คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของน้ำตาลใสและปัจจัยการผลิตที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าว

โดย
นายจักรพันธ์ ตันสุวรรณ์

โครงร่างวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของน้ำตาลใสและปัจจัยการผลิตที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าว

โดย
นายจักรพันธ์ ตันสุวรรณ์

โครงร่างวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

PHYSIO-CHEMICAL ATTRIBUTES OF COCONUT SAP AND PROCESSING FACTORS TO EXHIBIT PHYSICAL PROPERTIES OF COCONUT SUGAR

By

MR. Jakkapan TANSUWAN

A Thesis Proposal Submitted in partial Fulfillment of Requirements

for Master of Science (FOOD TECHNOLOGY)

Engineering and Industrial Technology Silpakorn University

Academic Year 2016

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของน้ำตาลใสและปัจจัยการผลิตที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าว
โดย	จักรพันธ์ ตันสุวรรณ์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต อินณวงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร. ธัชพงศ์ ชูศรี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต อินณวงศ์)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประมุข ภระกูลสุขสถิตย์)

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

สารบัญ ..... ง

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา 3

1.4 ขอบเขตการศึกษา 3

บทที่ 2 1

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 1

2.1 น้ำตาลใส น้ำตาลมะพร้าว และกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าว 1

2.1.1 น้ำตาลใส/น้ำหวานดอกมะพร้าว 1

2.1.2 น้ำตาลมะพร้าว 2

2.1.3 กระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าว 3

2.2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล 4

2.2.1 ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (Caramelization reaction) 5

2.2.2 ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) 6

2.3 การเกิดสีน้ำตาลในตัวอย่างน้ำตาล 8

บทที่ 3 11

วัตถุดิบและวิธีการทดลอง 11

3.1 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของแต่ละฤดูกาลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลใสและน้ำตาลมะพร้าว 11

3.2 อิทธิพลของระยะเวลาและอุณหภูมิของกระบวนการเคี่ยวต่ออัตราการเกิดสีน้ำตาล และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในในระหว่างกระบวนการผลิต 12

3.3 อิทธิพลของอัตราเร็วของการลดอุณหภูมิของน้ำตาลเข้มข้นต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าว 14

3.4 การวิเคราะคุณภาพทางเคมีกายภาพ 15

3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติและการสรุปผล 18

บทที่ 5 33

สรุปอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 33

รายการอ้างอิง 34

ประวัติผู้เขียน 53

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าวเคี่ยว 3

ตารางที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างการ 10

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลใสที่เก็บเกี่ยวได้ในฤดูกาลต่าง ๆ 21

ตารางที่ 4 คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตในฤดูกาลต่าง ๆ 23

ตารางที่ 5 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตจากกระบวนการให้ความร้อนที่มี 27

ตารางที่ 6 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม อัตราการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเกิดสีน้ำตาลและ ผลิตภัณฑ์ของน้ำตาลมะพร้าวที่ได้รับความร้อนและระยะเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน 29

ตารางที่ 7 อิทธิพลของอัตราการทำเย็นต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าว (1)..... 31

ตารางที่ 8 อิทธิพลของอัตราการทำเย็นต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าว (2)..... 32

ตารางที่ 9 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างกระบวนการให้ความร้อนของรูปแบบการให้ความ 37

ตารางที่ 10 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ระหว่างกระบวนการให้ความร้อน 38

ตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่า BI ของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อน 39

ตารางที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่า BI ของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อน 40

ตารางที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่า BI ของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อน 42

ตารางที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่า BI ของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อน 44

ตารางที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่า IBP ของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อน 45

ตารางที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่า IBP ของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อน 47

ตารางที่ 17 การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม(delta E) ของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างการให้ความ 51

ตารางที่ 18 การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างกระบวนการให้ความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ..... 52

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ช่อดอกมะพร้าว (ก) กระบวนการเปิดมัดท่อลำเลียงช่อดอก(ปาดช่อดอก)มะพร้าว 1

ภาพที่ 2 กลไกลการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ 5

ภาพที่ 3 การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาด 8

ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการให้ความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ 14

ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ระดับน้ำขึ้น-น้ำลงของแต่ละฤดูกาลใน อ.เมือง จ.สมุทรสงคราม 20

ภาพที่ 6 อัตราส่วนของน้ำตาลอินเวิร์ทและน้ำตาลซูโครสของน้ำตาลใสที่ผลิตได้จากฤดูกาลต่าง ๆ . 22

ภาพที่ 7 ลักษณะปรากกฏของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างการเก็บรักษา หลังผลิต(ก) อายุการเก็บรักษา 24

ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงดัชนีการเกิดสีน้ำตาล(BI) และ ค่า pH ของน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตได้ใน ... 25

ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตจากกระบวนการผลิตที่มีอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่าง ๆ 26

ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่า IBP ของน้ำตาลมะพร้าวที่ได้รับความร้อนและระยะเวลาใน 28

ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่า BI ของน้ำตาลมะพร้าวที่ได้รับความร้อนและระยะเวลาในการ 28

ภาพที่ 12 ภาพเปรียบการเกิดสีน้ำตาลของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อน 29

ภาพที่ 13 ภาพเปรียบเทียบการเกิดสีน้ำตาลของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อน 29

ภาพที่ 14 ภาพเปรียบเทียบการเกิดสีน้ำตาลของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อน 30

ตารางที่ 15 ค่าสีของน้ำตาลมะพร้าว (L* a* b*) ระหว่างการให้ความร้อนที่ระยะเวลาต่าง ๆ 49

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเป็นยุคแห่งข้อมูลและการดูแลสุขภาพ ผู้บริโภคจำนวนมากมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับสุขภาพเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ระมัดระวังในการบริโภคและการเลือกสรรวัตถุดิบที่ใช้ในการปรุงอาหาร ซึ่งเป็นสาเหตุให้ตลาดอาหารเพื่อสุขภาพขยายตัวเพิ่มสูงขึ้น ตลอดจนผลิตภัณฑ์อาหารจากธรรมชาติที่ปราศจากการปนเปื้อนสารเคมี รวมไปน้ำตาลที่เป็นส่วนประกอบของอาหารแทบทุกชนิดด้วยเช่นกัน ผู้บริโภคหันมาเลือกซื้อน้ำตาลที่ผลิตจากธรรมชาติ น้ำตาลจากธรรมชาติในประเทศไทยพบได้จากพืชหลายชนิดเช่นอ้อย มะพร้าว ตาลโตนด และจากเป็นต้น น้ำตาลมะพร้าวเป็นหนึ่งในน้ำตาลธรรมชาติที่เป็นที่รู้จักและได้รับความนิยมทั้งในประเทศและในทวีปเอเชียเป็นอย่างมาก นิยมนำไปเป็นส่วนประกอบของอาหารคาว อาหารหวาน ผลิตภัณฑ์เบเกอร์รี่และเครื่องดื่ม (Ho, Wan Aida et al. 2007)

ไม่ใช่เพียงแค่เป็นน้ำตาลจากธรรมชาติ และปราศจากสารเคมีเท่านั้น ที่ทำให้น้ำตาลมะพร้าวได้รับความนิยมจากผู้บริโภค ยังมีด้านคุณค่าทางโภชนาการกล่าวคือ น้ำตาลมะพร้าวอุดมไปด้วยแร่ธาตุ(โพแทสเซียม, แมกนีเซียม, สังกะสี และเหล็ก) วิตามินบี 1 และอินนูลิน อีกทั้งยังมีดัชนีไกลซีมิกต่ำ ทำให้น้ำตาลมะพร้าวได้ความความนิยมมากว่าน้ำตาลธรรมชาติชนิดอื่น น้ำตาลมะพร้าวผลิตมาจากน้ำหวานดอกมะพร้าว ได้จากการกรีดช่อดอก แล้วรองรับน้ำหวานดอกมะพร้าวด้วยกระบอกไม้ไผ่ เมื่อได้น้ำหวานดอกมะพร้าวนำไปกรองแยกสิ่งสกปรก ก่อนนำไปให้ความร้อนจนกระทั่งเข้มข้น ลดอุณหภูมิลง และหยอดลงพิมพ์หรือภาชนะตามต้องการ แต่ย่างไรก็ตามในประเทศไทยยังพบน้ำตาลมะพร้าวที่มีคุณภาพสูงน้อยมาก น้ำตาลมะพร้าวที่จำหน่ายในท้องตลาดมักจะมีการปนเปื้อนสารปรุงแต่งเพื่อปรับปรุงคุณภาพเช่น น้ำตาลทราย ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และสารกันเสียเป็นต้น (Ornanong, 2004) จาการสำรวจพื้นที่ในจังหวัดสมุทรสงครามซึ่งเป็นพื้นที่ที่ผลิตน้ำตาลมะพร้าวที่สำคัญของประเทศพบว่าเตาตาลมิตรปรีชายังคงผลิตน้ำตามมะพร้าวแบบดั้งเดิม ไม่ปนเปื้อนน้ำตาลทราย สารฟอกขาวและสารกันบูด โดยเตาตาลมิตรปรีชายังคงอนุรักษ์รูปแบบวิธีการ

ผลิตแบบดั้งเดิมไว้แบบครบถ้วน ในลักษณะของการส่งต่อกันรุ่นสู่รุ่น แต่ยังขาดดัชนีในการควบคุมคุณภาพที่เหมาะสม อาจเป็นสาเหตุของความคาดเคลื่อนของการถ่ายทอดองค์ความรู้ได้

สาเหตุความแปรปรวนของคุณภาพน้ำตาลมะพร้าวในท้องตลาดได้แก่ การขาดความรู้ความเข้าใจในกระบวนการผลิตที่ถูกต้อง ทำให้ละเลยกระบวนการผลิตที่ถูกต้องสำคัญบางขั้นตอน และขาดดัชนีควบคุมคุณภาพตั้งแต่ขั้นตอนการคัดเลือกน้ำหวานดอกมะพร้าว กระบวนการให้ความร้อน จนกระทั่งกระบวนการลดอุณหภูมิหลังการให้ความร้อน (Uttraporn 2006) น้ำตาลมะพร้าวคุณภาพสูงจะมีสัดส่วนของน้ำตาลอินเวิร์ทต่ำ ซึ่งน้ำตาลอินเวิร์ทมีความสามารถดูดความชื้นได้เร็ว เป็นสาเหตุของการเยิ้มเหลว อีกทั้งยังสารตั้งต้นของการเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างกระบวนการเก็บรักษา ในกระบวนการคัดเลือกหรือขั้นตอนการเก็บเกี่ยวน้ำหวานดอกมะพร้าวมีความสำคัญต่อคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวมาก เนื่องจากในระหว่างการเก็บเกี่ยวยังมีการทำงานของเอนไซม์มี และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดในระหว่างการเติบโต เกิดปรากฏการย่อยสลายน้ำตาลซูโครสเกิดเป็นน้ำตาลอินเวิร์ท ในปี 2006 ณัฐจิรัชญา รายงานว่ากระบวนการให้ความร้อนในระหว่างการเพิ่มความเข้มข้นนั้นมีอิทธิพลต่อคุณภาพของน้ำตาล โดยพบว่าการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์สีน้ำตาลน้อยกว่าการให้ความร้อนแบบช้า

กลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตน้ำตาลมะพร้าวในประเทศไทยจำนวนมากยังขาดดัชนีสำรับควบคุมคุณภาพ อีกทั้งยังขาดความรู้และความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับกระบวนการเก็บเกี่ยว กระบวนการแปรรูป และความแปรปรวนของคุณภาพวัตถุดิบในแต่ละฤดูกาล จึงทำให้น้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตได้นั้นมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ ในงานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งเน้นอธิบายอิทธิพลของอุณหภูมิในแต่ละฤดูกาล อัตราการให้ความร้อนต่อคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวพัฒนาดัชนีควบคุมคุณภาพและยกระดับกระบวนการแปรรูปน้ำตาลมะพร้าว

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1. เพื่อติดตามคุณภาพ คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของน้ำตาลใสและน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตในฤดูที่แตกต่างกัน

1.2.2. เพื่อประเมินอัตราของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวจากกระบวนการเคี่ยวที่ได้รับความร้อนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

1.2.3. เพื่อพัฒนาดัชนีควบคุมคุณภาพของกระบวนการเก็บเกี่ยว และกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าว

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1.3.1 อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันของแต่ละฤดูกาลส่งผลให้คุณภาพของน้ำตาลใสและคุณภาพน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน

1.3.2 อุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อน และการทำเย็นที่แตกต่างกันส่งผลต่ออัตราของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าว

1.3.3 สามารถพัฒนาดัชนีควบคุมคุณภาพของกระบวนการเก็บเกี่ยว และกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวได้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ศึกษาอิทธิพลของปัจจัย (คุณภาพของน้ำตาลใส การให้ความร้อนและระยะเวลาในการให้ความร้อน และการลดอุณหภูมิ) ในตัวอย่างน้ำตาลมะพร้าวพันธุ์หมูสีหม้อ อายุ 2.5 – 3.5 ปี จำนวน 121 ต้น จากเตาตาลมิตรปรีชา ต.บ้านปรก อ.เมือง จ.สมุทรสงคราม

1.4.2 การศึกษาอิทธิพลของฤดูกาลต่อคุณภาพน้ำหวานดอกมะพร้าว และน้ำตาลมะพร้าว เป็นการศึกษาในเดือน ธันวาคม 2558 – ธันวาคม พ.ศ.2559

1.4.3 ศึกษาอิทธิพลของปัจจัย (คุณภาพของน้ำหวานดอกมะพร้าว การให้ความร้อนและระยะเวลาในการให้ความร้อน และการอัตราการลดอุณหภูมิ) ในตัวอย่างน้ำตาลมะพร้าวจากเตาตาลมิตรปรีชา ต.บ้านปรก อ.เมือง จ.สมุทรสงคราม

1.4.4 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาและอุณหภูมิของกระบวนการเคี่ยว 3 ระดับ (2.5 5 และ 7.5 ลิตร ต่อรอบการผลิตในกระทะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 นิ้ว ให้ความร้อนด้วยเตาแก๊ส โดยมีรูปแบบของอุณหภูมิและระยะเวลาตามภาพที่ 1) ต่ออัตราการเกิดสีน้ำตาล และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างกระบวนการผลิต

