สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่น

# Quality and Shelf Life Evaluation of Chili Powder

T104029

ฉหฤทัย รัตนปัญญา
สุขฤดี เล้าอรุณ
สุวิชา บ่อเกิด
อรวรรณ โศภณัฐยานนท์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ส 461 ป
2551
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104029
วัน,เดือน,ปี 28 ต.ค. 2552

b 12113323
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่น


ผู้จัดทำ

นางสาวสหฤทัย รัตนปัญญา

นางสาวสุขฤดี เล้าอรุณ

นางสาวสุวิชา บ่อเกิด

นางสาวอรวรรณ โศภณัฐยานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์)


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อปริญญานิพนธ์** การประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่น
**นักศึกษา** นางสาวสหฤทัย รัตนปัญญา
นางสาวสุขฤดี เล้าอรุณ
นางสาวสุวิชา บ่อเกิด
นางสาวอรวรรณ โศภณัฐยานนท์
**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์
**ปริญญานิพนธ์** วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
**ปีการศึกษา** 2551

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ต่อการเปลี่ยนแปลงสี และ ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่น ซึ่งผลิตจากพริกพันธุ์จินดาและพันธุ์บางช้าง โดยทดลองเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 40, 55 และ 70 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 19.29 - 21.18%, 43.19 - 43.22%, 47.12 - 53.39% และ 78.74 - 82.27% พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (a*) ของพริกป่นสามารถอธิบายได้ด้วยปฏิกิริยาจลนพลศาสตร์แบบปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง และซอร์พชั่นไอโซเทอร์มอธิบายได้ดีด้วยสมการดัดแปลงของออสวิน (Modified Oswin model) แล้วนำมารวมกันเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถทำนายค่าสีของพริกที่เก็บในอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ และนำมาใช้ทำนายอายุการเก็บได้ ซึ่งใช้เป็นแนวในการทำนายอายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารแห้งชนิดอื่นได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Project Title** | Quality and Shelf Life Evaluation of Chili Powder |
| **Students** | Miss Saharutai Ruttanapanya |
| | Miss Sookruadee Lawaroon |
| | Miss Suvicha Borkerd |
| | Miss Orawan Sopanattayanon |
| **Project Advisor** | Asst.Prof.Dr.Pimpen Pornchaloempong |
| **Degree** | Bachelor Degree in Food Engineering |
| | Department of Food Engineering, Faculty of Engineering |
| | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| **Academic Year** | 2008 |


## ABSTRACT


The objective of this study was to evaluate the effect of temperature and relative humidity on color and water adsorption during storage of chili powder. The powder was oven dried from fresh chili (*Capsicum annuum* L. var. *acuminatum* Fingerh. and *Capsicum frutescens* L. var. frutescens.). The samples were stored in 19.29 - 21.18%, 43.19 - 43.22%, 47.12 - 53.39% and 78.74 - 82.27% relative humidity conditions and at temperatures of 40, 55 and 70 °C. The results showed that the colour (a* value) changing could be satisfactorily described by the first order kinetics reaction and the adsorption isotherm was best described by Modified Oswin Model. By integration both models, the color of the chili power could be predicted when temperature and relative humidity conditions during storage were given. This model could be applied to predict qualities changing and shelf life of any dried foods.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ให้ความรู้ความช่วยเหลือตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์เสมอมา จนโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทดลอง

ขอขอบคุณคณะอาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ ไกรสุวิทย์ ศรีสวัสดิ์ ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางการเขียนโปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมอาหาร รุ่นที่10 ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงาน และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

สหฤทัย รัตนปัญญา
สุขฤดี เล้าอรุณ
สุวิชา บ่อเกิด
อรวรรณ โศภณัฐยานนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญรูป ..... ช
บทที่ 1 บทนำ ..... 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ ..... 2
1.3 ขอบเขตการศึกษา ..... 2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ ..... 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 4
2.1 พริกและพันธุ์พริก ..... 4
2.1.1 ประโยชน์ของพริก ..... 4
2.1.2 พันธุ์พริก ..... 4
2.2 พริกแห้งและพริกป่น ..... 6
2.2.1 คุณภาพพริกแห้งและพริกป่นระหว่างการเก็บรักษา ..... 6
2.2.2 สีของพริกป่น ..... 7
2.3 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีของพริกป่น ..... 8
2.3.1 ผลกระทบของวอเตอร์แอกติวิตี้ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีพริกป่น ..... 8
2.3.2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีพริกป่น ..... 10
2.4 การวัดค่าสีของพริกป่น ..... 12
2.5 ความชื้น ..... 12
2.5.1 ความชื้นในอาหาร ..... 12
2.5.2 ความชื้นสัมพัทธ์ ..... 13
2.5.3 วอเตอร์แอกติวิตี้ในอาหาร ..... 13
2.5.4 ซอร์พชั่นไอโซเทอร์ม ..... 13
2.6 จลนพลศาสตร์การเปลี่ยนคุณภาพของอาหาร ..... 17
2.6.1 ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ..... 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.2 ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ..... 18
2.7 ผลของอุณหภูมิต่อค่าคงที่อัตราและสมการอาร์เรเนียส ..... 20
2.8 อายุการเก็บรักษาของอาหาร ..... 21
2.9 วิธีประเมินอายุการเก็บของอาหาร ..... 22
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 24
บทที่ 3 วิธีการทดลอง ..... 26
3.1 การเตรียมตัวอย่างพริกป่น ..... 26
3.2 การวิเคราะห์ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่น ..... 26
3.3 การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงสีของพริกป่น ..... 29
3.4 การประเมินอายุการเก็บของพริกป่น ..... 31
3.5 สร้างโปรแกรมประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่น ..... 32
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ ..... 33
4.1 ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่นทั้งสองสายพันธุ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ..... 33
4.2 การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสีของพริกป่น ..... 35
4.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สมดุลต่อการเปลี่ยนสี ..... 38
4.4 การคำนวณอายุการเก็บของพริกป่น ..... 40
4.5 ตัวอย่างการคำนวณคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่น ..... 43
บทที่ 5 โปรแกรมประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่น ..... 45
5.1 การใช้โปรแกรมเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ ..... 45
5.2 การใช้โปรแกรมเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ไม่คงที่ ..... 47
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง ..... 50
บรรณานุกรม ..... 51
ภาคผนวก ..... 56
ภาคผนวก ก. ค่าคงที่ของสารละลายเกลืออิ่มตัว ..... 57
ภาคผนวก ข. ผลการทดลอง ..... 59
ภาคผนวก ค. Code โปรแกรมประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่น ..... 74
ภาคผนวก ง. ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (k) ของบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ..... 88
ภาคผนวก จ. อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยกรุงเทพมหานคร (พ.ศ.2504-1533) ..... 92
ภาคผนวก ฉ. รวมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้และขั้นตอนการทำพริกป่น ..... 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**


2.1 แสดงคุณภาพผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพริกแห้งและพริกป่น ..... 7

2.2 Measuring Methods for Water Vapor Sorption Isotherms ..... 14

2.3 สมการสำหรับอธิบายซอร์พชั่นไอโซเทอร์ม ..... 16

4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าคงที่จากสมการวิเคราะห์ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่นพันธุ์จินดา (DF = 9, TSS = 0.559) ..... 33

4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าคงที่ของสมการวิเคราะห์ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่นพันธุ์บางช้าง (DF = 9, TSS = 0.559) ..... 33

4.3 แสดงค่าคงที่ของอัตรา (k) ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สมดุลต่างๆ ..... 37

4.4 แสดงค่าคงที่ของอัตรา ($k_{ref}$) ที่อุณหภูมิอ้างอิง 25 °C (298 K) และพลังงานกระตุ้น ..... 37

4.5 แสดงค่าการยอมรับทางสถิติ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพลังงานและค่าคงที่ของอัตราอ้างอิง กับ ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของพริกพันธุ์จินดา ..... 38

4.6 แสดงค่าการยอมรับทางสถิติ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพลังงานและค่าคงที่ของอัตราอ้างอิง กับ ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของพริกพันธุ์บางช้าง ..... 38

4.7 แสดงค่าคงที่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สมการที่ (4.6) ของพริกป่นทั้งสองพันธุ์ ..... 39

5.1 แสดงข้อมูลที่ต้องป้อนและข้อมูลที่จะแสดงผลของการใช้โปรแกรม เมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ ..... 45

5.2 แสดงข้อมูลที่ต้องป้อนและข้อมูลที่จะแสดงผลของการใช้โปรแกรม เมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ไม่คงที่ ..... 47

ก.1 แสดงค่าคงที่ $k_1$ และ $k_2$ ของสารละลายเกลืออิ่มตัวชนิดต่างๆ ..... 57

ก.2 การเตรียมสารละลายเกลืออิ่มตัวที่ 25°C ..... 58

ข.1 แสดงการหาปริมาณความชื้นของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 40°C ..... 59

ข.2 แสดงการหาปริมาณความชื้นของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 55°C ..... 59

ข.3 แสดงการหาปริมาณความชื้นของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 70°C ..... 60

ข.4 แสดงการหาปริมาณความชื้นของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 40°C ..... 60

ข.5 แสดงการหาปริมาณความชื้นของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 55°C ..... 61

ข.6 แสดงการหาปริมาณความชื้นของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 70°C ..... 61

ข.7 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 40°C ของสารละลายเกลือ $CH_3COOK$ ..... 62

ข.8 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 40°C ของสารละลายเกลือ $K_2CO_3$ ..... 62

ข.9 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 40°C ของสารละลายเกลือ NaBr ..... 63


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง (ต่อ)

**ตารางที่** **หน้า**

ข.10 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 40° C ของสารละลายเกลือ KCl.....63
ข.11 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 55° C ของสารละลายเกลือ $CH_3COOK$ .....64
ข.12 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 55° C ของสารละลายเกลือ $K_2CO_3$.....64
ข.13 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 55° C ของสารละลายเกลือ NaBr.....65
ข.14 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 55° C ของสารละลายเกลือ KCl.....65
ข.15 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 70° C ส ของสารละลายเกลือ $CH_3COOK$.....66
ข.16 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 70° C ของสารละลายเกลือ $K_2CO_3$.....66
ข.17 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 70° C ของสารละลายเกลือ NaBr.....67
ข.18 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 70° C ของสารละลายเกลือ KCl.....67
ข.19 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 40° C ของสารละลายเกลือ $CH_3COOK$ .....68
ข.20 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 40° C ของสารละลายเกลือ $K_2CO_3$ .....68
ข.21 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 40° C ของสารละลายเกลือ NaBr .....69
ข.22 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 40° C ของสารละลายเกลือ KCl .....69
ข.23 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 55° C ของสารละลายเกลือ $CH_3COOK$ .....70
ข.24 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 55° C ของสารละลายเกลือ $K_2CO_3$ .....70
ข.25 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 55° C ของสารละลายเกลือ NaBr .....71
ข.26 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้าง ที่อุณหภูมิ 55° C ของสารละลายเกลือ KCl .....71
ข.27 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 70° C ของสารละลายเกลือ $CH_3COOK$ .....72
ข.28 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 70° C ของสารละลายเกลือ $K_2CO_3$ .....72
ข.29 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 70° C ของสารละลายเกลือ NaBr .....73
ข.30 แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 70° C ของสารละลายเกลือ KCl .....73
ง.1 แสดงค่า k ของบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ในหน่วย gH2O.mm/$m^2$.day.....88
ง.2 แสดงค่า k ของบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆในหน่วย $gH_2O/m^2$.24 h.....89
ง.3 แสดง Permeability Units Conversion .....90
ง.4 แสดงค่า k ของบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ในหน่วย gH2O.m/$m^2$.day.mmHg.....91
จ.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ย 30 ปี (พ.ศ.2504-2533) กรุงเทพมหานคร .....92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | แสดงการเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์ในพริกป่น ที่ $a_w$ 0.01, 0.32, 0.52, 0.64 และ 0.75 | 9 |
| 2.1 | แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราของค่าคงที่ (k) ที่อุณหภูมิ 75 °C ของค่าสี L, a, b, $\Delta E$ ที่สัมพันธ์กับค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ | 10 |
| 2.3 | แสดงการเปลี่ยนค่าสีแดง (a) ของพริกป่นที่ $a_w$ 0.459, 0.582 และ 0.763 ที่อุณหภูมิ 60 °C | 11 |
| 2.4 | แสดงการเปลี่ยนค่าสีแดง (a) ของพริกป่นที่ $a_w$ 0.459, 0.582 และ 0.763 ที่อุณหภูมิ 99 °C | 11 |
| 2.5 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ | 15 |
| 2.6 | กราฟแสดงลักษณะการลดลงของค่าคุณภาพของอาหารระหว่างการเก็บรักษา (ปฏิกิริยาอันดับศูนย์) | 19 |
| 2.7 | กราฟแสดงลักษณะการลดลงของค่าคุณภาพของอาหารระหว่างการเก็บรักษา (ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง) | 19 |
| 2.8 | กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิต่อค่าคงที่ของอัตรา โดยที่ Slope = $-E_a/R$ | 20 |
| 2.9 | กราฟแสดงค่า $Q_{10}$ ที่แตกต่างกันในการทำนายอายุการเก็บที่สภาวะเร่ง 40°C | 23 |
| 3.1 | แสดงปริมาณสารละลายเกลือต่างๆ และการวางตัวอย่างบนชั้นในโหลสารละลายเกลืออิ่มตัว | 27 |
| 3.2 | แสดงการวางตัวอย่างพริกป่นบนชั้นเหนือสารละลายเกลืออิ่มตัว | 27 |
| 3.3 | แผนผังแสดงการเตรียมตัวอย่างพริกป่นและขั้นตอนการทดลอง | 28 |
| 3.4 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกระตุ้นกับวอเตอร์แอกติวิตี้ | 30 |
| 3.5 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราที่อุณหภูมิอ้างอิงกับวอเตอร์แอกติวิตี้ | 31 |
| 3.6 | แสดงหน้าต่างโปรแกรมประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่น | 32 |
| 4.1 | แสดงการเปรียบเทียบกราฟซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่นพันธุ์จินดาและพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 40°C | 34 |
| 4.2 | แสดงกราฟซอพชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่นทั้งสองพันธุ์ที่อุณหภูมิต่างๆ | 34 |
| 4.3 | แสดงค่า ln a* กับเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่ $a_w$ ต่างๆ | 35 |
| 4.4 | แสดงค่า ln a* กับเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่ $a_w$ ต่างๆ | 36 |
| 4.5 | แสดงวิธีการคำนวณอายุการเก็บและคุณภาพของพริกป่น กรณีที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์ | 40 |
| 4.6 | แสดงวิธีการคำนวณอายุการเก็บและคุณภาพของพริกป่น กรณีที่มีบรรจุภัณฑ์ | 42 |
| 4.7 | แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีของพริกป่นที่เก็บรักษาที่สภาวะคงที่ ที่อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70% | 43 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)

**รูปที่** **หน้า**

4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศกรุงเทพฯ ค่าเฉลี่ย 30 ปี (2504 - 2533) ..... 44
4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ซึ่งเก็บรักษาที่สภาวะไม่คงที่ ..... 44
5.1 หน้าต่างโปรแกรมประเมินคุณภาพและอายุการเก็บรักษาพริกป่นในสภาวะคงที่ ..... 46
5.2 ผลการคำนวณคุณภาพและอายุการเก็บรักษาพริกป่นในโปรแกรม Microsoft Excel ..... 46
5.3 หน้าต่างโปรแกรมประเมินคุณภาพและอายุการเก็บรักษาพริกป่นในสภาวะไม่คงที่ ..... 48
5.4 ตัวอย่างตารางอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา ..... 48
5.5 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมประเมินคุณภาพและอายุการเก็บรักษาพริกป่น ..... 49
ฉ.1 พริกสดพันธุ์จินดาและพันธุ์บางช้าง ..... 93
ฉ.2 เครื่องบด The RETCH Ultra Centrifugal Mill ZM 1000 ..... 93
ฉ.3 เครื่องแพ็คสุญญากาศ (Vacuum Pack) ..... 93
ฉ.4 ตู้อบลมร้อน (Tray Dry) ..... 94
ฉ.5 Hotplate Stirrer (ใช้ในการเตรียมสารละลายเกลืออิ่มตัว) ..... 94
ฉ.6 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง ..... 94
ฉ.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง ..... 95
ฉ.8 ตู้ดูดความชื้น (DESICATOR CABINET) ..... 95
ฉ.9 เครื่องวัดสี (Tristimulus colorimeter) ..... 95
ฉ.10 Hot air oven ..... 96
ฉ.11 โหลปรับความชื้นสัมพัทธ์ ..... 96
ฉ.12 ชั้นวางตัวอย่าง ..... 96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญ

พริก (*Capsicum frutescens* L.) เป็นพืชที่มีความสำคัญในชีวิตประจำวันและเศรษฐกิจ นอกจากให้ความเผ็ดแล้วพริกยังมีสารที่มีสรรพคุณเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น มีวิตามินซี วิตามินเอ (เบต้า-แคโรทีน) แคลเซียมและฟอสฟอรัส นอกจากนี้พริกยังมีสารแคปไซซินที่ให้ประโยชน์หลายประการ อาทิ บรรเทาอาการปวดเมื่อย ปวดข้ออักเสบ (arthirtic) (สุชีลา, 2548)

พริกป่น เป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากการทำแห้งพริกสด แล้วนำไปบดละเอียด จากการสำรวจสถานการณ์พริกแห้งไทยปี 2549 โดยกรมศุลกากร พบว่า ประเทศไทยมีการนำเข้าพริกแห้งสูงถึง 693 ล้านบาท แต่การส่งออกมีมูลค่าเพียง 66 ล้านบาท โดยปัญหาการส่งออกที่สำคัญเกิดจากคุณภาพพริกป่นไทยไม่ตรงกับความต้องการของตลาด (สุชีลา, 2548) เช่น การปนเปื้อนสารพิษอะฟลาท็อกซิน (aflatoxin) โอคราท็อกซิน เอ (ochratoxin A) ในพริกป่นจากประเทศไทย และนอกจากนี้ยังพบพริกป่นปนเปื้อนสารย้อมสีแดงซูดานเรด (Sudan Red) จากประเทศอินเดียและจีนที่ใส่เพื่อให้สีของพริกป่นแดงสวย ไม่มีสีซีดหรือสีคล้ำ ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง (เดลินิวส์, 2552)

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ และ สี เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพ ความปลอดภัย และการยอมรับพริกป่น สีแดงในพริกป่นเกิดจากเม็ดสีแคโรทีนอยด์ ประกอบด้วย แคปแซนธิน เบต้า-แคโรทีน แคปโซรูบิน ซีแซนธิน และลิวทีโอแซนธิน โดยมี แคปแซนธิน เป็นองค์ประกอบหลัก Topuz (2008) ได้ศึกษาผลของค่าวอเตอร์แอกติวิตี้และอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนสีของพริกป่น (paprika) พบว่า การเปลี่ยนสีของพริกป่นอธิบายได้ด้วยปฏิกิริยาจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง และพริกป่นที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้สูงจะมีการเปลี่ยนสีได้เร็ว และผลของอุณหภูมิต่อการเสื่อมค่าสีของพริกป่นเป็นไปตามความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส กล่าวคือ ยิ่งค่าพลังงานกระตุ้นสูง ความร้อนจะยิ่งมีผลกระทบต่อการเสื่อมค่าสีระหว่างกระบวนการมากขึ้น Kanner et.al. (1978) อธิบายสาเหตุที่ทำให้สีของพริกเปลี่ยนแปลงว่าเกิดจากการสูญเสียแคโรทีนอยด์ โดยปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอมไซม์ (non-enzymatic browning reaction) (Topuz, 2008)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำนายอายุการเก็บของอาหาร ได้แก่ Guevara et.al. (1998) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนสีของพริกป่นที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ ต่อการเสื่อมปริมาณแคโรทีนอยด์ของพริกป่นที่ปลูกในพื้นที่ต่างๆ โดยการใช้วิธีหาครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) ของการเสื่อมของแคโรทีนอยด์ที่ลดลงครึ่งหนึ่งจากค่าเริ่มต้น พบว่า $t_{1/2}$ จะมีค่ามากเมื่อเก็บพริกป่นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิต่ำ García et.al. (2008) ศึกษาอายุการเก็บรักษาของมะกอกสุกโดยใช้วิธีการทดสอบด้วยสภาวะเร่ง (Accelerated Shelf Life Testing: ASLT) ต่อการเปลี่ยนสี ความแน่นเนื้อ และค่าพีเอช โดยการใช้ความสัมพันธ์ของจลนพลศาสตร์และสมการอาร์เรเนียส มาทำนายอายุการเก็บด้วยเทคนิค $Q_{10}$ หรืออัตราส่วนระหว่างค่าคงที่ของอัตราที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 10°C ค่า $Q_{10}$ ยิ่งมาก การเปลี่ยนแปลงจะยิ่งเกิดได้เร็ว

จากการตรวจเอกสารพบว่า ยังไม่ได้มีการศึกษา ผลของสภาวะการเก็บรักษา ต่อคุณภาพและความปลอดภัยของพริกป่น ที่ผลิตจากพันธุ์พริกในประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลของอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ต่อการเปลี่ยนแปลงสี และ ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่น ซึ่งผลิตจากพริกพันธุ์จินดา(*Capsicum annuum* L.) และพันธุ์บางช้าง (*Capsicum frutescens* L.) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมนำมาผลิตเป็นพริกแห้งและพริกป่น เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถทำนายค่าสีของพริกที่เก็บในอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ และนำมาใช้ทำนายอายุการเก็บในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ได้ ซึ่งความรู้ที่ได้จะเป็นแนวทางที่สำคัญยิ่งต่อการเลือกสภาวะการเก็บรักษา และบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสม เพื่อยกระดับมาตรฐานของพริกป่นไทย และยังจะเป็นแนวในการศึกษาอายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารแห้งชนิดอื่นได้ด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษา Water Sorption Isotherm ของพริกป่น
2. เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของพริกป่นที่อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์สมดุลต่างๆ
3. เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ประเมินอายุการเก็บ และคุณภาพของพริกป่นและประยุกต์ใช้กับอาหารแห้งชนิดอื่น

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีของพริกป่นจากพริกพันธุ์จินดา (*Capsicum frutescens* L.) และพันธุ์บางช้าง (*Capsicum annuum* L.) ที่มีผลมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40, 55 และ 70°C และช่วงความชื้นสัมพัทธ์สมดุล 19.29 - 21.18%, 43.19 - 43.22%, 47.12 - 53.39% และ 78.74 - 82.27%

2. ศึกษาซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่นทั้งสองสายพันธุ์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40, 55 และ 70°C โดยใช้โปรแกรม Statistical Package for Social Science (SPSS) เพื่อหาสมการสำหรับวิเคราะห์ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มที่เหมาะสมที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่นโดยใช้ปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สมการที่เหมาะสมสำหรับอธิบายซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่นพันธุ์จินดาและพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิต่างๆ

2. ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่นพันธุ์จินดาและพันธุ์บางช้าง

3. ได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่นพันธุ์จินดาและพันธุ์บางช้าง

4. สามารถประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของพริกป่น เพื่อใช้ประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของอาหารแห้งชนิดอื่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 พริกและพันธุ์พริก

พริก (*Capsicum frutescens* L.) เป็นพืชในวงศ์ Solanaceae สกุล Capsicum เป็นเครื่องเทศชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางการค้าในหลายประเทศและใช้บริโภคอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีคุณสมบัติในการให้สี รสชาติ และแต่งกลิ่นในอาหาร ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและระดับครัวเรือน นำมาบริโภคในรูปของพริกสด พริกแห้ง พริกป่น และผลิตภัณฑ์แปรรูปอื่น ๆ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบของยารักษาโรคบางชนิดเพราะพริกเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหาร ที่ประกอบด้วยสารสำคัญ มีสีและรสชาติที่ไม่อาจใช้ผลผลิตจากพืชอื่นแทนได้ และยังมีความสำคัญในแง่เศรษฐกิจโดยเป็นสินค้านำเข้าและส่งออก

### 2.1.1 ประโยชน์ของพริก

ประโยชน์ของพริกมีมากมาย ดังนี้ (มณีฉัตร, 2541)

- พริกมีคุณค่าทางด้านอาหารและโภชนาการ เนื่องจากเป็นแหล่งให้วิตามินและเกลือแร่ที่สำคัญหลายชนิด ได้แก่ วิตามินซี วิตามินเอ (เบต้า-แคโรทีน) แคลเซียม และฟอสฟอรัส โดยเฉพาะในพริกเผ็ด มีปริมาณค่อนข้างสูง และยังให้พลังงานและความอบอุ่นแก่ร่างกาย

- คุณค่าทางเภสัช ในพริกมีสาระสำคัญหลายชนิด เช่น carotenoids, flavonoids และ ascorbic acid โดยเฉพาะ $\beta$ - carotene เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ ช่วยในการมองเห็นของคน นอกจากนี้ lutein และ zeaxanthin ยังสามารถป้องกันอันตรายจากแสงแดดต่อดวงตาได้ Quercetin มีฤทธิ์ต้านมะเร็ง(anti-mutageic และ anti-carcinogenic effects) และลดความเสี่ยงจากการเป็นโรคหัวใจ luteolin ช่วยลด estrogen ส่วนเกิน ป้องกันการเกิดมะเร็งทรวงอกได้ และสารสำคัญที่ให้ความเผ็ด คือ แคปไซซิน (capsaicin) ซึ่งพบในไส้หรือรก (placenta) มีประโยชน์ในการช่วยบรรเทาการปวดเมื่อย ปวดข้ออักเสบ (arthritic) มีส่วนช่วยชะลอความเสื่อมของร่างกาย ปกป้องร่างกายจากมะเร็ง และเสริมภูมิต้านทานให้กับร่างกาย

- คุณค่าทางเศรษฐกิจ ใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรม และเป็นสินค้าส่งออก ที่ทำรายได้ให้กับเกษตรกร

### 2.1.2 พันธุ์พริก

การจำแนกพันธุ์พริกนั้นสามารถจำแนกได้หลายแบบ กลุ่มพริกพันธุ์ที่นิยมปลูกทั่วโลก ได้มีการจัดจำแนกโดยยึดหลักที่แตกต่างกัน 4 หลักการ (มณีฉัตร, 2541) คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**1. การจัดจำแนกตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์** ปัจจุบันได้จัดจำแนกพริกพันธุ์เป็น 5 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ *C.pubescens, C. baccatum, C. annuum, C. frutescens* และ *C. chinese* โดยอาศัยความแตกต่างของลักษณะดอกและผลในการจำแนกกลุ่ม

- *Capsicum pubescens* มีการพบพริกชนิดนี้ครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1790 ที่ประเทศเปรู เป็นพริกที่เหมาะกับสภาพพื้นที่อยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลมากๆ ตั้งแต่ 1,500 – 3,000 เมตรมีความแตกต่างกับพริกพันธุ์อื่นอย่างชัดเจนตรงที่มีดอกสีม่วงและเมล็ดสีดำ

- *Capsicum baccatum* L. เป็นพริกชนิดที่พบมากในทวีปอเมริกาใต้ พริกชนิดนี้แตกต่างกับพริกพันธุ์อื่นตรงที่กลีบดอกสีขาวมีจุดสีเหลืองหรือสีน้ำตาลที่โคนกลีบดอก

- *Capsicum annuum* L. เป็นพันธุ์พริกที่มีการปลูกกันแพร่หลายมากที่สุดในโลก มีพันธุ์ต่างๆมากมาย พริกกลุ่มนี้มักมีความสูงโดยเฉลี่ยประมาณ 30-75 ซม. บางพันธุ์เป็นไม้ยืนต้น มีความสูง 1.2-1.5 เมตร ผลแก่มีสีแดง เหลือง หรือน้ำตาล ตัวอย่างพริกพันธุ์นี้คือ พริกยักษ์หรือพริกหวาน พริกจินดา

- *Capsicum frutescens* L. เป็นพริกที่กระจายพันธุ์อย่างแพร่หลายในเขตร้อนของทวีปอเมริกาและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ปัจจุบันแพร่หลายทั้งเขตร้อนและเขตอบอุ่นทั่วโลก เป็นพริกที่มีรสชาติเผ็ดจัด ผลแก่มีสีแดง เหลือง หรือน้ำตาล ตัวอย่างพริกพันธุ์นี้คือ พริกขี้หนูสวน และพันธุ์ Tabasco

- *Capsicum chinense* Jacq. พริกพันธุ์นี้พบในบริเวณเขตร้อนของทวีปอเมริกา และแถบอินเดียตะวันตกพริกกลุ่มนี้มีทั้งพริกผลใหญ่เนื้อหนาใช้สำหรับรับประทานผลสดและเนื้อบางใช้ทำพริกแห้ง ส่วนผลเล็กมีกลิ่นและรสเผ็ดจัด ตัวอย่างพริกพันธุ์นี้ได้แก่ พันธุ์ Habanero (แม็กซิโก) และพันธุ์ Chinchi-chu

**2. การจำแนกพริกตามรูปร่างลักษณะ และการนำไปใช้ประโยชน์** พริกมีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง ทั้งรูปร่าง ลักษณะ ใบ ต้น ดอก โดยเฉพาะผลมีรูปร่างแตกต่างกัน พริกถูกนำไปแพร่กระจายพันธุ์ เกิดการผสมปะปนพันธุ์กันทั่วโลก จึงได้มีการจัดจำแนกประเภทของพริกพันธุ์ที่ปลูก โดยอาศัยลักษณะที่คล้ายคลึงกันของขนาดผล รูปทรงผล สีผิว ความหนาเนื้อ ความเผ็ด ตลอดจนการนำไปใช้ประโยชน์

**3. การจำแนกความเผ็ดตามสารที่ให้ความเผ็ดของพริก** กล่าวคือ แคปไซซิน (Capsaicin) มีหน่วยเป็น สโควิลล์ (Scoville) พริกที่มีสารแคปไซซินร้อยละ 1 ของน้ำหนัก จัดว่ามีความเผ็ดสูงสุดเท่ากับมีความเผ็ด 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถแบ่งพริกตามความเผ็ดได้ 3 กลุ่ม คือ

- <u>กลุ่มที่มีความเผ็ดมาก</u> มีความเผ็ดตั้งแต่ 70,000-175,000 สโควิลล์ เป็นพริกชนิด *Capsicum chinense* และ *C.frutescens* เป็นพริกที่มีความเผ็ดสูง ได้แก่ พริกขี้หนูสวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กลุ่มที่มีความเผ็ดปานกลาง เป็นพริกที่มีความเผ็ดตั้งแต่ 35,000-70,000 สโควิลล์ เป็นพริกชนิด *C. annuum* L. ใช้ผสมกับเครื่องเทศชนิดอื่นในการปรุงอาหาร ทั้งพริกผลสด ผลแห้ง และพริกป่น เช่น พริกขี้หนู พริกจินดา เป็นต้น

- กลุ่มที่มีความเผ็ดน้อยหรือไม่เผ็ด เป็นพริกที่มีความเผ็ดน้อยกว่า 35,000 สโควิลล์ เป็นพริกชนิด *C. annuum* ผลมีขนาดใหญ่ เนื้อหนา ได้แก่ พริกหยวก พริกหวาน

**4. การจำแนกพริกตามลักษณะลำต้น** ได้ 2 แบบ คือ พวกต้นล้มลุก เป็นพริกพวก *C. annuum* L. เป็นพริกที่มีอายุในการให้ผลผลิตสั้น และอีกชนิดคือพวกยืนต้น พริกที่อยู่ในพวกนี้คือ *C. frutescens* L. เป็นพริกที่มีอายุในการผลิตนานประมาณ 2-3 ปี

**พันธุ์พริกที่ทำการศึกษามี สองสายพันธุ์ ดังนี้**

พริกพันธุ์บางช้าง ชื่อวิทยาศาสตร์ *Capsicum frutescens* L. ลักษณะต้นค่อนข้างเตี้ย เป็นพริกเม็ดใหญ่ 5-10 ซม. ผลมีขนาดใหญ่ ยาว เรียว ชี้ลงดิน ผิวขรุขระ ผลดิบมีสีเขียวอ่อน เมื่อสุกมีสีแดงเข้ม เมื่อตากแห้งแล้วผิวจะมีความมันวาว

พริกพันธุ์จินดา ชื่อวิทยาศาสตร์ *Capsicum annuum* L. เป็นพริกพันธุ์ที่มีปลูกแพร่หลายมากที่สุดในโลก รวมทั้งในประเทศไทยด้วย เป็นพริกขี้หนูเม็ดใหญ่ขนาด 2-5 ซม. ผลมีขนาดเล็กเรียวและยาวลักษณะจะชี้ขึ้นเป็นส่วนมาก ผลดิบมีสีเขียวแก่ ผลสุกมีสีแดงเข้มใช้ได้ทั้งผลผลิตสดและแห้ง ผลที่นำมาตากแห้งแล้วจะมีสีสวย กรอบ มีน้ำหนักมาก ทนต่อโรค

## 2.2 พริกแห้งและพริกป่น

### 2.2.1 คุณภาพพริกแห้งและพริกป่นระหว่างการเก็บรักษา

พริกแห้งและพริกป่นจัดอยู่ในประเภทอาหารแห้ง จึงมีการเสื่อมคุณภาพได้ไว ปัจจัยของสิ่งแวดล้อมมีดังนี้ คือ ปริมาณออกซิเจน อุณหภูมิ และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งคุณภาพพริกป่นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ทั้ง ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงทางเคมี จะมีผลต่อคุณภาพสีของพริกป่น ซึ่งเกิดเนื่องจากปฏิกิริยา non enzymatic browning และ การเสื่อมสลายของเม็ดสีแคโรทีนอยด์ ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ ส่งผลต่อคุณภาพพริกป่นและยังก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค ปัจจัยที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ คือ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ เนื่องจาก ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เป็นเกณฑ์ในการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

