

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 การตรวจสอบคุณภาพของลำไยสดพันธุ์ดอ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของลำไยสดพันธุ์ดอก่อนการแปรรูป แสดงดัง ตาราง 4.1

ตาราง 4.1 คุณภาพทางด้านกายภาพและทางด้านเคมีของลำไยสดพันธุ์ดอ

	ค่าตรวจวัด	ปริมาณ
คุณภาพทางกายภาพ	การวัดค่าสี	
	ค่าสี L*	45.54 ± 0.52
	ค่าสี a*	1.50 ± 0.04
	ค่าสี b*	5.83 ± 0.16
คุณภาพทางเคมี	เนื้อสัมผัส: ค่าความแน่นเนื้อ (firmness; N)	0.83 ± 0.04
	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.85 ± 0.03
	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	18.30 ± 1.40
	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar; %)	7.93 ± 0.11
	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar; %)	15.34 ± 0.04
	ปริมาณวิตามินซี (mg/100g)	82.64 ± 0.98
	กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (unit/ml)	1,775.91 ± 49.08
กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (unit/ml)	913.77 ± 74.46	

หมายเหตุ - ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตาราง 4.1 พบว่าลำไยสดพันธุ์ดอมีคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี ดังนี้ เนื้อลำไยมีค่าสี L\* (ความสว่าง) ค่าสี a\* (สีแดง-สีเขียว) และค่าสี b\* (สีเหลือง-สีน้ำเงิน) เท่ากับ 45.54, 1.50 และ 5.83 ตามลำดับ แสดงว่าลำไยตัวอย่างมีสีชาวนุ่น มีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 0.83 นิวตัน และจากผล

การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าลำไยสดพันธุ์ดอเป็นผลไม้ชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำ ( $> 4.5$ ) มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเท่ากับ  $18.30^{\circ}\text{Brix}$  ซึ่งลำไยโดยทั่วไปจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $16 - 25^{\circ}\text{Brix}$  และส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ ซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส (Marisa, 2006) มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 7.93 และ 15.34 % ตามลำดับ ซึ่งเนื้อลำไยสดจะมีน้ำตาล 3 ชนิดหลัก ๆ คือ กลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส จุลินทรีย์สามารถเจริญได้เนื่องจากมีน้ำตาลซึ่งเป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ (สุนทนา, 2545) ปริมาณวิตามินซีในลำไยพันธุ์ดอ มีค่าเท่ากับ  $82.64 \text{ mg}/100\text{g}$  Marisa (2006) ได้วิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีในผลไม้ที่ปลูกในฮาวาย พบว่าลำไยมีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุด คือ  $60.1 \text{ mg}/100\text{g}$  ลิ้นจี่มีปริมาณวิตามินซี  $27.6 \text{ mg}/100\text{g}$  และเงาะมีปริมาณวิตามินซี  $36.4 \text{ mg}/100\text{g}$

ด้านกิจกรรมของเอนไซม์พบว่าลำไยพันธุ์ดอมีกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) และโพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) เท่ากับ 1,775.91 และ 913.77 unit/ml ตามลำดับ กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดสีน้ำตาลที่ไม่ต้องการในเนื้อเยื่อของผลไม้และผัก (Fujita *et al.*, 1995) เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (POD) ทำให้ผลไม้และผักสดที่ยังไม่ได้ลวกมีกลิ่นผิดปกติ (Lo pez *et al.*, 1994) นอกจากนี้ปริมาณเอนไซม์ที่เหลืออยู่ในลำไยอาจเป็นสาเหตุให้ลำไยในน้ำเชื่อมเกิดการเสื่อมคุณภาพได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่เกิดจากเอนไซม์ที่มีอยู่ในอาหาร โดยเมื่อเนื้อเยื่อของลำไยเกิดความเสียหายทำให้เอนไซม์ที่อยู่ในเนื้อเยื่อถูกปลดปล่อยออกมาสัมผัสกับสารตั้งต้น เช่น สารฟีนอลิกที่อยู่ในเนื้อ และออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเคมีโดยเอนไซม์ได้ (Aquino-Bolanos and Mercado-Sliva, 2004)

#### 4.2 ศึกษาการแปรรูปลำไยในน้ำเชื่อมที่เหมาะสมด้วยเทคนิคความดันสูงยิ่งและการพาสเจอไรซ์

ผลของระดับความดันที่ 400 และ 500 MPa อุณหภูมิ 30 และ 40 °C ระยะเวลาคงความดัน 40 นาที และการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 93 °C เป็นเวลา 10 นาที (สถาบันอาหาร, 2549) มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางจุลชีววิทยาของลำไยในน้ำเชื่อม ดังนี้

ตาราง 4.2 ผลของระดับความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิและการพาสเจอไรซ์ต่อค่าความแน่นเนื้อ

กระบวนการแปรรูป	ความแน่นเนื้อ (N)	
ชุดควบคุม	1.15 <sup>a</sup> ± 0.02	
การพาสเจอไรซ์ อุณหภูมิ 93 °C	0.78 <sup>d</sup> ± 0.01	
ความดัน 400 MPa	อุณหภูมิ 30 °C	1.01 <sup>b</sup> ± 0.01
	อุณหภูมิ 40 °C	0.92 <sup>c</sup> ± 0.02
ความดัน 500 MPa	อุณหภูมิ 30 °C	1.01 <sup>b</sup> ± 0.01
	อุณหภูมิ 40 °C	0.94 <sup>c</sup> ± 0.01

หมายเหตุ - ชุดควบคุม คือ ลำไยในน้ำเชื่อมที่ไม่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและการพาสเจอไรซ์  
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร a กำกับ มีค่ามากที่สุด  
 - ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติผลของระดับความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิต่อค่าความแน่นเนื้อ

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
	ความแน่นเนื้อ (N)
ระดับความดัน	-
อุณหภูมิ	+
ระดับความดัน x อุณหภูมิ	-

หมายเหตุ + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
 - หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )  
 การวิเคราะห์ไม่รวมถึงชุดควบคุมและการแปรรูปด้วยการพาสเจอไรซ์

จากตาราง 4.2 แสดงค่าไยในน้ำเชื่อมชูดควบคุม (ค่าไยในน้ำเชื่อมที่ไม่ได้ผ่านการแปรรูป) มีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด ค่าไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านความดันสูงมีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่าค่าไยที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จะเห็นว่าความดันสูงยังสามารถรักษาความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งการสูญเสียโครงสร้างพื้นฐานของอาหารที่ผ่านความร้อนเกิดจากผนังเซลล์แยกออกจากกัน เนื่องจากตาข่ายเพคตินของผนังเซลล์ถูกทำลาย (Lillford, 2000) สอดคล้องกับการทดลองของ Castro *et al.* (2007) ซึ่งพบว่าความแน่นเนื้อของพริกหยวกหลังจากผ่านความดันสูงอยู่ที่ 100 - 200 MPa เป็นเวลา 10 - 20 นาที มีค่าสูงกว่าความแน่นเนื้อของพริกหยวกที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 70 - 98 °C เวลา 1 - 2.5 นาที ผลจากตาราง 4.3 พบว่าอุณหภูมิมีผลทำให้ค่าความแน่นเนื้อของค่าไยในน้ำเชื่อมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในขณะที่ระดับความดันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้อ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาแคโรทที่ผ่านความดันสูงมากกว่า 300 MPa พบว่าแคโรทไม่มีการสูญเสียค่าความแน่นเนื้อ (Michel and Autio, 2001; Cheftel, 1995) และ Quaglia *et al.* (1996) ได้รายงานว่าความดันสูง 400 - 900 MPa เป็นเวลา 5 - 10 นาที ไม่มีผลต่อค่าความแน่นเนื้อของถั่วเขียว

ตาราง 4.4 ผลของระดับความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิและการพาสเจอร์ไรซ์ต่อค่าสี L\* a\* และ b\*

กระบวนการแปรรูป	ค่าสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*	
ชูดควบคุม	49.06 <sup>c</sup> ± 0.28	0.61 <sup>a</sup> ± 0.02	-0.76 <sup>c</sup> ± 0.20	
การพาสเจอร์ไรซ์ อุณหภูมิ 93 °C	50.02 <sup>b</sup> ± 0.25	-0.07 <sup>b</sup> ± 0.01	0.81 <sup>a</sup> ± 0.16	
ความดัน 400 MPa	อุณหภูมิ 30 °C	52.88 <sup>a</sup> ± 0.13	-0.37 <sup>c</sup> ± 0.04	0.20 <sup>d</sup> ± 0.08
	อุณหภูมิ 40 °C	53.59 <sup>a</sup> ± 0.37	-0.66 <sup>d</sup> ± 0.12	0.51 <sup>bc</sup> ± 0.16
ความดัน 500 MPa	อุณหภูมิ 30 °C	52.69 <sup>a</sup> ± 0.16	-0.43 <sup>c</sup> ± 0.07	0.30 <sup>cd</sup> ± 0.05
	อุณหภูมิ 40 °C	52.87 <sup>a</sup> ± 0.27	-0.66 <sup>d</sup> ± 0.05	0.56 <sup>b</sup> ± 0.05

หมายเหตุ - ชูดควบคุม คือ ค่าไยในน้ำเชื่อมที่ไม่ผ่านความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์ไรซ์

- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในกลุ่มการทดลองเดียวกัน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร a กำกับ มีค่ามากที่สุด
- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติผลของระดับความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิต่อค่าสี L\* a\* และ b\*

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05		
	ค่าสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*
ระดับความดัน	-	-	-
อุณหภูมิ	-	+	+
ระดับความดัน x อุณหภูมิ	-	-	-

หมายเหตุ + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

การวิเคราะห์ไม่รวมถึงชุดควบคุมและการแปรรูปด้วยการพาสเจอไรซ์

จากตาราง 4.4 แสดงผลของความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิและการพาสเจอไรซ์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของลำไยในน้ำเชื่อม พบว่าเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิและการพาสเจอไรซ์มีความใสมากกว่าชุดควบคุม โดยทุกหน่วยทดลองมีค่าสี L\* สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในการทดลองของ Phunchaisri and Apichartsrangkoon (2005) พบว่าค่าสี L\* ของลิ้นจี่ที่แปรรูปด้วยกระบวนการความดันสูงยิ่ง 200 - 600 MPa อุณหภูมิ 20 - 60 °C มีค่าสี L\* สูงกว่าชุดควบคุม สุนทรื และอรุณี (2550) ได้ศึกษาการแปรรูปลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมด้วยความดันสูงยิ่ง 600 MPa ที่อุณหภูมิ 30 และ 50 °C เป็นเวลา 20 นาที และการพาสเจอไรซ์อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 3 นาที พบว่าเนื้อลิ้นจี่ทุกหน่วยทดลองมีค่า L\* เพิ่มขึ้นจากลิ้นจี่สดเช่นกัน และจากการศึกษาผลของความดันสูงยิ่ง 400 MPa ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 10 นาที ต่อสีของแพร์ (pears) และพลับ (persimmons) พบว่าจะมีความใสเพิ่มขึ้น (Asaka and Hayashi, 1991)

ค่าสี a\* ของเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิและการพาสเจอไรซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) การแปรรูปด้วยการพาสเจอไรซ์มีผลทำให้เนื้อลำไยมีค่าสี a\* สูงกว่าการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งทุกหน่วยทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) สอดคล้องกับการทดลองของ สุนทรื และอรุณี (2550) ได้ศึกษาการแปรรูปลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมด้วยความดันสูงยิ่ง 600 MPa ที่อุณหภูมิ 30 และ 50 °C เป็นเวลา 20 นาที และการพาสเจอไรซ์อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 3 นาที พบว่าเนื้อลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมที่ผ่านการพาสเจอไรซ์มีค่าสี a\* สูงกว่าเนื้อลิ้นจี่ที่ผ่านความดันสูงยิ่งทุกหน่วยทดลองและจากการศึกษาลิ้นจี่ที่ผ่านกระบวนการความดันสูงยิ่ง 200 - 600 MPa อุณหภูมิ 20 - 60 °C เวลา

