



ผลของการปรับพีเอชและไฮโดรคอลลอยด์ต่อความคงตัวของไซรับน้ำตาลมะพร้าว



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผลของการปรับพีเอชและไฮโดรคอลลอยด์ต่อความคงตัวของไซร์ปน้ำตาลมะพร้าว



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

EFFECT OF PH ADJUSTMENT AND HYDROCOLLOIDS ON STABILITY OF
COCONUT SUGAR SYRUP



By

MISS Thanatchaporn JAITAB

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science (FOOD TECHNOLOGY)

Department of FOOD TECHNOLOGY

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2017

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ ผลของการปรับพีเอชและไฮโดรคอลลอยด์ต่อความคงตัวของ
ไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว

โดย รัชพร ใจตาบ

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาหาร แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์ไผ่ชาติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงใจ ธีรธรรมถาวร)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาณี ดำนวิริยะกุล)

58403212 : เทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : ไชร์ป, น้ำตาลมะพร้าว, พีเอช, ไฮโดรคอลลอยด์, การตกผลึก, การตกตะกอน

นางสาว ธนัชพร ใจตาบ: ผลของการปรับพีเอชและไฮโดรคอลลอยด์ต่อความคงตัวของ ไชร์ปน้ำตาลมะพร้าว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย

ผลิตภัณฑ์ไชร์ปน้ำตาลมะพร้าวมักเกิดปัญหาการตกตะกอนและการตกผลึกในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องมาจากอนุภาคแขวนลอยและน้ำตาลซูโครสที่อยู่ในไชร์ป ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ จึงได้ศึกษาการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการตกตะกอนหรือทำให้ใส การปรับ pH ก่อนการเคี้ยวระเหยน้ำร่วมกับการแยกตะกอน และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ เมื่อศึกษากระบวนการทำให้ใสโดยปรับ pH ของน้ำตาลมะพร้าวสดในช่วง 3.0 – 9.5 พบว่า pH ที่ 9.5 สามารถตกตะกอนได้มากที่สุด แต่น้ำตาลสดที่ได้จะมีสีเข้ม จึงเลือกปรับ pH ที่ 9.0 ซึ่งให้ผลการตกตะกอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อศึกษากระบวนการเคี้ยวโดยปรับ pH ของน้ำตาลมะพร้าวสดในช่วง pH 3.5 - 5.5 ร่วมกับการแยกตะกอน พบว่า pH ที่ต่ำกว่าส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลซูโครสในไชร์ปลดลงเพราะถูกไฮโดรไลซ์กลายเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสได้มากกว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จึงเพิ่มขึ้น และทำให้ไชร์ปเกิดสีเข้มกว่า ซึ่งน่าจะเป็นเพราะการเกิดปฏิกิริยามอลาร์ดที่มากขึ้น นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ในน้ำตาลมะพร้าวสดก่อนการเคี้ยวเพื่อป้องกันการตกผลึกและตกตะกอน โดยสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ได้แก่ carboxymethyl cellulose (CMC) 0.03, 0.07 และ 0.10 (% w/w), xanthan gum 0.015, 0.03 และ 0.07 (% w/w) และ gum arabic 0.80, 1.00 และ 1.20 (% w/w) พบว่าไชร์ปน้ำตาลมะพร้าวทุกตัวอย่างไม่เกิดการตกผลึกและตกตะกอนหลังเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 2 เดือน ยกเว้นไชร์ปที่เติม CMC 0.10% เกิดการตกผลึกภายใน 1 เดือน จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-point hedonic scoring พบว่าผู้ชิมชอบไชร์ปน้ำตาลมะพร้าวที่เติม CMC 0.03% มากที่สุด จากนั้นจึงนำไชร์ปน้ำตาลมะพร้าวที่เติม CMC 0.03% ไปทดสอบทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับไชร์ปที่ใช้วิธีการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอน พบว่าผู้ชิมยังคงให้คะแนนความชอบไชร์ปน้ำตาลมะพร้าวที่เติม CMC 0.03% มากที่สุด

58403212 : Major (FOOD TECHNOLOGY)

Keyword : syrup, coconut sugar, pH, hydrocolloid, crystallization, sedimentation

MISS THANATCHAPORN JAITAB : EFFECT OF PH ADJUSTMENT AND HYDROCOLLOIDS ON STABILITY OF COCONUT SUGAR SYRUP THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DR. EAKAPHAN KEOWMANEECHAI

The problems often found in coconut sugar syrup are sedimentation and crystallization during storage due to sucrose and suspending particles present in the syrup leading to consumer's unacceptance. Solving these problems by precipitation or clarification, pH adjustment before evaporation with sediment removal and application of hydrocolloids were therefore studied. To clarify the coconut sap, the sap pH was adjusted to 3.0 – 9.5. It was found that the precipitation occurred most at pH of 9.5 but resulting coconut sap appeared dark. Thus, pH of 9.0 having insignificantly different precipitation from pH of 9.5 was chosen instead. After sediment removal, pH of the clarified sap was adjusted to 3.5 – 5.5 before being evaporated into syrups. The results showed that lower pH values caused less sucrose contents in the syrups because of higher degree of sucrose hydrolysis into more glucose and fructose. This yielded more reducing sugars with darker colors in the syrups, probably from higher degree of Maillard reaction. Furthermore, addition of hydrocolloids into coconut sap before evaporation to prevent sedimentation and crystallization in syrup was studied. The hydrocolloids included carboxymethyl cellulose (CMC) at 0.03, 0.07 and 0.10 (% w/w), xanthan gum at 0.015, 0.03 and 0.07 (% w/w) and gum arabic at 0.80, 1.00 and 1.20 (% w/w). It was shown that all coconut syrups did not have crystallization and sedimentation after storage at room temperature for 2 months except the syrup with addition of CMC at 0.10% that crystallized within 1 month. From the sensory evaluation by using 9-point hedonic scoring, the result showed that the syrup with addition of CMC at 0.03% had the highest preference scores. Then, the syrup was tested again but comparing with the syrup made through pH adjustment and sediment removal. The results showed that the syrup with addition of CMC at 0.03% still had the highest scores.

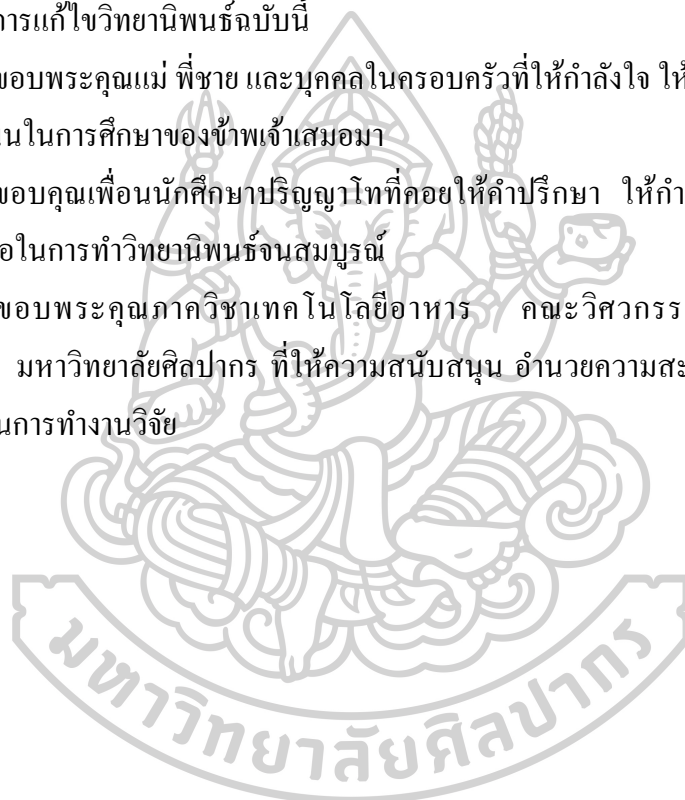
กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ และช่วยแก้ปัญหาต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ ที่เป็นประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงใจ ถิรธรรมถาวร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาณี ด้านวิริยะกุล ที่เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณแม่ พี่ชาย และบุคคลในครอบครัวที่ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ รวมถึงให้ความสนับสนุนในการศึกษาของข้าพเจ้าเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาปริญญาโทที่คอยให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์จนสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความสนับสนุน อำนวยความสะดวกในเรื่องของเครื่องมือ และสถานที่ในการทำงานวิจัย



ธนัชพร ใจตาบ

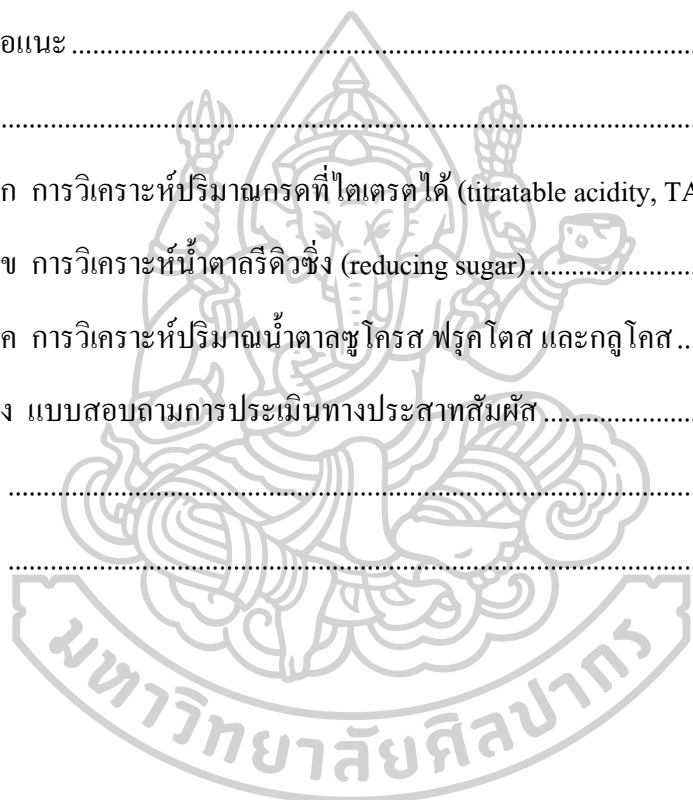
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ.....	๗
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
.....	2
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	3
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	4
2.1 น้ำตาลมะพร้าว	4
2.2 ไชรีปน้ำตาลมะพร้าว.....	6
2.3 การตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ในกระบวนการแปรรูปน้ำตาล	9
2.4 กรดอินทรีย์ในกระบวนการแปรรูปน้ำตาล.....	10
2.5 การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ในกระบวนการแปรรูปน้ำตาล	11
2.6 สารไฮโดรคอลลอยด์.....	11
2.6.1 carboxymethyl cellulose (CMC).....	11
2.6.2 xanthan gum.....	12

2.6.3 gum arabic.....	13
2.7 ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาล.....	14
2.7.1 ปฏิกริยาการaramelไรเซชัน (caramelization reaction).....	14
2.7.2 ปฏิกริยาเมลลาร์ด (maillard reaction).....	14
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	17
3.1 วัตถุประสงค์ สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย.....	17
3.2 วิธีการทดลอง	19
3.2.1 การศึกษาคุณสมบัติของไซรัปทางการค้า	19
3.2.2 การศึกษาผลของ pH ต่อการตกตะกอนอนุภาคในน้ำตาลมะพร้าวสด.....	20
3.2.3 การศึกษาการแก้ปัญหาการตกผลึกและการตกตะกอนในไซรัปน้ำตาลมะพร้าวโดยใช้วิธีการปรับ pH ร่วมกับวิธีการแยกตะกอน.....	21
3.2.4 การศึกษาการแก้ปัญหาการตกผลึกและการตกตะกอนในไซรัปน้ำตาลมะพร้าวโดยใช้สารไฮโดรคอลลอยด์.....	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปราย	25
4.1 การศึกษาคุณสมบัติของไซรัปทางการค้า.....	25
4.1.1 ค่า pH ของไซรัปทางการค้า.....	29
4.1.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS) ของไซรัปทางการค้า.....	30
4.1.3 ความหนืดของไซรัปทางการค้า.....	31
4.1.4 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครสของไซรัปทางการค้า	32
4.1.5 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของไซรัปทางการค้า	34
4.2 การศึกษาผลของ pH ต่อการตกตะกอนอนุภาคในน้ำตาลมะพร้าวสด.....	36
4.2.1 น้ำหนักตะกอนในน้ำตาลมะพร้าวสด.....	38
4.2.2 ค่า pH ของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส	40

4.2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส.....	41
4.2.4 ความขุ่นของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส	43
4.2.5 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส.....	45
4.3 การศึกษาการแก้ปัญหาคาการตกผลึกและการตกตะกอนในไซรัปน้ำตาลมะพร้าวโดยใช้วิธีการปรับ pH ร่วมกับวิธีการแยกตะกอน	47
4.3.1 ค่า pH ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว.....	48
4.3.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว	49
4.3.3 ความหนืดของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว	49
4.3.4 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว	51
4.3.5 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar) ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว.....	52
4.3.6 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโตสของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว	52
4.3.7 ค่า water activity (a_w) ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว.....	54
4.3.8 ความขุ่นของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว.....	54
4.3.9 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity, TA) ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว.....	55
4.3.10 ความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา (stability test) ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว.....	56
4.4 การศึกษาการแก้ปัญหาคาการตกผลึกและการตกตะกอนในไซรัปน้ำตาลมะพร้าวโดยใช้.....	60
สารไฮโดรคอลลอยด์.....	60
4.4.1 ค่า pH ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว.....	60
4.4.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว	61
4.4.3 ความหนืดของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว	62
4.4.4 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว	63
4.4.5 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar) ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว.....	65
4.4.6 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโตสของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว	66
4.4.7 ค่า water activity (a_w) ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว.....	68

4.4.8 ความขุ่นของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว.....	68
4.4.9 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity, TA) ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว.....	69
4.4.10 ความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา (stability test) ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว.....	70
4.4.11 การทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว	76
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	78
5.1 สรุป	78
5.2 ข้อเสนอแนะ	79
ภาคผนวก	80
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity, TA).....	81
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซิ่ง (reducing sugar)	82
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครส ฟรุคโตส และกลูโคส	89
ภาคผนวก ง แบบสอบถามการประเมินทางประสาทสัมผัส	93
รายการอ้างอิง	95
ประวัติผู้เขียน	98



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าวสด	6
ตารางที่ 2 องค์ประกอบของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว	7
ตารางที่ 3 คุณค่าทางโภชนาการของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว	7
ตารางที่ 4 การแบ่งประเภทและลักษณะไซรัปน้ำตาลมะพร้าวทางการค้า	25
ตารางที่ 5 ค่า pH ของไซรัปทางการค้า	29
ตารางที่ 6 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS) ของไซรัปทางการค้า ...	30
ตารางที่ 7 ความหนืดของไซรัปทางการค้า	31
ตารางที่ 8 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครสของไซรัปทางการค้า.....	33
ตารางที่ 9 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของไซรัปทางการค้า	35
ตารางที่ 10 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยกรดซิตริกต่อน้ำหนักตะกอน	38
ตารางที่ 11 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์และ โซเดียม	39
ตารางที่ 12 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยกรดซิตริกต่อ pH น้ำตาลมะพร้าวสด ...	40
ตารางที่ 13 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์และ	41
ตารางที่ 14 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยกรดซิตริกต่อ TSS ของน้ำตาลมะพร้าว สดส่วนใส	42
ตารางที่ 15 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์และ	43
ตารางที่ 16 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยกรดซิตริกต่อความขุ่นของน้ำตาล มะพร้าวสดส่วนที่แยกได้หลังตกตะกอน	44
ตารางที่ 17 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์และ	45
ตารางที่ 18 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยกรดซิตริกต่อค่าสี (L^* , a^* และ b^*)	46
ตารางที่ 19 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์และ โซเดียม	47

ตารางที่ 20 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อค่า pH ของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว	48
ตารางที่ 21 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว	49
ตารางที่ 22 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อค่าความหนืดของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว	50
ตารางที่ 23 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของไซรี่ป	51
ตารางที่ 24 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar) ของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว	52
ตารางที่ 25 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส และน้ำตาลทั้งหมดในไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว	53
ตารางที่ 26 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อค่า water activity (a_w) ของไซรี่ป	54
ตารางที่ 27 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อความขุ่นของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว	55
ตารางที่ 28 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อปริมาณกรดที่ไทเตรตได้ (titratable acidity, TA) ของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว	56
ตารางที่ 29 ภาพถ่ายของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวที่ผ่านการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0-3 เดือน	57
ตารางที่ 30 ค่าสีของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวที่ผ่านการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0-4 เดือน	59
ตารางที่ 31 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อค่า pH ของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว	61
ตารางที่ 32 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว	62
ตารางที่ 33 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อความหนืดของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว	63
ตารางที่ 34 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว	64
ตารางที่ 35 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว	65

ตารางที่ 36 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อปริมาณน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโตสของ
 ไชร์ปน้ำตาลมะพร้าว.....67

ตารางที่ 37 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อค่า water activity (a_w) ของไชร์ปน้ำตาลมะพร้าว
68

ตารางที่ 38 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อความชุ่มของไชร์ปน้ำตาลมะพร้าว.....69

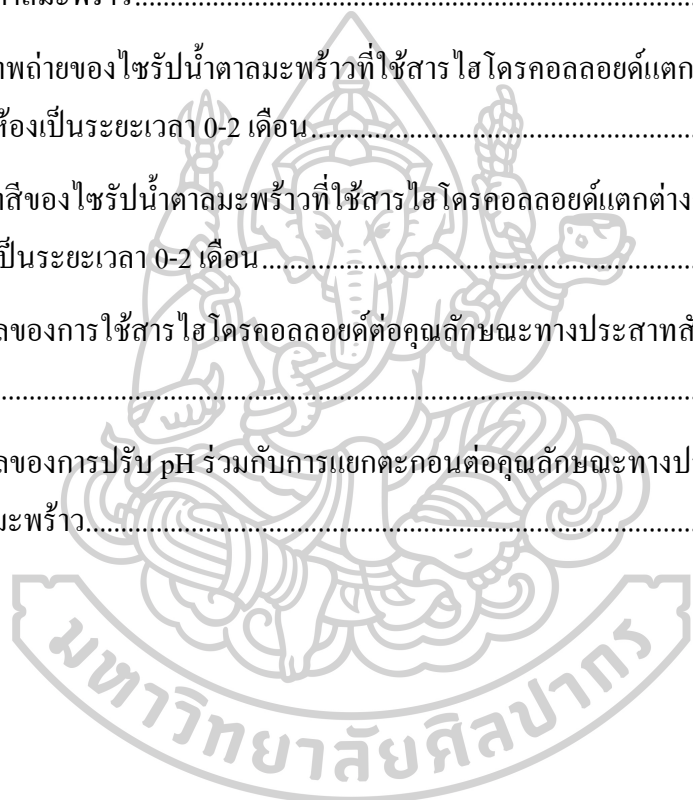
ตารางที่ 39 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity, TA)
 ของไชร์ปน้ำตาลมะพร้าว.....70

ตารางที่ 40 ภาพถ่ายของไชร์ปน้ำตาลมะพร้าวที่ใช้สารไฮโดรคอลลอยด์แตกต่างกัน เมื่อเก็บรักษา
 ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0-2 เดือน.....72

ตารางที่ 41 ค่าสีของไชร์ปน้ำตาลมะพร้าวที่ใช้สารไฮโดรคอลลอยด์แตกต่างกัน เมื่อเก็บรักษาไว้ที่
 อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0-2 เดือน.....75

ตารางที่ 42 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไชร์ปน้ำตาล
 มะพร้าว76

ตารางที่ 43 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของ
 ไชร์ปน้ำตาลมะพร้าว.....77



สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1	ไซรป์น้ำตาลมะพร้าวที่มีปัญหาการตกตะกอนในระหว่างการเก็บรักษา.....	2
ภาพที่ 2	ไซรป์น้ำตาลมะพร้าวที่มีปัญหาการตกผลึกในระหว่างการเก็บรักษา.....	2
ภาพที่ 3	การแขวนกระบอกกับจันท์ โนม์ลงมาเพื่อรองรับน้ำตาลสด.....	5
ภาพที่ 4	การตกผลึกของน้ำตาลในไซรป์น้ำตาลมะพร้าวระหว่างการเก็บรักษา.....	8
ภาพที่ 5	การเกิด zwitterion ของโมเลกุลกรดอะมิโน.....	10
ภาพที่ 6	โครงสร้างโมเลกุลของ carboxymethyl cellulose (CMC).....	11
ภาพที่ 7	โครงสร้างโมเลกุลของ xanthan gum.....	12
ภาพที่ 8	โครงสร้างโมเลกุลของ gum arabic.....	13
ภาพที่ 9	ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด.....	15
ภาพที่ 10	ภาพน้ำตาลมะพร้าวสดที่ผ่านการปรับ pH แตกต่างกันด้วยกรดซิตริก.....	36
ภาพที่ 11	ภาพน้ำตาลมะพร้าวสดที่ผ่านการปรับ pH แตกต่างกันด้วย $\text{Ca}(\text{OH})_2$	37
ภาพที่ 12	ภาพน้ำตาลมะพร้าวสดที่ผ่านการปรับ pH แตกต่างกันด้วย NaOH	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะพร้าว (*Cocos nucifera* Linn.) เป็นพืชยืนต้น อยู่ในตระกูลปาล์ม สันนิษฐานว่าถิ่นกำเนิดของมะพร้าวอยู่ในแถบอเมริกาใต้ ก่อนที่จะนำมาปลูกในแถบอินโดแปซิฟิก มะพร้าวเป็นพืชปลูกง่าย สามารถเจริญเติบโตได้ดีในแถบร้อนและพื้นที่ใกล้ฝั่งทะเลที่มีฝนตกชุก แสงแดดจัด และมีความชุ่มชื้นเพียงพอ จึงสามารถพบได้ทั่วไปตามเกาะต่างๆ พื้นที่จังหวัดแถบชายทะเล ฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำแม่กลอง (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2544) ส่วนต่างๆของมะพร้าวมีประโยชน์มากมาย เช่น น้ำและเนื้อนำไปรับประทาน เนื้อแก่นนำไปคั้นเป็นกะทิ นอกจากนี้ยังนำน้ำตาลมะพร้าวไปทำเป็นไซรัปเพื่อเพิ่มมูลค่าได้

น้ำตาลมะพร้าวสดเป็นของเหลวที่ได้จากการปาดจั่นหรือช่อดอกของต้นมะพร้าว มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solid, TSS) ประมาณ 15-18 °Brix โดยมีน้ำตาลซูโครสเป็นองค์ประกอบหลัก น้ำตาลมะพร้าวสดสามารถนำไปทำให้เข้มข้นขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ไซรัปน้ำตาลมะพร้าวที่มีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืด มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ประมาณ 70-80 °Brix มีกลิ่นรสเฉพาะตัว นำไปใช้เป็นเครื่องปรุงรสได้ทั้งในอาหารคาวและอาหารหวาน มีความคงตัวต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และมีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น

ไซรัปน้ำตาลมะพร้าวเป็นการนำน้ำตาลมะพร้าวสดมาเคี่ยวให้มีความเข้มข้นตามต้องการ โดยสามารถวัดค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมได้จากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ แม้ว่าปัจจุบันจะมีการผลิตไซรัปน้ำตาลมะพร้าวเชิงพาณิชย์แล้ว แต่ผู้ผลิตมักประสบปัญหาคุณภาพของไซรัป เช่น สีความขุ่น ความหนืด กลิ่นรส และองค์ประกอบทางเคมี มีความแปรปรวนไม่สม่ำเสมอ ขึ้นอยู่กับคุณภาพเริ่มต้นของน้ำตาลมะพร้าวสดและสภาวะต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะกระบวนการตกตะกอนหรือทำให้ใส (clarification) และกระบวนการเคี่ยวระเหยน้ำให้เข้มข้น (evaporation) องค์ความรู้เกี่ยวกับวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไซรัปน้ำตาลมะพร้าวยังมีอยู่น้อยมาก ทำให้ผู้ผลิตไม่สามารถทำการผลิตไซรัปน้ำตาลมะพร้าวให้มีคุณภาพตามที่ต้องการได้ เช่น ไซรัปขุ่น การเปลี่ยนสีอย่างรวดเร็วในระหว่างการเก็บรักษาทำให้

ไซรัปมีสีเข้มเกินไป ไซรัปเกิดการตกตะกอนดังภาพที่ 1 นอกจากนี้ยังมีการตกผลึกของน้ำตาลดังภาพที่ 2 ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ



ภาพที่ 1 ไซรัปน้ำตาลมะพร้าวที่มีปัญหาการตกตะกอนในระหว่างการเก็บรักษา

จากปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา การวิจัยในครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาการตกผลึกและการตกตะกอน โดยใช้วิธีแตกต่างกัน ได้แก่ การศึกษาผลของ pH ต่อการตกตะกอนอนุภาคในน้ำตาลมะพร้าวสด การปรับ pH ร่วมกับวิธีการแยกตะกอน และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์



ภาพที่ 2 ไซรัปน้ำตาลมะพร้าวที่มีปัญหาการตกผลึกในระหว่างการเก็บรักษา

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ไชร์ปน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตโดยวิธีที่แตกต่างกัน และนำมาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ไชร์ปทางการค้า

1.2.2 เพื่อศึกษาการแก้ปัญหาการตกผลึกและการตกตะกอนที่เกิดขึ้นในไชร์ปน้ำตาลมะพร้าวระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้วิธีที่แตกต่างกันดังนี้ การตกตะกอนน้ำตาลมะพร้าวสดก่อนเคี้ยวเป็นไชร์ป การปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอน และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

วิธีการตกตะกอนน้ำตาลมะพร้าวสดก่อนเคี้ยวเป็นไชร์ป การปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอน และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ สามารถแก้ปัญหาการตกผลึกและการตกตะกอนในไชร์ปน้ำตาลมะพร้าวได้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ในการศึกษาที่ใช้วัตถุดิบหลักคือน้ำตาลมะพร้าวสดจาก เตาตาลมิตรปริษา อำเภอเมืองสมุทรสงคราม จังหวัดสมุทรสงคราม โดยเก็บน้ำตาลมะพร้าวสดเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2560 และ 18 มกราคม 2561

1.4.2 การศึกษาผลของ pH ต่อการตกตะกอนอนุภาคในน้ำตาลมะพร้าวสด ใช้น้ำตาลมะพร้าวสดที่เก็บเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2560 โดยใช้สาร 3 ชนิด ในการตกตะกอน ได้แก่ กรดซิตริก (citric acid) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

1.4.3 การศึกษาการแก้ปัญหาการตกตะกอนและตกผลึกในไชร์ปน้ำตาลมะพร้าวโดยใช้วิธีการปรับ pH ร่วมกับวิธีการแยกตะกอน ใช้น้ำตาลมะพร้าวสดที่เก็บเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2560 และใช้กรดซิตริก (citric acid) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ในการปรับ pH และการตกตะกอน

1.4.4 การศึกษาการแก้ปัญหาการตกตะกอนและตกผลึกในไชร์ปน้ำตาลมะพร้าวโดยใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ ใช้น้ำตาลมะพร้าวสดที่เก็บเมื่อวันที่ 18 มกราคม 2561 โดยเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ carboxymethyl cellulose (CMC) 0.03, 0.07 และ 0.10 (% w/w), xanthan gum 0.015, 0.03 และ 0.07 (% w/w) และ gum arabic 0.8, 1.00 และ 1.20 (% w/w)

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 น้ำตาลมะพร้าว

มะพร้าวเป็นพืชตระกูลปาล์ม มีลำต้นกลมตรง สูงได้ถึง 30 เมตร มีปริมาณดอกมาก ใบเป็นใบประกอบขนาดใหญ่ มีใบย่อยจำนวนมาก มะพร้าวที่นำมาผลิตน้ำตาลมะพร้าวเป็นมะพร้าวพันธุ์น้ำ ซึ่งจะให้น้ำหวานหรือน้ำตาลใส หลังจากปลูกได้ประมาณ 3-4 ปี มะพร้าวจะแทงจั่นออกมา การเก็บน้ำหวานหรือน้ำตาลสามารถเก็บได้จากจั่น

น้ำตาลมะพร้าวเกิดจากภูมิปัญญาชาวบ้านในเมืองแม่กลอง จังหวัดสมุทรสงคราม ซึ่งแม่กลองเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกมะพร้าวมากและมีการทำน้ำตาลมะพร้าว พันธุ์มะพร้าวที่จะนำมาใช้ทำน้ำตาล คือ พันธุ์หมูสีหนู พันธุ์หมูสีหม้อ พันธุ์หมูสีไฟ พันธุ์หมูสีเหลือง และพันธุ์หมูสีกลาย หรือเรียกว่า “พันธุ์ตาล” ส่วนที่ใช้ทำน้ำตาลคือจั่นหรือช่อดอกมะพร้าว โดยจั่นที่จะใช้ต้องโตเต็มที่ ไม่อ่อนหรือแก่จนเกินไป มีความยาวประมาณ 45 – 70 เซนติเมตร และกาบหุ้มจั่นไม่คลี่บานออก (หลวงสมานกิจ, 2485) โดยสายพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับทำน้ำตาลคือ พันธุ์พันธุ์หมูสีกลาย เนื่องจากมีลำต้นใหญ่ ให้น้ำตาลมาก ขนาดของจั่นหรือวงมีขนาดใหญ่กว่าพันธุ์อื่นๆ (อัศวิทย ปัทมะเวณ, ม.ป.ป.)

