การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร

DEVELOPMENT OF SUGAR PRODUCT FROM *MUNTINGIA CALABURA* L. FOR ADDING VALUE TO AGRICULTURAL PRODUCTS

มยุรา วชิรศักดิ์ชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร

มยุรา วชิรศักดิ์ชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร
	Development of Sugar Product from *Muntingia calabura* L. for Adding Value to Agricultural Products
ชื่อ – นามสกุล	นางสาวมยุรา วชิรศักดิ์ชัย
สาขาวิชา	เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์, ปร.ด.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนัน ปานสาคร, Ph.D.
ปีการศึกษา	2559

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ
(อาจารย์สุภา จุฬคุปต์, Ph.D.)

....กรรมการ
(อาจารย์พรรณทิพา เจริญไทยกิจ, ปร.ด)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนัน ปานสาคร, Ph.D.)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์, ปร.ด.)

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
(อาจารย์จีรวัฒน์ เหรียญอารีย์, คศ.ม.)
วันที่ 14 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร
ชื่อ – นามสกุล นางสาวมยุรา วชิรศักดิ์ชัย
สาขาวิชา เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์, ปร.ด.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนัน ปานสาคร, Ph.D.
ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบที่เหมาะสม ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ของน้ำตาลจากผลตะขบ ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ และศึกษาต้นทุนการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสในการผลิตไซรัปจากผลตะขบ ปัจจัยที่ศึกษามี 3 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณเอนไซม์เพคติเนส โดยแปรเป็น 2 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5 และ 1 อุณหภูมิในการบ่ม โดยแปรเป็น 2 ระดับ คือ 40 และ 60 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการบ่ม โดยแปรเป็น 2 ระดับ คือ 120 และ 240 นาที วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ทำการระเหยโดยใช้วิธีระเหยแบบสุญญากาศทำให้เข้มข้น 65 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำกลูโคสผงเติมลงในไซรัปจากผลตะขบให้ได้ความเข้มข้น 80 องศาบริกซ์ ทิ้งไว้ให้เกิดผลึกใช้เวลาในการตกผลึก 14 วัน นำผลึกน้ำตาลที่ได้ไปทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงได้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ นำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพทางเคมีทางจุลินทรีย์ทำการคัดเลือกตัวอย่างที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากร้อยละของน้ำตะขบที่สกัดได้ และร้อยละของน้ำตาลจากผลตะขบที่ผลิตได้ ทำการสำรวจการยอมรับของผู้บริโภค จำนวน 100 คน และศึกษาต้นทุนการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ

ผลการวิจัยพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสในการผลิตไซรัปจากผลตะขบ คือ เอนไซม์เพคติเนสปริมาณร้อยละ 1 บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 240 นาที ผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบที่ผลิตได้มีคุณภาพทางกายภาพค่าสี 3,890 หน่วย คุณภาพทางเคมีค่าความชื้น ปริมาณเถ้า และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 11.38 1.02 และ 85.47 ตามลำดับ ปริมาณแอนติออกซิแดนท์ 754.47 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง และคุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด <10 โคโลนี/กรัม ไม่พบยีสต์และราในผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ มีความชอบโดยรวมเฉลี่ยอยู่ในระดับชอบปานกลาง และมีการยอมรับเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 480 บาท/กิโลกรัม

คำสำคัญ: ผลตะขบ เอนไซม์เพคติเนส การตกตะกอน การระเหย การตกผลึก

Thesis Title	Development of Sugar Product from *Muntingia calabura* L. for Adding Value to Agricultural Products
Name - Surname	Miss Mayura Wachirasakchai
Program	Home Economics Technology
Thesis Advisor	Assistant Professor Orawan Oupathumpanont, Ph.D.
Thesis Co - advisor	Assistant Professor Sunan Parnsakhorn, Ph.D.
Academic Year	2016

ABSTRACT

This research aimed to study the optimal production process of sugar from *Muntingia calabura* L.; the physical, chemical, and microbiological quality of the sugar; the consumers' satisfaction toward the sugar; and the production cost of the sugur.

In studying the optimum working condition of the pectinase enzyme in producing syrup from *Muntingia calabura* L., the following three factors were included: the volume of pectinases used (0.5 % and 1 %), the incubation temperature (40 $^{\circ}$C and 60 $^{\circ}$C), and the incubation duration (120 and 240 minutes). The experimental design was Factorial in CRD in which the vacuum rotary evaporator was employed to create the concentration of 65 $^{\circ}$Brix at the temperature of 60 $^{\circ}$C. Then, glucose powder was added to the syrup made from *Muntingia calabura* L., resulting in the concentration of 80 $^{\circ}$Brix. This syrup was left to be crystalized for 14 days and dried in the hot air oven at 40 $^{\circ}$C for 48 hours. The dried, crystalized sugar was then tested for its physical, chemical, and microbiological quality to find out the best yield sample in terms of the percentage of juice and the sugar being extracted from *Muntingia calabura* L. fruit. The consumers' satisfaction was later surveyed from 100 participants while the production cost was calculated.

It was found that the optimum condition for the pectinase enzyme to produce sugar from *Muntingia calabura* L. fruit was 1 % pectinases at the incubation temperature of 40 $^{\circ}$C with incubation time of 240 minutes. The sugar product from *Muntingia calabura* L. fruit had physical quality as color at 3,890 IU; the chemical quality as moisture, ash, and reducing sugar content of 11.38 %, 1.02 % and 85.47 % respectively; the antioxidant of 754.47 mg/100 g FW and the microbiological quality with the total plate counts of $<$10 CFU/g. However, no yeast and mold were found. The consumers' satisfaction was averagely at the moderate level while the acceptance was at the high level, and the production cost was 480 baht/kg.

Keywords: *Muntingia calabura* L., pectinases, sedimentation, evaporation, crystallization

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณา และความอนุเคราะห์ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนัน ปานสาคร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.สุภา จุฬคุปต์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร.พรรณทิพา เจริญไทยกิจ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่า ให้ความรู้ ให้คำปรึกษาแนะนำแนวทาง และวิธีคิด เพื่อให้การเขียนงานวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์ที่สุด

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา และมารดา ที่ช่วยให้การสนับสนุนทุนทรัพย์ และเพื่อนๆ ที่มีความห่วงใย และเป็นกำลังใจให้เสมอมา และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนมาจนถึงบัดนี้

ขอขอบพระคุณ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนในการใช้ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือในการวิเคราะห์คุณภาพ เพื่อใช้ในการจัดทำวิจัย ทำให้งานวิจัยนี้เสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจค้นคว้า หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขาดตกบกพร่องหรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยกราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้

มยุรา วชิรศักดิ์ชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญรูป	(9)
บทที่ 1 บทนำ	10
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	10
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	11
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	11
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	11
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	11
บทที่ 2 วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
2.1 ตะขบ	12
2.2 น้ำตาล	17
2.3 สารต้านอนุมูลอิสระ	28
2.4 เอนไซม์	34
2.5 การทดสอบผู้บริโภค	42
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	46
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	49
3.1 วัตถุดิบ	49
3.2 อุปกรณ์	49
3.3 วิธีการทดลอง	50
3.4 ระยะเวลาในการทดลอง	57
3.5 สถานที่ทำการทดลอง	57

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์.. 58

4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสเพื่อการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ.. 58

4.2 การศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ................. 67

4.3 การศึกษาต้นทุนการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ.. 76

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.. 78

5.1 สรุปผลการทดลอง.. 78

5.5 ข้อเสนอแนะ.. 79

บรรณานุกรม... 81

ภาคผนวก... 87

ภาคผนวก ก แบบสอบถามความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค................................ 88

ภาคผนวก ข มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำตาลทรายขาวและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของน้ำตาลทรายแดง.. 95

ภาคผนวก ค รายงานผลการวิเคราะห์... 107

ภาคผนวก ง หนังสือตอบรับการเผยแพร่... 111

ประวัติผู้เขียน... 113

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของตะขบ 100 กรัม………………………......... 16
ตารางที่ 2.2 ความหวานของน้ำตาลประเภทต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลซูโครส………..... 22
ตารางที่ 2.3 จุดเดือดของสารละลายน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน……………………… 23
ตารางที่ 2.4 จุดหลอมเหลวของน้ำตาลชนิดต่างๆ……………………….………………… 25
ตารางที่ 2.5 แนวทางการใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรม……………………..………………… 40
ตารางที่ 3.1 วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD…………………..………………… 50
ตารางที่ 4.1 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของน้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนส….. 59
ตารางที่ 4.2 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของไซรัปจากผลตะขบ….………..……………… 62
ตารางที่ 4.3 ปริมาณน้ำตาลจากผลตะขบที่ผลิตได้……………..…………..………….... 65
ตารางที่ 4.4 คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ… 66
ตารางที่ 4.5 ผลการสำรวจข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม………...……………………. 68
ตารางที่ 4.6 ผลการสำรวจข้อมูลเชิงพฤติกรรมและทัศนคติของผู้ตอบแบบสอบถาม………….. 69
ตารางที่ 4.7 ปัจจัยที่ใช้ในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาล………………..…………….……… 71
ตารางที่ 4.8 คะแนนความชอบของผู้บริโภคจำนวน 100 คน…..…………..……………..…… 73
ตารางที่ 4.9 การยอมรับของผู้บริโภค…………………………………..……………….….. 74
ตารางที่ 4.10 ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค………………… 74
ตารางที่ 4.11 การคำนวณต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ………………………… 76

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ต้นตะขบ…………………………………………………………………...……. 13

รูปที่ 2.2 ใบตะขบ……………………………………………………...……………….. 14

รูปที่ 2.3 ดอกตะขบ……………………………………………………..………………… 15

รูปที่ 2.4 ระดับสีของผลตะขบจากผลดิบจนผลสุก………………...…………..…………….. 15

รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างฟรุคโตสแบบก้างปลาและแบบวงแหวน……….……..…………….... 18

รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลซูโครส……………………….....…………….….. 19

รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างของเพคติเนส……………………………………..……………….... 36

รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาย่อยเพคตินโดยเอนไซม์เพคตินเอสเธอเรส………………..……………..... 37

รูปที่ 2.9 ปฏิกิริยาย่อยเพคตินโดยเอนไซม์โพลีกาแลคทูโรเนส…………………..……......... 38

รูปที่ 2.10 ปฏิกิริยาย่อยเพคตินโดยเอนไซม์เพคเตสไลเอส……………………………….……… 39

รูปที่ 2.11 สมการเร่งปฏิกิริยาเคมี เพื่อเปลี่ยนสารละลายตั้งต้นให้เป็นผลิตภัณฑ์…………..…….. 41

รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตไซรัปจากผลตะขบ……………………………………...………... 51

รูปที่ 3.2 สมการการหาร้อยละของผลผลิต (%Yield) ……………………………..……… 52

รูปที่ 3.3 กระบวนการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ…………………………….................... 54

รูปที่ 3.4 การเสิร์ฟตัวอย่างน้ำตะขบ และตัวอย่างลอดช่องน้ำกะทิให้ผู้ทดสอบชิม……….…..... 57

รูปที่ 4.1 น้ำตะขบ ได้แก่ (ก) น้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนส (ข) น้ำตะขบที่ไม่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนส………………………………………………………... 61

รูปที่ 4.2 ไซรัปจากผลตะขบ……………………...…………………………...………... 63

รูปที่ 4.3 น้ำตาลจากผลตะขบ………………...………………………………...………. 67

รูปที่ 4.4 บรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ……………………..…...………...……… 77

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

ตะขบ เป็นต้นไม้ที่ขึ้นง่ายพบได้ทั่วไปในบริเวณทุกภาคของประเทศไทย นิยมปลูกทั่วไป ปลูกเป็นไม้ให้ร่มเงาในสวนผลไม้ [1] ตะขบ 100 กรัม มีปริมาณน้ำตาลอยู่ในปริมาณ 16.1 องศาบริกซ์ (°Brix) [2] ตะขบถือว่าเป็นผลไม้ที่มีใยอาหารสูง มีแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และฟอสฟอรัส (P) นอกจากนี้ ตะขบยังมีสารที่ให้สีแดง คือ สารไลโคปีน กรดเอลลาจิก แอนโธไซยานิน และกรดแกลลิก ทั้งยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็งหลายชนิด ช่วยดูดซับคลอเรสเตอรอล (Cholesterol) และช่วยลดความเสี่ยงเส้นเลือดสมองแตก [3] ผลตะขบเป็นที่นิยมรับประทานเป็นผลไม้สด และนำไปแปรรูปเป็นแยมหรือแปรรูปเป็นไวน์ และนำใบไปแปรรูปเป็นชา ทางด้านสมุนไพร ใช้ดอกเป็นยาแก้ปวด และแก้อักเสบ [1] มีการปลูกตะขบเป็นไร่มีชื่อว่า ไร่ฟ้าใหม่ ที่จังหวัดสระบุรี เพื่อใช้ในการแปรรูปน้ำตะขบ

น้ำตาล (Sugar) คือ ผลึกซูโครส (Sucrose) มีสูตรทางเคมี คือ $C_{12}H_{22}O_{11}$ และเป็นแหล่งของพลังงาน จัดอยู่ในกลุ่มสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีรสหวาน [4] อีกทั้งน้ำตาลยังเป็นสารตั้งต้นประเภทสารให้ความหวาน นำไปใช้กับอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และสารให้ความหวาน [5] น้ำตาลเป็นสินค้าแปรรูปที่ได้จากการเกษตรกรรมชนิดหนึ่งที่มีบทบาทต่อประเทศผู้ผลิตเป็นอย่างมาก [6] และการบริโภคน้ำตาลในครัวเรือนไทยมีมาตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน และการบริโภคน้ำตาลภายในประเทศ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทั้งภาคครัวเรือน และภาคอุตสาหกรรม และพบว่าการบริโภคน้ำตาลในปัจจุบันมีการบริโภคทางตรงสูงกว่าทางอ้อม [7]

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่า ตะขบเป็นผลไม้ที่มีความหวาน 16.1 องศาบริกซ์ มีใยอาหารสูง มีรสหวานธรรมชาติ มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว มีสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย และยังมีสารต้านอนุมูลอิสระ และเป็นผลไม้ที่พบได้ทั่วไปของประเทศ มีผลตลอดทั้งปี จากคุณสมบัติดังกล่าว ตะขบจึงเหมาะที่จะนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์น้ำตาล ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ เพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าเพิ่มให้กับตะขบ และเป็นการตอบสนองต่อความต้องการของตลาดอาหารเพื่อสุขภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบที่เหมาะสม

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ของน้ำตาลจากผลตะขบ

1.2.3 เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ

1.2.4 เพื่อศึกษาต้นทุนการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

ปริมาณเอนไซม์เพคติเนส อุณหภูมิในการบ่ม และระยะเวลาในการบ่มมีผลต่อคุณภาพน้ำตาลจากผลตะขบ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษากรรมวิธีการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบที่เหมาะสม โดยการใช้เอนไซม์เพคติเนส โดยแปรเป็น 2 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5 และ 1 อุณหภูมิในการบ่ม โดยแปรเป็น 2 ระดับ คือ 40 และ 60 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการบ่ม โดยแปรเป็น 2 ระดับ คือ 120 และ 240 นาที ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี ทางจุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัสของน้ำตาลจากผลตะขบ ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ และศึกษาต้นทุนการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภค

1.5.2 เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลตะขบ

1.5.3 ได้กระบวนการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ

1.5.4 เป็นแนวทางในการผลิตน้ำตาลจากผลไม้ชนิดอื่น

บทที่ 2
วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบที่เหมาะสม โดยใช้เอนไซม์เพคติเนส ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี ทางจุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัสของน้ำตาลจากผลตะขบ ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ และศึกษาต้นทุนการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ มีทฤษฎีที่จะนำมาใช้อ้างอิงเป็นพื้นฐานในการศึกษาวิจัย ดังต่อไปนี้

2.1 ตะขบ

2.2 น้ำตาล

2.3 สารต้านอนุมูลอิสระ

2.4 เอนไซม์

2.5 การทดสอบผู้บริโภค

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตะขบ

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Muntingia calabura* L. [1], [8], [9]

สกุล *Muntingia* L. มีลักษณะแตกต่างจากสกุลอื่นๆ ในวงศ์เดียวกันที่มีรังไข่อยู่เหนือวงกลีบ ในขณะที่สกุลอื่นอยู่ใต้วงกลีบ [10]

วงศ์ TILIACEAE [8]

ชื่อสามัญ Jamaican Cherry, Malayan Cherry, West Indian Cherry [1]

ชื่อท้องถิ่น เพี่ยนหม่าย (เมี่ยน), ตากบ (ม้ง), หม่าตะโก่เสะ (กะเหรี่ยงแดง), ตะขบ (ภาคกลาง), ครบฝรั่ง (จังหวัดสุราษฎร์ธานี) [9]

วงศ์ตะขบมีเพียง 3 สกุล คือ *Dicraspidia*, *Muntingia* และ *Neotessmannia* ซึ่งแต่ละสกุลมีสมาชิก เพียงชนิดเดียว มีเขตการกระจายพันธุ์เฉพาะในแถบอเมริกากลางและใต้ ในประเทศไทยพบเพียงสกุลเดียวปลูกเป็นไม้ประดับหรือไม้ผลคือ สกุลตะขบฝรั่ง *Muntingia*

ตะขบมีถิ่นกำเนิดในอเมริกากลาง และอเมริกาใต้ พบปลูกเป็นไม้ประดับหรือไม้ผลทั่วไปในเขตร้อน ในประเทศไทยพบปลูกเป็นไม้ประดับ ไม้ผล หรือขึ้นเป็นวัชพืชตามที่รกร้างทั่วประเทศ [1] ตะขบเป็นไม้เบิกนำ (Pioneer Species) นิยมปลูกเป็นไม้ร่มเงาตามบ้านเรือน เนื่องจาก

มีกิ่งก้านแผ่ขยายออกขนาน กับพื้นจึงให้ร่มเงา [8] การปลูกและขยายพันธุ์ เป็นไม้กลางแจ้งที่ปลูกง่าย โตเร็ว เจริญเติบโตได้ดีในดินทั่วๆ ไป ขยายพันธุ์ด้วยการเพาะเมล็ด หรือต้นที่เกิดขึ้นใหม่ [1] ชอบขึ้นในดินทุกชนิดแม้ในดินที่เป็นดินทราย และสามารถทนต่อสภาพขาดน้ำได้นานเป็นเดือน [8] ตะขบเป็นที่รู้จักกันทั่วไปว่าเป็นเชอร์รี่จาเมกาในประเทศมาเลเซีย ตะขบมีการปลูกกันอย่างแพร่หลายในเขตอบอุ่นของภูมิภาคเอเชียรวมทั้งประเทศมาเลเซีย และได้กลายเป็นหนึ่งในต้นไม้ริมถนนที่พบมากที่สุดในประเทศมาเลเซีย ตะขบมีใบ เปลือก ดอก และรากใช้เป็นยาพื้นบ้านในการรักษาไข้ ปวดหัว [11]

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ตะขบไทยเป็นพรรณไม้ยืนต้นผลัดใบขนาดเล็กถึงขนาดกลาง [1] ตะขบสามารถออกดอกติดผลได้ตลอดปีหลังจากมีการเจริญเติบโตผ่านมาแล้ว 1 ปี ก่อนจะเริ่มออกดอกเรื่อยๆ โดยไม่ขึ้นกับฤดู ใช้เวลาตั้งแต่ดอกตูมจนผสมติดเป็นผลเล็กๆ 3-4 วัน [8] ต้นตะขบมีส่วนประกอบ ดังนี้

2.1.1.1 ต้น มีขนาดสูงประมาณ 5-7 เมตร ลำต้นมีเปลือกสีเทา กิ่งแผ่สาขาขนานกับพื้นดิน มีลักษณะทรงพุ่ม ตามกิ่งมีขนปกคลุม ขนนุ่ม และปลายเป็นตุ่ม [1], [8] ดังแสดงในรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 ต้นตะขบ
ที่มา : [12]

2.1.1.2 ใบ เป็นใบเดี่ยวเรียงสลับแบบทแยงกัน ลักษณะใบรูปขอบขนานแกมรูปไข่ กว้าง 1.5-3.5 เซนติเมตร ยาว 4.5-9 เซนติเมตร ปลายใบเรียวแหลม โคนใบข้างหนึ่งมน ข้างหนึ่งแหลม ขอบใบหยัก มีขนปกคลุมหนาแน่น เส้นใบมี 3-5 เส้น ด้านบนสีเขียว ด้านล่างสีนวล ก้านใบยาว มีขนโคนก้านเป็นปม [1], [3], [8] ดังแสดงในรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 ใบตะขบ
ที่มา : [8]

2.1.1.3 ดอก ออกดอกเดี่ยว บางทีออกดอกเป็นคู่ตามซอกใบ เวลาบาน มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5-2 เซนติเมตร เป็นดอกชนิดสมบูรณ์เพศ มีก้านดอกยาว 1.5-1.6 เซนติเมตร มีขน [1], [8] ดอกตะขบมีส่วนประกอบ (ดังแสดงในรูปที่ 2.3) ดังนี้

1) กลีบเลี้ยง (Sepal) มีลักษณะเรียงเป็นวง (Calyx) กลีบเลี้ยงมีสีเขียวใน 1 ดอก มีประมาณ 4-5 แฉก พื้นที่เฉลี่ยต่อ 1 กลีบ ประมาณ 2 ตารางเซนติเมตร นอกจากกลีบเลี้ยงจะเรียงเป็นวงแล้วยังมีลักษณะไม่ติดกัน รูปหอก ปลายแหลมเป็นหางยาว โคลนกลีบตัดด้านนอกมีขน ด้านในเกลี้ยง [8]

2) กลีบดอก (Petal) มีลักษณะเป็นวงกลม (Corolla) กลีบดอกมีสีขาว ใน 1 ดอก มีประมาณ 4-6 กลีบ พื้นที่เฉลี่ยต่อ 1 กลีบ ประมาณ 0.3 ตารางเซนติเมตร กลีบดอกเรียงเป็นวง มีลักษณะแยกกลีบกัน มีลักษณะเป็นรูปไข่หรือป้อมๆ [8]

3) เกสรตัวผู้ (Stamen) มีลักษณะเรียงเป็นวง (Androecium) มีสีเหลือง มีลักษณะเป็นตุ่มเล็กๆ เรียงกันเป็นวงรอบเกสรตัวเมีย ใน 1 ดอก มีเกสรตัวผู้ประมาณ 90-120 ก้าน [8]

4) เกสรตัวเมีย (Pistil) มีลักษณะเรียงเป็นวง (Gynaecium) มีสีเขียว ยอดเกสรมีลักษณะคล้ายดาว 5 แฉก ใน 1 ดอก มีเกสรตัวเมียเพียง 1 อัน ซึ่งเป็นส่วนที่จะเจริญเป็นผล [8]

5) รังไข่ มีรูปคล้ายโดม ภายในแบ่งออกเป็น 5-6 ช่อง [8]

รูปที่ 2.3 ดอกตะขบ
ที่มา : [13]

2.1.1.4 ผล มีทรงกลม ผิวบางเรียบ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.75-1.5 เซนติเมตร ใน 1 ผลมีเมล็ดขนาดเล็กๆ ประมาณ 5,000-6,000 เมล็ด ผลมีหลายสี มีตั้งแต่สีเขียว สีเหลือง สีส้ม สีชมพู และสีแดง (ดังแสดงในรูปที่ 2.4) เมื่อผลสุกมีสีแดงสด รสชาติหวาน และมีกลิ่นหอม ความหวานวัดได้ 18-19 องศาบริกซ์ ผลที่รับประทานได้มีตั้งแต่สีส้มจนถึงสีแดง เมื่อผลเริ่มเปลี่ยนเป็น สีต่างๆ เกิดการร่วงได้ทุกระยะเนื่องจากขั้วของผลตะขบอ่อนไม่แข็งแรง [8]

รูปที่ 2.4 ระดับสีของผลตะขบจากผลดิบจนผลสุก
ที่มา : [8]

2.1.2 คุณค่าทางโภชนาการ

ตะขบเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการ (ดังแสดงในตารางที่ 2.1) เพราะมีแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม และฟอสฟอรัส นอกจากนี้ ตะขบจะมีสารที่ให้สีแดง คือ สารไลโคปีน กรดเอลลาจิก แอนโธไซยานิน และกรดแกลลิก [3]

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของตะขบ 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ
พลังงาน กิโลแคลอรี่	92.00
น้ำ (กรัม)	76.00
ใยอาหาร (กรัม)	6.30
ไขมัน (กรัม)	0.40
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	21.30
โปรตีน (กรัม)	2.00
โซเดียม (มิลลิกรัม)	12.80
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	773.00
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	108.00
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	51.70
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.20
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.03
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.04
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.40
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	86.00

ที่มา : [8], [14], [15]

2.1.3 คุณประโยชน์ของตะขบ

2.1.3.1 เปลือกต้น มีรสฝาด เป็นยาระบาย เพราะมีสารพวก Mucilage มาก [8] เป็นยารักษาอาการปวดเมื่อยตามตัว แก้โรคเหน็บชา รักษาอาการปวดข้อ แก้เส้นเอ็นพิการ [1]

2.1.3.2 ใบ มีรสฝาดเอียน ใช้ในการขับเหงื่อ [3]

2.1.3.3 ดอก มีรสฝาด แก้ปวดศีรษะ แก้หวัด ลดไข้ [8], [11]

2.1.3.4 ผล มีรสหวาน มีกลิ่นหอม เป็นสารต้านอนุมูลอิสระช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็งหลายชนิด แก้ท้องร่วง บิด [1]

2.1.3.5 ราก มีรสฝาด ขับเสมหะ เป็นยาขับเหงื่อ แก้โรคผิวหนัง ผื่นคันตามตัว [1]

2.1.4 สารแอนติออกซิแดนท์ที่พบในตะขบ

แอนโธไซยานิน (Anthocyanin) เป็นฟลาโวนอยด์กลุ่มหนึ่งที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี จึงมีประโยชน์ต่อสุขภาพเป็นอย่างมาก พบได้ในพืชผัก และผลไม้ที่มีสีม่วง และสีน้ำเงิน แอนโธไซยานิน มีโครงสร้างหลักแบบ 2-phenylbenzopyrylium (Flavyliumcation) โดยมีรูปอะไกลโคน (Aglycones) ที่พบได้บ่อยทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ ไซยานิดิน (Cyanidin) เดลฟินิดิน (Delphinidin) เพทุนิดิน (Petunnidin) มอลวิดิน (Malvidin) และเพลาโกนิดิน (Pelargonidin) รวมถึงสามารถพบในรูปที่จับกับน้ำตาล หรือหมู่แทนที่อื่นๆ ซึ่งในปัจจุบันได้ตรวจพบแอนโธไซยานินมากกว่า 635 ชนิด แอนโธไซยานินสามารถพบได้ในทุกส่วนของพืช ทั้งใบ ลำต้น ราก และส่วนสะสมอาหารต่างๆ แต่จะพบมากในส่วนดอก และผล โดยเฉพาะผลไม้ต่างๆ เช่น เบอร์รี่ เชอร์รี่ พืช องุ่น ทับทิม พลัม เป็นต้น ถือเป็นแหล่งของแอนโธไซยานินที่รู้จักอย่างแพร่หลาย ยังพบในผักสีเข้มหลายชนิด ได้แก่ แครอทม่วง ถั่วดำ มะเขือม่วง หัวแรดิชสีแดง ข้าวโพดสีขาว มันเทศสีม่วง เป็นต้น แอนโธไซยานินมีค่าความเป็นพิษต่ำมาก โดยมีปริมาณที่แนะนำให้บริโภค เท่ากับ 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน [16]

2.1.5 การแปรรูปผลตะขบ

ผลสดสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ ไวน์ตะขบ แยมตะขบ และน้ำผลไม้จากตะขบ เป็นต้น [8] มีนักศึกษาวิทยาลัยอาชีวศึกษาอุตรดิตถ์ ส่งประกวดผลิตภัณฑ์แปรรูปจากตะขบ คือ วุ้นตะขบ ประเภทผลงาน สิ่งประดิษฐ์ของคนรุ่นใหม่ ประเภทผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ปี พ.ศ. 2553 ได้รับรางวัลรองชนะเลิศอันดับ 1 ระดับรอบคัดเลือก ในงานนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์ หุ่นยนต์ และโครงงานวิทยาศาสตร์ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา [17]

2.2 น้ำตาล

น้ำตาล (Sugar) คือ ผลึกซูโครส (Sucrose) มีสูตรทางเคมี คือ $C_{12}H_{22}O_{11}$ [18] และเป็นแหล่งของพลังงาน จัดอยู่ในกลุ่มสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีรสหวาน [19]

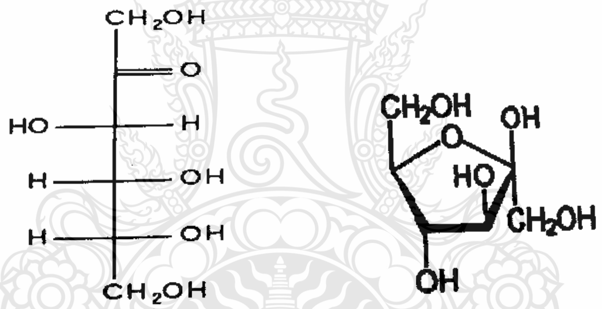
2.2.1 ประเภทของน้ำตาล

2.2.1.1 น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว หรือโมโนแซ็คคาไรด์ (Monosaccharide) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กที่สุด ซึ่งร่างกายไม่สามารถย่อยได้อีก น้ำตาลชนิดนี้ ได้แก่

1) กลูโคส (Glucose) มีสูตรทางเคมี คือ $C_6H_{12}O_6$ [20] เป็นที่รู้จักกันในชื่อว่า D-Glucose หรือ Dextrose พบว่าเป็นหน่วย (Unit) เล็กๆ ของแป้ง เซลลูโลส (Cellulose) และไกลโคเจน (Glycogen) [21] พบในผักผลไม้ที่มีรสหวาน [19] นอกจากนี้น้ำตาลกลูโคสยังเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugar) ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีหมู่อัลดีไฮด์อิสระอยู่ ทำให้สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีน

และเอนไซม์ต่างๆ ได้ [22] กลูโคสมีน้ำหนักโมเลกุล 180.2 ผลึกของกลูโคสที่ปราศจากน้ำจะเป็นรูปขนมเปียกปูน (Rhombic) มีจุดหลอมเหลวที่ 146 องศาเซลเซียส (295 องศาฟาเรนไฮต์) มีความหนาแน่น 1.544 ร้อยละ 26 ของสารละลายมีความหนาแน่น 1.10643 [20]

