใช้ Hexane คำนวนหาปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศเชอร์อับแห้งจากกราฟมาตรฐาน และรายงานผลเป็น $\text{mg}/100 \text{ g DM}$ ขั้นตอนและรายละเอียดเพิ่มเติมของการวิเคราะห์ได้แสดงในภาคผนวก ก.1

2) พลางานอยด์ทั้งหมด (Total flavanoids)

การวิเคราะห์พลางานอยด์ทั้งหมดได้ดำเนินการโดยประยุกต์วิธีของ Zhishen et al. (1999) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ สารสกัดตัวอย่างจะเข้าไปในโซชล์ฟลักซ์ 1.4 กรัมโดยใช้วิธี Soxhlet ด้วยสารละลายเอทานอล 100 มิลลิลิตรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปปฏิสารสกัดที่ได้จากตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ลงใน Volumetric flask ขนาด 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย NaNO_2 0.3 มิลลิลิตร และทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติมสารละลาย AlCl_3 0.6 มิลลิลิตร และทิ้งไว้ 6 นาที เมื่อครบกำหนดเติมสารละลาย NaOH 2 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 10 มิลลิลิตร และนำมารวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร บันทึกค่าที่ได้เพื่อเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Rutin และรายงานผลเป็น $\text{mg}/100 \text{ g DM}$ ขั้นตอนและรายละเอียดเพิ่มเติมของการวิเคราะห์ได้แสดงในภาคผนวก ก.2

3) กรดแอกซอร์บิก (Ascorbic acids)

การวิเคราะห์กรดแอกซอร์บิกได้ดำเนินการโดยประยุกต์ด้วยวิธี 2,6 - dichlorophenolindohenol titrimetric ตามวิธีของ AOAC (2000) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ ปี เป๊ต Standard ascorbic solution 2 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปทรงพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม HPO_3 5 มิลลิลิตร ให้เตรทด้วย 0.02 % 2,6-dichloroindophenol sodium salt จนถึงจุดยุติคือสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเข้มพูดงที่มากกว่า 5 วินาที และบันทึกค่าที่ได้ จากนั้นปี เป๊ตสารตัวอย่าง 2 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปทรงพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม HPO_3 5 มิลลิลิตร ให้เตรทด้วย 0.02 % 2,6-dichloroindophenol sodium salt จนถึงจุดยุติคือสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเข้มพูดงที่มากกว่า 5 วินาที และบันทึกค่าที่ได้ แล้วปี เป๊ต Blank โดยเติม HPO_3 2 มิลลิลิตรแทนตัวอย่าง และเติม HPO_3 5 มิลลิลิตร ให้เตรทด้วย 0.02 % 2,6-dichloroindophenol sodium salt จนถึงจุดยุติคือสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเข้มพูดงที่มากกว่า 5 วินาที และบันทึกค่าที่ได้เป็น $\text{mg Ascorbic}/100 \text{ g DM}$ ขั้นตอนและรายละเอียดเพิ่มเติมของการวิเคราะห์ได้แสดงในภาคผนวก ก.3

4) สารประกอบฟีโนลิกทั้งหมด (Total phenolic compound)

สารประกอบฟีโนลิกทั้งหมดวิเคราะห์โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteau

reagent และหาค่ามาตรฐานกรดแอกลิกตามวิธีของ Kim et al. (2003) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ ปี เป๊ตสารที่ได้จากการสกัด 1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent 5 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มีดีประمامณ 5 นาที จากนั้นเติม 7.5% Na_2CO_3 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มีดีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง Blank ทำเช่นเดียวกับตัวอย่าง โดยใช้ 80% เมทานอลแทนสารสกัด และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร บันทึกค่าที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐาน ส่วนสารละลายนามาตรฐานกรดแอกลิก วิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์

ตัวอย่าง และบันทึกค่าที่ได้จากการวัดเพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน บันทึกค่าที่ได้เป็น mg GAE/100 g DM ขั้นตอนและรายละเอียดเพิ่มเติมของการวิเคราะห์ได้แสดงในภาคผนวก ก.4

5) กรดทั้งหมด (Titratable acidity)

ปริมาณกรดทั้งหมดวิเคราะห์ตามวิธีของ AOAC (2000) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ ชั่งตัวอย่างมะเขือเทศเชอร์อับแห้ง 5 กรัม คั้นเอาน้ำจากตัวอย่างมะเขือเทศเชอร์อับแห้ง โดยการเติมน้ำกลันจำนวน 5 เท่าของตัวอย่าง หยด phenolphthalein 2-3 หยด ให้เตรทสารละลายด้วย 0.1 M NaOH จนกระทั่งถึงจุดยุติคือสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน ๆ บันทึกปริมาตรของ 0.1 M NaOH ที่ใช้ได้เตรท บันทึกค่าที่ได้เป็น mg/100 g ตัวอย่าง ขั้นตอนและรายละเอียดเพิ่มเติมของการวิเคราะห์ได้แสดงในภาคผนวก ก.5

6) ความชื้น (Moisture contents) ตามวิธีของ AOAC (2000)

อบถ้วยอะลูมิเนียมในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C นาน 2 – 3 ชั่วโมง แล้วใส่ไว้ในโคลுตความชื้นทึ่งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียม ชั่งน้ำหนักมะเขือเทศเชอร์อับแห้งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1 – 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแล้ว อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C นาน 5 – 6 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างมะเขือเทศที่อบแล้วใส่ไว้ในโคลุตความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก นำไปปอกหัวจันกวนน้ำหนักจะคงที่ บันทึกค่าที่ได้เป็น %db ขั้นตอนและรายละเอียดเพิ่มเติมของการวิเคราะห์ได้แสดงในภาคผนวก ก.6

7) กิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity)

กิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้วิธี DPPH assay ตามวิธีของ Serrano et al. (2008) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ ปีเปตสารละลาย DPPH ปริมาตร 3.9 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ปีเปตสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มี DPPH เขียวสารให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex เก็บไว้ในที่มีดีเป็นเวลา 30 นาที Control ทำเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยใช้ 80% เมทานอล แทนสารสกัดจากตัวอย่าง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร บันทึกค่าที่ได้รายงานเป็น % Inhibition ขั้นตอนและรายละเอียดเพิ่มเติมของการวิเคราะห์ได้แสดงในภาคผนวก ก.7

3.4.3.2 องค์ประกอบทางกายภาพของมะเขือเทศเชอร์อับแห้ง

1) สี (Colors)

การวัดสีของมะเขือเทศอบแห้งใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab). โดยวัดและรายงานสีในระบบ CIE system L^* , a^* , b^* L^* คือ a^* คือ และ b^* คือ ค่า L^* (Lightness) คือค่าความสว่าง เมื่อมีค่าใกล้ 100 แสดงว่าวัตถุมีสีขาว เมื่อเข้าใกล้ 0 แสดงว่าวัตถุมีสีแดง a^* (Redness/Greeness) คือค่าสีแดง และสีเขียว เมื่อเป็นบวกแสดงว่าวัตถุมีสีแดงเมื่อเป็นลบแสดงว่า

วัตถุมีสีเขียวค่า b* (Yellowness/Blueness) คือค่าสีเหลือง และสีน้ำเงิน เมื่อเป็นบวกแสดงว่าวัตถุมีสีเหลือง เมื่อเป็นลบแสดงว่าวัตถุมีสีน้ำเงิน

การวิเคราะห์ตัวอย่างเตรียมเครื่องโดยการสอบเทียบ (Calibrate) โดยแผ่นเทียบสีมาตรฐานแล้วบันทึก นำตัวอย่างมาเชือเทศที่เตรียมไว้ไปวัดค่าสีจดบันทึกค่าสีที่ได้ ทำการวัดสีตัวอย่างละ 3 ชี้ ทำการวัดค่าสี L*, a* และ b* ขั้นตอนและรายละเอียดเพิ่มเติมของการวิเคราะห์ได้แสดงในภาคผนวก ข.1

2) เนื้อสัมผัส (Texture)

การวัดเนื้อสัมผัสทำการวัดด้วยเครื่อง Texture Analyser (LLOYD, LR Model, USA) โดยประยุกต์วิธีของ Heredia et al. (2007) ใช้การวัด TPA (Texture Profile Analysis) โดยใช้หัววัดแบบ Cylinder probe ขนาด 2 มิลลิเมตร ความเร็วในการกด 10 มิลลิเมตรต่อนาที นำตัวอย่างมาวัดค่าโดยวางตัวอย่างที่จุดกึ่งกลางของ Test Cells วัดค่าความแข็งของตัวอย่างโดยใช้ Test Cells กดลงไปที่ตัวอย่างครึ่งหนึ่งของความหนาของมะเขือเทศหรืออบแห้งตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ โดยจะวัดตัวอย่างละ 3 ชี้ นำข้อมูลที่โปรแกรมวัดค่าได้มาวิเคราะห์ผล โดยบันทึกค่าเป็นค่าแรงสูงสุด (Maximum load หน่วยคือ N) ขั้นตอนและรายละเอียดเพิ่มเติมของการวิเคราะห์ได้แสดงในภาคผนวก ข.2

3) การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของมะเขือเทศเชือรือบแห้ง ได้ทำการวัดน้ำหนักภายนอกจากการเก็บรักษาในทุก ๆ เดือนตลอดอายุการเก็บรักษา โดยการซั่งมะเขือเทศบนเครื่องซั่ง 2 ตำแหน่ง (Satorious, LP4200S Model, Germany) และทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกับน้ำหนักเริ่มแรกก่อนทำการบรรจุ จากนั้นรายงานผลการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก เป็นร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตามสูตร บวกสูตรการคำนวณร้อยละ

$$\text{การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนบรรจุ}-\text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา}}{\text{น้ำหนักก่อนบรรจุ}} \times 100 \quad (3.1)$$

4) การเปลี่ยนแปลงก้าชอกซิเจนและการบอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงก้าชอกซิเจนและการบอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา ได้ดำเนินการโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก้าชอกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ (ตามรายละเอียดที่กล่าวในหัวข้อ 3.2.3.10) ในการวัดความเข้มข้นของก้าชอกซิเจน ให้ทำการดูดตัวอย่างก้าชอกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ปริมาณ 20 ml แล้วฉีดเข้าไปในเครื่องวัดก้าชอกซิเจนเพื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก้าชอกซิเจนและการบอนไดออกไซด์

3.4.3.3 คุณภาพเชื้อจุลินทรีย์ของมะเขือเทศเรือบแห้ง

การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ดำเนินการวัดจากเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) และยีสต์และรา ตามวิธีของ AOAC (2000) ซึ่งมีรายละเอียดโดยสรุปดังนี้ การวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยผสานสารละลายตัวอย่างและอาหารเลี้ยงเชื้อให้เข้ากันดี วางทึ้งไว้ให้อาหารแข็งตัว จากนั้นค่าว่าจานอาหารเลี้ยงเชื้อลง แล้วนำไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ $37\pm2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 - 48 ชั่วโมง การตรวจนับโคโลนีและการรายงานผล ส่วนการวิเคราะห์หา yีสต์และรา โดยเทอาหารเลี้ยงเชื้อในจานเลี้ยงเชื้อแล้ววางทึ้งไว้ให้อาหารแข็งตัวจากนั้นเกลี่ยเชื้อให้ทั่วจานอาหาร เลี้ยงเชื้อ แล้วนำไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ $37\pm1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 - 48 ชั่วโมง การตรวจนับโคโลนีและการรายงานผล ซึ่งทั้ง PCA และ PDA หลังจากบ่มจะนับเพาะเชื้อครบรอบตามกำหนดเวลาแล้ว ตรวจนับจำนวนโคโลนีบนจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 30-300 โคโลนี หากจำนวนโคโลนีเฉลี่ยจากทั้งสองจานเพาะเชื้อรายงานการตรวจนับในหน่วยจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร (CFU/g) โดยขั้นตอนการวิเคราะห์และรายละเอียดเพิ่มเติมแสดงในภาคผนวก ค.1 และ ค.2

3.4.4 การทดสอบความชอบของผู้บริโภค

การทดสอบความชอบของผู้บริโภคได้ดำเนินการศึกษาด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเรือบแห้งโดยใช้วิธี 9-point Hedonic Scale โดยคะแนน 9 หมายถึง ความชอบมากที่สุด และคะแนนเท่ากับ 1 หมายถึง ความชอบน้อยที่สุด และใช้ผู้ทดสอบชิมแบบ untrained panel จำนวนอย่างน้อย 60 คน ในการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบความชอบของผู้บริโภคในการเก็บรักษาวันที่ 90 จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าลักษณะปราศจากของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บเป็นเวลา 120-150 วัน จะมีลักษณะหดตัวอย่างมาก (มีลักษณะคล้ายหนอน) และเนื้อสัมผัสมีความแข็งกระด้าง ซึ่งน่าจะทำให้ผู้บริโภคไม่ชอบผลิตภัณฑ์ ดังนั้น การทดสอบจึงได้ทำการทดสอบที่วันที่ 90 อย่างไรก็ตาม การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ด้านเคมีภัยภาพ และเชื้อจุลินทรีย์นั้นได้ทำการทดสอบจนถึงเวลาการเก็บรักษา 150 วัน เพื่อเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเรือบแห้งต่อไป

3.4.5 แผนการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์องค์ประกอบและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างกัน เมื่อพิจารณาระบบบรรจุ 4 ประเภท คือภายในได้สภาวะบรรยายกาศปกติ (Control) การใช้ตัวดูดซับออกซิเจน (Oxygen absorber) การบรรจุแบบสูญญากาศ (Vacuum packaging) และการบรรจุแบบพ่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ 2 ระดับคือ 10°C และ 30°C และเวลาในการเก็บรักษา 5 ระดับ (30 60 90 120 และ 150 วัน) โดยดำเนินการวางแผนการทดลองแบบ Full Factorial in Completely Randomised Design และทำการทดลอง 3 ช้ำ (Replicates) ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลองได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance หรือ ANOVA) และ

ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของผลการทดลองในแต่ละตัวแปรที่ทำการศึกษาด้วย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม Statistics Package for the Social Sciences (SPSS) 16 for windows

นอกเหนือจากการวิเคราะห์ทางสถิติ วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอแนวการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่าง ๆ ของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งในรูปกราฟจุด-เส้น เพื่อประกอบการอภิปรายผล โดยมีอักษรย่อของสิ่งทดลองที่ปรากฏอยู่ดังนี้

AIR-10	=	ระบบการบรรจุแบบอากาศปกติ เมื่อเก็บรักษาที่ 10°C
OAB-10	=	ระบบการบรรจุซึ่งมีช่องดูดซับออกซิเจน เมื่อเก็บรักษาที่ 10°C
CO2-10	=	ระบบการบรรจุแบบพ่นก๊าซ CO ₂ เมื่อเก็บรักษาที่ 10°C
VAC-10	=	ระบบการบรรจุแบบสุญญากาศ เมื่อเก็บรักษาที่ 10°C
AIR-30	=	ระบบการบรรจุแบบอากาศปกติ เมื่อเก็บรักษาที่ 30°C
OAB-30	=	ระบบการบรรจุซึ่งมีช่องดูดซับออกซิเจน เมื่อเก็บรักษาที่ 30°C
CO2-30	=	ระบบการบรรจุแบบพ่นก๊าซ CO ₂ เมื่อเก็บรักษาที่ 30°C
VAC-30	=	ระบบการบรรจุแบบสุญญากาศ เมื่อเก็บรักษาที่ 30°C

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 บทนำ

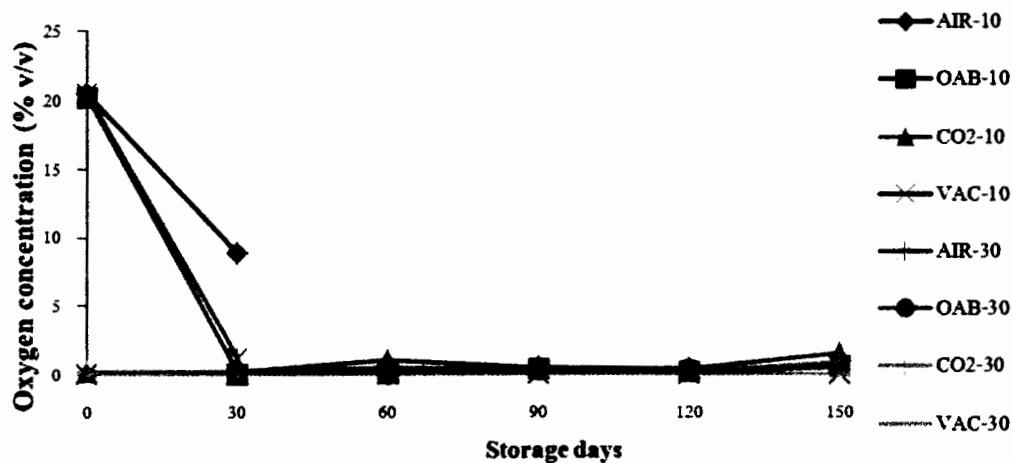
เนื้อหาในบทนี้ได้นำเสนอผลการทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการเก็บรักษาของมะเขือเซอร์อับแห้งในระบบการบรรจุต่าง ๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 30°C ในระหว่างการเก็บรักษา โดยได้นำผลการทดลองวิจารณ์กับข้อมูลในเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง

4.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุมะเขือเทศเชอร์อับแห้งด้วยสภาวะการบรรจุแบบต่าง ๆ ในภาพที่ 4.1 พบว่าความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ซึ่งมีการใช้ช่องดูดซับออกซิเจน (OAB) ลดลงใกล้เคียง 0% (v/v) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน และมีแนวโน้มคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา และไม่มีความแตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิการเก็บรักษา การลดลงของความเข้มข้นของออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์เป็นผลมาจากการปฎิกริยาออกซิเดชันระหว่างผงเหล็กและออกซิเจนที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ (งามพิพิญ ภู่วโรดม, 2550) สอดคล้องกับผลงานวิจัยการใช้ช่องดูดซับออกซิเจนในการบรรจุหมูสารรค (กฤติกา สิงห์สุข และกนกวนิช คำแผ่น, 2553) และกล่าวโดยเบรกแทก (นิภาวรรณ ศิริวงศ์ และ อรุณุช หวังแอบกลาง, 2553) ที่ได้รายงานว่าความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ในถุงพลาสติกเมทัลไลซ์มีค่าลดลงใกล้เคียงและ/หรือเท่ากับ 0% (v/v) ตลอดอายุการเก็บรักษา 30 วัน นอกจากนี้ Charles et al. (2003) ที่รายงานว่าความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนภายในถุงพลาสติก LDPE ที่บรรจุมะเขือเทศสดและช่องดูดซับออกซิเจน สามารถเกิดขึ้นเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการลดลงของความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนภายในถุงพลาสติก LDPE ที่บรรจุเพียงมะเขือเทศสด ส่งผลให้เกิดสภาวะบรรจุภัณฑ์ประปายในบรรจุภัณฑ์ได้เร็วขึ้น

เมื่อพิจารณาการบรรจุด้วยระบบการพ่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 flushing) และการบรรจุสุญญากาศ (Vacuum) พบว่าความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 0% (v/v) ตลอดอายุการเก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิ เช่นเดียวกับผลของการใช้ช่องดูดซับออกซิเจน (ภาพที่ 4.1) ผลการศึกษาการบรรจุทั้งสามระบบแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการลดความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ การเลือกใช้วัสดุฟิล์มพลาสติกที่มีความสามารถในการด้านการซึมผ่านของออกซิเจนได้สูง เช่น พิล์ม PET/Metallised PET/LLDPE ที่ใช้ในการศึกษานี้ สามารถช่วยลดการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนจากภายนอกบรรจุภัณฑ์เข้ามาสู่บรรจุภัณฑ์เนื่องจาก

ความแตกต่างของความเข้มข้นของกําชออกซิเจนที่เป็นแรงขับดัน (Driving force) ให้เกิดการแพร่ของ กําชออกซิเจนผ่านพิล์มพลาสติก

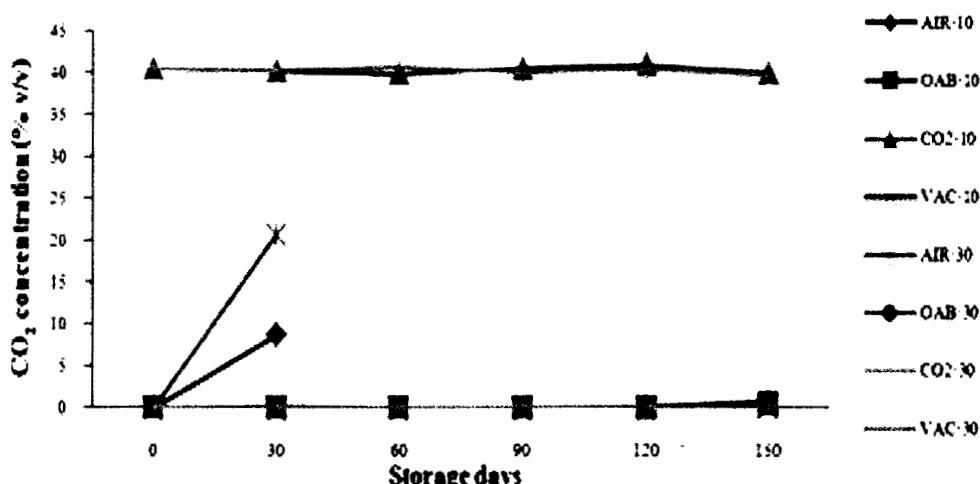


ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกําชออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุจะเชือเทศ เชือร่องแห้ง ด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ และเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C และ 30°C เป็นเวลา 150 วัน

จากภาพที่ 4.1 พบว่าความเข้มข้นของกําชออกซิเจนในบรรณาการปกติทั้งสองอุณหภูมิ (AIR-10 และ AIR-30) มีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นของกําชออกซิเจนในบรรณาการทั่วไป ($20.99\% \text{ v/v}$) กล่าวคือ ณ วันที่ 30 ของการเก็บรักษา ความเข้มข้นของกําชออกซิเจนที่อุณหภูมิ 10°C มีค่าประมาณ $8.79\% \text{ (v/v)}$ และที่อุณหภูมิ 30°C มีค่าประมาณ $1.17\% \text{ (v/v)}$ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน การลดลงของความเข้มข้นกําชออกซิเจนดังกล่าวอาจมีสาเหตุ สำคัญมาจากการเจริญเติบโตเดิบโดยเชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มไข้อากาศ (Kurtmanek, 2009) โดยเห็นได้ว่าการลดลงของกําชออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่ 30°C เกิดขึ้นในอัตราที่สูงกว่า เกิดจากอุณหภูมิที่สูงจะเร่งการเจริญเติบโตเดิบโดยเชื้อจุลินทรีย์ (Robertson, 1993) การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกําชออกซิเจนในสิ่งทคลอง AIR-10 และ AIR-30 มีความสอดคล้องกับ การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นกําช CO_2 (ภาพที่ 4.2) ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของกําช CO_2 ของสิ่งทคลอง AIR-10 และ AIR-30 มีค่าสูงประมาณ 8 และ 20% (v/v) ตามลำดับ ณ วันที่ 30 ของการเก็บรักษา โดยความเข้มข้นของกําช CO_2 ที่ 30°C มีค่าสูงกว่า มีสาเหตุจากการเจริญเติบโตเดิบโดยเชื้อจุลินทรีย์ในระดับที่สูง

จากการศึกษาเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องพบว่าจะเขือเทศอบแห้งประเภทกึ่งแห้ง (Semi-dried tomatoes) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ระดับความชื้นสูง เช่น ระดับปริมาณน้ำอิสระ (Water activity: a_w) ของ

มะเขือเทศพันธุ์ Excell, Tadriro, และ Flavourine ซึ่งผ่านการทำแห้งด้วยสภาวะ 42°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมงนั้นมีค่าสูงประมาณ 0.95 - 0.96 (Toor and Savage, 2006) โดยระดับความชื้นตั้งกล่าวสามารถส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเสื่อมเสียได้เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ และหากเก็บรักษามะเขือเทศอบแห้งไว้ในสภาวะบรรยายภาคปกติ สภาวะตั้งกล่าวอาจเร่งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ (Kurtmann et al, 2009) ดังที่ได้อธิบายไปข้างต้น ในภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 ไม่ได้รายงานค่าความเข้มข้นของก๊าซ O_2 และ ก๊าซ CO_2 ของสิ่งทดลอง AIR-10 และ AIR-30 ภายหลังจากวันที่ 30 เนื่องมาจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่าบนมะเขือเทศ (โดยเป็นลักษณะเส้นใยสีขาวที่อาจเป็นการเจริญเติบโตของเชื้อราหรือเยื่อสต์) ทำให้มะเขือเทศนั้นไม่สามารถรับประทานหรือขายได้อีกต่อไป ผู้วิจัยจึงไม่รายงานผลก๊าซในบรรจุภัณฑ์และคุณภาพการเก็บรักษา อีก ฯ ของมะเขือเทศในสิ่งทดลองตั้งกล่าว



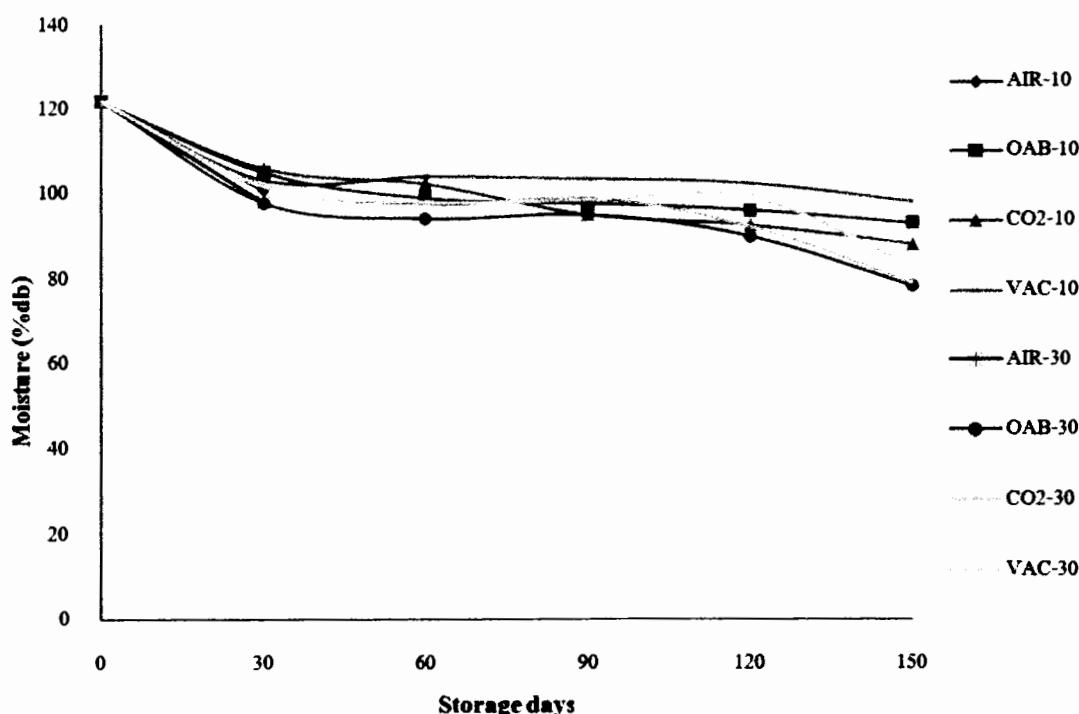
ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ภายในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุมะเขือเทศเชือรีอบแห้งด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ และเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C และ 30°C เป็นเวลา 150 วัน

ในภาพที่ 4.2 ความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุด้วยการใช้ของดูดซับออกซิเจน และระบบสุญญากาศ มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 0% (v/v) ตลอดอายุการเก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิ ในขณะที่ความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ในบรรจุภัณฑ์ที่มีการพ่นก๊าซ CO_2 มีค่าอยู่ในช่วง 39.68 - 40.86% (v/v) ผลการศึกษาดังกล่าวยืนยันความสามารถของพิล์มเมทัลไลซ์ที่ใช้ในการศึกษานี้ในการต้านการซึมผ่านของทั้งก๊าซออกซิเจนและก๊าซ CO_2 (Robertson, 1993) จึงส่งผลให้คงความเข้มข้นของก๊าซทั้งสองในระดับที่ต้องการไว้ได้ตลอดอายุการเก็บรักษา

4.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้น

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบร่วมระบบการบรรจุ (Packaging) อุณหภูมิการเก็บรักษา (Temperature) และระยะเวลาในการเก็บรักษา (Storage day) มีผลต่อระดับความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ จ.2 และ จ.3 ในภาคผนวก) ซึ่งแสดงให้ทราบว่าการเลือกใช้ระบบการบรรจุ และอุณหภูมิในการเก็บรักษา ตลอดจนระยะเวลาในการเก็บรักษาจะมีผลต่อความชื้นของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งในระบบบรรจุและอุณหภูมิส่งผลความชื้นของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้ง ในขณะที่ปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างอุณหภูมิและเวลา (Temperature x Storage day) มีผลต่อระดับความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ จ.2 และ จ.3 ในภาคผนวก)

