



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิศวกรรมอาหาร)

ปริญญา

วิศวกรรมอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง

การพัฒนากระบวนการผลิตน้ำอ้อยเข้มข้นและน้ำอ้อยพร้อมดื่ม

Production Process Development of Sugarcane Juice Concentrate and Ready-to-drink
Sugarcane Juice

นามผู้วิจัย

นางสาวกิริติ ภู่วง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์วีรเชษฐ์ จิตตานิษฐ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์สิริชัย ส่งเสริมพงษ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณิ จิรภาคย์กุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่

เดือน

พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนากระบวนการผลิตน้ำอ้อยเข้มข้นและน้ำอ้อยพร้อมดื่ม

Production Process Development of Sugarcane Juice Concentrate and
Ready-to-drink Sugarcane Juice

โดย

นางสาวกীরติ ภู่งวง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอาหาร)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิริติ ภู่งวง 2555: การพัฒนากระบวนการผลิตน้ำอ้อยเข้มข้นและน้ำอ้อยพร้อมดื่ม ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอาหาร) สาขาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์วีระเชษฐ จิตตาคมชัย, Ph.D. 98 หน้า

น้ำอ้อยเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคในหลายประเทศ เนื่องจากรสชาติดีและมีสรรพคุณหลายอย่าง เช่น ช่วยรักษาโรคไตซ่าน การติดเชื้อในระบบทางเดินปัสสาวะ หลอดลมอักเสบ โรคหัวใจ เป็นต้น แต่น้ำอ้อยมีอายุการเก็บสั้น จึงทำให้การขยายตลาดของน้ำอ้อยในต่างประเทศมีข้อจำกัดสูง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิจัยและพัฒนากระบวนการที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของน้ำอ้อย 2 วิธีคือ กระบวนการผลิตน้ำอ้อยเข้มข้นแช่แข็ง และน้ำอ้อยพร้อมดื่ม ในส่วนของการศึกษากระบวนการผลิตน้ำอ้อยเข้มข้นได้ใช้วิธีการระเหยภายใต้ความดันสูญญากาศ ที่อุณหภูมิน้ำร้อน 70 °ซ ความดันสูญญากาศ 70 ซม.ปรอท และพาสเจอร์ไรซ์น้ำอ้อยเข้มข้นเพื่อลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำอ้อยเข้มข้น และในงานวิจัยนี้ได้ทำการผลิตน้ำอ้อยที่ความเข้มข้น 69, 72, 73 และ 74.4 °บริกซ์ เพื่อใช้ศึกษาและตรวจวิเคราะห์ในด้านคุณภาพของน้ำอ้อยเข้มข้นที่เก็บภายใต้สภาวะแช่แข็งและที่อุณหภูมิห้อง จากการศึกษาพบว่าหลังจากการเก็บน้ำอ้อยเป็นเวลานาน 12 เดือน น้ำอ้อยมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพไปเพียงเล็กน้อย และเมื่อเก็บน้ำอ้อยที่สภาวะแช่แข็งนาน 6 เดือน ได้ทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าเมื่อนำน้ำอ้อยที่ความเข้มข้น 69 และ 73 °บริกซ์ ไปคืนรูปจะมีคุณภาพไม่แตกต่างจากน้ำอ้อยสดอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับการวิจัยกระบวนการผลิตน้ำอ้อยพร้อมดื่ม พบว่าน้ำอ้อยที่ผ่านการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ จะมีตะกอนเกิดขึ้น ทำให้ต้องหาวิธีแก้ปัญหาเรื่องตะกอน โดยได้คิดวิธีที่จะกำจัดตะกอนที่เกิดจากกระบวนการยูเอชทีด้วยวิธีการต่างๆ ดังนี้คือ การให้ความร้อนเบื้องต้นและกรองตะกอนออก การเติมเอนไซม์ การปั่นเหวี่ยง การติดตั้งตัวกรองที่เครื่องยูเอชที การเติมไฮโดรคอลลอยด์ การโสมจิโนส การเติมเบนโทไนท์ และการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งพบว่าวิธีดังกล่าวทั้งหมดไม่สามารถที่จะกำจัดตะกอนของน้ำอ้อยได้ทั้งหมด แต่พบว่าวิธีการปรับกรดให้มีความเป็นกรด-ด่าง 4.5 เพื่อให้ น้ำอ้อยตกตะกอนแล้วกรองและเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ เช่น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส สามารถลดปริมาณการตกตะกอนในน้ำอ้อยหลังจากการฆ่าเชื้อได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ และจากการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์พบว่า การให้ความร้อนแก่น้ำอ้อยที่อุณหภูมิสูง น้ำอ้อยจะยิ่งตกตะกอนเพิ่มขึ้น จึงได้เปลี่ยนกระบวนการให้ความร้อนจากการยูเอชทีเป็นการพาสเจอร์ไรซ์น้ำอ้อยแทน โดยพบว่าการปรับกรดน้ำอ้อยให้มีความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4.5 (ประมาณ 4.2) แล้วแยกตะกอนที่เกิดขึ้นออก หลังจากนั้นเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ แล้วจึงฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำอ้อยโดยใช้สภาวะการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 95 °ซ นาน 1 นาที จะช่วยให้สามารถเก็บน้ำอ้อยไว้ที่อุณหภูมิห้องได้เป็นระยะเวลา 6 เดือน

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Keerati Puphuang 2012: Production Process Development of Sugarcane Juice Concentrate and Ready-to-drink Sugarcane Juice. Master of Science (Food Engineering), Major Field: Food Engineering, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Mr. Weerachet Jittanit, Ph.D. 98 pages.

The sugarcane juice is a very popular beverage in many countries because of its good taste and medical qualities used as the treatment of jaundice, urinary tract infections, as well as for bronchitis, heart conditions etc. However, the export of sugarcane juice is limited due to the short storage life of sugarcane juice. This research aimed to study and develop the process for extending the shelf life of sugarcane juice by applying 2 methods consisting of the production of sugarcane juice concentrate and ready-to-drink sugarcane juice. In the study of the sugarcane juice concentration, the method to concentrate the sugarcane juice was vacuum evaporation using the vacuum pressure at 70 cmHg. and the hot water temperature of 70°C. Then the pasteurization of the concentrated sugarcane juice was carried out to reduce the microorganism. In this work the sugarcane juices were concentrated to various levels comprising 69, 72, 73, and 74.4 °Brix in order to study and analyze the quality of concentrated sugarcane juice kept at freezing and room temperature. The results indicate that the physical quality of sugarcane juice slightly changed after storing for a period of 12 months. After the 69 and 73 °Brix sugarcane juices were stored at freezing temperature for six months, it appeared that there was insignificant sensorial quality difference of between the reconstituted and the fresh sugarcane juice. Concerning the production processes of the ready-to-drink sugarcane juice, the results showed that the ready-to-drink sugarcane juice which was heated in order to kill microorganism would obviously have increasing amount of sediment. So, this sedimentation problem had to be solved. The speculated solutions for this problem were preheating and filtering, adding enzyme, centrifugation, in-line filter installation during UHT, adding hydrocolloid, homogenization, adding Bentronite and pH adjustment. It appeared that these proposed methods could not eliminate all of the sediment in sugarcane juice, but the pH adjustment of the sugarcane juice to pH 4.5 to accelerate the sedimentation of sugarcane juice and then filtering and adding hydrocolloid such as carboxy methyl cellulose (CMC) can reduce the amount of sugarcane juice sediment after thermal processing better than other methods. Concerning the suitable method to kill microorganism in sugarcane juice, it was found that if the higher temperature was used, the more sedimentation would occur. So, the pasteurization method was replaced the UHT. The pH adjustment of sugarcane juice to lower than 4.5 (pH~4.2), then separating the sediment and adding the hydrocolloid prior to pasteurization at the 95°C for 1 minute would extend the shelf life of the sugarcane juice at room temperature for 6 months.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.วีรเชษฐ์ จิตตามิษฐ์ ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้แนวคิดในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนแนวทางในการแก้ปัญหาและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สิริชัย ส่งเสริมพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร.วราภรณ์ บุญทรัพย์ทิพย์ประธานการสอบวิทยานิพนธ์และ ดร.วิรัชณี โลหะชุมพล ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่กรุณาตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและบริษัทอุตสาหกรรมน้ำตาล ที.เอ็น. จำกัด ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์นี้ ขอขอบคุณบริษัท เมทเลอร์ โทเลโด (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องแคลอรีแบบดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง (DSC)

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร รวมถึงเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการใช้อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ตลอดจนขอขอบคุณพ่อแม่ พี่ น้อง และบรรดาญาติๆทั้งหลาย รวมถึงเพื่อนๆ สาขาวิศวกรรมอาหาร ที่ช่วยให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

กิริติ ภู่พวง
กุมภาพันธ์ 2555

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	29
ผลและวิจารณ์	38
สรุปและข้อเสนอแนะ	69
สรุป	69
ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	74
ภาคผนวก	80
ภาคผนวก ก เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตน้ำอ้อยเข้มข้นและน้ำอ้อยพร้อมดื่ม	81
ภาคผนวก ข การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำอ้อย	86
ภาคผนวก ค การวัดและคำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆ	89
ภาคผนวก ง วิธีการคำนวณหาค่า F_0 จากสภาวะที่ใช้ในการยูเอชที	94
ภาคผนวก จ องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนของน้ำอ้อย	96
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	98

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของอ้อยและน้ำอ้อย	5
2	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำอ้อย	6
3	ความเข้มข้นของเกลือแร่ในอ้อยดิบ และน้ำอ้อยพักใส่สำหรับทำน้ำตาล	7
4	กรดคาร์บอกซิลิกในน้ำอ้อย	8
5	Amide และกรดอะมิโนในน้ำอ้อยดิบสำหรับทำน้ำตาล	8
6	ค่าสีและ pH ของน้ำอ้อยเข้มข้นที่ความเข้มข้นและระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ ภายใต้อุณหภูมิห้อง	40
7	คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของน้ำอ้อยที่ความเข้มข้นต่างๆ หลังจากการเก็บรักษา ที่สภาวะแช่แข็งนาน 6 เดือน แล้วนำมาเจือจางที่ระดับความเข้มข้น 16 °บริกซ์ เท่ากับน้ำอ้อยสด	42
8	ผลการตรวจสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำอ้อยเข้มข้น 72 °บริกซ์ ซึ่งเก็บที่ อุณหภูมิห้อง	43
9	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยเข้มข้น	46
10	ค่าความหนาแน่นของน้ำอ้อยเข้มข้น	48
11	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (°บริกซ์) และ pH ของน้ำอ้อยสดและน้ำอ้อยที่คั้นมาจาก อ้อยแช่แข็ง	49
12	Total solid (°Brix) และ pH ที่สภาวะต่างๆ	50
13	ค่าสีของน้ำอ้อยที่สภาวะต่างๆ	51
14	คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเฉลี่ย จากผู้บริโภคทั้งหมด 20 คน ในระดับความชอบ 9 ระดับ	52
15	น้ำอ้อยหลังการเติมกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างๆแล้วให้ความร้อน	54
16	น้ำอ้อยหลังการให้ความร้อนเบื้องต้นที่อุณหภูมิต่างๆแล้วกรองตะกอนออก กรณที่ใช้เอนไซม์โปรตีเอสกับน้ำอ้อย	56
17	กรณที่ใช้เอนไซม์โปรตีเอส และกรณที่ใช้เอนไซม์โปรตีเอสร่วมกับการเติมกรด	57
18	แอสคอร์บิกในน้ำอ้อยด้วย	58
19	คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของน้ำอ้อยสด, น้ำอ้อยพาสเจอร์ไรซ์ และน้ำอ้อยยูเอชที หลังจากการเก็บรักษานาน 6 เดือน	68

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการเตรียมน้ำอ้อยสด	29
2	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยที่ได้จากการทดลองและจากการทำนายโดยสมการ	45
3	ค่าความหนาแน่นที่ได้จากการทดลองและการทำนายโดยสมการ	47
4	เติมกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างๆ และนำไปต้ม	53
5	ตัวอย่างน้ำอ้อยหลังจากการเติมกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วนำไปต้ม	53
6	ตัวอย่างน้ำอ้อยหลังผ่านการให้ความร้อนเบื้องต้นที่อุณหภูมิต่างๆแล้วนำไปกรองแยกตะกอนออก	55
7	น้ำอ้อยสด น้ำอ้อยปั่นเหวี่ยง และ น้ำอ้อยปั่นเหวี่ยงและต้มเดือด	59
8	น้ำอ้อยที่เติมไฮโดรคอลลอยด์	60
9	น้ำอ้อยหลังจากการไฮโมจิในชั้วร่วมกับการเติมไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่างๆ	61
10	น้ำอ้อยที่ผสมกับสารเบนโตไนท์และกรอง	62
11	น้ำอ้อยที่ถูกปรับค่า pH ไปที่ระดับต่างๆ	63
12	น้ำอ้อยที่ pH 4.0 และ 4.5 หลังจากผ่านการกรองเอาตะกอนออกแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน	65
13	น้ำอ้อยที่ปรับ pH ไปที่ 4.0 และมีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์	66
14	น้ำอ้อยที่ปรับ pH ไปที่ 4.5 และมีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์	66
ภาพผนวกที่		
ก1	เครื่องชุดผิวอ้อย	82
ก2	เครื่องคั้นน้ำอ้อย	82
ก3	เครื่องพาสเจอร์ไรซ์และยูเอชที ยี่ห้อ MicroThermics รุ่น Development S-Series	82
ก4	เครื่องระเหยภายใต้ความดันสูญญากาศยี่ห้อ Hisaka รุ่น REV-T	83
ก5	เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อ SORVALL รุ่น RC5C PLUS	83
ก6	โถกรอง และ ขวดกรอง	83
ก7	Digital refractometer ยี่ห้อ HANNA รุ่น HI 96801	84

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ก8	เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Minolta รุ่น mini scan XE	84
ก9	แคลอรีแบบดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง (Differential scanning calorimeter; DSC) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น DSC 1	84
ก10	pH Meter ยี่ห้อ JENCO	85
ก11	Hydrometer ยี่ห้อ Nikkei Nihon	85
ค1	ค่าความร้อนจำเพาะที่ได้จากผลการทดลองและจากการทำนายโดยสมการที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆ	93

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	ค่าคงที่
B	=	ค่าคงที่
C	=	ค่าคงที่
C_p	=	ค่าความร้อนจำเพาะ, kJ/kg. $^{\circ}$ C
C'_p	=	ค่าความร้อนจำเพาะของ sapphire, kJ/kg. $^{\circ}$ C
C_s	=	ค่าความร้อนจำเพาะของของแข็ง (มีค่า 1.46 kJ/kg. $^{\circ}$ C)
C_w	=	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (มีค่า 4.18 kJ/kg. $^{\circ}$ C)
D	=	ค่าคงที่
d	=	ระยะเวลาเบี่ยงเบนจาก baseline เมื่อมีตัวอย่างอยู่ใน sample holder, min
d'	=	ระยะเวลาเบี่ยงเบนจาก baseline เมื่อมี sapphire อยู่ใน sample holder, min
E	=	ค่าคงที่
M	=	ค่าความชื้น
m	=	มวลของตัวอย่าง, mg
m_w	=	สัดส่วนมวลของน้ำ, kg
m_s	=	สัดส่วนมวลของของแข็ง, kg
m'	=	มวลของ sapphire, mg
Q	=	ปริมาณความร้อน, cal
Xc	=	ความเข้มข้นของน้ำอ้อยที่ความเข้มข้นต่างๆ, ๐ปริกซ์
T	=	อุณหภูมิ, $^{\circ}$ C
ΔT	=	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป, $^{\circ}$ C
ρ	=	ความหนาแน่น, kg/m ³

การพัฒนากระบวนการผลิตน้ำอ้อยเข้มข้นและน้ำอ้อยพร้อมดื่ม

Production Process Development of Sugarcane Juice Concentrate and Ready-to-drink Sugarcane Juice

คำนำ

น้ำอ้อยเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในหลายประเทศ (Songsermpong and Jittanit, 2010) เนื่องจากน้ำอ้อยมีรสชาติดีและมีสรรพคุณหลายอย่าง เช่น ช่วยรักษาอาการโรคไต ชาน โรคที่เกี่ยวกับตับ การติดเชื้อในระบบทางเดินปัสสาวะ หลอดลมอักเสบ โรคหัวใจ โลหิตจาง ไอ อ่อนเพลีย ท้องผูก และ ความดันโลหิตต่ำ (Kadam *et al.*, 2008) โดยส่วนใหญ่แล้ว น้ำอ้อยที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดจะเป็นน้ำอ้อยสดที่คั้นน้ำขายวันต่อวัน หรือ น้ำอ้อยพาสเจอร์ไรซ์ที่มีอายุการเก็บสั้น โดยเฉพาะน้ำอ้อยสดถ้าเก็บที่อุณหภูมิห้องจะมีอายุการเก็บได้เพียง 1 วัน จึงทำให้การขยายตลาดของน้ำอ้อยทั้งในและต่างประเทศเป็นไปได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นบริษัทอุตสาหกรรมน้ำตาลที่เ็นจำกัดร่วมกับสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา จึงสนับสนุนผู้วิจัยให้ทำงานวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพยายามหาวิธีการแปรรูปน้ำอ้อยให้สามารถเก็บรักษาได้นาน มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น และสนับสนุนการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรหลักของประเทศไทยเพื่อการส่งออกเพื่อนำรายได้เข้าสู่ประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มอุปสงค์ของอ้อยคั้นน้ำในตลาด ซึ่งจะส่งผลดีต่อเกษตรกรผู้ปลูกอ้อยคั้นน้ำให้มีรายได้เพิ่มขึ้น

การยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องดื่ม มีหลายวิธีเช่นการทำให้เข้มข้น การทำผง การเติมสารเคมี การให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ หรือ การสเตอริไลซ์ เป็นต้น โดยกระบวนการแปรรูปน้ำอ้อยที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้มี 2 วิธี คือ การทำให้เข้มข้น ซึ่งเป็นการระเหยน้ำออกจากน้ำอ้อย ทำให้น้ำอ้อยมีความเข้มข้นขึ้น และอีกวิธีหนึ่ง คือ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่เพียงพอต่อการทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค เพื่อให้คุณภาพของอาหารที่แปรรูปสูญเสียน้อยที่สุด และยังคงเก็บอาหารนั้นได้เป็นเวลานาน และเหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำอ้อยในระดับอุตสาหกรรม

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตน้ำอ้อยเข้มข้นและน้ำอ้อยพร้อมดื่ม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับ และสามารถเก็บรักษาได้ไม่ต่ำกว่า 6 เดือน



การตรวจเอกสาร

อ้อย (Sugarcane)

อ้อย หรือ Sugarcane มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharum officinarum* เป็นหญ้าชนิดเดียวกับข้าวและข้าวโพด ที่มีความสำคัญต่อมนุษย์ในแง่ของการใช้เป็นอาหาร อ้อยนับเป็นพืชที่สำคัญอันดับ 4 ของโลก อ้อยเป็นพืชที่ปลูกง่ายและเมื่อปลูกครั้งหนึ่งแล้วสามารถเก็บเกี่ยวได้หลายครั้ง อ้อยชอบอากาศร้อนและชุ่มชื้น แหล่งปลูกอ้อยของโลกจึงอยู่ในประเทศแถบร้อนและชุ่มชื้น เช่น ประเทศบราซิล คิวบา ออสเตรเลีย อินเดีย ฟิลิปปินส์และไทย เป็นต้น สำหรับประเทศไทย ชาวไร่ส่วนใหญ่ปลูกอ้อยไว้สำหรับผลิตน้ำตาล แต่มีส่วนน้อยที่ปลูกอ้อยเคี้ยวและอ้อยคั้นน้ำ (นิรนาม, 2541)

พันธุ์อ้อยคั้นน้ำ

อ้อยคั้นน้ำ เป็นพืชที่ได้รับความสนใจจากเกษตรกรเป็นอย่างมาก เนื่องจากอุตสาหกรรมน้ำอ้อยพร้อมดื่มมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันมีการปลูกทั่วทุกภาคของประเทศ เพื่อนำมาแปรรูปเป็นน้ำอ้อยสด และ น้ำอ้อยพาสเจอร์ไรซ์ สภาพพื้นที่ที่ปลูกเป็นที่ดอนน้ำไม่ท่วมขัง การคมนาคมสะดวก ห่างไกลจากแหล่งมลพิษ ควรเลือกสายพันธุ์ที่ทำให้ผลผลิตมีคุณภาพตรงตามที่ตลาดต้องการ คือ น้ำอ้อยมีสีเหลืองปนเขียว กลิ่นหอม ความหวาน 13-17 องศาบริกซ์ ทนทานต่อโรคกล้าต้นเน่าแดง และเจริญเติบโตได้ดีเหมาะสมกับสภาพดินฟ้าอากาศ

พันธุ์อ้อยคั้นน้ำมีหลายพันธุ์ เช่น

1. พันธุ์สิงคโปร์ เป็นพันธุ์ที่เกษตรกร อำเภอบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา นิยมปลูกในอดีต ใบมีสีเขียวอ่อน ลำมีขนาดใหญ่สีเหลืองเข้ม ปล้องสั้นเป็นรูปข้าวต้มหรือปองกลาง แดกกอ 3-4 ลำต่อกอ ไร่โตไม่ได้ อ่อนแอต่อโรคกล้าต้นเน่าแดง อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 8 เดือน ผลผลิตน้ำอ้อย 2,100-2,800 ลิตรต่อไร่ ความหวาน 13-15 องศาบริกซ์ เหมาะสำหรับปลูกในสภาพที่ลุ่ม (กรมวิชาการเกษตร, 2545)

2. พันธุ์สุพรรณบุรี 50 หรือ 90-1 เป็นพันธุ์อ้อยคั้นน้ำพันธุ์แรกที่ถูกกรมวิชาการเกษตรพิจารณาเป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม 2539 เป็นพันธุ์คัดเลือกที่ได้จากการผสมเปิดของอ้อยพันธุ์ SP 074 จากการปลูกรวบรวมและคัดเลือกที่ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี ในปี 2533 อ้อยคั้นน้ำพันธุ์สุพรรณบุรี 50 มีลักษณะ ลำต้นมีขนาดใหญ่สีเขียวอมเหลือง ปล้องยาวเป็นรูปทรงกระบอก มีใบสีเขียวเข้ม แดงกอ 5-6 ลำต่อกอ ไร่ต่อได้ 3-4 ครั้ง ทนทานต่อโรคลำต้นเน่าแดง อายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 8 เดือน ให้ผลผลิตน้ำอ้อย 4,600-5,200 ลิตรต่อไร่ น้ำอ้อยมีสีเหลืองอมเขียว มีรสหวานหอม ความหวาน 15-17 องศาบริกซ์ เหมาะสำหรับปลูกทั้งในสภาพที่ดอนและที่ลุ่ม อ้อยคั้นน้ำพันธุ์สุพรรณบุรี 50 ให้ผลผลิตน้ำอ้อยดีกว่าพันธุ์เดิมที่ใช้กันอยู่คือ พันธุ์สิงคโปร์ ในทุกสภาพแวดล้อม และปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมในประเทศไทยได้ดี โดยเฉพาะในเขตภาคกลางและภาคตะวันตกที่เป็นแหล่งปลูกอ้อย (กรมวิชาการเกษตร, 2545; สุระชัย, 2550)

3. พันธุ์สุพรรณบุรี 72 ได้รับเลือกจากกรมวิชาการเกษตรให้เป็นผลงานวิจัยดีเด่นประเภทงานวิจัยประยุกต์ประจำปี 2547 มีที่มาคือ จากพันธุ์อ้อยเม็กซิกันซึ่งเป็นอ้อยเขียวที่เกษตรกรรปลูกกันมานานกว่า 35 ปี เป็นผลทำให้เกิดการเสื่อมของพันธุ์ ทำให้ผลผลิตต่ำ อีกทั้งอ้อยพันธุ์เม็กซิกันไม่มีศักยภาพในการไว้ตอ ต้องปลูกใหม่ทุกปีทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ดังนั้นกรมวิชาการเกษตรโดยศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรีจึงได้จัดทำ โครงการวิจัยและพัฒนาพันธุ์อ้อยเขียว เพื่อศึกษาวิจัยพันธุ์อ้อยเขียวที่ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เม็กซิกัน และสามารถไว้ตอได้ อันเป็นการลดต้นทุนการผลิต ตลอดจนศึกษาวิธีการปฏิบัติดูแลรักษาที่ถูกต้องและสะดวก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างพันธุ์อ้อยเขียวพันธุ์ใหม่ที่มีคุณภาพดี เช่นเดียวกับพันธุ์เม็กซิกัน แต่ให้ผลผลิตสูงกว่าและสามารถไว้ตอได้ เพื่อแนะนำให้เกษตรกรได้มีโอกาสเลือกปลูก ลักษณะประจำพันธุ์คือ ใบมีขนาดปานกลาง ปลายใบโค้ง ลำต้นมีสีเขียวอมเหลือง ปล้องมีรูปร่างทรงกระบอกค่อนข้างยาว มีร่องเหนือตา ตามีรูปร่างกลมมีวงเจริญสีเขียวและนูน ข้อคอดเล็กน้อย อายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมคือ 9 เดือน ซึ่งจะให้ผลผลิตและคุณภาพอ้อยคั้นน้ำดีที่สุด โดยสรุปแล้วอ้อยเขียวพันธุ์สุพรรณบุรี 72 มีลักษณะดีเด่น ดังนี้ เป็นอ้อยเขียวที่ให้ผลผลิตเนื้ออ้อยสุทธิสูง 6.3 ตันต่อไร่ สูงกว่าพันธุ์เม็กซิกัน 1.9 เท่า ความหวานเนื้ออ้อยสูง 19.3 องศาบริกซ์ สูงกว่าพันธุ์เม็กซิกัน 75% ไว้ตอได้ดีไม่ต้องปลูกใหม่ทุกปี อีกทั้งสามารถทำเป็นพันธุ์อ้อยคั้นน้ำได้ด้วย น้ำอ้อยมีสีเหลืองอมเขียว รสชาติหอมหวานเหมือนพันธุ์สุพรรณบุรี 50 อ้อยเขียวพันธุ์สุพรรณบุรี 72 สามารถปลูกเพื่อ 2 วัตถุประสงค์ คือ ในการจำหน่ายเป็นทั้งพันธุ์อ้อยเขียวและอ้อยคั้นน้ำ ทั้งนี้อ้อยคั้นน้ำพันธุ์สุพรรณบุรี 50 เป็นอ้อยคั้นน้ำได้อย่างเดียวเพราะเนื้ออ้อยแข็งไม่มีคุณสมบัติในการเป็นอ้อยเขียว ส่วนพันธุ์อ้อยเขียวดั้งเดิม คือ พันธุ์เม็กซิกันเป็นพันธุ์อ้อยเขียวได้อย่างเดียวเพราะสีของน้ำอ้อยมีสีน้ำตาลคล้ำ ไม่นำรับประทาน ไม่เหมาะเป็นอ้อยคั้นน้ำ (พรรณี, 2549)

องค์ประกอบทางเคมีของอ้อยและน้ำอ้อย

ภายในอ้อยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำ รองมาเป็นของแข็ง ซึ่งประกอบด้วย เส้นใย และ ของแข็งส่วนที่ละลายน้ำได้ ตามลำดับ เมื่อคั้นน้ำอ้อยจะพบว่าองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ เป็นน้ำตาลซูโครส รองมาเป็นเกลือ มีกรดอะมิโนในปริมาณเล็กน้อย (ตารางที่ 1) น้ำอ้อยมี สารอาหารมากมาย ทั้งโพแทสเซียม แคลเซียม คาร์โบไฮเดรต ส่วนสารอาหารอย่างอื่นพบใน ปริมาณเล็กน้อย (ตารางที่ 2) สารอาหารในน้ำอ้อยดิบและน้ำอ้อยพอกไซสำหรับทำน้ำตาลจะมี องค์ประกอบแตกต่างกัน (ตารางที่ 3) ทั้งนี้จะชี้ให้เห็นถึงปริมาณ เพราะกรดอะมิโนเมื่อทำ ปฏิกิริยากับน้ำตาล จะทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ กรดคาร์บอกซิลิก และกรดอะมิโนแต่ละชนิด จะมีปริมาณแตกต่างกัน (ตารางที่ 4 และ 5)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของอ้อยและน้ำอ้อย

Constituent	Percent	Percent of Soluble solids
Sugarcane		-
Water	73-76	
Solids	24-27	-
- Fiber (dry)	11-16	-
- Soluble solid	10-16	-
Juice constituent		-
Sugar	75-92	-
- Sucrose	-	70-88
- Glucose	-	2-4
- Fructose	-	2-4
Salt	3.0-7.5	-
- Of inorganic acids	-	1.5-4.5
- Of organic acids	-	1-3
Free organic acids	0.5-2.5	-
- Carboxylic acids	-	0.1-0.5
- Amino acids	-	0.5-2.0

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Constituent	Percent	Percent of Soluble solids
Other organic non-sugar	-	-
- Protein	-	0.5-0.6
- Starch	-	0.001-0.050
- Gums	-	0.3-0.6
- Wax,fats,phosphatides	-	0.05-0.15
Unidentified non-sugar	-	3-5

หมายเหตุ - คือ ไม่ได้ทำการทดลอง

ที่มา: เกษม (2515)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำอ้อย

องค์ประกอบในส่วนที่กินได้ 100 กรัม	ปริมาณ	หน่วย
pH อ้อยปกติที่เจริญเต็มที่	4.73-5.63	
พลังงาน	55-56	cal
ความชื้น	84.3-85.6	%
โปรตีน	0.2-0.49	gm.
ไขมัน	0.2	gm.
คาร์โบไฮเดรต	13.6-15	gm.
ไฟเบอร์	0	gm.
เถ้า	0.3	gm.
แคลเซียม	12-13	mg.
ฟอสฟอรัส	8-9	mg.
เหล็ก	0.5-0.6	mg.
โซเดียม	2	mg.
โพแทสเซียม	102	mg.
วิตามินเอ	tr.	ug.

