

มูลนิธิโครงการหลวง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ตามโครงการวิจัยที่ 3055
งบประมาณปี 2546

การประเมินอายุการเก็บของผักผลไม้ทอดกรอบ
Shelf Life Evaluation of Vacuum Deep Fried
Fruit and Vegetable Snack

เจิมขวัญ สังข์สุวรรณ
ศรัล วรณพันธ์

บทคัดย่อ

การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผักผลไม้ทอดกรอบแบบสุญญากาศที่ประกอบด้วย กล้วย ฟักทอง สับปะรด แครอท ชุกินี ซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส โดยปกติแล้วผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มักเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากการสูญเสียความกรอบและเกิดกลิ่นหืนจากออกซิเจน ได้มีการศึกษา Sorption isotherm % ความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity ; Aw) TBA No. และการประเมินค่าทางประสาทสัมผัส เพื่อทราบถึงผลของน้ำที่ถูกดูดซับเข้าไปในตัวผลิตภัณฑ์ สำหรับการประเมินคุณภาพด้านกลิ่นหืน ใช้การวิเคราะห์ TBA No. ร่วมกับการประเมินค่าทางประสาทสัมผัสจากการตรวจสอบคุณภาพทางเคมีของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีการใช้ทอดแล้วนำไปผ่านการฟอกเพื่อนำมาใช้ซ้ำ พบว่าคุณภาพของน้ำมันที่วิเคราะห์ได้ไม่แตกต่างกัน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียความกรอบก่อนที่กลิ่นหืนจะเกิดขึ้น ดังนั้นการสูญเสียความกรอบจึงเป็นตัวบ่งชี้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ จากการประเมินค่าทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้ทดสอบชิมไม่ยอมรับในความกรอบของกล้วยและสับปะรด ณ สัปดาห์ที่ 6 (42 วัน) ส่วนการประเมินอายุการเก็บรักษาจากการคำนวณที่สภาวะอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ได้ผลออกมา 37 วัน ผลการวิเคราะห์ TBA No. มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในสัปดาห์ที่ 12 แต่อย่างไรก็ตามผู้ทดสอบชิมยังไม่สามารถรับรู้ถึงกลิ่นหืนที่เปลี่ยนแปลงไปได้ ในด้านการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ได้หยุดลงในสัปดาห์ที่ 6 เนื่องจากสีน้ำตาลเข้มของผลิตภัณฑ์

นางสาวกิ่งกมล นนทกุล
นางสาวกมล นนทกุล
นางสาวกมล นนทกุล

Abstract

Shelf life of vacuum deep fried fruit and vegetable snack, which made by banana, pumpkin, pineapple, carrot and zucchini, has been studied at 30 and 40 degree Celsius. This product should be deteriorated by water which cause the loss of crispness and oxygen which cause rancidity. To know the effect of water absorption of this product, sorption isotherm, percent of moisture content, water activity and sensory were evaluated. TBA No. and sensory evaluation on rancid taste were chosen to represent the rancidity. The qualities of palm oil that is normally used repeatedly before and after bleach were analyzed. The study found that the qualities of palm oil before and after bleach are the same. The deterioration of the product by losing of crispness occurred prior to rancidity. Therefore, the loss of crispness indicated shelf life. From sensory evaluation, the study found that banana and pineapple were unacceptable by test panels at 6th week (42 days). The shelf life from calculation is 37 days at 30 degree Celsius. TBA No. starts to increase in week 12 even though the test panel cannot detect the change of rancidity. The study at 40 degree Celsius was quit in week 6th due to the browning of the product.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	1
ขอบเขตของการวิจัย	2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	14
กรรมวิธีทดลอง	15
ผลการวิจัย	17
วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย	42
กิตติกรรมประกาศ	44
เอกสารอ้างอิง	45
ภาคผนวก	47
งบประมาณและการจัดการเงินงบประมาณ	58
ประวัติผู้วิจัย	59

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบองค์ประกอบของไขมันฝรั่งผ่านบางที่ทอดในระบบสุญญากาศกับการทอดในบรรยากาศปกติ	5
ตารางที่ 2 อัตราเร็วของปฏิกิริยาและการเจริญของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในอาหารตามชนิดของน้ำหรือค่า Aw ที่มีอยู่ในอาหาร	11
ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ภาชนะบรรจุผักผลไม้ทอดกรอบ	17
ตารางที่ 4 แสดงน้ำหนักส่วนประกอบของผักผลไม้ในแต่ละช่อง	17
ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำมันที่ใช้ทอด	18
ตารางที่ 6 แสดงคุณค่าทางอาหารในส่วนที่กินได้ 100 กรัม	21
ตารางที่ 7 แสดงค่า Aw ขั้นต่ำที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้	24
ตารางที่ 8 แสดง % ความชื้นที่เพิ่มขึ้นของผักผลไม้ทอดกรอบ	40
ตารางที่ 9 แสดงน้ำหนักน้ำที่เพิ่มขึ้นของผักผลไม้ทอดกรอบ	40

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 1 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตผักและผลไม้ทอดภายใต้สภาวะสูญญากาศ	9
ภาพที่ 2 สมการแสดงการทำปฏิกิริยาของ TBA กับ Malonaldehyde	13
ภาพที่ 3 แสดง Sorption Isotherm ของผักผลไม้ทอดกรอบ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	19
ภาพที่ 4 แสดง Sorption Isotherm ของผักผลไม้ทอดกรอบ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	20
ภาพที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า Aw ของผักผลไม้ทอดในน้ำมันไม่ผ่านการฟอก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	22
ภาพที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า Aw ของผักผลไม้ทอดในน้ำมันที่ผ่านการฟอก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	23
ภาพที่ 7 แสดงผลของ Aw ที่มีต่อการเสื่อมเสียของอาหาร	24
ภาพที่ 8 แสดงการเปลี่ยนสีของกล้วยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	25
ภาพที่ 9 แสดงการเปลี่ยนสีของฟักทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	26
ภาพที่ 10 แสดงการเปลี่ยนสีของสับปะรดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	26
ภาพที่ 11 แสดงการเปลี่ยนสีของแครอทที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	27
ภาพที่ 12 แสดงการเปลี่ยนสีของซูกินีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	27
ภาพที่ 13 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผักผลไม้ทอดในน้ำมันไม่ผ่านการฟอก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	28
ภาพที่ 14 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผักผลไม้ทอดในน้ำมันที่ผ่านการฟอก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	29

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบของผักผลไม้ทอดในน้ำมันไม่ผ่านการฟอกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	31
ภาพที่ 16 แสดงการเปลี่ยนแปลงของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบของผักผลไม้ทอดในน้ำมันที่ผ่านการฟอกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	32
ภาพที่ 17 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า TBA No. ของผักผลไม้ทอดในน้ำมันไม่ผ่านการฟอกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	34
ภาพที่ 18 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า TBA No. ของผักผลไม้ทอดในน้ำมันที่ผ่านการฟอกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	35
ภาพที่ 19 แสดงการเปลี่ยนแปลงของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความหืนของผักผลไม้ทอดในน้ำมันไม่ผ่านการฟอกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	37
ภาพที่ 20 แสดงการเปลี่ยนแปลงของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความหืนของผักผลไม้ทอดในน้ำมันที่ผ่านการฟอกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	38

บทนำ

ในปัจจุบันขนมขบเคี้ยวที่วางจำหน่ายในท้องตลาดส่วนใหญ่ ผลิตจากวัตถุดิบประเภทธัญชาติ และพืชหัว ซึ่งมีคาร์โบไฮเดรตจำพวกแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก แล้วนำมาผ่านกรรมวิธีพร้อมปรุงแต่งกลิ่นรสให้มีความน่ารับประทาน อย่างไรก็ตามขนมขบเคี้ยวส่วนใหญ่ยังด้วยคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งในปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่หันมาสนใจสุขภาพมากขึ้น ดังนั้นผู้ผลิตจึงได้หันมาพัฒนาขนมขบเคี้ยวที่มีทั้งความอร่อยและได้รับประโยชน์ไปพร้อมๆ กัน โดยผักผลไม้เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งมีจุดเด่นในด้านที่มีเส้นใยอาหาร, วิตามินและเกลือแร่ที่จำเป็นต่อร่างกาย รวมทั้งมีรสชาติดั้งเดิมที่ชวนรับประทานโดยไม่ต้องเติมแต่งโดยวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรส

ทางมูลนิธิโครงการหลวงได้นำผักและผลไม้ 5 ชนิด ได้แก่ แครอท, ชูกีนี้, ฟักทอง, กัลยน้ำว่า และ สับปะรด ซึ่งเป็นผลผลิตที่มีจำนวนมาก มีอายุการเก็บรักษาสั้น และมีมูลค่าไม่สูงมากถ้าจำหน่ายในรูปสด มาแปรรูปโดยการทอดในสภาวะสุญญากาศ เพื่อเพิ่มมูลค่าและขยายช่องทางการจำหน่ายให้หลากหลายขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ได้จำหน่ายไประยะเวลาหนึ่งแล้วแต่ยังขาดข้อมูลทางวิชาการด้านอายุการเก็บรักษา เพื่อให้ได้มาซึ่งอายุการจัดจำหน่ายที่แน่นอน และลดปัญหาการทิ้งผลิตภัณฑ์เร็วเกินไป หรือจำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับ นอกจากนี้การเสื่อมเสียของผักผลไม้ทั้ง 5 ชนิด อาจไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมกัน การศึกษาอายุการเก็บจึงมีความจำเป็น เพื่อให้ได้มาซึ่งอัตราการเสื่อมเสียของผักผลไม้แต่ละประเภท นอกจากนี้น้ำมันที่ใช้ในการทอดในทางปฏิบัติไม่ได้ใช้เพียงครั้งเดียว การใช้ซ้ำอาจมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์รวมถึงอายุการเก็บ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์รวมทั้งการเสื่อมเสียของผักผลไม้แต่ละชนิด เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เมื่อมีการผสมวัตถุดิบแต่ละชนิดในสัดส่วนที่ต่างกันในแต่ละฤดูกาล รวมถึงผลที่เกิดจากการใช้น้ำมันคุณภาพต่างกันในการทอด

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาอายุการเก็บของผักผลไม้ทอดกรอบ
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมเสียของผักผลไม้ทอดกรอบ
3. เพื่อศึกษาความแตกต่างด้านอายุการเก็บรักษาของผักผลไม้ทอดในน้ำมันคุณภาพต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยนี้ จะใช้ผักผลไม้ทอดกรอบของโครงการหลวง ผลงานวิจัยจะอยู่บนพื้นฐานการผสมผักผลไม้ทอดกรอบ จำนวน 5 ชนิด ได้แก่แครอท ชูชิณี ฟักทอง กัลฉ่ายและสับปะรด ในปริมาณที่กำหนด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทอดเป็นกรรมวิธีที่มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพในการบริโภคของอาหาร วัตถุประสงค์รอง คือ การถนอมรักษาอาหารโดยการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เอนไซม์ และลดค่าออกเตอรแอกติวิตีที่ผิวอาหาร หรือตลอดชิ้นอาหาร ถ้าเป็นการทอดอาหารชิ้นบางๆ ความชื้นของอาหารหลังการทอดจะเป็นตัวกำหนดอายุของผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งมีความชื้นภายในอยู่ อาหารซึ่งทอดให้แห้งอย่างทั่วถึง เช่น มันฝรั่งทอดกรอบ ขนมขบเคี้ยวประเภทข้าวโพดหรือมันฝรั่ง จะมีอายุการเก็บรักษานานถึง 12 เดือนที่อุณหภูมิห้อง และรักษาคุณภาพโดยการใส่บรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสม (วิไล, 2543)

วัตถุประสงค์หลักของการทอด คือ เพื่อปรับปรุงสี กลิ่น และรส ในเปลือกนอกของอาหาร โดยอาศัยปฏิกิริยาเมลลาร์ด และการดูดซับสารระเหยจากน้ำมัน ปัจจัยที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงสีและกลิ่นของอาหาร ได้แก่ 1. ชนิดของน้ำมันที่ใช้ในการทอด 2. อายุและประวัติด้านความร้อนของน้ำมัน 3. อุณหภูมิและเวลาในการทอด 4. ขนาดและลักษณะผิวหน้าของอาหาร 5. การจัดการหลังการทอด ปัจจัยต่างๆเหล่านี้มีผลต่อการดูดซับน้ำมันของอาหาร ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นสารประกอบโพลีเมอร์ ซึ่งคล้ายคลึงกับในกรณีของการอบ

โดยทั่วไป การเสื่อมเสียของอาหารแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การเกิดรอยขีดหรือรอยขีดข่วนเนื่องจากการขนถ่ายวัตถุดิบ การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสจากกรรมวิธีที่ใช้ในการแปรรูปอาหาร
2. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น Nonenzymatic browning, Lipid hydrolysis, Lipid oxidation, Protein denaturization, Degradation of specific natural pigment
3. การเปลี่ยนแปลงทางด้านจุลินทรีย์ เช่น การเสื่อมเสียเนื่องจากการเจริญของแบคทีเรีย ยีสต์ รา เป็นต้น

แต่สำหรับอาหารประเภทขนมขบเคี้ยวสาเหตุหลักของการเสื่อมเสียมักเนื่องมาจากความชื้น ซึ่งส่งผลต่อความกรอบของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญเนื่องจากการเกิดการออกซิเดชันของไขมันในอาหาร มักเกิดในอัตราสูงที่ค่าออกเตอรแอกติวิตีต่ำมาก (รุ่งนภา, 2540) และอัตราการเกิดออกซิเดชันของไขมันยังมีผลมาจากอุณหภูมิและการมีออกซิเจน

ในการศึกษาอายุการเก็บ ปัจจัยที่ควบคุมอายุการเก็บมี 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ 1. ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ เช่น pH, Aw, nutrient content 2. ปัจจัยทางด้านสภาวะแวดล้อมภายนอก เช่น storage temperature, relative humidity, presence and concentration of gases in the environment 3. คุณสมบัติของภาชนะบรรจุ เช่น Water Vapour Transmission Rate (WVTR), Gas Transmission Rate (GTR), Area และ Thickness เป็นต้น เราสามารถทำนายอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องจากการทดสอบหาอายุการเก็บที่ใช้สภาวะเร่ง โดยการเก็บที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่การทดสอบดังกล่าวมีแนวโน้มว่าจะใช้เฉพาะกับผลิตภัณฑ์ค่อนข้างเฉพาะ และต้องอาศัยประสบการณ์และความระมัดระวังในการแปลผล อีกวิธีหนึ่งที่สามารถหาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้ คือ การใช้โมเดลอายุการเก็บ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสม ในผลิตภัณฑ์พวกขนมขบเคี้ยวมีกลไกการเสื่อมเสียที่แข่งกันเอง 2 ชนิด คือ การเหม็นหืน ด้วยการเกิดออกซิเดชัน และการดูดซับความชื้น เมื่อพิจารณาการดูดซับความชื้น ข้อมูลที่ต้องการในการหาอายุการเก็บ ได้แก่ 1. ข้อมูล moisture sorption isotherm ที่อุณหภูมิที่กำหนด 2. คุณสมบัติของฟิล์มที่ใช้บรรจุ เช่น WVTR, GTR, Area และ Thickness 3. สภาวะการเก็บ เมื่อใช้คุณสมบัติของฟิล์มด้านอื่นร่วมด้วย เช่น Oxygen Transmission Rate (OTR) เราก็สามารถหาการเปลี่ยนแปลงด้านการหืนได้ในทำนองเดียวกัน

ในการหาอายุการเก็บรักษา โดยวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ค่า TBA เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเหม็นหืนของผลิตภัณฑ์ สำหรับค่า TBA ของข้าวเกรียบที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมของ Malonaldehyde ต่อกิโลกรัม (Shamberger และคณะ, 1977) ส่วนค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ไข่ผงมีค่าที่ยอมรับได้ คือ 4.16 – 6.14 มิลลิกรัมของ Malonaldehyde ต่อกิโลกรัม (Satyanarayana และคณะ, 1989) และใช้ค่าความชื้นเป็นตัวกำหนดถึงความกรอบของผลิตภัณฑ์ ค่าความชื้นของอาหารว่าง (snack food) มีค่าเกินร้อยละ 3.5 คุณภาพของอาหารว่างจะเปลี่ยนไป คือ จะเหนียวและไม่กรอบ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทอดในระบบสุญญากาศ

มีผู้บริโภคจำนวนไม่น้อยที่หลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารทอด เนื่องจากปัญหาสำคัญของอาหารทอดคือ มีปริมาณน้ำมันสูง การเหม็นหืนของน้ำมัน หรืออาจเกิดสารก่อมะเร็ง ในปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคการทอดในระบบสุญญากาศมาใช้ในการทอดผักและผลไม้ชนิดต่างๆ ซึ่งกำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นทั้งในและต่างประเทศ เนื่องจากแนวคิดเรื่องสุขภาพและความนิยมบริโภคผักและผลไม้มากขึ้น การทอดแบบสุญญากาศซึ่งมีออกซิเจนน้อยมาก ทำให้เกิดการออกซิเดชันต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีอายุการเก็บนานโดยไม่ต้องเติมสารกันเสีย

ผักผลไม้ที่สามารถนำมาทอดกรอบในระบบสุญญากาศ ได้แก่ แอปเปิล ขนุน ลูกแพร์ มะม่วง มะละกอ แครอท หัวหอม พักทอง สับปะรด มันฝรั่ง องุ่น กัลฉวย มะเฟือง ฝรั่ง ถั่วถั่ว เป็นต้น

การทอดในระบบสุญญากาศอาศัยหลักการที่ว่า จุดเดือดของน้ำมันจะลดลงที่ความดันต่ำ ซึ่งลดลงจาก 180 องศาเซลเซียส เหลือเพียง 60 - 70 องศาเซลเซียส การทอดวิธีนี้จะช่วยรักษากลิ่นรสและสีของผักและผลไม้ให้เหมือนธรรมชาติได้ดีกว่าการทอดที่ความดันบรรยากาศ

องค์ประกอบของอาหารทอดในระบบสุญญากาศเปรียบเทียบกับอาหารทอดที่บรรยากาศปกติ

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบของไขมันฝรั่งผ่านบางที่ได้จากการทอดในบรรยากาศปกติกับไขมันฝรั่งที่ทอดในระบบสุญญากาศ ข้อมูลที่ได้จะเห็นได้ว่ามันฝรั่งที่ทอดในระบบสุญญากาศจะมีปริมาณน้ำมันและเกลือโดยเฉพาะเกลือโซเดียมน้อยกว่ามันฝรั่งที่ทอดในบรรยากาศปกติมาก

ตารางที่ 1 : เปรียบเทียบองค์ประกอบของน้ำมันฝรั่งผ่านบางที่ทอดในระบบสุญญากาศกับ การทอดในบรรยากาศปกติ

องค์ประกอบ	การทอดที่บรรยากาศปกติ (%)	การทอดในระบบสุญญากาศ (%)
ความชื้น	2.5	2.0
โปรตีน	4.7	4.1
ไขมัน	35.0	14.8
เส้นใย	1.8	1.2
เถ้า	3.4	1.4
คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่	52.6	76.5
เส้นใย	555 kcal	461 kcal
พลังงาน	100 mg	108 mg
ฟอสฟอรัส	1.7 mg	2.14 mg
เหล็ก	17 mg	11.7 mg
แคลเซียม	400 mg	9.8 mg
โซเดียม	1,200 mg	575 mg
โปแตสเซียม		

หมายเหตุ : คัดคำนวณจากอาหาร 100 กรัม

ที่มา : วิไล (2543)

การทอดแบบสุญญากาศมีข้อดีดังนี้ Jagoba และ Moreira (2002)

1. สามารถลดปริมาณน้ำมันสุดท้ายในผลิตภัณฑ์อาหารทอดได้
2. สามารถรักษาสี กลิ่น รส ให้คล้ายกับสี กลิ่น รส ธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากใช้อุณหภูมิต่ำและมีปริมาณออกซิเจนในการทอดน้อย
3. มีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันน้อย

กรรมวิธีการผลิตผักผลไม้ทอดกรอบภายใต้ภาวะสุญญากาศ

สิทธิพันธ์ (2543) ผักและผลไม้ทอดกรอบภายใต้ภาวะสุญญากาศ (Fried Fruit and Vegetable by Vacuum Deep Frying Method) ของโครงการหลวงมีขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การจัดเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material Preparation)

โดยปกติโรงงานอุตสาหกรรมผักและผลไม้แปรรูปโดยทั่วไปจะมีแผนการผลิต (Production Planing) ล่วงหน้าเพื่อช่วยวางแผนการส่งเสริมการเพาะปลูก และรับซื้อเข้าโรงงาน เพื่อการแปรรูปได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่เนื่องจากลักษณะของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ทอดกรอบภายใต้สภาวะสุญญากาศ มีการผสมชนิดของผักผลไม้ตามฤดูกาล ดังนั้นในการจัด เตรียมวัตถุดิบในกรณีนี้จึงเป็นการจัดเตรียมวัตถุดิบตามที่มีมากตามฤดูกาลเพื่อลดภาระด้านต้นทุน เมื่อวัตถุดิบถูกขนส่งเข้าโรงงานจะถูกตรวจสอบโดยฝ่ายควบคุมคุณภาพวัตถุดิบเพื่อให้ได้คุณภาพตามที่ต้องการเพราะคุณภาพวัตถุดิบส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่อหน้าหน้าวัตถุดิบ (Yield) พร้อมกับแยกจัดเก็บอย่างถูกวิธีตามประเภทและความเหมาะสมของสภาพสรีระวิทยาพืชภายหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อป้องกันการสูญเสียของผลผลิต (Yield loss)