น้ำตาลมะพร้าวเป็นสิ่งจำเป็นในการปรุงอาหาร เนื่องจากน้ำตาลมะพร้าวจะทำให้อาหารมีความหวานและมีรสชาติกลมกล่อม น้ำตาลมะพร้าวนี้นำมาปิ้งเป็นเครื่องปรุงรสได้ทั้งในอาหารคาวและอาหารหวาน น้ำตาลมะพร้าวผลิตจากการปาดจั่นมะพร้าวที่มีอายุเหมาะสม จากนั้นจะโน้มกิ่งลงมาและแขวนกระบอกไว้เพื่อรองรับน้ำตาลสดที่จะไหลออกมา โดยในกระบอกที่ไว้รองรับน้ำตาลสดนั้นจะมีไม้พะยอมบรรจุอยู่ คุณสมบัติของไม้พะยอมนี้จะมีส่วนช่วยในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ เมื่อได้น้ำตาลสดมาแล้วจะนำน้ำตาลสดมากรองและเคี่ยวเพื่อทำให้เข้มข้น โดยมีจุดประสงค์เพื่อการยืดอายุการเก็บรักษาของน้ำตาลให้ยาวนานขึ้น

ขั้นตอนการทำน้ำตาลมะพร้าว (วิระ เทพกรณ์, 2547)

1. เลือกจั่นมะพร้าวที่มีอายุพอเหมาะทำความสะอาดจั่นมะพร้าว แกะมดแมลงที่งวงตาลออก และนวดงวงตาลโดยการนำน้ำตาลสดที่ได้จากการปาดงวงมาลูบให้ทั่วงวง น้ำตาลจะช่วยรัดงวงให้แน่นขึ้น หรืออาจนวดด้วยมือเบาๆ ให้ทั่วงวง ทำให้น้ำตาลที่ได้ใสสะอาด
2. ใช้มีดปาดตาลปาดส่วนปลายและดอกอ่อนทิ้ง ทำให้เริ่มมีน้ำหวานซึมออกมาที่หน้างวงตาล กรีดกาบหุ้มโคนจั่นออก โนมจั่นให้ต่ำลงแล้วนำกระบอกรองรับน้ำตาลสดที่ไหลออกมา โดยกระบอกรับนี้ต้องผ่านการล้าง การรมควันหรือลวกด้วยน้ำร้อน แล้วใส่ไม้พะยอม ไม้ตะเคียน หรือไม้เคี่ยมลงไปในกระบอกร เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์
3. นำกระบอกรับที่เตรียมไว้ไปแขวนกับจั่นที่โนมลงมาเพื่อรองรับน้ำตาลสดภาพที่ 3 ซึ่งจะเก็บในช่วงเช้า ทำให้ได้น้ำตาลสดคุณภาพดี แต่ถ้าเก็บช้าอาจเกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้



ภาพที่ 3 การแขวนกระบอกรับกับจั่นที่โนมลงมาเพื่อรองรับน้ำตาลสด

4. นำน้ำตาลสดที่เก็บได้มารองด้วยผ้าขาวบาง เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกหรือเศษไม้ที่ใส่ลงไป ในกระบอกรับ ก็จะได้น้ำตาลมะพร้าวสด

การผลิตน้ำตาลมะพร้าวสามารถทำได้ตลอดทั้งปี แต่ทั้งนี้ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตจะขึ้นอยู่กับฤดูกาลด้วย มะพร้าวจะให้ผลผลิตมากในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม และจะให้ผลผลิตน้อยลงในช่วงเดือนตุลาคมถึงมกราคม นอกจากนี้สภาพอากาศที่แห้งแล้งฝนทิ้งช่วง หรือภาวะน้ำเค็มที่หนุนเข้ามาในพื้นที่สวนมะพร้าวก็มีส่วนทำให้ปริมาณผลผลิตลดลงได้ (นฤมล ประภาสุวรรณกุล และคณะ, 2555) ในกรณีฤดูฝนควรให้ความระมัดระวังในเรื่องการปนของน้ำฝนลงในกระบอกรับน้ำตาลมะพร้าวสดด้วย น้ำตาลมะพร้าวสดมีองค์ประกอบทางเคมีแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าวสด

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)
น้ำ	84.40-87.50
ซูโครส	14.60-16.50
กลูโคส	1.73
ฟรุกโตส	1.36
โปรตีน	0.22-0.60
ไขมัน	0.4
เกลือแร่	0.6

ที่มา: ศิริพร สิริสุทธีรัตน์ (2519)

2.2 ไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว

ไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากน้ำตาลมะพร้าวสด ผ่านการเคี่ยวระเหยน้ำ ทำให้เข้มข้นขึ้น เมื่อเคี่ยวไประยะหนึ่งจะวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) ให้อยู่ในช่วง 78-85 °Brix ไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวที่ได้จะมีลักษณะข้นหนืด ความเข้มข้นสูง มีรสหวานมาก

ขั้นตอนการทำไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว

1. นำน้ำตาลมะพร้าวสดที่ผ่านการกรองแล้วมาต้มเคี่ยวเพื่อระเหยน้ำ โดยให้ความร้อนจนเดือดไปเรื่อยๆ
2. ระหว่างการเคี่ยวต้องระวัง ห้ามให้น้ำตาลไหม้ติดกระทะ หรือเดือดจนล้นกระทะ
3. เมื่อเคี่ยวไประยะหนึ่ง ให้วัดค่า TSS ให้อยู่ในช่วง 78-85 °Brix
4. บรรจุไซรี่ปลงในขวดแก้วขณะร้อน ซึ่งขวดแก้วที่นำมาบรรจุนี้จะต้องผ่านการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อมาแล้ว เมื่อบรรจุเสร็จควรรีบปิดฝาทันที

เมื่อนำน้ำตาลมะพร้าวสดมาผ่านกระบวนการเคี่ยวระเหยน้ำ จะมียังมีองค์ประกอบแสดงดังตารางที่ 2 น้ำตาลมะพร้าวเคี่ยวจะมีองค์ประกอบของซูโครสมากที่สุดประมาณ 68.35% รองลงมาคือความชื้น เพคติน น้ำตาลรีดิคซ์ และเถ้า ตามลำดับ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)
ซูโครส	68.35
ความชื้น	10.92
เพคติน	8.72
น้ำตาลรีดิวิซ์	6.58
เถ้า	2.19

ที่มา: Thampan (1975)

ในส่วนของคุณค่าทางโภชนาการของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว แสดงดังตารางที่ 3 น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวมีพลังงานสูงถึง 383 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก วิตามิน เอ และวิตามิน บี 3 ด้วย

ตารางที่ 3 คุณค่าทางโภชนาการของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว

องค์ประกอบ	ปริมาณ	หน่วย
พลังงาน	383	กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม
โปรตีน	0.4	กรัมต่อ 100 กรัม
ไขมัน	0.1	กรัมต่อ 100 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	95	กรัมต่อ 100 กรัม
แคลเซียม	80	มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
ฟอสฟอรัส	43	มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
เหล็ก	11.4	มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
วิตามิน เอ	280	IU ต่อ 100 กรัม
วิตามิน บี3	1	มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

ที่มา: เกสร สุนทรเสรี (2541)

ไซรัปน้ำตาลมะพร้าวสามารถใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารหลายชนิด คัดนี้ในการวัดความบริสุทธิ์ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว เช่น สีและกลิ่นรส ในระหว่างการเก็บรักษาไซรัปน้ำตาลมะพร้าวจะพบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นคือ ไซรัปจะมีสีเข้มขึ้น เกิดการตกผลึกของน้ำตาล (sugar crystallization) โดยจะเห็นเป็นผลึกน้ำตาลจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่อยู่ที่ก้นของภาชนะดังภาพที่ 4 การเกิดการตกผลึกนี้เป็นผลึกของน้ำตาลซูโครส ซึ่งเป็นองค์ประกอบประเภทน้ำตาลที่พบได้มากที่สุดคือน้ำตาลมะพร้าว นอกจากนี้ยังมีการตกตะกอนและแยกชั้นของของแข็ง ทำให้อายุการเก็บรักษา (shelf life) ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าวสั้นลง การผลิตไซรัปในระดับอุตสาหกรรมอาจต้องใช้ความร้อนในการผลิตสูงหรือนาน ส่งผลให้ไซรัปมีสีและกลิ่นรสเปลี่ยนไป (Serpen et al., 2007) ซึ่งเป็นคัตชันที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค



ภาพที่ 4 การตกผลึกของน้ำตาลในไซรัปน้ำตาลมะพร้าวระหว่างการเก็บรักษา

การผลิตไซรัปน้ำตาลมะพร้าว ทำได้โดยการเติมน้ำตาลมะพร้าวสดเพื่อระเหยน้ำออกจนมีความเข้มข้นประมาณ 70 °Brix และมีกลิ่นรสเฉพาะของไซรัป ผลิตภัณฑ์ไซรัปน้ำตาลมะพร้าวนี้ไม่ควรเกิดการตกผลึก การตกตะกอน และการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา

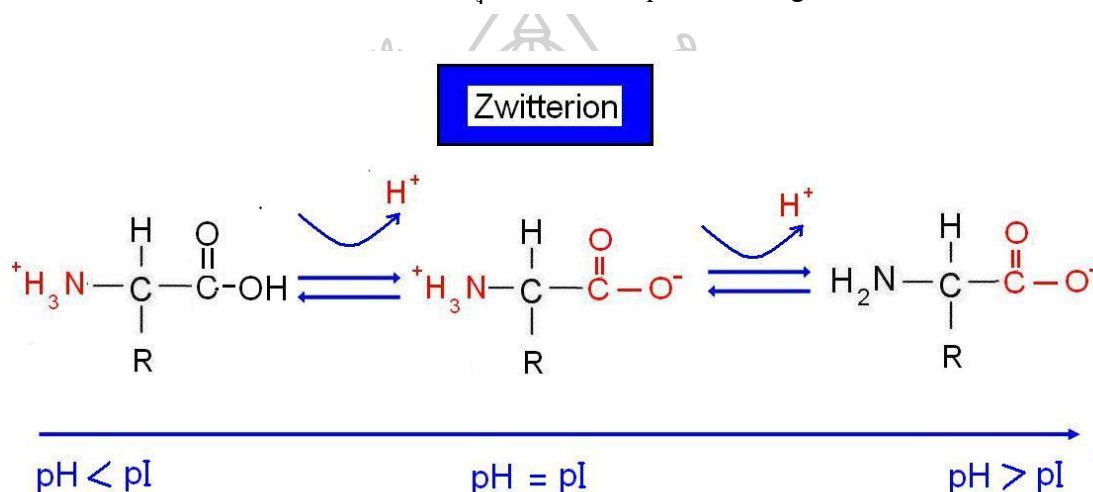
2.3 การตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ในกระบวนการแปรรูปน้ำตาล

ซาเรอ และคณะ (2553) ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แบบคาร์บอนเทชันของสารละลายน้ำตาลและน้ำเชื่อมให้ดีขึ้น โดยการเติมสารประกอบลงในสารละลายน้ำตาลในถังพักที่เติมคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ทำให้น้ำตาลและน้ำเชื่อมบริสุทธิ์ได้ รวมไปถึงการเติมอนุภาคสารซัลเฟตเพื่อลดความขุ่นของน้ำคั้นน้ำตาลได้ นอกจากนี้ บราวน์ (2533) ได้ศึกษากรรมวิธีการทำให้ใส โดยการเติมอนุภาคชนิดเฉื่อยและสารจับก้อนลงในของเหลวนั้น ซึ่งอัตราส่วนโดยน้ำหนักของพาหะที่เป็นอนุภาคชนิดเฉื่อยต่อของแข็งที่แขวนลอยอยู่นั้นจะมากกว่าค่าต่ำสุดที่จำเป็นในการทำให้ของเหลวเกิดความใส

น้ำตาลมะพร้าวสดที่เป็นวัตถุดิบเบื้องต้นสำหรับนำมาเคี่ยวเป็นไซรัปจะมีลักษณะขุ่นเนื่องจากน้ำตาลมะพร้าวสดมีอนุภาคคอลลอยด์ พอลิแซ็กคาไรด์ และ โปรตีน เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการลดความขุ่นของไซรัปน้ำตาลมะพร้าวทำได้โดยการตกตะกอนอนุภาค โดยสีและความขุ่นของไซรัปเป็นคุณลักษณะที่สำคัญในการตัดสินใจการยอมรับของผู้บริโภค นักวิจัยจึงทำการปรับปรุงคุณภาพของไซรัป เพื่อลดสีและความขุ่นของไซรัปลง Laksameethanasana et al. (2012) ได้ศึกษากระบวนการทำให้ใสในน้ำอ้อย โดยวิธีการ liming process ด้วยการใส่แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ทำให้เกิดการตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ตาม pH ที่เหมาะสม นอกจากนี้ Prati and Moretti (2010) ก็ได้ศึกษาการตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำอ้อยด้วย $\text{Ca}(\text{OH})_2$ เช่นเดียวกัน การเกาะกลุ่มกันของตะกอน (coagulation) ในน้ำอ้อยยังสามารถทำได้โดยการปรับ pH ด้วยสารเคมีหรืออุณหภูมิ โดยการเกิด coagulation จะต้องใช้สารเคมีที่เป็น alkalinizing agent ไปปรับ pH เช่น calcium oxide, calcium hydroxide, sodium hydroxide หรือ sodium carbonate สำหรับการใส่สารเร่งการตกตะกอน (polyelectrolytes) จะต้องใช้สารที่มีโมเลกุลใหญ่และละลายในน้ำในการช่วยตกตะกอน โดย polyelectrolytes ที่เป็น cationic จะมีประสิทธิภาพในการตกตะกอนอนุภาคที่มีประจุลบได้ดีกว่า anionic (วรรณพร พันธนิยะ, 2558)

ในการศึกษาการตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำตาลมะพร้าวสด อาจใช้วิธีการปรับ pH เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของอนุภาคคอลลอยด์ โดยการตกตะกอนจะเกิดขึ้นเมื่อ pH มีค่าเท่ากับ pI หรือเรียกว่าจุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point) ซึ่งคือค่า pH ที่ประจุรวมของกรดอะมิโนหรือโปรตีนเป็นศูนย์ เนื่องจากโมเลกุลของกรดอะมิโนและโปรตีน มีทั้งหมู่อะมิโน (amino group) ที่เป็นเบสอ่อน และหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) ที่เป็นกรดอ่อน รวมถึงหมู่ R ที่เป็นได้ทั้งหมู่ที่มี

ประจุบวกหรือประจุลบ ทำให้กรดแอมิโนเป็นได้ทั้งกรดและเบส ขึ้นอยู่กับค่า pH โดยกรดอะมิโนที่พบในธรรมชาติมีประจุรวมเป็นลบ (negative charge) ซึ่งประจุลบที่เหมือนกันจะเกิดแรงจะผลักกัน ทำให้กรดอะมิโนแขวนลอยหรือละลายในน้ำได้ หากมีการปรับค่า pH ของกรดอะมิโนให้ลดลงเท่ากับจุดไอโซอิเล็กทริก จะทำให้ประจุรวมของกรดอะมิโนเป็นศูนย์ แรงผลักกันระหว่างประจุที่เหมือนกันจะลดลง ประจุบวกและลบที่มีอยู่เท่ากันจะดูกัน มีผลให้โปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติ (protein denaturation) และตกตะกอน (precipitation) ถึงแม้กรดแอมิโนบางชนิดจะยังละลายได้ แต่ค่า pH ที่จุดนี้กรดแอมิโนจะมีการละลายได้น้อยที่สุด ถ้าหากปรับค่า pH ของโปรตีนต่ำกว่าจุดไอโซอิเล็กทริก จะทำให้กรดแอมิโนมีประจุรวมเป็นบวก (positive charge)



ภาพที่ 5 การเกิด zwitterion ของโมเลกุลกรดอะมิโน

2.4 กรดอินทรีย์ในกระบวนการแปรรูปน้ำตาล

กรดอินทรีย์เป็นองค์ประกอบที่ทำให้น้ำตาลมะพร้าวสดมีค่า pH ลดลง เมื่อนำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อเคี้ยวระเหยน้ำ จะเกิดการย่อยสลายของน้ำตาลซูโครส จากการต้มเคี้ยวภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ทำให้ซูโครสถูกย่อยสลายกลายเป็นกลูโคสและฟรุกโตส เรียกกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้ว่า กระบวนการอินเวอร์ชัน (inversion) หรือไฮโดรไลซิส (hydrolysis) น้ำตาลซูโครสจะถูกย่อยสลายกลายเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส และเรียกน้ำตาลที่ได้จากการย่อยนี้ว่า น้ำตาลอินเวอร์ท (invert sugar) หรือน้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugars) (ศิริพร สิริสุขทธิรัตน์, 2519) ปฏิกริยาดังกล่าวส่งผลคือทำให้เกิดน้ำตาลรีดิวซิงที่สามารถป้องกันการตกผลึกของซูโครสในไซรัปได้ เนื่องจากน้ำตาลรีดิวซิงมีสมบัติตกผลึกได้ยากกว่าน้ำตาลซูโครส Roukas and

Kotzekidou (1997) ได้ทำการศึกษา pretreatment เพื่อเพิ่มปริมาณกรดซิตริกในไซรัปอินพาล์ม โดย pH ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 6.5 และมีการเติม methanol 4% (v/v) ลงในไซรัปอินพาล์ม แล้ว treat ด้วย 2% tricalcium phosphate จะทำให้กรดซิตริกเพิ่มขึ้น 55 ถึง 90 gl^{-1}

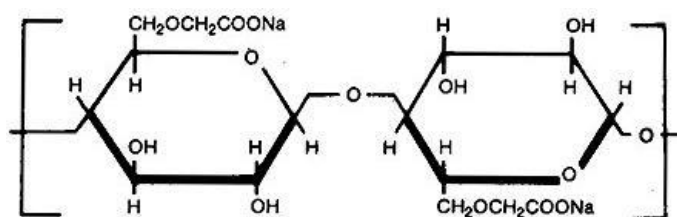
2.5 การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ในกระบวนการแปรรูปน้ำตาล

Molina-Rubio et al. (2010) ได้ทำการศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติของไซรัป ได้แก่ สมบัติทางกระแสวิทยา ลักษณะทางกายภาพ และความข้น โดยปัจจัยที่ต้องการศึกษาได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำตาล ชนิดของกัม ความเข้มข้นของกัม ความเข้มข้นของกรดซิตริก และอัตราการกวน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การจิบแนสามารถเพิ่มค่าทางกระแสวิทยาและเนื้อสัมผัสของไซรัปได้ ซึ่งคือ hardness, absolute viscosity, adhesive force และ stringiness นอกจากนี้ยังสามารถลดความข้นของไซรัปได้อีกด้วย Razavi et al. (2007) ได้ทำการศึกษาผลของ guar gum, xanthan gum และ starch ที่เติมลงในไซรัปอินพาล์ม พบว่าแรง shear ทำให้ไซรัปมีความเหนียวและข้นขึ้น และ starch จะให้ความหนืดสูงที่สุด

2.6 สารไฮโดรคอลลอยด์

2.6.1 carboxymethyl cellulose (CMC)

คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส หรืออาจเรียกว่า โซเดียมคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (sodium carboxymethylcellulose) เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นพอลิเมอร์ มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) เกิดจากการตัดแปรรูปหรือปรับปรุงสมบัติของเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช ให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมทิลและหมู่คาร์บอกซิเมทิล มีโครงสร้างดังภาพที่ 6

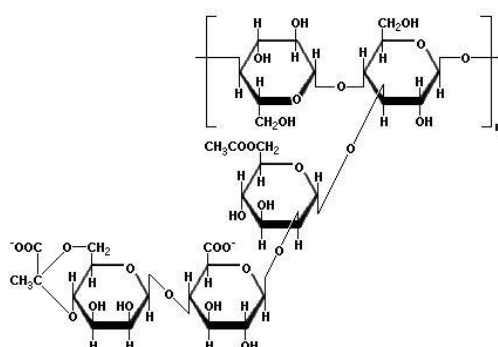


ภาพที่ 6 โครงสร้างโมเลกุลของ carboxymethyl cellulose (CMC)

ความคงตัวของ CMC ขึ้นอยู่กับชนิดของไอออน ถ้าเป็นเกลือของ CMC ที่เกิดจากไอออนประจุบวกที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 1 (monovalent cation) จะละลายได้ดีในน้ำ แต่ถ้าเป็นไอออนประจุบวกที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 2 (divalent cation) จะได้สารละลายที่มีลักษณะขุ่นและมีความหนืดลดลง ถ้าเป็นไอออนประจุบวกที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 3 (trivalent cation) จะได้สารละลายเกลือที่ไม่ละลายน้ำ (นิธิยา รัตนปนนท์, 2549)

2.6.2 xanthan gum

แซนแทนกัม เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากเมือกที่สร้างโดยแบคทีเรีย *Xanthomonas campestris* แซนแทนกัมเป็นพอลิแซคคาไรด์ประเภทเฮเทอโรพอลิแซคคาไรด์ (heteropolysaccharide) มีสมบัติละลายน้ำได้ดี โครงสร้างโมเลกุลแสดงดังภาพที่



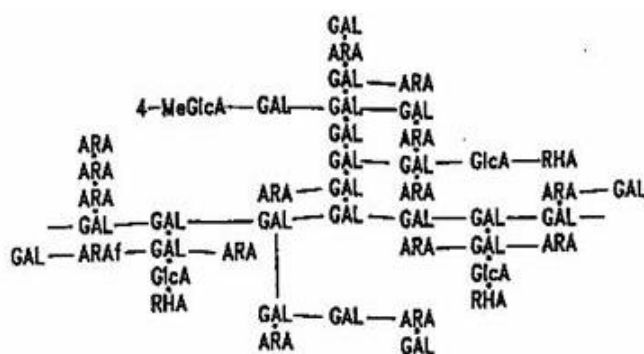
ภาพที่ 7 โครงสร้างโมเลกุลของ xanthan gum

โมกุลเป็นสายพอลิเมอร์ของ β -D-glucose มีโครงสร้างคล้ายกับเซลลูโลส แต่ทุกๆ 2 โมเลกุลของกลูโคสเชื่อมต่อกับกิ่งของ trisaccharide ที่เกิดจากน้ำตาลแมนโนส 2 โมเลกุล และกรดกลูคูโรนิก 1 โมเลกุล โมเลกุลของแมนโนสที่อยู่ติดกับสายหลักมีเอสเทอร์ของกรดแอซิดที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 และแมนโนส ที่ตำแหน่งปลายของ trisaccharide มีกรดไพรูวิกเชื่อมต่อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 4 และ 6

xanthan gum สามารถกระจายตัวและละลายได้ดีทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน สารละลายที่ได้มีความหนืดสูงถึงแม้จะมีความเข้มข้นต่ำ xanthan gum เป็นสารเพิ่มความหนืด เพิ่มความคงตัว และทำให้อนุภาคแขวนลอยได้ดี ในสภาวะที่เป็นกรด xanthan gum สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีน ทำให้เกิดการตกตะกอนทั้งชนิดนอนกันและตะกอนแขวนลอย การเติม xanthan gum ร่วมกับ CMC ในเครื่องดื่มที่มีเนื้อผลไม้ สามารถเพิ่มความข้นหนืดและช่วยให้อนุภาคแขวนลอยตามต้องการ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

