# บทที่ 4

# ผลการทดลองและวิจารณ์

## 4.1 ศึกษาคุณภาพของผลฝรั่งสดก่อนการแปรรูป

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลฝรั่งสดพันธุ์กลมสาลี่ก่อนแปรรูป แสดง ผลดังตาราง 4.1

**ตาราง 4.1** คุณภาพทางด้านกายภาพและทางด้านเคมีของฝรั่งสดพันธุ์กลมสาลี่

| | ค่าตรวจวัด | ปริมาณ |
|---|---|---|
| คุณภาพทางกายภาพ | ค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity ; $a_w$) | 0.965 ± 0.01 |
| คุณภาพทางเคมี | ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) | 4.13 ± 0.02 |
| | ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริก (acidity ; % as citric acid) | 0.05 ± 0.02 |
| | ปริมาณความชื้น (moisture content ; %) | 89.01 ± 0.05 |
| | ปริมาณโปรตีน (protein ; %) | 1.12 ± 0.03 |
| | ปริมาณไขมัน (fat ; %) | 0.24 ± 0.01 |
| | ปริมาณเถ้า (ash ; %) | 0.81 ± 0.01 |
| | ปริมาณเส้นใย (fiber ; %) | 6.64 ± 0.01 |
| | ปริมาณเพคตินทั้งหมด (total pectin ; mg/100 g) | 127.52 ± 0.41 |
| | ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ (reducing sugar ; g/100 g) | 1.96 ± 0.12 |
| | ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar ; g/100 g) | 5.85 ± 0.34 |
| | ปริมาณวิตามินซี (vitamin C ; mg/100 g) | 85.82 ± 0.16 |

หมายเหตุ : ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.1 จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลฝรั่งสดพันธุ์กลมสาลี่ พบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.13 มีปริมาณกรด ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 0.05, 89.01 และ 5.85 ตามลำดับ ทำให้ฝรั่งมีรสหวานอมเปรี้ยวเหมาะที่จะนำมาแปรรูปเป็นน้ำฝรั่ง ปริมาณวิตามินซีที่พบในผลฝรั่งสด (85.82 mg/100g) มีคุณค่าในการสร้างภูมิคุ้มกันโรคหวัดได้ดี (สรัสวดี, 2531) นอกจากนี้ยังพบปริมาณเพคตินและปริมาณเส้นใยถึง 127.52 mg/100g และร้อยละ 6.64 ตามลำดับ ซึ่งเพคตินที่พบในผลฝรั่งเป็นเพคตินคุณภาพสูงที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ช่วยส่งเสริมการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ในลำไส้และเสริมระบบขับถ่าย ช่วยลดปริมาณโคเลสเตอรอลที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย (จารุพันธ์และคณะ, 2543) ฝรั่งเหมือนผลไม้ทั่วไปมีค่ากิจกรรมของน้ำ (0.965) และมีความชื้นสูง (ร้อยละ 89.01) ดังนั้นจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมแก่จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสีย นอกจากนี้ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ (ร้อยละ 1.96) และโปรตีน (ร้อยละ 1.12) อาจเป็นสาเหตุของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ได้ (non-enzymatic browning)

## 4.2 การแปรรูปน้ำฝรั่งด้วยความร้อน

ผลของเวลาการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 $^{o}$C ที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพ (ค่าสี L, a และ b) และคุณสามบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำฝรั่ง ดังแสดงในตาราง 4.2

**ตาราง 4.2** ผลของเวลาการให้ความร้อน (90 $^{0}$C) ต่อคุณภาพของน้ำฝรั่ง

| เวลาการให้ความร้อน (วินาที) | ค่าสี L | ค่าสี a | ค่าสี b | ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/ml) | ปริมาณยีสต์และรา (log cfu/ml) |
|---|---|---|---|---|---|
| Untreated | 46.46 ± 0.47 $^{a}$ | -6.60 ± 0.51 $^{a}$ | 9.66 ± 0.67 $^{a}$ | 4.12 | 3.74 |
| 30 | 51.33 ± 0.25 $^{b}$ | -4.39 ± 0.05 $^{b}$ | 10.47 ± 0.28 $^{b}$ | ND | ND |
| 60 | 51.97 ± 0.49 $^{b}$ | -4.46 ± 0.05 $^{b}$ | 10.52 ± 0.44 $^{b}$ | ND | ND |
| 90 | 51.85 ± 0.13 $^{b}$ | -4.21 ± 0.08 $^{b}$ | 11.39 ± 0.41 $^{c}$ | ND | ND |
| 120 | 52.08 ± 0.42 $^{b}$ | -4.39 ± 0.02 $^{b}$ | 12.07 ± 0.46 $^{c}$ | ND | ND |

หมายเหตุ : ค่าสี L, a และ b แสดงในรูปค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ND = ตรวจไม่พบ (not detected)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่ต่างกัน แสดงว่า เป็นค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณาค่าสีของน้ำฝรั่งหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 $^{o}$C พบว่า การให้ความร้อนเป็นเวลา 30 ถึง 120 วินาที ทำให้น้ำฝรั่งมีค่าสี L (ความสว่าง), a (สีแดง-เขียว) และ b (สีเหลือง-น้ำเงิน) แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนทำให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลาย เป็นผลทำให้น้ำฝรั่งหลังผ่านกระบวนการความร้อนมีความสว่างมากขึ้น สีเขียวลดลง และมีสีเหลืองมากขึ้น (Adsule and Kandam, 1995 ; Hendry and Houghton, 1996 ; Yen and Lin, 1996)

ในส่วนของคุณภาพด้านจุลินทรีย์ จะเห็นว่า ตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมถึงเชื้อยีสต์และรา ในน้ำฝรั่งหลังการให้ความร้อนที่ 90 $^{o}$C เป็นเวลา 30 ถึง 120 วินาที ซึ่งเป็นผลมาจากความร้อนทำให้โปรตีนในเซลล์จุลินทรีย์จับตัวกันตกตะกอน (coagulation) และทำให้เอนไซม์ต่างๆ ที่จำเป็นต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์เสื่อมสภาพ เป็นผลให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ (สุมาลี, 2541) ดังนั้นจึงเลือกเวลาการให้ความร้อนต่ำสุด 30 และ 60 วินาที ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำฝรั่งระหว่างการเก็บรักษาต่อไป

## 4.3 การแปรรูปน้ำฝรั่งด้วยเทคนิคความดันสูง

### 4.3.1 ผลของระดับความดันและอุณหภูมิที่มีต่อคุณภาพน้ำฝรั่ง

จากการศึกษาผลของระดับความดัน (400, 500, 600 และ 700 MPa) และอุณหภูมิ (30, 40 และ 60 $^{o}$C) ต่อคุณภาพทางกายภาพ (ตาราง 4.3-4.5) และทางจุลินทรีย์ของน้ำฝรั่ง (ตาราง 4.6) พบว่า ความดันและอุณหภูมิทำให้ค่าสี L มีความแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยทั้งความดันและอุณหภูมิทำให้ค่าสี L มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ผลของความดันที่ระดับ 400, 500 และ 600 MPa ค่าสี L ไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและความดัน พบว่า อิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัยทำให้ค่าสี L มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อพิจารณารูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงผลของความดันและอุณหภูมิต่อค่าสี L พบว่า การใช้ความดันที่ระดับ 400 – 500 MPa ร่วมกับอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะได้น้ำฝรั่งแปรรูปที่มีค่าสี L ใกล้เคียงกับตัวอย่างชุดควบคุมมากที่สุด (46.03) ในขณะที่ทุกระดับความดัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจะมีผลทำให้ค่าสี L มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความดัน 400 และ 700 MPa อุณหภูมิ 60 $^{o}$C จะมีค่าสี L มากที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

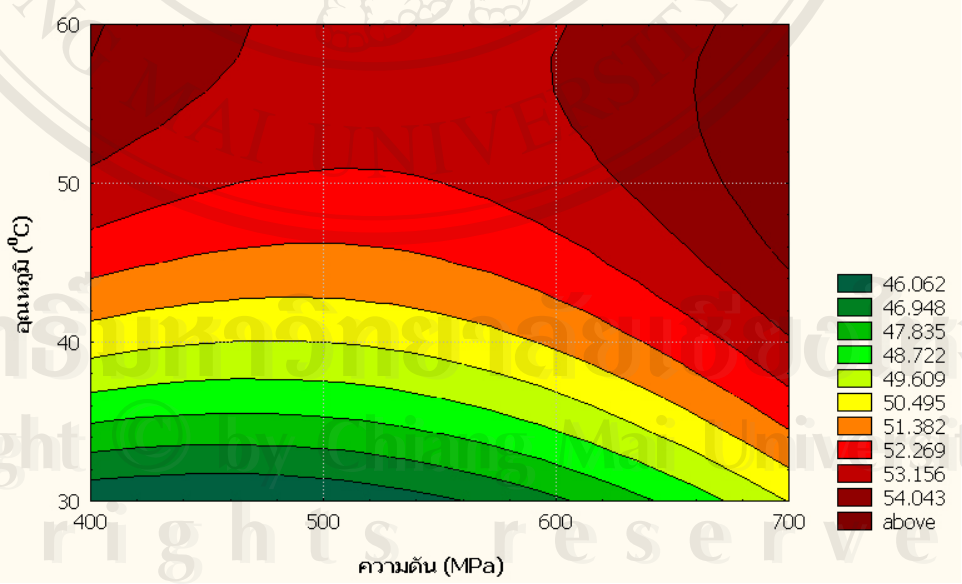
**ตาราง 4.3** ผลของความดันและอุณหภูมิต่อค่าความสว่าง (L) ของน้ำฝรั่ง

| ระดับความดัน (MPa) | อุณหภูมิ (°C) | | | ค่าเฉลี่ย* |
|---|---|---|---|---|
| | 30 | 40 | 60 | |
| Untreated | | 46.03 ± 0.19 | | **46.03 ± 0.19$^{a}$** |
| 400 | 46.31 ± 0.48 | 48.11 ± 0.21 | 54.73 ± 0.14 | **49.77 ± 3.85$^{c}$** |
| 500 | 47.12 ± 0.08 | 48.17 ± 0.31 | 53.65 ± 0.13 | **49.65 ± 3.04$^{c}$** |
| 600 | 47.60 ± 0.19 | 48.38 ± 0.33 | 53.51 ± 0.12 | **49.83 ± 2.79$^{c}$** |
| 700 | 46.10 ± 0.22 | 58.67 ± 0.06 | 52.97 ± 0.16 | **49.25 ± 3.01$^{b}$** |
| **ค่าเฉลี่ย**** | **46.63 ± 0.68$^{a}$** | **47.87 ± 1.00$^{b}$** | **52.18 ± 3.24$^{c}$** | |

