

# รายงานฉบับสมบูรณ์

การผลิตปลั๊กแห้งสายพันธุ์นูซินโดยใช้ระบบสารต้านการเกิดสีน้ำตาล

**The Production of Intermediate Moisture Persimmon Variety NUI SCIN  
by Using Antibrowning Agent System**

รองศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ วิริยจारी  
นางสาวกฤติยา เชื้อนเพชร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมูลนิธิโครงการหลวงที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณการวิจัย  
ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการหลวงอาหารสุขภาพ มูลนิธิโครงการหลวงที่ให้ความรู้และ  
เอื้อเฟื้อสถานที่ตลอดจนอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการดำเนินการวิจัย ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่  
ที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลิขภัณฑ์และ  
เจ้าหน้าที่โรงงานต้นแบบ คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลา  
เวลาการทำวิจัย

ขอขอบคุณผู้ทดสอบชิมทุกท่านที่เสียสละเวลาในการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส  
ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาปริญญาตรี โท และเอก คณะอุตสาหกรรมเกษตรที่  
กรุณาให้ความช่วยเหลือ

คณะผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้ให้คำแนะนำ และให้ข้อคิดต่างๆ  
จนโครงการนี้ได้รับรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์

คณะผู้วิจัย

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำสารด้านการเกิดสีน้ำตาลมาใช้กับปลับกึ่งแห้งเพื่อให้มีสีเหลืองส้มตามธรรมชาติเพื่อทดแทนการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ผลการศึกษาสูตรของสารละลายที่เหมาะสมเพื่อดำเนินการเกิดสีน้ำตาล พบว่า 4-เฮกซิลเรโซซินอล กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก และโซเดียมอริทอไรบेट เป็นปัจจัยหลักที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของปลับกึ่งแห้ง ส่วนโซเดียมแอสซิดไฟโรฟอสเฟต มีอิทธิพลต่อคุณภาพของปลับกึ่งแห้งน้อยมาก สูตรที่เหมาะสมของสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลคือ 4-เฮกซิลเรโซซินอล 100 ส่วนในล้านส่วน กรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 2 กรดซิตริก ร้อยละ 1.7 โซเดียมอริทอไรบेट ร้อยละ 1.7 และโซเดียมแอสซิดไฟโรฟอสเฟต ร้อยละ 0.5

การศึกษาอุณหภูมิของสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลและเวลาในการแช่ปลับที่เหมาะสม พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการแช่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวและการยอมรับรวมของปลับกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และสภาวะที่เหมาะสมต่อการแช่ปลับ คือ แช่ที่ 33 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 นาที

ในการศึกษาวิธีการทำแห้งปลับ ซึ่งปลับกึ่งแห้งควรมีปริมาณน้ำเหลืออย่างน้อยร้อยละ 30 พบว่า การทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศใช้เวลาทั้งหมด 48 ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่าการทำแห้งแบบถาดซึ่งใช้เวลา 67 ชั่วโมง 5 นาที เมื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะทางกายภาพของปลับกึ่งแห้ง พบว่าปลับที่ทำแห้งด้วยเครื่องอบแบบสุญญากาศให้ค่าสี L (ความสว่าง) และค่าสี b\* (สีเหลือง) มากกว่าปลับที่ทำแห้งด้วยเครื่องอบแบบถาด ดังนั้นจึงเลือกวิธีการอบแห้งแบบสุญญากาศ เนื่องจากใช้เวลาในการทำแห้งระยะสั้น คือ 2 วันและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเหลืองส้มมากกว่า

เมื่อนำปลับกึ่งแห้งที่ผลิตโดยใช้สูตรสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมเพื่อศึกษาผลของวิธีการบรรจุและอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า วิธีการบรรจุไม่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน การบรรจุในบรรยากาศปกติให้ค่าสี b\* (สีเหลือง) มากกว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มากที่สุดคือที่ 0 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิ 10 และ 30 องศาเซลเซียสเป็น

สภาวะที่มีการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลซึ่งทำให้การยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ลดลง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาน้ำตาลมากที่สุด การคาดคะเนอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ปลั๊กกึ่งแข็งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศ สามารถเก็บที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) ได้นาน 5 เดือนครึ่ง



## ABSTRACT

The purpose of this study was to use antibrowning agents together with intermediate moisture persimmon to maintain natural color in order to replace sulfur dioxide. The suitable formula of antibrowning solution was found to contain 4-hexylresorcinol, ascorbic acid, citric acid and sodium erythorbate which were main factors affecting the characteristics of the intermediate moisture persimmon whereas sodium acid pyrophosphate had very little significant effect. The suitable antibrowning solution contained 4-hexylresorcinol 100 ppm., ascorbic acid 2%, citric acid 1.7%, sodium erythorbate 1.7% and sodium acid pyrophosphate 0.5%.

The study on optimum temperature of solution and soaking time for intermediate moisture persimmon production was found to have significant effect to sensory properties in terms of stickiness and overall acceptability ( $p \leq 0.05$ ). The optimum condition for soaking persimmon was at 30 °C for 28 minutes.

The drying methods of persimmon were studied since the intermediate moisture persimmon should contain a minimum of 30% moisture content. It was found that the drying time using a vacuum drier was 48 hours whereas the drying time using a tray drier was 67 hours and 5 minutes. The physical characteristic of the products using both methods were compared and found that the product using the former device had more lightness (L) and yellowness ( $b^*$ ) than that of the product using the latter device. Hence a vacuum drier had been selected as it gave a shorter time of drying (2 days) and the product with more yellowish-orange.

Intermediate moisture persimmons produced using suitable antibrowning solution and processing were brought to study the effect of packing methods and temperatures during storage. The study showed that packing methods had no significant effects on quality of the products. The product packed in normal atmosphere had more yellowness ( $b^*$ ). The most suitable storage temperature was 0 °C whereas storage temperature at 10 °C and 30 °C were not suitable conditions as the product had browning reaction taking place which made a lower acceptance especially the storage temperature at 30 °C made the product with the most browning color. The shelf-life

prediction was found to be kept at room temperature (30 °C) with vacuum package which had the shelf life of five and a half month.



## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	45
วัสดุอุปกรณ์	45
วิธีการทดลอง	48
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	56
การสำรวจเค้าโครงผลิตภัณฑ์ฉบับกึ่งแข็ง	56
การกลั่นกรองปัจจัยทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการดำเนินการเกิด สีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์	59
การศึกษาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่ได้จากการกลั่นกรอง	69

	หน้า
การศึกษาหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการแช่ปลับในสารละลายด้านการ เกิดสีน้ำตาล	85
การศึกษาวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมของปลับกิ่งแห้ง	94
การศึกษาวิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาปลับกิ่งแห้ง	106
การคาดคะเนอายุการเก็บรักษาของปลับกิ่งแห้ง	159
ต้นทุนการผลิต	164
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	165
สรุปผลการทดลอง	165
ข้อเสนอแนะ	169
เอกสารอ้างอิง	171
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก รูปภาพ	176
ภาคผนวก ข แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส	183
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณภาพ	187



## สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ค่าองค์ประกอบทางเคมีของพลับพันธุ์ต่าง ๆ	9
2.2	ปริมาณน้ำตาลภายในเนื้อของพลับต่อน้ำหนักสด 100 กรัม	9
2.3	ปริมาณเพคตินของพลับต่อน้ำหนักสด 100 กรัม	10
2.4	ความสำคัญของปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ออาหาร	19
3.1	แผนการทดลองแบบ Plackett and Burman design	51
3.2	ระดับของแต่ละปัจจัยที่ศึกษาสำหรับการวางแผนการทดลองแบบ CCD	53
4.1	ค่าคะแนนเฉลี่ย (เซนติเมตร) ของลักษณะสำคัญของพลับกิ่งแห้งที่ได้จากการสำรวจผู้ทดสอบชิม	57
4.2	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของพลับกิ่งแห้งที่ใช้สูตรสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่แตกต่างกัน	60
4.3	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของพลับกิ่งแห้งที่ใช้สูตรสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่แตกต่างกัน	61
4.4	อิทธิพลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของพลับกิ่งแห้ง	63
4.5	อิทธิพลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพทางเคมีของพลับกิ่งแห้ง	63
4.6	อิทธิพลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของพลับกิ่งแห้ง	64
4.7	ปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิกที่ระดับต่าง ๆ	69
4.8	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ เมื่อผันแปรปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิก	70
4.9	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อผันแปรปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิก	71
4.10	การทำนายค่าสี L (ความสว่าง) ของพลับกิ่งแห้งที่แช่ในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่แปรปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิก	75
4.11	การทำนายค่าคะแนนด้านสีปรากฏจากการผันแปรปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอล	76

4.12	ปริมาณของกรดซัลฟูริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำการศึกษา	78
4.13	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์เมื่อผันแปรปริมาณกรดซัลฟูริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์	79
4.14	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อผันแปรปริมาณกรดซัลฟูริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์	79
4.15	สิ่งทดลองสำหรับการหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการแช่ปลับในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล	85
4.16	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของปลับกึ่งแห้งที่แช่ในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่แปรอุณหภูมิและเวลาในการแช่	86
4.17	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของปลับกึ่งแห้งที่แช่ในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่แปรอุณหภูมิและเวลาในการแช่	87
4.18	การทำนายค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวและการยอมรับรวมของปลับกึ่งแห้งที่แช่ในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่แปรอุณหภูมิและเวลาในการแช่	91
4.19	ปริมาณความชื้นและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ในระหว่างการทำแห้งที่เวลาต่างๆ ของปลับกึ่งแห้ง โดยเครื่องอบแห้งแบบถาด	95
4.20	ปริมาณความชื้นและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ในระหว่างการทำแห้งที่เวลาต่างๆ ของปลับกึ่งแห้ง โดยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ	100
4.21	ค่าสี L, a* และ b* ของปลับกึ่งแห้งที่ใช้วิธีการทำแห้งต่างกัน	103
4.22	วิธีการบรรจุและอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาปลับกึ่งแห้ง	106
4.23	ผลการวิเคราะห์คุณภาพของปลับกึ่งแห้งที่ผลิตตามสูตรสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม	107
4.24	การเปลี่ยนแปลงค่าสี L (ความสว่าง) ของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน	110
4.25	การเปลี่ยนแปลงค่าสี a* (สีแดง) ของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน	113
4.26	การเปลี่ยนแปลงค่าสี b* (สีเหลือง) ของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน	116

4.27	การเปลี่ยนแปลงค่าสี $b^*$ (สีเหลือง) ของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสถานะสุญญากาศเป็นระยะเวลา 24 สัปดาห์	117
4.28	การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเฉือนของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน	120
4.29	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน	123
4.30	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน	126
4.31	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน	129
4.32	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน	132
4.33	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน	135
4.34	การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดซอร์บิกของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน	138
4.35	การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ( $\log \text{cfu/g}$ ) ของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน	141
4.36	การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏ ของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน	145
4.37	การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นปลับของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน	148
4.38	การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวานของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน	151
4.39	การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน	154
4.40	การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนการยอมรับรวมของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน	157

- 4.41 อัตราเร็วของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏของ  
ปลั๊กกึ่งแห้งที่สภาวะการเก็บรักษาต่างๆ 160
- 4.42 ต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิตปลั๊กกึ่งแห้ง 164



สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
2.1	พลัษชนิดสีเนื้อคองที่ (กลุ่มซ้ายมือ) และพลัษชนิดสีเนื้อเปลี่ยนแปลง (กลุ่มขวามือ)	5
2.2	ลักษณะรูปร่างของพลัษพันธุ์ฟูยู (Fuyu) และพันธุ์ฮาชิยา (Hachiya)	6
2.3	ลักษณะเซลล์แทนนิน	12
2.4	โครงสร้างทางเคมีของ Kaki-tannin	12
2.5	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแทนนินของพลัษในการลดความฝาดด้วยวิธีการรมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	15
2.6	อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเกิดสีน้ำตาลที่ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ในระดับต่าง ๆ	20
2.7	ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์	24
2.8	แผนภูมิแสดงขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์	29
2.9	โครงสร้างทางเคมีของกรดแอสคอร์บิกและไอโซเมอร์	31
2.10	ปฏิกิริยาการผันกลับของกรดแอสคอร์บิกและกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก	32
2.11	โครงสร้างของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล	33
2.12	การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง	37
2.13	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการอบแห้งและความชื้นในอาหาร	38
3.1	กรรมวิธีการผลิตพลัษกึ่งแห้ง	49
4.1	กราฟเค้าโครงของผลิตภัณฑ์พลัษกึ่งแห้ง	58
4.2	กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์พลัษกึ่งแห้งจากการกลั่นกรองปัจจัยทดลอง	62
4.3	กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์พลัษกึ่งแห้งจากการแปรระดับ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิก	72
4.4	กราฟพื้นที่การตอบสนองของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิกต่อค่าสี L (ความสว่าง)	74
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 4-เฮกซิลเรโซซินอลและลักษณะด้านสีปรากฏของพลัษกึ่งแห้ง	77

4.6	กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ปลั๊กกิ่งแห้งจากการแปรปริมาณกรดซิตริกและโซเดียม-ออร์โทเรบเท	81
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริกและค่าความเป็นกรด-ด่าง	83
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริกและค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏ	84
4.9	กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ปลั๊กกิ่งแห้งจากการแปรอุณหภูมิและเวลาในการแช่	89
4.10	กราฟพื้นที่ตอบสนองของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ต่อการยอมรับด้านความเหนียว	92
4.11	กราฟพื้นที่ตอบสนองของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ต่อการยอมรับรวม	93
4.12	กราฟการทำแห้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาในการทำแห้งปลั๊กกิ่งแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด	97
4.13	กราฟการทำแห้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและเวลาในการทำแห้งปลั๊กกิ่งแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด	97
4.14	กราฟการทำแห้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาในการทำแห้งปลั๊กกิ่งแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ	102
4.15	กราฟการทำแห้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและเวลาในการทำแห้งปลั๊กกิ่งแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ	102
4.16	กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ปลั๊กกิ่งแห้งที่ผลิตตามสูตรสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม	108
4.17	การเปลี่ยนแปลงค่าสี L (ความสว่าง) ของปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์	111
4.18	การเปลี่ยนแปลงค่าสี L (ความสว่าง) ของปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในสถานะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์	111
4.19	การเปลี่ยนแปลงค่าสี L (ความสว่าง) ของปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสถานะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์	111
4.20	การเปลี่ยนแปลงค่าสี a* (สีแดง) ของปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์	114
4.21	การเปลี่ยนแปลงค่าสี a* (สีแดง) ของปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในสถานะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์	114

- 4.22 การเปลี่ยนแปลงค่าสี  $a^*$  (สีแดง) ของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและ 114  
บรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์
- 4.23 การเปลี่ยนแปลงค่าสี  $b^*$  (สีเหลือง) ของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่ 118  
อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์
- 4.24 การเปลี่ยนแปลงค่าสี  $b^*$  (สีเหลือง) ของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่ 118  
อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์
- 4.25 การเปลี่ยนแปลงค่าสี  $b^*$  (สีเหลือง) ของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและ 118  
บรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์
- 4.26 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเฉือนของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 121  
ต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์
- 4.27 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเฉือนของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 121  
ต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์
- 4.28 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเฉือนของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุ 121  
ในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์
- 4.29 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่ 124  
อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์
- 4.30 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศ 124  
ที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์
- 4.31 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติ 124  
และบรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์
- 4.32 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ของพลับกึ่งแห้ง 127  
ที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์
- 4.33 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ของพลับกึ่งแห้ง 127  
ที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์
- 4.34 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ของพลับกึ่งแห้ง 127  
ที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24  
สัปดาห์







4.63	การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนการยอมรับรวมของปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะ สุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์	158
4.64	การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนการยอมรับรวมของปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติ และบรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์	158
4.65	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของปฏิกิริยาการยอมรับด้านสีปรากฏกับอุณหภูมิ ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศ	161
4.66	กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของปลั๊กกิ่งแห้งเมื่อเวลาการเก็บรักษาเป็น 24 สัปดาห์	163
ก-1	ปลั๊กพันธุ์ชินที่ระดับความสุกร้อยละ 70	177
ก-2	การอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อลดความฝาดและการวางเรียงในตู้เพื่อรอให้ปลั๊กมี ความสุกร้อยละ 80	177
ก-3	ปลั๊กพันธุ์ชินที่ระดับความสุกร้อยละ 80	177
ก-4	การตัดแต่งขั้วกลีบ และการปกเปลือกปลั๊ก	178
ก-5	การแช่ปลั๊กในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล	178
ก-6	การจัดเรียงปลั๊กบนตะแกรงรอให้สะเด็ดน้ำก่อนนำไปทำแห้ง	178
ก-7	การทำแห้งปลั๊กในเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ	179
ก-8	การบีบขนาดปลั๊ก	179
ก-9	การแช่สารละลายโพแทสเซียมซอร์เบท	179
ก-10	ผลิตภัณฑ์ปลั๊กกิ่งแห้งวันเริ่มต้นที่บรรจุภายใต้สภาวะสุญญากาศ (ซ้าย) และบรรจุใน บรรยากาศปกติ (ขวา)	180
ก-11	ผลิตภัณฑ์ปลั๊กกิ่งแห้งสัปดาห์ที่ 2 ที่บรรจุในบรรยากาศปกติ (บน) และบรรจุใน สภาวะสุญญากาศ (ล่าง) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 10 และ 30 องศาเซลเซียส	180
ก-12	ผลิตภัณฑ์ปลั๊กกิ่งแห้งสัปดาห์ที่ 4 ที่บรรจุในบรรยากาศปกติ (บน) และบรรจุใน สภาวะสุญญากาศ (ล่าง) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 10 และ 30 องศาเซลเซียส	181
ก-13	ผลิตภัณฑ์ปลั๊กกิ่งแห้งสัปดาห์ที่ 8 ที่บรรจุในบรรยากาศปกติ (บน) และบรรจุใน สภาวะสุญญากาศ (ล่าง) เมื่อเก็บเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 10 และ 30 องศาเซลเซียส	181
ก-14	ผลิตภัณฑ์ปลั๊กกิ่งแห้งสัปดาห์ที่ 16 ที่บรรจุในบรรยากาศปกติ (บน) และบรรจุใน สภาวะสุญญากาศ (ล่าง) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 10 และ 30 องศาเซลเซียส	182
ก-15	ผลิตภัณฑ์ปลั๊กกิ่งแห้งสัปดาห์ที่ 24 ที่บรรจุในบรรยากาศปกติ (บน) และบรรจุใน สภาวะสุญญากาศ (ล่าง) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 10 และ 30 องศาเซลเซียส	182

## บทที่ 1

### บทนำ

---

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

พลับ (Persimmon) เป็นผลไม้เมืองหนาว อยู่ในสกุล Diospyrod วงศ์ Ebenaceae มีแหล่งกำเนิดในประเทศจีน แต่ได้รับการพัฒนาพันธุ์ปลูกจนเป็นไม้ผลประจำประเทศญี่ปุ่น ปลูกมากในจีน เกาหลี และญี่ปุ่น พันธุ์ชนิดที่เป็นที่ต้องการของตลาดคือ *D. kaki* ซึ่งในภาษาไทยเรียกว่า พลับจีนหรือพลับญี่ปุ่น (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540) สำหรับประเทศไทยนั้นมีการปลูกพลับกันมากทางภาคเหนือ เช่น เชียงใหม่ เชียงราย ส่วนมากเป็นพันธุ์ที่นำเข้ามาจากจีน (ปวิณ และคณะ, 2537)

พลับเมื่อสุกไม่เต็มทีเนื้อจะแข็ง แต่เมื่อผลสุกเต็มที่แล้วจะเปลี่ยนเป็นสีแดงส้ม เนื้อผลนุ่ม เมล็ดมีสีน้ำตาลแก่ พลับบางพันธุ์มีรสฝาด (Astringent) บางพันธุ์มีรสหวาน (Non-astringent) พันธุ์ที่มีรสฝาดเมื่อผลยังไม่สุกเต็มที่จะมีรสฝาด ถ้าหากต้องการบริโภคสดต้องผ่านขั้นตอนการลดความฝาดก่อน เมื่อผลสุกเต็มที่จะมีสีแดงส้ม เนื้อนุ่ม รสหวาน ได้แก่ พันธุ์ฮาชิยา (Hachiya) ทาเนนาชิ (Tanenashi) ไนดิงเกิล (Nightingale) ฮงซู (Hong Sue) อั้งไซ (Ang Sai) และนูชิน (Niu Scin) เป็นต้น ส่วนพันธุ์ที่มีรสหวานกรอบไม่ฝาด เก็บรับประทานได้เลย ได้แก่ พันธุ์ฟูยู (Fuyu) เป็นต้น

มูลนิธิโครงการหลวงได้ปลูกพลับพันธุ์นูชินและมีการส่งเสริมให้ปลูกในปริมาณมาก ช่วงฤดูการที่มีปริมาณมากจะมีระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวที่สั้น ทำให้มีปัญหาด้านการตลาด จากการศึกษาสายพันธุ์พลับที่เหมาะสมต่อการผลิตพลับกึ่งแห้ง พบว่า พลับพันธุ์ฮาชิยา ไนดิงเกิล อั้งไซ และนูชิน เป็นสายพันธุ์ที่ดีในการที่จะนำมาผลิตเป็นพลับกึ่งแห้งได้อย่างมีคุณภาพทั้งด้านสีที่ปรากฏ กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ดังนั้นการนำพลับพันธุ์นูชินซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีรสฝาดมาทำการลดความฝาดโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์พลับกึ่งแห้งได้อย่างเหมาะสม ทำให้สามารถเก็บพลับไว้บริโภคนอกฤดูกาลได้นาน อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์จากพลับ ตลอดจนเป็นการลดการนำเข้าพลับจากต่างประเทศซึ่งมีราคาจำหน่ายที่สูงมาก นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์พลับเพื่อให้มีคุณภาพในการส่งออกได้อีกด้วย (ไพโรจน์, 2535)

ในการถนอมรักษาปลั๊กกึ่งแห้งโดยให้สีผิวของปลั๊กกึ่งแห้งยังคงเป็นสีตามธรรมชาติ โดยให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ความปลอดภัยในการใช้หรืออันตรายที่จะได้รับจากสารประกอบชนิดนี้ เมื่อบริโภคเข้าไป ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลไฟต์จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นซัลเฟตแล้ว ขับถ่ายออกทางปัสสาวะ แต่ถ้าหากได้รับในปริมาณมากเกินไปสารนี้จะตกค้างอยู่ในร่างกายและจะไปลดการใช้โปรตีนและไขมันในร่างกาย และจะทำลายวิตามินบีหนึ่งในผลิตภัณฑ์อีกด้วย และอาจเกิดกลิ่นและรสกำมะถันหลงเหลือ ซึ่งส่งผลให้การยอมรับของผู้บริโภคลดลง (ศิวาพร, 2535) สารชนิดนี้มีข้อจำกัดในการเพิ่มในผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากทำให้เกิดปฏิกิริยารุนแรงกับผู้ที่เป็โรคหอบหืด (Sapers, 1993)

เหตุผลดังกล่าวข้างต้น การศึกษาเพื่อหาสารที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลเพื่อทดแทนซัลไฟต์จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลั๊กกึ่งแห้ง ซึ่งสารต้านการเกิดสีน้ำตาลที่เป็นอนุพันธ์ของเรโซซินอล คือ 4-เฮกซิลเรโซซินอล (4-Hexylrescorcinol) ได้มีการใช้มานานแล้วในอุตสาหกรรมยา 4-เฮกซิลเรโซซินอล มีความปลอดภัยในการใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ในกุ้ง ดังนั้น 4-เฮกซิลเรโซซินอล น่าจะมีศักยภาพในการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ในอาหารอื่นได้ (Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1995)

ได้มีการนำสารต้านการเกิดสีน้ำตาลหลายชนิดมาทดสอบในผักและผลไม้ เช่น กรดแอสคอร์บิก กรดอีริทอร์บิก แอล-ซิสเตอีน (L-cysteine) 4-เฮกซิลเรโซซินอล และน้ำส้มปรง พบว่าเป็นสารที่มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่มีประสิทธิภาพในแอปเปิล (Sapers, 1993) หรือใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอล ร่วมกับสารรีดิวซิงเอเจนต์ เช่น กรดแอสคอร์บิก หรือ กรดอีริทอร์บิก ทำให้ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้นานขึ้น (Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1995)

ดังนั้นการใช้สารต้านการเกิดสีน้ำตาลในปลั๊กกึ่งแห้ง ทำให้ได้ปลั๊กกึ่งแห้งที่มีสีตามธรรมชาติคือสีเหลืองส้ม และมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเป็นที่ยอมรับของผูบริโภค รวมทั้งเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลั๊กเพื่อให้มีคุณภาพในการส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ ประกอบกับเป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตปลั๊กกึ่งแห้งในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการใช้สารด้านการเกิดสีน้ำตาลในการผลิตปลับกึ่งแห้ง
2. ศึกษาอุณหภูมิของสารละลายและเวลาในการแช่ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตปลับกึ่งแห้ง
3. ศึกษากรรมวิธีการทำแห้งปลับกึ่งแห้งที่เหมาะสม
4. ศึกษาวิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาปลับกึ่งแห้ง

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถพัฒนาสีของปลับกึ่งแห้งให้มีสีเหลืองส้ม ซึ่งเป็นสีธรรมชาติของปลับ โดยใช้สารด้านการเกิดสีน้ำตาลในกระบวนการผลิตปลับกึ่งแห้ง ทำให้ทราบอุณหภูมิของสารละลายและเวลาที่เหมาะสมในการแช่ กรรมวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมในการผลิต ตลอดจนวิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาปลับกึ่งแห้ง เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.4 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลต่อปลับกึ่งแห้ง ซึ่งแบ่งการวิจัยออกเป็น 5 ตอน คือ

ตอนที่ 1 การกลั่นกรองปัจจัยทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการด้านการเกิดสีน้ำตาลในปลับกึ่งแห้ง

ตอนที่ 2 การศึกษาหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่ได้จากการกลั่นกรอง

ตอนที่ 3 การศึกษาหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการแช่ปลับในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล

ตอนที่ 4 การศึกษาวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมของปลับกึ่งแห้ง

ตอนที่ 5 ศึกษาวิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาปลับกึ่งแห้ง

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

---

#### พลับ (Persimmon)

พลับ เป็นผลไม้กึ่งร้อน (Sub-tropical fruit) ที่มีการผลัดใบอยู่ในสกุล Diospyros วงศ์ Ebenaceae (Ebony family) ความหมายของชื่อสกุล Diospyros มีความหมายถึงพืชที่มีคุณค่าทางอาหารเสริมเพื่อสุขภาพ (ปวิณ และคณะ, 2537)

พลับมีแหล่งกำเนิดในจีน แต่ได้รับการพัฒนาพันธุ์ปลูกจนเป็นไม้ผลประจำชาติญี่ปุ่น ปลูกมากในจีน เกาหลี และญี่ปุ่น นอกจากนี้ยังมีประเทศอื่นที่ปลูกเป็นการค้า ได้แก่ บราซิล อิตาลี สหรัฐอเมริกา อิสราเอล และออสเตรเลีย พืชในสกุลนี้มีประมาณ 400 ชนิด แต่ชนิดที่สำคัญและปลูกเป็นการค้ามีอยู่ 4 ชนิดคือ *D. kaki* L., *D. lotus* L., *D. virginiana* L., *D. oleifera* Cheng พลับชนิดที่เป็นที่ต้องการของตลาดคือ *D. kaki* (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540)

สำหรับในประเทศไทยมีการปลูกพลับกันมาตั้งแต่ประมาณ พ.ศ. 2470 ในทางภาคเหนือ เช่น เชียงใหม่ เชียงราย แต่พื้นที่การปลูกไม่แพร่หลายออกไป (สังคม, 2532) พันธุ์ที่ปลูกได้ผลและขยายออกไปตามแหล่งต่าง ๆ จึงมีเพียง 5-6 พันธุ์ ไม่แพร่หลายเท่าไรนัก มักเรียกชื่อพันธุ์โดยพิจารณาจากลักษณะและรูปร่างของผล สำหรับพันธุ์ที่ขึ้นกระจายอยู่ในประเทศไทยมีหลายชนิดเป็นที่รู้จักมานาน ได้แก่ กล้วยฤๅษี (*D. glandulosa*) ตะโกนา (*D. rhodocalyx*) ตะโกสวน (*D. malabarica*) จันทศ (*D. dasyphylla*) และมะพลับดง (*D. schmidtii*) เป็นต้น (สุรินทร์, 2543)

#### การจำแนกพันธุ์พลับ

ในทางพืชสวนได้แบ่งพลับออกเป็น 2 ชนิด ตามรสชาติของผล คือ

1. พลับหวาน (Sweet หรือ Non-astringent persimmon) พลับพันธุ์เหล่านี้ เมื่อผลสุกจะมีรสหวาน กรอบ ไม่มีรสฝาด ซึ่งเมื่อเก็บมาจากต้นก็สามารถรับประทานได้เลย

2. **พลับฝาด (Astringent persimmon)** เมื่อผลแก่ยังคงมีรสฝาดและความฝาดจะหายไปเมื่อผลสุกงอม สารที่ทำให้ผลพลับฝาดคือ แทนนินที่ละลายน้ำได้ (Soluble tannin) โดยปกติผลพลับฝาดจะมีแทนนินอยู่ร้อยละ 0.80-1.94 ของน้ำหนักผล (ปวิณ และคณะ, 2537)

พลับทั้ง 2 ชนิดนี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 ชนิดคือ

1. **ชนิดที่มีสีเนื้อคงที่ (Pollination constant)** คือ พลับที่สีของเนื้อคงเดิมไม่เปลี่ยนสีไม่ว่าจะมีการผสมเกสรก็ตาม แต่อาจสังเกตเห็นจุดสีเข้มเป็นจุดเล็ก ๆ ในบางพันธุ์

2. **ชนิดที่มีสีเนื้อเปลี่ยนแปลง (Pollination variant)** คือ ถ้าไม่มีการผสมเกสร สีของเนื้อจะเป็นสีเหลืองอ่อน แต่ถ้ามีการผสมเกสรเกิดขึ้นสีของเนื้อผลพลับจะเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีน้ำตาลแดง หมายความว่าสีของเนื้อจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของการผสมเกสรหรือการที่มีเมล็ดเป็นบางครั้ง เนื่องจากการผสมเกสรไม่จีงมีเมล็ดเกิดขึ้นภายในผลน้อย หรือมีเพียงเมล็ดเดียว และปรากฏสีน้ำตาลแดงให้เห็นเฉพาะรอบ ๆ บริเวณเมล็ดเท่านั้น ผลด้านที่ไม่มีเมล็ด สีของเนื้อจะมีสีอ่อนตามปกติและมีจุดเข้มเล็ก ๆ และพลับหวานจะกลายเป็นพลับฝาดได้ถ้าไม่มีเมล็ด ลักษณะของพลับชนิดสีเนื้อคงที่และสีเนื้อเปลี่ยนแปลงแสดงดังภาพ 2.1

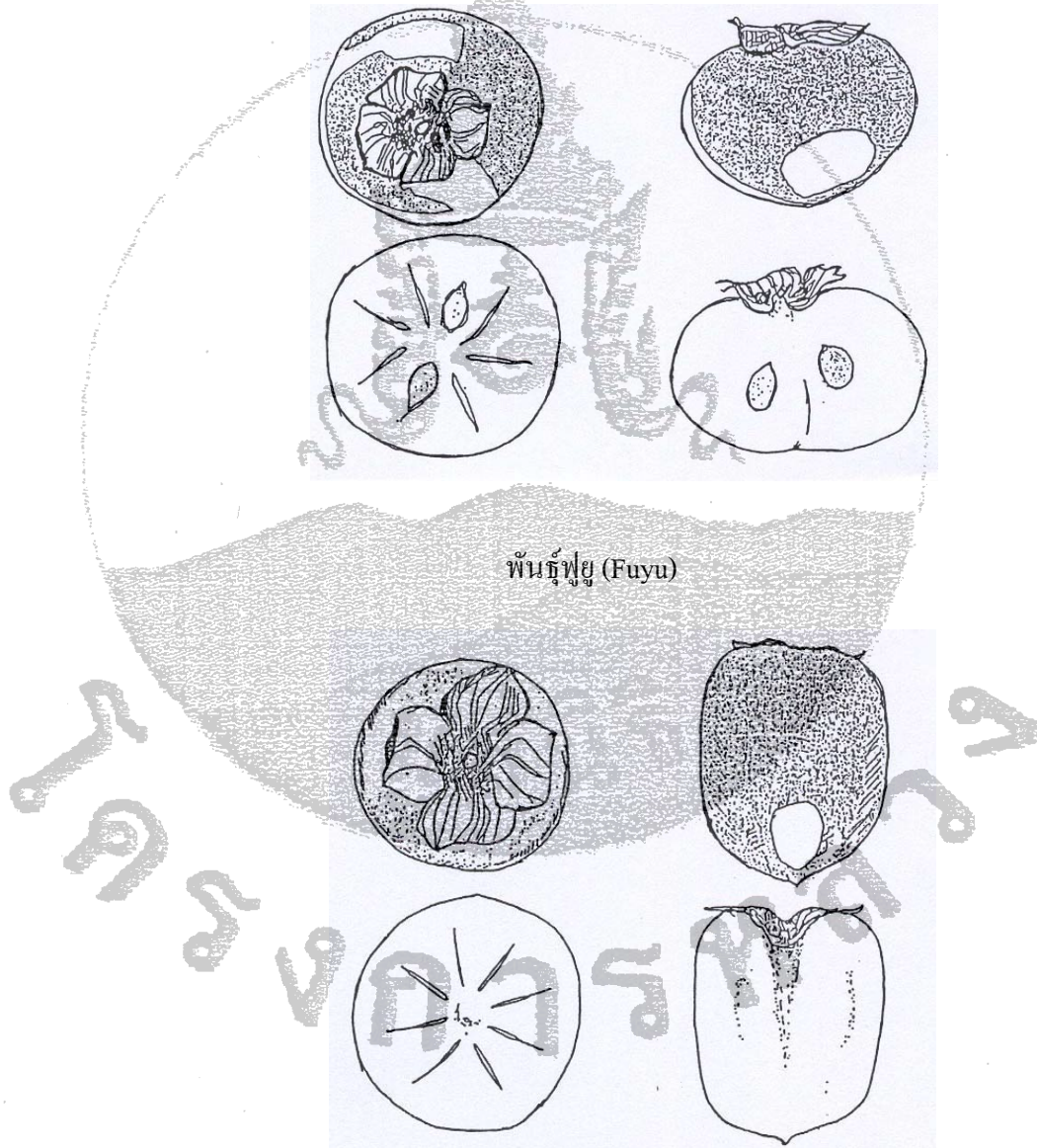


ภาพ 2.1 พลับชนิดสีเนื้อคงที่ (กลุ่มซ้ายมือ) และพลับชนิดสีเนื้อเปลี่ยนแปลง (กลุ่มขวามือ)  
ที่มา : ปวิณ และคณะ (2537)



## พันธุ์และลักษณะที่สำคัญประจำพันธุ์

พันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทยมีทั้งชนิดสีเนื้อคงที่และสีเนื้อเปลี่ยนแปลง และมีทั้งชนิดผลัดใบและผลัดหวน ซึ่งลักษณะของผลัดแสดงดังภาพ 2.2 พันธุ์ผลัดที่สำคัญ มีดังนี้



พันธุ์ฮาชิยา (Hachiya)

ภาพ 2.2 ลักษณะรูปร่างของผลัดพันธุ์ฟูยู (Fuyu) และพันธุ์ฮาชิยา (Hachiya)

ที่มา : ปวิณ และคณะ (2537)



1. พันธุ์ฟูยู (Fuyu) เป็นพันธุ์ที่โครงการหลวงนำเข้ามาปลูก จัดอยู่ในชนิดสีเนื้อคงที่และเป็นพลับหวาน ปัจจุบันเป็นที่นิยมปลูกกันทั่วโลก พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกพันธุ์นี้จะต้องมีอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่านี้ได้เล็กน้อย ผลมีลักษณะกลมแบนเล็กน้อยมี 4 พู มีเมล็ด 2-4 เมล็ด เมื่อสุกผลมีสีส้ม หรือส้มปนแดง รสหวาน เนื้อกรอบ พันธุ์ฟูยูในประเทศไทยมีน้ำหนักผลเพียง 100-200 กรัม ในต่างประเทศหนักถึง 250 กรัม ขนาดผลกว้าง 7.0 เซนติเมตร สูง 5.5 เซนติเมตร พลัปลูกพันธุ์ฟูยู จะปลูกได้ดีในบริเวณพื้นที่ ๆ มีความสูงกว่าระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 1,000 เมตรขึ้นไป เพราะต้องการอากาศหนาวเย็น

2. พันธุ์พี 1 (P1) เป็นพันธุ์ที่โครงการหลวงนำเข้ามาจากไต้หวัน เป็นกลุ่มพวกที่มีรสฝาด ติดผลได้ดีมาก ดอกมีทั้งที่เป็นดอกตัวผู้ ดอกตัวเมีย และดอกกะเทยอยู่ในต้นเดียวกัน พลัปลูกพันธุ์นี้คุณภาพเพื่อการรับประทานสดไม่ดี บริเวณใต้ขั้วมักจะมีรอยแตก เมื่อผลสุกเต็มที่ขั้วผลจะหลุดออกได้ง่ายไม่เป็นที่นิยมของตลาด

3. พันธุ์ซือโจ หรือ ซิซู หรือ พี 2 (Xichu or P2) นำเข้ามาจากไต้หวัน พลัปลูกพันธุ์นี้เป็นพลัปลูกชนิดสีเนื้อคงที่และเป็นพลัปลูกฝาด ผลมีลักษณะเป็นรูปกลมจนถึงเป็นเหลี่ยม บางครั้งอาจพบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจนถึงแปดเหลี่ยม เนื้อผลสีเหลืองอ่อน น้ำหนักผล 100-150 กรัม เป็นพันธุ์ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีและขจัดความฝาดได้ง่ายโดยการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4. พันธุ์อั้งไส หรือ พี 3 (Ang Sai or P3) เป็นพลัปลูกฝาด ผลค่อนข้างเล็ก น้ำหนักเฉลี่ย 120 กรัม ติดผลดก ผลสุกสีแดงจัด เนื้อไม่มีการเปลี่ยนสี การติดผลดี คุณภาพปานกลาง

5. พันธุ์นูซิน หรือ พี 4 (Niu Scin or P4) ผลมีลักษณะคล้ายรูปหัวใจเช่นเดียวกับพันธุ์ไฮยาคัม แต่อาจจะยาวกว่าเล็กน้อย ขนาดค่อนข้างใหญ่ น้ำหนัก 152 กรัม เป็นพวกพลัปลูกฝาด ประเภทเนื้อของผลไม่เปลี่ยนสี เนื้อมีสีเหลืองอ่อน ขจัดความฝาดโดยการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ปวิณ และคณะ, 2537; สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540)

6. พันธุ์ไฮยาคัม (Hyakume) นำเข้ามาจากไต้หวัน ผลค่อนข้างยาวคล้ายรูปหัวใจขนาดค่อนข้างใหญ่ น้ำหนักเฉลี่ย 151 กรัม จัดเป็นพลัปลูกหวาน ชนิดสีเนื้อของผลเปลี่ยนสีเมื่อได้รับการผสมเกสรหรือติดเมล็ด บริเวณที่เนื้อมีสีน้ำตาลแดงจะไม่ฝาด ในขณะที่บริเวณที่ไม่มีเมล็ดเนื้อจะเป็นสีเหลืองอ่อนรสฝาดมาก ถ้าพิจารณาจากภายนอกทั่ว ๆ ไปแล้วจะไม่ทราบต้องผ่าดูเนื้อ

ภายในผล ซึ่งเป็นข้อเสียของการปลูกพันธุ์นี้ การช่วยผสมเกสรหรือการปลูกพันธุ์ที่มีเกสรตัวผู้จะช่วยให้การติดเมล็ดดีขึ้น เพื่อให้เกิดความแน่ใจควรจัดการความฝาดของผลปลูกพันธุ์นี้เสียก่อนที่จะออกวางตลาด โดยการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

**7. พันธุ์ฮาชิยา (Hachiya)** เป็นผลฝาดชนิดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อ นิยมปลูกกันมากในสหรัฐอเมริกา เนื่องจากเมื่อผลสุกจะมีลักษณะนุ่มและหวาน ในอเมริกาไม่นิยมรับประทานผลหวานกรอบแต่นิยมปลูกที่สุกนุ่ม นำไปทำพลับแห้งหรือแปรรูปได้เป็นอย่างดี ผลมีขนาดใหญ่ไม่มีเมล็ด ผิวผลสีเหลืองอมแดงเวลาสุกเต็มที่จะมีสีเหลืองส้ม (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540)

**8. พันธุ์ไนติงเกล (Nightingale)** คล้ายกับพันธุ์ฮาชิยามาก รูปร่างกรวยยาว มีขนาดใหญ่ เป็นพวกผลฝาด เมื่อสุกเต็มที่จะมีรสหวาน สีผิวสีเหลืองอ่อนกว่าพันธุ์ฮาชิยาเล็กน้อย ส่วนปลายผลจะเรียวยาวกว่า นิยมใช้รับประทานสด สามารถจัดการความฝาดได้แม้ผลยังแข็งอยู่หรือปล่อยให้ผลสุกนุ่มความฝาดก็จะหายไปเช่นเดียวกัน นำไปแปรรูปทำเป็นพลับแห้งได้ดีแต่คุณภาพต่ำกว่าพันธุ์ฮาชิยาเล็กน้อย (ปวิณ และคณะ, 2537)

#### ส่วนประกอบเคมีที่สำคัญในผลพลับ

ส่วนประกอบหลักในผลพลับคือ น้ำ น้ำตาล เพคติน แทนนิน แคลโรทีนอยด์ กรดแอสคอร์บิกและกรดอะมิโน โดยมีส่วนของใบทำหน้าที่สร้างอาหารแล้วส่งมาเก็บสะสมไว้ที่ผล (สุรินทร์, 2543)

องค์ประกอบทางเคมีของผลปลูกพันธุ์ต่าง ๆ ทั้งที่มีความฝาดและไม่มีความฝาด แสดงดัง

ตาราง 2.1

ตาราง 2.1 ค่าองค์ประกอบทางเคมีของพลับพลึงต่าง ๆ

พันธุ์	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (ร้อยละ)	ความถ่วง จำเพาะ (20 °C)	ปริมาณ ของแข็งที่ ละลายได้ ทั้งหมด (°บริกซ์)	ความเป็น กรดเป็น ค่า	โปรตีน (ร้อยละ)	เยื่อใย (ร้อยละ)	เพคตินที่ ละลาย น้ำได้ (ร้อยละ)	แทนนินที่ ละลายน้ำได้ (ร้อยละ)
พันธุ์ฝาด									
Aizumishirazu	243	79.00	1.074	18.0	5.5	0.46	0.38	0.74	0.92
Atago	178	79.10	1.075	18.6	5.5	0.47	0.33	0.51	0.80
Hagakushi	167	78.00	1.074	19.0	5.3	0.45	0.40	0.68	1.58
Hiratanenashi	288	80.40	1.072	19.0	5.3	0.47	0.33	0.63	1.47
Schakokushi	277	76.80	1.080	20.8	5.4	0.42	0.47	0.89	1.55
Yokono	282	80.00	1.074	19.6	5.4	0.37	0.39	0.55	1.51
Yotsumizo	125	79.20	1.078	20.3	5.3	0.36	0.28	0.80	1.68
เฉลี่ย	205	79.10	1.076	19.5	5.4	0.43	0.37	0.68	1.41
พันธุ์ไม่ฝาด									
Fuyu	249	82.40	1.066	16.2	5.5	0.58	0.49	0.68	0

ที่มา : Itoo (1986)

**น้ำตาล :** น้ำตาลในผลพลับพลึง เป็นพวกฟรุคโตสและกลูโคสเป็นส่วนใหญ่ คือมีมากกว่าร้อยละ 90 ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยฟรุคโตสมีมากกว่ากลูโคสเล็กน้อย ส่วนซูโครสมีปริมาณน้อย (Itoo, 1986) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของพลับพลึงที่แก่แล้วจะมีประมาณ 14.8-17.9 องศาบริกซ์ ปริมาณน้ำตาลภายในเนื้อของผลพลับพลึงแสดงดังตาราง 2.2 (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540)

ตาราง 2.2 ปริมาณน้ำตาลภายในเนื้อของผลพลับพลึงต่อน้ำหนักสด 100 กรัม

พันธุ์	ปริมาณของ แข็งที่ละลาย น้ำได้ทั้งหมด (°บริกซ์)	ปริมาณน้ำ ตาลรวม (กรัม)	น้ำตาลรีดิวิซ์ (กรัม)	ซูโครส (กรัม)	กลูโคส (กรัม)	ฟรุคโตส (กรัม)	กลูโคส : ฟรุคโตส
Fuyu	14.8	14.34	13.90	0.42	6.87	7.03	1 : 1.02
Jiro	16.7	14.38	13.78	0.57	6.40	7.38	1 : 1.15
Suruga	17.9	17.14	15.40	1.65	7.34	8.06	1 : 1.10
Gosho	16.4	14.91	13.26	1.57	6.56	6.70	1 : 1.02
เฉลี่ย	16.4	15.19	14.09	1.05	6.79	7.29	1 : 1.07

ที่มา : Ito (1971)

**เพคติน :** ในผลแก่ของพลับหวาน 4 พันธุ์ (Fuyu, Jiro, Suruga และ Goshu) มีปริมาณเพคตินร้อยละ 0.52-1.07 ดังตาราง 2.3 ซึ่งปริมาณของเพคตินที่พบนี้ยังสามารถแบ่งได้ 3 กลุ่มตามความสามารถในการละลายได้ในตัวทำละลายในขั้นตอนของการสกัด ประกอบด้วยเพคตินที่ละลายได้ในน้ำร้อยละ 64-69 ละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20-29 และละลายได้ในสารละลายโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตร้อยละ 5-10 (Ito, 1971)

**ตาราง 2.3** ปริมาณเพคตินของผลพลับต่อน้ำหนักสด 100 กรัม

พันธุ์	เพคตินที่ละลายใน		เพคตินที่ละลายใน	ปริมาณเพคตินรวม (กรัม)
	เพคตินที่ละลายในน้ำ (กรัม)	Na-hexametaphosphate (กรัม)	sodiumhydroxide (กรัม)	
Fuyu	0.360	0.050	0.108	0.518
Jiro	0.370	0.040	0.140	0.555
Suruga	0.640	0.046	0.288	0.974
Goshu	0.740	0.084	0.244	1.070

ที่มา : Ito (1971)

**แทนนิน :** แทนนินเป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง แทนนินในพลับเรียกว่า Kaki-tannin ซึ่งมี 2 รูปคือ ชนิดละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ แทนนินจากพลับมีสารประกอบ Phenolic hydroxyl groups ทำให้เกิดรสฝาดเพราะอยู่ในรูปละลายน้ำ ดังนั้นในขณะที่พลับยังไม่แก่จึงมีรสฝาด เนื่องจากสารแทนนินอยู่ในรูปชนิดที่ละลายน้ำได้ (Ito, 1986) การสะสมปริมาณของแทนนินจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ และลดลงในระยะผลสุก (มานิตย์, 2525) แทนนินมีความสามารถในการจับโปรตีนและแสดงสีเมื่อทำปฏิกิริยากับ Ferric chloride เมื่อผลพลับสุก แทนนินชนิดละลายน้ำได้จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูป Polymerized tannin ทำให้ไม่เกิดรสฝาด เนื่องจากไม่ละลายน้ำ

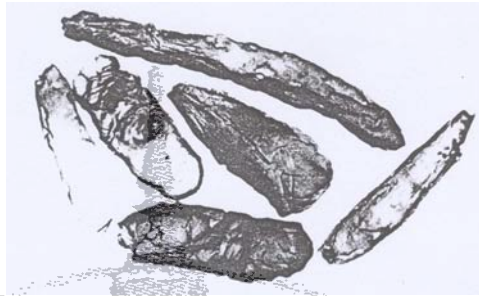
**แคโรทีนอยด์ :** สีของพลับสุกเกิดจากเม็ดสีของแคโรทีนอยด์ (Carotenoid pigment) ซึ่งมีตั้งแต่สีแดงจนถึงสีเหลืองอมส้ม จากผลพลับ 40 พันธุ์ ซึ่งประกอบด้วย *D. kaki* 38 พันธุ์ และ *D. lotus* 2 พันธุ์ พบว่ามีปริมาณของ Cryptoxanthin ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักมีอยู่ถึงร้อยละ 30-40 ของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ส่วนสีแดงจะเป็นไลโคพีน (Lycopene) การเปลี่ยนสีในช่วงแก่สุกของพลับ เกิดจากการเพิ่มขึ้นของสารประกอบแคโรทีนอยด์อย่างรวดเร็ว ไลโคพีนมีปริมาณน้อยมากในช่วงผลอ่อน แต่เมื่อผลแก่จะมีปริมาณถึงร้อยละ 30-40 ของแคโรทีนอยด์ (Ito, 1986) ส่วนเม็ดสีอื่น ๆ ที่พบได้แก่ Xanthophyll มีอยู่ ร้อยละ 10-20 ของปริมาณทั้งหมด (สุรินทร์, 2543) และปริมาณสารดังกล่าวจะไม่มีเปลี่ยนแปลงเมื่อสุก

**กรดแอสคอร์บิก** : ผลพลับมีปริมาณของกรดแอสคอร์บิกสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลที่ยังไม่แก่ และในส่วนเปลือกของผลแก่จะมีปริมาณของกรดแอสคอร์บิกมากกว่าในเนื้อผลของผลแก่ นอกจากนี้ยังพบว่าในส่วนของเนื้อผลจะมีความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกสูงกว่าในส่วนแกนกลางของผล

**กรดอะมิโน** : กรดอะมิโนในผลพลับจะพบในเนื้อผล กลีบเลี้ยง และเมล็ดของพลับ กรดอะมิโนที่พบมี 19 ชนิดคือ alanine, arginine, aspartic acid, glutamic acid, glycine, histidine, leucine, isoleucine, lysine, methionine, phenylalanine, proline, serine, threonine, tryptophan, tyrosine, valine, cystine และ  $\gamma$ -amino butyric acid ซึ่งกรดอะมิโนที่พบนี้จะไม่พบ asparagine รวมอยู่ด้วย (Ito, 1971)

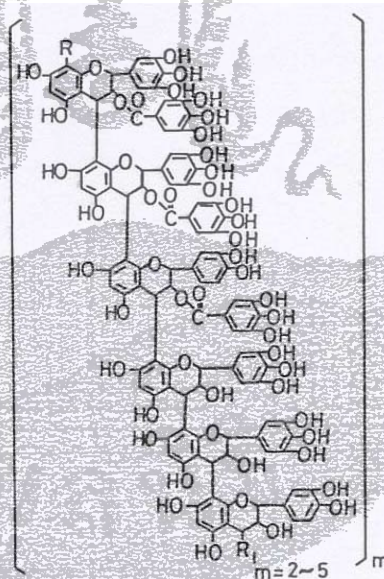
#### ความฝาดและกรรมวิธีในการลดความฝาดของพลับ

น้ำตาลรีดิวซิง (Reducing sugar) ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง จะถูกนำไปสะสมไว้ในผลในรูปของเพคตินและแทนนิน ซึ่งแทนนินเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความฝาด (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540) ความฝาดของพลับเกิดจากสาร Leucodelphinidin-3-glucoside โดยโมเลกุลนี้จะประกอบไปด้วย Gallic acid, Gallo catechin และ Gallo catechin gallate หรือมีชื่อสามัญว่า Diospyrin ซึ่งเป็นแทนนินที่ละลายน้ำได้ชนิดหนึ่งที่มีการจับตัวกับโปรตีน แทนนินชนิดนี้เป็นของเหลวที่แพร่กระจายได้ง่าย (Ito, 1971) สารแทนนินนี้ยังมีความเกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลโดยเอนไซม์แต่กลไกยังไม่ทราบแน่ชัด อย่างไรก็ตามมีความเกี่ยวข้องกับสารประกอบ Phenol ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล (Francis, 1985) พลับพันธุ์ที่มีความฝาดจะมีปริมาณของเซลล์แทนนินที่ใหญ่และเกิดการกระจายอยู่ทั่วไปภายในเนื้อพลับที่มากกว่าพันธุ์ที่ไม่ฝาด (Ito, 1971) ลักษณะและโครงสร้างของสารแทนนินที่เป็นสาเหตุของความฝาดในเนื้อพลับแสดงในภาพ 2.3 และ 2.4 แทนนินจะมีปริมาณลดน้อยลงในขณะผลสุก จนถึงระยะที่ผลสุกเต็มที่ความฝาดจะหายไป จึงมีรสหวานและเนื้อนุ่ม ซึ่งเป็นที่นิยมบริโภคบ้างแต่ไม่เป็นที่นิยมมากนัก กรรมวิธีในการทำให้พลับหายฝาดไปในขณะที่เนื้อผลยังกรอบแข็งอยู่จึงเป็นวิธีที่สามารถทำให้ผู้บริโภคนิยมมากขึ้น การลดความฝาดมีหลายวิธีได้แก่



ภาพ 2.3 ลักษณะเซลแทนนิน

ที่มา : Itoo (1986)



ภาพ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของ Kaki-tannin

ที่มา : Itoo (1986)

### 1. การใช้น้ำปูนใส

น้ำปูนที่ใช้กินกับหมากมาละลายน้ำทิ้งไว้ 1 คืน จนน้ำปูนมีฝ้าคล้ายผลึกเหนือน้ำปูนใส รินเอาน้ำแต่ส่วนบน แช่ผลพลับในน้ำปูนใสประมาณ 5-7 วัน ผลพลับจะหายฝาดได้ ขณะที่ผลยังแน่นแข็งอยู่ ในขณะที่แช่อยู่ในน้ำปูนใสไม่ควรขยิบภาชนะ ถ้าอากาศอบอุ่นจะใช้เวลาสั้นกว่าปกติ วิธีการนี้ผลพลับจะคงคุณภาพไว้ได้นาน 2-3 วันเท่านั้น และผลที่แช่น้ำปูนใสจะมีคราบปูนจับอยู่ ทำให้ผิวไม่สวย (ปวีณ และคณะ, 2537 ; สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540)

## 2. การใช้แอลกอฮอล์

นำพลับบรรจุในภาชนะปิดภายใต้สภาวะที่มีแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 35-40 โดยใช้สัดส่วนของแอลกอฮอล์ 10 มิลลิลิตรต่อภาชนะปิด 1 ลิตร เป็นเวลา 5-7 วัน ไรระเหยจากแอลกอฮอล์จะถูกดูดซับเข้าไปทำให้ความฝาดหายไปโดยที่ผลยังแน่นแข็งและมีคุณภาพดี ข้อควรระวังอย่าให้ผลพลับแช่อยู่ในแอลกอฮอล์เพราะจะทำให้สีผลและรสชาติเปลี่ยนไป ข้อเสียของวิธีนี้คือ ผลอาจมีกลิ่นแอลกอฮอล์ติดอยู่บ้าง และผลมักจะเสียภายใน 2-3 วัน หลังจากเอาออกจากภาชนะ ควรบริโภคทันที ไม่ควรทิ้งไว้นาน

## 3. การแช่น้ำร้อนหรือน้ำอุ่น

โดยการจุ่มผลพลับในน้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แช่ทิ้งไว้ประมาณ 15-24 ชั่วโมง วิธีนี้เป็นวิธีดั้งเดิมของชาวญี่ปุ่น เหมาะสำหรับรับประทานภายในครอบครัว วิธีนี้จะทำให้ผลพลับมีคุณภาพต่ำลง (เนื้อผลนุ่ม ขั้วผลหลุด)

## 4. การใช้อีเทอร์พอน

โดยใช้สารอีเทอร์พอน 2,000 ส่วนในล้านส่วน ในสัดส่วน 10 มิลลิลิตรต่อภาชนะปิดประมาณ 1 ลิตร จะเกิดก๊าซเอทิลีน บ่มผลพลับนาน 5-7 วัน ผลสุกจะแดง วิธีนี้ช่วยให้ผลพลับสุกได้เร็วขึ้นและหายฝาดได้ แต่ระวังอย่าให้ผลพลับแช่ในอีเทอร์พอน เพราะจะทำให้ผลฉ่ำน้ำเกินไป วิธีนี้เมื่อผลสุกแล้วค่อนข้างจะมีน้ำในผลมาก และรสชาติไม่ค่อยดี

## 5. การแช่เยือกแข็ง

เมื่อนำพลับมาแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 10-90 วัน จะสามารถทำให้ความฝาดลดลงได้ แต่ปริมาณการลดน้อยลงของปริมาณแทนนินต้องขึ้นอยู่กับความแตกต่างของพันธุ์พลับด้วย และวิธีการนี้ไม่สามารถทำให้ความฝาดของพลับหายไปหมดได้ (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540)

## 6. การฉายรังสีแกมมา

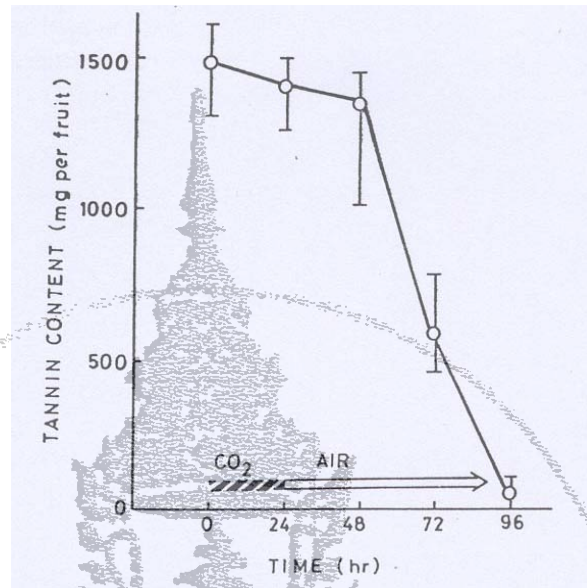
การฉายรังสีพลับ กระทำโดยใช้รังสีแกมมา ที่มีความเข้มของรังสีเป็น 0.15-0.25 Mrad จากแหล่งรังสีโคบอลต์ จะสามารถลดความฝาดของพลับได้ แต่อาจทำให้ผลพลับมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มได้ (Itou, 1986)

## 7. การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและผลของพลับจะสะอาด ไม่มีคราบเหมือนการแช่น้ำปูนใส วิธีนี้เหมาะสำหรับผลผลิตพลับที่มีปริมาณมาก โดยการบรรจุผลพลับในถุงพลาสติกหนา 2.5 มิลลิเมตร ขนาด 18 x 24 นิ้ว ปิดปากถุงให้แน่น ดูดเอาอากาศออกจากถุงให้หมด แล้วเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปแทนจนเต็มถุง ทิ้งไว้ประมาณ 3-4 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ภายใต้อุณหภูมิและความดันบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส แต่ในทางปฏิบัติ เก็บไว้ในสภาพอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน จะสามารถจัดการความฝาดได้ หลังจากนั้นยังคงนำมาเก็บรักษาไว้ได้อีกนานถึง 1 เดือนที่ระดับอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540)

วิธีการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ วิธี Constant Temperature Short Duration (CTSD) ซึ่งมีขั้นตอนในการปฏิบัติด้วยการนำพลับมาอัดด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในลักษณะปิดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 18-24 ชั่วโมง แล้วตามด้วยการเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 วัน พลับจะลดความฝาดลงไปได้ดีเยี่ยม และมีคุณภาพของผลพลับที่ดี กล่าวคือเนื้อยังแน่นแข็งและไม่นิ่มและ ภาพ 2.5 แสดงการลดลงของปริมาณแทนนินในผลพลับเมื่อทำวิธีการลดความฝาดด้วย CTSD-CO<sub>2</sub> โดยจะเห็นได้ว่าพลับที่เก็บไว้ในสภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นาน 24 ชั่วโมง และนำพลับมาไว้ในอากาศปกติที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณแทนนินที่เป็นสาเหตุของความฝาดในพลับมีปริมาณลดลงอย่างมาก ทั้งนี้อาจใช้ Dry ice (Solid-CO<sub>2</sub>) ที่มากเพียงพอแทนการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใส่ลงในสภาวะที่ปิดสนิทเป็นเวลานาน 3-4 วัน ความฝาดในผลพลับจะลดลง





ภาพ 2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแทนนินของพลับในการลดความฝาดโดยการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ที่มา : Itoo (1986)

### กลไกการลดความฝาดของพลับ

การลดความฝาดของพลับมีหลายวิธีดังที่กล่าวมาแล้ว พื้นฐานของการลดความฝาดคือการจัดพลับให้อยู่ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic condition) หรือการให้อยู่ในสภาวะที่มีการหายใจแบบไม่มีออกซิเจน (Anaerobic respiration) โดยการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) อะซีตัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) หรือเอทานอล (Ethanol) (Pesis *et al.*, 1986) การลดความฝาดที่มีประสิทธิภาพทำได้โดยนำพลับไปเก็บรักษาไว้ในบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 80 เป็นเวลา 1-3 วัน ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ คือพันธุ์ อุณหภูมิ และสภาพความแก่อ่อน (Stage of maturity)

การลดความฝาดด้วยการจัดสภาพบรรยากาศนั้นมีความเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกในสภาวะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือในสภาวะขาดออกซิเจนนี้ ทำให้เกิดการสร้างอะซีตัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาในขั้นที่สองด้วยการเปลี่ยนแทนนินที่ละลายน้ำไปเป็นแทนนินที่ไม่ละลายน้ำ โดยที่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ไม่อาจเปลี่ยนแทนนินที่ละลายน้ำเป็นแทนนินที่ไม่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Gazit and Adato, 1972)

งานวิจัยของ Itoo and Matsou ในปี ค.ศ. 1982 ได้ชี้ให้เห็นถึงการใช้อีธานอล และ อะซีตัลดีไฮด์ ต่อความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแทนนินที่ละลายน้ำที่เป็นสารที่ให้รสชาติฝาดอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ โดยการทำงานของอะซีตัลดีไฮด์ที่ไปจับกับสารแทนนินให้อยู่ในลักษณะเจล

กลไกในการลดความฝาดของพลับมีความเกี่ยวข้อง 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 : สภาพขาดออกซิเจน ทำให้เกิดสารอะซีตัลดีไฮด์ที่มีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการลดลงของความฝาด เอนไซม์มีความเกี่ยวข้องในขั้นตอนของการลดความฝาดในสภาพขาดออกซิเจนต่อการเปลี่ยนแปลงกรดไพรูวิก ไปเป็นอะซีตัลดีไฮด์ และอีธานอล ซึ่งการทำงานของเอนไซม์จะถูกยับยั้งได้ที่อุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส โดยเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวคือเอนไซม์ Pyruvate Decarboxylase (PDC) และเอนไซม์ Alcohol dehydrogenase (ADH) เป็นเอนไซม์ที่เปลี่ยนอีธานอล ไปเป็นอะซีตัลดีไฮด์ โดยเอนไซม์ทั้งสองไม่สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (Gazit and Adato, 1972; Ben-Arie *et al.*, 1988 : ธารา, 2540)

ขั้นตอนที่ 2 : สภาพมีออกซิเจน ทำให้เกิด nonenzymatic reaction ระหว่างอะซีตัลดีไฮด์กับแทนนินที่ละลายน้ำ สามารถอธิบายได้ 2 กระบวนการ กระบวนการแรกคือ อะซีตัลดีไฮด์ที่ได้จากขั้นตอนที่หนึ่งจะเปลี่ยนแทนนินที่ละลายน้ำไปเป็นแทนนินที่ไม่ละลายน้ำ แต่จะไม่อาจเปลี่ยนแทนนินที่ละลายน้ำให้ไม่ละลายน้ำได้ทั้งหมด จึงมีกระบวนการที่สองคือ อะซีตัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นจะไปเร่งกระบวนการสุกของพลับทำให้เกิดเพคตินที่ละลายน้ำ จากนั้นจะเกิดการรวมตัวกันเป็นสารประกอบระหว่างเพคตินที่ละลายน้ำกับแทนนินที่เหลือจากกระบวนการแรก ทำให้การกำจัดความฝาดเป็นไปอย่างสมบูรณ์ (Taira *et al.*, 1997 : พิทยา, 2542)

## การแปรรูป

### การทำพลับแห้งโดยการอบ

การทำแห้งพลับโดยวิธีการอบนั้น พลับแห้งที่ได้จะมีคุณภาพดีสม่ำเสมอและมีการเน่าเสีย น้อย ขั้นตอนในการอบพลับมีดังนี้

1. เก็บผลพลับที่สุกเต็มที่แต่ผลยังแข็งอยู่ มาผึ่งในร่มประมาณ 2 วัน เพื่อให้ความชื้นที่ติดมากับผลระเหยออกไป ผลพลับที่สุกเต็มที่เมื่อนำมาอบแห้งแล้ว ผลจะเป็นสีน้ำตาลแดง จัดว่าเป็นคุณภาพที่ดีที่สุด