2. การล้างและตัดแต่งวัตถุดิบ (Washing and Trimming)

นำวัตถุดิบมาล้างน้ำให้สะอาดเพื่อกำจัดเศษดินและสิ่งสกปรกด้วยน้ำสะอาดผสมคลอรีนในอัตราส่วน 20 - 50 ส่วนในล้านส่วน (ppm) แล้วล้างด้วยน้ำอีกประมาณ 2 -3 ครั้ง ซึ่งถ้ามีปริมาณวัตถุดิบในปริมาณมากสามารถใช้เครื่องช่วยล้างได้ หลังจากนั้นนำวัตถุดิบมาปอกเปลือกหรือตัดแต่งตามความเหมาะสมของประเภทวัตถุดิบแล้ว นำมาผ่านเครื่องตัดหรือหั่นให้ได้รูปทรงตามที่ต้องการด้วยเครื่องจักรต่างๆ เช่น ลักษณะเป็นแผ่นบาง (Slice) ด้วย Slicer , ลักษณะเป็นวงแหวน (Ring) ด้วย Slicer , ลักษณะเป็นแท่ง (Stick) ด้วย Slicer ที่เพิ่มใบมีดในแนวขวางและลักษณะเป็นลูกเต๋า (Dice) ด้วย Dicer เป็นต้น

ซึ่งภายหลังการหั่นให้ได้ตามรูปแล้วจะต้องแช่วัตถุดิบดังกล่าวในสารละลายที่ป้องกันการเกิดสีอันเนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์ที่มีอยู่ในพืช (Enzymatic Browning Reaction) และออกซิเจน เช่น สารละลายกรดมะนาว (Citric acid) 0.03-0.05 % และสารละลายในเกลือโซเดียมซัลไฟท์ (Potassium / Sodiummetabisulphite) 20-200 ส่วนในล้านส่วน เป็นต้น จนกว่าจะนำผักผลไม้ดังกล่าวไปผ่านขั้นตอนการผลิตต่อไป

3. การเตรียมปรับปรุงสภาพเนื้อเยื่อผักผลไม้ก่อนการทอด (Texture Preparation)

ผักผลไม้บางประเภทจำเป็นต้องมีการเตรียมหรือปรับปรุงเนื้อเยื่อของวัตถุดิบให้มีลักษณะปรากฏที่ใกล้เคียงกับสภาพเดิมของผักผลไม้ นั่นๆ เพื่อให้สามารถดึงดูดความสนใจของผู้บริโภคมากที่สุด (Attractive) ด้วยการนำวัตถุดิบที่ผ่านขั้นตอนการผลิตที่ 2 แล้วมาผ่านการแช่สารละลายน้ำตาลและสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันเพื่อให้เนื้อเยื่อของผักผลไม้ดังกล่าวมีความคงตัวในเรื่องสี, ลักษณะเนื้อเยื่อ

และมีรสชาติที่ใกล้เคียงกับผักผลไม้เดิมมากที่สุด ซึ่งในระหว่างการแช่สารดังกล่าวนั้นในบางกรณีมีความจำเป็นต้องรักษาอุณหภูมิขณะแช่ให้อยู่ที่ 0-5 องศาเซลเซียสเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการปรับปรุงเนื้อเยื่อ โดยการนำไปแช่ไว้ในห้องเย็น แต่ผักผลไม้บางประเภทก็ไม่สามารถนำไปทอดได้ทันทีภายหลังจากตัดแต่งเสร็จ เช่น พักทอง ก๋วยน้ำว่า และมันฝรั่ง เป็นต้น

4. การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Vacuum Deep Frying)

เตรียมถังทอดแบบสุญญากาศ โดยการอุ่นน้ำมันในถังทอดให้มีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยระบบการให้ความร้อนจะเป็นระบบการให้ความร้อนจากไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ผ่านระบบท่อไอน้ำ จากนั้นนำวัตถุดิบที่ผ่านการเตรียมการในข้อที่ 3 มาใส่ตะกร้าสแตนเลสสำหรับเครื่องทอด (Vacuum Chamber Stainless Steel Basket) แล้วนำลงใส่ในถังทอดระบบสุญญากาศ ปิดฝา เปิดเครื่องสุญญากาศ จนกระทั่งเกิดสภาวะสุญญากาศที่ระดับอย่างน้อย 700 มม.ปรอท จึงหย่อนตะกร้าวัตถุดิบลงทอดในน้ำมัน ซึ่งในระหว่างการทอดต้องควบคุมระดับอุณหภูมิให้อยู่ในระดับประมาณ 90 องศาเซลเซียส ตลอดการทอด โดยสังเกตจากกระจกมองข้างถังทอดว่าไม่มีการเดือดของน้ำมันอันเนื่องมาจากปริมาณน้ำในวัตถุดิบถูกดึงออกจากเนื้อเยื่อด้วยความร้อนและสุญญากาศจนหมด ดึงตะกร้าขึ้นพ้นระดับน้ำมัน และปิดระบบสุญญากาศและระบายอากาศเข้าถังทอดจนกระทั่งระดับความดันในถังทอดเท่ากับระดับบรรยากาศปกติจึงเปิดฝา แล้วเทผลิตภัณฑ์ลงบนรถเข็นตะกร้าสแตนเลส เพื่อพักรอผ่านเข้าเครื่องแยกน้ำมันต่อไป สำหรับน้ำมันที่ผ่านการทอดมาหลายครั้งอาจมีสีเข้มหรือมีเศษผักผลไม้ตกค้างให้ทำการกรองหรือฟอกสีด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ก็จะทำให้ น้ำมันที่รีไซเคิลใช้ทอดกลับมามีสภาพเหมือนเดิม โดยคุณสมบัติทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากการทอดใช้อุณหภูมิต่ำและอยู่ในสภาพสุญญากาศไม่มีออกซิเจนมาทำลายคุณภาพของน้ำมันในขณะที่ทอด

5. การปรุงแต่งผลิตภัณฑ์

นำผักผลไม้ที่ได้จากการทอดมาผ่านเครื่องแยกน้ำมันออกด้วยแรงหมุนเหวี่ยงจากเครื่องเหวี่ยง (Centrifugal Machine) ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะตามภาพที่ 11-15 แล้วนำมาแยกเก็บในถุงพลาสติก เพื่อผสมผักและผลไม้คละกันเพื่อรอการบรรจุต่อไป

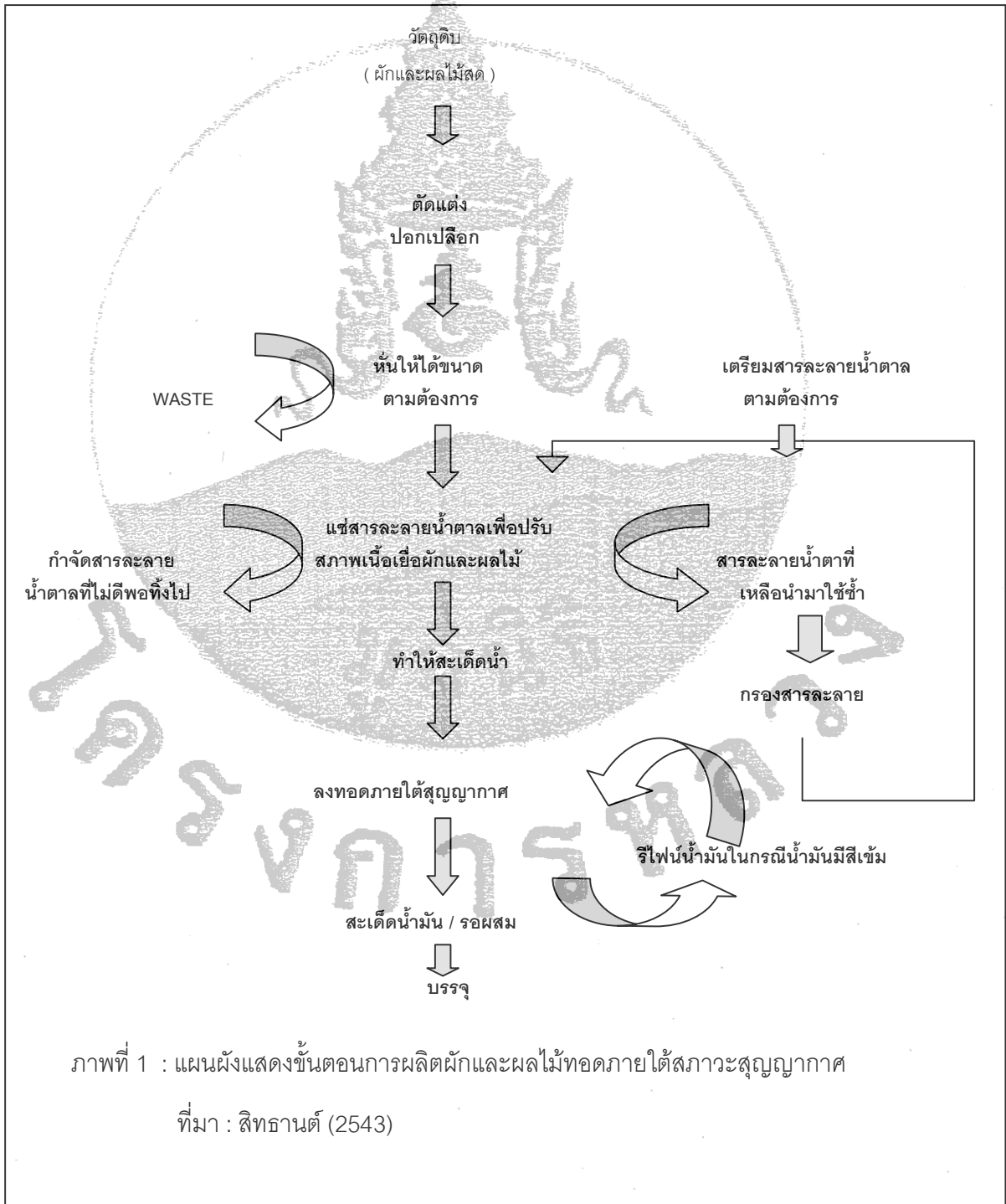
6. การบรรจุผลิตภัณฑ์ (Product Packaging)

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านขั้นตอนที่ 4 จะถูกบรรจุลงในภาชนะตามต้องการ เช่น ในถุงพลาสติก Oriented Polypropylene (OPP) ที่ลามิเนตกับ Cast Polypropylene (CPP) เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ใน

ภาชนะบรรจุที่เหมาะสมจะมีอายุการเก็บรักษาอย่างน้อยเป็นเวลา 12 เดือน ในที่ร่มและไม่โดนแสงแดด ซึ่งขั้นตอนการผลิตทั้งหมดสามารถสรุปได้ตามภาพที่ 1

เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตผักผลไม้ทอดกรอบภายใต้ภาวะสุญญากาศประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ :

1. ถังทอดภายใต้สุญญากาศ (Vacuum Deep Frying Chamber)
2. ระบบการสร้างสุญญากาศแบบชนิดใช้น้ำ (Vacuum System by Water Circulation)
3. ระบบการทำความสะอาดน้ำมันที่ใช้ทอด (Edible Oil Refining System)
4. ตะกร้าและชุดรับผลิตภัณฑ์ภายหลังการทอด (Stainless Steel Basket and Car)
5. เครื่องแยกน้ำมันจากผลิตภัณฑ์ภายหลังการทอดด้วยแรงหมุนเหวี่ยง (Oil Separating by Centrifugal Machine)
6. เครื่องผสมสารปรุงรสด้วยระบบสุญญากาศ (Vacuum Mixing Machine)
7. เครื่องหั่นวัตถุดิบ (Slicer)
8. เครื่องกำเนิดไอน้ำ ขนาดกำลังอย่างน้อย 500 กิโลกรัม / ชั่วโมง (Boiler)
9. เครื่องบรรจุภัณฑ์แบบกึ่งอัตโนมัติ



ความชื้น (Moisture Requirement)

น้ำที่อยู่ในอาหารจะอยู่ในหลายสภาพ ดังเช่น อยู่ในสภาพอิสระ (free water) ในสภาพที่จับตัวกับโมเลกุลของอาหาร (bound water) เป็นต้น ตามปกติความชื้นเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังนั้นถ้าทำให้น้ำอิสระในอาหารลดลงมาถึงในระดับหนึ่งจะทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ เช่นในกรณีผักต้องปรับให้มีความชื้นต่ำประมาณ 3.5 % ในขณะที่ผลไม้ไม่ต้องปรับให้มีความชื้นเพียง 15-20 % ทั้งนี้เนื่องจากในผลไม้มีน้ำตาลมากกว่าผัก ซึ่งเมื่อความชื้นของผลไม้ลดลงจะทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นนี้มีคุณสมบัติเป็นสารกันบูด (Preservative agent) ไปในตัว

ปริมาณน้ำ (Water Content)

ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์อาหารสามารถอธิบายได้ในรูปของ % ดังนี้

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง}}$$

เนื่องจากอาหารมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน เช่น แป้ง, Cellulose, Protein เป็นต้น ดังนั้นจึงทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำที่ต่างกัน

ปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity : A_w)

water Activity หมายถึง อัตราส่วนของความดันไอในอาหาร (p) ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่จุดอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน

$$A_w = p/p_0$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง A_w กับอัตราเร็วของปฏิกิริยาทางเคมี

A_w มีผลกระทบต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีหลายชนิดที่เกิดขึ้นในอาหาร และอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ด้วย ซึ่งจะสัมพันธ์กับชนิดของน้ำในอาหารดังตารางที่ 2 ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในอาหารซึ่งเป็นเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ จะเป็นปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์จะไม่เกิดขึ้นในอาหารที่มีน้ำชนิด monolayer water ซึ่งมีค่า A_w ระหว่าง 0 - 0.2 รวมทั้งจุลินทรีย์ต่างๆ ก็ไม่สามารถเจริญได้จึงทำให้อาหารมีความคงตัวสูง และเก็บรักษาได้นาน

ตารางที่ 2 : อัตราเร็วของปฏิกิริยาและการเจริญของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในอาหารตามชนิดของน้ำ หรือค่า A_w ที่มีอยู่ในอาหาร

ปฏิกิริยาและการเจริญของจุลินทรีย์	Monolayer water A_w 0 – 0.3	Capillary water A_w 0.3 – 0.8	Loosely bound Water A_w 0.8 – 1.0
Enzymatic activity	0	ต่ำ	สูง
Nonenzymatic browning	0	เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว	สูง
การใช้โดโรไลซิส	0	เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว	สูง
ลิตติดออกซิเดชัน	สูง	เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว	สูง
การเจริญของรา	0	ต่ำ*	สูง
การเจริญของยีสต์	0	ต่ำ*	สูง
การเจริญของแบคทีเรีย	0	0	สูง

* การเจริญของราและยีสต์จะเริ่มเมื่อมีค่า A_w ประมาณ 0.7

ที่มา : นิธิยา (2539)

ดังนั้นการลดปริมาณน้ำในอาหารให้เหลือน้อยที่สุด หรือ ลดค่า A_w ให้ต่ำที่สุดจึงเป็นวิธีการถนอมอาหารให้เกิดรักษาได้นาน กระบวนการที่ใช้ลดปริมาณน้ำและ A_w เช่น การอบแห้ง และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การที่มีความชื้นในปริมาณที่มากนั้นจะช่วยทำให้เอนไซม์และสปีดเตรตเคลื่อนย้ายได้ง่าย ดังนั้น A_w จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อคุณภาพอายุการเก็บรักษา และ ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

อาหารแห้งที่มีปริมาณน้ำน้อยเป็น monolayer water เมื่อได้รับความชื้นเพิ่มขึ้นจะเปลี่ยนเป็น multilayer adsorption และถูกดูดซับเข้าไปในรูเล็กๆ และช่องว่าง Capillary ทำให้เกิดการละลายของตัวถูกละลายได้ น้ำจะถูกจับอยู่ในอาหารโดยทางกลทำให้อาหารมีค่า A_w เพิ่มขึ้น

อาหารประเภทที่มีความชื้นปานกลาง จะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีปริมาณความชื้นที่มากพอจนทำให้สปีดเตรตของปฏิกิริยาละลายได้หมด แต่ถ้า

ความชื้นเพิ่มมากขึ้น หรือ ค่า A_w เพิ่มสูงขึ้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาอาจลดลงได้ เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นทำให้สารละลายสับสนเร็วเจือจางลง

ผลของ A_w ต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันค่อนข้างซับซ้อน อย่างไรก็ตาม การออกซิเดชันของไขมันจะลดลงเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้นเพราะไขมันไม่ละลายในน้ำ

ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้ง เมื่อค่า A_w ต่ำกว่า 0.85 เช่น เอนไซม์อะมัยเลส ฟีนอลออกซิเดส และเบอรร็อกซิเดส แต่เอนไซม์ไลเปสสามารถทำงานเร่งปฏิกิริยาได้ถึงแม้ A_w จะลดต่ำลงเป็น 0.3 ก็ตาม น้ำมันสามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ที่ A_w ต่ำประมาณ 0.15 ขณะที่ไขมันถูกไฮโดรไลซ์ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

สำหรับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ ก็เป็นปฏิกิริยาสำคัญที่มีผลทำให้เกิดการเน่าเสียของอาหารได้ และปฏิกิริยาจะเกิดสูงสุดในช่วง A_w ประมาณ 0.6-0.8 เช่นปฏิกิริยาการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในนมผงจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่า A_w สูงขึ้น และมีจุดสูงสุดเมื่อ A_w มีค่า 0.65 หลังจากนั้นถึงแม้ค่า A_w จะเพิ่มขึ้นแต่ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลก็จะลดลง ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในนมผงและอาหารที่มีโปรตีนจะมีผลทำให้เกิดการสูญเสียกรดอะมิโนไลซีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย

ความสัมพันธ์ระหว่าง A_w กับอัตราการเน่าเสีย

A_w เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณภาพและการเน่าเสียของอาหาร เพราะความชื้นในอาหารและค่า A_w จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีหรือปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์อย่างช้าๆ และมีการเจริญของจุลินทรีย์เกิดขึ้น ซึ่งเป็นต้นเหตุทำให้อาหารเน่าเสีย ดังนั้นการลดปริมาณน้ำในอาหารให้น้อยลงเพื่อทำให้ค่า A_w ลดต่ำลง จึงเป็นการยับยั้งการเจริญของเชื้อ จุลินทรีย์ และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี วิธีการลดปริมาณน้ำอาจใช้วิธีการทำแห้งแบบต่างๆ หรือการเติมตัวถูกละลายลงไป เช่น การเติมน้ำตาลลงในเยลลี่ หรือ ผลไม้แช่อิ่ม หรือ การเติมเกลือลงในผักดอง เป็นต้น

การหืนของอาหาร

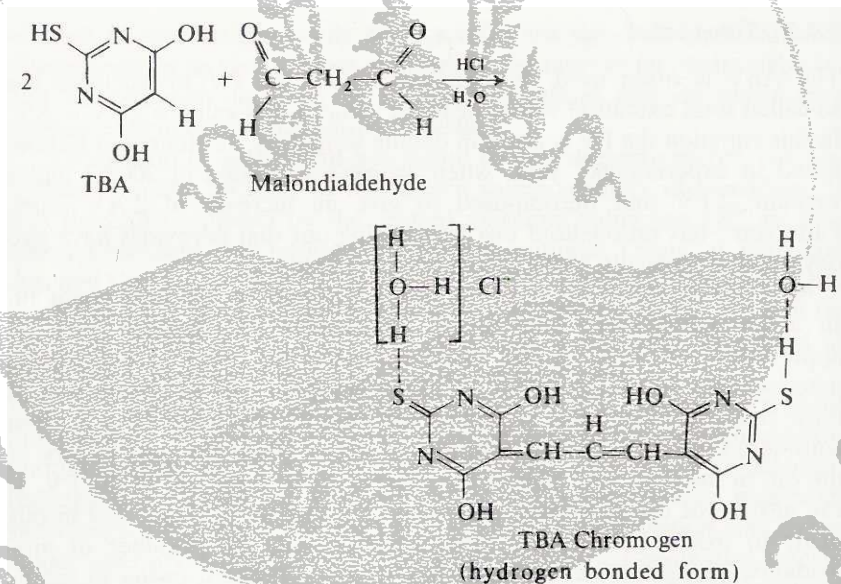
การหืน หมายถึง การที่กลิ่นและรสเปลี่ยนแปลงไปหรือเสียไป โดยเฉพาะที่เกิดขึ้นกับส่วนที่เป็นไขมันของอาหาร การหืนของไขมัน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงต้องการ อันเกิดจากการดูกลิ่นของกลิ่น ปฏิกิริยาของเอนไซม์ ปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ และออกซิเจน (ไพบูลย์, 2529)

การหืนของอาหารหรือผลิตภัณฑ์อาจเป็นผลมาจากการออกซิเดชัน หรือ ไฮโดรไลซิสของส่วนที่เป็นไขมัน ดังนั้นอาหารเกิดเหม็นหืนก็ต่อเมื่อมีกลิ่นหรือรสที่เหม็นหืนมากจนเกินกว่าจะยอมรับได้