หมายเหตุ : ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่ต่างกัน แสดงว่า อิทธิพลของความดันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

** ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนที่ต่างกัน แสดงว่า อิทธิพลของอุณหภูมิมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)




**รูปที่ 4.1** ผลของความดันและอุณหภูมิต่อค่าความสว่าง (L) ของน้ำฝรั่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.4** ผลของความดันและอุณหภูมิต่อค่าสีแดง-เขียว (a) ของน้ำฝรั่ง

| ระดับความดัน (MPa) | อุณหภูมิ ($^{o}$C) | | | ค่าเฉลี่ย* |
|---|---|---|---|---|
| | 30 | 40 | 60 | |
| Untreated | | -7.00 ± 0.10 | | **-7.00 ± 0.10$^{a}$** |
| 400 | -6.86 ± 0.06 | -6.42 ± 0.10 | -7.33 ± 0.18 | **-6.87 ± 0.46$^{b}$** |
| 500 | -6.56 ± 0.06 | -6.91 ± 0.06 | -7.21 ± 0.08 | **-6.89 ± 0.29$^{b}$** |
| 600 | -6.88 ± 0.04 | -6.64 ± 0.15 | -7.44 ± 0.04 | **-6.99 ± 0.36$^{a}$** |
| 700 | -7.12 ± 0.10 | -6.69 ± 0.09 | -7.37 ± 0.06 | **-7.06 ± 0.31$^{a}$** |
| **ค่าเฉลี่ย**** | **-6.88 ± 0.20$^{b}$** | **-6.73 ± 0.23$^{c}$** | **-7.27 ± 3.24$^{a}$** | |

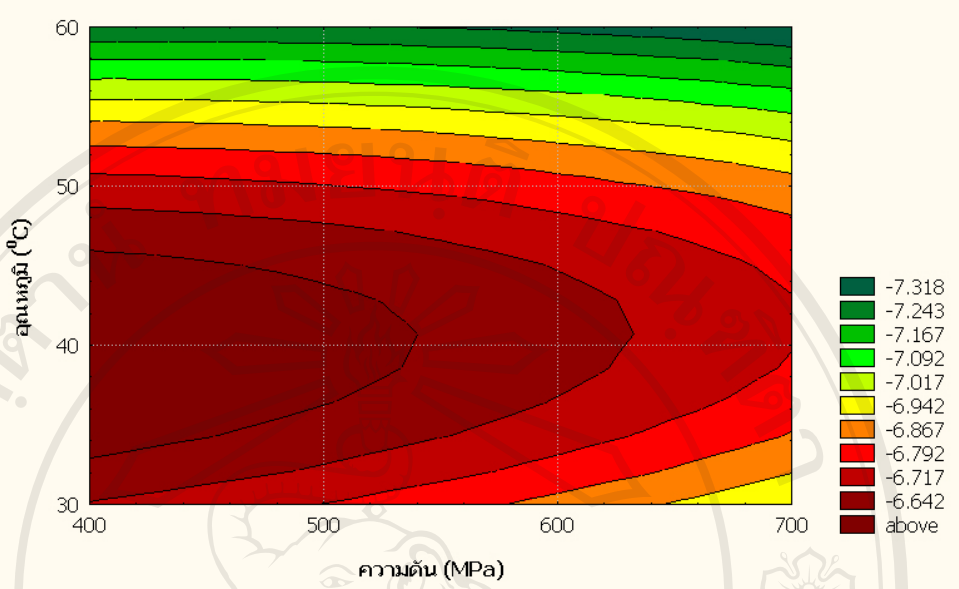
หมายเหตุ : ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่ต่างกัน แสดงว่า อิทธิพลของความดันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

** ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนที่ต่างกัน แสดงว่า อิทธิพลของอุณหภูมิมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ผลของความดันและอุณหภูมิที่มีต่อค่าสี a แสดงในตาราง 4.4 ความดันและอุณหภูมิทำให้ค่าสี a มีความแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าสี a มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มความดันจาก 400 เป็น 700 MPa ซึ่งที่ความดัน 600 และ 700 MPa จะมีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุมมากที่สุด ส่วนอุณหภูมิก็ทำให้ค่าสีมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและความดัน พบว่า อิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัยทำให้ค่าสี a มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ที่ระดับความดัน 400 – 700 MPa ค่าสี a จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 30 เป็น 40 $^{o}$C และจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 40 เป็น 60 $^{o}$C ดังแสดงในรูปที่ 4.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved




**รูปที่ 4.2** ผลของความดันและอุณหภูมิต่อค่าสีแดง-เขียว (a) ของน้ำฝรั่ง

**ตาราง 4.5** ผลของความดันและอุณหภูมิต่อค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b) ของน้ำฝรั่ง

| ระดับความดัน (MPa) | อุณหภูมิ (°C) | | | ค่าเฉลี่ย* |
|---|---|---|---|---|
| | 30 | 40 | 60 | |
| Untreated | | 7.03 ± 0.05 | | **7.03 ± 0.05$^{a}$** |
| 400 | 7.35 ± 0.57 | 7.93 ± 0.17 | 9.04 ± 0.09 | **8.10 ± 0.80$^{c}$** |
| 500 | 7.44 ± 0.11 | 7.50 ± 0.58 | 8.60 ± 0.06 | **8.18 ± 0.60$^{c}$** |
| 600 | 7.47 ± 0.19 | 8.17 ± 0.19 | 8.83 ± 0.07 | **8.59 ± 0.35$^{d}$** |
| 700 | 7.41 ± 0.09 | 8.11 ± 0.09 | 8.90 ± 0.06 | **7.81 ± 1.10$^{b}$** |
| **ค่าเฉลี่ย**** | **7.60 ± 0.94$^{a}$** | **7.75 ± 0.51$^{a}$** | **8.48 ± 0.77$^{b}$** | |

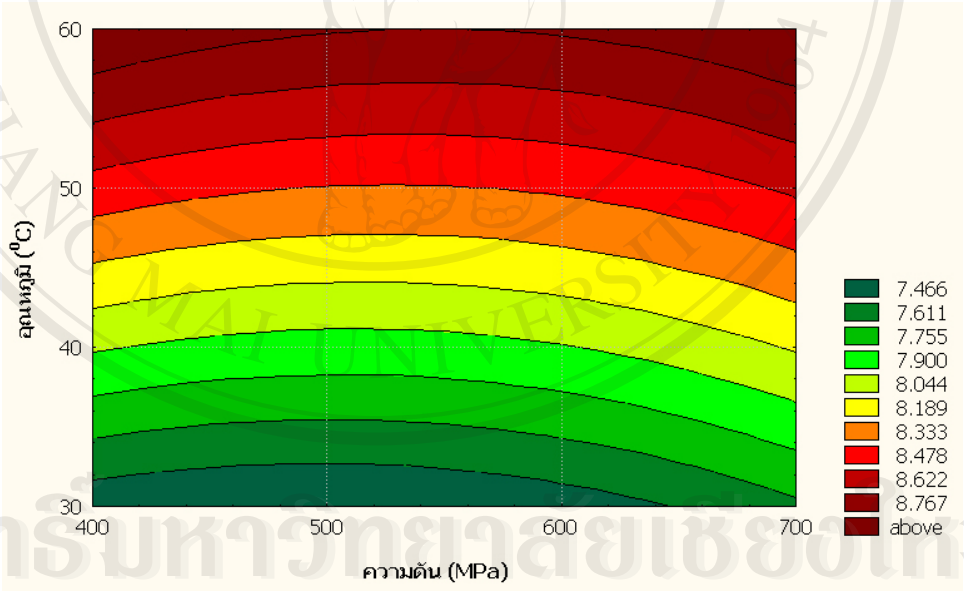
หมายเหตุ : ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่ต่างกัน แสดงว่า อิทธิพลของความดันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

** ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนที่ต่างกัน แสดงว่า อิทธิพลของอุณหภูมิมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในกรณีของค่าสี b พบว่า ความดันและอุณหภูมิทำให้ค่าสี b มีความแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยระดับความดันที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าสี b มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีค่าลดลงเมื่อความดันเป็น 700 MPa ส่วนอุณหภูมิก็ทำให้ค่าสี b เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและความดัน พบว่า อิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัยทำให้ค่าสี b มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อพิจารณารูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงผลของความดันและอุณหภูมิต่อค่าสี b พบว่า การใช้ความดันที่ระดับ 400 – 600 MPa ร่วมกับอุณหภูมิ 30 $^{o}$C จะได้น้ำฝรั่งแปรรูปที่มีค่าสี b ใกล้เคียงกับตัวอย่างชุดควบคุมมากที่สุด (ไม่เกิน 7.03) ในขณะที่ทุกระดับความดัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจะมีผลทำให้ค่าสี b มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความดัน 400 และ 700 MPa อุณหภูมิ 60 $^{o}$C จะมีค่าสี b มากที่สุด




**รูปที่ 4.3** ผลของความดันและอุณหภูมิต่อค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b) ของน้ำฝรั่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.6** ผลของระดับความดันและอุณหภูมิต่อคุณภาพทางจุลินทรีย์ของน้ำฝรั่ง

| ระดับความดัน (MPa) | อุณหภูมิ ($^{o}$C) | ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/ml) | ปริมาณเชื้อยีสต์และรา (log cfu/ml) |
|---|---|---|---|
| Untreated | | 4.42 | 3.05 |
| 400 | 30 | 1.88 | < 1.40 |
| | 40 | 1.91 | ND |
| | 60 | 1.57 | ND |
| 500 | 30 | < 1.40 | < 1.40 |
| | 40 | < 1.40 | ND |
| | 60 | < 1.40 | ND |
| 600 | 30 | < 1.40 | < 1.40 |
| | 40 | < 1.40 | ND |
| | 60 | < 1.40 | ND |
| 700 | 30 | < 1.40 | < 1.40 |
| | 40 | < 1.40 | ND |
| | 60 | ND | ND |

หมายเหตุ : ND = ตรวจไม่พบ (not detected)

ความดัน 500, 600 และ 700 MPa ที่ให้แก่น้ำฝรั่งส่งผลในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าที่ความดัน 400 MPa โดยตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมทั้งเชื้อยีสต์และราที่ความดัน 700 MPa, 60 $^{o}$C ดังแสดงในตาราง 4.6 และเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าสี L, a และ b พบว่า ที่ความดัน 500 MPa, 30 $^{o}$C ให้ผลในเรื่องค่าสีใกล้เคียงกับตัวอย่างชุดควบคุมมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกความดัน 500 MPa อุณหภูมิ 30 $^{o}$C เป็นสภาวะที่นำไปศึกษาเวลาคงความดัน (holding time) ต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

**4.3.2 ผลของระยะเวลาคงความดัน ต่อคุณภาพน้ำฝรั่ง**

ผลของระยะเวลาคงความดัน (holding time) ที่ 500 MPa, 30 $^{o}$C ต่อคุณภาพน้ำฝรั่ง แสดงในตาราง 4.7

**ตาราง 4.7** ผลของเวลาการคงความดัน (holding time) ที่ 500 MPa, 30 $^{o}$C ต่อคุณภาพน้ำฝรั่ง

| เวลาการให้ความร้อน (วินาที) | ค่าสี L | ค่าสี a | ค่าสี b | ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/ml) | ปริมาณยีสต์และรา (log cfu/ml) |
|---|---|---|---|---|---|
| Untreated | 48.36 ± 0.13 $^{NS}$ | -7.32 ± 0.07 $^{NS}$ | 10.74 ± 0.46 $^{NS}$ | 4.12 | 3.74 |
| 5 | 48.33 ± 0.25 $^{NS}$ | -7.22 ± 0.15 $^{NS}$ | 10.47 ± 0.28 $^{NS}$ | 1.75 | ND |
| 10 | 48.47 ± 0.49 $^{NS}$ | -7.29 ± 0.09 $^{NS}$ | 10.52 ± 0.09 $^{NS}$ | 1.60 | ND |
| 15 | 48.64 ± 0.17 $^{NS}$ | -7.39 ± 0.20 $^{NS}$ | 10.45 ± 0.15 $^{NS}$ | ND | ND |
| 20 | 48.57 ± 0.08 $^{NS}$ | -7.37 ± 0.18 $^{NS}$ | 12.72 ± 0.19 $^{NS}$ | ND | ND |

หมายเหตุ : ค่าสี L, a และ b แสดงในรูปค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ND = ตรวจไม่พบ (not detected)

NS = ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (not significant)

จากตารางจะเห็นได้ว่า ค่าสี L, a และ b ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับน้ำฝรั่งชุดควบคุม เมื่อพิจารณาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณเชื้อยีสต์และรา พบว่า เวลาการคงความดัน (holding time) 15 และ 20 นาที ให้ผลในการยับยั้งเชื้อทั้ง 2 ชนิดได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกกระบวนการแปรรูปน้ำฝรั่งโดยใช้ความดัน 500 MPa, 30 $^{o}$C , เวลาการคงความดัน (holding time) 15 และ 20 นาที เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาเปรียบเทียบกับการใช้กระบวนการความร้อนจากการทดลองที่ 4.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

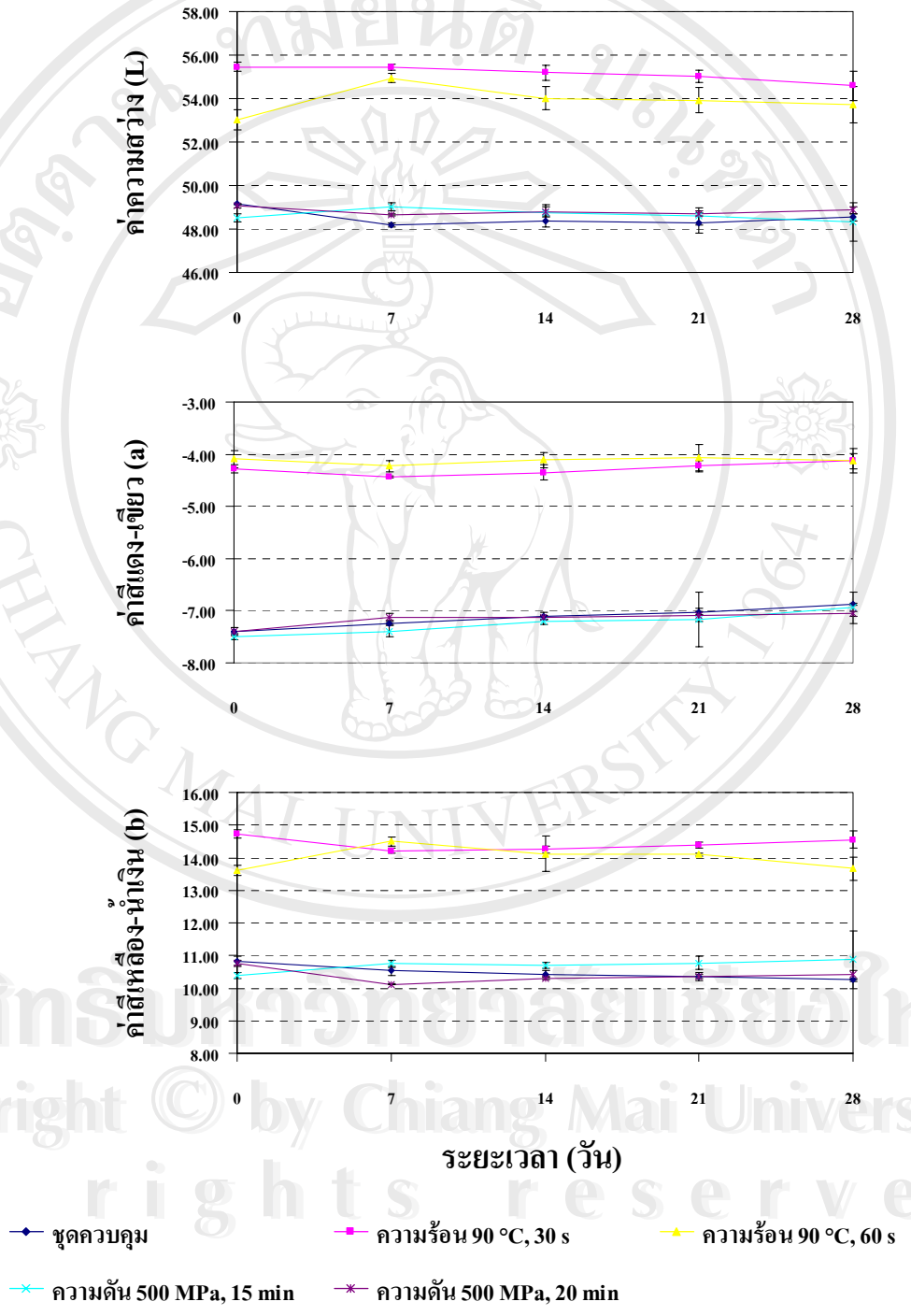
## 4.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาน้ำฝรั่งแปรรูป

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาน้ำฝรั่งที่แปรรูปโดยใช้เทคนิคความร้อนและเทคนิคความดันสูง จากการทดลองที่ 4.2 และ 4.3 การทดลองละ 2 ระดับ คือ

| | |
|---|---|
| เทคนิคความร้อนที่ 90 $^{o}$C, 0.1 MPa | เวลา 30 และ 60 วินาที |
| เทคนิคความดันสูงที่ 500 MPa, 30 $^{o}$C | เวลา 15 และ 20 นาที |

