บทที่ 3

ผลและวิจารณ์

1. คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดสด

น้ำตาลโตนดสดที่นำมาศึกษาเป็นตัวอย่างน้ำตาลโตนดที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน โดยมีการเติมไม้เคี่ยมในกระบอกรองรับน้ำตาลโตนดประมาณ 5 กรัมต่อน้ำตาลโตนดสด 1 ลิตร มีระยะเวลานับจากเริ่มรองรับน้ำตาลโตนด 15 ชั่วโมง มีคุณสมบัติดังนี้

(1) คุณสมบัติทางกายภาพ

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดสดในรูปค่าสีโดยใช้ระบบ Hunter Lab (L, a, b) พบว่าค่า L เฉลี่ยเท่ากับ 73.88 ค่า a เฉลี่ยเท่ากับ 2.37 และค่า b เฉลี่ยเท่ากับ 15.21 ส่วนความขุ่นของน้ำตาลโตนดสดซึ่งวัดในรูปการทะลุผ่านของแสงที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 77.58 (ตารางที่ 3) ในทางทฤษฎีกำหนดว่าค่า L ที่มีค่าเข้าใกล้ 100 แสดงว่าวัตถุมีความสว่าง ค่า a มีค่าเป็นบวก แสดงว่า วัตถุมีเฉดสีแดง และเมื่อค่า b เป็นบวก แสดงว่า วัตถุมีเฉดสีเหลือง ซึ่งจากการวัดค่าสีของน้ำตาลโตนดสดนี้มีสีค่อนข้างแดงอาจเนื่องจากมีสีของไม้เคี่ยมที่ละลายออกมาปนอยู่ด้วยซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของเรณุกา แจ่มฟ้า (2545) ที่ได้รายงานว่าน้ำตาลโตนดสดที่ไม่ใส่เปลือกไม้พยอมจะมีสีขาวขุ่น ส่วนน้ำตาลโตนดที่ใส่เปลือกไม้พยอมจะมีสีเหลืองปนน้ำตาลอ่อน เนื่องจากสีของเปลือกไม้พยอมที่ละลายออกมา

(2) คุณสมบัติทางเคมี

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำตาลโตนดสดที่มีการเติมไม้เคี่ยม พบว่าน้ำตาลโตนดสดมีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 5.76 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 11.2 องศาบริกซ์ ปริมาณกรดทั้งหมด (คิดในรูปของกรดแลกติก) เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.032 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 10.91 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.67 ความจำเพาะสัมพัทธ์ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (relative activity of

polyphenoloxidase) เฉลี่ยเท่ากับ 32.33 x 10^{-3} ΔOD/นาที/กรัม ความจำเพาะสัมพัทธ์ของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (relative activity of peroxidase) เฉลี่ยเท่ากับ 10.33 x10^{-3} ΔOD/นาที/กรัม และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทส (activity of invertase) เฉลี่ยเท่ากับ 42.77 x 10^{-3} หน่วย/นาที/กรัม (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำตาลโตนดสด

Physical and chemical properties of fresh palm sap

Properties*		Value
color	L	73.88 ± 0.60
	a	2.37 ± 0.07
	b	15.21 ± 0.06
transmittance (%) at 650 nm		77.58 ± 1.98
pH		5.76 ± 0.18
total soluble solid (^{0}Brix)		11.2 ± 0.0
acidity (% w/v as lactic acid)		0.032 ± 0.00
total sugar (%w/w)		10.91 ± 0.21
reducing sugar (%w/w)		0.67 ± 0.02
relative activity of PPO (10^{-3}ΔOD /min/g)		32.33± 0.58
relative activity of POD (10^{-3}ΔOD /min/g)		10.33 ± 0.58
invertase activity (10^{-3} unit/min/g)		42.77 ± 0.12

Note: * Physical and chemical anlysis were done after 15 hours of collecting palm sap.

Each value is the mean of triplicate determinations ± standard deviation.

(3) ชนิดและปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้

จากการศึกษาชนิดและปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสดโดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ เฮกเซน ไดคลอโรมีเทน และไดเอททิลอีเทอร์ และกำหนดสภาวะการวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้โดยใช้ GC/MS ดังภาคผนวก ข พบว่าการใช้ไดเอททิลอีเทอร์สามารถสกัดสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสดได้มากที่สุด จำนวน 19 ชนิด ในขณะที่ไดคลอโรมีเทนและเฮกเซนสามารถสกัดสารประกอบที่ระเหยได้เท่ากับ 9 และ 4 ชนิด ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสดมีทั้งชนิดที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ดังนั้นการใช้ไดเอททิลอีเทอร์ซึ่งมีสภาพความเป็นขั้วปานกลางจึงสามารถสกัดสารประกอบที่ระเหยได้ได้มากที่สุด ส่วนการใช้ไดคลอโรมีเทนซึ่งมีสภาพความเป็นขั้วสูงจะสามารถสกัดได้เฉพาะสารประกอบที่ระเหยได้ที่มีสภาพการมีขั้วสูงเท่านั้น ขณะที่เฮกเซนเป็นตัวทำละลายไม่มีขั้วจะสามารถสกัดได้เฉพาะสารประกอบที่ระเหยได้ที่ไม่มีขั้วเท่านั้น (Morrison and Boyd, 1959) ในการศึกษานี้จึงเลือกใช้ไดเอททิลอีเทอร์เป็นตัวทำละลายในการวิเคราะห์ต่อไป

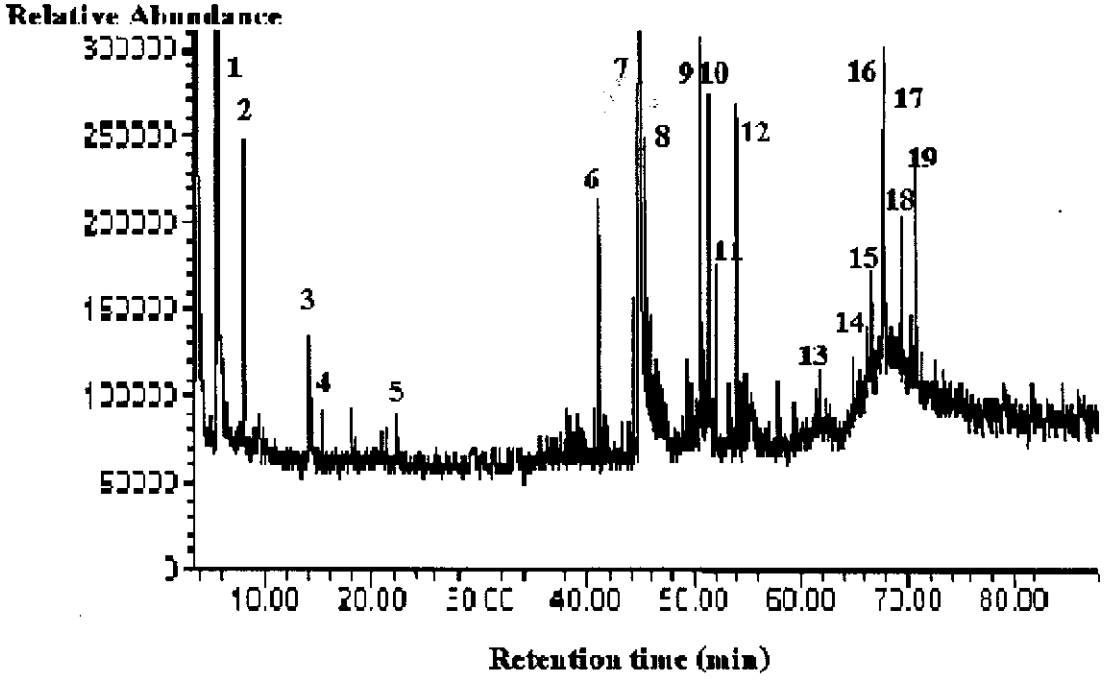
ตารางที่ 4 สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดที่สกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ

Volatile compounds in fresh palm sap extracted with different solvents

Peak	Volatile compounds*		
	Diethylether	Dichloromethane	Hexane
1	3-hydroxy-2-butanone	3-hydroxy-2-butanone	n-decane
2	1,3-butanediol	2,4-dimethylheptane	n-undecane
3	unknown	4-methyloctane	n-tetradecane
4	1-ethenyl-3-methylbenzene	2,5-dimethylnonane	n-eicosane
5	benzene ethanol	3,6-dimethyldecane	
6	1-tetradecene	4-methylundecane	
7	n-hexadecene	n-pentacosane	
8	n-hexadecane	n-hexacosane	
9	n-heptadecane	2,6,10,14,18,22-tetracosahexane	
10	1-octadecene		
11	n-octadecane		
12	n-nonadecane		
13	n-docosane		
14	n-tricosane		
15	n-tetracosane		
16	n-pentacosane		
17	n-octacosane		
18	n-nonacosane		
19	2,6,10,14,18,22-tetracosahexane		

Note: * Volatile compounds were analysed after 15 hours of collecting palm sap.

จากการวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดโดยใช้ไดเอททิลอีเทอร์เป็นตัวสกัดและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS ได้โครมาโตแกรมของสารประกอบที่ระเหยได้ดังภาพประกอบที่ 3 พบว่าสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสดมีจำนวน 19 ชนิด สามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ คีโตน แอลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอนและกลุ่มที่ไม่ทราบชื่อ (ตารางที่ 5) โดยสารประกอบที่อยู่ในกลุ่มคีโตนมี 1 ชนิด คือ 3-hydroxy-2-butanone ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีกลิ่นหอมหวาน (sweet odor) (Cheetham, 2002) สารประกอบที่อยู่ในกลุ่มแอลกอฮอล์มีจำนวน 2 ชนิด คือ 1,3-butanediol ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีกลิ่นไขมันเนย (fatty-butter) (Cheetham, 2002) และ benzene ethanol ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีกลิ่นรสกุหลาบ (rose odor) ที่เกิดจากการหมักของยีสต์ (Berger *et al.*, 2002) และสารประกอบที่อยู่ในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนจำนวน 15 ชนิดและสารที่ไม่ทราบชื่อจำนวน 1 ชนิด สารประกอบที่ระเหยได้ที่มีปริมาณมากที่สุดคือ 3-hydroxy-2-butanone (ร้อยละ 26.59) และ 1,3-butanediol (ร้อยละ 23.10) ตามลำดับเมื่อเทียบกับปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ทั้งหมด (ตารางที่ 5) ซึ่ง 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol เป็นสารประกอบที่มีกลิ่นหอมหวานที่พบในน้ำตาลโตนด



ภาพประกอบที่ 3 โครมาโตแกรมของสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสด ภายหลังการเก็บเกี่ยวนาน 15 ชั่วโมง

Chromatogram of volatile compounds in fresh palm sap after 15 hours of collecting palm sap

Note: peak 1, 3-hydroxy-2-butanone ; peak 2, 1,3-butanediol ; peak 3, unknown ; peak 4, 1-ethenyl-3-methylbenzene ; peak 5, benzene ethanol ; peak 6, 1-tetradecene ; peak 7, 1-hexadecene ; peak 8, n-hexadecane ; peak 9, n-heptadecane ; peak 10, 1-octadecene ; peak 11, n-octadecane ; peak 12, n-nonadecane ; peak 13, n-docosane ; peak 14, n-tricosane ; peak 15, n-tetracosane ; peak 16, n-pentacosane ; peak 17, n-octacosane ; peak 18, n-nonacosane ; peak 19, 2,6,10,14,18,22-tetracosahexane

Volatile compounds in fresh palm sap were analysed after 15 hours of collecting palm sap.

ตารางที่ 5 ปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสด

Volatile compounds in fresh palm sap

Peak	Volatile compounds*	Molecular weight	Relative GC peak area (%)
	Ketone		
1	3-hydroxy-2-butanone	88	26.59
	*Alcohol*s		
2	1,3-butanediol	90	23.10
5	benzene ethanol	122	0.95
	Hydrocarbons		
4	1-ethenyl-3-methylbenzene	118	0.78
6	1-tetradecene	196	4.06
7	1-hexadecene	224	5.71
8	n-hexadecane	226	0.93
9	n-heptadecane	240	4.54
10	1-octadecene	252	6.05
11	n-octadecane	254	2.48
12	n-nonadecane	268	4.29
13	n-docosane	310	2.56
14	n-tricosane	324	0.98
15	n-tetracosane	338	1.96
16	n-pentacosane	352	2.88
17	n-octacosane	394	2.23
18	n-nonacosane	408	0.91
19	2,6,10,14,18,22-tetracosahexane	410	2.16
	Miscellaneous		
3	Unknown	94	6.84

Note: * Volatile compounds were analysed after 15 hours of collecting palm sap.

(4) คุณสมบัติทางจุลชีววิทยา

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดสดที่มีการเติมไม้เคี่ยม (ระยะเวลาการนับจากเริ่มรองรับน้ำตาลจนถึงวิเคราะห์ 15 ชั่วโมง) พบว่าน้ำตาลโตนดสดมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 6.04×10^7 โคโลนีต่อมิลลิลิตร จำนวนแลกติกแบคทีเรียเฉลี่ยเท่ากับ 3.66×10^6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร และจำนวนยีสต์และราเฉลี่ยเท่ากับ 2.59×10^7 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 6) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และรา และจำนวนแลกติกแบคทีเรีย มีค่าน้อยกว่ารายงานวิจัยของเรณุกา แจ่มฟ้า (2545) พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำตาลโตนดสดที่มีการเติมไม้พยอม (ระยะเวลาการรองน้ำตาลบนต้นนาน 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองและเก็บในถุงพลาสติก แช่ในถังน้ำแข็งจนกว่าจะนำมาวิเคราะห์) มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 1.2×10^{11} โคโลนีต่อมิลลิตร จำนวนยีสต์และราเท่ากับ 4.8×10^6 โคโลนีต่อมิลลิตร และจำนวนแลกติกแบคทีเรียเท่ากับ 3.5×10^8 โคโลนีต่อมิลลิตร ทั้งนี้อาจเนื่องจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในน้ำตาลโตนดสดอาจมาจากส่วนรองช่อดอก ใบ อากาศ แมลงที่มากินน้ำหวานและกระบอกที่รองรับน้ำตาล และระยะเวลาการรองรับนานกว่า 12 ชั่วโมง มีผลทำให้จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนขึ้นได้ (วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล, 2537; เรณุกา แจ่มฟ้า, 2545) นอกจากนี้ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวจนถึงระยะเวลาการวิเคราะห์ก็มีผลต่อจำนวจุลินทรีย์ จุลินทรีย์สามารถเพิ่มจำนวนขึ้นได้ เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดสดไว้นานขึ้น เนื่องจากน้ำตาลโตนดมีสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำตาลโตนดสดจะไม่สามารถทำให้น้ำตาลโตนดเกิดการเสื่อมเสียได้ เนื่องจากในการรองรับน้ำตาลโตนดโดยทั่วไปจะมีการเติมไม้เคี่ยมหรือไม้พยอม ซึ่งในไม้เหล่านี้มีสารประกอบฟีนอลิกช่วยในการต่อต้านการทำงานของจุลินทรีย์ (Scalbert, 1991 อ้างโดย Chanthachum and Beuchat, 1997; ปราโมทย์ ธรรมรัตน์, 2521; เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล, 2532; เรณุกา แจ่มฟ้า, 2545)

ตารางที่ 6 คุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดสด

Microbiological properties of fresh palm sap

Microbiological properties*	Value
total viable count (cfu/ml)	6.04×10^7
lactic acid bacteria (cfu/ml)	3.66×10^6
yeast and mold (cfu/ml)	2.59×10^7

Note: * Microbiological analysis was done after 15 hours of collecting palm sap.
Each value is the mean of triplicate determinations.

2. ผลของความร้อนต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดและการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

2.1 ผลของการให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดและการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

น้ำตาลโตนดสดจะนำมาให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 15 และ 20 นาที บรรจุในขวดแก้ว ปริมาตร 550 มิลลิลิตร แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้แสดงดังภาพประกอบที่ 4

ภาพประกอบที่ 4 น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที
Palm sap pasteurized at 70^0C for 15 minutes

(1) คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพที่วิเคราะห์ภายหลังการพาสเจอร์ไรส์ ได้แก่ ค่าสีและความขุ่น พบว่าน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์มีค่าสีแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) (ตารางผนวกที่2) เมื่อพิจารณาผลของการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างกัน พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ค่า L มีแนวโน้มลดลง ขณะที่ค่า a และ b สูงขึ้น ($p<0.05$) ส่วนระยะเวลาการให้ความร้อนมีผลต่อค่า L a และ b เล็กน้อย ($p<0.05$) ค่า L ของน้ำตาลโตนดที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.90 67.68 65.55 และ 64.48 ตามลำดับ และ ค่า b มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.25 12.20 12.52 และ 12.53 ตามลำดับ (ตารางที่ 7) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Yeom และคณะ (2000) ที่รายงานว่าค่า L ในน้ำส้มพาสเจอร์ไรส์มีค่าต่ำกว่าค่า Lในน้ำส้มสด แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้น้ำตาลโตนดมีความทึบแสงและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลปนเหลืองเพิ่มขึ้น ทั้งนี้น่าจะเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ตั้งแต่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ร้อยละ 86 ดังนั้นการเกิดสีน้ำตาลจึง

น่าจะเกี่ยวข้องกับผลของระดับการใช้ความร้อนและระยะเวลามากกว่าผลของกิจกรรมของเอนไซม์

ความขุ่นของน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์วัดในรูปการทะลุผ่านของแสงที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร พบว่าน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์มีค่าการทะลุผ่านของแสงต่ำกว่าน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) เมื่อพิจารณาผลของการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างกัน พบว่าการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ค่าการทะลุผ่านของแสงมีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) ส่วนระยะเวลาการให้ความร้อนมีผลต่อค่าการทะลุผ่านของแสงเล็กน้อย ($p<0.05$) ค่าการทะลุผ่านของแสงในน้ำตาลโตนดที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63.46 58.68 49.64 และ 48.78 ตามลำดับ (ตารางที่ 7) แสดงว่าระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้น้ำตาลโตนดมีความขุ่นเพิ่มขึ้น จากทดลองของเรณุกา แจ่มฟ้า (2545) พบว่าน้ำตาลโตนดมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.32 โดยน้ำหนัก และนอกจากนี้ในน้ำตาลโตนดสดมีการเติมไม้เคี่ยม (5 กรัมต่อน้ำตาลโตนด 1 ลิตร) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าโปรตีนและสารประกอบโพลีฟีนอลจากไม้เคี่ยมอาจเกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและสารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenols) ระหว่างการให้ความร้อนขณะแปรรูปก่อให้เกิดสารแขวนลอยในน้ำตาลโตนด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Siebert และคณะ (1996) ที่พบว่าในน้ำผลไม้ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จะมีความขุ่นเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและสารประกอบโพลีฟีนอล

เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าการเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้ค่า L และค่าการทะลุผ่านของแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) (ภาพประกอบที่ 5) น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ในสัปดาห์ที่ 5 มีค่า L เพิ่มขึ้นร้อยละ 24.39 และ 29.72 ตามลำดับ และมีค่าการทะลุผ่านของแสงเพิ่มขึ้นร้อยละ 20.07 และ 39.80 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดหลังพาสเจอร์ไรส์ ทั้งนี้อาจเกิดจากอนุภาคที่แขวนลอยอยู่เกิดจากรวมตัวกันและมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นจนไม่สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำผลไม้ได้จึงตกตะกอนลงมา (Shomer, 1988 อ้างโดย พัชรินทร์ อรัญวัฒน์, 2542)