การหืนแบบ ออกซิเดชันหรือ การเสื่อมเสียแบบออกซิเดชันนี้เกิดขึ้นเอง เมื่ออาหารหรือสารที่มีไขมันไม่อิ่มตัวสัมผัสกับอากาศ อัตราที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันตามลักษณะของไขมันและสภาพการเก็บ (Wallance ,1968)

การตรวจหาความหืนโดยการหา Thiobarbituric acid number

TBA number เป็นค่าที่ใช้วัดการเสื่อมเสียของไขมันจากปฏิกิริยา oxidation ได้เช่นเดียวกับค่าเปอร์ออกไซด์ นิยมใช้กับอาหารทะเลที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง โดยวัดเป็นจำนวนมิลลิกรัมของ malonaldehyde ในตัวอย่าง 1000 กรัม ปฏิกิริยาของ TBA กับ malonaldehyde ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะได้ TBA pigment สีแดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 : สมการแสดงการทำปฏิกิริยาของ TBA กับ malonaldehyde

ที่มา : Allen และ Hamilton, 1994

วิธีนี้เป็นวิธีที่ดัดแปลงจากหลายวิธี การวิเคราะห์ที่ใช้ตัวอย่าง 100 - 500 มิลลิกรัม ผสมกับสารละลาย 2- ไทโอบาบริก แล้วต้มนาน 20 -30 นาที ที่สภาพความเป็นกรด malonaldehyde จะถูกปลดปล่อยออกมาและทำปฏิกิริยากับ TBA จะได้สีแดง นำสารละลายไปวัดความเข้มสีโดยใช้ spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร ถ้าสารละลายไม่ใส เดิมคลอโรฟอร์มเล็กน้อยแล้วหมุนเหวี่ยงจะได้สารละลายที่ใส ข้อได้เปรียบของวิธีนี้คือ สามารถใช้ทดสอบไขมันในตัวอย่างอาหาร (intact sample) ได้โดยไม่ต้องสกัดไขมัน (Allen และ Hamilton, 1994)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการหลวงจะได้ทราบข้อมูลอายุการเก็บรักษาของผักผลไม้ทอดกรอบ รวมถึงทราบชนิดของผักหรือผลไม้ที่จะเสื่อมเสียเป็นลำดับแรก ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ทั้งของไม่เป็นที่ยอมรับ ทำให้สามารถกำหนดลงไปถึงปริมาณของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่จะบรรจุในซองเพื่อให้ได้มาซึ่งอายุการเก็บตามที่ต้องการได้หรือทราบอายุการเก็บจากการผสมวัตถุดิบแต่ละชนิดในปริมาณที่ต่างกัน นอกจากนี้ยังทราบผลของการใช้น้ำมันที่มีคุณภาพแตกต่างกันในการผลิต ซึ่งผลจากการวิจัยที่ได้สามารถนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตต่อไป



กรรมวิธีทดลอง

สถานที่ทดลอง ระยะเวลาทำการทดลอง

ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ, ภาควิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารและภาควิชาเทคโนโลยี
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่
ตุลาคม 2545 – กันยายน 2546

วัตถุประสงค์ที่ใช้

ผักผลไม้ทอดกรอบของโครงการหลวง

วิธีทดลองที่ใช้ การบันทึกข้อมูล วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่ 1 : ศึกษาคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอด

1. เก็บตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทอดผักผลไม้ทั้งที่เป็นน้ำมันไม่ผ่านการฟอกและน้ำมันที่ผ่านการฟอก
2. วิเคราะห์ : Peroxide value และ Acid value

ตอนที่ 2 : ศึกษาปัจจัยของความชื้นที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษา

1. เก็บตัวอย่างผักผลไม้ทอดกรอบ ที่ทอดจากน้ำมันไม่ผ่านการฟอกและน้ำมันที่ผ่านการฟอกที่บรรจุในถุง Laminate พร้อม flush แกส N_2 (มีผักและผลไม้ทั้งหมด 5 ชนิดบรรจุรวมในถุงเดียวกัน คือ แครอท, ชูชิโน่, พักทอง, กัลฉวยน้ำว่า และสับปะรด ชนิดละเท่าๆกัน)
2. วิเคราะห์ : % Moisture content, Water activity (A_w), Sorption isotherm ของผักผลไม้แต่ละชนิด วิเคราะห์ 2 ชั้น
3. เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C และ 40 °C เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ทุก 2 สัปดาห์ โดยระยะเวลาในการเก็บทั้งหมด 4 เดือน
4. วิเคราะห์ : % Moisture content, Water activity (A_w) และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผักผลไม้แต่ละชนิด

ตอนที่ 3 : ศึกษาปัจจัยของความชื้นที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษา

1. เก็บตัวอย่างผักผลไม้ทอดกรอบ ที่ทอดจากน้ำมันไม่ผ่านการฟอกและน้ำมันที่ผ่านการฟอกที่บรรจุในถุง Laminate พร้อม flush แก๊ส N_2
2. วิเคราะห์ : ค่า Thiobarbituric acid ของผักผลไม้แต่ละชนิด
3. เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ทุก 2 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 4 เดือนหรือจนกว่าตัวอย่างจะไม่ใช่ที่ยอมรับ
4. วิเคราะห์ : ค่า Thiobarbituric acid และ คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผักผลไม้แต่ละชนิด

หมายเหตุ : วิเคราะห์ค่า Acid value และ Peroxide value โดยวิธี (AOAC, 1990)

วิเคราะห์ % Moisture content โดยวิธี (AOAC, 1990)

วิเคราะห์ Water activity โดยเครื่อง Water activity meter (Aqua Lab Series 3 and 3TE)

วิเคราะห์ค่า Thiobarbituric acid โดยวิธี (Pearson's, 1991)

ภาควิชาการทดลอง

ผลการวิจัย

1. ข้อมูลพื้นฐาน

ตารางที่ 3 : แสดงผลการวิเคราะห์ถุงผักผลไม้หอดกรอบ

ชนิดของบรรจุภัณฑ์	อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ	อัตราการซึมผ่านของกาซออกซิเจน
ถุงใสด้านใน	1.83 g/sq.m.day	1,256 cc/ sq.m.day
ถุง laminated พิมพ์ลายด้านนอก	0.65 g/sq.m.day	2.12 cc/ sq.m.day

หมายเหตุ:

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ หาโดยวิธี Water vapour transmission rate-transfer time method: Lyssy L80-4000J ที่ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90%

อัตราการซึมผ่านของกาซออกซิเจน หาโดยวิธี ASTM D3985-95 Oxygen Gas Transmossion Rate Through Plastic Film and Sheeting Using a Coulometric Sensor ที่ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 0%

ตารางที่ 4 : แสดงน้ำหนักส่วนประกอบของผัก-ผลไม้ในแต่ละช่อง

ชนิดของผักผลไม้	น้ำหนักเฉลี่ย, กรัม
กล้วย	36
พริกทอง	13
สับปะรด	15
แครอท	15
ซูกีนี่	21
รวม	100

2. คุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด

ตารางที่ 5 : แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำมันที่ใช้ทอด

	Peroxide Value (PV), meq/kg		Acid Value (AV)	
	ธันวาคม 2545	พฤษภาคม 2546	ธันวาคม 2545	พฤษภาคม 2546
น้ำมันไม่ผ่านการฟอก	21.0	18.1	0.78	3.42
น้ำมันที่ผ่านการฟอก	15.0	19.5	0.85	3.60

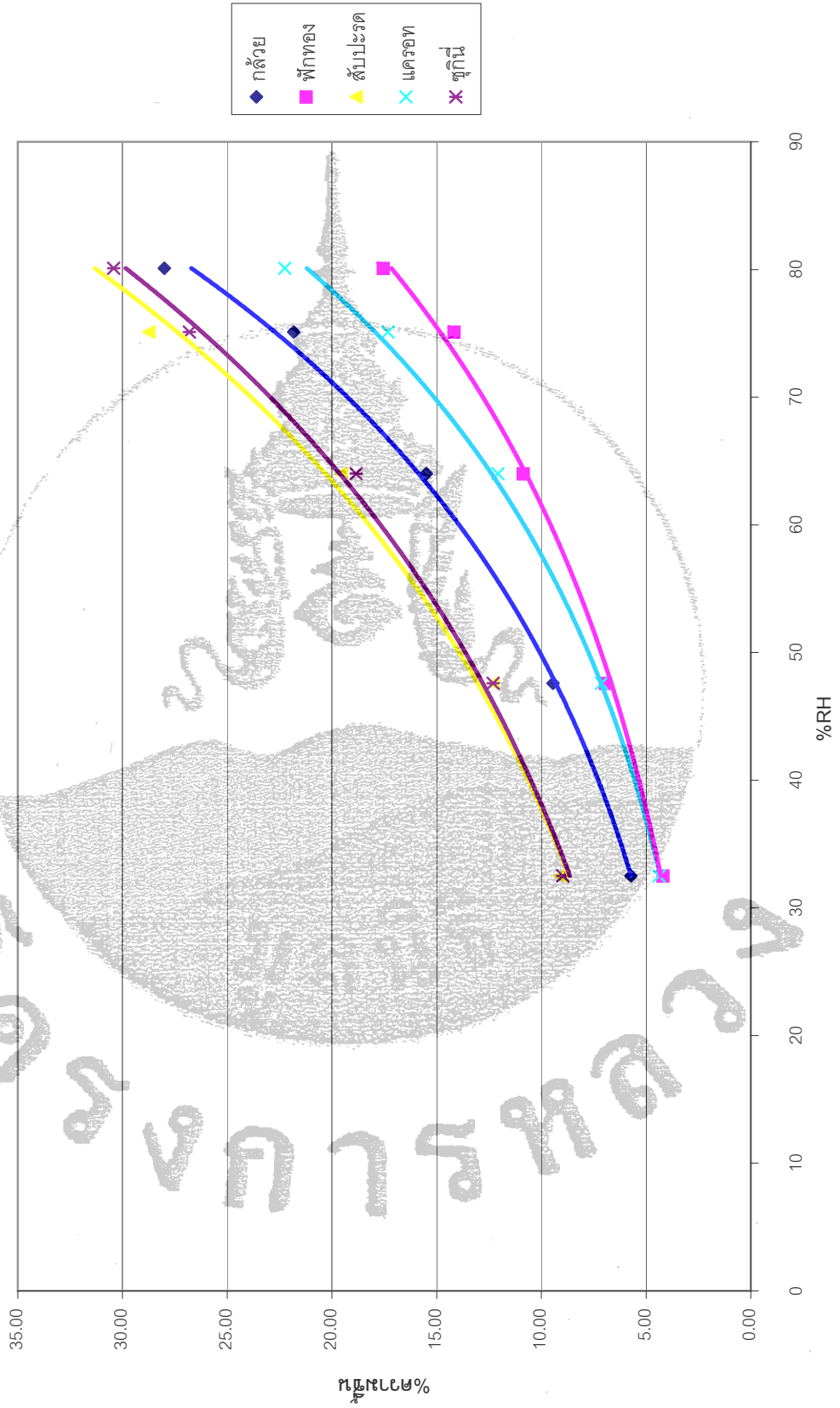
ค่า Peroxide Value เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของน้ำมันในด้านกลิ่นหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พันธะคู่ของกรดไขมัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลในการเร่งปฏิกิริยาคือ ปริมาณพันธะคู่, แสง, ความร้อน, โลหะหนัก เช่น เหล็กหรือทองแดง ส่วนค่า Acid Value เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของน้ำมันในด้านกลิ่นหืนจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งปัจจัยที่มีผลในการเร่งปฏิกิริยาคือ เอนไซม์, ความชื้นและความร้อน (Fennema, 1996)

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันที่ใช้ในการทอดมีคุณภาพทางเคมีที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของน้ำมันในด้านกลิ่นหืนเกินมาตรฐาน ซึ่งมาตรฐานค่า PV ของน้ำมันใหม่จะต่ำกว่า 10 mEq/kg แต่ถ้าเป็นน้ำมันที่มีกลิ่นหืนค่านี้จะอยู่ระหว่าง 20-40 mEq/kg ส่วนมาตรฐานค่า AV ของน้ำมันใหม่จะต่ำกว่า 0.6 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการฟอกและไม่ผ่านการฟอกมีคุณภาพใกล้เคียงกัน ดังนั้นชนิดของน้ำมันที่ใช้กับผักผลไม้ทอดกรอบจึงไม่ได้เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการประเมินคุณภาพในการวิจัยครั้งนี้ (Pearson's, 1991)

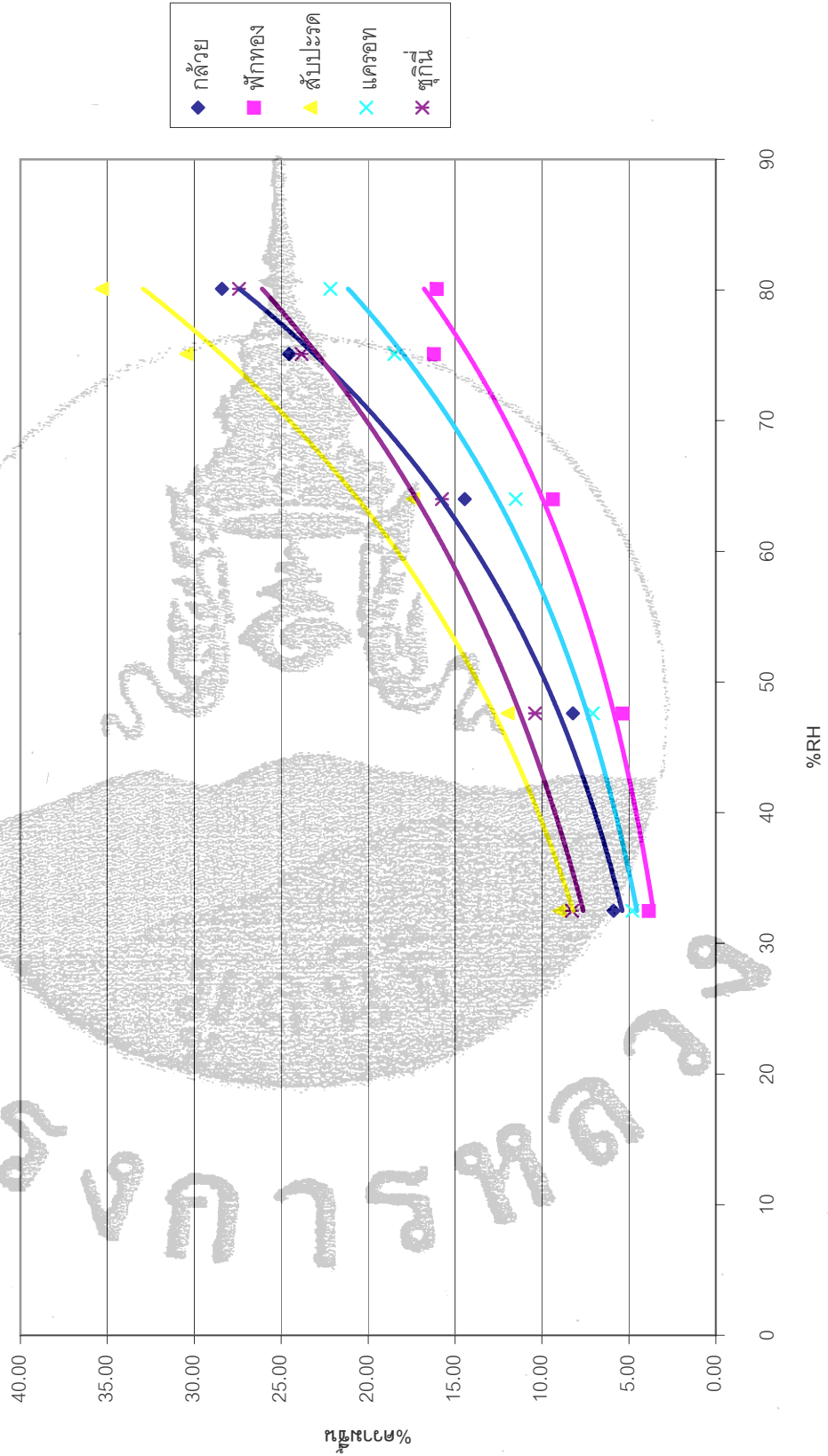
3. ปัจจัยของความชื้นที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 3 และ 4 พบว่า Sorption Isotherm ของผัก-ผลไม้ทอดกรอบทั้ง 5 ชนิด ทั้งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส มีลักษณะโค้งขึ้นโดยไม่มีจุดหัก แสดงให้เห็นว่าผัก-ผลไม้ดูดน้ำมากขึ้นเมื่อเก็บไว้ในบรรยากาศความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น

ภาพที่ 3 : แสดง Sorption Isotherm ของผักผลไม้ทอดกรอบ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4 : แสดง Sorption Isotherm ของผักผลไม้ทอดกรอบ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



ตารางที่ 6 : แสดงคุณค่าทางอาหารในส่วนที่กินได้ 100 กรัม

ผัก ผลไม้	ความชื้น	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	เส้นใย	ไขมัน
กล้วย	66.5	31.2 (93.98)	1.0 (3.01)	0.6 (1.88)	0.4 (1.2)
ฟักทอง	89.6	7.3 (70.87)	1.9 (18.45)	0.7 (6.8)	0.4 (3.88)
สับปะรด	84.9	14.0 (92.1)	0.4 (2.65)	0.5 (3.31)	0.3 (1.95)
แครอท	85.1	12.4 (82.67)	1.3 (8.67)	0.9 (6.0)	0.4 (2.67)
ชุกินี	95.1	3.4 (68.0)	0.9 (18.0)	0.6 (12.0)	0.1 (2.0)

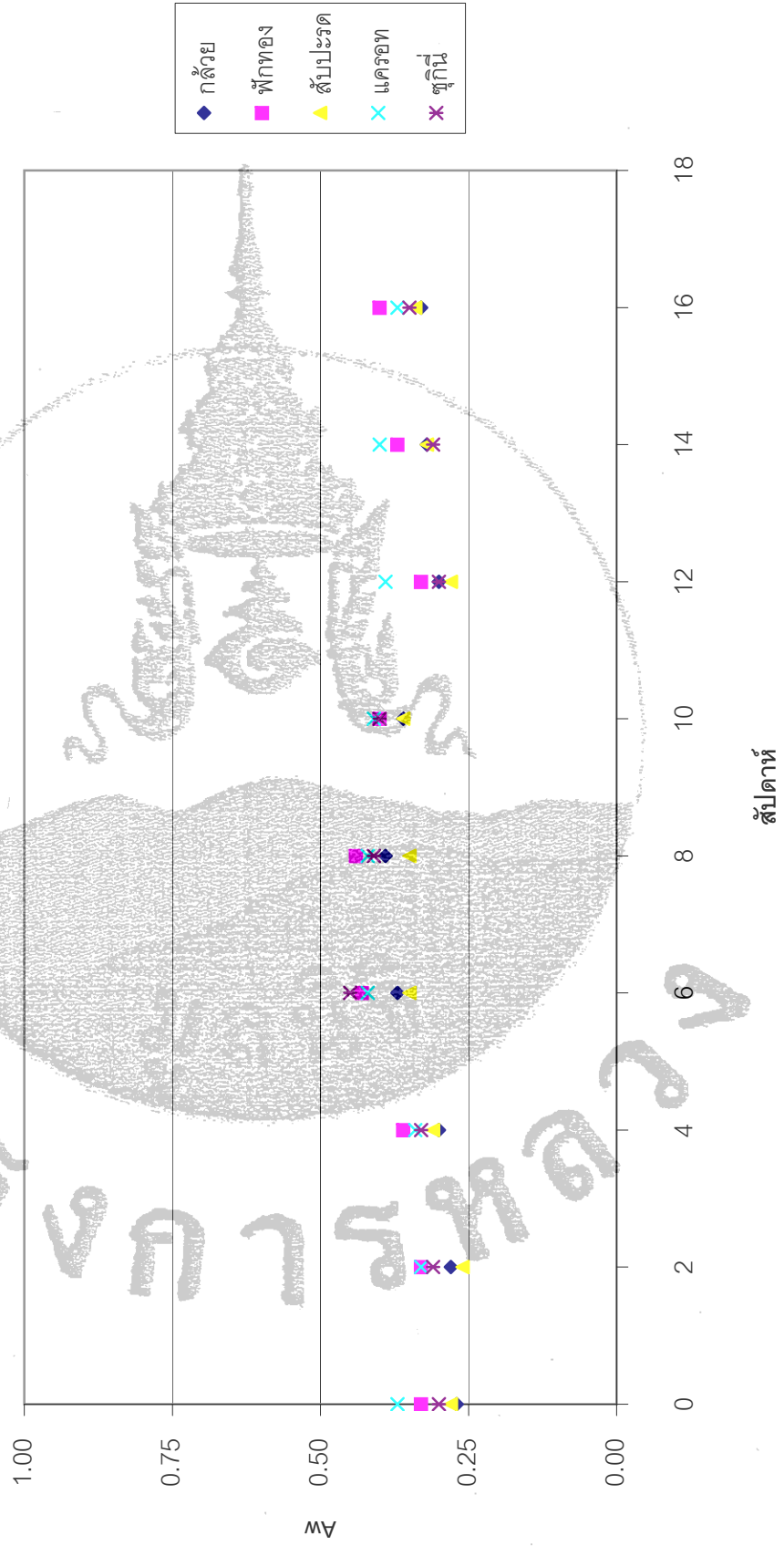
หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บแสดง %dry basis