พริกแห้งและพริกป่นที่ผู้บริโภคต้องการต้องมีลักษณะดังนี้ คือ มีสีแดงสม่ำเสมอ ไม่มีตำหนิจากโรคและแมลง ไม่มีกลิ่นอับหรือกลิ่นเหม็นหืน และไม่มีสิ่งแปลกปลอมเจือปน โดยคุณภาพต่าง ๆ ของพริกแห้งและพริกป่นแสดงดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.1** แสดงคุณภาพผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพริกแห้งและพริกป่น (มอก.457-2526)

| รายการ | พริกแห้ง | พริกป่น |
|---|---|---|
| 1. ชนิด | | |
| - ชนิดผลเล็ก | < 6 ซม. | |
| - ชนิดผลใหญ่ | 6 ซม.ขึ้นไป | |
| 2. ลักษณะที่ต้องการ | | |
| 2.1 ลักษณะทั่วไป | - ผลแบนเล็กน้อย<br>- สีแสดถึงสีแดงแก่<br>- ภายในเมล็ดสีเหลือง<br>- กลิ่นและรสตามธรรมชาติ<br>- ไม่มีรา แมลง ชิ้นส่วนของแมลงหรือมูลสัตว์ | - เป็นผลแห้ง ไม่จับเป็นก้อน<br>- สี กลิ่น รส ตามธรรมชาติ<br>- ไม่ใช้สีสังเคราะห์ และวัตถุกันเสีย<br>- ไม่มีรา แมลง ชิ้นส่วนของแมลงหรือมูลสัตว์ |
| 2.2 คุณลักษณะทางเคมี | | ไม่เกิน 11% |
| - ความชื้น | ไม่เกิน 13% | ไม่เกิน 8% |
| - เถ้าทั้งหมดของน้ำหนักอบแห้ง | ไม่เกิน 8 % | ไม่เกิน 1.25% |
| - เถ้าที่ไม่ละลายในกรดของน้ำหนักอบแห้ง | ไม่เกิน1.25% | ไม่เกิน 28% |
| - กากของน้ำหนักอบแห้ง | ไม่เกิน 28% | ไม่เกิน20% |
| - อะฟลาท็อกซิน (ไมโครกรัมของกิโลกรัมตัวอย่าง) | ไม่เกิน 20% | |
| 2.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์ | | ไม่เกิน $5x10^5$ |
| - เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม) | ไม่เกิน $5x10^5$ | ไม่เกิน $10^2$ |
| - เชื้อราและยีสต์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม) | ไม่เกิน $10^2$ | |

### 2.2.2 สีของพริกป่น

สีเป็นลักษณะที่ปรากฏที่เด่นชัดในพริกป่น คือ สีส้มแดง ซึ่งสีของพริกป่นที่เห็นนั้นมาจากรงควัตถุ คีโต-แคโรทีนอยด์ (keto-carotenoids) โดยมี แคปโซรูบิน (capsorubin) และ แคป-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แซนธิน (capsanthin) เป็นส่วนประกอบถึง 70 - 80 % ของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในพริกป่น (Ittah et.al., 1993) และยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อีก คือ วิโอลาแซนธิน (Violaxanthin) แคปแซนธิน 5, 6 อีพอกไซด์ (Capsanthin epoxide) ซีแซนธิน(Zeaxanthin) ลูทีน (lutein) เบต้า-คริปโทแซนธิน ( $\beta$ -cryptoxanthin) และ เบต้า-แคโรทีน ( $\beta$ -carotene) (Levy et.al., 1995; Minguez-Mosquera and Hornero-Mendez, 1993)

## 2.3 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีของพริกป่น

ในสภาวะแวดล้อม อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยสำคัญในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาและนำมาสู่การเสื่อมเสียคุณภาพในอาหาร คุณลักษณะที่ปรากฏเห็นได้ชัดในอาหารคือการเปลี่ยนสี (Yan et.al., 2007)

การเปลี่ยนสีของพริกนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymematic browning) และ การเสื่อมสลายของรงควัตถุ (Kanner et.al., 1978)

- ปฏิกิริยา non-enzymatic browning โดยอัตราการเกิดสีน้ำตาลสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Rapusas and Driscoll, 1995) โดยที่อุณหภูมิสูงจะทำให้สีของพริกเข้มขึ้น และปฏิกิริยา non-enzymatic browning จะเกิดได้เร็วที่ $a_w$ สูง (Aviara et.al., 2004)

- ปฏิกิริยาการเสื่อมสลายของรงควัตถุ ในพริกป่นจะเกิดการเสื่อมสลายของรงควัตถุแคโรทีนอยด์ โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น แสงสว่าง ปริมาณออกซิเจน โลหะหนัก $a_w$ อุณหภูมิ และ pH

$a_w$ มีผลกระทบต่อรงควัตถุในอาหาร และเป็นสาเหตุที่ทำให้แคโรทีนอยด์ที่โครงสร้าง fatty acid esters ของผงพริกป่นเกิดการ hydrolysis (Rockland and Beuchat, 1987; Yan et.al., 2007)

ออกซิเจนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการเปลี่ยนสีในพริกป่นเนื่องจาก พริกป่นเกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ เมื่อพริกสัมผัสกับออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน (Autoxidation) โดยแคปแซนธินในพริกจะดูดซับก๊าซออกซิเจนในอัตราส่วน 1 โมลของออกซิเจนต่อ 1 โมลของแคป-แซนธิน ทำให้ได้สารประกอบใหม่ คือ แคปแซนโธน (Capsanthone) 3 - คีโต คริปโตแคป-โซน (3-keto crptocapsoe) และ 3- คีโต-เบต้า-อะโป-8-แคโรทีนัล (3-keto-beta-apo-8′-carotenal) จากปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้พริกมีปริมาณแคปแซนธินลดลงจึงทำให้พริกมีสีซีดลง

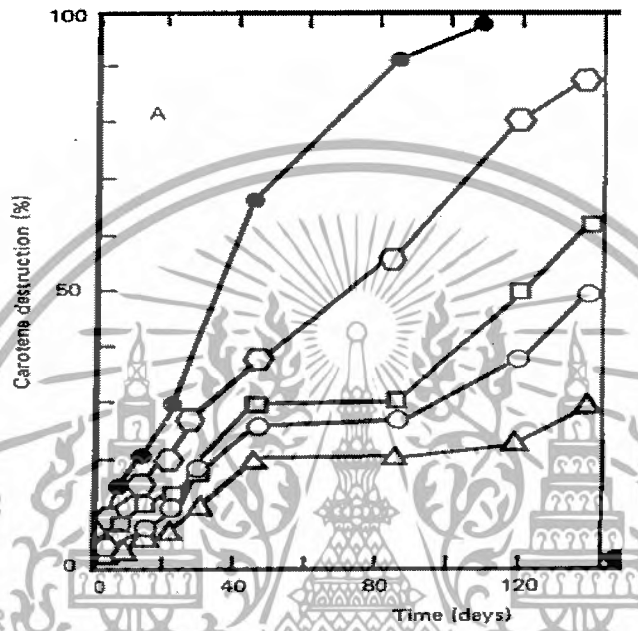
### 2.3.1 ผลกระทบของวอเตอร์แอกติวิตี้ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีพริกป่น

น้ำมีความสำคัญในหลายปฏิกิริยา และตัวเร่งปฏิกิริยาให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียคุณภาพได้เร็วขึ้น ตัวบ่งบอกปริมาณน้ำในอาหาร คือ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ($a_w$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$a_w$ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีของพริกป่นโดยสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีโดยการเสื่อมสลายของรงควัตถุแคโรทีนอยด์ และโดยการวัดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีที่เป็นค่าสีแดง (a) ของพริกป่น

Kanner et.al. (1978) ได้ทำการศึกษาการเสื่อมสลายรงควัตถุแคโรทีนอยด์ พบว่า $a_w$ มีผลต่อความคงตัวของรงควัตถุในพริกป่นระหว่างการเก็บรักษา ดังรูปที่ 2.1



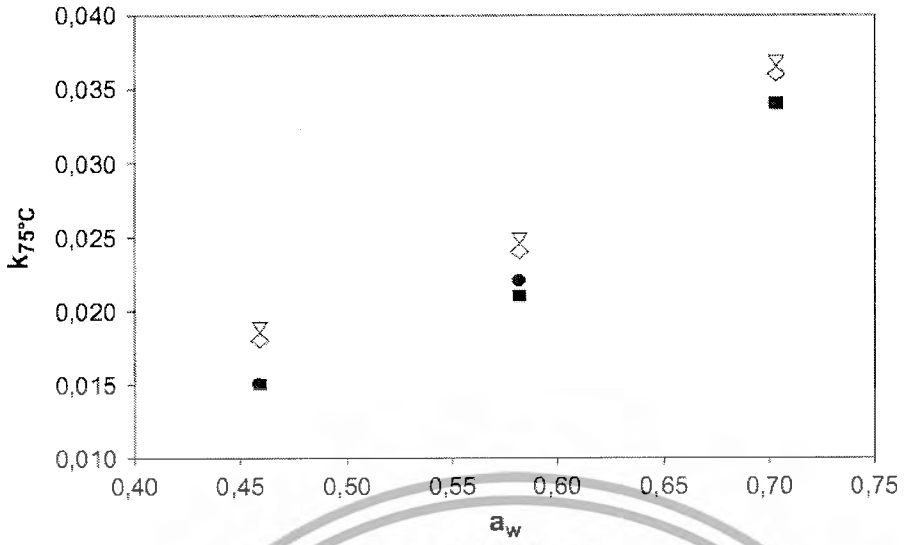

**รูปที่ 2.1** แสดงการเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์ในพริกป่น ที่ $a_w$ 0.01(●); 0.32 (○); 0.52 (○); 0.64(△) และ 0.75(□)

ที่มา : Rockland and Beuchat (1987)

จากรูปที่ 2.1 พบว่าที่ $a_w$ เท่ากับ 0.64 จะมีความคงตัวของรงควัตถุแคโรทีนอยด์มากที่สุดที่ $a_w$ 0.01 – 0.32 จะมีอัตราการเสื่อมสลายของรงควัตถุแคโรทีนอยด์สูง นอกจากนี้ที่ $a_w$ มากกว่า 0.64 จะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ได้เร็วขึ้นและทำให้พริกจับตัวเป็นก้อน ดังนั้นการเก็บรักษาพริกป่นที่ดีควรเก็บที่ $a_w$ เท่ากับ 0.64 เพื่อป้องกันการเสื่อมสลายของรงควัตถุ

Topuz (2008) ได้ทำการศึกษา การเสื่อมคุณภาพสีของพริกป่นโดยวิธีทางจลนพลศาสตร์ที่สัมพันธ์กับค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ การเสื่อมค่าสีของพริกทางจลนพลศาสตร์วิเคราะห์ด้วยวิธี non linear regression ได้ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง โดยมีการวัดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีของพริกป่นด้วยเครื่องวัดสี colorimeterได้ผลดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.2** แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราของค่าคงที่ (k) ที่อุณหภูมิ 75 °C ของค่าสี [L(●), a(▽), b(■), $\Delta E$ (◇)] ที่สัมพันธ์กับค่าวอเตอร์แอกติวิตี้

ที่มา : Topuz (2008)

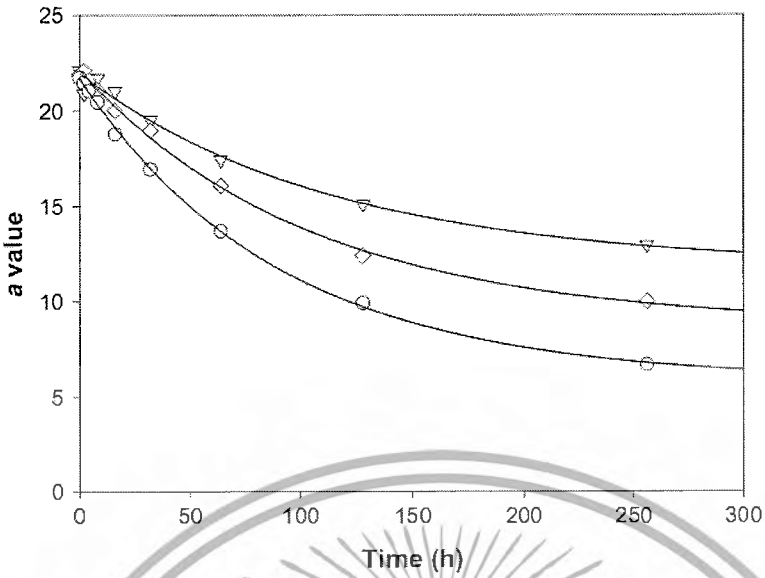
จากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนสีของพริกป่น ค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด คือ ค่าสีแดง (a) และพบว่าที่ $a_w$ สูง ค่าคงที่ของอัตรา (k) จะยิ่งสูงตามไปด้วย จึงกล่าวได้ว่าค่า $a_w$ มีผลกระทบต่อการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสี โดยที่ $a_w$ สูงจะทำให้พริกป่นมีการเปลี่ยนสีได้เร็วขึ้น

**2.3.2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีพริกป่น**

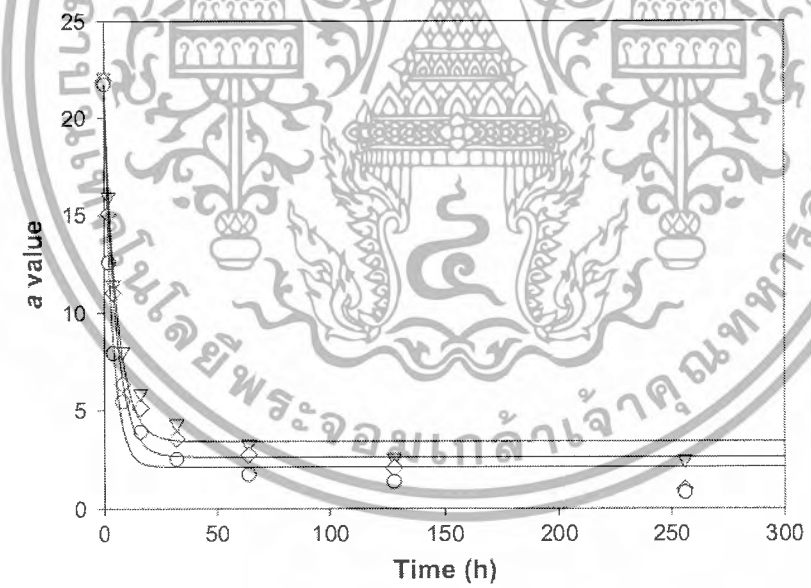
อุณหภูมิมีผลต่อปฏิกิริยาในพริกป่น โดยการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีพริกป่นจะเกิดได้ช้าหรือเร็วนั้นก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการกระบวนการผลิตและระหว่างการเก็บรักษา โดย Topuz (2008) ได้ทำการศึกษา การเสื่อมคุณภาพสีของพริกป่นโดยวิธีทางจลนพลศาสตร์ที่สัมพันธ์กับค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ที่อุณหภูมิต่างๆ ดังรูปที่ 2.3

จากรูปที่ 2.3 และ 2.4 พบว่า ในช่วงแรกของการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (a) จะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และจะค่อยๆ ลดลงจนถึงค่าคงที่หนึ่งๆ จากรูปที่ 2.4 ที่อุณหภูมิ 99 °C การเปลี่ยนแปลงค่าสีจะเกิดได้อย่างรวดเร็ว และเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 25 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 60 °C จะเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงได้ช้า และเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 300 ชั่วโมง จึงพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีของพริกป่น โดยที่อุณหภูมิสูง การเปลี่ยนแปลงค่าสีจะเกิดการเปลี่ยนสีของพริกป่นได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.3** แสดงการเปลี่ยนค่าสีแดง (a) ของพริกป่นที่ $a_w$ 0.459, 0.582 และ 0.763 ที่อุณหภูมิ 60 °C ที่มา : Topuz (2008)




**รูปที่ 2.4** แสดงการเปลี่ยนค่าสีแดง (a) ของพริกป่นที่ $a_w$ 0.459, 0.582 และ 0.763 ที่อุณหภูมิ 99 °C ที่มา : Topuz (2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การวัดค่าสีของพริกป่น

ระบบสีมีหลายระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่ออธิบายสีของอาหาร เช่น ระบบ Hunter (L, a, b) ระบบ C.I.E.LAB (L*, a*, b*) วิธีเหล่านี้เป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อน จึงได้มีการนำมาใช้บอกลักษณะการเปลี่ยนสีในอาหารอย่างกว้างขวาง

ระบบ C.I.E. LAB (L*, a*, b) เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ในการตรวจวัดสีผลิตภัณฑ์อาหาร และได้ถูกนำมาใช้ในการวัดตัวอย่าง ซึ่งแสดงในรูปของ L* (คือความสว่างมีค่า 0 ถึง100) a* (ค่าบวก คือสีแดงและค่าลบ คือสีเขียว) b* (ค่าบวก คือสีเหลืองและค่าลบ คือสีน้ำเงิน) (ภัคนัย, 2550) โดยจะมีการ calibrate เครื่องก่อนด้วยแผ่นมาตรฐานวัสดุทั่วไปด้วยวัตถุขาว ที่มีค่า Xn = 91.07 Yn= 96.05 Zn = 104.07 ตัวอย่างจะถูกวางบนแหล่งให้แสงสว่าง ค่าสี L*,a*,b* จะถูกแสดงบนมายังจอคอมพิวเตอร์ โดยค่า L*,a*,b* ที่ได้จะเป็นค่าที่เฉลี่ย 3 จุดแล้ว

ส่วนในการหาความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.1) (ภัคนัย, 2550)

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \qquad (2.1)$$

ค่า L* คือ ค่าความสว่าง และค่า $L_0^*$ คือ ค่าความสว่างเริ่มต้น

ค่า a* คือ ค่าความเป็นสีแดง และค่า $a_0^*$ คือ ค่าสีแดงเริ่มต้น

ค่า b* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง และค่า $b_0^*$ คือ ค่าสีเหลืองเริ่มต้น

## 2.5 ความชื้น

### 2.5.1 ความชื้นในอาหาร (Moisture Content)

ความชื้น คือ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร เป็นสิ่งที่ชี้คุณภาพและความปลอดภัยของอาหาร เนื่องจากน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหาร ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีและชีวเคมีต่างๆ ซึ่งมีผลทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย (นิธิยา, 2549)

โดยหลักการแล้ววิธีการหาปริมาณความชื้นในอาหารสามารถหาได้ตามมาตรฐานของ Association of Official Analytical Chemists หรือ AOAC ทั้งนี้วิธีการหาขึ้นอยู่กับประเภทและชนิดของอาหารนั้นๆ หลักการหาความชื้นโดยทั่วไป คือ ชั่งน้ำหนักอาหารก่อน แล้วนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นในอาหารจนน้ำหนักคงที่ นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก (wet basis) ดังสมการที่ (2.2) และเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง (dry basis) ดังสมการที่ (2.3)

$$\% \text{ ความชื้นฐานเปียก} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100 \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\% \text{ ความชื้นฐานแห้ง} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักหลังอบ}} \times 100 \quad (2.3)$$

**2.5.2 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)**

ปริมาณความชื้นหรือไอน้ำในอากาศจะแสดงในรูปของความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity: RH) ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนของความดันไอน้ำในอากาศต่อความดันไอน้ำในอากาศที่อิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน และมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (ดนัย, 2547) ความชื้นสัมพัทธ์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.4)

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์ (\%)} = \frac{\text{ความดันไอน้ำในอากาศ} \times 100}{\text{ความดันไอน้ำในอากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน}} \quad (2.4)$$

ปริมาณไอน้ำในอากาศที่อยู่ในภาชนะจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำในอาหารและอากาศ ซึ่งจะเกิดการแลกเปลี่ยนกันจนกระทั่งไม่มีการเคลื่อนที่เข้าและออกของน้ำในรูปไอน้ำอีก เรียกความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำให้อาหารเกิดสภาวะสมดุลนี้ว่า ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (Equilibrium Relative Humidity: ERH) สำหรับน้ำบริสุทธิ์จะมี ERH เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยความชื้นสัมพัทธ์สมดุลนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันที่เปลี่ยนไป

**2.5.3 วอเตอร์แอกติวิตี้ในอาหาร**

วอเตอร์แอกติวิตี้ (Water Activity) หรือค่า $a_w$ คือ อัตราส่วนระหว่างความดันไอของน้ำในอาหารต่อความดันไอน้ำอิ่มตัวของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน เมื่ออาหารถูกทิ้งไว้ในอากาศจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุล ค่า $a_w$ จะมีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของอากาศ (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2539) ดังสมการที่ (2.5) และสมการที่ (2.6)

$$a_w = \frac{P}{P_o} \quad (2.5)$$

หรือ

$$a_w = \frac{ERH}{100} \quad (2.6)$$

**2.5.4 ซอร์พชั่นไอโซเทอร์ม**

ซอร์พชั่นไอโซเทอร์ม (sorption Isotherm) เป็นการวิเคราะห์ความชื้นของอาหารที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากอาหารนั้นมีความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศได้ หากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และอาหารมีความสามารถในการดูดความชื้นได้มาก เส้นกราฟ Adsorption Isotherm จะมีความชันมาก อาหารประเภทนี้เรียกว่า hygroscopic product และถ้าอาหารไม่มีความไวต่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เพิ่มขึ้นเส้นกราฟ จะมีความชันน้อย อาหารประเภทนี้เรียกว่า nonhygroscopic (นิธิยา, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการหา Moisture Sorption Isotherm มีหลายวิธี วิธีที่ใช้กันส่วนใหญ่มี 3 วิธี คือ The manometric , The gravimetric และ The special method (Aviara et.al., 2004) ดังตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.2** Measuring Methods for Water Vapor Sorption Isotherms

| | |
|---|---|
| **Gravimetric methods** | |
| Continuously | Discontinuously |
| Evacuated systems<br>Dynamic systems<br>Static system | |
| **Manometric, hygrometric methods** | |
| Continuously | Discontinuously |
| Directly<br>Indirectly | |
| **Special methods** | |

ที่มา : Rockland & Beuchat (1987)

วิธีการหา Moisture Sorption Isotherm ของพริกป่นใช้วิธี The static gravimetric ซึ่งสามารถทำได้โดยนำตัวอย่างไปใส่ในโหลปรับความชื้น โดยมีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวชนิดต่างๆ โดยโหลปรับความชื้นที่ใช้ต้องสามารถควบคุมความชื้นได้ดี แล้วตั้งอาหารทิ้งไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ จนเข้าสู่สภาวะสมดุล จากนั้นนำมาวัดค่าปริมาณความชื้น เพื่อนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ จะได้กราฟซอร์พชั่นไอโซเทอร์ม ดังแสดงในรูปที่ 2.5

**สมการสำหรับอธิบายซอร์พชั่นไอโซเทอร์ม**

สมการสำหรับวิเคราะห์ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มเป็นส่วนที่สำคัญสำหรับทฤษฎีอาหารแห้งและสามารถนำสมการที่ได้ไปวิเคราะห์ เพื่อทำนายเวลาในการอบแห้งและทำนายอายุการเก็บอาหารแห้งในบรรจุภัณฑ์ได้ (Aviara et.al., 2004)

สมการที่นำมาใช้วิเคราะห์กราฟซอร์พชั่นไอโซเทอร์มที่นิยมใช้มี 5 สมการ ดังตารางที่ 2.3 (Aviara et.al., 2004)

ซึ่งจากสมการจากตารางที่ 2.3 เหล่านี้เป็นสมการที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด (Aviara et.al., 2004) ซึ่งแต่ละสมการมีการในไปใช้ต่าง ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

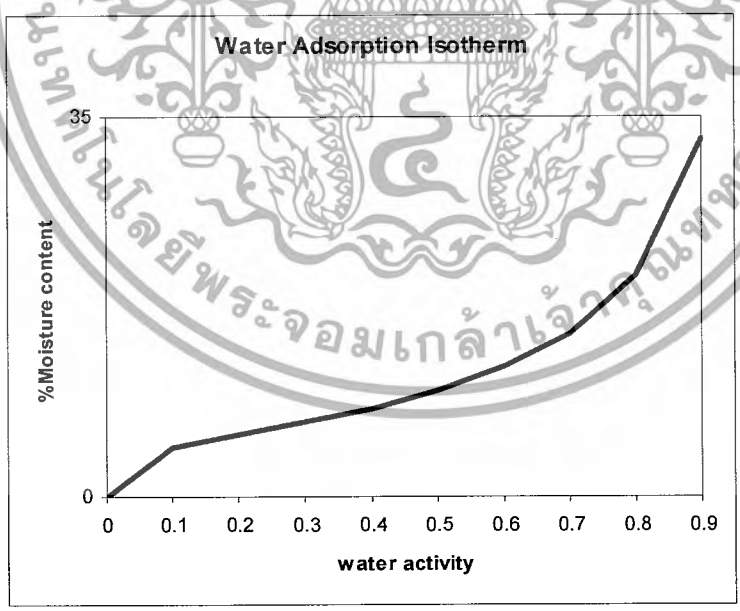
The Modified Herderson เป็นสมการที่เหมาะกับพืชตระกูลถั่ว (cowpea) (Ajibola et.al., 2003) เมล็ดยี่หร่า (Soysal and Ztekin, 2001)

The Modified Chung-Pfost เป็นสมการที่เหมาะกับนำไปใช้กับพืชต่างๆ อาทิ Maytenus *ilicifolia* Leaves (Cordeiro et.al., 2006) ข้าวเปลือก (Basunia and Abe, 1999) ข้าวบาร์เลย์ (Basuia and Abe, 2005)

The Modified Halsey model เป็นสมการที่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยน้ำมันและโปรตีนสูงและธัญพืชเขตร้อนชื้นหลายชนิด อาทิ พริกไทย (Ertekin and Sultanoglu, 2001) ใบไม้แห้ง ชาเขียวและชาดำ (Ghodake et.al., 2007) ถั่วเหลือง (Aviara et.al., 2004) เมล็ดมัสตาร์ด (Barrozo et.al., 2008) และ mate leave (Zanoelo, 2005)

The Modified Oswin model เป็นสมการที่เหมาะกับข้าวโพดคั่ว ถั่วลิสง และพืชจำพวกข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง (Aviara et.al., 2006) พาสต้า (Temmerman et.al., 2008) แป้งถั่วเขียว (Durakova et.al., 2005) แป้งมันแกว (Oyelade et.al., 2008)

The modified GAB model เป็นสมการที่เหมาะกับพืช อาทิ ราสเบอรี่ (Syamaladevi et.al., 2009) เมล็ดดอกบานไม่รู้โรย (Pagano and Mascheroni, 2005) ถั่วดำ (Swami et.al., 2005) เมล็ดยาสูบ (Menkov and Denkov, 1999) แป้งข้าวโพด (Oyelade, 2008b) และ *Citrus aurantium* (Mohamed et.al., 2005)




**รูปที่ 2.5** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับค่าวอเตอร์แอกติวิตี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.3** สมการสำหรับอธิบายซอร์พชั่นไอโซเทอร์ม

| Name of model | Equilibrium moisture content model | Water activity model |
|---|---|---|
| Modified Herderson | $M \approx \left[\frac{-\ln(1-a_w)}{A(T+B)}\right]^{1/C}$ | $a_w \approx 1-\exp\left[-A(T+B)M^C\right]$ |
| Modified Chung-Pfost | $M \approx -\frac{1}{C}\ln\left[-\frac{(T+B)}{A}\ln a_w\right]$ | $a_w \approx \exp\left[-\frac{A}{(T+B)}\exp(-CM)\right]$ |
| Modified Halsey | $M \approx \left[\frac{-\ln a_w}{\exp(A+BT)}\right]^{-1/C}$ | $a_w \approx \exp\left[-\exp(A+BT)M^{-C}\right]$ |
| Modified Oswin | $M \approx (A+BT)\left[\frac{a_w}{1-a_w}\right]^C$ | $a_w \approx \frac{1}{\left[\frac{(A+BT)}{M}\right]^C+1}$ |
| Modified GAB | $M \approx \frac{ABa_w\left(\frac{C}{T}\right)}{(1-Ba_w)\left(1-Ba_w+\left(\frac{C}{T}\right)Ba_w\right)}$ | $a_w \approx \frac{2+\frac{C}{T}\left(\frac{A}{M}-1\right)-\left[\left(2+\frac{C}{T}\left(\frac{A}{M}-1\right)\right)^2-4\left(1-\frac{C}{T}\right)\right]^{1/2}}{2B\left(1-\frac{C}{T}\right)}$ |

M = ความชื้น (% โดยน้ำหนักแห้ง)

$a_w$ = วอเตอร์แอกติวิตี้ (จำนวนทศนิยม)

T = อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส

A, B และ C = ค่าคงที่ ซึ่งมีค่าเฉพาะตัวของแต่ละสมการ

ที่มา : Aviara et.al. (2004)

**การทำนายอายุการเก็บอาหารในบรรจุภัณฑ์**

ไอโซเทอร์มแบบดูดความชื้น สามารถนำมาอธิบายการดูดน้ำกลับของผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด โดยเฉพาะอาหารประเภทไวต่อความชื้น เช่น ขนมขบเคี้ยว อาหารแห้ง เป็นต้น จะเกิดการเสื่อมคุณภาพทางเคมีและกายภาพได้เร็ว จนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงได้นำกราฟซอร์พชั่นไอโซเทอร์มมาวิเคราะห์ทำนายอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท (Rockland and Beuchat, 1987) ดังสมการที่ (2.7) ซึ่งอายุการเก็บที่ได้จากการทำนายนี้เป็นสภาวะที่มีอุณหภูมิการเก็บรักษาคงที่หนึ่ง ๆ

$$\theta_c = \frac{-\ln\left(\frac{M_e - M_i}{M_e - M_c}\right)}{\left(\frac{K}{X}\right)\left(\frac{A}{W_s}\right)\left(\frac{P_0}{B}\right)} \qquad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง


$M_e$ = ได้จากการอ่านค่าความชื้นที่อยู่บนเส้นตรงที่เป็นส่วน extrapolate ไปจากส่วนกลางของกราฟต่อไปที่จุดที่สัมพันธ์กับความชื้นสัมพันธ์สมดุลของสภาวะบรรยากาศที่ใช้เก็บตัวอย่าง, กรัมของน้ำ/กรัมของอาหารแห้ง

$M_c$ = ปริมาณความชื้นวิกฤตของผลิตภัณฑ์อาหาร, กรัมของน้ำ/กรัมของอาหารแห้ง

$M_i$ = ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารเริ่มแรกเมื่อบรรจุ, กรัมของน้ำ/กรัมของอาหารแห้ง

k = การยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้ (Permeability) ของบรรจุภัณฑ์

$$\frac{\text{(กรัมของน้ำ)(เมตร)}}{\text{(วัน)(ตารางเมตร)(มิลลิเมตรปรอท)}}$$

X = ความหนาของบรรจุภัณฑ์, เมตร

A = พื้นที่ผิวบรรจุของบรรจุภัณฑ์, ตารางเมตร

$P_0$ = ความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ สภาวะการเก็บรักษา, มิลลิเมตรปรอท

$W_s$ = น้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุ, กรัม

B = ความชันของเส้นตรงที่ได้จากกราฟซอร์พชั่น ไอโซเทอร์ม

$\theta_c$ = อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท ณ จุดเริ่มต้นจนกระทั่งถึงจุดวิกฤต, วัน

## 2.6 จลนพลศาสตร์การเปลี่ยนคุณภาพของอาหาร

จลนพลศาสตร์เป็นการศึกษาถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาและขั้นตอนในการเกิดปฏิกิริยา การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะช่วยให้เข้าใจหรือคาดคะเนขั้นตอนในการเกิดปฏิกิริยาได้ โดยในอาหารมีการเปลี่ยนแปลงได้หลายทาง ปฏิกิริยาต่างๆ ในอาหารที่เกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาจะเกิดขึ้นด้วยอัตราที่แตกต่างกัน (รุ่งนภา, 2548) เช่น

- การเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น ออกซิเดชัน (Oxidation) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction)
- การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ เช่น การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ
- การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การเปลี่ยนสี การแยกชั้นของครีม
- การเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณค่าอาหาร เช่น การสูญเสียวิตามิน การเปลี่ยนแปลงของโปรตีน
- การเปลี่ยนแปลงทางด้านประสาทสัมผัส เช่น การเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัส การสูญเสียกลิ่นรส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
104029

โดยปฏิกิริยาต่างๆ ในอาหารจะเกิดขึ้นด้วยปัจจัยและอัตราที่แตกต่างกัน สามารถแสดงการเสื่อมคุณภาพของอาหารได้ด้วยสมการอัตราของปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์ (Kinetics Reaction) ซึ่งมีรูปแบบสมการทั่วไป ดังสมการที่ (2.8)

$$-\frac{dQ}{dt} = kQ^n \tag{2.8}$$

เมื่อ $Q$ คือ คุณภาพที่ต้องการศึกษา

$k$ คือ ค่าคงที่ของอัตรา (Reaction rate constant)

$n$ คือ อันดับของปฏิกิริยา (Order of the reaction)

$t$ คือ เวลา

โดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ และปฏิกิริยาอันดับหนึ่งมักจะถูกใช้สำหรับอธิบายปฏิกิริยาของการสูญเสียทางคุณภาพของอาหาร (Man and Jones, 2000)

**2.6.1 ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero order reaction)**

สำหรับปฏิกิริยาอันดับศูนย์ พิจารณาค่าคุณภาพ ($Q$) ที่ลดลงระหว่างการเก็บรักษา ดังรูปที่ 2.6 ค่าคุณภาพจะลดลงอย่างคงที่ มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง (Linear plot) สามารถเขียนสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ได้โดยแทน $n = 0$ ในสมการที่ (2.8) จะได้

$$-\frac{dQ}{dt} = k \tag{2.9}$$

เมื่ออินทิเกรทสมการที่ (2.9) จะได้

$$Q = Q_0 - kt \tag{2.10}$$

โดยที่ $Q_o$ คือ ค่าคุณภาพเริ่มต้น และ $Q$ คือ ค่าคุณภาพที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

สมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์สมการที่ (2.10) มักถูกใช้ในการอธิบายปฏิกิริยาต่างๆ เช่น การเสื่อมเสียเนื่องจากเอน ไซม์ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) การเหม็นหืน (Lipid oxidation) เป็นต้น