ตารางที่ 7 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 15 และ 20 นาที

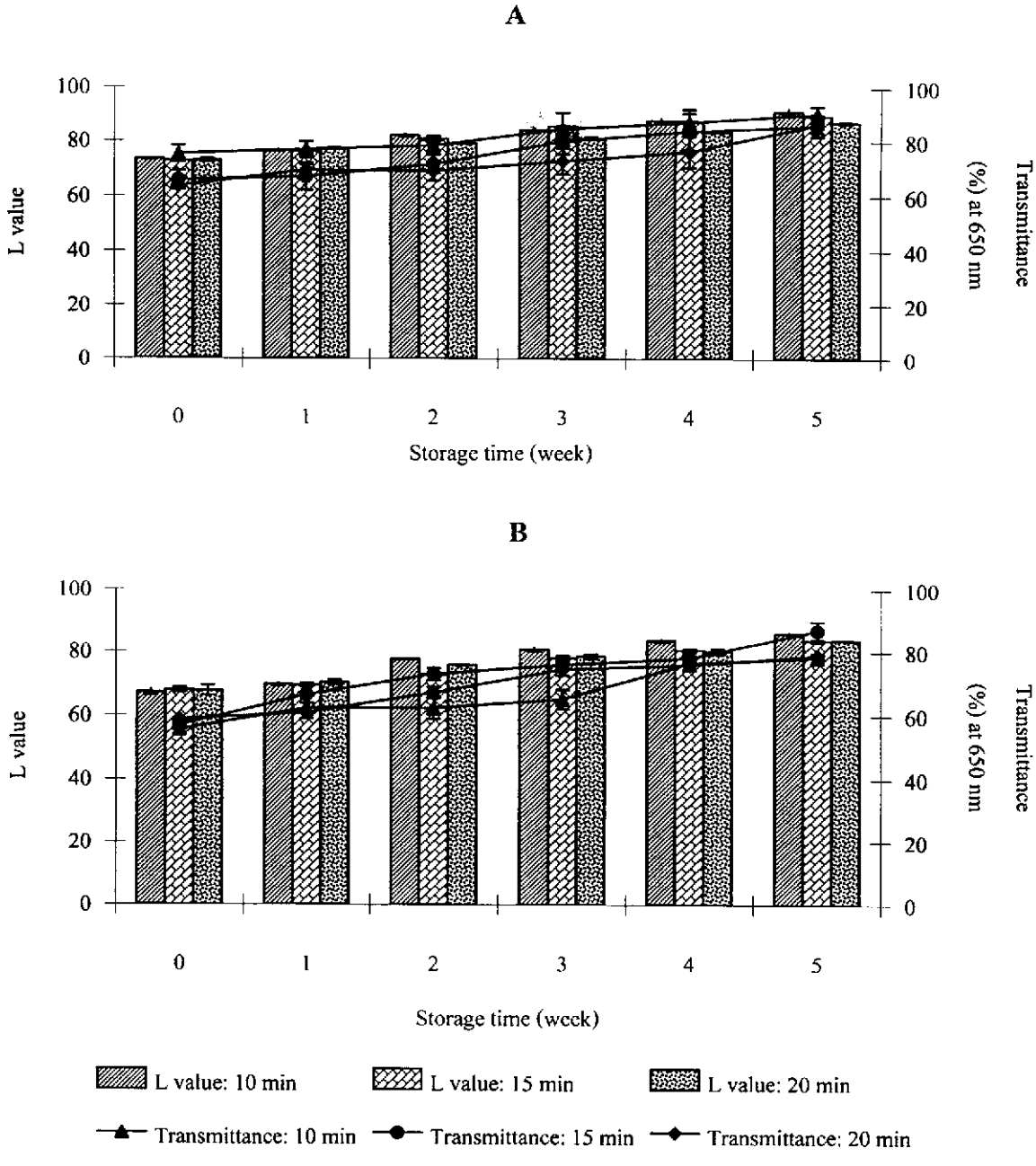
Physical properties of fresh palm sap and palm sap pasteurized at 70, 80, 90 and 100^{0}C for 10, 15 and 20 minutes

Temperature (^{0}C)	Time (min)	Color			Transmittance (%) at 650 nm
		L	a	b	
Fresh palm sap*		73.88±0.60^{e}	2.37±0.07^{b}	15.21±0.06^{c}	77.58±1.98^{e}
70	10	73.42±0.29^{e}	1.89±0.54^{a}	11.22±1.02^{a}	66.31±3.03^{d}
	15	72.84±0.40^{e}	1.91±0.18^{a}	11.28±0.38^{a}	65.81±3.44^{d}
	20	72.90±0.66^{e}	1.92±0.21^{a}	11.25±0.61^{a}	63.46±0.35^{d}
80	10	67.09±0.89^{cd}	2.45±0.14^{b}	12.08±0.38^{ab}	58.68±0.10^{bc}
	15	67.85±0.75^{d}	2.41±0.15^{b}	12.41±0.30^{b}	56.81±1.49^{c}
	20	67.68±1.60^{d}	2.44±0.14^{b}	12.20±0.51^{b}	55.48±1.74^{c}
90	10	66.38±0.26^{a}	2.54±0.33^{b}	12.07±0.76^{ab}	51.99±0.58^{ab}
	15	66.05±0.86^{bc}	2.59±0.35^{b}	12.04±0.55^{ab}	51.05±2.68^{a}
	20	65.55±0.33^{a}	2.79±0.16^{b}	12.52±0.29^{b}	49.64±2.26^{a}
100	10	66.73±0.15^{bc}	2.60±0.21^{b}	12.37±0.21^{b}	52.45±2.05^{ab}
	15	66.28±0.15^{b}	2.82±0.08^{b}	12.55±0.09^{b}	51.16±2.61^{a}
	20	64.48±0.36^{a}	2.68±0.15^{b}	12.53±0.13^{b}	48.78±0.35^{a}

Note: * Physical analysis in fresh palm sap was done after 15 hours of collecting palm sap.

Each value is the mean of triplicate determinations ± standard deviation.

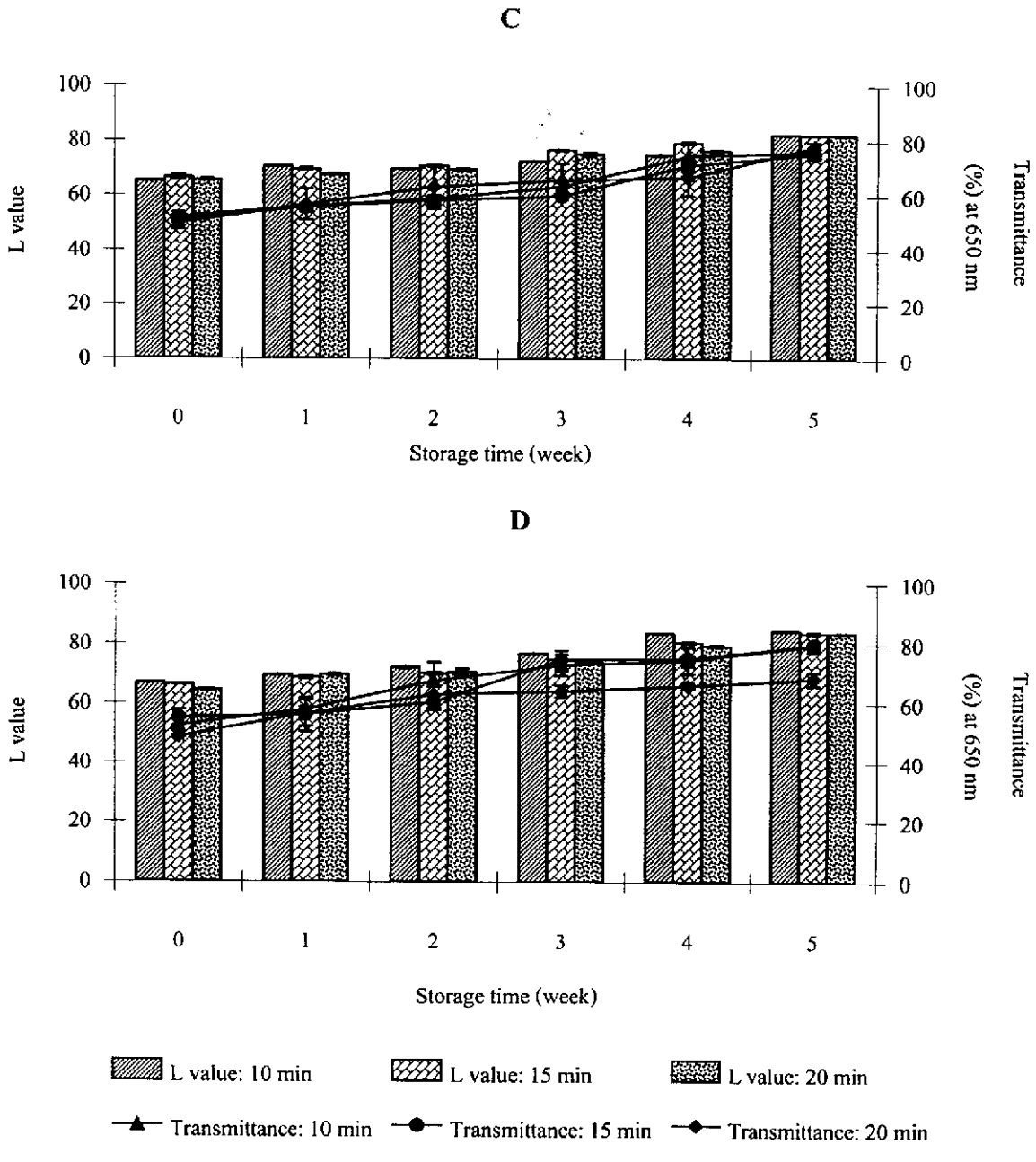
The different superscripts in the same column denote the significant differences ($p<0.05$).



ภาพประกอบที่ 5 การเปลี่ยนแปลงค่า L และค่าการทะลุผ่านของแสงในน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 (A) 80 (B) 90 (C) และ 100 (D) องศาเซลเซียส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์

Changes in L value and transmittance of palm sap pasteurized at 70^0C (A), 80^0C (B), 90^0C (C), and 100^0C (D) during storage at 4^0C for 5 weeks

Error bar represents standard deviation from triplicate determinations.



ภาพประกอบที่ 5 (ต่อ)

(2) คุณสมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์พีเอชของน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ พบว่าค่าพีเอชไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($p>0.05$) (ตารางผนวกที่2) แสดงว่าอุณหภูมิและเวลาไม่มีผลต่อค่าพีเอช น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 5.65 5.90 5.84 และ 5.89 ตามลำดับ (ตารางที่ 8) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Yeom และคณะ (2000) ที่พบว่าน้ำส้มที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 94.6 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที มีค่าพีเอชไม่แตกต่างกับน้ำส้มสด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (คิดในรูปกรดแลกติก) ในน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ พบว่าน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์มีปริมาณกรดทั้งหมดใกล้เคียงกับน้ำตาลโตนดสด อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติมีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) เมื่อพิจารณาผลของการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างกันแม้ว่าการใช้อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ทำให้ปริมาณกรดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติแล้วพบว่าระดับอุณหภูมิและระยะเวลามีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมด ($p<0.05$) โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.029 0.028 0.027 และ 0.028 ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าการเก็บรักษานานขึ้นมีผลให้พีเอชมีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) ขณะที่ปริมาณกรดทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) (ภาพประกอบที่ 6) น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที มีปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นร้อยละ 26.44 และ 14.29 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งอาจเกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (ตารางที่ 11)โดยจุลินทรีย์จะเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นกรด ทำให้น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์มีปริมาณกรดแลกติกเพิ่มขึ้นและมีผลทำให้ค่าพีเอชลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของปราโมทย์ ธรรมรัตน์ (2521) ที่กล่าวว่าเมื่อมีการเจริญของแลกติกแบคทีเรียในน้ำตาลโตนดทำให้เกิดกรดแลกติกเป็นผลผลิตหลักน้ำตาลโตนดจึงมีพีเอชลดลงและมีรสเปรี้ยว

ตารางที่ 8 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 15 และ 20 นาที

Chemical properties of fresh palm sap and palm sap pasteurized at 70, 80, 90 and 100^{0}C for 10, 15 and 20 minutes

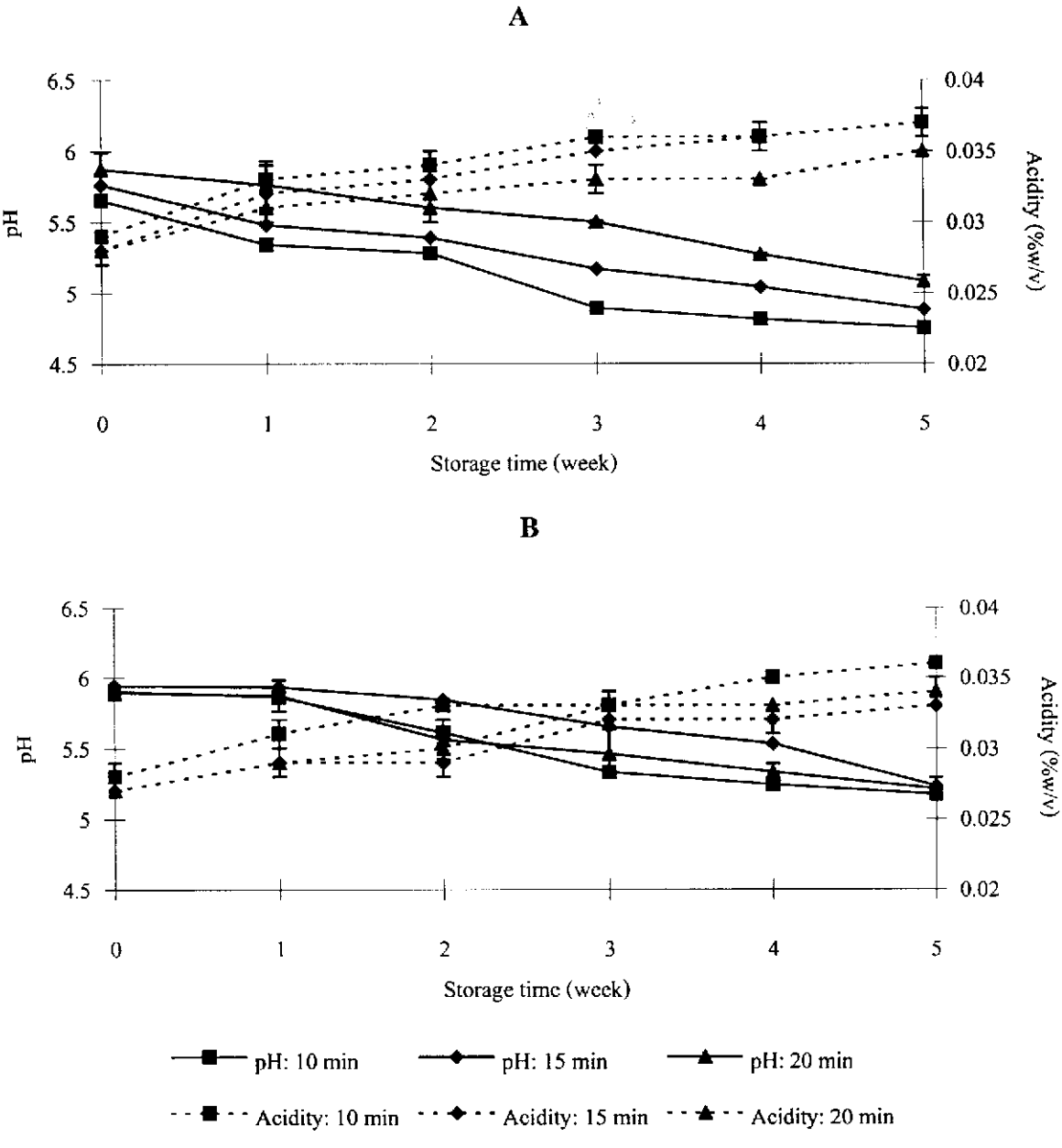
Temp (^{0}C)	Time (min)	pH	Acidity (% w/v as lactic acid)	TSS (^{0}Brix)	Total sugar (%w/w)	Reducing sugar (%w/w)	Relative activity ($10^{-3}\Delta$OD/min/ g)		Invertase activity (10^{-3}unit/min/g)
							PPO	POD	
Fresh palm sap*		5.76±0.18^{ns}	0.032±0.001^{e}	11.2±0.0^{a}	10.91±0.21^{a}	0.67±0.02^{e}	32.33±0.58^{a}	10.33±0.58^{j}	42.77±0.12^{i}
70	10	5.65±0.03^{ns}	0.029±0.002^{d}	11.5±0.1^{ab}	11.66±0.32^{b}	0.48±0.02^{bc}	4.63±0.21^{d}	1.17±0.06^{i}	34.23±0.15^{h}
	15	5.76±0.16^{ns}	0.028±0.001^{bc}	11.6±0.2^{abc}	11.78±0.21^{bc}	0.46±0.01^{ab}	4.63±0.21^{d}	1.13±0.06^{i}	29.67±0.29^{g}
	20	5.87±0.12^{ns}	0.028±0.001^{bc}	11.7±0.3^{abc}	12.18±0.11^{dc}	0.46±0.01^{ab}	4.23±0.15^{c}	0.83±0.06^{h}	27.57±0.21^{f}
80	10	5.90±0.15^{ns}	0.028±0.001^{cd}	12.1±0.3^{bcd}	11.99±0.14^{cd}	0.46±0.01^{ab}	3.97±0.06^{b}	0.80±0.04^{gh}	23.13±0.25^{e}
	15	5.94±0.14^{ns}	0.027±0.002^{a}	11.9±0.5^{abcd}	12.49±0.30^{f}	0.46±0.01^{ab}	3.97±0.06^{b}	0.73±0.06^{fg}	11.63±0.15^{d}
	20	5.89±0.08^{ns}	0.027±0.002^{a}	12.3±0.2^{cd}	12.58±0.14^{f}	0.46±0.00^{ab}	3.97±0.06^{b}	0.70±0.04^{cf}	8.47±0.15^{c}
90	10	5.84±0.09^{ns}	0.027±0.001^{ab}	11.9±0.2^{abcd}	12.39±0.11^{ef}	0.45±0.01^{a}	3.93±0.06^{b}	0.67±0.06^{def}	4.33±0.25^{b}
	15	5.88±0.09^{ns}	0.028±0.001^{bc}	12.0±0.2^{bcd}	12.54±0.10^{f}	0.47±0.01^{ab}	3.83±0.11^{b}	0.63±0.06^{cde}	0^{a}
	20	5.89±0.08^{ns}	0.028±0.002^{bc}	12.3±0.3^{cd}	12.61±0.02^{f}	0.47±0.00^{ab}	3.37±0.15^{a}	0.60±0.00^{bcd}	0^{a}
100	10	5.89±0.09^{ns}	0.028±0.001^{cd}	12.5±0.1^{dc}	12.47±0.13^{ef}	0.49±0.01^{c}	3.33±0.21^{a}	0.57±0.06^{abc}	0^{a}
	15	5.89±0.11^{ns}	0.028±0.001^{cd}	13.0±0.1^{ef}	13.03±0.03^{g}	0.51±0.01^{d}	3.33±0.21^{a}	0.53±0.06^{ab}	0^{a}
	20	5.89±0.09^{ns}	0.028±0.001^{bc}	13.2±0.8^{f}	13.17±0.10^{g}	0.51±0.02^{d}	3.20±0.10^{a}	0.50±0.02^{a}	0^{a}

Note: * Chemical analysis in fresh palm sap was done after 15 hours of collecting palm sap.

Each value is the mean of triplicate determinations ± standard deviation.

The different superscripts in the same column denote the significant differences ($p<0.05$).

^{ns}, not significant at $p<0.05$

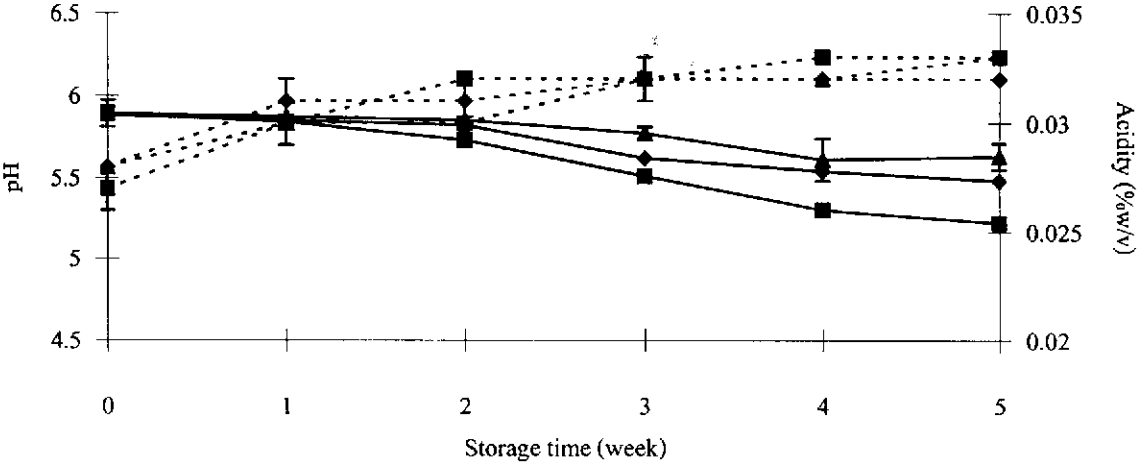


ภาพประกอบที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 (A) 80 (B) 90 (C) และ 100 (D) องศาเซลเซียส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์

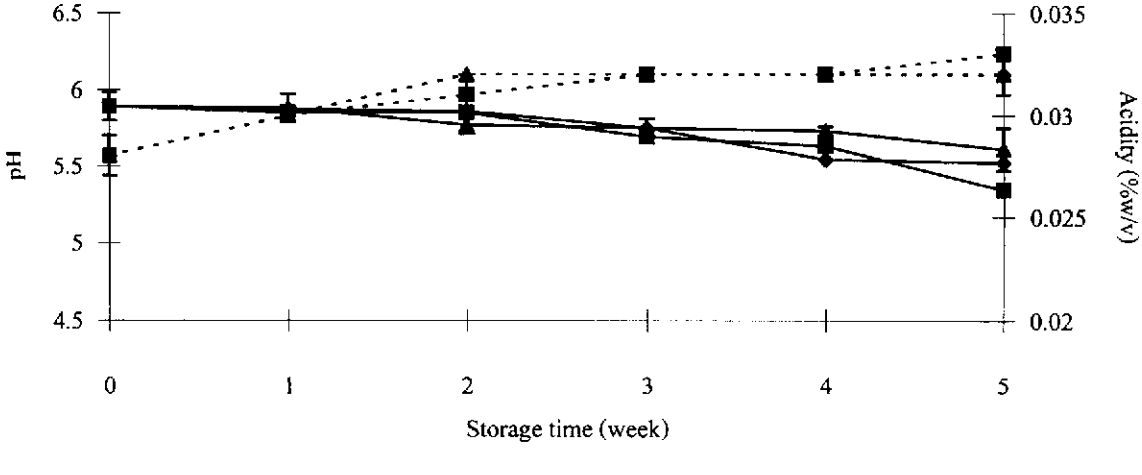
Changes in pH and acidity of palm sap pasteurized at 70^0C (A), 80^0C (B), 90^0C (C), and 100^0C (D) during storage at 4^0C for 5 weeks

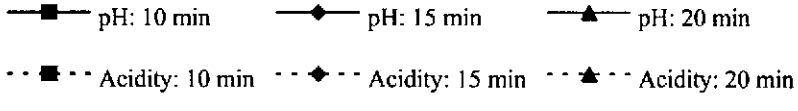
Error bar represents standard deviation from triplicate determinations.

C



D





ภาพประกอบที่ 6 (ต่อ)

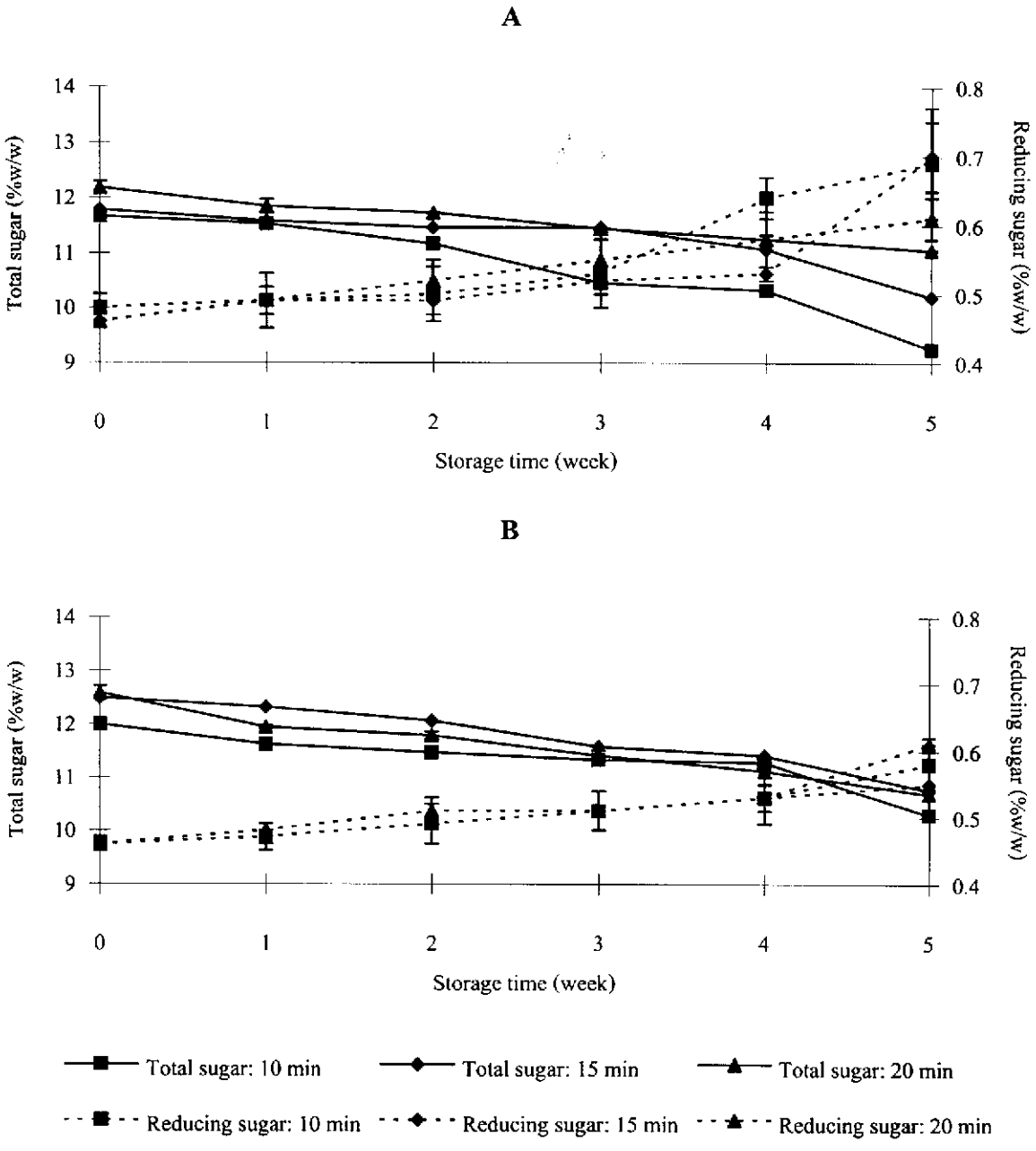
ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดหลังการพาสเจอร์ไรส์ พบว่าน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นจากน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) เมื่อพิจารณาผลของการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน พบว่าการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำตาลโตนดที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.7 12.3 12.3 และ 13.2 องศาบริกซ์ ตามลำดับ (ตารางที่ 8) ทั้งนี้เกิดจากในการพาสเจอร์ไรส์มีน้ำบางส่วนระเหยขณะให้ความร้อนจึงทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น ขณะที่ระยะเวลาการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเล็กน้อย ($p<0.05$) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำตาลโตนดที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 10 15 และ 20 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.5 11.6 และ11.7 องศาบริกซ์ ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังการพาสเจอร์ไรส์ พบว่าน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นจากน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) ทั้งนี้น่าจะเกิดจากการพาสเจอร์ไรส์ทำให้น้ำบางส่วนระเหยไปขณะให้ความร้อน ขณะที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าลดลงจากน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ เกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์สอดคล้องกับค่าสีดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นและทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลง เมื่อพิจารณาผลของการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างกัน พบว่าการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิสูงและระยะเวลานานขึ้นทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำตาลโตนดที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 12.18 12.58 12.61 และ 13.17 ตามลำดับ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.46 0.47 0.47 และ 0.51 ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด ($p>0.05$) แต่มีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงและปริมาณ

น้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) (ภาพประกอบที่ 7) น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เก็บรักษานาน 5 สัปดาห์ มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลงไปเท่ากับร้อยละ 20.67 และ 6.53 และมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นร้อยละ 44.44 และ 25.49 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ ทั้งนี้อาจเนื่องจากจุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์และแลกติกแบคทีเรียมีจำนวนเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 11) โดยยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์และแอลกอฮอล์ ขณะที่แลกติกแบคทีเรียจะมีการใช้น้ำตาลกลูโคสแล้วทำให้เกิดเป็นกรดแลกติก ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าลดลง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากกรดส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นยังคงเป็นของแข็งที่ละลายได้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และเอนไซม์อินเวอร์เทสหลังการพาสเจอร์ไรส์ พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสามชนิดในน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์มีค่าลดลงจากน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) การใช้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิสูงและเวลานานขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของเอนไซม์ลดลง ($p<0.05$) และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสถูกยับยั้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เป็นต้นไป ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนมีผลทำให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพ นอกจากนี้ พบว่าเมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ ปริมาณของเอนไซม์ทั้งสามชนิดมีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) (ภาพประกอบที่ 8)

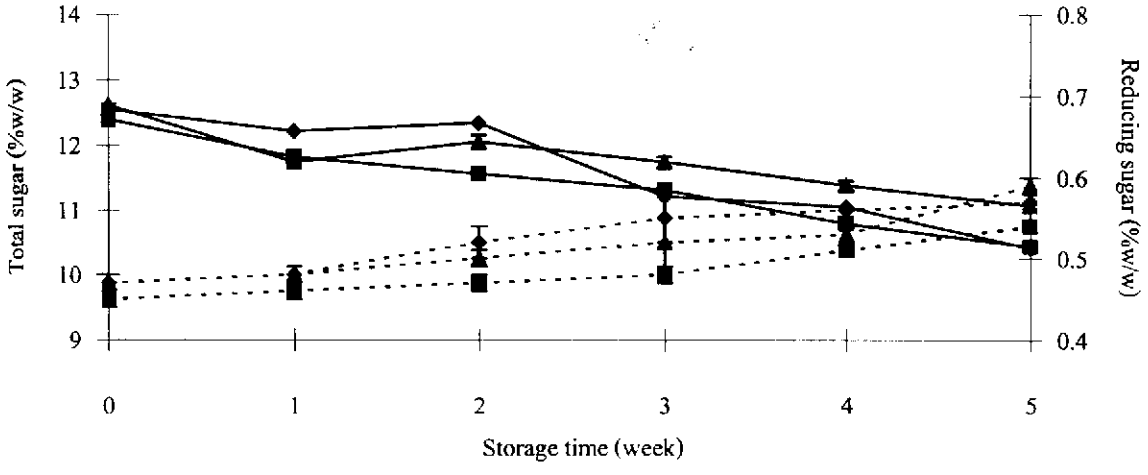


ภาพประกอบที่ 7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 (A) 80 (B) 90 (C) และ 100 (D) องศาเซลเซียส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์

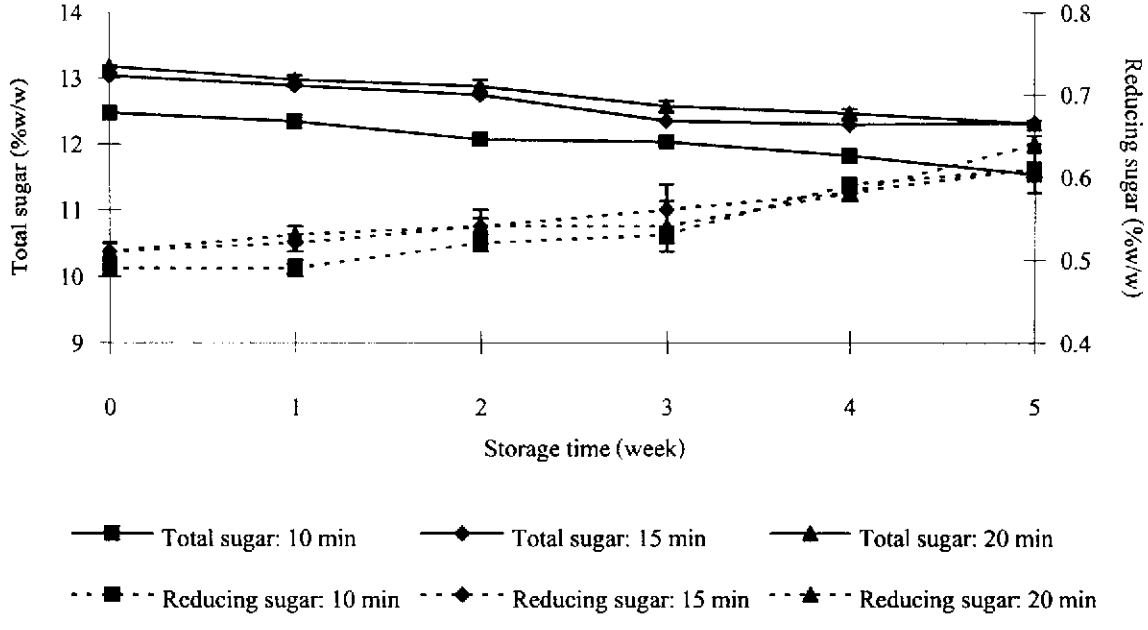
Changes in total sugar and reducing sugar of palm sap pasteurized at 70^0C (A), 80^0C (B), 90^0C (C), and 100^0C (D) during storage at 4^0C for 5 weeks

Error bar represents standard deviation from triplicate determinations.

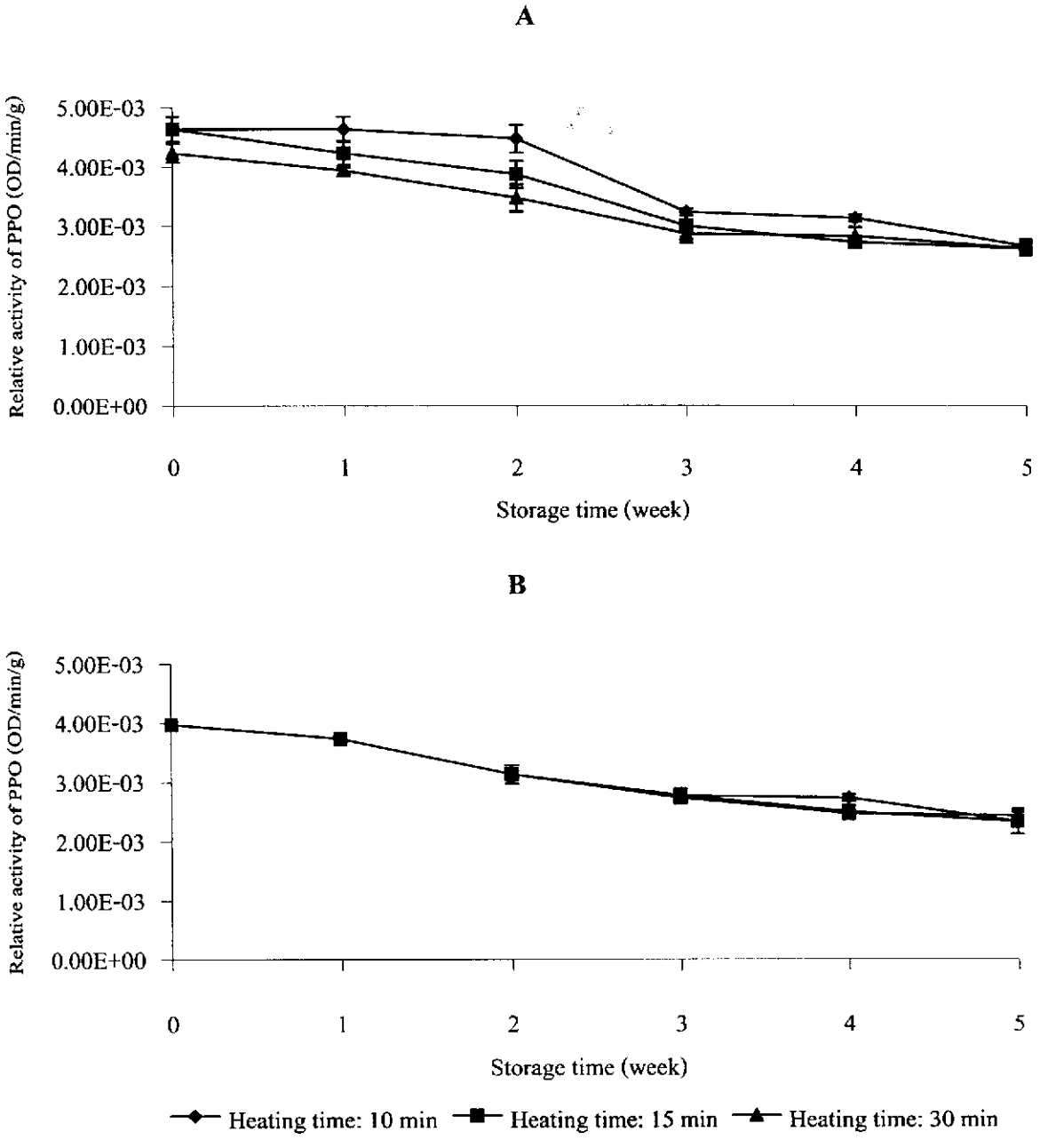
C



D



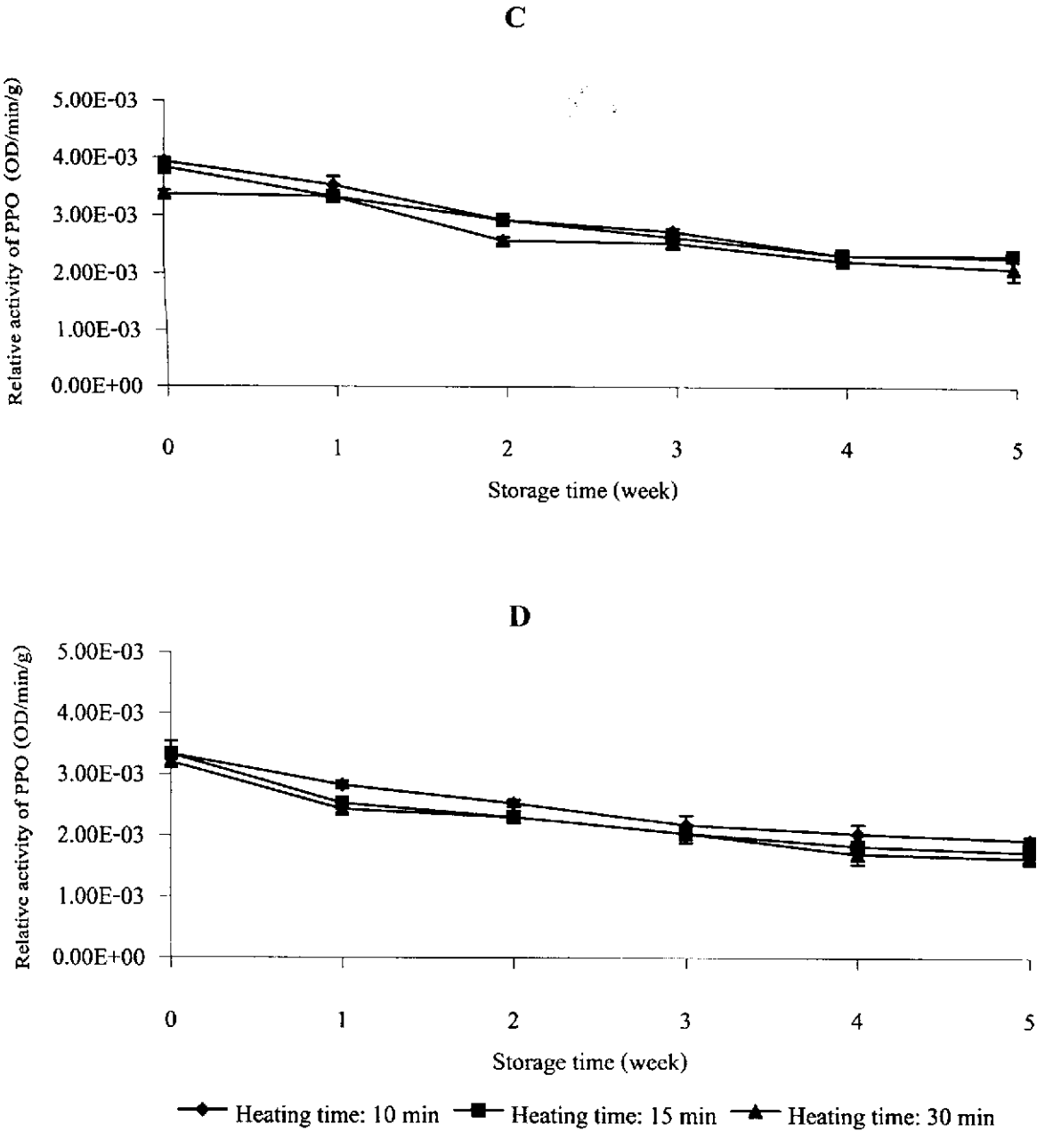
ภาพประกอบที่ 7 (ต่อ)



ภาพประกอบที่ 8 การเปลี่ยนแปลงความจำเพาะสัมพัทธ์ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 (A) 80 (B) 90 (C) และ 100 (D) องศาเซลเซียส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์

Changes in relative activity of polyphenoloxidase (PPO) of palm sap pasteurized at 70^0C (A), 80^0C (B), 90^0C (C), and 100^0C (D) during storage at 4^0C for 5 weeks

Error bar represents standard deviation from triplicate determinations.



ภาพประกอบที่ 8 (ต่อ)

(3) ชนิดและปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้

จากการวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ พบว่ามีสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดเดียวกับน้ำตาลโตนดสดจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ 3-hydroxy-2-butanone, 1,3-butanediol, 1-tetradecene, 1-hexadecene, 1-octadecene และ n-docosane และพบสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดใหม่เพียง 1 ชนิด ได้แก่ 2,3-dihydrobenzofuran (ตารางที่ 9) ซึ่งมีกลิ่นน้ำตาลไหม้ (caramel odor) (Parliament and McGorrin, 2000) แสดงให้เห็นว่าความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์มีผลต่อการลดลงของสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสด เมื่อพิจารณาปริมาณของสารประกอบที่ระเหยได้ที่เป็นสารให้กลิ่นรสหลักในน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ พบว่าการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานขึ้นมีผลให้ปริมาณของ 3-hydroxy-2-butanone และ1,3-butanediol มีแนวโน้มลดลง โดยน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ปริมาณของ 3-hydroxy-2-butanone และ1,3-butanediol ลดลงไปเท่ากับร้อยละ 9.30 และ 18.81 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดสด ซึ่งสอดคล้องรายงานของ Yen และ Lin (1999) กล่าวว่าการใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์มีผลให้สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำฝรั่งมีปริมาณลดลงไปเท่ากับร้อยละ 36.52 ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบที่ระเหยได้บางส่วนระเหยไประหว่างการให้ความร้อน

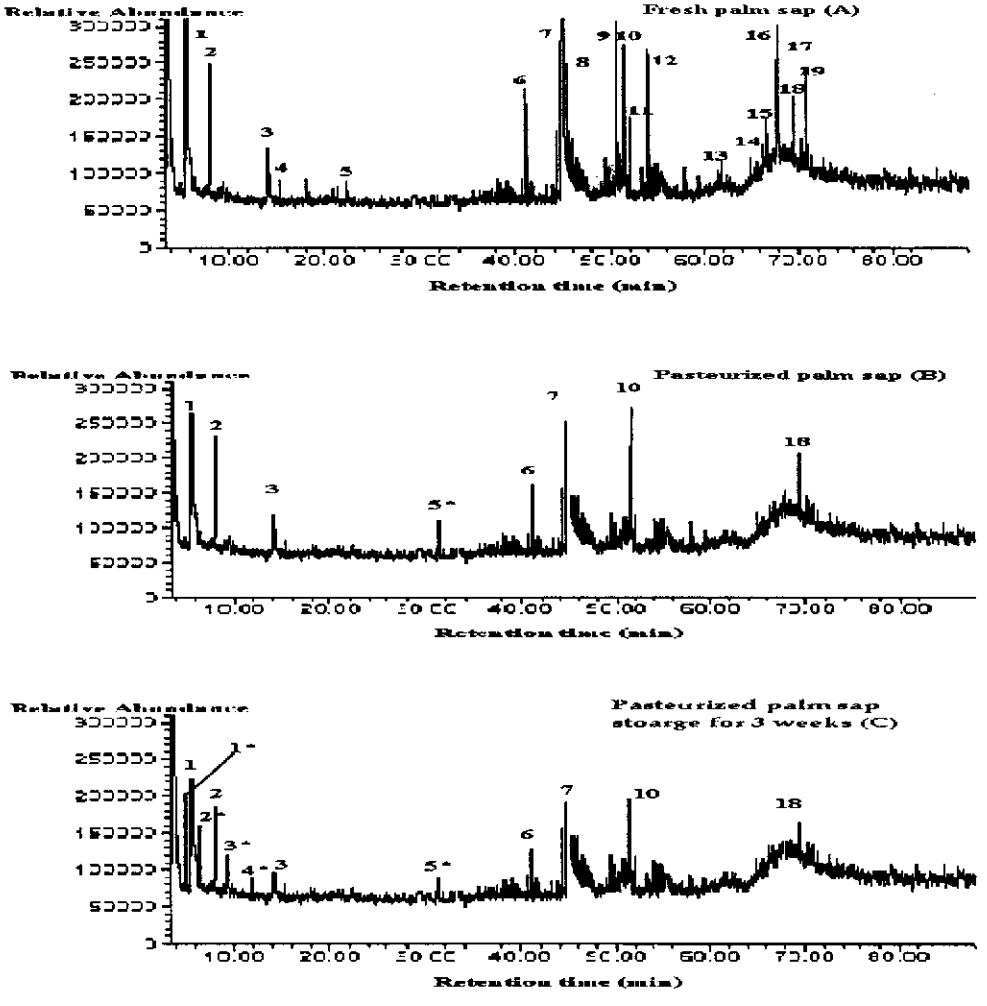
เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับจากน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ เมื่อเก็บรักษาสำหรับน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ (อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที) นาน 3 สัปดาห์ พบว่ามีสารประกอบที่ระเหยได้ในกลุ่มแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์เกิดขึ้น ได้แก่ บิวทอกซีเอทธานอล เฮกซานอล ออกทานอลและกรดอะซิติก (ภาพประกอบที่ 9) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (off-odor) ในผลิตภัณฑ์โดยแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ที่เกิดเพิ่มมากขึ้นอาจเนื่องจากจุลินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้นระหว่างการเก็บรักษา โดยพบว่าหลังการเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ (อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที) นาน 3 สัปดาห์ มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 2.43×10^3 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นเท่ากับ 1.50×10^2 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Yen และ Lin (1999) ที่กล่าวว่าน้ำฝรั่งระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 60 วัน จะมีสารประกอบที่ระเหยได้ในกลุ่มแอลกอฮอล์ซึ่งน่าจะเกิดจากยีสต์

ตารางที่ 9 ปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 15 และ 20 นาที

Volatile compounds in palm sap pasteurized at 70, 80, 90 and 100^{0}C for 10, 15 and 20 minutes

Volatile compounds	Relative GC peak area (%)*											
	70^{0}C			80^{0}C			90^{0}C			100^{0}C		
	10 min	15 min	20 min	10 min	15 min	20 min	10 min	15 min	20 min	10 min	15 min	20 min
3-hydroxy-2-butanone	92.82	90.70	66.75	72.44	31.61	1.85	3.70	1.86	1.69	1.90	1.59	0.80
1,3-butanediol	90.20	81.19	80.56	80.89	29.68	1.56	3.75	1.75	1.65	1.59	1.41	0.75
1-tetradecene	55.54	47.43	28.94	39.79	12.20	0.29	1.76	0.73	0.71	0.75	0.47	0.14
1-hexadecene	94.98	90.88	65.61	64.07	26.22	1.49	3.05	1.23	1.30	1.12	0.70	0.34
1-octadecene	95.51	85.98	40.06	45.12	16.25	1.95	2.71	1.00	0.99	0.87	0.78	0.27
n-nonacasane	77.27	61.84	43.28	64.43	55.03	3.86	6.31	5.74	3.18	3.39	3.11	2.32

Note: * Relative GC peak area (%) is calculated based on specific peak area of each volatile compound in fresh palm



ภาพประกอบที่ 9 โครมาโตแกรมของสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสด (A) น้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที (B) และน้ำตาลโตนดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เมื่อเก็บรักษานาน 3 สัปดาห์ (C)

Chromatograms of volatile compounds in fresh palm sap (A), palm sap pasteurized at 70^{0}C for 15 minutes (B) and palm sap pasteurized at 70^{0}C for 15 minutes after storage for 3 weeks (C)

Note: peak 1, 3-hydroxy-2-butanone; peak 2, 1,3-butanediol; peak 3, unknown; peak 4, 1-ethenyl-3-methylbenzene; peak 5, benzene ethanol; peak 6, 1-tetradecene; peak 7, 1-hexadecene; peak 8, n-hexadecane; peak 9, n-heptadecane; peak 10, 1-octadecen ; peak 11, n-octadecane; peak 12, n-nonadecane; peak 13, n-docosane; peak 14, n-tricosane; peak 15, n-tetracosane; peak 16, n-pentacosane; peak 17, n-octacosane; peak 18, n-nonacosane; peak 19, 2,6,10,14,18,22-tetracosahexane; peak 1*, acetic acid; peak 2*,2-butoxyethanol; peak 3*, 1-hexanol; peak 4*, 1-octanol; peak 5*, 2,3-dihydrobenzofuran

Volatile compounds in fresh palm sap were analysed after 15 hours of collecting palm sap.

(4) คุณสมบัติทางจุลชีววิทยา

ผลการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ พบว่าการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิสูงและเวลานานขึ้นทำให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ในกระบวนการแปรรูปทำให้น้ำตาลโตนดมีผลให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำตาลโตนดแปรรูปมีจำนวนน้อยกว่า 500 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 10) ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519) นอกจากนี้พบว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 80 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ไม่พบจุลินทรีย์

ผลการวิเคราะห์จำนวนยีสต์และราในน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 70 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ตรวจไม่พบยีสต์และรา (ตารางที่ 10) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของวราวุฒิ ครูส่ง (2538) ที่กล่าวว่ายีสต์และราเป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ทนต่อความร้อนจะถูกทำลายได้ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 60 องศาเซลเซียส นาน 5-10 นาที

ผลการวิเคราะห์จำนวนแลกติกแบคทีเรียในน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ พบว่าการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิตั้งแต่ 70 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ตรวจไม่พบแลกติกแบคทีเรีย (ตารางที่ 10) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสุมณฑา วัฒนสินธุ์ (2545) ที่กล่าวว่าแลกติกแบคทีเรียจะถูกทำลายได้ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

ผลการวิเคราะห์ทางด้านจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 15 และ 20 นาที พบว่าการใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 500 โคโลนีต่อมิลลิลิตร และไม่พบยีสต์ รา และแลกติกแบคทีเรีย ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519) จึงคัดเลือกน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ไปใช้ในการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

น้ำตาลโตนดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์จะถูกนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ จากการศึกษาพบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และรา

และจำนวนแลกติกแบคทีเรีย (ตารางที่ 11) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์มาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ ซึ่งกำหนดว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 500 โคโลนีต่อมิลลิลิตร จำนวนยีสต์และรา ไม่เกินน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519) พบว่าน้ำตาลโตนดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 และ 20 นาที และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 และ 15 นาที สามารถเก็บรักษาได้นาน 2 สัปดาห์ น้ำตาลโตนดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 10 15 และ 20 นาที และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที สามารถเก็บรักษาได้นาน 3 สัปดาห์ ขณะที่น้ำตาลโตนดที่ผ่านพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 และ 20 นาที สามารถเก็บรักษาได้นานตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 5 สัปดาห์

ตารางที่ 10 คุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 15 และ 20 นาที

Microbiological properties of fresh palm sap and palm sap pasteurized at 70, 80, 90 and 100^{0}C for 10, 15 and 20 minutes

Temperature (^{0}C)	Time (min)	TVC (cfu/ml)	Yeast and mold (cfu/ml)	Lactic acid bacteria (cfu/ml)
Fresh palm sap*		6.04×10^{7}	3.66×10^{6}	2.59×10^{7}
70	10	5.68×10^{2}	0	0
	15	1.50×10^{2}	0	0
	20	1.31×10^{2}	0	0
80	10	5.60×10^{1}	0	0
	15	3.05×10^{1}	0	0
	20	0	0	0
90	10	0	0	0
	15	0	0	0
	20	0	0	0
100	10	0	0	0
	15	0	0	0
	20	0	0	0

Note: * Microbiological analysis in fresh palm sap was done after 15 hours of collecting palm sap.

Each value is the mean of triplicate determinations.

ตารางที่ 11 คุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 15 และ 20 นาที ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์

Microbiological properties of palm sap pasteurized at 70, 80, 90 and 100^{0}C for 10, 15 and 20^{0}C during storage at 4^{0}C for 5 weeks

Temperature (^{0}C)	Time (min)	Storage time (week)	TVC (cfu/ml)	Yeast and mold (cfu/ml)	Lactic acid bacteria (cfu/ml)
70	10	0	5.68×10^2	0	0
		1	2.41×10^3	0	0
		2	3.07×10^3	3.32×10^2	7.12×10^1
		3	9.42×10^3	1.47×10^3	6.49×10^2
		4	1.33×10^5	3.43×10^3	2.49×10^3
		5	2.72×10^5	1.45×10^4	5.27×10^3
70	15	0	1.50×10^2	0	0
		1	1.50×10^2	0	0
		2	3.93×10^2	0	0
		3	2.43×10^3	1.01×10^2	5.09×10^1
		4	1.08×10^5	7.53×10^3	2.43×10^3
		5	2.28×10^5	1.32×10^4	4.43×10^3
70	20	0	1.31×10^2	0	0
		1	1.49×10^2	0	0
		2	1.16×10^2	0	0
		3	1.55×10^3	2.49×10^2	1.13×10^2
		4	1.69×10^5	2.38×10^3	1.04×10^3
		5	2.29×10^5	5.03×10^3	3.23×10^3

ตารางที่ 11 (ต่อ)

Temperature (^{0}C)	Time (min)	Storage time (week)	TVC (cfu/ml)	Yeast and mold (cfu/ml)	Lactic acid bacteria (cfu/ml)
80	10	0	5.60×10^1	0	0
		1	1.50×10^2	0	0
		2	3.62×10^2	0	0
		3	1.03×10^3	1.06×10^2	8.12×10^1
		4	2.45×10^3	1.39×10^3	7.58×10^2
		5	8.23×10^3	2.84×10^3	2.49×10^3
80	15	0	3.05×10^1	0	0
		1	6.15×10^1	0	0
		2	1.60×10^2	0	0
		3	6.88×10^2	8.70×10^1	5.28×10^1
		4	1.45×10^3	8.42×10^2	6.51×10^2
		5	6.98×10^3	9.54×10^2	8.13×10^2
80	20	0	0	0	0
		1	4.33×10^1	0	0
		2	1.37×10^2	0	0
		3	3.17×10^2	0	0
		4	1.26×10^3	5.28×10^2	4.58×10^2
		5	5.20×10^3	7.15×10^2	6.54×10^2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

Temperature (^{0}C)	Time (min)	Storage time (week)	TVC (cfu/ml)	Yeast and mold (cfu/ml)	Lactic acid bacteria (cfu/ml)
90	10	0	0	0	0
		1	0	0	0
		2	1.09×10^2	0	0
		3	2.53×10^2	0	0
		4	5.46×10^2	1.01×10^2	7.45×10^1
		5	1.81×10^3	1.84×10^4	1.54×10^2
90	15	0	0	0	0
		1	0	0	0
		2	1.04×10^2	0	0
		3	2.15×10^2	0	0
		4	3.07×10^2	1.44×10^2	4.60×10^1
		5	5.25×10^2	1.53×10^2	1.42×10^2
90	20	0	0	0	0
		1	0	0	0
		2	8.40×10^1	0	0
		3	9.18×10^1	0	0
		4	1.46×10^2	4.41×10^1	3.40×10^1
		5	3.64×10^2	1.34×10^2	1.17×10^2

ตารางที่ 11 (ต่อ)

Temperature (^{0}C)	Time (min)	Storage time (week)	TVC (cfu/ml)	Yeast and mold (cfu/ml)	Lactic acid bacteria (cfu/ml)
100	10	0	0	0	0
		1	0	0	0
		2	8.40×10^1	0	0
		3	9.18×10^1	0	0
		4	1.46×10^2	4.41×10^1	3.40×10^1
		5	2.47×10^2	1.34×10^2	8.37×10^1
100	15	0	0	0	0
		1	0	0	0
		2	0	0	0
		3	0	0	0
		4	6.42×10^1	0	0
		5	1.14×10^2	0	0
100	20	0	0	0	0
		1	0	0	0
		2	0	0	0
		3	0	0	0
		4	4.86×10^1	0	0
		5	8.72×10^1	0	0

Note: Each value is the mean of triplicate determination.

2.2 ผลของการให้ความร้อนระดับสเตอริไลส์ต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดและการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาระยะเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแปรรูปน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์บรรจุกระป๋อง กำหนดค่า F_0 เท่ากับ 3.5 ตาม Adams and Moss (1995 อ้างโดย สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545) ซึ่งกำหนดว่ากลุ่มอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (พีเอชมากกว่า 4.5) จะต้องกำหนดค่า F_0 อย่างน้อยเท่ากับ 3.0 ในการศึกษาจะใช้ความร้อนในการสเตอริไลส์ 2 ระดับ คืออุณหภูมิ 114 และ 121 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อกำหนด F_0 เท่ากับ 3.5 ที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส จะต้องใช้เวลาในการฆ่าเชื้อนาน 25 นาที ส่วนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส จะต้องใช้เวลาในการฆ่าเชื้อนาน 15 นาที (ภาคผนวก ค) และจากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์หลังการแปรรูปที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที พบว่าน้ำตาลโตนดมีสีน้ำตาลเข้มและมีกลิ่นน้ำตาลไหม้ (คาราเมล) มากกว่าน้ำตาลโตนดที่ผ่านการแปรรูปที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที และผลการทดสอบ sterility test ของน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ทั้ง 2 ระดับ ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงคัดเลือกสภาวะการแปรรูปน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที (ภาพประกอบที่ 10) มาใช้เพื่อศึกษาคุณภาพต่อไป น้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ที่ผ่านการแปรรูปและนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 6 เดือน จะนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีทุก 2 สัปดาห์ โดยได้ผลการศึกษาดังนี้

ภาพประกอบที่ 10 น้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที
Sterilized palm sap at 114^{0}C for 25 minutes

(1) คุณสมบัติทางกายภาพ

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดภายหลังการสเตอริไลส์ พบว่าค่าสีและความขุ่นของน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์มีค่าลดลงแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) โดยค่า L มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70.37 ค่า a มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.30 และค่า b มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.30 และค่าความขุ่นวัดในรูปค่าการทะลุผ่านของแสงที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 68.41 (ตารางที่ 12) แสดงว่าน้ำตาลโตนดที่ผ่านให้ความร้อนระดับสเตอริไลส์มีเหลืองปนน้ำตาลและความทึบแสงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในการสเตอริไลส์มีการให้ความร้อนในระดับที่สูงอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช้เอนไซม์ระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโน (Joslyn, 1957 อ้างโดย Yeom *et al.*, 2000)

เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน พบว่าระยะการเก็บรักษาที่นานขึ้นมีผลให้ค่า L และค่าการทะลุผ่านของแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ($p<0.05$) น้ำตาลโตนดสเตอริไลส์หลังจากการเก็บรักษานาน 6 เดือน ค่า L เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.12 และค่าการทะลุผ่านของแสงเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดหลังการสเตอริไลส์ แสดงว่าเมื่อเก็บรักษานานขึ้นน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์มีความใสมากขึ้น

(ตารางที่ 13) ซึ่งเมื่อเปิดกระป๋องน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์จะสังเกตเห็นว่ามีตะกอนอยู่ที่ก้นกระป๋องเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเกิดจากอนุภาคที่แขวนลอยอยู่เกิดจากรวมตัวกันและมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นจนไม่สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำผลไม้ได้จึงตกตะกอนลงมา (Shomer, 1988 อ้างโดย พัชรินทร์ อรัญวัฒน์, 2542)

ตารางที่ 12 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที

Physical and chemical properties of fresh palm sap amd palm sap sterilized at 114^{0}C for 25 minutes

Properties		Fresh*	Sterilized
color	L	73.88 ± 0.60^b	70.37±0.21^a
	a	2.37 ± 0.07^{ns}	2.30±0.02^{ns}
	b	15.21 ± 0.06^b	14.30±0.09^a
transmittance (%) at 650 nm		77.58 ± 1.98^b	68.41±0.40^a
pH		5.76 ± 0.18^{ns}	5.79±0.01^{ns}
total soluble solid (^{0}Brix)		11.2 ± 0.0^a	11.8±0.1^b
acidity (% w/v as lactic acid)		0.032 ± 0.000^{ns}	0.031±0.002^{ns}
total sugar (%w/w)		10.91 ± 0.21^a	11.71±0.14^b
reducing sugar (%w/w)		0.67 ± 0.02^b	0.56±0.02^a

Note: * Physical and chemicl analysis in fresh palm sap was done after 15 hours of collecting palm sap.

Each value is the mean of triplicate determinations ± standard deviation.

The different superscripts in the same row denote the significant differences ($p<0.05$).

^{ns}, not significant at $p<0.05$

ตารางที่ 13 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำตาลโตนดที่ผ่านการสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที ระหว่างการเก็บรักษานาน 6 เดือน

Physical and chemical properties of palm sap sterilized at 114^{0}C for 25 mintues during storage for 6 months

Storage (week)	Color			Transmittance (%) at 650 nm	pH	Acidity (%w/v)	TSS (^{0}Brix)	Total sugar (%w/w)	Reducing sugar (%w/w)
	L	a	b						
0	70.37±0.21^{a}	2.30±0.02^{a}	17.18±0.09^{a}	68.41±0.40^{a}	5.79±0.01^{ns}	0.031±0.00^{ns}	11.8±0.0^{a}	11.71±0.14^{a}	0.53±0.02^{a}
2	70.93±2.13^{ab}	2.34±0.03^{a}	17.03±0.10^{a}	68.66±0.26^{a}	5.78±0.04^{ns}	0.031±0.00^{ns}	11.8±0.0^{a}	11.75±0.02^{a}	0.56±0.03^{abc}
4	71.52±0.54^{abc}	2.38±0.06^{ab}	17.16±0.31^{a}	72.20±0.03^{b}	5.78±0.01^{ns}	0.031±0.00^{ns}	11.8±0.0^{a}	11.69±0.06^{a}	0.56±0.02^{abc}
6	72.28±0.18^{cd}	2.38±0.06^{ab}	17.57±0.39^{b}	72.28±0.15^{b}	5.78±0.01^{ns}	0.031±0.00^{ns}	11.8±0.0^{a}	11.72±0.03^{a}	0.55±0.03^{abc}
8	72.25±0.09^{cd}	2.52±0.11^{bc}	17.65±0.11^{b}	73.11±0.10^{c}	5.78±0.03^{ns}	0.032±0.00^{ns}	11.8±0.0^{a}	11.72±0.00^{a}	0.55±0.01^{abc}
10	73.63±0.27^{e}	2.59±0.02^{c}	18.24±0.20^{c}	73.85±0.06^{dc}	5.80±0.02^{ns}	0.032±0.00^{ns}	11.9±0.1^{a}	11.72±0.03^{a}	0.54±0.02^{ab}
12	73.41±0.23^{de}	2.63±0.15^{c}	18.11±0.13^{c}	73.64±0.14^{dc}	5.78±0.01^{ns}	0.032±0.00^{ns}	11.9±0.1^{a}	11.73±0.03^{a}	0.57±0.01^{c}
14	72.77±0.66^{cde}	2.55±0.13^{c}	18.84±0.12^{e}	73.55±0.34^{d}	5.80±0.00^{ns}	0.032±0.00^{ns}	11.9±0.1^{a}	11.73±0.01^{a}	0.56±0.02^{abc}
16	72.08±0.92^{bcd}	2.55±0.18^{c}	18.38±0.16^{cd}	74.00±0.19^{e}	5.80±0.02^{ns}	0.032±0.00^{ns}	11.8±0.1^{a}	11.74±0.01^{a}	0.56±0.01^{abc}
18	73.19±0.06^{de}	2.62±0.08^{c}	18.67±0.37^{dc}	74.43±0.27^{f}	5.79±0.01^{ns}	0.032±0.00^{ns}	11.8±0.1^{a}	11.72±0.03^{a}	0.57±0.04^{bc}
20	73.28±0.02^{dc}	2.62±0.01^{c}	19.02±0.02^{f}	74.70±0.00^{f}	5.80±0.00^{ns}	0.032±0.00^{ns}	11.9±0.1^{a}	11.74±0.02^{a}	0.56±0.01^{abc}
22	73.28±0.02^{dc}	2.62±0.02^{c}	19.07±0.01^{f}	74.70±0.07^{f}	5.80±0.02^{ns}	0.032±0.00^{ns}	12.0±0.0^{b}	12.06±0.02^{b}	0.61±0.02^{d}
24	73.27±0.02^{de}	2.62±0.02^{c}	19.08±0.01^{f}	74.40±0.30^{f}	5.81±0.00^{ns}	0.032±0.00^{ns}	12.0±0.0^{b}	12.07±0.01^{b}	0.61±0.01^{d}

Note: Each value is the mean of triplicate determinations ± standard deviation.

The different superscripts in the same column denote the significant differences ($p<0.05$).

^{ns}, not significant at $p<0.05$

(2) คุณสมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชของน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.79 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 11.8 องศาบริกซ์ ปริมาณกรดทั้งหมด (คิดในรูปกรดแลกติก) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.031 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 11.71 และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.56 (ตารางที่ 12) จะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากมีการให้ความร้อนน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที เพื่อไล่อากาศก่อนปิดผนึกกระป๋อง อาจมีผลทำให้น้ำบางส่วนระเหยไป เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิห้องนาน 6 เดือน พบว่าค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าคงที่ ($p>0.05$) เมื่อเก็บรักษานานขึ้น (ตารางที่ 13) ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ไม่มีจุลินทรีย์เหลืออยู่ (จากผลการทดสอบ Sterility test) จึงไม่มีการสร้างกรดขึ้นในผลิตภัณฑ์ ส่วนปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์สัปดาห์ที่ 0-20 ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่ในสัปดาห์ที่ 22 และ 24 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากสัปดาห์ที่ 20 ($p<0.05$) (ตารางที่ 13) โดยมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 3.07 และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 15.09 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดหลังการสเตอริไลส์

(3) ชนิดและปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้

จากการวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ พบว่ามีสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดเดียวกับน้ำตาลโตนดสดจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ 3-hydroxy-2-butanone, 1,3-butanediol, 1-tetradecene, 1-hexadecene, 1-octadecene และ n-docosane (ตารางที่ 14) และมีสารประกอบที่ระเหยได้ที่เกิดขึ้นใหม่อีก 1 ชนิด คือ 2,3-dihydrobenzofuran มีกลิ่นน้ำตาลไหม้ (caramel odor) (Parliament and McGorrin, 2000) แสดงให้เห็นว่าความร้อนระดับสเตอริไลส์มีผลต่อการลดลงของสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสดและการเกิดสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดใหม่ ทั้งนี้อาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่น้ำตาลรีดิวซ์รวมตัวกับหมู่อะมิโนในผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยา

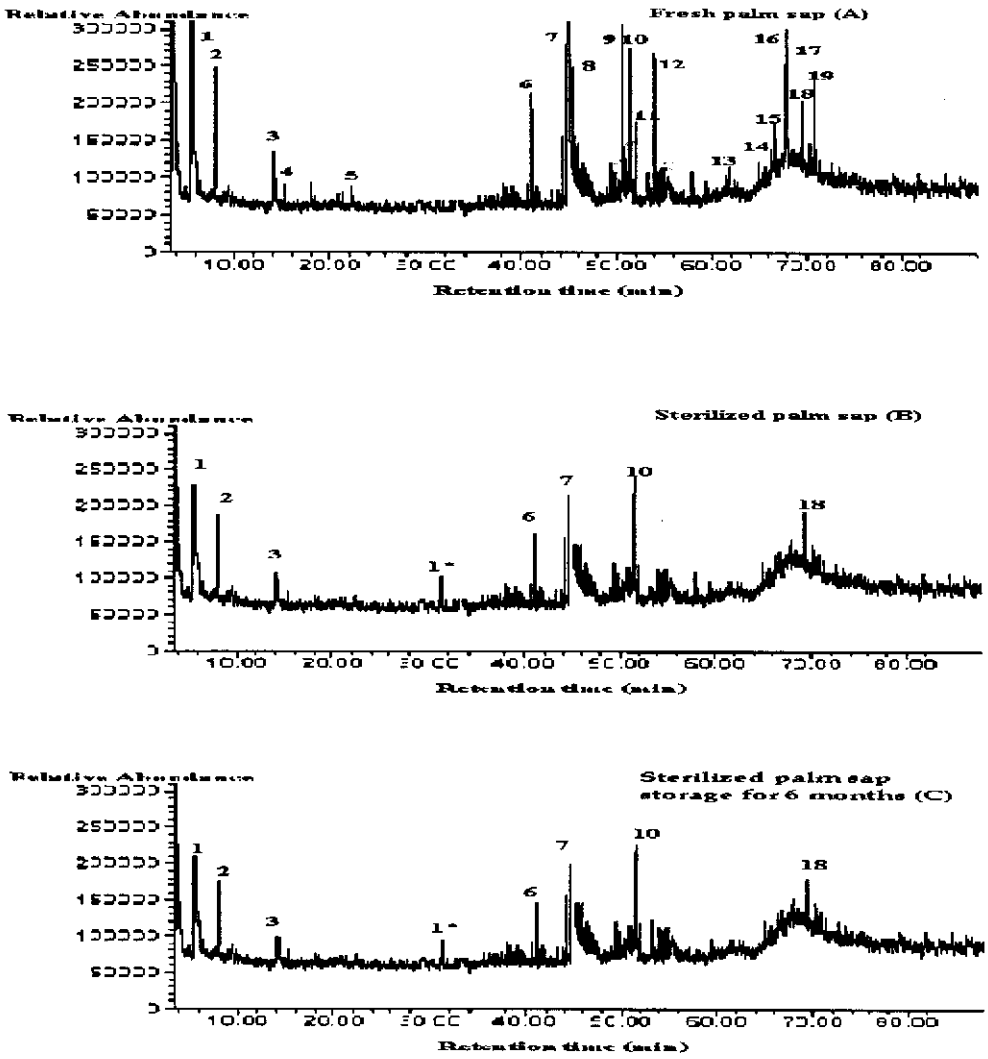
ดีไฮเดรชันทำให้เกิดอนุพันธ์ของฟูแรน (Fennema, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Lambert และคณะ (1999) ที่กล่าวว่าการใช้ความร้อนระดับสเตอริไลส์มีผลให้สารประกอบที่ระเหยได้ในสตรอเบอรี่มีปริมาณลดลงและเกิดสารประกอบใหม่ เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ที่เป็นสารให้กลิ่นรสหลักในน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ พบว่าการสเตอริไรส์มีผลให้ 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol ลดลงไปเท่ากับร้อยละ 92.96 และ 94.03 ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน พบว่าชนิดและปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้มีปริมาณไม่แตกต่างจากน้ำตาลโตนดหลังการสเตอริไลส์ (ภาพประกอบที่ 11) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ความร้อนระดับสเตอริไลส์สามารถทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ ทำให้น้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ไม่เกิดการเสื่อมเสียตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 เดือน

ตารางที่ 14 ปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที

Volatile compounds in palm sap sterilized at 114^{0}C for 25 minutes

Volatile compounds	Relative GC peak area (%)*
3-hydroxy-2-butanone	7.04
1,3-butanediol	5.97
1-tetradecene	2.61
1-hexadecene	1.94
1-octadecene	2.67
n-nonacasane	23.08

Note: * Relative GC peak area (%) is calculated based on specific peak area of each volatile compound in fresh palm sap.



ภาพประกอบที่ 11 โครมาโตแกรมของสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสด (A) น้ำตาลโตนดหลังผ่านการสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที (B) และน้ำตาลโตนดที่ผ่านการสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที เมื่อเก็บรักษานาน 6 เดือน (C)

Chromatograms of volatile compounds in fresh palm sap (A), sterilized palm sap at 114^{0}C for 25 minutes (B) and sterilized palm sap at 114^{0}C for 25 minutes after storage for 6 months (C)

Note: peak 1, 3-hydroxy-2-butanone; peak 2, 1,3-butanediol; peak 3, unknown; peak 4, 1-ethenyl-3-methylbenzene; peak 5, benzene ethanol; peak 6, 1-tetradecene; peak 7, 1-hexadecene; peak 8, n-hexadecane; peak 9, n-heptadecane; peak 10, 1-octadecene; peak 11, n-octadecane; peak 12, n-nonadecan ; peak 13, n-docosane; peak 14, n-tricosane; peak 15, n-tetracosane; peak 16, n-pentacosan ; peak 17, n-octacosane; peak 18, n-nonacosane; peak 19, 2,6,10,14,18,22-tetracosahexane; peak 1*, 2,3-dihydrobenzofuran

Volatile compounds in fresh palm sap were analysed after 15 hours of collecting palm sap.

3. ผลของความดันสูงต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดและการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

น้ำตาลโตนดสดจะถูกนำมาผ่านความดันสูงระดับความดัน 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที หลังจากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้แสดงดังภาพประกอบที่ 12

ภาพประกอบที่ 12 น้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที

Palm sap pressurized at 600 MPa for 15 minutes

(1) คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพที่วิเคราะห์ภายหลังการผ่านความดัน ได้แก่ ค่าสีและความขุ่น พบว่าน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงมีค่าสีแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) (ตารางผนวกที่ 16) เมื่อพิจารณาผลของการให้ความดันที่ระดับและเวลาต่างกัน พบว่าการให้ความดันสูงที่ระดับ 200 400 และ 600 เมกกะปาสคาล มีผลให้ค่า L ต่ำกว่าน้ำตาลโตนดสด ($p>0.05$) โดยค่า L ของน้ำตาลโตนดที่ผ่านความดันที่ระดับ 200 400 และ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.38 73.06 และ 72.14 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ความดันที่ระดับสูงถึง 800 เมกกะปาสคาล ค่า L สูงกว่าการใช้ความดันระดับอื่น แต่ไม่

แตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด โดยค่า L เท่ากับ 74.26 ($p<0.05$) ขณะที่ระยะเวลาการให้ความดันมีผลต่อค่า L เล็กน้อย ($p<0.05$) ค่า L ของน้ำตาลโตนดที่ผ่านความดันที่ระดับ 200 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.38 และ 73.29 ตามลำดับ (ตารางที่ 15)

ความขุ่นของน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงโดยวัดในรูปการทะลุผ่านของแสงที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร พบว่าน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงมีค่าการทะลุผ่านของแสงแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) (ตารางผนวกที่ 16) เมื่อพิจารณาผลของการให้ความดันที่ระดับและเวลาต่างกัน พบว่าค่าการทะลุผ่านของแสงในน้ำตาลโตนดที่ผ่านการใช้ความดันทุกระดับ นาน 15 นาที มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ส่วนการใช้ความดันที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 30 นาที ค่าการทะลุผ่านของแสงมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) ค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดที่ผ่านความดันที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63.94 64.10 65.18 และ 66.31 ตามลำดับ (ตารางที่ 15) ขณะที่ระยะเวลาการให้ความดันไม่มีผลต่อค่าการทะลุผ่านของแสง ($p>0.05$) ค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดที่ผ่านความดันที่ระดับ 200 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 64.87 และ 63.94 ตามลำดับ (ตารางที่ 15)

จากผลวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าค่า L และค่าการทะลุผ่านของแสงในน้ำตาลโตนดมีความสอดคล้องกันโดยค่า L และค่าการทะลุผ่านของแสงมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความดัน ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ที่การใช้ความดันที่ระดับสูงจะมีผลต่อพันธะที่ไม่ใช่พันธะโคเวเลนต์ซึ่งเป็นพันธะที่มีอยู่ในโครงสร้างตติยภูมิและจตุรภูมิของโปรตีนทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติและตกตะกอนลงมา (Smelt *et al.*, 1998)

เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าการเก็บรักษาที่นานขึ้นมีผลให้ค่า L และค่าการทะลุผ่านของแสงมีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) (ภาพประกอบที่ 13) น้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ในสัปดาห์ที่ 5 มีค่า L มีลดลงไปเท่ากับร้อยละ 15.65 และ 15.67 ตามลำดับ และมีค่าการทะลุผ่านของแสงลดลงไปเท่ากับร้อยละ 35.81 และ 22.74 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบน้ำตาลโตนดหลังผ่านการใช้ความดัน แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษา

นานขึ้นมีผลให้น้ำตาลโตนดมีความทึบแสงและข่นมากขึ้น

ตารางที่ 15 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที

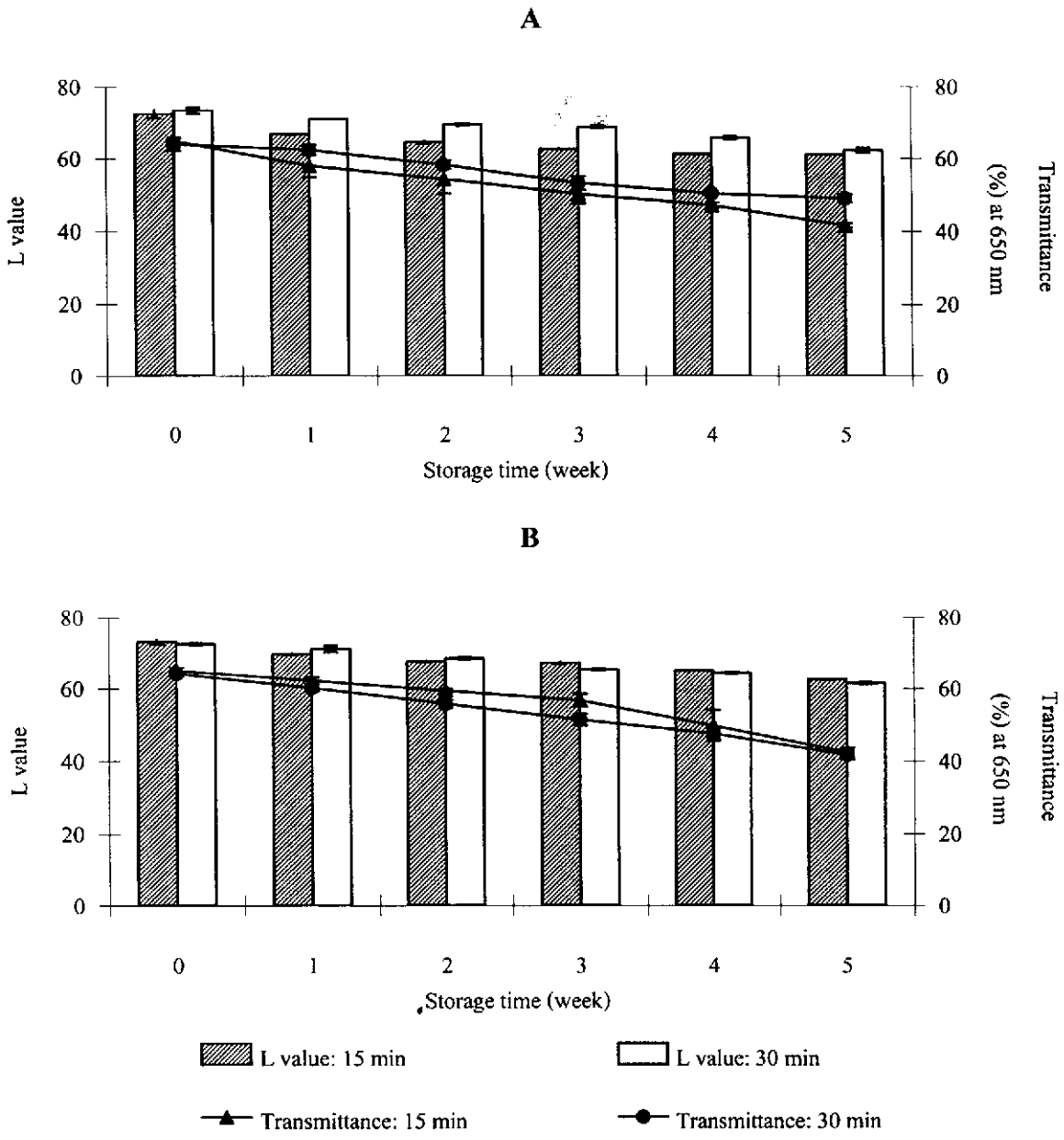
Physical properties of fresh palm sap and palm sap pressurized at 200, 400, 600 and 800 MPa for 15 and 30 minutes

Pressure (MPa)	Time (min)	Color			Transmittance (%) at 650 nm
		L	a	b	
Fresh palm sap*		73.88 ± 0.60^{bc}	2.37 ± 0.07^{b}	15.21 ± 0.06^{d}	77.58 ± 1.98^{c}
200	15	72.38 ± 1.19^{a}	2.61 ± 0.01^{d}	14.41 ± 0.27^{bc}	64.87 ± 0.72^{ab}
	30	73.29 ± 0.88^{ab}	2.69 ± 0.07^{d}	14.68 ± 0.29^{cd}	63.94 ± 1.76^{a}
400	15	73.06 ± 0.64^{ab}	2.68 ± 0.17^{d}	14.12 ± 0.21^{bc}	64.96 ± 0.95^{ab}
	30	72.40 ± 0.33^{a}	2.53 ± 0.01^{cd}	14.13 ± 0.63^{bc}	64.10 ± 0.28^{ab}
600	15	73.14 ± 0.19^{a}	2.34 ± 0.03^{b}	13.68 ± 0.67^{b}	64.25 ± 0.62^{a}
	30	73.63 ± 0.45^{b}	2.10 ± 0.11^{a}	12.90 ± 0.80^{a}	65.68 ± 0.92^{ab}
800	15	74.26 ± 0.69^{bc}	2.11 ± 0.00^{a}	12.74 ± 0.25^{a}	65.44 ± 0.22^{ab}
	30	75.02 ± 0.36^{c}	2.45 ± 0.13^{b}	12.47 ± 0.03^{a}	66.31 ± 0.06^{b}

Note: * Physical analysis in fresh palm sap was done after 15 hours of collecting palm sap.

Eash value is the mean of triplicate determinations $\pm$ standard deviation.

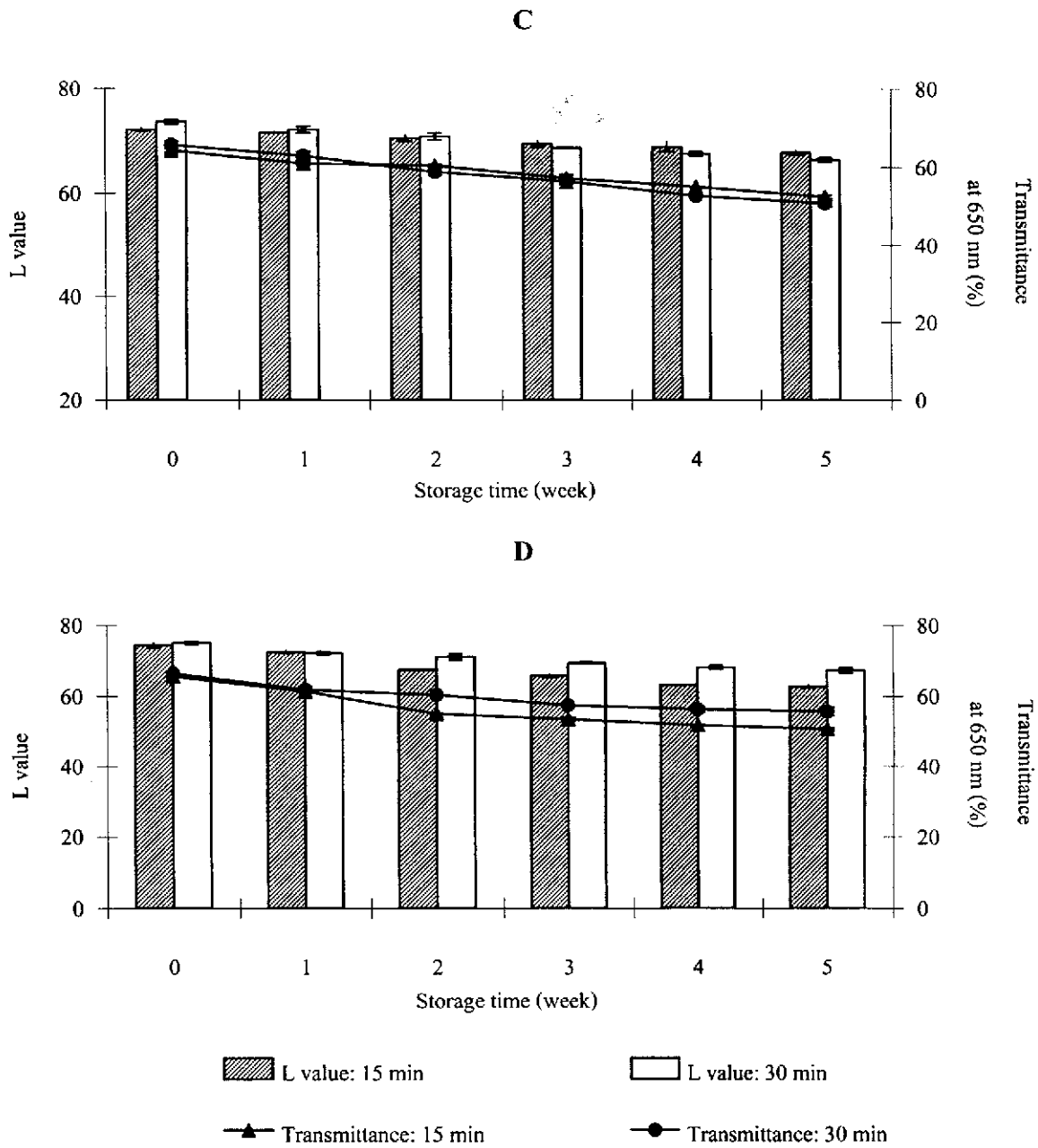
The different superscripts in the same column denote the significant difference ($p<0.05$).



ภาพประกอบที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่า L และค่าการทะลุผ่านของแสงในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 (A) 400 (B) 600 (C) และ 800 (D) เมกกะปาสคาล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์

Changes in L value and transmittance of palm sap pressurized at 200 MPa (A), 400 MPa (B), 600 MPa (C) and 800 MPa (D) during storage at 4^0C for 5 weeks

Error bar represents standard deviation from triplicate determinations.



ภาพประกอบที่ 13 (ต่อ)

(2) คุณสมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชของน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูง พบว่าค่าพีเอชไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($p>0.05$) (ตารางผนวกที่ 16) แสดงว่าระดับความดันและเวลาการให้ความดันไม่มีผลต่อค่าพีเอช ค่าพีเอชของน้ำตาลโตนดที่ผ่านความดัน 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.63 5.65 5.58 และ 5.67 ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (คิดในรูปกรดแลกติก) ในน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูง พบว่าปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงมีค่าใกล้เคียงกับน้ำตาลโตนดสด แต่อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) (ตารางผนวกที่ 16) เมื่อพิจารณาผลของการให้ความดันที่ระดับและเวลาต่างกัน พบว่าการใช้ความดันที่ระดับสูงขึ้นทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลโตนดที่ผ่านความดัน 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.029 0.029 0.029 และ 0.028 โดยปริมาตร ตามลำดับ (ตารางที่ 16) ขณะที่ระยะเวลาการให้ความดันมีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมดเล็กน้อย ($p<0.05$)

เมื่อนำน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) ขณะที่ปริมาณกรดทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) (ภาพประกอบที่ 14) ปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที มีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 34.48 และ 25.00 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูง พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงมีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($p>0.05$) (ตารางผนวกที่ 16) แสดงว่าระดับความดันและระยะเวลาการให้ความดันไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำตาลโตนดที่ผ่านความดัน 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.2 องศาบริกซ์ (ตารางที่ 16)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูง พบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าใกล้เคียงกับน้ำตาลโตนดสด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) (ตารางผนวกที่ 16) เมื่อพิจารณาผลของการให้ความดันที่ระดับและเวลาต่างกัน พบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเมื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำตาลโตนดที่ความดัน 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 11.59 11.44 11.62 และ 11.79 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.76 0.84 0.93 และ 0.83 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

เมื่อนำน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด ($p>0.05$) แต่มีผลให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) (ภาพประกอบที่ 15) น้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ในสัปดาห์ที่ 5 มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลงไปเท่ากับร้อยละ 14.64 และ 14.91 ตามลำดับ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 90.43 และ 90.11 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดหลังผ่านการใช้ความดันสูงที่ระดับ 200 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ทั้งนี้อาจเนื่องจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลฟรักโทสและน้ำตาลกลูโคส (วราวุฒิ ครูส่ง, 2538) ทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลงและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 16 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดผ่านความดันที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที

Chemical properties of fresh and palm sap pressurized at 200, 400, 600 and 800 MPa for 15 and 30 minutes

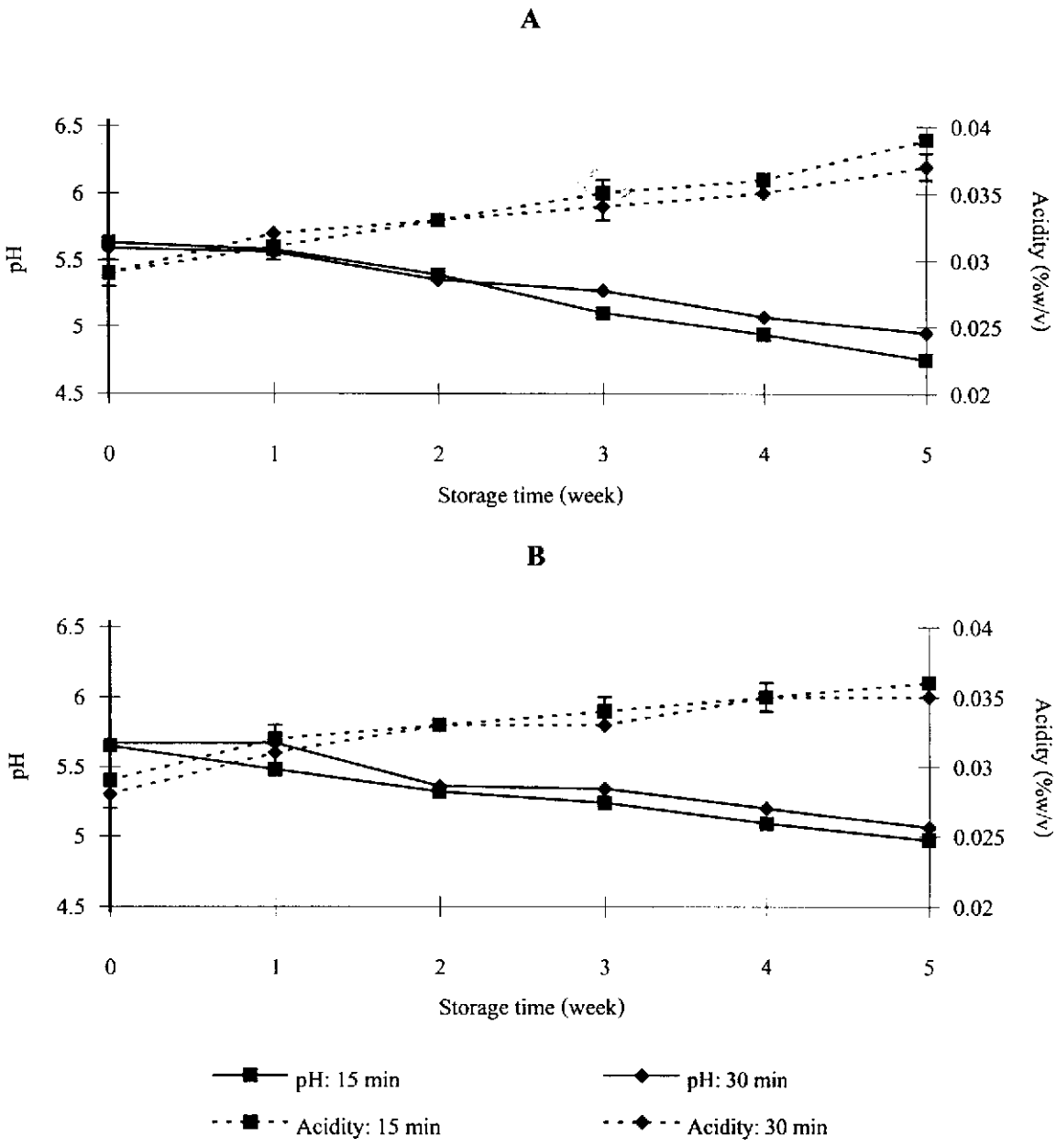
Pressure (MPa)	Time (min)	pH	TSS (^{0}Brix)	Acidity (%w/v)	Total sugar (%w/w)	Reducing sugar (%w/w)	Relative activity ($10^{-3}\Delta$OD/min/ g) PPO	Relative activity ($10^{-3}\Delta$OD/min/ g) POD	Invertase activity (10^{-3}unit/min/g)
Fresh palm sap*		5.76 ± 0.18^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.032 ± 0.00^{C}	10.91 ± 0.21^{a}	0.67 ± 0.02^{a}	32.33 ± 0.58^{e}	10.33 ± 0.58^{d}	42.77 ± 0.12^{e}
200	15	5.63 ± 0.15^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.029 ± 0.001^{b}	11.59 ± 0.22^{cd}	0.76 ± 0.02^{ab}	2.81 ± 0.05^{d}	0.94 ± 0.08^{c}	196.60 ± 0.20^{i}
	30	5.59 ± 0.08^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.029 ± 0.001^{b}	11.29 ± 0.01^{b}	0.87 ± 0.11^{bc}	2.83 ± 0.06^{d}	0.97 ± 0.10^{c}	120.13 ± 0.06^{i}
400	15	5.65 ± 0.06^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.029 ± 0.000^{b}	11.44 ± 0.14^{bc}	0.84 ± 0.14^{bc}	2.55 ± 0.03^{c}	0.73 ± 0.06^{b}	117.80 ± 0.01^{h}
	30	5.67 ± 0.05^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.028 ± 0.001^{a}	11.62 ± 0.10^{cd}	0.81 ± 0.10^{abc}	2.53 ± 0.05^{c}	0.72 ± 0.03^{b}	107.53 ± 0.06^{g}
600	15	5.58 ± 0.13^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.029 ± 0.000^{b}	11.62 ± 0.08^{cd}	0.93 ± 0.09^{c}	2.35 ± 0.06^{b}	0.64 ± 0.03^{ab}	36.20 ± 0.01^{d}
	30	5.71 ± 0.21^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.028 ± 0.001^{a}	11.43 ± 0.01^{bc}	0.96 ± 0.09^{c}	2.33 ± 0.08^{b}	0.66 ± 0.07^{ab}	24.47 ± 0.06^{c}
800	15	5.67 ± 0.06^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.028 ± 0.000^{a}	11.79 ± 0.16^{d}	0.83 ± 0.08^{abc}	2.11 ± 0.08^{a}	0.55 ± 0.02^{a}	18.27 ± 0.06^{b}
	20	5.66 ± 0.01^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.028 ± 0.000^{a}	11.50 ± 0.09^{bc}	0.80 ± 0.06^{abc}	2.15 ± 0.02^{a}	0.55 ± 0.02^{a}	15.10 ± 0.17^{a}

Note: * Chemical analysis in fresh palm sap was done after 15 hours of collecting palm sap.

Each value is the mean of triplicate determinations $\pm$standard deviation.

The different superscripts in the same column denote the significant differences ($p<0.05$).

^{ns}, not significant at $p<0.05$

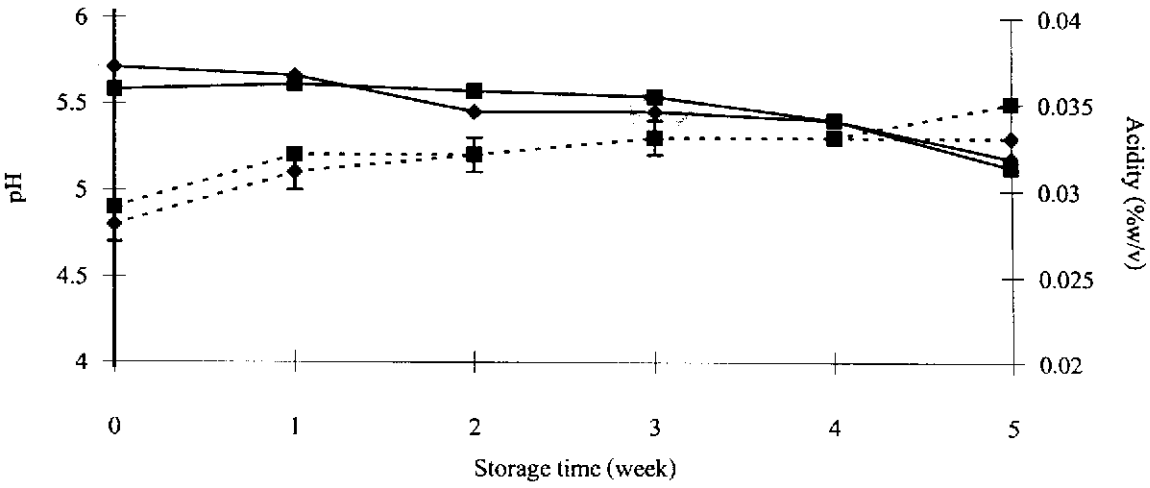


ภาพประกอบที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 (A) 400 (B) 600 (C) และ 800 (D) เมกกะปาสคาล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์

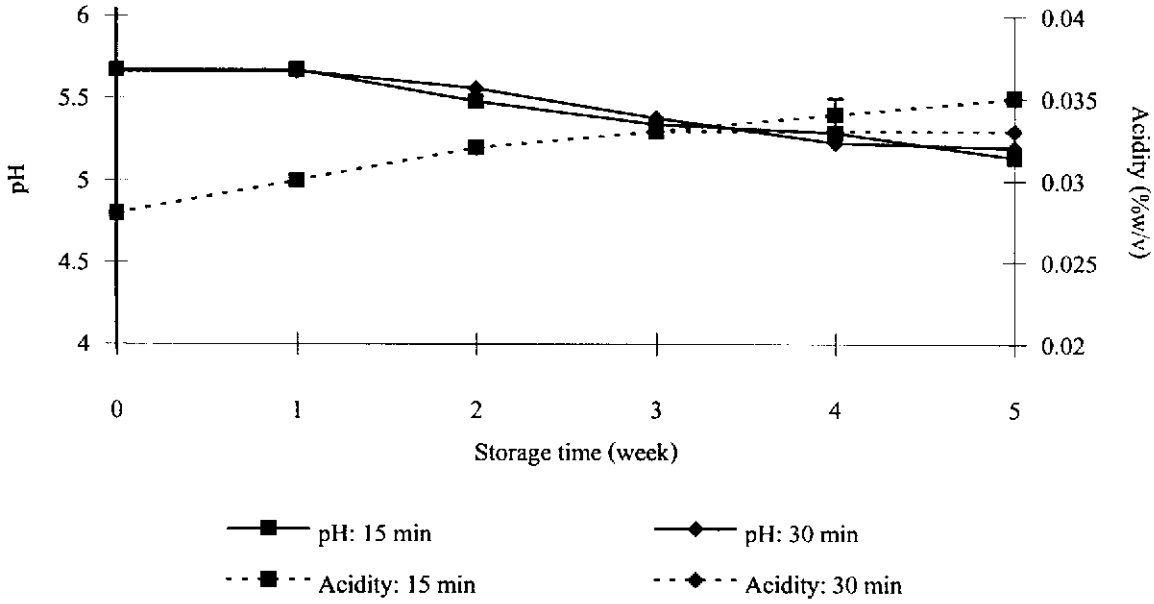
Changes in pH and acidity of of palm sap pressurized at 200 MPa (A), 400 MPa (B), 600 MPa (C) and 800 MPa (D) during storage at 4^{0}C for 5 weeks

Error bar represents standard deviation from triplicate determinations.

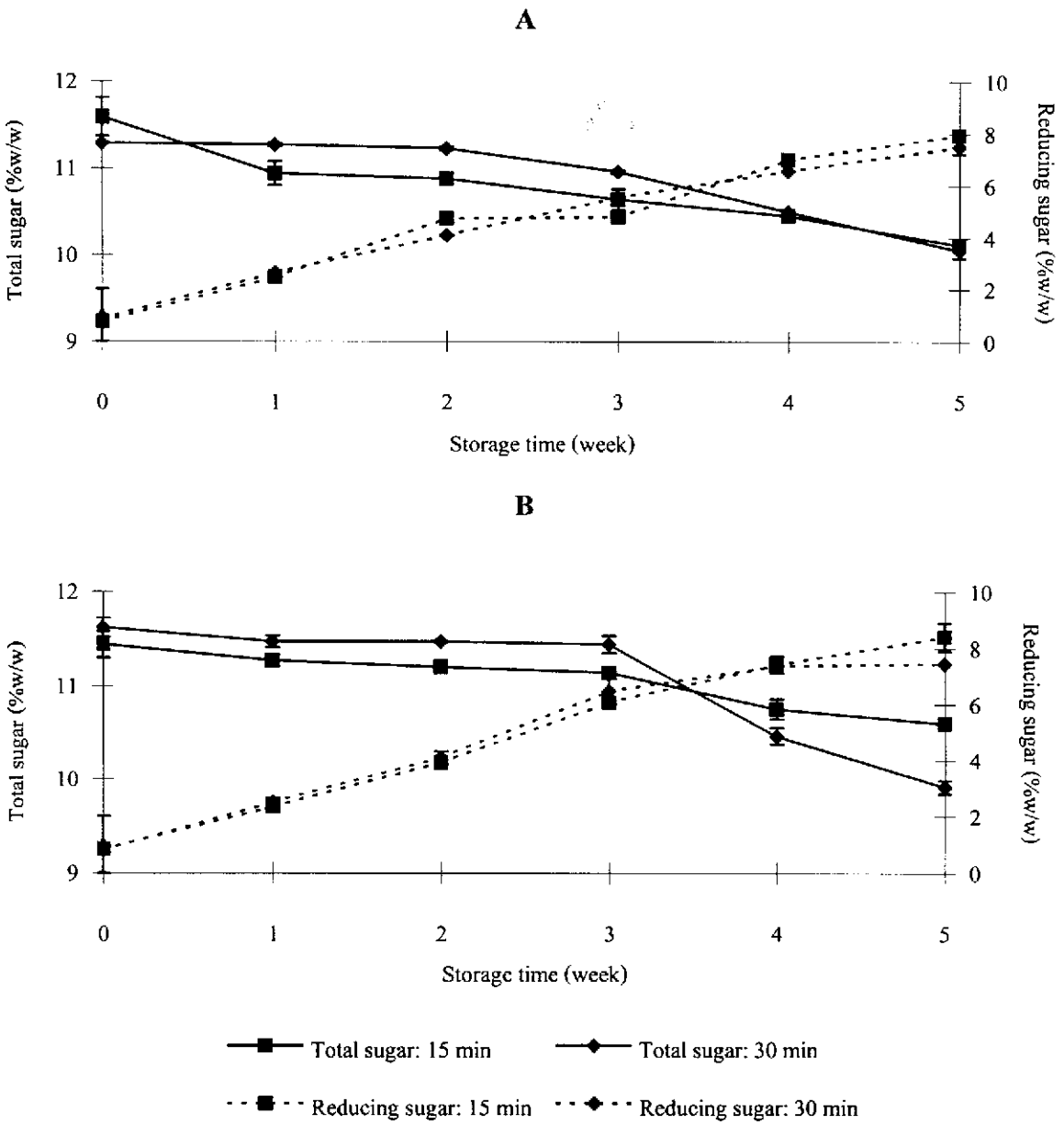
C



D



ภาพประกอบที่ 14 (ต่อ)

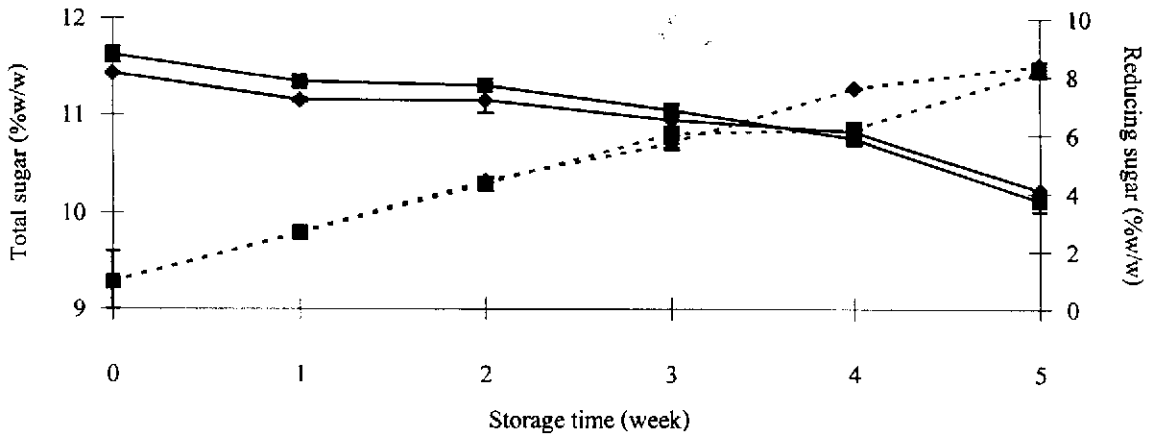


ภาพประกอบที่ 15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 (A) 400 (B) 600 (C) และ 800 (D) เมกกะปาสคาล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์

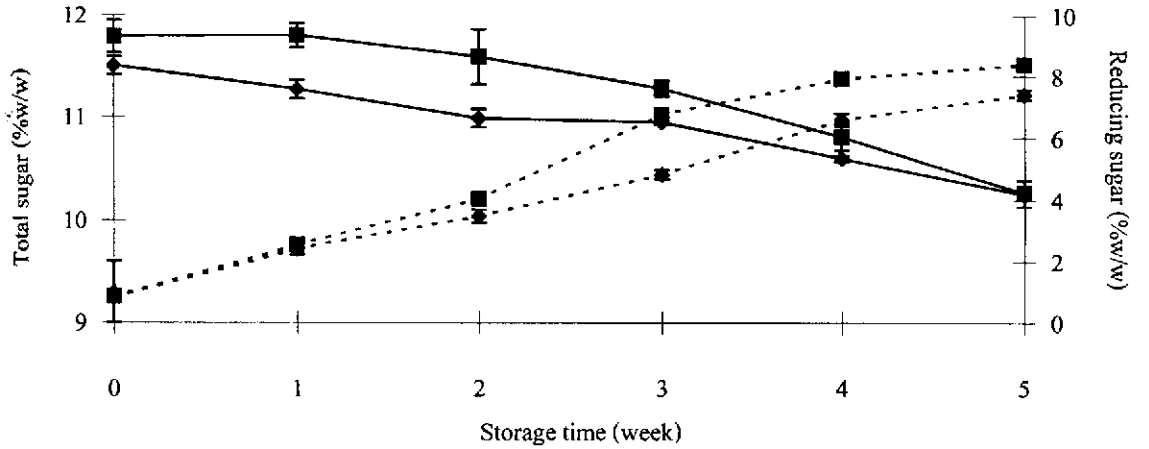
Changes in total sugar and reducing sugar of palm sap pressurized at 200 MPa (A), 400 MPa (B), 600 MPa (C) and 800 MPa (D) during storage at 4^0C for 5 weeks

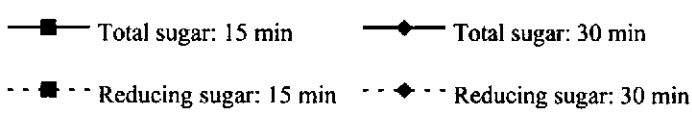
Error bar represents standard deviation from triplicate determinations.

C



D

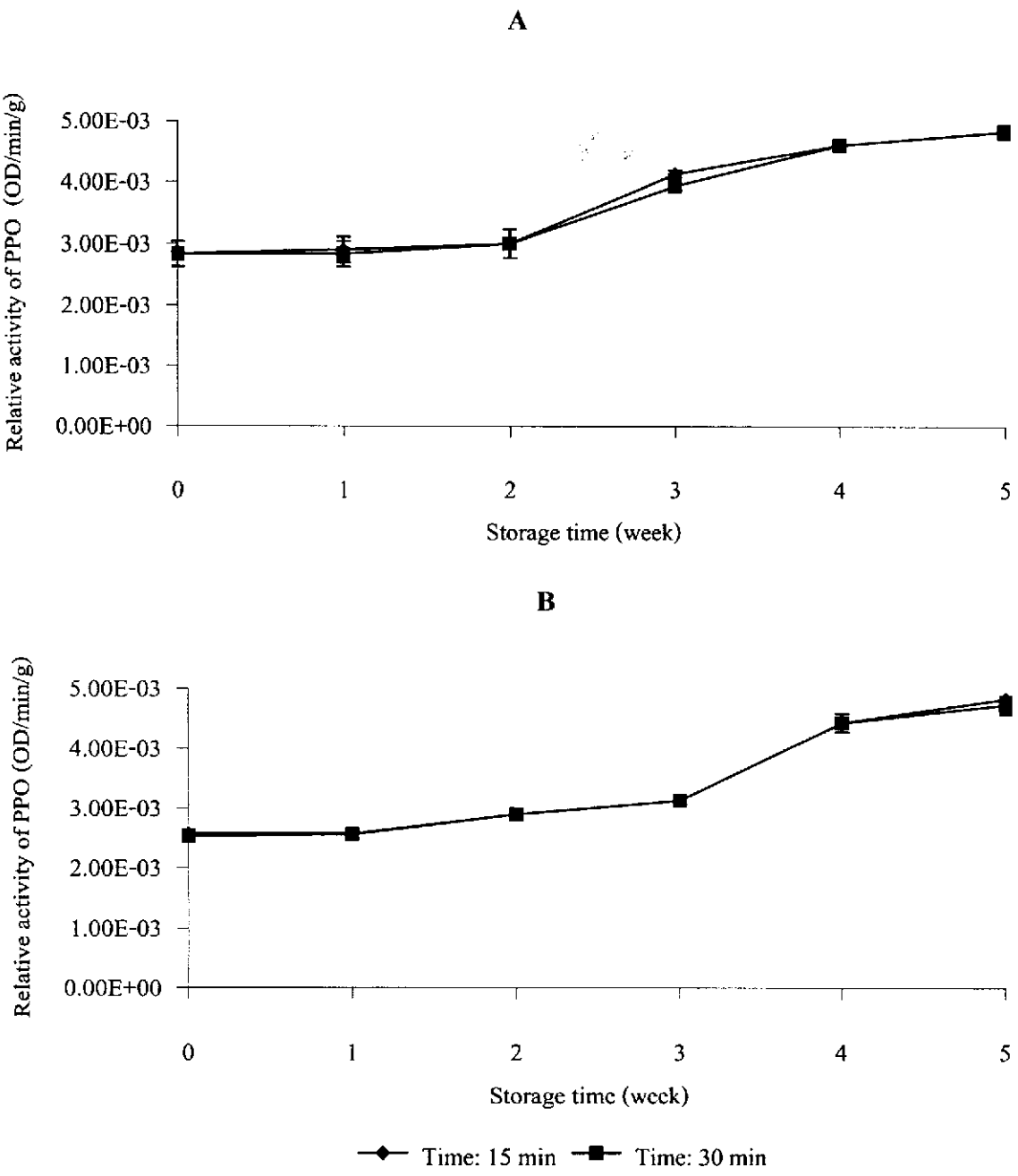




ภาพประกอบที่ 15 (ต่อ)

ผลการวิเคราะห์ความจำเพาะสัมพัทธ์ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสหลังผ่านความดันสูง พบว่าความจำเพาะสัมพัทธ์ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมีค่าลดลงแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) (ตารางผนวกที่ 16) โดยความจำเพาะสัมพัทธ์ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่ผ่านความดันที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.81×10^{-3}, 2.55×10^{-3}, 2.35×10^{-3} และ2.11×10^{-3} ΔOD/นาที/กรัม ตามลำดับ ความจำเพาะสัมพัทธ์ของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.94×10^{-3}, 0.73×10^{-3}, 0.64×10^{-3} และ 0.55×10^{-3} ΔOD/นาที/กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากความดันทำให้เอนไซม์เกิดการสูญเสียสภาพการทำงานในขั้นตอนการเข้าไปจับกับสารตั้งต้นและขั้นตอนการเร่งปฏิกิริยา (Hendrickx, 1998) ผลการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทส พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทส ที่ระดับความดัน 200 และ 400 เมกกะปาสคาล มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) แต่ที่ระดับความดัน 600 และ 800 เมกกะปาสคาล มีค่าลดลง ($p<0.05$) (ตารางผนวกที่ 16) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใช้ความดันที่ระดับ 200 และ 400 เมกกะปาสคาล อาจไม่เพียงพอต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อินเวอร์เทสหรืออาจเป็นการยับยั้งแบบผันกลับได้ (Hendrickx, 1998) ส่วนการใช้ความดันที่ระดับ 600 และ 800 เมกกะปาสคาล เป็นการยับยั้งแบบผันกลับไม่ได้โดยความดันจะทำให้เอนไซม์เกิดการจับตัวกันแน่นและเสียสภาพธรรมชาติโดยถาวร (Hendrickx, 1998) เมื่อพิจารณาผลของการให้ความดันที่ระดับและเวลาต่างกัน พบว่าการใช้ระดับความดันที่สูงขึ้นมีผลให้ความจำเพาะสัมพัทธ์ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสมีค่าลดลง ($p<0.05$) ขณะที่ระยะเวลาการให้ความดันไม่มีผลต่อความจำเพาะสัมพัทธ์ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ($p>0.05$) โดยความจำเพาะสัมพัทธ์ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่ระดับความดัน 400 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.55×10^{-3}และ 2.53×10^{-3} ΔOD/นาที/กรัม ความจำเพาะสัมพัทธ์ของเปอร์ออกซิเดสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.73×10^{-3} และ 0.73×10^{-3} ΔOD/นาที/กรัม ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสมีค่าลดลง ($p<0.05$) โดยกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสที่ระดับความดัน 400 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 117.8×10^{-3} และ 108.0×10^{-3} หน่วย/นาที/กรัม ตามลำดับ

เมื่อนำน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าการเก็บรักษาที่นานขึ้นมีผลให้ความจำเพาะสัมพัทธ์ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) (ภาพประกอบที่ 16) น้ำตาลโตนดที่ผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ในสัปดาห์ที่ 5 จะมีความจำเพาะสัมพัทธ์ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 72.60 และ 77.21 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบน้ำตาลโตนดหลังการใช้ความดันสูงที่ระดับ 200 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Cano และคณะ (1995) ที่พบว่าน้ำสตรอเบอรี่เข้มข้นผ่านความดันสูงที่ระดับ 285 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ในสัปดาห์ที่ 6 มีกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบหลังผ่านการใช้ความดัน ความจำเพาะสัมพัทธ์ของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและกิจกรรมเอนไซม์อินเวอร์เทสมีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) โดยน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 400 และ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ในสัปดาห์ที่ 2 มีความจำเพาะสัมพัทธ์ของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสลดลงไปเท่ากับร้อยละ 60.22 49.32 และ 76.71 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูง ส่วนการใช้ความดันที่ระดับ 800 เมกกะปาสคาล ไม่พบกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษา และทุกระดับไม่พบกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ของการเก็บรักษา

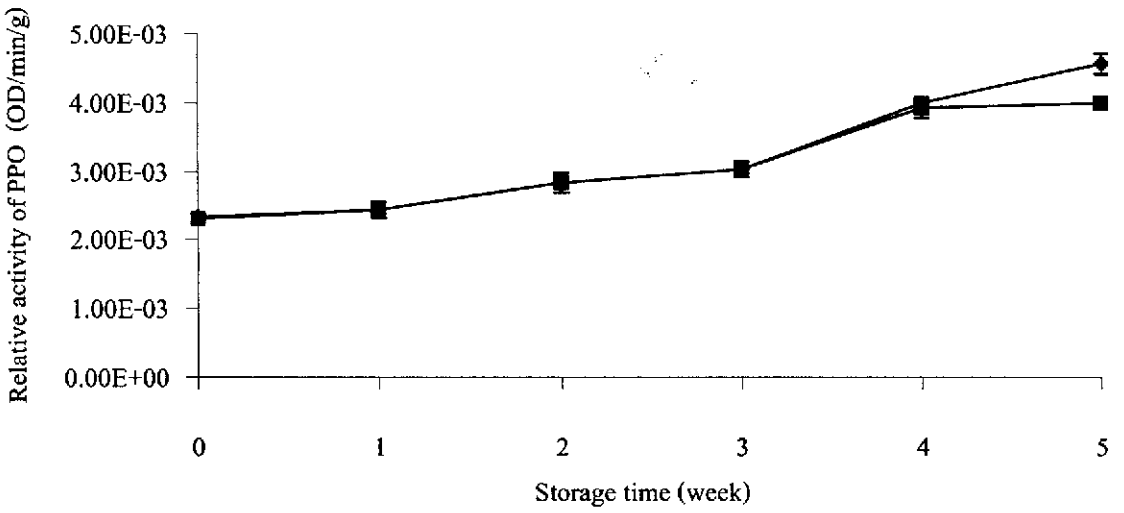


ภาพประกอบที่ 16 การเปลี่ยนแปลงความจำเพาะสัมพัทธ์ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 (A) 400 (B) 600 (C) และ 800 (D) เมกกะปาสคาล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์

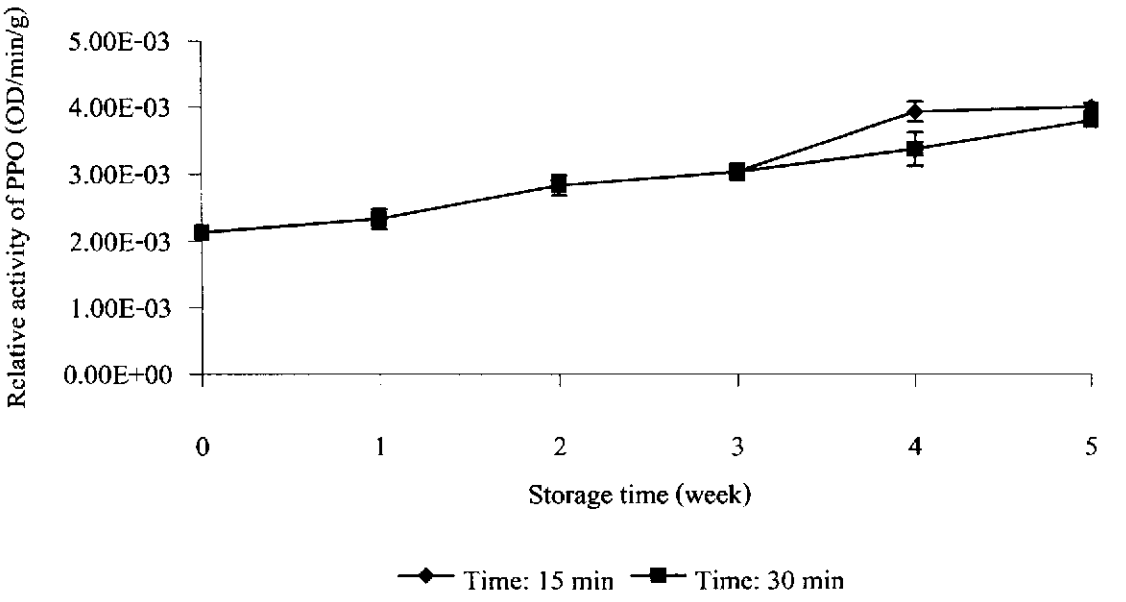
Changes in relative activity of polyphenoloxidase (PPO) of palm sap pressurized at 200 MPa (A), 400 MPa (B), 600 MPa (C) and 800 MPa (D) during storage at 4^{0}C for 5 weeks

Error bar represent standard deviation from triplicate determinations.

C



D



ภาพประกอบที่ 16 (ต่อ)

(3) ชนิดและปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้

จากการวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูง พบว่าน้ำตาลโตนดผ่านความดันที่ระดับ 200 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที มีสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดเดียวกับน้ำตาลโตนดสดจำนวน 15 ชนิด ที่ความดัน 400 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที และ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที มีสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดเดียวกับน้ำตาลโตนดสดจำนวน 14 ชนิด ที่ความดัน 600 เมกกะปาสคาล นาน 30 นาที มีสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดเดียวกับน้ำตาลโตนดสดจำนวน 13 ชนิด และระดับความดันที่ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที มีสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดเดียวกับน้ำตาลโตนดสดจำนวน 12 ชนิด (ตารางที่ 17) การใช้ความดันสูงมีผลต่อการลดลงของสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสดแต่สามารถรักษาสารประกอบที่ระเหยได้มากกว่าการพาสเจอร์ไรส์และการสเตอริไลส์ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ความดันไม่มีผลต่อพันธะโควาเลนต์ในโครงสร้างของสารประกอบที่ระเหยได้ (Palou *et al.*, 1999) เมื่อพิจารณาสารประกอบที่ระเหยได้ที่เป็นสารให้กลิ่นรสหลักในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูง พบว่าการใช้ความดันที่ระดับสูงขึ้นและเวลานานขึ้นมีผลทำให้ 3-hydroxy-2-butanone และ1,3-butanediol มีแนวโน้มลดลง โดยการใช้ความดันที่ระดับ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที มีผลให้ 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol ลดลงไปเท่ากับ 33.93 และ 15.80 ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Yen และ Lin (1999) ที่กล่าวว่าการใช้ความดันที่ระดับ 600 เมกกะปาสคาล นาน 5 นาที มีผลให้สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำฝรั่งมีปริมาณลดลงไปเท่ากับร้อยละ 5.22 และ Lambert (1999) รายงานว่าการให้ความดันที่ 800 เมกกะปาสคาล นาน 20 นาที มีผลให้สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำสตรอเบอรี่มีปริมาณลดลงไปเท่ากับร้อยละ 1.5

เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูง เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูง (600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที) นาน 3 สัปดาห์ พบว่ามีสารประกอบที่ระเหยได้ในกลุ่มแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์เกิดขึ้น ได้แก่ บิวทอกซีเอทธานอล เฮกซานอล ออกทานอลและกรดอะซิติก ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์ (ภาพประกอบที่ 17)