ตารางที่ 2 (ต่อ)

องค์ประกอบในส่วนที่กินได้ 100 กรัม	ปริมาณ	หน่วย
วิตามินบี 1	0.01	mg.
วิตามินบี 2	0.01	mg.
ไนอะซิน	0.1	mg.
วิตามินซี	tr.	mg.

หมายเหตุ tr. หมายถึง มีปริมาณเล็กน้อย

ที่มา: กองโภชนาการ (2521); Irvine (1977)

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของเกลือแร่ในอ้อยดิบ และน้ำอ้อยพอกไฟสำหรับทำน้ำตาล

องค์ประกอบ	ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์ของแข็ง)	
	น้ำอ้อยดิบ (Raw juice)	น้ำอ้อยใส (Clarified juice)
โปแทสเซียม (K ₂ O)	1.31	-
ซัลเฟต (SO ₃)	0.52	0.41
คลอไรด์ (Cl)	-	0.22
แคลเซียม (Ca)	0.29	0.30
แมกนีเซียม (Mg)	0.28	0.16
ซิลิกา (SiO ₂)	0.71	0.14
ฟอสเฟต (Fe ₂ O ₃)	0.40	0.08
คาร์บอนเนต แอช	3.64	3.55

ที่มา: Irvine (1977)

ตารางที่ 4 กรดคาร์บอกซิลิกในน้ำอ้อย

กรด	ของแข็งแห้ง (เปอร์เซ็นต์)
Aconitic	1.0-2.06
Citric	0.12-0.30
Malic	0.03-0.25
Oxalic	0.02-0.16
Glycolic	0.13
Mesaconic	0.08
Succinic	0.05
fumaric	0.04

ที่มา: Irvine (1977)

ตารางที่ 5 Amide และกรดอะมิโนในน้ำอ้อยดิบสำหรับทำน้ำตาล

สาร	ของแข็งแห้ง (เปอร์เซ็นต์)	
	อิสระ	โปรตีน
<u>Amide</u>		
Aspsrpgine	0.71	-
Glutamate	0.19	-
<u>Amino acid</u>		
Aspartic	0.11	0.06
Glutamic	0.05	0.08
Alanine	0.06	0.05
Valine	0.03	0.04
Gamma-Aminobutyric	0.03	0.04
Threoine	0.02	0.04
Isoleucine	0.01	0.03

ตารางที่ 5 (ต่อ)

สาร	ของแข็งแห้ง (เปอร์เซ็นต์)	
	อิสระ	โปรตีน
Glycine	0.01	0.04
Leucine	Trace	0.05
Lysine	Trace	0.04
Serine	Trace	0.03
Arginine	Trace	0.02
Phenylalanine	Trace	0.02
Tyrosine	Trace	0.02
Histidine	Trace	0.01
Proline	Trace	0.01
Total protein	-	0.49

หมายเหตุ Trace หมายถึง มีปริมาณเล็กน้อย

ที่มา: Irvine (1977)

น้ำอ้อย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกล่าวไว้ว่า น้ำอ้อย หมายถึง เครื่องดื่มชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำอ้อยที่อยู่ในสภาพดี มาตัดเป็นท่อน ปอกเปลือก ล้างน้ำให้สะอาด ทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ นำไปบีบ (หีบ) น้ำอ้อยออก กรอง โดยไม่มีการเจือน้ำ และไม่มีการแต่งรสด้วยน้ำตาล บรรจุในภาชนะบรรจุทันที หรือ นำไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนก่อนบรรจุ น้ำอ้อยสด หมายถึง น้ำอ้อยที่ไม่ผ่านกรรมวิธีการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ส่วนน้ำอ้อยพาสเจอร์ไรซ์ หมายถึง น้ำอ้อยที่ผ่านกรรมวิธีการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส คุณลักษณะของน้ำอ้อยที่ต้องการ จะต้องเป็นของเหลวขุ่น ไม่พบส่วนที่เป็นเศษขานอ้อย ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติ มีกลิ่นหอมและกลิ่นรสตามลักษณะเฉพาะของน้ำอ้อย ปราศจากกลิ่นรสที่นำรังเกียจ ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอม เช่น เส้นผม ทราย ดิน ทราย ชี้นส่วนหรือสิ่งปนื้อจากสัตว์ เช่น แมลง นก หนู เป็นต้น ห้ามใช้วัตถุกันเสีย และในน้ำอ้อยต้องมีสารที่ละลายน้ำไม่ต่ำกว่า 11 องศาบริกซ์ ทางด้านจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในน้ำอ้อยสด ต้อง

มียีสต์น้อยกว่า 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ราต้องน้อยกว่า 500 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร และเอสเซอร์ริเชียโคไลโดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 2.2 ต่อตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ส่วนน้ำอ้อยพาสเจอร์ไรซ์ต้องพบยีสต์น้อยกว่า 1×10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ราต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร และเอสเซอร์ริเชียโคไลโดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 2.2 ต่อตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร (นรินาม, 2546)

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำอ้อย

1. สภาพการเจริญเติบโตและช่วงการเก็บเกี่ยว โดยสภาพการเจริญเติบโตมีผลต่อการเก็บอาหารไว้ในเซลล์ ภายในลำต้นของอ้อยที่เหมาะสมในการเป็นอาหารควรมีอาหารเก็บรักษาไว้ในเซลล์อย่างเต็มที่ เพราะหลังจากการเก็บเกี่ยว ลำต้นเหล่านี้ไม่สามารถสร้างอาหารขึ้นมาได้เลย มีแต่สารอาหารที่เคยมีสะสมไว้ในภายในลำต้นซึ่งส่งผลให้คุณภาพของเนื้อเยื่ออ้อยนั้นค่อยคุณภาพลงทุกที นอกจากนั้นการเก็บเกี่ยวที่ไม่ดีอาจส่งผลให้ผลิตผลมีสภาพค่อยลง ภายในลำต้นของอ้อยที่ควรมีสารอาหารอยู่ในเนื้อเยื่อในปริมาณที่เหมาะสมหรือสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (ซึ่งโดยปกติจะทำการเก็บเกี่ยวลำต้นของอ้อยที่เติบโตเต็มที่ซึ่งมีอายุประมาณ 8-10 เดือน)

2. กรรมวิธีก่อนการผลิต ก่อนที่จะนำผลิตผลเข้าไปในกระบวนการผลิตน้ำอ้อยควรมีการล้าง การตัดแต่ง การปอกเปลือก การลดขนาด เพื่อให้การคั้นน้ำง่ายขึ้น รวมถึง การลวก ซึ่งเป็นการทำลายเอนไซม์ที่มีผลต่อคุณภาพระหว่างการผลิตและการเก็บรักษา นอกจากนี้การลวกยังช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่อาจติดมากับอ้อย อีกทั้งสามารถรักษาสีของน้ำอ้อยสดด้วย

3. กรรมวิธีการผลิต จำเป็นต้องมีการควบคุมกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพ รักษาความสะอาดทุกขั้นตอน เพื่อป้องกันการปนเปื้อนระหว่างและหลังการผลิต

4. อุณหภูมิในการเก็บรักษา โดยทั่วไปนิยมเก็บรักษาน้ำอ้อยที่อุณหภูมิต่ำ ประมาณ 4 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการชะลอการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในน้ำอ้อย (สมโภชน์, 2542; Yusof *et al.*, 2000)

จุลินทรีย์ในน้ำอ้อย

การคั้นน้ำอ้อยออกมาจากลำต้น ที่เรียกว่าการหีบอ้อย น้ำอ้อยที่ได้นี้จะมีการปนเปื้อนมาก เนื่องจากชาวไร่อ้อยเมื่อตัดอ้อยแล้วจะนำเข้าไปส่งขายทันที ต้นอ้อยจะมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนมาแต่เดิมอยู่แล้ว และขณะที่ตัดอ้อยจะมีการปนเปื้อนจากดิน จากรถบรรทุก จากเครื่องมือที่ใช้ในการตัดอ้อยต่างๆ เพิ่มขึ้น (นิรนาม, 2547)

บุญส่ง (2527) พบว่า น้ำอ้อยเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่อุดมสมบูรณ์ ซึ่งประกอบด้วยซูโครส ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลรีดิคซ์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอินทรีย์ ไนโตรเจน และเกลือแร่ที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ สำหรับพีเอชของน้ำอ้อยจะมีค่า 5.0-5.5 ซึ่งทำให้สามารถคัดเลือกเฉพาะกลุ่มจุลินทรีย์ที่ชอบกรด เช่น ยีสต์ และแบคทีเรียกลุ่มแลคติก จากการศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ในน้ำอ้อยพบว่ามีทั้งเชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรียหลายชนิด

Faville *et al.* (1947) ได้ทำการจัดจำแนกแบคทีเรียรูปร่างกลม จำนวน 740 strain ที่สร้างพวกยางเหนียวจากน้ำอ้อยพบว่าเป็นแบคทีเรีย *Leuconostoc mesenteroides* ซึ่งโคโคโลนีมีลักษณะต่างกัน 4 แบบ อ้อยจะมีจุลินทรีย์พวก epiphytic flora (จุลินทรีย์ที่อิงอาศัยอยู่ตามส่วนต่างๆ ของพืช) อาศัยอยู่ จากการศึกษพบว่าจำนวนแบคทีเรียที่มีอยู่นั้น จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาวะที่ปลูกอ้อย จุลินทรีย์ที่พบในน้ำอ้อยที่หีบแล้ว เป็นพวกที่ต้องการอากาศ และ *Leuconostoc* จะเกิดขึ้นในภายหลัง จากการศึกษา พบว่าสามารถจำแนกแบคทีเรียในน้ำอ้อยได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นแบคทีเรียที่ทำให้เกิดเมือกเหนียว ได้แก่ *Leuconostoc mesenteroides* กลุ่มที่ 2 เป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างสปอร์ได้แก่ *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus aterimus* และ *Bacillus mesentericus* และกลุ่มที่ 3 เป็นแบคทีเรียที่ไม่มีสปอร์ ได้แก่ *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Achromobacter* และ *Escherichia coli*

Bellone and Bellone (2006) พบว่า อ้อยจะมีเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่ม diazotroph (จุลินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยน di-nitrogen (N_2) จากบรรยากาศไปเป็น ammonia (NH_3) ด้วย electron reduction และ protonation ของก๊าซไนโตรเจน) เช่น *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum seropedicae* และ *Azospirillum brasilense* โดยเชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้จะใช้กรดอินทรีย์ในน้ำอ้อยเป็นแหล่งพลังงาน และยังใช้น้ำตาลเช่นกลูโคสอิสระ การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดอินทรีย์และความเข้มข้นของน้ำตาลในระหว่างการเจริญของลำต้นอ้อย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตน้ำอ้อย

ประกอบ (2547) ผลิตน้ำอ้อยพาสเจอร์ไรซ์โดยมีส่วนประกอบ น้ำอ้อย 99.9% (โดยน้ำหนัก) เกลือ 0.05% (โดยน้ำหนัก) น้ำไบเตยต้ม 0.05% (โดยน้ำหนัก) แล้วผ่านกระบวนการต้มฆ่าเชื้อด้วย เครื่องพาสเจอร์ไรซ์แบบระบบปิด พบว่าจะทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาคุณภาพดี และรสชาติ ให้เหมือนเดิมได้นานขึ้นมากกว่าเดิม 5 เท่า

สุระชัย (2550) กล่าวว่า กระบวนการผลิตน้ำอ้อยพร้อมดื่มที่ผลิตขายกันทั่วไป มีขั้นตอน ดังนี้ คือ เตรียมภาชนะสำหรับใช้บรรจุน้ำอ้อยได้แก่ขวดแก้ว หรือขวดพลาสติก ซึ่งต้องทำความสะอาด โดยล้างน้ำที่สะอาดแล้วคว่ำให้แห้ง ทำความสะอาดอุปกรณ์และเครื่องคั้นน้ำ โดยใช้ น้ำสะอาดล้างเครื่องคั้นน้ำอ้อยและเตรียมผ้าขาวบางที่สะอาด เพื่อใช้กรองน้ำอ้อย วิธีการคั้นน้ำอ้อยเริ่ม จากน้ำอ้อยที่เก็บเกี่ยวแล้ว (อายุ 8 เดือน) มาตัดเป็นท่อนๆยาว ปอกเปลือกอ้อยด้วยมีดปลอกอ้อย หรือมีดทั่วไป ล้างอ้อยที่ปอกเปลือกแล้วด้วยน้ำสะอาด ทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ นำอ้อยที่ล้างน้ำแล้วไป คั้นเป็นน้ำอ้อย แล้วกรองน้ำอ้อยด้วยผ้าขาวบางที่สะอาดหนา 4 ชั้น จากนั้นบรรจุน้ำอ้อยในขวดแก้ว หรือขวดพลาสติก เก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส หรือเก็บไว้ในถังบรรจุน้ำแข็ง

Jose (1999) พบว่า กระบวนการผลิตที่สามารถเก็บรักษาน้ำอ้อยได้ยาวนานขึ้น มีวิธีดังนี้ คือ ล้างอ้อยให้สะอาด คั้นน้ำ จากนั้นใช้ 0.1-1% activated carbon กรอง แล้วพาสเจอร์ไรซ์

Ginslov (2000) พัฒนาการวิธีผลิตน้ำอ้อยพาสเจอร์ไรซ์และแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำอ้อยที่ได้มีอายุการเก็บ 1 เดือน โดยเริ่มจากการคั้นน้ำอ้อยสด แล้วเติมกรด แอสคอร์บิกเพื่อป้องกันการเปลี่ยนสีและใส่กรดซิตริก หรือมาลิก หรือทาทาริก หรือหลายอย่าง รวมกันเพื่อลดพีเอชของน้ำอ้อยให้ต่ำกว่า 4.5 และใส่เกลือโซเดียมฟอสเฟตเพื่อรักษาความเสถียรของพีเอช น้ำอ้อยจะตกตะกอนด้วยการใส่สารจับตะกอนแล้วกรองตะกอนออก อาจใส่เอนไซม์อินเวอร์เทสเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส อาจมีการเติมสี กลิ่น และ เพลคตินได้ ต่อจากนั้นทำการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-20 วินาที แล้วลดอุณหภูมิทันทีจนน้ำอ้อยมีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

Iboyaima *et al.* (2003) พบว่า การปรับปรุงกระบวนการผลิตในการเตรียมน้ำอ้อยพร้อมดื่ม เพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานาน ต้องใช้แช่ล้าอ้อยในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบ

ซัลไฟด์ และกรดซัลฟิวริก ล้างน้ำและคั้นน้ำอ้อย เจือจางน้ำอ้อย และเติมกรด แล้วกรองน้ำอ้อยโดยใช้เมมเบรน บรรจุขวด แล้วพาสเจอร์ไรซ์

Mao *et al.* (2006) พบว่า การลวกจะช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ติดมากับวัตถุดิบ ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากการลวกช่วยทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องเสียสภาพ อีกทั้งสามารถคงความเป็นสีเขียวของน้ำอ้อยไว้ได้จากการถูกทำลายของเอนไซม์ที่ทำให้ chlorophyll สลายตัว นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำอ้อยมีความไวทางต้านสี เป็นผลเนื่องมาจากกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase: PPO) จะทำให้เกิดสีคล้ำหลังจากคั้นน้ำอ้อย ดังนั้นจึงต้องมีการทำลายเอนไซม์เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

กระบวนการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น

การผลิตน้ำผลไม้ให้เข้มข้น เป็นกระบวนการอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับกระบวนการแปรรูปอาหารเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากในอุตสาหกรรมอาหารนั้นวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ต่างๆมีน้ำเป็นจำนวนมาก จึงไม่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา การขนส่ง การบริโภคหรือการนำไปใช้ประโยชน์ ดังนั้นการทำให้อาหารเหลือมีความเข้มข้นมากขึ้น จะทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้ประโยชน์หรือเหมาะสมต่อการแปรรูปในขั้นต่อไปอีกทั้งยังช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และ การเก็บรักษา (สมบัติ, 2527)

น้ำผลไม้เข้มข้นต่างๆไปในปัจจุบันนี้ มักมีความเข้มข้นกว่าน้ำผลไม้พร้อมดื่มเป็นที่เท่า นับว่าเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด ทั้งในแง่เศรษฐกิจและคุณภาพของเครื่องดื่ม ความเข้มข้นของเครื่องดื่มเป็น 4 เท่า หมายถึง ก่อนการบริโภคต้องเจือจางเครื่องดื่มนี้ 1 ส่วน ต่อน้ำ 3 ส่วน จะได้เครื่องดื่มที่มีรสชาติพอเหมาะ น้ำผลไม้เข้มข้นแช่แข็งจำเป็นต้องเก็บรักษากลิ่นรสของเครื่องดื่มไว้โดยการเก็บไว้ที่ 0 องศาฟาเรนไฮต์ เท่าที่มีการทดลองปรากฏว่า สามารถเก็บไว้ได้โดยคุณภาพไม่เปลี่ยนแปลงถึง 5 ปี แต่ถ้าเก็บไว้ที่ 5 องศาฟาเรนไฮต์ กลิ่นรสจะเหมือนเดิมอยู่โดยประมาณ 3-4 เดือนเท่านั้น และถ้าเก็บไว้ที่ 10 องศาฟาเรนไฮต์ หรือสูงกว่ากลิ่นรสจะเปลี่ยนแปลงไปและจะแยกชั้นของเครื่องดื่ม บางครั้งมีลักษณะคล้ายเจล ดังนั้นการเก็บรักษาไว้ที่ 0 องศาฟาเรนไฮต์ จึงจำเป็นสำหรับเครื่องดื่มเข้มข้นแช่แข็ง (สมบัติ, 2527)

วิธีการเตรียมวัตถุดิบน้ำผลไม้เพื่อการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น จะเหมือนกับการทำน้ำผลไม้แท้ ผลไม้สดบางชนิดอาจมีตำหนิมองเห็นได้แต่คุณภาพของน้ำผลไม้ที่คั้นออกมาได้ไม่เปลี่ยนแปลง

ผลไม้หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วควรจะต้องส่งไปยังโรงงานโดยตรง ผลไม้ที่มีความสุกพอเหมาะจำเป็นจะต้องมีอัตราส่วนองศาบริกซ์ต่อกรดที่เหมาะสม ผลไม้สดทั่วไปจะต้องผ่านการแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกไปแล้วทำการล้าง โดยการฉีดน้ำแรงๆและมีการล้างด้วยน้ำคลอรีนก่อนนำไปคั้นน้ำ

ปัจจัยสำคัญในการควบคุมคุณภาพน้ำผลไม้ คือ การใช้วัตถุดิบที่สะอาด และคุณภาพดี การตรวจสอบคุณภาพจะต้องกระทำตลอดกระบวนการผลิตจนกระทั่งมาเป็นผลิตภัณฑ์ และยังต้องทำให้ได้ตามมาตรฐานน้ำผลไม้เข้มข้นอีกด้วย ในน้ำผลไม้เข้มข้นมักตรวจสอบค่าองศาบริกซ์อัตราส่วนระหว่างองศาบริกซ์ต่อกรด และอื่นๆ ความสะอาดในที่ปฏิบัติงานเป็นตัวกำหนดคุณภาพที่เกี่ยวกับจุลินทรีย์ จำเป็นต้องตรวจจุลินทรีย์จากตัวอย่างน้ำเข้มข้นอยู่เสมอ ปริมาณเชื้อที่นับได้ต้องไม่มากกว่า 1 ล้านตัวต่อน้ำผลไม้ที่เจือจางแล้ว 1 มิลลิลิตร (ทนาง, 2524) ปกติระดับกรดและน้ำตาลที่มีอยู่ในน้ำผลไม้จะเป็นตัวระงับการเติบโตของจุลินทรีย์ ดังนั้นปริมาณจุลินทรีย์จึงมีแนวโน้มที่จะลดลงในขณะที่เก็บรักษา ถึงแม้ว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นก็ตาม เชื้อที่เจริญเติบโตส่วนมากมักเป็นยีสต์และแบคทีเรียกรดแลคติก

กระบวนการทำให้เข้มข้นโดยการแยกและระเหยน้ำออกจากน้ำผลไม้สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับความสามารถของโรงงานและระดับคุณภาพที่ต้องการ ปกติการให้ความร้อนแก่น้ำผลไม้ในบรรยากาศธรรมดา น้ำจะระเหยไปแต่คุณภาพของน้ำผลไม้เข้มข้นไม่เป็นที่ยอมรับ ฉะนั้นในปัจจุบันนี้จึงมีวิธีการอื่นๆที่นิยมใช้กันอยู่ เช่น การระเหยภายใต้สุญญากาศ และการทำให้เข้มข้นโดยการแช่แข็ง (ทนาง, 2524)

การระเหยภายใต้สุญญากาศ (Vacuum evaporator)

การระเหยภายใต้สุญญากาศ สามารถเพิ่มคุณภาพของน้ำผลไม้ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การระเหยภายใต้ความดันบรรยากาศ เนื่องจากผลของการลดอุณหภูมิในการระเหยน้ำลง โดยเครื่องระเหยที่นิยมใช้เรียกว่าแบบ Falling film โดยวิธีนี้ช่วยเพิ่มอัตราการแยกไอน้ำออกไปและลดการที่น้ำผลไม้จะไปเกาะอยู่ในบริเวณพื้นที่ผิวส่วนที่ให้ความร้อนมากๆได้ การแยกไอน้ำออกไปจะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอโดยการให้น้ำผลไม้ไหลเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ผ่านผิวของท่อที่ให้ความร้อน ระดับอุณหภูมิของน้ำผลไม้ระหว่างการระเหยนี้จะถูกควบคุมไว้ที่ระดับประมาณ 65-85 องศาเซลเซียส ระดับความร้อนที่ใช้ในระหว่างกระบวนการระเหยภายใต้สุญญากาศซึ่งไม่สูงจนเกินไปไม่เพียงแต่ช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของน้ำผลไม้เท่านั้น ยังป้องกันการเปลี่ยนแปลงของรสชาติและสีด้วย ทั้งนี้เพราะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนน้อยที่สุด เนื่องจากกระบวนการอยู่ภายใต้สภาวะ

สูญญากาศ ในการที่จะให้ผลดีระดับสูญญากาศต้องไม่น้อยกว่า 28 นิ้วปรอท ซึ่งจะทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำลง เช่นที่ระดับสูญญากาศ 24-26 นิ้วของปรอท น้ำจะเดือดที่ 140-125 องศาฟาเรนไฮต์ แต่ที่ 29 นิ้วปรอท จะเดือดที่ประมาณ 75 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นต้น (สมบัติ, 2527)

การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อน

การใช้ความร้อนแปรรูปอาหาร (Thermal Processing) คือการใช้ความร้อนในการทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการเช่น การใช้อุณหภูมิสูงๆ เพื่อช่วยถนอมรักษาอาหาร โดยความร้อนจะช่วยทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโทษ หรือจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย รวมถึง เอนไซม์ สารพิษ พยาธิ แมลงต่างๆ ซึ่งจะทำให้อาหารสามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานานขึ้น หรือการใช้ความร้อนในการกระทำให้อาหารสุก เป็นต้น ตัวอย่างของการใช้ความร้อนแปรรูปอาหาร ได้แก่ การทอด การอบ การตากแห้ง การรมควัน การพาสเจอร์ไรซ์และการสเตอริไลซ์ เป็นต้น

ประเภทของการให้ความร้อนแก่อาหาร การให้ความร้อนแก่อาหารสามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ

การให้ความร้อนโดยตรง วิธีนี้เป็นการให้ความร้อนโดยให้อุณหภูมิสัมผัสกับอาหารโดยตรง รวมถึงการให้อาหารสัมผัสกับควันหรือไอที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงด้วย เช่น การรมควัน วิธีการนี้มีข้อเสียตรงที่เชื้อเพลิงที่ใช้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดการสะสมของสารพิษจากการเผาไหม้และเข้าไปเจือปนในอาหารจนทำให้อาหารมีกลิ่นที่ผิดปกติไป และไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค

การให้ความร้อนแก่อาหารโดยอ้อม วิธีนี้เป็นการให้ความร้อนแก่อาหาร โดยที่ความร้อนไม่สัมผัสกับเชื้อเพลิงที่กำลังเผาไหม้โดยตรง วิธีการนี้นิยมใช้กันมากในกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ไอน้ำเป็นตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อน

การใช้ความร้อนเพื่อวัตถุประสงค์ในการถนอมอาหาร เป็นการทำลายจุลินทรีย์ และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์สามารถทำได้ 2 วิธี คือ การพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization) และการสเตอริไลซ์ (Sterilization)

การพาสเจอร์ไรซ์

การพาสเจอร์ไรซ์ เป็นกระบวนการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ (100 องศาเซลเซียส) เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารในระยะเวลาสั้นๆ การพาสเจอร์ไรซ์จะช่วยทำลายเอนไซม์และทำลายจุลินทรีย์บางชนิดที่ไวต่อการถูกทำลายด้วยความร้อน เช่น แบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ ยีสต์ และรา ความร้อนที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและด้านโภชนาการน้อย ระดับความร้อนที่ต้องใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ยังขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของอาหารอีกด้วย อาหารที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์แล้วจะยังคงมีจุลินทรีย์บางชนิดหลงเหลืออยู่และเจริญเติบโตได้ในอาหารนั้น ดังนั้นโดยทั่วไปจะต้องเก็บรักษาอาหารที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส ตลอดเวลาเช่น ในตู้เย็นหรือห้องเย็น นมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ชั้นสามารถเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้นานประมาณ 1 สัปดาห์ หากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องจะเน่าเสียภายใน 1 วัน (นิธิยา, 2544)

กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ อาจทำได้ 2 แนวทาง

1. ใช้อุณหภูมิต่ำระยะเวลาสั้นหรือ LTLT (Low Temperature Long Time) เป็นระบบให้ความร้อนในขั้นต่ำกว่าจุดเดือด ที่อุณหภูมิประมาณ 63 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วทำให้เย็นทันทีที่เป็นวิธีที่ง่ายสามารถทำได้ในระดับครัวเรือน โดยนำอาหารที่ต้องการพาสเจอร์ไรซ์ใส่ในภาชนะที่เหมาะสมตั้งไฟให้ร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ วัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์ จับเวลาตามที่กำหนด หรือจะบรรจุอาหารใส่ขวดแล้วนำไปตั้งในน้ำที่ต้มให้ความร้อนถึงอุณหภูมิดังกล่าวก็ได้ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร

2. ใช้อุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้น หรือ HTST (High Temperature Short Time) เป็นระบบให้ความร้อนในระดับสูงขึ้นแต่ใช้ระยะเวลาสั้นลง คือ ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที แล้วทำให้อาหารเย็นลงโดยเร็ว ระบบนี้มักจะเป็นแบบต่อเนื่อง เครื่องมือที่ใช้มีรูปแบบเฉพาะ โดยปล่อยให้อาหารเหลวไหลผ่านพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงระยะเวลาที่กำหนด ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้มีความสำคัญมาก ซึ่งอาจแตกต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ (นิธิยา, 2544)

การพาสเจอร์ไรซ์มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่ออาหาร ดังนี้

1. ผลต่อ สี และ กลิ่นธรรมชาติ: น้ำผลไม้บางชนิดจะเกิดปฏิกิริยาเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ โดยเฉพาะเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ซึ่งจะเกิดได้เร็วขึ้นในภาวะที่มีออกซิเจน แต่โดยปกติมักจะไล่อากาศออกจากน้ำผลไม้ก่อนการพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งจะช่วยลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้