2) ฟรุคโตส (Fructose) มีสูตรทางเคมี คือ $C_6H_{12}O_6$ [20] เป็นที่รู้จักกันในรูปของ D-Fructose [21] เป็นน้ำตาลที่พบมากที่สุดในรูปน้ำตาลอิสระธรรมชาติ พบในน้ำผึ้ง ผักและผลไม้ที่มีรสหวาน รวมถึงน้ำตาลทราย เป็นน้ำตาลที่มีรสหวานกว่าน้ำตาลชนิดอื่น มีสูตรโครงสร้าง $C_6H_{12}O_6$ และมีน้ำหนักโมเลกุล 180.16 มีโครงสร้างทางเคมี (ดังแสดงในรูปที่ 2.5) [19], [23] ผลึกที่สมบูรณ์ของฟรุคโตสมีความหนาแน่น 1.598 ในสารละลายร้อยละ 26 ของน้ำหนักสารละลาย (w/w) มีความหนาแน่นที่ 1.1088 ผลึกมีจุดหลอมเหลวที่ 105 องศาเซลเซียส (211 องศาฟาเรนไฮต์) น้ำตาลฟรุคโตสละลายในน้ำได้เร็วมาก แต่ละลายได้เบาบางในเอทธานอล มีจุดอิ่มตัวในน้ำที่ร้อยละ 78.94 ของน้ำหนักที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส [20]

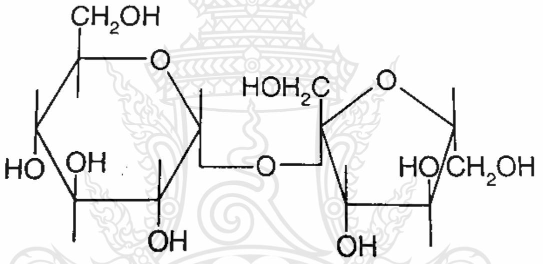


รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างฟรุคโตสแบบก้างปลาและแบบวงแหวน
ที่มา : [23]

3) กาแล็คโทส (Galactose) เป็นน้ำตาลที่ไม่พบในธรรมชาติในรูปของน้ำตาลอิสระ แต่จะได้จากการสลายของแลกโทสในน้ำนม [19]

2.2.1.2 น้ำตาลโมเลกุลคู่ หรือไดแซ็คคาไรด์ (Disaccharide) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่เกิดจากการรวมตัวของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 โมเลกุล ซึ่งอาจเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างกันก็ได้ น้ำตาลชนิดนี้ เมื่อกินเข้าไปร่างกายจะย่อยสลายให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ก่อนที่จะดูดซึมไปใช้ประโยชน์ น้ำตาลชนิดนี้ ได้แก่

1) ซูโครส (Sucrose) มีสูตรทางเคมี คือ $C_{11}H_{22}O_{11}$ มีน้ำหนักโมเลกุล 342.3 [20] เมื่อแตกตัวออกจะได้กลูโคส และฟรุคโตสอย่างละ 1 โมเลกุล มีโครงสร้างทางเคมี (ดังแสดงในรูปที่ 2.6) พบในผักและผลไม้ทั่วไป เช่น อ้อย ตาล มะพร้าว หัวบีท เป็นต้น [19] ซึ่งเป็นน้ำตาลที่พบได้ในพืชเกือบทุกชนิด [22] ผลึกของซูโครสที่บริสุทธิ์อยู่ในรูปมอนนอคเคลนนิค (Monoclenic) หรือเฟนนอนแดลคริสตัล (Phenoidal Crystal) มีความหนาแน่น 1.588 ในสารละลายร้อยละ 26 ของน้ำหนักสารละลาย (w/w) เมื่อละลายน้ำ มีความหนาแน่นที่ 1.108175 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส [19] ไม่มีสี และมีลักษณะโปร่งแสง ปกติเมื่อพืชสังเคราะห์จะสร้างแป้งเพื่อเก็บไว้เป็นอาหาร แต่ในพืชบางชนิดสามารถสังเคราะห์น้ำตาลซูโครสได้ในปริมาณสูง และเก็บไว้ในลำต้นหรือหัวได้ โดยเฉพาะอ้อย และหัวบีท เมื่อนำพืชประเภทนี้มาสกัดโดยน้ำ น้ำตาลก็จะละลายออกมา และเมื่อทำการสกัดสิ่งแปลกปลอมออก สามารถตกผลึกน้ำตาลได้ [21]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลซูโครส
ที่มา : [22]

2) มอลโทส (Moitose) มีสูตรทางเคมี คือ $C_{12}H_{22}O_{11}$ [20] เมื่อแตกตัวออกจะได้ กลูโคส 2 โมเลกุล พบในข้าวบาร์เลย์หรือข้าวมอลต์ [19] ในธัญญาหาร น้ำตาลชนิดนี้มีความหวานประมาณ 0.6 หน่วย เมื่อเทียบกับความหวานของน้ำตาลซูโครส 1 หน่วย มอลโทสอยู่ในรูปแบบของแป้งประกอบด้วยเอนไซม์ชนิดหนึ่ง คือ ไดแอสแทส (Diastas) หรือแอมมีลีส (Amylase) แตกตัวจากโครงสร้างลูกโซ่ทางเคมีหน่วยกลูโคส ซึ่งสร้างโมเลกุลของแป้ง (Starch) เอนไซม์นี้มีอยู่ในมอลท์ [20]

3) แล็คโทส (Lactose) คือ น้ำตาลจากนม (Milk Sugar) พบได้ทั้งในนมของสัตว์และของมนุษย์ มีสูตรทางเคมี คือ $C_{12}H_{22}O_{11}$ [20] เมื่อแตกตัวออกจะเป็นกลูโคสและกาแล็คโทสอย่างละ 1 โมเลกุล [19]

2.2.1.3 พวกที่ไม่ใช่น้ำตาล เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีรสหวานละลายน้ำยากหรือไม่ละลายเลย เกิดจากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือโมโนแซ็คคาไรด์จำนวนมากมาเกาะรวมตัวเป็นสารที่มีโมเลกุลเชิงซ้อน เรียกว่าโพลิแซ็คคาไรด์ (Polysaccharide) ได้แก่ แป้ง เซลลูโลส และไกลโคเจน [19]

2.2.2 ชนิดของน้ำตาล

2.2.2.1 น้ำตาลพื้นเมืองหรือน้ำตาลที่ไม่เป็นเกร็ด (Non-Centrifugal Sugar) เป็นน้ำตาลที่ยังไม่ได้ทำการปั่นแยกกากน้ำตาล และผลึกน้ำตาลออกจากกัน การผลิตน้ำตาลชนิดนี้ทำได้โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องจักร สามารถทำการผลิตภายในครัวเรือน วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ อ้อย มะพร้าว ตาล ต้นจาก น้ำตาลชนิดนี้ ได้แก่

1) น้ำตาลทรายแดง (Soft Brown Sugar) มีลักษณะเป็นผงละเอียดจับกันเป็นก้อน มีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีน้ำตาลเข้ม มีความชื้นสูง มีกลิ่นน้ำตาลไหม้ น้ำตาลชนิดนี้ผลิตจากอ้อยโดยตรง โดยการเคี่ยวในกระทะเปิด (Open Pan Method) หรือใช้กรรมวิธีการผลิตที่ทันสมัย [18], [24]

2) น้ำตาลมะพร้าว และน้ำตาลโตนด มีลักษณะเป็นก้อนเหนียว มีความหนืดสูง มีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีน้ำตาลเข้ม และมีความชื้นมาก น้ำตาลชนิดนี้ผลิตได้จากต้นตาล มะพร้าว และต้นจาก [18] การเรียกชื่อน้ำตาลชนิดนี้จะเรียกชื่อตามภาชนะที่บรรจุ ถ้าใส่อยู่ในปี๊บ เรียกว่า น้ำตาลปี๊บ ถ้าบรรจุอยู่ในหม้อใบเล็ก เรียกว่า น้ำตาลหม้อ นอกจากนี้ถ้านำมาตักหยอดให้เป็นก้อน แล้วนำทั้ง 2 ก้อน มาประกบกัน เรียกว่า น้ำตาลงบ เป็นต้น น้ำตาลชนิดนี้นิยมนำมาใช้ในการประกอบอาหาร และขนมไทยต่างๆ [24]

3) น้ำตาลกรวด (Crystalline Sugar) มีลักษณะเป็นก้อนหลายเหลี่ยม คล้ายก้อนสารส้ม มีสีขาวใส น้ำตาลชนิดนี้ผลิตได้จากน้ำเชื่อม โดยผ่านกระบวนการตกผลึกอย่างช้าๆ เป็นเวลาหลายวัน และมีความหวานน้อยกว่าน้ำตาลชนิดอื่น ใช้เชื่อมผลไม้ ตุ๋นรังนก ต้มยาจีน และทำขนมต่างๆ [18], [24]

2.2.2.2 น้ำตาลที่ผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือน้ำตาลเกร็ด (Centrifugal Sugar) เป็นการผลิตโดยใช้เครื่องจักร และเทคนิคการผลิตสมัยใหม่ น้ำตาลที่ได้จากโรงงานอยู่ในรูปของผลึกที่ได้จากการแยกกากน้ำตาล และผลึกน้ำตาลออกจากกัน วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้แก่ อ้อย หัวบีท และเมเปิล น้ำตาลชนิดนี้ ได้แก่

1) น้ำตาลทรายดิบ (Raw Sugar) เป็นน้ำตาลที่มีผลึกซูโครสที่มีความบริสุทธิ์ต่ำ เป็นเกล็ดสีน้ำตาลอ่อนถึงเข้ม มีความชื้นปานกลาง [24] เกล็ดน้ำตาลถูกห่อหุ้มไปด้วยกากน้ำตาลเป็นจำนวนมาก มีความบริสุทธิ์ต่ำ ผลึกน้ำตาลจะเกาะติดกันไม่ร่วนเหมือนน้ำตาลสีรำ มิได้ผ่านการฟอกสีเพื่อให้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น [18] วิธีการผลิตใช้ปูนขาวเป็นตัวฟอกสีของน้ำอ้อย

น้ำตาลชนิดนี้ผลิตจากอ้อยโดยตรง และยังไม่มีความบริสุทธิ์พอที่จะบริโภค ใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อทำน้ำตาลทรายขาว [28]

2) น้ำตาลทรายสีรำ (Brown Sugar) มีลักษณะเป็นเกร็ดใส แต่เกร็ดเล็กกว่าน้ำตาลทรายดิบเล็กน้อย มีขนาดเดียวกับน้ำตาลทรายขาวทั่วไป มีสีน้ำตาลอ่อนหรือคล้ายสีรำเนื่องจากสีของน้ำตาลไหม้หรือสีของกากน้ำตาล มีความชื้นน้อยกว่าน้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายสีรำส่วนมากผลิตจากน้ำตาลทรายแดง และน้ำเชื่อมซึ่งมีความบริสุทธิ์ต่ำ กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายสีรำส่วนใหญ่คล้ายกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว แต่ในกรรมวิธีทำความบริสุทธิ์นั้นทำอย่างง่ายๆ เพียงบางส่วน สีของน้ำตาลชนิดนี้จึงยังไม่ขาวสะอาด [18], [24]

3) น้ำตาลทรายขาว (Plantation White Sugar) มีลักษณะเป็นผลึกขาว มีความบริสุทธิ์สูง มีลักษณะเป็นเกร็ดใส มีสีขาวถึงสีเหลืองอ่อน มีความชื้นเล็กน้อย เกร็ดน้ำตาลร่วนไม่ติดกัน มีกากน้ำตาลอยู่เป็นส่วนน้อย ปกติน้ำตาลชนิดนี้ผลิตจากอ้อยโดยตรง [18] วิธีการผลิตใช้กรรมถันหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวฟอกสี ใช้บริโภคในครัวเรือน และใช้ในการทำอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับน้ำตาลเป็นส่วนใหญ่ [24]

4) น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (Refined Sugar) มีลักษณะเป็นผลึกใสสะอาด มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาวใสปราศจากกากน้ำตาล เกือบไม่มีความชื้นเลย ในการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์นี้ ปกติใช้น้ำตาลดิบเป็นวัตถุดิบ [18]

5) น้ำตาลทรายอัดเม็ดหรือน้ำตาลปอนด์ (Cube Sugar) น้ำตาลที่มีลักษณะเป็นก้อนรูปสี่เหลี่ยม นิยมใช้ในการชงเครื่องดื่มประเภท น้ำชา กาแฟ ได้จากการอัดน้ำตาลทรายขาวเป็นก้อน แล้วผ่านเข้าอบด้วยความร้อนจากแสงอินฟราเรด เพื่อลดความชื้นให้เหลือเพียงร้อยละ 0.5-1.0 จากนั้นนำมาเป่าด้วยลมเย็น เพื่อให้แข็งเป็นก้อนบรรจุใส่กล่องกระดาษ [24]

2.2.3 สมบัติของน้ำตาล [24]

2.2.3.1 ให้ความหวาน เป็นสมบัติเด่นของน้ำตาลที่เป็นจุดประสงค์หลักในการประกอบอาหาร ความหวานของน้ำตาลเกิดจากการกระตุ้นของต่อมรับรสที่บริเวณลิ้น และภายในช่องปาก ซึ่งความหวานที่รับรู้ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำตาล ปกติความหวานของน้ำตาลมักแสดงในรูปของการเปรียบเทียบจากความหวานของน้ำตาลซูโครสเป็นหลัก โดยให้ความหวานของน้ำตาลซูโครสเท่ากับ 100 ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความหวานของน้ำตาลประเภทต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลซูโครส

ประเภทน้ำตาล	ความหวานเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลซูโครส
ฟรุคโตส	140-175
ซูโครส	100
กลูโคส	70-75
มอลโทส	32-46
กาแล็คโทส	27
แล็คโทส	16

หมายเหตุ : ซูโครส มีความหวานเท่ากับ 100

ที่มา: ดัดแปลงจาก [24]

2.2.3.2 การละลาย (Solubility) น้ำตาลแต่ละประเภทสามารถละลายได้แตกต่างกัน ในธรรมชาติน้ำตาลฟรุคโตสเป็นน้ำตาลที่มีสมบัติละลายน้ำได้ดีที่สุด รองลงมา คือ น้ำตาลซูโครส และน้ำตาลที่ละลายได้น้อยที่สุด คือ น้ำตาลแล็คโทส ในการประกอบอาหารน้ำตาลที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซูโครส ดังนั้นเมื่อทดลองสมบัติการละลายจึงมักใช้น้ำตาลซูโครสเป็นตัวทดสอบ โดยพบว่า เมื่อใช้น้ำ 1 ส่วน จะละลายน้ำตาลได้ 2 ส่วน กล่าวคือน้ำตาลจะละลายได้สูงสุด จุดนี้เรียกว่า จุดอิ่มตัวน้ำตาลซูโครสที่อุณหภูมิห้อง สามารถละลายได้ร้อยละ 68 และถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้น กลายเป็นสารละลายที่มีความอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturation)

2.2.3.3 จุดเดือดของสารละลายน้ำตาล การละลายของน้ำตาลส่งผลให้จุดเดือดของน้ำเชื่อมสูงขึ้น เนื่องจากการละลายของน้ำตาลจะไม่ถึงจุดอิ่มตัวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ จุดเดือดของน้ำเชื่อมจึงสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงใช้จุดเดือดของน้ำเชื่อมเป็นตัววัดระดับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล (ดังแสดงในตารางที่ 2.3) เมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น น้ำที่อยู่ในสารละลายน้ำตาลจะระเหยออกไป จึงนำหลักการดังกล่าวมาใช้ในการเตรียมน้ำเชื่อมให้มีความเข้มข้นในระดับต่างกัน

ตารางที่ 2.3 จุดเดือดของสารละลายน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น (ร้อยละ)		**จุดเดือด**
น้ำตาล	**น้ำ**	**(องศาเซลเซียส)**
30.0	70.0	100
50.0	50.0	102
70.0	30.0	106
90.0	10.0	123
95.0	5.0	140
97.0	3.0	151
99.5	0.5	166
99.6	0.4	171

ที่มา: [24]

2.2.3.4 การตกผลึกน้ำตาล เกิดจากการนำน้ำเชื่อมที่มีความอิ่มตัวมาลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิของจุดอิ่มตัว น้ำเชื่อมจะอยู่ในภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด ถ้าอุณหภูมิลดลงมากเท่าใด ปริมาณน้ำตาลที่ละลายอยู่จะเกินจุดอิ่มตัวมากขึ้นเท่านั้น การตกผลึกของน้ำตาลจะเกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าน้ำเชื่อมอยู่ในสภาพอิ่มตัวมากเกินไป เมื่อปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นน้ำเชื่อมจะแข็งตัวทันที โดยไม่มีโอกาสเกิดผลึก การตกผลึกของน้ำตาลจะต้องปล่อยให้น้ำเชื่อมอยู่ในสภาพอิ่มตัวยิ่งยวด หลังจากนั้นปล่อยให้เกิดจุดกลาง (Nuclei) เพื่อเป็นจุดเริ่มแรกของผลึก โมเลกุลของน้ำตาลจะเข้ามาจับเกาะพอกพูนจนเป็นผลึกน้ำตาลขนาดใหญ่ ขนาดของผลึกขึ้นอยู่กับปริมาณของจุดกลาง และอัตราเร็วของการเกาะตัวของโมเลกุลน้ำตาล โดยถ้าจุดกลางเกิดขึ้นมากและอัตราการเกาะตัวของโมเลกุลเป็นไปอย่างรวดเร็ว ผลึกน้ำตาลที่ได้จะมีขนาดเล็ก และมีจำนวนมาก ในทางตรงกันข้าม ถ้าจุดกลางมีน้อยและอัตราเร็วของการเกาะตัวของโมเลกุลน้ำตาลเป็นไปอย่างช้าๆ ผลึกน้ำตาลที่ได้จะมีขนาดใหญ่และมีจำนวนน้อย ซึ่งปริมาณจุดกลางและอัตราการเกาะตัวของโมเลกุลน้ำตาลขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ คือ

1) ชนิดของน้ำตาล น้ำตาลบางชนิดตกผลึกได้ง่าย เช่น น้ำตาลแล็คโทส ส่วนน้ำตาลบางชนิดตกผลึกยาก เช่น น้ำตาลฟรุคโตสที่ต้องทำให้เกิดการละลายเกินจุดอิ่มตัวสูง และอาจต้องอาศัยการเพาะให้เกิดผลึก สังเกตได้จากเมื่อทำผลไม้กวนที่มีความเป็นกรดหรือความเปรี้ยว น้ำตาลทรายจะแตกให้กลูโคส และฟรุคโตส ผลไม้ที่ได้จะไม่ตกผลึกหรือตกทราย เช่น สับปะรดกวน

มะม่วงกวน เป็นต้น ส่วนผลไม้ที่ไม่มีรสเปรี้ยวเมื่อนำมาแปรรูปน้ำตาลจะไม่แตกตัว เมื่อทิ้งไว้จะเกิดผลึกขึ้นที่ผลไม้ เช่น ผิวส้มโอเชื่อม ฝักเขียวเชื่อม เป็นต้น

2) ความเข้มข้นของน้ำตาล ปริมาณน้ำตาลที่ละลายเกิดจุดอิ่มตัวมากจะเกิดจุดกลางได้ง่ายเช่น น้ำเชื่อมจุดเดือดที่ 114 องศาเซลเซียส จะเกิดจุดกลางและมีอัตราการเกาะตัวของโมเลกุลน้ำตาลมากกว่าน้ำเชื่อมจุดเดือดที่ 112 องศาเซลเซียส เป็นต้น ดังนั้นน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นมากกว่ามีอัตราการเกาะตัวสูงกว่าน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นต่ำ

3) อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก เป็นอุณหภูมิหลังจากให้ความร้อนหรือหลังจากยกลงจากเตาแล้วทิ้งให้เย็นตัวจนประทั้งเกิดผลึก อุณหภูมิของการเกิดผลึกในช่วงดังกล่าวมีผลอย่างมากต่อขนาดของผลึก โดยถ้าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกสูงทำให้น้ำตาลละลายอยู่เกินจุดอิ่มตัวน้อยจะเกิดผลึกขนาดใหญ่ ถ้าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกต่ำลงมา ปริมาณน้ำตาลที่ละลายอยู่เกินจุดอิ่มตัวสูงขึ้นผลึกที่ได้จะมีขนาดเล็กลง หากปล่อยให้น้ำเชื่อมให้เย็นตัวมากเกินไป ความหนืดของน้ำเชื่อมอาจสูงจนกระทั่งทำให้เกิดผลึกได้ยาก อุณหภูมิที่ดีที่สุดสำหรับการเกิดผลึกในสารละลายน้ำตาลอิ่มตัวที่ต้มจนอุณหภูมิถึง 112 องศาเซลเซียส คือ ทิ้งไว้ให้สารละลายน้ำตาลมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 70-90 องศาเซลเซียส เป็นต้น

4) การเพาะให้เกิดผลึก (Seeding) คือ การทำให้เกิดจุดกลางขึ้น อาจใช้วิธีการใส่ผลึกเล็กๆ ของน้ำตาลซูโครสลงไปในน้ำเชื่อมที่มีสารละลายน้ำตาลเกินจุดอิ่มตัว จะชักนำทำให้น้ำตาลเกิดผลึก วิธีการนี้เรียกว่า การเพาะให้เกิดผลึก โดยผลึกน้ำตาลทำหน้าที่เป็นจุดกลางให้โมเลกุลของน้ำตาลเข้ามาจับเกาะรอบๆ จนเป็นผลึกขนาดใหญ่ต่อไป ถ้าปริมาณน้ำตาลที่ใส่มีปริมาณมากและเป็นผลึกขนาดเล็กจะมีจุดกลางที่เกิดผลึกจำนวนมาก ผลึกที่ได้มีขนาดเล็กในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำตาลที่ใช้มีปริมาณน้อย จะได้จำนวนผลึกน้อยแต่มีขนาดใหญ่ น้ำตาลที่ใช้เพาะผลึกนั้นมักมีขนาดเล็ก

5) การกวน เป็นการช่วยให้เกิดจุดกลางมากขึ้น และช่วยให้ผลึกที่ได้มีขนาดไม่ใหญ่จนเกินไป เนื่องจากการกวนทำให้ผลึกกระทบกันตลอดเวลา โมเลกุลของน้ำตาลไม่สามารถเกาะกันจนมีขนาดใหญ่ได้ และถ้าต้องการให้ผลึกมีขนาดเล็กต้องกวนจนกระทั่งน้ำเชื่อมเหนียวข้นหรือจนกว่าการตกผลึกสิ้นสุดลง ถ้าหยุดกวนโดยที่อุณหภูมิไม่ต่ำพอทำให้ยังไม่เกิดจุดกลางมากนัก และเมื่อปล่อยทิ้งไว้ผลึกที่มีอยู่สามารถมีขนาดใหญ่ขึ้นได้

6) สารขัดขวางการตกผลึกของน้ำตาลซูโครส ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุคโตส ไขมัน และแป้ง เป็นต้น โดยถ้าสารดังกล่าวอยู่ในน้ำเชื่อมทำให้อัตราการตกผลึกช้าลง

เนื่องจากผลึกดูดจับสิ่งเจือปนนั้นไว้ โมเลกุลของน้ำตาลเกาะได้ไม่เต็มที่ จึงเกิดผลึกที่มีขนาดเล็ก หากเพิ่มสารดูดจับมากขึ้นอาจทำให้ขนาดของผลึกหยุดโดยสิ้นเชิง

7) เวลา เมื่อตั้งน้ำตาลที่ตกผลึกทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ลักษณะของผลิตภัณฑ์มีความนุ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าการตกผลึกเกิดจากการกวน แต่ถ้าเก็บไว้นานเกินไป ทำให้ผลึกขนาดเล็กเกิดการรวมตัวเป็นผลึกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และเนื้อสัมผัสหยาบขึ้น อาจป้องกันได้ด้วยการใส่น้ำตาลชนิดอื่นหรือไขมันลงไป

2.2.3.5 การหลอมเหลวของน้ำตาล เมื่อนำน้ำตาลมาตั้งไฟเพื่อให้น้ำตาลหลอมเหลว พบว่า น้ำตาลแต่ละชนิดมีจุดหลอมเหลวที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 จุดหลอมเหลวของน้ำตาลชนิดต่างๆ

ประเภทของน้ำตาล	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
กลูโคส	146-150
ฟรุคโตส	102-104
แมนโนส	132-133
แล็คโทส	201-202
มอลโทส	102-103
ซูโครส	160-186
แรฟฟิโนส	80

ที่มา: [24]

2.2.3.6 การดูดความชื้นในอากาศ น้ำตาลแต่ละประเภทมีความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศแตกต่างกัน น้ำตาลฟรุคโตสเป็นน้ำตาลที่สามารถดูดความชื้นได้มากที่สุด ถ้าความชื้นสัมพันธ์ในอากาศสูงน้ำตาลจะดูดความชื้นได้มาก ทำให้ผิวของผลึกละลาย และเมื่อนำมาเก็บไว้ในที่ๆ มีความชื้นต่ำผิวของผลึกจะกลับมาแห้งอีกครั้งในลักษณะจับตัวเป็นก้อน การป้องกันการดูดความชื้นของน้ำตาล อาจทำได้โดยการใส่แคลเซียมฟอสเฟตหรือแป้งในปริมาณร้อยละ 1-3 หรืออาจบรรจุน้ำตาลในถุงที่มีสารดูดความชื้นช่วยให้สามารถเก็บได้นานขึ้น

2.2.3.7 ให้เนื้อและน้ำหนักแก่ผลิตภัณฑ์ อาหารที่มีส่วนประกอบของน้ำตาลเป็นส่วนใหญ่ คือ มีน้ำตาลถึงร้อยละ 70 ของน้ำหนักทั้งหมด เช่น ลูกกวาด น้ำผลไม้เข้มข้น เป็นต้น

น้ำตาลช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และให้ลักษณะความเป็นเนื้อ (Body) เนื่องจากการใช้น้ำตาลในสารละลายจำนวนมาก ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืดและความเป็นเนื้อที่ผู้บริโภคยอมรับ

2.2.3.8 ทำให้เกิดแรงดันออสโมติก (Osmotic Pressure) สารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงสามารถดึงน้ำออกจากเซลล์ของผักและผลไม้ได้ รวมทั้งเนื้อสัตว์ พบในการแปรรูปอาหารจากน้ำตาลประเภทแช่อิ่ม เมื่อใส่น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นสูงลงไปผลไม้มีลักษณะเหี่ยวย่น เนื่องจากน้ำในผลไม้ถูกดึงออกจากเซลล์ด้วยแรงดันออสโมติก ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้

2.2.3.9 การสลายตัวด้วยกรด น้ำตาลโมเลกุลคู่ เมื่อผสมกับกรดเกิดการแตกตัว โดยเฉพาะเมื่อในอุณหภูมิสูงจะแตกตัวได้เร็วยิ่งขึ้น น้ำตาลซูโครสแตกตัวให้น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุคโตส ทำให้สมบัติของน้ำตาลเปลี่ยนแปลงไป การสลายตัวด้วยกรดขึ้นอยู่กับความร้อนที่ใช้ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมักไม่มีผลต่อการสลายตัวด้วยกรด การสลายตัวจะเกิดขึ้นเร็วเมื่อความเข้มข้นของกรดมาก และระยะเวลาที่ให้ความร้อน หากให้ความร้อนต่ำ และระยะเวลานานจะเกิดการสลายตัวมากกว่าการใช้ความร้อนสูงระยะเวลาสั้น

2.2.3.10 การสลายตัวด้วยด่าง มีผลกับน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็นส่วนใหญ่ ทั้งน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุคโตสจะแตกตัวให้สารประกอบหลายชนิด เช่น กรดแลกติก กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก เป็นต้น สารประกอบที่เกิดขึ้นจะมีสีน้ำตาล และมีกลิ่นเฉพาะตัว เมื่อนำมาทำผลิตภัณฑ์จะได้สีคล้ำกว่าปกติ อัตราการสลายตัวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ และปริมาณความเข้มข้นของด่างที่ใช้

2.2.4 กระบวนการผลิตน้ำตาล มีดังนี้ [25]

2.2.4.1 การต้มระเหย (Evaporation) ในการแปรสภาพน้ำหวานให้ใสกลายเป็นน้ำเชื่อม (Syrup) ซึ่งมีความเข้มข้นระหว่าง 60-65 องศาบริกซ์ จะต้องนำน้ำหวานไปต้มในหม้อต้มระเหย (Evaporators)

2.2.4.2 การต้มเคี่ยวน้ำเชื่อม (Boiling) น้ำเชื่อมถูกนำไปต้มเคี่ยวในหม้อเคี่ยวซึ่งใช้ความร้อนต่ำภายใต้สุญญากาศ (Vacuum pan) ความร้อนที่ใช้ประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส สุญญากาศประมาณ 26-28 นิ้วของปรอท น้ำเชื่อมถูกเคี่ยวจนมีความเข้มข้นมากขึ้นจนกระทั่งเกิดผลึก (Crystalline Mass) เมื่อน้ำเชื่อมอยู่ในลักษณะที่เต็มไปด้วยผลึกน้ำตาล เรียกว่า Massecuite ซึ่งมีน้ำเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 8-10 การเกิดผลึกน้ำตาลจะเริ่มขึ้นเมื่อน้ำเชื่อมมีความหนาแน่นประมาณ 80 องศาบริกซ์ และกำลังอยู่ในภาวะถูกชักนำเร่งเร้าให้ตกผลึกด้วยกลวิธีใดวิธีหนึ่ง เช่น การต้มเคียวต่อไปจนตกผลึกเอง หรือการเติมน้ำเชื่อมเข้าไปในหม้อเคี่ยวทันทีเพื่อลดจุดเดือด ซึ่งจะเป็นเหตุให้มีการเดือดอย่างกะทันหันรุนแรงเกิดความสั่นสะเทือนไปทั่วมวลของน้ำเชื่อม ซึ่งอยู่ในสภาวะการละลายอิ่มตัวสูงสุด (Super-Saturated State) ของน้ำตาล ผลึกน้ำตาลจะเกิดขึ้นทันที วิธีการชักนำ

ให้ตกผลึกในลักษณะนี้ เรียกว่า Shock Seeding ในการต้มเคี่ยวน้ำเชื่อม ซึ่งเกิดผลึกน้ำตาลให้ได้ผลึกตามขนาด และปริมาณที่ต้องการนั้นอาศัยกฎทั่วๆ ไป ดังนี้

1) น้ำเชื่อมควรใส และมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดในหม้อเคี่ยว ประมาณ 5 องศาเซลเซียส

2) น้ำเชื่อมยิ่งจางเท่าใดยิ่งได้ผลึกใหญ่เท่านั้น แต่ถ้าน้ำเชื่อมยังเข้มข้นเท่าใดก็ยิ่งได้ผลึกเล็กลงเท่านั้น

3) น้ำเชื่อมยิ่งเข้มข้นยิ่งได้ผลึกสม่ำเสมอ ถ้าได้สายโยงใย (Thread) ที่จางยิ่งทำให้ความเข้มข้นครั้งสุดท้ายต่ำลง เมื่อจะทำน้ำตาลชนิดเกล็ดละเอียด ต้องเคี่ยวให้ Massecuite เข้มข้นมากก่อนที่จะเปลี่ยนน้ำเชื่อมเข้าเลี้ยงในหม้อเคี่ยวทุกครั้ง

4) เมื่อต้องการทำน้ำตาลชนิดเกล็ดใหญ่ให้ปล่อยน้ำเชื่อมเข้าหม้อเคี่ยวเป็นจำนวนมากในครั้งแรก และเมื่อต้องการทำน้ำตาลชนิดเกล็ดละเอียดให้ปล่อยน้ำเชื่อมเข้าหม้อเคี่ยวทีละน้อยแต่บ่อยๆ ครั้ง

