โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การทำเข้มข้นน้ำตาลสดโดยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ

Concentrated Palm juice by reverse osmosis process

ชื่อนิสิต นางสาวชญานิษฐ์ ซื่อชัยเจริญ

นางสาวชุติมณฑน์ กิติพัฒนาวุฒิ

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the senior project authors' files submitted through the faculty.

การทำเข้มข้นน้ำตาลสดโดยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ

โดย

นางสาวชญานิษฐ์ ซื่อชัยเจริญ
นางสาวชุติมณฑน์ กิติพัฒนาวุฒิ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ประจำปีการศึกษา 2561

CONCENTRATED PALM JUICE BY REVERSE OSMOSIS PROCESS

Chayanit Suechaicharoen

Chutimon Kitipattanawut

Project Advisor

Asst. Prof. Chidphong Pradistsuwana, Ph.D.

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Bachelor of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2018

หัวข้องานวิจัย	การทำเข้มข้นน้ำตาลสดโดยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ
โดย	นางสาวชญานิษฐ์ ชื่อชัยเจริญ
	นางสาวชุติมณฑน์ กิติพัฒนาวุฒิ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ
ปีการศึกษา	2561

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อนุมัติให้รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

ประจำปีการศึกษา 2561

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ขนิษฐา ธนานุวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้องานวิจัย การทำเข้มข้นน้ำตาลสดโดยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ
โดย นางสาวชญานิษฐ์ ซื่อชัยเจริญ
นางสาวชุติมณฑน์ กิติพัฒนาวุฒิ
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำเข้มข้นน้ำตาลสดด้วยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis: RO) จึงทำการออกแบบ จัดหาวัสดุอุปกรณ์ เพื่อสร้างเครื่องมือที่รองรับเยื่อกรองชนิดแบบท่อ (Tubular type membrane) โดยให้สามารถใช้ร่วมกับกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration: UF) ซึ่งเป็นการกรองเพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งตามปกติไม่สามารถใช้ได้กับอาหารเหลว โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ เยื่อแผ่นแบบท่อ 2 ประเภท (RO และ UF) ปั๊มและระบบท่อ โดยเยื่อแผ่นแบบ RO ทำจากแอซิทิเลตเซลลูโลส ที่ทนความดันได้สูงถึง 300 บาร์ และมีความสามารถในการกักกันเกลือประจุเดี่ยวชนิดโซเดียมคลอไรด์ได้มากกว่าร้อยละ 90 มีฟลักซ์ของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เป็น 20 ± 5 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงที่ความดันการกรอง 25 บาร์ ในขณะที่เยื่อแผ่นแบบ UF สามารถทนความดันได้สูงถึง 10 บาร์ มีค่าการกักสารที่โมเลกุล (Molecular weight cut off: MWCO) ขนาด 100 กิโลดาลตัน มีฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ 80 ± 20 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงที่ความดัน 1 บาร์ โดยเยื่อแผ่นแบบท่อทั้ง 2 ชนิดมีขนาดยาว 308 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 11.5 มิลลิเมตร และ มีพื้นที่การกรอง 0.0111 ตารางเมตรต่อ 1 ท่อ ใช้ polyester non-woven fabric เป็นแผ่นเสริมความแข็งแรง บรรจุในห้องกรองที่ทำด้วยอะคริลิกซึ่งสามารถถอดเปลี่ยนเยื่อแผ่นได้ สำหรับปั๊มเป็นปั๊มที่มีความดันและให้อัตราการไหลสูง โดยปั๊มที่เลือกใช้สามารถให้ความดันสูงสุดที่ 30 บาร์ และให้อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที และระบบท่อที่รวมทั้งมาตรวัดความดันและวาล์วต่าง ๆ เป็นเหล็กกล้าปลอดสนิมที่ให้น้ำตาลสดไหลผ่านด้านในเยื่อแผ่นแบบท่อเพื่อสร้างการกรองแบบไหลขวางที่ไม่ก่อให้เกิดเจลหรือเค้กที่ผิวหน้าเยื่อแผ่นซึ่งก่อให้เกิดความต้านทานในการกรอง ปัจจุบันเครื่องมืออยู่ในระหว่างจัดสร้าง นอกจากนี้ได้ทำการทดลองกรองน้ำตาลสดด้วยเยื่อแผ่นอัลตราฟิลเตรชันชนิดเซลลูโลสที่ผ่านการรีเจนเนอเรทแบบแผ่นเรียบขนาดเล็กที่มีพื้นที่การกรอง 45 ตารางเซนติเมตร เพื่อหา MWCO และความดันที่เหมาะสมในการกรองเพื่อลดความขุ่นและจำนวนจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย โดยแปรเยื่อแผ่น 2 ชนิดที่มี MWCO ขนาด 10 กิโลดาลตัน และ 100 กิโลดาลตัน และความดัน 2 ระดับที่ 1 และ 2 บาร์ พบว่าการกรองน้ำตาลสดผ่านเยื่อแผ่นที่มีขนาด MWCO 100 กิโลดาลตัน มีอัตราเร็วการกรองสูงกว่าการกรองผ่านเยื่อแผ่นที่มี MWCO ขนาด 10 กิโลดาลตัน และที่ความดัน 2 บาร์ให้อัตราเร็วการกรองสูงกว่าที่ 1 บาร์ในเยื่อแผ่นทั้งสองขนาด อย่างไรก็ตามในน้ำตาลสดที่กรองได้ในทุกกรณีไม่พบจุลินทรีย์ (ND) และได้น้ำตาลสดที่ใสกว่า (ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร) และมีค่า L* และ b* เพิ่มขึ้น แต่ค่า a* ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำตาลสดที่ไม่ผ่านการกรอง

Project Title	Concentrated Palm juice by reverse osmosis process
Student	Chayanit Suechaicharoen
	Chutimon Kitipattanawut
Study Program	Bachelor of Science in Food Technology
Advisor	Asst. Prof. Chidphong Pradistsuwana, Ph.D.
Academic Year	2018

Abstract

This research aimed to make the palm juice concentration by reverse osmosis (RO) process. To supply and create equipment that support tubular type membrane, which can be used with the ultrafiltration process (UF) which is a filter to eliminate microorganisms. Normally, it cannot be used with liquid food. The important elements including 2 types of pipe membranes (RO and UF), pumps and piping systems. The RO membrane is made from acetylate cellulose that can withstand pressure up to 300 bars and has the ability to contain more than 90 percents monovalent sodium chloride salt. The flux of sodium chloride solution is 20 ± 5 liters per square meter per hour at 25 bars filtration pressure, while the UF membrane can withstand pressure up to 10 bars. The molecular weight cut off (MWCO) of 100 kilodalton. It has a flux of pure water 80 ± 20 liters per square meter per hour at 1 bar pressure. The 2 types of membrane tube length 308 millimeters, 11.5 millimeters diameter and the filtrated area is 0.0111 square meters per 1 tube. The polyester non-woven fabric is reinforced sheet packed in a filter room that made of acrylic which can be replaced with the membrane. Pumps have high pressure and high flow rates. This pump can provide a maximum pressure of 30 bars and provide a flow rate of 15 liters per minute and a pipeline system including pressure gauges and valves which made of stainless steel that allows palm juice to flow through the inner membrane of the pipe to create a transverse flow that does not cause gel or cake on the surface of the membrane, causing resistance in the filter. Currently, the tool is under construction. In addition, the experiment was to filter palm juice by ultrafiltration cellulose membrane with 45 square centimeters of filtration area to find MWCO and suitable pressure for filtration to reduce turbidity and the number of microorganisms that cause spoilage. There is converting 2 types of membranes with MWCO of 10 kilodalton and 100 kilodalton at 1 and 2 bars pressure. The filtering through a membrane with MWCO 100 kilodalton is higher than 10 kilodalton and at a pressure of 2 bars giving a higher filtrated speed than 1 bar in both sizes of membranes. However, the filtrated palm juice is no microorganisms (ND) in all cases, clearer palm juice (Absorbance value at wavelength of 570 nanometers) and L* and b * increased but a* decreased from non-filtered palm juice.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนตามหลักสูตรในระดับปริญญาบัณฑิตของภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้รับเงินทุนอุดหนุนจากงบประมาณของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2561 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการเป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ รวมทั้งความช่วยเหลือต่างๆ อันเป็นประโยชน์แก่งานวิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา และการวิจัยในหัวข้อที่เกี่ยวข้องต่อไปในอนาคตไม่มากก็น้อย