2. วิตามิน: การพาสเจอร์ไรซ์น้ำผลไม้จะสูญเสียวิตามินซีและบีตา-แคโรทีน การสูญเสียวิตามินบางชนิดอาจลดลงได้ หากไล่อากาศออกเสียก่อนเพื่อลดการเกิดปฏิกิริยา

สำหรับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์นั้น ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์นั้นเป็นการใช้อุณหภูมิต่ำกว่าการจุดเดือดของน้ำ (100 องศาเซลเซียส) ทั้งนี้เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคทุกชนิด แต่เนื่องจากการให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรซ์นี้สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการให้ความร้อนในระดับนี้จึงจำเป็นต้องอาศัยวิธีการอื่นๆ ที่เหมาะสม เพื่อจำกัดไม่ให้จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารสามารถเจริญได้ หรือเจริญได้ในปริมาณน้อยที่สุดสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น ทั้งนี้วิธีการที่นิยมใช้พอจะสรุปได้ดังนี้

1. การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในตู้เย็น (อุณหภูมิประมาณ 4 – 10 องศาเซลเซียส) เช่นนมพาสเจอร์ไรซ์

2. การเติมสารบางชนิดเพื่อให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น การเติมกรดน้ำผลไม้

3. การควบคุมสภาพปราศจากอากาศ เช่น การบรรจุผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศ

4. การดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ เช่น การเติมน้ำตาลในนมข้นหวาน

5. การเติมวัตถุกันเสีย เช่น เกลือ โซเดียมเบนโซเอตในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ (ชมพู่, 2550)

การสเตอริไลซ์ (Sterilization)

การสเตอริไลซ์เป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่อาหารที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของน้ำ และใช้ระยะเวลาที่นานเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ เป็นผลทำให้ อาหารที่ผ่านการสเตอริไลซ์มีอายุการเก็บรักษานานอย่างน้อย 6 เดือน การให้ความร้อนที่รุนแรง ระหว่างการสเตอริไลซ์อาหารในภาชนะบรรจุก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพทาง โภชนาการและประสาทสัมผัสของอาหาร การพัฒนาเทคโนโลยีในการแปรรูปอาหารในปัจจุบันจึง มีเป้าหมายหลักเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดต่อคุณภาพด้าน โภชนาการและประสาทสัมผัสโดยอาจ ใช้การลดระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่อาหารก่อนบรรจุ (วิธีปลอดเชื้อหรือที่เรียกว่า aseptic processing) หรืออาหารในภาชนะบรรจุ

หลังจากการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่มีในอาหารแล้ว สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งคือการทำ อย่างไรให้อาหารอยู่ในสภาวะปลอดเชื้อจุลินทรีย์นานที่สุด การใช้ภาชนะที่เหมาะสมจึงเป็นการ สร้างเกราะป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ภายนอกเข้ามาปนเปื้อนในอาหารที่ทำกรฆ่าเชือนั้นได้อีก (Post contamination) (วิไล, 2547)

การสเตอริไลซ์ในเชิงการค้า (Commercial sterilization)

การสเตอริไลซ์ในเชิงการค้า เป็นการทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้ อาหารเน่าเสียได้หมด แต่อาจมีสปอร์ของแบคทีเรียที่ทนต่อความร้อนเหลือรอดอยู่ได้บ้างเล็กน้อย แต่สปอร์ดังกล่าวจะไม่เพิ่มจำนวนในภายหลังเนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษา คือที่ อุณหภูมิห้องปกติ 30 องศาเซลเซียส อาหารที่ผ่านกระบวนการสเตอริไลซ์ทางการค้าจะมีอายุการ เก็บได้นานกว่า 6 เดือนขึ้นไป

การทำสเตอริไลซ์ให้ได้อย่างสมบูรณ์โดยปราศจากทั้งจุลินทรีย์และสปอร์นั้นจะต้องใช้ ระดับความร้อนสูงและมีต้นทุนมาก ดังนั้นการทำสเตอริไลซ์ในเชิงการค้าจึงเป็นที่นิยมในทาง ปฏิบัติ

ผลของการสเตอริไลซ์ต่ออาหาร (ชมพู, 2550)

1. สี ในผักและผลไม้ที่มีคลอโรฟิลล์จะถูกเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) ส่วนแคโรทีนอยด์จะถูกเปลี่ยนไอโซเมอร์ได้เป็น 5,6-อีพอกไซด์ (epoxide) ซึ่งมีสีจางกว่า 5,8-อีพอกไซด์ และสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) จะสลายตัวเป็นสารสีน้ำตาล การสูญเสียสีธรรมชาติแก้ไขได้โดยการเติมสีสังเคราะห์ลงไป การเปลี่ยนสีของอาหารระหว่างการเก็บรักษาจะเกิดขึ้นเมื่อมีเหล็กและดีบุกจากกระป๋องทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินได้เป็นสีม่วง หรืออาจเกิดสารลูโคแอนโทไซยานิน (leucoanthocyanin) ซึ่งเป็นสารไม่มีสีจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูของ สารแอนโทไซยานินเชิงซ้อน (anthocyanin complex) การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นในสาลี ลินจี่ และ quinces บางพันธุ์

2. กลิ่นและรสชาติ ในผักและผลไม้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะเกี่ยวข้องกับการสลายตัว การรวมตัวกัน และการเปลี่ยนเป็นสารระเหย (volatilization) ของแอลดีไฮด์ คีโตน น้ำตาลเล็ก โดส กรดอะมิโนและกรดอินทรีย์ ส่วนในน้ำนมจะเกิดกลิ่นนมต้ม เนื่องจากเวย์โปรตีน (whey protein) เสียสภาพธรรมชาติ เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ และยังเกิดสารแอลกอฮอล์โทนและเมทิลคีโตนจากไขมันในน้ำนม หากใช้วิธี aseptic sterilization การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะเกิดขึ้นน้อยกว่าและจะสามารถรักษากลิ่นธรรมชาติได้มากกว่าทั้งในน้ำนม น้ำผลไม้และผัก

3. ลักษณะเนื้อและความหนืด ส่วนผักและผลไม้จะนิ่มลงเมื่อเกิดการไฮโดรไลซิสของเพกติน หรือเกิดเจลาตินในเซชันของสตาร์ช และเฮมิเซลลูโลสจะละลายได้บ้างเล็กน้อย รวมทั้งเซลล์สูญเสียความเต่งด้วย อาจลดปัญหาที่เกิดขึ้นโดยการเติมเกลือแคลเซียมลงในน้ำที่ใช้ลวก หรือในน้ำเกลือและน้ำเชื่อม เพื่อให้เกิดเป็นเกลือแคลเซียมเพกเทตที่ไม่ละลายในน้ำ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของลักษณะเนื้อสัมผัสให้กับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ได้ ผลไม้แต่ละชนิดอาจใช้เกลือแคลเซียมแตกต่างกัน เช่น ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์สำหรับเชอรั หรือแคลเซียมคลอไรด์สำหรับมะเขือเทศ หรือแคลเซียมแล็กเตตสำหรับแอปเปิล เป็นต้น

4. คุณค่าทางโภชนาการ การสเตอริไลซ์ทำให้เกิดการไฮโดรไลซิสของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน แต่คุณค่าทางโภชนาการของอาหารไม่เปลี่ยนแปลง โปรตีนจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ และมีการสูญเสียกรดอะมิโนประมาณ 10-20% เนื่องจากถูกทำลายด้วยความร้อน เช่น กรดอะมิโนไลซีนจะลดลงผันแปรตามอุณหภูมิที่ใช้ คุณค่าทางชีวภาพของโปรตีนลดลงประมาณ 50-75% กรดเพนโทนิกสูญเสียประมาณ 20-35% ส่วนในผักและผลไม้จะเสียวิตามินที่ละลายในน้ำได้มากที่สุด โดยเฉพาะวิตามินซี

กระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูง (Ultra high - temperature process, UHT) (วิไล, 2547)

กระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูงที่เรียกว่ากระบวนการยูเอชที เป็นการสเตอริไลซ์อาหารด้วยอุณหภูมิสูงกว่าและใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่าการสเตอริไลซ์อาหารในภาชนะบรรจุในเชิงการค้า หลังจากนั้นจึงบรรจุอาหารลงในภาชนะที่ผ่านการฆ่าเชื้อมาแล้ว โดยขั้นตอนในการบรรจุจะกระทำภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ หลักการดังกล่าวเป็นหลักการพื้นฐานที่เรียกว่ากระบวนการแปรรูปภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ (aseptic processing) วิธีนี้ใช้ได้กับอาหารเหลวหลายชนิด เช่น นม น้ำผลไม้ น้ำผลไม้เข้มข้น โยเกิร์ต ไวน์ น้ำสลัด ไข่ และ ไอศกรีม รวมทั้งอาหารที่เป็นชิ้นเล็กๆ เช่น เนยแข็ง อาหารเด็กอ่อน ผลิตภัณฑ์จากมะเขือเทศ ผักและผลไม้ น้ำซूप และ ขนมที่ทำจากข้าวเจ้า อาหารยูเอชทีมีคุณภาพสูงเทียบเท่ากับการฉายรังสีหรืออาหารแช่แข็ง แต่อาหารยูเอชที มีข้อได้เปรียบกว่าอาหารฉายรังสีหรือแช่แข็งคือ สามารถเก็บไว้ได้อย่างน้อย 6 เดือนโดยไม่ต้องแช่เย็น สำหรับอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ ($\text{pH} \geq 4.5$) จะทำการฆ่าเชื้อที่ 138-150 องศาเซลเซียส และใช้เวลาเพียง 1-30 วินาที

ในการให้ความร้อนบางครั้งจะคำนึงถึงการทำลายเอนไซม์ด้วย เนื่องจากที่อุณหภูมิ 132-143 องศาเซลเซียส ยังมีเอนไซม์ที่ทนความร้อนมากกว่าจุลินทรีย์ที่อาจปนเปื้อนอยู่ ในการให้ความร้อนแบบยูเอชทีนั้น อาหารจะได้รับความร้อนเป็นชั้นบางๆ ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งมีการควบคุมอย่างเคร่งครัดอย่างต่อเนื่อง อาหารที่ผ่านการสเตอริไลซ์แล้วจะถูกทำให้เย็นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหรือในภาชนะที่เป็นสุญญากาศถ้าต้องกำจัดอากาศออกจากอาหารด้วยในขณะเดียวกัน

เครื่องมือในกระบวนการยูเอชทีที่ดีตามทฤษฎีจะต้องให้อาหารได้รับความร้อนถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ในทันที และต้องควบคุมอุณหภูมินี้เพื่อให้ได้ความปลอดเชื้อและทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิจุดบรรจุได้ทันทีเช่นกัน ในทางปฏิบัติสิ่งเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของระบบการควบคุมซึ่งจะส่งผลกระทบต่อราคาของเครื่องมือ และขึ้นกับคุณสมบัติของอาหาร เช่น ความหนืด การมีชิ้นอาหารเล็กๆ ความไวต่อความร้อน และแนวโน้มที่จะเกิดตะกอนบนผิวร้อน เป็นต้น

เครื่องมือที่จะใช้สำหรับกระบวนการยูเอชทีต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. ใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า 132 องศาเซลเซียสได้

2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต้องมีพื้นที่ผิวเพียงพอสำหรับการให้ความร้อนผลิตภัณฑ์
3. ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเคลื่อนที่แบบปั่นป่วน (Turbulent) เมื่อผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
4. ในระบบต้องมีปั๊มเพื่อใช้ส่งผลิตภัณฑ์ในอัตราคงที่เข้าไปในเครื่องเนื่องจากภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีแรงดันต้านอยู่ภายใน
5. สามารถทำความสะอาดพื้นผิวที่ให้ความร้อนได้เสมอเพื่อรักษาอัตราการถ่ายเทความร้อนให้สูงและลดการไหม้ของผลิตภัณฑ์

การบรรจุอาหารขณะร้อน (Hot pack หรือ Hot fill) (ชมพู่, 2550)

คำว่า “hot pack” หรือ “hot fill” หมายถึง การบรรจุอาหารที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์หรือสเตอริไลซ์มาแล้ว โดยอาหารยังคงร้อนอยู่ลงในภาชนะที่สะอาดไม่จำเป็นต้องผ่านการฆ่าเชื้อมาก่อน หรืออยู่ในสภาวะปลอดเชื้อ ความร้อนจากอาหารจะถ่ายเทให้กับภาชนะบรรจุ ซึ่งความร้อนที่ได้รับจากอาหารเพียงพอที่จะทำให้เกิดการสเตอริไลซ์ในเชิงการค้ากับภาชนะบรรจุได้ การบรรจุแบบนี้นิยมใช้กับอาหารที่มีความเป็นกรดสูง ซึ่ง *Clostridium botulinum* ไม่สามารถเจริญหรือสร้างสปอร์ได้ หากเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำจะต้องทำการฆ่าเชื้อภายหลังการบรรจุอีกครั้งหนึ่ง หากต้องการเก็บรักษาอาหารเป็นระยะเวลานานอย่างปลอดภัย

ตัวอย่าง เช่น การแปรรูปน้ำผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูง ($\text{pH} \geq 4.5$) จะต้องนำน้ำผลไม้มาให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิประมาณ 77-100 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 นาที แล้วบรรจุขณะร้อน และขณะบรรจุน้ำผลไม้ควรมีอุณหภูมิประมาณ 93 องศาเซลเซียส และไม่ควรถ่ำกว่า 77 องศาเซลเซียส ปิดฝาให้เรียบร้อยและปล่อยให้อยู่ที่อุณหภูมินี้ประมาณ 1-3 นาที แล้วพลิกกลับภาชนะที่บรรจุ ก่อนนำไปทำให้เย็น ระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นสำคัญ

ไฮโดรคอลลอยด์ (นิธิยา, 2544)

ไฮโดรคอลลอยด์หรือไฮโดรฟิลิกคอลลอยด์ หมายถึง สารประกอบประเภทพอลิแซ็กคาไรด์กัม (Polysaccharide gums) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายยาวและมีมวลโมเลกุลสูง ในโมเลกุลอาจ

ประกอบด้วยโมโนแซ็กคาไรด์ชนิดเดียวกันทั้งหมดที่เรียกว่าเป็นโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ เช่น เดกซ์แทรน (Dextran) และฟอสโฟแมนแนน (Phosphomannan) หรือประกอบด้วยโมโนแซ็กคาไรด์หลายชนิดที่เรียกว่า เป็นเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ เช่น กัมอะราบิก (gum arabic) กัมเกตติ (gum ghatti) และกัมคารายา (gum karaya) เป็นต้น

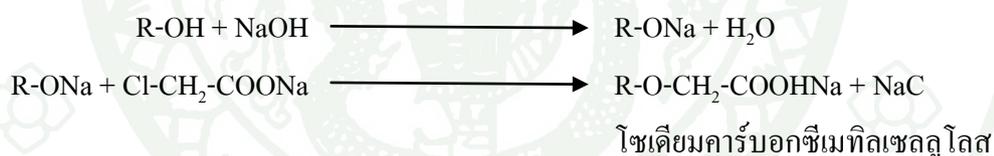
กัวร์กัม ได้จากส่วน Endosperm ของเมล็ดจากต้น guar (*Cyamopsis tetragonolobus*) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศอินเดียหรือปากีสถาน เป็นพืชตระกูลถั่ว แต่มันแล้งได้ดี ต้นสูงประมาณ 3-6 ฟุต คล้ายต้นถั่วเหลือง กัวร์กัม ได้ถูกนำเข้าไปปลูกในประเทศสหรัฐอเมริกาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1903 และนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเมื่อราวปี ค.ศ. 1950 เนื่องจากขาดแคลน โลกัสต์บีกัน ปัจจุบันมีปลูกมากในรัฐเท็กซัสของสหรัฐอเมริกา

โครงสร้างในโมเลกุลกัวร์กัม เป็นพอลิเมอร์สายยาวของกาเล็กโทแมนแนนมีมวลโมเลกุล 220,000-250,000 ในโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนสที่ต่อที่ต่อกันด้วยพันธะ β -(1 \rightarrow 4) และมีแขนของน้ำตาลกาเล็กโทสหนึ่งโมเลกุลต่อทุกๆ 2 โมเลกุลของน้ำตาลแมนโนส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ (1 \rightarrow 6) ทำให้อัตราส่วนของน้ำตาลแมนโนสต่อกาเล็กโทสเป็น 2:1 ซึ่งแสดงว่ากัวร์กัมมีแขนของน้ำตาลกาเล็กโทสมากกว่าโลกัสต์บีกัน กัวร์กัมไม่สามารถเกิดเป็นเจลได้ แต่อุ่นน้ำและกระจายตัวได้ดีในน้ำเย็น สารละลายที่ได้มีความหนืดสูง และให้ความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นด้วย จึงใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว และช่วยอุ้มน้ำ เมื่อใช้ร่วมกับแซนแทนกัมจะทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารละลายกัวร์กัมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ พีเอช เวลา ความเข้มข้น การคน และขนาดของอนุภาค เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารละลายกัวร์กัมจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากกัวร์กัมไม่แตกตัวเป็นไอออนและทนต่อพีเอชได้ช่วงกว้าง คือ พีเอช 4-10 โดยที่ความหนืดไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถเติมอิเล็กโทรไลต์เป็นจำนวนมาก แต่ถ้ามีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์สูงกว่าร้อยละ 5 จะมีผลต่อการอุ้มน้ำและการเกิดเจล กัวร์กัมมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูงสุดที่มีพีเอช 7.5-9.0 ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้กัวร์กัม ได้แก่ ขนมหวาน ซอส ชุป ไอศกรีม น้ำสลัด ผลิตภัณฑ์ขนมอบ และใช้เป็นส่วนผสมของเกรวี่ น้ำสลัด และชุปที่อยู่ในรูปผง

เจลแลนกัม เป็น gelling agent ชนิดใหม่ ผลิตเป็นอุตสาหกรรมโดยกระบวนการหมักคาร์โบไฮเดรตด้วย *Pseudomonas elodea* โครงสร้างของเจลแลนกัมที่เป็นสายหลักประกอบด้วย 4 โมโนแซ็กคาไรด์เชื่อมต่อกัน คือ น้ำตาลกลูโคส 2 โมเลกุล กรดกลูโคนิก 1 โมเลกุล และน้ำตาลแมนโนส 1 โมเลกุล สารละลายเจลแลนกัมมีสมบัติการเกิดเจลได้ที่ความเข้มข้นต่ำเพียงร้อยละ 0.005

เท่านั้นเจลที่ได้เป็นเจลแข็ง การละลายต้องการความร้อน และการเกิดเจลต้องการไอออนประจุบวก ช่วงอุณหภูมิของการเกิดเจลอยู่ระหว่าง 20-50 องศาเซลเซียส ซึ่งจะแปรผันตามความเข้มข้นของประจุบวก ส่วนจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 65-120 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงจัดเป็น thermo-reversible gel เจลแลนกัมมีความคงตัวต่อกรดและทนความร้อน ลักษณะเนื้อเจลของเจลแลนกัมสามารถปรับปรุงได้ตามความต้องการโดยผสมกับกัมชนิดอื่นๆ เช่น กัวร์กัม หรือ คาร์ราจีแนน เมื่อเดือนกันยายนปี ค.ศ. 1990 สำนักงานคณะกรรมการองค์การอาหารและยา (FDA) ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้อนุญาตให้ใช้เจลแลนกัมเป็นสารเพิ่มความคงตัว และสารเพิ่มความหนืดกับอาหารหลายชนิด เช่น แยม และ เจลลี่ เป็นต้น ปัจจุบันกำลังพัฒนาการนำไปใช้ประโยชน์ให้มากยิ่งขึ้น

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxy methyl cellulose: CMC) เป็นอนุพันธ์เซลลูโลสอีเทอร์ที่อยู่ในรูปแบบเกลือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เซลลูโลส กัม (cellulose gum) CMC เป็นพอลิเมอร์ประจุลบที่ละลายได้ในน้ำ เนื่องจากการเตรียม CMC ทำได้โดยใช้เซลลูโลสบริสุทธิ์มาทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้เส้นใยเซลลูโลสพองตัวออกได้เป็นสารละลายเซลลูโลสออกมาได้เป็นด่าง แล้วทำปฏิกิริยาต่อกับโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตต ได้เป็นโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ดังสมการ



สารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาการแทนที่ดังกล่าวจะทำให้ได้ CMC ซึ่งสมบัติของ CMC แต่ละชนิดจะผันแปรไปตามปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความสม่ำเสมอของการแทนที่ (uniformity of substitution), degree of substitution และ degree of polymerization (DP) นอกจากนี้สมบัติของ CMC แต่ละชนิดยังขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค และความสามารถในการคูดน้ำของ CMC รวมทั้งความหนืดของสารละลายก่อนการเติม CMC อีกด้วย

Degree of substitution เป็นจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลบนโมเลกุลของแอนไฮโดรกลูโคส (anhydroglucose) ซึ่งจะถูกแทนที่ด้วยหมู่คาร์บอกซีเมทิล โดยทางทฤษฎีโมเลกุลของแอนไฮโดรกลูโคสมีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ ดังนั้นควรจะมี DS = 3 แต่ในทางปฏิบัติปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจริงๆ จะได้ DS น้อยกว่า 3 อยู่ในช่วง 0.4-1.2 เท่านั้น CMC ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร จะมี DS ประมาณ 0.9 ทำให้ CMC ละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น CMC ที่มี DS 0.3 หรือต่ำกว่าจะละลายได้ในด่าง

แต่ไม่ละลายในน้ำ และจะเริ่มละลายในน้ำเมื่อมี DS ตั้งแต่ 0.45 ขึ้นไป สำหรับความหนืดของสารละลายจะขึ้นอยู่กับ DP ถ้ามี DP สูง จะทำให้ได้สารละลายที่ความหนืดเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารละลาย CMC ยังขึ้นอยู่กับชนิดของ CMC โดยทั่วไปสารละลาย CMC จะมีความคงตัวที่พีเอชช่วงกว้าง 4-10 แต่จะให้ค่าความหนืดสูงสุด และมีความคงตัวดีที่พีเอช 7-9 ความหนืดของสารละลาย CMC จะลดลงเมื่อพีเอชและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถ้าพีเอชต่ำกว่า 3 อาจทำให้ CMC ที่อยู่ในรูปอิสระตกตะกอน และพีเอชสูงกว่า 10 จะทำให้สารละลายมีความหนืดลดลงเล็กน้อย ความคงตัวของ CMC ยังขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนอีกด้วย CMC ใช้เติมในไอศกรีมจะช่วยอุ้มน้ำ ลดการเคลื่อนตัวของน้ำ ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อนุ่ม และไอศกรีมแข็งตัวจะไม่เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ และยังเติมลงในอาหารเพื่อให้มีอาหารพลังงานต่ำ (low calorie food) โดยทำหน้าที่เป็น bulking agent นอกจากนี้ยังสามารถนำมาทำเป็นฟิล์มใสและความแข็งแรงโดยไม่มีผลกระทบจากน้ำมัน และตัวทำละลายอินทรีย์

สมบัติทางความร้อน (Thermal properties)

สมบัติทางความร้อนของอาหาร มีความสำคัญมากต่อกระบวนการทางวิศวกรรมการแปรรูปอาหารที่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง เนื่องจากการแปรรูปอาหารด้วยความร้อนนั้น กระบวนการมักถูกควบคุมด้วยสมบัติทางความร้อนของอาหาร สมบัติทางความร้อนที่สำคัญ ได้แก่ ความร้อนจำเพาะ (specific heat) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity) และสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายความร้อน (thermal diffusivity)

ประโยชน์ที่สำคัญของสมบัติทางความร้อน คือ การนำมาใช้ในการทำนายอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับอาหาร ดังนั้นสมบัติทางความร้อนที่ถูกต้องและแม่นยำจึงมีความจำเป็นอย่างมากต่อกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน นอกจากนี้การพัฒนาอุปกรณ์การวัด วิธีการวัด ตลอดจนการปรับปรุงความสามารถในการวัดสมบัติทางความร้อนให้ถูกต้องแม่นยำ และการสร้างสมการสำหรับการทำนายสมบัติทางความร้อนจากข้อมูลเบื้องต้นอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ องค์ประกอบของอาหาร ความหนาแน่น เป็นต้น จะช่วยให้เกิดความเข้าใจ และสามารถประยุกต์ใช้สมบัติทางความร้อนให้เป็นประโยชน์ในงานทางวิศวกรรมอาหารได้เป็นอย่างดี

ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) (อัมพวัน, 2551)

ความร้อนจำเพาะ (C_p) คือ ค่าที่แสดงปริมาณความร้อนที่ต้องการเพื่อทำให้วัสดุปริมาณ 1 หน่วย มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 1 หน่วย โดยมีหน่วยเป็น J/kg.K ในระบบ SI ค่า C_p มีความสำคัญในกระบวนการให้ความร้อนหรือ การทำความเย็นของอาหาร โดยเป็นตัวกำหนดปริมาณพลังงานความร้อนที่จะต้องป้อนเข้าหรือดึงออก เพื่อใช้เพิ่มหรือลดอุณหภูมิของอาหาร รวมทั้งใช้ในการกำหนดต้นทุนพลังงาน และขนาดเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิตของอาหารแต่ละชนิด

ปริมาณความร้อนที่ใช้สำหรับเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอาหารสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 1 นั่นคือ

$$\begin{aligned} Q &= \text{mass} \times \text{average specific heat} \times \text{temperature change} \\ &= mC_p \Delta T \end{aligned} \quad (1)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะกับองค์ประกอบในอาหาร ถูกนำมาใช้สร้างสมการสำหรับทำนายค่าความร้อนจำเพาะ (C_p) ได้เมื่อทราบปริมาณองค์ประกอบต่างๆของอาหาร ตัวอย่างเช่นค่า C_p ของนมพร่องไขมัน จะมีค่าต่ำกว่าน้ำเล็กน้อย เนื่องจากมี Milk Solid เป็นองค์ประกอบ การเพิ่มของปริมาณไขมัน ทำให้ค่า C_p ลดลง อาจใช้สมการพื้นฐานคำนวณค่า C_p ได้ดังนี้

$$C_p = m_w C_w + m_s C_s \quad (\text{kJ/kg.K}) \quad (2)$$

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความร้อนจำเพาะ

- ส่วนประกอบและองค์ประกอบ (Composition) ภายในอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ไฟเบอร์ และเถ้า
- ความชื้น (น้ำ) เนื่องจากอาหารมีน้ำเป็นองค์ประกอบสูงประมาณ 78-80% ดังนั้นค่า C_p ขึ้นอยู่กับความชื้นเป็นหลัก
- อุณหภูมิ โดยค่า C_p จะแปรผันตามอุณหภูมิ นั่นคืออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า C_p จะมีค่าสูงขึ้น

Method of differential scanning calorimeter (DSC)

เครื่องวัดแคลอรีแบบดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง (Differential scanning calorimeter; DSC) ถูกนำมาใช้วัดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อนที่ให้อตัวอย่างและตัวอย่างมาตรฐานภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่กำหนด เครื่อง DSC จะทำงานโดยตรวจวัดพลังงานความร้อนที่ชดเชย (Power compensation) โดยการป้อนความร้อนให้แก่ตัวอย่าง และตัวอย่างมาตรฐานที่เป็นตัวเปรียบเทียบ ระบบจะควบคุมทั้งสอง Chamber อยู่ในสถานะที่มีอุณหภูมิต่ำที่ค่าหนึ่งตลอดการทดลอง โดยการทำงานร่วมกันของตัวตรวจวัดอุณหภูมิ และตัวให้ความร้อน (Heater) ผลการตรวจวัดจะแสดงในรูปของ Thermogram หรือกราฟระหว่างพลังงานความร้อนอุณหภูมิตัวอย่าง ซึ่งนำมาคำนวณค่าความร้อนจำเพาะของตัวอย่าง ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐานที่ทราบค่าความร้อนจำเพาะคือแซฟไฟร์ (Sapphire) โดยใช้สมการ

$$C_p = \left[\frac{d}{d'} \right] \left[\frac{m'}{m} \right] C_p' \quad (3)$$

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความร้อน ระบบจะพยายามชดเชยพลังงานเข้าไป เพื่อที่จะทำให้ อุณหภูมิของวัสดุตัวอย่างและวัสดุอ้างอิงเท่ากันและเท่ากับอุณหภูมิที่ตั้ง โปรแกรม พลังงานที่ระบบใช้ในการชดเชยให้กับวัสดุทั้งสองจะเท่ากับพลังงานที่วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นเทคนิคการชดเชยพลังงานจึงเป็นเทคนิคที่ทำการวัดพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปโดยตรง

- กรณีที่วัสดุไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน จะได้เทอร์โมแกรมเป็นเส้นตรง
- กรณีที่วัสดุตัวอย่างเกิดการดูดความร้อน : แหล่งของความร้อนของวัสดุตัวอย่างจะมีอุณหภูมิลดลง ระบบจะต้องทำการชดเชยพลังงานที่แหล่งให้ความร้อนของวัสดุตัวอย่าง จะได้พีคของการดูดความร้อนทางด้านบวกของเส้น baseline
- กรณีที่วัสดุตัวอย่างเกิดการคายความร้อน : แหล่งให้ความร้อนของวัสดุตัวอย่างจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ระบบจะทำการชดเชยพลังงานไปที่แหล่งให้ความร้อนของวัสดุอ้างอิง จะได้พีคของการคายความร้อนทางด้านลบของเส้น baseline (อัมพวัน, 2551)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุดิบ
 - 1.1 อ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี 50
2. เครื่องมือและอุปกรณ์
 - 2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับผลิตน้ำอ้อยเข้มข้นและน้ำอ้อยพร้อมดื่ม
 - 2.1.1 เครื่องชุดผิวอ้อย บริษัทอุตสาหกรรมน้ำตาล ที.เอ็น. จำกัด ประเทศไทย (ดังภาพผนวกที่ ก1)
 - 2.1.2 เครื่องคั้นน้ำอ้อย ร้าน โง้วฮวดหุย ประเทศไทย (ดังภาพผนวกที่ ก2)
 - 2.1.3 เครื่องพาสเจอร์ไรซ์และยูเอชที ยี่ห้อ MicroThermics รุ่น Development S-Series (ดังภาพผนวกที่ ก3)
 - 2.1.4 เครื่องระเหยภายใต้ความดันสูญญากาศ ยี่ห้อ Hisaka รุ่น REV-T (ดังภาพผนวกที่ ก4)
 - 2.1.5 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อ SORVALL รุ่น RC5C PLUS (ดังภาพผนวกที่ ก5)
 - 2.1.6 ขวดแก้วและฝา
 - 2.1.7 ถังกรอง
 - 2.1.8 กระดาษกรอง ยี่ห้อ Whatman เบอร์ 4 (ความละเอียด 20 – 25 ไมครอน)
 - 2.1.9 โถกรอง และ ขวดกรอง (ดังภาพผนวกที่ ก6)
 - 2.1.10 อุปกรณ์เครื่องครัว
 - 2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ
 - 2.1.11 เทอร์โมมิเตอร์
 - 2.1.12 Digital refractometer ยี่ห้อ HANNA รุ่น HI 96801 (ดังภาพผนวกที่ ก7)
 - 2.1.13 เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Minolta รุ่น mini scan XE (ดังภาพผนวกที่ ก8)
 - 2.1.14 เครื่องวัดแคลอรีแบบดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง (Differential scanning calorimeter; DSC) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น DSC 1 (ดังภาพผนวกที่ ก9)
 - 2.1.15 pH Meter ยี่ห้อ JENCO (ดังภาพผนวกที่ ก10)

- 2.1.16 Hydrometer ยี่ห้อ Nikkei Nihon (ดังภาพผนวกที่ ก11)
- 2.1.17 อุปกรณ์เครื่องแก้วงานวิทยาศาสตร์
- 2.1.18 เครื่องชั่ง 2 และ 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น PA 2102

2.2 อุปกรณ์วิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส

- 2.2.1 อุปกรณ์ทดสอบชิม
- 2.2.2 แบบทดสอบ (ดังแสดงตัวอย่างในภาคผนวก ข)

3. สารเคมี

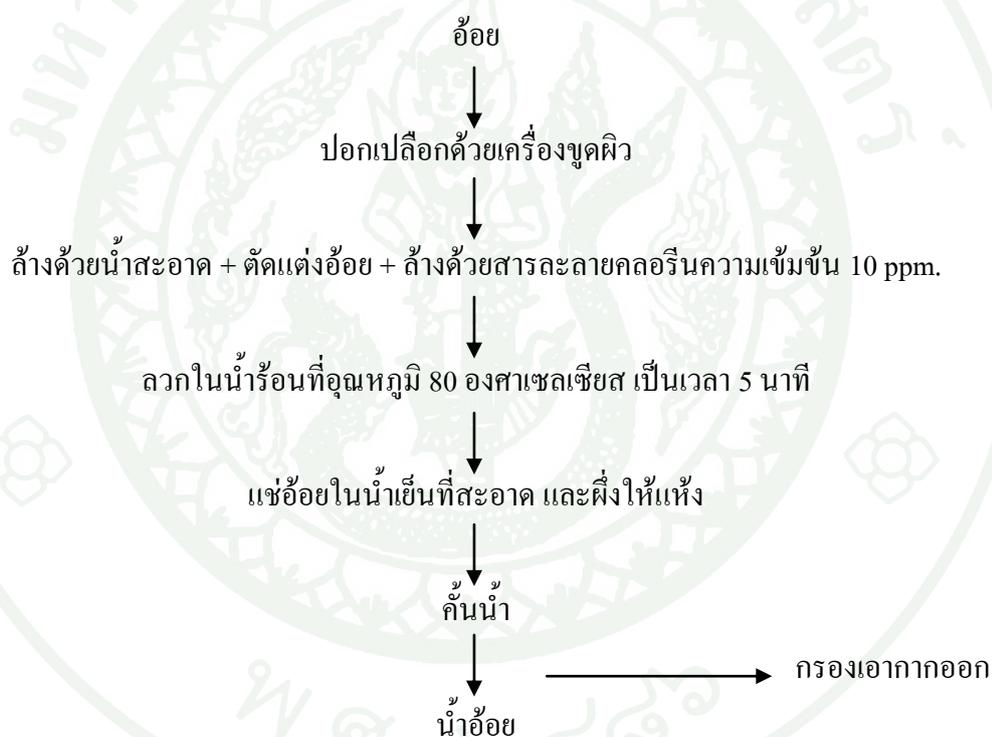
- 3.1 กรดแอสคอร์บิก บริษัท Ajax finechem
- 3.2 กรดซิตริก บริษัท Ajax finechem
- 3.3 กรดฟอสฟอริก ห้างหุ้นส่วนจำกัดควอลิเทค เคมีคอล (ไทยแลนด์)
- 3.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ บริษัท Ajax finechem
- 3.5 คลอรีน ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี-ริน เคมีคอล
- 3.6 เอนไซม์โปรตีเอส บริษัท อีสต์เอเชียติก (ประเทศไทย) จำกัด
- 3.7 เอนไซม์อะไมเลส บริษัท อีสต์เอเชียติก (ประเทศไทย) จำกัด
- 3.8 เบนโตรไนท์ บริษัท อีสต์เอเชียติก (ประเทศไทย) จำกัด
- 3.9 กัวร์กัม บริษัท กฤติยา รอยัล จำกัด
- 3.10 เจลแลนกัม ยี่ห้อ Kelcogel ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.11 ซีเอ็มซี (Carboxy methyl cellulose) บริษัทเคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด

4. เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ผลทางสถิติ

- 4.1 คอมพิวเตอร์
- 4.2 โปรแกรม SPSS version 16.0
- 4.3 โปรแกรม Statistica version 5.0

วิธีการ

กระบวนการเตรียมน้ำอ้อยสดในงานวิจัยนี้เป็นไปตามวิธีของ Songsermpong & Jittanit (2010) ดังภาพที่ 1 โดยนำอ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี 50 มาปอกเปลือกด้วยเครื่องขูดผิว ล้างด้วยน้ำสะอาด 1 ครั้ง ตัดแต่งอ้อยโดยตัดปลายอ้อยทั้ง 2 ด้านและส่วนที่เน่าเสีย (ไส้แดง) ออก ตัดอ้อยเป็นท่อนๆ ให้มีความยาวประมาณ 50 เซนติเมตร ล้างน้ำสะอาดอีกครั้ง แล้วล้างด้วยสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 10 ppm. หลังจากนั้นนำไปลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงแช่ลงในน้ำเย็นที่สะอาด ผึ่งให้แห้ง คั้นด้วยเครื่องคั้นน้ำอ้อย กรองแยกกากออกด้วยผ้าขาวบาง



ภาพที่ 1 กระบวนการเตรียมน้ำอ้อยสด

1. การศึกษากระบวนการผลิตน้ำอ้อยเข้มข้น

นำน้ำอ้อยไปทำให้เข้มข้นโดยใช้เครื่องระเหยภายใต้ความดันสูญญากาศ ตั้งค่าอุณหภูมิตัวกลางที่ใช้ในการให้ความร้อน (น้ำร้อน) ที่ 70 องศาเซลเซียส และความดันสูญญากาศ 70 เซนติเมตรปรอท โดยระหว่างการระเหยมีการตรวจเช็คค่าความเข้มข้นของน้ำอ้อยด้วยการนำน้ำอ้อยที่ได้จากการระเหยมาวัดค่าความเข้มข้นด้วย Digital refractometer หลังจากที่ได้ระดับความเข้มข้นตามที่ต้องการแล้วจึงนำไปพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ด้วยการต้ม จากนั้นนำน้ำอ้อยเข้มข้นบรรจุในขวดที่ผ่านการฆ่าเชื้อโดยการบรรจุร้อน ในการทดลองได้ทำการผลิตน้ำอ้อยเข้มข้นพาสเจอไรซ์ทั้งหมด 4 ชุด โดยมีระดับความเข้มข้นใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วงระหว่าง 69 – 74.4 องศาบริกซ์ (เนื่องจากเป็นความเข้มข้นสูงสุดที่เครื่องระเหยภายใต้ความดันสูญญากาศสามารถระเหยได้) นั่นคือ ที่ความเข้มข้น 69 องศาบริกซ์ 72 องศาบริกซ์ 73 องศาบริกซ์ และ 74.4 องศาบริกซ์ ตัวอย่างน้ำอ้อยส่วนหนึ่งจะถูกนำไปตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและตัวอย่างที่เหลือจะถูกเก็บรักษาไว้ภายใต้สภาวะแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ยกเว้นตัวอย่างที่มีความเข้มข้น 72 องศาบริกซ์ จะทดลองเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำอ้อยเข้มข้นทั้ง 4 ความเข้มข้นที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ

น้ำอ้อยเข้มข้นที่ผลิตได้มีการนำมาศึกษาในด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

1.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา จากการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของน้ำอ้อยเข้มข้นพาสเจอไรซ์ในด้าน pH ค่าสี และ คุณภาพด้านประสาทสัมผัส ผู้วิจัยได้ตรวจสอบคุณภาพในด้านเหล่านี้ เนื่องจากการเน่าเสียของน้ำอ้อยจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางในด้าน pH ค่าสี และ คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของน้ำอ้อยได้ รายละเอียดของวิธีการตรวจสอบแสดงในภาคผนวกที่ ข โดยในการตรวจสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสจะทำการเจือจางน้ำอ้อยให้มีระดับความเข้มข้นที่ 16 องศาบริกซ์ ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำอ้อยสดที่วางขายในท้องตลาด

1.2 ตรวจสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำอ้อยเข้มข้นที่ 72 องศาบริกซ์ ซึ่งเก็บที่อุณหภูมิห้อง โดยตรวจเชื้อ ยีสต์รา จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (วิธีการตรวจสอบจุลินทรีย์แสดงในภาคผนวกที่ ข) โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์ตามที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนดค่ามาตรฐานของน้ำผลไม้เข้มข้นไว้

1.3 สร้างสมการทำนายค่าความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิต่างๆ เนื่องจากค่าความร้อนจำเพาะเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของอาหารที่มีความสำคัญต่องานทางวิศวกรรมกระบวนการแปรรูปอาหารที่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การให้ความร้อนและการทำให้เย็น โดยค่าความร้อนจำเพาะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณพลังงานความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของอาหารหรือปริมาณพลังงานความร้อนที่ต้องดึงออกเพื่อลดอุณหภูมิของอาหาร รวมทั้งมีผลต่อขนาดเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหารด้วย ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองหาค่าความร้อนจำเพาะที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้เครื่องวัดแคลอรีแบบดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง (Differential scanning calorimeter; DSC) ในการหาค่าแล้วทำการคำนวณ ดังตัวอย่างในภาคผนวก ค และนำผลการทดลองมาสร้างเป็นสมการเพื่อใช้ในการทำนายค่าความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิต่างๆ ซึ่งสมการดังกล่าวทางภาคอุตสาหกรรมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

โดยนำน้ำอ้อยเข้มข้นมาเจือจางที่ความเข้มข้น 15-65 องศาบริกซ์ แล้วนำไปวัดค่าความร้อนจำเพาะ ด้วยเครื่องวัดแคลอรีแบบดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง โดยตั้งโปรแกรมการทดลองที่อุณหภูมิเริ่มต้น 35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสุดท้ายที่ 75 องศาเซลเซียส โดยให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 20 องศาเซลเซียสต่อนาที (การทดลองนี้ถูกดัดแปลงมาจากวิธีของ Manohar, 1990) นำค่าที่ได้จากการทดลองมาใช้สร้างสมการทำนายค่าความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยในรูปฟังก์ชันของความเข้มข้นและ อุณหภูมิ สำหรับวิธีการวัดและคำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะถูกแสดงในภาคผนวก ค

1.4 สร้างสมการทำนายค่าความหนาแน่นของน้ำอ้อย เนื่องจากความหนาแน่นของอาหารเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่มีความสำคัญสำหรับการคำนวณทางวิศวกรรมกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (Thermal diffusivity) ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ และการหามวลของอาหารเมื่อทราบปริมาตร เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองหาค่าความหนาแน่นของน้ำอ้อยที่ความเข้มข้นต่างๆ และสร้างสมการจากผลการทดลองเพื่อใช้ทำนายค่าความหนาแน่นของน้ำอ้อยที่ความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งสมการดังกล่าวจะเป็นประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมอาหารและงานวิจัยต่อไปในอนาคต

โดยในการทดลองใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดค่าความหนาแน่นของน้ำอ้อยที่ความเข้มข้น 15-65 องศาบริกซ์ โดยนำน้ำอ้อยปริมาณ 70 มิลลิลิตร ใส่ในกระบอกตวง 100 มิลลิลิตร แล้วนำไฮโดรมิเตอร์จุ่มลงในน้ำอ้อยเข้มข้นที่ต้องการวัดค่าความหนาแน่น ปล่อยให้ไฮโดรมิเตอร์ จมลงในของเหลว จนกระทั่งหยุดนิ่ง จึงอ่านค่าความหนาแน่น จากระดับตัวเลข บนแท่งไฮโดรมิเตอร์ และ

นำค่าที่ได้จากการทดลองมาใช้สร้างสมการทำนายค่าความหนาแน่นของน้ำอ้อย ในรูปฟังก์ชันของความเข้มข้น สำหรับการวัดค่าความหนาแน่นของน้ำอ้อยจะทำทั้งหมด 3 ซ้ำ

2. การศึกษากระบวนการผลิตน้ำอ้อยพร้อมดื่ม

2.1 การศึกษาเบื้องต้น

2.1.1 เปรียบเทียบระหว่างการใช้อ้อยสดกับอ้อยแช่แข็งในการผลิตน้ำอ้อยยูเอชที เนื่องจากการเพาะปลูกอ้อยสามารถเก็บเกี่ยวอ้อยได้เพียงปีละหนึ่งครั้ง จึงทำให้ต้องใช้พื้นที่มากในการเก็บอ้อยและต้องใช้กำลังผลิตในช่วงเก็บเกี่ยวสูง ซึ่งถ้าสามารถนำอ้อยเก็บแช่แข็งไว้มาแปรรูปเป็นน้ำอ้อยพร้อมดื่มได้ จะเป็นการช่วยลดพื้นที่ กำลังการผลิต ขนาดเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต และสามารถผลิตน้ำอ้อยได้ตลอดทั้งปี

ในการทดลองนำอ้อยมาปอกเปลือกด้วยเครื่องขูดผิว ล้างด้วยน้ำสะอาด 1 ครั้ง ตัดแต่งอ้อยโดยตัดปลายอ้อยทั้ง 2 ด้านและส่วนที่เน่าเสีย (ไส้แดง) ออก ตัดอ้อยเป็นท่อนๆ ให้มีความยาวประมาณ 50 เซนติเมตร ล้างน้ำสะอาดอีกครั้ง แล้วล้างด้วยน้ำคลอรีนความเข้มข้น 10 ppm แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ส่วนอ้อยสดนำมาปอกเปลือกด้วยเครื่องขูดผิว ล้างด้วยน้ำสะอาด 1 ครั้ง ตัดแต่งอ้อยโดยตัดปลายอ้อยทั้ง 2 ด้านและส่วนที่เน่าเสีย (ไส้แดง) ออก ตัดอ้อยเป็นท่อนๆ ให้มีความยาวประมาณ 50 เซนติเมตร ล้างน้ำสะอาดอีกครั้ง แล้วล้างด้วยน้ำคลอรีนความเข้มข้น 10 ppm แล้วจึงนำอ้อยทั้ง 2 ชุดดังกล่าวไปลวกในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แช่ลงในน้ำเย็นที่สะอาด ผึ่งให้แห้ง คั้นด้วยเครื่องคั้นน้ำอ้อย กรองด้วยถุงกรองแยกกากออก ปรับน้ำอ้อยมาให้ความหวาน 12 องศาบริกซ์ ฆ่าเชื้อด้วยเครื่องพาสเจอร์ไรซ์ และยูเอชทีที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เวลา 4 วินาที บรรจุลงในขวดที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว นำมาเปรียบเทียบคุณภาพในด้าน ปริมาณของแข็งทั้งหมด pH และสี (จากการสังเกตด้วยตา) กับน้ำอ้อยสด

2.1.2 ศึกษาการแต่งกลิ่นรสและสภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธียูเอชที เนื่องจากการฆ่าเชื้อด้วยวิธียูเอชทีจะใช้ความร้อนสูง เป็นผลทำให้สูญเสียกลิ่นรสของน้ำอ้อยสดไป จึงได้มีแนวคิดที่จะเติมแต่งกลิ่นรสลงในน้ำอ้อยยูเอชทีเพื่อให้มีกลิ่นรสที่ใกล้เคียงน้ำอ้อยสด และโดยทั่วไปจะพบว่าน้ำอ้อยสดมีค่า pH สูงกว่า 4.5 แสดงให้เห็นว่าน้ำอ้อยเป็นเครื่องดื่มที่มีความเป็นกรดต่ำ ซึ่งเสี่ยงต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค จึงจำเป็นต้องนำน้ำอ้อยไป

ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อเพื่อยืดอายุให้น้ำอ้อย โดยในที่นี้เลือกสภาวะในการฆ่าเชื้อที่มี $F_0 \geq 4$ นาที ซึ่งสูงกว่าค่า Minimum requirement ($F_0 \geq 3$ นาที) สำหรับอาหารที่เป็นกรดต่ำตามคำแนะนำของ Lewis (2003)

ในการทดลองนำน้ำอ้อยมาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเติมกลีโคส sugar ซึ่งจัดหามาให้โดยบริษัทอุตสาหกรรมน้ำตาลที่เอ็นจำกัด และอีกส่วนไม่เติมกลีโคส นำน้ำอ้อยที่ได้มาทำการฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง พาสเจอร์ไรซ์และยูเอชที 2 สภาวะคือ ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เวลา 4 วินาที และที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เวลา 10 วินาที ซึ่งทั้ง 2 สภาวะดังกล่าวมีค่า $F_0 \geq 4$ นาที แล้วบรรจุลงในขวดที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว นำไปตรวจคุณภาพของน้ำอ้อยยูเอชทีในด้าน ปริมาณของแข็งทั้งหมด, pH, สี และ คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

2.2 การทดลองเบื้องต้นในการแก้ปัญหาสีและกำจัดตะกอนของน้ำอ้อย

จากการศึกษาเบื้องต้นในหัวข้อ 2.1 พบว่านอกจากน้ำอ้อยยูเอชทีจะมีปัญหาเรื่องสีและตะกอน จึงมีการศึกษาทดลองแก้ปัญหาหลายแนวทาง เพื่อตอบสนองความต้องการของบริษัทอุตสาหกรรมน้ำตาล ที่ เอ็น จำกัด ดังนี้

2.2.1 การเติมกรดแอสคอร์บิก เนื่องจากมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งระบุว่ากรดแอสคอร์บิก สามารถลดการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำอ้อยในระหว่างการเก็บรักษา เพราะกรดแอสคอร์บิกเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) สามารถจับกับออกซิเจนได้ง่าย ดังนั้นจึงสามารถช่วยป้องกันไม่ให้ออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยากับอาหาร อันจะเป็นเหตุให้คุณภาพของอาหารทางด้านสี กลิ่น รสชาติเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเก็บเช่น Mao *et al.* (2006) ได้เติมกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ลงในน้ำอ้อยและพบว่ากรดแอสคอร์บิกในน้ำอ้อยมีผลสำคัญในการช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของน้ำอ้อยในระหว่างการเก็บรักษา จึงได้นำแนวคิดนี้มาทดลองปรับใช้กับน้ำอ้อย

ในการทดลองแบ่งน้ำอ้อยออกเป็น 4 ส่วน เติมกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 นำไปผ่านความร้อนโดยต้มให้เดือด (แทนการฆ่าเชื้อ) กรองตะกอนออกด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 และชั่งน้ำหนักตะกอน หลังจากนั้นนำน้ำอ้อยที่ได้มาวัดคุณภาพของน้ำอ้อยในด้านสี และ pH (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

2.2.2 การให้ความร้อนเบื้องต้น เนื่องจากมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งระบุว่า การเกิดตะกอนในน้ำผลไม้มีผลมาจากกระบวนการให้ความร้อนซึ่งทำให้เกิดการเสื่อมสภาพทางโปรตีน (นิธิยา, 2544) จึงได้มีแนวคิดที่จะให้ความร้อนเบื้องต้นแก่น้ำอ้อยเพื่อให้ น้ำอ้อยตกตะกอนแล้วแยกตะกอนดังกล่าวออกไป ก่อนนำน้ำอ้อยส่วนที่เหลือไปผ่านกระบวนการยูเอชที

ในการทดลองแบ่งน้ำอ้อยออกเป็น 3 ส่วนๆละ 100 มิลลิลิตร แล้วให้ความร้อนด้วยแผ่นความร้อน (Hot plate) จนมีอุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วกรองแยกตะกอนออกด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 เพื่อนำมาชั่งน้ำหนัก รวมทั้งนำน้ำอ้อยที่ได้หลังจากแยกตะกอนมาวัดคุณภาพของน้ำอ้อยในด้านสี นอกจากนี้ก็นำน้ำอ้อยที่ได้ไปให้ความร้อนอีกครั้งเพื่อดูปริมาณตะกอน (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

2.2.3 การใช้เอนไซม์ช่วยย่อยตะกอนเพื่อให้ตะกอนมีขนาดเล็กลงและตกตะกอนได้ เนื่องจากมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งได้ใช้เอนไซม์ช่วยในการย่อยตะกอนในน้ำผลไม้ ทำให้ตะกอนมีขนาดเล็กและสามารถแขวนลอยได้ (อมรรัตน์, 2545) เพื่อลดปัญหาเรื่องตะกอนงานวิจัยนี้จึงได้ทดลองนำเอนไซม์มาช่วยในการแก้ปัญหาเรื่องตะกอน โดยองค์ประกอบหลักของตะกอนน้ำอ้อยเป็นโปรตีน จึงได้นำเอนไซม์โปรตีเอสมาช่วยย่อยโปรตีนในน้ำอ้อย

ในการทดลองนำน้ำอ้อยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน แล้วเติมเอนไซม์โปรตีเอส ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.01, 0.03 และ 0.05 ต้มให้เดือดแล้วกรองน้ำอ้อยที่ได้ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 นำน้ำอ้อยที่ได้มาวัดคุณภาพของน้ำอ้อยในด้านสี และ pH นอกจากนี้ก็นำน้ำอ้อยที่ได้ไปให้ความร้อนอีกครั้งเพื่อดูปริมาณตะกอน (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

2.2.4 การปั่นเหวี่ยงน้ำอ้อย เนื่องจากการปั่นเหวี่ยง (centrifugation) เป็นกระบวนการที่อาศัยการหมุนด้วยความเร็วรอบสูงเพื่อให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เพื่อใช้แยกตัวอย่างของเหลวออกจากอนุภาคของแข็งขนาดเล็กหรือใช้เพื่อแยกของเหลวหลายๆชนิดที่มีความถ่วงจำเพาะต่างกันให้เกิดการแยกชั้น ซึ่งจัดว่าเป็นวิธีการเร่งให้อนุภาคตกตะกอนเร็วขึ้น จึงได้มีแนวคิดที่จะนำวิธีนี้มาใช้แยกตะกอนออกจากน้ำอ้อย

ในการทดลองนำน้ำอ้อยมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลวหลังจากปั่นเหวี่ยงมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 แล้วนำน้ำอ้อยส่วนที่

เป็นของเหลวหลังจากปั่นเหวี่ยงมาต้มให้เดือด และสังเกตว่ามีตะกอนหลงเหลืออีกหรือไม่ (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

2.2.5 การติดตั้งตัวกรอง (In – line filter) ในเครื่องพาสเจอร์ไรซ์และยูเอชที เนื่องจากในการทดลองเบื้องต้นพบว่าน้ำอ้อยเมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อนแล้วจะเกิดการตกตะกอน จึงได้มีแนวคิดที่จะกำจัดตะกอนโดยมีแนวทางมาจากอุตสาหกรรมเครื่องคั้นชุกาก้างที่ติดตั้งตัวกรองภายในเครื่องฆ่าเชื้อเพื่อกรองกากน้ำตาล ในการทดลองนำตัวกรอง (In-line filter) ขนาดความละเอียด 15 ไมครอน ไปติดตั้งในเครื่องพาสเจอร์ไรซ์และยูเอชที ณ ตำแหน่งภายหลังจากที่น้ำอ้อยผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนแล้ว เพื่อที่จะได้กรองตะกอนของน้ำอ้อยก่อนน้ำอ้อยจะถูกบรรจุลงภาชนะ

ในการทดลองนำน้ำอ้อยสดที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองแล้วมาทำการฆ่าเชื้อระดับยูเอชทีที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6.5 วินาที ($F_0 \geq 8$ นาที) ด้วยเครื่องพาสเจอร์ไรซ์และ ยูเอชทีที่มีการติดตั้งตัวกรอง (In – line filter) เรียบร้อยแล้ว โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำอ้อยที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวกับน้ำอ้อยที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่สภาวะเดียวกันโดยไม่ได้ติดตั้งตัวกรองภายในเครื่องฆ่าเชื้อ

2.2.6 การเติมสารไฮโดรคอลลอยด์และการโฮโมจิไนซ์ เนื่องจากผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะทดลองใช้สารไฮโดรคอลลอยด์แขวนลอยตะกอนของน้ำอ้อยที่เกิดขึ้นในน้ำอ้อยที่ถูกกรองแล้วผ่านกระบวนการทางความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อ โดยเลือกสารไฮโดรคอลลอยด์ที่นำมาใช้คือ CMC (Carboxy methyl cellulose) กัวร์กัม และ เจลแลนกัม ซึ่งเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีประจุลบมาจับกับโปรตีนที่มีประจุบวก และ ทำการโฮโมจิไนซ์เพื่อที่จะช่วยทำให้ตะกอนของน้ำอ้อยมีขนาดอนุภาคเล็กพอที่จะแขวนลอยอยู่ในน้ำอ้อยได้

ในการทดลองนำน้ำอ้อยที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 มาเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ 3 ชนิด คือ CMC (Carboxy methyl cellulose) กัวร์กัม และ เจลแลนกัม โดยใช้ CMC ปริมาณร้อยละ 0.3 กัวร์กัมปริมาณร้อยละ 0.2 และ เจลแลนกัมปริมาณร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Chulin *et al.* (2006)) คนให้ไฮโดรคอลลอยด์ละลายแล้วตั้งทิ้งไว้เพื่อสังเกตปริมาณตะกอนที่นอนก้น และนำน้ำอ้อยไปโฮโมจิไนซ์ที่ความดัน 3,000 Psi เพื่อให้ตะกอนของน้ำอ้อยมีอนุภาคเล็กลงแล้วแขวนลอยในน้ำอ้อยได้ หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้เพื่อดูปริมาณการตกตะกอน