5) เมื่อค่อยๆ เคี่ยวต่อไปจนถึงจุดเดือดจะได้ผลึกน้ำตาลที่สม่ำเสมอ แต่ถ้าเคี่ยวให้เดือดพล่านทันทีจะได้ผลึกน้ำตาลขนาดเล็กละเอียด

6) เมื่อจะทำให้เกิดผลึกน้ำตาล ต้องให้ระดับของน้ำเชื่อมอยู่เหนือ Calandria หรือ Heated coil ปริมาณของน้ำเชื่อมที่มีอยู่ในหม้อเคี่ยวขณะที่เกิดผลึกน้ำตาล ควรอยู่ในระหว่างร้อยละ 25-40 ของปริมาณน้ำเชื่อมทั้งหมดที่จะใช้ในการต้มเคี่ยว

7) การที่จะทำให้ปริมาณของผลึกน้ำตาลคงที่ ต้องระวังอย่า เติมน้ำเชื่อมเข้าหม้อเคี่ยวเกินกว่า 1 ครั้ง เมื่อถึงระยะจุดอิ่มตัวสูงสุด ถ้าเติมน้ำเชื่อมเข้าไปอีก ปริมาณของผลึกน้ำตาลจะไม่คงที่ และขนาดของผลึกที่ได้จะไม่สม่ำเสมอ

8) ในระยะต้นของการต้มเคี่ยวน้ำเชื่อมที่เดือด ควรมีลักษณะเหลวใส ถ้าข้นเหนียวจะเกิดผลึกแทรกซ้อนขนาดเล็กได้

9) การลดอุณหภูมิของน้ำเชื่อมที่กำลังเดือดให้ต่ำลงจะได้สีของน้ำตาลที่จางกว่า

2.2.5 การบริโภคน้ำตาล [26]

ความต้องการใช้น้ำตาลในประเทศไทยได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นโดยตลอด ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร และการขยายตัวของอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ใช้น้ำตาล เมื่อพิจารณาแยกตามลักษณะการบริโภคโดยตรง และการบริโภคโดยทางอ้อม ได้ดังนี้

2.2.5.1 การบริโภคโดยตรง ได้แก่ การใช้น้ำตาลประกอบอาหารประจำวัน ตามครัวเรือน ร้านอาหาร และเครื่องดื่มต่างๆ ปัจจัยที่กำหนดปริมาณการเปลี่ยนแปลงของการบริโภคโดยตรง ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของประชากร รายได้ของประชากร หรือมาตรฐานการครองชีพที่เพิ่มขึ้น

2.2.5.2 การบริโภคโดยทางอ้อม ได้แก่ การใช้น้ำตาลเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตของอุตสาหกรรมอื่นๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับอาหาร และเครื่องดื่ม เช่น อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นมต่างๆ อุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง ไอศกรีม อุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม ตลอดจนอุตสาหกรรมผลิตยาต่างๆ

2.2.6 การถนอมผลิตภัณฑ์น้ำตาล

ปกติน้ำตาลมีความชื้นต่ำจนจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ แต่ถ้าได้รับความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อใด โอกาสที่น้ำตาลจะเสียเป็นไปได้มาก ดังนั้น จึงควรเก็บไว้ในที่ปลอดภัยจากสัตว์หรือแมลงและป้องกันความชื้นมิให้เข้าไปในน้ำตาลได้ และควรเก็บที่อุณหภูมิระหว่าง 4.4-7.2 องศาเซลเซียส [27]

2.3 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ (Free radical) หรือ แอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant) [28] หมายถึงโมเลกุลของสารที่สามารถป้องกันหรือชะลอกระบวนการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปยังสารออกซิไดซ์ (Oxidizing Agent) ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติในอาหาร เกิดสารที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย และยังสามารถทำลายคุณค่าทางโภชนาการด้วย นอกจากนั้นอนุมูลอิสระยังสามารถทำลายเซลล์ของร่างกาย สารต้านอนุมูลอิสระจะเข้าไปยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่เหล่านี้ด้วยการเข้าจับกับอนุมูลอิสระ และสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) ได้ [29]

2.3.1 ความสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระ [29]

สารต้านอนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันทั้งในระบบของอาหาร (Food System) และร่างกายมนุษย์ (Homan Body) ในระบบของอาหารนั้น สารต้านอนุมูลอิสระจะช่วยชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหาร และลดหรือกำจัดอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นทุติยภูมิ ซึ่งจะช่วยรักษาคุณภาพของอาหารด้านต่างๆ เช่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ และสีของอาหารในระหว่างการแปรรูป และเก็บรักษา นอกจากนี้สารต้านอนุมูลอิสระยังช่วยลดการเกิดออกซิเดชันของโปรตีนและอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างหมู่คาร์บอนิลของอนุพันธ์ลิพิดกับโปรตีน สำหรับในร่างกายมนุษย์นั้นสารต้านอนุมูลอิสระทำหน้าที่ป้องกัน

ความเสียหายของเซลล์ต่างๆ จากการเกิดออกซิเดชันโดยอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายซึ่งเป็นสารทำให้เกิดโรคต่างๆ และความแก่ชรา

อนุมูลอิสระเป็นสารที่มีอิเล็กตรอน ซึ่งไม่มีคู่ (Unpaired Electron) อยู่ในวงรอบของอะตอมหรือโมเลกุล ทำให้ไม่เสถียรและสามารถไปจับกับอะตอมหรือโมเลกุลอื่น เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ เช่น อนุมูลไฮดรอกซี (Hydroxy Radical) อนุมูลซุเพอร์ออกไซด์ (Superoxide Radical) อนุมูลเพอร์ออกซี (Peroxy Radical) อนุมูลแอลคอกซี (Alkoxy Radical) และอนุมูลไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide Radical) เป็นต้นซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้ เกิดได้จากปัจจัยทั้งภายในร่างกาย เช่น การเผาผลาญอาหาร การหายใจ การออกกำลังกาย การติดเชื้อ และความเครียด และภายนอกร่างกาย ได้แก่ อาหารที่เกิดการออกซิไดซ์ในระหว่างกระบวนการแปรรูป และการเก็บรักษา สารกันบูด ยาฆ่าแมลง แสงอัลตราไวโอเลต และมลพิษต่างๆ เป็นต้น

โดยปกติหากเกิดอนุมูลอิสระในร่างกายหรือร่างกายได้รับสารอนุมูลอิสระเหล่านี้จากภายนอกร่างกายจะมีกลไกในการกำจัดอนุมูลอิสระเหล่านี้ได้ 2 วิธี คือ ใช้เอนไซม์ในร่างกายที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น เอนไซม์ซุเพอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (Superoxide Dismultase) เอนไซม์กลูตาไทโอนเพอร์ออกซิเดส (Glutathione Peroxidase) และเอนไซม์คาตาเลส (Catalase) เป็นต้น และสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช่เอนไซม์ ได้แก่ วิตามินอี (Tocopherol) บีตา-แคโรทีน (Beta-Carotene) และวิตามินซี (Vitamin C) เป็นต้น แต่เนื่องจากกลไกของร่ายกายมีข้อจำกัดในการกำจัดอนุมูลอิสระเหล่านี้ให้หมดไปได้ จึงมีความจำเป็นต้องได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากแหล่งภายนอก โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากอาหาร เพื่อให้เพียงพอต่อความจำเป็นของร่างกาย ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ควรพิจารณา คือ การหลีกเลี่ยงการรับอนุมูลอิสระจากภายนอกเข้าไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากอาหารที่เราจำเป็นต้องบริโภคทุกวัน ดังนั้นการป้องกันการเกิดออกซิเดชันในอาหารจึงจำเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้การแสวงหาแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภคจึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารและวิทยาศาสตร์สุขภาพ

2.3.2 ชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระ [29]

สารต้านอนุมูลอิสระสามารถจำแนกออกได้ตามโครงสร้างและกลไกลการต้านการเกิดออกซิเดชันที่แตกต่างกัน ดังนี้

2.3.2.1 สารต้านอนุมูลอิสระทั่วไป (General Antioxidant) มีบทบาทสำคัญในการทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระแล้วกลายเป็นสารประกอบที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยา โดยทั่วไปกลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระเพอร์ออซี และแอลคอกซี ที่เกิดจากการสลายตัวของสารประกอบเพอร์ออกไซด์

2.3.2.2 สารช่วยให้สารประกอบเพอร์ออกไซด์มีความคงตัว (Peroxide Stabilizer) มีบทบาทในการป้องกันหรือยับยั้งสารละลายตัวของสารประกอบเพอร์ออกไซด์ไปเป็นอนุมูลอิสระ

2.3.2.3 สารเสริมฤทธิ์ (Synergists) เป็นสารที่ไม่มีกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระ แต่มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมให้สารต้านอนุมูลอิสระสามารถทำงานได้ดีขึ้น ในลักษณะการรวมพลังให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีขึ้นกว่าเดิม

2.3.2.4 สารคีเลต (Chelating Agent) หรือสารจับโลหะ เป็นสารที่ทำหน้าที่ในการจับกับโลหะที่เป็นตัวกระตุ้นให้สารประกอบเพอร์ออกไซด์สลายตัวเป็นอนุมูลอิสระ เมื่อสารคีเลตจับกับโลหะเกิดเป็นสารประกอบที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยา ส่งผลให้โลหะไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาต่อได้

2.3.2.5 สารจับออกซิเจนซิงเกลต (Singlet Oxygen Quencher) หรือสารจับออกซิเจนเดี่ยว มีบทบาทในการเปลี่ยนซิงเกลตออกซิเจนหรือออกซิเจนที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว (Singlet Oxygen) ที่อยู่ในสถานะถูกกระตุ้น (Excited State) ไปเป็นทริพเลตออกซิเจนหรือออกซิเจนที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว 2 ตัว (Triplet Oxygen) ที่อยู่ในสถานะพื้น (Ground State) ซึ่งมีความเสถียร

2.3.3 แหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระ

ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ได้มาจากพืชผัก เครื่องเทศ และสมุนไพร ได้รับความสนใจ และศึกษากันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากกระแสเรื่องความปลอดภัยของสารสกัดจากธรรมชาติ สารต้านอนุมูลอิสระแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิด [30] ได้แก่

2.3.3.1 สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic Antioxidants) การนำสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์มาใช้ในอาหารนั้นมีข้อจำกัดเกี่ยวกับความปลอดภัยของผู้บริโภค จึงทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการวิจัยและพัฒนา นอกจากนี้ต้องใช้ระยะเวลาในการอนุมัติใช้กฎหมายในการใช้วัตถุเจือปนอาหารค่อนข้างนาน [29] และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันอันเป็นสาเหตุให้อาหารมีกลิ่น สี และรสชาติที่เปลี่ยนไป สารสังเคราะห์เหล่านี้มีประสิทธิภาพและความคงตัวสูงกว่าสารสกัดจากธรรมชาติ แต่มีข้อจำกัดของการใช้เนื่องจากปัญหาด้านความปลอดภัยในการบริโภค [30], [31] สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน [29] มีดังนี้

1) Butylated Hydroxyanisole (BHA) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว สามารถละลายได้ในไขมัน อัตราส่วนที่นิยมใช้โดยทั่วไป ได้แก่ ส่วนผสมของ 3-บีเอชเอ (3-BHA) และ 2-บีเอชเอ (2-BHA) ในอัตราส่วน 9:1 มีการนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ขนมอบ น้ำมะพร้าว น้ำมันปาล์ม ผลิตภัณฑ์ลูกอม และบรรจุภัณฑ์ต่างๆ [29]

2) Butylated Hydroxytoluene (BHT) มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว สามารถละลายได้ในน้ำมัน มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในอาหารหลายชนิด ในระดับอุตสาหกรรมมีการใช้ บีเอชเอ และบีเอชที เนื่องจากมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าการใช้เพียงชนิดเดียว นิยมใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์พาสตา เค้ก ขนมขบเคี้ยว น้ำมันพืช และเนยเทียม [29]

3) Tertiary Butylhydroquinone (TBHQ) มีลักษณะเป็นผลึกสีขาวถึงน้ำตาล ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ ไขมัน และน้ำ ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันพืชสูงกว่าบีเอชเอ และบีเอชที มีความเสถียรต่อความร้อน จึงนิยมนำมาใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้ทอดอุณหภูมิสูง [29]

4) แกลเลต (Gallate) มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว สามารถละลายในน้ำได้เล็กน้อย มีการอนุญาตให้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ โพรพิลแกลเลต (Propyl Gallate) ออกทิลแกลเลต (Octyl Gallate) และโดเดซิลแกลเลต (Dodecyl Gallate) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอาหาร ที่ไม่สามารถใช้บีเอชเอ บีเอชที และทีบีเอชคิว ได้ แต่แกลเลตจะไม่คงตัวที่อุณหภูมิสูง สลายตัวที่อุณหภูมิ 148 องศาเซลเซียส จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในน้ำมันสำหรับทอดอาหาร [29]

5) กรดอิริโทรบิก (Erythorbic Acid) และแอสคอร์บิลปาลมิเทต มีลักษณะเป็นผลึกสีขาวหรือเหลืองเล็กน้อย สามารถสังเคราะห์ได้จากอนุพันธ์ของกรดแอสคอร์บิก แอสคอร์บิลปาลมิเทต มีความสามารถในการละลายในไขมันได้ดีกว่ากรดแอสคอร์บิก จึงนิยมนำมาใช้ในอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบร่วมกับโทโคฟีรอล [29]

6) เอทอกซิควิน (Ethoxyquin) มีลักษณะเป็นผลึกสีขาวหรือเหลืองเล็กน้อย มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในการเก็บรักษาพริกป่น และปาปริกา นอกจากนั้นยังมีการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์จากสัตว์อื่นๆ ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 100 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัม เอทอกซิควินมีหน้าที่ในการป้องกันการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ในอาหาร [29]

2.3.3.2 สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Natural Antioxidants) สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร และมีบทบาทในการป้องกันโรคต่างๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาในร่างกาย เช่น โรคที่เกิดจากธรรมชาติมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารมากขึ้น สารกลุ่มนี้ได้รับความสนใจและมีการค้นคว้าอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากความเชื่อมั่นว่ามีความปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ สามารถพบได้ในสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ซึ่งเป็นได้ทั้งเอนไซม์ วิตามิน และสารอื่นๆ [30], [31] สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย [29] ได้แก่

1) โทโคฟีรอล (Tocopherol) ในธรรมชาติประกอบด้วยแอลฟา-โทโคฟีรอล (α-Tocopherol) บีตา-โทโคฟีรอล (β-Tocopherol) แกมมา-โทโคฟีรอล (γ-Tocopherol) และเดลตา-โทโคฟีรอล (δ-Tocopherol) โดยโครงสร้างของโทโคฟีรอลประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของวงแหวน 6-โครมานอล (6-Chromanol) เป็นส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลเกาะอยู่และสามารถให้โปรตอนกับอนุมูลอิสระได้ และส่วนของสายคาร์บอน (Side Chain) เป็นส่วนที่ชอบไขมัน (Hydrophobic) โทโคไตรอีนอล ในธรรมชาติประกอบด้วยแอลฟา-โทโคไตรอีนอล (α-Tocotrienol) บีตา-โทโคไตรอีนอล (β-Tocotrienol) แกมมา-โทโคไตรอีนอล (γ- Tocotrienol) และเดลตา-โทโคไตรอีนอล (δ-Tocotrienol) โดยโทโคไตรอีนอลประกอบด้วยหน่วยย่อยของไอโซพรีนอยด์ 3 หน่วย ที่มีสายคาร์บอนไม่อิ่มตัวตรงคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 7 และ 11 [29]

2) กรดแอสคอร์บิกและเกลือแอสคอร์เบต วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก (L-Ascorbic Acid) พบได้ในธรรมชาติในส่วนประกอบต่างๆ ของพืช โดยเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่น่าสนใจที่สามารถเติมลงไปในอาหารได้โดยไม่จำกัด นอกจากนั้นสามารถใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรส และสารปรับกรดในอาหารได้ โดยบทบาทหลักของกรดแอสคอร์บิกทำหน้าที่ในการเสริมฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระตัวอื่นๆ ไม่สามารถใช้ในอาหารที่มีไขมัน และน้ำมันเป็นองค์ประกอบได้ [29]

3) แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) เป็นรงควัตถุที่ละลายได้ในไขมัน ให้สีเหลือง ส้ม และแดง พบมากในผัก และผลไม้ที่มีสีเหลือง เช่น แครอท มะเขือเทศ และปาล์มน้ำมัน เป็นต้น ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระทุติยภูมิในการจับกับซิงเกลตออกซิเจน และสามารถจับกับอนุมูลอิสระ แคโรทีนอยด์ สามารถสังเคราะห์ได้ในพืชเท่านั้น ส่วนสัตว์จะได้รับแคดรทีนอยด์โดยผ่านทางอาหาร โครงสร้างของแคโรทีนอยด์ประกอบด้วยสายไอโซพรีนอยด์ 8 หน่วย มีคาร์บอน 40 อะตอม แคโรทีนอยด์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม [29] ได้แก่

(1) แคโรทีน (Carotene) เช่น บีตา-แคโรทีน (β-Carotene) แอลฟา-แคโรทีน (α-Carotene) และไลโคพีน (Lycopene) เป็นต้น

(2) แซนโทฟิลล์ (Xanthophyll) เช่น แอสทาแซนทิน (Astaxanthin) และแคนทาแซนทิน (Canthaxanthin) เป็นต้น

4) สารพอลิฟีนอล (Polyphenol) พบในพืชมากกว่า 8000 ชนิด โดยกลุ่มของสารพอลิฟีนอลเป็นสารที่มีหมู่ฟีนอล เป็นวงแหวนเบนซีนที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (OH Group) มาเกาะอยู่ภายในโมเลกุล เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมในขั้นทุติยภูมิของพืช สารประกอบฟลาโวนอยด์ เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญที่สุดในกลุ่มที่มีหมู่ฟีนอลเพียงหมู่เดียว อยู่ในรูปไกโคไซด์

(Glycoside) ประกอบด้วยฟลาโวน (Flavone) ฟลาโวนอล (Flavonol) ฟลาวาโนน (Flavanone) ฟลาวาโนนอล (Flavanonol) และแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) [29]

5) สารต้านอนุมูลอิสระจากเอนไซม์ (Enzymatic Antioxidant) มีบทบาทสำคัญในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการกำจัดออกซิเจน และสารเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นๆ ออกจากระบบ นอกจากนั้นยังมีบทบาทสำคัญในการสลายสารประกอบไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์อีกด้วย ดังนั้นเอนไซม์เหล่านี้จึงมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจากอนุมูลอิสระได้ ได้แก่ เอนไซม์กลูโคสออกซิเดส (Glucose Oxidase) ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเทส (Superoxide Dismutase) คะตาเลส (Catalase) และกลูตาไทโอนเพอร์ออกซิเดส (Glutathione Peroxidase) [29]

6) สารต้านอนุมูลอิสระจากโปรตีน (Protein and Related Substances) กรดแอมิโน เอมีน เพปไทด์ และโปรตีนไฮโดรไลเซต (Protein Hydrolysate) หลายชนิด มีบทบาทในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีการใช้ประโยชน์จากเอมีน เช่น ไฮโพแซนทีน (Hypoxanthine) แซนทีน (Xanthine) และกรดแอมิโน เช่น ไกลซีน (Glycine) เมไทโอนีน (Methionine) ฮิสทิดีน (Histidine) ทริพโตแฟน (Tryptophan) โพรลีน (Proline) และไลซีน (Lysine) ในการเป็นสารจับกับไอออนของโลหะเพื่อยังยั้งการเกิดออกซิเดชัน [29]

7) ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction Product) เกิดจากการทำปฏิกิริยาของเอมีนกับน้ำตาลรีดิวซ์ มีบทบาทในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบ กลไกการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดยังไม่เป็นที่เข้าใจแน่ชัด โดยพบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในอาหารที่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นตามการสร้างเมลานอยดิน (Melanoidin) [29]

8) ฟอสโฟลิพิด (Phospholipids) ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากฟอสโฟลิพิดในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น แต่กลไกการต้านอนุมูลอิสระของฟอสโฟลิพิดยังไม่เป็นที่เข้าใจแน่ชัด ซึ่งความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับโครงสร้างของหมู่ฟังก์ชัน โดยมีบทบาทในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระปฐมภูมิในการจับกับไอออนของโลหะและสารไฮโดรเพอร์ออกไซด์ [29]

9) กรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic Acid) กรดอินทรีย์เป็นสารอีกชนิดหนึ่งในกลุ่มไฟโตเคมิคัลที่มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างหลากหลายเช่นเดียวกับการมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ในปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากกรดคาร์บอกซิลิกที่ได้จากผัก และผลไม้ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น [29]

10) สเตอรอล (Sterol) มีบทบาทในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในอาหารได้ สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำมัน และยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นต่อเนื่องโดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น [29]

11) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และสารประกอบซัลไฟต์ (Sulfur Dioxide and Other Sulfite) มีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระอ่อนๆ โดยมีการใช้สารประกอบซัลไฟต์ (Sulfite Dioxide) โซเดียมซัลไฟต์ (Sodium Sulfite) โซเดียมเมแทไบซัลไฟต์ (Sodium Metabisulfite) และโพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์ (Potassium Metabisulfite) ในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันในเครื่องดื่ม และผลไม้ [29]

12) กัม (Gum) มีการใช้ประโยชน์ในการช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของอาหาร และมีบทบาทในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการจับกับไอออนของโลหะ และดูดซับออกซิเจนเข้าไว้ในโครงสร้าง ปัจจุบันมีการใช้กวัยแอกกัม (Guaiac Gum) ในน้ำมันที่ทำให้บริสุทธิ์แล้วจากสัตว์ นอกจากนั้นยังมีแซนแทนกัม (Xanthan Gum) เพกทิน (Pectin) กัวกัม (Guar Gum) และทรากาแคนกัม (Tragacanth Gum) สามารถใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้แต่มีข้อจำกัดในด้านความเสถียรต่อความร้อน และมีราคาค่อนข้างแพง [29]

2.4 เอนไซม์

2.4.1 ประวัติความเป็นมา

ผู้ที่นำคำว่า เอนไซม์ (Enzyme) มาใช้ คือ คุนน์ (Kuhne) โดยคำว่า “Enzyme” นั้นได้มาจากภาษากรีก แปลว่า “In Yeast” ผู้ที่เสนอแนะว่าเอนไซม์เป็นโปรตีนเป็นคนแรก คือ ซัมเนอร์ (Sumner) โดยในปี ค.ศ. 1926 สามารถแยกเอนไซม์ยูรีเอส (Uurease) จากถั่ว Jack Bean และทำให้บริสุทธิ์ถึงขั้นตกผลึกได้ แต่ในเวลานั้นความคิดนี้ยังไม่เป็นที่ยอมรับ ในปี ค.ศ. 1980 นักชีวเคมีถือว่าเอนไซม์ทุกชนิดเป็นโปรตีน [32]

เอนไซม์เป็นกลุ่มที่มีหน้าที่พิเศษแตกต่างจากโปรตีน และมีชีวโมเลกุลทั่วไป กล่าวคือ มีความสามารถเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Activity) ในสิ่งมีชีวิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Efficiency) [33] ทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้นได้ถึง 10^{8}-10^{1} เท่าของปฏิกิริยาเดิมที่ไม่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง ในปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งนั้น สารที่เข้าทำปฏิกิริยากัน (Reactant) มีชื่อเรียกว่าสารละลายตั้งต้น (Substrate) โดยส่วนใหญ่แล้วเอนไซม์ชนิดหนึ่งๆ จะสามารถเร่งปฏิกิริยาที่มีสารละลายตั้งต้นชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะเท่านั้น นั่นคือเอนไซม์เป็นตัวเร่งที่มีความจำเพาะต่อสารละลายตั้งต้น [32] เอนไซม์มีความจำเพาะต่อสารละลายตั้งต้น (Substrate

Specificity) สูงมาก และสามารถเร่งปฏิกิริยาโดยไม่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์อื่น (By Products) ตลอดทั้งเอนไซม์จะเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยา โดยลดพลังงานกระตุ้น (Activation Energy) ของปฏิกิริยา นอกจากนี้เอนไซม์สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ภายใต้ภาวะไม่รุนแรง (Mild Condition) ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งกับภาวะภายในเซลล์ และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตทั่วไป [33] เอนไซม์เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยโพลิเมอร์ของกรดอะมิโน เรียงต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ มีขนาดโมเลกุลผันแปรตั้งแต่น้ำหนักโมเลกุล 12,000-1,000,000 ดาลตัน [34]

เอนไซม์ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนที่มีลักษณะเป็นก้อน (Globular Protein) ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับโครงรูป (Conformation) ของโปรตีน เอนไซม์บางชนิดจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีโคแฟกเตอร์ (Cofactor) ซึ่งไม่ใช่โปรตีนอยู่ด้วย เอนไซม์ที่มีโคแฟกเตอร์รวมอยู่ด้วยมีชื่อเรียกว่า โฮโลเอนไซม์ (Holoenzyme) โดยส่วนที่เป็นโปรตีนซึ่งไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้มีชื่อเรียกว่า อะโพเอนไซม์ (Apoenzyme) โคแฟกเตอร์ของเอนไซม์อาจเป็นไอออนของโลหะ เช่น Zn^{2+} ของเอนไซม์คาร์บอกซีเพปทิเดส (Carboxypeptidase) หรืออาจเป็นสารอินทรีย์ เช่น ไวตามิน หรืออนุพันธ์ของไวตามิน ซึ่งในกรณีนี้มัก เรียกว่า โคเอนไซม์ (Coenzyme) โคเอนไซม์บางชนิดจะจับก้อนเอนไซม์อย่างแน่นมากจนไม่สามารถแยกออกจากเอนไซม์ โดยไม่ทำให้เอนไซม์สูญเสียความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาไปได้ โคเอนไซม์ประเภทนี้มีชื่อเรียกว่า หมู่พรอสธีทิก (Prosthetic Gpoup) เช่น หมู่ไบโอไซทิน (Biocytin) ของเอนไซม์โพรไอนิลโคเอคาร์บอกซิเลส (Propionyl-Co A-Carboxylase) โดยไบโอทิน (Biotin) จะเชื่อมอยู่กับกรดอะมิโนไลซีนของเอนไซม์ด้วยพันธะโควาเลนท์เกิดเป็นไบโอทินิลไลซีน (Biotinyllysine) หรือไบโอไซทิน [32]

เอนไซม์มีความสำคัญมากต่อคุณภาพของอาหาร หากไม่มีเอนไซม์เกิดขึ้นในธรรมชาติคนเราอาจไม่มีอาหาร เพราะสิ่งมีชีวิตทุกชนิดต้องอาศัยเอนไซม์เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ตั้งแต่ระยะการเจริญเติบโต การแก่ รวมทั้งกระบวนการสุก (สำหรับผลไม้) และการเสื่อมสลาย ซึ่งต้องอาศัยเอนไซม์ทั้งสิ้น การเสื่อมสลายและการเน่าเสียของอาหารขึ้นอยู่กับการทำงานของเอนไซม์ และในกระบวนการแปรรูปอาหารบางชนิดจะเติมเอนไซม์ลงไป เพื่อปรับปรุงหรือเร่งกระบวนการผลิต ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะ และคุณภาพดี [34]

2.4.2 เอนไซม์เพคติเนส

เพคติเนส (Pectinases) มีสูตรโครงสร้าง (ดังแสดงในรูปที่ 2.7) พบทั่วไปในพืชชั้นสูง เหมือนสารประเภทเพคติน แต่อยู่คนละชั้นของเซลล์ แต่เมื่อเซลล์พืชฉีกขาดหรือได้รับการกระทบกระเทือน เอนไซม์เพคติเนสและเพคตินจะเคลื่อนที่เข้าใกล้กันทำให้เกิดการย่อยสลาย ลักษณะ

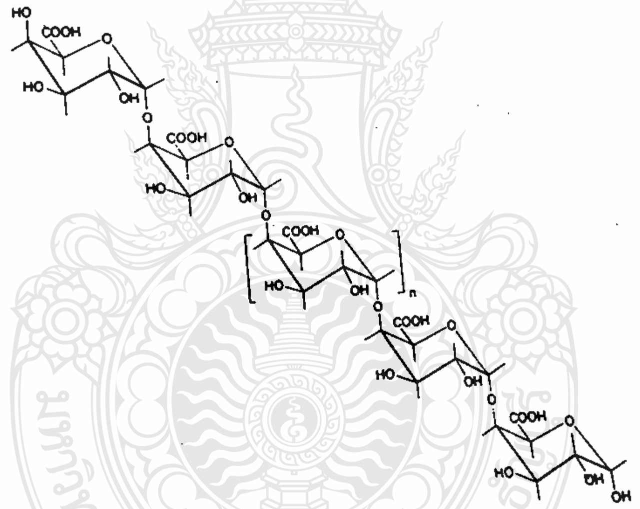
ความคงตัวของเนื้อสัมผัสของผักผลไม้เสียไป ผักผลไม้จะนิ่มลง ปัจจุบันได้มีการผลิตเพคติเนสเพื่อการค้าจากการสกัดจากจุลินทรีย์ ไม่พบ เพคติเนสในสัตว์ ยกเว้นทาก (Snail)

2.4.2.1 สารละลายตั้งต้นของเพคติเนส คือ สารประกอบประเภทเพคตินและอนุพันธ์ของโพลิเมอร์ของ α-1, 4-D-Galacturonopyranose Units มีหลายประเภท [33] ดังนี้

1) สารประเภทเพคติน (Pectic Substances) เป็น Colloidal Carbohydrates ของพืช ประกอบด้วย Anhydrogalacturonic Acid Units และอนุพันธ์

2) โปรโตเพคติน (Protopectin) เป็น Water-Insoluble Parent Pectic Substance ในพืช

3) เพคติน (Pectin) เป็นเทอมทั่วไปสำหรับเรียกสารประเภทเพคตินที่มีหมู่คาร์บอกซิล ประมาณร้อยละ 75 ถูกทำให้เป็นเอสเธอร์ด้วยเมธานอล เพคตินเป็นสารพวกคอลลอยด์ที่ทำให้เกิดเจลระหว่างน้ำตาลและกรดได้ดี นำไปใช้ในการทำแยมและเยลลี่



รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างของเพคติเนส
ที่มา : [33]

4) กรดเพคติค (Pectic Acid) เป็นโพลีเมอร์ของ Anhydrogalacturonic Acid Units มีหมู่คาร์บอกซิลอิสระ

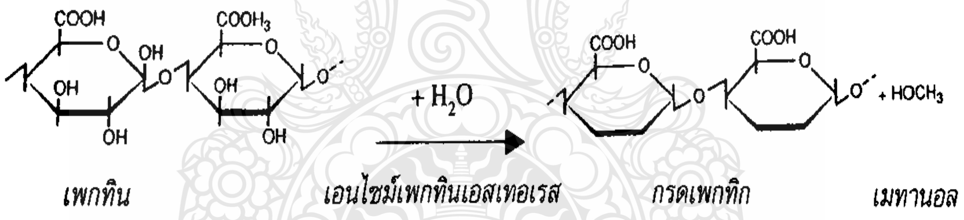
5) กรดเพคตินิค (Pectinic Acid) เป็นสารรวมหมายถึงเพคตินซึ่งมีหมู่เมธิลเอสเธอร์เล็กน้อย