นางสาวชญานิษฐ์ ซื่อชัยเจริญ
นางสาวชุติมณฑน์ กิติพัฒนาวุฒิ

สารบัญ หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……..……ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……..……จ

กิตติกรรมประกาศ……..ฉ

สารบัญ……...……ช

สารบัญตาราง……ญ

สารบัญรูปภาพ……...ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3 ขอบเขตการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 วารสารปริทัศน์ 3

2.1 ตาลโตนด 3

2.1.1 ประวัติตาลโตนด 3

2.1.2 องค์ประกอบของน้ำตาลโตนด 4

2.1.3 ประโยชน์ของน้ำตาลโตนด 4

2.1.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของน้ำตาลสด 5

2.1.5 ปัญหาน้ำตาลโตนดและการฆ่าเชื้อ 6

2.2 การทำให้ปลอดเชื้อแบบเย็น (cold sterilization) 7

2.3 ประเภทของเยื่อกรอง (Type of Membrane Filtration) 8

2.3.1 กระบวนการไมโครฟิลเทรชัน (Microfiltration, MF) 8

2.3.2 กระบวนการอัลตราฟิลเทรชัน (Ultrafiltration, UF) 8

2.3.3 กระบวนการนาโนฟิลเทรชัน (Nanofiltration: NF) 9

2.3.4 กระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis, RO) 9

2.4 โมดูลเมมเบรน (Membrane Module).....10

2.4.1 โมดูลแบบแผ่นและแบบกรอบ (Plate and Frame) 11

2.4.2 โมดูลแบบท่อ (Tubular module) 11

2.4.3 โมดูลแบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Module).....11

2.4.4 โมดูลแบบท่อม้วน (Spiral Wound Module).....11

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 12

3.1 ออกแบบ จัดหา องค์ประกอบต่างๆ และจัดสร้างเครื่องมือกรองที่รองรับเยื่อแผ่นแบบท่อ (tubular membrane) โดยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันและกระบวนการออสโมซิสผันกลับ 12

3.1.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือกรองที่รองรับเยื่อแผ่นแบบท่อ 12

3.1.2 วิธีการดำเนินงาน 12

3.2 ศึกษาการกรองน้ำตาลสดด้วยกระบวนการกรองแบบอัลตราฟิลเทรชันด้วยเครื่องกรองขนาดเล็ก 13

3.2.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับกระบวนการกรองแบบอัลตราฟิลเทรชัน.....13

3.2.2 วิธีทดลองกรองน้ำตาลสด.....15

บทที่ 4 ผลการวิจัย และวิจารณ์ผล.....16

4.1 รูปแบบอุปกรณ์ และ ระบบที่รองรับเครื่องมือกรองแบบ UF และ RO.....16

4.1.1 รูปแบบอุปกรณ์ที่รองรับเครื่องมือกรองแบบ UF และ RO.....16

4.1.2 ระบบหมุนเวียนที่รองรับเครื่องมือกรองแบบ UF และ RO 17

4.2 ผลการศึกษาการกรองน้ำตาลสดด้วยกระบวนการกรองแบบอัลตราฟิลเทรชันด้วยเครื่องกรองขนาดเล็ก.....18

4.2.1 อัตราการกรองน้ำตาลสดโดยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชัน.....18

4.2.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายโดย refractometer 19

4.2.3 สีโดยเครื่องวัดสี Minolta CR-400 20

4.2.4 วัดความขุ่นโดย UV-VIS spectrophotometer 22

4.2.5 ตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำตาลสดเริ่มต้นโดยใช้วิธีมาตรฐาน ตาม AOAC.....23

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ....26
5.1 สรุปผลการวิจัย....26
5.1.1 ออกแบบเครื่องกรองที่รองรับเยื่อแผ่นแบบท่อโดยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ....26
5.1.2 การกรองน้ำตาลสดด้วยกระบวนการกรองแบบอัลตราฟิลเทรชันด้วยเครื่องกรองขนาดเล็ก....26
5.2 ข้อเสนอแนะ....26
บรรณานุกรม....27
ภาคผนวก....30
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา....31
1. การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000)....31
2 .การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา (AOAC, 2000)....31
ภาคผนวก ข มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำตาลสด....33
ประวัติผู้วิจัย....35

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายจากเครื่อง Refractometer 20

4.2 แสดงค่าสี L*, a*, b* โดยเครื่อง Minolta CR-400 21

4.3 แสดงค่า absorbance โดย UV-VIS spectrophotometer 23

4.4 แสดงจำนวนแบคทีเรียเริ่มต้นที่ตรวจสอบโดยวิธีมาตรฐานตาม AOAC 24

4.5 แสดงจำนวนเชื้อราและยีสต์เริ่มต้นที่ตรวจสอบโดยวิธีมาตรฐานตาม AOAC 24

4.6 แสดงจำนวนเชื้อแบคทีเรียของน้ำตาลสดที่ผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันที่ตรวจสอบโดยวิธีมาตรฐานตาม AOAC 25

4.7 แสดงจำนวนเชื้อราและยีสต์ที่ตรวจสอบโดยวิธีมาตรฐานตาม AOAC 25

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ตาลโตนด 7

2.2 การกรองแบบไมโครฟิลเทรชัน 8

2.3 การกรองแบบอัลตราฟิลเทรชัน 9

2.4 การกรองแบบออสโมซิสผันกลับ 10

3.1 ระบบของกระบวนการอัลตราฟิลเทรชัน 14

4.1 ระบบหมุนเวียนที่รองรับเครื่องมือกรองแบบ UF และ RO 18

4.2 อัตราการกรองน้ำตาลสดโดยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชัน 18

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การทำเข้มข้น (Concentration) มีหลากหลายวิธี และใช้เครื่องมือที่แตกต่างกัน ทั้งวิธีการที่ใช้ความร้อน และไม่ใช้ความร้อน วิธีที่ใช้ความร้อนมีการใช้อย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น การต้ม การเคี่ยว การระเหย (Evaporation) เป็นต้น ซึ่งเป็นการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างเพื่อระเหยน้ำออก แต่การให้ความร้อนจะส่งผลต่อคุณภาพอาหาร สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส รวมไปถึงเรื่องของคุณค่าทางโภชนาการ ในขณะที่การทำเข้มข้นแบบไม่ใช้ความร้อน ตัวอย่างเช่น การทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็ง (Freeze concentration) การกรองแบบเยื่อแผ่น (membrane filtration) เป็นต้น ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ต้องคำนึงถึงผลของความร้อนที่ส่งผลต่อตัวอย่างอาหาร ซึ่งในอดีตมีการใช้กระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis: RO) ชนิดแบบแผ่น (plate) ในการทำเข้มข้นในอุตสาหกรรมอาหารแต่มีพื้นที่การกรองต่ำส่งผลให้กระบวนการออสโมซิสผันกลับมีปัญหา ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงเป็นเยื่อกรองชนิดแบบท่อ (tubular type membrane) ที่มีพื้นที่การกรองที่มากขึ้น และเป็นการกรองแบบไหลขวาง (cross flow) เพื่อป้องกันการเกิดเจลหรือเค้กที่บริเวณผิวหน้าเยื่อแผ่น ซึ่งนิยมใช้กับอุตสาหกรรมการบำบัดน้ำเสียหรือเคมี แต่ยังไม่มีผู้ประกอบการรายใดนำมาใช้กับอุตสาหกรรมอาหาร จึงมีความคิดที่จะนำมาใช้ในการทำเข้มข้นอาหาร ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบสร้างเครื่องมือที่รองรับเยื่อกรองชนิดแบบท่อ เพื่อนำมาทดสอบกับการทำเข้มข้นน้ำตาลสดโดยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ ที่สามารถใช้ร่วมกับกระบวนการอัลตราฟิลเทรชัน (ultrafiltration: UF) ในการทำให้ปลอดเชื้อแบบเย็น (cold sterilization) เพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์โดยไม่ใช้ความร้อน ทำให้สามารถเก็บน้ำตาลสดได้นานมากขึ้น ไม่สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ไม่ต้องใช้สารกันเสีย สามารถลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการขนส่งและสามารถขนส่งได้อย่างสะดวก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบสร้างเครื่องมือที่รองรับเยื่อกรองของกระบวนการออสโมซิสผันกลับชนิดแบบท่อ (tubular type membrane) โดยให้สามารถใช้ร่วมกับกระบวนการอัลตราฟิลเทรชัน (Ultrafiltration: UF) และศึกษาความเป็นไปได้ถึงความสามารถในการกรองโดยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันในระดับห้องปฏิบัติการ รวมไปถึงความสามารถในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ โดยนำมาทดสอบกับการทำเข้มข้นน้ำตาลสด