10 - 20 นาที ส่งผลให้ค่าสี  $a^*$  ของลีนจี้มีค่าลดลง (Phunchaisri and Apichartsrangkoon, 2005)

ค่าสี  $b^*$  ของเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิและการพาสเจอร์ไรซ์มีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) การแปรรูปด้วยการพาสเจอร์ไรซ์มีผลทำให้เนื้อลำไยมีค่าสี  $b^*$  สูงกว่าการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งทุกหน่วยทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยค่าสี  $b^*$  ที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสีอันอาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์และปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์เป็นตัวเร่ง (Fennema, 1996) นอกจากนี้ Phunchaisri and Apichartsrangkoon (2005) รายงานว่า การใช้ความดันสูงยิ่ง 200 - 600 MPa อุณหภูมิ 20 - 60 °C เป็นเวลา 20 นาที ทำให้ค่าสี  $b^*$  ของลีนจี้มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิ 60 °C จะมีค่าสี  $b^*$  เพิ่มขึ้นมากที่สุด

ในการเปรียบเทียบกระบวนการใช้ความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์ไรซ์ในการแปรรูปลำไยในน้ำเชื่อม พบว่าความดันสูงยิ่งมีผลทำให้ค่าสี  $L^*$  มีค่าสูงที่สุด ส่วนการพาสเจอร์ไรซ์มีผลทำให้ค่าสี  $a^*$  และ  $b^*$  มีค่าสูงกว่าการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งแสดงว่าความดันส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีที่อ่อนกว่าการพาสเจอร์ไรซ์และการพาสเจอร์ไรซ์มีผลทำให้เนื้อลำไยมีสีแดงและเหลืองเพิ่มมากกว่าการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่ง

จากตาราง 4.5 พบว่าความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิมิผลต่อค่าสี  $L^*$  ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) อุณหภูมิมีผลต่อค่าสี  $a^*$  แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และพบว่าอุณหภูมิมิผลทำให้ค่าสี  $b^*$  เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ค่าความเป็นกรด-ด่างของลำไยในน้ำเชื่อมชุดควบคุมและผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิและการพาสเจอร์ไรซ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) มีค่าอยู่ในช่วง 4.34 - 4.38

ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมชุดควบคุมและผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิและการพาสเจอร์ไรซ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของลำไยในน้ำเชื่อมอยู่ในช่วง 20.85 - 21.24 และ 13.88 - 14.62 % ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดลองของ สุนทรีและอรุณี (2550) ซึ่งทำการแปรรูปลีนจี้ในน้ำเชื่อมด้วยความดันสูงยิ่ง 600 MPa ที่อุณหภูมิ 30 และ 50 °C เป็นเวลา 20 นาที และการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 3 นาที พบว่ากระบวนการแปรรูป อุณหภูมิที่ใช้ร่วมกับความดันสูงยิ่ง และการแช่เนื้อลีนจี้ในสารละลายผสมของแคลเซียม

คลอไรด์และกรดซัลฟูริกไม่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด เนื่องจากในการผลิตขั้นตอนของการเตรียมน้ำเชื่อมมีการควบคุมปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 23 °Brix ทุกหน่วยทดลอง จึงส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลไม่แตกต่างกัน

ตาราง 4.6 ผลของระดับความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิและการพาสเจอร์ไรซ์ต่อปริมาณวิตามินซี

กระบวนการแปรรูป		ปริมาณวิตามินซี (mg/100 g)	ปริมาณวิตามินซี ที่เหลือ (%)
ชุดควบคุม		37.96 <sup>a</sup> ± 2.12	100
การพาสเจอร์ไรซ์ อุณหภูมิ 93 °C		17.46 <sup>c</sup> ± 0.97	46
ความดัน 400 MPa	อุณหภูมิ 30 °C	29.17 <sup>b</sup> ± 1.39	77
	อุณหภูมิ 40 °C	28.71 <sup>b</sup> ± 1.61	76
ความดัน 500 MPa	อุณหภูมิ 30 °C	30.10 <sup>b</sup> ± 0.80	79
	อุณหภูมิ 40 °C	28.24 <sup>b</sup> ± 2.12	74

หมายเหตุ - ชุดควบคุม คือ ลำไยในน้ำเชื่อมที่ไม่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์ไรซ์  
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร a กำกับ มีค่ามากที่สุด  
 - ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติผลของระดับความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิต่อปริมาณวิตามินซี

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	
	ปริมาณวิตามินซี (mg/100 g)	
ระดับความดัน	-	
อุณหภูมิ	-	
ระดับความดัน x อุณหภูมิ	-	

หมายเหตุ + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
 - หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )  
 การวิเคราะห์ไม่รวมถึงชุดควบคุมและการแปรรูปด้วยการพาสเจอร์ไรซ์

ตาราง 4.6 แสดงลำไยในน้ำเชื่อมเมื่อแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิ พบว่ามีปริมาณวิตามินซีคงเหลือโดยเฉลี่ยเท่ากับ 74 - 79 % ในขณะที่การพาสเจอร์ไรซ์ทำให้ลำไยสูญเสีย

วิตามินซีไปมากกว่า โดยมีปริมาณวิตามินซีคงเหลืออยู่เพียง 46 % ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ สุนทรี และอรุณี (2550) ซึ่งทำการศึกษาปริมาณวิตามินซีของเนื้อลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมที่ผ่านการแปรรูป ด้วยความดันสูงถึง 600 MPa อุณหภูมิ 30 และ 50 °C เป็นเวลา 20 นาที และการพาสเจอร์ไรซ์ที่ อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 3 นาที พบว่าลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมที่ผ่านความดันสูงถึง 600 MPa อุณหภูมิ 30 และ 50 °C มีปริมาณวิตามินซีคงเหลือไม่แตกต่างกันคือมีค่าเท่ากับ 78.56 และ 80.53 % ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณที่มากกว่าลิ้นจี่ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์เท่ากับ 46.63 % นอกจากนี้ Quaglia *et al.* (1996) ได้ศึกษาวิตามินซีในลิ้นจี่ที่ผ่านความดันสูง 900 MPa พบว่ามีปริมาณวิตามินซีเหลือ 82 % ส่วนลิ้นจี่ที่ผ่านการลวกมีวิตามินซีเหลือเพียง 12 % Castro *et al.* (2007) ศึกษาพริกหยวกที่ ผ่านความดันสูง 100 - 200 MPa พบว่ามีปริมาณวิตามินซีเหลือมากกว่าพริกหยวกที่ผ่านการลวกที่ อุณหภูมิ 80 และ 98 °C ตามลำดับ อีกทั้งจากรายงานของ Krebbers *et al.* (2002) พบว่าถั่วเขียวที่ ผ่านความดันสูงมีปริมาณวิตามินซีเหลือเท่ากับ 76 % ในขณะที่ถั่วเขียวที่ผ่านความร้อน 90 °C เป็น เวลา 4 นาที มีปริมาณวิตามินซีเหลือเพียง 10 % นอกจากนี้ในมะเขือเทศที่ผ่านความดันสูง 400 MPa อุณหภูมิ 25 °C เวลา 15 นาที ปริมาณวิตามินซีลดลง 30 % และน้ำส้มที่ผ่านความดันสูง 400 MPa อุณหภูมิ 40 °C เวลา 1 นาที ปริมาณวิตามินซีลดลงเพียง 9 % (Sanchez-Moreno *et al.*, 2005) ส่วนในสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านความดันสูง 400 MPa อุณหภูมิ 20 °C เป็นเวลา 30 นาที มี ปริมาณวิตามินซีที่เหลือเท่ากับ 88.68 % (Sancho *et al.*, 1999)

จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์- ไรซ์มีปริมาณวิตามินซีลดลงเนื่องจากวิตามินซีเป็นสารรีดิวซิงเอเจนต์ที่มีความคงตัวต่ำ โดยวิตามิน ซีจะถูกออกซิไดส์เป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก หลังจากนั้นจะถูกไฮโดรไลส์ต่อเป็นกรด 2,3-ไดคีโตกูโตนิก ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลง และวิตามินซีจะสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกแสง ออกซิเจน และความร้อน นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ที่เร่งการสลายตัวของวิตามินซีได้อีกด้วย เช่น เพลอร์ออกซิเดส กรดแอสคอร์บิกออกซิเดส ฟีนอลเลส และไซโทโครมออกซิเดส (นิธิยา, 2549)

จากตาราง 4.7 ผลของระดับความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณวิตามินซีไม่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิคงความดันที่ใช้คือ 30 และ 40 °C เป็นอุณหภูมิที่ไม่สูงมากจึงมีผลทำให้ปริมาณวิตามินซีในทุกหน่วยทดลองไม่แตกต่าง กัน นอกจากนี้ Houska *et al.* (2006) รายงานว่าปริมาณวิตามินซีที่เหลือในน้ำบรอกโคลีและน้ำ แอปเปิ้ลที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 350 - 500 MPa เวลา 5 - 20 นาที ขึ้นอยู่กับระยะเวลา คงความดันและปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในระหว่างคงความดันแต่ไม่ขึ้นกับระดับความดัน และจาก การศึกษาของ Krebbers *et al.* (2002) พบว่าถั่วเขียวที่ผ่านกระบวนการความดันสูง 500 MPa ที่



อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 วินาที มีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเขียวที่ไม่ผ่านความดันสูง อีกทั้ง Ogawa *et al.* (1992) ยังพบว่าความดันสูง 500 MPa อุณหภูมิ 20 °C เป็นเวลา 10 นาที ไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซีในน้ำส้ม อย่างไรก็ตามการใช้ความดันสูงและอุณหภูมิที่สูงมาก ๆ เช่น ความดันที่ 850 MPa อุณหภูมิ 65 - 80 °C มีผลทำให้ปริมาณวิตามินซีในผักและผลไม้สูญเสียไปมาก (Ven den Broeck *et al.*, 1998)

ตาราง 4.8 ผลของระดับความดันสูงซึ่งร่วมกับอุณหภูมิและการพาสเจอร์ไรซ์ต่อกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

กระบวนการแปรรูป	กิจกรรมของเอนไซม์ เปอร์ออกซิเดส (unit/ml)	กิจกรรมของเอนไซม์ เปอร์ออกซิเดสที่เหลือ (%)
ชุดควบคุม	91.70 <sup>a</sup> ± 22.40	100
การพาสเจอร์ไรซ์ อุณหภูมิ 93 °C	ND	ND
ความดัน 400 MPa	อุณหภูมิ 30 °C	69.52 <sup>b</sup> ± 2.50
	อุณหภูมิ 40 °C	50.05 <sup>c</sup> ± 6.45
ความดัน 500 MPa	อุณหภูมิ 30 °C	40.37 <sup>c</sup> ± 1.35
	อุณหภูมิ 40 °C	31.37 <sup>c</sup> ± 3.13

- หมายเหตุ - ชุดควบคุม คือ ถั่วในน้ำเชื่อมที่ไม่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงและการพาสเจอร์ไรซ์
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร a กำกับ มีค่ามากที่สุด
- ND = Not Detected
- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติผลของระดับความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิต่อกิจกรรมของเอนไซม์เปอร้ออกซิเดส

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กิจกรรมของเอนไซม์เปอร้ออกซิเดส (unit/ml)
ระดับความดัน	+
อุณหภูมิ	+
ระดับความดัน x อุณหภูมิ	+

หมายเหตุ + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
 - หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )  
 การวิเคราะห์ไม่รวมถึงชุดควบคุมและการแปรรูปด้วยการพาสเจอไรซ์