2. ปอกเปลือกโดยใช้มีด แล้วนำผลกลับไปทำการอบผิวด้วยกำมะถัน (Sulfur) วัตถุประสงค์ของการอบด้วยกำมะถันก็เพื่อป้องกันการเปลี่ยนสีเนื้อ และป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อรา สำหรับตู้อบกำมะถันนั้นควรเป็นตู้อบทึบและเป็นคนละตู้กับตู้อบแห้ง เพื่อป้องกันไม่ให้ผลพลับแห้งแล้วมีกลิ่นกำมะถันติด ลักษณะภายในของตู้อบควรทำเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นมีถาดซึ่งทำด้วยลวดตาข่ายโปร่งดึงเข้าออกได้ เพื่อสะดวกในการจัดเรียงผลพลับ และสามารถบรรจุผลพลับได้ปริมาณมาก สำหรับปริมาณของกำมะถันนั้นใช้อัตรา 10 กรัมต่อปริมาณตู้ 1 ลูกบาศก์เมตร การรมควันทำได้โดยใช้ก้อนกำมะถันวางลงบนเตาไฟขนาดเล็ก แล้วนำไปวางในชั้นล่างสุดของตู้ เมื่อกำมะถันถูกความร้อนจะเกิดเป็นควันฟุ้งกระจายอยู่ในตู้ รีบปิดฝาตู้ ใช้เวลาอบประมาณ 30 นาที แล้วจึงเปิดฝาตู้ ดึงถาดที่วางผลพลับออกมา

3. นำผลพลับไปอบในตู้อบแห้งโดยเริ่มต้นด้วยอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ผิวของพลับจะเริ่มแห้งและเหนียว จากนั้นลดอุณหภูมิลงเหลือประมาณ 40-45 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 4-5 วัน ในระหว่างการอบควรตรวจสอบผลพลับหากผิวของพลับแห้งเกินไป ควรลดอุณหภูมิลงเหลือ 40 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงนำผลพลับออกมานวด การนวดนั้นควรใช้มือจนคลึงเพียงเบา ๆ อย่าให้ผลพลับแตก ควรทำด้วยความนุ่มนวลพิถีพิถันและทำอย่างช้า ๆ วัตถุประสงค์ของการนวดก็เพื่อไล่น้ำและความชื้นที่อยู่ภายในผลพลับซึมกระจายออกมาที่ส่วนผิวของผลพลับ จะทำให้ผลพลับแห้งเร็วขึ้น และแห้งสม่ำเสมอขึ้นดี หลังจากนวดครั้งแรกแล้วนำผลพลับไปอบต่อ ซึ่งจะใช้เวลาอีก 4-5 วัน โดยใช้อุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส และในระหว่างนี้ควรทำการนวดผลพลับทุกวัน (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2540)

อาหารกึ่งแห้ง

ความหมายของอาหารกึ่งแห้ง

อาหารที่ลดค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ลงจนอยู่ในช่วง 0.65-0.85 หรือมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ร้อยละ 65-85 และมีความชื้นประมาณร้อยละ 15-30 จะเรียกอาหารประเภทนี้ว่าอาหารกึ่งแห้ง หรือ Intermediate moisture food เช่น กุนเชียง เนยแข็งบ่ม แฮมแห้ง ฟรุตเค้ก แยม ผลไม้แห้ง ลูกกวาด รวมทั้งอาหารสัตว์เลี้ยง เป็นต้น (ไพโรจน์, 2539)

## ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์

ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ ( $a_w$ ) ของอาหารเป็นปริมาณน้ำซึ่งจุลินทรีย์ เอนไซม์ หรือ ปฏิกิริยาทางเคมีนำไปใช้ได้หรือหมายถึงน้ำอิสระ

ถ้าอาหารมีค่า  $a_w$  สูง อาหารมีแนวโน้มที่จะเสื่อมเสียโดยแบคทีเรีย เนื่องจากแบคทีเรีย สามารถเจริญได้ดีกว่ายีสต์และเชื้อรา ถ้าควบคุมให้อาหารมีค่า  $a_w$  ลดต่ำลง เชื้อราหรือยีสต์จะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรีย

ผลของน้ำต่อปฏิกิริยาทางเคมีจะยิ่งซับซ้อนกว่าผลของน้ำต่อการเจริญของจุลินทรีย์  $a_w$  เป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดขีดจำกัดในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี น้ำมีบทบาทเป็นตัวทำละลายสำหรับ สารที่มีปฏิกิริยาทางเคมี (Reactants) และผลิตภัณฑ์ เป็นสารที่มีปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ปฏิกิริยา ไฮโดรไลซิส เป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา เช่น ปฏิกิริยากอนเดนเซชันในปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบ ไม่ใช่เอนไซม์ และเป็นตัวยับยั้งปฏิกิริยา เช่น น้ำจะไปยับยั้งการทำงานของคะตะลิสต์โลหะใน ปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันไขมัน (วิไล, 2545)

อาหารประเภทที่มีความชื้นปานกลาง (Intermediate-moisture food, IMF) จะเกิดปฏิกิริยา การเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีปริมาณความชื้นมากพอจนทำให้ สัมประสิทธิ์ของปฏิกิริยาละลายได้ทั้งหมด แต่ถ้าความชื้นเพิ่มมากขึ้นหรือค่า  $a_w$  เพิ่มสูงขึ้น อัตราเร็ว ของปฏิกิริยาอาจจะลดลงได้ เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นทำให้สารละลายสัมประสิทธิ์จือจางลง

การจำแนกประเภทของอาหาร โดยใช้ค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์เป็นเครื่องวัด สามารถ แบ่งได้ 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

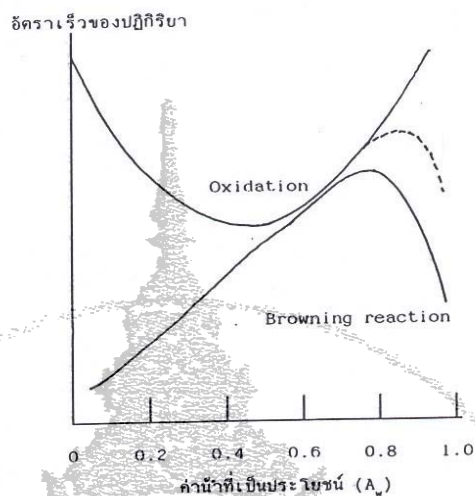
1. อาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์มาก หรือ High Moisture Foods (HMF) เป็นอาหาร ที่มีค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 0.85-1.00 แบคทีเรียส่วนใหญ่เจริญได้
2. อาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ปานกลางหรือ Intermediate Moisture Foods (IMF) เป็นอาหารที่มีค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 0.65-0.85 ยีสต์และราเจริญได้
3. อาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำ หรือ Low Moisture Foods (LMF) เป็นอาหารที่มีค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 0.01-0.65 จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญได้

ตาราง 2.4 ความสำคัญของปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ออาหาร

$a_w$	ปรากฏการณ์
0.95	ยับยั้งการเจริญของ <i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium perfringens</i> และยีสต์บางชนิด
0.90	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับการเจริญของแบคทีเรียทั่วไป เช่น <i>Salmonella</i> , <i>Vibrio paraheamolyticus</i> , <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Lactobacillus</i> รวมทั้งยีสต์และราบางชนิด
0.85	ยีสต์ส่วนใหญ่ถูกยับยั้งการเจริญเติบโต
0.80	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ส่วนใหญ่และการเจริญของเชื้อราส่วนใหญ่ <i>Staphylococcus aureus</i> ถูกยับยั้งการเจริญเติบโต
0.75	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับแบคทีเรียฮาโลไฟล์
0.70	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับเชื้อรา Xerophile ส่วนใหญ่
0.65	อัตราเร็วสูงสุดในการเกิดปฏิกิริยาเมตสาร์ค
0.60	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับการเจริญของยีสต์และราประเภท Osmophile หรือ Xerophile
0.55	เกิดความผิดปกติกับกรดคือออกซีโรไบนิวคลีอิก (ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับสิ่งมีชีวิต)
0.40	อัตราเร็วต่ำสุดในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
0.25	ความต้านทานสูงสุดของสปอร์แบคทีเรีย

ที่มา : วิล (2545)

อาหารกึ่งแห้ง เป็นอาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นระดับที่จุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้แต่อาจจะมีปัญหาเรื่องของเชื้อราและยีสต์ที่อาจจะเจริญเติบโตได้ การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีส่วนใหญ่ที่อาจเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ในระหว่างการเก็บรักษาคือ การเกิดออกซิเดชันของน้ำมันและไขมัน (Lipid oxidation) การเกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzymic browning reaction) ตลอดจนอาจเกิดการสูญเสียวิตามินที่ละลายน้ำได้ (ไพโรจน์, 2539)



ภาพ 2.6 อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเกิดสีน้ำตาลที่ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์  
ในระดับต่างๆ  
ที่มา : ไพโรจน์ (2539)

### ผลการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารกึ่งแห้ง

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารกึ่งแห้งก่อให้เกิดผลดังต่อไปนี้คือ

#### 1. สูญเสียการยอมรับจากผู้บริโภค

การเกิดกลิ่นที่ไม่ปกติ (Off flavour) โดย Maillard reaction และการเกิดการเหม็นหืนโดย การเกิดออกซิเดชันพวกน้ำมันและไขมัน อีกทั้งยังทำให้เกิดสีที่ไม่ต้องการจากปฏิกิริยา Maillard reaction ทำให้เกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคไม่ต้องการ

#### 2. สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการอาหารและวิตามิน

ในช่วงค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ของอาหารกึ่งแห้งก่อให้เกิด Maillard reaction ร่วมกับการเกิดออกซิเดชันสารประกอบพวกกรดแอสคอร์บิกได้อย่างรวดเร็ว การเกิดสีน้ำตาลจะทำให้สูญเสียคุณค่าทางอาหารมีการสูญเสียน้ำตาล โดยเฉพาะมีการสูญเสียกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น ไลซีน ซึ่งเป็น Basic amino acid ที่สำคัญอีกทั้งมีการสูญเสียกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบด้วย

#### 3. อาจเกิดความเป็นพิษได้

ได้มีการศึกษานำเอาผลิตภัณฑ์ที่เกิด Maillard reaction ไปให้หนูทดลองกิน จะทำให้หนูทดลองมีน้ำหนักลดลง จะเกิด Organ enlargement อีกทั้ง Pregnancy ไม่ทำงานจะเห็นได้ว่าเมื่อ Glucose/amino acid system ถูกความร้อน Lysine จะลดลงจาก 20 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักหนู

เป็น 4.1 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักหนู ดังนั้นในการผลิตอาหารกึ่งแห้ง การเก็บรักษาที่ควรจะต้องคำนึงถึงอย่างมากเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะเกิดขึ้น

### การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ของอาหารกึ่งแห้ง

#### การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแห้งเนื่องจากแบคทีเรีย

การยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการในอาหารกึ่งแห้งไม่เพียงแต่เป็นการลดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ไม่เหมาะแก่การเจริญเติบโตเท่านั้น ยังขึ้นกับอิทธิพลของอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง สารกันเสีย และพวก Competitive microflora ถ้าหากปรับค่าต่าง ๆ ไม่ให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้

แบคทีเรียที่ทำให้อาหารเป็นพิษ ที่สามารถทนทานต่อค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำ ๆ ได้ และมีความสำคัญมากคือ *Staphylococcus aureus* ในสถานะที่ไม่ต้องการอากาศ จุลินทรีย์นี้จะถูกยับยั้งที่ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า 0.91 แต่ถ้าหากสถานะที่ต้องการอากาศจุลินทรีย์นี้จะถูกยับยั้งที่ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า 0.86 ดังนั้นในอาหารกึ่งแห้งที่มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า 0.86 จึงไม่มีปัญหาเรื่องนี้ แต่เนื่องจากเชื้อนี้มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำ จะมีช่วง Lag phase ที่ยาวออกไป แต่เมื่อสภาพเหมาะสม เชลของเชื้อนี้อาจจะเกิดการเจริญเป็น Growth curve ใหม่ได้

เชื้อ *Salmonella* มีความสำคัญต่ออาหารกึ่งแห้ง ในกรณีที่พบเชื้อนี้ในส่วนประกอบที่ใช้ในสูตรการผลิตอาหารกึ่งแห้ง ซึ่ง *Salmonella* นี้ทนต่อความร้อนในระหว่างการผลิตอาหารกึ่งแห้ง อาจจะมีปัญหาต่อการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อดังกล่าวได้

#### การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแห้งเนื่องจากเชื้อรา

อาหารที่มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์มากกว่า 0.90 โดยทั่วไปมักจะเกิดการเสื่อมเสีย เนื่องจากจากจุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรียมากกว่าที่จะเสื่อมเสียเนื่องจากยีสต์และเชื้อรา แต่ถ้าหากน้ำที่เป็นประโยชน์ของอาหารลดลงต่ำกว่าระดับนี้ ปัญหาการเสื่อมเสียเนื่องจากยีสต์และเชื้อราจะเกิดขึ้น เชื้อราที่มีแนวโน้มต่อการเสื่อมเสียของอาหารกึ่งแห้งมากในระหว่างการเก็บรักษา ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง



กับอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อราในอาหารแห้งคือ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา และองค์ประกอบในอาหาร

เชื้อราพวก Xerophilic microfungi เมื่อเจริญในสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการสร้างสารพิษ เชื้อก็จะสร้างสารพิษที่มีโทษต่อชีวิตของมนุษย์ เช่น Aflatoxin, Ochratoxin และ Fusarenon-x เป็นต้น

สารพิษจากเชื้อรานี้เป็นปัญหาอย่างมากต่อการพัฒนาอาหารกึ่งแห้ง วิธีการการเกิดสารพิษอาจเกิดการปะปนมาในอาหารเลยก็ได้ แต่บางครั้งก็อาจเกิดในอาหารที่มีเชื้อราและเกิดการสร้างสารพิษขึ้นมาทีหลังเมื่อมีการเก็บรักษาในสภาพสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการสร้างสารพิษ

#### การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแห้งเนื่องมาจากยีสต์

อาหารจำพวกกึ่งแห้งมีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ประมาณ 0.60-0.85 ในขอบเขตนี้พวกแบคทีเรียไม่สามารถเจริญได้ ยีสต์กับราส่วนใหญ่ก็จะถูกยับยั้งเช่นกัน แต่บางสายพันธุ์จะมีความทนทานต่อความเข้มข้นของสารละลายที่สูง หรือมีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ที่ต่ำได้ อย่างไรก็ตามมีรายงานว่ายีสต์ประเภทที่เป็นพิษจะไม่เจริญเติบโตที่ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำ ดังนั้นสิ่งที่จะเกิดขึ้นก็มีแต่การเป็นสาเหตุให้อาหารเกิดการเน่าเสียเท่านั้น ยีสต์ที่สามารถเจริญได้ที่ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำ เช่น Osmophilic yeast

#### การผลิตและการเก็บรักษาอาหารกึ่งแห้ง

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารกึ่งแห้ง ควรมีปริมาณจุลินทรีย์ที่ต่ำกว่าโดยเฉพาะแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อราที่ทนต่อค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ำ ๆ วัตถุดิบที่เตรียมเพื่อผลิตอาหารกึ่งแห้งควรมีการให้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ ในขณะเดียวกันเพื่อทำลายเอนไซม์บางอย่างที่ทำให้อาหารมีกลิ่นและรสชาติเสียไป

2. การเตรียมอาหารกึ่งแห้งควรให้ความร้อนแก่วัตถุดิบในสภาพสุญญากาศที่ดีก่อนในขั้นตอนแรกและภายใต้ความเย็นในบางขั้นตอน เพื่อเป็นการลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น



3. ผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งที่ผู้บริโภครับควรมีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า 0.85 ความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 5 เพราะเป็นการป้องกันมิให้เกิดความเป็นพิษเนื่องจาก *S. aureus*
4. อาหารหรือผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งควรบรรจุในภาชนะที่มีการป้องกันออกซิเจนเข้าออกได้ Low redox potential สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราซึ่งเป็นตัวการที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียและเกิดสารพิษได้
5. การใช้ Fungistatic substances เช่น กรดซอร์บิก โพรพิลีนไกลคอล กลีเซอรอล และ พาราเบน จะช่วยปรับปรุงให้ผลิตภัณฑ์มีความคงทนต่อยีสต์และเชื้อราได้มากขึ้น
6. ควรมีการศึกษาถึง Competitive microflora เพราะจุลินทรีย์พวกนี้ทำให้เกิดความคงทนต่อจุลินทรีย์ในอาหารกึ่งแห้งได้
7. มีความเป็นไปได้หากจะเก็บอาหารกึ่งแห้งที่อุณหภูมิห้อง แต่การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพอาจเกิดขึ้น รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงกลิ่น รสชาติ การเสื่อมคุณภาพ และการเน่าเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น ดังนั้นถ้าหากจะยืดอายุการเก็บรักษาอาหารกึ่งแห้งควรเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง

#### ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร (Browning reaction in foods)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในอาหารและผลิตภัณฑ์อาหารมี 2 แบบ คือ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction) และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction) ซึ่งจะเกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปและระหว่างการเก็บรักษา (นิธิยา, 2544)

#### ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ เป็นปฏิกิริยาของสารประกอบโมโนฟีนอลที่อยู่ในพืชและอาหารทะเล ในภาวะที่มีออกซิเจนในอากาศและเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Poly Phenol Oxidase; PPO) จะเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซีเลชันได้เป็นออร์โท-ไดฟีนอล (*o*-diphenol) และจะถูกออกซิไดส์ต่อไปได้เป็นออร์โท-ควิโนน (*o*-quinone)

เอนไซม์ PPO อาจมีชื่อเรียกว่า ไทโรซิเนส (Tyrosinase) ไดฟีนอลออกซิเดส (o-diphenol oxidase) หรือแคทีคอลออกซิเดส (Catechol oxidase) สารประกอบฟีนอลที่ถูกออกซิไดส์ได้ด้วยเอนไซม์ PPO ได้แก่ แคทีชิน (Catechins) เอสเทอร์ของกรดซินนามิก (Cinnamic acid ester) 3,4-ไฮดรอกซีฟีนิลอะลานีน (3,4-Hydroxyphenylalanine หรือ DOPA) และไทโรซีน ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับเอนไซม์ PPO อยู่ในช่วง 5-7 เป็นเอนไซม์ที่ไม่คงตัว ถูกทำลายได้ด้วยความร้อน และถูกยับยั้งได้ด้วยกรดแฮไลด์ (Halides) กรดฟีนอลิก ซัลไฟต์ คีเลตติ้งเอเจนต์ (Chelating agents) และรีดิวซิงเอเจนต์ (Reducing agents) เช่น กรดแอสคอร์บิก และซิสเตอีน (Cysteine) เป็นต้น



ภาพ 2.7 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์  
ที่มา : นิธิยา (2544)

ควิโนนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮดรอกซีเลชันและออกซิเดชัน จะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลอื่น ๆ หรือกับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาลโดยไม่ต้องอาศัยเอนไซม์เป็นตัวเร่ง การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์นี้เป็นปัญหาสำคัญที่เกิดกับสินค้าสำคัญหลายชนิด โดยเฉพาะอาหารจำพวกผลไม้ ผักและอาหารทะเล การเกิดการเปลี่ยนสีทำให้อาหารมีอายุการเก็บจำกัด และเป็นปัญหาในการผลิต ผัก ผลไม้แห้ง และแช่แข็ง

การเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ในผักและผลไม้สามารถควบคุมได้โดยการลวกเพื่อทำให้เอนไซม์ PPO ไม่สามารถทำงานได้ แต่การลวกไม่สามารถนำมาใช้ได้กับผลิตภัณฑ์บางอย่าง เพราะอาจมีผลเสียต่อ กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้วิธีอื่นเช่น การกำจัดออกซิเจนและการใช้สารยับยั้งชนิดต่าง ๆ (ประสาร, 2538)

## ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่เอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เอนไซม์หรือปฏิกิริยาเมลลาร์ด จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารได้รับความร้อน มีการสูญเสียน้ำ (Dehydration) มีการสลายตัว (Degradation) และมีการรวมตัวกัน (Condensation) พัฒนาเป็นสารสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลและน้ำตาลแดง มีกลิ่นและรสชาติเฉพาะ ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง

การจำแนกชนิดของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เอนไซม์

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เอนไซม์ สามารถจำแนกย่อยออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การเกิดคาราเมลเซชัน (Caramelization)
2. การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซิงกับหมู่เอมีน ที่อยู่ในโมเลกุลของ แอมโมเนีย กรดอะมิโน หรือโปรตีน เป็น Carbonyl-amine reaction

อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาทั้งสอง มี intermediate และผลิตภัณฑ์สุดท้ายเหมือนกัน

### คาราเมลเซชัน

คาราเมลเซชัน เป็นการให้ความร้อนสลายโมเลกุลให้แยกออก (Thermolysis) และเกิดโพลีเมอร์เซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้สารเริ่มต้นจะเป็นน้ำตาลเท่านั้น เช่น การเผาน้ำตาลซูโครสที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส น้ำจะถูกกำจัดออกไปเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน สารประกอบที่เกิดขึ้นใหม่จะมีพันธะคู่และเป็นวงแหวน (Anhydro ring) มีความขุ่นหนืด และมีสีเข้มขึ้น พันแปรตามระยะเวลาและระดับอุณหภูมิที่ใช้ สารสีที่เกิดจากปฏิกิริยาคาราเมลเซชันของน้ำตาลเพียงอย่างเดียวจะประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน เรียกว่า คาราเมล (Caramel)

### ปฏิกิริยาเมลลาร์ด

เมื่อน้ำตาลแอลโดสที่เอคิตอส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซิงได้รับความร้อนในภาวะที่มีน้ำ ( $a_w > 0.2$ ) กับเอมีนจะทำให้เกิดสารประกอบต่าง ๆ มากมาย ซึ่งมีผลต่อสี กลิ่น และรสชาติของอาหารและอาจเป็นสิ่งที่พึงประสงค์หรือไม่พึงประสงค์ก็ได้ ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดขึ้น ขณะทอด

อบ-ปิ้ง-ย่าง หรือระหว่างเก็บรักษาอาหาร น้ำตาลรีดิวซิง จะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโน และโปรตีน ได้เป็นกลัยโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาลเรียกว่า ปฏิกิริยามेलลาร์ด หรือ Non-enzymatic browning ซึ่งต่างจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์

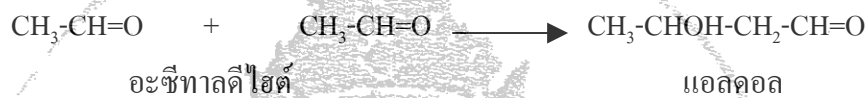
ขั้นตอนของปฏิกิริยามेलลาร์ดมีดังนี้

1. น้ำตาลรีดิวซิงทั้งคีโตสและแอลโดสจะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นกลัยโคซิลเอมีน
2. เกิดปฏิกิริยาดิไฮเดรชันได้เป็นอิมิน (Imines หรือ Schiff base) และมีการเรียงตัวใหม่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Amadori rearrangement ได้เป็นแอลโดสเอมีน (Aldoseamine) หรือ คีโตสเอมีน (Ketoseamine) เรียกว่า Amadori products เช่น 1-อะมิโน-1-ดีออกซี-คีโตส ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ เมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 หรือต่ำกว่า
3. เกิดปฏิกิริยา Enolization ของ Amadori products ได้เป็นไดคิโตสเอมีน หรือ ไดอะมิโนซูการ์ เช่น 3-ดีออกซีเฮกโซซูโลส
4. เกิดปฏิกิริยาดิไฮเดรชันต่อได้เป็นอนุพันธ์ของฟูเรน (Furan) ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซส อนุพันธ์ฟูเรน คือ 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟรัลดีไฮด์ (5-Hydroxymethyl-2-furaldehyde หรือ HMF)
5. อนุพันธ์ฟูเรนวงแหวน เช่น HMF จะเกิดโพลีเมอร์ไรซ์อย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายน้ำ ซึ่งต่างจากการเกิดคาราเมลไลเซชันซึ่งมีน้ำตาลเพียงอย่างเดียว สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนี้จึงเรียกว่า เมลานอยดิน (Melanoidins) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาโมลต่อโมล (Mole per mole reaction)

ข้อเสียของปฏิกิริยามेलลาร์ด คือทำให้กรดอะมิโนไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็น ทั้งที่อยู่ในรูปอิสระและที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของโปรตีนลดน้อยลง ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบนี้จะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลงด้วย นอกจากนี้ หากเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูงและได้รับความร้อนสูงด้วย ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นสาร Heterocyclic amine ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง

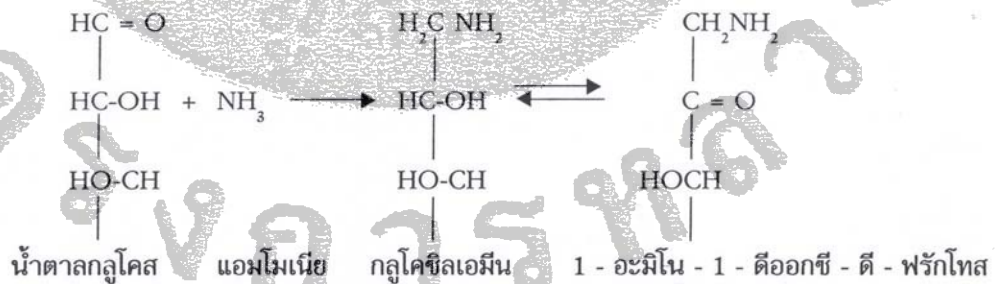
สำหรับการเกิดปฏิกิริยามेलลาร์ดของน้ำตาลฟรุคโตส จะเกิดปฏิกิริยาไดแอนไฮไดรด์ (Dianhydrides) และเกิดสีน้ำตาลในภายหลังเช่นเดียวกัน สารอินเทอร์มีเดียตของปฏิกิริยา คือ ดีออกซีแอลโดซูโลส (Deoxyaldosulose) ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็น 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอรอลดีไฮด์ ปฏิกิริยาเริ่มต้นจะเป็น Sugar enolization หลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสารอินเทอร์มีเดียตคือ ดีออกซี-

แอลโดซูโลส ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นกรดแซคคารินิก (Saccharinic acid) แทนที่จะเป็นเฟอราลดีไฮด์ และเมื่อได้รับความร้อนต่อไปอีกก็จะเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกันได้เป็นสารสีน้ำตาล ซึ่งทั้งสองกรณีที่เกิดขึ้นโมเลกุลของน้ำตาลจะสลายตัวและสูญเสียน้ำ เพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบคีโตน กรดอินทรีย์และเอสเทอร์ ซึ่งสารเหล่านี้จะทำให้เกิดกลิ่น และเมื่อเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันก็จะกลายเป็นสารสีน้ำตาล กลไกการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน เป็นแอลดอลคอนเดนเซชัน (Aldol condensation) มีดังนี้



การทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนิลมีได้มากมาย โดยใช้วิธีทางต่าง ๆ สารที่เกิดขึ้น เช่น รีดักโทน (Reductones) ไดออกซีเฮกโซไซโชน (Deoxyhexosones) และเฟอราลดีไฮด์ เช่น กลิ่นของผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการคั่วหรืออบ สารให้กลิ่นที่เกิดขึ้นจะเป็นไพราซีน (Pyrazines) และอิมิดาโซล (Imidazoles) ดังนั้นสารที่ให้กลิ่นและรสชาติซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของสารประกอบคาร์บอนิลกับเอมีน จึงค่อนข้างจะผันแปรขึ้นอยู่กับชนิดของเอมีนที่จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบคาร์บอนิลด้วย

ตัวอย่างปฏิกิริยาของน้ำตาลกลูโคสรวมกับแอมโมเนียแล้วเกิดการเรียงตัวใหม่ดังนี้



สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหาร ถ้ามีแอมโมเนียอิสระจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบคาร์บอนิลก่อน ส่วนหมู่เอมีนอาจได้มาจากกรดอะมิโน เปปไทด์ โปรตีน และวิตามินบีหนึ่ง หรือไทอะมีน หากปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง จะทำให้ได้สารสีน้ำตาลเข้มและจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาคาร์บอกซิเลชันของกรดอะมิโนด้วย ซึ่งเรียกว่า Strecker degradation โดยกรดอะมิโนจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบไดคาร์บอนิลได้ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



Strecker aldehydes ที่เกิดขึ้นจะมีบทบาทต่อกลิ่นและรสชาติของอาหารเท่า ๆ กับสารที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบอื่น

สารประกอบคาร์บอนิลและเอมีนที่มีความคงตัวต่ำและสลายตัวได้ง่าย จึงเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ที่อุณหภูมิห้อง เช่นระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร น้ำตาลรีดิวซิง เช่น น้ำตาลกลูโคสและฟรุคโทสจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลชนิดนอน-รีดิวซิง เช่น น้ำตาลซูโครสจนกว่าน้ำตาลซูโครสจะถูกไฮโดรไลสเป็นน้ำตาลรีดิวซิง สำหรับน้ำตาลรีดิวซิงแต่ละชนิดน้ำตาลฟรุคโทสเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลกาแลกโทสและกลูโคส ตามลำดับ

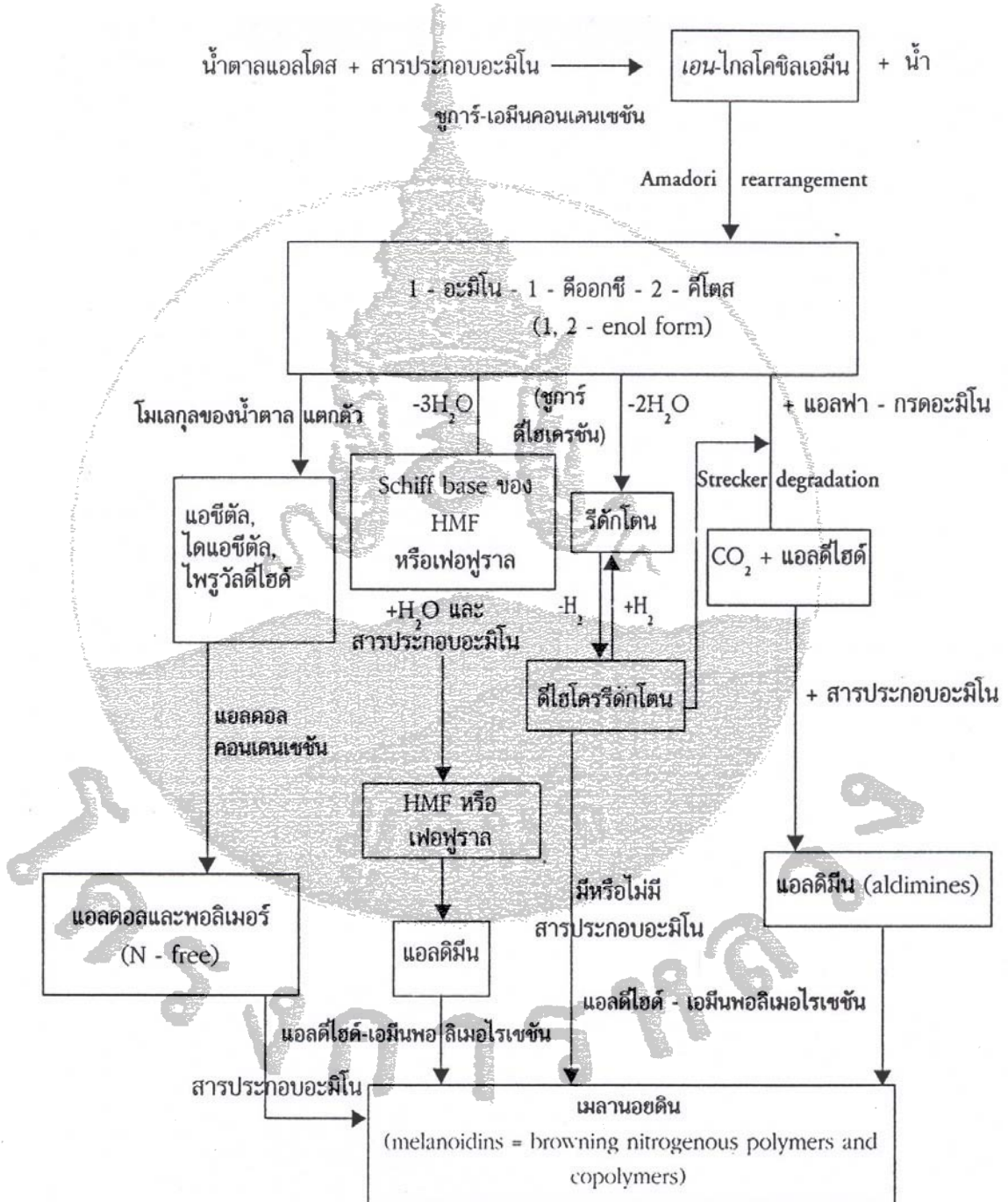
กรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นด่าง เช่น ไลซีนและกรดอะมิโนที่เป็นอนุพันธ์เอไมด์ เช่น แอสปารจีนและกลูตามีน จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่ากรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นกลาง อัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถ้าในอาหารมีน้ำตาลฟรุคโตสจะทำให้อัตราเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 5-10 เท่า การเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิต่ำ สามารถชะลอปฏิกิริยาเมลลาร์ดให้ช้าลงได้ ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนิลกับเอมีนยังสามารถยับยั้งได้เมื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่างให้ต่ำลง เช่น ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 น้ำตาลจะมีความคงตัวมากที่สุด

น้ำหรือ  $a_w$  ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด แต่เมื่อมีน้ำเพียงเล็กน้อยปฏิกิริยาเมลลาร์ดก็จะเกิดขึ้นทันที อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะช้าลงอีกครั้งเมื่อมีปริมาณน้ำมากจนทำให้สัณฐานตื้นเจือจางลง ซึ่งปริมาณน้ำสูงสุดสำหรับปฏิกิริยาสีน้ำตาลคือประมาณร้อยละ 30

ออกซิเจนไม่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ดนอกจากออกซิเจนจะช่วยออกซิไดส์สารอื่นให้เป็นรูปที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจึงเกิดขึ้นได้ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ส่วนแร่ธาตุที่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้แก่ อีออนทองแดง เหล็ก และสังกะสี (นิริยา, 2543)



ขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เอนไซม์สรุปได้ดังนี้



ภาพ 2.8 แผนภูมิแสดงขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์  
ที่มา : นิธิยา (2544)

## การควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล

ปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนในการทำให้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ไม่ได้มาตรฐาน คือ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ทำให้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้มีสีผิดปกติเกิดขึ้น ซึ่งดูแล้วยไม่น่าบริโภค หรืออาจเป็นสาเหตุให้กลีณรสเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ การแก้ไขอาจทำได้โดยการใช้กรรมวิธีการแปรรูปอาหารหรือวัตถุดิบอาหาร เช่น

### 1. ซัลไฟต์ (Sulfites)

สารประกอบจำพวกซัลไฟต์นั้นมีประสิทธิภาพสูงมากในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาล แต่มี การควบคุมการใช้อย่างเข้มงวด เนื่องจากมีผลเสียต่อสุขภาพ

สารประกอบจำพวกซัลไฟต์ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide) โซเดียมซัลไฟต์ (Sodium sulfite) โซเดียมไบซัลไฟต์ (Sodium bisulfite) โพแทสเซียมไบซัลไฟต์ (Potassium bisulfite) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulfite) และโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (Potassium metabisulfite) สารเหล่านี้ถูกนำมาใช้เป็นเวลานานแล้วเพื่อวัตถุประสงค์ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทั้งจากเอนไซม์และไม่เอนไซม์ ควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ใช้เป็นสารฟอกสี (Bleaching agent) ใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidant) หรือใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดการรีดิวซ์ และใช้ในวัตถุประสงค์อื่น ๆ ทางด้านเทคนิคอีกหลายอย่าง

ซัลไฟต์ทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) และยังทำปฏิกิริยากับ สารตัวกลาง (Intermediates) ของปฏิกิริยาเพื่อป้องกันการเกิดเม็ดสีสีน้ำตาล ซัลไฟต์สามารถยับยั้ง การเกิดสีน้ำตาลแบบไม่เอนไซม์ โดยการทำปฏิกิริยากับสารตัวกลางที่มีกลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl intermediate) จึงสามารถป้องกันไม่ให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปแล้วเกิดเป็นสารสีน้ำตาล

ปริมาณการใช้ซัลไฟต์ในอาหารนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้และความต้องการ และเมื่อใช้แล้วจะต้องมีปริมาณที่ตกค้างอยู่ไม่เกินหลายร้อยส่วนต่อล้านส่วน แต่สามารถตกค้างได้ สูงถึง 1,000 ส่วนในล้านส่วน ในผลิตภัณฑ์จำพวกผักและผลไม้บางอย่าง FDA ได้กำหนดปริมาณ สารตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้สูงสุดที่ 300, 500 และ 2,500 ส่วนในล้านส่วน ในน้ำผลไม้ มั่นฝรั่งแห้ง (Dehydrated potatoes) และผลไม้แห้ง (Dried fruit) ตามลำดับ (ประสาร, 2538)



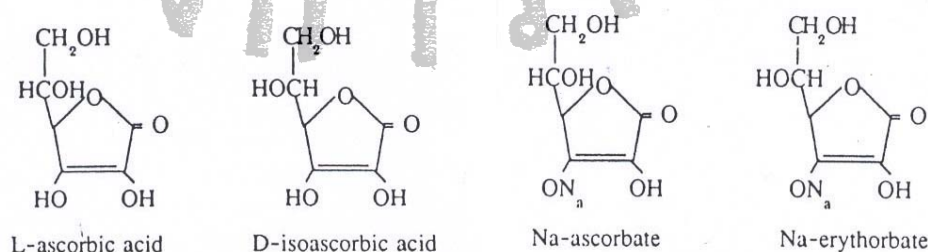
สำหรับความปลอดภัยในการใช้ซัลไฟต์ FDA ได้รับรายงานว่าการบริโภคอาหารที่มีซัลไฟต์ก่อให้เกิดปฏิกิริยาการแพ้ที่รุนแรง โดยซัลไฟต์จะทำให้เกิดการหอบหืดในประชากรบางส่วนที่เป็นโรคนี้ และบางกรณีอาจเกิดการหอบหืดอย่างรุนแรงหรือแม้กระทั่งเกิดปฏิกิริยาการแพ้เช่นเดียวกับโรคภูมิแพ้ หรือแพ้ยาล

ในปี 1959 สารจำพวกซัลไฟต์ได้ถูกจัดอยู่ในบัญชีของ GRAS (Generally Recognized as Safe) เป็นสารที่มีความปลอดภัยต่อมนุษย์ เพื่อใช้เป็นสารกันเสียในปี 1986 FDA ได้ยกเลิกสถานะ GRAS ของซัลไฟต์ในผลไม้และผักส่วนใหญ่ที่กินสดหรือขายสดให้กับผู้บริโภค สารประกอบซัลไฟต์ไม่จัดอยู่ใน GRAS ในการใช้กับเนื้อสัตว์ หรือผลไม้ หรือผักที่ใช้บริโภคสดหรือขายสดแก่ผู้บริโภค

สำหรับปริมาณที่อนุญาตให้ใช้ได้ในการนั้น ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 อนุญาตให้ใช้กรดซัลฟูรัส หรือโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ หรือโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ หรือโซเดียมไบซัลไฟต์ หรือโพแทสเซียมไบซัลไฟต์ หรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยคำนวณในรูปซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และอนุญาตให้ใช้ในผลไม้แห้งและผักแห้งได้ในปริมาณสูงสุดไม่เกิน 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (คิวพร. 2535)

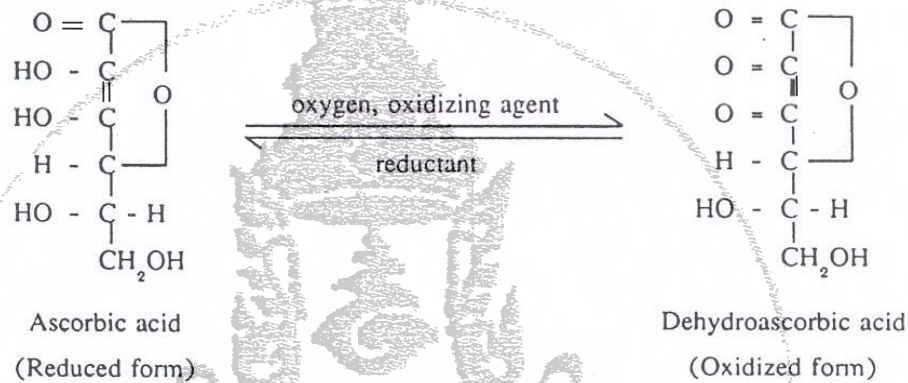
## 2. กรดแอสคอร์บิกและอนุพันธ์

กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) หรือวิตามินซีเป็นสารที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง โครงสร้างประกอบด้วย Stereochemical isomer อีก 3 ชนิด แต่มีไอโซเมอร์เพียงชนิดเดียวที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารคือ D-isoascorbic acid หรือ Erythorbic acid ส่วน sodium-isoascorbic acid เรียกว่า Sodium erythorbate สูตรโครงสร้างแสดงดังภาพ 2.9



ภาพ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของกรดแอสคอร์บิกและไอโซเมอร์  
ที่มา : มณฑาทิพย์ (2539)

กรดแอสคอร์บิกอาจเป็นสารที่ใช้แทนซัลไฟด์ที่รู้จักกันดีที่สุด เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะกรดแอสคอร์บิกสามารถรีดิวซ์สารควิโนนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารโพลีฟีนอลด้วยการกระทำของ PPO ให้กลับมาอยู่ในรูปสารประกอบฟีนอลตามเดิมก่อนที่สารควิโนนจะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็นสารสีน้ำตาล



ภาพ 2.10 ปฏิกิริยาการผันกลับของกรดแอสคอร์บิกและกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก  
ที่มา : มณฑาทิพย์ (2539)

อย่างไรก็ตามเมื่อกรดแอสคอร์บิกถูกออกซิไดส์จนกลายเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (Dehydroascorbic acid; DHAA) ทั้งหมดแล้ว ดังภาพ 2.10 สารควิโนนก็จะเกิดสะสมมากขึ้นและดำเนินไปจนเป็นสารสีน้ำตาลได้ และอีกอย่างคือตัว DHAA เองสามารถเกิดปฏิกิริยาให้สีน้ำตาลได้โดยไม่ใช้ปฏิกิริยาของเอนไซม์ แต่ที่ระดับความเข้มข้นสูงวิตามินซีสามารถยับยั้งการทำงานของ PPO ได้

มีการใช้กรดแอสคอร์บิกและไอโซเมอร์ของมันคือกรดอีริทอร์บิกในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในผลไม้สดและแช่แข็ง เช่น แอปเปิ้ลและท้อ มาเป็นเวลานานเกือบ 50 ปีมาแล้ว โดยเติมกรดแอสคอร์บิกและไอโซเมอร์ของมันลงในน้ำเชื่อม หรือเตรียมเป็นสารละลายสำหรับเคลือบผลไม้ นอกจากนี้ยังมีการใช้ร่วมกับกรดซิตริกและเกลือแคลเซียม รวมทั้งมีการใช้ระบบสุญญากาศช่วยดูดอากาศออกจากช่องว่างของผลิตภัณฑ์เพื่อให้สารละลายของสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลกระจายอย่างทั่วถึงในผลิตภัณฑ์ (ประสาร, 2538)

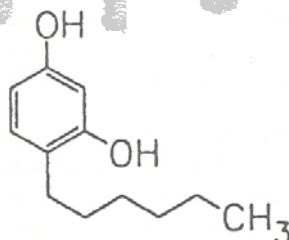
### 3. สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO (PPO inhibitors)

มีสารหลายชนิดที่สามารถยับยั้งการทำงานของ PPO ได้ แต่มีเพียงไม่กี่ชนิดที่ถูกพิจารณาใช้แทนซัลไฟต์ เช่น กรดซินนามิก (Cinnamic acid) และกรดเบนโซอิก (Benzoic acid) ซึ่งให้ผลดีมากเมื่อใช้ร่วมกับกรดแอสคอร์บิกในผลิตภัณฑ์น้ำแอปเปิล สารยับยั้งเหล่านี้ยังใช้ได้ผลดีกับพื้นผิวตัดของผลแอปเปิล

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide; CO) เป็นสารหนึ่งที่ถูกเสนอให้ใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในเห็ดชนิดต่าง ๆ โดยการบรรจุเห็ดในภาชนะที่มีการดัดแปลงบรรยากาศ (Modified atmosphere) ให้มี CO อยู่ด้วยซึ่งจะต้องใช้ความระมัดระวังไม่ให้เกิดการรั่วไหลของ CO และจะต้องตรวจวัดระดับ CO อยู่เสมอเพื่อความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุเห็ด

มีการใช้สาร 4-เฮกซิลเรโซซินอล (4-Hexylresorcinol) เป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกุ้งและผักและผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิล มันฝรั่ง อะโวคาโด และน้ำองุ่นเป็นต้น สารนี้มีประสิทธิภาพในการใช้งานเมื่อใช้ในปริมาณ 5-50 ส่วนในล้านส่วนและมีความปลอดภัยเนื่องจากการบริโภคสารชนิดนี้มาเป็นเวลานานแล้ว (Frankos *et al.*, 1991)

อนุพันธ์ของ resorcinol เป็นสารประกอบ *m*-diphenols ซึ่งจะไปยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้โดยทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งแบบแข่งขัน (Competitive inhibitor) กับ PPO เนื่องจากมีโครงสร้างคล้ายกับฟีนอลิกที่เป็นสารตั้งต้น โครงสร้างของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล แสดงดังภาพ 2.11 ส่วนที่เป็น Hydrophobic ในตำแหน่งที่ 4 ของ Aromatic resorcinol ring เช่น Hexyl, Dodecyl และ Cyclohexyl จะเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้ง PPO (Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1995)



ภาพ 2.11 โครงสร้างของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล

ที่มา : Kleemann, A. (1999)

4-เฮกซิลเรโซซินอล เป็นสารที่มีความปลอดภัยต่อมนุษย์ (Generally Recognized as Safe ; GRAS) และมีประสิทธิภาพมากกว่าซัลไฟต์ เมื่อเทียบปริมาณการใช้เป็นน้ำหนักต่อน้ำหนัก (Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1995) 4-เฮกซิลเรโซซินอล เป็นส่วนประกอบหนึ่งในสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทางการค้าที่ชื่อ EverFresh (Lambrecht, 1995) ปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลที่นำมาใช้กับแอปเปิลอยู่ในช่วง 200-500 ส่วนในล้านส่วน (Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1993 ; Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1995) และปริมาณที่ใช้กับลูกแพร์ คือ 50- 100 ส่วนในล้านส่วน (Saper *et al.*, 1998 ; Dong *et al.*, 2000)

นอกจากนี้ยังพบว่า กรดโคจิก (Kojic acid) ที่ได้จากเชื้อราที่มีคุณสมบัติยับยั้ง PPO โดยการรบกวนการรับออกซิเจนของ PPO และยังมีวิตามินซีและวิตามินอีเป็นสารไดฟีนอล ทำให้ไม่มีการสร้างสารที่มีสีน้ำตาลขึ้นมา แม้ว่าสารนี้จะแสดงศักยภาพในการเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในทางปฏิบัติ แต่ก็ยังมีจุดที่ไม่ชัดเจนเกี่ยวกับคุณสมบัติการเป็นสารก่อการกลายพันธุ์

#### 4. สารที่ก่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complexing agent)

เนื่องจากทองแดงเป็นโลหะที่จำเป็นต่อการทำงานของ PPO ถ้าสามารถกำจัดทองแดงออกไปก็จะยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ สารที่ใช้ในการจับกับโลหะ (Chelating agent) ที่ใช้กันมากคือ เอทิลีนไดเอมีน เตตระอะซีติก แอซิด (Ethylenediamine tetraacetic acid; EDTA) มีการใช้ EDTA ร่วมกับกรดโซเดียมไพโรฟอสเฟต (Sodium acid pyrophosphate) เพื่อควบคุมการเกิดสีคล้ำของมันฝรั่งที่ปอกเปลือกแล้วหลังจากผ่านการหุงต้ม นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดซิตริก (Citric acid) เป็นองค์ประกอบหนึ่งในสูตรสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งกรดซิตริกจะทำหน้าที่จับโลหะและคุณสมบัติที่เป็นกรดก็จะช่วยยับยั้ง PPO ด้วย สารจำพวกแอซิดิกโพลีฟอสเฟต (Acidic polyphosphate) เป็นสารที่สามารถจับโลหะ จึงมีคุณสมบัติยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้โดยเฉพาะในผักและผลไม้หลายชนิด

สารประกอบฟอสเฟตช่วยให้สีของผลไม้คงตัวหรือป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสีหลังการแปรรูป ตัวอย่างเช่นในการผลิตผักหรือผลไม้กระป๋องหรือผักหรือผลไม้แช่เยือกแข็งให้มีสีสวยนั้น อาจทำได้โดยการใช้ไดโซเดียมฟอสเฟตช่วยควบคุมความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีสวยขึ้น หรือในการเปลี่ยนแปลงสีในผลิตภัณฑ์มันเทศ ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์กระป๋องหรือแช่เยือกแข็งนั้นจะลดลงได้ ถ้ามีการใช้โซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟตหรือโซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟตผสมกับเทตราโซเดียมไพโรฟอสเฟต (สิวาพร, 2535)

### 5. กรดอะมิโนที่ประกอบด้วยหมู่ซัลไฟไธดริล (Sulfhydryl – containing amino acid)

เป็นที่ทราบกันมานานแล้วว่า กรดอะมิโนซิสเทอีน สามารถยับยั้งการทำงานของ PPO ได้ โดยที่ซิสเทอีนไปทำปฏิกิริยากับสารควิโนน แล้วเกิดเป็นสารประกอบที่มีความคงตัวและไม่มีสี จึงได้มีการใช้ซิสเทอีนเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในทางการค้ามาจนถึงทุกวันนี้ จากการศึกษาเมื่อไม่นานมานี้พบว่าสารรีดิวซ์กลูตาไทโอน (Reduced glutathione) และ เอ็น – อะเซทิล ซิสเทอีน (n – acetyl cysteine) มีประสิทธิภาพเกือบจะเท่ากับสารจำพวกซัลไฟด์ ในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิ้ล มันฝรั่งและน้ำผลไม้สดหลายชนิด

### 6. สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลชนิดอื่น ๆ (Other browning inhibitors)

สารประกอบอนินทรีย์จำพวกเฮไลด์สามารถยับยั้ง PPO ได้ เช่น โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride; NaCl) ซึ่งเป็นสารหนึ่งที่ใช้ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในทางการค้า การใช้โซเดียมคลอไรด์ นั้นถูกจำกัดด้วยรสเค็มของตัวเอง ซิงค์คลอไรด์ (Zinc chloride) ก็เป็นสารหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ กรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิก

สารเคลือบที่รับประทานได้ (Edible coating) ก็สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ในชิ้นเห็ดได้ และพบว่าสารเคลือบจำพวกโพลีแซคคาไรด์ที่มีซัลเฟต (Sulfate polysaccharide) หลายชนิดได้แก่ คาร์ราจีแนน (Carrageenan) อะไมโลสซัลเฟต (Amylose sulfate) และ ไซแลนซัลเฟต (Xylansulfate) สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลอย่างมีประสิทธิภาพในน้ำแอปเปิ้ล และชิ้นแอปเปิ้ล นอกจากนี้ยังมีสารละลาย วิตามินซี และไทโซโทรปิกกัม (Thixotropic gum) เช่น แซนแทน (Xanthan) เป็นสารยึดอายุผักและผลไม้สดที่ใช้ในการทำสลัด โดยที่สารละลายดังกล่าว จะเคลือบผักและผลไม้ไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจน และหรือช่วยเพิ่มปริมาณของวิตามินซี ซึ่งผักผลไม้จะได้รับเมื่อแช่อยู่ในสารละลายดังกล่าว

เอนไซม์โปรตีเอส (Protease) สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับแอปเปิ้ล มันฝรั่งและกุ่ม ตัวอย่างเช่นพบว่าการทำงานของ PPO ในน้ำพลัม (Plum juice) จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อผ่านน้ำพลัมลงไปในคอลัมน์ที่มีเอนไซม์โปรตีเอสที่ถูกตรึงอยู่ (ประสาร, 2538)



## 7. การกำจัดออกซิเจน (Exclusion of oxygen)

ปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลจากเอนไซม์เกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีออกซิเจน ดังนั้นจึงสามารถยับยั้งไม่ให้เกิดปฏิกิริยาได้โดยการแยกออกซิเจนออกจากการสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ วิธีนี้ได้ทำกันมามากกว่า 50 ปีแล้ว โดยการทำให้เกิดสุญญากาศกับชิ้นผลไม้ด้วยการเติมน้ำเชื่อม ซึ่งบางครั้งอาจผสมกรดแอสคอร์บิคลงไปด้วย การทำเช่นนี้ได้ผลดีเฉพาะกับผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่จะนำไปแช่แข็ง

การลดออกซิเจนในบรรยากาศรอบ ๆ ผลิตภัณฑ์บางอย่าง เช่น บรรจุหีบห่อแบบตัดแปลงบรรยากาศ การตัดแปลงสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ แต่ถ้ากำจัดออกซิเจนออกมากเกินไป ก็จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ได้ อันเนื่องมาจากการเกิดเมตาโบลิซึมแบบไม่ใช้ออกาศ ซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสลายและการเกิดกลิ่น รส ที่ผิดปกติ การกำจัดออกซิเจนนั้น ยังเป็นการเสี่ยงต่อการเกิดภาวะที่จะทำให้เชื้อ *Clostridium botulinum* เจริญขึ้นมา และสร้างสารพิษได้ (ประสาร, 2538)

การใช้ซัลไฟต์ในการควบคุมปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลในผักและผลไม้ นั้นยังเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในปัจจุบัน แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในการใช้ซัลไฟต์ ทางอุตสาหกรรมอาหารจึงจำเป็นต้องคิดค้นหาสารอื่น หรือวิธีการอื่น ๆ มาใช้แทนซัลไฟต์ ซึ่งยังไม่พบว่ามีสารใดหรือวิธีการใดที่จะเทียบเท่ากับการใช้ซัลไฟต์ได้ไม่ว่าจะในแง่ประสิทธิภาพ ราคา หรือการออกฤทธิ์

ซัลไฟต์เป็นสารที่ทำหน้าที่หลายอย่างในอาหาร เช่น ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ ช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันและทำหน้าที่อื่น ๆ อีกหลายอย่าง ดังนั้นถ้าจะหาสารอื่นมาแทนซัลไฟต์แล้วคงจะต้องหาสารหลายชนิดมาใช้ร่วมกัน เพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับซัลไฟต์โดยจะต้องคำนึงถึงผลกระทบจากสารเหล่านั้นที่จะเกิดกับผลิตภัณฑ์อาหารในด้านรูปร่าง ลักษณะ สี กลิ่น รส และ เนื้อสัมผัส รวมทั้งไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ในระหว่างการเก็บรักษาด้วย

## การกำจัดน้ำ (Dehydration)

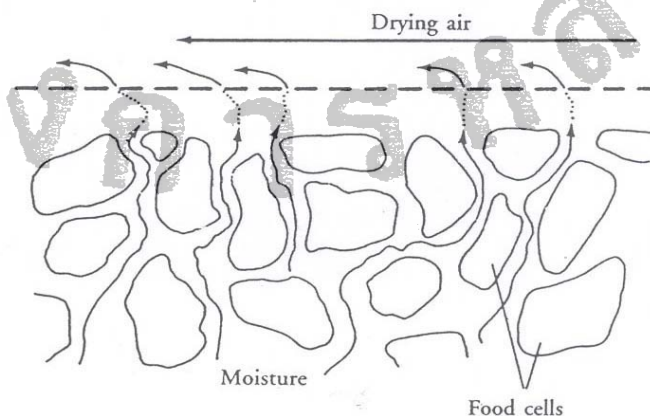
การกำจัดน้ำหรือการทำให้แห้ง (Drying) หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ออกในอาหารโดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของน้ำแข็งในการอบแห้งแบบระเหิด (Freeze drying) วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำคือการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดย

การลดปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ให้ต่ำกว่า 0.7 (สุคนธ์ชื่น, 2539) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ ในกระบวนการทำแห้งทำให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร (วิไล, 2545)

น้ำเป็นสารประกอบที่มีอยู่ในอาหารธรรมชาติทั่วไป คือมีอยู่ระหว่างร้อยละ 7-95 น้ำที่อยู่ในอาหารมักเรียกว่า “ความชื้น” น้ำเป็นส่วนประกอบหลักของอาหารทุกชนิดโดยอยู่ในรูปอิสระ (Free water) และเกาะเกี่ยวกับสารอื่น (Bound water) น้ำอิสระเป็นน้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างของอาหาร อาจมีการเกาะตัวกับองค์ประกอบของอาหารด้วยแรงที่ไม่แข็งแรงมากนัก มีคุณสมบัติเหมือนน้ำปกติ สามารถเป็นตัวทำละลายได้ มีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีและจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการดำรงชีวิตได้ แต่น้ำส่วนนี้ก็ยังมีคุณสมบัติไม่เหมือนกับน้ำอิสระในธรรมชาติอย่างแท้จริง

#### กลไกการทำแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวนอกของอาหาร ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำ (Latent heat of vaporization) จะทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำ และแพร่ผ่านฟิล์มอากาศ และถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ ดังแสดงภาพ 2.12 ทำให้บริเวณที่ผิวนอกของอาหารมีความดันไอของไอน้ำลดลง เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างอากาศภายนอกกับความชื้นภายในชิ้นอาหาร จึงเป็นแรงขับให้น้ำจากภายในเคลื่อนย้ายออกมาที่ผิวนอกของอาหาร

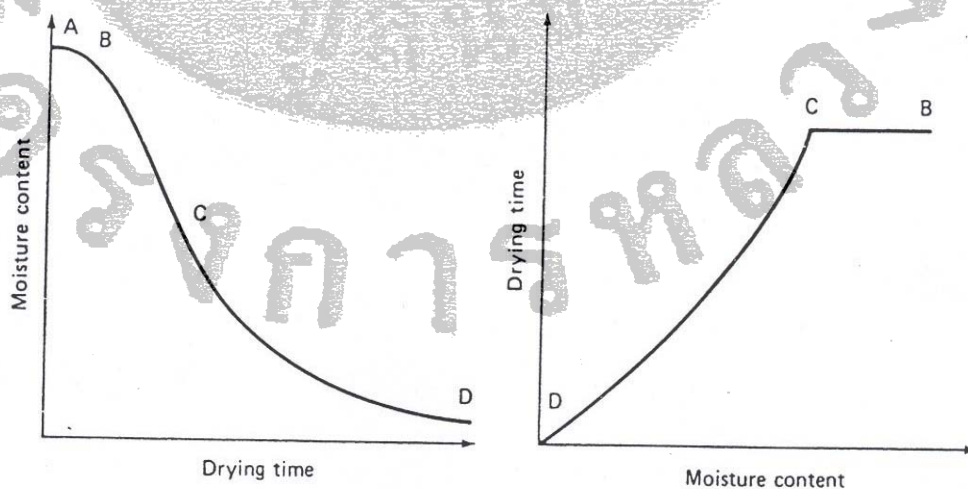


ภาพ 2.12 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง  
ที่มา : วิไล (2545)

เมื่อนำอาหารมาใส่ในเครื่องทำแห้ง ช่วงเวลาสั้น ๆ ตอนเริ่มการอบแห้งจะเป็นเวลาที่ใช้ในการทำให้ผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิระเปาะเปียกซึ่งเป็นช่วง AB ในภาพ 2.13 หลังจากนั้นจะเป็นช่วงการทำให้แห้ง โดยน้ำจะเคลื่อนที่จากด้านในของอาหารออกมาด้วยอัตราเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้า ผิวหน้าจึงยังเปียกอยู่ เรียกช่วงนี้ว่าเป็นช่วงอัตราเร็วคงที่ (Constant rate period, BC) และช่วงต่อเนื่องไปจนถึงความชื้นวิกฤต แต่ในทางปฏิบัติผิวหน้าของอาหารจะค่อย ๆ แห้งด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน และอัตราการทำให้แห้งโดยรวมจะค่อย ๆ ลดลงในช่วงของอัตราเร็วคงที่ จุดความชื้นวิกฤตของอาหารแต่ละชนิดจึงไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปริมาณของอาหารในเครื่องทำแห้ง และอัตราการทำให้แห้ง (สุคนธ์ชื่น, 2539 ; วิไล, 2545)

สมบัติของอากาศขณะที่มีอัตราการระเหยออกของน้ำคงที่ คือ ต้องมีอุณหภูมิระเปาะแห้งสูง มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และอากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง

เมื่อความชื้นของอาหารลดต่ำกว่าความชื้นวิกฤต อัตราการทำให้แห้งก็จะลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ที่ความชื้นสมดุล (ความชื้นในอาหารสมดุลกับความชื้นในอากาศแห้ง) หรือที่เรียกว่าเป็นช่วงอัตราลดลง (Falling-rate period, CD)



ภาพ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการอบแห้งและความชื้นในอาหาร  
ที่มา : วิไล (2545)



### เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer)

เครื่องอบแห้งแบบถาดประกอบด้วยถาดเดี่ยว ๆ ที่มีช่องตาข่ายอยู่ด้านล่างและบุเครื่องด้วยฉนวน ในแต่ละถาดจะบรรจุอาหารชิ้นบาง ๆ ขนาด 2-6 เซนติเมตร อากาศร้อนจะไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้ที่ความเร็วลม 0.5-5 เมตร/วินาที/เมตร<sup>2</sup> ของพื้นที่ผิวของถาด มีระบบท่อหรือแบฟเฟิล เพื่อนำลมร้อนขึ้นไปด้านบน ผ่านแต่ละถาดเพื่อให้ลมร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอ อาจมีการติดตั้งเครื่องทำความร้อนเพิ่มด้านบนหรือด้านข้างของถาดเพื่อเพิ่มอัตราการทำแห้ง นิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดในการผลิตอาหารในปริมาณต่ำ (1-20 ตัน/วัน) หรือสำหรับใช้ในโรงงานต้นแบบ เครื่องอบชนิดนี้ใช้เงินลงทุนและค่าดูแลรักษาต่ำ แต่ควบคุมดูแลยาก และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ (วิไล, 2545)

### เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum dryer)

หลักการโดยทั่วไป เป็นการระเหยน้ำออกจากอาหารภายใต้สุญญากาศและอุณหภูมิต่ำกว่าความดันบรรยากาศ เพื่อให้การระเหยได้เร็วขึ้นแม้จะใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก อาหารที่นิยมใช้กับวิธีการอบแห้งวิธีนี้นักเป็นอาหารที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อใช้อุณหภูมิสูง เพื่อป้องกันการสูญเสียกลิ่นรส และวิตามินบางชนิดที่ไม่ทนต่อความร้อน ในระหว่างการดึงน้ำออกภายใต้ภาวะสุญญากาศ อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อสัมผัสได้ เพราะน้ำจะระเหยเร็วมาก ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์จึงแห้งแข็งและเกิดการหดตัว แต่ภายในยังแฉะอยู่ จึงเป็นข้อเสียของการทำแห้งวิธีนี้ แต่ข้อดีอีกข้อหนึ่งของการทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ คือใช้เวลาในการทำแห้งน้อยกว่าการทำแห้งแบบเยือกแข็งและแบบอื่น ๆ

### การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง

การอบแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารมากขึ้นหรือน้อยขึ้นกับธรรมชาติของอาหาร และสถานะที่ใช้ในการอบแห้ง ลักษณะที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้คือ

#### 1. การหดตัว

การเสียน้ำทำให้เซลล์อาหารหดตัวจากผิวนอก ส่วนที่แข็งจะคงสภาพได้ ส่วนที่อ่อนกว่าจะเว้าลงไป อาหารที่มีน้ำมากจะหดตัวบิดเบี้ยวมาก การทำแห้งอย่างรวดเร็วจะหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งอย่างช้า ๆ

## 2. การเปลี่ยนสี

อาหารที่ผ่านการทำแห้งมักมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากความร้อนหรือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล อุณหภูมิและช่วงเวลาที่ทำอาหารมีความชื้นร้อยละ 10-20 มีผลต่อความเข้มของสี จึงควรหลีกเลี่ยง อุณหภูมิสูงในช่วงความชื้นนี้

## 3. การเกิดเปลือกแข็ง

เป็นลักษณะที่ผิวอาหารแข็งเป็นเปลือกหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งไว้ เกิดจากในช่วงแรกให้น้ำระเหยเร็วเกินไป น้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน หรือมีสารละลายของน้ำตาล โปรตีนเคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว สามารถหลีกเลี่ยงโดยไม่ใช้อุณหภูมิสูงและใช้อากาศที่มีความชื้นสูงเพื่อไม่ให้ผิวอาหารแห้งก่อนเวลาอันสมควร