**2.6.2 ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First order reaction)**

สำหรับปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง พิจารณาค่าคุณภาพ ($Q$) ที่ลดลงระหว่างการเก็บรักษา ดังรูปที่ 2.7 ค่าคุณภาพจะลดลงเป็นเส้นโค้งแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential plot) สามารถเขียนสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งได้โดยแทน $n = 1$ ในสมการที่ (2.8) จะได้

$$-\frac{dQ}{dt} = kQ \tag{2.11}$$

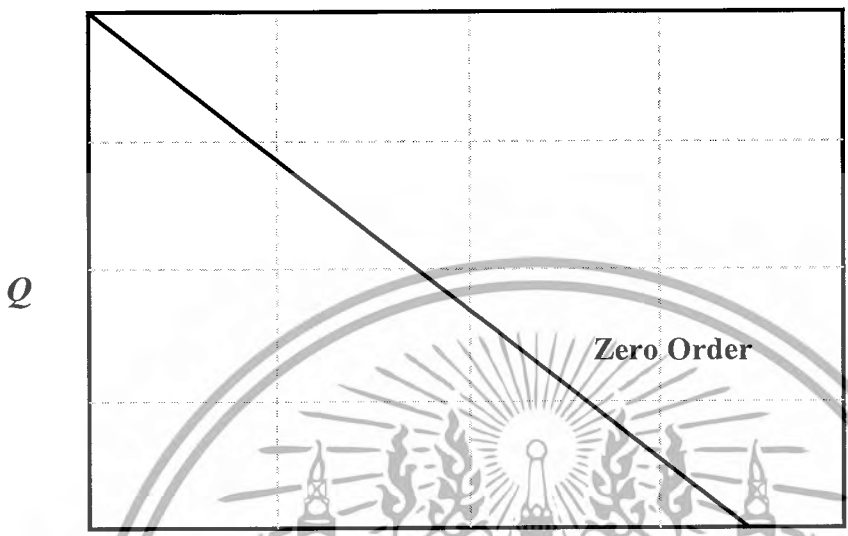
เมื่ออินทิเกรทสมการที่ (2.11) จะได้

$$\ln\frac{Q}{Q_0} = -kt \tag{2.12}$$

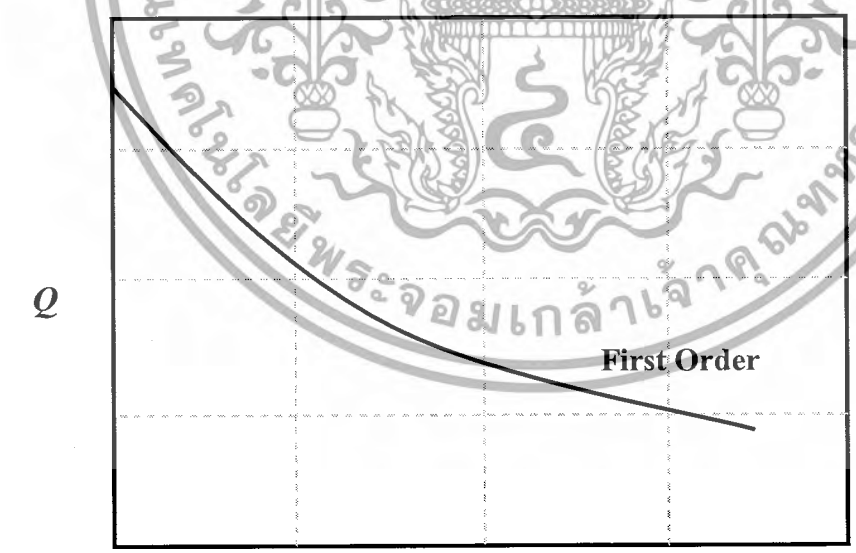
โดยที่ $Q_o$ คือ ค่าคุณภาพเริ่มต้น และ $Q$ คือ ค่าคุณภาพที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาการเสื่อมเสียของอาหารที่แสดงโดยสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งสมการที่ (2.12) มักถูกใช้ในการอธิบายการสูญเสียวิตามิน การเปลี่ยนแปลงของโปรตีน และการเจริญของจุลินทรีย์ (Labuza, 1986)




**รูปที่ 2.6** กราฟแสดงลักษณะการลดลงของค่าคุณภาพของอาหารระหว่างการเก็บรักษา (ปฏิกิริยาอันดับศูนย์)




**รูปที่ 2.7** กราฟแสดงลักษณะการลดลงของค่าคุณภาพของอาหารระหว่างการเก็บรักษา (ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 ผลของอุณหภูมิต่อค่าคงที่ของอัตราและสมการอาร์เรเนียส

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ของอัตรา ($k$) ที่มีผลทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปได้เร็วหรือช้า โดยทั่วไปที่อุณหภูมิต่ำจะมีผลทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปได้ช้ากว่า และที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยาจะดำเนินไปได้เร็วกว่า (รุ่งนภา, 2548) ซึ่งผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสามารถอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์ตามสมการอาร์เรเนียส (Arrhenius Equation) ดังสมการที่ (2.13) (ดวงกมล, 2549)

$$k = A\exp\left[-\frac{E_a}{RT}\right] \tag{2.13}$$

หรือเขียนให้อยู่รูปลอการิทึมได้สมการที่ (2.14)

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \tag{2.14}$$

เมื่อ $k$ คือ ค่าคงที่ของอัตรา (Reaction rate constant)

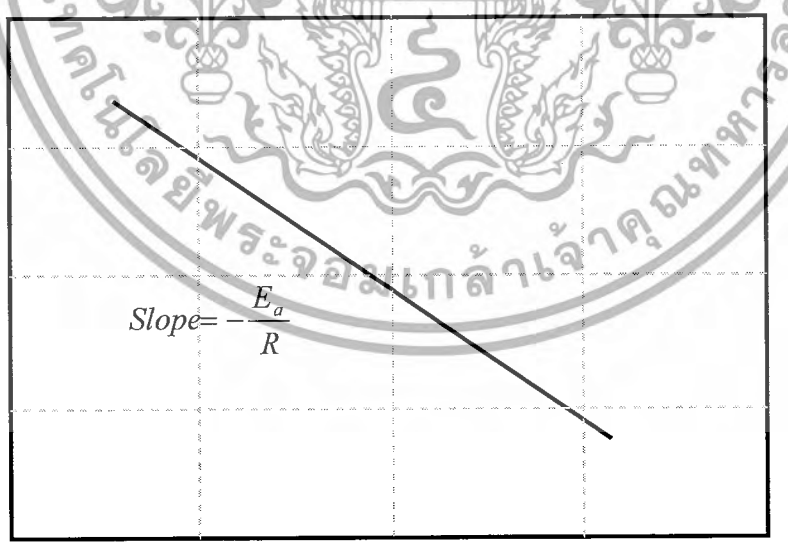
$A$ คือ ค่าคงที่ Pre-exponential factor

$E_a$ คือ พลังงานกระตุ้น (Activation Energy) ($J/mol$)

$R$ คือ ค่าคงที่ของก๊าซ = 8.314 $J/mol\,K$

$T$ คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (เคลวิน)

จากสมการที่ (2.14) เมื่อนำมาค่า $\ln k$ กับ $1/T$ มาเขียนความสัมพันธ์ในกราฟดังรูปที่ 2.8 จะสามารถหาพลังงานกระตุ้นจากความชันของกราฟได้ โดยที่ Slope = $-E_a/R$




**รูปที่ 2.8** กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิต่อค่าคงที่ของอัตรา โดยที่ Slope = $-E_a/R$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการอาร์เรเนียสจะเห็นว่าเมื่อพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยามีค่าสูง อุณหภูมิจะมีผลต่ออัตรามากขึ้นตามไปด้วย กล่าวคือ สำหรับปฏิกิริยาที่มีค่าพลังงานกระตุ้นสูง ค่าคงที่ของอัตราจะเพิ่มขึ้นสูงมากแม้ว่าอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นพียงเล็กน้อยก็ตาม ในทางกลับกันหากปฏิกิริยามีค่าพลังงานกระตุ้นต่ำมากๆ ค่าคงที่อัตราอาจไม่เปลี่ยนแปลงแม้ว่าอุณหภูมิจะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างก็ตาม

ในกรณีศึกษาที่อุณหภูมิต่างสภาวะ ณ อุณหภูมิหนึ่งให้เป็นอุณหภูมิอ้างอิง ($T_{ref}$) กับอุณหภูมิใดๆ ($T$) สามารถทำได้โดยใช้สมการที่ (2.16) และนำสมการทั้งสองมาลบกัน จัดให้อยู่ในรูปสมการที่ (2.15) ดังนี้

ที่อุณหภูมิ $T_{ref}$; $$\ln k_{T_{ref}} = \ln A - \frac{E_a}{RT_{ref}} \quad \text{(a)}$$

ที่อุณหภูมิ $T$; $$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad \text{(b)}$$

จะได้ $$\ln \frac{k}{k_{T_{ref}}} = -\frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right) \quad \text{(c)}$$

หรือ $$k = k_{T_{ref}} \exp\left[-\frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right] \quad (2.15)$$

## 2.8 อายุการเก็บรักษาของอาหาร

อายุการเก็บรักษา หมายถึง ช่วงระยะเวลาของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ ตั้งแต่เริ่มผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ จนกระทั่งผลิตภัณฑ์นั้นอยู่ในสภาพที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ (Labuza, 1982)

การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาอาหาร สามารถแบ่งแยกได้ดังนี้ (Man and Jones, 2000)

**1. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ** การเปลี่ยนแปลงส่วนนี้มักมีสาเหตุมาจากความผิดพลาดในการจัดการกับอาหาร ในขั้นตอนของการเก็บเกี่ยว กระบวนการผลิต และการขนส่ง ตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ได้แก่ การช้ำของผัก ผลไม้ การแตกหักของของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบหรือ ขนมทอดกรอบ (Snacks) การสูญเสียความกรอบของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

**2. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี** การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถเกิดได้ทั้งขั้นตอนการผลิต และการเก็บรักษา โดยปฏิกิริยาเคมีส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบภายในของอาหาร ที่มีปัจจัยแวดล้อมภายนอกมาเป็นส่วนช่วยในการเกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญในอาหาร ได้แก่ ปฏิกิริยาจากเอนไซม์ (Enzymatic reactions) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reactions) โดยเฉพาะการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation) สำหรับตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาทางเคมี ได้แก่ การเกิดกลิ่นหืน การเกิดสีน้ำตาล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3. การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์** การเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้ต้องอาศัยปัจจัยที่เพียงพอประกอบด้วย จึงจะสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ เช่น ค่าวอเตอร์แอคติวิตีในผลิตภัณฑ์อาหาร ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล หรือเกลือ (Osmotic concentration) ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิที่ทำการเก็บรักษา เป็นต้น ลักษณะตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงจากจุลินทรีย์ ได้แก่ การบูดเน่าของของผลิตภัณฑ์อาหารสดจากจุลินทรีย์ เป็นต้น

## 2.9 วิธีประเมินอายุการเก็บของอาหาร

วิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบอายุการเก็บของอาหาร คือ การทดสอบอายุการเก็บโดยใช้สภาวะเร่ง (Accelerated Shelf Life Testing: ASLT) ซึ่งเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยเร่งสภาวะแวดล้อมหนึ่งที่ทราบค่า เพื่อให้อาหารมีการเสื่อมเสียด้วยอัตราเร็วกว่าปกติ วิธีนี้จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้มาก เนื่องจากอาหารบางชนิดมีอายุการเก็บนาน วิธีนี้เป็นวิธีที่คล้ายกับการเก็บจริง แต่เร่งสภาวะการเสื่อมเสียให้เกิดเร็วขึ้น โดยการเพิ่มอุณหภูมิ หรือความชื้นสัมพัทธ์ แต่อาจได้ผลที่ไม่แน่นอน เพราะการเพิ่มอุณหภูมิมีผลกระทบต่อปัจจัยอื่น เช่น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ที่อาจสูงขึ้นเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูง นอกจากนั้นการเก็บที่อุณหภูมิสูง อาจทำให้ไขมันในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว เป็นการเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมเสียมากเกินกว่าเมื่อเก็บอาหารที่อุณหภูมิต่ำกว่า เป็นต้น แต่เนื่องจากเป็นวิธีที่ทราบผลอย่างรวดเร็ว จึงนิยมใช้กันพอสมควร วิธีที่ใช้ เช่น

1. เทคนิค $Q_{10}$ มาทำนายอายุการเก็บของอาหารที่อุณหภูมิต่างกัน 10 °C จากอัตราเร็วของปฏิกิริยาดังสมการที่ (2.16) (Man and Jones, 2000)

$$Q_{10} = \frac{\text{ค่าคงที่อัตรา (k) ที่อุณหภูมิ } (T+10)^{\circ}\text{C}}{\text{ค่าคงที่อัตรา (k) ที่อุณหภูมิ } T^{\circ}\text{C}} \qquad (2.16)$$

หรือจากอายุการเก็บของอาหารที่อุณหภูมิต่างกัน 10°C ดังสมการที่ (2.17) โดยหลักการดังกล่าวยังสามารถคำนวณอายุการเก็บที่อุณหภูมิอื่นๆ ได้ดังสมการ (2.18) (Labuza and Schmidl, 1985)

$$Q_{10} = \frac{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T^{\circ}\text{C}}{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } (T+10)^{\circ}\text{C}} \qquad (2.17)$$

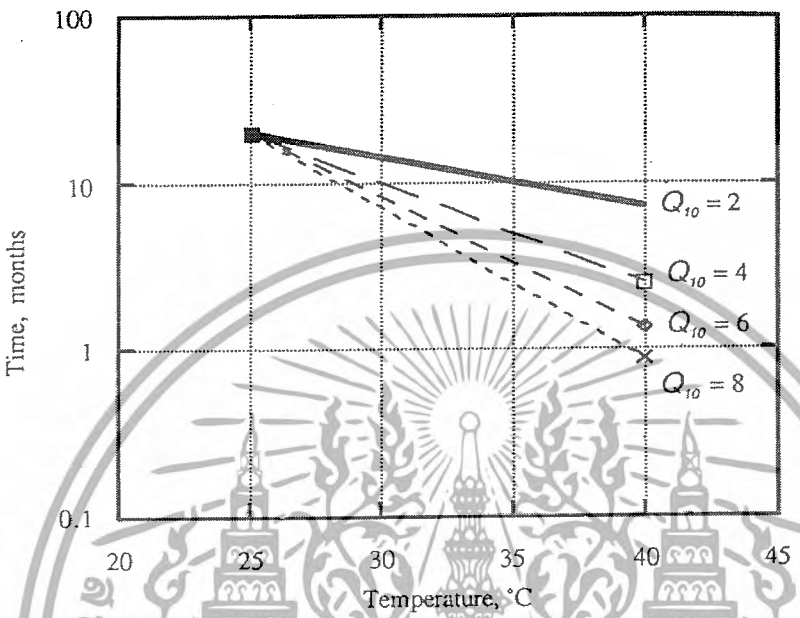
$$Q_{10}^{\Delta/10} = \frac{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T_1^{\circ}\text{C}}{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T_2^{\circ}\text{C}} \qquad (2.18)$$

เมื่อ $\Delta$ = ผลต่างของอุณหภูมิ $T_1$ และ $T_2$

จากสมการ $Q_{10}$ ทำนายอายุการเก็บในสภาวะเร่ง สามารถแสดงตัวอย่างได้ดังกราฟรูปที่ 2.9 โดยอาหารมีอายุการเก็บที่อุณหภูมิปกติ 25°C เท่ากับ 20 เดือน ถ้ามีการทดสอบหาอายุการเก็บที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะเร่งอุณหภูมิ 40˚C โดยที่ผลิตภัณฑ์มีค่า $Q_{10}$ แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2.9 จะเห็นว่า ถ้า $Q_{10}$ = 4 อายุการเก็บที่ 40˚C จะเท่ากับ 2.5 เดือน แต่ถ้า $Q_{10}$ = 8 อายุการเก็บที่ 40˚C จะเท่ากับ 0.88 เดือน คือ ยิ่ง $Q_{10}$ มาก อายุการเก็บของอาหารจะยิ่งสั้นลง (Man and Jones, 2000)




**รูปที่ 2.9** กราฟแสดงค่า $Q_{10}$ ที่แตกต่างกันในการทำนายอายุการเก็บที่สภาวะเร่ง 40˚C

ที่มา : Man and Jones (2000)

อย่างไรก็ตาม การเพิ่มอุณหภูมิอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะขององค์ประกอบของอาหาร ดังนั้นอายุการเก็บที่ทำนายจะมากกว่าอายุการเก็บจริงที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่าสภาวะเร่งที่ทดสอบ

2. วิธีครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) ใช้หาเวลาที่ค่าคุณภาพของอาหารลดลงครึ่งหนึ่งจากค่าเริ่มต้น Man and Jones (2000) ยกตัวอย่างการหาค่า $t_{1/2}$ จากปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งได้ดังสมการที่ (2.19)

$$t_{1/2} = \frac{\ln 0.5}{k} = \frac{0.693}{k} \qquad (2.19)$$

3. การหาอายุการเก็บโดยใช้ปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์อธิบายการเสื่อมของคุณภาพ เพื่อหาคุณภาพของอาหารที่เปลี่ยนไปจนกระทั่งผู้บริโภคไม่ยอมรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**อายุการเก็บ**

García et.al. (2008) ศึกษาอายุการเก็บรักษาของมะกอกสุกโดยใช้วิธีการทดสอบด้วยสภาวะเร่ง (Accelerated Shelf Life Testing: ASLT) ต่อการเปลี่ยนสี ความแน่นเนื้อ และค่าพีเอช โดยการใช้ความสัมพันธ์ของจลนพลศาสตร์และสมการอาร์เรเนียส มาทำนายอายุการเก็บด้วยเทคนิค $Q_{10}$ หรืออัตราส่วนระหว่างค่าคงที่ของอัตราที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 10°C ค่า $Q_{10}$ ยิ่งมาก การเปลี่ยนแปลงจะยิ่งเกิดได้เร็ว

López-Duarte and Vidal-Quintavar (2009) ได้ศึกษาอายุการเก็บของแป้งข้าวโพดโดยพิจารณาการเกิดออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก โดยจะทำการศึกษาอายุการเก็บในสภาวะเร่ง (Accelerate Shelf Life Test: ASLT) ที่อุณหภูมิ 45, 55, 65, 75 และ 85°C ที่ $a_w$ 0.45 โดยเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 180 วัน และได้ทำการวัดการเปลี่ยนแปลง 3 ค่า คือ กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid, LA) ค่า p-anisidine และค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value, PV) พบว่า เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงกว่า 55°C จะเกิดการเหม็นหืนได้ไวกว่าที่อุณหภูมิต่ำ และสามารถหาค่า $Q_{10}$ ของแป้งข้าวโพดได้จากการเขียนกราฟของอาร์เรเนียส จะให้ค่า $Q_{10}$ เท่ากับ 1.37, 1.49 และ 1.62 ตามลำดับ จึงพบว่าที่เวลาและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จะเกิดการออกซิเดชันจากกรดลิโนเลอิก และในแต่ละวันการสูญเสียคุณภาพจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.6 เท่าของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทำให้การค้าขายและการนำเข้า-ส่งออกของแป้ง corn masa ยากต่อการยอมรับของผู้บริโภค จึงมีการป้องกันการเกิดถิพิดออกซิเดชัน โดยการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ และเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

**จลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพ**

Guevara et.al. (1998) ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนสีของพริกป่นที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ ต่อการเสื่อมปริมาณแคโรทีนอยด์ของพริกป่นที่ปลูกในพื้นที่ต่างๆ และหาการเสื่อมของแคโรทีนอยด์ด้วยวิธีครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) โดยพิจารณาจากการเสื่อมของแคโรทีนอยด์ที่ลดลงครึ่งหนึ่งจากค่าเริ่มต้น พบว่า $t_{1/2}$ จะมีค่ามากเมื่อเก็บพริกป่นที่ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิต่ำ

Prachayawarakorn et.al. (2004) ศึกษาจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงสีระหว่างการเก็บรักษาของกระเทียมแห้งแบบชิ้นบาง เนื่องจากผลกระทบของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ พบว่าการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มของค่าสี L, a และ b ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดีด้วยแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง และอัตราการเกิดสีน้ำตาลเกิดมากที่สุดที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70%

Topuz (2008) ศึกษาผลของค่าวอเตอร์แอกติวิตี้และอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนสีของพริกป่น (paprika) พบว่า การเปลี่ยนสีของพริกป่นในระหว่างกระบวนการและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวอเตอร์แอกติวิตี้ต่างๆ อธิบายได้ด้วยปฏิกิริยาจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง ผลของอุณหภูมิต่อการเสื่อมค่าสีของพริกป่นเป็นไปตามความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส กล่าวคือ ยิ่งค่าพลังงานกระตุ้นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนจะยิ่งมีผลกระทบต่อการเสื่อมค่าสีระหว่างกระบวนการมากขึ้นด้วย และสำหรับพริกป่นที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้สูงจะมีค่าคงที่อัตราที่อุณหภูมิอ้างอิงสูงขึ้น คือ มีการเปลี่ยนสีในระยะเวลาที่รวดเร็ว เมื่อพิจารณาค่าสี L, a, b ทั้งหมดที่วัดได้ พบว่า ค่าสีแดง (a) มีค่าคงที่อัตราที่อุณหภูมิอ้างอิงสูงที่สุด ค่า a จึงมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด

Yan et.al. (2008) ศึกษาเกี่ยวกับการเสื่อมเสียของคุณภาพและความชื้นของกล้วยระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งอธิบายด้วยปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์ โดยใช้กล้วยสุกที่ผ่านการอบแห้งลมร้อนที่อุณหภูมิ 35 ถึง 45˚C นาน 13-16 ชั่วโมง พบว่ากล้วยชิ้นบางแห้งจะดูดความชื้นกลับได้เร็วขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง และความชื้นสัมพัทธ์สูง และการเปลี่ยนสีของกล้วยสามารถอธิบายได้ดีด้วยปฏิกิริยาอันดับศูนย์ โดยการเปลี่ยนสีเกิดจากผลกระทบของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษา ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทำการศึกษานั้นมีความสำคัญในการทำนายคุณภาพที่เปลี่ยนไปของกล้วยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# วิธีการทดลอง

## 3.1 การเตรียมตัวอย่างพริกป่น

พริกพันธุ์บางช้างและพันธุ์จินดา ซื้อจากตลาดหัวตะเข้ กรุงเทพมหานคร นำมาแปรรูปเป็นพริกแห้งตามวิธีของวิชัย (2536) โดยนำพริกมาคัดคุณภาพ เลือกพริกที่มีสีแดงสดสม่ำเสมอ สุกเต็มที่และไม่มีตำหนิ เด็ดขั้ว ล้างให้สะอาด กรีดแยกเมล็ดออก แล้วแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโป-คลอไรด์ ความเข้มข้น 100 ppm นาน 20 นาที จากนั้นลวกพริกในน้ำเดือด 3 นาที จึงเรียงพริกใส่ตะแกรงก่อนนำไปทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน (Tray Dry) ที่อุณหภูมิ 60 °C จนน้ำหนักคงที่ นำพริกแห้งมาบดละเอียดด้วยเครื่องบด (RETCH Ultra Centrifugal Mill ZM1000, Germany) เก็บตัวอย่างไว้ในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ปิดผนึกสนิทสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ -18°C

## 3.2 การวิเคราะห์ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่น

ชั่งตัวอย่างพริกป่น 3 กรัม ใส่ในภาชนะ วางบนชั้น ภายในขวดโหลที่มีฝาปิดสนิท เหนือสารละลายเกลืออิ่มตัวเกลือ นำมาเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 40, 55 และ 70 °C โดยสารละลายเกลือที่ใช้มี 4 ชนิด คือ $CH_3COOK$, $K_2CO_3$, NaBr และ KCl ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของสารละลายเกลือแต่ละชนิดที่อุณหภูมิต่างๆ หาได้จากตารางแนะนำการเตรียมสารละลายเกลือ ตารางที่ ก.1 (Labuza, 2004) โดยใช้สมการที่ 3.1 จะได้ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของสารละลายเกลืออิ่มตัวต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

$$\ln(a_w) = \frac{k_1}{T} - k_2 \qquad (3.1)$$

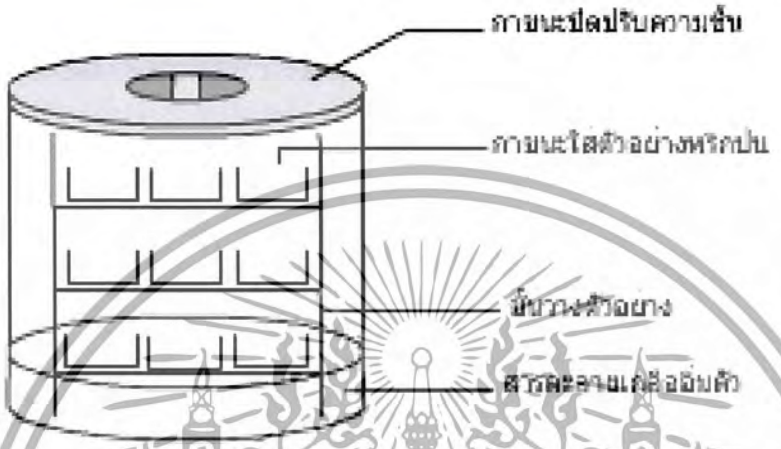
เมื่อแทนค่าลงในสูตรแล้วจะได้ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่อุณหภูมิต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

**ตารางที่ 3.1** แสดงค่า $a_w$ ของสารละลายเกลือที่อุณหภูมิ 40, 55 และ 70°C

| สารละลายเกลืออิ่มตัว | สมการหาค่า $a_w$ | อุณหภูมิ | | | ช่วง $a_w$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 40°C | 55°C | 70°C | |
| $CH_3COOK$ | $\ln(a_w)=333.9001/T-2.6185$ | 0.2118 | 0.2017 | 0.1929 | 0.1929 - 0.2118 |
| $K_2CO_3$ | $\ln(a_w)=3.024/T-0.83$ | 0.4319 | 0.4320 | 0.4322 | 0.43.19 - 0.4322 |
| NaBr | $\ln(a_w)=447.8054/T-0.6967$ | 0.5339 | 0.5001 | 0.4712 | 0.4712 - 0.5339 |
| KCl | $\ln(a_w)=157.0587/T-2.6188$ | 0.8227 | 0.8014 | 0.7874 | 0.7874 - 0.8227 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพริกป่นเข้าสู่ภาวะสมดุลกับความชื้นสัมพันธ์ภายในโหลสารละลายเกลืออิ่มตัว (น้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 0.001 กรัม) จึงนำมาหาความชื้นตามวิธีของ AOAC (1995) โดยทำ 2 ซ้ำ แล้ววิเคราะห์หาสมการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานแห้ง กับค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ($a_w$) ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ ตามตารางที่ 2.3




**รูปที่ 3.1** แสดงปริมาณสารละลายเกลือต่างๆ และการวางตัวอย่างบนชั้นในโหลสารละลายเกลืออิ่มตัว

**รูปที่ 3.2** แสดงการวางตัวอย่างพริกป่นบนชั้นเหนือสารละลายเกลืออิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 3.3** แผนผังแสดงการเตรียมตัวอย่างพริกป่นและขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การเลือกสมการสำหรับอธิบายซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่น**

นำค่าความชื้นของพริกป่นที่สมดุลกับสารละลายเกลืออิ่มตัวที่วัดได้ มาใช้วิธี non-linear regression ของโปรแกรม SPSS ในการเลือกสมการและหาค่าคงที่ของสมการสำหรับอธิบายซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่น โดยใช้ Water activity model ดังแสดงในตารางที่ 2.3 โดยการประเมินค่า Residual Sum of Square (RSS) ค่า Standard Error of Estimate (SEE) และ R-Square (Oyelade et.al, 2008a, 2008b)

วิธีการหาค่ายอมรับเชิงสถิติ (นิติพงษ์, 2549)

โดยที่ DF คือ ค่าความเป็นอิสระ (Degree of freedom)

TSS คือ ค่าผลรวมกำลังสองของความแปรปรวนทั้งหมด (Total sum of Square)

RSS คือ ค่าผลรวมกำลังสองของความแปรปรวนของข้อมูล (Residual sum of square) เป็นค่าที่บอกถึงความผิดพลาดไปจากข้อมูลที่แท้จริง สามารถหาได้จากสมการที่ (3.2)

$$RSS = \sum_{i=1}^{n} (Y_{(\exp)} - Y_{(pre)})^2 \qquad (3.2)$$

เมื่อ $Y_{(\exp)}$ คือ ค่าที่ได้จากการทดลอง

$Y_{(pre)}$ คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลอง

$n$ คือ จำนวนข้อมูล

SEE คือ ค่าประมาณความผิดพลาด (Standard error of estimate) สามารถหาได้จากสมการที่ (3.3)

$$SEE = \sqrt{\frac{RSS}{DF}} \qquad (3.3)$$

R-Square คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (The coefficient of determination) เป็นตัวชี้ว่าสมการต้นแบบของเรามีความเหมาะสม (Fit) กับค่าข้อมูลมากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (3.4)

$$R - Square = 1 - \frac{RSS}{TSS} \qquad (3.4)$$

## 3.3 การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงสีของพริกป่น

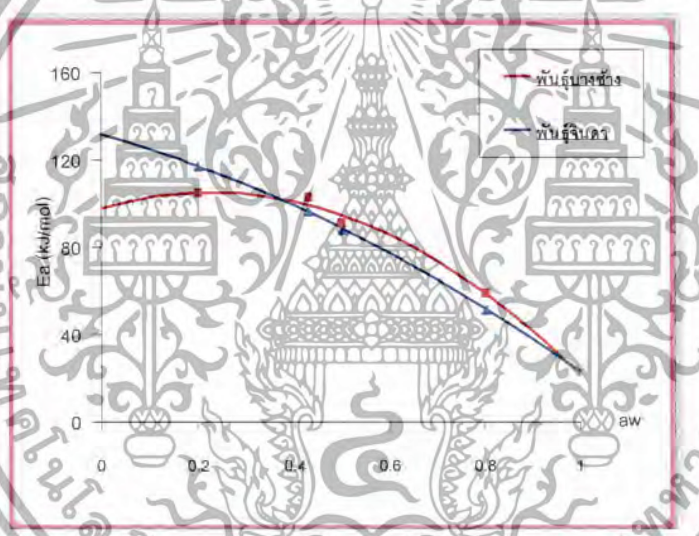
ชักตัวอย่างพริกป่นที่ทดลอง 2 ซ้ำ มาวัดค่าสี ด้วยเครื่อง Tri-stimulus colorimeter (รุ่น JC801, Tokyo, Japan) อ่านค่าใน ระบบ C.I.E. L*, a*, b* ซึ่ง L* (คือ ความสว่างมีค่า 0 ถึง 100) a* (ค่าบวก คือ สีแดงและค่าลบ คือ สีเขียว) b* (ค่าบวก คือสีเหลืองและค่าลบ คือ สีน้ำเงิน) โดยมีแผนการเก็บตัวอย่างดังนี้ ที่อุณหภูมิ 40°C เก็บตัวอย่างวันที่ 1, 2, 4, 7, 17, 28 และ 38 อุณหภูมิ 55°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บตัวอย่างวันที่ 1, 2, 4, 7, 9, 11 และ 14 และอุณหภูมิ 70°C เก็บตัวอย่างวันที่ 1, 3, 6, 9, 13, 16 และ 20 นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ดังนี้

1. หาอันดับของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สมดุลต่างๆ ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.6 โดยการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า a* กับเวลา (วัน) เป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln a* กับเวลา (วัน) เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง แล้วเลือกอันดับของปฏิกิริยาจากกราฟที่มีค่ายอมรับเชิงสถิติ R-Square มากที่สุด และหาค่าคงที่ของอัตรา (k) จากความชันของกราฟทั้งสอง

2. หาค่าพลังงานกระตุ้น ($E_a$) ที่ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลต่างๆ จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln k กับ 1/T ตามสมการของอาร์เรเนียส สมการที่ (2.14) และวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ของค่าพลังงานกระตุ้นกับค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ($a_w$ = ERH/100) จากกราฟความสัมพันธ์ของค่า $E_a$ กับ $a_w$ ดังรูปที่ 3.4




**รูปที่ 3.4** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกระตุ้นกับวอเตอร์แอกติวิตี้

ซึ่งรูปแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์มี 2 รูปแบบ ได้แก่

- **ความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear relationships)**

$$y = ax + b$$

- **ความสัมพันธ์ไม่เชิงเส้น (non - linear relationships)**

ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล (polynomial relationhips)

$$y = ax^2 + bx + c$$

ความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (exponential relationships)

$$y = a\exp(bx)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

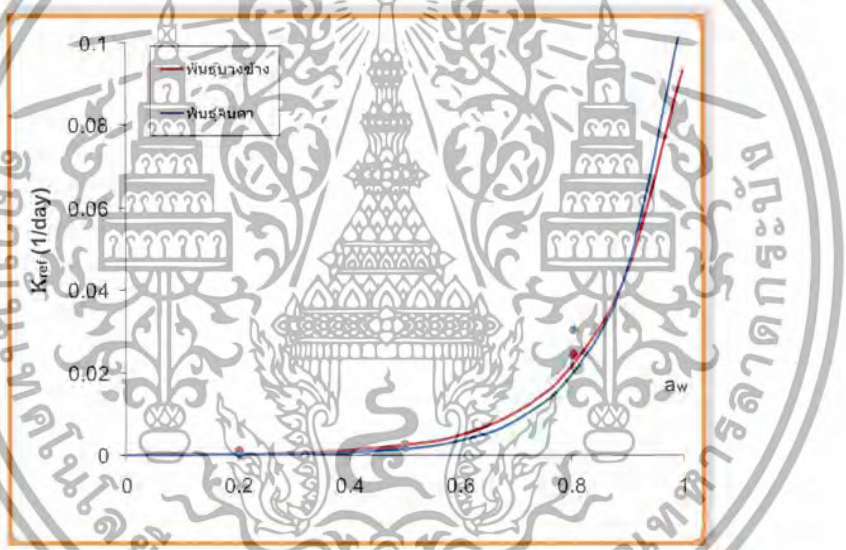
เมื่อ a, b และ c คือค่าคงที่ของแต่ละความสัมพันธ์

โดยใช้โปรแกรม SPSS เพื่อหารูปแบบสมการที่เหมาะสม พิจารณาค่า RSS และ SEE ที่ต่ำที่สุดและ R-Square ที่สูงที่สุด

3. หาค่าคงที่ของอัตราที่อุณหภูมิอ้างอิง ($k_{ref}$) จากความแตกต่างของอุณหภูมิอ้างอิงกับอุณหภูมิที่ทำการทดลอง โดยกำหนดให้อุณหภูมิอ้างอิง คือ 25°C หรือ 273 K ดังสมการที่ (2.15)

$$k = k_{T_{ref}} \exp\left[-\frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_{ref}}\right)\right]$$