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาในน้ำตาลสดที่ไม่ได้มีการใส่ยาฆ่าเชื้อลงในน้ำตาลสด

2. ใช้ร่วมกับกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันในการทำให้ปลอดเชื้อแบบเย็น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำเครื่องมือที่ออกแบบมาประยุกต์ใช้ในการทำเข้มข้นอาหารต่างๆ

2. เข้าใจการทำงานของเครื่องมือในการทำเข้มข้นอาหาร

3. ลดการเสื่อมเสียคุณภาพที่เกิดจากความร้อนทั้งในด้านประสาทสัมผัสและด้านคุณค่าทางโภชนาการ

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 ตาลโตนด

2.1.1 ประวัติตาลโตนด

ต้นตาลโตนด (Palmyra Palm) เป็นต้นไม้ตระกูลเดียวกันกับปาล์ม และมะพร้าว มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Borassusflabellifer Linn*. ซึ่งจัดเป็นต้นไม้ชนิดให้ผลที่สามารถพบได้ทั่วไป และในประเทศไทยสามารถพบได้ทั่วไปในทุกภาค แต่พบมากที่สุดที่ภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดสงขลา จังหวัดเพชรบุรี ส่วนภาคกลางพบรองลงมาจากภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดนครปฐม จังหวัดชัยนาท

ตาลโตนด มีลำต้นแข็งแรง และมีอายุถึงประมาณ 80 ถึง 100 ปี โตเต็มที่สูงได้กว่า 18 ถึง 25 เมตร หรือมากกว่า และสามารถเริ่มให้น้ำตาลและลูกได้เมื่ออายุประมาณ 10 ถึง 15 ปี เป็นพืชที่ขึ้นได้บนดินทุกชนิด ทนแล้ง และน้ำท่วมได้ดี นอกจากนี้ผลของตาลโตนดจะออกที่ต้นตัวเมียเท่านั้น ซึ่งเจริญมาจากช่อดอกที่เรียกว่า ทะลาย และจะสามารถเก็บผลอ่อนได้เมื่อ 75 ถึง 80 วัน หลังออกดอก ในแต่ละทะลายมี 10 ถึง 20 ผล ผลอ่อนมีสีเขียว จาวตาลอ่อนนุ่มหรือด้านในยังเป็นน้ำ และเมื่อเวลาผ่านไปทำให้ผลแก่ มีสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ ผิวเป็นมัน เนื้อจาวตาลเป็นเส้นใยละเอียด เหนียว มีสีขุ่นขาวจนถึงเหลืองแก่ตามอายุผล และมีกลิ่นหอม ส่วนเปลือก และจาวตาลแก่นิยมนำไปใช้ทำขนมตาล และใช้แต่งสีขนมต่างๆ (สำนักงานการเกษตรจังหวัดสงขลา, 2542)

น้ำตาลโตนดได้รับความนิยมในการนำไปใช้ทำขนมหวาน โดยน้ำตาลโตนดที่นำมาใช้ทำขนมเก็บมาจากบนยอดตาลซึ่งมีงวงตาลที่ให้น้ำตาลมาก แต่ตาลตัวผู้ไม่ให้ลูกตาล และงวงตาลให้น้ำตาลน้อย ในขณะที่ตาลตัวเมียให้ลูกตาลและให้น้ำตาลมาก ซึ่งการทำให้งวงตาลคายน้ำออกมาต้องใช้ไม้คาบตาลมานวดประมาณ 5 วัน จึงเริ่มปาดปลายของงวงตาลออกวันละน้อย ๆจนกว่าจะมีน้ำไหลเมื่อน้ำตาลเริ่มหยดคนทำตาลจะปีนขึ้นไปรองน้ำตาลในตอนบ่ายและเก็บลงมาในเวลาประมาณ 5.00 น. ของวันถัดไป เรียกน้ำตาลที่เก็บมานี้ว่า “น้ำตาลสด” โดยทั่วไปน้ำตาลสดที่เก็บเกี่ยวได้จะต้องผ่านกระบวนการกรองด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำไปต้มในกระทะเหล็ก ซึ่งตั้งอยู่บนเตาที่ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงจนกระทั่งเดือด (อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส) มีการใส่ใบเตยหอมเพื่อแต่งกลิ่นรส ใส่น้ำปูนใสเพื่อทำให้น้ำตาลสดมีความใสขึ้น และบรรจุขวดเพื่อส่งขายต่อไป ผลผลิตนี้เรียกว่า “น้ำตาลสด”

จากกระบวนการในการเก็บน้ำตาลสดจะเห็นว่าใช้เวลานานระหว่างการเก็บ ซึ่งส่งผลให้ในระหว่างที่รอน้ำตาลสดไหลนั้น น้ำตาลสดภายในกระบอกไม้ไผ่เกิดการหมักหรือเชื้อจุลินทรีย์สามารถใช้องค์ประกอบต่างๆของน้ำตาลสดในการเจริญเติบโตได้ในระหว่างรอการเก็บทำให้น้ำตาลสดไม่ใสเหมือนตอนที่ไหลออกมาใหม่ๆ

2.1.2 องค์ประกอบของน้ำตาลโตนด

น้ำตาลโตนดมีองค์ประกอบประกอบด้วย น้ำตาลซูโครสปริมาณ 12.3 - 17.4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร เถ้า 0.11 - 0.41 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และมีปริมาณโปรตีนอยู่ 0.23 - 0.32 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (Child, 1974) นอกจากนี้ได้มีการรายงานว่าน้ำตาลโตนดมีปริมาณของแข็งที่ละลายเท่ากับ 16 องศาบริกซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 16.8 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับร้อยละ 1.8 และปริมาณน้ำตาลซูโครสเท่ากับร้อยละ 15.0 (กนก ติรวัฒน์และคณะ, 2521)

เอนไซม์เป็นลักษณะทางเคมีอย่างหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับน้ำผลไม้ โดยชนิดของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมเสียและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในน้ำผลไม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มหลักๆ คือ

I. เอนไซม์อินเวอร์เทส เอนไซม์เหล่านี้สร้างจากจุลินทรีย์เช่น *Escherichia coli* และ *Aspergillus niger* เป็นต้น ทำหน้าที่ย่อยสลายน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทส เอนไซม์อินเวอร์เทสทำงานได้ดีในช่วง pH 3.5 ถึง 5.5 อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50 ถึง 55 องศาเซลเซียสในอาหารที่มีสารละลายน้ำตาลเจือจางและในสารละลายน้ำตาลเข้มข้นอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 65 ถึง 70 องศาเซลเซียส เอนไซม์อินเวอร์เทสจะทำให้เกิดการเสื่อมเสียของน้ำผลไม้โดยจะทำให้เกิดการหมักของน้ำผลไม้ทำให้มีรสชาติและกลิ่นเปลี่ยนไป (Kulp, 1975)

II. เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส เป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ทั่วไปในพืชชั้นสูงทุกชนิด โดยเฉพาะ fig sap และ horseradish นอกจากนี้ยังพบในเนื้อเยื่อสัตว์ บางชนิดและจุลินทรีย์ สำหรับเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเป็นเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดีระหว่างการเก็บรักษา (Hendrickx *et al*., 1998)

III. เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีในน้ำผลไม้ จึงใช้ในการพิจารณาคุณภาพน้ำผลไม้ น้ำผักน้ำผลไม้มีสีคล้ำลงแสดงว่ามีการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเกิดขึ้นโดยเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจะทำให้เกิดปฏิกิริยาใน 2 ลักษณะคือ hydroxylation และ dehydrogenation โดยสารฟีนอลในน้ำผลไม้จะถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนซึ่งมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่งจะได้เป็น o-quinone (ประสาร สวัสดิ์ชิตัง, 2538)