## 4. การเสียความสามารถในการคืนสภาพ

อาหารแห้งบางชนิดต้องนำมาทำให้คืนสภาพ แต่การคืนสภาพโดยการเติมน้ำจะไม่ได้เหมือนเดิมเพราะเซลล์อาหารเสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์และโปรตีนเสียความสามารถในการดูดน้ำ อาหารที่ทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็งจะมีความสามารถในการคืนสภาพดีที่สุด เพราะไม่ได้ใช้ความร้อนที่จะทำลายผนังเซลล์หรือเปลี่ยนโครงสร้างของเซลล์และโปรตีน

## 5. การเสียคุณค่าอาหารและสารระเหย

เกิดการเสื่อมสลายของวิตามินซีและแคโรทีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไรโบฟลาวินจากแสง ไขมันจากความร้อน ยิ่งใช้เวลาทำแห้งนานการสูญเสียก็ยิ่งมาก โปรตีนมีการสูญเสียบางส่วนด้วยความร้อนเช่นเดียวกัน การสูญเสียสารระเหยเนื่องจากความร้อนทำให้กลิ่นของอาหารแห้งลดน้อยลงหรือแตกต่างไปจากเดิม (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2539)

## สารเคมีกันเสีย

### กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบท

กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบท เป็นวัตถุกันเสียอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากเป็นสารประกอบที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และที่สำคัญคือไม่ทำให้กลิ่นและรสของอาหารเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถจะถูกเผาผลาญได้แบบเดียวกับกรดไขมันที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ฉะนั้น

อันตรายที่จะได้รับจากวัตถุกันเสียชนิดนี้ค่อนข้างน้อย ประสิทธิภาพของวัตถุกันเสียชนิดนี้จะดีที่สุดในช่วงความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6.5

สารนี้มีการใช้อย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในรูปของกรดซอร์บิกและเกลือโพแทสเซียมซอร์เบท ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหาร รวมไปถึงอาหารสัตว์ ยา และเครื่องสำอาง ปริมาณที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.02-0.03 สำหรับอาหารทั่วไป ที่นิยมใช้วัตถุกันเสียชนิดนี้ช่วยยืดอายุการเก็บ ได้แก่ เนยแข็งและผลิตภัณฑ์เนยแข็ง เนยเทียม ผลิตภัณฑ์ขนมอบต่างๆ เครื่องดื่มต่างๆ ทั้งชนิดที่อัดและไม่อัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำผลไม้ต่างๆ ไวน์ แยม เยลลี่ ฟรุ๊ตค็อกเทล น้ำสลัดต่างๆ ผลไม้แห้ง ผักแห้ง ผักคองต่างๆ ผลิตภัณฑ์เนื้อและผลิตภัณฑ์ปลาต่างๆ เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2539)

กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบทจัดอยู่ในกลุ่มของสารที่มีความปลอดภัยต่อมนุษย์ (Generally Recognized As Safe ; GRAS) และอนุญาตให้ใช้เป็นสารเคมีกันเสียในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เนื่องจากมีความเป็นพิษต่ำและมีคุณสมบัติที่ดีกว่าสารเคมีกันเสียชนิดอื่น ประเทศไทยได้มีประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 อนุญาตให้ใช้โพแทสเซียมซอร์เบทในอาหารได้ในปริมาณสูงสุดไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักอาหาร 1 กิโลกรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2527)

โดยทั่วไปเกลือซอร์เบทมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราและยีสต์ได้ดีกว่าแบคทีเรียและรูปแบบการใช้เกลือซอร์เบทในอาหาร ได้แก่ การใส่ลงไปโดยตรง การจุ่มอาหารลงในสารละลายซอร์เบท การฉีดพ่นสารละลายซอร์เบท การคลุกพร้อมผงแป้ง การเติมในวัสดุเคลือบผิวอาหาร และการเติมลงในวัสดุหีบห่อ ยกตัวอย่างเช่น ลูกพรุนแห้งมีความชื้นอยู่ประมาณร้อยละ 35 สามารถป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อราได้ โดยการจุ่มลงไปนในสารละลายโพแทสเซียมซอร์เบทความเข้มข้นร้อยละ 5 สุดท้ายจะให้ปริมาณของกรดซอร์บิกออกมาประมาณร้อยละ 0.03 (โครงการตำราวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรม, 2526) การเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมนั้นควรพิจารณาจากชนิดของอาหาร วัตถุประสงค์ที่ต้องการ กระบวนการผลิต เครื่องมือ และความสะอาด

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไพโรจน์ (2535) ได้ศึกษาสายพันธุ์พลับที่เหมาะสมต่อการผลิตลูกพลับกิ่งแห้ง โดยใช้ลูกพลับสด 4 สายพันธุ์ที่เป็นชนิดฝาดสามารถนำมาผลิตเป็นพลับกิ่งแห้งได้ เช่น พันธุ์ Hachiya, Nightingale, Ang Sai (P3) และ Nui Scin (P4) โดยลูกพลับสดดังกล่าวควรผ่านกรรมวิธีการลดความฝาด โดยวิธีบรรจุในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อลดปริมาณแทนนินที่ละลายได้ ก่อนที่จะนำมาผลิตเป็นลูกพลับกิ่งแห้ง พบว่าลูกพลับสดที่สามารถนำมาผลิตเป็นลูกพลับกิ่งแห้งควรมีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดประมาณร้อยละ 17-18 และเมื่อนำมาผลิตเป็นลูกพลับกิ่งแห้งแล้วน้ำหนักจะลดลงร้อยละ 37-54 โดยมีความชื้นในผลิตภัณฑ์สุดท้ายร้อยละ 30-44 ความเป็นกรดทั้งหมดคิดเทียบกรดซิตริกร้อยละ 0.08-0.44 น้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 34-41 และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 21-135 ppm. ในด้านความนิยมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ลูกพลับกิ่งแห้ง พบว่าลูกพลับสายพันธุ์ที่มีการยอมรับมากที่สุดคือ Hachiya นอกจากนี้ยังมีสายพันธุ์อื่น ๆ เช่น Nightingale, Ang Sai (P3) และ Nui Scin (P4) ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ดีในการที่จะนำมาผลิตเป็นลูกพลับกิ่งแห้งได้อย่างมีคุณภาพทั้งในด้านสีที่ปรากฏ กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม โดยสายพันธุ์ที่นำมาผลิตจะต้องผ่านการลดความฝาดมาก่อนด้วย

ธารา (2540) ได้พัฒนากระบวนการผลิตและการเก็บรักษาพลับกิ่งแห้งสายพันธุ์อั้งไฮ (P3) และนูชิน (P4) โดยศึกษาการใช้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ร่วมกับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พลับกิ่งแห้ง พบว่าการใช้สารประกอบกำมะถันร่วมในกระบวนการผลิตพลับกิ่งแห้งพันธุ์นูชิน (P4) นั้นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด คือการใช้วิธีการรมควันกำมะถัน (Sulfering method) โดยใช้ปริมาณกำมะถัน 10 กรัมต่อตู้อบที่มีขนาด 1 ลูกบาศก์เมตรนาน 20 นาทีจำนวนสองครั้ง (ก่อนและหลังการอบแห้ง) โดยปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ละลายดูดซับไว้ได้เท่ากับ 650 ส่วนในล้านส่วน ค่าสี L เท่ากับ 48.35 ค่าสี a\* เท่ากับ 14.75 และค่าสี b\* เท่ากับ 23.69 เวลาที่เหมาะสมในการผลิตพลับกิ่งแห้ง คือ 77 ชั่วโมง 37 นาที จึงได้ผลิตภัณฑ์พลับกิ่งแห้งที่มีความชื้นร้อยละ 30 โดยการทำให้แห้งพลับ 1 ผล (191.63 กรัม) ให้มีความชื้นดังกล่าวนี้ ต้องทำการอบแห้งจนกระทั่งน้ำหนักเป็น 59.11 กรัม ส่วนวิธีการบรรจุและเก็บรักษาที่เหมาะสม คือการบรรจุในถุงพลาสติกเนื้อ 2 ชั้นของโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและโพลีเอสเตอร์ โดยวิธีการบรรจุในสภาวะสุญญากาศและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส จะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านเคมี กายภาพ จุลชีววิทยา และการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ดีและคงคุณภาพได้นาน

Monsalve-Gonzalez *et al.* (1993) ได้ศึกษาการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษาแอปเปิ้ลหั่นชิ้นโดยการใช้หลายวิธีร่วมกัน ซึ่งใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอล เป็นสารต้านการเกิดสีน้ำตาล พบว่า 4-เฮกซิลเรโซซินอล มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิ้ลหั่นชิ้น ทั้งสีน้ำตาลที่เกิดเนื่องจากเอนไซม์และไม่ใช้เอนไซม์โดยการใช้หลายวิธีร่วมกันในระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิต่างๆ 4 ระดับ ได้แก่ อุณหภูมิ 25, 30, 35 และ 45 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับโซเดียมซัลไฟต์และกรดแอสคอร์บิก-สอง-ฟอสเฟต พบว่าแอปเปิ้ลหั่นชิ้นเมื่อแช่ในสารละลายซูโครส (สารละลายซูโครสประกอบด้วยกรดซิตริก ร้อยละ 0.2 และกรดซอร์บิก ร้อยละ 0.15 และซูโครส ทำให้เป็น 52 องศาบริกซ์) ที่มี 4-เฮกซิลเรโซซินอล 200 ส่วนในล้านส่วน และกรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 0.2 เป็นเวลา 10 ชั่วโมงทำให้สามารถเก็บรักษาแอปเปิ้ลหั่นชิ้นได้นาน 32 วัน ที่ 25 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดสีน้ำตาล

Monsalve-Gonzalez *et al.* (1995) ได้ศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์แอปเปิ้ลโดยใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอล พบว่าความเข้มข้นของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลที่มากกว่า ร้อยละ 0.03 มีผลทำให้ปริมาณการตกค้างอยู่ในเนื้อเยื่อสูงขึ้นและมีผลต่อกลิ่นรสของแอปเปิ้ล และสามารถรับรู้รสขมได้เล็กน้อยเมื่อจุ่มแอปเปิ้ลหั่นชิ้นลงในสารละลาย 4-เฮกซิลเรโซซินอล ร้อยละ 0.05 การเพิ่มเวลาในการแช่ มีผลทำให้สีน้ำตาลเกิดขึ้นน้อยลง เนื่องจากการแพร่ของสารประกอบเข้าไปเนื้อเยื่อแอปเปิ้ลมากขึ้น

Luo *et al.* (1995) ได้ศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิ้ลหั่นชิ้นโดยใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอล พบว่าแอปเปิ้ลหั่นชิ้นที่จุ่มในสารละลายที่ประกอบด้วย 4-เฮกซิลเรโซซินอล ร้อยละ 0.01 กรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 0.5 และแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.2 เป็นเวลา 5 นาที ร่วมกับการบรรจุแบบ partial vacuum (20 inch Hg vacuum) และเก็บที่อุณหภูมิต่ำ สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 50 วัน โดยไม่เกิดสีน้ำตาล

Lee-Kim *et al.* (1997) ได้ศึกษาการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ในหญ้า Burdock โดยสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่นำมาศึกษา คือ 4-เฮกซิลเรโซซินอล กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก และไบซัลไฟต์ พบว่า 4-เฮกซิลเรโซซินอล ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ใช้เป็นตัวยับยั้ง PPO ที่สกัดได้จากรากของหญ้า Burdock ได้ร้อยละ 70 ในขณะที่สารต้านการเกิดสีน้ำตาลตัวอื่นรวมถึงไบซัลไฟต์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งน้อยกว่าร้อยละ 20 สารผสมของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล และกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น ร้อยละ 1.0 มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง

PPO ที่สกัดได้จากรากของหญ้า Burdock ได้ ร้อยละ 90 การใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอล เพียงตัวเดียวมี ประสิทธิภาพในการยับยั้ง PPO บริสุทธิ์ (Purified PPO) ที่สกัดได้จากรากของหญ้า Burdock ได้น้อยกว่ากรดแอสคอร์บิก ในขณะที่ประสิทธิภาพของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล ในการยับยั้ง PPO ที่สกัดได้ (Crude PPO) จากรากของหญ้า Burdock มากกว่ากรดแอสคอร์บิก

Sapers *et al.* (1998) ได้ศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในลูกแพร์หั่นชิ้น โดยจุ่มในสารละลายที่ประกอบด้วยโซเดียมอริทอร์เบท ร้อยละ 4 แคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.2 และ 4-เฮกซิลเรโซซินอล 100 ส่วนในล้านส่วนเป็นเวลา 1 นาที แล้วบรรจุในภายใต้บรรยากาศหรือสภาพบรรยากาศดัดแปลง (MAP) และเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บไว้ได้นาน 14 วัน โดยไม่เกิดสีน้ำตาลที่ผิวลูกแพร์หั่นชิ้นและการเสื่อมเสียทางด้านกลิ่นรสหรือเนื้อสัมผัส

Buta *et al.* (1999) ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาแอปเปิลสดตัด พบว่าการใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอล 0.001 โมลาร์ ไอโซแอสคอร์บิก 0.5 โมลาร์ และ เอน-อะซีติลซีสเทอีน 0.025 โมลาร์ ทำให้ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้นาน 5 สัปดาห์ที่ 5 องศาเซลเซียส และไม่มีการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์

Dong *et al.* (2000) ได้ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาของลูกแพร์สดสามสายพันธุ์ คือพันธุ์ Bartlett, Bosc, Anjou พบว่าลูกแพร์พันธุ์ Anjou หั่นชิ้นสามารถเก็บได้นาน 30 วันโดยไม่เกิดสีน้ำตาล เมื่อจุ่มด้วยกรดแอสคอร์บิกร้อยละ 1.0 และแคลเซียมแลคเตท ร้อยละ 1.0 แต่ลักษณะเนื้อสัมผัสจะนุ่มและมีน้ำจากเนื้อเยื่อไหลออกมา เมื่อเก็บรักษาลูกแพร์พันธุ์ Anjou, Bartlett และ Bosc โดยจุ่มด้วยสาร 4-เฮกซิลเรโซซินอล ร้อยละ 0.01 กับกรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 0.5 และแคลเซียมแลคเตทร้อยละ 1.0 เป็นเวลา 2 นาที ร่วมกับการบรรจุภายใต้สุญญากาศและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 ถึง 5 องศาเซลเซียส ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาลูกแพร์ ได้ 15 ถึง 30 วัน โดยไม่เกิดสีน้ำตาล หลังการเก็บรักษา 14 วัน ปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอล ที่ตกค้างอยู่มีปริมาณ 1 ถึง 7 ส่วนในล้านส่วน ปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลที่ตกค้างอยู่จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นและเวลาในการจุ่ม ผู้ทดสอบชิมสามารถตรวจวัดกลิ่นรสที่แตกต่างระหว่างลูกแพร์ที่จุ่ม 4-เฮกซิลเรโซซินอล ร้อยละ 0.01 กับตัวควบคุมได้

### บทที่ 3

## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

---

### วัตถุดิบและอุปกรณ์

#### วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตปลั๊กกึ่งแข็ง

- พลาสติกพีวีซี
- 4-เฮกซิลเรโซซินอล (4-Hexylresorcinol ;  $C_{12}H_{18}O_2$ , Food grade, Fluka)
- กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid, Food grade, Lab P&P, Thailand)
- กรดซิตริก (Citric acid, Food grade, Lab P&P, Thailand)
- โซเดียมอีริทอเบท (Sodium erythorbate, Food grade, Lab P&P, Thailand)
- โซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟต (Sodium acid pyrophosphate ;  $Na_2H_2P_2O_7$ , Food grade, Jirakorn Co. Ltd., Thailand)
- โพแทสเซียมซอร์เบท (Potassium sorbate ;  $C_6H_7KO_2$ , Food grade, Lab P&P, Thailand)
- ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์ เป็นถุงสามชั้น ชั้นในเป็นโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ชั้นกลางเป็นกาว และชั้นนอกเป็นไนลอน (Nylon/EAA/LLDPE) (บริษัท พรีเมค ประเทศไทย จำกัด)

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตปลั๊กกึ่งแข็ง

- เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray drier : Model HA 200, Thailand)
- เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray drier : pilot scale, Armfield : Model UOPS-Sohz, England)
- เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum drier : Model of Royal Project Foundation, Chiangmai, Thailand)
- เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Semi-accurate balance, Mettler : Model BB120, Switzerland)

- เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance, Precisa : Model XT320M, Switzerland)
- เครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ (Vacuum Sealer, Audionvac : Model VM 2010, USA)

### อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ

#### 1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- เครื่องวัดสี (Minolta camera, Chroma Meter CR-310, Japan)
- เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron Universal Testing Machine : Model 5565 )

#### 2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

- เครื่องวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (Microprocessor pH-meter, Hanna Instrument : model HI 9321, USA)
- Hand refractometer
- เครื่องวิเคราะห์ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (Aw-box, Novasina : AWC200, Switzerland)
- ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Memmert : Model ULM-400, USA)
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV/VIS Spectrophotometer : Model V-530)
- เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum pump, Thomas, USA)
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, GFL : Model D1004, Germany)

#### 3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

- เครื่องตีปั่น (Laboratory blender stomacher : Model 400, Seward Chemical, England)
- เครื่องผสมแบบหมุนวน (Vortex geniez, Scientific Industries : Model G560E)
- ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, Hereaus : Model D-6450 Hanna, Germany)
- หม้อนึ่งความดัน (Autoclave, Iwaki Glass CO.,Ltd : Model AVC-3167, Japan)

#### 4. อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

- ชุดอุปกรณ์ทดสอบชิม
- แบบสอบถาม (รายละเอียดในภาคผนวก ข)



### สารเคมี

- ซิงค์อะซิเตทไดไฮเดรต (Zinc acetate dihydrate ;  $C_4H_6O_4Zn \cdot 2H_2O$ , Fluka, Germany)
- โพแทสเซียมเฟอโรไซยาไนด์ (Potassium Ferro Cyanide ;  $K_4(Fe(CN)_6) \cdot 3H_2O$ , Merck, Germany)
- คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate ;  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ , Carlo Erba Reagenti, Germany)
- โซเดียมโพแทสเซียมทาร์เตรต (Sodium potassium tartrate ;  $C_4O_6H_4NaK \cdot 4H_2O$ , Carlo Erba Reagenti, Germany)
- กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid ; HCL, Merck, Germany)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide ; NaOH, J.T.Baker, USA)
- เมธิลีนบลู (Methylene blue ;  $(CH_2)_2NC_6H_3N:C_6H_3(N(CH_3)_2):SCl \cdot 3H_2O$ , Fisher Scientific, UK)
- กรดเมตาฟอสฟอริก (Metaphosphoric acid ;  $(HPO_3)_n$ , Merck, Germany)
- ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether ;  $(C_2H_5)_2O_{20}$ , LAB-SCAN, Ireland)
- ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether ;  $(C_2H_5)_2O_2$ , LAB-SCAN, Ireland)
- โซเดียมซัลเฟตที่ปราศจากน้ำ (Sodium sulfate anhydrous ;  $Na_2SO_4$  ; Merck, Germany)
- PCA Plate Count Agar (Difco, USA)
- PDA Potato Dextrose Agar (Difco, USA)
- Peptone (Difco, USA)
- กรดทาร์ตริก (Tartaric acid ;  $C_4H_6O_6$ , Merck, Germany)

### เครื่องประมวลผลทางสถิติ

- เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft excel
- โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 10.0
- โปรแกรมสำเร็จรูป Mathcad 7 professional
- โปรแกรมสำเร็จรูป Statistica version 5.0

## การวางแผนการทดลอง

### การเตรียมสารละลายสำหรับการเกิดสีน้ำตาล

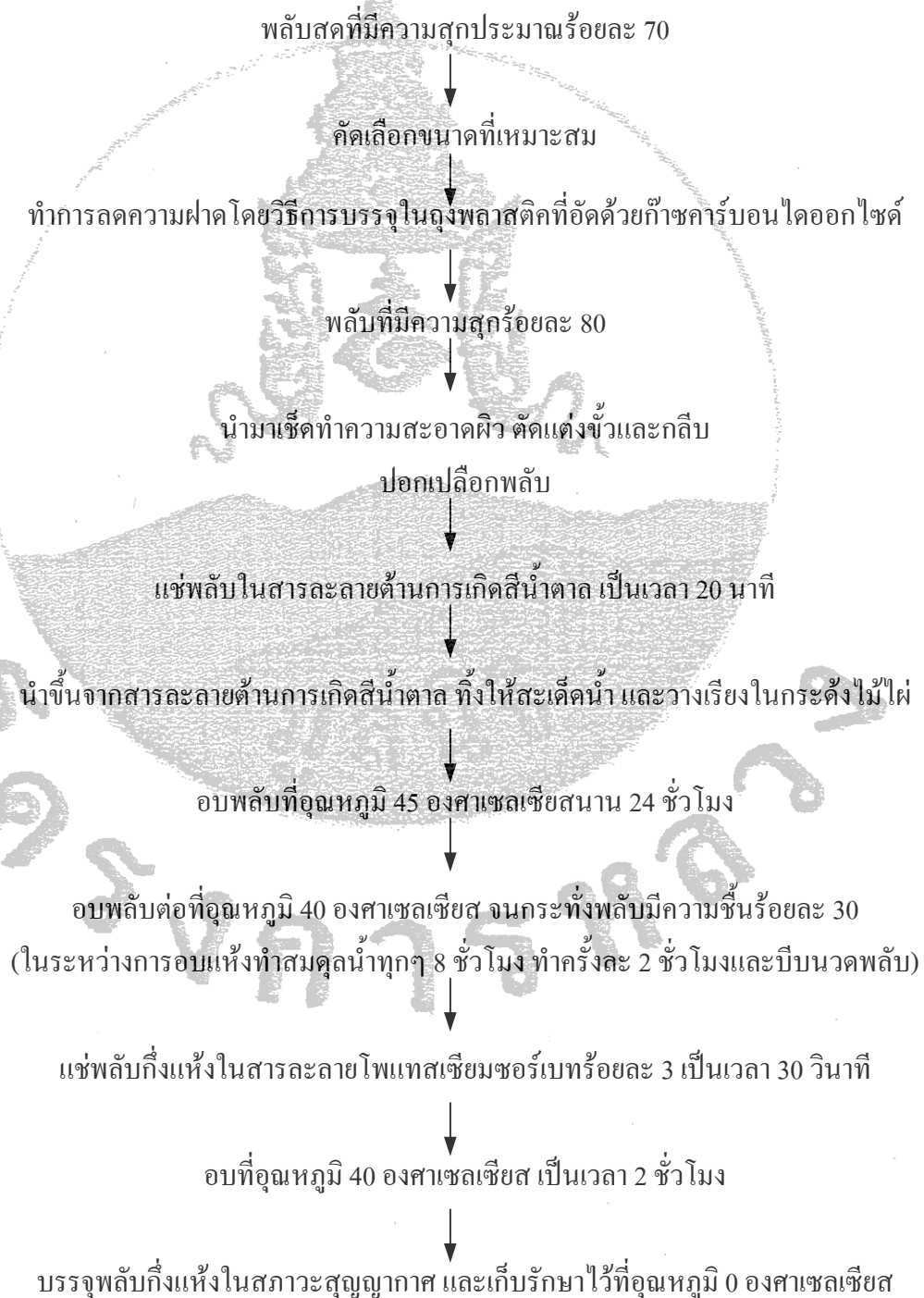
การเตรียมสารละลายประกอบด้วยน้ำเป็นตัวทำละลาย มีตัวถูกละลายทั้งหมด 5 ชนิดคือ 4-เฮกซิลเรโซซินอล กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก โซเดียมอิริทอร์เบท และโซเดียมแอสซิด-ไพโรฟอสเฟต กระบวนการเตรียมสารละลาย จะใช้น้ำในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักกับปริมาณพลับที่ต้องการแช่ เช่นเมื่อต้องการแช่พลับ 1 กิโลกรัม ต้องใช้น้ำ 1 กิโลกรัมหรือ 1 ลิตร ในการละลายตัวถูกละลายทั้ง 5 ชนิดโดยชั่งน้ำหนักของตัวถูกละลายแต่ละชนิดตามสัดส่วนที่ใช้ในแต่ละการทดลอง เป็นน้ำหนักต่อปริมาตร (weight by volume)

### กรรมวิธีการผลิตพลับกึ่งแห้ง

นำพลับสดพันธุ์นูชิน (Niu Scin; P4) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-2.5 นิ้วที่มีความสุกประมาณร้อยละ 70 คือมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณร้อยละ 16-17 หรือสังเกตจากสีผิวของพลับจะมีสีเขียวส้ม ไปทำการลดความฝาดโดยบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนขนาด 50 x 30 นิ้ว รองถุงด้านล่างด้วยฟองน้ำ วางเรียงพลับ 2 ชั้น ชั้นละ 30-35 ผล ระหว่างชั้นรองด้วยฟองน้ำ ทำการดูดอากาศออกจากถุงด้วยเครื่องดูดอากาศ จากนั้นอัดด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความดัน 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลานาน 50 วินาที นำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน ในแต่ละวันเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มหนึ่งครั้ง หลังจากนั้นนำพลับออกจากถุงแล้วนำไปเก็บในตู้ที่บรรยากาศปกติที่อุณหภูมิเดิมนาน 2-3 วัน จนกระทั่งพลับมีความสุกประมาณร้อยละ 80 คือมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณร้อยละ 18-19 หรือสังเกตจากสีผิวของพลับจะมีสีเหลืองส้ม

ทำการบดเปลือกพลับ จึงนำไปแช่สารละลายสำหรับการเกิดสีน้ำตาลเป็นเวลา 20 นาที ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ นำพลับไปทำแห้งในเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสนาน 24 ชั่วโมง ตามด้วยการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนกระทั่งพลับมีความชื้นร้อยละ 30 ในระหว่างการทำแห้งทุกๆ 8 ชั่วโมงจะทำสมดุลน้ำ 1 ครั้ง (นำพลับออกมาไว้ที่สภาวะบรรยากาศปกติ) ครั้งละ 2 ชั่วโมง และมีการบีบขนาดพลับให้อ่อนตัวลง เพื่อป้องกันการเกิดการแข็งกระด้างของเปลือกนอก (Case hardening) และทำให้พลับมีขนาดที่ลึบแบนลงตามลักษณะที่ต้องการ

นำปลั๊กกิ่งแห้งที่ผลิตได้ไปแช่สารละลายโพแทสเซียมซอร์เบทร้อยละ 3 เป็นเวลา 30 วินาที และนำไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้ปลั๊กกิ่งแห้ง บรรจุปลั๊กกิ่งแห้งในสภาวะสุญญากาศ และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส กรรมวิธีการผลิตปลั๊กกิ่งแห้งแสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 กรรมวิธีการผลิตปลั๊กกิ่งแห้ง

### การสำรวจเค้าโครงผลิตภัณฑ์ปลั๊กแก๊ง

ก่อนทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องทราบข้อมูลเค้าโครงของผลิตภัณฑ์ก่อน เพื่อทราบแนวทางในการพัฒนาที่ถูกต้อง ว่ามีลักษณะใดของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญและต้องการให้พัฒนาไปในทิศทางใด การหาเค้าโครงผลิตภัณฑ์ใช้หลักการของ Ideal ratio profile เป็นวิธีการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์เพื่อคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ด้วยค่าสัดส่วน โดยใช้สเกลเส้นตรงแบบ Horizontal line scale และให้ผู้ทดสอบเป็นคนกำหนดลักษณะต่างๆด้วยตนเอง ซึ่งลักษณะที่ใช้ในการทดสอบแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะคือลักษณะปรากฏภายนอก กลิ่นและรสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม จากนั้นให้ผู้ทดสอบชิมทำเครื่องหมายลงบนสเกลในตำแหน่งที่เห็นว่าเป็นคุณลักษณะที่เหมาะสมที่สุดของผลิตภัณฑ์ในอุดมคติ (Ideal) และทำอีกเครื่องหมายในตำแหน่งที่ผู้บริโภคเห็นว่าเป็นคุณลักษณะจริงของตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิงในการทดสอบ หากค่าสัดส่วนของระยะทางระหว่างตำแหน่งทั้งสองเพื่อเป็นข้อมูลเค้าโครงของผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนาในการทดลองต่อไปตามแบบการทดสอบของวิธี Ideal ratio profile ซึ่งถ้าค่าสัดส่วนของคุณลักษณะใดมีค่าเท่ากับ 1 หมายความว่าตัวอย่างมีลักษณะนั้นตามที่คุณบริโภคต้องการจึงไม่ต้องทำการพัฒนาต่อไป แต่ถ้าค่าสัดส่วนมีค่าน้อยกว่าหรือมากกว่า 1 หมายความว่าต้องพัฒนาให้ลักษณะนั้นมีค่ามากขึ้นหรือน้อยลงตามลำดับเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคมากที่สุด ภาพรวมจากค่าสัดส่วนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะเรียกว่า Numerical product profile จากนั้นนำค่าสัดส่วนเฉลี่ยดังกล่าวมาสร้างเป็นรูปเค้าโครงลักษณะรูปร่างกลมไขว้ (Cyclic profile)

ในการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของปลั๊กแก๊งจะใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายอยู่แล้วในตลาดเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่างอ้างอิง ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 13 คน เป็นผู้กำหนดลักษณะคุณภาพต่างๆ ที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ และจะถือเอาเค้าโครงที่ได้ในขั้นตอนนี้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตลอดการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 5 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การกลั่นกรองปัจจัยทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการต้านการเกิดสีน้ำตาลในปลั๊กกึ่งแข็ง

นำปลั๊กที่ผ่านการลดความฝาดและปอกเปลือกมาแช่ในสารละลายต้านการเกิดสีน้ำตาลที่ประกอบด้วย 4-เฮกซิลเรโซซินอล กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก โซเดียมอีริทอร์เบท และโซเดียมแอสซิดไฟโรฟอสเฟตเป็นเวลา 20 นาทีตามกรรมวิธีการผลิตปลั๊กกึ่งแข็ง

ปัจจัยที่ต้องทำการกลั่นกรองมีทั้งหมด 5 ปัจจัย เพื่อหาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการต้านการเกิดสีน้ำตาลในปลั๊กกึ่งแข็ง วางแผนการทดลองแบบ Plackett and Burman design ( N=8 ) ซึ่งทำให้ได้สิ่งทดลองดังต่อไปนี้

ตาราง 3.1 แผนการทดลองแบบ Plackett and Burman design

สิ่งทดลอง	A	B	C	D	E	F	G
1	+	+	+	-	+	-	-
2	+	+	-	+	-	-	+
3	+	-	+	-	-	+	+
4	-	+	-	-	+	+	+
5	+	-	-	+	+	+	-
6	-	-	+	+	+	-	+
7	-	+	+	+	-	+	-
8	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : + หมายถึงการกำหนดให้ปัจจัยนั้นอยู่ที่ระดับสูง

- หมายถึงการกำหนดให้ปัจจัยนั้นอยู่ที่ระดับต่ำ

จากตารางกำหนดให้ปัจจัยต่างๆ แทนด้วยตัวอักษรดังนี้

	ระดับต่ำ (-)	ระดับสูง (+)
A แทน 4-เฮกซิลเรโซซินอล (ส่วนในล้านส่วน)	5	50
B แทน กรดแอสคอร์บิก (ร้อยละ)	0.5	3
C แทน กรดซิตริก (ร้อยละ)	0.5	3
D แทน โซเดียมอีริทอร์เบท (ร้อยละ)	0.5	3
E แทน โซเดียมแอสซิดไฟโรฟอสเฟต (ร้อยละ)	0.5	3
F แทน Dummy variable		
G แทน Dummy variable		

แช่ปลับในสารละลายแต่ละสูตรที่เตรียมดังตาราง 3.1 แล้วนำไปทำแห้ง เมื่อได้เป็นปลับกึ่งแห้งนำมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

#### การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- ค่าสีระบบ Hunter (L, a\* และ b\*) โดยเครื่องวัดสี Minolta camera, Chroma Meter CR-310, Japan (Minolta Camera CO., Ltd., 1991)
- ค่าแรงเฉือน โดยเครื่อง Instron Model 5565, USA (Instron, 1993)

#### การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

- ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (Micro-processor pH meter, Hanna Instruments : Model HI 9021, USA)

#### การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ใช้ Ideal Ratio Profile Technique (ไพโรจน์, 2539) ทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ซึ่งเป็นลักษณะที่ได้จากการสำรวจเค้าโครงผลิตภัณฑ์

ตัดตัวอย่างเป็นจิ้นขนาด 1.5 x 1.5 เซนติเมตร ใ้รหัสกับตัวอย่างด้วยตัวเลข 3 ตัว และใช้ผู้ทดสอบชิม 8-12 คน

วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีการทางสถิติเพื่อเลือกเอาปัจจัยทดลองที่มีความสำคัญต่อการต้านการเกิดสีน้ำตาลในปลับกึ่งแห้ง

#### ตอนที่ 2 การศึกษาหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่ได้จากการกลั่นกรอง

นำปัจจัยที่มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นกรองในการทดลองที่ 1 มาทำการหา ระดับที่เหมาะสม วางแผนการทดลองแบบ 2<sup>n</sup> Factorial experiment รวมกับการทดลองที่จุดกึ่งกลาง 2 จุด เมื่อ n เท่ากับจำนวนปัจจัยที่ได้จากการกลั่นกรอง ดำเนินการทดลองและทดสอบผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทดลอง

### ตอนที่ 3 การศึกษาหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการแช่พลับในสารละลายสารต้านการเกิดสนิม

กำหนดปัจจัยทดลองที่ต้องการศึกษาดังนี้

ปัจจัย A : อุณหภูมิ

ปัจจัย B : เวลาในการแช่

วางแผนการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial experiment with central composite design ที่ประกอบด้วย 2 ปัจจัยข้างต้น ทำให้ได้สิ่งทดลองดังแสดงในตาราง

ตาราง 3.2 ระดับของแต่ละปัจจัยที่ศึกษาสำหรับการวางแผนการทดลองแบบ CCD

สิ่งทดลอง	ปัจจัย	
	อุณหภูมิ	เวลาในการแช่
1	-1	-1
2(a)	+1	-1
3(b)	-1	+1
4(ab)	+1	+1
5(- $\alpha$ a)	-1.414	0
6(+ $\alpha$ a)	+1.414	0
7(- $\alpha$ b)	0	-1.414
8(+ $\alpha$ b)	0	+1.414
9(Cp1)	0	0
10(Cp2)	0	0

โดย

ปัจจัย	-1.414	-1	Center point	+1	+1.414
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28	31	39	47	50
เวลาในการแช่ (นาที)	10	14	25	36	40

ทำการบันทึกข้อมูลทางด้านกายภาพและเคมี (เช่นเกี่ยวกับการทดลองที่ 2) นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ทางด้านสถิติ เพื่อหาข้อสรุปจากการทดลอง

#### ตอนที่ 4 การศึกษาวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมของปลั๊กแห้ง

นำปลั๊กที่ผ่านการพัฒนากระบวนการแช่มาแล้วในการทดลองที่ 1-3 มาศึกษาวิธีการทำแห้งที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบการทำแห้งสองวิธี คือ การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด และเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design ทำการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลั๊กแห้ง

##### การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- ค่าสีระบบ Hunter (L, a\* และ b\*)

โดยเครื่องวัดสี Minolta camera, Chroma Meter CR-310, Japan (Minolta Camera CO., Ltd., 1991)

#### ตอนที่ 5 ศึกษาวิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาปลั๊กแห้ง

ปลั๊กที่ทำกรผลิตให้อยู่ในลักษณะกึ่งแห้งเรียบร้อยแล้วนั้น ต้องนำมาเก็บรักษาในสภาวะที่เหมาะสมเพื่อคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีเพื่ออยู่ได้นาน เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงโดยปฏิกิริยาการเกิดคือน้ำตาล รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและการเสื่อมคุณภาพจากจุลินทรีย์ จึงทำการศึกษาหาวิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาปลั๊กแห้ง

ปัจจัยในการทดลอง คือ วิธีการบรรจุปลั๊ก และอุณหภูมิในการเก็บรักษา

ปัจจัยแรก คือ วิธีการบรรจุปลั๊ก ทำการบรรจุปลั๊กในถุงพลาสติก (เป็นถุงสามชั้น ชั้นในเป็น โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นชั้นกลางเป็นกาวและชั้นนอกเป็น ไนลอนซึ่งมีการบรรจุ 2 ลักษณะคือ บรรจุในบรรยากาศปกติ (Normal) และบรรจุในสภาวะสุญญากาศ (Vacuum)

ปัจจัยที่สอง คือ อุณหภูมิในการเก็บรักษา มี 3 ระดับ คือ 0, 10 และ 30 องศาเซลเซียส

วางแผนการทดลองแบบ 2 x 3 Factorial experiment in completely randomized design ทำการวิเคราะห์คุณภาพของสิ่งทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ โดยวิเคราะห์ในวันเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 2, 4, 8, 16 และ 24 คุณภาพที่ทำกรวิเคราะห์มีดังนี้



**การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ :**

- ค่าสีระบบ Hunter (L, a\* และ b\*)      โดยเครื่องวัดสี Minolta camera, Chroma Meter CR-310, Japan (Minolta Camera CO., Ltd., 1991)
- ค่าแรงเฉือน      โดยเครื่อง Instron Model 5565, USA (Instron, 1993)

**การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี :**

- ค่าความเป็นกรด-ด่าง      โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (Micro-processor pH meter, Hanna Instruments : Model HI 9021, USA)
- ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด      โดย Hand refractometer
- ปริมาณความชื้น      ตามวิธี AOAC (2000)
- ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์      โดยเครื่องวัดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (Aw-box, Novasina : AWC 200, Switzerland)
- น้ำตาลรีดิวิซ      ตามวิธี Lane and Eynon, AOAC (2000)
- ปริมาณกรดซอร์บิก      ตามวิธี AOAC (2000)

**การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ :**

- หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด      โดยวิธี Total plate count (AOAC, 2000)
- หาปริมาณยีสต์และเชื้อรา      โดยวิธี Pour Plate (AOAC, 2000)

**การทดสอบทางประสาทสัมผัส :**

โดยใช้ Ideal Ratio Profile Technique ทดสอบลักษณะปรากฏ กลิ่น รส เนื้อสัมผัสและการยอมรับรวม เช่นเดียวกับการทดสอบในข้างต้น (ไพโรจน์, 2539)

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งหมดจะนำมาวิเคราะห์ทางด้านสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS 10.0 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาต่าง ๆ เพื่อสรุปอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

---

#### การสำรวจเค้าโครงผลิตภัณฑ์ปลั๊กแก๊ง

ทำการสำรวจเค้าโครงผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิค Ideal ratio profile เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามที่ผู้บริโภคต้องการ โดยใช้แบบทดสอบชิมดังแสดงในภาคผนวก ข ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 13 คน กำหนดลักษณะคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ ลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ปลั๊กแก๊งที่ผู้ทดสอบชิมกำหนด มีดังนี้

##### 1. ลักษณะปรากฏ

ผู้ทดสอบชิมบอกถึง สีปรากฏของปลั๊ก	13 คน
ผู้ทดสอบชิมบอกถึง รูปทรงของปลั๊ก	1 คน

##### 2. กลิ่นและรสชาติ

ผู้ทดสอบชิมบอกถึง กลิ่นปลั๊ก	12 คน
ผู้ทดสอบชิมบอกถึง รสหวาน	13 คน
ผู้ทดสอบชิมบอกถึง รสเปรี้ยว	4 คน
ผู้ทดสอบชิมบอกถึง รสฝาด	3 คน

##### 3. ลักษณะเนื้อสัมผัส

ผู้ทดสอบชิมบอกถึง ความเหนียว	13 คน
------------------------------	-------

##### 4. การยอมรับรวม

ผู้ทดสอบชิมบอกถึง การยอมรับรวม	13 คน
--------------------------------	-------

ในข้อมูลข้างต้นสามารถคัดเลือกลักษณะที่ผู้ทดสอบชิมเห็นว่าเป็นลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์ โดยเลือกจากลักษณะที่ผู้ทดสอบชิมลงความเห็นมากกว่าร้อยละ 50 หรือตั้งแต่ 7 คนขึ้นไปมี 5 ลักษณะ คือ สีปรากฏของปลั๊บลิ่นปลั๊บลิ่น รสหวาน ความเหนียว และการยอมรับรวม มีค่าคะแนนเฉลี่ย (Mean score) และค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean ideal ratio score) ดังนี้

ตาราง 4.1 ค่าคะแนนเฉลี่ย (เซนติเมตร) ของลักษณะสำคัญของปลั๊บลิ่นกึ่งแห้งที่ได้จากการสำรวจผู้ทดสอบชิม

ลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์	คะแนนเฉลี่ยที่ตัวอย่างได้รับ	คะแนนเฉลี่ยที่ต้องการในอุดมคติ	ค่าสัดส่วนเฉลี่ย
สีปรากฏ	5.20 ± 0.20	4.47 ± 0.81	1.17 ± 0.20*
ปลั๊บลิ่นปลั๊บลิ่น	4.99 ± 0.54	6.18 ± 0.23	0.83 ± 0.22*
รสหวาน	4.19 ± 0.39	5.00 ± 0.15	0.82 ± 0.13*
ความเหนียว	5.15 ± 0.67	4.95 ± 0.66	1.07 ± 0.19
การยอมรับรวม	6.35 ± 0.17	10.00 ± 0.00	0.64 ± 0.11*

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

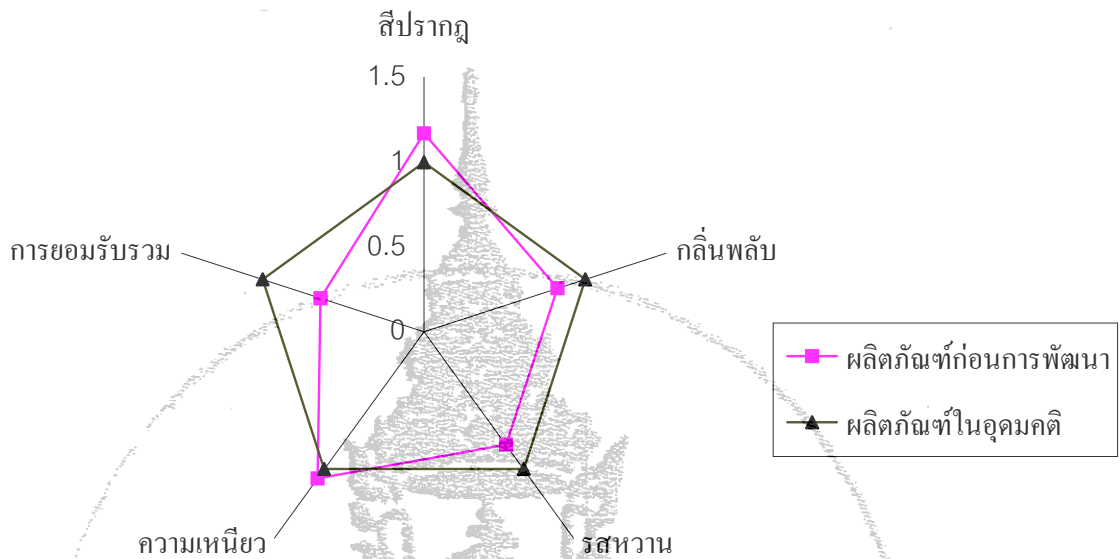
\* แสดงถึงค่า Ideal ratio score มีความแตกต่างจากค่า Ideal (1.00) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

นำค่าคะแนนการยอมรับของตัวอย่างและค่าคะแนนในอุดมคติของแต่ละลักษณะที่ได้จากผู้ทดสอบชิมมาหาค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean ideal ratio score) ดังตาราง 4.1 ค่าสัดส่วนเฉลี่ยที่ได้นี้จะถูกนำมาสร้างกราฟเค้าโครงของผลิตภัณฑ์ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าในอุดมคติซึ่งมีค่าเป็น 1.00 ดังภาพ 4.1

ถ้าสัดส่วนเท่ากับ 1.00 หมายความว่า ลักษณะนั้นไม่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลง เป็นลักษณะที่ดีเท่ากับลักษณะที่ต้องการของผู้บริโภคในอุดมคติ

ถ้าสัดส่วนมากกว่า 1.00 หมายความว่า ลักษณะนั้น ๆ มีความจำเป็นต้องพัฒนาให้มีค่าลดลง

ถ้าสัดส่วนน้อยกว่า 1.00 หมายความว่า ลักษณะนั้น ๆ มีความจำเป็นต้องพัฒนาให้มีค่าเพิ่มขึ้น



ภาพ 4.1 กราฟเค้าโครงของผลิตภัณฑ์พลับกิ่งแห้ง

เมื่อพิจารณาจากกราฟเค้าโครงพบว่าลักษณะสีปรากฏของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมีค่าคะแนนมากกว่า 1 หมายความว่าผลิตภัณฑ์มีสีปรากฏเข้มมากกว่าค่าในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จึงควรพัฒนาเพื่อลดความเข้มของสีให้น้อยลงจนกระทั่งมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 1 ส่วนกลิ่นพลับ รสหวาน และการยอมรับรวมนั้นมีค่าน้อยกว่าค่าในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จึงควรมีการพัฒนาให้กลิ่นพลับ รสหวาน และการยอมรับรวมเพิ่มขึ้น สำหรับความเหนียวนั้นพบว่าผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมีลักษณะใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติแล้ว

ในการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์ จะสามารถกำหนดค่าอุดมคติถาวร (Fixed ideals) ของแต่ละลักษณะได้ ซึ่งจุดอุดมคติถาวรนี้จะนำไปใช้ตลอดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในครั้งนี และกราฟเค้าโครงที่ได้นี้จะนำไปใช้เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาในขั้นตอนต่อไป

#### 4.1 การกลั่นกรองปัจจัยทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการดำเนินการเกิดสีน้ำตาลในพลับกึ่งแห้ง

ปฏิบัติการการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์เป็นปัญหาที่สำคัญในการแปรรูปผักและผลไม้ เพราะมีสารสีน้ำตาลเกิดขึ้นตามรอยตัด เมื่ออาหารเกิดสีน้ำตาลทำให้อายุการวางจำหน่ายสั้นลง และเป็นปัญหากับผักและผลไม้อบแห้ง เพราะไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การควบคุมปฏิบัติการการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ทำได้หลายวิธี จะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด เช่น ใช้ความร้อนในการลวกเพื่อทำลายเอนไซม์ แต่การลวกใช้กับผลไม้ไม่ได้ เพราะจะทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติและทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสเน่ามึน ในการทดลองนี้จะควบคุมปฏิบัติการการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์โดยใช้สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) สารรีดิวซิงเอเจนต์ และสารที่ใช้ในการจับโลหะ โดยศึกษาประสิทธิภาพของสารเคมีหลาย ๆ ชนิด ที่นำมาใช้ร่วมกันในการควบคุมปฏิบัติการการเกิดสีน้ำตาล

สารด้านการเกิดสีน้ำตาลที่นำมาใช้ในการทดลองมี 5 ชนิดคือ 4-เฮกซิลเรโซซินอล กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก โซเดียมอีริทอร์เบท และโซเดียมแอสซิดไฟโรฟอสเฟต

วางแผนการทดลองแบบ Plackett and Burman design เป็นการกลั่นกรองเพื่อให้ได้เฉพาะปัจจัยที่มีผลกระทบต่อลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์เท่านั้น ประกอบด้วยสิ่งทดลองทั้งหมด 8 สิ่งทดลอง เตรียมสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลตามแผนการทดลองและทำการผลิตพลับกึ่งแห้ง นำสิ่งทดลองที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพด้านประสาทสัมผัส ผลที่ได้แสดงดังตาราง 4.2 และ 4.3

ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของพลับกึ่งแห้งที่ใช้สูตรสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ค่าสี			แรงเฉือน (นิวตัน)	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
	L	a*	b*		
1	49.04 ± 3.65	15.42 ± 0.91	33.05 ± 0.63	20.26 ± 1.15	3.94 ± 0.01
2	30.55 ± 2.03	17.56 ± 1.38	25.23 ± 1.42	19.36 ± 0.27	4.42 ± 0.02
3	37.97 ± 1.07	14.96 ± 0.79	31.42 ± 0.96	20.19 ± 1.07	3.98 ± 0.02
4	37.25 ± 1.18	15.10 ± 1.26	27.35 ± 1.14	20.18 ± 1.24	4.29 ± 0.03
5	35.67 ± 0.69	16.82 ± 2.10	24.62 ± 0.52	18.48 ± 0.51	5.12 ± 0.02
6	41.33 ± 2.12	15.74 ± 1.98	25.28 ± 2.25	22.07 ± 2.15	4.35 ± 0.01
7	44.28 ± 1.71	15.28 ± 1.12	28.74 ± 1.48	20.36 ± 0.25	4.14 ± 0.02
8	38.31 ± 1.33	15.29 ± 1.31	25.84 ± 0.72	20.85 ± 1.70	4.52 ± 0.02

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของพลับกึ่งแห้งที่ใช้สูตรสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่แตกต่างกันดังตาราง 4.2 พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าสี L (ความสว่าง) อยู่ในช่วง 30.55-49.04 ค่าสี a\* (สีแดง) อยู่ในช่วง 14.96-17.56 ค่าสี b\* (สีเหลือง) อยู่ในช่วง 24.62-33.05 มีค่าแรงเฉือนอยู่ในช่วง 18.48-22.07 นิวตัน และมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 3.94-5.12

ตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของปลั๊กกึ่งแข็งที่ใช้สูตรสารละลายต้านการเกิดสีน้ำตาลที่แตกต่างกัน

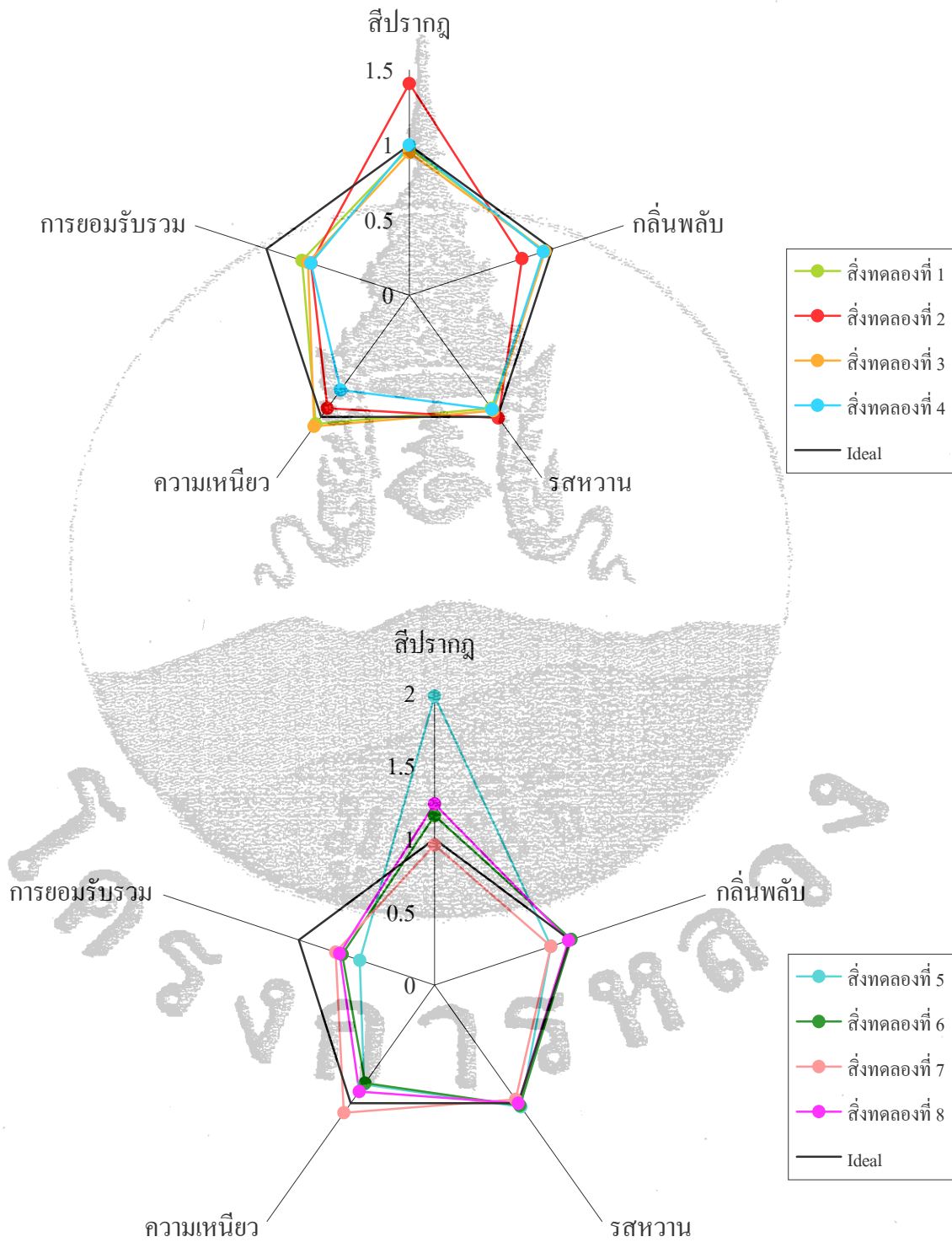
สิ่งทดลอง	คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส				
	สีปรากฏ	กลิ่นปลั๊ก	รสหวาน	ความเหนียว	การยอมรับรวม
1	0.98 ± 0.11	0.95 ± 0.06	0.93 ± 0.15	1.06 ± 0.20	0.75 ± 0.13
2	1.37 ± 0.25	0.79 ± 0.09	1.01 ± 0.14	0.93 ± 0.11	0.69 ± 0.19
3	0.95 ± 0.09	0.95 ± 0.11	0.95 ± 0.09	1.08 ± 0.05	0.71 ± 0.12
4	1.00 ± 0.13	0.94 ± 0.15	0.94 ± 0.13	0.78 ± 0.16	0.69 ± 0.07
5	1.98 ± 0.37	0.86 ± 0.07	1.03 ± 0.17	0.84 ± 0.19	0.55 ± 0.17
6	1.16 ± 0.12	1.01 ± 0.18	1.02 ± 0.09	0.83 ± 0.03	0.68 ± 0.06
7	0.96 ± 0.10	0.86 ± 0.10	0.97 ± 0.06	1.08 ± 0.17	0.73 ± 0.09
8	1.24 ± 0.18	0.99 ± 0.12	1.00 ± 0.14	0.90 ± 0.11	0.70 ± 0.14

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า การยอมรับด้านสีปรากฏของปลั๊กอยู่ในช่วง 0.96-1.98 กลิ่นปลั๊กมีค่าอยู่ในช่วง 0.79-1.01 รสหวานมีค่าอยู่ในช่วง 0.93-1.03 ความเหนียวมีค่าอยู่ในช่วง 0.78-1.08 และการยอมรับรวมมีค่าอยู่ในช่วง 0.55-0.75

ค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean ideal ratio score) ที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแต่ละลักษณะในแต่ละสิ่งทดลองจะนำมาสร้างกราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ ในรูปแบบกราฟไข่มุมมุดังแสดงในภาพ 4.2





ภาพ 4.2 กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ปลั๊กึ่งแห้งจากการกลั่นกรองปัจจัยทดลอง

ตาราง 4.4 อิทธิพลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพของปลับกิ่งแห้ง

ปัจจัยทดลอง	ค่าสี L		ค่าสี a*		ค่าสี b*		แรงเหวี่ยง (N)	
	Effect	t-value	Effect	t-value	Effect	t-value	Effect	t-value
4-เฮกซิลเรโซซินอล	-1.958	-0.545	0.837	2.455 <sup>b</sup>	1.778	2.493 <sup>a</sup>	-1.293	-1.919 <sup>a</sup>
กรดแอสคอร์บิก	1.960	-0.538	0.137	0.403	1.802	2.528 <sup>a</sup>	-0.358	-0.531
กรดซิตริก	7.710	2.117 <sup>a</sup>	-0.842	-2.469 <sup>b</sup>	3.863	5.416 <sup>c</sup>	1.003	1.489
โซเดียมอีริทอร์เบท	-2.685	-0.737	1.158	3.393 <sup>c</sup>	-3.448	-4.834 <sup>c</sup>	-0.303	-0.449
โซเดียมแอสซิด-ไพโรฟอสเฟต	3.045	0.836	-0.002	-0.007	-0.233	-0.326	0.057	0.085

ตาราง 4.5 อิทธิพลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพทางเคมีของปลับกิ่งแห้ง

ปัจจัยทดลอง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	
	Effect	t-value
4-เฮกซิลเรโซซินอล	0.040	0.304
กรดแอสคอร์บิก	-0.295	-2.245 <sup>a</sup>
กรดซิตริก	-0.485	-3.691 <sup>c</sup>
โซเดียมอีริทอร์เบท	0.325	2.474 <sup>b</sup>
โซเดียมแอสซิดไพโรฟอสเฟต	0.160	1.218

หมายเหตุ : ค่า Degree of freedom เท่ากับ 2

ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงถึงระดับความมีนัยสำคัญดังนี้

a หมายถึงมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 มีค่า t-table เท่ากับ 1.886

b หมายถึงมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 85 มีค่า t-table เท่ากับ 2.282

c หมายถึงมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 มีค่า t-table เท่ากับ 2.920

ตาราง 4.6 อิทธิพลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของปลั๊กกึ่งแข็ง

ปัจจัยทดลอง	สีปรากฏ		กลิ่นปลั๊ก		รสหวาน	
	Effect	t-value	Effect	t-value	Effect	t-value
4-เฮกซิลเรโซซินอล	0.230	1.874	-0.063	-2.650 <sup>b</sup>	-0.002	-0.200
กรดแอสคอร์บิก	-0.255	-2.078 <sup>a</sup>	-0.068	-2.862 <sup>b</sup>	-0.038	-3.000 <sup>c</sup>
กรดซิตริก	-0.385	-3.137 <sup>c</sup>	0.048	2.014 <sup>a</sup>	-0.028	-2.200 <sup>a</sup>
โซเดียมอีริทอร์เบท	0.325	2.648 <sup>b</sup>	-0.078	-3.286 <sup>c</sup>	0.053	4.200 <sup>c</sup>
โซเดียมแอสซิด-ไพโรฟอสเฟต	0.150	1.222	0.043	1.802	-0.002	-0.200

ปัจจัยทดลอง	ความเหนียว		การยอมรับรวม	
	Effect	t-value	Effect	t-value
4-เฮกซิลเรโซซินอล	0.080	1.696	-0.025	-0.971
กรดแอสคอร์บิก	0.050	1.060	0.055	2.137 <sup>a</sup>
กรดซิตริก	0.150	3.180 <sup>c</sup>	0.060	2.331 <sup>b</sup>
โซเดียมอีริทอร์เบท	-0.035	-0.742	-0.050	-1.943 <sup>a</sup>
โซเดียมแอสซิด-ไพโรฟอสเฟต	-0.120	-2.544 <sup>b</sup>	-0.040	-1.554

หมายเหตุ : ค่า Degree of freedom เท่ากับ 2

ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงถึงระดับความมีนัยสำคัญดังนี้

a หมายถึงมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 มีค่า t-table เท่ากับ 1.886

b หมายถึงมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 85 มีค่า t-table เท่ากับ 2.282

c หมายถึงมีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 มีค่า t-table เท่ากับ 2.920

การวางแผนการทดลองแบบ Plackett and Burman เป็นการกลั่นกรองปัจจัยโดยคำนึงถึงอิทธิพลหลัก (Main effect) เท่านั้น ไม่สามารถอธิบายอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ของปัจจัยได้ การคำนวณผลของปัจจัย (Effect) ซึ่งมีค่าบวกหรือลบ แสดงให้เห็นว่าการใช้ปัจจัยระดับต่ำหรือสูงให้ผลอย่างไรต่อผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบแนวโน้มว่าควรใช้ปัจจัยในระดับต่ำหรือสูงเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพตามความต้องการมากที่สุด

ผลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์มากน้อยต่างกัน ทำให้สามารถแบ่งประเภทของปัจจัยทดลองออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ ปัจจัยหลัก (Major factors) คือปัจจัยที่มีผลอย่างมากต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ และปัจจัยรอง (Minor factors) คือปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์เล็กน้อยเกณฑ์ในการพิจารณาขึ้นอยู่กับแต่ละปัจจัยทดลองมีผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมากน้อยเพียงไร

ตาราง 4.4-4.6 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ ของปลั๊กกิ้งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตั้งแต่ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 ขึ้นไป หรือเรียกว่าเป็นปัจจัยหลักมี 4 ปัจจัยคือ 4-เฮกซิลเรโซซินอล กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก และโซเดียมอิริทอร์เบท โดยกรดซิตริกมีผลต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์มากที่สุด คือ มีผลต่อ 9 ลักษณะคุณภาพ รองลงมาคือโซเดียมอิริทอร์เบท กรดแอสคอร์บิกและ 4-เฮกซิลเรโซซินอล ที่มีผลต่อ 7, 6 และ 4 ลักษณะคุณภาพตามลำดับ ส่วนโซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟตมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพียง 1 ลักษณะคุณภาพเท่านั้นจึงถือเป็นปัจจัยรอง

ผลของปัจจัยทดลองที่มีต่อคุณภาพของปลั๊กกิ้งแห้งอธิบายได้ดังต่อไปนี้

**กรดซิตริก** เมื่อใช้ในระดับสูงทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสี L (ความสว่าง) และ ค่าสี b\* (สีเหลือง) เพิ่มมากขึ้น ( $p \leq 0.20$  และ  $p \leq 0.10$  ตามลำดับ) แสดงถึงผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองสว่าง สอดคล้องกับค่าสี a\* (สีแดง) และลักษณะด้านสีปรากฏที่ลดลง ( $p \leq 0.15$  และ  $p \leq 0.10$  ตามลำดับ) หมายถึงผลิตภัณฑ์มีสีออกไปทางสีเหลืองมากกว่าสีน้ำตาล กรดซิตริกเป็นสารที่ใช้ในการจับกับโลหะเนื่องจากทองแดงเป็นโลหะที่จำเป็นต่อการทำงานของ PPO ถ้าสามารถกำจัดทองแดงออกไปก็จะสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ นอกจากนี้คุณสมบัติที่เป็นกรดก็จะช่วยยับยั้ง PPO ด้วย (ประสาร, 2538) การใช้กรดซิตริกในระดับสูงทำให้ปลั๊กกิ้งแห้งมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ( $p \leq 0.10$ ) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยวสอดคล้องกับลักษณะด้านรสหวานที่ลดลง ( $p \leq 0.20$ ) ส่วนลักษณะด้านกลิ่น ( $p \leq 0.20$ ) ความเหนียว ( $p \leq 0.10$ ) และการยอมรับรวม ( $p \leq 0.15$ ) เพิ่มขึ้น

การใช้กรดซัลฟูริกในระดับสูงทำให้พลับมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยวซึ่งไม่ใช่ลักษณะที่ต้องการของผลิตภัณฑ์พลับกึ่งแห้ง ดังนั้นการใช้กรดซัลฟูริกในระดับต่ำมีแนวโน้มทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีกว่า

**โซเดียมอริทอร์เบท** เมื่อใช้ในระดับสูงจะมีผลต่อลักษณะสีปรากฏเพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.15$ ) หมายถึงผลิตภัณฑ์มีสีออกไปทางสีน้ำตาล (ค่าคะแนนของสีปรากฏของพลับกึ่งแห้งจากแบบทดสอบชิมแบบ Ideal ratio profile คือ สีเหลือง-สีน้ำตาลเข้ม และค่าคะแนนในอุดมคติคือ สีเหลืองส้ม) สอดคล้องกับค่า  $a^*$  (สีแดง) ที่เพิ่มขึ้นและค่า  $b^*$  (สีเหลือง) ที่ลดลง ( $p \leq 0.10$ ) แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเกิดขึ้น การใช้โซเดียมอริทอร์เบทระดับสูงทำให้รสหวานและค่าความเป็นกรด-ด่าง เพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.10$  และ  $p \leq 0.15$ ) และอาจเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของ PPO จึงไม่สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ ทำให้คุณลักษณะด้านกลิ่นพลับและการยอมรับรวมลดลง ( $p \leq 0.10$  และ  $p \leq 0.20$  ตามลำดับ)

จะเห็นได้ว่าการใช้โซเดียมอริทอร์เบทในระดับต่ำจะเกิดผลดีต่อผลิตภัณฑ์มากกว่า ดังนั้นจึงควรศึกษาระดับการใช้ในระดับต่ำเพื่อให้ได้คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม

**กรดแอสคอร์บิก** เมื่อใช้ในระดับสูงทำให้ลักษณะสีปรากฏลดลง ( $p \leq 0.20$ ) หมายถึงผลิตภัณฑ์มีสีออกไปทางสีเหลืองมากกว่าสีน้ำตาล (ค่าคะแนนของสีปรากฏของพลับกึ่งแห้งจากแบบทดสอบชิมแบบ Ideal ratio profile คือ สีเหลือง-สีน้ำตาลเข้ม และค่าคะแนนในอุดมคติคือสีเหลืองส้ม) สอดคล้องกับค่า  $b^*$  (สีเหลือง) ที่เพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.20$ ) เนื่องจากคุณสมบัติของกรดแอสคอร์บิกที่ทำหน้าที่เป็นรีดิวซิงเอเจนต์ สามารถรีดิวซ์สารควิโนนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารโพลีฟีนอลด้วยการกระทำของ PPO ให้กลับมาอยู่ในรูปสารประกอบฟีนอลตามเดิมก่อนที่สารควิโนนจะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็นสารสีน้ำตาล (นิธิยา, 2543) อีกทั้งกรดแอสคอร์บิกสามารถทำให้สารละลายมีความเป็นกรด-ด่างไม่เหมาะสมต่อการทำงานของ PPO ได้ ดังนั้นพลับกึ่งแห้งจึงไม่เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล การใช้กรดแอสคอร์บิกในระดับสูงทำให้พลับกึ่งแห้งมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ( $p \leq 0.20$ ) ผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยวซึ่งมีความสัมพันธ์กับลักษณะด้านรสหวานและกลิ่นพลับที่ลดลง ( $p \leq 0.10$  และ  $p \leq 0.15$  ตามลำดับ) การใช้กรดแอสคอร์บิกในระดับสูงทำให้การยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.20$ ) เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองจึงส่งผลให้ไม่เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

การใช้กรดแอสคอร์บิกจะเลือกในระดับต่ำเพราะมีแนวโน้มที่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านรสหวานดีกว่า เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีรสเปรี้ยวไม่ใช่ลักษณะที่ดีของปลั๊กกึ่งแข็งถึงแม้ผลิตภัณฑ์จะมีสีเหลืองส้มก็ตาม

**4-เฮกซิลเรโซซินอล** เมื่อใช้ในระดับสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสี  $a^*$  (สีแดง) และค่าสี  $b^*$  (สีเหลือง) เพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.15$  และ  $p \leq 0.20$  ตามลำดับ) ซึ่งเป็นผลดีต่อผลิตภัณฑ์คือทำให้ปลั๊กกึ่งแข็งมีสีเหลืองส้ม 4-เฮกซิลเรโซซินอลเป็นสารประกอบ *m*-diphenols จะไปยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้โดยทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งแบบแข่งขัน (Competitive inhibitor) กับ PPO เนื่องจากมีโครงสร้างคล้ายกับฟีนอลิกที่เป็นสารตั้งต้น และเกิดปฏิกิริยาแบบผันกลับไม่ได้ (Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1995) การใช้ในปริมาณที่เหมาะสมทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ไม่ได้ แต่การใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอลในระดับสูงทำให้ลักษณะด้านกลิ่นปลั๊กและค่าแรงเฉือนลดลง ( $p \leq 0.15$  และ  $p \leq 0.20$  ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม กลิ่นปลั๊กและค่าแรงเฉือนที่ลดลงนี้ไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์มากนัก กล่าวคือลักษณะด้านกลิ่นปลั๊กไม่ต่ำกว่าค่าในอุดมคติจนเกินไปคืออยู่ในช่วง 0.79-1.01 ส่วนแรงเฉือนมีค่าอยู่ในช่วง 18.48-22.07 นิวตัน ซึ่งไม่ต่างกันมากนัก ประกอบกับในการกลั่นกรองปัจจัยการทดลองได้ให้ความสำคัญกับคุณสมบัติในการต้านการเกิดสีน้ำตาลซึ่งให้ผลชัดเจนกับสีของผลิตภัณฑ์

ดังนั้นจึงศึกษาการใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอลในระดับที่สูงขึ้นเพราะมีแนวโน้มว่า การใช้ในระดับสูงทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพด้านสีดีกว่า

**โซเดียมแอสิดไพโรฟอสเฟต** มีความสำคัญต่อลักษณะต่าง ๆ น้อยกว่า 4 ปัจจัยที่กล่าวมา โดยมีผลต่อลักษณะด้านความเหนียวเท่านั้น เมื่อใช้ในระดับสูงจะทำให้ลักษณะด้านความเหนียวลดลง ( $p \leq 0.15$ ) แสดงถึงผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม เหตุที่โซเดียมแอสิดไพโรฟอสเฟตสามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์อุ้มน้ำดีขึ้น ทั้งที่ช่วยลดความเป็นกรด-ด่างนั้น เนื่องจากสารนี้มีคุณสมบัติเฉพาะที่สามารถเพิ่ม ionic strength ได้ (คิวพร, 2535) สารประกอบฟอสเฟตสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอนุโมลโลหะต่าง ๆ มีผลทำให้สีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์มีความคงตัว Santerra *et al.* (1991) ได้รายงานว่ามีฝรั่งที่จุ่มในสารละลายที่ประกอบด้วยกรดอิทธิออร์บิคร้อยละ 3 โซเดียมแอสิดไพโรฟอสเฟตร้อยละ 0.25 และโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 ร่วมกับการบรรจุในสารละลายที่ประกอบด้วยกรดซิตริก กรดซอร์บิก และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.2 สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ โดยโซเดียมแอสิดไพโรฟอสเฟตและกรดซิตริกทำหน้าที่เป็นสารจับโลหะ

สำหรับปลั๊กกึ่งแข็งนั้น โซเดียมแอซิดไฟโรฟอสเฟตไม่มีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ สอดคล้องกับ Saper and Miller (1995) ที่รายงานว่า การเติมโซเดียมแอซิดไฟโรฟอสเฟตร้อยละ 1 ลงไปในสารละลายที่มีกรดแอสคอร์บิกร้อยละ 1 และกรดซิตริกร้อยละ 2 ไม่มีผลต่อค่าความสว่างและค่าสีแดงของมันฝรั่ง

ดังนั้นการใช้โซเดียมแอซิดไฟโรฟอสเฟตในระดับต่ำจะมีผลดีต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์มากกว่าคือให้การยอมรับด้านความเหนียวเพิ่มขึ้น ในการทดลองขั้นต่อไปจึงกำหนดระดับของโซเดียมแอซิดไฟโรฟอสเฟตที่ใช้เป็นระดับต่ำคือร้อยละ 0.5

ปัจจัยที่จะนำมาศึกษาในขั้นตอนต่อไปคือ 4-เฮกซิลเรโซซินอล กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก และโซเดียมอีริทอร์เบท โดยกำหนดระดับในการศึกษาไว้เป็นดังนี้

4-เฮกซิลเรโซซินอล จากเดิมที่ระดับสูง 50 ส่วนในล้านส่วน

กำหนดช่วงใหม่เป็น 40-100 ส่วนในล้านส่วน

กรดแอสคอร์บิก จากเดิมที่ระดับต่ำร้อยละ 0.5 กำหนดช่วงใหม่เป็นร้อยละ 0.2-2

กรดซิตริก จากเดิมที่ระดับต่ำร้อยละ 0.5 กำหนดช่วงใหม่เป็นร้อยละ 0.5-1.7

โซเดียมอีริทอร์เบท จากเดิมที่ระดับต่ำร้อยละ 0.5 กำหนดช่วงใหม่เป็นร้อยละ 0.5-1.7

สำหรับโซเดียมแอซิดไฟโรฟอสเฟตกำหนดระดับการใช้เป็นร้อยละ 0.5

#### 4.2 ศึกษาในระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่ได้จากการกลั่นกรอง

ในการทดลองที่ 4.1 ทำให้ทราบถึงปัจจัยหลักที่มีผลในการต้านการเกิดสีน้ำตาลคือ 4-เฮกซิลเรโซซินอล กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก และโซเดียมอริทอร์เบท ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาการใช้ที่เหมาะสม โดยจะศึกษาระดับที่เหมาะสมของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล และ กรดแอสคอร์บิกก่อน ตามด้วยการศึกษาระดับที่เหมาะสมของกรดซิตริก และ โซเดียมอริทอร์เบท

##### 4.2.1 ศึกษาในระดับที่เหมาะสมของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล และกรดแอสคอร์บิก

การทดลองนี้ทำการศึกษาระดับที่เหมาะสมของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล และกรดแอสคอร์บิก โดยจะใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอล ในระดับที่สูงขึ้นกว่าการทดลองตอนที่ 4.1 ส่วนกรดแอสคอร์บิกจะใช้ในระดับที่ต่ำลง เพราะจะให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่า ส่วนกรดซิตริกโซเดียมอริทอร์เบท และโซเดียมแอสซิดไฟโรฟอสเฟตใช้ในระดับต่ำคือร้อยละ 0.5 วางแผนการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial experiment รวมกับการทดลองที่จุดกึ่งกลาง 2 ซ้ำ มีจำนวนสิ่งทดลองทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง กำหนดระดับของปัจจัย ดังแสดงในตาราง 4.7

ตาราง 4.7 ปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิกที่ระดับต่าง ๆ

ปัจจัยที่ศึกษา	ระดับต่ำ (-1)	ระดับกึ่งกลาง (0)	ระดับสูงสุด (+1)
4-เฮกซิลเรโซซินอล (ส่วนในล้านส่วน)	40	70	100
กรดแอสคอร์บิก (ร้อยละ)	0.2	1.1	2.0

นำผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และลักษณะทางประสาทสัมผัส ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตาราง 4.8 และ 4.9



ตาราง 4.8 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ เมื่อผันแปรปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิก

สิ่งทดลอง			ค่าสี		ค่าแรงเฉือน	ความเป็นกรด-ด่าง
4-HR	AS	L	a*	b*	(นิวตัน)	(pH)
40	1.1	30.75 ± 0.49	16.27 ± 0.21	23.57 ± 0.22	23.96 ± 0.15	5.18 ± 0.01
100	1.1	31.31 ± 0.12	15.62 ± 0.18	26.72 ± 0.32	24.11 ± 0.40	5.23 ± 0.02
70	0.2	36.92 ± 0.17	14.55 ± 0.19	24.35 ± 0.11	19.97 ± 0.16	5.27 ± 0.01
70	2.0	36.73 ± 0.33	17.74 ± 0.16	27.65 ± 0.17	26.96 ± 0.11	5.33 ± 0.01
70	1.1	36.15 ± 0.51	15.73 ± 0.35	30.04 ± 0.26	19.46 ± 0.23	5.44 ± 0.01
70	1.1	36.89 ± 0.13	15.21 ± 0.56	29.05 ± 0.41	19.57 ± 0.14	5.35 ± 0.01

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4-HR หมายถึง ปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล (ส่วนในล้านส่วน)

AS หมายถึง ปริมาณของกรดแอสคอร์บิก (ร้อยละ)

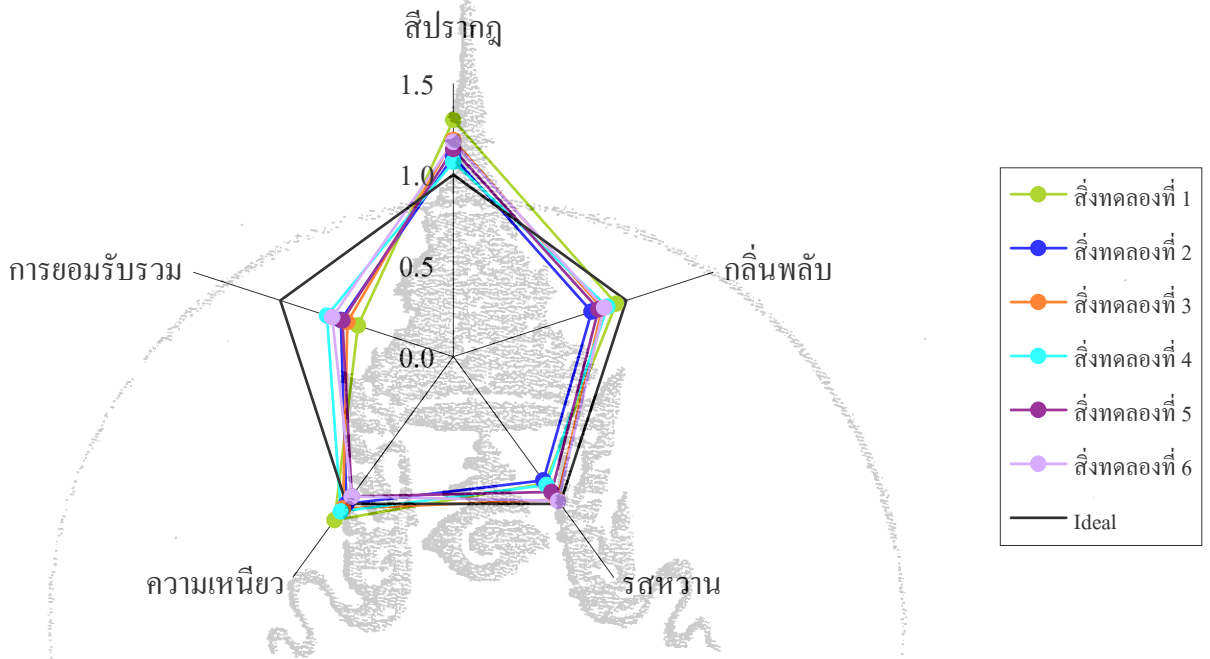
ตาราง 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ทั้งหมึกเมื่อมีการแปรระดับ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิก พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าสี L (ความสว่าง) อยู่ในช่วง 30.75-36.92 ค่าสี a\* (สีแดง) อยู่ในช่วง 14.55-17.74 ค่าสี b\* (สีเหลือง) อยู่ในช่วง 23.57-30.04 มีค่าแรงเฉือนอยู่ในระหว่าง 19.46-26.96 นิวตัน และมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.18-5.44

ตาราง 4.9 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อผันแปรปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิก

สิ่งทดลอง		คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส				
4-HR	AS	สีปรากฏ	กลิ่นพลับ	รสหวาน	ความเหนียว	การยอมรับรวม
40	1.1	1.30 ± 0.25	0.94 ± 0.12	0.86 ± 0.17	1.11 ± 0.26	0.55 ± 0.16
100	1.1	1.10 ± 0.19	0.80 ± 0.13	0.84 ± 0.27	1.00 ± 0.14	0.65 ± 0.07
70	0.2	1.19 ± 0.13	0.86 ± 0.28	0.97 ± 0.09	1.03 ± 0.18	0.61 ± 0.16
70	2.0	1.07 ± 0.13	0.89 ± 0.24	0.87 ± 0.16	1.05 ± 0.25	0.73 ± 0.12
70	1.1	1.14 ± 0.33	0.84 ± 0.13	0.92 ± 0.13	0.95 ± 0.08	0.64 ± 0.17
70	1.1	1.18 ± 0.20	0.87 ± 0.11	0.98 ± 0.10	0.95 ± 0.17	0.70 ± 0.12

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  
 4-HR หมายถึง ปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล (ส่วนในล้านส่วน)  
 AS หมายถึง ปริมาณของกรดแอสคอร์บิก (ร้อยละ)

ตาราง 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า ลักษณะด้านสีปรากฏของพลับอยู่ในช่วง 1.07-1.30 กลิ่นพลับมีค่าอยู่ในช่วง 0.80-0.94 รสหวานมีค่าอยู่ในช่วง 0.84-0.98 ความเหนียวมีค่าอยู่ในช่วง 0.95-1.11 และการยอมรับรวมมีค่าอยู่ในช่วง 0.55-0.73 นำค่าสัดส่วนเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแต่ละลักษณะในแต่ละสิ่งทดลองมาสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์แสดงดังภาพ 4.3



ภาพ 4.3 กราฟเค้าโครงผลผลิตภัณฑ์พลับกิ่งแห้งจากการแปรระดับ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิก

จากค่าเฉลี่ยคุณภาพทางด้านต่าง ๆ ที่ได้ นำไปวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาสมการถดถอย (Stepwise multiple regression) หาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ (4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิก) กับตัวแปรตาม (คุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลผลิตภัณฑ์) โดยเลือกตัวแปรอิสระทั้งสองเข้ามาในโมเดลของสมการ การสร้างสมการด้วย Stepwise regression จะคัดเลือกเฉพาะตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่านั้น ตัวแปรอิสระที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตามจะถูกตัดออกไป ทำให้สมการที่ได้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้อย่างถูกต้อง

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 10.0 พบว่าปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิกมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของพลับกิ่งแห้ง แสดงดังสมการ (Coded equation) ต่อไปนี้

สมการถดถอยที่ยังไม่ถอดรหัส		R <sup>2</sup>
<b>ลักษณะทางกายภาพ</b>		
ค่าสี L	$= 36.520 + 2.897(AS) - 2.592(4-HR)^2$	0.9900
<b>ลักษณะทางประสาทสัมผัส</b>		
สีปรากฏ	$= 1.163 - 0.08(4-HR)$	0.7770
ความเหนียว	$= 0.950 + 0.097(4-HR)^2$	0.6620

หมายเหตุ: 4-HR หมายถึง ปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล (ส่วนในล้านส่วน)

AS หมายถึง ปริมาณของกรดแอสคอร์บิก (ร้อยละ)

R<sup>2</sup> คือ Coefficient of determination

สมการที่ได้เป็นสมการที่ยังไม่ได้ถอดรหัส (Coded equation) ดังนั้นจึงต้องทำการถอดรหัสของตัวแปรอิสระให้อยู่ในรูปสมการที่ถอดรหัส (Decoded equation) เพื่อให้สามารถนำสมการไปใช้ทำนายผลการทดลอง สมการที่เลือกจะต้องมีค่า R<sup>2</sup> สูงซึ่งแสดงว่าสมการนั้นใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้ดี สมการความสัมพันธ์ของความเหนียวมีค่า R<sup>2</sup> ต่ำ จึงไม่นำไปถอดรหัสเพราะไม่สามารถทำนายความสัมพันธ์ได้อย่างเหมาะสม แต่สามารถบอกแนวโน้มของความสัมพันธ์ได้ สมการความสัมพันธ์ของความเหนียวอธิบายได้ว่า เมื่อปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลเพิ่มขึ้นทำให้ลักษณะด้านความเหนียวเข้าใกล้ค่าในอุดมคติมาก

การถอดรหัสของสมการ มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ปัจจัยที่ยังไม่ถอดรหัส} = \frac{\text{ค่าจริง} - (\text{ค่าที่ระดับสูงของปัจจัยนั้น} + \text{ค่าที่ระดับต่ำของปัจจัยนั้น})/2}{(\text{ค่าที่ระดับสูงของปัจจัยนั้น} - \text{ค่าที่ระดับต่ำของปัจจัยนั้น})/2}$$

สมการที่ถอดรหัสแล้ว (Decoded equation) เป็นดังนี้

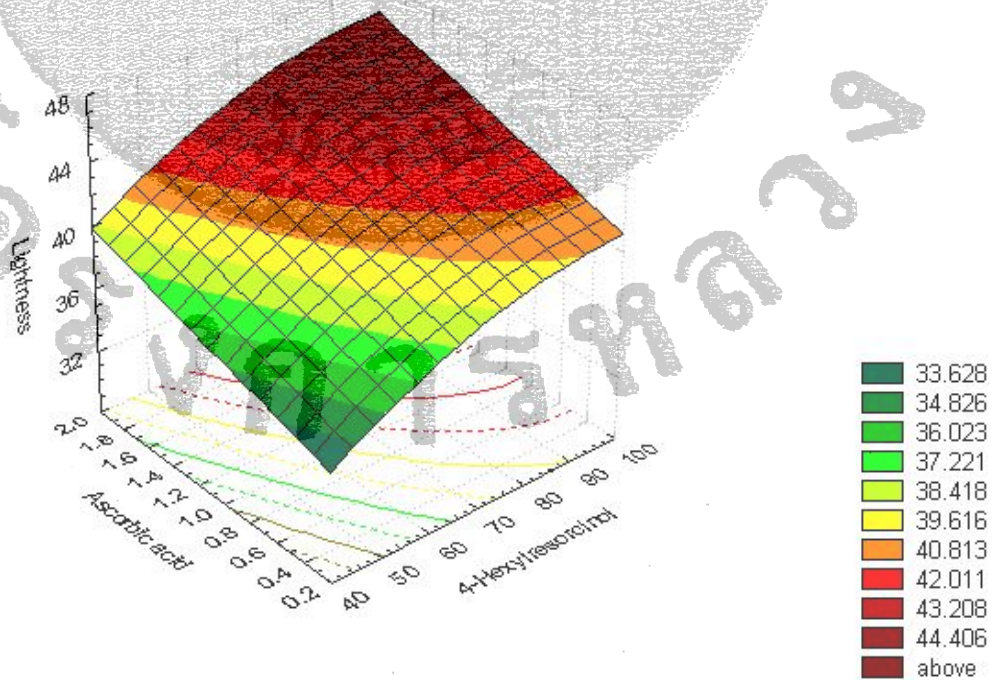
สมการถดถอยถดถอย		R <sup>2</sup>
<b>ลักษณะทางกายภาพ</b>		
ค่าสี L	$= 18.867 + 3.218(AS) + 0.403(4-HR) - 0.002(4-HR)^2$	0.9900
<b>ลักษณะทางประสาทสัมผัส</b>		
สีปรากฏ	$= 1.349 - 0.002(4-HR)$	0.7770

หมายเหตุ : 4-HR หมายถึง ปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล (ส่วนในล้านส่วน)

AS หมายถึง ปริมาณของกรดแอสคอร์บิก (ร้อยละ)

R<sup>2</sup> คือ Coefficient of determination

สำหรับสมการถดถอยของลักษณะทางกายภาพ แสดงให้เห็นว่า 4-เฮกซิลเรโซซินอล และกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อค่าสี L (ความสว่าง) แสดงในกราฟพื้นที่ตอบสนอง (Response surface) ดังภาพ 4.4



ภาพ 4.4 กราฟพื้นที่การตอบสนองของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิกต่อค่าสี L (ความสว่าง)

จากกราฟพื้นที่การตอบสนองของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิกต่อค่าสี L (ความสว่าง) จะเห็นได้ว่าปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิกที่เพิ่มขึ้นทำให้ปลั๊กกึ่งแห้งมีความสว่างเพิ่มมากขึ้น ดังตาราง 4.10 ตารางทำนายค่าสี L (ความสว่าง) เมื่อแปรปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิก

ตาราง 4.10 การทำนายค่าสี L (ความสว่าง) ของปลั๊กกึ่งแห้งที่แช่ในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่แปรปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิก

4-เฮกซิลเรโซซินอล (ส่วนในล้านส่วน)	กรดแอสคอร์บิก (ร้อยละ)	ค่าสี L (ความสว่าง)
40	0.2	32.43
40	1.1	35.32
40	2.0	38.22
70	0.2	37.92
70	1.1	40.81
70	2.0	43.71
100	0.2	39.81
100	1.1	42.70
100	2.0	45.60

4-เฮกซิลเรโซซินอลถูกนำมาใช้เป็นตัวยับยั้งการเกิดจุดสีดํา(melanosis)ในกึ่ง (Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1995) โดย 4-เฮกซิลเรโซซินอล 1 กรัมต่อลิตรสามารถยับยั้ง PPO ที่สกัดจากกึ่งได้ร้อยละ 80 (Montero *et al.*, 2001) นอกจากนี้ยังนำไปใช้กับผักและผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิล (Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1995) หนุ่ Burdock (Lee-Kim *et al.*, 1997) ลูกแพร์ (Sapers *et al.*, 1998) มะม่วง (Gonzalez-Aguilar, 2000) มันฝรั่ง (Reyes-Moreno *et al.*, 2002) และ หัวผักกาดขาว (Gonzalez-Aguilar, 2001) เป็นต้น การใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอลร่วมกับกรดแอสคอร์บิกจะเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจาก 4-เฮกซิลเรโซซินอลเป็นตัวยับยั้ง PPO ทำให้การเกิดสารควิโนนเป็นไปอย่างจำกัด แต่อาจมีสารควิโนนเกิดขึ้นได้เมื่อใช้ร่วมกับกรดแอสคอร์บิก กรดแอสคอร์บิกจะไปรีดิวซ์สารควิโนนให้กลับมาอยู่ในรูปสารประกอบฟีนอลก่อนที่สารควิโนนจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็นสารสีน้ำตาล (Luo and

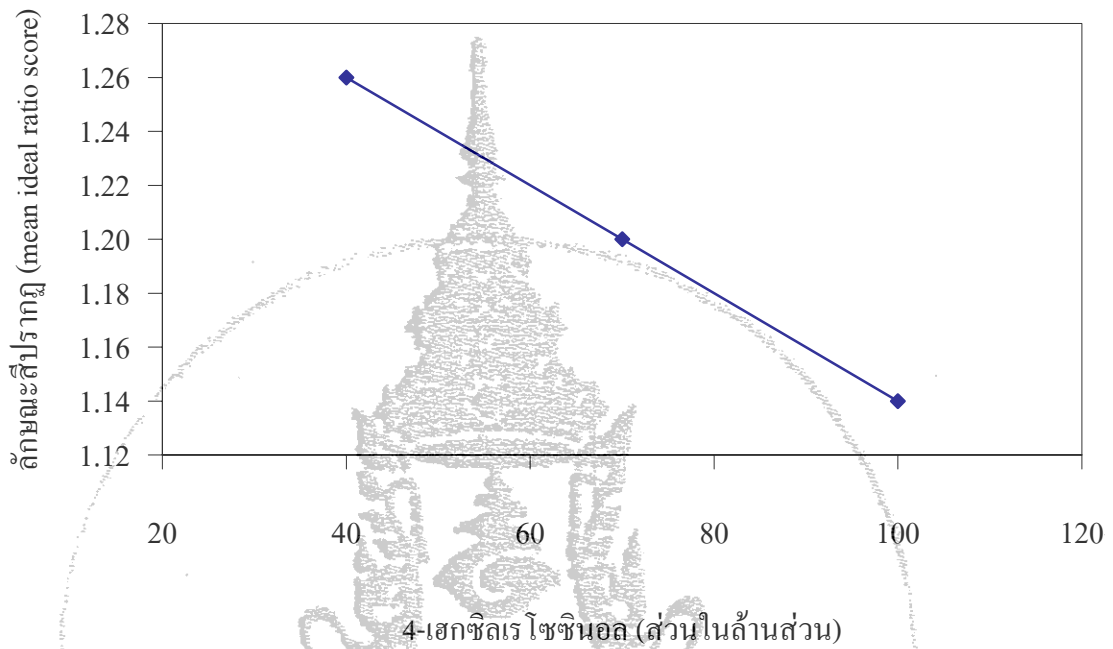
Barbosa-Canovas, 1995) สอดคล้องกับ Dong *et al* (2000) ที่กล่าวว่าขึ้นลูกแพร์ที่จุ่มในสารละลายที่ประกอบด้วย 4-เฮกซิลเรโซซินอลร้อยละ 0.01 กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0.5 และแคลเซียมแลคเตทร้อยละ 1.0 เป็นเวลา 2 นาที แล้วบรรจุภายใต้สุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียส สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้นานถึง 30 วัน ส่วนกรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะสามารถรีดิวซ์สารควิโนนให้กลับมาอยู่ในรูปสารประกอบฟีนอลตามเดิม และสามารถทำให้สารละลายมีความเป็นกรด-ด่างไม่เหมาะสมต่อการทำงานของ PPO ได้

ในสมการถอดรหัสของลักษณะทางประสาทสัมผัส สามารถนำมาวิเคราะห์ระดับของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลที่เหมาะสมได้ จากภาพ 4.5 จะเห็นได้ว่าการยอมรับด้านสีปรากฏของพลับกึ่งแห้งขึ้นกับปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอล ส่วนปริมาณของกรดแอสคอร์บิกไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะด้านสีปรากฏ ดังนั้นไม่ว่าจะใช้กรดแอสคอร์บิกปริมาณเท่าใดในช่วงร้อยละ 0.2-2 ก็ไม่ทำให้ลักษณะด้านสีปรากฏของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน ปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลที่ทำให้พลับกึ่งแห้งมีการยอมรับด้านสีปรากฏของผลิตภัณฑ์เข้าใกล้ค่าในอุดมคติหรือใกล้เคียงกับ 1.00 มากที่สุดคือ 100 ส่วนในล้านส่วน โดยจะมีค่าคะแนนการทดสอบด้านสีปรากฏเท่ากับ 1.14 ดังตาราง 4.11 ในการทดลองนี้จะเลือกใช้กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 2.0 เนื่องจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสดังตาราง 4.9 มีคะแนนการยอมรับรวมเท่ากับ 0.73 ซึ่งมากกว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0.2 ที่มีคะแนนการยอมรับรวมเป็น 0.61

ตาราง 4.11 การทำนายค่าคะแนนด้านสีปรากฏจากการผันแปรปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอล

4-เฮกซิลเรโซซินอล (ส่วนในล้านส่วน)	ค่าคะแนนด้านสีปรากฏ (Mean ideal ratio score)
40	1.26
70	1.20
100	1.14





ภาพ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 4-เฮกซิลเรโซซินอลและลักษณะด้านสีปรากฏของปลับกึ่งแห้ง

ดังนั้นปริมาณที่เหมาะสม ได้แก่ 4-เฮกซิลเรโซซินอล 100 ส่วนในล้านส่วน และกรดแอสคอร์บิกร้อยละ 2.0 ซึ่งที่ระดับนี้จะทำให้คะแนนลักษณะด้านสีปรากฏเป็น 1.14 ซึ่งเป็นค่าที่เข้าใกล้ค่าในอุดมคติมาก และสอดคล้องกับทำให้ค่าสี L (ความสว่าง) ของผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสูงสุดคือ 45.60



#### 4.2.2 ศึกษาการใช้กรดซิตริกและโซเดียมอริทอไรบที่ที่เหมาะสม

กรดซิตริกและโซเดียมอริทอไรบเป็นอีก 2 ปัจจัยหลักที่ด้านการเกิดสีน้ำตาลที่ต้องทำการศึกษาระดับที่เหมาะสม ปริมาณของกรดซิตริกและโซเดียมอริทอไรบที่ใช้จะต่ำลงจากการทดลองตอนที่ 4.1 เพราะจะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่า ส่วนปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิกที่ใช้จะเป็นระดับใหม่จากการทดลองตอนที่ 4.2.1 คือ 4-เฮกซิลเรโซซินอล 100 ส่วนในล้านส่วน กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 2.0 ส่วนโซเดียมแอสซิดไฟโรฟอสเฟตใช้ร้อยละ 0.5 วางแผนการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial experiment รวมกับการทดลองที่จุดกึ่งกลาง 2 ซ้ำ มีจำนวนสิ่งทดลองทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง กำหนดระดับของปัจจัยดังนี้

ตาราง 4.12 ปริมาณของกรดซิตริกและโซเดียมอริทอไรบที่ทำการศึกษา

ปัจจัยที่ศึกษา	ระดับต่ำ (-1)	ระดับกึ่งกลาง (0)	ระดับสูง (+1)
กรดซิตริก (ร้อยละ)	0.5	1.1	1.7
โซเดียมอริทอไรบ (ร้อยละ)	0.5	1.1	1.7

นำกลับกึ่งแข็งที่ผลิตได้มาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพด้านประสาทสัมผัส ผลจากการวิเคราะห์แสดงดังตาราง 4.13 และ 4.14

ตาราง 4.13 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์เมื่อผันแปรปริมาณกรดซิตริกและโซเดียมอริทอไรบเท

สิ่งทดลอง		ค่าสี			แรงเนียน	ความเป็นกรด-ด่าง
CA	NE	L	a*	b*	(นิวตัน)	(pH)
5	5	29.59 ± 0.28	11.16 ± 0.17	21.68 ± 0.22	22.98 ± 0.40	5.11 ± 0.02
17	5	31.91 ± 0.10	14.44 ± 0.20	24.66 ± 0.49	23.88 ± 0.21	4.34 ± 0.01
5	17	33.79 ± 0.85	13.26 ± 0.18	16.50 ± 0.28	39.37 ± 0.17	5.03 ± 0.01
17	17	39.13 ± 0.58	14.10 ± 0.25	27.16 ± 0.17	37.64 ± 0.12	4.70 ± 0.03
11	11	34.73 ± 0.69	14.04 ± 0.42	26.93 ± 0.14	37.23 ± 0.19	4.61 ± 0.02
11	11	36.55 ± 0.43	13.61 ± 0.52	26.30 ± 0.40	42.67 ± 0.38	4.58 ± 0.02

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

CA หมายถึง ปริมาณของกรดซิตริก (ร้อยละ)

NE หมายถึง ปริมาณของโซเดียมอริทอไรบเท (ร้อยละ)

ตาราง 4.14 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อผันแปรปริมาณกรดซิตริกและโซเดียมอริทอไรบเท

สิ่งทดลอง		คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส				
CA	NE	สีปรากฏ	กลิ่นพลับ	รสหวาน	ความเหนียว	การยอมรับรวม
5	5	1.41 ± 0.33	0.89 ± 0.20	0.81 ± 0.21	1.10 ± 0.23	0.66 ± 0.13
17	5	1.03 ± 0.07	0.96 ± 0.11	0.66 ± 0.10	1.12 ± 0.36	0.67 ± 0.09
5	17	1.50 ± 0.36	1.02 ± 0.08	0.87 ± 0.15	1.18 ± 0.16	0.64 ± 0.14
17	17	1.13 ± 0.20	0.97 ± 0.16	0.84 ± 0.14	1.17 ± 0.18	0.72 ± 0.08
11	11	1.30 ± 0.26	0.91 ± 0.13	0.89 ± 0.11	1.09 ± 0.14	0.76 ± 0.11
11	11	1.17 ± 0.22	0.94 ± 0.20	0.80 ± 0.16	1.16 ± 0.21	0.68 ± 0.09

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

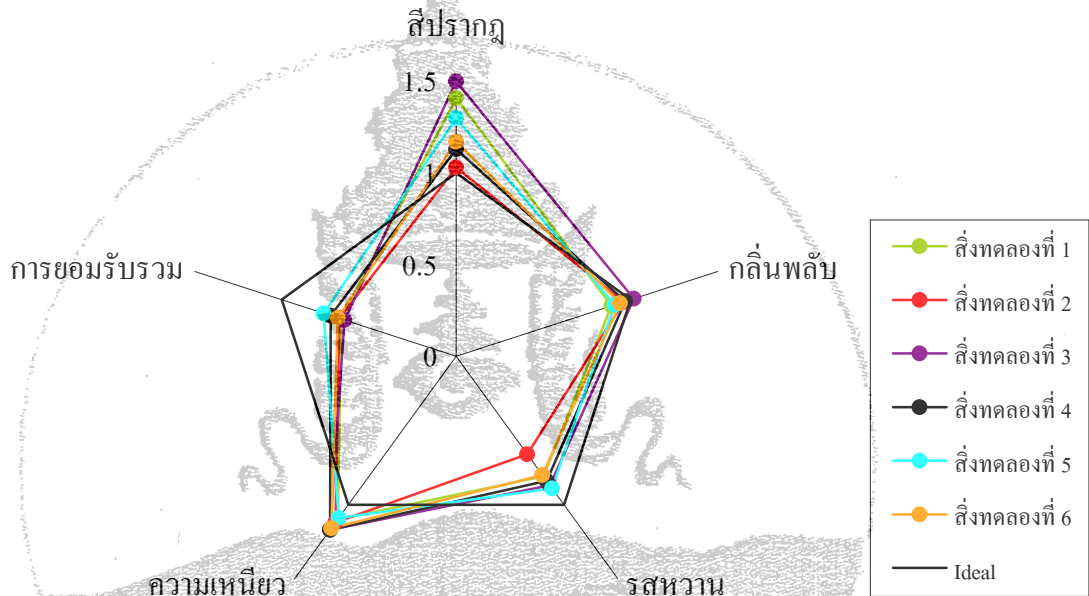
CA หมายถึง ปริมาณของกรดซิตริก (ร้อยละ)

NE หมายถึง ปริมาณของโซเดียมอริทอไรบเท (ร้อยละ)

ตาราง 4.13 แสดงผลของกรดซิตริกและโซเดียมอิริทอร์เบทต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของพลับกึ่งแห้ง พบว่าพลับกึ่งแห้งมีค่าสี L (ความสว่าง) ค่าสี a\* (สีแดง) ค่าสี b\* (สีเหลือง) อยู่ในช่วง 29.59-39.13, 11.16-14.44 และ 16.50-27.16 ตามลำดับ ส่วนแรงเหวี่ยงมีค่าอยู่ระหว่าง 23.88-42.67 นิวตันโดยแรงเหวี่ยงจะมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้กรดซิตริกและโซเดียมอิริทอร์เบทระดับต่ำและมีค่าสูงสุดเมื่อใช้กรดซิตริกและโซเดียมอิริทอร์เบทระดับกึ่งกลาง สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างของพลับกึ่งแห้งอยู่ในช่วง 4.34-5.11 โดยมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้กรดซิตริกระดับสูงและใช้โซเดียมอิริทอร์เบทระดับต่ำ และมีค่าสูงสุดเมื่อใช้กรดซิตริกและโซเดียมอิริทอร์เบทในระดับต่ำ โซเดียมอิริทอร์เบทเป็นสารรีดิวซิงป้องกันการเสื่อมสลายของสีได้ ส่วนกรดซิตริกมีคุณสมบัติเป็นกรดทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง และเป็นสารจับโลหะโดยไปจับกับคอปเปอร์บริเวณ active site ของ PPO ทำให้สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ได้ (Lee *et al.*, 2003) ซึ่งสอดคล้องกับ Gomez-Lopez (2002) ที่รายงานว่า การจุ่มอะโวคาโดในสารละลายที่ประกอบด้วยกรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริกร้อยละ 1 มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้นาน 15 วัน

ตาราง 4.14 แสดงผลของกรดซิตริกและโซเดียมอิริทอร์เบทต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของพลับกึ่งแห้ง พบว่าค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏมีค่าอยู่ในช่วง 1.03-1.41 การใช้กรดซิตริกระดับสูงและโซเดียมอิริทอร์เบทระดับต่ำทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสีเข้าใกล้ค่าในอุดมคติมากที่สุด ส่วนการใช้กรดซิตริกและโซเดียมอิริทอร์เบทในระดับต่ำทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสีมากกว่าค่าในอุดมคติคือมีสีน้ำตาล ส่วนลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นพลับพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติคืออยู่ในช่วง 0.89-1.02 สำหรับรสหวานมีค่าคะแนนอยู่ในช่วง 0.66-0.89 หมายความว่าผลิตภัณฑ์มีรสหวานแตกต่างกันมาก โดยการใช้กรดซิตริกในระดับสูงและโซเดียมอิริทอร์เบทระดับต่ำทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสหวานน้อยที่สุด เนื่องจากมีรสเปรี้ยวจากกรดซิตริก สอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่างของพลับกึ่งแห้งที่เป็น 4.34 ผลิตภัณฑ์มีรสหวานสูงสุดเมื่อใช้กรดซิตริกและโซเดียมอิริทอร์เบทระดับกึ่งกลาง ความเหนียวของพลับกึ่งแห้งมีค่าคะแนนอยู่ในช่วง 1.09-1.18 หมายความว่าผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสแข็งมากกว่าที่ผู้บริโภคต้องการ โดยค่าคะแนนด้านความเหนียวต่ำที่สุดเมื่อใช้กรดซิตริกและโซเดียมอิริทอร์เบทระดับกึ่งกลาง และมีความเหนียวสูงสุดเมื่อใช้กรดซิตริกระดับต่ำและโซเดียมอิริทอร์เบทระดับสูง ส่วนการยอมรับรวมมีค่าคะแนนอยู่ในช่วง 0.64-0.76 ซึ่งการยอมรับรวมต่ำสุดเมื่อใช้กรดซิตริกระดับต่ำและโซเดียมอิริทอร์เบทระดับสูง และมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ระดับกึ่งกลาง

นำค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean ideal ratio score) ที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแต่ละลักษณะในแต่ละสูตรมาสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์ในรูปแบบกราฟใยแมงมุม ดังภาพ 4.6

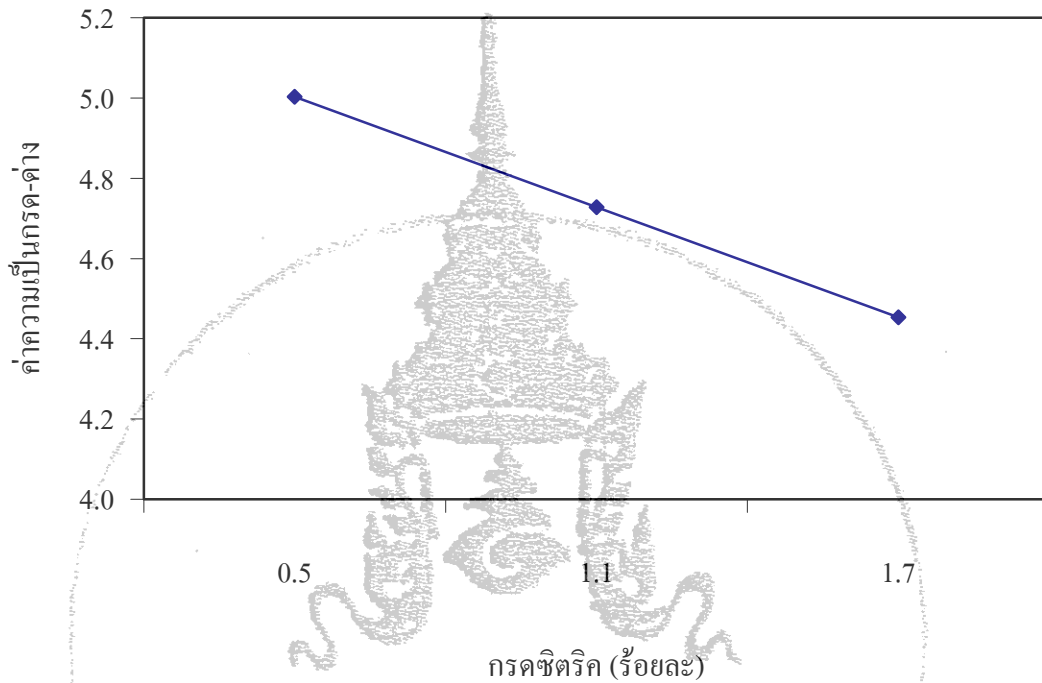


ภาพ 4.6 กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์พลับกิ่งแห้งจากการแปรปริมาณกรดซิตริกและโซเดียม-อิริทอริเบท

นำค่าเฉลี่ยคุณภาพทางด้านต่าง ๆ ที่ได้ ไปวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาสมการถดถอย (Stepwise multiple regression) และหาความสัมพันธ์ของตัวแปร พบว่า กรดซิตริกและโซเดียมอิริทอริเบทมีผลต่อคุณภาพต่าง ๆ ของพลับกิ่งแห้งดังสมการ (Coded equation) ต่อไปนี้

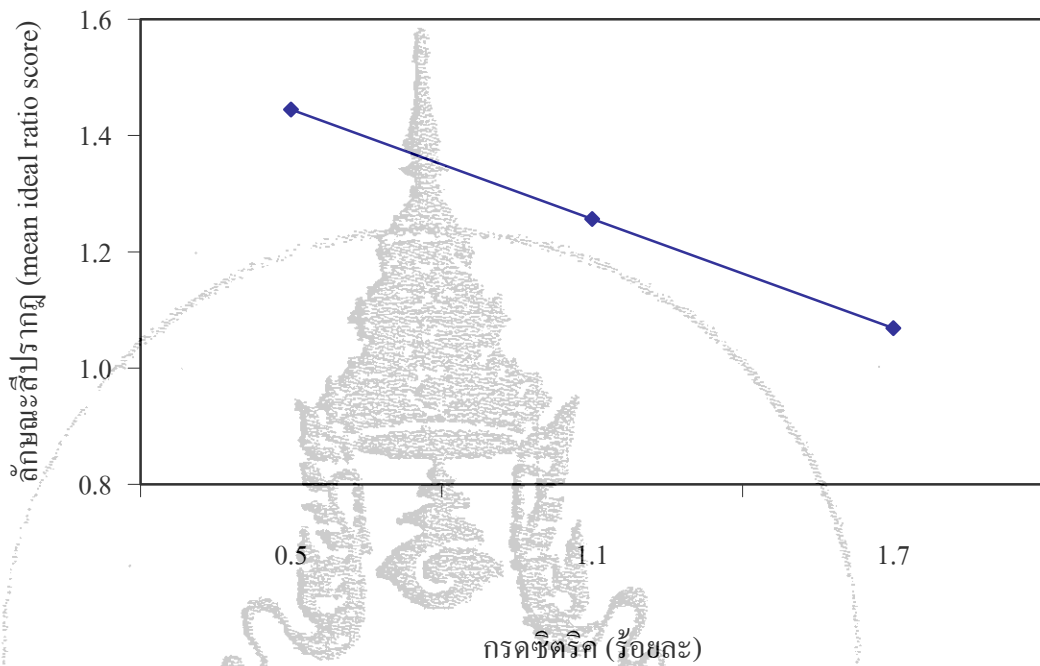
สมการถดถอยที่ยังไม่ถอดรหัส		R <sup>2</sup>
<b>ลักษณะทางเคมี</b>		
ความเป็นกรด-ด่าง	= 4.728-0.275(CA)	0.7130
<b>ลักษณะทางประสาทสัมผัส</b>		
สีปรากฏ	= 1.257-0.188(CA)	0.8810
หมายเหตุ : CA หมายถึง ปริมาณของกรดซิตริก (ร้อยละ)		
R <sup>2</sup> คือ Coefficient of determination		
สมการที่ได้เป็นสมการที่ยังไม่ได้ถอดรหัส (Coded equation) ต้องทำการถอดรหัสของตัวแปรอิสระ (กรดซิตริก) ให้อยู่ในรูปสมการถอดรหัส (Decoded equation) เพื่อนำไปทำนายระดับการใช้ที่เหมาะสมของกรดซิตริก		
สมการถดถอยถอดรหัส		R <sup>2</sup>
<b>ลักษณะทางเคมี</b>		
ความเป็นกรด-ด่าง	= 5.232-0.458(CA)	0.7130
<b>ลักษณะทางประสาทสัมผัส</b>		
สีปรากฏ	= 1.601-0.313(CA)	0.8810
หมายเหตุ : CA หมายถึง ปริมาณของกรดซิตริก (ร้อยละ)		
R <sup>2</sup> คือ Coefficient of determination		

ภาพ 4.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดซิตริกและค่าความเป็นกรด-ด่างของพลับกึ่งแห้ง มีความสัมพันธ์กันแบบสมการเส้นตรง เมื่อใช้กรดซิตริกปริมาณสูงขึ้นทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง



ภาพ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกรดชิตริกและค่าความเป็นกรด-ต่าง

นำสมการถดถอยของค่าคะแนนการยอมรับด้านสีปรากฏมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ ดังภาพ 4.8 เพื่อหาปริมาณของกรดชิตริกที่ทำให้ค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏเข้าใกล้ค่า ในอุดมคติหรือใกล้เคียงกับ 1.00 มากที่สุด พบว่าการใช้กรดชิตริกระดับสูงคือร้อยละ 1.7 ทำให้ ผลลัพธ์ที่มีค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏเข้าใกล้ค่าในอุดมคติมากที่สุดคือ 1.06 สำหรับโซเดียม- อีริทอร์เบทจะเลือกใช้ร้อยละ 1.7 เนื่องจากทำให้ผลลัพธ์ที่มีค่าคะแนนการยอมรับรวมสูงคือ 0.72 อีกทั้งค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวานเข้าใกล้ค่าในอุดมคติคือ 0.84 เพราะไม่มีรสเปรี้ยวจาก กรดชิตริก



ภาพ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิงตริกและค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏ

ผลการทดลองตอนที่ 4.1-4.2.2 ทำให้ทราบปริมาณที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อการดำเนินการเกิดสีน้ำตาล คือ

- |                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| - 4-เฮกซิลเรโซซินอล       | 100 ส่วนในล้านส่วน |
| - กรดแอสคอร์บิก           | รื่อยละ 2.0        |
| - กรดซิงตริก              | รื่อยละ 1.7        |
| - โซเดียมอีริทอร์เบท      | รื่อยละ 1.7        |
| - โซเดียมแอสซิดไฟโรฟอสเฟต | รื่อยละ 0.5        |

การเตรียมสารละลาย จะใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักกับปริมาณพลับที่ต้องการแช่ เช่น เมื่อต้องการแช่พลับ 1 กิโลกรัม ต้องใช้น้ำ 1 กิโลกรัมหรือ 1 ลิตรในการละลายสารด้านการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 5 ชนิด

#### 4.3 ศึกษาหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการแช่ปลับในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล

เมื่อหาสูตรของสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่เหมาะสมได้แล้ว การทดลองขั้นต่อไปนี้จะเป็นการศึกษาหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการแช่ปลับในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล วางแผนการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial experiment with central composite design มีจำนวนสิ่งทดลองทั้งหมด 10 สิ่งทดลอง ดังแสดงในตาราง 4.15

ตาราง 4.15 สิ่งทดลองสำหรับการหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมของการแช่ปลับในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล

สิ่งทดลอง	รหัส	อุณหภูมิ			เวลา
		ระดับ	องศาเซลเซียส	ระดับ	
1	(1)	-1	31	-1	14
2	a	+1	47	-1	14
3	b	-1	31	+1	36
4	ab	+1	47	+1	36
5	$-\alpha a$	$-\alpha$	28	0	25
6	$+\alpha a$	$+\alpha$	50	0	25
7	$-\alpha b$	0	39	$-\alpha$	10
8	$+\alpha b$	0	39	$+\alpha$	40
9	cp1	0	39	0	25
10	cp2	0	39	0	25

ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และลักษณะทางประสาทสัมผัส ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตาราง 4.16 และ 4.17



ตาราง 4.16 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของปลับกึ่งแห้งที่แช่ในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่แปรอุณหภูมิและเวลาในการแช่

สิ่งทดลอง		ค่าสี			แรงเนียน	ความเป็นกรด-ด่าง
Temp	Time	L	a*	b*	(นิวตัน)	(pH)
31	14	34.83 ± 0.28	18.37 ± 0.04	28.96 ± 0.05	15.13 ± 0.16	5.09 ± 0.02
47	14	37.73 ± 0.14	13.76 ± 0.19	19.43 ± 0.08	23.16 ± 0.10	4.75 ± 0.03
31	36	37.86 ± 0.05	13.82 ± 0.25	21.49 ± 0.14	30.01 ± 0.19	4.59 ± 0.01
47	36	40.58 ± 0.26	13.10 ± 0.17	26.89 ± 0.11	34.92 ± 0.29	4.42 ± 0.01
28	25	30.51 ± 0.25	16.07 ± 0.15	25.00 ± 0.09	18.86 ± 0.17	4.87 ± 0.02
50	25	39.13 ± 0.11	13.10 ± 0.28	16.82 ± 0.18	26.48 ± 0.28	4.76 ± 0.02
39	10	34.01 ± 0.21	16.54 ± 0.16	27.29 ± 0.21	26.16 ± 0.15	5.08 ± 0.01
39	40	32.90 ± 0.28	14.70 ± 0.07	21.80 ± 0.15	21.92 ± 0.20	4.54 ± 0.02
39	25	33.58 ± 0.20	15.19 ± 0.12	27.82 ± 0.22	22.86 ± 0.16	4.68 ± 0.03
39	25	32.75 ± 0.08	15.31 ± 0.16	24.09 ± 0.14	29.33 ± 0.17	4.49 ± 0.01

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

Temp หมายถึง อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

Time หมายถึง เวลา (นาที)

ตาราง 4.16 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ต่อคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของปลับกึ่งแห้ง พบว่าปลับกึ่งแห้งมีค่าสี L (ความสว่าง) อยู่ในช่วง 30.51-40.58 โดยมีความสว่างต่ำสุดเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำที่สุดและเวลาในการแช่ระดับกึ่งกลาง และให้ความสว่างมากที่สุดเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการแช่ระดับสูง ค่าสี a\* (สีแดง) มีค่าอยู่ในช่วง 13.10-18.37 ซึ่งมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการแช่ระดับสูงและให้ค่าสูงสุดเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการแช่ระดับต่ำ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี L ที่ลดลงและค่าสี a\* ที่เพิ่มขึ้นคือบ่งบอกถึงผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาลมากขึ้น ค่าสี b\* (สีเหลือง) มีค่าอยู่ในช่วง 16.82-28.96 โดยมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้อุณหภูมิสูงสุดและเวลาในการแช่ระดับกึ่งกลาง ให้ค่าสีเหลืองสูงสุดเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการแช่ระดับต่ำ ค่าแรงเนียนมีค่าอยู่ในช่วง 15.13-34.92 นิวตัน โดยมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการแช่ระดับต่ำและมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ระดับสูง คุณภาพทางเคมี คือค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าอยู่ในช่วง 4.42-5.09 โดยมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการแช่ระดับสูงและให้ค่าสูงสุดเมื่อใช้ระดับต่ำ การแช่ทำให้น้ำเนื้อเยื่อของปลับนึ่ง เมื่อใช้อุณหภูมิสูงและเวลาในการแช่นานทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสว่างสูง

แต่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำซึ่งสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ เวลาในการแช่ที่นานทำให้สารละลายซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อได้มากและดูดซับไว้มาก ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยว นอกจากนี้อุณหภูมิของสารละลายที่สูงทำให้เนื้อเยื่อของปลับและเกิดปัญหาสำหรับการเรียงปลับในเครื่องทำแห้ง

ตาราง 4.17 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของปลับกึ่งแห้งที่แช่ในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่แปรอุณหภูมิและเวลาในการแช่

สิ่งทดลอง		คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส				
Temp	Time	สีปรากฏ	กลิ่นปลับ	รสหวาน	ความเหนียว	การยอมรับรวม
31	14	1.02 ± 0.05	0.99 ± 0.12	0.81 ± 0.16	0.77 ± 0.09	0.63 ± 0.11
47	14	1.16 ± 0.19	0.97 ± 0.13	1.03 ± 0.15	1.05 ± 0.18	0.72 ± 0.08
31	36	1.18 ± 0.13	0.95 ± 0.09	0.85 ± 0.17	1.00 ± 0.04	0.76 ± 0.12
47	36	1.15 ± 0.23	0.94 ± 0.15	0.79 ± 0.14	1.22 ± 0.13	0.66 ± 0.17
28	25	1.10 ± 0.09	1.00 ± 0.10	1.08 ± 0.20	0.98 ± 0.07	0.75 ± 0.10
50	25	1.08 ± 0.14	0.98 ± 0.09	0.85 ± 0.04	1.16 ± 0.16	0.71 ± 0.05
39	10	1.23 ± 0.20	0.97 ± 0.08	0.80 ± 0.15	1.03 ± 0.06	0.65 ± 0.09
39	40	1.09 ± 0.18	0.98 ± 0.11	0.78 ± 0.08	1.07 ± 0.13	0.70 ± 0.14
39	25	1.05 ± 0.08	0.95 ± 0.14	0.98 ± 0.11	1.01 ± 0.17	0.81 ± 0.12
39	25	1.03 ± 0.12	1.01 ± 0.05	0.99 ± 0.15	1.05 ± 0.09	0.79 ± 0.08

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

Temp หมายถึง อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

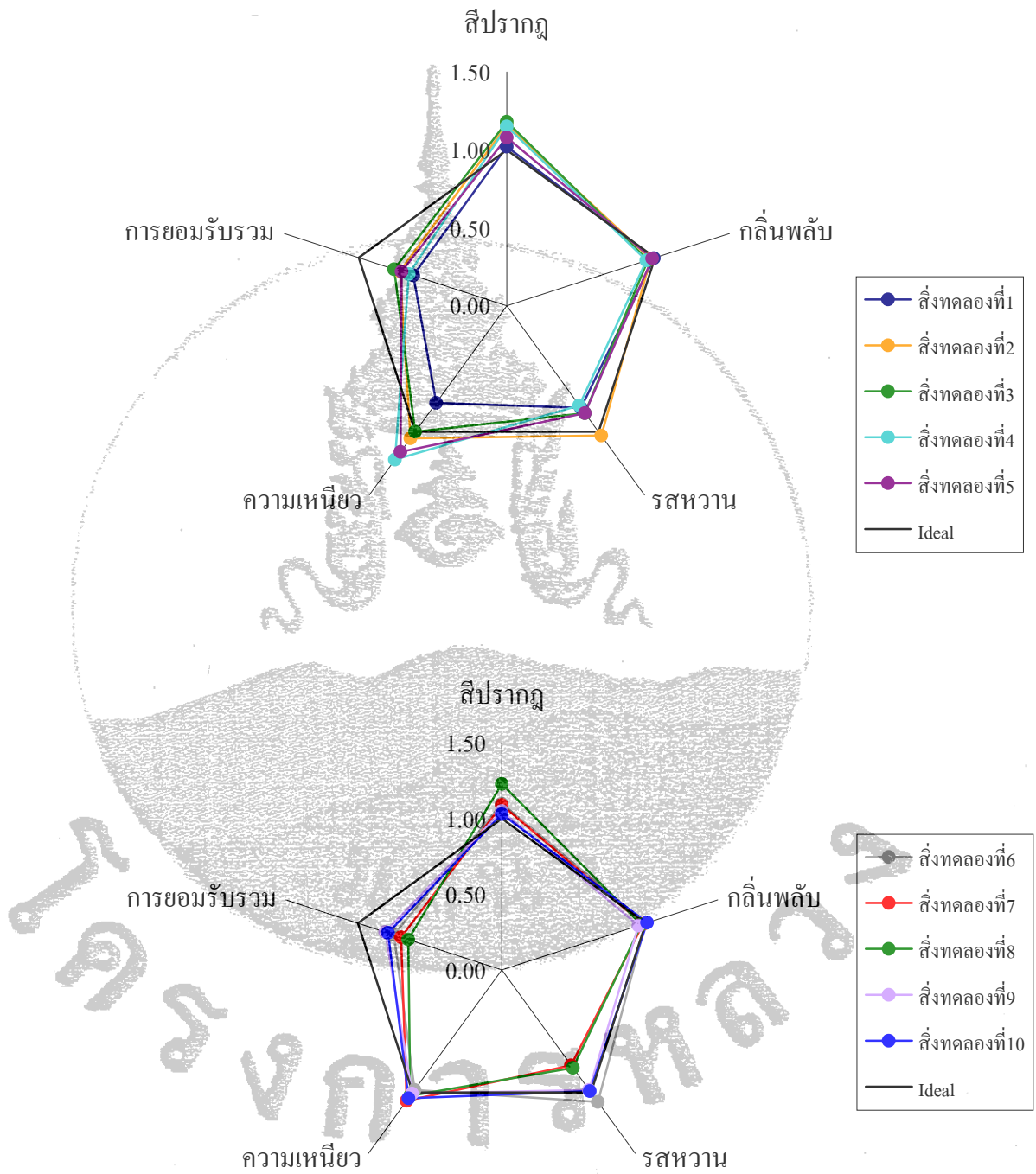
Time หมายถึง เวลา (นาที)

ตาราง 4.17 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของปลับกึ่งแห้ง พบว่าค่าคะแนนการยอมรับด้านสีปรากฏมีค่าอยู่ในช่วง 1.02-1.23 ซึ่งการใช้อุณหภูมิและเวลาในการแช่ระดับต่ำทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสีเข้าใกล้ค่าในอุดมคติมากที่สุด และการใช้อุณหภูมิต่ำกึ่งกลางเวลาต่ำสุดในการแช่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสีมากกว่าค่าในอุดมคติมากที่สุด ผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาลเกิดขึ้น ส่วนกลิ่นปลับพบว่ามีค่าใกล้เคียงค่าในอุดมคติคืออยู่ในช่วง 0.94-1.01 รสหวานมีค่าคะแนนอยู่ในช่วง 0.78-1.08 แสดงถึงผลิตภัณฑ์มีรสหวานแตกต่างกันมาก โดยมีรสหวานต่ำสุดเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำกึ่งกลางเวลาในการแช่ระดับสูงสุด และให้รสหวานสูงสุดเมื่อใช้

อุณหภูมิต่ำที่สุดและเวลาในการแช่ระดับกึ่งกลาง ความเหนียวของพลาบ์กึ่งแห้งมีค่าคะแนนอยู่ในช่วง 0.77-1.22 ซึ่งสอดคล้องกับค่าแรงเฉือน กล่าวคือมีความเหนียวต่ำสุดเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการแช่ระดับต่ำ และมีค่าสูงสุดเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการแช่ระดับสูง การยอมรับรวมมีค่าคะแนนอยู่ในช่วง 0.63-0.81 ซึ่งการยอมรับรวมต่ำสุดเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการแช่ระดับต่ำ และมีค่าสูงสุดเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการแช่ระดับกึ่งกลาง

นำค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean ideal ratio score) ที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแต่ละลักษณะในแต่ละสูตรมาสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์ในรูปแบบกราฟิวยามงม ดังภาพ 4.9





ภาพ 4.9 กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์หลักถึงห้าจากการแปรรูปหมูและเวลาในการแช่

นำค่าเฉลี่ยคุณภาพทางด้านต่าง ๆ ที่ได้ ไปวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาสมการถดถอย (Stepwise multiple regression) และหาความสัมพันธ์ของตัวแปร พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการแช่มีผลต่อคุณภาพต่าง ๆ ดังสมการ (Coded equation) ต่อไปนี้

สมการถดถอยที่ยังไม่ถดถอย		R <sup>2</sup>
<b>ลักษณะทางเคมี</b>		
ความเป็นกรด-ด่าง	= 4.727-0.199(time)	0.6550
<b>ลักษณะทางประสาทสัมผัส</b>		
รสหวาน	= 0.971-0.094(time) <sup>2</sup>	0.4400
ความเหนียว	= 1.034+0.09(temp)+0.06(time)	0.7680
การยอมรับรวม	= 0.800+0.02(time)-0.048(temp)(time)-0.038(temp) <sup>2</sup> -0.065(time) <sup>2</sup>	0.9620

หมายเหตุ : Temp หมายถึง อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

Time หมายถึง เวลา (นาที)

R<sup>2</sup> คือ Coefficient of determination

สมการ Coded equation ทั้ง 4 สมการไม่สามารถนำมาใช้บอกความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการแช่ได้ทั้งหมด เนื่องจากมีบางสมการมีค่า R<sup>2</sup> ต่ำ ได้แก่สมการความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรด-ด่าง และสมการความสัมพันธ์ของรสหวาน จึงไม่นำสองสมการนี้ไปถดถอยเพราะไม่สามารถทำนายความสัมพันธ์ได้อย่างเหมาะสม แต่ทั้งสองสมการนี้สามารถบอกแนวโน้มของความสัมพันธ์ได้ จากสมการความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรด-ด่างทำให้ทราบว่าเมื่อเวลาในการแช่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง สมการความสัมพันธ์ของรสหวานอธิบายได้ว่าเมื่อเวลาในการแช่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าคะแนนการยอมรับด้านรสหวานลดลง จะเห็นได้ว่ามีความสอดคล้องกัน คือเมื่อเวลาในการแช่เพิ่มขึ้นทำให้ความเป็นกรด-ด่างลดลงแสดงถึงผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยวส่งผลให้การยอมรับด้านรสหวานลดลง ทั้งนี้เพราะเมื่อใช้เวลาในการแช่เพิ่มขึ้นทำให้สารละลายแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อของพลับได้มากขึ้น ทำให้พลับมีการดูดซึมสารละลายเข้าไปมากส่งผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์

สมการถดถอยถดครหัส		R <sup>2</sup>
<b>ลักษณะทางประสาทสัมผัส</b>		
ความเหนียว	= 0.6327 - 0.0078(temp) + 0.004(time)	0.7680
การยอมรับรวม	= -0.1076+ 0.0291(temp) +0.0265(time) -0.0003(temp) (time) - 0.0003(temp) <sup>2</sup> -0.0003(time) <sup>2</sup>	0.9620

หมายเหตุ : Temp หมายถึง อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

Time หมายถึง เวลา (นาที)