2.6.3 gum arabic

กัมอะราบิก หรือ กัมอะคาเซีย (gum acacia) เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร มีลักษณะ โครงสร้างดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 โครงสร้างโมเลกุลของ gum arabic

โครงสร้างโมเลกุลของ gum arabic เป็นเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ (heteropolysaccharide) ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และซับซ้อน ประกอบด้วยน้ำตาลและอนุพันธ์ของน้ำตาล 4 ชนิด คือ น้ำตาลกาแล็กโทส (galactose 44%), แอราบินโนส (arabinose 27%), แรมโนส (L- rhamnose 13%), และกรดกลูคูโรนิก (glucuronic acid 14.5%) นอกจากนี้ในโมเลกุลยังประกอบด้วยกรดอะมิโน ได้แก่ ไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) และซีรีน (serine)

gum arabic ละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น สารละลาย gum arabic ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 40% จะมีความหนืดต่ำมาก มีความเป็นกรดเล็กน้อย ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสชาติ ทนต่อ pH gum arabic ยังสามารถยับยั้งการตกผลึกของน้ำตาลได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

2.7 ปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาล

การเติวน้ำตาลเพื่อระเหยน้ำให้กลายเป็นไชร์ปต้องใช้อุณหภูมิสูงในการเคียว ส่งผลให้เกิดปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่เไซเอนไซม์ (nonenzymatic browning reaction) ได้แก่ ปฏิริยาการaramelไรเซชัน (caramelization reaction) และปฏิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction)

2.7.1 ปฏิริยาการaramelไรเซชัน (caramelization reaction)

ปฏิริยาการaramelไรเซชัน เป็นการใ้ความร้อนสูงสลายโมเลกุลของน้ำตาลให้แยกออก (thermolysis) และเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของสารประกอบคาร์บอนได้อสีน้ำตาล ปฏิริยานี้อสารตั้งต้นจะเป็นน้ำตาลเท่านั้น การเผาน้ำตาลจะเกิดปฏิริยาดีไฮเดรชัน เกิดสารประกอบใหม่ที่มีพันธะคู่และวงแหวน มีความข้นหนืด มีรสขม และมีสีเข้มขึ้น ซึ่งจะผันแปรตามระยะเวลาและระดับอุณหภูมิที่ใ้ การเกิดปฏิริยาการaramelไรเซชันจะขึ้นอยู่กับความข้นของน้ำตาล pH และอุณหภูมิ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

2.7.2 ปฏิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction)

เป็นปฏิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งกับหมู่เอมิโนในโมเลกุลของกรดอะมิโน และโปรตีน ได้เป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และจะเกิดปฏิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาล (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

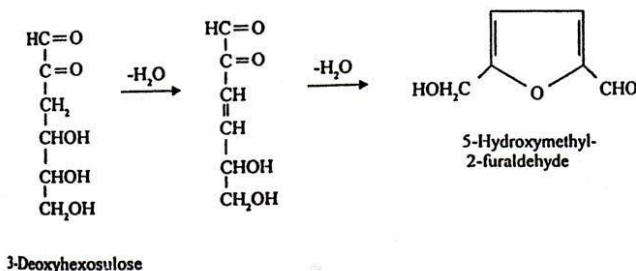
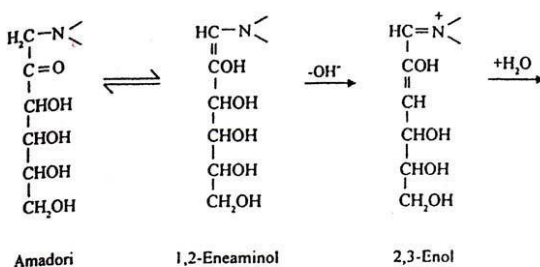
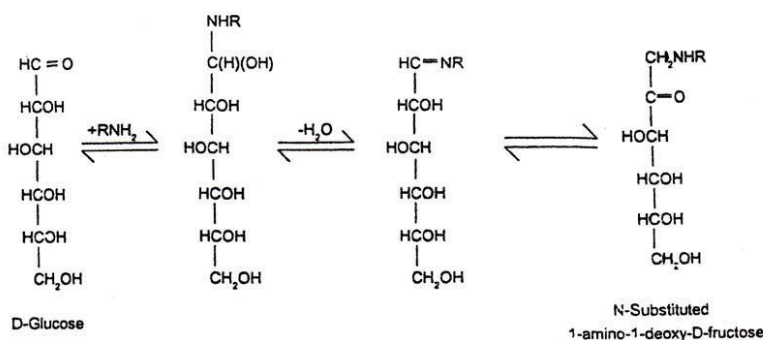
ขั้นตอนการเกิดปฏิริยาเมลลาร์ด

1. น้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งรวมตัวกับหมู่เอมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน
2. เกิดปฏิริยาดีไฮเดรชันได้เป็นอิมีน (imines หรือ Schiff's base) และมีการเรียงตัวใหม่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Amadori rearrangement ได้เป็นแอลโดสเอมีน (aldoseamine) หรือคีโทสเอมีน (ketoseamine) เรียกว่า Amadori compound เช่น 1-อะมิโน-1-ดีออกซี-คีโทส ซึ่งจะเกิดปฏิริยาต่อเนื่องได้ เมื่อมีค่าพีเอช 5 หรือต่ำกว่า

3. เกิดปฏิกิริยา enolization ของ Amadori compounds ได้เป็นไดคิโทสเอมีนหรือไดเอมีโนซูการ์ เช่น 3-ดีออกซีเฮกโซซูลอส

4. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันต่อได้เป็นอนุพันธ์ของฟูแรน (furan) ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซสอนุพันธ์ฟูแรน คือ 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอรัลดีไฮด์ (5-hydroxymethyl-2-furaldehyde หรือ HMF) ดังภาพที่ 9

5. อนุพันธ์ฟูแรนวงแหวน เช่น HMF จะเกิดพอลิเมอร์อย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายในน้ำ ซึ่งต่างจากการเกิดคาราเมลไรเซชัน (caramelization reaction) ซึ่งมีสีน้ำตาลเพียงอย่างเดียว สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนี้จึงเรียกว่าเมลานอยดิน (melanoidins) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาโมลต่อโมล (mole per mole reaction)



ภาพที่ 9 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

ปฏิกิริยาเมลลาร์ดสามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างการเก็บรักษาของไชร์ป จากการทดลองเก็บไชร์ปที่อุณหภูมิ 25 °C และ 45 °C พบว่าไชร์ปที่เก็บที่อุณหภูมิ 45 °C เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ไชร์ปที่มี pH เท่ากับ 5 จะเก็บได้ 26 สัปดาห์ แต่ถ้าไชร์ปที่มี pH เท่ากับ 6 จะเก็บได้เพียง 15 สัปดาห์ ส่วนไชร์ปที่เก็บที่อุณหภูมิ 25 °C ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของไชร์ปเกิดขึ้น (Raisi and Aroujalian, 2007)



บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 วัตถุดิบ สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย

3.1.1 วัตถุดิบ

- น้ำตาลมะพร้าวสดที่ได้จากอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม เมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2560 และวันที่ 18 มกราคม พ.ศ.2561 นำมาต้มจนเดือด ทำให้เย็น แบ่งบรรจุในถุงพลาสติก แล้วนำมาเก็บในตู้เย็นแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18°C โดยก่อนนำมาทำการทดลอง ได้สุ่มตัวอย่างออกมาละลายน้ำแข็งโดยการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง จนละลายเป็นของเหลวหมด แล้วจึงนำไปทำการทดลอง

3.1.2 สารเคมี

- calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) (บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด)
- carboxymethyl cellulose (CMC) (บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด)
- citric acid (บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด)
- copper sulphate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (Univar, Australia)
- enzyme test kit for sucrose, D-fructose and D-glucose assay (Megazyme, Ireland)
- gum arabic (บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด)
- hydrochloric acid (HCl) (Merck, Germany)
- lead acetate ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$) (Univar, Australia)
- methylene blue (Univar, Australia)
- phenolphthalein (Univar, Australia)
- potassium hydrogen phthalate ($\text{KOOCC}_6\text{H}_4\text{COOH}$) (Univar, Australia)
- potassium oxalate ($\text{C}_2\text{K}_2\text{O}_4$) (Univar, Australia)
- potassium sodium tartrate ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (Univar, Australia)
- sodium hydroxide (NaOH) (Merck, Germany)
- sucrose (Sigma, USA)
- xanthan gum (บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด)

3.1.3 อุปกรณ์

- กรวยกรอง
- กระดาษกรอง เบอร์ 4 (Whatman, UK)
- กระดาษไฟฟ้า (Hanabishi, HGP-14T, ประเทศไทย)
- กระบอกตวง
- กะละมังสเตนเลส
- ขวดน้ำกลั่น
- ขวดปริบปริมาตร (volumetric flask)
- ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask)
- ขวด vial
- ขวดแก้วใส่ไซริป
- ขาตั้ง (stand)
- ช้อน
- ช้อนตักสารขนาดเล็ก
- ทัพพี
- ที่ยึดจับบิวเรต (burette clamp)
- เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)
- แท่งแก้วคนสาร (stirrer)
- บิวเรต (burette)
- ปีกเกอร์ (beaker)
- ปิเปต (pipette)
- ผ้าขาวบาง
- พาราฟิล์ม (parafilm)
- ไม้พาย
- หลอดหยดขนาดเล็กและใหญ่
- Autopipette (Mettler Toledo, E4 XLS+, USA)
- Cuvette glass (Hellma, Germany)

3.1.4 เครื่องมือ

- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Ohaus, Pioneer PA 2102, USA)
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorius, BP 221S, Germany)
- เครื่องแยกสารแบบหมุนเหวี่ยง (centrifuge) (Hettich, Universal 16, Germany)
- เครื่องวัด pH (pH meter) (Hanna, HI 2213, USA) พร้อมอิเล็กโทรด (electrode) สำหรับตัวอย่างคอลลอยด์ (Hanna, HI 1053B, USA)
- เครื่องวัดสีของเหลว (tintometer) (Lovibond, LC 100, UK)
- เครื่องวัดความหนืด (viscometer) (Brookfield, LVDV3T, USA) พร้อมหัวเข็มวัดความหนืด LV-3 และ LV-4
- เครื่องวัดค่า a_w (water activity meter) (Aqualab, 4TE, USA) พร้อมถ้วยบรรจุตัวอย่าง
- แท่นให้ความร้อน (hot plate) (Rommelsbacher, ROM-AK1599/E, Germany)
- digital hand refractometer (Atago, PAL-1, Japan)
- spectrophotometer (Spectronic Unicam, Genesys 10 series, UK)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การศึกษาคุณสมบัติของไซรัปทางการค้า

นำผลิตภัณฑ์กลุ่มไซรัปที่มีวางจำหน่ายในทางการค้า มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ เพื่อเปรียบเทียบกับไซรัปน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิต

3.2.1.1 การวิเคราะห์ไซรัปทางการค้า

- ความเป็นกรดต่าง (pH) วัดด้วยเครื่อง pH meter (Hanna, HI 2213, USA) โดยใช้อิเล็กโทรดสำหรับตัวอย่างประเภทคอลลอยด์ (Hanna, HI 1053B, USA)
- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) วัดด้วยเครื่อง digital hand refractometer (Atago, PAL-1, Japan) รายงานผลในหน่วย °Brix
- ความหนืดวัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer (Brookfield, LVDV3T, USA) โดยใช้หัววัด LV-3 ความเร็วรอบ 120 rpm ใช้ตัวอย่างประมาณ 500 ml ใส่แก้วทรงสูง รายงานผลในหน่วย centipoise (cP) ที่ระยะเวลา 2.30 นาที
- ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโตส โดยใช้วิธี enzyme test kit for sucrose, D-fructose and D-glucose assay ดังวิธีวิเคราะห์ในภาคผนวก ค
- ค่าสี จากการวัดด้วยเครื่อง tintometer (Lovibond, LC 100, UK) โดยบรรจุตัวอย่างในคิวเวตแก้ว รายงานผลในหน่วย L^* , a^* และ b^*

3.2.1.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง และทำการวิเคราะห์แต่ละตัวอย่าง 2 ซ้ำ ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) version 16.0

3.2.2 การศึกษาผลของ pH ต่อการตกตะกอนอนุภาคในน้ำตาลมะพร้าวสด

เนื่องจากการเกิดปัญหาการตกตะกอนในไซรับน้ำตาลมะพร้าวระหว่างการเก็บรักษา จึงทำการศึกษาผลของ pH ต่อน้ำตาลมะพร้าวสด เพื่อแยกส่วนตะกอนและส่วนใสออกจากกัน แล้วนำส่วนใสไปเคี่ยวเป็นไซรับน้ำตาลมะพร้าวต่อไป

3.2.2.1 การปรับ pH น้ำตาลมะพร้าวสด

นำน้ำตาลมะพร้าวสดที่เก็บไว้ในตู้เย็นแช่แข็งออกมาละลายจนน้ำตาลมะพร้าวสดมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วแบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกนำมาปรับ pH ด้วยการกวนผสมพร้อมกับเติมกรดซิตริก (citric acid) (ซึ่งอยู่ในรูปผง) ให้มีค่า pH 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5.0 ส่วนที่สองนำมาปรับ pH ด้วยการกวนผสมพร้อมกับเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) (ซึ่งอยู่ในรูปผง) ให้มีค่า pH 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 และ 9.5 ส่วนที่สามนำมาปรับ pH ด้วยการกวนผสมพร้อมกับเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (ซึ่งอยู่ในรูปผง) ให้มีค่า pH 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 และ 9.5 เช่นเดียวกับการปรับ pH ด้วย $\text{Ca}(\text{OH})_2$ โดยเปรียบเทียบกับน้ำตาลมะพร้าวสดที่ไม่ปรับ pH

3.2.2.2 การวิเคราะห์น้ำตาลมะพร้าวสดหลังปรับ pH

นำน้ำตาลมะพร้าวสดที่ปรับ pH แล้วมาวางไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 5-10 นาที แล้วนำไปถ่ายภาพ

- ภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลเปรียบเทียบความสูงของตะกอนและสีของน้ำตาลมะพร้าวที่ pH ต่างๆ

นอกจากนี้ยังนำน้ำตาลมะพร้าวสดที่ปรับ pH แล้ว ไปแยกตะกอนด้วยเครื่องแยกสารแบบหมุนเหวี่ยง (centrifuge) (Hettich, Universal 16, Germany) ที่ความเร็ว 5,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเทส่วนใสออกจากตะกอนแล้วชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้ นำไปหาปริมาณตะกอน

- ร้อยละของน้ำหนักระง่อน ซึ่งคำนวณจาก

$$\text{ร้อยละของน้ำหนักระง่อน} = \frac{\text{น้ำหนักระง่อน} \times 100}{\text{น้ำหนักน้ำตาลมะพร้าวสด}}$$

สำหรับส่วนที่แยกได้จากการหมุนเหวี่ยงนั้นนำไปวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- ความเป็นกรดด่าง (pH) วัดด้วยเครื่อง pH meter (Hanna, HI 2213, USA) โดยใช้อิเล็กโทรดสำหรับตัวอย่างประเภทคอลลอยด์ (Hanna, HI 1053B, USA)
- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) วัดด้วยเครื่อง digital hand refractometer (Atago, PAL-1, Japan) รายงานผลในหน่วย °Brix
- ความขุ่น จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer (Spectronic Unicam, Genesys 10 series, UK)
- ค่าสี จากการวัดด้วยเครื่อง tintometer (Lovibond, LC 100, UK) โดยบรรจุตัวอย่างในคิวเวตแก้ว แล้ววางในช่องอ่านค่า รายงานผลในหน่วย L*, a* และ b*

3.2.2.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง และทำการวิเคราะห์แต่ละตัวอย่าง 2 ซ้ำ ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) version 16.0

3.2.3 การศึกษาการแก้ปัญหาการตกผลึกและการตกตะกอนในไซร้ปน้ำตาลมะพร้าวโดยใช้วิธีการปรับ pH ร่วมกับวิธีการแยกตะกอน

3.2.3.1 การผลิตไซร้ปน้ำตาลมะพร้าว

นำน้ำตาลมะพร้าวสดที่เก็บไว้ในตู้เย็นแช่แข็งออกมาละลายน้ำแข็งจนน้ำตาลมะพร้าวสดมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง นำมาควนผสมพร้อมทั้งเติม Ca(OH)_2 (ซึ่งอยู่ในรูปผง) จนน้ำตาลมะพร้าวสดมี pH 9.0 (ซึ่งเลือกมาจากการศึกษาในข้อ 3.2.2) จากนั้นปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 5-10 นาที นำมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 เพื่อแยกตะกอนและส่วนใสออกจากกัน นำส่วนใสปริมาณ 3.5 ลิตรต่อตัวอย่างมาปรับให้มี pH ลดลงด้วยกรดซิตริก (ซึ่งอยู่ในรูปผง) จนน้ำตาลมะพร้าวสดมี pH 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 และ 5.5 (เพื่อทำให้เกิด acid hydrolysis ในขั้นตอนการเคี้ยว) จากนั้นนำน้ำตาลมะพร้าวสดที่ปรับ pH แล้ว แต่ละตัวอย่างไปเคี้ยวด้วยกระแทกไฟฟ้า (Hanabishi,

HGP-14T, ประเทศไทย) ที่ปรับอุณหภูมิกระเพาะไฟฟ้าที่ระดับ 120 องศาเซลเซียส เคี้ยวระเหยน้ำ จนกระทั่งน้ำตาลมะพร้าวมีอุณหภูมิ 104 องศาเซลเซียส ริปเค็ม $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ที่อยู่ในรูปสารละลาย เข้มข้น 20% (w/v) ลงไปจนมี pH 5.5 (เพื่อปรับให้ไซรัปมีรสชาติไม่เปรี้ยวเกินไป) จากนั้นเคี้ยวต่อ จนน้ำตาลมะพร้าวมีอุณหภูมิ 107 องศาเซลเซียส จึงหยุดให้ความร้อน (รวมระยะเวลาการเคี้ยว ทั้งหมดประมาณ 1 ชั่วโมง 20 นาที) ริปบรรจุขณะร้อนใส่ขวดแก้วโดยเทไซรัปผ่านผ้าขาวบางที่พับ 4 ทบ เพื่อกรองตะกอนออก จากนั้นรีบปิดฝาขวดแล้วคว่ำขวดให้ไซรัปไหลไปที่ฝาขวดเพื่อมาเชื่อมที่ฝาขวด แล้วนำไซรัปที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ

3.2.3.2 การวิเคราะห์ไซรัปน้ำตาลมะพร้าว

- ความเป็นกรดต่าง (pH) วัดด้วยเครื่อง pH meter (Hanna, HI 2213, USA) โดยใช้ อิเล็กโทรดสำหรับตัวอย่างประเภทคอลลอยด์ (Hanna, HI 1053B, USA)
- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) วัดด้วยเครื่อง digital hand refractometer (Atago, PAL-1, Japan) รายงานผลในหน่วย °Brix
- ความหนืด วัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer (Brookfield, LVDV3T, USA) โดยใช้หัววัด LV-3 ความเร็วรอบ 90 rpm ใช้ตัวอย่างประมาณ 500 ml ใส่แก้วทรงสูง รายงานผลใน หน่วย centipoise (cP)
- ค่าสี วัดด้วยเครื่อง tintometer (Lovibond, LC 100, UK) โดยบรรจุตัวอย่างใน คิวเวตแก้ว รายงานผลในหน่วย L^* , a^* และ b^*
- ปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ท โดยวัดในรูปของน้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar) ใช้วิธี Lane and Eynon ตามวิธีของ AOAC (2000) ดังวิธีวิเคราะห์ในภาคผนวก ข
- ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโตส โดยใช้วิธี enzyme test kit for sucrose, D-fructose and D-glucose assay ดังวิธีวิเคราะห์ในภาคผนวก ค
- ค่า water activity (a_w) วัดด้วยเครื่อง water activity meter (Aqualab, 4TE, USA)
- ความขุ่นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer (Spectronic Unicam, Genesys 10 series, UK)
- ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity, TA) โดยใช้วิธีการไตเตรต ดังวิธี วิเคราะห์ในภาคผนวก ก
- ความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา (stability test) โดยการบรรจุไซรัปแต่ละ ตัวอย่างลงในขวดแก้ว vial เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและทำการถ่ายภาพที่เวลา 0, 1, 2 และ 3 เดือน โดยสังเกตการณ์ตกผลึกและการตกตะกอน

- การทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธี 9-point hedonic scoring ในการทดสอบความชอบของผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ซึ่งให้ผู้ทดสอบชิมไซรัปพร้อมทั้งแพนเค้ก แล้วให้คะแนนความชอบตามแบบทดสอบในภาคผนวก ง

3.2.3.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) โดยทำการเตรียมไซรัปน้ำตาลมะพร้าว 3 ครั้ง และทำการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของไซรัปแต่ละตัวอย่าง 2 ซ้ำ ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) version 16.0

3.2.4 การศึกษาการแก้ปัญหาการตกผลึกและการตะกอนในไซรัปน้ำตาลมะพร้าวโดยใช้สารไฮโดรคอลลอยด์

3.2.4.1 การผลิตไซรัปน้ำตาลมะพร้าว

นำน้ำตาลมะพร้าวสดที่เก็บไว้ในตู้เย็นแช่แข็งออกมาละลายน้ำแข็งจนน้ำตาลมะพร้าวสดมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง นำน้ำตาลมะพร้าวสดปริมาณ 3 ลิตรต่อตัวอย่างมาเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ carboxymethyl cellulose (CMC) ที่ความเข้มข้น 0.03, 0.07 และ 0.10% (w/w), xanthan gum ที่ความเข้มข้น 0.015, 0.03 และ 0.07% (w/w) และ gum arabic ที่ความเข้มข้น 0.8, 1.00 และ 1.20% (w/w) จากนั้นนำแต่ละตัวอย่างไปเคี่ยวด้วยกระทะไฟฟ้า (Hanabishi, HGP-14T, ประเทศไทย) ที่ปรับอุณหภูมิกระทะไฟฟ้าที่ระดับ 120 องศาเซลเซียส เคี่ยวระเหยน้ำจนน้ำตาลมีอุณหภูมิ 107 องศาเซลเซียสจึงหยุดให้ความร้อน (รวมระยะเวลาการเคี่ยวทั้งหมดประมาณ 1 ชั่วโมง 20 นาที) รีบบรรจุขณะร้อนใส่ขวดแก้ว โดยเทไซรัปผ่านผ้าขาวบางที่พับ 4 ทบ เพื่อกรองตะกอนออก จากนั้นรีบปิดฝาขวดแล้วคว่ำขวดให้ไซรัปไหลไปที่ฝาขวดเพื่อมาเชื้อที่ฝาขวด แล้วนำไซรัปที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ

3.2.4.2 การวิเคราะห์ไซรัปน้ำตาลมะพร้าว

- ความเป็นกรดต่าง (pH) วัดด้วยเครื่อง pH meter (Hanna, HI 2213, USA) โดยใช้ อิเล็กโทรดสำหรับตัวอย่างประเภทคอลลอยด์ (Hanna, HI 1053B, USA)

- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) วัดด้วยเครื่อง digital hand refractometer (Atago, PAL-1, Japan) รายงานผลในหน่วย °Brix

- ความหนืด วัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer (Brookfield, LV DV3T, USA) โดยใช้หัววัด LV-4 ความเร็วรอบ 30 rpm ใช้ตัวอย่างประมาณ 500 ml ใส่แก้วทรงสูง รายงานผลในหน่วย centipoise (cP)
- ค่าสี วัดด้วยเครื่อง tintometer (Lovibond, LC 100, UK) โดยบรรจุตัวอย่างในคิวเวตแก้ว รายงานผลในหน่วย L^* , a^* และ b^*
- ปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ท โดยวัดในรูปของน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ใช้วิธี Lane and Eynon ตามวิธีของ AOAC (2000) ดังวิธีวิเคราะห์ในภาคผนวก ข
- ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโตส โดยใช้วิธี enzyme test kit for sucrose, D-fructose and D-glucose assay ดังวิธีวิเคราะห์ในภาคผนวก ค
- ค่า water activity (a_w) วัดด้วยเครื่อง water activity meter (Aqualab, 4TE, USA)
- ความขุ่น โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer (Spectronic Unicam, Genesys 10 series, UK)
- ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity, TA) โดยใช้วิธีการไตเตรต ดังวิธีวิเคราะห์ในภาคผนวก ก
- ความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา (stability test) โดยการบรรจุไซรัปแต่ละตัวอย่างลงในขวดแก้ว vial เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและทำการถ่ายภาพที่เวลา 0, 1, และ 2 เดือน โดยสังเกตการตกผลึกและตกตะกอน
- การทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธี 9-point hedonic scoring ในการทดสอบความชอบของผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ซึ่งให้ผู้ทดสอบชิม ไซรัปพร้อมกับแพนเค้ก แล้วให้คะแนนความชอบตามแบบทดสอบในภาคผนวก ง

3.2.4.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) โดยทำการเตรียม ไซรัปน้ำตาลมะพร้าว 2 ครั้ง และทำการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของไซรัปแต่ละตัวอย่าง 2 ซ้ำ ส่วนการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยการใช้โปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) version 16.0

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปราย

4.1 การศึกษาคุณสมบัติของไซรัปทางการค้า

ไซรัปทางการค้าที่นำมาศึกษาเป็นไซรัปที่มีวางขายในท้องตลาดภายในประเทศ การศึกษาคุณสมบัติของไซรัปทางการค้า มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านต่างๆของไซรัปทางการค้ากับไซรัปน้ำตาลมะพร้าวที่จะพัฒนาต่อไป รวมทั้งสังเกตปัญหาที่เกิดขึ้นในไซรัปทางการค้าระหว่างการเก็บรักษา เพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไขในกระบวนการพัฒนาไซรัปน้ำตาลมะพร้าว