1.4.5 ดัชนีการเกิดสีน้ำตาลที่ใช้ในการติดตามระหว่างกระบวนการให้ความร้อนได้แก่ ค่าสี ค่าการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE) ปริมาณ MHF Browning Intensity(BI), Intermediate browning product(IBP)

5. การศึกษาอิทธิพลของอัตราเร็วของการลดอุณหภูมิของน้ำตาลเข้มข้น (ด้วยหม้อผสม Kitchen Aid 4 ระดับโดยมีอัตราการลดลงของอุณภูมิเท่ากับ 3.2 5.7 6.6 และ 10.7 องศาเซลเซียส

ต่อนาที จนกระทั่งน้ำตาลมะพร้าวข้นหนืดเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งที่อุณหภูมิ 80 ± 1 องศาเซลเซียส) ต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าว

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำตาลใส น้ำตาลมะพร้าว และกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าว

2.1.1 น้ำตาลใส/น้ำหวานดอกมะพร้าว

น้ำตาลใสผลิตจากต้นมะพร้าว โดยการตัดบริเวณช่อดอกที่มัดรวมกันด้วยมีดเพื่อเปิดมัดท่อลำเลียงดังภาพที่ 1 โดยแต่ละช่อดอกมีความยาว 25-30 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2-2.5 เซนติเมตร แล้วรองรับด้วยภาชนะ ในประเทศไทยนิยมใช้กระบอกไม้ไผ่เป็นภาชนะในการรองรับน้ำหวานดอกมะพร้าว ก่อนนำไปรอรับ เกษตรกรจะนำสารกันเสียธรรมชาติได้แก่เปลือกไม้เคี่ยมหรือพยอม ใส่เข้าไปด้วยเพื่อป้องกันการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บเกี่ยว โดยปกติแล้วจะเก็บเกี่ยวผลผลิตวันละ 2 ครั้งคือในช่วงเช้าและช่วงเย็น (Davis and Johnson 1987)

ภาพที่ 1 ช่อดอกมะพร้าว (ก) กระบวนการเปิดมัดท่อลำเลียงช่อดอก(ปาดช่อดอก)มะพร้าวเพื่อเก็บเกี่ยวน้ำตาลใส

ที่มา: http://www.bloggang.com/m/mainblog.php?id=khunying-somzaa&month

น้ำหวานดอกมะพร้าวที่รอรับได้มีรสหวาน ใส ไม่มีสี มีความเป็นกรดอ่อน แต่ในระหว่างการเก็บเกี่ยวน้ำหวานดอกมะพร้าวพบการปนเปื้อนจุลินทรีย์จากสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บเกี่ยว (Gupta, Jain et al. 1980) การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ใช้น้ำตาลเป็นสารตั้งต้นในการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต แต่ในขณะเดียวกันก็เกิดกระบวนการย่อยสลายโมเลกุลของน้ำตาลซูโครสเกิดเป็นน้ำตาลอินเวิร์ทที่เป็นสาเหตุของปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติกลาสทรานซิสชัน

2.1.2 น้ำตาลมะพร้าว

การทำน้ำตาลมะพร้าวเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นของชาวสวนมะพร้าวที่ถ่ายทอดกันมานานมี กระบวนการผลิตดันนี้ เริ่มต้นจากการรองน้ำตาลใสหรือน้ำหวานจั่น(ดอก)มะพร้าว ด้วยกระบอกไม้ไผ่ กรองแยกสิ่งสกปรกออก แล้วนำมาผ่านการให้ความร้อนด้วยวิธีการต้ม จนงวดจนข้น มีสีน้ำตาล เรียกว่าน้ำตาลมะพร้าว เดิมทีคนไทยรู้จักการทำน้ำตาลจากน้ำหวานตาลตโนดก่อนมะพร้าวจึงเรียกว่า น้ำตาลต่อมารู้จักการทำน้ำตาลจากน้ำหวานดอกมะพร้าวจึงเรียกว่าน้ำตาลเช่นกัน (มรดกภูมิปัญญา ทางวัฒนาธรรมของชาติประจำปี 2557) น้ำตาลมะพร้าวมีชื่อเรียกแตกต่างตามรูปร่างและภาชนะที่ บรรจุ เช่นหากเทใส่พิมพ์มีลักษณะเป็นก้อนเรียกน้ำตาลปึก หากบรรจุในปี๊บจะเรียกว่าน้ำตาลปี๊บ หรือ หากทำเป็นแว่นเล็ก ๆ จะเรียกน้ำตาลแว่น นิยมใช้เป็นเครื่องปรุงรสอาหารไทยได้ทั้งคาวและหวาน เนื่องจากมีรสชาติที่หอมหวานเฉพาะตัว ในปัจจุบันจึงน้ำตาลมะพร้าวจึงถูกนำมาเป็นส่วนผสมของ อาหารหลากหลายชนิดได้แก่ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เครื่องดื่มจำพวกชา กาแฟเป็นต้น (กนกวรรณ์, 2548)

น้ำตาลมะพร้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยการต้ม เป็นกระบวนการกำจัดความชื้น ออกจากน้ำตาลมะพร้าวสด(น้ำหวานจั่นมะพร้าว) ที่มีปริมาณของแข็ง 16 กรัม/ 100มิลลิลิตร จน เหลือความชื้น 11 % ทำให้เหลือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักมากถึง 80 % สามารถแสดง รายละเอียดองค์ประกอบของน้ำตาลมะพร้าวได้ดังนี้

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 1 คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าวเคี่ยว

องค์ประกอบ	ร้อยละ
ความชื้น	11.40
น้ำตาล	72.04
น้ำตาลรีดิวส์	7.79
เพคตินกัม	7.09
เถ้า	1.13
โปรตีน	0.55

ที่มา: กล้าณรงค์, 2532

น้ำตาลมะพร้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแล้วจะต้องลดอุณหภูมิของน้ำหวานดอกมะพร้าวเข้มข้นจนกระทั่งเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นผลึกของแข็ง ที่มีลักษณะแข็ง มีสีน้ำตาลอ่อน แต่สามารถดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมได้ง่าย ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ เช่นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล และยิ่งมีอัตราการเกิดเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น (Carabasa-Giribet and Ibarz-Robas 2000)

โดยปกติแล้วน้ำตาลมะพร้าวแท้ที่ไม่ผสมน้ำตาลทรายในระหว่างกระบวนการผลิตจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาอย่างรวดเร็ว เพียง 1-2 สัปดาห์หากเก็บน้ำตาลไว้ที่อุณหภูมิห้องจะพบการดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อม น้ำตาลเริ่มนิ่มและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว มีสีน้ำตาลที่เข้มขึ้น และกลิ่น-รสที่เปลี่ยนแปลงไป จนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ทั้งนี้อัตราการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวขึ้นกับหลายปัจจัยได้แก่ คุณภาพของน้ำตาลใส วิธีการแปรรูป ลักษณะของบรรจุภัณฑ์และสภาวะระหว่างการเก็บรักษา

2.1.3 กระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าว

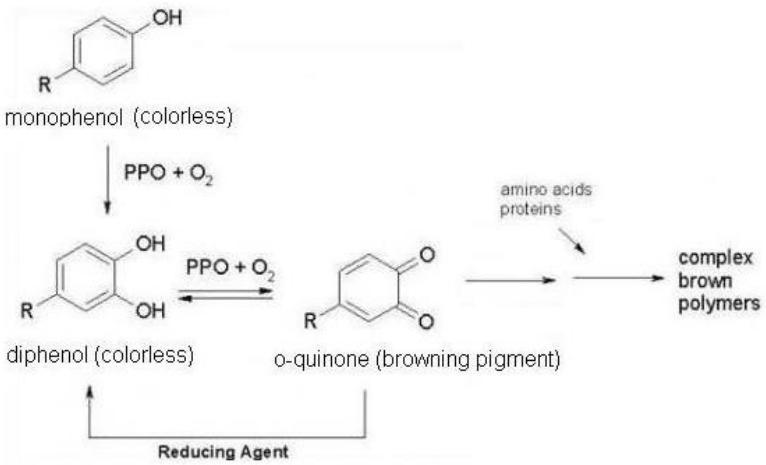
กระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นของชาวสวนมะพร้าวที่ถ่ายทอดกันมาจากรุ่นสู่รุ่น กระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงหลักๆ ได้แก่ (1) กระบวนการเก็บเกี่ยว โดยการปาดจั่นหรือช่อดอกเพื่อรองน้ำตาลมะพร้าวสด (2) ขั้นตอนการเคี่ยวหรือกระบวนการให้ความร้อน และ (3) กระบวนการลดอุณหภูมิก่อนการหยอดลงพิมพ์ สำรับกระบวนการเก็บเกี่ยวนั้นเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญต่อคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวเป็นอย่างมาก

กล่าวคือหากกระบวนการเก็บเกี่ยวที่ไม่ถูกสุขลักษณะจะทำให้ได้น้ำตาลใสคุณภาพไม่ดี เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลอินเวิร์ท ก่อนกระบวนการเคี่ยว น้ำตาลใสต้องผ่านการกรองเพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่อาจปนเปื้อนในระหว่างการปาดจั่นเพื่อรองน้ำตาลมะพร้าว ในช่วงแรกของการเคี่ยวจะเร่งไฟแรงสุด ให้น้ำตาลเดือดอย่างรวดเร็ว เมื่อเคี่ยวไปเรื่อย ๆน้ำตาลจะเดือดเป็นฟองน้ำตาลจนล้นกระทะออกมา ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการใช้กงกุมปากกระทะ (วรรณนภา, 2536) กงสานด้วยไม้ไผ่สูงประมาณ 50 เซนติเมตรความกว้างเล็กกว่าปากกระทะเล็กน้อย หรืออาจใช้วิธีการหยดน้ำมันพืชลงไป 2 ถึง 3 หยดเมื่อน้ำมันถูกฟองน้ำตาลก็จะยุบตัวลงทันที หรือผู้เคี่ยววางใบมะพร้าวแห้งประมาณ 2 ถึง 3 ใบวางพาดปากกระทะ เมื่อฟองถูกใบมะพร้าวแห้งก็จะยุบตัวลงทันที ขั้นตอนการเคี่ยวใช้เวลาเคี่ยวประมาณ 1 ชั่วโมง

ขั้นตอนการเคี่ยวมีบทบาทต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างมากกล่าวคือหากใช้ไฟอ่อนน้ำตาลจะไม่แข็ง และหากใช้ไฟแรงเกินไปน้ำตาลจะมีสีคล้ำ น้ำตาลที่เคี่ยวจนได้ที่แล้วจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 120 องศาเซลเซียสหรือสังเกตจากสีและความหนืดที่เพิ่มสูงขึ้น หลังจากนั้นยกกระทะลงจากเตาแล้วใช้เหล็กกระทุ้ง หรือใบพัดกวนผสมเพื่อเพิ่มอากาศให้กับน้ำตาลมะพร้าวแล้วหยดลงบนพิมพ์หรือภาชนะ ทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวที่ได้มีสีขุ่นขาวขึ้น และจับตัวเป็นก้อน(ศิริพร,2519)

2.2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหารสามารถเกิดได้จาก 2 ปฏิกิริยาได้แก่ (1) การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (Enzymatic browning) โดยเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) เมื่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิตเกิดการช้ำ หรือฉีกขาด สารที่ทำปฏิกิริยา และออกซิเจนเข้ามาผสมกัน สาร monophenol (ไม่มีสี) จะถูกออกซิไดซ์เป็นไดฟีนอล (diphenol) ซึ่งไม่มีสี และถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น *o*-quinone ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดแอมิโนหรือโปรตีนได้เป็นสารสีน้ำตาล และจะรวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่และมีสีน้ำตาล เช่น เมลานิน (melanin) ดังแสดงในภาพที่ 2 และ (2) การเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (Non-enzymatic browning) ซึ่งแบ่งออกเป็น ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (Caramelization reaction) และปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) (นิธิยา, 2545) ซึ่งเป็นกลไกที่เกี่ยวของกับการเกิดสีน้ำตาลสำรับน้ำตาลและผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด ได้แก่ เนื้อย่าง ขนมปัง น้ำตาล เป็นต้น



ภาพที่ 2 กลไกลการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

ที่มา: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0679/enzymatic browning-reaction (Pornchaloempong and Rattanapanone 2016)

สำรับกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวมีกระบวนการให้ความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งทำลายเอนไซม์ที่เป็นสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ การเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างกระบวนการเก็บรักษาจึงเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง

2.2.1 ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (Caramelization reaction)

เกิดขึ้นจากการแตกสลายตัวของน้ำตาลซูโครสที่ได้รับความร้อน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบเชิงซ้อน สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในสภาวะที่มีกรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีสภาวะที่เหมาะสมแก่การเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันคือ มีอุณภูมิสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระหว่าง 3 ถึง 9 เกิดจากขนาดของวงแหวน(ring) ในโครงสร้างน้ำตาลจะเปลี่ยนแปลง และพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) จะแตกออกจากกัน มีการเกิดพันธะคู่ (double bond) ในวงแหวน ทำให้เกิดพันธะไม่อิ่มตัว (unsaturated ring) เช่น ฟูแรน (furan) ที่สามารถดูดกลืนแสง และทำให้เกิดสี และเกิดรวมตัวกัน (condensation) ได้สารประกอบเชิงซ้อนที่. ให้สีและกลิ่น

น้ำตาลที่เกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันโดยทั่วไปอยู่ในรูปโครงสร้างของมอโนแซ็กคาไรด์ ซึ่งในขั้นแรกของปฏิกิริยาจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ภายในโมเลกุล(intramolecular rearrangements) เนื่องจากมีทั้งหมู่อัลดีไฮดหรือคีโตน กับหมู่ไฮดรอกซิลหลายหมู่ในโมเลกุลเดียวกัน จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ภายในสายโมเลกุล และมีการสร้างโดรเจนอิออน (H +) ส่งผลให้ค่าพีเอชของสารละลายที่เกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันลดลงตามเวลา โดยทั่วไปจะมีความเป็นกรดอ่อนในช่วงค่าพีเอช 4 ถึง 5 ปฏิกิริยาการแตกสลายของน้ำตาลซูโครสจะได้สารโอซูโลส (osulose) ซึ่งเป็นสารมัธยันต์ในการเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน โอซูโลสเป็นสารประกอบไดคาร บอนิล ได้แก่ 3-deoxyhexosulose ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดสีคาราเมล และกลิ่นรสคาราเมล เกี่ยวข้องกับการเกิดสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก ได้แก่ HMF, HDF (hydroxysimethylfuranone) และ HAF (hydroxyacetylfuran) (Coca, Gonzalez et al. 2004) อัตราการเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันมีผลจากชนิดของน้ำตาลที่ให้ความร้อน อาจเนื่องจากน้ำตาลแต่ละชนิดมีจุดหลอมเหลว (melting point) ที่แตกต่างกัน เช่น น้ำตาลฟรุคโตส เกิดที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ในขณะที่น้ำตาลกาแลคโตส น้ำตาลกลูโคส จะเกิดการหลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 160 องศาเซลเซียสและน้ำตาลมอลโตสเกิดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส (พิสมัย, 2547)