2.1.3 ประโยชน์ของน้ำตาลโตนด

เนื่องจากน้ำตาลโตนดเป็นน้ำหวานจากช่อดอกและช่อผลของตาลโตนดธรรมชาติ ทำให้มีความหวานและความหอมยังที่เป็นเอกลักษณ์ ไม่มีขั้นตอนของการเติมแต่งสารเคมีต่างๆ การที่ไม่ได้มีการเติมแต่งสารเคมีใดๆ และ ไม่มีขั้นตอนการฟอกสีในกระบวนการผลิต ทำให้น้ำตาลโตนดเป็นน้ำตาลที่ดีที่สุดชนิดหนึ่ง และเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากเป็นน้ำตาลที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (Low GI Sugar) ทำให้น้ำตาลถูกดูดซึมเข้าสู่เลือดได้ช้า โดยน้ำตาลที่มีสารให้ความหวานที่มีค่า GI สูงกว่าจะเสี่ยงต่อโรคเบาหวานและโรคที่เกิดจากน้ำตาลมากกว่า (Brand-Miller J. and Buyken AE., 2012)

นอกจากนี้น้ำตาลโตนดยังมีสารต้านอนุมูลอิสระมากถึง 7,000 หน่วย/100 กรัม เมื่อเทียบกับน้ำตาลทรายขาวมีปริมาณน้อยกว่า 21 หน่วย/100 กรัม จึงช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหลายโรคโดยเฉพาะโรคเบาหวาน และยังมีธาตุเหล็กช่วยในกระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดง แคลเซียมช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของกระดูกและฟัน และธาตุโปแตสเซียมช่วยรักษาสมดุลของเกลือแร่ในร่างกาย แต่มีปริมาณโซเดียมต่ำจึงช่วยควบคุมระดับความดันโลหิตและการบวมน้ำ (ไทยโพสต์, 2561)

2.1.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของน้ำตาลสด

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. มผช.๓๘/๒๕๕๗) ได้มีการกำหนดคุณลักษณะของน้ำตาลสดโดยต้องมีคุณลักษณะตามที่กำหนดคือ

1. ลักษณะทั่วไป ต้องเป็นของเหลวขุ่น อาจตกตะกอนเมื่อวางทิ้งไว้ โดยการทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
2. สี ต้องมีสีดีตามธรรมชาติของน้ำตาลสด
3. กลิ่นรส ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของน้ำตาลสด ไม่มีกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นแอลกอฮอล์ กลิ่นรสเปรี้ยวบูด
4. สิ่งแปลกปลอม ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูล จากสัตว์ การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
5. สารที่ละลายน้ำ ต้องไม่น้อยกว่า 11 องศาบริกซ์ การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC หรือวิธีทดสอบอื่นที่เทียบเท่า
6. วัตถุเจือปนอาหาร ห้ามใช้สีสังเคราะห์และวัตถุกันเสียทุกชนิด การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC หรือวิธีทดสอบอื่นที่เทียบเท่า
7. จุลินทรีย์
    - จุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร
    - แซลโมเนลลา ต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร
    - สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส ต้องน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร
    - บาซิลลัส ซีเรียส ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร
    - คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร
    - โคลิฟอร์ม โดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 2.2 ต่อตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร
    - เอสเชอริเชีย โคไล ต้องไม่พบในตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร
    - ยีสต์และรา ต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC หรือ BAM (U.S.FDA) หรือวิธีทดสอบอื่นที่เทียบเท่า

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนจะพบว่าจำเป็นต้องตรวจเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆหลายชนิด เนื่องจากองค์ประกอบของน้ำตาลสดเป็นอาหารที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์เป็นอย่างมาก

2.1.5 ปัญหาน้ำตาลโตนดและการฆ่าเชื้อ

เนื่องจากการรองรับน้ำตาลสดจากต้นตาลโตนดต้องใช้เวลานานกว่า 10 ชั่วโมง และน้ำตาลสดยังมีสารอาหารที่ส่งเสริมและเหมาะแก่การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ จึงทำให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีในระหว่างการเก็บน้ำตาลสด ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีกระบวนการรองเก็บน้ำตาลสดที่ปลอดเชื้อ ดังนั้นวิธีที่ง่ายที่สุดที่ชาวบ้านสามารถทำได้ คือ การใส่ไม้เคี่ยม (*Cylylelobium lanceolatum)* หรือไม้พะยอม ลงไปในกระบอกไม้ไผ่หรือภาชนะที่รองรับน้ำตาลสด ซึ่งไม้จำพวกนี้เป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่ง ประเภทไม้ยืนต้น โดยจะทำการฝานหรือหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ประมาณ 3 ถึง 5 กรัมไว้ที่ส่วนล่างสุดของกระบอกไม้ไผ่ก่อนแขวนรอน้ำตาลโตนดที่งวงตาลเพื่อชะลอการเสื่อมเสียในระหว่างการเก็บเกี่ยว (Ohler, 1984) และช่วยรักษาคุณภาพน้ำตาลสดไม่ให้เกิดกระบวนการหมัก (Fermentation) โดยแลกติกแบคทีเรียซึ่งจะทำให้น้ำตาลสดเน่าเสียในระหว่างการเก็บบนยอดตาลนานหลายชั่วโมง (ไทยโพสต์, 2561) ทำให้มีรสเปรี้ยวและมีฟองก๊าซเกิดขึ้น เมื่อนำไปเคี่ยวเป็นน้ำตาลปี๊บหรือน้ำตาลก้อนจะทำให้ไม่ตกผลึก (วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล, 2537) สาเหตุที่ไม้เคี่ยมสามารถป้องกันการเสื่อมเสียได้เนื่องจากมีสารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งนอกจากแลกติกแบคทีเรียจะทำให้เกิดกระบวนการหมักแล้ว ในสภาวะที่มีออกซิเจนยีสต์ก็สามารถเปลี่ยนน้ำตาลเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ (Murdock, 1997) ทำให้ในน้ำตาลโตนดมีกลิ่นแอลกอฮอล์เกิดฟองและสูญเสียปริมาณน้ำตาล (วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล, 2537) ทั้งนี้น้ำตาลสดมีสารอาหารจำนวนมากและพร้อมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิด ดังนั้นการเลือกวิธีในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์จึงเป็นเรื่องที่สำคัญ โดยอาจจะเลือกวิธีที่ใช้ความร้อนในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ เช่น การให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรส์เซชัน และระดับสเตอริไรส์เซชัน เป็นต้น หรืออาจเลือกวิธีในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์โดยไม่ใช้ความร้อน เช่น การกรอง การฉายรังสี นอกจากนี้ในปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีความดันสูงที่ไม่ต้องใช้ความร้อนทำให้สามารถรักษาคุณภาพอาหารไว้ได้ และสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (Farkas and Hoover, 2000)

รูปที่ 2.1 ตาลโตนด

ที่มา https://www.technologychaoban.com/what-news/article_28502

2.2 การทำให้ปลอดเชื้อแบบเย็น (cold sterilization)

