วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุ

1. น้ำตาลโตนด จากสวนของเกษตรกร อ.สิงหนคร จ.สงขลา โดยกำหนดให้มีการเติมไม้เคี่ยม 5 กรัมต่อน้ำตาลโตนดสด 1 ลิตร มีระยะเวลานับจากเริ่มรองน้ำตาลโตนดประมาณ 15 ชั่วโมง และเก็บไว้ในลังโฟมเติมน้ำแข็งจนเต็มตลอดการขนส่งจากสวนถึงคณะอุตสาหกรรมเกษตรภายใน 40 นาที
2. วัสดุและเคมีภัณฑ์สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี
3. วัสดุและเคมีภัณฑ์สำหรับการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา
4. กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ 2 ชิ้น ชนิด Epoxy-phenolic ขนาด 307 x 409 จากบริษัทคาร์โนด์มัลตัลบ๊อกซ์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
5. ขวดแก้ว ขนาดบรรจุ 300 มิลลิลิตรพร้อมฝาปิด
6. ถุงโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride) ขนาด 6 x15 เซนติเมตร ความหนา 0.013 มิลลิเมตร

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการแปรรูปน้ำตาลโตนด
   1.1 เครื่องมือผลิตอาหารกระป๋อง
   1.2 เครื่องมือชุดตรวจหาค่า F_0 ของการผลิตอาหารกระป๋อง ยี่ห้อ Elab ประเทศสหรัฐอเมริกา
   1.3 เครื่องทำความดันสูง (High pressure equipment) ยี่ห้อ SFP รุ่น S-FL-850-9-W ประเทศอังกฤษ
   1.4 เครื่องปิดผนึกถุง ประเทศจีน
2. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์
   2.1 เครื่องวัดค่าพีเอช ยี่ห้อ Sartorius รุ่น PB-20 ประเทศเยอรมัน
   2.2 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ยี่ห้อ ATAGO รุ่น –1E ประเทศญี่ปุ่น
   2.3 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP310S ประเทศเยอรมัน
   2.4 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP210S ประเทศเยอรมัน
   2.5 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Memmert รุ่น WB10B7-45 ประเทศเยอรมัน
   2.6 เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน ยี่ห้อ Bibby รุ่น SB162-3 ประเทศอังกฤษ
   2.7 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Jasco รุ่น V-530 ประเทศญี่ปุ่น
   2.8 เครื่องหมุนเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Sorvall รุ่น RC 5 B plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
   2.9 เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Quest XT ประเทศสหรัฐอเมริกา
   2.10 เครื่อง Gas Chromatography ยี่ห้อ HEWLETT PACKARD รุ่น 5890 SERIES II ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.11 เครื่อง Mass Spectrometry ยี่ห้อ HEWLETT PACKARD รุ่น 5972A MS Detector ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.12 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ ยี่ห้อ Tommy รุ่น SS-320 ประเทศญี่ปุ่น

2.13 ตู้บ่มเชื้อ ยี่ห้อ Memmert รุ่น BE500 ประเทศเยอรมัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดสด โดยนำน้ำตาลโตนดสดมาวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ ดังนี้

1.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่

- ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี (Palou *et al.*, 1999)
- ค่าความขุ่นวัดในรูปของค่าการทะลุผ่านของแสงที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร (Palou *et al.*, 1999)

1.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีได้แก่

- พีเอช โดยใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ (A.O.A.C., 1990)
- ปริมาณกรดทั้งหมด (A.O.A.C., 1990)
- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยใช้ Hand refractometer (A.O.A.C., 1990)
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธีของ Lane Eynon and Volumetric Method (A.O.A.C., 1990)
- วิเคราะห์ชนิด/ปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดสดโดยใช้ Solid Phase Microextraction (SPME) และตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ เฮกเซน ไดคลอโรมีเทน และไดเอทิลอีเทอร์ (ดัดแปลงจาก Zabetakis *et al.*, 2000) แล้วคัดเลือกชุดการทดลองที่สามารถแยกชนิดสารประกอบที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดได้ดีที่สุด โดยพิจารณาจากโครมาโตแกรมของสารประกอบที่ระเหยได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS มาใช้ในการวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้ต่อไป

1.3 วิเคราะห์คุณสมบัติทางจุลชีววิทยาได้แก่

- จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Kiss, 1984)
- จำนวนยีสต์และรา (Kiss, 1984)
- จำนวนแลกติกแบคทีเรีย (Kiss, 1984)

2. ศึกษาผลของความร้อนต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดและการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา นำน้ำตาลโตนดสดมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือการให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์และระดับสเตอริไลส์

2.1 การให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ (ใช้วิธีการพาสเจอร์ไรส์อาหารก่อนการบรรจุ)

2.1.1 นำน้ำตาลโตนดสดมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 4 ระดับ คือ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 15 และ 20 นาที

2.1.2 บรรจุน้ำตาลโตนดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ลงในขวดแก้วที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อนโดยบรรจุปริมาตร 300 มิลลิลิตรต่อขวด แล้วปิดฝา

2.1.3 นำไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้องเพื่อลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว

2.1.4 เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.1.5 สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพตามข้อที่ 1.1-1.3 ทุกๆ สัปดาห์ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 5 สัปดาห์

2.1.6 นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ ดังนี้

การวางแผนวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยเปรียบเทียบคุณภาพระหว่างน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดหลังผ่านการพาสเจอร์ไรส์ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละครั้งของการทดลองวิเคราะห์ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Varience, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) (Steel and Torrie, 1980)

การวางแผนวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของคุณภาพของน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ระหว่างการเก็บรักษา โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (4x3x6) ในการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละครั้งของการทดลองวิเคราะห์ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Varience, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) (Steel and Torrie, 1980)

2.2 การให้ความร้อนระดับสเตอริไลส์

2.2.1 ศึกษาหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อน้ำตาลโตนดกระป๋องโดยกำหนดค่า F_0 เท่ากับ 3.5 (Adams and Moss, 1995 อ้างโดย สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545) บรรจุในกระป๋องขนาด 307 x 409 ปริมาตรบรรจุ 550 มิลลิลิตร แล้วนำน้ำตาลโตนดที่ผ่านการฆ่าเชื้อมาทดสอบ Sterility test (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 645-2529)

2.2.2 นำค่าอุณหภูมิและระยะเวลาการฆ่าเชื้อที่ได้จากข้อที่ 2.2.1 มาใช้ในการแปรรูปน้ำตาลโตนดบรรจุกระป๋องโดยใช้กระป๋อง ขนาด 307 x 409 ปริมาตรบรรจุ 550 มิลลิลิตร

2.2.3 เก็บรักษาน้ำตาลโตนดบรรจุกระป๋องไว้ที่อุณหภูมิห้อง

2.2.4 สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพตามข้อที่1.1-1.3 ทุกๆ 2 สัปดาห์ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 เดือน

2.2.5 นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ ดังนี้

การวางแผนวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยเปรียบเทียบคุณภาพระหว่างน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดหลังผ่านการสเตอริไลส์ โดยใช้การวิเคราะห์ t-test (Steel and Torrie, 1980)

การวางแผนวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของคุณภาพของน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ระหว่างการเก็บรักษา โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละครั้งของการทดลองวิเคราะห์ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Varience. ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) (Steel and Torrie, 1980)

3. ศึกษาผลของความดันสูงต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดและการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

3.1 นำน้ำตาลโตนดสดบรรจุในถุงโพลีไวนิลคลอไรด์ ขนาด 6 x 15 เซนติเมตร ปริมาตรบรรจุ 120 มิลลิลิตรต่อถุง แล้วปิดผนึก

3.2 นำตัวอย่างจากข้อ 3.1 มาให้ความดัน 4 ระดับ คือ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที

3.3 เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.4 สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ตามข้อที่ 1.1-1.3 ทุกๆ สัปดาห์ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 5 สัปดาห์

3.5 นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ ดังนี้

การวางแผนวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยเปรียบเทียบคุณภาพระหว่างน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละครั้งของการทดลองวิเคราะห์ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Varience, ANOVA) (Steel and Torrie, 1980) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) (Steel and Torrie, 1980)

การวางแผนวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของคุณภาพของน้ำตาลโตนดความดันสูงระหว่างการเก็บรักษา โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (4x2x6) ในการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละครั้งของการทดลองทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Varience, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) (Steel and Torrie, 1980)

ผลและวิจารณ์

1. คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดสด

น้ำตาลโตนดสดที่นำมาศึกษาเป็นตัวอย่างน้ำตาลโตนดที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน โดยมีการเติมไม้เคี่ยมในกระบอกรองรับน้ำตาลโตนดประมาณ 5 กรัมต่อน้ำตาลโตนดสด 1 ลิตร มีระยะเวลานับจากเริ่มรองรับน้ำตาลโตนด 15 ชั่วโมง มีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาดังนี้

1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดสดในรูปค่าสีโดยใช้ระบบ Hunter Lab (L, a, b) พบว่าค่า L เฉลี่ยเท่ากับ 73.88 ค่า a เฉลี่ยเท่ากับ 2.37 และค่า b เฉลี่ยเท่ากับ 15.21 ส่วนความขุ่นของน้ำตาลโตนดสดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 77.58 (ตารางที่ 3) ซึ่งจากทฤษฎีกำหนดว่าค่า L ที่มีค่าเข้าใกล้ 100 แสดงว่าวัตถุมีความสว่าง ค่า a มีค่าเป็นบวก แสดงว่าวัตถุมีเฉดสีแดง และเมื่อค่า b เป็นบวก แสดงว่าวัตถุมีเฉดสีเหลือง ซึ่งจากการวัดค่าสีของน้ำตาลโตนดสดนี้พบว่ามีสีค่อนข้างแดงอาจเนื่องจากมีสีของไม้เคี่ยมที่ละลายออกมาปนอยู่ด้วย

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำตาลโตนดสด

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี*	
ค่าสี L	73.88 ± 0.60
a	2.37 ± 0.07
b	15.21 ± 0.06
ค่าการทะลุผ่านของแสง (%)	77.58 ± 1.98
พีเอช	5.76 ± 0.18
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (^{0}Brix)	11.2 ± 0.0
ปริมาณกรด (%คิดในรูปกรดแลกติก)	0.032 ± 0.00
น้ำตาลทั้งหมด (%w/w)	10.91 ± 0.21
น้ำตาลรีดิวซ์ (%w/w)	0.67 ± 0.02

หมายเหตุ: * ทำการวิเคราะห์ทางเคมีภายใน 15 ชั่วโมงหลังจากเก็บน้ำตาลโตนดสดมาจากสวน
แต่ละค่าของการทดลองมาจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่า SD

1.2 คุณสมบัติทางเคมี

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำตาลโตนดสดที่มีการเติมไม้เคี่ยม พบว่าน้ำตาลโตนดสดมีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 5.76 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ย เท่ากับ 11.2 องศาบริกซ์ ปริมาณกรดทั้งหมด (คิดในรูปของกรดแลกติก) เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.032 (ปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำตาลโตนดคิดในรูปของกรดแลกติก เนื่องจากน้ำตาลโตนดเป็นน้ำตาลที่มีกรดแลกติก

อยู่มากกว่ากรดชนิดอื่นรวมทั้งการมีกรดแลกติกที่ได้มาจากกลุ่มแบคทีเรียแลกติกระหว่างการรองน้ำตาลโตนด ส่วนปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 10.91 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.67 (รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3)

จากการวิเคราะห์ชนิดสารประกอบที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดสดโดยใช้ Solid Phase Microextraction (SPME) พบว่าวิธีนี้ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้เนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์ชนิดสารประกอบที่ระเหยได้ของน้ำตาลโตนดสดได้ ส่วนจากการวิเคราะห์ชนิดสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสดโดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ เฮกเซน ไดคลอโรมีเทน และไดเอทธิลอีเทอร์ และกำหนดสภาวะการวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้โดยใช้ GC/MS ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าการใช้ไดเอทธิลอีเทอร์สามารถสกัดสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสดได้มากที่สุด จำนวน 19 ชนิด ในขณะที่ไดคลอโรมีเทนและเฮกเซนสามารถสกัดสารประกอบที่ระเหยได้เท่ากับ 9 และ 4 ชนิด ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสดมีทั้งชนิดที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ดังนั้นการใช้ไดเอทธิลอีเทอร์ซึ่งมีสภาพความเป็นขั้วปานกลางจึงสามารถสกัดสารประกอบที่ระเหยได้ได้มากที่สุด ส่วนการใช้ไดคลอโรมีเทนซึ่งมีสภาพความเป็นขั้วสูงจะสามารถสกัดได้เฉพาะสารประกอบที่ระเหยได้ที่มีสภาพการมีขั้วสูงเท่านั้น ขณะที่เฮกเซนเป็นตัวทำละลายไม่มีขั้วจะสามารถสกัดได้เฉพาะสารประกอบที่ระเหยได้ที่ไม่มีขั้วเท่านั้น ในการศึกษานี้จึงเลือกใช้ไดเอทธิลอีเทอร์เป็นตัวทำละลายในการวิเคราะห์ต่อไป

จากการวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดโดยใช้ไดเอทธิลอีเทอร์เป็นตัวสกัดและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS ได้โครมาโตแกรมของสารประกอบที่ระเหยได้ดังภาพที่ 3 พบว่าสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสดมีจำนวน 19 ชนิด สามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ คีโตน แอลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอนและกลุ่มที่ไม่ทราบชื่อ (ตารางที่ 6) โดยสารประกอบที่อยู่ในกลุ่มคีโตนมี 1 ชนิด คือ 3-hydroxy-2-butanone ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีกลิ่นหอมหวาน (sweet odor) (Cheetham, 2002) สารประกอบที่อยู่ในกลุ่มแอลกอฮอล์มีจำนวน 2 ชนิด คือ 1,3-butanediol ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีกลิ่นไขมันเนย (fatty-butter) (Cheetham, 2002) และ benzene ethanol ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีกลิ่นรสกุหลาบ (rose odor) ที่เกิดจากการหมักของยีสต์ (Berger *et al.*, 2002) และสารประกอบที่อยู่ในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนจำนวน 15 ชนิดและสารที่ไม่ทราบชื่อจำนวน 1 ชนิด สารประกอบที่ระเหยได้ที่มีปริมาณมากที่สุดคือ 3-hydroxy-2-butanone (ร้อยละ 26.59) และ 1,3-butanediol (ร้อยละ 23.10) ตามลำดับเมื่อเทียบกับปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ทั้งหมด (ตารางที่ 6) ซึ่ง 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol เป็นสารประกอบที่มีกลิ่นหอมหวานที่พบในน้ำตาลโตนด