2.2.2 ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction)

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากหมู่คาร์บอนิล(carbonyl group) ในสารประกอบพวก sugars, aldehydes และ ketones ทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโน (amino group) ในสารประกอบพวก amino acids, peptides, proteins และ amine compounds ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารให้สีน้ำตาลเรียกวา สารประกอบเมลานอยดิน (melanoidin) อัตราการเกิดสีน้ำตาลของสารประกอบเมลานอยดินนี้ขึ้นกับความเข้มข้นของหมู่คารบอนิลที่จะไปรวมกับสารประกอบ

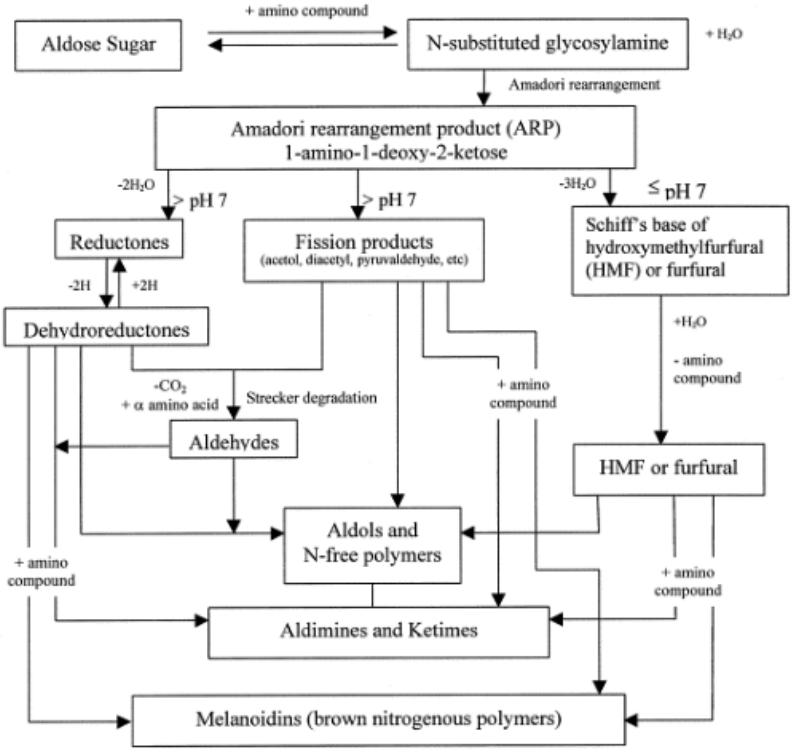
ในปี 1973 Greenshields ได้แบ่งขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเมลลารดออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ (1) ปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้น (Starting reaction) ปฏิกิริยานี้เป็นขั้นตอนแรกของปฏิกิริยาเมลลาร์ด เป็นขั้นตอนการรวมตัว (condensation) ระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนได้ผลิตภัณฑที่เรียกว่า addition compound ซึ่งจะเกิดการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว เกิดเป็น Schiff's base และตามด้วยปฏิกิริยา cyclization ได้ผลิตภัณฑเป็น N-substituted glycosylamine ซึ่งเป็นสารไม่เสถียร จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล (rearrangement) จากนั้นมีการจัดเรียงตัวใหม่แบบ Amadori rearrangement ได้ 1-amino-1-deoxy-2-ketose จากน้ำตาลรีดิวซ์ที่เป็นอัลโดส หรือมีการจัดเรียงตัวแบบ Heyns rearrangement จะได้ 2-amino-2-deoxyaldose จากน้ำตาลรีดิวซที่เป็นคีโตส ในขั้นต้นของปฏิกิริยานี้ยังไม่เกิดสีน้ำตาล หรือเกิดสารให้กลิ่นในระบบของอาหาร แต่จะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลงไปเนื่องจากการสูญเสียน้ำตาล และกรดอะมิโน โดยการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับค่าพีเอช อุณหภูมิ และระยะการเวลาการให ความร้อน และปริมาณน้ำที่มีอยู่ขณะ

เกิดปฏิกิริยา (จิรสวัสดิ์, 2546) ปฏิกิริยาในขั้นต้นนี้เกิดได้ดีในสภาวะที่เป็นด่าง แต่สภาวะที่เป็นกรดก็สามารถเกิดได้หมู่เอมีนของกรดอะมิโน เปปไทด์ และโปรตีน จะอยู่ในรูป basic form เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำตาลเฮกโซส (hexose) ถูกรีดิวซ์อยู่ในรูปโซเปิด (open chain) หรือ reducing form ซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น

(2) ปฏิกิริยาการแตกสลาย (Degradative reaction) ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันจะเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน และเกิดการสูญเสียน้ำ(dehydration) มีการจัดเรียงตัวใหม่ได้ 3-deoxyhexosulose (3-deoxy-D-glucosone) แตปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเกิดการสลายตัว 2 แบบ ดังนี้การสลายตัวแบบแรกให้ deoxyosones (deoxyglucosan) 2 ชนิด โดยการสลายตัวจะเริ่มจาก enolization ของ Amadori rearrangement ได 1,4-dideoxyhexosulose (1,4-dideoxy-D-glucosone) ถาเกิดในสภาวะที่คาพีเอชสูง หรือเกิด 3-deoxyhexosulose (3-deoxy-D-glucosone) ถาเกิดในปฏิกิริยาที่มีคาพีเอชต่ำ ซึ่งสารทั้งสองนี้จะเกิดปฏิกิริยาอัลดอลย้อนกลับ ได้สารประกอบไดคาร์บอนิล (dicarbonyl) ซึ่งเนสารมัธยันต์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง การสลายตัวแบบที่ 2 คือ Strecker degradation เป็นปฏิกิริยายาออกซิเดชันระหว่างไดคารบอนิลกับกรดอะมิโน เป็นทั้ง 1-deoxyosone และ 3-deoxyosone เกิด retroaldolization ผลิตภัณฑ์จาก Strecker degradation เป็นสารประกอบพวกอัลดีไฮดและคีโตน ซึ่งอาจเกิดการรวมตัวกันต่อไปเกิดเป็นสารให้กลิ่นรส เช่น ไพริดีน (pyridine) ไพราซีน (pyrazine) และ อิมิดาโซล (imidazole) และในปฏิกิริยา Strecker degradation จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

(3) ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) การเกิดพอลิเมอร์หรือปฏิกิริยาการรวมตัว (condensation) ในขั้นนี้ทำให้เกิดสารที่มีสีเข่มขึ้น และทำใหได้สารที่มีมวลโมเลกุลสูง (สุนันทา, 2539) และเกิดพอลิเมอรได้สารประกอบเฮเทอโรไซคลิกไนโตรเจน (heterocyclic nitrogen compound) (Kamuf, Nixon et al. 2003) ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันจะเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวแบบอัลดอลย้อนกลับ (retro-aldol condensation) ของ deoxyhexosulose ได้สารประกอบคาร์บอนิลที่มีคารบอน 2 ถึง 4 อะตอม ซึ่งมีความสำคัญต่อการเกิดกลิ่นรสที่มีโครงสร้างเป็นเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic flavor)

Furfural และ 5-hydroxymethylfurfural เป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตโดย dehydroreductone (1,2-dicarbonyl) ที่ได้จากน้ำตาลเฮกโซสสามารถเกิดโครงสร้างวงแหวนที่คาร์บอนตำแหนงที่ 2 และตำแหน่งที่ 5 และสูญเสียน้ำได้เป็น 5-hydroxymethylfurfural ซึ่งสารประกอบนี้จะให้กลิ่นคาราเมลอ่อน ๆ แต่ไม่ใช่องค์ประกอบทางด้านกลิ่นรสที่สำคัญ ส่วน dehydroreductone ที่ได้จากน้ำตาลเพนโทสสามารถเกิดโครงสร้างที่เป็นวงแหวนและสูญเสียน้ำได้เป็น furfural ซึ่งเป็นสารประกอบที่สำคัญในการให้กลิ่นคาราเมล (พิศมัย, 2547)



ภาพที่ 3 การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาด

2.3 การเกิดสีน้ำตาลในตัวอย่างน้ำตาล

ในระหว่างการเคี่ยวน้ำตาลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำตาลสดเป็นสีน้ำตาลและมีกลิ่นหอม ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เช่น ฟูแรน และไพราซีน การเกิดไพราซีนนี้แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนี้นอกจากจะเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันแล้ว ยังอาจเกิดได้จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งนาจะมีส่วนสำคัญในการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเคี่ยวน้ำตาล (Apriyantono, Aristyani et al. 2002) และในปีเดียวกัน Apriyantono และคณะ ได้ทำการวิเคราะห์องคประกอบทางเคมีของน้ำตาลสดพบวามีไนโตรเจน 0.19% มีน้ำตาลรีดิวซ์ 4.80% และมีค่าพีเอช 6.40 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด นอกจากนี้ยังพบวาองค์ประกอบของน้ำตาล เช่น ฟูแรน และ ไพราซีน ซึ่งเป็นสารมัธยันตร์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดเพิ่มขึ้นตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่งในระหว่างการเคี่ยวน้ำตาล (จากการวัดคาการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร)

นอกจากนี้ ในปี 2002 Apriyantono และคณะ ได้ทดลองเคี่ยวตัวอย่างน้ำตาล 3 ตัวอย่าง คือน้ำตาลมะพร้าวสดที่มีองคประกอบของกลูโคส 3.42% ฟรุคโตส 1.56% และซูโครส 7.22% (ตัวอย่างที่1) แบบจำลองที่หนึ่งซึ่งเป็นสารละลายที่มีกลูโคส 3.42% ฟรุคโตส 1.56% และซูโครส 7.22% (ตัวอย่างที่ 2) และแบบจำลองที่สองซึ่งเป็นสารละลายที่มีกลูโคส 3.42% ฟรุคโตส 1.56% ซูโครส 7.22% และไลซีน 0.01% (ตัวอย่างที่ 3) พบวา อัตราการเกิดสีน้ำตาลของน้ำตาลมะพร้าวสอดคลองกับแบบจำลองที่สองมากที่สุดซึ่งจะเกิดทั้งปฏิกิริยาเมลลารด และคาราเมลไรเซชัน ในขณะ

ที่แบบจำลองที่หนึ่งจะเกิดเฉพาะปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันเทานั้น และเมื่อทำการ ศึกษาอัตราการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้น โดยการเคี่ยวน้ำตาลสดที่มีพีเอชเริ่มต นประมาณ 8 ในกระทะเปิดที่มีอุณหภูมิ 105, 115 และ 121 องศาเซลเซียส นาน 300 นาที โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นทุก ๆ 30 นาที พบวาสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์ โดยมีค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา เท่ากับ 0.87 x 10 -3 AU/นาที ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา เท่ากับ 4.46 x 10 -3 AU/นาที ที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส และค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา เท่ากับ 6.58 x 10 -3 AU/นาที ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ค่าพีเอช อุณหภูมิออกซิเจน ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส น้ำตาลอินเวอรทและกรดอะมิโนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างกระบวนการเคี่ยวน้ำตาล ในปี (1947) Zerban ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นในระหว่างการเคี่ยวน้ำตาลพบวา เมื่อพีเอชคงที่การก่อตัวของสีจะขึ้นอยู่กับค่าของอุณหภูมิคูณด้วยเวลา และสีจะเกิดในสภาวะที่มีออกซิเจนได้มากกวาในบรรยากาศเฉื่อย

ในขณะเดียวกันจากการศึกษาของ Andrew และคณะ (2002) พบวา ปริมาณน้ำตาลอินเวิอร์ท และพีเอช เริ่มต้นจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นในระหว่างการเคี่ยวน้ำตาลซูโครส เมื่อเคี่ยวสารละลายซูโครส 65 °Brix ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ทอยู 0.5% และปรับพีเอช 6, 7, 8, 8.5 และ 9 ตามลำดับ จะเกิดสีน้ำตาลมากที่สุดที่พีเอช 9 ค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นจะทำให เกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น เนื่องจากในสภาวะที่เป็นด่างน้ำตาลอินเวอร์ทจะเกิดปฏิกิริยาคอนเดนเซชัน และตัวอย่างจะเกิดสีน้ำตาลมากขึ้นเมื่อใช ระยะเวลาเคี่ยวเพิ่มขึ้น เมื่อเคี่ยวสารละลายน้ำตาลซูโครส 15 °Brix โดยเปรียบเทียบระดับน้ำตาลอินเวอร์ทที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 1 และ 4 (wet basis) โดยให ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ที่พีเอช 9 เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง พบวาการเกิดสีน้ำตาลจะเกิดได้มากขึ้นเมื่อปริมาณน้ำตาลอินเวอรทสูงขึ้น และระยะเวลาให ความร้อนนานขึ้น

ในปี 2002 Apriyantono และคณะ ได้ทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อน โดยติดตามการให้ความร้อนทั้งสิ้น 90 นาที จากการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรดด่าง(พีเอช) มีแนวโน้มลดลง จากเริ่มต้น 6.40 เป็น 0.562 ในนาทีที่ 90 ของการให้ความร้อน ซึ่งตรงกันข้ามกับการเกิดสีน้ำตาล เมื่อติดตามการเกิดสีน้ำตาลโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตรซึ่งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเกือบ 5 เท่าตัวดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างการให้ความร้อน

ปัจจัย	ระยะเวลาในการให้ความร้อน (นาที)				
	0	22.5	45	67.5	90
น้ำหนัก (กรัม)	2637.5	1926.0	1254.4	762.3	355.4
พีเอช	6.40	6.35	6.10	6.05	n.a.
ความเข้มสีน้ำตาล (420 นาโนเมตร)	0.127	0.163	0.363	0.451	0.562
% ความชื้น	87.07	81.39	71.12	53.69	6.95