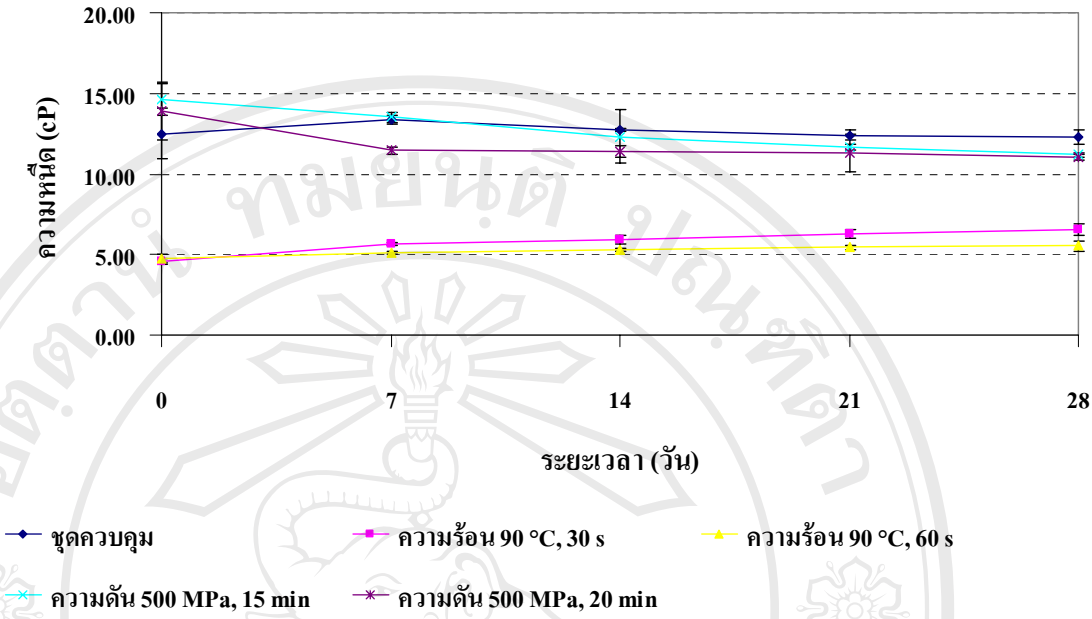
เมื่อทำการเก็บรักษาน้ำฝรั่งแปรรูปโดยใช้เทคนิคความร้อน (อุณหภูมิ 90 $^{o}$C ความดันที่ 0.1 MPaระยะเวลา 30 และ 60 วินาที) และเทคนิคความดันสูง (ความดันที่ 500 MPa อุณหภูมิ 30 $^{o}$C ระยะเวลาคงความดัน 15 และ 20 นาที) ที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 28 วัน และสุ่มตัวอย่างทุก 7 วัน มาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และประสาทสัมผัส ตามลำดับ พบว่า การแปรรูปน้ำฝรั่งด้วยความร้อนทำให้ค่าสี L, a และ b มีความแตกต่างจากชุดควบคุมและการแปรรูปด้วยเทคนิคความดันสูง (500 MPa) ตลอดอายุการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังรูปที่ 4.4 โดยความร้อนทำให้รงควัตถุ (pigment) โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ถูกทำลายเนื่องจากเกิดปฏิกิริยา pheophytinization คือ แมกนีเซียมไอออนในโครงสร้างคลอโรฟิลล์ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนอะตอม ทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) สีเขียวของคลอโรฟิลล์จึงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของฟีโอไฟตินแทน จึงทำให้ค่าสี L, a และ b มีค่าเพิ่มขึ้น (Deman, 1990 ; Adsule and Kandam, 1995 ; Hendry and Houghton, 1996) ในขณะที่เทคนิคความดันสูง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L, a และ b โดยจะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุมตลอดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากความดันสูงไม่มีผลต่อพันธะโควาเลนต์ของรงควัตถุทำให้ chlorophyll ยังคงสภาพอยู่ได้ (Ludikhuyze and Hendrickx, 2002) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yen and Lin (1996) ที่พบว่า การใช้ความดัน 600 MPa อุณหภูมิ 25 $^{o}$C เวลา 15 นาที ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำฝรั่งเข้มข้น (guava puree) โดยยังคงมีสีเหมือนน้ำฝรั่งสดตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 40 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved




**รูปที่ 4.4** การเปลี่ยนแปลงค่าสี L, a และ b ระหว่างการเก็บรักษาน้ำฝรั่งแปรรูปที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 28 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

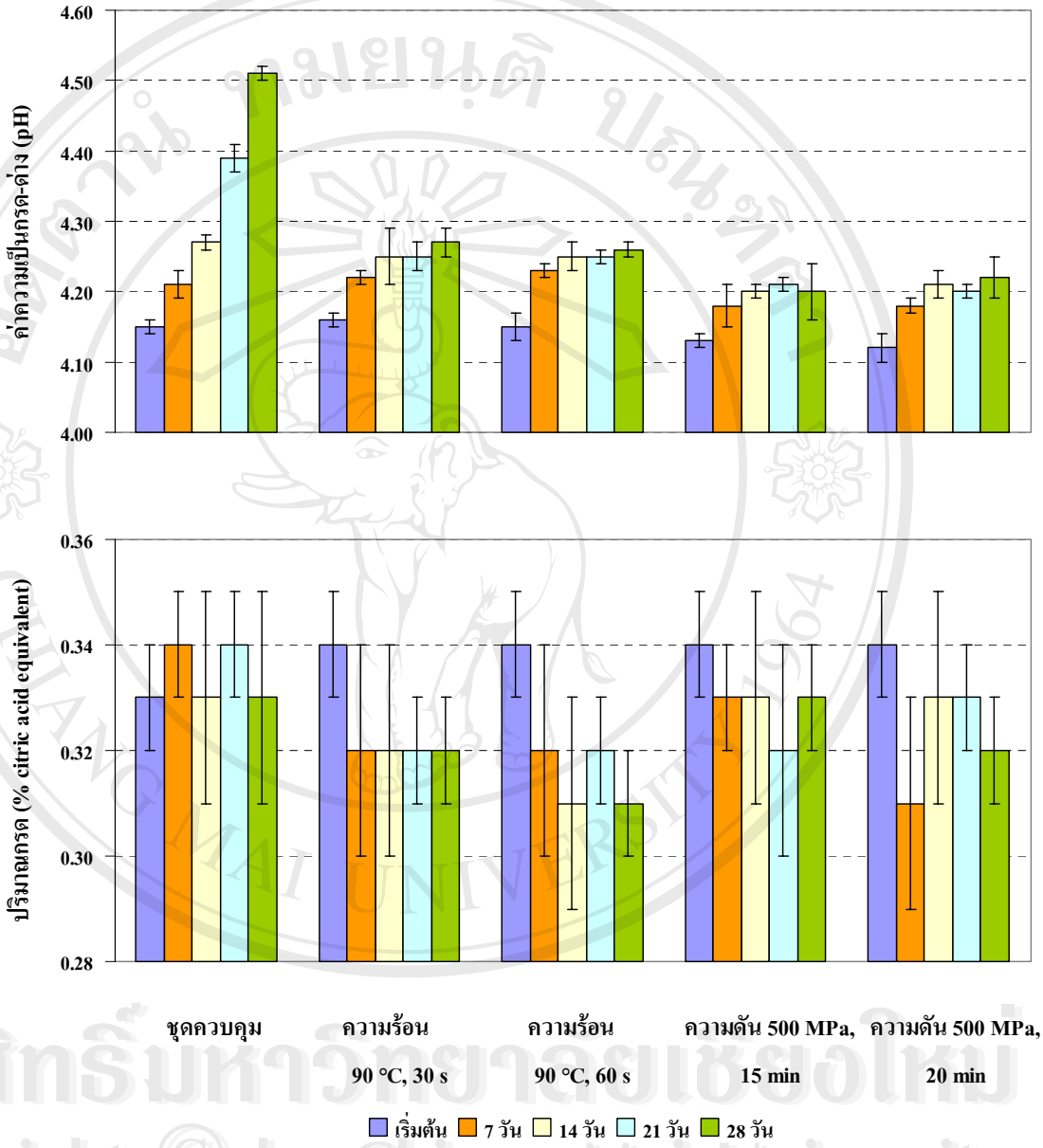



**รูปที่ 4.5** การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (viscosity) ระหว่างการเก็บรักษาน้ำฝรั่งแปรรูปที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 28 วัน

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่า การใช้ความร้อน 90 $^{o}$C เป็นเวลา 30 และ 60 วินาที ทำให้ค่าความหนืดของน้ำฝรั่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าลดลงจาก 12.51 เหลือ 4.57 และ 4.75 cP ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากความร้อนทำให้สารประกอบไฮโดรคอลลอยด์พวกเพคตินซึ่งมีปริมาณ 6.99-7.04 mg/100 ml (ดูภาคผนวกตามตารางภาคผนวก ข11) เกิดเจลและตกตะกอน (นิธิยา, 2545) เป็นผลให้น้ำฝรั่งที่แปรรูปด้วยความร้อนมีความหนืดเริ่มต้นต่ำกว่าชุดควบคุมและชุดที่แปรรูปด้วยความดันสูง และเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่า ความหนืดมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเนื่องจากเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเทอร์เรสถูกทำลาย (รูปที่ 4.10)

Michel and Autio (2002) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า degree of methylation ที่ระดับความดัน 0 – 800 MPa อุณหภูมิ 25 $^{o}$C ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 5.0 พบว่า ความดันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว จึงทำให้ค่าความหนืดของน้ำฝรั่งแปรรูปที่ความดัน 500 MPa เป็นเวลา 15 และ 20 นาที มีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุมตลอดอายุการเก็บรักษา โดยเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่า ความหนืดมีค่าลดลงซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเทอร์เรส (รูปที่ 4.10)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