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุด้วยระบบต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 10 และ 30°C แสดงตั้งตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.3 ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งในการศึกษารังนี้ มีค่า $121.79 \pm 6.42\%$ dry basis (db) เมื่อพิจารณา rate ตัวบ่งชี้ความชื้นของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งในทุกระบบการบรรจุ พบร่วมตัวบ่งชี้น้ำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C มีแนวโน้มสูงกว่า rate ตัวบ่งชี้น้ำที่ อุณหภูมิ 30°C ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ ANOVA ที่แสดงให้ทราบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความชื้นของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้ง (ตารางที่ จ.2 และ จ.3 ในภาคผนวก) การเปลี่ยนแปลงความชื้นดังกล่าวมีสาเหตุสำคัญจากอุณหภูมิที่สูงกว่า ส่งผลให้เกิดการแพร่องไอน้ำจากมะเขือเทศมายังบรรจุภัณฑ์ ในอัตราที่เร็วกว่า จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.3 แสดงให้ทราบว่าในช่วง 30 วันแรกของการเก็บรักษาจะมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระดับที่ต่ำ โดยไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนของความชื้นระหว่างสิ่งที่ลดลงอย่างไรก็ตาม ในวันที่ 150 ของการเก็บรักษา พบร่วมตัวบ่งชี้ความชื้นของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งที่อุณหภูมิ 10 °C (88.09-98.11% db) มีค่าสูงกว่า rate ตัวบ่งชี้ความชื้นของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งที่อุณหภูมิ 30°C (78.31-82.90% db) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4.3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความชื้นของมะเขือเทศเรือร่องแห้งในถุงเมทัลไลซ์ที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C และ 30 °C ในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน

เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิเดียวกัน (10 หรือ 30 °C) พบว่าความชื้นของมะเขือเทศในสิ่งที่คลอง OAB และ CO₂ มีแนวโน้มที่ต่ำกว่าความชื้นของมะเขือเทศที่บรรจุในสิ่งที่คลอง VAC แม้ว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ความแตกต่างนี้อาจมีสาเหตุจาก (1) การเกิดปฏิกิริยาระหว่างผงเหล็กในของดูดซับออกซิเจนและความชื้นในบรรยากาศ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ส่งผลต่อเนื่องให้ผงเหล็กทำปฏิกิริยา กับก๊าซออกซิเจน (Brody et al., 2002) ส่งผลให้ความชื้นในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ลดลง ที่นำไปสู่ การเร่งการแพร์ของไอน้ำจากมะเขือเทศมายังบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ และ (2) การดูดซับและการละลายของก๊าซ CO₂ ลงในมะเขือเทศเรือร่องแห้ง โดยการละลายไอน้ำของก๊าซ CO₂ ส่งผลให้เกิดกรดคาร์บอนิค (Carbonic acid) ที่อาจส่งผลให้ปริมาณน้ำในมะเขือเทศลดลงได้บ้าง การดูดซับและการละลายของก๊าซ CO₂ นั้นเกิดขึ้นได้ในระดับที่ต่ำ โดยจะเห็นได้จากการลดลงเพียงเล็กน้อยของความชื้นขั้นก๊าซ CO₂ (ภาพที่ 4.2)

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (dry basis: db) ของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งในถุงเมทัลไลซ์ที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน

Days	Temperature 10°C				Temperature 30°C			
	AIR	OAB	CO2	VAC	AIR	OAB	CO2	VAC
30	100.68±7.72 ^{abcdefg}	104.98±6.51 ^{ab}	105.96±7.41 ^a	103.24±6.35 ^{abcd}	97.99±1.50 ^{bcddefgh}	97.91±4.16 ^{bcddefgh}	102.08±6.13 ^{abcde}	101.75±5.65 ^{abcdef}
60	-	98.93±7.84 ^{abcdefgh}	102.21±9.06 ^{abcde}	104.04±5.68 ^{abc}	-	94.12±4.62 ^{ghij}	97.36±5.56 ^{cdefgh}	97.98±6.56 ^{bcdefgh}
90	-	97.58±4.09 ^{bcdefgh}	94.43±9.04 ^{fghij}	103.41±5.64 ^{abcd}	-	94.97±6.92 ^{efghij}	98.90±4.70 ^{abcdefgh}	98.40±6.89 ^{bcdefgh}
120	-	96.09±4.76 ^{defghi}	92.54±5.92 ^{hij}	102.39±4.15 ^{abcde}	-	89.96±5.97 ⁱⁱ	92.21±7.96 ^{hij}	99.19±7.55 ^{abcdefg}
150	-	93.05±8.61 ^{hij}	88.09±9.59 ^{jk}	98.11±9.13 ^{bcddefgh}	-	78.31±6.89 ^l	79.05±4.20 ^l	82.90±4.66 ^{kl}

- หมายเหตุ: 1. สัญลักษณ์ AIR, OAB, CO2 และ VAC แสดงระบบการบรรจุแบบอากาศปกติ การกำจัดออกซิเจนด้วยช่องดูดซับออกซิเจน การพ่นก๊าซ CO₂ และการบรรจุสุญญากาศ ตามลำดับ
 2. ตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (*n* = 9)
 3. ค่าความชื้นของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งของระบบการบรรจุ AIR ไม่ได้รายงาน (สัญลักษณ์ เครื่องหมาย -) เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าได้ เพราะเกิดการเจริญเติบโตเดิบโดยเชื้อจุลินทรีย์จนสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

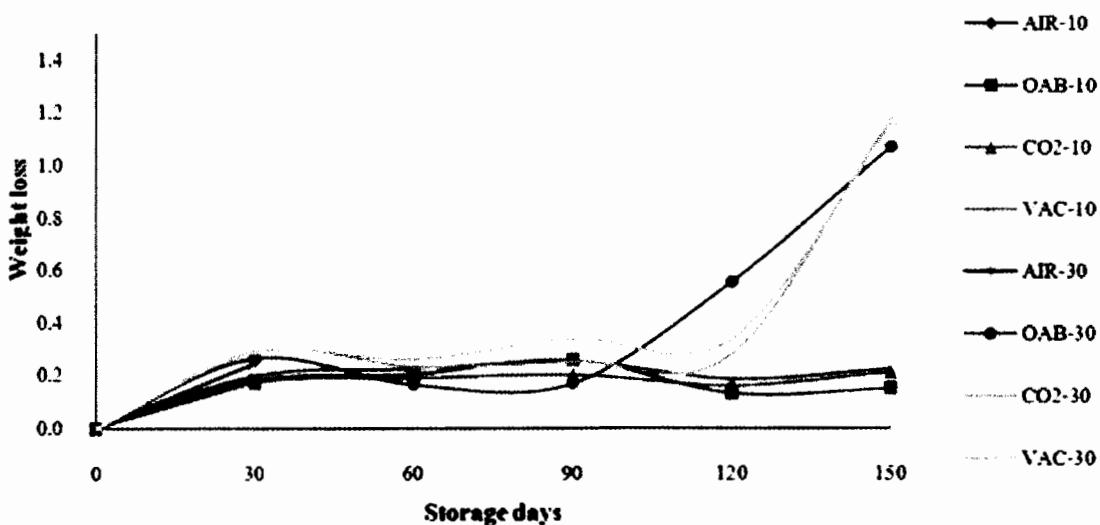
4.4 การสูญเสียน้ำหนัก

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของปัจจัยที่ศึกษาต่อการสูญเสียน้ำหนักพบว่า อุณหภูมิ (Temperature) และระยะเวลาการเก็บรักษา (Storage day) เป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อการสูญเสียน้ำหนัก (ตารางที่ 4.4 และ 4.5 ในภาคผนวก) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบการบรรจุ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา (Packaging x Temperature x Storage day) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อการสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนัก (ค่าร้อยละ) ของมะเขือเทศเชอร์รี่ ในระหว่างการเก็บรักษาด้วยสิ่งที่ดลอง ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.4 พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา โดยใน 30 วันแรกของการเก็บรักษา มีการสูญเสียน้ำหนักอย่างชัดเจน ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับ การสูญเสียความชื้นของมะเขือเทศเชอร์รี่อ่อนแห้ง ในช่วงเวลาดังกล่าว (ตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.3) จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.4 พบว่าการสูญเสียน้ำหนักของมะเขือเทศในทุกระบบการบรรจุ ที่อุณหภูมิ 30°C เกิดได้ในระดับที่สูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อิทธิพลจากระบบการบรรจุต่อการสูญเสียน้ำหนักไม่ชัดเจนเท่ากับอิทธิพลจากอุณหภูมิ สอดคล้องกับ ผลการวิเคราะห์ ANOVA (ตารางที่ 4.4 และ 4.5 ในภาคผนวก) ที่แสดงให้ทราบว่าปัจจัยจากระบบ การบรรจุเพียงอย่างเดียว นั้นไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการสูญเสียน้ำหนัก เนื่องจากอุณหภูมิ สูงส่งผลทำให้เกิดการเร่งของกระบวนการแพร่องน้ำจากมะเขือเทศmany บรรยายกาศบรรจุภัณฑ์ และ/หรือการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอน้ำในบรรจุภัณฑ์และผงเหล็กในช่องดูดซับออกซิเจน บรรจุภัณฑ์ ถุงเมทัลไลซ์ที่ใช้ในการทดลองนี้สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี จึงช่วยลดการสูญเสียน้ำจาก บรรยายกาศบรรจุภัณฑ์ many บรรยายกาศภายนอก จึงเป็นสาเหตุสำคัญหนึ่งที่ส่งผลให้ระดับการสูญเสิน้ำหนักของมะเขือเทศเชอร์รี่อ่อนแห้งไม่สูงมาก

ในช่วง 120 วันของการเก็บรักษาการสูญเสียน้ำหนักของมะเขือเทศเชอร์รี่อ่อนแห้ง ในทุกสิ่งที่ดลอง มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ แต่ในวันที่ 150 พบรากว่าการสูญเสียน้ำหนักของมะเขือเทศเชอร์รี่ อ่อนแห้งในทุกระบบการบรรจุ โดยที่อุณหภูมิ 30°C การสูญเสียน้ำหนักมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนโดยอยู่ ในช่วงร้อยละ 1.07-1.18 การเพิ่มขึ้นของการสูญเสียน้ำหนักนี้ สอดคล้องกับค่าความชื้นของมะเขือเทศเชอร์รี่อ่อนแห้งที่วัดในวันที่ 150 ซึ่งมีการลดลงน้อยกว่าความชื้นในวันแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.3) การลดลงของความชื้นดังกล่าวอาจเกิดจากผลของการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิที่สูง ส่งผลให้เกิดการแพร่องน้ำจากผลิตภัณฑ์ many บรรยายกาศบรรจุภัณฑ์ได้อย่างต่อเนื่อง และนำไปสู่การสูญเสียน้ำหนักในระดับที่เพิ่มสูงขึ้น ผลการทดลองนี้ได้สะท้อนให้เห็นว่า การเก็บรักษามะเขือเทศเชอร์รี่อ่อนแห้งที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานาน สามารถส่งผลให้เกิดการสูญเสีย ความชื้นและน้ำหนัก และอาจส่งผลต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสได้ โดยผลการทดลองสอดคล้องกับผล การศึกษาของ Gloria Soto-Zamora et al. (2005) และ Javanmardi and Kubota (2006) ที่ได้

รายงานว่าอุณหภูมิสูงจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักของมะเขือเทศในระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.4 แนวโน้มร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของมะเขือเทศเชื่อว่าในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุด้วยระบบบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C

4.5 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส

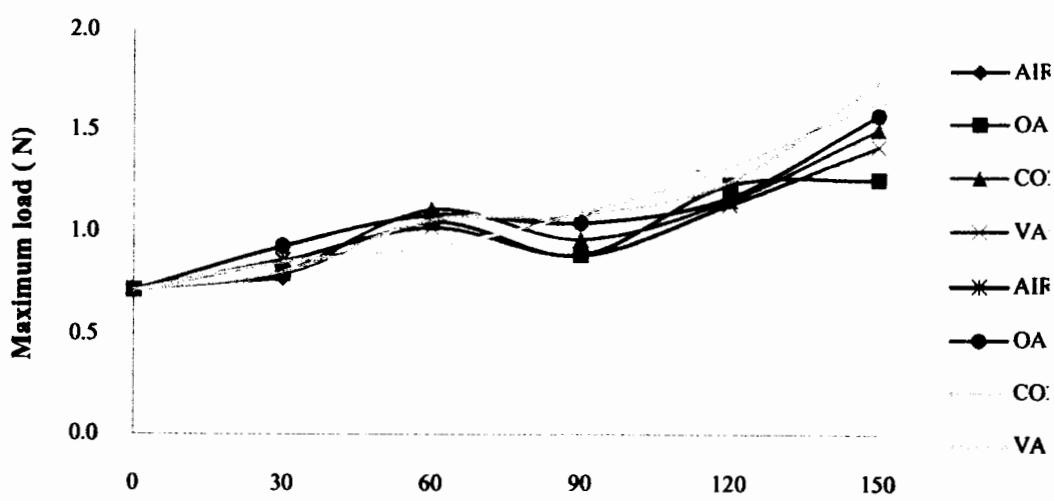
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าแรงสูงสุดที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัส (Maximum load: N) (ตารางที่ จ.6 และ จ.7 ในภาคผนวก) พบร่วมกันและระยะเวลากลางๆ ที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อค่าแรงสูงสุด ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบบรรจุ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา (Packaging x Temperature x Storage day) ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต่อค่าแรงสูงสุด แต่ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง (1) ระบบบรรจุและระยะเวลาการเก็บรักษา (Packaging x Storage day) และ (2) อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา (Temperature x Storage day) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อค่าแรงสูงสุด (ตารางที่ จ.6 และ จ.7 ในภาคผนวก)

ตารางที่ 4.2 การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ) ของมะเขือเทศเรือบแห้งในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน

Days	Temperature 10°C				Temperature 30°C			
	AIR	OAB	CO2	VAC	AIR	OAB	CO2	VAC
30	0.17±0.06 ^{ghijk}	0.18±0.05 ^{ghijk}	0.17±0.05 ^{ghijk}	0.20±0.06 ^{efghijk}	0.25±0.03 ^{defghij}	0.26±0.07 ^{defg}	0.29±0.05 ^{de}	0.25±0.05 ^{defghi}
60	-	0.20±0.08 ^{efghijk}	0.19±0.06 ^{fghijk}	0.23±0.10 ^{efghijk}	-	0.16±0.05 ^{hijk}	0.23±0.08 ^{efghij}	0.26±0.08 ^{defgh}
90	-	0.26±0.04 ^{defghi}	0.20±0.10 ^{efghijk}	0.25±0.08 ^{defghi}	-	0.17±0.07 ^{ghijk}	0.25±0.09 ^{defghi}	0.34±0.06 ^d
120	-	0.13±0.05 ^k	0.16±0.04 ^{jk}	0.19±0.07 ^{ghijk}	-	0.55±0.10 ^c	0.28±0.08 ^{def}	0.33±0.05 ^d
150	-	0.15±0.04 ^{jk}	0.21±0.06 ^{efghijk}	0.23±0.13 ^{efghijk}	-	1.07±0.09 ^b	1.18±0.19 ^a	1.15±0.17 ^a

- หมายเหตุ: 1. สัญลักษณ์ AIR, OAB, CO2 และ VAC แสดงระบบการบรรจุอากาศปกติ การกำจัดออกซิเจนด้วยช่องดูดซับออกซิเจน การพ่นกําช CO₂ และการบรรจุสูญญากาศ ตามลำดับ
2. ตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (*n* = 9)
3. ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของมะเขือเทศเรือบแห้งของระบบการบรรจุ AIR ไม่ได้รายงาน (สัญลักษณ์ เครื่องหมาย -) เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าได้ เพราะเกิดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลทรรศน์สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

ตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.5 แสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงสูงสุดที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสของมะเขือเทศเชอร์รี่อบแห้ง ในสิ่งททดสอบต่าง ๆ พบว่าค่าแรงสูงสุดที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในระหว่างสิ่งทดสอบ อย่างไรก็ตาม ค่าแรงสูงสุดที่วัดได้จากมะเขือเทศเชอร์รี่อบแห้งที่เก็บรักษาในระบบการบรรจุต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30°C มีแนวโน้มสูงกว่าที่อุณหภูมิ 10°C แม้ว่าจะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม โดยแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C นั้นมีเนื้อสัมผัสที่แข็งและกระด้างมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาที่มีต่อเนื้อสัมผัสดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) (ตารางที่ จ.6 และ จ.7 ในภาคผนวก) ที่แสดงให้ทราบว่าอุณหภูมิมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ต่อค่าแรงสูงสุดที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัส ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของมะเขือเทศเชอร์รี่อบแห้งมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น (ตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.3) และการสูญเสียน้ำหนัก (ตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.4) โดยตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นจะลดลง เนื่องจากอุณหภูมิอิทธิพลต่อการสูญเสียความชื้นหรือเกิดการแพร่ของน้ำออกจากตัวผลิตภัณฑ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อข้างต้น ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก และผลิตภัณฑ์เกิดการสูญเสียน้ำ นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของความแข็งกระด้างของเนื้อสัมผัส



ภาพที่ 4.5 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าแรงสูงสุดที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสของมะเขือเทศเชอร์รี่อบแห้งในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุตัวยาระบบบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน

ตารางที่ 4.3 ค่าแรงสูงสุด (Maximum load: N) จากการวัดเนื้อสัมผัสของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ ณ ผู้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน

Days	Temperature 10°C				Temperature 30°C			
	AIR	OAB	CO2	VAC	AIR	OAB	CO2	VAC
30	0.78±0.13 ^o	0.80±0.15 ^o	0.80±0.13 ^{no}	0.86±0.26 ^{no}	0.86±0.29 ^{mno}	0.93±0.12 ^{klmno}	0.80±0.23 ^{no}	0.85±0.14 ^{no}
60	-	1.05±0.16 ^{ijkl}	1.11±0.17 ^{fghij}	1.02±0.17 ^{ijklm}	-	1.08±0.11 ^{hijk}	1.06±0.20 ^{ijkl}	0.92±0.18 ^{lmno}
90	-	0.89±0.18 ^{mno}	0.96±0.15 ^{jklnn}	0.88±0.26 ^{mno}	-	1.04±3.01 ^{ijkl}	1.08±0.22 ^{hijk}	1.09±0.13 ^{ghij}
120	-	1.23±0.19 ^{efgh}	1.15±0.16 ^{fghi}	1.13±0.19 ^{fghi}	-	1.17±0.31 ^{efghi}	1.24±0.19 ^{efg}	1.31±0.17 ^{de}
150	-	1.25±0.30 ^{ef}	1.49±0.24 ^{bc}	1.41±0.25 ^{cd}	-	1.56±0.27 ^b	1.73±0.17 ^a	1.63±0.28 ^{ab}

- หมายเหตุ: 1. สัญลักษณ์ AIR, OAB, CO2 และ VAC แสดงระบบการบรรจุอากาศปกติ การกำจัดออกซิเจนด้วยช่องดูดขับออกซิเจน การพ่นก๊าซ CO₂ และการบรรจุสูญญากาศ ตามลำดับ
 2. ตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 18$)
 3. ค่าแรงสูงสุด (Maximum load) จากการวัดเนื้อสัมผัสของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งของระบบการบรรจุ AIR ไม่ได้รายงาน (สัญลักษณ์ เครื่องหมาย -)
 เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าได้ เพราะเกิดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าสี

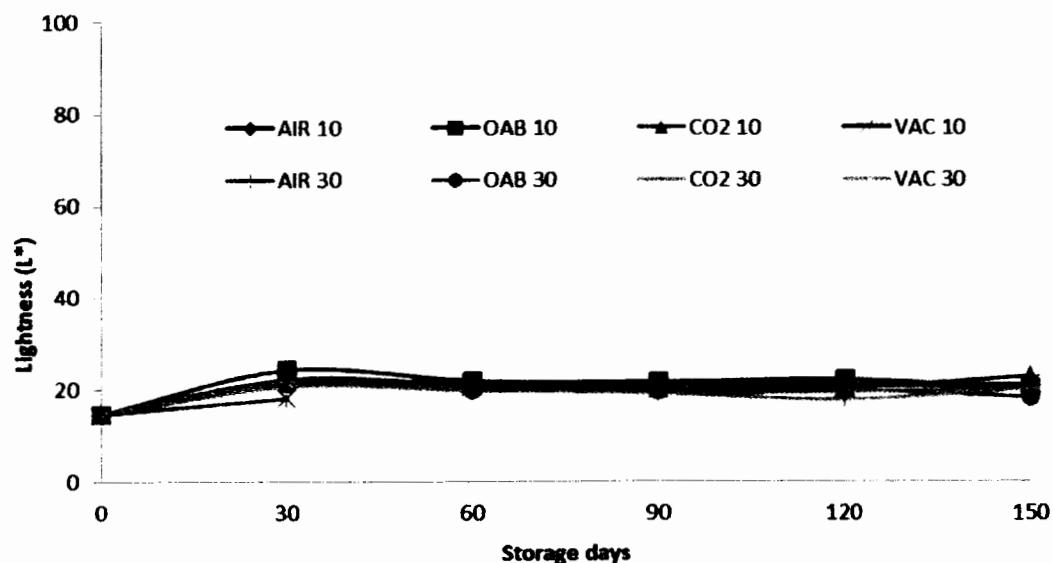
จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความสว่าง (ค่า L*) ของมะเขือเทศเชือรีอบแห้งที่เก็บรักษาในสิ่งทดลงต่างๆ (ตารางที่ จ.8 และ จ.9 ในภาคผนวก) พบว่าระบบการบรรจุ (Packaging) อุณหภูมิ (Temperature) และระยะเวลาการเก็บรักษา (Storage day) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อค่า L* ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบการบรรจุ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา (Packaging x Temperature x Storage day) ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง (1) ระบบการบรรจุและอุณหภูมิ (Packaging x Temperature) และ (2) ระบบการบรรจุและระยะเวลาการเก็บรักษา (Packaging x Storage day) พบร่วมกันมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อค่า L* (ตารางที่ จ.8 และ จ.9 ในภาคผนวก)

การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (ค่า L*) ของมะเขือเทศเชือรีอบแห้งในสิ่งทดลงต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.6 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความสว่าง ณ วันที่ 0 มีค่า 14.61 หลังจากระยะเวลาการเก็บรักษา 30 วัน พบร่วมกันนี้มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทุกสิ่งทดลง (18.10-24.22) และภายหลังจากนั้นค่าความสว่างในมะเขือเทศเชือรีอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 150 วัน และไม่มีความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลง ความไม่แตกต่างระหว่างสิ่งทดลงอาจมีผลมาจากการลดลงของปริมาณก้าชอกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ (กรณีนี้ไม่รวมการบรรจุแบบอากาศปกติ) ส่งผลให้ลดลงปัจจัยทั้งสามต่อการเปลี่ยนแปลงความสว่างไม่ชัดเจน ส่วนมะเขือเทศเชือรีอบแห้งที่เก็บรักษาในระบบการบรรจุอากาศปกติที่ 10 และ 30°C นั้นมีอายุการเก็บรักษาเพียง 30 วัน โดยมะเขือเทศเชือรีอบแห้งไม่สามารถนำมารักษาได้เนื่องจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลทรรศน์ที่ได้นำเสนอข้างต้น

การเพิ่มของค่าความสว่างของมะเขือเทศเชือรีอบแห้งใน 30 วันแรกของการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.6) นั้นมีทิศทางตรงกันข้ามกับผลการศึกษาของ Akdeniz et al. (2012) ที่ได้รายงานว่าค่าความสว่างของมะเขือเทศอบแห้งแบบครึ่งลูก (สายพันธุ์ Rio Grande) มีการลดลงในระหว่างการเก็บรักษา 9 เดือน โดยการลดลงมีสาเหตุสำคัญจากการกระบวนการ Isomerization และ/หรือ กระบวนการ Autoxidation ของไลโคพีน หรือการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้อنزิเมติก (Non-enzymatic reaction) หรือ Maillard reaction โดยกระบวนการดังกล่าวส่งผลให้ค่าสีและความสว่างลดลง ทำให้มะเขือเทศมีสีคล้ำมากขึ้น (Toor and Savage, 2006)

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าสีแดง (ค่า a*) ของมะเขือเทศเชือรีอบแห้งที่เก็บรักษาในสิ่งทดลงต่างๆ (ตารางที่ จ.10 และ จ.11 ในภาคผนวก) พบว่าระบบการบรรจุ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา นั้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อค่า a* ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง (1) ระบบการบรรจุ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา (Packaging x Temperature x Storage day) ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบการ

บรรจุและอุณหภูมิ (Packaging x Temperature) และ (2) อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา (Temperature x Storage day) พบร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อค่า a^* (ตารางที่ จ.10 และ จ.11 ในภาคผนวก)



ภาพที่ 4.6 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมะเขือเทศเชอร์อืบแห้งที่บรรจุด้วยระบบบรรจุแบบต่าง ๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน

การเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของมะเขือเทศเชอร์อืบแห้ง ในสิ่งที่คลองต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.7 พบร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อค่า a^* ที่วัดได้ในวันที่ 150 มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่าที่วัดได้ในวันที่ 120 อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงนี้ไม่มีความแตกต่างระหว่างสิ่งที่คลอง เช่นเดียวกับผลจากการศึกษาค่าความสว่าง โดยผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่แสดงให้ทราบว่าปัจจัยพันธุ์ระหว่างปัจจัยทั้งสาม (หรือสิ่งที่คลอง) นั้นไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าสีแดงของมะเขือเทศเชอร์อืบแห้ง (ตารางที่ จ.10 และ จ.11 ในภาคผนวก) ทั้งนี้ การลดลงของสีแดงอาจเกิดจากการลดลงของปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศเชอร์ในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.4 ค่าความสว่าง (L^*) ของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่าง การเก็บรักษา 150 วัน

Days	Temperature 10°C				Temperature 30°C			
	AIR	OAB	CO2	VAC	AIR	OAB	CO2	VAC
30	21.50±1.20 ^{bcd}	24.22±2.05 ^a	22.19±1.36 ^{bc}	21.76±1.23 ^{bcd}	18.10±0.63 ^{jk}	21.17±2.03 ^{cdefg}	20.64±1.14 ^{defghi}	21.83±1.55 ^{bcd}
60	-	21.82±1.09 ^{bcd}	21.04±1.83 ^{cdefg}	20.59±1.04 ^{defghi}	-	19.75±0.98 ^{ghi}	19.84±0.99 ^{ghi}	20.41±0.88 ^{efghi}
90	-	21.56±1.27 ^{bcd}	19.92±0.46 ^{ghi}	21.12±0.97 ^{cdefg}	-	19.65±0.95 ^{ghi}	19.12±0.92 ^{ij}	19.31±1.45 ^{hij}
120	-	21.98±2.05 ^{bcd}	20.33±1.16 ^{efghi}	20.79±0.97 ^{cdefgh}	-	19.76±1.18 ^{ghi}	17.70±2.09 ^k	19.34±1.63 ^{hij}
150	-	20.13±2.44 ^{fghi}	22.79±2.22 ^b	20.83±1.57 ^{cdefgh}	-	18.07±3.12 ^{jk}	20.08±1.65 ^{fghi}	20.06±0.99 ^{fghi}

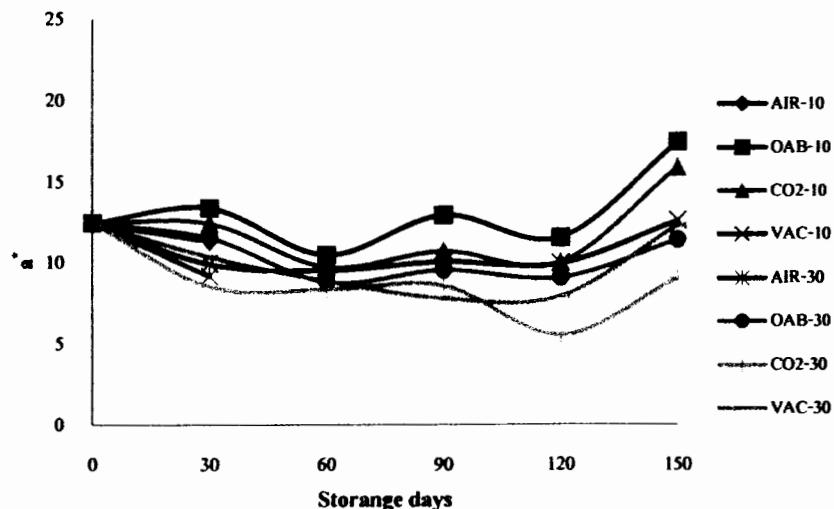
- หมายเหตุ: 1. สัญลักษณ์ AIR, OAB, CO2 และ VAC แสดงระบบการบรรจุอากาศปกติ การกำจัดออกซิเจนด้วยช่องดูดซับออกซิเจน การพ่นกําช CO₂ และการบรรจุสุญญากาศ ตามลำดับ
2. ตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($g = 18$)
3. ค่าความสว่าง (ค่า L^*) ของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งของระบบการบรรจุ AIR ไม่ได้รายงาน (สัญลักษณ์ เครื่องหมาย -) เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าได้ เพราะเกิดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

ซึ่งอาจเป็นผลจากกระบวนการ Isomerization และ/หรือ Autooxidation ของไลโคพีน หรือปฏิกิริยาสิน้ำตาลแบบ Non-enzymatic หรือ Maillard reaction (Toor and Savage, 2006) ส่วนการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยของค่า a^* อาจมีสาเหตุจากการลดลงของความชื้นในตัวผลิตภัณฑ์ที่อาจส่งผลให้ความเข้มข้นของไลโคพีนเพิ่มขึ้น แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงไม่มีความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง แต่สามารถสังเกตได้ว่าเมะเขือเทศซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ 10°C มีค่าเฉลี่ยของค่า a^* สูงกว่าที่อุณหภูมิ 30°C อาจเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของไลโคพีนได้เร็วมากขึ้น (หัวข้อต่อไปแสดงผลและอภิปรายการเปลี่ยนแปลงของไลโคพีนของเมะเขือเทศเรื่องแห้ง)