ไซรัปทางการค้าที่นำมาศึกษาคุณสมบัติสามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่ ไซรัปน้ำตาลมะพร้าว (coconut syrup), น้ำเชื่อมแต่งกลิ่นรส (flavored syrup), น้ำเชื่อมอินเวอร์ท (Inverted syrup), น้ำเชื่อมโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide syrup) และน้ำเชื่อมคาราเมล (caramel syrup) โดยแต่ละกลุ่มจะมียี่ห้อของไซรัปดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การแบ่งประเภทและลักษณะไซรัปน้ำตาลมะพร้าวทางการค้า

ประเภทของไซรัป	ลักษณะขวดไซรัปทางการค้า	ลักษณะของไซรัปทางการค้า
1. Coconut syrup		
1.1 Sugary น้ำหวานดอกมะพร้าว		
1.2 Cocugar ไซรัปน้ำตาลมะพร้าว		

ตารางที่ 4 (ต่อ) การแบ่งประเภทและลักษณะไซรัปน้ำตาลมะพร้าวทางการค้า

ประเภทของไซรัป	ลักษณะขวดไซรัปทางการค้า	ลักษณะของไซรัปทางการค้า
1.3 น้ำเชื่อมน้ำตาลมะพร้าว		
1.4 บำรุงริมคลอง น้ำหวานดอกมะพร้าว		
1.5 ชีวดี น้ำหวานดอกมะพร้าว		
1.6 หวานอย่างมีหวัง		

ตารางที่ 4 (ต่อ) การแบ่งประเภทและลักษณะไซรัปน้ำตาลมะพร้าวทางการค้า

ประเภทของไซรัป	ลักษณะขวดไซรัปทางการค้า	ลักษณะของไซรัปทางการค้า
2. Flavored syrup		
2.1 Imperial maple flavoured syrup		
2.2 Log cabin maple syrup		
2.3 Hungry jack honey maple		
2.4 Imperial honey syrup		

ตารางที่ 4 (ต่อ) การแบ่งประเภทและลักษณะไซรัปน้ำตาลมะพร้าวทางการค้า

ประเภทของไซรัป	ลักษณะขวดไซรัปทางการค้า	ลักษณะของไซรัปทางการค้า
2.5 Lin caramel syrup		
3. Inverted syrup		
3.1 น้ำเชื่อมมิตรผล		
4. Oligosaccharide syrup		
4.1 Beksul oligosaccharide syrup		

4.1.1 ค่า pH ของไซรัปทางการค้า

เมื่อนำไซรัปทางการค้าไปวัดค่า pH ได้ผลดังตารางที่ 5 พบว่าไซรัปทางการค้าแต่ละตัวอย่างมีค่า pH แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ไซรัปทางการค้ากลุ่ม coconut syrup จะมีค่า pH อยู่ในช่วง 3.50 - 4.96, กลุ่ม flavored syrup จะมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.40 - 5.97, กลุ่ม inverted syrup มีค่า pH ที่ 4.70 กลุ่ม oligosaccharide syrup มีค่า pH ที่ 5.88 และกลุ่ม caramel syrup มีค่า pH ที่ 5.22 จะเห็นได้ว่าค่า pH ของไซรัปทุกตัวอย่างมีค่าต่ำกว่า 6.0 ซึ่งแสดงว่าไซรัปมีสภาพเป็นกรด ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไซรัปมีสมบัติเป็นกรด เช่น น้ำตาลมะพร้าวสด โดยธรรมชาติจะมีกรดซิตริกและกรดแลคติกเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย และในกระบวนการเคี้ยวหรือให้ความร้อนในการผลิตอาจมีปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดอินทรีย์ด้วย

ตารางที่ 5 ค่า pH ของไซรัปทางการค้า

ประเภทของไซรัป	pH ของไซรัปทางการค้า
1. Coconut syrup	
1.1 Sugary น้ำหวานดอกมะพร้าว	4.83 ± 0.01
1.2 Cocugar ไซรัปน้ำตาลมะพร้าว	3.50 ± 0.01
1.3 น้ำเชื่อมน้ำตาลมะพร้าว	4.82 ± 0.02
1.4 บำนิรมคลอง น้ำหวานดอกมะพร้าว	4.55 ± 0.03
1.5 ชีวาคี น้ำหวานดอกมะพร้าว	3.99 ± 0.04
1.6 หวานอย่างมีหวัง	4.96 ± 0.01
2. Flavored syrup	
2.1 Imperial maple flavoured syrup	5.97 ± 0.07
2.2 Log cabin maple syrup	4.40 ± 0.01
2.3 Hungry jack honey maple	4.86 ± 0.01
2.4 Imperial honey syrup	5.43 ± 0.08
2.5 Lin caramel syrup	5.22 ± 0.04
3. Inverted syrup	
3.1 น้ำเชื่อมมิตรผล	4.70 ± 0.01
4. Oligosaccharide syrup	
4.1 Beksul oligosaccharide syrup	5.88 ± 0.19

หมายเหตุ แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± standard deviation จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

4.1.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS) ของไซรัปทางการค้า

เมื่อนำไซรัปทางการค้าไปวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งพบว่าไซรัปทางการค้าประเภท coconut syrup มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากกว่าไซรัปทางการค้าประเภทอื่น ไซรัปที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุดคือ Sugary น้ำหวานดอกมะพร้าว ซึ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงถึง 79.70 °Brix และไซรัปที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่ำที่สุดอยู่ในประเภท flavored syrup คือ Imperial maple flavoured syrup มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 69.53 °Brix โดยไซรัปทางการค้าแต่ละตัวอย่างมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 6 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS) ของไซรัปทางการค้า

ประเภทของไซรัป	TSS ของไซรัปทางการค้า (°Brix)
1. Coconut syrup	
1.1 Sugary น้ำหวานดอกมะพร้าว	79.7 ± 0.5
1.2 Cocugar ไซรัปน้ำตาลมะพร้าว	76.5 ± 0.1
1.3 น้ำเชื่อมน้ำตาลมะพร้าว	72.2 ± 0.0
1.4 บำนิรมคลอง น้ำหวานดอกมะพร้าว	74.2 ± 0.1
1.5 ชีวดี น้ำหวานดอกมะพร้าว	76.6 ± 0.2
1.6 หวานอย่างมีหวัง	73.2 ± 0.9
2. Flavored syrup	
2.1 Imperial maple flavoured syrup	69.5 ± 0.0
2.2 Log cabin maple syrup	70.0 ± 0.1
2.3 Hungry jack honey maple	69.9 ± 0.1
2.4 Imperial honey syrup	74.1 ± 0.2
2.5 Lin caramel syrup	70.0 ± 0.1
3. Inverted syrup	
3.1 น้ำเชื่อมมิตรผล	73.6 ± 0.0
4. Oligosaccharide syrup	
4.1 Beksul oligosaccharide syrup	73.7 ± 0.1

หมายเหตุ แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± standard deviation จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

4.1.3 ความหนืดของไซรัปทางการค้า

เมื่อนำไซรัปทางการค้าไปวิเคราะห์ความหนืดได้ผลดังตารางที่ 7 ซึ่งพบว่าไซรัปทางการค้าแต่ละตัวอย่างมีค่าความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยไซรัปทางการค้าที่มีความหนืดสูงที่สุดคือ Sugary น้ำหวานดอกมะพร้าว ซึ่งอยู่ในประเภท coconut syrup มีค่าความหนืด 8076 cP และ ไซรัปทางการค้าที่มีความหนืดต่ำที่สุดอยู่ในประเภท Flavored syrup คือ Imperial maple flavoured syrup มีค่าความหนืด 353 cP จะเห็นได้ว่าความหนืดมีแนวโน้มกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยถ้าค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากส่งผลให้ค่าความหนืดของไซรัปมีค่ามากมากเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 7 ความหนืดของไซรัปทางการค้า

ประเภทของไซรัป	ความหนืดของไซรัปทางการค้า (cP)
1. Coconut syrup	
1.1 Sugary น้ำหวานดอกมะพร้าว	8076.0 ± 46.5
1.2 Cocugar ไซรัปน้ำตาลมะพร้าว	2555.2 ± 3.4
1.3 น้ำเชื่อมน้ำตาลมะพร้าว	2337.7 ± 47.1
1.4 บ้านริมคลอง น้ำหวานดอกมะพร้าว	3848.8 ± 115.8
1.5 ชีวาคี น้ำหวานดอกมะพร้าว	7694.4 ± 72.3
1.6 หวานอย่างมีหวัง	2113.4 ± 29.3
2. Flavored syrup	
2.1 Imperial maple flavoured syrup	353.4 ± 0.7
2.2 Log cabin maple syrup	805.7 ± 21.9
2.3 Hungry jack honey maple	1127.8 ± 0.8
2.4 Imperial honey syrup	2810.4 ± 16.4
2.5 Lin caramel syrup	502.4 ± 3.4
3. Inverted syrup	
3.1 น้ำเชื่อมมิตรผล	1613.4 ± 8.6
4. Oligosaccharide syrup	
4.1 Beksul oligosaccharide syrup	3535.2 ± 13.4

หมายเหตุ แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± standard deviation จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

4.1.4 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครสของไซรัปทางการค้า

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครสสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้วิธี enzyme test kit for sucrose, D-fructose and D-glucose assay ได้ผลปริมาณน้ำตาลกลูโคสดังตารางที่ 8 ซึ่งพบว่าไซรัปทางการค้าแต่ละตัวอย่างมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยไซรัป Imperial maple flavoured syrup ในประเภท flavored syrup มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสน้อยที่สุดเท่ากับ 1.83 g/100 ml และ Cocugar ไซรัปน้ำตาลมะพร้าว ในประเภท coconut syrup มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสมากที่สุดเท่ากับ 37.55 g/100 ml

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสแสดงไว้ในตารางที่ 8 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยไซรัป Imperial maple flavoured syrup ในประเภท flavored syrup มีปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสน้อยที่สุดเท่ากับ 0.07 g/100 ml และ Cocugar ไซรัปน้ำตาลมะพร้าว ในประเภท coconut syrup มีปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสมากที่สุดเท่ากับ 30.56 g/100 ml ทำนองเดียวกันกับปริมาณน้ำตาลกลูโคส

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครสแสดงไว้ในตารางที่ 8 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยไซรัปทางการค้าที่อยู่ในประเภท coconut syrup ยี่ห้อหวานอย่างมีหวังมีปริมาณน้ำตาลซูโครสมากที่สุดเท่ากับ 57.30 g/100 ml และไซรัปทางการค้าประเภท flavored syrup คือ Hungry jack honey maple มีปริมาณน้ำตาลซูโครสน้อยที่สุดเท่ากับ 0.52 g/100 ml การที่ไซรัปมีปริมาณน้ำตาลซูโครสมากคือมีความเข้มข้นของซูโครสสูง อาจส่งผลให้เกิดการตกผลึกในระหว่างการเก็บรักษาได้มากกว่าไซรัปที่มีปริมาณน้ำตาลซูโครสน้อยหรือความเข้มข้นของซูโครสต่ำ เนื่องจากน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลที่มีสมบัติในการตกผลึกได้ดีกว่ากลูโคสและฟรุคโตส

ในไซรัปประเภท coconut syrup เกือบทุกตัวอย่าง จะเกิดการตกผลึกภายในระยะเวลา 16 เดือนของการเก็บรักษา โดยตัวอย่างที่ไม่มีการตกผลึกจะเป็นตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตสสูง ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลซูโครสต่ำ

ตารางที่ 8 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครสของไซรัปทางการค้า

ประเภทของไซรัป	ปริมาณน้ำตาลในไซรัป (g/100 ml)			Total sugar
	D-Glucose	D-Fructose	Sucrose	
1. Coconut syrup				
1.1 Sugary น้ำหวานดอกมะพร้าว	6.02 ± 0.49	5.16 ± 0.28	41.68 ± 0.60	52.87 ± 1.24
1.2 Cocugar ไซรัปน้ำตาลมะพร้าว	37.55 ± 0.75	30.56 ± 0.56	10.65 ± 1.81	78.76 ± 0.93
1.3 น้ำเชื่อมน้ำตาลมะพร้าว	8.53 ± 0.59	8.98 ± 0.56	52.08 ± 1.91	69.59 ± 3.06
1.4 น้ำนริมคลอง น้ำหวานดอกมะพร้าว	12.52 ± 1.02	13.42 ± 0.64	44.05 ± 2.99	69.99 ± 2.87
1.5 ซีวาดี น้ำหวานดอกมะพร้าว	15.26 ± 0.69	13.40 ± 0.63	37.36 ± 1.94	66.02 ± 3.12
1.6 หวานอย่างมีหวัง	5.58 ± 0.24	5.94 ± 0.21	57.30 ± 0.47	68.81 ± 0.83
2. Flavored syrup				
2.1 Imperial maple flavoured syrup	1.83 ± 0.18	0.07 ± 0.12	45.23 ± 2.61	47.12 ± 2.67
2.2 Log cabin maple syrup	12.50 ± 0.26	1.02 ± 0.21	12.32 ± 0.35	25.84 ± 0.68
2.3 Hungry jack honey maple	19.14 ± 0.66	11.30 ± 0.42	0.52 ± 0.08	30.96 ± 1.07
2.4 Imperial honey syrup	7.42 ± 0.45	8.14 ± 0.21	33.68 ± 1.67	49.24 ± 1.76
2.5 Lin caramel syrup	9.31 ± 0.39	12.22 ± 0.32	54.88 ± 6.07	76.41 ± 6.34
3. Inverted syrup				
3.1 น้ำเชื่อมมิตรผล	25.35 ± 1.48	22.91 ± 1.72	40.11 ± 1.07	80.47 ± 6.16
4. Oligosaccharide syrup				
4.1 Beksul oligosaccharide syrup	20.44 ± 1.19	1.21 ± 0.28	54.88 ± 6.07	61.76 ± 1.76

หมายเหตุ แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± standard deviation จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

4.1.5 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของไซรัปทางการค้า

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของไซรัปทางการค้าแสดงไว้ในตารางที่ 9 โดยค่า L^* บ่งบอกถึงความสว่างของไซรัป ซึ่งพบว่าไซรัปทางการค้าประเภท oligosaccharide syrup คือ Beksul oligosaccharide syrup มีค่า L^* มากที่สุดรองลงมาคือ inverted syrup ที่เป็น น้ำเชื่อมมิตรผล ซึ่งมีค่า L^* เท่ากับ 61.33 และ 60.93 ตามลำดับ ซึ่งไซรัปทางการค้าทั้ง 2 ตัวอย่างนี้มีค่า L^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีความสว่างมากหรือสีอ่อนมาก สอดคล้องกับตารางที่ 4 ที่เห็นว่าไซรัปมีลักษณะใสไม่มีสี ส่วนไซรัปที่มีค่า L^* น้อยที่สุดอยู่ในประเภท coconut syrup คือ บ้านริมคลอง น้ำหวานดอกมะพร้าว ซึ่งมีค่า L^* เท่ากับ 1.77 ที่แสดงว่าไซรัปนี้มีความสว่างน้อย สอดคล้องกับตารางที่ 4 ที่เห็นว่าไซรัปนี้มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้ม

ผลการวิเคราะห์ค่า a^* ของไซรัปทางการค้าแสดงดังตารางที่ 9 ซึ่งพบว่าไซรัปทางการค้าประเภท coconut syrup คือ Cocugar ไซรัปน้ำตาลมะพร้าว มีค่า a^* มากที่สุดเท่ากับ 25.33 และ ไซรัปทางการค้าประเภท inverted syrup คือน้ำเชื่อมมิตรผล มีค่า a^* น้อยที่สุดเท่ากับ 1.37 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับไซรัปประเภท oligosaccharide syrup คือ Beksul oligosaccharide syrup และประเภท coconut syrup คือ บ้านริมคลอง น้ำหวานดอกมะพร้าว โดยค่า a^* นี้เป็นค่าที่แสดงถึงความเป็นสีแดง หากมีค่านี้นั้นไซรัปนั้นก็จะเป็นสีแดงมาก

ผลการวิเคราะห์ค่า b^* ของไซรัปทางการค้าแสดงไว้ในตารางที่ 9 ซึ่งพบว่าไซรัปทางการค้าประเภท coconut syrup คือ หวานอย่างมีหวัง มีค่า b^* สูงที่สุดเท่ากับ 53.70 และ ไซรัปทางการค้าที่มีค่า b^* น้อยที่สุดเป็นไซรัปประเภท coconut syrup คือ บ้านริมคลอง น้ำหวานดอกมะพร้าว ที่มีค่า b^* เท่ากับ -2.70 ค่า b^* นี้เป็นค่าที่แสดงถึงความเป็นสีเหลือง แต่ถ้าหากค่านี้นั้นมีค่าน้อยหมายถึงมีความเป็นสีน้ำเงินมาก จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าไซรัปทางการค้า หวานอย่างมีหวัง มีลักษณะเป็นสีเหลืองมากกว่ายี่ห้ออื่น

ตารางที่ 9 ค่าสี (L*, a* และ b*) ของไซรัปทางการค้า

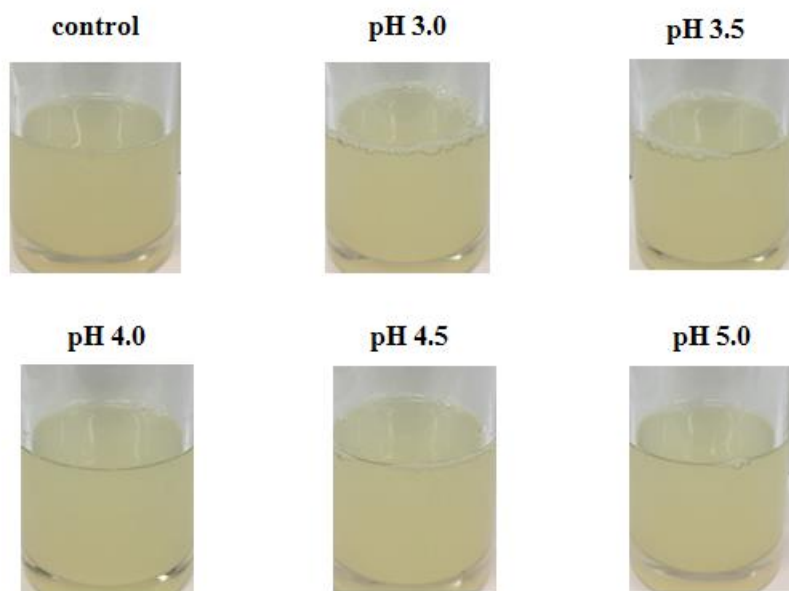
ประเภทของไซรัป	ค่าสีของไซรัปทางการค้า		
	L*	a*	b*
1. Coconut syrup			
1.1 Sugary น้ำหวานดอกมะพร้าว	42.6 ± 0.5	13.5 ± 0.0	50.3 ± 1.3
1.2 Cocugar ไซรัปน้ำตาลมะพร้าว	20.6 ± 0.2	25.3 ± 0.3	28.9 ± 1.1
1.3 น้ำเชื่อมน้ำตาลมะพร้าว	4.6 ± 0.2	5.9 ± 0.1	2.1 ± 0.1
1.4 บันริมคลอง น้ำหวานดอกมะพร้าว	1.8 ± 0.1	1.5 ± 0.1	-2.7 ± 0.2
1.5 ซีวาดี น้ำหวานดอกมะพร้าว	21.6 ± 0.4	20.2 ± 0.1	26.8 ± 1.0
1.6 หวานยังมีหัว	47.1 ± 1.0	9.5 ± 0.5	53.7 ± 0.5
2. Flavored syrup			
2.1 Imperial maple flavoured syrup	37.1 ± 0.2	14.5 ± 0.1	44.8 ± 0.2
2.2 Log cabin maple syrup	27.8 ± 0.4	16.5 ± 0.2	41.5 ± 0.4
2.3 Hungry jack honey maple	44.7 ± 0.6	10.2 ± 0.1	47.4 ± 0.4
2.4 Imperial honey syrup	52.4 ± 0.2	3.8 ± 0.2	34.3 ± 0.4
2.5 Lin caramel syrup	48.6 ± 0.4	7.9 ± 0.2	51.2 ± 0.2
3. Inverted syrup			
3.1 น้ำเชื่อมมิตรผล	60.9 ± 0.61	1.4 ± 0.1	2.4 ± 0.4
4. Oligosaccharide syrup			
4.1 Beksul oligosaccharide syrup	61.3 ± 0.40	1.5 ± 0.1	3.4 ± 0.2

หมายเหตุ แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± standard deviation จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

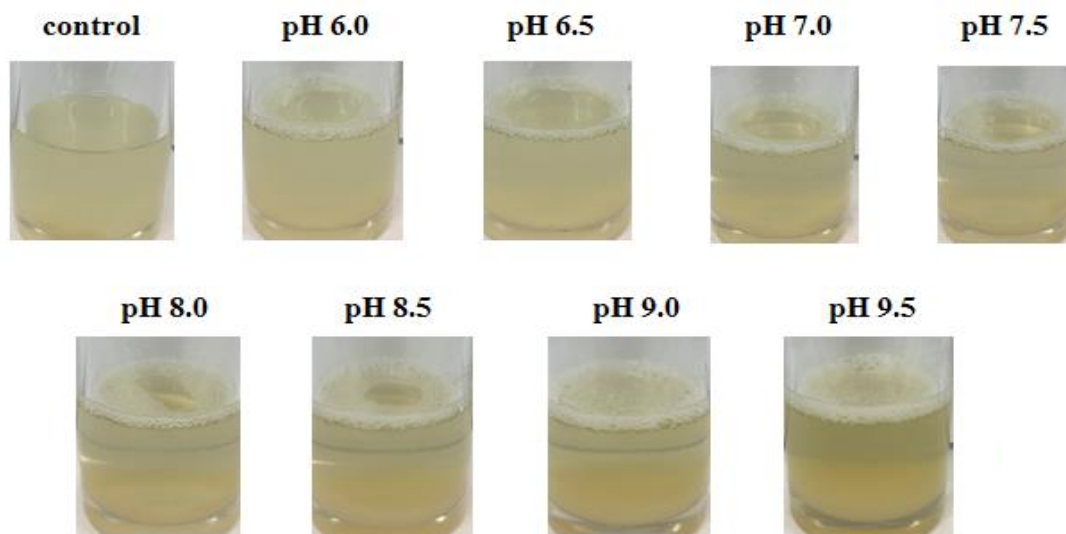
4.2 การศึกษาผลของ pH ต่อการตกตะกอนอนุภาคในน้ำตาลมะพร้าวสด

ผลิตภัณฑ์ไซรับน้ำตาลมะพร้าวมักจะเกิดปัญหาการตกตะกอนในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำตาลมะพร้าว เช่น โปรตีน และโพลีแซคคาไรด์ ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงได้ทำการศึกษาวิธีการลดตะกอนที่เกิดขึ้นในไซรับน้ำตาลมะพร้าว โดยใช้สาร 3 ชนิด ได้แก่ กรดซิตริก Ca(OH)_2 และ NaOH ในการปรับ pH ของน้ำตาลมะพร้าวสด เปรียบเทียบว่าสารชนิดใดมีผลต่อการตกตะกอน และหา pH ที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนในน้ำตาลมะพร้าวสด

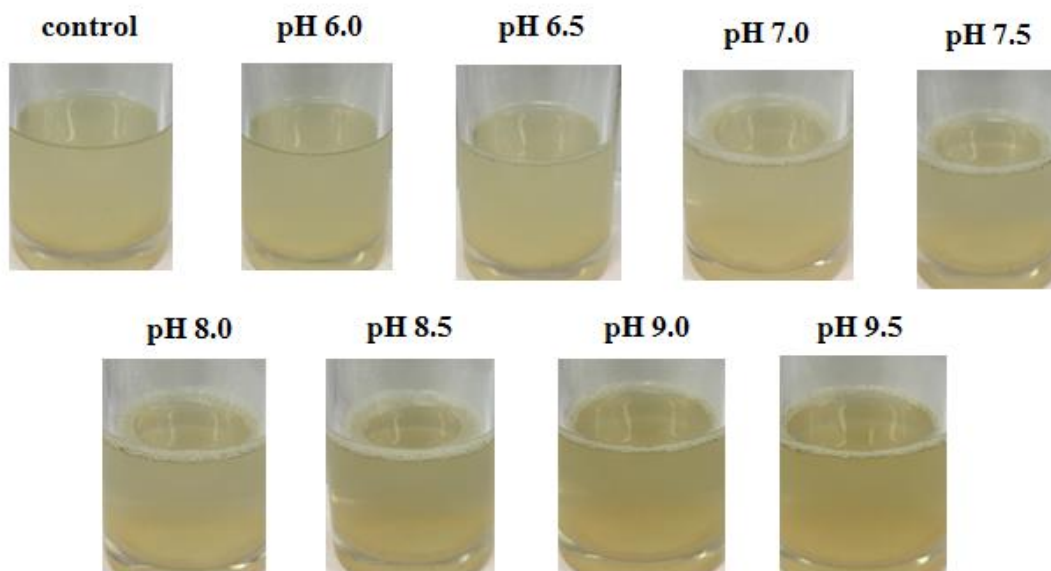
เมื่อน้ำตาลมะพร้าวสดมาแบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกนำมาปรับ pH ด้วยกรดซิตริก ให้มีค่า pH 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5.0 ได้ผลดังภาพ 10 ส่วนที่สองนำมาปรับ pH ด้วย Ca(OH)_2 ให้มีค่า pH 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 และ 9.5 ได้ผลดังภาพ 11 ส่วนที่สามนำมาปรับ pH ด้วย NaOH ให้มีค่า pH เช่นเดียวกับของ Ca(OH)_2 เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (control) ซึ่งเป็นน้ำตาลมะพร้าวสดที่ไม่ได้ปรับ pH ใดๆ ได้ผลดังภาพ 12 พบว่า Ca(OH)_2 เป็นสารที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำตาลมะพร้าวสดตกตะกอนได้ดีที่สุด