ที่มา Apriyantono และคณะ (2002)

นอกเหนือจากการเกิดสีน้ำตาล การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและความชื้นแล้วในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนน้ำตาลมะพร้าวยังคงเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส น้ำตาลซูโครสเกิดเป็นน้ำตาลกลูโครส และฟรุกโตสตามลำดับ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 3
วัตถุดิบและวิธีการทดลอง

3.1 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของแต่ละฤดูกาลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลใสและน้ำตาลมะพร้าว

3.1.1 กระบวนการเตรียมวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าวใส

เก็บเกี่ยวน้ำตาลมะพร้าวใสจากต้นมะพร้าวพันธุ์หมูสีหม้อ อายุ 2.5-3 ปี จากกระบอกไม้ไผ่ใส่เปลือกไม้พยอม (Shorea roxburghii G.Don) 3 กรัม/ลิตร มีระยะเวลาเก็บเกี่ยว (รอรับน้ำตาล) เป็นเวลา 10-12 ชั่วโมง จำนวน 121 ต้น จากสวนมะพร้าวเตาตาลมิตรปรีชา อ.เมือง จ.สมุทรสงคราม ประเทศไทย โดยทำการเก็บตัวอย่างทุกเดือน ทั้งสิ้นจำนวน 9 ครั้ง(ธันวาคม มกราคม กุมภาพันธ์ เมษายน พฤษภาคม มิถุนายน สิงหาคม กันยายน ตุลาคม)

3.1.2 อิทธิพลของอุณหภูมิในแต่ละฤดูกาลต่อคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวใส

เก็บข้อมูลอุณหภูมิของสวนมะพร้าวเตาตาลมิตรปรีชา อ.เมือง จ.สมุทรสงคราม ด้วยการวัดโดยเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตัลในช่วงเวลา 8.30 – 9.00 น. ในวันเดียวกับที่รวบรวมตัวอย่างน้ำตาลมะพร้าวใสบันทึกค่าในหน่วยองศาเซลเซียส เก็บข้อมูลน้ำขึ้น-น้ำลงจากการเก็บข้อมูลของกรมเจ้าท่า บริเวณปากน้ำแม่กลองบันทึกค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลน้ำขึ้น-น้ำลงในหน่วยเมตร

รวบรวมน้ำตาลมะพร้าวใสจากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบน้ำตาลใสจากข้อ 3.1.2 แล้วกรองแยกเปลือกไม้พยอมและสิ่งปนเปื้อนออกด้วยผ้าขาวบาง บรรจุใส่ถุงพลาสติกถุงละ 1 ลิตร บรรจุในถังน้ำแข็ง (อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส) เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในระหว่างการขนส่งไปที่ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร จ.นครปฐม ระยะเวลาการเดินทาง 1 ชั่วโมง แล้ววิเคราะห์คุณภาพดังนี้

- <u>คุณภาพทางเคมี</u>: ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) ปริมาณกรดทั้งหมด(Total acidity) ปริมาณเกลือ ชนิดและปริมาณของน้ำตาล

- <u>คุณภาพทางกายภาพ</u>: ความหนืด สี ความถ่วงจำเพาะ ความใส ปริมาณของแข็งที่ละลายได้

3.1.3 อิทธิพลของฤดูกาลต่อความแปรปรวนของคุณภาพน้ำหวานดอกมะพร้าว และน้ำตาลมะพร้าว

สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำหวานดอกที่กรองแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากหัวข้อ 3.1.1 นำน้ำตาลมะพร้าวที่เก็บเกี่ยววันเดียวกับตัวอย่างวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพน้ำหวานดอกมะพร้าว ปริมาตร 50 ลิตร ให้ความร้อนด้วยพลังงานชีวมวลในกระทะเหล็ก ช้อนฟองโปรตีนที่เกิดขึ้นด้านบนออกจนหมด ให้ความร้อนจนกระทั่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 87± 2 องศาบริกซ์ แล้วลดอุณหภูมิโดยการปั่นด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าจนกระทั่งเป็นของเหลวข้นหนืด เทลงพิมพ์เซรามิกซ์ทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตรจนกกระทั่งเปลี่ยนเป็นของแข็ง นำไปบรรจุในถุงพลาสติกจำนวน 26 ถุงบรรจุถุงละ 5 ชิ้นเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาทุก ๆสัปดาห์จนกระทั่งครบ 3 เดือน โดยวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพดังนี้

- <u>คุณภาพทางเคมี</u>ได้แก่ ความชื้น (moisture content) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) ปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ปริมาณกรดทั้งหมด (total acidity) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณ MHF
- <u>คุณภาพทางกายภาพ</u>ได้แก่ สี ลักษณะเนื้อสัมผัส Browning Intensity, Intermediate browning product

หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้อธิบายความสัมพันธ์ของสภาพอากาศของสิ่งแวดล้อม (อุณหภูมิ ระดับน้ำขึ้น-น้ำลง) ต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพของน้ำหวานดอกมะพร้าว ความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำหวานดอกมะพร้าวต่อคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวก้อน และประเมินอายุการเก็บรักษาของน้ำตาลก้อนที่ผลิตได้จากฤดูกาลที่แตกต่างกัน

3.2 อิทธิพลของระยะเวลาและอุณหภูมิของกระบวนการเคี่ยวต่ออัตราการเกิดสีน้ำตาล และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในในระหว่างกระบวนการผลิต

3.2.1 เตรียมวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าวใส

เก็บเกี่ยวน้ำตาลมะพร้าวใสจากต้นมะพร้าวพันธุ์หมูสีหม้อ อายุ 2.5-3 ปี จากกระบอกไม้ไผ่ใส่เปลือกไม้พยอม (Shorea roxburghii G.Don) 3 กรัม/ลิตร มีระยะเวลาเก็บเกี่ยว (รอรับน้ำตาล) เป็นเวลา 10-12 ชั่วโมง จำนวน 100 ต้น จากสวนมะพร้าวเตาตาลมิตรปรีชา อ.เมือง จ.สมุทรสงคราม ประเทศไทย เมื่อรวบรวมน้ำตาลมะพร้าวใสแล้วกรองแยกเปลือกไม้พยอมและสิ่งปนเปื้อนออกด้วยผ้าขาวบาง ให้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ก่อนบรรจุใส่ถุงพลาสติกถุงละ 1 ลิตร บรรจุในถังน้ำแข็ง (อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส) เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในระหว่างการขนส่งไปที่ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย

ศิลปากร จ.นครปฐม ระยะเวลาการเดินทาง 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเก็บน้ำหวานดอกมะพร้าวใสโดยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

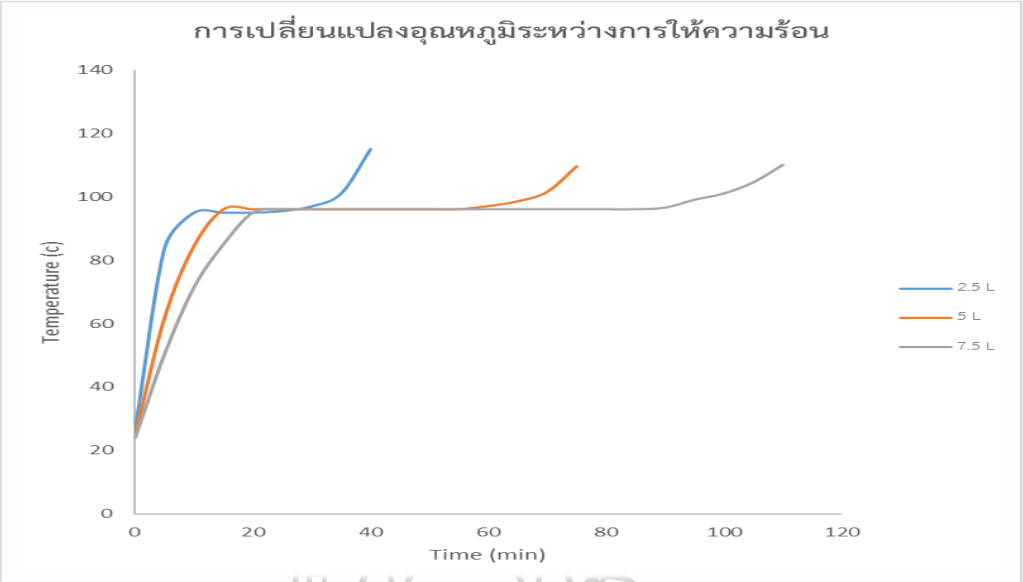
ก่อนการทำการทดลอง นำน้ำหวานดอกมะพร้าวใสที่แช่เยือกแข็งมาทำละลายโดยเปิดน้ำประปาไหลผ่านเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง (อุณหภูมิ 24±1 องศาเซลเซียส)

3.2.2 อิทธิพลของระยะเวลาและอุณหภูมิของกระบวนการเคี่ยวต่ออัตราการเกิดสีน้ำตาลและผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในในระหว่างกระบวนการผลิต

ให้ความร้อนแก่น้ำหวานดอกมะพร้าว 3 ระดับที่มีอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกันดังแสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดังภาพที่ 4 โดยนำน้ำหวานดอกมะพร้าวปริมาตร 2.5 (HP1), 5 (HP2) และ 7.5 (HP3) ลิตร ใส่ในกระทะเหล็กขนาดเส้นผ่านสูญกลาง 22 นิ้ว แล้วให้ความร้อนด้วยเตาแก๊ส เป็นระยะเวลา 40, 70 และ 110 นาที(จนกระทั่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 87±2) ติดตามการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อนทุก ๆ 5 นาทีดังนี้

- <u>คุณสมบัติทางเคมี</u>ได้แก่ ความชื้น (moisture content) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) ปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ปริมาณกรดทั้งหมด (total acidity) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณ MHF
- <u>คุณสมบัติทางกายภาพ</u>ได้แก่ อุณหภูมิ ลักษณะปรากฏ(ภาพถ่าย) สี Browning Intensity Intermediate browning index

มหาวิทยาลัยศิลปากร



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการให้ความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ

3.3 อิทธิพลของอัตราเร็วของการลดอุณหภูมิของน้ำตาลเข้มข้นต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าว

3.3.1 เตรียมวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าวใส

เก็บเกี่ยวน้ำตาลมะพร้าวใสจากต้นมะพร้าวพันธุ์หมูสีหม้อ อายุ 2.5-3 ปี จากกระบอกไม้ไผ่ใส่เปลือกไม้พยอม (Shorea roxburghii G.Don) 3 กรัม/ลิตร มีระยะเวลาเก็บเกี่ยว (รอรับน้ำตาล) เป็นเวลา 10-12 ชั่วโมง จากสวนมะพร้าวเตาตาลมิตรปรีชา อ.เมือง จ.สมุทรสงคราม ประเทศไทย เมื่อรวบรวมน้ำตาลมะพร้าวใสแล้วกรองแยกเปลือกไม้พยอมและสิ่งปนเปื้อนออกด้วยผ้าขาวบาง บรรจุใส่ถุงพลาสติกถุงละ 1 ลิตร บรรจุในถังน้ำแข็ง (อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส) เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในระหว่างการขนส่งไปที่ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร จ.นครปฐม ระยะเวลาการเดินทาง 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเก็บน้ำหวานดอกมะพร้าวใสโดยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

ก่อนการทำการทดลอง นำน้ำหวานดอกมะพร้าวใสที่แช่เยือกแข็งมาทำละลายโดยเปิดน้ำประปาไหลผ่านเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง (จนกระทั่งอุณหภูมิ 24±1 องศาเซลเซียส)

3.3.2 อิทธิพลของอัตราเร็วของการลดอุณหภูมิของน้ำตาลเข้มข้นต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าว

น้ำตาลมะพร้าวใสที่ทำละลายแล้วปริมาตร 5 ลิตร ใส่ในกระทะเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 นิ้ว แล้วให้ความร้อนด้วยเตาแก๊ส เป็นระยะเวลา 75 นาทีเทใส่อ่างผสม (Kitchen Aid) ตีปั่นด้วยเครื่องตีผสม ด้วยหัวตะกร้อความเร็วระดับ 2, 3, 4 และ 5 จนกระทั่งเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิ 80 ±1 องศาเซลเซียส (เก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้วยเทอร์มอมิเตอร์แบบอินฟาเรดทุก ๆ 30 วินาที) แล้วนำใส่พิมพ์ขนาด 4.5 x 4.5 x2.5 เซนติเมตร ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพ

- วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีได้แก่ ความชื้น (moisture content) ปริมาณของแข็ง (total solid) ปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ปริมาณกรดทั้งหมด (total acidity) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณ MHF
- วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพได้แก่ สี Browning Intensity, Intermediate browning Product

3.4 การวิเคราะคุณภาพทางเคมีกายภาพ

(1) การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

น้ำหวานดอกมะพร้าววิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH meter (Naknean, Meenune et al. 2009) น้ำตาลมะพร้าวและน้ำหวานดอกมะพร้าวเข้มข้น(ระหว่างกระบวนการให้ความร้อน) เจือจางด้วยน้ำกลั่น (ตัวอย่าง:น้ำกลั่น, 1:9) แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง pH meter (Naknean 2010)

(2) การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity)

เจือจางตัวอย่าง(น้ำหวานดอกมะพร้าวหรือน้ำตาลมะพร้าว) 10 กรัมด้วยน้ำกลั่น 90 กรัม แล้วไตรเตรตด้วย 0.01 N NaOH จนกระทั่งสารละลายมีค่า pH เท่ากับ 8.2 รายงานผลการวิเคราะห์เป็นร้อยละของกรดแลกติก (Uttraporn 2006)

(3) การวิเคราะห์ปริมาณเกลือ

วิเคราะห์ปริมาณเกลือของตัวอย่างน้ำหวานดอกมะพร้าวด้วยเครื่อง Hand Refractometer แบบส่องรายงานค่าปริมาณเกลือในหน่วย %เกลือ

(4) การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของน้ำตาล

วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของน้ำตาลในตัวอย่างน้ำหวานดอกมะพร้าวโดยวิธี HPLC โดยทำการส่งตัวอย่างให้ บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง จังหวัดสมุทรสาครเป็นผู้วิเคราะห์