โดย $k_{ref}$ จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและพลังงานกระตุ้น และมีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์สมดุล และวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ของค่าคงที่ของอัตราที่อุณหภูมิอ้างอิงกับค่าวอเตอร์แอกติวิตี้จากกราฟความสัมพันธ์ของค่า $k_{ref}$ กับ $a_w$ ดังรูปที่ 3.5 แล้ววิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์เช่นเดียวกับข้อ 2




รูปที่ 3.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราที่อุณหภูมิอ้างอิงกับวอเตอร์แอกติวิตี้

## 3.4 การประเมินอายุการเก็บของพริกป่น

**กรณีไม่มีบรรจุภัณฑ์**

หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยการแทนค่า k ตามอันดับของปฏิกิริยาที่วิเคราะห์ได้ในสมการที่ (2.15) อินทิเกรทสมการจะได้รูปแบบสมการทั่วไปแต่ละอันดับได้ดังนี้

ปฏิกิริยาอันดับศูนย์

$$a^* = a^*_0 - k_{ref} \exp\left[-\frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_{ref}}\right)\right]\cdot\Delta t \qquad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

$$\ln a^* = \ln a^*_0 - k_{ref} \exp\left[-\frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right] \cdot \Delta t \qquad (3.6)$$

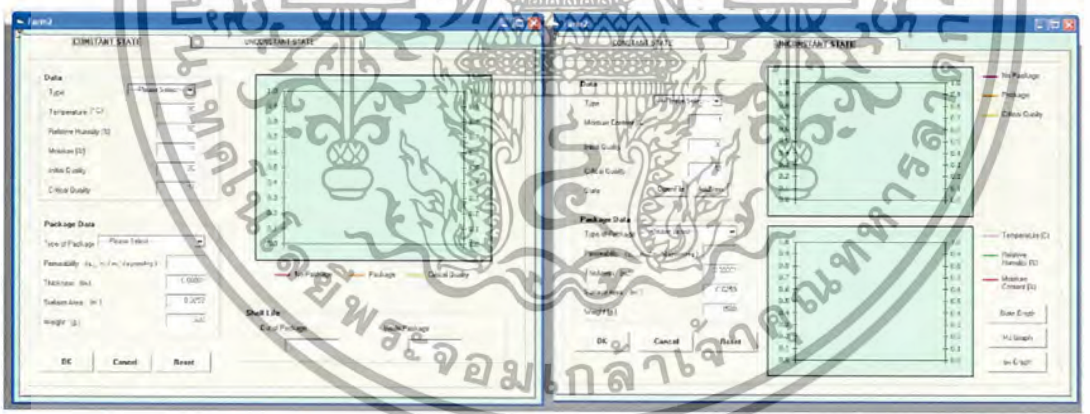
เมื่อ $k_{ref}$ และ $E_a$ เป็นฟังก์ชันกับความชื้นสัมพัทธ์สมดุล

**กรณีมีบรรจุภัณฑ์**

ในกรณีที่พริกป่นอยู่ในบรรจุภัณฑ์ให้หาค่า $a_w$ ของพริกป่นโดยใช้สมการของ Rockland และ Beuchat (1987) สมการที่ (2.7) ในการปรับความชื้นสัมพัทธ์สมดุล เพื่อหาค่าความชื้นของพริกป่นในบรรจุภัณฑ์ และใช้สมการสำหรับอธิบายซอร์พชั่นไอโซเทอร์มเพื่อหาค่า $a_w$ ก่อนนำมาวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สมการที่ (3.5) หรือ (3.6) ตามอันดับปฏิกิริยา

## 3.5 สร้างโปรแกรมประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่น

สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่นพันธุ์จินดาและพันธุ์บ้างช้าง โดยการใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 โดยมีหน้าต่างโปรแกรมดังรูปที่ 3.6



**รูปที่ 3.6** แสดงหน้าต่างโปรแกรมประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# ผลการทดลองและวิจารณ์

## 4.1 ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่นทั้งสองสายพันธุ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากผลการทดลองหาค่าความชื้นของพริกป่น(ภาคผนวก ข.) สามารถนำมาใช้เลือกซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่นที่เหมาะสมได้ โดยพบว่า ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่นทั้งสองสายพันธุ์สามารถอธิบายได้ดีด้วยสมการซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของออสวิน โดยการเลือกสมการที่เหมาะสมจากค่าทางสถิติ คือ ค่า RSS กับ ค่า SEE ที่ต่ำที่สุด และค่า R-Square สูงที่สุด (Oyelade et.al, 2008a, 2008b) ดังตารางที่ 4.1 และตางรางที่ 4.2

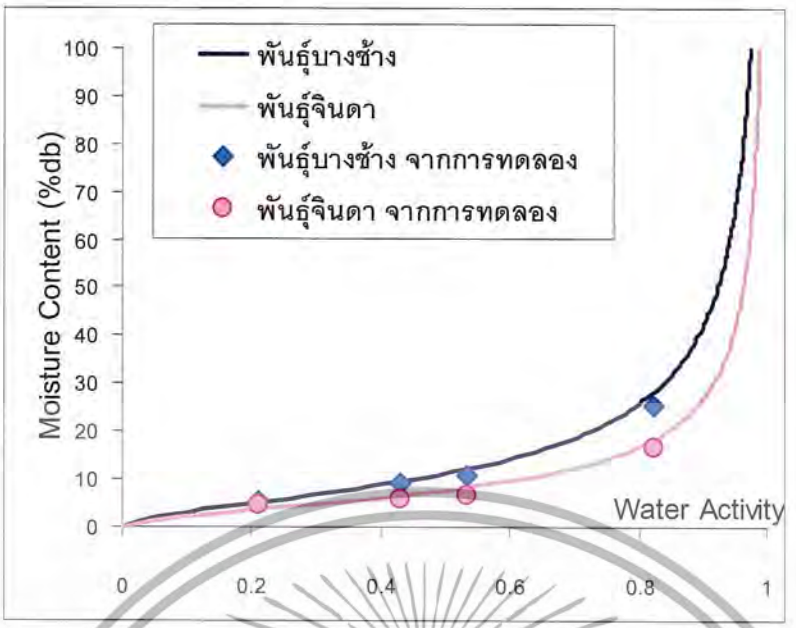
**ตารางที่ 4.1** แสดงการเปรียบเทียบค่าคงที่จากสมการวิเคราะห์ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่นพันธุ์จินดา (DF = 9, TSS = 0.559)

| Name of model | ค่าคงที่ | | | RSS | SEE | R-Square |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | | | |
| **Modified Henderson** | 0 | 332.420 | 1.243 | 0.079 | 0.094 | 0.859 |
| **Modified Chung-Pfost** | 659.107 | 202.025 | 0.185 | 0.082 | 0.095 | 0.853 |
| **Modified Halsey** | 2.710 | -0.006 | 1.470 | 0.062 | 0.083 | 0.889 |
| **Modified Oswin** | 7.899 | -0.022 | 1.956 | 0.068 | 0.087 | 0.879 |
| **Modified GAB** | 2.148 | $-7.38\times10^{-5}$ | -0.004 | 0.296 | 0.181 | 0.470 |

**ตารางที่ 4.2** แสดงการเปรียบเทียบค่าคงที่ของสมการวิเคราะห์ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่นพันธุ์บางช้าง (DF = 9, TSS = 0.559)

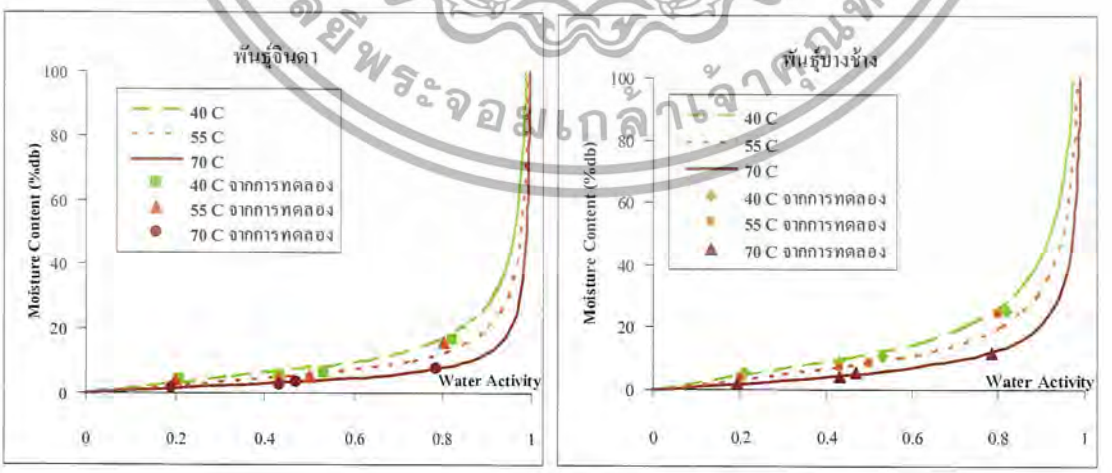
| Name of model | ค่าคงที่ | | | RSS | SEE | R-Square |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | | | |
| **Modified Henderson** | $6.71\times10^{-6}$ | 4193.887 | 1.329 | 0.085 | 0.097 | 0.848 |
| **Modified Chung-Pfost** | 1248.589 | 369.082 | 0.132 | 0.087 | 0.098 | 0.844 |
| **Modified Halsey** | 3.504 | -0.005 | 1.547 | 0.069 | 0.088 | 0.877 |
| **Modified Oswin** | 11.616 | -0.020 | 2.101 | 0.073 | 0.090 | 0.870 |
| **Modified GAB** | 3.987 | -2.801 | -271.156 | 0.205 | 0.151 | 0.633 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.1** แสดงการเปรียบเทียบกราฟซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่นพันธุ์จินดาและพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 40°C

จากรูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบกราฟซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่นพันธุ์จินดาและพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 40°C พบว่า พริกป่นจากพริกพันธุ์จินดาและพันธุ์บางช้างจะมีซอร์พชั่น-ไอโซเทอร์มแตกต่างกัน ความชันกราฟในช่วง $a_w$ 0.2-0.8 ซึ่งเป็นช่วงที่สำคัญที่มีผลต่อการเก็บรักษา พริกป่นพันธุ์บางช้างจะมีความชันมากกว่าพันธุ์จินดา โดยพริกป่นพันธุ์บางช้างจะมีค่า $a_w$ น้อยกว่าพันธุ์จินดาที่ปริมาณความชื้นเท่ากัน




**รูปที่ 4.2** แสดงกราฟซอพชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่นทั้งสองพันธุ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

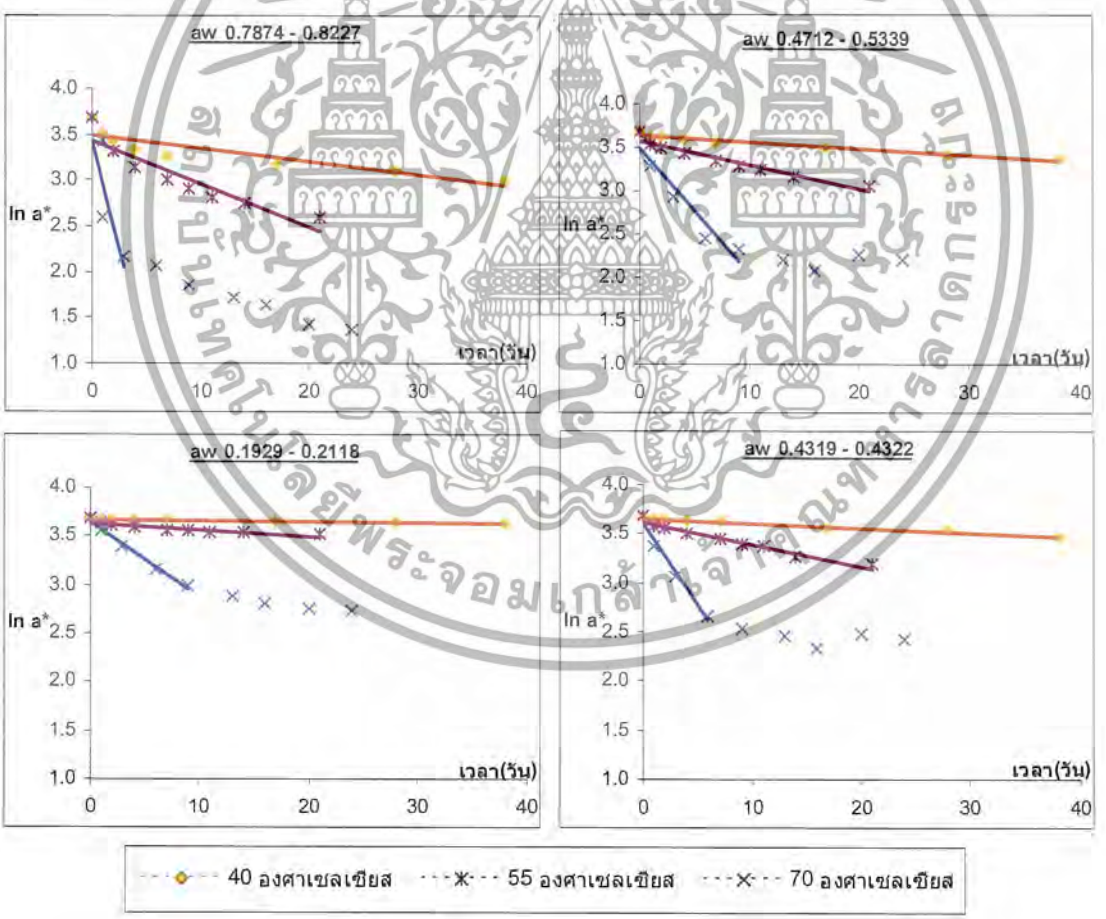
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อซอพชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่นทั้งสองพันธุ์ ดังรูปที่ 4.2 พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ $a_w$ ของพริกป่นทั้งสองพันธุ์สูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากอุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความดันไอของน้ำในพริกป่นสูงขึ้น $a_w$ จึงสูงขึ้นตาม

## 4.2 การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสีของพริกป่น

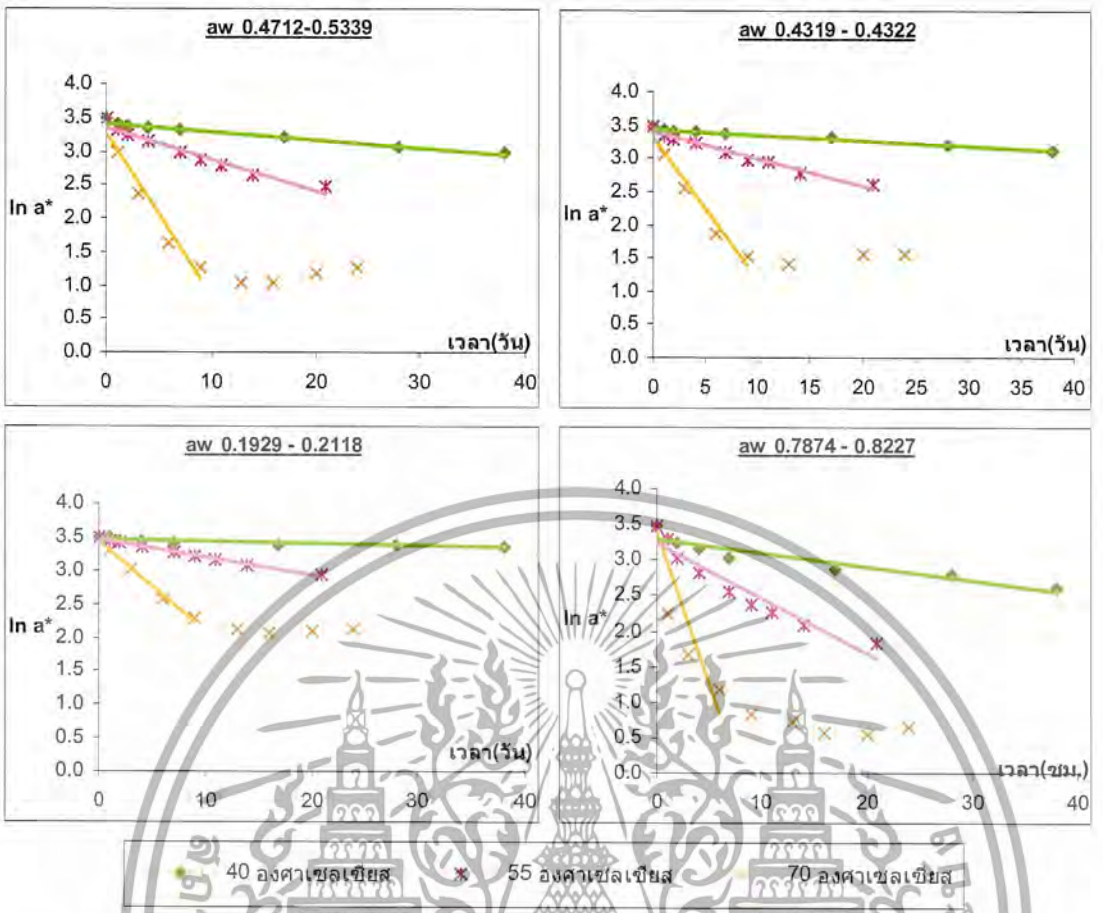
เมื่อนำตัวอย่างพริกป่นมาวัดค่าสีตามช่วงเวลาในการทดลองที่สภาวะการเก็บรักษาต่างๆ (ภาคผนวก ข.) โดยพิจารณาเฉพาะค่า a* มาหาอันดับของปฏิกิริยา เมื่อเปรียบเทียบค่า $R^2$ แล้วจะได้การเปลี่ยนแปลงค่าสีของพริกป่นลดลงเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง โดยแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln a* กับเวลา (วัน) ของพริกทั้งสองสายพันธุ์ได้ดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ซึ่งมีรูปแบบสมการทั่วไปดังสมการที่ 4.1

$$\ln a^* - \ln a^*_0 = -kt \qquad (4.1)$$




**รูปที่ 4.3** แสดงค่า ln a* กับเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่ $a_w$ ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.4** แสดงค่า ln a* กับเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่ $a_w$ ต่างๆ

จากสมการที่ 4.1 สามารถหาค่าคงที่ของอัตรา (k) ได้จากความชันของกราฟ พบว่าค่าคงที่ของอัตราจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องงานของ Topuz (2008) และ Kaleemullah และ Kailappan (2006) โดยค่าสีแดงจะลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พริกป่นพันธุ์บางช้างมีค่าคงที่ของอัตรามากกว่าพันธุ์จินดา ดังแสดงในตารางที่ 4.3 สำหรับค่า $E_a$ และ $k_{ref}$ ของการเปลี่ยนสีแดงของพริกป่นทั้งสองพันธุ์แสดงดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.3** แสดงค่าคงที่ของอัตรา (k) ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สมดุลต่างๆ

| อุณหภูมิ | ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (%) | พันธุ์จินดา | | พันธุ์บางช้าง | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | k ($day^{-1}$) | R-square | k ($day^{-1}$) | R-square |
| **40 °C (313 K)** | 21.18 | 0.0015 | 0.933 | 0.0032 | 0.800 |
| | 43.20 | 0.0064 | 0.935 | 0.0081 | 0.806 |
| | 53.39 | 0.0099 | 0.894 | 0.0141 | 0.883 |
| | 82.27 | 0.0812 | 0.896 | 0.0762 | 0.835 |
| **55 °C (328 K)** | 21.18 | 0.0113 | 0.886 | 0.0293 | 0.992 |
| | 43.20 | 0.0257 | 0.956 | 0.0466 | 0.981 |
| | 53.39 | 0.0325 | 0.944 | 0.0565 | 0.977 |
| | 82.27 | 0.1288 | 0.928 | 0.1655 | 0.964 |
| **70 °C (343 K)** | 19.29 | 0.0769 | 0.987 | 0.1086 | 0.992 |
| | 43.22 | 0.1641 | 0.976 | 0.2591 | 0.987 |
| | 47.12 | 0.1927 | 0.969 | 0.3012 | 0.982 |
| | 78.77 | 0.4631 | 0.981 | 0.5559 | 0.846 |

**ตารางที่ 4.4** แสดงค่าคงที่ของอัตรา ($k_{ref}$) ที่อุณหภูมิอ้างอิง 25 °C (298 K) และพลังงานกระตุ้น

| ระดับ | ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (%) | พันธุ์จินดา | | พันธุ์บางช้าง | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $E_a$ (kJ/mol) | $k_{ref}$ ($day^{-1}$) | $E_a$ (kJ/mol) | $k_{ref}$ ($day^{-1}$) |
| ต่ำ | 19.3 - 21.2 | 117.14 | 0.0002 | 105.11 | 0.0005 |
| ปานกลาง | 43.1 - 43.2 | 96.46 | 0.0009 | 103.16 | 0.0011 |
| | 47.1 - 53.4 | 87.90 | 0.0016 | 90.89 | 0.0023 |
| สูง | 78.7 - 82.3 | 51.38 | 0.0269 | 58.90 | 0.0226 |

จากตาราง 4.4 จะเห็นได้ว่า เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สมดุลสูงขึ้นจะทำให้พลังงานกระตุ้นลดลง และค่าคงที่ของอัตราเพิ่มขึ้น ที่ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลต่ำพริกป่นพันธุ์จินดามีค่าพลังงานกระตุ้นสูงกว่าพันธุ์บางช้าง ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีช้ากว่า แต่ที่ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลปานกลางถึงสูง พริกป่นพันธุ์จินดามีพลังงานกระตุ้นต่ำกว่าพันธุ์บางช้าง ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีเร็วกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สมดุลต่อการเปลี่ยนสี

จากความสัมพันธ์ของพลังงานกระตุ้น และค่าคงที่ของอัตราอ้างอิง กับ ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล ตามตารางที่ 4.4 สามารถนำมาหาความสัมพันธ์ตามสมการรูปแบบต่างๆ และเปรียบเทียบค่าการยอมรับทางสถิติ เพื่อเลือกใช้สมการ ได้ดังตาราง 4.5 และ 4.6

**ตารางที่ 4.5** แสดงค่าการยอมรับทางสถิติ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพลังงานและค่าคงที่ของอัตราอ้างอิง กับ ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของพริกพันธุ์จินดา

**พันธุ์จินดา (DF = 62)**

| รูปแบบสมการ | ค่าคงที่ของอัตราอ้างอิง ($k_{ref}$) (TSS = 0.006) | | | พลังงานกระตุ้น ($E_a$) (TSS = 30179.965) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | RSS | SEE | R-Square | RSS | SEE | R-Square |
| **Linear** | 0.002 | 0.0057 | 0.662 | 416.421 | 2.592 | 0.986 |
| **Non-linear** | | | | | | |
| - **Polynomials** | $3.36\times10^{-4}$ | 0.0023 | 0.944 | 170.237 | 1.657 | 0.994 |
| - **Exponentials** | $3.30\times10^{-4}$ | 0.0023 | 0.945 | 1589.678 | 5.064 | 0.947 |

**ตารางที่ 4.6** แสดงค่าการยอมรับทางสถิติ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพลังงานและค่าคงที่ของอัตราอ้างอิง กับ ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของพริกพันธุ์บางช้าง

**พันธุ์บางช้าง (DF = 62)**

| รูปแบบสมการ | ค่าคงที่ของอัตราอ้างอิง ($k_{ref}$) (TSS = 0.004) | | | พลังงานกระตุ้น ($E_a$) (TSS = 17211.219) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | RSS | SEE | R-Square | RSS | SEE | R-Square |
| **Linear** | 0.001 | 0.0040 | 0.700 | 3159.100 | 7.138 | 0.816 |
| **Non-linear** | | | | | | |
| - **Polynomials** | $1.04\times10^{-4}$ | 0.0013 | 0.972 | 706.141 | 3.375 | 0.959 |
| - **Exponentials** | $1.12\times10^{-4}$ | 0.0013 | 0.974 | 4239.825 | 8.269 | 0.754 |

จากสมการของอาร์เรเนียส จะอธิบายผลกระทบของอุณหภูมิต่อค่าคงที่ของอัตราที่ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลคงที่เท่านั้น แต่ในความเป็นจริงแล้วค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุลจะไม่คงที่เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ดังนั้น จึงต้องสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า $E_a$ กับ ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนไป (Yan et.al., 2008) จะได้ความสัมพันธ์ของค่า $E_a$ กับ $a_w$ ที่สัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของพริกป่นพันธุ์จินดาเป็นแบบโพลิโนเมียล อธิบายได้ด้วยสมการที่ (4.2)

$$E_a = 44.418a_w^2 + 63.927a_w - 131.896 \quad (R^2=0.994) \qquad (4.2)$$

และพันธุ์บางช้าง อธิบายได้ด้วยสมการที่ (4.3)

$$E_a = -140.210a_w^2 + 64.311a_w + 97.747 \quad (R^2 = 0.959) \qquad (4.3)$$

ความสัมพันธ์ของค่า $k_{ref}$ กับค่า $a_w$ ที่สัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของพริกป่นพันธุ์จินดาเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล อธิบายได้ด้วยสมการที่ (4.4)

$$k_{ref} = 2.18 \times 10^{-5} \exp(8.484a_w) \qquad (R^2=0.945) \qquad (4.4)$$

และพันธุ์บางช้าง อธิบายได้ด้วยสมการที่ (4.5)

$$k_{ref} = 5.82 \times 10^{-5} \exp(7.379a_w) \qquad (R^2=0.974) \qquad (4.5)$$

เมื่อแทนค่า $E_a$ และ $k_{ref}$ ที่สัมพันธ์กับ $a_w$ กับค่าคุณภาพสีแดง (a*) ในสมการที่ (3.3) จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายคุณภาพสีและอายุการเก็บรักษาพริกป่นทั้งสองพันธุ์ดังสมการที่ (4.6)

$$\ln a^* = \ln a^*_0 - (A\exp((aw)B)\exp\left[-\frac{X(aw)^2 + Y(aw) + Z}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right]\cdot t \qquad (4.6)$$

เมื่อ $a^*_0$ คือ ค่าสีแดงเริ่มต้น a* คือ ค่าสีแดงที่เวลาใดๆ และ t คือ เวลาใดๆ โดยค่าคงที่ของสมการสำหรับพริกป่นทั้งสองพันธุ์แสดงดังตาราง 4.7

**ตารางที่ 4.7** แสดงค่าคงที่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สมการที่ (4.6) ของพริกป่นทั้งสองพันธุ์

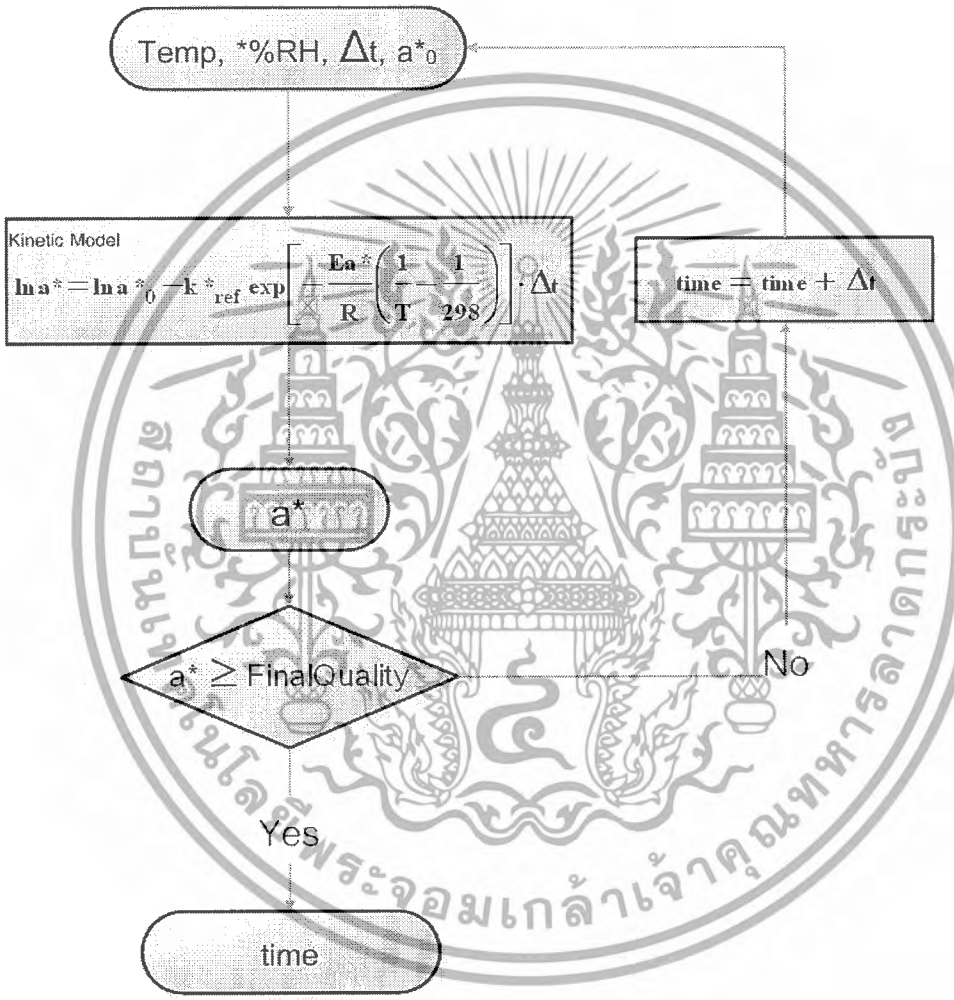
| ค่าคงที่ | พันธุ์จินดา | พันธุ์บางช้าง |
|---|---|---|
| **A** | $2.18\times10^{3}$ | $5.82\times10^{-3}$ |
| **B** | 8.484 | 7.379 |
| **X** | 44.418 | -140.210 |
| **Y** | 63.927 | 64.311 |
| **Z** | -131.896 | 97.747 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4 การคำนวณอายุการเก็บของพริกป่น

**กรณีไม่มีบรรจุภัณฑ์**

สำหรับสภาวะการเก็บรักษาหนึ่งๆ สามารถคำนวณอายุการเก็บของพริกป่นได้จากสมการที่ (4.6) หากสภาวะการเก็บมีการเปลี่ยนอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สมดุลไปเป็นเวลา $\Delta t$ จะทำให้ค่าสีเริ่มต้น ($a^*_0$) เปลี่ยนไปเป็นค่าสุดท้าย ($a^*$) ณ เวลาสุดท้ายของสภาวะการเก็บนั้น โดยที่ค่าสีสุดท้ายของสภาวะนี้คือค่าสีเริ่มต้นที่ใช้ในการคำนวณของสภาวะการเก็บถัดไป ตามที่แสดงในรูปที่ 4.5




**รูปที่ 4.5** แสดงวิธีการคำนวณอายุการเก็บและคุณภาพของพริกป่น กรณีที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์

**หมายเหตุ ***

%RH ที่พริกป่นอยู่ในสภาวะสมดุลที่มีความสัมพันธ์เป็นค่า $a_w$

$E_a$ ได้จากสมการที่ (4.2) หรือ (4.3)

$k_{ref}$ ได้จากสมการที่ (4.4) หรือ (4.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**กรณีมีบรรจุภัณฑ์**

การเปลี่ยนความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของพริกป่นจะไม่เท่ากับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เนื่องจากบรรจุภัณฑ์จะช่วยป้องกันการซึมผ่านความชื้นสู่พริกป่น ดังนั้นจึงต้องประมาณความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของพริกป่นในบรรจุภัณฑ์โดยใช้การประมาณความชื้นของพริกป่นจากการดัดแปลงสมการของ Rockland and Beuchat (1987) สมการที่ (4.7)

$$M_c = \frac{M_e \exp\left[\Delta t\left(\frac{k}{x}\right)\left(\frac{A}{W_s}\right)\left(\frac{P_0}{B}\right)\right] + M_i}{\exp\left[\Delta t\left(\frac{k}{x}\right)\left(\frac{A}{W_s}\right)\left(\frac{P_0}{B}\right)\right] + 1} \qquad (4.7)$$

โดยการแทนค่าต่างๆ ดังนี้

$M_e$ = ความชื้นสัมพันธ์สมดุลของอากาศที่ใช้เก็บตัวอย่าง

$M_c$ = ความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลาหนึ่งๆ

$M_i$ = ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เริ่มแรก

k = การยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้ (Permeability) ของบรรจุภัณฑ์, (กรัมของน้ำ)(เมตร)/(วัน)(ตารางเมตร)(มิลิเมตรปรอท) (ภาคผนวก ง.)