จากตาราง 4.8 แสดงผลของความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิและการพาสเจอไรซ์ต่อกิจกรรมของเอนไซม์เปอร้ออกซิเดส พบว่า ถ้าไยในน้ำเชื่อมที่แปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งทุกหน่วยทดลองมีปริมาณกิจกรรมของเอนไซม์เปอร้ออกซิเดสที่เหลือน้อยกว่าชุดควบคุม โดยเฉพาะหน่วยทดลองที่ใช้ความดันสูง 500 MPa อุณหภูมิ 40 °C มีกิจกรรมของเอนไซม์เปอร้ออกซิเดสที่เหลือน้อยที่สุดเท่ากับ 34 % ในขณะที่การพาสเจอไรซ์สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร้ออกซิเดสได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งเอนไซม์เปอร้ออกซิเดสสามารถทนความดันสูงได้ดีกว่าความร้อน (Hendrickx and Knorr, 2002) ทั้งนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Castro *et al.* (2007) ที่ศึกษาการพาสเจอไรซ์พริกหยวกที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 1 นาที สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์เปอร้ออกซิเดสได้มากกว่า 85 % ในขณะที่ความดัน 200 MPa เป็นเวลา 20 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร้ออกซิเดสในพริกหยวกได้ 70 % โดยทั่วไปการลวกสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร้ออกซิเดสได้ดีกว่าการใช้ความดันสูงยิ่ง โดยการลวกที่ 90 °C เป็นเวลา 3 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร้ออกซิเดสในถั่วเขียวได้ถึง 90 % (Bahceci *et al.*, 2004) นอกจากนั้น Schweiggert *et al.* (2005b) รายงานว่าพริกหยวกป่นที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 10 นาที มีค่ากิจกรรมเอนไซม์เปอร้ออกซิเดสลดลงประมาณ 98 % และน้ำแอปเปิ้ลที่ผ่านความร้อน 94 °C เป็นเวลา 26 วินาที มีกิจกรรมเอนไซม์เปอร้ออกซิเดสเหลืออยู่เพียง 0.9 % (Noci *et al.*, 2008) และยังพบว่าถั่วเขียวที่ผ่านความดันสูง 900 MPa เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิห้องสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร้ออกซิเดสได้ถึง 88 % (Qauglia *et al.*, 1996) นอกจากนี้ Butz *et al.* (1997) ได้ทำการศึกษาผลของความดันสูง 400 MPa อุณหภูมิ 25 °C ต่อกิจกรรมของเอนไซม์เปอร้ออกซิเดสในกะหล่ำดอกและมะเขือเทศ พบว่ากิจกรรมของ

เอนไซม์เปอร้ออกซิเดสในกะหล่ำดอกลดลงเล็กน้อยแต่กิจกรรมของเอนไซม์จะลดลงอย่างมากเมื่อใช้ความดันสูงขึ้นที่ 600 MPa โดยเมื่อให้ความดันที่ 750 MPa ร่วมกับอุณหภูมิ 25 และ 50 °C จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร้ออกซิเดสมากที่สุด และความดันที่ 600 MPa ร่วมกับอุณหภูมิ 25 และ 50 °C สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร้ออกซิเดสในมะเขือเทศได้มากที่สุด Phunchaisri and Apichartsrangkoon (2005) รายงานว่าการใช้ความดันสูง 400 และ 600 MPa ร่วมกับอุณหภูมิ 20 - 40 °C ไม่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์เปอร้ออกซิเดส แต่อุณหภูมิที่ 60 °C สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร้ออกซิเดสได้เล็กน้อย

จากตาราง 4.9 จะเห็นว่าถ้าไม่เปรียบเทียบกับชุดควบคุมและการพาสเจอร์ไรซ์ ผลของความดันทั้ง 2 ระดับ อุณหภูมิที่ใช้ทั้ง 2 ระดับ และผลของความดันร่วมกับอุณหภูมิ ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์เปอร้ออกซิเดสเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตาราง 4.10** ผลของระดับความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิและการพาสเจอร์ไรซ์ต่อกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

กระบวนการแปรรูป	กิจกรรมของเอนไซม์ โพลีฟีนอลออกซิเดส (unit/ml)	กิจกรรมของเอนไซม์ โพลีฟีนอลออกซิเดส ที่เหลือ (%)	
ชุดควบคุม	293.13 <sup>a</sup> ± 19.21	100	
การพาสเจอร์ไรซ์ อุณหภูมิ 93 °C	41.04 <sup>d</sup> ± 2.69	14	
ความดัน 400 MPa	อุณหภูมิ 30 °C	283.95 <sup>ab</sup> ± 7.35	97
	อุณหภูมิ 40 °C	272.90 <sup>bc</sup> ± 1.30	93
ความดัน 500 MPa	อุณหภูมิ 30 °C	281.50 <sup>abc</sup> ± 3.1	96
	อุณหภูมิ 40 °C	266.75 <sup>c</sup> ± 1.85	91

หมายเหตุ - ชุดควบคุม คือ ลำไยในน้ำเชื่อมที่ไม่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์ไรซ์  
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร a กำกับ มีค่ามากที่สุด  
 - ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**ตาราง 4.11** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติผลของระดับความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิต่อกิจกรรมของ เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

ปัจจัย	Significant different ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	
	กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (unit/ml)	
ระดับความดัน	-	
อุณหภูมิ	+	
ระดับความดัน x อุณหภูมิ	-	

หมายเหตุ + หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
 - หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )  
 การวิเคราะห์ไม่รวมถึงชุดควบคุมและการแปรรูปด้วยการพาสเจอร์ไรซ์

จากตาราง 4.10 แสดงการแปรรูปลำใยในน้ำเชื่อมด้วยความดันสูงยิ่ง หน่วยทดลองที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูง 400 และ 500 MPa อุณหภูมิ 40 °C มีปริมาณกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่ต่ำกว่าชุดควบคุมเล็กน้อยเท่ากับ 93 และ 91 % ตามลำดับ แสดงว่าความดันสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งอาจมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างเก็บรักษาเพราะว่าโพลีฟีนอลออกซิเดสมีผลต่อการเปลี่ยนสีของผลไม้ (Fennema, 1996) ส่วนความร้อนสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ดีกว่าความดันสูงยิ่ง ขณะที่สุนทรี และอรุณี (2550) ศึกษาการแปรรูปลำใยในน้ำเชื่อมด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 3 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสโดยมีค่ากิจกรรมที่เหลือเท่ากับ 7.58 % ส่วนการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่ง 600 MPa อุณหภูมิ 30 และ 50 °C เป็นเวลา 20 นาที พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเหลือเท่ากับ 34.02 และ 45.66 % ตามลำดับ Castro *et al.* (2007) ได้ทำการศึกษาผลของความดันสูงที่ 100 - 200 MPa เวลา 10 - 20 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในพริกหยวกได้ประมาณ 50 % โดยพริกหยวกที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 70 - 98 °C เป็นเวลา 1 - 2.5 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ถึง 25 - 75 % เรวัตร์ (2549) ทำการพาสเจอร์ไรซ์น้ำฝรั่งที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 30 และ 60 นาที พบว่าสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสให้ลดลงเหลือ 66.67 และ 52.31 % ตามลำดับ ในขณะที่การใช้ความดันสูงยิ่งที่ 500 MPa เป็นเวลา 15 และ 20 นาที ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสลดลงเหลือ 82.41 และ 76.39 % ตามลำดับ Phunchaisri and Apichartsrangkoon (2005) รายงานว่าการใช้ความดันสูง

ที่ 600 MPa อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 20 นาที สามารถยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในลิ้นจี่สดได้ 90 % แต่การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์นี้ในลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมมีผลเล็กน้อย เนื่องจากน้ำเชื่อมช่วยป้องกันเอนไซม์จากความดันสูง นอกจากนี้ Gomes and Ledward (1996) และ Weemaes *et al.* (1997) ยังพบว่าเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในเห็ด มันฝรั่ง และโอวากาโด สามารถทนต่อความดันได้มาก โดยต้องใช้ความดันสูงถึง 800 - 900 MPa จึงสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ชนิดนี้ได้และการที่จะทำลายเอนไซม์ได้อย่างสมบูรณ์อาจต้องใช้ร่วมกับอุณหภูมิในระดับที่เหมาะสม

จากตาราง 4.11 จะเห็นว่าถ้าไม่เปรียบเทียบกับชุดควบคุมและการพาสเจอร์ไรซ์ อุณหภูมิที่ใช้ทั้ง 2 ระดับ ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากผลงานวิจัยพบว่ากระบวนการความดันสูงยิ่งและความร้อนส่งผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและโพลีฟีนอลออกซิเดสในระดับที่แตกต่างกัน อาจเนื่องแหล่งที่มาของเอนไซม์แตกต่างกัน (Whitaker *et al.*, 2003)

**ตาราง 4.12** ผลของระดับความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิและการพาสเจอร์ไรซ์ต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์ และเชื้อรา

กระบวนการแปรรูป	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	ปริมาณยีสต์ และเชื้อรา (CFU/g)
ชุดควบคุม	2,620	740
การพาสเจอร์ไรซ์ อุณหภูมิ 93 °C	ND	ND
ความดัน 400 MPa	อุณหภูมิ 30 °C	2
	อุณหภูมิ 40 °C	2
ความดัน 500 MPa	อุณหภูมิ 30 °C	1
	อุณหภูมิ 40 °C	1

หมายเหตุ - ชุดควบคุม คือ ลำไยในน้ำเชื่อมที่ไม่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์ไรซ์

- ND = Not Detected

จากตาราง 4.12 แสดงการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งทุกหน่วยทดลอง พบปริมาณ จุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่า 25 CFU/g โดยลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านความดันสูงยิ่ง 400 MPa อุณหภูมิ 30 และ 40 °C พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่าที่ 500 MPa อุณหภูมิ 30 และ 40 °C เล็กน้อย ส่วน

ปริมาณยีสต์ และรา ตรวจไม่พบในหน่วยทดลองที่ผ่านความดันสูงยิ่ง ตลอดจนลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านการแปรรูปด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ตรวจไม่พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์ และเชื้อรา จากผลการทดลองแสดงว่าระดับความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิมีประสิทธิภาพในการยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และเชื้อราในผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับการพาสเจอร์ไรซ์ ทั้งนี้อาจเกิดจากความดันสูงทำให้เอนไซม์ภายในเซลล์จุลินทรีย์เกิดการเสียสภาพ ผนังเซลล์ถูกทำลายทำให้สูญเสียการซึมผ่านของสารอาหาร ซึ่งความดันสูงยิ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ความร้อนสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรค สามารถยับยั้งเอนไซม์ ทำให้อาหารปลอดภัย และยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (Knorr, 1995; Phunchaisri and Apichartsrangkoon, 2005) จากรายงานของ Garriga *et al.* (2004) ซึ่งศึกษาการแปรรูปน้ำมะเขือเทศ โดยใช้ระดับความดัน 300 - 500 MPa อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 10 นาที พบว่าที่ระดับความดัน 400 และ 500 MPa สามารถลดปริมาณยีสต์และเชื้อราได้อย่างสมบูรณ์ ส่วน Hoover *et al.* (1989) พบว่าการใช้ความดัน 350 MPa เป็นเวลา 30 นาที และ 400 MPa เป็นเวลา 5 นาที สามารถลดปริมาณเซลล์ของแบคทีเรียยีสต์ และเชื้อราได้ถึง 10 เท่า นอกจากนี้วัชรารักษ์ (2549) รายงานว่าการใช้ความดัน 500 - 600 MPa อุณหภูมิ 30 - 50 °C เวลา 20 นาที ในการแปรรูปแยมฝรั่งตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดรวมถึงเชื้อยีสต์ และรา อีกทั้งน้ำบรอคโคลีและน้ำแอปเปิ้ลที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 500 MPa เวลา 10 นาที ตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่า 10 CFU/g และตรวจไม่พบปริมาณยีสต์และเชื้อรา ระหว่างเก็บรักษานาน 21 วัน โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิไม่เกิน 5 °C (Houska *et al.*, 2006) นอกจากนี้ น้ำเสาวรสที่มีปริมาณยีสต์และเชื้อราเริ่มต้นเท่ากับ  $1.5 \times 10^3$  CFU/g หลังจากผ่านกระบวนการความดันสูงที่ 300 MPa เป็นเวลา 5 นาที อุณหภูมิ 25 °C ตรวจไม่พบปริมาณยีสต์ และเชื้อรา (Laboissiere *et al.*, 2007) การใช้ความดันสูงยิ่งเป็นการทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์รวมทั้งทำให้โปรตีนและโพลีแซคคาไรด์เสียสภาพ (วิล, 2546) โดยทั่วไประดับความดัน 300 - 600 MPa สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียและจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ (Smelt, 1998) และระดับความดัน 300 - 700 MPa สามารถทำลายยีสต์และเชื้อราในอาหารได้ (Bull *et al.*, 2004)