(5) การวิเคราะห์ค่าความหนืด

วิเคราะห์ค่าความหนืดของตัวอย่างน้ำหวานดอกมะพร้าวด้วยเครื่อง Brookfield โดยนำตัวอย่าง 20 มิลลิลิตรใส่ภาชนะของ ULA adapter วิเคราะห์ความหนืดด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีรายงานผลค่าความหนืดในหน่วย cp

(6) การวิเคราะห์ค่าสี

วิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่างน้ำหวานดอกมะพร้าวด้วยเครื่องวัดสี Hand spectrocolorimeter Livibond LC^{TM} ส่วนค่าสีของตัวอย่างน้ำตาลมะพร้าวด้วยโปรแกรม image j จากภาพถ่าย รายงานค่าสีในรูปแบบ L* a* b*

(7) การวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะ

วิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะโดยนำน้ำหวานดอกมะพร้าวปริมาตร 200 มิลลิลิตรใส่ในกระบอกตวงขนาด 250 มิลลิลิตรแล้ววัดค่าโดย Hydrometer รายงานค่าความถ่วง จำเพาะในหน่วย º Baume

(8) การวิเคราะห์ความใส

วิเคราะห์ค่าความใสของตัวอย่างน้ำหวานดอกมะพร้าวโดยวิเคราะห์จากค่าการส่องผ่าน (transmittance) ที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตรโดยเครื่อง uv-vis spectrophotometer รายงานค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ (Taiapaiboon 2004)

(9) การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS)

วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ (TSS) ของตัวอย่างน้ำหวานดอกมะพร้าวด้วยเครื่อง Hand Refractometer แบบส่องรายงานผลเป็น ºBrix

(10) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (water activity)

วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ของตัวอย่าง(น้ำหวานดอกมะพร้าว หรือน้ำหวานดอกมะพร้าวเข้มข้น หรือน้ำตาลมะพร้าว)โดยนำตัวอย่างใส่ในภาชนะสำรับวัดตัวอย่างแล้วด้วยเครื่องวัดค่า aw (AQUA LAB, 4TE)

(11) การวิเคราะห์ปริมาณ MHF

เจือจางตัวอย่าง 5-10 กรัมด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuged ที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาทีเป็นระยะเวลา 15 นาที นำของเหลวด้านบน 2 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมสารละลาย 12% trichloroacetic acid 2 มิลลิลิตร และสารละลาย 0.025 M thiobabituric acid 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสาร แล้วนำไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 50 นาที เมื่อครบกำหนดเวลาทำให้เย็นลงทันทีโดยการหล่อด้วยน้ำประปา แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณ HMF โดยวัดการดูดกลืนแสงที่ 443 นาโนเมตร แล้วเทียบกับกราฟ HMF มาตรฐาน (Rattanathanalerk, Chiewchan et al. 2005)

(12) การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของน้ำตาลมะพร้าวด้วยเครื่อง Texture Analyzer calibrated ด้วยลูกตุ้มสแตนเลสน้ำหนัก 1 kg เตรียมตัวอย่างโดยตัดเป็นชิ้นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 2 x 2 x1.5 เซนติเมตรแล้ววิเคราะห์ค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยหัววัดทรงกระบอก (P/5) เจาะเข้าไปในตัวอย่างด้วยความเร็ว 0.1 มิลลิเมตรต่อวินาที ตั้งแต่ผิวหน้าลึกลงไป 30 % ของความสูง และความเหนียว(stickiness) ด้วยหัววัดทรงกระบอก (P/5) เจาะเข้าไปในตัวอย่างด้วยความเร็ว 0.1 มิลลิเมตรต่อวินาที ตั้งแต่ผิวหน้าลึกลงไป 30 % ของความสูง แล้วค้างไว้ 3 วินาที แต่ละตัวอย่างวิเคราะห์ทั้งสิ้น 10 ครั้ง (Nowakowski and Hartel 2002)

(13) วิเคราะห์ค่า Browning Intensity และ Intermediate browning product

วิเคราะห์ค่า Intermediate browning product (IBP) and browning intensity (BI) ของน้ำตาลมะพร้าว โดยเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 20 และ 10 เท่าแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 280 และ 420 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer (Takano, 2005 และ Kawai et al. 2005)

(14) วิเคราะห์ค่า Intermediate browning product (IBP) and browning intensity (BI) ของน้ำหวนดอกมะพร้าวเข้มข้น(ระหว่างการให้ความร้อน) โดยเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 24 และ 12 เท่าแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 280 และ 420 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer (ดัดแปลงจาก Takano, 2005 และ Kawai et al. 2005)

(15) การวิเคราะห์ลักษณะปรากฏ (ภาพถ่าย)

ถ่ายภาพน้ำตาลมะพร้าว โดยถ่ายลักษณะภายนอก และลักษณะภายในโดยผ่าแนวขวางหนา 2 เซนติเมตรในกล่องควบคุมแสง ด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิตัล (Cannon EOS 750D)

3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติและการสรุปผล

ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำโดยวางแผนการทดลองแบบ CRD (completely randomized design) ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD (Least Significant Difference) ด้วยโปรแกรม SAS (The SAS system for windows 9.0)

บทที่ 4
ผลการทดลอง

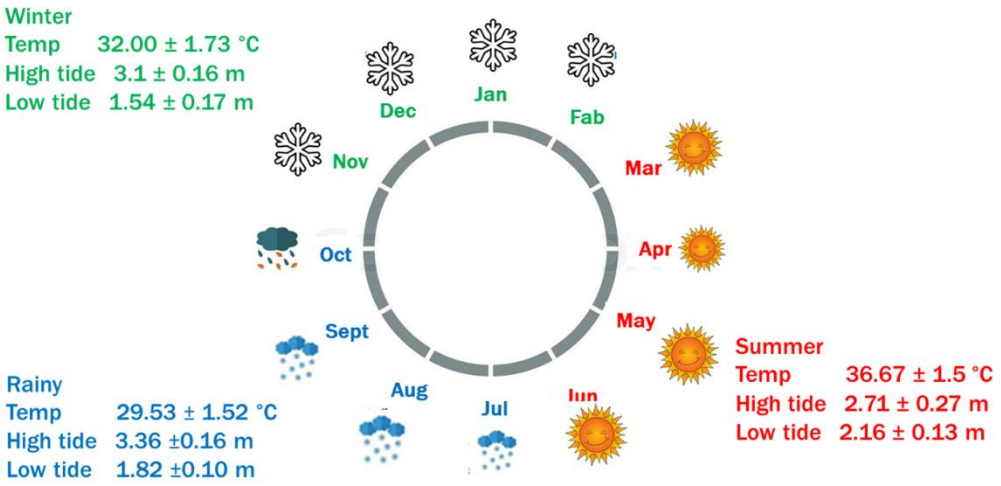
4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิของแต่ละฤดูกาลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลใสและน้ำตาลมะพร้าว

4.1.1 อิทธิพลของอุณหภูมิในแต่ละฤดูกาลต่อคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวใส

ประเทศไทยตั้งอยู่เขตร้อนใกล้บริเวณเส้นศูนย์สูตร ทำให้ประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น และฤดูกาลที่หลากหลาย โดยสามารถแบ่งฤดูกาลออกเป็น 3 ฤดูกาลคือฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน ซึ่งแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ตลอดจนระดับน้ำขึ้น-น้ำลง สำรับในงานวิจัยชิ้นนี้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำตาลใสในระหว่างการเก็บเกี่ยว และระดับน้ำขึ้น-น้ำลง เนื่องจากพื้นที่ของสวนมะพร้าวตั้งอยู่บริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งส่งผลต่อรสชาติ ปริมาณแร่ธาตุ ตลอดจนคุณภาพทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตได้

จากการเก็บข้อมูลในพื้นที่สวนมะพร้าวของเตาตาลมิตรปรีชา อ.เมือง จ.สมุทรสงครามโดยทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ระดับน้ำขึ้นน้ำลงจากกรมเจ้าท่าที่บริเวณปากน้ำแม่กลองพบว่าในฤดูฝนมีระดับน้ำขึ้นสูงสุดรองลงมาคือฤดูหนาวและฤดูร้อนตามลำดับ ส่วนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแต่ละฤดูกาลพบว่าในฤดูร้อนมีอุณหภูมิอากาศสูงถึง 36.67 องศาเซลเซียสซึ่งสูงกว่าฤดูกาลอื่น ๆ รองลงมาคือฤดูฝนมีอุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส และฤดูหนาว 29.53 องศาเซลเซียสดังแสดงในภาพที่ 5 ในปี 2559 ที่ทำการเก็บข้อมูลเกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ่จึงทำให้อุณหภูมิในฤดูหนาวสูงกว่าปกจนใกล้เคียงกับในฤดูฝน

สภาพภูมิอากาศของแต่ละฤดูกาลมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าวใส เนื่องจากในกระบวนการเก็บเกี่ยวน้ำตาลใสทำโดยการรอรับน้ำตาลด้วยกระบอกไม้ไผ่ เป็นระยะเวลา 8-10 ชั่วโมง ลักษณะของกระบองไม้ไผ่ด้านปลายเปิดจึงทำให้เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์จากสิ่งแวดล้อมเข้าไปในน้ำตาลใสในประบอกไม้ไผ่ อีกทั้งน้ำตาลมะพร้าวมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์ ใช้ในกระบวนการเจริญเติบโต เกิดกระบวนการย่อยสลายน้ำตาลซูโครส ที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำตาลใส



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ระดับน้ำขึ้น-น้ำลงของแต่ละฤดูกาลใน อ.เมือง จ.สมุทรสงคราม ปี 2559

เมื่อรวบรวมน้ำตาลใสที่ได้จากต้นมะพร้าวจำนวน 121 ต้นจากสวนมะพร้าวเตาตาลมิตรปรีชา กรองแยกสิ่งสกปรก บรรจุในถุงพลาสติกถุงละ 1 กิโลกรัม บรรจุในลังน้ำแข็ง(อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส) ขนส่งมายังบริษัทห้องปฏิบัติการกลาง จังหวัดสมุทรสาคร เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์(จุลินทรีย์ทั้งหมด, ยีสต์และรา) ชนิดและองค์ประกอบของน้ำตาล และขนส่งไปที่ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร จ.นครปฐม เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพน้ำตาลใสที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละฤดูกาลมีคุณภาพทางเคมีกายภาพที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3 โดยแสดงคุณภาพของน้ำตาลใสที่เก็บเกี่ยวได้ในฤดูกาลที่แตกต่างกัน โดยติดตามคุณภาพค่า TSS, ค่าความเป็นกรดด่าง (pH), ปริมาณกรด (Acidity), ชนิดและปริมาณน้ำตาล

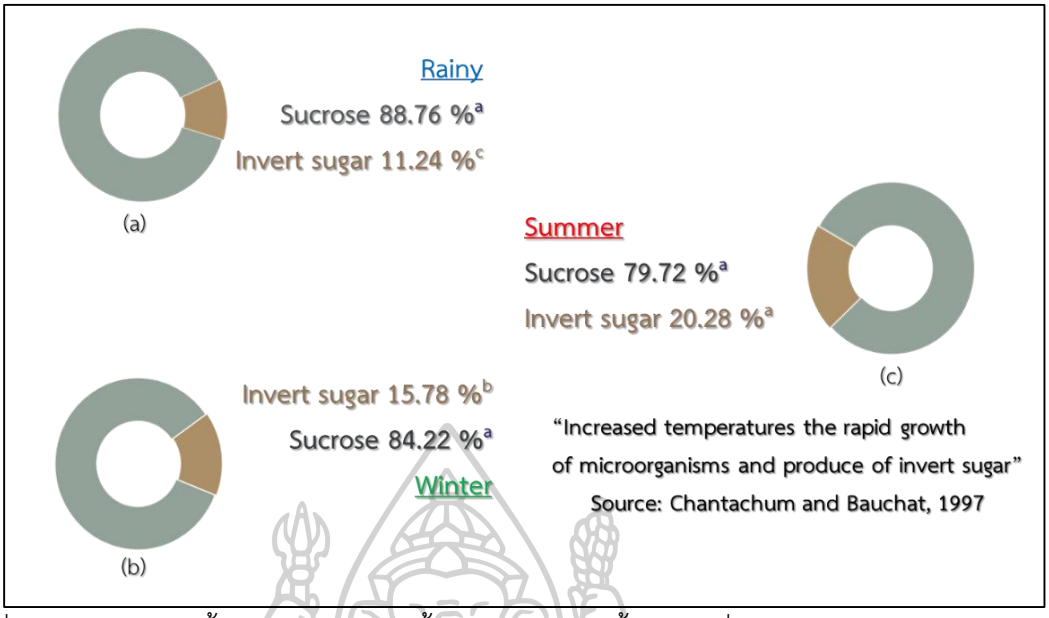
ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลใสที่เก็บเกี่ยวได้ในฤดูกาลต่าง ๆ

คุณภาพ	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว
TSS (Brix)	17.31 ± 1.1[a]	17.01±0.62[a]	15.03±0.45[b]
pH	3.88 ± 0.63[b]	5.01 ± 0.42[a]	4.79 ± 0.18[a]
Acidity (% as lactic)	0.12 ± 0.01[a]	0.11 ± 0.01[a]	0.13 ± 0.01[a]
Salt(%)	14.10 ± 0.97[ab]	14.54 ± 0.47[a]	11.91 ± 1.90[b]
Total sugar (%)	14.50 ± 10.97[a]	15.43 ± 0.15 [a]	14.51 ± 0.18 [a]
Sucrose (%)	11.56 ± 0.82[a]	13.74 ± 2.21[a]	12.22 ± 0.93[a]
Fructose (%)	1.45 ± 0.26[a]	0.76 ± 0.12[b]	1.06 ± 0.09[b]
Glucose (%)	1.49 ± 0.12[a]	0.98 ± 0.19[ab]	1.24 ± 0.26[b]

จากภาพที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมในระหว่างกระบวนการเก็บเกี่ยวน้ำตาลใส ของแต่ละฤดูกาลใน อ.เมือง จ.สมุทรสงคราม ปี 2559 ซึ่งพบว่าในฤดูร้อนมีอุณหภูมิสูงถึง 36.67 องศาเซลเซียสซึ่งสูงกว่าฤดูกาลอื่น ๆ รองลงมาคือฤดูฝนมีอุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส และฤดูหนาว 29.53 องศาเซลเซียส แต่เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่างแล้วนั้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับกับสมมุติฐานที่ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ที่ส่งผลให้เกิดการผลิตกรดเนื่องจากเมตาบอลิซึมมากขึ้นด้วย