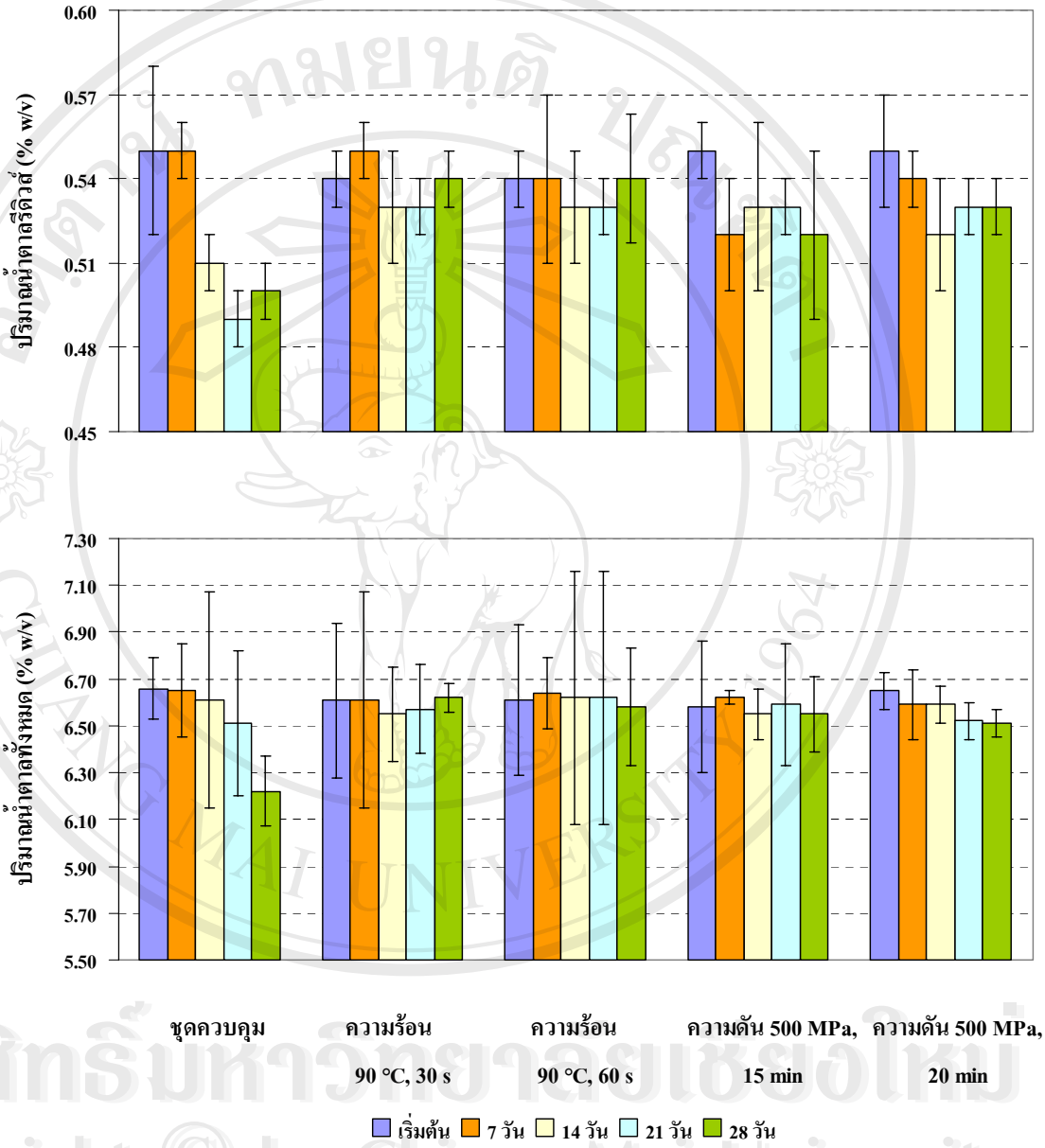



**รูปที่ 4.6** การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณกรด (acidity) ระหว่างการเก็บรักษาน้ำฝรั่งแปรรูปที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 28 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณกรด (acidity) ดังรูปที่ 4.6 จะเห็นว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เริ่มต้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 4.12 – 4.15 และมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งชุดควบคุมจะมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าการแปรรูปทั้ง 2 วิธี และเห็นการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเก็บน้ำฝรั่งแปรรูปไว้ตั้งแต่ 21 วันขึ้นไป การที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของชุดควบคุมมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อาจเนื่องมาจากมีเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่เจริญได้ดีในอาหารที่เป็นกรดเจริญเติบโต โดยใช้เอนไซม์ต่างๆ ที่มีอยู่ภายในเซลล์ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบของอาหาร ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารเพิ่มขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2540) ในขณะที่การแปรรูปด้วยความร้อน 90 $^{o}$C และความดัน 500 MPa จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่การแปรรูปด้วยความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าเนื่องจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (ตาราง 4.7 และ 4.8) เมื่อพิจารณาปริมาณกรด พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยปริมาณกรดทั้งหมดจะอยู่ในช่วง 0.31 – 0.34 %

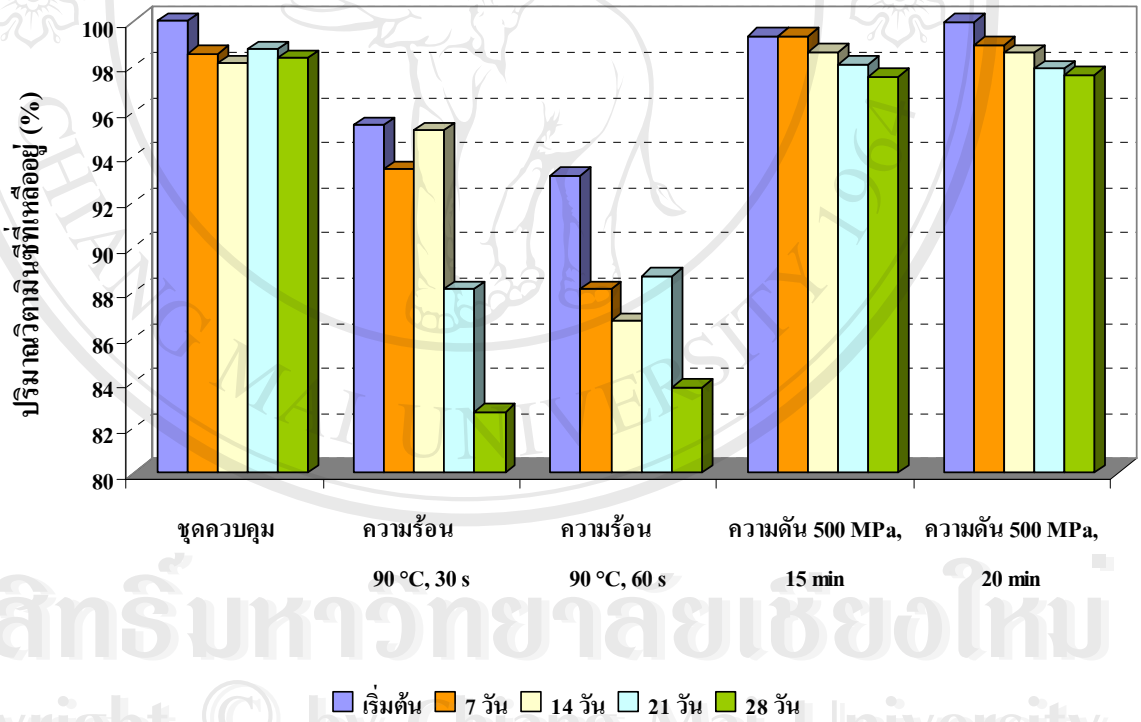
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved




**รูปที่ 4.7** การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ (reducing sugar) และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) ระหว่างการเก็บรักษาน้ำฝรั่งแปรรูปที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 28 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้ความร้อน 90 $^{o}$C เป็นเวลา 30 และ 60 วินาที และการใช้ความดัน 500 MPa เป็นเวลา 15 และ 20 นาที ทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดตลอดการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.49–0.55% และ 6.51-6.65% ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.7 เมื่อพิจารณาชุดควบคุมจะเห็นว่า น้ำตาลทั้งหมดค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยมีการลดลงจาก 6.66-6.22% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (psychrophile) และทนต่อกรดจึงใช้น้ำตาลในการเจริญ ส่วนตัวอย่างที่ถนอมด้วยความร้อนและความดันไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระดับของน้ำตาล เพราะการแปรรูปทั้งสองแบบทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้น้ำตาลเกือบหมดจึงไม่มีจุลินทรีย์ที่ใช้น้ำตาลเหลือรอด

