

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานวิจัย

4
เรื่อง

การทำนายอายุการเก็บมะม่วงหิมพานต์กอบบรรจุในถุงลามิเนต

(Shelf Life Prediction of Roasted Cashew Nut in Laminated Pouch)

RC4

TP

139.5

C3

20165

610382744

110453401

เลขหมู่

เลขทะเบียน

วัน, เดือน, ปี - 6 ส.ย. 2537

โดย

นาง	วราณา	ตั้งเจริญชัย	หัวหน้าโครงการ
นางสาว	ปิยาภรณ์	เสรีพรพรนิค	ผู้ร่วมโครงการ
นางสาว	ผ่องศรี	ไพฑูรย์เนรมิต	ผู้ร่วมโครงการ
นางสาว	สุนีย์	ชลนากิจกุล	ผู้ร่วมโครงการ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

จากการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ มะม่วงหิมพานต์ทอด ในภาชนะบรรจุ 2 ชนิด คือ ถุงเมทัลไลซ์ และถุงอลูมิเนียมลามิเนต ที่อุณหภูมิ 7 °C 22 °C 32 °C และ 42 °C สามารถทำนายอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ด้วย สมการอาร์เรเนียส คือ $K = K_0 e^{-E_a/RT}$ โดยสมการที่ได้ของภาชนะบรรจุแบบเมทัลไลซ์และอลูมิเนียมลามิเนต คือ $\ln K = (5.56 - 1461.74*1/T)$ และ $\ln K = (4.21 - 1099.74*1/T)$ ตามลำดับ และอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ในถุงดังกล่าว มีค่าเท่ากับ 13 12 10 และ 9 สัปดาห์ และ 14 13 11 และ 11 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิการเก็บคือ 7 °C 22 °C 32 °C และ 42 °C ตามลำดับ ขณะที่อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุทั้งสอง เมื่อทำการทดสอบค่าทางประสาทสัมผัส สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้นาน 12 12 10 9 สัปดาห์ และ 14 13 12 11 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิการเก็บคือ 7 °C 22 °C 32 °C และ 42 °C ตามลำดับ ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยใช้ค่าเปอร์ออกไซด์ และการทดสอบประสาทสัมผัส พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ มีความสอดคล้องกับค่าการเกิดกลิ่นเหม็น ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทั้งสองในภาชนะบรรจุเมทัลไลซ์ (r) ในทุก ๆ อุณหภูมิข้างต้น อยู่ใน ช่วง 0.98 - 0.99 และในภาชนะบรรจุแบบอลูมิเนียมลามิเนต ค่า r อยู่ใน ช่วง 0.97 - 0.99 พบศักยภาพในการยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ในถุงอลูมิเนียมลามิเนต ได้นานเพิ่มขึ้น 3 สัปดาห์ เมื่อบรรจุร่วมกับสารดูดซิมออกซิเจน (Ageless Z 10)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการทำนายอายุการเก็บมะม่วงหิมพานต์ทอดในบรรจุในถุงลามิเนต
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยปีงบประมาณ 2538 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

ขอขอบคุณ บริษัท สตรีงแพ็ค จำกัด บริษัทแหลมทอง สหการ จำกัด ที่ให้ความ
อนุเคราะห์ถุงอะลูมิเนียมลามิเนต และถุงเมทัลไลซ์ ตามลำดับ

ขอขอบคุณ บริษัท มิตรุมิณี (ประเทศญี่ปุ่น) ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคลือบ
ออกซิเจน (Ageless)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

คำนำ

วัตถุประสงค์

ตรวจเอกสาร

1. มะม่วงหิมพานต์	1
2. กลไกและผลของปฏิกิริยาการเสื่อมเสียในอาหารอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน	1
3. ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเกิดกลิ่นหืนในอาหาร	5
4. การวัดค่าความหืน	14
5. ภาวะบรรจุ	20
6. การบรรจุผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาพปรับอากาศ	30
7. การใช้ตัวดูดซึ่มออกซิเจน	32
8. Sorption Isotherms ของผลิตภัณฑ์อาหาร	47
9. การศึกษาอายุการเก็บของอาหารโดยการเร่งสภาวะ	57
10. การทำนายอายุการเก็บ	60
อุปกรณ์และวิธีการ	63
ผลการทดลอง	67
สรุปผลการทดลอง	82
วิจารณ์ผลการทดลอง	84
เอกสารอ้างอิง	90
ภาคผนวก	100
สารบัญตาราง	
สารบัญรูป	
สารบัญภาคผนวก	

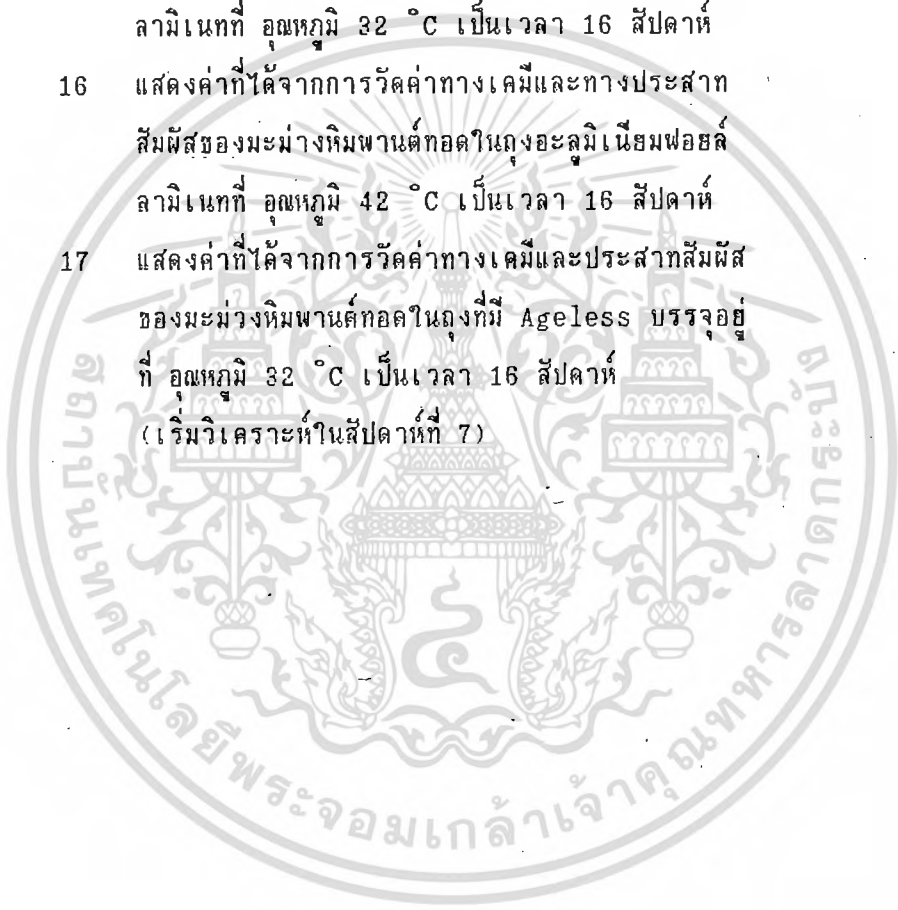
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงผลของ ERH กับ อัตรา O_2 -uptake ของ มันฝรั่งทอด	8
2	Types and properties of main films available in flexible packages	22
3	Basic properties of the various polyethylene	23
4	แสดงคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน และไอน้ำผ่านฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ ทั้งที่ไม่เคลือบ และเคลือบโลหะ	26
5	การซึมผ่านของออกซิเจนและไอน้ำของฟิล์มชนิดต่าง ๆ	38
6	ชนิดของตัวดูดซึมออกซิเจนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน	40
7	แสดงการเปรียบเทียบวิธีการบรรจุแบบใช้ N_2 และ แบบ ใช้สารตัวซึมออกซิเจน	41
8	แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบรรจุของ การใช้ ตัวดูดซึมออกซิเจน การใช้ระบบสุญญากาศ และ การใช้ การฉีก๊าซไนโตรเจน	42
9	แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมีและทางประสาท สัมผัสของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุง เมทัลไลซ์ที่ อุณหภูมิ 7 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์	102
10	แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมีและทางประสาท สัมผัสของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุง เมทัลไลซ์ที่ อุณหภูมิ 22 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์	103
11	แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมีและทางประสาท สัมผัสของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุง เมทัลไลซ์ที่ อุณหภูมิ 32 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์	104
12	แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมีและทางประสาท สัมผัสของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุง เมทัลไลซ์ที่ อุณหภูมิ 42 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13	แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตที่ อุณหภูมิ 7 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์	106
14	แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตที่ อุณหภูมิ 22 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์	107
15	แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตที่ อุณหภูมิ 32 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์	108
16	แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตที่ อุณหภูมิ 42 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์	109
17	แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมีและประสาทสัมผัสของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงที่มี Ageless บรรจุอยู่ที่ อุณหภูมิ 32 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์ (เริ่มวิเคราะห์ในสัปดาห์ที่ 7)	110



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	แสดงกลไกของปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน	2
2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อเวลาผ่านไป	3
3	แสดงกลไกของปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน	4
4	แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เมื่อ A_w เปลี่ยนไป	6
5	แสดงผลของความชื้นต่อกลิ่นรสของถั่วแมคคาเดเมียที่ทอด ณ อุณหภูมิบรรยากาศ	7
6	แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันฝรั่งทอดที่ 37°C ณ ERH ต่าง ๆ	9
7	แสดง A_w กับ moisture content ที่สัมพันธ์กับอาหารชนิดต่าง ๆ	10
8	แสดง moisture sorption isotherm ของอาหารที่อุณหภูมิ 25°C และ 45°C	11
9	แสดงผลของปริมาณความชื้นสัมพันธ์กับแสงของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในน้ำมันฝรั่งทอดที่ 37°C	12
10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารระเหยทั้งหมดในน้ำมันข้าวโพดกับคะแนนที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส	15
11	แสดงการสลายตัวของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ในไขมัน	17
12	แสดงความสัมพันธ์ของ Oxygen-containing functional groups ใน Methyl oleate ที่ถูกออกซิไดซ์ ณ อุณหภูมิ 35°C และ 100°C	18

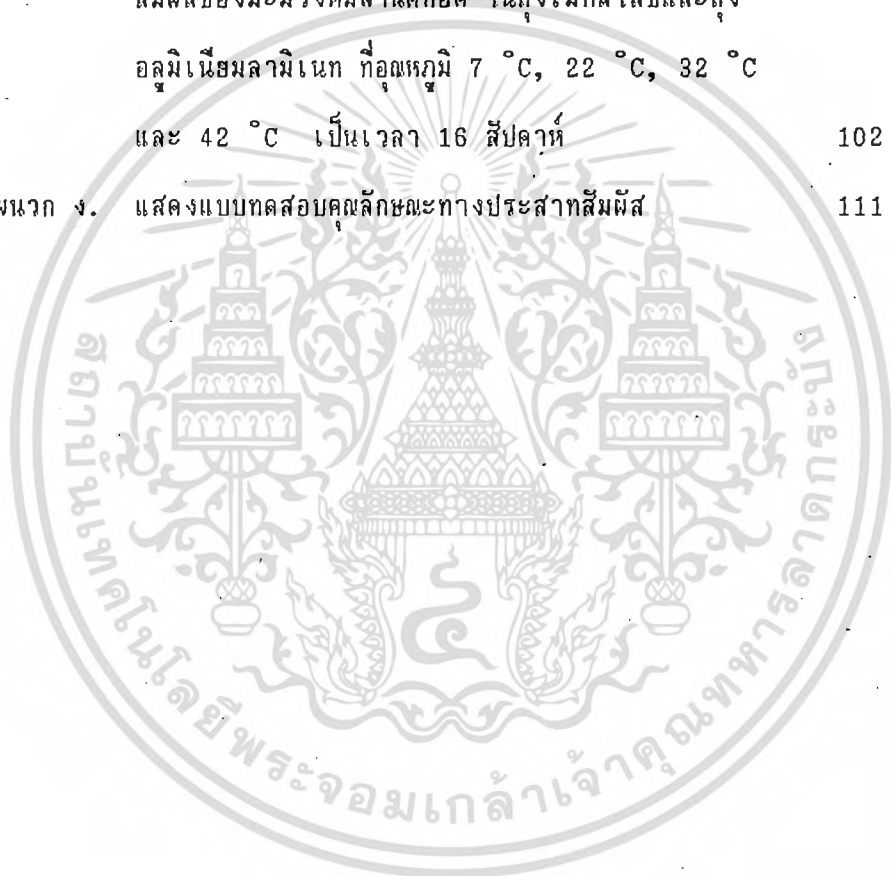
13	Water vapor permeabilities (Pw) (g/m ₂ d) of different plastic films (thickness 100 um) dependent on temperature. Testing condition: Aw = 0.85 against Aw = 0 at the respective temperature. (The line x—x corresponds to a Q ₁₀ value of 2) PS = polystyrene ; LDPE = low density polyethylene ; HDPE = high density polyethylene ; PP = polypropylene ; PVC = polyvinyl chloride	28
14	Oxygen permeabilities PO ₂ (N cm ³ /m ² d bar) of different packaging materials (film thickness 100 um) dependent on temperature.	29
15	การเปรียบเทียบผลการใช้ตัวดูดซึมออกซิเจนในผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ	36
16	แสดงการซึมผ่านของก๊าซ O ₂ ของภาชนะบรรจุชนิดต่าง ๆ	37
17	ความเข้มข้นของ O ₂ และ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน	44
18	ความเข้มข้นของ O ₂ และ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หลังการเก็บรักษา เป็นเวลา 150 วัน	45
19	ค่าเปอร์ออกไซด์ใน friend peanut cake ในการบรรจุแบบต่าง ๆ	45
20	แสดงการแบ่งชนิดของไอโซเทอร์ม แบบที่ I เป็นผลิตภัณฑ์แบบที่ II เป็นแบบของอาหารอบแห้ง และแบบที่ III เป็นของสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน	50
21	ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์ม เฉพาะของอาหารอบแห้ง	52
22	แสดงลักษณะการเกิดซีส์เทอโรซิส	55
23	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อซอร์ปชั่นไอโซเทอร์ม	56

- 24 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ในมะม่วงหิมพานต์ทอด
บรรจุในถุงเมทัลไลซ์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 7 °C 22 °C 32 °C
และ 42 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์ 68
- 25 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ในมะม่วงหิมพานต์ทอด
บรรจุในถุงเมทัลไลซ์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 7 °C 22 °C 32 °C
และ 42 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์ เมื่อทำ linear regression 69
- 26 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ในมะม่วงหิมพานต์ทอด
บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 7 °C 22 °C
32 °C และ 42 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์ 70
- 27 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ในมะม่วงหิมพานต์ทอด
บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 7 °C 22 °C
32 °C และ 42 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์ เมื่อทำ linear
regression 71
- 28 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าการเกิดกลิ่นหืนในมะม่วงหิมพานต์ทอด
บรรจุในถุงเมทัลไลซ์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 7 °C 22 °C 32 °C และ 42 °C 72
- 29 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าการเกิดกลิ่นหืนในมะม่วงหิมพานต์ทอด
บรรจุในถุงเมทัลไลซ์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 7 °C 22 °C 32 °C และ 42 °C
เมื่อทำ linear regression 73
- 30 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าการเกิดกลิ่นหืนในมะม่วงหิมพานต์ทอด
บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 7 °C 22 °C 32 °C
และ 42 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์ 74
- 31 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าการเกิดกลิ่นหืนในมะม่วงหิมพานต์ทอด
บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 7 °C 22 °C 32 °C
และ 42 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์ เมื่อทำ linear regression 75
- 32 กราฟพลอตระหว่าง ln K กับส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยองศาเคลวิน
ของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงเมทัลไลซ์ เมื่อทำ linear regression 76

- 33 กราฟพลอตระหว่าง $\ln \theta_3$ กับส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยองศาเคลวิน
ของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงเมทัลไลซ์ เมื่อทำ linear regression 77
- 34 กราฟพลอตระหว่าง $\ln K$ กับส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยองศาเคลวิน
ของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนท
เมื่อทำ linear regression 78
- 35 กราฟพลอตระหว่าง $\ln \theta_3$ กับส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยองศาเคลวิน
ของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนท
เมื่อทำ linear regression 16 สัปดาห์ 79
- 36 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ของมะม่วงหิมพานต์ทอด
ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนท ที่บรรจุ Ageless เปรียบเทียบกับ
ในถุงที่ไม่มี Ageless ที่อุณหภูมิ 32 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์
(เริ่มวิเคราะห์ในสัปดาห์ที่ 7) 80
- 37 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการเกิดกลิ่นเหม็นของมะม่วงหิมพานต์ทอด
ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนท ที่บรรจุ Ageless เปรียบเทียบกับ
ในถุงที่ไม่มี Ageless ที่อุณหภูมิ 32 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์
(เริ่มวิเคราะห์ในสัปดาห์ที่ 7) 81

สารบัญภาคผนวก

	หน้า
ภาคผนวก ก. แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างมะม่วงหิมพานต์ทอด	100
ภาคผนวก ข. แสดงคุณสมบัติของภาชนะบรรจุ	101
ภาคผนวก ค. แสดงค่าที่ได้จากการทดสอบทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของมะม่วงหิมพานต์ทอด ในถุงเมทัลไลซ์และถุงอลูมิเนียมลามิเนต ที่อุณหภูมิ 7 °C, 22 °C, 32 °C และ 42 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์	102
ภาคผนวก ง. แสดงแบบทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	111



มะม่วงหิมพานต์ทอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคนิยมรับประทานกันมาก -- เนื่องจากมีกลิ่นรสเฉพาะตัว มีความกรอบมัน สามารถนำไปประกอบอาหารได้ทั้งคาวและหวาน ปัจจุบันพบว่า มะม่วงหิมพานต์ทอดมีราคาค่อนข้างแพง แต่ก็ยังได้รับความสนใจทั้งในแง่ของการผลิต และการแปรรูป ดังนั้น น่าที่จะได้ทำการศึกษาหาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์มะม่วงหิมพานต์ทอด โดยการศึกษาจะเริ่มจากการศึกษาถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ และหาสภาวะการเก็บที่สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ หรือยืดอายุการเก็บไว้ได้นาน

ความคงทนต่อการเก็บของอาหารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการด้วยกัน รวมทั้งสภาวะการเก็บ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน แสง และ Equilibrium Moisture Content (EMC) ของอาหาร คุณสมบัติในการยอมให้สารซึมผ่าน และลักษณะของภาชนะบรรจุ โดยปัจจัยที่สำคัญที่ควรพิจารณาเลือกภาชนะบรรจุมะม่วงหิมพานต์ทอดเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา คือ คุณสมบัติของการยอมให้อิอน้ำ และ ออกซิเจนจากภายนอกซึมผ่านภาชนะบรรจุได้น้อยที่สุด

ในการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารนั้น สามารถทำได้ 2 วิธี คือ (1) ทดลองเก็บตัวอย่างจริง ในสภาวะต่าง ๆ และรอให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ตามธรรมชาติ (2) ใช้การทำนาย โดยอาศัยการเร่งปัจจัยที่จะทำให้อาหารนั้นเสื่อมเสียเร็วขึ้น (ACCELERATED SHELF LIFE TESTING, ASLT) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่นักวิทยาศาสตร์ ใช้ทำนายอายุการเก็บ โดยใช้ระยะเวลาสั้น สิ่งสำคัญในการศึกษาโดยใช้ ASLT คือ จะต้องทราบว่าปัจจัยใดบ้างที่ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสีย และทำการทดลองเร่งการเสื่อมเสียนั้น ผลที่ได้จะใช้ในการทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร เมื่อเก็บที่อุณหภูมิแตกต่างกันไป

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อทำนายอายุการเก็บรักษามะม่วงหิมพานต์ทอดด้วยสมการทางคณิตศาสตร์
2. เพื่อเปรียบเทียบอายุการเก็บของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงเมทัลไลซ์และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ตัวดูดซึมออกซิเจน (Oxygen absorber) เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงหิมพานต์ทอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจเอกสาร

1. มะม่วงหิมพานต์ (CASHEW NUT)

มะม่วงหิมพานต์ (CASHEW NUT) เป็นไม้ยืนต้นที่เจริญได้ดีในเขตร้อน (TROPICAL ZONE) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Acardium occidentale L. จัดอยู่ในตระกูล Anacardiaceae ในปัจจุบันนี้พบว่า เมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรมเกษตรและทางการแพทย์ โดยพบว่า เมล็ดเนื้อในของมะม่วงหิมพานต์นี้มีคุณค่าอาหารสูง โดยมีปริมาณไขมัน 47. % โปรตีน 21 % คาร์โบไฮเดรต 26 % ฟอสฟอรัส 0.45 % แคลเซียม 0.05 % เหล็ก และ วิตามิน เอ บี และอี ตามลำดับ (ชูศักดิ์, 2532) นอกจากนี้ เมื่อนำเมล็ดไปสกัดน้ำมันจะได้ไขมันที่มีคุณภาพสูง เหมาะแก่การนำไปทำการสกัดน้ำมัน และส่วนผสมของเครื่องสำอาง

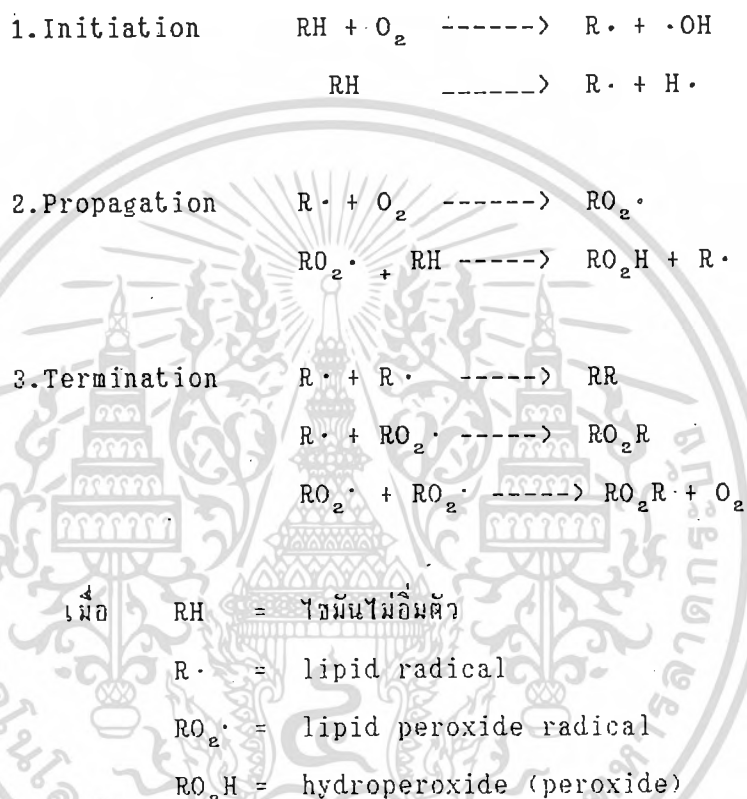
จากการศึกษาพบว่า เมล็ดมะม่วงหิมพานต์นั้นจะมีการเก็บสะสมไขมันอยู่ที่ภายในเมล็ด ซึ่งองค์ประกอบหลักของไขมันที่อยู่ในได้แก่ ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) และไขมันประกอบอื่น ๆ (functional lipid) ได้แก่ phospholipid, glycolipids, sulfolipids, sterols และอนุพันธ์ โดยพบว่าจะมีปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ ประมาณ 90 - 95 % ของไขมันซึ่งสามารถมีผลต่อความเหนียวเหนียวของอาหารเมื่อสัมผัสกับออกซิเจน (Hamilton, 1983, Ory et. al, 1985) และ St. Angelo (1977) ได้รายงานว่าการดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น linoleic, oleic, linolenic สามารถที่จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้เกิดกลิ่นหืนในอาหารได้เป็นอย่างดี ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งสามนี้ จะสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้เร็วกว่าเอสเทอร์ ที่มีหมู่เมทิล (methylesters) ชนิดอื่น (Miyashita & Takagi, 1986) โดยเฉพาะ oleic acid ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีมากที่สุดภายในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Maia and Stull, 1977)

2. กลไกและผลของปฏิกิริยาการเสื่อมเสียในอาหารอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

สาเหตุหลักของการเกิดการเสื่อมเสียในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ได้แก่ การเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งมีผลทำให้เกิดกลิ่นหืน (off flavor) (Allen and Foegeding, 1981) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัวเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ อัลดีไฮด์ กรด และสารโพลีเมอร์ และสารเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล (browning reaction) และสารที่ให้กลิ่น-รสผิดปกติ

นอกจากนี้ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมีผลต่อการทำลายเม็ดสีและวิตามินด้วย (Lea, 1962)

ดังนั้น จึงได้มีผู้เสนอกลไกของการเกิดออกซิเดชันกรดไขมันหลายคนที่สามารถสรุปขั้นตอนต่าง ๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 1 แสดงกลไกของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกรดไขมัน (Melton, 1983)

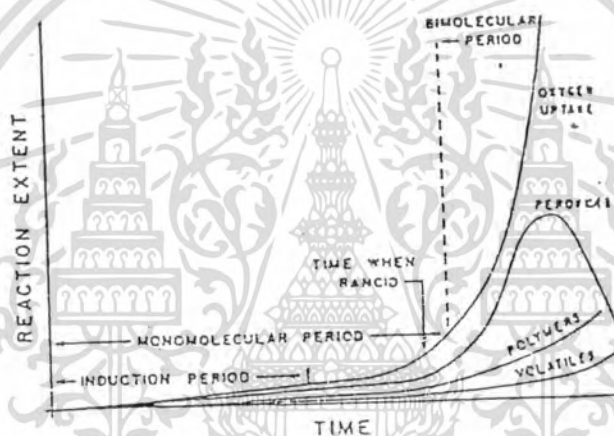
จากกลไกที่ได้กล่าวมาข้างต้น พอจะสรุปได้ว่าในขั้นตอนแรกของปฏิกิริยาการออกซิเดชันไขมัน จะมีการสร้าง free radical ที่มีไอศตรอนอิสระ จากนั้น free radicals จะเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ได้เป็น lipid peroxy radical จากนั้นจะเปลี่ยนไปเป็นสาร hydroperoxide หรือ ที่เรียกกันว่า peroxide อย่างรวดเร็ว ซึ่งสารชนิดนี้จะไม่เสถียรและแตกตัวได้ง่าย และจากการแตกตัวนี้ จะได้เป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กที่มีผลต่อการเหม็นหืนในผลิตภัณฑ์ (rancid- off flavors)

ดังนั้นจึงเห็นว่า ถ้าเริ่มต้นมี free radical ในอัตราที่สูง ก็จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันสูงตามไปด้วย (Karel, 1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป การพิจารณาการเสื่อมเสียของมะม่วงหิมพานต์ จะพิจารณาจากกลิ่นซึ่งจะใช้เป็นตัวกำหนดอายุของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการหาปฏิกิริยาเริ่มต้นของการออกซิเดชันหรือหาปริมาณการเกิด hydroperoxide และการศึกษา kinetics ของผลิตภัณฑ์จึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะใช้บ่งบอกถึงอายุการเก็บผลิตภัณฑ์นั้น (Tannafranca, 1990)

ดังนั้นการขยายตัวของปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อเวลาผ่านไป จึงเป็นสิ่งที่ควรทราบ ซึ่งสามารถอธิบายได้จาก รูปที่ 2



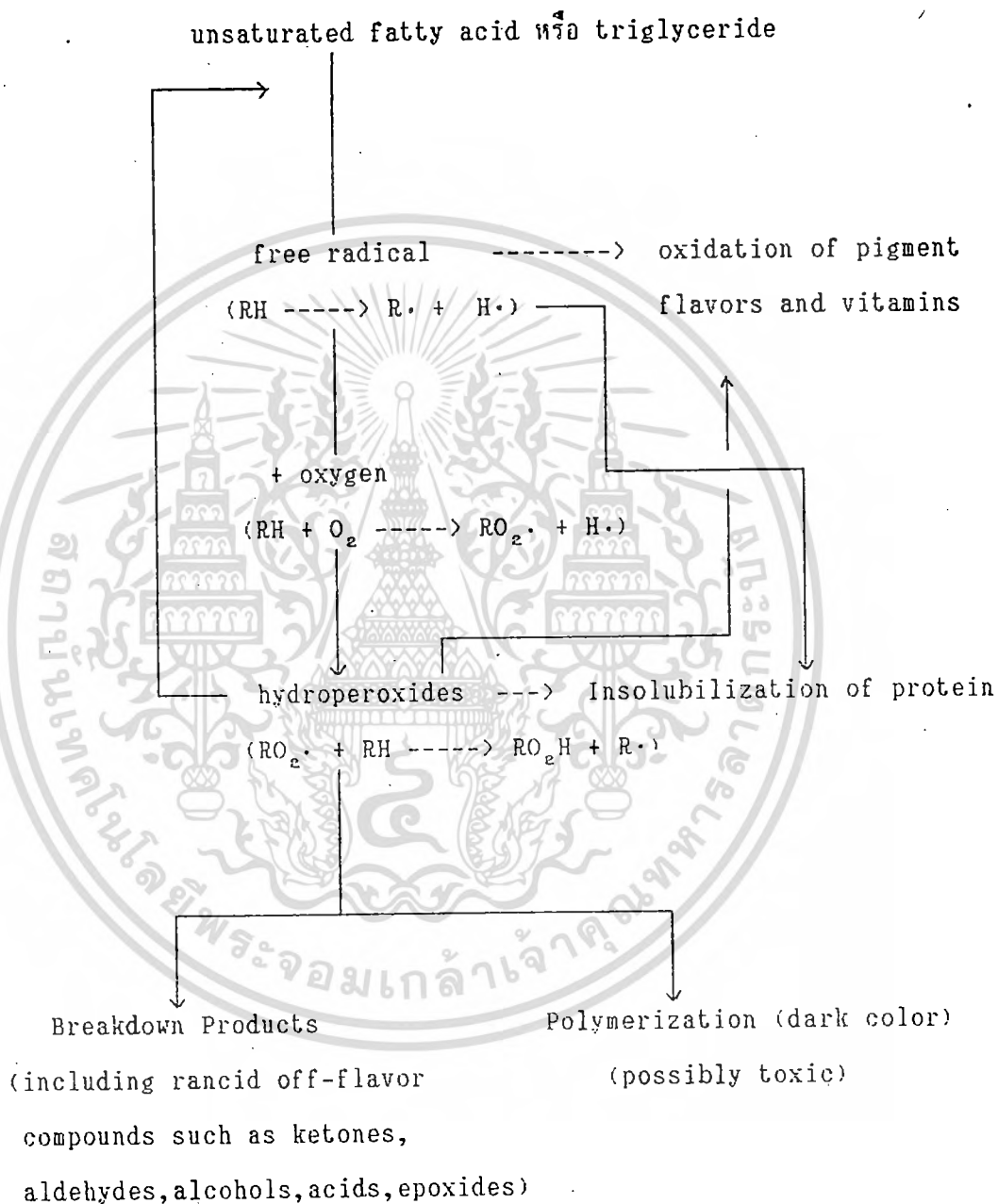
รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อเวลาผ่านไป (Labuza, 1971)

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าขณะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับปริมาณ O_2 -uptake ที่เพิ่มขึ้น และค่าเปอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง หลังจากนั้น จะสลายตัวไปเป็นสารระเหย (volatiles) และสารประกอบอื่น ๆ ซึ่งมีผลทำให้เปอร์ออกไซด์ลดลง ในขณะที่ปริมาณสารระเหยและโพลีเมอร์ต่างๆ (สารอินทรีย์ที่มีรสและกลิ่น) จะสูงขึ้น

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นว่า สารเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่ไม่เสถียร จะสลายตัวไปเป็นสารอื่นที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นในผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถอธิบายกลไกนี้ได้จาก กลไกทั้งหมดของปฏิกิริยาออกซิเดชันไขมัน (lipid oxidation) ดังรูปที่ 3

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIPID OXIDATION



รูปที่ 3 แสดงกลไกของปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Labuza, 1971)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3 พอสรุปได้ว่า สาร hydroperoxides จะเป็นสารตัวกลาง (intermediate) ในปฏิกิริยาออกซิเดชันไขมัน ก่อนที่จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารตัวอื่นที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่า เฮกซานอล (hexanal) ปริมาณเพียง 2-3 ppm มีผลต่อการเกิดกลิ่นผิดปกติในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทธัญพืช ถึงแม้ว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไขมันในปริมาณเพียง 1 % (Labuza, 1984) และสาร hydroperoxides ซึ่งเป็นสารตัวกลาง สามารถที่จะทำปฏิกิริยา กับโปรตีน ทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพการละลายน้ำ นอกจากนี้ สารตัวกลางยังสามารถทำปฏิกิริยากับรงควัตถุที่ละลายในไขมัน (fat soluble pigments) เช่น คาร์ทีนอยด์ ซึ่งมีผลทำให้สีจางลงและเมื่อทำปฏิกิริยากับวิตามิน เช่น A, C และ E จะมีผลในการทำลายคุณภาพของวิตามิน นอกจากนี้สาร hydroperoxide จะผลิตสารระเหยที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังสามารถผลิตสารโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีดำและเป็นสารพิษอีกด้วย

3. ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเกิดกลิ่นเหม็นในอาหาร

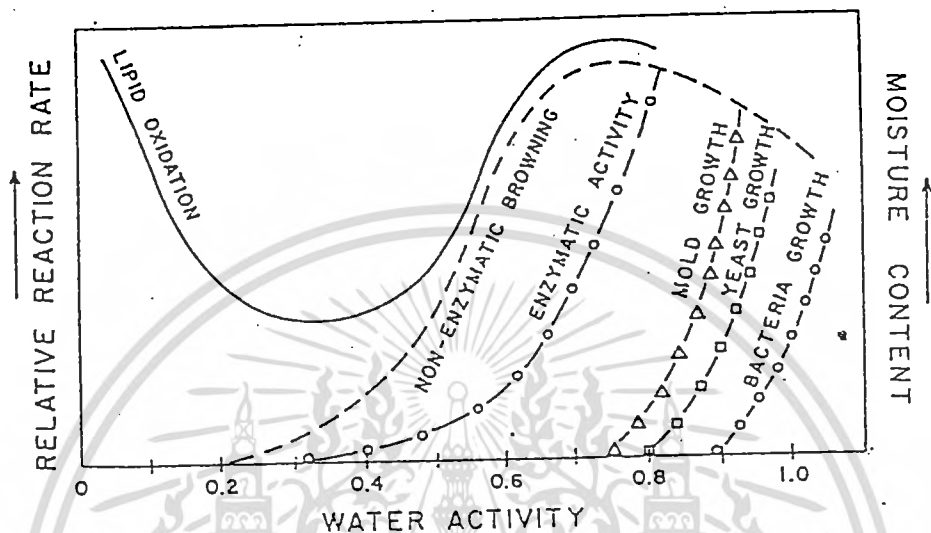
3.1 ออกซิเจน

ออกซิเจนมีผลต่อความเสถียรของน้ำมันและผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันประกอบ เช่น อาหารว่าง (snack food) ถั่ว เนื้อสัตว์และปลา ซึ่งมีสาเหตุเนื่องจาก กรดไขมันไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่ได้จากกระบวนการผลิตและเก็บรักษา โดยปริมาณเปอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นมากขึ้นเพียงใดขึ้นกับปริมาณของออกซิเจนที่มีอยู่ (available oxygen) ในขณะที่ทำการผลิตผลิตภัณฑ์และเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ แต่ถ้าหากสามารถลดปริมาณของออกซิเจนให้อยู่ในระดับที่ไม่มีผลกระทบต่ออาหาร และออกซิเจนจากภายนอกก็ไม่สามารถสัมผัสกับอาหาร แล้วอัตราการเกิดปฏิกิริยาก็จะไม่ขึ้นกับออกซิเจน (Karel, 1985) นอกจากนี้ปริมาณของออกซิเจนยังมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าเพียง 1 % ของปริมาณออกซิเจน จะพบความผิดปกติอย่างชัดเจนในนมผงพร้อมมันเนส (Tamsma et.al., (1961, 1967); Tamsma & Pallansch, 1964)

การกำจัดออกซิเจนออกจากภาชนะบรรจุด้วยการไล่อากาศ (deaeration) หรือการฉีดก๊าซเฉื่อยเข้าแทนที่ออกซิเจน หรือการไล่อากาศออกด้วยไอน้ำ พบว่าจะมีผลต่อการลดความเหม็นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน การควบคุมปริมาณออกซิเจนในช่องว่างเหนือภาชนะบรรจุ พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษามันฝรั่งทอด (Quast & Karel, 1972) และถั่วทอด (Weiss, 1970; Mc Watters et.al, 1971; Woodroof, 1973)

3.2 Water activity และ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

Water activity (Aw) เป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และจุลชีววิทยาปัจจัยหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เมื่อ Aw เปลี่ยนไป (Rockland, 1969)

จากรูปที่ 4 สามารถอธิบายได้ว่า ความชื้นและ Aw มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงทั้งทางชีวเคมีและจุลชีววิทยา ดังนั้น การเลือก Aw ที่เหมาะสมที่สุด จะสามารถป้องกันหรือลดอัตราการเสื่อมเสีย เนื่องจากการเหี่ยวแห้ง ในขณะที่ผลิตภัณฑ์อาหารให้เกิดน้อยที่สุด ซึ่งจากรูปจะเห็นว่า Aw ที่เหมาะสมที่สุด คือ 0.3 เนื่องจากว่า free radical ที่เป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ถูกโมเลกุลของน้ำจำกัดความอิสระลงในการที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของออกซิเจน ดังนั้น จึงทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดต่ำลง แต่เมื่อ Aw สูงเกิน 0.5 จะมีผลในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยพบว่า ในถั่วแมคคาเดเมีย ที่มีความชื้นมากกว่า 1.5 % และทอดในน้ำมันมะพร้าว มีแนวโน้มที่จะเกิดการหืนได้ง่าย (Moltzau & Ripperton, 1939) ถึงแม้ว่าในผลิตภัณฑ์อาหารควรมีความชื้นต่ำเพื่อลดการเสื่อมเสีย แต่ที่ระดับอาหารที่มี Aw ต่ำ (0.05-0.1) ก็จะทำให้เกิดออกซิเดชันได้เช่นกัน เนื่องจาก ในสภาวะ Aw ต่ำ free radical มีอิสระมากขึ้น ซึ่งทำให้มีความ active ที่จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และน้ำที่เป็นองค์ประกอบของอาหารประเภท Aw ต่ำจะเป็น โมโนเลเยอร์ (monolayer) ซึ่งจะก่อพันธะไฮโดรเจนกับไอออนอื่น ๆ เช่น Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , OH^- , COO^- และ NH_3^+ หรือเกิดพันธะไฮโดรเจนกับ hydroperoxide ซึ่งมีผลทำให้ปฏิกิริยาขยายออกไป หรืออาจเกิดไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรวมตัวกับโลหะ กลายเป็นตัวคะตะไลซ์ของปฏิกิริยาออกซิเดชันไขมัน (Maloney *et.al.*, 1966 และ Labuza *et.al.*, 1966) และ จากงานวิจัยของ Labuza *et al.* (1969, 1971) และ Heidelbaugh *et al.* (1971) ได้แสดงผลของอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน กับ A_w ว่าในอาหารที่มี A_w ต่ำ อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะต่ำลง และจะต่ำลงเรื่อย ๆ ตาม A_w จนกระทั่งถึงจุดที่ต่ำที่สุด จากนั้น ในอาหารที่มี A_w สูง ปกติจะมากกว่า 0.5 ซึ่งเป็นช่วงของ intermediate moisture food อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะเพิ่มขึ้นตาม A_w ซึ่งจะเป็นไปตามรูปที่ 4 นอกจากนี้ ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของถั่วแมคคาเดเมีย พบว่า ความเสถียรของผลิตภัณฑ์จะลดลง เมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น (Cavaletto *et.al.*, 1966 ; Dela Cruz *et.al.*, 1966 ; Cavaletto & Yamamoto , (1968, 1971) ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงผลของความชื้นต่อกลิ่นรสของถั่วแมคคาเดเมีย ที่ทอด ณ อุณหภูมิบรรยากาศ (Cruz *et.al.*, 1966)