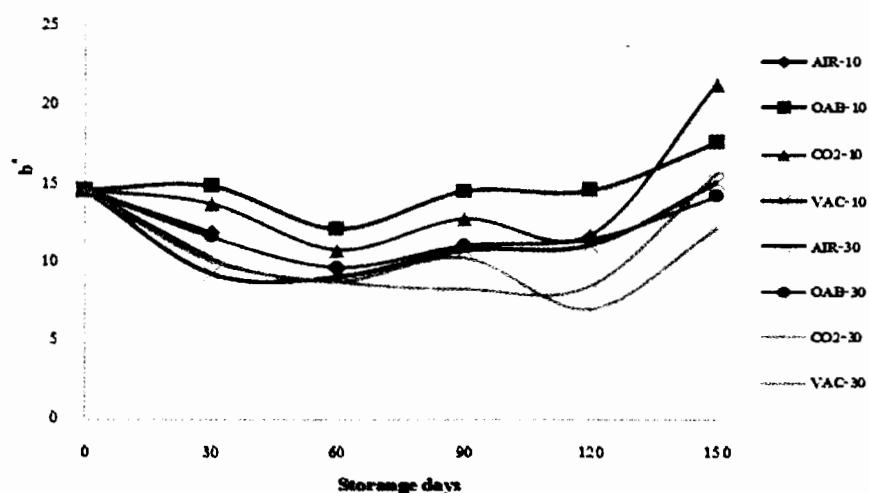
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าสีเหลือง (ค่า b^*) ของเมะเขือเทศเรื่องแห้งที่เก็บรักษาในสิ่งทดลองต่างๆ (ตารางที่ จ.12 และ จ.13 ในภาคผนวก) พบร่วมระบบการบรรจุ อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อค่า b^* ปฏิกิริยาพันธ์ระหว่างระบบการบรรจุ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา (Packaging \times Temperature \times Storage day) ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปฏิกิริยาพันธ์ระหว่างระบบการบรรจุและอุณหภูมิ (Packaging \times Temperature) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อค่า b^* (ตารางที่ จ.12 และ จ.13 ในภาคผนวก)

การเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของเมะเขือเทศเรื่องแห้งในสิ่งทดลองต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.8 จากข้อมูลพบว่าค่าสีเหลืองของเมะเขือเทศเรื่องแห้งในทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยและคงที่ระหว่างการเก็บรักษา 120 วัน แต่จะมีค่าที่เพิ่มขึ้นในวันที่ 150 ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า b^* นี้เป็นไปในทิศทางเดียวกับค่า a^* (ตารางที่ 4.5 และ ภาพที่ 4.7) การลดลงของค่า b^* แสดงให้ทราบว่าสีของเมะเขือเทศมีความเป็นสีเหลืองลดลง หรือมีความคล้ำมากขึ้น (เนื่องจากมีความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น) ในช่วง 30-60 วันของการเก็บรักษาค่า b^* มีแนวโน้มลดลงมากกว่าค่า a^* ซึ่งส่งผลให้ค่าอัตราส่วนระหว่าง a^*/b^* (a^*/b^* ratio) ของเมะเขือเทศเรื่องแห้งเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.9) โดย a^*/b^* ratio เป็นตัวที่สำคัญที่ใช้ในการบอกถึงคุณภาพสี (Brightness of red colour) ของเมะเขือเทศ (Shi et al., 1999) Akdeniz et al. (2012) รายงานว่าอัตราส่วนระหว่าง a^*/b^* ของเมะเขือเทศ อบแห้งที่เก็บรักษาในสภาวะสูญญากาศ ที่ 20°C เป็นเวลา 9 เดือน มีการลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าค่า a^* ลดลง และมีค่า b^* เพิ่มขึ้น โดยความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่าง มะเขือเทศเรื่องแห้งในการศึกษานี้และมะเขือเทศอบแห้งแบบครึ่งลูกที่รายงานโดย Akdeniz et al. (2012) อาจมีผลจากอุณหภูมิและความชื้นในกระบวนการอบแห้ง (Toor and Savage, 2006) ค่าอัตราส่วนระหว่าง a^*/b^* ของเมะเขือเทศเรื่องแห้งในทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มคงที่ตลอดการเก็บรักษาภายหลังจาก 60 วัน ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า a^* และ b^* (ภาพที่ 4.7 และ ภาพที่ 4.8) การเพิ่มขึ้นของค่า b^* ที่วัดได้ในวันที่ 150 ของการเก็บรักษาแสดงให้ทราบว่าเมะเขือเทศเรื่องแห้ง

ที่เหลืองมากขึ้น ในขณะเดียวกันค่า a^* ก็เพิ่มขึ้นด้วย จึงเป็นผลให้อัตราส่วนระหว่าง a^*/b^* ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก



ภาพที่ 4.7 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (ค่า a^*) ของมะเขือเทศเรือบแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน



ภาพที่ 4.8 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองของมะเขือเทศเรือบแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน

ตารางที่ 4.5 ค่า a^* ของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน

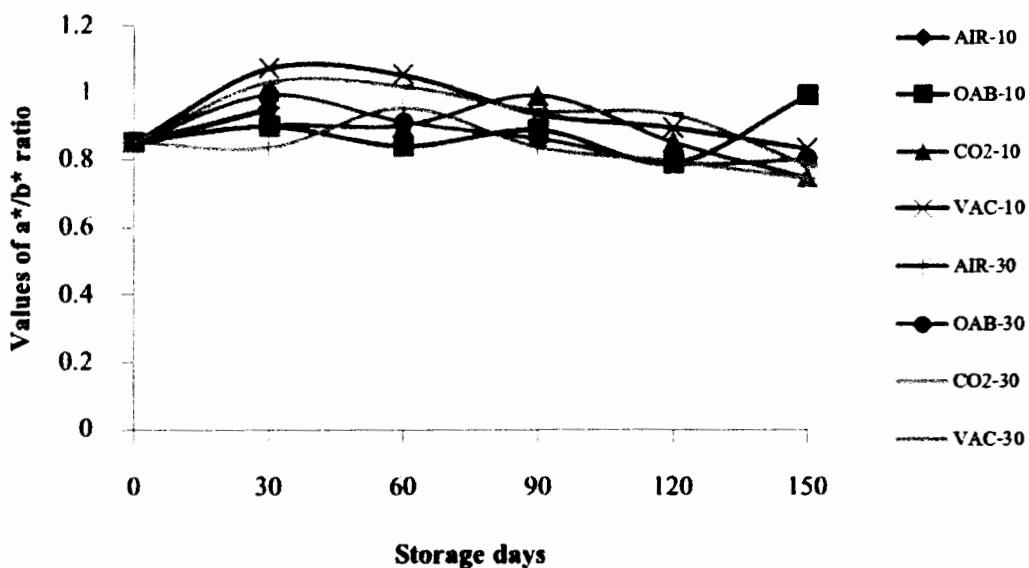
Days	Temperature 10°C				Temperature 30°C			
	AIR	OAB	CO2	VAC	AIR	OAB	CO2	VAC
30	$11.31 \pm 2.48^{\text{bcdefg}}$	$13.36 \pm 2.7^{\text{b}}$	$12.40 \pm 2.12^{\text{bcde}}$	$9.90 \pm 0.87^{\text{defgh}}$	$9.15 \pm 2.74^{\text{fgh}}$	$11.51 \pm 2.72^{\text{bcdef}}$	$8.52 \pm 2.16^{\text{fgh}}$	$10.35 \pm 2.46^{\text{cdefgh}}$
60	-	$10.46 \pm 0.93^{\text{bcdefgh}}$	$9.73 \pm 0.87^{\text{defgh}}$	$9.50 \pm 1.00^{\text{efgh}}$	-	$8.80 \pm 2.17^{\text{fgh}}$	$8.34 \pm 2.21^{\text{gh}}$	8.86 ± 1.75
90	-	$12.90 \pm 1.62^{\text{bc}}$	$10.69 \pm 2.65^{\text{bcdefgh}}$	$10.03 \pm 1.22^{\text{cdefgh}}$	-	$9.53 \pm 1.40^{\text{efgh}}$	$8.57 \pm 1.98^{\text{fgh}}$	$7.80 \pm 1.53^{\text{hi}}$
120	-	$11.50 \pm 2.10^{\text{bcdef}}$	$9.99 \pm 1.43^{\text{cdefgh}}$	$9.91 \pm 1.35^{\text{defgh}}$	-	$9.04 \pm 1.98^{\text{fgh}}$	$5.54 \pm 1.50^{\text{i}}$	$7.90 \pm 2.13^{\text{hi}}$
150	-	$17.42 \pm 6.6^{\text{a}}$	$15.85 \pm 7.55^{\text{a}}$	$12.55 \pm 4.94^{\text{bcd}}$	-	$11.37 \pm 5.46^{\text{bcdef}}$	$9.03 \pm 5.54^{\text{fgh}}$	$12.25 \pm 7.18^{\text{bcde}}$

- หมายเหตุ: 1. สัญลักษณ์ AIR, OAB, CO2 และ VAC แสดงระบบการบรรจุอากาศปกติ การกำจัดออกซิเจนด้วยช่องดูดซับออกซิเจน การพ่นก๊าซ CO_2 และการบรรจุสูญญากาศ ตามลำดับ
 2. ตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($k = 18$)
 3. ค่าสีแดง (ค่า a^*) ของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งของระบบการบรรจุ AIR ไม่ได้รายงาน (สัญลักษณ์ เครื่องหมาย -) เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าได้ เพราะเกิดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

ตารางที่ 4.6 ค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน

Days	Temperature 10°C				Temperature 30°C			
	AIR	OAB	CO2	VAC	AIR	OAB	CO2	VAC
30	11.89±2.84 ^{cdefghi}	14.87±5.96 ^{bcd}	13.74±1.92 ^{cdefg}	9.24±0.90 ^{hij}	10.25±1.39 ^{ghij}	11.61±2.50 ^{defghi}	10.19±2.84 ^{ghij}	10.05±2.12 ^{ghij}
60	-	12.14±1.36 ^{cdefghi}	10.79±1.23 ^{fghij}	9.04±2.10 ^{hij}	-	9.66±2.51 ^{hij}	8.75±1.58 ^{ij}	8.71±1.38 ^{ij}
90	-	14.53±1.52 ^{bcd}	12.78±2.19 ^{cdefgh}	10.75±1.03 ^{fghij}	-	11.06±1.75 ^{eFGHI}	10.26±1.89 ^{ghij}	8.26±1.07 ^{ij}
120	-	14.57±2.97 ^{bcd}	11.74±2.16 ^{defghi}	11.09±0.91 ^{eFGHI}	-	11.46±1.33 ^{defghi}	6.97±2.96 ^j	8.47±2.14 ^{ij}
150	-	17.57±7.07 ^b	21.22±11.23 ^a	15.09±7.94 ^{bcd}	-	14.18±5.89 ^{bcd}	12.14±7.64 ^{cdefghi}	15.66±10.42 ^{bc}

- หมายเหตุ: 1. สัญลักษณ์ AIR, OAB, CO2 และ VAC แสดงระบบการบรรจุอากาศปกติ การกำจัดออกซิเจนด้วยช่องดูดซับออกซิเจน การพ่นก๊าซ CO₂ และการบรรจุสูญญากาศ ตามลำดับ
2. ตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (*n* = 18)
3. ค่าสีเหลือง (ค่า b*) ของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งของระบบการบรรจุ AIR ไม่ได้รายงาน (สัญลักษณ์ เครื่องหมาย -) เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าได้ เพราะเกิดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลทรรศ์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า



ภาพที่ 4.9 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนระหว่าง a^*/b^* (a^*/b^* ratio) ของมะเขือเทศ เชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่างๆ เมื่อกีบรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่างการกีบรักษา 150 วัน

4.7 การเปลี่ยนแปลงไลโคพีน (Lycopene)

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของปริมาณไลโคพีนของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่กีบรักษาในสิ่งที่คลองต่างๆ (ตารางที่ จ.14 และ จ.15 ในภาคผนวก) พบว่าระบบการบรรจุ (Packaging) อุณหภูมิ (Temperature) และระยะเวลาการกีบรักษา (Storage day) นั้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อปริมาณไลโคพีน ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง (1) ระบบการบรรจุ อุณหภูมิ และระยะเวลาการกีบรักษา (Packaging x Temperature x Storage day) (2) ระบบการบรรจุ และอุณหภูมิ (Packaging x Temperature) (3) ระบบการบรรจุ และระยะเวลาการกีบรักษา (Packaging x Storage day) และ (4) อุณหภูมิ และระยะเวลาการกีบรักษา (Temperature x Storage day) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อปริมาณไลโคพีน (ตารางที่ จ.14 และ จ.15 ในภาคผนวก) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศเชอร์อับแห้ง แสดงในตาราง 4.7 และภาพที่ 4.10 จากข้อมูลพบว่าปริมาณไลโคพีนมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการกีบรักษา ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไลโคพีนเริ่มต้น ($83.82 \text{ mg}/100 \text{ g db}$) แม้ว่าได้มีการเพิ่มขึ้นประมาณ 1.2 เท่าในวันที่ 30 ของสิ่งที่คลอง OAB-30 ซึ่งการเพิ่มขึ้นนั้นจะเป็นผลมาจากการ แปรปรวนของมะเขือเทศเชอร์ที่ทำการอบแห้ง โดยแนวโน้มการลดลงของไลโคพีนดังกล่าวสามารถพบได้ในทุกสิ่งที่คลอง จากผลการศึกษาดังกล่าวทำให้สรุปได้ว่าระยะเวลาการกีบรักษามะเขือเทศเชอร์

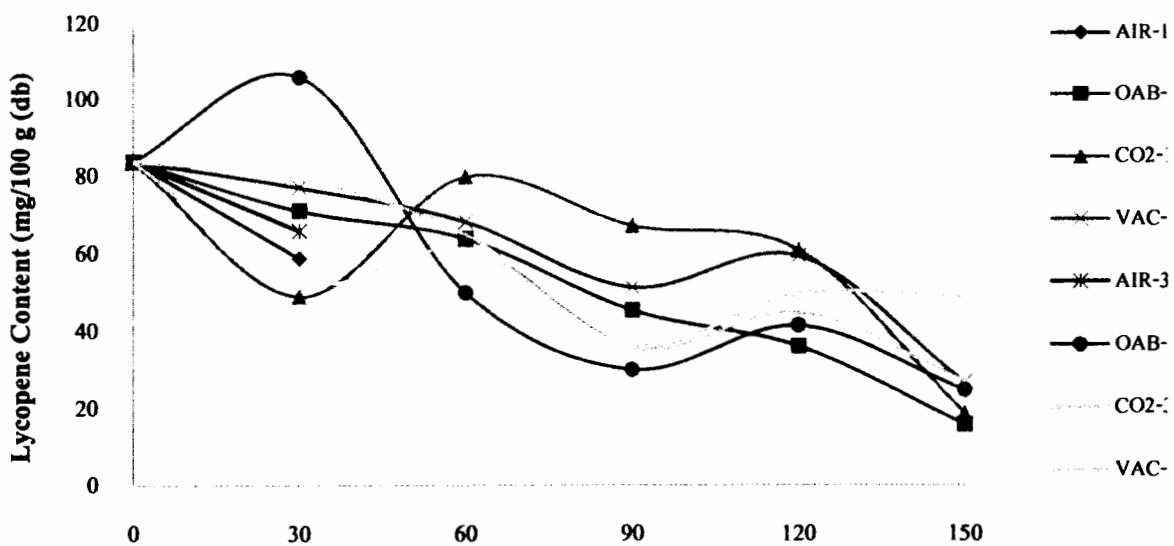
อบแห้งส่งผลให้ปริมาณไลโคพีนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่แสดงให้ทราบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นปัจจัยส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อปริมาณไลโคพีน (ตารางที่ จ.14 และ จ.15 ในภาคผนวก) การลดลงของปริมาณไลโคพีนในการศึกษานี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของเยาวภา สิริวัฒนา奴กุล (2545) และ Hussein and El-Tohamy (1990) ซึ่งได้ศึกษาปริมาณไลโคพีนในซอสมะเขือเทศ พบร่วมปริมาณไลโคพีนที่เก็บรักษาระยะเวลาการลดลง ซึ่งการลดลงของปริมาณไลโคพีนอาจมีสาเหตุสำคัญเนื่องมาจากไลโคพีนไม่เสถียรและไวต่อแสง ความร้อน กรด และออกซิเจน

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงของไลโคพีน พบร่วมจะเชือเทศ เชื้อรืบแห้งที่เก็บภายใต้สภาวะ 10°C มีแนวโน้มที่จะมีปริมาณไลโคพีนเหลืออยู่สูงกว่าปริมาณไลโคพีนของมะเขือเทศเชื้อรืบแห้ง ที่เก็บรักษาที่ 30°C ในทุกสิ่งทดลอง โดยเฉพาะช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 120 วัน (ตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.10) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่แสดงให้ทราบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าไลโคพีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ จ.14 และ จ.15 ในภาคผนวก) นอกจากนี้ ผลการศึกษาได้สนับสนุนความรู้ในประเด็นอุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูงสามารถเร่งการเสื่อมลายของสารสำคัญและการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร (Labuza, 1982; Robertson, 1993) อย่างไรก็ตาม ปริมาณไลโคพีนของมะเขือเทศเชื้อรืบแห้งในสิ่งทดลอง VAC-30 ณ วันที่ 120 และ 150 ที่สูงกว่าปริมาณไลโคพีนในสิ่งทดลองอื่นๆ เมื่อพิจารณาในช่วงเวลาเดียวกัน ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่แสดงให้ทราบว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบการบรรจุ อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อปริมาณไลโคพีน สาเหตุที่ส่งผลให้ปริมาณไลโคพีนมีค่าสูงภายใต้การบรรจุสูญญากาศและอุณหภูมิ 30°C ยังไม่สามารถอธิบายได้ใน การศึกษานี้ จึงควรมีการศึกษาค้นคว้าต่อไป

ตารางที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคพีน (Lycopene; mg/100g db) ของมะเขือเทศเชอร์อوبแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ และในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน

Days	Temperature 10°C				Temperature 30°C			
	AIR	OAB	CO2	VAC	AIR	OAB	CO2	VAC
30	58.67±5.24 ^f	71.05±4.49 ^c	48.91±3.99 ^{gh}	77.09±5.51 ^b	65.87±6.13 ^{cde}	105.84±8.23 ^a	79.49±5.56 ^b	52.56±6.93 ^g
60	-	63.86±6.41 ^{def}	79.91±6.48 ^b	68.25±1.39 ^{cd}	-	49.83±7.55 ^{gh}	64.96±5.91 ^{de}	61.08±8.04 ^{ef}
90	-	45.16±2.80 ^{hi}	67.13±3.96 ^{cd}	51.15±3.29 ^g	-	29.94±3.01 ^k	35.63±6.33 ^j	36.06±5.45 ^j
120	-	35.93±4.78 ^j	60.97±5.730 ^{ef}	59.36±4.52 ^f	-	41.38±4.99 ⁱ	44.71±3.59 ^{hi}	49.47±5.85 ^{gh}
150	-	15.61±2.34 ^m	18.52±1.22 ^m	26.62±4.81 ^{kl}	-	24.60±3.52 ^l	27.10±5.84 ^{kl}	48.90±1.85 ^{gh}

- หมายเหตุ: 1. สัญลักษณ์ AIR, OAB, CO2 และ VAC แสดงระบบการบรรจุอากาศปกติ การกำจัดออกซิเจนด้วยช่องดูดซับออกซิเจน การพ่นก๊าซ CO₂ และการบรรจุสุญญากาศ ตามลำดับ
 2. ตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (*n* = 18)
 3. ค่าปริมาณไลโคพีนของมะเขือเทศเชอร์อوبแห้งของระบบการบรรจุ AIR ไม่ได้รายงาน (สัญลักษณ์ เครื่องหมาย -) เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าได้
 เพราะเกิดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า



ภาพที่ 4.10 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคพีนของมะเขือเทศเรือหางที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ และในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C เป็นเวลา 150 วัน

4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total flavanoids)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ของมะเขือเทศเรือหางที่เก็บรักษาในสิ่งที่คล่องตัว (ตารางที่ จ.16 และ จ.17 ในภาคผนวก) พบว่าระบบการบรรจุ (Packaging) อุณหภูมิ (Temperature) และระยะเวลาการเก็บรักษา (Storage day) นั้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง (1) ระบบการบรรจุ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา (Packaging x Temperature x Storage day) (2) ระบบการบรรจุ และ อุณหภูมิ (Packaging x Temperature) (3) ระบบการบรรจุ และ ระยะเวลาการเก็บรักษา (Packaging x Storage day) และ (4) อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา (Temperature x Storage day) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ (ตารางที่ จ.16 และ จ.17 ในภาคผนวก)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ (Total flavanoids) ของมะเขือเทศเรือหางที่เก็บรักษาในระบบการบรรจุต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.11 ค่าเริ่มต้นของปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์เท่ากับ $115.52 \pm 2.92 \text{ mg/100 g (db)}$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดที่รายงานในมะเขือเทศอบแห้งอื่น ๆ เช่น มะเขือเทศอบแห้งสายพันธุ์ Excell, Tradiro และ Flavourine มีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 179, 183 และ 176 mg rutin eq/100 g dry matter ตามลำดับ (Chang et al, 2006 และ Toor and Savage, 2006)

ตัวอย่างสารฟลาโวนอยด์ในมะเขือเทศ เช่น Naringenin chalcone, Flavonol rutin และ Quercetin glycoside (Chang et al., 2006) เมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.11 พบว่าปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในมะเขือเทศเชอร์อบแห้งมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากการระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 37.18-89.75 mg/100 g (db) เมื่อเทียบกับปริมาณฟลาโวนอยด์เริ่มต้น ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ (ตารางที่ จ.16 และ จ.17 ในภาคผนวก) ภายหลังจากการเก็บรักษา 30 วัน ผู้วิจัยไม่สามารถวัดค่าปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อบแห้งที่บรรจุในบรรจاقةปิดตัวและเก็บรักษาที่ 10°C และ 30°C เช่นเดียวกับการวัดปริมาณไอลโคพีนเนื่องจากการเจริญเติบโตเติบโตของเชื้อจุลทรรศ์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

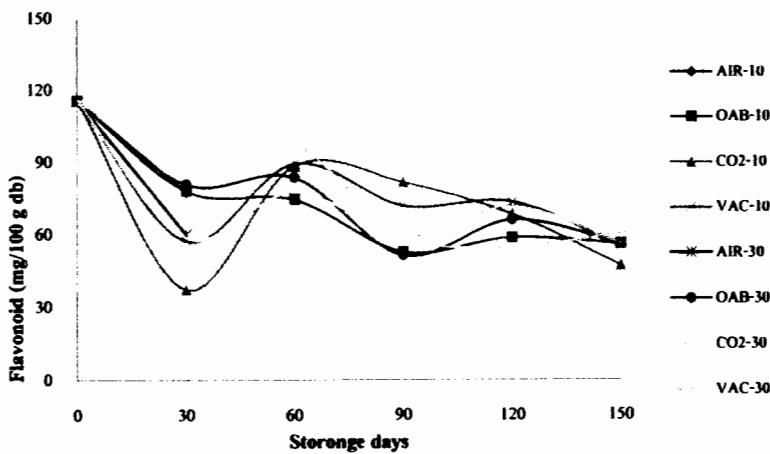
ภายหลังจากการเก็บรักษา 30 วัน พบว่าปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อบแห้งมีการลดลงบางเล็กน้อยแต่แนวโน้มโดยรวมมีค่าที่ค่อนข้างคงที่ โดยอยู่ในช่วง 54.72-60.17 mg/100 g (db) และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การลดลงของปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในมะเขือเทศ (Hossain and Gottschalk, 2009) และผลิตภัณฑ์อื่น เช่น น้ำผึ้ง (Saric et al., 2012) ที่ได้รายงานว่าปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีการลดลงในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้สารฟลาโวนอยด์ของมะเขือเทศเชอร์อันอาจอยู่ได้ทั้งในกลุ่ม phenolics และ/หรือ polyphenols ซึ่งสารเหล่านี้มีแนวโน้มที่ลดลงได้ในระหว่างการเก็บรักษา จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลให้ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดลดลงได้

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อบแห้งจากแต่ละสิ่งทดลอง (ตารางที่ 4.8) พบว่าสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดไม่ซัดเจนระหว่างสิ่งทดลอง โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาระหว่างอุณหภูมิ พบว่าปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อบแห้งที่เก็บรักษาที่ 30°C ในบางระบบการบรรจุ เช่น วันที่ 60 ของการเก็บรักษา การบรรจุแบบพ่นก๊าซ CO₂ มีค่าสูงกว่าปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดที่เก็บรักษาที่ 10°C ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในมะเขือเทศเชอร์อบแห้ง ในการศึกษานี้ แตกต่างจากผลที่รายงานใน Hossain and Gottschalk (2009) ที่รายงานว่าการลดลงของปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในมะเขือเทศอบแห้งที่อุณหภูมิห้อง (20°C) เกิดขึ้นได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิเช่น (5°C) ในระหว่างการเก็บรักษา 5 เดือน ซึ่งความแตกต่างนี้อาจเกิดจากชนิดของมะเขือเทศที่ใช้ในการศึกษา และ/หรือความซึ้งของผลิตภัณฑ์ โดยความซึ้งของมะเขือเทศเชอร์อบแห้ง

ตารางที่ 4.8 ปริมาณสารประกอบฟลาโนนอยด์ทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่าง 150 วัน

Days	Temperature 10°C				Temperature 30°C			
	AIR	OAB	CO2	VAC	AIR	OAB	CO2	VAC
30	77.43±2.41 ^{de}	77.92±3.99 ^{de}	37.18±2.12 ⁿ	57.21±1.65 ^j	59.77±2.65 ⁱ	80.77±1.12 ^{cd}	89.75±2.18 ^b	58.72±1.43 ^j
60	-	74.30±3.75 ^{ef}	88.32±2.43 ^b	89.31±4.79 ^b	-	83.41±5.23 ^c	97.03±6.25 ^a	77.55±2.69 ^{de}
90	-	52.63±2.90 ^{kl}	81.60±5.47 ^{cd}	71.82±4.11 ^{fg}	-	51.24±3.77 ^{lm}	59.98±4.33 ⁱ	57.53±7.64 ^{jk}
120	-	58.53±7.00 ^{ij}	68.16±6.85 ^{gh}	73.37±6.59 ^{ef}	-	65.86±3.61 ^h	71.52±5.96 ^{fg}	54.38±5.05 ^{jk}
150	-	55.79±2.99 ^{ijkl}	47.02±4.22 ^m	54.72±3.64 ^{ijkl}	-	56.01±3.98 ^{ijkl}	56.07±8.97 ^{ijkl}	60.17±4.02 ⁱ

- หมายเหตุ: 1. สัญลักษณ์ AIR, OAB, CO2 และ VAC แสดงระบบการบรรจุอากาศปกติ การกำจัดออกซิเจนด้วยช่องดูดซับออกซิเจน การพ่นก๊าซ CO₂ และการบรรจุสูญญากาศ ตามลำดับ
 2. ตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (*n* = 9)
 3. ค่าปริมาณฟลาโนนอยด์ทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งของระบบการบรรจุ AIR ไม่ได้รายงาน (สัญลักษณ์ เครื่องหมาย -) เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าได้ เพราะเกิดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า



ภาพที่ 4.11 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบพลาโวนอยด์ทั้งหมดของมะเขือเทศ เชื้อริบอนแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่าง 150 วัน

ในการศึกษานี้มีค่าประมาณ 88-112% (db) ซึ่งสูงกว่าความชื้นของมะเขือเทศอบแห้งที่รายงานโดย Hossain and Gottschalk (2009) ที่มีค่าระหว่าง 21-42% (db) Hossain and Gottschalk (2009) รายงานว่าการเสื่อมสภาพของปริมาณสารพลาโวนอยด์ทั้งหมด เกิดขึ้นได้มากในมะเขือเทศที่มีความชื้นที่สูง โดยการเสื่อมสภาพของปริมาณสารพลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงถึง 40% ในมะเขือเทศอบแห้งที่มีความชื้น 42% db จากที่รายงานข้างที่รายงานข้างต้นว่าความชื้นของมะเขือเทศเชื้อริบอนแห้งใน การศึกษานี้มีค่าสูงกว่า ดังนั้น การสูญเสียปริมาณสารพลาโวนอยด์ทั้งหมดจะจึงเกิดได้ในระดับที่สูงกว่า (ประมาณ 56-60%)

4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอกซิบิค (Ascorbic acid content)

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของปริมาณกรดแอกซิบิคของมะเขือเทศเชื้อริบอนแห้งที่เก็บรักษาในสิ่งที่คลองต่างๆ (ตารางที่ จ.18 และ จ.19 ในภาคผนวก) พบร่วมระบบการบรรจุ (Packaging) อุณหภูมิ (Temperature) และระยะเวลาการเก็บรักษา (Storage day) นั้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อปริมาณกรดแอกซิบิค ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง (1) ระบบการบรรจุ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา (Packaging x Temperature x Storage day) (2) ระบบการบรรจุ และ อุณหภูมิ (Packaging x Temperature) (3) ระบบการบรรจุ และระยะเวลาการเก็บรักษา