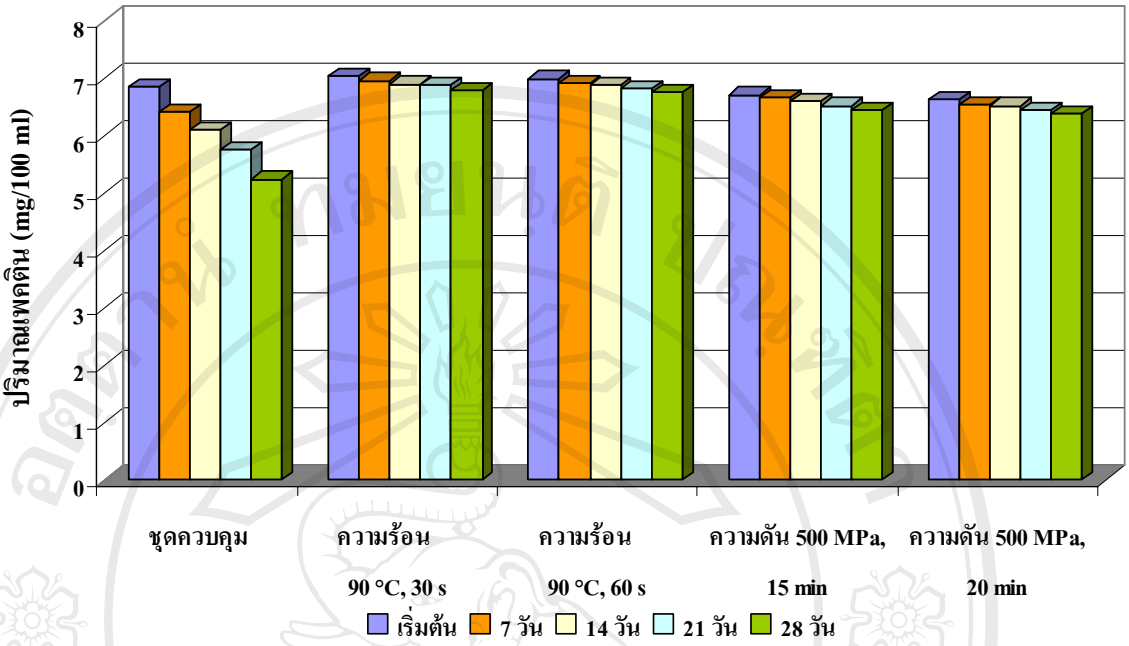



**รูปที่ 4.8** ปริมาณวิตามินซีที่เหลืออยู่ (residual vitamin C content) ระหว่างการเก็บรักษาน้ำฝรั่งแปรรูปที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 28 วัน

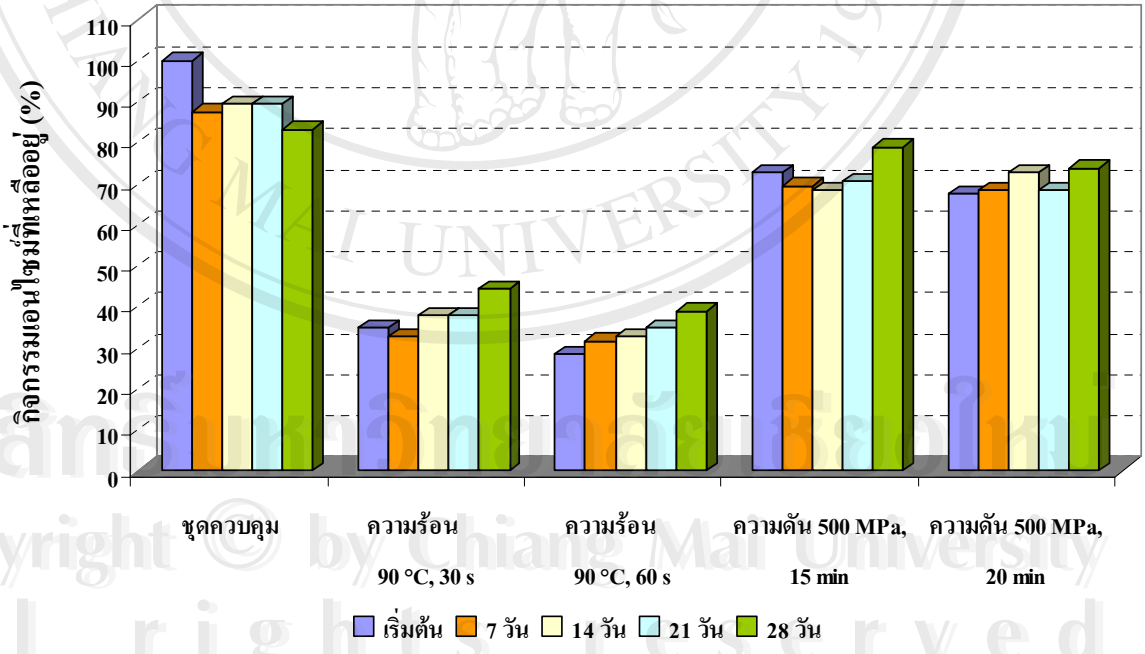
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณวิตามินซีของน้ำฝรั่งที่แปรรูปด้วยความร้อนที่ 90 $^{o}$C เป็นเวลา 30 และ 60 วินาที พบว่า มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยลดลงเหลือ 95.37 และ 93.15% ตามลำดับ และมีค่าลดลงเมื่อเวลาการเก็บมากขึ้นดังรูปที่ 4.8 ทั้งนี้ นิธิยา (2545) ได้อธิบายไว้ว่า วิตามินซีเป็นสารรีดิวซิงเอเจนต์อย่างแรง (strong reducing agent) ที่มีความคงตัวต่ำและสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน นอกจากนี้สารควิโนนซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ที่มีอยู่ในผลไม้ยังสามารถทำปฏิกิริยากับวิตามินซีทำให้วิตามินซีลดลงได้ และเนื่องจากวิตามินซีเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลคีโตส ความร้อนที่ใช้จึงสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างการเก็บรักษาได้ และจากตารางที่ 4.8 และ 4.9 พบว่า มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในชุดที่ให้ความร้อนเมื่อเก็บไว้มากกว่า 14 วัน จึงเป็นไปได้ว่า เชื้อจุลินทรีย์มีการใช้วิตามินซีในการเจริญเติบโต เมื่อพิจารณาการใช้ความดัน 500 MPa เป็นเวลา 15 และ 20 นาที พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีระหว่างการเก็บรักษา ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) คล้ายกับชุดควบคุม ซึ่ง Ogawa *et al.* (1989) รายงานไว้ว่า ความดันสูงไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซีในน้ำผลไม้ที่เป็นกรด (citrus juice) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yen and Lin (1996) ที่พบว่า ปริมาณวิตามินซีของเนื้อฝรั่งดีป่น หลังแปรรูปด้วยความดัน 600 MPa เป็นเวลา 15 นาที ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 40 วัน ที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved




**รูปที่ 4.9** การเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคติน (pectin) ระหว่างการเก็บรักษาน้ำฝรั่งแปรรูป ที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 28 วัน