นอกจาก A_w จะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity; RH) ก็มีผลด้วย เนื่องจากความสัมพันธ์ที่ว่า

$$A_w = \%ERH / 100 \quad (1)$$

เมื่อ $\%ERH$ = ความชื้นสัมพัทธ์ที่สมดุลของอาหาร

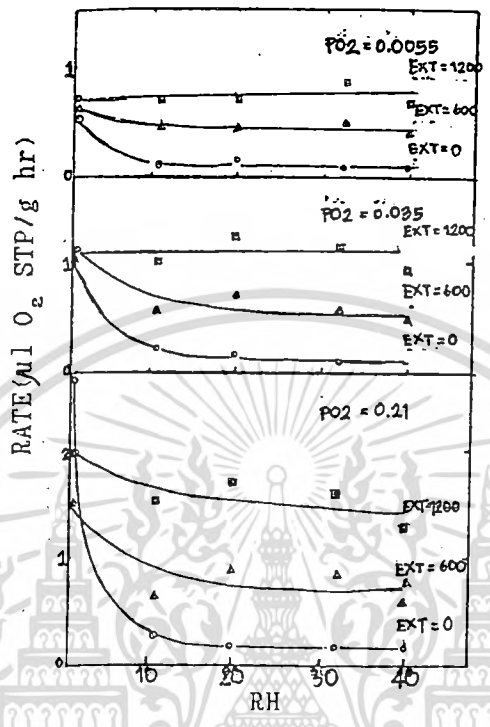
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น RH จึงมีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังจากรายงานของ Labuza et al. (1969,1971) ที่กล่าวว่า Aw หรือ ERH มีผลต่ออัตรา O_2 -uptake ในอาหารแห้ง และจากรายงานของ Mc Watters et al. (1971) ก็ได้แสดงให้เห็นว่า RH ที่สูงขึ้นมีผลในการทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูงขึ้น ตารางที่ 1 แสดงผลของ ERH กับอัตรา O_2 -uptake ของมันฝรั่งทอด

ตารางที่ 1 แสดงผลของ ERH กับอัตรา O_2 -uptake ของมันฝรั่งทอด (Quast & Karel, 1972)

RH (%)	Rate $\frac{uO_2}{STP}$ g·hr
0.1	0.15
11.0	0.13
32.0	0.07
40.0	0.06
62.0	0.19
75.0	1.60

โดยจกตารางพบว่า ถ้า RH สูงขึ้น ความชื้นก็สูงตาม ดังนั้นออกซิเจนนอกจากจะพบในสถานะก๊าซแล้วยังอยู่ในสถานะที่ออกซิเจนละลายในไอน้ำในบรรยากาศด้วย ซึ่งจะมีผลทำให้ อัตรา O_2 -uptake จะสูงตาม โดยรูปที่ 6 จะแสดงอัตราของ O_2 -uptake กับ RH



รูปที่ 6 แสดงอัตราการเกิดออกซิเดชันของไขมันฝรั่งทอดที่ 37 °C ณ ERH ต่าง ๆ (Quast & Karel, 1972)

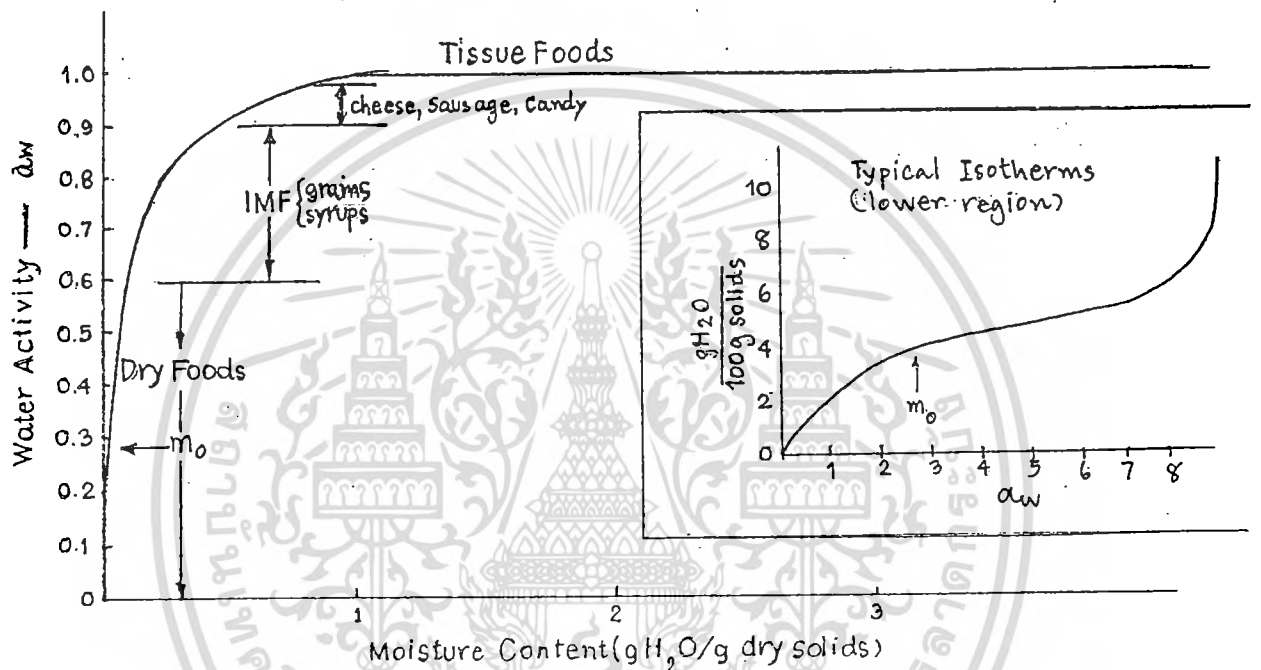
จากรูปที่ 6 จะแสดงให้เห็นว่า ณ สภาวะที่ RH ต่ำจะมีผลอย่างมากต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่เมื่อปฏิกิริยาค่าเนินไปจนถึงจุดวิกฤติ (RH = 20) ERH จะไม่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ ไม่ว่า ERH จะสูงขึ้นเท่าไรก็ตาม อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะคงที่ สังเกตได้จากเส้นกราฟเป็นเส้นตรงขนานกับแกน X หลัง RH ที่ 20

นอกจากนี้ พบว่าน้ำที่เป็นองค์ประกอบของอาหารจะได้รับผลกระทบมาจากน้ำในบรรยากาศ ดังนั้น ถ้าภาชนะบรรจุที่เลือกใช้ไม่สามารถป้องกันการสูญเสียหรือรับความชื้นได้ จะทำให้มีผลต่อความเสถียรของอาหาร ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis rancidity) ได้สารที่เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ (Hamilton, 1983) และ จากรายงานทางวิทยาศาสตร์อาหารพบว่า ถ้าในอาหารถ้าได้รับความชื้นเกินระดับของ monolayer moisture (Aw ประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารเพิ่มขึ้น (Salwin, 1959; Labuza, (1968, 1980))

ดังนั้น การทราบค่า A_w ของอาหารประเภทต่าง ๆ จึงเป็นเรื่องที่ควรทราบ ซึ่งสามารถอธิบายได้ ในรูปที่ 7



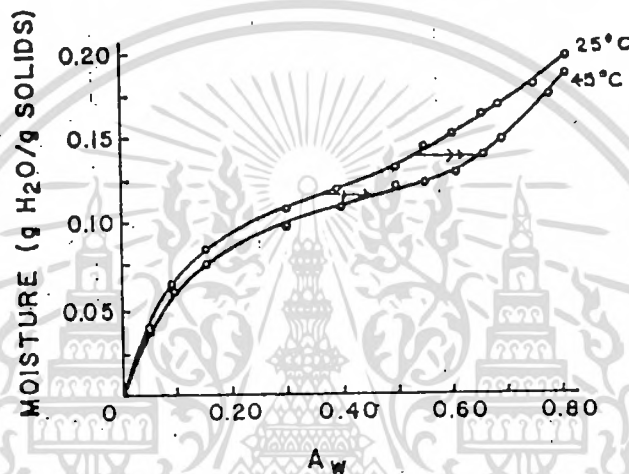
รูปที่ 7 แสดง A_w กับ moisture content ที่สัมพันธ์กับอาหารชนิดต่าง ๆ (Labuza, 1982)

3.3 อุลูหมิ

อุลูลูหมิมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียในอาหารทั้งทางด้านชีววิทยา เคมี และกายภาพ และนอกจากนี้ อุลูลูหมิยังเป็นปัจจัยที่ใช้เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหารที่จะทำการศึกษา ตลอดจนสามารถที่จะนำมาใช้เร่งการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยจากการศึกษาพบว่า เวลา และ อุลูลูหมิที่ใช้ทอดถั่วแมคคาเดเมียจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยป้องกันการเกิด rancidity (Leverington, 1962) และจากรายงานของ Cruz, Cavalletto, Yamamoto และ Ross (1966) พบว่า แสง อุลูลูหมิ และความชื้นมีผลต่อความเสถียรของเมล็ดแมคคาเดเมีย ดังนั้น อุลูลูหมิสูงจะมีผลอย่างมากต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเฉพาะกับไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง (Ragnarsson

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ควรไว้วางใจและใช้ตามเงื่อนไขที่ปรากฏในเอกสารฉบับนี้ ไม่สามารถนำเอกสารฉบับนี้ไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมวิชาการ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

& Labuza, 1977) นอกจากนี้ อุณหภูมิมีผลต่อค่า water activity (A_w) ของอาหารแห้ง (A_w อยู่ในช่วง 0-0.5) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลทำให้ A_w สูงขึ้นตาม - ในขณะที่ปริมาณความชื้นคงที่ (Savacos & Stinchfield, 1965; Labuza & Ribon, 1982; Labuza, 1984) ดังแสดงในรูปที่ 8



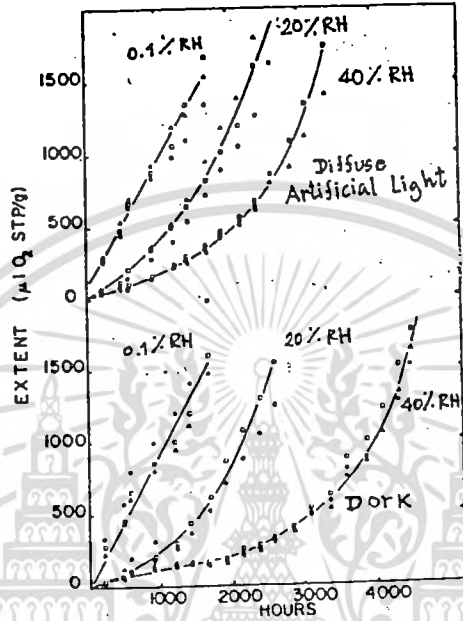
รูปที่ 8 แสดง moisture sorption isotherm ของอาหารที่อุณหภูมิ 25 °C และ ที่ 45 °C (Labuza, Kaanane & Chen, 1985)

3.4 แสง

แสงที่มีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นแสงที่มีพลังงานควันตัมสูง มีความยาวคลื่นสั้นในช่วงที่สายตามองเห็น (visible light) เช่น แสงสีน้ำเงิน (Lea, 1962) และแสงอัลตราไวโอเล็ต ทั้งนี้ จะพบว่า A_w ของอาหารมีความสัมพันธ์กับแสง ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยถ้าในอาหารนั้นมี A_w สูง ทำให้แสงมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากขึ้น ดังรูปที่ 9 จะแสดงถึงผลของความชื้นสัมพันธ์กับแสงต่อการเกิดออกซิเดชัน มันฝรั่งทอด ที่ 37 °C นอกจากนี้ ยังได้มีการศึกษาอีกว่าแสงฟลูออเรสเซนซ์ สามารถที่จะเป็นตัวเร่งการเสื่อมเสียของมันฝรั่งทอด และน้ำมันที่ใช้ทอดในขณะที่เก็บรักษา (Fuller et.al., 1971) นอกจากนี้ จากการศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันของมันฝรั่งทอดของ Quast & Karel

(1971) พบว่า แสงมีผลอย่างเด่นชัดต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่อย่างไรก็ตาม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สละหรือหักการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยบุคคลอื่น ภายใต้อิทธิพลที่นอกเหนือจากในภาชนะบรรจุ พบว่า สามารถลดผลกระทบอันเนื่องมาจากแสงได้ แต่ไม่วางกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม พื้นที่ผิวสัมผัสกับแสง และธรรมชาติของวัสดุที่ทำภาชนะบรรจุ ก็เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ควรพิจารณาด้วย



รูปที่ 9 แสดงผลของความชื้นสัมพัทธ์กับแสงของการเกิดออกซิเดชันในมันฝรั่งทอดที่ 37 °C (Quast and Karel, 1971)

3.5 ขบวนการผลิต

ขบวนการผลิต ที่แตกต่างกันสามารถที่จะนำไปสู่การเร่งหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไขมัน ซึ่งนำไปสู่การเกิดกลิ่นเหม็นได้ โดยถ้าในขบวนการผลิตใช้เวลาและอุณหภูมิต่างกัน ก็จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน เช่น ในอาหารพวกถั่วทอด ถ้าใช้อุณหภูมิสูง ๆ ก็จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเร็ว เนื่องจาก อุณหภูมิสูงจะเป็นปัจจัยเร่งการเกิดปฏิกิริยา นอกจาก อุณหภูมิและเวลาจะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้วก็มีปัจจัยอื่น ๆ อีกเช่น

- 1) อัตราการดูดซับน้ำมันของอาหาร
- 2) พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างไขมันกับออกซิเจน
- 3) ปริมาณของโลหะ เช่น เหล็ก ทองแดง และ ทองเหลือง ซึ่งสามารถที่จะเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ซึ่งจะเรียกโลหะเหล่านี้ว่า Pro-oxidants

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) คุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด
- 5) ปริมาณสาร antioxidants ที่ยังคงเหลืออยู่ที่อุณหภูมิสูง เช่น methyl silicone ซึ่งสามารถลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยจากรายงานของ Cavaletto et al. (1966), Dela Cruz et al. (1966) และ Cavaletto & Yamamoto (1968, 1971) ยังสนับสนุนทฤษฎีนี้โดยการเติมสาร antioxidant ลงในน้ำมันที่ใช้ทอดและบรรจุในภาชนะบรรจุสุญญากาศ จะช่วยเพิ่มความเสถียรของถั่วลิสง

นอกจากนี้ รังสีแอลฟา เบตา แกมมา และ เอกซ์ ยังมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยจะเห็นว่า การทอดอาหารจะต้องคำนึงปัจจัยหลายชนิด ดังนั้น จึงได้มีการใช้การอบแทนการทอดและพบว่า ในถั่วอบที่ใช้อากาศในการอบแทนการทอด จะมีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงขึ้นกว่าเดิม นอกจากนี้ ยังมีกลิ่นเหม็นเพิ่มขึ้นอีกด้วย ซึ่งจะทำให้มีอายุการเก็บสั้นลง ถ้าไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการอบ (Burdon, 1983)

ดังนั้น ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความง่าย (sensitive) ต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ควรจะต้องมีการคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ก่อนทำการผลิต เพื่อที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเสถียรและมีอายุการเก็บรักษานาน

3.6 ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ

ภาชนะบรรจุจะมีผลต่อการควบคุมคุณภาพของอาหารโดย ภาชนะบรรจุนี้จะเป็นปัจจัยที่ใช้ควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการผลิต เก็บรักษา และขนส่ง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีผลโดยตรงกับองค์ประกอบของอาหารภายในภาชนะบรรจุ (Karel, 1975) ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของภาชนะบรรจุก็เพื่อรักษาคุณภาพของอาหารหลังการผลิตให้ใกล้เคียงกับคุณภาพ เช่นเดียวกับหลังการผลิตมากที่สุดจนกว่าจะถึงมือผู้บริโภค สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูง เช่น ถั่วทอด ควรจะเลือกภาชนะบรรจุที่สามารถต้านการซึมผ่านของออกซิเจน และไอน้ำได้ นอกจากนี้ ยังควรป้องกันกาผ่านของแสง และการซึมผ่านของไขมันได้ ซึ่งถ้าทราบค่าเหล่านี้ จะสามารถนำไปคำนวณหา อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารที่เก็บในภาชนะบรรจุชนิดต่าง ๆ ได้ (Eichner, 1986) แต่กระนั้น ความสามารถป้องกันกาซึมผ่านของฟิล์มที่ใช้จะสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดย อุณหภูมิ และ RH ที่ผลิตภัณฑ์อยู่ (Hauster & Mckaren, 1984; Kumins et al., 1957; Hilton, 1957; Karel et al., 1958; Rudorfer & Tshamler, 1976; Othomer & Frolich, 1955)

ได้มีการศึกษาว่า ถ้าในภาชนะบรรจุนี้มีสภาพเป็นสุญญากาศ จะทำให้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์นานขึ้น ซึ่งการที่จะทำให้ภายในภาชนะบรรจุเป็นสุญญากาศ สามารถทำได้ โดยการไล่ไม่วากรรมใดๆ พังสน่ อีกหนึ่งที่มีใหดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเงาของเอกสารทุกคร้งที่มการนำไปไซ

ออกซิเจนออก หรือฉีดไนโตรเจนแทนที่ออกซิเจน หรือใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แทนที่อากาศในถุง ซึ่ง Holaday et al. (1979) ได้รายงานว่าการฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แทนที่อากาศในถุงพลาสติกลามิเนต (laminated plastic pouch) เพื่อเก็บถั่วลิสง และ ถั่วพีแคน สามารถที่จะยืดอายุการเก็บถั่วเหล่านี้ได้นานกว่าสภาพปกติ

ในการยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ ควรจะใช้ฟิล์มหลายๆ ชั้น ซึ่ง Read (1988) กล่าวว่าฟิล์มที่ใช้ในการบรรจุเพื่อเก็บรักษาอาหารว่าง เช่น ถั่วลิสงทอดควรจะมีโครงสร้างหลายๆ ชั้น เช่น PE/foil/PE, PE/PVDC/nylon, PE/PVDC/foil หรือ PE/PVDC/PP (laminated plastic) เพราะเนื่องจากว่าฟิล์มแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซ ไอน้ำ และแสง ได้ไม่เท่ากัน ดังนั้นการใช้ฟิล์มหลายๆ ชั้นประกอบกัน จะเป็นการรวมคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์มแต่ละชนิด ซึ่งจะมีผลในการป้องกันปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียให้มีการสัมผัสกับผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด

4. การวัดค่าความเหิน

การเหินเหินในน้ำมันหรือไขมัน เกิดเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการของการเสื่อมเสียในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งทำให้ต้องมีการกำหนดขอบเขตการยอมรับผลิตภัณฑ์โดยอาศัยดัชนีที่ใช้บ่งบอกถึงการเสื่อมเสีย และวิธีการสำหรับการวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งมีทั้งวิธีการใช้ประสาทสัมผัส (Organoleptic evaluation) วิธีทางเคมี และวิธีทางกายภาพ โดยพบว่าไม่มีวิธีทางเคมีวิธีใดที่มีความสัมพันธ์สอดคล้องเป็นอย่างดีกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธีทางประสาทสัมผัส

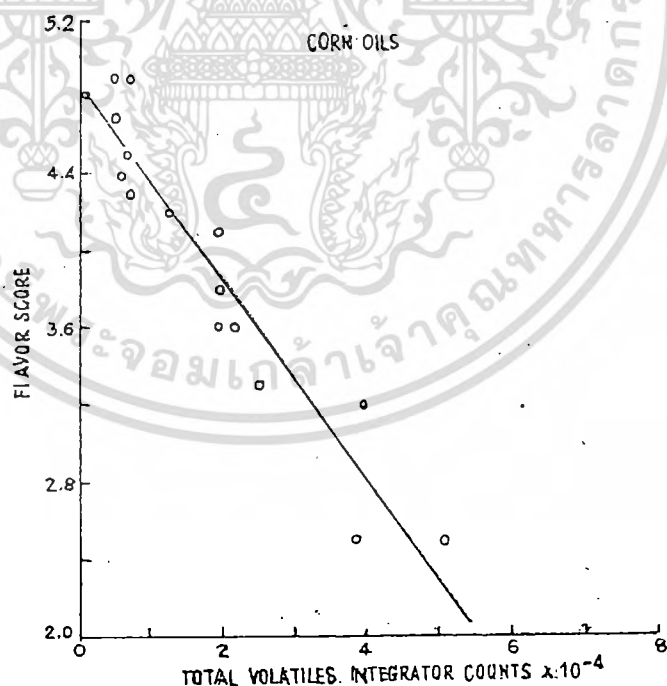
ดังนั้น การเลือกวิธีที่ใช้ในการวัดค่าออกซิเดชัน จะขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อตัวอย่าง ทั้งนี้จะรวมลักษณะทางธรรมชาติของตัวอย่าง นอกจากนี้ ยังต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างภายหลังจากการออกซิเดชันว่ามีแนวทางการเปลี่ยนแปลงอย่างไร รวมถึงเวลาและสภาวะที่ใช้ทดสอบ แต่อย่างไรก็ตาม ในการตัดสินใจเลือกวิธีการวิเคราะห์ใดนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงความสอดคล้องของการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นเหินกับวิธีทางเคมีที่เลือกใช้ (Gray, 1978)

4.1 การวัดค่าทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)

โดยปกติผู้บริโภคมักใช้วิธีการประเมินค่าทางประสาทสัมผัส ในการตัดสินคุณภาพของอาหาร ซึ่งพบว่า การเหินเหินของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นกลิ่นที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ และเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีนี้จะเป็นวิธีที่ง่ายในไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบ โดยอาศัยการชิมและดมกลิ่น ซึ่งจะพบว่าถ้ามีการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์อย่างรวดเร็ว การเกิดกลิ่นหืนจะเกิดควบคู่ไปด้วยกัน

จากการทดลองของ Mcwatters et al. (1971) ได้รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงของความชื้น กรดไขมันอิสระ และปริมาณสารเปอร์ออกไซด์ มีผลต่อการเกิดกลิ่นหืนในพายถั่วผสม นอกจากนี้ Dupuy, Rayner & Wadsworth (1976) ได้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ของกลิ่นรส (flavor) กับปริมาณสารระเหยในน้ำมันพืช ซึ่งแสดงในรูปที่ 10 โดยจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารระเหยทั้งหมดในน้ำมันข้าวโพดกับคะแนนที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส และจากรายงานของ Burdon (1983) ที่แสดงว่าระดับค่าความเหม็นหืนในอาหารว่างขณะทำการเก็บรักษา สามารถที่จะทำการตรวจวัดโดยวิธีทางประสาทสัมผัส และ Marting (1968) ได้ใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสในการตรวจหาความเหม็นหืนที่เกิดขึ้นใน freeze-dried selmon ซึ่งการวัดค่าทางประสาทสัมผัสนี้ จำเป็นต้องใช้วิธีทางสถิติเข้าช่วยในการประเมินค่า เช่น ในปี 1970 Mulutinovic ใช้ 9-point hedonic scale ในการจัดลำดับความหืน และใช้แสดงความแตกต่างระหว่างตัวอย่างถั่วลิสงที่ใช้เวลาทอดต่าง ๆ กัน



รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารระเหยทั้งหมดในน้ำมันข้าวโพดกับคะแนนที่ได้จากการชิมเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ใดๆ โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ (Dupuy, Rayner & Wadsworth, 1976) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ การใช้วิธีทางสถิติมากกว่า 1 อย่าง จะมีผลในการที่ได้ข้อมูลที่ถูกต้องมากขึ้น เช่น จากการทดลองของ Young et al. (1976) ได้มีการใช้วิธี triangle test ก่อนการใช้วิธี 9 - point hedonic scale เพื่อที่จะกำจัดผลที่เกิดจากทางจิตวิทยาของผู้ทดสอบ และ Gray (1978) ใช้ผู้ทดสอบจำนวนมาก เพื่อใช้ในการลดความอคติและความผิดพลาดที่เกิดจากผู้ทดสอบ ร่วมกับการใช้การสุ่มตัวอย่างทางสถิติ

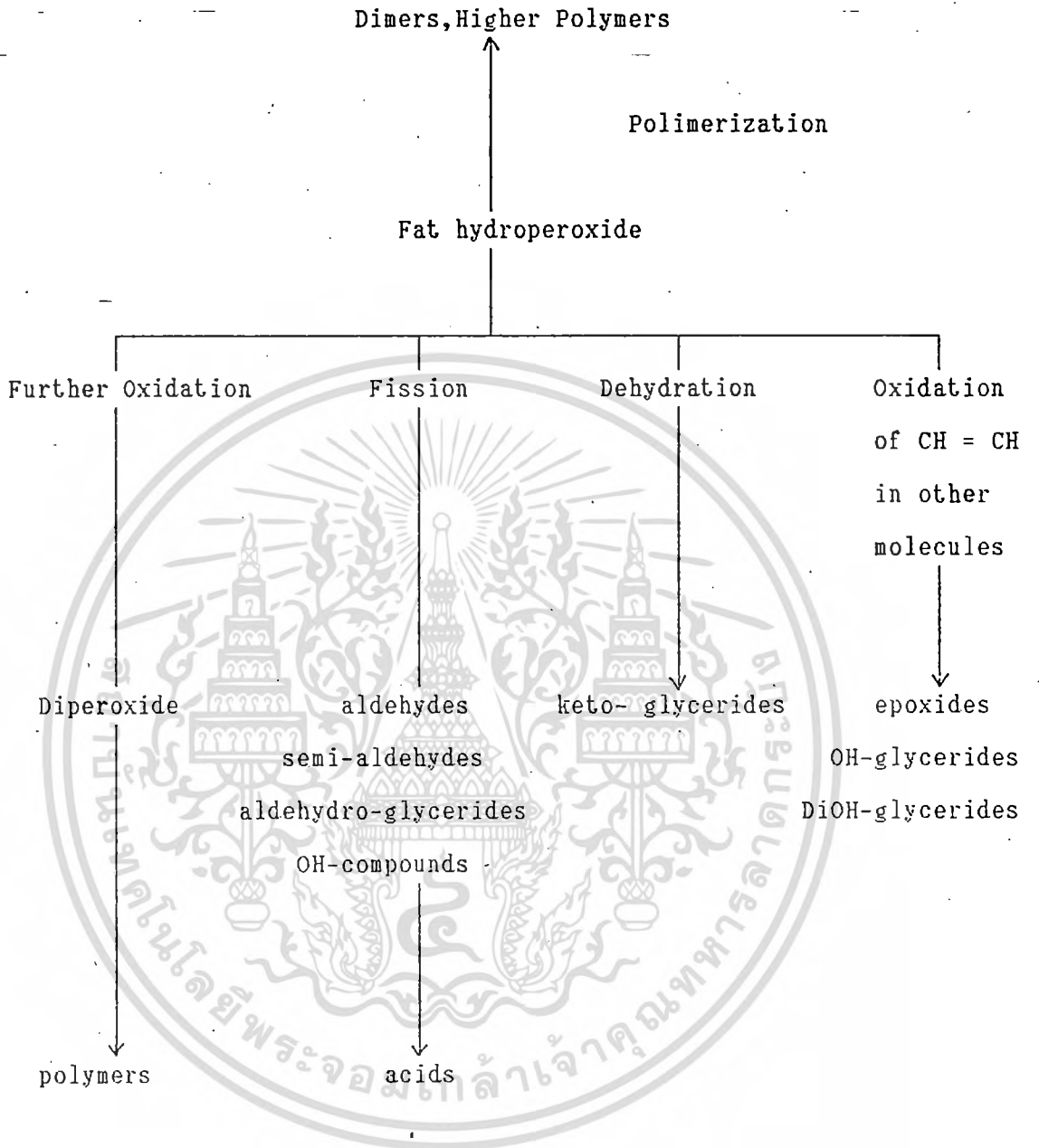
ถึงแม้ว่า วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะเป็นที่ง่ายและคล้ายคลึงกับการตรวจพบกลิ่นเหม็นหืนในผลิตภัณฑ์โดยผู้บริโภคจริง แต่กระนั้น วิธีนี้มีข้อเสีย คือ ใช้เวลามาก การเลือกและฝึกหัดผู้ทดสอบมีปัญหา และให้ผลการวัดไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธีทางเคมีเพื่อใช้ปรับปรุง ผลที่ได้จากการวัด ความ sensitive ในการวัด และ quantitateness ซึ่งเมื่อได้ผลจากวิธีทางเคมีแล้วจำเป็นต้องนำผลที่ได้มาประกอบกับผลที่ได้จากทางประสาทสัมผัส

4.2 การวัดค่าทางเคมี (Chemical Measurement)

เป็นที่ทราบทั่วไปแล้วว่า ผลิตภัณฑ์ชนิดแรกของปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ หรือ เปอร็อกไซด์ ดังนั้นการวัดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ก็คือการหาปริมาณของสารเปอร็อกไซด์ (Gray, 1978) แต่ทฤษฎีนี้มีข้อจำกัด เนื่องจากคุณสมบัติความไม่เสถียรตามธรรมชาติของสารเปอร็อกไซด์ ดังรูปที่ 11 ซึ่งจากรูปภาพนี้ แสดงให้เห็นว่า สารเปอร็อกไซด์เป็นสารตัวกลาง (intermediate product) และจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารประกอบคาร์บอนิลและไฮดรอกซี ที่เสถียรกว่า

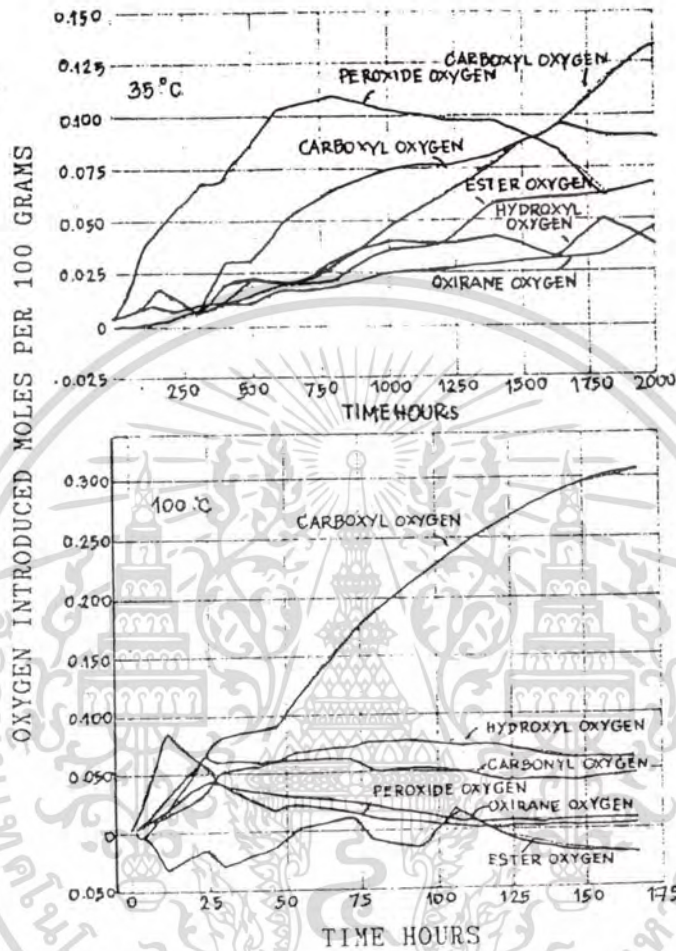
นอกจากนี้ เวลาในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมีผลต่อค่าเปอร็อกไซด์ที่ตรวจพบ ซึ่งจะพบว่า ค่าเปอร็อกไซด์จะสูงขึ้นตามเวลา จนกระทั่งค่าเปอร็อกไซด์มีค่าสูงสุด หลังจากนั้นค่าเปอร็อกไซด์จะค่อย ๆ ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 12 และ การเกิดปฏิกิริยาจะเกิดได้ง่าย เมื่ออุณหภูมิสูง

ดังนั้น ค่าเปอร็อกไซด์จึงเป็นดัชนีที่ใช้เตือนถึงการเสื่อมเสียที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ เช่น การวัดค่าเปอร็อกไซด์ในมันฝรั่งทอด (Quast & Karel, 1972 ; Min & Schweyer, 1983) และในถั่วลิสงทอด โดยใช้ค่าเปอร็อกไซด์บอกถึงการเหม็นหืนในถั่ว (St. Angelo, 1977; Mcwatters et.al., 1971) จากรายงานของ U.S. Department of Agriculture พบว่า ค่าเปอร็อกไซด์มีความสัมพันธ์อย่างสอดคล้องกับความเสถียรของกลิ่นในน้ำมันถั่วเหลือง (Lea, 1962) สำหรับวิธีการหาค่าเปอร็อกไซด์ สามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น วิธี Iodometric วิธี Ferric Thiocyanate (Lea, 1931 ; Wheeler, 1932) วิธี



รูปที่ 11 แสดงการสลายตัวของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ในไขมัน (Gray, 1978)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ของ Oxygen-containing functional groups ใน Methyl oleate ที่ถูกออกซิไดส์ ณ อุณหภูมิ 35°C และ 100°C (Gray, 1978)

2,6-dichloropheno lindophenol (Lea, 1952) และ วิธีอื่น ๆ โดยผลที่ได้ในแต่ละวิธีจะ
 ได้จากสภาวะในการทดลอง และสารเคมีที่ใช้เป็นสารรีดิวซ์ซึ่งต่างกันก็ทำให้ได้ผลแตกต่างกัน
 (Gray, 1978) เช่น วิธี Iodometric ซึ่งเป็นวิธี Colorimetric วิธีหนึ่ง ใช้การวัดปริมาณ
 ไอโอดีนที่ได้จากโพแทสเซียมไอโอไดด์ เพื่อหาค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมัน โดยใช้การไตเตรตกับ
 โซเดียมไทโอซัลเฟต และวิธีนี้จะใช้ตัวอย่างในปริมาณเพียง 1-50 mg ส่วน วิธี Ferric
 Thiocyanate จัดเป็นวิธี Colorimetric เช่นกัน ซึ่งวิธีนี้จะอาศัยหลักการเปลี่ยนเฟอร์รัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นองานนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไปเป็นเฟอริก และเหมาะกับการใช้หาค่าเปอร์ออกไซด์ของนมผง นอกจากนี้ วิธีนี้ใช้ตัวอย่าง
 ไม่วากรัมใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเนื่องหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อย และให้ผลการวัดแม่นยำ (Lips et.al., 1943)

นอกจากวิธีการหาค่าเปอร์ออกไซด์แล้ว ได้มีการใช้ค่าอื่นที่บอกถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น การวัดค่า Thiobarbituric acid (TBA) ซึ่งเป็นการวัดสาร malonaldehyde ในตัวอย่างอาหาร (Sinnhuber et.al., 1958) โดยสาร malonaldehyde เป็น secondary product ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ประกอบด้วยพันธะคู่ หรือ พันธะ 3 (Dahle et.al., 1962; Pryor et.al., 1976) และสารชนิดนี้มีความเสถียรมากกว่าสารเปอร์ออกไซด์ ซึ่งวิธีการทดสอบ TBA มีด้วยกัน 2 วิธี คือ 1) สกัดเม็ดสีจากอาหารโดยตรง 2) กลั่นโดยใช้ไอ่น้ำ แต่เนื่องจากค่า TBA ไม่สามารถที่จะมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับการเกิดกลิ่นไม่ดีในน้ำมัน (Gray, 1978) เช่น จากการศึกษากของ Pohle et al. (1964) พบว่า ระดับคะแนนที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่สามารถที่จะประเมินค่าได้จากค่า TBA ดังนั้น จึงไม่ค่อยมีการใช้วิธี TBA เพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาในอาหารประเภท dry food และ intermediate food แต่สำหรับในผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อสัตว์ พบว่าวิธี TBA ใช้ได้ผลดี ซึ่งได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านใช้วิธีนี้ เช่น Rhee (1978) ใช้วัดค่าการเหม็นหืนในกล้ามเนื้อสัตว์ Greene (1978), Igene et al. (1979) ใช้วัดในเนื้อไก่ แต่ก็อาจใช้ได้กับพืชบางชนิด เช่น ถั่วเหลือง (Tungjaroenchai, 1990)

การวัดค่า Kreis test เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ประเมินการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยอาศัยการสร้างสีแดง เมื่อ phloroglucinol เข้าทำปฏิกิริยากับไขมันที่ถูกออกซิไดส์ในสารละลายกรด (Rossell, 1983) โดยสารสีแดงนี้ คือ epoxy aldehydes หรือ acetals และ จุดประสงค์หลักของวิธีนี้เพื่อใช้พัฒนาการเพิ่มขึ้นของสีแดง ซึ่งมักไม่มีความสัมพันธ์กับการเกิดกลิ่นเหม็น (Mehlenbacher, 1960) ดังนั้น จึงไม่มีการใช้ วิธี Kreis เป็นดัชนีบอกถึงสภาพการเหม็นหืนในอาหาร แต่ได้มีผู้ทดลองใช้ ค่า fat acidity เป็นดัชนีในการบอกถึงความเสื่อมเสียในอาหารประเภทไขมัน เช่น จากการทดลองของ Labuza (1985) และ Tungjaroenchai (1990) ได้ใช้ค่า fat acidity หรือ ค่าความเป็นกรด เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณ free fatty acid ที่ถูก neutralize ด้วย KOH