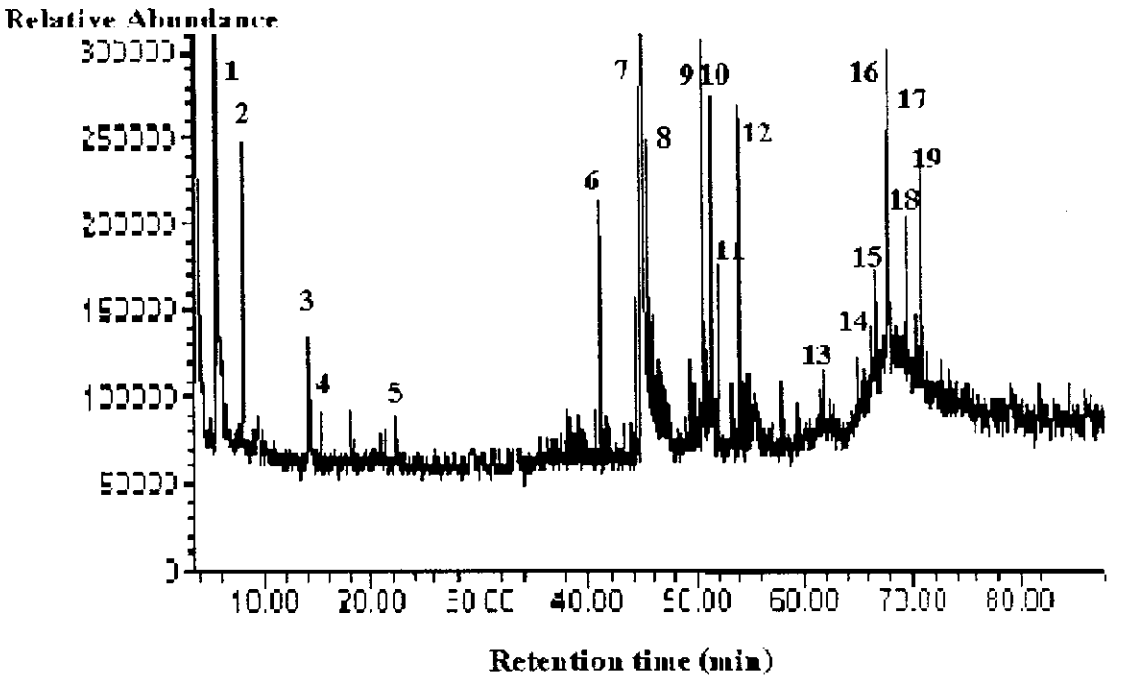
ตารางที่ 4 สภาวะในการวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้โดยใช้เครื่อง GC/MS

Condition	HP- 5 column
Length of column (m)	25
Diameter of column (mm.)	0.20
Film thickness (μm.)	0.20
Type carrier gas	He
Rate of carrier gas (ml/min)	1.0
Injection volume (μl)	1
Mode of operation	Splitless
Injection Temperature (°C)	250
Oven Temperature (°C)	2 °C/min. 40°C ⟶ 80°C (hold 10 min) 5°C/min. 80°C ⟶ 200°C (hold 10 min) 20 °C/min. 200°C ⟶ 280°C (hold 20 min)
Interface temperature (°C)	200
Mass range (amu.)	45-600
Electron multiplier voltage (V)	2000
Scan rate (scans/s.)	1.43

ตารางที่ 5 สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดที่สกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่างชนิด

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

หมายเหตุ: * ทำการวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้ภายใน 15 ชั่วโมงหลังจากเก็บน้ำตาลโตนดสดมาจากสวน



ภาพที่ 2 โครมาโตแกรมของสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสดภายหลังการเก็บเกี่ยวนาน 15 ชั่วโมง

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

ตารางที่ 6 ปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสด

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

หมายเหตุ: * ทำการวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้ภายใน 15 ชั่วโมงหลังจากเก็บน้ำตาลโตนดสดมาจากสวน

1.3 คุณสมบัติทางจุลชีววิทยา

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

ตารางที่ 7 คุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดสด

คุณสมบัติทางจุลชีววิทยา	
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	6.04×10^7
จำนวนแลกติกแบคทีเรีย (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	3.66×10^6
จำนวนยีสต์และรา (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	2.59×10^7

หมายเหตุ: * ทำการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาภายใน 15 ชั่วโมงหลังจากเก็บน้ำตาลโตนดสดมาจากสวน
แต่ละค่าของการทดลองมาจากการทดลอง 3 ซ้ำ

2. ผลของความร้อนต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดและการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

2.1การใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์

น้ำตาลโตนดสดจะนำมาให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 15 และ 20 นาที บรรจุในขวดแก้ว ปริมาตร 550 มิลลิลิตร แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้แสดงดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพที่วิเคราะห์ภายหลังการพาสเจอร์ไรส์ ได้แก่ ค่าสีและความขุ่น พบว่าน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์มีค่าสีแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาผลของการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างกัน พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ค่า L มีแนวโน้มลดลง ขณะที่ค่า a และ b สูงขึ้น ($p<0.05$) ส่วนระยะเวลาการให้ความร้อนมีผลต่อค่า L a และ b เล็กน้อย ($p<0.05$) ค่า L ของน้ำตาลโตนดที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.90 67.68 65.55 และ 64.48 ตามลำดับ และ ค่า b มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.25 12.20 12.52 และ 12.53 ตามลำดับ (ตารางที่ 8) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Yeom และคณะ (2000) ที่รายงานว่าค่า L ในน้ำส้มพาสเจอร์ไรส์มีค่าต่ำกว่าค่า Lในน้ำส้มสด แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้น้ำตาลโตนดมีความทึบแสงและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลปนเหลืองเพิ่มขึ้น ทั้งนี้น่าจะเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์เกี่ยวข้องกับผลของระดับการใช้ความร้อนและระยะเวลาในการให้ความร้อน

ความขุ่นของน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์วัดในรูปการทะลุผ่านของแสงที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร พบว่าน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์มีค่าการทะลุผ่านของแสงต่ำกว่าน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาผลของการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างกันพบว่าการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ค่าการทะลุผ่านของแสงมีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) ส่วนระยะเวลาการให้ความร้อนมีผลต่อค่าการทะลุผ่านของแสงเล็กน้อย ($p<0.05$) ค่าการทะลุผ่านของแสงในน้ำตาลโตนดที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63.46 58.68 49.64 และ 48.78 ตามลำดับ (ตารางที่ 8) แสดงว่าระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้น้ำตาลโตนดมีความขุ่นเพิ่มขึ้น จากการทดลองของเรณุกา แจ่มฟ้า (2545) พบว่าน้ำตาลโตนดมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.32 โดยน้ำหนัก และนอกจากนี้ในน้ำตาลโตนดสดมีการเติมไม้เคี่ยม (5 กรัมต่อน้ำตาลโตนด 1 ลิตร) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าโปรตีนและสารประกอบโพลีฟีนอลจากไม้เคี่ยมอาจเกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและสารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenols) ระหว่างการให้ความร้อนขณะแปรรูปก่อให้เกิดสารแขวนลอยในน้ำตาลโตนด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Siebert และคณะ (1996) ที่พบว่าในน้ำผลไม้ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จะมีความขุ่นเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและสารประกอบโพลีฟีนอล เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าการเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้ค่า L และค่าการทะลุผ่านของแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) (ภาพที่ 4) น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ในสัปดาห์ที่ 5 มีค่า L เพิ่มขึ้นร้อยละ 24.39 และ 29.72 ตามลำดับ และมีค่าการทะลุผ่านของแสงเพิ่มขึ้นร้อยละ 20.07 และ 39.80 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดหลังพาสเจอร์ไรส์ ทั้งนี้อาจเกิดจากอนุภาคที่แขวนลอยอยู่เกิดจากรวมตัวกันและมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นจนไม่สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำผลไม้ได้จึงตกตะกอนลงมา (Shomer, 1988 อ้างโดย พัชรินทร์ อรัญวัฒน์, 2542)

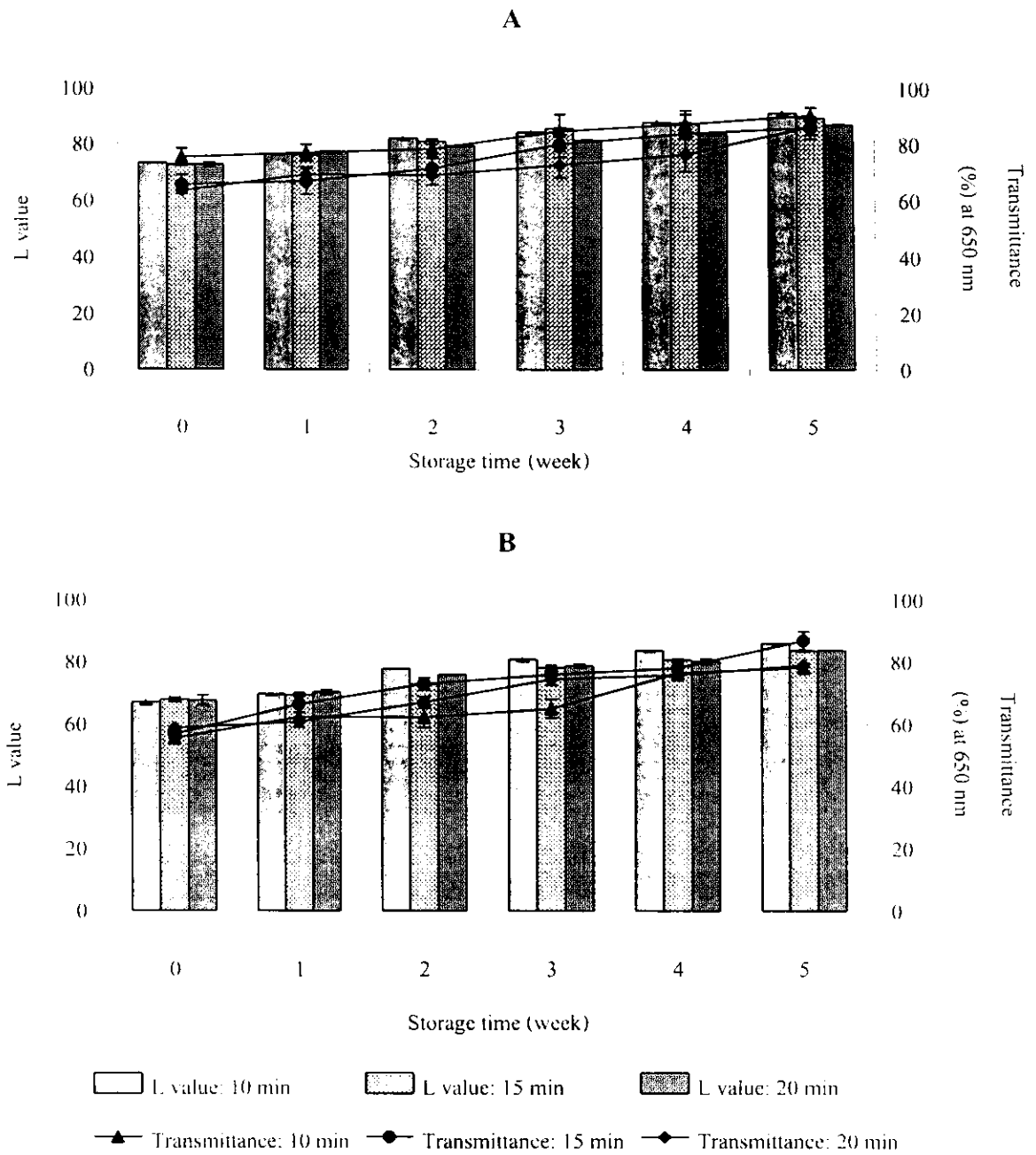
ตารางที่ 8 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 15 และ 20 นาที

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

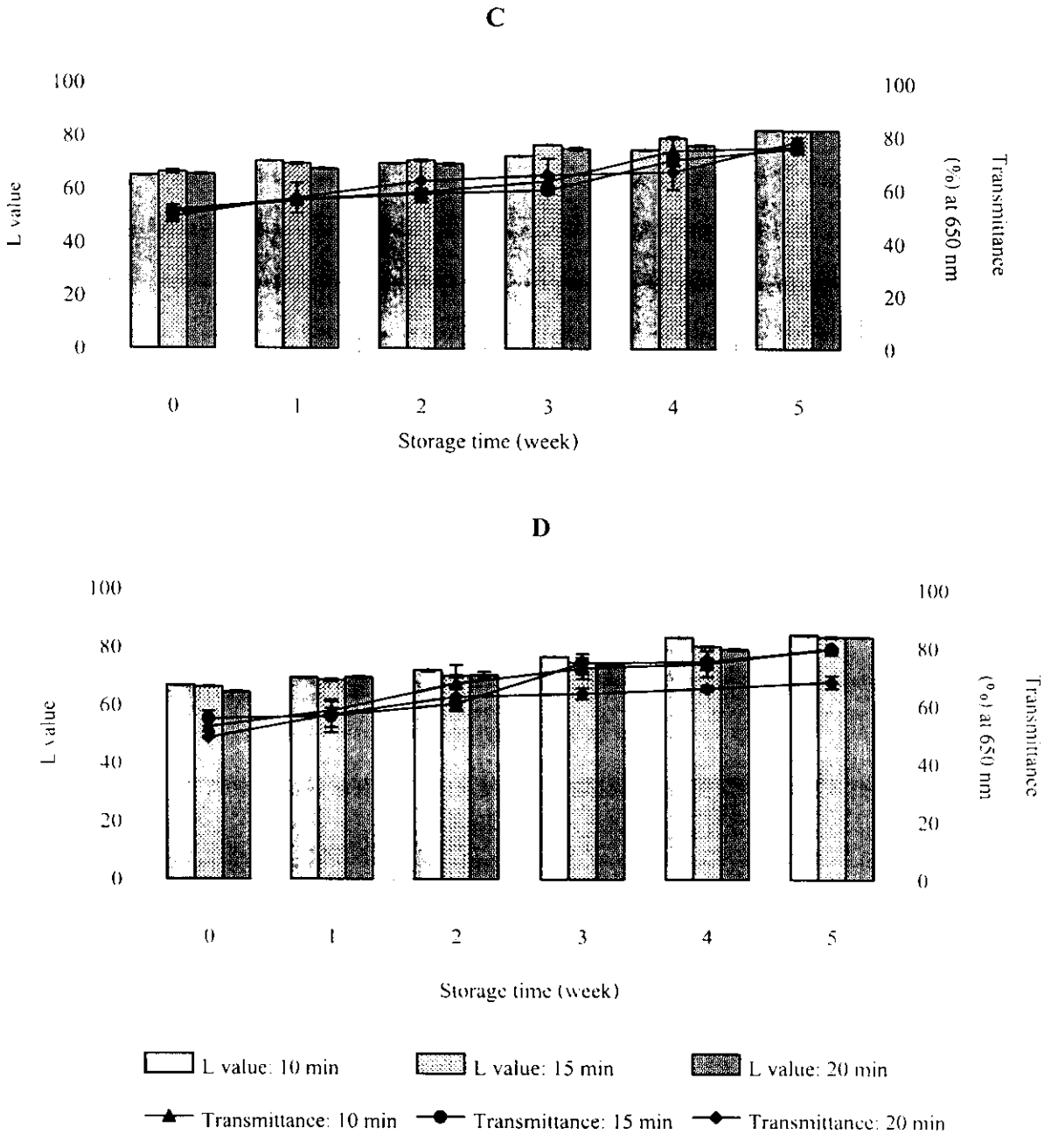
หมายเหตุ: * ทำการวิเคราะห์ทางเคมีภายใน 15 ชั่วโมงหลังจากเก็บน้ำตาลโตนดสดมาจากสวน

แต่ละค่าของการทดลองมาจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่า SD

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมภ์แสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)



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



ภาพที่ 4 (ต่อ)

2.1.2 คุณสมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์พีเอชของน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ พบว่าค่าพีเอชไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($p>0.05$ แสดงว่าอุณหภูมิและเวลาไม่มีผลต่อค่าพีเอช น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 5.65 5.90 5.84 และ

5.89 ตามลำดับ (ตารางที่ 9) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Yeom และคณะ (2000) ที่พบว่าน้ำส้มที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 94.6 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที มีค่าพีเอชไม่แตกต่างกับน้ำส้มสด ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (คิดในรูปกรดแลกติก) ในน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ พบว่าน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์มีปริมาณกรดทั้งหมดใกล้เคียงกับน้ำตาลโตนดสด อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติมีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาผลของการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างกันแม้ว่าการใช้อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ทำให้ปริมาณกรดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ทางด้านสถิติแล้วพบว่าระดับอุณหภูมิและระยะเวลามีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมด ($p<0.05$) โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.029 0.028 0.027 และ 0.028 ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