X = ความหนาของบรรจุภัณฑ์, เมตร

A = พื้นที่ผิวบรรจุของบรรจุภัณฑ์, ตารางเมตร

$P_0$ = ความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ สภาวะการเก็บ, มิลลิเมตรปรอท

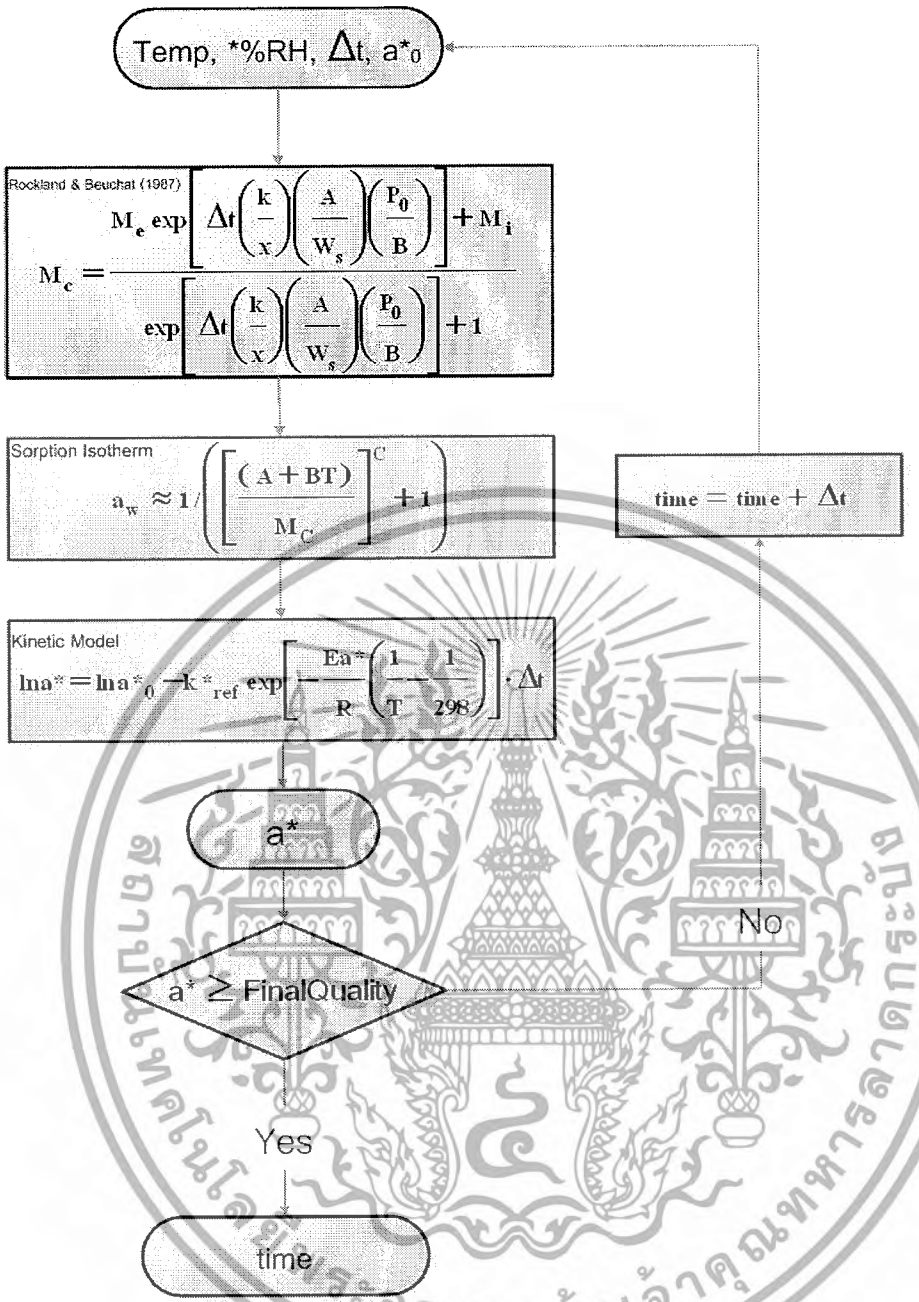
$W_s$ = น้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุ, กรัม

B = ความชันของเส้นตรงที่ได้จากกราฟซอร์ฟชั่นไอโซเทอร์มตามสมการดัดแปลงของออสวิน

$\Delta t$ = ช่วงเวลาหนึ่งๆ ของการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท, วัน

จากนั้นนำความชื้นที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาที่เก็บรักษาไปแทนค่าในสมการซอพชั่น-ไอโซเทอร์ม สมการดัดแปลงของออสวิน เพื่อหาความชื้นสัมพัทธ์สมดุลหรือ $a_w$ ของพริกป่น จากนั้นจึงนำ $a_w$ แทนค่าในสมการที่ (4.6) จะได้ค่าสี (a*) ที่เปลี่ยนไปจากค่าเริ่มต้น ณ ช่วงเวลาที่เก็บนั้นๆ โดยค่า a* และ $M_c$ จะเป็นค่าเริ่มต้น ($a^*_0$ และ $M_i$) ของการคำนวณการเปลี่ยนสีเมื่อมีการเปลี่ยนอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สมดุลในสภาวะต่อไป ซึ่งวิธีการคำนวณแสดง ดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.6** แสดงวิธีการคำนวณอายุการเก็บและคุณภาพของพริกป่น กรณีที่มีบรรจุภัณฑ์

**หมายเหตุ ***

%RH ที่พริกป่นอยู่ในสภาวะสมดุลที่มีความสัมพันธ์เป็นค่า $a_w$

$E_a$ ได้จากสมการที่ (4.2) หรือ (4.3)

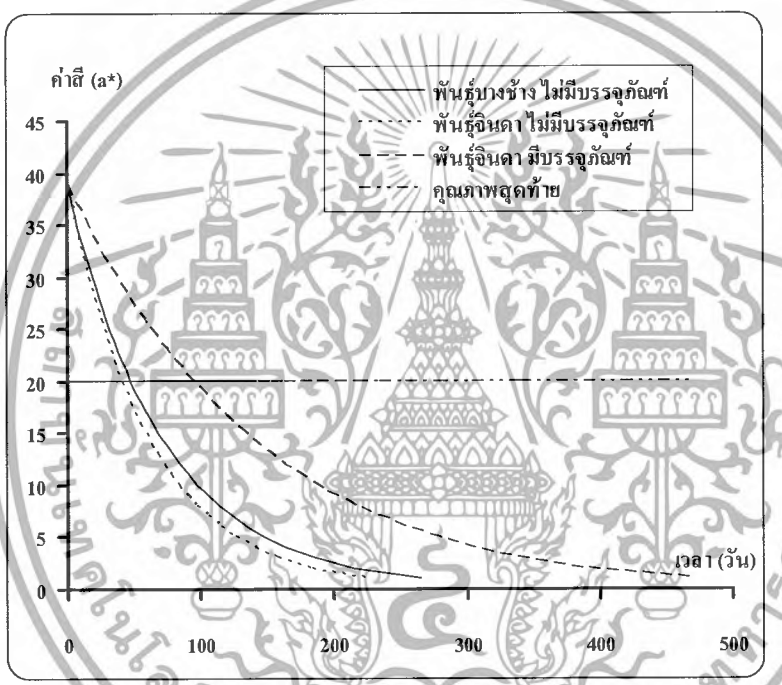
$k_{ref}$ ได้จากสมการที่ (4.4) หรือ (4.5)

ดังนั้น อายุการเก็บรักษาทั้งในกรณีมีบรรจุภัณฑ์และไม่มีบรรจุภัณฑ์ จะเท่ากับผลรวมของช่วงเวลาต่างๆ ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งค่าสีสุดท้ายเท่ากับค่าสีที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.5 ตัวอย่างการคำนวณคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่น

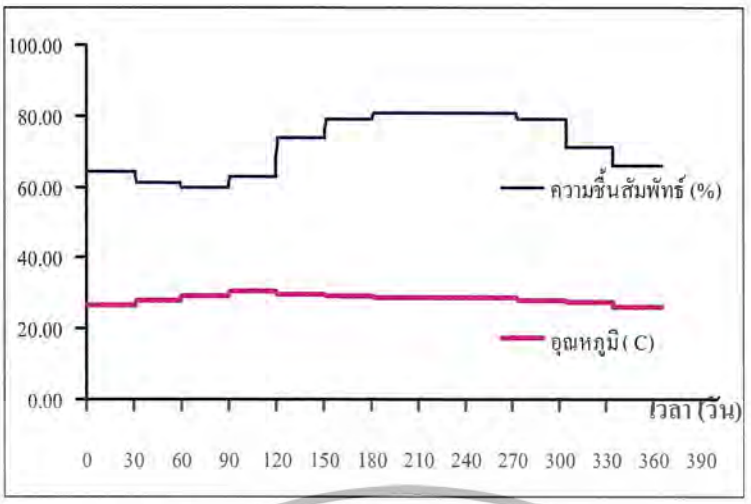
จากรูปที่ 4.7 เป็นตัวอย่างการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีเปรียบเทียบระหว่างพริกป่นทั้งสองพันธุ์ ที่สภาวะการเก็บรักษาอุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70% ความชื้นเริ่มต้น 11%db โดยสมมติให้พริกป่นเสื่อมคุณภาพเมื่อมีค่าความเป็นสีแดงเท่ากับ 20 จะเห็นว่า พริกป่นพันธุ์จินดาจะมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าพันธุ์บางช้าง เนื่องจากที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง พริกป่นพันธุ์จินดามีพลังงานกระตุ้นน้อยกว่าพันธุ์บางช้าง ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีได้เร็วกว่า นอกจากนี้พริกป่นที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์จะมีอายุการเก็บรักษานานกว่าพริกป่นที่ไม่ได้อยู่ในบรรจุภัณฑ์ด้วย



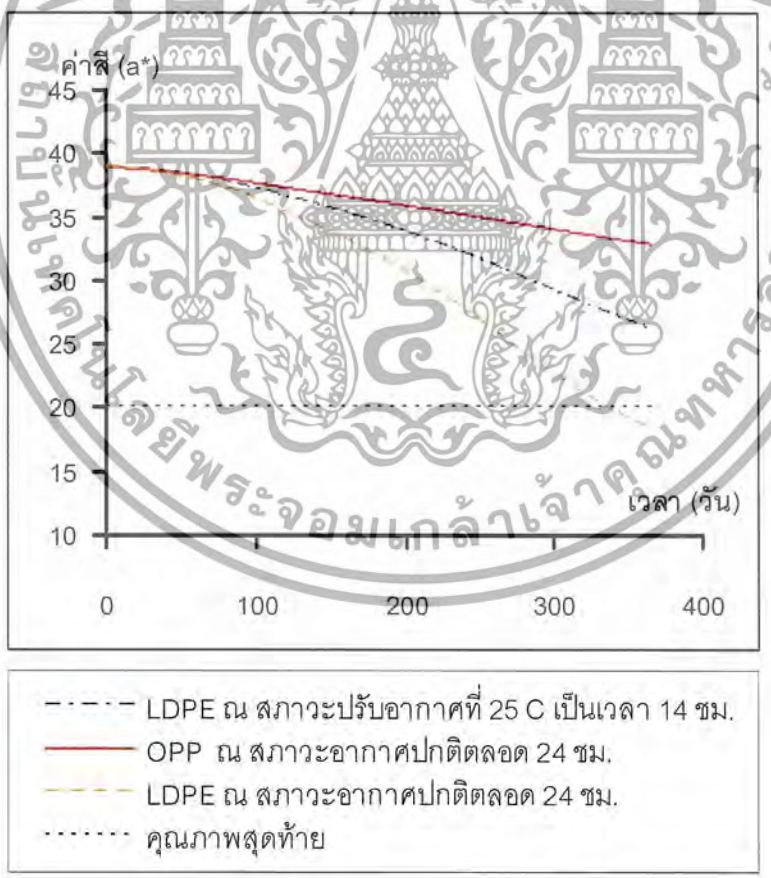

**รูปที่ 4.7** แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีของพริกป่นที่เก็บรักษาที่สภาวะคงที่ ที่อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70%

รูปที่ 4.9 เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าสีเมื่อพริกป่นที่เก็บรักษาในสภาวะที่อากาศตัวอย่างดังแสดงในรูป 4.8 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเวลา 1 ปี (ภาคผนวก จ.) เปรียบเทียบระหว่างพริกป่นที่บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ชนิด LDPE ($K = 2.02\times10^{-5}$) และ OPP ($K = 7.77\times10^{-6}$) โดยสมมติให้ ค่าสีสุดท้าย = 20, X= 0.00001 m., A = 0.0259 $mm.^2$ และ W = 500 g พบว่า พริกป่นในบรรจุ-ภัณฑ์ชนิด LDPE ซึ่งมีค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านสูง มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีเร็วกว่าชนิด OPP ที่มีค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านน้อย และหากมีการนำพริกป่นไปเก็บรักษาในสภาวะที่มีการปรับอากาศ ที่อุณหภูมิ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์ 55% จะทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าสีเกิดได้ช้าลงอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.8** แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศกรุงเทพฯ ค่าเฉลี่ย 30 ปี (2504 - 2533)
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2552)




**รูปที่ 4.9** แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ซึ่งเก็บรักษาที่สภาวะไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# โปรแกรมประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่น

โปรแกรมประเมินคุณภาพด้านสีและอายุการเก็บรักษาของพริกป่น พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 เพื่อช่วยให้การประเมินมีความสะดวก รวดเร็วในการประเมิน ลดความซับซ้อนในการคำนวณ สามารถประเมินคุณภาพและอายุการเก็บรักษาพริกป่นพันธุ์จินดาและพันธุ์บางช้าง ทั้งในสภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ และไม่คงที่ ซึ่งผลการคำนวณจะแสดงออกมาในรูปของกราฟแสดงการเปลี่ยนค่าสี และข้อมูลทั้งหมดจะแสดงผลในโปรแกรม Microsoft Excel โดยมี Code ในการเขียนโปรแกรมดังแสดงในภาคผนวก ค.

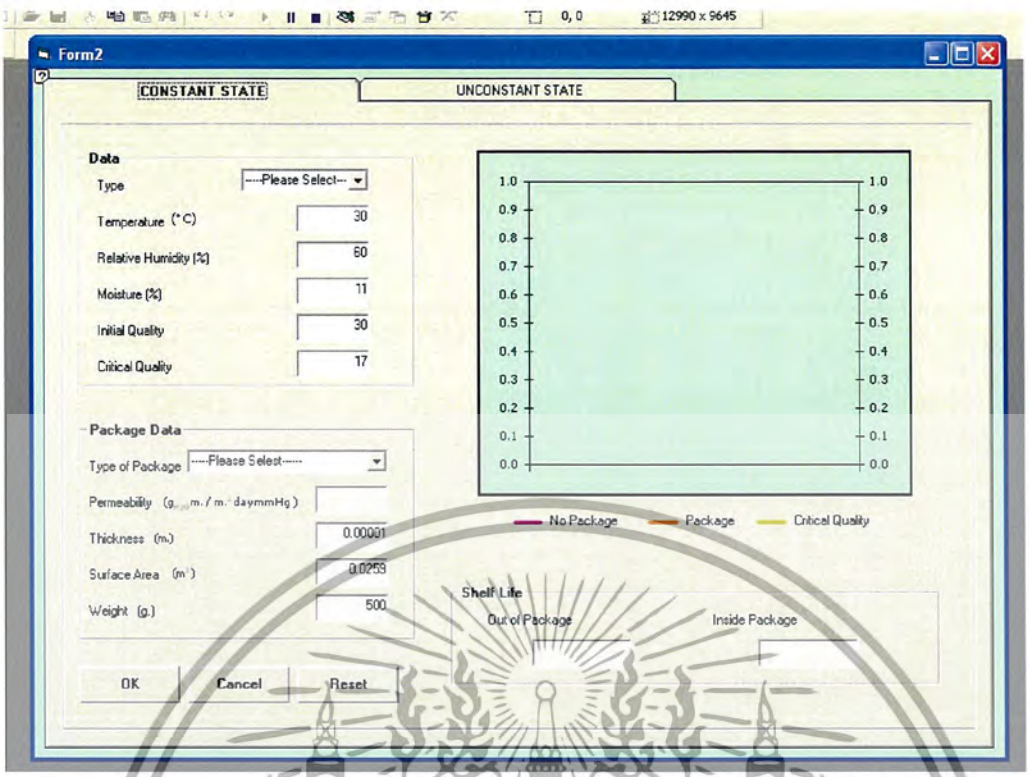
## 5.1 การใช้โปรแกรมเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่

สำหรับการใช้โปรแกรมเพื่อประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่นทั้งสองสายพันธุ์ที่เก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ จะมีข้อมูลที่ต้องป้อนและข้อมูลที่จะแสดงผลของโปรแกรม แสดงดังตารางที่ 5.1 โดยมีหน้าต่างของโปรแกรมดังรูปที่ 5.1 และข้อมูลคุณภาพและอายุการเก็บทั้งหมดจะแสดงในโปรแกรม Microsoft Excel ดังรูปที่ 5.2

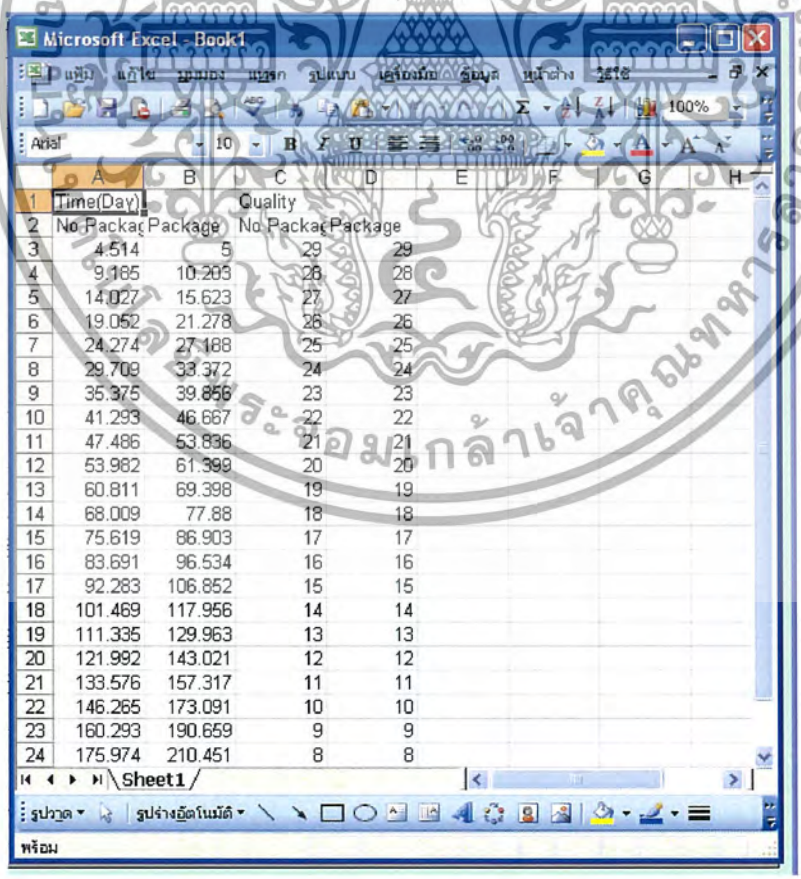
**ตารางที่ 5.1** แสดงข้อมูลที่ต้องป้อนและข้อมูลที่จะแสดงผลของการใช้โปรแกรม เมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่

| ข้อมูลที่ต้องป้อน (Input) | ข้อมูลที่แสดงผล (Output) |
|---|---|
| 1. อุณหภูมิ (°C)<br>2. ความชื้นสัมพัทธ์ (%)<br>3. ความชื้นของพริกป่น (%)<br>4. ค่าสีเริ่มต้น<br>5. ค่าสีสุดท้ายที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ<br>6. ชนิดของบรรจุภัณฑ์ และค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านของบรรจุภัณฑ์ (สำหรับบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นที่ไม่มีในฐานข้อมูล)<br>7. ความหนาของบรรจุภัณฑ์<br>8. พื้นที่ผิวของบรรจุภัณฑ์<br>9. น้ำหนักของพริกป่นที่บรรจุ | ใน Microsoft Excel<br>1. ระยะเวลาในการเปลี่ยนคุณภาพ<br>2. ค่าคุณภาพที่เปลี่ยนไปตามช่วงเวลา<br>หน้าต่างของโปรแกรม<br>1. กราฟแสดงการเปลี่ยนค่าสี ในกรณีที่มีบรรจุภัณฑ์<br>2. กราฟแสดงการเปลี่ยนค่าสี ในกรณีที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 5.1** หน้าต่างโปรแกรมประเมินคุณภาพและอายุการเก็บรักษาพริกป่นในสภาวะคงที่




| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Time(Day) | | Quality | | | | | |
| 2 | No Package | Package | No Package | Package | | | | |
| 3 | 4.514 | 5 | 29 | 29 | | | | |
| 4 | 9.185 | 10.203 | 28 | 28 | | | | |
| 5 | 14.027 | 15.623 | 27 | 27 | | | | |
| 6 | 19.052 | 21.278 | 26 | 26 | | | | |
| 7 | 24.274 | 27.188 | 25 | 25 | | | | |
| 8 | 29.709 | 33.372 | 24 | 24 | | | | |
| 9 | 35.375 | 39.856 | 23 | 23 | | | | |
| 10 | 41.293 | 46.667 | 22 | 22 | | | | |
| 11 | 47.486 | 53.836 | 21 | 21 | | | | |
| 12 | 53.982 | 61.399 | 20 | 20 | | | | |
| 13 | 60.811 | 69.398 | 19 | 19 | | | | |
| 14 | 68.009 | 77.88 | 18 | 18 | | | | |
| 15 | 75.619 | 86.903 | 17 | 17 | | | | |
| 16 | 83.691 | 96.534 | 16 | 16 | | | | |
| 17 | 92.283 | 106.852 | 15 | 15 | | | | |
| 18 | 101.469 | 117.956 | 14 | 14 | | | | |
| 19 | 111.335 | 129.963 | 13 | 13 | | | | |
| 20 | 121.992 | 143.021 | 12 | 12 | | | | |
| 21 | 133.576 | 157.317 | 11 | 11 | | | | |
| 22 | 146.265 | 173.091 | 10 | 10 | | | | |
| 23 | 160.293 | 190.659 | 9 | 9 | | | | |
| 24 | 175.974 | 210.451 | 8 | 8 | | | | |

**รูปที่ 5.2** ผลการคำนวณคุณภาพและอายุการเก็บรักษาพริกป่นในโปรแกรม Microsoft Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

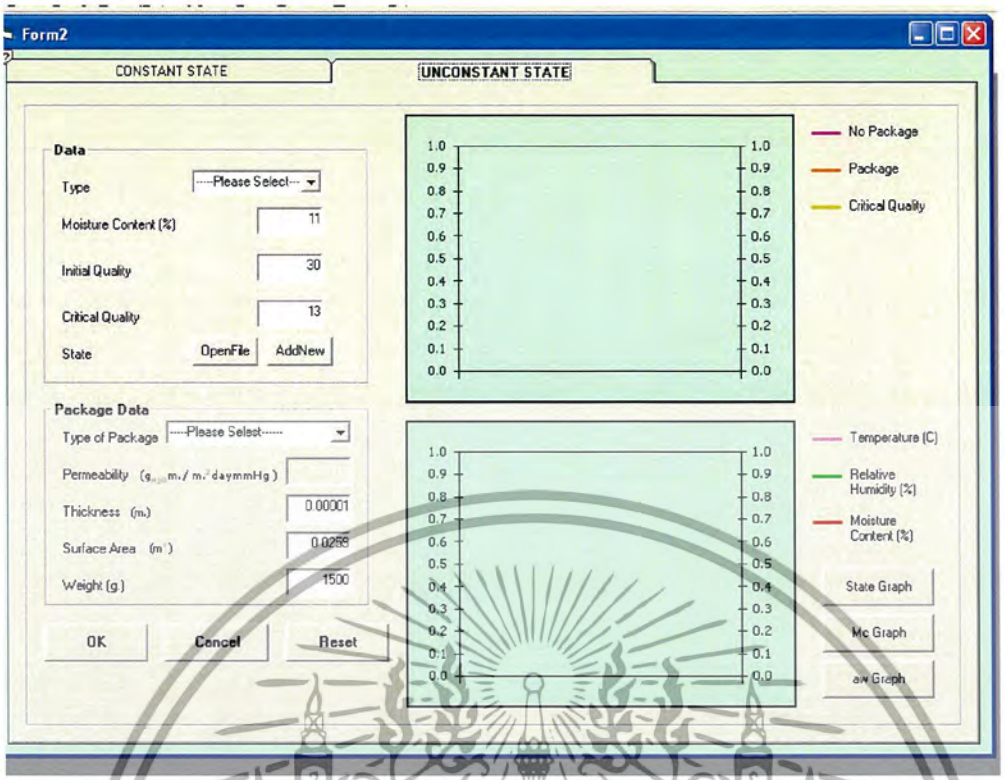
## 5.2 การใช้โปรแกรมเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ไม่คงที่

สำหรับการใช้โปรแกรมเพื่อประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่นทั้งสองสายพันธุ์ที่เก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ไม่คงที่ จะมีข้อมูลที่ต้องป้อนและข้อมูลที่จะแสดงผลของโปรแกรม แสดงดังตารางที่ 5.2 โดยมีหน้าต่างของโปรแกรมดังรูปที่ 5.3 และข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะแสดงในโปรแกรม Microsoft Excel ดังรูปที่ 5.4 เมื่อป้อนค่าข้อมูลอินพุทแล้วจะแสดงหน้าต่างตัวอย่างการประเมินได้ดังรูปที่ 5.5

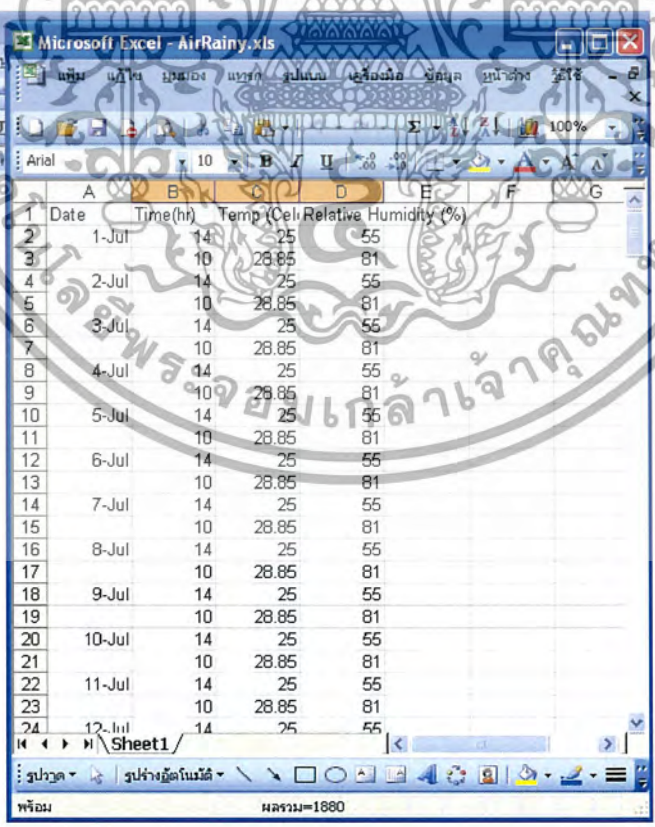
**ตารางที่ 5.2** แสดงข้อมูลที่ต้องป้อนและข้อมูลที่จะแสดงผลของการใช้โปรแกรม เมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ไม่คงที่

| **ข้อมูลที่ต้องป้อน (Input)** | **ข้อมูลที่แสดงผล (Output)** |
|---|---|
| 1. Import ข้อมูลอุณหภูมิ (°C) , ความชื้นสัมพัทธ์ (%) และช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลง โดยกดปุ่ม Open File หากยากไม่มีข้องมูล เพิ่มข้อมูลโดยกดปุ่ม AddNew<br>2. ความชื้นของพริกป่น (%)<br>3. ค่าสีเริ่มต้น<br>4. ค่าสีสุดท้ายที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ<br>5. ชนิดของบรรจุภัณฑ์ และค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านของบรรจุภัณฑ์ (สำหรับบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นที่ไม่มีในฐานข้อมูล)<br>6. ความหนาของบรรจุภัณฑ์<br>7. พื้นที่ผิวของบรรจุภัณฑ์<br>8. น้ำหนักของพริกป่นที่บรรจุ | <u>ใน Microsoft Excel</u><br>1. ระยะเวลาในการเปลี่ยนคุณภาพ<br>2. ค่าคุณภาพที่เปลี่ยนไปตามช่วงเวลา<br><u>หน้าต่างของโปรแกรม</u><br>1. กราฟแสดงการเปลี่ยนค่าสี ทั้งในกรณีที่มีบรรจุภัณฑ์และไม่มีบรรจุภัณฑ์<br>2. กราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์<br>3. กราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกป่นในบรรจุภัณฑ์<br>4. กราฟการเปลี่ยนแปลง Water Activities ($a_w$) ของพริกป่นในบรรจุภัณฑ์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



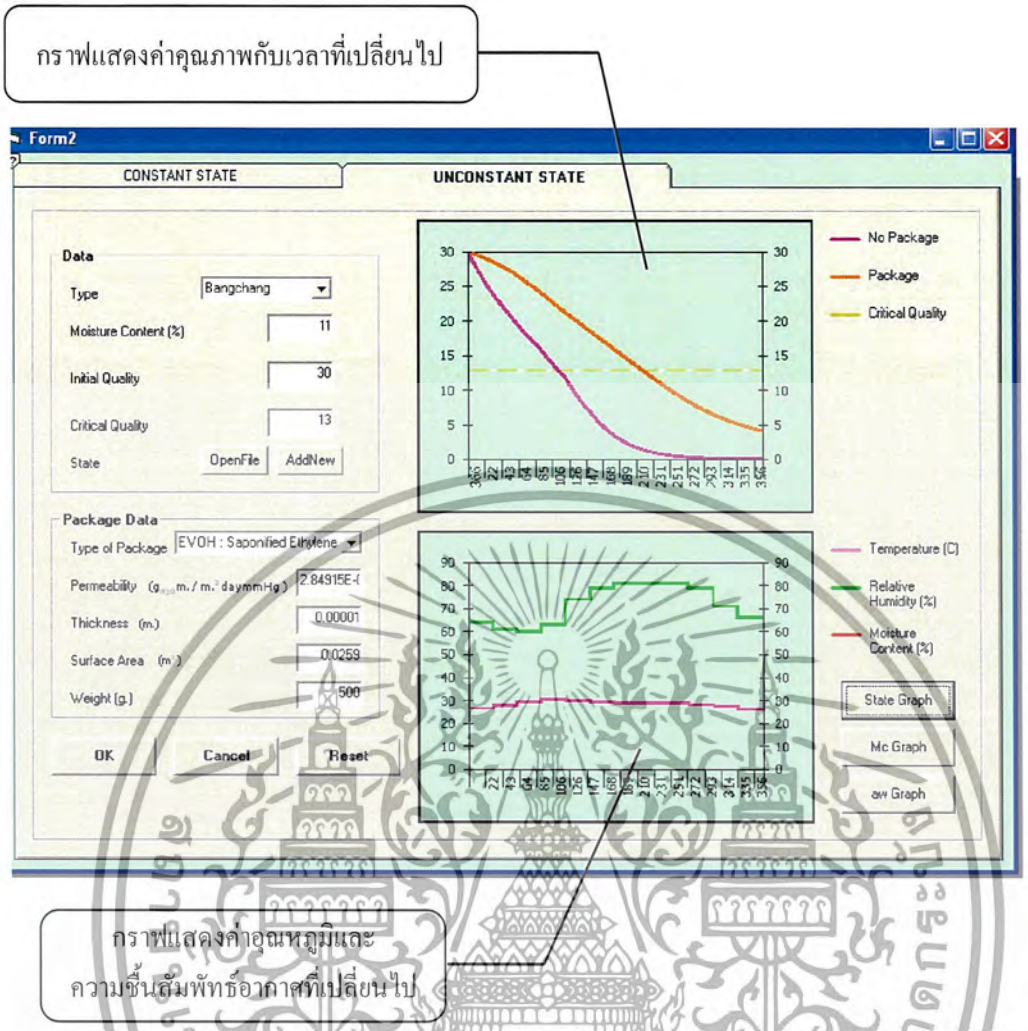

**รูปที่ 5.3** หน้าต่าง โปรแกรมประเมินคุณภาพและอายุการเก็บรักษาพริกป่นในสภาวะ ไม่คงที่




| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Date | Time(hr) | Temp (Cel | Relative Humidity (%) | | | |
| 2 | 1-Jul | 14 | 25 | 55 | | | |
| 3 | | 10 | 28.85 | 81 | | | |
| 4 | 2-Jul | 14 | 25 | 55 | | | |
| 5 | | 10 | 28.85 | 81 | | | |
| 6 | 3-Jul | 14 | 25 | 55 | | | |
| 7 | | 10 | 28.85 | 81 | | | |
| 8 | 4-Jul | 14 | 25 | 55 | | | |
| 9 | | 10 | 28.85 | 81 | | | |
| 10 | 5-Jul | 14 | 25 | 55 | | | |
| 11 | | 10 | 28.85 | 81 | | | |
| 12 | 6-Jul | 14 | 25 | 55 | | | |
| 13 | | 10 | 28.85 | 81 | | | |
| 14 | 7-Jul | 14 | 25 | 55 | | | |
| 15 | | 10 | 28.85 | 81 | | | |
| 16 | 8-Jul | 14 | 25 | 55 | | | |
| 17 | | 10 | 28.85 | 81 | | | |
| 18 | 9-Jul | 14 | 25 | 55 | | | |
| 19 | | 10 | 28.85 | 81 | | | |
| 20 | 10-Jul | 14 | 25 | 55 | | | |
| 21 | | 10 | 28.85 | 81 | | | |
| 22 | 11-Jul | 14 | 25 | 55 | | | |
| 23 | | 10 | 28.85 | 81 | | | |
| 24 | 12-Jul | 14 | 25 | 55 | | | |

**รูปที่ 5.4** ตัวอย่างตารางอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 5.5** ตัวอย่างการใช้โปรแกรมประเมินคุณภาพและอายุการเก็บรักษาพริกป่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
# สรุปผลทดลอง

จากการศึกษาคุณภาพสีและอายุการเก็บรักษาของพริกป่นพันธุ์จินดา และพันธุ์บางช้าง พบว่าซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของพริกป่นทั้งสองสายพันธุ์อธิบายได้ดีด้วยสมการดัดแปลงของออสวิน (Modified Oswin model) และการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง (a*) ของพริกป่นทั้งสองสายพันธุ์สามารถอธิบายได้ด้วยปฏิกิริยาจลนพลศาสตร์แบบปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ซึ่งอุณหภูมิมีผลต่อการเสื่อมคุณภาพสีแดงของพริกป่น สามารถอธิบายได้ด้วยสมการอาร์เรเนียส โดยที่อุณหภูมิสูงขึ้นค่าสีแดงจะลดลง นอกจากนี้การเสื่อมคุณภาพสียังขึ้นอยู่กับค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของสภาวะแวดล้อมที่เก็บรักษาอีกด้วย โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลสูงจะเร่งการเสื่อมคุณภาพสีเร็วขึ้น

โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ พริกป่นพันธุ์จินดาจะมีการเสื่อมคุณภาพสีที่ช้ากว่าพันธุ์บางช้าง เนื่องจากมีพลังงานกระตุ้นมากกว่า ส่วนในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ปานกลางถึงสูงต่ำ พริกป่นพันธุ์จินดาจะมีการเสื่อมคุณภาพสีที่เร็วกว่าพันธุ์บางช้างเนื่องจากมีพลังงานกระตุ้นน้อยกว่า

จากการรวมความสัมพันธ์ของซอร์พชั่นไอโซเทอร์ม ปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์ และสมการอาร์เรเนียสของการเสื่อมคุณภาพสีของพริกป่นทั้งสองสายพันธุ์ สามารถนำมาใช้ทำนายคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่นที่สภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สมดุลต่างๆ ได้ ทำให้สามารถหาสภาวะการเก็บรักษาและเลือกบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม เพื่อให้คุณภาพสีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และยืดอายุการเก็บรักษาของพริกป่น เป็นการเพิ่มคุณภาพทำให้มีการส่งออกได้มากขึ้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นยังสามารถประยุกต์ใช้กับอาหารแห้งชนิดอื่นได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2552. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ย 30 ปี (พ.ศ.2504-2533) กรุงเทพมหานคร. [Online]. Available : http://www.tmd.go.th/.