**สรุป** จากผลจากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยา จึงคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปลำไยในน้ำเชื่อม ได้แก่ ความดัน 500 MPa อุณหภูมิ 30 °C เวลาความดัน 40 นาที ในการแปรรูปลำไยในน้ำเชื่อม เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากมีค่าความแน่นเนื้อที่ดี สามารถกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้ใกล้เคียงกับสภาวะความดัน 500 MPa อุณหภูมิ 40 °C และเพียงพอต่อการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

#### 4.3 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านการแปรรูปโดยวิธีการใช้ความดันสูงยิ่งที่มีลักษณะดีที่สุด โดยใช้สภาวะความดัน 500 MPa อุณหภูมิ 30 °C เวลาคงความดัน 40 นาที จากตอนที่ 4.2 เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 93 °C เป็นเวลา 10 นาที (สถาบันอาหาร, 2549) ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยวางแผนการทดสอบชิมแบบ RCBD ใช้จำนวนผู้บริโภครในการทดสอบ 50 คน

ตาราง 4.13 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งเปรียบเทียบกับพาสเจอร์ไรซ์

กระบวนการแปรรูป	สี	กลิ่น	ลักษณะเนื้อสัมผัส	รสชาติ	การยอมรับรวม
ความดัน 500 MPa					
อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 40 นาที	7.92 <sup>a</sup> ± 0.70	7.46 <sup>a</sup> ± 1.16	7.54 <sup>a</sup> ± 1.01	6.88 <sup>NS</sup> ± 1.55	7.24 <sup>a</sup> ± 1.29
การพาสเจอร์ไรซ์					
อุณหภูมิ 93 °C เป็นเวลา 10 นาที	7.60 <sup>b</sup> ± 0.88	6.54 <sup>b</sup> ± 1.34	6.76 <sup>b</sup> ± 1.35	6.72 <sup>NS</sup> ± 1.51	6.64 <sup>b</sup> ± 1.63

หมายเหตุ - เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในกลุ่มการทดลองเดียวกัน ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าเฉลี่ยที่มีอักษร a กำกับ มีค่ามากที่สุด

- NS = แสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ตัวเลขที่แสดงในตาราง เป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 50 ซ้ำ ทดสอบโดยวิธี 9-point hedonic scale คะแนนเต็ม 9 คะแนน

จากตาราง 4.13 แสดงลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งมีคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ได้แก่ สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปด้วยการพาสเจอร์ไรซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ยกเว้นรสชาติที่ไม่ต่างกัน ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Polydera *et al.* (2005) พบว่าน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการความดันสูงยิ่ง (600 MPa อุณหภูมิ 40 °C เวลา 4 นาที) มีกลิ่นและรสชาติใกล้เคียงกับน้ำส้มสดและได้รับการ

ยอมรับจากผู้ชิมสูงกว่าน้ำส้มที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ (80 °C เวลา 60 นาที) นอกจากนี้ Laboissiere *et al.* (2007) ศึกษาผลของความดันสูงต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำเสาวรส โดยเปรียบเทียบน้ำเสาวรสที่ผ่านกระบวนการความดันสูง (300 MPa อุณหภูมิ 25 °C เวลา 5 นาที) กับน้ำเสาวรสพาสเจอร์ไรซ์ที่ได้จากท้องตลาด พบว่าการแปรรูปด้วยความดันสูงยังสามารถรักษาสีเหลืองและรสชาติของน้ำเสาวรสได้ดีกว่าการพาสเจอร์ไรซ์

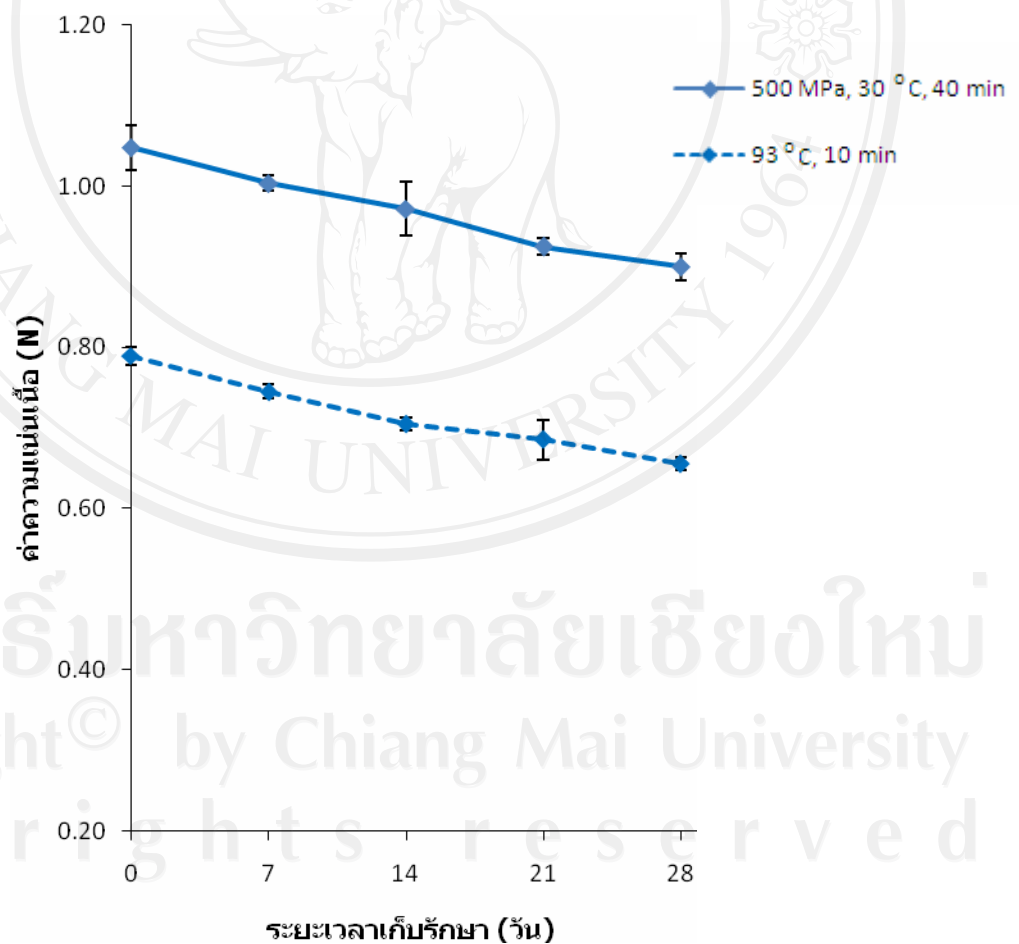
จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ ได้รับการยอมรับคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสต่ำกว่ากระบวนการความดันสูงยิ่งเนื่องจากกระบวนการความร้อนมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียคุณภาพทางด้านสี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส จะเห็นได้ว่ากระบวนการความร้อนเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงเพื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาอาหาร อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้มีผลทำให้อาหารสูญเสียการยอมรับคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส และสารอาหารที่มีประโยชน์ (Thakur and Nelson, 1998) ในขณะที่การแปรรูปด้วยความดันสูงยังเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ รักษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหาร และสารอาหารที่มีประโยชน์ มีลักษณะใกล้เคียงกับของสด อาหารที่ผลิตด้วยกระบวนการความดันสูงเป็นการผลิตอาหารด้วยนวัตกรรมใหม่เหมือนของสด ซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน (Deliza *et al.*, 2005)



#### 4.4 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยา ขณะเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์ไรซ์

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาลำไยในน้ำเชื่อมที่แปรรูปโดยใช้เทคนิคความดันสูงยิ่งที่มีลักษณะดีที่สุดจากตอนที่ 4.2 คือ สภาวะความดัน 500 MPa อุณหภูมิ 30 °C เวลาคงความดัน 40 นาที และการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 93 °C เป็นเวลา 10 นาที (สถาบันอาหาร, 2549) มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 28 วัน และสุ่มตัวอย่างทุกๆ 7 วัน จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยา ตามลำดับ ได้ผลการทดลองดังนี้

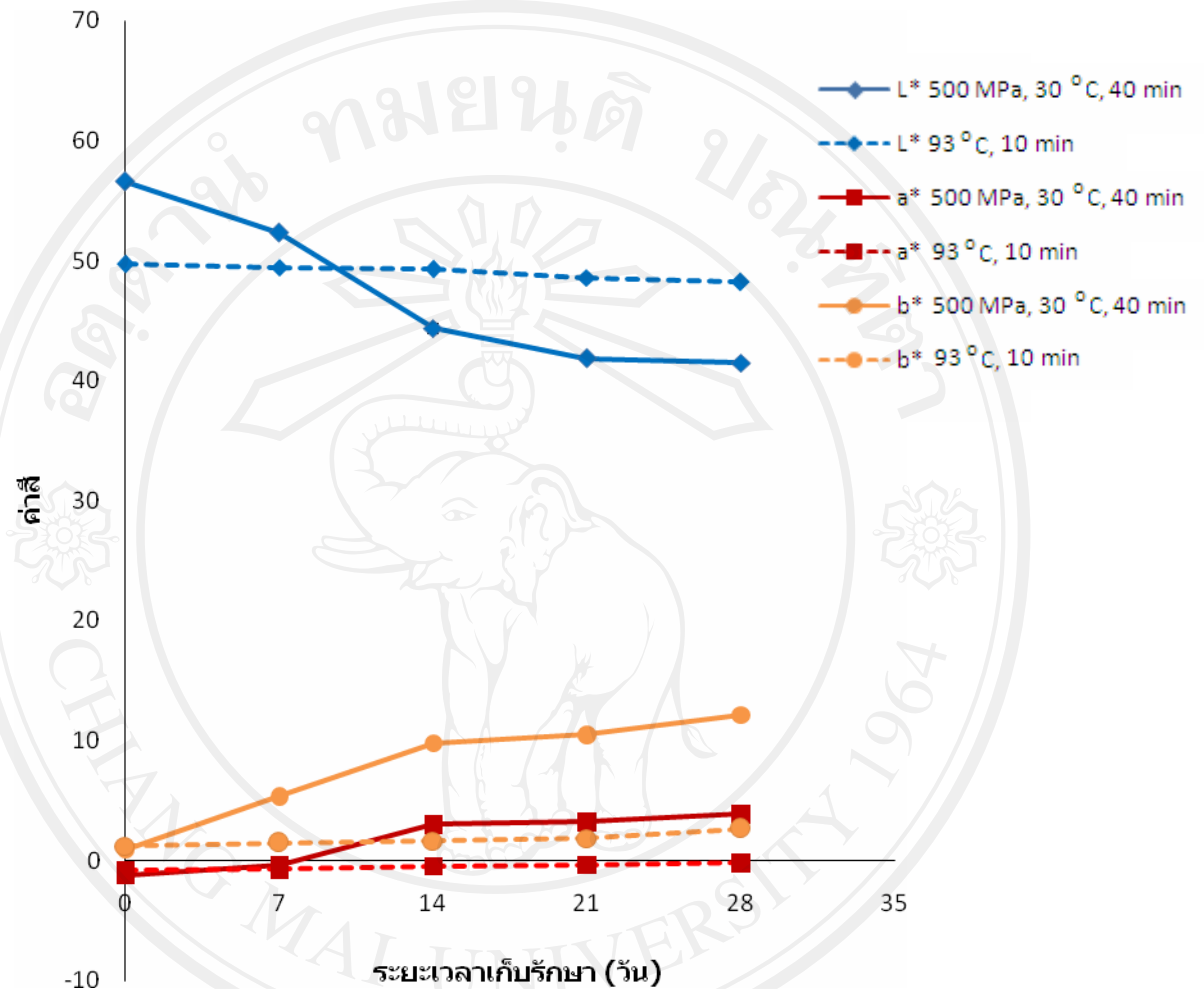
##### 4.4.1 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อค่าความแน่นเนื้อ (Firmness)