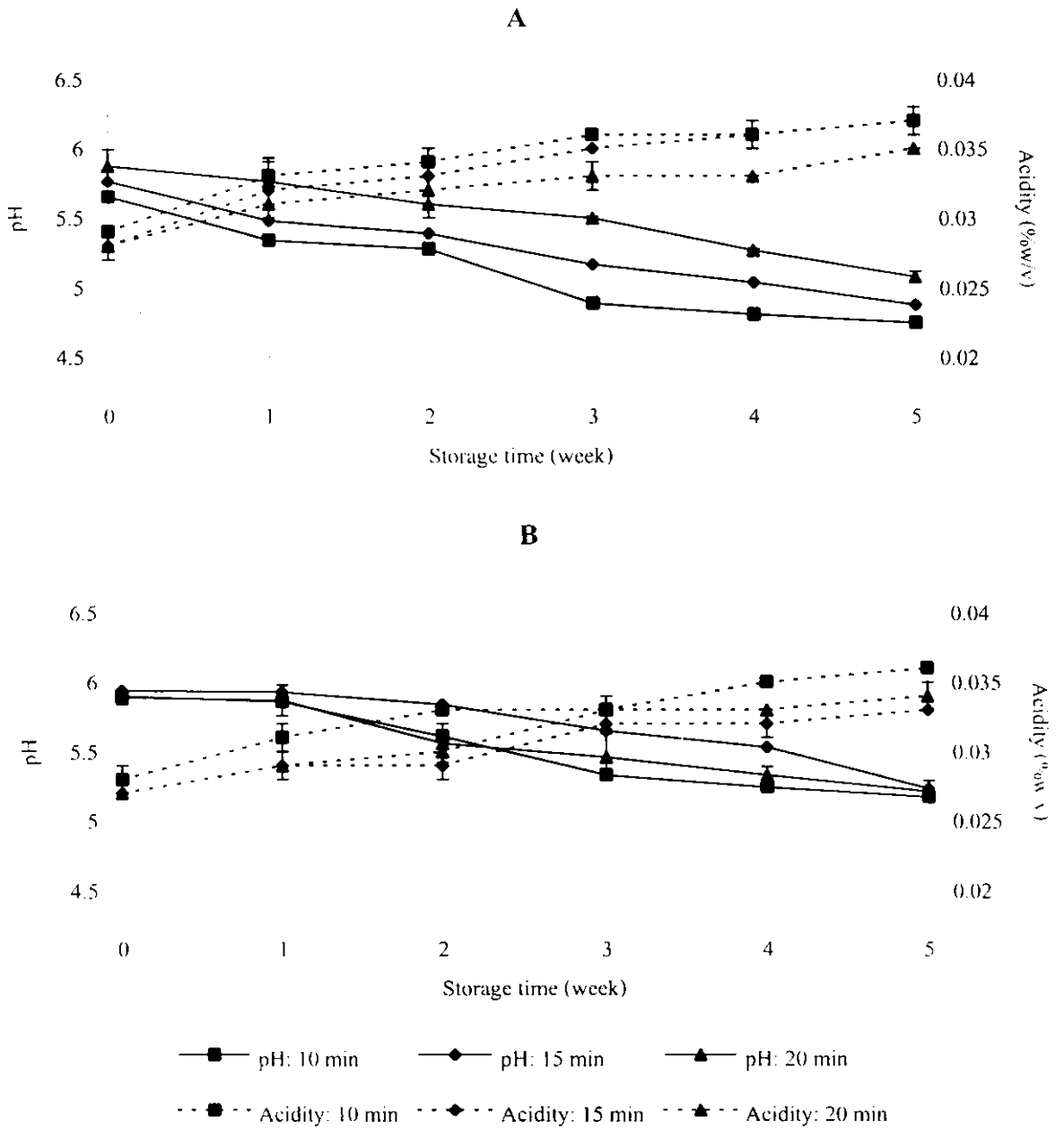
เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าการเก็บรักษานานขึ้นมีผลให้พีเอชมีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) ขณะที่ปริมาณกรดทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) (ภาพที่ 5) น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที มีปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นร้อยละ 26.44 และ 14.29 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งอาจเกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (ตารางที่ 12)โดยจุลินทรีย์จะเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นกรดทำให้น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์มีปริมาณกรดแลกติกเพิ่มขึ้นและมีผลทำให้ค่าพีเอชลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของปราโมทย์ ธรรมรัตน์ (2521) ที่กล่าวว่าเมื่อมีการเจริญของแลกติกแบคทีเรียในน้ำตาลโตนด ทำให้เกิดกรดแลกติกเป็นผลผลิตหลักน้ำตาลโตนดจึงมีพีเอชลดลงและมีรสเปรี้ยว

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

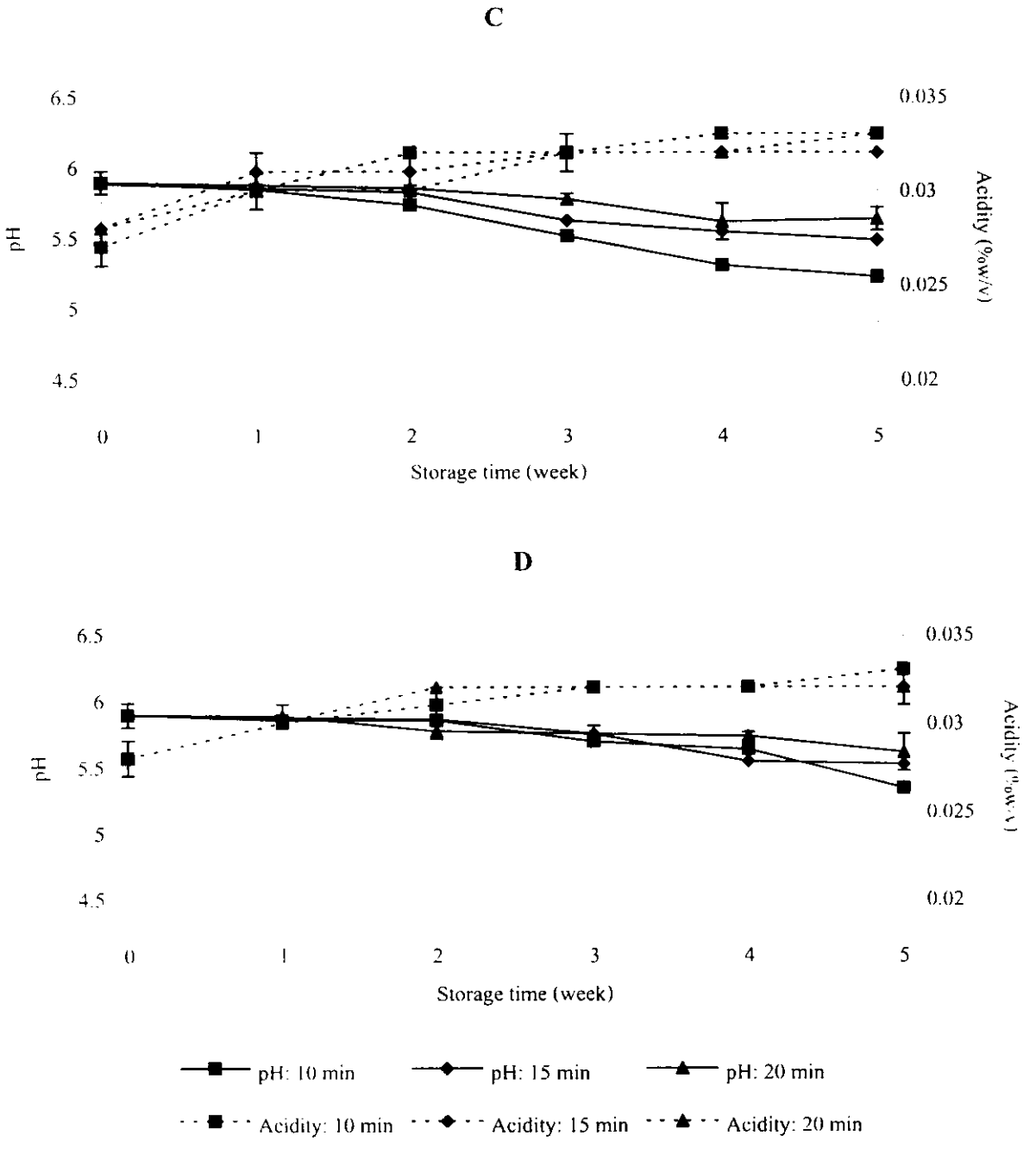
อุณหภูมิ (^{0}ซ)	เวลา (นาที)	พีเอช	ปริมาณกรด (%คิดในรูปกรดแลกติก)	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (^{0}Brix)	น้ำตาลทั้งหมด (%w/w)	น้ำตาลรีดิวซ์ (%w/w)
Fresh palm sap*		5.76±0.18^{ns}	0.032±0.001^{e}	11.2±0.0^{a}	10.91±0.21^{d}	0.67±0.02^{c}
70	10	5.65±0.03^{ns}	0.029±0.002^{d}	11.5±0.1^{ab}	11.66±0.32^{b}	0.48±0.02^{bc}
	15	5.76±0.16^{ns}	0.028±0.001^{bc}	11.6±0.2^{abc}	11.78±0.21^{bc}	0.46±0.01^{ab}
	20	5.87±0.12^{ns}	0.028±0.001^{bc}	11.7±0.3^{abc}	12.18±0.11^{de}	0.46±0.01^{ab}
80	10	5.90±0.15^{ns}	0.028±0.001^{cd}	12.1±0.3^{bcd}	11.99±0.14^{cd}	0.46±0.01^{ab}
	15	5.94±0.14^{ns}	0.027±0.002^{a}	11.9±0.5^{abcd}	12.49±0.30^{f}	0.46±0.01^{ab}
	20	5.89±0.08^{ns}	0.027±0.002^{a}	12.3±0.2^{cd}	12.58±0.14^{f}	0.46±0.00^{ab}
90	10	5.84±0.09^{ns}	0.027±0.001^{ab}	11.9±0.2^{abcd}	12.39±0.11^{ef}	0.45±0.01^{a}
	15	5.88±0.09^{ns}	0.028±0.001^{bc}	12.0±0.2^{bcd}	12.54±0.10^{f}	0.47±0.01^{ab}
	20	5.89±0.08^{ns}	0.028±0.002^{bc}	12.3±0.3^{cd}	12.61±0.02^{f}	0.47±0.00^{ab}
100	10	5.89±0.09^{ns}	0.028±0.001^{cd}	12.5±0.1^{de}	12.47±0.13^{ef}	0.49±0.01^{c}
	15	5.89±0.11^{ns}	0.028±0.001^{cd}	13.0±0.1^{ef}	13.03±0.03^{g}	0.51±0.01^{d}
	20	5.89±0.09^{ns}	0.028±0.001^{bc}	13.2±0.8^{f}	13.17±0.10^{g}	0.51±0.02^{d}

หมายเหตุ: * ทำการวิเคราะห์ทางเคมีภายใน 15 ชั่วโมงหลังจากเก็บน้ำตาลโตนดสดมาจากสวน

แต่ละค่าของการทดลองมาจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่า SD. ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมภ์แสดงความแตกต่างกันทางสถิต ($p<0.05$). ^{ns}, not significant at $p<0.05$



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

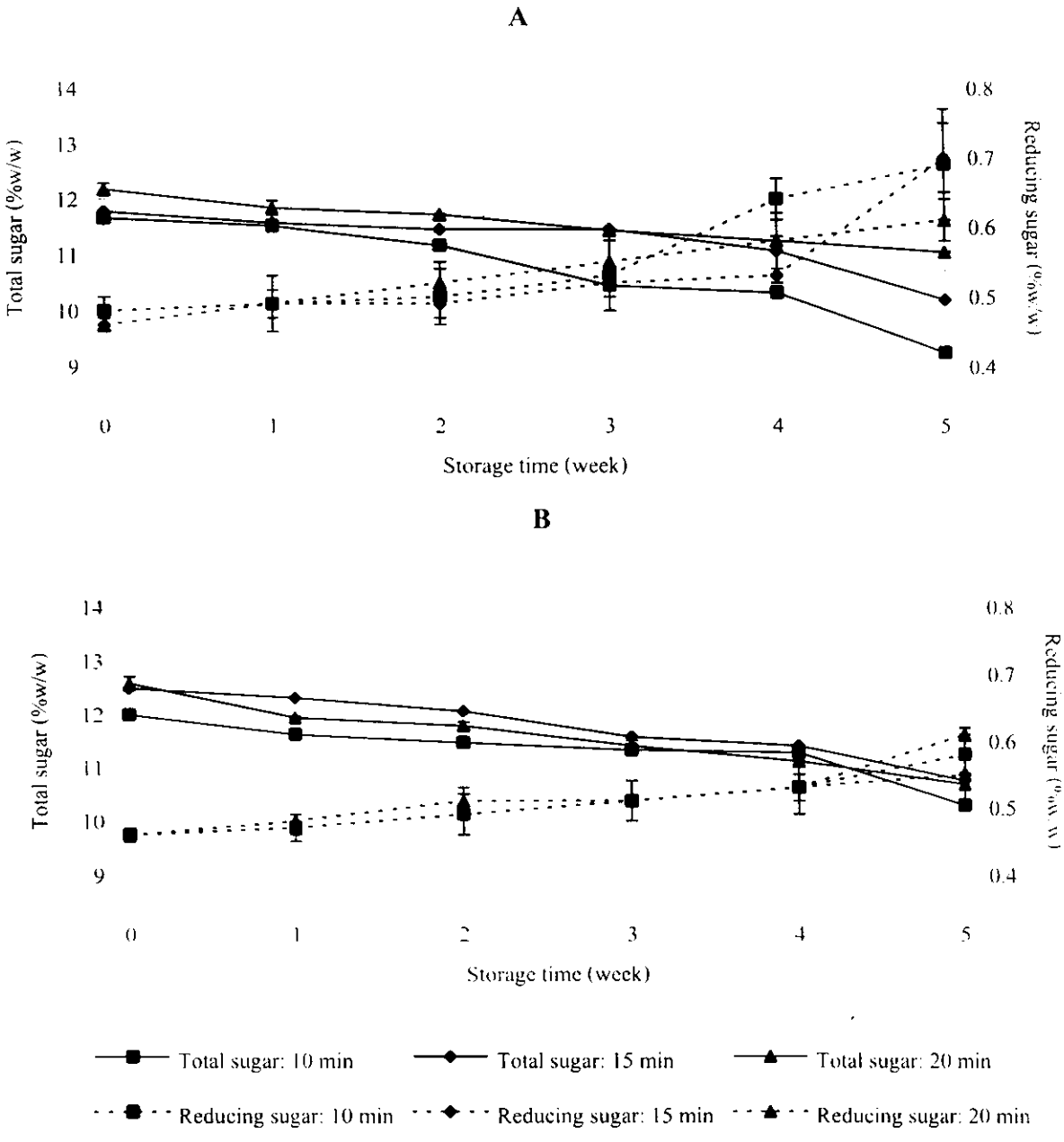

C
6.5
6
5.5
5
4.5
pH
0.035
0.03
0.025
0.02
Acidity (%w/v)
0
1
2
3
4
5
Storage time (week)
D
6.5
6
5.5
5
4.5
pH
0.035
0.03
0.025
0.02
Acidity (%w/v)
0
1
2
3
4
5
Storage time (week)
pH: 10 min
pH: 15 min
pH: 20 min
Acidity: 10 min
Acidity: 15 min
Acidity: 20 min

ภาพที่ 5 (ต่อ)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ทั้งหมดหลังการพาสเจอร์ไรส์ พบว่าน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นจากน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาผลของการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน พบว่าการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำตาลโตนดที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.7 12.3 12.3 และ 13.2 องศาบริกซ์ ตามลำดับ (ตารางที่ 9) ทั้งนี้เกิดจากในการพาสเจอร์ไรส์มีน้ำบางส่วนระเหยขณะให้ความร้อนจึงทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น ขณะที่ระยะเวลาการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเล็กน้อย ($p<0.05$) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำตาลโตนดที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 10 15 และ 20 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.5 11.6 และ11.7 องศาบริกซ์ ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