ภาพที่ 10 ภาพน้ำตาลมะพร้าวสดที่ผ่านการปรับ pH ต่างกันด้วยกรดซิตริก



ภาพที่ 11 ภาพน้ำตาลมะพร้าวสดที่ผ่านการปรับ pH ต่างกันด้วย $\text{Ca}(\text{OH})_2$



ภาพที่ 12 ภาพน้ำตาลมะพร้าวสดที่ผ่านการปรับ pH ต่างกันด้วย NaOH

4.2.1 น้ำหนักตะกอนในน้ำตาลมะพร้าวสด

ผลการวิเคราะห์น้ำหนักตะกอนในน้ำตาลมะพร้าวสดเมื่อใช้กรดซิตริกเป็นสารตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์แสดงดังตารางที่ 10 ซึ่งพบว่ากรดซิตริกทำให้อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำตาลมะพร้าวสดตกตะกอนได้ โดยตกตะกอนได้มากที่สุดที่ pH 5.0 ซึ่งได้น้ำหนักตะกอนเปียก 1.26% ในขณะที่ตัวอย่างควบคุม (control) ที่ไม่ผ่านการปรับ pH และมีค่า pH ประมาณ 6 ได้น้ำหนักตะกอนน้อยกว่าคือ 0.78% ดังนั้นที่ pH 5.0 จึงน่าจะเป็น isoelectric point ของอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำตาลมะพร้าวสด ที่ประจุรวมบนอนุภาคมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ทำให้อนุภาคมีการละลายน้ำน้อยที่สุด

ตารางที่ 10 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยกรดซิตริกต่อน้ำหนักตะกอน

pH ของน้ำตาลมะพร้าวสด	น้ำหนักตะกอนในน้ำตาลมะพร้าวสด (%)
control	0.78 ± 0.08 ^b
3.0	0.83 ± 0.17 ^b
3.5	0.86 ± 0.20 ^b
4.0	0.92 ± 0.18 ^b
4.5	1.03 ± 0.14 ^{ab}
5.0	1.26 ± 0.24 ^a

หมายเหตุ^{a, b, c...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p < 0.05$)

ผลการวิเคราะห์น้ำหนักตะกอนในน้ำตาลมะพร้าวสดเมื่อใช้สาร Ca(OH)_2 และ NaOH เป็นสารตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์แสดงไว้ในตารางที่ 11 ซึ่งพบว่า Ca(OH)_2 สามารถทำหน้าที่ในการตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ได้ดีกว่า NaOH โดย Ca(OH)_2 ตกตะกอนได้มากที่สุดที่ pH 9.5 โดยได้น้ำหนักตะกอน 2.39 ทั้งนี้อาจเนื่องจากองค์ประกอบในน้ำตาลมะพร้าวสด เช่น โปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์ที่อยู่ในรูปอนุภาคคอลลอยด์เกิดการทำปฏิกิริยากับแคลเซียมจาก Ca(OH)_2 โดยประจุบวก Ca(OH)_2 จะไปจับกับประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำตาลมะพร้าวสด จึงทำให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคคอลลอยด์และเกิดการตกตะกอนลงมา (Thai and Doherty, 2012) โดยการที่

อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำตาลมะพร้าวสดมีประจุเป็นลบ ก็น่าจะเป็นเพราะอยู่ในสภาวะที่มีค่า pH สูงกว่า isoelectric point ของอนุภาค (pH 5.0 ตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น) ประจุรวม (net charge) บนอนุภาคคอลลอยด์มีประจุเป็นลบ

ตารางที่ 11 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำหนักตะกอน

pH ของน้ำตาลมะพร้าวสด	น้ำหนักตะกอนในน้ำตาลมะพร้าวสด (%)	
	Ca(OH) ₂	NaOH
control	0.94 ± 0.05 ^{de, A}	0.92 ± 0.25 ^{a, A}
6.0	0.83 ± 0.03 ^{e, A}	0.82 ± 0.22 ^{a, A}
6.5	1.12 ± 0.18 ^{cd, A}	0.98 ± 0.08 ^{a, A}
7.0	1.34 ± 0.31 ^{bc, A}	0.81 ± 0.13 ^{a, A}
7.5	1.14 ± 0.10 ^{cd, A}	1.07 ± 0.17 ^{a, A}
8.0	1.12 ± 0.11 ^{cd, A}	0.94 ± 0.16 ^{a, A}
8.5	1.56 ± 0.08 ^{b, A}	1.05 ± 0.17 ^{a, A}
9.0	2.18 ± 0.09 ^{a, A}	0.95 ± 0.20 ^{a, B}
9.5	2.39 ± 0.18 ^{a, A}	0.98 ± 0.07 ^{a, B}

หมายเหตุ

a, b, c...

แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอน ($p < 0.05$)

A, B, C... แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอน ($p < 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบการใช้สารทั้ง 3 ชนิดในการตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ จึงพบว่า Ca(OH)₂ สามารถตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำตาลมะพร้าวสดได้ดีกว่ากรดซิตริก และ NaOH โดยมีน้ำหนักตะกอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และ pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนของสาร Ca(OH)₂ คือ pH 9.0 และ 9.5 ซึ่งให้น้ำหนักตะกอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.2.2 ค่า pH ของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส

หลังการปรับ pH ได้นำน้ำตาลมะพร้าวสดไปเหวี่ยงแยกตะกอนออกไป แล้วจึงนำส่วนใสมาทำการตรวจวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์ค่า pH ของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสเมื่อปรับ pH ด้วยกรดซัลฟิวริกแสดงดังตารางที่ 12 ซึ่งพบว่าค่า pH มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่า pH ของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสหลังจากถูกแยกตะกอนออกไปจะมีค่าใกล้เคียงกับ pH ก่อนการแยกตะกอน แสดงว่าการแยกตะกอนไม่มีผลต่อค่า pH ของน้ำตาลมะพร้าวสดที่ pH ไม่เกิน 6

ตารางที่ 12 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยกรดซัลฟิวริกต่อ pH น้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส

pH ของน้ำตาลมะพร้าวสด	pH น้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส
control	5.87 ± 0.02
3.0	2.99 ± 0.03
3.5	3.49 ± 0.02
4.0	3.99 ± 0.06
4.5	4.49 ± 0.02
5.0	4.99 ± 0.03

หมายเหตุ แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย \pm standard deviation จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ผลการวิเคราะห์ค่า pH ของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสหลังจากถูกปรับ pH ด้วย $\text{Ca}(\text{OH})_2$ และ NaOH แสดงดังตารางที่ 13 พบว่า pH ของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสหลังจากถูกปรับด้วย $\text{Ca}(\text{OH})_2$ และ NaOH ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตาม pH จะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อน้ำตาลมะพร้าวสดถูกแยกตะกอนออกไป โดยเฉพาะที่ pH ตั้งแต่ 7.5 ขึ้นไป อาจเนื่องมาจากว่าอนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกปั่นเหวี่ยงแล้วแยกออกไปดูดซับ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ และ NaOH ส่วนหนึ่งออกไปได้มากที่สุด ทำให้ pH สูงๆ จึงทำให้น้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสหลังถูกแยกตะกอนออกมีค่าความเป็นเบสน้อยลง ทำให้ pH ลดลงหลังการแยกตะกอน

ตารางที่ 13 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อ pH น้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส

pH ของน้ำตาลมะพร้าวสด	pH น้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส	
	Ca(OH) ₂	NaOH
control	5.94 ± 0.07	6.00 ± 0.06
6.0	6.10 ± 0.05	6.03 ± 0.01
6.5	6.50 ± 0.10	6.48 ± 0.04
7.0	6.94 ± 0.13	6.91 ± 0.02
7.5	7.29 ± 0.10	7.28 ± 0.10
8.0	7.74 ± 0.13	7.69 ± 0.10
8.5	8.24 ± 0.11	8.28 ± 0.06
9.0	8.81 ± 0.06	8.86 ± 0.06
9.5	9.37 ± 0.08	9.29 ± 0.09

หมายเหตุ แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± standard deviation จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

4.2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส

ผลการวิเคราะห์ TSS ของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสเมื่อปรับ pH ด้วยกรดซิตริกแสดงดังตารางที่ 14 พบว่าค่า TSS ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง control ค่า TSS ก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน แสดงว่าการปรับ pH ด้วยกรดซิตริกไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำตาลมะพร้าวสด

ตารางที่ 14 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยกรดซิตริกต่อ TSS ของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส

pH ของน้ำตาลมะพร้าวสด	TSS ของน้ำตาลมะพร้าวส่วนใส (°Brix) ^{ns}
control	15.8 ± 2.7
3.0	16.2 ± 2.7
3.5	16.0 ± 2.7
4.0	15.9 ± 2.7
4.5	15.8 ± 2.7
5.0	15.8 ± 2.7

หมายเหตุ^{ns} แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \geq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ TSS ของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสเมื่อปรับ pH ด้วย Ca(OH)_2 และ NaOH แสดงดังตารางที่ 15 เมื่อเปรียบเทียบค่า TSS น้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสที่ปรับ pH ด้วย Ca(OH)_2 และ NaOH พบว่าการปรับ pH ด้วย Ca(OH)_2 ให้ค่า TSS สูงกว่า NaOH เล็กน้อย และในสถานะที่ pH แตกต่างกันของสารปรับ pH แต่ละชนิด ค่า TSS ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกับเมื่อปรับ pH ด้วยกรดซิตริก เนื่องจากสารที่เติมเพื่อปรับ pH นั้น เติมในปริมาณน้อยมาก จึงไม่ส่งผลต่อค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำตาลมะพร้าวสด

ตารางที่ 15 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อ TSS ของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส

pH ของน้ำตาลมะพร้าวสด	TSS ของน้ำตาลมะพร้าวส่วนใส (°Brix)	
	Ca(OH) ₂	NaOH
control	17.3 ± 0.1 ^{a, A}	16.8 ± 0.2 ^{a, B}
6.0	17.2 ± 0.2 ^{a, A}	16.8 ± 0.1 ^{a, B}
6.5	17.3 ± 0.1 ^{a, A}	16.8 ± 0.1 ^{a, B}
7.0	17.3 ± 0.1 ^{a, A}	16.8 ± 0.1 ^{a, B}
7.5	17.2 ± 0.1 ^{a, A}	16.8 ± 0.1 ^{a, B}
8.0	17.3 ± 0.2 ^{a, A}	16.8 ± 0.1 ^{a, A}
8.5	17.4 ± 0.1 ^{a, A}	16.8 ± 0.1 ^{a, B}
9.0	17.3 ± 0.2 ^{a, A}	16.9 ± 0.1 ^{a, A}
9.5	17.2 ± 0.2 ^{a, A}	16.8 ± 0.1 ^{a, A}

หมายเหตุ^{a, b, c...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวดิ่ง ($p < 0.05$)

^{A, B, C...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอน ($p < 0.05$)

4.2.4 ความขุ่นของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส

ความขุ่นของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสวิเคราะห์โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 625 nm ซึ่งหากค่าการดูดกลืนแสงสูงแสดงว่าตัวอย่างมีความขุ่นมาก ผลการวิเคราะห์ความขุ่นของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสเมื่อปรับ pH ด้วยกรดซิตริกแสดงในตารางที่ 16 พบว่าการปรับ pH ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความขุ่นของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยที่ pH 3.0 ทำให้ความขุ่นของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสมีค่าน้อยที่สุด

ตารางที่ 16 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยกรดซิตริกต่อความขุ่นของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนที่แยกได้หลังตกตะกอน

pH ของน้ำตาลมะพร้าวสด	ความขุ่นของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส (ค่าการดูดกลืนแสงที่ 625 nm) ^{ns}
control	0.079 ± 0.008
3.0	0.070 ± 0.019
3.5	0.099 ± 0.021
4.0	0.092 ± 0.004
4.5	0.075 ± 0.016
5.0	0.101 ± 0.011

หมายเหตุ^{ns} แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \geq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ความขุ่นของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสเมื่อปรับ pH ด้วย $\text{Ca}(\text{OH})_2$ และ NaOH ดังแสดงในตารางที่ 17 พบว่าการปรับ pH ด้วย $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ที่ pH 8.5-9.5 ส่งผลให้มีความขุ่นของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสมีค่าน้อย ในขณะที่การปรับ pH ด้วย NaOH ที่ pH 7.0-9.5 ส่งผลให้มีความขุ่นของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสมีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบผลความขุ่นของสารปรับ pH ทั้งสองชนิด พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นที่ pH 9.0 เนื่องจากค่าความขุ่นเป็นการวัดความขุ่นของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส ดังนั้น ตัวอย่างที่อนุภาคเกิดการตกตะกอนมาก และถูกแยกตะกอนออกไปแล้ว ก็จะมีค่าความขุ่นน้อยกว่าตัวอย่างที่อนุภาคมีการตกตะกอนน้อยและยังคงแขวนลอยอยู่ในตัวอย่าง

ตารางที่ 17 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อความขุ่นของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนที่แยกได้หลังตกตะกอน

pH ของน้ำตาลมะพร้าวสด	ความขุ่นของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส (ค่าการดูดกลืนแสงที่ 625 nm)	
	Ca(OH) ₂	NaOH
control	0.054 ± 0.028 ^{ab, A}	0.035 ± 0.006 ^{a, A}
6.0	0.041 ± 0.011 ^{ab, A}	0.029 ± 0.003 ^{a, A}
6.5	0.064 ± 0.026 ^{a, A}	0.030 ± 0.006 ^{a, A}
7.0	0.037 ± 0.012 ^{ab, A}	0.019 ± 0.003 ^{b, A}
7.5	0.033 ± 0.019 ^{ab, A}	0.018 ± 0.003 ^{b, A}
8.0	0.034 ± 0.021 ^{ab, A}	0.021 ± 0.003 ^{b, A}
8.5	0.029 ± 0.006 ^{b, A}	0.021 ± 0.003 ^{b, A}
9.0	0.027 ± 0.003 ^{b, A}	0.021 ± 0.003 ^{b, B}
9.5	0.023 ± 0.005 ^{b, A}	0.022 ± 0.003 ^{b, A}

หมายเหตุ^{a, b, c...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p < 0.05$)

^{A, B, C...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอน ($p < 0.05$)

4.2.5 ค่าสี (L*, a* และ b*) ของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส

ค่าสีของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสเมื่อปรับ pH ด้วยกรดซิตริกดังแสดงในตารางที่ 18

โดยค่า L* แสดงถึงความสว่าง ค่า a* แสดงถึงความเป็นสีแดง และค่า b* แสดงถึงความเป็นสีเหลือง จากผลที่ได้ พบว่าทั้งค่า L*, a* และ b* ของทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงว่าการปรับ pH ด้วยกรดซิตริกไม่มีผลต่อค่าสีของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใส

ตารางที่ 18 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยกรดซิตริกต่อค่าสี (L*, a* และ b*) ของน้ำตาลมะพร้าวส่วนใส

pH ของน้ำตาลมะพร้าวสด	ค่าสีของน้ำตาลมะพร้าวส่วนใส		
	L* ^{ns}	a* ^{ns}	b* ^{ns}
control	58.6 ± 1.0	1.4 ± 0.1	7.2 ± 1.1
3.0	58.8 ± 0.9	1.3 ± 0.1	6.1 ± 1.3
3.5	58.7 ± 0.9	1.2 ± 0.1	6.7 ± 1.2
4.0	58.6 ± 0.6	1.3 ± 0.0	7.0 ± 1.2
4.5	58.5 ± 0.9	1.3 ± 0.1	6.7 ± 1.1
5.0	58.2 ± 0.9	1.3 ± 0.1	7.4 ± 1.1

หมายเหตุ^{ns} แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \geq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสเมื่อปรับ pH ด้วย Ca(OH)_2 และ NaOH แสดงในตารางที่ 19 ซึ่งพบว่า pH แตกต่างกันส่งผลให้ค่าสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การปรับ pH ด้วย NaOH ที่ pH 9.0 และ 9.5 ทำให้ค่า L* มีค่าน้อยกว่าที่ pH อื่นๆ แสดงถึงสีที่คล้ำกว่า นอกจากนี้ a* ยังมีค่ามากกว่าการปรับ pH ด้วย Ca(OH)_2 แสดงว่าการปรับ pH ด้วย NaOH ทำให้น้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสมีความเป็นสีแดงมากกว่า ส่วนค่า b* ที่แสดงความเป็นสีเหลืองนั้นการปรับ pH ด้วยสารทั้งสองชนิดให้ผลไม่แตกต่างกันยกเว้นเมื่อปรับด้วย Ca(OH)_2 ที่ pH 8.0, 9.0 และ 9.5 จะมีความเป็นสีเหลืองน้อยกว่า

จากภาพที่ 11 และ ภาพที่ 12 แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสเมื่อปรับ pH ด้วย Ca(OH)_2 และ NaOH โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าการปรับ pH ให้มีความเป็นด่างมากขึ้น ส่งผลให้น้ำตาลมะพร้าวสดส่วนใสมีสีเข้มขึ้น ซึ่งอาจเนื่องมาจากเมื่อ pH สูงขึ้นทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ได้แก่ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด ที่มีสารตั้งต้นเป็นน้ำตาลรีดิวซ์และโปรตีนเกิดปฏิกิริยาได้สีขึ้น (Eggleston et al., 2002)

ตารางที่ 19 ผลของการปรับ pH ในน้ำตาลมะพร้าวสดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อค่าสีของน้ำตาลมะพร้าวส่วนใส

pH ของ น้ำตาลมะพร้าวสด	ค่าสีของน้ำตาลมะพร้าวส่วนใส					
	L*		a*		b*	
	Ca(OH) ₂	NaOH	Ca(OH) ₂	NaOH	Ca(OH) ₂	NaOH
control	59.7 ± 0.3 ^{a, A}	59.2 ± 0.2 ^{a, B}	1.0 ± 0.1 ^{a, B}	1.3 ± 0.1 ^{a, A}	7.1 ± 0.6 ^{de, A}	7.0 ± 0.1 ^{e, A}
6.0	59.6 ± 0.2 ^{a, A}	59.3 ± 0.1 ^{a, B}	1.0 ± 0.1 ^{a, A}	1.2 ± 0.1 ^{ab, A}	6.8 ± 0.5 ^{e, A}	6.9 ± 0.3 ^{e, A}
6.5	58.8 ± 0.9 ^{b, A}	59.3 ± 0.1 ^{a, A}	1.0 ± 0.1 ^{a, B}	1.3 ± 0.1 ^{a, A}	7.3 ± 1.4 ^{de, A}	7.0 ± 0.2 ^{e, A}
7.0	59.6 ± 0.1 ^{a, A}	59.4 ± 0.2 ^{a, A}	0.9 ± 0.1 ^{ab, A}	1.1 ± 0.1 ^{c, A}	6.8 ± 0.5 ^{e, A}	7.0 ± 0.2 ^{e, A}
7.5	59.4 ± 0.6 ^{ab, A}	59.1 ± 0.0 ^{a, A}	0.8 ± 0.1 ^{b, B}	1.1 ± 0.0 ^{c, A}	7.2 ± 0.2 ^{de, A}	7.1 ± 0.3 ^{e, A}
8.0	59.6 ± 0.1 ^{a, A}	59.0 ± 0.1 ^{a, B}	0.8 ± 0.2 ^{b, B}	1.1 ± 0.1 ^{bc, A}	7.9 ± 0.3 ^{cd, A}	7.8 ± 0.2 ^{d, A}
8.5	59.8 ± 0.1 ^{a, A}	59.0 ± 0.1 ^{a, B}	0.6 ± 0.1 ^{c, B}	0.9 ± 0.1 ^{d, A}	8.5 ± 0.1 ^{c, B}	9.7 ± 0.4 ^{c, A}
9.0	59.7 ± 0.1 ^{a, A}	58.4 ± 0.6 ^{b, A}	0.3 ± 0.1 ^{d, A}	0.6 ± 0.1 ^{e, A}	10.6 ± 0.3 ^{bb}	12.1 ± 0.4 ^{b, A}
9.5	59.7 ± 0.1 ^{a, A}	57.8 ± 0.2 ^{c, B}	0.1 ± 0.1 ^{e, B}	0.6 ± 0.1 ^{e, A}	13.2 ± 0.1 ^{a, B}	15.1 ± 0.6 ^{a, A}

หมายเหตุ^{a, b, c, ...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (p<0.05)

^{A, B, C, ...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนของแต่ละค่าสี (p<0.05)

4.3 การศึกษาการแก้ปัญหาการตกผลึกและการตกตะกอนในไซรับน้ำตาลมะพร้าวโดยใช้วิธีการปรับ pH ร่วมกับวิธีการแยกตะกอน

จากการศึกษาผลของ pH ต่อการตกตะกอนอนุภาคในน้ำตาลมะพร้าวสดในข้อ 4.2 พบว่าการปรับ pH ของน้ำตาลมะพร้าวสดให้แตกต่างกัน มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกัน โดยการตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำตาลมะพร้าวสดในข้อ 4.3 นั้นได้เลือกใช้ Ca(OH)₂ ปรับ pH ที่ 9.0 เนื่องจากสามารถตกตะกอนได้น้ำหนักตะกอนมากที่สุดและไม่แตกต่างจากที่ pH 9.5 อย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งการปรับ pH ที่ 9.5 ทำให้น้ำตาลมะพร้าวสดมีสีเข้มกว่า จึงเลือกใช้ Ca(OH)₂ ในการปรับ pH ของน้ำตาลมะพร้าวสดที่ 9.0 แล้วนำมากรองตะกอนออกด้วย

กระดาษกรองเบอร์ 4 แล้วนำส่วนใสไปปรับ pH ด้วยกรดซิตริกให้มี pH 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 และ 5.5 เพื่อศึกษาผลของการปรับ pH ก่อนการเคี้ยวในการแก้ปัญหาการตกผลึกในไซรับน้ำตาลมะพร้าว จากนั้นนำไซรัปที่เคี้ยวได้ไปปรับ pH ด้วย $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ให้ได้ pH สุดท้ายประมาณ 5.5 เพื่อปรับรสชาติของไซรับน้ำตาลมะพร้าวไม่ให้มีรสเปรี้ยวเกินไป สำหรับตัวอย่างควบคุม (control) ของการศึกษาในข้อนี้คือไซรัปที่ผลิตจากน้ำตาลมะพร้าวสดที่ไม่ผ่านการปรับ pH และการแยกตะกอนใดๆเลย

4.3.1 ค่า pH ของไซรับน้ำตาลมะพร้าว

จากการวิเคราะห์ค่า pH ของไซรับน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตจากน้ำตาลมะพร้าวสดที่ผ่านการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอน ได้ผลแสดงดังตารางที่ 20 พบว่าค่า pH ของไซรับน้ำตาลมะพร้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากในกระบวนการเคี้ยวช่วงทำยั้นจะมีการปรับ pH ให้ไซรับน้ำตาลมะพร้าวมี pH 5.5 ทุกตัวอย่าง (ยกเว้นตัวอย่าง control) โดยเติมสารละลาย $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 20% (w/v) ลงไป เมื่ออุณหภูมิถึง 104 องศาเซลเซียส แล้วเคี้ยวต่อจนมีอุณหภูมิ 107 องศาเซลเซียส เพื่อลดความเปรี้ยวของกรดซิตริกที่เติมลงไป ดังนั้นระยะเวลาหลังจากเติมสารละลาย $\text{Ca}(\text{OH})_2$ จนถึงเคี้ยวเสร็จจะใช้เวลาไม่นาน ไซรัปจึงมีค่า pH ใกล้เคียงกับ 5.5 สำหรับตัวอย่างไซรัป control ก็มีค่า pH 5.5 แม้ว่าจะผลิตจากน้ำตาลมะพร้าวสดที่ไม่ผ่านการปรับ pH และการแยกตะกอนใดๆ

ตารางที่ 20 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อค่า pH ของไซรับน้ำตาลมะพร้าว

pH น้ำตาลมะพร้าวสด (หลังเติมกรดซิตริก)	ปริมาณสารละลาย $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 20% (w/v) ที่ใช้ในการปรับ pH ไซรัปเป็น 5.5 (ml)	ค่า pH ไซรับน้ำตาลมะพร้าว (หลังเติม $\text{Ca}(\text{OH})_2$)
Control	-	5.50 ± 0.18
3.5	43.5	5.52 ± 0.08
4.0	20.5	5.51 ± 0.07
4.5	7.5	5.54 ± 0.04
5.0	2.4	5.61 ± 0.05
5.5	0.2	5.48 ± 0.05

หมายเหตุ แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย \pm standard deviation จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

4.3.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ของไซรับน้ำตาลมะพร้าว

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ของไซรับน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตจากน้ำตาลมะพร้าวสดที่ผ่านการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอน แสดงไว้ในตารางที่ 21 ซึ่งพบว่า การปรับ pH น้ำตาลมะพร้าวสดที่ต่างกันทำให้ TSS ของไซรับน้ำตาลมะพร้าวที่เกี่ยวข้องได้มีความแตกต่างกัน โดยเมื่อปรับ pH ให้มีความเป็นกรดมากขึ้น TSS จะมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการปรับ pH ด้วยกรดซิตริกในน้ำตาลมะพร้าวสดก่อนเคี้ยว กรดจะไปไฮโดรไลซ์น้ำตาลซูโครสบางส่วน ส่งผลให้ค่า TSS ลดลง โดยเฉพาะการปรับ pH ด้วยกรดซิตริกที่ pH ต่ำๆ คือ 3.5 และ 4.0 ทำให้ได้ไซรัปที่มีค่า TSS ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจาก TSS คือปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ซึ่งวัดจาก refractometer ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครส ดังนั้นการที่กรดไปไฮโดรไลซ์น้ำตาลซูโครสจึงส่งผลเปลี่ยนสัดส่วนชนิดน้ำตาลทำให้ TSS มีค่าลดลงได้

ตารางที่ 21 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ของไซรับน้ำตาลมะพร้าว

pH น้ำตาลมะพร้าวสด หลังเติมกรดซิตริก	TSS ของไซรับน้ำตาลมะพร้าว (°Brix)
Control	72.2 ± 0.6 ^a
3.5	68.6 ± 0.8 ^c
4.0	69.9 ± 0.1 ^b
4.5	71.6 ± 1.1 ^a
5.0	71.8 ± 0.7 ^a
5.5	72.2 ± 0.6 ^a