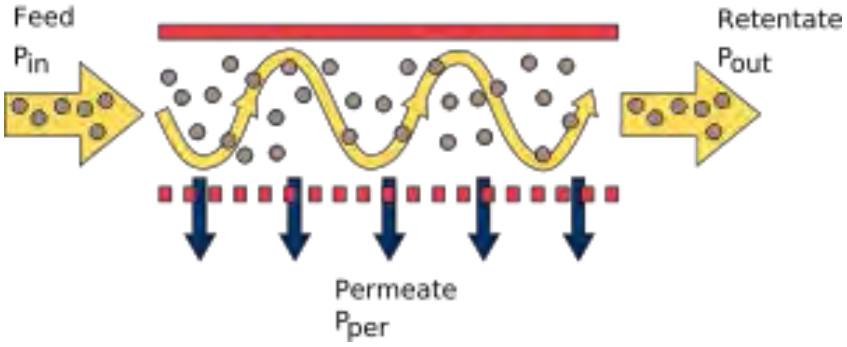
การทำให้ปลอดเชื้อแบบเย็นเป็นการทำให้ปลอดเชื้อ (sterilization) ซึ่งเป็นวิธีการถนอมอาหารวิธีหนึ่ง โดยจะทำลายหรือกำจัดจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหาร เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ และรา ด้วยวิธีที่ไม่ใช้ความร้อน ซึ่งวิธีการทำให้ปลอดเชื้อแบบเย็นเป็นการหลีกเลี่ยงผลกระทบของความร้อนที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ เช่น การเปลี่ยนสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของอาหาร ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการรับรู้ และความพึงพอใจของผู้บริโภคได้ (Amado Gil-Martinez, 1998) ซึ่งกระบวนการกรองด้วยเยื่อมีจุดประสงค์เพื่อแยกองค์ประกอบในของเหลวผ่านเยื่อได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนรีเทนเทต (retentate) ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกกักกันด้วยเยื่อ และส่วนที่ผ่านเยื่อออกมาเรียกว่า เพอมิเอต (permeate) โดยมีรูปแบบการกรองและทิศทางการไหลของสารป้อน 2 รูปแบบคือ (1) การกรองแบบปิดตาย (Dead-end filtration) เป็นการป้อนสารละลายในทิศทางตั้งฉากกับเยื่อแผ่นทำให้เกิดการสะสมของเจลหรือเค้กที่บริเวณผิวหน้าของเยื่อส่งผลให้ค่าฟลักซ์ของการกรองลดลง และมีค่าความต้านทานการกรองเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเหมาะกับการกรองสารละลายที่มีความเข้มข้นของสารละลายไม่สูงมาก (2) การกรองแบบไหลขวาง (Cross-flow filtration) เป็นการป้อนสารละลายในทิศขนานกับเยื่อซึ่งสามารถลดกรสะสมของเจลหรือเค้กที่บริเวณของผิวหน้าของเยื่อได้ จึงเหมาะสมกับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง และนิยมใช้กันในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถลดความเข้มข้นสะสม (concentration polarization) และลดการเกิดเจล หรือเค้กบนผิวหน้าเยื่อแผ่น และสามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณมากได้ (Kenneth *et al*., 1997) นอกจากนี้การกรองด้วยเยื่อ ที่มีวัตถุประสงค์นอกเหนือไปจากการทำเข้มข้น และการทำให้ใสแล้วยังสามารถประยุกต์ใช้ได้กับการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ โดยการกรองด้วยเยื่อมีหลายประเภท เช่น ไมโครฟิลเทรชัน (Microfiltration: MF) อัลตราฟิลเทรชัน (Ultrafiltration: UF) และออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis: RO) เป็นต้น ซึ่งแต่ละประเภทใช้เยื่อกรองที่ต่างชนิดกันแยกขนาด

อนุภาค และ/หรือขนาดโมเลกุล หรือ ไอออนที่แตกต่างกันออกจากกันได้ ดังนั้นในการประยุกต์ใช้เยื่อกรองสำหรับแยกอนุภาคและโมเลกุลนั้นจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมและตรงตามคุณสมบัติ โดยหากแบ่งแยกประเภทตามขนาดของรูพรุน (Pore Size) ของเยื่อกรองประเภทต่างๆ สามารถแยกหลายประเภท

2.3 ประเภทของเยื่อกรอง (Type of Membrane Filtration)

2.3.1 กระบวนการไมโครฟิลเทรชัน (Microfiltration, MF)

กระบวนการไมโครฟิลเทรชันเป็นกระบวนการที่ใช้แยกสารละลายที่มีตัวถูกละลายเป็นอนุภาคคอยลอยด์ขนาดเล็ก หรือสารแขวนลอยที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 300,000 Da ใช้เยื่อแผ่นรูพรุนขนาดใหญ่ 0.1 ถึง 10 ไมโครเมตร แยกสารด้วยการคัดขนาดโดยอาศัยความดันเป็นแรงขับเคลื่อน (driving force) ทำให้โมเลกุลขนาดเล็ก เช่นโมเลกุลของแร่ธาตุ เกลือต่างๆ รวมทั้งโมเลกุลของโปรตีน น้ำตาลแลคโตส เป็นต้น ผ่านเยื่อแผ่นออกมา ในขณะที่โมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น เซลล์ของแบคทีเรีย โมเลกุลของไขมัน เป็นต้น จะไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นออกมา โดยตัวอย่างการใช้งานหลักของกระบวนการไมโครฟิลเทรชัน เช่น การบำบัดน้ำทิ้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มเพื่อทำให้เครื่องดื่มใส (clarification) ในไวน์น้ำผลไม้และอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพ เป็นต้น ซึ่งกระบวนการไมโครฟิลเตรชันนิยมใช้เพื่อเป็นการกรองเบื้องต้น และแยกตะกอนขนาดใหญ่บางส่วนออกก่อนนำไปกรองในระดับที่ละเอียดกว่า เช่น อัลตราฟิลเทรชัน (ultrafiltration) (วิโรจน์ ยูรวงศ์ และ วัสสา คงนคร, 2553)

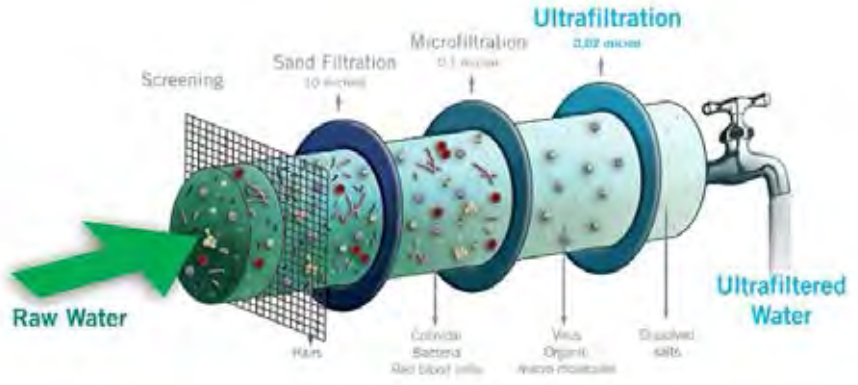


รูปที่ 2.2 การกรองแบบไมโครฟิลเทรชัน

ที่มา https://en.wikipedia.org/wiki/Microfiltration

2.3.2 กระบวนการอัลตราฟิลเทรชัน (Ultrafiltration, UF)

กระบวนการอัลตราฟิลเทรชันเป็นกระบวนการแยกโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น คอลลอยด์ จุลินทรีย์ น้ำตาล และสารอื่นๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 300-500,000 ดาลตัน (Dalton: Da) ออกจากน้ำหรือสารโมเลกุลอื่นๆ โดยใช้ความดันในการส่งผ่านเยื่อกรอง ซึ่งความดันที่ใช้อยู่ในช่วง 2-10 บาร์ เยื่อกรองที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นเยื่อกรองที่ไม่สมมาตร และเป็นเยื่อกรองที่มีรูพรุน หรือ Molecular weight cut-off (MWCO) อยู่ในช่วง 1-300 kDa (Zeman and Zydney, 1996; Baker, 2000)



รูปที่ 2.3 การกรองแบบอัลตราฟิลเทรชัน

ที่มา https://crystalquest.com/pages/what-is-ultrafiltration

2.3.3 กระบวนการนาโนฟิลเทรชัน (Nanofiltration: NF)

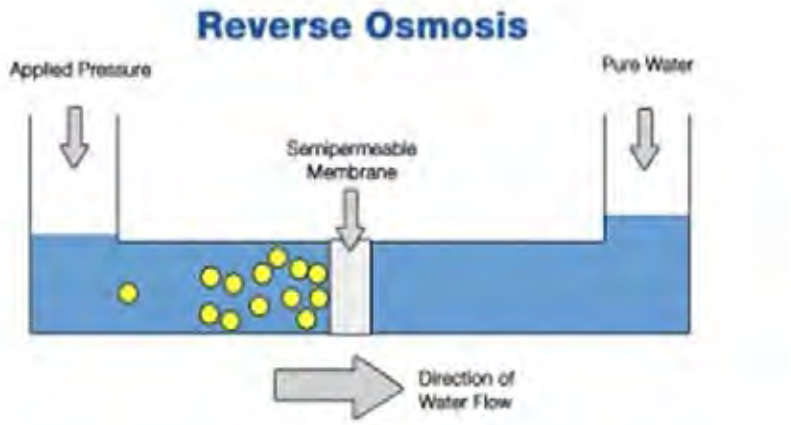
กระบวนการนาโนฟิลเทรชันเป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อกรองขนาดรูพรุน 2-5 nm ซึ่งใกล้เคียงกับกระบวนการออสโมซิสผันกลับ คือใช้ผลต่างของความดันเป็นแรงขับเคลื่อนในการแยกสารหรือตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 1,000 Da ออกจากสารละลายตัวอย่าง เช่น น้ำตาล สารอินทรีย์น้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นต้น โดยความดันที่ใช้ในการป้อนสารละลายอยู่ระหว่าง 10-40 บาร์ (วิโรจน์ ยูรวงศ์ และวัสสา คงนคร, 2553)