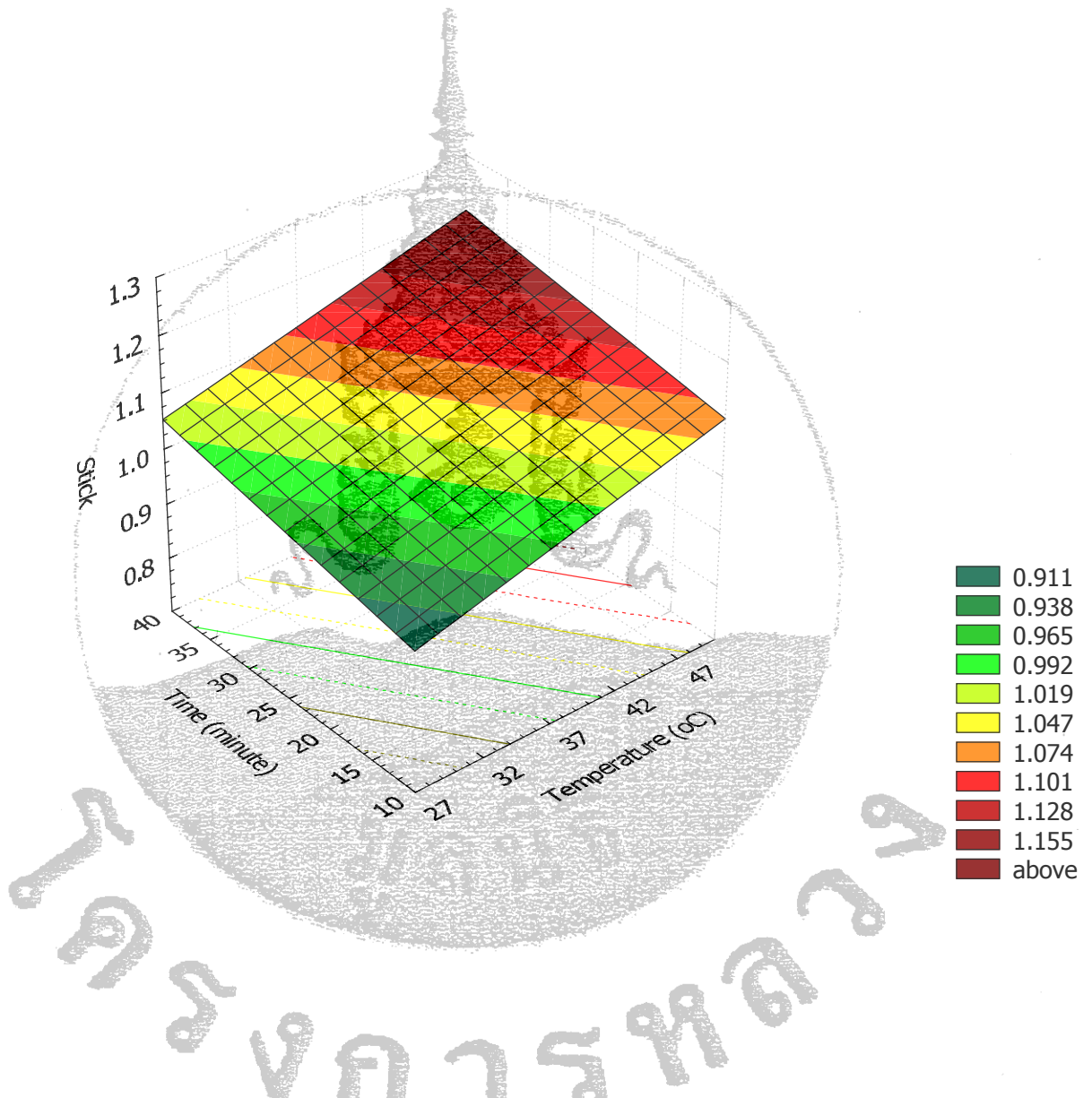
R<sup>2</sup> คือ Coefficient of determination

นำสมการถดถอยของคุณภาพด้านประสาทสัมผัสสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง (Response surface) ดังภาพ 4.10 และ 4.11 สมการสามารถนำไปทำนายระดับของอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการแช่ปลับในสารละลายสารต้านการเกิดสีน้ำตาลได้ดังตาราง 4.18

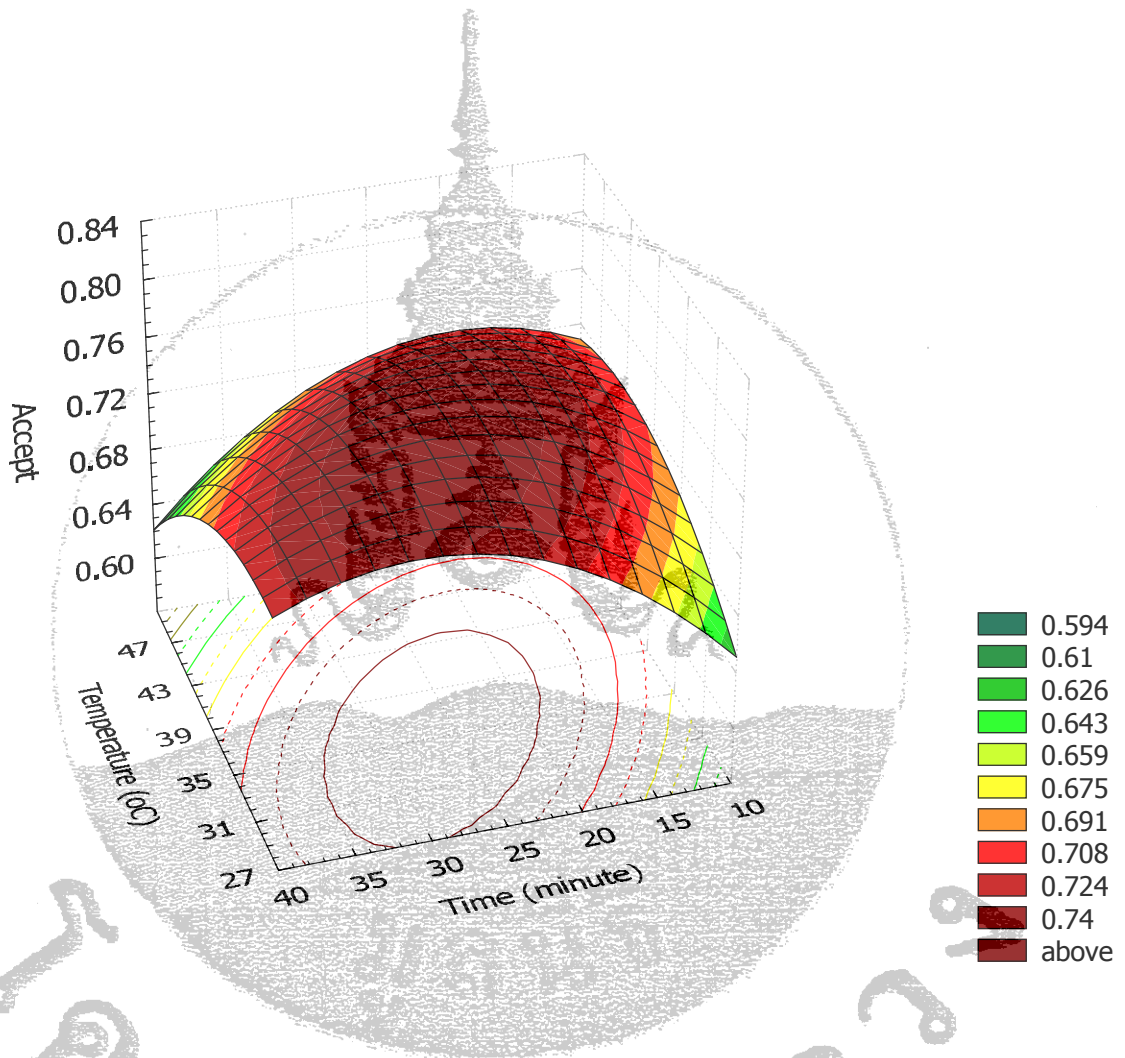
**ตาราง 4.18** การทำนายค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวและการยอมรับรวมของปลับกึ่งแห้งที่แช่ในสารละลายต้านการเกิดสีน้ำตาลที่แปรอุณหภูมิและเวลาในการแช่

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	คะแนนความชอบ	
		ความเหนียว	การยอมรับรวม
30	25	0.97	0.74
31	26	0.98	0.75
32	27	0.99	0.75
33	28	1.00	0.76
34	29	1.01	0.76
35	30	1.03	0.75

ภาพ 4.10, 4.11 และตาราง 4.18 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าควรแช่ปลับในสารละลายต้านการเกิดสีน้ำตาลที่มีอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 นาที เพราะทำให้คะแนนลักษณะด้านความเหนียวและการยอมรับรวมเข้าใกล้ค่าในอุดมคติมากที่สุด คือ 1.00 และ 0.76 ตามลำดับ



ภาพ 4.10 กราฟพื้นที่ตอบสนองของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ต่อลักษณะด้านความเหนียว



ภาพ 4.11 กราฟพื้นที่ตอบสนองของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ต่อการยอมรับรวม



#### 4.4 ศึกษาวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมของปลั๊กแห้ง

กระบวนการทำแห้งมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จึงศึกษาหาวิธีการทำแห้ง โดยเปรียบเทียบวิธีการทำแห้ง 2 วิธี คือ การทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ และเครื่องอบแห้งแบบถาด หาเวลาในการทำแห้งเพื่อให้ปลั๊กมีปริมาณน้ำเหลือร้อยละ 30 และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพ เพื่อให้ได้วิธีการทำแห้งที่เหมาะสมและนำไปใช้ในกระบวนการผลิตปลั๊กแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นำปลั๊กที่ผ่านการพัฒนากระบวนการเข้สารด้านการเกิดสีน้ำตาลจากการทดลองตอนที่ 4.1 ถึง 4.3 มาทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดและเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ โดยเริ่มต้นอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสนาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นลดอุณหภูมิในการอบเป็น 40 องศาเซลเซียสจนสิ้นสุดการทดลอง ในระหว่างการทำแห้งจะทำสมดุลน้ำทุกๆ 8 ชั่วโมง เป็นเวลาครั้งละ 2 ชั่วโมง และมีการบีนวดปลั๊กระหว่างการทำสมดุลน้ำ ทำการชั่งน้ำหนักของปลั๊กในระหว่างการทำแห้ง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แล้วสร้างกราฟการทำแห้งระหว่างปริมาณความชื้น (กรัมต่อกรัมของแห้ง) ต่อเวลา และกราฟการทำแห้งระหว่างน้ำหนักต่อเวลา

##### การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด

ภาพ 4.12 และ 4.13 พบว่าในช่วง 30 ชั่วโมงแรกของการทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด ปลั๊กมีการระเหยของน้ำมากและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปริมาณความชื้นและน้ำหนักของปลั๊กลดลงอย่างรวดเร็ว กราฟมีลักษณะชันมาก ทั้งนี้เนื่องจากปลั๊กมีปริมาณน้ำสูง เมื่อได้รับความร้อนทำให้มีการระเหยของน้ำออกไปอย่างรวดเร็ว อีกทั้งในกระบวนการผลิต มีขั้นตอนการแช่ปลั๊กในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลก่อนนำมาทำแห้ง ซึ่งมีผลทำให้เนื้อเยื่อของปลั๊กมีรูพรุนมากขึ้น ทำให้การเคลื่อนย้ายของน้ำเกิดขึ้นอย่างอิสระด้วยอัตราเร็วคงที่ เรียกการทำแห้งช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการทำแห้งที่คงที่ การทำสมดุลน้ำทุกๆ 8 ชั่วโมง เป็นเวลาครั้งละ 2 ชั่วโมงในระหว่างการทำแห้งจะช่วยให้ น้ำระเหยออกมาได้ง่าย รวมทั้งมีการบีนวดผลปลั๊กระหว่างการทำสมดุลน้ำซึ่งเป็นการช่วยให้น้ำภายในซึมออกมาที่ผิวได้ง่ายและลดการเกิดปัญหาความแข็งกระด้างของเนื้อปลั๊ก เมื่อระยะเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้น น้ำต้องเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ที่ช้าลง ทำให้เกิดการระเหยได้ช้า เรียกการทำแห้งช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการทำแห้งลดลง ความชันของกราฟต่ำ แสดงถึงน้ำมีการระเหยน้อยลง เนื่องจากความชื้นในปลั๊กลดต่ำลงจนเข้าใกล้ความชื้นสมดุล

ตาราง 4.19 ปริมาณความชื้นและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ในระหว่างการทำแห้งที่เวลาต่าง ๆ ของ  
พลับกึ่งแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบถาด

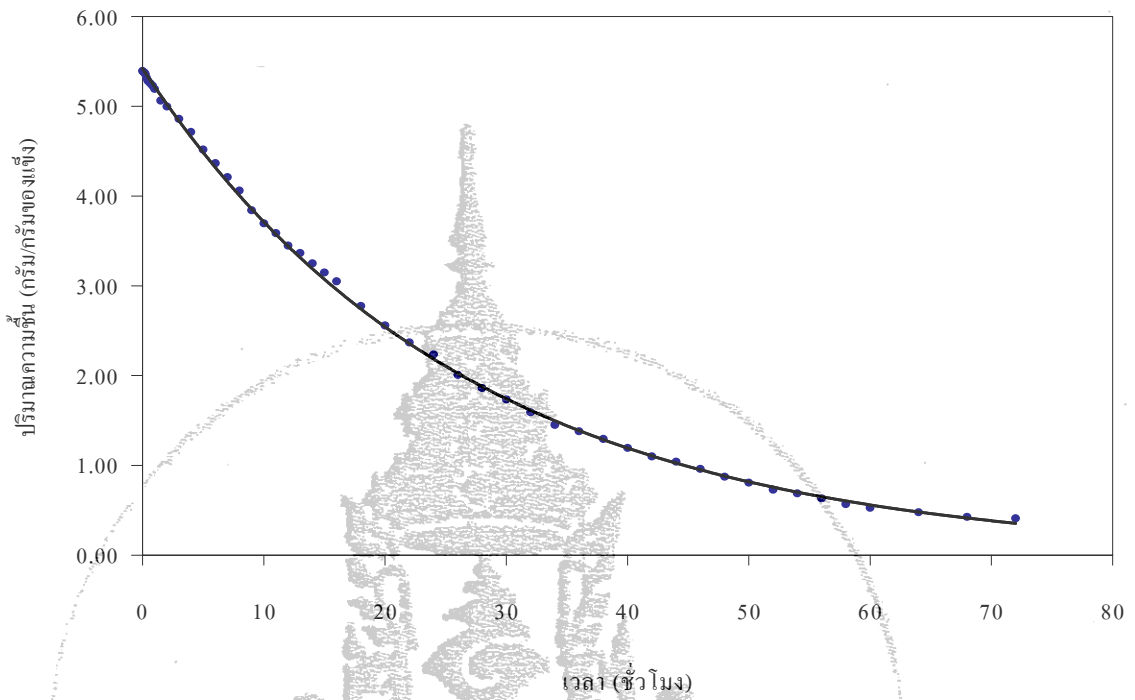
เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาณความชื้น (กรัมต่อกรัมของแข็ง)	
			เฉลี่ย
0	859.5	5.39	
0.083	858.0	5.38	5.39
0.17	856.5	5.37	5.38
0.25	854.5	5.36	5.36
0.33	849.0	5.32	5.34
0.42	845.0	5.29	5.30
0.50	843.5	5.27	5.28
0.67	840.5	5.25	5.26
0.83	837.0	5.23	5.24
1	832.5	5.19	5.21
1.5	815.0	5.06	5.13
2	806.0	5.00	5.03
3	787.5	4.86	4.93
4	768.0	4.71	4.79
5	741.5	4.52	4.61
6	721.0	4.36	4.44
7	700.0	4.21	4.29
8	680.0	4.06	4.13
9	650.5	3.84	3.95
10	631.0	3.69	3.77
11	616.5	3.59	3.64
12	598.0	3.45	3.52
13	587.0	3.37	3.41
14	571.5	3.25	3.31
15	557.5	3.15	3.20
16	544.5	3.05	3.10
18	507.5	2.78	2.91
20	478.5	2.56	2.67
22	453.0	2.37	2.46
24	435.0	2.24	2.30
26	404.5	2.01	2.12
28	384.5	1.86	1.93
30	367.5	1.73	1.80
32	348.5	1.59	1.66
34	329.5	1.45	1.52

ตาราง 4.19 (ต่อ) ปริมาณความชื้นและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ในระหว่างการทำแห้งที่เวลาต่าง ๆ ของปลั๊กแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบถาด

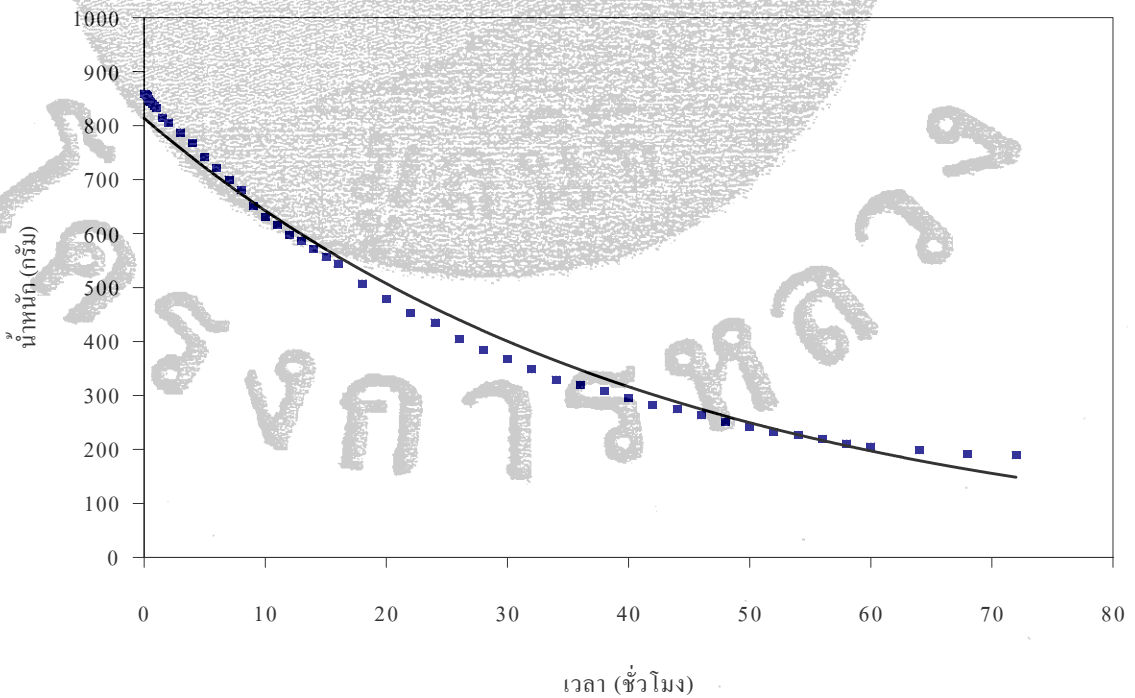
เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาณความชื้น (กรัมต่อกรัมของแข็ง)	
			เฉลี่ย
36	320.0	1.38	1.42
38	308.5	1.29	1.34
40	295.0	1.19	1.24
42	282.5	1.10	1.15
44	274.5	1.04	1.07
46	263.5	0.96	1.00
48	252.0	0.87	0.92
50	243.0	0.81	0.84
52	232.5	0.73	0.77
54	227.0	0.69	0.71
56	219.5	0.63	0.66
58	211.0	0.57	0.60
60	205.5	0.53	0.55
64	198.5	0.48	0.50
68	191.5	0.42	0.45
72	189.5	0.41	0.42

หมายเหตุ :

- อบปลั๊กที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจนสิ้นสุดการทดลอง
- ทำสมดุลน้ำทุกๆ 8 ชั่วโมง เป็นเวลาครั้งละ 2 ชั่วโมง
- ความชื้นสัมพัทธ์ของอุณหภูมิห้องเป็นร้อยละ 70 ความชื้นสัมพัทธ์อากาศขาเข้า (45 องศาเซลเซียส) เป็นร้อยละ 34 ; (40 องศาเซลเซียส) เป็นร้อยละ 40 ความชื้นสัมพัทธ์อากาศขาออก (45 องศาเซลเซียส) เป็นร้อยละ 34 ; (40 องศาเซลเซียส) เป็นร้อยละ 40
- อัตราเร็วลมเท่ากับ 1.4 เมตรต่อวินาที



ภาพ 4.12 กราฟการทำแห้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาในการทำแห้ง  
พลิกกิ่งแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด



ภาพ 4.13 กราฟการทำแห้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและเวลาในการทำแห้ง  
พลิกกิ่งแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด

ในการทำแห้งปลั๊กแห้งนั้นต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำร้อยละ 30 ซึ่งเป็นปริมาณน้ำของอาหารแห้งแห้ง คำนวณเป็นปริมาณความชื้น (Dry weight basis) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณความชื้น (กรัมต่อกรัมของแห้ง)} &= 30 / (100-30) \\ &= 0.428 \end{aligned}$$

ปริมาณน้ำเริ่มต้นของปลั๊กก่อนการทำแห้งเท่ากับร้อยละ 84.36 เมื่อคำนวณเป็นปริมาณความชื้น (Dry basis) ได้เท่ากับ 5.39 กรัมต่อกรัมของแห้ง ดังนั้นการทำให้ปริมาณน้ำในปลั๊กเหลือร้อยละ 30 หรือมีปริมาณความชื้น (กรัมต่อกรัมของแห้ง) 0.428 โดยใช้อุณหภูมิต่ำคือ 40-45 องศาเซลเซียสเพื่อป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ต้องใช้เวลานานในการทำแห้ง

การหาเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้ง หาได้โดยนำปริมาณความชื้น (กรัมต่อกรัมของแห้ง) ที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาต่าง ๆ มาหาสมการความสัมพันธ์ ได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น} = 4.781 - 0.079 (\text{เวลา}) \quad R^2 = 0.9170$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่าในสมการเพื่อหาเวลาในการทำแห้งปลั๊กให้มีปริมาณความชื้น 0.428 กรัมต่อกรัมของแห้ง พบว่าเวลาในการทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดคือ 55 ชั่วโมง 5 นาที แต่ในทุกๆ 8 ชั่วโมงระหว่างการทำแห้ง ต้องมีการทำสมดุลน้ำ 1 ครั้ง ทำครั้งละ 2 ชั่วโมง ดังนั้นในการทำแห้งปลั๊กที่ใช้เวลา 55 ชั่วโมง 5 นาที จึงต้องทำสมดุลน้ำทั้งหมด 6 ครั้งโดยประมาณ คือ 12 ชั่วโมง ฉะนั้นเวลาในการทำแห้งทั้งหมดจึงเป็น 67 ชั่วโมง 5 นาที จึงจะได้ปลั๊กแห้งที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 30

สำหรับน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาต่าง ๆ ในการทำแห้งนำมาหาสมการความสัมพันธ์ ได้ดังนี้

$$\text{น้ำหนัก} = 777.092 - 10.607 (\text{เวลา}) \quad R^2 = 0.9170$$

สมการความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำมาทำนายเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้งได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (กรัมต่อกรัมของแห้ง) และเวลา ทำให้ทราบว่า

เวลาในการอบแห้งพลิกให้มีปริมาณน้ำร้อยละ 30 คือ 55 ชั่วโมง 5 นาที (ไม่รวมเวลาที่ใช้ในการทำสมดุลน้ำ) เมื่อนำไปแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและเวลา จะได้น้ำหนักสุดท้ายของพลิกในการทำแห้งคือ 192.75 กรัม ในการทดลองใช้พลิกจำนวน 6 ผลที่มีน้ำหนักรวมเริ่มต้น 859.50 กรัม น้ำหนักเฉลี่ยต่อหนึ่งผลคือ 143.25 กรัม ดังนั้นในการอบแห้งพลิก 1 ผลให้มีปริมาณน้ำร้อยละ 30 ต้องทำแห้งพลิกจนเหลือน้ำหนัก 32.12 กรัม

### การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

สำหรับการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำ (กรัมต่อกรัมของแห้ง) และน้ำหนักดังตาราง 4.20 ภาพ 4.14 และ 4.15 ในช่วงแรกของการทำแห้งพลิกมีปริมาณความชื้นและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเดียวกันกับพลิกที่ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดดังเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว แต่การทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศจะมีปริมาณความชื้นและน้ำหนักลดลงไปมากตั้งแต่ 20 ชั่วโมงแรกของการทำแห้ง ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด เนื่องจากการทำแห้งด้วยวิธีนี้เป็นการระเหยน้ำออกจากอาหารภายใต้สุญญากาศและอุณหภูมิต่ำกว่าบรรยากาศ ดังนั้นน้ำจึงระเหยได้เร็วมาก เมื่อระยะเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้นความชื้นของกราฟต่ำ น้ำมีการระเหยน้อยลง เพราะความชื้นในปลับลดต่ำลงจนเข้าใกล้ความชื้นสมดุล

ปริมาณน้ำเริ่มต้นของปลับก่อนการทำแห้งเท่ากับร้อยละ 84.36 เมื่อคำนวณเป็นปริมาณความชื้น (Dry basis) ได้เท่ากับ 5.39 กรัมต่อกรัมของแห้ง ดังนั้นในการทำแห้งปริมาณน้ำในปลับเหลือร้อยละ 30 หรือมีปริมาณความชื้น (กรัมต่อกรัมของแห้ง) 0.428 หาได้โดยนำปริมาณความชื้น (กรัมต่อกรัมของแห้ง) ที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาต่าง ๆ มาหาสมการความสัมพันธ์ ได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น} = 3.948 - 0.088 (\text{เวลา}) \quad R^2 = 0.8320$$

เมื่อแทนค่าในสมการเพื่อหาเวลาในการทำแห้งที่เหมาะสม พบว่าเวลาในการทำแห้งพลิกกึ่งแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศคือ 40 ชั่วโมง แต่ในทุกๆ 8 ชั่วโมงระหว่างการทำแห้ง ต้องมีการทำสมดุลน้ำ 1 ครั้ง ทำครั้งละ 2 ชั่วโมง ดังนั้นในการทำแห้งปลับที่ใช้เวลา 40 ชั่วโมง จึงต้องทำสมดุลน้ำทั้งหมด 4 ครั้ง คือ 8 ชั่วโมง ฉะนั้นเวลาในการทำแห้งทั้งหมดจึงเป็น 48 ชั่วโมง จึงจะได้ปลับกึ่งแห้งที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 30

ตาราง 4.20 ปริมาณความชื้นและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ในระหว่างการทำแห้งที่เวลาต่างๆ ของพลับกึ่งแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาณความชื้น (กรัมต่อกรัมของแข็ง)	
			เฉลี่ย
0	890.5	5.39	
0.5	861.5	5.19	5.29
1.0	833.5	4.98	5.09
1.5	808.0	4.80	4.89
2.0	784.0	4.63	4.72
2.5	757.5	4.44	4.53
3.0	737.5	4.30	4.37
3.5	719.5	4.17	4.23
4.0	702.0	4.04	4.10
4.5	684.5	3.91	3.98
5.0	669.0	3.80	3.86
5.5	652.5	3.69	3.74
6.0	639.0	3.59	3.64
6.5	626.5	3.50	3.54
7.0	615.0	3.42	3.46
7.5	603.0	3.33	3.37
8.0	589.5	3.23	3.28
8.5	575.5	3.13	3.18
9.0	557.0	3.00	3.07
9.5	544.5	2.91	2.95
10.0	534.5	2.84	2.87
10.5	525.0	2.77	2.80
11.0	514.0	2.69	2.73
11.5	506.0	2.63	2.66
12.0	498.0	2.58	2.60
12.5	489.0	2.51	2.54
13.0	481.5	2.46	2.48
13.5	475.0	2.41	2.43
14.0	468.0	2.36	2.39
14.5	462.0	2.32	2.34
15.0	455.0	2.27	2.29
15.5	448.0	2.22	2.24
16.0	436.5	2.13	2.18
16.5	424.5	2.05	2.09
17.0	416.5	1.99	2.02

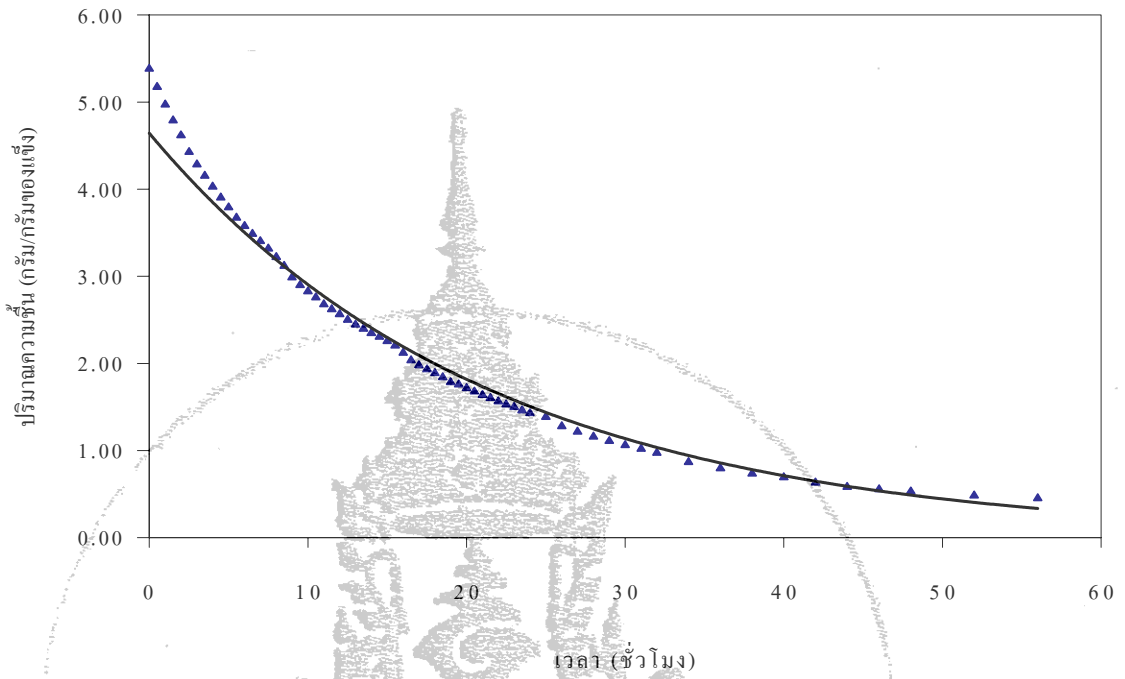
ตาราง 4.20 (ต่อ) ปริมาณความชื้นและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ในระหว่างการทำแห้งที่เวลาต่างๆ ของปลั๊กแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาณความชื้น (กรัมต่อกรัมของแข็ง)	
			เฉลี่ย
17.5	410.0	1.94	1.97
18.0	404.0	1.90	1.92
18.5	397.5	1.85	1.88
19.0	389.5	1.80	1.83
19.5	386.0	1.77	1.78
20.0	380.0	1.73	1.75
20.5	374.5	1.69	1.71
21.0	369.0	1.65	1.67
21.5	364.0	1.61	1.63
22.0	359.0	1.58	1.60
22.5	354.0	1.54	1.56
23.0	350.0	1.51	1.53
23.5	344.5	1.47	1.49
24.0	340.0	1.44	1.46
25.0	334.0	1.40	1.42
26.0	319.0	1.29	1.34
27.0	310.5	1.23	1.26
28.0	302.5	1.17	1.20
29.0	295.5	1.12	1.15
30.0	289.0	1.08	1.10
31.0	283.0	1.03	1.05
32.0	276.5	0.99	1.01
34.0	262.0	0.88	0.93
36.0	252.0	0.81	0.85
38.0	243.5	0.75	0.78
40.0	237.5	0.71	0.73
42.0	229.0	0.64	0.67
44.0	222.0	0.59	0.62
46.0	218.5	0.57	0.58
48.0	215.0	0.54	0.56
52.0	208.5	0.50	0.52
56.0	204.0	0.46	0.48

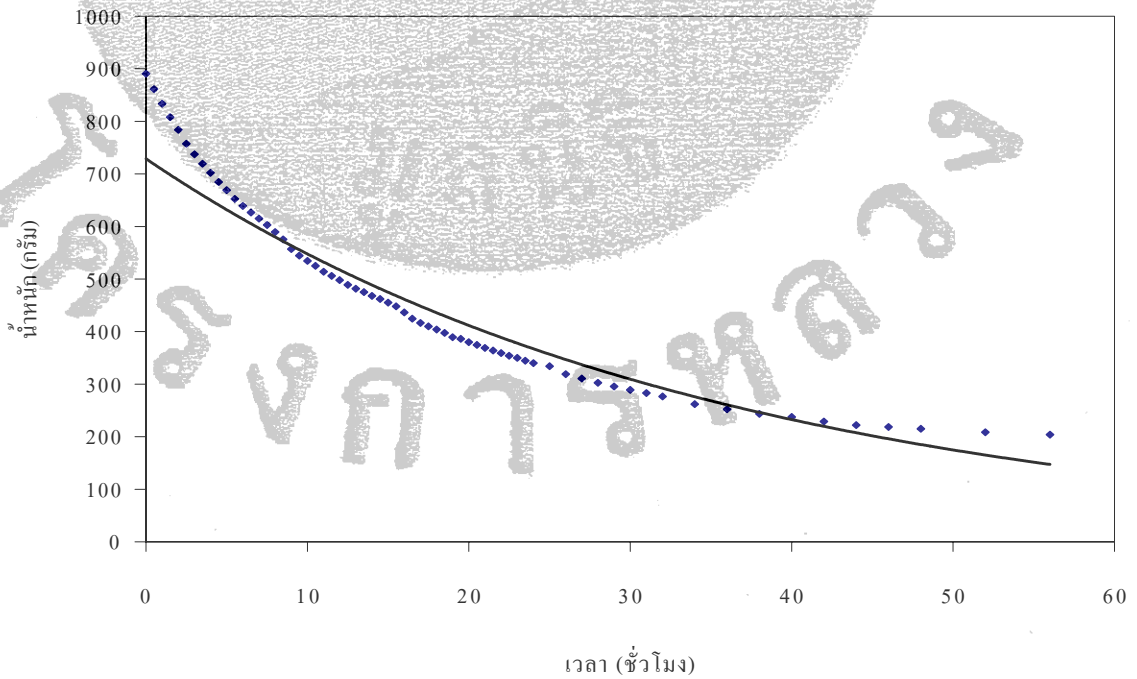
หมายเหตุ :

- อบปลั๊กที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจนสิ้นสุดการทดลอง ทำสมดุลน้ำทุกๆ 8 ชั่วโมง
- ความดันภายในเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศคือ 20 มิลลิบาร์





ภาพ 4.14 กราฟการทำแห้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาในการทำแห้ง  
 พลับกิ้งแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ



ภาพ 4.15 กราฟการทำแห้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและเวลาในการทำแห้ง  
 พลับกิ้งแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

สำหรับน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาต่างๆ ในการทำห้ำงนํามาหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{น้ำหนัก} = 688.967 - 12.183 (\text{เวลา}) \quad R^2 = 0.8320$$

ในสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำมาทำนายเวลาที่เหมาะสมในการทำห้ำงได้ ซึ่งจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (กรัมต่อกรัมของแข็ง) และเวลา ทำให้ทราบว่า เวลาในการอบห้ำงปลับให้มีปริมาณนําร้อยละ 30 คือ 40 ชั่วโมง (ไม่รวมเวลาที่ใช้ในการทำสมดุลนํ้า) เมื่อนํ้าไปแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและเวลา จะได้นํ้าหนักสุดท้ายของปลับในการทำห้ำงคือ 201.64 กรัม แต่ในการทดลองใช้ปลับจำนวน 6 ผลที่มีนํ้าหนักรวมเริ่มต้น 890.50 กรัม นํ้าหนักเฉลี่ยต่อหนึ่งผลคือ 148.41 กรัม ดังนั้นในการอบห้ำงปลับ 1 ผลให้มีปริมาณนําร้อยละ 30 ต้องทำห้ำงปลับจนเหลือนํ้าหนัก 33.60 กรัม

ผลจากการทดลองขั้นต้นทำให้ได้เวลาที่เหมาะสมในการทำห้ำงจากเครื่องอบห้ำงแต่ละชนิด จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำห้ำง ได้ผลแสดงดังตาราง 4.21

ตาราง 4.21 ค่าสี L, a\* และ b\* ของปลับกึ่งห้ำงที่ใช้วิธีการทำห้ำงต่างกัน

	วิธีการทำห้ำง	
	เครื่องอบห้ำงแบบถาด	เครื่องอบห้ำงแบบสุญญากาศ
ค่าสี L (ความสว่าง)	37.00 ± 0.54 <sup>b</sup>	44.76 ± 2.29 <sup>a</sup>
ค่าสี a* (สีแดง)	14.53 ± 0.31	15.26 ± 0.08
ค่าสี b* (สีเหลือง)	24.34 ± 0.61 <sup>b</sup>	27.42 ± 0.53 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $p \leq 0.05$

การผลิตปลั๊กกึ่งแห้งให้เหลือปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ ใช้เวลาทั้งหมด 48 ชั่วโมงซึ่งน้อยกว่าเครื่องทำแห้งแบบถาดที่ใช้เวลา 67 ชั่วโมง 5 นาที ซึ่งจะประหยัดเวลาในการทำแห้งและลดจำนวนครั้งของการทำสมมูลน้ำและบีบขนาดปลั๊กลง เมื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะทางกายภาพของปลั๊กกึ่งแห้งที่ใช้วิธีการทำแห้งที่ต่างกันดังตาราง 4.22 พบว่าปลั๊กที่ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศให้ค่าสี L (ความสว่าง) และค่าสี b\* (สีเหลือง) ที่มากกว่าปลั๊กที่ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด

ดังนั้นจึงเลือกวิธีการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศเป็นวิธีการผลิตปลั๊กกึ่งแห้ง เนื่องจากใช้เวลาในการทำแห้งน้อยประมาณ 2 วันและให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองส้มมากกว่า เวลาในการทำแห้งที่ได้จากการทดลองเป็นเพียงแนวทางในการนำไปปฏิบัติจริง เพราะการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ต้องคำนึงถึงขนาดของเครื่องอบแห้ง ขนาดของผลปลั๊กที่เล็กใหญ่แตกต่างกัน การวางเรียงปลั๊กในเครื่องอบแห้ง รวมทั้งปริมาณของปลั๊กที่นำเข้ามาทำแห้งแต่ละครั้ง ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เวลาในการทำแห้งแตกต่างกันไปบ้างเล็กน้อย

โครงการทดลอง

## สรุปสูตรสารละลายสารด้านการเกิดสีน้ำตาลและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ พลับกึ่งแห้ง

### 1. สูตรของสารละลายที่เหมาะสม

- 4-เฮกซิลเรโซซินอล	100 ส่วนในล้านส่วน
- กรดแอสคอร์บิก	ร้อยละ 2.0
- กรดซิตริก	ร้อยละ 1.7
- โซเดียมอีริทอร์เบท	ร้อยละ 1.7
- โซเดียมแอสซิดไฟโรฟอสเฟต	ร้อยละ 0.5

สารละลายจะใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักกับปริมาณพลับที่ต้องการแช่ เช่น เมื่อต้องการแช่พลับ 1 กิโลกรัม ต้องใช้น้ำ 1 กิโลกรัมหรือ 1 ลิตรในการละลายสารด้านการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 5 ชนิด

### 2. อุณหภูมิและเวลาในการแช่ที่เหมาะสม

นำพลับไปแช่ในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่มีอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส นาน 28 นาที ทิ้งให้สะเด็ดน้ำก่อนนำไปทำแห้ง

### 3. วิธีการทำแห้งที่เหมาะสม

นำพลับที่ผ่านการเตรียมด้วยการแช่ในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลมาทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสูญญากาศซึ่งใช้เวลาในการทำแห้งประมาณ 48 ชั่วโมงซึ่งน้อยกว่าเครื่องอบแห้งแบบลาด และทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองส้มมากกว่า

#### 4.5 ศึกษาวิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาปลับกึ่งแข็ง

ปลับกึ่งแข็งที่ทำการผลิตตามสูตรสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ต้องนำมาเก็บรักษาในสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์คงคุณภาพดีได้นาน ป้องกันการเปลี่ยนแปลงโดยปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ จึงทำการศึกษาวิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาปลับกึ่งแข็ง ดังตาราง 4.22

ตาราง 4.22 วิธีการบรรจุและอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาปลับกึ่งแข็ง

สิ่งทดลอง	วิธีการบรรจุ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	บรรจุในบรรยากาศปกติ	0
2	บรรจุในบรรยากาศปกติ	10
3	บรรจุในบรรยากาศปกติ	30
4	บรรจุในสภาวะสุญญากาศ	0
5	บรรจุในสภาวะสุญญากาศ	10
6	บรรจุในสภาวะสุญญากาศ	30

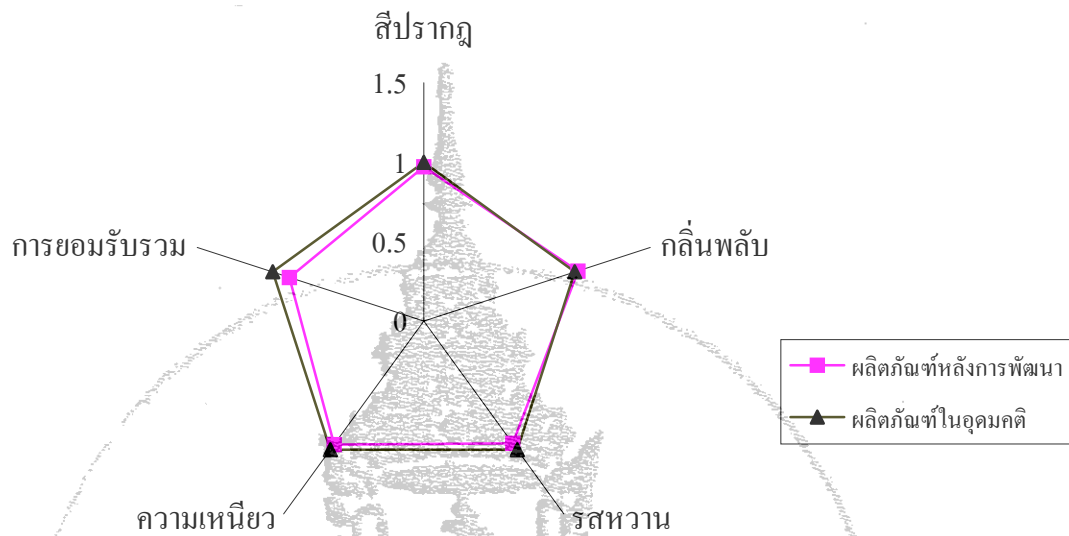
ทำการบรรจุปลับกึ่งแข็งในถุงพลาสติก (เป็นถุงสามชั้น ชั้นในเป็นโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ชั้นกลางเป็นกาว และชั้นนอกเป็นไนลอน (Nylon/EAA/LLDPE)) โดยบรรจุในบรรยากาศปกติ และบรรจุในสภาวะสุญญากาศ จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 10 และ 30 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ในวันเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 2, 4, 8, 16 และ 24 รวมระยะเวลาการเก็บรักษาเป็น 6 เดือน

ค่าการวิเคราะห์คุณภาพเริ่มต้นของปลับกึ่งแข็งที่ผลิตตามสูตรสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมแสดงดังตาราง 4.23 และภาพ 4.16

ตาราง 4.23 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของปลั๊กกึ่งแข็งที่ผลิตตามสูตรสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม

ค่าวิเคราะห์	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้
<b>ทางด้านกายภาพ</b>	
ค่าสี L (ความสว่าง)	40.28 ± 0.79
ค่าสี a* (สีแดง)	17.63 ± 0.25
ค่าสี b* (สีเหลือง)	32.84 ± 0.51
ค่าแรงเฉือน (นิวตัน)	22.46 ± 0.26
<b>ทางด้านเคมี</b>	
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	4.92 ± 0.01
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (บริกซ์)	41.80 ± 0.51
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	29.10 ± 0.03
ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์	0.783 ± 0.001
น้ำตาลรีดิวซิง (ร้อยละ)	36.06 ± 0.06
ปริมาณกรดซอร์บิก (ส่วนในล้านส่วน)	953.73 ± 3.14
<b>ทางด้านจุลชีววิทยา</b>	
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)	1.95 ± 0.04
ยีสต์และรา (โคโลนี/กรัม)	ไม่พบ
<b>ทางด้านประสาทสัมผัส</b>	
สีปรากฏ	0.97 ± 0.05
กลิ่นปลั๊ก	1.02 ± 0.04
รสหวาน	0.95 ± 0.07
ความเหนียว	0.96 ± 0.02
การยอมรับรวม	0.89 ± 0.04

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพ 4.16 กราฟเค้าโครงผลสัมฤทธิ์ปลับกึ่งแห้งที่ผลิตตามสูตรสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม

ผลสรุปการศึกษาวิธีการบรรจุและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาของปลับกึ่งแห้ง

ปลับกึ่งแห้งเป็นผลสัมฤทธิ์ที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 30 เป็นระดับที่จุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้แต่อาจมีปัญหาเรื่องเชื้อราและยีสต์ที่อาจจะเจริญเติบโตได้ ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นคือ การเกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์

การศึกษาวิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลสัมฤทธิ์ทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และลักษณะทางประสาทสัมผัส ดังนี้

### การเปลี่ยนแปลงค่าสี L (ความสว่าง) ของปลั๊กกิ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ และวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงค่าสี L หรือความสว่างของปลั๊กกิ่งแห้งแสดงดังตาราง 4.24 ค่าความสว่างของปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติดังภาพ 4.17 พบว่า ที่อุณหภูมิ 0, 10 และ 30 องศาเซลเซียส ความสว่างของปลั๊กกิ่งแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยที่ 0 องศาเซลเซียสปลั๊กกิ่งแห้งมีความสว่างมากที่สุดคือ 38.86 ส่วนที่ 10 และ 30 องศาเซลเซียสมีความสว่างเป็น 36.30 และ 33.73 ตามลำดับ อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูงขึ้นทำให้ค่าความสว่างลดลง และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าความสว่างก็จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเริ่มต้นปลั๊กกิ่งแห้งมีความสว่าง 40.28 จนถึงสัปดาห์ที่ 24 ค่าความสว่างจะลดลงเหลือ 33.18

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุอยู่ในสถานะสุญญากาศแสดงดังภาพ 4.18 มีแนวโน้มของค่าความสว่างเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในสภาพปกติ คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความสว่างก็จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยที่ 0 องศาเซลเซียสปลั๊กกิ่งแห้งมีความสว่างมากที่สุดคือ 37.22 รองลงมาคือที่ 10 และ 30 องศาเซลเซียสปลั๊กกิ่งแห้งมีความสว่างเป็น 36.00 และ 32.85 ตามลำดับ และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าความสว่างจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเริ่มต้นปลั๊กกิ่งแห้งมีความสว่าง 40.28 จนถึงสัปดาห์ที่ 6 ความสว่างจะลดลงเหลือ 32.23 ค่าความสว่างที่ลดลงแสดงถึงผลิตภัณฑ์ที่มีสีที่เข้มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบค่าความสว่างของปลั๊กที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสถานะสุญญากาศดังภาพ 4.19 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ค่าความสว่างของปลั๊กกิ่งแห้งจะลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

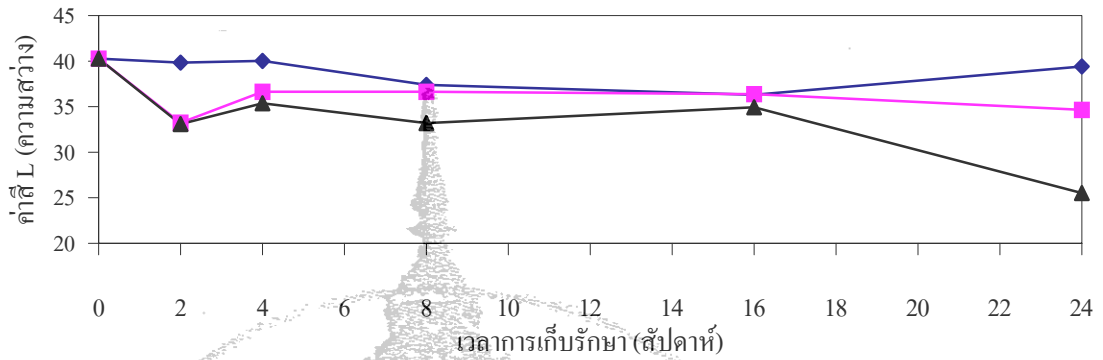


**ตารางที่ 4.24** การเปลี่ยนแปลงค่าสี L (ความสว่าง) ของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

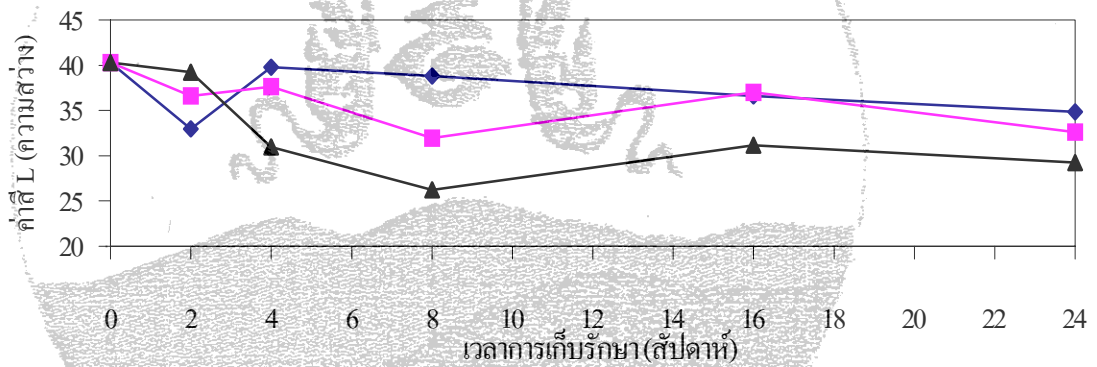
		ค่าสี L (ความสว่าง)					
สถานะการเก็บ (องศาเซลเซียส)	เริ่มต้น	อายุการเก็บ 2 สัปดาห์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์	อายุการเก็บ 8 สัปดาห์	อายุการเก็บ 16 สัปดาห์	อายุการเก็บ 24 สัปดาห์	เฉลี่ย**
บรรจุในบรรยากาศปกติ							
0	40.28 ± 0.79	39.85 ± 3.10	40.01 ± 1.94	37.38 ± 2.33	36.29 ± 1.91	39.40 ± 0.47	38.86 ± 2.33 <sup>a</sup>
10	40.28 ± 0.79	33.24 ± 1.54	36.63 ± 2.78	36.64 ± 2.07	36.39 ± 0.46	34.63 ± 0.80	36.30 ± 2.64 <sup>b</sup>
30	40.28 ± 0.79	33.10 ± 2.75	35.38 ± 2.44	33.21 ± 3.32	34.93 ± 1.97	25.51 ± 0.34	33.73 ± 4.88 <sup>c</sup>
เฉลี่ย*	40.28 ± 0.01 <sup>a</sup>	35.39 ± 4.02 <sup>c</sup>	37.34 ± 3.01 <sup>b</sup>	35.74 ± 3.07 <sup>c</sup>	35.86 ± 1.64 <sup>c</sup>	33.18 ± 5.98 <sup>d</sup>	
บรรจุในสภาวะสุญญากาศ							
0	40.28 ± 0.79	32.98 ± 1.78	39.80 ± 2.78	38.80 ± 0.96	36.62 ± 1.46	34.85 ± 1.40	37.22 ± 3.08 <sup>a</sup>
10	40.28 ± 0.79	36.61 ± 3.05	37.62 ± 1.17	31.96 ± 0.96	36.99 ± 1.31	32.60 ± 0.62	36.00 ± 3.24 <sup>b</sup>
30	40.28 ± 0.79	39.23 ± 2.64	30.99 ± 1.69	26.25 ± 1.54	31.15 ± 0.53	29.24 ± 0.71	32.85 ± 5.40 <sup>c</sup>
เฉลี่ย*	40.28 ± 0.01 <sup>a</sup>	36.27 ± 3.54 <sup>b</sup>	36.13 ± 4.29 <sup>b</sup>	32.34 ± 5.41 <sup>d</sup>	34.92 ± 2.97 <sup>c</sup>	32.23 ± 2.55 <sup>d</sup>	

\*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวอนเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

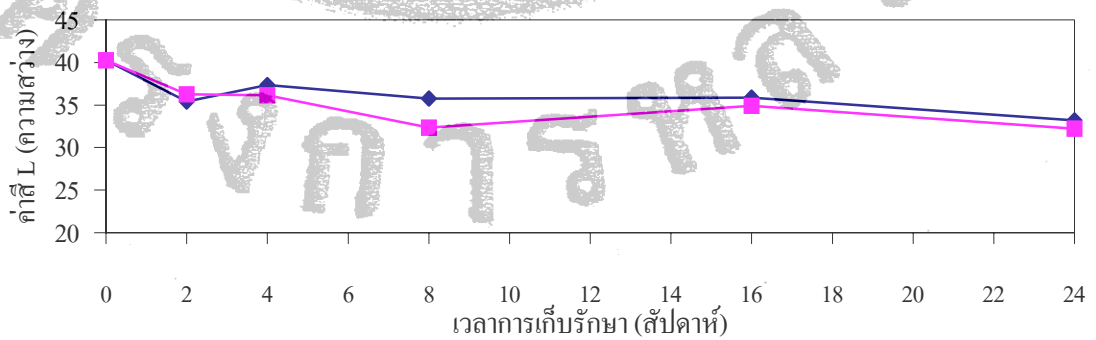
\*\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05



ภาพ 4.17 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L (ความสว่าง) ของฟิล์มกิ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.18 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L (ความสว่าง) ของฟิล์มกิ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.19 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L (ความสว่าง) ของฟิล์มกิ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ภาพ 4.17 และ 4.18    — 0 องศาเซลเซียส   ◻ 10 องศาเซลเซียส   — 30 องศาเซลเซียส

ภาพ 4.19    — บรรจุในบรรยากาศปกติ   ◻ บรรจุในสภาวะสุญญากาศ

### การเปลี่ยนแปลงค่าสี $a^*$ (สีแดง) ของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงค่าสี  $a^*$  หรือสีแดงของปลับกึ่งแห้งแสดงดังตาราง 4.25 โดยค่าสีแดงของปลับที่บรรจุในบรรยากาศปกติ ดังภาพ 4.20 พบว่าที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียส ปลับกึ่งแห้งมีค่าสีแดงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) คือ 15.68 และ 15.23 แต่แตกต่างจากที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่มีค่าสีแดงเป็น 14.18 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กล่าวคือที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสทำให้ค่าสีแดงลดลง และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าสีแดงก็จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเริ่มต้นปลับกึ่งแห้งมีค่าสีแดง 17.63 จนถึงสัปดาห์ที่ 24 ค่าสีแดงลดลงเหลือ 12.47

สำหรับปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศก็มีแนวโน้มของค่าสีแดงไปในทิศทางเดียวกัน ดังภาพ 4.21 คือที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียสปลับกึ่งแห้งมีค่าสีแดงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) คือ 16.45 และ 16.27 แต่มีความแตกต่างจากค่าสีแดงของปลับกึ่งแห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่เป็น 13.61 ดังนั้นการเก็บรักษาปลับกึ่งแห้งที่อุณหภูมิต่ำทำให้ปลับมีค่าสีแดงสูงกว่าและเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าสีแดงก็ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เริ่มต้นปลับกึ่งแห้งมีค่าสีแดง 17.63 จนถึงสัปดาห์ที่ 24 ค่าสีแดงลดลงเหลือ 11.37 ค่าสีแดงที่ลดลงแสดงถึงสีของปลับกึ่งแห้งมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

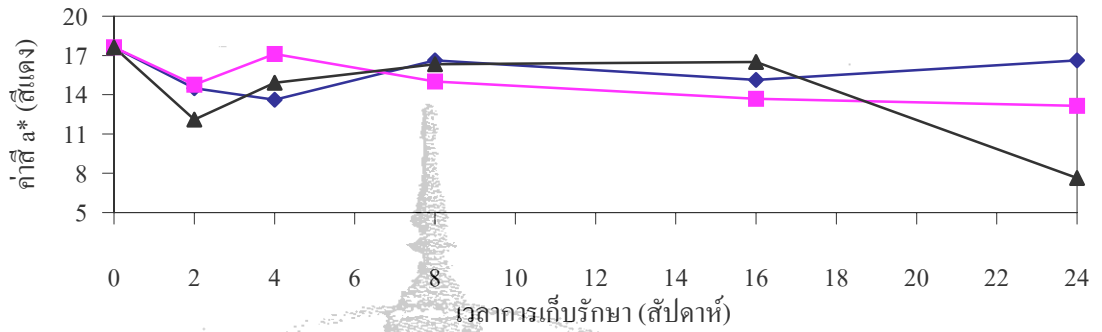
เมื่อเปรียบเทียบค่าสีแดงของปลับที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศ ดังภาพ 4.22 พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยค่าสีแดงของปลับกึ่งแห้งมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงค่าดีเอ\* (สีแดง) ของปลวกทั้งแห่งในระหว่างการรักษาที่ปรึกษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรเทาที่แตกต่างกัน

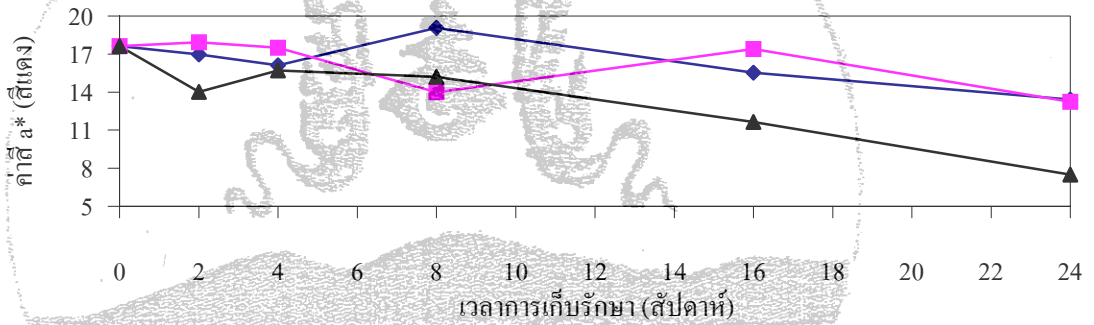
สถานะการเก็บ (องค์ประกอบเซลล์)	เริ่มต้น	ค่าดีเอ* (สีแดง)				เฉลี่ย**
		อายุการเก็บ 2 สัปดาห์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์	อายุการเก็บ 8 สัปดาห์	อายุการเก็บ 16 สัปดาห์	
บรรจุใน บรรจุอากาศปกติ						
0	17.63 ± 0.25	14.50 ± 1.12	13.61 ± 1.81	16.62 ± 1.00	15.11 ± 2.16	16.63 ± 0.47
10	17.63 ± 0.25	14.77 ± 1.30	17.11 ± 1.79	15.02 ± 0.48	13.68 ± 1.67	13.16 ± 0.27
30	17.63 ± 0.25	12.10 ± 0.35	14.89 ± 1.67	16.33 ± 1.08	16.49 ± 0.44	7.63 ± 0.51
เฉลี่ย*	17.63 ± 0.01 <sup>a</sup>	13.79 ± 1.55 <sup>cd</sup>	15.20 ± 2.21 <sup>bc</sup>	15.99 ± 1.10 <sup>b</sup>	15.09 ± 1.89 <sup>bc</sup>	12.47 ± 3.85 <sup>d</sup>
บรรจุในสถานะ สุญญากาศ						
0	17.63 ± 0.25	16.98 ± 1.78	16.11 ± 1.35	19.06 ± 0.90	15.52 ± 1.42	13.42 ± 0.30
10	17.63 ± 0.25	17.92 ± 2.30	17.49 ± 1.51	13.98 ± 0.57	17.40 ± 1.13	13.21 ± 0.20
30	17.63 ± 0.25	14.20 ± 0.45	15.70 ± 0.30	15.20 ± 1.22	11.64 ± 0.41	7.49 ± 0.31
เฉลี่ย*	17.63 ± 0.01 <sup>a</sup>	16.31 ± 2.33 <sup>ab</sup>	16.43 ± 1.35 <sup>ab</sup>	16.08 ± 2.40 <sup>bc</sup>	14.85 ± 2.67 <sup>c</sup>	11.37 ± 2.85 <sup>d</sup>

\*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวอนติเดียวกันแตกต่างกันที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

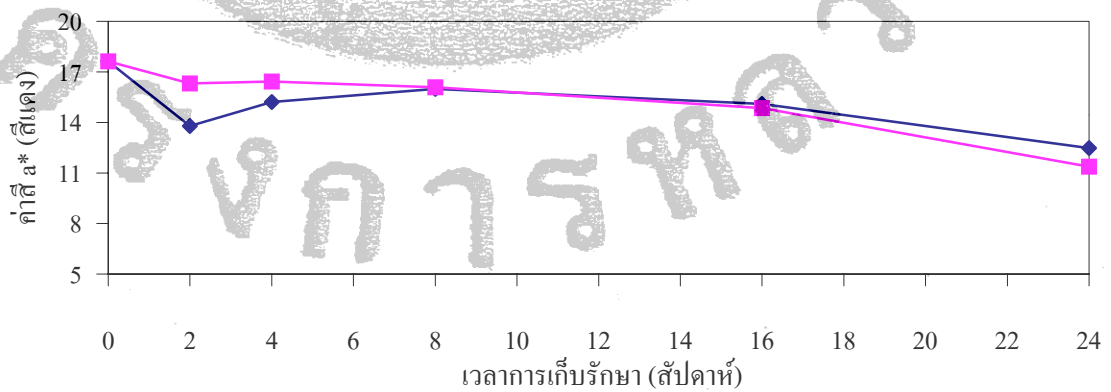
\*\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05



ภาพ 4.20 การเปลี่ยนแปลงค่าสี a\* (สีแดง) ของปลั๊กกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.21 การเปลี่ยนแปลงค่าสี a\* (สีแดง) ของปลั๊กกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.22 การเปลี่ยนแปลงค่าสี a\* (สีแดง) ของปลั๊กกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ภาพ 4.20 และ 4.21      — 0 องศาเซลเซียส    % 10 องศาเซลเซียส    — 30 องศาเซลเซียส

ภาพ 4.22                — บรรจุในบรรยากาศปกติ    % บรรจุในสภาวะสุญญากาศ

### การเปลี่ยนแปลงค่าสี $b^*$ (สีเหลือง) ของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงค่าสี  $b^*$  หรือสีเหลืองของปลับกึ่งแห้งแสดงดังตาราง 4.26 สำหรับปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติดังภาพ 4.23 ที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียส มีค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) คือ 29.69 และ 27.66 แต่แตกต่างจากที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่มีค่าสีเหลืองเป็น 22.02 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสทำให้ค่าสีเหลืองลดลง และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าสีเหลืองก็จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ระยะเวลาในการเก็บรักษาปลับกึ่งแห้งสัปดาห์ที่ 2, 4 และ 8 มีค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกัน ค่าสีเหลืองลดลงอย่างมากในสัปดาห์ที่ 16 และ 24 แสดงถึงการเปลี่ยนสีของปลับกึ่งแห้งอย่างชัดเจน

สำหรับปลับกึ่งแห้งที่บรรจุอยู่ในสถานะสุญญากาศการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองแสดงดังภาพ 4.24 การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 10 และ 30 องศาเซลเซียส ให้ค่าสีเหลืองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้นค่าสีเหลืองก็มีแนวโน้มลดลง โดยที่ 0 องศาเซลเซียสปลับกึ่งแห้งมีค่าสีเหลืองมากที่สุดคือ 26.16 ส่วนที่ 10 และ 30 องศาเซลเซียสปลับกึ่งแห้งมีค่าสีเหลืองเป็น 23.48 และ 18.20 ตามลำดับ และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าสีเหลืองก็จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเริ่มต้นปลับกึ่งแห้งมีสีเหลือง 32.84 และลดลงเหลือ 10.63 ในสัปดาห์ที่ 24

เมื่อเปรียบเทียบค่าสีเหลืองของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสถานะสุญญากาศดังตาราง 4.27 ภาพ 4.25 พบว่าวิธีการบรรจุทำให้ปลับกึ่งแห้งมีค่าสีเหลืองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยค่าสีเหลืองของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่เวลาในการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 16 และ 24 มีค่ามากกว่าค่าสีเหลืองของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสถานะสุญญากาศ แสดงถึงเกิดการเปลี่ยนสีของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสถานะสุญญากาศชัดเจนกว่า

ตารางที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงค่าดีบี\* (ดีห์ล้อง) ของพลับกึ่งแห่งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

สถานะการเก็บ (องศาเซลเซียส)	เริ่มต้น	ค่าดีบี* (ดีห์ล้อง)				เฉลี่ย**	
		อายุการเก็บ 2 อาทิตย์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์	อายุการเก็บ 8 สัปดาห์	อายุการเก็บ 16 สัปดาห์		
บรรจุใน บรรจุอากาศปกติ							
0	32.84 ± 0.51	32.16 ± 3.23	30.29 ± 3.40	29.78 ± 3.21	24.56 ± 1.97	28.53 ± 0.47	29.69 ± 3.55 <sup>a</sup>
10	32.84 ± 0.51	28.53 ± 1.31	28.61 ± 3.09	31.03 ± 1.45	23.88 ± 1.67	21.08 ± 1.07	27.66 ± 4.38 <sup>a</sup>
30	32.84 ± 0.51	26.56 ± 1.74	27.32 ± 4.18	24.61 ± 3.39	17.15 ± 0.73	3.66 ± 0.48	22.02 ± 9.82 <sup>b</sup>
เฉลี่ย*	32.84 ± 0.01 <sup>a</sup>	29.08 ± 3.18 <sup>b</sup>	28.74 ± 3.55 <sup>b</sup>	28.48 ± 3.88 <sup>b</sup>	21.86 ± 3.75 <sup>c</sup>	17.76 ± 10.80 <sup>d</sup>	
บรรจุในสภาวะ สุญญากาศ							
0	32.84 ± 0.51	25.96 ± 2.09	32.91 ± 2.19	32.88 ± 1.20	18.53 ± 1.80	13.88 ± 0.37	26.16 ± 7.83 <sup>a</sup>
10	32.84 ± 0.51	25.10 ± 4.64	29.07 ± 2.59	21.81 ± 3.67	17.70 ± 0.71	14.39 ± 0.34	23.48 ± 6.87 <sup>b</sup>
30	32.84 ± 0.51	21.67 ± 1.64	24.18 ± 2.67	16.89 ± 3.98	10.02 ± 0.82	3.63 ± 0.22	18.20 ± 9.86 <sup>c</sup>
เฉลี่ย*	32.84 ± 0.01 <sup>a</sup>	24.24 ± 3.44 <sup>c</sup>	28.72 ± 4.36 <sup>b</sup>	23.86 ± 7.53 <sup>c</sup>	15.42 ± 4.12 <sup>d</sup>	10.63 ± 5.13 <sup>e</sup>	