หมายเหตุ^{a, b, c...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p < 0.05$)

4.3.3 ความหนืดของไซรับน้ำตาลมะพร้าว

จากผลการวิเคราะห์ความหนืดของไซรับน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตจากน้ำตาลมะพร้าวสดที่ผ่านการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนในตารางที่ 22 พบว่า เมื่อมีการปรับ pH ด้วยกรดซิตริกให้

น้ำตาลมะพร้าวสดมีความเป็นกรดมากขึ้น ได้ส่งผลให้ความหนืดของไซรัปมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลของความหนืดยังสัมพันธ์กับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ในข้อ 4.3.2 โดยไซรัปที่มีค่า TSS ต่ำ จะมีความหนืดต่ำด้วย ยกเว้นไซรัป control ที่ผลิตจากน้ำตาลมะพร้าวสดที่ไม่ผ่านการปรับ pH และการแยกตะกอน การลดลงของความหนืดไซรัปตามความเป็นกรดเพิ่มขึ้นจากการปรับ pH ด้วยกรดซิตริก น่าจะเป็นเพราะกรดจะไปไฮโดรไลซ์โมเลกุลสารพอลิเมอร์ที่อยู่ในน้ำตาลมะพร้าวสด เช่น โปรตีนและพอลิแซคคาไรด์ ให้ขาดออกจากกันมีผลทำให้ความหนืดลดลง

ตารางที่ 22 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อค่าความหนืดของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว

pH น้ำตาลมะพร้าวสด หลังเติมกรดซิตริก	ความหนืดของ ไซรัปน้ำตาลมะพร้าว (cP)
Control	666.5 ± 4.8 ^c
3.5	167.6 ± 2.1 ^f
4.0	319.6 ± 4.1 ^c
4.5	648.3 ± 6.0 ^d
5.0	722.1 ± 2.6 ^b
5.5	1033.6 ± 0.7 ^a

หมายเหตุ ^{a, b, c,...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p < 0.05$)

4.3.4 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของไซรับน้ำตาลมะพร้าว

ผลการวิเคราะห์ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของไซรับน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตจากน้ำตาลมะพร้าวสดที่ผ่านการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอน แสดงดังตารางที่ 23 ซึ่งพบว่า การปรับ pH 3.5 ให้ไซรัปที่มีค่า L^* ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดย L^* เป็นค่าที่แสดงถึงความสว่าง จึงบ่งชี้ว่าไซรัปที่ผลิตโดยมีการปรับ pH 3.5 มีสีเข้มที่สุด ส่วน a^* ซึ่งคือค่าความเป็นสีแดง พบว่าเมื่อปรับ pH ลดลง ทำให้ค่า a^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยไซรัปที่ผลิตโดยมีการปรับ pH 3.5 มีค่าความเป็นสีแดงมากที่สุด สำหรับค่า b^* ซึ่งคือค่าแสดงความเป็นสีเหลือง พบว่าการปรับ pH ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ค่า b^* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยไซรัปที่ผลิตโดยมีการปรับ pH 3.5 มีค่าความเป็นสีเหลืองน้อยที่สุด ความแตกต่างของค่าสีต่างๆ น่าจะเป็นผลมาจากการเติมกรดปรับ pH ที่แตกต่างกัน โดยกรดจะไปไฮโดรไลซ์น้ำตาลซูโครส เกิดเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซิ่ง เมื่อนำน้ำตาลมะพร้าวสดไปเคี่ยวให้ความร้อน น้ำตาลรีดิวซิ่งเหล่านี้จะเป็นสารตั้งต้นที่ทำให้เกิดปฏิกิริยามอลดาร์ดได้ สารประกอบที่มีสีเข้ม ดังนั้นผลิตภัณฑ์ไซรัปที่ผลิตโดยการเติมกรดมากที่สุดคือที่ pH 3.5 จึงเกิดไฮโดรไลซิสได้น้ำตาลรีดิวซิ่งมากที่สุด และเกิดปฏิกิริยามอลดาร์ดจนมีสีเข้มและความเป็นสีแดงมากที่สุด ในขณะที่ความเป็นสีเหลืองน้อยที่สุด

ตารางที่ 23 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของไซรับน้ำตาลมะพร้าว

pH น้ำตาลมะพร้าวสด หลังเติมกรดซิตริก	ค่าสีของไซรับน้ำตาลมะพร้าว		
	L^*	a^*	b^*
Control	41.0 ± 0.9 ^a	16.4 ± 1.0 ^c	55.7 ± 1.1 ^a
3.5	31.5 ± 4.4 ^b	23.5 ± 2.5 ^a	48.6 ± 6.2 ^b
4.0	36.4 ± 1.6 ^a	20.9 ± 1.1 ^{ab}	53.4 ± 2.4 ^{ab}
4.5	38.5 ± 2.4 ^a	18.5 ± 1.7 ^{bc}	53.9 ± 2.1 ^{ab}
5.0	37.6 ± 3.0 ^a	18.3 ± 1.7 ^{bc}	52.9 ± 2.0 ^{ab}
5.5	36.7 ± 0.5 ^a	17.8 ± 1.7 ^{bc}	51.2 ± 2.9 ^{ab}

หมายเหตุ^{a, b, c...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวดิ่ง ($p < 0.05$)

4.3.5 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ของไซรับน้ำตาลมะพร้าว

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของไซรัปที่ผลิตจากน้ำตาลมะพร้าวสดที่ผ่านการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอน แสดงในตารางที่ 24 พบว่าการปรับ pH ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเมื่อ pH เป็นกรดมากขึ้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก็จะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากการเติมกรดนั้น กรดจะไปไฮโดรไลซ์น้ำตาลซูโครสเกิดเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตสซึ่งมีสมบัติเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ ดังนั้นการปรับ pH ให้มีความเป็นกรดมากขึ้น จึงไปเพิ่มปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไซรับน้ำตาลมะพร้าว และส่งผลต่อคุณภาพอื่นๆของไซรัปได้ เช่น สีและการเกิดปฏิกิริยามেলลาร์ดในข้อ 4.3.4

ตารางที่ 24 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ของไซรับน้ำตาลมะพร้าว

pH น้ำตาลมะพร้าวสด หลังเติมกรดซิตริก	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ใน ไซรับน้ำตาลมะพร้าว (g/100 ml)
Control	5.24 ± 0.44 ^d
3.5	34.50 ± 1.77 ^a
4.0	18.02 ± 1.54 ^b
4.5	9.03 ± 0.48 ^c
5.0	5.01 ± 0.09 ^d
5.5	4.98 ± 0.52 ^d

หมายเหตุ ^{a, b, c, ...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p < 0.05$)

4.3.6 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโตสของไซรับน้ำตาลมะพร้าว

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโตสในไซรัปที่ผลิตจากน้ำตาลมะพร้าวสดผ่านการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอน แสดงดังตารางที่ 25 พบว่าการปรับ pH ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโตสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตสมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือมีค่ามากขึ้น ในขณะที่

น้ำตาลซูโครสมีปริมาณลดลงเมื่อความเป็นกรดมากขึ้นหรือ pH ลดลงจาก 5.0 ดังนั้นไซรัปที่มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตสมากที่สุดคือไซรัปที่ผลิตโดยมีการปรับ pH 3.5 ไซรัปที่มีปริมาณน้ำตาลซูโครสมากที่สุดคือไซรัปที่ผลิตโดยมีการปรับ pH 5.5 ทั้งนี้เนื่องมาจากเหตุผลเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในข้อ 4.3.5 คือการปรับ pH เป็นกรดส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสหรืออินเวอร์ชันของน้ำตาลซูโครสได้น้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตสซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์หรือน้ำตาลอินเวอร์ทขึ้น

ตารางที่ 25 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส และน้ำตาลทั้งหมดในไซรัปน้ำตาลมะพร้าว

pH น้ำตาล มะพร้าวสดหลัง เติม กรดซิตริก	ปริมาณน้ำตาลในไซรัปน้ำตาลมะพร้าว			
	D-Glucose (g/100 ml)	D-Fructose (g/100 ml)	Sucrose (g/100 ml)	Total Sugar (g/100 ml)
Control	3.54 ± 0.07 ^d (4.89%)	3.40 ± 0.14 ^d (4.70%)	65.40 ± 0.95 ^b (90.41%)	72.34 ± 1.04 ^b (100%)
3.5	24.72 ± 1.84 ^a (34.56%)	23.86 ± 1.91 ^a (33.36%)	22.95 ± 1.19 ^d (32.08%)	71.53 ± 2.53 ^b (100%)
4.0	13.23 ± 0.78 ^b (17.50%)	13.17 ± 0.61 ^b (17.42%)	49.18 ± 0.46 ^c (65.07%)	75.58 ± 1.04 ^{ab} (100%)
4.5	6.15 ± 0.28 ^c (8.11%)	6.20 ± 0.37 ^c (8.17%)	63.52 ± 2.63 ^b (83.72%)	75.87 ± 3.08 ^{ab} (100%)
5.0	3.50 ± 0.13 ^d (4.52%)	3.53 ± 0.14 ^d (4.55%)	70.47 ± 3.44 ^a (90.93%)	77.50 ± 3.69 ^a (100%)
5.5	3.53 ± 0.38 ^d (4.52%)	3.49 ± 0.22 ^d (4.47%)	71.08 ± 3.13 ^a (91.01%)	78.10 ± 2.92 ^a (100%)

หมายเหตุ^{a, b, c, ...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p < 0.05$)

4.3.7 ค่า water activity (a_w) ของไชร์ปน้ำตาลมะพร้าว

ผลการวิเคราะห์ค่า water activity (a_w) ในไชร์ปน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตจากน้ำตาลมะพร้าวสดผ่านการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอน แสดงดังตารางที่ 26 พบว่าการปรับ pH ที่แตกต่างกันไม่ส่งผลให้ค่า water activity ของไชร์ปน้ำตาลมะพร้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากในกระบวนการเกี่ยวข้องมีการกำหนดอุณหภูมิการเคี้ยวของทุกตัวอย่างให้สิ้นสุดที่ 107 °C โดยค่า water activity ของไชร์ปทั้งหมดจะอยู่ในช่วง 0.73 - 0.75

ตารางที่ 26 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อค่า water activity (a_w) ของไชร์ปน้ำตาลมะพร้าว

pH น้ำตาลมะพร้าวสด หลังเติมกรดซิตริก	ค่า water activity (a_w) ของไชร์ปน้ำตาลมะพร้าว ^{ns}
Control	0.7385 ± 0.0205
3.5	0.7479 ± 0.0132
4.0	0.7465 ± 0.0160
4.5	0.7417 ± 0.0126
5.0	0.7486 ± 0.0100
5.5	0.7452 ± 0.0142

หมายเหตุ^{ns} แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวดิ่ง ($p \geq 0.05$)

4.3.8 ความชุ่มของไชร์ปน้ำตาลมะพร้าว

ผลการวิเคราะห์ความชุ่มของไชร์ปน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตจากน้ำตาลมะพร้าวสดที่ผ่านการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอน แสดงในตารางที่ 27 ซึ่งพบว่าความชุ่มของไชร์ปน้ำตาลมะพร้าวทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แม้ว่าไชร์ป control จะผลิตจากน้ำตาลมะพร้าวสดที่ไม่ผ่านการปรับ pH และการแยกตะกอนก็ตาม

ตารางที่ 27 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อความขุ่นของ ไชร์ปน้ำตาลมะพร้าว

pH น้ำตาลมะพร้าวสด หลังเติมกรดซิตริก	ความขุ่นของไชร์ปน้ำตาลมะพร้าว (ค่าการดูดกลืนแสงที่ 625 nm) ^{ns}
Control	0.162 ± 0.013
3.5	0.177 ± 0.055
4.0	0.148 ± 0.035
4.5	0.137 ± 0.010
5.0	0.131 ± 0.002
5.5	0.151 ± 0.004

หมายเหตุ ^{ns} แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \geq 0.05$)

4.3.9 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity, TA) ของไชร์ปน้ำตาลมะพร้าว

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity, TA) ของไชร์ปน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตจากน้ำตาลมะพร้าวสดที่ผ่านการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอน แสดงในตารางที่ 28 ซึ่งพบว่าค่า TA ที่ได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่ pH 3.5 จะมี TA มากที่สุด และเมื่อ pH เพิ่มขึ้นค่า TA จะลดลงตามลำดับ ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณกรดซิตริกที่เติมลงไป ในน้ำตาลมะพร้าวสดก่อนเคี้ยว การปรับ pH ที่มีค่า pH ต่ำ จะต้องเติมกรดซิตริกมาก ทำให้ได้ไชร์ปที่มี TA มากตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม ไชร์ป control ที่ไม่มีการเติมกรดซิตริกปรับ pH กลับมี TA มากที่สุดและไม่แตกต่างจากไชร์ปที่ผลิตโดยมีการปรับ pH 3.5 ซึ่งอาจเป็นเพราะในการผลิตไชร์ป control ไม่มีการแยกตะกอนออก ทำให้สารที่อาจเป็นองค์ประกอบในตะกอน เช่น กรดฟีนอลิก ต่างๆ ยังคงอยู่ในไชร์ปที่เคี้ยวได้ ทำให้ไชร์ปมีค่า TA สูง

ตารางที่ 28 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อปริมาณกรดที่ไทเตรตได้ (titratable acidity, TA) ของไซรับน้ำตาลมะพร้าว





















pH น้ำตาลมะพร้าวสด หลังเติมกรดซิตริก	Titratable acidity ของไซรับน้ำตาลมะพร้าว (%TA)
control	0.18 ± 0.01 ^a
3.5	0.18 ± 0.02 ^{ab}
4.0	0.16 ± 0.02 ^{bc}
4.5	0.15 ± 0.01 ^{cd}
5.0	0.14 ± 0.01 ^d
5.5	0.14 ± 0.01 ^{cd}

หมายเหตุ^{a, b, c, ...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวดิ่ง ($p < 0.05$)

4.3.10 ความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา (stability test) ของไซรับน้ำตาลมะพร้าว

การทดสอบความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษาของไซรับน้ำตาลมะพร้าว ทำโดยเก็บไซรับน้ำตาลมะพร้าวไว้ที่อุณหภูมิห้อง สังเกตความเปลี่ยนแปลงและบันทึกภาพไซรับน้ำตาลมะพร้าวทุก 1 เดือนเป็นเวลา 3 เดือน ได้ผลแสดงดังตารางที่ 29 พบว่าไซรัปที่ผลิตจากน้ำตาลมะพร้าวสดที่ผ่านการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอน ในช่วงเดือนที่ 0 ยังคงมีความขุ่นของอนุภาคคอลลอยด์อยู่บ้าง แต่เมื่อเวลาผ่านไปไซรัปจะมีความใสมากขึ้น โดยมีการตกตะกอนที่ก้นภาชนะบรรจุทุกตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างที่ pH 3.5 มีการตกตะกอนมากที่สุดและมีการแพคตัวอนุภาคแน่นที่สุด รองลงมาคือที่ pH 4.0, 4.5, 5.0 และ 5.5 ตามลำดับ นอกจากนี้ไซรัปยังมีสีเข้มขึ้นด้วย เพราะไซรัปยังคงมีน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด จึงทำให้สีของไซรับน้ำตาลมะพร้าวเข้มขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว ในส่วนของการตกผลึก พบว่าที่ pH 3.5-5.0 รวมถึงตัวอย่าง control ยังไม่เกิดการตกผลึกของน้ำตาลในไซรัปหลังเก็บรักษานาน 3 เดือน แต่ที่ pH 5.5 พบการตกผลึกของน้ำตาลที่ก้นภาชนะบรรจุ

ตารางที่ 29 ภาพถ่ายของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวที่ผ่านการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0-3 เดือน

pH น้ำตาลมะพร้าวสด หลังเติมกรดซิตริก	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน)			
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
control	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ตกตะกอนเล็กน้อย	 ไม่ตกผลึก ตกตะกอนเล็กน้อย
pH 3.5	 ไม่ตกผลึก ตกตะกอนมาก	 ไม่ตกผลึก ตกตะกอนมาก	 ไม่ตกผลึก ตะกอนจับตัวแน่นขึ้น	 ไม่ตกผลึก ตะกอนจับตัวแน่นขึ้น
pH 4.0	 ไม่ตกผลึก เกิดการตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก เกิดการตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ตะกอนจับตัวแน่นขึ้น	 ไม่ตกผลึก ตะกอนจับตัวแน่นขึ้น
pH 4.5	 ไม่ตกผลึก เกิดการตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ตะกอนจับตัวแน่นขึ้น	 ไม่ตกผลึก ตะกอนจับตัวแน่นขึ้น	 ไม่ตกผลึก ตะกอนจับตัวแน่นขึ้น
pH 5.0	 ไม่ตกผลึก เกิดการตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ตะกอนยังกระจายตัว	 ไม่ตกผลึก ตะกอนยังกระจายตัว	 ไม่ตกผลึก ตะกอนยังกระจายตัว

ตารางที่ 29 (ต่อ) ภาพถ่ายของไซรับน้ำตาลมะพร้าวที่ผ่านการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0-3 เดือน

pH น้ำตาลมะพร้าวสด หลังเติมกรดซิตริก	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน)			
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
pH 5.5				
	ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	ไม่ตกผลึก เกิดการตกตะกอน	เกิดการตกผลึก เกิดการตกตะกอน	เกิดการตกผลึกมากขึ้น ตะกอนจับตัวที่ก้นภาชนะ

เมื่อเก็บรักษาไซรัปที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 เดือน ทำการวัดค่าสีเดือนที่ 0, 2, 3 และ 4 ดังตารางที่ 30 พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปไซรัปทุกตัวอย่างจะมีค่า L^* จะมีค่าลดลง แสดงว่าไซรัปมีสีเข้มขึ้น อาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ส่วนค่า a^* มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าเมื่อเวลาผ่านไปไซรัปมีความเป็นสีแดงมากขึ้น ส่วนค่า b^* มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับค่า L^* คือมีค่าลดลง แสดงว่าไซรัปมีความเป็นสีเหลืองลดลง อาจเนื่องมาจากเมื่อไซรัปมีสีเข้มขึ้น สีเข้มจะไปบดบังความเป็นสีเหลืองจึงส่งผลให้มีค่าความเป็นสีเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ตัวอย่างไซรัปที่มีการปรับ pH 3.5 มีค่า L^* และ b^* ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีสีคล้ำมาก ซึ่งน่าจะเป็นเพราะมีน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งจากการเกิด acid hydrolysis ของซูโครสในปริมาณมาก จึงสามารถทำปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับสารประกอบโปรตีนเกิดสีน้ำตาลคล้ำได้มาก

ตารางที่ 30 ค่าสีของไทรีน้ำตาลมะพร้าวที่ผ่านการปรับ pH ร่วมกับสารแยกตะกอนเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0-4 เดือน

pH น้ำตาลมะพร้าวสด	0 เดือน		2 เดือน		3 เดือน		4 เดือน					
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
control	41.0 ± 0.87 ^a	16.4 ± 0.96 ^c	55.7 ± 1.05 ^a	32.7 ± 0.92 ^a	22.9 ± 0.28 ^b	48.0 ± 1.20 ^a	26.4 ± 9.19	23.8 ± 0.64 ^c	39.0 ± 14.07	25.0 ± 0.71 ^a	23.7 ± 0.85 ^{ab}	37.3 ± 2.40 ^a
3.5	31.5 ± 4.36 ^b	23.5 ± 2.46 ^a	48.6 ± 6.23 ^b	17.5 ± 2.90 ^c	26.6 ± 0.00 ^a	24.8 ± 6.29 ^c	15.3 ± 0.21	26.9 ± 0.21 ^a	20.3 ± 2.83	12.9 ± 4.74 ^b	25.9 ± 1.48 ^a	16.8 ± 9.33 ^b
4.0	36.4 ± 1.61 ^a	20.9 ± 1.14 ^{ab}	53.4 ± 2.35 ^{ab}	23.3 ± 1.20 ^b	25.6 ± 0.42 ^a	33.5 ± 0.92 ^b	18.3 ± 0.35	25.5 ± 0.49 ^b	25.3 ± 0.71	18.2 ± 0.78 ^{ab}	25.9 ± 0.07 ^a	25.5 ± 1.34 ^{ab}
4.5	38.5 ± 2.43 ^a	18.5 ± 1.65 ^{bc}	53.9 ± 2.05 ^{ab}	29.9 ± 3.75 ^a	24.1 ± 0.71 ^b	44.2 ± 5.44 ^a	21.3 ± 2.05	24.3 ± 0.71 ^{bc}	30.8 ± 3.39	18.7 ± 2.62 ^{ab}	24.5 ± 0.71 ^{ab}	27.1 ± 4.24 ^{ab}
5.0	37.6 ± 3.03 ^a	18.3 ± 1.70 ^{bc}	52.9 ± 2.00 ^{ab}	30.6 ± 1.48 ^a	23.3 ± 0.78 ^b	45.4 ± 1.91 ^a	26.6 ± 9.62	23.8 ± 0.49 ^c	39.9 ± 15.49	21.2 ± 4.24 ^a	23.6 ± 0.78 ^b	32.1 ± 6.51 ^a
5.5	36.7 ± 0.53 ^a	17.8 ± 1.74 ^{bc}	51.2 ± 2.90 ^{ab}	33.1 ± 0.21 ^a	22.9 ± 0.28 ^b	49.4 ± 0.28 ^a	22.8 ± 3.04	23.4 ± 0.00 ^c	34.7 ± 5.09	21.5 ± 3.61 ^a	23.2 ± 0.42 ^b	32.5 ± 5.52 ^a

หมายเหตุ^{a, b, c, ...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวดิ่ง (p<0.05)

4.4 การศึกษาการแก้ปัญหาการตกผลึกและการตกตะกอนในไซรับน้ำตาลมะพร้าวโดยใช้สารไฮโดรคอลลอยด์

การศึกษาการแก้ปัญหาการตกตะกอนและตกผลึกโดยใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งมีลักษณะเป็นสารพอลิเมอร์โมเลกุลใหญ่ ทำหน้าที่ขัดขวางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในไซรับน้ำตาลมะพร้าวไม่ให้จับตัวกันตกตะกอน นอกจากนี้สารไฮโดรคอลลอยด์ยังช่วยลดการตกผลึกของน้ำตาลซูโครสได้ การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ทำโดยการเติมลงในน้ำตาลมะพร้าวสดที่ละลายน้ำแข็งแล้วก่อนเคี้ยวระเหยน้ำจนเป็นไซรัป ชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ คือ CMC 0.03, 0.07 และ 0.10% (w/w), xanthan gum 0.015, 0.03 และ 0.07% (w/w) และ gum arabic 0.80, 0.10 และ 0.12% (w/w) นำไซรัปที่ผลิตได้มาตรวจสอบเปรียบเทียบกับไซรัปตัวอย่างควบคุม (control) ที่ผลิตจากน้ำตาลมะพร้าวสดโดยไม่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์

4.4.1 ค่า pH ของไซรับน้ำตาลมะพร้าว

ผลการวิเคราะห์ค่า pH ของไซรับน้ำตาลมะพร้าวที่มีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ แสดงดังตารางที่ 31 พบว่าการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีชนิดและความเข้มข้นแตกต่างกัน ให้ไซรัปที่มีค่า pH ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงว่าการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ไม่ส่งผลต่อค่า pH ของไซรับน้ำตาลมะพร้าว โดยไซรัปมีค่า pH ประมาณ 5.5 เป็นค่า pH ที่ปกติของผลิตภัณฑ์ไซรับน้ำตาลมะพร้าว

ตารางที่ 31 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อค่า pH ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว

สารไฮโดรคอลลอยด์	ความเข้มข้น (% w/w)	pH ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว ^{ns}
control	-	5.51 ± 0.25
CMC	0.03	5.55 ± 0.09
	0.07	5.55 ± 0.14
	0.10	5.45 ± 0.24
	0.015	5.52 ± 0.15
xanthan gum	0.03	5.46 ± 0.25
	0.07	5.45 ± 0.19
	0.80	5.45 ± 0.19
gum arabic	1.00	5.47 ± 0.25
	1.20	5.49 ± 0.22

หมายเหตุ^{ns} แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \geq 0.05$)

4.4.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าวที่มีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ แสดงดังตารางที่ 32 พบว่า TSS ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงว่าการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีชนิดและความเข้มข้นแตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่า TSS ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว

ตารางที่ 32 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ของไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าว

สารไฮโดรคอลลอยด์	ความเข้มข้น (% w/w)	TSS ของไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าว (°Brix) ^{ns}
control	-	72.5 ± 1.7
CMC	0.03	72.1 ± 2.2
	0.07	72.8 ± 1.3
	0.10	73.7 ± 0.1
	0.015	71.9 ± 2.5
xanthan gum	0.03	73.6 ± 0.1
	0.07	73.9 ± 0.1
	0.80	72.4 ± 1.6
gum arabic	1.00	72.5 ± 1.8
	1.20	72.9 ± 1.1

หมายเหตุ^{ns} แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอน ($p \geq 0.05$)

4.4.3 ความหนืดของไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าว

จากผลการวัดความหนืดของไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าวที่มีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ แสดงดังตารางที่ 33 พบว่าการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดและความเข้มข้นกัน ส่งผลให้ไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าวมีความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าวที่เติม CMC 0.10% ให้ความหนืดสูงที่สุดรองลงมาคือ xanthan gum 0.07%, CMC 0.07%, xanthan gum 0.03%, gum arabic 1.20%, gum arabic 1.00%, gum arabic 1.00%, xanthan gum 0.07%, CMC 0.03% และ control ตามลำดับ สำหรับตัวอย่าง control เป็นไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตโดยไม่มีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์จึงทำให้มีความหนืดน้อยที่สุด จะสังเกตเห็นได้ว่าการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดกันจะให้ความหนืดแตกต่างกัน เช่น gum arabic ต้องใช้ความเข้มข้นสูงๆ จึงจะมีความหนืดเท่ากับการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น แม้ว่าไฮโดรคอลลอยด์ทั้ง 3 ชนิด จะมีคุณสมบัติทางกระแสวิทยาให้ของไหลลักษณะแบบซิวโดพลาสติกหรือ shear-thinning behavior เหมือนกัน (Sanchez et al., 2002)