2.2.7 การใช้สารช่วยตกตะกอน เนื่องจากการกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นภายหลังการให้ความร้อนน้ำอ้อยไม่สามารถกำจัดด้วยวิธีธรรมดา เช่น การกรอง หรือ การปั่นเหวี่ยงได้ นอกจากนี้ส่วนใหญ่ตะกอนที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน เช่น น้ำผลไม้ จะมีอนุภาคขนาดเล็กที่เกิดจากอนุภาคของสารประกอบคอลลอยด์ของเพคตินและ โปรตีน โดยเพคตินที่มีประจุลบจะห่อหุ้มโมเลกุลของโปรตีนซึ่งมีประจุบวกอยู่โดยรอบในช่วง pH ที่เป็นกรดของน้ำผลไม้ (Chen, 1993) จึงได้มีแนวคิดที่จะใช้วิธีทางเคมี โดยใช้สารเบนโทไนท์ที่เป็นสารช่วยตกตะกอนที่มีประจุลบทำให้จับกับโปรตีนแล้วตกตะกอน โดยโมเลกุลของโปรตีนทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างแผ่นโครงสร้างของเบนโทไนท์ ทำให้โครงสร้างของตะกอนใหญ่ขึ้นจึงตกตะกอน ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในการตกตะกอนไวน์ เพื่อให้ไวน์ใสขึ้น (อมรรัตน์, 2545)

ในการทดลองนำน้ำอ้อยมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 และเติมสารช่วยตกตะกอน นั่นคือ เบนโทไนท์ โดยนำเบนโทไนท์มาละลายในน้ำร้อน (1 กรัม/20 มล.) คนให้ละลาย แล้วเทลงในน้ำอ้อย คนให้เข้ากัน แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้เพื่อดูปริมาณการตกตะกอน และลักษณะปรากฏ (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

2.2.8 การปรับค่า pH เนื่องจากสภาวะความเป็นกรด-ด่าง จะทำให้อิทธิพลของบางชนิด โดยเฉพาะ โปรตีนที่แขวนลอยในน้ำอ้อยเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ (protein denaturation) เนตรนภิส (ม.ป.ป.) กล่าวว่า เมื่อมีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของของเหลวให้อยู่ที่จุดที่โปรตีนมีประจุเป็นศูนย์ หรือ ไม่มีประจุ หรือจุด isoelectric point ของโปรตีนนั้น แล้วใช้การกวนหรือเขย่า จะทำให้โปรตีนตกตะกอนออกมาได้ ตะกอนจึงไม่สามารถที่จะแขวนลอยได้อีก จึงได้มีแนวคิดที่จะนำน้ำอ้อยมาปรับค่า pH เพื่อให้เกิดการตกตะกอนและกรองตะกอนน้ำอ้อยก่อนจะทำการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

ในการทดลองนำน้ำอ้อยมาทดลองปรับค่า pH ด้วยกรดซิตริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยปรับค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ ต่างๆ ดังนี้ คือ 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0 และ 8.5 (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ) แล้วพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเพื่อตัดสินใจเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการช่วยเร่งการตกตะกอนในน้ำอ้อย เมื่อเกิดการตกตะกอนในน้ำอ้อย หลังจากปรับค่า pH แล้วดูปริมาณการตกตะกอนและทำการกรองตะกอนออกด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 แล้วเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน เพื่อสังเกตว่ายังเหลือตะกอนในน้ำอ้อยอีกมากน้อยเท่าใด

2.2.9 การปรับค่า pH ร่วมกับการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ในน้ำอ้อย เนื่องจากเมื่อนำน้ำอ้อยที่มีค่า pH 4.0 และ 4.5 มาผ่านการกรองเอาตะกอนออกแล้วเก็บไว้ น้ำอ้อยยังคงมีการตกตะกอนอยู่บ้างเมื่อผ่านการเก็บเป็นระยะเวลานาน จึงได้มีแนวคิดที่จะพยายามแขวนลอยตะกอนของน้ำอ้อยที่เหลือ และเพิ่มความคงตัวให้แก่ น้ำอ้อยโดยการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ลงไป

ในการทดลองนำน้ำอ้อยมาปรับกรดที่ค่า pH ในห้อยู่ระดับที่พอเหมาะที่จะตกตะกอน รอให้น้ำอ้อยตกตะกอน แล้วจึงกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 หลังจากนั้นนำน้ำอ้อยที่ได้จากการกรองมาเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ CMC ปริมาตรร้อยละ 0.3 และ กัวร์กัม ปริมาตรร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก (ดัดแปลงมาจากวิธีของ Chulin *et al.* (2006)) คนให้เข้ากัน การเติมไฮโดรคอลลอยด์มีจุดประสงค์เพื่อให้ตะกอนของน้ำอ้อยที่มีอนุภาคเล็กแขวนลอยในน้ำอ้อยได้สังเกตลักษณะปรากฏของน้ำอ้อยที่ได้ (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

2.3 เลือกวิธีแก้ปัญหาเรื่องตะกอนของน้ำอ้อยที่เหมาะสมมาใช้ในการทดลองผลิตน้ำอ้อยพร้อมดื่ม สรุปแนวทางการแก้ปัญหาเรื่องตะกอนในน้ำอ้อยจากผลการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมา แล้วประยุกต์ใช้ในการทดลองผลิตน้ำอ้อยพร้อมดื่ม โดยใช้การพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที (Bashyam *et al.* (2006)) แล้วนำน้ำอ้อยที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านสี เปรียบเทียบกับน้ำอ้อยยูเอชทีที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6.5 วินาที รวมทั้งตรวจวัดจำนวนโคลิฟอร์ม และเชื้อยีสต์รา และทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษากระบวนการผลิตน้ำอ้อยเข้มข้น

1.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาจากการตรวจคุณภาพทางกายภาพของน้ำอ้อยเข้มข้นพาสเจอร์ไรซ์ในด้านพีเอช ค่าสี และ คุณภาพด้านประสาทสัมผัส

จากการศึกษาคุณภาพทางกายภาพของน้ำอ้อยเข้มข้นที่ความเข้มข้นต่างๆ ณ ช่วงเวลาการเก็บรักษาต่างๆพบว่าค่าสีของน้ำอ้อยที่ผ่านกระบวนการทำให้เข้มข้นด้วยวิธีการระเหยภายใต้ความดันสูญญากาศน้ำอ้อยจะมีสีเหลืองขุ่นซึ่งแตกต่างจากน้ำอ้อยสดที่มีสีเหลืองอมเขียว ดูได้จากค่าสีของน้ำอ้อยเข้มข้นที่วัดได้ ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่า $a^*(-)$ ที่แสดงค่าสีเขียวลดลงกว่าค่าสีของน้ำอ้อยสด และ $b^*(+)$ ที่แสดงค่าสีเหลืองสูงกว่าน้ำอ้อยสด และน้ำอ้อยเข้มข้นที่เก็บไว้ในแต่ละช่วงเวลาพบว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าสี เป็นเพราะว่าในกระบวนการผลิตนี้ ได้ใช้ความร้อนในการระเหยน้ำออก จึงเป็นผลทำให้ความร้อนไปเร่งการทำปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโน หรือการระเหยน้ำออกอาจทำให้เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ในน้ำอ้อยเข้มข้นทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลหรือกับกรดอะมิโนเร็วขึ้นจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้เร็วยิ่งขึ้น หรืออาจเกิดปฏิกิริยาการไหม้ไหม้จากความร้อนไปสลายโมเลกุลของน้ำตาลให้แยกออก (thermolysis) และเกิดพอลิเมอร์ไลเซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล และเมื่อเก็บรักษาน้ำอ้อยเข้มข้นไว้ทั้งในที่อุณหภูมิ -20°C และที่อุณหภูมิห้อง พบว่าค่าสีที่วัดได้ของน้ำอ้อยเข้มข้นเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจเนื่องมาจากในขณะที่เก็บรักษาน้ำอ้อยเข้มข้นไว้ทั้งในที่อุณหภูมิ -20°C และที่อุณหภูมิห้อง ยังคงมีการทำงานของเอนไซม์ในน้ำอ้อยเข้มข้นอยู่ แต่การเก็บน้ำอ้อยเข้มข้นที่อุณหภูมิต่ำ จะช่วยให้การทำงานของเอนไซม์ในน้ำอ้อยเข้มข้นดำเนินไปอย่างช้าๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของน้ำอ้อยน้อยกว่าการเก็บน้ำอ้อยที่อุณหภูมิสูง (Manzocco *et al.*, 1999; Xu, 2005)

เมื่อเก็บน้ำอ้อยเข้มข้นแช่แข็งเป็นระยะเวลา 6 เดือน และนำมาทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้วยแบบทดสอบการให้คะแนนตามความชอบ 9 ระดับ (Hedonic Test) โดยนำน้ำอ้อยไปเจือจางให้มีความเข้มข้นเท่ากับน้ำอ้อยสด 16°Brix และใช้ผู้ทดสอบจำนวน 31 คน (ในการทดสอบไม่ได้นำน้ำอ้อยเข้มข้นที่ 72°Brix ซึ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องมาใช้ทดสอบด้วย เนื่องจากผู้ทดลองยังไม่มั่นใจในเรื่องของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำอ้อยเข้มข้นที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง เพราะขณะนั้น

รอฟผลการตรวจวิเคราะห์อยู่) จากการทดลองพบว่า น้ำอ้อยเข้มข้นที่ 69 และ 73 °บริกซ์ จะมีคะแนนในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และ ความชอบ โดยรวม ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากน้ำอ้อยสด แต่น้ำอ้อยเข้มข้นที่ 74.4 °บริกซ์ จะมีคะแนนรสชาติและความชอบ โดยรวมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากน้ำอ้อยสดและน้ำอ้อยเข้มข้นอื่นๆ ดังตารางที่ 7 การที่คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของน้ำอ้อยเข้มข้นที่ 74.4 °บริกซ์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกว่าน้ำอ้อยอื่นๆ เป็นเพราะน้ำอ้อยเข้มข้นที่ 74.4 °บริกซ์ จะใช้เวลาและให้ความร้อนในการระเหยน้ำนานกว่าน้ำอ้อยที่ความเข้มข้นอื่นๆ ทำให้กลิ่นรสของน้ำอ้อยระเหยออกไปมาก จึงทำให้กลิ่นรสของน้ำอ้อยแตกต่างไปจากน้ำอ้อยที่ความเข้มข้นอื่นๆ



ตารางที่ 6 ค่าสีและ pH ของน้ำอ้อยเข้มข้นที่ความเข้มข้นและระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ ภายใต้สภาวะแช่แข็งและอุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้น (°บrix)	เดือนที่	อุณหภูมิการ เก็บรักษา (°C)	L*	a*	b*	ΔE	pH
69	0	-20	47.69 ^{b,c} ± 0.73	0.25 ^c ± 0.48	46.32 ^a ± 1.26	-	4.66 ± 0.00
	2		48.62 ^{a,b} ± 0.38	-0.16 ^c ± 0.36	44.74 ^a ± 1.77	1.76	
	5		49.63 ^a ± 1.18	-0.74 ^d ± 0.35	41.51 ^b ± 1.27	5.19	
	7		47.71 ^{b,c} ± 0.61	0.93 ^b ± 0.17	46.01 ^a ± 2.07	0.79	
	10		45.03 ^d ± 0.61	1.67 ^a ± 0.17	44.03 ^{a,b} ± 1.19	3.97	
	13		46.61 ^c ± 0.40	-1.26 ^d ± 0.22	44.13 ^{a,b} ± 0.04	2.98	
72	0	อุณหภูมิห้อง	35.33 ^{a,b} ± 0.82	6.91 ^b ± 0.12	42.06 ^a ± 1.41	-	4.68 ± 0.00
	3		35.00 ^b ± 0.96	8.13 ^a ± 0.35	42.66 ^a ± 0.97	1.40	
	6		36.32 ^a ± 0.47	5.10 ^c ± 0.23	43.46 ^a ± 0.41	2.63	
73	0	-20	32.68 ^b ± 0.41	4.27 ^{a,b} ± 0.47	39.28 ^c ± 0.25	-	4.71 ± 0.00
	1		40.61 ^a ± 1.46	5.41 ^{a,b} ± 0.80	51.63 ^a ± 0.58	14.71	

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ความเข้มข้น (°ปริกซ์)	เดือนที่	อุณหภูมิการเก็บ รักษา (°C)	L*	a*	b*	ΔE	pH
73	4	-20	44.85 ^a ± 2.30	2.99 ^b ± 1.66	47.35 ^{a,b} ± 3.11	14.65	4.71 ± 0.00
	6		40.38 ^a ± 0.80	6.27 ^a ± 1.14	49.46 ^{a,b} ± 2.65	12.91	
	9		44.38 ^a ± 1.96	5.26 ^{a,b} ± 1.84	48.33 ^b ± 0.90	14.82	
74.4	0	-20	41.17 ^a ± 0.58	5.37 ^b ± 0.22	50.89 ^a ± 0.22	-	4.70 ± 0.00
	5		44.24 ^a ± 3.64	2.99 ^c ± 1.27	41.51 ^d ± 1.27	10.16	
	7		35.78 ^b ± 0.63	8.60 ^a ± 0.92	46.60 ^{b,c} ± 0.92	7.61	
	9		35.77 ^b ± 0.58	7.93 ^a ± 1.90	45.57 ^c ± 1.90	8.60	
	12		41.15 ^a ± 0.02	2.39 ^c ± 1.37	48.02 ^b ± 1.37	4.14	
น้ำอ้อยสด	0	อุณหภูมิห้อง	55.04 ± 0.22	-3.26 ± 0.04	22.98 ± 0.09	-	4.9 ± 0.00

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันสำหรับตัวอย่างที่มีความเข้มข้นเดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p > 0.05)

$$\Delta E^* \text{ คำนวณได้จากสูตร } \Delta E^* = \sqrt{(L^*_{\text{ที่เวลาต่างๆ}} - L^*_{\text{ที่เวลา0}})^2 + (a^*_{\text{ที่เวลาต่างๆ}} - a^*_{\text{ที่เวลา0}})^2 + (b^*_{\text{ที่เวลาต่างๆ}} - b^*_{\text{ที่เวลา0}})^2}$$

ตารางที่ 7 คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของน้ำอ้อยที่ความเข้มข้นต่างๆ หลังจากการเก็บรักษาที่สภาวะแช่แข็งนาน 6 เดือน แล้วนำมาเจือจางที่ระดับความเข้มข้น 16 °บริกซ์ เทียบกับน้ำอ้อยสด

คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส	น้ำอ้อยสด	น้ำอ้อย 69 °บริกซ์	น้ำอ้อย 73 °บริกซ์	น้ำอ้อย 74.4 °บริกซ์
ลักษณะปรากฏ	6.55 ^a ± 1.48	6.06 ^a ± 1.82	6.23 ^a ± 1.57	6.58 ^a ± 1.75
สี	6.77 ^a ± 1.41	5.87 ^a ± 2.23	6.32 ^a ± 1.76	6.29 ^a ± 1.99
กลิ่น	6.1 ^a ± 2.12	5.58 ^a ± 1.69	5.35 ^a ± 1.91	5.39 ^a ± 2.53
รสชาติ	5.06 ^a ± 2.58	5.45 ^a ± 2.03	5.29 ^a ± 1.88	3.77 ^b ± 2.17
ความชอบโดยรวม	5.61 ^a ± 2.14	5.90 ^a ± 1.72	5.9 ^a ± 1.64	4.42 ^b ± 2.16

หมายเหตุ วัดคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ Hedonic scale test ที่ระดับความชอบ 9 ระดับ จากผู้ทดสอบทั้งหมด 31 คน ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

1.2 ตรวจสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำอ้อยเข้มข้น 72 °บริกซ์ ซึ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

สำหรับตัวอย่างน้ำอ้อยเข้มข้นที่ 72 °บริกซ์ ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์แล้วเก็บเป็นระยะเวลา 3 เดือนที่อุณหภูมิห้อง ได้นำมาตรวจสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำอ้อยเข้มข้น พบว่ามีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ไม่เกินค่ามาตรฐานของน้ำผลไม้เข้มข้นที่กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดไว้ ดังตารางที่ 8 แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาน้ำอ้อยเข้มข้น 72 °บริกซ์ ที่อุณหภูมิห้อง สามารถเก็บรักษาน้ำอ้อยไว้ได้อย่างปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ โดยที่ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำอ้อยเข้มข้น 72 °บริกซ์ ยังคงผ่านเกณฑ์ตามที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนดค่ามาตรฐานของน้ำผลไม้เข้มข้น และจากการตรวจเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี total plate count พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ ดังตารางที่ 8 ซึ่งเนื่องมาจากการผลิตน้ำอ้อยเข้มข้นได้ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดยวิธีการพาสเจอร์ไรซ์ ทำให้จุลินทรีย์โค้นความร้อนแล้วตายแต่สปอร์ของจุลินทรีย์จะทนความร้อนได้นานกว่าทำให้ยังคงหลงเหลือสปอร์ของจุลินทรีย์อยู่แต่ไม่อยู่ในสภาวะที่จะเจริญได้ และเมื่อนำมาเพาะเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อที่สภาวะเหมาะสมจะทำให้สปอร์ของจุลินทรีย์เจริญขึ้นมา

ตารางที่ 8 ผลการตรวจสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำอ้อยเข้มข้น 72 °บริกซ์ ซึ่งเก็บที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้น	ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	Total Plate Count (cfu/ml)	Yeast and Mold (cfu/ml)	MPN Coliforms/100 ml
72 °บริกซ์	0	1.6×10^3	<1	<1.1
	3	6.4×10^2	<1	<1.1
ค่ามาตรฐานของน้ำผลไม้เข้มข้น (กระทรวงสาธารณสุข)	-	ไม่ระบุ	0	น้อยกว่า 2.2/100 ml

1.3 สร้างสมการสำหรับทำนายค่าความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิต่างๆ

จากการทดลองหาค่าความร้อนจำเพาะด้วยเครื่องวัดแคลอรีแบบดิฟเฟอเรนเชียล พบว่าค่าความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยเข้มข้นจะลดลงเมื่อน้ำอ้อยมีค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้น และค่า

ความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 9 ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Manohar (1990)

อัมพวัน (2551) ได้กล่าวว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนจำเพาะคือส่วนประกอบของอาหาร, ความชื้น (น้ำ) และอุณหภูมิ ซึ่งจากการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่า เมื่อความเข้มข้นของน้ำอ้อยเพิ่มสูงขึ้นทำให้น้ำที่มีอยู่ในน้ำอ้อยถูกระเหยออกไปเหลือปริมาณน้อยลงเป็นผลให้ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยเข้มข้นลดลงไปด้วย และค่าความร้อนจำเพาะ คือ เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดการรับหรือสูญเสียต่อหนึ่งหน่วยมวลสาร และหนึ่งหน่วยอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น พบว่าค่าความร้อนจำเพาะจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Constenla *et al.* (1989) ทำการทดลองกับน้ำแอปเปิ้ลไซ; Zainal *et al.* (2000) ทำการทดลองกับน้ำฝรั่งสีชมพู; Tansakul and Lumyong (2008) ที่ทำการศึกษาค่าความร้อนจำเพาะของเห็ดฟาง พบว่าค่าความร้อนจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรงเมื่อปริมาณความชื้นและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

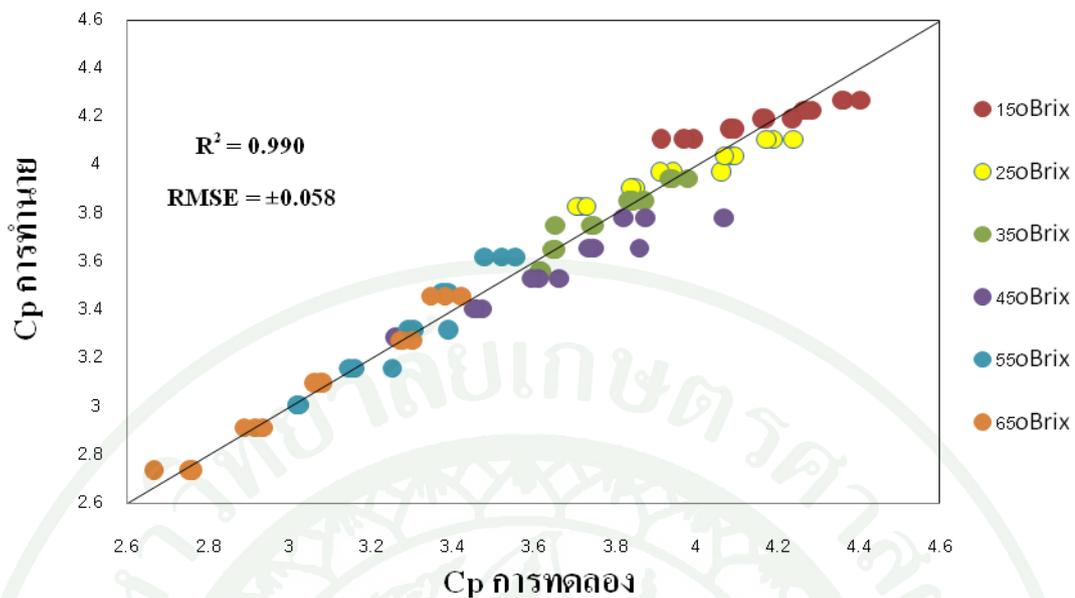
ผลการทดลองดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการสร้างสมการทำนายค่าความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยเข้มข้นที่ความเข้มข้นต่างๆและอุณหภูมิต่างๆ ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Manohar (1990) ดังสมการที่ 4 และ 5

$$C_p = C + MX_c \quad (4)$$

$$M = A + BT \quad (5)$$

โดยที่ M เป็นค่าความชื้นของสมการที่ (4) ที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ($^{\circ}C$), X_c เป็นค่าความเข้มข้นของน้ำอ้อยที่ความเข้มข้นต่างๆ ($^{\circ}$ บริกซ์) และ ค่า A , B และ C เป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ -0.037081, 0.000278 และ 4.514948 ตามลำดับ พบว่าสมการที่ได้จากการทดลองมีค่า R^2 เท่ากับ 0.990 และ Root mean square error (RMSE) เท่ากับ 0.058 แสดงให้เห็นว่าค่าความร้อนจำเพาะที่ได้จากการทำนายในแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงค่าความร้อนจำเพาะจากการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 2

จากการสร้างสมการเพื่อใช้ในการทำนายค่าความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยเข้มข้นที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆ พบว่า R^2 ที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 1 มาก และค่า RMSE เท่ากับ ± 0.058 แสดงถึงความแม่นยำของสมการที่ค่อนข้างสูง



ภาพที่ 2 ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยที่ได้จากการทดลองและจากการทำนายโดยสมการ

พ.ศ. ๒๕๖๖

ตารางที่ 9 ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยเข้มข้น (J/g°C)

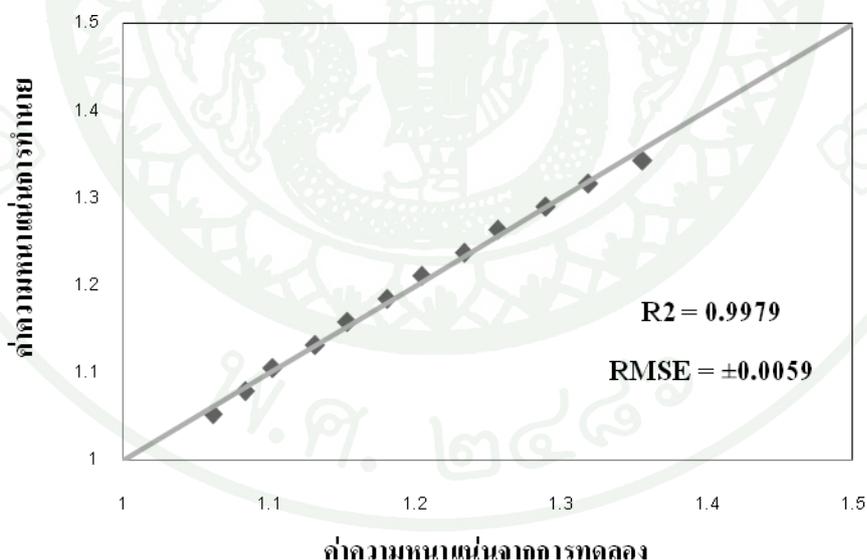
อุณหภูมิ (°ซ)	ความเข้มข้น (°บริกซ์)					
	15	25	35	45	55	65
35	3.993 ± 0.15	3.720 ± 0.02	3.614 ± 0.12	3.291 ± 0.02	3.023 ± 0.14	2.750 ± 0.01
45	4.089 ± 0.03	3.842 ± 0.01	3.645 ± 0.05	3.463 ± 0.05	3.160 ± 0.07	2.918 ± 0.01
55	4.171 ± 0.03	3.943 ± 0.00	3.745 ± 0.00	3.615 ± 0.09	3.295 ± 0.01	3.075 ± 0.03
65	4.267 ± 0.01	4.084 ± 0.02	3.831 ± 0.02	3.750 ± 0.09	3.383 ± 0.04	3.272 ± 0.03
75	4.366 ± 0.03	4.189 ± 0.03	3.938 ± 0.03	3.877 ± 0.02	3.522 ± 0.08	3.424 ± 0.02

1.4 สร้างสมการสำหรับทำนายค่าความหนาแน่นของน้ำอ้อยที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

จากการทดลองวัดค่าความหนาแน่นของตัวอย่างน้ำอ้อยโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ พบว่าค่าความหนาแน่นจะแปรผันตามความเข้มข้นของน้ำอ้อย นั่นคือเมื่อน้ำอ้อยมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงๆ ปริมาณของแข็งในน้ำอ้อยจะเพิ่มสูงขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นด้วย ดังตารางที่ 10 และจากผลการทดลองได้สร้างสมการสำหรับทำนายค่าความหนาแน่นของน้ำอ้อยที่ความเข้มข้นต่างๆ ในรูปของสมการเส้นตรง ดังสมการที่ 6

$$\rho = DX_c + E \quad (6)$$

โดยที่ค่า D และ E เป็นค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.005278 และ 0.973784 ตามลำดับ ส่วน X_c เป็นค่าความเข้มข้นของน้ำอ้อยที่ความเข้มข้นต่างๆ (°บrix) ซึ่งพบว่าสมการที่ได้จากการทดลอง เมื่อนำมาสร้างกราฟจะมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9979 และค่า RMSE เท่ากับ ± 0.0059 แสดงว่าค่าที่ได้จากการทำนายมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองมาก ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ค่าความหนาแน่นที่ได้จากการทดลองและการทำนายโดยสมการ

ตารางที่ 10 ค่าความหนาแน่นของน้ำอ้อยเข้มข้น

ความเข้มข้น (°บrix)	ค่าความหนาแน่น จากการทดลอง (kg/m ³)	ค่าความหนาแน่น จากการทำนาย (kg/m ³)
15	1.062 ± 0.00	1.053
20	1.084 ± 0.00	1.079
25	1.103 ± 0.00	1.106
30	1.132 ± 0.00	1.132
35	1.154 ± 0.00	1.158
40	1.181 ± 0.00	1.185
45	1.205 ± 0.00	1.211
50	1.234 ± 0.00	1.237
55	1.257 ± 0.00	1.264
60	1.290 ± 0.00	1.290
65	1.319 ± 0.00	1.317
70	1.356 ± 0.00	1.343

2. การศึกษากระบวนการผลิตน้ำอ้อยพร้อมดื่ม

2.1 การศึกษาเบื้องต้น

2.1.1 เปรียบเทียบระหว่างการใช้อ้อยสดกับอ้อยแช่แข็งในการผลิตน้ำอ้อยยูเอชที

จากการศึกษากระบวนการผลิตน้ำอ้อยพร้อมดื่ม โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้อ้อยสดกับอ้อยแช่แข็งในการผลิตน้ำอ้อยยูเอชที พบว่าน้ำอ้อยที่ได้มีลักษณะที่ขุ่นมากกว่าน้ำอ้อยที่ได้จากอ้อยสด และมีสีน้ำตาลแดง แต่ยังคงมีกลิ่นอ้อยเหลืออยู่จางๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการนำอ้อยไปแช่แข็งเป็นระยะเวลา 7 วัน ก่อนนำมาคั้นน้ำนั้น ทำให้เซลล์อ้อยเกิดการเสียหายจากกรรมวิธีต่างๆ เช่น การแช่แข็ง การละลายน้ำแข็ง และการแช่แข็งอ้อยโดยที่ไม่ได้ลวกก่อน มีผลให้เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสยังคงทำงานระหว่างกระบวนการแช่แข็งทำให้เกิด Enzymatic browning reaction และปฏิกิริยาเอนไซม์อื่นๆ (Manzocco et al., 1999; Eggleston et al. 2004; Xu, 2005) แต่เมื่อใช้อ้อยสดมาคั้นเป็นน้ำอ้อยพบว่าน้ำอ้อยที่ได้จะมีสีเหลืองอมเขียว เหมาะแก่การผลิต