ที่มา : กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข 2513

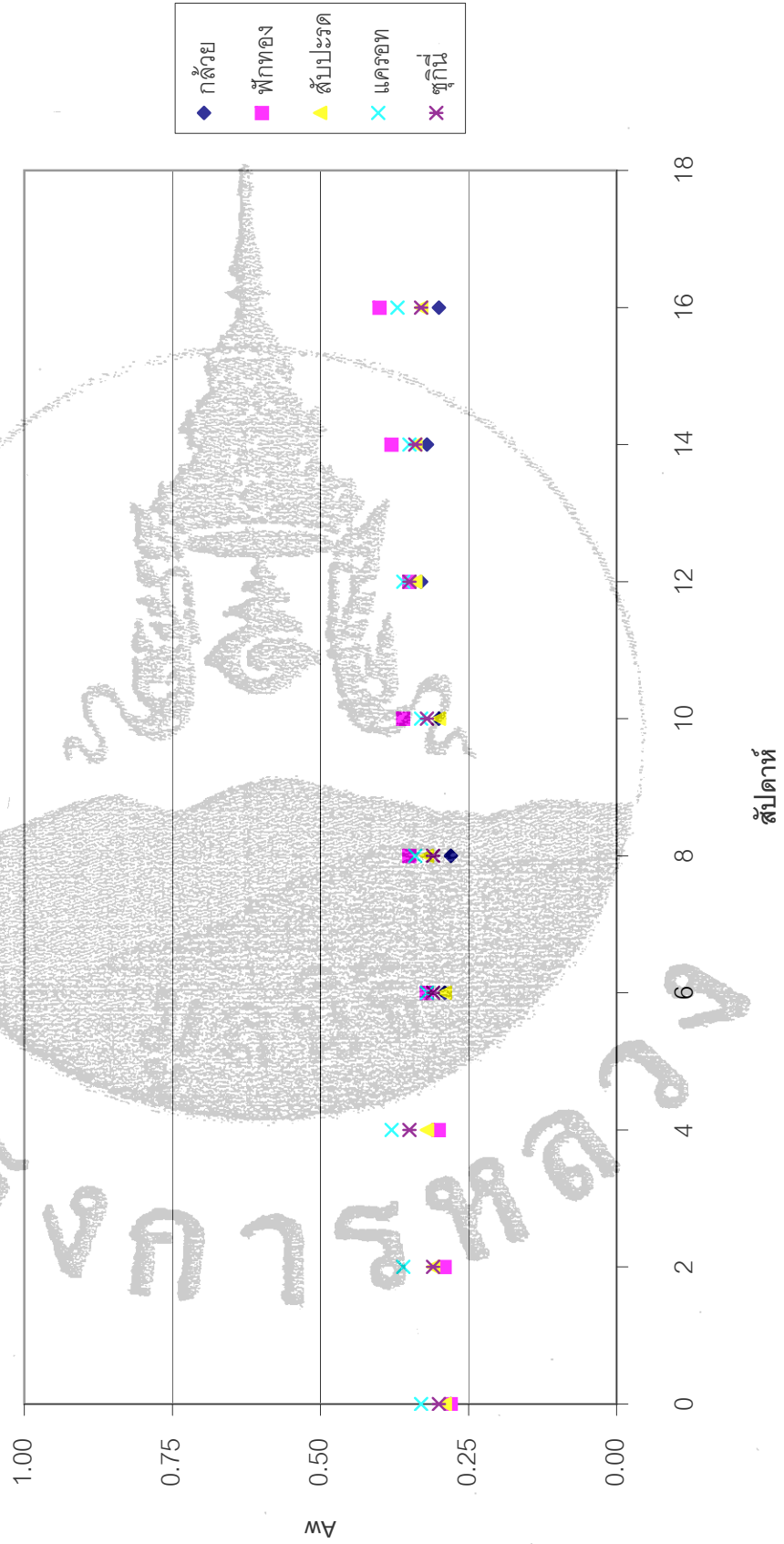
จากตารางที่ 6 เมื่อนำผัก-ผลไม้ดังกล่าวไปทอดจนกรอบ ส่งผลให้ความชื้นซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผัก-ผลไม้ถูกกำจัดออกไป ดังนั้นเมื่ออยู่ในรูปของผักผลไม้ทอดกรอบ องค์ประกอบหลักทางเคมีของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจึงเป็นคาร์โบไฮเดรต ซึ่งจากทฤษฎีทาง sorption isotherm กล่าวไว้ว่าอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำและอุ้มน้ำได้สูง นอกจากนี้อาหารที่มีความหวานมาก เช่น สับปะรดซึ่งมีปริมาณน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่สูง จะสามารถดูดความชื้นได้มากเช่นเดียวกัน ดังนั้นอาหารประเภทนี้จะดูดความชื้นได้ง่ายแม้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะต่ำ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำแห้งอย่างสมบูรณ์ถึงจะมีความคงตัว แต่เนื่องจากปริมาณน้ำตาลที่สูงนี้อาจส่งผลให้ไม่สามารถทอดสับปะรดให้มีความชื้นต่ำมาก ๆ ได้ เนื่องจาก น้ำตาลจะเกิดปฏิกิริยา caramelization อีกทั้งสับปะรดยังมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ซึ่งโปรตีนดังกล่าวทำให้เกิดปฏิกิริยา Maillard กับน้ำตาล ทั้งปฏิกิริยา caramelization และ ปฏิกิริยา maillard เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลในอาหาร ดังนั้น ถ้าทอดสับปะรดให้มีความชื้นต่ำมากอาจจะส่งผลให้สับปะรดมีสีน้ำตาลเข้มมาก และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงการดูดซับน้ำอย่างรวดเร็วของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากค่าความชื้นเริ่มต้นของผัก-ผลไม้ทอดกรอบ มีค่าดังต่อไปนี้ กล้วย 4%, ฟักทอง 3.45%, สับปะรด 7.3%, แครอท 3.8% และชุกินี 6.25% ซึ่งเป็นสภาวะที่สมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำกว่า 30% แต่เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในประเทศไทยอยู่ในช่วง 70-80% ดังนั้นในการเก็บรักษาผัก ผลไม้ให้คงความกรอบ ปราศจากการดูดความชื้น จะต้องเก็บรักษาในสภาพที่แห้งมาก ๆ หรือจะต้องใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้เป็นอย่างดี

ภาพที่ 5 : แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า Aw ของผักผลไม้ที่ทอดในน้ำมันไม่ผ่านการฟอก
เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



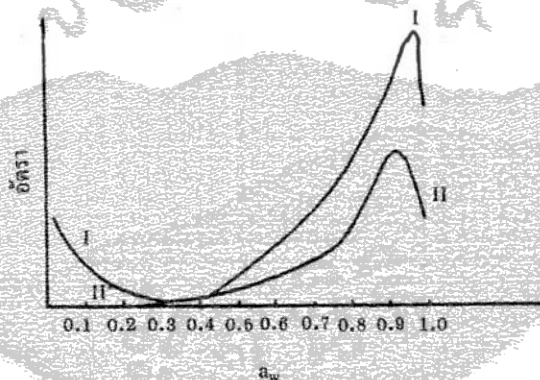
ภาพที่ 6 : แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า Aw ของผักผลไม้ที่ทอดในน้ำมันที่ผ่านการฟอก
เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



ตารางที่ 7 : แสดงค่า A_w ขั้นต่ำที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้

ชนิดจุลินทรีย์	A_w
เชื้อแบคทีเรียทั่วไป	มากกว่า 0.90
เชื้อยีสต์ทั่วไป	0.95-0.87
เชื้อราทั่วไป	มากกว่า 0.75
Halophilic bacteria	มากกว่า 0.75
Xerophilic mold	0.62-0.60
Osmophilic yeast	มากกว่า 0.60

ที่มา : ไพบูลย์ (2529)



ภาพที่ 7 : แสดงผลของ A_w ที่มีต่อการเสื่อมเสียของอาหาร

- I แทนออกซิเดชันของไขมัน
- II แทนการเสื่อมเสียของปฏิกิริยาอื่นๆ

ที่มา: Lubuza (1984)

จากภาพที่ 5 ถึงภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าค่า A_w ของผัก-ผลไม้ทอดกรอบทั้ง 5 ชนิดอยู่ในช่วง 0.25-0.45 ซึ่งค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส เมื่อนำค่าดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับค่าในตารางที่ 7 ซึ่งแสดงค่า A_w ขั้นต่ำที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ จะเห็นว่าไม่มีจุลินทรีย์ ประเภทใดที่สามารถเจริญในอาหารชนิดนี้ได้ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับภาพที่ 7

ออกซิเดชันของไขมันต่ำสุดอีกด้วย สำหรับการเปลี่ยนแปลงโดยปฏิกิริยาเคมีประเภทอื่นนอกเหนือจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล การสูญเสียคุณภาพจะเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า Aw สูงกว่า 0.3 สำหรับปฏิกิริยาส่วนใหญ่ที่ค่า Aw นี้ ปริมาณน้ำที่ดูดซับที่บริเวณผิวหน้าและใน Capillary มีค่ามากพอที่จะไปมีผลต่อคุณสมบัติของ Dielectric นั่นคือ น้ำจะมีความสามารถทำตัวเป็นตัวทำละลาย ดังนั้น สารเคมีต่างๆ สามารถละลายได้ เคลื่อนที่ได้ และในที่สุดทำปฏิกิริยาได้ ฉะนั้น ถ้าค่า Aw ยิ่งสูง อัตราของปฏิกิริยาก็ยิ่งเร็วขึ้น ทั้งนี้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมียังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะเร็วขึ้นที่อุณหภูมิสูง

ในการทดลองศึกษาอายุการเก็บของผักผลไม้ทอดกรอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ได้ทำการทดลองเพียง 6 สัปดาห์เนื่องจากผัก-ผลไม้ทอดกรอบเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลเข้มถึงดำ โดยเฉพาะกล้วยและสับปะรด ส่วนแครอทมีสีซีดจางลงเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พันธะคู่ในโมเลกุลของรงควัตถุให้สีเบตา-แคโรทีน ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม ดังภาพที่ 8 ถึง 12 ดังนั้นในการศึกษาขั้นต่อไปเกี่ยวกับความชื้นและความหืนจึงไม่นำผลการทดลองที่ 40 องศาเซลเซียสมาสรุปด้วย



ภาพที่ 8 : แสดงการเปลี่ยนสีของกล้วยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์



ภาพที่ 9 : แสดงการเปลี่ยนสีของฟักทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์



ภาพที่ 10 : แสดงการเปลี่ยนสีของสับปะรดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

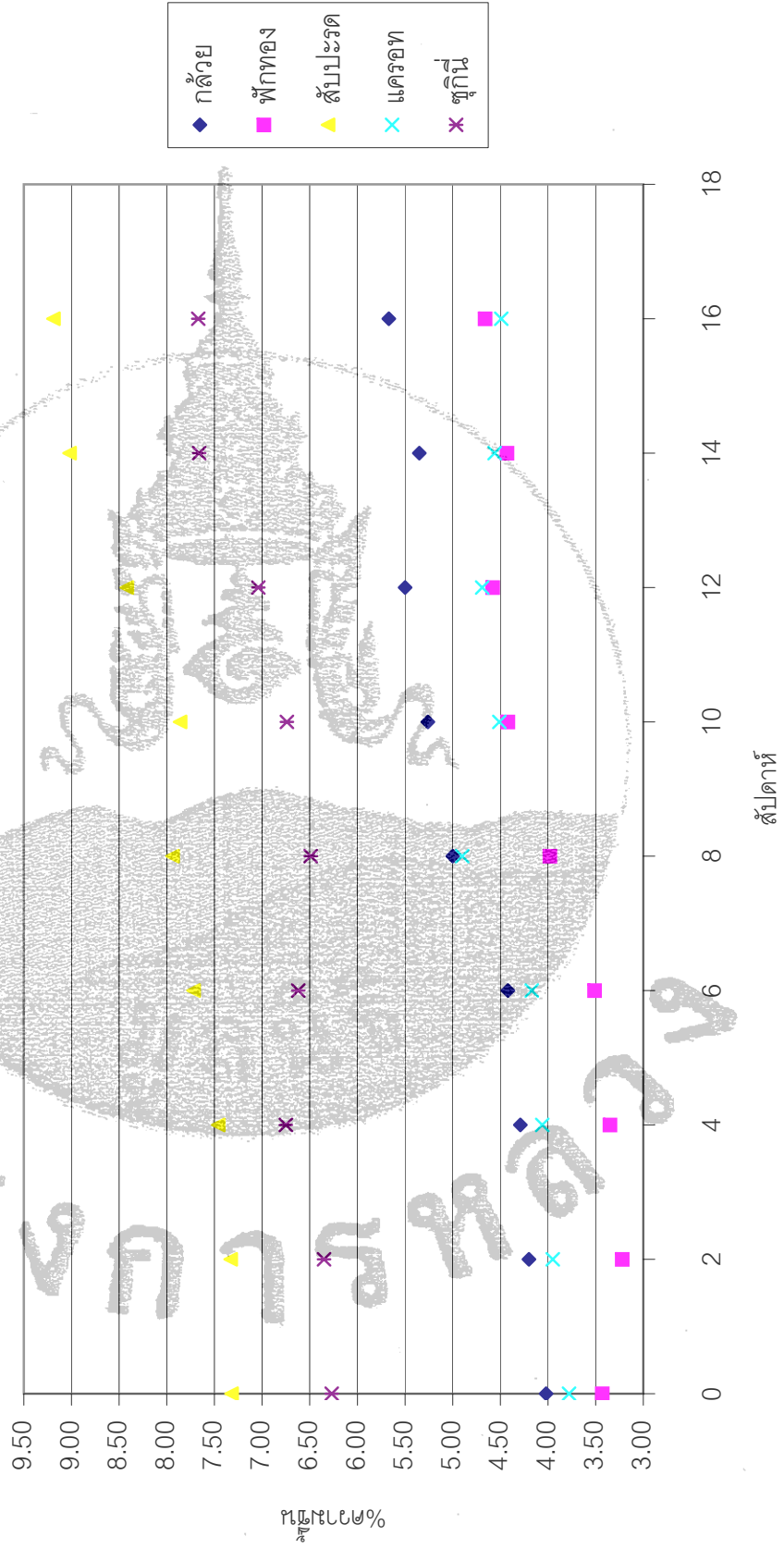


ภาพที่ 11 : แสดงการเปลี่ยนสีของแครอทที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

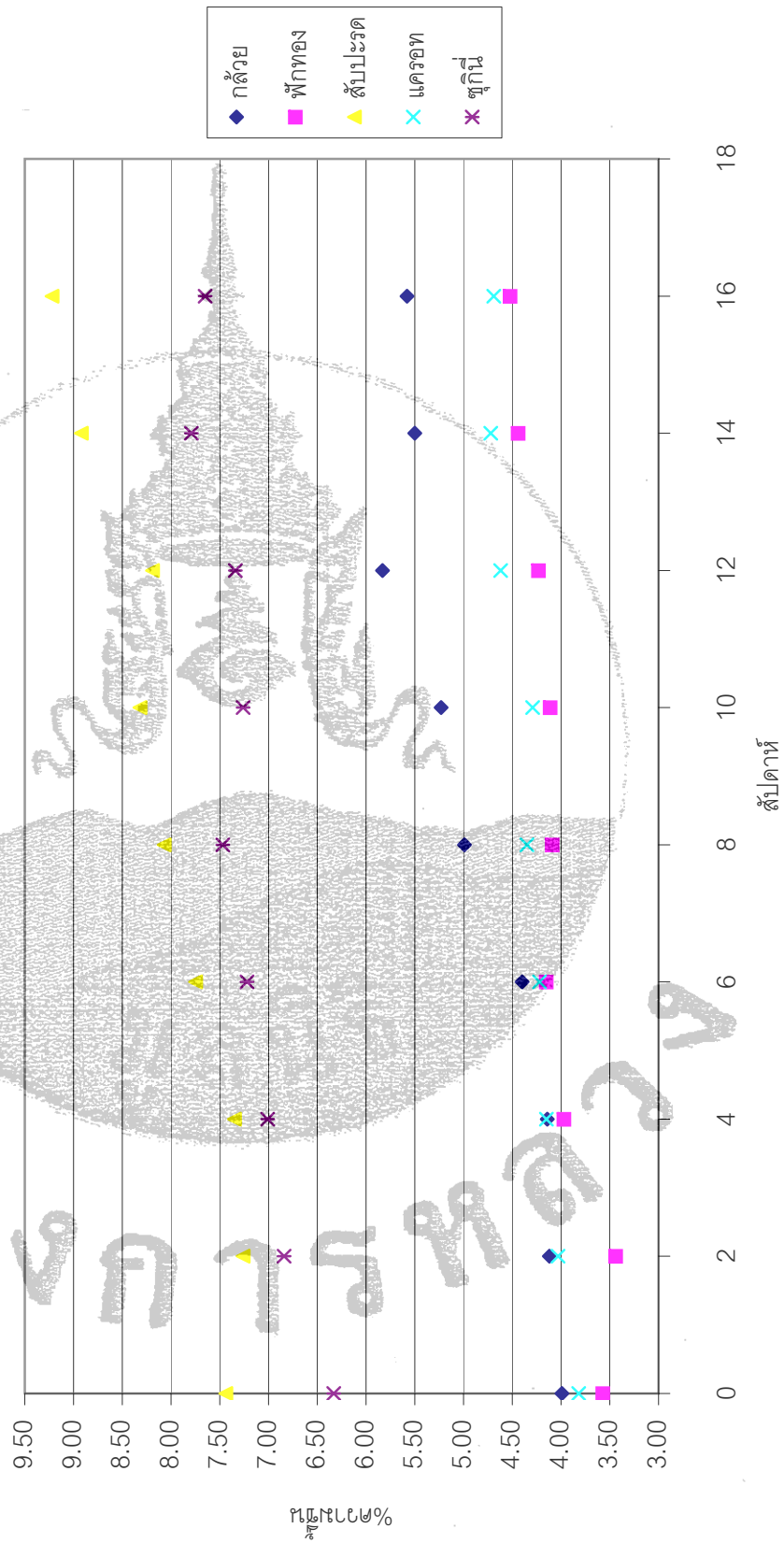


ภาพที่ 12 : แสดงการเปลี่ยนสีของซูกินีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

ภาพที่ 13 : แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผักผลไม้ที่ทอดในน้ำมันไม่ผ่านการฟอก
เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



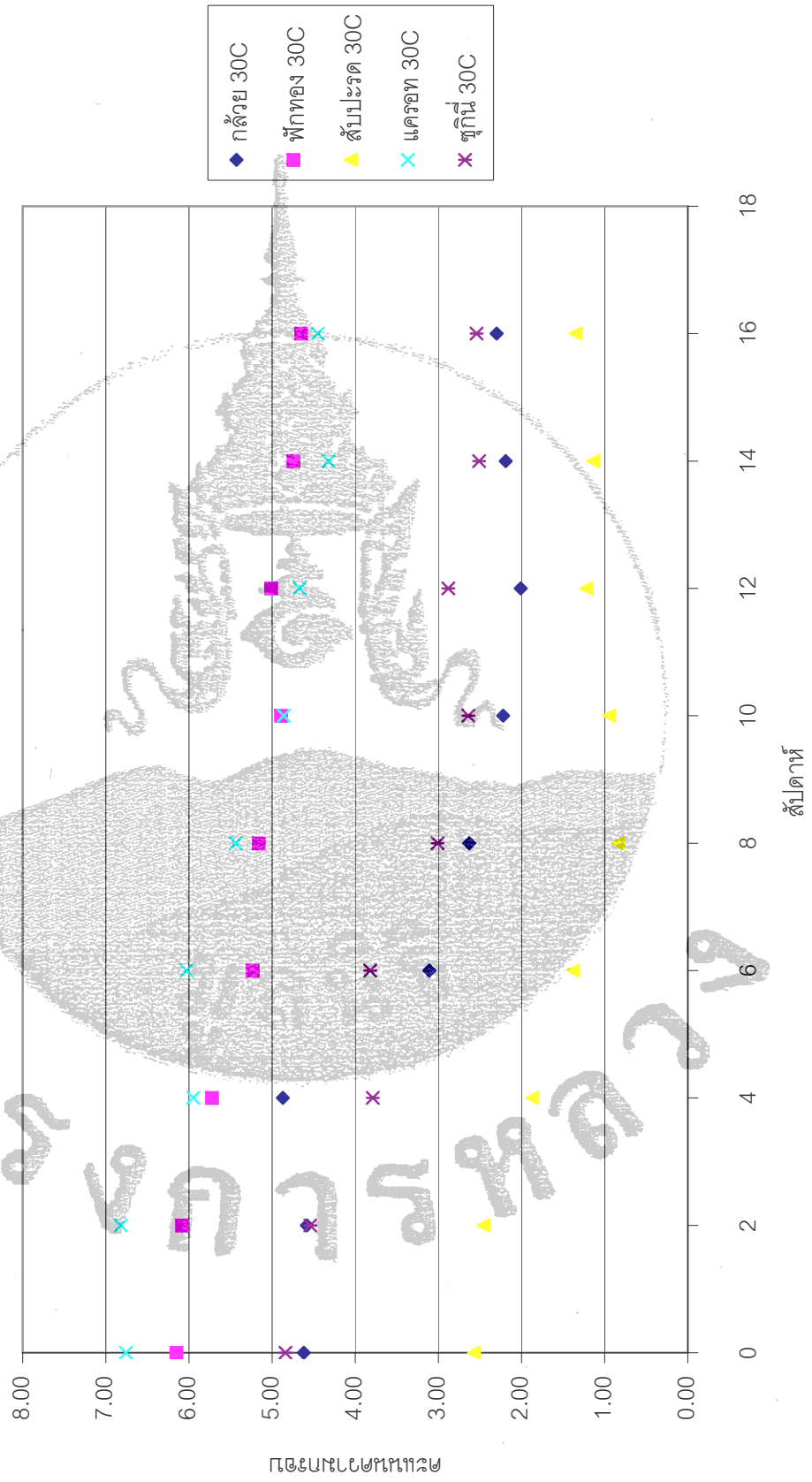
ภาพที่ 14: แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผักผลไม้ที่ทอดในน้ำมันที่ผ่านการฟอก
เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