กิตติศักดิ์ สิรสุนทร และคณะคณะ. 2543. "จลนศาสตร์การเปลี่ยนสีของพริกแห้งที่ระดับความชื้นสมดุลต่างๆ" ปริญญานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2547. เอกสารกระบวนวิชา 359705 POSTHAR PHYSIOL HORT CR. ภาควิชาพืชสวน (Horticulture) คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ดวงกมล ณ ระนอง. ม.ป.ป. พื้นฐานวิศวกรรมปฏิกิริยาและการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมี. กรุงเทพฯ : อักษรสยามการพิมพ์.

เดลินิวส์. 2552. สารปนเปื้อนเหลืองแดงสีต้องห้ามตัวการก่อมะเร็ง. [Online]. Available : http://www.thaihealth.info/nutrition60.asp.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

นิติพงษ์ ส่งศรีโรจน์. 2549. เอกสารประกอบคำสอน ความหมายของค่าสถิติบางตัวจากการประมาณสมการ. คณะการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

นิรนาม. 3 กุมภาพันธ์ 2552. ความชื้นสัมพัทธ์. [Online]. Available : http://www.dud-d.com/what_hum.htm.

ภัคนัย ทองทิอัมพร. 2550. การมองเห็นสีและการวัดสี. [Online]. Available : http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/pep_7_2550_Color_Measurement.pdf.

มณีฉัตร นิกรพันธุ์. 2541. พริก. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2539. เอกสารการสอนชุดวิชาเคมีและจุลชีววิทยาของอาหาร. สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, กรุงเทพฯ.

มอก. 457-2526. 2526. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพริกป่น. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร. 9 หน้า.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 14 กันยายน 2548. การประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารในสภาวะเร่ง. [Online]. Available : http://www.ttc.most.go.th/stvolunteer/UploadClinic/FoodSafety/L2_SL-ASLT.pdf.

รุ่งนภา วิสิฐอุดรการ. 2540. เอกสารคำสอน การประเมินอายุการเก็บของอาหาร. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 169 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิชัย หฤทัยธนาสันติ์. 2536. เอกสารวิชาการ "การผลิตการตลาดพริก". กรมส่งเสริมการเกษตร. กรุงเทพฯ.

สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรต่างประเทศประจำสหภาพยุโรป. 2551. รายงานการแจ้งเตือนสินค้าเกษตร-อาหารไทยที่มีปัญหาใน EU. [Online]. Available : http://news.thaieurope.net/content/view/3114/215/.

สุชีลา เตชะวงค์เสถียร. 2549. พริก : การผลิตการจัดการและการปรับปรุงพันธุ์. Advance Agriculture Technology. อุดรธานี.

Ajibola, O.O., Aviara, N.A. and Ajetumobi, O.E. 2003. Sorption Equilibrium and Thermodynamic properties of cowpea (*Vigna unguiculata*). Journal of Food Engineering. 58 : 317 – 324.

AOAC. (1995), Official Method of Analysis. 16th Edn., Arlington, Verginia. USA: The Association of Official Analytical Chemists, Inc.

Aviara, N.A., Ajabola, O.O. and Oni, S.A. 2004. Sorption Equilibrium and Thermodynamic Characteristics of Soya Bean. Biosystems Engineering., 87(2) : 179-190.

Aviara, N.A., Ajibola, O.O., Oni, S.A. and Aregbesola, O.A. 2006. Moisture sorption isotherms of sorghum malt at 40 and 50 °C. Journal of Stored Products Research. 42 : 290 – 301.

Barrozo, M.A.S., Silva, A.A.M. and Oliveira, D.T. 2008. The use of curvature and bias measures to discriminate among equilibrium moisture equations for mustard seed. Journal of Stored Products Reseach. 44 : 65 – 70.

Basunia, M.A. and Abe, T. 1999. Moisture adsorption isotherms of rough rice. Journal of Food Engineering. 42 : 235 – 242.

Basunia, M.A. and Abe, T. 2005. Adsorption isotherms of barley at low and high temperatures. Journal of Food Engineering. 66 : 129 – 136.

Cordeiro, D.S., Raghavan, G.S.V. and Oliveira, W.P. 2006. Equilibrium Moisture Content models for *Maytenus ilicifolia* Leaves. Biosystems of Engineering. 94(2) : 221 - 228.

Durakova, A.G. and Menkov N.D. 2005. Moisture sorption characteristics of chickpea flour. Journal of Food Engineering. 68 : 535–539.

Ertekin, F.K. and Sultanoglu, M. 2001. Moisture adsorption isotherm characteristics of peppers. Journal of Food Engineering. 47 : 225 – 231.

Garcia, P., Lopez, A. and Fernandez, A.G. 2008. Study of the shelf life of ripe olives using an accelerated test approach. Journal of Food Engineering. 84 : 569–575.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ghodake, H.M., Goswami, T.K. and Chakraverty, A. 2007. Moisture adsorption isotherms, heat of sorption and vaporization of withered leaves, black and green tea. Journal of Food Engineering. 78 : 827 – 835.

Guevara, R.G., Parra-Lopez, V., Pardo-Gonzalez, J.E., Amo Saus, M.L. and Varon-Castellanos, R. 1998. Inýuence of Storage Conditions on Pigment Degradation in Paprikas from Diþerent Greenhouse Pepper Cultivars. J Sci Food Agric. 78 : 321-328.

Ittah, Y., Kanner, J., and Granit, R. 1993. Hydrolysis study of carotenoid pigments of paprika (*Capsicum annuum* L. variety Lahava) by HPLC/Photodiode Array Detection. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 41(6) : 899-901.

Kadoya Takasahi.1990. Plastic Containers. Food Packaging. San Diego: academic Press. 424p.

Kaleemullah, S. and Kailappan, R. 2004. Moisture Sorption Isotherms of Red Chillies. Biosystems Engineering. 88(1) : 95–104.

Kanner, J., Mendel, H. and Budowski, P. 1978. Carotene oxidizing factors in red pepper fruits (*Capsicum annum* L.): Oleoresin-cellulose solid model. J. Food Sci. 43 : 709.

Labuza, T.P. 1982. Shelf Life Dating of Foods. Food and Nutrition Press, Inc., Westport, Connecticut. 500 p.

Labuza, T.P. and Schmidl, M.K. 1985. Accelerated shelf–life testing of foods. Food Tech. 39(9) : 57-62.

Labuza Theodore. 2004. Water Activity of Saturated Salt Solutions. [Online]. Available : http://www.users.bigpond.com/webbtech/salt.html.

Levy, A., Harel, S., Palevitch, D., Akiri, B., Menagem, E., and Kanner, J. 1995. Carotenoid pigments and b-carotene in paprika fruits (*Capsicum* spp.) with different genotypes. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 43 : 362-366.

López-Duarte, A.L. and Vidal-Quintavar, R.L. 2009. Oxidation of linoleic acid as a marker for shelf life of corn flour. Food Chemistry. 114 : 478-483.

Man, C.M.D. and Jones, A.A. 2000. Shelf life evaluation of foods. Aspen: Gaithersburg, MD.

Menkov, N.D. and Dinkov, K.T. 1999. Moisture sorption isotherms of Tobacco seeds at three temperatures. J. agri. Engng Res. 74 : 261 – 266.

Minguez-Mosquera, M. I., and Hornero-Mendez, D. 1993. Separation and quantification of the carotenoid pigments in red peppers (*Capsicum annuum* L.), paprika and oleoresin by reverse-phase HPLC. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 41 : 1616-1620.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mohamed, L.A., Kouhila, M., Jamili, A., Lahsasni, S. and Mahrouz, M. 2005. Moisture sorption isotherms and heat of sorption of bitter orange leaves (Citrus aurantium). Journal of Food Engineering. 67 :491 – 498.

Oyelade, O.J., Tunde-Akintunde, T.Y. and Igbeka, J.C. 2008a. Predictive equilibrium moisture content equations for yam (Dioscorea rotundata, Poir) flour and hysteresis phenomena under practical storage conditions. Journal of Food Engineering. 87 : 229–235.

Oyelade, O.J., Tunde-Akintunde, T.Y., Igbeka, J.C., Oke, M.O. and Raji, O.Y. 2008b. Modelling moisture sorption isotherms for maize flour. Journal of Stored Products Research. 44 : 179–185.

Pagano, A. M. and Mascheroi, R.H. 2005. Sorption isotherms for amaranth grains. Journal of Food Engineering. 67 : 441 – 450.

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

Rahman, M.S., 1995. Food Properties Handbook. CRC Press, Boca Raton FL.

Rapusas, R.S. and Driscall, R.H. 1995. Kinetics of nonenzymatic browning in onion slices during isothermal heating. Journal of Food Engineering. 24 : 417 – 429.

Rockland, L.B. and Beuchat, L.R. 1986. Water Activity: Theory and Applications to Food. New York: Marcel Dekker. 404 p.

Soysal, Y. and Ztekin, S. 2001. Comparison of Seven Equilibrium Moisture Content Equations for some Medicinal and Aromatic Plants. J. agric. Engng Res. 78(1) : 57-63.

Swami, S.B., Das, S.K. and Maiti, B. 2005. Moisture sorption isotherms of black gram nuggets (*bori*) at varied temperatures. Journal of Food Engineering. 67 : 477 – 482.

Syamaladevi, R.M., Sablani, S.S., Tang, J., Powers, J. and Swanson, B.G. 2009. State diagram and water adsorption isotherm of raspberry (Rubus idaeus). Journal of Food Engineering. 91 : 460 – 467.

Temmerman, J.D., Verboven, P., Delcour, J.A., Nicola, B. and Ramon, H. 2008. Drying model for cylindrical pasta shapes using desorption isotherms. Journal of Food Engineering. 86 : 414–421.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yan, Z., Sousa-Gallagher, M.J. and Oliveira, F.A.R. 2008. Mathematical modelling of the kinetic of quality deterioration of intermediate moisture content banana during storage. Journal of Food Engineering. 84 : 359-367.

Zanoelo, E.F. 2005. Equilibrium Moisture Isotherms for Mate Leaves. Biosystems of Engineering. 92(4) : 445-452.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก.

## ค่าคงที่ของสารละลายเกลืออิ่มตัว

**การเตรียมสารละลายเกลืออิ่มตัว**

**ตารางที่ ก.1** แสดงค่าคงที่ $k_1$ และ $k_2$ ของสารละลายเกลืออิ่มตัวชนิดต่างๆ

| Salt | $k_1$ | $k_2$ | Mean relative % error |
|---|---|---|---|
| $CH_3COOK$ | 333.9001 | 2.6185 | 1.1647 |
| $K_2CO_3$ | -3.0240 | 0.8300 | 0.0046 |
| $K_2NO_3$ | 192.0886 | 0.7183 | 0.6177 |
| $K_2SO_4$ | 52.7544 | 0.2046 | 0.0223 |
| KBr | 171.2747 | 0.7828 | 0.3117 |
| KCl | 157.0587 | 0.6967 | 0.0289 |
| KI | 258.1545 | 1.2388 | 0.0095 |
| KOH | 2094.4890 | 9.4977 | 1.8022 |
| LiBr | 620.6358 | 4.8327 | 0.1574 |
| LiCl | 10.8233 | 2.2193 | 0.2040 |
| LiI | 982.7329 | 5.0477 | 0.9218 |
| $Mg(NO_3)_2$ | 484.6993 | 2.2670 | 0.3413 |
| $MgCl_2$ | 151.0652 | 1.6271 | 0.4059 |
| $(NH_4)_2SO_4$ | 76.8191 | 0.4690 | 0.0337 |
| NaBr | 447.8054 | 2.0575 | 0.3180 |
| NaCl | 23.1092 | 0.3607 | 0.1631 |
| NaI | 643.0114 | 3.1407 | 1.4864 |
| $NaNO_3$ | 253.3800 | 1.1493 | 0.1487 |
| $ZnBr_2$ | 409.6257 | 3.9159 | 1.2005 |

ที่มา : Labuza (2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก.2** การเตรียมสารละลายเกลืออิ่มตัวที่ 25°C

| Salt | Relative Humidity (%) | Quantity | |
|---|---|---|---|
| | | Salt(g) | Water(ml) |
| LiCl | 11.15 | 150 | 85 |
| $CH_3COOK$ | 22.60 | 200 | 65 |
| $MgCl_2$ | 32.73 | 200 | 25 |
| $K_2CO_3$ | 43.80 | 200 | 90 |
| $Mg(NO_3)_2$ | 52.86 | 200 | 30 |
| NaBr | 57.70 | 200 | 80 |
| $SrCl_2$ | 70.83 | 200 | 50 |
| NaCl | 75.32 | 200 | 60 |
| KCl | 84.32 | 200 | 80 |
| $BaCl_2$ | 90.26 | 250 | 70 |

ที่มา : Rockland & Beuchat (1987)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข.

## ผลการทดลอง

### ผลการทดลองหาความชื้นพริกป่น

**ตารางที่ ข.1** แสดงการหาปริมาณความชื้นของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 40˚C

| $a_w$ | ครั้งที่ | น.น.ถ้วย | น.น.ก่อนอบ | | น.น.หลังอบ | | MC(db) | MC เฉลี่ย (%db) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ถ้วย+ต.ย. | ต.ย. | ถ้วย+ต.ย. | ต.ย. | | |
| 0.2118 | 1 | 12.8059 | 14.8198 | 2.0139 | 14.7506 | 1.9447 | 0.0356 | 3.6922 |
| | 2 | 12.7386 | 14.9828 | 2.2442 | 14.9001 | 2.1615 | 0.0383 | |
| 0.4319 | 1 | 12.7302 | 14.8961 | 2.1659 | 14.7717 | 2.0415 | 0.0609 | 6.0552 |
| | 2 | 13.2669 | 15.3390 | 2.0721 | 15.2214 | 1.9545 | 0.0602 | |
| 0.5339 | 1 | 12.9838 | 15.3398 | 2.3560 | 15.1796 | 2.1958 | 0.0730 | 7.0726 |
| | 2 | 13.0537 | 15.2252 | 2.1715 | 15.0860 | 2.0323 | 0.0685 | |
| 0.8227 | 1 | 12.9398 | 15.1421 | 2.2023 | 14.7719 | 1.8321 | 0.2021 | 20.0049 |
| | 2 | 12.7100 | 14.8431 | 2.1331 | 14.4905 | 1.7805 | 0.1980 | |

**ตารางที่ ข.2** แสดงการหาปริมาณความชื้นของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 55˚C

| $a_w$ | ครั้งที่ | น.น.ถ้วย | น.น.ก่อนอบ | | น.น.หลังอบ | | MC(db) | MC เฉลี่ย (%db) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ถ้วย+ต.ย. | ต.ย. | ถ้วย+ต.ย. | ต.ย. | | |
| 0.2017 | 1 | 13.0963 | 14.9649 | 1.8686 | 14.8818 | 1.7855 | 0.0465 | 4.6865 |
| | 2 | 12.9555 | 14.7131 | 1.7576 | 14.6339 | 1.6784 | 0.0472 | |
| 0.4320 | 1 | 12.6544 | 14.8014 | 2.1470 | 14.6989 | 2.0445 | 0.0501 | 4.7535 |
| | 2 | 12.8985 | 14.7751 | 1.8766 | 14.6944 | 1.7959 | 0.0449 | |
| 0.5001 | 1 | 12.7541 | 14.8103 | 2.0562 | 14.7045 | 1.9504 | 0.0542 | 5.4336 |
| | 2 | 13.2205 | 15.3651 | 2.1446 | 15.2544 | 2.0339 | 0.0544 | |
| 0.8041 | 1 | 12.8180 | 14.8537 | 2.0357 | 14.5385 | 1.7205 | 0.1832 | 18.5919 |
| | 2 | 12.8058 | 14.8808 | 2.0750 | 14.5515 | 1.7457 | 0.1886 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข.3** แสดงการหาปริมาณความชื้นของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 70°C

| $a_w$ | ครั้งที่ | น.น.ถ้วย | น.น.ก่อนอบ | | น.น.หลังอบ | | MC(db) | MC เฉลี่ย (%db) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ถ้วย+ต.ย. | ต.ย. | ถ้วย+ต.ย. | ต.ย. | | |
| 0.1929 | 1 | 12.5393 | 14.4646 | 1.9253 | 14.3717 | 1.8324 | 0.0507 | 5.0500 |
| | 2 | 12.9057 | 14.7369 | 1.8312 | 14.6492 | 1.7435 | 0.0503 | |
| 0.4322 | 1 | 12.4540 | 14.4370 | 1.9830 | 14.3249 | 1.8709 | 0.0599 | 5.8045 |
| | 2 | 12.7655 | 14.7623 | 1.9968 | 14.6561 | 1.8906 | 0.0562 | |
| 0.4712 | 1 | 13.6990 | 14.9924 | 1.2934 | 14.8727 | 1.1737 | 0.1020 | 7.4356 |
| | 2 | 13.6370 | 14.6652 | 1.0282 | 14.6193 | 0.9823 | 0.0467 | |
| 0.7874 | 1 | 12.5622 | 14.3642 | 1.8020 | 14.1485 | 1.5863 | 0.1360 | 13.6973 |
| | 2 | 12.6913 | 14.5900 | 1.8987 | 14.3598 | 1.6685 | 0.1380 | |

**ตารางที่ ข.4** แสดงการหาปริมาณความชื้นของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 40°C

| $a_w$ | ครั้งที่ | น.น.ถ้วย | น.น.ก่อนอบ | | น.น.หลังอบ | | MC(db) | MC เฉลี่ย (%db) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ถ้วย+ต.ย. | ต.ย. | ถ้วย+ต.ย. | ต.ย. | | |
| 0.2118 | 1 | 12.8967 | 15.5002 | 2.6035 | 15.3577 | 2.4610 | 0.0579 | 5.8648 |
| | 2 | 13.0412 | 15.3279 | 2.2867 | 15.1997 | 2.1585 | 0.0594 | |
| 0.4319 | 1 | 12.6771 | 15.0732 | 2.3961 | 14.8479 | 2.1708 | 0.1038 | 10.3170 |
| | 2 | 12.5340 | 14.7068 | 2.1728 | 14.5047 | 1.9707 | 0.1026 | |
| 0.5339 | 1 | 12.9476 | 15.0034 | 2.0558 | 14.7762 | 1.8286 | 0.1242 | 12.3828 |
| | 2 | 12.9236 | 15.4197 | 2.4961 | 15.1455 | 2.2219 | 0.1234 | |
| 0.8227 | 1 | 13.1357 | 15.8160 | 2.6803 | 15.1283 | 1.9926 | 0.3451 | 34.2706 |
| | 2 | 12.6066 | 14.9974 | 2.3908 | 14.3904 | 1.7838 | 0.3403 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข.5** แสดงการหาปริมาณความชื้นของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 55°C

| $a_w$ | ครั้งที่ | น.น.ถ้วย | น.น.ก่อนอบ | | น.น.หลังอบ | | MC(db) | MC เฉลี่ย (%db) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ถ้วย+ต.ย. | ต.ย. | ถ้วย+ต.ย. | ต.ย. | | |
| 0.2017 | 1 | 12.9201 | 14.9236 | 2.0035 | 14.7896 | 1.8695 | 0.0717 | 7.0520 |
| | 2 | 13.0760 | 15.2328 | 2.1568 | 15.0929 | 2.0169 | 0.0694 | |
| 0.4320 | 1 | 12.9455 | 15.2361 | 2.2906 | 15.0605 | 2.1150 | 0.0830 | 8.1419 |
| | 2 | 12.9380 | 14.9363 | 1.9983 | 14.7886 | 1.8506 | 0.0798 | |
| 0.5001 | 1 | 12.7118 | 14.9089 | 2.1971 | 14.7177 | 2.0059 | 0.0953 | 9.5967 |
| | 2 | 12.8106 | 14.9592 | 2.1486 | 14.7699 | 1.9593 | 0.0966 | |
| 0.8041 | 1 | 12.9109 | 14.9808 | 2.0699 | 14.4747 | 1.5638 | 0.3236 | 32.1987 |
| | 2 | 12.8975 | 15.3870 | 2.4895 | 14.7830 | 1.8855 | 0.3203 | |

**ตารางที่ ข.6** แสดงการหาปริมาณความชื้นของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 70°C

| $a_w$ | ครั้งที่ | น.น.ถ้วย | น.น.ก่อนอบ | | น.น.หลังอบ | | MC(db) | MC เฉลี่ย (%db) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ถ้วย+ต.ย. | ต.ย. | ถ้วย+ต.ย. | ต.ย. | | |
| 0.1929 | 1 | 12.6980 | 14.7378 | 2.0398 | 14.5665 | 1.8685 | 0.0917 | 9.3899 |
| | 2 | 12.8557 | 14.8388 | 1.9831 | 14.6649 | 1.8092 | 0.0961 | |
| 0.4322 | 1 | 12.8179 | 14.6635 | 1.8456 | 14.4957 | 1.6778 | 0.1000 | 10.1101 |
| | 2 | 12.8632 | 14.6191 | 1.7559 | 14.4563 | 1.5931 | 0.1022 | |
| 0.4712 | 1 | 13.0499 | 15.0269 | 1.9770 | 14.8467 | 1.7968 | 0.1003 | 10.3763 |
| | 2 | 13.0794 | 15.2518 | 2.1724 | 15.0414 | 1.9620 | 0.1072 | |
| 0.7874 | 1 | 12.4852 | 14.3552 | 1.8700 | 14.0465 | 1.5613 | 0.1977 | 19.9627 |
| | 2 | 13.1490 | 15.0765 | 1.9275 | 14.7532 | 1.6042 | 0.2015 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลการทดลองวัดค่าสีของพริกป่น**

**ตารางที่ ข.7** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 40°C ของสารละลายเกลือ $CH_3COOK$

| เวลา (วัน) | $CH_3COOK$ ($a_w$ = 0.21) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 38.90 | 39.37 | 39.14 | 39.87 | 39.71 | 39.79 | 3.68 | 0.11 | 22.20 | 22.14 | 22.17 |
| 1 | 40.05 | 40.02 | 40.04 | 39.59 | 39.91 | 39.75 | 3.68 | 0.23 | 22.87 | 22.84 | 22.86 |
| 2 | 39.96 | 40.20 | 40.08 | 39.64 | 39.32 | 39.48 | 3.68 | 0.23 | 22.53 | 22.69 | 22.61 |
| 4 | 39.86 | 40.33 | 40.10 | 39.43 | 39.34 | 39.39 | 3.67 | 0.06 | 22.30 | 22.68 | 22.49 |
| 7 | 39.79 | 39.76 | 39.78 | 39.21 | 39.15 | 39.18 | 3.67 | 0.04 | 22.30 | 22.81 | 22.56 |
| 17 | 39.77 | 40.21 | 39.99 | 38.64 | 38.87 | 38.76 | 3.66 | 0.16 | 22.13 | 22.41 | 22.27 |
| 28 | 39.84 | 40.23 | 40.04 | 37.96 | 38.74 | 38.35 | 3.65 | 0.55 | 22.16 | 22.40 | 22.28 |
| 38 | 40.45 | 40.21 | 40.33 | 37.96 | 38.09 | 38.03 | 3.64 | 0.09 | 22.76 | 22.36 | 22.56 |

**ตารางที่ ข.8** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 40°C ของสารละลายเกลือ $K_2CO_3$

| เวลา (วัน) | $K_2CO_3$ ($a_w$ = 0.43) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 38.90 | 39.37 | 39.14 | 39.87 | 39.71 | 39.79 | 3.68 | 0.11 | 22.20 | 22.14 | 22.17 |
| 1 | 39.27 | 39.58 | 39.43 | 38.81 | 38.90 | 38.86 | 3.66 | 0.06 | 21.72 | 22.10 | 21.91 |
| 2 | 39.30 | 39.51 | 39.41 | 38.31 | 38.35 | 38.33 | 3.65 | 0.03 | 21.73 | 21.91 | 21.82 |
| 4 | 38.02 | 39.31 | 38.67 | 37.74 | 37.52 | 37.63 | 3.63 | 0.16 | 21.47 | 21.49 | 21.48 |
| 7 | 38.13 | 38.64 | 38.39 | 37.69 | 37.45 | 37.57 | 3.63 | 0.17 | 21.94 | 22.03 | 21.99 |
| 17 | 37.48 | 38.18 | 37.83 | 35.02 | 35.44 | 35.23 | 3.56 | 0.30 | 20.52 | 20.08 | 20.30 |
| 28 | 37.48 | 37.88 | 37.68 | 34.43 | 34.41 | 34.42 | 3.54 | 0.01 | 21.44 | 21.52 | 21.48 |
| 38 | 37.66 | 37.88 | 37.77 | 32.35 | 32.37 | 32.36 | 3.48 | 0.01 | 20.35 | 20.30 | 20.33 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข.9** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 40°C ของสารละลายเกลือ NaBr

| เวลา (วัน) | NaBr ($a_w$ = 0.55) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 38.90 | 39.37 | 39.14 | 39.87 | 39.71 | 39.79 | 3.68 | 0.11 | 22.20 | 22.14 | 22.17 |
| 1 | 38.15 | 38.23 | 38.19 | 37.84 | 37.70 | 37.77 | 3.63 | 0.10 | 21.32 | 21.39 | 21.36 |
| 2 | 38.70 | 39.05 | 38.88 | 37.83 | 37.70 | 37.77 | 3.63 | 0.09 | 21.64 | 21.81 | 21.73 |
| 4 | 37.45 | 38.09 | 37.77 | 36.42 | 36.78 | 36.60 | 3.60 | 0.25 | 20.77 | 21.22 | 21.00 |
| 7 | 37.27 | 37.42 | 37.35 | 34.79 | 35.00 | 34.90 | 3.55 | 0.15 | 20.28 | 20.50 | 20.39 |
| 17 | 36.44 | 37.01 | 36.73 | 32.84 | 33.15 | 33.00 | 3.50 | 0.22 | 20.04 | 20.22 | 20.13 |
| 28 | 35.18 | 35.37 | 35.28 | 30.31 | 30.23 | 30.27 | 3.41 | 0.06 | 19.05 | 19.04 | 19.05 |
| 38 | 35.77 | 35.78 | 35.78 | 28.73 | 29.42 | 29.08 | 3.37 | 0.49 | 18.23 | 18.47 | 18.35 |

**ตารางที่ ข.10** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 40°C ของสารละลายเกลือ KCl

| เวลา (วัน) | KCl ($a_w$ = 0.83) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 38.90 | 39.37 | 39.14 | 39.87 | 39.71 | 39.79 | 3.68 | 0.11 | 22.20 | 22.14 | 22.17 |
| 1 | 34.28 | 34.36 | 34.32 | 33.91 | 33.20 | 33.56 | 3.51 | 0.50 | 18.84 | 18.23 | 18.54 |
| 2 | 33.54 | 33.53 | 33.54 | 31.00 | 30.73 | 30.87 | 3.43 | 0.19 | 17.49 | 17.39 | 17.44 |
| 4 | 31.74 | 32.03 | 31.89 | 28.27 | 28.12 | 28.20 | 3.34 | 0.11 | 16.30 | 16.40 | 16.35 |
| 7 | 31.29 | 31.43 | 31.36 | 26.00 | 26.36 | 26.18 | 3.26 | 0.25 | 15.24 | 15.53 | 15.39 |
| 17 | 32.09 | 32.30 | 32.20 | 23.81 | 23.98 | 23.90 | 3.17 | 0.12 | 14.27 | 14.50 | 14.39 |
| 28 | 29.43 | 30.05 | 29.74 | 21.80 | 22.68 | 22.24 | 3.10 | 0.62 | 13.88 | 14.61 | 14.25 |
| 38 | 29.01 | 28.77 | 28.89 | 20.48 | 20.22 | 20.35 | 3.01 | 0.18 | 13.12 | 13.10 | 13.11 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข.11** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 55°C ของสารละลายเกลือ $CH_3COOK$

| เวลา (วัน) | $CH_3COOK$ ($a_w$ = 0.21) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 38.90 | 39.37 | 39.14 | 39.87 | 39.71 | 39.79 | 3.68 | 0.11 | 22.20 | 22.14 | 22.17 |
| 1 | 39.20 | 40.29 | 39.75 | 37.61 | 37.53 | 37.57 | 3.63 | 0.06 | 21.93 | 22.01 | 21.97 |
| 2 | 39.12 | 38.80 | 38.96 | 37.24 | 37.43 | 37.34 | 3.62 | 0.13 | 21.48 | 22.19 | 21.84 |
| 4 | 39.57 | 39.84 | 39.71 | 36.13 | 36.42 | 36.28 | 3.59 | 0.21 | 21.19 | 21.16 | 21.18 |
| 7 | 39.05 | 40.11 | 39.58 | 35.25 | 35.38 | 35.32 | 3.56 | 0.09 | 20.38 | 20.76 | 20.57 |
| 9 | 39.64 | 39.76 | 39.70 | 34.87 | 34.96 | 34.92 | 3.55 | 0.06 | 19.48 | 19.67 | 19.58 |
| 11 | 40.49 | 40.16 | 40.33 | 34.21 | 34.65 | 34.43 | 3.54 | 0.31 | 20.46 | 20.84 | 20.65 |
| 14 | 41.02 | 40.58 | 40.80 | 34.27 | 34.47 | 34.37 | 3.54 | 0.14 | 21.94 | 21.45 | 21.70 |
| 21 | 41.83 | 42.00 | 41.92 | 33.75 | 33.74 | 33.75 | 3.52 | 0.01 | 22.98 | 23.01 | 23.00 |

**ตารางที่ ข.12** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 55°C ของสารละลายเกลือ $K_2CO_3$

| เวลา (วัน) | $K_2CO_3$ ($a_w$ = 0.43) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 38.90 | 39.37 | 39.14 | 39.87 | 39.71 | 39.79 | 3.68 | 0.11 | 22.20 | 22.14 | 22.17 |
| 1 | 37.97 | 38.12 | 38.05 | 36.01 | 35.84 | 35.93 | 3.58 | 0.12 | 21.89 | 21.84 | 21.87 |
| 2 | 37.12 | 37.42 | 37.27 | 35.14 | 34.76 | 34.95 | 3.55 | 0.27 | 21.01 | 20.87 | 20.94 |
| 4 | 36.48 | 36.94 | 36.71 | 33.31 | 33.81 | 33.56 | 3.51 | 0.35 | 20.46 | 20.14 | 20.30 |
| 7 | 35.98 | 36.87 | 36.43 | 31.48 | 31.57 | 31.53 | 3.45 | 0.06 | 19.79 | 19.87 | 19.83 |
| 9 | 35.76 | 35.98 | 35.87 | 29.50 | 29.91 | 29.71 | 3.39 | 0.29 | 19.34 | 18.03 | 18.69 |
| 11 | 35.70 | 35.12 | 35.41 | 29.75 | 29.06 | 29.41 | 3.38 | 0.49 | 18.84 | 18.78 | 18.81 |
| 14 | 34.87 | 34.99 | 34.93 | 25.96 | 26.21 | 26.09 | 3.26 | 0.18 | 18.38 | 17.74 | 18.06 |
| 21 | 34.63 | 34.97 | 34.80 | 24.28 | 24.20 | 24.24 | 3.19 | 0.06 | 17.36 | 17.49 | 17.43 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข.13** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 55°C ของสารละลายเกลือ NaBr

| เวลา (วัน) | NaBr ($a_w$ = 0.55) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 38.90 | 39.37 | 39.14 | 39.87 | 39.71 | 39.79 | 3.68 | 0.11 | 22.20 | 22.14 | 22.17 |
| 1 | 38.33 | 38.58 | 38.46 | 34.36 | 35.01 | 34.69 | 3.55 | 0.46 | 21.93 | 21.47 | 21.70 |
| 2 | 37.48 | 37.97 | 37.73 | 33.89 | 32.26 | 33.08 | 3.50 | 1.15 | 19.97 | 20.48 | 20.23 |
| 4 | 36.67 | 37.16 | 36.92 | 30.94 | 31.54 | 31.24 | 3.44 | 0.42 | 18.28 | 18.37 | 18.33 |
| 7 | 36.21 | 36.01 | 36.11 | 28.30 | 28.88 | 28.59 | 3.35 | 0.41 | 18.39 | 18.16 | 18.28 |
| 9 | 35.91 | 36.12 | 36.02 | 26.82 | 26.60 | 26.71 | 3.29 | 0.16 | 17.98 | 18.39 | 18.19 |
| 11 | 34.80 | 34.18 | 34.49 | 25.77 | 26.00 | 25.89 | 3.25 | 0.16 | 17.03 | 17.17 | 17.10 |
| 14 | 33.84 | 33.71 | 33.78 | 23.92 | 23.83 | 23.88 | 3.17 | 0.06 | 16.47 | 16.30 | 16.39 |
| 21 | 32.06 | 32.42 | 32.24 | 21.38 | 21.48 | 21.43 | 3.06 | 0.07 | 15.41 | 15.59 | 15.50 |