น้ำอ้อยยูเอชทีมากกว่า จึงควรนำอ้อยที่สดมาใช้ในการผลิตน้ำอ้อยยูเอชที นอกจากนี้ยังมีการวัดค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดและค่า pH ของน้ำอ้อยดังกล่าว พบว่าน้ำอ้อยยูเอชทีที่ได้จากอ้อยสดและอ้อยแช่แข็งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการทดลองผลิตน้ำอ้อยยูเอชทีจะเห็นว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดและค่า pH จะมีค่าน้อยกว่าน้ำอ้อยสด อาจเนื่องมาจากน้ำที่มีค้างอยู่ในเครื่องยูเอชทีตอนกระบวนการล้างเครื่องทำให้น้ำอ้อยผสมกับน้ำที่มีอยู่ในเครื่อง ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (°บริกซ์) และ pH ของน้ำอ้อยสดและน้ำอ้อยที่คั้นมาจากอ้อยแช่แข็ง

ตัวอย่าง	Total solid (°บริกซ์)	pH
น้ำอ้อยสด	11.80 ^b	5.16 ^b
น้ำอ้อย UHT ที่คั้นจากอ้อยสด	11.00 ^a	4.82 ^a
น้ำอ้อย UHT ที่คั้นจากอ้อยแช่แข็ง	11.00 ^a	4.75 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2.1.2 ศึกษาการแต่งกลิ่นรส และ สภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธียูเอชที

จากการทดลองพบว่าหลังจากที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วน้ำอ้อยที่ได้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดไม่แตกต่างจากน้ำอ้อยสดอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่า pH ของน้ำอ้อยที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากในช่วงที่ทำการร่อนตัวอย่างไปผ่านการยูเอชทีที่อุณหภูมิที่อยู่ในน้ำอ้อยจะสร้างกรดทำให้ pH ของน้ำอ้อยลดลงได้ ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 Total solid (°Brix) และ pH ที่สภาวะต่างๆ

ตัวอย่าง	Total solid (°Brix)	pH
น้ำอ้อยสด	11.80 ^a ± 0.5	5.16 ^c ± 0.05
น้ำอ้อย UHT ที่ 140 °C 4 วินาที	12.10 ^a ± 0.4	4.97 ^b ± 0.04
น้ำอ้อย UHT ที่ 140 °C 4 วินาที เติม Flavor	11.87 ^a ± 0.5	4.53 ^a ± 0.01
น้ำอ้อย UHT ที่ 135 °C 10 วินาที	11.03 ^a ± 1.1	4.98 ^b ± 0.10
น้ำอ้อย UHT ที่ 135 °C 10 วินาที เติม Flavor	11.83 ^a ± 0.4	4.45 ^a ± 0.01

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าสีในตารางที่ 13 พบว่าน้ำอ้อยที่ผ่านการฆ่าเชือนั้น มีสีที่แตกต่างไปจากน้ำอ้อยสดไม่มากนัก ค่า a^* ที่สูงขึ้นแสดงว่า มีสีแดงที่เข้มขึ้น ความเป็นสีเขียวลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะความร้อนจากกระบวนการยูเอชที ไปเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งก็คือน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส ที่มีอยู่ประมาณ 2-4% กับกรดอะมิโนที่มีอยู่ในน้ำอ้อย (Romero et al., 2001) นอกจากนี้ความร้อนจากกระบวนการยูเอชทีอาจทำลายสารคลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ในน้ำอ้อยบางส่วนทำให้ความเป็นสีเขียวลดลง (Yusof et al., 2000)

กลิ่นรสที่เดิมในตัวอย่างน้ำอ้อยคือ กลิ่นน้ำตาล (Sugar) ซึ่งจัดหามาโดยบริษัทอุตสาหกรรมน้ำตาล ที.เอ็น. จำกัด จากการทดลองพบว่าตัวอย่างที่เติมกลิ่นรสนั้น เกิดกลิ่นน้ำตาลไหม้ปนอยู่ ซึ่งอาจเกิดจากกลิ่นรสที่เดิมลงไปไม่สามารถทนความร้อนในระดับการฆ่าเชื้อ (UHT) ได้

ตารางที่ 13 ค่าสีของน้ำอ้อยที่สภาวะต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	L*	a*	b*
น้ำอ้อยสด	34.55 ^b ± 0.3	2.92 ^a ± 0.1	18.43 ^b ± 0.1
I	32.84 ^{a,b} ± 2.7	4.19 ^b ± 0.4	19.22 ^c ± 0.5
II	32.05 ^{a,b} ± 0.8	4.50 ^b ± 0.1	18.22 ^{a,b} ± 0.1
III	30.57 ^a ± 1.5	4.22 ^b ± 0.2	18.59 ^{b,c} ± 0.5
IV	30.56 ^a ± 2.3	4.41 ^b ± 0.3	17.59 ^a ± 0.5

หมายเหตุ I หมายถึง น้ำอ้อย UHT ที่ 140 °C 4 วินาที
 II หมายถึง น้ำอ้อย UHT ที่ 140 °C 4 วินาที เดิมกลั่นรส
 III หมายถึง น้ำอ้อย UHT ที่ 135 °C 10 วินาที
 IV หมายถึง น้ำอ้อย UHT ที่ 135 °C 10 วินาที เดิมกลั่นรส
 ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า จากการรวมคะแนนของผู้ทดสอบทั้งหมด 20 คน น้ำอ้อยยูเอชทีที่ 140 °C 4 วินาที ได้รับคะแนนความชอบรวมสูงสุดคือ 7.05 คะแนน รองลงมาเป็น น้ำอ้อยยูเอชทีที่ 140 °C 4 วินาที เดิมกลั่นรสได้ 6.05 คะแนน น้ำอ้อยยูเอชทีที่ 135 °C 10 วินาที เดิมกลั่นรสได้ 5 คะแนน และ น้ำอ้อยยูเอชทีที่ 135 °C 10 วินาที ได้ 4.9 คะแนนตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการใช้อุณหภูมิสูงเวลาการฆ่าเชื้อสั้น ทำให้ช่วยคงคุณภาพของน้ำอ้อยไว้ได้ดีกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำกว่าและเวลานานกว่า

ตารางที่ 14 คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเฉลี่ย จากผู้บริโภครวมทั้งหมด 20 คน ในระดับความชอบ 9 ระดับ

การทดสอบ	ตัวอย่าง			
	I	II	III	IV
ลักษณะปรากฏ	6.65 ^b ± 1.6	5.85 ^{a,b} ± 1.8	4.9 ^a ± 1.3	5.05 ^a ± 1.6
สี	6.7 ^b ± 1.8	5.85 ^{a,b} ± 1.8	4.95 ^a ± 1.6	5.2 ^a ± 1.4
กลิ่น	6.85 ^b ± 1.7	5.4 ^a ± 1.8	4.85 ^a ± 2.1	5.35 ^a ± 2.3
เนื้อสัมผัส	6.4 ^a ± 1.1	6.3 ^a ± 1.3	5.8 ^a ± 1.3	5.6 ^a ± 1.2
รสชาติ	6.9 ^c ± 1.7	5.9 ^{b,c} ± 2.1	4.45 ^a ± 2.2	5.25 ^{a,b} ± 2.1
ความชอบรวม	7.05 ^c ± 1.4	6.05 ^b ± 1.4	4.9 ^a ± 1.5	5 ^a ± 1.5

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2.2 การทดลองเบื้องต้นในการแก้ปัญหาสีและกำจัดตะกอนของน้ำอ้อย

จากการศึกษาเบื้องต้นในหัวข้อ 2.1 พบว่านอกจากน้ำอ้อยยูเอชทีจะมีปัญหาเรื่องสีและตะกอนแล้ว น้ำอ้อยสดเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานานประมาณ 8-10 ชั่วโมง ก็พบว่าน้ำอ้อยจะเกิดการตกตะกอนนอนก้นอยู่ด้านล่างภาชนะ ถึงแม้ว่าน้ำอ้อยนั้นจะไม่ผ่านการให้ความร้อนใดๆ แต่ถ้าเก็บน้ำอ้อยไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส จะช่วยชะลอการตกตะกอนของน้ำอ้อยได้ แต่น้ำอ้อยก็ยังคงตกตะกอนอยู่ดี รวมทั้งสีของน้ำอ้อยสดจะเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองอมเขียวเป็นสีเหลือง ในการแก้ปัญหาเรื่องสีและตะกอนในน้ำอ้อยเพื่อสนองความต้องการของบริษัทน้ำตาล ที. เอ็น. จำกัดนั้น ได้มีแนวคิดหลายแนวทางโดยผลที่ได้จากแต่ละแนวทางมีดังนี้



ภาพที่ 4 น้ำอ้อยเมื่อตั้งทิ้งไว้ประมาณ 8-10 ชั่วโมง

2.2.1 การเติมกรดแอสคอร์บิก

จากผลการทดลองพบว่าค่าสีที่วัดได้จากตัวอย่างที่ผ่านการเติมกรดแอสคอร์บิกที่ร้อยละ 0.1 มีค่า ΔE^* ต่ำกว่าน้ำอ้อยที่เติมกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ ซึ่งใกล้เคียงกับสีของน้ำอ้อยสดมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณตะกอนของน้ำอ้อย พบว่าน้ำอ้อยที่ระดับความเข้มข้น 0.1, 0.2 และ 0.3 มีปริมาณตะกอนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนน้ำอ้อยสดที่ไม่ได้เติมกรดแอสคอร์บิก พบว่าจะมีปริมาณตะกอนน้อยกว่าน้ำอ้อยที่เติมกรดแอสคอร์บิก เพราะว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกลงไปให้น้ำอ้อยทำให้ pH ของน้ำอ้อยลดลงเป็นผลให้เกิดการตกตะกอน จากการทดลองจึงเลือกที่จะใช้การเติมกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ลงในน้ำอ้อยเพื่อรักษาสีของน้ำอ้อยหลังจากกระบวนการให้ความร้อนและในระหว่างการเก็บรักษา และยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ดังตารางที่ 15



ภาพที่ 5 ตัวอย่างน้ำอ้อยหลังจากการเติมกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วนำไปต้ม

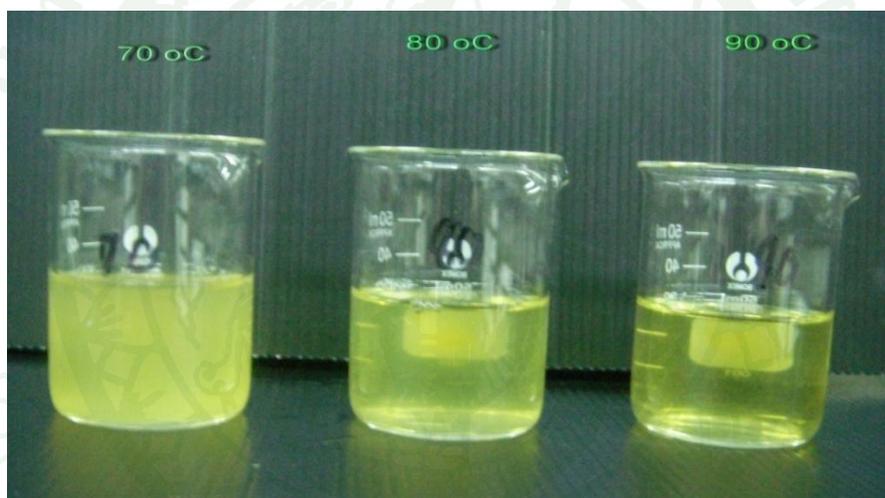
ตารางที่ 15 น้ำอ้อยหลังการเติมกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างๆแล้วให้ความร้อน

ปริมาณกรด แอสคอร์บิก(%)	ปริมาณตะกอน ของน้ำอ้อย (%)	ค่าสี			ΔE^*	pH
		L*	a*	b*		
0	11.44 ^b ± 1.25	45.71 ^b ± 1.62	-2.21 ^a ± 0.51	25.22 ^a ± 2.16	-	5.54 ^a ± 0.01
0.1	14.29 ^a ± 2.15	50.99 ^a ± 4.24	-2.82 ^b ± 0.42	23.34 ^a ± 1.73	5.64	5.02 ^b ± 0.01
0.2	14.14 ^a ± 0.72	53.03 ^a ± 1.82	-2.93 ^b ± 0.36	23.11 ^a ± 2.12	7.65	4.92 ^c ± 0.01
0.3	14.14 ^a ± 1.95	54.25 ^a ± 1.71	-3.14 ^b ± 0.17	22.7 ^a ± 0.91	8.93	4.76 ^d ± 0.01

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2.2.2 การให้ความร้อนเบื้องต้น

จากการทดลองพบว่าปริมาณตะกอนที่ได้จากการให้ความร้อนเบื้องต้นที่อุณหภูมิต่างๆ มีค่าที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส น้ำอ้อยจะตกตะกอนได้มากที่สุด ซึ่งเป็นผลให้น้ำอ้อยหลังจากการแยกตะกอนออกมีความใสกว่าน้ำอ้อยที่ผ่านการให้ความร้อนเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 80 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แต่สีของน้ำอ้อยที่มีการให้ความร้อนเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จะแตกต่างจากสีของน้ำอ้อยสดมากที่สุด ดังตารางที่ 16 อย่างไรก็ตามเมื่อนำน้ำอ้อยที่กรองแยกตะกอนออกแล้วนำไปให้ความร้อนด้วยการต้มให้เดือดแทนการยูเอชที ก็พบว่าน้ำอ้อยยังคงตกตะกอนอยู่ ฉะนั้นการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่น้ำอ้อยก่อนยูเอชทีไม่สามารถช่วยแก้ปัญหาเรื่องตะกอนได้



ภาพที่ 6 ตัวอย่างน้ำอ้อยหลังผ่านการให้ความร้อนเบื้องต้นที่อุณหภูมิต่างๆแล้วนำไปกรองแยกตะกอนออก

ตารางที่ 16 น้ำอ้อยหลังการให้ความร้อนเบื้องต้นที่อุณหภูมิต่างๆแล้วกรองตะกอนออก

อุณหภูมิ (°ซ)	ปริมาณตะกอน ของน้ำอ้อย (%)	ค่าสี			
		L*	a*	b*	ΔE^*
25	0 ^d ± 0.00	42.19 ^c ± 0.71	-1.76 ^a ± 0.37	29.49 ^a ± 1.03	-
70	10.40 ^c ± 0.33	56.68 ^b ± 0.67	-4.85 ^b ± 0.19	20.06 ^b ± 1.94	15.97
80	12.80 ^b ± 0.29	57.25 ^{a,b} ± 0.46	-5.46 ^c ± 0.11	17.15 ^c ± 0.57	17.87
90	20.19 ^a ± 0.80	58.14 ^a ± 0.15	-5.29 ^c ± 0.13	15.95 ^c ± 0.62	19.20

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2.2.3 การใช้เอนไซม์ช่วยย่อยตะกอน

จากการทดลองพบว่า ปริมาณตะกอนที่ได้หลังจากเติมเอนไซม์โปรตีเอสในการย่อยโปรตีนแล้วตกตะกอนที่ความเข้มข้น 0.01% จะมีปริมาณการตกตะกอนมากที่สุด ดังตารางที่ 17 และจากการทดลองใช้เอนไซม์โปรตีเอสรวมกับการเติมกรดแอสคอร์บิก พบว่าค่าสี b* ที่แสดงค่าสีเขียวมากกว่ากรณีที่ไม่ได้เติมกรดแอสคอร์บิก รวมทั้งปริมาณการตกตะกอนก็เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 18 เนื่องจากการเติมกรดแอสคอร์บิกช่วยรักษาสีให้คงไว้ และทำให้ pH ของน้ำอ้อยลดลงเป็นผลให้น้ำอ้อยตกตะกอน เพราะฉะนั้นในกระบวนการผลิตน้ำอ้อยพร้อมดื่มจึงควรเติมกรดแอสคอร์บิกลงไป แต่เมื่อนำน้ำอ้อยทั้งหมดไปต้มเดือด พบว่าน้ำอ้อยยังคงมีตะกอนนอนก้นอยู่ เป็นเพราะว่าตะกอนของน้ำอ้อยมีสารประกอบอื่นๆรวมอยู่ด้วยเช่น เพคติน และ โพลีฟีนอล เป็นต้น ทำให้ตะกอนจากสารอื่นๆยังคงตกตะกอนเช่นเดิม นอกจากนี้เมื่อตะกอนที่เป็น โปรตีนที่แขวนลอยในน้ำอ้อยได้รับความร้อนแล้วเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติ (Denaturation) จะตกตะกอนได้เช่นกัน ฉะนั้นการใช้เอนไซม์ช่วยในการย่อยตะกอนไม่เพียงพอที่จะช่วยกำจัดตะกอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการใช้เอนไซม์ยังมีค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนสูง จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในกระบวนการผลิตน้ำอ้อยพร้อมดื่มซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ราคาไม่สูงนัก

ตารางที่ 17 กรณีที่ใช้เอนไซม์โปรตีเอสกับน้ำอ้อย

ปริมาณ เอนไซม์ที่ใช้ (%)	ปริมาณตะกอน ของน้ำอ้อย (%)	ค่าสี			ΔE^*	pH
		L*	a*	b*		
0	6.01 ^b ± 0.00	39.45 ^a ± 0.00	-0.33 ^a ± 0.00	32.13 ^a ± 0.00	-	5.43 ^a ± 1.00
0.01	10.67 ^a ± 1.44	40.59 ^a ± 2.05	-0.8 ^a ± 0.36	31.63 ^a ± 0.47	1.33	5.49 ^a ± 0.11
0.03	8.27 ^{a,b} ± 0.74	41.7 ^a ± 0.46	-0.61 ^a ± 0.20	32.29 ^a ± 0.46	2.27	5.42 ^a ± 0.25
0.05	8.07 ^{a,b} ± 1.97	41.21 ^a ± 1.11	-0.57 ^a ± 0.24	32.37 ^a ± 1.33	1.79	4.84 ^a ± 0.01

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 18 กรณีที่ใช้เอนไซม์โปรตีเอส และกรณีที่ใช้เอนไซม์โปรตีเอสร่วมกับการเติมกรดแอสคอร์บิกในน้ำอ้อยคั่ว

ปริมาณ เอนไซม์ที่ใช้ (%)	ปริมาณตะกอน ของน้ำอ้อย (%)	ค่าสี				pH
		L*	a*	b*	ΔE^*	
น้ำอ้อยสด	2.85 ^b ± 0.00	54.56 ^a ± 0.00	-3.22 ^b ± 0.00	25.8 ^b ± 0.00	-	5.27 ^a ± 0.00
Protease (0.01%)	7.38 ^{a,b} ± 2.09	48.22 ^b ± 4.17	-1.12 ^a ± 1.54	27.84 ^{a,b} ± 2.10	6.99	5.27 ^a ± 0.02
Protease (0.01%) + Ascorbic acid (0.1%)	11.35 ^a ± 4.94	51.38 ^{a,b} ± 1.85	-2.26 ^{a,b} ± 0.43	29.03 ^a ± 1.02	4.65	5.03 ^b ± 0.07

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2.2.4 การปั่นเหวี่ยงน้ำอ้อย

จากการทดลองปั่นเหวี่ยงแล้ว แยกน้ำอ้อยในส่วนที่เป็นของเหลวออกจากส่วนตะกอนแล้วนำไปกรองก่อนจะต้มให้เดือคพบว่าน้ำอ้อยจะยังมีการตกตะกอนเกิดขึ้นอยู่มาก เนื่องจากในการปั่นเหวี่ยงนี้อาจจะใช้แยกได้แค่ตะกอนที่มีอนุภาคใหญ่ๆเท่านั้น เพราะเมื่อน้ำอ้อยถูกปั่นเหวี่ยงและนำส่วนที่เป็นของเหลวมากรองด้วยกระดาษกรองที่มีความละเอียด 20-25 ไมโครเมตรแล้วนำไปต้มเดือคยังคงมีตะกอนเหลืออยู่ แสดงว่าการปั่นเหวี่ยงไม่สามารถที่จะแยกตะกอนที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 20 ไมโครเมตรได้ ฉะนั้นการปั่นเหวี่ยงจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ช่วยลดตะกอนของน้ำอ้อย



ภาพที่ 7 น้ำอ้อยสด น้ำอ้อยปั่นเหวี่ยง และ น้ำอ้อยปั่นเหวี่ยงและต้มเดือค

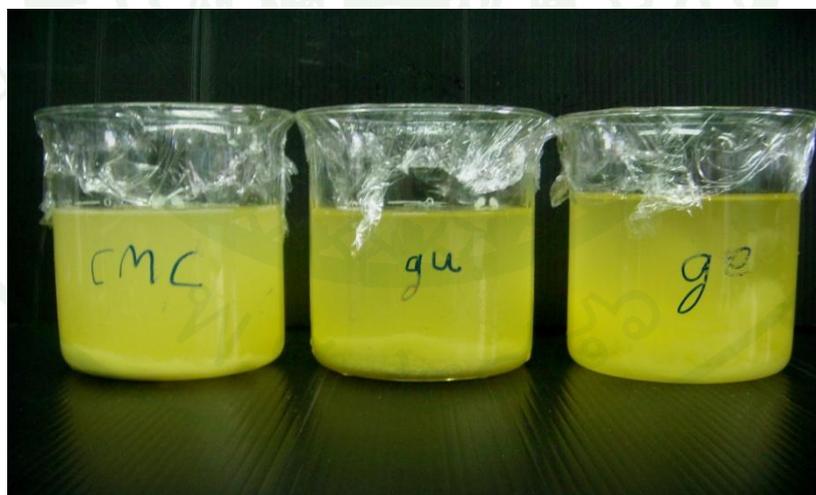
2.2.5 การติดตั้งตัวกรองในเครื่องพาสเจอร์ไรซ์และยูเอชที

ในการทดลองนี้ได้นำน้ำอ้อยที่คั้นสดและผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองมาผ่านเข้ากระบวนการยูเอชทีที่สภาวะอุณหภูมิ 140 °ซ นาน 6.5 วินาที ($F_0 \Delta 8$ นาที) พบว่าน้ำอ้อยที่ถูกป้อนเข้าเครื่องยูเอชทีผ่านตัวกรองภายในเครื่องและไหลผ่านออกมายังหัวบรรจุโดยเมื่อผ่านไปแค่เพียงระยะเวลาสั้นๆ น้ำอ้อยจะไหลผ่านออกจากตัวกรองมายังหัวบรรจุภายในเครื่องค่อนข้างช้ามาก จนกระทั่งเกิดการอุดตันของตัวกรองจนทำให้น้ำอ้อยไม่สามารถไหลออกมาได้ เนื่องจากเมื่อน้ำอ้อยผ่านเข้าเครื่องยูเอชทีแล้วน้ำอ้อยจะเกิดการตกตะกอน และเมื่อน้ำอ้อยที่มีตะกอนไหลผ่านตัวกรองภายในเครื่องซึ่งเป็นตัวกรองตะกอนอยู่ในเครื่องยูเอชที ทำให้ตะกอนไปรวมกันอยู่ที่ตัวกรองภายในเครื่องและเพิ่มปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆจนทำให้น้ำอ้อยไหลผ่านออกจากเครื่องยูเอชทีได้ยาก

จะเน้นการใช้ตัวกรองภายในเครื่องเพื่อช่วยแก้ปัญหาเรื่องตะกอนจึงไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากปัญหาเรื่องการอุดตันภายในเวลาอันสั้น หรือหากมีการนำน้ำอ้อยหลังจากผ่านกระบวนการยูเอชทีไปผ่านระบบการกรองขนาดใหญ่ภายในเครื่องพาสเจอร์ไรซ์และยูเอชทีก็จะทำให้น้ำอ้อยเกิดการปนเปื้อนซ้ำได้

2.2.6 การเติมสารไฮโดรคอลลอยด์และการโฮโมจิไนซ์

จากผลการทดลอง พบว่าหลังจากการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ CMC (Carboxy methyl cellulose) กัวร์กัม และ เจลแลนกัม เมื่อตั้งน้ำอ้อยทิ้งไว้ตะกอนในตัวอย่างน้ำอ้อยที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองที่มีความละเอียด 20-25 ไมโครเมตร ยังคงนอนก้นในลักษณะเดียวกัน ไม่ว่าจะเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดใดก็ตาม ดังแสดงในภาพที่ 8 ทั้งนี้ขั้นตอนต่อไปจึงทดลองใช้วิธีการทำให้ตะกอนมีอนุภาคเล็กลงด้วยการโฮโมจิไนซ์ที่ความดัน 3,000 Psi ร่วมกับการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ช่วยในการแขวนลอยตะกอนน้ำอ้อย เพื่อให้ตะกอนของน้ำอ้อยมีอนุภาคเล็กลงแล้วแขวนลอยในน้ำอ้อยได้ จากการทดลองพบว่าตะกอนของน้ำอ้อยที่ใส่ไฮโดรคอลลอยด์ทั้ง 3 ชนิดก็ยังคงนอนก้นอยู่ดี ดังแสดงในภาพที่ 9



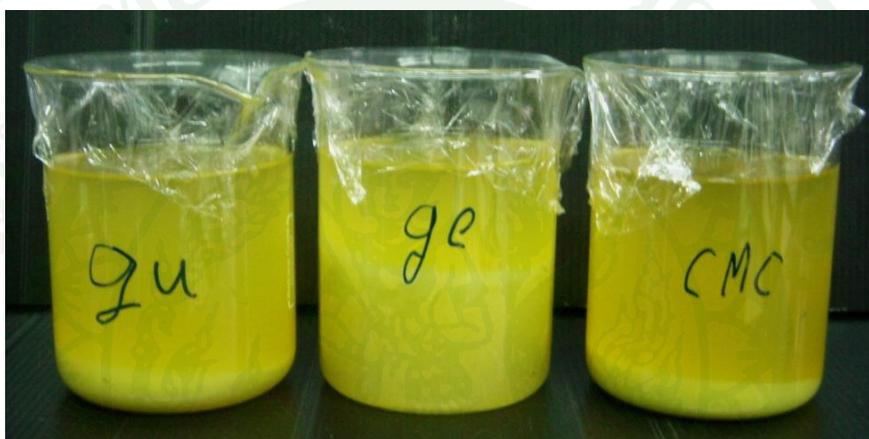
ภาพที่ 8 น้ำอ้อยที่เติมไฮโดรคอลลอยด์

หมายเหตุ CMC คือ น้ำอ้อยที่เติม CMC

gu คือ น้ำอ้อยที่เติมกัวร์กัม

ge คือ น้ำอ้อยที่เติมเจลแลนกัม

จากการทดลองศึกษาการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์นี้ พบว่า ไฮโดรคอลลอยด์ทั้ง 3 ชนิด ไม่ช่วยให้ตะกอนส่วนใหญ่แขวนลอยในน้ำอ้อยได้ ดังนั้นต้องหาวิธีอื่นๆ มากำจัดตะกอนที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ออกไปก่อน แล้วจึงใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ช่วยแขวนลอยตะกอนส่วนที่เหลือ โดยในการทดลองขั้นต่อไปจะตัดการใช้เจลลันกัมออก เพราะเจลลันกัมเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีราคาแพง แต่เมื่อนำมาใช้ทดลองกับน้ำอ้อยแล้วให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับกัวร์กัม และ CMC จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำอ้อยยูเอชที เพราะทำให้ต้นทุนสูงมากโดยไม่จำเป็น



ภาพที่ 9 น้ำอ้อยหลังการไฮโมจิไนซ์ร่วมกับการเติมไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่างๆ

หมายเหตุ gu คือ น้ำอ้อยที่เติมกัวร์กัม

ge คือ น้ำอ้อยที่เติมเจลลันกัม

CMC คือ น้ำอ้อยที่เติม CMC

2.2.7 การใช้สารช่วยตกตะกอน

เนื่องจากการกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นภายหลังการให้ความร้อนน้ำอ้อยไม่สามารถกำจัดด้วยวิธีธรรมดา เช่น การกรอง หรือ การปั่นเหวี่ยงได้ นอกจากนี้ส่วนใหญ่ตะกอนที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน เช่น น้ำผลไม้ จะมีอนุภาคขนาดเล็กที่เกิดจากอนุภาคของสารประกอบคอลลอยด์ของเพคตินและโปรตีน โดยเพคตินที่มีประจุลบจะห่อหุ้มโมเลกุลของโปรตีนซึ่งมีประจุบวกอยู่โดยรอบในช่วง pH ที่เป็นกรดของน้ำผลไม้ (Chen, 1993) จึงได้มีแนวคิดที่จะใช้วิธีทางเคมี โดยใช้สารเบนโทไนท์ที่เป็นสารช่วยตกตะกอนที่มีประจุลบทำให้จับกับโปรตีน