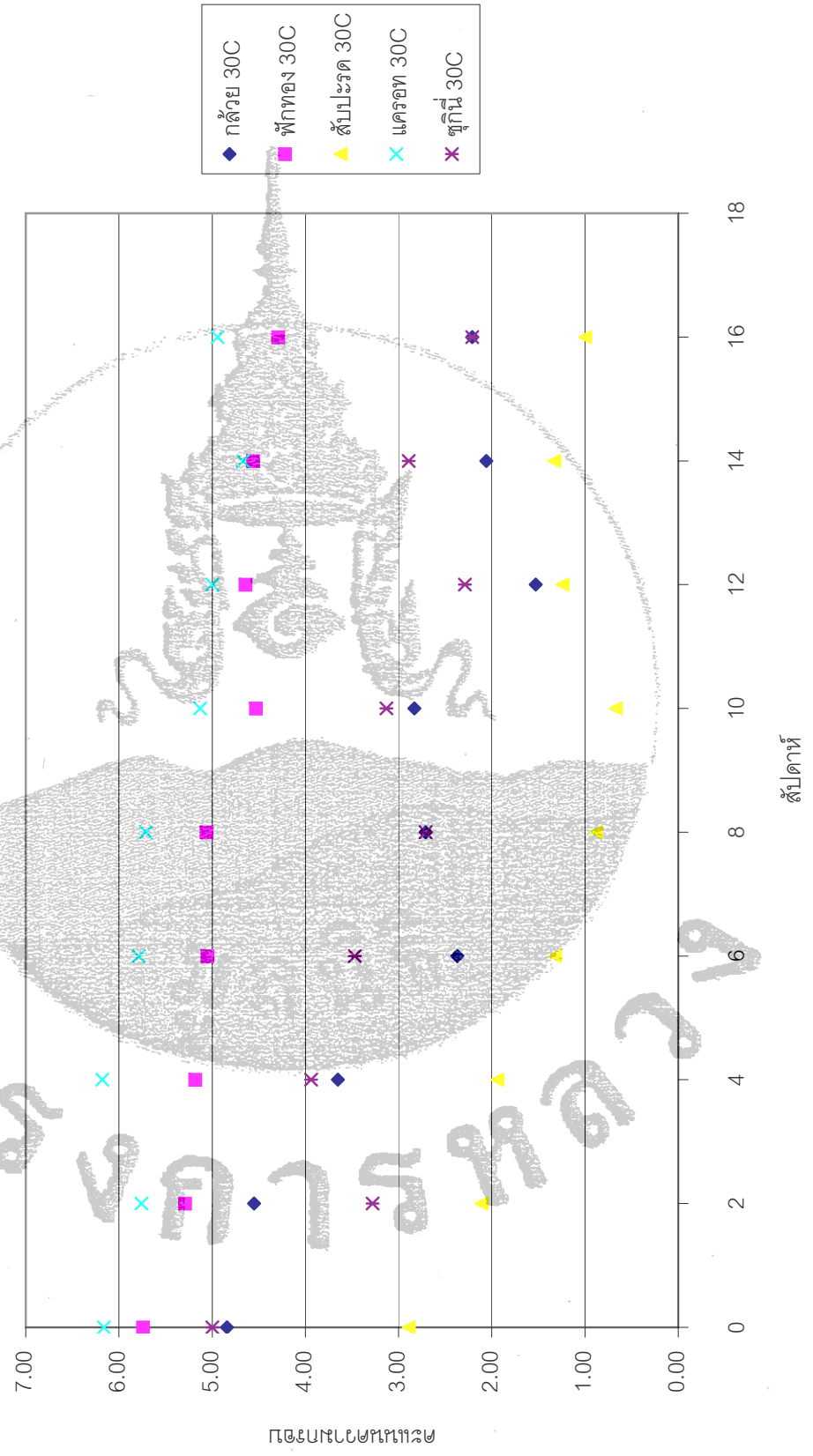
จากภาพที่ 13 และ 14 พบว่าความชื้นเริ่มต้นของผัก-ผลไม้ทอดกรอบทั้ง 5 ชนิดมีปริมาณแตกต่างกันไปเรียงจากมากไปน้อยดังนี้ สับปะรด ชูกีนี กัลฉ่าย แครอท พักทอง ตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไปความชื้นของผลิตภัณฑ์ทุกตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดการเก็บรักษา และเมื่อพิจารณาจากความชื้นของกัลฉ่ายและสับปะรดซึ่งเป็นเพียงผลไม้ 2 ชนิดที่มีความหวานจะมีอัตราการเพิ่มของความชื้นสูงกว่าผักผลไม้ชนิดอื่น เนื่องจากคุณสมบัติในการดูดความชื้นของน้ำตาล (Hygroscopic) เมื่อเปรียบเทียบชูกีนี พักทองและแครอท ชูกีนีเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณของแข็ง (Total Solid) น้อยที่สุดในบรรดาวัตถุดิบทั้งหมด ส่งผลให้ชูกีนีภายหลังจากการทอดยังคงมีความชื้นอยู่สูง และเมื่อเก็บรักษาไประยะเวลาหนึ่งจะทำให้ชูกีนีสามารถดูดความชื้นได้เร็วกว่าแครอทและพักทองซึ่งที่มีปริมาณของแข็ง (ที่ไม่ใช่ น้ำตาล) มากกว่า

เมื่อนำค่าความชื้น ณ สัปดาห์ที่ 16 มาเปรียบเทียบกับ Sorption Isotherm พบว่าความชื้นของผักผลไม้ทั้งหมดสอดคล้องกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 30-40% ซึ่งเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น ณ สัปดาห์ที่ 0 ไม่มากนัก แสดงว่าถุงที่ใช้สามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นหรือไอน้ำเพียงพอ

ภาพที่ 15 : แสดงการเปลี่ยนแปลงของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบของผักผลไม้
ที่ทอดในน้ำมันผ่านการฟอก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 16 : แสดงการเปลี่ยนแปลงของคะแนนการทดสอบทางประสาตัมผัสด้านความกรอบของฝ่าเท้าที่ไม่
ที่พอดีในน้ำมันที่ผ่านการฟอก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

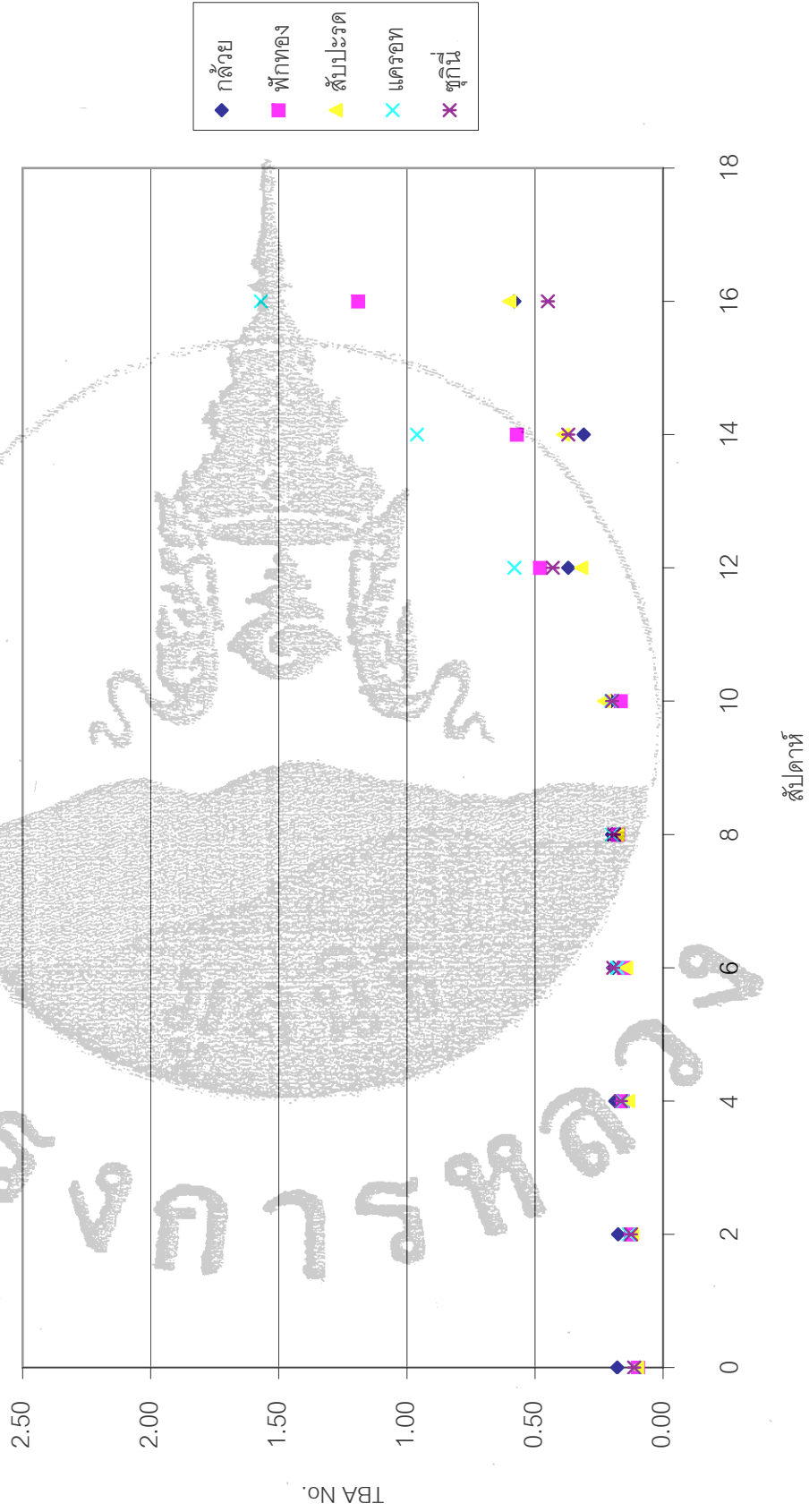


จากภาพที่ 15 และ 16 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านความกรอบของผักผลไม้ โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้ คือ 0 = ไม่สามารถรับรู้ถึงความกรอบได้ , 1 = พอรับรู้ถึงความกรอบได้, 2 = กรอบเล็กน้อย, 3 = กรอบเล็กน้อยถึงปานกลาง, 4 = กรอบปานกลาง, 5 = กรอบปานกลางถึงมาก, 6 = กรอบมาก, 7 = กรอบมากที่สุด เนื่องจากความชื้นเริ่มต้นของผักผลไม้ทั้ง 5 ชนิดมีค่าแตกต่างกันมาก จึงส่งผลให้คะแนนความกรอบเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ไม่เท่ากัน ดังนั้นในการพิจารณาว่าผลิตภัณฑ์ตัวใดมีความกรอบไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิมนั้นทางผู้วิจัยจึงพิจารณาจากเกณฑ์คะแนนที่ลดลงมากกว่าครึ่งหนึ่งของคะแนนเริ่มต้น ดังนั้นจากผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่า สับปะรด และ กล้วยมีค่าคะแนนการยอมรับในด้านความกรอบลดลงมากกว่าครึ่งหนึ่งของค่าคะแนนเริ่มต้น ณ สัปดาห์ที่ 8 และ 10 ตามลำดับ สำหรับน้ำมันที่ไม่ผ่านการพอก สำหรับน้ำมันที่ผ่านการพอกแล้วการเสื่อมเสียของ กล้วย, สับปะรด และชุกินี พบใน สัปดาห์ที่ 6, 6 และ 12 ตามลำดับ ส่วนพริกทองและแครอทเป็นผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดที่คะแนนความกรอบลดลงเพียงเล็กน้อยตลอดช่วงเวลา 16 สัปดาห์ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสับปะรด, กล้วย และชุกินี เป็นปัจจัยที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสีย เนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่มีความกรอบและยากต่อการกัดขาด

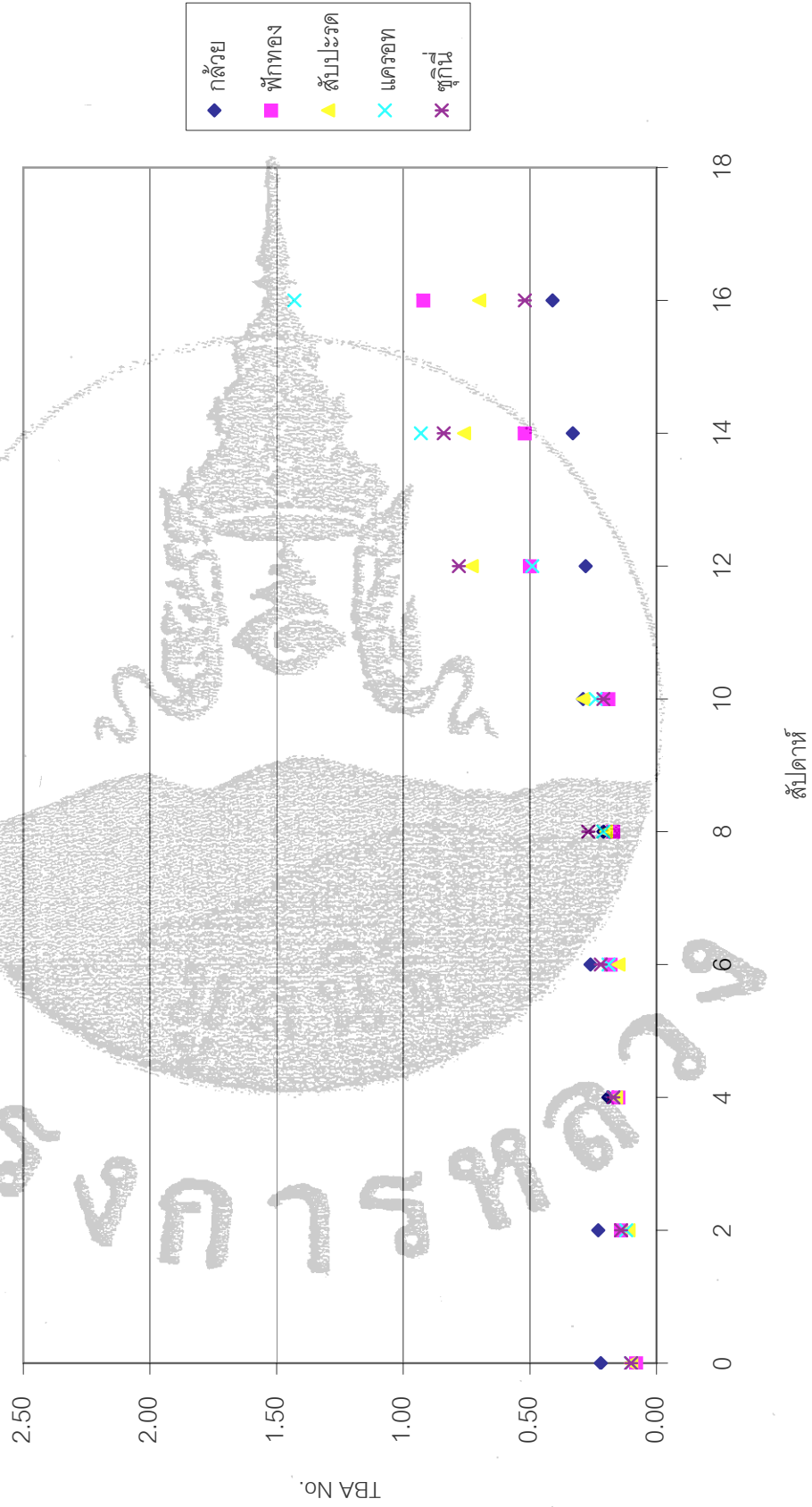
4. ปัจจัยของความชื้นที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษา

ในการศึกษาผลของความชื้นที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการหา TBA No. ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์การหืนของผลิตภัณฑ์อาหารที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่มีพันธะคู่ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในอาหาร ซึ่งการหืนแบบออกซิเดชันจะเกิดเมื่อไขมันไม่อิ่มตัวสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศแล้วเกิดการสลายตัวเป็นสารประกอบอัลดีไฮด์หรือคีโตนที่ระเหยได้ทำให้เกิดกลิ่นหืนขึ้น

ภาพที่ 17 : แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า TBA No. ของผักผลไม้ที่ทอดในน้ำมันไม่ผ่านการฟอก
 เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



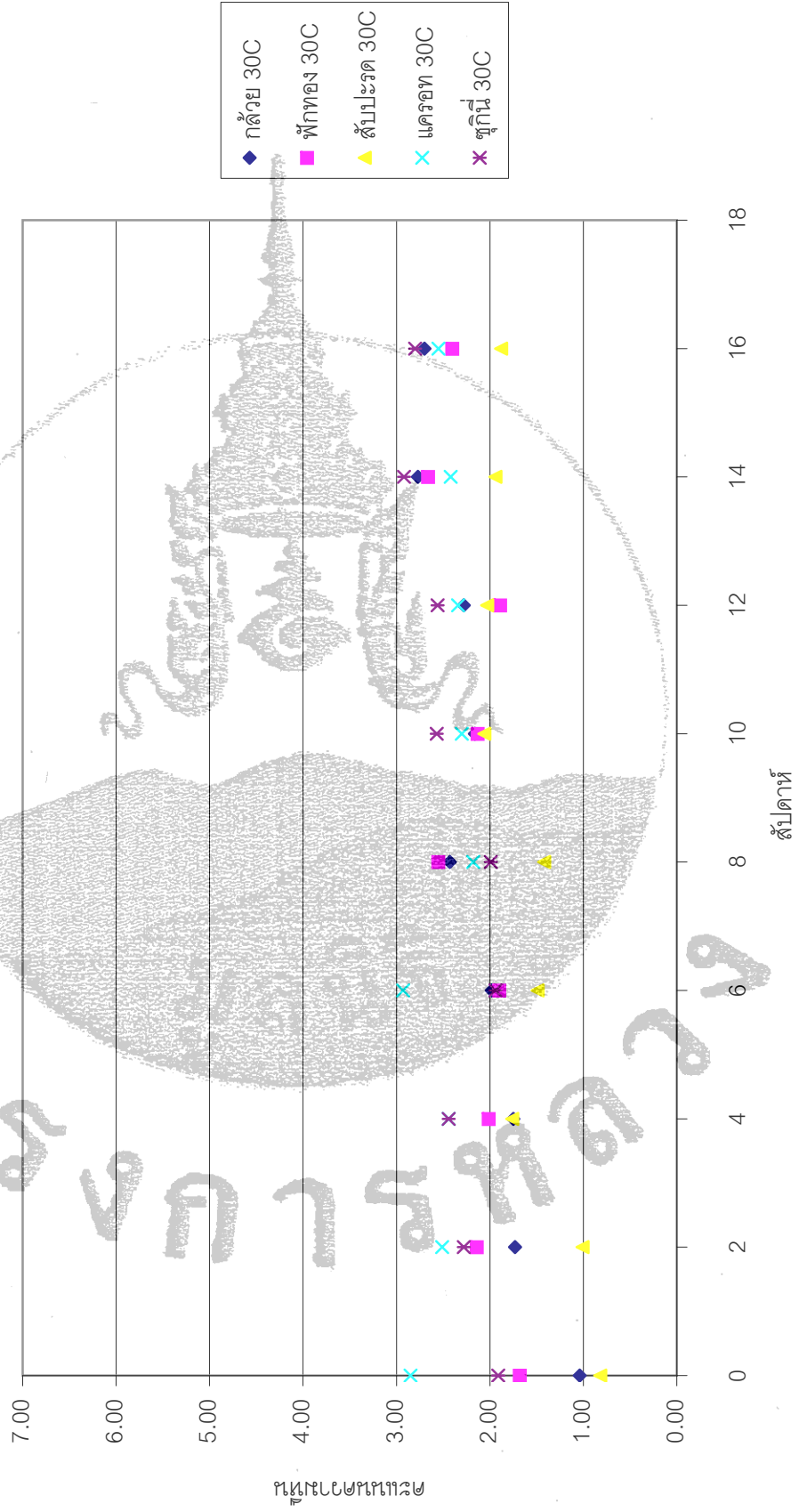
ภาพที่ 18 : แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า TBA No. ของผักผลไม้ที่ทอดในน้ำมันที่ผ่านการฟอก
เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