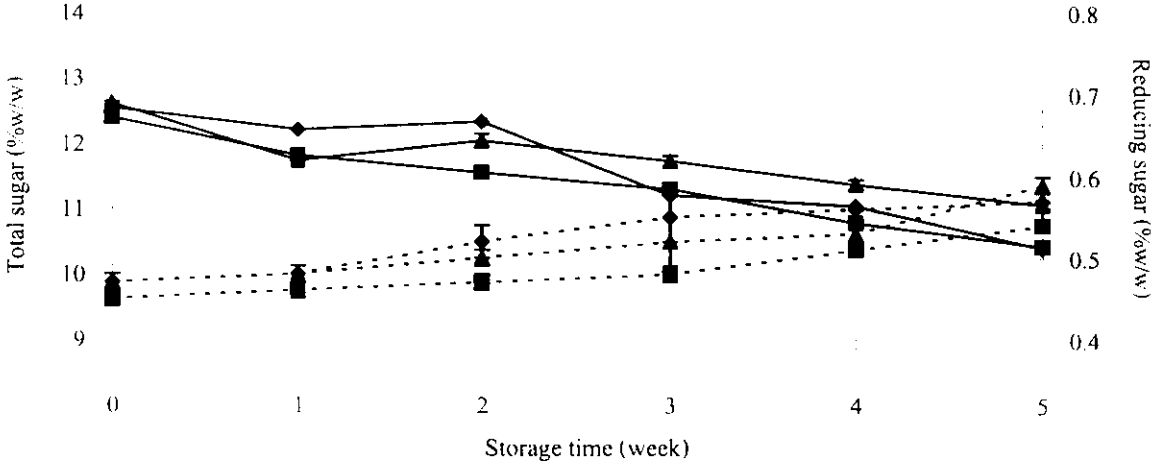
ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังการพาสเจอร์ไรส์ พบว่าน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นจากน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) ทั้งนี้น่าจะเกิดจากการพาสเจอร์ไรส์ทำให้น้ำบางส่วนระเหยไปขณะให้ความร้อน ขณะที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าลดลงจากน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ เกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์สอดคล้องกับค่าสีดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นและทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลง เมื่อพิจารณาผลของการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างกัน พบว่าการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิสูงและระยะเวลานานขึ้นทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำตาลโตนดที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 12.18 12.58 12.61 และ 13.17 ตามลำดับ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.46 0.47 0.47 และ 0.51 ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายทั้งหมด ($p>0.05$) แต่มีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) (ภาพที่ 6) น้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เก็บรักษานาน 5 สัปดาห์ มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลงไปเท่ากับร้อยละ 20.67 และ 6.53 และมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นร้อยละ 44.44 และ 25.49 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ ทั้งนี้อาจเนื่องจากจุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์และแลกติกแบคทีเรียมีจำนวนเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 12) โดยยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์และแอลกอฮอล์ ขณะที่แลกติกแบคทีเรียจะมีการใช้น้ำตาลกลูโคสแล้วทำให้เกิดเป็นกรดแลกติก ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าลดลง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากกรดส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นยังคงเป็นของแข็งที่ละลายได้

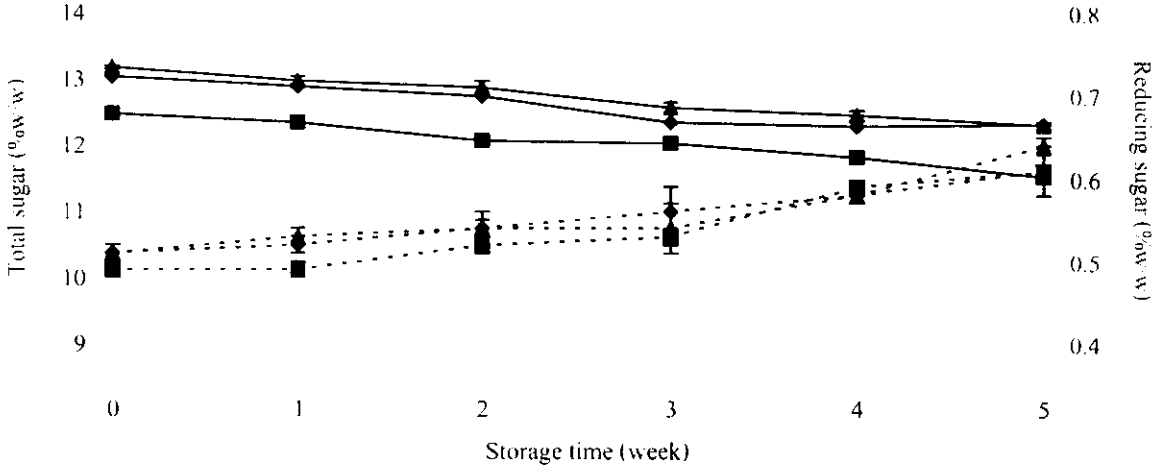


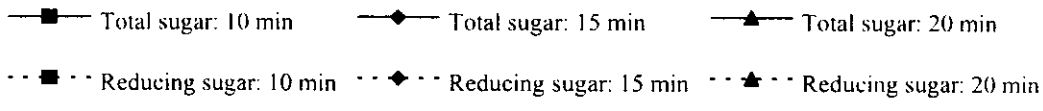
ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 (A) 80 (B) 90 (C) และ 100 (D) องศาเซลเซียส ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์

C


14
13
12
11
10
9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0
1
2
3
4
5
Storage time (week)
Reducing sugar (%w/w)

D


14
13
12
11
10
9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0
1
2
3
4
5
Storage time (week)
Reducing sugar (%w/w)


Total sugar: 10 min
Total sugar: 15 min
Total sugar: 20 min
Reducing sugar: 10 min
Reducing sugar: 15 min
Reducing sugar: 20 min

ภาพที่ 6 (ต่อ)

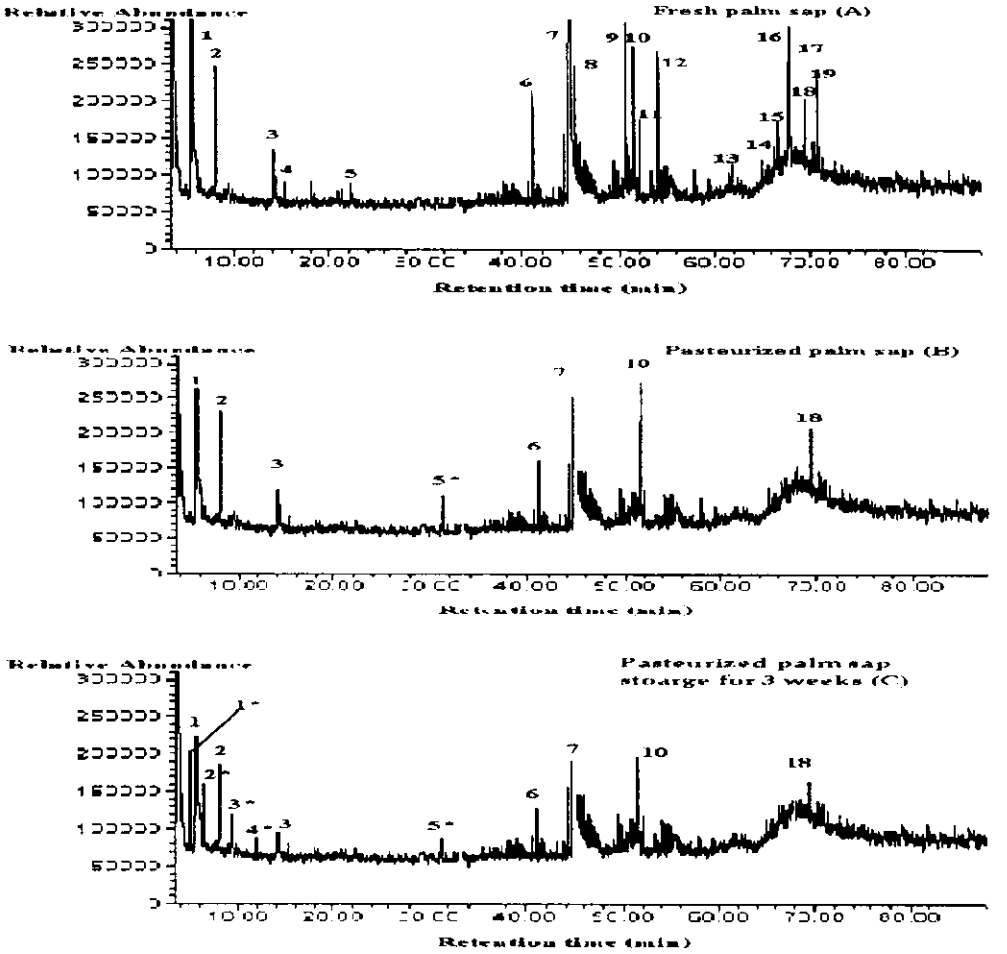
จากการวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ พบว่ามีสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดเดียวกับน้ำตาลโตนดสดจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ 3-hydroxy-2-butanone, 1,3-butanediol, 1-tetradecene, 1-hexadecene, 1-octadecene และ n-docosane และพบสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดใหม่เพียง 1 ชนิด ได้แก่ 2,3-dihydrobenzofuran (ตารางที่ 10) ซึ่งมีกลิ่นน้ำตาลไหม้ (caramel odor) (Parliament and McGorrin, 2000) แสดงให้เห็นว่าความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์มีผลต่อการลดลงของสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสด เมื่อพิจารณาปริมาณของสารประกอบที่ระเหยได้ที่เป็นสารให้กลิ่นรสหลักในน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ พบว่าการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานขึ้นมีผลให้ปริมาณของ 3-hydroxy-2-butanone และ1,3-butanediol มีแนวโน้มลดลงโดยน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที มีปริมาณของ 3-hydroxy-2-butanone และ1,3-butanediol ลดลงไปเท่ากับร้อยละ 9.30 และ 18.81 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดสด ซึ่งสอดคล้องรายงานของ Yen และ Lin (1999) กล่าวว่าการใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์มีผลให้สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำฝรั่งมีปริมาณลดลงไปเท่ากับร้อยละ 36.52 ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบที่ระเหยได้บางส่วนระเหยไประหว่างการให้ความร้อน

เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับจากน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ เมื่อเก็บรักษาสำหรับน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ (อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที) นาน 3 สัปดาห์ พบว่ามีสารประกอบที่ระเหยได้ในกลุ่มแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์เกิดขึ้น ได้แก่ บิวทอกซีเอทธานอล เฮกซานอล ออกทานอลและกรดอะซิติก (ภาพที่ 7) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (off-odor) ในผลิตภัณฑ์ โดยแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ที่เกิดเพิ่มมากขึ้นอาจเนื่องจากจุลินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้นระหว่างการเก็บรักษา โดยพบว่าหลังการเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ (อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที) นาน 3 สัปดาห์ มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 2.43×10^{1} โคโลนีต่อมิลลิตร (จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นเท่ากับ 1.50×10^{2} โคโลนีต่อมิลลิตร ซึ่งสอดคล้องกับ รายงานของ Yen และ Lin (1999) ที่กล่าวว่าน้ำฝรั่งระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 60 วัน จะมีสารประกอบที่ระเหยได้ในกลุ่มแอลกอฮอล์ซึ่งน่าจะเกิดจากยีสต์

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

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

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



ภาพที่ 7 โครมาโตแกรมของสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสด (A) น้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที (B) และน้ำตาลโตนดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เมื่อเก็บรักษานาน 3 สัปดาห์ (C)

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

2.1.3 คุณสมบัติทางจุลชีววิทยา

ผลการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ พบว่าการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิสูงและเวลานานขึ้นทำให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ในกระบวนการแปรรูปทำให้น้ำตาลโตนดมีผลให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำตาลโตนดแปรรูปมีจำนวนน้อยกว่า 500 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 11) ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519) นอกจากนี้พบว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 80 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ไม่พบจุลินทรีย์

ผลการวิเคราะห์จำนวนยีสต์และราในน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 70 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ตรวจไม่พบยีสต์และรา (ตารางที่ 11) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของวราวุฒิ ครูส่ง (2538) ที่กล่าวว่ายีสต์และราเป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ทนต่อความร้อนจะถูกทำลายได้ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 60 องศาเซลเซียส นาน 5-10 นาที

ผลการวิเคราะห์จำนวนแลกติกแบคทีเรียในน้ำตาลโตนดหลังการพาสเจอร์ไรส์ พบว่าการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิตั้งแต่ 70 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ตรวจไม่พบแลกติกแบคทีเรีย (ตารางที่ 11) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสุมณฑา วัฒนสินธุ์ (2545) ที่กล่าวว่าแลกติกแบคทีเรียจะถูกทำลายได้ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

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

น้ำตาลโตนดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์จะถูกนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ จากการศึกษาพบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และรา และจำนวนแลกติกแบคทีเรีย (ตารางที่ 12) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์มาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ ซึ่งกำหนดว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 500 โคโลนีต่อมิลลิลิตร จำนวนยีสต์และรา ไม่เกินน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519) พบว่าน้ำตาลโตนดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 และ 20 นาที และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 และ 15 นาที สามารถเก็บรักษาได้นาน 2 สัปดาห์ น้ำตาลโตนดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 20

นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 10 15 และ 20 นาที และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที สามารถเก็บรักษาได้นาน 3 สัปดาห์ ขณะที่น้ำตาลโตนดที่ผ่านพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 และ 20 นาที สามารถเก็บรักษาได้นานตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 5 สัปดาห์

ตารางที่ 11 คุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 15 และ 20 นาที

อุณหภูมิ (^{0}ซ)	เวลา (นาที)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	จำนวนยีสต์และรา (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	จำนวนแลกติกแบคทีเรีย (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)
น้ำตาลโตนดสด		6.04×10^7	3.66×10^6	2.59×10^7
70	10	5.68×10^2	0	0
	15	1.50×10^2	0	0
	20	1.31×10^2	0	0
80	10	5.60×10^1	0	0
	15	3.05×10^1	0	0
	20	0	0	0
90	10	0	0	0
	15	0	0	0
	20	0	0	0
100	10	0	0	0
	15	0	0	0
	20	0	0	0

หมายเหตุ: * ทำการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาภายใน 15 ชั่วโมงหลังจากเก็บน้ำตาลโตนดสดมาจากสวน แต่ละค่าของการทดลองมาจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ 12 คุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 15 และ 20 นาที ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์

อุณหภูมิ (^{0}ซ)	เวลา (นาที)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	จำนวนยีสต์และรา (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	จำนวนแลกติกแบคทีเรีย (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)
70	10	0	5.68×10^2	0	0
		1	2.41×10^3	0	0
		2	3.07×10^3	3.32×10^2	7.12×10^1
		3	9.42×10^3	1.47×10^3	6.49×10^2
		4	1.33×10^5	3.43×10^3	2.49×10^3
		5	2.72×10^5	1.45×10^4	5.27×10^3
70	15	0	1.50×10^2	0	0
		1	1.50×10^2	0	0
		2	3.93×10^2	0	0
		3	2.43×10^3	1.01×10^2	5.09×10^1
		4	1.08×10^5	7.53×10^3	2.43×10^3
		5	2.28×10^5	1.32×10^4	4.43×10^3
70	20	0	1.31×10^2	0	0
		1	1.49×10^2	0	0
		2	1.16×10^2	0	0
		3	1.55×10^3	2.49×10^2	1.13×10^2
		4	1.69×10^5	2.38×10^3	1.04×10^3
		5	2.29×10^5	5.03×10^3	3.23×10^{23}
80	10	0	5.60×10^1	0	0
		1	1.50×10^2	0	0
		2	3.62×10^2	0	0
		3	1.03×10^3	1.06×10^2	8.12×10^1
		4	2.45×10^3	1.39×10^3	7.58×10^2
		5	8.23×10^3	2.84×10^3	2.49×10^3

อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	จำนวนยีสต์และรา (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	จำนวนแลกติกแบคทีเรีย (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)
80	15	0	3.05×10^{1}	0	0
		1	6.15×10^{1}	0	0
		2	1.60×10^{2}	0	0
		3	6.88×10^{2}	8.70×10^{1}	5.28×10^{1}
		4	1.45×10^{3}	8.42×10^{2}	6.51×10^{2}
		5	6.98×10^{3}	9.54×10^{2}	8.13×10^{2}
80	20	0	0	0	0
		1	4.33×10^{1}	0	0
		2	1.37×10^{2}	0	0
		3	3.17×10^{2}	0	0
		4	1.26×10^{3}	5.28×10^{2}	4.58×10^{2}
		5	5.20×10^{3}	7.15×10^{2}	6.54×10^{2}

2.2 การใช้ความร้อนระดับระดับสเตอริไลส์

จากการศึกษาระยะเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแปรรูปน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์บรรจุกระป๋อง กำหนดค่า F_0 เท่ากับ 3.5 ตาม Adams and Moss (1995 อ้างโดยสุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545) ซึ่งกำหนดว่ากลุ่มอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (พีเอชมากกว่า 4.5) จะต้องกำหนดค่า F_0 อย่างน้อยเท่ากับ 3.0 ในการศึกษาพบว่าเมื่อกำหนด F_0 เท่ากับ 3.5 ที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส จะต้องใช้เวลาในการฆ่าเชื้อนาน 25 (ตารางที่ 13) และภาพที่ 8 จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์หลังการแปรรูป พบว่าน้ำตาลโตนดมีสีน้ำตาลเข้มและมีกลิ่นน้ำตาลไหม้ (คาราเมล) และผลการทดสอบ sterility test ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ น้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ที่ผ่านการแปรรูปและนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน จะนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีทุก 2 สัปดาห์

ภาพที่ 8 น้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที

2. 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดภายหลังการสเตอริไลส์ พบว่าค่าสีและความขุ่นของน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์มีค่าลดลงแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) โดยค่า L มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70.37 ค่า a มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.30 และค่า b มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.30 และค่าความขุ่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 68.41 (ตารางที่ 14) แสดงว่าน้ำตาลโตนดที่ผ่านให้ความร้อนระดับสเตอริไลส์มีเหลืองปนน้ำตาลและความทึบแสงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในการสเตอริไลส์มีการให้ความร้อนในระดับที่สูงอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช้เอนไซม์ระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโน (Joslyn, 1957 อ้างโดย Yeom *et al.*, 2000)

ตารางที่ 13 สภาวะการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการผลิตน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์

สภาวะการศึกษา	
ขนาดกระป๋อง	307 x 409
จำนวนกระป๋อง	12
น้ำหนักสุทธิ	580 กรัม
ปริมาตรสุทธิ	550 มิลลิลิตร
พีเอช	5.8
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้	11.8 องศาบริกซ์
อุณหภูมิและเวลาระหว่างกระบวนการให้ความร้อน	114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที
อุณหภูมิเริ่มต้น	34.4 องศาเซลเซียส
Come up time	8 นาที
Heating parameter	
- fh	6.9
- fh	-
- j	0.352
- Xbh	
- Lethality (F_0)/Criteria	3.5 (Formula Method)

เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน พบว่าระยะการเก็บรักษาที่นานขึ้นมีผลให้ค่า L และค่าการทะลุผ่านของแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ($p<0.05$) น้ำตาลโตนดสเตอริไลส์หลังจากการเก็บรักษานาน 6 เดือน ค่า L เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.12 และค่าการทะลุผ่านของแสงเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดหลังการสเตอริไลส์ แสดงว่าเมื่อเก็บรักษานานขึ้นน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์มีความใสมากขึ้น (ตารางที่ 15) ซึ่งเมื่อเปิดกระป๋องน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์จะสังเกตเห็นว่ามีตะกอนอยู่ที่ก้นกระป๋องเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเกิดจากอนุภาคที่แขวนลอยอยู่เกิดจากรวมตัวกันและมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นจนไม่สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำผลไม้ได้จึงตกตะกอนลงมา (Shomer, 1988 อ้างโดย พัชรินทร์ อรัญวัฒน์, 2542)

2.2.2 คุณสมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชของน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.79 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 11.8 องศาบริกซ์ ปริมาณกรดทั้งหมด (คิดในรูปกรดแลกติก) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.031 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 11.71 และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่า

เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.56 (ตารางที่ 14) จะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากมีการให้ความร้อนน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที เพื่อไล่อากาศก่อนปิดผนึกกระป๋องอาจมีผลทำให้น้ำบางส่วนระเหยไป เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน พบว่าค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าคงที่ ($p>0.05$) เมื่อเก็บรักษานานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ไม่มีจุลินทรีย์เหลืออยู่ (จากผลการทดสอบ Sterility test) จึงไม่มีการสร้างกรดขึ้นในผลิตภัณฑ์ ส่วนปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์สัปดาห์ที่ 0-20 ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่ในสัปดาห์ที่ 22 และ 24 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากสัปดาห์ที่ 20 ($p<0.05$) โดยมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 3.07 และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 15.09 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดหลังการสเตอริไลส์ (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 14 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที

คุณสมบัติ	น้ำตาลโตนดสด	น้ำตาลโตนดสเตอริไลส์
ค่า L	73.88 ± 0.60^{b}	70.37 ± 0.21^{a}
a	2.37 ± 0.07^{ns}	2.30 ± 0.02^{ns}
b	15.21 ± 0.06^{b}	14.30 ± 0.09^{a}
ค่าความขุ่น	77.58 ± 1.98^{b}	68.41 ± 0.40^{a}
พีเอช	5.76 ± 0.18^{ns}	5.79 ± 0.01^{ns}
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (^{0}Brix)	11.2 ± 0.0^{a}	11.8 ± 0.1^{b}
ปริมาณกรด (%กิดในรูปกรดแลกติก)	0.032 ± 0.000^{ns}	0.031 ± 0.002^{ns}
น้ำตาลทั้งหมด (%w/w)	10.91 ± 0.21^{a}	11.71 ± 0.14^{b}
น้ำตาลรีดิวซ์ (%w/w)	0.67 ± 0.02^{b}	0.56 ± 0.02^{a}

หมายเหตุ: * ทำการวิเคราะห์ทางเคมีภายใน 15 ชั่วโมงหลังจากเก็บน้ำตาลโตนดสดมาจากสวน

แต่ละค่าของการทดลองมาจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่า SD

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์แสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

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

ตารางที่ 15 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำตาลโตนดที่ผ่านการสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที ระหว่างการเก็บรักษานาน 6 เดือน

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

หมายเหตุ: แต่ละค่าของการทดลองมาจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่า SD

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมภ์แสดงความแตกต่างกันทางสถิต ($p<0.05$)

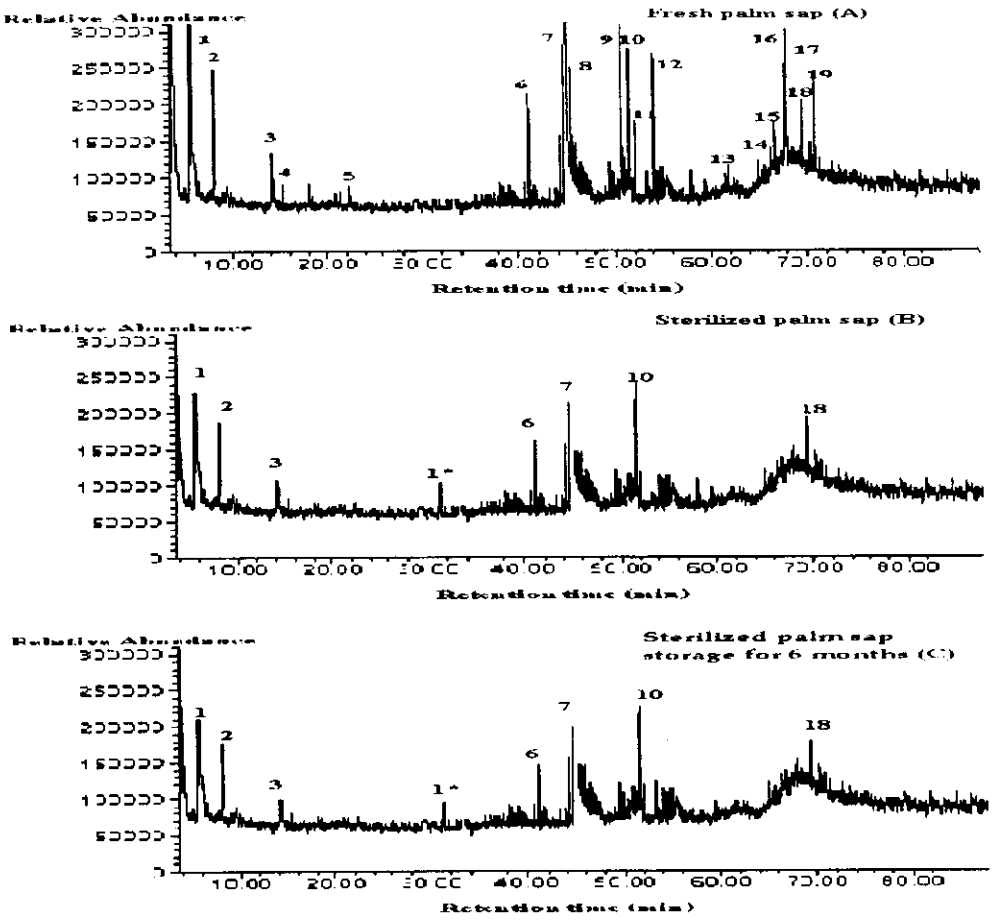
^{ns}, not significant at $p<0.05$

จากการวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ พบว่ามีสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดเดียวกับน้ำตาลโตนดสดจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ 3-hydroxy-2-butanone, 1,3-butanediol, 1-tetradecene, 1-hexadecene, 1-octadecene และ n-docosane (ตารางที่ 16) และมีสารประกอบที่ระเหยได้ที่เกิดขึ้นใหม่อีก 1 ชนิด คือ 2,3-dihydrobenzofuran มีกลิ่นน้ำตาลไหม้ (caramel odor) (Parliament and McGorrin, 2000) แสดงให้เห็นว่าความร้อนระดับสเตอริไลส์มีผลต่อการลดลงของสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสดและการเกิดสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดใหม่ ทั้งนี้อาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่น้ำตาลรีดิวซ์รวมตัวกับหมู่อะมิโนในผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันทำให้เกิดอนุพันธ์ของฟูแรน (Fennema, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Lambert และคณะ (1999) ที่กล่าวว่าการใช้ความร้อนระดับสเตอริไลส์มีผลให้สารประกอบที่ระเหยได้ในสตรอเบอรี่มีปริมาณลดลงและเกิดสารประกอบใหม่ เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ที่เป็นสารให้กลิ่นรสหลักในน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ พบว่าการสเตอริไรส์มีผลให้ 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol ลดลงไปเท่ากับร้อยละ 92.96 และ 94.03 ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน พบว่าชนิดและปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้มีปริมาณไม่แตกต่างจากน้ำตาลโตนดหลังการ สเตอริไลส์ (ภาพที่ 9) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ความร้อนระดับสเตอริไลส์สามารถทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ ทำให้น้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ไม่เกิดการเสื่อมเสียตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 6 เดือน

ตารางที่ 16 ปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที

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

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



ภาพที่ 9 โครมาโตแกรมของสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสด (A) น้ำตาลโตนดหลังผ่านการสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที (B) และน้ำตาลโตนดที่ผ่านการสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที เมื่อเก็บรักษานาน 6 เดือน (C)

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

3. ผลของความดันสูงต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดและการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

น้ำตาลโตนดสดจะถูกนำมาผ่านความดันสูงระดับความดัน 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที หลังจากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้แสดงดังภาพที่ 10

ภาพที่ 10 น้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพที่วิเคราะห์ภายหลังการผ่านความดัน ได้แก่ ค่าสีและความขุ่น พบว่าน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงมีค่าสีแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาผลของการให้ความดันที่ระดับและเวลาต่างกัน พบว่าการให้ความดันสูงที่ระดับ 200 400 และ 600 เมกกะปาสคาล มีผลให้ค่า L ต่ำกว่าน้ำตาลโตนดสด ($p>0.05$) โดยค่า L ของน้ำตาลโตนดที่ผ่านความดันที่ระดับ 200 400 และ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.38 73.06 และ 72.14 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ความดันที่ระดับสูงถึง 800 เมกกะปาสคาล ค่า L สูงกว่าการใช้ความดันระดับอื่น แต่ไม่แตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด โดยค่า L เท่ากับ 74.26 ($p<0.05$) ขณะที่ระยะเวลาการให้ความดันมีผลต่อค่า L เล็กน้อย ($p<0.05$) ค่า L ของน้ำตาลโตนดที่ผ่านความดันที่ระดับ 200 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.38 และ 73.29 ตามลำดับ (ตารางที่ 16) นอกจากนี้พบว่าน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงมีค่าการทะลุผ่านของแสงแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาผลของการให้ความดันที่ระดับและเวลาต่างกัน พบว่าค่าการทะลุผ่านของแสงในน้ำตาลโตนดที่ผ่านการใช้ความดันทุกระดับนาน 15 นาที มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ส่วนการใช้ความดันที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 30 นาที ค่าการ

ทะลุผ่านของแสงมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) ค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดที่ผ่านความดันที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63.94 64.10 65.18 และ 66.31 ตามลำดับ ขณะที่ระยะเวลาการให้ความดันไม่มีผลต่อค่าการทะลุผ่านของแสง ($p>0.05$) ค่าการทะลุผ่านของแสงของน้ำตาลโตนดที่ผ่านความดันที่ระดับ 200 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 64.87 และ 63.94 ตามลำดับ (ตารางที่ 17) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่า L และค่าการทะลุผ่านของแสงในน้ำตาลโตนดมีความสอดคล้องกันโดยค่า L และค่าการทะลุผ่านของแสงมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความดัน เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าการเก็บรักษาที่นานขึ้นมีผลให้ค่า L และค่าการทะลุผ่านของแสงมีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) (ภาพที่ 11) น้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ในสัปดาห์ที่ 5 มีค่า L มีลดลงไปเท่ากับร้อยละ 15.65 และ 15.67 ตามลำดับ และมีค่าการทะลุผ่านของแสงลดลงไปเท่ากับร้อยละ 35.81 และ 22.74 ตามลำดับ เทียบน้ำตาลโตนดหลังผ่านการใช้ความดัน แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษารักษานานขึ้นมีผลให้น้ำตาลโตนดมีความทึบแสงและขุ่นมากขึ้น