นอกเหนือจากค่าความเป็นกรด-ด่างแล้ว ปริมาณ/สัดส่วนของน้ำตาลแต่ละชนิดก็เป็นอีกปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าว หากมีปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ทในผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวปริมาณมาก จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมได้ดีและเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติกลาสทรานซิสชั่น (glass transition) (Naknean 2010)

ในปี (1997) Chanthachum and Beuchat ได้กล่าวไว้ว่า "การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเกิดการผลิตน้ำตาลอินเวิร์ท" ทั้งนี้เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะเกิดการสร้างเอนไซม์อินเวอร์เทสซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการไฮโดรลิซิสน้ำตาลซูโครส เกิดเป็นน้ำตาลกลูโครส และฟรักโตส ในระหว่างการเจริญเติบโตส่งผลให้สัดส่วนของน้ำตาลอินเวิร์สเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองกล่าวคือในฤดูกาลร้อนที่มีอากาศร้อนที่สุดเมื่อนำน้ำตาลใสมาวิเคราะห์หาสัดส่วนของน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลอินเวิร์ทพบว่ามีสัดส่วนของน้ำตาลอินเวิร์ทมากถึง 20.28% รองลงมาคือน้ำตาลใสที่ผลิตในฤดูหนาว 15.78% และฤดูฝน 11.24% ดังแสดงสัดส่วนของน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลอินเวิร์ทไว้ในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 อัตราส่วนของน้ำตาลอินเวิร์ทและน้ำตาลซูโครสของน้ำตาลใสที่ผลิตได้จากฤดูกาลต่าง ๆ

4.1.2 อิทธิพลของคุณภาพน้ำตาลใสต่อความแปรปรวนของคุณภาพน้ำตาลมะพร้าว

เมื่อนักวิจัยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำหวานดอกที่กรองแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากหัวข้อ 3.1.1 แล้วนำน้ำตาลมะพร้าวที่เก็บเกี่ยววันเดียวกับตัวอย่างวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพน้ำหวานดอกมะพร้าวมาผลิตเป็นน้ำตาลมะพร้าว

โดยนำน้ำหวานดอกมะพร้าวปริมาตร 50 ลิตร ให้ความร้อนด้วยพลังงานชีวมวลในกระทะเหล็ก จนเกิดฟองโปรตีนขึ้นระหว่างการให้ความร้อน ทำการช้อนฟองโปรตีนที่เกิดขึ้นด้านบนออกจนหมด ให้ความร้อนจนกระทั่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 87± 2 องศาบริกซ์ แล้วลดอุณหภูมิโดยการปั่นด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าจนกระทั่งเป็นของเหลวข้นหนืด เทลงพิมพ์เซรามิกซ์ทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตรจนกกระทั่งเปลี่ยนเป็นของแข็ง แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตได้ โดยวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตได้ในแต่ละฤดูกาลพบว่าค่าความแข็งของน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตในฤดูร้อนมีค่าความแข็ง(Hardness) น้อยสุดและมีค่าความเหนียว (Adhesiveness) มากที่สุดดังแสดงในตารางที่ 4

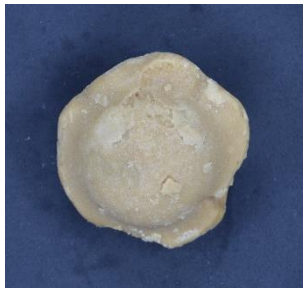
ตารางที่ 4 คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตในฤดูกาลต่าง ๆ

คุณสมบัติ	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว
Hardness(N)	2.93 ± 0.35 [c]	7.85 ± 0.01 [b]	9.15 ± 0.17[a]
Adhesiveness (N)	-0.81 ± 0.01[c]	-0.60 ± 0.02[b]	-0.45 ± 0.08 [a]
Browning index	1.11 ± 0.03 [a]	0.66 ± 0.01 [b]	0.56 ± 0.03 [c]
สี L*	69.06 ± 4.20 [a]	73.90 ± 4.95 [a]	59.69 ± 4.67 [b]
A*	-0.14 ± 0.09 [b]	-1.78 ± 0.05 [c]	1.4 0. ± 13 [a]
B*	8.10 ± 1.27 [a]	9.10 ± 3.60 [a]	10.89 ± 1.45 [a]

จากตารางที่ 4 พบว่าคุณลักษณทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตในฤดูกาลต่าง ๆ แตกต่างกัน ในฤดูร้อนค่าความแข็ง(Hardness) น้อยสุดและมีค่าความเหนียว (Adhesiveness) ซึ่งสอดคล้องกับสัดส่วนของน้ำตาลอินเวิร์ท ในทางตรงกันข้าวค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning Index) ของน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตในฤดูร้อนมีค่ามากที่สุดและมีค่ามากกว่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตในฤดูฝนถึง 50 เท่าและมากกว่าฤดูหนาวถึง 60 เท่าตัว สอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน

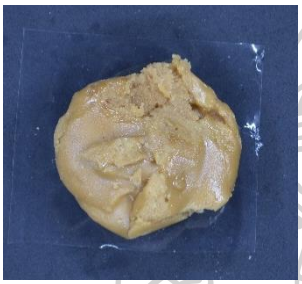
4.1.3 อิทธิพลของคุณภาพน้ำตาลใสต่ออายุการเก็บรักษาของน้ำตาลมะพร้าว

เมื่อนักวิจัยผลิตน้ำตาลมะพร้าวจากน้ำตาลใสที่มีคุณภาพแตกต่างกัน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำหวานดอกที่กรองแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากหัวข้อ 3.1.1 แล้วนำน้ำตาลมะพร้าวที่เก็บเกี่ยวได้นั้นมาผลิตเป็นน้ำตาลมะพร้าว โดยนำน้ำหวานดอกมะพร้าวปริมาตร 50 ลิตร ให้ความร้อนด้วยพลังงานชีวมวลในกระทะเหล็ก จนเกิดฟองโปรตีนขึ้นระหว่างการให้ความร้อน ทำการช้อนฟองโปรตีนที่เกิดขึ้นด้านบนออกจนหมด ให้ความร้อนจนกระทั่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 87± 2 องศาบริกซ์ แล้วลดอุณหภูมิโดยการปั่นด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าจนกระทั่งเป็นของเหลวข้นหนืด เทลงพิมพ์เซรามิกซ์ทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตรจนกกระทั่งเปลี่ยนเป็นของแข็ง



ก

ข

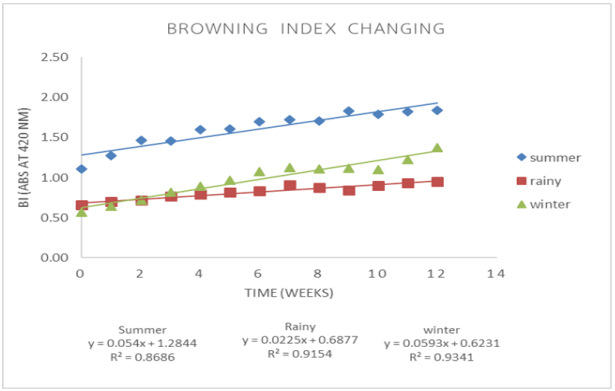


ค

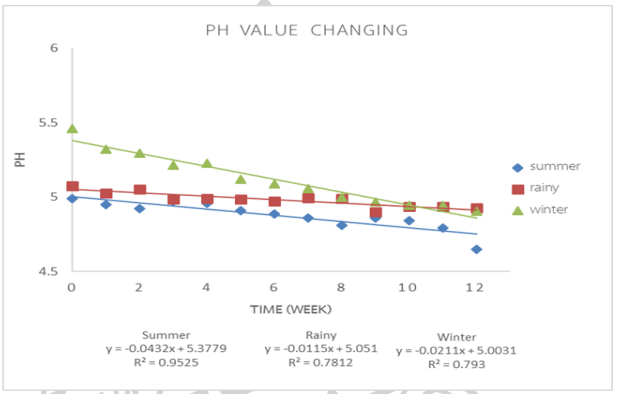
ง

ภาพที่ 7 ลักษณะปรากกฏของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างการเก็บรักษา หลังผลิต(ก) อายุการเก็บรักษา 1 สัปดาห์ เริ่มมีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น (ข) อายุการเก็บรักษา 5 สัปดาห์ เริ่มเกิดการเยิ้มเหลว (ค) อายุการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ มีลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

นำไปบรรจุในถุงพลาสติกจำนวน 26 ถุงบรรจุถุงละ 5 ชิ้นเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาทุก ๆสัปดาห์จนกระทั่งครบ 3 เดือน จากการเก็บข้อมูลจากผู้ผลิตและจำหน่ายน้ำตาลมะพร้าวพบว่าปัจจัยแรกที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อน้ำตาลมะพร้าวและผลิตภัณฑ์ก็คือลักษณะปรากฏ โดยปกติแล้วน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตได้จะถูกบรรจุในถุงพลาสติกใส ซึ่งไม่ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ ทำให้น้ำตาลมะพร้าวที่เก็บรักษาไว้นั้นมีความชื้นเพิ่มสูงขึ้น เกิดการเปลี่ยนแปลงสีก่อนในช่วงแรกของการเก็บรักษา จนมีสีคล้ำมากขึ้นดังภาพที่ 7 ข และ ค และเมื่อได้รับความชื้นจากสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติกลาสทรานซิสชันผลิตภัณฑ์จนมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว เมื่อนำน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตได้จากฤดูกาลต่าง ๆ บรรจุไว้ในถุงพลาสติกใส แล้วสุ่มมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า BI และการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างทุกสัปดาห์ดังแสดงในภาพที่ 7



(a)



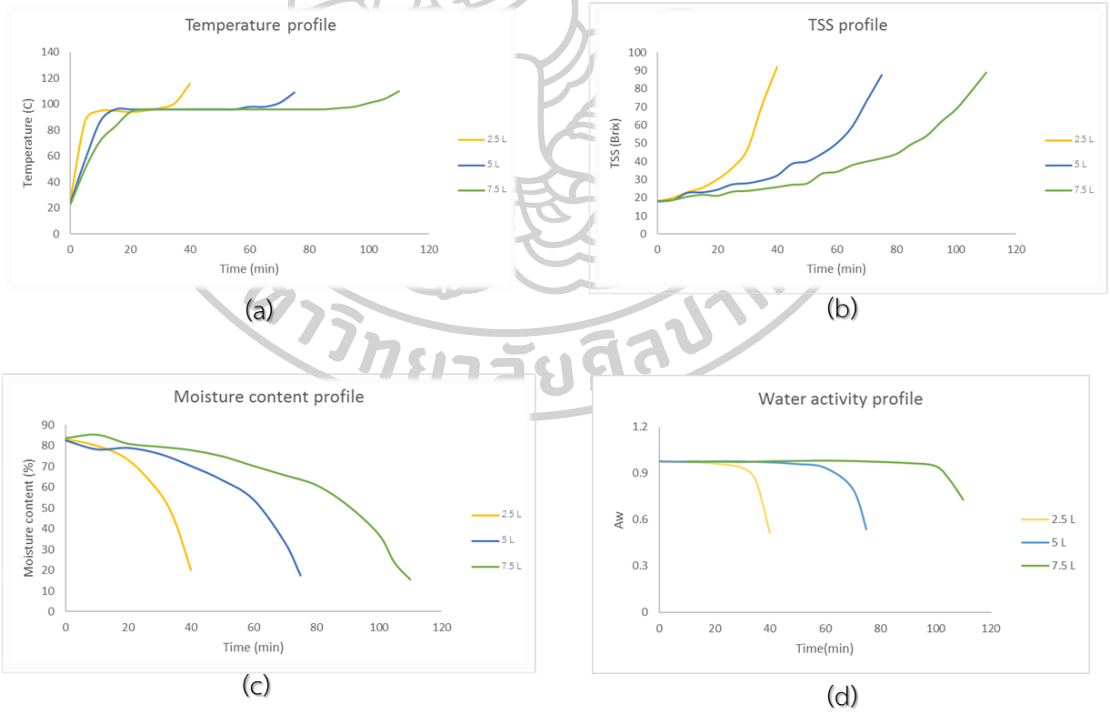
(b)

ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงดัชนีการเกิดสีน้ำตาล(BI) และ ค่า pH ของน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตได้ในฤดูกาลที่ต่างกัน

จากภาพที่ 8 จะเห็นได้ว่าอัตราการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำตาลในฤดูร้อนมีค่ามากที่สุดทั้งนี้สอดคล้องกับการปริมาณของน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลฟรุกโตส และในขณะเดียวกันการเกิดสีน้ำตาล(Browning intensity) ของฤดูร้อนก็มีค่าสูงสุดด้วยเช่นกัน

4.2 อิทธิพลของระยะเวลาและอุณหภูมิของกระบวนการเคี่ยวต่ออัตราการเกิดสีน้ำตาล และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในในระหว่างกระบวนการผลิต

ให้ความร้อนแก่น้ำหวานดอกมะพร้าว 3 ระดับที่มีอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกันดังแสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดังภาพที่ 9a โดยนำน้ำหวานดอกมะพร้าวปริมาตร 2.5 (HP 1), 5 (HP 2) และ 7.5 (HP 3) ลิตร ใส่ในกระทะเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 นิ้ว แล้วให้ความร้อนด้วยเตาแก๊ส เป็นระยะเวลา 40, 70 และ 110 นาที (จนกระทั่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 87±2) ติดตามการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อนทุก ๆ 5 นาทีดังแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้(TSS) ความชื้น และค่า aw ดังภาพที่ 9 โดยอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนรูปแบบ HP 2 เป็นรูปแบบการให้ความร้อนที่คัดลอกมาจากกระบวนการทำงานจริงของเตาตาลมิตรปรีชา ทางนักวิจัยจึงออกแบบให้มีรูปแบบการให้ความร้อนที่มีอุณหภูมิ และระยะเวลาครอบคลุมรูปแบบการให้ความร้อนแบบ HP 2