2.4.2.2 ชนิดของเพคติเนส

ชนิดของเพคติเนส แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1) เพคตินเอสเธอเรส

ตามปฏิกิริยาเอนไซม์จะเร่งปฏิกิริยาการแยกหมู่เมธิลจากสารประเภทเพคตินที่มีการเติมหมู่เมธิลที่หมู่คาร์บอกซิล ทั้งนี้ไม่ย่อยสลายพันธะไกลโคซิล และยังคงจัดอยู่ในกลุ่มย่อยของไฮโดรเลสที่ย่อยสลายพันธะเอสเธอร์ เหมือนเช่น ลิปิด ดังนั้น ชื่อสามัญจึงเป็นไปได้หลายชื่อ ล้วนแต่มีความสัมพันธ์กับลักษณะปฏิกิริยาทั้งสิ้น คือ Pectolipase, Pectin Methylesterase, Pectin Demethoxylase, Pectin Methoxylase และ Pectase (EC 3.1.11) [33] เป็นเอนไซม์ที่สามารถไฮโดรไลซ์พันธะเมทิลเอสเทอร์ของเพคติน ได้เป็นกรดเพคติก และเมทานอล เอนไซม์นี้บางครั้งเรียกว่า เพคตินเมทิลเอส เพคเตส เพคตินเมทอกซีเลส เพคตินดีเมทอกซีเลส และเพคโทไลเพส การไฮโดรไรซิสเพคตินเป็นกรดเพคติกในภาวะที่มีแคลเซียมไอออนทำให้เพิ่มความแข็งของเนื้อสัมผัส เนื่องจากเกิดพันธะเชื่อมระหว่างแคลเซียมไอออนกับหมูคาร์บอกซิลของกรดเพคติกมีการเกิดปฏิกิริยา [34] ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาย่อยเพคตินโดยเอนไซม์เพคตินเอสเธอเรส
ที่มา : [34]

2) โพลีกาแลคทูโรเนส

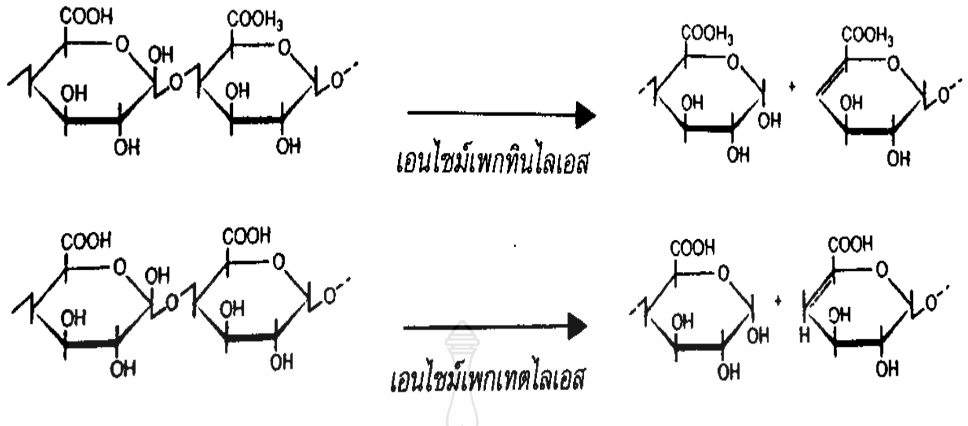
มีชื่อสามัญว่า Polygalacturonases มีชื่อตามระบบว่า Poly α-1, 4 Galacuronide Glyconohydrolase, Ec 3.2.1.15 ทำหน้าที่ไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคซิลในสารประเภทเพคติน แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย ตามชนิดสับสเตรต คือ Polymethy Galacturonase และแบ่งย่อยลงไปตามลักษณะการย่อยสลาย คือ Endosplitting และ Exo-Splitting [33] เป็นเอนไซม์ที่สามารถไฮโดรไลซ์พันธะแอลฟา-1,4-ไกลโครไซร์ระหว่างหน่วยย่อยของกรดแอนไฮโดรกาแล็กทูโรนิก ซึ่งเอนไซม์นี้พบทั้ง เอนโด- และเอกโซ-พอลิกาแล็กทูโรเนส โดยชนิดเอกโซ- จะไฮโดรไลซ์พันธะที่อยู่ปลายสุด

ของสายพอลิเมอร์ ส่วนชนิดเอนโด- จะไฮโดรไลซ์พันธะที่อยู่ด้านในของสารพอลิเมอร์ สำหรับในพืชอาจมีเอนไซม์พอลิเมทิลกาแล็กทูโรเนสซึ่งจะไฮโดรไลซ์โมเลกุลของเพคติน และเอนไซม์พอลิกาแล็กทูโรเนส ซึ่งจะไฮโดรไลซ์โมเลกุลของกรดเพคติก แต่เอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเทอเรสมีความไวในการเปลี่ยนเพคตินเป็นกรดเพคติก ดังนั้นบทบาทของเอนไซม์พอลิกาแล็กทูโรเนสในการไฮโดรไลซ์กรดเพคติก จะทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้เปลี่ยนไป เช่น ทำให้มะเขือเทศสุกนิ่มลง เกิดปฏิกิริยา [34] ดังแสดงในรูปที่ 2.9

รูปที่ 2.9 ปฏิกิริยาย่อยเพคตินโดยเอนไซม์โพลีกาแลคทูโรเนส
ที่มา : [34]

3) เพคเตสไลเอส

มีชื่อสามัญว่า Pectate Lyases มีชื่อตามระบบว่า Poly (1,4-α-D-Galacturonide) Lyase, EC 4.2.2.2 เริ่มรู้จักตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1960 มี Ca^{+2} เป็นตัวกระตุ้น พบทั่วไปในจุลินทรีย์ ไม่พบในพืชชั้นสูงเหมือนเพคติเนสชนิดอื่น เป็นเพคติเนสที่อยู่ในกลุ่ม Lyase มีลักษณะปฏิกิริยาของการย่อยสลายพันธะไกลโคซิลในเพคตินหรือกรดเพคติค แล้วได้สารโพลิเมอร์สายสั้นที่สายหนึ่งมีปลายรีดิวซ์ และอีกสายโพลิเมอร์มีพันธะคู่ [33] เป็นเอนไซม์ที่สามารถไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคไซด์ของทั้งเพคติน และกรดเพคติกโดยไม่มีน้ำ แต่อาศัย β-Elimination ทำให้เกิดพันธะคู่มีทั้งชนิดเอนโด- และเอกโซ- เกิดปฏิกิริยา [34] ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ปฏิกิริยาย่อยเพคตินโดยเอนไซม์เพคเตสไลเอส
ที่มา : [34]

2.4.3 การใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรม [34]

ปัจจุบันมีการนำเอนไซม์ไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมมากขึ้น เพราะเอนไซม์จะช่วยลดระยะเวลา และค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต และแปรรูปอาหาร เช่น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เร็วขึ้น หรือนำไปใช้กำจัดสารประกอบที่ปนเปื้อน หรือช่วยย่อยสลายสารประกอบบางชนิดที่มีอยู่ในอาหาร การใช้ประโยชน์ของเอนไซม์ในอุตสาหกรรมอาหารมีข้อดี ดังต่อไปนี้

2.4.3.1 เอนไซม์เป็นโปรตีน จึงไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

2.4.3.2 ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ จึงลดการใช้พลังงานได้

2.4.3.3 ทำงานได้ในช่วงพีเอชที่เป็นกลาง

2.4.3.4 ทำงานได้รวดเร็ว และมีความเฉพาะเจาะจงต่อสารละลายตั้งต้น

2.4.3.5 เอนไซม์ที่ใช้แต่ละครั้งมีปริมาณค่อนข้างต่ำ จึงไม่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์อาหาร

2.4.3.6 สามารถหยุดหรือยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ง่าย โดยใช้ความร้อนทำลาย

2.4.4 ตัวอย่างเพคติเนสที่ใช้ในการผลิตเพื่อการจำหน่ายในทางการค้า [33]

โดยทั่วไปแล้วเพคติเนสที่ใช้ และผลิตเพื่อจำหน่ายในทางการค้า เป็นส่วนผสมของเพคติเนสทั้ง 3 ชนิด คือ Pectinesterase, Polygalacturonase และ Pectate lyases และยังมีส่วนของเอนไซม์ชนิดอื่นรวมอยู่ในสัดส่วนต่างๆ กัน ทั้งนี้เพื่อวัตถุประสงค์ในด้านการใช้นั้นๆ ด้วย อาทิ เซลลูโลส ไซลาเนส อะมัยเลส ออกซิโดรีดักเทส และโปรติเอส เป็นต้น

2.4.4.1 ตัวอย่างการใช้เพคติเนสในอุตสาหกรรม ได้แก่

1) การสกัดน้ำผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล สตอเบอรี่ ราสเบอรี่ กล้วย มะม่วง และมะละกอ เป็นต้น

2) การทำให้ผลไม้ใส เช่น น้ำแอปเปิ้ล เป็นลักษณะของการกำจัดทั้งเพคติน โปรตีน และแป้ง ในน้ำผลไม้ให้หมดไป จนไม่มีตะกอนตกค้าง ไม่ว่าจะเก็บไว้ที่อุณหภูมิใด เหมาะสมกับน้ำผลไม้ที่ต้องการเฉพาะกลิ่น และรส แต่ไม่ต้องการความขุ่นของเนื้อผลไม้

3) การทำน้ำมันหรือการเพิ่มผลผลิตในการสกัดน้ำมัน เช่น ปาล์ม งา เป็นต้น

2.4.5 แนวทางการใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรม

แนวทางการใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมได้มีวิวัฒนาการมาจนถึงปัจจุบัน ในลักษณะการใช้งานจะเป็นไปตามลักษณะของเอนไซม์นั้นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แนวทางการใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรม

ผลิตภัณฑ์ชนิดอุตสาหกรรม	วัตถุประสงค์ หรือลักษณะปฏิกิริยาการใช้เอนไซม์
ช็อคโกแลต-โกโก้	ช่วยการย่อยสลายเพคตินในระหว่างการหมักของโกโก้
กาแฟ	ทำให้มีการย่อยสลายเพคตินเจลที่เคลือบในระหว่างการหมักของกาแฟ
ผลไม้	ช่วยทำให้ผลไม้นิ่ม
น้ำผลไม้	ช่วยการสกัด ทำให้น้ำผลไม้ใส ได้ผลผลิตสูง
โอลีฟ	ช่วยการสกัดน้ำมัน
ไวน์	ช่วยแยกเพคตินทำให้ไวน์ใส

ที่มา : [33]

2.4.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ [34]

เนื่องจากเอนไซม์ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเคมี เพื่อเปลี่ยนสารละลายตั้งต้น (Substrate) ให้เป็นผลิตภัณฑ์ (Products) โดยโมเลกุลของเอนไซม์จะรวมตัวกับสารละลายตั้งต้นเป็นสารประกอบเชิงซ้อนก่อนจึงเปลี่ยนสารละลายตั้งต้นให้เป็นผลิตภัณฑ์ โดยที่โมเลกุลของเอนไซม์ไม่เปลี่ยนแปลงหรือสลายตัว จึงทำให้สามารถกลับมาทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาได้อีก อย่างต่อเนื่อง (ดังแสดงในรูปที่ 2.11) และมีอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เร่งตัวเอนไซม์ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

$$E + S \underset{k_{-1}}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} ES \xrightarrow{k_2} P + E$$

รูปที่ 2.11 สมการเร่งปฏิกิริยาเคมี เพื่อเปลี่ยนสารละลายตั้งต้นให้เป็นผลิตภัณฑ์
ที่มา : [34]

2.4.6.1 ความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้น ในปฏิกิริยาที่มีสารละลายตั้งต้นเพียงชนิดเดียว เมื่อความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความเร็วสูงสุด หากเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นต่อไปอีก อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะคงที่ตาม Michaelis-Mentenkinetics และถ้าความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้นสูงเกินไปอาจจะยับยั้งอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นให้ช้าลงได้

2.4.6.2 ความเข้มข้นของเอนไซม์ ในสภาวะที่ความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้น พีเอช อุณหภูมิ และบัฟเฟอร์ที่ใช้คงที่ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ให้มากขึ้นจะทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ต้องไม่มีสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ปนอยู่

2.4.6.3 ผลของพีเอช (pH) เนื่องจากเอนไซม์เป็นโปรตีน การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายโปรตีนมีผลต่อประจุที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลของโปรตีน จึงส่งผลกระทบต่อการทำงานของเอนไซม์ โดยเฉพาะที่ Active Site เป็นตำแหน่งที่สารละลายตั้งต้นต้องเข้ารวมตัวกับเอนไซม์ ดังนั้น เอนไซม์แต่ละชนิดจึงมีค่าพีเอชที่เหมาะสม (Optimum pH) สำหรับเร่งปฏิกิริยาให้ได้ความเร็วสูงสุดเสมอ ตัวอย่าง เช่น เอนไซม์เพปซิน เพอร์ออกซิเดส ทริพซิน และแอลคาไลน์ฟอสฟาเตส จะมีค่าพีเอชที่เหมาะสม เป็น 2 6 8 และ 10 ตามลำดับ หากค่าพีเอชสารละลายสูงหรือต่ำกว่าค่าพีเอชที่เหมาะสม ทำให้ความเร็วของปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้าลง

2.4.6.4 ผลของอุณหภูมิ อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์จะผันแปรตามอุณหภูมิ และอุณหภูมิยังมีอิทธิพลต่อความคงตัวของเอนไซม์ หากอุณหภูมิสูงเกินไปทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ มีผลทำให้ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์สูญเสียไป เนื่องจากโครงสร้างที่ตำแหน่ง Active Site เปลี่ยนไป เอนไซม์ส่วนใหญ่มีความคงตัวอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 20-35 องศาเซลเซียส เอนไซม์แต่ละชนิดมีค่าอุณหภูมิที่เหมาะสม (Optimum Temperature) สำหรับเร่งปฏิกิริยาให้ได้อัตราเร็วสูงสุด เอนไซม์จะสูญเสีย Activity มากขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่าค่าอุณหภูมิที่เหมาะสม

2.4.6.5 ความเข้มข้นของน้ำ หรือ Water Activity (a_w) การทำงานของเอนไซม์เกิดขึ้นเมื่ออยู่ในภาวะที่เป็นสารละลายในน้ำ ทั้งที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ (In Vivo) และในหลอดทดลอง (In Vitro) ปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นได้หลายตำแหน่ง เช่น ในไซโทพลาซึม และเซลล์เมมเบรน โดยเฉพาะที่เซลล์เมมเบรนองค์ประกอบที่เป็นลิพิด ดังนั้น a_w จึงเป็นปัจจัยสำคัญต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

2.5 การทดสอบผู้บริโภค [35]

มนุษย์รู้จักใช้ประสาทสัมผัสบอกตนเอง และบอกผู้อื่นในการตัดสินใจว่าอาหารหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีสี กลิ่น รส ลักษณะเนื้อสัมผัส และความพอใจในระดับต่างๆ ได้ ตั้งแต่แรกเกิดมนุษย์ค่อยๆ พัฒนาการเรียนรู้ การรับรู้ ผ่านระบบประสาทสัมผัสของมนุษย์เอง จนเกิดความแม่นยำเสมอเหมือนมนุษย์ที่มีประสาทสัมผัสเป็นอุปกรณ์ทดสอบอาหาร จนกระทั่งเกิดเป็นหลักการของศาสตร์สำคัญที่สามารถใช้งานร่วมกับกิจกรรมต่างๆ ทุกระดับของภาคการวิจัย และภาคการผลิต ในวงการอาหารยอมรับว่า ผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่ผ่านการทดสอบด้วยประสาทสัมผัสของมนุษย์เสมือนเป็นสินค้าที่ไม่มีใครรู้จักหรือสินค้าตาบอด (Blind Product)

2.5.1 การใช้มนุษย์เป็นอุปกรณ์ทดสอบ (Panel Instrument)

การใช้มนุษย์หรือใช้ประสาทสัมผัสของมนุษย์เป็นอุปกรณ์ทดสอบหรือเสมอเหมือนอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ทดสอบคุณภาพอาหารนับว่าเป็นการใช้ทางลัดของการวิเคราะห์คุณภาพอาหาร โดยไม่ต้องพึ่งวัสดุอุปกรณ์เคมี ส่วนการจัดยอมรับคำตัดสินหรือ ไม่เป็นเรื่องที่ต้องอยู่ภายในกรอบของหลักการออกแบบการทดสอบ และการวิเคราะห์ผลสรุปทางสถิติให้ได้ ซึ่งวิธีการดังกล่าวได้รับการยอมรับว่าไม่แตกต่างไปจากวิธีการทดสอบด้วยอุปกรณ์วัตถุ เรียกว่า Objective Test สำหรับเทอมที่เรียก อุปกรณ์มนุษย์ ในการทดสอบคุณภาพอาหารหรือคุณภาพสิ่งใดๆ เรียกอย่างใดอย่างหนึ่งว่า Panel, Subject, Panelist, Judge, Respondent, Taster และ Assessor ผู้ทดสอบหรืออุปกรณ์มนุษย์ (Tester) จัดเป็นอุปกรณ์พิเศษที่มีขีดจำกัด ดังนี้ มนุษย์มีความแปรปรวนตลอดเวลาอย่างเห็นได้ชัดตามธรรมชาติ มนุษย์มีความแตกต่างระหว่างมนุษย์ด้วยกันมาก และมนุษย์มีความเองเอียงไปสู่ความมีอคติ ลำเอียง ลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์มนุษย์หรือผู้ทดสอบทั้ง 3 ประการ จัดเป็นขีดจำกัดของการนำไปใช้ในการทดสอบคุณภาพอาหาร ดังนั้น ต้องตะหนักไว้ และตัดตอนออกไปให้ได้ มีข้อแนะนำเพื่อลดขีดจำกัด ความแปรปรวนของมนุษย์ คือ การทดลองหลายซ้ำ ความแตกต่างของมนุษย์ คือ ใช้วิธีการเพิ่มจำนวนผู้ทดสอบ และความเองเอียงของมนุษย์ คือ ใช้วิธีฝึกหัด และองค์ประกอบของวิทยาศาสตร์ทางประสาทสัมผัสจะต้องพิจารณาองค์ประกอบ 3 องค์ประกอบ คือ

2.5.1.1 ลักษณะทางสภาวะกายภาพหรือสรีระของประสาทสัมผัส (Physiological of Senses) หมายถึง อวัยวะของมนุษย์ที่มีระบบประสาทการรับรู้ ได้แก่ ตา หู จมูก ปาก และผิวหนัง ส่วนประสิทธิภาพการรับรู้จะมีระดับใดก็ถือเป็นเหตุปัจจัยที่ต้องเข้าใจให้ลึกซึ้ง และสร้างมาตรฐานของระบบประสาทเหล่านี้ให้เกิดขึ้น โดยผ่านระบบการคัดเลือก และการฝึกหัดของผู้ทดสอบ หรือใช้ผู้ทดสอบที่มาจากผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์

2.5.1.2 ลักษณะทางสภาวะจิต (Psychological of Senses) หมายถึง อิทธิพบของสิ่งที่มากระทบทางจิต เช่น อิทธิพลจากเวลาและสิ่งแวดล้อมที่มีต่อความชอบ ความกระตือรือร้น ทัศนคติ ซึ่งจะโยงไปสู่ความแม่นยำ ในการับรู้ของอวัยวะของมนุษย์ จนไปสู่คำตัดสินของประสาทสัมผัส การควบคุมผลทางสภาวะจิตอาจจะซับซ้อนกว่าข้อมูลทางสภาวะกายภาพ การใช้ระบบการคัดเลือก และการฝึกหัดของผู้ทดสอบ อาจจะไม่สามารถทำได้ ดังนั้น จึงต้องตัดตอนข้อจำกัดนี้ โดยอาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์แขนงอื่นประกอบ เช่น หลักสถิติตามรูปแบบการทดสอบ หรือการออกแบบการทดลองหรือรูปแบบของแบบสอบถาม

2.5.1.3 การออกแบบทดลองตามหลักวิเคราะห์สถิติ (Experimental Design) หมายถึง องค์ประกอบของการใช้หลักวิทยาศาสตร์ของการออกแบบการทดลอง การควบคุมตัวแปร รวมทั้งปัจจัยร่วมที่จะทำให้เกิดการแปรผล และแสดงบทสรุปนำไปสู่วัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.5.2 สภาวะร่างกายมนุษย์ต่อระบบการรับรู้ (Human Conditions for Perception System)

มนุษย์มีความเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทั้งสภาวะกาย และสภาวะจิตใจโดยอาศัยปัจจัยภายในและภายนอกร่างกาย เช่น ลักษณะทางพันธุกรรม เพศ วัย วัฒนธรรม การศึกษา และนวัตกรรมสังคม เป็นต้น มีผลทำให้มนุษย์มีประสิทธิภาพของการรับรู้ด้วยประสาทสัมผัสแตกต่างกันออกไป บ้างก็มีความไวหรือความอ่อนไหว (Sensitivity) มีความมั่นคง (Stable) สามารถใช้ระบบประสาทอย่างแม่นยำทำซ้ำๆ ได้เหมือนเดิม (Reproducible) มีความรู้สึกเอนเอียง (Bias) มีอารมณ์แปรปรวน (Variability) ไม่มีเหตุผล เต็มไปด้วยจิตนึกคิด (Rational) มีความชัดเจน (Meaningful) เป็นต้น โดยสภาวะร่างกายมนุษย์ต่อระบบการรับรู้ มีดังนี้

2.5.2.1 สภาวะทางกาย (Physiological Condition) หมายถึง สภาวะทางกายภาพของร่างกายมนุษย์ที่ตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมหรือสิ่งที่มากระทบ เช่น อาการความไวลดลงเนื่องจากวัยสูงขึ้น อาการชินเนื่องจากได้รับสารสิ่งเร้าซ้ำๆ ตลอดเวลาจนเกิดการปรับตัวหรือในทางตรงข้าม คือ มีความสามารถในการรับรู้เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากการที่ร่างกายได้รับการกระตุ้น

หรือเพิ่ม (Enhancement) หรือเสริมฤทธิ์ (Synergism) ด้วยสารประกอบอีกชนิดที่อยู่ในอาหาร ทั้งหมดเป็นผลสู่สภาวะกายภาพของประสาทสัมผัส ดังนี้

1) สภาวะปรับตัวหรือชิน (Adaptation Condition) หมายถึง การปรับตัวหรือปรับร่างกายให้ข้ากับสิ่งแวดล้อมที่มากระทบเป็นสภาวะธรรมชาติของมนุษย์ มีผลให้ระบบความไวต่อการรับรู้หรือตอบสนองเปลี่ยนไปในทางช้าลงหรือว่องไวขึ้นผลดังกล่าวจะต้องควบคุมหรือหลีกเลี่ยง

2) สภาวะเพิ่มหรือระงับ (Enhancement or Suppression Condition) หมายถึง สภาวะที่เกิดขึ้นเมื่อมนุษย์ได้รับสิ่งเร้าในคราวเดียวกันหลายชนิด อาจจะมีชนิดหนึ่งมีผลทำให้ร่างกายมนุษย์ตอบสนองต่อสิ่งเร้าเปลี่ยนเป็น เพิ่ม ระงับ ต้าน หรือ เสริมฤทธิ์ได้

2.5.2.2 สภาวะทางจิตหรืออารมณ์ (Psychological Condition) หมายถึง สภาวะใดๆ ที่มากระทบจิต ทำให้จิตตอบสนองออกไปร่วมกับประสาทสัมผัสด้านการรับรู้ มีอิทธิพลให้เกิดความคลาดเคลื่อน (Error) ในการวิเคราะห์คุณภาพอาหาร ดังนั้น ต้องทำความเข้าใจกับอิทธิพลเหล่านี้ เพื่อสร้างมาตรฐานการวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1) อิทธิพลของความคาดหวัง (Expectation Effect) ความคาดหวังไว้ล่วงหน้าจากสิ่งที่กระทบจิต เช่น การเห็นชื่อ การเห็นเลขรหัสตัวอย่าง การรับรู้ข้อมูลบางอย่างที่เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ การรู้จักชื่อผู้ผลิต ความภักดี (Royalty) ในตราผลิตภัณฑ์ ล้วนมีอิทธิพลในการคาดหวังล่วงหน้าว่าสิ่งนั้นๆ ดีหรือไม่ดี จะต้องหลีกเลี่ยงและควบคุม เช่น การให้เลขรหัสต้องไม่บ่งบอกความเชื่อถือโชคลาง เช่น 1 9 และ 13 สัญลักษณ์ A และ F แนะนำให้ใช้ตารางสุ่มเลขรหัส 3 ตัว แทนการแสดงตารางหรือชื่อเฉพาะ

2) อิทธิพลของสิ่งเร้า (Stimulus Effect) หรืออิทธิพลจากสิ่งเร้า ที่มีความรู้สึกการรับรู้ของมนุษย์ ได้แก่ สี รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร และภาชนะบรรจุ ดังนั้น อิทธิพลของสิ่งเร้าจัดเป็นอิทธิพลปกติที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาร่วม (Interaction) ระหว่างสิ่งเร้าหลายชนิดในขณะที่มีการวิเคราะห์คุณลักษณะหนึ่งๆ เช่น ต้องการวิเคราะห์รสชาติ ต้องไม่ให้มีผลกระทบระหว่างรสชาติกับสี

3) อิทธิพลของการใช้เหตุผล (Logical Effect) คล้ายกับอิทธิพลของสิ่งเร้าเน้นตรงที่มีความรู้ และเหตุผล ใช้ประกอบการตัดสินใจเสริมกับการรับรู้ เช่น ต้องการวิเคราะห์กลิ่นหืนของมันฝรั่งทอด อาจมีความรู้สึกที่ได้จากการเห็นสีเหลืองแตกต่างกัน จะให้เหตุผลเชื่อมโยงที่เข้ากันได้กับปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในการทดสอบต้องเสนอผลิตภัณฑ์ในลักษณะที่มีความสม่ำเสมอ

และจัดตัวอย่างโดยไม่ให้ปรากฏความแตกต่างที่ทำให้ผู้ทดสอบนำไปเชื่อมโยงกับการหาเหตุผลแทนการวิเคราะห์อาหารอย่างจริงจัง

4) อิทธิพลของความเคยชิน ความคุ้นเคย (Habituation Effect) มีผลกระทบต่อความไวของการรับรู้หรือความไวของการสังเกต ทำให้ขาดความกระตือรือร้น ซึ่งเป็นลักษณะนิสัยด้านลบของมนุษย์ แม้ว่าการทดสอบซ้ำๆ อาจสร้างประสบการณให้กับผู้ทดสอบ แต่เห็นได้ชัดเจนว่าอิทธิพลของปัจจัยดังกล่าวลดความว่องไวในการวิเคราะห์ เช่น ผู้ทดสอบในหน่วยควบคุมคุณภาพหากได้รับอิทธิพลของความเคยชิน และจำเจต่องานในการทำหน้าที่วิเคราะห์อาจทำให้ผลวิเคราะห์คลาดเคลื่อนได้ อิทธิพลของความเคยชินในแง่ของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์อาจแปรเปลี่ยนเป็นความคุ้นเคยและความติดใจจนแยกไม่ออก เช่น มีความเคยชินต่อการรับประทานข้าวเจ้ามากกว่าขนมปัง พิซซ่าเป็นต้น

5) อิทธิพลของภาพรวม (Halo Effect) หมายถึง อิทธิพลจากหลายลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ซึ่งมนุษย์แยกออกมาค่อนข้างยาก เพราะมนุษย์ใช้ประสาทรับรู้ร่วมกันได้ไม่ดีอาจเกิดอาการล้า เช่น การรับรู้ลักษณะปรากฏทางสี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส เพื่อลดอิทธิพลร่วมดังกล่าวควรให้เวลาในการปล่อยให้ประสาทสัมผัสทำงาน โดยเว้นจังหวะให้เหมาะสม นอกจากนี้ ระบบการรับรู้แต่ละอย่างไม่ว่าจะเป็นด้านการเห็น (Vision) การดมกลิ่น (Aroma) การชิมรส (Taste) การสัมผัส (Texture) การฟังเพลง (Sound) มนุษย์จะประมวลออกมาแบบปฏิกิริยารวมเสมอ

6) อิทธิพลจากการแลกเปลี่ยนความเห็น (Mutual Suggestion Effect) การตัดสินใจ ของผู้ทดสอบในบางครั้งอาจได้รับอิทธิพลมาจากผู้อื่น โดยวิธีการพูดคุยให้ความเห็นต่อกันทั้งตั้งใจ และไม่ตั้งใจ ทำให้ผู้ทดสอบอาจไม่กล้าแสดงความรู้สึกแท้จริงออกมา ต้องสร้างบรรยากาศให้เกิดความอิสระ เช่น ใช้สถานที่ทดสอบแยกไม่ให้ได้ยินเสียงรบกวน

7) อิทธิพลจากการกระตือรือร้น (Motivation Effect) ความกระตือรือร้นมีผลส่งเสริมการรับรู้ของผู้ทดสอบในทุกด้าน ในขั้นตอนของกระบวนการฝึกฝนผู้ทดสอบ พบว่าการสร้างนิสัยให้ผู้ทดสอบเกิดความสนใจในการใช้ประสาทสัมผัส เพื่อวิเคราะห์อาหารอย่างถูกต้องนั้นต้องมีวิธีทำให้ผู้ทดสอบเกิดความกระตือรือร้นในการทำงาน ซึ่งอาจทำได้หลายวิธี เช่น การให้รางวัลการให้ความชอบ

8) อิทธิพลของความลังเล และขาดความกล้า (Capriciousness and Timidity Effect) มนุษย์บางกลุ่มมักไม่กล้าวิเคราะห์คุณภาพในลักษณะสุดสเกลหรือตึง เช่น ไม่กล้าระบุว่ามากที่สุดหรือน้อยที่สุดอาจเป็นเพราะอารมณ์สงสารหรืออิจฉาก็เป็นได้จึงมักวิเคราะห์คุณภาพในระดับปานกลาง และพอใช้ เพื่อให้ผลลัพธ์ออกมาไม่ค่อยแตกต่างในระหว่างตัวอย่างชัดเจนเกินไป

หรือในทางกลับกันมีบางกลุ่มที่ค่อนข้างเจาะจงวิเคราะห์คุณภาพในระดับตึงเกินไป เช่น มากเกินไปและน้อยเกินไปหรืออยู่ตำแหน่งสุดสเกลมากๆ จนไม่เป็นธรรมชาติ เพื่อหลีกเลี่ยงอิทธิพลเหล่านี้ต้องให้คำชี้แจงก่อนใช้แบบสอบถามหรือแบบทดสอบ รวมทั้งอธิบายเรื่องการใช้สเกลกำหนดให้เข้าใจร่วมกับให้คำแนะนำเป็นแนวทางพร้อมกับสาธิต