\*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวอนเดียวกันที่แตกต่างกันแต่ต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

\*\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันแต่ต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

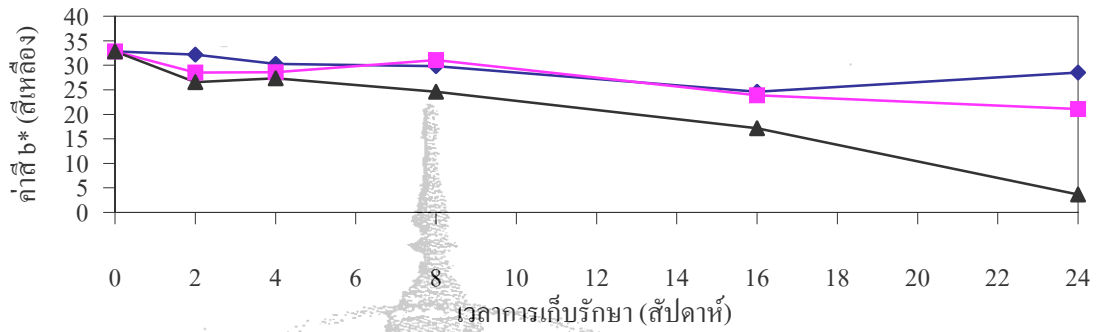
ตาราง 4.27 การเปลี่ยนแปลงค่าสี  $b^*$  (สีเหลือง) ของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสถานะสุญญากาศเป็นระยะเวลา 24 สัปดาห์

อายุการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าสี $b^*$ (สีเหลือง)	
	บรรจุในบรรยากาศปกติ	บรรจุในสถานะสุญญากาศ
0	$32.84 \pm 1.01$	$32.84 \pm 1.01$
2	$29.08 \pm 3.18$	$24.24 \pm 3.44$
4	$28.74 \pm 3.55$	$28.72 \pm 4.36$
8	$28.48 \pm 3.88$	$23.86 \pm 7.53$
16	$21.86 \pm 3.75^a$	$15.42 \pm 4.12^b$
24	$17.76 \pm 10.80^a$	$10.63 \pm 5.13^b$

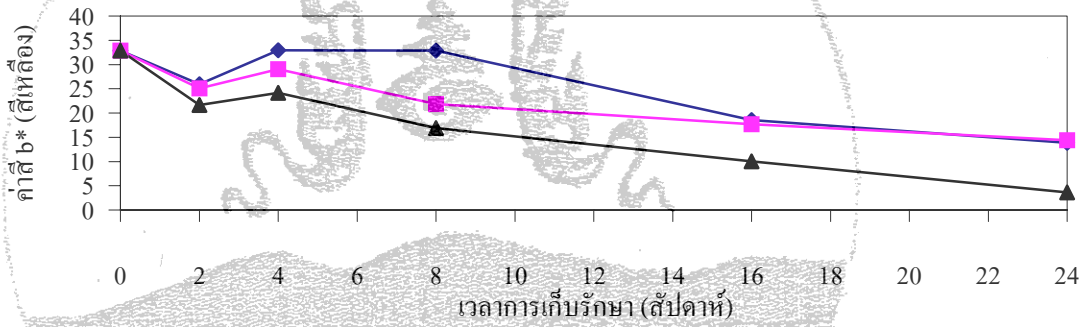
หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $p \leq 0.05$

บัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

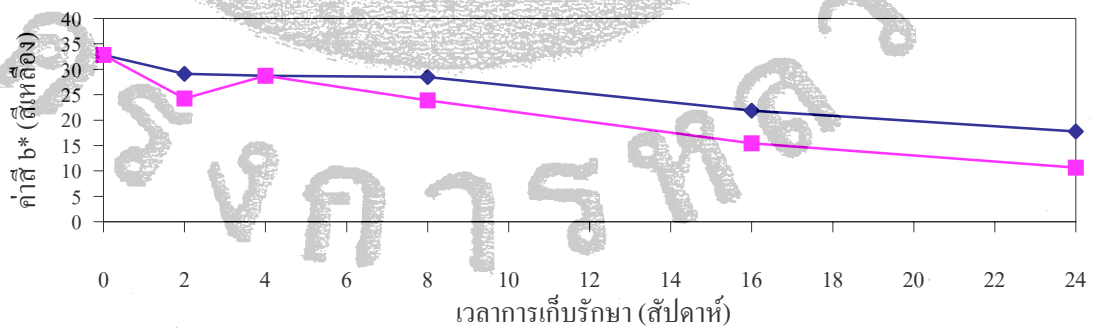




ภาพ 4.23 การเปลี่ยนแปลงค่าสี b\* (สีเหลือง) ของปลั๊กแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.24 การเปลี่ยนแปลงค่าสี b\* (สีเหลือง) ของปลั๊กแห้งที่บรรจุในสถานะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.25 การเปลี่ยนแปลงค่าสี b\* (สีเหลือง) ของปลั๊กแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสถานะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ภาพ 4.23 และ 4.24      — 0 องศาเซลเซียส    % 10 องศาเซลเซียส    ; 30 องศาเซลเซียส

ภาพ 4.25                — บรรจุในบรรยากาศปกติ    % บรรจุในสถานะสุญญากาศ

### การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเฉือนของปลั๊กกึ่งแข็งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเฉือนของปลั๊กกึ่งแข็งแสดงดังตาราง 4.28 โดยปลั๊กที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีค่าแรงเฉือนดังภาพ 4.26 พบว่า ที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียสมีค่าแรงเฉือนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) คือ 20.20 และ 20.25 นิวตัน แต่มีความแตกต่างจากที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่มีค่าแรงเฉือนเป็น 23.29 นิวตัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) ค่าแรงเฉือนที่มากทำให้ทราบว่าปลั๊กมีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้นจึงต้องใช้แรงมากขึ้นในการตัดให้ขาด ดังนั้นที่อุณหภูมิสูงคือ 30 องศาเซลเซียสมีผลทำให้ปลั๊กกึ่งแข็งมีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้นค่าแรงเฉือนจึงเพิ่มขึ้น ส่วนอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้ค่าแรงเฉือนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยในวันเริ่มต้นมีค่าแรงเฉือน 22.46 นิวตันและสัปดาห์ที่ 24 มีค่าแรงเฉือน 23.80 นิวตัน

สำหรับปลั๊กกึ่งแข็งที่บรรจุในสถานะสุญญากาศมีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงเฉือนแสดงดังภาพ 4.27 อุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อค่าแรงเฉือนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าแรงเฉือนของปลั๊กกึ่งแข็งจะเพิ่มขึ้น โดยปลั๊กกึ่งแข็งมีค่าแรงเฉือนมากที่สุดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสคือ 26.69 นิวตัน รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียส ที่มีค่าแรงเฉือนเป็น 21.61 และ 19.13 นิวตัน ตามลำดับ อายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้ค่าแรงเฉือนของปลั๊กกึ่งแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยในวันเริ่มต้นปลั๊กกึ่งแข็งมีค่าแรงเฉือน 22.46 นิวตันและสัปดาห์ที่ 24 มีค่าแรงเฉือน เป็น 24.06 นิวตัน

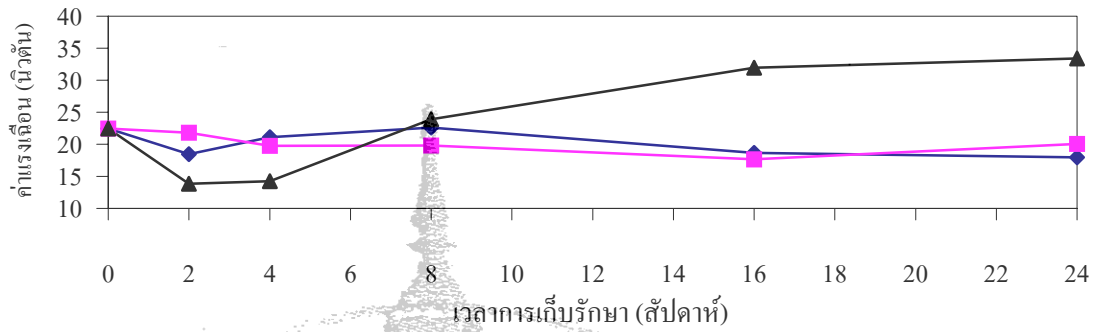
เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนของปลั๊กกึ่งแข็งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสถานะสุญญากาศดังภาพ 4.28 พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

**ตารางที่ 4.28** การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเฉือนของพลับกึ่งแห้งในระหว่างการรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

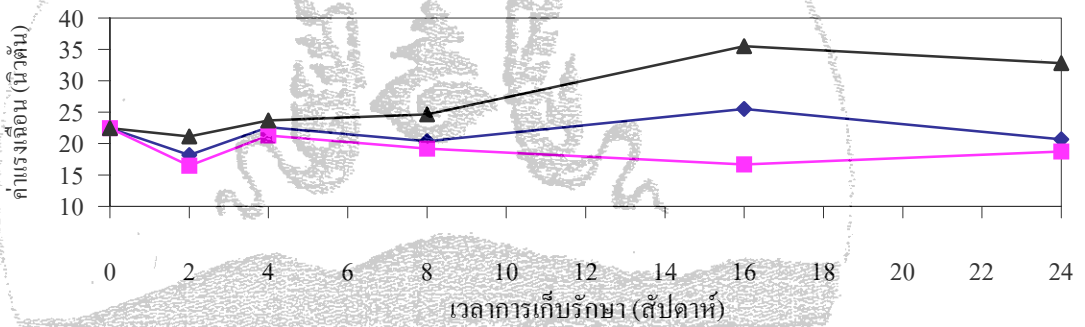
สถานะการเก็บ (องศาเซลเซียส)	เริ่มต้น	ค่าแรงเฉือน (นิวตัน)						เฉลี่ย**
		อายุการเก็บ 2 สัปดาห์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์	อายุการเก็บ 8 สัปดาห์	อายุการเก็บ 16 สัปดาห์	อายุการเก็บ 24 สัปดาห์	อายุการเก็บ 24 สัปดาห์	
บรรจุใน บรรจุอากาศปกติ								
0	22.46 ± 0.26	18.43 ± 2.26	21.09 ± 2.54	22.61 ± 1.81	18.67 ± 0.78	17.95 ± 2.03	20.20 ± 2.55 <sup>b</sup>	
10	22.46 ± 0.26	21.81 ± 1.34	19.75 ± 2.09	19.77 ± 1.56	17.65 ± 2.96	20.03 ± 2.66	20.25 ± 2.43 <sup>b</sup>	
30	22.46 ± 0.26	13.84 ± 1.45	14.24 ± 2.36	23.88 ± 3.21	31.93 ± 2.10	33.42 ± 2.71	23.29 ± 8.02 <sup>a</sup>	
เฉลี่ย*	22.46 ± 0.01 <sup>a</sup>	18.02 ± 3.74 <sup>b</sup>	18.36 ± 3.75 <sup>b</sup>	22.09 ± 2.78 <sup>a</sup>	22.75 ± 7.02 <sup>a</sup>	23.80 ± 7.45 <sup>a</sup>		
บรรจุในสภาวะ สุญญากาศ								
0	22.46 ± 0.26	18.16 ± 2.89	22.59 ± 3.32	20.33 ± 1.26	25.49 ± 2.94	20.65 ± 1.76	21.61 ± 3.14 <sup>b</sup>	
10	22.46 ± 0.26	16.47 ± 2.69	21.28 ± 1.84	19.20 ± 0.98	16.67 ± 1.46	18.72 ± 2.20	19.13 ± 2.74 <sup>c</sup>	
30	22.46 ± 0.26	21.10 ± 1.08	23.68 ± 2.65	24.64 ± 1.71	35.49 ± 2.28	32.80 ± 2.87	26.69 ± 5.82 <sup>a</sup>	
เฉลี่ย*	22.46 ± 0.01 <sup>b</sup>	18.58 ± 2.95 <sup>c</sup>	22.51 ± 2.67 <sup>b</sup>	21.39 ± 2.73 <sup>b</sup>	25.88 ± 8.23 <sup>a</sup>	24.06 ± 6.79 <sup>ab</sup>		

\*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวอนเดียวกันที่แตกต่างกันแต่ค่าที่ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

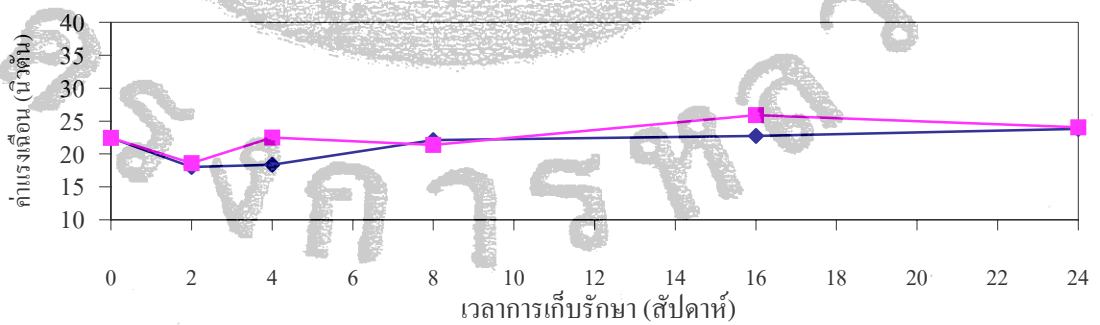
\*\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันแต่ค่าที่ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05



ภาพ 4.26 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเดือนของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.27 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเดือนของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.28 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเดือนของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ภาพ 4.26 และ 4.27      — 0 องศาเซลเซียส    % 10 องศาเซลเซียส    — 30 องศาเซลเซียส

ภาพ 4.28              — บรรจุในบรรยากาศปกติ    % บรรจุในสภาวะสุญญากาศ

### การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ และวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของปลับกึ่งแห้งแสดงดังตาราง 4.29 จากภาพ 4.29 ปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียสมีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) คือ 4.86 และ 4.88 แต่มีความแตกต่างจากที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 4.63 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างที่ลดลงแสดงถึงผลิตภัณฑ์มีรสเปรี้ยวมากขึ้น อาจส่งผลให้รสชาติของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป ดังนั้นที่อุณหภูมิสูงคือ 30 องศาเซลเซียสมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของปลับกึ่งแห้งลดลง ส่วนระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าความเป็นกรด-ด่างของปลับกึ่งแห้งจะลดลง โดยค่าความเป็นกรด-ด่างในวันเริ่มต้นคือ 4.92 และในสัปดาห์ที่ 24 คือ 4.65

สำหรับปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสถานะสุญญากาศ มีแนวโน้มของค่าความเป็นกรด-ด่างไปในทิศทางเดียวกันกับปลับที่บรรจุในบรรยากาศปกติดังภาพ 4.30 คือที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียสมีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) คือ 4.87 และ 4.82 แต่มีความแตกต่างจากที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 4.68 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) ดังนั้นที่อุณหภูมิสูง 30 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของปลับกึ่งแห้งลดลง มีผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ ส่วนระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) คือเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าความเป็นกรด-ด่างของปลับกึ่งแห้งลดลง ค่าความเป็นกรด-ด่างในวันเริ่มต้นคือ 4.92 และในสัปดาห์ที่ 24 คือ 4.66

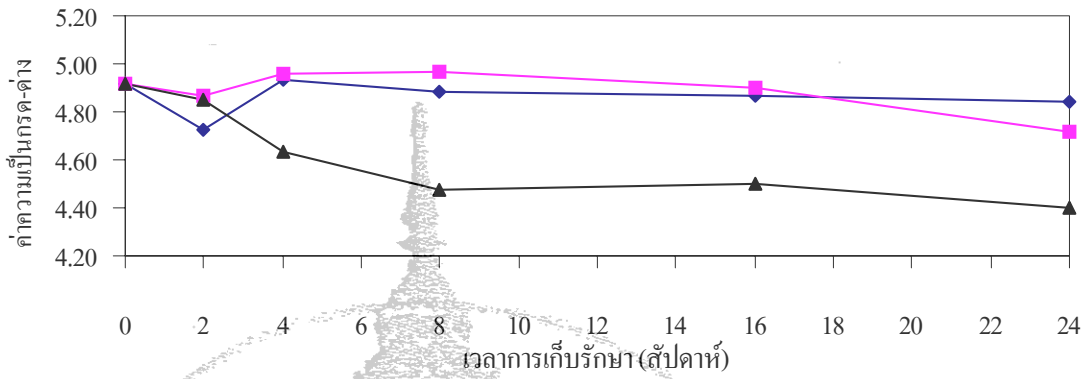
เมื่อเปรียบเทียบการบรรจุปลับกึ่งแห้งในบรรยากาศปกติและในสถานะสุญญากาศดังภาพ 4.31 พบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างของปลับกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยมีแนวโน้มเหมือนกันคือค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

**ตารางที่ 4.29** การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการผลิตกรรมและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

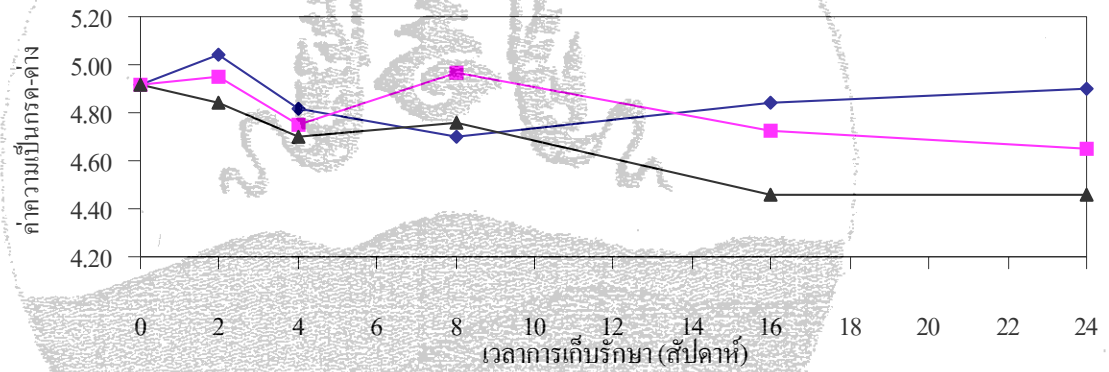
สถานะการเก็บ (องศาเซลเซียส)	เริ่มต้น	ค่าความเป็นกรด-ด่าง				เฉลี่ย**
		อายุการเก็บ 2 สัปดาห์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์	อายุการเก็บ 8 สัปดาห์	อายุการเก็บ 16 สัปดาห์	
บรรจุใน บรรจุอากาศปกติ						
0	4.92 ± 0.01	4.72 ± 0.02	4.93 ± 0.05	4.88 ± 0.02	4.87 ± 0.01	4.86 ± 0.07 <sup>a</sup>
10	4.92 ± 0.01	4.86 ± 0.05	4.95 ± 0.05	4.97 ± 0.01	4.90 ± 0.02	4.88 ± 0.08 <sup>a</sup>
30	4.92 ± 0.01	4.85 ± 0.01	4.63 ± 0.00	4.47 ± 0.01	4.50 ± 0.01	4.63 ± 0.19 <sup>b</sup>
เฉลี่ย*	4.92 ± 0.01 <sup>a</sup>	4.81 ± 0.06 <sup>ab</sup>	4.84 ± 0.15 <sup>ab</sup>	4.77 ± 0.22 <sup>b</sup>	4.75 ± 0.19 <sup>b</sup>	4.65 ± 0.19 <sup>c</sup>
บรรจุในสภาวะ สุญญากาศ						
0	4.92 ± 0.01	5.04 ± 0.01	4.82 ± 0.01	4.70 ± 0.01	4.84 ± 0.01	4.87 ± 0.10 <sup>a</sup>
10	4.92 ± 0.01	4.95 ± 0.01	4.75 ± 0.01	4.96 ± 0.01	4.72 ± 0.01	4.82 ± 0.12 <sup>a</sup>
30	4.92 ± 0.01	4.84 ± 0.03	4.70 ± 0.01	4.76 ± 0.02	4.45 ± 0.01	4.68 ± 0.18 <sup>b</sup>
เฉลี่ย*	4.92 ± 0.01 <sup>a</sup>	4.94 ± 0.08 <sup>a</sup>	4.75 ± 0.05 <sup>bc</sup>	4.81 ± 0.12 <sup>b</sup>	4.67 ± 0.17 <sup>c</sup>	4.66 ± 0.19 <sup>c</sup>

\*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวอนเดียงกันที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

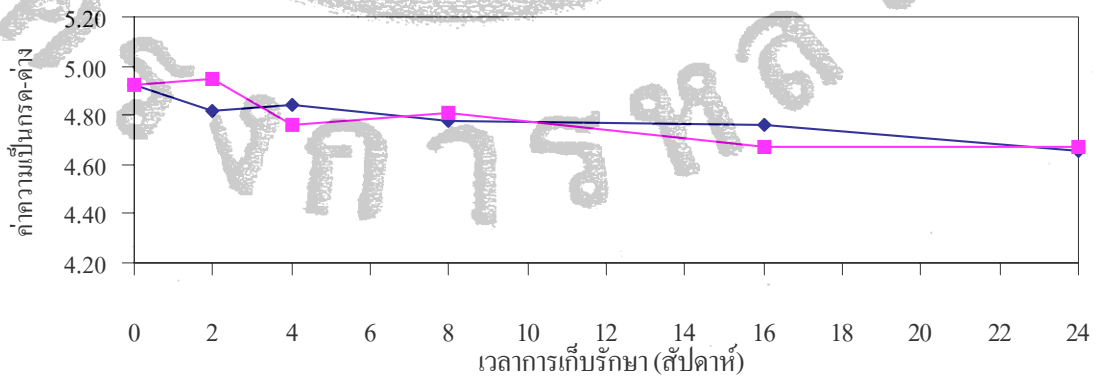
\*\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05



ภาพ 4.29 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.30 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.31 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ภาพ 4.29 และ 4.30      — 0 องศาเซลเซียส    % 10 องศาเซลเซียส    — 30 องศาเซลเซียส

ภาพ 4.31                — บรรจุในบรรยากาศปกติ    % บรรจุในสภาวะสุญญากาศ

**การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ของปลั๊กกึ่งแข็งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน**

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของปลั๊กกึ่งแข็งแสดงดังตาราง 4.30 สำหรับปลั๊กกึ่งแข็งที่บรรจุในบรรยากาศปกติดังภาพ 4.32 มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่อุณหภูมิ 10 และ 30 องศาเซลเซียสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) คือ 38.52 และ 37.72 องศาบริกซ์ แต่มีความแตกต่างจากที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็น 39.72 องศาบริกซ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง ส่วนระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) โดยมีปริมาณเริ่มต้น 41.80 องศาบริกซ์ และลดลงในการเก็บรักษา 24 สัปดาห์มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่วัดได้คือ 34.73 องศาบริกซ์ การลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดสัณฐานที่ไม่ใช่เอนไซม์ เนื่องจากเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา สอดคล้องกับค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปของปลั๊ก

สำหรับปลั๊กกึ่งแข็งที่บรรจุในสถานะสุญญากาศดังภาพ 4.33 อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียสคือ 38.62 และ 38.32 องศาบริกซ์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่แตกต่างจากที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสซึ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 37.02 องศาบริกซ์ ส่วนระยะเวลาในการเก็บรักษาเริ่มต้นมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 41.80 องศาบริกซ์ และลดลงเหลือ 34.90 องศาบริกซ์ ในสัปดาห์ที่ 24 ดังนั้นระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลการลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )

เมื่อเปรียบเทียบการบรรจุปลั๊กกึ่งแข็งในบรรยากาศปกติและในสถานะสุญญากาศดังภาพ 4.34 พบว่าวิธีการบรรจุไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของปลั๊กกึ่งแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

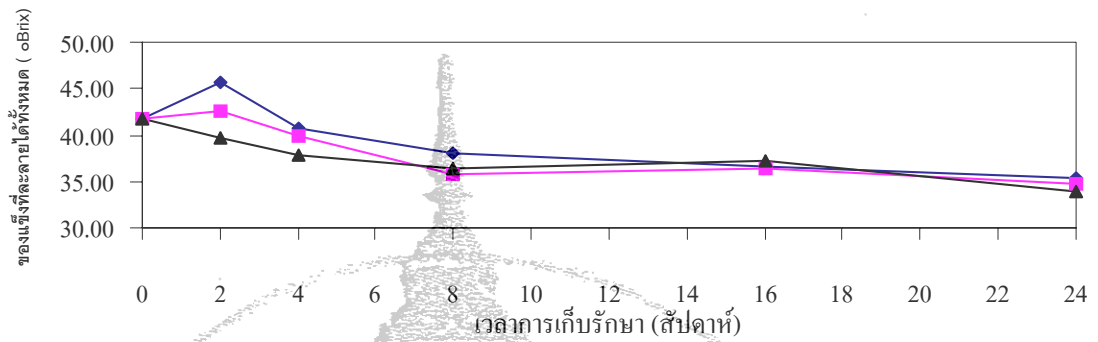


**ตารางที่ 4.30** การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

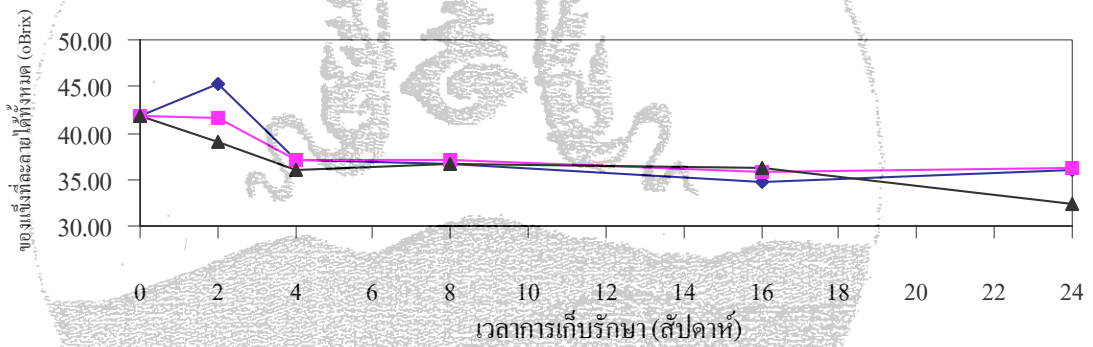
		ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)					
สถานะการเก็บ (องศาเซลเซียส)	เริ่มต้น	อายุการเก็บ 2 สัปดาห์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์	อายุการเก็บ 8 สัปดาห์	อายุการเก็บ 16 สัปดาห์	อายุการเก็บ 24 สัปดาห์	เฉลี่ย**
<b>บรรจุใน</b>							
<b>บรรจุอากาศปกติ</b>							
0	41.80 ± 0.51	45.60 ± 0.51	40.80 ± 0.51	38.10 ± 0.51	36.60 ± 0.00	35.40 ± 0.51	39.72 ± 3.77 <sup>a</sup>
10	41.80 ± 0.51	42.60 ± 0.51	39.90 ± 0.51	35.70 ± 0.51	36.30 ± 0.51	34.80 ± 0.51	38.52 ± 3.35 <sup>b</sup>
30	41.80 ± 0.51	39.60 ± 0.90	37.80 ± 0.00	36.30 ± 0.51	37.20 ± 0.01	34.00 ± 0.51	37.78 ± 2.69 <sup>b</sup>
<b>เฉลี่ย*</b>	<b>41.80 ± 0.01<sup>a</sup></b>	<b>42.60 ± 2.66<sup>a</sup></b>	<b>39.50 ± 1.38<sup>b</sup></b>	<b>36.70 ± 1.17<sup>c</sup></b>	<b>36.70 ± 0.46<sup>c</sup></b>	<b>34.73 ± 0.70<sup>d</sup></b>	
<b>บรรจุในสถานะ</b>							
<b>สุญญากาศ</b>							
0	41.80 ± 0.51	45.30 ± 0.51	37.20 ± 1.03	36.60 ± 0.51	34.80 ± 0.51	36.00 ± 0.00	38.62 ± 4.06 <sup>a</sup>
10	41.80 ± 0.51	41.70 ± 0.51	37.20 ± 0.51	37.20 ± 0.51	35.70 ± 0.51	36.30 ± 0.51	38.32 ± 2.72 <sup>a</sup>
30	41.80 ± 0.51	39.00 ± 1.03	36.00 ± 0.00	36.60 ± 1.03	36.30 ± 0.51	32.40 ± 1.55	37.02 ± 3.16 <sup>b</sup>
<b>เฉลี่ย*</b>	<b>41.80 ± 0.01<sup>a</sup></b>	<b>42.00 ± 2.81<sup>a</sup></b>	<b>36.80 ± 0.83<sup>b</sup></b>	<b>36.80 ± 0.70<sup>b</sup></b>	<b>35.60 ± 0.79<sup>bc</sup></b>	<b>34.90 ± 2.05<sup>c</sup></b>	

\*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

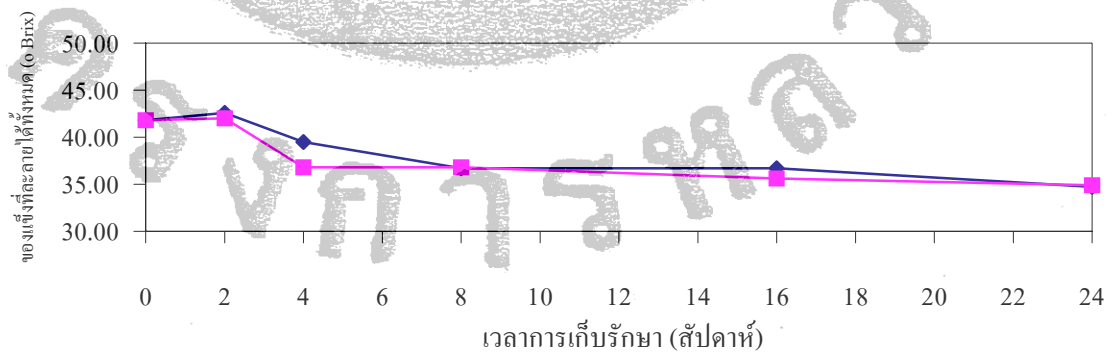
\*\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05



ภาพ 4.32 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.33 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.34 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ภาพ 4.32 และ 4.33      — 0 องศาเซลเซียส    ◻ 10 องศาเซลเซียส    ▽ 30 องศาเซลเซียส  
 ภาพ 4.34              — บรรจุในบรรยากาศปกติ    ◻ บรรจุในสภาวะสุญญากาศ

### การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของปลับกิ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของปลับกิ่งแห้งแสดงดังตาราง 4.31 ปริมาณความชื้นของปลับกิ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติดังภาพ 4.35 พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อความชื้น โดยที่อุณหภูมิ 10 และ 30 องศาเซลเซียสมีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกัน คือร้อยละ 26.90 และ 26.56 แต่มีความแตกต่างจากที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสที่มีปริมาณความชื้นเท่ากับ ร้อยละ 27.77 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังนั้นที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นลดลง เนื่องจากการระเหยไปของน้ำที่มีอยู่ในปลับ ส่วนระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กล่าวคือเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นของปลับกิ่งแห้งจะลดลง ปริมาณความชื้นในวันเริ่มต้นคือร้อยละ 29.10 และในสัปดาห์ที่ 24 คือ 23.02

สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของปลับกิ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศ ดังภาพ 4.36 พบว่าอุณหภูมิต่าง ๆ ในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นของปลับกิ่งแห้งจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ปริมาณความชื้นในวันเริ่มต้นคือร้อยละ 29.10 และในสัปดาห์ที่ 24 คือ 24.46

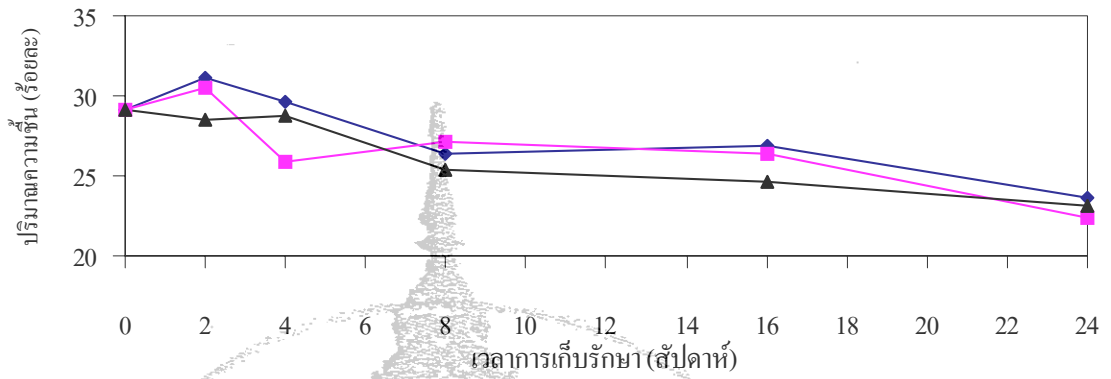
เมื่อเปรียบเทียบการบรรจุปลับกิ่งแห้งในบรรยากาศปกติและในสภาวะสุญญากาศดังภาพ 4.37 พบว่าวิธีการบรรจุไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของปลับกิ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

**ตารางที่ 4.31** การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์แห้งในระหว่างการรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

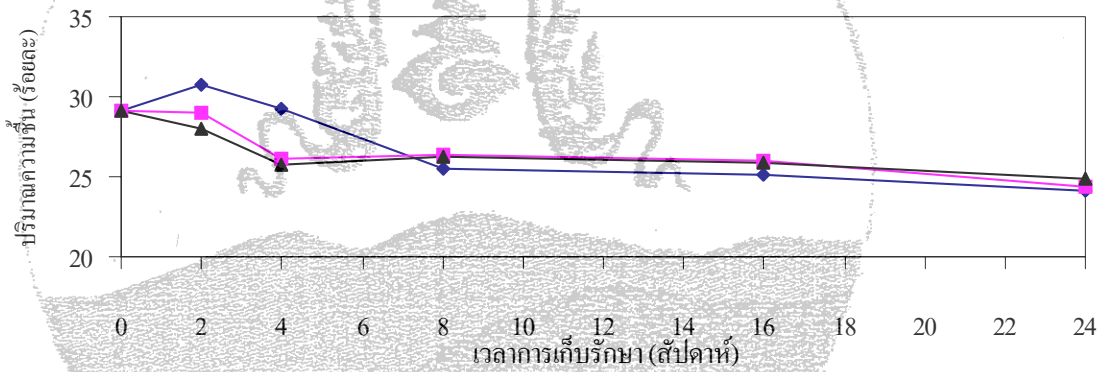
สถานะการเก็บ (องศาเซลเซียส)	เริ่มต้น	ความชื้น (ร้อยละ)					เฉลี่ย**
		อายุการเก็บ 2 สัปดาห์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์	อายุการเก็บ 8 สัปดาห์	อายุการเก็บ 16 สัปดาห์	อายุการเก็บ 24 สัปดาห์	
บรรจุใน บรรจุอากาศปกติ							
0	29.10 ± 0.03	31.12 ± 0.26	29.59 ± 0.61	26.41 ± 0.03	26.83 ± 1.08	23.60 ± 0.36	27.77 ± 2.60 <sup>a</sup>
10	29.10 ± 0.03	30.56 ± 0.42	25.87 ± 0.02	27.16 ± 0.03	26.39 ± 0.02	22.33 ± 0.11	26.90 ± 2.71 <sup>b</sup>
30	29.10 ± 0.03	28.51 ± 0.11	28.70 ± 0.53	25.35 ± 0.16	24.56 ± 0.16	23.12 ± 0.12	26.56 ± 2.42 <sup>b</sup>
<b>เฉลี่ย*</b>	<b>29.10 ± 0.01<sup>ab</sup></b>	<b>30.06 ± 1.25<sup>a</sup></b>	<b>28.05 ± 1.77<sup>b</sup></b>	<b>26.30 ± 0.81<sup>c</sup></b>	<b>25.93 ± 1.18<sup>c</sup></b>	<b>23.02 ± 0.60<sup>d</sup></b>	
บรรจุในสภาวะ สุญญากาศ							
0	29.10 ± 0.03	30.69 ± 0.01	29.26 ± 1.25	25.48 ± 0.07	25.17 ± 0.07	24.16 ± 0.28	27.31 ± 2.59
10	29.10 ± 0.03	28.98 ± 0.49	26.08 ± 1.66	26.34 ± 0.08	26.01 ± 0.08	24.39 ± 0.19	26.81 ± 1.84
30	29.10 ± 0.03	28.00 ± 0.17	25.72 ± 0.21	26.26 ± 0.21	25.93 ± 0.21	24.85 ± 0.31	26.64 ± 1.52
<b>เฉลี่ย*</b>	<b>29.10 ± 0.01<sup>a</sup></b>	<b>29.22 ± 1.24<sup>a</sup></b>	<b>27.02 ± 1.97<sup>b</sup></b>	<b>26.02 ± 0.43<sup>bc</sup></b>	<b>25.70 ± 0.42<sup>c</sup></b>	<b>24.46 ± 0.37<sup>d</sup></b>	

\*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวอนเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

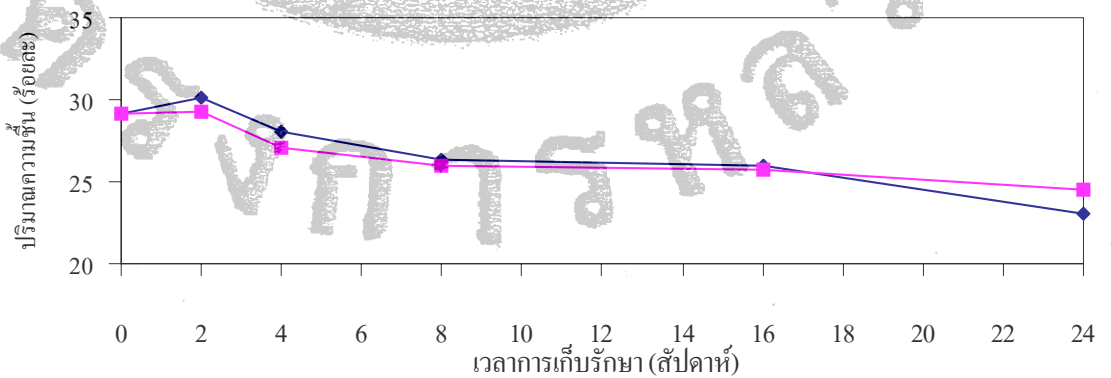
\*\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05



ภาพ 4.35 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของปลั๊กกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.36 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของปลั๊กกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.37 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของปลั๊กกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ภาพ 4.35 และ 4.36    — 0 องศาเซลเซียส    % 10 องศาเซลเซียส    ; 30 องศาเซลเซียส

ภาพ 4.37    — บรรจุในบรรยากาศปกติ    % บรรจุในสภาวะสุญญากาศ

### การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ของพลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ของพลับกึ่งแห้งแสดงดังตาราง 4.32 ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติดังภาพ 4.38 พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อปริมาณน้ำอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยมีช่วงของปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 0.757-0.766 ส่วนระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ของพลับกึ่งแห้งจะลดลง โดยเริ่มต้นคือ 0.783 และในสัปดาห์ที่ 24 คือ 0.703

สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศ ดังภาพ 4.39 พบว่าอุณหภูมามีผลต่อปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์โดยที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียสมีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ไม่แตกต่างกัน คือ 0.744 และ 0.733 และที่ 30 องศาเซลเซียสมีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ 0.726 ไม่แตกต่างจากที่ 10 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในพลับกึ่งแห้งเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเหมือนกับพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติ คือ ระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ของพลับกึ่งแห้งจะลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) ในวันเริ่มต้นคือ 0.783 และในสัปดาห์ที่ 24 คือ 0.706

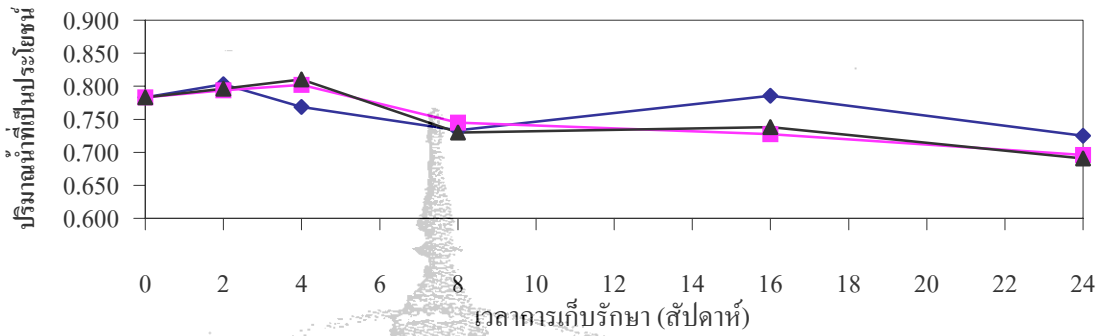
ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศดังภาพ 4.40 พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่มีแนวโน้มเดียวกันคือปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.32 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่ขึ้นประโยชน์ (a<sub>n</sub>) ของผลิตภัณฑ์แห่งในระหว่างการศึกษาที่อุณหภูมิต่างกันและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

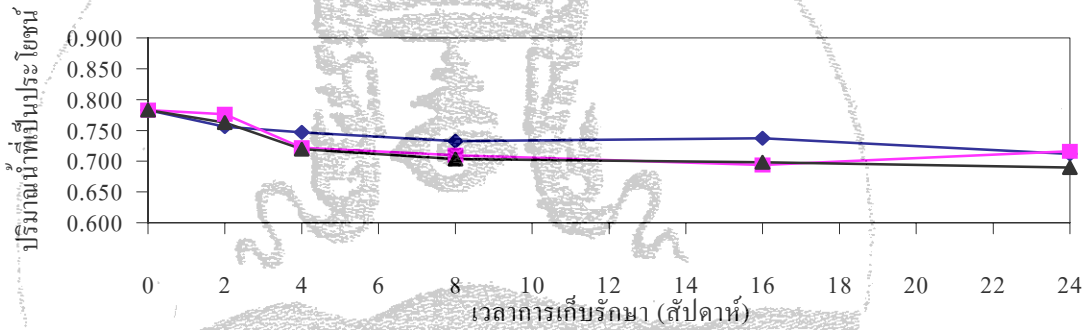
		ปริมาณน้ำที่ขึ้นประโยชน์ (a <sub>n</sub> )					เฉลี่ย**
สถานะการเก็บ (องศาเซลเซียส)	เริ่มต้น	อายุการเก็บ 2 สัปดาห์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์	อายุการเก็บ 8 สัปดาห์	อายุการเก็บ 16 สัปดาห์	อายุการเก็บ 24 สัปดาห์	
บรรจุใน							
บรรจุอากาศปกติ							
0	0.783 ± 0.001	0.803 ± 0.008	0.768 ± 0.006	0.733 ± 0.012	0.786 ± 0.004	0.725 ± 0.005	0.766 ± 0.030
10	0.783 ± 0.001	0.793 ± 0.003	0.802 ± 0.005	0.745 ± 0.004	0.727 ± 0.017	0.696 ± 0.008	0.757 ± 0.040
30	0.783 ± 0.001	0.796 ± 0.004	0.810 ± 0.012	0.730 ± 0.009	0.738 ± 0.019	0.690 ± 0.000	0.757 ± 0.044
เฉลี่ย*	0.783 ± 0.001 <sup>a</sup>	0.797 ± 0.006 <sup>a</sup>	0.793 ± 0.020 <sup>a</sup>	0.736 ± 0.010 <sup>b</sup>	0.750 ± 0.030 <sup>b</sup>	0.703 ± 0.017 <sup>c</sup>	
บรรจุในสภาวะ							
สุญญากาศ							
0	0.783 ± 0.001	0.756 ± 0.010	0.746 ± 0.012	0.732 ± 0.003	0.737 ± 0.012	0.712 ± 0.018	0.744 ± 0.024 <sup>a</sup>
10	0.783 ± 0.001	0.776 ± 0.005	0.722 ± 0.011	0.710 ± 0.001	0.694 ± 0.008	0.716 ± 0.016	0.733 ± 0.035 <sup>ab</sup>
30	0.783 ± 0.001	0.763 ± 0.009	0.719 ± 0.016	0.703 ± 0.007	0.698 ± 0.008	0.689 ± 0.006	0.726 ± 0.037 <sup>b</sup>
เฉลี่ย*	0.783 ± 0.001 <sup>a</sup>	0.765 ± 0.011 <sup>b</sup>	0.729 ± 0.016 <sup>c</sup>	0.715 ± 0.014 <sup>cd</sup>	0.709 ± 0.022 <sup>d</sup>	0.706 ± 0.017 <sup>d</sup>	

\*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวอนติเดียวกันที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

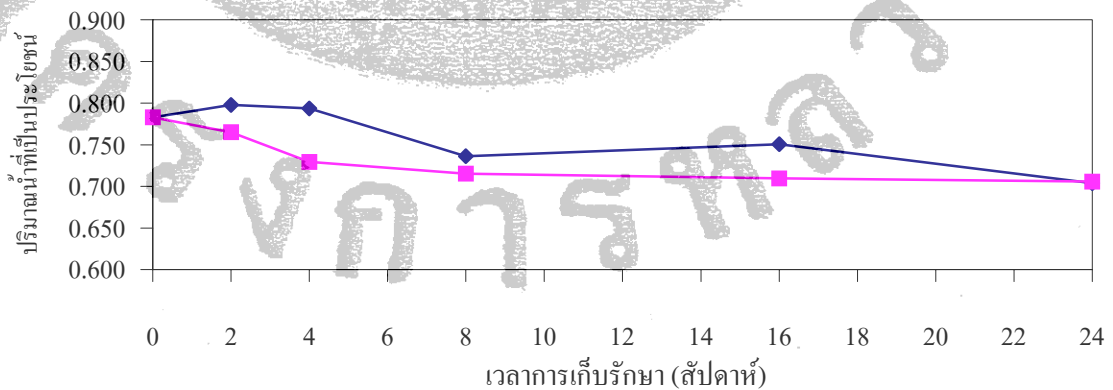
\*\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05



ภาพ 4.38 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.39 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสูญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.40 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสูญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ภาพ 4.38 และ 4.39    — 0 องศาเซลเซียส    % 10 องศาเซลเซียส    — 30 องศาเซลเซียส  
 ภาพ 4.40    — บรรจุในบรรยากาศปกติ    % บรรจุในสภาวะสูญญากาศ



### การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงของพลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ และวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงของพลับกึ่งแห้งแสดงดังตาราง 4.33 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติดังภาพ 4.41 พบว่า ที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียสมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงไม่แตกต่างกัน คือร้อยละ 35.33 และ 35.74 แต่มีความแตกต่างจากที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงร้อยละ 33.21 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ที่อุณหภูมิสูงคือ 30 องศาเซลเซียสทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงลดลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เอนไซม์ อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และน้ำตาลรีดิวซิงที่มีมากในพลับคือ ฟรุกโตส จึงทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเป็น 5-10 เท่า (นิธิยา, 2543) สอดคล้องกับค่าสี L (ความสว่าง) ค่าสี a\* (สีแดง) ค่าสี b\* (สีเหลือง) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ลดลง ส่วนระยะเวลาในการเก็บรักษาทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงในวันเริ่มต้นคือร้อยละ 36.06 และค่อย ๆ ลดลงจนถึงสัปดาห์ที่ 16 และ 24 เหลือร้อยละ 33.49 และ 30.48 ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสถานะสุญญากาศดังภาพ 4.42 พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 0 องศาเซลเซียสมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงร้อยละ 36.05 ซึ่งมากกว่าที่อุณหภูมิ 10 และ 30 องศาเซลเซียสที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงร้อยละ 34.98 และ 34.63 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงของพลับกึ่งแห้งจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีปริมาณเริ่มต้นคือร้อยละ 36.06 และในสัปดาห์ที่ 24 คือร้อยละ 30.47

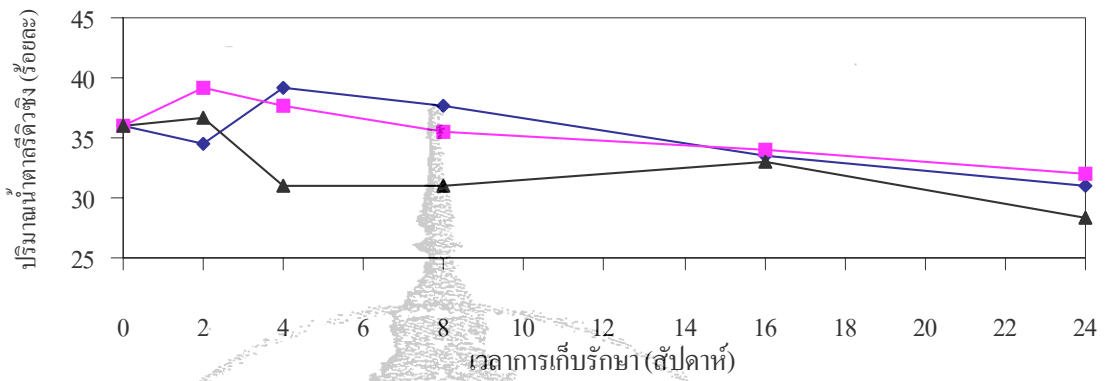
เมื่อเปรียบเทียบการบรรจุพลับกึ่งแห้งในบรรยากาศปกติและในสถานะสุญญากาศดังภาพ 4.43 พบว่าวิธีการบรรจุไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงของพลับกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เอนไซม์

**ตารางที่ 4.33** การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาแลคทีวซิงของพลัมกิ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

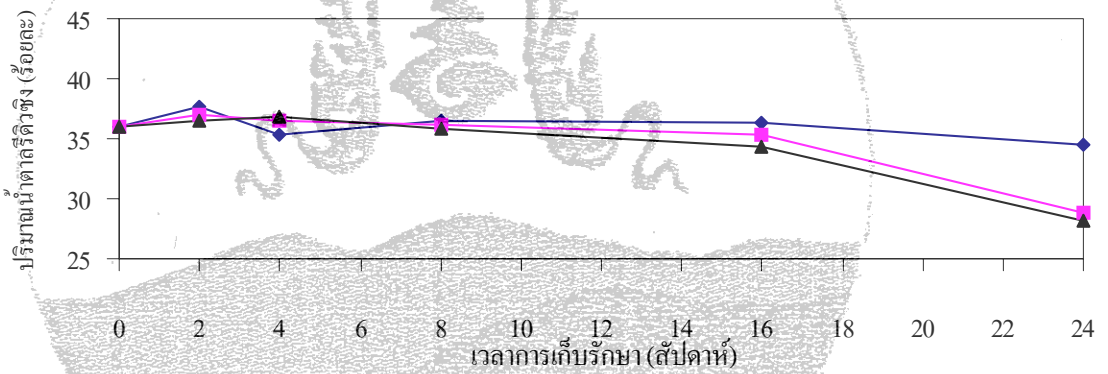
ปริมาณน้ำตาแลคทีวซิง (ร้อยละ)							
สถานะการเก็บ (องศาเซลเซียส)	เริ่มต้น	อายุการเก็บ 2 อาทิตย์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์	อายุการเก็บ 8 สัปดาห์	อายุการเก็บ 16 สัปดาห์	อายุการเก็บ 24 สัปดาห์	เฉลี่ย**
บรรจุในบรรจุอากาศปกติ							
0	36.06 ± 0.06	34.57 ± 0.26	39.19 ± 0.91	37.69 ± 0.13	33.43 ± 0.13	31.03 ± 0.21	35.33 ± 2.93 <sup>a</sup>
10	36.06 ± 0.06	39.25 ± 1.01	37.68 ± 0.14	35.48 ± 0.00	33.97 ± 0.00	32.02 ± 0.24	35.74 ± 2.67 <sup>a</sup>
30	36.06 ± 0.06	36.64 ± 0.15	31.07 ± 0.74	31.04 ± 0.04	33.07 ± 0.00	28.39 ± 0.09	33.21 ± 3.05 <sup>b</sup>
เฉลี่ย*	36.06 ± 0.01 <sup>a</sup>	36.82 ± 2.15 <sup>a</sup>	35.98 ± 3.89 <sup>a</sup>	34.73 ± 3.03 <sup>ab</sup>	33.49 ± 1.24 <sup>b</sup>	30.48 ± 1.68 <sup>c</sup>	
บรรจุในสภาวะสุญญากาศ							
0	36.06 ± 0.06	37.63 ± 0.04	35.29 ± 0.13	36.45 ± 0.00	36.30 ± 0.24	34.54 ± 0.12	36.05 ± 1.54 <sup>a</sup>
10	36.06 ± 0.06	37.01 ± 0.00	36.57 ± 0.14	36.19 ± 0.27	35.26 ± 0.11	28.77 ± 0.18	34.98 ± 3.21 <sup>b</sup>
30	36.06 ± 0.06	36.54 ± 0.07	36.81 ± 0.26	35.86 ± 0.33	34.39 ± 0.57	38.11 ± 0.09	34.63 ± 2.36 <sup>b</sup>
เฉลี่ย*	36.06 ± 0.01 <sup>ab</sup>	37.06 ± 0.49 <sup>a</sup>	36.22 ± 0.74 <sup>ab</sup>	36.16 ± 0.32 <sup>ab</sup>	35.32 ± 0.90 <sup>b</sup>	30.47 ± 2.91 <sup>c</sup>	

\*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวอนเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

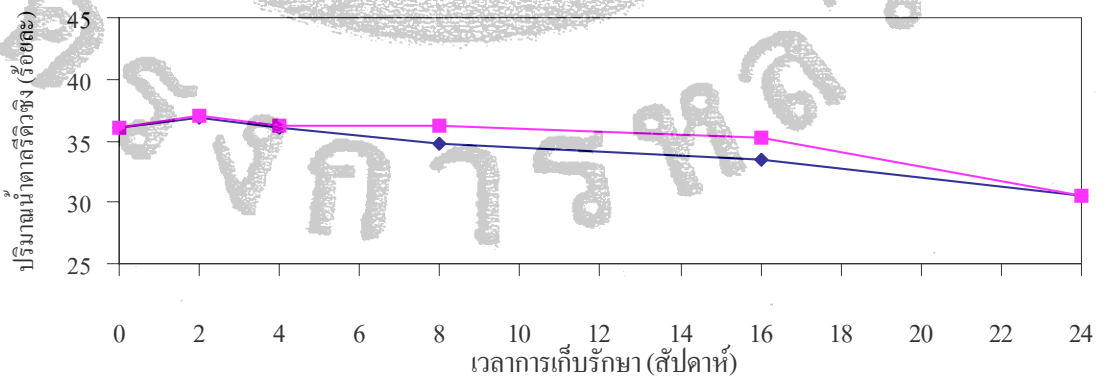
\*\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05



ภาพ 4.41 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาดริตวิซิงของปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.42 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาดริตวิซิงของปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.43 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาดริตวิซิงของปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ภาพ 4.41 และ 4.42    — 0 องศาเซลเซียส    % 10 องศาเซลเซียส    - 30 องศาเซลเซียส

ภาพ 4.43    — บรรจุในบรรยากาศปกติ    % บรรจุในสภาวะสุญญากาศ

### การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดซอร์บิกของพลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ และวิธีการบรรจุที่ต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดซอร์บิกของพลับกึ่งแห้งแสดงดังตาราง 4.34 พลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีปริมาณกรดซอร์บิกดังภาพ 4.44 พบว่า อุณหภูมิไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดซอร์บิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยมีปริมาณกรดซอร์บิกอยู่ในช่วง 820.99-871.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับระยะเวลาในการเก็บรักษาพบว่าเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นปริมาณกรดซอร์บิกจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) การลดลงของปริมาณกรดซอร์บิกเนื่องจากการสลายตัวไปเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และปริมาณกรดซอร์บิกที่เพิ่มขึ้นหรือมีแนวโน้มสูงต่ำในบางสัปดาห์ก็เนื่องมาจากลักษณะผิวหน้าของพลับที่สามารถดูดซึมกรดซอร์บิกได้ต่างกันทำให้มีผลต่อปริมาณกรดซอร์บิกที่พลับสามารถดูดซับไว้ได้ต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดซอร์บิกของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสถานะสุญญากาศ ดังภาพ 4.45 พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลทำให้ปริมาณกรดซอร์บิกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) โดยที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสมีปริมาณกรดซอร์บิก 904.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งแตกต่างจากที่ 10 และ 30 องศาเซลเซียสที่มีปริมาณกรดซอร์บิก 822.72 และ 781.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) แสดงถึงกรดซอร์บิกมีการสลายตัวไปที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูง ส่วนระยะเวลาในการเก็บรักษาพบว่าพลับกึ่งแห้งมีปริมาณกรดซอร์บิกสูงในวันเริ่มต้น และสัปดาห์ที่ 16 และลดลงในสัปดาห์ที่ 2, 8 และ 18 ซึ่งปริมาณกรดซอร์บิกที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ด้วยเหตุผลเดียวกันกับพลับที่บรรจุในบรรยากาศปกติ ช่วงปริมาณของกรดซอร์บิกที่พลับดูดซับไว้คือ 799.90 – 953.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่เกินกว่าประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 ที่อนุญาตให้ใช้กรดซอร์บิกได้ในปริมาณสูงสุดไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ศิวาพร, 2535)

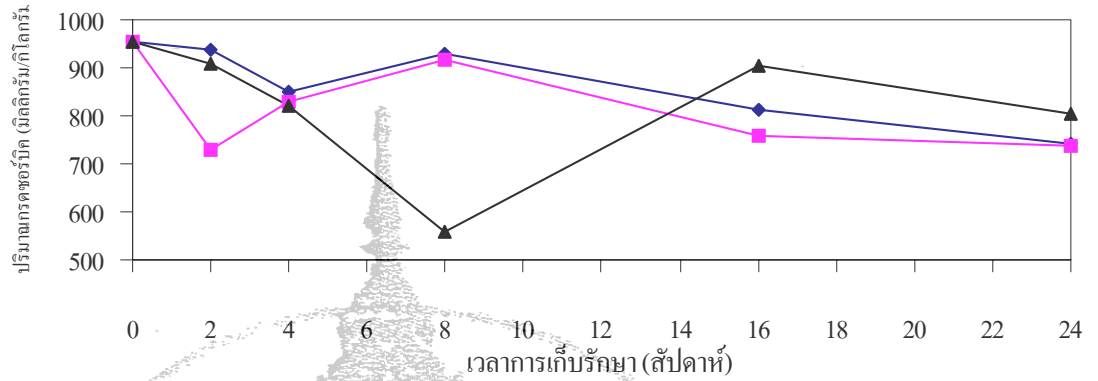
เมื่อเปรียบเทียบการบรรจุพลับกึ่งแห้งในบรรยากาศปกติและในสถานะสุญญากาศดังภาพ 4.46 พบว่าวิธีการบรรจุไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดซอร์บิกของพลับกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

ตารางที่ 4.34 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดซอร์บิก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ของผลิตภัณฑ์แห้งในระหว่างการผลิตที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

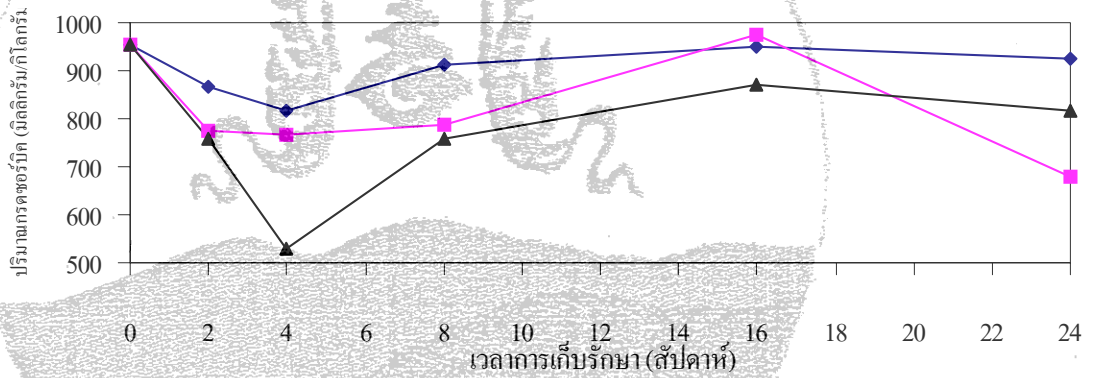
ปริมาณกรดซอร์บิก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)						
สถานะการเก็บ (องศาเซลเซียส)	เริ่มต้น	อายุการเก็บ 2 สัปดาห์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์	อายุการเก็บ 8 สัปดาห์	อายุการเก็บ 16 สัปดาห์	อายุการเก็บ 24 สัปดาห์
บรรจุในบรรจุภัณฑ์ปกติ						
0	953.73 ± 3.14	938.51 ± 5.62	850.58 ± 3.51	929.48 ± 5.11	811.60 ± 1.09	742.87 ± 0.94
10	953.73 ± 3.14	729.06 ± 2.24	828.41 ± 1.12	917.37 ± 2.39	757.86 ± 2.19	739.51 ± 2.36
30	953.73 ± 3.14	907.21 ± 3.51	819.67 ± 4.49	557.99 ± 1.20	902.83 ± 0.01	805.99 ± 1.18
เฉลี่ย*	953.73 ± 0.01 <sup>a</sup>	858.26 ± 101.09 <sup>ab</sup>	832.88 ± 14.48 <sup>b</sup>	801.61 ± 188.80 <sup>b</sup>	824.09 ± 65.56 <sup>b</sup>	762.79 ± 33.51 <sup>b</sup>
บรรจุในสถานะสุญญากาศ						
0	953.73 ± 3.14	868.15 ± 1.12	816.49 ± 2.24	911.45 ± 5.98	951.51 ± 0.91	925.17 ± 3.40
10	953.73 ± 3.14	773.87 ± 1.83	764.83 ± 1.12	786.94 ± 3.41	976.74 ± 4.90	680.26 ± 0.01
30	953.73 ± 3.14	757.69 ± 2.80	528.77 ± 6.74	759.76 ± 4.27	871.68 ± 3.66	815.16 ± 2.27
เฉลี่ย*	953.73 ± 0.01 <sup>a</sup>	799.90 ± 53.38 <sup>b</sup>	703.36 ± 137.23 <sup>c</sup>	819.38 ± 72.43 <sup>b</sup>	933.31 ± 49.13 <sup>a</sup>	806.86 ± 109.73 <sup>b</sup>

\*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวอนติเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

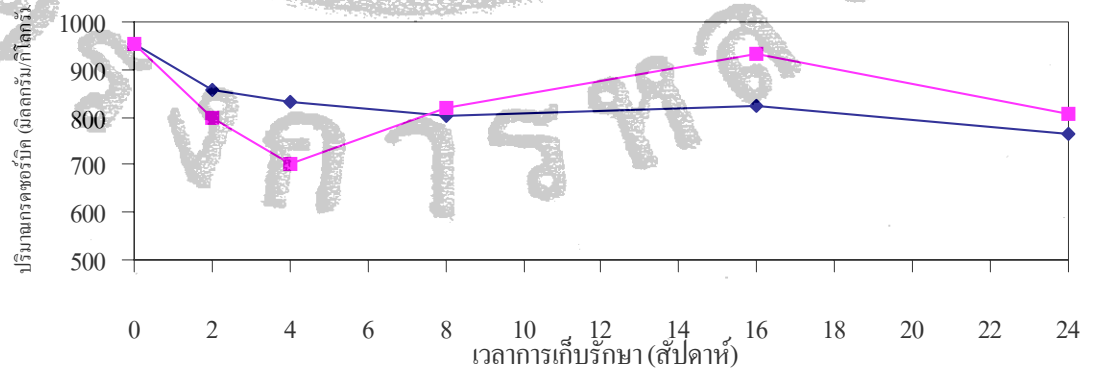
\*\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05



ภาพ 4.44 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.45 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.46 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ภาพ 4.44 และ 4.45      — 0 องศาเซลเซียส    % 10 องศาเซลเซียส    — 30 องศาเซลเซียส

ภาพ 4.46                — บรรจุในบรรยากาศปกติ    % บรรจุในสภาวะสุญญากาศ

### การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g) ของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่ต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของปลับกึ่งแห้งแสดงดังตาราง 4.35 โดยจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติดังภาพ 4.47 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมีผลต่อการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ที่อุณหภูมิ 10 และ 30 องศาเซลเซียสมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่แตกต่างกันคือ 3.11 และ 3.00 log cfu/g. แต่มีจำนวนที่แตกต่างจากอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสที่มีจำนวน 2.58 log cfu/g. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ส่วนระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเริ่มต้นมีจำนวนจุลินทรีย์ 1.95 log cfu/g. และเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 16 และ 24 เป็น 2.63 และ 3.46 log cfu/g. ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศแสดงดังภาพ 4.48 พบว่าที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียสมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) คือมีจำนวน 3.15 และ 2.99 log cfu/g. และที่ 30 องศาเซลเซียสมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 2.78 log cfu/g. ซึ่งไม่แตกต่างจากที่ 10 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เริ่มต้นมีจำนวนจุลินทรีย์น้อยที่สุดคือ 1.95 log cfu/g. จนถึงสัปดาห์ที่ 24 มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็น 3.00 log cfu/g.