แล้วตกตะกอน โดยโมเลกุลของโปรตีนทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างแผ่น โครงสร้างของเบนโทไนท์ ทำให้โครงสร้างของตะกอนใหญ่ขึ้นจึงตกตะกอน ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในการตกตะกอนไวน์ เพื่อให้ไวน์ใสขึ้น (อมรรัตน์, 2545)

จากการทดลองใช้สารเบนโทไนท์ในการช่วยตกตะกอนน้ำอ้อย (เนื่องจากตะกอนของน้ำอ้อยมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ตามที่ได้แสดงในภาคผนวก จ) พบว่าน้ำอ้อยที่เติมสารเบนโทไนท์และนำมากรอง ลักษณะน้ำอ้อยที่ได้มีสีเขียวอ่อน ใสมาก แทบไม่มีตะกอนเลย ดังภาพที่ 10 แต่รสชาติจัดไม่หวานเหมือนน้ำอ้อย ซึ่งเป็นเพราะน้ำอ้อยถูกขจัดตรงควัตถุที่ให้กลิ่นรส ออกไปมาก จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำอ้อยยูเอชที

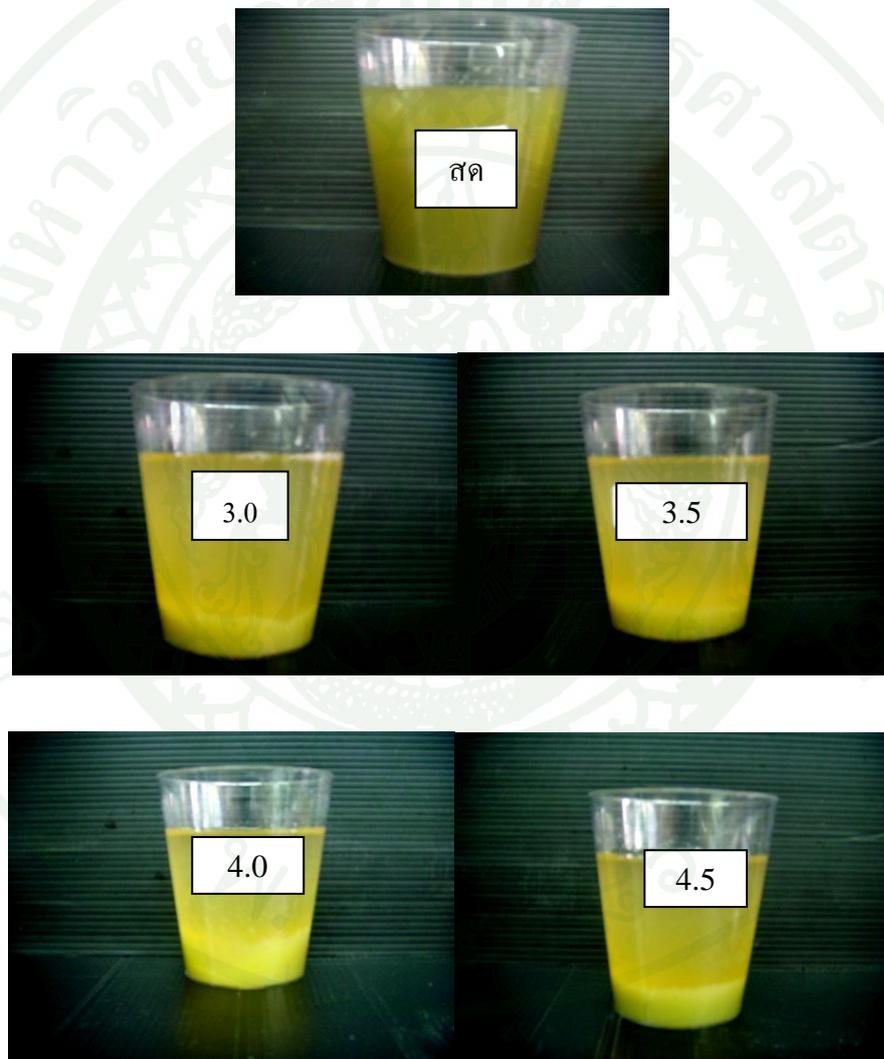


ภาพที่ 10 น้ำอ้อยที่ผสมกับสารเบนโทไนท์และกรอง

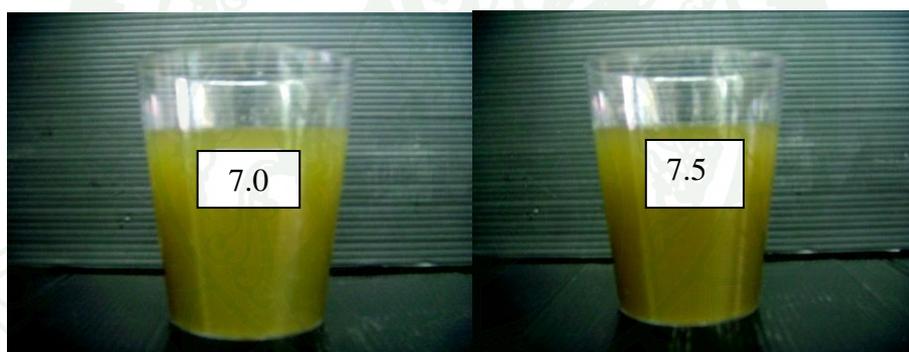
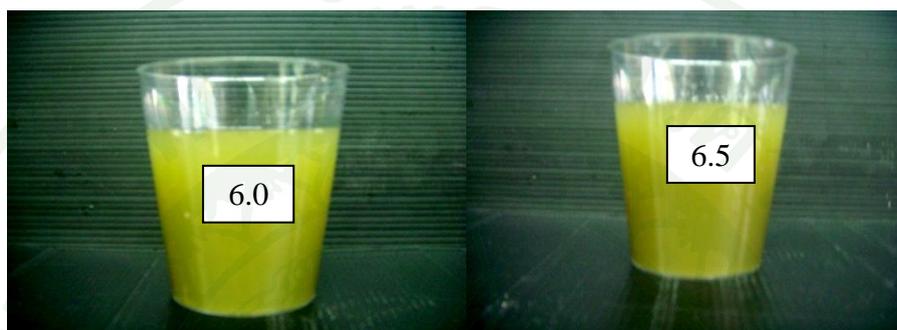
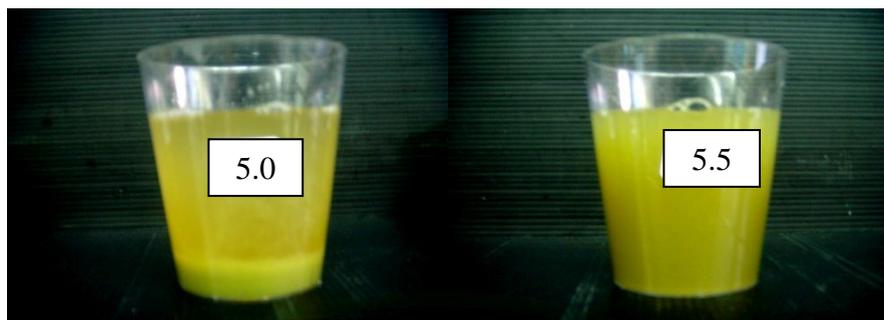
2.2.8 การปรับค่า pH

จากการทดลองปรับค่า pH ของตัวอย่างน้ำอ้อยด้วยกรดซิตริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าน้ำอ้อยที่ถูกปรับค่า pH ไปที่ 3.5, 4.0 และ 4.5 เกิดการตกตะกอนค่อนข้างเร็ว และมีสีของน้ำอ้อยที่ใกล้เคียงกับน้ำอ้อยสดมากกว่าน้ำอ้อยที่ถูกปรับค่า pH ไปที่ 3.0 ส่วนน้ำอ้อยที่ถูกปรับค่า pH ไปที่ระดับสูง พบว่าที่ค่า pH 8.0 และ 8.5 น้ำอ้อยจะตกตะกอนอย่างรวดเร็วเช่นกัน แต่น้ำอ้อยที่ได้มีสีเขียวคล้ำออกน้ำตาล ดูแตกต่างจากสีของน้ำอ้อยสดดังภาพที่ 11 สำหรับสาเหตุที่ทำให้ น้ำอ้อยที่ถูกปรับค่า pH ไปที่ระดับต่ำมีสีเขียวลดลงและมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น และ สีน้ำตาลในน้ำอ้อยที่ถูกปรับให้มีค่า pH สูง คือ สีเขียวในน้ำอ้อยเกิดจากสารคลอโรฟิลล์ เมื่อมีการปรับค่า pH จะทำให้ไฮโดรเจนไอออนเข้าแทนที่แมกนีเซียมไอออนในคลอโรฟิลล์ทำให้เปลี่ยนคลอโรฟิลล์เป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) ส่งผลให้สีเขียวในน้ำอ้อยเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีเขียวมรกต และเมื่อ

คลอโรฟิลล์ในน้ำอ้อยถูกปรับค่าให้มี pH สูง เบสจะทำให้คลอโรฟิลล์ถูกเปลี่ยนเป็นสารฟิโอฟอร์ไบด์ ซึ่งเป็นสารที่มีสีน้ำตาล (Gold and Weckel, 1959; Gunawan and Barringer, 2000; Koca *et al.*, 2006) ส่วนน้ำอ้อยที่ถูกปรับค่า pH ไปที่ระดับอื่นๆ นั้นพบว่า น้ำอ้อยจะยังไม่ตกตะกอนในทันทีที่ต้องตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 1 วัน น้ำอ้อยจึงตกตะกอน ซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องมาจากน้ำอ้อยเมื่อทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งจุลินทรีย์ที่มีในน้ำอ้อยจะเริ่มสร้างกรดทำให้ค่า pH ของน้ำอ้อยลดลงจนเกิดการตกตะกอนในน้ำอ้อย



ภาพที่ 11 น้ำอ้อยที่ถูกปรับค่า pH ไปที่ระดับต่างๆ



ภาพที่ 11 (ต่อ)

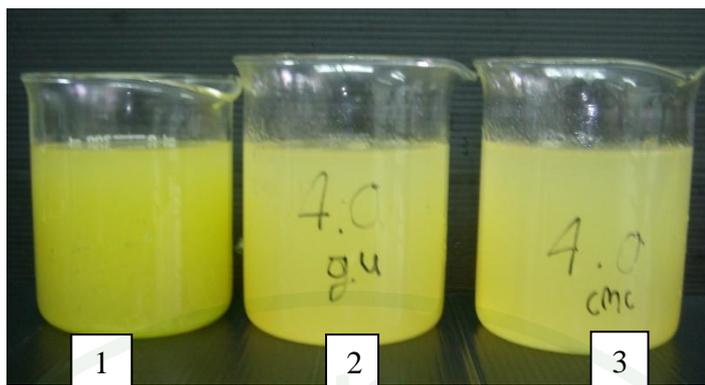
หลังจากที่ได้ทำการทดลองปรับค่า pH ไปที่ระดับต่างๆแล้ว พบว่าน้ำอ้อยที่ระดับค่า pH 4.0 และ 4.5 เหมาะที่จะนำมาทดลองในขั้นต่อไป จึงได้แยกตะกอนออกจากน้ำอ้อยดังกล่าวแล้วเก็บน้ำอ้อยไว้เป็นเวลา 1 วัน พบว่าน้ำอ้อยดังกล่าวไม่มีการตกตะกอนเกิดขึ้น ดังภาพที่ 12 แต่ถ้ายกน้ำอ้อยไว้เป็นเวลานานหลายวันน้ำอ้อยก็ยังคงตกตะกอนอยู่บ้าง



ภาพที่ 12 น้ำอ้อยที่ pH 4.0 และ 4.5 หลังจากผ่านการกรองเอาตะกอนออกแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน

2.2.9 การปรับค่า pH ร่วมกับการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ในน้ำอ้อย

จากการทดลองนี้พบว่าน้ำอ้อยที่ถูกปรับค่า pH ไปที่ 4.0 และ 4.5 สีของน้ำอ้อยจะใกล้เคียงกันแต่น้ำอ้อยที่ pH 4.5 จะมี pH ที่ใกล้เคียงกับน้ำอ้อยสดมากกว่าจึงเลือกการปรับ pH ที่ 4.5 มาใช้ในการทดลอง และสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เติมในน้ำอ้อยจะใช้สาร CMC เพราะว่สาร CMC สามารถละลายผสมกับน้ำอ้อยได้ง่ายกว่า และกั้วร์เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด ฉะนั้นจึงได้เลือกสภาวะน้ำอ้อยที่ค่า pH 4.5 และเติมสาร CMC ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 มาใช้ในทดลองผลิตน้ำอ้อยพร้อมดื่มที่สภาวะต่างๆ ในขั้นตอนต่อไป

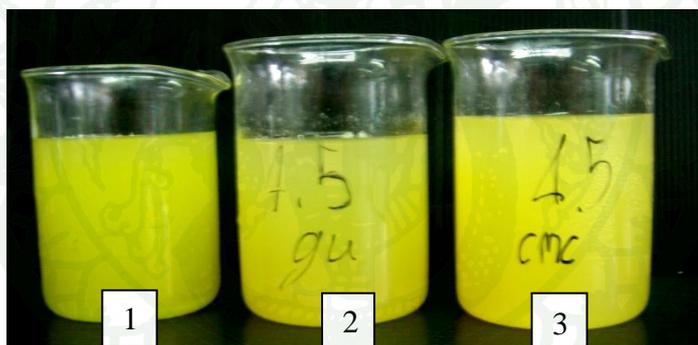


ภาพที่ 13 น้ำอ้อยที่ปรับ pH ไปที่ 4.0 และมีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์

หมายเหตุ 1 คือ น้ำอ้อยสด

2 คือ น้ำอ้อยที่ปรับ pH ไปที่ 4.0 แล้วเติมกัวร์กัม

3 คือ น้ำอ้อยที่ปรับ pH ไปที่ 4.0 แล้วเติม CMC



ภาพที่ 14 น้ำอ้อยที่ปรับ pH ไปที่ 4.5 และมีการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์

หมายเหตุ 1 คือ น้ำอ้อยสด

2 คือ น้ำอ้อยที่ปรับ pH ไปที่ 4.5 แล้วเติมกัวร์กัม

3 คือ น้ำอ้อยที่ปรับ pH ไปที่ 4.5 แล้วเติม CMC

2.3 เลือกวิธีแก้ปัญหาเรื่องตะกอนของน้ำอ้อยที่เหมาะสมมาใช้ในการทดลองผลิตน้ำอ้อยพร้อมดื่ม

ในการทดลองนี้ได้นำน้ำอ้อยที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองที่มีความละเอียด 20-25 ไมโครเมตร และยูเอชทีที่สภาวะ 140 °ซ นาน 6.5 วินาที เป็นตัวเปรียบเทียบกับน้ำอ้อยที่สภาวะอื่นๆ ได้แก่ น้ำอ้อยที่กรองและเติมกรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0.1 (เพื่อรักษาสีของน้ำอ้อย) แล้วยูเอชทีที่สภาวะ 140 °ซ นาน 6.5 วินาที พบว่าสีของน้ำอ้อยมีสีที่เขียวช้ำกว่าน้ำอ้อยที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ แต่น้ำอ้อยก็ยังคงตกตะกอนเช่นเดิม เนื่องจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นการเร่งให้น้ำอ้อยตกตะกอน จึงได้ทดลองเปลี่ยนจากการยูเอชทีมาทดลองพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่ายูเอชทีแทน ซึ่งน้ำอ้อยที่จะนำมาพาสเจอไรซ์จะต้องมีการปรับให้มีค่า pH \leq 4.5 เพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้นานหลังจากการพาสเจอไรซ์ โดยนำน้ำอ้อยที่ผ่านการกรองและเติมกรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0.1 ปรับค่า pH มาที่ระดับ 4.5 ด้วยกรดฟอสฟอริก กรองตะกอนออก และเติม CMC ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 แล้วพาสเจอไรซ์ที่สภาวะ 80 °ซ นาน 10 วินาที พบว่าหลังจากเก็บน้ำอ้อยที่เก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 สัปดาห์ น้ำอ้อยเกิดก๊าซขึ้นในขวดเป็นจำนวนมากทำให้เกิดการระเบิด ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำอ้อยที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ที่สภาวะนี้ เป็นสภาวะที่ใช้ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์น้ำอ้อยไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำอ้อยพาสเจอไรซ์และปล่อยก๊าซออกมา จึงต้องเปลี่ยนสภาวะการพาสเจอไรซ์เป็น 95 °ซ นาน 1 นาที (Iboyaima *et al.*, 2003; Bashyam *et al.*, 2006) และปรับค่า pH ของน้ำอ้อยก่อนทำการพาสเจอไรซ์ให้ลดลงจากเดิม 4.5 มาเป็น pH 4.2 และเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 1 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าน้ำอ้อยยังคงมีสภาพปกติคืออยู่ ไม่พบก๊าซในน้ำอ้อย และเมื่อตรวจเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าจำนวนโคลิฟอร์มที่พบน้อยกว่า 1.1 MPN Coliforms / 100ml และไม่พบยีสต์ รา ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำอ้อย (นิรนาม, 2546) นั่นคือในการผลิตน้ำอ้อยพาสเจอไรซ์ต้องพบยีสต์น้อยกว่า 1×10^3 โคลิเน็ตต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ราต้องน้อยกว่า 100 โคลิเน็ตต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร แต่น้ำอ้อยที่ได้มีการตกตะกอนนอนก้นเล็กน้อย และในการศึกษาได้แบ่งน้ำอ้อยส่วนหนึ่งเก็บไว้ในที่ที่ไม่มีแสง พบว่าน้ำอ้อยที่เก็บไว้ในที่ที่ไม่มีแสงจะมีสีของน้ำอ้อยสีเขียวคล้ำ เนื่องจากคลอโรฟิลล์มีการสลายตัวเนื่องจากแสง โดยในน้ำอ้อยจะมีคลอโรฟิลล์อยู่ เมื่อคลอโรฟิลล์ที่อยู่ในน้ำอ้อยถูกแสงและออกซิเจนจะทำสีเขียวของของคลอโรฟิลล์จางลงและทำให้กลับคืนเหมือนเดิมไม่ได้ (นิธิยา, 2544)

จากการทดสอบคุณภาพด้านทางประสาทสัมผัสของน้ำอ้อยสด, น้ำอ้อยพาสเจอไรซ์ (สภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อที่ 95 °ซ นาน 1 นาที และ pH ที่ 4.2) และ น้ำอ้อยยูเอชที (สภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อที่ 140 °ซ นาน 6.5 วินาที) ดังตารางที่ 19 พบว่าน้ำอ้อยสดจะมีคะแนนการทดสอบด้าน

คุณภาพทางประสาทสัมผัสในทุกด้านแตกต่างจากน้ำอ้อยพาสเจอร์ไรซ์ และน้ำอ้อยยูเอชทีอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่น้ำอ้อยสดจะมีคะแนนในทุกด้านมากกว่าน้ำอ้อยพาสเจอร์ไรซ์ และน้ำอ้อยยูเอชที ส่วนน้ำอ้อยยูเอชทีจะมีคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในทุกด้านมากกว่าน้ำอ้อยพาสเจอร์ไรซ์ อาจเนื่องมาจากน้ำอ้อยพาสเจอร์ไรซ์จะใช้เวลาในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยความร้อนค่อนข้างนานกว่าน้ำอ้อยยูเอชที และ มีการปรับกรด (เพื่อกำจัดตะกอน) ทำให้น้ำอ้อยพาสเจอร์ไรซ์มี สี กลิ่น รสชาติ และ ลักษณะปรากฏ เปลี่ยนแปลงไปจากน้ำอ้อยสด

ตารางที่ 19 คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของน้ำอ้อยสด, น้ำอ้อยพาสเจอร์ไรซ์ และน้ำอ้อยยูเอชที หลังจากการเก็บรักษานาน 6 เดือน

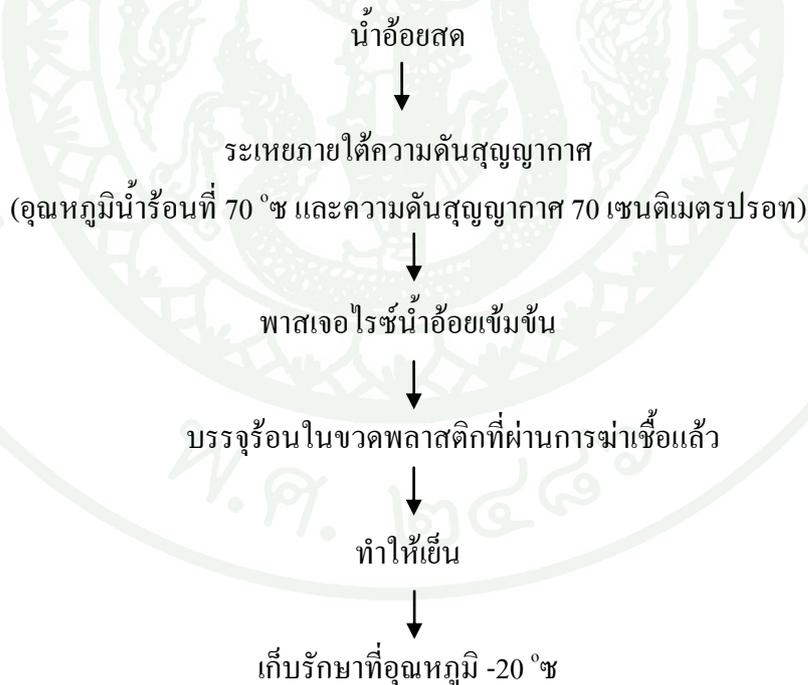
คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส	น้ำอ้อยสด	น้ำอ้อยพาสเจอร์ไรซ์	น้ำอ้อยยูเอชที
ลักษณะปรากฏ	7.16 ^a ± 1.36	5.03 ^b ± 1.85	5.43 ^b ± 1.07
สี	7.33 ^a ± 1.42	4.98 ^b ± 2.04	5.30 ^a ± 2.11
กลิ่น	6.23 ^a ± 2.13	4.13 ^b ± 2.23	4.37 ^b ± 2.34
รสชาติ	7.23 ^a ± 1.50	3.43 ^b ± 1.88	4.18 ^b ± 2.13
ความชอบโดยรวม	7.36 ^a ± 2.21	4.13 ^b ± 1.87	5.33 ^b ± 2.26

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในกระบวนการผลิตน้ำอ้อยเข้มข้นเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ให้มีอายุไม่ต่ำกว่า 6 เดือน และรักษาคุณภาพของน้ำอ้อยให้ใกล้เคียงน้ำอ้อยสด ควรเก็บรักษาน้ำอ้อยไว้ที่อุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส เพื่อให้การทำงานของเอนไซม์ในน้ำอ้อยดำเนินไปด้วยอัตราที่ลดลง และในการระเหยน้ำอ้อยด้วยเครื่องระเหยภายใต้ความดันสุญญากาศไม่ควรที่จะใช้ระยะเวลาในการระเหยนานเกินความจำเป็น นั่นคือเมื่อใดระดับความเข้มข้นตามที่ต้องการควรหยุดเครื่องเพราะความร้อนจะทำให้เกิดการระเหยของกลีเซอรอล ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้สูญเสียกลีเซอรอลไป

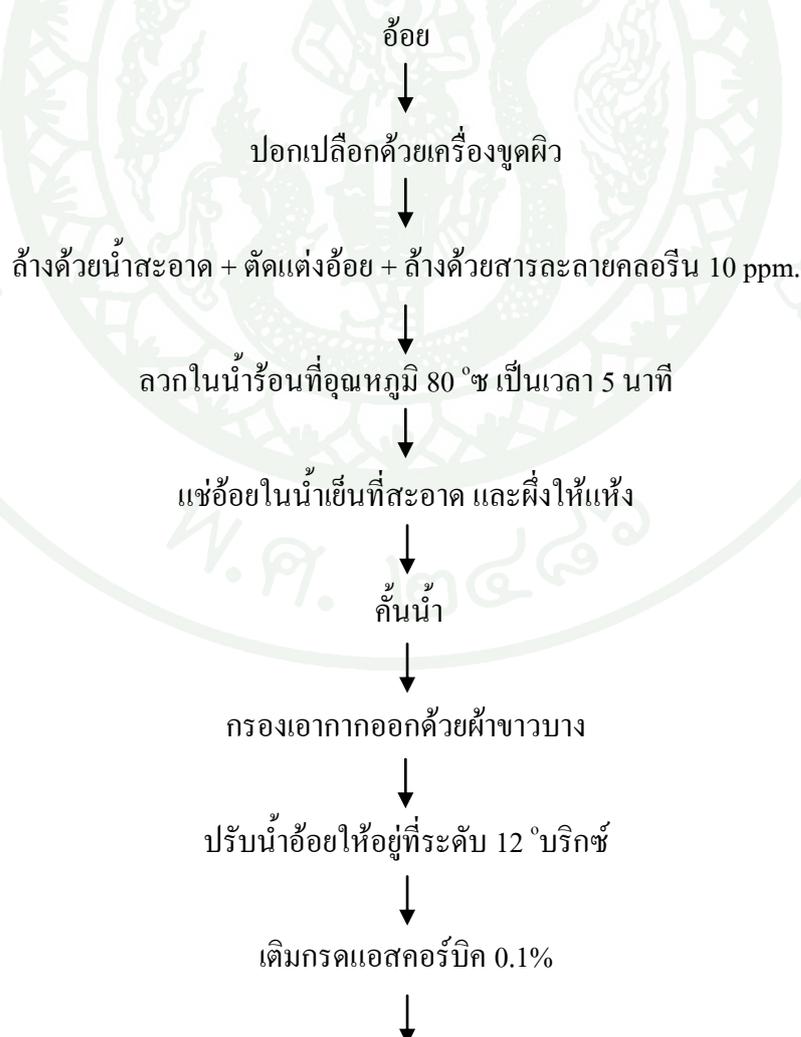
ดังนั้นจากงานวิจัยจึงขอเสนอกระบวนการผลิตน้ำอ้อยเข้มข้นที่เหมาะสมดังไดอะแกรมต่อไปนี้



สำหรับกระบวนการผลิตน้ำอ้อยพร้อมดื่ม พบว่าปัญหาหลักที่ทางบริษัทฯ ต้องการให้แก้ไขคือน้ำอ้อยเมื่อโดนความร้อนจะเกิดการตกตะกอนปริมาณค่อนข้างมาก ซึ่งจากการศึกษาแนวทางต่างๆ ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว พบว่า ควรหลีกเลี่ยงการใช้ความร้อนสูงในการฆ่าเชื้อ ฉะนั้นควรมีการปรับค่า pH ของน้ำอ้อยซึ่งเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำให้มีค่า pH ไม่เกิน 4.5 แล้วทำ