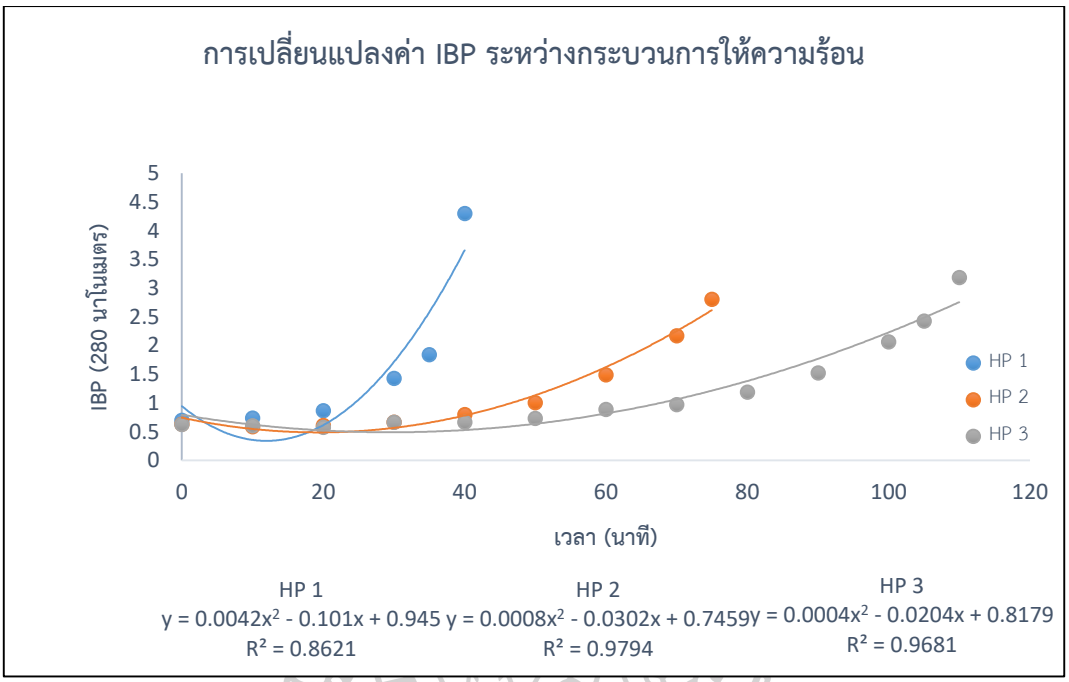
ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตจากกระบวนการผลิตที่มีอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่าง ๆ

น้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตจากกระบวนการผลิตที่มีอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ต่างกันส่งผลให้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพที่แตกต่างกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งดัชนีการเกิดสีน้ำตาลได้แก่ Intermediate browning product (IBP) และ Browning intensity (BI) ดังแสดงในตารางที่ 5

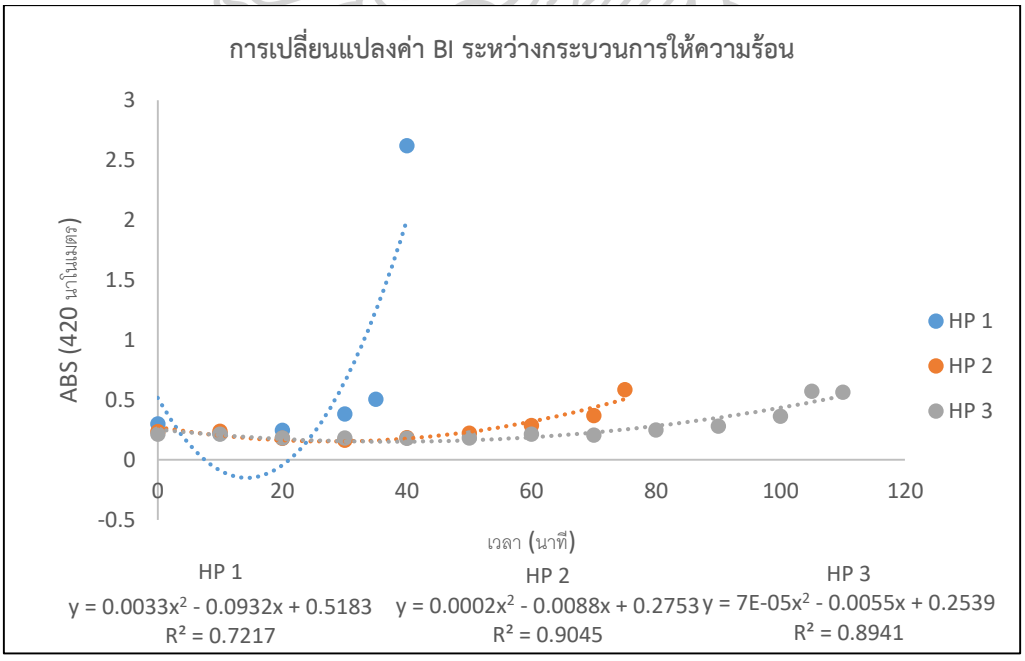
ตารางที่ 5 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตจากกระบวนการให้ความร้อนที่มีอุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

คุณสมบัติ	HP 1	HP 2	HP 3
ความชื้น (%)	16.75 ± 0.17	17.02 ± 0.29	15.58 ± 0.02
ปริมาณน้ำอิสระ	0.52 ±0.01	0.54 ± 0.01	0.60 ± 0.01
IBP	4.30 ± 0.17	2.80 ± 0.08	3.18 ± 0.07
BI	2.62 ± 0.74	0.58 ± 0.16	0.57 ± 0.14
สี L*	-90.23 ± 0.12	-52.9 ± 0.14	-59.05 ± 0.21
a*	11.87 ± 0.06	2.25 ± 0.07	4.25 ± 0.07
b*	7.57 ± 0.12	24.1 ± 0.28	27.35 ± 0.49

เมื่อน่าค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล(IBP,BI) มาสร้างความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการให้ความร้อนของแต่ละรูปแบบการให้ความร้อนต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 10 หากพิจารณาที่ผลิตภัณฑ์สุดท้ายแล้วนั้นพบว่าที่การให้ความร้อนแบบ HP1 มีค่า IBP และ BI สูงกว่าการให้ความร้อนรูปแบบอื่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า BI ที่การให้ความร้อนรูปแบบ HP 1 ที่มีค่ามากกว่า HP 2 ถึง 3.93 เท่า และมากกว่า HP 3 5.70 เท่า



ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่า IBP ของน้ำตาลมะพร้าวที่ได้รับความร้อนและระยะเวลาในการได้รับความร้อนที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่า BI ของน้ำตาลมะพร้าวที่ได้รับความร้อนและระยะเวลาในการได้รับความร้อนที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 6 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม อัตราการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเกิดสีน้ำตาลและผลิตภัณฑ์ของน้ำตาลมะพร้าวที่ได้รับความร้อนและระยะเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน

คุณภาพ	HP 1	HP 2	HP 3
ΔE	19.59	12.7	13.1
$R_{\text{average of IBP}}$	0.09	0.03	0.02
$R_{\text{average of BI}}$	0.58	0.0046	0.0032

ภาพที่ 12 ภาพเปรียบการเกิดสีน้ำตาลของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแบบ HT 1 ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ภาพที่ 13 ภาพเปรียบเทียบการเกิดสีน้ำตาลของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแบบ HT 2 ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ภาพที่ 14 ภาพเปรียบเทียบการเกิดสีน้ำตาลของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแบบ HT 2 ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

หากพิจารณาค่า BI ของน้ำตาลมะพร้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบ HP 1 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงแตกต่างจากรูปแบบการให้ความร้อนแบบ HP 1 และ HP 2 มากทั้งการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม อัตราการเกิด IBP และ BI เฉลี่ย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า BI ของผลิตภัณฑ์ที่สูงกว่า HP 2 และ HP 3 ถึง 96 และ 181 เท่าตามลำดับ

4.3 อิทธิพลของอัตราเร็วของการลดอุณหภูมิของน้ำตาลเข้มข้นต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าว

ทำการผลิตน้ำตาลมะพร้าวโดยนำน้ำตาลมะพร้าวใสที่ทำละลายแล้วปริมาตร 5 ลิตร ใส่ในกระทะเหล็กขนาดเส้นผ่านสูญกลาง 22 นิ้ว แล้วให้ความร้อนด้วยเตาแก๊ส เป็นระยะเวลา 70 นาที แล้วทำให้เย็นในอัตราการทำเย็นที่แตกต่างกันดังนี้ 3.2 5.7 6.6 และ 10.7 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยเทใสอ่างผสม (Kitchen Aid) ตีปั่นด้วยเครื่องตีผสม ด้วยหัวตะกร้อความเร็วระดับ 2,3,4 และ 5 จนกระทั่งเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิ 80 ±1 องศาเซลเซียส (เก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้วยเทอร์มอมิเตอร์แบบอินฟาเรดทุก ๆ 30 วินาที) แล้วนำใส่พิมพ์ขนาด 4.5 x 4.5 x2.5 เซนติเมตร

ตารางที่ 7 อิทธิพลของอัตราการทำเย็นต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าว (1)

Cooling rate	Lightness	Redness	Yellowness	°Hue	BI
3.2 °C/min	62.72±0.34^{bc}	10.39±0.06^{a}	28.60±0.06^{a}	70.03±0.13^{c}	70.7661^{a}
5.7 °C/min	61.3±0.82^{c}	10.43±0.11^{a}	28.46±0.24^{ab}	69.88±0.15^{c}	72.5245^{a}
6.6 °C/min	65.00±0.30^{b}	8.85±0.16^{b}	27.90±0.21^{ab}	72.40±0.18^{b}	64.0787^{b}
10.7 °C/min	70.17±2.44^{a}	8.11±0.76^{b}	27.81±0.56^{b}	73.75±1.19^{a}	57.2733^{c}

จากตารางที่ 7 อัตราการทำเย็นส่งผลต่อลักษณะปรากฏของน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตได้โดยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกล่าวคือหากมีอัตราการทำเย็นที่เร็วมากก็จะส่งผลให้น้ำตาลที่ผลิตได้มีค่าความสว่างมากกว่า ทั้งนี้การลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการตกผลึกของน้ำตาลอย่างรวดเร็วและมีการสะสมความร้อนอยู่ในชิ้นอาหารน้อยกว่าการเกิดผลิตภัณฑ์สีน้ำตาลหรือผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชั่นได้น้อยกว่า น้ำตาลที่ได้จึงสีอ่อนกว่า

นอกเหนือจากอิทธิพลของอัตราการลดอุณหภูมิจะส่งผลต่อลักษณะปรากฏด้านสีแล้วยังส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพที่เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคนั่นก็คือความแข็งและความเหนียวของน้ำตาลมะพร้าวดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 8 อิทธิพลของอัตราการทำเย็นต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลมะพร้าว (2)

Cooling rate	a_w	%MC	%Total solid	Hardness (g)	Stickiness (g)
3.2 °C/min	0.6774±0.0069^{c}	9.93±035^{c}	90.07	3571.594^{a}	-46.2338±5.08^{a}
5.7 °C/min	0.6843±0.0022^{bc}	12.18±0.21^{ab}	87.82	2974.788^{b}	-85.2338±11.37^{b}
6.6 °C/min	0.6857±0.0002^{b}	12.65±0. 77^{a}	87.35	2967.687^{b}	-93.6363±12.78^{b}
10.7 °C/min	0.6953±0.0012^{a}	11.50±0.32^{b}	88.5	1081.642^{c}	-80.5668±13.19^{b}

บทที่ 5
สรุปอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

คุณภาพของน้ำตาลใสเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง ชนิดและสัดส่วนของน้ำตาล ซึ่งจากการทดลองติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำตาลใสที่ผลิตได้จากฤดูกาลที่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัด หากต้องการยกระดับคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตได้ในฤดูร้อนให้มีคุณภาพดีเช่นเดียวกับในฤดูหนาว หรือฤดูฝน มีอัตราการเกิดสีน้ำตาลระหว่างกระบวนการเก็บรักษาต่ำ และมีอายุการเก็บรักษานานกว่า 8 สัปดาห์ ควรควบคุมภาพของน้ำตาลใสให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำกว่า 4.8 มีสัดส่วนส่วนของน้ำตาลอินเวิร์ทไม่เกิน 15% และมีรูปแบบการให้ความร้อน(อุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อน) เช่นเดียวกับ HP 2 (ของการทดลอง)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำตาลใสมีปัจจัยหลักมาจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระหว่างกระบวนการเก็บเกี่ยว สำรับการควบคุมคุณภาพของน้ำตาลใสในฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมสูง จึงทำให้เกิดการเจริญของจุลินทรีย์และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำตาลใส หากต้องการควบคุมคุณภาพของน้ำตาลใสให้มีคุณภาพตามที่ระบุไว้ข้าวต้นนั้น สามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ (1)การป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยพัฒนาภาชนะสำรับเก็บเกี่ยวน้ำตาลใสที่สามารถควบคุมอุณหภูมิหรือเป็นฉนวนกันความร้อนจากสิ่งแวดล้อม (2)การยับยั้งการเจริญเติบโตและทำลายจุลินทรีย์เพื่อไม่ให้เกิดเมตาบอลิซึมสร้างน้ำตาลอินเวิร์ท โดยการใช้สารต้านจุลินทรีย์ธรรมชาติ แต่ยังขาดองค์ความรู้ในเรื่องการใช้สารต้านจุลินทรีย์จากธรรมชาติที่เหมาะสม หากสามารถหาสัดส่วนของเปลือกไม้พยอมหรือสกัดแยกสารออกฤทธิ์จากเปลือกไม้พยอมที่สามารถควบคุมปริมาณสารที่ออกฤทธิ์และปริมาณการใช้งานให้เหมาะสมต่ออัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในแต่ละฤดูกาลก็จะสามารถควบคุมคุณภาพของน้ำตาลใส

รายการอ้างอิง

Andrews, L. S., M. A. Godshall and S. Moore (2002). "Sucrose degradation under model processing condition." Journal of Food Science **67(5)**: 1621-1624.

Apriyantono, A., A. Aristyani, L. Nurhayati, Y, S. Budiyanto and S. T. Soekarto (2002). "Rate of browning reaction during preparation of coconut and palm sugar." International Congress **1245**: 275-278.

Carabasa-Giribet, M. and A. Ibarz-Robas (2000). "Kinetics of colour development in aqueous fructose systems at high temperatures." Journal of Science of Food and Agricultural **44**: 181-189.