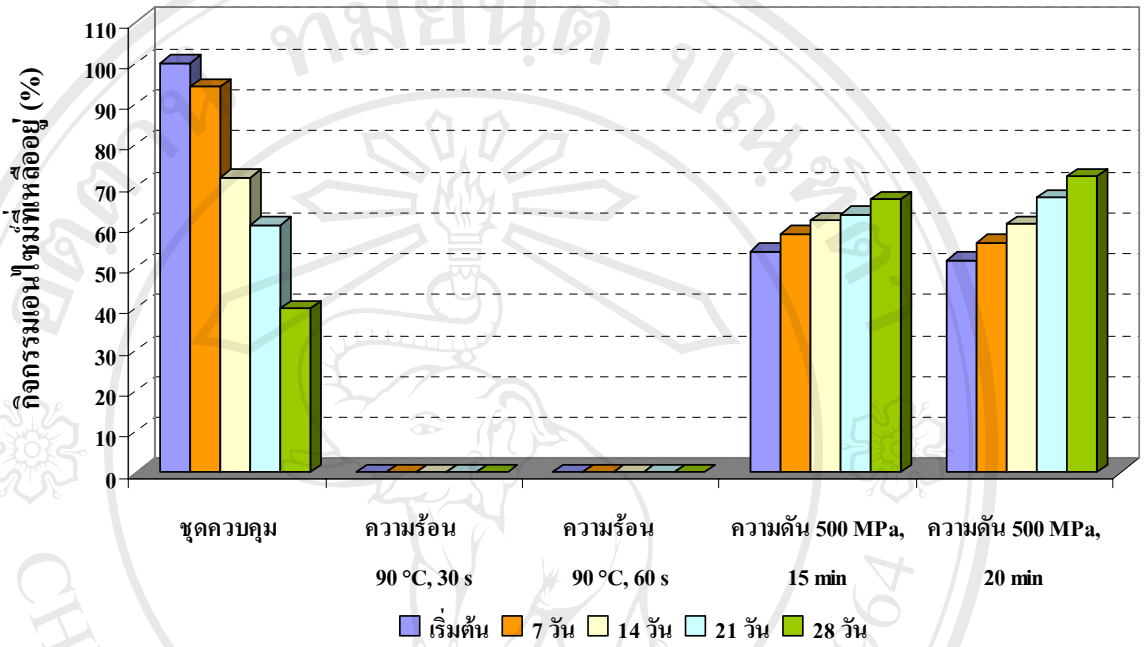

**รูปที่ 4.10** ค่ากิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเทอร์เรสที่เหลืออยู่ (residual pectin methyl--esterase activity) ระหว่างการเก็บรักษาน้ำฝรั่งแปรรูป ที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 28 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้ความร้อน 90 $^{o}$C และความดัน 500 MPa มีผลทำให้ปริมาณเพคตินของน้ำฝรั่งมีค่าลดลงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.9 โดยการแปรรูปด้วยความร้อน 90 $^{o}$C เป็นเวลา 30 และ 60 วินาที มีค่าลดลงจาก 7.04 เหลือ 6.79 และ 6.99 เหลือ 6.75 mg/100 ml ตามลำดับ ส่วนการแปรรูปด้วยความดัน 500 MPa เป็นเวลา 15 และ 20 นาที มีค่าลดลงจาก 6.70 เหลือ 6.43 และ 6.63 เหลือ 6.34 mg/100 ml ตามลำดับ ซึ่งชุดควบคุมมีการลดลงของเพคตินอย่างเห็นได้ชัด โดยมีค่าลดลงจาก 6.85 เหลือ 5.24 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร ทั้งนี้เป็นผลจากกิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเทอร์เรส (Yen and Lin, 1996) สอดคล้องกับรูปที่ 4.10 ที่กิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเทอร์เรสเพิ่มขึ้นตามเวลาเก็บที่เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาร่วมกับรูปที่ 4.10 จะเห็นว่า การใช้ความร้อน 90 $^{o}$C มีผลยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ดีกว่าการใช้ความดัน 500 MPa และระยะเวลาการแปรรูปที่เพิ่มขึ้นก็มีผลยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ได้มากขึ้นเช่นเดียวกัน โดยการแปรรูปด้วยความร้อน 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 และ 60 วินาที มีค่าลดลงเหลือ 34.84 และ 28.42 % ตามลำดับ และการแปรรูปด้วยความดัน 500 MPa เป็นเวลา 15 และ 20 นาที มีค่าลดลงเหลือ 72.63 และ 67.37 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามความดันสามารถยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์เพคตินได้เพียงชั่วคราวเท่านั้น ไม่สามารถยับยั้งได้อย่างสมบูรณ์ เห็นได้จากการที่ค่ากิจกรรมของเอนไซม์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 28 วัน ทำให้ปริมาณเพคตินในน้ำฝรั่งแปรรูป (ภาพ 4.9) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ซึ่ง Ludikhuyze *et al.* (2002) ได้อธิบายการลดลงของปริมาณเพคตินเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเทอร์เรส ไว้ว่า เอนไซม์ดังกล่าวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการดึงหมู่เมทิล ($-CH_3$) ทำให้เกิดหมู่คาร์บอกซิลอิสระ (-COOH) ในโมเลกุลของเพคตินมากขึ้นได้เป็นกรดเพคติก ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับ อิออนบวกชนิดไดวาเลนท์ (divalent cation) ได้ดี โดยเฉพาะแคลเซียมอิออน ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของแคลเซียมเพคเตทที่ไม่ละลายน้ำและตกตะกอนเป็นผลให้ปริมาณเพคตินลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

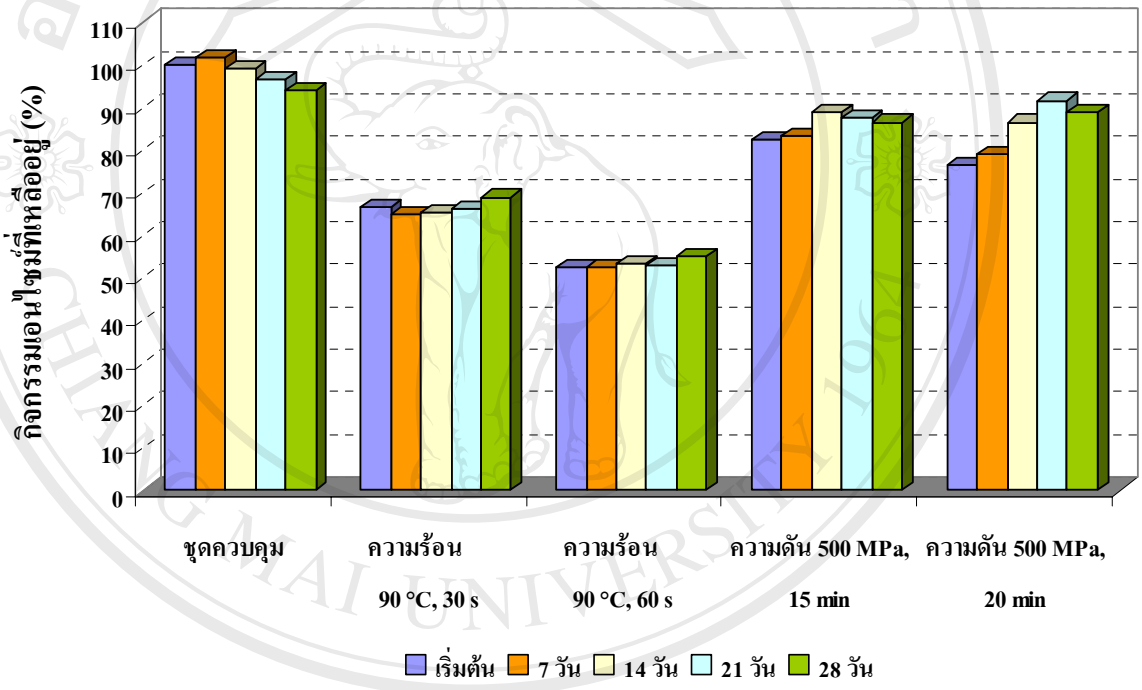



**รูปที่ 4.11** ค่ากิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เหลืออยู่ (residual peroxidase activity) ระหว่างการเก็บรักษาน้ำฝรั่งแปรรูป ที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 28 วัน

กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เหลืออยู่ในน้ำฝรั่งแปรรูป (รูปที่ 4.11) พบว่า การใช้ความดัน 500 MPa เป็นเวลา 15 และ 20 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้เพียงชั่วคราว และมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บรักษา โดยเพิ่มขึ้นจาก 53.99 เป็น 66.72% และ 51.84 เป็น 72.24% จากเวลาเก็บที่ 0 วัน ถึง 28 วัน ตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมมีการลดลงของค่ากิจกรรมเอนไซม์ตลอดระยะเวลาเก็บรักษาเหลือ 39.88% เนื่องจากการลดลงของสารประกอบฟีนอลในน้ำฝรั่ง ซึ่งเอนไซม์นำไปใช้เป็นสับสเตรทในปฏิกิริยา peroxidatic reaction (Lagrimini, 1991) ดังนั้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บรักษาทำให้สับสเตรทมีปริมาณลดลง เป็นผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสลดลงตามไปด้วย ส่วนการใช้ความร้อน 90 $^{o}$C เป็นเวลา 30 และ 60 วินาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองในเนื้อฝรั่งตีป่นของ Yen and Lin (1996) ที่เปรียบเทียบผลระหว่างความดัน 400-600 MPa เวลา 15 นาที กับการใช้ความร้อน 88-90 $^{o}$C เป็นเวลา 24 วินาที โดยความดันสามารถยับยั้งกิจกรรมของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้ชั่วคราว แต่ความร้อนสามารถยับยั้งได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องมาจากเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเป็นเอนไซม์ที่ทนความดันสูงแต่ไม่ทนความร้อน ดังนั้นการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์จำเป็นต้องใช้ความดันที่สูงมาก หรือมีการใช้อุณหภูมิร่วมด้วย (Ludikhuyze *et al.*, 2002) เช่น ใช้ความดัน 900 MPa เป็นเวลา 10 นาที สำหรับถั่วเขียว สามารถลดกิจกรรมลงไปได้ 88% (Quaglia *et al.*,1996) เป็นต้น




**รูปที่ 4.12** ค่ากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่เหลืออยู่ (residual polyphenoloxidase activity)ระหว่างการเก็บรักษาน้ำฝรั่งแปรรูป ที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 28 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นว่า การใช้ความดันสูงที่ 500 MPa เป็นเวลา 15 และ 20 นาที ทำให้ค่ากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสลดลงเหลือ 82.41% และ 76.39% ตามลำดับ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บรักษา ในขณะที่การใช้ความร้อนที่ 90 $^{o}$C เป็นเวลา 30 และ 60 วินาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสลงเหลือ 66.67% และ 52.31% ตามลำดับ จะเห็นว่า เวลาให้ความร้อนนานขึ้นสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ดีขึ้น และความร้อนสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ดีกว่าการใช้ความดันสูง ซึ่ง Ludikhuyze *et al.* (2002) รายงานไว้ว่า การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่อุณหภูมิห้องต้องใช้ความดันสูงมาก โดยเฉพาะผลไม้ที่มีความเป็นกรด เช่น มากกว่า 600 MPa อุณหภูมิ 25 $^{o}$C 10 นาที สำหรับเนื้อฝรั่งตีป่น (Yen and Lin, 1996) หรือ 900 MPa อุณหภูมิ 15 $^{o}$C 2 นาที สำหรับน้ำองุ่น (Castellari *et al*., 1997) เป็นต้น

เมื่อพิจารณาชุดควบคุม จะเห็นว่า กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (รูปที่ 4.11) จากตารางภาคผนวก ข16 พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสลดลงจาก 2.16 เหลือ 2.03 unit/ml ในขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมีค่าลดลงจาก 6.52 เหลือ 2.60 unit/ml (ตารางภาคผนวก ข14) จากเวลาเก็บที่ 0 วัน ถึง 28 วัน ตามลำดับ จะเห็นว่า เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาเก็บรักษาค่ากิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมีค่ามากกว่าเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส นั่นคือเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสสามารถใช้สารประกอบฟีนอลในน้ำฝรั่งได้ดีกว่า จึงเป็นไปได้ว่า ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ในน้ำฝรั่ง เป็นผลจากเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมากกว่าเกิดจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (จักรพงษ์ และจริงแท้, 2536; ณภัศศรณ์, 2544; บัวหลวง, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง 4.8** ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count ; log cfu/ml) ระหว่างการเก็บรักษาน้ำฝรั่งแปรรูป ที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 28 วัน

| ระยะเวลา | ชุดควบคุม | เทคนิคความร้อน (90 $^{0}$C) | | เทคนิคความดันสูง (500 MPa) | |
|---|---|---|---|---|---|
| (วัน) | | 30 วินาที | 60 วินาที | 15 นาที | 20 นาที |
| 0 | 3.49 | ND | ND | ND | ND |
| 7 | 3.48 | ND | ND | ND | ND |
| 14 | 3.59 | < 1.4 | < 1.4 | ND | ND |
| 21 | 3.86 | < 1.4 | < 1.4 | ND | ND |
| 28 | 4.01 | < 1.4 | < 1.4 | ND | ND |