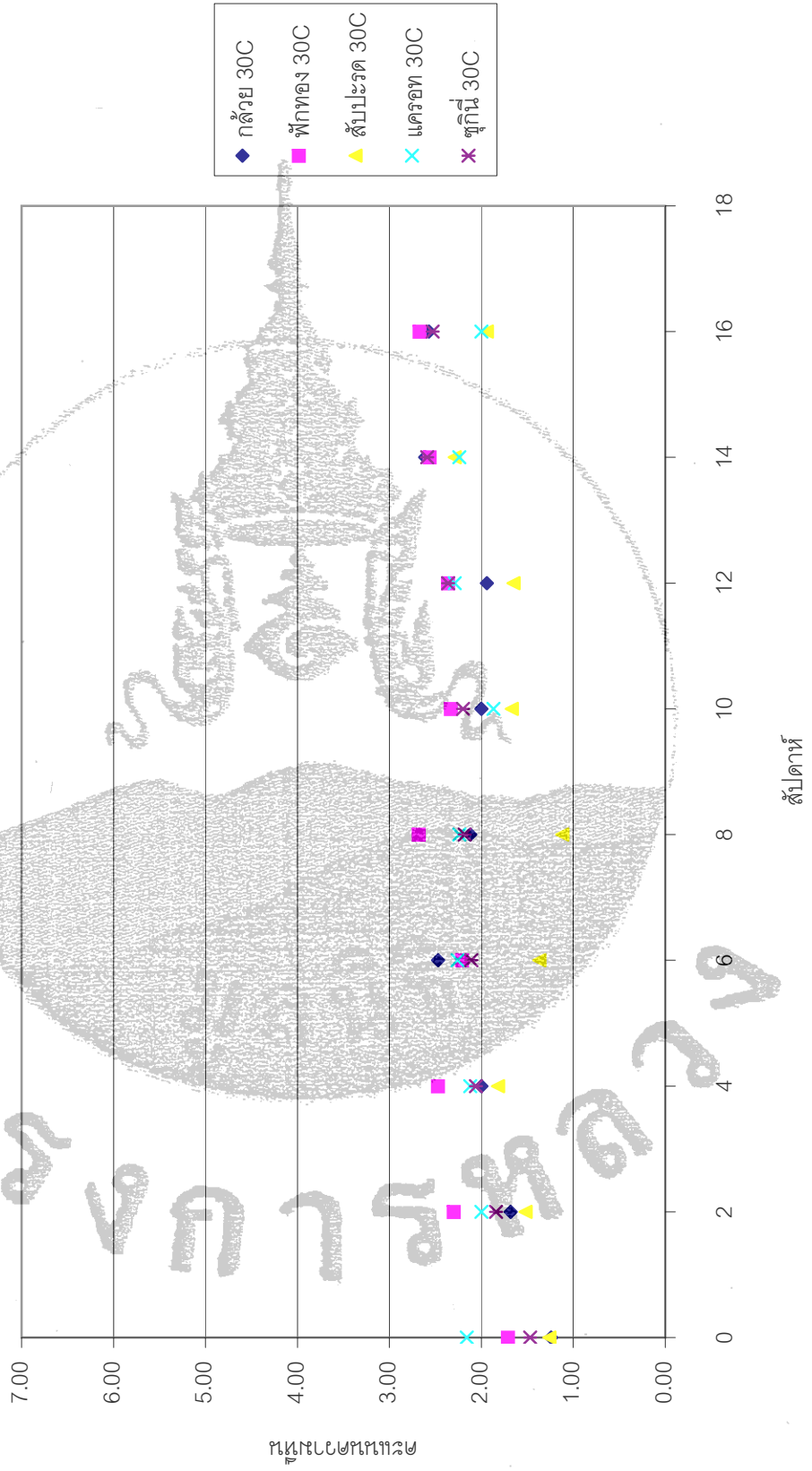
ความชื้นมีผลมาจากน้ำมันที่ใช้ในการทอด หากวัตถุดิบตัวใดเมื่อทอดแล้วมีความสามารถในการอุ้มน้ำมันไว้ได้มากจะส่งผลให้ผักผลไม้ชนิดนั้นเกิดกลิ่นหืนได้เร็วกว่า จากภาพที่ 17 และ 18 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า TBA No. ของผักผลไม้ทอดในน้ำมันที่ไม่ผ่านการฟอกและน้ำมันที่ผ่านการฟอก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่า ค่า TBA No. ของผลิตภัณฑ์คงที่จนถึงสัปดาห์ที่ 10 ของการเก็บรักษา จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในแครอทและพริกทองมีอัตราการเพิ่มขึ้นของ TBA No. สูงกว่าผลิตภัณฑ์ตัวอื่นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากแครอทและพริกทอง มีเบตา-แคโรทีนซึ่งเป็นรงควัตถุให้สีที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลมาก ซึ่งการเกิดออกซิเดชันที่พันธะคู่นี้อาจส่งผลให้ค่า TBA No. เพิ่มขึ้นตามไปด้วย



ภาพที่ 19 : แสดงการเปลี่ยนแปลงของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความหืนของผักผลไม้ ที่หอดน้ำมนต์ผ่านการพอก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 20 : แสดงการเปลี่ยนแปลงของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความหืนของผักผลไม้
ที่ทอดในน้ำมันที่ผ่านการฟอกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



จากภาพที่ 19 และ 20 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความหืนของผัก-ผลไม้ทอดกรอบทั้ง 5 ชนิดแสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างในด้านกลิ่นหืนได้เนื่องจากในระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือนกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงคะแนน 1-3 คือพอรับรู้กลิ่นหืนได้ถึงมีกลิ่นหืนเล็กน้อยถึงปานกลาง ดังนั้นกลิ่นหืนจึงไม่ใช่ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์โดยรวมในการกำหนดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะเกิดการสูญเสียความกรอบจนผู้ทดสอบชิมไม่ยอมรับก่อนที่จะเกิดกลิ่นหืนขึ้น

5. การคำนวณอายุการเก็บรักษา

การเสื่อมเสียเกิดจากการสูญเสียความกรอบของผักผลไม้ทอดกรอบเนื่องจากความชื้น ดังนั้น จึงใช้การศึกษาการซึมผ่านของไอน้ำจากภายนอกเข้าสู่บรรจุภัณฑ์ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดอายุการเก็บ

จากสูตร $t = Q/A.P.\Delta p$

โดยที่ $t =$ อายุการเก็บ, วัน

$Q =$ น้ำหนักน้ำที่เพิ่มขึ้น, กรัม

$A =$ พื้นที่ผิวของบรรจุภัณฑ์, ตารางเมตร

$P =$ ค่าการซึมผ่าน, $g/m^2 \cdot day \cdot mmHg$

$\Delta p =$ ความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำระหว่างภายนอกและภายในภาชนะบรรจุ

◆ จากภาพที่ 14 เมื่อสร้าง trend line จะได้สมการดังต่อไปนี้

กล้วย $Y = 0.1226X + 3.8838$

พืททอง $Y = 0.0607X + 3.5724$

สับปะรด $Y = 0.1196X + 7.1011$

แครอท $Y = 0.0547X + 3.8838$

ชุกินี $Y = 0.0736X + 6.6236$

จากสมการ ($Y = aX + b$) เราจะได้ค่าดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 : แสดง % ความชื้นที่เพิ่มขึ้นของผักผลไม้ทอดกรอบ

ชนิดของผักผลไม้	% ความชื้นเริ่มต้น (b)	% ความชื้น ณ สัปดาห์ที่ 6 (aX)	% ความชื้นที่เพิ่มขึ้น
กล้วย	3.8838	4.6194	0.7356
พื้กทอง	3.5724	3.9366	0.3642
สับปะรด	7.1011	7.8187	0.7176
แครอท	3.8838	4.2120	0.3282
ชุกินี	6.6236	7.0652	0.4416

เมื่อนำค่า % ความชื้นที่เพิ่มขึ้น คูณ กับค่า % องค์กรประกอบของผักผลไม้ภายในถุง เราสามารถทราบน้ำหนักน้ำที่เพิ่มขึ้นได้

ตารางที่ 9 : แสดงน้ำหนักน้ำที่เพิ่มขึ้นของผักผลไม้ทอดกรอบ

ชนิดของผักผลไม้	% องค์กรประกอบของผักผลไม้ ภายในถุง	น้ำหนักน้ำที่เพิ่มขึ้น (กรัม)
กล้วย	36	0.2648
พื้กทอง	13	0.0473
สับปะรด	15	0.1076
แครอท	15	0.0492
ชุกินี	21	0.0927
รวม	100	0.5615Q

- ◆ จากอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของถุง laminated พิมพ์ลายด้านนอก (ตารางที่ 3) มีค่า 0.65 กรัม / ตารางเมตร.วัน ณ 90 % RH, 38 องศาเซลเซียส โดยค่าความดันไอน้ำอิ่มตัว มีค่าเท่ากับ 49.81 mmHg

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ค่าการซึมผ่าน} &= \frac{0.654 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}}{90/100 \times 49.81 \text{ mmHg}} \\ &= 0.0145 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{mmHg} \end{aligned}$$

เนื่องจากค่าการซึมผ่านข้างต้น เป็นค่าการซึมผ่าน ณ 38 องศาเซลเซียส (311 °F) จึงต้องหาค่าการซึมผ่านที่ 30 องศาเซลเซียส (303 °F) ซึ่งเป็นสภาวะที่ใช้ในการศึกษา

$$\begin{aligned} P_{38C} &= P_{30C} e^{\frac{E_a/R}{1/T_{30} - 1/T_{38}}} \\ 0.0145 &= P_{30C} e^{\frac{1200/1.987}{1/303 - 1/311}} \end{aligned}$$

เมื่อ P = ค่าการซึมผ่าน
Ea = Activation Energy
R = Gas Constant

$$\therefore P_{30C} = 0.01377 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{mmHg} \dots\dots\dots P$$

◆ ขนาดของถุง ยาว 0.22 กว้าง 0.175 เมตร เพราะฉะนั้น $A = 0.22 \times 0.175 \times 2 = 0.077$ ตารางเมตร.....A

◆ สมมุติว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี คือ 75 % RH และความชื้นสัมพัทธ์ที่สมดุลกับความชื้นเริ่มต้นของผักผลไม้ทอดกรอบมีค่าประมาณ 30% (จาก Sorption Isotherm) ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่ 30 องศาเซลเซียส = 31.8 mmHg ดังนั้น

$$\Delta p = \frac{(75 - 30)}{100} \times 31.8 \text{ mmHg} = 14.31 \text{ mmHg}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น อายุการเก็บ (t)} &= \frac{0.5615 \text{ g}}{0.077 \text{ m}^2 \cdot 14.31 \text{ mmHg} \cdot 0.01377 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{mmHg}} \\ &= 37 \text{ วัน} \end{aligned}$$

วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

1. น้ำมันที่ผ่านการฟอกและไม่ผ่านการฟอกมีคุณภาพทางเคมีไม่แตกต่างกัน และคุณภาพที่วิเคราะห์ได้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานทั้ง PV และ AV แสดงให้เห็นว่ากระบวนการฟอกน้ำมันที่ใช้ในปัจจุบันไม่สามารถทำให้คุณภาพของน้ำมันดีขึ้นได้ สำหรับการรักษาคุณภาพน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว ก่อนการเก็บน้ำมันควรกรองกากอาหารที่ปะปนอยู่ในน้ำมันออกให้หมด เนื่องจากในกากอาหารเหล่านั้นจะเป็นแหล่งสะสมของออกซิเจนและความชื้นซึ่งจะส่งผลให้น้ำมันเสื่อมเสียเร็วขึ้น ควรเก็บน้ำมันในภาชนะปิดสนิทที่สามารถป้องกันแสงและอากาศได้ การบรรจุน้ำมันในภาชนะควรบรรจุให้เต็มเพื่อลดช่องว่างอากาศเหนือน้ำมัน ไม่ควรให้น้ำมันสัมผัสกับโลหะ อาทิเช่น เหล็ก ทองแดง นิกเกิล เป็นต้น และไม่ควรถูกเก็บน้ำมันไว้ในที่อุณหภูมิสูง ส่วนการฟอกน้ำมันโดยการเติมวัตถุดิบที่ธรรมชาติ เช่น วิตามินอี ควรเติมในรูปที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ แกมมา-โทโคเฟอรอล ในปริมาณ 0.04 – 0.06 % และวิตามินอีจะค่อนข้างหมดประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันเร็วเมื่อใช้ในรูปเดี่ยว ถ้าจะให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นควรใช้ร่วมกับ Chelating agent เช่น Citric acid หรือใช้ร่วมกับอนุพันธ์ของกรดแอสคอร์บิก เช่น ascorbylpalmitate (Lusan และ Rooney, 2001 ; Allen และ Hamilton 1994)
2. ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาของผักผลไม้ทอดกรอบ โดย สับปะรด และ กุ้งฝอย จะสูญเสียความกรอบไปจนผู้ทดสอบชิมไม่ยอมรับเมื่อเวลาผ่านไป 6 สัปดาห์ ซึ่งกุ้งฝอยเป็นผลไม้ที่มีปริมาณมากที่สุดในช่วง คือ 36 % ส่วนสับปะรด 15 % รวมกันมากกว่าครึ่งหนึ่งของปริมาณทั้งหมด ดังนั้นควรทอดกุ้งฝอยและสับปะรดให้มีความชื้นต่ำกว่านี้ โดยอาจหันให้ขึ้นบางลง เพื่อให้ได้ความชื้นเริ่มต้นลดลง เนื่องจากกุ้งฝอยเป็นผลไม้ที่มีคาร์โบไฮเดรตและน้ำตาลสูง ส่วนสับปะรดมีปริมาณน้ำตาลและกรดซิตริกสูงจะดูความชื้นเร็วหลังจากทอดเสร็จและทิ้งไว้ให้เย็นแล้วควรรีบบรรจุในถุงหรือภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันความชื้นได้ดี นอกจากนี้ควรมีการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ให้มีความชื้นสม่ำเสมอและคงที่ทุก batch ที่ทอด เนื่องจากตัวอย่างที่สุ่มมาวิเคราะห์มีความแปรปรวนของปริมาณความชื้นมาก ส่วนซูกินีเป็นผักอีกชนิดหนึ่งที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงและสูญเสียความกรอบเป็นลำดับถัดไป เนื่องจากข้อจำกัดของซูกินีที่มีปริมาณของแข็งน้อยไม่สามารถทอดให้ความชื้นต่ำกว่านี้ได้เพราะจะทำให้ผลิตภัณฑ์หดและเสียรูปร่างไปจากเดิมมาก จึงอาจปรับลดปริมาณซูกินีที่บรรจุอยู่ที่ 21 % ลง และเพิ่มผักที่ไม่มีปัญหาเช่น แครอทหรือฟักทองแทน

สำหรับค่า Aw ของผลิตภัณฑ์โดยรวมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.25 – 0.45 ตลอดช่วงเวลาศึกษา 16 สัปดาห์ จึงไม่มีปัจจัยทางจุลินทรีย์ที่จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียได้

3. ความชื้นเป็นปัจจัยรองที่จะส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผักผลไม้ทอดกรอบ ค่า TBA No. หลังจากการเก็บรักษาผ่านไป 12 สัปดาห์ มีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดโดยเฉพาะฟักทองและแครอท ซึ่งมีรงควัตถุให้สีกลุ่มแคโรทีนอยด์เป็นตัวเสริมให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วขึ้น ถึงอย่างไรก็ตามผู้ที่ทดสอบชิมไม่สามารถบ่งบอกได้อย่างเด่นชัดถึงการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นที่ เกิดขึ้นในระยะเวลาเก็บรักษา 16 สัปดาห์ เนื่องจากความชื้นเกิดจากน้ำมันที่ใช้ทอดซึ่งติดไปกับ ผลิตภัณฑ์ ดังนั้นน้ำมันที่ทอดควรมีคุณภาพดี และกระบวนการทอดควรควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ เนื่องจากการลดลงของอุณหภูมิในระหว่างการทอดจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อมน้ำมัน ซึ่งปริมาณ น้ำมันที่สูงขึ้นในตัวผลิตภัณฑ์ส่งผลให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดมากขึ้นด้วย
4. การเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านสีของ ผลิตภัณฑ์อย่างมากเมื่อสัปดาห์ที่ 6 สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มจนผู้ที่ทดสอบชิมไม่ สามารถทดสอบต่อไปได้ ส่งผลให้การทดลองที่ 40 องศาเซลเซียส หยุดลง ณ สัปดาห์ที่ 6 ดังนั้น ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เพื่อรอการจัดจำหน่าย รวมถึงช่องทางการจัดจำหน่ายและการกระจาย สินค้า ควรควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงเกินไป
5. จากการศึกษาอายุการเก็บโดยการทดลอง ได้อายุการเก็บรักษาของผักผลไม้ทอดกรอบ 6 สัปดาห์ (42 วัน) แต่จากการคำนวณได้อายุการเก็บ 37 วัน ซึ่งใกล้เคียงกับอายุการเก็บจากการ ทดลอง ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง ในทางปฏิบัติแล้วถือว่า ปลอดภัย หากค่าที่คำนวณได้มากกว่าค่าที่ได้จากการทดลองจริงถึงแม้จะใกล้เคียงกัน แต่อาจ ส่งผลให้เกิดการกำหนดอายุการเก็บมากกว่าความเป็นจริงได้ นอกจากนี้ค่า Δp ที่ใช้ในการ คำนวณเป็นค่าคงที่ ซึ่งในสถานะจริงค่า Δp จะค่อยๆ ลดลงเนื่องจากความชื้นของสินค้าค่อยๆ เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เมื่อนำไปคำนวณจะได้อายุการเก็บที่ยาวกว่านี้เล็กน้อย (หรือใกล้ค่าที่ได้จากการ ทดลองมากขึ้น)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมูลนิธิโครงการหลวงที่สนับสนุนเงินทุนในการวิจัย ขอขอบคุณ รศ. ดร. ไพโรจน์ วิริยจารี คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ให้แนวคิดในการทำวิจัย ในครั้งนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ มูลนิธิโครงการหลวงที่ได้ให้ความร่วมมือในการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ และขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนามลิตภัณฑ์และภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ ตลอดจนเครื่องมืออุปกรณ์ ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วง

คณะผู้วิจัย

ธันวาคม 2546

โครงการหลวง

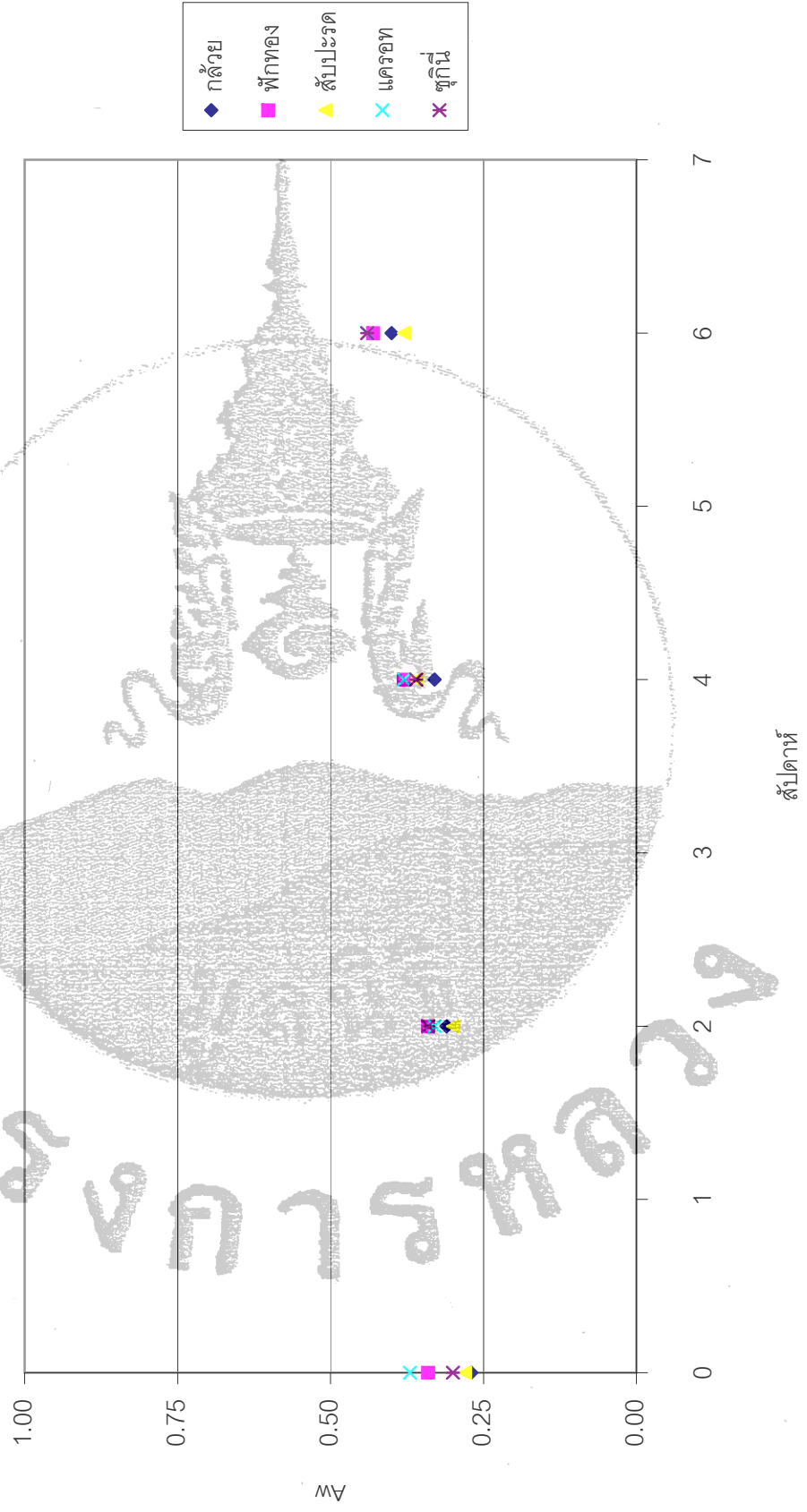
เอกสารอ้างอิง

1. กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2513. ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยในสวนที่กินได้ 100 กรัม.
2. คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. 2539. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 504น.
3. ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาลิก. 2532. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หาดใหญ่. 302น.
4. นิธิยา รัตนานนท์. 2539. เคมีอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 354น.
5. รุ่งนภา วิสิษฐอุดรการ. 2540. การประเมินอายุการเก็บของอาหาร. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 169น.
6. วิไล รังสาตทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ. 476น.
7. สิทธานต์ อุปรัสังกุล. 2543. การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลตอบแทนทางการเงินของธุรกิจผักและผลไม้ทอดกรอบภายใต้สภาวะสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์ เศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
8. A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed., Vol.II., Association of Official Analytical Chemist, Verginia, U.S.A. 1,298p.
9. Allen, J.C. and R.J. Hamilton. 1994. Rancidity in Foods. 3rd ed., Chapman & Hall, Glasgow, UK. 290p.
10. Edmund W. L. and L.W. Rooney. 2001. Snack Foods Processing. Technomic Publishing Company Inc., Pennsylvania, U.S.A. 639p.