รูป 4.1 ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ของเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์ไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 28 วัน

จากรูป 4.1 พบว่าลำใยในน้ำเชื่อมหลังจากผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่ง 500 MPa อุณหภูมิ 30 °C เวลาคงความดัน 40 นาที ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษามีค่าความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 1.02 - 1.08 นิวตัน โดยมีค่าสูงกว่าลำใยในน้ำเชื่อมที่ผ่านการแปรรูปด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 93 °C เป็นเวลา 10 นาที โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษามีค่าความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 0.78 - 0.80 นิวตัน ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลให้ค่าความแน่นเนื้อของลำใยในน้ำเชื่อมที่แปรรูปทั้งสองกระบวนการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จากผลการทดลองจะเห็นว่าความดันสูงยังสามารถคงความแน่นเนื้อได้ดีกว่าการพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งการสูญเสียโครงสร้างพื้นฐานของอาหารที่ผ่านความร้อนเกิดจากผนังเซลล์แยกออกจากกัน เนื่องจากตาข่ายเพคตินของผนังเซลล์ถูกทำลาย (Lillford, 2000) สอดคล้องกับการทดลองของ Castro *et al.* (2007) พบว่าไม่มีการลดลงของค่าความแน่นเนื้อของพริกหยวกหลังจากผ่านความดันสูงยิ่งที่ 100 - 200 MPa เป็นเวลา 10 - 20 นาที ในขณะที่พริกหยวกหลังจากผ่านการลวกด้วยความร้อน 70 - 98 °C เวลา 1 - 2.5 นาที มีค่าความแน่นเนื้อลดลง ซึ่งพริกหยวกที่ผ่านความดันสูงยิ่งมีค่าความแน่นเนื้อดีกว่าพริกหยวกที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ นอกจากนั้น Lau *et al.* (2000) ยังพบว่าเกิดการอ่อนนุ่มของหน่อไม้ฝรั่งหลังจากผ่านกระบวนการความร้อนที่อุณหภูมิ 70 และ 98 °C และ Greve *et al.* (1994) ทำการศึกษาแครอทที่ผ่านการให้ความร้อน พบว่าค่าความแน่นเนื้อจะลดลงมากกว่า 50 % จากค่าความแน่นเนื้อเริ่มต้น โดยค่าความแน่นเนื้อที่ลดลงเนื่องมาจากเยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลาย โดยได้ผลการทดลองสอดคล้องกับ Verlinden and De Baerdemaeker (1997) พบว่าค่าความแน่นเนื้อของแครอทลดลง 50 % หลังจากให้ความร้อนเป็นเวลา 2 - 20 นาที

#### 4.4.2 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อค่าสี $L^*$ $a^*$ และ $b^*$



รูป 4.2 ค่าสี  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  ของเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์ไรซ์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 28 วัน

จากรูป 4.2 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสี  $L^*$  ของเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านการแปรรูปความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์ไรซ์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ผลึกภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งที่ 500 MPa อุณหภูมิ 30 °C นาน 40 นาที ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษามีค่าสี  $L^*$  อยู่ในช่วง 56.37 - 56.79 และวันที่ 28 ของการเก็บรักษามีค่าสี  $L^*$  อยู่ในช่วง 41.48 - 41.50 ผลึกภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 93 °C เป็นเวลา 10 นาที ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษามีค่าสี  $L^*$  อยู่ในช่วง 49.43 - 49.95 และวันที่ 28 ของการเก็บรักษามีค่าสี  $L^*$  อยู่ในช่วง 48.18 - 48.26 จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าสี  $L^*$  ของผลึกภัณฑ์ที่ผ่าน

การแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งมีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ช่วงสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นจะลดลงต่ำกว่าตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ซึ่งค่าสี  $L^*$  เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสว่างในอาหาร (McGuir, 1992) ดังนั้นค่า  $L^*$  ที่ลดลงแสดงว่าลำไยมีสีเข้มขึ้นตามระยะเวลาเก็บรักษา ซึ่งอาจเกิดจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในอาหารเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันสารประกอบฟีนอลที่อยู่ในอาหารไปเป็น o-quinone ทำให้ลำไยมีสีคล้ำขึ้น โดยค่าสี  $L^*$  ลดลงแสดงถึงการเกิดสีน้ำตาล (Petriella *et al.*, 1985; Sapers *et al.*, 1989) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของวัชรารักษ์ (2549) ได้ทำการศึกษาคูณภาพระหว่างการเก็บรักษาแยมฝรั่งที่แปรรูปด้วยเทคนิคความดันสูงยิ่งและความร้อนพบว่าแยมฝรั่งทุกหน่วยทดลองมีค่าสี  $L^*$  ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (60 วัน) นอกจากนี้จากการศึกษาของ สุนทร และอรุณี (2550) พบว่าการแปรรูปลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 3 นาที มีค่า  $L^*$  ลดลงตามระยะการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยลิ้นจี่จะมีสีคล้ำขึ้น และจากรายงานของประไพ (2547) โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีของลิ้นจี่กระป๋องเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสี  $L^*$  มีแนวโน้มลดลงลิ้นจี่มีค่าความสว่างลดลงและมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น อีกทั้งสุทธิศักดิ์ และอรุณี (2550) พบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสี  $L^*$  ของน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูงยิ่ง 400 - 600 MPa เป็นเวลา 20 - 40 นาที มีแนวโน้มลดลงตามระยะการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น

ค่าสี  $a^*$  ของเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านความดันสูงยิ่งและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งในวันที่ 0 ของการเก็บรักษามีค่าสี  $a^*$  อยู่ในช่วง -1.18 - -1.14 (ช่วงสีเขียว) และวันที่ 28 ของการเก็บรักษามีค่าสี  $a^*$  อยู่ในช่วง 3.89 - 3.91 (ช่วงสีแดง) โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษามีค่าสี  $a^*$  อยู่ในช่วง -0.77 - -0.73 และวันที่ 28 ของการเก็บรักษามีค่าสี  $a^*$  อยู่ในช่วง -0.19 - -0.13 นั่นคือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งเปลี่ยนสีจากช่วงสีเขียวเป็นสีแดงมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ นอกจากนี้การแปรรูปลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 3 นาที พบว่าค่าสี  $a^*$  ของเนื้อลิ้นจี่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น (สุนทร และอรุณี, 2550) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสุทธิศักดิ์ และอรุณี (2550) โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสี  $a^*$  ของน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูงยิ่ง 400 - 600 MPa เป็นเวลา 20 - 40 นาที มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และจากรายงานของ Krebbers *et al.* (2002) โดยทำการศึกษการแปรรูปถั่วเขียวด้วยกระบวนการความดันสูงยิ่ง 500 MPa ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 วินาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 °C พบว่าค่าสี  $a^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาถั่วเขียวเป็นระยะเวลานานขึ้น

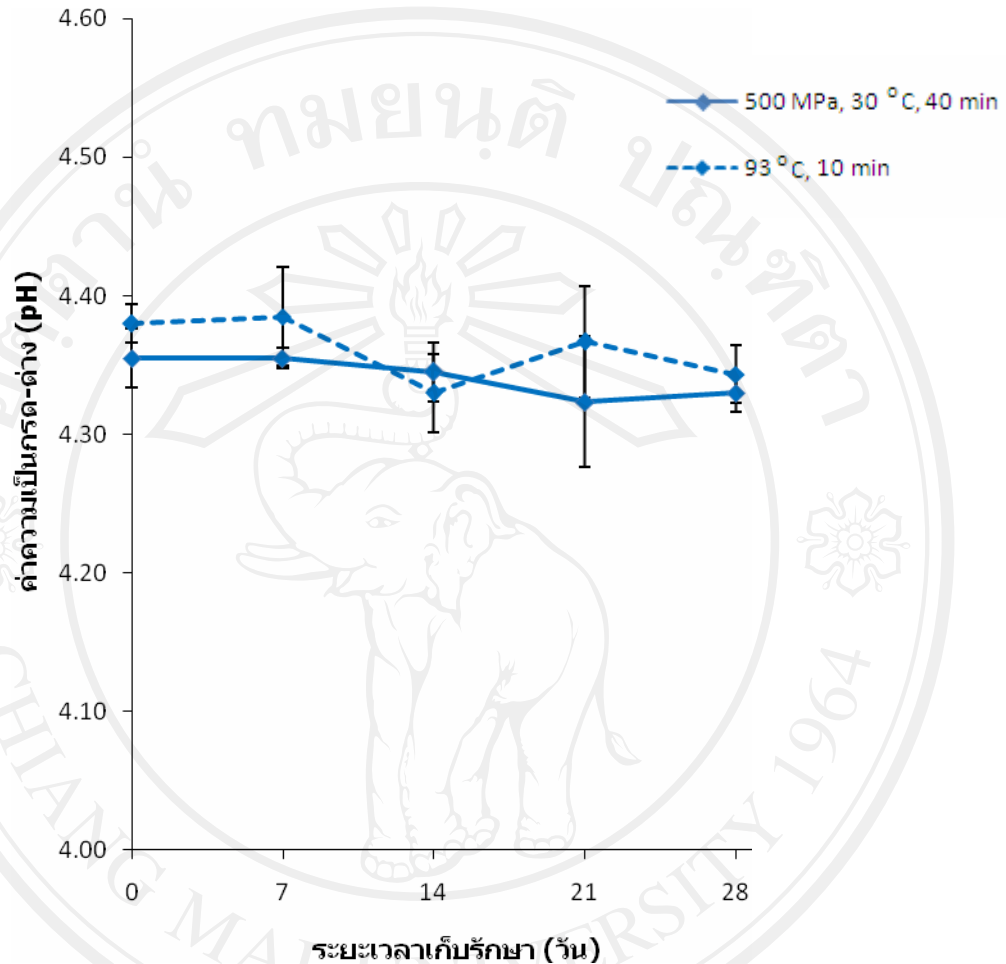
ค่าสี  $b^*$  ของเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านการแปรรูปความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์ไรซ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ผลิตกัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งในวันที่ 0 ของการเก็บรักษามีค่าสี  $b^*$  อยู่ในช่วง 0.89 - 0.95 และวันที่ 28 ของการเก็บรักษามีค่าสี  $b^*$  อยู่ในช่วง 12.12 - 12.16 โดยผลิตกัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษามีค่าสี  $b^*$  อยู่ในช่วง 1.20 - 1.24 และวันที่ 28 ของการเก็บรักษามีค่าสี  $b^*$  อยู่ในช่วง 2.64 - 2.68 นั่นคือเนื้อลำไยมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะผลิตกัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งค่าสี  $b^*$  จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงมากกว่าการแปรรูปด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ และจากรายงานของสุนทรีย์ และอรุณี (2550) พบว่าการแปรรูปลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 3 นาที พบว่าลิ้นจี่มีค่า  $b^*$  เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งจากการศึกษาของสุทธิศักดิ์ และอรุณี (2550) พบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสี  $b^*$  ของน้ำพริกหนุ่มที่ถนอมด้วยความดันสูงยิ่ง 400 - 600 MPa เป็นเวลา 20 - 40 นาที มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น Zhang *et al.* (2000) รายงานว่าสารประกอบโพลีฟีนอลในกลุ่ม flavan-3-ols ที่เป็นสารตั้งต้นหลักของปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเอนไซม์ บางส่วนมีการเกิด polymerized ของโมเลกุลได้ผลิตกัณฑ์เป็นสารแทนนินออกมาโดยสารนี้จะมิตั้งแต่สีขาวอมเหลืองไปจนถึงสีน้ำตาลอ่อนซึ่งมีผลทำให้ค่า  $b^*$  เพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองในการวัดค่าสี  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  พบว่าเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมมีค่า  $L^*$  ลดลง แสดงว่าเนื้อลำไยมีค่าความสว่างลดลง มีค่า  $a^*$  เพิ่มขึ้น โดยพบว่าในระหว่างการเก็บรักษาเนื้อลำไยมีสีแดงเพิ่มขึ้น และค่า  $b^*$  เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา เนื้อลำไยมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น โดยค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งจากการเก็บรักษานั้นเวลาที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีอันอาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์และปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์เป็นตัวเร่ง ซึ่งระหว่างการเก็บรักษาผลิตกัณฑ์ที่แปรรูปโดยใช้เทคนิคความดันสูงยิ่งพบว่าค่าสี  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าผลิตกัณฑ์ที่แปรรูปด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ อาจเนื่องมาจากผลิตกัณฑ์ที่แปรรูปโดยใช้เทคนิคความดันสูงยิ่งมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในระหว่างการเก็บรักษาเท่ากับ 92 - 29 % แต่ในขณะที่การพาสเจอร์ไรซ์มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเหลืออยู่เพียง 14 - 8 % โดยการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์นั้นเกิดจากสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในแวกคิวโอลในเนื้อเยื่อผักและผลไม้สัมผัสกับออกซิเจนที่อยู่ภายในถุงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น โดยมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยา สารประกอบฟีนอลิกมักพบในผักและผลไม้ ส่วนปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์เป็นตัวเร่ง อาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเป็นโพลีเมอร์ใหญ่เกิดสารสีน้ำตาล การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเมื่อ