แต่ไฮโดรคอลลอยด์ทั้ง 3 ชนิด ก็ให้ความหนืดแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นเท่ากัน นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าความหนืดของไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นชนิดเดียวกันเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 33 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อความหนืดของไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าว

สารไฮโดรคอลลอยด์	ความเข้มข้น (% w/w)	ความหนืดของไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าว (cP)
control	-	1064 ± 107.5 ^j
CMC	0.03	2640 ± 158.4 ⁱ
	0.07	7550 ± 2.8 ^c
	0.10	15562 ± 82.0 ^a
xanthan gum	0.015	3412 ± 79.2 ^h
	0.03	5664 ± 118.8 ^d
	0.07	7854 ± 189.5 ^b
gum arabic	0.80	3812 ± 62.2 ^g
	1.00	4152 ± 73.5 ^f
	1.20	4494 ± 87.7 ^c

หมายเหตุ^{a, b, c...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p < 0.05$)

4.4.4 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าว

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าวที่มีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ แสดงดังตารางที่ 34 พบว่าชนิดและความเข้มข้นสารไฮโดรคอลลอยด์ ส่งผลให้ไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าวมีค่า L^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าว control มีความสว่างมากที่สุด รองลงมาคือไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าวที่มีการเติม gum arabic และ CMC ส่วน xanthan gum จะมีความสว่างน้อยสุด ทั้งนี้ขึ้นกับความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ด้วย หากมีความเข้มข้นมากส่งผลให้ไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าวมีค่า L^* น้อย (สีเข้ม) ส่วนค่า a^* ของไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าวที่มีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงว่าชนิดและความเข้มข้นสารไฮโดรคอลลอยด์ ไม่มีผลต่อความเป็นสีแดงของไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าว สำหรับค่า b^* พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p < 0.05$) โดยมีแนวโน้มไปทางเดียวกับค่า L^* คือ ไชร์ปที่มีการเติม CMC และ gum arabic ให้ค่าความเป็นสีเหลืองมากกว่าไชร์ปที่มีการเติม xanthan gum ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไชร์ปที่มีการเติม CMC และ gum arabic มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งมากกว่าไชร์ปที่เติม xanthan gum โดยน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดทำให้ไชร์ปมีสีเข้มและถูกบดบังค่าความเป็นสีเหลืองได้

ตารางที่ 34 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของไชร์ปน้ำตาลมะพร้าว

สารไฮโดรคอลลอยด์	ความเข้มข้น (% w/w)	ค่าสีของไชร์ปน้ำตาลมะพร้าว		
		L^*	a^* ^{ns}	b^*
control	-	34.0 ± 2.8 ^a	21.3 ± 1.3	50.7 ± 5.2 ^a
CMC	0.03	26.7 ± 1.6 ^b	21.4 ± 1.1	40.0 ± 2.1 ^{ab}
	0.07	24.9 ± 2.2 ^{bcd}	20.9 ± 0.2	37.0 ± 3.6 ^{bc}
	0.10	26.5 ± 4.5 ^b	21.0 ± 2.0	36.1 ± 8.3 ^{bc}
	0.015	28.1 ± 2.1 ^{ab}	19.1 ± 2.2	41.0 ± 1.6 ^{ab}
xanthan gum	0.03	18.5 ± 1.1 ^d	22.5 ± 0.9	25.0 ± 2.3 ^c
	0.07	18.9 ± 0.5 ^{cd}	21.5 ± 0.5	25.8 ± 0.9 ^c
	0.80	28.8 ± 2.6 ^{ab}	18.8 ± 3.7	41.7 ± 5.7 ^{ab}
gum arabic	1.00	27.5 ± 3.8 ^{ab}	20.2 ± 2.0	40.2 ± 6.1 ^{ab}
	1.20	25.6 ± 4.8 ^{bc}	20.3 ± 1.7	37.1 ± 8.3 ^{bc}

หมายเหตุ^{a, b, c, ...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p < 0.05$)

^{ns} แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \geq 0.05$)

4.4.5 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ของไซรับน้ำตาลมะพร้าว

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของไซรับน้ำตาลมะพร้าวที่มีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ แสดงดังตารางที่ 35 พบว่าชนิดและความเข้มข้นสารไฮโดรคอลลอยด์ไม่ส่งผลให้ไซรัปมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยไซรัป control มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าผลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มไปทางเดียวกับค่า pH ในข้อ 4.4.1 คือไม่ได้รับผลกระทบจากการใช้ชนิดและความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่แตกต่างกัน เนื่องจากการศึกษาไม่มีการเติมกรดและใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในความเข้มข้นที่ต่ำมาก ดังนั้นจึงไม่มีความแตกต่างของ pH มากพอที่จะมีผลต่อการไฮโดรไลซ์น้ำตาลซูโครสให้กลายเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ได้

ตารางที่ 35 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของไซรับน้ำตาลมะพร้าว

สารไฮโดรคอลลอยด์	ความเข้มข้น (% w/w)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไซรับน้ำตาลมะพร้าว (g/100 ml) ^{ns}
control	-	4.50 ± 0.51
	0.03	4.84 ± 0.18
CMC	0.07	5.26 ± 0.53
	0.10	4.43 ± 0.04
	0.015	5.14 ± 1.56
xanthan gum	0.03	5.72 ± 1.15
	0.07	5.60 ± 0.08
	0.80	5.26 ± 1.43
gum arabic	1.00	5.45 ± 1.03
	1.20	5.74 ± 0.85

หมายเหตุ ^{ns} แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \geq 0.05$)

4.4.6 ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโตสของไชรี่ปน้ำตาลมะพร้าว

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโตส รวมทั้งน้ำตาลทั้งหมด ซึ่งเป็นผลรวมของปริมาณน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวของไชรี่ปน้ำตาลมะพร้าวที่มีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ แสดงดังตารางที่ 36 พบว่าชนิดและความเข้มข้นสารไฮโดรคอลลอยด์ ไม่ส่งผลให้ไชรี่ปมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) พบว่าไชรี่ป control มีปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลรวมมากที่สุด โดยน้ำตาลซูโครสเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ไชรี่ปเกิดการตกผลึกของน้ำตาลขึ้น ดังนั้นไชรี่ปที่ปริมาณน้ำตาลซูโครสสูงจึงอาจมีโอกาในการตกผลึกระหว่างการเก็บรักษาได้มาก



ตารางที่ 36 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อปริมาณน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุกโตสของ
ไซรับน้ำตาลมะพร้าว

สารไฮโดรคอลลอยด์	ความเข้มข้น (% w/w)	ปริมาณน้ำตาลซูโครส ฟรุกโตส และกลูโคส			
		D-Glucose	D-Fructose	Sucrose	Total Sugar
		(g/100 ml) ^{ns}	(g/100 ml) ^{ns}	(g/100 ml)	(g/100 ml)
control	-	2.56 ± 0.78 (3.40%)	2.79 ± 0.59 (3.71%)	69.90 ± 2.51 ^a (92.89%)	75.25 ± 3.88 ^a (100%)
CMC	0.03	2.53 ± 0.05 (3.74%)	2.86 ± 0.00 (4.23%)	62.20 ± 3.35 ^{ab} (92.03%)	67.59 ± 3.30 ^{ab} (100%)
	0.07	2.77 ± 0.10 (3.98%)	3.11 ± 0.15 (4.47%)	63.72 ± 4.74 ^{ab} (91.56%)	69.59 ± 4.79 ^{ab} (100%)
	0.10	2.53 ± 0.25 (3.65%)	2.79 ± 0.20 (4.02%)	64.05 ± 0.56 ^{ab} (92.34%)	69.36 ± 1.00 ^{ab} (100%)
xanthan gum	0.015	2.91 ± 0.78 (4.07%)	3.32 ± 0.84 (4.64%)	65.29 ± 6.97 ^{ab} (91.30%)	71.51 ± 5.35 ^{ab} (100%)
	0.03	3.05 ± 0.09 (4.52%)	3.46 ± 0.45 (5.13%)	60.95 ± 2.32 ^b (90.36%)	67.45 ± 1.78 ^b (100%)
	0.07	3.22 ± 0.15 (4.77%)	3.60 ± 0.15 (5.33%)	60.75 ± 2.60 ^b (89.92%)	67.56 ± 2.60 ^{ab} (100%)
gum arabic	0.80	2.80 ± 0.74 (4.17%)	3.42 ± 0.89 (5.09%)	60.95 ± 0.65 ^b (90.74%)	67.17 ± 0.98 ^b (100%)
	1.00	3.29 ± 0.74 (4.93%)	3.39 ± 0.74 (5.08%)	60.10 ± 3.72 ^b (89.99%)	66.78 ± 2.24 ^b (100%)
	1.20	3.39 ± 0.40 (4.99%)	3.28 ± 0.40 (4.84%)	61.15 ± 2.42 ^b (90.16%)	67.82 ± 1.63 ^{ab} (100%)

หมายเหตุ^{a, b, c...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p < 0.05$)

^{ns} แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \geq 0.05$)

4.4.7 ค่า water activity (a_w) ของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว

ผลการวิเคราะห์ค่า water activity (a_w) ของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวที่มีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ พบว่าค่า a_w มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงในตารางที่ 37 โดยไซรี่ปที่เติม CMC และ gum arabic มีค่า a_w ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และไซรี่ปที่เติม xanthan gum 0.07% มีค่า a_w มากที่สุด อย่างไรก็ตามค่า a_w ของไซรี่ปถือได้ว่ามีความใกล้เคียงกันมาก คืออยู่ในช่วง 0.74-0.77

ตารางที่ 37 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อค่า water activity (a_w) ของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว

สารไฮโดรคอลลอยด์	ความเข้มข้น (% w/w)	ค่า water activity (a_w) ของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว
control	-	0.7546 ± 0.0146 ^{ab}
	0.03	0.7584 ± 0.0042 ^{ab}
CMC	0.07	0.7581 ± 0.0019 ^{ab}
	0.10	0.7584 ± 0.0004 ^{ab}
	0.015	0.7631 ± 0.0042 ^a
xanthan gum	0.03	0.7411 ± 0.0117 ^b
	0.07	0.7634 ± 0.0161 ^a
	0.80	0.7552 ± 0.0026 ^{ab}
gum arabic	1.00	0.7583 ± 0.0053 ^{ab}
	1.20	0.7490 ± 0.0005 ^{ab}

หมายเหตุ^{a, b, c...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวดิ่ง ($p < 0.05$)

4.4.8 ความชุ่มของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว

เมื่อนำไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวที่มีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ไปวิเคราะห์ความชุ่มได้ผลแสดงในตารางที่ 38 ซึ่งพบว่าค่าความชุ่มของไซรี่ปมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยไซรี่ป control มีค่าความชุ่มน้อยที่สุด ซึ่งอาจเนื่องมาจากไซรี่ป control ไม่มีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์จึงทำให้มีอนุภาคของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่แขวนลอยหรือกระจายตัวอยู่ใน

ไซรัปน้อยที่สุด ส่วนไซรัปที่มีการเติม CMC 0.10% มีความขุ่นมากที่สุด เพราะ CMC เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ค่อนข้างละลายยาก จึงทำให้เหลือเป็นอนุภาคแขวนลอยปริมาณมากในไซรัป ทำให้เกิดความขุ่นมาก แม้ว่าการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์จะทำให้ไซรัปมีความขุ่นขึ้น แต่ก็ช่วยให้ไซรัปมีความหนืดสูง ชะลอหรือป้องกันการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอยต่างๆ รวมทั้งสารไฮโดรคอลลอยด์เป็นสารพอลิเมอร์โมเลกุลใหญ่สามารถไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในไซรัปน้ำตาลมะพร้าวไม่ให้จับตัวกันตกตะกอนในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 38 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อความขุ่นของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว

สารไฮโดรคอลลอยด์	ความเข้มข้น (% w/w)	ความขุ่นของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว (ค่าการดูดกลืนแสงที่ 625 nm)
control	-	0.346 ± 0.032 ^b
	0.03	0.536 ± 0.054 ^{ab}
CMC	0.07	0.609 ± 0.067 ^{ab}
	0.10	0.659 ± 0.058 ^a
	0.015	0.634 ± 0.087 ^{ab}
xanthan gum	0.03	0.511 ± 0.129 ^{ab}
	0.07	0.621 ± 0.005 ^{ab}
	0.80	0.609 ± 0.276 ^{ab}
gum arabic	1.00	0.536 ± 0.112 ^{ab}
	1.20	0.632 ± 0.179 ^{ab}

หมายเหตุ^{a, b, c...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p < 0.05$)

4.4.9 ปริมาณกรดที่ไทเตรตได้ (titratable acidity, TA) ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าว

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไทเตรตได้ (titratable acidity, TA) ของไซรัปน้ำตาลมะพร้าวที่มีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ในตารางที่ 39 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากการศึกษาการแก้ปัญหาคาการตกผลึกและการตกตะกอนโดยใช้สาร

ไฮโดรคอลลอยด์นี้ไม่มีการปรับ pH ด้วยกรด จึงทำให้ค่า TA ของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวมีความใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกันไปตามชนิดและความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 39 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อปริมาณกรดที่ไทเตรตได้ (titratable acidity, TA) ของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว

สารไฮโดรคอลลอยด์	ความเข้มข้น (% w/w)	Titratable acidity ของ ไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว (%TA) ^{ns}
control	-	0.19 ± 0.00
	0.03	0.18 ± 0.01
CMC	0.07	0.18 ± 0.01
	0.10	0.18 ± 0.01
	0.015	0.19 ± 0.02
xanthan gum	0.03	0.19 ± 0.00
	0.07	0.18 ± 0.00
	0.80	0.18 ± 0.01
gum arabic	1.00	0.17 ± 0.00
	1.20	0.17 ± 0.01

หมายเหตุ^{ns} แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \geq 0.05$)

4.4.10 ความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา (stability test) ของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว

การทดสอบความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษาของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว ทำโดยการเก็บไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวไว้ที่อุณหภูมิห้อง สังเกตความเปลี่ยนแปลงและบันทึกภาพไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวที่เวลา 0, 1 และ 2 เดือน ได้ผลแสดงดังตารางที่ 40 ซึ่งพบว่าไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวที่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์ทุกความเข้มข้นไม่เกิดการตกตะกอนของอนุภาคคอลลอยด์ แต่ไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวตัวอย่าง control และ CMC 0.10% มีการตกผลึกตั้งแต่เดือนที่ 1 เป็นต้นไป ดังนั้นตัวอย่างดังกล่าวจึงไม่เหมาะแก่การนำมาเป็นผลิตภัณฑ์ไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวทางการค้าที่ควรมีความคงตัวต่อการตกผลึกและการตกตะกอนระหว่างการเก็บรักษา เป็นที่น่าสังเกตว่าการใช้ CMC ในความเข้มข้นสูงถึง 0.10% กลับทำให้เกิดการตกผลึกของน้ำตาลในไซรี่ป ซึ่งอาจเป็นเพราะ CMC ไม่สามารถ
















กระจายตัวได้อย่างสมบูรณ์ที่ความเข้มข้นดังกล่าว ทำให้มีอนุภาคขนาดใหญ่ของ CMC คงเหลืออยู่ในไซรัป และมีผลให้เกิดการล่อผลึก (seeding) เหนียวนำไปเกิดการตกผลึกของน้ำตาลซูโครสในไซรัป



ตารางที่ 40 ภาพถ่ายของไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าวที่ใช้สารไฮโดรคอลลอยด์แตกต่างกัน เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0-2 เดือน

ไฮโดรคอลลอยด์และ ความเข้มข้น	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน)		
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน
control	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 เริ่มเกิดการตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้น ไม่ตกตะกอน
CMC 0.03%	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน
CMC 0.07%	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน
CMC 0.10%	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 เกิดการตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้น ไม่ตกตะกอน
xanthan gum 0.015%	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน

ตารางที่ 40 (ต่อ) ภาพถ่ายของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวที่ใช้สารไฮโดรคอลลอยด์แตกต่างกัน เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0-2 เดือน

ไฮโดรคอลลอยด์และ ความเข้มข้น	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน)		
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน
xanthan gum 0.03%	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน
xanthan gum 0.07%	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน
gum arabic 0.08%	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน
gum arabic 0.10%	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน
gum arabic 0.12%	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน	 ไม่ตกผลึก ไม่ตกตะกอน

เมื่อเก็บรักษาไชรป์ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 เดือน แล้วทำการวัดค่าสีของไชรป์น้ำตาลมะพร้าวทุกเดือน ดังแสดงในตารางที่ 41 พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปค่า L^* จะมีค่าลดลง แสดงว่าไชรป์จะมีสีเข้มขึ้น อาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ ได้แก่ ปฏิกิริยามেলลาร์ด ที่มีสารตั้งต้นเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งกับโปรตีน จึงทำให้เกิดสีน้ำตาลเข้มขึ้น ส่วนค่า a^* มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป แสดงว่าไชรป์มีสีแดงมากขึ้น แต่การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ที่ชนิดและความเข้มข้นแตกต่างกันพบว่าค่า a^* ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ส่วนค่า b^* มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับค่า L^* คือมีค่าลดลง แสดงว่าไชรป์มีความเป็นสีเหลืองลดลง เนื่องจากสีที่เข้มขึ้นอาจไปบดบังความเป็นสีเหลืองของไชรป์ ทำให้ไชรป์มีค่าความเป็นสีเหลืองลดลง



ตารางที่ 41 ค่าดัชนีของไซรับน้ำตาลมะพร้าวที่ใช้สารไฮโดรคอลลอยด์แตกต่างกัน เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0-2 เดือน

สารไฮโดรคอลลอยด์	ความเข้มข้น (% w/w)	ค่าดัชนีของไซรับน้ำตาลมะพร้าว											
		เดือนที่ 0			เดือนที่ 1			เดือนที่ 2			เดือนที่ 2		
		L*	a* ^{ns}	b*	L*	a* ^{ns}	b*	L*	a* ^{ns}	b*	L*	a* ^{ns}	b*
control	-	34.0 ± 2.83 ^a	21.3 ± 1.34	50.7 ± 5.16 ^a	25.9 ± 3.04 ^a	22.2 ± 0.35	39.8 ± 5.94 ^a	19.6 ± 2.26 ^a	23.6 ± 0.49	30.0 ± 4.17 ^a			
	0.03	26.7 ± 1.56 ^b	21.4 ± 1.06	40.0 ± 2.12 ^{ab}	19.4 ± 4.53 ^{ab}	23.0 ± 0.14	29.1 ± 7.00 ^{ab}	17.5 ± 1.98 ^{ab}	23.4 ± 0.28	26.0 ± 3.18 ^{ab}			
CMC	0.07	24.9 ± 2.19 ^{bcd}	20.9 ± 0.21	37.0 ± 3.61 ^{bc}	21.3 ± 0.71 ^a	22.9 ± 0.49	32.0 ± 1.48 ^a	17.8 ± 2.19 ^{ab}	23.2 ± 0.07	25.8 ± 4.10 ^{ab}			
	0.10	26.5 ± 4.45 ^b	21.0 ± 1.98	36.1 ± 8.34 ^{bc}	23.2 ± 8.56 ^a	23.3 ± 0.99	34.2 ± 13.29 ^a	21.4 ± 3.61 ^a	23.9 ± 0.42	32.1 ± 6.22 ^a			
	0.015	28.1 ± 2.05 ^{ab}	19.1 ± 2.19	41.0 ± 1.56 ^{ab}	23.1 ± 3.61 ^a	20.7 ± 2.90	33.7 ± 4.74 ^a	19.6 ± 2.76 ^a	21.7 ± 1.98	29.4 ± 4.31 ^a			
xanthan gum	0.03	18.5 ± 1.13 ^d	22.5 ± 0.92	25.0 ± 2.26 ^c	15.8 ± 0.28 ^{ab}	24.6 ± 2.19	22.0 ± 0.42 ^{ab}	11.8 ± 0.35 ^{bc}	24.5 ± 2.90	14.9 ± 1.70 ^{bc}			
	0.07	18.9 ± 0.49 ^{cd}	21.5 ± 0.49	25.8 ± 0.92 ^c	9.5 ± 7.21 ^b	17.1 ± 10.39	11.5 ± 14.07 ^b	8.8 ± 6.86 ^c	17.6 ± 9.76	10.6 ± 12.52 ^c			
gum arabic	0.80	28.8 ± 2.55 ^{ab}	18.8 ± 3.68	41.7 ± 5.66 ^{ab}	24.0 ± 2.90 ^a	19.9 ± 3.82	35.2 ± 6.43 ^a	21.0 ± 1.13 ^a	21.6 ± 2.62	31.1 ± 2.83 ^a			
	1.00	27.5 ± 3.75 ^{ab}	20.2 ± 1.98	40.2 ± 6.08 ^{ab}	22.6 ± 1.48 ^a	21.8 ± 0.78	33.8 ± 2.90 ^a	20.8 ± 1.98 ^a	22.5 ± 0.57	30.8 ± 3.68 ^a			
	1.20	25.6 ± 4.81 ^{bc}	20.3 ± 1.70	37.1 ± 8.27 ^{bc}	20.8 ± 3.61 ^a	22.0 ± 0.49	30.7 ± 6.51 ^a	18.4 ± 2.55 ^{ab}	22.4 ± 1.13	26.9 ± 4.45 ^{ab}			

หมายเหตุ^{a, b, c, ...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (p<0.05)

4.4.11 การทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าว

ในการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าว ได้เลือกไซรี่ปจากผลของความหนืดในช่วง 2,600 – 4,000 cP ซึ่งเป็นช่วงความหนืดที่มีค่าเหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ไซรี่ป และเป็นไซรี่ปที่ไม่มีกรดผลึกและตกตะกอน ได้แก่ CMC 0.03%, xanthan gum 0.015% และ gum arabic 0.80% แล้วนำไปทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าว ไซรี่ป control โดยวิธี 9-point hedonic scoring โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ได้ผลดังตารางที่ 42 พบว่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและสีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ส่วนด้านความหนืด กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม ผู้ชิมให้คะแนนไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าวที่เติม CMC 0.03% มากที่สุด โดยไม่แตกต่างจากไซรี่ปที่เติม xanthan gum 0.015% อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 42 ผลของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไซรี่ป่น้ำตาลมะพร้าว

สารไฮโดรคอลลอยด์/ ความเข้มข้น	ลักษณะ ปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	ความข้นหนืด	กลิ่นรส	รสชาติ	ความชอบ โดยรวม
control	6.67 ± 1.09	6.97 ± 1.13	5.40 ± 1.79 ^b	5.87 ± 1.14 ^b	5.83 ± 1.51 ^{ab}	5.87 ± 1.14 ^b
CMC 0.03%	7.00 ± 1.31	7.27 ± 1.34	6.60 ± 1.40 ^a	6.67 ± 1.49 ^a	6.67 ± 1.58 ^a	6.90 ± 1.16 ^a
xanthan gum 0.015%	6.83 ± 1.09	7.00 ± 1.14	6.53 ± 1.25 ^a	6.17 ± 1.42 ^{ab}	6.07 ± 1.62 ^{ab}	6.37 ± 1.52 ^{ab}
gum arabic 0.80%	6.90 ± 1.16	6.87 ± 1.20	6.07 ± 1.34 ^{ab}	5.70 ± 1.44 ^b	5.47 ± 1.55 ^b	5.70 ± 1.32 ^b

หมายเหตุ^{a, b, c...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p < 0.05$)

^{ns} แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \geq 0.05$)

ในขั้นต่อไปได้เลือกไซร้ปน้ำตาลมะพร้าวที่มีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ซึ่งผู้ชิมให้คะแนนความชอบมากที่สุด คือไซร้ปน้ำตาลมะพร้าวที่เติม CMC 0.03% ไปทดสอบเปรียบเทียบกับไซร้ปน้ำตาลมะพร้าวที่ผ่านการปรับ pH ที่ 4.0 และ 4.5 ร่วมกับการแยกตะกอนในข้อ 4.3 ใน การทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของไซร้ปน้ำตาลมะพร้าวโดยใช้วิธี 9-point hedonic scoring ได้ผลแสดงดังตารางที่ 43 ซึ่งพบว่าคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสในด้าน ลักษณะปรากฏ ความข้นหนืด กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ในด้านของสีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ส่วนผลการทดสอบในด้านความชอบโดยรวม ผู้ชิมให้คะแนนไซร้ปน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตโดยใช้วิธีเติมสารไฮโดรคอลลอยด์คือ CMC 0.03% มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือไซร้ปน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตจากน้ำตาลมะพร้าวสดผ่านการปรับ pH ที่ 4.0 และ 4.5 ร่วมกับการแยกตะกอนตามลำดับ

ตารางที่ 43 ผลของการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอนต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไซร้ปน้ำตาลมะพร้าว

ไซร้ปน้ำตาลมะพร้าว	ลักษณะปรากฏ	สี ^{ns}	ความข้นหนืด	กลิ่นรส	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
pH 4.0	5.87 ± 1.36 ^b	6.13 ± 1.48	5.20 ± 1.37 ^b	5.63 ± 1.69 ^b	5.37 ± 1.73 ^b	5.67 ± 1.60 ^b
pH 4.5	6.43 ± 1.45 ^{ab}	6.40 ± 1.61	5.53 ± 1.48 ^b	5.83 ± 1.58 ^{ab}	5.80 ± 1.54 ^b	6.03 ± 1.52 ^b
CMC 0.03%	6.73 ± 1.41 ^a	6.83 ± 1.21	6.93 ± 1.46 ^a	6.60 ± 1.71 ^a	6.87 ± 1.68 ^a	6.83 ± 1.49 ^a

หมายเหตุ^{a, b, c...} แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p < 0.05$)

^{ns} แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ($p \geq 0.05$)

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

ไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่มักเกิดปัญหาการตกตะกอนและการตกผลึกในระหว่างการเก็บรักษา จึงได้มีการนำไซรี่ปทางการค้ามาศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพเพื่อเปรียบเทียบกับไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตขึ้น