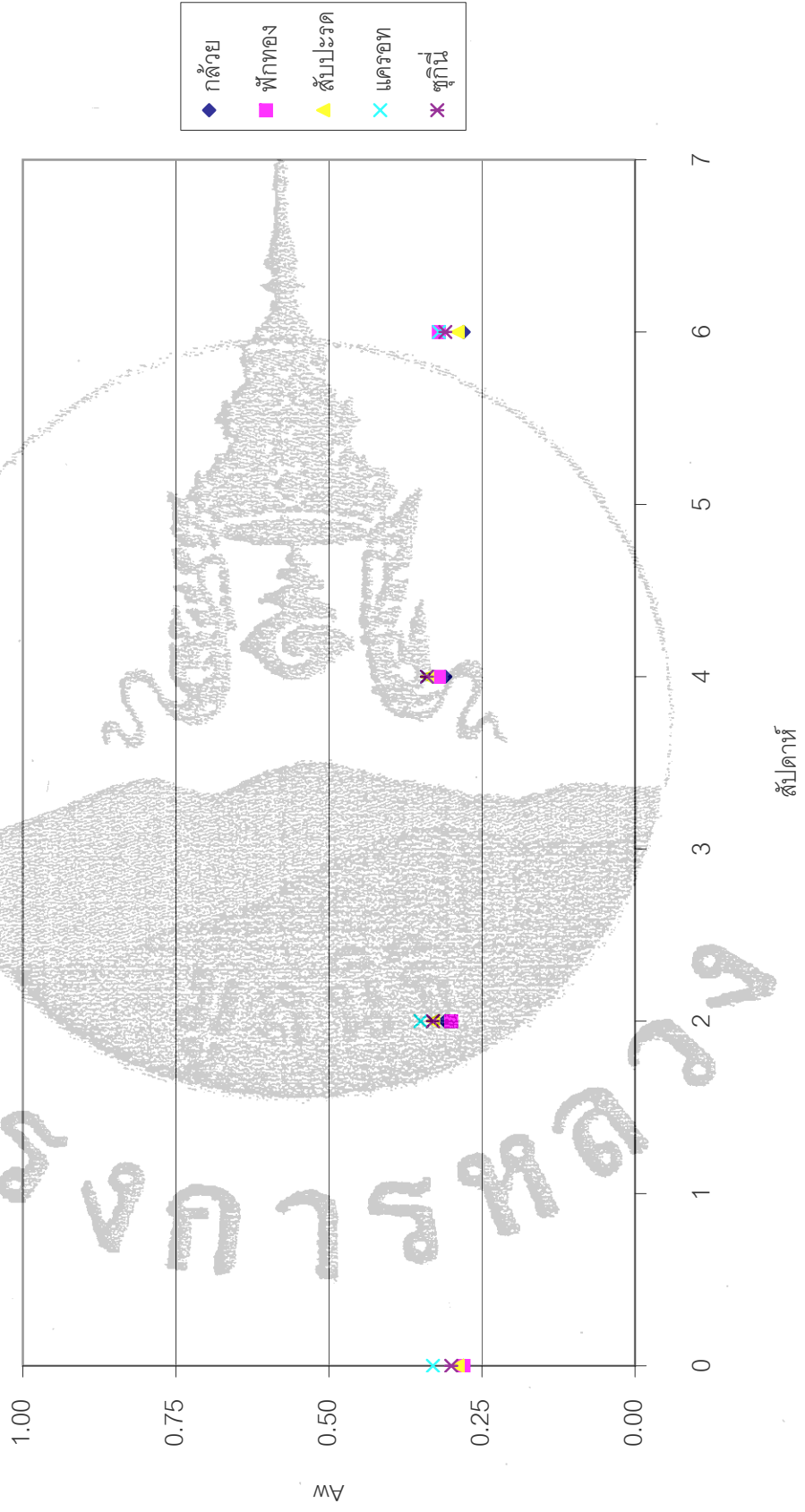
11. Fennema, O.R. 1996. Food Chemistry. 3rd ed., Marcel Dekker Inc., New York, U.S.A. 1,069p.
12. Jagoba, G. and R. Moreira. 2002. Vacuum frying of potato chips. J. Food Engineering. 55(2) : 181 –191
13. Kirk, R.S. and R. Sawyer. 1991. Pearson's : Composition and Analysis of Foods. 9th ed., Longman Group, Esse, UK. 708p.
14. Labuza, T.P.. 1984. Moisture Sorption : Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use. American Association of Cereal Chemist, Minnesota, U.S.A.
15. Satyanarayana, R., T.S. Murali and H.S. Murali. 1989. Changes in lipids of spray dried, freeze dried and foam-mat dried, whole egg powders during storage. Food Science & Technology. 22 : 217 – 221
16. Schamberger, R.J., B.A. Shamberger and C.E.Wills. 1977. Malonaldehyde content of food. J. of Nutr. 107 : 1,404 – 1,409
17. Wallace, G.N. 1968. Mechanism of oxidation. Food Technology in Newzealand. June : 15 - 16



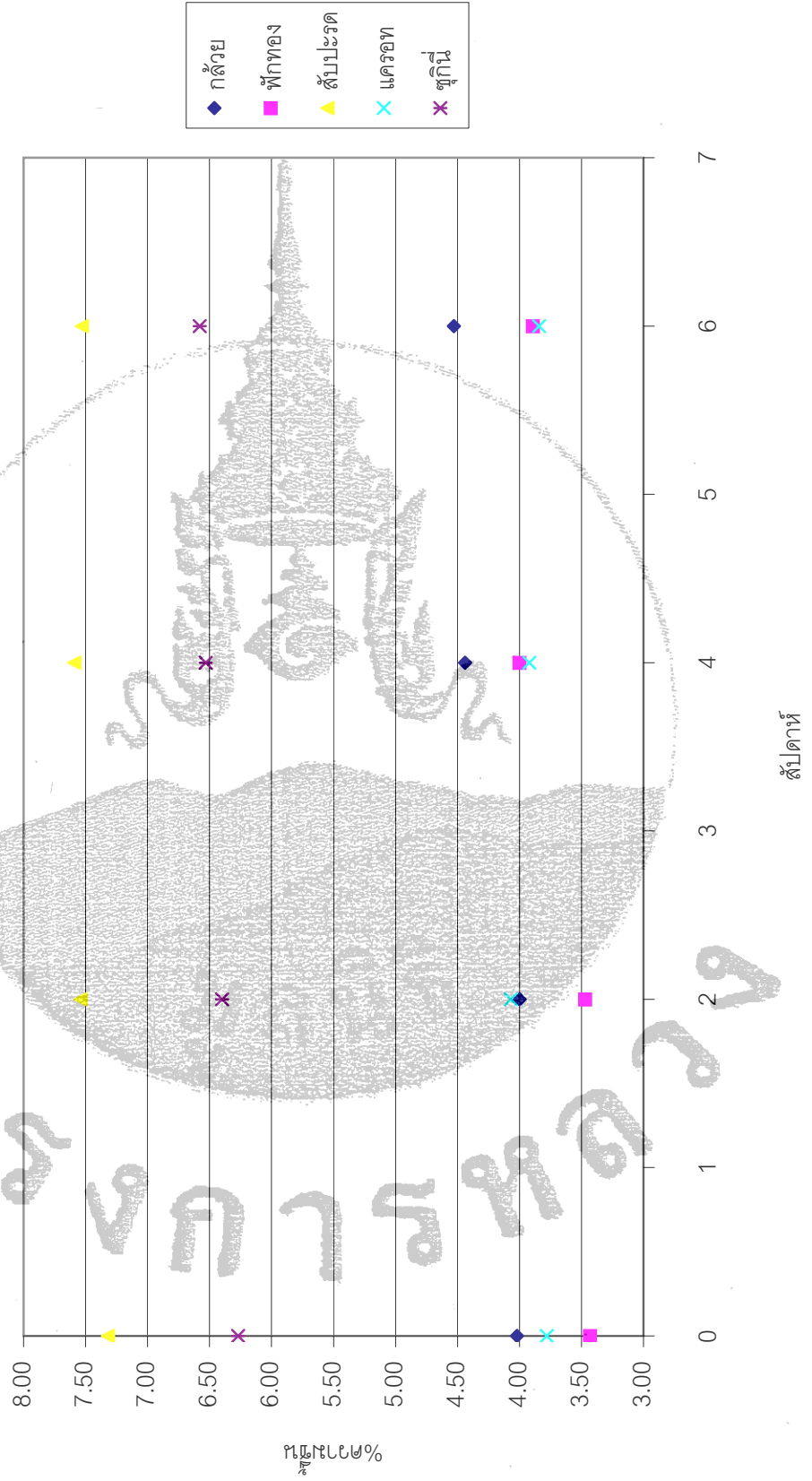
แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า Aw ของผักผลไม้ที่ทอดในน้ำมันไม่ผ่านการฟอก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



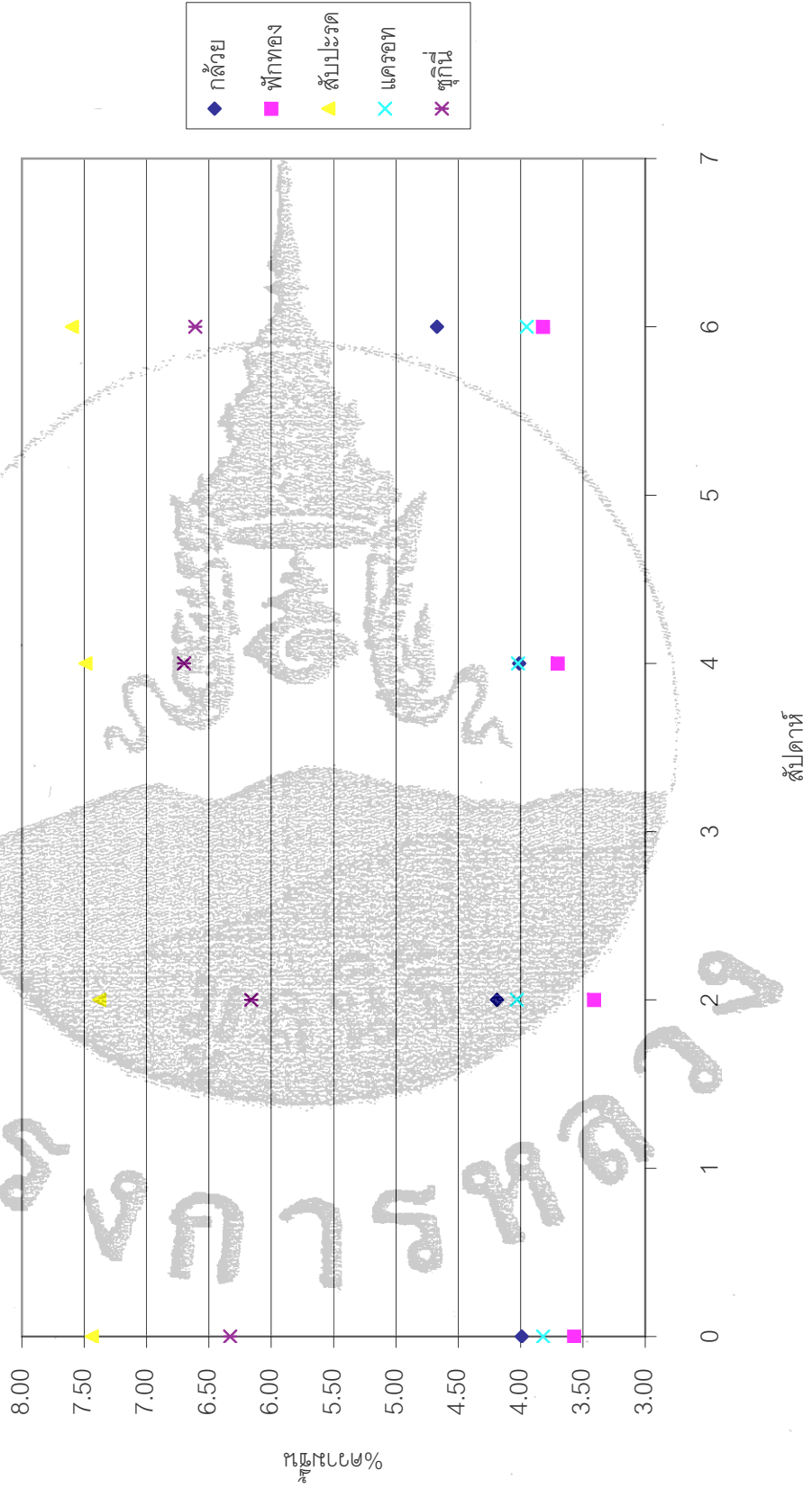
แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า Aw ของผักผลไม้ที่ทอดในน้ำมันที่ผ่านการฟอก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



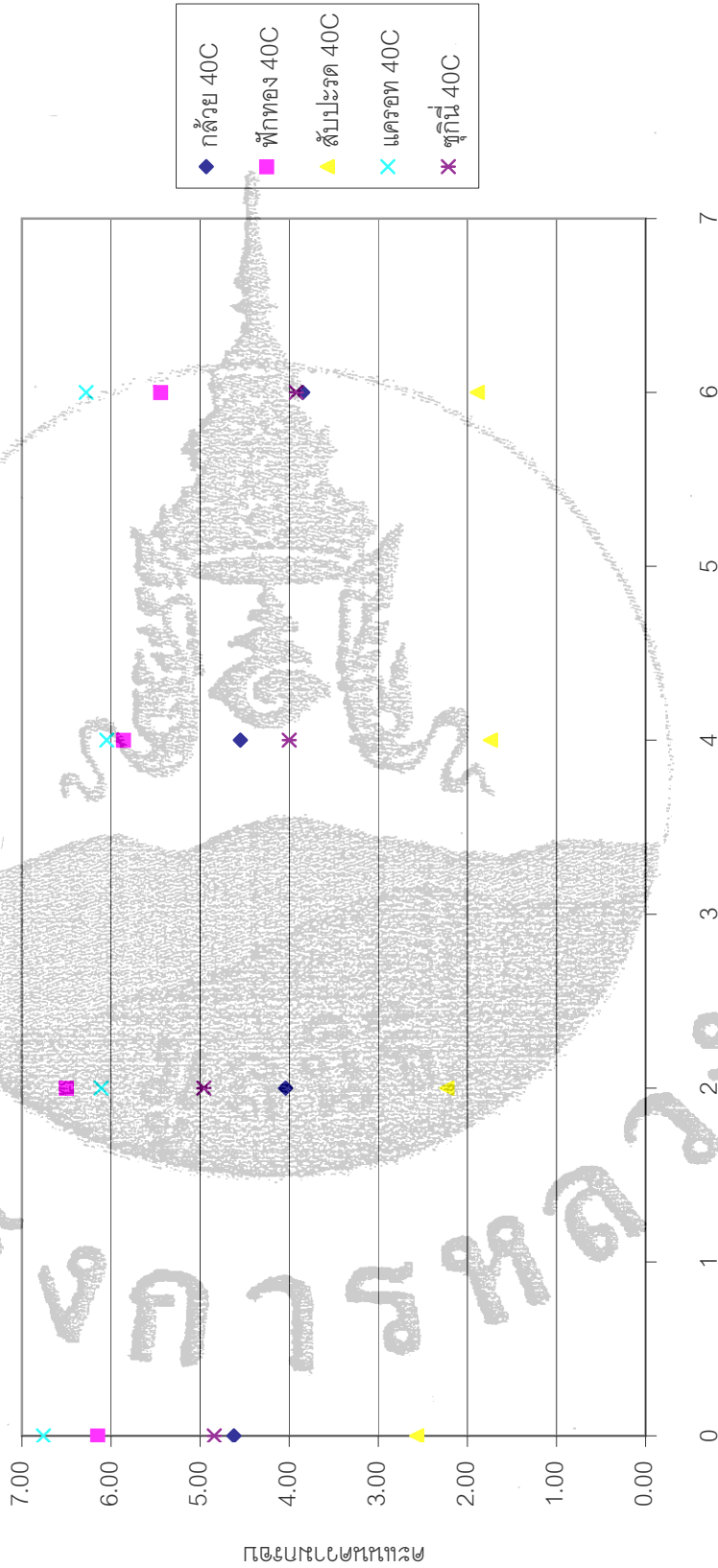
แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผักผลไม้ที่ทอดในน้ำมันไม่ผ่านการฟอก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผักผลไม้ที่ทอดในน้ำมันที่ผ่านการฟอก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



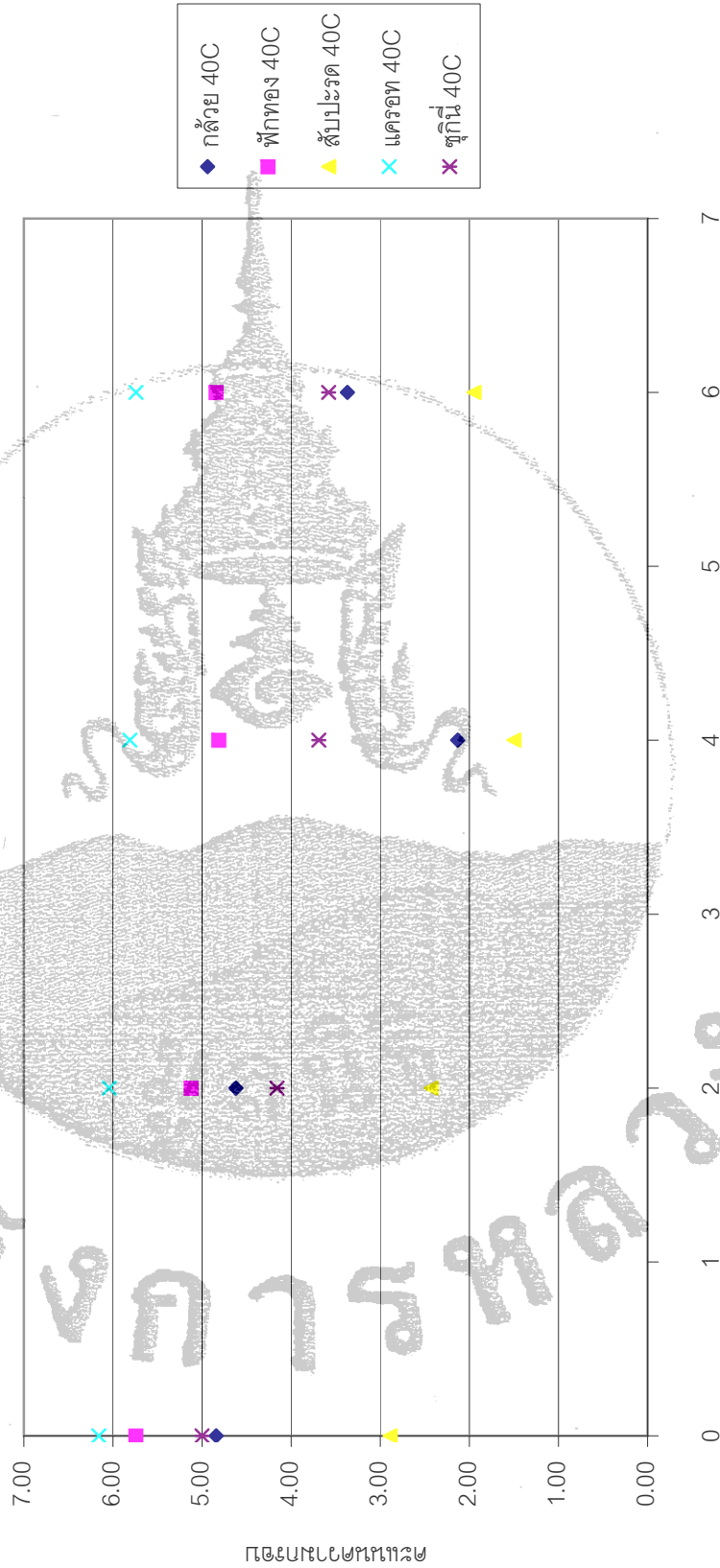
แสดงการเปลี่ยนแปลงของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบของผักผลไม้
ที่ทอดในน้ำมันไม่ผ่านการฟอก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