(Packaging x Storage day) และ (4) อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา (Temperature x Storage day) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อปริมาณกรดแอกซ์โคร์บิก (ตารางที่ จ.18 และ จ.19 ในภาคผนวก)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอกซ์โคร์บิกในมะเขือเทศเชอร์อับแห้งสิ่งที่คลองต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.12 ค่าเริ่มต้นของปริมาณกรดแอกซ์โคร์บิกมีค่าประมาณ 59.11 ± 7.21 mg ascorbic/100g sample เมื่อพิจารณาข้อมูลพบว่าปริมาณกรดแอกซ์โคร์บิกของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งในทุกสิ่งที่คลองมีค่าลดลงอย่างชัดเจนในช่วง 30 วันของการเก็บรักษา (34.97-38.35 mg ascorbic/100g sample) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้างต้นที่แสดงให้เห็นว่าเวลาในการเก็บรักษามีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณกรดแอกซ์โคร์บิก ($p < 0.05$) ภายหลังจากนั้นปริมาณกรดแอกซ์โคร์บิกมีแนวโน้มที่จะคงที่ ปริมาณกรดแอกซ์โคร์บิกที่วัดได้ในวันที่ 150 มีค่าต่ำกว่าค่าที่วัดได้ในวันที่ 120 เพียงเล็กน้อย

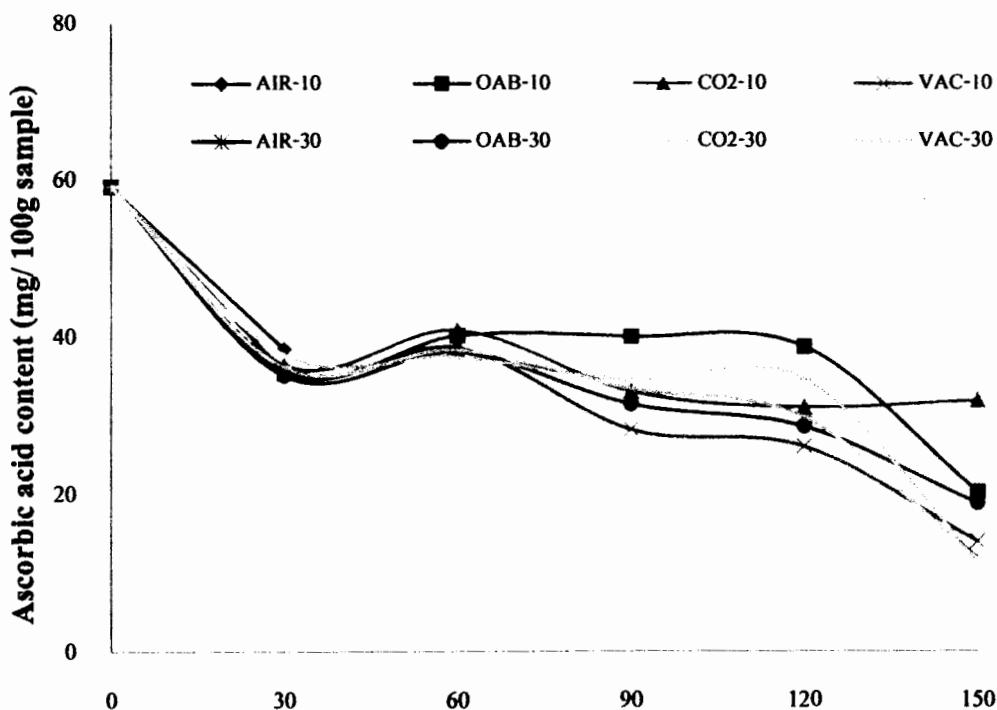
การเสื่อมสภาพของกรดแอกซ์โคร์บิกอาจเกิดขึ้นในสภาวะที่มีอากาศ (aerobic condition) และไม่มีอากาศ (anaerobic condition) การลายของกรดแอกซ์โคร์บิกในสภาวะไม่มีอากาศ (ดังเช่นระบบการบรรจุในการศึกษานี้ที่ทำการจำจัดก้าซอกรัฐเชิงจึงเกิดจากการเสื่อมสภาพในสภาวะที่ไม่มีอากาศ) นำไปสู่การสังเคราะห์สาร diketogulonic acid เพื่อนำไปสู่การสร้างสาร 3-deoxypentosone และมีการเสื่อมสภาพต่อจนได้สาร Furfural และสารโพลิเมอร์สีน้ำตาล (Eskin et al. 1971; Fennema, 1976; Belitz and Grosch, 1997) (ภาพที่ 4.13)

จากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.12 พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดแอกซ์โคร์บิกระหว่างสิ่งที่คลองไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนในภาพรวม แต่สามารถสังเกตได้ว่าปริมาณกรดแอกซ์โคร์บิกมีแนวโน้มลดลงมากเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นและเก็บรักษาในอุณหภูมิที่สูงสาเหตุที่อาจทำให้ความแตกต่างระหว่างสิ่งที่คลองที่ไม่ชัดเจน (เมื่อไม่นำการบรรจุแบบบรรยายกาศปกติมาพิจารณา) อาจเกิดจากการจำจัดออกซิเจนออกจากบรรจุภัณฑ์ก่อนการปิดฝา กซึ่งระบบการบรรจุทั้งสามนั้นสามารถจำจัดออกซิเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการใช้บรรจุภัณฑ์ประเภทเมทัลไลซ์ฟิล์มสามารถช่วยลดการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนที่เข้าออกจาบรรจุภัณฑ์ได้ดี จึงส่งผลให้การเสื่อมสภาพของกรดแอกซ์โคร์บิกเป็นการเสื่อมสภาพภายในอัตราที่ช้า ตั้งที่ได้อภิปรายข้างต้น

ตารางที่ 4.9 ปริมาณกรดแอกซ์บิคของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน

Days	Temperature 10°C				Temperature 30°C			
	AIR	OAB	CO2	VAC	AIR	OAB	CO2	VAC
30	38.35±2.96 ^{abcd}	35.33±5.26 ^{cde}	36.42±6.60 ^{bcd}	35.60±6.85 ^{cde}	35.37±4.77 ^{cde}	34.97±3.76 ^{cdef}	37.66±8.67 ^{abcd}	36.12±4.70 ^{bcd}
60	-	40.09±3.56 ^{ab}	40.82±5.36 ^a	38.54±3.57 ^{abc}	-	37.96±2.79 ^{abcd}	37.29±2.82 ^{abcd}	38.18±2.41 ^{abcd}
90	-	39.89±4.65 ^{ab}	32.90±3.11 ^{efgh}	28.05±3.40 ^{ij}	-	31.27±3.18 ^{fghi}	34.32±4.98 ^{defg}	33.23±6.24 ^{efgh}
120	-	38.57±4.96 ^{abc}	30.86±3.86 ^{ghi}	25.89±1.90 ^j	-	28.41±1.90 ^{ij}	34.38±8.09 ^{defg}	29.56±3.96 ^{hi}
150	-	20.12±5.83 ^k	35.05±8.11 ^{cdef}	13.90±7.31 ^l	-	18.73±4.41 ^k	11.69±3.46 ^l	11.67±3.26 ^l

- หมายเหตุ: 1. สัญลักษณ์ AIR, OAB, CO2 และ VAC แสดงระบบการบรรจุอากาศปกติ การกำจัดออกซิเจนด้วยช่องดูดขับออกซิเจน การพ่นก๊าซ CO₂ และการบรรจุสุญญากาศ ตามลำดับ
2. ตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 18$)
3. ค่าปริมาณกรดแอกซ์บิคของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งของระบบการบรรจุ AIR ไม่ได้รายงาน (สัญลักษณ์ เครื่องหมาย -) เนื่องจากไม่สามารถ量ดค่าได้ เพราะเกิดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

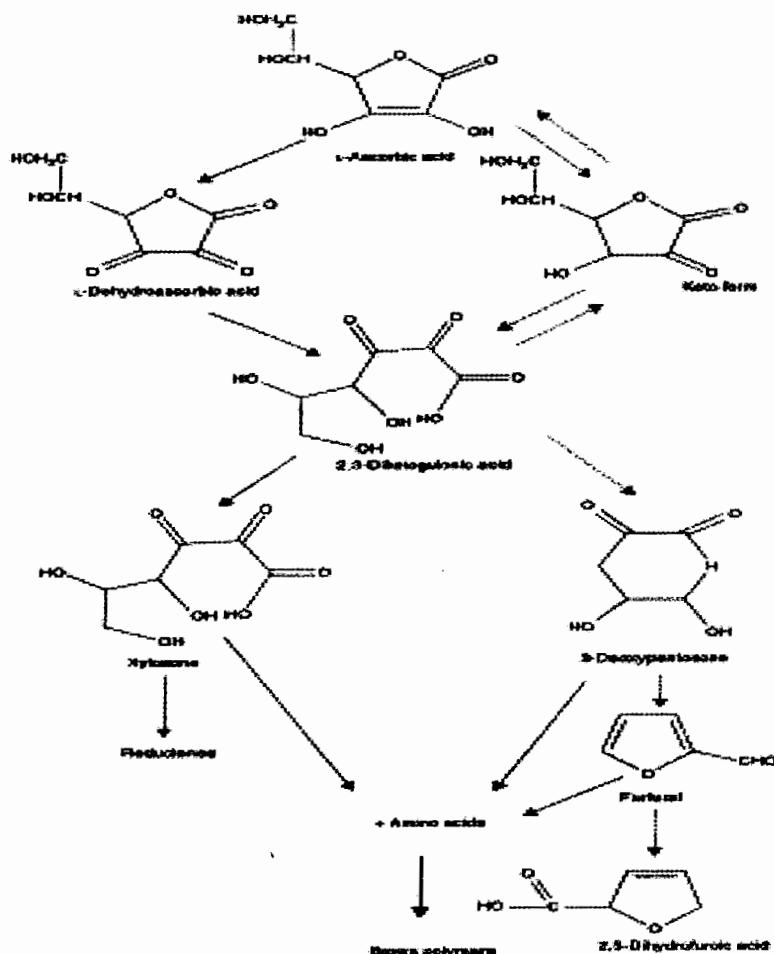


ภาพที่ 4.12 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอกซ์บอร์บิกของมะเขือเทศเชอร์อืบแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่าง 150 วัน

แม้ว่าผลของการอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงกรดแอกซ์บอร์บิกไม่ชัดเจน (ตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.12) การเก็บรักษามะเขือเทศเชอร์อืบแห้งที่อุณหภูมิ 10°C มีแนวโน้มชะลอการลดลงของปริมาณกรดแอกซ์บอร์บิกได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C ผลการทดลองที่ได้รายงานนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอกซ์บอร์บิกในมะเขือเทศอบแห้งแบบครึ่งลูกที่ศึกษาโดย Hossain and Gottschalk (2009) และรายงานว่ากรดแอกซ์บอร์บิกในมะเขือเทศอบแห้งที่เก็บที่ 20°C มีการลดลงในอัตราที่สูงกว่าเมื่อเปรียบกับการเก็บรักษาที่ 5°C

ทั้งนี้ Hossain and Gottschalk (2009) ได้รายงานว่าการสูญเสียกรดแอกซ์บอร์บิกในระหว่างการเก็บรักษาเป็นแบบเส้นตรง (Linear relationship) ซึ่งแตกต่างจากลักษณะของการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้ในการศึกษานี้ โดยมีแนวโน้มเป็น First-order kinetic reaction ซึ่งเป็นจนศาสตร์ของการสื่อสารของกรดแอกซ์บอร์บิกในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด (Labuza, 1982; Robertson, 1993) โดยเมื่อทำการประมาณการเปลี่ยนแปลงกรดแอกซ์บอร์บิกด้วยสมการ ซึ่งเป็น Analytical solution ของสมการเชิงอนุพันธ์ทั่วไปของ First-order kinetic reaction พบร่วม Eq. 4.1 สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงทั่วไปของกรดแอกซ์บอร์บิกในมะเขือเทศเชอร์อืบแห้งได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.14 ซึ่งใช้การ

เปลี่ยนแปลงกรดแอกซิว์บิกในสิ่งทอลง VAC-10 เป็นตัวอย่าง ทั้งนี้ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาของ Eq. 4.1 (ค่า k_{tom}^{AA}) ที่ประมาณได้จากการทำนายการเปลี่ยนแปลงกรดแอกซิว์บิกมีค่าเท่ากับ 3.5×10^{-2} day⁻¹



ภาพที่ 4.13 แผนผังเส้นทาง (Pathway) การเสื่อมสลายของกรดแอกซิว์บิกในสภาวะมีอากาศ (เส้นประ) และไม่มีอากาศ (เส้นทึบ)

ที่มา: Simpson (2012)

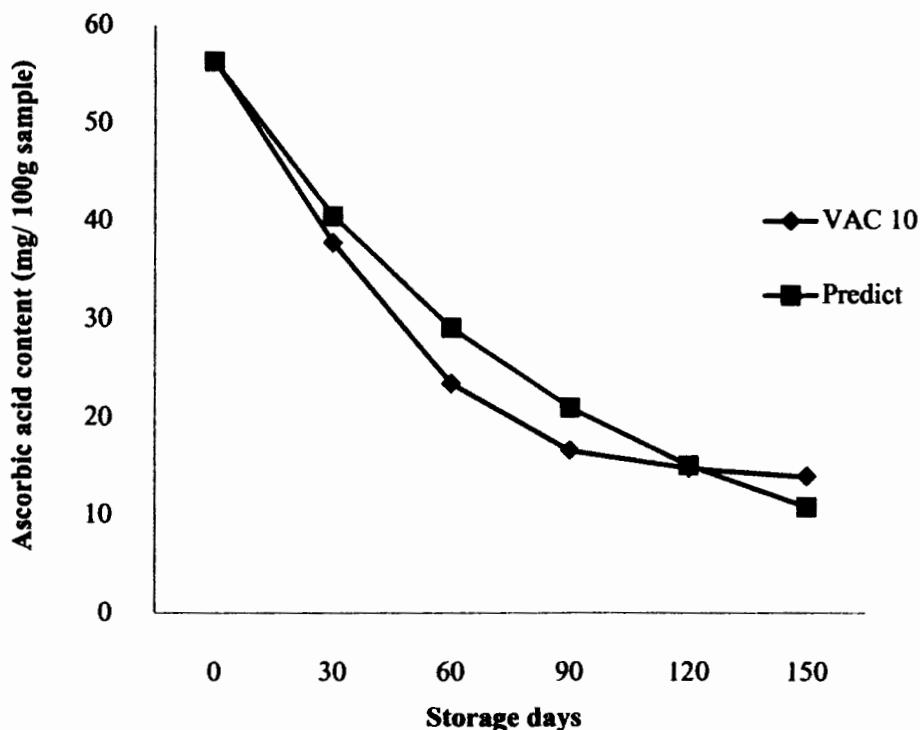
$$C_{tom}^{AA} = C_{tom,\infty}^{AA} + ((C_{tom,ini}^{AA} + C_{tom,\infty}^{AA}) \exp(-k_{tom}^{AA} \cdot t)) \quad (4.1)$$

โดยที่

C_{tom}^{AA} = ความเข้มข้นกรดแอกซิว์บิกในมะเขือเทศเชอร์รี่อบแห้ง (mg/100g)

$C_{tom,ini}^{AA}$ = ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแอกซิว์บิกในมะเขือเทศเชอร์รี่อบแห้ง (mg/100g)

$C_{tom,\infty}^{AA}$	= ความเข้มข้นกรดแอกซ์โคร์บิคในมะเขือเทศเชอร์อิ่บแห้งเมื่อเวลา infinite time (mg/100g)
k_{tom}^{AA}	= ค่าคงที่ของ first-order kinetic reaction (day ⁻¹)
t	= ระยะเวลาในการเก็บรักษา (day)



ภาพที่ 4.14 ปริมาณกรดแอกซ์โคร์บิคของมะเขือเทศเชอร์อิ่บแห้งในสิ่งหดลอง VAC-10 เปรียบเทียบกับปริมาณกรดแอกซ์โคร์บิคในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน ที่คำนายโดยสมการ Eq. 4.1

4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบพิโนลิกทั้งหมด (Total phenolic compound)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของปริมาณสารประกอบพิโนลิกทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อิ่บแห้งที่เก็บรักษาในสิ่งหดลองต่างๆ (ตารางที่ จ.20 และ จ.21 ในภาคผนวก) พบว่า ระบบการบรรจุ (Packaging) อุณหภูมิ (Temperature) และระยะเวลาการเก็บรักษา (Storage day) นั้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อปริมาณสารประกอบพิโนลิกทั้งหมด ทั้งนี้ ปฏิสัมพันธ์ ระหว่าง (1) ระบบการบรรจุ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา (Packaging x Temperature x Storage day) (2) ระบบการบรรจุ และ อุณหภูมิ (Packaging x Temperature) (3) ระบบการบรรจุ

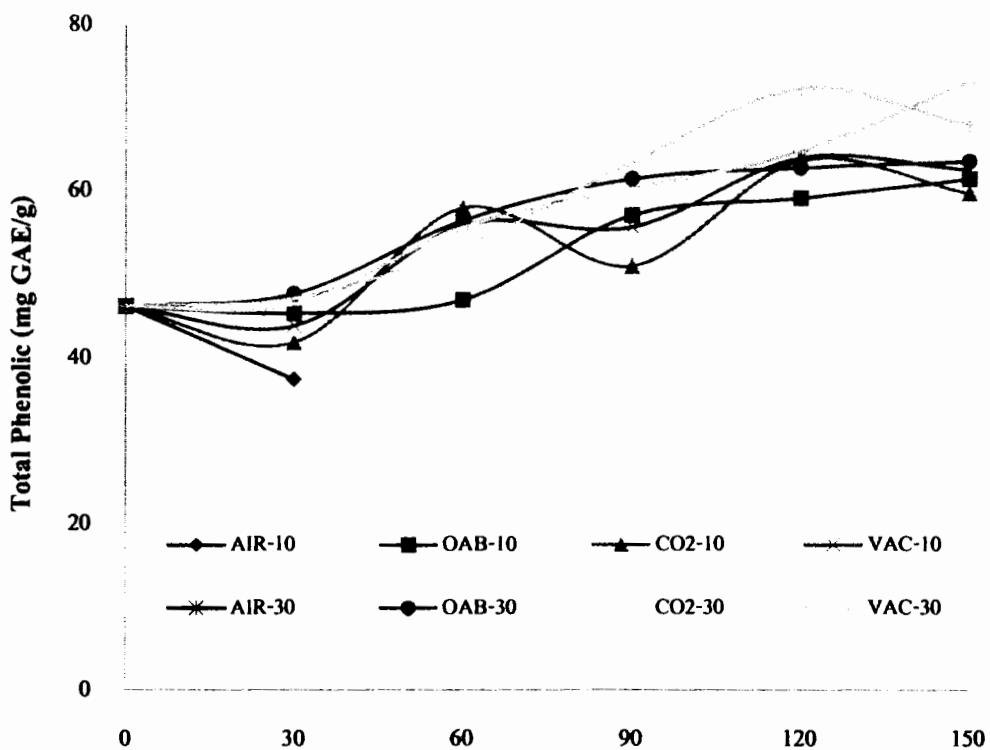
และระยะเวลาการเก็บรักษา (Packaging x Storage day) และ (4) อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา (Temperature x Storage day) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อปริมาณสารประกอบพีโนลิกทั้งหมด (ตารางที่ จ.20 และ จ.21 ในภาคผนวก)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบพีโนลิกทั้งหมดในมะเขือเทศเชอร์อบแห้งแสดงในตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.15 ค่าตั้งต้นของสารประกอบพีโนลิกทั้งหมด เท่ากับ 46.16 ± 6.67 mg GAE/g ซึ่งพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Toor and Savage (2006) ที่รายงานว่าปริมาณสารประกอบพีโนลิกทั้งหมดของมะเขือเทศอบแห้ง มีค่าอยู่ในช่วง $42 - 44$ mg GAE/g เมื่อพิจารณาข้อมูลพบว่า ปริมาณสารประกอบพีโนลิกทั้งหมดในมะเขือเทศเชอร์อบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยปริมาณสารประกอบพีโนลิกทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อบแห้งในทุกสิ่งทดลองมีค่าในช่วง $59.66 - 73.15$ mg GAE/g โดยผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่แสดงให้ทราบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อ การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบพีโนลิกทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อบแห้ง (ตารางที่ จ.20 และ จ.21 ในภาคผนวก) เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณสารประกอบพีโนลิกทั้งหมด พบร่วมกับ ปริมาณสารประกอบพีโนลิกทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อบแห้งที่เก็บรักษาในสิ่งทดลองที่เก็บรักษาที่ 30°C ซึ่งมีการบรรจุผลิตภัณฑ์ด้วยการบรรจุสูญญากาศ และ/หรือพ่นกําชาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อ เก็บรักษาระหว่าง 120 และ 150 วันมีค่าสูงสุด ($p < 0.05$) ผลการศึกษาดังกล่าวนี้สอดคล้องกับผล การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) (ตารางที่ จ.20 และ จ.21 ในภาคผนวก) ที่แสดงให้ทราบว่า ปฏิกิริยาพันธุ์ของปัจจัยระบบการบรรจุ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณสารประกอบพีโนลิกทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อบแห้ง ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.10 ปริมาณสารประกอบพิโนลิกทั้งหมด (mg GAE/g) ของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน

Days	Temperature 10°C				Temperature 30°C			
	AIR	OAB	CO2	VAC	AIR	OAB	CO2	VAC
30	37.29±2.94 ⁿ	45.29±8.21 ^{lm}	41.82±7.34 ^m	43.79±4.46 ^{lm}	55.682±7.10 ^{hi}	47.63±6.54 ^{kl}	47.10±4.49 ^{kl}	46.40±5.66 ^l
60		46.87±3.06 ^{kl}	57.87±78.29 ^{fgh}	55.77±7.63 ^{hi}		56.37±4.20 ^{ghi}	53.23±5.86 ^{ij}	55.63±8.16 ^{hi}
90		56.94±6.35 ^{ghi}	50.90±4.59 ^{jk}	55.54±1.98 ^{hi}		61.31±5.41 ^{cdef}	63.24±2.81 ^{cde}	60.15±4.79 ^{defg}
120		59.02±7.02 ^{eFGh}	63.54±4.75 ^{cd}	63.86±2.97 ^{cd}		62.68±2.48 ^{cde}	72.22±3.18 ^a	64.68±2.79 ^{bc}
150		61.37±4.01 ^{cdef}	59.66±3.98 ^{defgh}	62.47±4.92 ^{cde}		63.47±4.81a ^{cde}	67.89±5.88 ^b	73.15±3.17 ^a

- หมายเหตุ: 1. สัญลักษณ์ AIR, OAB, CO2 และ VAC แสดงระบบการบรรจุจากศักยภาพ การจำกัดออกซิเจนด้วยของดูดซับออกซิเจน การพ่นก๊าซ CO₂ และการบรรจุสูญญากาศ ตามลำดับ
2. ตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 15$)
3. ค่าปริมาณสารประกอบพิโนลิกทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งของระบบการบรรจุ AIR ไม่ได้รายงาน (สัญลักษณ์ เครื่องหมาย -) เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าได้ เพราะเกิดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า



ภาพที่ 4.15 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบพิโนลิกทั้งหมดของมะเขือเทศเชื่อม
อบแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่างๆ เมื่อกีบรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ
30°C เป็นเวลา 150 วัน

การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบพิโนลิกของมะเขือเทศรื้ออบแห้งในระหว่างการกีบรักษา สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Toor and Savage (2006) ที่ได้รายงานการเพิ่มขึ้นของปริมาณ พิโนลิกทั้งหมดของมะเขือเทศอบแห้ง (อบแห้งด้วยกระบวนการ Semi-drying) โดยการเพิ่มน้ำหนัก เสาเหตุสำคัญจากการเพิ่มจำนวนของสารประกอบในกลุ่ม Free hydroxyl phenol ซึ่งเป็นผลจาก ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของ Flavonoid glycosides หรือการปลดปล่อยสารประกอบ พิโนลิกจากผนังเซลของมะเขือเทศ ในทำนองเดียวกัน Gahler et al. (2003) ได้รายงานการเพิ่มขึ้น ของปริมาณปริมาณพิโนลิกทั้งหมดของมะเขือเทศที่ผ่านการปรุงรูปในครัว (Baked tomatoes) ซึ่ง เสาเหตุสำคัญของการเพิ่มน้ำหนักเกิดจากการปลดปล่อยสารพิโนลิกจากโครงสร้างส่วนต่าง ๆ (Matrix) ของมะเขือเทศในระหว่างการอบ (Baking) โดยส่วนปลีอกและเมล็ดมีปริมาณสารพิโนลิกทั้งหมด มากกว่าส่วนที่เป็นเนื้อของผลมะเขือเทศ ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบพิโนลิก ของเปลือกมันฝรั่งที่ผ่านการทำแห้งด้วยกระบวนการ Freeze-drying โดย Al-Weshayah et al. (2013) รายงานการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารพิโนลิกทั้งหมดของเปลือกมันฝรั่ง ซึ่งมีสาเหตุสำคัญจาก

การที่เอนไซม์ เช่น Phenylalanine ammonialyase (PAL) ยังคงความสามารถในการดำเนินกิจกรรม (Enzymatic activity) แม้ว่าผลิตภัณฑ์จะมีความชื้นที่ระดับที่ต่ำกว่า 2% เป็นผลให้มีการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารประกอบพินอลิก มีรายงานการเพิ่มขึ้นของสารประกอบพินอลิกในผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งอีน ๆ เช่น ลูกพลัมอบแห้ง (Del Caro et al., 2004) และลูกเบอร์รี่อบแห้ง (Michalczyk et al., 2009) โดยกิจกรรมของเอนไซม์ PAL เป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสารประกอบพินอลิกในระหว่างการเก็บรักษาและการแปรรูป

4.11 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity)

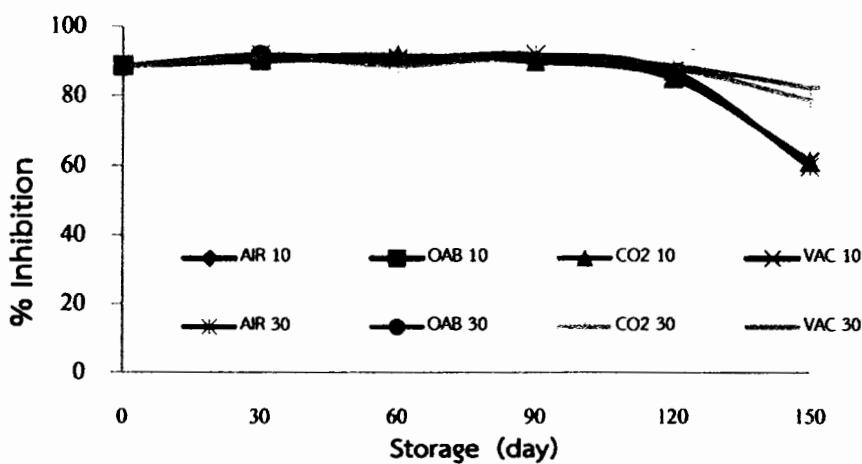
จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% Inhibition) ของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งที่เก็บรักษาในสิ่งท่อลงต่างๆ (ตารางที่ จ.22 และ จ.23 ในภาคผนวก) พบว่าอุณหภูมิ (Temperature) และระยะเวลาการเก็บรักษา (Storage day) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง (1) ระบบการบรรจุ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา (Packaging x Temperature x Storage day) และ (2) อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา (Temperature x Storage day) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (ตารางที่ จ.22 และ จ.23 ในภาคผนวก)

การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งแสดงในตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.15 จากข้อมูลพบว่าค่าเริ่มต้นของกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ $88.70 \pm 2.58\%$ เมื่อทำการเก็บรักษาพบว่าค่าของกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งในทุกสิ่งท่อลงมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นเล็กน้อย โดยมีค่าอยู่ในช่วง 88.92-91.86% อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างระหว่างสิ่งท่อลงนั้นไม่ชัดเจน แต่อาจสังเกตได้ว่ากิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่อุณหภูมิ 30°C นั้นมีแนวโน้มที่สูงกว่า 10°C เมื่อพิจารณาที่ระบบการบรรจุและระยะเวลาเดียวกัน

ทั้งนี้ เมื่อทำการเก็บรักษามะเขือเทศอบแห้งด้วยระบบการบรรจุต่างๆ เป็นเวลาที่นานขึ้นโดยเฉพาะวันที่ 120 และ 150 พบร่วมค่าของกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งลดลงอย่างมาก โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 10°C และการบรรจุโดยใช้ช่องดูดซับออกซิเจน (OAB) หรือ การพ่นก๊าซ CO₂ (CO2) หรือ การบรรจุสูญญากาศ (VAC) ซึ่งมีค่ากิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง 59.82-61.66 mg/100 g ผลกระทบศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) (ตารางที่ จ.22 และ จ.23 ในภาคผนวก) ที่แสดงว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบการบรรจุ เวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษา มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อ กิจกรรมการ