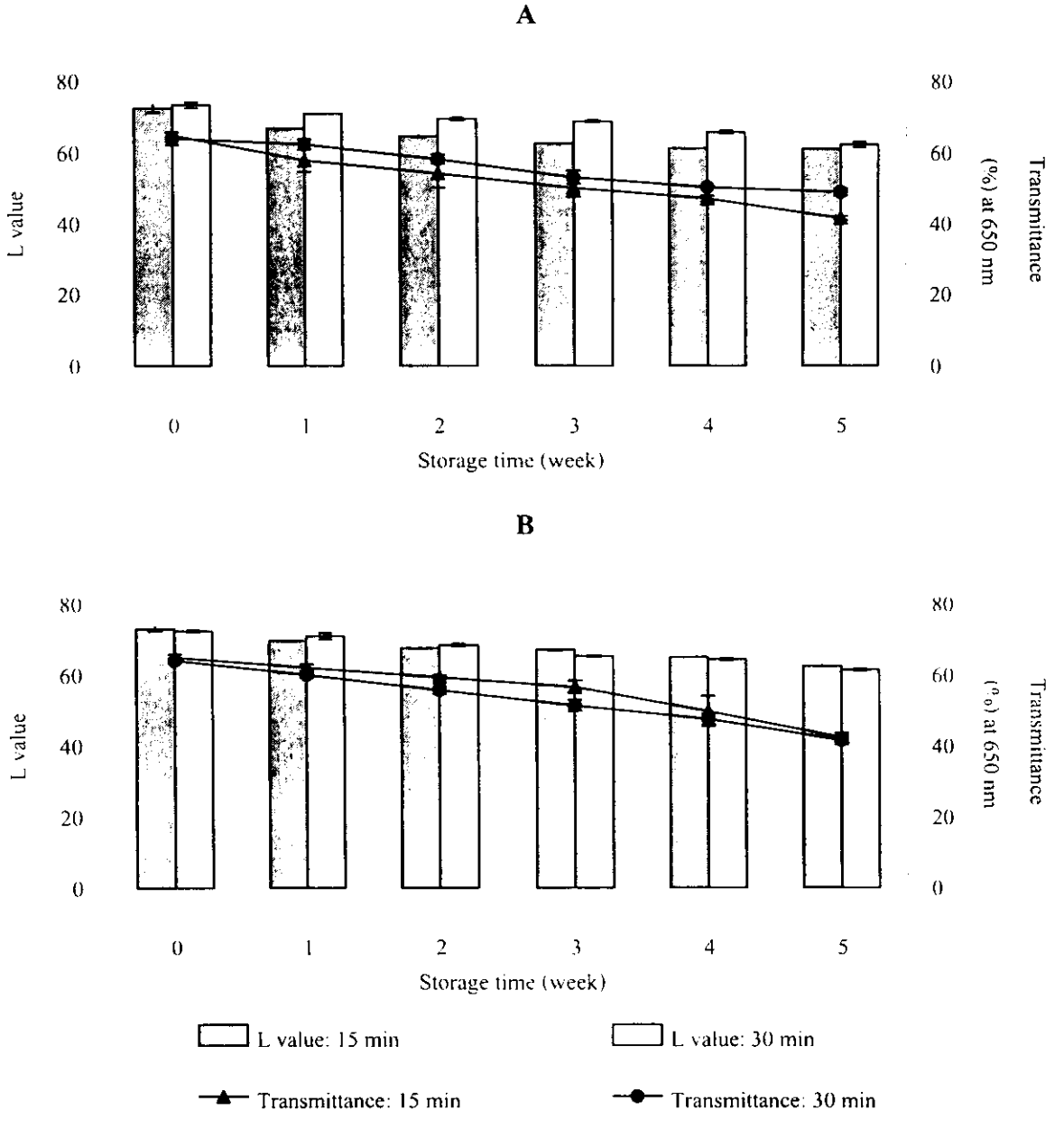
ตารางที่ 17 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที

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

หมายเหตุ: * ทำการวิเคราะห์ทางเคมีภายใน 15 ชั่วโมงหลังจากเก็บน้ำตาลโตนดสดมาจากสวน

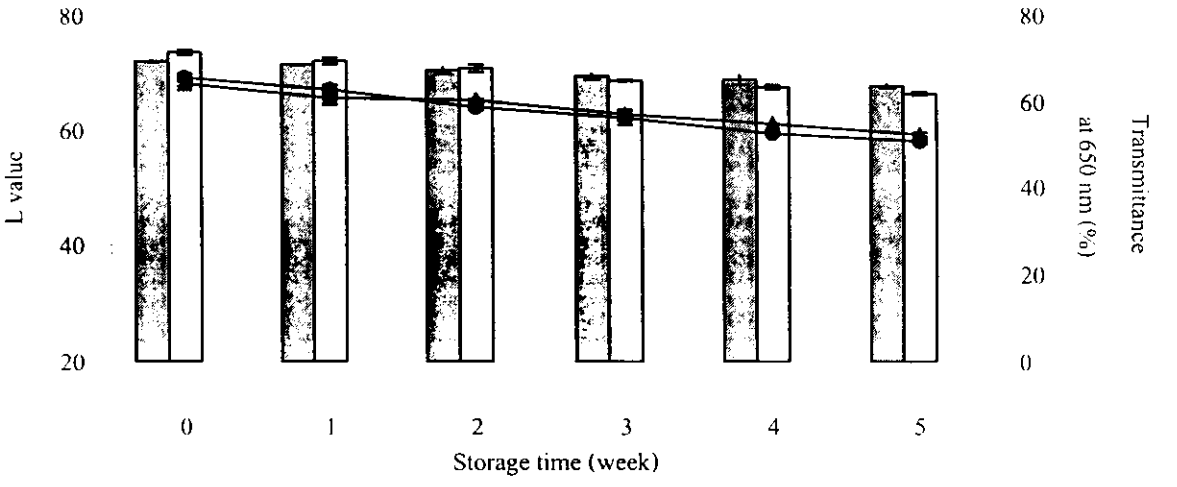
แต่ละค่าของการทดลองมาจากการทดลอง 3 ซ้ำ $\pm$ ค่า SD

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมภ์แสดงความแตกต่างกันทางสถิต ($p<0.05$)

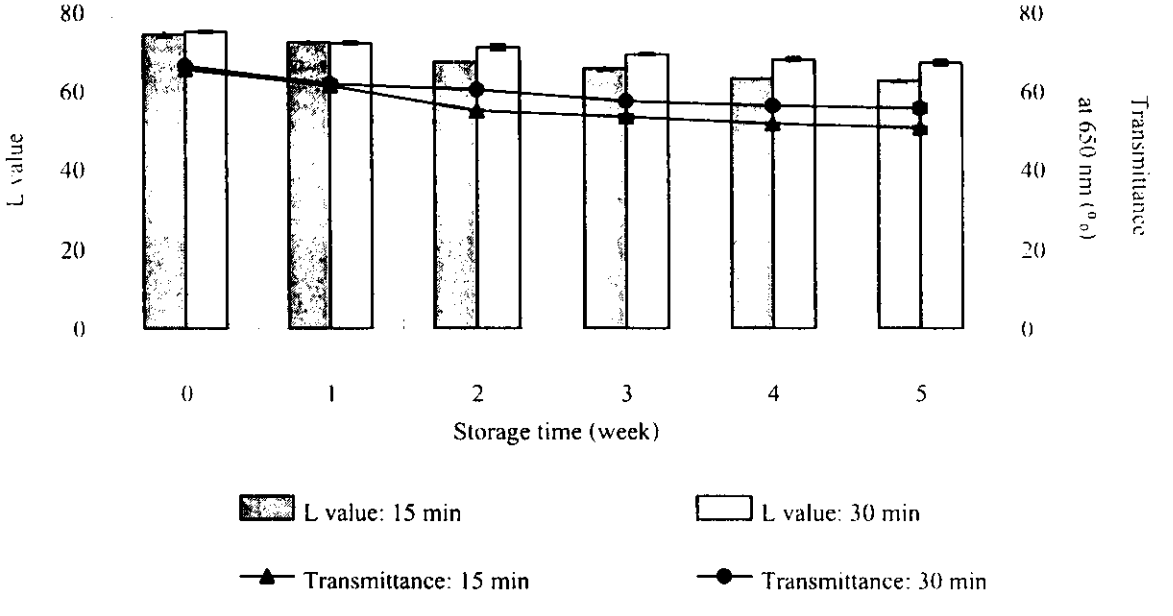


ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่า L และค่าการทะลุผ่านของแสงในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 (A) 400 (B) 600 (C) และ 800 (D) เมกกะปาสคาล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์

C


80
60
40
20
L value
80
60
40
20
0
Transmittance at 650 nm (%)
0
1
2
3
4
5
Storage time (week)

D


80
60
40
20
0
L value
80
60
40
20
0
Transmittance at 650 nm (%)
0
1
2
3
4
5
Storage time (week)
L value: 15 min
L value: 30 min
Transmittance: 15 min
Transmittance: 30 min

ภาพที่ 11 (ต่อ)

3.2 คุณสมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชของน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูง พบว่าค่าพีเอชไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($p>0.05$) แสดงว่าระดับความดันและเวลาการให้ความดันไม่มีผลต่อค่าพีเอช ค่าพีเอชของน้ำตาลโตนดที่ผ่านความดัน 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.63 5.65 5.58 และ 5.67 ตามลำดับ (ตารางที่ 18) ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (คิดในรูปกรดแลกติก) ในน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูง พบว่าปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงมีค่าใกล้เคียงกับน้ำตาลโตนดสด แต่อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาผลของการให้ความดันที่ระดับและเวลาต่างกันพบว่าการใช้ความดันที่ระดับสูงขึ้นทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลโตนดที่ผ่านความดัน 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.029 0.029 0.029 และ 0.028 โดยปริมาตร ตามลำดับ (ตารางที่ 18) ขณะที่ระยะเวลาการให้ความดันมีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมดเล็กน้อย ($p<0.05$)

เมื่อนำน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) ขณะที่ปริมาณกรดทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) (ภาพที่ 12) ปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที มีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 34.48 และ 25.00 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูง พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงมีค่าไม่แตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ($p>0.05$) แสดงว่าระดับความดันและระยะเวลาการให้ความดันไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำตาลโตนดที่ผ่านความดัน 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.2 องศาบริกซ์ (ตารางที่ 18)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำตาลโตนด หลังผ่านความดันสูง พบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าใกล้เคียงกับน้ำตาลโตนดสด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาผลของการให้ความดันที่ระดับและเวลาต่างกัน พบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเมื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำตาลโตนดที่ความดัน 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 11.59 11.44 11.62 และ 11.79 โดยน้ำหนักตามลำดับ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.76 0.84 0.93 และ 0.83 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (ตารางที่ 18)

เมื่อนำน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด ($p>0.05$) แต่มีผลให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) (ภาพที่ 13) น้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ในสัปดาห์ที่ 5 มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลงไปเท่ากับร้อยละ 14.64 และ14.91 ตามลำดับ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 90.43 และ 90.11 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดหลังผ่านการใช้ความดันสูงที่ระดับ 200 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ทั้งนี้อาจเนื่องจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลฟรักโทสและน้ำตาลกลูโคส (วราวุฒิ ครูส่ง, 2538) ทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลงและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 18 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดผ่านความดันที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที

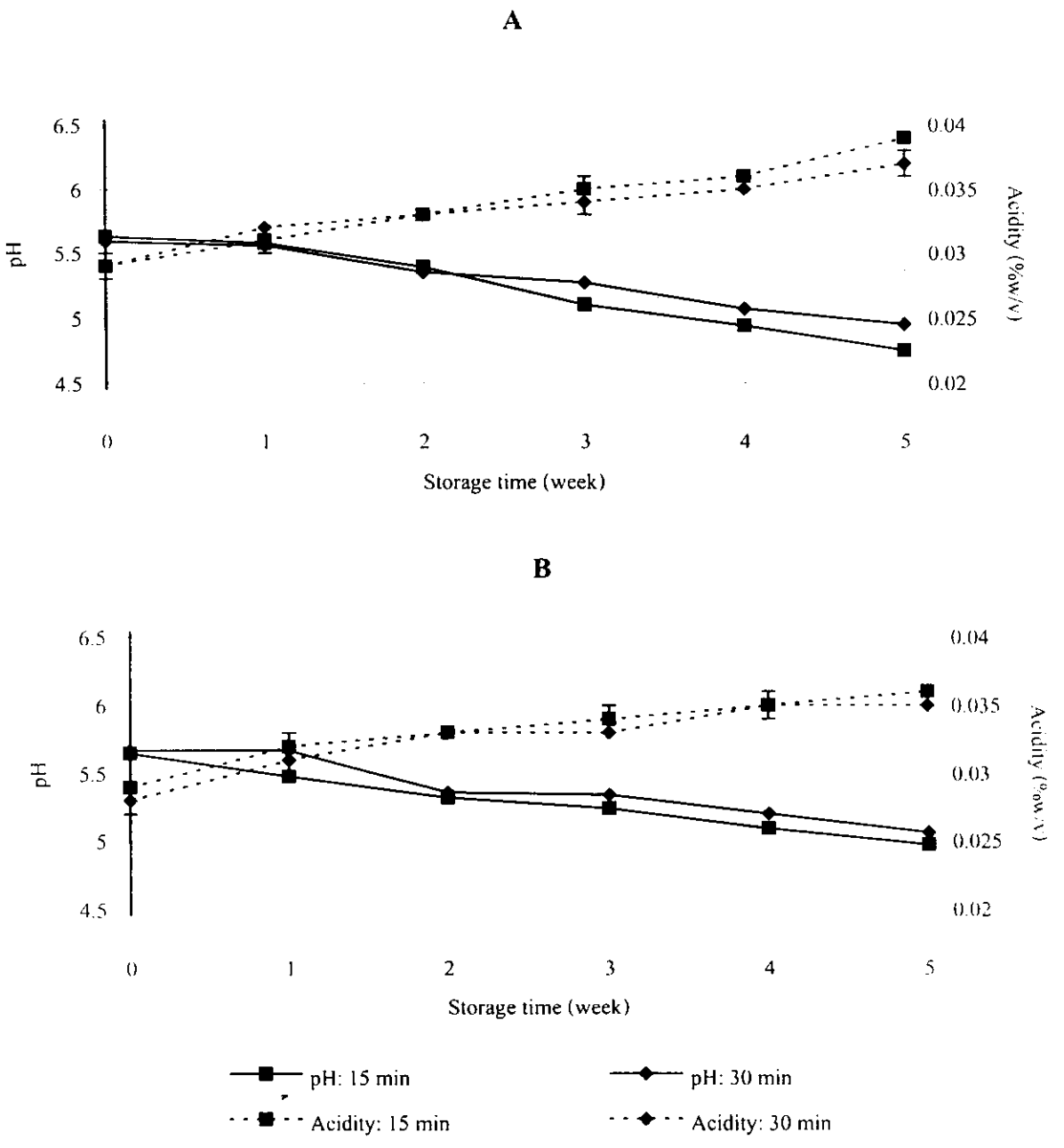
ระดับความดัน (เมกกะปาสคาล)	เวลา (นาที)	พีเอช	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (^{0}Brix)	ปริมาณกรด (%คิดในรูปกรดแลกติก)	น้ำตาลทั้งหมด (%w/w)	น้ำตาลรีดิวซ์ (%w/w)
น้ำตาลโตนดสด		5.76 ± 0.18^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.032 ± 0.00^{c}	10.91 ± 0.21^{a}	0.67 ± 0.02^{a}
200	15	5.63 ± 0.15^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.029 ± 0.001^{b}	11.59 ± 0.22^{cd}	0.76 ± 0.02^{ab}
	30	5.59 ± 0.08^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.029 ± 0.001^{b}	11.29 ± 0.01^{b}	0.87 ± 0.11^{bc}
400	15	5.65 ± 0.06^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.029 ± 0.000^{b}	11.44 ± 0.14^{bc}	0.84 ± 0.14^{bc}
	30	5.67 ± 0.05^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.028 ± 0.001^{a}	11.62 ± 0.10^{cd}	0.81 ± 0.10^{abc}
600	15	5.58 ± 0.13^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.029 ± 0.000^{b}	11.62 ± 0.08^{cd}	0.93 ± 0.09^{c}
	30	5.71 ± 0.21^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.028 ± 0.001^{a}	11.43 ± 0.01^{bc}	0.96 ± 0.09^{c}
800	15	5.67 ± 0.06^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.028 ± 0.000^{a}	11.79 ± 0.16^{d}	0.83 ± 0.08^{abc}
	20	5.66 ± 0.01^{ns}	11.2 ± 0^{ns}	0.028 ± 0.000^{a}	11.50 ± 0.09^{bc}	0.80 ± 0.06^{abc}