สัปดาห์

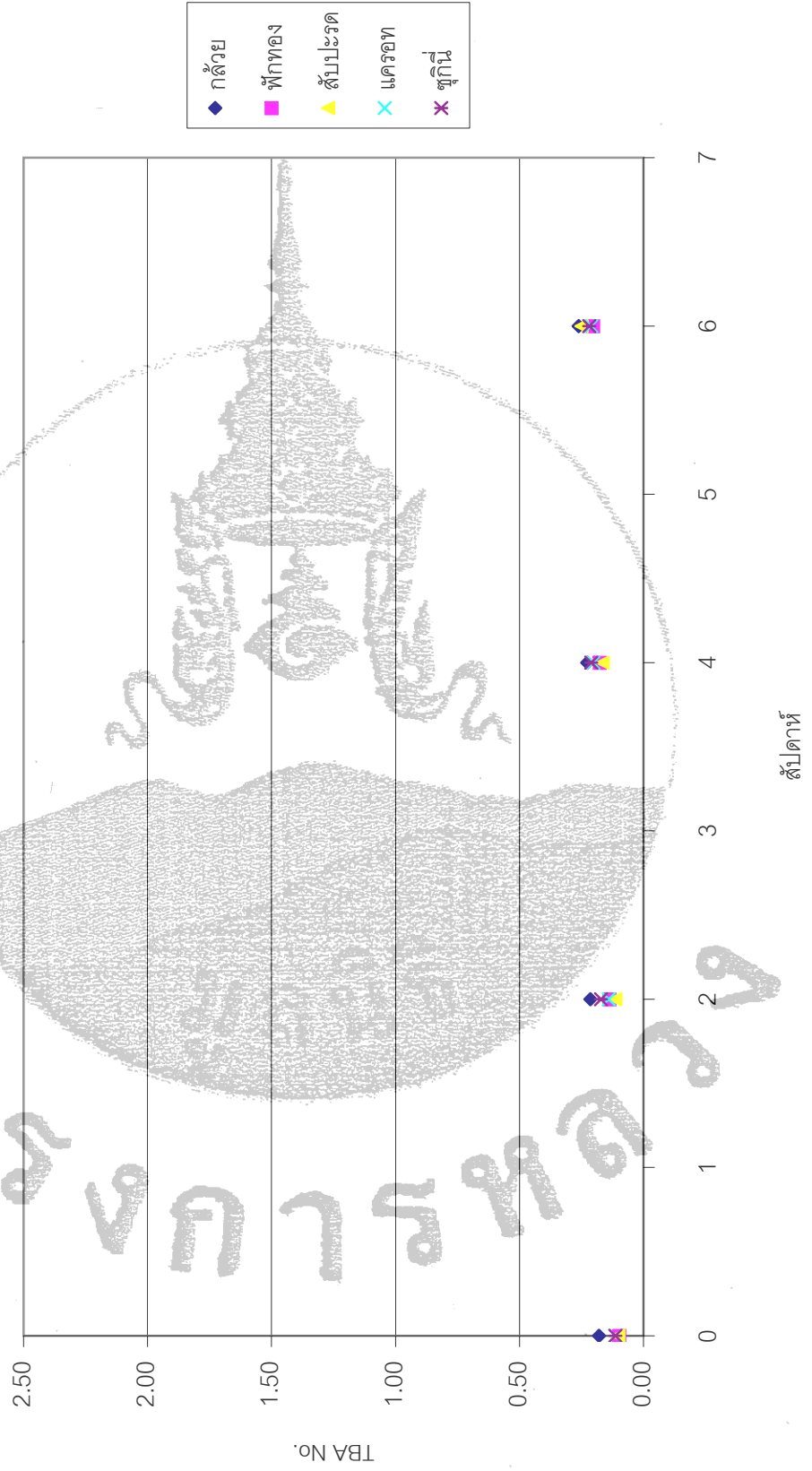
คะแนนความกรอบ

แสดงการเปลี่ยนแปลงของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบของผักผลไม้
ที่ทอดในน้ำมันที่ผ่านการฟอก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

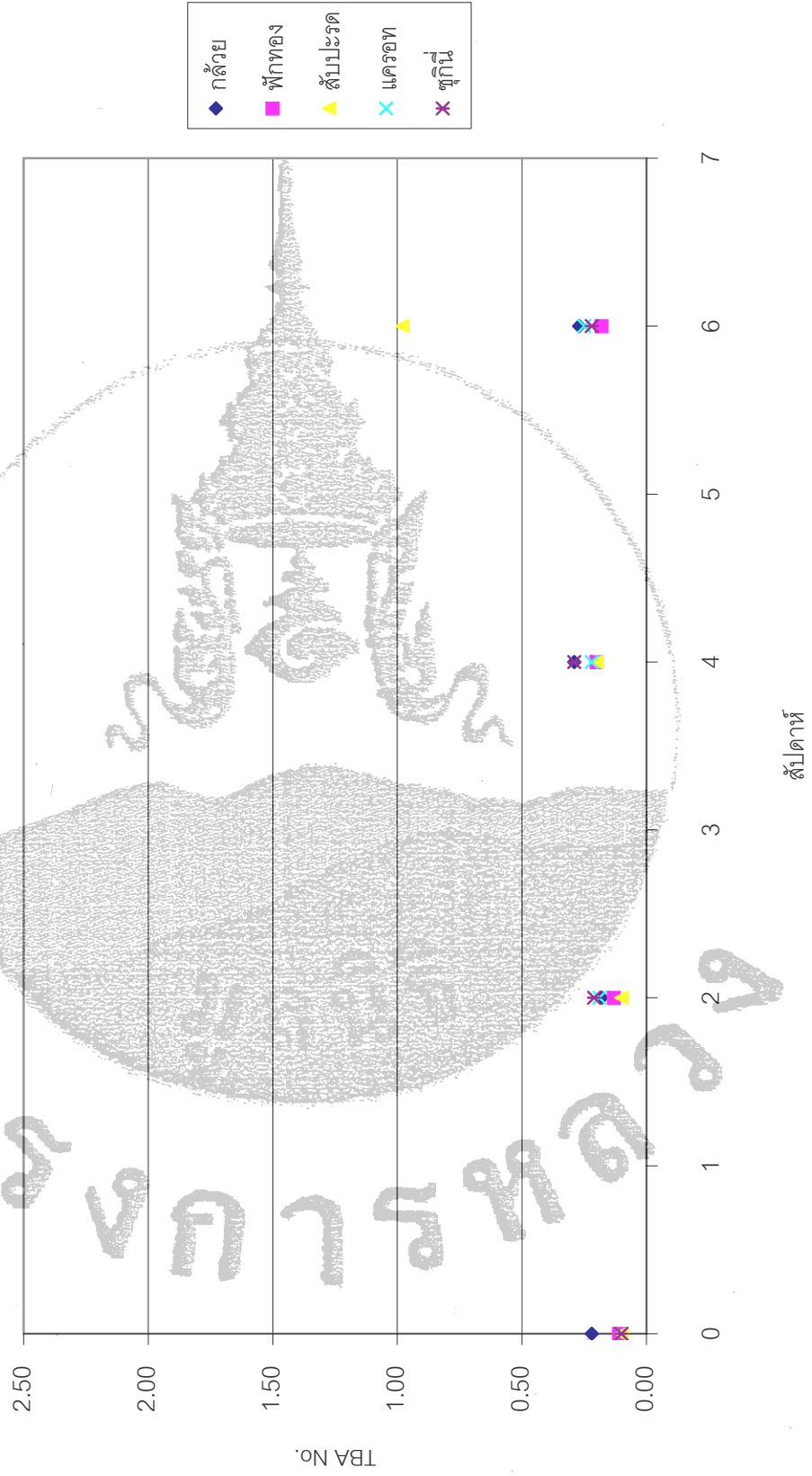


สัปดาห์

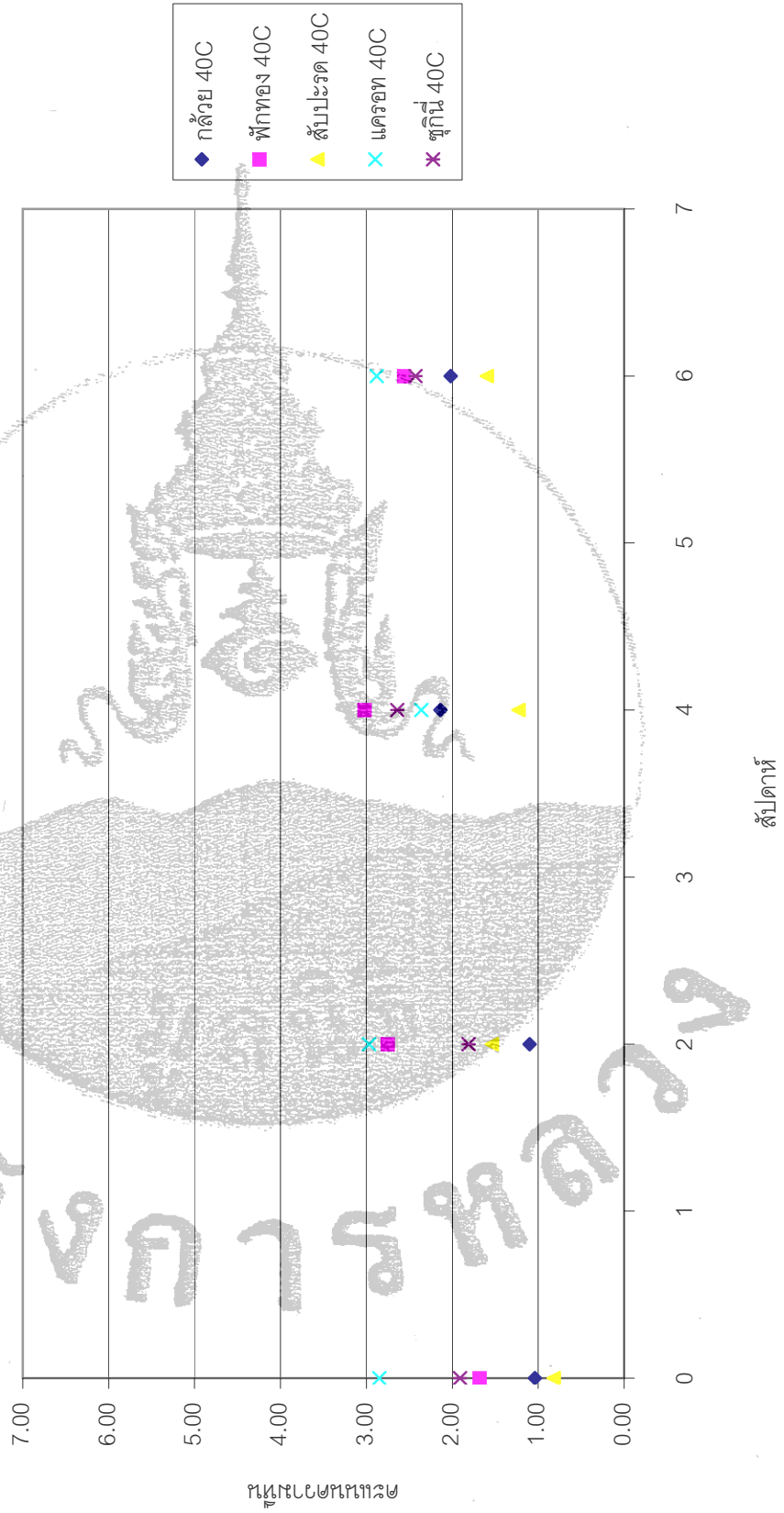
แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า TBA No. ของผักผลไม้ที่พอดีเน้นผ่านการผลิต เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



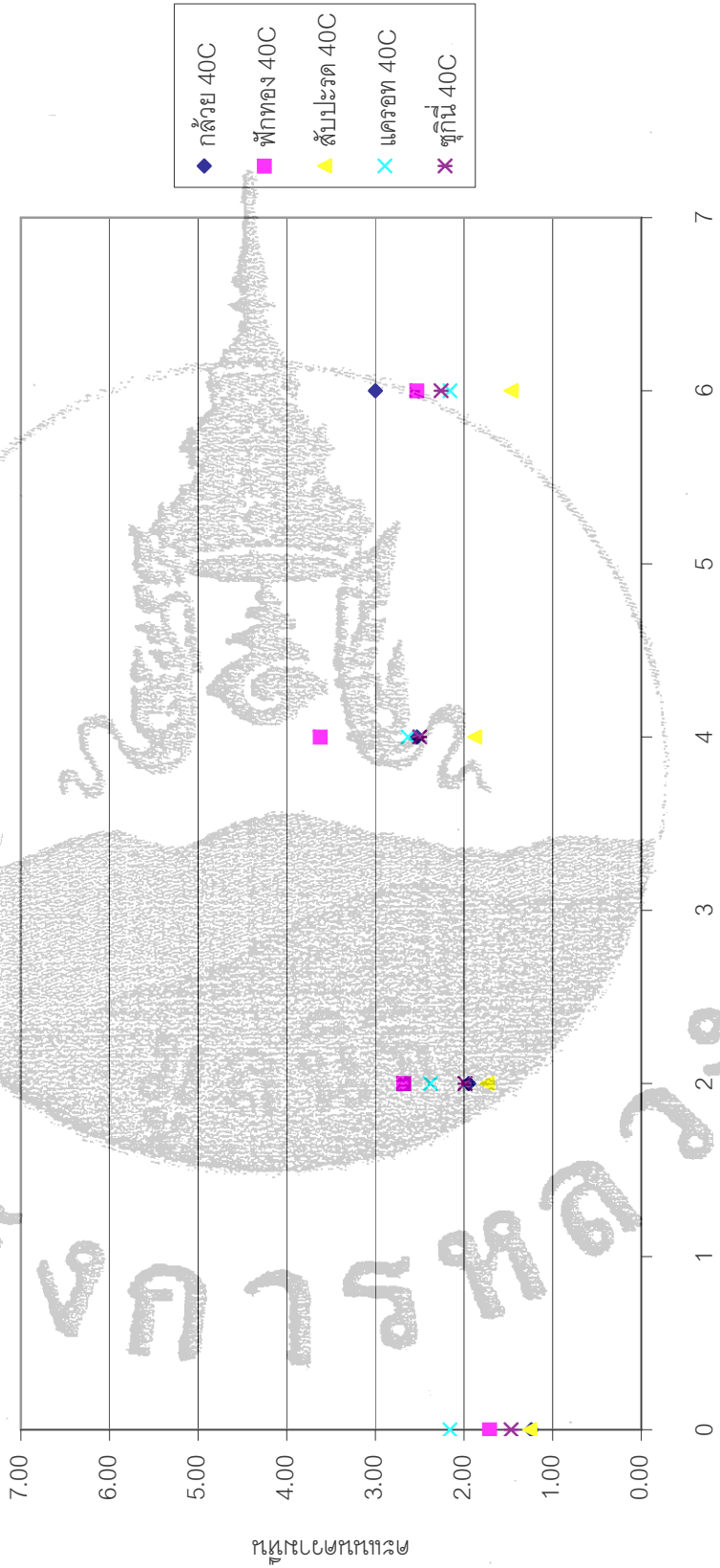
แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า TBA ของผักผลไม้ที่ทอดในน้ำมันที่ผ่านการฟอก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



แสดงการเปลี่ยนแปลงของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความหืนของผักผลไม้
ที่ทอดในน้ำมันไม่ผ่านการฟอก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



แสดงการเปลี่ยนแปลงของคะแนนการทดสอบทางประสาธสัมพันธ์ด้านความตื่นตัวของไก่ผลไม้
ที่ทดลองนำมาใช้ผ่านกรรพอก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



สัปดาห์

คะแนนทดสอบ

งบประมาณและการจัดการเงินงบประมาณ

งบประมาณทั้งหมด 129,900 บาท
แบ่งออกเป็น 2 หมวด ดังนี้

หมวดค่าใช้สอยและวัสดุ 108,220 บาท

หมวดค่าครุภัณฑ์ 21,680 บาท

รายการครุภัณฑ์

1. ไฮโกรมิเตอร์ (Hygrometer) 19,500 บาท

2. เครื่องซีลพลาสติก 2,180 บาท

โดยครุภัณฑ์ทั้ง 2 เครื่อง อยู่ที่ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ประวัตินักวิจัย

1. นางเจิมขวัญ สังข์สุวรรณ MRS. JURMKWAN SANGSUWAN

สัญชาติ ไทย

ศาสนา พุทธ

วันที่เกิด 29 มกราคม 2517

ภูมิลำเนา เชียงใหม่

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ ระดับ 4

หน่วยงานที่อยู่ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
155 หมู่ 2 ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100
โทรศัพท์ 053-948224 โทรสาร 053-948224

ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2538	ปริญญาตรี	ว.ท.บ. (วิทยาศาสตร์บัณฑิต) เกียรตินิยมอันดับ 1	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ไทย
2544	ปริญญาโท	M.Sc. (Master of Science in Packaging)	Packaging	Packaging	Michigan State University	USA

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : Dissolution Shelf Life of Pharmaceutical Tablet by Prediction and Experiment.

ประวัติการทำงาน

ปี	ตำแหน่ง	สถานที่ทำงาน
เมษายน 2538 – มีนาคม 2539	เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ	บริษัทยูโรเบียเนบเกอริ จำกัด
พฤษภาคม 2539 – สิงหาคม 2540	อาจารย์	มหาวิทยาลัยพายัพ
กันยายน 2540 - ปัจจุบัน	อาจารย์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- บรรจุภัณฑ์อาหาร
- การประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหาร

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว:

เรื่อง การศึกษาอายุการเก็บข้าวเกรียบฟักทองในภาชนะบรรจุต่างชนิด
ปีที่พิมพ์ 2542

สถานภาพในการทำวิจัย ผู้ร่วมวิจัย

งานวิจัยที่กำลังทำ:

- เรื่อง การประเมินอายุการเก็บของผักผลไม้ทอดกรอบ แหล่งทุน โครงการหลวง งบประมาณ 129,900 บาท สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย
- เรื่อง การพัฒนากระดาษแม่เพื่อการส่งออก: ศึกษาหาวิธียืดอายุการเก็บรักษาและ ชนิดบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม แหล่งทุน ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ งบประมาณ 758,000 บาท สถานภาพในการทำวิจัย ผู้ร่วมวิจัย
- เรื่อง การผลิตโยเกิร์ตนมข้าวโพดผสมน้ำแครอทและน้ำเสาวรสชนิดผง แหล่งทุน โครงการหลวง งบประมาณ 297,000 บาท สถานภาพในการทำวิจัย ผู้ร่วมวิจัย

ประวัติผู้ร่วมวิจัย

2. นาย ศรัล วรณพันธ์ Mr. Saran Waroonphan

สัญชาติ ไทย

ศาสนา พุทธ

วันที่เกิด 26 กันยายน 2516

ภูมิลำเนา ลำปาง

ตำแหน่งปัจจุบัน พนักงานมหาวิทยาลัย ตำแหน่ง อาจารย์

หน่วยงานที่อยู่ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
155 หมู่ 2 ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100
โทรศัพท์ 053-948244, 053-948250
โทรสาร 053-948244

ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา (ตรี โท เอก และ ประกาศนียบัตร)	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2538	ปริญญาตรี	ว.ทบ. (วิทยาศาสตร์บัณฑิต)	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ไทย
2544	ปริญญาโท	ว.ทม. (วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต)	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร	วิทยาศาสตร์การอาหาร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ไทย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : ผลของโคเลสเตอรอลต่อการเตรียมไลโปโซมด้วยวิธีดับเบิลอิมัลชันและการนำไปใช้กักเก็บกรดแอสคอร์บิกและเบทา-แคโรทีน

ประวัติการทำงาน

ปี	ตำแหน่ง	สถานที่ทำงาน
เมษายน 2538 – พฤษภาคม 2540	เจ้าหน้าที่เทคนิคฝ่ายผลิต	บริษัทสยามร่วมมิตร จำกัด
มิถุนายน 2544 – ปัจจุบัน	อาจารย์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- ฟอสโฟลิปิดและไลโปโซม
- เคมีอาหารและการวิเคราะห์อาหาร

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

งานวิจัยที่กำลังทำ:

- เรื่อง การประเมินอายุการเก็บของผักผลไม้ทอดกรอบ แหล่งทุน โครงการหลวง งบประมาณ 129,900 บาท สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย
- เรื่อง การพัฒนากระดาษแม่เพื่อการส่งออก: ศึกษาหาวิธียืดอายุการเก็บรักษาและชนิดบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม แหล่งทุน ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ งบประมาณ 758,000 บาท สถานภาพในการทำวิจัย ผู้ร่วมวิจัย
- เรื่อง การผลิตโยเกิร์ตนมข้าวโพดผสมน้ำแครอทและน้ำเสาวรสชนิดผง แหล่งทุน โครงการหลวง งบประมาณ 297,000 บาท สถานภาพในการทำวิจัย ผู้ร่วมวิจัย
- เป็นผู้ร่วมโครงการวิจัยการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ใส่กรอกปลา ให้แก่กลุ่มเกษตรกร โดยได้รับทุนวิจัยจากทบวงมหาวิทยาลัย