Chanthachum, S. and L. R. Beuchat (1997). "Inhibitory effect of kiam (Cotylelobium Lanceotatum craih.) wood extract on gram-positive food-born pathogens and spoilage micro-organisms." Food Microbiology **14**: 603-608.

Coca, M., G. Gonzalez, M. Pena and J. A. Garcia (2004). "Study of coloured components formed in sugar beet processing." Food Chemistry **86**: 421-433.

Davis, A. T. and V. D. Johnson (1987). "Current utilization and further development of the Palmyra palm (Borassus flabellifer Linn.) in Tamil Nadu State." India Economic Botany **41**: 247-266.

Greenshields, R. N. (1973). "Caramel-part 2 manufacture, composition and properties." Process Biochemistry **8(4)**: 17-20.

Gupta, R. C., V. K. Jain and G. Shanker (1980). "Palm sap as a potential starting material for vinegar production." Research Industry **25**: 5-7.

Ho, C. W., M. W. Wan Aida, Y. M. Maskat and H. O. Osman, H. (2007). "Changes in volatile compounds of palm sap (Arenga pinnata) during the heating process for production of palm sugar." Food Chemistry **102**: 1156-1162.

Kamuf, W., A. Nixon, O. Parker and J. G. C. Barnum (2003). "Overview of caramel colors." Cereal Food World **48(2)**: 64-69.

Naknean, P. (2010). Factors Affecting Browning and Crystallisation of Palm Sugar Syrup and Palm Sugar Cake. Degree of Doctor of Philosophy in Food Technology, Prince of Songkla University.

Naknean, P., M. Meenune and G. Roudaut (2009). "Changes in physical and chemical properties during the production of palm sugar syrup by open pan and vacuum evaporator." Journal Asian of Food and Agro-Industry **2**: 448-456.

Nowakowski, C. M. and R. W. Hartel (2002). "Moisture sorption of amorphous sugar products." Journal of Food Science **67**: 1419-1425.

Pornchaloempong, p. and N. Rattanapanone (2016). Enzymatic browning reaction / ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์.

Rattanathanalerk, M., N. Chiewchan and W. Srichumpoung (2005). "Effect of thermal processing on the quality loss of pineapple juice." Journal of Food Engineering **16**: 259-265.

Taiapaiboon, S. (2004). Effect of high pressure and heat treatment on quality of palm sap. Master Thesis, Prince of Songkla University.

Uttraporn, N. (2006). EFFECT OF PROCESSING PARAMETERS AND STORAGE ON QUALITY OF COCONUT SUGAR. MASTER OF SCIENCE, SILPAKORN UNIVERSITY.

Zerban, F. W. (1947). "The Color Problem in Sucrose Manufacture: Technological Report Series No. 2." New York: Sugar Research Foundation, Inc.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก (ก)

ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ 9 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างกระบวนการให้ความร้อนของรูปแบบการให้ความร้อนต่าง ๆ

ระยะเวลา(นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	HP 1	HP 2	HP 3
0	27	25	24
5	84	62	50.5
10	95	84.5	71.5
15	95	96	85
20	95	96	95
25	95.5	96	96
30	97	96	96
35	101	96	96
40	115	96	96
45		96	96
50		96	96
55		96	96
60		97	96
65		98.5	96
70		101.5	96
75		109.5	96
80			96
85			96
90			96.5
95			99
100			101
105			104.5
110			110

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 10 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ระหว่างกระบวนการให้ความร้อนของรูปแบบการให้ความร้อนต่าง ๆ

ระยะเวลา(นาที)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์)		
	HP 1	HP 2	HP 3
0	18.55	17.55	17.55
5	20.55	18.6	18
10	23.45	20.7	19.55
15	26.15	21.7	20.15
20	30.2	23.65	20.55
25	36.45	25.55	22.05
30	45.5	27.1	22.25
35	69.6	29.25	24.05
40	92	31.35	25.8
45		37.2	27.7
50		38.775	28.25
55		44.1	31.3
60		50.25	33.05
65		57.5	35.9
70		71.05	38.1
75		82.75	42.1
80			44.55
85			50.55
90			56.9
95			62
100			68.15
105			78.5
110			89

ตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่า BI ของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแบบ HP 1

เวลา	ซ้ำที่	ค่า BI(1)	ค่า BI(2)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	r1	0.303	0.274		
	r2	0.407	0.425	0.300	0.101
	r3	0.214	0.176		
10	r1	0.233	0.235		
	r2	0.225	0.212	0.221	0.028
	r3	0.242	0.16		
20	r1	0.313	0.289		
	r2	0.281	0.254	0.248	0.059
	r3	0.173	0.178		
30	r1	0.415	0.44		
	r2	0.386	0.365	0.385	0.046
	r3	0.316	0.342		
35	r1	0.61	0.539		
	r2	0.434	0.446	0.505	0.066
	r3	0.48	0.52		
40	r1	1.454	2.661		
	r2	2.276	2.537	2.622	0.737
	r3	3.411	3.395		

ตารางที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่า BI ของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแบบ HP 2

เวลา	ซ้ำที่	ค่า BI(1)	ค่า BI(2)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	r1	0.148	0.202		
	r2	0.398	0.392	0.237	0.125
	r3	0.154	0.128		
10	r1	0.209	0.21		
	r2	0.351	0.327	0.240	0.079
	r3	0.168	0.174		
20	r1	0.148	0.168		
	r2	0.323	0.187	0.179	0.075
	r3	0.124	0.124		
30	r1	0.182	0.184		
	r2	0.19	0.175	0.165	0.029
	r3	0.127	0.129		
40	r1	0.148	0.169		
	r2	0.261	0.228	0.186	0.047
	r3	0.156	0.154		
50	r1	0.19	0.177		
	r2	0.315	0.3	0.223	0.066
	r3	0.176	0.178		
60	r1	0.206	0.216		
	r2	0.373	0.353	0.288	0.064

	r3	0.301	0.311		
70	r1	0.242	0.348		
	r2	0.495	0.454	0.371	0.082
	r3	0.36	0.341		
75	r1	0.499	0.489		
	r2	0.744	0.923	0.585	0.163
	r3	0.699	0.6543		

ตารางที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่า BI ของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแบบ HP 3

เวลา	ซ้ำที่	ค่า BI(1)	ค่า BI(2)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	r1	0.113	0.136		
	r2	0.386	0.396	0.21	0.14
	r3	0.129	0.125		
10	r1	0.175	0.16		
	r2	0.336	0.341	0.22	0.10
	r3	0.14	0.143		
20	r1	0.183	0.175		
	r2	0.208	0.246	0.18	0.04
	r3	0.145	0.139		
30	r1	0.164	0.141		
	r2	0.263	0.21	0.18	0.05
	r3	0.162	0.16		
40	r1	0.176	0.165		
	r2	0.204	0.21	0.18	0.03
	r3	0.141	0.181		
50	r1	0.144	0.173		
	r2	0.249	0.243	0.18	0.05
	r3	0.147	0.137		
60	r1	0.235	0.202		
	r2	0.274	0.259	0.21	0.05

	r3	0.157	0.156		
70	r1	0.178	0.216		
	r2	0.253	0.249	0.21	0.04
	r3	0.163	0.178		
80	r1	0.229	0.231		
	r2	0.315	0.31	0.25	0.04
	r3	0.219	0.205		
90	r1	0.282	0.283		
	r2	0.335	0.33	0.28	0.04
	r3	0.219	0.238		
100	r1	0.376	0.363		
	r2	0.432	0.494	0.37	0.09
	r3	0.265	0.263		
105	r1	0.441	0.453		
	r2	0.977	1.004	0.57	0.33
	r3	0.283	0.284		
110	r1	0.566	0.592		
	r2	0.498	0.521	0.57	0.11
	r3	0.336	0.346		

ตารางที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่า BI ของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแบบ HP 1

เวลา	ซ้ำที่	ค่า IBP(1)	ค่า IBP(2)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	r1	0.659	0.659		
	r2	0.805	0.862	0.698	0.097
	r3	0.656	0.588		
10	r1	0.645	0.693		
	r2	0.702	0.833	0.736	0.096
	r3	0.878	0.662		
20	r1	0.876	0.868		
	r2	0.927	0.896	0.866	0.047
	r3	0.793	0.836		
30	r1	1.315	1.405		
	r2	1.329	1.257	1.430	0.170
	r3	1.578	1.693		
35	r1	2.008	1.92		
	r2	1.742	1.694	1.841	0.148
	r3				
40	r1	4.021	4.2029		
	r2	4.298	4.389	4.296	0.175
	r3	4.541	4.323		

ตารางที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่า IBP ของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแบบ HP 2

เวลา	ซ้ำที่	ค่า BI(1)	ค่า BI(2)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	r1	0.62	0.665		
	r2	0.789	0.791	0.632	0.150
	r3	0.505	0.419		
10	r1	0.555	0.547		
	r2	0.703	0.663	0.588	0.076
	r3	0.523	0.535		
20	r1	0.519	0.566		
	r2	0.773	0.663	0.609	0.095
	r3	0.533	0.602		
30	r1	0.672	0.669		
	r2	0.677	0.678	0.664	0.020
	r3	0.645	0.626		
40	r1	0.776	0.8		
	r2	0.859	0.842	0.800	0.044
	r3	0.778	0.742		
50	r1	1.083	1.055		
	r2	1.037	1.039	1.003	0.080
	r3	0.894	0.909		
60	r1	1.583	1.549		
	r2	1.337	1.423	1.492	0.094

	r3	1.506	1.551		
70	r1	2.244	2.403		
	r2	1.910	2.125	2.169	0.208
	r3	1.920	1.966		
75	r1	3.016	3.102		
	r2	2.652	2.721	2.803	0.209
	r3	2.578	2.749		

ตารางที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่า IBP ของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแบบ HP 3

เวลา	ซ้ำที่	ค่า IBP(1)	ค่า IBP(2)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	r1	0.658	0.662		
	r2	0.789	0.698	0.624857	0.130216
	r3	0.448	0.443		
10	r1	0.624	0.661		
	r2	0.704	0.699	0.603	0.111087
	r3	0.451	0.479		
20	r1	0.653	0.604		
	r2	0.586	0.591	0.573286	0.061304
	r3	0.501	0.479		
30	r1	0.629	0.612		
	r2	0.808	0.794	0.661667	0.111547
	r3	0.548	0.579		
40	r1	0.776	0.716		
	r2	0.62	0.681	0.666667	0.078347
	r3	0.549	0.658		
50	r1	0.761	0.711		
	r2	0.823	0.82	0.7325	0.082767
	r3	0.637	0.643		
60	r1	1.039	0.945		
	r2	0.93	1.012	0.888167	0.15029
	r3	0.692	0.711		

70	r1	1.091	1.065		
	r2	1.08	1.072	0.9715	0.163706
	r3	0.766	0.755		
80	r1	1.23	1.353		
	r2	1.349	1.352	1.19	0.208595
	r3	0.945	0.911		
90	r1	1.636	1.616		
	r2	1.807	1.795	1.520333	0.317839
	r3	1.019	1.249		
100	r1	2.278	2.159		
	r2	2.683	2.651	2.0625	0.623695
	r3	1.326	1.278		
105	r1	2.71	2.873		
	r2	3.137	2.953	2.426167	0.774657
	r3	1.453	1.431		
110	r1	3.164	3.14		
	r2	3.12	3.15	3.180667	0.06878
	r3	3.2	3.31		

ตารางที่ 15 ค่าสีของน้ำตาลมะพร้าว (L* a* b*) ระหว่างการให้ความร้อนที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ระยะเวลาในการให้ความร้อน (นาที)	ค่าสี	HP 1	HP 2	HP 3
0	L	46.07	-44.20	-43.95
	a	1.37	1.47	1.35
	b	6.83	5.93	5.40
10	L	-44.30	-44.20	-52.90
	a	1.17	1.45	0.90
	b	5.67	5.80	10.00
20	L	-46.20	-41.67	-52.55
	a	1.07	1.33	0.95
	b	7.63	4.73	10.15
30	L	-50.13	-40.97	-43.45
	a	0.87	1.40	1.18
	b	11.20	4.43	5.45
40	L	-52.23	-41.73	-44.35
	a	0.80	1.20	1.20
	b	13.70	5.70	6.35
50	L	-90.23	-42.83	-41.85
	a	11.87	1.03	1.25
	b	7.57	7.70	4.90
60	L		-45.23	-41.75
	a		0.87	1.15

มหาวิทยาลัยศิลปากร

	b	10.93	5.90
70	L	-46.53	-43.35
	a	0.83	1.00
	b	14.77	7.75
80	L	-52.90	-43.75
	a	2.25	0.85
	b	24.10	9.10
90	L		-46.80
	a		0.85
	b		12.45
100	L		-47.05
	a		0.70
	b		14.55
105	L		-53.40
	a		0.95
	b		16.55
110	L		-59.05
	a		4.25
	b		27.35

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 17 การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม(delta E) ของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างการให้ความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ

ระยะเวลาให้ความร้อน	ค่า delta E		
	HP 1	HP 2	HP 3
0	0	0	0
10	1.43	21.82	5.08
20	0.67	22.49	5.04
30	3.44	22.70	0.38
35	5.24	-	-
40	19.59	21.83	0.87
50	-	20.57	1.01
60	-	18.84	1.10
70	-	16.66	1.99
75	-	12.70	
80	-	-	2.99
90	-	-	5.33
100	-	-	6.65
105	-	-	8.51
110	-	-	13.10

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 18 การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างกระบวนการให้ความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ

ระยะเวลา (นาที)	ปริมาณความชื้น (%)		
	HR 1	HR 2	HR 3
0	84.46	83.50	84.85
10	79.91	82.97	84.43
20	72.97	80.79	83.73
30	59.17	77.72	82.14
35	42.38	-	-
40	13.76	73.38	80.17
50		67.07	76.18
60		56.35	72.85
70		35.87	67.30
80		17.32	60.71
90			49.52
100			28.87
105			16.39

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	จักรพันธ์ ตันสุวรรณ์
วัน เดือน ปี เกิด	27 มกราคม 2535
สถานที่เกิด	จ.ราชบุรี
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต(เทคโนโลยีอาหาร)
ที่อยู่ปัจจุบัน	75 ม.3 ต.บางแพ อ.บางแพ จ.ราชบุรี 70160