หมายเหตุ : ND = ตรวจไม่พบ (not detected)

**ตาราง 4.9** ปริมาณเชื้อยีสต์และรา (yeast and mold ; log cfu/ml) ระหว่างการเก็บรักษาน้ำฝรั่งแปรรูปที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 28 วัน

| ระยะเวลา | ชุดควบคุม | เทคนิคความร้อน (90 $^{0}$C) | | เทคนิคความดันสูง (500 MPa) | |
|---|---|---|---|---|---|
| (วัน) | | 30 วินาที | 60 วินาที | 15 นาที | 20 นาที |
| 0 | 3.43 | ND | ND | ND | ND |
| 7 | 3.54 | ND | ND | ND | ND |
| 14 | 3.76 | < 1.4 | < 1.4 | ND | ND |
| 21 | 3.90 | < 1.4 | < 1.4 | ND | ND |
| 28 | 3.87 | < 1.4 | < 1.4 | ND | ND |

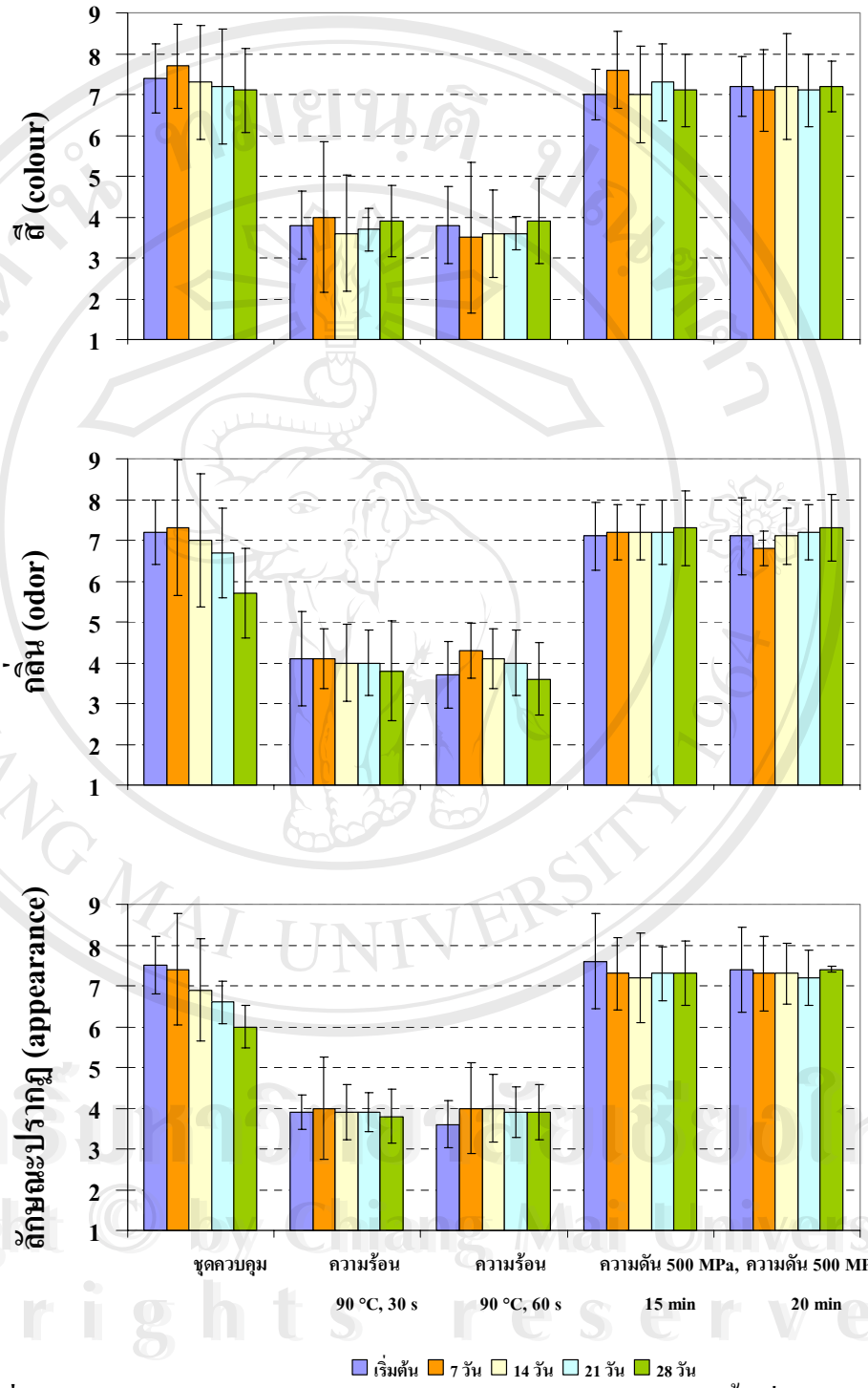
หมายเหตุ : ND = ตรวจไม่พบ (not detected)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของน้ำฝรั่งแปรรูประหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 28 วัน (ตาราง 4.8 และ 4.9) พบว่า ชุดควบคุมมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณเชื้อยีสต์และรา มีค่าเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาเก็บรักษา แสดงว่า เชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญน่าจะเป็นเชื้อยีสต์และรากลุ่มที่เจริญได้ดีในสภาวะอุณหภูมิต่ำและทนกรด ส่วนการใช้ความร้อนที่ 90 $^{o}$C เป็นเวลา 30 และ 60 วินาที และการใช้ความดันสูงที่ 500 MPa เป็นเวลา 15 และ 20 นาที ที่อุณหภูมิ 30 $^{o}$C สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งระดับความร้อนที่ใช้แปรรูปเป็นแบบพาสเจอไรซ์ (pasteurization) โดยทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ เช่น แบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ ยีสต์และรา ซึ่งความร้อนจะทำให้โปรตีนในเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์จับตัวกันตกตะกอน (coagulation) และทำให้เอนไซม์ต่างๆ ที่จำเป็นต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์เสื่อมสภาพเป็นผลให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ (สุมาลี, 2541) อย่างไรก็ตาม การพาสเจอร์ไรซ์ไม่สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ทนความร้อน ได้จะเห็นว่ามีการเจริญของเชื้อน้อยกว่า 1.4 log cfu/ml ระหว่างการเก็บรักษาตั้งแต่วันที่ 14 เป็นต้นไป

ในส่วนของความดันสูงนั้น พบว่า ความดันจะมีผลต่อเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้สูญเสียคุณสมบัติการแทรกผ่านของสารต่างๆ และมีผลยับยั้งเอนไซม์ในกระบวนการเมตาบอลิซึม นอกจากนี้ยังทำให้โปรตีนถูกทำลาย อย่างไรก็ตามความดันไม่อาจสามารถทำลายเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์เพียงแต่ทำให้เกิดบาดแผลหรือความเสียหายเท่านั้น (Prestamo *et al*., 1999; Tedford *et al*., 1998) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Parish (1998) โดยได้เปรียบเทียบคุณภาพของน้ำส้มวาเลนเซียที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ด้วยความร้อนและความดันสูง พบว่า การทำลายเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 วิธีนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4 และ 8 $^{o}$C เป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างทั้ง 2 มีน้อยกว่า 10 cfu/ml นอกจากนี้ Yen and Lin (1996) ได้ศึกษาผลของเทคนิคความดันสูงต่ออายุการเก็บเนื้อฝรั่งตีป่น พบว่า ความดันที่ 600 MPa อุณหภูมิ 25 $^{o}$C เวลา 15 นาที ทำให้จุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงเหลือน้อยกว่า 10 cfu/ml ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 60 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved




**รูปที่ 4.13** ค่าคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาน้ำฝรั่งแปรรูป ที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 28 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของน้ำฝรั่งแปรรูป (ดังรูปที่ 4.13) พบว่า การใช้ความร้อน 90 $^{o}$C ทำให้การยอมรับทางด้านสี กลิ่นและลักษณะปรากฏมีค่าน้อยกว่าการใช้ความดัน 500 MPa อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนการถนอมด้วยความดัน 500 MPa เวลา 15 และ 20 นาที มีค่าทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสีคล้ายกับชุดควบคุม แต่เหนือกว่าชุดควบคุมในด้านกลิ่นและลักษณะปรากฏ นอกจากนี้ผลของการแปรรูปโดยใช้ความดันทำให้ได้น้ำฝรั่งที่มีสีและกลิ่น ไม่แตกต่างจากตัวอย่างสดตลอดเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 28 วัน สอดคล้องกับการวิจัยของ Yen and Lin (1998) ที่ได้ศึกษาผลของเทคนิคความดันสูง 600 MPa อุณหภูมิ 25 $^{o}$C เวลา 15 นาที ต่อการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของสารที่ระเหยได้ (volatile components) ในน้ำฝรั่ง พบว่า ความดันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบเอสเทอร์และแอลกอฮอล์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C พบว่า สามารถเก็บรักษาได้ 30 วัน โดยมีส่วนประกอบของสารดังกล่าวใกล้เคียงกับตัวอย่างสด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved