บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. คุณภาพของน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น

น้ำตาลโตนดที่ใช้ในการศึกษาเป็นตัวอย่างน้ำตาลโตนดที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม มีการเติมไม้เคี่ยมลงในกระบอกรองรับน้ำตาลโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5 กรัมต่อน้ำตาลโตนด 1 ลิตร และมีระยะเวลานับจากเริ่มรองรับจนกระทั่งวิเคราะห์ประมาณ 15 ชั่วโมง น้ำตาลโตนดสดมีสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ดังต่อไปนี้

1.1 สมบัติทางกายภาพ

การวัดสมบัติทางกายภาพในรูปค่าสี (L, a, b) และค่าการทะลุผ่านของแสงในน้ำตาลโตนดเป็นดัชนีหนึ่งที่สามารถบ่งบอกคุณภาพของน้ำตาลโตนดได้ โดยในทางทฤษฎีกำหนดว่าค่า L ที่มีค่าเข้าใกล้ 100 แสดงว่าวัตถุมีความสว่าง ค่า a มีค่าเป็นบวก แสดงว่าวัตถุมีเฉดสีแดง ค่า a มีค่าเป็นลบ แสดงว่าวัตถุมีเฉดสีเขียว ค่า b เป็นบวก แสดงว่าวัตถุมีเฉดสีเหลือง ค่า b เป็นลบ แสดงว่าวัตถุมีเฉดสีน้ำเงิน และเมื่อค่าการทะลุผ่านของแสงมีค่าเข้าใกล้ 100 แสดงว่าวัตถุมีความใส จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดสดในรูปค่าสี พบว่าค่า L มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 73.55 ค่า a มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.47 และค่า b มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.91 ส่วนค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดสดซึ่งวัดที่ระดับความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 66.22 (ตารางที่ 2) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของสุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547) ที่รายงานว่าคุณภาพของน้ำตาลโตนดสดในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน มีค่า L, a และ b เฉลี่ยเท่ากับ 73.88, 2.37 และ 15.21 ตามลำดับ ส่วนค่าการทะลุผ่านของแสงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 77.58 แสดงว่าสมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดสดในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน และเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม มีค่าใกล้เคียงกัน ค่าสีของน้ำตาลโตนดสดนี้มีสีค่อนข้างแดงอาจเนื่องจากมีการละลายปนของสีจากไม้เคี่ยม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของเรณุกา แจ่มฟ้า (2545) ซึ่งรายงานว่าน้ำตาลโตนดสดไม่ใส่เปลือกไม้พยอมจะมีสีขาวขุ่น ส่วนน้ำตาล

โตนดที่ใส่เปลือกไม้พยอมจะมีสีเหลืองปนน้ำตาลอ่อน เนื่องจากสีของเปลือกไม้พยอมที่ละลายปนออกมาในน้ำตาลโตนด

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดสด

Physical properties of fresh palm sap

Properties*		Value
Color	L	73.75±4.42
	a	2.47±0.56
	b	13.91±1.35
Transmittance (%) at 650 nm		66.22±5.91

Note: * Physical analysis was done 15 hours after starting palm sap collection.

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

1.2 สมบัติทางเคมี

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำตาลโตนดสดที่มีการเติมไม้เคี่ยม พบว่าน้ำตาลโตนดสดมีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 5.63 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ย เท่ากับ 12.67 องศาบริกซ์ ปริมาณกรดทั้งหมด (คิดในรูปของกรดแลกติก) เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.051 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.44 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 11.72 ปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 1.27 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase activity) เฉลี่ยเท่ากับ 2.35×10^{-3} ΔOD/นาที/กรัม กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase activity) เฉลี่ยเท่ากับ 1.68×10^{-4} ΔOD/นาที/กรัม และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทส (invertase activity) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.31×10^{-2} หน่วย/นาที/กรัม (ตารางที่ 3) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าคุณภาพทางเคมีส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับรายงานวิจัยของสุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547) ยกเว้นกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ซึ่งสุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547) วิเคราะห์สมบัติทางด้านเคมีของน้ำตาลโตนดสดจากสวนเดียวกันในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม-เมษายน) ส่วนในการทดลองนี้ใช้น้ำตาลโตนดที่เก็บเกี่ยวในช่วง

ฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) และนอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองของเรณุกา แจ่มฟ้า (2545) ซึ่งวิเคราะห์คุณภาพน้ำตาลโตนด จังหวัดพิษณุโลก พบว่าคุณภาพทางเคมีมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมบัติทางเคมีของน้ำตาลโตนดสด

Chemical properties of fresh palm sap

Properties*	Value from this experiment	Value[1]	Value[2]
pH	5.63±0.40	5.76	5.09
Total soluble solid (°Brix)	12.67±0.40	11.20	13.80
Total acidity (% w/v as lactic acid)	0.051±0.01	0.032	0.036 (% w/v as citric acid)
Reducing sugar (%w/w)	0.44±0.04	0.67	-
Total sugar (%w/w)	11.72±1.02	10.91	12.34
Total solid (%w/w)	1.27±0.05	-	-
Polyphenoloxidase activity ($10^{-3}\Delta$OD/min/g)	2.35±0.20	32.33±0.58	-
Peroxidase activity ($10^{-4}\Delta$OD/min/g)	1.68±0.30	10.33±0.58	-
Invertase activity (10^{-2} unit/min/g)	5.31±0.02	4.28±0.12	-

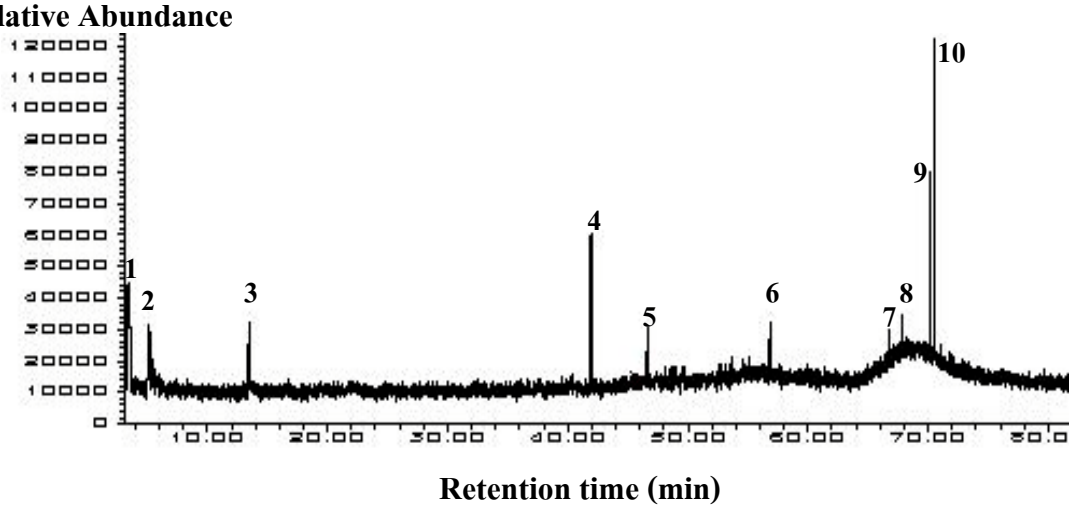
Note: * Chemical analysis was done 15 hours after starting palm sap collection.
Each value is the mean of triplicate determination(standard deviation.

1 สุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547)

2 เรณุกา แจ่มฟ้า (2545)

จากการศึกษาชนิดและปริมาณสารที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสด โดยใช้ไดเอททิลอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย และกำหนดสภาวะในการวิเคราะห์สารที่ระเหยได้โดยใช้ GC/MS แบบ Scan mode ดังตารางผนวกที่ 1 พบว่าได้โครมาโตแกรมของสารที่ระเหยได้ดังภาพประกอบที่ 8 ซึ่งมีสารที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดจำนวน 10 ชนิด โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ คีโตน แอลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มที่ไม่ทราบ

ชื่อ (ตารางที่ 4) โดยสารที่อยู่ในกลุ่มคีโตน 1 ชนิด คือ 3-hydroxy-2-butanone ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นหอมหวาน (sweet odor) (Cheetham, 2002) ส่วนสารที่อยู่ในกลุ่มแอลกอฮอล์มีจำนวน 1 ชนิด คือ 1,3-butanediol ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นไขมันเนย (fatty-butter) (Cheetham, 2002) ส่วนสารที่อยู่ในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนมีจำนวน 6 ชนิด และสารที่ไม่ทราบชื่อจำนวน 2 ชนิด ซึ่งชนิดของสารที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสดที่มีปริมาณมากที่สุดคือ 3-hydroxy-2-butanone (ร้อยละ 30.35), 1-tetradecene (ร้อยละ 17.89), 1,3-butanediol (ร้อยละ 12.13) และ 2,6,10,14,18,22-tetracosahexane (ร้อยละ 17.89) ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของสุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547) ที่รายงานว่าสารให้กลิ่นรสหลักในน้ำตาลโตนดได้แก่ 3-hydroxy-2-butanone และ1,3-butanediol ซึ่งมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 26.59 และ 23.10 ตามลำดับ โดยปริมาณของสารให้กลิ่นรสหลักในน้ำตาลโตนด จะมีปริมาณใกล้เคียงกัน



ภาพประกอบที่ 8 โครมาโตแกรมของสารที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสด

Chromatogram of volatile compounds in fresh palm sap

Note: Volatile compounds in fresh palm sap were analyzed within 15 hours after starting palm sap collection.

Note : peak 1, 3-hydroxy-2-butanone ; peak 2, 1,3-butanediol ; peak 3, unknown ; peak 4, 1-tetradecene ; peak 5, n-hexadecane ; peak 6, unknown ; peak 7, n-tricosane ; peak 8, n-tetracosane ; peak 9, n-nonacosane ; peak 10, 2,6,10,14,18,22-tetracosahexane

ตารางที่ 4 ปริมาณสารที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสด

Volatile compounds in fresh palm sap

Peak	Volatile compounds*	Molecular weight	Relative peak area (%)
	Ketone		
1	3-hydroxy-2-butanone	88	30.35
	*Alcohol*s		
2	1,3-butanediol	90	12.13
	Hydrocarbons		
4	1-tetradecene	196	17.89
5	n-hexadecane	226	3.50
7	n-tricosane	324	1.98
8	n-tetracosane	338	1.80
9	n-nonacosane	408	8.71
10	2,6,10,14,18,22-tetracosahexane	410	11.74
	Miscellaneous		
3	unknown	94	7.95
6	unknown	260	3.95

Note: * Volatile compounds in fresh palm sap were analyzed within 15 hours after starting palm sap collection.

1.3 สมบัติทางจุลชีววิทยา

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดสดที่มีการเติมไม้เคี่ยม (ใช้ระยะเวลาการนับจากเริ่มรองรับน้ำตาลโตนดนาน 15 ชั่วโมง ก่อนการวิเคราะห์) พบว่าน้ำตาลโตนดสดมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 1.82×10^8 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ปริมาณแบคทีเรียแลกติกเฉลี่ยเท่ากับ 4.26×10^6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร และปริมาณยีสต์และราเฉลี่ยเท่ากับ 1.75×10^7 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 5) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณแบคทีเรียแลกติกมีค่าสูงกว่าที่พบ

ในรายงานการวิจัยของสุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547) ซึ่งวิเคราะห์น้ำตาลโตนดในช่วงฤดูร้อนจากสวนเดียวกัน โดยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ $6.04x10^7$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร และปริมาณแบคทีเรียแลกติกเฉลี่ยเท่ากับ $3.66x10^6$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร ซึ่งอาจเกิดจากขั้นตอนการลวกกระบอกน้ำตาลโตนดก่อนเก็บน้ำตาลโตนดนั้น จะทำในตอนเช้าและตั้งกระบอกทิ้งไว้ แล้วนำไปใช้ในตอนเย็นซึ่งความชื้นในช่วงฤดูฝนมีผลทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี และนอกจากนี้อาจเกิดจากการปนเปื้อนจากส่วนรองช่อดอก ใบ อากาศ แมลงที่มากินน้ำหวานและกระบอกที่รองรับน้ำตาลโตนด มีผลทำให้จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนขึ้นได้ (วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล, 2537; เรณุกา แจ่มฟ้า, 2545) นอกจากนี้ระยะเวลาการรองรับน้ำตาลโตนดที่นานก่อนถึงระยะเวลาการวิเคราะห์ตัวอย่างก็มีผลต่อจำนวนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำตาลโตนดมีความชื้น ปริมาณน้ำตาลสูง และมีพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียแลกติก (พีเอช 5.0-6.0) และยีสต์ (พีเอช 4.5-6.0) (Faparusi 1973, อ้างโดย เรณุกา แจ่มฟ้า, 2545; สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545) แต่อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำตาลโตนดสดจะไม่สามารถทำให้น้ำตาลโตนดเกิดการเสื่อมคุณภาพได้ในระยะเริ่มต้นระหว่างการรองรับน้ำตาลโตนด เนื่องจากในการรองรับน้ำตาลโตนดโดยทั่วไปจะมีการเติมไม้เคี่ยมหรือไม้พยอม ซึ่งในไม้เหล่านี้มีสารประกอบฟีนอลิกช่วยในการต่อต้านการทำงานของจุลินทรีย์ได้ (Scalbert, 1991 อ้างโดย Chanthachum and Beuchat, 1997)

ตารางที่ 5 สมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดสด

Microbiological properties of fresh palm sap

Microbiological properties*	Value (CFU/ml)
Total viable count	$1.82x10^8$
Lactic acid bacteria	$4.26x10^6$
Yeast and mold	$1.75x10^7$

Note: * Microbiological analysis was done 15 hours after starting palm sap collection.

Each value is the mean of triplicate determination.

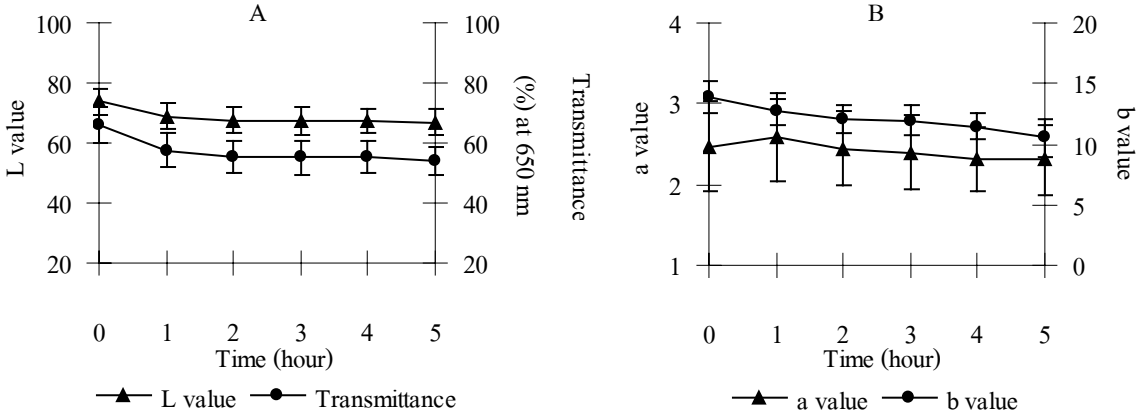
2. ผลของอุณหภูมิต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดสด

ในระหว่างการเก็บเกี่ยวน้ำตาลโตนดสดนั้นจะใช้กระบอกรองรับน้ำตาลโตนดที่สภาพบรรยากาศปกติ เป็นระยะเวลานาน (ประมาณ 15 ชั่วโมง) ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนด ดังนั้นหลังจากกรองน้ำตาลโตนดที่ผ่านการรองรับมาไม่เกิน 15 ชั่วโมง น้ำตาลโตนดในงานวิจัยนี้จะถูกเก็บที่อุณหภูมิต่ำระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษาก่อนการแปรรูปเพื่อเป็นการลดการเจริญของจุลินทรีย์ งานวิจัยครั้งนี้ในหัวข้อศึกษาที่เกี่ยวข้องกับผลของเมมเบรนที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดสด ได้กำหนดอุณหภูมิน้ำตาลโตนดระหว่างการทดลองเท่ากับ 50°ซ ซึ่งการใช้อุณหภูมิระดับนี้มีผลช่วยลดความหนืดของน้ำผลไม้ระหว่างการกรอง (Girard and Fukumoto, 2000) ดังนั้นในการทดลองขั้นแรกนี้ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนด ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา โดยจัดชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 50°ซ (เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการกรองน้ำตาลโตนดสดโดยใช้เมมเบรน) อุณหภูมิห้อง (29°ซ) และ 4°ซ (เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการยืดอายุการเก็บรักษาน้ำตาลโตนดสด) ณ. อุณหภูมิ 50°ซ จะวิเคราะห์คุณภาพทุกๆ 1 ชั่วโมง นาน 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องจะ วิเคราะห์คุณภาพทุกๆ 2 ชั่วโมง นาน 12 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 4°ซ จะวิเคราะห์ คุณภาพทุกๆ 6 ชั่วโมง นาน 72 ชั่วโมง ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

2.1 สมบัติทางกายภาพ

ผลการวิเคราะห์ค่าสีและค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดที่ควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 50°ซ นาน 5 ชั่วโมง พบว่าค่า L, a และ b และค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดในชั่วโมงที่ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ณ.ชั่วโมงที่ 0) ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3 และภาพประกอบที่ 9) โดยน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) มีค่า L, a และ b เฉลี่ยเท่ากับ 73.75, 2.47 และ 13.91 ตามลำดับ และมีค่าการทะลุผ่านของแสงเฉลี่ยเท่ากับ 66.22 และในชั่วโมงที่ 5 น้ำตาลโตนดมีค่า L, a และ b เฉลี่ยเท่ากับ 66.97, 2.31 และ 10.53 ตามลำดับ และมีค่าการทะลุผ่านของแสงเฉลี่ยเท่ากับ 54.08 แสดงว่าระหว่างการกรองน้ำตาลโตนดโดยใช้เมมเบรน สามารถใช้อุณหภูมิระหว่างกรองเท่ากับ 50°ซ ได้โดยไม่มีผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำ

ตาลโตนด เนื่องจากค่าสีและค่าการทะลุผ่านของแสงนั้นมีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสดตลอดระยะเวลาการให้ความร้อนนาน 5 ชั่วโมง



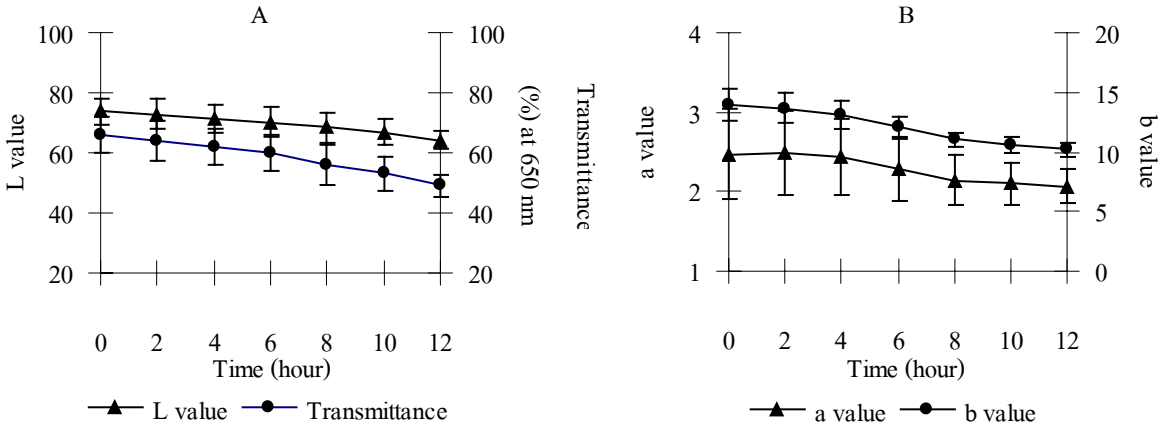
ภาพประกอบที่ 9 การเปลี่ยนแปลงค่า L (A) ค่าการทะลุผ่านของแสง (A) ค่า a (B) และค่า b (B) ของน้ำตาลโตนดสด ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 50°ซ ตลอดระยะเวลานาน 5 ชั่วโมง

Changes in L value (A), transmittance value (A), a value (B) and b value (B) of fresh palm sap during storage at 50°C for 5 hours

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีและค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิห้อง นาน 12 ชั่วโมง พบว่า ค่า L และ a ของน้ำตาลโตนดในชั่วโมงที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ12 มีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 4) โดยน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) มีค่า L และ a เฉลี่ยเท่ากับ 73.75 และ 2.47 และเมื่อผ่านไป 12 ชั่วโมงพบว่า ค่า L และ a มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 64.33 และ 2.07 ส่วนค่า b และค่าการทะลุผ่านของแสงนั้นพบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 4 และภาพประกอบที่ 10) โดยน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) มีค่า b และ ค่าการทะลุผ่านของแสงเฉลี่ยเท่ากับ 13.91 และ 66.22 และเมื่อผ่านไป 12 ชั่วโมงพบว่าค่า b และ ค่าการทะลุผ่านของแสงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.17 และ 49.23 โดยพบว่าที่อุณหภูมิห้องนั้นจะส่งผลให้สมบัติทางด้านกายภาพของน้ำตาลโตนดเปลี่ยนแปลงไปโดยจะมีความใสลดลง (มีความขุ่นเพิ่มขึ้น) และมีสีที่อ่อนลง ทั้งนี้อาจ

เนื่องมาจากจุลินทรีย์จะมีการผลิตกรดแลกติกเกิดขึ้น ส่งผลให้ค่าพีเอชลดต่ำลง โดยในชั่วโมงที่ 12 นั้นมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 2.01×10^8 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 10) และค่าพีเอชลดลงเหลือเท่ากับ 4.26 (ภาพประกอบที่ 13) ซึ่งอาจมีผลทำให้สารแขวนลอยระหว่างโปรตีนและสารพวกโพลีฟีนอลที่มีอยู่ในน้ำตาลโตนดเกิดการตกตะกอนขึ้นได้



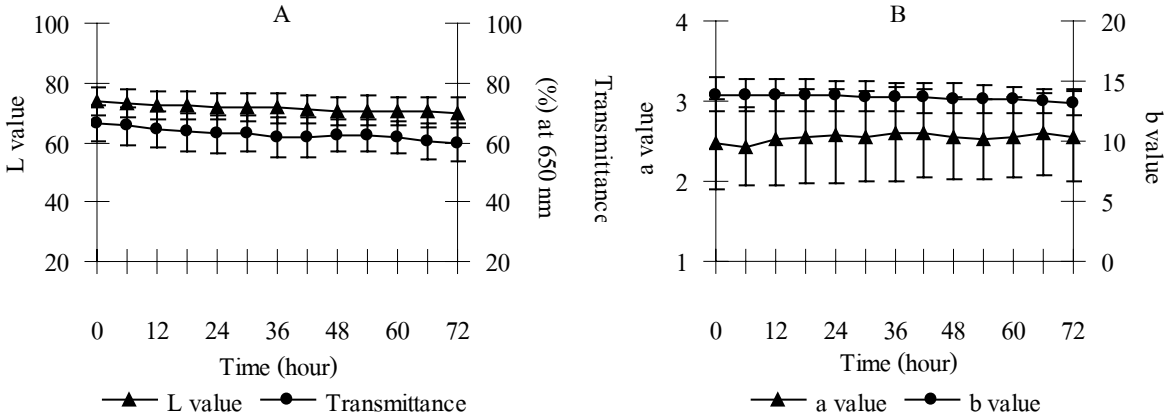
ภาพประกอบที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่า L (A) ค่าการทะลุผ่านของแสง (A) ค่า a (B) และค่า b (B) ของน้ำตาลโตนดสด ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 29°ซ ตลอดระยะเวลานาน 12 ชั่วโมง

Changes in L value (A), transmittance value (A), a value (B) and b value (B) of fresh palm sap during storage at room temperature (29°C) for 12 hours

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

ผลการวิเคราะห์ค่าสีและค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 72 ชั่วโมง พบว่า ค่า L, a และ b และค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดในชั่วโมงที่ 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66 และ72 มีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 5 และภาพประกอบที่ 11) โดยน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) มีค่า L, a และ b เฉลี่ยเท่ากับ 73.75, 2.47 และ 13.91 ตามลำดับ และมีค่าการทะลุผ่านของแสงเฉลี่ยเท่ากับ 66.22 และในชั่วโมงที่ 72 น้ำตาลโตนดมีค่า L, a และ b เฉลี่ยเท่ากับ 69.86, 2.56 และ 13.23 ตามลำดับ และมีค่าการทะลุผ่านของแสงเฉลี่ยเท่ากับ 59.97 แสดงว่าที่ระดับอุณหภูมิเหมาะสมในการเก็บรักษาน้ำ

ตาลโตนด เนื่องจากค่าสีและค่าการทะลุผ่านของแสงนั้นมีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสดตลอดระยะเวลาการเก็บนาน 72 ชั่วโมง



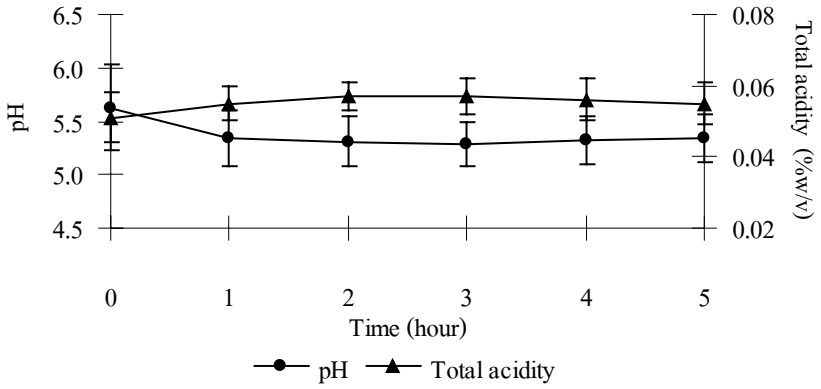
ภาพประกอบที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่า L (A) ค่าการทะลุผ่านของแสง (A) ค่า a (B) และค่า b (B) ของน้ำตาลโตนดสด ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ ตลอดระยะเวลานาน 72 ชั่วโมง

Changes in L value (A), transmittance value (A), a value (B) and b value (B) of fresh palm sap during storage at 4°C for 72 hours

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

2.2 สมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์พีเอช และปริมาณกรดทั้งหมด (คิดในรูปกรดแลกติก) ของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิ 50°ซ นาน 5 ชั่วโมง พบว่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลโตนดในชั่วโมงที่ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3 และภาพประกอบที่ 12) โดยน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 5.63 และมีปริมาณกรดทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.051 และในชั่วโมงที่ 5 น้ำตาลโตนดมีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 5.34 และมีปริมาณกรดทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.055

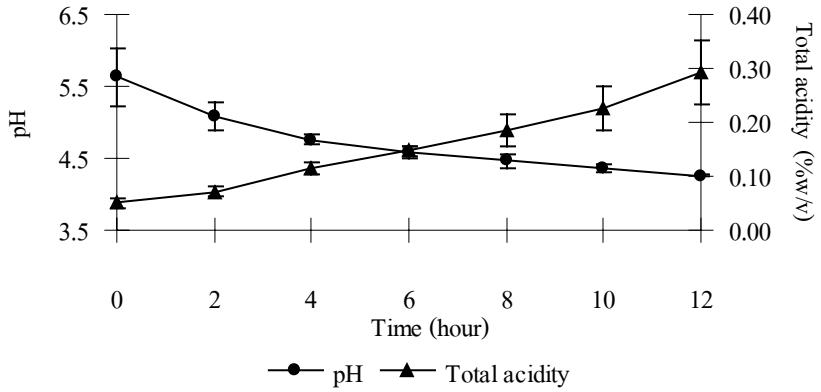


ภาพประกอบที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลโตนดสดในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 50°ซ ตลอดระยะเวลานาน 5 ชั่วโมง

Changes in pH and total acidity of fresh palm sap during storage at 50°C for 5 hours

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

ผลการวิเคราะห์พีเอช และปริมาณกรดทั้งหมด (คิดในรูปกรดแลกติก) ของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิห้อง นาน 12 ชั่วโมง พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บนาน 12 ชั่วโมง พีเอชของน้ำตาลโตนดมีแนวโน้มลดลง ($P \leq 0.05$) ขณะที่ปริมาณกรดทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 4 และภาพประกอบที่ 13) โดยในชั่วโมงที่ 12 ค่าพีเอชมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.26 ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.293 ทั้งนี้อาจเกิดจากการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียแลกติก เนื่องจากในน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) นั้นมีปริมาณแบคทีเรียแลกติกเท่ากับ 4.26×10^6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร และเมื่อผ่านไป 12 ชั่วโมงพบว่ามีปริมาณแบคทีเรียแลกติกเพิ่มขึ้นเป็น 4.57×10^7 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 10) ซึ่งแบคทีเรียแลกติกจะผลิตกรดแลกติกมีผลให้น้ำตาลโตนดมีพีเอชลดลง และมีรสเปรี้ยว

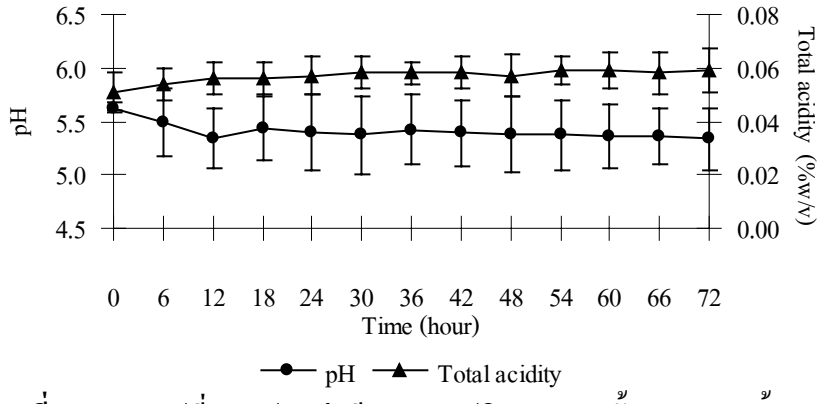


ภาพประกอบที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลโตนดสดในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 29°ซ ตลอดระยะเวลานาน 12 ชั่วโมง

Changes in pH and total acidity of fresh palm sap during storage at room temperature (29°C) for 12 hours

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

ผลการวิเคราะห์พีเอช และปริมาณกรดทั้งหมด (คิดในรูปกรดแลกติก) ของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 72 ชั่วโมง พบว่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลโตนดในชั่วโมงที่ 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66 และ72 มีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 5 และภาพประกอบที่ 14) โดยในชั่วโมงที่ 72 นั้นพบว่าค่าพีเอชมีค่าเท่ากับ 5.34 และปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.059

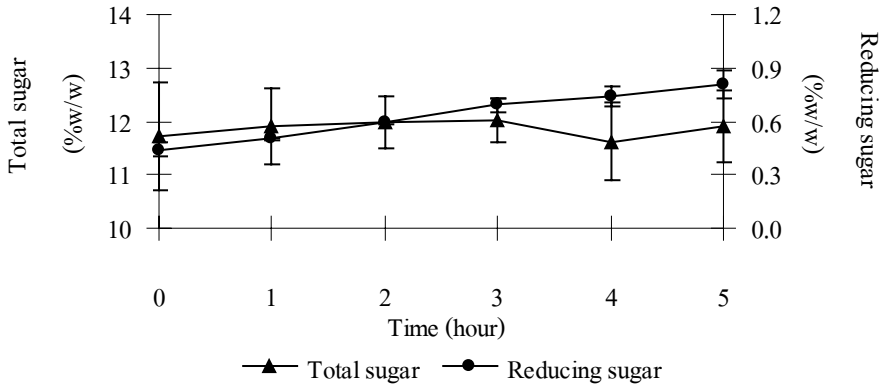


ภาพประกอบที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลโตนดสดในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ ตลอดระยะเวลานาน 72 ชั่วโมง

Changes in pH and total acidity of fresh palm sap during storage at 4°C for 72 hours

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิ 50°ซ นาน 5 ชั่วโมง พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดในชั่วโมงที่ 0, 1, 2, 3, 4 และ5 มีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3) โดยในน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 12.67 องศาบริกซ์ และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 11.72 และในชั่วโมงที่ 5 น้ำตาลโตนดมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 12.43 องศาบริกซ์ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ11.63 ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์นั้นพบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3 และภาพประกอบที่ 15) โดยน้ำตาล โตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.44 และในชั่วโมงที่ 5 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำตาลโตนดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 3.42 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์อินเวอร์เทส (ภาพประกอบที่ 18B) โดยที่เอนไซม์นี้ สามารถทำงานได้ดีในช่วงพีเอช 3.5-5.5 ที่อุณหภูมิในช่วง 50-55°ซ โดยเอนไซม์อินเวอร์เทสจะทำหน้าที่ย่อยสลายซูโครสได้เป็นกลูโคสและฟรุกโตส (Kulp, 1975)

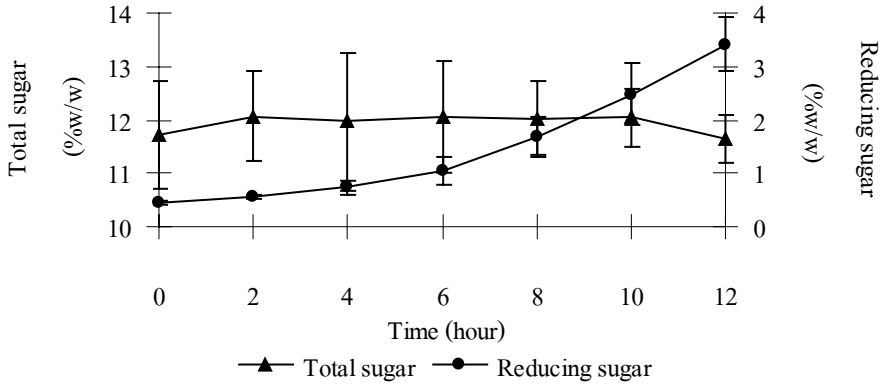


ภาพประกอบที่ 15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดสด ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 50°ซ ตลอดระยะเวลานาน 5 ชั่วโมง

Changes in reducing sugar and total sugar of fresh palm sap during storage at 50°C for 5 hours

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิห้อง นาน 12 ชั่วโมง พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดในชั่วโมงที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ12 มีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 4) โดยในชั่วโมงที่ 12 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.43 และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 11.63 ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์นั้นพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 4 และภาพประกอบที่ 16) โดยในชั่วโมงที่ 12 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 3.42 ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนั้นจะส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ซึ่งอาจเนื่องมาจาก จุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์ โดยในน้ำตาลโตนดชั่วโมงที่ 12 นั้นมีปริมาณยีสต์และราเท่ากับ 1.00×10^7 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 10) และนอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสเมื่อเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากยีสต์ในกลุ่ม *Saccharomyces cerevisiae* สามารถผลิตเอนไซม์อินเวอร์เทสได้

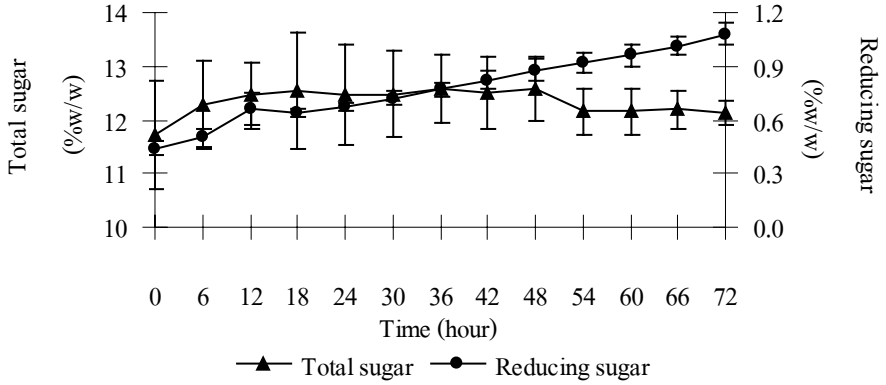


ภาพประกอบที่ 16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดสด ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้อง (29°ซ) ตลอดระยะเวลานาน 12 ชั่วโมง

Changes in reducing sugar and total sugar of fresh palm sap during storage at room temperature (29°C) for 12 hours

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 72 ชั่วโมง พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดในชั่วโมงที่ 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66 และ72 มีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 5) โดยในชั่วโมงที่ 72 มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 12.73 และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 12.13 ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ($P \leq 0.05$) (ภาพประกอบที่ 17) โดยในชั่วโมงที่ 72 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.08 ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ นั้นจะส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากจุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์ โดยในชั่วโมงที่ 72 นั้นมีปริมาณยีสต์และราเท่ากับ 2.01×10^6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 11) เนื่องจากยีสต์สามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง คือ อุณหภูมิระหว่าง 0 ถึง 40°ซ (วราวุฒิ ครูส่ง, 2538)



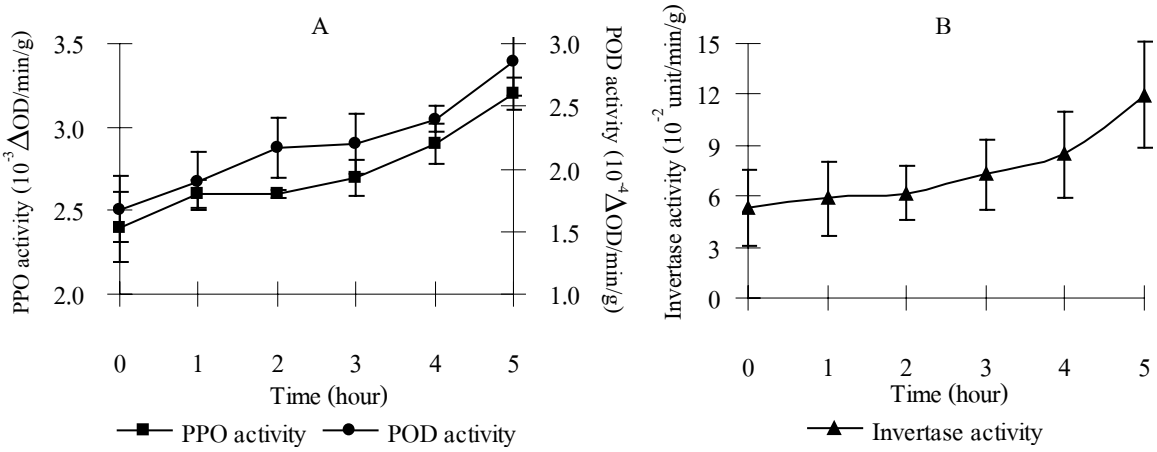
ภาพประกอบที่ 17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดสด ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ ตลอดระยะเวลานาน 72 ชั่วโมง

Changes in reducing sugar and total sugar of fresh palm sap during storage at 4°C for 72 hours

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

ผลการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิ 50°ซ นาน 5 ชั่วโมง พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนนานขึ้น ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3 และภาพประกอบที่ 18A) โดยน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) มีกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและเอนไซม์ เปอร์ออกซิเดสเฉลี่ยเท่ากับ 2.35×10^{-3} และ 1.68×10^{-4} ΔOD/ นาที/กรัม และในชั่วโมงที่ 5 น้ำตาลโตนดมีกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส และเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเฉลี่ยเท่ากับ 3.15×10^{-3} และ 2.85×10^{-4} ΔOD/นาที/กรัม ตามลำดับ ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสนั้นพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้นเช่นกัน (ภาพประกอบที่ 18B) โดยน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) มีกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสเฉลี่ยเท่ากับ 5.31×10^{-2} หน่วย/นาที/กรัม และเมื่อผ่านไป 5 ชั่วโมง พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.95×10^{-2} หน่วย/นาที/กรัม ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์อินเวอร์เทสสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิช่วง 50-55°ซ (Kulp,1975)

แต่ทั้งนี้พบว่าการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50°ซ เป็นเวลานาน 5 ชั่วโมง ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3)



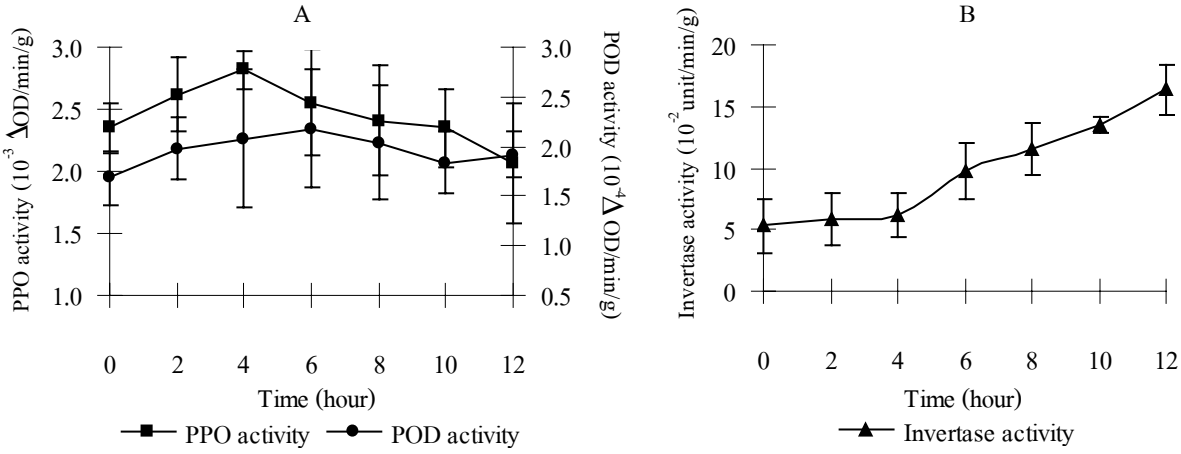
ภาพประกอบที่ 18 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (A) กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (A) และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทส (B) ของน้ำตาลโตนดสด ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 50°ซ ตลอดระยะเวลานาน 5 ชั่วโมง

Changes in polyphenoloxidase activity (A), peroxidase activity (A) and invertase activity (B) of fresh palm sap during storage at 50(C for 5 hours

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

ผลการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิห้อง (29(ซ) นาน 12 ชั่วโมง พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส และเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสของน้ำตาลโตนดในชั่วโมงที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ12 มีค่าไม่แตกต่างจากน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) (P(0.05) (ตารางผนวกที่ 4) โดยกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงชั่วโมงที่ 4 หลังจากนั้นก็มีแนวโน้มลดลง (ภาพประกอบที่ 19A) ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงชั่วโมงที่ 6 จากนั้นก็มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน (ภาพประกอบที่ 19A) ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากพีเอชของน้ำตาลโตนด เนื่องจากพีเอชของน้ำตาลโตนดมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพประกอบที่ 13) โดย ค่าพีเอชในชั่วโมงที่ 4 และ 6 นั้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.76 และ 4.59 ตามลำดับ ซึ่งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส และเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส นั้นจะทำงานได้ดีในช่วงพีเอช 5-7 และ 6 ตามลำดับ (Gerald, 1975) สำหรับกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสนั้นพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) (P(0.05) (ตารางผนวกที่ 4 และภาพประกอบที่ 19B)

โดยในชั่วโมงที่ 12 กิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.35x10-2 หน่วย/นาที/กรัม ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์อินเวอร์เทสสามารถทำงานได้ดีในช่วงพีเอช 3.5-5.5 (Kulp,1975)



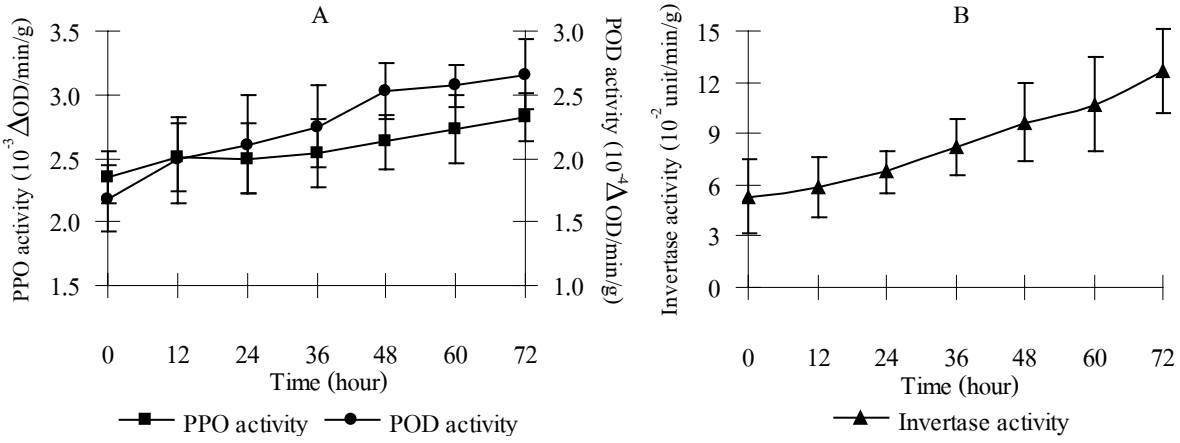
ภาพประกอบที่ 19 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (A) กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (A) และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทส (B) ของน้ำตาลโตนดสด ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้อง (29°ซ) ตลอดระยะเวลานาน 12 ชั่วโมง

Changes in polyphenoloxidase activity (A), peroxidase activity (A) and invertase activity (B) of fresh palm sap during storage at room temperature (29°C) for 12 hours

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

ผลการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 72 ชั่วโมง พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของน้ำตาลโตนดในชั่วโมงที่ 12, 24, 36, 48, 60 และ72 มีค่าไม่แตกต่างจากน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 5 และภาพประกอบที่ 20A) โดยในชั่วโมงที่ 72 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.82×10^{-3} ΔOD/นาที/กรัม ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสนั้นพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บนาน 72 ชั่วโมง ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 5 และภาพประกอบที่ 20A และ 20B) โดยในชั่วโมงที่ 72 กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออก

ซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.66×10^{-4} ΔOD/นาที/กรัม และ 12.69×10^{-2} หน่วย/นาที/กรัม



ภาพประกอบที่ 20 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (A) กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (A) และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทส (B) ของน้ำตาลโตนดสด ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ ตลอดระยะเวลานาน 72 ชั่วโมง

Changes in polyphenoloxidase activity (A), peroxidase activity (A) and invertase activity (B) of fresh palm sap during storage at 4°C for 72 hours

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

จากการศึกษาของสุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547) ที่รายงานว่าสารให้กลิ่นรสหลักในน้ำตาลโตนดสดมี 2 ชนิด คือ 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol และเมื่อน้ำตาลโตนดเกิดการเน่าเสียจะเกิดสารที่ระเหยได้ที่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ 4 ชนิด คือ 2-butoxyethanol, 1-hexanol, 1-octanol และ acetic acid ดังนั้นในการวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิ 50°ซ, อุณหภูมิห้อง (29°ซ) และอุณหภูมิ 4°ซ จะเลือกการติดตามวิเคราะห์เฉพาะกลุ่มสารให้กลิ่นรสหลัก และ กลุ่มสารที่ระเหยได้ที่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ซึ่งได้แก่ 3-hydroxy-2-butanone, 1,3-butanediol, 2-butoxyethanol, 1-hexanol, 1-octanol และ acetic acid โดยกำหนดสภาวะในการ

วิเคราะห์สารที่ระเหยได้โดยใช้ GC/MS แบบ Selected Ion Monitoring mode (SIM mode) ดังตารางผนวกที่ 2

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดที่เก็บที่อุณหภูมิ 50°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 1 ชั่วโมง นาน 5 ชั่วโมง พบว่าสารให้กลิ่นรสหลักในน้ำตาลโตนดทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น (ตารางที่ 6) โดยในชั่วโมงที่ 5 ปริมาณของ 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol เหลือเท่ากับร้อยละ 30.61 และ 50.13 เมื่อเทียบกับปริมาณสารที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) ทั้งนี้เนื่องมาจาก 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol นั้นเกิดการระเหยขึ้นในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50°ซ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่า 3-hydroxy-2-butanone จะระเหยไปได้มากกว่า 1,3-butanediol เนื่องมาจาก 3-hydroxy-2-butanone มีจุดเดือดต่ำกว่า (148°ซ) 1,3-butanediol (207°ซ) ตามลำดับ (Furia and Bellanca, 1975) นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำตาลโตนดพบว่า ตรวจไม่พบสารที่ระเหยได้ที่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ทั้ง 4 ชนิด ตลอดระยะเวลาการเก็บที่อุณหภูมิ 50°ซ นาน 5 ชั่วโมง (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ปริมาณสารที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดสดระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 50°ซ นาน 5 ชั่วโมง

Volatile compounds of fresh palm sap during storage at 50°C for 5 hours

Time	Relative peak area (%)*					
(hour)	3-hydroxy-2-butanone	1,3-butanediol	2-butoxyethanol	1-hexanol	1-octanol	acetic acid
0	100.00	100.00	nd	nd	nd	nd
1	101.29	102.46	nd	nd	nd	nd

2	79.28	88.55	nd	nd	nd	nd
3	66.48	79.18	nd	nd	nd	nd
4	33.42	66.91	nd	nd	nd	nd
5	30.61	50.13	nd	nd	nd	nd

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

nd : not detected

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิห้อง (29°ซ) โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 2 ชั่วโมง นาน 12 ชั่วโมงพบว่า ปริมาณ 3-hydroxy-2-butanone มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 6 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับปริมาณ 1,3-butanediol ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นใน 4 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นก็มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกัน ส่วนสารที่ระเหยได้ที่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์นั้นตรวจพบเพียง 1 ชนิด คือ acetic acid โดยเริ่มพบตั้งแต่ชั่วโมงที่ 4 เป็นต้นไป (ตารางที่ 7) ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 7 ปริมาณสารที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดสดระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้อง (29°ซ) นาน 12 ชั่วโมง

Volatile compounds of fresh palm sap during storage at room temperature (29°C) for 12 hours

Time	Relative peak area (%)*					
(hour)	3-hydroxy-2-butanone	1,3-butanediol	2-butoxyethanol	1-hexanol	1-octanol	acetic acid
0	100.00	100.00	nd	nd	nd	nd

2	252.07	184.90	nd	nd	nd	nd
4	186.53	211.89	nd	nd	nd	d
6	407.72	157.16	nd	nd	nd	d
8	299.95	95.39	nd	nd	nd	d
10	117.09	94.22	nd	nd	nd	d
12	120.17	74.15	nd	nd	nd	d

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

nd : not detected

d : detected

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 12 ชั่วโมง นาน 72 ชั่วโมง พบว่าสารให้กลิ่นรสหลักในน้ำตาลโตนดทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น (ตารางที่ 8) โดยในชั่วโมงที่ 72 ปริมาณของ 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol เหลือเท่ากับร้อยละ 16.07 และ 24.37 เมื่อเทียบกับปริมาณสารที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) และตรวจไม่พบสารที่ระเหยได้ที่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ทั้ง 4 ชนิด ตลอดระยะเวลาการเก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 72 ชั่วโมง (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ปริมาณสารที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดสดระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 72 ชั่วโมง

Volatile compounds of fresh palm sap during storage at 4°C for 72 hours

Time	Relative peak area (%)*					
	3-hydroxy-	1,3-	2-	1-	1-	acetic acid
(hour)	2-butanone	butanediol	butoxyethanol	hexanol	octanol	
0	100.00	100.00	nd	nd	nd	nd
12	89.64	83.22	nd	nd	nd	nd

24	22.28	29.06	nd	nd	nd	nd
36	21.24	28.99	nd	nd	nd	nd
48	18.17	28.58	nd	nd	nd	nd
60	19.21	25.42	nd	nd	nd	nd
72	16.07	24.37	nd	nd	nd	nd

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

nd : not detected

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อสมบัติทางเคมีของน้ำตาลโตนด พบว่าที่ระดับอุณหภูมิ 50°ซ สามารถนำไปใช้ในการทดลองเรื่องผลของเมมเบรนที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดสดได้ เนื่องจากสมบัติทางเคมีโดยส่วนใหญ่ของน้ำตาลโตนดมีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ยกเว้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ที่มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด ($P \leq 0.05$) และปริมาณ 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol ในชั่วโมงที่ 5 มีค่าลดลงเหลือเท่ากับร้อยละ 30.61 และ 50.13 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณสารที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) ส่วนที่อุณหภูมิ 4°ซ นั้นเหมาะกับการเก็บรักษาน้ำตาลโตนด เนื่องจากสมบัติทางเคมีโดยส่วนใหญ่มีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ยกเว้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ที่มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด ($P \leq 0.05$) และปริมาณ 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol ในชั่วโมงที่ 5 มีค่าลดลงเหลือเท่ากับร้อยละ 30.61 และ 50.13 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณสารที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) สำหรับที่อุณหภูมิห้องนั้นเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาน้ำตาลโตนดสด เนื่องจากเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น จะส่งผลให้คุณภาพทางเคมีโดยส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด

2.3 สมบัติทางจุลชีววิทยา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรียแลกติก และปริมาณยีสต์และราของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิ 50°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 1 ชั่วโมง นาน 5 ชั่วโมง พบว่าจุลินทรีย์ทั้ง 3 กลุ่มมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น โดยน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรียแลกติก และปริมาณยีสต์และราเฉลี่ยเท่ากับ $1.82x10^{8}$, $4.26x10^{6}$ และ $1.15x10^{7}$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และในชั่วโมงที่ 5 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรียแลกติก และปริมาณยีสต์และราในน้ำตาลโตนดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3.24x10^{6}$, $1.17x10^{3}$ และ $1.07x10^{4}$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 9 ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ในกลุ่มของยีสต์และแบคทีเรียแลกติก เป็นจุลินทรีย์พวกมีโซไฟล์ ซึ่งจุลินทรีย์ในกลุ่มมีโซไฟล์นี้จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิในช่วง 25-40°ซ เท่านั้น (วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล, 2539) ดังนั้นที่ระดับอุณหภูมิ 50°ซ จึงสามารถทำลายและลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่มนี้ได้

ตารางที่ 9 สมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดสดระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 50°ซ นาน 5 ชั่วโมง

Microbiological properties of fresh palm sap during storage at temperature 50(C for 5 hours

Time	Microbiological properties		
	Yeast and mold	Lactic acid bacteria	Total viable count
(hour)	(CFU/ml)	(CFU/ml)	(CFU/ml)
0	1.15x107	4.26x106	1.82x108
1	1.86x106	4.79x104	3.39x107
2	7.24x105	1.31x104	1.17x107
3	1.12x105	3.31x103	6.61x106

4	8.51x104	2.75x103	4.90x106
5	1.07x104	$1.17x10^{3}$	$3.24x10^{6}$

Note: Each value is the mean of triplicate determination.

ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรียแลกติก และปริมาณยีสต์และราของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิห้อง โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 2 ชั่วโมง นาน 12 ชั่วโมง พบว่าปริมาณแบคทีเรียแลกติกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น โดยในชั่วโมงที่ 12 มีปริมาณแบคทีเรียแลกติกเฉลี่ยเท่ากับ $4.57x10^{7}$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 10) ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียแลกติกเป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มมีโซไฟล์และสามารถเจริญได้ในช่วงพีเอช 3.5-5.0 (วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล, 2539) ซึ่งสอดคล้องกับคุณภาพของน้ำตาลโตนดที่มีปริมาณกรดเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียแลกติกจะสร้างกรดแลกติกซึ่งเป็นผลผลิตหลักในการเจริญเติบโต ส่วนปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นใน 6 ชั่วโมงแรกของการเก็บรักษา จากนั้นก็มีแนวโน้มลดลง โดยในชั่วโมงที่ 12 มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราเฉลี่ยเท่ากับ $2.01x10^{8}$ และ $1.00x10^{7}$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 10 สมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดสดระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้อง (29°ซ) นาน 12 ชั่วโมง

Microbiological properties of fresh palm sap during storage at room temperature (29°C) for 12 hours

Time	Microbiological properties		
	Yeast and mold	Lactic acid bacteria	Total viable count
(hour)	(CFU/ml)	(CFU/ml)	(CFU/ml)
0	$1.15x10^{7}$	$4.26x10^{6}$	$1.82x10^{8}$
2	$2.24x10^{7}$	$8.51x10^{6}$	$1.79x10^{8}$
4	$2.05x10^{7}$	$1.40x10^{7}$	$2.51x10^{8}$
6	$2.22x10^{7}$	$1.35x10^{7}$	$2.45x10^{8}$
8	$1.79x10^{7}$	$2.24x10^{7}$	$2.02x10^{8}$

10	$1.32x10^7$	$3.98x10^7$	$2.18x10^8$
12	$1.00x10^7$	$4.57x10^7$	$2.01x10^8$

Note: Each value is the mean of triplicate determination.

ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรียแลกติก และปริมาณยีสต์และราของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 6 ชั่วโมง นาน 72 ชั่วโมง พบว่าจุลินทรีย์ทั้ง 3 กลุ่มมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ โดยในชั่วโมงที่ 72 มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรียแลกติก และปริมาณยีสต์และราเฉลี่ยเท่ากับ $7.08x10^7$, $1.35x10^6$ และ $2.01x10^6$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 11 เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถช่วยชะลอการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ให้ช้าลงและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคอีกด้วย (วราวุฒิ ครูส่ง, 2538)

ตารางที่ 11 สมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดสดระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 72 ชั่วโมง

Microbiological properties of fresh palm sap during storage at temperature 4°C for 72 hours

Time	Microbiological properties		
	Yeast and mold	Lactic acid bacteria	Total viable count
(hour)	(CFU/ml)	(CFU/ml)	(CFU/ml)
0	$1.15x10^7$	$4.26x10^6$	$1.82x10^8$
6	$7.41x10^6$	$1.79x10^6$	$1.27x10^8$
12	1.23x107	$1.99x10^6$	$9.15x10^7$
18	$1.15x10^7$	$3.71x10^6$	$1.07x10^8$
24	$7.08x10^6$	$4.47x10^6$	$1.08x10^8$

30	$4.90x10^6$	$4.46x10^6$	$9.78x10^7$
36	$5.25x10^6$	$3.39x10^6$	$1.10x10^8$
42	$5.37x10^6$	$4.91x10^6$	$8.51x10^7$
48	$3.16x10^6$	$2.82x10^6$	$9.77x10^7$
54	$1.95x10^6$	$2.88x10^6$	$8.53x10^7$
60	$2.34x10^6$	$2.69x10^6$	$6.78x10^7$
66	$2.69x10^6$	$6.16x10^6$	$9.75x10^7$
72	$2.01x10^6$	$1.35x10^6$	$7.08x10^7$

Note: Each value is the mean of triplicate determination.

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อสมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนด พบว่าที่ระดับอุณหภูมิ 50°ซ ระหว่างการเก็บนาน 5 ชั่วโมง สามารถลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำตาลโตนดสดได้ โดยที่สมบัติทางเคมีและกายภาพมีลักษณะใกล้เคียงน้ำตาลโตนดสด ดังนั้นอุณหภูมิ 50°ซ จึงเหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองในหัวข้อผลของเมมเบรนที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดสด ส่วนที่ระดับอุณหภูมิ 4°ซ ระหว่างการเก็บนาน 72 ชั่วโมง นั้นจุลินทรีย์มีแนวโน้มคงที่ และสมบัติทางกายภาพและทางเคมียังคงมีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำตาลโตนดสด ดังนั้นที่อุณหภูมิ 4°ซ จึงเหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาน้ำตาลโตนดสด เนื่องจากการเก็บรักษาน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิห้องนั้นคุณภาพของน้ำตาลโตนดโดยส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลง

3. คุณภาพของน้ำตาลโตนดสดที่ผ่านกระบวนการทำใส

ในน้ำตาลโตนดจะประกอบด้วยน้ำตาล โปรตีน สารประกอบของพวกฟีนอลิกซึ่งได้มาจากไม้เคี่ยมที่เติมลงไปในน้ำตาลโตนด เป็นต้น (เรณุกา แจ่มฟ้า, 2545 ; Chanthachum and Beuchat, 1997) ซึ่งองค์ประกอบพวกโปรตีน และสารประกอบพวกฟีนอลิกอาจแขวนลอยอยู่ได้ในน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น อย่างไรก็ตามเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาน้ำตาลโตนด สารโมเลกุลใหญ่ซึ่งเกิดจากการจับกันระหว่างโปรตีนและสารประกอบของพวกฟีนอลิก อาจเกิดการรวมตัวกันตก

ตะกอนลงมาได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของสุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547) ที่รายงานว่าน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์มีความขุ่นเพิ่มขึ้น และเกิดการตกตะกอนขึ้นที่ก้นขวดเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงมีการศึกษาผลของการทำใสต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนด เพื่อลดความขุ่นที่เกิดขึ้นภายหลังการให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ ในการทดลองจะใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 เบนโตไนท์ และผงถ่าน กัมมันตร์ มาเป็นตัวช่วยในการทำใสน้ำตาลโตนด โดยกำหนดความเข้มข้นของเบนโตไนท์ 3 ระดับ คือเท่ากับร้อยละ 0.3 0.5 และ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ส่วนผงถ่าน กัมมันตร์จะใช้ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1 0.3 และ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ซึ่งเมื่อเติมสารทำใสลงในน้ำตาลโตนดแล้วจะคนตลอดเวลานาน 20 นาที จากนั้นกรองแยกสารทำใสออกโดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 (ที่อุณหภูมิห้อง 29°ซ) แล้วนำตัวอย่างที่ผ่านการทำใสไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และเคมี โดยมีผลการทดลองดังนี้

3.1 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดภายหลังผ่านการทำใสที่วิเคราะห์ ได้แก่ ค่าสี และค่าการทะลุผ่านของแสง น้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใสนั้นมีค่าสีแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสดในทุกชุดการทดลอง ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 6) โดยค่า L ของน้ำตาลโตนดที่กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 85.98 ส่วนการเติมเบนโตไนท์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร น้ำตาลโตนดมีค่า L สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการเติมเบนโตไนท์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.3 และ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยมีค่า L เฉลี่ยเท่ากับ 88.71 สำหรับการเติมผงถ่านกัมมันตร์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ให้ค่า L สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการเติมผงถ่านกัมมันตร์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และ 0.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 91.10 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 12 การทำใสโดยใช้ผงถ่านกัมมันตร์ น้ำตาลโตนดที่ได้มีค่า L สูงที่สุด เมื่อเทียบกับการทำใสโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 และเบนโตไนท์ ทั้งนี้เนื่องจากผงถ่านกัมมันตร์มีลักษณะเป็นของแข็งมีรูพรุน ซึ่งจะดักจับสารให้สี

ไว้ภายในโมเลกุลได้ โดยสามารถกำจัดพวกฟลาโวนอยด์ และพวกอนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอลิกได้ (Al-Farsi, 2003) ส่วนเบนโตไนท์นั้นสามารถจับกับประจุบวกของโปรตีนได้เนื่องมาจากเบนโตไนท์นั้นมีประจุเป็นลบ โดยเมื่อประจุลบจับกับประจุบวกของโปรตีนแล้วจะเกิดการตกตะกอนแยกออกมาได้ นอกจากนี้โมเลกุลของโปรตีนยังสามารถทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างแผ่นโครงสร้างของเบนโตไนท์ทำให้โครงสร้างของตะกอนใหญ่ขึ้นจึงตกตะกอนได้เร็ว (Downing, 1989 อ้างโดย อมรรัตน์ มุขประเสริฐ, 2545) สำหรับการกรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 พบว่าน้ำตาลโตนดที่ได้มีค่า L ต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากกระดาษกรองเบอร์ 1 มีขนาดของรูพรุนเท่ากับ 11 ไมครอน (Nurnberg Scientific, 2004) ดังนั้นเฉพาะอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 11 ไมครอนเท่านั้น ที่น่าจะถูกกักเก็บบนกระดาษกรอง ซึ่งได้แก่ พวกคอลลอยด์ และสารแขวนลอยในน้ำตาลโตนด ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็ก เช่น สารให้สี อนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอลิก โปรตีน และสารประกอบระหว่างสารประกอบฟีนอลิกและโปรตีนนั้นสามารถลอดผ่านรูพรุนของกระดาษกรองไปได้ โดยสารให้สีในกลุ่มแทน นินมีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง 0.5-3 กิโลดาลตัน (Berk, 1976) เป็นต้น และเมื่อพิจารณาผลของระดับความเข้มข้นของสารทำใสต่อค่า L ของน้ำตาลโตนดพบว่า ระดับความเข้มข้นของเบนโตไนท์ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่า L ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 12) ส่วนระดับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันตร์ที่เพิ่มขึ้นนั้นมีผลต่อค่าความสว่างที่เพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 12) เนื่องจากผงถ่านกัมมันตร์มีคุณสมบัติในการดักจับสารให้สี (Al-Farsi, 2003) ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันตร์ ก็จะสามารถดักจับสารให้สีได้มากขึ้น ส่งผลให้น้ำตาลโตนดมีความสว่างเพิ่มขึ้น

ผลการวิเคราะห์ค่า a และ b ของน้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใส พบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อผ่านกระบวนการทำใส ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 6) โดยค่า a และ b ของน้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใสโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.21 และ 12.29 ตามลำดับ ส่วนการเติมเบนโตไนท์ พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของเบนโตไนท์เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า a ลดลง ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 12) ขณะที่ค่า b ก็มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน แต่ไม่มีความแตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 12) โดยค่า a และ b ของน้ำตาลโตนดที่

ผ่านการทำใสโดยใช้เบนโตไนท์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.86 และ 9.64 ตามลำดับ สำหรับการเติมผงถ่านกัมมันตร์นั้นเมื่อระดับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันตร์เพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้ค่า a และ b มีแนวโน้มลดลง ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 12) โดยค่า a และ b ของน้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใสโดยใช้ผงถ่านกัมมันตร์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ให้ค่า a และ b โดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.31 และ 3.19 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้ผงถ่านกัมมันตร์นั้นจะส่งผลให้ค่า a และ b ในน้ำตาลโตนดลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับการทำใสโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 และเบนโตไนท์ เนื่องจากผงถ่านกัมมันตร์มีคุณสมบัติในการดักจับสารให้สี (Al-Farsi, 2003) ดังนั้นน้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใสโดยใช้ผงถ่านกัมมันตร์ จะให้น้ำตาลโตนดมีสีอ่อนลงมากที่สุด

ผลการวิเคราะห์ค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดสดที่ผ่านการทำใสพบว่า น้ำตาลโตนดสดที่ผ่านการทำใสมีค่าการทะลุผ่านของแสงเพิ่มขึ้นแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น ($P \leq 0.05$) โดยการทำใสด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นั้นจะให้ค่าการทะลุผ่านของแสงเฉลี่ยเท่ากับ 84.01 ส่วนการเติมเบนโตไนท์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร น้ำตาลโตนดมีความใสสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการเติมเบนโตไนท์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.3 และ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยมีค่าการทะลุผ่านของแสงเฉลี่ยเท่ากับ 86.73 สำหรับการเติมผงถ่านกัมมันตร์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรนั้นน้ำตาลโตนดมีความใสสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการเติมผงถ่านกัมมันตร์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และ 0.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยมีค่าการทะลุผ่านของแสงเฉลี่ยเท่ากับ 86.01 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 12 แต่ทั้งนี้พบว่าการทำใสโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 เบนโตไนท์ และผงถ่านกัมมันตร์นั้นไม่มีผลให้น้ำตาลโตนดมีค่าการทะลุผ่านของแสงแตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 12) ซึ่งแตกต่างจากผลการทดลองของ Youn และคณะ (2004) ที่รายงานว่า เบนโตไนท์ความเข้มข้นร้อยละ 5 สามารถลดความขุ่นในน้ำแอปเปิลได้มากที่สุดถึง ร้อยละ 88.67 ส่วนการใช้ผงถ่านกัมมันตร์ความเข้มข้นร้อยละ 1 นั้นสามารถลดความขุ่นได้เพียงร้อยละ 2.67 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบของน้ำผลไม้ที่แตกต่างกัน โดยในน้ำแอปเปิลนั้นจะมีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าในน้ำตาลโตนด ซึ่งเบนโตไนท์ก็มีคุณสมบัติในการจับ

โปรตีน จึงทำให้สามารถลดค่าความขุ่นในน้ำแอปเปิลได้มากกว่าในน้ำตาลโตนด ส่วนผงถ่านกัมมันตร์นั้นมีคุณสมบัติในการดักจับพวกสารสีไว้ในโมโลกุล จึงมีผลต่อความขุ่นเพียงเล็กน้อยแต่จะส่งผลต่อค่าสีมากกว่า ส่วนกระดาษกรองเบอร์ 1 นั้นจะกักเก็บได้เฉพาะอนุภาคที่มีขนาดใหญ่เท่านั้น จึงทำให้อนุภาคที่ทำให้เกิดความขุ่นในน้ำตาลโตนดนั้นสามารถลอดผ่านรูพรุนของกระดาษกรองไปได้

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีและค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใส จะเห็นได้ว่าค่าสีและค่าการทะลุผ่านของแสงนั้นมีค่าแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 6) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการทำใสโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 เบนโตไนท์ และผงถ่านกัมมันตร์ พบว่า ค่าสี (L, a, b) นั้นมีค่าแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 12) ส่วนค่าการทะลุผ่านของแสงนั้นมีค่าไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 12) ซึ่งจากผลการทดลองนี้จะใช้ในการคัดเลือกการทำใส เพื่อใช้ในการทดลองในตอนต่อไปในเรื่องผลของอุณหภูมิพาสเจอร์ไรซ์ที่มีต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดสดเพื่อที่จะลดความขุ่นที่เกิดขึ้นในการเก็บรักษา โดยจะพิจารณาจากค่าการทะลุผ่านของแสงเนื่องจากค่านี้จะบ่งบอกถึงความใสของน้ำตาลโตนดได้ จากผลการทดลองจึงเลือกใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 ในการทำใสในการทดลองต่อไป เนื่องจากค่าการทะลุผ่านของแสงที่ได้มีค่ามากกว่าน้ำตาลโตนดสด ($P \leq 0.05$) แต่มีค่าไม่แตกต่างกับการใช้เบนโตไนท์และผงถ่านกัมมันตร์ ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 12) อีกทั้งยังเป็นการประหยัดเวลาและลดการใช้สารเคมีอีกด้วย

3.2 สมบัติทางเคมี

สมบัติทางเคมีที่วิเคราะห์ในน้ำตาลโตนดหลังกระบวนการทำใส ได้แก่ ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณของแข็งทั้งหมด และชนิดและปริมาณสารที่ระเหยได้ทั้งหมด โดยจากการทดลองพบว่าการทำใสโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 เบนโตไนท์ และผงถ่านกัมมันตร์นั้นไม่มีผลให้ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใสเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับน้ำตาลโตนดสด ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 6) ซึ่งให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับ Chatterjee และคณะ (2004) ที่รายงานว่าน้ำแอปเปิล น้ำองุ่น น้ำมะนาว และน้ำส้ม ที่ผ่าน

การทำใสโดยใช้เบนโตไนท์ เจลาติน และไคโตแซนนั้นมีค่าปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกับน้ำผลไม้เริ่มต้น ($P \geq 0.05$) และสอดคล้องกับผลการทดลองทำใสน้ำอินทผาลัมของ Al-Farsi (2003) ซึ่งใช้ผงถ่านกัมมันตร์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ที่รายงานว่าค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและค่าพีเอชนั้นมีค่าใกล้เคียงกับน้ำอินทผาลัมเริ่มต้น ส่วนน้ำตาลโตนดหลังผ่านกระบวนการทำใสมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดไม่แตกต่างจากน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้นนั้น อาจเนื่องจากปริมาณของแข็งในน้ำตาลโตนดได้ถูกกำจัดออกไปเพียงบางส่วนในระหว่างกระบวนการทำใส ซึ่งได้แก่ พวกคอลลอยด์ สารแขวนลอย สารให้สี และโปรตีน ส่วนปริมาณของแข็งโดยส่วนใหญ่ ซึ่งได้แก่ กรดต่างๆ และน้ำตาลซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำตาลโตนดไม่ได้ถูกกำจัดออกไป จึงทำให้ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 12 สมบัติทางกายภาพและเคมีในน้ำตาลโตนดที่ผ่านกระบวนการทำใส

Physical and chemical properties in clarified palm sap

Properties	Fresh palm sap	Whatman No. 1	Bentonite (%w/v)			Activate carbon (%w/v)		
			0.30%	0.50%	0.70%	0.10%	0.30%	0.50%
Color L	82.23±1.71^{a}	85.98±0.81^{b}	86.75±1.30^{bc}	87.10±1.22^{bc}	88.71±0.97^{cd}	87.92±1.27^{bcd}	89.77±0.38^{de}	91.1±0.14^{e}
a	1.69±0.17^{d}	1.21±0.09^{c}	1.18±0.11^{c}	1.06±0.06^{c}	0.86±0.05^{b}	0.72±0.07^{b}	0.41±0.03^{a}	0.31±0.04^{a}
b	13.14±0.08^{e}	12.29±0.87^{de}	11.25±1.24^{cd}	10.50±1.07^{c}	9.64±1.09^{c}	7.64±0.76^{b}	4.52±1.00^{a}	3.19±0.63^{a}
Transmittance (%) at 650 nm	78.57±2.84^{a}	84.01±1.13^{b}	84.41±1.54^{b}	84.80±1.39^{b}	86.73±0.89^{b}	83.92±1.12^{b}	84.87±0.85^{b}	86.01±0.62^{b}
Total soluble solid (°Brix)	12.53±0.51^{ns}	12.53±0.51^{ns}	12.53±0.51^{ns}	12.53±0.51^{ns}	12.53±0.51^{ns}	12.53±0.51^{ns}	12.53±0.51^{ns}	12.53±0.51^{ns}
pH	5.58±0.15^{ns}	5.80±0.13^{ns}	5.77±0.10^{ns}	5.81±0.17^{ns}	5.82±0.21^{ns}	5.82±0.10^{ns}	5.70±0.14^{ns}	5.50±0.11^{ns}
Total solid (%w/w)	1.27±0.05^{ns}	1.26±0.04^{ns}	1.26±0.04^{ns}	1.26±0.05^{ns}	1.26±0.05^{ns}	1.26±0.05^{ns}	1.23±0.09^{ns}	1.20±0.08^{ns}

Note: * Physical and Chemical analysis was done 15 hours after starting palm sap collection.

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

The different superscripts in the same column denote the significant differences ($P \leq 0.05$).

^{ns}, not significant at $P \leq 0.05$

จากการศึกษาชนิดและปริมาณสารที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใส โดยใช้ไดเอททิลอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย และกำหนดสภาวะในการวิเคราะห์สารที่ระเหยได้โดยใช้ GC/MS แบบ Scan mode ดังตารางผนวกที่ 1 พบว่าน้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใสโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 ผงถ่านกัมมันตร์ และเบนโตไนท์ มีชนิดและปริมาณสารที่ระเหยได้ใกล้เคียงกับน้ำตาลโตนดสด โดยพบสารที่ระเหยได้ทั้งหมด 9 ชนิด (ภาพประกอบที่ 21) โดยสารให้กลิ่นรสหลัก ซึ่งได้แก่ 3-hydroxy-2-butanone ของน้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใสนั้นมีค่าใกล้เคียงกับน้ำตาลโตนดสด ขณะที่ 1,3-butanediol มีแนวโน้มลดลงเมื่อผ่านการทำใส (ตารางที่13)

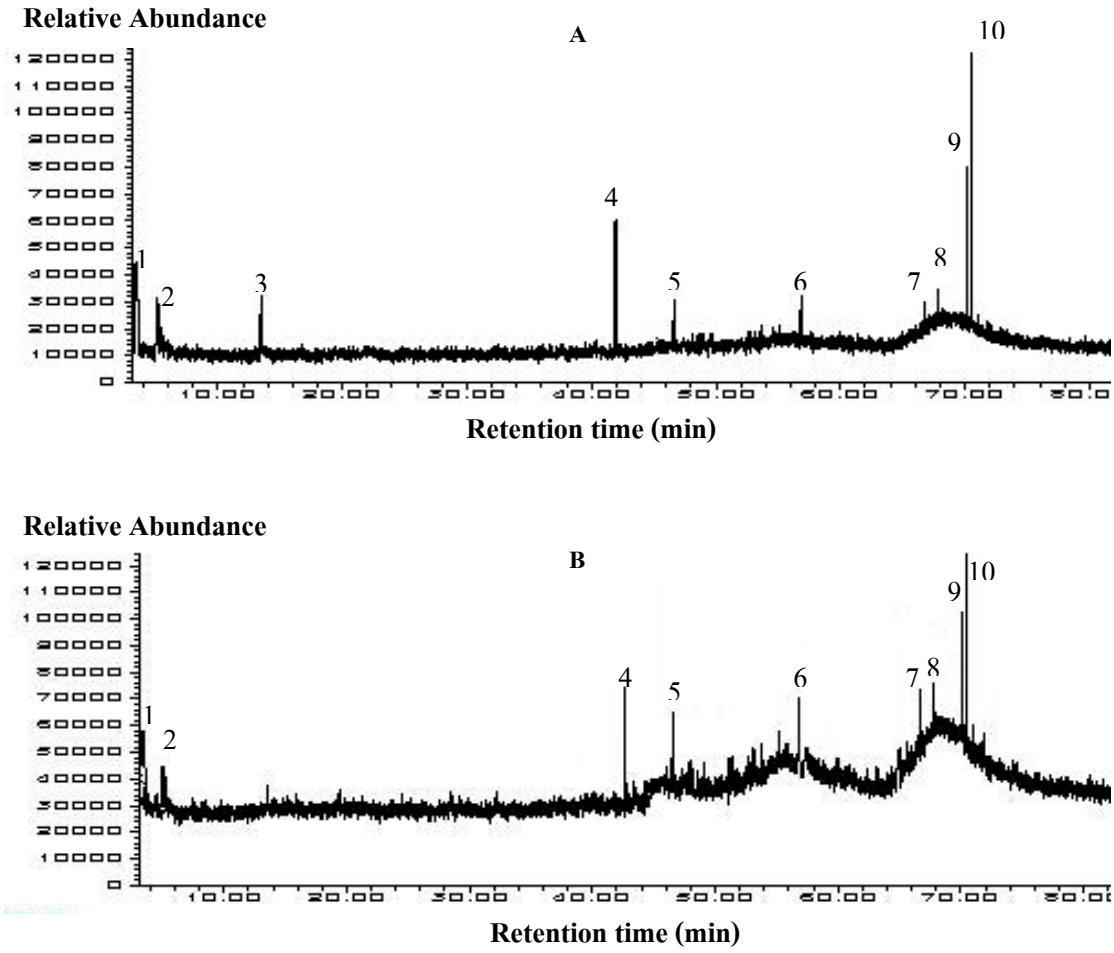
ตารางที่ 13 ปริมาณสารที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดที่ผ่านกระบวนการทำใส

Volatile compounds in clarified palm sap

Peak	Volatile compounds	Relative peak area (%)*							
		Fresh palm sap	Whatman NO. 1	Bentonite (%w/v)			Activate carbon (%w/v)		
				0.30%	0.50%	0.70%	0.10%	0.30%	0.50 %
1	3-hydroxy-2-butanone	30.35	32.36	32.82	30.90	30.97	34.52	31.77	31.63
2	1,3-butanediol	12.13	7.82	8.28	8.53	7.92	8.94	8.23	7.38
3	unknown	7.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	1-tetradecene	17.89	10.08	12.56	8.45	10.64	8.03	8.30	10.51
5	n-hexadecane	3.50	4.42	5.77	5.88	5.41	5.53	6.53	4.49
6	unknown	3.95	3.72	3.23	6.00	3.21	4.41	5.70	3.53
7	n-tricosane	1.98	4.14	3.06	3.04	4.55	5.28	5.29	5.94
8	n-tetracosane	1.80	3.29	2.56	5.60	5.63	3.28	3.53	3.11
9	n-nonacosane	8.71	6.18	7.65	7.12	4.40	7.25	6.93	8.14
10	2,6,10,14,18,22-tetracosahexane	11.74	27.99	24.07	24.48	27.27	22.76	23.72	25.27

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

Volatile compounds in fresh palm sap were analyzed within 15 hours after starting palm sap collection

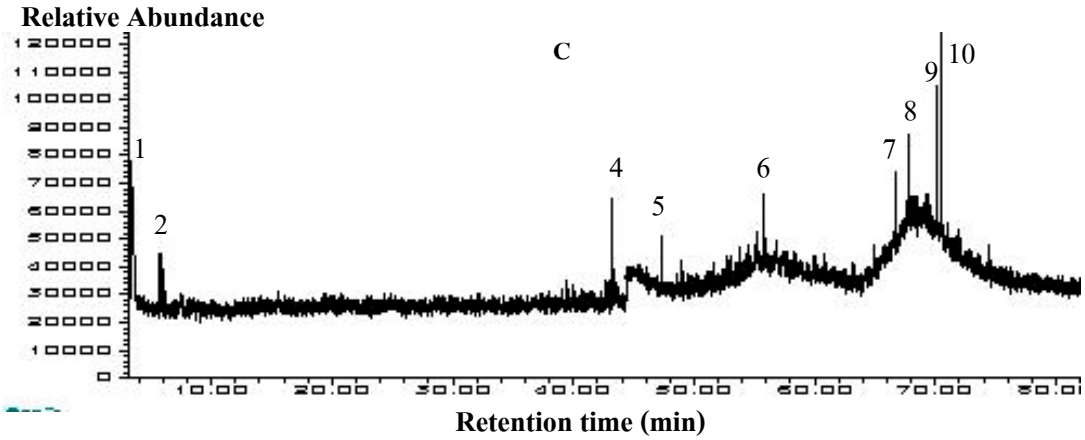


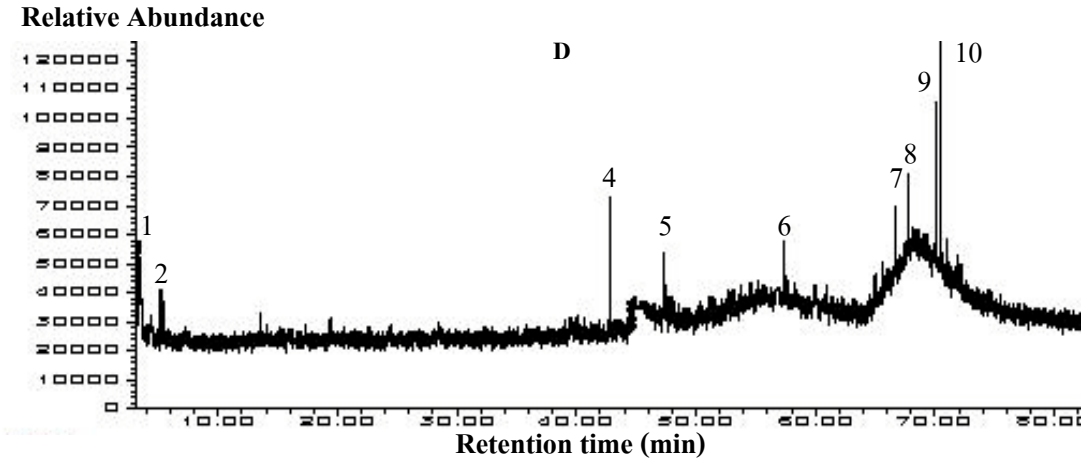
ภาพประกอบที่ 21 โครมาโตแกรมของสารที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสด (A) น้ำตาลโตนดหลังการทำใสด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (B) น้ำตาลโตนดหลังการทำใสด้วยผงถ่านกัมมันตร์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (C) และน้ำตาลโตนดหลังการทำใสด้วยผงถ่านกัมมันตร์ความเข้มข้นร้อยละ 0.7 (D)

Chromatogram of volatile compounds in fresh palm sap (A), clarified palm sap by Whatman No.1 (B), clarified palm sap by activated carbon 0.5%w/v (C) and clarified palm sap by bentonite 0.7%w/v (D)

Note: peak 1, 3-hydroxy-2-butanone ; peak 2, 1,3-butanediol ; peak 3, unknown ; peak 4, 1-tetradecene ; peak 5, n-hexadecane ; peak 6, unknown ; peak 7, n-tricosane ; peak 8, n-tetracosane ; peak 9, n-nonacosane ; peak 10, 2,6,10,14,18,22-tetracosahexane

Note: Volatile compounds in fresh palm sap were analyzed within 15 hours after starting palm sap collection.





ภาพประกอบที่ 21 (ต่อ)

4. ผลของอุณหภูมิพาสเจอร์ไรซ์ที่มีต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดสด และการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

ในการศึกษาผลของอุณหภูมิพาสเจอร์ไรซ์ที่มีต่อคุณภาพน้ำตาลโตนด มีการใช้ตัวอย่างน้ำตาลโตนด 2 ชุดการทดลองที่แตกต่างกัน คือ น้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านการทำใส และน้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใสโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 (โดยคัดเลือกได้จากชุดการทดลองในเรื่องการทำใส ดังรายละเอียดที่แสดงก่อนหน้านี้ในข้อ 3.1 ซึ่งมีค่าการทะลุผ่านของแสงดีที่สุด) น้ำตาลโตนดทั้ง 2 ชุดการทดลอง ถูกนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที จากนั้นบรรจุในขวดแก้วปริมาตร 350 มิลลิลิตร โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้แสดงดังภาพประกอบที่ 22 และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 4 สัปดาห์ โดยวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาทุกๆ 1 สัปดาห์

ภาพประกอบที่ 22 น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70°ซ นาน 15 นาที

Palm sap pasteurized at 70^{0}C for 15 minutes

4.1 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดที่วิเคราะห์หลังผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ได้แก่ ค่าสีและค่าการทะลุผ่านของแสง โดยพบว่าน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์นั้นมีค่าสีแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 7) เมื่อให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า L มีแนวโน้มลดลง น้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่า L เฉลี่ยเท่ากับ 67.32 63.78 และ 59.93 ตามลำดับ ส่วนค่า L ของน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 71.02 63.78 และ 68.55 ตามลำดับ (ตารางที่ 14) ขณะที่ค่า a และ b ของน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านและผ่านการทำใส และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์นั้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยค่า b ของน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.30 15.90 และ 15.90 ตามลำดับ ส่วนค่า b ของน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.97 15.65 และ 15.56 ตามลำดับ (ตารางที่ 14) ซึ่งสอดคล้องกับการ

ทดลองของ Yeom และคณะ (2000) ที่รายงานว่าค่า L ในน้ำส้มพาสเจอร์ไรซ์มีค่าต่ำกว่าค่า Lในน้ำส้มสด แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้น้ำตาลโตนดที่ได้นั้นมีความทึบแสงและมีสีเหลืองปนน้ำตาล ทั้งนี้การเกิดสีเหลืองปนน้ำตาลน่าจะเกี่ยวข้องกับผลของระดับการใช้ความร้อนและระยะเวลามากกว่าผลของกิจกรรมของเอนไซม์ เนื่องจากการใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที นั้นสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสลงได้เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 74.67 79.66 และ 84.69 ตามลำดับ สำหรับชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ ส่วนชุดการทดลองที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสลงได้เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 73.60 79.16 และ 83.97 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าสีเปรียบเทียบระหว่างน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านและผ่านการทำใส และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์พบว่า น้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์นั้นจะมีค่า L ที่สูงกว่าน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ในทุกระดับอุณหภูมิ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 14) ส่วนค่า a นั้นจะมีค่าต่ำกว่าในทุกระดับอุณหภูมิ สำหรับค่า b นั้นพบว่าไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละระดับอุณหภูมิที่ใช้ ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 14) ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใสนั้นได้มีการกำจัดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ในน้ำตาลโตนดออกไป

สำหรับค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์นั้นพบว่ามีค่าการทะลุผ่านของแสงต่ำกว่าน้ำตาลโตนดสด ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 7) โดยเมื่อให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าการทะลุผ่านของแสงนั้นมีแนวโน้มลดลง โดยค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57.89 53.32 และ 51.62 ตามลำดับ ส่วนค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 62.72 59.55 และ 59.07 ตามลำดับ (ตารางที่ 14) ทั้งนี้อาจเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและโพลีฟีนอล เนื่องจากในน้ำตาลโตนดนั้นมี

โปรตีนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 0.32 โดยน้ำหนัก (เรณุกา แจ่มฟ้า, 2545) และนอกจากนี้ยังมีสารพวกโพลีฟีนอลซึ่งได้มาจากไม้เคี่ยมที่เติมลงไปในกระบอกรองรับน้ำตาลโตนด ซึ่งเมื่อมีการให้ความร้อนก็จะส่งผลให้โปรตีนเกิดการสูญเสียสภาพและจับกับโพลีฟีนอล เกิดเป็นสารแขวนลอยในน้ำผลไม้ และเพิ่มความขุ่น (Tajchakavit *et al*., 2001) และเมื่อพิจารณาค่าการทะลุผ่านของแสงระหว่างน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านและผ่านการทำใส และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์พบว่า น้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์นั้นมีค่าสูงกว่าน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ในทุกระดับอุณหภูมิ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 14) ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใสนั้นได้มีการกำจัดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ในน้ำตาลโตนดออกไป

และเมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์ทุกสภาวะการแปรรูปที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 1 สัปดาห์ นาน 4 สัปดาห์ พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น มีผลทำให้ค่าสีและค่าการทะลุผ่านของแสงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (ภาพประกอบที่ 23) ทั้งนี้อาจเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและสารพวกโพลีฟีนอลรวมตัวกัน และมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นจนไม่สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำผลไม้ได้จึงตกตะกอนลงมา (Shomer, 1988 อ้างโดย พัชรินทร์ อรัญวัฒน์, 2542) แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการทำใส อุณหภูมิและระยะเวลาในการพาสเจอร์ไรซ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าทั้ง 3 ปัจจัยไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างกันในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของค่าสีและค่าการทะลุผ่านของแสง ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 8-11)

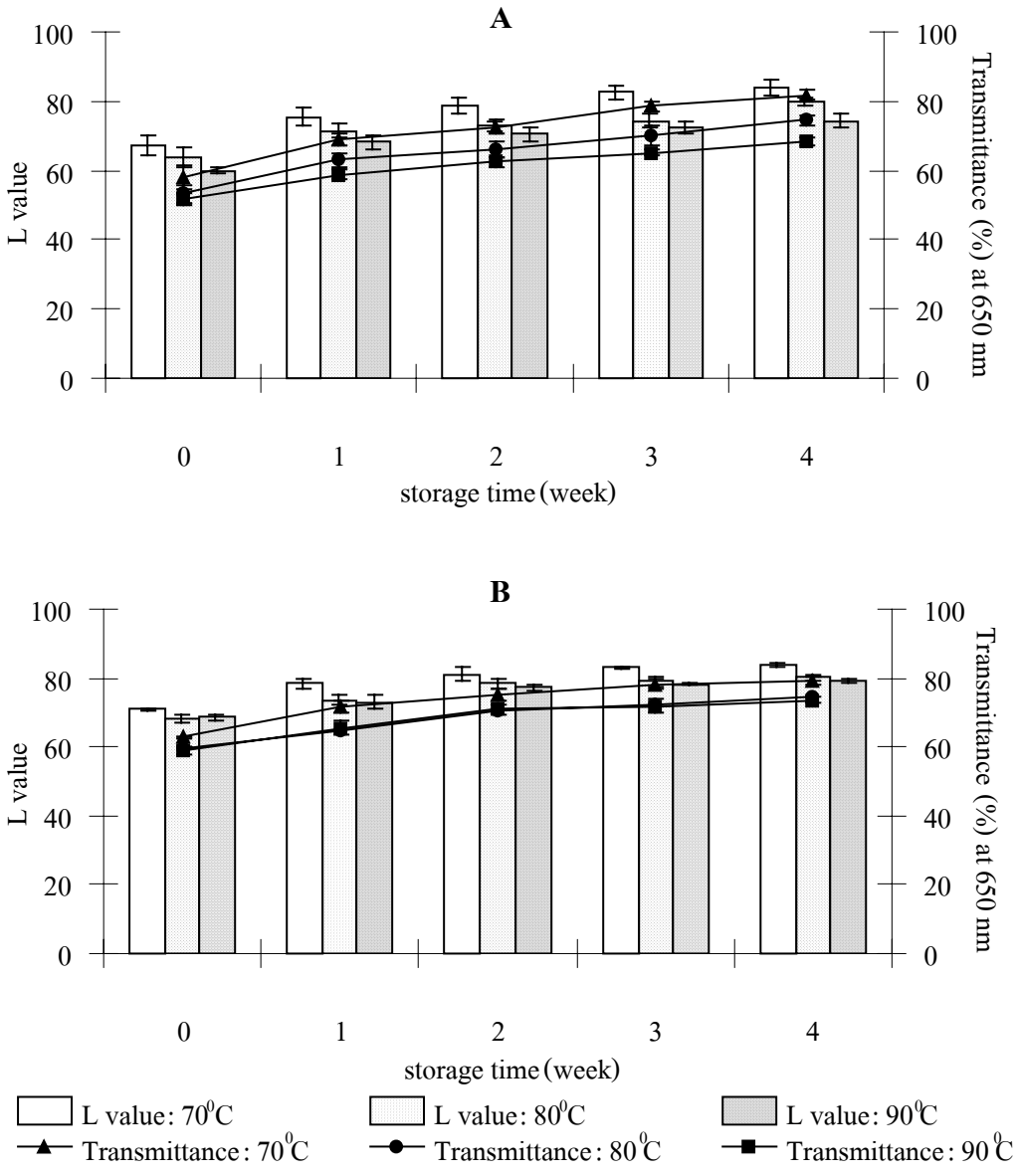
ตารางที่ 14 สมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดสด น้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านและผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที
Physical properties of fresh palm sap, non-clarified and clarified palm sap which was pasteurized at 70, 80 and 90°C for 15 minutes

Pasteurization temperature (°C)	Treatment	Color			Transmittance (%) at 650 nm
		L	a	b	
Fresh palm sap*		78.47±1.68^{e}	2.09±0.07^{a}	14.54±0.45^{a}	74.23±2.38^{d}
70	Non-clarified	67.32±2.67^{c}	2.92±0.18^{b}	15.30±0.02^{bc}	57.89±3.57^{b}
	Clarified	71.02±0.25^{d}	2.64±0.16^{b}	14.97±0.54^{ab}	62.72±0.26^{c}
80	Non-clarified	63.78±2.81^{b}	3.54±0.40^{c}	15.90±0.20^{d}	53.32±2.53^{a}
	Clarified	68.31±1.11^{cd}	2.97±0.06^{b}	15.65±0.24^{cd}	59.55±1.44^{bc}
90	Non-clarified	59.93±0.99^{a}	3.48±0.23^{c}	15.90±0.20^{d}	51.62±1.76^{a}
	Clarified	68.55±0.95^{cd}	2.98±0.11^{b}	15.56±0.12^{cd}	59.07±1.01^{bc}

Note : * Physical analysis was done 15 hours after starting palm sap collection.

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

The different superscripts in the same column denote the significant differences ($P \leq 0.05$).



ภาพประกอบที่ 23 การเปลี่ยนแปลงค่า L และค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่าน (A) และผ่านการทำใส (B) และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 4 สัปดาห์

Changes in L value and transmittance value of non-clarified (A) and clarified (B) palm sap which was pasteurized at 70, 80 and 90°C for 15 minutes and during storage at 4°C for 4 weeks

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

4.2 สมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชของน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรซ์พบว่า ค่าพีเอชของน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์มีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 7) แสดงว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการพาสเจอร์ไรซ์นั้นไม่มีผลต่อค่าพีเอช โดยน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 5.82 5.87 และ5.96 ตามลำดับ ส่วนน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.84 5.87 และ 6.05 ตามลำดับ (ตารางที่ 15) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของสุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547) ที่รายงานว่าระดับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์ที่ต่างกัน (อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100°ซ นาน 10 15 และ 20 นาที) ไม่มีผลให้ค่าพีเอชแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด และเมื่อพิจารณาผลของการทำใสต่อค่าพีเอชพบว่า น้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์นั้นมีค่าพีเอชไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ในทุกระดับอุณหภูมิ ($P \geq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากกรดมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่ารูพรุนกระดาษกรองเบอร์ 1 จึงสามารถลอดผ่านกระดาษกรองได้ และน้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใสจะถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ เป็นเวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมง ก่อนนำมาพาสเจอร์ไรซ์ จึงทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์ไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ส่งผลให้พีเอชของน้ำตาลโตนดหลังทำใสมีค่าไม่แตกต่างจากน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น

เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (คิดในรูปกรดแลกติก) ของน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรซ์พบว่า ปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์มีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 7) แสดงว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการพาสเจอร์ไรซ์ไม่มีผลต่อค่าปริมาณกรดทั้งหมด โดยน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีปริมาณกรดทั้งหมด โดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.031 0.036 และ 0.030 ตามลำดับ ส่วนน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาส

เจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีปริมาณกรดทั้งหมดโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.036 0.034 และ 0.033 ตามลำดับ (ตารางที่ 15) และเมื่อพิจารณาผลของการทำใสต่อปริมาณกรดทั้งหมดพบว่า น้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์นั้นมีปริมาณกรดทั้งหมดไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ในทุกระดับอุณหภูมิ ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 15)

และเมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์ทุกสภาวะการแปรรูปที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 1 สัปดาห์ นาน 4 สัปดาห์ พบว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลง ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น (ภาพประกอบที่ 24) ทั้งนี้อาจเกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 17) โดยเฉพาะจุลินทรีย์ในกลุ่มแบคทีเรียแลกติก ซึ่งแบคทีเรียแลกติกจะผลิตกรดแลกติกทำให้น้ำตาลโตนดมีพีเอชลดลง ซึ่งสังเกตได้จากข้อมูลในการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาในหัวข้อที่ 2.3 ผลของอุณหภูมิต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดสด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการทำใส อุณหภูมิและระยะเวลาในการพาสเจอร์ไรซ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าทั้ง 3 ปัจจัยไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างกันในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมด ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 12 และ 13)

ตารางที่ 15 สมบัติทางเคมีของน้ำตาลโตนดสด น้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านและผ่านการทำใส และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที

Chemical properties of fresh palm sap, non-clarified and clarified palm sap which was pasteurized at 70, 80 and 90°C for 15 minutes

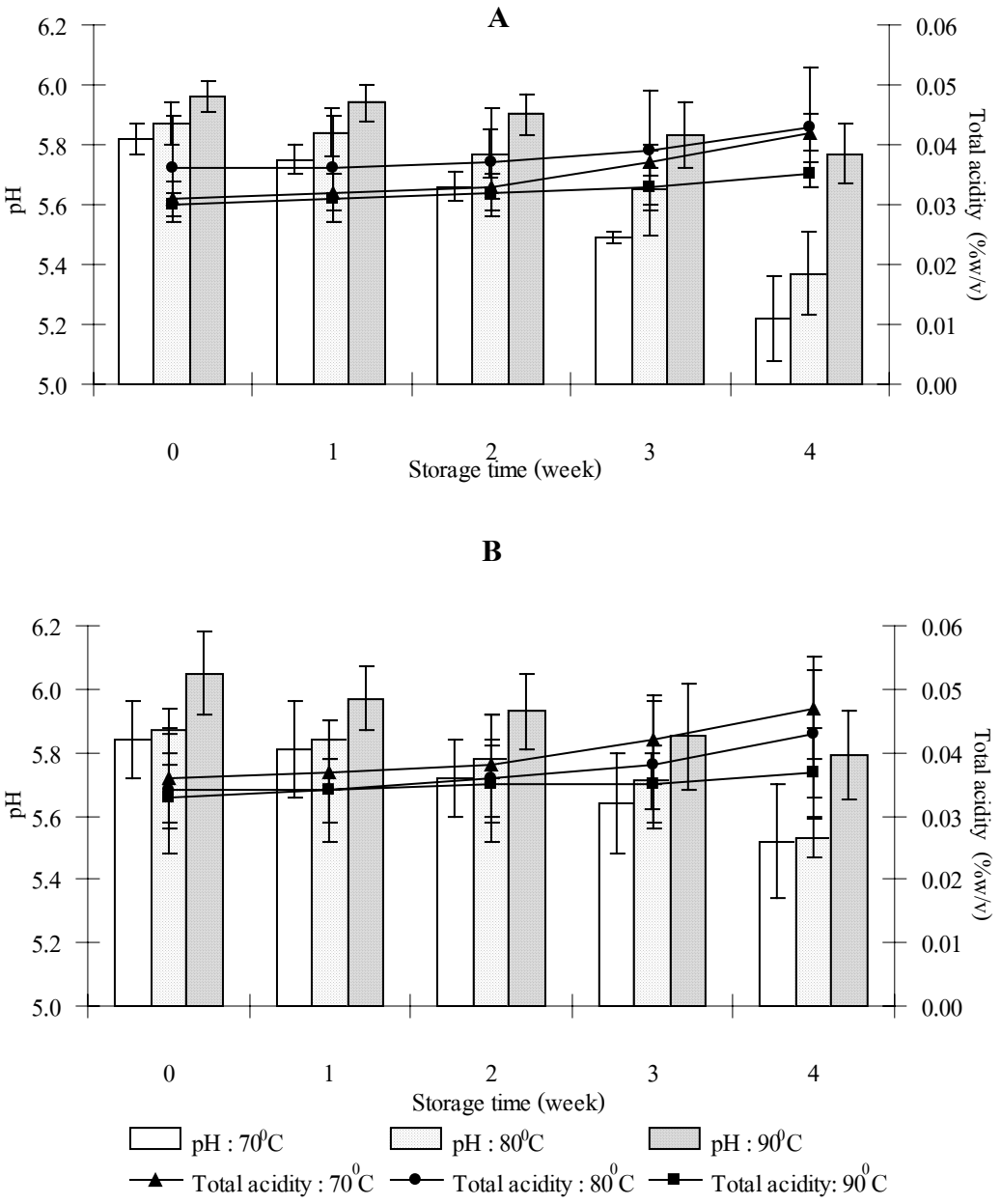
Pasteurization temperature (°C)	Treatment	pH	Total acidity (%w/v as lactic acid)	TSS (°Brix)	Reducing sugar (%w/w)	Total sugar (%w/w)	Total solid (%w/w)	PPO activity (10^{-4}ΔOD/min/g)	POD activity (10^{-4}ΔOD/min/g)	Invertase activity (10^{-3}unit/min/g)
Fresh palm sap*		5.83±0.11^{ns}	0.042±0.006^{ns}	12.40±0.00^{a}	0.44±0.03^{b}	11.69±0.39^{a}	1.28±0.03^{a}	22.27±2.9^{a}	1.67±0.08^{a}	55.06±3.47^{a}
70	Non-clarified	5.82±0.05^{ns}	0.031±0.003^{ns}	13.3±0.26^{b}	0.22±0.02^{a}	13.07±0.60^{b}	1.35±0.04^{b}	5.64±0.23^{bc}	0.82±0.03^{b}	45.77±6.85^{b}
	Clarified	5.84±0.12^{ns}	0.036±0.007^{ns}	13.4±0.20^{b}	0.22±0.02^{a}	13.24±0.38^{bc}	1.36±0.03^{b}	5.88±0.10^{b}	0.87±0.04^{b}	45.23±3.81^{b}
80	Non-clarified	5.87±0.07^{ns}	0.036±0.009^{ns}	13.97±0.25^{c}	0.22±0.03^{a}	13.47±0.88^{bc}	1.43±0.02^{c}	4.53±0.44^{bcd}	0.37±0.06^{c}	33.27±1.10^{c}
	Clarified	5.87±0.07^{ns}	0.034±0.010^{ns}	13.9±0.26^{c}	0.22±0.03^{a}	13.57±0.35^{bc}	1.46±0.04^{cd}	4.64±0.31^{bcd}	0.34±0.03^{c}	35.53±5.48^{c}
90	Non-clarified	5.96±0.05^{ns}	0.030±0.002^{ns}	14.77±0.32^{d}	0.23±0.03^{a}	14.23±0.34^{c}	1.52±0.03^{de}	3.41±0.17^{d}	0.25±0.02^{d}	13.33±1.62^{d}
	Clarified	6.05±0.13^{ns}	0.033±0.005^{ns}	15.07±0.12^{d}	0.23±0.03^{a}	14.17±0.60^{c}	1.52±0.03^{e}	3.57±0.10^{cd}	0.25±0.02^{d}	13.07±2.11^{d}

Note: * Chemical analysis was done 15 hours after starting palm sap collection.

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

The different superscripts in the same column denote the significant differences ($P \leq 0.05$).

^{ns}, not significant at $P \leq 0.05$



ภาพประกอบที่ 24 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่าน (A) และผ่านการทำใส (B) และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 4 สัปดาห์

Changes in pH and total acidity of non-clarified (A) and clarified (B) palm sap which was pasteurized at 70, 80 and 90°C for 15 minutes and during storage at 4°C for 4 weeks

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรซ์พบว่า น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 7) โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.30 13.97 และ 14.77 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใส และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.40 13.90 และ 15.07 องศาบริกซ์ ตามลำดับ (ตารางที่ 15) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของสุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547) ที่รายงานว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำตาลโตนดหลังผ่านการพาสเจอร์ไรซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากในระหว่างกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์นั้นมีน้ำบางส่วนระเหยออกไปในขณะให้ความร้อน และเมื่อพิจารณาผลของการทำใสต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดพบว่า น้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์นั้นมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ในทุกระดับอุณหภูมิ ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 15) ทั้งนี้เนื่องจากในการทำใสโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 นั้น อนุภาคที่เป็นพวกของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสามารถลอดผ่านรูพรุนของกระดาษกรองได้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรซ์พบว่า น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 7) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ โดยเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ในสภาวะที่ได้รับความร้อนสูง ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) โดยจะสอดคล้องคล้องกับค่าสีของน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งจะมีความทึบแสงและมีสีเหลืองปนน้ำตาล ดังนั้นจึงส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลง โดยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

ร้อยละ 0.22 0.22 และ 0.23 ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 °ซ นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.22 0.22 และ 0.23 ตามลำดับ (ตารางที่ 15) และเมื่อพิจารณาผลของการทำใสต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์พบว่า น้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์นั้น มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ในทุกระดับอุณหภูมิ ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 15)

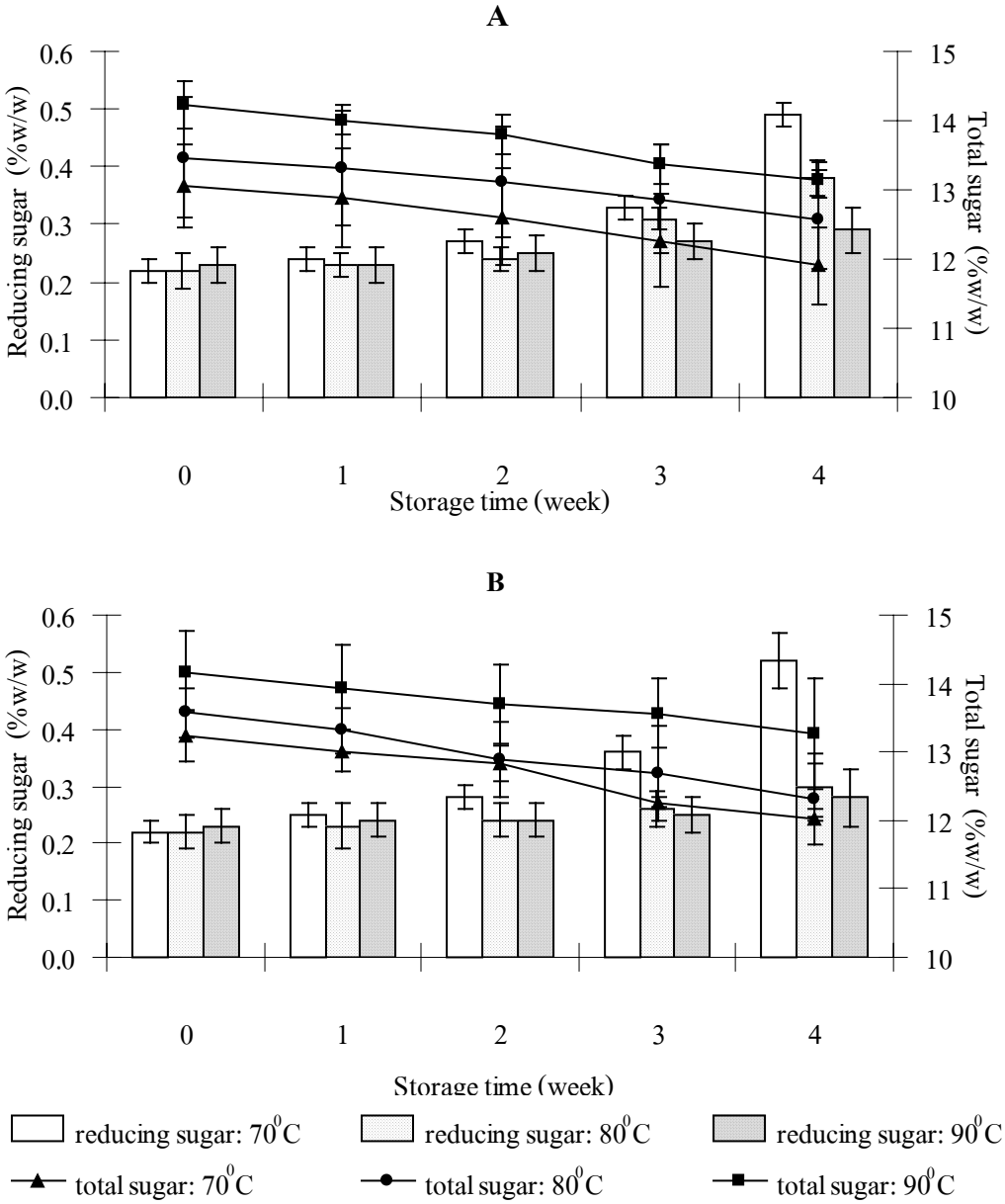
ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดหลังการพาสเจอร์ไรซ์พบว่า น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 7) โดยปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 13.07 13.47 และ 14.23 ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 13.24 13.57 และ 14.70 ตามลำดับ (ตารางที่ 15) ทั้งนี้อาจเกิดจากการระเหยของน้ำในระหว่างกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ และเมื่อพิจารณาผลของการทำใสต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดพบว่า น้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์นั้น มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ในทุกระดับอุณหภูมิ ($P \geq 0.05$)

และเมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 1 สัปดาห์ นาน 4 สัปดาห์ พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีแนวโน้มคงที่ ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 14) ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์นั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง (ภาพประกอบที่ 25) ทั้งนี้อาจ เกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 17) โดยเฉพาะ จุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์และแบคทีเรียแลกติก เนื่องจากยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์และแอลกอฮอล์ ขณะที่แบคทีเรียแลกติกจะมีการใช้น้ำตาลกลูโคสแล้วทำให้เกิด

เป็นกรดแลกติกขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง แต่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากกรดส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นยังคงเป็นของแข็งที่ละลายได้ แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการทำใส อุณหภูมิและระยะเวลาในการพาสเจอร์ไรซ์ และระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าทั้ง 3 ปัจจัยไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างกันในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 15 และ 16)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรซ์ พบว่า น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 7) โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.35 1.43 และ 1.52 ตามลำดับ ส่วนน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.36 1.46 และ 1.52 ตามลำดับ (ตารางที่ 15) ทั้งนี้อาจเกิดจากการระเหยของน้ำในระหว่างกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ และเมื่อพิจารณาผลของการทำใสต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดพบว่าน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์นั้นมีปริมาณของแข็งทั้งหมดไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ในทุกระดับอุณหภูมิ ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 15)

นอกจากนี้พบว่าเมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์ทุกสภาวะการแปรรูปที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 1 สัปดาห์ นาน 4 สัปดาห์ ปริมาณของแข็งทั้งหมดมีแนวโน้มคงที่ ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 17)



ภาพประกอบที่ 25 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่าน (A) และผ่านการทำใส (B) และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90(ซ นาน 15 นาที ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4(ซ นาน 4 สัปดาห์

Changes in reducing sugar and total sugar of non-clarified (A) and clarified (B) palm sap which was pasteurized at 70, 80 and 90(C for 15 minutes and during storage at 4(C for 4 weeks

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

ผลการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรซ์พบว่า น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์มีกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสลดลงแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด (P(0.05) (ตารางผนวกที่ 7) โดยการใช้อุณหภูมิ 90(ซ นาน 15 นาที สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับที่ระดับอุณหภูมิ 70 และ 80°ซ นาน 15 นาที โดยกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3.41x10^{-4}\Delta$OD/นาที/กรัม, $0.25x10^{-4}\Delta$OD/นาที/กรัม และ$13.33x10^{-3}$ หน่วย/นาที/กรัม ตามลำดับ ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3.57x10^{-4}$ ΔOD/นาที/กรัม, $0.25x10^{-4}\Delta$OD/นาที/กรัม และ$13.07x10^{-3}$หน่วย/นาที/กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 15) ทั้งนี้เป็นผลมาจากความร้อนมีผลทำให้เอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดนั้นเกิดการสูญเสียสภาพ และเมื่อพิจารณาผลของการทำใสต่อกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสพบว่า น้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์นั้นมีกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดในชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ในทุกระดับอุณหภูมิ ($P\geq0.05$) (ตารางที่ 15) ทั้งนี้การลดลงของกิจกรรมของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดนั้นน่าจะเป็นผลมาจากอุณหภูมิระดับพาสเจอร์ไรซ์โดยตรง เนื่องจากขนาดของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดนั้นมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของกระดาษกรองเบอร์ 1 ซึ่งสามารถลอดผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ไปได้

และเมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์ทุกสภาวะการแปรรูปที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 1 สัปดาห์ นาน 4 สัปดาห์ กิจกรรมของเอนไซม์โพลี

ฟีนอลออกซิเดส และเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมีแนวโน้มลดลง (ภาพประกอบที่ 26) ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพประกอบที่ 27) ทั้งนี้อาจเกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์และราในระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 17) ซึ่งจุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์สามารถผลิตเอนไซม์อินเวอร์เทสได้ (Reed and Nagodawithana, 1991) แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการทำใส อุณหภูมิและระยะเวลาในการพาสเจอร์ไรซ์ และระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าทั้ง 3 ปัจจัยไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างกันในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทส ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 18-20)

◁

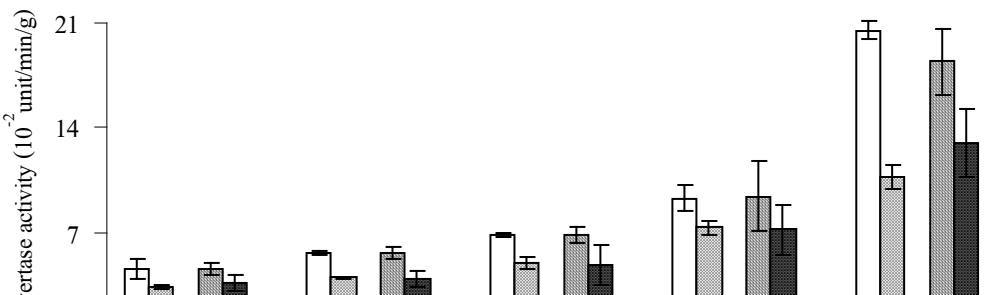
0 0 0

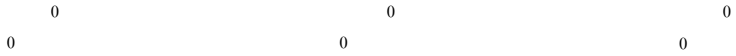
0 0 0

ภาพประกอบที่ 26 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านและผ่านการทำใส และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 4 สัปดาห์

Changes in polyphenoloxidase activity of non clarified and clarified palm sap which was pasteurized at 70, 80 and 90°C for 15 minutes and during storage at 4°C for 4 weeks

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.





ภาพประกอบที่ 27 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านและผ่านการทำใส และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 4 สัปดาห์

Changes in invertase activity of non-clarified and clarified palm sap which was pasteurized at 70, 80 and 90°C for 15 minutes and during storage at 4°C for 4 weeks

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

ในการวิเคราะห์ปริมาณสารที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ จะติดตามหาปริมาณสารที่ระเหยได้เพียง 7 ชนิด เท่านั้น ได้แก่ 3-hydroxy-2-butanone, 1,3-butanediol, 2,3-dihydrobenzofuran, 2-butoxyethanol, 1-hexanol, 1-octanol และ acetic acid ซึ่งสุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547) รายงานว่าสารให้กลิ่นรสหลักในน้ำตาลโตนดสดมี 2 ชนิด คือ 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol และเมื่อน้ำตาลโตนดผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ จะพบสารที่ระเหยได้ใหม่อีก 1 ชนิด คือ 2,3-dihydrobenzofuran และเมื่อน้ำตาลโตนดเกิดการเน่าเสียจะเกิดสารประกอบที่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ 4 ชนิด คือ 2-butoxyethanol, 1-hexanol, 1-octanol และ acetic acidโดยกำหนดสภาวะในการวิเคราะห์สารที่ระเหยได้โดยใช้ GC/MS แบบ Selected Ion Monitoring mode (SIM mode) ดังตารางผนวกที่ 2 ซึ่งในการติดตามสารที่ระเหยได้นั้นจะศึกษาเฉพาะน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านการทำใสเพียงชนิดเดียวเท่านั้น เนื่องจากการทำใส

ไม่มีผลทำให้สารที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดเปลี่ยนแปลงไปดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.2 เรื่องคุณภาพของน้ำตาลโตนดที่ผ่านกระบวนการทำใส นอกจากนี้น้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรซ์ และน้ำตาลโตนดที่ผ่านพาสเจอร์ไรซ์ในระหว่างการเก็บรักษา จะวิเคราะห์เฉพาะตัวอย่างที่มีจุลินทรีย์ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานจุลินทรีย์ที่อนุญาติให้มีในเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้สควอช (จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 500 โคโลนีต่อมิลลิลิตร จำนวนยีสต์และราไม่เกินกว่า 10 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519)) โดยตัวอย่างที่วิเคราะห์มีทั้งหมด 10 ตัวอย่าง ได้แก่ น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70°ซ สัปดาห์ที่ 0 และ 1 น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 80°ซ สัปดาห์ที่ 0 1 และ 2 และ น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 90°ซ สัปดาห์ที่ 0 1 2 3 และ 4

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์พบว่า พบสารที่ระเหยได้เพียงชนิดเดียวเท่านั้น คือ 3-hydroxy-2-butanone โดย 3-hydroxy-2-butanone จะมีปริมาณลดลงเมื่อระดับอุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรซ์เพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 16) โดยปริมาณ 3-hydroxy-2-butanone ในน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที จะมีปริมาณสาร 3-hydroxy-2-butanone เหลือเท่ากับร้อยละ 57.97 32.59 และ 10.56 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก 3-hydroxy-2-butanone บางส่วนระเหยไประหว่างการให้ความร้อน ซึ่งสอดคล้องรายงานของ Yen และ Lin (1999) ที่กล่าวว่าการใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์มีผลให้สารที่ระเหยได้ในน้ำฝรั่งมีปริมาณเหลืออยู่เท่ากับร้อยละ 63.48 และเมื่อวิเคราะห์น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์ตัวอย่างดังที่กล่าวข้างต้น พบว่า 3-hydroxy-2-butanone มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (ตารางที่ 16) ส่วนสารที่ระเหยได้ที่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์นั้นพบว่า ตรวจไม่พบในน้ำตาลโตนดที่นำมาวิเคราะห์ทั้ง 10 ตัวอย่าง

ตารางที่ 16 ปริมาณสารที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านการทำใส และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 4 สัปดาห์

Volatile compounds of non-clarified palm sap which was pasteurized at 70, 80 and 90°C for 15 minutes and during storage at 4°C for 4 weeks

Pasteurization temperature (°C)	Storage time (week)	Relative peak area (%)*						
		3-hydroxy-2-butanone	1,3-butanediol	2-butoxyethanol	1-hexanol	1-octanol	acetic acid	2,3-dihydro benzofuran
Fresh palm sap		100.00	nd	nd	nd	nd	nd	nd
70	0	57.97	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	1	38.84	nd	nd	nd	nd	nd	nd
80	0	32.39	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	1	32.09	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	2	31.90	nd	nd	nd	nd	nd	nd
90	0	10.56	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	1	10.23	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	2	9.22	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	3	9.80	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	4	6.20	nd	nd	nd	nd	nd	nd

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

Volatile compounds in fresh palm sap were analyzed within 15 hours after starting palm sap collection.

nd : not detected

4.3 สมบัติทางจุลชีววิทยา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรซ์ พบว่าการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลง โดยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์

ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าเท่ากับ 183 85.7 และ 0 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนน้ำตาลโตนดที่ผ่านการทำใสและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีค่าเท่ากับ 159 57.7 และ 0 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 17) ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้สควอช (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519) ซึ่งกำหนดว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 500 โคโลนีต่อมิลลิลิตร และเมื่อพิจารณาผลของการทำใส พบว่าไม่มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ทั้งนี้การลดลงของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน่าจะเป็นผลมาจากอุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรซ์โดยตรง ไม่เกี่ยวข้องกับการทำใสเนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มหลักในน้ำตาลโตนด ซึ่งได้แก่ แบคทีเรียแลกติก และยีสต์และรา มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงที่เล็กกว่าขนาดของรูพรุนของกระดาษกรองเบอร์ 1 (ขนาดรูพรุนเท่ากับ 11 ไมครอน) (ดัดแปลงจาก Singleton and Sainsbury, 1987) จึงสามารถลอดผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ไปได้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียแลกติกในน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรซ์ พบว่าแบคทีเรียแลกติกในน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านและผ่านการทำใส และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีปริมาณน้อยกว่า 1 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 17) เนื่องจากแบคทีเรียแลกติกจะถูกทำลายได้ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 60°ซ นาน 30 นาที (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และราในน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรซ์ พบว่าพบยีสต์และราในน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านและผ่านการทำใส และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที มีปริมาณน้อยกว่า 1 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 17) เนื่องจากยีสต์และราเป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ทนต่อความร้อนจะถูกทำลายได้ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 60°ซ นาน 5-10 นาที (วราวุฒิ ครูส่ง, 2538)

นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 1 สัปดาห์ นาน 4 สัปดาห์ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรียแลกติก และปริมาณยีสต์และรามีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ยกเว้นในน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านและผ่านการทำใส และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับ

อุณหภูมิ 90°ซ นาน 15 นาที ซึ่งจะตรวจพบปริมาณแบคทีเรียแลกติก และปริมาณยีสต์และรามีปริมาณน้อยกว่า 1 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 18) และเมื่อพิจารณาเกณฑ์มาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้สควอช ซึ่งกำหนดว่าต้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 500 โคโลนีต่อมิลลิลิตร จำนวนยีสต์และราไม่เกินกว่า 10 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519) พบว่าน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านและผ่านการทำใส และผ่านการ พาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 70°ซ นาน 15 นาที สามารถเก็บรักษาได้ 1 สัปดาห์ ส่วนน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านและผ่านการทำใส และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 80°ซ นาน 15 นาที นั้นสามารถเก็บรักษาได้ 2 สัปดาห์ และสำหรับน้ำตาลโตนดที่ไม่ ผ่านและผ่านการทำใส และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ระดับอุณหภูมิ 90°ซ นาน 15 นาที นั้นสามารถเก็บรักษาได้นาน 4 สัปดาห์ โดยที่ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ไม่เกินมาตรฐาน

ตารางที่ 17 สมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดสด น้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านและผ่านการทำใส และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที

Microbiological properties of fresh palm sap, non-clarified and clarified palm sap which was pasteurized at 70, 80 and 90°C for 15 minutes

Pasteurization temperature (°C)	Treatment	Total viable count (CFU/ml)	Lactic acid bacteria (CFU/ml)	Yeast and mould (CFU/ml)
Fresh palm sap*		4.49×10^{7}	4.03×10^{5}	6.22×10^{6}
70	Non-clarified	1.83×10^{2}	< 1	< 1
	Clarified	1.59×10^{2}	< 1	< 1
80	Non-clarified	8.57×10^{1}	< 1	< 1
	Clarified	5.77×10^{1}	< 1	< 1
90	Non-clarified	< 1	< 1	< 1
	Clarified	< 1	< 1	< 1

Note : * Microbiological analysis was done 15 hours after starting palm sap collection.

Each value is the mean of triplicate determination.

ตารางที่ 18 สมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดที่ไม่ผ่านและผ่านการทำใส และผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90°ซ นาน 15 นาที ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 4 สัปดาห์

Microbiological properties of non-clarified and clarified palm sap which was pasteurized at 70, 80 and 90°C for 15 minutes and during storage at 4°C for 4 weeks

Pasteurization temperature (°C)	Treatment	Storage time (week)	Total viable count (CFU/ml)	Lactic acid bacteria (CFU/ml)	Yeast and mold (CFU/ml)
70	Non-clarified	0	$1.83x10^{2}$	< 1	< 1
		1	$3.68x10^{2}$	< 1	< 1
		2	$5.77x10^{2}$	$4.00x10^{1}$	$1.54x10^{2}$
		3	$3.67x10^{3}$	$1.59x10^{2}$	$8.54x10^{2}$
		4	$8.58x10^{4}$	$7.37x10^{3}$	$3.60x10^{4}$
	Clarified	0	$1.59x10^{2}$	< 1	< 1
		1	$3.10x10^{2}$	< 1	< 1
		2	$5.95x10^{2}$	$6.48x10^{1}$	$1.28x10^{2}$
		3	$1.37x10^{3}$	$1.91x10^{2}$	$6.45x10^{2}$
		4	$1.96x10^{4}$	$1.28x10^{3}$	$4.89x10^{3}$
80	Non-clarified	0	$8.57x10^{1}$	< 1	< 1
		1	$1.37x10^{2}$	< 1	< 1
		2	$2.43x10^{2}$	< 1	< 1
		3	$5.95x10^{2}$	$4.30x10^{1}$	$5.67x10^{1}$
		4	$1.35x10^{3}$	$2.03x10^{2}$	$5.99x10^{2}$
	Clarified	0	$5.77x10^{1}$	< 1	< 1
		1	$1.96x10^{2}$	< 1	< 1
		2	$2.84x10^{2}$	< 1	< 1
		3	$6.19x10^{2}$	$3.03x10^{1}$	$8.30x10^{1}$
		4	$1.18x10^{3}$	$1.03x10^{2}$	$4.56x10^{2}$

ตารางที่ 18 (ต่อ)

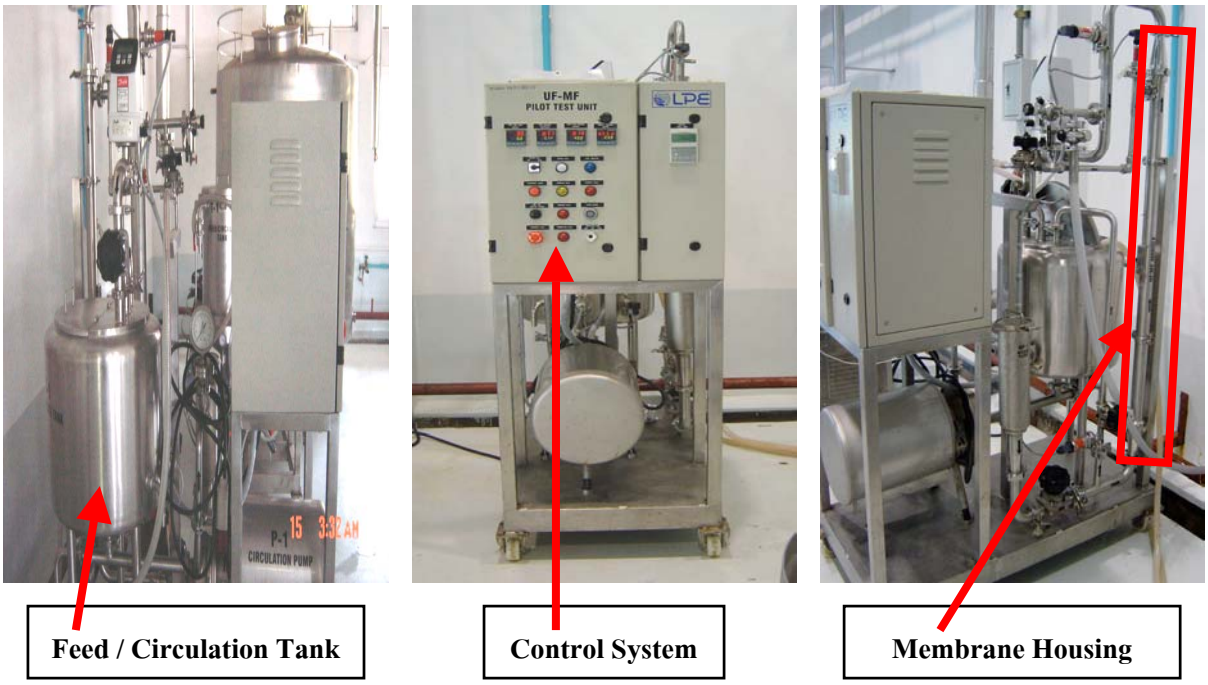
Pasteurization temperature ((C)	**Treatment**	Storage time (week)	Total viable count (CFU/ml)	Lactic acid bacteria (CFU/ml)	Yeast and mold (CFU/ml)
90	Non-clarified	0	< 1	< 1	< 1
		1	< 1	< 1	< 1
		2	6.83x101	< 1	< 1
		3	9.83x101	< 1	< 1
		4	1.70x102	< 1	< 1
	Clarified	0	< 1	< 1	< 1
		1	< 1	< 1	< 1
		2	4.44x101	< 1	< 1
		3	9.57x101	< 1	< 1
		4	2.08x102	< 1	< 1

Note : Each value is the mean of triplicate determination.

5. ผลของการใช้เมมเบรนต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดสด

ในการศึกษาผลของการใช้เมมเบรนต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดสด จะศึกษาโดยใช้เมมเบรน 2 กระบวนการ คือกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (เมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน) และกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน (เมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน) โดยใช้เครื่องกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน-ไมโครฟิลเตรชัน ระดับต้นแบบ (ภาพประกอบที่ 28)โดยก่อนเข้าสู่ระบบการกรอง น้ำตาลโตนดจะถูกนำมาให้ความร้อนจนอุณหภูมิของน้ำตาลโตนดเท่ากับ 50°ซ (ใช้เวลาไม่เกิน 20 นาที) ซึ่งในการกรองน้ำตาลโตนดจะกรองด้วยระบบการกรองแบบไหลขวางที่มีอัตราเร็วของสารป้อนคงที่ 2.5 เมตรต่อวินาที และมีความดันขับ (Transmembrane pressure : TMP) 1.5 และ 1.0 บาร์ ที่เมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน ตามลำดับ และที่ความดันขับ 2.5 และ 2.0 บาร์ ที่เมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน ตามลำดับ โดยมีควบคุมอุณหภูมิในการกรองที่อุณหภูมิ 50°ซ ตลอดเวลา ดำเนินการกรองแบบกะโดยแยกส่วนของเพอมิเอทออกเก็บในถังที่ผ่านการลวกน้ำร้อน และส่วนของรีเทนเทตจะถูกป้อนกลับเพื่อ

ผ่านระบบการกรองอีกครั้ง โดยสิ้นสุดการกรองเมื่อมีค่าเปอร์เซ็นต์การแยกกลับ (% recovery) มากกว่าหรือเท่ากับ 60 โดยคำนวณจากสัดส่วนปริมาตรของเพอมิเอทต่อปริมาตรของสารเริ่มต้น ซึ่งภายหลังกระบวนการกรองผลิตภัณฑ์ที่ได้แสดงดังภาพประกอบที่ 29 จากนั้นนำน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี โดยมีระยะเวลานับตั้งแต่กระบวนการกรองจนถึงวิเคราะห์ไม่เกิน 3 ชั่วโมง และคัดเลือกน้ำตาลโตนดส่วน เพอมิเอทที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดไปใช้ในการศึกษาในขั้นตอนการเก็บรักษาต่อไป



ภาพประกอบที่ 28 เครื่องกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน-ไมโครฟิลเตรชัน ระดับต้นแบบ Ultrafiltration-Microfiltration pilot test unit

ภาพประกอบที่ 29 น้ำตาลโตนดสด น้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทต และน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทภายหลังกระบวนการกรองโดยใช้เมมเบรน

Fresh palm sap, retentated palm sap and permeated palm sap after membrane filtration

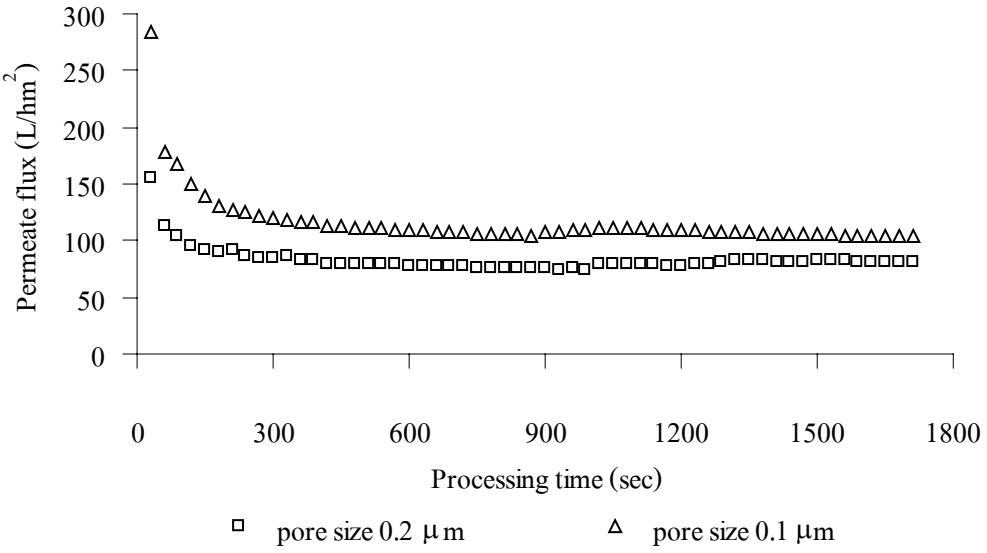
Note : A : Fresh palm sap; B : Retentated palm sap; C : Permeated palm sap

5.1 ผลของกระบวนการไมโครฟิลเตรชันต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดสด

5.1.1 อัตราการไหลของเพอมิเอท

จากการวัดอัตราการไหลของเพอมิเอทระหว่างกระบวนการไมโครฟิลเตรชันของเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน พบว่าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง โดยในช่วงแรกเป็นช่วงที่อัตราการไหลของเพอมิเอทนั้นมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นก็เข้าสู่ช่วงที่อัตราการไหลของเพอมิเอทมีค่าลดลงอย่างช้าๆ อย่างต่อเนื่อง จนมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ ดังภาพประกอบที่ 30 โดยในช่วงแรกอัตราการไหลของเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 284 และ 154 L/hm^2 ตามลำดับ และเมื่อผ่านไปประมาณ 10 นาทีพบว่า อัตราการไหลของเพอมิเอทมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 110 และ 80 L/hm^2 เมื่อผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Carneiro และคณะ (2002) ซึ่งรายงานว่าอัตราการไหลของเพอมิเอทจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 5 นาทีแรก ซึ่งทั้งนี้เป็นผลมาจากการเกิดปรากฏการณ์คอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน หลังจากนั้นอัตราการไหลของเพอมิเอทจะเริ่มลดลงอย่างช้าๆ และมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากถึงจุดสมดุล

ของการเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน และเริ่มเกิดเป็นชั้นเจลจากปรากฏการณ์คอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันขึ้น (Chiampo and Conti, 1999) แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่าอัตราการไหลของเพอมิเอทระหว่างเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน จะเห็นได้ว่าน้ำตาลโตนดที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน มีค่าอัตราการไหลของเพอมิเอทต่ำกว่าน้ำตาลโตนดที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน ทั้งนี้อาจเนื่องจากน้ำตาลโตนดที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน อาจเกิดการอุดตันของรูพรุน (pore blocking) ขึ้นในช่วงแรกจากอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ในน้ำตาลโตนด



ภาพประกอบที่ 30 ค่าอัตราการไหลส่วนเพอมิเอทของน้ำตาลโตนดระหว่างกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน

Permeate flux during a microfiltration process of palm sap

5.1.2 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดภายหลังกระบวนการไมโครฟิลเตรชันที่วิเคราะห์ ได้แก่ ค่าสี และค่าการทะลุผ่านของแสง โดยน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทและน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตจะมีค่าสีแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \leq 0.05$) (ตารางภาคผนวกที่ 21) โดยค่า L ของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 98.36 และ 97.27 ตามลำดับ ขณะที่ค่า L ของน้ำตาลโตนด

สดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 73.98 ส่วนค่า L ของน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 46.91 และ 44.97 เมื่อใช้เมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน ตามลำดับ (ตารางที่ 19) จะเห็นได้ว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทจะมีความสว่างสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อผ่านกระบวนการกรองอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะถูกกักเก็บไว้ในน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทต ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Matta และคณะ (2004) ซึ่งรายงานว่าการใช้เมมเบรนขนาด 0.3 ไมครอน กรองน้ำ acerola มีผลให้น้ำ acerola มีความใสเพิ่มขึ้น โดยมีความสว่างเพิ่มขึ้นร้อยละ 33.96 และนอกจากนี้พบว่าค่า a และ b ของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน มีค่าลดลงแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทต ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 19) ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ที่เกิดจากการรวมตัวกันระหว่างสารให้สีซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิก กับโปรตีนถูกกักเก็บไว้ในส่วนรีเทนเทต จึงส่งผลให้น้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทมีสีที่อ่อนลง และเมื่อพิจารณาค่าสีระหว่างน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน พบว่าขนาดของเมมเบรนที่ใช้ไม่มีผลให้ค่าสีของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทแตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 19)

ผลการวิเคราะห์ค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดที่ผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันพบว่า น้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าการทะลุผ่านของแสงแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \leq 0.05$) (ตารางภาคผนวกที่ 21) โดยค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 99.02 และ 98.10 เมื่อผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน ตามลำดับ ขณะที่น้ำตาลโตนดสดมีค่าการทะลุผ่านของแสงเฉลี่ยเท่ากับ 65.98 ส่วนน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าการทะลุผ่านของแสงเฉลี่ยเท่ากับ 28.35 และ 26.82 เมื่อใช้เมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน ตามลำดับ (ตารางที่ 19) จะเห็นได้ว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทจะมีความใสสูงที่สุด ทั้งนี้เป็นผลมาจากอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ในน้ำตาลโตนดไม่สามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนได้ ถูกกักเก็บไว้ในส่วนรีเทนเทต (Girard and Fukumoto, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Carneiro และคณะ (2002) ที่ทดลองกรองน้ำสับปะรดผ่านเมมเบรนขนาด 0.3 ไมครอน ที่รายงานว่าน้ำสับปะรดที่ได้จะมีความสว่างเพิ่มมากขึ้นและมีค่าความขุ่นลดลง และเมื่อพิจารณาค่าการทะลุผ่านของแสง

ระหว่างน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน พบว่าขนาดของเมมเบรนที่ใช้ไม่มีผลให้ค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทแตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 19)

ตารางที่ 19 สมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดสด น้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตระหว่างกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน
Physical properties of fresh palm sap, permeate palm sap and retentate palm sap during the steps of microfiltration process

Properties	Fresh palm	Permeate		Retentate	
	sap*	0.1 μm	0.2 μm	0.1 μm	0.2 μm
Color L	73.98±2.21^{b}	98.36±0.40^{c}	97.27±0.90^{c}	46.91±1.51^{a}	44.97±1.78^{a}
a	2.44±0.42^{b}	-0.06±0.07^{a}	0.04±0.11^{a}	2.58±0.16^{b}	2.92±0.28^{b}
b	13.63±1.41^{c}	3.37±0.60^{a}	4.75±1.55^{a}	10.20±0.60^{b}	11.27±1.01^{b}
Transmittance (%) at 650 nm	65.98±2.32^{b}	99.02±0.37^{c}	98.10±0.52^{c}	28.35±1.63^{a}	26.82±2.07^{a}

Note: * Physical characteristic was done 15 hours after starting palm sap collection.
Physical characteristic was done 3 hours after starting microfiltration process.
Each value is the mean of triplicate determination±standard deviation.
The different superscripts in the same column denote the significant differences ($P \leq 0.05$).

5.1.3 สมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลโตนดหลังผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน พบว่าค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 21) โดยค่าพีเอชของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.01 และ 5.45 ตามลำดับ ขณะที่ค่า

พีเอชของน้ำตาลโตนดสดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.18 ส่วนค่าพีเอชน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.99 และ 5.45 เมื่อใช้เมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน ตามลำดับ (ตารางที่ 20) สำหรับปริมาณกรดทั้งหมด พบว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทมีปริมาณกรดทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.07 และ 0.06 เมื่อผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน ตามลำดับ ขณะที่น้ำตาลโตนดสดมีปริมาณกรดทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.085 ส่วนน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีปริมาณกรดทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.07 และ 0.06 เมื่อใช้เมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน ตามลำดับ (ตารางที่ 20) ทั้งนี้เนื่องจากกรดเป็นสารที่มีอนุภาคขนาดเล็กสามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนได้โดยไม่ถูกกักเก็บไว้ในส่วนรีเทนเทต ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Carneiro และคณะ (2002) ซึ่งรายงานว่าน้ำสัปปะรดส่วนเพอมิเอทและรีเทนเทตที่กรองผ่านเมมเบรนขนาด 0.3 ไมครอน มีค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดไม่แตกต่างกับน้ำสัปปะรดเริ่มต้น ($P \geq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำตาลโตนดหลังผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน พบว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 21) โดยน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 9.67 และ 9.80 องศาบริกซ์ เมื่อผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน ตามลำดับ ขณะที่ในน้ำตาลโตนดสดมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 10.03 องศาบริกซ์ ส่วนน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 10.00 และ 9.87 องศาบริกซ์ เมื่อใช้เมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน ตามลำดับ (ตารางที่ 20) แสดงว่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ซึ่งได้แก่ พวกกรด และน้ำตาล ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำตาลโตนดสามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนได้ ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคเหล่านี้จัดเป็นพวกที่มีอนุภาคขนาดเล็กเมื่อเทียบกับรูพรุนของเมมเบรน จึงไม่ถูกกักเก็บไว้ในส่วนรีเทนเทต (Girard and Fukumoto, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Carneiro และคณะ (2002) ซึ่งรายงานว่าน้ำสัปปะรดส่วนเพอมิเอทและรีเทนเทตที่กรองผ่านเมมเบรนขนาด 0.3 ไมครอน มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกับน้ำสัปปะรดเริ่มต้น ($P \geq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดหลังผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน พบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 21) ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 21) โดยน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 20) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทนั้นมีค่าไม่แตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 20) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลนั้นจัดเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กซึ่งสามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนได้ โดยไม่ถูกกักเก็บไว้ในส่วนรีเทนเทต (Girard and Fukumoto, 2000) แต่ทั้งนี้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในส่วนรีเทนเทตนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด และน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 20) โดยน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.46 และ 1.27 เมื่อใช้เมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน ตามลำดับ ขณะที่น้ำตาลโตนดสดเริ่มต้นมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.80 ส่วนน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.60 และ 0.57 เมื่อผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตนั้นสอดคล้องกับผลการทดลองเรื่องผลของอุณหภูมิต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดสด ซึ่งการเก็บน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิ 50°ซ นั้นจะส่งผลให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มสูงขึ้น (ภาพประกอบที่ 16) เนื่องจากจุลินทรีย์หลักในน้ำตาลโตนด (ถูกกักเก็บไว้ในส่วนรีเทนเทตไม่สามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนได้) ซึ่งได้แก่ ยีสต์สามารถผลิตเอนไซม์อินเวอร์เทส ซึ่งจะย่อยน้ำตาลซูโครสไปเป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตสได้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำตาลโตนดหลังผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \geq 0.05$)

(ตารางผนวกที่ 21) โดยน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.19 และ 1.24 เมื่อผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน ตามลำดับ ขณะที่น้ำตาลโตนดสดมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.27 ส่วนน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.24 และ 1.28 เมื่อใช้เมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน ตามลำดับ (ตารางที่ 19) โดยสอดคล้องกับการทดลองของ Carneiro และคณะ (2002) ซึ่งรายงานว่าภายหลังการกรองน้ำสับปะรดด้วยเมมเบรนขนาด 0.3 ไมครอน ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำสับปะรดเริ่มต้น ส่วนเพอมิเอท และรีเทนเทตมีค่าไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดที่ผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 21) โดยกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.79×10^{-3} ΔOD/นาที/กรัม 1.78×10^{-4} ΔOD/นาที/กรัม และ 2.31×10^{-2} หน่วย/นาที/กรัม ตามลำดับ และกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่กรองผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.45×10^{-3} ΔOD/นาที/กรัม 1.96×10^{-4} ΔOD/นาที/กรัม และ 2.58×10^{-3} หน่วย/นาที/กรัม ตามลำดับ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 20 ซึ่งแสดงว่าเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และเอนไซม์อินเวอร์เทสสามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอนได้ โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และเอนไซม์อินเวอร์เทสมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 128 135 และ 40 กิโลดาลตัน ตามลำดับ (Reed, 1975)

ตารางที่ 20 สมบัติทางเคมีของน้ำตาลโตนดสด น้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตระหว่างกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน

Chemical properties of fresh palm sap, permeate palm sap and retentate palm sap during the steps of microfiltration process

Properties	Fresh palm sap*	Permeate		Retentate	
		0.1 μm	0.2 μm	0.1 μm	0.2 μm
TSS (°Brix)	10.03±0.15^{ns}	9.67±0.50^{ns}	9.80±0.20^{ns}	10.00±0.20^{ns}	9.87±0.12^{ns}
pH	5.18±0.31^{ns}	5.01±0.30^{ns}	5.45±0.16^{ns}	4.99±0.20^{ns}	5.45±0.16^{ns}
Total acidity (% w/v as lactic acid)	0.085±0.01^{ns}	0.07±0.02^{ns}	0.06±0.003^{ns}	0.07±0.02^{ns}	0.06±0.01^{ns}
Reducing sugar (%w/w)	0.80±0.14^{a}	0.60±0.08^{a}	0.57±0.13^{a}	1.46±0.38^{b}	1.27±0.21^{b}
Total sugar (%w/w)	11.19±0.41^{ns}	10.38±0.54^{ns}	11.01±0.20^{ns}	11.40±0.93^{ns}	11.23±0.45^{ns}
Total solid (%w/w)	1.27±0.06^{ns}	1.19±0.08^{ns}	1.24±0.01^{ns}	1.24±0.07^{ns}	1.28±0.01^{ns}
Polyphenoloxidase activity ($10^{-3}\Delta$OD /min/g)	2.46±0.21^{ns}	2.79±0.19^{ns}	2.45±0.48^{ns}	2.76±0.19^{ns}	2.42±0.33^{ns}
Peroxidase activity ($10^{-4}\Delta$OD /min/g)	1.77±0.16^{ns}	1.78±0.08^{ns}	1.96±0.22^{ns}	1.74±0.12^{ns}	2.08±0.46^{ns}
Invertase activity (10^{-2} unit/min/g)	2.43±0.25^{ns}	2.31±0.27^{ns}	2.58±0.23^{ns}	2.38±0.44^{ns}	2.67±0.26^{ns}

Note: * Chemical characteristic was done 15 hours after starting palm sap collection.

Chemiical characteristic was done 3 hours after starting microfiltration process.

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

The different superscripts in the same column denote the significant differences ($P \leq 0.05$).

^{ns}, not significant at $P \leq 0.05$

ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดหลังผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน จะวิเคราะห์ติดตามหาปริมาณสารที่ระเหยได้เพียง 6 ชนิดเท่านั้น ได้แก่ 3-hydroxy-2-butanone, 1,3-butanediol, 2-butoxyethanol, 1-hexanol,

1-octanol และ acetic acid ซึ่งได้มาจากข้อมูลของสุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547) ที่รายงานว่าสารให้กลิ่นรสหลักในน้ำตาลโตนดสดมี 2 ชนิด คือ 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol และเมื่อน้ำตาลโตนดเกิดการเน่าเสียจะเกิดสารที่ระเหยได้ที่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ 4 ชนิด คือ 2-butoxyethanol, 1-hexanol, 1-octanol และ acetic acid โดยกำหนดสภาวะในการวิเคราะห์สารที่ระเหยได้โดยใช้ GC/MS แบบ Selected Ion Monitoring mode (SIM mode) ดังตารางผนวกที่ 2 ซึ่งน้ำตาลโตนดที่นำมาวิเคราะห์จะประกอบด้วย น้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทและน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทต โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณสารที่ระเหยได้ภายหลังกระบวนการไมโครฟิลเตรชันพบว่า พบสารที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทและน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตเพียง 1 ชนิดเท่านั้น คือ 3-hydroxy-2-butanone โดยที่เมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน มีปริมาณ 3-hydroxy-2-butanone ในน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทและน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 47.98 และ 31.48 ตามลำดับ ส่วนที่เมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน มีปริมาณ 3-hydroxy-2-butanone ในน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทและน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 59.87 และ 24.47 ตามลำดับ (ตารางที่ 21) จะเห็นได้ว่าปริมาณของ 3-hydroxy-2-butanone ในน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทมีค่าสูงกว่าน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทต แสดงว่า 3-hydroxy-2-butanone สามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนได้ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณ 3-hydroxy-2-butanone ระหว่างน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน พบว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรน ขนาด 0.2 ไมครอน มีปริมาณของ 3-hydroxy-2-butanone สูงกว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากขนาดรูพรุนที่ใหญ่กว่าอาจมีผลทำให้ 3-hydroxy-2-butanone สามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนไปได้มากกว่า

ตารางที่ 21 ปริมาณ 3-hydroxy-2-butanone ในน้ำตาลโตนดสด น้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตระหว่างกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน
3-hydroxy-2-butanone content in fresh palm sap, permeate palm sap and retentate palm sap during the steps of microfiltration process

Treatment	Relative peak area (%) of 3-hydroxy-2-butanone *	
	Pore size 0.1 μm	Pore size 0.2 μm
Fresh palm sap	100.00	100.00
Retentate	31.48	24.47
Permeate	47.98	59.87

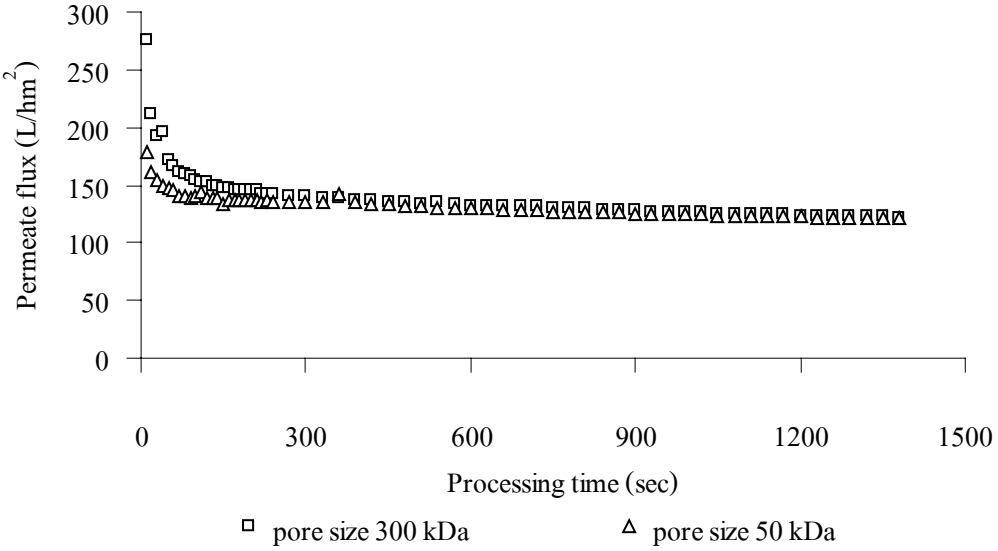
Note: * Relative peak area (%) is calculated based on specific peak area of each volatile compound in fresh palm sap.

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำตาลโตนดหลังผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันของเมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.2 ไมครอน จะเห็นได้ว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนทั้ง 2 ขนาด จะมีความใสมาก และมีสีที่อ่อนลงเมื่อเทียบกับน้ำตาลโตนดสด ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งได้แก่ พวกคอลลอยด์ และสารแขวนลอยในน้ำตาลโตนด ไม่สามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนได้ และเมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนทั้ง 2 ขนาด พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \geq 0.05$) ยกเว้นปริมาณสารที่ระเหยได้ที่มีค่าลดลง ดังนั้นในการคัดเลือกน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด เพื่อไปใช้ในการศึกษาในขั้นตอนของการเก็บรักษานั้นจะพิจารณาจากปริมาณสารที่ระเหยได้ โดยจะคัดเลือกน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน ไปใช้ในการศึกษาในขั้นตอนของการเก็บรักษา เนื่องจากมีปริมาณสารที่ระเหยได้สูงกว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน

5.2 ผลของกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดสด

5.2.1 อัตราการไหลของเพอมิเอท

จากการวัดอัตราการไหลของเพอมิเอทระหว่างกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันของเมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน พบว่าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วงโดยในช่วงแรกเป็นช่วงที่อัตราการไหลของเพอมิเอทมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นก็เข้าสู่ช่วงที่อัตราการไหลของเพอมิเอทมีค่าลดลงอย่างช้าๆ อย่างต่อเนื่อง จนมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ ดังภาพประกอบที่ 31 โดยในช่วงแรกอัตราการไหลของเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 178 และ 275 L/hm^2 ตามลำดับ และเมื่อผ่านไปประมาณ 10 นาที พบว่าอัตราการไหลของเพอมิเอทมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 130 L/hm^2 เมื่อผ่านเมมเบรนทั้ง 2 ขนาด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Brujin และคณะ (2002) ที่รายงานว่าการลดลงของอัตราการไหลของเพอมิเอทสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระยะ คือ ในช่วง 5 นาทีแรกจะมีการลดลงของอัตราการไหลของเพอมิเอทอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นก็จะมีการลดลงอย่างต่อเนื่องช้าๆ ซึ่งในการลดลงช่วงแรกอย่างรวดเร็วนั้นเกิดจากการดูดซับของคอลลอยด์บนผิวหน้าของเมมเบรน และเริ่มเกิดชั้นคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันขึ้น ส่วนการลดลงในระยะที่สองเป็นการลดลงของอัตราการไหลของเพอมิเอทอย่างช้าๆ เนื่องจากการถึงจุดสมดุลของการเกิดชั้นคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันจนเกิดเป็นชั้นหนาของเจลขึ้น



ภาพประกอบที่ 31 ค่าอัตราการไหลส่วนเพอมิเอทของน้ำตาลโตนดระหว่างกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน

Permeate flux during a ultrafiltration process of palm sap

5.2.2 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดภายหลังกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันที่วิเคราะห์ ได้แก่ ค่าสี และค่าการทะลุผ่านของแสง โดยน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตจะมีค่าสีแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \leq 0.05$) (ตารางภาคผนวกที่ 23) โดยค่า L ของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 98.04 และ 97.14 ตามลำดับ ขณะที่ค่า L ของน้ำตาลโตนดสดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.46 ส่วนค่า L ของน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 46.18 และ 48.32 เมื่อใช้เมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 22) จะเห็นได้ว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทจะมีความสว่างสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อผ่านกระบวนการกรองอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะถูกกักเก็บไว้ในน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทต ส่วนค่า a และ b ของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน จะมีค่าลดลงแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทต ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 22) ทั้งนี้เนื่องมาจากกระบวนการอัล

ตราฟิลเตรชันนั้นสามารถกำจัดอนุภาคที่ทำให้เกิดสีได้ โดยการกักเก็บไว้ในส่วนรีเทนเทต (Hamachi *et al.*, 2003) และเมื่อพิจารณาค่าสีระหว่างน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน พบว่าขนาดของเมมเบรนที่ใช้ไม่มีผลให้ค่าสีของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทแตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 22)

ผลการวิเคราะห์ค่าการทะลุผ่านของแสงที่ผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าการทะลุผ่านของแสงแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 23) โดยค่าการทะลุผ่านของแสงในน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 98.78 และ 98.72 เมื่อผ่านเมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน ตามลำดับ ขณะที่ในน้ำตาลโตนดสดมีค่าการทะลุผ่านของแสงเฉลี่ยเท่ากับ 65.41 ส่วนน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าการทะลุผ่านของแสงเฉลี่ยเท่ากับ 29.97 และ 32.29 เมื่อใช้เมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 22) จะเห็นได้ว่าน้ำตาลโตนดน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทจะมีความใสมากที่สุด ทั้งนี้เป็นผลมาจากอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ในน้ำตาลโตนดส่วนใหญ่นั้นถูกกักเก็บไว้ในส่วนรีเทนเทต (Girard and Fukumoto, 2000) และเมื่อพิจารณาค่าการทะลุผ่านของแสงระหว่างน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน พบว่าขนาดของเมมเบรนที่ใช้ไม่มีผลให้ค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทแตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 22)

ตารางที่ 22 สมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดสด น้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตหลังผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน

Physical properties of fresh palm sap, permeate palm sap and retentate palm sap during the steps of microfiltration process

Properties	Fresh palm	Permeate		Retentate	
	sap*	50 kDa	300 kDa	50 kDa	300 kDa
Color L	72.46±1.55^{b}	98.04±0.82^{c}	97.14±1.08^{c}	46.18±1.26^{a}	48.32±2.96^{a}
a	2.82±0.21^{b}	-0.10±0.12^{a}	-0.03±0.16^{a}	3.79±0.49^{c}	3.70±0.46^{c}
b	15.04±0.69^{b}	3.82±1.20^{a}	5.27±1.53^{a}	13.45±1.02^{b}	13.41±1.34^{b}
Transmittance (%) at 650 nm	65.14±2.31^{b}	98.78±0.57^{c}	98.15±0.75^{c}	29.97±2.33^{a}	32.29±4.43^{a}

Note: * Physical characteristic was done 15 hours after starting palm sap collection.

Physical characteristic was done 3 hours after starting ultrafiltration process.

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

The different superscripts in the same column denote the significant differences ($P \leq 0.05$).

5.2.3 สมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลโตนดหลังผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 23) โดยค่าพีเอชของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.72 และ 5.70 ตามลำดับ ขณะที่ค่าพีเอชของน้ำตาลโตนดสดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.55 ส่วนน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.65 และ 5.67 เมื่อใช้เมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 23) สำหรับปริมาณกรดทั้งหมด พบว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทมีปริมาณกรดทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.03 และ 0.03 เมื่อผ่านเมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโล

ดาลตัน ตามลำดับ ขณะที่น้ำตาลโตนดสดมีปริมาณกรดทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.04 ส่วนน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีปริมาณกรดทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.03 และ 0.03 เมื่อใช้เมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 23) ทั้งนี้อาจเนื่องจากอนุภาคของกรดมีขนาดเล็กสามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนได้โดยไม่ถูกกักเก็บไว้ในส่วนรีเทนเทต (Girard and Fukumoto, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Brujin และคณะ (2002) ที่รายงานว่าน้ำแอปเปิลส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 15 และ 50 กิโลดาลตัน มีค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดไม่แตกต่างกับน้ำแอปเปิลเริ่มต้น ($P \geq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำตาลโตนดหลังผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 23) โดยน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 11.53 และ 11.20 องศาบริกซ์ เมื่อผ่านเมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน ตามลำดับ ขณะที่ในน้ำตาลโตนดสดมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 12.13 องศาบริกซ์ ส่วนน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 12.13 และ 11.47 องศาบริกซ์ เมื่อใช้เมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 23) แสดงว่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดซึ่งเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กสามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนได้โดยไม่ถูกกักเก็บไว้ในส่วนรีเทนเทต

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดหลังผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 23) ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 23) โดยน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 23)

ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทนั้นมีค่าไม่แตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 23) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลนั้นจัดเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กซึ่งสามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนได้ โดยไม่ถูกกักเก็บไว้ในส่วนรีเทนเทต (Girard and Fukumoto, 2000) แต่ทั้งนี้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในส่วนรีเทนเทตนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด และน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 23) โดยน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.26 และ 0.78 เมื่อใช้เมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน ตามลำดับ ขณะที่น้ำตาลโตนดสดเริ่มต้นมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.76 ส่วนน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.64 และ 0.50 เมื่อผ่านเมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตนั้นสอดคล้องกับผลการทดลองเรื่องผลของอุณหภูมิต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดสด ซึ่งการเก็บน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิ 50°ซ นั้นจะส่งผลให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มสูงขึ้น (ภาพประกอบที่ 16) เนื่องจากจุลินทรีย์หลักในน้ำตาลโตนด (ถูกกักเก็บไว้ในส่วนรีเทนเทตไม่สามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนได้) ซึ่งได้แก่ ยีสต์ สามารถผลิตเอนไซม์อินเวอร์เทส ซึ่งจะย่อยน้ำตาลซูโครสไปเป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตสได้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำตาลโตนดหลังผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 23) โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทมีค่าลดลงแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทต ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 23) โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.12 และ 1.15 เมื่อผ่านเมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน ตามลำดับ ขณะที่น้ำตาลโตนดสดมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.23 ส่วนน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.19 และ 1.20 เมื่อใช้เมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 23) ทั้งนี้เนื่องมาจากอนุภาคที่มี

ขนาดใหญ่จะถูกกักเก็บไว้ในส่วนรีเทนเทต ไม่สามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนได้ และเมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งทั้งหมดระหว่างน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน พบว่าขนาดของเมมเบรนที่ใช้ไม่มีผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทแตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 23)

ผลการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดที่ผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตมีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 23) โดยกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 50 กิโลดาลตัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.22×10^{-3} ΔOD/นาที/กรัม 2.03×10^{-4} ΔOD/นาที/กรัม และ 2.72×10^{-2} หน่วย/นาที/กรัม ตามลำดับ ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 300 กิโลดาลตัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.28×10^{-3} ΔOD/นาที/กรัม 2.18×10^{-4} ΔOD/นาที/กรัม และ 2.71×10^{-3} หน่วย/นาที/กรัม ตามลำดับ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 สมบัติทางเคมีของน้ำตาลโตนดสด น้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตหลังผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน

Chemical properties of fresh palm sap, permeate palm sap and retentate palm sap during the steps of ultrafiltration process

Properties	Fresh palm	Permeate		Retentate	
	sap*	50 kDa	300 kDa	50 kDa	300 kDa
TSS (°Brix)	12.13±0.43^{ns}	11.53±0.61^{ns}	11.20±0.20^{ns}	12.13±0.81^{ns}	11.47±0.12^{ns}
pH	5.55±0.13^{ns}	5.72±0.06^{ns}	5.70±0.26^{ns}	5.65±0.04^{ns}	5.67±0.17^{ns}
Total acidity (% w/v as lactic acid)	0.04±0.005^{ns}	0.03±0.006^{ns}	0.03±0.006^{ns}	0.03±0.006^{ns}	0.03±0.006^{ns}
Reducing sugar (%w/w)	0.76±0.15^{ab}	0.64±0.09^{ab}	0.50±0.07^{a}	1.26±0.28^{c}	0.78±0.07^{b}
Total sugar (%w/w)	11.12±0.34^{ns}	10.55±0.50^{ns}	10.55±0.56^{ns}	10.84±0.30^{ns}	10.89±0.35^{ns}
Total solid (%w/w)	1.23±0.03^{c}	1.12±0.04^{a}	1.15±0.02^{ab}	1.19±0.04^{bc}	1.20±0.06^{bc}
Polyphenoloxidase activity ($10^{-3}\Delta$OD /min/g)	2.18±0.11^{ns}	2.22±0.08^{ns}	2.28±0.15^{ns}	2.22±0.10^{ns}	2.23±0.29^{ns}
Peroxidase activity ($10^{-4}\Delta$OD /min/g)	2.02±0.12^{ns}	2.03±0.33^{ns}	2.18±0.06^{ns}	2.42±0.17^{ns}	2.21±0.33^{ns}
Invertase activity (10^{-2} unit/min/g)	2.70±0.21^{ns}	2.72±0.20^{ns}	2.71±0.19^{ns}	2.73±0.15^{ns}	2.78±0.26^{ns}

Note: * Chemical characteristic was done 15 hours after starting palm sap collection.

Chemical characteristic was done 3 hours after starting ultrafiltration process.

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

The different superscripts in the same column denote the significant differences ($P \leq 0.05$).

^{ns}, not significant at $P \leq 0.05$

ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดหลังผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน จะวิเคราะห์ติดตามหาปริมาณสารที่ระเหยได้เพียง 6 ชนิด

เท่านั้น ได้แก่ 3-hydroxy-2-butanone, 1,3-butanediol, 2-butoxyethanol, 1-hexanol, 1-octanol และacetic acid ซึ่งได้มาจากข้อมูลของสุภารัตน์ เตี่ยไพบูลย์ (2547) ที่รายงานว่าสารให้กลิ่นรสหลักในน้ำตาลโตนดสดมี 2 ชนิด คือ 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol และเมื่อน้ำตาลโตนดเกิดการเน่าเสียจะเกิดสารที่ระเหยได้ที่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ 4 ชนิด คือ 2-butoxyethanol, 1-hexanol, 1-octanol และ acetic acid โดยกำหนดสภาวะในการวิเคราะห์สารที่ระเหยได้โดยใช้ GC/MS แบบ Selected Ion Monitoring mode (SIM mode) ดังตารางผนวกที่ 2 ซึ่งน้ำตาลโตนดที่นำมาวิเคราะห์จะประกอบด้วยน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทและน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทต โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณสารที่ระเหยได้ภายหลังกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันพบว่า พบสารที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทและน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตเพียง 1 ชนิดเท่านั้น คือ 3-hydroxy-2-butanone โดยที่เมมเบรนขนาด 50 กิโลดาลตัน มีปริมาณ 3-hydroxy-2-butanone ในน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทและน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 43.13 และ 50.81 ตามลำดับ ส่วนที่เมมเบรนขนาด 300 กิโลดาลตัน มีปริมาณ 3-hydroxy-2-butanone ในน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทและน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 46.72 และ 32.56 ตามลำดับ (ตารางที่ 24) จะเห็นได้ว่าน้ำตาลโตนดที่ผ่านเมมเบรนขนาด 300 กิโลดาลตัน มีปริมาณของ 3-hydroxy-2-butanone ในส่วนเพอมิเอทสูงกว่าในส่วนรีเทนเทต แสดงว่า 3-hydroxy-2-butanone สามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนขนาด 300 กิโลดาลตันได้ แต่เมื่อพิจารณาน้ำตาลโตนดที่ผ่านเมมเบรน ขนาด 50 กิโลดาลตัน พบว่าปริมาณ 3-hydroxy-2-butanone ในส่วนรีเทนเทตมีค่าสูงกว่าในส่วนเพอมิเอท แสดงว่า 3-hydroxy-2-butanone บางส่วนจะถูกกักเก็บไว้ในส่วนรีเทนเทตไม่สามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนได้ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณ 3-hydroxy-2-butanone ระหว่างน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน พบว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 300 กิโลดาลตัน มีปริมาณของ 3-hydroxy-2-butanone สูงกว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 50 กิโลดาลตัน

ตารางที่ 24 ปริมาณ 3-hydroxy-2-butanone ในน้ำตาลโตนดสด น้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท และน้ำตาลโตนดส่วนรีเทนเทตระหว่างกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน
3-hydroxy-2-butanone content in fresh palm sap, permeate palm sap and retentate palm sap during the steps of microfiltration process

Treatment	Relative peak area (%) of 3-hydroxy-2-butanone *	
	Pore size 50 kDa	Pore size 300 kDa
Fresh palm sap	100.00	100.00
Retentate	50.81	32.56
Permeate	43.13	46.72

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

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำตาลโตนดหลังผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันของเมมเบรนขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน จะเห็นได้ว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนทั้ง 2 ขนาด จะมีความใสมาก และมีสีที่อ่อนลงเมื่อเทียบกับน้ำตาลโตนดสด ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งได้แก่ พวกคอลลอยด์ และสารแขวนลอยในน้ำตาลโตนด ไม่สามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนได้ และเมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนทั้ง 2 ขนาด พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($P \geq 0.05$) ยกเว้นปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณสารที่ระเหยได้ที่มีค่าลดลง ดังนั้นในการคัดเลือกน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด เพื่อไปใช้ในการศึกษาในขั้นตอนของการเก็บรักษานั้นจะพิจารณาจากปริมาณสารที่ระเหยได้ โดยจะคัดเลือกน้ำตาลโตนดส่วน เพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 300 กิโลดาลตัน ไปใช้ในการศึกษาในขั้นตอนของการเก็บรักษา เนื่องจากมีปริมาณสารที่ระเหยได้สูงกว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 50 กิโลดาลตัน

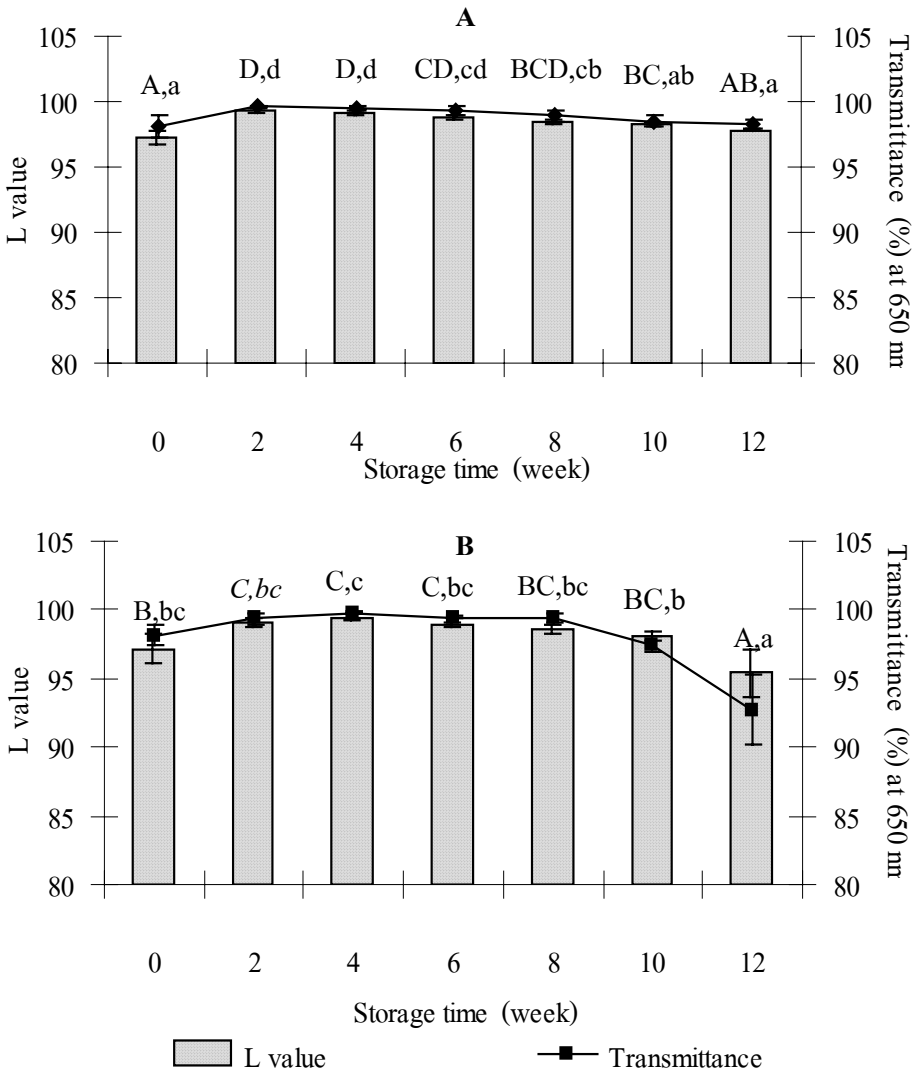
6. ผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทหลังผ่านกระบวนการใช้เมมเบรน

จากการศึกษาผลของการใช้กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน และอัลตราฟิลเตรชันต่อคุณภาพน้ำตาลโตนดสด พบว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน และ 300 กิโลดาลตัน มีคุณภาพดีกว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน และ 50 กิโลดาลตัน ตามลำดับ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นจึงนำน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน และ 300 กิโลดาลตัน มาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำตาลโตนดในระหว่างการเก็บรักษา โดยนำส่วนเพอมิเอทปริมาตร 300 มิลลิลิตร บรรจุในขวดแก้วที่ผ่านการลวกน้ำเดือด ปิดผนึกขวดแก้ว แล้วเก็บรักษาน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอท ที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 12 สัปดาห์ วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาทุกๆ 2 สัปดาห์ โดยมีผลการทดลองดังนี้

6.1 สมบัติทางกายภาพ

ผลการวิเคราะห์ค่าสีและค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่กรองผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 2 สัปดาห์ นาน 12 สัปดาห์ พบว่าค่าสีและค่าการทะลุผ่านของแสงมีแนวโน้มลดลง ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 22 และ ภาพประกอบที่ 32A) แต่ทั้งนี้ในช่วง 2 สัปดาห์แรก ค่าสีและค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทมีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทในสัปดาห์ที่ 0 ($P \leq 0.05$) แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 12 ค่าสี และค่าการทะลุผ่านของแสงมีแนวโน้มลดลง ($P \leq 0.05$) โดยในสัปดาห์ที่ 12 ค่า L มีค่าลดลงจากสัปดาห์ที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 1.4 ส่วนค่าการทะลุผ่านของแสงในสัปดาห์ที่ 12 มีค่าลดลงจากสัปดาห์ที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 1.29 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและโพลีฟีนอลบางส่วนที่ลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนในระหว่างกระบวนการกรอง ซึ่งจะทำให้เกิดสารแขวนลอยขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาได้

ผลการวิเคราะห์ค่าสีและค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 300 กิโลดาลตัน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 2 สัปดาห์ นาน 12 สัปดาห์ พบว่าค่าสีและค่าการทะลุผ่านของแสงมีแนวโน้มลดลง ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 24 และภาพประกอบที่ 32B) แต่ทั้งนี้ในช่วง 2 สัปดาห์แรก ค่าสีและค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทมีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างจากน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทในสัปดาห์ที่ 0 ($P \leq 0.05$) แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 12 ค่าสี และค่าการทะลุผ่านของแสงมีแนวโน้มลดลง ($P \leq 0.05$) โดยในสัปดาห์ที่ 12 ค่า L มีค่าลดลงจากสัปดาห์ที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 3.69 ส่วนค่าการทะลุผ่านของแสงในสัปดาห์ที่ 12 มีค่าลดลงจากสัปดาห์ที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 6.03 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและโพลีฟีนอลบางส่วนที่ลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนในระหว่างกระบวนการกรอง ซึ่งจะทำให้เกิดสารแขวนลอยขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาได้ ซึ่งจากการทดลองของ Schobinger (1988 อ้างโดย Girard and Fukumoto, 2000) พบว่าโปรตีนและโพลีฟีนอลในน้ำแอปเปิลสามารถสามารถลอดผ่านรูพรุนของ เมมเบรนขนาด 20-100 กิโลดาลตันได้ ดังนั้นในการทดลองนี้ซึ่งทดลองที่เมมเบรน ขนาด 50 และ 300 กิโลดาลตัน โปรตีนและโพลีฟีนอลในน้ำตาลโตนดก็น่าจะสามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนได้เช่นกัน



ภาพประกอบที่ 32 การเปลี่ยนแปลงค่า L และค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน (A) และ 300 กิโลดาลตัน (B) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 12 สัปดาห์

Changes in L value and transmittance value of permeated palm sap filtered through 0.2 μm (A) and 300 kDa (B) membrane during storage at 4°C for 12 weeks

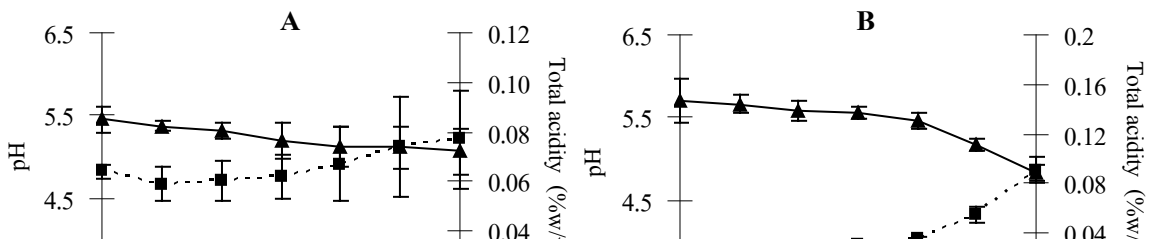
Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

Means of L value of the different capital letters and means of transmittance of the different small letters denote the significant differences ($P \leq 0.05$).

6.2 สมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 2 สัปดาห์ นาน 12 สัปดาห์ พบว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลง ขณะที่ปริมาณกรดทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพประกอบที่ 33A) ทั้งนี้อาจเกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 25) โดยจุลินทรีย์จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรด แต่ทั้งนี้ค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่เก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ นั้นมีค่าไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 12 สัปดาห์ ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 22)

ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 300 กิโลดาลตัน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 2 สัปดาห์ นาน 12 สัปดาห์ พบว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลง ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 24) ขณะที่ปริมาณกรดทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 24 และภาพประกอบที่ 33B) ทั้งนี้อาจเกิดจากการเจริญเติบโตของจุลิน ทรีย์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 26) โดยจุลินทรีย์จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรด ซึ่งส่งผลให้น้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทนั้นมีปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าพีเอชนั้นมีแนวโน้มลดลง



ภาพประกอบที่ 33 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน (A) และ 300 กิโลดาลตัน (B) ในระหว่าง การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 12 สัปดาห์

Changes in pH and total acidity of permeated palm sap filtered through 0.2 μm (A) and 300 kDa (B) membrane during storage at 4°C for 12 weeks

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

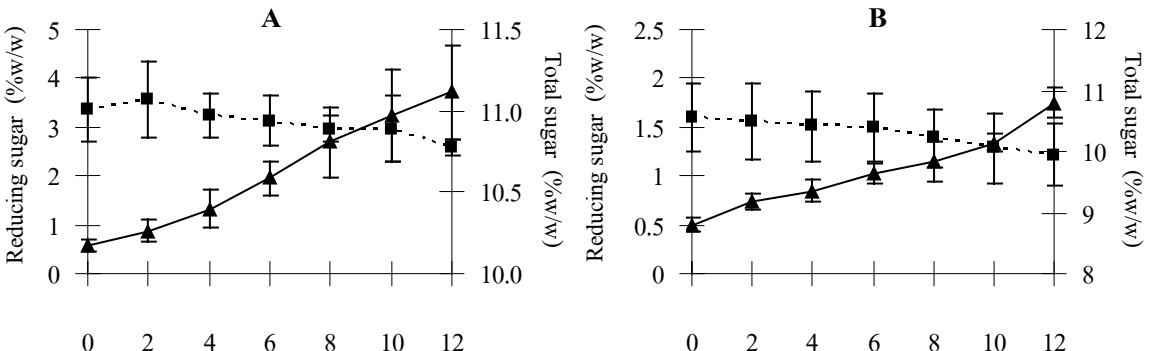
ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 2 สัปดาห์ นาน 12 สัปดาห์ พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 12 สัปดาห์ ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 22) ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 22) ขณะที่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง (ภาพประกอบที่ 34A) ทั้งนี้อาจเกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 25) เนื่องจากจุลินทรีย์จะมีการใช้น้ำตาลกลูโคสในระหว่างการเจริญเติบโต ขณะที่ยีสต์สามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์และแอลกอฮอล์ แต่ทั้งนี้การลดลงของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดนั้นพบว่าไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 12 สัปดาห์ ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 22)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 300 กิโล

ดาลตัน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 2 สัปดาห์ นาน 12 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 24) ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 24) ขณะที่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง (ภาพประกอบที่ 34B) ทั้งนี้อาจเกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 26) เนื่องจากจุลินทรีย์จะมีการใช้น้ำตาลกลูโคสในระหว่างการเจริญเติบโต ขณะที่ยีสต์สามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์และแอลกอฮอล์ แต่ทั้งนี้การลดลงของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดนั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์ ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 24)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 2 สัปดาห์ นาน 12 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดมีแนวโน้มคงที่ไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 12 สัปดาห์ ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 22)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่กรองผ่านเมมเบรนขนาด 300 กิโลดาลตัน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 2 สัปดาห์ นาน 12 สัปดาห์ พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดมีแนวโน้มคงที่ไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษานาน 12 สัปดาห์ ($P \geq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 24)



ภาพประกอบที่ 34 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน (A) และ 300 กิโลดาลตัน (B) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 12 สัปดาห์

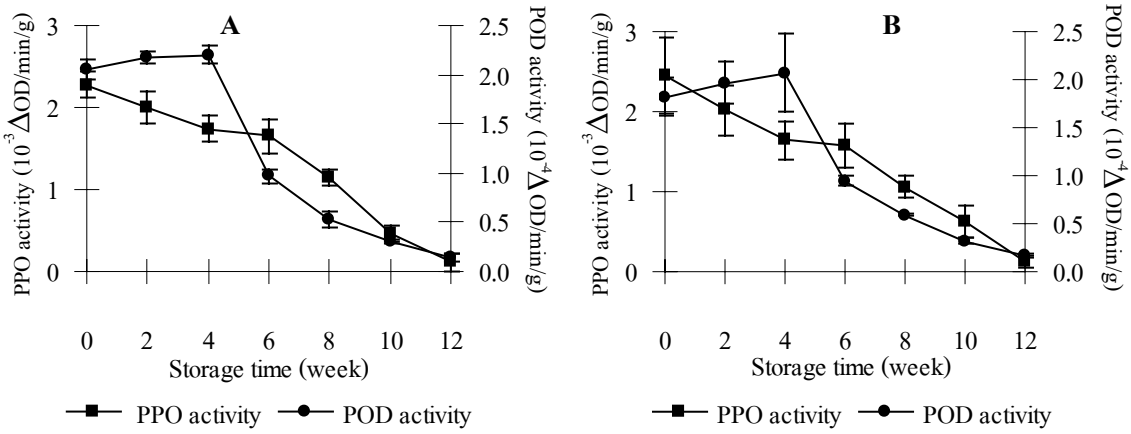
Changes in reducing sugar and total sugar of permeated palm sap filtered through 0.2 μm (A) and 300 kDa (B) membrane during storage at 4°C for 12 weeks

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

ผลการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 2 สัปดาห์ นาน 12 สัปดาห์ พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษา ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 22 และภาพประกอบที่ 35A) ขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 22 และ ภาพประกอบที่ 36A) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทส อาจเกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์และราในระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 25) เนื่องจากจุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์สามารถผลิตเอนไซม์อินเวอร์เทสได้ (Reed and Nagodawithana, 1991)

ผลการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่

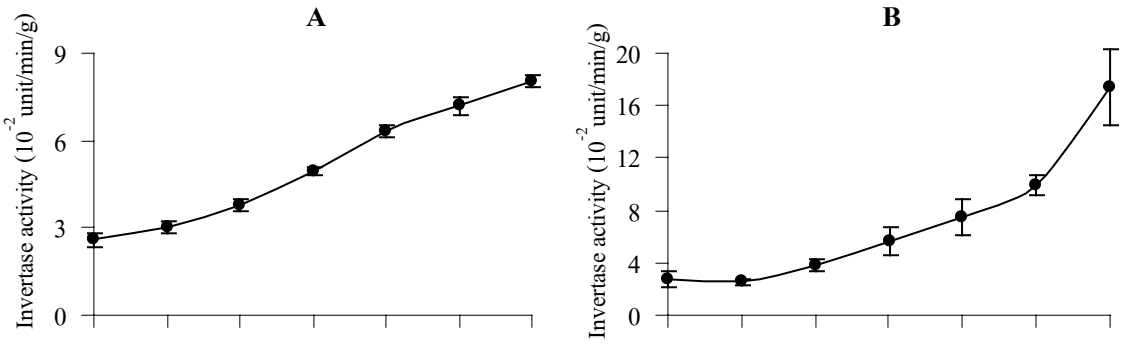
ผ่านเมมเบรนขนาด 300 กิโลดาลตัน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 2 สัปดาห์ นาน 12 สัปดาห์ พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสมีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษา ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 24 และภาพประกอบที่ 35B) ขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ 24 และภาพประกอบที่ 36B) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทส อาจเกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์และราในระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 26) เนื่องจากจุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์สามารถผลิตเอนไซม์อินเวอร์เทสได้ (Reed and Nagodawithana, 1991)



ภาพประกอบที่ 35 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน (A) และ 300 กิโลดาลตัน (B) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 12 สัปดาห์

Changes in polyphenoloxidase activity and peroxidase activity of permeated palm sap filtered through 0.2 μm (A) and 300 kDa (B) membrane during storage at 4°C for 12 weeks

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.



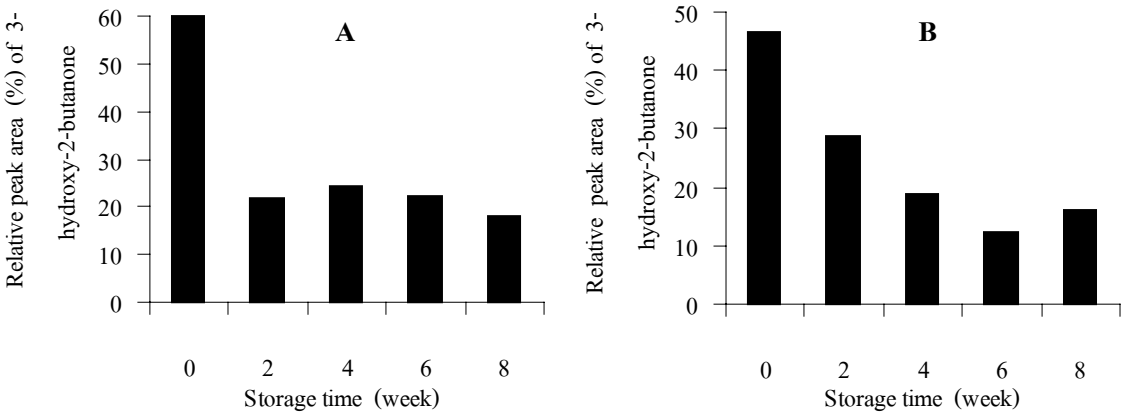
ภาพประกอบที่ 36 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน (A) และ 300 กิโลดาลตัน (B) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 12 สัปดาห์

Changes in invertase activity of permeated palm sap filtered through 0.2 μm (A) and 300 kDa (B) membrane during storage at 4°C for 12 weeks

Note : Error bar represents standard deviation from triplicate determination.

ในการวิเคราะห์ปริมาณสารที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน และ 300 กิโลดาลตัน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 2 สัปดาห์ นาน 12 สัปดาห์ โดยติดตามหาปริมาณสารที่ระเหยได้เฉพาะกลุ่มสารให้กลิ่นรสหลัก ซึ่งได้แก่ 3-hydroxy-2-butanone, 1,3-butanediol และสารที่ระเหยได้ที่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งได้แก่ 2-butoxyethanol, 1-hexanol, 1-octanol และ acetic acid โดยกำหนดสภาวะในการวิเคราะห์สารที่ระเหยได้โดยใช้ GC/MS แบบ Selected Ion Monitoring mode (SIM mode) ดังแสดงในตารางผนวกที่ 2 โดยน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนทั้ง 2 ขนาดที่นำมาวิเคราะห์ จะวิเคราะห์เฉพาะตัวอย่างตั้งแต่สัปดาห์ที่ 0 จนถึงสัปดาห์ที่ 8 เท่านั้น (ไม่วิเคราะห์สัปดาห์ที่ 10 และ 12) เนื่องจากยังมีปริมาณจุลินทรีย์ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานจุลินทรีย์ที่อนุญาติให้มีในเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้สควอช (จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 500 โคโลนีต่อมิลลิลิตร จำนวนยีสต์และราไม่เกิน 10 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519) ซึ่งผลการทดลองพบว่า ในระหว่างการเก็บรักษาน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน และ 300 กิโลดาลตัน ตลอด 8 สัปดาห์ ตรวจไม่พบสารที่ระเหยได้ที่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ส่วนปริมาณของ

3-hydroxy-2-butanone มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพประกอบที่ 37) โดยในสัปดาห์ที่ 8 น้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรน ขนาด 0.2 ไมครอน และ 300 กิโลดาลตัน มีปริมาณ 3-hydroxy-2-butanone เหลือเท่ากับร้อยละ 17.92 และ 16.03 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับน้ำตาลโตนดสดเริ่มต้น และเมื่อพิจารณาปริมาณ 3-hydroxy-2-butanone ของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน และ 300 กิโลดาลตัน ในสัปดาห์ที่ 0 จะเห็นได้ว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน มีปริมาณ 3-hydroxy-2-butanone สูงกว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 300 กิโลดาลตัน ทั้งนี้เนื่องมาจากเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน มีขนาดรูพรุนของเมมเบรนใหญ่กว่าเมมเบรนขนาด 300 กิโลดาลตัน จึงทำให้ 3-hydroxy-2-butanone สามารถลอดผ่านรูพรุนของเมมเบรนไปได้มากกว่า



ภาพประกอบที่ 37 ปริมาณ 3-hydroxy-2-butanone ของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน (A) และ 300 กิโลดาลตัน (B) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 12 สัปดาห์

3-hydroxy-2-butanone content of permeated palm sap filtered through 0.2 μm (A) and 300 kDa (B) membrane during storage at 4°C for 12 weeks

6.3 สมบัติทางจุลชีววิทยา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรียแลกติก และปริมาณยีสต์และราของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 5.33 โคโลนีต่อมิลลิลิตร และพบจุลินทรีย์ในกลุ่มแบคทีเรียแลกติกและยีสต์และราในน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทภายหลังการกรองมีปริมาณน้อยกว่า 1 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (สัปดาห์ที่ 0) (ตารางที่ 25) ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์จะถูกกักเก็บไว้ที่ผิวหน้าเมมเบรนไม่สามารถลอดผ่านรูพรุนได้ อีกทั้งในระหว่างกระบวนการกรองจะเกิดปรากฏการณ์คอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดชั้นเจลขึ้นที่ผิวหน้าของเมมเบรน ทำให้สามารถกักเก็บจุลินทรีย์ได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Carneiro และคณะ (2002) ที่พบจุลินทรีย์ทั้งหมดมีจำนวนน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ในน้ำสัปปะรดที่กรองผ่านเมมเบรนขนาด 0.3 ไมครอน และเมื่อที่เก็บรักษาน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 2 สัปดาห์ นาน 12 สัปดาห์ พบว่าจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และรามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในระหว่างกระบวนการบรรจุ เนื่องจากไม่ได้บรรจุในระบบปิด ส่วนแบคทีเรียแลกติกนั้นตรวจไม่พบตลอดระยะเวลาการเก็บนาน 12 สัปดาห์ และเมื่อพิจารณาจากเกณฑ์มาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้สควอช ซึ่งกำหนดว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 500 โคโลนีต่อมิลลิลิตร จำนวนยีสต์และราไม่เกิน 10 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519) พบว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่กรองผ่านเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน สามารถเก็บรักษาได้นาน 8 สัปดาห์ (ตารางที่ 25) โดยที่ปริมาณจุลินทรีย์ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 25 สมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 0.2ไมครอน ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 12 สัปดาห์

Microbiological properties of permeated palm sap filtered through a 0.2 μm membrane during storage at 4°C for 12 weeks

Storage time (week)	Total viable count (CFU/ml)	Lactic acid bacteria (CFU/ml)	Yeast and mold (CFU/ml)
0	5.53	< 1	< 1
2	6.00	< 1	< 1
4	$1.00x10^1$	< 1	< 1
6	$1.40 x10^1$	< 1	< 1
8	$6.50x10^1$	< 1	< 1
10	$2.72x10^2$	< 1	$1.10x10^2$
12	$4.75x10^2$	< 1	$2.39x10^2$

Note : Each value is the mean of triplicate determination.

ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรียแลกติก และปริมาณยีสต์และราของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่ผ่านเมมเบรนขนาด 300 กิโลดาลตัน พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.67 โคโลนีต่อมิลลิลิตร และไม่พบจุลินทรีย์ในกลุ่มแบคทีเรียแลกติกและยีสต์และราในน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทภายหลังการกรอง (สัปดาห์ที่ 0) (ตารางที่ 26) ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์จะถูกกักเก็บไว้ที่ผิวหน้าเมมเบรนไม่สามารถลอดผ่านรูพรุนได้ อีกทั้งในระหว่างกระบวนการกรองจะเกิดปรากฏการณ์คอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดชั้นเจลขึ้นที่ผิวหน้าของเมมเบรน ทำให้สามารถกักเก็บจุลินทรีย์ได้มากขึ้น และเมื่อที่เก็บรักษาน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยวิเคราะห์คุณภาพทุก 2 สัปดาห์ นาน 12 สัปดาห์ พบว่าจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และรา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในระหว่างกระบวนการบรรจุ เนื่องจากไม่ได้บรรจุในระบบปิด ส่วนแบคทีเรียแลกติกนั้นตรวจไม่พบตลอดระยะเวลาการเก็บนาน 12 สัปดาห์ และเมื่อพิจารณาจากเกณฑ์มาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้สควอช

ซึ่งกำหนดว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 500 โคโลนีต่อมิลลิลิตร จำนวนยีสต์และราไม่เกิน 10 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519) พบว่าน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่กรองผ่านเมมเบรนขนาด 300 กิโลดาลตัน สามารถเก็บรักษาได้นาน 8 สัปดาห์ (ตารางที่ 26) โดยที่ปริมาณจุลินทรีย์ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 26 สมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดส่วนเพอมิเอทที่กรองผ่านเมมเบรนขนาด 300 กิโลดาลตัน ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 12 สัปดาห์

Microbiological properties of permeated palm sap filtered through a 300 kDa membrane during storage at 4°C for 12 weeks

Storage time (week)	Total viable count (CFU/ml)	Lactic acid bacteria (CFU/ml)	Yeast and mold (CFU/ml)
0	6.67	< 1	< 1
2	9.0	< 1	< 1
4	$1.53x10^{1}$	< 1	< 1
6	$3.17x10^{1}$	< 1	< 1
8	$1.62x10^{2}$	< 1	< 1
10	$2.76x10^{2}$	< 1	$1.25x10^{1}$
12	$7.85x10^{3}$	< 1	$9.13x10^{2}$

Note : Each value is the mean of triplicate determination.