**ตารางที่ ข.14** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 55°C ของสารละลายเกลือ KCl

| เวลา (วัน) | KCl ($a_w$ = 0.83) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 38.90 | 39.37 | 39.14 | 39.87 | 39.71 | 39.79 | 3.68 | 0.11 | 22.20 | 22.14 | 22.17 |
| 1 | 33.98 | 33.17 | 33.58 | 30.67 | 31.54 | 31.11 | 3.44 | 0.62 | 16.49 | 16.30 | 16.40 |
| 2 | 32.45 | 31.94 | 32.20 | 27.58 | 27.12 | 27.35 | 3.31 | 0.33 | 15.38 | 15.92 | 15.65 |
| 4 | 30.18 | 30.84 | 30.51 | 23.51 | 22.80 | 23.16 | 3.14 | 0.50 | 14.92 | 15.11 | 15.02 |
| 7 | 29.98 | 29.40 | 29.69 | 20.62 | 19.74 | 20.18 | 3.00 | 0.62 | 13.48 | 13.80 | 13.64 |
| 9 | 27.49 | 27.87 | 27.68 | 18.67 | 17.89 | 18.28 | 2.91 | 0.55 | 12.49 | 12.47 | 12.48 |
| 11 | 26.45 | 26.98 | 26.72 | 16.95 | 16.64 | 16.80 | 2.82 | 0.22 | 12.03 | 11.47 | 11.75 |
| 14 | 25.87 | 25.56 | 25.72 | 15.91 | 15.45 | 15.68 | 2.75 | 0.33 | 10.48 | 11.01 | 10.75 |
| 21 | 24.61 | 24.88 | 24.75 | 13.45 | 13.23 | 13.34 | 2.59 | 0.16 | 9.77 | 10.02 | 9.90 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข.15** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 70°C ส ของสารละลายเกลือ $CH_3COOK$

| เวลา (วัน) | $CH_3COOK$ ($a_w$ = 0.19) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 38.90 | 39.37 | 39.14 | 39.87 | 39.71 | 39.79 | 3.68 | 0.11 | 22.20 | 22.14 | 22.17 |
| 1 | 35.96 | 36.23 | 36.10 | 35.23 | 35.30 | 35.27 | 3.56 | 0.05 | 19.76 | 19.99 | 19.88 |
| 3 | 34.82 | 34.67 | 34.75 | 30.02 | 29.96 | 29.99 | 3.40 | 0.04 | 18.28 | 18.37 | 18.33 |
| 6 | 37.32 | 39.23 | 38.28 | 23.05 | 23.60 | 23.33 | 3.15 | 0.39 | 17.60 | 18.16 | 17.88 |
| 9 | 38.12 | 38.26 | 38.19 | 20.09 | 19.70 | 19.90 | 2.99 | 0.28 | 17.72 | 17.65 | 17.69 |
| 13 | 37.71 | 38.10 | 37.91 | 17.97 | 17.61 | 17.79 | 2.88 | 0.25 | 17.55 | 17.39 | 17.47 |
| 16 | 37.18 | 37.45 | 37.32 | 16.63 | 16.45 | 16.54 | 2.81 | 0.13 | 17.40 | 17.26 | 17.33 |
| 20 | 36.40 | 36.28 | 36.34 | 15.77 | 15.89 | 15.83 | 2.76 | 0.08 | 18.38 | 18.38 | 18.38 |
| 24 | 36.10 | 36.59 | 36.35 | 15.40 | 15.58 | 15.49 | 2.74 | 0.13 | 17.11 | 17.42 | 17.27 |

**ตารางที่ ข.16** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 70°C ของสารละลายเกลือ $K_2CO_3$

| เวลา (วัน) | $K_2CO_3$ ($a_w$ = 0.43) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 38.90 | 39.37 | 39.14 | 39.87 | 39.71 | 39.79 | 3.68 | 0.11 | 22.20 | 22.14 | 22.17 |
| 1 | 33.13 | 33.49 | 33.31 | 29.43 | 29.47 | 29.45 | 3.38 | 0.03 | 17.19 | 17.57 | 17.38 |
| 3 | 29.96 | 29.88 | 29.92 | 21.44 | 21.28 | 21.36 | 3.06 | 0.11 | 14.36 | 14.23 | 14.30 |
| 6 | 32.51 | 32.46 | 32.49 | 14.36 | 14.21 | 14.29 | 2.66 | 0.11 | 12.15 | 11.13 | 11.64 |
| 9 | 31.11 | 31.15 | 31.13 | 12.60 | 12.57 | 12.59 | 2.53 | 0.02 | 11.53 | 11.56 | 11.55 |
| 13 | 30.70 | 31.20 | 30.95 | 11.86 | 11.78 | 11.82 | 2.47 | 0.06 | 11.13 | 11.30 | 11.22 |
| 16 | 27.01 | 27.26 | 27.14 | 10.33 | 10.47 | 10.40 | 2.34 | 0.10 | 9.50 | 9.40 | 9.45 |
| 20 | 28.32 | 28.26 | 28.29 | 12.02 | 11.93 | 11.98 | 2.48 | 0.06 | 12.52 | 12.21 | 12.37 |
| 24 | 25.88 | 26.30 | 26.09 | 11.36 | 11.32 | 11.34 | 2.43 | 0.03 | 9.41 | 9.18 | 9.30 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข.17** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 70°C ของสารละลายเกลือ NaBr

| เวลา (วัน) | NaBr ($a_w$ = 0.47) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 38.90 | 39.37 | 39.14 | 39.87 | 39.71 | 39.79 | 3.68 | 0.11 | 22.20 | 22.14 | 22.17 |
| 1 | 31.98 | 31.76 | 31.87 | 26.98 | 26.84 | 26.91 | 3.29 | 0.10 | 16.05 | 16.03 | 16.04 |
| 3 | 28.35 | 28.43 | 28.39 | 18.83 | 19.21 | 19.02 | 2.95 | 0.27 | 12.55 | 12.93 | 12.74 |
| 6 | 30.58 | 30.92 | 30.75 | 11.67 | 11.86 | 11.77 | 2.47 | 0.13 | 10.20 | 10.24 | 10.22 |
| 9 | 29.79 | 30.08 | 29.94 | 10.22 | 10.26 | 10.24 | 2.33 | 0.03 | 9.75 | 9.94 | 9.85 |
| 13 | 28.44 | 28.60 | 28.52 | 9.06 | 9.31 | 9.19 | 2.22 | 0.18 | 9.14 | 9.19 | 9.17 |
| 16 | 27.17 | 27.17 | 27.17 | 8.09 | 8.07 | 8.08 | 2.09 | 0.01 | 8.43 | 8.33 | 8.38 |
| 20 | 25.27 | 25.67 | 25.47 | 9.63 | 9.94 | 9.79 | 2.28 | 0.22 | 10.02 | 9.95 | 9.99 |
| 24 | 24.99 | 25.45 | 25.22 | 9.19 | 9.08 | 9.14 | 2.21 | 0.08 | 9.18 | 9.21 | 9.20 |

**ตารางที่ ข.18** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์จินดาที่อุณหภูมิ 70°C ของสารละลายเกลือ KCl

| เวลา (วัน) | KCl ($a_w$ = 0.79) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 38.90 | 39.37 | 39.14 | 39.87 | 39.71 | 39.79 | 3.68 | 0.11 | 22.20 | 22.14 | 22.17 |
| 1 | 29.65 | 29.35 | 29.50 | 13.56 | 13.22 | 13.39 | 2.59 | 0.24 | 10.16 | 10.06 | 10.11 |
| 3 | 27.51 | 27.42 | 27.47 | 8.87 | 8.63 | 8.75 | 2.17 | 0.17 | 7.73 | 7.51 | 7.62 |
| 6 | 22.11 | 22.41 | 22.26 | 7.95 | 7.89 | 7.92 | 2.07 | 0.04 | 6.88 | 6.83 | 6.86 |
| 9 | 21.00 | 21.39 | 21.20 | 6.38 | 6.54 | 6.46 | 1.87 | 0.11 | 5.79 | 5.87 | 5.83 |
| 13 | 20.66 | 20.66 | 20.66 | 5.60 | 5.57 | 5.59 | 1.72 | 0.02 | 5.54 | 5.50 | 5.52 |
| 16 | 19.96 | 20.09 | 20.03 | 5.21 | 5.11 | 5.16 | 1.64 | 0.07 | 5.14 | 5.05 | 5.10 |
| 20 | 19.86 | 19.85 | 19.86 | 4.26 | 4.06 | 4.16 | 1.43 | 0.14 | 4.82 | 4.80 | 4.81 |
| 24 | 19.99 | 20.10 | 20.05 | 4.06 | 3.86 | 3.96 | 1.38 | 0.14 | 4.04 | 3.94 | 3.99 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข.19** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 40°C ของสารละลายเกลือ $CH_3COOK$

| เวลา (วัน) | $CH_3COOK$ ($a_w$ = 0.21) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 43.35 | 43.73 | 43.54 | 32.60 | 32.93 | 32.77 | 3.49 | 0.23 | 23.98 | 23.92 | 23.95 |
| 1 | 42.47 | 42.40 | 42.44 | 32.68 | 32.50 | 32.59 | 3.48 | 0.13 | 23.54 | 23.61 | 23.58 |
| 2 | 42.44 | 42.92 | 42.68 | 31.58 | 31.48 | 31.53 | 3.45 | 0.07 | 23.28 | 23.58 | 23.43 |
| 4 | 42.66 | 42.89 | 42.78 | 30.94 | 31.54 | 31.24 | 3.44 | 0.42 | 23.03 | 23.48 | 23.26 |
| 7 | 43.90 | 44.97 | 44.44 | 30.36 | 30.09 | 30.23 | 3.41 | 0.19 | 23.78 | 24.45 | 24.12 |
| 17 | 45.51 | 45.03 | 45.27 | 29.83 | 29.57 | 29.70 | 3.39 | 0.18 | 23.70 | 23.71 | 23.71 |
| 28 | 48.47 | 47.60 | 48.04 | 29.78 | 29.85 | 29.82 | 3.40 | 0.05 | 24.87 | 24.68 | 24.78 |
| 38 | 48.35 | 48.89 | 48.62 | 28.58 | 28.11 | 28.35 | 3.34 | 0.33 | 24.38 | 24.47 | 24.43 |

**ตารางที่ ข.20** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 40°C ของสารละลายเกลือ $K_2CO_3$

| เวลา (วัน) | $K_2CO_3$ ($a_w$ = 0.43) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 43.35 | 43.73 | 43.54 | 32.60 | 32.93 | 32.77 | 3.49 | 0.23 | 23.98 | 23.92 | 23.95 |
| 1 | 40.23 | 40.98 | 40.61 | 30.94 | 30.43 | 30.69 | 3.42 | 0.36 | 21.28 | 22.37 | 21.83 |
| 2 | 40.04 | 40.18 | 40.11 | 30.24 | 30.28 | 30.26 | 3.41 | 0.03 | 21.54 | 21.66 | 21.60 |
| 4 | 38.93 | 39.29 | 39.11 | 29.77 | 29.78 | 29.78 | 3.39 | 0.01 | 21.81 | 21.12 | 21.47 |
| 7 | 38.93 | 39.06 | 39.00 | 29.27 | 29.19 | 29.23 | 3.38 | 0.06 | 21.03 | 21.06 | 21.05 |
| 17 | 38.58 | 38.30 | 38.44 | 27.27 | 27.92 | 27.60 | 3.32 | 0.46 | 20.14 | 20.29 | 20.22 |
| 28 | 37.78 | 37.29 | 37.54 | 24.71 | 24.96 | 24.84 | 3.21 | 0.18 | 19.82 | 19.32 | 19.57 |
| 38 | 37.04 | 37.05 | 37.05 | 22.73 | 22.00 | 22.37 | 3.11 | 0.52 | 19.03 | 19.19 | 19.11 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข.21** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 40°C ของสารละลายเกลือ NaBr

| เวลา (วัน) | NaBr ($a_w$ = 0.55) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 43.35 | 43.73 | 43.54 | 32.60 | 32.93 | 32.77 | 3.49 | 0.23 | 23.98 | 23.92 | 23.95 |
| 1 | 38.40 | 38.16 | 38.28 | 29.94 | 29.66 | 29.80 | 3.39 | 0.20 | 20.56 | 20.46 | 20.51 |
| 2 | 37.93 | 38.17 | 38.05 | 29.35 | 29.67 | 29.51 | 3.38 | 0.23 | 20.36 | 20.58 | 20.47 |
| 4 | 37.38 | 37.57 | 37.48 | 28.62 | 28.34 | 28.48 | 3.35 | 0.20 | 20.22 | 20.15 | 20.19 |
| 7 | 36.77 | 37.46 | 37.12 | 27.21 | 27.98 | 27.60 | 3.32 | 0.54 | 19.60 | 19.92 | 19.76 |
| 17 | 35.18 | 35.66 | 35.42 | 24.38 | 24.87 | 24.63 | 3.20 | 0.35 | 18.59 | 18.97 | 18.78 |
| 28 | 33.88 | 34.47 | 34.18 | 21.45 | 21.94 | 21.70 | 3.08 | 0.35 | 17.39 | 17.76 | 17.58 |
| 38 | 33.67 | 34.08 | 33.88 | 19.39 | 20.14 | 19.77 | 2.98 | 0.53 | 16.29 | 16.66 | 16.48 |

**ตารางที่ ข.22** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 40°C ของสารละลายเกลือ KCl

| เวลา (วัน) | KCl ($a_w$ = 0.83) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 43.35 | 43.73 | 43.54 | 32.60 | 32.93 | 32.77 | 3.49 | 0.23 | 23.98 | 23.92 | 23.95 |
| 1 | 32.97 | 33.67 | 33.32 | 27.33 | 26.00 | 26.67 | 3.28 | 0.94 | 17.74 | 17.40 | 17.57 |
| 2 | 33.33 | 33.13 | 33.23 | 26.49 | 24.94 | 25.72 | 3.25 | 1.10 | 17.23 | 16.90 | 17.07 |
| 4 | 32.62 | 31.70 | 32.16 | 25.09 | 21.65 | 23.37 | 3.15 | 2.43 | 16.34 | 15.81 | 16.08 |
| 7 | 31.90 | 31.14 | 31.52 | 22.43 | 19.34 | 20.89 | 3.04 | 2.18 | 14.75 | 15.11 | 14.93 |
| 17 | 31.10 | 31.05 | 31.08 | 17.81 | 17.91 | 17.86 | 2.88 | 0.07 | 13.19 | 13.15 | 13.17 |
| 28 | 27.46 | 27.64 | 27.55 | 16.37 | 16.02 | 16.20 | 2.78 | 0.25 | 12.60 | 12.65 | 12.63 |
| 38 | 25.83 | 26.46 | 26.15 | 13.57 | 13.87 | 13.72 | 2.62 | 0.21 | 10.58 | 11.02 | 10.80 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข.23** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 55°C ของสารละลายเกลือ $CH_3COOK$

| เวลา (วัน) | $CH_3COOK$ ($a_w$ = 0.21) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 43.35 | 43.73 | 43.54 | 32.60 | 32.93 | 32.77 | 3.489 | 0.233 | 23.98 | 23.92 | 23.95 |
| 1 | 43.36 | 42.78 | 43.07 | 30.87 | 31.23 | 31.05 | 3.436 | 0.255 | 23.78 | 23.91 | 23.85 |
| 2 | 43.11 | 42.54 | 42.83 | 30.27 | 30.43 | 30.35 | 3.413 | 0.113 | 23.66 | 23.43 | 23.55 |
| 4 | 43.92 | 43.77 | 43.85 | 29.33 | 28.78 | 29.06 | 3.369 | 0.389 | 22.78 | 23.64 | 23.21 |
| 7 | 43.57 | 41.98 | 42.78 | 26.05 | 26.16 | 26.11 | 3.262 | 0.078 | 22.14 | 23.01 | 22.58 |
| 9 | 43.45 | 42.90 | 43.18 | 24.60 | 24.66 | 24.63 | 3.204 | 0.042 | 21.86 | 22.72 | 22.29 |
| 11 | 41.11 | 43.89 | 42.5 | 23.72 | 23.78 | 23.75 | 3.168 | 0.042 | 22.01 | 22.53 | 22.27 |
| 14 | 42.87 | 43.12 | 43 | 21.7 | 21.17 | 21.44 | 3.065 | 0.375 | 22.24 | 21.69 | 21.97 |
| 21 | 43.27 | 43.44 | 43.36 | 18.64 | 18.59 | 18.62 | 2.924 | 0.035 | 21.48 | 21.63 | 21.56 |

**ตารางที่ ข.24** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 55°C ของสารละลายเกลือ $K_2CO_3$

| เวลา (วัน) | K2CO3 ($a_w$ = 0.43) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 43.35 | 43.73 | 43.54 | 32.60 | 32.93 | 32.77 | 3.489 | 0.233 | 23.98 | 23.92 | 23.95 |
| 1 | 40.87 | 41.02 | 40.95 | 28.51 | 28.76 | 28.64 | 3.355 | 0.177 | 21.44 | 21.78 | 21.61 |
| 2 | 38.97 | 39.11 | 39.04 | 27.14 | 26.65 | 26.9 | 3.292 | 0.346 | 19.35 | 20.01 | 19.68 |
| 4 | 37.01 | 37.89 | 37.45 | 24.96 | 25.26 | 25.11 | 3.223 | 0.212 | 18.11 | 17.98 | 18.05 |
| 7 | 35.98 | 34.14 | 35.06 | 22.06 | 22.45 | 22.26 | 3.103 | 0.276 | 17.33 | 17.40 | 17.37 |
| 9 | 34.02 | 33.84 | 33.93 | 19.54 | 20.09 | 19.82 | 2.986 | 0.389 | 15.34 | 15.79 | 15.57 |
| 11 | 32.98 | 33.41 | 33.2 | 19.01 | 18.76 | 18.89 | 2.938 | 0.177 | 13.75 | 14.12 | 13.94 |
| 14 | 31.09 | 31.47 | 31.28 | 15.9 | 16.08 | 15.99 | 2.772 | 0.127 | 13.71 | 13.07 | 13.39 |
| 21 | 30.01 | 29.97 | 29.99 | 13.7 | 13.87 | 13.79 | 2.624 | 0.12 | 12.82 | 12.8 | 12.81 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข.25** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 55° C ของสารละลายเกลือ NaBr

| เวลา (วัน) | NaBr ($a_w$ = 0.55) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 43.35 | 43.73 | 43.54 | 32.60 | 32.93 | 32.77 | 3.489 | 0.233 | 23.98 | 23.92 | 23.95 |
| 1 | 36.09 | 36.33 | 36.21 | 28.21 | 27.76 | 27.99 | 3.332 | 0.318 | 20.34 | 20.85 | 20.6 |
| 2 | 35.74 | 35.51 | 35.63 | 26.13 | 25.54 | 25.84 | 3.252 | 0.417 | 19.87 | 20.05 | 19.96 |
| 4 | 33.14 | 32.76 | 32.95 | 22.81 | 23.69 | 23.25 | 3.146 | 0.622 | 17.55 | 18.21 | 17.88 |
| 7 | 31.87 | 31.12 | 31.5 | 19.45 | 19.71 | 19.58 | 2.975 | 0.184 | 15.23 | 15.97 | 15.6 |
| 9 | 31.21 | 30.78 | 31 | 17.52 | 17.70 | 17.61 | 2.868 | 0.127 | 13.12 | 12.90 | 13.01 |
| 11 | 29.45 | 30.86 | 30.16 | 16.01 | 16.24 | 16.13 | 2.78 | 0.163 | 12.34 | 12.11 | 12.23 |
| 14 | 28.17 | 29.76 | 28.97 | 14.08 | 14.39 | 14.24 | 2.656 | 0.219 | 11.23 | 11.37 | 11.3 |
| 21 | 27.07 | 27.14 | 27.11 | 11.6 | 12 | 11.8 | 2.468 | 0.283 | 10.64 | 10.84 | 10.74 |

**ตารางที่ ข.26** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้าง ที่อุณหภูมิ 55° C ของสารละลายเกลือ KCl

| เวลา (วัน) | KCl ($a_w$ = 0.83) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 43.35 | 43.73 | 43.54 | 32.60 | 32.93 | 32.77 | 3.489 | 0.233 | 23.98 | 23.92 | 23.95 |
| 1 | 30.12 | 30.87 | 30.5 | 26.51 | 26.83 | 26.67 | 3.284 | 0.226 | 12.78 | 13.12 | 12.95 |
| 2 | 29.89 | 30.63 | 30.26 | 21.12 | 20.78 | 20.95 | 3.042 | 0.24 | 11.87 | 11.34 | 11.61 |
| 4 | 28.98 | 29.11 | 29.05 | 16.81 | 16.97 | 16.89 | 2.827 | 0.113 | 10.28 | 10.49 | 10.39 |
| 7 | 26.34 | 27.45 | 26.9 | 13.18 | 13.04 | 13.11 | 2.573 | 0.099 | 10.28 | 9.47 | 9.875 |
| 9 | 24.19 | 24.90 | 24.55 | 10.67 | 11.15 | 10.91 | 2.39 | 0.339 | 8.38 | 8.40 | 8.39 |
| 11 | 23.84 | 23.19 | 23.52 | 9.71 | 9.61 | 9.66 | 2.268 | 0.071 | 7.38 | 6.98 | 7.18 |
| 14 | 21.48 | 22.12 | 21.8 | 8.35 | 7.83 | 8.09 | 2.091 | 0.368 | 6.38 | 6.12 | 6.25 |
| 21 | 20.43 | 20.56 | 20.5 | 6.34 | 6.26 | 6.3 | 1.841 | 0.057 | 5.48 | 5.34 | 5.41 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข.27** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 70°C ของสารละลายเกลือ $CH_3COOK$

| เวลา (วัน) | $CH_3COOK$ ($a_w$ = 0.19) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 43.35 | 43.73 | 43.54 | 32.60 | 32.93 | 32.77 | 3.49 | 0.23 | 23.98 | 23.92 | 23.95 |
| 1 | 36.64 | 37.32 | 36.98 | 27.07 | 27.35 | 27.21 | 3.30 | 0.20 | 19.41 | 19.97 | 19.69 |
| 3 | 33.72 | 33.84 | 33.78 | 20.33 | 20.33 | 20.33 | 3.01 | 0.00 | 16.69 | 16.53 | 16.61 |
| 6 | 33.50 | 33.72 | 33.61 | 13.25 | 13.33 | 13.29 | 2.59 | 0.06 | 14.68 | 14.58 | 14.63 |
| 9 | 32.85 | 32.57 | 32.71 | 9.74 | 9.92 | 9.83 | 2.29 | 0.13 | 12.23 | 12.39 | 12.31 |
| 13 | 32.05 | 32.07 | 32.06 | 8.25 | 8.39 | 8.32 | 2.12 | 0.10 | 11.17 | 11.53 | 11.35 |
| 16 | 30.38 | 30.22 | 30.30 | 7.91 | 7.87 | 7.89 | 2.07 | 0.03 | 11.23 | 11.16 | 11.20 |
| 20 | 28.85 | 29.01 | 28.93 | 8.25 | 8.16 | 8.21 | 2.10 | 0.06 | 11.54 | 11.66 | 11.60 |
| 24 | 28.83 | 29.41 | 29.12 | 8.22 | 8.43 | 8.33 | 2.12 | 0.15 | 10.37 | 10.87 | 10.62 |

**ตารางที่ ข.28** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 70°C ของสารละลายเกลือ $K_2CO_3$

| เวลา (วัน) | $K_2CO_3$ ($a_w$ = 0.43) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 43.35 | 43.73 | 43.54 | 32.60 | 32.93 | 32.77 | 3.49 | 0.23 | 23.98 | 23.92 | 23.95 |
| 1 | 31.63 | 32.05 | 31.84 | 21.54 | 21.38 | 21.46 | 3.07 | 0.11 | 15.53 | 15.76 | 15.65 |
| 3 | 26.52 | 26.52 | 26.52 | 12.94 | 12.92 | 12.93 | 2.56 | 0.01 | 10.69 | 10.68 | 10.69 |
| 6 | 28.07 | 28.14 | 28.11 | 6.60 | 6.59 | 6.60 | 1.89 | 0.01 | 7.65 | 7.81 | 7.73 |
| 9 | 26.49 | 26.08 | 26.29 | 4.92 | 4.46 | 4.69 | 1.55 | 0.33 | 6.27 | 6.18 | 6.23 |
| 13 | 25.90 | 25.73 | 25.82 | 4.18 | 4.16 | 4.17 | 1.43 | 0.01 | 5.83 | 6.01 | 5.92 |
| 16 | 23.41 | 23.68 | 23.55 | 3.01 | 3.22 | 3.12 | 1.14 | 0.15 | 5.10 | 5.32 | 5.21 |
| 20 | 22.00 | 21.93 | 21.97 | 4.71 | 4.74 | 4.73 | 1.55 | 0.02 | 6.24 | 6.25 | 6.25 |
| 24 | 21.73 | 22.03 | 21.88 | 4.74 | 4.69 | 4.72 | 1.55 | 0.04 | 5.06 | 5.19 | 5.13 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข.29** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 70°C ของสารละลายเกลือ NaBr

| เวลา (วัน) | NaBr ($a_w$ = 0.47) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 43.35 | 43.73 | 43.54 | 32.60 | 32.93 | 32.77 | 3.49 | 0.23 | 23.98 | 23.92 | 23.95 |
| 1 | 30.94 | 30.57 | 30.76 | 19.87 | 19.93 | 19.90 | 2.99 | 0.04 | 14.50 | 14.47 | 14.49 |
| 3 | 24.67 | 23.95 | 24.31 | 10.77 | 10.60 | 10.69 | 2.37 | 0.12 | 8.84 | 8.68 | 8.76 |
| 6 | 26.51 | 26.84 | 26.68 | 5.21 | 4.98 | 5.10 | 1.63 | 0.16 | 6.11 | 6.26 | 6.19 |
| 9 | 25.32 | 26.14 | 25.73 | 3.36 | 3.79 | 3.58 | 1.27 | 0.30 | 5.20 | 5.74 | 5.47 |
| 13 | 23.59 | 23.82 | 23.71 | 2.95 | 2.71 | 2.83 | 1.04 | 0.17 | 3.94 | 4.09 | 4.02 |
| 16 | 21.97 | 22.60 | 22.29 | 2.65 | 2.97 | 2.81 | 1.03 | 0.23 | 3.49 | 3.42 | 3.46 |
| 20 | 20.08 | 19.94 | 20.01 | 3.49 | 3.04 | 3.26 | 1.18 | 0.32 | 4.47 | 4.47 | 4.47 |
| 24 | 19.69 | 19.92 | 19.81 | 3.56 | 3.53 | 3.55 | 1.27 | 0.02 | 3.85 | 3.72 | 3.79 |

**ตารางที่ ข.30** แสดงค่าสีของพริกป่นพันธุ์บางช้างที่อุณหภูมิ 70°C ของสารละลายเกลือ KCl

| เวลา (วัน) | KCl ($a_w$ = 0.79) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L | | | a | | | | | b | | |
| | 1 | 2 | เฉลี่ย | 1 | 2 | เฉลี่ย | ln a | SD | 1 | 2 | เฉลี่ย |
| 0 | 43.35 | 43.73 | 43.54 | 32.60 | 32.93 | 32.77 | 3.49 | 0.23 | 23.98 | 23.92 | 23.95 |
| 1 | 28.04 | 27.52 | 27.78 | 9.74 | 9.19 | 9.47 | 2.25 | 0.39 | 8.66 | 8.56 | 8.61 |
| 3 | 24.12 | 24.28 | 24.20 | 5.21 | 5.57 | 5.39 | 1.68 | 0.25 | 4.13 | 4.22 | 4.18 |
| 6 | 18.01 | 18.37 | 18.19 | 3.20 | 3.24 | 3.22 | 1.17 | 0.03 | 3.06 | 3.26 | 3.16 |
| 9 | 16.72 | 17.20 | 16.96 | 2.21 | 2.40 | 2.31 | 0.84 | 0.13 | 2.45 | 2.23 | 2.34 |
| 13 | 17.85 | 17.86 | 17.86 | 2.01 | 2.18 | 2.10 | 0.74 | 0.12 | 2.13 | 2.14 | 2.14 |
| 16 | 17.30 | 16.62 | 16.96 | 1.78 | 1.75 | 1.77 | 0.57 | 0.02 | 1.83 | 1.86 | 1.85 |
| 20 | 17.42 | 17.00 | 17.21 | 1.72 | 1.71 | 1.72 | 0.54 | 0.01 | 1.75 | 1.79 | 1.77 |
| 24 | 17.75 | 18.36 | 18.06 | 1.69 | 2.12 | 1.91 | 0.64 | 0.30 | 1.23 | 1.74 | 1.49 |

* หมายเหตุ SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค.