ส่วนชนิดของเยื่อกรองที่ใช้กันทั่วไป เช่น สารประกอบอินทรีย์ สายโซ่พอลิเอไมด์ และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นต้น เยื่อแผ่นนาโนฟิลเทรชันส่วนมากเป็นเยื่อกรองเชิงประกอบ ซึ่งประกอบด้วยชั้นผิวที่มีโครงสร้างแน่นอยู่บนชั้นรองรับที่มีรูพรุนใหญ่กว่า และมีความสามารถในการกักกันเกลือประจุเดี่ยว (เช่น NaCl) ต่ำกว่าเยื่อแผ่นออสโมซิสผันกลับคืออยู่ระหว่าง 40 - 80 เปอร์เซ็นต์

2.3.4 กระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis, RO)

กระบวนการออสโมซิสผันกลับ เป็นกระบวนการแยกสารละลายโดยใช้ผลต่างความดันระหว่างเยื่อแผ่นเป็นแรงขับเคลื่อน เยื่อแผ่นออสโมซิสผันกลับมีความสามารถในการกักกันโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น เกลือ น้ำตาล หรือโมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 500 Da หรือมีขนาดประมาณ 0.1 - 1 nm แต่ยอมให้น้ำผ่านได้และเป็นเยื่อแผ่นที่มีโครงสร้างแน่นหรือไม่มีรูพรุน การผ่านเยื่อแผ่นของสารเกิดจากความสามารถในการละลายและการแพร่ (Solution-diffusion) ในเยื่อแผ่น ความดันที่ใช้ในการป้อนสารละลายอยู่ระหว่าง 50 - 100 บาร์ ตัวอย่างการใช้งานของกระบวนการนี้คือ การแยกเกลือออกจากน้ำกร่อย น้ำทะเล เพื่อผลิตน้ำจืด การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้ การผลิตน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง ตลอดจนการบำบัดน้ำทิ้งที่มีโลหะเจือปน เช่น อุตสาหกรรมชุบเคลือบโลหะ เป็นต้น (วิโรจน์ ยูรวงศ์ และ วัสสา คงนคร, 2553)

ดังนั้นคุณสมบัติของเยื่อกรองแต่ละประเภทเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องทราบ เนื่องจากต้องเลือกเยื่อกรองให้เหมาะสมกับการใช้งาน การเลือกเยื่อกรองให้เหมาะสมกับคุณลักษณะของน้ำและสภาวะในการเดินระบบเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้การใช้เทคโนโลยีเยื่อกรองเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งขนาดของรูพรุนและความสามารถในการกักกันเป็นคุณสมบัติของเยื่อกรองอย่างแรกที่ต้องทราบ ยกตัวอย่างเช่น ความสามารถในการกักกันเกลือใช้บอกคุณลักษณะของเยื่อกรองชนิดออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis: RO) คุณสมบัติอื่น ๆ ของเยื่อกรองที่มีความสำคัญต่อการเลือกและการใช้งาน



รูปที่ 2.4 การกรองแบบออสโมซิสผันกลับ

ที่มา http://www.prnewsnow.com/the-true-usage-of-reverse-osmosis-systems/

2.4 โมดูลเมมเบรน (Membrane Module)

โมดูลเมมเบรนคือ เยื่อกรองที่ผลิตขึ้นมาสำหรับใช้ในกระบวนการกรองซึ่งอาจมีรูปร่างแตกต่างกัน เช่น เป็นเยื่อกรองแบบแผ่นเรียบหรือเป็นแบบท่อ ในการใช้ต้องบรรจุหรือประกอบเยื่อกรองให้มีพื้นที่เยื่อกรองตามความต้องการ ซึ่งเรียกว่า (Module) โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 แบบ (Scott, 1990) คือ (1) โมดูลแบบแผ่นและแบบกรอบ (Plate and Frame) (2) โมดูลแบบท่อ (Tubular Module) (3) โมดูลแบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Module) และ (4) โมดูลแบบท่อม้วน (Spiral Wound Module) โดยหลักในการออกแบบต้องคำนึงถึงการใช้งานคือ ต้องมีอัตราการไหลผ่านสูง ลดการสะสมของเจลหรือเค้กที่บริเวณผิวหน้าเยื่อแผ่น ขนาดกะทัดรัดและมีพื้นที่ต่อหน่วยปริมาตรของโมดูลสูง เป็นต้น

2.4.1 โมดูลแบบแผ่นและแบบกรอบ (Plate and Frame)

โมดูลแบบแผ่นและแบบกรอบมีลักษณะเป็นแผ่นมาประกบกัน มีพื้นที่ต่อปริมาตร 100 - 400 m^2/m^3 และได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการต่างๆ เช่น อัลตราฟิลเทรชัน กระบวนการอิเล็กโตรไดอะไลซิส เป็นต้น โดยใช้ผลต่างของแรงขับเคลื่อนมาใช้ในกระบวนการแยกสาร

2.4.2 โมดูลแบบท่อ (Tubular module)

โมดูลแบบท่อ (Tubular Module) มีส่วนประกอบของท่อที่มีชั้นของเยื่อแผ่นหุ้มอยู่รอบท่อ สารที่ป้อนเข้าจะเข้าทางด้านในของเยื่อแผ่นแล้วกรองผ่านเยื่อแผ่นออกมาสู่ด้านนอก โดยโมดูลแบบท่อจะบรรจุอยู่ในตัวบรรจุ (Housing) ซึ่งโมดูลแบบท่อนิยมใช้ร่วมกับการไหลแบบไหลขวาง (cross flow) ดังนั้นสารที่ป้อนเข้าไปนั้นไม่จำเป็นต้องเป็นสารที่ผ่านการบำบัดมาก่อน เนื่องจากการไหลแบบไหลขวางจะไม่ทำให้เกิดเจลหรือเค้กบริเวณผิวหน้าของเยื่อแผ่น โมดูลชนิดนี้ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการอัลตราฟิลเทรชัน (Ultrafiltration) และไมโครฟิลเทรชัน (Microfiltration) และวัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่ทำจากวัสดุอนินทรีย์ แต่วัสดุชนิดนี้มีราคาสูง

2.4.3 โมดูลแบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Module)

โมดูลแบบเส้นใยกลวงประกอบไปด้วย เยื่อแผ่นแบบบางที่บรรจุอยู่ใน Housing เส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 80 - 200 ไมครอน และมีความหนาน้อยกว่า 20 ไมครอน มีพื้นที่เยื่อแผ่นต่อหน่วยสูงถึง 30,000 m^2/m^3 และความดันที่ใช้สูงถึง 80 บาร์ สารที่ป้อนจะเข้าทางด้านนอกซึมผ่านเข้าไปภายในเส้นใย สิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของโมดูลแบบเส้นใยกลวง คือ สารที่ป้อนเข้าไปนั้นควรจะสะอาด เพื่อป้องกันการเกิดการอุดตันที่เป็นสาเหตุทำให้เกิด Fouling เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูเยื่อแผ่นสูง ดังนั้นสารป้อนจำเป็นต้องทำการบำบัดเบื้องต้นมาก่อน

2.4.4 โมดูลแบบท่อม้วน (Spiral Wound Module)