9) อิทธิพลของการเสนอตัวอย่าง (Sample Presentation Effect) มีอิทธิพลต่อการรับรู้ของประสาทสัมผัสมนุษย์ (Human Sense) ได้ตลอดเวลา แม้ผู้ทดสอบจะผ่านการฝึกมาแล้ว เนื่องจากธรรมชาติของมนุษย์ผูกพันอยู่กับลำดับของตัวอย่าง ที่ทดสอบก่อน และหลังเสมอ บ้างก็ติดใจตัวอย่างต้นจนไม่ลืม บ้างก็คาดหวังว่าจะมีตัวอย่างที่ดีกว่าไปเรื่อยๆ บ้างก็พอใจตัวอย่างใดแล้วตัวอย่างที่เหลือเป็นอันว่าไม่อยู่ในความสนใจ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 ชิดชัย ปัญญาสวรรค์ [36] ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดน้ำกล้วยหอม ได้แก่ เอนไซม์เพคติเนส เอนไซม์เซลลูเลส อุณหภูมิและเวลาในการบ่ม พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำกล้วยหอม คือ การใช้เอนไซม์เพคติเนสร้อยละ 0.06 เอนไซม์เซลลูเลสร้อยละ 0.13 ของเนื้อกล้วยบด (ปริมาตร/น้ำหนัก) บ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150 นาที ทำให้น้ำกล้วยหอมเข้มข้นโดยวิธีระเหยแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

2.6.2 ชนินทร์ อัครปัญญาวิทย์ และคณะ [2] ศึกษาผลของน้ำอ้อยในการหมักไวน์จากผลตะขบคละพันธุ์ (*Muntingia calabura* L.) โดยผสมน้ำตะขบกับน้ำอ้อย 3 อัตราส่วน คือ 100:0 80:20 และ 60:40 โดยน้ำหนักน้ำตะขบต่อน้ำอ้อย การผสมน้ำอ้อยในน้ำตะขบ (ในปริมาณถึงร้อยละ 40) ไม่มีผลกระทบด้านลบต่อกิจกรรมและการเจริญของยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* (TISTR 5918 Burgundy) ในระหว่างการหมักไวน์ที่อุณหภูมิห้อง โดยไวน์ที่ได้มีจำนวนเชื้อยีสต์อยู่ในช่วง 108-109 CFU/mL ไวน์ตะขบและไวน์ตะขบผสมน้ำอ้อยที่หมักได้มีสีน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นผลไม้อ่อนๆ มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 9.77-10.11 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ความหวาน 7.1-7.3 องศาบริกซ์ ค่ากรด ร้อยละ 0.66-0.72 และ pH 3.44-3.52 ในการศึกษาได้มีการเก็บผลตะขบสุก แช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส (ไม่เกิน 3 เดือน) คั้นน้ำตะขบจากผลตะขบที่ผ่านการคลายเย็น (4 องศาเซลเซียส นาน 1 คืน) ด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้แบบมือเพื่อแยกเปลือกออก ได้น้ำตะขบที่เป็นของเหลวผสมระหว่างน้ำ เนื้อ และเมล็ดขนาดเล็ก มี pH 5.89 และมีความหวาน 16.1 องศาบริกซ์

2.6.3 ดำรงพล คลังทอง และปิยะณัฐ เชิดชู [37] ศึกษาการหมักเอทานอลจากตะขบ โดยศึกษายีสต์ 3 สายพันธุ์ในการผลิตเอทานอล ได้แก่ *Saccharomyces cerevisias* สายพันธุ์ V 118

Sweden และ N 90 จากการศึกษาพบว่าในน้ำตะขบมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณ 11-15 องศาบริกซ์ มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 128.454 กรัม/ลิตร มีค่า pH 5 ยีสต์ที่สามารถผลิตเอทานอลได้มากที่สุด คือ *Saccharomyces Cerevisias* สายพันธุ์ Sweden ผลิตปริมาณเอทานอล 26.64 กรัม/ลิตร

2.6.4 วทันยา ลิมปพะยอม [38] ศึกษาสกัดไซรัปให้ความหวานจากหญ้าหวานแห้งด้วยน้ำ ในอัตราส่วนใบหญ้าหวานแห้งต่อน้ำ 1:35 (น้ำหนักต่อปริมาตร) อุณหภูมิสกัดที่ 65 องศาเซลเซียส มีสารหวานไซรัปสกัดร้อยละของผลผลิต (%yield) สูงกว่า มีค่าความสว่าง (L*) และปริมาณสารฟีนอลิคสูงกว่าสารหวานไซรัปสกัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

2.6.5 อังคาร กานแก้ว และนภาภรณ์ มูลทองหลาง [39] ศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตไซรัปน้ำอ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี โดยศึกษาคุณภาพของน้ำอ้อย กำจัดสารแขวนลอยโดยวิธีต้ม 100 องศาเซลเซียส ลดการเกิดสีน้ำตาลในกระบวนการระเหย โดยใช้กรดซิตริกปริมาณร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก ระเหย 2 สภาวะ คือ ระเหยบนเตาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และระเหยโดยเครื่องระเหยสุญญากาศ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 300 มิลลิบาร์ สามารถลดสีน้ำตาลได้

2.6.6 จุฑามาศ ถิระสาโรช และเฉลิมพล ถนอมวงค์ [40] ศึกษาวิธีสกัดไซรัปจากกล้วย 3 ชนิด คือ กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอม ใช้วิธีสกัด 2 วิธี คือ การสกัดโดยการใช้ความร้อนและสกัดโดยวิธีการบีบอัด สรุปได้ว่าวิธีการสกัดที่แตกต่างกันมีผลต่อลักษณะทางด้านกายภาพไซรัปที่สกัดโดยวิธีใช้ความร้อนมีความหนืด และความข้นสีมากกว่าไซรัปที่สกัดด้วยวิธีการบีบอัด

2.6.7 ธีรพร กงบังเกิด [41] ศึกษาการผลิตไซรัปจากน้ำตาลสด ได้ศึกษากรรมวิธี 2 วิธี คือ การให้ความร้อนโดยใช้กระทะเปิด และการใช้เครื่องระเหยที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส และการทำให้ใส 3 วิธี คือ การกรองด้วยกระดาษกรอง การใช้เบนโตไนและการใช้ผงถ่านกัมมันตร์ พบว่า การผลิตไซรัปน้ำตาลสดด้วยกรรมวิธี การทำให้ใสโดยใช้เบนโตไนท์และให้ความร้อนโดยใช้เครื่องระเหย ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด

2.6.8 นวพล แสนใจบาล [42] ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้เอนไซม์ในการสกัดน้ำสตรอเบอรี่ โดยใช้สตรอเบอรี่ 3 สายพันธ์ ได้แก่ พันธุ์พระราชทาน 60 พันธุ์พระราชทาน 72 และพันธุ์ 329 พบว่า สภาวะที่ให้ผลิตผลสูงที่สุด คือ การใช้สตรอเบอรี่สายพันธุ์พระราชทาน 60 โดยใช้เอนไซม์เพคติเนส ร้อยละ 0.03 ใช้อุณหภูมิในการบ่ม 45 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการบ่ม 6 ชั่วโมง

2.6.9 กฤษณา ทองทั้งสาย [43] ศึกษาผลึกน้ำตาลเกาะไม้สำหรับเครื่องดื่มร้อน โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำเชื่อม และศึกษาผลของกรรมวิธีการผลิตโดยใช้เชื้อน้ำตาลล่อผลึก ทำการศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 ความเข้มข้นของสารละลายซูโครสที่ใช้เลี้ยงผลึก มี 5 ระดับ

ได้แก่ ความเข้มข้นร้อยละ 70 73 76 79 และ 82 พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายซูโครสมากกว่าร้อยละ 76 ไม่เหมาะสมต่อการเลี้ยงผลึก เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายสูงเกินไป ปัจจัยที่ 2 สภาวะของแกนผลึก มี 2 ระดับ ได้แก่ แกนไม้ไผ่ที่มีผลึกน้ำตาลเกาะติด และแกนไม้ไผ่เปล่า พบว่า สภาวะของการเลี้ยงผลึก แบบใช้เชื้อล่อผลึกมีปริมาณการตกผลึกสูงกว่าแบบไม่ใช้เชื้อล่อผลึก

2.6.10 เมทณี นพคุณ [44] ศึกษาการผลิตผลึกน้ำตาลจากน้ำผึ้งดอกทานตะวัน โดยศึกษาตัวอย่างน้ำผึ้ง 2 ชนิด คือ น้ำผึ้งดอกทานตะวันที่ผ่านกระบวนการลดความชื้น และที่ไม่ผ่านกระบวนการลดความชื้น พบว่า กระบวนการตกผลึกที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างน้ำผึ้งทั้ง 2 ชนิด เพื่อนำไปผลิตเป็นน้ำตาลน้ำผึ้งชนิดแห้ง คือ การเติมกลูโคสร้อยละ 60 ของน้ำหนักน้ำผึ้งก่อนการอบ และอบด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส โดยกระบวนการตกผลึกที่เหมาะสม คือ การตกผลึกที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 29 วัน

2.6.11 ขนิษฐา ศรีนวล [45] ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตกผลึกและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำผึ้งไทย โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ และชนิดของน้ำผึ้งที่มีการตกผลึกของน้ำผึ้งดอกลำไย ดอกสาบเสือ และดอกทานตะวัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 5 10 25 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่า น้ำผึ้งดอกทานตะวันมีอัตราการตกผลึกเร็วกว่าน้ำผึ้งดอกลำไย และดอกสาบเสือ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำผึ้งดอกทานตะวันเกิดการตกผลึกในวันที่ 15 และ 20 โดยปัจจัยที่มีผลต่อการตกผลึกของน้ำผึ้ง คือ อัตราส่วนฟรุคโตสต่อกลูโคสในน้ำผึ้ง

2.6.12 Sandhan J, et al. [46] ศึกษาผลของการใช้อัลตราซาวนด์ และการใช้เอนไซม์ ได้แก่ เซลลูเลส และเพคติเนสต่อผลผลิตและสมบัติของน้ำกล้วย โดยมีปัจจัย คือ เวลาอัลตราโซนิกส์ 0 และ 30 นาที ความเข้มข้นของเซลลูเลส ร้อยละ 0 และ 0.2 และความเข้มข้นของเพคติเนส ร้อยละ 0 และ 0.2 พบว่า เอนไซม์เพคติเนสมีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตน้ำผลไม้มากขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้เอนไซม์เซลลูเลส

2.6.13 Hassan K, et al. [47] ศึกษาการปรับปรุงน้ำผลไม้จากเนื้อหรือกากสับปะรดโดยใช้เอนไซม์เซลลูเลส และเพคติเนสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.025 ใช้อุณหภูมิ 27-30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ได้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 81-86 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เติมเอนไซม์ ได้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 72

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบที่เหมาะสม โดยใช้เอนไซม์เพคติเนส ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี ทางจุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัสของน้ำตาลจากผลตะขบ ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ และศึกษาต้นทุนการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ มีขั้นตอนและวิธีการวิจัย ดังต่อไปนี้

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ลูกตะขบสุก (*Muntingia calabura* L.) จากไร่ฟ้าใหม่ อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

3.1.2 เอนไซม์เพคติเนส (Pectinases) บริษัท เอนไซม์เทค (ประเทศไทย) จำกัด

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Tanita รุ่น KD-200

3.2.2 เครื่องแยกกาก ยี่ห้อ Nesco

3.2.3 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) ยี่ห้อ WiseBath

3.2.4 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อ Hermle รุ่น Z-300

3.2.5 เครื่องระเหยแบบสุญญากาศ (Vacuum Rotary Evaporator) ยี่ห้อ Buchi รุ่น R-200/V Basic

3.2.6 เครื่องวัดค่าสี (Hunter Lab Lovibond) รุ่น SP60 บริษัท เอช. เอ. รีเสริช จำกัด

3.2.7 เครื่องวัดค่าความขุ่น (UV/VIS Spectrophotometer) ยี่ห้อ Biochrom รุ่น S12

3.2.8 เครื่องวัดค่าความหนืด (Brookfield Viscometer) รุ่น DV-III

3.2.9 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter)

3.2.10 เครื่องวัดความหวาน (Hand Refractometer)

3.2.11 ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ยี่ห้อ Binder รุ่น FD 115

3.2.12 ตู้แช่แข็ง (Freezer)

3.2.13 บีกเกอร์ (Beaker)

3.2.14 หลอดหยดสาร (Dropper)

3.3 วิธีการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

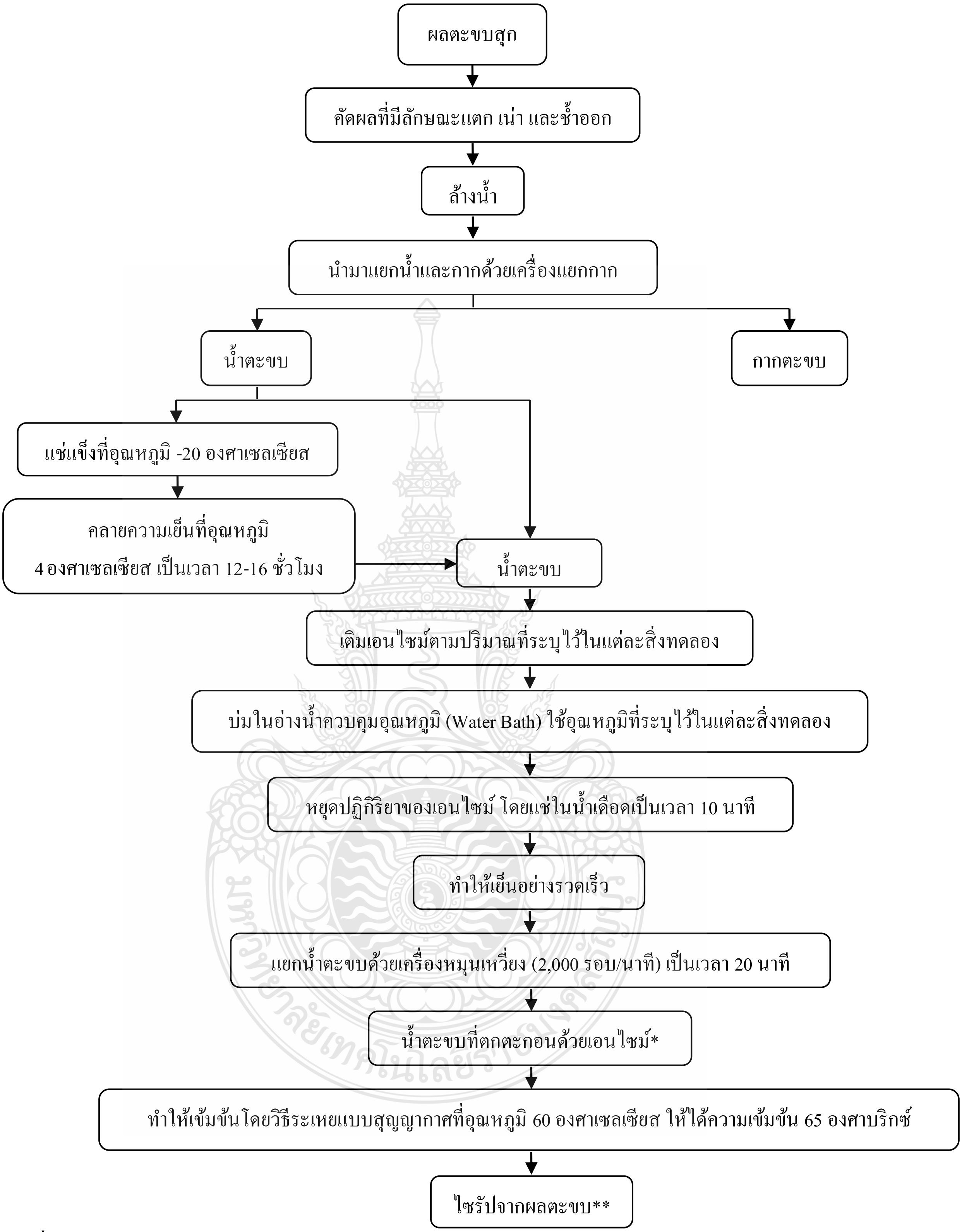
ทำการเตรียมน้ำตะขบ โดยใช้ลูกตะขบที่มีสีแดงทั้งผล ทำการแยกก้าน ใบ และผลตะขบที่มีลักษณะช้ำออก จากนั้นล้างลูกตะขบให้สะอาดด้วยน้ำสะอาด พักลูกตะขบไว้ในตะกร้า นำลูกตะขบมาทำการปั่นแยกกากจะได้น้ำตะขบที่มีลักษณะขุ่น มีเนื้อ และเมล็ดบางส่วนอยู่ในน้ำตะขบ

3.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสในการผลิตไซรัปจากผลตะขบ

โดยปัจจัยในการศึกษามี 3 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณเอนไซม์เพคติเนส (ร้อยละ 0.5 และร้อยละ 1) อุณหภูมิในการบ่ม (40 และ 60 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาในการบ่ม (120 และ 240 นาที) วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (ดังแสดงในตารางที่ 3.1) มีสิ่งทดลองทั้งหมด 8 สิ่งทดลอง แล้วทำการผลิตไซรัปจากผลตะขบ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD

สิ่งทดลองที่	ปริมาณเอนไซม์เพคติเนส (ร้อยละ)	อุณหภูมิในการบ่ม (องศาเซลเซียส)	เวลาในการบ่ม (นาที)
1	0.5	40	120
2	0.5	40	240
3	0.5	60	120
4	0.5	60	240
5	1.0	40	120
6	1.0	40	240
7	1.0	60	120
8	1.0	60	240



รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตไซรัปจากผลตะขบ

หมายเหตุ : *การวิเคราะห์คุณภาพข้อ 3.3.2.1 **การวิเคราะห์คุณภาพข้อ 3.3.2.2

ที่มา : ดัดแปลงจาก [41], [42]

โดยทำการวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

3.3.2.1 น้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์* ทำการวิเคราะห์ ดังนี้

1) การวิเคราะห์ทางกายภาพ

(1) ค่าร้อยละของผลผลิต (%Yield) การหาร้อยละของผลผลิตน้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนส โดยนำน้ำตะขบที่ตกตะกอนจากเอนไซม์เพคติเนสที่ได้มาหาปริมาณของผลผลิต ซึ่งคำนวณจากสมการ (ดังแสดงในรูปที่ 3.2)

$$\% \textit{Muntingia calabura L.}\ \text{Juice Yield} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำตะขบที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักน้ำตะขบเริ่มต้น}} \times 100$$

รูปที่ 3.2 สมการการหาร้อยละของผลผลิต (%Yield)

ที่มา : [36]

(2) วัดค่าสี ด้วยเครื่อง Hunter Lab โดยบรรจุตัวอย่างไซรัปจากผลตะขบลงใน Cuvette ขนาด 7 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมไว้วางลงบนแท่นของเครื่องวัดค่าสี อ่านค่าโดยใช้ระบบ Hunter Lab ค่าที่วัดได้จะเป็นค่า L* a* b* โดยค่า L* (Lightness) เป็นค่าแสดงความสว่าง คือ มีค่าตั้งแต่ 0 แสดงความเป็นสีดำ ถึง 100 แสดงความเป็นสีขาว

a* ที่เป็น + สีเป็นไปในทิศสีแดง

a* ที่เป็น - สีเป็นไปในทิศสีเขียว

b* ที่เป็น + สีเป็นไปในทิศสีเหลือง

b* ที่เป็น - สีเป็นไปในทิศสีน้ำเงิน

(3) วัดค่าความใส โดยวัดค่าการส่องผ่านแตง ด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer โดยบรรจุตัวอย่างไซรัปจากผลตะขบลงใน Cuvette ขนาด 3.5 มิลลิลิตร นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่แท่นของเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer อ่านค่าร้อยละของการทะลุผ่านของแสง (% Transmittance, %T) ใช้ความยาวคลื่นที่ระดับ 650 นาโนเมตร

2) การวิเคราะห์ทางเคมี

(1) วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH Meter โดยการปรับค่ามาตรฐานของเครื่องมือก่อนการตรวจวัดในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าพีเอช เท่ากับ 7 ปรับด้านหลังของปากกาให้แสดงค่าพีเอช เท่ากับ 7 ล้างหัวอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่น ซับให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู่

จุ่มแท่งอิเล็กโทรดลงในน้ำตัวอย่างปริมาตร 50 มิลลิลิตร กวนเบาๆ ด้วยแท่งอิเล็กโทรด และรอจนกระทั่งตัวเลขคงที่ อ่านค่าและบันทึกข้อมูล

3.3.2.2 ไซรัปจากผลตะขบ** ทำการวิเคราะห์

1) การวิเคราะห์ทางกายภาพ

(1) วัดค่าสี ด้วยเครื่อง Hunter Lab (ใช้วิธีวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3.3.2.1)

(2) วัดค่าความใส โดยวัดค่าการส่องผ่านแสง ด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer (ใช้วิธีวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3.3.2.1)

(3) วัดค่าความหนืด ด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer รุ่น DV-III ทำการวัดค่าความหนืดของไซรัปจากผลตะขบด้วยเครื่อง Brookfield viscometer รุ่น DV-III โดยนำตัวอย่างไซรัปจากผลตะขบใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ใช้หัววัดความหนืดขนาดเบอร์ 4 (Spindle No.4) และกำหนดค่าความเร็วรอบในการหมุนหัวเข็ม 90 รอบต่อนาที อ่านค่าความหนืดภายใน 2 นาที ทำการบันทึกค่า

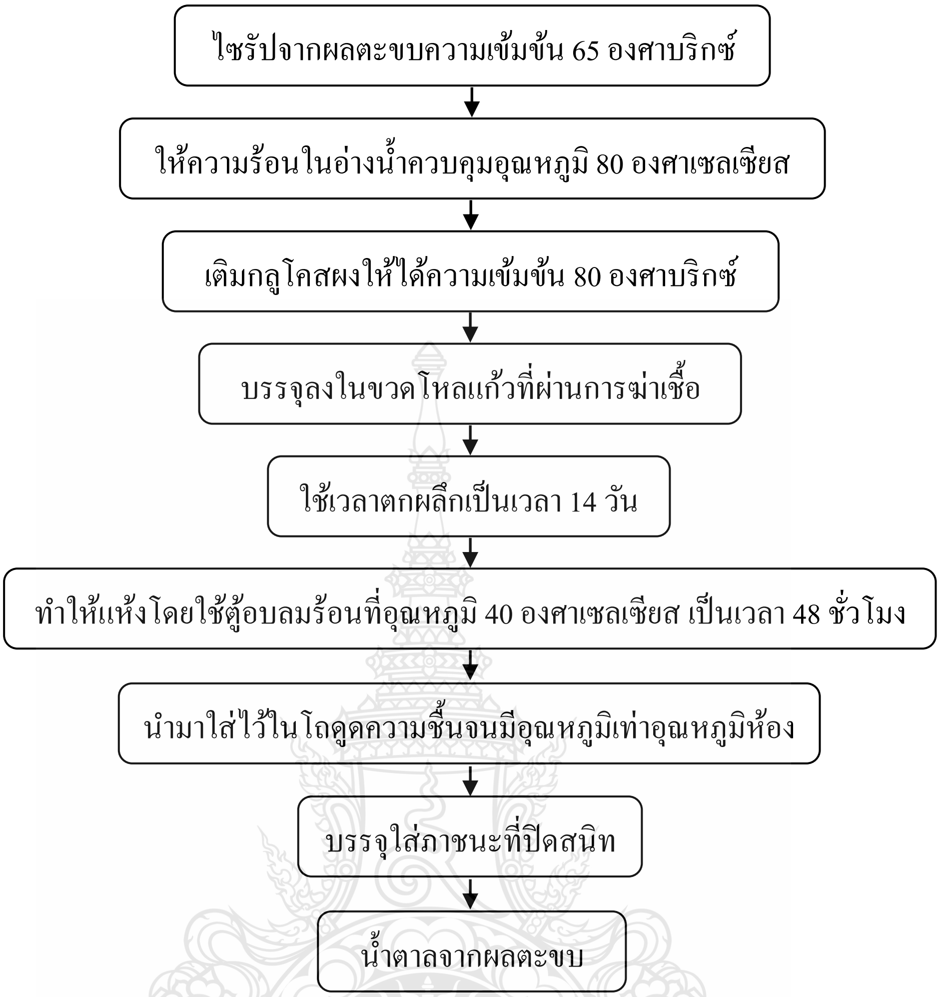
2) การวิเคราะห์ทางเคมี

(1) วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH Meter (ใช้วิธีวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3.3.2.1)

นำมาคัดเลือกตัวอย่างที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพ โดยมีค่าความสว่าง ค่าความใสมากที่สุด และมีค่าความหนืดน้อยที่สุด

3.3.3 การตกผลึกน้ำตาลจากผลตะขบ

ในการตกผลึกน้ำตาลจากผลตะขบ โดยนำไซรัปจากผลตะขบที่ได้ผ่านกระบวนการผลิตจากรูปที่ 3.1 ทั้ง 8 สิ่งทดลอง มาทำการผลิตเป็นน้ำตาลจากผลตะขบตามกระบวนการผลิต (ดังแสดงในรูปที่ 3.2) และทำการคัดเลือกตัวอย่างที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากปริมาณของน้ำตาลจากผลตะขบที่ผลิตได้ (%Yield)



รูปที่ 3.3 กระบวนการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ
ที่มา : ดัดแปลงจาก [43], [44]

3.3.4 การศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ

3.3.4.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่

1) วัดค่าสี (ICUMSA Method, 1998) [48]

3.3.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่

1) วัดค่าความชื้น (AOAC, 2012) [49]

2) วัดปริมาณเถ้า (AOAC, 2012) [49]

3) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (AOAC, 2012) [49]

4) วัดค่าแอนติออกซิแดนท์ (DPPH Assay) [50]

3.3.4.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ [49] ได้แก่

1) วิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) (AOAC, 2012)

2) การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์ และรา (Yeast and Mold Count) (AOAC, 2012)

3.3.5 การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ

ทำการสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ โดยใช้ผู้บริโภคจำนวน 100 คน ช่วงอายุระหว่าง 25-60 ปีขึ้นไป เป็นกลุ่มนักศึกษา บุคลากรในเขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี และบุคคลทั่วไป ใช้สถานที่ทดสอบแบบ Central Location Test (CLT) และใช้แบบสอบถามการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้ต่อเดือน

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเชิงพฤติกรรมและทัศนคติของผู้ตอบแบบสอบถาม เป็นข้อมูลที่ดำเนินการสำรวจเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาน้ำตาลจากผลตะขบ ได้แก่ การเคยซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลไม้ ชนิดของผลิตภัณฑ์น้ำตาล แหล่งเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาล ปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาล แบ่งออกเป็น 5 ด้าน ได้แก่ ด้านผลิตภัณฑ์ ด้านราคา ด้านบรรจุภัณฑ์ ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ด้านการตลาด ใช้วิธีการให้คะแนนการยอมรับแบบมาตราส่วนประมาณค่า (rating scale) 5 ระดับ ดังนี้

1 หมายถึง สำคัญน้อยที่สุด
2 หมายถึง สำคัญน้อย
3 หมายถึง สำคัญปานกลาง
4 หมายถึง สำคัญมาก
5 หมายถึง สำคัญมากที่สุด

ส่วนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค เป็นข้อมูลที่ใช้เพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ ได้แก่ การทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นตะขบ รสหวาน และความชอบรวม โดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Points Hedonic Scale) ดังนี้

1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด 6 หมายถึง ชอบเล็กน้อย

2 หมายถึง ไม่ชอบมาก 7 หมายถึง ชอบปานกลาง

3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง 8 หมายถึง ชอบมาก

4 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด

5 หมายถึง เฉยๆ

และการยอมรับผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ ใช้วิธีการให้คะแนนการยอมรับแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ดังนี้

1 หมายถึง ยอมรับน้อยที่สุด

2 หมายถึง ยอมรับน้อย

3 หมายถึง ยอมรับปานกลาง

4 หมายถึง ยอมรับมาก

5 หมายถึง ยอมรับมากที่สุด

ส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะ เป็นการตอบแบบสอบถามแบบปลายเปิด โดยให้ผู้บริโภคให้ข้อเสนอแนะต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ

3.3.5.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการสำรวจการยอมรับของผู้บริโภค

มีวิธีการเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการสำรวจการยอมรับของผู้บริโภค ได้แก่ น้ำผสมน้ำตาลจากผลตะขบ และลอดช่องน้ำกะทิน้ำตาลจากผลตะขบ ดังนี้

1) การเตรียมตัวอย่างน้ำผสมน้ำตาลจากผลตะขบ

ในการเตรียมตัวอย่างน้ำตะขบ โดยการนำน้ำตาลจากผลตะขบผสมน้ำในอัตราน้ำตาลจากผลตะขบต่อน้ำ 90 : 10 นำไปตั้งไฟ ละลายน้ำตาลจนหมด ทิ้งไว้ให้เดือด ยกลง ทำให้เย็นจากนั้นบรรจุใส่ภาชนะ

2) การเตรียมตัวอย่างลอดช่องน้ำกะทิน้ำตาลจากผลตะขบ

ในการเตรียมตัวอย่างลอดช่องน้ำกะทิ โดยการนำน้ำกะทิตั้งไฟ ใส่น้ำตาลจากผลตะขบ ในอัตราน้ำกะทิต่อน้ำตาลจากผลตะขบ 70 : 30 ละลายน้ำตาลจนหมด ทิ้งไว้ให้เดือด ยกลง ทำให้เย็นจากนั้นบรรจุใส่ภาชนะ

นำไปทดสอบโดยผู้ทดสอบ โดยการเสิร์ฟตัวอย่างน้ำตะขบ และตัวอย่างลอดช่องน้ำกะทิพร้อมกัน (ดังแสดงในรูปที่ 3.3) ให้ผู้ทดสอบชิมตัวอย่างน้ำตะขบก่อน จากนั้นชิมตัวอย่างลอดช่องน้ำกะทิ

รูปที่ 3.4 การเสิร์ฟตัวอย่างน้ำตะขบ และตัวอย่างลอดช่องน้ำกะทิให้ผู้ทดสอบชิม

3.3.6 ศึกษาต้นทุนการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ

โดยใช้การคำนวณตามวิธีของจิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ [51] ประกอบด้วยวัตถุดิบทางตรง และค่าโสหุ้ยร้อยละ 35 ของราคาวัตถุดิบ และกำไรร้อยละ 30 ของราคาวัตถุดิบ

3.4 ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มตั้งแต่ เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2558 - เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559

3.5 สถานที่ทำการทดลอง

3.5.1 คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

3.5.2 ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิจารณ์

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบที่เหมาะสม ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ของน้ำตาลจากผลตะขบ ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ และศึกษาต้นทุนการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ มีผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังต่อไปนี้

4.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสเพื่อการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ

4.1.1 การเตรียมวัตถุดิบ

จากการเตรียมวัตถุดิบ พบว่า ตะขบที่นำมาสกัดแยกน้ำโดยใช้วิธีการปั่นแยกกาก ได้น้ำตะขบที่มีลักษณะขุ่น สีน้ำตาลอ่อน มีเนื้อ และเมล็ดขนาดเล็กบางส่วนอยู่ในน้ำตะขบ มีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 33.30 ค่า (a*) มีค่าความเป็นสีแดง เท่ากับ 0.19 ค่า (b*) มีค่าความเป็นสีเหลือง เท่ากับ 14.89 มีค่าการส่องผ่านแสง (Transmission) เท่ากับ 0.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 5.0 จากการคิดคำนวณร้อยละของผลผลิต (%Yield) พบว่า ได้น้ำตะขบในปริมาณร้อยละ 37.24 และมีค่าความหวาน เท่ากับ 16.0 องศาบริกซ์ ซึ่งค่าความหวานได้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของชนินทร์ และคณะ [2] พบว่าน้ำตะขบมีค่าความหวาน เท่ากับ 16.1 องศาบริกซ์