น้ำตาลแอลโดสหรือคีโตสซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ได้รับความร้อนในสถานะที่มีน้ำทำปฏิกิริยากับ หมู่อะมิโนในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโนและโปรตีน ได้เป็นกลัยโคซิลเอมีนจากนั้นจะ เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็นอิมิน และมีการจัดเรียงตัวใหม่ได้แอลโดสเอมีนหรือคีโตสเอมีน และ จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาลเกิดขึ้น (Fennema, 1996) นอกจากนี้ Kanner *et al.* (1982) ยังพบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลในการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิจะมีผลต่อ การทำงานของเอนไซม์เพราะอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์จะผันแปรตามอุณหภูมิ และ อุณหภูมิยังมีผลต่อความคงตัวของเอนไซม์ โดยอุณหภูมิ 37 °C เป็นอุณหภูมิที่เอนไซม์ส่วนใหญ่ ทำงานได้ดี (ฐิติคม และวารากรณ์, 2008) ในการทดลองได้ทำการเก็บรักษาลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่าน การแปรรูปที่อุณหภูมิ 37 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์ ทำงานได้ดี ส่งผลให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงไปมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

#### 4.4.3 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

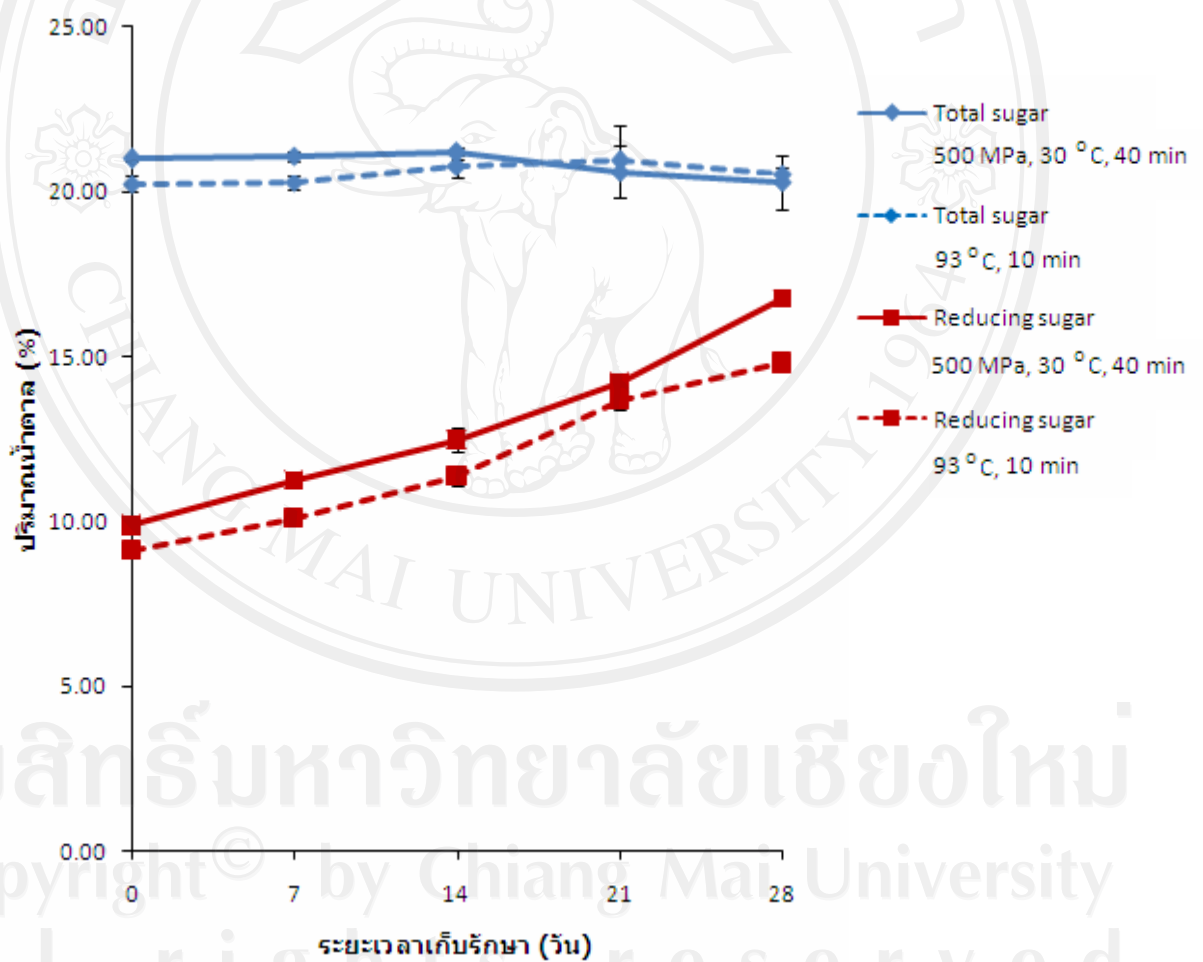


รูป 4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของลำไยในน้ำเชื่อมแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์ไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 28 วัน

จากรูป 4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของลำไยในน้ำเชื่อมแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์ไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 28 วันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์ไรซ์ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 4.34 - 4.38 และ 4.32 - 4.34 ตามลำดับ ในวันที่ 28 ของการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 4.37 - 4.39 และ 4.32 - 4.36 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอาจเนื่องมาจากการแปรรูปผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์ไรซ์สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ การเปลี่ยนแปลงสารอาหารในผลิตภัณฑ์โดยจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่เพียงเล็กน้อยจึงไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยเมื่อจุลินทรีย์เจริญจุลินทรีย์จะใช้น้ำตาลโดยเฉพาะกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานในการเจริญเติบโตและผลิตกรดขึ้นทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง (สุมาลี, 2539) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ยังมีค่าความเป็นกรดสูงเนื่องจากการเติมกรดซิตริกซึ่งมีส่วนช่วยในการลดการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์อันมีสาเหตุจากจุลินทรีย์ โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่มีค่า pH ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 6.5 - 7.5 (นงลักษณ์ และปรีชา, 2544)

#### 4.4.4 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

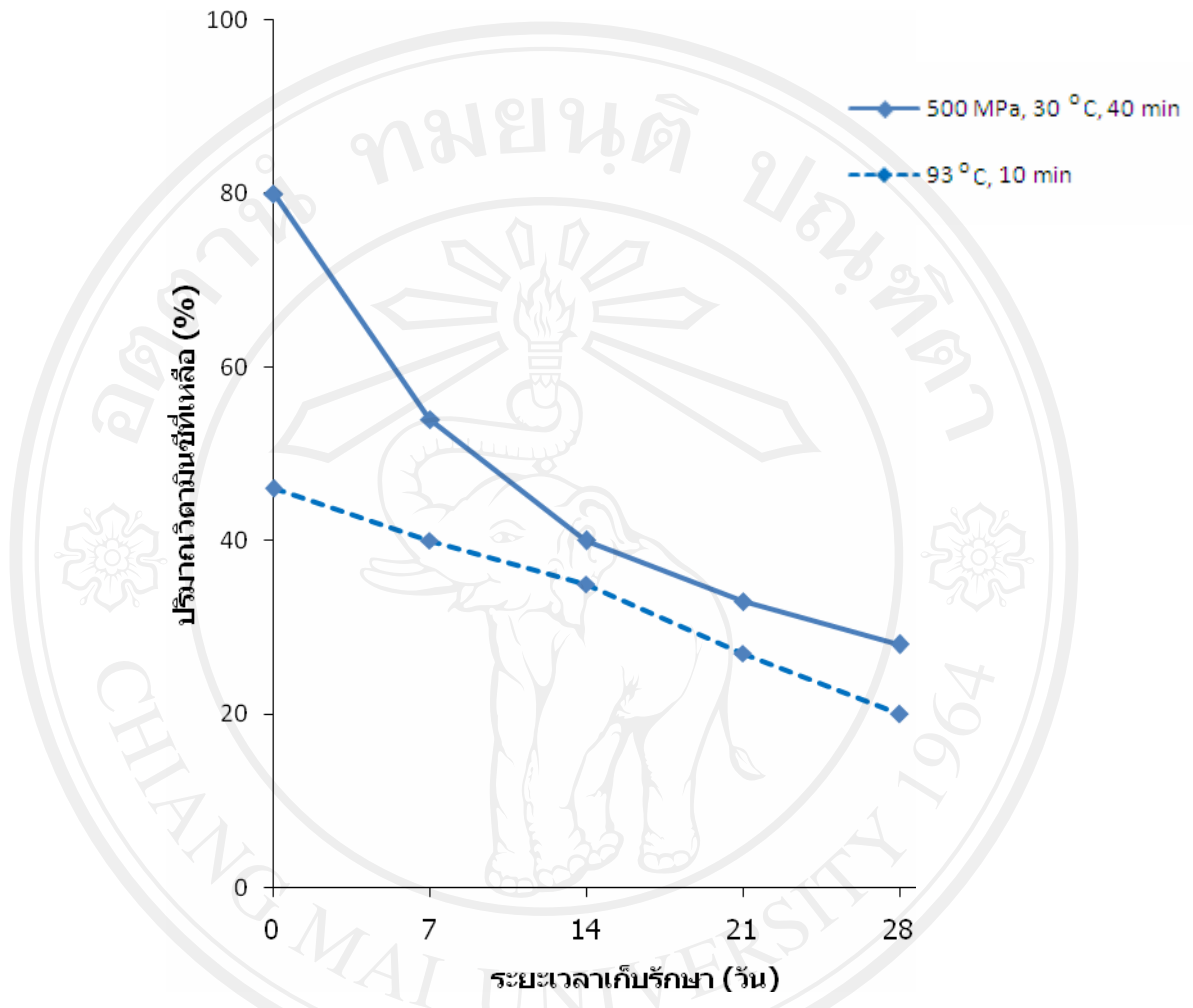


รูป 4.4 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์ไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 28 วัน