เป็นสารต้านอนุมูลอิสระของมะเขือเทศเชอร์อับแห้ง ผลในตารางที่ 4.11 แสดงให้ทราบว่าหากระยะเวลาการเก็บรักษา 90 วันค่าเฉลี่ยของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ในระบบการบรรจุและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ มีแนวโน้มที่ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระนั้นอาจเกิดได้จากหลายกระบวนการ ในการศึกษาการอบแห้งมะเขือเทศแบบครึ่งลูก Toor and Savage (2006) รายงานว่าความร้อนที่ใช้ในการอบ (90°C) ส่งผลให้เกิดการก่อตัวของ Melanodins ซึ่งเป็นสารประกอบสีน้ำตาลที่สำคัญหนึ่งของปฏิกิริยา Maillard (Maillard reaction) และสารเหล่านี้มีความสามารถต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) (Anese et al., 1999; Nicoli et al., 1997) ดังนั้น การเพิ่มปริมาณของ Melanodins จึงอาจส่งผลให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของมะเขือเทศอบแห้งเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้ การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบพินอลิกทั้งหมดที่มีการเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.11) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันของกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบพินอลิกทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าสารประกอบพินอลิกในมะเขือเทศอบแห้งอาจมีบทบาทสำคัญในกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในมะเขือเทศอบแห้งแบบครึ่งลูกของ Toor and Savage (2006) จากข้อมูลในเอกสารอ้างอิงได้รายงานบทบาทของสารประกอบพินอลิกในกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของผักและผลไม้ชนิดอื่น ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์น้ำส้ม (Klimczak et al., 2007)



ภาพที่ 4.16 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% Inhibition) ของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่าง 150 วัน

ตารางที่ 4.11 กิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% Inhibition) ของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน

Days	Temperature 10°C				Temperature 30°C			
	AIR	OAB	CO2	VAC	AIR	OAB	CO2	VAC
30	90.32±2.17 ^{abc}	91.07±1.28 ^{ab}	90.27±1.17	91.82±0.78 ^a	91.86±0.88 ^a	91.26±1.44 ^a	91.19±0.94 ^{ab}	90.64±3.69 ^{ab}
60	-	91.77±1.48 ^a	90.68±1.95 ^{ab}	90.31±3.49	-	88.92±2.92 ^{abc}	90.60±0.91 ^{ab}	91.26±0.81 ^a
90	-	89.87±1.50	91.82±0.83 ^a	91.77±0.96 ^a	-	91.15±2.26 ^{ab}	91.41±1.57 ^a	90.81±1.65 ^{ab}
120	-	85.10±4.93 ^{efg}	85.14±9.15 ^{efg}	87.07±9.99 ^{def}	-	88.01±2.01 ^{bcd}	88.78±3.18 ^{abc}	87.47±3.26 ^{cdef}
150	-	61.33±3.58 ^j	61.09±4.33 ^j	59.82±4.57 ^j	-	78.90±5.16 ^h	82.33±7.71 ⁱ	84.33±8.71 ^{fg}

- หมายเหตุ: 1. สัญลักษณ์ AIR, OAB, CO2 และ VAC แสดงระบบการบรรจุอากาศปกติ การกำจัดออกซิเจนด้วยช่องดูดซับออกซิเจน การพ่นก๊าซ CO₂ และการบรรจุสุญญากาศ ตามลำดับ
2. ตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (*n* = 18)
3. กิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งของระบบการบรรจุ AIR ไม่ได้รายงาน (สัญลักษณ์ เครื่องหมาย -) เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าได้ เพราะเกิดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลทรรศ์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

นอกจากสารประกอบพิโนลิกแล้ว กรดแอกซ์คอร์บีค (วิตามินซี) และไลโคพีนนั้นมีบทบาทสำคัญในกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของมะเขือเทศ (Klimczak, 2007; Odriozola-Serrano et al., 2008) เมื่อพิจารณาผลการศึกษาพบว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งไม่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของกรดแอกซ์คอร์บีค (ตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.8) และไลโคพีน (ตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.6) ซึ่งอาจเกิดจากการให้ความร้อนในกระบวนการอบแห้งและแปรรูป ที่ส่งผลให้เกิดการลดลงของปริมาณกรดแอกซ์คอร์บีคและไลโคพีน แต่การใช้ความร้อนนั้นนำไปสู่การสะสมของสารประกอบ Melanodins ของปฏิกิริยา Maillard ซึ่งส่งผลให้ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ดังที่ได้อภิปรายข้างต้น (Klimczak et al., 2007; Toor and Savage, 2006) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของมะเขือเทศอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น พันธุกรรม อุณหภูมิ แสง น้ำ และสารอาหาร เทคนิคการผลิต และสภาวะหลังการเก็บเกี่ยว (Javanmardi et al., 2006) อย่างไรก็ตาม ปัจจัยนี้ไม่ได้รับการศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระภายหลังจากการเก็บรักษา 120 วัน พบว่ามีการลดลงอย่างรวดเร็วในทุกสิ่ง ทดลองอาจเกิดจากการลดลงของปริมาณ Melanodins ในมะเขือเทศที่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบอื่น ๆ

4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมด (Titratable acidity)

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่เก็บรักษาในสิ่งทดลองต่างๆ (ตารางที่ จ.24 และ จ.25 ในภาคผนวก) พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษา (Storage day) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมด ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง (1) ระบบการบรรจุ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา (Packaging x Temperature x Storage day) และ (2) อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา (Temperature x Storage day) มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมด (ตารางที่ จ.24 และ จ.25 ในภาคผนวก)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งในระหว่างการเก็บรักษาแสดงในตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.17 จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณกรดทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่แสดงให้ทราบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมด โดยการเปลี่ยนแปลงจะมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 120 วันแรก และปริมาณกรดทั้งหมดจะมีการลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาครบ 150 วัน (0.74-0.87 mg/100g) โดยลดลงประมาณร้อยละ 50 ของปริมาณกรดทั้งหมดที่วัดได้ ณ วันที่ 120 (1.38-

1.66 mg/100g) สามารถสังเกตได้ว่าสิ่งทดลองที่มีการระบบการบรรจุทุกประเภท (ยกเว้นการบรรจุแบบบรรยายภาคปกติ) เมื่อเก็บรักษาที่ 10°C หรือ 30°C ณ วันที่ 150 มีค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ค่าของปริมาณกรดทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อืบแห้งในสิ่งทดลองเหล่านี้น้อยกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลการทดลองดังกล่าว สอดคล้องกับผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่แสดงให้ทราบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบการบรรจุ อุณหภูมิการเก็บรักษา และระยะเวลาการเก็บรักษามีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ จ.24 และ จ.25 ในภาคผนวก)

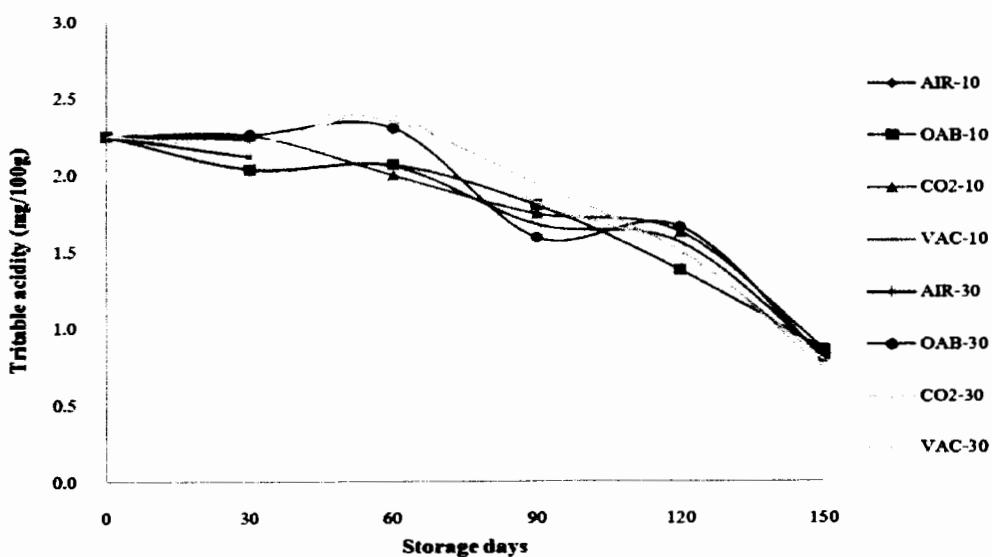
การลดลงของปริมาณกรดในระหว่างการเก็บรักษาอาจเนื่องมาจากการถ่ายตัวของกรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริกและกรดมอลิก (เยาวภา สิริวัฒนาภูล, 2545) ในมะเขือเทศเชอร์อืบแห้งภายหลังจากการทำแห้งและระหว่างการเก็บรักษา โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดของมะเขือเทศภายหลังการทำแห้งนั้นอาจมีทั้งการเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นกับสายพันธุ์ของมะเขือเทศ เช่น Toor and Savage (2006) รายงานว่าปริมาณกรดของมะเขือเทศสายพันธุ์ Excell, Tradiro และ Flavourine มีค่าสูงขึ้น 2-3 เท่าภายหลังจากการทำแห้ง เนื่องจากกรดอินทรีย์ในมะเขือเทศมีความเข้มข้นมากขึ้นจากการระเหยของน้ำในระหว่างการทำแห้ง แต่ Ashebir et al. (2009) รายงานว่าปริมาณกรดทั้งหมดของมะเขือเทศสายพันธุ์ Amoroso Berlinto และ Messina มีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดของมะเขือเทศบนแห้งในระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะในระบบการบรรจุที่เลือกใช้ในการศึกษานี้ยังไม่ได้มีการรายงานในเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง

เมื่อพิจารณาผลการทดลองในช่วงระยะเวลา 60 วันแรกของการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.17) พบว่าปริมาณกรดทั้งหมดของของมะเขือเทศเชอร์อืบแห้งในทุกระบบการบรรจุที่อุณหภูมิ 30 °C มีแนวโน้มสูงกว่าปริมาณกรดทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อืบแห้ง ที่เก็บรักษาที่ 10°C เล็กน้อย และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากที่มะเขือเทศเชอร์อืบแห้งซึ่งเมื่อเก็บรักษาที่ 30°C มีความชื้นที่ต่ำกว่า จึงอาจส่งผลให้กรดอินทรีย์ในมะเขือเทศมีความเข้มข้นที่มากกว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการถ่ายตัวของกรดอินทรีย์ในมะเขือเทศเชอร์อืบแห้ง และนำไปสู่การลดลงของปริมาณกรดทั้งหมดที่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างสิ่งทดลอง

ตารางที่ 4.12 ปริมาณกรดทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อิ่บแห้ง (หน่วยคือ mg/100g) ที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในการเก็บรักษา 150 วัน

Days	Temperature 10°C				Temperature 30°C			
	AIR	OAB	CO2	VAC	AIR	OAB	CO2	VAC
30	2.24±0.13 ^{abcd}	2.04±0.38 ^{defgh}	2.06±0.21 ^{abcd}	2.04±0.39 ^{defgh}	2.12±0.17 ^{bcd}	2.26±0.22 ^{abcd}	2.37±0.12 ^a	2.21±0.27 ^{abcde}
60	-	2.07±0.39	2.00±0.36 ^{efgh}	2.06±0.43 ^{cdefg}	-	2.30±0.28 ^{abc}	2.35±0.32 ^{ab}	2.38±0.25 ^a
90	-	1.80±0.46 ^{hijk}	1.75±0.41 ^{ijkl}	1.68±0.46 ^{jklm}	-	1.59±0.37 ^{klmn}	1.94±0.38 ^{fghi}	1.82±0.45 ^{ghij}
120	-	1.38±0.31 ⁿ	1.63±0.44 ^{ijklm}	1.56±0.52 ^{klmn}	-	1.66±0.28 ^{jklm}	1.50±0.53 ^{mn}	1.51±0.33 ^{lmn}
150	-	0.86±0.15 ^o	0.87±0.12 ^o	0.82±0.11 ^o	-	0.81±0.14 ^o	0.80±0.12 ^o	0.74±0.12 ^o

- หมายเหตุ: 1. สัญลักษณ์ AIR, OAB, CO2 และ VAC แสดงระบบการบรรจุอากาศปกติ การกำจัดออกซิเจนด้วยช่องดูดซับออกซิเจน การพ่นก๊าซ CO₂ และการบรรจุสูญญากาศ ตามลำดับ
2. ตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($k = 18$)
3. ปริมาณกรดทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อิ่บแห้งของระบบการบรรจุ AIR ไม่ได้รายงาน (สัญลักษณ์ เครื่องหมาย -) เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าได้ เพราะเกิดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า



ภาพที่ 4.17 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อ์บแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระยะเวลา 150 วัน

4.13 คุณภาพด้านเชื้อจุลินทรีย์

การศึกษาคุณภาพด้านเชื้อจุลินทรีย์ของมะเขือเทศเชอร์อ์บแห้งแสดงในตารางที่ 4.13 พบว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง $1.51\text{-}4.45 \log\text{CFU/g}$ โดยพบร่วมมะเขือเทศเชอร์อ์บแห้งในสิ่งที่คล่องที่บรรจุในบรรจกากถุงปกติและเก็บรักษาที่ 10°C และ 30°C ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วันจะมีระดับจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่าสิ่งที่คล่องอื่น ๆ คือ 4.41 และ $4.45 \log\text{CFU/g}$ ตามลำดับ และยังพบว่าสาเหตุสำคัญที่ส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์ในสิ่งที่คล่องตั้งกล่าวมีปริมาณที่สูงเนื่องจากก้าซออกซิเจนหลงเหลืออยู่ในบรรจกากถุงบรรจุภัณฑ์ จึงส่งเสริมให้มีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะกลุ่มที่ใช้อากาศ เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเก็บรักษาพบว่ามะเขือเทศเชอร์อ์บแห้งที่เก็บรักษาไว้ ณ อุณหภูมิ 30°C จะมีการเจริญเติบโตเต็มที่ของเชื้อจุลินทรีย์สูงกว่ามะเขือเทศเชอร์อ์บแห้งที่เก็บ ณ อุณหภูมิ 10°C เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงสามารถเร่งการเจริญเติบโตเต็มที่ของเชื้อจุลินทรีย์ (Robertson, 1993)

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง แม้ว่าไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างสิ่งที่คล่อง แต่สามารถสังเกตได้ว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อ์บแห้งบรรจุด้วยสิ่งที่คล่องที่ใช้ซองดูดซับออกซิเจนเมื่อเก็บรักษาที่ 10°C และ 30°C มีแนวโน้มต่ำกว่าสิ่งที่คล่องอื่น ๆ โดยสิ่งที่คล่องที่ใช้ซองดูดซับออกซิเจนเมื่อเก็บรักษาที่ 30°C พบร่วมจำนวนโคลนีที่นับได้น้อยกว่า 30×10^3 ในช่วง 90 วันของการเก็บรักษา แต่ในวันที่ 120 มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ $1.79 \log\text{CFU/g}$ แต่

ผู้วิจัยพบว่าในวันที่ 150 มะเขือเทศเรือบแห้งมีจำนวนโคโนнеที่นับได้น้อยกว่า 30×10^3 ผลการทดลองดังกล่าวค่อนข้างตรงกันข้ามกับความรู้ด้านอุณหภูมิที่สูงกว่าสามารถเร่งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาอาหาร อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยพบว่าระบบการบรรจุแบบสุญญากาศที่ใช้กับการเก็บรักษามะเขือเทศเรือบแห้ง ที่ 10°C และ 30°C สามารถช่วยลดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ใกล้เคียงกับสิ่งทดลองที่ใช้ของดูดซับออกซิเจน

ตารางที่ 4.13 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ($\log \text{CFU/g}$) ของมะเขือเทศเรือบแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน

Days	Temperature 10°C				Temperature 30°C			
	AIR	OAB	CO ₂	VAC	AIR	OAB	CO ₂	VAC
30	4.41	1.73	N/A	2.34	4.45	N/A	N/A	N/A
60	-	1.51	3.25	N/A	-	N/A	N/A	N/A
90	-	1.85	3.47	2.20	-	1.79	1.99	1.86
120	-	1.71	3.51	3.36	-	N/A	N/A	N/A
150	-	N/A	2.85	2.91	-	N/A	4.48	3.98

หมายเหตุ: 1. สัญลักษณ์ – แสดงว่าไม่ได้ทำการวัดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด เนื่องจากมีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าบนผลิตภัณฑ์
2. N/A แสดงถึง มีจำนวนโคโนเนที่น้อยกว่า 30×10^3

ในประเด็นดังกล่าวผู้วิจัยคาดว่าอาจเกิดจากความแปรปรวนของตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจเป็นผลจากปริมาณความชื้นที่แตกต่างกัน เป็นต้น และยังพบว่าสารดูดซับออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์สามารถกำจัดออกซิเจนภายในถุงและสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้ ยังพบว่าแนวโน้มการเกิดเชื้อจุลินทรีย์ของมะเขือเทศเรือบแห้งในสิ่งทดลองพ่นก๊าซ CO₂ จะเกิดเชื้อจุลินทรีย์สูงกว่าสิ่งทดลองระบบบรรจุสุญญากาศ และใช้ของดูดซับออกซิเจน ตามลำดับ จากปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในมะเขือเทศเรือบแห้งทดลองต่อระยะเวลาการเก็บรักษาพบว่ามีค่าอยู่ในปริมาณที่กำหนดคือน้อยกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของผลไม้แห้ง (มพช.136/2550) ซึ่งได้กำหนดว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องน้อยกว่า $6 \log\text{CFU/g}$ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2556) ส่วนจำนวนยีสต์ราที่แสดงในตารางที่ 4.14 พบว่าจะพบเพียงสิ่งทดลองระบบการบรรจุแบบอากาศปกติ เมื่อเก็บรักษาที่ 10°C ($4.07 \log\text{CFU/g}$) และ ระบบการบรรจุสุญญากาศ เมื่อเก็บรักษาที่

10°C ($3.17 \log\text{CFU/g}$ ในวันที่ 120 วัน) ส่วนในสิ่งที่ดลองอื่น ๆ ไม่พบการเจริญเติบโตของยีสต์ราตรีลดอายุการเก็บรักษา 150 วัน

ตารางที่ 4.14 ปริมาณยีสต์และรา ($\log \text{CFU/g}$) ของมะเขือเทศเชอร์อ์บแห้งที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุแบบต่างๆ เมื่อกีบรักษาที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C ในระหว่างการเก็บรักษา 150 วัน

Days	Temperature 10°C				Temperature 30°C			
	AIR	OAB	CO ₂	VAC	AIR	OAB	CO ₂	VAC
30	4.07	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
60	-	N/A	N/A	N/A	-	N/A	N/A	N/A
90	-	N/A	N/A	N/A	-	N/A	N/A	N/A
120	-	N/A	N/A	3.17	-	N/A	N/A	N/A
150	-	N/A	N/A	N/A	-	N/A	N/A	N/A

หมายเหตุ: 1. สัญลักษณ์ – แสดงว่าไม่ได้ทำการวัดปริมาณยีสต์และรา เนื่องจากมีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลทรรศน์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าบนผลิตภัณฑ์
2. N/A แสดงถึง มีจำนวนโคโลนีน้อยกว่า 30×10^4

4.14 การทดสอบความชอบของผู้บริโภค

การทดสอบความชอบของผู้บริโภค ได้ทำการทดสอบเมื่อผลิตภัณฑ์เมื่อกีบรักษามาแล้วเป็นเวลา 90 วัน เนื่องจากมีปริมาณเชื้อจุลทรรศน์ทั้งหมดอยู่ในระดับตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของผลไม้แห้ง (มพช.136/2550) นอกจากนี้ จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าแม้ว่าปริมาณเชื้อจุลทรรศน์ทั้งหมดของมะเขือเทศเชอร์อ์บแห้งในทุกสิ่งที่ดลอง เมื่อกีบรักษาผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลา 120 หรือ 150 วัน มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แต่ผู้วิจัยพบว่าลักษณะปراภูณะและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์นั้น ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยผลิตภัณฑ์มีลักษณะหดตัวย่น (คล้ายลักษณะของตัวหนอนผีเสื้อหรือหนอนไหม) และเนื้อสัมผasmic ความแข็งกระด้าง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 90 วัน

ค่าคะแนนความชอบของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเชอร์อ์บแห้งในบรรจุภัณฑ์และบรรจุตัวยระบบการบรรจุต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.15 จากผลการศึกษาพบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่มีแนวโน้มยอมรับในผลิตภัณฑ์ซึ่งบรรจุด้วยการบรรจุแบบสูญญากาศ เมื่อกีบรักษาที่อุณหภูมิ 10°C โดยมีค่าคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าสิ่งที่ดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผลการวิเคราะห์

ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนความชอบโดยรวมของผู้บริโภค (ตารางที่ จ.26 – จ.35 ในภาคผนวก) แสดงให้ทราบว่าระบบการบรรจุและอุณหภูมิมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์พบว่าผู้บริโภค มีแนวโน้มให้คะแนนด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีเชือเทศเชอร์อิบแห้งในสิ่งที่คลองตังกล่าวที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งที่คลองอื่น ๆ ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับผลของการชอบโดยรวมที่กล่าวข้างต้น ผู้วิจัยพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนคุณลักษณะด้านสีของผลิตภัณฑ์ซึ่งบรรจุด้วยการบรรจุแบบสุญญากาศ เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10°C (6.91 คะแนน) สูงกว่าสิ่งที่คลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งความชอบด้านสีถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคสามารถตัดสินคุณลักษณะภายนอกที่ต้องการได้อย่างดี ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนความชอบต่อสีของผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค (ตารางที่ จ.26 – จ.35 ในภาคผนวก) แสดงให้ทราบว่า ระบบการบรรจุและอุณหภูมิ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ต่อความชอบด้านสีของผลิตภัณฑ์

4.15 สรุปประเด็นที่สำคัญ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการเก็บรักษาของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งในระบบการบรรจุ การบรรจุต่าง ๆ ภายใต้สภาวะบรรยายกาศปกติ และการบรรจุแบบบรรยายกาศดัดแปลง (การบรรจุแบบการกำจัดออกซิเจน การบรรจุแบบสุญญากาศ และการบรรจุพ่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 30°C เป็นเวลา 150 วัน พบร่วมกับภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้ดี ส่งผลให้คงความเข้มข้นของก๊าซและไอน้ำอยู่ในระดับที่ต้องการไว้ได้ตลอดอายุการเก็บรักษา ในขณะที่ผลของการบรรจุ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา ต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งมีความแตกต่างกัน ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมที่สูงกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในกระบวนการบรรจุสุญญากาศ เมื่อเก็บรักษาที่ 10°C

ตารางที่ 4.15 คะแนนความชอบของผู้บริโภคต่อมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งที่เก็บรักษาด้วยระบบการบรรจุต่างๆ เมื่อเก็บรักษาที่ 10°C และ 30°C (วันที่ 90 ของระยะเวลาการเก็บรักษา)

คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์	Temperature 10°C			Temperature 30°C		
	OAB	CO2	VAC	OAB	CO2	VAC
สี	6.12±1.30 ^b	5.69±1.46 ^c	6.91±1.09 ^a	5.58±1.26 ^c	5.67±1.43 ^c	6.09±1.47 ^b
กลิ่น	6.24±1.19 ^a	5.95±1.20 ^a	6.23±1.15 ^a	6.04±1.12 ^a	5.98±1.12 ^a	6.25±1.26 ^a
รสชาติ	5.65±1.54 ^d	6.11±1.50 ^{abc}	6.21±1.49 ^{ab}	5.83±1.36 ^{bcd}	5.73±1.52 ^{cd}	6.29±1.30 ^a
เนื้อสัมผัส	5.60±1.51 ^c	5.97±1.20 ^{abc}	6.32±1.32 ^a	5.75±1.32 ^c	5.88±1.40 ^{bc}	6.25±1.31 ^{ab}
ความชอบโดยรวม	5.96±1.16 ^{bcd}	6.14±1.24 ^{bc}	6.60±1.15 ^a	5.78±1.14 ^d	5.82±1.36 ^{cd}	6.27±1.18 ^b

หมายเหตุ: 1. ในการทดสอบความชอบของผู้บริโภคไม่ได้นำตัวอย่างที่บรรจุด้วยระบบการบรรจุอากาศปกติมาทดสอบเนื่องจากมีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลทรรศ์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าบนผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ไม่ได้นำปัจจัยจากระยะเวลาการเก็บรักษาไว้วิเคราะห์ เพราะเป็นการทดสอบ ณ วันที่ 90 เพียงอย่างเดียว
 2. ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 180$)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ที่มีการใช้ช่องดูดซับออกซิเจน การพ่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 flushing) และการบรรจุสูญญากาศ (Vacuum) ลดลงใกล้เคียง 0% (v/v) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน และมีแนวโน้มคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิการเก็บรักษา ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้ทราบว่าระบบการบรรจุที่ใช้น้ำสามารถกำจัดออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ได้ และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพลาสติกที่เลือกใช้สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดีในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

ความซึ้นของมะเขือเทศเรื่องแห้ง มีการลดลงบ้างในระหว่างการเก็บรักษา และมะเขือเทศที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C มีแนวโน้มสูงกว่าที่อุณหภูมิ 30°C ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความซึ้นนี้สอดคล้องกับการสูญเสียน้ำหนักของมะเขือเทศเรื่องแห้ง ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การสูญเสียน้ำหนักที่อุณหภูมิ 30°C เกิดขึ้นได้สูงกว่าอุณหภูมิ 10°C โดยการเปลี่ยนแปลงความซึ้นและการสูญเสียน้ำหนักนั้นส่งผลทำให้ค่าแรงสูงสุดที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผasmic ค่าเพิ่มขึ้น ความสว่างของมะเขือเทศเรื่องแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่ความเป็นสีแดงและสีเหลืองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ส่งผลให้อัตราส่วนระหว่าง a^*/b^* มีแนวโน้มคงที่

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไอลโคพีน และปริมาณกรดทั้งหมดของมะเขือเทศเรื่องแห้งพบว่าแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา ในขณะที่ปริมาณสารประกอบพลาโนนอยด์ทั้งหมดและปริมาณกรดแอกโซครอร์บิกในมะเขือเทศเรื่องแห้งที่มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 30 วันแรก หลังจากนั้นแนวโน้มโดยรวมค่อนข้างคงที่ ส่วนปริมาณสารประกอบพีโนลิกทั้งหมด และกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในทุกสิ่งทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มนั้นซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าสารประกอบพีโนลิกในมะเขือเทศเรื่องแห้งมีบทบาทสำคัญในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

การเปลี่ยนแปลงทางจุลทรรศน์ของมะเขือเทศเรื่องแห้ง พบร่วมผลิตภัณฑ์ที่เก็บในสภาวะบรรยากาศปกติที่ 10°C และ 30°C มีปริมาณเชื้อจุลทรรศน์ทั้งหมดเกินค่ามาตรฐาน และมีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลทรรศน์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าบนผลิตภัณฑ์ภายหลังจากการเก็บรักษา 30 วัน ในขณะที่ปริมาณเชื้อจุลทรรศน์ทั้งหมดของมะเขือเทศเรื่องแห้งที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ที่มีการกำจัดก๊าซออกซิเจนมีปริมาณเชื้อจุลทรรศน์ทั้งหมดต่ำกว่าค่ามาตรฐาน และมีปริมาณยีสต์และราใน

ปริมาณที่ต่ำมาก จากการทดสอบความชอบของผู้บริโภคพบว่ามีเชือเทศเชอร์อับแห้งที่บรรจุแบบสูญญากาศ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดจากผู้บริโภค ซึ่งผลการทดสอบผู้บริโภคนี้ได้สนับสนุนการใช้ประโยชน์และองค์ความรู้ด้านการกำจัดออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ต่ำเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา การบรรจุแบบสูญญากาศเป็นการบรรจุเชิงแอคทีฟ (Active packaging) ประเภทหนึ่งที่สามารถดำเนินการได้ในระดับอุตสาหกรรมขนาดกลางและเล็ก โดยอาศัยเครื่องบรรจุสูญญากาศ (Vacuum packaging machine)

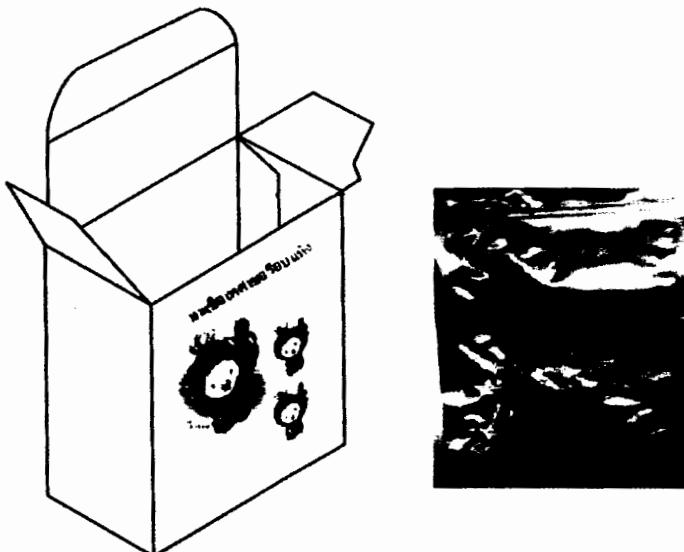
ในภาพรวมของการวิจัยนี้พบว่าการบรรจุที่มีการกำจัดก๊าซออกซิเจนจากบรรจุภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ก่อนการปิดฝา และการใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีความสามารถในการดักจับออกซิเจนได้สูง เช่น พีล์มเมทัลไลซ์ (PET/Metallized PET/LLDPE) ที่ใช้ในการศึกษานี้มีศักยภาพจะลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพโดยเฉพาะการเจริญเติบโตของเชื้อจุลทรรศ และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีและภายในของมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่เก็บรักษาที่ 10°C และ 30°C นอกจากนี้ ผลการศึกษาได้แสดงให้ทราบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อคุณภาพและความชอบของผลิตภัณฑ์ โดยการเก็บรักษาเวลา 90 เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการบรรจุภัณฑ์ แม้ว่าระบบการบรรจุแอคทีฟที่นำมาศึกษานี้สามารถช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ได้ในช่วงที่ทำการศึกษา (150 วัน) ข้อมูลจากการศึกษานี้สามารถเป็นแนวทางในการจัดการการบรรจุภัณฑ์ สภาวะการเก็บรักษา และการจัดการทางการตลาดของมะเขือเทศเชอร์อับแห้ง เช่น ระยะเวลาการหมุนเวียนสินค้าในตลาด การจัดการสินค้าคงคลัง และการประชาสัมพันธ์ข้อมูลสุขภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อส่งเสริมการขาย เป็นต้น