4.1.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสต่อคุณภาพของไซรัปจากผลตะขบ

4.1.2.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสต่อคุณภาพของน้ำตะขบ

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสต่อคุณภาพของน้ำตะขบ โดยนำน้ำตะขบที่ได้จากข้อ 4.1.1 มาทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เพคติเนส มี 3 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณเอนไซม์เพคติเนส อุณหภูมิในการบ่ม และระยะเวลาในการบ่ม จากนั้นนำน้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนสมาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณร้อยละของผลผลิต (%Yield) ค่าสี และการส่องผ่านแสง และคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของน้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนส

สิ่งทดลองที่	ปริมาณเอนไซม์เพคติเนส (ร้อยละ)	อุณหภูมิในการบ่ม (^{o}C)	ระยะเวลาในการบ่ม (นาที)	ค่าสี			การส่องผ่านแสง (%T_{650})	ร้อยละ (%Yield)	กรด-ด่าง (pH)^{ns}
				L*	a*	b*			
1	0.5	40	120	37.46 ± 0.10^{e}	0.34 ± 0.02^{f}	30.09 ± 0.34^{c}	23.23 ± 0.23^{f}	64.60 ± 1.42^{c}	5.25 ± 0.07
2	0.5	40	240	41.21 ± 0.14^{b}	0.63 ± 0.07^{d}	26.74 ± 1.10^{d}	34.93 ± 0.06^{c}	74.61 ± 2.97^{b}	5.10 ± 0.00
3	0.5	60	120	34.00 ± 0.04^{g}	1.41 ± 0.10^{a}	27.17 ± 0.26^{d}	12.13 ± 0.06^{g}	65.52 ± 2.03^{c}	5.40 ± 0.00
4	0.5	60	240	35.80 ± 0.39^{f}	1.34 ± 0.04^{a}	33.80 ± 1.17^{b}	26.13 ± 0.06^{e}	68.17 ± 2.70^{c}	5.80 ± 0.00
5	1.0	40	120	39.57 ± 0.07^{c}	0.47 ± 0.06^{e}	26.95 ± 0.09^{d}	32.83 ± 0.06^{d}	71.61 ± 1.27^{b}	5.10 ± 0.00
6	1.0	40	240	43.23 ± 0.13^{a}	0.84 ± 0.05^{c}	33.13 ± 0.33^{b}	52.63 ± 0.06^{a}	81.98 ± 1.03^{a}	5.40 ± 0.00
7	1.0	60	120	33.96 ± 0.22^{g}	1.07 ± 0.04^{b}	26.60 ± 0.44^{d}	8.87 ± 0.06^{h}	72.05 ± 2.34^{b}	5.30 ± 0.00
8	1.0	60	240	39.20 ± 0.14^{d}	0.38 ± 0.09^{ef}	35.00 ± 0.64^{a}	44.33 ± 0.58^{b}	73.68 ± 1.14^{b}	5.70 ± 0.00

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

a,b,c หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.1แสดงว่าค่าความสว่างของสี (L*) ของน้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนส สิ่งทดลองที่ 6 ใช้เอนไซม์เพคติเนสที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 240 นาที มีค่าความสว่าง (L*) สูงที่สุด มีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเอนไซม์เพคติเนสมีคุณภาพในการช่วยให้น้ำตะขบมีความใสขึ้น เพราะเอนไซม์เพคติเนสมีคุณภาพที่สามารถทำให้น้ำผลไม้ใส โดยเป็นการกำจัดทั้งเพคติน โปรตีน และแป้งในน้ำผลไม้ให้หมดไปจนไม่มีตะกอนตกค้างไม่ว่าจะเก็บไว้ที่อุณหภูมิใด เหมาะกับน้ำผลไม้ที่ต้องการเฉพาะกลิ่น และรสแต่ไม่ต้องการความขุ่นของเนื้อผลไม้ และการใช้เอนไซม์เพคติเนสในระดับมากจะส่งผลทำให้สิ่งทดลองมีค่าความสว่างสูงขึ้น [33] และในส่วนของค่า (a*) และ (b*) พบว่า สิ่งทดลองทั้ง 8 สิ่งทดลองมีค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 4.1

ค่าการส่องผ่านแสง ($\%T_{650}$) ของน้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนส สิ่งทดลองที่ 6 ใช้เอนไซม์เพคติเนสที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 240 นาที มีค่าการส่องผ่านแสง ($\%T_{650}$) สูงที่สุด มีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการที่เอนไซม์เพคติเนส ช่วยทำให้โมเลกุลของโปรตีนในคอลลอยด์ และเพคตินรวมตัวเกิดเป็นโมเลกุลใหญ่และตกตะกอน ทำให้น้ำผลไม้ที่ได้ใสขึ้น [52] อมรรัตน์ [53] ได้กล่าวว่า ปริมาณเอนไซม์และระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น ทำให้เอนไซม์สามารถย่อยสารประกอบเพคตินที่อยู่ในน้ำผลไม้มากขึ้นทำให้สารประกอบที่แขวนลอยอยู่ตกตะกอนแยกออกจากน้ำผลไม้มากขึ้น

ปริมาณร้อยละของผลผลิตของน้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนส (%Yield) พบว่า การใช้เอนไซม์เพคติเนสในการตกตะกอนของน้ำตะขบ สิ่งทดลองที่ 6 ใช้ปริมาณเอนไซม์เพคติเนสที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 240 นาที ได้ปริมาณผลผลิตน้ำตะขบสูงที่สุดถึงร้อยละ 81.98 ± 1.03 มีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเอนไซม์เพคติเนสช่วยสกัดน้ำผลไม้จากเนื้อเยื่อผลไม้ ทำให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น โดยเฉพาะผลไม้ที่มีเพคติน [54] วิภาและคณะ [55] ได้กล่าวว่า การใช้เอนไซม์เพคติเนสในการสกัด จะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตที่สกัดได้สูงกว่าการไม่ใช้เอนไซม์ และการใช้เอนไซม์เพคติเนสในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ได้ผลผลิตที่สกัดได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และน้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนส

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนส พบว่า น้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนส ทั้ง 8 สิ่งทดลอง มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) อยู่ในระดับ 5.1-5.8 เนื่องจากน้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนสเป็นอาหารที่มีค่า pH อยู่ในช่วง 4.5-7 จึงมีความเป็นกรดต่ำ (Low Acid Food) [56]

(ก) (ข)

รูปที่ 4.1 น้ำตะขบ ได้แก่ (ก) น้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนส (ข) น้ำตะขบที่ไม่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนส

4.1.2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสต่อคุณภาพของไซรัปจากผลตะขบ

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสต่อคุณภาพของไซรัปจากผลตะขบโดยนำน้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนสทั้ง 8 สิ่งทดลองที่ได้จากข้อ 4.1.2.1 มาทำการศึกษาตามกระบวนการผลิต ไซรัป และนำไซรัปจากผลตะขบที่ได้มาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี และการส่องผ่านแสง และคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของไซรัปจากผลตะขบ

สิ่งทดลองที่	ปริมาณเอนไซม์เพคติเนส (ร้อยละ)	อุณหภูมิในการบ่ม (^{o}C)	ระยะเวลาในการบ่ม (นาที)	ค่าสี			การส่องผ่านแสง (%T_{650})	ความหนืด (cP)	กรด-ด่าง (pH)^{ns}
				L*	a*	b*			
1	0.5	40	120	22.51 ± 0.13^{c}	8.09 ± 0.16^{d}	27.12 ± 0.89^{c}	6.03 ± 0.06^{e}	1107.67 ± 14.29^{a}	5.40 ± 0.00
2	0.5	40	240	24.98 ± 0.36^{b}	8.85 ± 0.36^{c}	32.14 ± 2.21^{b}	8.40 ± 0.00^{c}	789.27 ± 15.82^{e}	5.10 ± 0.00
3	0.5	60	120	19.07 ± 0.90^{d}	6.33 ± 0.39^{e}	17.84 ± 2.39^{e}	1.33 ± 0.06^{h}	1144.33 ± 31.21^{a}	5.15 ± 0.07
4	0.5	60	240	18.18 ± 0.20^{e}	9.32 ± 0.13^{b}	23.89 ± 0.28^{d}	5.10 ± 0.00^{f}	1110.33 ± 43.02^{a}	5.40 ± 0.00
5	1.0	40	120	23.14 ± 0.18^{c}	8.08 ± 0.29^{d}	26.32 ± 1.04^{c}	8.23 ± 0.06^{d}	853.87 ± 13.92^{d}	5.10 ± 0.00
6	1.0	40	240	30.44 ± 0.17^{a}	9.34 ± 0.10^{b}	41.21 ± 0.77^{a}	10.33 ± 0.06^{a}	731.83 ± 10.02^{f}	5.20 ± 0.00
7	1.0	60	120	19.43 ± 0.26^{d}	5.48 ± 0.09^{f}	15.57 ± 0.82^{e}	2.33 ± 0.06^{g}	946.67 ± 24.00^{c}	5.25 ± 0.07
8	1.0	60	240	25.07 ± 0.30^{b}	9.98 ± 0.15^{a}	33.71 ± 0.55^{b}	8.63 ± 0.06^{b}	1039.33 ± 33.02^{b}	5.50 ± 0.00

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

a,b,c หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.2 ค่าความสว่างของสี (L*) ของไซรัปจากผลตะขบ พบว่า สิ่งทดลองที่ 6 ใช้ปริมาณเอนไซม์เพคติเนสที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 240 นาที มีค่าความสว่างของสี (L*) สูงที่สุด มีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยค่าความสว่างของสี (L*) ของไซรัปจากผลตะขบมีความสว่างน้อยกว่าค่าความสว่างของน้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนส เนื่องจากการใช้อุณหภูมิในการระเหยมีผลต่อค่าความสว่างของไซรัป ทำให้ค่าความสว่างของไซรัปมีแนวโน้มลดลง ซึ่งการใช้อุณหภูมิสูงในการระเหยทำให้ลักษณะของไซรัปที่ได้มีความสว่างลดลง [55] และในส่วนของค่า (a*) และ (b*) พบว่า สิ่งทดลองทั้ง 8 สิ่งทดลอง มีค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลือง วิภา และคณะ [55] ได้กล่าวว่า การใช้อุณหภูมิสูงขึ้น มีผลทำให้ไซรัปมีสีน้ำตาลมากขึ้นและมีความสว่างลดลง เนื่องจากอุณหภูมิสูงจะเป็นตัวเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี โดยทำให้เกิดเป็นสารประกอบสีน้ำตาล เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) จึงทำให้ไซรัปจากผลตะขบมีสีน้ำตาลมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 ไซรัปจากผลตะขบ

ค่าการส่องผ่านแสง (%T_{650}) ของไซรัปจากผลตะขบ พบว่า สิ่งทดลองที่ 6 ใช้ปริมาณเอนไซม์เพคติเนสที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 240 นาที มีค่าการส่องผ่านแสงสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าการส่องผ่านแสง (%T_{650}) ของน้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนสกับไซรัปจากผลตะขบ พบว่า ไซรัปจากผลตะขบมีค่าการส่องผ่านแสงน้อยกว่าน้ำตะขบที่ตกตะกอนด้วยเอนไซม์เพคติเนส เนื่องจากการระเหยแบบสุญญากาศเป็นการระเหยน้ำโดยใช้ความร้อน อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ด้านสี ความใส และกลิ่นได้ [45] ชิดชัย [41] ได้กล่าวว่า การระเหยแบบสุญญากาศเป็นการระเหยที่ใช้อุณหภูมิต่ำ และทำให้

ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับออกซิเจน ซึ่งในกระบวนการระเหยนั้นทำให้ออกซิเจนมีโอกาสสัมผัสกับไซรัป เรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) โดยมีหลายปัจจัยในการทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้แก่ ความเข้มข้นของออกซิเจน อุณหภูมิ และพื้นที่ผิวต่อปริมาตร เป็นต้น

ค่าความหนืด (cP) ของไซรัปจากผลตะขบ พบว่า สิ่งทดลองที่ 6 ใช้ปริมาณเอนไซม์เพคติเนสที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 240 นาที มีค่าความหนืดน้อยที่สุด มีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเวลาในการบ่มของเอนไซม์เพคติเนส เกิดการทำให้เป็นของเหลว (Liquefaction) ที่เกือบสมบูรณ์นั้น คือ ผนังเซลพืชถูกทำลายของเหลวภายในเซลล์ถูกปลดปล่อยออกมาหมด และโพลีแซคคาร์ไรด์ทุกชนิดรวมทั้งสารประกอบเพคตินที่ผนังเซลล์พืชถูกย่อย ทำให้มีโมเลกุลที่เล็กลง ละลายลงสู่ส่วนที่เป็นของเหลว [57] จึงส่งผลทำให้ไซรัปจากผลตะขบมีค่าความหนืดน้อย

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของไซรัปจากผลตะขบ พบว่า ไซรัปจากผลตะขบทั้ง 8 สิ่งทดลอง มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) อยู่ในระดับ 5.1-5.5 มีค่าความเป็นกรดต่ำ เนื่องจากไซรัปจากผลตะขบเป็นอาหารที่มีค่า pH อยู่ในช่วง 4.5-7.0 [56]

4.1.3 การตกผลึกน้ำตาลจากผลตะขบ

จากการตกผลึกน้ำตาลจากผลตะขบ โดยนำไซรัปจากผลตะขบที่มีความเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ ทั้ง 8 สิ่งทดลอง มาผ่านกระบวนการตกผลึก (ดังแสดงในรูปที่ 3.2) ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างจากปริมาณของน้ำตาลจากผลตะขบที่ผลิตได้ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณน้ำตาลจากผลตะขบที่ผลิตได้

สิ่งทดลองที่	ปริมาณเอนไซม์เพคติเนส (ร้อยละ)	อุณหภูมิในการบ่ม (องศาเซลเซียส)	เวลาในการบ่ม (นาที)	ปริมาณน้ำตาลที่ผลิตได้ (ร้อยละ)^{ns}
1	0.5	40	120	92.34 ± 2.58
2	0.5	40	240	90.13 ± 2.21
3	0.5	60	120	89.60 ± 0.54
4	0.5	60	240	93.40 ± 0.91
5	1.0	40	120	90.84 ± 2.18
6	1.0	40	240	93.70 ± 0.86
7	1.0	60	120	89.66 ± 3.14
8	1.0	60	240	92.77 ± 2.73

หมายเหตุ : ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารงที่ 4.3 พบว่า จากการนำไซรัปจากผลตะขบมาผ่านกระบวนการตกผลึก ได้ปริมาณน้ำตาลจากผลตะขบที่ผลิตได้ (%Yield) ทั้ง 8 สิ่งทดลอง ไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05) เนื่องจากการตกผลึกเป็นกระบวนการที่อนุภาคของแข็งก่อตัวจากวัฏภาคเอกพันธ์ (Homogeneous Phase) และในการเกิดผลึกส่วนใหญ่เป็นผลึกของกลูโคส [58] และการตกผลึกเป็นการแยกชนิดหนึ่ง โดยมวลจะถ่ายเทจากสารละลายไปยังผลึกของของแข็งบริสุทธิ์ และการตกผลึกเป็นการทำให้ผลึกมีขนาดเท่ากัน และมีรูปร่างเหมือนกัน (Uniform Shape and Size) ในการตกผลึกจะต้องมีการควบคุมระดับความเข้มข้นของสารละลายให้อยู่ที่จุดอิ่มตัวยิ่งยวด [59] ซึ่งในการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบมีการควบคุมระดับความเข้มข้นที่เท่ากัน จึงทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลจากผลตะขบที่ผลิตได้ไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05)

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสต่อน้ำตะขบ และนำน้ำตะขบที่ได้ทั้ง 8 สิ่งทดลอง มาทำให้เข้มข้นเป็นไซรัปจากผลตะขบ ที่ความเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ จากนั้นนำไซรัปที่ได้มาผ่านกระบวนการตกผลึกเป็นน้ำตาลจากผลตะขบ พบว่า สิ่งทดลองที่เหมาะสม คือ สิ่งทดลองที่ 6 ใช้เอนไซม์เพคติเนสที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 240 นาที ซึ่งมีปริมาณร้อยละของผลผลิตของน้ำตะขบ (%Yield) ค่าความสว่าง (L*) ค่าการส่องผ่านแสง (%T_{650}) สูงที่สุด และเนื่องจากปริมาณน้ำตาลจากผลตะขบที่ผลิตได้

ไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05) จึงเลือกสิ่งทดลองที่ 6 มาทำการศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบต่อไป

4.1.4 การศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ

จากการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และแอนติออกซิแดนท์ คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรา ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ

คุณภาพ	ปริมาณ
ทางกายภาพ	
- สี (ICUMSA Unit)	3,890
ทางเคมี	
- ความชื้น (ร้อยละ)	11.38
- เถ้า (ร้อยละ)	1.02
- น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	85.47
- แอนติออกซิแดนท์ (mg/100gFW)	754.47
ทางจุลินทรีย์	
- จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	<10
- ยีสต์และรา (CFU/g)	ไม่พบ

จากตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่า น้ำตาลจากผลตะขบมีค่าสีเท่ากับ 3,890 ICUMSA Unit (ดังแสดงในรูปที่ 4.3) เนื่องจากน้ำตาลจากผลตะขบเป็นน้ำตาลที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการฟอกสี จึงทำให้มีคุณภาพด้านสีสูงกว่าน้ำตาลทรายตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด [72]

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่า น้ำตาลจากผลตะขบมีค่าความชื้น เท่ากับ 11.38 ซึ่งคุณภาพที่ดีของอาหารแห้งจะต้องมีความชื้นน้อย โดยมีค่าความชื้นน้อยกว่าอยู่ในช่วงร้อยละ 4-22 [60] เพื่อป้องกันและควบคุมจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียได้ รวมทั้งยีสต์และรา [61] มีปริมาณเถ้าร้อยละ 1.02 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ร้อยละ 85.47 เนื่องจากน้ำตาลจากผลตะขบมีน้ำตาลกลูโคส

(Glucose) และน้ำตาลฟรุคโตส (Fructose) เป็นส่วนประกอบอยู่มากจึงทำให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูง โดยน้ำตาลรีดิวซ์เป็นน้ำตาลที่ถูกออกซิไดส์ได้ง่ายด้วยตัวออกซิไดส์ (Oxidizing Aagent) อย่างอ่อน เป็นน้ำตาลที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (Aldehyde) หรือคีโทน (Ketone) ที่เป็นอิสระอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาล [62] และมีปริมาณแอนติออกซิแดนท์ 754.47 mg/100gFW เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลทรายขาว มีปริมาณแอนติออกซิแดนท์ น้อยกว่า 21 ไมโครโมลสมมูลของโทล็อก (μmoles TE) [70] เนื่องจาก น้ำตาลทรายขาวได้จากการนำน้ำตาลทรายดิบมาผ่านกระบวนการฟอกสีจึงทำให้ปริมาณแอนติออกซิแดนท์ ลดน้อยลง

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่า น้ำตาลจากผลตะขบ มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด <10 CFU/g และไม่พบยีสต์และราจากน้ำตาลจากผลตะขบ ซึ่งน้ำตาลจากผลตะขบมีคุณภาพทางจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำตาลทราย (มอก.) ซึ่งน้ำตาลจากผลตะขบ มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูงจึงทำให้จุลินทรีย์เจริญได้น้อย เนื่องจากสภาวะไม่เหมาะสมในการเจริญของจุลินทรีย์ [32]

รูปที่ 4.3 น้ำตาลจากผลตะขบ

4.2 การศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ

ผลการสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม คือ กลุ่มนักศึกษา และบุคลากรในเขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี และบุคคลทั่วไป จำนวน 100 คน

ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้ต่อเดือน รายงานผลการสำรวจได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการสำรวจข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม	**ความถี่**	**ร้อยละ**
1. เพศ		
ชาย	46	46.00
หญิง	54	54.00
รวม	**100**	**100.00**
2. อายุ		
15 - 24 ปี	21	21.00
25 - 34 ปี	22	22.00
35 - 44 ปี	18	18.00
45 - 54 ปี	20	20.00
55 ปีขึ้นไป	19	19.00
รวม	**100**	**100.00**
3. ระดับการศึกษา		
มัธยมศึกษา	10	10.00
ปวช.	4	4.00
ปวส./อนุปริญญา	12	12.00
ปริญญาตรี	60	60.00
ปริญญาโท	4	4.00
อื่นๆ (ประถมศึกษา และปริญญาเอก)	10	10.00
รวม	**100**	**100.00**
4. อาชีพ		
นักเรียน/นักศึกษา/นิสิต	22	22.00
ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	26	26.00
พนักงานบริษัทเอกชน	28	28.00
รับจ้าง	16	16.00

ตารางที่ 4.5 ผลการสำรวจข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม	ความถี่	ร้อยละ
อื่นๆ (พนักงานมหาวิทยาลัย)	8	8.00
รวม	**100**	**100.00**
5. รายได้ต่อเดือน		
น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท	27	27.00
10,001 - 20,000 บาท	43	43.00
20,001 - 30,000 บาท	25	25.00
30,001 - 40,000 บาท	4	4.00
มากกว่า 40,000 บาทขึ้นไป	1	1.00
รวม	**100**	**100.00**

ที่มา: ผลจากการทำแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภค

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 54 คน คิดเป็นร้อยละ 54.00 มีอายุระหว่าง 25 - 34 ปี จำนวน 22 คน คิดเป็นร้อยละ 22.00 มีการศึกษาระดับปริญญาตรี จำนวน 60 คน คิดเป็นร้อยละ 60.00 และมีรายได้ต่อเดือน 10,001-20,000 บาท จำนวน 43 คน คิดเป็นร้อยละ 43.00

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเชิงพฤติกรรมและทัศนคติของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลเชิงพฤติกรรมและทัศนคติของผู้ตอบแบบสอบถาม เป็นข้อมูลที่ดำเนินการสำรวจเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาน้ำตาลจากผลตะขบ รายงานผลการสำรวจได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6 และ 4.7

ตารางที่ 4.6 ผลการสำรวจข้อมูลเชิงพฤติกรรมและทัศนคติของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลเชิงพฤติกรรมและทัศนคติของผู้ตอบแบบสอบถาม	ความถี่	ร้อยละ
1. ท่านเคยซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลไม้หรือไม่		
เคย	67	67.00

ตารางที่ 4.6 ผลการสำรวจข้อมูลเชิงพฤติกรรมและทัศนคติของผู้ตอบแบบสอบถาม (ต่อ)

ข้อมูลเชิงพฤติกรรมและทัศนคติของผู้ตอบแบบสอบถาม	ความถี่	ร้อยละ
ไม่เคย	33	33.00
รวม	**100**	**100.00**
2. ปกติท่านเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาลชนิดใดมากที่สุด		
น้ำตาลทรายขาว	79	79.00
น้ำตาลทรายแดง	12	12.00
น้ำตาลกรวด	0	0.00
น้ำตาลทรายอัดเม็ดหรือน้ำตาลปอนด์	0	0.00
น้ำตาลมะพร้าว	8	8.00
น้ำตาลโตนด	1	1.00
รวม	**100**	**100.00**
3. ท่านเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากแหล่งใดเป็นประจำมากที่สุด		
ตลาดสด	12	12.00
ร้านสะดวกซื้อ	40	40.00
ร้านขายของชำ	18	18.00
ห้างสรรพสินค้า	30	30.00
รวม	**100**	**100.00**

ที่มา: ผลจากการทำแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภค

จากตารางที่ 4.6 ผลการสำรวจข้อมูลเชิงพฤติกรรมและทัศนคติของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เคยซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลไม้ จำนวน 67 คน คิดเป็นร้อยละ 67.00 เลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาลทรายขาวมากที่สุด จำนวน 79 คน คิดเป็นร้อยละ 79.00 ซึ่งสอดคล้องกับสุทินา [63] พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่บริโภคน้ำตาลทรายมากที่สุดเป็นอันดับ 1 คิดเป็นร้อยละ 67.2 วิไลรัตน์ [64] กล่าวว่า การบริโภคน้ำตาลทรายภายในประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสัดส่วนในการบริโภคของผู้บริโภค มีสัดส่วนของการบริโภคน้ำตาลทรายขาวมากที่สุด โดยใช้น้ำตาลทรายขาวในการประกอบอาหาร และเป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มประจำวันตามครัวเรือนและร้านค้า แหล่งจำหน่ายที่ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เลือกซื้อ คือ ร้านสะดวกซื้อ จำนวน 40 คน

คิดเป็นร้อยละ 40.00 ในปัจจุบันร้านสะดวกซื้อมีบทบาทต่อการดำเนินชีวิตของผู้บริโภคมากขึ้น และมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีการดำเนินชีวิตในสังคมที่มีแต่ความเร่งรีบ ผู้บริโภคต้องการความสะดวกรวดเร็วต้องการซื้อสินค้าใกล้บ้าน และครอบครัวมีขนาดเล็กลง จึงซื้อสินค้าในปริมาณน้อยแต่ถี่ขึ้น [65]

ตารางที่ 4.7 ปัจจัยที่ใช้ในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาล

ปัจจัยที่ใช้ในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาล	**$\bar{X}$ ± SD**	**การแปลผลค่าเฉลี่ย**
ด้านผลิตภัณฑ์		
คุณค่าทางอาหาร	3.53 ± 0.83	มาก
ความใสของผลึก	3.36 ± 0.87	ปานกลาง
ขนาดของผลึก	3.34 ± 0.89	ปานกลาง
รสหวาน	3.92 ± 0.86	มาก
ความสะอาด	4.33 ± 0.82	มาก
อายุการเก็บรักษา	4.07 ± 0.89	มาก
กรรมวิธีการผลิต	3.78 ± 0.87	มาก
ความแปลกใหม่	3.54 ± 1.02	มาก
เป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ	4.20 ± 0.79	มาก
มีเครื่องหมาย อย.	4.19 ± 1.12	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	**3.83 ± 0.96**	**มาก**
ด้านราคา		
ราคาเหมาะสมกับคุณภาพ	3.98 ± 0.86	มาก
ราคาเหมาะสมกับปริมาณ	3.93 ± 0.90	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	**3.96 ± 0.88**	มาก
ด้านบรรจุภัณฑ์		
ขนาดบรรจุภัณฑ์	3.64 ± 0.80	มาก
ยี่ห้อ/ตรา	3.70 ± 0.94	มาก
สะดวกในการใช้งาน	3.83 ± 0.79	มาก
มีรูปทรงสวยงาม	3.50 ± 0.92	มาก
สามารถมองเห็นผลิตภัณฑ์ด้านในได้	3.92 ± 0.84	มาก

ตารางที่ 4.7 ปัจจัยที่ใช้ในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาล (ต่อ)

ปัจจัยที่ใช้ในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาล	$\bar{X} \pm SD$	การแปลผลค่าเฉลี่ย
บอกวัน/เดือน/ปี ที่ผลิต/หมดอายุอย่างชัดเจน	4.25 ± 0.93	มาก
บอกคุณค่าทางโภชนาการ	4.06 ± 0.87	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	**3.84 ± 0.90**	**มาก**
ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย		
ร้านค้าใกล้บ้าน	3.81 ± 1.07	มาก
ร้านสะดวกซื้อ	3.81 ± 0.88	มาก
ร้านขายส่ง	3.42 ± 1.10	ปานกลาง
ร้านขายปลีก	3.53 ± 0.93	มาก
ห้างสรรพสินค้า	3.89 ± 1.00	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	**3.69 ± 1.01**	**มาก**
ด้านการตลาด		
การโฆษณา	3.58 ± 0.93	มาก
โปรโมชั่นในการจำหน่ายสินค้า	3.76 ± 0.89	มาก
สถานที่ในการวางจำหน่ายสินค้า	3.86 ± 0.85	มาก
แจกสินค้าทดลองชิมฟรี	3.39 ± 1.01	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ยรวม	**3.65 ± 0.94**	มาก

ที่มา: ผลจากการทำแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภค

จากตารางที่ 4.7 ปัจจัยที่ใช้ในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาล พบว่า กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ให้ความสำคัญในด้านราคามากที่สุด โดยค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 3.96 ± 0.88 อยู่ในระดับมาก รองลงมา คือ ด้านด้านบรรจุภัณฑ์ ด้านผลิตภัณฑ์ ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย และด้านการตลาด อยู่ในระดับมาก โดยค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 3.84 ± 0.87 3.83 ± 0.90 3.69 ± 1.00 และ 3.65 ± 0.92 ตามลำดับ โดยในด้านราคาผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับราคาเหมาะสมกับคุณภาพมากที่สุด อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.98 ± 0.86 ด้านบรรจุภัณฑ์ให้ความสำคัญ เรื่องบอกวัน/เดือน/ปี ที่ผลิต/หมดอายุอย่างชัดเจนมากที่สุด อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.25 ± 0.93 โดยฉลากอาหารเป็นช่องทางหนึ่งที่แสดงข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งช่วย

ให้ผู้บริโภคพิจารณาตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารได้ตรงกับความต้องการ และยังบอกวิธีการใช้ การเก็บรักษาและอายุของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งช่วยให้ผู้บริโภคไม่บริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่หมดอายุแล้ว และลดอันตรายอันเกิดจากการบริโภคอาหารนั้น [66] ด้านผลิตภัณฑ์ให้ความสำคัญ เรื่องความสะอาดมากที่สุด อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 ± 0.82 ซึ่งสอดคล้องกับสุทินา [63] พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญเป็นอันดับ 1 ด้านช่องทางการจัดจำหน่ายให้ความสำคัญกับห้างสรรพสินค้ามากที่สุด อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.89 ± 1.00 และด้านการตลาดให้ความสำคัญ เรื่องสถานที่ในการวางจำหน่ายสินค้ามากที่สุด อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.86 ± 0.85

ส่วนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค

ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค เป็นข้อมูลที่ใช้เพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ รายงานผลการสำรวจได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.8 - 4.10

ตารางที่ 4.8 คะแนนความชอบของผู้บริโภคจำนวน 100 คน

การทดสอบความชอบของผู้บริโภค	**$\bar{X}$ ± SD**	**การแปลผลค่าเฉลี่ย**
คุณลักษณะ		
ลักษณะปรากฏ	7.13 ± 1.00	ชอบปานกลาง
สี	7.22 ± 0.93	ชอบปานกลาง
กลิ่นตะขบ	7.09 ± 1.19	ชอบปานกลาง
รสหวาน	7.33 ± 1.13	ชอบปานกลาง
ความชอบโดยรวม	7.51 ± 0.85	ชอบมาก
ค่าเฉลี่ยรวม	**7.24 ± 1.03**	**ชอบปานกลาง**