โมดูลแบบท่อม้วนประกอบด้วยเยื่อแผ่นแบบแผ่นวางซ้อนกันม้วนรอบแกนที่เป็นท่อเพอมิเอท แผ่นกั้นของสารป้อนที่อยู่ระหว่างเยื่อแผ่นจะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดความกว้างของช่องสารป้อน ซึ่งจะมีความหนา 1.0 mm และความเร็วที่ไหลแบบ Cross Flow มีพื้นที่ต่อปริมาตรทั่วไป 300 - 1,000 m^2/m^3 เยื่อแผ่นสองชั้นหรือหลายชั้นต้องมีความเหมาะสมและสามารถรองรับความดันที่เกิดขึ้นภายใน Housing ที่มีการป้อนสารเข้าไปภายใน และยอมให้น้ำรีเทนเทต (Retentate) ออกมาได้ (Scott, 1990)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ออกแบบ จัดหา องค์ประกอบต่างๆ และจัดสร้างเครื่องมือกรองที่รองรับเยื่อแผ่นแบบท่อ (tubular membrane) โดยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันและกระบวนการออสโมซิสผันกลับ

3.1.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือกรองที่รองรับเยื่อแผ่นแบบท่อ

1. Tubular module เยื่อแผ่นแบบท่อ
2. ปั๊มที่ให้ความดันสูงเพียงพอต่อการใช้งานกับกระบวนการกรองแบบออสโมซิสผันกลับ กล่าวคือ สามารถให้อัตราการไหลที่เพียงพอกับการสร้างปรงเฉือนที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น และ มีความดันที่สูง
3. Safety valve อุปกรณ์ให้ความปลอดภัยที่มีหน้าที่ป้องกันแรงดันในระบบโดยวาล์วจะเปิดเพื่อระบายแรงดันส่วนที่เกินกว่าที่กำหนดออกเพื่อป้องกันอุปกรณ์ หรือ ผลิตภัณฑ์เสียหาย โดยส่วนใหญ่จะตั้งแรงดันสำหรับระบายที่ maximum allowable working pressure (MAWP) หรือ แรงดันที่ระบบสามารถรับได้ การทำงานหน้าวาล์วจะถูกออกแบบให้เปิดเพื่อระบายแรงดันส่วนเกินและปิดเมื่อแรงดันลดลงต่ำกว่าที่กำหนด โดยมีลักษณะการเปิดอย่างรวดเร็ว (pop action) หรือค่อย ๆ เปิดตามสัดส่วนแรงดันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบ
4. เกจวัดแรงดัน (Pressure gauge) วัดค่าความดันโดยสามารถอ่านค่าความดันได้ที่หน้าปัด ในโครงการวิจัยนี้ใช้เกจวัดความดันที่สามารถวัดได้สูงถึง 40 บรรยากาศ
5. วาล์วควบคุมแรงดัน (Pressure control valve) ชนิด needle valve
6. มาตรวัดอัตราการไหล Flow gauge
7. Flexible hose ท่ออ่อนที่สามารถยืดหยุ่นได้ ทำให้เวลาใช้งานสามารถหักงอ โค้งไปตามลักษณะการทำงานได้โดยไม่มีการแตกหัก
8. Pump controller เพื่อคอยควบคุมการเปิดปิดและอัตราการไหลของสารที่ส่งป้อนภายในท่อหรือระบบ
9. Circulation tank คือถังสำหรับเก็บตัวอย่างโดยตัวอย่างจะส่งไปยังเยื่อกรองเพื่อทำเข้มข้นและตัวอย่างจะถูกส่งไปเก็บยังถังเก็บอีกรอบและวนเรื่อยๆ

3.1.2 วิธีการดำเนินงาน

1. ออกแบบ วางแผน และ กำหนดสเปกเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ให้เหมาะสม
2. จัดซื้ออุปกรณ์และเครื่องมือชนิดต่าง ๆ ตามข้อ 3.1.1
3. ทำการประกอบเครื่องมือเข้าด้วยกัน

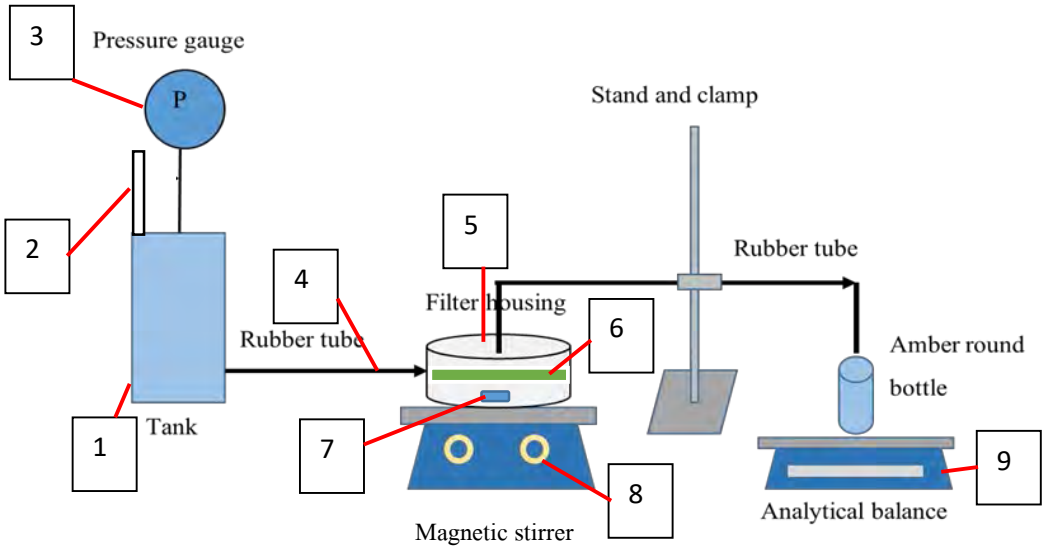
4. เริ่มกระบวนการกรองแบบอัลตราฟิลเทรชันเพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์
5. เริ่มกระบวนการกรองแบบออสโมซิสผันกลับเพื่อทำเข้มข้น
6. วิเคราะห์คุณภาพของน้ำตาลสดหลังการกรองที่ระยะเวลา 0, 3 และ 7 วัน
   - วัดปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายโดย Refractometer
   - วัดสีโดยเครื่องวัดสี Minolta CR-400
   - วัดความขุ่นโดย UV-VIS spectrophotometer
   - ตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้วิธีมาตรฐาน ตาม AOAC (PCA, PDA)

3.2 ศึกษาการกรองน้ำตาลสดด้วยกระบวนการกรองแบบอัลตราฟิลเทรชันด้วยเครื่องกรองขนาดเล็ก

3.2.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับกระบวนการกรองแบบอัลตราฟิลเทรชัน

1. เครื่องวัดสี (Minolta CR-400)
2. เครื่องวัดความขุ่น (UV-VIS spectrophotometer)
3. Refractometer (Atago, รุ่น 2313 MASTER-M)
4. ตู้แช่แข็ง (Freezer)
5. ถุง Polypropylene (PP)
6. กระดาษกรองเบอร์ 1
7. กระดาษกรองเบอร์ 4
8. ผ้าขาวบาง
9. ชุดเครื่องกรองบุชเนอร์
10. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
11. เยื่อแผ่นขนาด 10,000 DA
12. เยื่อแผ่นขนาด 100,000 DA
13. Magnetic bar
14. Stirrer

15. อุปกรณ์การกรองแบบอัลตราฟิลเทรชันขนาดเล็ก โดยประกอบรวมด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



(1) ถังใส่ตัวอย่างที่ต้องการกรอง (2) ท่อลม (3) มาตรวัดความดัน (4) สายยาง (5) ห้องกรอง (6) เยื่อแผ่น (7) แท่งแม่เหล็ก (8) Magnetic stirrer (9) เครื่องชั่งไฟฟ้า