5.2 แนวทางการนำไปใช้ประโยชน์

จากที่นำเสนอข้างต้น ผู้บริโภคให้การยอมรับมะเขือเทศเชอร์อับแห้งที่มีการบรรจุแบบสูญญากาศ แต่การบรรจุดังกล่าวส่งผลต่อลักษณะปราฏของมะเขือเทศเชอร์อับแห้ง ที่มีลักษณะถูกหดรัดเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างความดันภายในและภายนอกบรรจุภัณฑ์ ซึ่งผู้บริโภคบางคนอาจไม่ชอบในลักษณะปราฏของบรรจุภัณฑ์แบบดังกล่าว นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์อาจเกิดการเสียหายได้ในระหว่างการเก็บรักษาหรือขนส่งเนื่องจากแรงกระแทก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยที่ได้และส่งผลให้สูญเสียสภาวะสูญญากาศในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลทรรศทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์

ดังนั้น บรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษามะเขือเทศเชอร์อับแห้ง นอกจากจะใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้ดี แล้ว เช่น ถุงพลาสติก PET/Metallised PET/LLDPE ที่ใช้ในการศึกษานี้ ควรจะมีบรรจุภัณฑ์ป้องกันอีกหนึ่งชั้น หรือ Secondary packaging เพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ป้องกันทางผู้ทำวิจัยคิดว่า

ควรมีลักษณะที่สามารถป้องกันแรงกระแทก ต้านแรงดันทะลุ ยกตัวอย่างเช่น กล่องกระดาษพับได้ (Folding carton) ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ที่หาซื้อง่าย รวมทั้งสามารถพิมพ์ลวดลายต่าง ๆ ลงไปบนวัสดุ เพื่อให้บรรจุภัณฑ์เป็นที่น่าสนใจสำหรับลูกค้าได้ ตัวอย่างของกล่องกระดาษแสดงในภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 แบบจำลองบรรจุภัณฑ์มีเข็มเข็มเชือกร่องแห้ง

5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

5.2.1 ควรนำวิธีนี้ไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารอื่น ๆ ที่มีกระบวนการผลิต หรือคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความชื้นปานกลางหรือความชื้นสูง

5.2.2 ผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่เหมาะสมสำหรับวิธีนี้คือ อาหารที่มีลักษณะกรอบหรือแตกหักง่าย เช่น ขนมขบเคี้ยวต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มเกษตรสัญจร. มะเขือเทศ. กรุงเทพฯ: สมมิตร ออฟเช็ค, 2531.
- กฤติกา สิงห์สุข และกมลชนก คำแผ่น. การพัฒนาการบรรจุแบบบรรยายการคัดแพรเซิงแอกทิพเพื่อ
ยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มศักยภาพการแข่งขันทางการตลาดและการส่งออก
ผลิตภัณฑ์หมูฟสรรค์. โครงการค้นคว้าของนักศึกษาชั้นปีที่ 4: มหาวิทยาลัย
อุบลราชธานี, 2553.
- โครงการสร้างเงินสร้างงาน. การปลูกมะเขือเทศปลอดสารพิษและวิธีเพิ่มผลผลิต. กรุงเทพฯ: ก.พล
(1996), 2549.
- งามพิพิพย์ ภู่โรคม. การบรรจุอาหาร. กรุงเทพฯ: เอส.พี.เอ็ม การพิมพ์, 2550.
- ธรรมรัตน์ รุ่งสังข์. ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการลอกต่อปริมาณลิโนมินและวิตามินซีใน
มะนาวพันธุ์เป็น. การค้นคว้าแบบอิสระของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551.
- นิธยา รัตนาปันธ์. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ: โอดี้นสโตร์, 2545.
- นิภาวรรณ ศิริวงศ์ และอรุณ หวังແບກຄາງ. การพัฒนาระบบบรรจุบรรยายการคัดแพรเซิงแอกทิพ
เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของลักษณะของเบรคแทก. โครงการวิจัยของนักศึกษาชั้นปีที่ 4:
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2553.
- นุชรัตน์ แก้วมาศย์ และจินตนา นาสิงห์ทอง. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งมะเขือเทศ
เชอร์. โครงการวิจัยของนักศึกษาชั้นปีที่ 4: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2551.
- พรทัย กันแก้ว. “ประโยชน์จากไกลโคไซด์”, Info metrology.
<http://www.nimt.or.th/nimt/upload/linkfile/sys-metrology-964-155.pdf>. 15
เมษายน, 2556.
- พัชราภรณ์ พิมพ์จันทร์ และลัดดาวลัย จำเริญพัฒน์. การตรวจหาฟล่าโวนอยด์ในเปลือกกล้วยหอม.
รายงานโครงการวิจัย: มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 2547.
- เยาวภา ศิริวัฒนาบุตร. การศึกษาการสูญเสียไฮโดรเจนในระหว่างกระบวนการผลิตของมะเขือเทศ
และมะเขือเทศแซลมอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้ง. มผช.
136/2550, 2556.
- Ahvenainen, R., Hurme, E. “Active and smart packaging for meeting consumer
demands for quality and safety”, Food addit. Contam. 14: 753-763, 1997.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Akanbi, C. T & Oludemi, F. O. "Effect of processing and packaging on the lycopene content of tomato products", **International Journal of Food Properties.** 7(1): 139-152, 2004.
- Akanbi, C. T., Adeyemi, R. S. and Ojo, A. "Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices", **Journal of Food Engineering.** 73: 157-163, 2006.
- Akdeniz, B., Kavak, D.D., Bagdatlioglu, N. "Use of factorial experimental design for analyzing the effect of storage conditions on color quality of sun-dried tomatoes", **Scientific Research and Essays.** 7: 477-489, 2012.
- Altieri, C., and et al. "Use of entrapped microorganisms as biological oxygen scavengers in food packaging application", **Lebensmittel wissenschaft und technologie.** 37: 9-15, 2004.
- Al-Weshahy, A., and et al. "Effect of storage on antioxidant activity of freeze-dried potato peels", **Food Research international.** 50: 507–512, 2013.
- Anese, M., and et al. "Antioxidant properties of tomato juice as affected by heating", **Journal of the Science Food and Agriculture.** 79: 750–754, 1999.
- AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International** 17th ed. USA: Gaithersburg, MD, 2000.
- Ashebir, D., and et al. "Change in color and other fruit quality characteristics of tomato cultivars after hot-air drying at low final-moisture content", **Int. J. Food Sci. Nutr.** 60: 308–315, 2009.
- Azoubel, P.M. and Murr, F.E.X. "Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry Tomato", **Journal of Food Engineering.** 61(3): 291-295, 2004.
- Belitz, H.D. and Grosch, W. **Química de los Alimentos.** Zaragoza: Acribia, 1998. Cited Berenzon, S. and Saguy, I. S. "Oxygen Absorbers for Extension of Crackers Shelf life", **Lebensmittel-Wissenschaft and-Technologie.** 31: 1-5, 1997.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Brand-Williams W, Cuvelier M E. & Berset C. "Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity", *LWT - Food Science and Technology*. 28: 25-30, 1995.
- Brody, A. L., Eugrene, R. S. and Lauri, R. K. **ACTIVE PACKAGING for FOOD APPLICATIONS**. United State of America: CRC Press LLC, 2002.
- Chang, C. H., and et al. "Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes", *Journal of Food Engineering*. 77: 478–485, 2006.
- Charles, F., Sanchez, J. and Gontard, N. "Active Modified Atmosphere Packaging of Fresh Fruits and Vegetables: Modeling with Tomatoes and Oxygen Absorber", *Journal of Food Science* vol. 68: 1736-1742, 2003.
- Chen, G. and Xiong, Y. L. "Shelf-stability enhancement of precooked red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) tails by modified CO₂/O₂/N₂ gas packaging", *LWT - Food Science and Technology*. 41(8): 1431-1436, 2008.
- Cook, N.C. and Samman, S. "Flavonoids--Chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources", *J. Nutr. Biochem.* 7: 66-76, 1996.
- Costa, C., and et al. "Effects of passive and active modified atmosphere packaging conditions on ready-to-eat table grape", *Journal of Food Engineering*. 102: 115-121, 2011.
- Das, E., Gurakan, G. C., & Bayındırı, A. "Effect of controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and gaseous ozone treatment on the survival of *Salmonella Enteritidis* on cherry tomatoes", *Food Microbiology*. 23: 430–438, 2006.
- Del Caro, A., Pica, A. and Corda, G. "Effect of drying conditions and storage period on polyphenolic content, antioxidant capacity, and ascorbic acid of prunes", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 15: 4780-4784, 2004.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Dermesolouoglou, E.K., Giannakourou, M.C. and Taoukis, P.S. "Kinetic modelling of the degradation of quality of osmo-dehydrofrozen tomatoes during storage", **Food Chemistry.** 103: 985–993, 2007.
- Dobias, J., and et al. "Changes of properties of polymer packaging films during high pressure treatment", **Journal of Food Engineering.** 61(4): 545-549, 2004.
- Eskin, N.A.M., Henderson, H.M. and Townsend, R.J. **Biochemistry of food.** New York: Academic, 1971.
- Gahler, S., Otto, K. and Bohm, V., "Alterations of vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products", **Journal of Agriculture and Food Chemistry.** 51: 7962–7968, 2003.
- George, B., and et al. "Antioxidants in tomato (*Lycopersicum esculentum*) as a function of genotype", **Food Chemistry.** 84(1): 45-51, 2004.
- Georg, S., and et al. "Changes in the contents of carotenoids, phenolic compounds and vitamin C during technical processing and lyophilisation of red and yellow tomatoes", **Food Chemistry.** 124: 1603–1611, 2011.
- Gloria Soto-Zamora, and et al. "Effects of postharvest hot air treatments on the qualityand antioxidant levels in tomato fruit", **LWT.** 38: 657–663, 2005.
- Guil-Guerrero, J.L. and Rebollos-Fuentes, M.M. "Nutrient composition and antioxidant activity of eight tomato (*Lycopersicon esculentum*) varieties", **Journal of Food Composition and Analysis.** 22: 123-129, 2009.
- Fennema, O. R. **Principles of Food Science.** New York: Basel Dekker. pp 13 – 18, 1976.
- Floros, J. D., Dock, L. L. and Han, J. H. "Active packaging technologies and Applications", **Food Cosmetics and Drug Packaging.** [S.l.], v. 10, 1997.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Friedman, M. "Analysis of biologically active compounds in potatoes (*Solanum tuberosum*), tomatoes (*Lycopersicon esculentum*), and jimson weed (*Datura stramonium*) seeds", **Journal of Chromatography A.** 1054: 143-155, 2004.
- Fuentes, V., and et al. "Lipid and protein oxidation and sensory properties of vacuum-packaged dry-cured ham subjected to high hydrostatic pressure", **Meat Science.** 85: 506-514, 2010.
- Heredia, A., Barrera, C., and Andrs, A. "Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques comparison of kinetics and other related properties", **Journal of Food Engineering.** 80(1): 111-118, 2007.
- Hertog, M. L. A. T. M., and et al. "The impact of biological variation on postharvest behaviour of tomato fruit", **Postharvest Biology and Technology.** 34(3): 271-284, 2004.
- Hiranvarachat, B., Suvarnakuta, P. and Devahastin, S. "Isomerisation kinetics and antioxidant activities of β -carotene in carrots undergoing different drying techniques and conditions", **Food Chemistry.** 107(4): 1538-1546, 2008.
- Hossain M. A. & Gottschalk K. "Effect of moisture content, storage temperature and storage period on colour, ascorbic acid, lycopene and total flavonoids of dried tomato halves", **International Journal of Food Science and Technology.** 44(6):1245-1253, 2009.
- Hussein, L. and El-Tohamy, M. "Vitamin A potency of carrot and spinach carotenoids in human metabolic studies", **Int. J. Vitamin Nutr. Res.** 60: 229-235, 1990.
- Javanmardi, J. and Kubota, C. "Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage", **Postharvest Biol. and Tec.** 41(2): 151-155, 2006.
- Kim D O, Jeong S W, and Lee C Y. "Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums", **Food Chemistry.** 81: 321-326, 2003.

ເອກສາຣອ້າງອີງ (ຕ່ວ)

- Klimczak, I. and et al. "Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices", *Journal of Food Composition and Analysis.* 20: 313–322, 2007.
- Kurtmann, L. and et al. "Storage stability of freeze-dried *Lactobacillus acidophilus* (La-5) in relation to water activity and presence of oxygen and ascorbate", *Cryobiology.* 58(2): 175-180, 2009.
- Labuza, T.P. *Scientific evaluation of shelf-life In Shelf-Life Dating of Foods.* USA: Food and Nutrition Press, 1982.
- Maki. (2009). **Cherry tomatoes.** (<http://www.justhungry.com/cherry-tomatoes>), 13 April 2014.
- Manju, S. and et al. "Effects of sodium acetate dip treatment and vacuum-packaging on chemical, microbiological, textural and sensory changes of Pearlspot (*Etroplus suratensis*) during chill storage", *Food Chemistry.* 102(1): 27-35, 2007.
- Mann, C.A. "Leak testing", *Non-Destructive Testing.* 1(4): 237-241, 1968.
- Matan, N. and et al. "Antimicrobial activity of cinnamon and clove oils under modified atmosphere conditions", *International Journal of Food Microbiology.* 107(2): 180-185, 2006.
- May B.K and Fickak A. "The efficacy of chlorinated water treatments in minimizing yeast and mold growth in fresh and semi-dried tomatoes", *Drying Technology.* 21(6): 1127-1135, 2003.
- Mexis, S.F. and Kontominas M.G. "Effect of oxygen absorber, nitrogen flushing, packaging material oxygen transmission rate and storage conditions on quality retention of raw whole unpeeled almond kernels (*Prunus dulcis*)", *LWT - Food Science and Technology.* 43: 1–11, 2010.
- Michalczyk, M., Macura, R. and Matuszak, I. "The effect of Air-Drying, Freeze-Drying and storage on the quality and antioxidant activity of some selected", *Journal of Food Processing and Preservation.* 33: 11-21, 2008.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Muratore, G. and et al. "The influence of using biodegradable packaging films on the quality decay kinetic of plum tomato (PomodorinoDatterino)", *Journal of Food Engineering*. 67: 393-399, 2005.
- Muratore, G. and et al. "Partial dehydration of cherry tomato at different temperature, and nutritional quality of the products", *Food Chemistry*. 111: 887-891, 2008.
- Murcia, M. A. and et al. "Extending the shelf-life and proximate composition stability of ready to eat foods in vacuum or modified atmosphere packaging", *Food Microbiology*. 20: 671–679, 2003.
- Nichols, R., Hammond, J.B.W. "Storage of mushrooms in pre-packs: the effect of changes in carbon dioxide and oxygen on quality", *J. Food Sci. Agric.* 24: 1371–1381, 1973. Cited Ares, G. and et al. "Sensory shelf life of shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere", *Postharvest Biology and Technology*. 41: 191–197, 2006.
- Novotni, D. and et al. "Influence of frozen storage and packaging on oxidative stability and texture of bread produced by different processes", *LWT – Food Science and Technology*. 44: 643-649, 2011.
- Odriozola-Serrano, I., Fortuny, R. S. and Beloso, O. M. "Effect of minimal processing on bioactive compounds and color attributes of fresh-cut tomatoes", *LWT*. 41: 217–226, 2008.
- Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R. and Martí n-Beloso, O. "Changes in bioactive composition of fresh-cut strawberries stored under superatmospheric oxygen, low-oxygen or passive atmospheres", *Journal of Food Composition and Analysis*. 23: 37–43, 2010.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Oliu, G. O., Fortuny, R. S. and Beloso, O. M. "Physiological and microbiological changes in fresh-cut pears stored in high oxygen active packages compared with low oxygen active and passive modified atmosphere packaging", *Postharvest Biology and Technology*. 48: 295–301, 2008.
- Pascual, P. G. and et al. "Influence of Storage Conditions on the Quality of Shelled and Roasted Almonds", *Biosystems Engineering*. 84(2): 201-209, 2003.
- Rooney, M.L. *Active Food Packaging*. First edition, ISBN: 0-7514-0191-9, Chapman & Hall, Australia, 1995.
- Robertson, G. L. "Shelf life of foods", *Food Packaging: Principles and Practice*. New York: Marcel Dekker. p. 338-380, 1993.
- Rubio, B. and et al. "Effect of the packaging method and the storage time on lipid oxidation and colour stability on dry fermented sausage *salchichon* manufactured with raw material with a high level of mono and polyunsaturated fatty acids", *Meat Science*. 80(4): 1182-1187, 2008.
- Sahlin, E., Savage, G.P. and Lister, C.E. "Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing", *Journal of Food Composition and Analysis*. 17: 635–647, 2004.
- Saric, G. and et al. "Changes of Antioxidant Activity and Phenolic Content in Acacia and Multifloral Honey During Storage", *Food Technol. Biotechnol.* 50(4): 434–441, 2012.
- Senevirathne, M. and et al. "Effect of far-infrared radiation drying of citrus press-cakes on free radical scavenging and antioxidant activities", *Journal of Food Engineering*. 97(2): 168-176, 2010.
- Serrano, I. O., Fortuny, R. S. and Beloso, O. M. "Effect of minimal processing on bioactive compounds and color attributes of fresh-cut tomatoes", *LWT*. 41: 217–226, 2008.

ເອກສາຣ໌ອ້າງອີງ (ຕ່ອ)

- Sharma, S. K. and Maguer, M. L. "Kinetics of lycopene degradation in tomato pulp solids under different processing and storage conditions", **Food Research International**. 29(3-4): 309-315, 1996.
- Shetty, K., Randhir, R., & Shetty, P. "Bioprocessing strategies to enhance L-DOPA and phenolic antioxidants in fava bean (*vicia faba*)", Cited A. Pometto, K. Shetty, G. Paliyath & R. L. Levin (Eds.). **Food Biotechnology**. 2 ed. Boca Raton, FL, USA: Taylor & Francis Group/CRC Press, 2005.
- Shi, J. and et al. "Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration", **Food research International**. 32: 15-25, 1999.
- Silva, A. S., Hernández, J. L. and Losada, P. P. "Modified atmosphere packaging and temperature effect on potato crisps oxidation during storage", **Analytica Chimica Acta**. 524(1-2): 185-189, 2004.
- Simpson, B. K. **Food biochemistry and food processing**. 2nd ed. New Delhi, India: Wiley Blackwell, 2012.
- Toor, R. K. and Savage, G. P. "Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes", **Food Chemistry**. 94(1): 90-97, 2006.
- Toor, R. K., & Savage, G. P. "Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes", **Food Chemistry**. 94(1), 90-97, 2006. Cited Dewanto, V. and et al. "Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity", **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50: 3010–3014, 2002.
- Toor, R. K., & Savage, G. P. "Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes", **Food Chemistry**. 94(1), 90-97, 2006. Cited Lavelli, V. and et al. "Evaluation of radical scavenging activity of fresh and air-dried tomatoes by three model reactions", **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 47: 3826–3831, 1999.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Vermeiren, L. and et al. "Developments in the active packaging of foods", **Trends in Food Science & Technology.** 10: 77-86, 1999.
- Vermeiren, L., Devlieghere, F. and Debevere, J. "Effectiveness of some recent antimicrobial packaging concept", **Food addit. Contam.** 19: 163-171, 2003.
- Yang C C, & Chinnan M S. "Modeling the effect of O₂ and CO₂ on respiration and quality of stored tomatoes", **Transactions of the ASAE.** 31: 920-925, 1988.
- Zerdin, K., Rooney, M. L. and Vermue, J. "The vitamin C content of orange juice packed in an oxygen scavenger material", **Food Chemistry.** 82: 387-395, 2003.
- Zhishen, J., Mengcheng, T. and Jianming, W. "The determination of flavonoids contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals", **Food chemistry.** 64: 555-559, 1999.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมะเขือเทศเชอร์อับแห้ง

ภาคผนวก ก.1 วิเคราะห์ปริมาณไลโคพีน (Lycopene) โดยประยุกต์วิธีของ Toor and Savage (2004)

1. การเตรียมสารเคมี

สารผสม Hexane:Acetone:Ethanol อัตราส่วน 2:1:1 (v/v/v)

2 วิธีการวิเคราะห์

2.1 ใส่ตัวอย่างมะเขือเทศเชอร์อบแห้ง 1 กรัมลงในขวดรูปทรงห่อหัวด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์

2.2 เติมสารผสม Hexane:Acetone:Ethanol 25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาที

2.3 เติมน้ำกลิ่น 10 มิลลิลิตร ทึ้งให้สารละลายแยกชั้นเป็นเวลา 2 นาที แล้วแยกชั้น Hexane ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีฝาปิด

2.4 นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 472 นาโนเมตร ส่วน Blank ใช้ Hexane คำนวณหาปริมาณไลโคพีนในมะเขือเทศเชอร์อบแห้งจากการมาตราตรฐาน และรายงานผลเป็น mg/100 g DM

ภาคผนวก ก.2 วิเคราะห์ปริมาณฟลาวนอยด์ทั้งหมด (Total flavanoids) โดยประยุกต์วิธีของ Zhishen et al. (1999)

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 NaNO₂ 5% w/v โดยซึ่งน้ำหนักที่แน่นอนของ NaNO₂ 5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลิ่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

1.2 AlCl₃ 10% w/v โดยซึ่งน้ำหนักที่แน่นอนของ AlCl₃ 10 กรัม ละลายด้วยน้ำกลิ่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

1.3 1 M NaOH โดยซึ่งน้ำหนักที่แน่นอนของ NaOH 4 กรัม ละลายด้วยน้ำกลิ่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

2. วิธีการวิเคราะห์

2.1 สกัดตัวอย่างมะเขือเทศเชอร์อบแห้ง 1.4 กรัมโดยใช้วิธี Soxhlet ด้วยสารละลายเอทานอล 100 มิลลิลิตรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2.2 ปีเปตสารสกัดที่ได้จากตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรลงใน Volumetric flask ขนาด 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลิ่น 5 มิลลิลิตร

2.3 เติมสารละลาย NaNO₂ 0.3 มิลลิลิตร แล้วทิ้งไว้ 5 นาที

2.4 เติมสารละลาย AlCl₃ 0.6 มิลลิลิตร แล้วทิ้งไว้ 6 นาที

- 2.5 เติมสารละลายน้ำ NaOH 2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 10 มิลลิลิตร
- 2.6 วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร
- 2.7 บันทึกค่าที่ได้เพื่อเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Rutin และรายงานผลเป็น mg/100 g DM

- ภาคผนวก ก.3 การวิเคราะห์กรดแอกซอร์บิก (Ascorbic acids) โดยประยุกต์ด้วยวิธี 2,6 dichlorophenolindohenol titrimetric ตามวิธีของ AOAC (2000)**
- 1 การเตรียมสารเคมี
 - 1.1 Oxalic acid (สารละลายที่ใช้สักดัด)
 - 1.1.1 ชั่ง Oxalic acid ปริมาณ 30 กรัม
 - 1.1.2 ละลาย Oxalic acid ในกรดอะซิติก 80 มิลลิลิตร และในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
 - 1.2 3 % Meaphosphoric acid (HPO_3) หรือ Extracting solution
 - 1.2.1 ชั่ง HPO_3 15 กรัม
 - 1.2.2 ละลาย HPO_3 ในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร และกรดอะซิติกเข้มข้น 40 มิลลิลิตร
 - 1.2.3 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 500 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 2 (สามารถเก็บไว้ในตู้เย็นได้นาน 7-10 วัน)
 - 1.3 0.02 % 2,6-dichloroindophenol sodium salt
 - 1.3.1 ชั่ง 2,6-dichloroindophenol sodium salt 0.1 กรัมและ $NaHCO_3$ 0.1 กรัม
 - 1.3.2 ละลายสารทั้งสองด้วยน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร
 - 1.3.3 กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 2 จากนั้นเก็บสารละลายดังกล่าวในขวดสีชา (เก็บไว้ในตู้เย็นได้นาน 7-10 วัน)
 - 1.4 Standard ascorbic solution
 - 1.4.1 ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของ Ascorbic acid 200 มิลลิกรัม
 - 1.4.2 ละลายด้วย HPO_3 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

1.4.3 ดูดสารละลายที่ได้ 1 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย HPO_3 จะได้ Standard ascorbic solution ความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

2 วิธีการวิเคราะห์

2.1 ปีเปต Standard ascorbic solution 2 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชามพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม HPO_3 5 มิลลิลิตร ไต่เตอร์ด้วย 0.02 % 2,6-dichloroindophenol sodium salt จนถึงจุดยุติคือสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูคงที่มากกว่า 5 วินาที แล้วบันทึกค่าที่ได้

2.2 ปีเปตสารตัวอย่าง 2 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชามพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม HPO_3 5 มิลลิลิตร ไต่เตอร์ด้วย 0.02 % 2,6-dichloroindophenol sodium salt จนถึงจุดยุติคือสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูคงที่มากกว่า 5 วินาที แล้วบันทึกค่าที่ได้

2.3 ปีเปต Blank โดยเติม HPO_3 2 มิลลิลิตรแทนตัวอย่าง แล้วเติม HPO_3 5 มิลลิลิตร ไต่เตอร์ด้วย 0.02 % 2,6-dichloroindophenol sodium salt จนถึงจุดยุติคือสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูคงที่มากกว่า 5 วินาที แล้วบันทึกค่าที่ได้ และรายงานผลเป็น $\text{mg}/100 \text{ g DM}$

ภาคผนวก ก.4 สารประกอบฟีโนไลก์ทังหมด (total phenolic compound) โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteau reagent and gallic acid as a standard ตามวิธีของ Kim et al., (2003)

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 สารละลาย Folin-Ciocalteu reagent

1.1.1 ปีเปต Folin-Ciocalteu reagent 10 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร

1.1.2 ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

1.1.3 เก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4°C

1.2 สารละลาย 7.5% Na_2CO_3

1.2.1 ชั้ง Na_2CO_3 7.5 กรัม

1.2.2 ละลายสารด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

1.2.3 เก็บไว้ในขวดใสที่อุณหภูมิห้อง

1.3 สารละลายน้ำมาร์ฐานกรดแกลลิก

1.3.1 ชั้งกรดแกลลิก 0.1 กรัม

1.3.2 ละลายนครดแกลลิกด้วย 80% เมทานอล ปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้ว ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น (Stock) จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 1000 $\mu\text{g/g}$ (ppm)

1.3.3 เจือจางสารละลายมาตรฐานocrdแกลลิกที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ตามตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 การเจือจางสารละลายมาตรฐานocrdแกลลิกที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น ($\mu\text{g/g}$)	ปริมาณ Stock (ml)	ปริมาณเมทานอล (ml)
0	0.00	10.00
1	0.01	9.99
3	0.03	9.97
5	0.05	9.95
10	0.10	9.90
30	0.30	9.70
50	0.50	9.50
100	1.00	9.00

2 การสกัดตัวอย่าง

2.1 ซั่งตัวอย่างมะเขือเทศอบแห้ง 20 กรัม

2.2 เติม 80% เมทานอล ปริมาตร 80 มิลลิลิตร

2.3 สกัดตัวอย่างโดยปั่นผสมตัวอย่างให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสมที่ความเร็ว

เบอร์ 1 เป็นเวลา 1 นาที

2.4 กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วเก็บตัวอย่างใส่ในขวดรูปทรงที่ห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ เก็บที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อรักษาไว้

3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.1 ปีเปตสารที่ได้จากการสกัด 1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง

3.2 เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent 5 มิลลิลิตร

3.3 เก็บไว้ในที่มีดีบุก 5 นาที

3.4 เติม 7.5% Na_2CO_3 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร

3.5 เก็บไว้ในที่มีดีบุกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.6 Blank ทำเช่นเดียวกับตัวอย่าง โดยใช้ 80% เมทานอล แทนสารสกัด

3.7 วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร บันทึกค่าที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐาน

3.8 สารละลายน้ำมารฐานกรดแกลลิก วิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง และบันทึกค่าที่ได้จากการวัดเพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน และรายงานผลเป็น mg/100 g DM

ภาคผนวก ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (Titratable acidity) ตามวิธีของ AOAC (2000)

1 การเตรียมสารเคมี

1.1 1% Phenolphthalein ($C_{20}H_{14}O_4$)

1.1.1 ชั่ง phenolphthalein 1 กรัม

1.1.2 ละลายด้วย 60% ethanol แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

1.2 0.1 M Sodium Hydroxide (NaOH)

1.2.1 ชั่ง NaOH 4 กรัม

1.2.2 ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร

2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.1 ชั่งตัวอย่างมะเขือเทศเชอร์อิบแห้ง 5 กรัม

2.2 คั้นเอาน้ำจากตัวอย่างมะเขือเทศเชอร์อิบแห้ง โดยการเติมน้ำกลั่นจำนวน 5 เท่าของตัวอย่าง

2.3 หยด phenolphthalein 2-3 หยด

2.4 ไต่เตอร์สารละลายน้ำด้วย 0.1 M NaOH จนกระทั่งถึงจุดยุติคือสารละลาย

เปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน ๆ

2.5 บันทึกปริมาตรของ 0.1 M NaOH ที่ใช้ไต่เตอร์

2.6 และรายงานผลเป็น mg/100 g DM

ภาคผนวก ก.6 ความชื้น (Moisture contents) AOAC (2000) ตามวิธีของ AOAC (2000)

1 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1.1 อบถวยอะลูมิเนียมในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C นาน 2 – 3 ชั่วโมง แล้วใส่ไว้ในโดดความชื้นทึ้งไว้จนกระทั่งถึงจุดยุติคือ อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C นาน 5 – 6 ชั่วโมง แล้วนำ

1.2 ชั่งน้ำหนักมะเขือเทศเชอร์อิบแห้งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1 – 3 กรัม ใส่ลงในถวยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแล้ว อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C นาน 5 – 6 ชั่วโมง แล้วนำ

ตัวอย่างมะเขือเทศที่อบแล้วใส่ไว้ในโถดูดความชื้นจนกระหังอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วซึ่งน้ำหนัก นำไปอบซ้ำจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ แล้วคำนวณร้อยละของความชื้นได้จากสมการที่ (1)

$$\text{ความชื้น (\%db)} = \frac{[\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นก่อนการอบ}-\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังการอบ}]}{\text{น้ำหนักหลังการอบ}} \times 100 \quad (g.1)$$

ภาคผนวก ก.7 กิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) โดยวิธี DPPH assay

1 การเตรียมสารเคมี

1.1 การเตรียมสารละลายน้ำ DPPH

1.1.1 ชั้งน้ำหนัก DPPH 0.0025 กรัม

1.1.2 ละลาย DPPH ด้วย 80% เมทานอล แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

1.1.3 เก็บสารละลายน้ำ DPPH ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4°C

2 การสกัดตัวอย่าง

2.1 ชั้งมะเขือเทศเชอร์อิ่บแห้ง 20 กรัม

2.2 เติม 80% เมทานอล ปริมาตร 80 มิลลิลิตร

2.3 นำตัวอย่างไปปั่นเหยี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ความเร็วรอบ 6000 ซ.ม./นาที ที่อุณหภูมิ 4°C

2.4 นำส่วนใส่ใส่ขวดรูปไข่ที่ห่อด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C

เพื่อรอการวิเคราะห์

3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.1 ปีเปตสารละลายน้ำ DPPH ปริมาตร 3.9 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

3.2 ปีเปตสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มี DPPH

3.3 เขย่าสารให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex

3.4 เก็บไว้ในที่มีเดือนเวลา 30 นาที

3.5 Control ทำเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยใช้ 80% เมทานอล แทนสารสกัดจากตัวอย่าง

3.6 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร บันทึกค่าที่ได้ และรายงานผลเป็น mg/100 g DM

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางภาษาพ

ภาคผนวก ข.1 การวัดสีระบบ CIE (CIE color system) โดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab)

1 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1.1 เตรียมเครื่องโดยการสอบเทียบ(Calibrate) โดยแผ่นเทียบสีมาตรฐานแล้ว

บันทึก

1.2 นำตัวอย่างมาเขือเทศที่เตรียมไว้ไปวัดค่าสี

1.3 จดบันทึกค่าสีที่ได้

1.4 ทำการวัดสีตัวอย่างละ 3 ช้ำ โดยการวัดค่าสี L^* , a^* และ b^* ค่าที่ทำการวัดประกอบด้วย

ค่า L (Lightness) คือค่าความสว่าง เมื่อมีค่าใกล้ 100 แสดงว่าวัตถุมีสีขาว เมื่อเข้าใกล้ 0 แสดงว่าวัตถุมีสีดำ

ค่า a^* (Redness/Greeness) คือค่าสีแดง และสีเขียว เมื่อเป็นบวกแสดงว่าวัตถุมีสีแดงเมื่อเป็นลบแสดงว่าวัตถุมีสีเขียว

ค่า b^* (Yellowness/Blueness) คือค่าสีเหลือง และสีน้ำเงิน เมื่อเป็นบวก แสดงว่าวัตถุมีสีเหลือง เมื่อเป็นลบแสดงว่าวัตถุมีสีน้ำเงิน

ภาคผนวก ข.2 การวัดเนื้อสัมผัส (Texture) โดยใช้เครื่อง Texture Analyser (LLOYD, LR Model, USA)

1 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1.1 เปิดโปรแกรมสำหรับวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

1.2 ใช้การวัด TPA (Texture Profile Analysis)

1.3 โดยใช้หัววัดแบบ Cylinder probe ขนาด 2 มิลลิเมตร ความเร็วในการกด 10 มิลลิเมตร/นาที

1.4 นำตัวอย่างมาวัดค่าโดยวางตัวอย่างที่จุดกึ่งกลางของ Test Cells

1.5 วัดค่าความแข็งของตัวอย่างโดยใช้ Test Cells กดลงไปที่ตัวอย่างตามโปรแกรมที่ตั้งไว้โดยจะวัดตัวอย่างละ 3 ช้ำ

1.6 นำข้อมูลที่โปรแกรมวัดค่าได้มามาวิเคราะห์ผล

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางจุลินทรีย์

ภาคผนวก ค.1 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลทรรศ์ทั้งหมด (Total Plate Count) ตามวิธีของ AOAC, 2000

1. วิธีการวิเคราะห์

1.1 ใช้ปั๊บดูดสารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่บรรจุสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตัน 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม (Vortex mixer) จะได้สารละลายตัวอย่างที่เจือจาง 1: 10 หรือ 10^{-1}

1.2 ใช้ปั๊บดูดสารละลายจากข้อ 1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่บรรจุสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตัน 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม (Vortex mixer) จะได้สารละลายตัวอย่างที่เจือจาง 1: 100 หรือ 10^{-2} จะได้ระดับเจือจางของสารละลายตัวอย่างที่ต้องการ

1.3 ใช้ปั๊บดูดสารละลายตัวอย่างที่ระดับความเจือจางต่าง ๆ ลงในจานเพาะเชื้อ จำนวน 1 มิลลิลิตร โดยในแต่ละระดับความเจือจางจะทำ 3 จาน โดยเริ่มจากระดับความเข้มข้นต่ำสุด

1.4 เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ที่ยังเหลืออยู่ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ $50-60^{\circ}\text{C}$ ลงในจานเพาะเชื้อที่มีสารละลายตัวอย่าง ปริมาณจำนวน 15-20 มิลลิลิตร ภายใน 1-5 นาที

1.5 ผสมสารละลายตัวอย่างและอาหารเลี้ยงเชื้อให้เข้ากันดี วางทิ้งไว้ให้อาหารแข็งตัว จากนั้นคว้าจานอาหารเลี้ยงเชื้อลง แล้วนำไปปั่นในตู้บ่มที่อุณหภูมิ $37\pm2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 48 ± 3 ชั่วโมง

2. การตรวจนับโคโลนีและการรายงานผล

หลังจากบ่มจานเพาะเชื้อครบตามกำหนดเวลาแล้ว ตรวจนับจำนวนโคโลนีบนจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 30-300 โคโลนี หากจำนวนโคโลนีเฉลี่ยจากทั้งสองจานเพาะเชื้อรายงานการตรวจนับในหน่วยจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร (CFU/ ml)

ภาคผนวก ค.2 การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา (Yeast and Mold) ตามวิธีของ AOAC, 2000

1. วิธีการวิเคราะห์

1.1 ใช้ปั๊บดูดสารละลายตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่บรรจุสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตัน 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม (Vortex mixer) จะได้สารละลายตัวอย่างที่เจือจาง 1: 10 หรือ 10^{-1}

1.2 ใช้ปั๊บดูดสารละลายจากข้อ 1. ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่บรรจุสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตัน 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม (Vortex mixer)

จะได้สารละลายตัวอย่างที่เจือจาง 1: 100 หรือ 10^{-2} จะได้ระดับเจือจางของสารละลายตัวอย่างที่ต้องการ

1.3 ใช้ปีเป็คดูดสารละลายตัวอย่างที่ระดับความเจือจางต่าง ๆ ลงในจานเพาะเชื้อที่เทออาหารเลี้ยงเชื้อ PDA เรียบร้อยแล้วจำนวนละ 0.1 มิลลิลิตร ตรงตำแหน่งกลางจานเลี้ยงเชื้อ ซึ่งในแต่ละระดับความเจือจางจะทำ 3 จาน โดยเริ่มจากระดับความเข้มข้นต่ำสุด

1.4 จุ่มแท่งแก้วรูปตัวแอล (spreader) ในแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 ไปเพาไฟจนแอลกอฮอล์ไหม้หมด และปล่อยให้ spreader เย็น นำ spreader เกลี่ยเชื้อให้ทั่วจานเพาะเชื้อ

1.5 คว้าจานอาหารเลี้ยงเชื้อลง แล้วนำไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา

24 - 48 ชั่วโมง

2. การตรวจนับโคโลนีและการรายงานผล

หลังจากบ่มจานเพาะเชื้อครบตามกำหนดเวลาแล้ว ตรวจนับจำนวนโคโลนีบนจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 30-300 โคโลนี หากจำนวนโคโลนีเฉลี่ยจากห้องสองจานเพาะเชื้อรายงานการตรวจนับในหน่วยจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร (CFU/ ml)

ภาคผนวก ง

การศึกษากลไกการเปลี่ยนแปลงก้าซอ กชิเงน และสารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศ
อุบเห้ง

ศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงกําชออกซิเจนและสารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศอบแห้งภายในบรรจุภัณฑ์ด้วยสมการ First-order kinetic reaction rate โดยวิธี non-linear regression โดยความแม่นยำของสมการในการทำนายนั้น จะใช้ค่า Root Mean Square of Error (RMSE) ซึ่งเป็นตัวนี้เพื่อบอกความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการทำนาย โดย RMSE ของผลจากการทดลอง (empirical data) และผลจากการประมาณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (predicted data) และผลที่ได้จากการทดลอง (empirical data) (Brand et al., 1995) สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

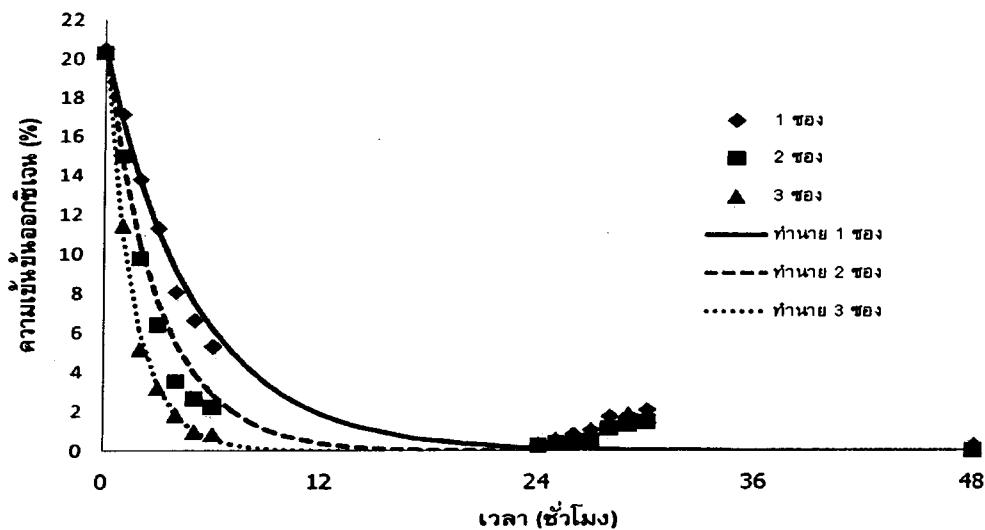
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(exp)^i - (predict)^i]^2} \quad (1.1)$$

เมื่อ n = จำนวนของข้อมูล

หากค่า RMSE ต่ำกว่า 2 แสดงให้ทราบว่าค่าที่ได้จากการประมาณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นมีความน่าเชื่อถือ (Yang and Chinna. 1988)

1. การเปลี่ยนแปลงกําชออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ที่มีจำนวน (Oxygen absorbing sachet: OAS) 3 ระดับ

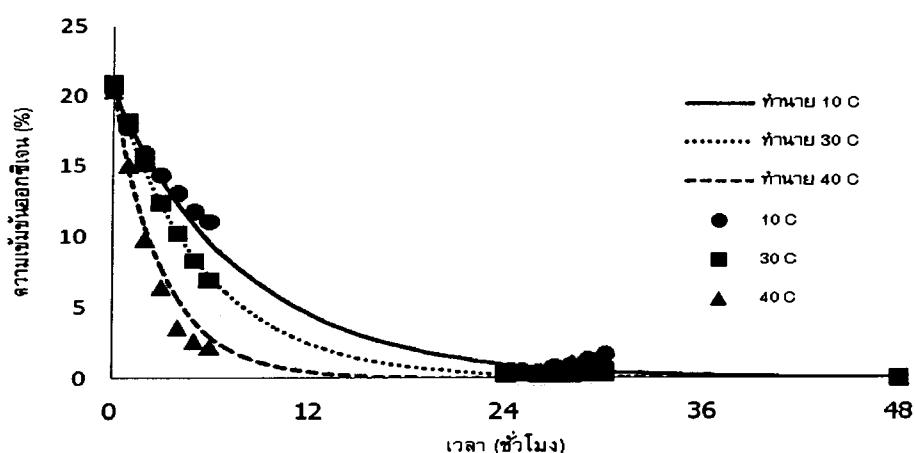
จากการที่ ง.1 พบร่วมกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจน (กำจัดออกซิเจน) ในบรรจุภัณฑ์นั้นแปรผันโดยตรงกับจำนวน OAS การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกําชออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์สามารถทำนายได้ด้วยสมการอันดับที่ 1 (First-order reaction) โดย ค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา (k) มีค่าเท่ากับ 0.20, 0.33, และ 0.60 h^{-1} ตามลำดับ (RMSEs อยู่ระหว่าง 0.12-1.58) ซึ่งมีค่า RMSEs ต่ำกว่า 2 แสดงว่าค่าที่ประมาณโดยสมการนั้นมีความน่าเชื่อถือ (Yang and Chinna. 1988) ผลการศึกษานี้ สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Charles et al., (2003) ที่รายงานว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงกําชออกซิเจนภายในถุงพลาสติกที่บรรจุ มะเขือเทศสด และ OAS ที่มีน้ำหนัก 0, 2.55 และ 4.80 กรัม (เก็บที่ 23 °C) แปรผันตรงกับน้ำหนัก OAS เมื่อพิจารณาภาพที่ ง.1 พบร่วมระดับความเข้มข้นของกําชออกซิเจน ภายหลัง 24 ชั่วโมงในทุกสิ่งทดลองจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ($p < 0.05$) ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้ทราบว่า จำนวนของ OAS ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อระดับความเข้มข้นของออกซิเจนในสภาวะคงที่ (quasi-steady state concentration) ดังนั้น การใช้ OAS จำนวน 1 ช่อง จึงมีความสามารถเพียงพอสำหรับการกำจัดกําชออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ และข้อมูลดังกล่าวสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายให้กับผู้ประกอบการ เพราะไม่จำเป็นต้องลงทุนบรรจุ OAS จำนวน 2-3 ช่อง แต่ให้ผลไม่ต่างกับการบรรจุเพียง 1 ช่อง



ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนภายในถุง met. PET ชั่งบรรจุ OAS จำนวน 1, 2 และ 3 ชิ้น เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40°C ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ย (3 ชั้น) และ เส้นคือค่าที่ประมาณโดย 1^{st} order kinetic reaction model

2. การเปลี่ยนแปลงก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ชั่งมี OAS ที่อุณหภูมิต่าง

จากภาพที่ 4.2 พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (การกำจัดออกซิเจน) ในบรรจุภัณฑ์ชั่งบรรจุ OAS 1 ชิ้น นั้นแปรผันตรงกับอุณหภูมิโดยที่อุณหภูมิ 40°C จะมีอัตราการลดลงของออกซิเจนที่เร็วกว่า 30 และ 10°C ตามลำดับ และการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์สามารถทำนายได้ด้วย สมการอันดับที่ 1 ค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา (k) ของสมการมีค่าเท่ากับ 3.5×10^{-5} , 5×10^{-5} และ $9 \times 10^{-5} \text{ h}^{-1}$ ตามลำดับ RMSE อยู่ระหว่าง 0.01 - 1.39 ซึ่งน้อยกว่า 2 จึงแสดงว่าค่าประมาณดังกล่าว่น่าเชื่อถือ (Rooney. 1995) ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Charles et al., (2006) พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการลดลงของออกซิเจน โดยที่อุณหภูมิสูง (35°C) ออกซิเจนจะลดลงได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำคือ 25 และ 15°C ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการมีค่าเท่ากับ 3.130×10^{-3} , 2.550×10^{-3} และ $2.260 \times 10^{-4} \text{ h}^{-1}$ ตามลำดับ



ภาพที่ 1.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนภายในถุง met. PET ชีงบรรจุ OAS จำนวน 1 เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 30 และ 40°C ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ย (3 ช้ำ) และ

เส้นคือค่าที่ประมาณโดย 1st order kinetic reaction model

เมื่อพิจารณาค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา (k) และอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษานี้ พบว่ามีความสัมพันธ์แบบ Arrhenius Relationship โดยมีค่าพลังงานกระตัน (Energy of Activation) เท่ากับ 19,404.88 J/mol โดยคำนวณจาก

$$k = Ar \times \exp(-Ea/RT) \quad (1.2)$$

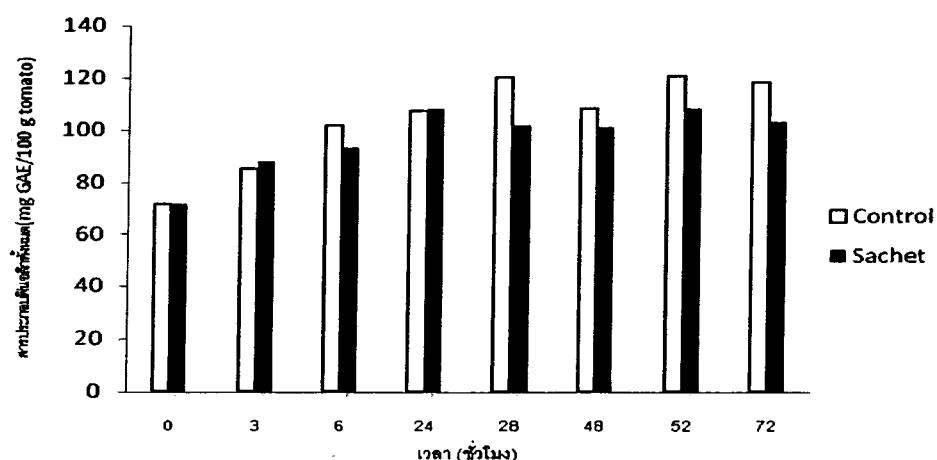
โดย k คือค่าคงที่ปฏิกิริยา (Reaction constant) (h^{-1}), Ar คือค่าคงที่ของ Arrhenius (h^{-1}), Ea คือพลังงานก่อการมั่นต์ (Activation Energy; $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$), R คือค่าคงที่ของแก๊สอุดมคติ (Gas constant; $8.314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) และ T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute temperature, K) ความสัมพันธ์แบบ Arrhenius relationship แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงและอุณหภูมิ โดยอัตราจะเพิ่มสูงขึ้นแบบ Exponential เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น Charles et al., (2006)

3. การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบพินอลิกทั้งหมด

ในภาพที่ 1.3 พบว่าปริมาณพินอลิกทั้งหมดในตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 24 ชั่วโมงแรก และมีแนวโน้มคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา (72 ชั่วโมง) การเปลี่ยนแปลงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากรายงานการวิจัยของ Michalczyk et al., (2008)

ซึ่งศึกษาการเก็บรักษาผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ที่ผ่านการอบแห้งพบว่าปริมาณสารโพลีฟินอลจะคงที่ในช่วง 2 เดือนแรก หลังจากนั้นปริมาณสารโพลีฟินอลจะลดลงจนกระทั่งถึงเดือนที่ 6 และจะมีปริมาณคงที่จนถึงเดือนที่ 10 ลักษณะการเปลี่ยนระดับพื้นอลิกทั้งหมดของมะเขือเทศอบแห้ง (งานวิจัยนี้) และเบอร์รี่อบแห้ง ที่ต่างกันอาจเกิดจากความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ แต่ผลการศึกษาเหล่านี้แสดงให้ทราบว่าระดับพื้นอลิกในผลไม้อบแห้งไม่ได้ลดลงทันทีทันใดภายหลังการทำแห้ง และ/หรือ การบรรจุ

งานวิจัยของ Serrano et al., (2010) ซึ่งศึกษาการเก็บรักษาสตอเบอร์ร์ตัดสดที่อุณหภูมิต่ำ (4°C) โดยใช้ระบบบรรยากาศตัดแปร (Modified Atmosphere) พบว่าปริมาณกรดฟีนอลิกจะเพิ่มสูงสุดเมื่อเวลาผ่านไป 9-11 วัน ภายใต้บรรยากาศ O_2 2.5 % (v/v) และปริมาณกรดฟีนอลิกจะเริ่มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป การเพิ่มขึ้นของกรดฟีนอลิกนี้เป็นผลมาจากการดีออกลาก้าจิกซึ่งพบอยู่ในกรดฟีนอลิกจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเนื่องจาก Hexahydroxydiphenic acid (HHDP) ถูกปลดปล่อยออกจาก Ellagitannins แล้วเปลี่ยนรูปไปเป็นกรดดีออกลาก้าจิก อย่างไรก็ตาม Serrano et al., (2008) รายงานว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของมะเขือเทศตัดสดไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 21 วัน)

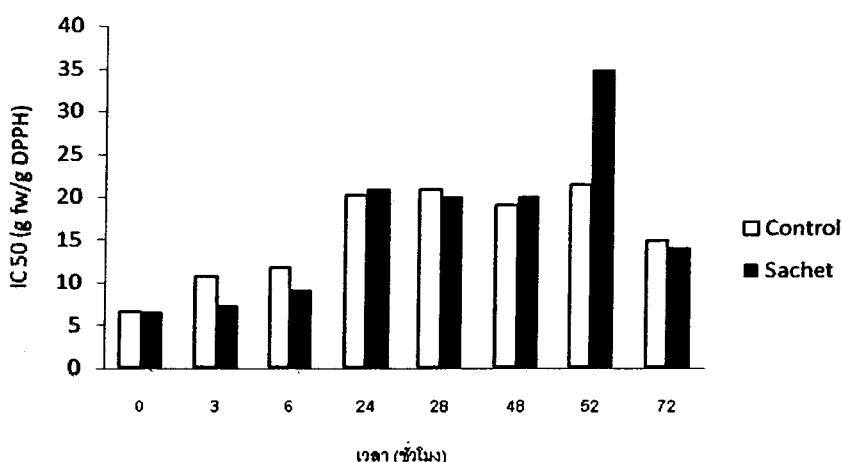


ภาพที่ ๔.๓ การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเบอร์รี่อบแห้งในถุง met.PET ที่มี OAS 1 ช่อง (สีดำ) และไม่มี OAS (สีขาว)(Control) ณ 40°C

4. การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

จากภาพที่ 4.4 พบว่าการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มที่คล้ายกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด โดยจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 24 ชั่วโมงแรก และมีแนวโน้มคงที่และลดลงภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 52 ชั่วโมง โดยที่ตัวอย่างทดลอง (มี OAS 1 ชอง) จะมีปริมาณสูงที่สุด ซึ่งจากการวิจัยของ Michalczyk et al., (2008) พบว่าค่า 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ของผลิตภัณฑ์เบอร์อีบแห้ง จะ มีปริมาณคงที่ในช่วง 2 เดือนแรก และจากนั้นจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงเดือนที่ 10 ของการเก็บรักษา Michalczyk กล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงค่า DPPH สัมพันธ์กับค่า Phenolic และ Anthocyanins ซึ่งถ้าค่า Phenolic หรือ Anthocyanins ลดลงจะทำให้ค่า DPPH ลดลง

งานวิจัยของ Serrano et al., (2010) พบว่ากิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH assay) ในผลิตภัณฑ์สตอเบอร์ตัดสดทั้งที่เก็บรักษาด้วยบรรยากาศด้ดัคแพร (O_2 2.5 % (v/v) + CO_2 7% (v/v)) และอากาศปกติ มีแนวโน้มลดลงจนกระทั่งถึงวันที่ 4 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นค่าที่ได้จะคงที่ ซึ่งการลดลงนั้นเกิดจากการซราภาพและการเสื่อมเสียของผลไม้ตัดสด



ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า DPPH ของผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเชอร์อีบแห้งในถุง met. PET ที่มี OAS 1 ชอง (สีดำ) และไม่มี OAS (สีขาว) (Control) ณ $40^{\circ}C$

จากการทดลองพบว่าระบบการบรรจุแบบแอคทีฟโดยการใช้วัตถุดูดซับออกซิเจนสามารถช่วยลดปริมาณออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ได้ โดยสามารถลดปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ให้เหลือ 1-2% (v/v) ภายใน 24 ชั่วโมง และการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์สามารถทำนายได้ด้วยใช้สมการปฏิกริยาอันดับที่ 1 อย่างไรก็ตาม ผลของวัตถุซับออกซิเจนต่ออัตรา

การเปลี่ยนความสามารถด้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเชอร์อิบแห้ง (พื้นอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ) ภายในระยะเวลาการเก็บรักษา 72 ชั่วโมงนั้นไม่ขัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองควบคุม ซึ่งอาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีระดับโมเลกุลของผลไม้ภายหลังจากการทำแห้ง ซึ่งควรได้รับการศึกษาต่อไป

ภาคผนวก จ
ตารางผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วย
Duncan's Multiple Range Test

ในภาคผนวก จ ได้รวบรวมผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's Multiple Range Test ที่ได้จากการศึกษาคุณภาพด้านต่างๆของมะเขือเทศ เชอร์รี่อบแห้งในระหว่างการเก็บรักษาด้วยระบบการบรรจุและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS

ในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่ามีตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์และรายงานผล ประกอบด้วย pack, tem และ day ซึ่งหมายถึงปัจจัยระบบการบรรจุ (Packaging) อุณหภูมิ (Temperature) และระยะเวลาการเก็บรักษา (Storage day) ตามลำดับ

ในตารางการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's Multiple Range Test ได้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลอง (Treatments ตัวอย่างคือ trt) โดยสิ่งทดลองที่ศึกษามีทั้งหมด 40 สิ่งทดลอง ซึ่งเกิดจากการรวมกัน (Combinations) ระดับของปัจจัยต่างๆ ที่สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ จ.1 สรุปหมายเลขสิ่งทดลอง (trt) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วย
Duncan's Multiple Range Test

trt	pack				tem		day				
	AIR	OAB	CO2	VAC	10	30	30	60	90	120	150
1	✓				✓		✓				
2	✓				✓		✓				
3	✓				✓			✓			
4	✓				✓				✓		
5	✓				✓					✓	
6		✓			✓		✓				
7	✓				✓		✓				
8	✓				✓			✓			
9	✓				✓				✓		
10		✓			✓					✓	
11			✓		✓		✓				
12			✓		✓			✓			

ตารางที่ จ.1 สรุปหมายเลขสิ่งทดลอง (trt) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วย
Duncan's Multiple Range Test (ต่อ)

trt	pack				term		day				
	AIR	OAB	CO2	VAC	10	30	30	60	90	120	150
13			✓		✓				✓		
14			✓		✓					✓	
15			✓		✓						✓
16				✓	✓		✓				
17				✓	✓			✓			
18				✓	✓				✓		
19				✓	✓					✓	
20				✓	✓						✓
21	✓					✓		✓			
22	✓					✓		✓			
23	✓					✓			✓		
24	✓					✓				✓	
25	✓					✓					✓
26		✓				✓		✓			
27		✓				✓		✓			
28		✓				✓			✓		
29		✓				✓				✓	
30		✓				✓					✓
31			✓			✓		✓			
32			✓			✓		✓			
33			✓			✓			✓		
34			✓			✓				✓	
35			✓			✓					✓
36				✓		✓		✓			
37				✓		✓		✓			
38				✓		✓			✓		
39				✓		✓				✓	
40				✓		✓					✓

ตารางที่ จ.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของความชื้น

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	13323.177 ^a	31	429.780	10.020	0.000
Intercept	2216540.818	1	2216540.818	51680.000	0.000
pack	1230.992	3	410.331	9.567	0.000
tem	1537.305	1	1537.305	35.841	0.000
day	7890.226	4	1972.557	45.989	0.000
pack * tem	244.924	3	81.641	1.903	0.129
pack * day	653.610	8	81.701	1.905	0.060
tem * day	1120.077	4	280.019	6.528	0.000
pack * tem * day	237.952	8	29.744	0.693	0.697
Error	10980.392	256	42.892		
Total	2707654.168	288			
Corrected Total	24303.570	287			

a. R Squared = .548 (Adjusted R Squared = .493)

ตารางที่ จ.3 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความชื้นด้วย Duncan's Multiple Range Test

trt	N	Subset												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
30	9	78.31												
35	9	79.05												
40	9	82.90	82.90											
15	9		88.09											
29	9			89.96	89.96									
34	9				92.21	92.21	92.21							
14	9					92.54	92.54	92.54						
10	9						93.05	93.05	93.05					
27	9							94.12	94.12	94.12				
13	9								94.43	94.43	94.43			
28	9									94.97	94.97	94.97		
9	9									96.09	96.09	96.09		
32	9										97.36	97.36	97.36	
8	9										97.58	97.58	97.58	
26	9										97.91	97.91	97.91	
37	9										97.98	97.98	97.98	
21	9										97.99	97.99	97.99	
20	9										98.11	98.11	98.11	
38	9										98.40	98.40	98.40	
33	9										98.90	98.90	98.90	
7	9										98.93	98.93	98.93	
39	9										99.19	99.19	99.19	
1	9											100.68	100.68	
36	9												101.75	
31	9												102.08	
12	9												102.21	
19	9												102.39	
16	9												103.24	
18	9												103.41	
17	9												104.04	
6	9													104.98
11	9													105.96
Sig.		0.162	0.094	0.057	0.093	0.069	0.087	0.054	0.052	0.057	0.084	0.054	0.061	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 42.892.