ที่มา: ผลจากการทำแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภค

จากตารางที่ 4.8 การทดสอบความชอบของผู้บริโภค พบว่า กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความชอบผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบโดยรวมเฉลี่ยอยู่ในระดับชอบปานกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.24 ± 1.03 ไพโรจน์ [67] ได้กล่าวว่า มนุษย์ในแต่ละคนจะมีวิธีการที่แตกต่างกันในการมองภาพการยอมรับผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ บางคนอาจจะพิจารณาถึงขนาด รูปร่างในเบื้องต้น บางคนอาจจะคำนึงถึงตำหนิที่ผิดปกติของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่บางคนติดอยู่กับสีที่ปรากฏ

ของผลิตภัณฑ์ ปฏิกิริยาแรกเริ่มต่อผลิตภัณฑ์ขึ้นกับการสังเกตเห็นด้วยสายตาเป็นหลัก โดยปราศจากการใช้การสัมผัส แม้กระทั่งการรับรสชาติ ดังนั้นลักษณะที่ปรากฏทางกายภาพของผลิตภัณฑ์จึงนับว่ามีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการยอมรับและการปฏิเสธของผู้บริโภค

ตารางที่ 4.9 การยอมรับของผู้บริโภค

การยอมรับของผู้บริโภค	$\bar{X} \pm SD$	การแปลผลค่าเฉลี่ย
การยอมรับของผู้บริโภค	3.84 ± 0.63	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	**3.84 ± 0.63**	**มาก**

ที่มา: ผลจากการทำแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภค

จากตารางที่ 4.9 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีการยอมรับผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ โดยรวมเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก เท่ากับ 3.84 ± 0.63

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค

ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค	ความถี่	ร้อยละ
1. ถ้ามีผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบวางจำหน่าย ท่านจะซื้อผลิตภัณฑ์นี้รับประทานหรือไม่		
ซื้อแน่นอน	60	60.00
ไม่แน่ใจ	40	40.00
ไม่ซื้อแน่นอน	0	0.00
รวม	**100**	**100.00**
2. เมื่อท่านได้รับทราบข้อมูลเกี่ยวกับตะขบแล้วท่านจะซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบหรือไม่		
ซื้อแน่นอน	74	74.00
ไม่แน่ใจ	24	24.00
ไม่ซื้อแน่นอน	2	2.00
รวม	**100**	**100.00**

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค (ต่อ)

ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค	ความถี่	ร้อยละ
3. หากมีการวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ ท่านคิดว่าควรวางจำหน่ายที่ใดจึงจะดี		
ตลาดสด	7	7.00
ร้านสะดวกซื้อ	44	44.00
ร้านขายของชำ	4	4.00
ห้างสรรพสินค้า	38	38.00
ขายออนไลน์	7	7.00
รวม	**100**	**100.00**
4. เพราะเหตุใดท่านจึงสนใจรับประทานผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ		
ความแปลกใหม่	42	42.00
เป็นทางเลือกใหม่เพื่อสุขภาพ	40	40.00
ราคาถูก	1	1.00
ใช้ผลไม้ที่มีอยู่ทุกภูมิภาคมาเป็นวัตถุดิบ	5	5.00
มีรสหวาน	3	3.00
มีกลิ่นรสผลไม้	9	9.00
รวม	**100**	**100.00**

ที่มา: ผลจากการทำแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภค

จากตารางที่ 4.10 ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า หากมีผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบวางจำหน่าย กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่จะเลือกซื้อผลิตภัณฑ์นี้รับประทาน จำนวน 60 คน คิดเป็นร้อยละ 60.00 และเมื่อผู้ตอบแบบสอบถามได้รับทราบข้อมูลเกี่ยวกับตะขบจะเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ จำนวน 74 คน คิดเป็นร้อยละ 74.00 โดยมีการวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์ในร้านสะดวกซื้อ จำนวน 44 คน คิดเป็นร้อยละ 44.00 และผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความสนใจรับประทานผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบเนื่องจากมีความแปลกใหม่ จำนวน 42 คน คิดเป็นร้อยละ 42.00 เนื่องจากปัจจุบันคนไทยเริ่มมีวิถีชีวิตเปลี่ยนจากสังคมชนบทเป็นสังคมเมืองมากขึ้น [68] คนไทยมีการศึกษาที่สูงขึ้นรวมไปถึงการมีรายได้ต่อหัวค่อนข้างสูง ซึ่งส่งผลให้ประชาชนเหล่านั้นหันมาสนใจสุขภาพ

และอนามัย ของตัวเองมากขึ้น ทั้งนี้อาจจะเป็นไปตามกระแสจากประเทศที่พัฒนาแล้ว ที่ผู้บริโภคหันมาให้ความสนใจเรื่องของการป้องกันและรักษาตนเอง [69] ดังนั้นการผลิตอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีสารสำคัญ ไม่มีสารพิษปนเปื้อน จึงมีส่วนสำคัญต่อสุขอนามัยของผู้บริโภค การเชื่อมโยงระหว่างภาคเกษตรกรรมและเรื่องสุขภาพ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง [68]

ส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะ

การตอบแบบสอบถามปลายเปิด ผู้ตอบแบบสอบถามให้ข้อเสนอแนะต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ ประกอบด้วย เห็นควรให้มีการวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ ยังช่วยเสริมสร้างคุณค่าและมูลค่าให้กับผลไม้ไทย และน่าจะทำให้น้ำตาลจากผลตะขบมีกลิ่นของตะขบมากกว่านี้

4.3 การศึกษาต้นทุนการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ

จากการศึกษาต้นทุนการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ โดยมีการคำนวณหาต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ ประกอบด้วย วัตถุดิบทางตรง (ดังแสดงในตารางที่ 4.11) และคำนวณต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ โดยมีค่าโสหุ้ยร้อยละ 35 ของราคาวัตถุดิบ และกำไรร้อยละ 30 ของราคาวัตถุดิบ

ตารางที่ 4.11 การคำนวณต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ

ส่วนผสมในการผลิต	ต้นทุน	ปริมาณ (กรัม)	ราคา/หน่วย (บาท)
ผลตะขบ	20 บาท/กิโลกรัม	2,000.00	40.00
เอนไซม์เพคติเนส	2,000 บาท/กิโลกรัม	1.00	2.00
กลูโคสผง	56 บาท/ 250 กรัม	133.00	29.79
	รวม		**71.79**

โดยมีการคำนวณต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ ดังนี้

ราคารวมต้นทุนวัตถุดิบ = 71.79 บาท

คิดค่าโสหุ้ย ร้อยละ 35 ของราคาวัตถุดิบ = $\frac{71.79 \times 35}{100}$ = 25.13 บาท

ค่าโสหุ้ย + กำไร ร้อยละ 30 ของราคาวัตถุดิบ

= $\frac{25.13 \times 30}{100}$ = 7.54 บาท

ต้นทุนวัตถุดิบ + ค่าโสหุ้ย + กำไร = 71.79 + 25.13 + 7.54

ต้นทุนการผลิตรวม = 104.46 บาท

จากตารางที่ 4.11 การคำนวณต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ พบว่า ในการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ ได้ปริมาณน้ำตาลจากผลตะขบที่ผลิตได้ 218.88 กรัม ซึ่งจากการคำนวณต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ เท่ากับ 104.46 บาท โดยน้ำตาลจากผลตะขบ 1 กิโลกรัม มีราคา เท่ากับ 480.00 บาท เนื่องจากงานวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบมีกระบวนผลิตที่ไม่ใช่การผลิตแบบระบบอุตสาหกรรมจึงทำให้มีต้นทุนของวัตถุดิบสูง จึงทำให้มีต้นทุนในการผลิตสูง และมีการบรรจุผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบในบรรจุภัณฑ์ (ดังแสดงในรูปที่ 4.4) เนื่องจากผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบเป็นน้ำตาลจากผลไม้ที่มีสารแอนติออกซิแดนท์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย จึงจัดว่าเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ ปาริชาต ประภาสัย [71] ได้กล่าวว่า ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพนั้นจะมีราคาที่สูง แต่หากผู้บริโภครับรู้ว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีคุณค่า มีคุณประโยชน์ตรงตามความต้องการ ช่วยทำให้ร่างกายแข็งแรง สามารถใช้ชีวิตได้อย่างมีความสุข และคุณประโยชน์ที่ได้รับคุ้มค่ากับราคาที่จ่ายไป ผู้บริโภคยินดีที่จะซื้อผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพอย่างไม่ลังเล

รูปที่ 4.4 บรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบที่เหมาะสม ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ของน้ำตาลจากผลตะขบ ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ และศึกษาต้นทุนการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ มีสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร มีสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะได้ดังนี้

5.1.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสในการผลิตไซรัปจากตะขบ

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสต่อน้ำตะขบและไซรัปจากตะขบ ผลการศึกษา พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสกัดน้ำตะขบ คือ ปริมาณเอนไซม์เพคติเนส อุณหภูมิในการบ่ม และระยะเวลาในการบ่ม วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD นำมาคัดเลือกสิ่งทดลองที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพ โดยการวัดความสว่าง (L*) การส่องผ่านแสง (%T_{650}) และความหนืด ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสต่อน้ำตะขบ และไซรัปจากตะขบมากที่สุด คือ การใช้ปริมาณเอนไซม์เพคติเนส ร้อยละ 1 บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 240 นาที และใช้วิธีการทำให้น้ำตะขบเข้มข้น คือ วิธีการระเหยแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำตะขบมีความเข้มข้นที่ 65 องศาบริกซ์

5.1.2 การศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ

ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ พบว่า คุณภาพทางกายภาพของน้ำตาลจากผลตะขบมีค่าสี 3,890 IU คุณภาพทางเคมีมีค่าความชื้นร้อยละ 11.38 มีปริมาณเถ้าร้อยละ 1.02 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 85.47 ปริมาณแอนติออกซิแดนท์ 754.47 mg/100gFW และคุณภาพทางจุลินทรีย์ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด <10 โคโลนี/กรัม และไม่พบยีสต์และราในผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ

5.1.3 การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ

ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ โดยใช้สถานที่ทดสอบแบบ Central Location Test (CLT) ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 100 คน เป็นกลุ่มนักศึกษาและบุคลากรในเขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี และบุคคลทั่วไป พบว่า การสำรวจข้อมูลเชิงพฤติกรรม และทัศนคติของผู้ตอบแบบสอบถาม ผู้ตอบแบบสอบถามเคยซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลไม้ โดยนิยมเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาล คือ น้ำตาลทรายขาว และผู้ตอบแบบสอบถามเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากแหล่งจำหน่าย คือ ร้านสะดวกซื้อ ในด้านปัจจัยที่ใช้ในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาล พบว่า กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญในด้านราคามากที่สุด โดยในด้านราคาผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญกับราคาเหมาะสมกับคุณภาพ รองลงมา คือ ด้านบรรจุภัณฑ์ให้ความสำคัญ เรื่องบอกวัน/เดือน/ปี ที่ผลิต/หมดอายุอย่างชัดเจน ด้านผลิตภัณฑ์ให้ความสำคัญ เรื่องความสะอาด ด้านช่องทางการจัดจำหน่ายให้ความสำคัญกับห้างสรรพสินค้า และด้านการตลาดให้ความสำคัญ เรื่องสถานที่ในการวางจำหน่ายสินค้า

กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามมีความชอบผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบโดยรวมเฉลี่ยอยู่ในระดับชอบปานกลาง และมีการยอมรับผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบโดยรวมเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก โดยมีข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบความชอบ และการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า หากมีผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบวางจำหน่าย กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามจะเลือกซื้อผลิตภัณฑ์นี้รับประทาน และเมื่อผู้ตอบแบบสอบถามได้รับทราบข้อมูลเกี่ยวกับตะขบจะเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ โดยมีการวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์ในร้านสะดวกซื้อ และผู้ตอบแบบสอบถามมีความสนใจรับประทานผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบเนื่องจากมีความแปลกใหม่

5.1.4 การศึกษาต้นทุนการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ

ผลการศึกษาต้นทุนการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ พบว่า ในการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ ผลิตได้น้ำตาลในปริมาณ 218.88 กรัม ซึ่งจากการคำนวณต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ เท่ากับ 104.46 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลที่วางขายตามท้องตลาดยี่ห้อต่างๆ ขนาด 1 กิโลกรัม ราคาเฉลี่ย เท่ากับ 23.50 บาท โดยน้ำตาลจากผลตะขบ 1 กิโลกรัม มีราคา เท่ากับ 480.00 บาท

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาอายุการเก็บรักษา เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ

5.2.2 ควรมีการศึกษากระบวนการตกผลึกของไซรัปจากผลตะขบโดยวิธีอื่น แทนการใช้กลูโคสผงในการผลิตน้ำตาลจากผลตะขบ

5.2.3 ควรมีการแปรรูปตะขบสด เนื่องจากผลตะขบเป็นผลไม้ที่เสียง่ายจึงควรปั่นแยกระหว่างน้ำกับกาก และทำการแช่เยือกแข็ง (Freezing) เพื่อรักษาความสด คุณภาพ และยืดอายุการเก็บรักษา

บรรณานุกรม

[1] นิดดา หงส์วิวัฒน์ และทวีทอง หงส์วิวัฒน์, ผลไม้ 111 ชนิด คุณค่าอาหารและการกิน. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แสงแดด, 2550.

[2] ชนินทร์ อัครปัญญาวิทย์, สถิตพงศ์ ผลาเกษ และอรสา สุริยาพันธ, “การศึกษาขั้นต้นการผลิตไวน์จากตะขบผสมน้ำอ้อย,” วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ปีที่ 43, ฉบับที่ 2, หน้า 33-36, 2555.

[3] อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์, “การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากลูกตะขบโดยการทำแห้ง,” คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2554.

[4] อุษา ภูคัสมาส, “น้ำตาลและบทบาทสำคัญของสารให้ความหวาน,” วารสารอาหาร, ปีที่ 43, ฉบับที่ 1, หน้า 33-39, 2556.

[5] สวลี ดีประเสริฐ ศุภชัย บุญนำมา วิทยา บุตรทองมูล บุปผา ชินเชิดวงศ์ และวีระ โลหะ, “การใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลังเพื่อผลิตเป็นน้ำตาล,” วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, ปีที่ 15, ฉบับที่ 3, หน้า 39-46, 2555.

[6] กล้าณรงค์ ศรีรอต, เทคโนโลยีน้ำตาล. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2532.

[7] วิไลรัตน์ ว่องวรานนท์, “การวิเคราะห์ความต้องการและแนวโน้มการบริโภคน้ำตาลทรายของครัวเรือนไทย,” ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

[8] กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ, คู่มือการจัดการเรียนการสอนแบบบูรณาการ ตะขบต้นไม้ใจดี. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2546.

[9] ฐานข้อมูลพรรณไม้ องค์การสวนพฤกษศาสตร์, ข้อมูลพันธุ์ไม้ (ออนไลน์), (ม.ป.ป.), สืบค้นจาก http://www.qsbg.org/database/botanic_book%20full%20option/search.asp?txtsearch=%E0%B8%95%E0%B8%B0%E0%B8%82%E0%B8%9A%E0%B8%9D%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B9%88%E0%B8%87 (4 ตุลาคม 2558).

[10] สำนักงานหอพรรณไม้, ตะขบ (ออนไลน์), (ม.ป.ป.), สืบค้นจาก http://web3.dnp.go.th/botany/detail.aspx?words=%E0%B8%95%E0%B8%B0%E0%B8%82%E0%B8%9A&typeword=group (3 กุมภาพันธ์ 2558).

[11] Zainul Amiruddin Zakaria, Tavamani Balan, Velan Suppaiah, Syahida Ahmad, & Fadzureena Jamaludin, a. “Mechanism(s) ofactioninvolvedinthegastroprotectiveactivity of Muntingia calabura,” Journal of Ethnopharmacology, Journal of Ethnopharmacology (Electronic), Vol. 151, 2014, pp.1184-1193, Available: Science Direct (11 มกราคม 2558).

บรรณานุกรม (ต่อ)

[12] ต้นตะขบ (ออนไลน์), สืบค้นจาก http://www.cmadong.com/imgup/pics/cmd300478_1527312_1830031_9778920photo.jpg (29 มิถุนายน 2558).

[13] ดอกตะขบ (ออนไลน์), สืบค้นจาก http://shareherb.com/hub/245.html (29 มิถุนายน 2558).

[14] สำนักสารนิเทศ สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข, คุณค่าทางโภชนาการของตะขบ (ออนไลน์), 2557, สืบค้นจาก http://goodhealth.moph.go.th/index.php?user=1&news=220 (2 มกราคม 2558).

[15] กองโภชนาการ, ปริมาณใยอาหาร น้ำตาล และแร่ธาตุในผลไม้ (ออนไลน์), 2552, สืบค้นจาก nutrition.anamai.moph.go.th/temp/files/health/lab2.doc (3 กุมภาพันธ์ 2558).

[16] นราพร พรหมไกรวร, "แอนโธไซยานินกับประเด็นด้านสุขภาพ โรคเบาหวานชนิดที่ 2 (Type 2 Diabetes, T2D)," วารสารอาหาร, ปีที่ 43, ฉบับที่ 2, หน้า 34-39, 2556.

[17] การแปรรูปผลิตภัณฑ์จากตะขบ (ออนไลน์), สืบค้นจาก http://bverd.vec.go.th/innovation/bverd/bb_project_detail.php?project_id=600 (29 มิถุนายน 2558).

[18] พิศาล มโนสีหกุล และนิจธร ยมนา, น้ำตาล. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มาร์เก็ทติ้งมีเดีย, 2521.

[19] อุษา ภูคัสมาส, "น้ำตาลและบทบาทสำคัญของสารให้ความหวาน," วารสารอาหาร, ปีที่ 43, ฉบับที่ 1, หน้า 33-39, 2556.

[20] อัสวิทย์ ปัทมะเวณุ, ตามรอยน้ำตาล. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ที.พี.พริ้น จำกัด, 2541.

[21] กล้าณรงค์ ศรีรอต, สารให้ความหวาน. กรุงเทพมหานคร : บริษัท จาร์พา เท็คเซ็นเตอร์ จำกัด, 2542.

[22] วัฒนา พัฒนากูล, "น้ำตาลและสารให้ความหวานที่พบในพืช," วารสารวิทยาศาสตร์ มข., ปีที่ 33, ฉบับที่ 3-4, หน้า 77-86, 2548.

[23] เนตรนภิส วัฒนสุชาติ, "น้ำตาลฟรักโทสโรคอ้วน," วารสารอาหาร, ปีที่ 39, ฉบับที่ 4, หน้า 299-304, 2552.

[24] อัจฉรา ดลวิทยาคุณ, การทดลองอาหาร, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2556.

[25] สันติ์ ฉายตะกุล, กระบานการผลิตน้ำตาลทรายและปัญหาทางเทคนิคในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย. กรุงเทพมหานคร : กองวิทยาศาสตร์น้ำตาล ศูนย์ส่งเสริมน้ำตาลทราย, 2510.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[26] เนตรนภิส วัฒนสุชาติ, “น้ำตาลฟรักโทสโรคอ้วน,” วารสารอาหาร, ปีที่ 39, ฉบับที่ 4, หน้า 299-304, 2552.

[27] สุมาลี เหลืองสกุล, จุลชีววิทยาทางอาหาร, พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ชัยเจริญ, 2539.

[28] อนุชิตา มุ่งงาม, แอนติออกซิแดนท์ในธัญพืช Antioxidants in Cereals. มหาสารคาม : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2555.

[29] ศิริธร ศิริอมรพรรณ, สารต้านอนุมูลอิสระในอาหาร. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2557.

[30] เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม, “อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ: แหล่งที่มาและกลไกการเกิดปฏิกิริยา,” วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1, หน้า 59-70, 2554.

[31] บุหรัน พันธุ์สวรรค์, “อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ,” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 21, ฉบับที่ 3, หน้า 275-286, 2556.

[32] พัชรา วีระกะลัส, เอนไซม์. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

[33] ปราณี อ่านเปรื่อง, เอนไซม์ทางอาหารตอนที่ 1, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

[34] นิธิยา รัตนาปนนท์, เคมีอาหาร, พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2551.

[35] ปราณี อ่านเปรื่อง, หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส, พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.

[36] ชิดชัย ปัญญาสวรรค์, “การพัฒนาไซรัปเข้มข้นจากกล้วยหอมทองโดยการใช้เอนไซม์,” ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547.

[37] ดำรงพล คลังทอง และปิยะณัฐ เชิดชู, “การหมักเอทานอลจากตะขบ,” คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2556.

[38] วทันยา ลิมปพยอม, “สารให้ความหวานชนิดไซรัปจากหญ้าหวาน,” ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2556.

[39] อังคาร กานแก้ว และนภาภรณ์ มูลทองหลาง, “การปรับปรุงกระบวนการผลิตไซรัปน้ำอ้อย,” คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา, 2550.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[40] จุฑามาศ ถิระสาโรช และเฉลิมพล ถนอมวงศ์, “การศึกษาการสกัดไซรัปกล้วย,” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, 2548.

[41] ธีรพร กงบังเกิด, “การผลิตไซรัปจากน้ำตาลสด,” ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2545.

[42] นวพล แสนใจบาล, “การคัดเลือกสายพันธุ์สตรอเบอรี่และสภาวะการใช้เอนไซม์เพคติเนสที่เหมาะสมเพื่อการสกัดน้ำสตรอเบอรี่,” ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550.

[43] กฤษณา ทองทั้งสาย, “การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผลึกน้ำตาลเกาะไม้สำหรับเครื่องดื่มร้อน,” ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547.

[44] เมทณี นพคุณ, “การผลิตผลึกน้ำตาลจากน้ำผึ้งดอกทานตะวัน,” ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2556.

[45] ขนิษฐา ศรีนวล, “ปัจจัยที่มีผลต่อการตกผลึกและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำผึ้งไทย,” ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550.

[46] Sandhan Jyoti Bora Jyotishman Handique and Nandan Sit, “Effect of ultrasound and enzymatic pre-treatment on yield and properties of banana juice,” Ultrasonics Sonochemistry, Volume 37, Pages 445-451, 2017.

[47] Hassan K. Sreenath Kadambi R. Sudarshanakrishna and Krishnaswamy Santhanam, “Improvement of juice recovery from pineapple pulp/residue using cellulases and pectinases,” Journal of Fermentation and Bioengineering, Volume 78, Issue 6, Pages 486-488, 1994.

[48] ICUMSA., Methods book, International commission for uniform methods of sugar analysis, Norwich Research Park, Conley, England. 2011.

[49] A.O.A.C., Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Vol.1, 15th ed., Washington D.C., 2012.

[50] Katsuke T, Screening for antioxidant activity in edible plant products: comparison of low-density lipoprotein oxidantion assay, DPPH radical scavenging assay, and Folin-Ciocalteu assay, Journal of Agricutural and Food Chemistry 52:2391-2396, 2004.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[51] จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงค์, การวิเคราะห์ต้นทุนอุตสาหกรรมและการจัดการทำงบประมาณ, พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.

[52] ศุภศิลป์ มณีรัตน์ อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และวาสนา มู่สา, "การเปรียบเทียบการทำไวน์ผลไม้ให้ใสโดยใช้เอนไซม์เพคติเนสกับวิธีการอื่นๆ," มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา, 2550.

[53] อมรรัตน์ มุขประเสริฐ, "การทำน้ำฝรั่งให้ใสโดยวิธีทางเคมีและชีวเคมี," วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 12, ฉบับที่ 3, หน้า 57-64, 2545.

[54] ปราณี อ่านเปรื่อง, เอนไซม์ทางอาหาร, พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558.

[55] วิภา ประพินอักษร นันทา เป็งเนตร์ ดรุณี มูลโรจน์ และนคร สานิชวรรณ, "การผลิตไซรัปจากผลมะม่วงหิมพานต์," มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์, 2554.

[56] นิธิยา รัตนาปนนท์, หลักการวิเคราะห์อาหาร. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2554.

[57] อรุณี เพียรทวีรัชต์ และปราณี อ่านเปรื่อง, "ผลของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลสต่อการผลิตน้ำกล้วยหอม," วารสารอาหาร, ปีที่ 23, ฉบับที่ 3, หน้า 188-196, 2536.

[58] ศักรินทร์ ปริศวงศ์, "ผลขององค์ประกอบทางชีวเคมีต่อการตกผลึกในน้ำผึ้ง," ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2549.

[59] ธนภัทร อภินันทศรี, "การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผลึกน้ำตาลสมุนไพรเคลือบขิงสกัดเข้มข้น," ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.

[60] เจิมขวัญ สังข์สุวรรณ, บรรจุภัณฑ์และอายุการเก็บของอาหารแห้ง. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2556.

[61] James M. Jay, "Preservation of Foods by Drying," Modern food microbiology, Aspen Publishers, Gaithersburg, Md. 1998.

[62] สุธิดา อัครชะนียากร, "การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วย," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2559.

[63] สุทินา สุวรรณนามัย, "ทัศนคติต่อการบริโภคน้ำตาลทรายของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานคร," ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550.

[64] วิไลรัตน์ ว่องวรานนท์, "การวิเคราะห์ความต้องการและแนวโน้มการบริโภคน้ำตาลทรายของครัวเรือนไทย," ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[65] ชนาธิป ผลาวรรณ์ และจิรวรรณ ดีประเสริฐ, “พฤติกรรมการซื้อสินค้าและบริการของกลุ่มเบบี้บูมเมอร์ที่ร้านสะดวกซื้อในเขตกรุงเทพมหานคร,” วารสารปัญญาภิวัฒน์, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1, หน้า 121-133, 2556.

[66] ณัฐพิมณฑ์ ภิรมย์เมือง เรวดี จงสุวัฒน์ และดวงใจ มาลัย, “การรับรู้เครื่องหมายบนฉลากอาหารและการใช้ข้อมูลบนฉลากอาหารในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารของผู้ที่มารับบริการในแผนกผู้ป่วยนอกโรงพยาบาลรามาธิบดี,” วารสารสาธารณสุขศาสตร์, ปีที่ 42, ฉบับที่ 2, หน้า 17-28, 2555.

[67] ไพโรจน์ วิริยจารี, การประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation). เชียงใหม่ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545.

[68] พัชริน ส่งศรี, “ฟักข้าว พืชพื้นบ้านคุณค่าสูงเพื่อสุขภาพ,” วารสารแก่นเกษตร, ปีที่ 40, หน้า 1-6, 2555.

[69] นาฏอนงค์ นามบุดดี, “อนาคตของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและการปรับกลยุทธ์การตลาดในไทย,” วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ปีที่ 18, หน้า 353-374, 2558.

[70] สารต้านอนุมูลอิสระในน้ำตาล (ออนไลน์), สืบค้นจาก http://www.center-herb.com/index.php (22 กรกฎาคม 2560)

[71] ปาริชาต ประภาสัย, “การรับรู้ถึงความเสี่ยง และการรับรู้คุณค่าผลิตภัณฑ์กับการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร,” บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยกรุงเทพ, 2557.

[72] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.), มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำตาลทราย (มอก. 56-2516), กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร, 2552.

[73] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.), มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำตาลทรายแดง (มผช.759/2548), กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร, 2548.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบสอบถามความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ชุดที่......

แบบสอบถาม

การทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค

เรียน ผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง การทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ

คำชี้แจง

แบบสอบถามฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ เพื่อทดสอบความชอบและการยอมรับของผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ อันเป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์แห่งปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ของ นางสาวมยุรา วชิรศักดิ์ชัย นักศึกษาปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีทำการทดสอบความชอบ และการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ ซึ่งแบบสอบถามจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเชิงพฤติกรรมและทัศนคติของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค

ดังนั้นจึงใคร่ขอความร่วมมือจากทุกท่าน กรุณาทดสอบผลิตภัณฑ์และตอบแบบสอบถาม ข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับใช้ประกอบการศึกษาและเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบในครั้งต่อไป ข้าพเจ้าในนามผู้สอบถามขอขอบพระคุณอย่างยิ่งที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี ณ โอกาสนี้ด้วย

หมายเหตุ

น้ำตาลจัดเป็นวัตถุดิบที่นำมาใช้ประกอบอาหารมากที่สุดตั้งแต่อดีตจนกระทั่งปัจจุบันยังคงใช้กันอย่างแพร่หลาย และมีการผลิตเกือบทั่วโลก ในทุกครัวเรือนของคนไทยแทบจะขาดน้ำตาลไม่ได้ ปัจจุบันคนไทยบริโภคน้ำตาลมากขึ้นจากผลิตภัณฑ์อาหาร ขนม และเครื่องดื่มต่างๆ

ซึ่งมีผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติเหมาะสมนำมาผลิตเป็นน้ำตาล ได้แก่ ตะขบ เพราะตะขบมีความหวานถึง 16.1 องศาบริกซ์ และยังมีกลิ่นรสเฉพาะตัว มีกลิ่นหอม พบได้ทุกภูมิภาค ซึ่งตะขบมีแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายหลายชนิด ได้แก่ โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และฟอสฟอรัส (P) นอกจากนี้ตะขบยังมีสารที่ให้สีแดง คือ สารไลโคปีน กรดเอลลาจิก แอนโธไซยานิน และกรดแกลลิก

ขอขอบพระคุณทุกท่านที่สละเวลาในการตอบแบบสอบถาม

นางสาวมยุรา วชิรศักดิ์ชัย

คำแนะนำ : กรุณาตอบแบบสอบถาม โดย ☑ ที่ตรงกับคำตอบ และความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1.1 เพศ A

☐ ชาย ☐ หญิง

1.2 อายุ B

☐ 15 - 24 ปี ☐ 25 - 34 ปี

☐ 35 - 44 ปี ☐ 45 - 54 ปี

☐ 55 ปีขึ้นไป

1.3 ระดับการศึกษา C

☐ มัธยมศึกษา ☐ ปวช.

☐ ปวส./อนุปริญญา ☐ ปริญญาตรี

☐ ปริญญาโท ☐ อื่นๆ โปรดระบุ.......................

1.4 อาชีพ D

☐ นักเรียน/นักศึกษา/นิสิต ☐ ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ

☐ พนักงานบริษัทเอกชน ☐ รับจ้าง

☐ อื่นๆ โปรดระบุ.......................