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศดังภาพ 4.59 พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

### การเปลี่ยนแปลงจำนวนเชื้อยีสต์และราของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่ต่างกัน

ปริมาณเชื้อยีสต์และรามีน้อยกว่า 30 โคโลนีต่อกรัมตัวอย่าง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 24 สัปดาห์ เนื่องจากปลับกึ่งแห้งมีการแช่โพรเพทเซียมซอร์เบทหลังการผลิตได้เป็นปลับกึ่งแห้งแล้วตามกระบวนการผลิต จึงสามารถป้องกันการเจริญของเชื้อยีสต์และราได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าปลับกึ่งแห้งดังกล่าวมีโอกาสต่อคุณภาพเนื่องจากเชื้อยีสต์และราน้อยมาก

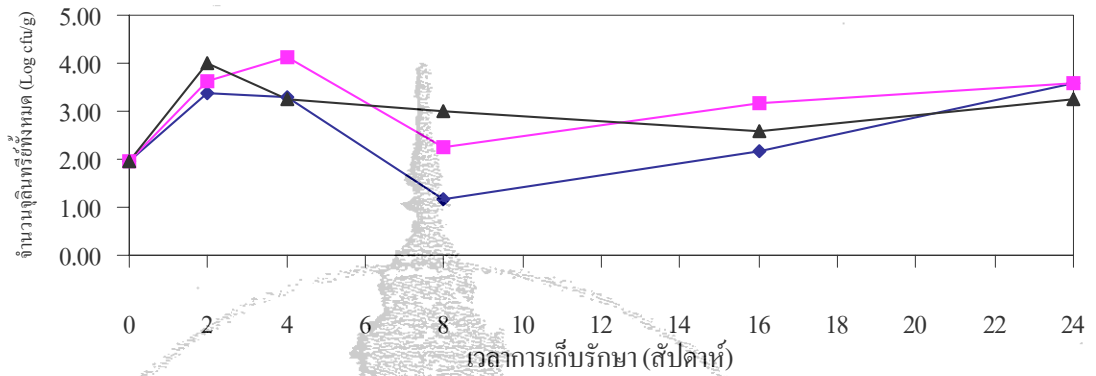
**ตารางที่ 4.35** การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g) ของปลวกิ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

สถานะการเก็บ (องศาเซลเซียส)	เริ่มต้น	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)				เฉลี่ย**	
		อายุการเก็บ 2 สัปดาห์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์	อายุการเก็บ 8 สัปดาห์	อายุการเก็บ 16 สัปดาห์		อายุการเก็บ 24 สัปดาห์
บรรจุใน บรรจุอากาศปกติ							
0	1.95 ± 0.04	3.39 ± 0.12	3.30 ± 0.00	1.17 ± 0.12	2.15 ± 0.21	3.57 ± 0.38	2.58 ± 0.93 <sup>b</sup>
10	1.95 ± 0.04	3.63 ± 0.21	4.14 ± 0.04	2.24 ± 0.33	3.15 ± 0.21	3.59 ± 0.15	3.11 ± 0.83 <sup>a</sup>
30	1.95 ± 0.04	3.98 ± 0.18	3.24 ± 0.33	3.00 ± 0.00	2.59 ± 0.15	3.24 ± 0.33	3.00 ± 0.67 <sup>a</sup>
<b>เฉลี่ย*</b>	<b>1.95 ± 0.01<sup>c</sup></b>	<b>3.66 ± 0.29<sup>a</sup></b>	<b>3.56 ± 0.47<sup>a</sup></b>	<b>2.13 ± 0.83<sup>c</sup></b>	<b>2.63 ± 0.47<sup>b</sup></b>	<b>3.46 ± 0.29<sup>a</sup></b>	
บรรจุในสภาวะ สุญญากาศ							
0	1.95 ± 0.04	3.80 ± 0.14	3.45 ± 0.21	3.59 ± 0.15	3.15 ± 0.21	3.00 ± 0.01	3.15 ± 0.63 <sup>a</sup>
10	1.95 ± 0.04	3.00 ± 0.00	3.65 ± 0.49	3.39 ± 0.12	3.00 ± 0.00	3.00 ± 0.01	2.99 ± 0.57 <sup>ab</sup>
30	1.95 ± 0.04	3.15 ± 0.21	3.15 ± 0.21	3.24 ± 0.33	2.24 ± 0.33	3.00 ± 0.01	2.78 ± 0.55 <sup>b</sup>
<b>เฉลี่ย*</b>	<b>1.95 ± 0.01<sup>c</sup></b>	<b>3.31 ± 0.39<sup>a</sup></b>	<b>3.41 ± 0.34<sup>a</sup></b>	<b>3.40 ± 0.23<sup>a</sup></b>	<b>2.79 ± 0.47<sup>b</sup></b>	<b>3.00 ± 0.01<sup>b</sup></b>	

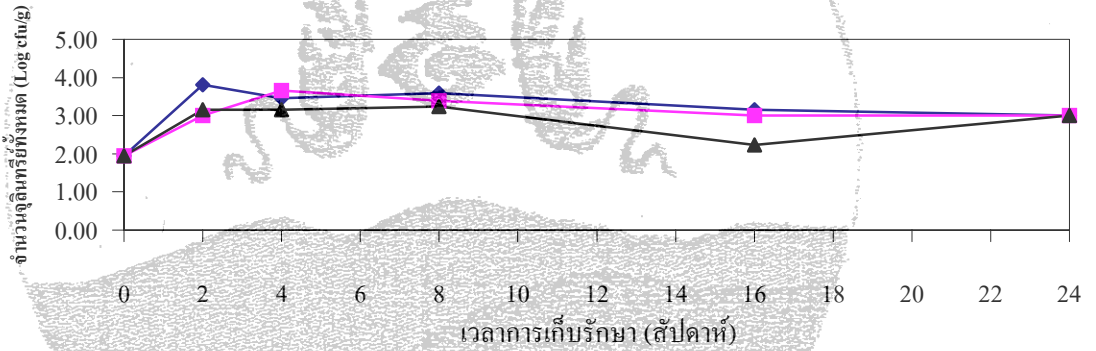
\*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวอนติเดียวกันแต่ต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

\*\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันแต่ต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

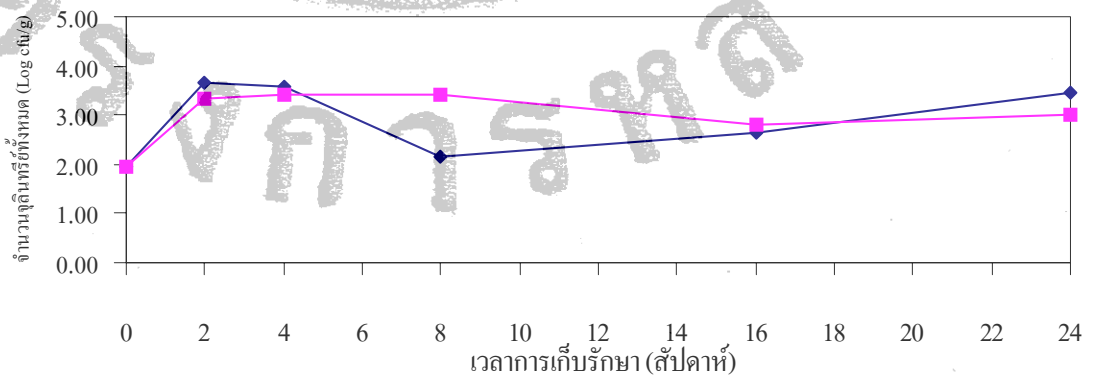




ภาพ 4.47 การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.48 การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.49 การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ภาพ 4.47 และ 4.48 — 0 องศาเซลเซียส % 10 องศาเซลเซียส - 30 องศาเซลเซียส

ภาพ 4.49 — บรรจุในบรรยากาศปกติ % บรรจุในสภาวะสุญญากาศ

### การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

ตาราง 4.36 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏของปลับกึ่งแห้ง โดยค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติดังภาพ 4.50 พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏจะเพิ่มขึ้น แสดงถึงผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเกิดขึ้น (ค่าคะแนนของสีปรากฏของปลับกึ่งแห้งจากแบบทดสอบชิมคือ สีเหลือง-สีน้ำตาลเข้ม และค่าคะแนนในอุดมคติคือสีเหลืองส้ม) โดยที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียสปลับกึ่งแห้งมีค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏไม่แตกต่างกันคือ 1.03 และ 1.10 ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างจากที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่มีค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏมากที่สุดคือ 1.54 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จะเห็นได้ว่าที่ 0 องศาเซลเซียสมีค่าคะแนนของสีปรากฏใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติมากที่สุดคือปลับกึ่งแห้งมีสีเหลืองส้ม มากกว่าที่อุณหภูมิ 10 และ 30 องศาเซลเซียส และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏก็เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเริ่มต้นปลับกึ่งแห้งมีค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏเท่ากับ 0.97 ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองส้ม จนถึงสัปดาห์ที่ 24 ค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏคือ 1.46 ซึ่งมากกว่าค่าในอุดมคติ ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเข้ม สีของปลับกึ่งแห้งที่เปลี่ยนไปจากอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุอยู่ในสถานะสุญญากาศแสดงดังภาพ 4.51 พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยที่ 0 องศาเซลเซียสปลับกึ่งแห้งมีค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติ (Ideal) มากที่สุดคือ 1.03 ส่วนที่ 10 และ 30 องศาเซลเซียสมีคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏเท่ากับ 1.23 และ 1.47 ตามลำดับ อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูงขึ้นทำให้ปลับกึ่งแห้งมีค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏสูง แสดงถึงปลับกึ่งแห้งมีสีน้ำตาลเกิดขึ้น ระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปลับกึ่งแห้งมีค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏที่เพิ่มขึ้น โดยวันเริ่มต้นปลับกึ่งแห้งมีคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏเป็น 0.97 ส่วนสัปดาห์ 2, 4, 8 และ 16 ที่มีค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏเป็น 1.18, 1.25, 1.23 และ 1.27 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่แตกต่างจากที่สัปดาห์ที่ 24 ที่มีค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏมากที่สุดคือ 1.59 แสดงว่าปลับกึ่งแห้งมีสีน้ำตาลมาก

เมื่อเปรียบเทียบค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏของปลั๊กที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสถานะสุญญากาศดังภาพ 4.52 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยแนวโน้มค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏของปลั๊กกึ่งแห้งจะเพิ่มขึ้น คือผลิตภัณฑ์มีสีเข้มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

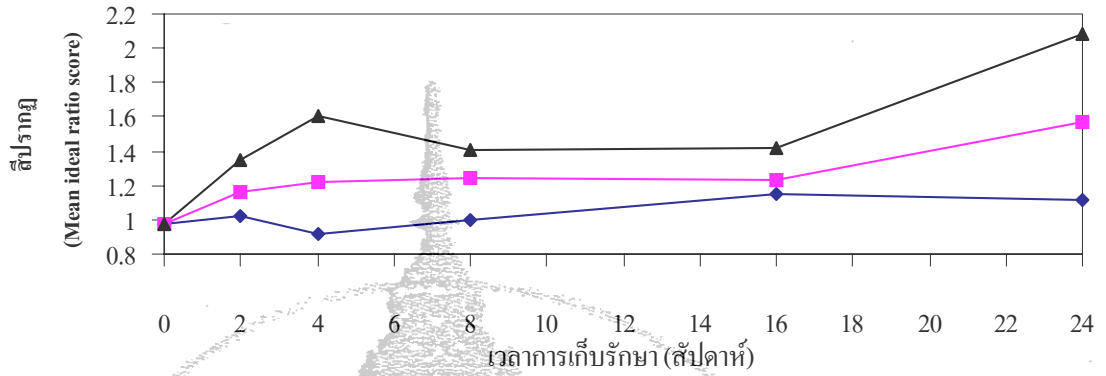


**ตารางที่ 4.36** การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏของปลวกทั้งแม่ทั้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

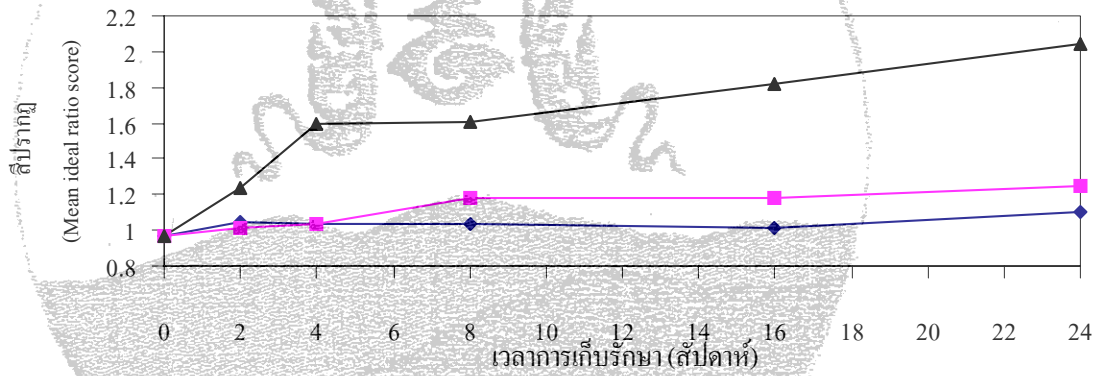
		ค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏ (Mean ideal ratio score)					
สถานะการเก็บ (องศาเซลเซียส)	เริ่มต้น	อายุการเก็บ 2 สัปดาห์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์	อายุการเก็บ 8 สัปดาห์	อายุการเก็บ 16 สัปดาห์	อายุการเก็บ 24 สัปดาห์	เฉลี่ย**
<b>บรรจุใน</b>							
<b>บรรจุอากาศปกติ</b>							
0	0.97 ± 0.05	1.05 ± 0.07	1.03 ± 0.08	1.04 ± 0.08	1.01 ± 0.10	1.10 ± 0.05	1.03 ± 0.06 <sup>b</sup>
10	0.97 ± 0.05	1.00 ± 0.01	1.03 ± 0.10	1.18 ± 0.04	1.18 ± 0.03	1.25 ± 0.07	1.10 ± 0.11 <sup>b</sup>
30	0.97 ± 0.05	1.24 ± 0.08	1.59 ± 0.03	1.61 ± 0.07	1.82 ± 0.24	2.04 ± 0.08	1.54 ± 0.37 <sup>a</sup>
<b>เฉลี่ย*</b>	<b>0.97 ± 0.01<sup>d</sup></b>	<b>1.10 ± 0.12<sup>cd</sup></b>	<b>1.22 ± 0.29<sup>bc</sup></b>	<b>1.27 ± 0.27<sup>abc</sup></b>	<b>1.33 ± 0.39<sup>ab</sup></b>	<b>1.46 ± 0.45<sup>a</sup></b>	
<b>บรรจุในสภาวะ</b>							
<b>สุญญากาศ</b>							
0	0.97 ± 0.05	1.02 ± 0.04	0.92 ± 0.02	1.01 ± 0.01	1.15 ± 0.07	1.12 ± 0.08	1.03 ± 0.09 <sup>c</sup>
10	0.97 ± 0.05	1.16 ± 0.01	1.23 ± 0.05	1.25 ± 0.11	1.24 ± 0.04	1.57 ± 0.04	1.23 ± 0.18 <sup>b</sup>
30	0.97 ± 0.05	1.35 ± 0.07	1.60 ± 0.14	1.41 ± 0.08	1.42 ± 0.11	2.08 ± 0.16	1.47 ± 0.35 <sup>a</sup>
<b>เฉลี่ย*</b>	<b>0.97 ± 0.01<sup>c</sup></b>	<b>1.18 ± 0.17<sup>b</sup></b>	<b>1.25 ± 0.34<sup>b</sup></b>	<b>1.23 ± 0.20<sup>b</sup></b>	<b>1.27 ± 0.14<sup>b</sup></b>	<b>1.59 ± 0.48<sup>a</sup></b>	

\*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวอนติเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

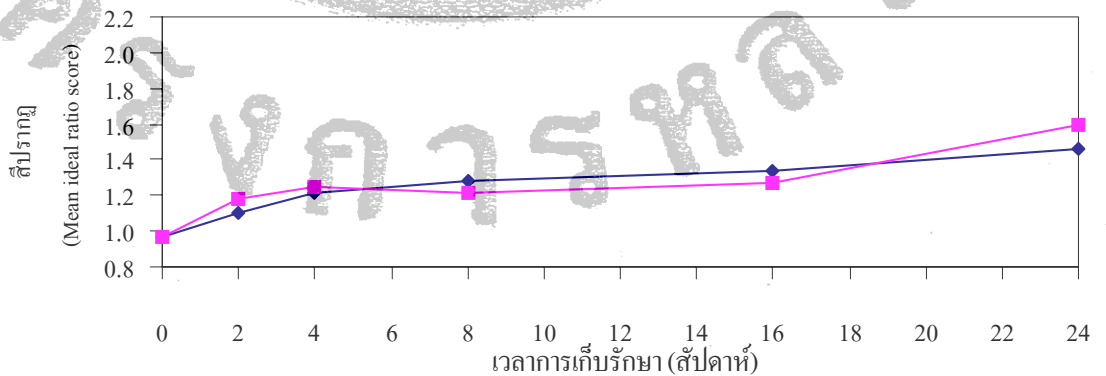
\*\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05



ภาพ 4.50 การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านสปีรากลูของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.51 การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านสปีรากลูของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.52 การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านสปีรากลูของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ภาพ 4.50 และ 4.51    — 0 องศาเซลเซียส    % 10 องศาเซลเซียส    — 30 องศาเซลเซียส

ภาพ 4.52    — บรรจุในบรรยากาศปกติ    % บรรจุในสภาวะสุญญากาศ

### การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นพลับของพลับกิ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นพลับของพลับกิ่งแห้งแสดงดังตาราง 4.37 พลับกิ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นพลับดังภาพ 4.53 พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นพลับ โดยที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียส พลับกิ่งแห้งมีค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นพลับเท่ากับ 0.96 และ 0.97 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่แตกต่างจากที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่มีค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นพลับ 0.89 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) ดังนั้นอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูงขึ้นทำให้ค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นพลับลดลง ซึ่งกลิ่นพลับที่ลดลงนี้อาจเนื่องมาจากการเก็บที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล และอาจก่อให้เกิดสารที่ทำให้กลิ่นของพลับลดลง ทำให้พลับกิ่งแห้งที่เก็บที่อุณหภูมิสูงมีค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นพลับน้อยกว่าค่าคะแนนในอุดมคติ เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มมากขึ้นพบว่าทำให้ค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นพลับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) โดยเริ่มต้นพลับมีค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นพลับ 1.02 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าคะแนนในอุดมคติ ส่วนสัปดาห์ที่ 2, 4, 8 และ 16 พลับมีค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นไม่แตกต่างกัน และไม่แตกต่างจากค่าในวันเริ่มต้น แต่แตกต่างจากสัปดาห์ที่ 24 ที่มีค่าคะแนนเป็น 0.82 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) ดังนั้นระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลส่งผลให้กลิ่นของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป

ส่วนพลับกิ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศมีค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นพลับแสดงดังภาพ 4.54 พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นพลับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นพลับจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) คือกลิ่นพลับลดลง โดยเริ่มต้นพลับกิ่งแห้งมีค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่น 1.02 และลดลงเหลือ 0.82 ในสัปดาห์ที่ 24

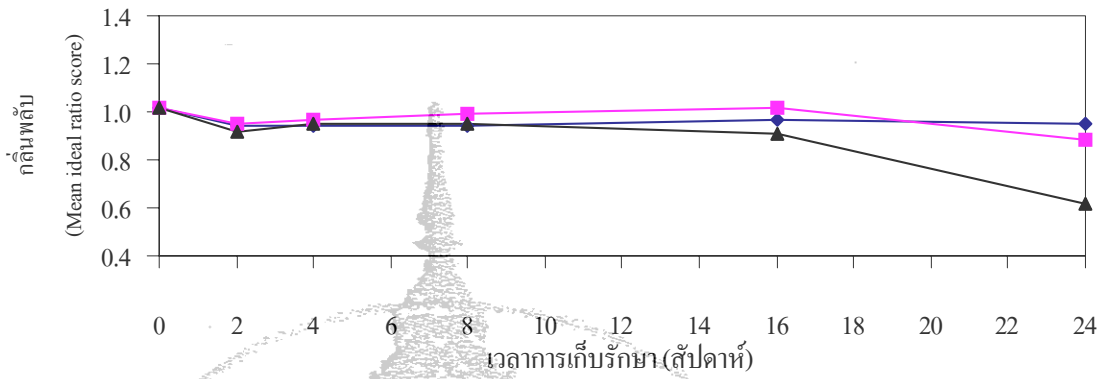
เมื่อเปรียบเทียบค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นพลับของพลับกิ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศดังภาพ 4.55 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยแนวโน้มค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นพลับจะลดลง คือมีค่าน้อยกว่าค่าคะแนนในอุดมคติเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.37 การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นพัลป์ของพลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

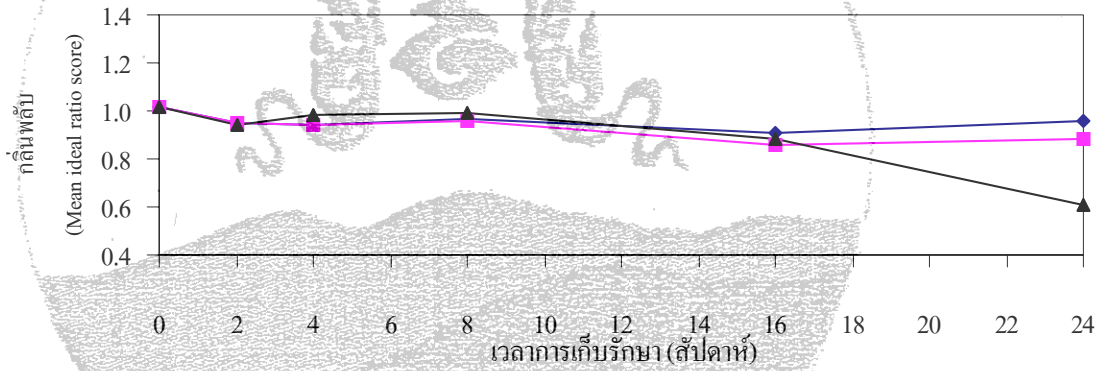
สถานะการเก็บ (องศาเซลเซียส)		ค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นพัลป์ (Mean ideal ratio score)						เฉลี่ย**
เริ่มต้น	อายุการเก็บ 2 สัปดาห์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์	อายุการเก็บ 8 สัปดาห์	อายุการเก็บ 16 สัปดาห์	อายุการเก็บ 24 สัปดาห์			
บรรจุในบรรยากาศปกติ								
0	1.02 ± 0.04	0.94 ± 0.07	0.94 ± 0.08	0.94 ± 0.12	0.97 ± 0.14	0.95 ± 0.07	0.96 ± 0.09 <sup>a</sup>	
10	1.02 ± 0.04	0.95 ± 0.07	0.97 ± 0.04	0.99 ± 0.06	1.02 ± 0.25	0.88 ± 0.16	0.97 ± 0.13 <sup>a</sup>	
30	1.02 ± 0.04	0.92 ± 0.08	0.95 ± 0.10	0.95 ± 0.11	0.91 ± 0.29	0.62 ± 0.24	0.89 ± 0.20 <sup>b</sup>	
เฉลี่ย*	1.02 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.94 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.95 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.96 ± 0.10 <sup>a</sup>	0.96 ± 0.23 <sup>a</sup>	0.82 ± 0.22 <sup>b</sup>		
บรรจุในสภาวะสุญญากาศ								
0	1.02 ± 0.04	0.95 ± 0.07	0.94 ± 0.07	0.97 ± 0.07	0.91 ± 0.10	0.96 ± 0.08	0.96 ± 0.08	
10	1.02 ± 0.04	0.95 ± 0.09	0.94 ± 0.08	0.96 ± 0.04	0.86 ± 0.14	0.88 ± 0.10	0.94 ± 0.10	
30	1.02 ± 0.04	0.94 ± 0.07	0.98 ± 0.03	0.99 ± 0.06	0.88 ± 0.36	0.61 ± 0.21	0.90 ± 0.21	
เฉลี่ย*	1.02 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.95 ± 0.08 <sup>ab</sup>	0.96 ± 0.06 <sup>ab</sup>	0.97 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.88 ± 0.22 <sup>bc</sup>	0.82 ± 0.20 <sup>c</sup>		

\*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวอนติเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

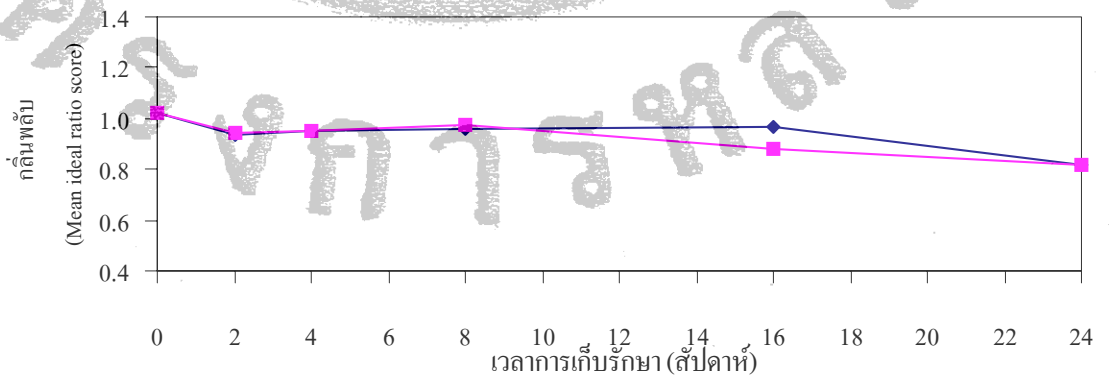
\*\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05



ภาพ 4.53 การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านกิลินพลับของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.54 การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านกิลินพลับของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.55 การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านกิลินพลับของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ภาพ 4.53 และ 4.54      — 0 องศาเซลเซียส    % 10 องศาเซลเซียส    — 30 องศาเซลเซียส

ภาพ 4.55      — บรรจุในบรรยากาศปกติ    % บรรจุในสภาวะสุญญากาศ



### การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวานของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวานของปลับกึ่งแห้งแสดงดังตาราง 4.38 ค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวานของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติดังภาพ 4.56 พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ปลับกึ่งแห้งมีค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวานใกล้เคียงกับค่าคะแนนในอุดมคติมากที่สุด คือ 0.91 รองลงมาคือที่ 10 องศาเซลเซียสที่มีค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวานเท่ากับ 0.83 ส่วนที่ 30 องศาเซลเซียสมีค่าคะแนนน้อยที่สุดคือ 0.69 แสดงถึงปลับกึ่งแห้งมีรสหวานที่น้อยกว่าค่า ในอุดมคติมาก สอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ลดลง เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ส่วนระยะเวลาในการเก็บ รักษาที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวานลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดย ปลับกึ่งแห้งจะมีค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวานลดลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 8, 16 และ 24 เป็น 0.81, 0.70 และ 0.60 ตามลำดับ

ส่วนปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศมีค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวานดังภาพ 4.57 พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดย ที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียสมีค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวานไม่แตกต่างกัน คือ 0.90 และ 0.87 ซึ่งแตกต่างจากที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่มีค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวานน้อยที่สุดคือ 0.76 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าคะแนนลักษณะ ด้านรสหวานลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยจะลดลงอย่างมากในสัปดาห์ที่ 16 และ 24 ซึ่งมีค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวานคือ 0.73 และ 0.63 ตามลำดับ

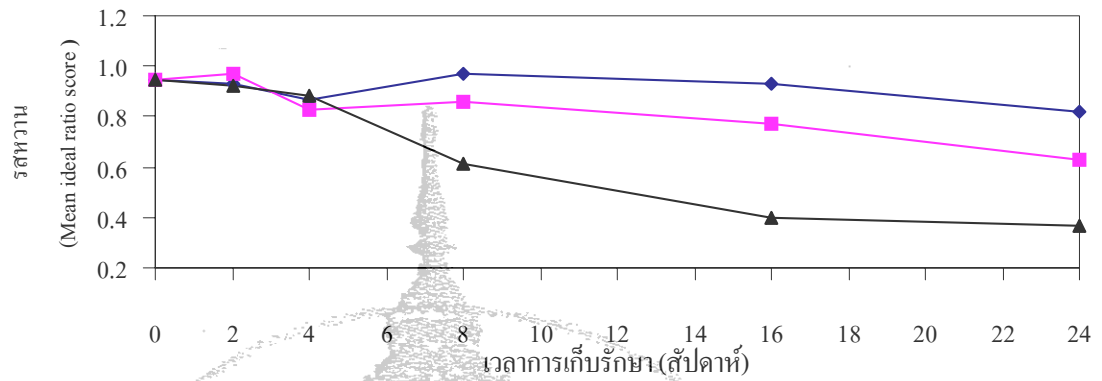
เมื่อเปรียบเทียบค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวานของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติ และบรรจุในสภาวะสุญญากาศดังภาพ 4.58 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยมีแนวโน้มเดียวกันคือค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวานลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บ รักษาเพิ่มขึ้น

**ตารางที่ 4.38** การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านสหวานของพลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

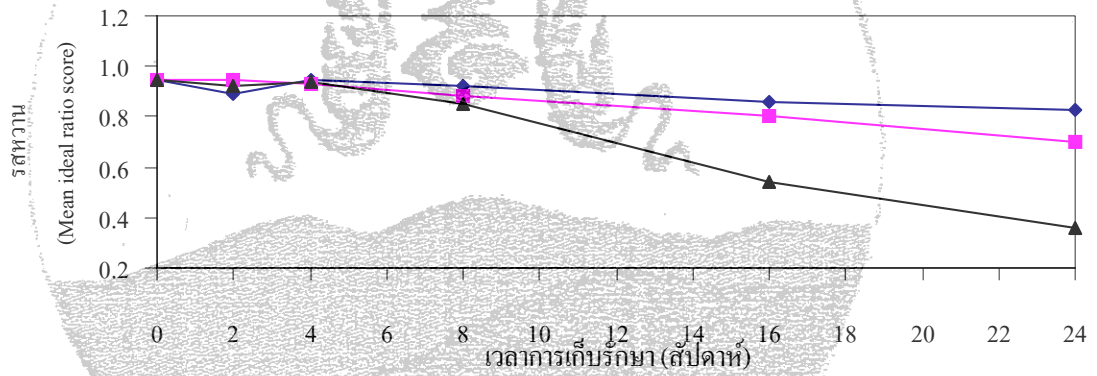
		ค่าคะแนนลักษณะด้านรสหวาน (Mean ideal ratio score)						
สถานะการเก็บ (องศาเซลเซียส)	เริ่มต้น	อายุการเก็บ 2 สัปดาห์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์	อายุการเก็บ 8 สัปดาห์	อายุการเก็บ 16 สัปดาห์	อายุการเก็บ 24 สัปดาห์	เฉลี่ย**	
<b>บรรจุใน</b>								
<b>บรรจุอากาศปกติ</b>								
0	0.95 ± 0.07	0.93 ± 0.10	0.87 ± 0.13	0.97 ± 0.08	0.93 ± 0.06	0.82 ± 0.18	0.91 ± 0.11 <sup>a</sup>	
10	0.95 ± 0.07	0.97 ± 0.06	0.83 ± 0.21	0.86 ± 0.16	0.77 ± 0.26	0.63 ± 0.32	0.83 ± 0.22 <sup>b</sup>	
30	0.95 ± 0.07	0.92 ± 0.10	0.88 ± 0.16	0.61 ± 0.14	0.40 ± 0.15	0.37 ± 0.18	0.69 ± 0.27 <sup>c</sup>	
<b>เฉลี่ย*</b>	<b>0.95 ± 0.01<sup>a</sup></b>	<b>0.94 ± 0.09<sup>a</sup></b>	<b>0.86 ± 0.17<sup>ab</sup></b>	<b>0.81 ± 0.20<sup>b</sup></b>	<b>0.70 ± 0.28<sup>c</sup></b>	<b>0.60 ± 0.29<sup>c</sup></b>		
<b>บรรจุในสภาวะ</b>								
<b>สุญญากาศ</b>								
0	0.95 ± 0.07	0.89 ± 0.13	0.95 ± 0.08	0.92 ± 0.15	0.86 ± 0.17	0.83 ± 0.18	0.90 ± 0.13 <sup>a</sup>	
10	0.95 ± 0.07	0.95 ± 0.09	0.93 ± 0.13	0.88 ± 0.18	0.80 ± 0.21	0.70 ± 0.24	0.87 ± 0.18 <sup>a</sup>	
30	0.95 ± 0.07	0.92 ± 0.10	0.94 ± 0.15	0.85 ± 0.21	0.54 ± 0.12	0.36 ± 0.16	0.76 ± 0.26 <sup>b</sup>	
<b>เฉลี่ย*</b>	<b>0.95 ± 0.01<sup>a</sup></b>	<b>0.92 ± 0.11<sup>a</sup></b>	<b>0.94 ± 0.12<sup>a</sup></b>	<b>0.88 ± 0.18<sup>a</sup></b>	<b>0.73 ± 0.22<sup>b</sup></b>	<b>0.63 ± 0.27<sup>c</sup></b>		

\*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวนอนเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

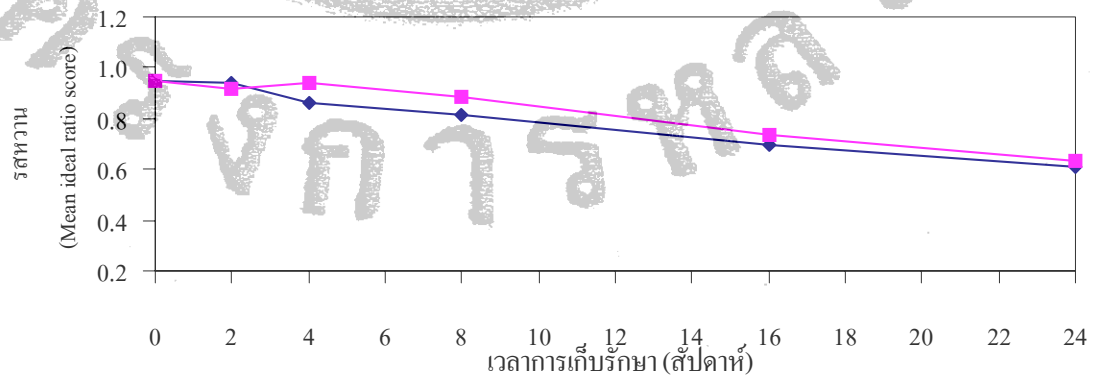
\*\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05



ภาพ 4.56 การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านรสนิยมของปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.57 การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านรสนิยมของปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.58 การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านรสนิยมของปลั๊กกิ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ภาพ 4.56 และ 4.57 — 0 องศาเซลเซียส % 10 องศาเซลเซียส — 30 องศาเซลเซียส

ภาพ 4.58 — บรรจุในบรรยากาศปกติ % บรรจุในสภาวะสุญญากาศ

### การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวของปลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวของปลับกึ่งแห้งแสดงดังตาราง 4.39 ซึ่งค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสถานะสุญญากาศ ดังภาพ 4.59 และ 4.60 พบว่า มีแนวโน้มเดียวกันคือ อุณหภูมิมีผลต่อค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียสให้ค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่มีค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปลับกึ่งแห้งมีค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวเป็น 0.78 ทั้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสถานะสุญญากาศ ส่วนระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวจะลดน้อยลง คือมีค่าน้อยกว่าค่าคะแนนในอุดมคติ ปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีค่าคะแนนความเหนียวเริ่มต้นเป็น 0.96 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างจากสัปดาห์ที่ 2, 4, 8 และ 16 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่มีความแตกต่างจากสัปดาห์ที่ 24 ที่มีค่าเป็น 0.58 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) สำหรับปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสถานะสุญญากาศมีค่าคะแนนการยอมรับด้านความเหนียวเริ่มต้นเป็น 0.96 และลดลงอย่างมีนัยสำคัญในสัปดาห์ที่ 16 และ 24 เป็น 0.82 และ 0.61 ซึ่งค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวที่ลดลงน้อยกว่าค่าคะแนนในอุดมคติ แสดงถึงเนื้อสัมผัสของปลับที่มีความเหนียวน้อย จากการทดสอบชิมทำให้ทราบว่าปลับกึ่งแห้งที่มีระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จะมีเนื้อสัมผัสที่ร่วนจึงมีความเหนียวน้อย ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิหรือระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าแรงเฉือนเพิ่มขึ้นและค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวลดลง แสดงให้เห็นว่าปลับกึ่งแห้งมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งและร่วน

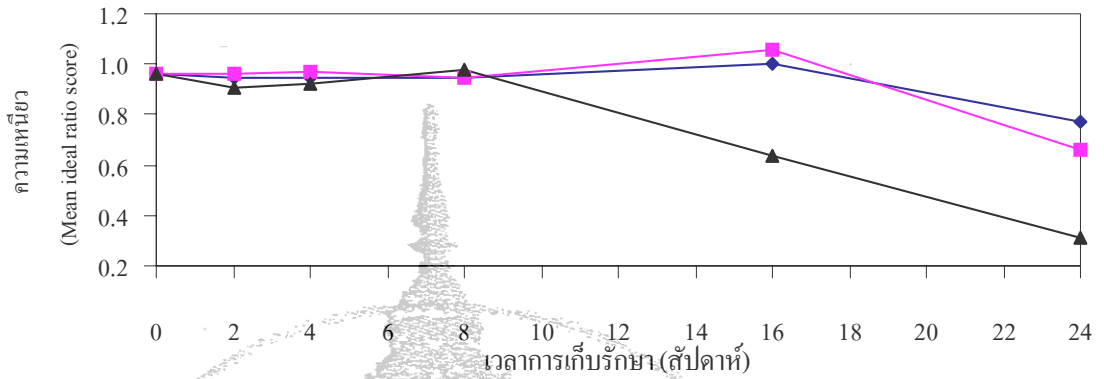
เมื่อเปรียบเทียบค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสถานะสุญญากาศดังภาพ 4.61 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่มีแนวโน้มเดียวกันคือค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวจะลดลงคือมีเนื้อสัมผัสที่ร่วนเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

**ตารางที่ 4.39** การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวของพลาตึงแห้งในระหว่างการรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

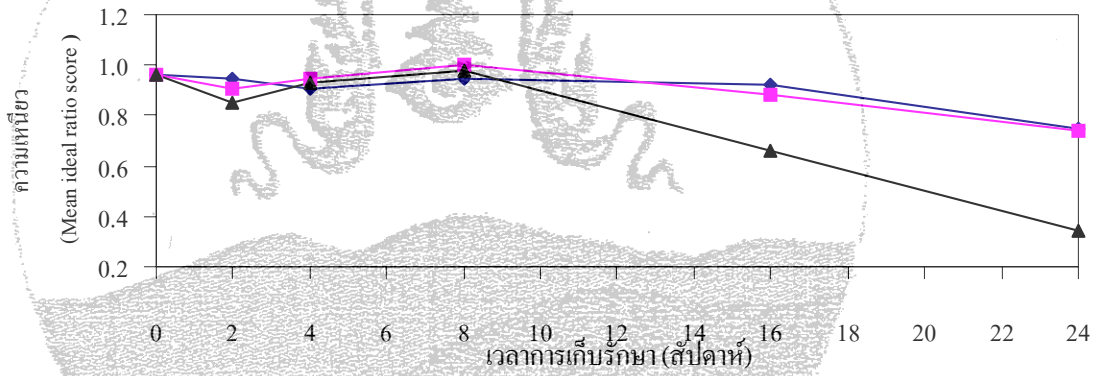
ค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียว (Mean ideal ratio score)							
สถานะการเก็บ (องศาเซลเซียส)	เริ่มต้น	อายุการเก็บ 2 สัปดาห์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์	อายุการเก็บ 8 สัปดาห์	อายุการเก็บ 16 สัปดาห์	อายุการเก็บ 24 สัปดาห์	เฉลี่ย**
บรรจุในบรรยากาศปกติ							
0	0.96 ± 0.02	0.95 ± 0.01	0.95 ± 0.04	0.95 ± 0.07	1.00 ± 0.11	0.77 ± 0.03	0.93 ± 0.08 <sup>a</sup>
10	0.96 ± 0.02	0.96 ± 0.04	0.97 ± 0.04	0.95 ± 0.08	1.06 ± 0.10	0.66 ± 0.12	0.92 ± 0.14 <sup>a</sup>
30	0.96 ± 0.02	0.91 ± 0.02	0.92 ± 0.08	0.98 ± 0.10	0.64 ± 0.06	0.31 ± 0.13	0.78 ± 0.25 <sup>b</sup>
เฉลี่ย*	0.96 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.94 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.94 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.96 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.90 ± 0.21 <sup>a</sup>	0.58 ± 0.23 <sup>b</sup>	
บรรจุในสภาวะสุญญากาศ							
0	0.96 ± 0.02	0.95 ± 0.07	0.91 ± 0.04	0.95 ± 0.05	0.92 ± 0.10	0.75 ± 0.07	0.90 ± 0.09 <sup>a</sup>
10	0.96 ± 0.02	0.91 ± 0.04	0.95 ± 0.07	1.00 ± 0.06	0.88 ± 0.02	0.74 ± 0.09	0.90 ± 0.10 <sup>a</sup>
30	0.96 ± 0.02	0.85 ± 0.02	0.93 ± 0.05	0.98 ± 0.02	0.66 ± 0.06	0.34 ± 0.07	0.78 ± 0.23 <sup>b</sup>
เฉลี่ย*	0.96 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.90 ± 0.05 <sup>ab</sup>	0.93 ± 0.05 <sup>ab</sup>	0.98 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.82 ± 0.14 <sup>b</sup>	0.61 ± 0.21 <sup>c</sup>	

\*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวอนติเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

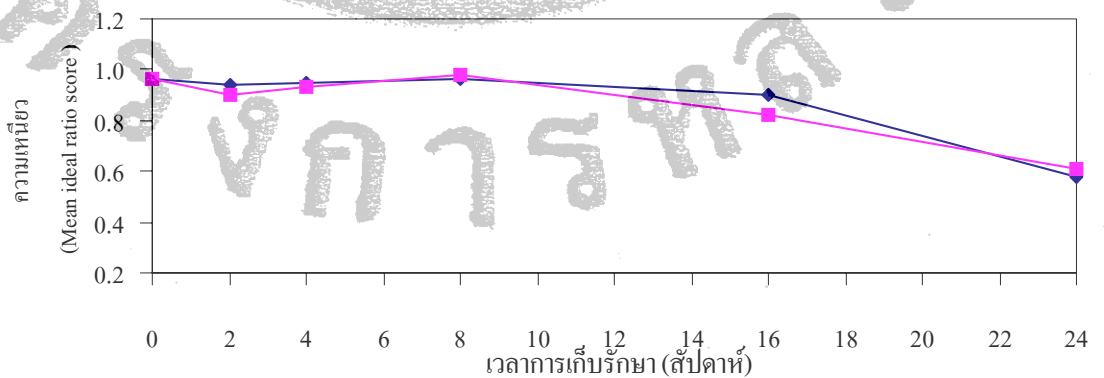
\*\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05



ภาพ 4.59 การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.60 การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.61 การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านความเหนียวของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ภาพ 4.59 และ 4.60      — 0 องศาเซลเซียส    - - 10 องศาเซลเซียส    — 30 องศาเซลเซียส  
 ภาพ 4.61              — บรรจุในบรรยากาศปกติ    - - บรรจุในสภาวะสุญญากาศ

### การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนการยอมรับรวมของพลับกึ่งแห้งในระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนการยอมรับรวมของพลับกึ่งแห้งแสดงดังตาราง 4.40 ซึ่งค่าคะแนนการยอมรับรวมของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติดังภาพ 4.62 พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อค่าคะแนนการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสมีค่าคะแนนการยอมรับรวมมากที่สุดคือ 0.77 และลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเป็น 10 และ 30 องศาเซลเซียส คือ 0.69 และ 0.56 ตามลำดับ เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าคะแนนการยอมรับรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่าคะแนนการยอมรับรวมเริ่มต้น 0.89 และมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาในสัปดาห์ที่ 16 และ 24 ซึ่งมีค่าเป็น 0.56 และ 0.42 ค่าคะแนนการยอมรับรวมที่น้อยกว่าค่าคะแนนในอุดมคติสอดคล้องกับการยอมรับด้านอื่น ๆ คือด้านกลิ่นพลับ รสหวาน และความเหนียวที่ลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

ส่วนค่าคะแนนการยอมรับรวมของพลับกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศดังภาพ 4.63 พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อค่าคะแนนการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียสมีค่าคะแนนการยอมรับรวมมากที่สุดคือ 0.79 และ 0.76 และมีความแตกต่างจากที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่มีค่าคะแนนการยอมรับรวมเป็น 0.56 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าคะแนนการยอมรับรวมจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยจะมีค่าคะแนนการยอมรับรวมลดลงอย่างมากเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 16 และ 24 ซึ่งมีค่าเป็น 0.57 และ 0.49

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการบรรจุคือ บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศดังภาพ 4.64 พบว่าค่าคะแนนการยอมรับรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยแนวโน้มเดียวกันคือค่าคะแนนการยอมรับรวมจะลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

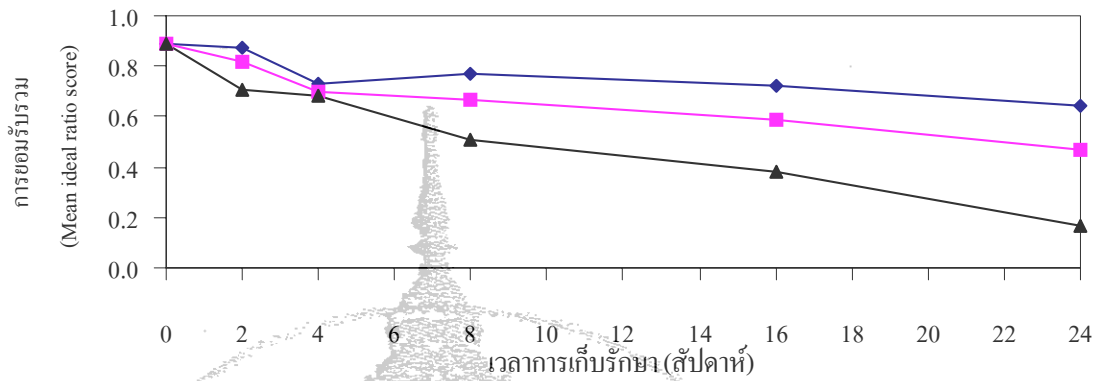
**ตารางที่ 4.40** การเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดทั้งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

สถานะการเก็บ (องศาเซลเซียส)		ค่าคะแนนการยอมรับรวม (Mean ideal ratio score)					เฉลี่ย**
เริ่มต้น	อายุการเก็บ 2 สัปดาห์	อายุการเก็บ 4 สัปดาห์	อายุการเก็บ 8 สัปดาห์	อายุการเก็บ 16 สัปดาห์	อายุการเก็บ 24 สัปดาห์		
บรรจุใน							
บรรยากาศปกติ							
0	0.89 ± 0.04	0.87 ± 0.10	0.73 ± 0.08	0.77 ± 0.08	0.72 ± 0.13	0.64 ± 0.18	<b>0.77 ± 0.13<sup>a</sup></b>
10	0.89 ± 0.04	0.82 ± 0.10	0.70 ± 0.11	0.67 ± 0.16	0.59 ± 0.12	0.47 ± 0.23	<b>0.69 ± 0.19<sup>b</sup></b>
30	0.89 ± 0.04	0.71 ± 0.16	0.68 ± 0.22	0.51 ± 0.10	0.38 ± 0.15	0.17 ± 0.09	<b>0.56 ± 0.27<sup>c</sup></b>
<b>เฉลี่ย*</b>	<b>0.89 ± 0.04<sup>a</sup></b>	<b>0.80 ± 0.08<sup>b</sup></b>	<b>0.71 ± 0.15<sup>b</sup></b>	<b>0.65 ± 0.13<sup>b</sup></b>	<b>0.56 ± 0.19<sup>c</sup></b>	<b>0.42 ± 0.26<sup>d</sup></b>	
บรรจุในสภาวะ							
สุญญากาศ							
0	0.89 ± 0.04	0.83 ± 0.14	0.79 ± 0.15	0.83 ± 0.05	0.72 ± 0.15	0.69 ± 0.14	<b>0.79 ± 0.17<sup>a</sup></b>
10	0.89 ± 0.04	0.84 ± 0.17	0.80 ± 0.11	0.72 ± 0.11	0.67 ± 0.08	0.64 ± 0.12	<b>0.76 ± 0.19<sup>a</sup></b>
30	0.89 ± 0.04	0.72 ± 0.18	0.64 ± 0.12	0.63 ± 0.08	0.32 ± 0.12	0.15 ± 0.08	<b>0.56 ± 0.29<sup>b</sup></b>
<b>เฉลี่ย*</b>	<b>0.89 ± 0.04<sup>a</sup></b>	<b>0.80 ± 0.16<sup>ab</sup></b>	<b>0.74 ± 0.20<sup>b</sup></b>	<b>0.73 ± 0.16<sup>b</sup></b>	<b>0.57 ± 0.29<sup>c</sup></b>	<b>0.49 ± 0.31<sup>c</sup></b>	

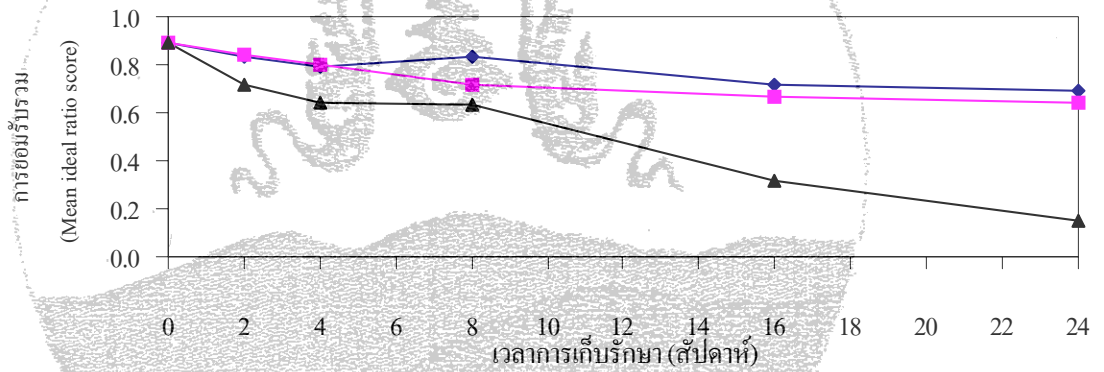
\*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

\*\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกัน แสดงว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P ≤ 0.05

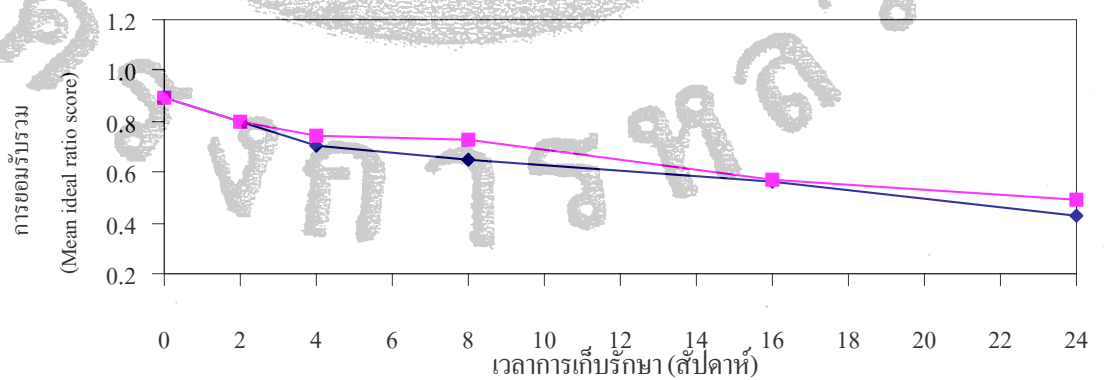




ภาพ 4.62 การเปลี่ยนแปลงการยอมรับรวมของปลั๊กกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.63 การเปลี่ยนแปลงการยอมรับรวมของปลั๊กกึ่งแห้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์



ภาพ 4.64 การเปลี่ยนแปลงการยอมรับรวมของปลั๊กกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์

ภาพ 4.62 และ 4.63    — 0 องศาเซลเซียส    ◻ 10 องศาเซลเซียส    ◊ 30 องศาเซลเซียส  
 ภาพ 4.64    — บรรจุในบรรยากาศปกติ    ◻ บรรจุในสภาวะสุญญากาศ

### สรุปผลของวิธีการบรรจุและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาปลับกึ่งแห้ง

ผลการทดลองตอนที่ 4.5 พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ค่าทางกายภาพ คือค่าสี L (ความสว่าง) ค่าสี b\* (สีเหลือง) และค่าสี a\* (สีแดง) ลดลงแสดงถึงผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาล และมีค่าแรงเหนียวที่เพิ่มขึ้น ส่วนคุณภาพทางด้านเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และน้ำตาลรีดิวซิงจะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงทั้งหมดนี้มีความเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไมใช่เอนไซม์ที่เกิดขึ้น ส่งผลให้สีปรากฏเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ทำให้ค่าคะแนนลักษณะด้านกลิ่นปลับ รสหวาน ความเหนียว และการยอมรับรวมลดลงด้วย ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มากที่สุดคือ 0 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 10 และ 30 องศาเซลเซียสเป็นสภาวะที่มีการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทำให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์ลดลง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

สำหรับวิธีการบรรจุ พบว่าการบรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศไม่ทำให้ลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) มีเพียงแต่ค่าสี b\* (สีเหลือง) ที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยปลับที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีค่าสีเหลืองมากกว่า เนื่องจากออกซิเจนไม่มีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เอนไซม์ นอกจากออกซิเจนจะช่วยออกซิไดซ์สารอื่นให้เป็นรูปที่ไวต่อปฏิกิริยา ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจึงเกิดขึ้นได้ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (นิธิยา, 2543) เนื่องจากน้ำตาลในปลับเป็นน้ำตาลฟรุคโตสซึ่งมีคุณสมบัติในการตกผลึกได้ (กล้าณรงค์, 2542) การบรรจุปลับกึ่งแห้งในสภาวะสุญญากาศจะลดปัญหาผลึกน้ำตาลเกาะที่ผิวผลิตภัณฑ์ได้

### การคาดคะเนอายุการเก็บรักษาของปลับกึ่งแห้ง

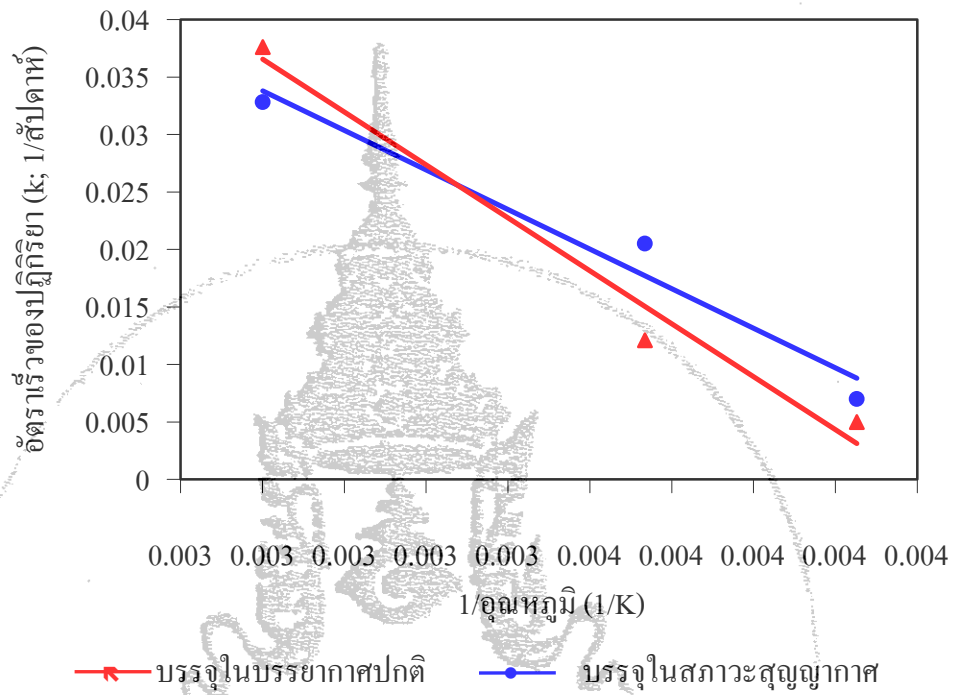
เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ของปลับกึ่งแห้งระหว่างการเก็บรักษา 24 สัปดาห์ พบว่า คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีปรากฏมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดจนกระทั่งผู้บริโภคไม่สามารถยอมรับได้ คือผลิตภัณฑ์เปลี่ยนสีจากสีเหลืองส้มไปเป็นสีน้ำตาลเข้ม ดังนั้นจึงถือว่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีปรากฏเป็นดัชนีบ่งชี้การด้อยคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การคาดคะเนอายุการเก็บรักษาของปลั๊กกึ่งแห้ง ทำได้โดยศึกษาอัตราเร็วและอันดับของปฏิกิริยา เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางเคมีขององค์ประกอบของอาหารเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง คือ มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้นกับเวลาเป็นแบบ Logarithmic ดังนั้นจึงสามารถหาอัตราเร็วของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏของผลิตภัณฑ์ หรือค่า  $k$  ได้จากสมการของ Arrhenius (ดังแสดงในภาคผนวก ค) อัตราเร็วของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏของปลั๊กกึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ แสดงในตาราง 4.41 และภาพ 4.65

ตาราง 4.41 อัตราเร็วของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏของปลั๊กกึ่งแห้งที่สภาวะการเก็บรักษาต่างๆ

สภาวะการเก็บรักษา		
วิธีการบรรจุ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราเร็วของปฏิกิริยา ( $k$ ; 1/สัปดาห์)
บรรจุในบรรยากาศปกติ	0	0.0050
บรรจุในบรรยากาศปกติ	10	0.0121
บรรจุในบรรยากาศปกติ	30	0.0376
บรรจุในสภาวะสุญญากาศ	0	0.0070
บรรจุในสภาวะสุญญากาศ	10	0.0205
บรรจุในสภาวะสุญญากาศ	30	0.0328

ตาราง 4.41 แสดงให้เห็นว่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏของปลั๊กกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศที่สภาวะการเก็บรักษาต่างๆ ( $k$ ) มีแนวโน้มไปในทำนองเดียวกัน คือ อัตราเร็วของปฏิกิริยามีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น เมื่อพิจารณาอัตราเร็วของปฏิกิริยาระหว่างวิธีการบรรจุพบว่า การบรรจุในสภาวะสุญญากาศมีอัตราเร็วของปฏิกิริยาสูงกว่าการบรรจุในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 0 และ 10 องศาเซลเซียส



ภาพ 4.65 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของปฏิกิริยาค่าคงที่ลักษณะด้านสี่ปรากฏกับอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศ

ค่า k ที่ได้ เมื่อนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า k และอุณหภูมิ<sup>1</sup> ดังภาพ 4.65 จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วของปฏิกิริยา (k) การเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ลักษณะด้านสี่ปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศ ซึ่งแสดงว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่า k จะเพิ่มขึ้น และเมื่อสร้างสมการถดถอย (Linear regression) เพื่อใช้คาดคะเนอัตราเร็วของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ ได้สมการดังนี้

$$k = 0.3409 - 92.21 (1/T) \quad R^2 = 0.9773 \dots\dots\dots(1)$$

$$k = 0.2613 - 68.94 (1/T) \quad R^2 = 0.9641 \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิ (องศาเคลวิน)

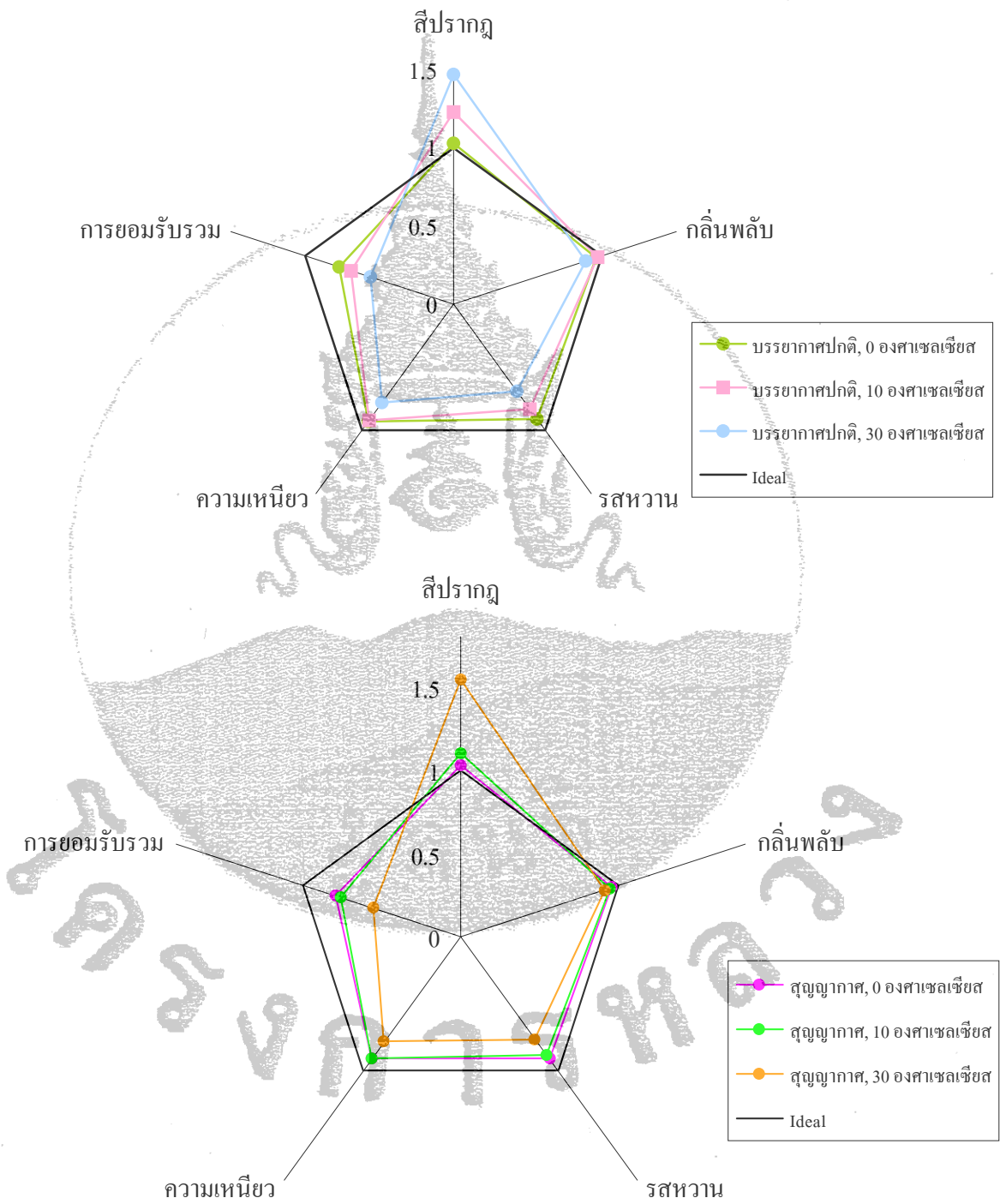
สมการที่ 1 หมายถึง อัตราเร็วของปฏิกิริยาเมื่อบรรจุผลิตภัณฑ์ในบรรยากาศปกติ

สมการที่ 2 หมายถึง อัตราเร็วของปฏิกิริยาเมื่อบรรจุผลิตภัณฑ์ในสภาวะสุญญากาศ

สมการถดถอยที่ได้ สามารถนำมาหาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ โดยการหาค่า  $k$  ที่อุณหภูมิใดๆ ที่ต้องการทราบอายุการเก็บรักษาจากสมการ 1 หรือ 2 ตามวิธีการบรรจุ จากนั้นแทนค่าลงในสมการของ Arrhenius เพื่อหาอายุการเก็บรักษา เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของดัชนีบ่งชี้การเสื่อมเสีย (ค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏ) จากตาราง 4.36 มีค่าเท่ากับ 0.97 ส่วนความเข้มข้นสุดท้ายของค่าคะแนนลักษณะด้านสีปรากฏของปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 2.04 และ 2.08 ตามลำดับ

พบว่า การเก็บรักษาปลับกึ่งแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นกว่า และอายุการเก็บรักษาปลับกึ่งแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีมากกว่าการบรรจุในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 0 และ 10 องศาเซลเซียส เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองมากกว่า สำหรับการเก็บปลับกึ่งแห้งที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) ซึ่งเป็นสภาวะการวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์ในตลาดทั่วไปมีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 5 เดือนเมื่อบรรจุในบรรยากาศปกติ และ 5 เดือนครึ่ง เมื่อบรรจุในสภาวะสุญญากาศ

ภาพ 4.66 แสดงเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของปลับกึ่งแห้งเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ในอุดมคติ พบว่าปลับกึ่งแห้งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำมีค่าคะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันทั้งการบรรจุในบรรยากาศปกติและบรรจุในสภาวะสุญญากาศ