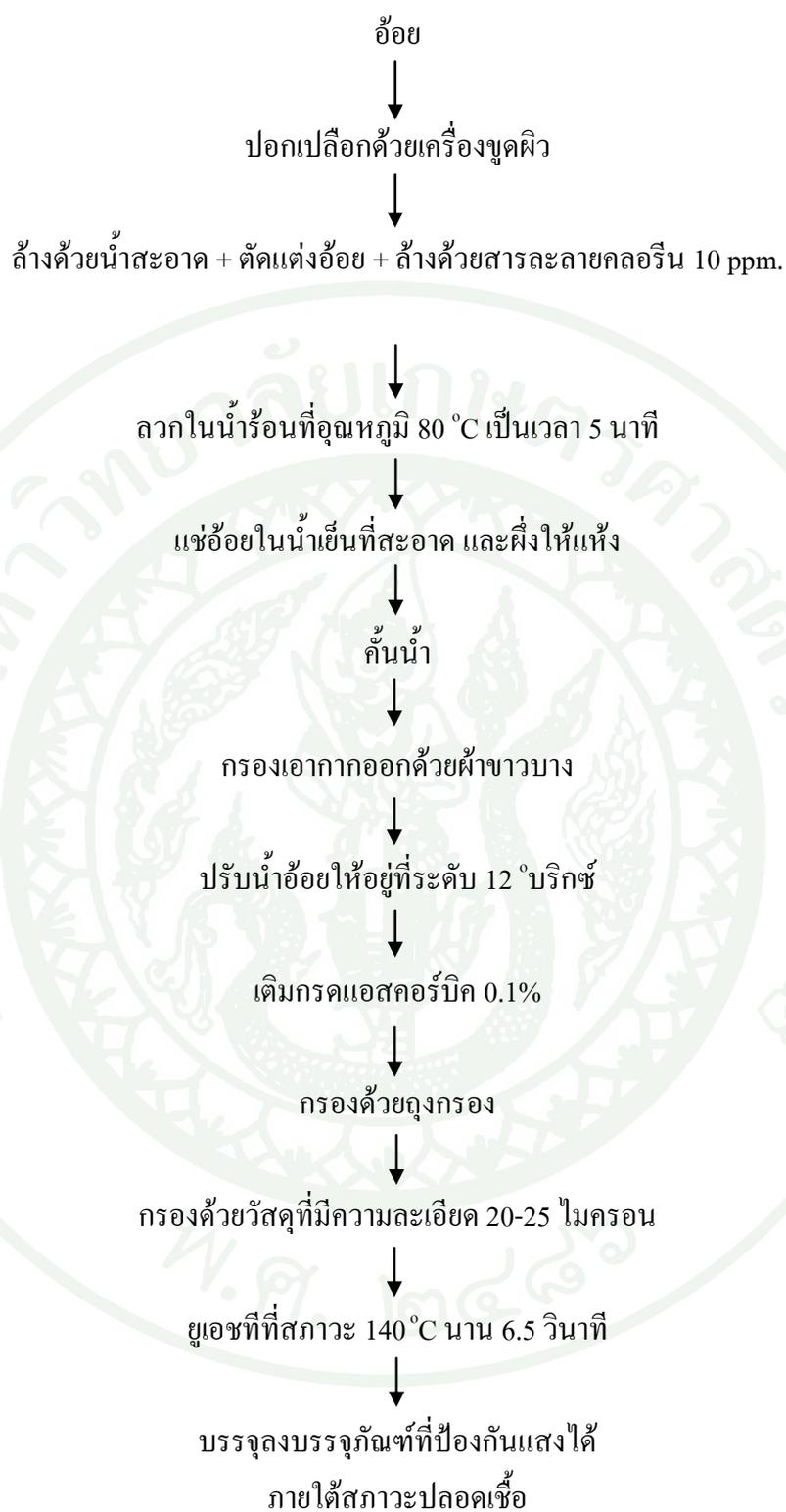
การพาสเจอร์ไรซ์พร้อมกับการบรรจุร้อน เพื่อที่จะได้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้นได้ ภายใต้สภาวะการเก็บที่อุณหภูมิห้อง (บุหลัน, 2538; Iboyaima et al., 2003) นอกจากนี้การปรับค่า pH ให้ลดลงมาที่ไม่เกิน 4.5 ยังจะช่วยเร่งการตกตะกอนจำนวนมาก ทำให้สามารถแยกตะกอนออกจากน้ำอ้อยในเบื้องต้นได้ปริมาณมาก รวมทั้งการเติมไฮโดรคอลลอยด์หลังจากการปรับค่า pH และการกรองแยกตะกอนออกจะช่วยให้ตะกอนที่มีอนุภาคเล็กที่ยังหลงเหลือและที่จะเกิดขึ้นหลังจากกระบวนการให้ความร้อนสามารถแขวนลอยในน้ำอ้อยได้ นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่าภายหลังจากการเก็บน้ำอ้อยพร้อมดื่มไว้เป็นเวลานานจะทำให้คลอโรฟิลล์หรือสีเขียวในน้ำอ้อยลดลง เนื่องจากคลอโรฟิลล์เกิดการสลายตัวเนื่องจากแสง (นิธิยา, 2544) ดังนั้นจึงควรจะบรรจุผลิตภัณฑ์น้ำอ้อยพร้อมดื่มลงในบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันแสงได้ เช่น ขวดสีชา เป็นต้น

ดังนั้นจากงานวิจัยจึงขอเสนอกระบวนการผลิตน้ำอ้อยพร้อมดื่มที่เหมาะสมดังไดอะแกรมต่อไปนี้





น้ำอ้อยพร้อมดื่มหากต้องการคงความเป็นน้ำอ้อยธรรมชาติให้มากที่สุด ควรเลือกวิธีการที่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบต่างในน้ำอ้อยน้อยที่สุด โดยการใช้กรดแอสคอร์บิก 0.1% เพื่อรักษาสีของน้ำอ้อยแล้วนำไปผ่านกระบวนการยูเอชทีที่สภาวะ 140 °ซ นาน 6.5 วินาที โดยปัญหาเรื่องตะกอนที่เกิดขึ้นอาจใช้การแจ้งผู้บริโภคโดย ระบุที่ฉลากผลิตภัณฑ์ว่าให้เขย่าก่อนดื่มก็ได้ หรือระบุว่าผลิตภัณฑ์นี้ผลิตจากน้ำอ้อยแท้จึงอาจมีตะกอนธรรมชาติซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยกระบวนการผลิตน้ำอ้อยยูเอชทีดังกล่าวเป็นไปตามไดอะแกรมต่อไปนี้



งานวิจัยในอนาคตควรมีการทดลองนำน้ำอ้อยเข้มข้นมาทำการเจือจางให้มีความเข้มข้นลดลงเท่ากับน้ำอ้อยสดและนำไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยวิธีเอซทิ และตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำอ้อยดังกล่าวที่ระยะเวลาต่างๆ เพื่อที่จะสามารถผลิตน้ำอ้อยพร้อมดื่มได้จากน้ำอ้อยเข้มข้น ซึ่งจะทำให้ลดกำลังการผลิต ลดขนาดเครื่องจักรที่ใช้ผลิตน้ำอ้อยพร้อมดื่มในช่วงที่ต้องเก็บเกี่ยวอ้อย และทำให้สามารถผลิตน้ำอ้อยพร้อมดื่มได้ตลอดทั้งปี



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2545. เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับอ้อยคั้นน้ำ. ชุมชนุสสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด, กรุงเทพฯ.

เกษม สุขสถาน. 2515. คำบรรยายอ้อย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กองโภชนาการ. 2521. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. กองโภชนาการกระทรวงสาธารณสุข. โรงพิมพ์องค์การทหารผ่านศึก, กรุงเทพฯ.

ชมพู ยิ้มโต. 2550. การถนอมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ทนง ภัครชพันธ์. 2524. อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน, กรุงเทพฯ.

นิธิยา รัตนานนท์. 2544. เคมีอาหาร. โอ.เอส. พรินติ้ง เฮาส์, กรุงเทพฯ.

นิรนาม. 2524. สัมมนาพิเศษมหาวิทยาลัยกับการพัฒนาอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, กำแพงแสน.

นิรนาม. 2541. อ้อย. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนโดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. แหล่งที่มา: <http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK5/chapter3/chap3.htm>, 15 พฤศจิกายน 2551.

นิรนาม. 2546. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำอ้อย. แหล่งที่มา: http://www.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps122_46.pdf, 19 ธันวาคม 2551.

นิรนาม. 2547. Food sanitation. สาขานามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. แหล่งที่มา: <http://www.sut.ac.th/e-texts/Medicine/foodsant/lesson4.htm>, 11 พฤศจิกายน 2550.

เนตรนภิส ธีระ. ม.ป.ป. สารชีวโมเลกุล. แหล่งที่มา www.si.mahidol.ac.th/.../ บทที่3
สารชีวโมเลกุล-อ.เนตรนภิส.doc (2 พฤศจิกายน 2553).

บุญส่ง แสงอ่อน. 2527. **บัคเตรีในน้ำอ้อย**. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุหลัน พิทักษ์ผล. 2538. การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนสูง. แหล่งที่มา
[http://guru.sanook.com/encyclopedia/การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนสูง/#สารานุกรม
ไทยสำหรับเยาวชนฯเล่มที่19](http://guru.sanook.com/encyclopedia/การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนสูง/#สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯเล่มที่19) (10 สิงหาคม 2553).

ปนัดดา บัวทอง, พนิดา อัดตนาถ, ปฎิภาณ บุญรวม และ จันทนา นันทิวัฒนวงศ์. ม.ป.ป.
กระบวนการทำใส่น้ำอ้อย. โครงการให้ทุนสนับสนุนโครงการอุตสาหกรรมสำหรับ
นักศึกษาปริญญาตรี. แหล่งที่มา: <http://www.irpus.org/abstract45/45/a28..pdf>, 7
มกราคม 2552.

ประกอบ เจริญทอง. 2547. **เครื่องตีพาสเจอร์ไรซ์ที่ประกอบด้วยนมสดและน้ำอ้อยอย่างละ
เท่าๆกันและกรรมวิธีการผลิต**. สิทธิบัตรประเทศไทย เลขที่ 848.

พรรณนีย์ วิชชาชู. 2549. **อ้อยควั่นพันชู้ใหม่**. บทความกรรมวิชาการเกษตร. แหล่งที่มา:
<http://www.doa.go.th/th/ShowArticles.aspx?id=1568>, 30 ธันวาคม 2551.

วิไล รัตตาทอง. 2547. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร**. เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น, กรุงเทพฯ.

สมบัติ ขอบวิวัฒนา. 2527. **การพัฒนากรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์เข้มข้น อุตสาหกรรมเกษตร**.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน.กรุงเทพฯ.

สมโภชน์ โกมลมณี. 2542. **การแช่เย็นผักและผลไม้**. Food chilling and freezing. แหล่งที่มา:
<http://coursewares.mju.ac.th/section2/ft446/lesson.htm>, 28 พฤศจิกายน 2551.

สุระชัย ปัญญา. 2550. **อ้อยคั้นน้ำสุพรรณบุรี 50**. อ้อยคั้นน้ำสุพรรณบุรี 50. แหล่งที่มา:

<http://loei.doae.go.th/mueang/image/New%202/p32.doc>, 30 ธันวาคม 2551.

อมรรัตน์ มุขประเสริฐ. 2545. การทำน้ำฝรั่งให้ใสโดยวิธีทางเคมีและชีวเคมี. **วารสารวิชาการ**

พระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 12: 57-64

อัมพวัน ตันสกุล. 2551. **สมบัติทางวิศวกรรมอาหารและวัสดุชีวภาพ**. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

Alfold, J. A. and C. S. Mccleskey. 1942. Some observations on bacteria causing slime

in cane juice. **Proceedings of the Louisiana Academy of Sciences**. 16:36-42.

Bashyam, R., M. N. Ramesh, K. Ramalakshmi, N. Krishnamurthy, P. M. Badgular and V.

Prakash. 2006. **Flavored sugarcane juice in aseptic unit pack**. United State. Patent 0083835 A1.

Bellone, S. C. and C. H. Bellone. 2006. Presence of endophytic diazotrophs in sugarcane juice.

World Journal of Microbiology and Biotechnology. 22:1065-1068.

Casado, C.G. and A. Heredia. 2001. Specific Heat Determination of Plant Barrier Lipophilic

Components: Biological Implications. **Journal of Biochimica et Biophysica Acta**. 151: 291-296.

Chen, C. S., P.E. Shaw and M. E. Parish. 1993. **Fruit juice processing technology**. In S. Nagy,

C.S. Chem.& P.E. Shaw, 110-165.

Chulin, L., X. Hu, Y. Ni, J. Wu, F. Chen and X. Lia. 2006. Effect of hydrocolloids on pulp

sediment, white sediment, turbidity and viscosity of reconstituted carrot juice. **Journal of**

Food Hydrocolloids. 20: 1190–1197.

- Contenta, D.T., J.E. Lozano and G.H. Crapiste. 1989. Thermophysical properties of clarified apple juice as a function of concentration and temperature. **Journal of Food Science**. 54: 663-668.
- Eggleston, G., B. Legendre, and T. Tew. 2004. Indicators of freeze-damaged sugarcane varieties which can predict processing problems. **Journal of Food Chemistry**. 87: 119-133.
- Faville, W., C. S. McCleskey, R. O. Barnett. 1947. **Characteristics of *leuconostoc mesenteroides* from cane juice**. Baton Rouge, Louisiana. 697-708.
- Ginslov, B. 2000. **Method of producing a stabilized sugar cane juice product**. U.S. Patent 6068869
- Gold, H. J. and Weckel, K. G. 1959. Degradation of chlorophyll to pheophytin during sterilization of canned green peas by heat. **Journal of Food Technology**. 19: 281-286.
- Gunawan, M. I., & Barringer, S. A. 2000. Green colour degradation of blanched broccoli (*Brassica oleracea*) due to acid and microbial growth. **Journal of Food Processing and Preservation**. 135: 253-263.
- Iboyaima, S., M. N. Ramesh, B. B. Bhaskarrao, K. Ramalakshmi, B. Raghavan and V. Prakash. 2003. **Process for preparing ready-to-drink shelf stable sugarcane juice beverage**. U.S. Patent 2003185959.
- Irvine, J. E. 1977. **Composition of cane juice**. In: Sugarcane Hand Book. John Wiley & sons, Inc., 15.
- Jay, J. M. 1992. **Modern Food Microbiology**. Van Nostand Reinhold. Newyork.
- Jose, B.J.H.J. 1999. **Production of long-life sugarcane juice**. French Patent 2776304

- Kadam, U. S., S. B. Ghosh, S. D. P. Suprasanna, T. P. A. Devasagayam, V. A. Bapat. 2008. Antioxidant activity in sugarcane juice and its protective role against radiation induced DNA damage. **Journal of Food Chemistry**. 106: 1154-1160.
- Koca, N., F. Karadeniz and H. S. Burdurlu. 2006. Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. **Journal of Food Chemistry**. 98: 609–615
- Lewis M.J. 2003. **Improvements in the pasteurisation and sterilisation of milk**; in Smit. G. ed. Dairy Processing-Improving Quality. Woodhead Publishing Ltd. Cambridge..
- Li, Y. 1994. **Concentrated Natural Sugarcane Juice**. Chinese Patent 1080493.
- Manohar, B., P. Ramakrishna and K., Udayasankar. 1990. Some physical properties of tamarind juice concentrates. **Journal of Food Engineering**. 13: 241-258.
- Manzocco, L., M.C. Nicoli, M. Anese, A. Pitotti and E. Maltini. 1999. Polyphenoloxidase and peroxidase activity in partially frozen systems with different physical properties. **Food Research International**. 31(5): 363-370.
- Mao, L.C., Y.Q. Xu and F. Que. 2006. Maintaining the quality of sugarcane juice with blanching and ascorbic acid. **Journal of Food Chemistry**. 104: 740-745.
- Romero, C., F.J. Morales and P. S. Jimenez. 2001. **Effect of storage temperature on galactose formation in UHT milk**. Food Research International. 34: 389-392.
- Songsermpong, S. and W. Jittanit. 2010. Comparison of peeling, squeezing and concentration methods for the sugarcane juice production, **Suranaree Journal of Science and Technology**. 17: 49-55.

Tansakul, A. and R. Lumyong. 2008. Thermal properties of straw mushroom. **Journal of Food Engineering**. 87: 91-98.

Xu, J. 2005. The effect of low-temperature storage on the activity of polyphenol oxidase in *Castanea henryi* chestnuts. **Postharvest Biology and Technology**. 38: 91-98.

Yusof, S., L.S. Shian and A. Osman. 2000. Changes in quality of sugar-cane juice upon delayed extraction and storage. **Journal of Food Chemistry**. 68: 395 – 401

Zainal, B.S., R.A. Rahman, A.B. Ariff, B.N. Saari and B.A. Asbi. 2000. Effect of temperature on the physical properties of pink guava juice at two different concentrations. **Journal of Food Engineering**. 43: 55-59





ภาคผนวก ก
เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตน้ำอ้อยเข้มข้นและน้ำอ้อยพร้อมดื่ม



ภาพผนวกที่ ก1 เครื่องชูดฝิวอ้อย



ภาพผนวกที่ ก2 เครื่องคั้นน้ำอ้อย



ภาพผนวกที่ ก3 เครื่องระเหยภายใต้ความดันสุญญากาศ



ภาพผนวกที่ ก4 เครื่องฟาสเจอไรซ์และยูเอชที



ภาพผนวกที่ ก5 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อ SORVALL รุ่น RC5C PLUS



ภาพผนวกที่ ก6 โถกรอง และ ขวดกรอง



ภาพผนวกที่ ก7 Digital refractometer ยี่ห้อ HANNA รุ่น HI 96801



ภาพผนวกที่ ก8 เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Minolta รุ่น mini scan XE



ภาพผนวกที่ ก9 เครื่องวัดแคลอรีแบบดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง (Differential scanning calorimeter; DSC) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น DSC 1



ภาพผนวกที่ ก10 pH Meter ยี่ห้อ JENCO



ภาพผนวกที่ ก11 Hydrometer ยี่ห้อ Nikkei Nihon



1. การวัดปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid; °Brix) โดยใช้ Refractometer วัดตัวอย่างทั้งหมด 3 ซ้ำ

2. การวัดสี ใช้เครื่องวัดสีหือ Minolta รุ่น mini scan XE ระบบ L*a* b* โดยนำตัวอย่างใส่ลงในเพลตปริมาณ 2 ใน 3 ของความสูงของเพลต ส่วนตัวอย่างน้ำอ้อยเข้มข้นที่ต้องเจือจาง จะเจือจางให้มีความเข้มข้นเท่ากับน้ำอ้อยสด วัดตัวอย่างทั้งหมด 3 ซ้ำ

3. การหาปริมาณตะกอนของน้ำอ้อย (%)

ปริมาณตะกอน(%) =
$$\frac{(\text{น้ำหนักน้ำอ้อยเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักน้ำอ้อยหลังกรองตะกอนน้ำอ้อยออก}) \times 100}{\text{น้ำหนักน้ำอ้อยเริ่มต้น}}$$

4. การตรวจสอบจุลินทรีย์ Yeast and Mold ใช้ตามวิธี USFDA/CFSAN/BAM online (Chapter 18) ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

5. การตรวจสอบจุลินทรีย์ MPN Coliform ใช้ตามวิธี Standard Methods for the Examination of Water and Wastwater, APHA, AWWA, WEF. 21st Edition, 2005. ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ใช้โปรแกรม SPSS Version 16.0 โดยวิธี ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Duncan's Least significant differences (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

7. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้สร้างสมการสำหรับค่าความร้อนจำเพาะและค่าความหนาแน่นของน้ำอ้อยโดยใช้ด้วยโปรแกรม Statistica version 5.0

8. การทดสอบด้านประสาทสัมผัส ได้ใช้แบบทดสอบสำหรับการให้คะแนนตามความชอบแบบ 9 Hedonic scale ดังตัวอย่างโดยทดสอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม โดยมีการให้คะแนนที่ 9 ระดับ ตั้งแต่ระดับ 1 ไม่ชอบมากที่สุด จนถึงระดับ 9 ชอบมากที่สุด โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวนทั้งหมด 30 คน

ชื่อ.....ชุดที่.....

วิธีประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

1. นำน้ำอ้อยแต่ละตัวอย่าง (3 ตัวอย่าง) รินใส่ถ้วยไปให้ผู้ทดสอบชิม พร้อมทั้งบันทึกผลความพึงพอใจลงในแบบฟอร์มที่กำหนดโดยแต่ละตัวอย่างมีการใส่รหัสไว้
2. คิดคะแนนโดยใช้การให้คะแนนตามเกณฑ์ 1-9 ตามที่กำหนดไว้

เกณฑ์การประเมิน คือ ให้คะแนน 1-9

- | | | |
|--------------------|-------------|-----------------|
| 1 ไม่ชอบมากที่สุด | 2 ไม่ชอบมาก | 3 ไม่ชอบน้อย |
| 4 ไม่ชอบน้อยที่สุด | 5 เฉยๆ | 6 ชอบน้อยที่สุด |
| 7 ชอบน้อย | 8 ชอบมาก | 9 ชอบมากที่สุด |

ตัวอย่าง	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....
กลิ่น	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....
ความชอบรวม	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....



ภาคผนวก ค
วิธีการวัดและคำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆ

1. วิธีการวัดค่าความร้อนจำเพาะโดยใช้เครื่องแคลอริแบบดิฟเฟอเรนเชียล (DSC)

1.1 เปิดเครื่องแคลอริแบบดิฟเฟอเรนเชียล (DSC)

1.2 กำหนดเงื่อนไขในการวัดดังนี้

- อุณหภูมิเริ่มต้นในการให้ความร้อน	15	องศาเซลเซียส
- อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ	20	องศาเซลเซียส/นาที
- อุณหภูมิสุดท้ายในการให้ความร้อน	75	องศาเซลเซียส
- ปริมาณตัวอย่าง	2 – 3	มิลลิกรัม

1.3 เปิดเครื่องหล่อเย็น รอจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

1.4 เปิดถังก๊าซไนโตรเจนโดยให้มีความดันที่ 1 บาร์

1.5 เตรียมถาดอ้างอิงและถาดตัวอย่าง

- กรณีถาดที่เป็นอ้างอิง จะชั่งน้ำหนักถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด โดยจะไม่บรรจุสารตัวอย่าง หรือสารใดๆ ลงในถาดอะลูมิเนียม แล้วจึงทำการปิดผนึกถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝา
- กรณีถาดที่บรรจุสารตัวอย่าง จะใส่ตัวอย่างลงในถาดอะลูมิเนียมประมาณ 2-3 มิลลิกรัม แล้วทำการปิดผนึกถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝา

1.6 นำทั้งสองถาดไปใส่ในเครื่องแคลอริแบบดิฟเฟอเรนเชียล (DSC) โดยนำไปวางบนอุปกรณ์ให้ความร้อน (Furnace) ซึ่งจะให้ความร้อนแก่ทั้งสองถาดและจะควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้คงที่ รอจนกระทั่งอุณหภูมิเพิ่มจนถึง 80 องศาเซลเซียสแล้ววนกลับมาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จึงใส่ตัวอย่างต่อไป และทำการบันทึกข้อมูล

1.7 ปิดเครื่องหล่อเย็นโดยทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที หลังจากนั้นจึงปิดเครื่อง Differential แคลอริแบบดิฟเฟอเรนเชียล (DSC) และทำความสะอาด

1.8 คำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะ

เนื่องจากการทดลองนี้ได้ทำการสอบเทียบโดยใช้ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำบริสุทธิ์ซึ่งมีค่า $4.18 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$ เป็นค่าอ้างอิง แต่พบว่าค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำบริสุทธิ์ที่วัดได้มีค่า $4.69 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีค่าสูงกว่า จึงนำมาหาค่า factor เพื่อนำไปใช้เทียบเป็นสัดส่วนของตัวอย่างอื่นๆ ต่อไป (Casado and Heredia, 2001)

$$\begin{aligned} \text{ค่า factor} &= \frac{\text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำบริสุทธิ์}}{\text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำบริสุทธิ์ที่วัดได้}} \\ &= \frac{4.18}{4.69} \\ &= 0.89 \end{aligned}$$

เมื่อได้ค่า factor จึงนำมาคูณกับค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยที่ความเข้มข้น 15° บริกซ์ ที่วัดได้

$$\begin{aligned} &= 0.89 \times 4.32 \\ &= 3.84 \text{ J/g}^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

ดังนั้นน้ำอ้อยที่ความเข้มข้น 15° บริกซ์ จะมีค่าความจุความร้อนจำเพาะ $3.84 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$

2. การคำนวณค่าความจุความร้อนจำเพาะจากสมการที่พัฒนาขึ้น

$$C_p = C + MX_c \quad (4)$$

$$M = A + BT \quad (5)$$

จากสมการที่ 4 และ 5 เมื่อทราบค่า X_c คือ ความเข้มข้นของน้ำอ้อย (°บริกซ์) และ ค่า T คือ อุณหภูมิของน้ำอ้อย (°ซ) แล้วนำมาแทนค่าลงในสมการโดยที่ M เป็นค่าความชันของสมการที่ (4) ที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ, X_c เป็นค่าความเข้มข้นของน้ำอ้อยที่ความเข้มข้นต่างๆ และ ค่า A, B และ C เป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ -0.037081, 0.000278 และ 4.514948 ตามลำดับ

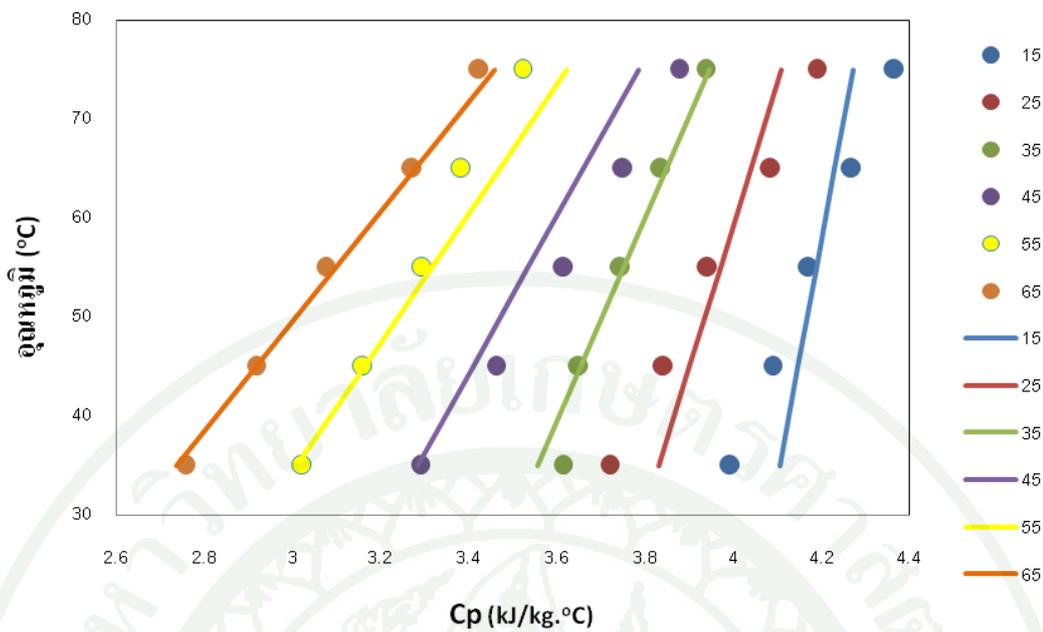
ตัวอย่าง น้ำอ้อยเข้มข้น 45 °บริกซ์ ที่อุณหภูมิ 65 °ซ จะมีค่าความร้อนจำเพาะเท่าไร

- หาค่า M จากสมการที่ 5

$$\begin{aligned} M &= -0.037081 + (0.000278 \times 65) \\ &= -0.019011 \end{aligned}$$

- นำค่า M = -0.020401 มาแทนในสมการที่ 4

$$\begin{aligned} C_p &= 4.514948 + (-0.019011 \times 45) \\ &= 3.659453 \end{aligned}$$



ภาพผนวกที่ ค1 ค่าความร้อนจำเพาะที่ได้จากผลการทดลองและจากการทำนายโดยสมการที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆ

หมายเหตุ สัญลักษณ์ ๐ แสดงค่าความร้อนจำเพาะที่ได้จากผลการทดลองที่ความเข้มข้นต่างๆ (°ปริกซ์)

สัญลักษณ์ - แสดงค่าความร้อนจำเพาะที่ได้จากการทำนายที่ความเข้มข้นต่างๆ (°ปริกซ์)

พ.ศ. ๒๕๖๖



ภาคผนวก ง
วิธีการคำนวณหาค่า F_0 จากสภาวะที่ใช้ในการยูเอชที

ตัวอย่างการคำนวณหาค่า F_0 จากสถานะที่ใช้ในการยูเอชที

- สถานะที่ใช้ในการยูเอชที ที่ 140 °ซ นาน 6.5 วินาที

- จากสูตร $F_0 = \Delta T \times \Delta 10^{(T-121)/Z}$

พารามิเตอร์

$$\begin{aligned} T &= 140 \text{ °ซ} \\ 121 \text{ °ซ} &= \text{อุณหภูมิอ้างอิง} \\ Z &= 10 \text{ °ซ} \\ \Delta T &= 6.5 \text{ วินาที} = 0.108 \text{ นาที} \end{aligned}$$

วิธีคำนวณ

$$\begin{aligned} F_0 &= 0.108 \times \sum 10^{(140-121)/10} \\ &= 0.108 \times 79.43 \\ &= 8.58 \text{ นาที} \end{aligned}$$



องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนน้ำอ้อย

องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนน้ำอ้อย	%
ความชื้น	64.93
โปรตีน	5.19
ไขมัน	0.01
เถ้า	0.93
ไฟเบอร์	0.33
คาร์โบไฮเดรต	28.61

หมายเหตุ หาคความชื้นด้วยวิธี AOAC

หาโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl technique

หาไขมันด้วยวิธี Extraction

หาเถ้าด้วยวิธี AOAC

หาไฟเบอร์ด้วยวิธี คำนวณจากองค์ประกอบทางเคมีต่างๆที่หาค่าได้ทั้งหมด

หาคาร์โบไฮเดรตด้วยวิธีการคำนวณจากองค์ประกอบทางเคมีต่างๆที่หาค่าได้ทั้งหมด

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นางสาวกิริติ ภู่วง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 13 พฤษภาคม 2528
สถานที่เกิด	จังหวัดกาญจนบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยสยาม
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการวิจัยและพัฒนาภาครัฐร่วมเอกชนในเชิงพาณิชย์ โดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ร่วมกับบริษัท อุตสาหกรรมน้ำตาล ที.เอ็น. จำกัด