## Code โปรแกรมประเมินคุณภาพและอายุการเก็บของพริกป่น

### โปรแกรม Visual Basic

```
Dim myExcelApplication As Excel.Application
Dim myExcelWorkbook As Excel.Workbook
Dim myExcelWorksheet As Excel.Worksheet
Dim myExcelChart As Excel.Chart
Dim FN As String

Private Sub cancel_Click()
   End
End Sub

Private Sub Clear_Click()
temp_tx.Text = "": rh_tx.Text = "": mi_tx.Text = "": q_tx.Text = "": qf_tx.Text = ""
k_tx.Text = "": x_tx.Text = "": A_tx.Text = "": w_tx.Text = ""
nopack_tx.Text = "": pack_tx.Text = ""
End Sub

Private Sub Combo3_Click()
Dim tt() As String, per() As Single,  m, n As Integer
 m = Data1.Recordset.RecordCount
ReDim tt(m)
ReDim per(m)
 Data1.Recordset.MoveFirst
   If Combo3.Text = "-----Other Type------" Then
      k_tx.Locked = False: k_tx.BackColor = &HFFFFFF: k_tx.Text = ""
   Else
      k_tx.Locked = True: k_tx.BackColor = &H80000016
   For n = 0 To m
      tt(n) = Data1.Recordset.Fields("Type")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      per(n) = Data1.Recordset.Fields("Permeability")
      Data1.Recordset.MoveNext
      If tt(n) = Combo3.Text Then Exit For
      Next
      k_tx.Text = per(n)
   End If
End Sub

Private Sub Combo4_Click()
Dim tt() As String, per() As Single, m, n As Integer
 m = Data2.Recordset.RecordCount
 ReDim tt(m):  ReDim per(m)
 Data2.Recordset.MoveFirst
  If Combo4.Text = "-----Other Type------" Then
     txk.Locked = False
     txk.BackColor = &HFFFFFF
     txk.Text = ""
  Else
     txk.Locked = True
     txk.BackColor = &H80000016
     For n = 0 To m
        tt(n) = Data2.Recordset.Fields("Type")
        per(n) = Data2.Recordset.Fields("Permeability")
        Data2.Recordset.MoveNext
        If tt(n) = Combo4.Text Then Exit For
     Next
     txk.Text = per(n)
  End If
End Sub

Private Sub Command1_Click()
If blnEarly Then
     Set myExcelApplication = New Excel.Application
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Else
    Set myExcelApplication = CreateObject("Excel.Application")
End If
    NumWrkSht = 1
    myExcelApplication.SheetsInNewWorkbook = NumWrkSht
    Set myExcelWorkbook = myExcelApplication.Workbooks.Add
    Set myExcelWorksheet = myExcelWorkbook.ActiveSheet
    'myExcelWorksheet.Range(A1, A10).Font.Bold = True
    myExcelWorksheet.Cells(1, 1) = "Time()"
    myExcelWorksheet.Cells(1, 2) = "Temp (Celcius)"
    myExcelWorksheet.Cells(1, 3) = "Relative Humidity (%)"
    MsgBox ("Please Add and Save Data in this table")
    If Invisible = False Then myExcelApplication.Visible = True
End Sub

Private Sub Command2_Click()
End
End Sub

Private Sub Command3_Click()
FrOpenFile.Show
End Sub

Private Sub Command4_Click()
txmi.Text = "": txqi.Text = "": txk.Text = "": txx.Text = "": txw.Text = "": txa.Text = "": txqf.Text
= ""
End Sub

Private Sub Form_Activate()
Dim tt() As String, per() As Single, m, n As Integer
Data1.Recordset.MoveFirst
  m = Data1.Recordset.RecordCount
  ReDim tt(m):  ReDim per(m)
   For n = 0 To m
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      tt(n) = Data1.Recordset.Fields("Type")
      per(n) = Data1.Recordset.Fields("Permeability")
     Combo3.AddItem (tt(n))
      Data1.Recordset.MoveNext
      If Data1.Recordset.EOF = True Then
         Exit For
      End If
   Next
   Data2.Recordset.MoveFirst
   For n = 0 To m
      tt(n) = Data2.Recordset.Fields("Type")
      per(n) = Data2.Recordset.Fields("Permeability")
     Combo4.AddItem (tt(n))
      Data2.Recordset.MoveNext
      If Data2.Recordset.EOF = True Then
         Exit For
      End If
   Next
    Combo3.AddItem ("-----Other Type-----")
    Combo4.AddItem ("-----Other Type-----")
End Sub

Private Sub Form_Load()
frpackage.Visible = True
Combo1.AddItem "Jinda"
Combo1.AddItem "Bangchang"
Combo1.Text = "-----Please Select-----"
      Lbquality.Visible = True
      qf_tx.Visible = True
       Label30.Caption = "": Label31.Caption = ""
Combo2.AddItem "Jinda"
Combo2.AddItem "Bangchang"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Combo2.Text = "-----Please Select-----"
 Dim Str As String
   Str = "Permeability\Permeability.xls"
   Data1.DatabaseName = app.Path & "\" & Str
   Data1.RecordSource = "Sheet1$"
   Data1.RecordsetType = 0
   Data1.Connect = "Excel 8.0;"
   Data2.DatabaseName = app.Path & "\" & Str
   Data2.RecordSource = "Sheet1$"
   Data2.RecordsetType = 0
   Data2.Connect = "Excel 8.0;"
   Combo3.Text = "-----Please Selest------"
   Combo4.Text = "-----Please Selest------"
End Sub
Private Sub Excel()
If blnEarly Then
      Set myExcelApplication = New Excel.Application
Else
      Set myExcelApplication = CreateObject("Excel.Application")
End If
      NumWrkSht = 1
      myExcelApplication.SheetsInNewWorkbook = NumWrkSht
      Set myExcelWorkbook = myExcelApplication.Workbooks.Add
      Set myExcelWorksheet = myExcelWorkbook.ActiveSheet
      'myExcelWorksheet.Range(A1, A10).Font.Bold = True
      myExcelWorksheet.Cells(1, 1) = "Time(Day)"
      myExcelWorksheet.Cells(1, 3) = "Quality"
      myExcelWorksheet.Cells(2, 1) = "No Package"
      myExcelWorksheet.Cells(2, 2) = "Package"
       myExcelWorksheet.Cells(2, 3) = "No Package"
      myExcelWorksheet.Cells(2, 4) = "Package"
 End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub save()
 Dim a As String
      a = InputBox("Do you want to save? [Y, N]")
      If a = "Y" Then
         Sav = True
      ElseIf a = "y" Then
         Sav = True
      End If
      If Sav = True Then
        a = InputBox("Please enter filename")
        a = app.Path & "\" & a
        myExcelWorkbook.SaveAs a
      Else
         myExcelWorkbook.Close
      End If
      myExcelApplication.Quit
End Sub

Private Sub ok2_Click()
Dim pack As Single, shelflife As Single
Dim aw As Single, aw_i As Single, aw_c As Single, m_i As Single, m_e As Single, m_c As
Single, B As Single
Dim time As Single, Temp, tt As Single, p As Single, aa, aaa As Single
Dim a0 As Single, a As Single, af As Single, part As Single, a_i As Single, part01 As Single
Dim i, j As Integer
Dim mc1, mc2, awc1, awc2, b1, pack1 As Single

Temp = Val(temp_tx.Text) + 273: aw = Val(rh_tx.Text) / 100: a0 = Val(q_tx.Text): ai =
Val(q_tx.Text): a = Val(qf_tx.Text): m_i = Val(mi_tx.Text)
p = ((0.000277) + ((((7.67 * 10 ^ -8) + (4.98 * 10 ^ -9) * (100 - (Temp - 273))) / (2.48 * 10 ^ -9))
^ 1 / 2) + 101000) * 0.0075
Excel
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
i = 2: j = 0
Select Case Combo1.Text
   Case "Jinda"
     Do Until a0 = a
          a0 = a0 – 1: i = i + 1
          part = ((2.79 * 10 ^ (-5) * Exp(8.465 * aw)) * Exp(((44.418 * ((aw) ^ 2) + 63.927 * (aw)
- 131.896) / 0.008314) * ((1 / Temp) - (1 / 298))))
        tt = (Log(ai) - Log(a0)) / part
        m_e = (11.28 - (0.105 * (Temp - 273))) * (((aw)) / (1 - (aw))) ^ 0.596
        aw_i = 1 / (((13.098 - 0.137 * (Temp - 273)) / m_i) ^ (1.741) + (1))
        B = (m_e - m_i) / (aw - aw_i)
        pack = ((Val(k_tx.Text)) / (Val(x_tx.Text))) * ((Val(A_tx.Text)) / (Val(w_tx.Text))) * p / B
        m_c = ((m_e * (Exp(tt * pack) - 1)) + m_i) / Exp(tt * pack)
        mc1 = m_c - 1
        awc1 = 1 / (((13.098 - 0.137 * (Temp - 273)) / mc1) ^ (1.741) + (1))
        mc2 = m_c + 1
        awc2 = 1 / (((13.098 - 0.137 * (Temp - 273)) / mc2) ^ (1.741) + (1))
        b1 = (mc1 - mc2) / (awc1 - awc2)
     pack1 = ((Val(k_tx.Text)) / (Val(x_tx.Text))) * ((Val(A_tx.Text)) / (Val(w_tx.Text))) * p / b1
        mc = ((m_e * (Exp(tt * pack1) - 1)) + m_i) / Exp(tt * pack1)
        aw_c = 1 / (((13.098 - 0.137 * (Temp - 273)) / mc) ^ (1.741) + (1))
        part01 = ((2.79 * 10 ^ (-5) * Exp(8.465 * aw_c)) * Exp(((44.418 * ((aw_c) ^ 2) + 63.927 *
(aw_c) - 131.896) / 0.008314) * ((1 / Temp) - (1 / 298))))
        shelflife = (Log(ai) - Log(a0)) / part01
        nopack_tx.Text = FormatNumber(tt, 3)
        pack_tx.Text = FormatNumber(shelflife, 3)
        myExcelWorksheet.Cells(i, 1) = FormatNumber(tt, 3)
        myExcelWorksheet.Cells(i, 2) = FormatNumber(shelflife, 3)
        myExcelWorksheet.Cells(i, 3) = FormatNumber(a0, 3)
        myExcelWorksheet.Cells(i, 4) = FormatNumber(a0, 3)
        Loop
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Do Until j = shelflife
        aa = Log(ai) - (part * j): aaa = Log(ai) - (part01 * j)
        With MSChart1
          .Column = 1: .Row = j + 1: .RowCount = shelflife + 1: .Data = Exp(aa): .RowLabel = j
          .Column = 2: .Row = j + 1: .RowCount = shelflife + 1: .Data = Exp(aaa): .RowLabel = j
          .Column = 3: .Row = j + 1: .RowCount = shelflife + 1: .Data = a: .RowLabel = j
        End With
        j = j + 1: If j > shelflife Then Exit Do
    Loop
  Case "Bangchang"
  Do Until a0 = a
        a0 = a0 – 1: i = i + 1
        part = ((5.82 * 10 ^ (-5) * Exp(7.37 * aw)) * Exp(((140.21 * ((aw) ^ 2) + 64.311 * (aw) -
97.747) / 0.008314) * ((1 / Temp) - (1 / 298))))
        tt = (Log(ai) - Log(a0)) / part
        m_e = (17.112 - (0.157 * (Tenp - 273))) * (((aw)) / (1 - (aw))) ^ 0.606
        aw_i = 1 / (((18.781 - 0.189 * (Temp - 273)) / m_i) ^ (1.667) + (1))
        B = (m_e - m_i) / (aw - aw_i)
        pack = ((Val(k_tx.Text)) / (Val(x_tx.Text))) * ((Val(A_tx.Text)) / (Val(w_tx.Text))) * p / B
        m_c = ((m_e * (Exp(tt * pack) - 1)) + m_i) / Exp(tt * pack)
        mc1 = m_c - 1
        awc1 = 1 / (((18.781 - 0.189 * (Temp - 273)) / mc1) ^ (1.667) + (1))
        mc2 = m_c + 1
        awc2 = 1 / (((18.781 - 0.189 * (Temp - 273)) / mc2) ^ (1.667) + (1))
        b1 = (mc1 - mc2) / (awc1 - awc2)
      pack1 = ((Val(k_tx.Text)) / (Val(x_tx.Text))) * ((Val(A_tx.Text)) / (Val(w_tx.Text))) * p / b1
        mc = ((m_e * (Exp(tt * pack1) - 1)) + m_i) / Exp(tt * pack1)
        aw_c = 1 / (((18.781 - 0.189 * (Temp - 273)) / mc) ^ (1.667) + (1))
        part01 = ((5.82 * 10 ^ (-5) * Exp(7.37 * aw_c)) * Exp(((140.21 * ((aw_c) ^ 2) + 64.311 *
(aw_c) - 97.747) / 0.008314) * ((1 / Temp) - (1 / 298))))
        shelflife = (Log(ai) - Log(a0)) / part01
        nopack_tx.Text = FormatNumber(tt, 3)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    pack_tx.Text = FormatNumber(shelflife, 3)
      myExcelWorksheet.Cells(i, 1) = FormatNumber(tt, 3)
      myExcelWorksheet.Cells(i, 2) = FormatNumber(shelflife, 3)
      myExcelWorksheet.Cells(i, 3) = FormatNumber(a0, 3)
      myExcelWorksheet.Cells(i, 4) = FormatNumber(a0, 3)
    Loop
    Do Until j = shelflife
      aa = Log(ai) - (part * j): aaa = Log(ai) - (part01 * j)
      With MSChart1
        .Column = 1: .Row = j + 1: .RowCount = shelflife + 1: .Data = Exp(aa): .RowLabel = j
        .Column = 2: .Row = j + 1: .RowCount = shelflife + 1: .Data = Exp(aaa): .RowLabel = j
        .Column = 3: .Row = j + 1: .RowCount = shelflife + 1: .Data = a: .RowLabel = j
      End With
      j = j + 1: If j > shelflife Then Exit Do
    Loop
End Select
 If Invisible = False Then myExcelApplication.Visible = True
save
End Sub

Private Sub ok4_Click()
Dim a0, ai, a, m_i() As Single, a_i As Single
Dim k, xi, w, mi, af As Single
Dim time() As Single, Temp() As Single, aw() As Single, aq() As Single, at() As Single, awn()
As Single
Dim ap() As Single, app() As Single, ty() As Single, aff() As Single
Dim aw_c, B, p, m_c, m_e, aw_i(), part01 As Single
Dim X, Y, z() As Integer
Dim mc1, mc2, awc1, awc2, b1, m_c1, aw_c1, pack1 As Single

a0 = Val(txqi.Text):  a_i = Val(txqi.Text):  ai = Val(txqi.Text):  mi = Val(txmi.Text)
k = Val(txk.Text):  xi = Val(txx.Text):  a = Val(txa.Text):  w = Val(txw.Text)
af = Val(txqf.Text)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If blnEarly Then
        Set myExcelApplication = New Excel.Application
Else
        Set myExcelApplication = CreateObject("Excel.Application")
End If
      NumWrkSht = 1
      myExcelApplication.SheetsInNewWorkbook = NumWrkSht
      Set myExcelWorkbook = myExcelApplication.Workbooks.Add
      Set myExcelWorksheet = myExcelWorkbook.ActiveSheet
      myExcelWorksheet.Cells(1, 1) = "Time (Day)"
      myExcelWorksheet.Cells(2, 1) = "Day"
      myExcelWorksheet.Cells(2, 2) = "Hour"
      myExcelWorksheet.Cells(1, 3) = "Quality"
      myExcelWorksheet.Cells(2, 3) = "Out of  Package"
      myExcelWorksheet.Cells(2, 4) = "Inside Package"
      myExcelWorksheet.Cells(2, 5) = "Temp(celcius)"
      myExcelWorksheet.Cells(2, 6) = "%RH"
X = Data3.Recordset.RecordCount
 ReDim time(X), Temp(X), aw(X), aq(X), at(X), aw_i(X), ap(X), app(X), z(X), ty(X), m_i(X),
aff(X)
 Data3.Recordset.MoveFirst
  at(0) = a_i:   app(0) = a_i:   z(0) = 0:   ty(0) = 0:   m_i(0) = mi
Select Case Combo2.Text
  Case "Jinda"
  For Y = 1 To X
    time(Y) = Data3.Recordset.Fields("Time(hr)")
    Temp(Y) = Data3.Recordset.Fields("Temp (celcius)")
    aw(Y) = Data3.Recordset.Fields("Relative Humidity (%)")
    aff(Y) = af
    ty(Y) = ty(Y - 1) + time(Y)
    part = ((2.79 * 10 ^ (-5) * Exp(8.465 * (aw(Y) / 100))) * Exp(((44.418 * ((aw(Y) / 100) ^ 2)
+ 63.927 * (aw(Y) / 100) - 131.896) / 0.008314) * ((1 / (Temp(Y) + 273)) - (1 / 298))))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        aq(Y) = Log(at(Y - 1)) - (part * (time(Y) / 24))
        at(Y) = Exp(aq(Y))
        m_e = (11.28 - (0.105 * (Temp(Y)))) * (((aw(Y) / 100)) / (1 - (aw(Y) / 100))) ^ 0.596
        aw_i(Y) = 1 / ((((13.098 - 0.137 * (Temp(Y))) / m_i(Y - 1)) ^ (1.741)) + 1)
        B = (m_e - m_i(Y)) / ((aw(Y) / 100) - aw_i(Y))
        p = ((0.000277) + ((((7.67 * 10 ^ -8) + (4.98 * 10 ^ -9) * (100 - (Temp(Y)))) / (2.48 * 10 ^
-9)) ^ 1 / 2) + 101000) * 0.0075
        pack = (k / xi) * (a / w) * (p / B)
        m_c = ((m_e * (Exp((time(Y) / 24) * pack) - 1)) + m_i(Y - 1)) / Exp((time(Y) / 24) * pack)
        mc1 = m_c - 1
        awc1 = 1 / ((((13.098 - 0.137 * (Temp(Y))) / mc1) ^ (1.741)) + 1)
        mc2 = m_c + 1
        awc2 = 1 / ((((13.098 - 0.137 * (Temp(Y))) / mc2) ^ (1.741)) + 1)
        b1 = (mc1 - mc2) / (awc1 - awc2)
        pack1 = (k / xi) * (a / w) * (p / b1)
    m_c1 = ((m_e * (Exp((time(Y) / 24) * pack1) - 1)) + m_i(Y - 1)) / Exp((time(Y) / 24) * pack1)
        m_i(Y) = m_c1
        aw_c1 = 1 / ((((13.098 - 0.137 * (Temp(Y))) / m_c1) ^ (1.741)) + 1)
        part01 = ((2.79 * 10 ^ (-5) * Exp(8.465 * aw_c1)) * Exp(((44.418 * ((aw_c1) ^ 2) +
63.927 * (aw_c1) - 131.896) / 0.008314) * ((1 / (Temp(Y) + 273)) - (1 / 298))))
            ap(Y) = Log(app(Y - 1)) - (part01 * (time(Y) / 24))
            app(Y) = Exp(ap(Y))
      myExcelWorksheet.Cells(Y + 2, 1) = CInt(ty(Y) / 24)
      myExcelWorksheet.Cells(Y + 2, 2) = CInt(ty(Y))
      myExcelWorksheet.Cells(Y + 2, 3) = at(Y)
      myExcelWorksheet.Cells(Y + 2, 4) = app(Y)
      myExcelWorksheet.Cells(Y + 2, 5) = Temp(Y)
      myExcelWorksheet.Cells(Y + 2, 6) = aw(Y)
      For z(Y) = ty(Y - 1) To ty(Y)
  With MSChart2
     .Column = 1: .Row = z(Y) + 1: .RowCount = ty(Y) + 10: .Data = at(Y): .RowLabel =
CInt(ty(Y) / 24 + 1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    .Column = 2: .Row = z(Y) + 1: .RowCount = ty(Y) + 10: .Data = app(Y): .RowLabel =
CInt(ty(Y) / 24 + 1)
    .Column = 3: .Row = z(Y) + 1: .RowCount = ty(Y) + 1: .Data = aff(Y): .RowLabel =
CInt(ty(Y) / 24 + 1)
  End With
  With MSChart3
  .Column = 1: .Row = z(Y) + 1: .RowCount = ty(Y) + 10: .Data = Temp(Y): .RowLabel =
CInt(ty(Y) / 24 + 1)
  .Column = 2: .Row = z(Y) + 1: .RowCount = ty(Y) + 10: .Data = aw(Y): .RowLabel =
CInt(ty(Y) / 24 + 1)
  .Column = 3: .Row = z(Y) + 1: .RowCount = ty(Y) + 10: .Data = m_i(Y): .RowLabel =
CInt(ty(Y) / 24 +1)
  End With
  Next z(Y)
     If at(Y) <= 0 And app(Y) <= 0 Then Exit For
     If Data3.Recordset.EOF = True Then Exit For
      Data3.Recordset.MoveNext
   Next Y
   Case "Bangchang"
   For Y = 1 To X
      time(Y) = Data3.Recordset.Fields("Time(hr)")
     Temp(Y) = Data3.Recordset.Fields("Temp (celcius)")
     aw(Y) = Data3.Recordset.Fields("Relative Humidity (%)")
     aff(Y) = af
     ty(Y) = ty(Y - 1) + time(Y)
     part = ((5.82 * 10 ^ (-5) * Exp(7.37 * (aw(Y) / 100))) * Exp(((97.747 * ((aw(Y) / 100) ^ 2) +
64.311 * (aw(Y) / 100) - 140.21) / 0.008314) * ((1 / (Temp(Y) + 273)) - (1 / 298))))
       aq(Y) = Log(at(Y - 1)) - (part * (time(Y) / 24))
       at(Y) = Exp(aq(Y))
       m_e = (17.112 - (0.157 * (Temp(Y)))) * (((aw(Y) / 100)) / (1 - (aw(Y) / 100))) ^ 0.606
       aw_i(Y) = 1 / ((((18.781 - 0.189 * (Temp(Y))) / m_i(Y - 1)) ^ (1.667)) + 1)
       B = (m_e - m_i(Y)) / ((aw(Y) / 100) - aw_i(Y))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        p = ((0.000277) + ((((7.67 * 10 ^ -8) + (4.98 * 10 ^ -9) * (100 - (Temp(Y)))) / (2.48 * 10 ^
-9)) ^ 1 / 2) + 101000) * 0.0075
        pack = (k / xi) * (a / w) * (p / B)
        m_c = ((m_e * (Exp((time(Y) / 24) * pack) - 1)) + m_i(Y - 1)) / Exp((time(Y) / 24) * pack)
        mc1 = m_c - 1
        awc1 = 1 / ((((18.781 - 0.189 * (Temp(Y))) / mc1) ^ (1.667)) + 1)
        mc2 = m_c + 1
        awc2 = 1 / ((((18.781 - 0.189 * (Temp(Y))) / mc2) ^ (1.667)) + 1)
        b1 = (mc1 - mc2) / (awc1 - awc2)
        pack1 = (k / xi) * (a / w) * (p / b1)
    m_c1 = ((m_e * (Exp((time(Y) / 24) * pack1) - 1)) + m_i(Y - 1)) / Exp((time(Y) / 24) * pack1)
        m_i(Y) = m_c1
        aw_c1 = 1 / ((((18.781 - 0.189 * (Temp(Y))) / m_c1) ^ (1.667)) + 1)
        part01 = ((5.82 * 10 ^ (-5) * Exp(7.37 * (aw_c1))) * Exp(((97.747 * ((aw_c1) ^ 2) +
64.311 * (aw_c1) - 140.21) / 0.008314) * ((1 / (Temp(Y) + 273)) - (1 / 298))))
          ap(Y) = Log(app(Y - 1)) - (part01 * (time(Y) / 24))
          app(Y) = Exp(ap(Y))
      myExcelWorksheet.Cells(Y + 2, 1) = CInt(ty(Y) / 24)
      myExcelWorksheet.Cells(Y + 2, 2) = CInt(ty(Y))
      myExcelWorksheet.Cells(Y + 2, 3) = at(Y)
      myExcelWorksheet.Cells(Y + 2, 4) = app(Y)
      myExcelWorksheet.Cells(Y + 2, 5) = Temp(Y)
      myExcelWorksheet.Cells(Y + 2, 6) = aw(Y)
      For z(Y) = ty(Y - 1) To ty(Y)
   With MSChart2
      .Column = 1: .Row = z(Y) + 1: .RowCount = ty(Y) + 10: .Data = at(Y): .RowLabel =
CInt(ty(Y) / 24 + 1)
      .Column = 2: .Row = z(Y) + 1: .RowCount = ty(Y) + 10: .Data = app(Y): .RowLabel =
CInt(ty(Y) / 24 + 1)
      .Column = 3: .Row = z(Y) + 1: .RowCount = ty(Y) + 1: .Data = aff(Y): .RowLabel =
CInt(ty(Y) / 24 + 1)
   End With
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  With MSChart3
  .Column = 1: .Row = z(Y) + 1: .RowCount = ty(Y) + 10: .Data = Temp(Y): .RowLabel =
CInt(ty(Y) / 24 + 1)
  .Column = 2: .Row = z(Y) + 1: .RowCount = ty(Y) + 10: .Data = aw(Y): .RowLabel =
CInt(ty(Y) / 24 + 1)
  .Column = 3: .Row = z(Y) + 1: .RowCount = ty(Y) + 10: .Data = m_i(Y): .RowLabel =
CInt(ty(Y) / 24 + 1)      End With
      Next z(Y)
      If at(Y) <= 0 And app(Y) <= 0 Then Exit For
      If Data3.Recordset.EOF = True Then Exit For
       Data3.Recordset.MoveNext
   Next Y
   End Select
    If Invisible = False Then myExcelApplication.Visible = True
    save
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง.

## ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (k) ของบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ

### 1. ค่าที่ได้จากเอกสารอ้างอิง

**ตารางที่ ง.1** แสดงค่า k ของบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ในหน่วย gH2O.mm/$m^2$.day

| Film | Water Vapor Transport Ratio($gH_2O.mm/m^2.day$) |
|---|---|
| Low-density polyethylene(LDPE)@24°C | 0.39-0.59 |
| High-density polyethylene (HDPE) @25°C | 0.04 |
| Cast polypropylene(CPP) @40°C | 0.15 |
| Oriented polypropylene (OPP) @40°C | 0.10 |
| Polyvinylidene Chloride@24°C | 0.10-0.12 |
| Saponified Ethylene Vinyl Acetate Copolymer(EVOH) @40°C | 0.55-3.15 |
| Polyester, Polyethylene Terephthalate(PET) @37.8°C | 0.39-0.51 |
| Nylon(0.015 mm thick) @40°C | 6.7 |
| Polyvinyl chloride (PVC) @37.8°C | 1.7 |
| Polyvinylidene chloride, Polyvinyl chloride, copolymer @37.8°C | 0.08-0.24 |
| Polystyrene@24°C | 3.5 |
| Polycarbonate@37.8°C | 3.8 |
| polycarbonate@40°C | 4.33 |
| Acrylonitrile Butadiene Styrene Copolymer(ABS) | 2.0-6.3 |
| Acrylonitrile@24°C | 0.24 |

ที่มา : Plastics Design Library (1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ง.2** แสดงค่า k ของบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆในหน่วย $gH_2O/m^2.24\ h$

| Film | Water Vapor Transport Ratio($gH_2O/m^2.24\ h$) |
|---|---|
| PVDC-coated cellophane 25 μm / polyethylene 40 μm | 9-11 |
| PVDC-coated oriented polypropylene 23 μm / polyethylene 40 μm | 3-5 |
| PVDC-coated oriented nylon 18 μm / polyethylene 40 μm | 6-8 |
| PVDC-coated polyester 15 μm / polyethylene 40 μm | 4-6 |
| Moisture-proof cellophane/ aluminum foil 70 μm / polyethylene 40 μm | 0-10 |
| Polyester/aluminum foil 7 μm / polyethylene 40 μm | 0-10 |
| Oriented Polypropylene/ ethylene-vinyl alcohol copolymer/polyethylene60 μm | 3-4 |
| Oriented vinylon / polyethylene 80 μm | 2.5-3.5 |
| Aluminum metallized polyethylene terephthalate/ polyethylene | Under 0.5 |

ที่มา : Kodoya (1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2. Permeability Units Conversion**

**ตารางที่ ง.3** แสดง Permeability Units Conversion

| Source Document Unit | Permeability Coefficient Unit($cm^3$.mm/ $m^2$.day.atm) | Vapor Permeation Rate Unit(g.mm/ $m^2$.day) | notes |
|---|---|---|---|
| g.mm/ 100 $in^2$.mmHg.day | | 2.992125e+02 | * |
| g/ $m^2$.day | | 1.000000e+00 | ** |
| $mm^3$.mm/ $m^2$.s.Pa | 8.754480e-03 | | |
| $cm^3$.mm/ $m^2$.Pa.day | 1.013250e+05 | | |
| $cm^3$.mm/ $m^2$.sec.cmHg | 6.566397e+06 | | |

General Note-Values of the permeability coefficient and the vapor transmission rate in most of the range of several power of magnitude. However, these values are usually given in an easy-to-read decimal format (practical units), with the magnitude factor stated in a table.

* Unit of pressure (e.g.,atm) in the original unit can be ignored for the measurements conducted at normal pressure (1 atm);otherwise the conversion factor is not valid and the value cannot be converted.

**The conversion factor is applicable only if the film thickness is known; multiple the value-factor product by the film thickness in mm.

**ที่มา**: Plastics Design Library (1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3. ค่าที่ได้จากการแปลงหน่วย**

**ตารางที่ ง.4** แสดงค่า k ของบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ในหน่วย gH2O.m/$m^2$.day.mmHg

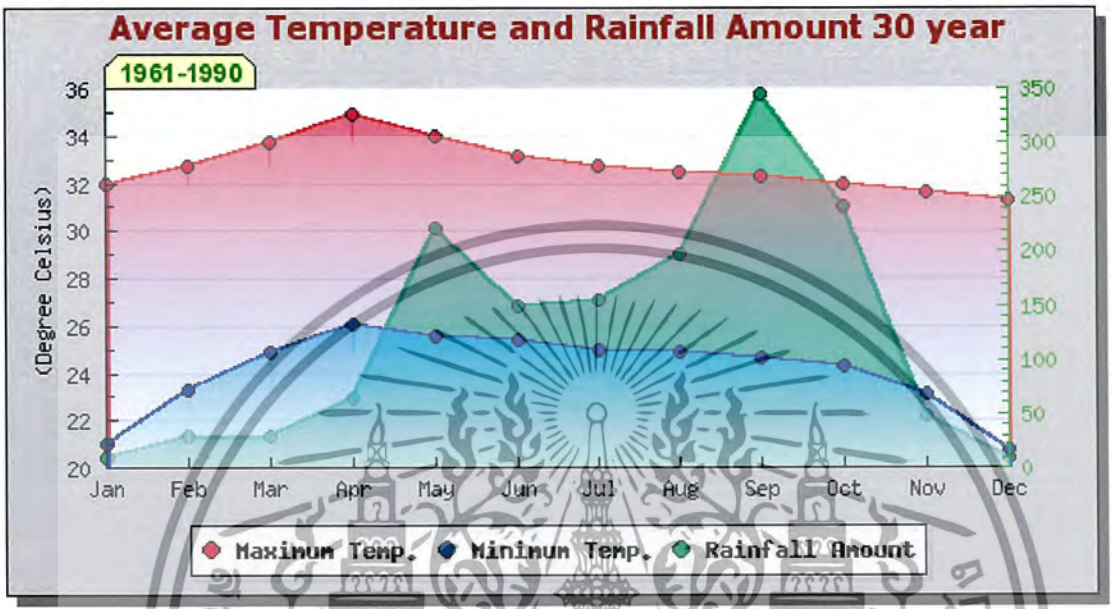
| Film | Permeability |
|---|---|
| ABS : Acrylonitrile Butadiene Styrene Copolymer | 0.000103606 |
| Acrylonitrile | 1.24327E-05 |
| Aluminum metallized polyethylene terephthalate / Polyethylene | 6.475E-07 |
| CCP : Cast polypropylene | 7.7704E-06 |
| EVOH : Saponified Ethylene Vinyl Acetate Copolymer | 2.84915E-05 |
| HDPE : High-density polyethylene | 2.0721E-06 |
| LDPE : Low-density polyethylene | 2.02031E-05 |
| Moisture-proof cellophane / Aluminum foil 70 μm / Polyethylene 40 μm | 6.4753E-06 |
| Nylon : Polyamide (0.015mm thick) | 0.000347078 |
| OPP : Oriented polypropylene | 5.1803E-06 |
| Oriented polypropylene / Ethylene-vinyl alcohol copolymer / Polyethlene 60 μm | 3.8852E-06 |
| Oriented vinylon / Polyethlene 80 μm | 3.2377E-06 |
| PE : Polyethylene | 1.76652E-05 |
| PET : Polyester, Polyethylene Terephthalate | 2.02031E-05 |
| Polyamide (Nilon 6) | 0.000156654 |
| Polycarbonate | 0.000224306 |
| Polychloro-trifluoroethylene | 6.33281E-08 |
| Polyes/aluminum foil 7 μm / Polyethylene 40 μm | 6.4753E-06 |
| Polyester (mylar A) | 2.89976E-05 |
| Polyvinylidene chloride | 4.1142E-06 |
| PP : Polypropylene | 1.49988E-05 |
| PS : Polystyrene | 0.000266645 |
| PVC (unplasticized) : Polyviny chloride | 3.33306E-05 |
| PVC : Polyvinyl chloride | 8.80647E-05 |
| PVDC-coated cellophane 25 μm / Polyethylene 40 μm | 1.16556E-05 |
| PVDC-coated oriented nylon 18 μm / Polyethylene 40 μm | 7.7704E-06 |
| PVDC-coated oriented polyester 15 μm / Polyethylene 40 μm | 5.1803E-06 |
| PVDC-coated oriented polypropylene 23 μm / Polyethylene 40 μm | 3.8852E-06 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก จ.

## อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยกรุงเทพมหานคร (พ.ศ.2504-1533)

**ตารางที่ จ.1** แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ย 30 ปี (พ.ศ.2504-2533) กรุงเทพมหานคร




| เดือน | อุณหภูมิต่ำสุด (°C) | อุณหภูมิสูงสุด (°C) | ปริมาณฝน (มม.) | จำนวนวันฝนตก (วัน) |
|---|---|---|---|---|
| มกราคม | 21.0 | 32.0 | 9.1 | 1 |
| กุมภาพันธ์ | 23.3 | 32.7 | 29.9 | 3 |
| มีนาคม | 24.9 | 33.7 | 28.6 | 3 |
| เมษายน | 26.1 | 34.9 | 64.7 | 6 |
| พฤษภาคม | 25.6 | 34.0 | 220.4 | 16 |
| มิถุนายน | 25.4 | 33.1 | 149.3 | 16 |
| กรกฎาคม | 25.0 | 32.7 | 154.5 | 18 |
| สิงหาคม | 24.9 | 32.5 | 196.7 | 20 |
| กันยายน | 24.6 | 32.3 | 344.2 | 21 |
| ตุลาคม | 24.3 | 32.0 | 241.6 | 17 |
| พฤศจิกายน | 23.1 | 31.6 | 48.1 | 6 |
| ธันวาคม | 20.8 | 31.3 | 9.7 | 1 |

"-" = ไม่มีข้อมูล

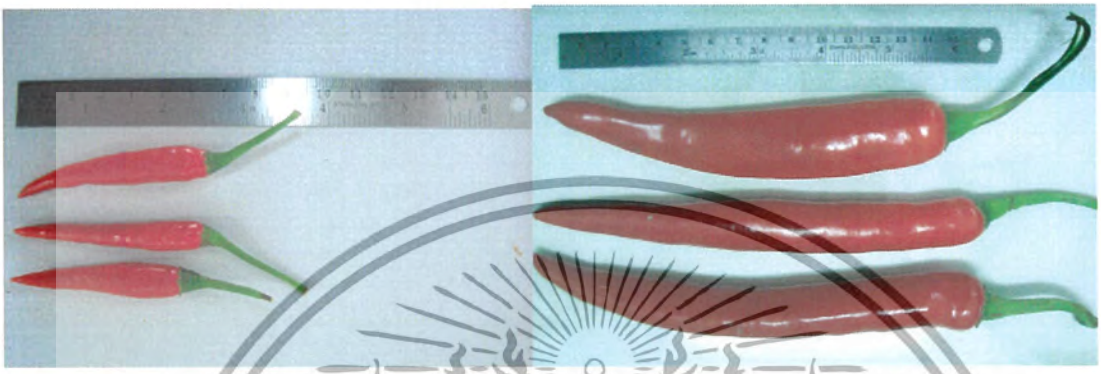
ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา (2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ฉ.

## รวมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้และขั้นตอนการทำพริกป่น

### วัสดุและอุปกรณ์ประกอบการทำโครงงาน



**รูปที่ ฉ.1** พริกสดพันธุ์จินดาและพันธุ์บางช้าง

**รูปที่ ฉ.2** เครื่องบด The RETCH Ultra Centrifugal Mill ZM 1000

**รูปที่ ฉ.3** เครื่องแพ็คสุญญากาศ (Vacuum Pack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

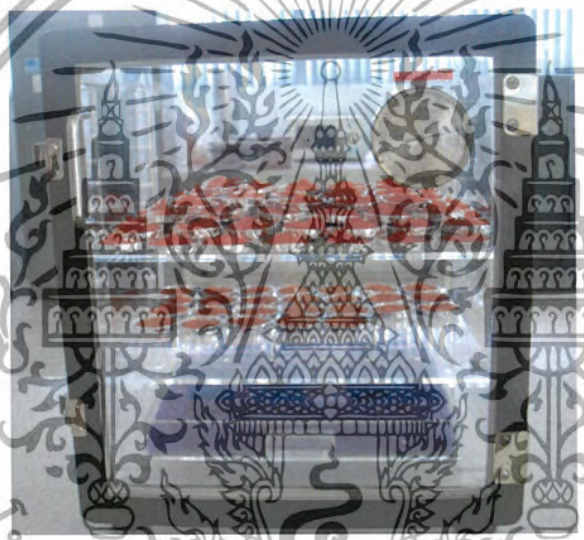
**รูปที่ ฉ.4** ตู้อบลมร้อน (Tray Dry)

**รูปที่ ฉ.5** Hotplate Stirrer (ใช้ในการเตรียมสารละลายเกลืออิ่มตัว)

**รูปที่ ฉ.6** เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ฉ.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง

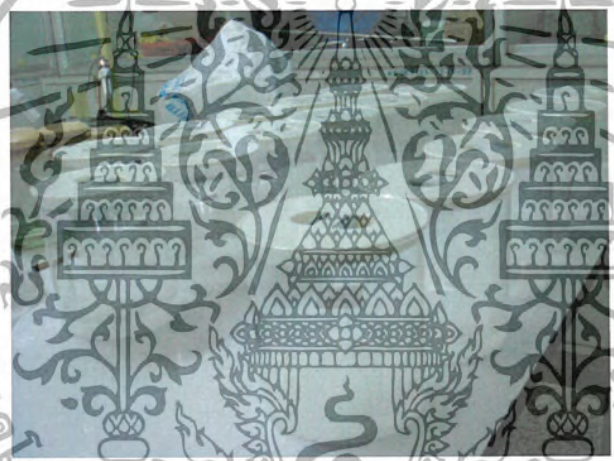


รูปที่ ฉ.8 ตู้ดูดความชื้น (DESICATOR CABINET)

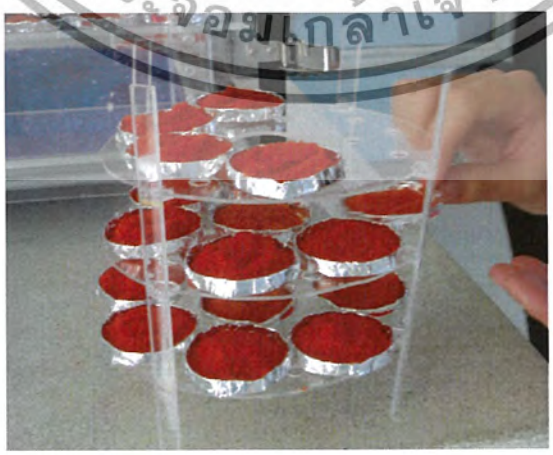
**รูปที่ ฉ.9** เครื่องวัดสี (Tristimulus colorimeter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ฉ.10 Hot air oven



รูปที่ ฉ.11 โหลปรับความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ ฉ.12 ชั้นวางตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ขั้นตอนการทำพริกป่น**

ขั้นที่ 1 นำพริกมาคัดคุณภาพ เด็ดขั้ว ล้างน้ำสะอาด

ขั้นที่ 2 นำพริกมากรีดแยกเมล็ดออก

ขั้นที่ 3 นำพริกมาแช่สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ 100 ppm นาน 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 4 นำพริกมาลวกในน้ำเดือด 3 นาที

ขั้นที่ 5 นำพริกมาเรียงบนตะแกรง

ขั้นที่ 6 นำพริกมาอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 60°C จนพริกมีความชื้นประมาณ 11 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 7 นำพริกมาบดละเอียดจะได้เป็นพริกป่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้