ภาพ 4.66 กราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของปลับกิ่งแห้งเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเป็น 24 สัปดาห์

## ต้นทุนการผลิต

1. ค่าวัตถุดิบ ทำการประมาณค่าวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต ตามสูตรที่ใช้จริงดังนี้

ตาราง 4.42 ต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิตปลั๊กกึ่งแข็ง

ส่วนประกอบ	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)/ สารละลาย 1 ลิตร	ราคาวัตถุดิบ 1,000 กรัม/กิโลกรัม (บาท)	ราคาวัตถุดิบต่อผลิตภัณฑ์ 1 หน่วยบรรจุ
ปลั๊กพินฐานซิน	1,000	13	13
4-เฮกซิลเรโซซินอล	0.01	120,000	12
กรดแอสคอร์บิก	20	800	16
กรดซิตริก	17	70	1.19
โซเดียมอีริทอร์เบท	17	600	10.20
โซเดียมแอซิดไฟโร- ฟอสเฟต	5	80	0.40
โพแทสเซียมซอร์เบท	30	1,000	30
<b>รวม</b>			<b>82.79</b>

หมายเหตุ ปลั๊กสดที่ออกเปลือกแล้ว 1,000 กรัม เมื่ออบแห้งจะเหลือน้ำหนักประมาณ 250 กรัม

2. ค่าภาชนะบรรจุ ประมาณ 1.50 บาท ต่อหน่วยบรรจุ
3. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในกระบวนการ ค่าไต้ห่วย ค่าแรงงาน โดยทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 30 ของค่าวัตถุดิบและค่าภาชนะบรรจุ ดังนั้นคิดเป็นเงิน 25.29 บาทต่อหน่วยบรรจุ

ดังนั้นต้นทุนการผลิตทั้งหมด ต่อผลิตภัณฑ์ 1 หน่วยบรรจุ (250 กรัม)

- ค่าวัตถุดิบ	82.79	บาท
- ค่าภาชนะบรรจุ	1.50	บาท
- ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	25.29	บาท
<b>รวม</b>	<b>109.58</b>	<b>บาท</b>

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการทดลอง

1. ในการสำรวจเค้าโครงผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิค Ideal ratio profile กำหนดลักษณะคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ ลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์หลักทั้งห้าที่ผู้ทดสอบชิมกำหนดมี 5 ลักษณะ คือ สีปรากฏของปลับ กลิ่นปลับ รสหวาน ความเหนียว และการยอมรับรวม

2. ปัจจัยที่มีความสำคัญหรือเรียกว่าปัจจัยหลักในการดำเนินการเกิดสีน้ำตาล จากการวางแผนการทดลองแบบ Plackett and Burman (N=8) คือ 4-เฮกซิลเรโซซินอล กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก โซเดียมอีริทอร์เบท ส่วนโซเดียมแอสซิดไฟโรฟอสเฟตเป็นปัจจัยรอง จึงกำหนดให้ใช้โซเดียมแอสซิดไฟโรฟอสเฟตระดับต่ำคือ ร้อยละ 0.5 ตลอดการทดลอง

3. การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยหลัก 4 ปัจจัย โดยศึกษาระดับการใช้ที่เหมาะสมครั้งละ 2 ปัจจัยโดยศึกษาระดับที่เหมาะสมของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิกก่อนวางแผนการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial experiment รวมกับการทดลองที่จุดกึ่งกลาง 2 จุด และหาระดับที่เหมาะสมของกรดซิตริกและโซเดียมอีริทอร์เบท วางแผนการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial experiment รวมกับการทดลองที่จุดกึ่งกลาง 2 จุด จากผลการทดลองสามารถหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลักต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังนี้

ผลของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

$$\text{ค่าสี L} = 18.867 + 3.218(\text{AS}) + 0.403(4\text{-HR}) - 0.002(4\text{-HR})^2 \quad R^2 = 0.9900$$

$$\text{สีปรากฏ} = 1.349 - 0.002(4\text{-HR}) \quad R^2 = 0.7770$$

เมื่อ : 4-HR หมายถึง ปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล (ส่วนในล้านส่วน)

AS หมายถึง ปริมาณของกรดแอสคอร์บิก (ร้อยละ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)



สมการความสัมพันธ์ที่ได้สามารถสรุปได้ว่าความเข้มข้นของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสม คือ 100 ส่วนในล้านส่วนและร้อยละ 2.0 ตามลำดับ

ผลของกรดซิตริกและโซเดียมอริทอร์เบตต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

$$\text{ความเป็นกรด-ด่าง} = 4.728 - 0.275(\text{CA}) \quad R^2 = 0.7130$$

$$\text{สีปรากฏ} = 1.257 - 0.188(\text{CA}) \quad R^2 = 0.8810$$

เมื่อ : CA หมายถึง ปริมาณของกรดซิตริก (ร้อยละ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)

สมการความสัมพันธ์ที่ได้สามารถสรุปได้ว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดซิตริกเพียงชนิดเดียว จึงเลือกใช้กรดซิตริกและโซเดียมอริทอร์เบตร้อยละ 1.7

4. การศึกษาหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการแช่พลับในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล วางแผนการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial experiment with central composite design สามารถหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการแช่ต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้

$$\text{ความเหนียว} = 0.6327 - 0.0078(\text{temp}) + 0.004(\text{time}) \quad R^2 = 0.7680$$

$$\begin{aligned} \text{การยอมรับรวม} &= -0.1076 + 0.0291(\text{temp}) + 0.0265(\text{time}) - 0.0003(\text{temp}) \\ &\quad (\text{time}) - 0.0003(\text{temp})^2 - 0.0003(\text{time})^2 \quad R^2 = 0.9620 \end{aligned}$$

เมื่อ : Temp หมายถึง อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

Time หมายถึง เวลา (นาที)

เมื่อพิจารณาจากสมการความสัมพันธ์สามารถสรุปอุณหภูมิและเวลาในการแช่พลับในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่เหมาะสมได้ คือ แช่พลับในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่มีอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 นาที

5. การศึกษาวิธีการทำแห้งที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบวิธีการทำแห้ง 2 วิธี คือ การทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด และเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ จากการหาเวลาในการทำแห้งเพื่อให้ปลั้มมีปริมาณน้ำเหลือร้อยละ 30 พบว่าเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศใช้เวลาทั้งหมด 48 ชั่วโมง น้อยกว่าเครื่องทำแห้งแบบถาดที่ใช้เวลา 67 ชั่วโมง 5 นาที ซึ่งจะประหยัดเวลาในการทำแห้งและลดจำนวนครั้งของการทำสมมูลน้ำและบีบขนาดปลั้ม นอกจากนี้ปลั้มที่ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศจะให้ค่าสี L (ความสว่าง) และค่าสี b\* (สีเหลือง) ที่มากกว่าปลั้มที่ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด จึงเลือกการทำแห้งปลั้มด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

6. การศึกษาวิธีการบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาปลั้มกึ่งแห้ง โดยบรรจุในบรรยากาศปกติ และบรรจุในสถานะสุญญากาศ จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 10 และ 30 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ในวันเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 2, 4, 8, 16 และ 24 รวมระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อค่าสี L (ความสว่าง) ค่าสี b\* (สีเหลือง) ค่าสี a\* (สีแดง) ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และน้ำตาลรีดิวซิง โดยจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มากที่สุดคือ 0 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 10 และ 30 องศาเซลเซียสเป็นสถานะที่มีการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทำให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์ลดลง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว สำหรับวิธีการบรรจุมีผลต่อค่าสี b\* (สีเหลือง) เท่านั้น โดยปลั้มที่บรรจุในถุงพลาสติก (เป็นถุงสามชั้น ชั้นในเป็นโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นเชิงเส้นต่ำ ชั้นกลางเป็นกาวและชั้นนอกเป็นไนลอน) ในบรรยากาศปกติมีค่าสีเหลืองที่มากกว่าการบรรจุในสถานะสุญญากาศ

ผลการศึกษาคาดคะเนอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ที่สถานะการเก็บรักษาต่าง ๆ ดังกล่าว โดยมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีปรากฏเป็นดัชนีบ่งชี้การเสื่อมคุณภาพ สามารถสร้างสมการคาดคะเนอัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงการยอมรับด้านสีปรากฏที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อบรรจุปลั้มกึ่งแห้งในบรรยากาศปกติคือ

$$k = 0.3409 - 92.21 (1/T) \quad R^2 = 0.9773$$

และบรรจุในสถานะสุญญากาศ คือ

$$k = 0.2613 - 68.94 (1/T) \quad R^2 = 0.9641$$

เมื่อ k คือ อัตราเร็วของปฏิกิริยา และ T คือ อุณหภูมิ (องศาเคลวิน)

ค่า  $k$  ที่ได้จากสมการสามารถนำมาใช้คาดคะเนอายุการเก็บรักษาได้ โดยใช้สมการของ Arrhenius จากผลการทดลองพบว่า การเก็บรักษาปลั๊กแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นกว่า และอายุการเก็บรักษาปลั๊กแห้งที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีมากกว่าการบรรจุในสถานะสุญญากาศที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 0 และ 10 องศาเซลเซียส เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองมากกว่า สำหรับการเก็บปลั๊กแห้งที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) ซึ่งเป็นสภาวะการวางจำหน่าย ผลิตภัณฑ์ในตลาดทั่วไปมีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 5 เดือนเมื่อบรรจุในบรรยากาศปกติ และ 5 เดือนครึ่ง เมื่อบรรจุในสถานะสุญญากาศ

7. เมื่อคำนวณต้นทุนการผลิตปลั๊กแห้งที่ใช้สารด้านการเกิดสีน้ำตาล พบว่าผลิตภัณฑ์มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 109.58 บาท ต่อหน่วยบรรจุ (250 กรัม)



## ข้อเสนอแนะ

1. พลับพันธุ์ชินเป็นผลไม้ตามฤดูกาล ให้ผลผลิตตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงตุลาคม ดังนั้นในการทดลองต้องซื้อมาในปริมาณมากและเก็บรักษาในห้องเย็น (4 องศาเซลเซียส) ทำให้มีปัญหาเมื่อนำพลับที่เก็บในห้องเย็นมาบรรจุในบรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อให้พลับมีความสุกร้อยละ 80 เนื่องจากเปลือกผิวของพลับจะแตกทำให้เกิดการเสื่อมเสียระหว่างการบ่ม วิธีการแก้ปัญหาคือนำพลับที่ออกจากห้องเย็นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิปกติประมาณ 6 ชั่วโมง เพื่อให้ความเย็นในพลับลดลงไป หลังจากนั้นจึงนำไปลดความฝาดโดยวิธีการบรรจุพลับในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

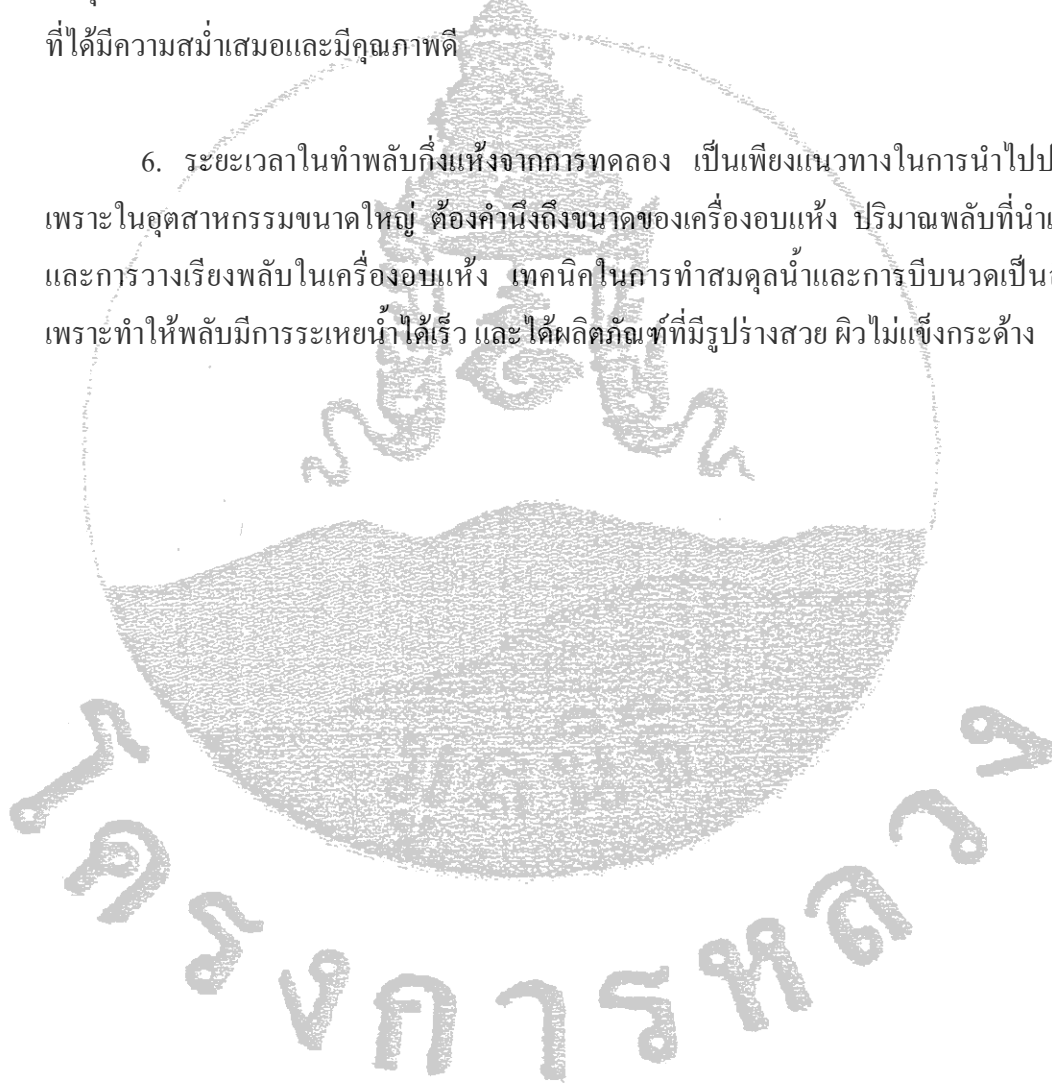
2. สารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่ใช้ในการแช่พลับ มีต้นทุนค่อนข้างสูง เนื่องจาก 4-เฮกซิลเรโซซินอล เป็นสารด้านการเกิดสีน้ำตาลที่มีราคาแพง ดังนั้นจึงควรศึกษาวิธีการนำมาใช้ซ้ำ หรือมีการแช่ซ้ำ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ McEvily J. (1991) ที่ศึกษาการป้องกันการเกิดจุดสีดำในกุ้งโดยใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอลทดแทนซัลไฟต์ และมีการทดสอบจำนวนครั้งของการแช่ที่สารละลายยังคงประสิทธิภาพอยู่ ดังนั้นต้องศึกษาเพิ่มเติมถึงประสิทธิภาพของสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลและดัชนีที่จะใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพ

3. การแช่พลับในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 นาที เนื้อเยื่อของพลับจะยุบเล็กน้อย จำเป็นต้องใช้ความระมัดระวังในการนำพลับขึ้นมาจากสารละลาย ดังนั้นในการนำไปประยุกต์ใช้และความสะดวกในการใช้งาน ต้องมีการออกแบบเครื่องมือที่สามารถบรรจุพลับลงไปใ้ในตะแกรงแล้วจุ่มลงไปในถังที่บรรจุสารละลาย เมื่อครบกำหนดเวลาก็ยกตะแกรงขึ้น ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ จึงนำเข้าเครื่องอบแห้ง

4. ความแก่-อ่อนของวัตถุดิบ เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของพลับกึ่งแห้ง เนื่องจากพลับที่นำมาผลิตเป็นพลับกึ่งแห้งจะใช้ที่ระดับความสุกร้อยละ 80 หรือมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 17 หรือ 18 องศาบริกซ์ ซึ่งถือว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เอนไซม์ได้ง่าย ดังนั้นเมื่อใช้พลับที่สุกร้อยละ 75 หรือมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณ 15-16 องศาบริกซ์ น่าจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลลดลง เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อย อีกทั้งเมื่อแช่พลับในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล เนื้อเยื่อของพลับจะไม่ละจนเกินไป และมีความสะดวกในการผลิต

5. การนำเนื้อปลั้บที่ผ่านการลดความฝาดมาแล้ว มาตีป่นเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำส้มสายชู การเกิดสีน้ำตาลลงไปเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล นำไปขึ้นรูปตามลักษณะที่ต้องการ และอบเป็นปลั้บกึ่งแห้ง เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลั้บให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อลดปัญหาขนาดของปลั้บที่ไม่เท่ากัน ความไม่สม่ำเสมอของสี และการบีบขนาดปลั้บระหว่างการทำสมมูลน้ำเพื่อให้ปลั้บมีลักษณะที่ลึบแบนลง ทำให้ลดแรงงานในกระบวนการผลิตลง และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสม่ำเสมอและมีคุณภาพดี

6. ระยะเวลาในการทำปลั้บกึ่งแห้งจากการทดลอง เป็นเพียงแนวทางในการนำไปปฏิบัติจริง เพราะในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ต้องคำนึงถึงขนาดของเครื่องอบแห้ง ปริมาณปลั้บที่นำเข้าไปอบ และการวางเรียงปลั้บในเครื่องอบแห้ง เทคนิคในการทำสมมูลน้ำและการบีบขนาดเป็นสิ่งสำคัญ เพราะทำให้ปลั้บมีการระเหยน้ำได้เร็ว และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างสวย ผิวไม่แข็งกระด้าง



## เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข. 2527. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 (พ.ศ.2527) เรื่องวัตถุเจือปนอาหาร. กระทรวงสาธารณสุข.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2542. สารให้ความหวาน : คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์. จาร์พา เทคโนโลยี เซ็นเตอร์. กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2539. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- โครงการตำราวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรม. 2526. วัตถุดิบเสียในอาหาร. กรุงเทพฯ ฯ.
- ธารา ศรีสกุล. 2540. “การพัฒนากระบวนการผลิตและการเก็บรักษาปลั๊กกิ่งแห้งสายพันธุ์อั้งใสและนูชิน” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิตยา รัตนานนท์. 2543. เคมีอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิตยา รัตนานนท์. 2544. หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. โอเดียนส โตร์. กรุงเทพฯ.
- ประสาร สวัสดิ์ชิตัง. 2538. การเกิดสีน้ำตาลของอาหารและการควบคุมป้องกัน. วารสารอาหาร. 25(3) : 160-169.
- ปวิณ ปุณศรี. โอปาร ตัฒทวิรุฬห์. ชีระ จารุจินดา. นุชนารถ จงเลขา. จิตติ ปิ่นทอง. พูนสุข ชาญญาภา. สมโภชน์ ป้านสุวรรณ และอัจฉรา วาสีกานนท์. 2537. คู่มือการปลูกไม้เมืองหนาวที่สำคัญ 5 ชนิด : บัวย ท้อ พลับ สาลี่ พลับ. วิสคอมเซ็นเตอร์. กรุงเทพฯ.
- พิทยา วงษ์ช้าง. 2542. “คุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลพลับที่ผ่านการกำจัดความฝาด” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2535. สายพันธุ์พลับที่เหมาะสมต่อการผลิตปลั๊กกิ่งแห้ง. วารสารเกษตร. 8(1) : 11-21.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2539. หลักการทางเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์. ภาควิชาเทคโนโลยีการ พัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2539. อาหารกิ่งแห้ง. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- มณฑาทิพย์ ย่านฉลาด. 2539. กรดแอสคอร์บิกและกรดอิริทโรบิก/แอนติออกซิเจนแดนท์. วารสารอาหาร. 26(1) : 7-13.
- มานิตย์ โหมิตตระกุล. 2525. “การจัดความฝาดในผลพลับด้วยแก๊ส CO<sub>2</sub> และการเก็บรักษา”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- วิไล รังสาดทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ.
- ศิวาพร ศิวเวชช. 2535. วัตถุประสงค์อาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม.
- สถาบันวิจัยพืชสวน. 2540. พลับและบ๊วย. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.
- สังคม เตชะวงศ์เสถียร. 2532. ไม้ผลเขตนหนาว. วิทยาลัยอุบลราชธานี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. 2539. “กระบวนการทำแห้งอาหาร” ใน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า 164-172.
- สุรินทร์ นิลสำราญจิต. 2543. เอกสารคำสอนวิชา 359455 ไม้ผลเขตนหนาว. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- AOAC. 2000. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 17<sup>th</sup> ed. AOAC International. Maryland, USA.
- Ben-Arie, R., Pesis, E. and Levi, A. 1988. Role of Acetaldehyde Production in the Removal of Astringency from Persimmon Fruits under Various Modified Atmosphere. *J. Food Sci.*, 53(1) : 153-156.
- Buta, J.G., Moline, H.E., Spaulding, D.W. and Wang, C.Y. 1999. Extending Storage Life of Fresh cut Apples Using Natural Products and Their Derivatives. *J. Agric. Food Chem.* 47:1-6.
- Dong, X., Wrolstad, R.E. and Sugar, D. 2000. Extending Shelf Life of Fresh-cut Pears. *J. Food Sci.* 65 : 181-186.
- Francis, F.J. 1985. Pigments and Other Colorants. in Fenema, O.(ed) *Food Chemistry*. 2<sup>nd</sup> edition. Mercel Dekler. New York. pp.567-575.

- Frankos, V.H., Schmitt, D.F., Haws, L.C., McEvily, A.J., Iyengar, R., Miller, S.A., Munro, I.C., Clydesdale, F.M., Forbes, A.L. and Sauer, R.M. 1991. Generally Recognized as Safe (GRAS) Evaluation of 4-Hexylresorcinol for Use as a Processing Aid for Prevention of Melanosis in Shrimp. *Reg. Toxicol. Pharmacol.* 14 : 202-212.
- Gazit, S. and Adato, I. 1972. Effect of Carbondioxide Atmosphere on the Cause of Astringency Disappearance of Persimmon (*Diospyros kaki* L.) Fruit. *J. Food Sci.*, 37(3) : 815-817.
- Gomez-Lopez, V.M. 2002. Inhibition of Surface Browning, cut Avocado. *J Food Quali.* 26 : 265-384.
- Gonzalez-Aguilar, G.A. 2000. Maintaining Quality of Fresh-cut Mangoes Using Antibrowning Agents and Modified Atmosphere Packaging. *J. Agr. Food Chem.* 48 : 4204-4208.
- Gonzalez-Aguilar, G.A. 2001. Inhibition of Browning and Decay of Fresh-cut Radishes by Natural Compounds and Their Delivatives. *Lebensm.-Wiss.u.-Technol.* 34 : 324-328.
- Instron Corporation. 1993. Instron Series 5565. Load Frams and Instron Merlin Software. Canton, Massachusetts.
- Ito, S. 1971. "The persimmon" in Hulme, A.C. (ed.), *The Biochemistry of Fruits and Their Products.*, London : Academic press. pp.281-301.
- Itoo, S. and Matsuo, T. 1982. A Model Experiment for Deastringency of Persimmon Fruit was High Carbondioxide Treatment : in vitro Gelation of Kaki-tannin by Reaction with Acetaldehyde. *Agri. Biol. Chem.*, 463.
- Itoo, S. 1986. "Persimmon" in Monselise S.P. (ed.), *CRD Handbook of Fruit Set and Development.*, Florida. pp.355-370.
- Kleemann, A., Engel, J., Kutscher, B. and Reichert, D. 1999. *Pharmaceutical substances : syntheses, patents, applications.* 3<sup>rd</sup> edition. Thieme Stuttgart, New York. pp.950.
- Lambrecht, H.S. 1995. Sulfite Substitutes for the Prevention of Enzymatic Browning in Food. in Lee, C.Y. and Whitaker, J.R., (ed). *Enzymatic Browning and Its Control.* ACS Symposium Series 600. Washington D.C. : American Chemical Society. pp. 313-323.
- Lee, J.Y., Park, H.J., Lee, C.Y. and Choi, W.Y. 2003. Extending Shelf-life of Minimally Processed Apples with Edible Coatings and Antibrowning Agents. *Lebensm.-Wiss.u.-Technol.* 36 : 323-329.



- Lee-Kim, M.S., Hwang, E.S. and Kim, K.H. 1997. Inhibition Studies on Burdock Polyphenoloxidase (PPO) Activity. *J. Food Process Preserv.* 21 : 485-494.
- Luo, Y. and Barbosa-Canovas, G.V. 1995. Inhibition of Apple-Slices Browning by 4-Hexylresorcinol. in Lee, C.Y. and Whitaker, J.R., (ed). *Enzymatic Browning and Its Control*. ACS Symposium Series 600. Washington D.C. : American Chemical Society. pp. 240-250.
- Man, C.M.D. and Jones, A.A. 1994. *Shelf-life Evaluation of Food*. Chapman & Hall, London.
- McEvily, A.J., Iyegar, R. and Otwell, S. 1991. Sulfite Alternative Prevents Shrimp Melanosis. *Food Tech.* 45 : 80-86.
- Minolta Camera Co., Ltd. 1991. Chroma Meter CR-310 Instruction Manual. Cho-ku Osaka, Japan.
- Monsalve-Gonzalez, A., Barbosa-Canovas, G.V., Cavalieri, R.P., McEvily, A.J. and Iyegar, R. 1993. Control of Browning During Storage of Apple Slices Preserved by Combined Methods. 4-Hexylresorcinol as Anti-browning Agent. *J. Food Sci.* 58:797-800.
- Monsalve-Gonzalez, A., Barbosa-Canovas, G.V., McEvily, A.J. and Iyegar, R. 1995. Inhibition of Enzymatic Browning in Apple Products by 4-Hexylresorcinol. *Food Tech.* 49 :110-118.
- Montero, P., Avalos, A. and Derez-Mateos, M. 2001. Characterization of Polyphenoloxidase of Prawns (*Penaeus japonicus*). Alternative to Inhibition : Additive and High-Pressure Treatment. *Food Chem.* 75 : 317-324.
- Pesis, E., Levi, A. and Ben-Arie, R. 1986. Destringency of Persimmon Fruits by Creating a Modified Atmosphere in Polyethylene Bags. *J. Food Sci.*, 51(3) : 1014-1016, 1041.
- Reyes-Moreno, C. 2002. A Response Surface Methodology Approach to Optimize Pretreatments to Prevent Enzymatic Browning in Potato (*Solanum tuberosum* L) Cubes. *J. Sci Food Agri.* 82 (1) : 69-79.
- Santerra, C.R., Leach, T.F. and Cash, J.N. 1991. Bisulfite Alternatives in Processing Abrasion-Peeled Russet Burbank Potatoes. *J. Food Sci.* 56(1) : 257-259.
- Sapers, G.M. 1993. Browning of Foods: Control by Sulfites, Antioxidants, and Other Means. *Food Technol.* 47:75-84.

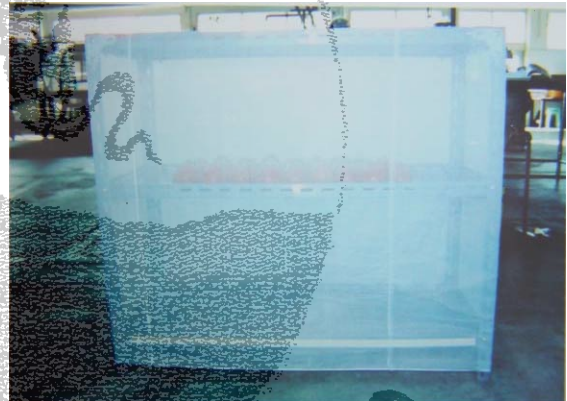
- Saper, G.M. and Miller, R.L. 1995. Heated Ascorbic/Citric Acid Solution as Browning Inhibitor for Pre-Peeled Potatoes. *J. Food Sci.* 60(4) : 762-776.
- Sapers, G.M. and Miller, R.L. 1998. Browning Inhibition in Fresh-cut Pears. *J. Food Sci.* 52:1732-1733.
- Taira, S., M. Ono and N. Matsumoto. 1997. Reduction of Persimmon Astringency by Complex Formation between Pectin and Tannin. *Post. Bio. Tech.* 12(3) : 265-271.







ภาพ ก-1 พลับพั่นพันธุ์ชินที่ระดับความสุกร้อยละ 70



ภาพ ก-2 การอัดก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์เพื่อลดความฝาดและการวางเรียงในตู้ออให้พลับมีความสุกร้อยละ 80



ภาพ ก-3 พลับพั่นพันธุ์ชินที่ระดับความสุกร้อยละ 80



ภาพ ก-4 การตัดแต่งขั้วกลีบ และการปอกเปลือกพลับ



ภาพ ก-5 การแช่พลับในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล

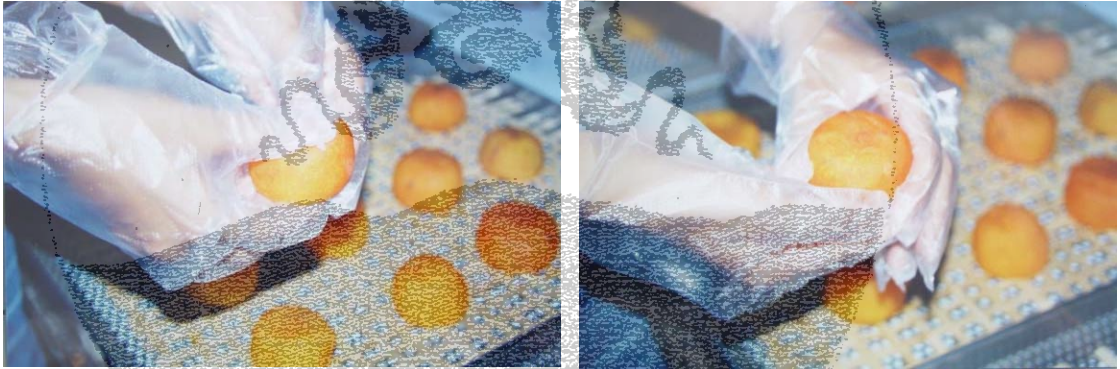


ภาพ ก-6 การจัดเรียงพลับบนตะแกรงรอให้สะเด็ดน้ำก่อนนำไปทำแห้ง





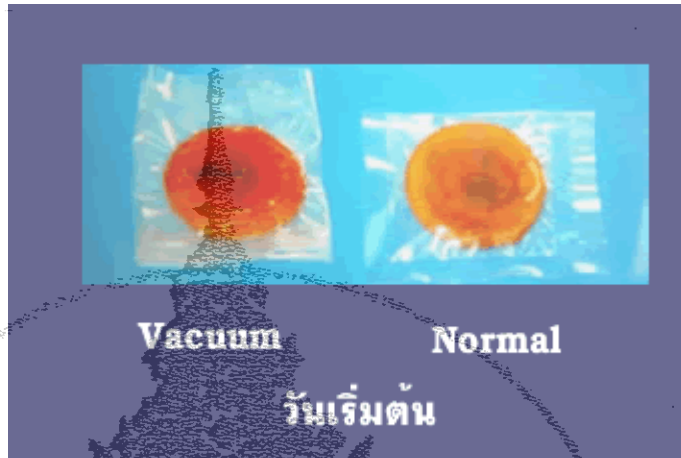
ภาพ ก-7 การทำแห้งพลับในเครื่องอบแห้งแบบสูญญากาศ



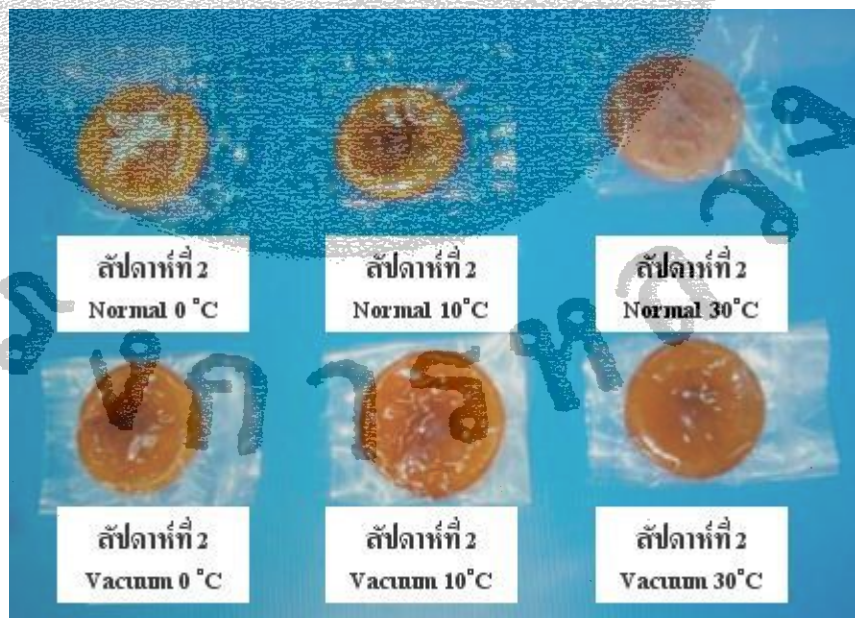
ภาพ ก-8 การบีบขนาดพลับ



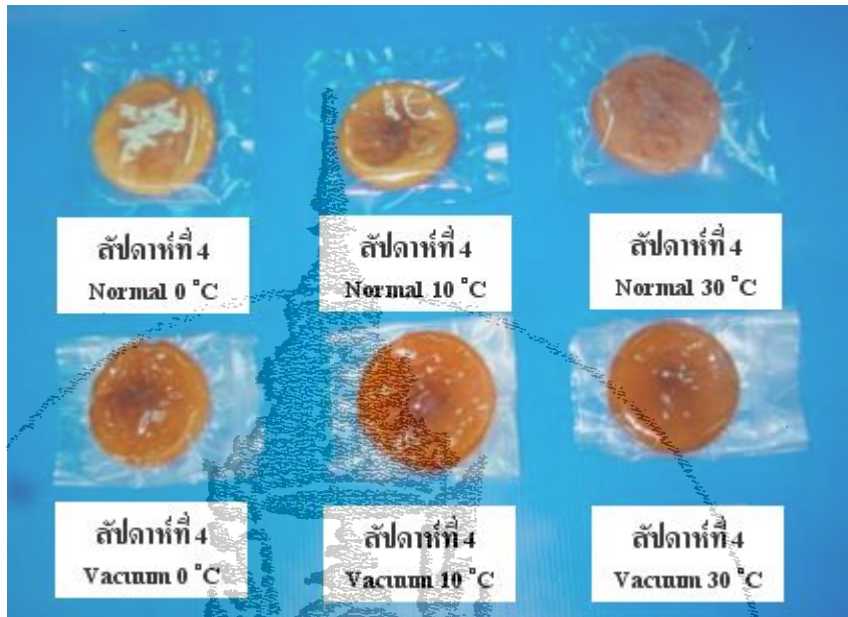
ภาพ ก-9 การแช่พลับกึ่งแห้งในสารละลายโพแทสเซียมซอร์เบท



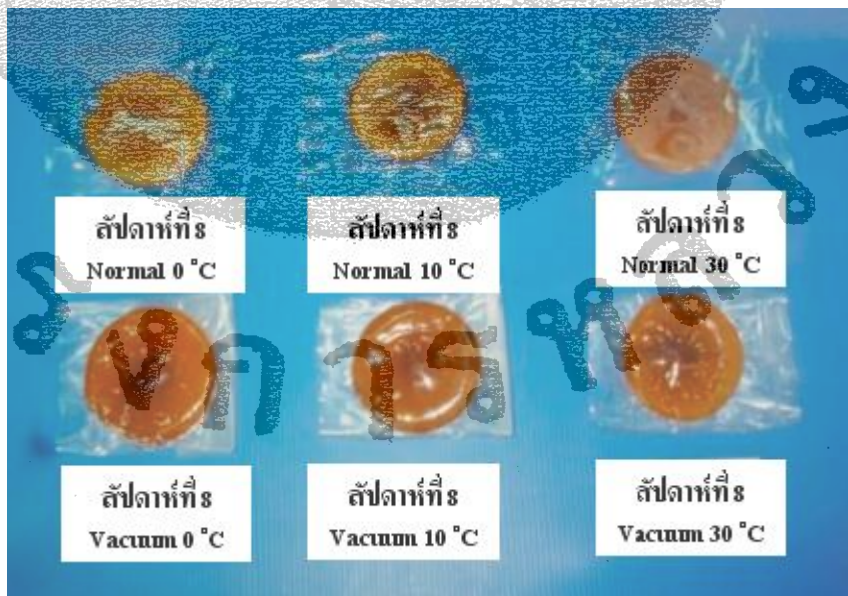
ภาพ ก-10 ผลัดภัณฑ์ปลั๊กกิ่งแห่งวันเริ่มต้นที่บรรจุภายใต้สภาวะสุญญากาศ (ซ้าย) และบรรจุในบรรยากาศปกติ (ขวา)



ภาพ ก-11 ผลัดภัณฑ์ปลั๊กกิ่งแห่งสัปดาห์ที่ 2 ที่บรรจุในบรรยากาศปกติ (บน) และบรรจุในสภาวะสุญญากาศ (ล่าง) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 10 และ 30 องศาเซลเซียส

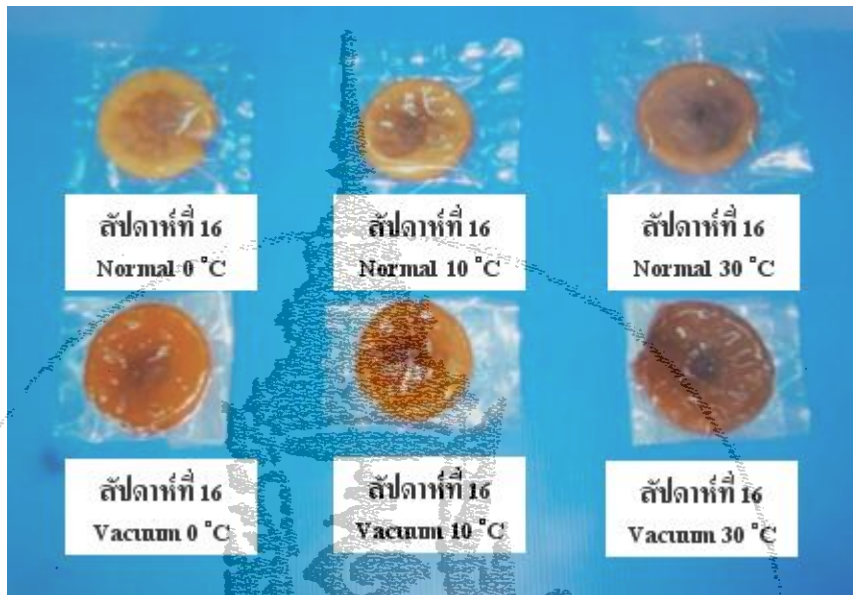


ภาพ ก-12 ผลิตภัณฑ์ปลั๊กกึ่งแข็งสัปดาห์ที่ 4 ที่บรรจุในบรรยากาศปกติ (บน) และบรรจุในสภาวะสุญญากาศ (ล่าง) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 10 และ 30 องศาเซลเซียส

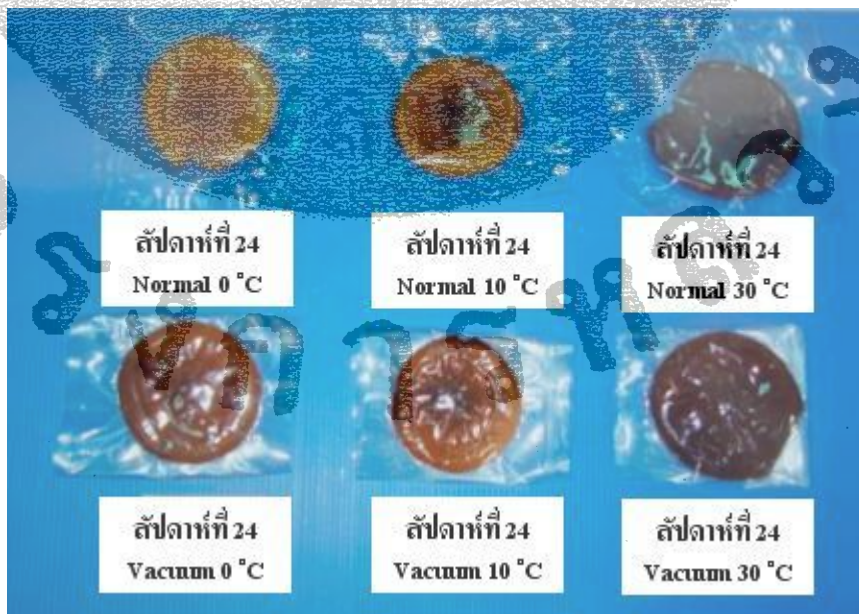


ภาพ ก-13 ผลิตภัณฑ์ปลั๊กกึ่งแข็งสัปดาห์ที่ 8 ที่บรรจุในบรรยากาศปกติ (บน) และบรรจุในสภาวะสุญญากาศ (ล่าง) เมื่อเก็บเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 10 และ 30 องศาเซลเซียส





ภาพ ก-14 ผลิตภัณฑ์ปลับกิ่งแห้งสัปดาห์ที่ 16 ที่บรรจุในบรรยากาศปกติ (บน) และบรรจุในสภาวะสุญญากาศ (ล่าง) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 10 และ 30 องศาเซลเซียส



ภาพ ก-15 ผลิตภัณฑ์ปลับกิ่งแห้งสัปดาห์ที่ 24 ที่บรรจุในบรรยากาศปกติ (บน) และบรรจุในสภาวะสุญญากาศ (ล่าง) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 10 และ 30 องศาเซลเซียส



ภาคผนวก ข

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

กรมส่งเสริมการเกษตร

แบบทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์

ชื่อ.....วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการพัฒนา คือ **ปลั๊กแก๊สแก๊สฮีเลียม**

กรุณากรอกแบบสอบถามให้ตรงกับความต้องการของท่านมากที่สุด โดย

1. ระบุ “ลักษณะของผลิตภัณฑ์” ที่ท่านคิดว่าสำคัญลงในแต่ละหัวข้อ
2. กำหนดเครื่องหมาย I ลงบนสเกลในตำแหน่งที่ท่านคิดว่าเป็นระดับที่ดีที่สุดของลักษณะนั้น ๆ ของผลิตภัณฑ์ในอุดมคติ (Ideal)
3. กำหนดเครื่องหมาย X ลงบนสเกลในตำแหน่งที่ท่านคิดว่าเป็นระดับของลักษณะนั้น ๆ ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่เป็นอยู่

ลักษณะปรากฏ

..... |-----|

..... |-----|

..... |-----|

..... |-----|

กลิ่นและรสชาติ

..... |-----|

..... |-----|

..... |-----|

..... |-----|

ลักษณะเนื้อสัมผัส

..... |-----|

..... |-----|

..... |-----|

..... |-----|

การยอมรับโดยรวม

..... |-----|

..... |-----|

ขอขอบคุณที่กรุณาให้ความร่วมมือ

แบบทดสอบผลิตภัณฑ์  
พลิกกิ่งแห้งสีเหลืองส้ม

ชื่อ.....วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

กรุณากำหนดเครื่องหมาย X ในตำแหน่งที่ท่านคิดว่าเป็นระดับของลักษณะนั้น ๆ ของผลิตภัณฑ์  
ตัวอย่าง เมื่อกำหนดให้เครื่องหมาย I เป็นระดับในอุดมคติของลักษณะนั้น ๆ

ลักษณะของผลิตภัณฑ์

สีปรากฏ

I-----I-----I

สีเหลือง

สีน้ำตาลเข้ม

กลิ่นพลับ

I-----I-----I

น้อย

มาก

รสหวาน

I-----I-----I

น้อย

มาก

ความเหนียว

I-----I-----I

น้อย

มาก

การยอมรับรวม

I-----I-----I

น้อย

มาก

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

ขอขอบคุณที่กรุณาให้ความร่วมมือ

## คำอธิบายประกอบการทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของ “พลับกึ่งแห้ง” ประกอบด้วยลักษณะที่ใช้ในการพิจารณา ได้แก่ สีปรากฏของพลับกึ่งแห้ง กลิ่นพลับ รสหวาน ความเหนียว และการยอมรับรวม คำอธิบายประกอบการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิม เป็นดังนี้

**สีปรากฏ** : พิจารณาสีของพลับกึ่งแห้ง ควรมีสีเหลืองส้มตามธรรมชาติ ไม่ควรมีสีน้ำตาลหรือคราบไหม้จากกระบวนการอบแห้ง

**กลิ่นพลับ** : พิจารณากลิ่นหอมของพลับโดยธรรมชาติ ไม่ควรมีกลิ่นของสารด้านการเกิดสีน้ำตาล โพลีฟอสเฟตเชื่อมซอร์เบท (ที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต) หรือกลิ่นแปลกปลอมอื่นใด

**รสหวาน** : พิจารณาถึงรสหวานในเนื้อพลับกึ่งแห้ง ไม่ควรมีรสชาติผิดปกติอื่นใด

**ความเหนียว** : พิจารณาเนื้อสัมผัสด้านความเหนียวของพลับกึ่งแห้ง ควรมีความนุ่มเนียนและความฉ่ำน้ำพอสมควร ไม่ควรมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้าง นิ่ม หรือร่วนจนเกินไป

**การยอมรับรวม** : เป็นการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยรวม ซึ่งพิจารณาจากคุณลักษณะต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว



ราชภัฏบิรัมย์

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์คุณภาพ

ราชภัฏบิรัมย์

การวิเคราะห์คุณภาพ

## การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

### การวัดสีระบบ Hunter Lab (Minolta Camera Co., Ltd., 1991)

เป็นการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta Camera : Model CR-310 วัดค่าสีในระบบอินเตอร์ (Hunter Lab) โดยค่าสี L เป็นค่าความสว่าง (Lightness), a\* เป็นค่าสีแดงและสีเขียว (Redness/Greeness) และ b\* เป็นค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (Yellowness/Blueness)

เมื่อ L คือ ค่าความสว่าง	มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100
a* คือ ค่าสีแดง	เมื่อ a มีค่าบวก เป็นสีแดง เมื่อ a มีค่าลบ เป็นสีเขียว
b* คือ ค่าสีเหลือง	เมื่อ b มีค่าบวก เป็นสีเหลือง เมื่อ b มีค่าลบ เป็นสีน้ำเงิน

ก่อนการวัดสีทุกครั้งต้องทำการปรับมาตรฐานเครื่อง (Calibration) โดยใช้แผ่นสีขาวมาตรฐาน (White blank ; L = 97.67, a\* = -0.18, b\* = 1.84) แล้วจึงทำการวัดสีของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ พลั๊กกึ่งแห้ง ทำการวัด 5 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

### การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (ค่าแรงเฉือน หรือ Shear force) ด้วยเครื่อง Instron (Series 5565) (Instron Corporation, 1993)

เป็นการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารโดยใช้ค่าแรงเฉือน หรือ shear force (นิวตัน) ด้วยเครื่อง Instron Series 5565 ชนิดของใบมีดที่ใช้ คือ Warner Bratzler Meat Shear-Compression (2830-013) น้ำหนัก Load cell เท่ากับ 5 กิโลกรัม ความเร็วของ Crosshead เท่ากับ 200 มิลลิเมตรต่อนาที

นำพลั๊กกึ่งแห้งแต่ละผลมาตัดส่วนเนื้อให้มีขนาด 1.75 x 1.75 เซนติเมตร ทำการวัดซ้ำ 10 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

## การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

### การตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตามวิธีของ AOAC (2000)

ชั่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์แห้ง 10 กรัม ปั่นกับน้ำกลั่นปริมาตร 90 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง Microprocessor pH meter ก่อนการวัดต้องปรับค่ามาตรฐานในการวัดแต่ละครั้งด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่มีความเป็นกรดเป็นด่าง เท่ากับ 4.00 และ 7.00 ตามลำดับ ทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่าง 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

### การตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ตามวิธีของ AOAC (2000)

ชั่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์แห้ง 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 90 กรัม นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นนาน 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำส่วนผสมที่วัดได้มาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยเครื่อง Refractometer ค่าที่ได้คูณกลับตามอัตราส่วนที่เจอจาก 9 เท่า บันทึกค่าในหน่วยของบrix (°Brix) ทำการตรวจวัด 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

### วิธีวัดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ ( $a_w$ )

ใส่ตัวอย่างที่บดแล้วในตลับพลาสติกสำหรับวัดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ แล้วนำไปใส่ในเครื่องวัดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ ( $a_w$ -box, Novasina : AWC 200, Switzerland) บันทึกค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ที่คงที่ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำการตรวจวัด 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

### การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000)

1. บันทึกน้ำหนักของกระป๋องอลูมิเนียม (moisture can) ที่สะอาดผ่านการอบเป็นเวลา 30 นาที และปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้ว
2. ชั่งตัวอย่างที่บดแล้วประมาณ 5 กรัม ลงในกระป๋องอลูมิเนียมแล้วนำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่มีพัดลมภายใน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 16 ชั่วโมง
3. นำกระป๋องอลูมิเนียมออกจากตู้อบ และปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นไม่น้อยกว่า 20 นาที



4. บันทึกน้ำหนักของกระป๋องอลูมิเนียมและของแข็งที่เหลืออยู่ และคำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ, เทียบ น้ำหนักเปียก)} = \frac{(A - B) \times 100}{A}$$

เมื่อ  $A =$  น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

$B =$  น้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่หลังการอบ (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugars) ตามวิธีของ Lane and Eynon (AOAC, 2000)

การเตรียมสารเคมี

- สารละลาย Fehling no.1

ละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate pentahydrate :  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) จำนวน 34.639 กรัม ลงในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดปรับปริมาตร

- สารละลาย Fehling no.2

ละลายโซเดียมโปแตสเซียมทาร์เตรท (Sodium potassium tartrate หรือ rechele salt :  $\text{KNaC}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) จำนวน 173 กรัม และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) จำนวน 50 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดปรับปริมาตร

- สารละลาย Carrez I

ละลาย Zinc acetate dihydrate 21.9 กรัม ในน้ำกลั่นที่มีกรดอะซิติกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

- สารละลาย Carrez II

ละลายโพแทสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ 10.6 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร

- สารละลายเมธิลีนบลูความเข้มข้นร้อยละ 1

ละลายเมธิลีนบลู 1 กรัมด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรโดยใช้ขวดปรับปริมาตร

## วิธีวิเคราะห์

### การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชัน (D<sub>1</sub>)

เตรียมตัวอย่างให้มีความเข้มข้นร้อยละ 0.8 โดยชั่งตัวอย่างปลั๊กแห้งประมาณ 2 กรัม แล้วนำมาปั่นกับน้ำกลั่นจนเป็นเนื้อเดียวกัน ถ่ายตัวอย่างที่ได้ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร เติม Clearing agent หรือสารละลาย Carrez I และ Carrez II อย่างละ 5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากันดี ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที จากนั้นนำไปกรอง เก็บสารละลายใสที่กรองได้ไว้ใช้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชัน (D<sub>1</sub>)

#### Preliminary titration

นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ในบิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร (ชนิดปลายงอ) ไล่ฟองอากาศให้หมด ปิเปตสารละลาย Fehling reagent ซึ่งประกอบด้วยสารละลาย Fehling no.1 และ Fehling no.2 อย่างละ 5 มิลลิลิตร ใส่ในฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร ใส่ลูกแก้วขนาดเล็กลงไป 2-3 เม็ด นำไปต้มให้เดือดบนตะเกียงเบนเซน ไตเตรตกับสารละลายน้ำตาลตัวอย่างจนสีน้ำเงินจางลง หยดสารละลายเมธิลีนบลูลงไป 1-2 หยด ไตเตรตจนสีฟ้าหายไปหมด เหลือแต่ตะกอนสีส้มแดง จดปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

#### Accurate titration

ปิเปตสารละลาย Fehling's reagents ซึ่งประกอบด้วยสารละลาย Fehling no.1. และ Fehling no.2 อย่างละ 5 มิลลิลิตร ใส่ในฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร ใส่ลูกแก้วขนาดเล็กลงไป 2-3 เม็ด เติมสารละลายน้ำตาลจากบิวเรตลงไปทันที โดยใช้ปริมาตรที่น้อยกว่าที่ใช้ไตเตรตครั้งแรกประมาณ 1-2 มิลลิลิตร ปล่อยให้เดือดนาน 2 นาที หยดสารละลายเมธิลีนบลูลงไป 1-2 หยด แล้วไตเตรตต่อจนสีฟ้าหายไปหมด โดยต้องไตเตรตให้เสร็จภายในเวลา 3 นาที ตั้งแต่เริ่มเดือด จดปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

## การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมซอร์เบทในรูปกรดซอร์บิก ตามวิธีของ AOAC (2000)

### การเตรียมสารเคมี

- สารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก  
ละลายกรดเมตาฟอสฟอริก 5 กรัม ในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตรด้วยเอทิลแอลกอฮอล์
- สารละลายผสม  
ผสมปิโตรเลียมอีเธอร์และไดเอทิลอีเทอร์ ในอัตราส่วน 1 : 1
- โซเดียมซัลเฟตที่ปราศจากน้ำ

### การเตรียมกราฟมาตรฐานของโปแตสเซียมซอร์เบท

ชั่งโปแตสเซียมซอร์เบท 0.134 กรัม นำมาเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ผสมสารละลายที่ได้ดังกล่าว 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก ผสมให้เข้ากันแล้วผสมสารละลายในแต่ละขวดมา 5 มิลลิลิตร ใส่ในกรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายผสม 100 มิลลิลิตร เขย่านาน 1 นาที ตั้งให้แยกชั้น เก็บของเหลวในชั้นของอีเธอร์ไว้ แล้วทำให้แห้งด้วยโซเดียมซัลเฟตที่ปราศจากน้ำ 5 กรัม รินสารละลายส่วนใสไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 250 นาโนเมตร เขียนกราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณกรดซอร์บิก (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรของอีเธอร์) กับค่าการดูดกลืนแสง

### การเตรียม Blank

เตรียมสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก 5 มิลลิลิตร เติมสารละลายอื่น ๆ เหมือนการเตรียมสารละลายมาตรฐานของโปแตสเซียมซอร์เบท

### วิธีวิเคราะห์ปริมาณ โปแตสเซียมซอร์เบทในรูปกรดซอร์บิก

ชั่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์ปลั๊กกึ่งแข็ง 10 กรัม (ควรทำ Blank ควบคู่ไปด้วย) ปั่นกับสารละลายกรดฟอสฟอริก 100 มิลลิลิตร นาน 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 ปีเปิดของเหลวที่ได้จากการกรองปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในกรวยแยก จากนั้นเติมสารละลายผสม ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในกรวยแยก เขย่าสารละลายในกรวยแยก

นาน 1 นาที เก็บชิ้นของอีเธอร์ (ชั้นบน) ไว้ เดิมโซเดียมซัลเฟตที่ปราศจากน้ำ จำนวน 5 กรัม ลงไป เพื่อดูความชื้น รินสารละลายส่วนใสไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 250 นาโนเมตร ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

## การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

การหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) ตามวิธีของ AOAC (2000)

### อุปกรณ์และเครื่องมือ

- จานเพาะเชื้อ (Petri dish)
- หลอดทดลอง (Test tube)
- ปิเปตขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert : Model WB14, Germany)
- ตู้บ่มเชื้อ (Heraeus : Model D-6450 hanau, Germany)
- หม้อนึ่งความดัน (Hirayama : Model HA-300MIV, Japan)

### อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายสำหรับเจือจาง

- อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (Bactor® Plate Count Agar, Difco Laboratory, USA)
- สารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (Bactor® Peptone, Difco Laboratory, USA)

### การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อ 23.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร
  2. ต้มจนอาหารเลี้ยงเชื้อละลายหมด
  3. นำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121 – 124 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที
- อาหารเลี้ยงเชื้อที่ได้จะมีค่าความเป็นกรด-ด่างสุดท้ายเท่ากับ  $7.0 \pm 0.2$  ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

## วิธีวิเคราะห์

### 1. การเตรียมตัวอย่าง

1. ตัดตัวอย่างพลิกกึ่งแห้งให้มีขนาดเล็กด้วยมีดที่ผ่านการเช็ดแอลกอฮอล์และลนไฟ
2. ใช้ช้อนตักสารที่ผ่านการเช็ดแอลกอฮอล์และลนไฟแล้วตัดตัวอย่างพลิกกึ่งแห้ง 10 กรัม ใส่ลงในถุงสำหรับตีปั่น (Stomacher bag) เติมสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 90 มิลลิลิตร นำไปเข้าเครื่องตีปั่น (Stomacher) เพื่อให้สารละลายตัวอย่างผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้อาหารที่เจือจาง 1:10 หรือ  $10^{-1}$
3. เขย่าตัวอย่างให้เข้ากัน ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างพลิกกึ่งแห้งที่เจือจาง 1:10 หรือ ( $10^{-1}$ ) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่มีสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้อาหารที่เจือจาง 1:100 หรือ  $10^{-2}$

### 2. การใส่อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตรที่ฆ่าเชื้อแล้ว ดูดสารละลายของตัวอย่างพลิกกึ่งแห้งที่ระดับความเจือจางต่าง ๆ ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ) ลงในจานเพาะเชื้อ จานละ 1 มิลลิลิตร ระดับเจือจางละ 2 จาน โดยเริ่มดูจากที่ความเข้มข้นต่ำสุด
2. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) ที่ยังคงเป็นของเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 45 – 55 องศาเซลเซียส ลงในจานเพาะเชื้อที่มีสารละลายตัวอย่าง จานละประมาณ 15 – 20 มิลลิลิตร
3. ผสมตัวอย่างและอาหารเลี้ยงเชื้อให้เข้ากันดี วางทิ้งไว้จนอาหารแข็งตัว แล้วจานเพาะเชื้อลง

### 3. การบ่ม

บ่มจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ  $34 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน  $48 \pm 3$  ชั่วโมง

### 4. การตรวจนับจำนวนโคโลนีและการรายงานผล

หลังจากบ่มเชื้อตามกำหนดเวลาแล้ว ตรวจนับจำนวนโคโลนีบนจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 30 – 300 โคโลนี หากค่าเฉลี่ยจากจำนวนโคโลนีทั้ง 2 จานเพาะเชื้อ รายงานผลการตรวจนับว่ามีจำนวน Mesophilic aerobic bacteria ในรูปจำนวนโคโลนีต่อกรัมอาหาร

## การหาปริมาณเชื้อยีสต์และรา (Yeast and Mold) ตามวิธีของ AOAC (2000)

### อุปกรณ์และเครื่องมือ

- จานเพาะเชื้อ (Petri dish)
- หลอดทดลอง (Test tube)
- ปิเปตขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert : Model WB14, Germany)
- ตู้บ่มเชื้อ (Heraeus : Model D-6450 hanau, Germany)
- หม้อนึ่งความดัน (Hariyama : Model HA-300MIV, Japan)

### อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายสำหรับเจือจาง

- อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (Bactor<sup>®</sup> Dextrose Agar, Difco Laboratory, USA)
- สารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (Bactor<sup>®</sup> Peptone, Difco Laboratory, USA)
- สารละลายกรดทาร์ทริก ความเข้มข้นร้อยละ 10

### การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อ 39 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร
2. ต้มจนอาหารเลี้ยงเชื้อละลายหมด
3. นำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121 – 124 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที
4. ก่อนการใช้ ปรับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.5 โดยการเติมสารละลายกรดทาร์ทริก ความเข้มข้นร้อยละ 10 ลงไป (อาหารเลี้ยงเชื้อ 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดทาร์ทริก 1.9 มิลลิลิตร)

### วิธีวิเคราะห์

#### 1. การเตรียมตัวอย่าง

1. ตัดตัวอย่างให้มีขนาดเล็กด้วยมีดที่ผ่านการเช็ดแอลกอฮอล์และลนไฟ

2. ใช้ช้อนตักสารที่ผ่านการเข้ดแอลกอฮอล์และลนไฟแล้ว ตักตัวอย่างพลิกกึ่งแห้ง 10 กรัม ใส่ลงในถุงสำหรับตีป่น (Stomacher bag) เติมสารละลายเปปโตน 90 มิลลิลิตร นำไปเข้าเครื่องตีป่น (Stomacher) เพื่อให้สารละลายตัวอย่างผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้อาหารที่เจือจาง 1:10 หรือ  $10^{-1}$

3. เขย่าตัวอย่างให้เข้ากัน ใช้ปิเปตดูดสารละลายตัวอย่างที่เจือจาง 1:10 หรือ  $10^{-1}$  ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่มีสารละลายเปปโตน 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้อาหารที่เจือจาง 1:100 หรือ  $10^{-2}$

## 2. การใส่อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตรที่ฆ่าเชื้อแล้ว ดูดสารละลายของตัวอย่างพลิกกึ่งแห้งที่ระดับความเจือจางต่าง ๆ ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ) ลงในจานเพาะเชื้อ จานละ 1 มิลลิลิตร ระดับเจือจางละ 2 จาน โดยเริ่มดูจากที่ความเข้มข้นต่ำสุด

2. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ Dextrose Count Agar (PDA) ที่ยังคงเป็นของเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 45 – 55 องศาเซลเซียส ลงในจานเพาะเชื้อที่มีสารละลายตัวอย่าง จานละประมาณ 15 – 20 มิลลิลิตร

3. ผสมตัวอย่างและอาหารเลี้ยงเชื้อให้เข้ากันดี วางทิ้งไว้จนอาหารแข็งตัว คว่ำจานเพาะเชื้อลง

## 3. การบ่ม

บ่มจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ  $30 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน  $72 \pm 3$  ชั่วโมง

## 4. การตรวจนับจำนวนโคโลนีและการรายงานผล

หลังจากบ่มเชื้อตามกำหนดเวลาแล้ว ตรวจนับจำนวนโคโลนีบนจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 30 – 300 โคโลนี หาค่าเฉลี่ยจากจำนวนโคโลนีทั้ง 2 จานเพาะเชื้อ รายงานผลการตรวจนับว่ามีจำนวนยีสต์และรา ในรูปจำนวนโคโลนีต่อกรัมอาหาร

## การคาดคะเนอายุการเก็บรักษา (Man and Jones, 1994)

### การศึกษาอันดับและอัตราเร็วของปฏิกิริยา (Order and rate constant of reaction)

การคาดคะเนอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์โดยการศึกษาอัตราเร็วและอันดับของปฏิกิริยา สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีจลศาสตร์

$$-\frac{dC_A}{dt} = k \cdot C_A^n$$

เมื่อ  $C_A$  = ความเข้มข้นของสารที่สนใจที่เวลา  $t$   
 $t$  = เวลา  
 $k$  = อัตราเร็วของปฏิกิริยา  
 $n$  = อันดับของปฏิกิริยา

- ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ( $n=0$ )

มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์กับเวลา  $t$

$$C_{At} = -kt + C_{A0}$$

สร้างกราฟระหว่าง  $C_{At}$  กับเวลา  $t$  เพื่อหาค่า  $k$

- ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ( $n=1$ )

มีการเปลี่ยนแปลงแบบ Logarithmic ของความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์กับ

เวลา  $t$

$$\ln(C_{At}/C_{A0}) = -kt$$

สร้างกราฟระหว่าง  $\ln(C_{At}/C_{A0})$  กับเวลา  $t$  เพื่อหาค่า  $k$



• ปฏิกิริยาอันดับสอง (n=2)

มีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์กับเวลา  $t$  แบบ Hyperbolic หรือมีความสัมพันธ์ระหว่าง  $1/C_{At}$  กับเวลาเป็นเส้นตรง

$$(1/C_{At}) - (1/C_{A0}) = -kt$$

สร้างกราฟระหว่าง  $1/C_{At}$  กับเวลา  $t$  เพื่อหาค่า  $k$

จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และคุณภาพทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา ทำให้ทราบว่าลักษณะคุณภาพที่สามารถบ่งชี้คุณภาพของปลั๊กกึ่งแห้งได้ซึ่งจะนำมาใช้เป็นดัชนีการเสื่อมเสียบ่งบอกอายุการเก็บรักษา

การคาดคะเนอายุการเก็บรักษาทำได้โดย นำค่าคุณภาพที่เป็นดัชนีบ่งชี้การเสื่อมเสียมาสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์กับเวลา  $t$  เพื่อดูว่าการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยามีความสัมพันธ์กันด้วยปฏิกิริยาอันดับที่เท่าใด และทำการสร้างกราฟตามความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับนั้นๆ เพื่อคำนวณหาอัตราคงที่ (Rate constant;  $k$  values) จากการหาความชัน (Slope) ของเส้นกราฟ และนำค่า  $k$  ที่ได้มาคำนวณหาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์หรือค่า  $t$  ในสมการ

ตัวอย่างเช่น โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์อาหารมีการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง เมื่อสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้นกับเวลา จะพบว่ามีความสัมพันธ์แบบ Logarithmic จากนั้นสร้างกราฟระหว่าง  $\ln(C_{At}/C_{A0})$  กับเวลา  $t$  เพื่อคำนวณหาอัตราเร็วของปฏิกิริยา หรือค่า  $k$  จากความชันของกราฟและสามารถหาอายุการเก็บรักษา ( $t$ ) ได้จากสูตร

$$\ln(C_{At}/C_{A0}) = -kt$$