1.5 รายได้ต่อเดือน E

☐ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท ☐ 10,001 - 20,000 บาท

☐ 20,001 - 30,000 บาท ☐ 30,001 - 40,000 บาท

☐ มากกว่า 40,000 บาทขึ้นไป

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเชิงพฤติกรรมและทัศนคติของผู้ตอบแบบสอบถาม

2.1 ท่านเคยซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลไม้หรือไม่ F

☐ เคย ☐ ไม่เคย

2.2 ปกติท่านเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาลชนิดใดมากที่สุด G

☐ น้ำตาลทรายขาว ☐ น้ำตาลทรายแดง

☐ น้ำตาลกรวด ☐ น้ำตาลทรายอัดเม็ดหรือน้ำตาลปอนด์

☐ น้ำตาลมะพร้าว ☐ น้ำตาลโตนด

2.3 ท่านเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากแหล่งใดเป็นประจำมากที่สุด H

☐ ตลาดสด ☐ ร้านสะดวกซื้อ

☐ ร้านขายของชำ ☐ ห้างสรรพสินค้า

2.4 ปัจจัยที่ใช้ในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาล (1 = สำคัญน้อยที่สุด ถึง 5 = สำคัญมากที่สุด)

ปัจจัยที่ใช้ในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาล	ระดับความสำคัญ					
	1	2	3	4	5	
ด้านผลิตภัณฑ์						I
- คุณค่าทางอาหาร						I1
- ความใสของผลึก						I2
- ขนาดของผลึก						I3
- รสหวาน						I4
- ความสะอาด						I5
- อายุการเก็บรักษา						I6
- กรรมวิธีการผลิต						I7
- ความแปลกใหม่						I8
- เป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ						I9
- มีเครื่องหมาย อย.						I10

ปัจจัยที่ใช้ในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาล (ต่อ)	ระดับความสำคัญ					
	1	2	3	4	5	
ด้านราคา						J
- ราคาเหมาะสมกับคุณภาพ						J1
- ราคาเหมาะสมกับปริมาณ						J2
ด้านบรรจุภัณฑ์						K
- ขนาดบรรจุภัณฑ์						K1
- ยี่ห้อ/ตรา						K2
- สะดวกในการใช้งาน						K3
- มีรูปทรงสวยงาม						K4
- สามารถมองเห็นผลิตภัณฑ์ด้านในได้						K5
- บอกวัน/เดือน/ปี ที่ผลิต/หมดอายุ อย่างชัดเจน						K6
- บอกคุณค่าทางโภชนาการ						K7
ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย						L
- ร้านค้าใกล้บ้าน						L1
- ร้านสะดวกซื้อ						L2
- ร้านขายส่ง						L3
- ร้านขายปลีก						L4
- ห้างสรรพสินค้า						L5
ด้านการตลาด						M
- การโฆษณา						M1
- โปรโมชั่นในการจำหน่ายสินค้า						M2
- สถานที่ในการวางจำหน่ายสินค้า						M3
- แจกสินค้าทดลองชิมฟรี						M4

ส่วนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค

3.1 กรุณาตอบแบบสอบถาม โดย☑ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด หลังจากที่ท่านชิม ผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ

คุณลักษณะ	ความคิดเห็นของท่าน									
	ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด	N
ลักษณะปรากฏ										☐ N1
สี										☐ N2
กลิ่นตะขบ										☐ N3
รสหวาน										☐ N4
ความชอบโดยรวม										☐ N5

3.2 ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบเพียงใด กรุณาระบุการยอมรับ โดยทำเครื่องหมาย ☑ ทับลงบนช่องว่างระดับการยอมรับ

ระดับการยอมรับ	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด

O ☐

3.3 ถ้ามีผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบวางจำหน่าย ท่านจะซื้อผลิตภัณฑ์นี้รับประทานหรือไม่

P ☐

☐ ซื้อแน่นอน ☐ ไม่แน่ใจ

☐ ไม่ซื้อแน่นอน

คุณค่าทางโภชนาการของตะขบ..

ตะขบเป็นผลไม้ของไทย มีกลิ่นหอม มีรสหวาน ตะขบ 100 กรัม มีใยอาหาร 6.3 กรัม วิตามินซีสูงถึง 86.0 กรัม และยังมีสารแอนตี้ออกซิแดนท์ ได้แก่ แอนโธไซยานิน สารไลโคปีน กรดเอลลาจิก และกรดแกลลิก ทั้งยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็งหลายชนิด เช่น มะเร็งกระเพาะอาหาร มะเร็งลำไส้ มะเร็งปอด มะเร็งเต้านม เป็นต้น อีกทั้งยังช่วยบำรุงผิวพรรณ และชะลอริ้วรอยก่อนวัย

3.4 เมื่อท่านได้รับทราบข้อมูลเกี่ยวกับตะขบแล้วท่านจะซื้อผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบหรือไม่

Q ☐

- ☐ ซื้อแน่นอน
- ☐ ไม่แน่ใจ
- ☐ ไม่ซื้อแน่นอน

3.5 หากมีการวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ ท่านคิดว่าควรวางจำหน่ายที่ใดจึงจะดี

R ☐

- ☐ ตลาดสด
- ☐ ร้านสะดวกซื้อ
- ☐ ร้านขายของชำ
- ☐ ห้างสรรพสินค้า
- ☐ ขายออนไลน์

3.6 เพราะเหตุใดท่านจึงสนใจรับประทานผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากผลตะขบ

S ☐

- ☐ ความแปลกใหม่
- ☐ เป็นทางเลือกใหม่เพื่อสุขภาพ
- ☐ ราคาถูก
- ☐ ใช้ผลไม้ที่มีอยู่ทุกภูมิภาคมาเป็นวัตถุดิบ
- ☐ มีรสหวาน
- ☐ มีกลิ่นรสผลไม้

ข้อเสนอแนะ

....

....

....

ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

ภาคผนวก ข
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำตาลทรายขาว
และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของน้ำตาลทรายแดง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
น้ำตาลทราย

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเฉพาะ น้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ที่ทำจากอ้อย

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 น้ำตาลทรายขาว หมายถึง ผลึกซูโครสที่มีความบริสุทธิ์สูง

2.2 น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ หมายถึง ผลึกซูโครสที่มีความบริสุทธิ์สูงสุด

2.3 สิ่งที่ไม่ละลายน้ำ หมายถึง สารอินทรีย์และอนินทรีย์ซึ่งไม่ละลายน้ำ ที่ติดหรือปนอยู่ในน้ำตาลทราย

3. ชนิดและชั้นคุณภาพ

3.1 น้ำตาลทรายมี 2 ชนิด คือ

3.1.1 น้ำตาลทรายขาว มี 3 ชั้นคุณภาพ คือ

3.1.1.1 ชั้นคุณภาพ 1

3.1.1.2 ชั้นคุณภาพ 2

3.1.1.3 ชั้นคุณภาพ 3

3.1.2 น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์

4. คุณลักษณะที่ต้องการ

4.1 ลักษณะทั่วไป

ต้องมีสีน้ำตาลอ่อนหรือสีขาว สะอาด และปราศจากวัตถุอื่นใดที่มองไม่เห็น

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

4.2 ลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี

ต้องเป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี

(ข้อ 4.2)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด				วิธีทดสอบตาม
		น้ำตาลทรายขาว			น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์	
		ชั้นคุณภาพ 1	ชั้นคุณภาพ 2	ชั้นคุณภาพ 3		
1.	โพลาไรเซชัน (Polarisation) สเกลน้ำตาลสากล (°Z) ไม่น้อยกว่า	99.5	99.5	99.0	99.8	ข้อ 8.1
2.	น้ำตาลรีดิวซิง ร้อยละ ไม่เกิน	0.1	0.1	0.2	0.04	ข้อ 8.2
3.	เถ้าคอนดักทิวิตี (Conductivity Ash) ร้อยละ ไม่เกิน	0.1	0.1	0.2	0.04	ข้อ 8.3
4.	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	0.1	0.1	0.2	0.04	ข้อ 8.4
5.	สี (หน่วย ICUMSA) ไม่เกิน	200	400	1000	45	ข้อ 8.5
6.	สิ่งที่ไม่ละลายน้ำ ร้อยละ ไม่เกิน	0.02	0.02	0.02	0.02	ข้อ 8.6
7.	สารหนู มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	1	1	1	1	ข้อ 8.7
8.	ตะกั่ว มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	1	1	1	1	ข้อ 8.8

5. สุขลักษณะ

5.1 สุขลักษณะในการทำน้ำตาลทราย ต้องเป็นไปตาม มอก.34

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

6. การบรรจุ

6.1 กรณีบรรจุในภาชนะบรรจุ

ต้องเป็นภาชนะบรรจุใหม่ที่สะอาด และผนึกได้สนิท กรณีภาชนะบรรจุเป็นกระสอบกระดาษ หรือพลาสติกลายสอง ด้านในต้องบุด้วยพลาสติก และเย็บปิดให้เรียบร้อย

6.2 น้ำหนักสุทธิ

หากมิได้ตกลงกันเป็นอย่างอื่น ให้น้ำหนักสุทธิของน้ำตาลทรายในแต่ละภาชนะบรรจุเป็น 6 กรัม 8 กรัม 1 กิโลกรัม 5 กิโลกรัม 20 กิโลกรัม และ 50 กิโลกรัม และต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

7. เครื่องหมายและฉลาก

7.1 ที่ภาชนะบรรจุน้ำตาลทรายทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) คำว่า “น้ำตาลทรายขาว” หรือ “น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์” แล้วแต่กรณี

(2) ชั้นคุณภาพ (เฉพาะน้ำตาลทรายขาว)

(3) น้ำหนักสุทธิ เป็นกรัมหรือกิโลกรัม

(4) เดือน ปีที่ทำ ในกรณีที่มีการผลิตคาบเกี่ยวกัน 2 ปี ให้แสดงเดือน ปีที่เสร็จสิ้นการผลิต

(5) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

8. วิธีทดสอบ

8.1 โพลาไรเซชัน

ให้ปฏิบัติตาม ICUMSA Method GS 2/3-1

ให้ปฏิบัติตาม ICUMSA Method GS1/2/3-1 สำหรับน้ำตาลทรายขาวชั้นคุณภาพ 3

8.2 น้ำตาลรีดิวซิง

ให้ปฏิบัติตาม ICUMSA Method GS 2/3-5 สำหรับน้ำตาลทรายขาวชั้นคุณภาพ 1 และน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์

ให้ปฏิบัติตาม ICUMSA Method GS1-5 สำหรับน้ำตาลทรายขาวชั้นคุณภาพ 2 และชั้นคุณภาพ 3

8.3 เถ้าคอนดักทิวิตี

ให้ปฏิบัติตาม ICUMSA Method GS 2/3-17

8.4 ความชื้น

ให้ปฏิบัติตาม ICUMSA Method GS 2/1/3-15

8.5 สี

ให้ปฏิบัติตาม ICUMSA Method GS 2/3-9 สำหรับน้ำตาลทรายขาวชั้นคุณภาพ 1

ให้ปฏิบัติตาม ICUMSA Method GS 1/3-7 สำหรับน้ำตาลทรายขาวชั้นคุณภาพ 2 และชั้นคุณภาพ 3

ให้ปฏิบัติตาม ICUMSA Method GS 2/3-10 สำหรับน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์

8.6 สิ่งที่ไม่ละลายน้ำ

ให้ปฏิบัติตาม ICUMSA Method GS 2/3-19

8.7 สารหนู

ให้ปฏิบัติตาม ICUMSA Method GS 2/3-23

8.8 ตะกั่ว

ให้ปฏิบัติตาม ICUMSA Method GS 2/3-24

9. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

9.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามภาคผนวก ก.

ภาคผนวก ก.

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

(ข้อ 9.1)

ก.1 รุ่นในที่นี้ หมายถึง น้ำตาลทรายชนิดเดียวกัน และชั้นคุณภาพเดียวกัน (เฉพาะน้ำตาลทรายขาว) ที่ทำการผลิตหรือบรรจุในรอบ 24 ชั่วโมง หรือที่ซื้อขายหรือส่งมอบในแต่ละครั้ง

ก.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

ก.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบและการบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก

ก.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ ก.1 กรณีน้ำหนักสุทธิเกิน 5 กิโลกรัม ให้ตรวจสอบที่โรงงานขณะบรรจุ

ก.2.1.2 ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 6. และข้อ 7. จึงจะถือว่าน้ำตาลทรายรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ ก.1 แผนการชักตัวอย่างการทดสอบการบรรจุเครื่องหมายและฉลาก และคุณลักษณะที่ต้องการ

(ข้อ ก.2.1 และข้อ ก.2.2)

ขนาดรุ่นหน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่างหน่อยภาชนะบรรจุ
ไม่เกิน 500	13
501 ถึง 1200	20
1201 ถึง 10000	32
10001 ถึง 35000	50
เกิน 35000	80

ก.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบคุณลักษณะที่ต้องการ

ก.2.2.1 กรณีบรรจุในภาชนะบรรจุให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ ก.1 ดังนี้

(1) กรณีน้ำหนักสุทธิไม่เกิน 5 กิโลกรัม

ให้ชักตัวอย่างจากแต่ละภาชนะบรรจุปริมาณใกล้เคียงกันนำมาผสมกันให้ได้น้ำหนักรวมประมาณ 2 กิโลกรัม เก็บไว้ในภาชนะที่สะอาด แห้ง และกันความชื้นได้

(2) กรณีน้ำหนักสุทธิเกิน 5 กิโลกรัม

เปิดภาชนะบรรจุตัวอย่างออก ใช้เครื่องมือชักตัวอย่างที่เหมาะสม ชักตัวอย่างในระดับความลึกต่างๆ กัน ไม่น้อยกว่า 5 ตำแหน่ง ในปริมาณใกล้เคียงกัน หรือสุ่มเก็บตัวอย่างที่หัวบรรจุขนาดที่โรงงาน โดยเก็บตัวอย่างในแต่ละครั้งปริมาณใกล้เคียงกัน นำมาผสมรวมกัน แล้วลดปริมาณโดยวิธีแบ่งสี่จนได้ตัวอย่างประมาณ 2 กิโลกรัม เก็บไว้ในภาชนะที่สะอาด แห้ง และกันความชื้นได้

ก.2.2.2 กรณีไม่มีภาชนะบรรจุ

ให้ใช้เครื่องมือที่เหมาะสม ชักตัวอย่างจากกองหรือรถในระดับความลึกต่างๆ กัน ไม่น้อยกว่า 10 ตำแหน่ง ปริมาณใกล้เคียงกัน นำมาผสมรวมกัน แล้วลดปริมาณโดยวิธีแบ่งสี่จนได้ตัวอย่างประมาณ 2 กิโลกรัม เก็บไว้ในภาชนะที่สะอาด แห้ง และกันความชื้นได้

ก.2.2.3 ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4. จึงจะถือว่าน้ำตาลทรายรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างน้ำตาลทรายต้องเป็นไปตามข้อ ก.2.1.2 และข้อ ก.2.2.3 ทุกข้อ จึงจะถือว่าน้ำตาลทรายรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน
น้ำตาลทรายแดง

๑. ขอบข่าย

๑.๑ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมน้ำตาลทรายแดงที่ทำจากน้ำอ้อย บรรจุในภาชนะบรรจุ

๒. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

๒.๑ น้ำตาลทรายแดง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำอ้อยมาต้ม เคี่ยวจนข้นเหนียว ทิ้งให้แห้ง แล้วนำไปบดให้ร่วน

๓. คุณลักษณะที่ต้องการ

๓.๑ ลักษณะทั่วไป

ต้องเป็นผง อาจจับตัวเป็นก้อนได้บ้างเล็กน้อย มีสีและกลิ่นรสหอมหวานตามธรรมชาติของน้ำตาลทรายแดง

๓.๒ สิ่งแปลกปลอม

ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์

๓.๓ วัตถุเจือปนอาหาร

ห้ามใช้วัตถุเจือปนอาหารทุกชนิด

๓.๔ จุลินทรีย์

๓.๔.๑ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน ๕ × ๑๐๒ โคโลนีต่อตัวอย่าง ๑ กรัม

๓.๔.๒ ยีสต์และรา ต้องไม่เกิน ๑๐๐ โคโลนีต่อตัวอย่าง ๑ กรัม

๔. สุขลักษณะ

๔.๑ สุขลักษณะในการทำน้ำตาลทรายแดง ให้เป็นไปตามคำแนะนำตามภาคผนวก ก.

๕. การบรรจุ

๕.๑ ให้บรรจุน้ำตาลทรายแดงในภาชนะบรรจุที่สะอาด ปิดได้สนิท และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้

๕.๒ น้ำหนักสุทธิของน้ำตาลทรายแดงในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

๖. เครื่องหมายและฉลาก

๖.๑ ที่ภาชนะบรรจุน้ำตาลทรายแดงทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(๑) ชื่อเรียกผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำตาลทรายแดง น้ำตาลอ้อย

(๒) น้ำหนักสุทธิ

(๓) ข้อแนะนำในการเก็บรักษา เช่น ควรเก็บในที่แห้ง

(๔) วัน เดือน ปีที่ทำ

(๕) ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

๗. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

๗.๑ รุ่น ในที่นี้ หมายถึง น้ำตาลทรายแดงที่ทำในระยะเวลาเดียวกัน

๗.๒ การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

๗.๒.๑ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป สิ่งแปลกปลอม การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน ๓ หน่วยภาชนะบรรจุเมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๓.๑ ข้อ ๓.๒ ข้อ ๕. และข้อ ๖. จึงจะถือว่าน้ำตาลทรายแดงรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๒.๒ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบวัตถุเจือปนอาหาร ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ ๗.๒.๑ แล้ว จำนวน ๓ หน่วยภาชนะบรรจุ เพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม โดยมีน้ำหนักรวมไม่น้อยกว่า ๓๐๐ กรัม กรณีตัวอย่างไม่พอให้ชักตัวอย่างเพิ่มโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันให้ได้ตัวอย่างที่มีน้ำหนักรวมตามที่กำหนด เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๓.๓ จึงจะถือว่าน้ำตาลทรายแดงรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๒.๓ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบจุลินทรีย์ ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน ๓ หน่วยภาชนะบรรจุ เพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม โดยมีน้ำหนักรวมไม่น้อย

กว่า ๒๐๐ กรัม กรณีตัวอย่างไม่พอให้ชักตัวอย่างเพิ่มโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันให้ได้ตัวอย่างที่มีน้ำหนักรวมตามที่กำหนด เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๓.๔ จึงจะถือว่าน้ำตาลทรายแดงรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๓ เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างน้ำตาลทรายแดงต้องเป็นไปตามข้อ ๗.๒.๑ ข้อ ๗.๒.๒ และข้อ ๗.๒.๓ ทุกข้อ จึงจะถือว่าน้ำตาลทรายแดงรุ่นนั้น เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

๘. การทดสอบ

๘.๑ การทดสอบลักษณะทั่วไป สิ่งแปลกปลอม ภาชนะบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก

ให้ตรวจพินิจและชิม

๘.๒ การทดสอบวัตถุเจือปนอาหาร

ให้ใช้วิธีทดสอบตาม AOAC หรือวิธีทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ

๘.๓ การทดสอบจุลินทรีย์

ให้ใช้วิธีทดสอบตาม AOAC หรือ BAM หรือวิธีทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ

๘.๔ การทดสอบน้ำหนักสุทธิ

ให้ใช้เครื่องชั่งที่เหมาะสม

ภาคผนวก ก.

สุขลักษณะ

(ข้อ ๔.๑)

ก.๑ สถานที่ตั้งและอาคารที่ทำ

ก.๑.๑ สถานที่ตั้งตัวอาคารและที่ใกล้เคียง อยู่ในที่ที่จะไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำเกิดการปนเปื้อนได้ง่าย โดย

ก.๑.๑.๑ สถานที่ตั้งตัวอาคารและบริเวณโดยรอบ สะอาด ไม่มีน้ำขังแฉะและสกปรก

ก.๑.๑.๒ อยู่ห่างจากบริเวณหรือสถานที่ที่มีฝุ่น เขม่า ควันมากผิดปกติ

ก.๑.๑.๓ ไม่อยู่ใกล้เคียงกับสถานที่น่ารังเกียจ เช่น บริเวณเพาะเลี้ยงสัตว์ แหล่งเก็บหรือกำจัดขยะ

ก.๑.๒ อาคารที่ทำมีขนาดเหมาะสม มีการออกแบบและก่อสร้างในลักษณะที่ง่ายแก่การบำรุงรักษา การทำความสะอาด และสะดวกในการปฏิบัติงาน โดย

ก.๑.๒.๑ พื้น ฝาผนัง และเพดานของอาคารที่ทำ ก่อสร้างด้วยวัสดุที่คงทน เรียบ ทำความสะอาด และซ่อมแซมให้อยู่ในสภาพที่ดีตลอดเวลา

ก.๑.๒.๒ แยกบริเวณที่ทำออกเป็นสัดส่วน ไม่อยู่ใกล้ห้องสุขา ไม่มีสิ่งของที่ไม่ใช้แล้วหรือไม่เกี่ยวข้องกับการทำอยู่ในบริเวณที่ทำ

ก.๑.๒.๓ พื้นที่ปฏิบัติงานไม่แออัด มีแสงสว่างเพียงพอ และมีการระบายอากาศที่เหมาะสม

ก.๒ เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ในการทำ

ก.๒.๑ ภาชนะหรืออุปกรณ์ในการทำที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ ทำจากวัสดุมีผิวเรียบ ไม่เป็นสนิม ล้างทำความสะอาดได้ง่าย

ก.๒.๒ เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ สะอาด เหมาะสมกับการใช้งาน ไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อน ติดตั้งได้ง่าย มีปริมาณเพียงพอ รวมทั้งสามารถทำความสะอาดได้ง่ายและทั่วถึง

ก.๓ การควบคุมกระบวนการผลิต

ก.๓.๑ วัตถุดิบและส่วนผสมในการทำ สะอาด มีคุณภาพดี มีการล้างหรือทำความสะอาดก่อนนำไปใช้

ก.๓.๒ การทำ การเก็บรักษา การขนย้าย และการขนส่ง ให้มีการป้องกันการปนเปื้อนและการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์

ก.๔ การสุขาภิบาล การบำรุงรักษา และการทำความสะอาด

ก.๔.๑ น้ำที่ใช้ล้างทำความสะอาดเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์ และมือของผู้ทำ เป็นน้ำสะอาด และมีปริมาณเพียงพอ

ก.๔.๒ มีวิธีการป้องกันและกำจัดสัตว์นำเชื้อ แมลงและฝุ่นผง ไม่ให้เข้าในบริเวณที่ทำตามความเหมาะสม

ก.๔.๓ มีการกำจัดขยะ สิ่งสกปรก และน้ำทิ้ง อย่างเหมาะสม เพื่อไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนกลับลงสู่ผลิตภัณฑ์

ก.๔.๔ สารเคมีที่ใช้ล้างทำความสะอาด และใช้กำจัดสัตว์นำเชื้อและแมลง ใช้ในปริมาณที่เหมาะสม และเก็บแยกจากบริเวณที่ทำ เพื่อไม่ให้ปนเปื้อนลงสู่ผลิตภัณฑ์ได้

ก.๕ บุคลากรและสุขลักษณะของผู้ทำ

ผู้ทำทุกคนต้องรักษาความสะอาดส่วนบุคคลให้ดี เช่น สวมเสื้อผ้าที่สะอาด มีผ้าคลุมผมเพื่อป้องกันไม่ให้เส้นผมหล่นลงในผลิตภัณฑ์ ไม่ไว้เล็บยาว ไม่ทาสีเล็บ ล้างมือให้สะอาดทุกครั้งก่อนปฏิบัติงานหลังการใช้ห้องสุขา และเมื่อมือสกปรก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาคผนวก ค

รายงานผลการวิเคราะห์

P.C.E.-004C

OMIC

Overseas Merchandise Inspection Co., Ltd. 海外貨物検査株式会社
No. 12 - 14 Yen Akas Soi 3 Chongnonsri, Yannawa, Bangkok 10120 Thailand
Tel No. +66-2-286-4120-3 Fax No. : +66-2-287-2570-1 URL : http://www.omicnet.com

TEST REPORT ORIGINAL

Report No. : CBL63-20263
Sample ID : 63-20263
Batch No. : JBL63/09937
Report Date : December 09, 2016

Customer : KHUN MAYURA WACHARASAKCHAI
183 หมู่ 10 ต.บ้านหมอ อ.บ้านหมอ จ.สระบุรี 18130

Sample Description : น้ำตาลจากตะขบ
Customer's Reference : N/A
Received Date : December 02, 2016
Sample Condition : Sample is contained in Plastic bag, sealed.
Analysis Commenced Date : December 02, 2016
Analysis Completed Date : December 08, 2016

Test Item	Method	Result	Unit
Ash	Ministry of Industry Method	1.02	%
Colour	ICUMSA GS 9/1/2/3-8 (2011)	3890	IU at pH 7.0
Invert Sugar (Reducing Sugar)	AOAC(2012) 968.28	85.47	%

The sample(s) will be held for thirty days from the date of the report.
Reported result refers to submitted sample(s) only.
This report shall not be reproduced except in full, without written approval of the laboratory.

Overseas Merchandise Inspection Co., Ltd.
Bangkok Laboratory

(SUWANNEE SANKAEW)
Sugar & Molasses Section Manager

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

№ 406377 BK

No person or entity should rely upon this Certificate/Report or any information contained therein without having express knowledge of the terms and conditions of the OMIC General Conditions of Business as printed on the reverse side of this certificate subject to which this Certificate/Report is issued.
The Certificate/Report is issued pursuant to an inspection service carried out within the scope of the principal's instructions and with due care and skill in conformity with the General Conditions of Business adopted by OMIC as a member of the International Federation of Inspection Agencies.
This Certificate/Report is not intended to relieve the parties to any relevant sales contract from their contractual obligations.

Food and Nutrition Laboratory
Institute of Nutrition, Mahidol University
Salaya, Phuttamonthon, Nakhon Pathom 73170, THAILAND
ห้องปฏิบัติการ สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล
25/25 ถนนพุทธมณฑล สาย 4 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

รายงานผลการทดสอบ

ตัวอย่างอาหาร: น้ำตาลจากตะขบ

เลขที่บริการ: SFC 936/2560

รายละเอียดของตัวอย่างอาหาร: เป็นก้อนขนาดเล็กและใหญ่สีน้ำตาล บรรจุถุงซิปพลาสติก จำนวน 1 ถุง (ไม่มีฉลาก)

ผู้ขอรับบริการ: นางสาวมยุรา วชิรศักดิ์ชัย
183 หมู่ 10 ตำบลบ้านหมอ อำเภอบ้านหมอ จังหวัดสระบุรี 18130

วันที่รับตัวอย่าง: 3 มีนาคม 2560

วันที่ทดสอบตัวอย่าง: 10 กุมภาพันธ์ 2560

วิธีทดสอบ: Katsuke T. J Agric Food Chem 2004, 52: 2391-2396.

ผลการทดสอบ: (ต่อ 100 กรัม)

Total antioxidant activity (DPPH) (mgAA)	754.47

ห้ามนำรายงานนี้ไปประกาศโฆษณา
PROHIBITED FOR ADVERTISING

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกราช เกตวัลห์)
รองผู้อำนวยการฝ่ายทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม
ปฏิบัติหน้าที่แทน ผู้อำนวยการสถาบันโภชนาการ

รายงานผลการทดสอบ ตามหนังสือเลขที่ ศธ 0517.21/ 0419 ลงวันที่ 14 มีนาคม 2560

The analytical results reported in this document are valid for the submitted sample only.
This document is prohibited for use in any type of advertising without written permission.
ผลการทดสอบใช้ได้กับตัวอย่างนี้เท่านั้น ห้ามนำเอกสารนี้ไปประกาศโฆษณาก่อนได้รับอนุญาต

งานบริการวิชาการ Tel. 02 441 9346, 02 800 2380 ext. 406, 418; Fax. 02 441 9344

วว.•TISTR

คำขอบริการที่ I 001/60 ที่ ฝ่ายวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์
ให้แก่
คุณมยุรา วชิรศักดิ์ชัย

การทดสอบ / วิเคราะห์ ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่าง

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์ ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count)

ภาวะการทดสอบ / วิเคราะห์ : อุณหภูมิ 30 และ 37 °C * ความชื้นสัมพัทธ์ - %

วันที่ทดสอบ / วิเคราะห์ 4 ตุลาคม 2559

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

ชื่อตัวอย่าง	จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (CFU/g)	จำนวนยีสต์ทั้งหมด (CFU/g)	จำนวนราทั้งหมด (CFU/g)
น้ำตาลจากตะขบ ** วันที่ผลิต 28/09/59 Lot.การผลิต -	<10	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ: * ทดสอบการเจริญของแบคทีเรียที่อุณหภูมิ 37 °C และทดสอบการเจริญของยีสต์และราที่อุณหภูมิ 30 °C

** ตัวอย่างเป็นก้อนสีน้ำตาลอ่อน บรรจุในถุงพลาสติก น้ำหนัก 50 กรัม

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

นางสาวสุภาวดี บัวทอง

ผู้ตรวจสอบ (2)

(นางสาวภูษิตา วรรณิสสร)

ผู้ตรวจสอบ (1)

(นางสาวฉัตรฤดี สุวรรณชาติ)

ผู้รับรอง

(นายบัณฑิต ฝังสินธุ์)

ผู้อำนวยการฝ่ายวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

วันที่ 11 ต.ค. 2559

ผลการทดสอบ หรือ วิเคราะห์นี้ รับรองผลเฉพาะตัวอย่าง หรือ รายการที่ได้ระบุไว้เท่านั้น การแก้ไขรายงานนี้ถือเป็นความผิดทางกฎหมาย การนำรายงานนี้ไปโฆษณา คัดถ่ายหรือการนำผลบางส่วน ไปเผยแพร่ต่อสาธารณะต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้ว่าการ วว.

แก้ไขครั้งที่ : 1 แบบฟอร์มประกาศใช้วันที่ 22 ตุลาคม 2555 FM-BSD-WI-10-02 (ไทย)

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(วว.)
35 หมู่ 3 เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
โทร. (66) 0 2577 9000 อัตโนมัติ 90 สาย
โทรสาร (66) 0 2577 9009 E - Mail : tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

วิสัยทัศน์ : เป็นองค์กรชั้นนำระดับอาเซียนในด้านวิจัย พัฒนา และบริการด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม

ภาคผนวก ง
หนังสือตอบรับการเผยแพร่

วารสารแก่นเกษตร
KHON KAEN AGRICULTURE JOURNAL

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002
โทรศัพท์ 043-202360, 083-3435926
Email: agkasetkaj@gmail.com
http://ag2.kku.ac.th/kaj

10 มกราคม 2560

เรื่อง แจ้งผลการพิจารณา
เลขทะเบียนเรื่อง : 95/59
ชื่อเรื่อง : ผลของเอนไซม์เพคติเนส อุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่มต่อคุณภาพไซรัปจากตะขบ

เรียน น.ส.มยุรา วชิรศักดิ์ชัย

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารแก่นเกษตรนั้น บัดนี้เรื่องของท่านได้ถูกพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและจากทางกองบรรณาธิการเรียบร้อยแล้ว กองบรรณาธิการมีความยินดีที่จะแจ้งให้ทราบว่าเรื่องของท่าน มีความเหมาะสมที่จะตีพิมพ์ได้ โดยทางวารสารแก่นเกษตรจะตีพิมพ์บทความของท่านในฉบับ/ปีตามที่ระบุด้านล่าง

ปีที่ : 45
ฉบับที่ : 3 (ก.ค.-ก.ย.2560)

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

รศ.ดร.วิโรจน์ ภัทรจินดา
บรรณาธิการ

กองบรรณาธิการวารสารแก่นเกษตร ขอสงวนสิทธิ์ระงับการตีพิมพ์ หากเจ้าของบทความไม่ดำเนินการครบตามกระบวนการประเมินคุณภาพบทความ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวมยุรา วชิรศักดิ์ชัย
วัน เดือน ปีเกิด	4 เมษายน 2534
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 183 หมู่ที่ 10 ตำบลบ้านหมอ อำเภอบ้านหมอ จังหวัดสระบุรี รหัสไปรษณีย์ 18130
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ สาขาอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เบอร์โทรศัพท์	083-095-4143
อีเมล์	Mayura_w@mail.rmutt.ac.th