ในส่วนของไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตขึ้น เริ่มจากการศึกษาผลของ pH ต่อการตกตะกอนอนุภาคในน้ำตาลมะพร้าวสด พบว่าการปรับ pH ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ pH 9.0 สามารถทำให้อนุภาคคอลลอยด์เช่น โปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์ตกตะกอนได้มาก และมีสีไม่เข้มเกินไปเหมาะแก่การนำไปเคี้ยวเป็นไซรี่ปต่อไป

ขั้นต่อมาเป็นการศึกษาผลของการปรับ pH เพื่อตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์มาใช้ร่วมกับวิธีการแยกตะกอนในการแก้ปัญหาการตกผลึกและการตกตะกอนในไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าว โดยปรับ pH น้ำตาลมะพร้าวสดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ pH 9.0 ปล่อยให้ตกตะกอนแล้วกรองแยกตะกอนด้วยกระดาษกรอง แล้วนำส่วนใสมาปรับ pH ด้วยกรดซิตริกที่ pH ต่างกัน จากนั้นนำมาปรับ pH ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ให้ทุกตัวอย่างมี pH 5.5 เท่ากัน เพื่อลดความเปรี้ยวของกรดซิตริก พบว่าการปรับ pH 3.5, 4.0, 4.5 และ 5.0 สามารถป้องกันการตกผลึกได้

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ลงในน้ำตาลมะพร้าวสดก่อนเคี้ยวเป็นไซรี่ป เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหาการตกตะกอนและการตกผลึก โดยเลือกใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ 3 ชนิด ได้แก่ carboxymethyl cellulose (CMC), xanthan gum และ gum arabic ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าสารไฮโดรคอลลอยด์เหล่านี้ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันสามารถป้องกันการตกตะกอนได้ ยกเว้นการใช้ CMC 0.10% ไม่สามารถป้องกันการตกผลึกได้ จึงไม่เหมาะแก่การนำมาผลิตไซรี่ป เมื่อทำการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวที่ผลิตโดยการเติมไฮโดรคอลลอยด์ และไซรี่ปที่ผลิตโดยใช้วิธีการปรับ pH ร่วมกับการแยกตะกอน พบว่าผู้ชิมให้คะแนนความชอบไซรี่ปน้ำตาลมะพร้าวที่เติม CMC 0.03% มากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ไซรีปน้ำตาลมะพร้าวในข้อ 4.3 หลังการเคี่ยวไซรีปเสร็จแล้ว ควรปล่อยให้ตกตะกอนในภาชนะอีก 1-2 วัน จากนั้นจึงเทหรือกรองแยกไซรีปส่วนใสไปบรรจุในภาชนะสุดท้ายตามต้องการ ก็จะได้ไซรีปที่มีความใสและไม่เกิดตะกอนระหว่างการเก็บรักษา

อาจนำวิธีการปรับ pH เพื่อตกตะกอนแยกอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำตาลมะพร้าวสดมาใช้ร่วมกับวิธีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ โดยตกตะกอนอนุภาคด้วยใช้ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ที่ pH 9.0 ทั้งนี้ให้เกิดการตกตะกอน กรองเอาส่วนใสมาเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ แล้วจึงนำไปเคี่ยวระเหยน้ำเป็นไซรีปน้ำตาลมะพร้าว





ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity, TA)

ตามวิธีของ AOAC (2000)

ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity, TA) วิเคราะห์ด้วยวิธีการไตเตรตในรูปกรดซิตริก โดยชั่งไซรป์ปริมาณ 5-10 กรัม แล้วแต่ pH พร้อมจดปริมาณที่แน่นอน ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml เติมน้ำกลั่น 100 ml แล้วหยดสารละลายฟีนอล์ฟธาลีน 1% ซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ลงไป 3 หยด นำไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนซึ่งผ่านการเทียบมาตรฐานกับโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาลेट ($\text{KOOC}_6\text{H}_4\text{COOH}$) แล้วดังสมการนี้

$$\text{ความเข้มข้นของ NaOH} = \frac{\text{น้ำหนัก KOOC}_6\text{H}_4\text{COOH}}{\text{มวลโมเลกุล KOOC}_6\text{H}_4\text{COOH}} \times \frac{1}{\text{ปริมาตรของ NaOH}} \times \frac{100 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}}$$

ไตเตรตจนกระทั่งถึงจุดยุติสีชมพู จากนั้นคำนวณปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกดังสมการนี้

$$\text{ปริมาณกรด (\%)} = \frac{\text{ความเข้มข้น NaOH} \times \text{ปริมาตร NaOH} \times \text{น้ำหนักสมมูลกรดซิตริก} \times 100}{\text{น้ำหนักไซรป์} \times 1000}$$

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซิ่ง (reducing sugar)

ด้วยวิธี Lane and Eynon Genera Volumetric Method ตามวิธีของ AOAC (2000)

การเตรียมสาร

1. Fehling's solution (Soxhlet modification) ก่อนใช้ต้องผสมสารละลาย A และ B เข้าด้วยกัน

Solution A: สารละลาย copper sulfate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ปริมาณ 34.639 กรัมด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร (ml)

Solution B: สารละลาย alkaline tartrate ละลาย potassium sodium tartrate ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) ปริมาณ 173 กรัม และ sodium hydroxide (NaOH) ปริมาณ 50 กรัมด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ได้ 500 ml ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 วัน แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง

2. Invert sugar standard solution (1%) ละลายซูโครสปริมาณ 9.5 กรัมด้วยน้ำกลั่น และเติม hydrochloric acid (HCl) ปริมาตร 5 ml และปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml เป็นเวลา 7 วัน สำหรับอุณหภูมิ 12-15 °C หรือ 3 วันสำหรับอุณหภูมิ 20-25 °C หลังจากเก็บไว้ตามเวลาดังกล่าว ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ก่อนใช้ต้องปรับ ให้ pH ของสารละลายเป็นกลาง ด้วย 1M NaOH

3. Methylene blue 0.2% (w/v) ละลายด้วยน้ำกลั่น
4. Lead acetate ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$) 10% (w/v) ละลายด้วยน้ำกลั่น
5. Potassium oxalate ($\text{C}_2\text{K}_2\text{O}_4$) 10% (w/v) ละลายด้วยน้ำกลั่น

วิธีวิเคราะห์

Standardization of Fehling's Solution

ใช้ Fehling's solution ที่ผสมสารละลาย A และ B เข้าด้วยกันปริมาณ 10 หรือ 25 ml นำมาไทเตรตกับ invert sugar standard solution ซึ่งต้องพอดีกับ invert sugar standard solution 10.50 และ 24.80 ml ตามลำดับ ผลแตกต่างของค่า titre (Y) ไปหักออกจากที่ได้จากการไทเตรต Fehling กับสารละลายน้ำตาลไซรัป ก่อนนำไปเปิดตารางหา factor

เช่น ถ้าค่า titer จาก invert sugar standard solution = X

เมื่อใช้ Fehling's solution 10 ml $Y = X - 10.5$

เมื่อใช้ Fehling's solution 25 ml $Y = X - 24.8$

ถ้าค่า titer จากสารละลายตัวอย่าง = Z

ดังนั้น ค่าที่จะนำไปเปิดตาราง Lane-Eynon หา factor คือ Z-Y

การเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งไซรัป 5-15 กรัม แล้วแต่ pH ใส่ขวดปริมาตรขนาด 200 ml
2. ปิเปตสารละลาย $Pb(C_2H_3O_2)_2$ 25 ml แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 200 ml
3. กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 แล้วนำมา 100 ml ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 200 ml
4. ปิเปตสารละลาย $C_2K_2O_4$ 25 ml แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 200 ml
5. กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 แล้วนำไปบรรจุในบิวเรตเพื่อเป็น titrant

วิธีการไทเตรต

1. ปิเปต Fehling's solution 10 หรือ 25 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml
2. ใส่น้ำตาลไซรัปจากบิวเรตลงไปปริมาตรประมาณ 15 ml
3. เขย่าขวดรูปชมพู่ให้สารผสมเข้ากันและวางลงบน hot plate ต้มให้เดือด และหยดสารละลายเมทิลีนบลูประมาณ 2-3 หยด
4. ไทเตรตต่อโดยการไทเตรตขณะร้อนโดยการใส่น้ำตาลครั้งละ 2-3 หยด ไทเตรตจนสารละลายสีน้ำเงินหายไปเป็นสารละลายสีส้มหรือสีแดงอิฐ ซึ่งการไทเตรตจะต้องทำให้เสร็จภายในไม่เกิน 1 นาที
5. นำค่า titer (Z) ที่ได้ ไปหาค่า factor โดยการนำค่า Z-Y ไปเปิดตาราง Lane-Eynon

การคำนวณ

Factor คือค่าที่ได้จากการนำ Z-Y ไปเปิดตาราง (mg)

Titer คือปริมาณของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ในการไตเตรต (Z) (ml)

$$\text{Invert sugar of solution (C)} = \frac{\text{Factor} \times 200 \text{ ml}}{\text{น้ำหนักไซรัป (mg)} \times \text{titer(Z) (ml)}} \times \frac{200}{100} \times 100 \text{ (mg/100)}$$



ตารางภาคผนวกที่ 1 Invert sugar for 10 cm³ of Fehling's solution

cm ³ of sugar solution required	Solution containing beside invert sugar
	Invert sugar factor
15	50.5
16	50.6
17	50.7
18	50.8
19	50.8
20	50.9
21	51.0
22	51.0
23	51.1
24	51.2
25	51.2
26	51.3
27	51.4
28	51.4
29	51.5
30	51.5
31	51.6
32	51.6
33	51.7
34	51.7

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ) Invert sugar for 10 cm³ of Fehling's solution

cm ³ of sugar solution required	Solution containing beside invert sugar
	Invert sugar factor
35	51.8
36	51.8
37	51.9
38	51.9
39	52.0
40	52.0
41	52.1
42	52.1
43	52.2
44	52.2
45	52.3
46	52.3
47	52.4
48	52.4
49	52.5
50	52.5

ตารางภาคผนวกที่ 2 Invert sugar for 25 cm³ of Fehling's solution

cm ³ of sugar solution required	Solution containing beside invert sugar
	Invert sugar factor
15	123.6
16	123.6
17	123.6
18	123.7
19	123.7
20	123.8
21	123.8
22	123.9
23	123.9
24	124.0
25	124.0
26	124.1
27	124.1
28	124.2
29	124.2
30	124.3
31	124.3
32	124.4
33	124.4
34	124.5

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ) Invert sugar for 25 cm³ of Fehling's solution

cm ³ of sugar solution required	Solution containing beside invert sugar
	Invert sugar factor
35	124.5
36	124.6
37	124.6
38	124.7
39	124.7
40	124.8
41	124.8
42	124.9
43	124.9
44	125.0
45	125.0
46	125.1
47	125.1
48	125.2
49	125.2
50	125.3

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครส ฟรุคโตส และกลูโคส

ด้วยการวิเคราะห์ด้วย enzyme test kit for sucrose, D-fructose and D-glucose assay

การเตรียมตัวอย่างไซรัป

- ซ้ำไซรัป 1 กรัมใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 ml ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตร จะได้สารละลายไซรัปเข้มข้น 1% (w/v)
- สำหรับการวิเคราะห์ D-Glucose และ D-fructose จะทำการเจือจางสารละลาย 1 % ข้างต้นลงมา 1:10 ด้วยน้ำกลั่น และนำไปใช้ 0.1 ml (ตามตารางภาคผนวกที่ 3)
- สำหรับการวิเคราะห์ sucrose จะทำการเจือจางสารละลาย 1 % ข้างต้นลงมา 1:3 ด้วยน้ำกลั่น และนำไปใช้ 0.1 ml (ตามตารางภาคผนวกที่ 3)

วิธีวิเคราะห์

Kits จะประกอบด้วยสารละลาย 6 ขวด ได้แก่

Solution 1 : Buffer 1 (25 ml, pH 7.6)

Solution 2 : NADP^+ + ATP

Solution 3 : Hexokinase + glucose-6-phosphate dehydrogenase suspension, (4.1 ml)

Solution 4 : Phosphoglucose isomerase suspension (2.25 ml)

Solution 5 : D-Glucose + D-fructose standard solution (5 ml, 0.2 mg/ml of each sugar)

Solution 6 : β -Fructosidase (pH 4.6), lyophilized powder

ทำการปิเปตสารตามตารางภาคผนวกที่ 3 โดยปิเปตสารใส่คิวเวตแก้วตามคอลัมป์ลงมา แล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร (nm) ตามลำดับดังที่แสดงไว้ในตาราง การผสมสารจะใช้พาราฟิล์มปิดปากคิวเวต แล้วเขย่าขึ้นลงให้สารเข้ากัน

วิธีคำนวณ

$$\Delta A_{D\text{-glucose}} = (A_2 - A_1)_{\text{sample}} - (A_2 - A_1)_{\text{blank}} \quad (\text{จาก D-glucose/ D-fructose sample})$$

$$\Delta A_{\text{total D-glucose}} = (A_2 - A_1)_{\text{sample}} - (A_2 - A_1)_{\text{blank}} \quad (\text{จาก sucrose sample})$$

$$\Delta A_{\text{sucrose}} = \Delta A_{\text{total D-glucose}} - \Delta A_{D\text{-glucose}}$$

$$\Delta A_{D\text{-fructose}} = (A_3 - A_2)_{\text{sample}} - (A_3 - A_2)_{\text{blank}} \quad (\text{จาก D-glucose/ D-fructose sample})$$

$$c = \frac{V \times MW \times \Delta A}{\epsilon \times d \times v} \quad [\text{g/L}]$$

โดยที่ V = final volume [mL]

MW = molecular weight of the substance assayed [g/mol]

ϵ = extinction coefficient of NADPH at 340 nm = 6300 [$1 \times \text{mol}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$]

d = light path [cm]

v = sample volume [mL]

สำหรับ D-glucose

$$c = \frac{2.42 \times 180.16}{6300 \times 1 \times 0.1} \times \Delta A_{D\text{-glucose}} \quad [\text{g/L}]$$

$$= 0.6920 \times \Delta A_{D\text{-glucose}} \quad [\text{g/L}]$$

สำหรับ sucrose

$$c = \frac{2.42 \times 342.3}{6300 \times 1 \times 0.1} \times \Delta A_{D\text{-sucrose}} \quad [\text{g/L}]$$

$$= 1.315 \times \Delta A_{\text{sucrose}} \quad [\text{g/L}]$$

สำหรับ D-fructose

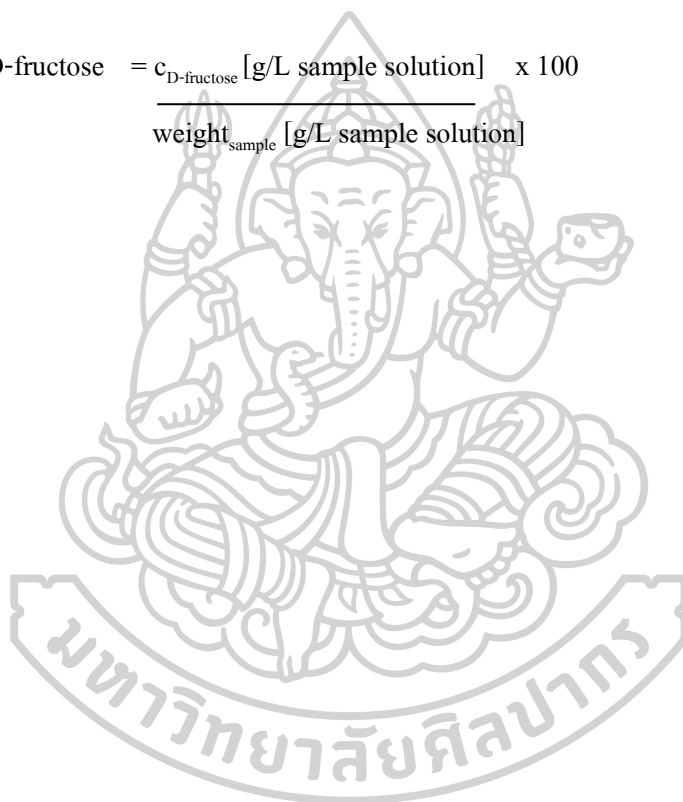
$$c = \frac{2.44 \times 180.16}{6300 \times 1 \times 0.1} \times \Delta A_{D\text{-fructose}} \quad [\text{g/L}]$$

$$= 0.6978 \times \Delta A_{D\text{-fructose}} \quad [\text{g/L}]$$

$$\text{ปริมาณของ D-glucose} = \frac{c_{\text{D-glucose}} [\text{g/L sample solution}] \times 100}{\text{weight}_{\text{sample}} [\text{g/L sample solution}]} \quad [\text{g}/100 \text{ g}]$$

$$\text{ปริมาณของ sucrose} = \frac{c_{\text{sucrose}} [\text{g/L sample solution}] \times 100}{\text{weight}_{\text{sample}} [\text{g/L sample solution}]} \quad [\text{g}/100 \text{ g}]$$

$$\text{ปริมาณของ D-fructose} = \frac{c_{\text{D-fructose}} [\text{g/L sample solution}] \times 100}{\text{weight}_{\text{sample}} [\text{g/L sample solution}]} \quad [\text{g}/100 \text{ g}]$$



ตารางภาคผนวกที่ 3 การปิเปตสารละลายลงคิวเวตเพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครส ฟรุคโตส และกลูโคส

ปิเปตลงคิวเวต	Blank sucrose sample	Sucrose Sample	Blank D-glucose/ D-fructose sample	D-glucose/ D-fructose sample
solution 6	0.20 ml	0.20 ml	-	-
สารละลายตัวอย่าง	-	0.10 ml	-	0.10 ml
ผสม และบ่มเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่น solution 1 และ 2				
น้ำกลั่น (ที่ 25 C)	2.00 ml	1.90 ml	2.20 ml	2.10 ml
solution 1	0.10 ml	0.10 ml	0.10 ml	0.10 ml
solution 2	0.10 ml	0.10 ml	0.10 ml	0.10 ml
ผสม และอ่านค่าการดูดกลืนแสง (A_1) หลังจากผสมเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นเติม solution 3				
solution 3	0.02 ml	0.02 ml	0.02 ml	0.02 ml
ผสม และอ่านค่าการดูดกลืนแสง (A_2) หลังจากผสมเป็นเวลา 5 นาที				
หากปฏิกิริยาไม่หยุดหลังผ่านไป 5 นาที ให้อ่านค่า A_2				
ให้อ่านค่า A_2 จนกว่าค่าจะนิ่งเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเติม solution 4				
solution 4	-	-	0.02 ml	0.02 ml
ผสม และอ่านค่าการดูดกลืนแสง (A_3) หลังจากผสมเป็นเวลา 10 นาที				

ภาคผนวก ง

แบบสอบถามการประเมินทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9-point hedonic scale

ชื่อผู้ทดสอบ.....ชุดที่.....
 ผลิตภัณฑ์..... ไซรัปน้ำตาลมะพร้าว... วันที่.....

คำชี้แจง 1. ผู้ทดสอบจะได้รับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่มีเลขรหัสกำกับ ซึ่งเริ่มการทดสอบตัวอย่างโดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวาตามรหัสที่จัดไว้ให้และให้คะแนนตามความชอบของท่าน

2. กรุณาชิม ไซรัปก่อน จากนั้นชิม ไซรัปคู่กับแพนเค้ก
3. ควรดื่มน้ำล้างปากก่อนทำการทดสอบและก่อนเปลี่ยนตัวอย่างใหม่ทุกครั้ง
4. ประเมินความชอบของท่านที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในคุณลักษณะด้านต่างๆ โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

- | | | |
|---------------------|--------------------|------------------|
| 1 = ไม่ชอบมากที่สุด | 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย | 7 = ชอบปานกลาง |
| 2 = ไม่ชอบมาก | 5 = เฉยๆ | 8 = ชอบมาก |
| 3 = ไม่ชอบปานกลาง | 6 = ชอบเล็กน้อย | 9 = ชอบมากที่สุด |

	รหัสตัวอย่าง			
	517	438	259	164
ลักษณะปรากฏ
สี
ความขุ่นหนืด
กลิ่นรส
รสชาติ
ความชอบโดยรวม

ความคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะ

.....

ขอบคุณสำหรับความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม



รายการอ้างอิง

- EGGLESTON, G., MONGE, A. & PEPPERMAN, A. 2002. Preheating and incubation of cane juice prior to liming: A comparison of intermediate and cold lime clarification. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 484-490.
- LAKSAMEETHANASANA, P., SOMLA, N., JANPREM, S. & PHOCHUEN, N. 2012. Clarification of sugarcane juice for syrup production. *Procedia Engineering*, 32, 141-147.
- MOLINA-RUBIO, M. P., CASAS-ALENCÁSTER, N. B. & MARTÍNEZ-PADILLA, L. P. 2010. Effect of formulation and processing conditions on the rheological and textural properties of a semi-liquid syrup model. *Food Research International*, 43, 678-682.
- PRATI, P. & MORETTI, R. H. 2010. Study of clarification process of sugar cane juice for consumption. *Food Science and Technology*, 30, 776-783.
- RAISI, A. & AROUJALIAN, A. 2007. Reduction of the glucose syrup browning rate by the use of modified atmosphere packaging. *Journal of Food Engineering*, 80, 370-373.
- RAZAVI, S. M. A., NAJAFI, M. B. H. & ALAEE, Z. 2007. The time independent rheological properties of low fat sesame paste/ date syrup blends as a function of fat substitutes and temperature. *Food Hydrocolloids*, 21, 198-202.
- ROUKAS, T. & KOTZEKIDOU, P. 1997. Pretreatment of date syrup to increase citric acid production. *Enzyme and Microbial Technology*, 21, 273-276.
- SANCHEZ, C., RENARD, D., ROBERT, P., SCHMITT, C. & LEFEBVRE, J. 2002. Structure and rheological properties of acacia gum dispersions. *Food Hydrocolloids*, 16, 257-267.
- SERPEN, A., ATAC, B. & GOKMEN, V. 2007. Adsorption of Maillard reaction products from aqueous solutions and sugar syrups using adsorbent resin. *Journal of Food Engineering*, 82, 342-350.
- THAI, C. C. D. & DOHERTY, W. 2012. Characterisation of sugarcane juice particles that influence the clarification process. *In Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists*, 34.
- ซาเรอ และคณะ. 2553. องค์ประกอบและกระบวนการปรับปรุงการทำให้บริสุทธิ์แบบคาร์บอนเทชันของสารละลายน้ำตาลและน้ำเชื่อมให้ดีขึ้น. ประเทศไทย patent application.
- นฤมล ประภาสุวรรณกุล และคณะ. 2555. การผลิตไอศกรีมจากน้ำตาลมะพร้าว รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏ

สวนสุนันทา.

นิธิยา รัตนापนนท์ 2549. เคมีอาหาร, กรุงเทพมหานคร, โอเดียนสโตร์

บรรานัน. 2533. กรรมวิธีการทำให้ใส. ประเทศไทย patent application.

วรรณพร พันธนิยะ. 2558. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไซรี่ปน้ำอ้อยจากน้ำอ้อยคั้นน้ำสุพรรณบุรี 50. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

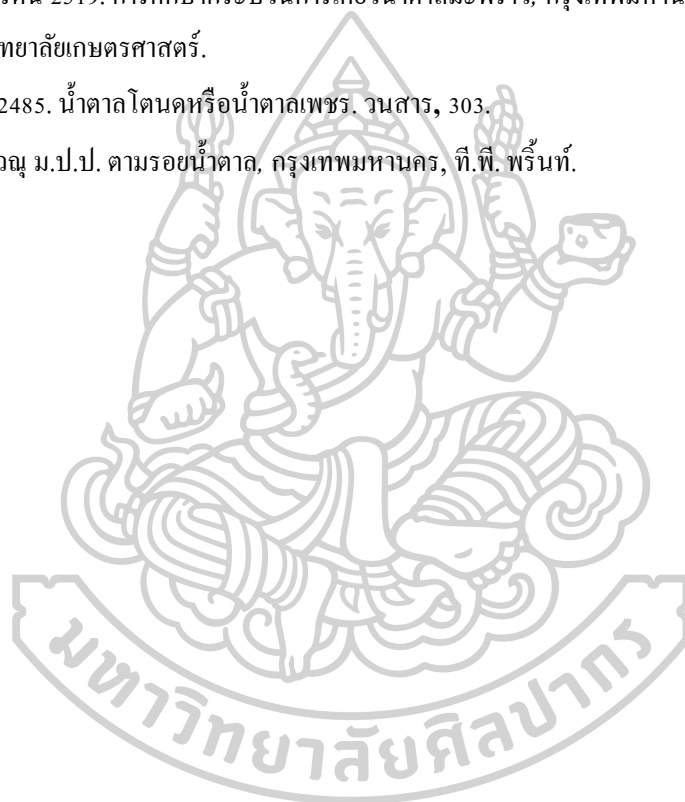
วีระ เทพกรณ์ 2547. น้ำตาลมะพร้าว ความหวานจากภูมิปัญญาไทย, กรุงเทพมหานคร, อักษรเจริญทัศน์.

ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย 2544. การปลูกมะพร้าว, โครงการหนังสือเกษตรชุมชน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริพร สิริสุขธีรัตน์ 2519. การศึกษากระบวนการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าว, กรุงเทพมหานคร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

หลวงสมานกิจ 2485. น้ำตาลโตนดหรือน้ำตาลเพชร. วนสาร, 303.

อัสวิทย์ ปัทมเวณู ม.ป.ป. ตามรอยน้ำตาล, กรุงเทพมหานคร, ที.พี. พรินท์.





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ธนัชพร ใจตาบ
วัน เดือน ปี เกิด	15 กุมภาพันธ์ 2536
สถานที่เกิด	สมุทรสาคร
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) เทคโนโลยีอาหาร (โทแปรรูป)
ที่อยู่ปัจจุบัน	1/1 หมู่ 6 ต.สวนหลวง อ.กระทุ่มแบน จ.สมุทรสาคร 74110
ผลงานตีพิมพ์	ธนัชพร ใจตาบ และ เอกพันธ์ แก้วมณีชัย, 2561. ผลของ pH ในกระบวนการทำให้ใสและการเกี่ยวข้องกับลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมน้ำตาลมะพร้าว. การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 56 ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 30 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2561: 738-745.