จากรูป 4.4 ในระหว่างการเก็บรักษาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและการพาสเจอไรซ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) พบปริมาณน้ำตาลทั้งหมดอยู่ในช่วง 20.30 - 21.08 % และ 20.25 - 20.92 % ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 9.77 - 9.97 % ในวันที่ 28 ของการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 16.72 - 16.84 % ในส่วนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยการพาสเจอไรซ์ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 9.09 - 9.13 % ในวันที่ 28 ของการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 14.64 - 14.96 % ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งมีแนวโน้มเพิ่มมากกว่าการแปรรูปด้วยการพาสเจอไรซ์ ซึ่งการเกิดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากน้ำตาลซูโครสไม่คงตัวในสารละลายที่เป็นกรดจะถูกไฮโดรไลสได้เป็นน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้น โดยลำไยในน้ำเชื่อมมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.3 - 4.4 นอกจากนี้เอนไซม์อินเวอร์เตสทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Butz *et al.* (2003) พบว่าน้ำตาลซูโครสของราสเบอร์รี่ที่ผ่านความดันสูงยิ่ง 600 MPa อุณหภูมิ 25 และ 44 °C เป็นเวลา 6 นาที มีปริมาณลดลงมากหลังจาก 15 - 30 วัน โดยราสเบอร์รี่ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 4 นาที มีการลดลงของน้ำตาลซูโครสเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อีกทั้งได้ทำการวัดปริมาณน้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส ของราสเบอร์รี่ที่ผ่านความดันสูงยิ่ง 600 MPa อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 6 นาที พบว่าน้ำตาลซูโครสมีปริมาณลดลง มีการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลรีดิวซ์คือ น้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส ในปริมาณมากในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C นอกจากนี้ Kimura *et al.* (1994) ได้ทำการศึกษาการแปรรูปแยมสตอเบอร์รี่ที่ผ่านความดันสูงยิ่ง 400 - 500 MPa เป็นเวลา 10 - 30 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C พบว่าน้ำตาลซูโครสมีปริมาณลดลงเหลือเพียง 10 % ภายใน 60 วัน ในขณะที่แยมสตอเบอร์รี่ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์อุณหภูมิ 70 °C ยังคงมีปริมาณน้ำตาลซูโครสเหลืออยู่ 80 และ 70 % เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 25 °C ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าผลไม้และแยมที่ผ่านความดันสูงยิ่งจะมีการลดลงของปริมาณน้ำตาลซูโครสและมีการเพิ่มขึ้นของของน้ำตาลรีดิวซ์คือ น้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส มากกว่ากระบวนการความร้อน โดยในกรณีนี้อาจเกิดจากการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ เช่น เอนไซม์อินเวอร์เตส ในกรณีของผลไม้และแยมที่ผ่านความดันสูงยิ่ง โดยเอนไซม์อินเวอร์เตสสามารถทนความดันได้สูงถึง 600 MPa (Butz *et al.*, 2003)

#### 4.4.5 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อปริมาณวิตามินซี

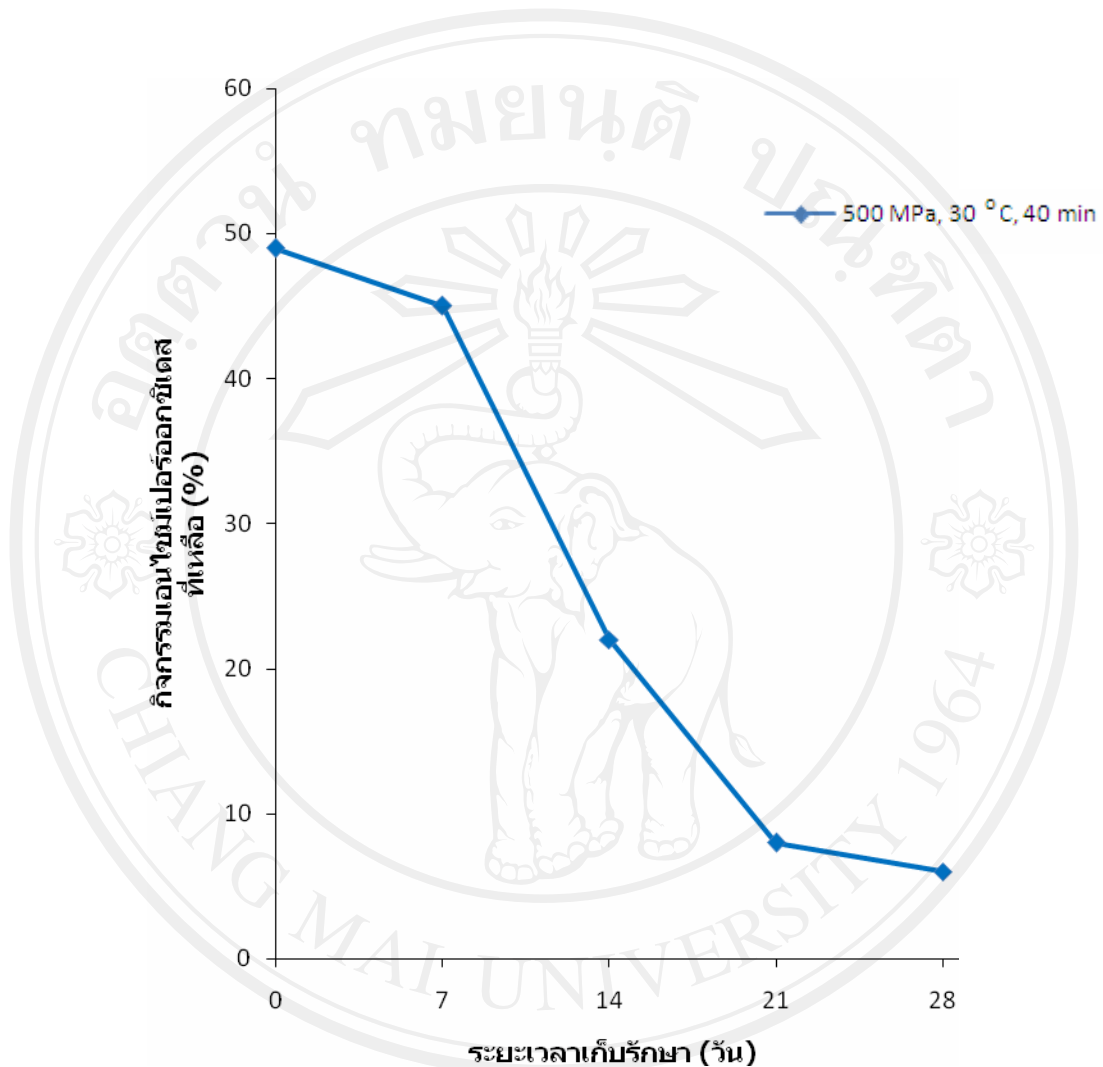


รูป 4.5 ปริมาณวิตามินซีของเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์ไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 28 วัน

จากรูป 4.5 พบว่าการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งช่วยถนอมวิตามินซีได้ถึง 80 % ในขณะที่การพาสเจอร์ไรซ์ทำให้ลำไยสูญเสียวิตามินซีไปมากกว่า โดยมีปริมาณวิตามินซีคงเหลืออยู่เพียง 46 % วิตามินซีเป็นสารที่ไม่ทนต่ออุณหภูมิสูงระหว่างการผ่านกระบวนการความร้อน ดังนั้นอุณหภูมิสูงจึงมีผลต่อการลดลงของปริมาณวิตามินซี (Gahler *et al.*, 2003) สอดคล้องกับการทดลองของสุนทรี และอรุณี (2550) ซึ่งทำการศึกษาปริมาณวิตามินซีของเนื้อลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่ง 600 MPa อุณหภูมิ 30 และ 50 °C เป็นเวลา 20 นาที และการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 3 นาที โดยพบว่าลิ้นจี่ที่ผ่านความดันสูงยิ่ง 600 MPa อุณหภูมิ

30 และ 50 °C มีปริมาณวิตามินซีที่เหลือไม่แตกต่างกันที่ 78.56 และ 80.53 % ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณวิตามินซีที่เหลือมากกว่าลีนจีที่ผ่านการพาสเจอไรซ์มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 46.63 % นอกจากนี้การศึกษาวิตามินซีในถั่วที่ผ่านความดันสูง 900 MPa พบว่ามีปริมาณวิตามินซีเหลือ 82 % ซึ่งถั่วที่ผ่านการลวกมีวิตามินซีเหลือเพียง 12 % (Quaglia *et al.*, 1996) และพริกหยวกที่ผ่านความดันสูง 100 - 200 MPa มีปริมาณวิตามินซีเหลือมากกว่าพริกหยวกที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 80 และ 98 °C ตามลำดับ (Castro *et al.*, 2007) อีกทั้งจากรายงานของ Krebbers *et al.* (2002) รายงานว่าถั่วเขียวที่ผ่านความดันสูงมีปริมาณวิตามินซีเหลือเท่ากับ 76 % ในขณะที่ถั่วเขียวที่ผ่านความร้อน 90 °C เป็นเวลา 4 นาที มีปริมาณวิตามินซีเหลือน้อยกว่าเท่ากับ 10 % และระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นปัจจัยหลักในการลดลงของปริมาณวิตามินซีในระหว่าง 1 เดือนของการเก็บรักษา และสอดคล้องกับการศึกษาของ Polydera *et al.* (2003) โดยพบว่าน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการความดันสูงยิ่ง 500 MPa อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 5 นาที เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นปริมาณวิตามินซีจะลดลง โดยปัจจัยหลักที่ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงคือระยะเวลาในการเก็บรักษาและอุณหภูมิในการเก็บ ซึ่งในการทดลองนี้พบว่าปริมาณวิตามินซีของเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและการพาสเจอไรซ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าปริมาณวิตามินซีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งมีแนวโน้มลดลงมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ การลดลงของปริมาณวิตามินซีอาจมีสาเหตุเนื่องจากวิตามินซีเป็นสารรีดิวซิงเอเจนต์ที่มีความคงตัวต่ำ ดังนั้นเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์อาจเกิดการออกซิเดชันไปเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก หลังจากนั้นจะถูกไฮโดรไลส์ต่อเป็นกรด 2,3-ไดคิโตกูโตนิก ซึ่งไม่มีคุณค่าทางชีวภาพ (นิธิยา, 2549) นอกจากนี้ปริมาณวิตามินซีลดลงจากการเกิดออกซิเดชันกับออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์แล้ว แสง เปรอร์ออกไซด์ และเอนไซม์โดยเฉพาะกรดแอสคอร์บิกออกซิเดส และเปอร์ออกซิเดส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้หน้าที่เร่งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันวิตามินซี (Davey *et al.*, 2000; Lee and Coates, 1999 และนิธิยา, 2549) อีกทั้งการลดลงของปริมาณวิตามินซีในระหว่างเก็บรักษาขึ้นอยู่กับชนิดของกระบวนการ สภาพะของการเก็บรักษา และชนิดของบรรจุภัณฑ์ (Ayhan *et al.*, 2001) โดยในการทดลองจากการวัดกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งพบว่ามิกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเหลือถึง 49 % ในขณะที่การแปรรูปด้วยการพาสเจอไรซ์สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้ทั้งหมด ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งอาจเป็นสาเหตุในการลดลงของปริมาณวิตามินซี