หมายเหตุ: * ทำการวิเคราะห์ทางเคมีภายใน 15 ชั่วโมงหลังจากเก็บน้ำตาลโตนดสดมาจากสวน

แต่ละค่าของการทดลองมาจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่า SD

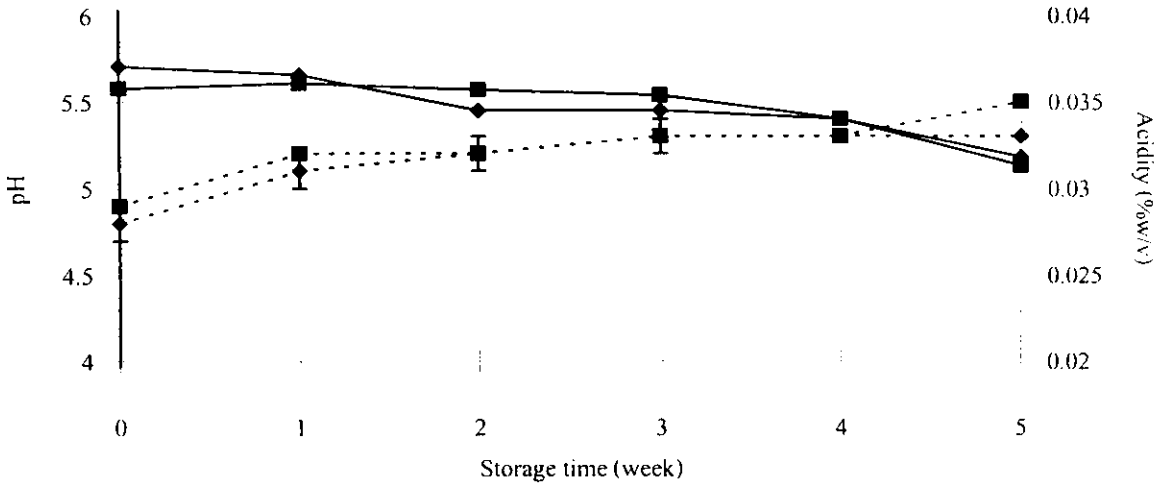
ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมภ์แสดงความแตกต่างกันทางสถิต ($p<0.05$)

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

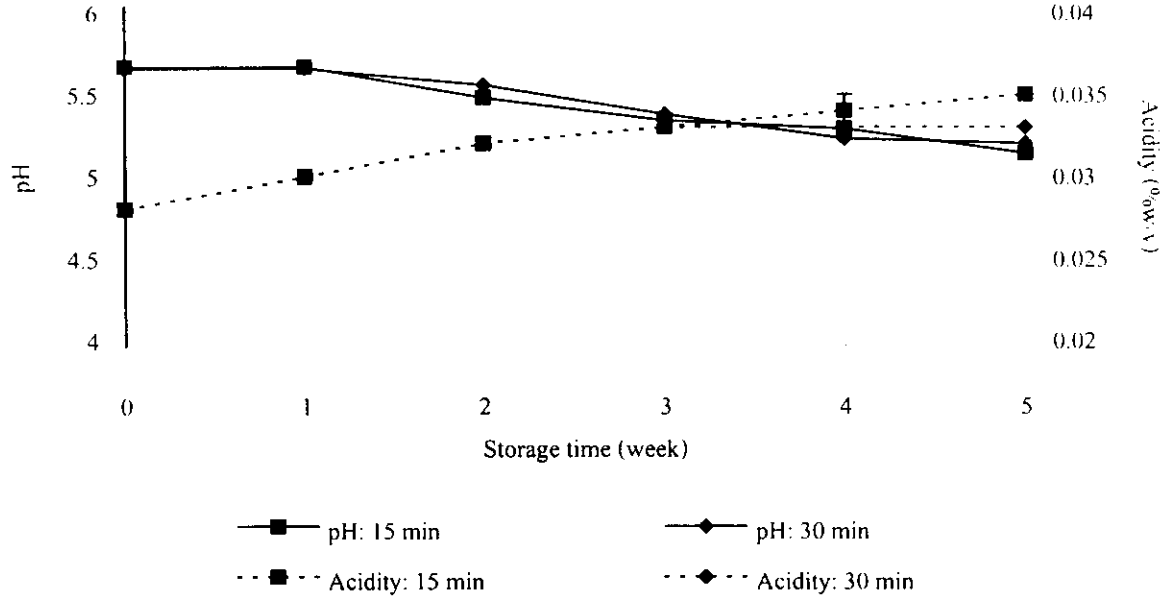


ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 (A) 400 (B) 600 (C) และ 800 (D)เมกกะปาสคาล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์

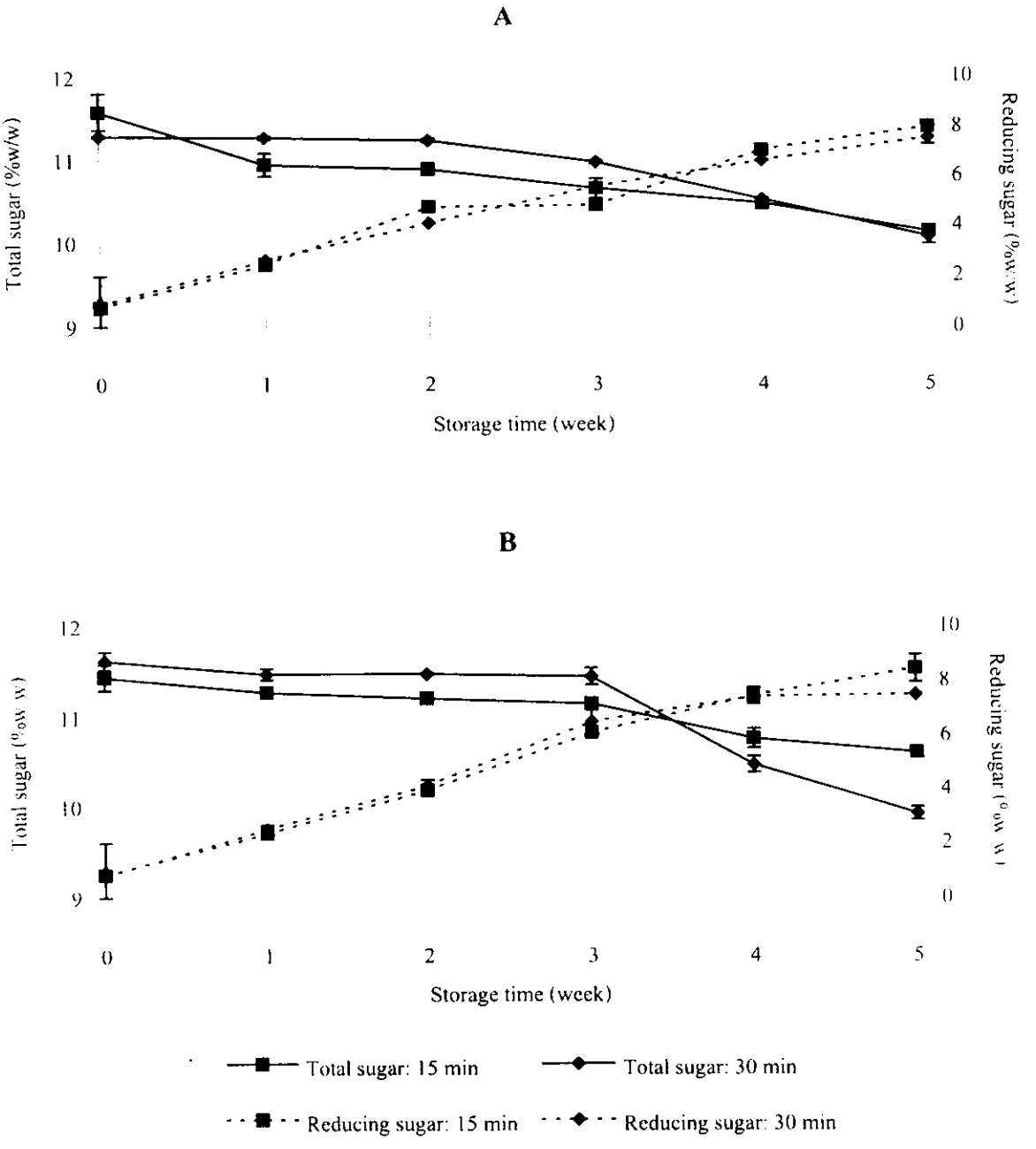
C


6
5.5
5
4.5
4
pH
0.04
0.035
0.03
0.025
0.02
Acidity (%w/v)
0
1
2
3
4
5
Storage time (week)

D

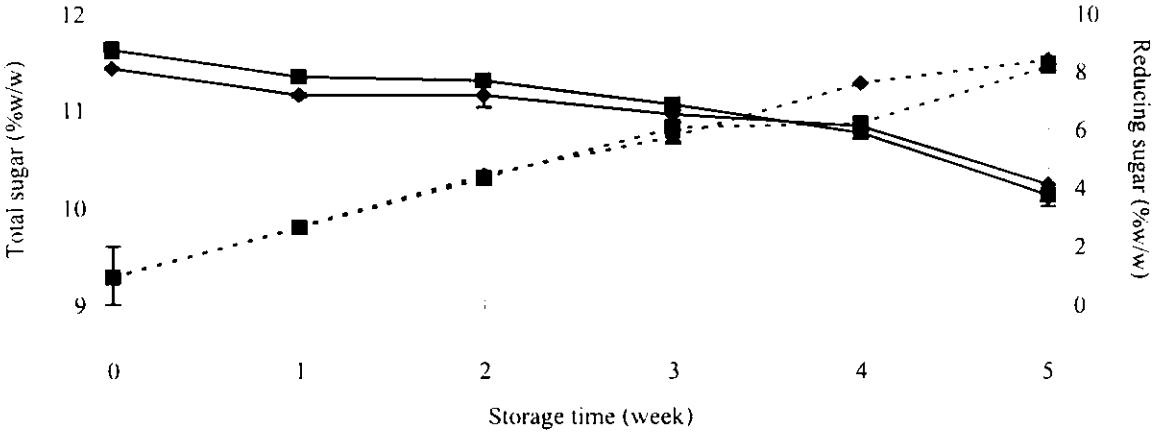

6
5.5
5
4.5
4
pH
0.04
0.035
0.03
0.025
0.02
Acidity (%w/v)
0
1
2
3
4
5
Storage time (week)
pH: 15 min
pH: 30 min
Acidity: 15 min
Acidity: 30 min

ภาพที่ 12 (ต่อ)

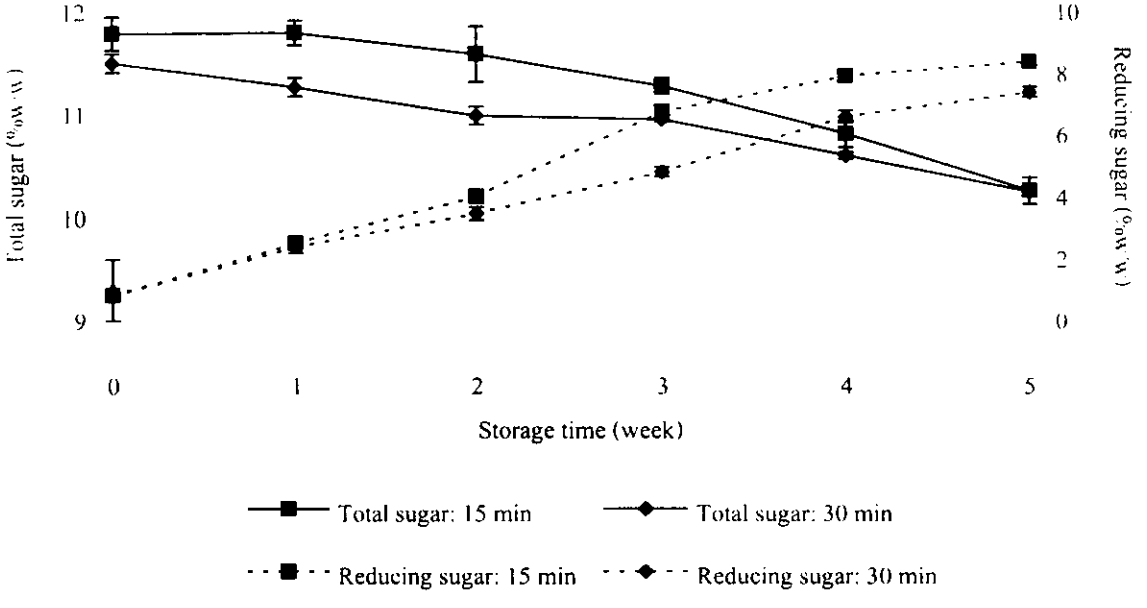


ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 (A) 400 (B) 600 (C) และ 800 (D) เมกกะปาสคาล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์

C


Total sugar (%w/w)
Reducing sugar (%w/w)
Storage time (week)

D


Storage time (week)
Total sugar: 15 min
Total sugar: 30 min
Reducing sugar: 15 min
Reducing sugar: 30 min

ภาพที่ 13 (ต่อ)

จากการวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูง พบว่าน้ำตาลโตนดผ่านความดันที่ระดับ 200 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที มีสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดเดียวกับน้ำตาลโตนดสดจำนวน 15 ชนิด ที่ความดัน 400 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที และ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที มีสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดเดียวกับน้ำตาลโตนดสดจำนวน 14 ชนิด ที่ความดัน 600 เมกกะปาสคาล นาน 30 นาที มีสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดเดียวกับน้ำตาลโตนดสดจำนวน 13 ชนิด และระดับความดันที่ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที มีสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดเดียวกับน้ำตาลโตนดสดจำนวน 12 ชนิด (ตารางที่ 19) การใช้ความดันสูงมีผลต่อการลดลงของสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสดแต่สามารถรักษาสารประกอบที่ระเหยได้มากกว่าการพาสเจอร์ไรส์และการสเตอริไลส์ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ความดันไม่มีผลต่อพันธะโควาเลนต์ในโครงสร้างของสารประกอบที่ระเหยได้ (Palou *et al.*, 1999) เมื่อพิจารณาสารประกอบที่ระเหยได้ที่เป็นสารให้กลิ่นรสหลักในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูง พบว่าการใช้ความดันที่ระดับสูงขึ้นและเวลานานขึ้นมีผลทำให้ 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol มีแนวโน้มลดลง โดยการใช้ความดันที่ระดับ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที มีผลให้ 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol ลดลงไปเท่ากับ 33.93 และ 15.80 ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Yen และ Lin (1999) ที่กล่าวว่าการใช้ความดันที่ระดับ 600 เมกกะปาสคาล นาน 5 นาที มีผลให้สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำฝรั่งมีปริมาณลดลงไปเท่ากับร้อยละ 5.22 และ Lambert (1999) รายงานว่าการให้ความดันที่ 800 เมกกะปาสคาล นาน 20 นาที มีผลให้สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำสตรอเบอรี่มีปริมาณลดลงไปเท่ากับร้อยละ 1.5