นอกจากวิธีทางเคมีแล้ว ได้มีการใช้วิธีทางกายภาพเพื่อใช้บอกค่าความเหม็นหืนในอาหาร ซึ่งมีหลายวิธีที่ใช้ในการทดสอบ เช่น

- 1) วิธี conjugated diene ซึ่งเป็น 1 ใน 3 วิธีที่นิยมใช้หาค่าความเหม็นหืนในอาหาร (St. Angelo et.al., 1975) โดยอาศัยหลักที่ว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ถูกออกซิไดส์จะมีการดูดซับแสง UV เพิ่มขึ้น เนื่องจาก ปฏิกิริยาไขมันไม่อิ่มตัวจะดูดซับแสง UV ที่ความยาวคลื่น 230-375 nm ส่วน diene ไม่อิ่มตัวจะดูดซับที่ความยาวคลื่น 234 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วิธี fluorescence ได้มีการพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้วัดการเกิดออกซิเดชันในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต

3) วิธี infrared spectroscopy วิธีนี้ใช้วัดการเกิดออกซิเดชันในกรดไขมันที่มีพันธะคู่แบบทราน

4) วิธี polarography เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นมา เพื่อใช้หาปริมาณเปอร์ออกไซด์ในไขมันและไฮโดรคาร์บอน และวิธีนี้สามารถใช้แยกความแตกต่างระหว่างโครงสร้างแบบ -O-O และ -OOH ของเปอร์ออกไซด์ นอกจากนี้ยังให้ผลที่ถูกต้องแน่นอนกว่าวิธีอื่น แต่วิธีนี้ไม่เป็นที่แพร่หลายในการควบคุมคุณภาพทางอุตสาหกรรม

5) วิธี refractometry โดยอาศัยหลักการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของ refractive index ที่สอดคล้องกับการเกิดกลิ่นเหม็น (Ayra et.al., 1969) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของ refractive index จะเป็นไปตามขั้นตอนการเกิดออกซิเดชัน

6) วิธี Gas chromatography ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการใช้แยกและบ่งบอกถึงความเหมือนกันของสารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และวิธีนี้นิยมใช้หาค่าความเข้มข้นใน ไขมันพืช เนื้อสัตว์ และ เนยแข็ง โดยวิธีนี้จะเป็นการวัด secondary product ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะเป็นสารประกอบที่ระเหยได้ เช่น hexanol และ pentane (Frankel et.al., 1981) และจากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน พบว่าค่าที่วัดได้จากวิธีนี้มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับการเกิดกลิ่นเหม็น (Rayner et.al., 1978; Warner et.al., 1978; Reineccius, 1979) โดยสามารถหาความเข้มข้นจากวิธีนี้ได้ 2 แบบ คือ

ก. วิธีของ Fritsch และ Gale (1977) ซึ่งเหมาะกับการใช้วัดหา hexanol ในอาหารประเภทไขมัน

ข. วิธีของ Legendre et al. (1979) ซึ่งเหมาะกับการใช้วัดในอาหารประเภท aqueous และ non-aqueous

แต่วิธี Gas chromatography ก็มีข้อเสีย คือ มีความยุ่งยาก ในการใช้และการทำมาตรฐานของเส้นกราฟ จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการควบคุมคุณภาพอาหารที่มีปริมาณมาก ๆ

5. ภาชนะบรรจุ

ภาชนะบรรจุเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการที่จะยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โดยวัสดุที่นำมาใช้ทำภาชนะบรรจุจะเป็นวัสดุที่อ่อนตัวได้ (flexible material) ซึ่งทำจากฟิล์มพลาสติกชนิดเดี่ยวและชั้นเดี่ยว (single layer) หรือ ฟิล์มพลาสติกหลายชั้น (multilayer)

อันประกอบด้วยฟิล์มพลาสติกชนิดเดี่ยว หรือ ต่างชนิด หรือ พลาสติกกับวัสดุอื่น เช่น กระดาษอะลูมิเนียม โดยใช้กรรมวิธีการประกบ (laminare) หรือ การรีดรวม (coextrusion) หรือไม่ว่ากรรมใด ๆ ก็ตาม อีกทั้งยังมีเหตุผลเปลี่ยนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลือบ (coating) และโดยปกติฟิล์มพลาสติกที่นำมาใช้ทำภาชนะบรรจุจะเป็นประเภทเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น

- 1) โพลีเอทิลีน (polyethylene, PE) แบ่งออกเป็น LDPE , MDPE, HDPE
 - 2) โพลีโพรพิลีน (polypropylene, PP) แบ่งเป็น OPP , CPP
 - 3) โพลีไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride, PVC)
 - 4) โพลีสไตรีน (polystyrene, PS)
 - 5) โพลีเอไมด์ หรือ ไนลอน (polyamide, PA)
 - 6) โพลีไวนิลิดีนคลอไรด์ หรือ ซาราน (polyvinylidene chloride, PVDC, Saran)
 - 7) โพลีเอสเตอร์ หรือ โพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลต (polyester, polyethylene terephthalate, PET)
 - 8) เอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์โคโพลิเมอร์ (ethylene vinylalcohol copolymer, EVOH)
 - 9) เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคโพลิเมอร์ (ethylene vinylacetate copolymer, EVA)
- ซึ่งฟิล์มพลาสติกแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2 ดังนั้นการที่จะเลือกฟิล์มชนิดใดนั้น จำเป็นต้องพิจารณาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานเป็นหลัก เพื่อที่จะให้ภาชนะบรรจุนี้สามารถทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์ที่สุด แต่โดยทั่วไปพลาสติกที่นิยมนำมาทำภาชนะบรรจุ ได้แก่ โพลีเอทิลีน และ โพลีโพรพิลีน

โพลีเอทิลีน เป็นพลาสติกที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ของเอทิลีนจัดเรียงตัวแบบต่าง ๆ กัน ทำให้ได้พลาสติกที่มีคุณสมบัติต่างกัน โดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

- ก. Low density polyethylene (LDPE) เป็นฟิล์มพลาสติกที่มีความหนาตั้งแต่ $0.914-0.925 \text{ g/cm}^3$ และมีโครงสร้างในการจัดเรียงตัวแบบ branch chain
- ข. Medium density polyethylene (MDPE) เป็นฟิล์มพลาสติกที่มีความหนาตั้งแต่ $0.93-0.94 \text{ g/cm}^3$
- ค. High density polyethylene (HDPE) เป็นฟิล์มพลาสติกที่มีความหนาตั้งแต่ $0.95-0.96 \text{ g/cm}^3$

ซึ่งฟิล์มพลาสติกเหล่านี้มีคุณสมบัติในการขมุน้ำและก๊าซซึมผ่าน แรงดึง (tensile strength) ตลอดจนวนอุณหภูมิที่ใช้ในการปิดผนึก แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

Table 2 Types and properties of main films available in flexible packages
 O — Excellent ○ — Good △ — Ordinary × — Bad ● — Worse

Types	Abbreviation	Outlines	Properties											Uses					
			Transparence	Gloss	Strength	Elongation	Tearing strength	Moisture proofness	Gas barrier	Oil resistance	Heat resistance	Heat sealability	Anti-static electricity		Cold resistance	Slip	Stiffness	Printability	Workability
Cellophane	Plain transparent cellophane	Excellent in transparency, surface gloss, printability, heat resistance and suitability to packaging machines, but inferior in moisture resistance.	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Polyethylene- and foil-laminated cellophanes are widely used in packaging of various products.
	Moisture-proof cellophane	Moisture-proof and heat-sealable coatings are applied onto PT cellophanes to prevent them from moisture.	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Single-layer film is used as an overwrap. Polyethylene- and foil-laminated products are also used in various fields.
	PVDC-coated cellophane	Higher in moisture proofness and gas barrier than MST. It has also heatsealability.	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Polyethylene-laminated products are used in the packaging areas requiring higher moisture proofness and gas barrier.
	Low-density polyethylene	LDPE is laminated to other film substrates to give moisture proofness because it is excellent in heatsealability. It has no gas barrier.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	As seen in PT/PE, OPP/PE and among others, various films are laminated with LDPE to give heatsealability.
Polyethylene	Medium-density polyethylene	Higher in heatsealing temperature, stiffness and heat resistance than LDPE.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Available as a laminant for boilable pouches with excellent heat resistance and stiffness as seen in ON/MDPE.
	High-density polyethylene	Inferior in transparency to MDPE but more excellent in strength, oil resistance, heat resistance and moisture proofness.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Available as a laminant for retortable pouches with excellent heat resistance and stiffness as seen in PET/HDPE.
	Linear, low-density polyethylene	Possibilities of down-gauge because it is higher in strength than LDPE.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Available as a laminant for packages for liquid products as seen in ON/L-LDPE due to its excellent physical strength and heatsealing strength.
	Ionomer	Excellent in heatsealability (especially low heatsealability) and physical strength.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Available as a laminant for packages for powdered products due to its excellent low heatsealability and for deep-drawn molded containers due to its good moldability.
Polypropylene	Ethylene vinyl-acetate	Soft in stiffness and excellent in low-temperature heatsealability.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Available as a laminant for packages for liquids, soy bean paste and pickles.
	Cast polypropylene	Good in heatsealability, excellent in resistance to scratch and oil, and good in fragility at low temperature.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Single-layer film is used as a wrapup for bread, and OPP-laminated products are used in packaging of confectioneries and snack foods.
	Oriented polypropylene	Excellent in transparency and moisture proofness. Shrinkage in the high temperature.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Heat-seal-coated film is used in moisture-proof packaging of rice cakes. Single-layer film is widely used as a general packaging material.
	PVDC-coated oriented polypropylene	High gas barrier and moisture proofness are given to OPP.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Available as a laminant for pouches for oiled cakes requiring high gas barrier and moisture proofness.
Polyester	Oriented polyester	Excellent in physical strength, heat resistance, dimensional stability and machinability.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Available as a laminant for boilable and retortable pouches requiring excellent physical strength and heat resistance replacing P1 cellophane.
	PVDC-coated polyester	More excellent in moisture proofness and gas barrier.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Available as a laminant for packages for such dairy products as cheese and "Ramen" (Chinese noodle) requiring high gas barrier and moisture proofness.
Nylon	Cast nylon	Excellent in physical strength and cold resistance and suitable for a flexible packaging material for deep-drawn molding.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Available as a deep-drawn packaging material laminated with LDPE for processed meats and cheese. K-ONY is also used for this application.
	Oriented nylon	Excellent in tensile strength, cold resistance, impact strength and barrier and suitable for a packaging material for liquid products.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Available as a packaging material for controlled atmosphere packs and liquid products requiring excellent physical strength and high barrier.
	PVDC-coated nylon	More excellent in moisture proofness and gas barrier.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Available as a single-layer wrapper for ham and sausage.
	Polyvinylidene chloride	The most excellent in gas barrier, moisture proofness and oil resistance of all plastic films.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Available as a material for molded containers requiring excellent stiffness.
Polymer	Polyvinyl chloride (rigid)	Excellent in rigidity transparency and moldability.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Available as a material for molded containers, and thin gauge film is used as a sealing material for PS containers.
	Polystyrene (unoriented)	Excellent in rigidity and moldability, but inferior in barrier.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Available as a material for PS containers.
	Polycarbonate	Excellent in impact strength, heat resistance, cold resistance and flavor retention.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Available as a material for molded containers.
	Polyvinyl-alcohol	Excellent in transparency and barrier in the low temperature.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Available as a controlled atmosphere packaging material requiring excellent gas barrier.
Aluminum foil	Opaque and metallic, but very excellent in barrier.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Available as a packaging material for powdered products, retortable food and controlled atmosphere packs requiring high moisture proofness and barrier.	

ซึ่งฟิล์มพลาสติกเหล่านี้มีคุณสมบัติในการยอมให้น้ำและก๊าซซึมผ่าน แรงดึง (tensile strength) ตลอดจนอุณหภูมิที่ใช้ในการปิดผนึก แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 Basic properties of the various polyethylene (Robertson, 1978)

Type of PE	moisture vapour (1) transmission	Gas transmission (2)		tensile strength (3)	heat sealing (4)
		O ₂	CO ₂		
LDPE	1.4	500	1350	17	120-130
MDPE	0.6	225	500	25	120-180
HDPE	0.3	125	350	40	135-180

(1) g/100 in²/d/atm at 38 °C 90 % RH for 1 mil film

(2) ml/100 in²/d at 25 °C for 1 mil film

(3) 100 psi

(4) °C

จากตารางที่ 3 พอจะสรุปได้ว่าพลาสติกประเภท PE มีความสามารถในการป้องกันความชื้นได้สูง แต่คุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซจะไม่ได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาวิทยาการการลามิเนต (laminates) มาใช้ โดยการลามิเนตจะเป็นการนำวัสดุชนิดหนึ่งมาประกบติดกับวัสดุอีกชนิดหนึ่งด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น วิธี dry laminate เพื่อให้ได้โครงสร้างใหม่ที่มีคุณสมบัติขึ้น เนื่องจากการลามิเนตจะเป็นการประสานข้อดีของวัสดุทั้ง 2 ชนิดเข้าด้วยกัน ตัวอย่างเช่น การใช้อะลูมิเนียมฟอยล์มาทำการลามิเนตกับฟิล์มพลาสติก ในการเก็บรักษาเมล็ดถั่วเหลือง พบว่าสามารถรักษาสภาพ ความชื้นต่ำ และ high germinate ของเมล็ดถั่วเหลืองในการเก็บได้เป็นระยะเวลา 2 ปี ในขณะที่ถ้าเก็บที่เมล็ดไว้ในถุงกระดาษจะเก็บได้เพียง 6 เดือน เมล็ดจะตาย นอกจากนี้การเลือกโครงสร้างต่าง ๆ ของฟิล์มประกบควรจะเลือกให้

กระดาษ/LDPE/Al/LDPE	: ใช้กับอาหารแห้ง เครื่องดื่มผงสำเร็จรูป
PET/Al/PP	: ใช้กับอาหารที่ต้องฆ่าเชื้อด้วยความร้อน
PA/EVA, PA/LDPE, PA/Surlyn	: ใช้กับอาหารที่บรรจุด้วยระบบสุญญากาศ
OPP/LDPE	: ใช้กับปะหมีสำเร็จรูป ขนมขบเคี้ยว

ที่มา : มขร (2533)

สำหรับกรรมวิธีในการผลิตฟิล์มลามิเนตนั้นจัดเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญปัจจัยหนึ่ง เพราะถ้าเลือกกรรมวิธีไม่เหมาะสม จะทำให้ฟิล์มที่ได้มีคุณสมบัติต่ำกว่าที่ควรจะเป็น โดยปัจจุบันมีกรรมวิธีการผลิตฟิล์มลามิเนตอยู่ 5 กรรมวิธี

- 1) กรรมวิธีผลิตแบบ dry laminate
- 2) กรรมวิธีผลิตแบบ Extrusion laminate
- 3) กรรมวิธีผลิตแบบ Wet laminate
- 4) กรรมวิธีผลิตแบบ Thermal laminate
- 5) กรรมวิธีผลิตแบบ Wax laminate

แต่นิยมใช้มาก คือ วิธีที่ 1-3 ซึ่งวิธี Dry laminate, Extrusion laminate และ Wax laminate จะนิยมใช้ในการทำฟิล์มลามิเนตระหว่างฟิล์มกับฟิล์มหรือฟิล์มกับอะลูมิเนียม แต่ถ้าเป็นการลามิเนตระหว่างอะลูมิเนียมกับกระดาษ จะนิยมใช้วิธี Wet laminate และถ้าเป็นการลามิเนตระหว่างฟิล์มที่มีคุณสมบัติในการปิดผนึกด้วยความร้อนได้จะใช้วิธี Thermal laminate

โพลีโพรพิลีน เป็นพลาสติกที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ของโพรพิลีน มีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่น 0.905 g/cm^3 มีคุณสมบัติในการป้องกันไอน้ำและน้ำมันซึมผ่านสูง และมีความสามารถต้านทานแรงดึง (tensile strength) สูง สำหรับโพรพิลีนที่ใช้อยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. CPP (cast polypropylene) มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำสูง แต่คุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซต่ำ CPP สามารถใช้ความร้อนในการปิดเชื่อม ได้ที่อุณหภูมิ $325-400 \text{ }^\circ\text{F}$ มีความต้านทานต่อแรงดึงสูง แต่ความต้านทานแรงดึงต่ำ และรูปร่างกับขนาดจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อ RH สูงขึ้น

2. OPP (oriented polypropylene) มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่า CPP ครึ่งเท่า และป้องกันการซึมผ่านของก๊าซสูงกว่า CPP แต่การเชื่อมปิดด้วยความร้อนทำได้ยากจึงมีการใช้พลาสติกชนิดนี้ร่วมกับพลาสติกชนิดอื่น และมีความต้านทานแรงดึงสูงกว่า CPP

ประมาณ 10-30 เท่า ในขณะที่ความต้านทานแรงดึงต่ำกว่า CPP 10-50 เท่า

นอกจากฟิล์มพลาสติกแล้ว ได้มีการนำโลหะมาใช้ในการทำภาชนะบรรจุด้วย โดยโลหะที่นิยมนำมาใช้ทำภาชนะบรรจุ คือ อะลูมิเนียม ซึ่งจะอยู่ในรูปของอะลูมิเนียมฟอสเฟต สาเหตุที่นิยมใช้อะลูมิเนียม เนื่องจากว่า เป็นโลหะที่สามารถนำมารีดเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ มีน้ำหนักเบา สามารถสะท้อนแสงได้ 80-90 % และป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี โดยถ้ามีความหนาเพิ่มขึ้นความสามารถในการป้องกันจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังนิยมนำพลาสติกมาลามิเนตกับอะลูมิเนียมฟอสเฟต เนื่องจากว่าอะลูมิเนียมสามารถที่จะอุดรูพรุน (pinhole) ที่เกิดขึ้นในแผ่นพลาสติกได้ดี ทำให้สามารถป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้ดีขึ้น และในฟิล์มประกอบนี้จะทนต่อแรงดึงได้สูงขึ้น

นอกจากการใช้อะลูมิเนียมฟอสเฟตมาทำการลามิเนตแล้ว ได้มีการนำอะลูมิเนียมมาทำการเคลือบบนแผ่นฟิล์มพลาสติก ซึ่งเรียกแผ่นฟิล์มที่ได้ชื่อว่า เมทัลไลซ์ฟิล์ม (metallized film) โดยวิธีนี้จะเป็นการเผาโลหะภายใต้สูญญากาศ ทำให้โลหะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ จากนั้นจึงนำไอของโลหะไปเคลือบที่ผิวหน้าของฟิล์มพลาสติกประเภท โพลอน โพลีโพรพิลีนแบบ OPP และ โพลีเอสเตอร์แบบ oriented ซึ่งฟิล์มที่ได้จากวิธีนี้จะมีโลหะเคลือบอยู่ที่ผิวพลาสติกหนาประมาณ 1×10^{-3} นิ้ว และมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำสูงกว่าฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบโลหะ ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 4

ข้อดีของเมทัลไลซ์ฟิล์มนอกจากการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ คือ มีความสวยงามเนื่องจากเป็นมันวาว ไม่เกิดรูรั่วหรือปริแตกเนื่องจากจากบิดหรือยับ ป้องกันแสง UV , infrared และป้องกันแมลง

ดังนั้นในการเลือกชนิดของวัสดุที่ทำภาชนะบรรจุ จำเป็นต้องทราบคุณสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซ เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบสูงและผลิตภัณฑ์ที่ไม่เสถียรต่อความชื้น

Robertson (1978) กล่าวว่า การที่ก๊าซและไอน้ำสามารถซึมผ่านชั้นของภาชนะบรรจุได้ เนื่องจากสาเหตุที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1) เกิดเนื่องจากผลของรูพรุนแบบภาชนะบรรจุ (pinhole) โดยทั่วไปที่ผิวของภาชนะบรรจุจะมีรูพรุนเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งรูพรุนนี้จะทำให้ก๊าซและไอน้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในภาชนะบรรจุได้

ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน และไอน้ำผ่านฟิล์ม พลาสติกชนิดต่างๆทั้งที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยโลหะ (เรื่องวิทย์, 2532)

<i>Typical barrier properties</i>		
Sample	Oxygen	Moisture vapour
	cc/m ² 24 hrs./ atm.	g/m ² / 24 hrs.
Plain		
12um PET	85	45
PVDC/12um PET	6	10
PVDC Cello	5	9
9um Al Foil	2	0.5
PVDC/OPP	15	7
Metallized		
12um PET	0.9	1.2
PVDC/12um PET	0.8	0.8
12um PET/50um PE	0.9	0.3
12um PET/PVD/50 PE	0.7	0.8
N/C Ink/12um PET	1.5	2.6
PVDC/OPP	2	3
PET = Polyester PA = Nylon (biaxially oriented) PE = Low density polyethylene OPP = Oriented polypropylene N/C = Nitro-Cellulose ink (printed and metallized) Cello = Cellophane Al = Aluminium		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

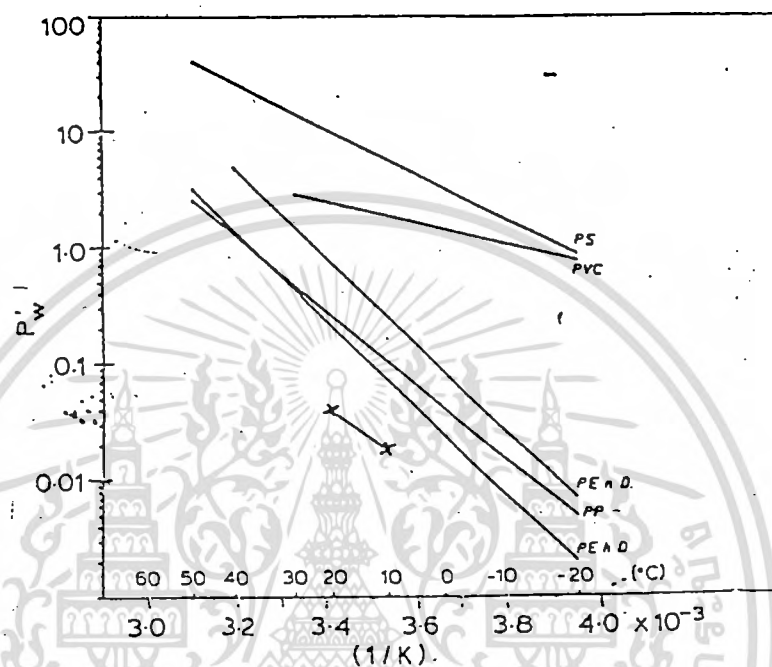
2) เกิดเนื่องจากผลของการละลาย โดยก๊าซสามารถละลายเข้ากับองค์ประกอบของ ภาชนะบรรจุด้านหนึ่งแล้วแพร่ผ่านไปอีกด้านหนึ่ง ซึ่งลักษณะนี้เรียกว่า solution diffusion process และสามารถอธิบายได้ในลักษณะเป็น true permeability

โดยปกติฟิล์มที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ส่วนใหญ่ การซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำจะเกิดเนื่องจากสาเหตุที่ 1 และ 2 ในขณะที่พอลิเมอร์ของโลหะจะเกิดเนื่องจากสาเหตุที่ 2 เท่านั้น ซึ่งรูพรุนของฟิล์มจะลดลงเมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น โดยที่ความหนาของชั้นฟิล์มที่ไม่พบรูพรุนเหล่านั้นจะขึ้นกับชนิดของฟิล์มที่ใช้ แต่สำหรับผลที่เกิดเนื่องจาก true permeability การเพิ่มความหนาของแผ่นฟิล์มเพียงอย่างเดียวไม่สามารถที่จะป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้

(Tungcharoenchai, 1990)

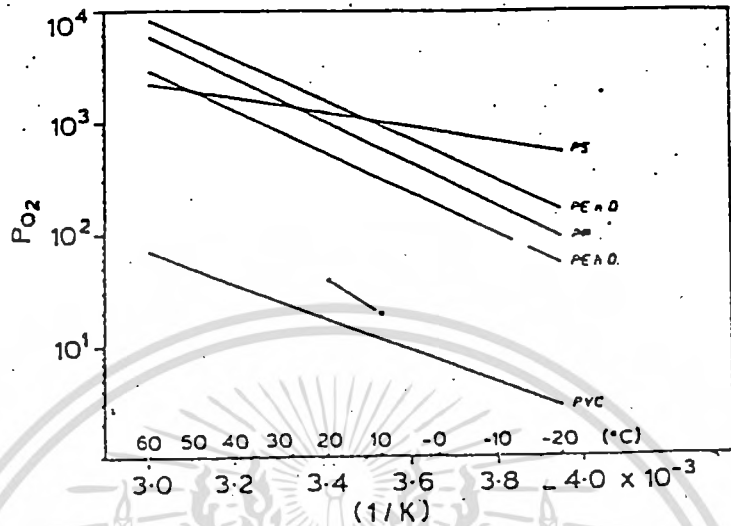
การวัดค่าการซึมผ่านของน้ำและไอน้ำในภาชนะบรรจุ จะแสดงอยู่ในเทอมของ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapour Transmission Rate, WVTR) มีหน่วยเป็น $g/m^2 \text{ day}$ ที่ $37.8^\circ C$, $0\% RH - 100\% RH$ และ สำหรับการซึมผ่านของก๊าซในภาชนะบรรจุ ซึ่งโดยทั่วไปหมายถึงออกซิเจน จะแสดงอยู่ในเทอมของ อัตราการซึมผ่านของก๊าซ (Gas Transmission Rate, GTR) มีหน่วยเป็น $ml/cm^2 \text{ day}$ ที่ $37.8^\circ C$, $0\% RH - 100\% RH$ โดยค่า WVTR และ GTR ของภาชนะบรรจุแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน นอกจากนี้ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ก็มีผลต่อค่า WVTR และ GTR ของภาชนะบรรจุ (Rudorfer and Tshamler, 1976) ดังนั้นจากค่า WVTR และ GTR ของภาชนะบรรจุ ทำให้สามารถนำมาใช้ในการเลือกภาชนะบรรจุที่เหมาะสมในการยึดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ และ Eichner (1986) ได้เสนอว่า สามารถที่จะใช้ค่า WVTR และ GTR ในการคำนวณหาระยะเวลาการเก็บที่ควรเป็นในอาหารแต่ละชนิดที่บรรจุอยู่ภายในภาชนะบรรจุที่ต่างกัน โดย Eichner ได้แสดงผลของอุณหภูมิจาก Arrhenius diagram คือการซึมผ่านของไอน้ำในภาชนะบรรจุชนิดต่าง ๆ ดังรูปที่ 13 ซึ่งพบว่า การซึมผ่านของไอน้ำจะขึ้นกับอุณหภูมิและเป็นไปทำนองเดียวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเป็นผลทำให้ระยะเวลาการเก็บของอาหารสั้นลง เนื่องจากอาหารภายในภาชนะบรรจุได้รับความชื้นจากการซึมผ่านของไอน้ำจากภายนอก นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายได้ว่า การเพิ่มของอุณหภูมิทำให้ A_w ของอาหารภายในภาชนะบรรจุเพิ่มขึ้น ในขณะที่ A_w ของอากาศภายนอกจะมีผลทำให้ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำลดลง ซึ่งจะทำให้เกิด countercurrent effect ขึ้น และจากรูปที่ 14 แสดงการซึมผ่านของออกซิเจนในหน่วย $N \cdot cm^3 / m^2 \text{ day bar}$ ที่มีผลเนื่องมาจากอุณหภูมิในภาชนะบรรจุชนิดต่าง ๆ โดย

Eichner กล่าวว่า ภาชนะบรรจุที่ใช้บรรจุอาหารประเภท sensitive low moisture food เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ ความถี่ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนต่ำกว่า $10 N \cdot cm^3 / m^2 \text{ day bar}$ ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 Water vapour permeabilities (P_w) ($\text{g}/\text{m}_2\text{d}$) of different plastic films (Thickness $100 \mu\text{m}$) dependent on temperature. Testing condition : $A_w = 0.85$ against $A_w = 0$ at the respective temperature. (The line x—x corresponds to a Q_{10} value of 2) PS = polystyrene ; LDPE = low density polyethylene ; HDPE = high density polyethylene ; PP = polypropylene ; PVC = polyvinyl chloride (Eichner, 1986)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 Oxygen permeabilities P_{O_2} ($N \cdot cm^3/m^2 \cdot d \cdot bar$) of different packaging materials (film thickness $100 \mu m$) dependent on temperature. (Eichner, 1986)

ไม่มีพลาสติกชนิดใดที่มีคุณสมบัติดังกล่าวครบถ้วน จึงทำให้มีการใช้การลามิเนทของพลาสติกหลายชั้น โดยทั่วไปมักใช้การลามิเนทระหว่าง PE กับ PVDC หรือ อะลูมิเนียมฟอยล์ และสำหรับการเลือกภาชนะบรรจุสำหรับอาหารประเภท Oxygen sensitive food ควรเลือกภาชนะบรรจุที่มีค่า WVTR และ GTR สูงกว่าที่ใช้ในอาหารประเภท low moisture food (Eichner, 1986)

นอกจากนี้ การเลือกชนิดของฟิล์มที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ ควรจะพิจารณาถึงอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เพราะถ้าผลิตภัณฑ์อาหารเป็นชนิดที่ไม่ต้องการอายุการเก็บที่นาน ก็สามารถให้ฟิล์มพลาสติกชั้นเดียว เนื่องจากว่าค่าใช้จ่ายในการทำฟิล์มลามิเนทสูง ตัวอย่างเช่น มันฝรั่งอบเนย ถ้าจำหน่ายหมดภายในเวลา 1 สัปดาห์ จะใช้ถุง CPP ชั้นเดียว ซึ่งมีค่า WVTR $10 g/m^2/day$ ที่ $38^\circ C, 90\% RH$ และมีค่า GTR (O_2) $1500 cm^3/m^2/day/atm$ ที่ $38^\circ C$ แต่ถ้าจำหน่ายได้หมดภายในเวลา 1 เดือน จะใช้ถุง OPP/LDPE/PP ที่มีค่า WVTR $2 g/m^2/day$ ที่ $38^\circ C, 90\% RH$ และ GTR $250 cm^3/m^2/day/atm$ ที่ $38^\circ C$ แต่ถ้าต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัทฯ หากมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อายุการเก็บที่นาน 6 เดือน จะใช้ถุง OPP/metallized CPP ที่มีค่า WVTR เพียง 0.1 และ GTR เพียง $3 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}/\text{atm}$ ที่ 38°C (มยุรี, 2533)

6. การบรรจุผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาพปรับอากาศ

การบรรจุผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาพปรับอากาศ (Modified atmosphere, MA และ Controlled atmosphere, CA) เป็นเทคโนโลยีในการทำบรรยากาศรอบๆ อาหารให้แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ เพื่อประโยชน์ในการยืดอายุการเก็บ และ รักษาความสด รสชาติ และ น้ำหนักของอาหารโดยอาศัยการเพิ่มหรือลดปริมาณของก๊าซที่อยู่รอบๆ อาหาร ซึ่งก๊าซที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่ ได้แก่ ออกซิเจน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ แต่ในบางกรณีจะเกี่ยวข้องกับก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์ เอทิลีน โพรพิลีน และ อะเซทิลีนด้วย การใช้ก๊าซนี้จะใช้เพียงชนิดเดียว หรือหลายชนิดร่วมกัน โดยสัดส่วนของก๊าซแต่ละชนิดจะถูกใส่เข้าไปในภาชนะบรรจุ เพื่อยับยั้งและชะลอการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงทางเคมี และการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ และโดยหลักการทั่วไปของ MA กับ CA จะคล้ายคลึงกัน แต่จะต่างกันที่ส่วนผสมของก๊าซของ CA จะต้องได้รับการควบคุมให้แน่นอนตลอดการเก็บรักษา ในขณะที่ส่วนผสมของก๊าซใน MA ไม่จำเป็นต้องควบคุมให้แน่นอนตลอดการเก็บรักษา เพียงแต่อาจมีการปรับเป็นครั้งคราว (มยุรี, 2531) ดังนั้นจึงเห็นว่า MA ดีกว่า CA เนื่องจากว่าตลอดการเก็บรักษา อากาศจากภายนอกจะซึมผ่านภาชนะบรรจุเข้ามาแล้วอาหารจะมีการดูดซับอากาศ ซึ่งจะทำการควบคุมบรรยากาศรอบๆ อาหารตลอดการเก็บรักษาให้เป็นตามที่กำหนดไว้ทำได้ยาก (Hasting, ปีที่พิมพ์ไม่ได้บอก)

สำหรับ MA ได้มีการนำมาใช้ในการเก็บรักษาอาหารมากกว่า 60 ปีมาแล้ว โดยสามารถแบ่ง MA ได้เป็น 2 แบบ คือ

1) active modification เป็นวิธีการสร้าง MA โดยอาศัยการแทนที่อากาศด้วยก๊าซผสม ซึ่งจะทำให้เกิดสภาพ MA ทันที นอกจากนี้ยังรวมถึง สารดูดซับก๊าซ (gas absorber) ซึ่งเป็น chemical MA ด้วย (รายละเอียดจะกล่าวในตอนต่อไป)

2) passive modification เป็นวิธีการสร้าง MA โดยการแลกเปลี่ยนระหว่างก๊าซจากกระบวนการหายใจของอาหารที่ยังมีชีวิต เช่น ผัก ผลไม้ โดยแลกเปลี่ยนผ่านภาชนะบรรจุ
ที่มา : Kader, Zagory & Kerble (1989)

นอกจากนี้ MA แบบ active modification สามารถที่จะทำให้เกิดได้ 4 กรรมวิธี คือ

1) ปรับบรรยากาศโดยการลดปริมาณออกซิเจนลง หรือ ทำการไล่คาร์บอนไดออกไซด์ออก ซึ่งการลดออกซิเจนสามารถทำได้โดยการฉีดไนโตรเจน หรือ CO_2 หรือ CO ส่วนการไล่คาร์บอนไดออกไซด์สามารถทำได้โดยใช้น้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรด เช่น น้ำมะนาว หรือ ใช้ molecular seiver

2) ใช้ระบบความดันต่ำ (Hypobaric system) เป็นการลดก๊าซในอาหารด้วยความดันต่ำจะมีผลอยู่ 2 ประการ คือ

ก. มีผลทำให้ partial pressure ของก๊าซในอากาศลดลง

ข. มีผลทำให้ก๊าซในอาหารถูกไล่ออก

3) Commodity Modified Atmosphere เป็นวิธีการทำให้อากาศรอบๆ อาหารมีปริมาณของออกซิเจนน้อยลง แต่มีคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ทำได้โดยเคลือบชั้นขี้ผึ้งบนอาหาร (ผัก ผลไม้) หรือ ห่อหุ้มอาหารด้วยพลาสติก หรือ ก๊าซนะบรจุที่มีคุณสมบัติเฉพาะ

4) ใช้การแลกเปลี่ยนก๊าซ เป็นวิธีที่ใช้การแทนที่ของก๊าซที่อยู่ในเนื้อเยื่อของอาหารด้วยก๊าซชนิดหนึ่ง โดยทำให้เป็นสุญญากาศ และ ฉีด SO_2 เข้าไปเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์และการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย จากนั้นทำให้เป็นสุญญากาศอีกครั้งและทำการฉีด CO_2 หรือ CO เข้าไป (มยุรี , 2531)

ตามที่ได้กล่าวในตอนต้นแล้วว่า ก๊าซส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับระบบ MA คือ O_2 , CO_2 , N_2 โดยก๊าซ O_2 จะเป็นก๊าซที่ถูกกำจัดออกจากระบบ และถูกแทนที่ด้วยก๊าซ CO_2 และ N_2 สาเหตุที่ต้องกำจัดหรือลดปริมาณ O_2 ออกจากระบบ เนื่องจาก O_2 มีผลในการช่วยให้จุลินทรีย์ที่ต้องการ O_2 เจริญเติบโตได้ดี และ เป็นสาเหตุสำคัญในการเกิดกลิ่นเหม็นของไขมัน ส่วนการเพิ่มก๊าซ N_2 หรือ CO_2 เนื่องจากว่า ก๊าซ N_2 มีคุณสมบัติ เป็นก๊าซที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยา โดยเฉพาะปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไม่ละลายในน้ำหรือเนื้อเยื่อ และซึมผ่านผนังฟิล์มที่บรรจุได้ช้ามาก ตลอดจนป้องกันการเจริญเติบโตของราและจุลินทรีย์ที่ใช้ O_2 นอกจากนี้ยังช่วยพองก๊าซนะบรจุไม่ให้หดรีรูปผลิตภัณฑ์ และส่วน CO_2 ที่ฉีดเข้าไป เนื่องจากว่ามีคุณสมบัติ ดังนี้ (1) สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย เช่น Achromobacter, Flavobactor, Micrococcus, Bacillus และ Pseudomonas ตลอดจน ยังมีผลในการยับยั้งเชื้อราด้วย (2) ก๊าซ CO_2 มีผลต่อคุณภาพ

เอกสารนี้ ทางลิขสิทธิ์และเคมี คือ ทรัพย์สินของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. ช่วยรักษาคุณภาพด้านสี เช่น สีเขียวของคลอโรฟิลล์ ชลของการเน่าตัวของผลไม้เนื่องจากการแปรสภาพของเพคติน ให้เกิดช้าลง

ข. ลดความ sensitive ของผลไม้ต่อก๊าซเอทิลีนซึ่งมีผลต่อการสุก

ดังจะเห็นได้ว่า MA เป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้ โดยมีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านทำการศึกษาและวิจัยผลของ MA ต่อผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ในปี 1882 Kolbe ได้ใช้ก๊าซ CO_2 ในการถนอมอาหารประเภทเนื้อสัตว์ และ Wolfe (1984) กล่าวถึง การนำ MAP มาใช้ในการชะลอการสุกของผักและผลไม้ นอกจากนี้ MAP สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราในเนื้อที่เก็บในสภาพปรับบรรยากาศในสัดส่วนของ CO_2 20-100 % โดยปริมาณ ซึ่งพบว่าจะเกิดราหลังจากเก็บไว้ 8 วัน และในปี 1932, 1933 Coryne ได้นำ MAP มาใช้กับผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ โดยพบว่า CO_2 สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย และสัดส่วนของ CO_2 ที่เหมาะสมในการถนอมรักษาอาหารประเภทปลา คือ 40-50 % โดยปริมาณ นอกจาก MA จะใช้ในการถนอมรักษาอาหารประเภทเนื้อสัตว์และสัตว์น้ำแล้ว MA ยังสามารถนำมาใช้ในการถนอมรักษาอาหารประเภทผัก ผลไม้ และถั่วได้อีก เช่น จากการศึกษาของ Banks (1985) พบว่า MA สามารถที่จะลดความ sensitive ต่อเอทิลีนของกล้วยโดยให้ระบบมี CO_2 สูงและ O_2 ต่ำ และจากการเก็บถั่วกรวดคั้นใน MAP พบว่าสามารถรักษาการงอกของเมล็ดได้มากกว่า 12 เดือน และเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะภายใต้บรรยากาศ จะพบว่าเชื้อราสามารถเจริญได้น้อยกว่าในสภาวะภายใต้บรรยากาศ (Slay, Holaday, Pearson & Pomplin, 1980) ดังนั้นจากผลงานทดลองของนักวิทยาศาสตร์ที่กล่าวมา พอจะสรุปได้ว่า ถ้าทำการเก็บรักษามะม่วงหิมพานต์ทอดไว้ในสภาวะ MAP จะทำให้มะม่วงหิมพานต์ทอดนี้มีอายุการเก็บที่นานขึ้น เนื่องจากว่า สภาวะ MAP จะเป็นการลด O_2 ที่เป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยังเป็นการยับยั้งการเจริญของเชื้อราอีกด้วย

นอกจากการลด O_2 โดยการปรับสภาพบรรยากาศโดยตรงแล้ว ได้มีวัสดุ O_2 โดยใช้สารที่เรียกว่า Oxygen absorber เช่น "Ageless" (Mitsubishi Co., Ltd.) เป็นต้น

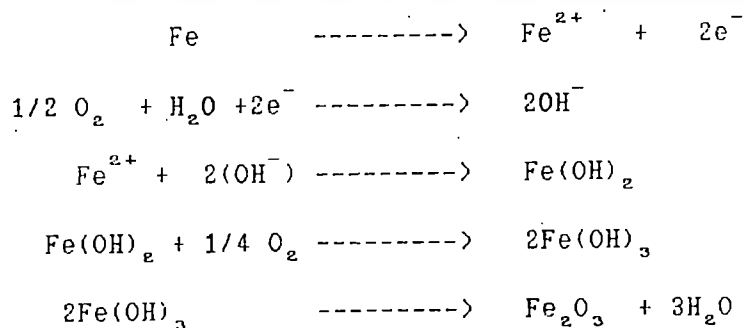
7. การใช้ตัวดูดซึมออกซิเจน

Oxygen absorber (O_2 absorber) หรือ ชื่อทางการค้าว่า "Ageless" มีการผลิตออกใช้ทางการค้าโดยบริษัทผู้ผลิตหลายรายเช่น Mitsubishi Gas Chemical Company มีการใช้ O_2 absorber ในภาชนะบรรจุอาหารอย่างกว้างขวาง เพื่อลดระดับกาซออกซิเจนให้เหลือน้อยกว่า 100 ppm ช่วยให้อายุการเก็บรักษานานขึ้น (Labuza, 1987)

Oxygen absorber คือ สารหรือวัสดุที่ทำการดูดซึมออกซิเจนไว้ในตัวเอง โดยที่ปฏิกิริยาทางเคมี โดยปฏิกิริยานี้จะใช้ออกซิเจนเข้าร่วมในการเกิดปฏิกิริยาค้าง ซึ่งวัสดุหรือสารที่นำมาใช้เป็นตัวดูดซึมออกซิเจน มีได้หลายชนิด เช่น dithionite, vitamin C ไซมันและน้ำมัน, fructose, $NaHSO_3$, $FeSO_3$, catechol ผงโลหะและก๊าซไฮโดรเจน ร่วมกับ palladium catalyst แต่เนื่องจากประสิทธิภาพที่ได้จากการนำไปใช้ไม่ดีพอ

ในปี ค.ศ. 1977 บริษัท Mitsubishi Gas Chemical Company, Inc ได้จำหน่ายตัวดูดซึมออกซิเจนที่ใช้หลักการเกิดเป็นสนิมของเหล็ก ดังนั้นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของตัวดูดซึมออกซิเจน (oxygen absorber) เป็น active ironoxide ซึ่งหลังจากดูดกาซออกซิเจนแล้ว จะเปลี่ยนรูปเป็น oxidize iron และ Iron hydroxide ที่เสถียร (Lin และ Chang, 1987) Labuza (1987) ระบุว่าองค์ประกอบของตัวดูดซึมออกซิเจน (oxygen absorber) เป็นผงเหล็ก (Iron powder) ส่วนใหญ่ยังแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เป็นองค์ประกอบด้วย

ตัวดูดซึมออกซิเจนจะทำการดูดซึมออกซิเจน โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมีดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในประเทศญี่ปุ่น นำ O_2 -absorber มาใช้ในการยืดอายุอาหารหลายชนิดโดยเฉพาะอาหารแห้ง อาหารกึ่งอบแห้งทั้งหลาย

ในปี 1980 Toyama และคณะได้ทดลองใช้ O_2 -absorber บรรจุร่วมในภาชนะบรรจุประเภทลูกกวาด พบว่าการใช้ O_2 -absorber สามารถช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้นานถึง 5 สัปดาห์

Smith และ คณะ (1986) ทำการศึกษาอัตราการเจริญของเชื้อราในขนมปังก้อนผิวกรอบ (Crusty) ซึ่งเก็บในสภาพปรับบรรยากาศต่าง ๆ กับที่อุณหภูมิ $25^{\circ}C$ พบว่าที่บรรยากาศปกติจะสังเกตเห็นการเจริญของเชื้อราภายใน 5-6 วัน ในสภาพปรับบรรยากาศ $CO_2:N_2$ (60:40) จะมีเชื้อราภายใน 16-18 วัน และในสภาพที่มี N_2 พบการเจริญของเชื้อราภายใน 9-11 วัน แต่เมื่อใช้ O_2 absorber ร่วมกับการบรรจุในสภาพปกติ สภาพปรับบรรยากาศ $CO_2:N_2$ และสภาพปรับบรรยากาศ N_2 สามารถเก็บขนมปังได้นานถึง 60 วัน โดยไม่มีการเจริญของเชื้อรา

Linz และ Chang (1987) รายงานว่า การใช้ O_2 absorber บรรจุร่วมกับภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์เนือหมกแห้ง ที่มี A_w อยู่ในช่วง 0.78-0.85 จะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่า 4 เดือน โดยไม่ต้องเติมสารกันเชื้อรา ในขณะที่ไม่ใช้ O_2 absorber สามารถเก็บได้เพียง 2 สัปดาห์เท่านั้น อย่างไรก็ตาม การใช้ O_2 absorber มีข้อกำหนดในกรณีอาหารมี $A_w > 0.92$ เมื่อเก็บในสภาพไม่มีออกซิเจน จะทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่เจริญเติบโตได้โดยเฉพาะ Clostridium botulinum (Labuza, 1987)

ในปัจจุบันการใช้สาร Oxygen absorber ในการยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ได้เริ่มเข้ามามีบทบาทมากขึ้น เช่น ในประเทศญี่ปุ่น ได้มีการใช้สารนี้ในผลิตภัณฑ์ประเภท cheesetara (ทำจากเนยแข็งและ dried cod surumi) และในผลิตภัณฑ์ประเภท สปองจ์เค้ก เพื่อประโยชน์ในการลดการเจริญเติบโตของเชื้อรา และในคุกกี้ที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุที่ทำจาก PVDC-coated polyethylene มีความชื้นสัมพัทธ์ 50-60 % ที่อุณหภูมิ $75^{\circ}F$ พบว่าถ้ามีการใช้สาร Oxygen absorber ในผลิตภัณฑ์จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บที่นานกว่า 40 วัน จากปกติจะเก็บได้เพียง 20 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1 ผลการใช้หัวตุ๋นหมักออกซิเจน

เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกัน โดยการเปรียบเทียบ ภาชนะบรรจุที่มีหัวตุ๋นหมักออกซิเจนกับภาชนะที่ไม่มีใส่หัวตุ๋นหมักออกซิเจน ซึ่งเปรียบเทียบได้ดังนี้

ก. Pizza crust เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เมื่อทิ้งไว้ 10 วัน กลุ่มที่ไม่มีหัวตุ๋นหมักออกซิเจน จะมีเชื้อจุลินทรีย์เกิดขึ้น ส่วนกลุ่มที่มีหัวตุ๋นหมักออกซิเจนสามารถเก็บไว้ได้นาน โดยไม่มีจุลินทรีย์

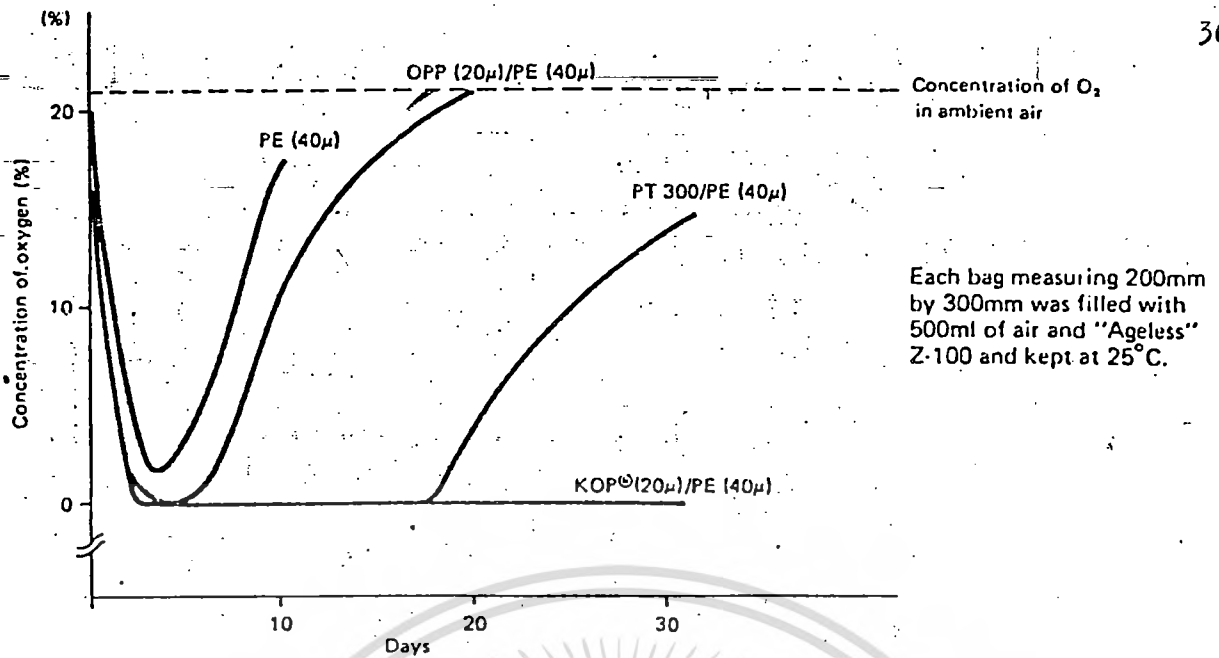
ข. Salami เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นเวลา 1 สัปดาห์ สามารถเก็บไว้ได้นาน โดยไม่มีจุลินทรีย์ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่หัวตุ๋นหมักออกซิเจน

ค. Buck Wheat เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 3 เดือน สามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่มีจุลินทรีย์ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่หัวตุ๋นหมักออกซิเจน

ง. Sponge cake เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 20 วัน สามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่มีจุลินทรีย์

จ. Bread เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 45 วัน โดยมี การเปรียบเทียบ เป็นช่วง ๆ คือ ในช่วง 3 วันแรก 15 วัน และ 45 วัน ซึ่งถ้าเก็บรักษาโดยที่ไม่มีหัวตุ๋นหมักออกซิเจน ใน 15 วัน จะมีเชื้อจุลินทรีย์ขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 45 วัน จะมีเชื้อราเจริญเต็ม ไปหมดทั้งแผ่นขนมปัง

เมื่อ เปรียบเทียบกับการ เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนในถุงแต่ละชนิด โดยการบรรจุหัวตุ๋นหมักออกซิเจนไว้ในถุง จะพบว่าให้ประสิทธิภาพที่ดี โดยสามารถลดปริมาณออกซิเจน ได้ ศึกษารูปที่ 15 มี 4 ภาชนะบรรจุคือ PE OPP/PE PT300/PE KOP/PE ทุกภาชนะบรรจุจะมีความเข้มข้นของออกซิเจนลดลงอย่างเห็นได้ชัด เจน ซึ่ง PE OPP/PE PT300/PE สามารถลดค่าความเข้มข้นของออกซิเจนได้ระยะเวลาหนึ่ง แล้วความเข้มข้นของ ออกซิเจนจะเพิ่ม เหมาะกับอาหารที่ต้องเก็บรักษาในระยะเวลาสั้น ๆ



รูปที่ 15 ผลจากการใช้ตัวดูดซึมออกซิเจนที่มีผลต่อปริมาณออกซิเจนในภาชนะบรรจุแบบต่าง ๆ (Mitsubishi Gas Chemical Company.)

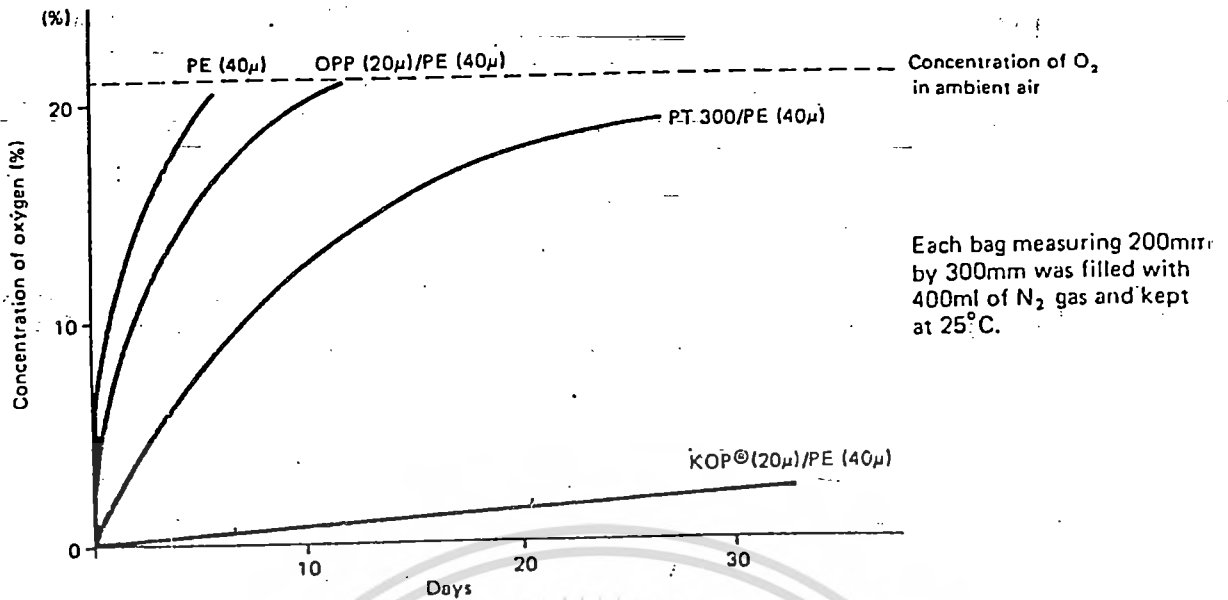
7.2) ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาการใช้ตัวดูดซึมออกซิเจน มีดังนี้

7.2.1) เลือกชนิดของวัสดุที่นำมาทำเป็นภาชนะบรรจุให้เหมาะสม

ในการใช้ตัวดูดซึมออกซิเจน กับผลิตภัณฑ์อาหารนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นสิ่งแรก คือ การป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของวัสดุที่นำมาใช้ในการเป็นภาชนะบรรจุ เช่น พลาสติก อลูมิเนียมลามิเนต พลาสติกลามิเนต เป็นต้น พลาสติก อลูมิเนียมลามิเนต หรือ พลาสติกลามิเนต โดยทั่วไปจะมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านออกซิเจน แต่อาจจะไม่เพียงพอต่อการรักษาผลิตภัณฑ์อาหารให้มีคุณภาพคงเดิม

ถุงบรรจุผลิตภัณฑ์ ซึ่งปัจจุบันผลิตจากพลาสติกหลายชนิด ถูกฉีดก๊าซไนโตรเจนจนเต็ม และทดสอบการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ดังรูปที่ 16 จาก การทดลองพบว่า ถุงที่ผลิตจาก PE OPP/PE PT/PE KOP/PE ๓ ชนิดแรก ความเข้มข้นของออกซิเจนในถุงจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับ ความเข้มข้นของออกซิเจน ในบรรยากาศปกติอย่างรวดเร็ว (10-20 วัน) สำหรับพลาสติก KOP/PE สามารถคงสภาพความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำได้เป็นเวลานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้



รูปที่ 16 แสดงการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนของภาชนะบรรจุชนิดต่าง ๆ

(Mitsubishi Gas Chemical Company)

ดัชนีซึมผ่านของฟิล์มที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุ ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนไม่เกิน 20 ml/m² ที่ความดัน 1 atm ในเวลา 24 ชั่วโมง จึงสามารถใช้ร่วมกับตัวดูดซึมออกซิเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น PVC เคลือบ PE ที่รู้จักกันดีคือ KOP/PE EVAL BARRIALON Aluminium Foil /PE

อย่างไรก็ตาม ฟิล์มเหล่านี้มีราคาแพง ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการเก็บรักษาไว้นานก็อาจใช้ชนิดของฟิล์มที่มีราคาถูกลง แต่สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ในระยะเวลาที่ต้องการ ซึ่งแสดงได้ในตารางที่ 5

การเลือกใช้ฟิล์มชนิดใด นอกจากจะพิจารณา การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ยังต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของฟิล์ม และพลาสติกด้วย เช่น ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงอัด การป้องกันแสง การทนต่อความร้อน และความเย็น ต้นทุนที่ใช้ผลิต ซึ่งทำให้การเก็บรักษาดีขึ้น

ตารางที่ 5 การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และ ไอน้ำ ของฟิล์มชนิดต่าง ๆ
(Mitsubishi Gas Chemical Company)

Suitability of an oxygen absorber	Film construction	Thickness (μ)	Oxygen permeability (ml/m^2 atm. 24h) 0% RH to 100% RH	Steam permeability (g/m^2 atm. 24h)	Remarks
Suitable	KOP/PE (P.V.D.C. coated polypropylene/polyethylene)	20/40	5 to 15	4	Economical barrier film
	KON/PE (P.V.D.C. coated nylon/polyethylene)	15/50	5 to 15	7	Good impact resistance and strength
	KPET/PE (P.V.D.C. coated polyester/polyethylene)	10/50	5 to 15	6	Good strength
	KT/PE (P.V.D.C. coated cellophane/polyethylene)	22/50	5 to 15	4	
	OV/PE (P.V.D.C. coated polyvinyl alcohol/polyethylene)	15/50	0.5 to 2	4	Soft and strong
	ON/EVAL [®] /PE (biaxially oriented nylon/ethylene-vinyl acetate copolymer/polyethylene)	20/17/40	Less than 6	6	
	ON/EVAL/PE	15/17/40	"	8	
	PT/PE/SX21 (cellophane/polyethylene/SARANEX [®])	20/15/38	Less than 3	5 to 6	
	PET/Al/PE (aluminum sandwiched)	12/7/40	0	0	
ON/Al/PE (aluminum sandwiched)	15/7/40	0	0		
Depends on conditions	ON/PE (biaxially oriented nylon/polyethylene)	15/50	30 to 120	15	Depends on shelf life
Unsuitable	OPP/CP (biaxially oriented polypropylene/unoriented polypropylene)	20/30	1000 to 1300	5 to 7	
	OPP/PE (biaxially oriented polypropylene/polyethylene)	20/40	1500 to 2000	5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.2) การปิดผนึกภาชนะบรรจุต้องสมบูรณ์

การปิดผนึกภาชนะที่ตีช่องไม่ทำให้เกิดรอยรูดขึ้น ซึ่งรอยรูดขึ้นจะมีผลต่อการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศเข้าสู่ภาชนะบรรจุ ทำให้ผลิตภัณฑ์ ในภาชนะบรรจุมีปริมาณของออกซิเจนสูงขึ้น นอกจากออกซิเจนแล้ว ยังต้องระวังไม่ให้น้ำ น้ำมัน หรือ ผงต่าง ๆ ติดอยู่บริเวณที่ทำการปิดผนึก

7.2.3) การเลือกชนิดและขนาดความจุในการใช้ตัวดูดซึมออกซิเจนให้เหมาะสม

โดยพิจารณาจาก

ก. ลักษณะของอาหาร เช่น รูปร่าง น้ำหนัก ค่า ปริมาณน้ำมัน การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ลักษณะเฉพาะของอาหาร

ข. อายุการเก็บรักษาที่ต้องการ

ค. รูปแบบของภาชนะบรรจุ

ง. วิธีการผลิตที่ใช้ เช่น มีการใช้ microwave, retort, steaming

จ. การจัดจำหน่าย เวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

ชนิดของตัวดูดซึมออกซิเจนที่นิยมมาใช้นี้ในปัจจุบัน แสดงในตารางที่ 6

7.3) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งาน ระหว่างตัวดูดซึมออกซิเจน กับ

การบรรจุแบบฉีดก๊าซไนโตรเจน และการบรรจุแบบสุญญากาศ

การเลือกใช้วิธีการมีดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารนั้นขึ้นอยู่กับผู้ผลิตซึ่งต้องการผลิตให้สินค้า มีคุณภาพดีแต่ต้นทุนการผลิตต่ำ ในความเป็นจริงสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงคือ ผลที่จะได้รับ นอกจากวิธีการใช้ตัวดูดซึมออกซิเจนแล้ว ในปัจจุบันยังมีการบรรจุแบบฉีดก๊าซไนโตรเจนและการบรรจุแบบสุญญากาศ แต่ทั้งสองวิธี ไม่สามารถกำจัดก๊าซออกซิเจนจนหมดจากภาชนะบรรจุได้ 100% พิจารณาจาก ตารางที่ 7 ซึ่งเป็นตารางแสดงการเปรียบเทียบการบรรจุแบบฉีดก๊าซไนโตรเจน กับ วิธีการใช้ตัวดูดซึมออกซิเจน และตารางที่ 8 แสดงถึงการเปรียบเทียบทั้งสามวิธี

การตัดสินใจสำหรับผู้ที่ต้องการเก็บผลิตภัณฑ์ จำเป็นต้องพิจารณา เปรียบ

เทียบประสิทธิภาพทั้งสามวิธี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ชนิดของตัวดูดซึมออกซิเจนที่นิยมมาใช้งานปัจจุบัน

ชนิด	ลักษณะเฉพาะ	ค่า Aw	เวลาที่ใช้งานการดูดซึม O ₂	เวลาที่ยังคงประสิทธิภาพ
Z	ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ทำจากคาร์บอนแข็งหรือมีความชื้นต่ำ	0.85 หรือมากกว่า	ใช้เวลาในการดูดซึมออกซิเจน จากภาวะบรรจุ 1-4 วัน ขึ้นกับขนาดของบรรจุภัณฑ์ ตัวดูดซึมออกซิเจน	เวลาที่ยังคงประสิทธิภาพเมื่อสัมผัสกับอากาศภายนอก คือ 4 ชั่วโมง
S	เป็นชนิดที่ทำการดูดซึมออกซิเจนอย่างรวดเร็ว ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้กับอาหาร	0.65 หรือมากกว่า	ใช้เวลาในการดูดซึมออกซิเจนจากภาชนะบรรจุ 1/2 วัน ถึง 2 วัน	เวลาที่ยังคงประสิทธิภาพการดูดซึมออกซิเจนเมื่อสัมผัสกับอากาศภายนอก 1 ชั่วโมง
FX	ใช้ร่วมกับอาหารที่มีความชื้นสูง มีความคงทนต่ออากาศภายนอก สามารถต้านทานการฉีกขาดของน้ำมัน	0.85 หรือมากกว่า	ใช้เวลาในการดูดซึมออกซิเจน จากภาชนะบรรจุ 1/2 - 1 วัน	เวลาที่ยังคงประสิทธิภาพการดูดซึมออกซิเจนเมื่อสัมผัสกับอากาศภายนอก 1/2 วัน
E	ใช้กับภาชนะที่แห้ง	-	ขึ้นกับความจุของตัวดูดซึมออกซิเจน	เวลาที่ยังคงประสิทธิภาพการดูดซึมออกซิเจน เมื่อสัมผัสกับอากาศภายนอก 4 ชั่วโมง
G	ใช้กับคาร์บอนไดออกไซด์ลดความชื้น ให้ความคงทน ออกซิเจนที่ถูกดูดซึม	0.3-0.65	ใช้เวลา 1-4 วัน	เวลาที่ยังคงประสิทธิภาพ เมื่อสัมผัสกับอากาศภายนอก คือ 1 ชั่วโมง
C	ใช้ดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ เหมาะสำหรับการเก็บ	-	-	เวลาที่ยังคงประสิทธิภาพ กับอากาศภายนอก คือ 4 ชั่วโมง

ที่มา : Mitsubishi Gas Chemical Company.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบ วิธีการบรรจุแบบฉีดก๊าซไนโตรเจนและวิธีการ
บรรจุแบบการใช้ตัวดูดซึมออกซิเจน

Oxygen absorber	Gas purge and vacuum packing
Inhibits the growth of aerobic bacteria.	Cannot inhibit the growth of aerobic bacteria. (Aerobic bacteria can grow if at least 0.1% O ₂ exists.)
Generally effective for inhibiting the growth of facultative anaerobic bacteria, as they are more likely to grow in a slightly aerobic environment (except lactic acid bacteria).	Even facultative anaerobic bacteria are more likely to grow in an aerobic environment in which a slight amount of oxygen exists. CO ₂ is not as effective for preventing mold growth as it is claimed to be.
	CO ₂ gas promotes the growth of obligate anaerobic bacteria (CO ₂ is used for culture tests of asexual bacteria which are the majority of obligate anaerobic bacteria).

	Oxygen absorber packing	Gas purge packing	Vacuum packing
Handling	Easy	The handling of heavy objects, such as N ₂ and CO ₂ cylinders involves certain difficulties, even if mechanized	
Equipment	No particular equipment is required	Both of these methods require costly equipment.	
Production efficiency	No change in production efficiency occurs as automatic and inexpensive equipment is used to introduce the oxygen absorber into the package.	Gas purging or vacuum treatment is an additional step to the packing process. Even if automatic, the repetition of the following cycle prevents a truly streamlined operation and brings about a reduction in production efficiency: Bag setting - (evacuation) - gas purging - sealing - delivery	

ที่มา : Mitsubishi Gas Chemical Company

ตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบรรจุแบบการใช้หัวดูดขีมือออกซิเจน
การบรรจุแบบฉีดอากาศไนโตรเจน และการบรรจุแบบสุญญากาศ

Oxygen absorber packing	Gas purge packing	Vacuum packing
100% oxygen removal. (Complete absorption of oxygen from the container by chemical reaction.)	Incomplete oxygen removal. (Physical purging leaves several percent of oxygen unremoved.) Purging requires several times as large an amount of gas as the volume of the container: About twice for chamber type purging; 3 to 4 times for gas flush purging; and 1.2 to 1.3 times for nozzle purging. The oxygen contained in food cannot substantially be removed, but is diffused when the container is filled with gas. There is a great difference in the amount of residual oxygen depending on the item packed.	Incomplete oxygen removal. (This is also a physical method which fails to remove oxygen completely.) This method destroys the structure of porous food, because of differential pressures

Oxygen absorber packing	Gas purge packing	Vacuum packing
This method keeps the container completely oxygen-free for a long time, as the oxygen absorber absorbs oxygen by chemical reaction. (Although even a gas barrier film may be somewhat permeable to oxygen, the oxygen absorber absorbs all of oxygen entering into the container with time, since it generally has a real deoxidizing power which is larger than its nominal power. This method therefore, makes it possible to use a standard plastic film for packing, and does not necessarily require the use of an aluminum package, can, bottle or other expensive packing material.)	The amount of oxygen in the container increases with time because of oxygen infiltrated. In order to maintain the condition initially obtained by purging, it is imperative to use an aluminum package, can, bottle or other completely gas tight container. (This means an increase in cost.)	The presence of bubbles in food is likely to cause deterioration, as they contain the same amount of oxygen as ambient air does. The vacuum creates a difference in pressure between the inside and the outside of the container. This pressure difference increases the permeation of oxygen resulting in a large increase in the amount of oxygen in the container. (The presence of pinholes is likely to result in a broken bag.) In order to prevent oxygen permeation from increasing with time, it is essential to use a can or bottle (This means an increase in the cost of packing.)

ที่มา: Mitsubishi Gas Chemical Company

ในการเลือกใช้น้ำคอกของตัวคูดงหรือคอกขี้เฒ่า ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณคอกขี้เฒ่าในภาชนะบรรจุ ซึ่งสามารถหาค่าคอกขี้เฒ่าในผลิตภัณฑ์โดยการทดลอง

ขั้นตอนการวัดปริมาณคอกขี้เฒ่าในภาชนะบรรจุ

1. วัดปริมาตรทั้งหมดของภาชนะบรรจุ
2. ชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ + น้ำหนักภาชนะบรรจุ (กรณีที่เป็นถุงแบบ ๆ)
ชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (กรณีที่เป็นรูปร่าง หรือ กล้อง)
3. หาค่าความถ่วงจำเพาะ (โดยทั่วไปกำหนดให้เท่ากับ 1)
4. แทนค่าในสูตร

กรณีที่เป็นถุง

ค่าปริมาตรคอกขี้เฒ่าในภาชนะบรรจุ (cc.) =

$$\left[\frac{\text{ปริมาตรน้ำ (cc.)} - (\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์} + \text{น้ำหนักภาชนะบรรจุ}) \text{กรัม}}{\text{ค่าความถ่วงจำเพาะ}} \right] \times 1/5$$

ค่าความถ่วงจำเพาะ = 1

กรณีที่เป็นกล่อง

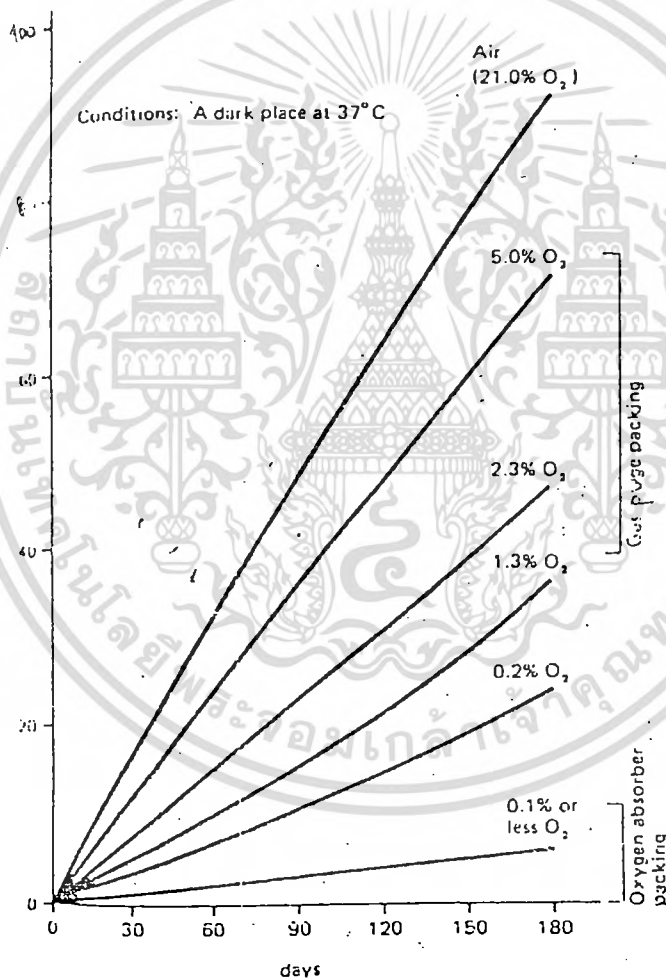
ค่าปริมาตรคอกขี้เฒ่าในภาชนะบรรจุ (cc.) =

$$\left[\frac{\text{ปริมาตรน้ำ (cc.)} + \text{ปริมาตรความหนา (cm.)} - \text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (gm)}}{\text{ค่าความถ่วงจำเพาะ}} \right] \times 1/5$$

ค่าความถ่วงจำเพาะ = 1

ในการใช้ภาชนะบรรจุเป็นลักษณะถุงแบบ ๆ สามารถทำการวัดปริมาตรในภาชนะบรรจุได้ โดยการชั่งน้ำหนัก แต่การเป็นกล่องสามารถใช้ในการวัดปริมาตรได้

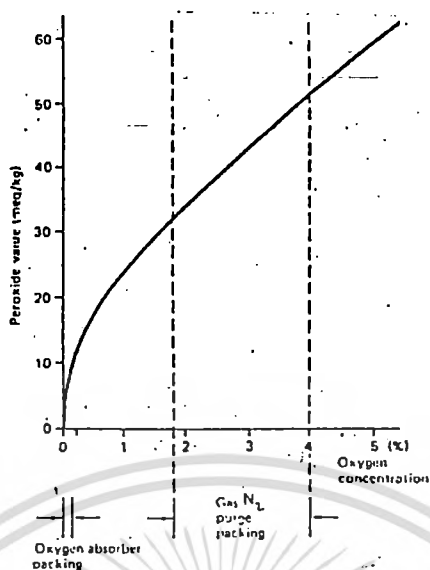
หลักเกณฑ์ทั่วไปที่นิยมนำมาเปรียบเทียบหาวิธีการบรรจุ ต้องพิจารณาในเรื่อง ราคาของการบรรจุ ประสิทธิภาพที่ต้องการ อัตราในการกำจัดออกซิเจน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนในภาชนะบรรจุ เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลง ประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิด ปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันและไขมัน ดังรูปที่ 17-19



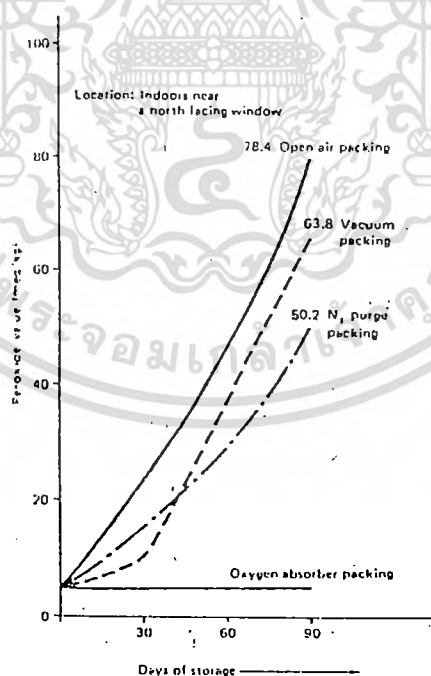
รูปที่ 17 ความเข้มข้นของออกซิเจน และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน

(Linz และ Chang.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 18 ความเข้มข้นของออกซิเจน และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในน้ำมัน หลังการเก็บรักษา 150 วัน (Linz และ Chang.)



รูปที่ 19 ค่าเปอร์ออกไซด์ใน Friend peanut cake ในการบรรจุแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร (Linz และ Chang.) ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4) การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียในการใช้ตัวดูดซึมนอกซิเจน

- ก. ไม่ก่อให้เกิดปัญหาสารพิษ เนื่องจากส่วนผสมหลัก คือ active iron oxide ซึ่งเมื่อดูดซับ O_2 แล้วจะเปลี่ยนเป็น iron oxide ($Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$)
- ข. ประหยัด เพราะไม่ต้องการอุปกรณ์พิเศษ
- ค. ปลอดภัย เพราะสาร Oxygen absorber จะไม่สัมผัสกับอาหารโดยตรงซึ่งผ่านการรับรองจาก FDA (Food and Drug Administration) แห่งสหรัฐอเมริกา และ Japanese Ministry of Health and Welfare
- ง. ลด O_2 ในภาชนะปิดได้ถึง 99.9 %
- จ. ป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ประเภท aerobe อย่างสมบูรณ์ แต่มีข้อเสียที่ว่าไม่สามารถป้องกันจุลินทรีย์ประเภท anaerobe และไม่สามารถเข้าใจข้อความบนห่อตัวดูดซึมนอกซิเจนหรือเกิดการปลั่งเหม็น ถ้ารับประทานในปริมาณมากจะเกิดอันตรายได้



8. Sorption isotherms

Sorption isotherms เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง water activity กับ equilibrium water content (moisture content) ณ อุณหภูมิและความดันคงที่ ซึ่งกราฟจะเป็นรูปซิกมอยด์ ในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดพบว่า เส้น curve ประกอบเป็น 3 ส่วน กราฟจะโค้งขึ้นโดยค่า A_w ประมาณ 0.1-0.2 เส้นกราฟจะเป็นเส้นตรง กราฟจะโค้งขึ้นถึง 0.5 และเมื่อผ่าน 0.5 กราฟจะโค้งขึ้นช้า (Mazza, 1980; Van den Berg and Bruin, 1981) ซึ่งจากกราฟ 3 ช่วง สามารถกล่าวได้ว่า น้ำในส่วนแรกเรียกว่า Monolayer region จะยึดแน่นกับ polar sites ของอาหาร น้ำส่วนนี้เป็น bound water โดยยึดติดกับ Macromolecule ของโปรตีน และโพลีแซคคาไรด์ น้ำในส่วนที่สองจะสามารถถูกดึงออกได้ง่าย เนื่องจากพันธะไฮโดรเจน ถูกคลายออกโดยจับกันอย่างหลวม ๆ กับโครงสร้างของไฟเบอร์ เมื่อ A_w ขึ้นถึง 0.5 น้ำในส่วนนี้จะหมดสภาพการเป็น bound water น้ำส่วนสุดท้ายจะจับกับช่องว่างของอาหาร (void space of food) ซึ่งเป็นส่วนที่ชื่อว่า องค์ประกอบต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์ถูกละลายทำให้เกิดการเสื่อมเสีย เรีกส่วนนี้ว่า Condensed water

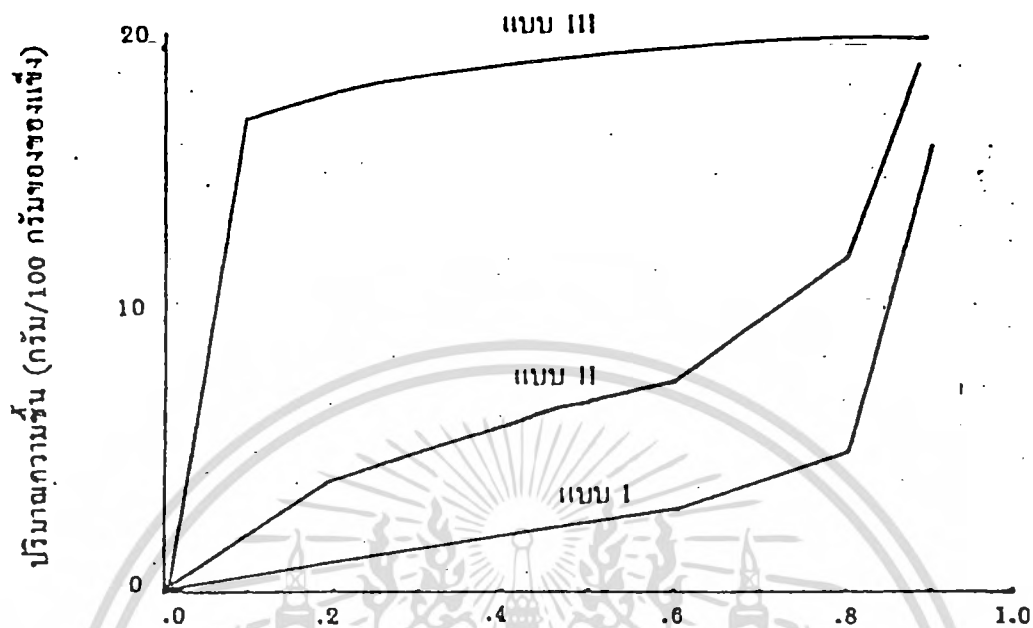
จากข้อมูลการศึกษา sorption isotherms ของอาหารประเภทเส้นใย Chen et al (1984) และ Walling Ford และ Labuza (1983) ได้ทำการเปรียบเทียบของตัวอย่างอาหาร 2 ชนิด ที่ A_w คงที่ ณ จุดหนึ่ง พบว่าการดูดซึมน้ำ เป็นแบบ passive diffusion อย่างไรก็ตาม ยังคงแปรตามกันเป็นส่วน ๆ ดังที่ได้กล่าวไว้ คือ เป็น monolayer multilayer condensed water ลำดับ

Poksay and Schereman, 1983; Robertson and Eastwood, 1981 พบว่า ความร้อนที่ใช้ในการดึงน้ำออก ในชั้นโมโนเลเยอร์ จะมากกว่า ความร้อนที่ใช้ในการดึงน้ำออกของชั้นคอนเดนเสดเลเยอร์ ซึ่งเป็นการยืนยันคำกล่าวของ Mazza ว่า ชั้นโมโนเลเยอร์ เป็นชั้นที่ดูดซึมน้ำได้อย่างหนาแน่นที่สุด ซึ่งชั้นโมโนเลเยอร์ คือ โมเลกุลของน้ำชั้นเดียว ซึ่งเป็นดัชนีบอกรสภาวะของน้ำ ในผลิตภัณฑ์อาหารนั้น ๆ ที่จะเปลี่ยนไปเป็น มิลลิเลเยอร์ และ คอนเดนเสด โดยทั่วไปการดูดน้ำจะเริ่มจากโมโนเลเยอร์ก่อน และการกำจัดน้ำในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ยากที่สุด เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนที่ยึดอย่างแข็งแรง กับ solid เช่นโมเลกุลของโปรตีน หรือ คาร์โบไฮเดรต หรือ น้ำส่วนนี้จะ เป็น bound water ที่แท้จริงที่สุด ค่าโมโนเลเยอร์มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับอุณหภูมิ คือ เมื่ออุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้ภายในหน่วยงานราชการเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่สู่สาธารณะได้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอโซเทอมของอาหาร ปกติจะได้ค่าที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งสามารถหาได้โดยการนำอาหารที่ทราบปริมาณความชื้น— แล้วปล่อยให้เกิดความสมดุลในภาชนะที่ปิดสนิท เมื่อทราบค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุลก็สามารถหาค่า a_w ได้ ดังสมการ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับปริมาณความชื้นในอาหารที่อุณหภูมิคงที่ จะให้กราฟของไอโซเทอมของอาหารนี้ (Labuza, 1984) นอกจากนี้จากไอโซเทอมของอาหารได้โดยนำตัวอย่างอาหารจำนวนเล็กน้อยวางในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในระดับแตกต่างกัน จนความชื้นของอาหารอยู่ในสภาวะสมดุลกับอากาศรอบนอกอาหารจึงนำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยปกติรูปร่างของเส้นโค้งไอโซเทอมของอาหารจะเป็นรูปอักษร เอส หรือ ซิกมอยด์ เคอร์ฟ (Karel, 1975 ; Van den Berg, 1985) เส้นโค้งไอโซเทอมมีประโยชน์ที่ทำให้ทราบถึงปริมาณความชื้นของอาหารจะเป็นเท่าไรในสภาวะของค่าความชื้นสัมพัทธ์ ยังแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำที่จะได้ในรูปของ a_w (Troller and Christian, 1978) ซึ่งแสดงในรูปที่ 7 แสดงลักษณะกราฟเฉพาะสำหรับปริมาณความชื้นสมดุลกับค่า a_w (หรือ % ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล) และไอโซเทอม ซึ่งสามารถใช้กับอาหารได้ทุกชนิด

สำหรับกับไอโซเทอมโดยทั่วไปจะแตกต่างกันดังรูปที่ 7 เช่น อัตราพื้นที่และผลผลิตจะให้ลักษณะของไอโซเทอมเป็นรูปอักษร เอส (แบบที่ II) ลักษณะกราฟเช่นนี้ เน่ามาจากผลจากการเติมผลของภาวะปิลลารี และผลจากกัมตรกิริยาของน้ำที่ผิวหน้า (the additive effects of Raoult's law, capillary effects and surface water interactions) ลักษณะของกราฟจะมีจุดหัก 2 จุด โดยจุดแรกจะอยู่ที่ค่า a_w ประมาณ 0.2 - 0.4 และจุดที่สองจะอยู่ระหว่าง 0.6 - 0.7 (Labuza, 1984)



รูปที่ 20 แสดง การแบ่งชนิดโคชีเทอม แบบที่ I เป็นผลไม้ แบบที่ II เป็นแบบ
ของอาหารอบแห้ง และแบบที่ III เป็นของสารป้องกันจับตัวเป็นก้อน
ที่มา : Labuza (1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอโซเทอมแบบที่ I เป็นไอโซเทอมของการดูดซับ (adsorption isotherm) ของผลึกน้ำตาลบริสุทธิ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความชื้นจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจนกว่าค่า a_w สูงถึง 0.7 - 0.8 ทั้งนี้เนื่องจากผลของน้ำ กล่าวคือ พันธะไฮโดรเจนไปจับหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งจะอยู่ที่ผิวหน้าของผลึก จะเห็นได้ว่าไอโซเทอมแบบนี้เป็นผลมาจากผลของพื้นที่ผิว ดังนั้นถ้ามีการบดผลึกน้ำตาลให้เป็นอนุภาคเล็ก จะทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นได้ค่า a_w ต่ำ

ไอโซเทอมแบบที่ III เป็นลักษณะเฉพาะของสารป้องกันการจับกันเป็นก้อน สารประเภทนี้มีการดูดซับน้ำไว้ที่เฉพาะแห่ง แต่พลังงานการจับตัวค่อนข้างมาก ดังนั้นทำให้ค่า a_w ลดลงอย่างมาก ซึ่งจะได้จากเส้นโค้งในรูปที่ 20 มีความสูงชันที่ค่า a_w ต่ำ แต่เมื่อมีการจับตัวจนเต็มทุกจุด ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ a_w เพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เพราะว่าตัวสารเองไม่เกิดการละลาย ละลายเมื่อเติมน้ำลงไป น้ำก็จะไปจับตัวกับน้ำที่มีอยู่เดิมและด้วยพันธะไฮโดรเจนอ่อน ๆ นี้เอง ทำให้เกิดลักษณะสารละลายที่ผิวหน้าขึ้น

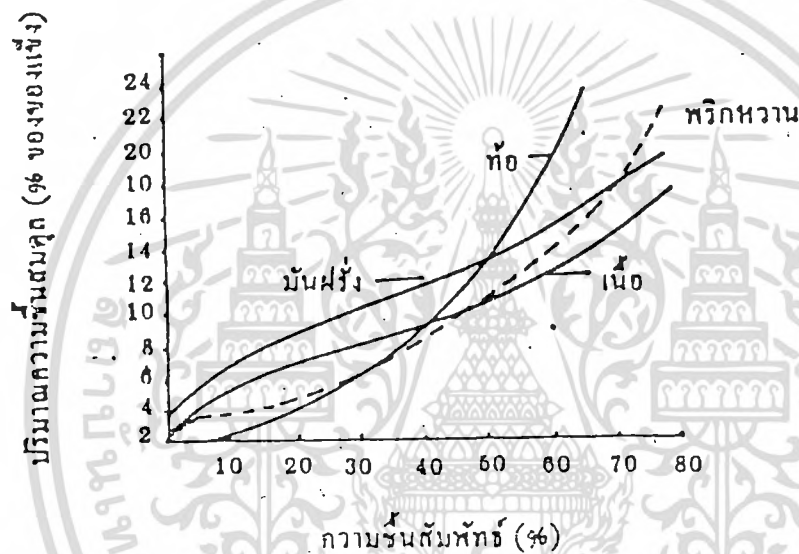
สำหรับอาหารอบแห้ง Salwin (1963) ได้แสดงลักษณะไอโซเทอมที่ 22 องศาเซลเซียส ถึง 4 ลักษณะด้วยกัน ดังรูปที่ 21 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร กล่าวคือ อาหารประเภทแป้ง เช่น มันฝรั่ง ถั่ว ถั่ววอลด์ ถั่ว แป้ง และอาหารประเภทแป้งอื่น ๆ พบว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อาหารประเภทนี้จะมีความสามารถกักน้ำได้สูงและมีค่าความชื้นที่ที่โมโนเลเยอร์ประมาณ 6% ที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 15%

อาหารประเภทโปรตีน ได้แก่ เนื้อสัตว์ สัตว์ปีก ปลา ไข่ และเนยแข็ง อาหารประเภทนี้จะมีความสามารถกักน้ำต่ำ และคุณสมบัติของซอร์พชันไอโซเทอรัม จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ดังจะเห็นได้ว่า ถ้าอุณหภูมิเพิ่มจากประมาณ 4.5 องศาเซลเซียส เป็น 38 องศาเซลเซียส เส้นโค้งของไอโซเทอมจะมีเส้นโค้งรูปตัวเอส ลดลง ค่าของที่โมโนเลเยอร์ที่ 22 องศาเซลเซียส ที่ค่า 3.5% (ปราศจากไขมัน) ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 8% ค่าที่โมโนเลเยอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

สำหรับอาหารประเภทที่มีปริมาณน้ำตาลสูง และประเภทที่มีส่วนประกอบของสารที่มีน้ำให้กัมโมเลกุลมาก เช่น ฟริกหวาน ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลร้อยละ 30 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 40 และโปรตีนร้อยละ 12 การเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิจะเกิดขึ้นมากกว่าอาหารประเภทโปรตีน ที่อุณหภูมิสูง ลักษณะของเส้นโค้งจะโค้งออกข้างนอกไปยังแกนความชื้นโดยกเว้นที่ความชื้นไอต่ำ ๆ ทั้งนี้เกิดจากผลของสารละลายน้ำตาล อาหารประเภทนี้ตั้งรวมถึงแครอท มันเทศ กะหล่ำปลี หัวหอม และนม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอาหารประเภทที่ 4 ได้แก่ ประเภทที่มีน้ำตาลสูง ๆ เช่น ลูกท้อ ซึ่งมีน้ำตาลถึงร้อยละ 67 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 25 และโปรตีนร้อยละ 4 ลักษณะของไอโซเทอมจะพบว่าที่ 22 องศาเซลเซียส เส้นโค้งจะโค้งออกข้างนอกไปยังแกนความดันไอ อาหารประเภทนี้จะเสื่อมเสียได้ง่าย แม้ที่ความชื้นต่ำ ฉะนั้นจะต้องทำแห้งอย่างสมบูรณ์จึงจะมีความคงตัว



รูปที่ 21 ซอร์ปชั่นไอโซเทอมเฉพาะของอาหารอบแห้ง

ที่มา : Salwin (1983)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดหรือพหิวนไอโซโทม

นอกจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงของความสัมพันธ์ค่าความชื้นและค่า A_w ความเข้มข้นของสารประกอบในอาหาร แล้ว ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ ซึ่งได้แก่

1. ปรากฏการณ์ฮิสเทอริซิส
2. อุณหภูมิ

ฮิสเทอริซิส (Hysteresis)

ฮิสเทอริซิส คือ ปรากฏการณ์ที่อาหารจะมีความชื้นสัมพัทธ์เท่าใดขึ้นอยู่กับระดับความชื้นเริ่มต้นของอาหารและความชื้นสัมพัทธ์ของอาหารนั้น ๆ หรือ เป็นความสัมพันธ์ของการคายน้ำและการดูดน้ำ โดยเคอร์ฟทั้งสองเกิดจากตัวอย่างเดียวกันแต่ไม่เป็นเส้นเดียวกัน เนื่องจากปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีค่าไม่เท่ากัน

สามารถอธิบายได้ว่า แนวเส้นการเปลี่ยนแปลงของความชื้นบนกราฟไม่อยู่บนแนวเดียวกันเนื่องจาก

1. ความสามารถในการคายน้ำของอนุภาคลดลง
2. ความแตกต่างของความดันไอ เมื่อดูดซับน้ำกับเมื่อไล่น้ำออกต่างกัน หรือ

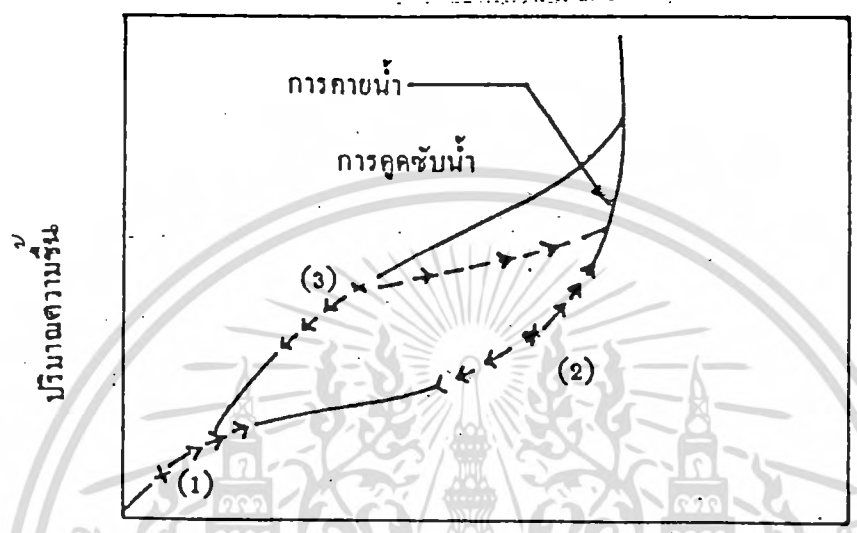
ฮิสเทอริซิส (hysteresis) เส้นโค้งไอโซโทมของความชื้นอาจจะเกิดจากกระบวนการดูดซับ คือ เริ่มจากระบบของแห้งที่มีค่า $a_w = 0$ หรืออาจเกิดจากกระบวนการคาย (desorption process) คือเริ่มจากระบบของเปียกที่มีค่า $a_w = 1.10$ ดังรูปที่ 22 ซึ่งจะพบว่าที่ค่า a_w เท่ากันในเส้นกราฟของการคายจะมีปริมาณความชื้นมากกว่าในเส้นกราฟการดูดซับ ไม่ว่าจะอยู่เหนือจุดวิกฤตหรืออยู่ต่ำกว่าจุดวิกฤต

ฮิสเทอริซิส มีประโยชน์เมื่อต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง แต่มีค่า a_w ต่ำ การทำเช่นนี้พบว่า การเสื่อมเสียอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นทิศทางของไอโซโทม สำหรับอาหารที่มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงความชื้นได้นี้จะมียุทธศาสตร์อย่างไร เมื่อความ

ชื้นของอาหารไม่ได้เริ่มต้นที่ศูนย์ ในกรณีของอาหารที่มีค่า a_w เริ่มต้นอยู่ที่หรือต่ำกว่าชื้นโมโนเลเยอร์ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(จุดที่ 1 ในรูป 22) อาหารจะคูดซึบน้ำเข้าไปเกิดเป็นแบบไอโซเทอมของการคูดซึบ แต่ถ้าอาหารมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ใดที่หนึ่งระหว่างชั้นโมโนเลเยอร์กับจุดใกล้ขีดด้านล่าง การคูดซึบหรือการคายจะขึ้นกับวิธีการเตรียมอาหารนั้น เช่น ถ้าเริ่มต้นอบอาหารจนมีความชื้นต่ำกว่าจุดใกล้ขีดด้านล่างแล้วเติมน้ำเข้าไปจนถึงค่าเริ่มต้น (จุดที่ 2) การเพิ่มหรือลดความชื้นต่อไปจะอยู่ในเส้นกราฟไอโซเทอมของการคูดซึบ อย่างไรก็ตาม ถ้าผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการอบแห้งจนถึงสถานะเปียก (จุดที่ 3) และถ้าทำแห้งต่อไปเส้นโค้งการคายน้ำจะเกิดขึ้น แต่ถ้ามีการให้ความชื้นแก่ผลิตภัณฑ์อีก ผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนไปเป็นไอโซเทอมของการคูดซึบ ดังรูปที่ 22 ฉะนั้นรูปดังกล่าวจึงแสดงไอโซเทอมที่แท้จริงของอาหารอบแห้งเกือบทุกชนิด บางครั้งอาจเกิดการเสียหรือเพิ่มของความชื้นได้

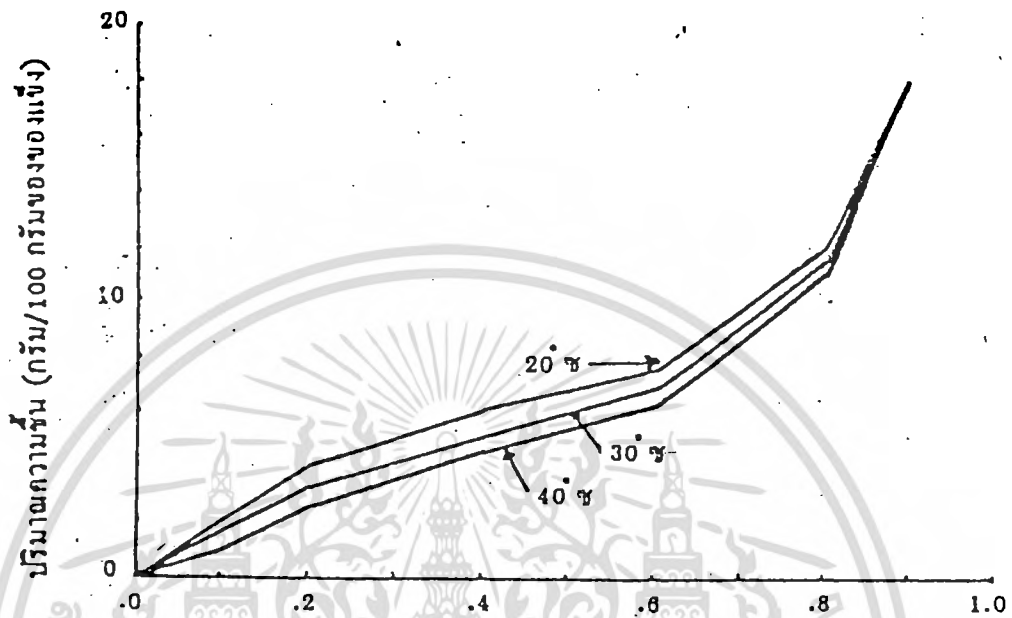
ลักษณะและรูปร่างของอีสเทอริซิสจะแตกต่างกันระหว่างอาหารด้วยกัน Wolf และคณะ (1972) ได้แสดงกราฟอีสเทอริซิสของอาหารหลายชนิด เช่น แอปเปิล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเพกตินและน้ำตาลสูง อีสเทอริซิสจะเกิดเฉพาะในชั้นโมโนเลเยอร์และจะไม่เกิดที่ $a_w > 0.65$ เนื้อหมูซึ่งเป็นอาหารโปรตีนสูง อีสเทอริซิสจะเริ่มที่ค่า $a_w = 0.35$ และเข้าใจว่าเกิดจากการกลั่นตัวอะปิลลารี แต่จะเกิดสูงสุดที่ชั้นโมโนเลเยอร์ของค่า $a_w = 0.15$ อาหารจำพวกแป้ง จะแสดงผลของอีสเทอริซิสมากที่สุดที่ทุกระดับค่า a_w ที่ต่ำกว่า 0.85 และสูงสุดที่ 0.65 แต่จากการทดลองหาซอร์พชันไอโซเทอมของอาหารประเภทถั่ว ศึกษพบว่าเกิดการเกิดอีสเทอริซิสน้อยมากหรือไม่เกิดอีสเทอริซิสเลย (Pixton and Warburton, 1971) เนื่องจากค่าความชื้นเริ่มต้นต่ำ



รูปที่ 22 แสดงลักษณะการเกิดสีกาเอลเรทิส
ที่มา : Labuza (1984)

ผลของอุณหภูมิ เมื่อจะพูดถึงอัตราพีชไอโอสเทอมของความชื้นจะต้องบ่งบอกถึงค่าอุณหภูมิ
ที่คงที่ ทั้งนี้เพราะว่า อาหารที่ลู่ในไอโอสเทอมแบบที่ II จะจับตัวกับน้ำได้โดยที่อุณหภูมิสูงขึ้น ผลของ
อุณหภูมิที่มีต่อปริมาณความชื้นนั้น สามารถอธิบายได้จากสมการของ Clausius Clayperon
โดยทั่วไปผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเพิ่มค่า a_w ที่ปริมาณความชื้นคงที่ จะมีผลมากที่สุดที่ค่า a_w
เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ปริมาณความชื้นคงที่ ในรูปที่ 23 แสดงถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราพีช
ไอโอสเทอรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 23 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อซอร์พชั่นไอโซเทอม
ที่มา : Labuza (1984)

การใช้ซอร์พชั่นไอโซเทอมของความชื้น ซอร์พชั่นไอโซเทอม นับเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์มากในการทำนาศศึกษาการเปลี่ยนแปลงความคงตัวของอาหาร นอกจากนี้ยังใช้สำหรับการเลือกชนิดของภาชนะบรรจุและการเลือกชนิดของส่วนผสมได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การศึกษาอายุการเก็บของอาหารโดยการเร่งสภาวะ

(Accelerated Shelf-Life Testing^o of Food , ASLT)

ได้มีการให้คำนิยามของอายุการเก็บรักษาของอาหารว่า คือ ช่วงเวลาตั้งแต่หลังการผลิตไปจนถึงระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์อาหารนั้นถูกจำหน่ายไปสู่มือผู้บริโภค (IFT, 1974) ซึ่งในช่วงระยะเวลาอันนี้ ผลิตภัณฑ์อาหารจะถูกพิจารณาว่าปลอดภัยและยังคงเป็นที่ดึงดูดใจของผู้บริโภค ASLT ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในปัจจุบัน และได้กลายเป็นส่วนหนึ่งของแผนพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งการศึกษาวิธีนี้จะเป็นการหลีกเลี่ยงระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์อาหารเสื่อมเสียจริง เนื่องจากระยะเวลาอันยาวนานเกินไป ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและเวลาอย่างมาก จึงได้หันมาใช้วิธี ASLT ซึ่งการทดลองอันนี้ นิยมทำการทดลองในสภาวะเร่งเพื่อให้ปฏิกิริยาที่จะทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียเร็วขึ้น ดังจะเห็นได้จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์หลายท่านที่ได้ทำการศึกษาเพื่อทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ในปี 1968 Dyer ได้ใช้ข้อมูลเป็นปัจจัยในการทำนายอายุการเก็บของปลา และ Jul (1968) ทำการศึกษาในเนื้อสัตว์ Kramer (1974) และ Olson (1968) ในอาหารแช่แข็ง ตามลำดับ ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะเป็นที่นิยมใช้กันแต่กว่าผลที่ได้ออกมาจะมีประสิทธิภาพของอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์จริง เพียงแต่เป็นแนวทางที่จะบอกอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารในสภาวะปกติเท่านั้น ซึ่งการที่จะใช้การทดลองแบบ ASLT ให้ได้ผลมากที่สุดนั้น จะต้องทราบถึงรูปแบบของการเสื่อมเสียของอาหาร ซึ่งอาจเป็นปัจจัยทางคุณภาพของอาหาร เช่น การสูญเสียคุณค่าทางอาหาร การเปลี่ยนแปลงทางโมเลกุล - เคมีที่ไม่พึงปรารถนาหรือแม้กระทั่งการเจริญเติบโตทางจุลินทรีย์ในอาหาร

ข้อมูลที่ได้จากวิธี ASLT นั้น มาจากการประเมินค่าทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) หรือโดยการวัด quality factor เช่น ค่าเปอร์ออกไซด์ และข้อมูลที่ได้ส่วนมากมักจะแสดงอยู่ในรูปของกราฟทาง kinetic ซึ่งจะถูกนำมาพลอต เพื่อที่จะหาอัตราของปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย ณ สภาวะหนึ่งๆ ดังนั้นถ้าทราบค่าคงที่ของปฏิกิริยาที่สภาวะหนึ่งๆก็สามารถทำนายการเกิดปฏิกิริยา ณ ที่เวลาใดๆได้

โดยทั่วไปพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเร่งอัตราการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ อุณหภูมิ ออกซิเจน ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (Equilibrium relative Humidity , ERH) Water activity และความเข้มข้นของสารตั้งต้น นอกจากนั้น การใช้ Isotherm accelerated stability test ก็เป็นอีกวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน (Saguy & Karel, 1980) แต่โดยทั่วไปพารามิเตอร์ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ การใช้ข้อมูลอุณหภูมิสูงในการเร่งปฏิกิริยา เพราะว่าเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด

นอกจากนี้ ยังได้มีการใช้พารามิเตอร์มากกว่าหนึ่งอย่างในการศึกษาอายุการเก็บ ซึ่งจากการทดลองของ Mizrahi et.al., (1970) ได้ใช้ข้อมูลอุณหภูมิสูงร่วมกับการไมวากรณีโตกราฟทั้งสน อีกทั้งยังมีเทคนิคแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้

ใช้ความชันสูงเป็นพารามิเตอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (brownig reaction) ของกะหล่ำปลี

ในการตีความหมายของข้อมูลที่ได้จากการทดลองแบบ ASLT โดยอาศัยอุณหภูมิเป็นตัวเร่ง จะสามารถอธิบายได้โดยอาศัย Arrhenius model (Ragnarsson and Labuza ,1977 ; Saguy and Karel ,1980 ; Labuza ,1984 ; Labuza and Schmidl ,1985) โดยที่ ผลของอุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์กับค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสีย ดังสมการ

$$k = k_0 e^{-E_a/RT}$$

$$\text{หรือ } \ln k = \ln k_0 - E_a/RT$$

โดย k_0 = pre-exponential factor

R = ค่าคงที่ของกาซ

T = อุณหภูมิ (°K)

E_a = extra energy (activation energy)

ที่มา : Labuza & Riboh (1982)

ซึ่งจากสมการของอาร์เรเนียส เมื่อทำการพลอตค่า $\ln k$ กับ ส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยองศาเคลวิน ($1/T$) กราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรง ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยจากกราฟ ความชันที่ได้จะแสดงถึง E_a/R ซึ่งจะแสดงความไวของปฏิกิริยาต่ออุณหภูมิ

ดังนั้นจากความสัมพันธ์ของสมการอาร์เรเนียส จะทำให้สามารถทราบค่าคงที่ K ของปฏิกิริยา แต่การที่จะทราบค่าคงที่ K นั้น จะต้องอาศัยอุณหภูมิที่ต่างกันอย่างน้อย 3 อุณหภูมิ เพื่อให้ได้กราฟเส้นตรงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln K$ กับ $1/T$ ซึ่งทำให้สามารถใช้ในการอ่านค่า K ที่จะทำนายอัตราของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิอื่นที่ต่ำกว่าได้ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จาก ASLT จึงสามารถที่จะทำนายอายุการเก็บของอาหารที่อุณหภูมิต่างๆได้ แต่อย่างไรก็ตามการนำข้อมูลไปใช้ควรที่จะพิจารณาอย่างละเอียดถี่ถ้วนก่อนที่จะนำไปใช้ เพื่อป้องกันไม่ให้ข้อมูลที่เรากำลังการทราบอายุการเก็บนั้นเกินช่วงของอุณหภูมิที่ทำการทดลอง

ในการศึกษาอายุการเก็บของมะม่วงหิมพานต์สดในถุงพลาสติกลามิเนตกับถุงเมทัลไลซ์ จะทำการทดลองในสภาวะเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมเสีย ซึ่งสภาวะนั้น ได้แก่ การใช้อุณหภูมิสูง นอกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ จากนั้น นามนทใช้ทอคมะม่วงหิมพานต์เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติหรือเกิดกลิ่นเหม็นในไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ได้ โดยจะพิจารณาการเสื่อมเสียที่เกิดจากเหตุนี้ว่าเป็น limiting factor ของระยะเวลาการเก็บอาหารและการยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งได้มีการทำการศึกษาในถั่วลิสงทอดแล้ว (Mcwatters, 1971; Read, 1988) และในการทดลองนี้การเหม็นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะถูกพิจารณาว่าเป็นสิ่งที่บ่งชี้ข้อจำกัดของการเก็บมะม่วงหิมพานต์ทอดโดยใช้อุณหภูมิสูง เพื่อเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนแรกของเทคนิค ASLT เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากเพราะถ้าเลือกปัจจัยต่างๆผิดค่าที่ได้ก็จะผิดพลาดไปด้วย โดยปัจจัยในที่นี้หมายถึง อุณหภูมิที่จะใช้เร่งการเกิดปฏิกิริยา เวลาที่ใช้เก็บ ตลอดจนวิธีที่ใช้วิเคราะห์หาค่าการเสื่อมเสียในผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถทำการเลือกปัจจัยเหล่านี้ได้โดยอาศัยงานทดลองของนักวิทยาศาสตร์ที่ทำการศึกษหาอายุการเก็บด้วยวิธี ASLT ในอาหารประเภทที่ใกล้เคียงกับมะม่วงหิมพานต์ทอด และหนังสือ Shelf Life Dating of Food ของ Labuza (1982a) เป็นเอกสารอ้างอิง (Labuza & Schmidl, 1985) ดังนั้นการเลือกปัจจัยที่ถูกต้อง ก่อนอื่นควรจะทราบว่าในผลิตภัณฑ์ประกอบไปด้วยอะไร เช่น ในมะม่วงหิมพานต์ทอดนั้นจะประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเมื่อทราบดังนั้นก็จึงทำให้สามารถบอกได้ว่าปฏิกิริยาการเสื่อมเสียจะเป็นไปตามอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จากนั้นจึงทำการกำหนดสภาวะในการเก็บรักษา ความถี่ของการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์และวิธีที่จะใช้ในการประเมินค่าความเสื่อมเสียในผลิตภัณฑ์ ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้การประเมินค่าทางประสาทสัมผัส เป็น subjective evaluation โดยการให้ผู้ทดสอบ (taste panel) เนื่องจากว่าผู้ทดสอบสามารถที่จะระบุการเกิดกลิ่นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ได้ และการใช้ผู้ทดสอบสามารถที่จะเป็นตัวแทนของผู้บริโภคอย่างแท้จริง (Lea, 1962; Buckholz et al., 1980; Rossel, 1983) นอกจากนี้ ยังได้มีการใช้การวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาปริมาณการเหม็นหืนในอาหารที่มีน้ำมันอยู่ในปริมาณสูง ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีที่นิยมใช้กัน คือ การหาค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) โดยใช้ในการบ่งชี้ปริมาณสารที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Quast and Karel, 1971; Mcwatters, 1971; St. Angelo, 1977) ถึงแม้ว่า ไม่สามารถหาค่าที่บ่งชี้ถึงการเกิดกลิ่นหืนในอาหารได้โดยตรง แต่จากความรู้ที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาของการเกิดสารเปอร์ออกไซด์ในช่วงของการเก็บรักษา ทำให้สามารถใช้เป็นสัญญาณเตือนถึงการเกิดกลิ่นหืนล่วงหน้าได้ เนื่องจากว่าสารเปอร์ออกไซด์จะเป็นสารที่เกิดก่อนสารที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนในอาหาร (Read, 1988; Robard et al., 1988)

จากการทดลองของ Quast and Karel (1971), Hitchcock and Hammond (1980) และ Read (1988) พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์ในระหว่างการเก็บอาหารที่มีไขมันสูงนั้นจะมีความสัมพันธ์อย่างสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองทางประสาทสัมผัส ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ในปัจจุบันเอกสารนี้มีความสำคัญต่อปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียเมื่อนำข้อมูลนี้ไปสร้างกราฟจะได้กราฟไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นตรง โดยแสดงถึงผลของ PV ที่มีผลต่อคะแนนของผู้ทดสอบ ณ สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ
หนึ่งๆ และความสัมพันธ์นี้สามารถที่จะบอกถึงปริมาณการเสื่อมเสียที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน
ซึ่งจากค่าคงที่ K ที่ได้ ทำให้สามารถคำนวณอายุการเก็บของมะม่วงหิมพานต์ที่เก็บใน 4 อุณหภูมิ
และสามารถใช้ทำนายอายุการเก็บของมะม่วงหิมพานต์ที่อุณหภูมิอื่นๆ ในภาชนะบรรจุชนิดเดียวกัน
กับที่ทำการทดลองได้ (Hiteckcock and Hammond ,1980 ; Labuza ,1982 ; Labuza
and Schidl ,1985)

10. การทำนายอายุการเก็บ

ก. ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีวิเคราะห์ทางเคมีกับการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส

ถึงแม้ว่าวิธีการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส จะเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการบอกปริมาณการเสื่อม
เสีย (กลิ่นเหม็น) ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในผู้บริโภค แต่กระนั้นก็มีความยุ่งยากในการที่จะ
อธิบายผลที่ได้จากข้อมูล ดังนั้นจึงได้มีการใช้วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี เช่น (ค่า PV) แทน
ซึ่งสามารถที่จะตีความหมายได้ง่ายและมีความถูกต้องอยู่มาก ซึ่งในการทำนายอายุการเก็บของ
มะม่วงหิมพานต์ทอดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ จะต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วิเคราะห์
ทางเคมี (PV) กับคะแนนการยอมรับของผู้ทดสอบ โดยตั้งอยู่บนข้อสันนิษฐาน 2 ข้อที่ว่า เวลาที่
ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียนั้นเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ และการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์จะใช้วิธีการ
วิเคราะห์เชิงถดถอย (regression analysis) จากนั้นนำความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้
ในการเก็บตัวอย่างกับค่าเปอร์ออกไซด์มาใช้ในการคำนวณ ส่วนข้อสันนิษฐานอีกข้อคือ การใช้
ระดับของการเสื่อมเสียในตัวอย่างที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบเป็นฟังก์ชันของเวลา กับ อุณหภูมิ
ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลจากข้อสันนิษฐานนี้จะใช้การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น (Standard
linear regression analysis) โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างค่า PV กับข้อมูลทางประสาท
สัมผัสมาสร้างกราฟความสัมพันธ์

ข. การคำนวณหาค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

Labuza (1982) และ Saguy (1980) ได้รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของ
อาหารมักจะเป็นไปตามความสัมพันธ์ของสมการคณิตศาสตร์ลำดับที่ศูนย์หรือลำดับที่หนึ่ง แต่บางที
จะพบปฏิกิริยาลำดับที่สอง เช่น การสูญเสียวิตามินในนม แต่ส่วนมากจะเป็นลำดับที่ 0 หรือ 1
ซึ่งสมการทางคณิตศาสตร์จะเป็น ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการคณิตศาสตร์ปฏิกิริยาลำดับที่ 0 คือ

$$C = C_0 + K_0 t$$

สมการคณิตศาสตร์ปฏิกิริยาลำดับที่ 1 คือ

$$\ln C = \ln C_0 + K_1 t$$

โดย C_0 = ความเข้มข้นของปัจจัยคุณภาณั้นที่เวลาเริ่มต้น

C = ความเข้มข้นของปัจจัยคุณภาณั้นที่เวลาใดๆ

t = เวลา (วัน)

K_0 = ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาลำดับที่ศูนย์ (ความเข้มข้น/เวลา)

K_1 = ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาลำดับที่ 1 (1/เวลา)

ที่มา : Labuza (1984)

ในการเลือกว่าเป็นปฏิกิริยาลำดับใดนั้นจะสำคัญมาก เพราะถ้าเลือกลำดับของปฏิกิริยาผิดจะมีผลทำให้ได้ค่า K ผิดพลาด (Labuza, 1979 ; Hilland Grieger-block, 1980) แต่อย่างไรก็ตาม Labuza (1979) ได้กล่าวว่า ถ้าการสูญเสียคุณภาณั้นมีมากกว่า 50 % จะทำให้ความแตกต่างระหว่างปฏิกิริยาลำดับที่ 0 กับ 1 มีค่าน้อยมาก คือ ค่า K จะมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5 % และการจะพิจารณาว่าควรเลือกลำดับปฏิกิริยาแบบใด จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงความสัมพันธ์ของค่าทั้ง 2 หรือ r^2 (linear regression value) โดยจะพลอตกราฟระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับเวลา สำหรับปฏิกิริยาลำดับ 0 ส่วนลำดับที่ 1 จะพลอตกราฟระหว่างค่าลอการิทึมของค่าเปอร์ออกไซด์ ($\ln PV$) กับเวลา ซึ่งจากการพลอตกราฟจะได้กราฟเส้นตรง จากนั้นจึงนำค่า r^2 มาเปรียบเทียบกัน

Arrhenius Equation สามารถที่จะใช้ในการอธิบายผลของอุณหภูมิกับค่าคงที่ได้โดย

$$K = K_0 e^{-E_a/RT}$$

$$\text{หรือ } \ln K = \ln K_0 - E_a/RT$$

และเมื่อทำการพลอตระหว่าง $\ln K$ กับ ส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยของศาเคลวิน จะได้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ใช้อุณหภูมิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กราฟเส้นตรง ซึ่งสามารถหาค่า E_a ได้จากความชัน ไม่ว่าจะกรณีใดทุกทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. การคำนวณอายุการเก็บ

ในการหาอายุการเก็บของมะม่วงหิมพานต์ทอดที่อุณหภูมิต่างๆ จะหาได้จากกราฟทราบค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งสามารถหาค่าคงที่นี้จากการพลอตระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ที่เวลาที่เกิดกลิ่นรสที่ไม่ยอมรับ โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าอายุการเก็บ คือ

$$K = C/\theta_{\infty}$$

เมื่อ C = ค่าเปอร์เซ็นต์ที่ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ยอมรับ

θ_{∞} = อายุการเก็บ (วัน)

K = ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิหนึ่งๆที่ใช้ในการทดลอง

ที่มา : Tannafranca (1990)

จากนี้ถ้าการพลอตกราฟระหว่าง $\ln \theta_{\infty}$ กับส่วนกลับของอุณหภูมิ ($1/T$) ในหน่วยของศาเคลวิน โดยมีข้อแม้ว่าจะต้องเก็บในสภาวะเดียวกับการทดลอง ซึ่งก็จะได้กราฟเส้นตรงออกมา และจากการทำการวิเคราะห์เชิงถดถอย ทำให้ได้สมการทั่วไปที่ใช้ในการคาดคะเนอายุการเก็บของอาหารที่อุณหภูมิใดๆ หรือสามารถหาอายุการเก็บได้จาก Accelerate factor (Q_{10}) จากสมการ

$$Q_{10} = \frac{\text{อัตราของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ } (T+10)}{\text{อัตราของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ } T}$$

$$\text{หรือ } Q_{10} = \frac{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T}{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } (T+10)} = \frac{\theta_{\infty}(T)}{\theta_{\infty}(T+10)}$$

แต่ในการใช้ที่อุณหภูมิต่างกันไม่ถึง 10°K จะใช้

$$Q_{10}^{\Delta/10} = \frac{\theta_{\infty}(T_1)}{\theta_{\infty}(T_2)}$$

โดย T = อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{K}$)

Δ = อุณหภูมิที่แตกต่างกันไม่เกิน 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ที่มา : Labuza & Schmidl (1985)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่าง

มะม่วงหิมพานต์ที่นำมาศึกษานี้ ได้ผ่านการแปรรูปโดยการทอดด้วยน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิ 130 °C ในเครื่อง deep fryer ใช้เวลาประมาณ 4 นาที ซึ่งกรรมวิธีการทอดได้แสดงดังภาพในภาคผนวก และทำการทิ้งให้เย็น ใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบรรจุในถุงพลาสติก 2 ชนิด คือ ถุงเมทัลไลซ์ และ ถุงอะลูมิเนียมฟอล์ยอลามิเนต ที่มีขนาด 12*13 cm² ถุงละ 50 กรัม จากนั้นจึงทำการปิดผนึกปากถุง วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomize Design เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน คือ 7+3 °C 22+3 °C 32+3 °C และ 42+3 °C เก็บเพื่อทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ ทำการทดลองทั้งหมด 2 ขั้ว

2. การวิเคราะห์ทางเคมี

(1) การหาค่าเปอร์ออกไซด์

ก. การบดตัวอย่าง

ซึ่งตัวอย่าง 7-8+0.0001 กรัม บดให้ละเอียดด้วย Blender mill ใช้เวลาบดประมาณ 10 วินาที ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ปิดด้วยสำลีและฟอล์ยไม่ให้อากาศเข้า

ข. การสกัดไขมัน (fat extraction)

เทสารละลายผสมคลอโรฟอร์ม และ เมทานอล อัตราส่วน 1:1 (v/v) AR grade 60 ml ลงในตัวอย่าง 7-8 กรัม จากนั้นเปิดจุก flask เพื่อไม่ให้สารละลายผสมระเหยออกนำไปเขย่าบน Rotary shaker นาน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองกากออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 โดยใช้สุญญากาศ นำ solvent extract ที่ได้ บรรจุใน evaporating flask เพื่อทำการระเหยใน rotary evaporator (BUSHI ROTAVAPOR R110) ที่ความดัน 650 มิลลิเมตรปรอท นาน 30 นาที ที่อุณหภูมิ 40 °C ซึ่งน้ำหนักน้ำมันที่สกัดได้ ใส่ใน erlenmeyer flask

ค. การหาค่าเปอร์ออกไซด์

วิธีการที่ใช้ประยุกต์จาก วิธีการของ Tannafranca (1990) และ AOAC (1974)

อุปกรณ์

1. Erlenmeyer flask 250 ml
2. Burette 50 ml
3. pipette 1 ml
4. จุกยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมี

1. สารละลายผสมระหว่าง glacial acetic และ chloroform ในอัตราส่วน 3:2 (v/v)

2. สารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว เตรียมโดยใส่น้ำกลั่นต้มใหม่ ทั้งไว้ให้เย็นในภาชนะปิดสนิท เติม KI ลงไป จนกระทั่งเกิดผลึกที่ไม่ละลาย เก็บไว้ในที่มืดและไม่สัมผัสอากาศ ทดสอบก่อนใช้ทุกวัน โดยการหยดสารละลายน้ำแข็ง ลงใน 0.5 ml ของสารละลาย KI อิ่มตัว และมีสารละลายผสม acetic acid-chloroform 30 ml ถ้ามีสีน้ำเงินเกิดขึ้น และใช้สารละลายโพแตสเซียมไอโอซัลเฟต 0.2 N เกิน 1 หยด แสดงว่าจะต้องเตรียมสารใหม่

3. สารละลายโพแตสเซียมไอโอซัลเฟต 0.01 N ซึ่งเตรียมจากสารละลายมาตรฐานโพแตสเซียมไอโอซัลเฟต 0.1 N

4. สารละลายน้ำแข็ง 1.0 % เป็นอินดิเคเตอร์ โดยละลายน้ำแข็ง 1 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

5. โพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว

6. กรดซัลฟูริก 2 M ($2 \text{ M H}_2\text{SO}_4$)

วิธีทดลอง

1. การเก็บมาตรฐานสารละลายโพแตสเซียมไอโอซัลเฟต ด้วยโพแทสเซียมไอโอเดต

1.1 ซึ่ง KIO_3 ฆ่าประมาณ 0.15 กรัม ใส่น้ำกลั่นปริมาตร 250 ml ละลายด้วยน้ำกลั่น 50 ml

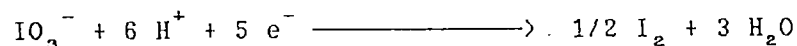
1.2 เติมสารละลาย KI อิ่มตัว 3 ml และ $2 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ 5 ml

1.3 ไตเตรตไอโอไดด์ที่เกิดขึ้นด้วยสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ทันที จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแข็งลงไป 2 ml ไตเตรตต่อไปจนสีน้ำเงินจางหายไป ซึ่งสามารถอธิบายโดยอาศัยปฏิกิริยา รีดอกซ์

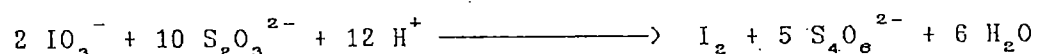
ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation half reaction)



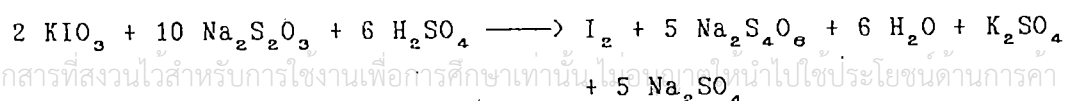
ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน (reduction half reaction)



ปฏิกิริยารีดอกซ์ คือ



หรือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

1.5 คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ จาก

จำนวนมิลลิกรัมสมมูลของ $\text{KIO}_3 = \text{จำนวนมิลลิกรัมสมมูลของ } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

$$\text{โดย } \text{จำนวนมิลลิกรัมสมมูลของ } \text{KIO}_3 = \frac{\text{น้ำหนัก } \text{KIO}_3 \text{ ที่ใช้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักกรัมสมมูล}}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักกรัมสมมูลของ } \text{KIO}_3 &= \frac{\text{น้ำหนักสูตรของ } \text{KIO}_3 \text{ (กรัม)}}{\text{จำนวนอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้อง}} \\ &= 214/5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนมิลลิกรัมสมมูลของ } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{น้ำหนักของ } \text{KIO}_3 \text{ ที่ใช้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักกรัมสมมูลของ } \text{KIO}_3} \\ &= 0.1572/42.8 \\ &= 3.67 * 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{จำนวนมิลลิกรัมสมมูลของ } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 * 1000}{\text{จำนวนมิลลิลิตรของ } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ ที่ใช้}} \\ &= \frac{3.67 * 10^{-3} * 1000}{44.3} \\ &= 0.0828 \end{aligned}$$

2. การหาค่าเปอร์ออกไซด์

2.1 นำน้ำมันที่สกัดได้ใส่ใน Erlenmeyer flask เติมสารละลายผสม acetic acid-chloroform 60 ml เขย่าให้เข้ากัน

2.2 เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมอต์ 0.5 ml เขย่าแรง 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที

2.3 เติมน้ำกลั่นต้ม 30 มิลลิลิตร

2.4 หยดน้ำแป้ง สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน นำไปไตเตรตจนไม่มีสีด้วย สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.1 N หรือ 0.01 N

2.5 ทำ titration blank โดยไม่ต้องเติมตัวอย่าง

$$PV = [(S-B) * N * 1000] / \text{น้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้}$$

โดย S = มิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้กับตัวอย่าง

B = มิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้กับ blank

N = Normality ของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสำนักงาน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) การหาค่าความชื้น (AOAC, 1990)

ซึ่งตัวอย่าง 1-2 + 0.0001 กรัม ใส่ใน aluminium can ออบในตู้อบใช้ลมหมุน 100-105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำมาทำให้เย็นใน dessicator ซึ่งด้วยเครื่องชั่งละเอียด บันทึกน้ำหนักก่อนการอบแห้ง

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ}} * 100$$

3. การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส

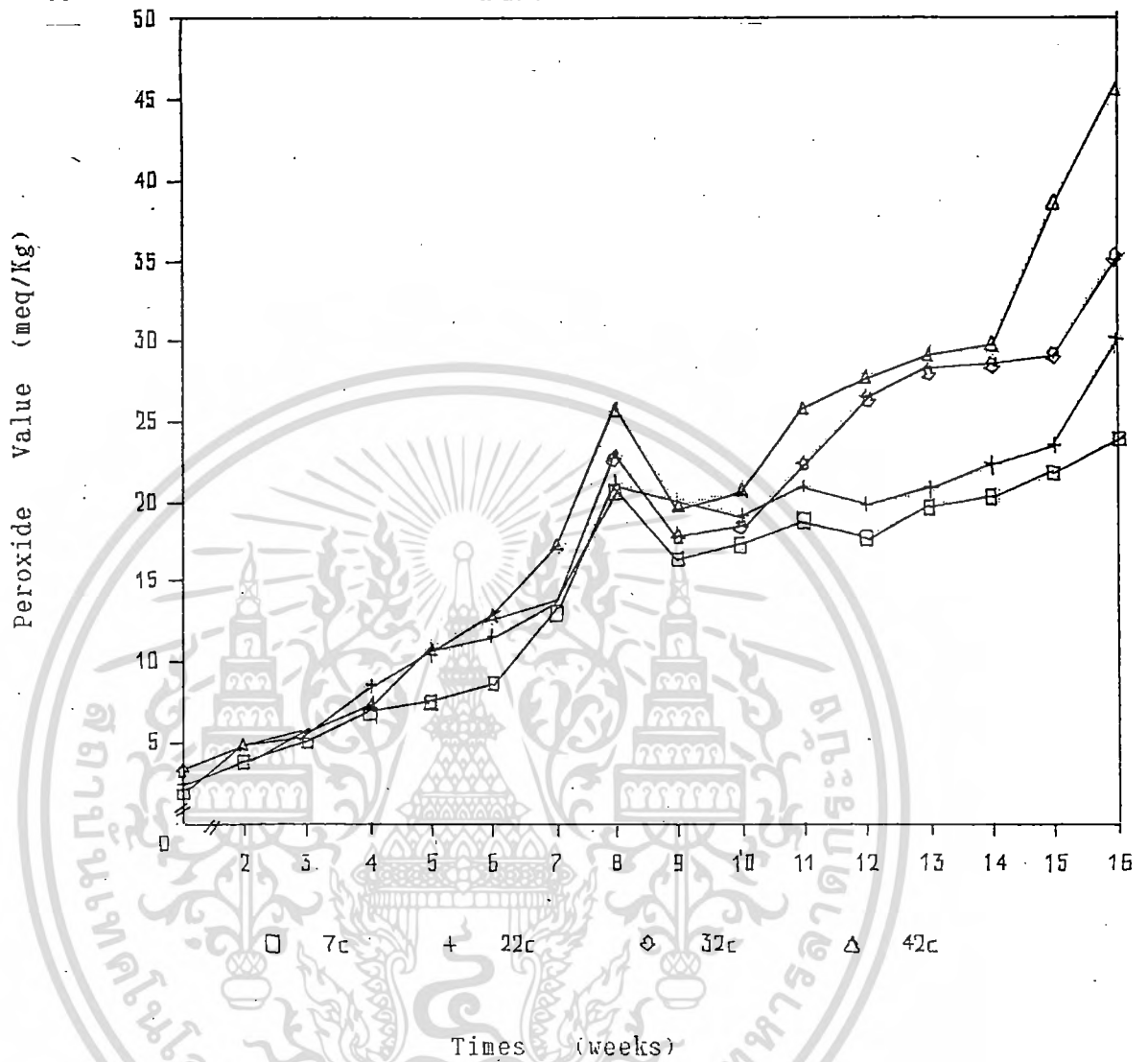
ตัวอย่างมะม่วงหิมพานต์ที่เก็บที่สภาวะต่างกันเป็นระยะเวลาต่างกัน จะถูกนำไปให้ผู้ทดสอบ (panelist) ซึ่งเป็นนักศึกษาภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร ชั้นปีที่ 4 โดยการทดสอบจะอาศัย 7-Point Hedonic scale ในการศึกษาถึงการเกิดกลิ่นเหม็น (off-flavor หรือ rancid flavor) และเนื้อสัมผัส (texture) ของมะม่วงหิมพานต์ทอด ดังแสดงในภาคผนวก ง.

ผลการทดลอง

ผลจากการนำตัวอย่างมะม่วงหิมพานต์ทอด ในอุณหภูมิเนื้อมลามีเนทและถุงเมทัลไลซ์ มาเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 7 °C 22 °C 32 °C และ 42 °C โดยทุกสัปดาห์ทำการสุ่มตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ ได้ผลของค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าปริมาณความชื้น ค่าการเกิดกลิ่นเหม็น และลักษณะเนื้อสัมผัส ดังแสดงในตารางที่ 9-17 ในภาคผนวกค. และจากข้อมูลดังกล่าวสามารถแสดงผลได้ดังรูปกราฟต่อไปนี้

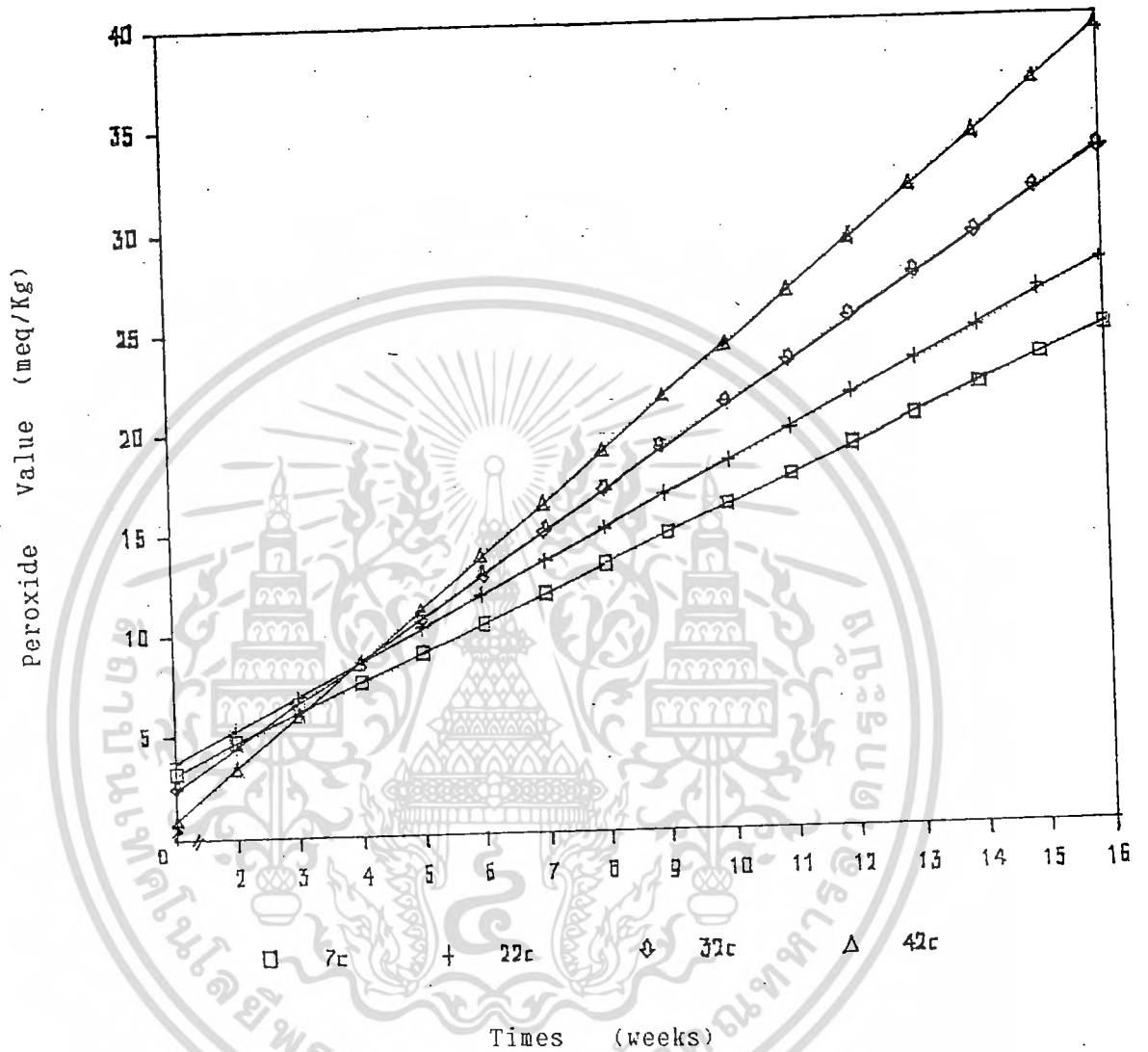


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



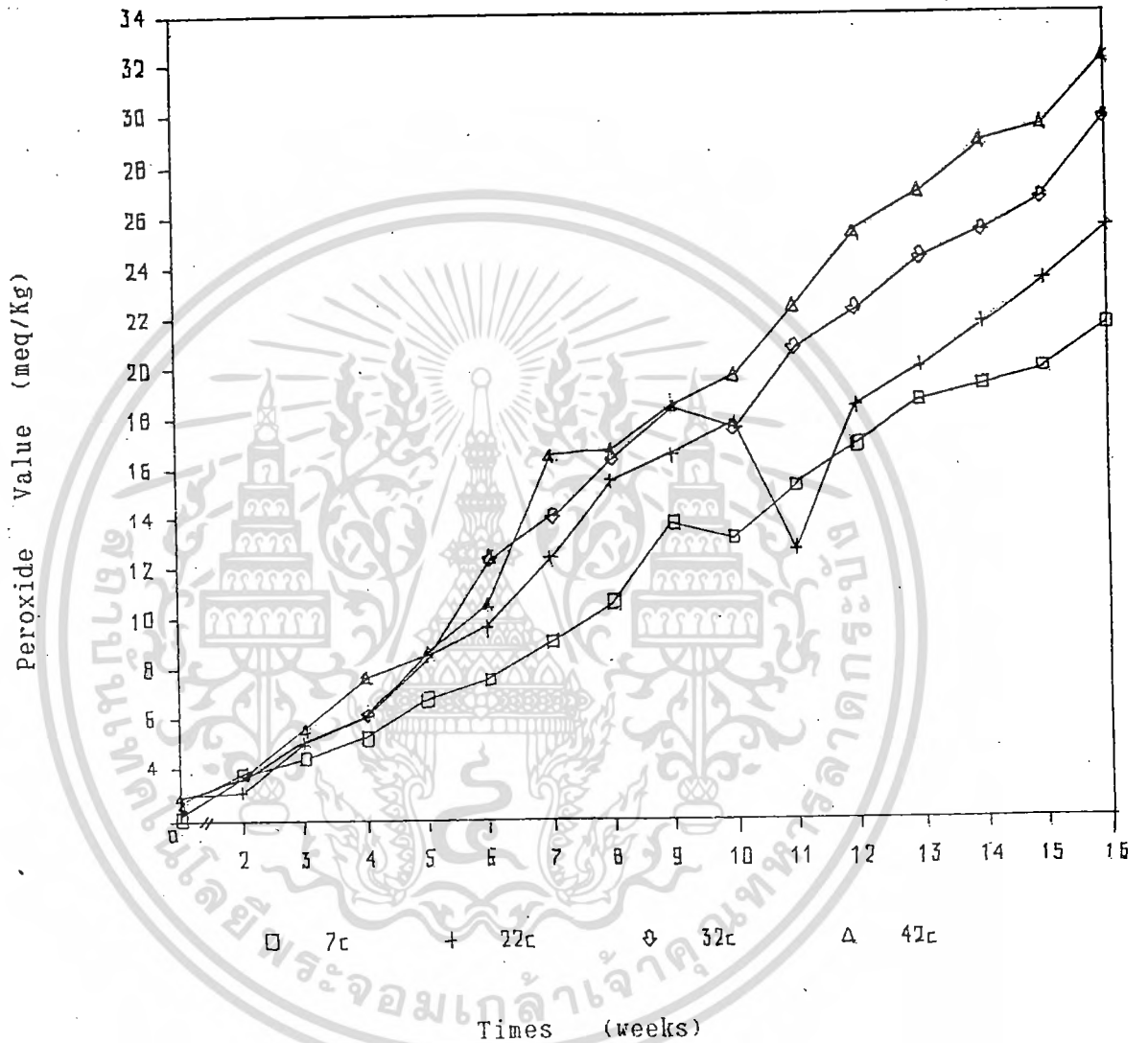
รูปที่ 24 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ในมะม่วงหิมพานต์ทอด บรรจุในถุงเมทัลไลซ์ เมื่อเก็บที่ อุณหภูมิ 7 °C , 22 °C , 32 °C และ 42 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



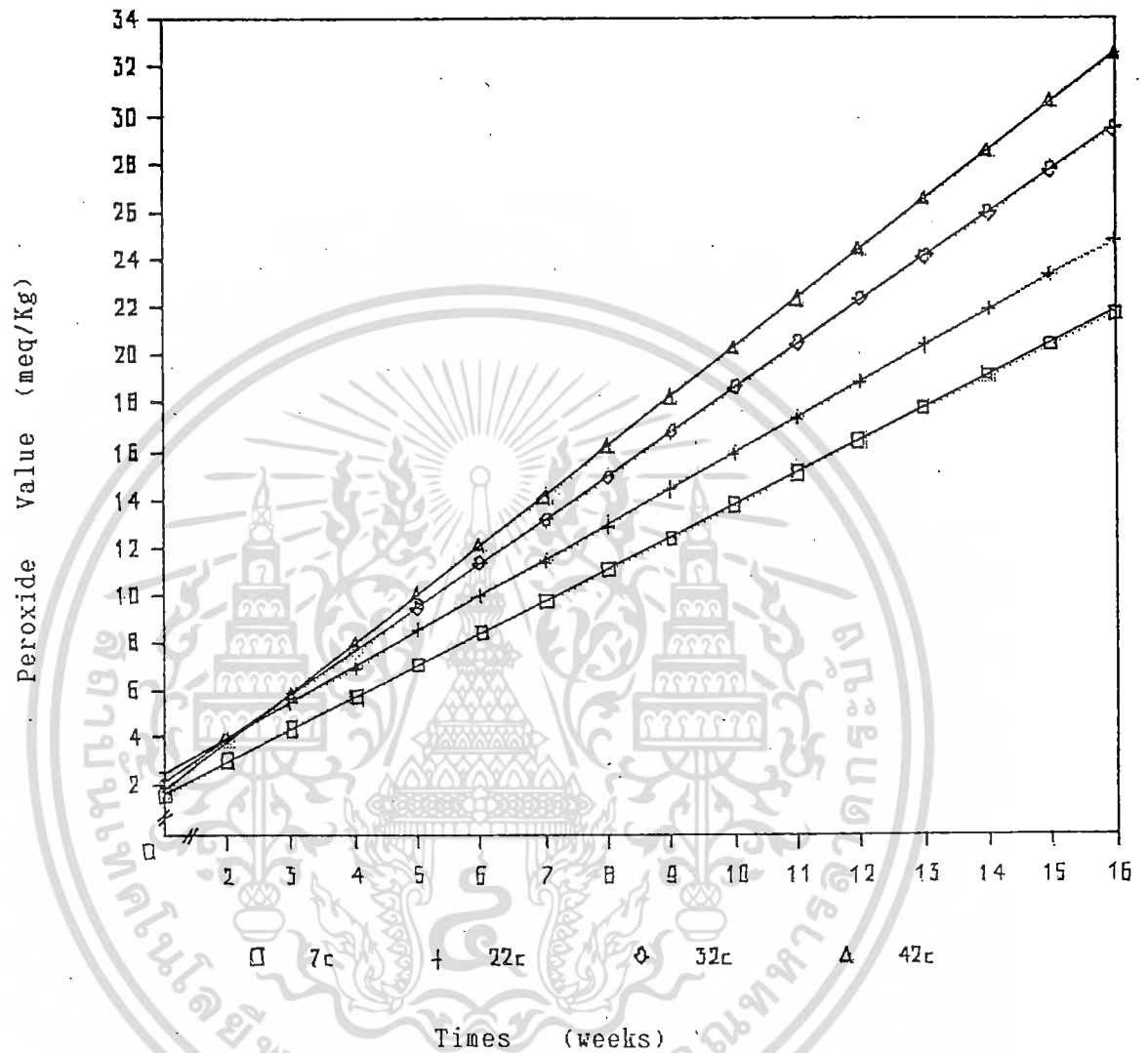
รูปที่ 25 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ในมะม่วงหิมพานต์ทอด บรรจุในถุงเมทัลไลซ์ เมื่อเก็บที่ อุณหภูมิ 7 °C , 22 °C , 32 °C และ 42 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์ เมื่อทำ linear regression

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



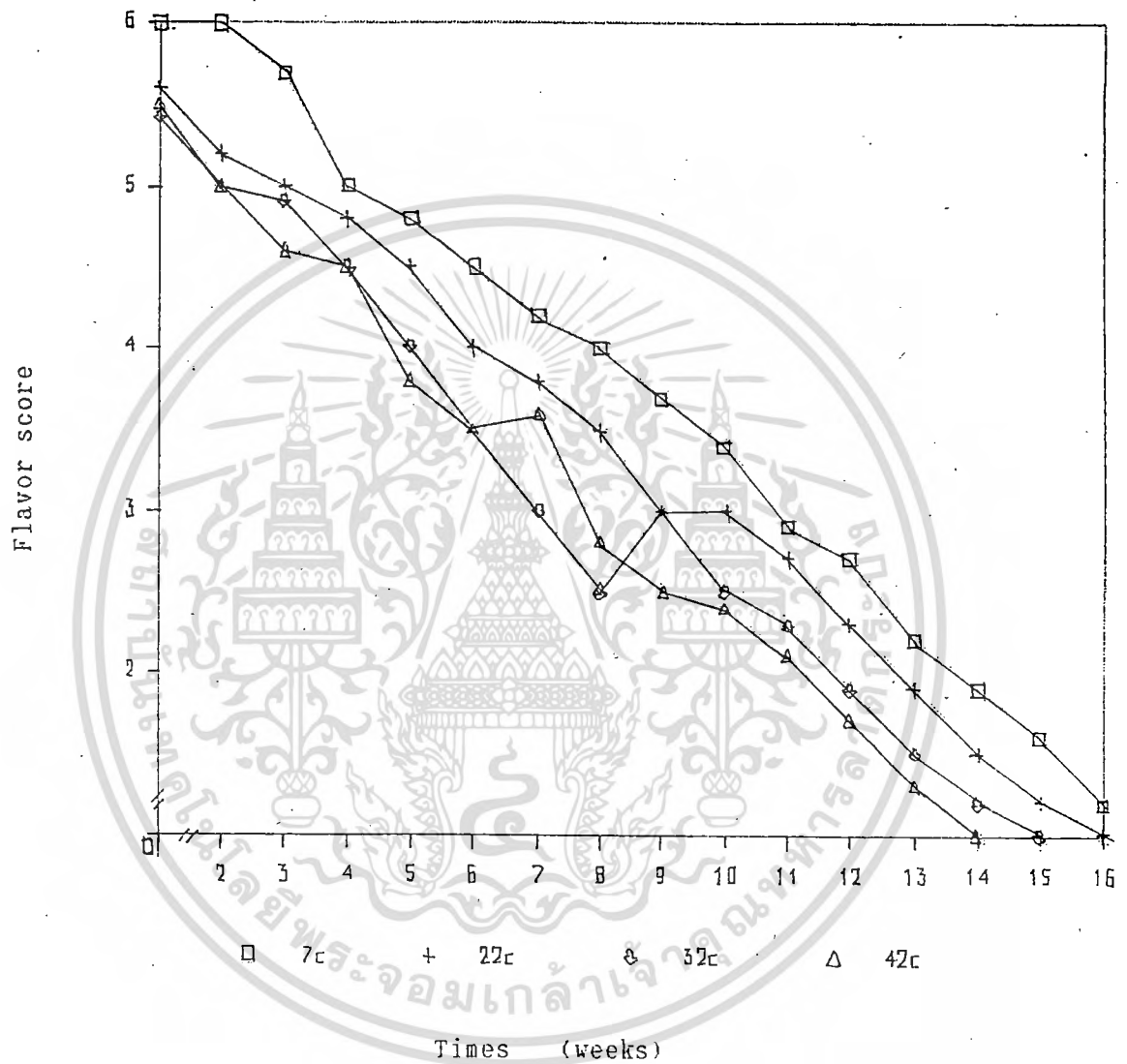
รูปที่ 26 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ในมะม่วงหิมพานต์ทอด บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต เมื่อเก็บที่ อุณหภูมิ 7 °C , 22 °C , 32 °C และ 42 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



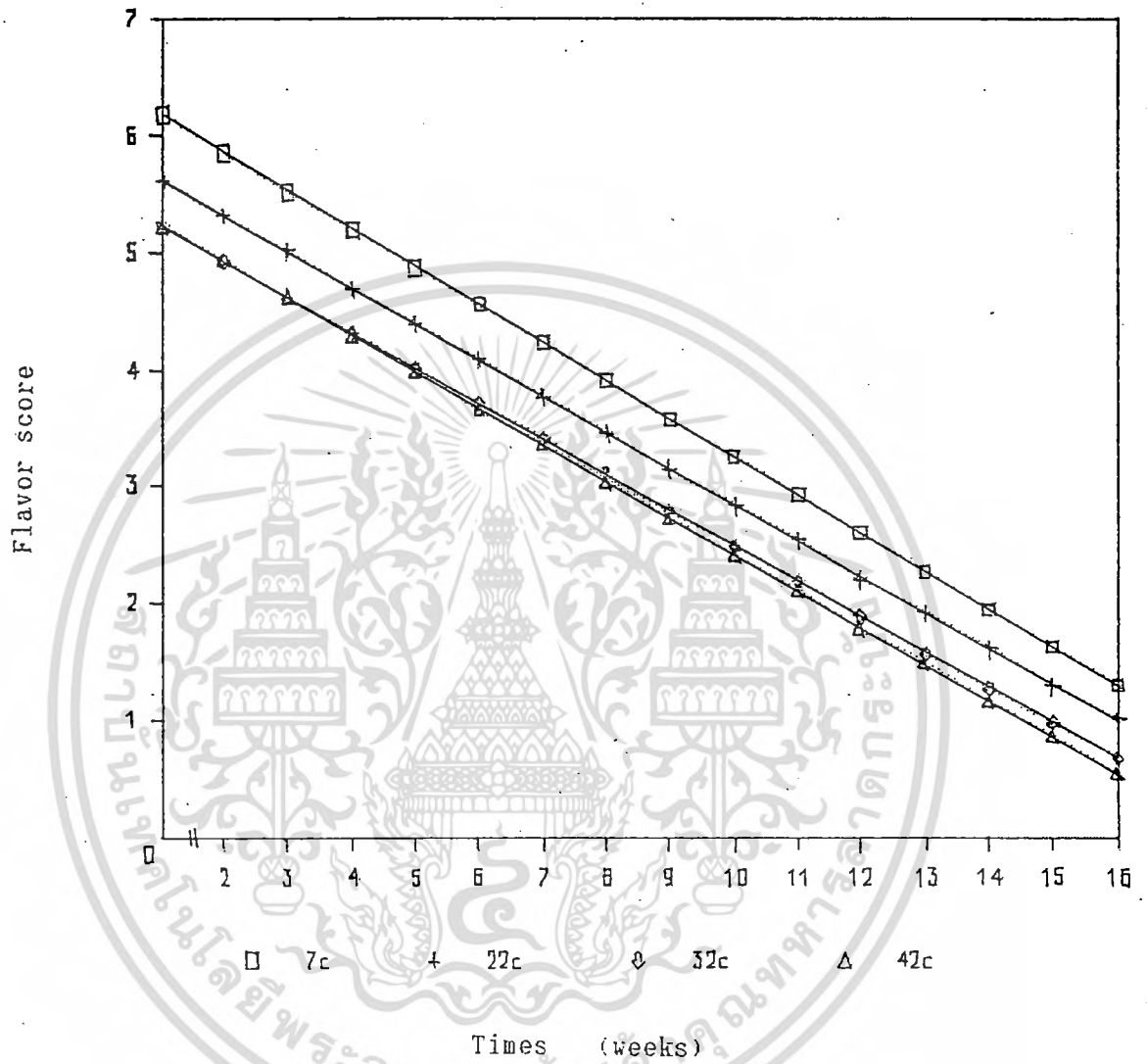
รูปที่ 27 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ในมะม่วงหิมพานต์ทอด บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต เมื่อเก็บที่ อุณหภูมิ 7 °C , 22 °C , 32 °C และ 42 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์ เมื่อทำ linear regression

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



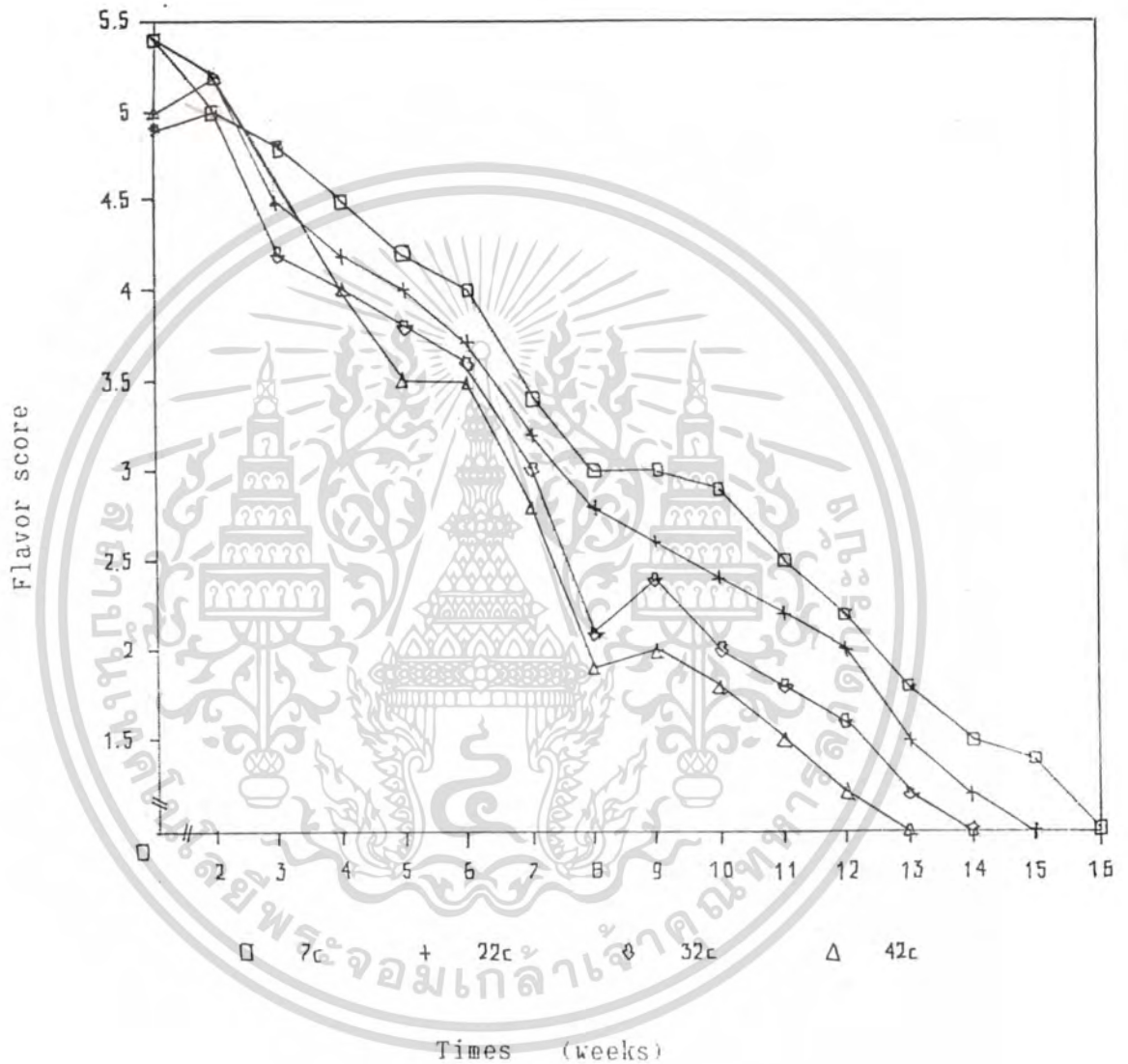
รูปที่ 28 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าการเกิดกลิ่นเหม็นในมะม่วงหิมพานต์ทอด
 บรรจุในถุงเมทัลไลซ์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 7 °C 22 °C 32 °C และ 42 °C
 เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



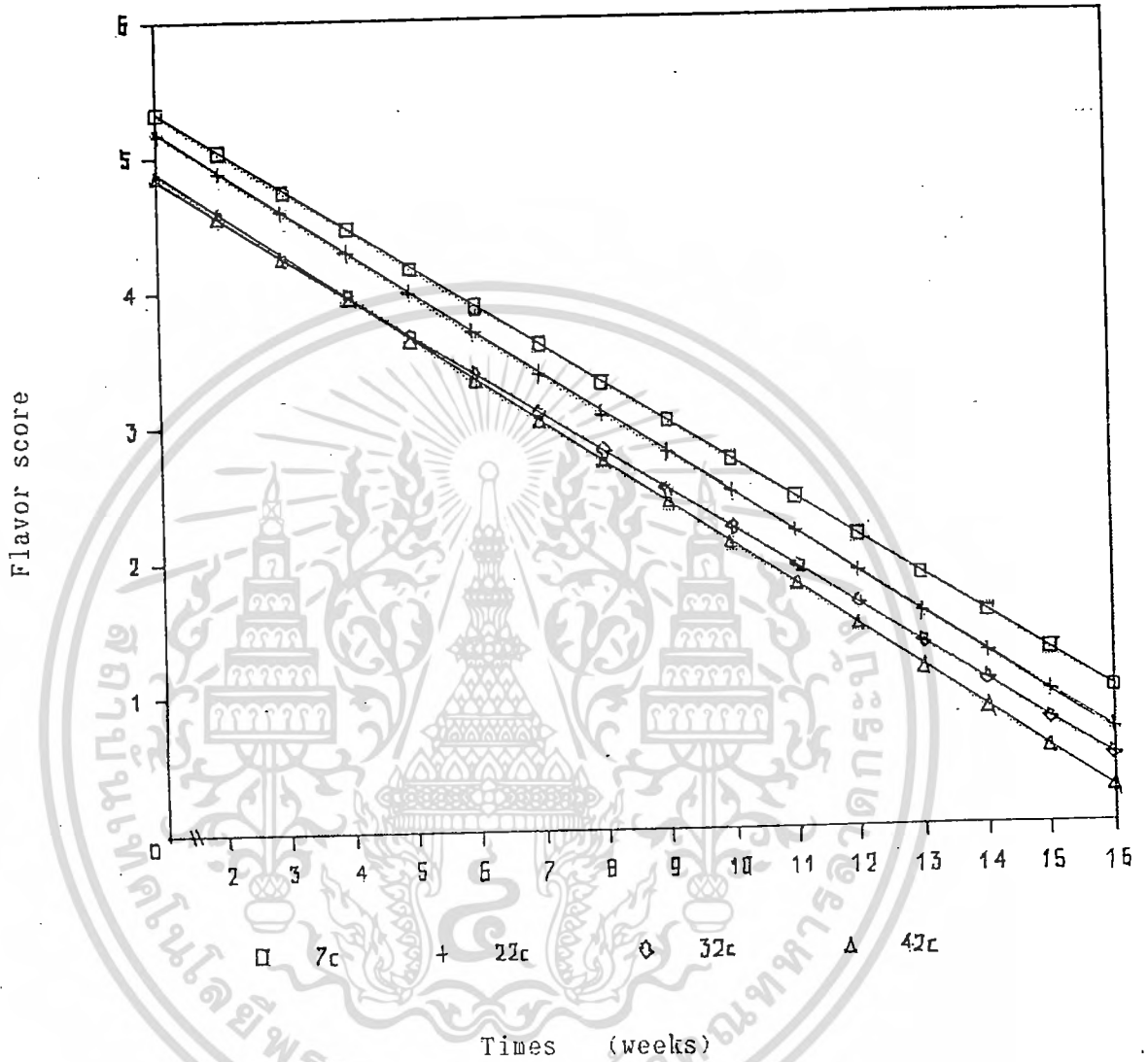
รูปที่ 29 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าการเกิดกลิ่นหืนในมะม่วงหิมพานต์ทอด บรรจุในถุงเมทัลไลซ์ เมื่อเก็บที่ อุณหภูมิ 7 °C , 22 °C , 32 °C และ 42 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์ เมื่อทำ linear regression

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



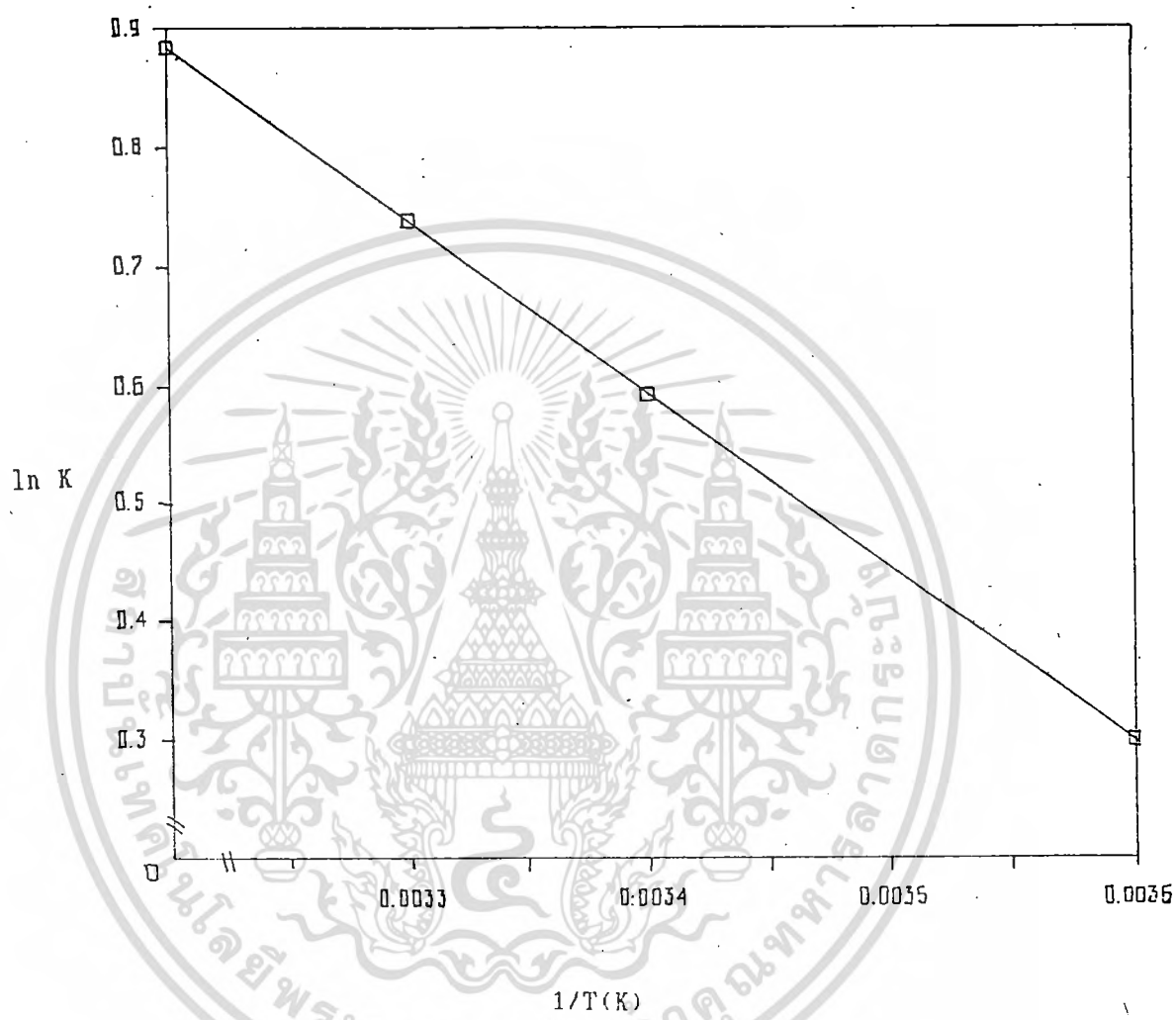
รูปที่ 30 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าการเกิดกลิ่นหืนในมะม่วงหิมพานต์ทอด
 บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 7 °C 22 °C 32 °C
 และ 42 °C เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



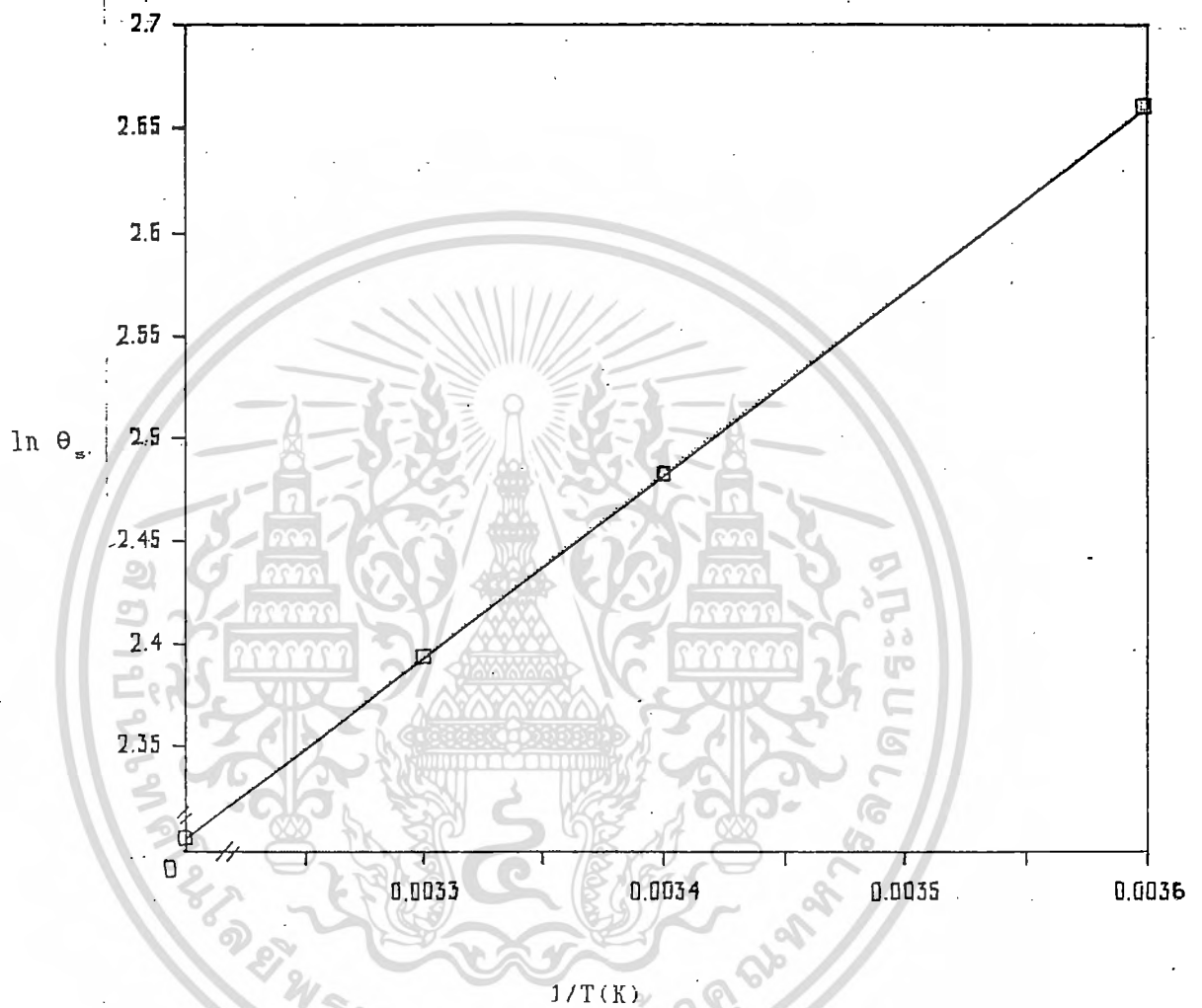
รูปที่ 31 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าการเกิดกลิ่นเหินในมะม่วงหิมพานต์ทอด บรรจุ ในถุงอะลูมิเนียมฟอสฟอไรต์ เมื่อเก็บที่ อุณหภูมิ 7 °C , 22 °C , 32 °C และ 42 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์ เมื่อทำ linear regression

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



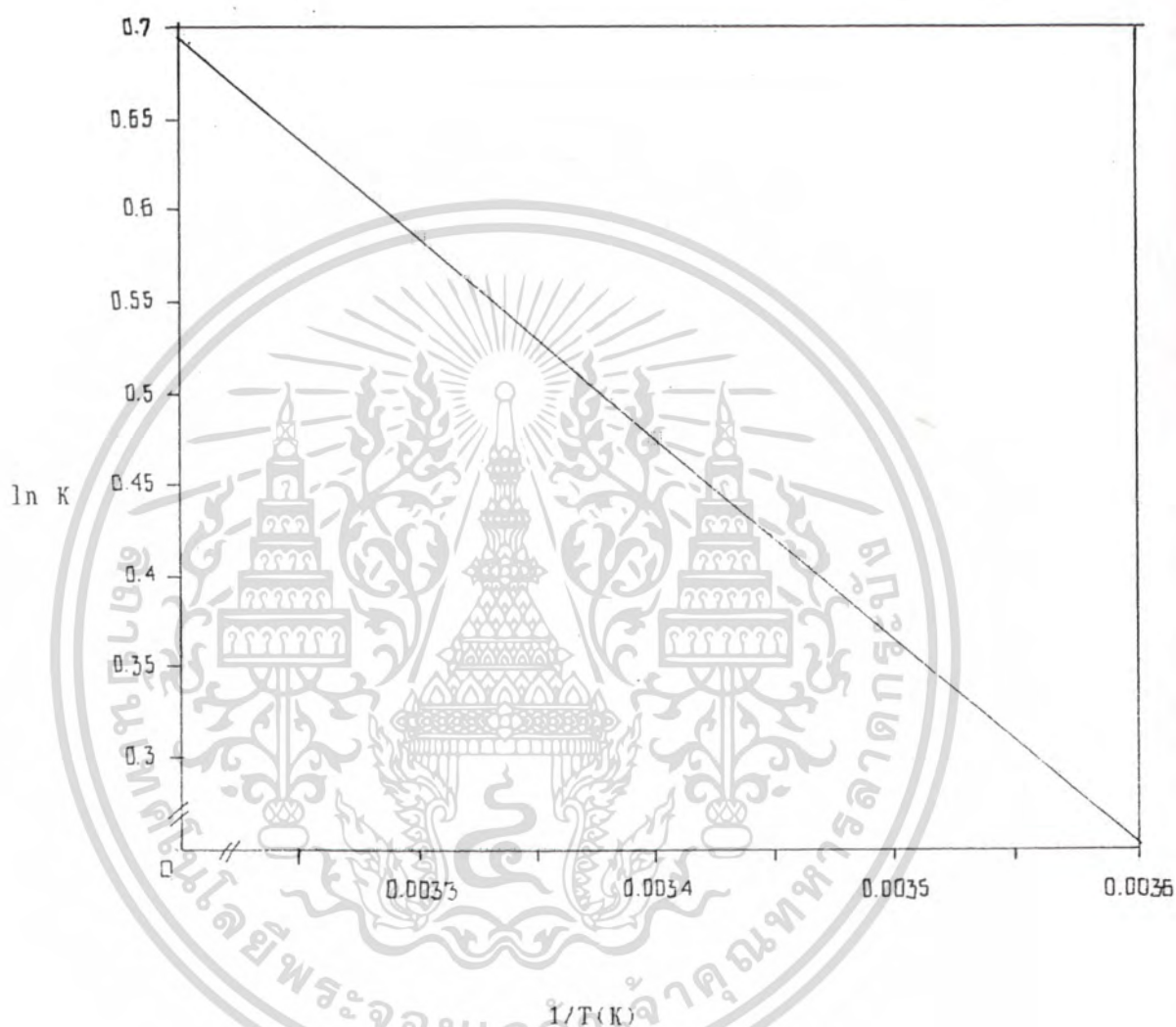
รูปที่ 32 กราฟพลอตระหว่าง ln K กับ ส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยของศาเคลวินของ
มะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงแม็กไนซ์ เพื่อทำ linear regression

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



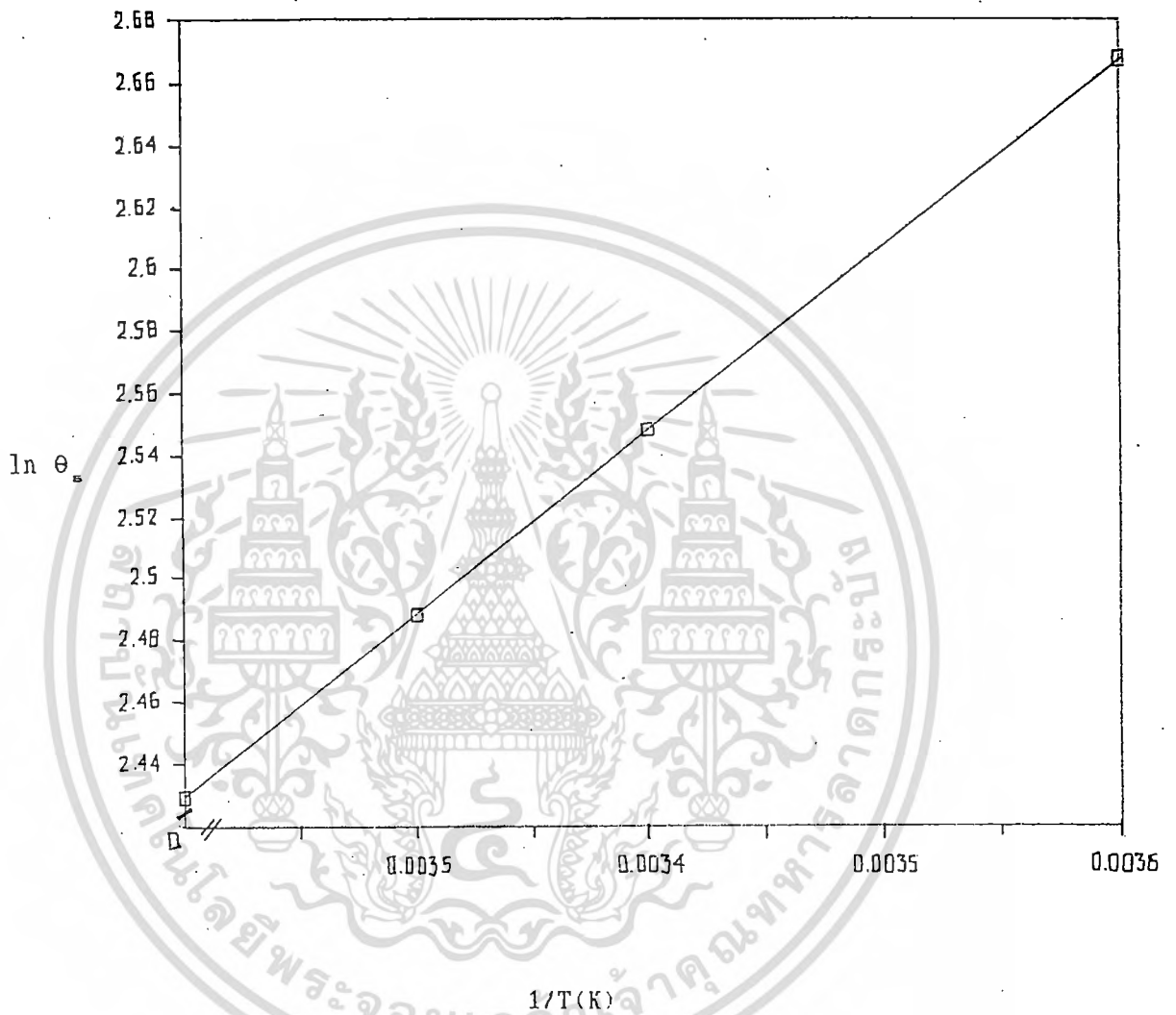
รูปที่ 33 กราฟพล็อตระหว่าง $\ln \theta_s$ กับ ส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยองศาเคลวินของมะม่วงหิมพานต์กอดในถุงเมทัลไลซ์ เมื่อทำ linear regression

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



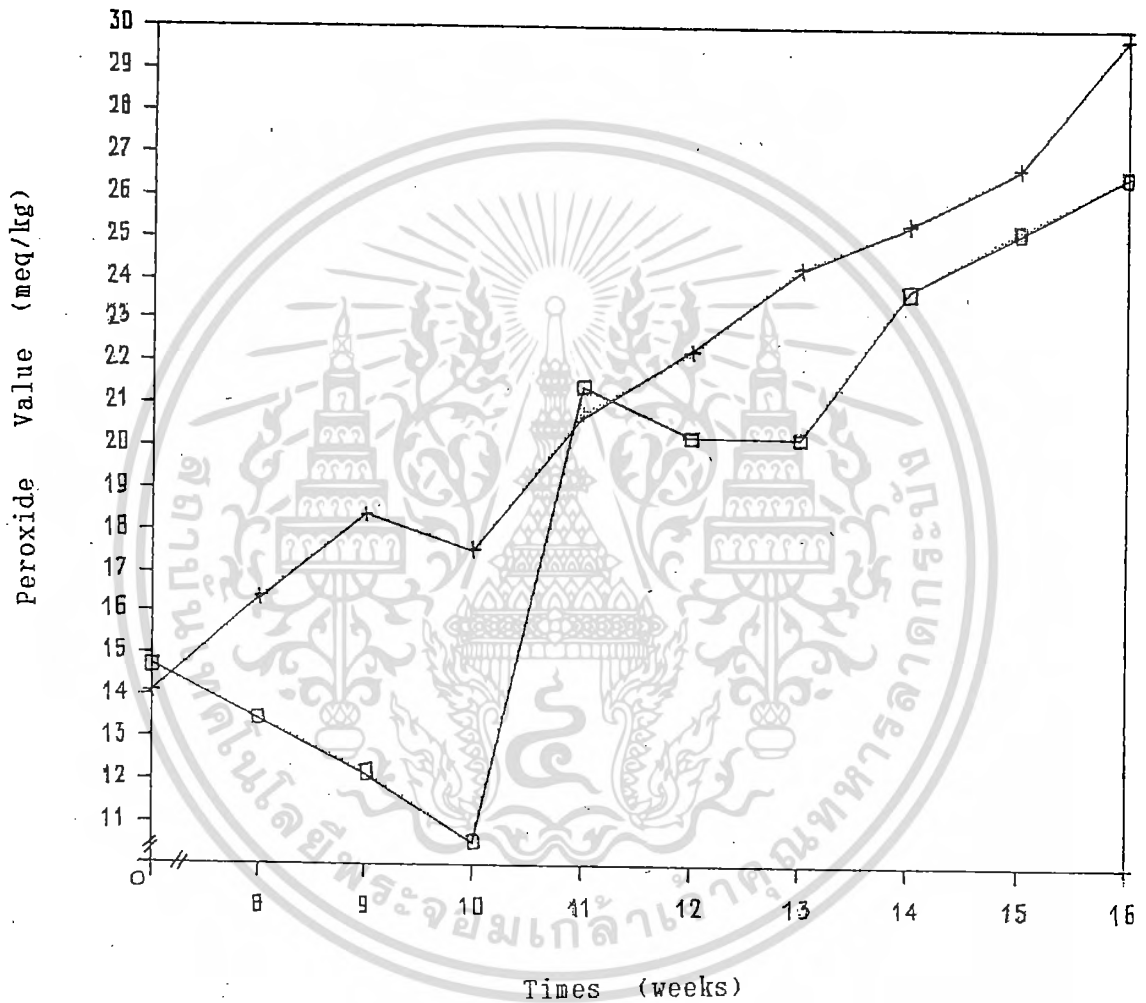
รูปที่ 34 กราฟพล็อตระหว่าง $\ln K$ กับ ส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยของศาเคลวินของมะม่วงหิมพานต์ทอดในอุณหภูมิเนื้อมฟอสล์ลามิเนท เมื่อทำ linear regression

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 35 กราฟพลอตระหว่าง $\ln \theta_s$ กับ ส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยของศาเคลวินของ
มะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต เมื่อทำ linear
regression

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

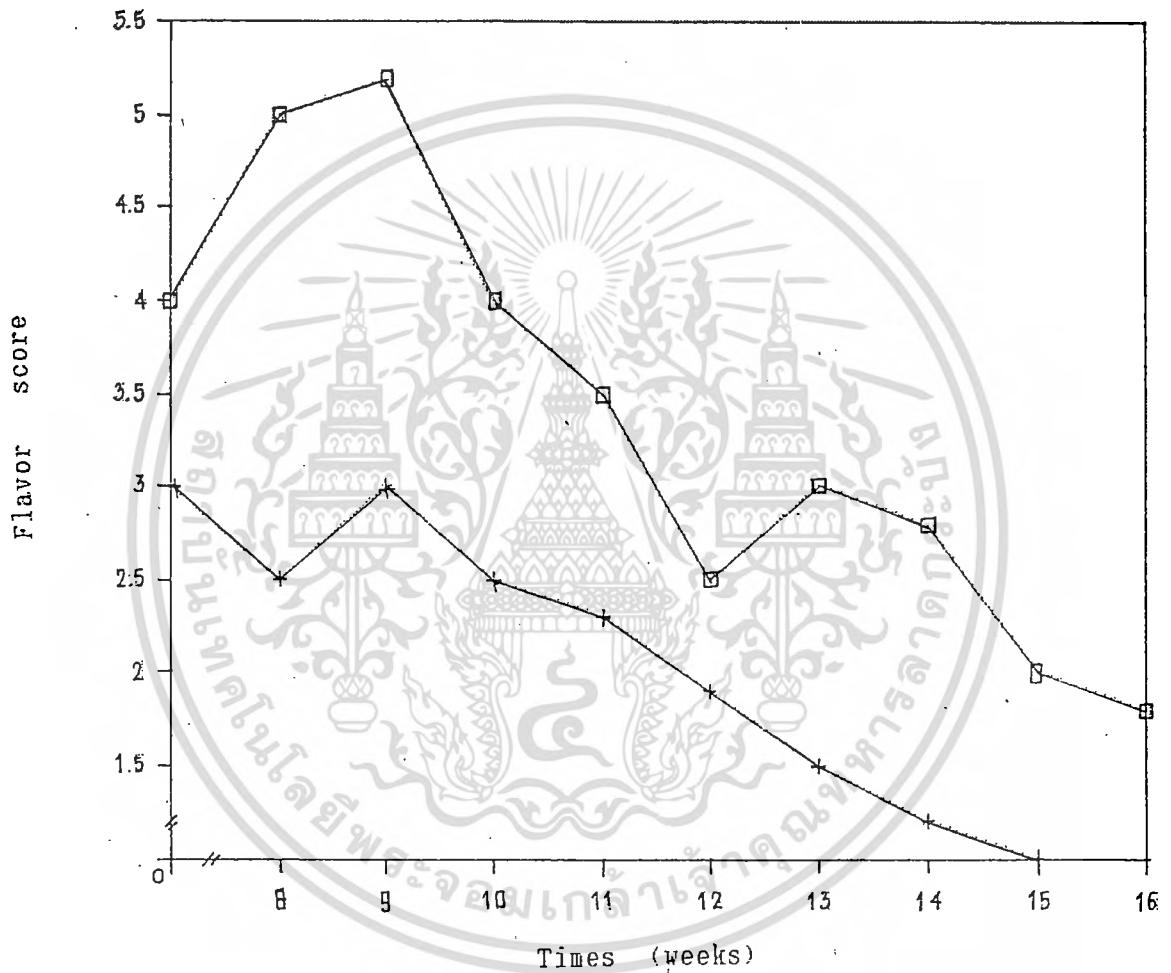


□ มี Ageless

+ ไม่มี Ageless

รูปที่ 36 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ของมะม่วงหิมพานต์ทอด
ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต ที่บรรจุ Ageless เปรียบเทียบกับ
ในถุงที่ไม่มี Ageless ที่อุณหภูมิ 32 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์
(เริ่มวิเคราะห์ในสัปดาห์ที่ 7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



□ มี Ageless +ไม่มี Ageless

รูปที่ 37 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการเกิดกลิ่นหืนของมะม่วงหิมพานต์ทอด
ในถุ่ของลุมิเนียมฟอสฟอไรต์ที่บรจุ Ageless เปรียบเทียบกับ
ในถุ่ที่ไม่มี Ageless ที่อุณหภูมิ 32 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์
(เริ่มวิเคราะห์ในสัปดาห์ที่ 7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

1. ในการทำนาชอายุการเก็บของมะม่วงหิมพานต์ทอด ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์โดยวิธี ASLT ซึ่งอาศัยสมการ Arrhenius ($K = K_0 e^{-E_a/RT}$ หรือ $\ln K = \ln K_0 - E_a/RT$) โดยสมการที่ได้ คือ

ก. สำหรับมะม่วงหิมพานต์ทอดที่เก็บในถุงเมทัลไลซ์

$$\ln K = 5.56 - 1461.74 * 1/T \quad (12)$$

ข. สำหรับมะม่วงหิมพานต์ทอดที่เก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอล์ยลามิเนต

$$\ln K = 4.21 - 1099.14 * 1/T \quad (13)$$

จากสมการ (12) และ (13) สามารถให้ shelf-life plot ดังนี้

ก. สำหรับมะม่วงหิมพานต์ทอดที่เก็บในถุงเมทัลไลซ์

$$\ln \theta_{\frac{1}{2}} = -0.54 + 890.54 * 1/T \quad (14)$$

ข. สำหรับมะม่วงหิมพานต์ทอดที่เก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอล์ยลามิเนต

$$\ln \theta_{\frac{1}{2}} = -0.52 + 597.51 * 1/T \quad (15)$$

2. พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ว่าสอดคล้องกับการเกิดกลิ่นเหม็น (โดยวิธีการประเมินค่าทางประสาทสัมผัส) ในทุกอุณหภูมิที่ทำการเก็บตัวอย่าง โดยสำหรับมะม่วงหิมพานต์ทอดที่เก็บในถุงเมทัลไลซ์ จะพบว่ามีค่า correlation coefficient (r) เท่ากับ 0.99, 0.98, 0.98 และ 0.97 ณ อุณหภูมิ 7 ± 3 °C, 22 ± 3 °C, 32 ± 3 °C และ 42 ± 3 °C ตามลำดับ ส่วนมะม่วงหิมพานต์ทอดที่เก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอล์ยลามิเนต พบว่ามีค่า r เท่ากับ 0.99, 0.98, 0.98 และ 0.99 ณ อุณหภูมิ 7 ± 3 °C, 22 ± 3 °C, 32 ± 3 °C และ 42 ± 3 °C ตามลำดับเช่นกัน

3. สามารถคำนวณระยะเวลาในการเก็บมะม่วงหิมพานต์ทอดที่เก็บในถุงเมทัลไลซ์ที่อุณหภูมิ 7 ± 3 °C, 22 ± 3 °C, 32 ± 3 °C และ 42 ± 3 °C ในเวลา 16 สัปดาห์ ได้ยาวนาน 13, 12, 10 และ 9 สัปดาห์ ตามลำดับ ในขณะที่จากการประเมินค่าทางประสาทสัมผัส พบว่าสามารถเก็บได้นานเพียง 12, 12, 10 และ 9 สัปดาห์ ตามลำดับเท่านั้น และสำหรับมะม่วงหิมพานต์ทอดที่เก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอล์ยลามิเนต พบว่าจากการคำนวณอายุการเก็บจะสามารถเก็บได้นาน 14, 13, 11 และ 11 สัปดาห์ ตามลำดับ ในขณะที่จากการประเมินค่าทางประสาทสัมผัส พบว่าสามารถเก็บได้นาน 14, 13, 12 และ 11 สัปดาห์ ตามลำดับ

4. การใช้สารดูดออกซิเจนสามารถช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ในถุงอะลูมิเนียมฟอล์ยลามิเนตได้นานขึ้น 3 สัปดาห์ จากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า สารดูดออกซิเจนมีศักยภาพในการช่วยยืดอายุการเก็บของอาหารประเภทไขมัน แต่อย่างไรก็ตาม ราคา และ คุณภาพของไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาชนะบรรจุก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่น่าจะพิจารณา ทั้งนี้การเลือกใช้ชนิด และ ขนาดของสารเคลือบ ออกซิเจน อาจทดแทนการเลือกใช้ภาชนะบรรจุราคาแพง หรือ/และ ทดแทนอุณหภูมิในการเก็บ อาหาร เช่น เก็บในอุณหภูมิธรรมดาแทนการเก็บในอุณหภูมิต่ำเย็น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจารณ์ผล

การประเมินผลทางเคมี

(1) ค่าเปอร์ออกไซด์

1.1 ผลของค่าเปอร์ออกไซด์ของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงเมทัลไลซ์ ในระยะเวลา 16 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาแตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 24 พบว่าในช่วง 1-8 สัปดาห์แรก ค่าเปอร์ออกไซด์ มีค่าระหว่าง 20-25 meq/kg ทั้งนี้เนื่องจากผลของออกซิเจนที่มีอยู่ภายในถุงหลังการปิดผนึกต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ ซึ่งพบว่ามีสอดคล้องกับการทดลองของ Tanaf Franca (1990) ที่ทำการทดลองในถ้วยลิสงทอด และในสัปดาห์ที่ 8 และ 9 พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์ลดลงเนื่องจากการสลายตัวของสารเปอร์ออกไซด์ไปเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น (Hudson, 1983) อย่างไรก็ตาม หลังจากสัปดาห์ที่ 9 ค่าเปอร์ออกไซด์สูงขึ้นเมื่อเทียบกับเวลา สามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณความชื้น และ Water activity (Aw) มีผลทำให้เกิดอัตราการเกิดปฏิกิริยา Lipid oxidation ยังคงเกิดขึ้นในระดับหนึ่งแต่อัตราการเกิดเปอร์ออกไซด์เป็นไปได้น้อยกว่าในช่วงข้างต้น นอกจากนี้ยังพบว่า อุณหภูมิสูงมีแนวโน้มที่ทำให้เกิดเปอร์ออกไซด์ได้ง่ายกว่าที่อุณหภูมิต่ำ อธิบายได้ว่า อุณหภูมิสูงจะมีผลอย่างมากต่อการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเฉพาะในอาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง (Ragnarsson & Labuza, 1977) จากการหาค่าความสัมพันธ์ของค่าเปอร์ออกไซด์กับเวลา พบว่าที่อุณหภูมิ 7 °C 22 °C 33 °C และ 42 °C มีค่า correlation coefficient (r) เป็น 0.95 0.95 0.98 และ 0.97 ตามลำดับ (ดังรูปที่ 26) ซึ่งนับว่าเหมาะสมที่จะใช้เป็นดัชนีของการทำนายอายุการเก็บได้

1.2 ผลของค่าเปอร์ออกไซด์ของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงอลูมิเนียมเหนียวลามิเนต ในระยะเวลา 16 สัปดาห์ พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 25) ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับ ข้อ 1.1 แต่เมื่อเทียบกับค่าเปอร์ออกไซด์ที่เวลาและอุณหภูมิเดียวกันกับที่บรรจุในถุงเมทัลไลซ์ พบว่า ถุงอลูมิเนียมเหนียวลามิเนตช่วยยับยั้งการเกิดเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่า ถุงเมทัลไลซ์ และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ในแต่ละอุณหภูมิ หลังจากสัปดาห์ที่ 9 พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รวบรวมไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการพาณิชย์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความสอดคล้องกัน โดยเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ อธิบายได้ว่าปริมาณออกซิเจนที่เหลืออยู่ในถุง
 น้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับตอนเริ่มต้น และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณเปอร์ออกไซด์ใน 16 สัปดาห์
 พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ในถุงอลูมิเนียมลามิเนต จะมีค่าต่ำกว่าในถุงเมทัลโลซ์ ธิบายได้ว่า ถุง
 ชนิดเมทัลโลซ์ ยอมให้ความชื้นและก๊าซออกซิเจนซึมผ่านได้ง่ายกว่าถุงชนิดอลูมิเนียมลามิเนต คุ้ได้
 จากค่า WVTR (ค่า WVTR ของถุงเมทัลโลซ์ และถุงอลูมิเนียมลามิเนต มีค่าเท่ากับ 2.5 กรัมต่อ
 ตารางเมตรต่อวัน และ 0.31 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ณ อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส
 ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์) และค่า GTR (ค่า GTR ของถุงเมทัลโลซ์ และถุงอลูมิเนียม
 ลามิเนต มีค่าเท่ากับ 31 มล.ต่อตารางเมตรต่อวัน และ 10 มล.ต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ)
 และจากการหาค่าความสัมพันธ์ของค่าเปอร์ออกไซด์กับเวลา พบว่าที่อุณหภูมิ 7 °C 22 °C
 32 °C และ 42 °C มีค่า r เป็น 0.99 0.97 0.99 และ 0.99 ตามลำดับ (ดังรูปที่ 27)
 ซึ่งนับว่าเหมาะสมที่จะใช้เป็นดัชนีในการทำนายอายุการเก็บได้

(2) ปริมาณความชื้น

จากการทดลองพบว่า ปริมาณความชื้นของมะม่วงหิมพานต์ที่อยู่ในถุงเมทัลโลซ์และ
 ถุงอลูมิเนียมลามิเนต มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ในทุกอุณหภูมิการเก็บ
 โดยปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ในถุงเมทัลโลซ์จะมีค่าสูงกว่าในถุงอลูมิเนียมลามิเนต คุ้ได้จาก
 ค่าที่ได้จากการทดลองใน ภาคผนวก ค (ตารางที่) ทั้งนี้เนื่องจาก คุณสมบัติของภาชนะ
 บรรจุทั้งสองต่างกัน โดยถุงเมทัลโลซ์จะยอมให้น้ำซึมผ่านได้ในปริมาณที่มากกว่าถุงอลูมิเนียม
 ลามิเนต คุ้ได้จากค่า WVTR ของภาชนะบรรจุในภาคผนวก ข. และจากการหาความสัมพันธ์ของ
 ปริมาณความชื้นกับเวลาพบว่า มีค่าต่ำมากคืออยู่ในช่วง 0.4-0.5 เท่านั้น จึงไม่สามารถนำมา
 เป็นดัชนีในการทำนายอายุการเก็บได้

การประเมินค่าทางประสาทสัมผัส

(1) การเกิดกลิ่นเหม็น

ผลของการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบจำนวน 12 คน พบว่าในระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ ค่าที่ระบุถึงการเกิดกลิ่นเหม็น (Flavor score) ลดลง หรือกล่าวได้ว่าพบกลิ่นเหม็นมากขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งในถุงอลูมิเนียมลามิเนต และถุงเมทัลไลซ์ แสดงดังรูปที่ 28 และ 29 ตามลำดับ สามารถอธิบายได้ว่า ระยะเวลาและอุณหภูมิมีผลต่อการเกิดกลิ่นเหม็น โดยพบกลิ่นเหม็นมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความสัมพันธ์ของกลิ่นเหม็นกับเวลา (r) ในถุงเมทัลไลซ์ เป็น 0.99, 0.98, 0.97, และ 0.96 (ที่อุณหภูมิ 7 °C, 22 °C, 32 °C, 42 °C ตามลำดับ) ดังรูปที่ 30 ในขณะที่ความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ในถุงอลูมิเนียมลามิเนต (r) เป็น 0.99, 0.99, 0.98 และ 0.99 ดังรูปที่ 31 (ที่อุณหภูมิ 7 °C, 22 °C, 32 °C และ 42 °C ตามลำดับ) จะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิ 42 °C ของผลิตภัณฑ์ในถุงอลูมิเนียมลามิเนต มีการลดลงของคะแนนรวดเร็วกว่า การเก็บที่อุณหภูมิ 32 °C จึงกล่าวได้ว่า อุณหภูมิสูงมีผลในการเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยจากการศึกษาพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของสารเปอร์ออกไซด์ไปเป็น secondary product เช่น aldehyde, ketone ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นในอาหารเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Fennema, 1985) และผู้ทดสอบสามารถระบุได้ว่าผลิตภัณฑ์ในถุงเมทัลไลซ์ เริ่มมีกลิ่นเหม็นได้ในช่วงสัปดาห์ที่ 7-8 นอกจากนี้ยังพบว่า ผู้ทดสอบจะปฏิเสธการยอมรับผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บระหว่าง 9-12 สัปดาห์ ซึ่งมีความเหม็นมาก ทั้งในอุณหภูมิ 32 °C และ 42 °C มีอิทธิพลต่อการเกิดกลิ่นเหม็นอย่างชัดเจน ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ในถุงอลูมิเนียมลามิเนต ผู้ทดสอบระบุความเหม็นได้ในช่วงสัปดาห์ที่ 10-11 อันเป็นผลมาจากอุณหภูมิและคุณภาพของภาชนะบรรจุ จึงสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในการคำนวณอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากมีค่าความสัมพันธ์ (r) สูง และเมื่อนำไปหาความสัมพันธ์กับค่าที่วัดได้จากทางเคมี (ในที่นี้คือค่าเปอร์ออกไซด์) พบว่าให้ค่า r สูงเช่นกัน ซึ่งจะกล่าวในตอนต่อไป

(2) เนื้อสัมพันธ์

เนื้อสัมพันธ์ของมะม่วงหิมพานต์ทอด แสดงในรูปของความกรอบของผลิตภัณฑ์ โดยเมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ พบว่าคะแนนของความกรอบลดลง หรือความกรอบลดน้อยลง โดยผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงเมทัลไลซ์ แสดงดังรูปที่ มีค่าความสัมพันธ์ของคะแนนเนื้อสัมพันธ์กับเวลา (r) เป็น 0.86, 0.95, 0.93 และ 0.90 ที่อุณหภูมิ 7 °C 22 °C 32 °C และ 42 °C ตามลำดับ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมลามิเนต มีค่า r เป็น 0.87, 0.93, 0.88 และ 0.88 ที่อุณหภูมิเช่นเดียวกันตามลำดับ สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ปริมาณความชื้นจากบรรยากาศภายนอก เริ่มเข้ามาสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ โดยคู่ได้จากค่า WVTR ของภาชนะบรรจุทั้งสองดังกล่าวข้างต้น พบว่าถุงเมทัลไลซ์สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีกว่าถุงอลูมิเนียมลามิเนต จึงทำให้มีแนวโน้มของคะแนนเนื้อสัมพันธ์ลดลงในอัตราเร็วกว่า อย่างไรก็ตาม จากความกรอบของผลิตภัณฑ์ในระดับนี้ เป็นความกรอบซึ่งผู้บริโภคสามารถยอมรับได้ ที่ระยะเวลาเก็บ 12 สัปดาห์ แต่หลังจากนั้น ถึงแม้ว่าจะยังคงมีความกรอบที่ยอมรับได้ แต่เนื่องจากกลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้นเป็นข้อจำกัดประการหนึ่ง ทำให้ผลิตภัณฑ์นี้ไม่เป็นที่ยอมรับอีกต่อไป

การทำนายอายุการเก็บ

ในการทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ จำเป็นต้องทราบถึงปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียขึ้นในอาหาร อัตราเร็วของปฏิกิริยาเสื่อมเสียขึ้น ในการทดลองนี้ เลือกใช้ค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมี คือ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสคือ ค่าการเกิดกลิ่นเหม็น เป็นดัชนีในการติดตามปฏิกิริยาการเสื่อมเสีย โดยเริ่มจากหาค่าคงที่ (K) ของการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งได้จากการพลอตกราฟระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์ กับเวลา (ปฏิกิริยา Lipid oxidation ในมะม่วงหิมพานต์ทอดเป็น Zero order Reaction, Labuza(1982)) จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์ กับคะแนน Off flavor พบว่า มีความสอดคล้องกัน มีค่า Correlation coefficient (r) สำหรับมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงเมทัลไลซ์ คือ 0.97 - 0.99 ส่วนในถุงอลูมิเนียมลามิเนต คือ 0.98 - 0.99 ซึ่งนับว่ามีค่าสูงพอ สามารถนำไปคำนวณหาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ในถุงทั้งสองประเภทที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้โดยทราบค่าคงที่ของอัตราการผลิตปฏิกิริยาของสารเปอร์ออกไซด์ ที่เวลาที่เกิดกลิ่นเหม็นที่ไม่เป็นที่ยอมรับ โดยพลอตกราฟระหว่างค่า \ln ของอายุการเก็บ (θ_5) กับส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยของศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 33 และ 35 และหลังจากทำการวิเคราะห์เชิงถดถอย ก็จะได้สมการที่นำไปใช้ในการทำนายอายุการเก็บของอาหารชนิดนี้ที่อุณหภูมิใด ๆ ก็ได้

จากผลการทดลองพบว่า สามารถเก็บรักษาสภาพผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ไว้ในถุงเมทัลไลซ์ และถุงอลูมิเนียมลามิเนต ได้ระยะเวลาต่างกัน โดยผลิตภัณฑ์ในถุงอลูมิเนียมลามิเนต จะมีอายุการเก็บนานกว่าประมาณ 1-2 สัปดาห์ ที่สภาวะการเก็บทั้ง 4 อุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้จากการทำนายอาจมีระยะการเก็บนานเกินกว่าความเป็นจริง แต่ก็สามารถใช้เป็นแนวทางในการทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นได้ ซึ่งใช้หลักการเช่นเดียวกันนี้

การใช้ตัวคุชมิออกซิเจน

จากการเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ของมะม่วงหิมพานต์ทอด ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต ที่มีตัวคุชมิออกซิเจน (Ageless Z 10) บรรจุอยู่ด้วย กับไม่มี Ageless ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส (ดังรูปที่ 36) พบว่า ในระหว่างสัปดาห์ที่ทำการ วิเคราะห์ (สัปดาห์ที่ 7-16) ค่าเปอร์ออกไซด์ของผลิตภัณฑ์ในถุงที่มี Ageless จะมีค่าต่ำกว่า ในถุงที่เป็นตัวควบคุม อธิบายได้ว่า Ageless ที่ใช้จะทำหน้าที่คุชมิออกซิเจนอยู่ในภาชนะ บรรจุแทนผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งออกซิเจนเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้อาหารเสื่อมเสียได้ไว นอกจากนี้ในการเปรียบเทียบการเกิดกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ (ดัง รูปที่ 37) พบว่า ผลิตภัณฑ์ในถุงที่มี Ageless มีคะแนนการเกิดกลิ่นหืนลดลงต่ำกว่า โดยเมื่อ สังเกตที่ระดับคะแนนเท่ากับ 2 ซึ่งเป็นระดับคะแนนที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ จะพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มี Ageless บรรจุอยู่ จะมีระดับคะแนนเป็น 2 ในสัปดาห์ที่ 15 ในขณะที่ตัวควบคุมจะมีระดับ คะแนนเท่ากันนี้ ในสัปดาห์ที่ 12 สรุปได้ว่า Ageless ที่ใช้สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ได้นานกว่าสภาวะปกติ (Ageless) ถึง 3 สัปดาห์ และมีคุณสมบัติ/ลักษณะที่เหมาะสม กับอาหารประเภท Dry food ซึ่งสามารถใช้ทดแทนการเก็บผลิตภัณฑ์ในตู้เย็นหรือในภาชนะ บรรจุที่มีราคาแพง แต่อย่างไรก็ตาม จากการทดลองนี้ ไม่สามารถระบุได้ว่า Ageless ที่ใช้ นั้น จะเหมาะกับภาชนะบรรจุประเภทอื่นหรือไม่ เช่น ในกรณีของถุงเมทัลไลซ์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการ ป้องกันไอน้ำ และก๊าซต่ำกว่า ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตที่ใช้อยู่ แต่มีราคาถูกกว่า ดังนั้น ถ้าคำนึง ถึงด้านเศรษฐกิจแล้ว การใช้ Ageless ก็เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ โดยจะ ต้องทราบว่า ปัจจัยใดบ้างที่ทำให้อาหารที่ต้องการเก็บรักษานั้นเสื่อมเสีย และเลือกใช้ตัวคุชมิ ออกซิเจนที่เหมาะสมกัน

เอกสารอ้างอิง

- ชูศักดิ์ แสงธรรม. 2532. มะม่วงหิมพานต์. ศูนย์ผลิตผลเกษตรเพื่อชนบท. น.57-59.
- มยุรี ภาคกล้าเจ๊ก. 2531. फिल्मพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุหีบห่ออาหารว่าง. รายงานการสัมมนา เรื่อง การบรรจุหีบห่อด้วยฟิล์มพลาสติก. ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย. 5 หน้า.
- เรืองวิทย์ กาญจนกิจเกษม. 2532. เอกสารประกอบการบรรยายในสัมมนาเรื่อง เมทัลไลซ์ฟิล์ม. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.
- วุฒิชัย นาครักษา. 2532. เอกสารประกอบวิชา หลักการบรรจุ. โครงการวิชาการ. คณะ เทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.
- Allen, C.E. and E.A. Foegeding. 1981. Some lipid characteristics and interactions in muscle foods-A review. Food Technol. 35(5):253.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of the Associations of Official Analytical Chemists 15 th ed.
- Berger, K.G. 1971. Practical application of an accelerated stability test to rancidity problems in food processing. J. Food Technol. (British) 6: 253.
- Burdon, T.A. 1983. Rancidity in snack foods. In: Rancidity in Foods. (ed. Allen, J. and R. Hamilton) Applied Science Pub. 6: 131.
- Cadden, Anne-Marie. 1988. Moisture Sorption Characteristics of Several Food Fibers. J.Food Sci. 53:4. p 1150-1155.
- Cavaletto, C.G. A.dela Cruz. E. Ross and H.Y. Yamamoto. 1966. Factors affecting macadamia nut stability :Raw kernels. J.Food Technol. 20:1084.
- Dela Cruz, A. , C.G.Cavaletto , H.Y.Yamamoto and E.Ross. 1966. Factors affecting maccadamia nut stability : Roasted kernels. J. Food sci.

- Dupuy, H.P. , E.T. Rayner , J.I. Wadsworth. 1976. Correlations of flavor score with volatiles of vegetable oils JAOCs. 53:628.
- Dyer, W.J. 1968. Deterioration and storage life of frozen fish. In. "Low-Temperature Biological of Foodstuffs". Pergamon Press , New York.
- Eichner, K. 1986. The influence of water content and water activity on foods. In: Food Packaging Preservation : Theory and Practice. (ed Mathlouthi, M.) Elsevier Applied Sci. Pub.
- Fennema, O.R. 1985. Water and ice. In: Food Chemistry. (ed.Fennema, O.R.) Marcel Dekker, Inc., N.Y.
- Fiorti, J.A. , M.J.Kanuk and R.J.Sims. 1974. Chemical and organics properties of oxidized fats. JAOCs. 51:219.
- Frankel, E.N. , W.E. Neff and E. Selke. 1981. Analylis of autooxidized by gas chromatography-mass spectrometry. VII. Volatile thermal on position products of pure hydroperoxides from autooxidized and photositized oxidized methyl oleate and linoleate. Lipid. 16:23.
- Fritsch, C.W. and F.Johnson. 1973. Improving the quality of mechanical deboned fowl meat by centrifugation. J. Food Sci. 38:279.
- Fuller, G., D.G. Guaclagni , M.L. Weaver , G. Notter and R.J. Howat. 1971. Evaluation of oleic safflower oil in frying of potato chips. J. Food Sci. 36:43.
- Gray, J. 1978. Measurement of lipid oxidation : A review. JOACS. 55: 539-545
- Hamilton, R.A. and E.T.Fukunaga. 1959. Growing maccadamia nuts in Hawaii Agr. Expt. Sta. Bull. No 121.
- Hamilton, R.J. 1983. The Chemistry of rancidity in foods. In:Rancidity in foods. (ed: Allen, J. and R. Hamilton) Applied Science Pub.
- Heidelbaught, N.D. , C.P. Yeh and M. Karel. 1971. Effects of model systems
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- composition on autooxidation of methyl linoleate. *Agric. Food Chem.* 19(1):140.
- Hill, P. and S. Rizvi. 1982. Thermodynamic parameters and storage stability of drum dried peanut flakes. *Lebensm. -Wiss u- Technol.* 15:185-190.
- Hitchcock, C. and E. Hammond. 1980. The determinations of lipids in foods. In: *Developments in Food Analysis Techniques.* (ed. King, R.D.) Applied Sci. Pub. Ltd. cited by Tanafranca, D.E. 1990.
- Hudson, B.J.F. 1983. Evaluation of oxidative rancidity in foods. In: *Rancidity in Foods.* (ed. Allen, J. and R. Hamilton) Applied Science Pub. 47-50 pp.
- IFT Expert Panel and CPI. 1974. Shelf-life of foods. *Food Technol.* 8. Jul, M. 1968. Frozen meat. In "Low Temperature Biology of Food stuffs." Pergamon Press, New York.
- Kader, A.A., D. Zagory and E.L. Kerbel. 1989. Modified Atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical reviews in Food Sci and nutrition.*
- Karel, M. 1975. Dehydration of foods. In: *Principles of Food Sci : Part II Physical Principles of Food Preservation.* (ed. M. Karel, O.R. Fenema, D.B. Lund) Marcel Dekker, Inc., New York.
- Karel, M. 1985. Environmental effects on Chemical changes in foods. In: *Chemical changes in Food During Processing.* (ed. T. Richardson and J. Finley.) IFT Basic Symposium Series. AVI Pub. Co. Inc., Westport, Connecticut.
- Karel, M. and J.T.R. Nickson. 1964. Effects of relative humidity, air, and vacuum on browning of dehydrated orange juice. *Food Technol.* 18:104.

- Khayat, A. and D. Schwall. 1983. Lipid oxidation in seafood. Food Technol. 37 (7):130-140.
- Klobe, H. 1882. Antiiseptische Eigneschaften der Kohlensäure. cited by K.L. Parkin and W.O. Brown. Preservation of seafood with modified atmosphere. In. R.E. Martin , G.J. Flick , C.E. Hebard and D.R. Ward Chemistry and biochemistry of marine food Products. AVI Pub. Co. Inc., Westport, Connecticut.
- Kramer, A. 1974. Storage relation of nutrients. Food Technol. 28:50.
- Kumins, C.A. , C.J. Rolle. and J. Roteman. 1957. Watervapor diffusion through vinyl chloride copolymer. J. Phys. Chem. 61:1290.
- Labuza, T.P. 1968. Sorption propoties of foods. Food Technol. 22:262.
- Labuza, T.P. 1968. Sorption phenomena in foods. Food Technol. 22:263-272.
- Labuza, T.P. and F. Martinez. 1968. Rate of Deteriorations of Freeze Dried Salmon as a Function of Relative Humidity. J. Food Sci. 33:241-247.
- Labuza, T.P. , H. Tsuyuki and M. Karel. 1969. Kinetics of linoleate oxidation in model systems. J. Am. Oil Chem. Soc. 46(8):409.
- Labuza, T.P. 1971. Kinetic of lipid oxidation. Critical Review in Food Technol. 2(3):355-366.
- Labuza, T.P. , N.D. Heidelbaugh , M. Silver and M.Karel. 1971. Oxidation at intermediate moisture content. JAOCs. 48(2):86.
- Labuza, T.P. 1980. The Effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. Food Technol. 34(43):34.
- Labuza, T.P. 1982. Moisture gain and loss in packaged foods. Food Technol. 36(4):92.
- Labuza, T.P. and D. Riboh. 1982. Theory and applications of Arrhenius kinetics to the prediction of nutrient losses in food. Food Technol.

- Labuza, T.P. 1984. Moisture sorption :Principal Aspects of Isotherm Measurement and Use. American Association Cereal Chemists , St. Paul , Minnesota.
- Labuza, T.P. 1984. Application of chemical kinetics to deterioration of foods. J. Chem .Educ. 61:348.
- Labuza, T.P. , A.Kaunmane and J.Y.Chen. 1985.. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated food. J. Food Sci. 55:385-391.
- Labuza, T.P. and M.K. Schmidl. 1985. Accelerated shelf life testing of foods. Food Technol. 39(9):57.
- Labuza, T.P. 1987. Food Research. Cereal Food World. 32(3):276-277.
- Lea, C.H. 1958. Chemical changes in the preparation and storage of dehydrated foods. In "Fundamental Aspects of the dehydration of foodstuffs". Soc. chem. Ind. (London). p.178.
- Lea, C.H. 1962. The oxidative deterioration of food lipids. In:Symposium on Foods : Lipids and Their oxidation. (ed. H.Schultz) AVI Pub. Co. Inc. :3-15.
- Legendre, M.G. , G.S.Fisher , W.H. Schuller , H.P.Dupuy and E.T. Rayner. 1979. Novel technique for the analysis of volatiles in aqueous and non-aqueous systems. JOACS. 56:552.
- Leverington, R.E. 1962. Evaluation of methods of roasting maccadamia nuts. Queensland J. Agri. Sci. 19:131.
- Maia, Geraldo Arraes; Stull, J.W. 1977. Fatty acid and lipid composition of cashews (Anacardium Occidentales) L., Cent. Cienc. Agras., Univ. Fed. Geara , Fortaleza, Brazil. 7(1-2).

เอกสารนี้ขอสงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับ T.P.Labuza, D.H.Wallace and M.Karel. 1966. Autoxidation
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- of methyl linoleate in freeze dried model systems. 1 Effect of water on the autocatalyzed oxidation. J. Food Sci. 3:878.
- Mazza, G. 1980. Water vapour equilibrium relation of potato slices. J. Am. Potato. 57:91.
- McWatters, K. , E.K. Heaton and S.R. Cecil. 1971. Storage stability of pie mixes. Food Prod. Dev. (Feb-March):69.
- Melton, S.L. 1983. Methodology for following lipid oxidation in muscle foods. Food Technol. 37(7):105-111.
- Mezutani, K. 1987. Historical background and present states of oxygen absorber. cited by S.Y. Lin and P.Y. Chang. Important of texture and storage stability for dried pork. Food Industry Research and Development Institute Taiwan, Republic of China.
- Min, D.B. and D.Q. Schweizer. 1983. JOACS. 60(9):1662 pp.
- Mitsubishi Gas Chemical Company. Inc. Oxygen absorber Ageless A New Age in Food Preservation , Japan. 26 pages.
- Miyashita, K. and T.Takagi. 1986. Study on the oxidative rate and prooxidant activity of free fatty acids. JAACS. 63(10):1380-1384.
- Mizrahi, S. , T.P.Labuza and M. Karel. 1970. Feasibility of accelerated tests of browning in dehydrated cabbage. J. Food Sci. 35:804.
- Moltzau, R.H. and J.C. Riperton. 1939. Processing of the maccadamia. Hawaii. Agri. Expt. Sta. Bull.No 83.
- New, J.H. 1985. Studies on vacuum packing of seed. Seed Sci of Technol. 16:715-723.
- Olson, R.L. 1968. Objective test for frozen food quality. In "Low Temperature biology of Foodstuffs ". Pergamon Press. New York.
- Ory, R. 1985. Oxidation-induced changes in foods. In:Chemical changes in Food during Processing. (ed. T. Richardson and J.Finley") IFT Basic

- Symposium Series. AVI Pub. Co. Inc., Westport, Connecticut. cited by
D.E. Tanafranca 1990.
- Othomer, D. and F. Frohlich. 1955. Correlating Permeability constants
of gases through plastic membranes. Ind. Eng. Chem. 47:1034.
- Pixton, S. and S.Warburton. 1971. Moisture content relative equilibrium
at different temperatures of some oil seeds of economics
importance. J. Stored Prod. Res. 7:261-269.
- Pohle, W.D. , R.L.Gregory and J.R.Taylor. 1962. A comparison of several
analytical techniques for prediction of relative stability of
fat and oils to oxidation. JAOCS. 39:226.
- Poksay, K.S. and B.O.Schneeman. 1983. Pancreatic and intestinal response
to dietary guar gum in rats. J. Nutr. 113:1544.
- Pryor, W.A. , J.P.Stanley and E.Blair. 1976. Autoxidations of polyun-
saturated fatty acids. II. A suggested mechanism for the formation
of TBA-reactive materials from prostaglandin-like endoperoxides.
Lipids. 11:370.
- Quast, D. and M.Karell. 1972. Effects of environmental factors on the
oxidation of the potato chips. J. Food Sci. 37:584.
- Ragnarsson, J. and T.Labuza. 1977. Accelerated shelf life testing for
oxidative rancidity in foods. A review. Food chem. 2:291 pp.
- Rayner, E.T. , J.I. Wadsworth , M.G. Legendre and H.P. Dupuy. 1978.
Analysis of flavor quality and residual solvent of soy protein
products. JOACS. 55:454.
- Read, M.J. 1988. Performance testing of snack packaging. Food Technol.
Aust. 40(3):92pp.
- Rhee, K.S. 1978. Minimizing of further lipid peroxidation in the
distillation 2-thiobarbituric acid test of fish and meat.

J. Food Sci. 43:1776.

- Robards, K. 1988. Headspace gas analysis as a measure of rancidity in corn chips. JOACS. 68(10):456
- Robertson, G. 1978. An Introduction to Packaging for Food Technologist. Massey University, Palmerston North. cited by Tungcharoenchai, W. 1990. 158 pp.
- Robertson, J.A. and M.A. Eastwood. 1981. A method to measure the water holding properties of dietary fiber using suction pressure. Brit. J. Nutr. 46:247.
- Rockland, L. 1980. Water activity and stability. J. Food Technol. 23:11-18
- Rossel, J.B. 1983. Measurement of rancidity. In: Rancidity in Foods. (ed. Allen, J. and R. Hamilton) App. Sci. Pub. 21 pp.
- Rudorfer, D.O. and P. Tshamler. 1976. Polycarbonate temperature dependence at various relative humidities. Chem. Kunst. Artuell. 80(4):159.
- Saguy, I. and M. Karel. 1980. Modeling of quality deteriorating during food processing and storage. Food Technol. 34:78.
- Salwin, H. 1959. Defining minimum moisture contents for dehydrated foods. Food Technol. 13:594.
- Salwin, H. 1963. Moisture levels required for stability in dehydrated foods. 17(9):34-43.
- Saravacos, G. and R. Stinchfield. 1965. Effect of temperature and pressure on the sorption of water vapor by foods. J. Food Sci. 30:779.
- Smith, J.P., B. Oraikul, W.J. Koersen, E.D. Jackson and R.A. Leuerence. 1986. Novel approach to oxygen control in modified atmosphere

packaging of bakery products. Food Microbio. 3:315-320.

- St. Angelo, J. 1977. Enzymes and Oxidation stability of peanut products. In: Enzymes in Food and Beverage Processing. (ed. Ory, R. and J. St. Angelo) AVI Pub. Co. Inc., Westport, Connecticut.
- Tamsma, A., M.J. Pallansch, T.P. Mucha and W.I. Patterson. 1961. Factors related to the flavor stability of foam dried whole milk. 1 Effect of oxygen level. J. Dairy Sci. 49(9):1644.
- Tamsma, A. and M.J. Pallansch. 1964. Factors related to the storage stability of foam spray dried whole milk. 4 Effect of powder moisture content and in-pack oxygen at different storage temperatures. 47(9):970.
- Tamsma, A., F.E. Kurtz and M.J. Pallansch. 1967. Effect of oxygen removal Technique on flavor stability of low-heat foam spray-dried whole milk. J. Dairy Sci. 50(10):1562.
- Tanafranca, D.E. 1990. Shelf life prediction of roasted salted peanuts packed in polymeric film. Postgrad. Diploma Thesis. Massey Unive., New Zealand.
- Troller, J. and J. Christian. 1976. Water activity and food. Academic Press. N.Y., London.
- Tungcharoenchai, W. 1990. The use of an oxygen absorber in soybean (Glycine max (L) Merrill) packaging. Postgrad. Diploma Thesis. Massey Unive., Palmerston North. New Zealand.
- Van den Berg, C. and S. Brunin. 1981. Water activity and its estimation in food systems. Theoretical aspects. In "Water Activity : Influences on Food Quality ", (ed. L.B. Rockland and G.F. Stewart) Academic Press, N.Y.
- Van den Berg, C. 1985. Water activity. In: Concentration and Drying

of foods. (ed. Mac Casthy, D.Elseveir) Applied Sci. Pub.

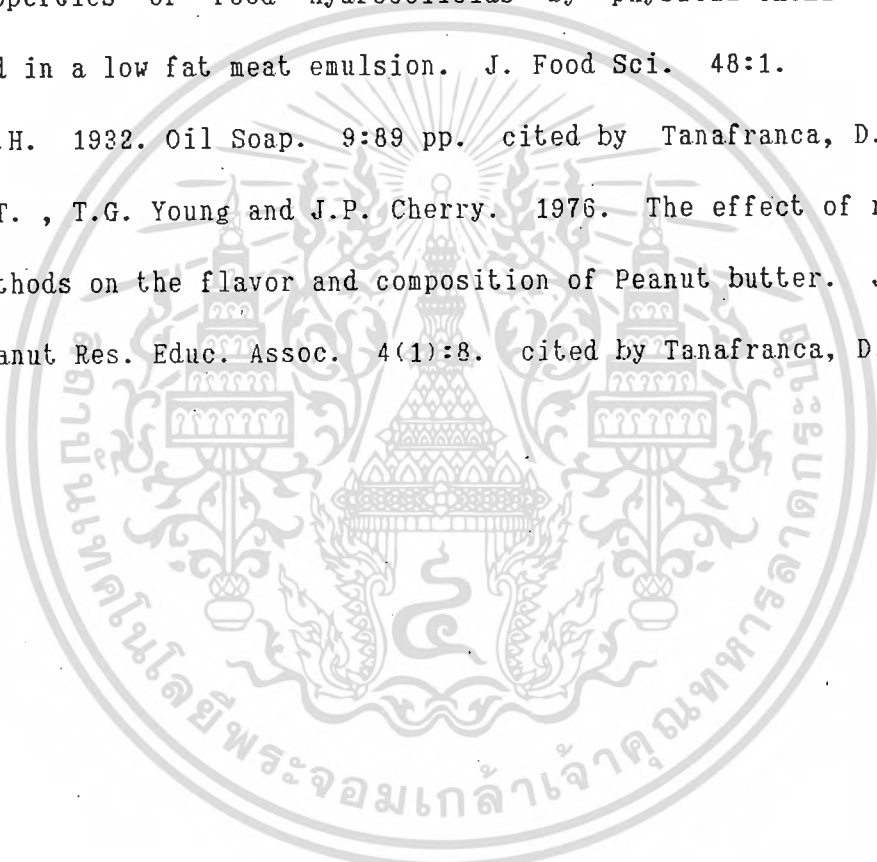
Waletzko, P. and T.P.Labuza. 1976. Accelerated shelf life testing of intermediates moisture food in air and in oxygen-free absorber. J.Food Sci. 41:1338.

Walf, M. , J.E. Walker and J.C. Kapsalis. 1972. Water vapor sorption hysteresis in dehydrated food. J. Agrie. Food Chem. 20:1073-1077.

Wallingford, L. and T.P. Labuza. 1983. Evaluation of the water binding properties of food hydrocolloids by physical chemical methods and in a low fat meat emulsion. J. Food Sci. 48:1.

Wheler, D.H. 1932. Oil Soap. 9:89 pp. cited by Tanafranca, D.E. 1990.

Young, C.T. , T.G. Young and J.P. Cherry. 1976. The effect of roasting methods on the flavor and composition of Peanut butter. J.Amer. Peanut Res. Educ. Assoc. 4(1):8. cited by Tanafranca, D.E. 1990.



ภาคผนวก ก.

การเตรียมตัวอย่างมะม่วงหิมพานต์ทอดที่ใช้ในการทดลอง มีขั้นตอนดังนี้คือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

คุณสมบัติของภาชนะบรรจุดังต่อไปนี้

(1) ถุงเมทัลไลซ์

อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน = 31 มิลลิลิตร/ตารางเมตร/วัน

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ = 2.5 กรัม/ตารางเมตร/วัน

(2) ถุงอลูมิเนียมลามิเนต

อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน = 10 มิลลิลิตร/ตารางเมตร/วัน

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ = 0.31 กรัม/ตารางเมตร/วัน

ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส 90% RH

ความจุของถุงทั้งสอง (ขนาด 12*13 ตารางเซนติเมตร) 247 มิลลิลิตร

องค์ประกอบของถุง

(1) ถุงเมทัลไลซ์ OPP (ORIENTED POLYPROPYLENE)

(2) ถุงอลูมิเนียมลามิเนต PE/AL/PE (POLYETHYLENE/ALUMINIUM-
FOIL/POLYETHYLENE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมี และ ทางประสาทสัมผัสของมะม่วง
หิมพานต์ทอดในถุงเมทัลไลซ์ ที่ อุณหภูมิ 7 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	PV(meq/Kg)	ปริมาณความชื้น (%)	flavor score	texture score
1	2.04	0.98	5.40	6.00
2	3.88	1.25	5.00	6.20
3	5.04	1.03	4.80	6.00
4	6.86	0.59	4.50	5.80
5	7.45	1.07	4.20	6.00
6	8.72	0.85	4.00	5.50
7	12.95	0.67	3.40	5.20
8	20.55	1.35	3.00	5.50
9	16.50	0.65	3.00	6.00
10	17.35	1.36	2.90	5.00
11	18.85	0.79	2.50	5.50
12	17.85	2.04	2.20	5.20
13	19.65	1.80	1.80	5.00
14	20.31	2.21	1.50	5.00
15	21.65	1.63	1.40	4.80
16	23.78	1.75	1.00	4.00

หมายเหตุ : ค่าที่ปรากฏในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจาก 2 replicates

ตารางที่ 10 แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมี และ ทางประสาทสัมผัสของมะม่วง
หิมพานต์ทอดในถุงเมทัลไลซ์ ที่ อุณหภูมิ 22 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	PV (meq/Kg)	ปริมาณความชื้น (%)	flavor score	texture score
1	1.52	1.08	5.40	6.50
2	5.04	1.30	5.20	6.40
3	5.25	1.08	4.50	6.50
4	8.53	1.05	4.20	6.00
5	10.54	0.95	4.00	5.80
6	11.64	1.12	3.70	6.00
7	13.50	0.79	3.20	5.80
8	21.05	1.42	2.80	5.60
9	20.10	0.96	2.60	5.80
10	19.15	1.25	2.40	5.20
11	20.87	0.85	2.20	5.40
12	19.71	1.98	2.00	4.80
13	20.75	1.65	1.50	5.00
14	22.34	2.05	1.20	5.10
15	23.47	1.09	1.00	4.80
16	30.35	1.87	1.00	4.20

หมายเหตุ : ค่าที่ปรากฏในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจาก 2 replicates

ตารางที่ 11 แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมี และ ทางประสาทสัมผัสของมะม่วง
หิมพานต์ทอดในถุงเมทัลไลซ์ ที่ อุณหภูมิ 32 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	PV(meq/Kg)	ปริมาณความชื้น (%)	flavor score	texture score
1	3.16	1.15	4.90	6.50
2	4.89	1.24	5.00	6.40
3	5.70	0.78	4.20	6.50
4	7.25	1.34	4.00	6.00
5	10.85	1.05	3.80	5.80
6	12.74	1.23	3.60	6.00
7	13.65	0.87	3.00	5.80
8	22.80	1.08	2.10	5.60
9	17.90	1.96	2.40	5.90
10	18.50	1.54	2.00	5.00
11	22.44	1.90	1.80	4.80
12	26.50	2.45	1.60	4.50
13	28.33	2.22	1.20	4.80
14	28.58	1.63	1.00	5.00
15	29.13	1.81	1.00	4.70
16	35.47	2.04	1.00	4.50

หมายเหตุ: ค่าที่ปรากฏในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจาก 2 replicates

ตารางที่ 12 แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมี และ ทางประสาทสัมผัสของมะม่วง
หิมพานต์ทอดในถุงเมทัลไลซ์ ที่ อุณหภูมิ 42 °C เป็นเวลา 16 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	PV(meq/Kg)	ปริมาณความชื้น (%)	flavor score	texture score
1	2.32	1.29	5.00	6.20
2	3.70	1.56	5.20	6.70
3	5.70	1.05	4.60	6.50
4	7.35	1.17	4.00	6.00
5	10.94	0.89	3.50	6.00
6	12.92	1.03	3.50	6.20
7	17.20	1.96	2.80	5.80
8	25.74	1.74	1.90	5.60
9	19.72	1.02	2.00	6.00
10	20.82	1.58	1.80	5.80
11	25.84	2.38	1.50	5.80
12	27.78	2.06	1.20	5.00
13	29.16	1.96	1.00	5.50
14	29.60	2.03	1.00	5.20
15	38.67	1.78	1.00	5.00
16	45.82	1.98	1.00	4.50

หมายเหตุ : ค่าที่ปรากฏในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจาก 2 replicates

ตารางที่ 13 แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมี และ ทางประสาทสัมผัสของมะม่วง
หิมพานต์ทอดในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนท ที่ อุณหภูมิ 7 °C
เป็นเวลา 16 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	PV(meq/Kg)	ปริมาณความชื้น (%)	flavor score	texture score
1	2.02	0.86	6.00	6.00
2	3.84	1.05	6.00	6.20
3	4.45	0.98	5.70	5.80
4	5.28	0.57	5.00	6.00
5	6.76	1.04	4.80	5.80
6	7.56	0.63	4.50	6.00
7	9.04	0.54	4.20	5.50
8	10.60	1.25	4.00	5.80
9	13.80	1.18	3.70	6.00
10	13.15	1.24	3.40	5.80
11	15.26	0.58	2.90	5.40
12	16.84	1.36	2.70	5.20
13	18.62	1.58	2.20	5.00
14	19.25	2.05	1.90	5.20
15	19.84	1.49	1.60	4.80
16	21.57	1.38	1.20	4.50

หมายเหตุ : ค่าที่ปรากฏในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจาก 2 replicates

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมี และ ทางประสาทสัมผัสของมะม่วง
หิมพานต์ทอดในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนท ที่ อุณหภูมิ 22 °C
เป็นเวลา 16 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	PV(meq/Kg.)	ปริมาณความชื้น (%)	flavor score	texture score
1	2.96	0.68	5.60	6.50
2	3.04	1.15	5.20	6.30
3	4.98	1.02	5.00	5.80
4	6.34	0.95	4.80	6.00
5	8.50	1.20	4.50	6.00
6	9.72	1.14	4.00	5.80
7	12.36	0.98	3.80	5.60
8	15.50	1.35	3.50	5.70
9	16.47	0.67	3.00	5.20
10	17.70	1.13	3.00	5.40
11	12.65	0.65	2.70	5.60
12	18.42	1.27	2.30	5.50
13	19.98	1.14	1.90	5.20
14	21.76	2.15	1.50	5.00
15	23.35	1.30	1.20	4.90
16	25.42	1.65	1.00	4.60

หมายเหตุ : ค่าที่ปรากฏในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจาก 2 replicates

ตารางที่ 15 แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมี และ ทางประสาทสัมผัสของมะม่วง
หิมพานต์ทอดในอุณหภูมิเนยผสมอัลลามีเนท ที่ อุณหภูมิ 32 °C
เป็นเวลา 16 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	PV (meq/Kg)	ปริมาณความชื้น (%)	flavor score	texture score
1	2.64	1.05	5.40	6.50
2	3.72	1.20	5.00	6.30
3	5.05	0.68	4.90	6.00
4	6.12	1.28	4.50	6.20
5	8.29	1.25	4.00	5.70
6	12.47	1.21	3.50	5.80
7	14.08	1.06	3.00	5.20
8	16.35	1.25	2.50	5.00
9	18.35	0.78	3.00	5.60
10	17.55	1.26	2.50	5.20
11	20.78	0.91	2.30	5.00
12	22.25	1.25	1.90	5.30
13	24.29	1.06	1.50	5.50
14	25.31	1.85	1.20	4.80
15	26.70	1.50	1.00	5.00
16	29.79	1.85	1.00	4.50

หมายเหตุ : ค่าที่ปรากฏในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจาก 2 replicates

ตารางที่ 16 แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมี และ ทางประสาทสัมผัสของมะม่วง
หิมพานต์ทอดในถุงอะลมิเนียมฟอสฟอรัลลามิเนท ที่ อุณหภูมิ 42 °C
เป็นเวลา 16 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	PV(meq/Kg)	ปริมาณความชื้น (%)	flavor score	texture score
1	2.89	1.15	5.50	6.20
2	3.68	1.34	5.00	6.50
3	5.43	0.97	4.60	6.70
4	7.68	1.31	4.50	6.50
5	8.68	0.87	3.80	6.00
6	10.57	0.93	3.50	6.20
7	16.52	1.56	3.60	5.60
8	16.70	1.52	2.80	5.80
9	18.55	0.97	2.50	5.80
10	19.58	1.32	2.40	5.60
11	22.41	2.15	2.10	5.50
12	25.35	1.63	1.70	5.20
13	26.88	1.50	1.30	5.70
14	28.95	2.01	1.00	5.40
15	29.55	1.67	1.00	5.50
16	32.35	1.89	1.00	5.00

หมายเหตุ : ค่าที่ปรากฏในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจาก 2 replicates

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 17 แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของมะม่วงหิมพานต์
 ทอด ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต ที่มี AGELESS บรรจุอยู่ด้วย ที่อุณหภูมิ 32 °C
 (เริ่มวิเคราะห์ในสัปดาห์ที่ 7)

สัปดาห์ที่	PV (meq/Kg)	ปริมาณความชื้น (%)	flavor score	texture score
7	14.70	1.37	4.00	6.50
8	13.50	2.93	5.00	6.30
9	12.18	1.08	5.20	6.00
10	10.50	1.09	4.00	6.20
11	21.40	0.98	3.50	6.00
12	20.26	1.28	2.50	5.80
13	20.24	0.96	3.00	5.70
14	23.70	1.43	2.80	5.60
15	25.19	1.51	2.00	5.20
16	26.55	0.98	1.80	5.00

หมายเหตุ : ค่าที่ปรากฏในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจาก 2 replicates

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

แบบทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ชื่อผู้ทดสอบ _____ วันที่ทดสอบ _____

สุขภาพขณะทดสอบ. () ปกติ () ไข้หวัด

ข้อเสนอแนะ : ควรกลืนปากด้วยน้ำทุกครั้ง ก่อนชิมตัวอย่างต่อไป

ลักษณะของการยอมรับตัวอย่าง

ระดับคะแนน

ชอบมาก	7
ชอบปานกลาง	6
ชอบเล็กน้อย	5
เฉย ๆ	4
ไม่ชอบเล็กน้อย	3
ไม่ชอบปานกลาง	2
ไม่ชอบมาก	1

รหัสตัวอย่าง	ลักษณะเนื้อสัมผัส	กลิ่น	การยอมรับรวม
721			
222			
304			
411			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้