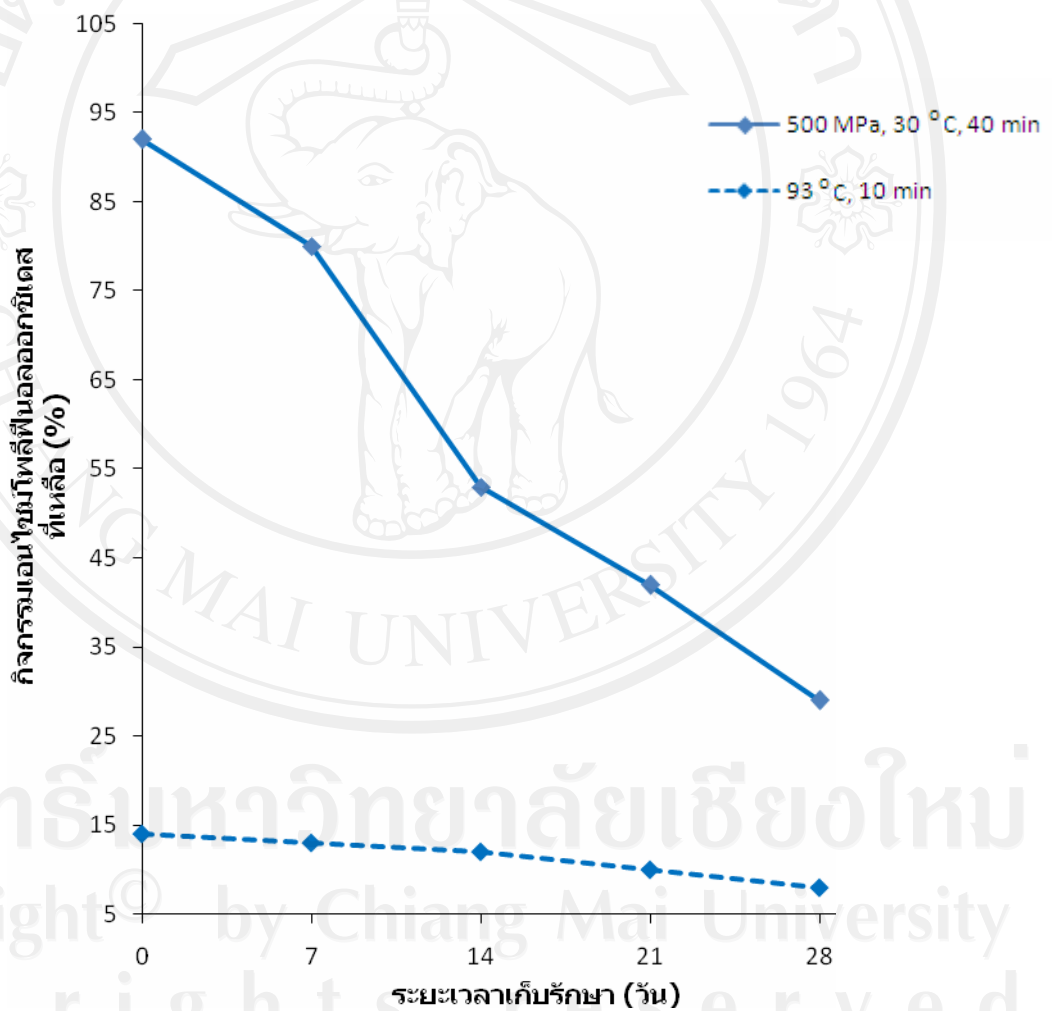
#### 4.4.6 ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส



รูป 4.6 กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสของเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 28 วัน

จากรูป 4.6 พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เหลือของเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งมีค่าเท่ากับ 49 % ในขณะที่การพาสเจอไรซ์สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสสามารถทนความดันสูงได้ดีกว่าความร้อน (Hendrickx and Knorr, 2002) สอดคล้องกับการทดลองของ Castro *et al.* (2007) ศึกษาพริกหยวกที่ผ่านการพาสเจอไรซ์อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 1 นาที สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้มากกว่า 85 % ในขณะความดัน 200 MPa เป็น

เวลา 20 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในพริกหยวกได้ 70 % โดยทั่วไป การลวกสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้ดีกว่าการใช้ความดันสูงยิ่ง โดยการลวกที่ 90 °C เป็นเวลา 3 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในถั่วเขียวได้ถึง 90 % (Bahceci *et al.*, 2004) นอกจากนี้ Schweggert *et al.* (2005b) รายงานว่าพริกหยวกป่นที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 10 นาที มีกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสลดลงประมาณ 98 % และน้ำแอปเปิ้ลที่ผ่านความร้อน 94 °C เป็นเวลา 26 วินาที มีกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเหลืออยู่เพียง 0.9 % (Noci *et al.*, 2008)



รูป 4.7 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของเนื้อถั่วในน้ำเชื่อมแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งและการพาสเจอร์ไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 28 วัน

จากรูป 4.7 พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่เหลือของเนื้อลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านแปรรูปด้วยความดันสูงยังมีค่าเท่ากับ 92 % ในขณะที่การพาสเจอร์ไรส์สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส โดยมีค่ากิจกรรมที่เหลือเท่ากับ 14 % จะเห็นได้ว่าความร้อนสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ดีกว่าความดันสูงยิ่ง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ สุนทร และอรุณี (2550) พบว่าลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงถึง 600 MPa อุณหภูมิ 30 และ 50 °C เป็นเวลา 20 นาที มีกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่เหลือเท่ากับ 34.02 และ 45.66 % ตามลำดับ และลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 3 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส โดยมีค่ากิจกรรมที่เหลือเท่ากับ 7.58 % และจากรายงานของ Castro *et al.* (2007) พบว่าความดันสูงที่ 100 - 200 MPa นาน 10 - 20 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในพริกหยวกได้ประมาณ 50 % โดยพริกหยวกที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 70 - 98 °C เป็นเวลา 1 - 2.5 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ถึง 25 - 75 % อีกทั้งการให้ความร้อน 90 °C เป็นเวลา 30 และ 60 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในน้ำฝรั่งลดลงเหลือ 66.67 และ 52.31 % ตามลำดับ (เรวัตร, 2549) และการใช้ความร้อน 90 °C เป็นเวลา 10 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในน้ำแอปเปิ้ลคอกเทลได้ (Ponting *et al.*, 1954) ซึ่งในการยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่อุณหภูมิห้องต้องใช้ความดันสูงยิ่งมาก โดยเฉพาะผลไม้ที่มีความเป็นกรด (Ludikhuyze *et al.*, 2001) โดยในเนื้อฝรั่งตีปั่นต้องใช้ความดันสูงยิ่งมากกว่า 600 MPa อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 10 นาที (Yen and Lin, 1996) น้ำองุ่นต้องใช้ความดันสูงยิ่งมากกว่า 900 MPa อุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 2 นาที (Castellari *et al.*, 1997) จะเห็นได้ว่าความร้อนสามารถยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ดีกว่าเทคนิคความดันสูงยิ่ง เนื่องมาจากความร้อนทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ ในขณะที่ความดันสูงยิ่งมีผลต่อโปรตีนในระดับตติยภูมิ จตุรภูมิ และมีผลต่อพันธะนอน-โคเวเลนต์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบริเวณเร่งของเอนไซม์ (Active site) ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้

ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและโพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น สาเหตุการลดลงของกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโปรตีนที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ (Active site) โดยโครงสร้างบริเวณนี้เป็นบริเวณที่จับกับสารตั้งต้นอย่างจำเพาะแล้วเกิดการเร่งปฏิกิริยา (ปราณี, 2543) ดังนั้นหากเกิดการเปลี่ยนแปลงในบริเวณเร่งของเอนไซม์ทำให้

เอนไซม์จับกับสารตั้งต้นได้ลดลงมีผลทำให้เอนไซม์มีกิจกรรมลดลงเช่นกัน ในการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ทั้งสองตามระยะเวลาการเก็บรักษาอาจมีผล โดยเฉพาะต่อสีของผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับรูป 4.2

เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการทั้งสองพบว่า ความร้อนสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองได้ผลมากกว่าความดันสูงยิ่ง

ตาราง 4.14 ผลของระยะเวลาเก็บรักษาต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์ และเชื้อรา

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)		ปริมาณยีสต์ และเชื้อรา (CFU/g)	
	แปรรูปด้วยความดันสูงยิ่ง 500 MPa, 30 °C, 40 min	แปรรูปด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ 93 °C, 10 min	แปรรูปด้วยความดันสูงยิ่ง 500 MPa, 30 °C, 40 min	แปรรูปด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ 93 °C, 10 min
ชุดควบคุม		4,270		1,280
0	5	ND	ND	ND
7	8	ND	ND	ND
14	10	ND	ND	ND
21	13	ND	ND	ND
28	16	ND	ND	ND

หมายเหตุ - ชุดควบคุม คือ ลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านการวัดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์ และเชื้อรา เริ่มต้นก่อนการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิและการพาสเจอร์ไรซ์

- ND = Not Detected

จากตาราง 4.14 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงยิ่ง พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 25 CFU/g เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน โดยตรวจไม่พบปริมาณยีสต์ และเชื้อรา ตลอดจนผลิตภัณฑ์ผ่านการแปรรูปด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ตรวจไม่พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์ และเชื้อรา ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 28 วัน จากผลการทดลองแสดงว่าระดับความดันสูงยิ่งร่วมกับอุณหภูมิมีประสิทธิภาพในการยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และเชื้อราในผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับการพาสเจอร์ไรซ์ ทั้งนี้อาจเกิดจากความดันสูงทำให้เอนไซม์ภายในเซลล์จุลินทรีย์เกิดการเสียหาย ผนังเซลล์ถูกทำลายทำให้สูญเสียการซึมผ่านของสารอาหาร ซึ่งความดันสูงยิ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ความร้อนสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรค สามารถยับยั้งเอนไซม์ ทำให้อาหารปลอดภัย และยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (Knorr,

1995; Phunchaisri and Apichartsrangkoon, 2005) และจากรายงานของ Reddy *et al.* (2006) พบว่าความดันสูงยังสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย อีกทั้งยังสามารถทำลายไวรัสบางกลุ่มได้ เมื่อใช้ความดัน 250 - 700 MPa ที่อุณหภูมิต่ำ และโดยทั่วไประดับความดัน 300 - 700 MPa มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในอาหาร (Phua and Davey, 2007) นอกจากนั้นระดับความดัน 300 - 700 MPa สามารถทำลายยีสต์และเชื้อราในอาหารได้ (Bull *et al.*, 2004) สอดคล้องกับ Garriga *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาการแปรรูปน้ำมะเขือเทศ โดยใช้ระดับความดัน 300 - 500 MPa อุณหภูมิ 25 °C นาน 10 นาที เก็บรักษาที่ 4 °C เป็นเวลา 28 วัน พบว่าที่ระดับความดัน 400 และ 500 MPa สามารถลดระดับยีสต์และเชื้อราได้อย่างสมบูรณ์ตลอดอายุการเก็บรักษา แต่ความดัน 300 MPa พบว่ามีปริมาณยีสต์และเชื้อราเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และจากการทดลองของ Hoover *et al.* (1989) พบว่าการใช้ความดัน 350 MPa เป็นเวลา 30 นาที หรือ 400 MPa เป็นเวลา 5 นาที จะสามารถลดปริมาณเซลล์ปกติของแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อราได้ถึง 10 เท่า นอกจากนี้วัชรารณ (2549) รายงานว่าการใช้ความดัน 500 - 600 MPa อุณหภูมิ 30 - 50 °C นาน 20 นาที ในการแปรรูปแฮมฝรั่งตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดรวมถึงเชื้อยีสต์ และรา อีกทั้ง Houska *et al.* (2006) รายงานว่าน้ำบรอกโคลีและน้ำแอปเปิ้ลที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 500 MPa เวลา 10 นาที ตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่า 10 CFU/g และตรวจไม่พบปริมาณยีสต์และเชื้อราระหว่างเก็บรักษานาน 21 วัน โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิไม่เกิน 5 °C และจากรายงานของ Laboissiere *et al.* (2007) พบว่าจากการศึกษาน้ำเสาวรสที่มีปริมาณยีสต์และเชื้อราเริ่มต้นเท่ากับ  $1.5 \times 10^3$  CFU/g หลังจากผ่านกระบวนการความดันสูงที่ 300 MPa เป็นเวลา 5 นาที อุณหภูมิ 25 °C ตรวจไม่พบปริมาณยีสต์ และเชื้อรา