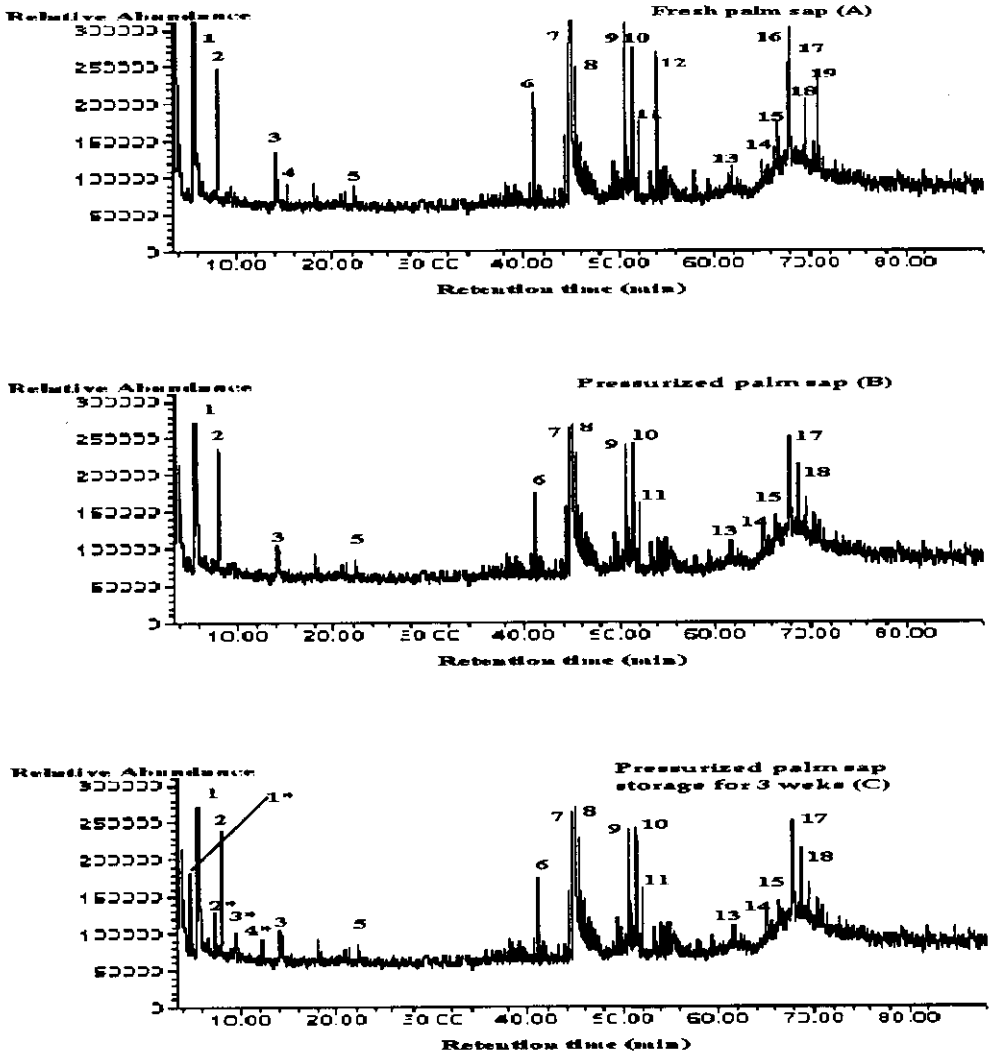
ตารางที่ 17 ปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที

Volatile compounds in palm sap pressurized at 200, 400,600 and 800 MPa for 15 and 30 minutes

Volatile compound	Relative GC peak area (%) of pressurized palm sap*							
	200 MPa		400 MPa		600 MPa		800 MPa	
	15 min	30 min	15 min	30 min	15 min	30 min	15 min	30 min
3-hydroxy-2-butanone	72.75	72.57	72.60	72.57	66.03	63.39	34.50	23.88
1,3-butanediol	92.62	89.20	84.20	73.44	61.54	33.19	38.47	27.51
benzene ethanol	73.50	72.81	72.33	64.03	61.88	ND	ND	ND
1-tetradecene	71.88	61.35	33.90	29.94	25.73	8.98	12.38	7.57
1-hexadecene	77.25	74.33	71.65	69.04	53.47	23.56	32.31	21.93
n-hexadecane	71.56	70.97	65.82	64.28	54.71	31.85	28.09	18.17
n-heptadecane	13.28	7.38	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1-octadecene	89.39	89.19	86.27	81.81	65.45	55.29	37.45	31.39
n-octadecane	89.77	80.11	73.89	62.13	55.90	43.48	29.89	29.11
n-docosane	64.49	58.37	54.93	41.19	17.51	5.71	4.20	1.87
n-tricosane	77.55	62.88	61.23	59.77	58.81	45.62	27.92	16.00
n-tetracosane	76.92	75.87	72.92	72.79	62.57	44.88	ND	ND
n-pentacosane	97.84	95.02	93.71	90.37	89.98	59.27	42.24	37.78
Otacosane	91.87	80.90	77.66	70.83	56.63	45.75	37.05	31.66
Nonacosane	79.98	70.45	69.80	63.34	61.15	58.67	50.18	48.06

Note: * Relative GC peak area (%) is calculated based on specific peak area of each volatile compound in fresh palm sap.

ND : not detected



ภาพประกอบที่ 17 โครมาโตแกรมของสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสด (A) น้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูงที่ระดับ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที (B) และน้ำตาลโตนดที่ผ่านความดันสูงที่ระดับ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที เมื่อเก็บรักษานาน 3 สัปดาห์ (C)

Chromatograms of volatile compounds in fresh palm sap (A), pressurized palm sap at 600 MPa for 15 mintues (B) and pressurized palm sap at 600 MPa for 15 minutes after storage for 3 weeks

Note : peak 1, 3-hydroxy-2-butanone; peak 2, 1,3-butanediol; peak 3, unknown; peak 4, 1-ethenyl-3-methylbenzene; peak 5, benzene ethanol; peak 6, 1-tetradecene; peak 7, 1-hexadecene; peak 8, n-hexadecane; peak 9, n-heptadecane; peak 10, 1-octadecene; peak 11, n-octadecane; peak 12, n-nonadecane; peak 13, n-docosane; peak 14, n-tricosane; peak 15, n-tetracosane; peak 16, n-pentacosane; peak 17, n-octacosane; peak 18, n-nonacosane; peak 19, 2,6,10,14,18,22-tetracosahexane; peak 1*, acetic acid; peak 2*,2-butoxyethanol; peak 3*, 1-hexanol; peak 4*, 1-octanol

Volatile compounds in fresh palm sap were analysed after 15 hours of collecting palm sap.

(4) คุณสมบัติทางจุลชีววิทยา

ผลการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูงที่ความดัน 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที พบว่าการให้ความดันที่ระดับสูงขึ้นและระยะเวลานานขึ้นทำให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าการให้ความดันตั้งแต่ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 500 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 18) ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519) ทั้งนี้การลดลงของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอาจเกิดจากการเพิ่มและลดความดันอย่างรวดเร็วโดยการเพิ่มความดันจะทำให้เกิดการอัดตัวของน้ำบริเวณภายนอกรอบๆเซลล์ และเมื่อลดความดันจากระบบอย่างรวดเร็วจึงเกิดการแตกออกของเซลล์ (Basak *et al.*, 2002) นอกจากนี้ความดันอาจยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเอนไซม์ และไรโบโซมภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ โครงสร้างเหล่านี้จะถูกความดันทำลายพันธะไฮโดรเจนและสะพานเกลือ (salt bridge) ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างส่งผลให้เพิ่มการซึมผ่านของน้ำเข้าไปในเซลล์และทำลายสารทางพันธุกรรม (Isaacs and Chilton, 1995)

ผลการวิเคราะห์จำนวนยีสต์และราในน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูง พบว่าการให้ความดันที่ระดับสูงขึ้นและระยะเวลานานขึ้นทำให้จำนวนยีสต์และรามีแนวโน้มลดลง โดยการให้ความดันตั้งแต่ 400 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ตรวจไม่พบยีสต์และรา (ตารางที่ 18)

ผลการวิเคราะห์จำนวนแลกติกแบคทีเรียในน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูง พบว่าการให้ความดันที่ระดับสูงขึ้นและระยะเวลานานขึ้นทำให้จำนวนแลกติกแบคทีเรียมีแนวโน้มลดลง การให้ความดันตั้งแต่ 400 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ตรวจไม่พบแลกติกแบคทีเรีย (ตารางที่ 18)

ผลการวิเคราะห์ทางด้านจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที พบว่าการให้ความดันตั้งแต่ 600 นาน 15 นาที ทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 500 โคโลนีต่อมิลลิลิตร และไม่พบยีสต์ รา และแลกติกแบคทีเรีย ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519) จึงคัดเลือกน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ

600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ไปใช้ในการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

เมื่อนำน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าการเก็บรักษานานขึ้นทำให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และรา และจำนวนแลกติกแบคทีเรีย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 19) เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์มาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519) พบว่าน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับความดัน 600 และ 800 เมกกะปาคาล นาน 15 และ 30 นาที สามารถเก็บได้นาน 2 สัปดาห์

ตารางที่ 18 คุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที
Microbiological properties of fresh palm sap and palm sap pressurized at 200, 400, 600 and 800 MPa for 15 and 30 minutes

Pressure (MPa)	Time (min)	TVC (cfu/ml)	Yeast and mold (cfu/ml)	Lactic acid bacteria (cfu/ml)
Fresh palm sap*		6.04×10^{7}	3.66×10^{6}	2.59×10^{7}
200	15	1.46×10^{5}	1.46×10^{4}	2.33×10^{3}
	30	1.21×10^{5}	3.47×10^{3}	1.13×10^{3}
400	15	5.96×10^{2}	0	0
	30	5.12×10^{2}	0	0
600	15	2.83×10^{2}	0	0
	30	1.22×10^{2}	0	0
800	15	1.15×10^{2}	0	0
	30	8.72×10^{1}	0	0

Note: * Microbiological analysis in fresh palm sap was done after 15 hours of collecting palm sap.
Each value is the mean of triplicate determinations.

ตารางที่ 19 คุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์

Microbiological properties of palm sap pressurized at 200, 400, 600 and 800 MPa for 15 and 30 minutes during storage at 4^0C for 5 weeks

Pressure (MPa)	Time (min)	Storage time (week)	TVC (cfu/ml)	Yeast and mold (cfu/ml)	Lactic acid bacteria (cfu/ml)
200	15	0	1.46×10^5	1.46×10^4	2.33×10^3
		1	1.85×10^5	5.04×10^4	2.42×10^3
		2	2.99×10^5	1.73×10^5	4.79×10^3
		3	5.49×10^5	2.17×10^5	7.25×10^3
		4	7.83×10^5	6.68×10^5	6.75×10^4
		5	2.88×10^6	8.86×10^5	1.48×10^6
200	30	0	1.21×10^5	2.37×10^3	1.13×10^3
		1	1.33×10^5	3.47×10^3	1.33×10^3
		2	2.47×10^5	7.91×10^3	2.05×10^3
		3	4.63×10^5	1.23×10^4	5.68×10^3
		4	6.48×10^5	6.44×10^4	6.06×10^3
		5	1.58×10^6	1.73×10^5	7.63×10^3
400	15	0	5.96×10^2	0	0
		1	1.45×10^3	8.88×10^2	0
		2	1.79×10^3	1.27×10^3	5.90×10^1
		3	2.84×10^3	1.68×10^3	6.47×10^1
		4	8.62×10^3	3.45×10^3	1.67×10^2
		5	4.56×10^4	3.59×10^3	3.97×10^2

ตารางที่ 19 (ต่อ)

Pressure (MPa)	Time (min)	Storage time (week)	TVC (cfu/ml)	Yeast and mold (cfu/ml)	Lactic acid bacteria (cfu/ml)
400	30	0	5.12×10^{2}	0	0
		1	6.33×10^{2}	4.54×10^{1}	0
		2	1.78×10^{3}	7.42×10^{1}	4.26×10^{1}
		3	2.93×10^{3}	2.20×10^{2}	5.48×10^{1}
		4	4.50×10^{3}	4.48×10^{2}	1.93×10^{2}
		5	8.01×10^{3}	7.35×10^{2}	6.55×10^{2}
600	15	0	2.83×10^{2}	0	0
		1	3.30×10^{2}	0	0
		2	4.18×10^{2}	0	0
		3	1.47×10^{3}	1.33×10^{2}	5.49×10^{1}
		4	1.39×10^{3}	1.93×10^{2}	1.48×10^{2}
		5	6.57×10^{3}	4.43×10^{2}	2.59×10^{2}
600	30	0	1.22×10^{2}	0	0
		1	2.28×10^{2}	0	0
		2	3.72×10^{2}	0	0
		3	1.58×10^{3}	1.43×10^{2}	1.37×10^{2}
		4	1.87×10^{3}	1.37×10^{2}	1.43×10^{2}
		5	1.98×10^{3}	4.55×10^{2}	4.55×10^{2}
800	15	0	1.15×10^{2}	0	0
		1	3.31×10^{2}	0	0
		2	4.22×10^{3}	0	0
		3	1.33×10^{3}	1.34×10^{2}	3.88×10^{1}
		4	1.45×10^{3}	1.74×10^{2}	3.91×10^{1}
		5	2.38×10^{3}	2.71×10^{2}	6.41×10^{1}

ตารางที่ 19 (ต่อ)

Pressure (MPa)	Time (min)	Storage time (week)	TVC (cfu/ml)	Yeast and mold (cfu/ml)	Lactic acid bacteria (cfu/ml)
800	30	0	8.72×10^{1}	0	0
		1	1.79×10^{2}	0	0
		2	3.18×10^{2}	0	0
		3	6.80×10^{2}	6.58×10^{1}	0
		4	1.29×10^{3}	8.68×10^{1}	0
		5	2.28×10^{3}	1.73×10^{2}	0

Note: Each value is the mean of triplicate determinations.

4. ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ในการศึกษาการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำตาลโตนดมีการใช้ตัวอย่างน้ำตาลโตนดซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลโตนดสด น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ น้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ และน้ำตาลโตนดผ่านความดัน โดยคัดเลือกชุดการทดลองที่ผ่านการแปรรูปแต่ละกระบวนที่ให้ผลจากการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพและเคมีใกล้เคียงกับน้ำตาลโตนดสดและมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 500 โคโลนีต่อมิลลิลิตร จำนวนยีสต์และรา ไม่เกินน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อมิลลิลิตร จำนวนโคลิฟอร์มแบคทีเรียน้อยกว่า 2.2 เอ็มพีเอ็นต่อมิลลิลิตร และไม่พบอีโคไล ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519) จากผลการทดลองในการแปรรูปโดยใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ในระดับต่ำสุดและผ่านเกณฑ์มาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ (รายละเอียดผลการทดลองได้กล่าวในข้อที่ 2.1) ได้แก่ น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และการใช้ความร้อนระดับสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที (รายละเอียดผลการทดลองได้กล่าวในข้อที่ 2.2) รวมทั้งการใช้ความดันสูงที่ระดับ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที (รายละเอียดผลการทดลองได้กล่าวในข้อที่ 3) มาเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธี multisample difference test และการทดสอบการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธี hedonic scale (9 คะแนน)

4.1 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยวิธี multisample difference test ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คน สเกลเต็มของคะแนนยาว 15 เซนติเมตร ของทดสอบความแตกต่างในด้านกลิ่นน้ำตาลโตนด กลิ่นรสน้ำตาลโตนด กลิ่นน้ำตาลไหม้ รสหวานและรสฝาด พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความหวานในทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วงระดับปานกลาง (7.45-7.89) สอดคล้องกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของทุกชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน น้ำตาลโตนดผ่านความดันที่ระดับ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที มีคะแนนไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสดในทุกคุณลักษณะ ($p>0.05$) โดยได้รับคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบด้านกลิ่นน้ำตาลโตนดอยู่ในช่วงปานกลางถึงมาก (10.57-11.10) และด้านกลิ่นรสน้ำตาลโตนดอยู่ในระดับมาก (11.41-11.73) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาชนิดสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่มีสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดเดียวกับที่พบในน้ำตาลโตนด

สดจำนวน 14 ชนิด (รายละเอียดผลการทดลองได้กล่าวในข้อที่ 3) ส่วนน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์มีคะแนนด้านกลิ่นน้ำตาลโตนดและกลิ่นรสน้ำตาลโตนดต่ำกว่า ขณะที่คะแนนด้านกลิ่นน้ำตาลไหม้และรสฝาดสูงกว่าน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาชนิดของสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์และน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ที่มีสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดเดียวกับน้ำตาลโตนดสดเพียง 6 ชนิด และพบ 2,3 dihydrobenzofuran ซึ่งมีกลิ่นไหม้ (รายละเอียดตามผลการทดลองในข้อที่ 2) โดยน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์มีคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบด้านกลิ่นและกลิ่นรสของน้ำตาลโตนด 3.27 และ 3.70 ตามลำดับ และคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นน้ำตาลไหม้และรสฝาด 10.57 และ 2.57 ตามลำดับ (ตารางที่ 20) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากมีการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงทำมีการสูญเสียสารประกอบที่ระเหยได้ขณะให้ความร้อนและทำให้เกิดสารประกอบที่ระเหยได้ใหม่ คือ 2,3 dihydrobenzofuran ซึ่งเป็นสารประกอบที่ให้กลิ่นน้ำตาลไหม้

4.2 การยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี hedonic scale (9 คะแนน) ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ทดสอบการยอมรับในด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส และความชอบรวม โดยใช้แบบทดสอบการยอมรับแบบ hedonic scale (9 คะแนน) พบว่าในการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของทุกชุดการทดลองในด้านสีและลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยคะแนนการยอมรับด้านสีและลักษณะปรากฏอยู่ในช่วง 7.10-7.40 คะแนน และ 6.93-7.23 คะแนน ตามลำดับ แสดงว่าผู้ทดสอบยอมรับด้านสีและลักษณะปรากฏในระดับชอบปานกลาง การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น กลิ่นรส และความชอบรวม พบว่าน้ำตาลโตนดสด น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์และน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยได้รับคะแนนความชอบทั้งสามคุณลักษณะอยู่ในระดับชอบน้อยถึงชอบปานกลาง ส่วนน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ได้รับการยอมรับในด้านกลิ่น กลิ่นรสและความชอบรวมต่ำสุด โดยให้คะแนนในระดับเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย (ตารางที่ 21) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลโตนดที่ผ่านการสเตอริไลส์มีคะแนนความเข้มของกลิ่นและกลิ่นรสน้ำตาลโตนดน้อยมาก ขณะที่คะแนนกลิ่นรสฝาดสูงกว่าตัวอย่างน้ำตาลโตนดสด ตัวอย่างน้ำตาลโตนดผ่านการ พาสเจอร์ไรส์และผ่านความดันสูง (ตารางที่ 20) จึงส่งผลทำให้คะแนนความชอบลดลง

ตารางที่ 20 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำตาลโตนดสด น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ (อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที) น้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ (อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที) และน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูง (600 เมกกะปาลคาล นาน 15 นาที)

Mean score of sensory properties of fresh, pasteurized (70^0C for 15 minutes), sterilized (114^0C for 25 minutes) and pressurized palm sap (600 MPa for 15 mintues)

Treatment	Mean score				
	Palm sap odor	Caramel odor	Palm sap flavor	Sweetness	Astringent
fresh palm sap*	11.10^{c}	0.09^{a}	11.73^{c}	7.45^{ns}	0.00^{a}
pasteurized palm sap (70^0C, 15 min)	4.73^{b}	6.73^{b}	7.76^{b}	7.89^{ns}	0.53^{b}
sterilized palm sap (114^0C, 25 min)	3.27^{a}	10.57^{c}	3.70^{a}	7.71^{ns}	2.57^{c}
pressurized palm sap (600 MPa, 15 min)	10.57^{c}	0.31^{a}	11.41^{c}	7.60^{ns}	0.10^{a}

Note * Sensory analysis in fresh palm sap was done after 15 hours of collecting palm sap.

The different superscripts in the same column denote the significant differences ($p<0.05$).

^{ns}, not significant at $p<0.05$

ตารางที่ 21 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยวิธี hedonic scale (9 คะแนน) ของน้ำตาลโตนดสด น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ (อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที) น้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ (อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที) และน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูง (600 เมกกะปาลคาล นาน 15 นาที)

Mean acceptance score as evaluated by 9- point hedonic scale of fresh, pasteurized (70^0C for 15 minutes), sterilized (114^0C for 25 minutes) and pressurized palm sap (600 MPa for 15 mintues)

Treatment	Mean score				
	Appearance	Color	Odor	Flavor	Overall liking
fresh palm sap	7.23^{ns}	7.47^{ns}	7.37^{b}	7.03^{b}	6.97^{b}
pasteurized palm sap (70^0C,15 min)	7.23^{ns}	7.40^{ns}	6.83^{b}	6.47^{b}	6.53^{b}
sterilized palm sap (114^0C, 25 min)	6.93^{ns}	7.10^{ns}	5.83^{a}	5.60^{a}	5.63^{a}
pressurized palm sap (600 MPa, 15 min)	7.00^{ns}	7.40^{ns}	6.73^{b}	6.73^{b}	6.87^{b}

Note * Sensory analysis in fresh palm sap was done after 15 hours of collecting palm sap.

The different superscripts in the same column denote the significant differences ($p<0.05$).

^{ns}, not significant at $p<0.05$