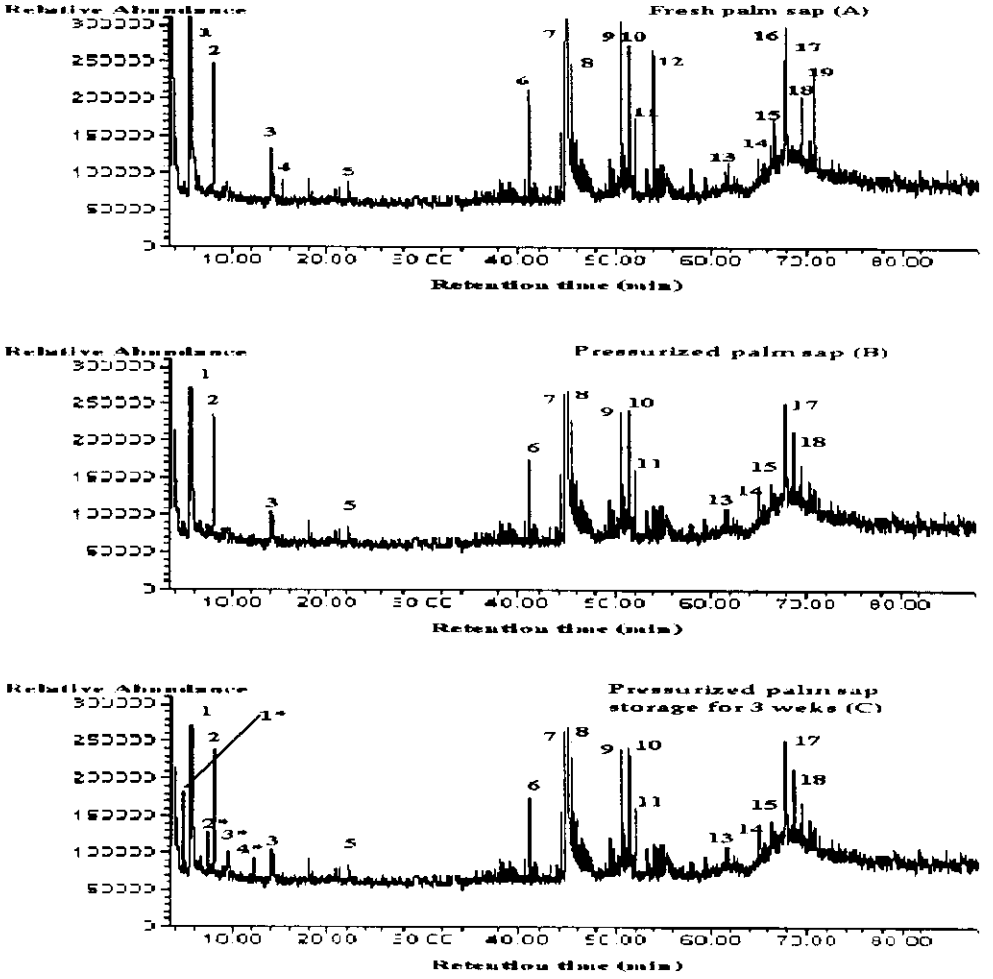
เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูง เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูง (600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที) นาน 3 สัปดาห์ พบว่ามีสารประกอบที่ระเหยได้ในกลุ่มแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์เกิดขึ้น ได้แก่ บิวทอก ซีเอทานอล เฮกซานอล ออกทานอลและกรดอะซิติก ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์ (ภาพที่ 14)

ตารางที่ 19 ปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที

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

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

ND : not detected



ภาพที่ 14 โครมาโตแกรมของสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสด (A) น้ำตาลโตนด หลังผ่านความดันสูงที่ระดับ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที (B) และน้ำตาลโตนด ที่ผ่านความดันสูงที่ระดับ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที เมื่อเก็บรักษา นาน 3 สัปดาห์ (C)

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

3.3 คุณสมบัติทางจุลชีววิทยา

ผลการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูงที่ความดัน 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที พบว่าการให้ความดันที่ระดับสูงขึ้นและระยะเวลานานขึ้นทำให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าการให้ความดันตั้งแต่ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 500 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 19) ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519) ทั้งนี้การลดลงของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอาจเกิดจากการเพิ่มและลดความดันอย่างรวดเร็วโดยการเพิ่มความดันจะทำให้เกิดการอัดตัวของน้ำบริเวณภายนอกรอบๆเซลล์ และเมื่อลดความดันจากระบบอย่างรวดเร็วจึงเกิดการแตกออกของเซลล์ (Basak *et al.*, 2002) นอกจากนี้ความดันอาจยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเอนไซม์ และไรโบโซมภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ โครงสร้างเหล่านี้จะถูกความดันทำลายพันธะไฮโดรเจนและสะพานเกลือ (salt bridge) ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างส่งผลให้เพิ่มการซึมผ่านของน้ำเข้าไปในเซลล์และทำลายสารทางพันธุกรรม (Isaacs and Chilton, 1995)

ผลการวิเคราะห์จำนวนยีสต์และราในน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูงพบว่า การให้ความดันที่ระดับสูงขึ้นและระยะเวลานานขึ้นทำให้จำนวนยีสต์และรามีแนวโน้มลดลง โดยการให้ความดันตั้งแต่ 400 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ตรวจไม่พบยีสต์และรา (ตารางที่ 20) ผลการวิเคราะห์จำนวนแลกติกแบคทีเรียในน้ำตาลโตนดหลังผ่านความดันสูง พบว่าการให้ความดันที่ระดับสูงขึ้นและระยะเวลานานขึ้นทำให้จำนวนแลกติกแบคทีเรียมีแนวโน้มลดลง การให้ความดันตั้งแต่ 400 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ตรวจไม่พบแลกติกแบคทีเรีย (ตารางที่ 20)

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

เมื่อนำน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ พบว่าการเก็บรักษานานขึ้นทำให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และรา และจำนวนแลกติกแบคทีเรีย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 21) เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์มาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มอก. 187-2519) พบว่าน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับความดัน 600 และ 800 เมกกะปาคาล นาน 15 และ 30 นาที สามารถเก็บได้นาน 2 สัปดาห์

ตารางที่ 20 คุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดสดและน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที

ระดับความดัน (เมกกะปาสคาล)	เวลา (นาที)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	จำนวนยีสต์และรา (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	จำนวนแลกติกแบคทีเรีย (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)
น้ำตาลโตนดสด		6.04×10^{7}	3.66×10^{6}	2.59×10^{7}
200	15	1.46×10^{5}	1.46×10^{4}	2.33×10^{3}
	30	1.21×10^{5}	3.47×10^{3}	1.13×10^{3}
400	15	5.96×10^{2}	0	0
	30	5.12×10^{2}	0	0
600	15	2.83×10^{2}	0	0
	30	1.22×10^{2}	0	0
800	15	1.15×10^{2}	0	0
	30	8.72×10^{1}	0	0

หมายเหตุ: * ทำการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาภายใน 15 ชั่วโมงหลังจากเก็บน้ำตาลโตนดสดมาจากสวน แต่ละค่าของการทดลองมาจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ 21 คุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 200 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 15 และ 30 นาที ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์

ความดัน (เมกกะปาสคาล)	เวลา (นาที)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	จำนวนยีสต์และรา (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	จำนวนแลกติกแบคทีเรีย (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)
200	15	0	1.46×10^{5}	1.46×10^{4}	2.33×10^{3}
		1	1.85×10^{5}	5.04×10^{4}	2.42×10^{3}
		2	2.99×10^{5}	1.73×10^{5}	4.79×10^{3}
		3	5.49×10^{5}	2.17×10^{5}	7.25×10^{3}
		4	7.83×10^{5}	6.68×10^{5}	6.75×10^{4}
		5	2.88×10^{6}	8.86×10^{5}	1.48×10^{6}

ความดัน (เมกกะปาสคาล)	เวลา (นาที)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	จำนวนยีสต์และรา (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	จำนวนแลกติกแบคทีเรีย (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)
200	30	0	1.21×10^{5}	2.37×10^{3}	1.13×10^{3}
		1	1.33×10^{5}	3.47×10^{3}	1.33×10^{3}
		2	2.47×10^{5}	7.91×10^{3}	2.05×10^{3}
		3	4.63×10^{5}	1.23×10^{4}	5.68×10^{3}
		4	6.48×10^{5}	6.44×10^{4}	6.06×10^{3}
		5	1.58×10^{6}	1.73×10^{5}	7.63×10^{3}
400	15	0	5.96×10^{2}	0	0
		1	1.45×10^{3}	8.88×10^{2}	0
		2	1.79×10^{3}	1.27×10^{3}	5.90×10^{4}
		3	2.84×10^{3}	1.68×10^{3}	6.47×10^{1}
		4	8.62×10^{3}	3.45×10^{3}	1.67×10^{2}
		5	4.56×10^{4}	3.59×10^{3}	3.97×10^{2}
400	30	0	5.12×10^{2}	0	0
		1	6.33×10^{2}	4.54×10^{1}	0
		2	1.78×10^{3}	7.42×10^{1}	4.26×10^{1}
		3	2.93×10^{3}	2.20×10^{2}	5.48×10^{1}
		4	4.50×10^{3}	4.48×10^{2}	1.93×10^{2}
		5	8.01×10^{3}	7.35×10^{2}	6.55×10^{22}
600	15	0	2.83×10^{2}	0	0
		1	3.30×10^{2}	0	0
		2	4.18×10^{2}	0	0
		3	1.47×10^{3}	1.33×10^{2}	5.49×10^{1}
		4	1.39×10^{3}	1.93×10^{2}	1.48×10^{2}
		5	6.57×10^{3}	4.43×10^{2}	2.59×10^{2}

ความดัน (เมกกะปาสคาล)	เวลา (นาที)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	จำนวนยีสต์และรา (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)	จำนวนแลกติกแบคทีเรีย (โคโลนีต่อมิลลิลิตร)
600	30	0	1.22×10^{2}	0	0
		1	2.28×10^{2}	0	0
		2	3.72×10^{2}	0	0
		3	1.58×10^{3}	1.43×10^{2}	1.37×10^{2}
		4	1.87×10^{3}	1.37×10^{2}	1.43×10^{2}
		5	1.98×10^{3}	4.55×10^{2}	4.55×10^{2}
800	15	0	1.15×10^{2}	0	0
		1	3.31×10^{2}	0	0
		2	4.22×10^{3}	0	0
		3	1.33×10^{3}	1.34×10^{2}	3.88×10^{1}
		4	1.45×10^{3}	1.74×10^{2}	3.91×10^{1}
		5	2.38×10^{3}	2.71×10^{2}	6.41×10^{1}
800	30	0	8.72×10^{1}	0	0
		1	1.79×10^{2}	0	0
		2	3.18×10^{2}	0	0
		3	6.80×10^{2}	6.58×10^{1}	0
		4	1.29×10^{3}	8.68×10^{1}	0
		5	2.28×10^{3}	1.73×10^{2}	0

หมายเหตุ: แต่ละค่าของการทดลองมาจากการทดลอง 3 ซ้ำ

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมีและจุลชีววิทยาของน้ำตาลโตนดสดที่มีการเติมไม้เคี่ยม พบว่า น้ำตาลโตนดสดมีค่า L a และ b เฉลี่ยเท่ากับ 73.88 2.37 และ15.21 ตามลำดับ ค่าการทะลุผ่านของแสงที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร เฉลี่ยเท่ากับ 77.58 ค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 5.76 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เฉลี่ยเท่ากับ 11.2 องศาบริกซ์ ปริมาณกรดทั้งหมด (คิดในรูปของกรดแลกติก) เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.032 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 10.91 และ 0.67 ตามลำดับ สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสดมีจำนวน 19

ชนิด โดยแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม คือ คีโตน แอลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอนและสารไม่ทราบชื่อ โดยสารประกอบที่อยู่ในกลุ่มคีโตนมี 1 ชนิด คือ 3-hydroxy-2-butanone ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีกลิ่นหอมหวาน สารประกอบที่อยู่ในกลุ่มแอลกอฮอล์มีจำนวน 2 ชนิด คือ 1,3-butanediol ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีกลิ่นไขมันเนย (fatty-butter) และ benzene ethanol ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีกลิ่นรสกุหลาบ (rose odor) ที่เกิดจากการหมักของ และสารประกอบที่อยู่ในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนจำนวน 15 ชนิดและสารที่ไม่ทราบชื่อจำนวน 1 ชนิด สารประกอบที่ระเหยได้ที่มีปริมาณมากที่สุดคือ 3-hydroxy-2-butanone (ร้อยละ 26.59) และ 1,3-butanediol (ร้อยละ 23.10) ตามลำดับเมื่อเทียบกับปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ทั้งหมด (ตารางที่ 6) ซึ่ง 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol เป็นสารประกอบที่มีกลิ่นหอมหวานที่พบในน้ำตาลโตนด จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และราและจำนวนแลกติกแบคทีเรียเฉลี่ยเท่ากับ $6.04x10^7$, $2.59x10^7$ และ $3.66x10^6$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ โดยที่น้ำตาลโตนดมีจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นในปริมาณที่สูงเนื่องจากวิธีการเก็บเกี่ยวแต่ยังไม่แสดงลักษณะการเสียเนื่องจากมีการเติมไม้เคี่ยมซึ่งมีองค์ประกอบของโพลีฟีนอลยับยั้งการเสื่อมเสีย

จากการศึกษาผลของความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดพบว่าน้ำตาลโตนดมีสีน้ำตาลปนเหลืองและขุ่นมากขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดสด ($p<0.05$) การใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ทำให้จำนวนจุลินทรีย์ลดลง โดยการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ น้ำตาลโตนดมีลักษณะใสขึ้น ค่าพีเอช ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และสารประกอบที่ระเหยได้มีค่าลดลง สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ ที่มีชนิดเดียวกับน้ำตาลโตนดสดจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ 3-hydroxy-2-butanone, 1,3-butanediol, 1-tetradecene, 1-hexadecene, 1-octadecene และ n-docosane และพบสารประกอบที่ระเหยได้ชนิดใหม่เพียง 1 ชนิด ได้แก่ 2,3-dihydrobenzofuran ซึ่งมีกลิ่นน้ำตาลไหม้ ปริมาณของสารประกอบที่ระเหยได้ที่เป็นสารให้กลิ่นรสหลักในน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ เมื่อมีการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานขึ้นมีผลให้ปริมาณของ 3-hydroxy-2-butanone และ1,3-butanediol มีแนวโน้มลดลงโดยน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที มีปริมาณของ 3-hydroxy-2-butanone และ1,3-butanediol ลดลงไปเท่ากับร้อยละ 9.30 และ 18.81 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดสด ส่วนปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสามารถเก็บรักษาน้ำตาลโตนดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ได้นาน 2 สัปดาห์

จากการศึกษาผลของการให้ความร้อนระดับสเตอริไลส์ ต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนด โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 114 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที พบว่าน้ำตาลโตนดมีสีเหลืองปนน้ำตาลและ

ขุ่นมากขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลง ($p<0.05$) และสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด แต่ทำให้ปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดสด สารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ ที่มีชนิดเดียวกับน้ำตาลโตนดสดจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ 3-hydroxy-2-butanone, 1,3-butanediol, 1-tetradecene, 1-hexadecene, 1-octadecene และ n-docosane และมีสารประกอบที่ระเหยได้ที่เกิดขึ้นใหม่อีก 1 ชนิด คือ 2,3-dihydrobenzofuran มีกลิ่นน้ำตาลไหม้ การสเตอริไรส์มีผลให้ 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol ลดลงไปเท่ากับร้อยละ 92.96 และ 94.03 ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาน้ำตาลโตนดสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 เดือน พบว่าชนิดและปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้มีปริมาณไม่แตกต่างจากน้ำตาลโตนดหลังการ สเตอริไลส์

จากการศึกษาผลของความดันต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนด พบว่าน้ำตาลโตนดที่ผ่านความดันที่ระดับ 200 400 และ 600 เมกกะปาสคาล มีค่าสีและความขุ่นไม่แตกต่างจาก น้ำตาลโตนดสด แต่น้ำตาลโตนดที่ผ่านความดันที่ระดับ 800 เมกกะปาสคาล มีลักษณะใสขึ้น ส่วนค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในทุกระดับความดันมีค่าใกล้เคียงกัน การใช้ความดันสูงสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ และรักษาชนิดและปริมาณของสารประกอบที่ระเหยได้ใกล้เคียงกับน้ำตาลโตนดสด โดยที่การใช้ความดันสูงมีผลต่อการลดลงของสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำตาลโตนดสดแต่สามารถรักษาสารประกอบที่ระเหยได้มากกว่าการพาสเจอร์ไรส์และการสเตอริไลส์ การใช้ความดันที่ระดับ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที มีผลให้ 3-hydroxy-2-butanone และ 1,3-butanediol ลดลงไปเท่ากับ 33.93 และ 15.80 ตามลำดับ นอกจากนี้การใช้ความความดันตั้งแต่ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ น้ำตาลโตนดมีลักษณะขุ่นขึ้น ค่าพีเอช ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด มีค่าลดลง ($p<0.05$) ส่วนปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรี และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสามารถเก็บรักษาน้ำตาลโตนดผ่านความดันสูงที่ระดับ 600 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ได้นาน 2 สัปดาห์