ตารางที่ จ.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	21.557 ^a	31	0.695	97.304	0.000
Intercept	24.331	1	24.331	3405.000	0.000
pack	0.049	3	0.016	2.300	0.078
tem	3.675	1	3.675	514.253	0.000
day	7.935	4	1.984	277.565	0.000
pack * tem	0.002	3	0.001	0.115	0.951
pack * day	0.280	8	0.035	4.900	0.000
tem * day	8.258	4	2.064	288.880	0.000
pack * tem * day	0.362	8	0.045	6.335	0.000
Error	1.830	256	0.007		
Total	52.412	288			
Corrected Total	23.386	287			

a. R Squared = .922 (Adjusted R Squared = .912)

ตารางที่ จ.5 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของร้อยละการสูญเสียน้ำหนักด้วย
Duncan's Multiple Range test

trt	N	Subset										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9	9	0.13										
10	9	0.15	0.15									
14	9	0.16	0.16	0.16								
27	9	0.16	0.16	0.16	0.16							
28	9	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17						
11	9	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17						
1	9	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17						
6	9	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18						
19	9	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19						
12	9	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19						
16	9	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20						
13	9	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20						
7	9	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20						
15	9	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21						
17	9	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23						
20	9	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23						
32	9		0.23	0.23	0.23	0.23						
21	9		0.25	0.25	0.25	0.25				0.25		
33	9			0.25	0.25	0.25				0.25		
36	9			0.25	0.25	0.25				0.25		
18	9			0.25	0.25	0.25				0.25		
8	9			0.26	0.26	0.26				0.26		
37	9				0.26	0.26				0.26		
26	9					0.26				0.26		
34	9						0.28			0.28		
31	9							0.29		0.29		
39	9								0.33			
38	9								0.34			
29	9									0.55		
30	9										1.07	
40	9											1.15
35	9											1.18
Sig.		0.050	0.052	0.052	0.052	0.058	0.064	0.060	0.059	1.000	1.000	0.497

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means. The error term is Mean Square(Error) = .007

ตารางที่ จ.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าแรงสูงสุดที่ได้จากการวัดเนื้อส้มผัก

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	35.768 ^a	31	1.154	27.827	0.000
Intercept	584.659	1	584.659	14100.000	0.000
pack	0.202	3	0.067	1.621	0.183
tem	1.280	1	1.280	30.882	0.000
day	28.332	4	7.083	170.827	0.000
pack * tem	0.042	3	0.014	0.337	0.798
pack * day	0.979	8	0.122	2.951	0.003
tem * day	1.380	4	0.345	8.321	0.000
pack * tem * day	0.511	8	0.064	1.540	0.140
Error	22.556	544	0.041		
Total	753.525	576			
Corrected Total	58.324	575			

a. R Squared = .613 (Adjusted R Squared = .591)

ตารางที่ จ.7 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าแรงสูงสุดที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัส
ด้วย Duncan's Multiple range test

ID	N	Subset														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	18	0.78														
6	18	0.80														
31	18	0.80	0.80													
11	18	0.80	0.80													
36	18	0.85	0.85													
16	18	0.86	0.86													
21	18	0.86	0.86	0.86												
18	18	0.88	0.88	0.88												
8	18	0.89	0.89	0.89												
37	18	0.92	0.92	0.92	0.92											
26	18	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93										
13	18			0.96	0.96	0.96	0.96	0.96								
17	18				1.02	1.02	1.02	1.02	1.02							
28	18					1.04	1.04	1.04	1.04							
7	18						1.05	1.05	1.05	1.05						
32	18							1.06	1.06	1.06	1.06					
33	18								1.08	1.08	1.08	1.08				
27	18									1.08	1.08	1.08	1.08			
38	18									1.09	1.09	1.09	1.09			
12	18										1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	
19	18											1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
14	18											1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
29	18											1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
9	18												1.23	1.23	1.23	1.23
34	18												1.24	1.24	1.24	
10	18													1.25	1.25	
39	18													1.31	1.31	
20	18														1.41	1.41
15	18															1.49
30	18															1.56
40	18															1.63
35	18															1.73
Sig.		0.062	0.056	0.050	0.090	0.059	0.070	0.071	0.067	0.052	0.069	0.053	0.154	0.208	0.061	0.135

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .041.

ตารางที่ จ.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของความสว่าง (ค่า L*)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1042.708 ^a	31	33.636	9.489	0.000
Intercept	183666.675	1	183666.675	51810.000	0.000
pack	124.861	3	41.620	11.741	0.000
tem	404.981	1	404.981	114.248	0.000
day	277.398	4	69.349	19.564	0.000
pack * tem	68.291	3	22.764	6.422	0.000
pack * day	198.476	8	24.809	6.999	0.000
tem * day	14.266	4	3.566	1.006	0.404
pack * tem * day	42.913	8	5.364	1.513	0.149
Error	1907.069	538	3.545		
Total	244104.230	570			
Corrected Total	2949.777	569			

a. R Squared = .353 (Adjusted R Squared = .316)

ตารางที่ จ.9 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความสว่าง (ค่า L*) ด้วย Duncan's Multiple Range Test

trt	N	Subset										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
34	18	17.70										
30	18	18.07	18.07									
21	12	18.10	18.10									
33	18		19.12	19.12								
38	18		19.31	19.31	19.31							
39	18		19.34	19.34	19.34							
28	18			19.65	19.65	19.65						
27	18				19.75	19.75	19.75					
29	18				19.76	19.76	19.76					
32	18				19.84	19.84	19.84					
13	18				19.92	19.92	19.92					
40	18				20.06	20.06	20.06	20.06				
35	18				20.08	20.08	20.08	20.08				
10	18				20.13	20.13	20.13	20.13				
14	18				20.33	20.33	20.33	20.33	20.33			
37	18				20.42	20.42	20.42	20.42	20.42			
17	18				20.59	20.59	20.59	20.59	20.59	20.59		
31	18				20.64	20.64	20.64	20.64	20.64	20.64		
19	18					20.79	20.79	20.79	20.79	20.79	20.79	
20	18					20.83	20.83	20.83	20.83	20.83	20.83	
12	18						21.04	21.04	21.04	21.04	21.04	
18	18						21.12	21.12	21.12	21.12	21.12	
26	18						21.17	21.17	21.17	21.17	21.17	
1	18							21.50	21.50	21.50	21.50	21.50
8	18							21.56	21.56	21.56	21.56	21.56
16	18								21.76	21.76	21.76	21.76
7	18								21.83	21.83	21.83	21.83
36	18								21.83	21.83	21.83	21.83
9	18									21.98	21.98	21.98
11	18									22.19	22.19	
15	18										22.79	
6	18											24.22
Sig.		0.556	0.075	0.050	0.052	0.052	0.053	0.052	0.072	0.067	0.084	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means. The error term is Mean Square(Error) = 3.545.

ตารางที่ จ.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าสีแดง (ค่า a*)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3070.103 ^a	31	99.036	7.332	0.000
Intercept	47748.368	1	47748.368	3535.000	0.000
pack	362.792	3	120.931	8.953	0.000
tem	761.430	1	761.430	56.374	0.000
day	1189.941	4	297.485	22.025	0.000
pack * tem	191.347	3	63.782	4.722	0.003
pack * day	77.805	8	9.726	0.720	0.674
tem * day	159.701	4	39.925	2.956	0.020
pack * tem * day	166.638	8	20.830	1.542	0.140
Error	7266.611	538	13.507		
Total	72631.682	570			
Corrected Total	10336.714	569			

a. R Squared = .297 (Adjusted R Squared = .257)

ตารางที่ จ.11 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าสีแดง (ค่า a*) ด้วย Duncan's Multiple Range Test

trt	N	Subset								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
34	18	5.54								
38	18	7.80	7.80							
39	18	7.90	7.90							
32	18		8.34	8.34						
31	18		8.52	8.52	8.52					
33	18		8.57	8.57	8.57					
27	18		8.80	8.80	8.80					
37	18		8.86	8.86	8.86					
35	18		9.03	9.03	9.03					
29	18		9.05	9.05	9.05					
21	12		9.15	9.15	9.15					
17	18		9.50	9.50	9.50	9.50				
28	18		9.53	9.53	9.53	9.53				
12	18		9.73	9.73	9.73	9.73	9.73			
16	18		9.90	9.90	9.90	9.90	9.90			
19	18		9.91	9.91	9.91	9.91	9.91			
14	18		9.99	9.99	9.99	9.99	9.99	9.99		
18	18		10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03		
36	18		10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35		
7	18		10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	
13	18		10.69	10.69	10.69	10.69	10.69	10.69	10.69	
1	18			11.31	11.31	11.31	11.31	11.31	11.31	
30	18				11.37	11.37	11.37	11.37	11.37	
9	18				11.51	11.51	11.51	11.51	11.51	
26	18				11.51	11.51	11.51	11.51	11.51	
40	18					12.25	12.25	12.25	12.25	
11	18					12.40	12.40	12.40	12.40	
20	18						12.55	12.55	12.55	
8	18							12.90	12.90	
6	18								13.36	
15	18									15.85
10	18									17.42
Sig.		0.07	0.06	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.21

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means. The error term is Mean Square(Error) = 13.507.

ตารางที่ จ.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าสีเหลือง (ค่า b*)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5047.396 ^a	31	162.819	6.974	0.000
Intercept	61895.287	1	61895.287	2651.000	0.000
pack	582.693	3	194.231	8.320	0.000
tem	809.065	1	809.065	34.656	0.000
day	2452.784	4	613.196	26.266	0.000
pack * tem	297.209	3	99.070	4.244	0.006
pack * day	255.337	8	31.917	1.367	0.208
tem * day	105.010	4	26.252	1.125	0.344
pack * tem * day	285.363	8	35.670	1.528	0.144
Error	12559.806	538	23.345		
Total	97670.306	570			
Corrected Total	17607.202	569			

a. R Squared = .287 (Adjusted R Squared = .246)

ตารางที่ จ.13 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าสีเหลือง (ค่า b*) ด้วย Duncan's Multiple Range Test

trt	N	Subset									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
34	18	6.97									
38	18	8.26	8.26								
39	18	8.47	8.47								
37	18	8.71	8.71								
32	18	8.75	8.75								
17	18	9.04	9.04	9.04							
16	18	9.24	9.24	9.24							
27	18	9.66	9.66	9.66							
36	18	10.05	10.05	10.05	10.05						
31	18	10.19	10.19	10.19	10.19						
21	12	10.25	10.25	10.25	10.25						
33	18	10.26	10.26	10.26	10.26						
18	18	10.75	10.75	10.75	10.75	10.75					
12	18	10.79	10.79	10.79	10.79	10.79					
28	18		11.06	11.06	11.06	11.06	11.06				
19	18		11.09	11.09	11.09	11.09	11.09				
29	18		11.46	11.46	11.46	11.46	11.46	11.46			
26	18		11.61	11.61	11.61	11.61	11.61	11.61			
14	18		11.74	11.74	11.74	11.74	11.74	11.74			
1	18		11.89	11.89	11.89	11.89	11.89	11.89	11.89		
7	18		12.14	12.14	12.14	12.14	12.14	12.14	12.14		
35	18		12.14	12.14	12.14	12.14	12.14	12.14	12.14		
13	18		12.78	12.78	12.78	12.78	12.78	12.78	12.78		
11	18			13.74	13.74	13.74	13.74	13.74	13.74		
30	18				14.18	14.18	14.18	14.18	14.18	14.18	
8	18					14.53	14.53	14.53	14.53	14.53	
9	18						14.57	14.57	14.57	14.57	
6	18							14.87	14.87	14.87	
20	18								15.09	15.09	
40	18									15.66	15.66
10	18										17.57
15	18										21.22
Sig.		0.054	0.057	0.065	0.066	0.056	0.055	0.067	0.053	0.072	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means. The error term is Mean Square(Error) = 23.345.

ตารางที่ จ.14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของปริมาณໄลโคพีน

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	113868.388a	31	3673.174	136.501	0.000
Intercept	615098.190	1	615098.190	22860.000	0.000
pack	2669.193	3	889.731	33.064	0.000
tem	503.965	1	503.965	18.728	0.000
day	69163.093	4	17290.773	642.552	0.000
pack * tem	1630.492	3	543.497	20.197	0.000
pack * day	15498.505	8	1937.313	71.994	0.000
tem * day	12785.204	4	3196.301	118.779	0.000
pack * tem * day	11000.143	8	1375.018	51.098	0.000
Error	6888.843	256	26.910		
Total	901006.467	288			
Corrected Total	120757.231	287			

a. R Squared = .943 (Adjusted R Squared = .936)

ตารางที่ จ.15 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของໄโลโคพีน ด้วย Duncan's Multiple Range Test

trt	N	Subset												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10	9	15.61												
15	9	18.52												
30	9		24.60											
20	9		26.62	26.62										
35	9		27.10	27.10										
28	9			29.94										
33	9				35.63									
9	9					35.93								
38	9					36.06								
29	9						41.38							
34	9						44.71	44.71						
8	9						45.16	45.16						
40	9							48.90	48.90					
11	9							48.91	48.91					
39	9							49.47	49.47					
27	9							49.83	49.83					
18	9								51.15					
36	9								52.56					
1	9									58.67				
19	9									59.36				
14	9									60.97	60.97			
37	9									61.08	61.08			
7	9									63.86	63.86	63.86		
32	9										64.96	64.96		
21	9										65.87	65.87	65.87	
13	9											67.13	67.13	
17	9											68.25	68.25	
6	9												71.05	
16	9												77.09	
31	9												79.49	
12	9												79.91	
26	9													105.84
Sig.		0.234	0.341	0.203	0.870	0.147	0.067	0.197	0.058	0.075	0.113	0.053	0.281	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means. The error term is Mean Square(Error) = 26.910.

ตารางที่ จ.16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	57750.267a	31	1862.912	88.558	0.000
Intercept	1084116.710	1	1084116.710	51540.000	0.000
pack	1048.156	3	349.385	16.609	0.000
tem	487.304	1	487.304	23.165	0.000
day	26556.215	4	6639.054	315.603	0.000
pack * tem	8262.351	3	2754.117	130.923	0.000
pack * day	9461.193	8	1182.649	56.220	0.000
tem * day	7123.245	4	1780.811	84.655	0.000
pack * tem * day	8107.635	8	1013.454	48.177	0.000
Error	5385.241	256	21.036		
Total	1357305.512	288			
Corrected Total	63135.508	287			

a. R Squared = .915 (Adjusted R Squared = .904)

ตารางที่ จ.17 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของของปริมาณพลาโนย์ทั้งหมดด้วย
Duncan's Multiple Range Test

bt	N	Subset													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
11	9	37.18													
15	9		47.02												
28	9			51.24	51.24										
8	9				52.63	52.63									
39	9					54.38	54.38	54.38							
20	9					54.72	54.72	54.72							
10	9					55.79	55.79	55.79	55.79						
30	9					56.01	56.01	56.01	56.01						
35	9					56.07	56.07	56.07	56.07						
16	9						57.21	57.21	57.21						
38	9						57.53	57.53	57.53						
9	9							58.53	58.53						
36	9							58.72	58.72						
21	9								59.77						
33	9								59.98						
40	9								60.17						
29	9									65.86					
14	9									68.16	68.16				
34	9										71.52	71.52			
18	9										71.82	71.82			
19	9											73.37	73.37		
7	9											74.30	74.30		
1	9												77.43	77.43	
37	9												77.55	77.55	
6	9												77.92	77.92	
26	9													80.77	80.77
13	9													81.60	81.60
27	9														83.41
12	9														88.32
17	9														89.31
31	9														89.75
32	9														97.03
Sig.		1.000	0.052	0.054	0.053	0.093	0.092	0.288	0.111	0.247	0.060	0.087	0.253	0.537	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means. The error term is Mean Square(Error) = 21.036.

ตารางที่ จ.18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของปริมาณกรดแอกซ์คอร์บิก

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	38037.639 ^a	31	1227.021	47.756	0.000
Intercept	488252.185	1	488252.185	19000.000	0.000
pack	1754.404	3	584.801	22.761	0.000
tem	980.555	1	980.555	38.164	0.000
day	26503.283	4	6625.821	257.880	0.000
pack * tem	1056.787	3	352.262	13.710	0.000
pack * day	1546.376	8	193.297	7.523	0.000
tem * day	1533.486	4	383.371	14.921	0.000
pack * tem * day	3919.665	8	489.958	19.069	0.000
Error	13977.223	544	25.693		
Total	638622.732	576			
Corrected Total	52014.861	575			

a. R Squared = .731 (Adjusted R Squared = .716)

ตารางที่ จ.19 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของของปริมาณกรดแอกซิคอร์บิก ด้วย
Duncan's Multiple Range Test

trt	N	Subset											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	18	11.67											
35	18	11.69											
20	18	13.90											
30	18		18.73										
10	18			20.12									
19	18				25.89								
18	18					28.05	28.05						
29	18					28.41	28.41						
39	18						29.56	29.56					
14	18						30.86	30.86	30.86				
28	18						31.27	31.27	31.27	31.27			
13	18							32.90	32.90	32.90	32.90		
38	18							33.23	33.23	33.23	33.23		
33	18								34.32	34.32	34.32	34.32	
34	18								34.38	34.38	34.38	34.38	
26	18									34.97	34.97	34.97	34.97
15	18									35.05	35.05	35.05	35.05
6	18										35.33	35.33	35.33
21	18										35.37	35.37	35.37
16	18										35.60	35.60	35.60
36	18										36.12	36.12	36.12
11	18										36.42	36.42	36.42
32	18											37.29	37.29
31	18											37.66	37.66
27	18											37.96	37.96
37	18											38.18	38.18
1	18											38.35	38.35
17	18												38.54
9	18												38.54
8	18												38.57
7	18												38.57
12	18												39.89
Sig.		0.216	0.411	0.159	0.091	0.052	0.068	0.053	0.085	0.05	0.084	0.05	0.082

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means. The error term is Mean Square(Error) = 25.693.

ตารางที่ จ.20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสารประกอบพื้นอลิกทั้งหมด

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	35240.323a	31	1136.785	41.497	0.000
Intercept	1206422.361	1	1206422.361	44040.000	0.000
pack	374.348	3	124.783	4.555	0.004
tem	4437.815	1	4437.815	161.996	0.000
day	23081.574	4	5770.394	210.640	0.000
pack * tem	1132.658	3	377.553	13.782	0.000
pack * day	1307.332	8	163.416	5.965	0.000
tem * day	509.270	4	127.318	4.648	0.001
pack * tem * day	1559.250	8	194.906	7.115	0.000
Error	12135.794	443	27.395		
Total	1572097.857	475			
Corrected Total	47376.117	474			

a. R Squared = .744 (Adjusted R Squared = .726)

ตารางที่ จ.21 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของปริมาณสารประกอบพื้นอิเล็กทั้งหมด
ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test

trt	N	Subset													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	15	37.29													
11	15		41.82												
16	15		43.79	43.79											
6	15		45.29	45.29											
36	15			46.40											
7	15			46.87	46.87										
31	15			47.10	47.10										
26	15			47.63	47.63										
13	15				50.90	50.90									
32	15					53.23	53.23								
21	10						55.46	55.46							
18	15						55.54	55.54							
37	15						55.63	55.63							
17	15						55.77	55.77							
27	15						56.37	56.37	56.37						
8	15						56.94	56.94	56.94						
12	15							57.87	57.87	57.87					
9	15							59.02	59.02	59.02	59.02				
15	15							59.66	59.66	59.66	59.66	59.66			
38	15								60.15	60.15	60.15	60.15			
28	15									61.31	61.31	61.31	61.31		
10	15									61.37	61.37	61.37	61.37		
20	15										62.47	62.47	62.47		
29	15										62.68	62.68	62.68		
33	15										63.24	63.24	63.24		
30	15										63.47	63.47	63.47		
14	15										63.54	63.54			
19	15										63.86	63.86			
39	15											64.68	64.68		
35	15												67.89		
34	15													72.22	
40	15														73.15
Sig.		1	0.09	0.08	0.06	0.23	0.1	0.07	0.09	0.12	0.05	0.07	0.15	0.1	0.63

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

ตารางที่ จ.22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	44767.365a	31	1444.109	89.737	0
Intercept	3586283.6	1	3586283.6	222900	0
pack	67.224	3	22.408	1.392	0.244
tem	2583.086	1	2583.086	160.513	0
day	31017.476	4	7754.369	481.857	0
pack * tem	56.14	3	18.713	1.163	0.323
pack * day	67.314	8	8.414	0.523	0.84
tem * day	9550.454	4	2387.613	148.366	0
pack * tem * day	375.408	8	46.926	2.916	0.003
Error	8754.42	544	16.093		
Total	4365329.1	576			
Corrected Total	53521.784	575			

a. R Squared = .836 (Adjusted R Squared = .827)

ตารางที่ จ.23 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ด้วย Duncan's Multiple Range Test

trt	N	Subset								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	18	59.82								
15	18	61.09								
10	18	61.33								
30	18		78.9							
35	18			82.33						
40	18				84.83	84.83				
9	18				85.1	85.1	85.1			
14	18					85.14	85.14			
19	18						87.07	87.07		
39	18							87.47	87.47	
29	18								88.01	88.01
34	18								88.78	88.78
27	18								88.92	88.92
8	18								89.87	89.87
11	18									90.27
17	18									90.31
1	18									90.32
32	18									90.6
36	18									90.64
12	18									90.68
38	18									90.81
6	18									91.07
28	18									91.15
31	18									91.19
26	18									91.26
37	18									91.26
33	18									91.41
7	18									91.77
18	18									91.77
13	18									91.82
16	18									91.82
21	18									91.86
Sig.		0.29	1	0.05	0.08	0.05	0.07	0.07	0.05	0.07

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means. The error term is Mean Square(Error) = 16.093.

ตารางที่ จ.24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของปริมาณกรดทั้งหมด

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	154.918a	31	4.997	46.341	0
Intercept	1416.94	1	1416.94	1.31E+04	0
pack	0.531	3	0.177	1.642	0.179
tem	0.352	1	0.352	3.262	0.071
day	140.555	4	35.139	325.845	0
pack * tem	0.554	3	0.185	1.713	0.163
pack * day	0.795	8	0.099	0.922	0.498
tem * day	2.227	4	0.557	5.163	0
pack * tem * day	1.847	8	0.231	2.141	0.031
Error	58.665	544	0.108		
Total	1939.931	576			
Corrected Total	213.583	575			

a. R Squared = .725 (Adjusted R Squared = .710)

ตารางที่ จ.25 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดทั้งหมดด้วย Duncan's
Multiple Range Test

trt	N	Subset														
		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
40	18	0.74														
35	18	0.80														
30	18	0.81														
20	18	0.82														
10	18	0.86														
15	18	0.87														
9	18		1.38													
34	18		1.50	1.50												
39	18		1.51	1.51	1.51											
19	18		1.56	1.56	1.56	1.56										
28	18		1.59	1.59	1.59	1.59	1.59									
14	18			1.63	1.63	1.63	1.63									
29	18			1.66	1.66	1.66	1.66									
18	18			1.68	1.68	1.68	1.68									
13	18				1.75	1.75	1.75	1.75								
8	18					1.80	1.80	1.80	1.80							
38	18						1.82	1.82	1.82	1.82						
33	18							1.94	1.94	1.94	1.94					
12	18								2.00	2.00	2.00	2.00				
6	18									2.04	2.04	2.04	2.04			
16	18									2.04	2.04	2.04	2.04			
17	18										2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	
7	18											2.07	2.07	2.07	2.07	
21	18											2.12	2.12	2.12	2.12	2.12
36	18												2.21	2.21	2.21	2.21
1	18												2.24	2.24	2.24	2.24
11	18													2.26	2.26	2.26
26	18													2.26	2.26	2.26
27	18														2.30	2.30
32	18															2.35
31	18															2.37
37	18															2.38
Sig.		0.318	0.083	0.156	0.056	0.058	0.078	0.111	0.055	0.054	0.164	0.067	0.084	0.054	0.072	0.17
																1

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means. The error term is Mean Square(Error) = .108.

ตารางที่ จ.26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ(ANOVA) ของคะแนนความชอบด้านสี

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	222.096a	5	44.419	15.777	.000
Intercept	39000.093	1	39000.093	1.385E4	.000
pack	135.046	2	67.523	23.983	.000
tem	57.870	1	57.870	20.554	.000
pack * tem	29.180	2	14.590	5.182	.006
Error	3023.811	1074	2.815		
Total	42246.000	1080			
Corrected Total	3245.907	1079			

a. R Squared = .068 (Adjusted R Squared = .064)

ตารางที่ จ.27 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบด้านสีด้วย
Duncan's Multiple Range Test

trt	N	Subset		
		1	2	3
6	180	5.58		
7	180	5.67		
3	180	5.69		
8	180		6.09	
2	180		6.12	
4	180			6.91
Sig.		.538	.875	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2.815.

ตารางที่ จ.28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนความชอบด้านกลิ่น

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	19.042a	5	3.808	1.772	.116
Intercept	40370.008	1	40370.008	1.879E4	.000
pack	15.239	2	7.619	3.546	.029
tem	.579	1	.579	.269	.604
pack * tem	3.224	2	1.612	.750	.473
Error	2307.950	1074	2.149		
Total	42697.000	1080			
Corrected Total	2326.992	1079			

a. R Squared = .008 (Adjusted R Squared = .004)

ตารางที่ จ.29 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนการความชอบด้านกลิ่น
โดย Duncan's Multiple Range Test

trt	N	Subset
		1
3	180	5.93
7	180	5.98
6	180	6.04
4	180	6.23
2	180	6.24
8	180	6.25
Sig.		.073

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2.149.

ตารางที่ จ.30 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ (ANOVA) ของคะแนนความชอบด้านรสชาติ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	63.207a	5	12.641	3.862	.002
Intercept	38473.070	1	38473.070	1.175E4	.000
pack	47.457	2	23.729	7.249	.001
tem	.300	1	.300	.092	.762
pack * tem	15.450	2	7.725	2.360	.095
Error	3515.722	1074	3.273		
Total	42052.000	1080			
Corrected Total	3578.930	1079			

a. R Squared = .018 (Adjusted R Squared = .013)

ตารางที่ จ.31 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบด้านรสชาติ โดย
Duncan's Multiple Range Test

trt	N	Subset			
		1	2	3	4
2	180	5.65			
7	180	5.73	5.73		
6	180	5.83	5.83	5.83	
3	180		6.10	6.10	6.10
4	180			6.21	6.21
8	180				6.29
Sig.		.369	.069	.065	.354

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 3.273.

ตารางที่ จ.32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	71.096a	5	14.219	4.892	.000
Intercept	38401.481	1	38401.481	1.321E4	.000
pack	67.891	2	33.945	11.680	.000
tem	.004	1	.004	.001	.972
pack * tem	3.202	2	1.601	.551	.577
Error	3121.422	1074	2.906		
Total	41594.000	1080			
Corrected Total	3192.519	1079			

a. R Squared = .022 (Adjusted R Squared = .018)

ตารางที่ จ.33 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส
โดย Duncan's Multiple Range Test

trt	N	Subset		
		1	2	3
2	180	5.60		
6	180	5.75		
7	180	5.88	5.88	
3	180	5.97	5.97	5.97
8	180		6.25	6.25
4	180			6.32
Sig.		.058	.053	.065

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2.906.

ตารางที่ จ.34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคะแนนความชอบโดยรวม

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	86.052a	5	17.210	7.837	.000
Intercept	40089.259	1	40089.259	1.825E4	.000
pack	64.496	2	32.248	14.684	.000
tem	20.281	1	20.281	9.235	.002
pack * tem	1.274	2	.637	.290	.748
Error	2358.689	1074	2.196		
Total	42534.000	1080			
Corrected Total	2444.741	1079			

a. R Squared = .035 (Adjusted R Squared = .031)

ตารางที่ จ.35 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบโดยรวม โดย Duncan's Multiple Range Test

trt	N	Subset			
		1	2	3	4
6	180	5.78			
7	180	5.82	5.82		
2	180	5.96	5.96	5.96	
3	180		6.13	6.13	
8	180			6.27	
4	180				6.60
Sig.		.286	.059	.064	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2.196.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวสุภาณี กะการดี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พ.ศ.2552
ผลงานทางวิชาการ	สุภาณี กะการดี, วีระเวย์ อุทโธ และ วิริยา พรหมกong. การศึกษา จลนศาสตร์การคุ้ดซับออกซิเจนของวัตถุคุ้ดซับออกซิเจน และการเปลี่ยนแปลงความสามารถด้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเชอร์รี่ อบแห้งในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟ. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่.
ประวัติการทำงาน	ครู โรงเรียนห้วยนกเปล้าวิทยา (คุ้ย คุรุราษฎร์) ปี พ.ศ. 2557-ปัจจุบัน
ตำแหน่งปัจจุบัน	ครู
สถานที่ทำงาน	โรงเรียนห้วยนกเปล้าวิทยา (คุ้ย คุรุราษฎร์)