รูปที่ 3.1 ระบบของกระบวนการอัลตราฟิลเทรชัน

ระบบของกระบวนการอัลตราฟิลเทรชัน ภายในระบบจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ตามข้อ 3.2.1 ซึ่งการทดลองได้ให้ความดันแก่ระบบที่ความดันคงที่ที่ 1 และ 2 บาร์ด้วยอากาศอัดจากเครื่องอัดอากาศ (compressor) ผ่านท่อลม (2) ให้ดันน้ำตาลสดจากถังใส่ตัวอย่างที่ต้องการกรอง (1) เข้าสู่ห้องกรอง (5) เลือกใช้เยื่อแผ่นที่มีขนาด MWCO 10 และ 100 kDa ห้องกรองทำจากอะคริลิก และมีพื้นที่การกรองเป็น 4534 ตารางมิลลิเมตร และห้องกรองสูง 17 มิลลิเมตร นอกจากนี้ภายในห้องกรองยังบรรจุ magnetic bar (7) ทำให้หมุนด้วย magnetic stirrer (8) เพื่อให้เกิดการกรองแบบไหลขวาง (cross flow filtration) ป้องกันการเกิดเจล หรือเค้กที่ผิวหน้าของเยื่อแผ่นซึ่งเป็นความต้านทานการไหล ตัวอย่างในห้องกรองจะถูกกรองผ่านเยื่อแผ่น (6) ได้ตัวอย่างที่ผ่านการกรองที่ปลอดเชื้อผ่านไปตามสายยางไปยังภาชนะบรรจุ ที่วางอยู่บนเครื่องชั่งไฟฟ้า (9) เพื่อทำให้สามารถชั่งน้ำหนักฟิลเทรตที่กรองได้ที่เปลี่ยนแปลงไปต่อเวลา

3.2.2 วิธีทดลองกรองน้ำตาลสด

1. ซื้อวัตถุดิบน้ำตาลสดจากต้นตาลโตนดจากจังหวัดสระบุรีและนำมาแบ่งใส่ภาชนะให้ได้ปริมาณเพียงพอแก่การทำการทดลอง 1 ครั้งแล้วนำเก็บในภาวะแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

2. คลายสภาพเยือกแข็งน้ำตาลสดจนมีสถานะเป็นของเหลวหมดแล้ว นำสารละลายน้ำตาลสดที่ได้มากรองผ่านผ้าขาวบางที่พับเป็นจำนวน 6 ทบ จากนั้นนำมากรองแบบสุญญากาศด้วยเครื่องบุชเนอร์โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 4 จำนวน 2 แผ่น ได้น้ำตาลสดที่ผ่านการกรองเบื้องต้น

3. จัดเตรียมเครื่องมือให้พร้อมใช้งานโดยนำอุปกรณ์ไปฆ่าเชื้อโดยใช้หม้อนึ่งฆ่าเชื้อโรคไอน้ำแรงดันสูง (Autoclave) และฆ่าเชื้อโดยใช้รังสี UV-C ภายใต้ตู้ลามินาร์ (Laminar air flow cabinet) หลังจากฆ่าเชื้ออุปกรณ์ ประกอบเครื่องมือเข้าด้วยกัน

4. ประกอบอุปกรณ์การกรองแบบกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันขนาดเล็ก โดยใช้ กระดาษกรองเบอร์ 1 รองด้านล่างสุดจำนวน 2 แผ่นตามด้วยเยื่อแผ่น และบรรจุ magnetic bar ลงในห้องกรองนำไปวางบน stirrer ในการทดลองนี้ได้มีการเลือกใช้เยื่อแผ่น 2 ขนาด คือ MWCO ขนาด 10 kDa และ 100 kDa

5. ติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ ต่อท่อลมที่มาจากเครื่องอัดอากาศเข้ากับแท็งก์เก็บตัวอย่างที่ต้องการกรองซึ่งในการทดลองนี้ได้มีการแปรความดัน 2 ความดัน คือ 1 บาร์ และ 2 บาร์ แล้วเชื่อมต่อแท็งก์เก็บตัวอย่างที่ต้องการกรองกับห้องกรองผ่านด้วยสายยางที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว และต่อสายยางจากห้องกรองที่เป็นตัวอย่างที่ผ่านการกรองมายังขวดเก็บตัวอย่างที่วางบนเครื่องชั่งน้ำหนัก ตามที่แสดงในรูป 3.1

6. นำน้ำกลั่นใส่ลงในถังเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเยื่อแผ่นที่จะนำมาใช้ในการทดลองโดยวัดอัตราการกรองของน้ำกลั่นที่ความดัน 1 และ 2 บาร์เปรียบเทียบอัตราการกรองน้ำกลั่นที่ใช้ในการทดลองก่อนหน้าของเยื่อแผ่นดังกล่าว ถ้าไม่แตกต่างกันเกินมาก (ประมาณ 10%) ให้ใช้เยื่อแผ่นดังกล่าวในการทดลองได้ หลังจากนั้นจึงนำน้ำตาลที่ผ่านกระบวนการกรองเบื้องต้นแล้วจากข้อ 2 เริ่มกรองน้ำตาลสดโดยจะชั่งน้ำหนักน้ำตาลสด ที่กรองได้ที่เปลี่ยนแปลงต่อเวลา และทำการตรวจวัดอัตราเร็วสารทำเข้มข้นที่สภาวะใด ๆคงที่

7. วิเคราะห์คุณภาพของน้ำตาลสดหลังการกรองที่ระยะเวลา 0, 3 และ 7 วัน

- วัดปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายโดย Refractometer
- วัดสีโดยเครื่องวัดสี Minolta CR-400
- วัดความขุ่นโดย UV-VIS spectrophotometer
- ตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้วิธีมาตรฐาน ตาม AOAC (PCA, PDA)

บทที่ 4

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผล

4.1 รูปแบบอุปกรณ์ และ ระบบที่รองรับเครื่องมือกรองแบบ UF และ RO

4.1.1 รูปแบบอุปกรณ์ที่รองรับเครื่องมือกรองแบบ UF และ RO

- เยื่อแผ่น (RO และ UF)

เยื่อแผ่น RO แบบ tubular ทำจาก acetyl cellulose ที่ทนความดันได้สูงถึง 300 บาร์ และมีความสามารถในการกักกันเกลือประจุเดี่ยวชนิดโซเดียมคลอไรด์ได้มากกว่าร้อยละ 90 มีฟลักซ์ของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เป็น 20 ± 5 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงที่ความดันการกรอง 25 บาร์ ส่วนเยื่อแผ่น UF สามารถทนความดันได้สูงถึง 10 บาร์ มีค่าการกักสารที่โมเลกุล (Molecular weight cut off: MWCO) ขนาด 100 กิโลดาลตัน มีฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ 80 ± 20 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงที่ความดัน 1 บาร์ โดยเยื่อแผ่นแบบท่อทั้ง 2 ชนิดมี polyester non-woven fabric เป็นแผ่นรอง ขนาดยาว 308 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 11.5 มิลลิเมตร มีพื้นที่การกรอง 0.0111 ตารางเมตรต่อ 1 ท่อ เยื่อแผ่นทั้งสองมี polyester non-woven fabric เป็นแผ่นรอง ขนาดยาว 308 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 11.5 มิลลิเมตร มีพื้นที่การกรอง 0.0111 ตารางเมตร และเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Daicen Membrane systems Ltd., Japan

- ปั๊ม (Pump)

ปั๊มรุ่น MW430H หรือ WP433-01 ให้ความดันได้สูงถึง 56 บรรยากาศ กำลังไฟฟ้า 1.8 kW ทนความร้อนได้ถึง 71 องศาเซลเซียส มีความกว้าง ความยาว ความสูงเป็น 319 x 223 x 136 และมีอัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที

- Safety valve

อุปกรณ์ให้ความปลอดภัยที่มีหน้าที่ป้องกันแรงดันในระบบโดยวาล์วจะเปิดเพื่อระบายแรงดันส่วนที่เกินกว่าที่กำหนดออกเพื่อป้องกันอุปกรณ์ หรือ ผลิตภัณฑ์เสียหาย โดยส่วนใหญ่จะตั้งแรงดันสำหรับระบายที่ maximum allowable working pressure (MAWP) หรือ แรงดันที่ระบบสามารถรับได้ การทำงานหน้าวาล์วจะถูกออกแบบให้เปิดเพื่อระบายแรงดันส่วนเกินและปิดเมื่อแรงดันลดลงต่ำกว่าที่กำหนด โดยมีลักษณะการเปิดอย่างรวดเร็ว (pop action) หรือค่อย ๆ เปิดตามสัดส่วนแรงดันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบ

- เกจวัดแรงดัน (Pressure gauge)

วัดค่าความดันโดยสามารถอ่านค่าความดันได้ที่หน้าปัด ในโครงการวิจัยนี้ใช้เกจวัดความดันที่สามารถวัดได้สูงถึง 40 บรรยากาศ

- วาล์วควบคุมแรงดัน (Pressure control valve) ชนิด needle valve
- มาตรวัดอัตราการไหล Flow gauge
- Flexible hose

ท่ออ่อนที่สามารถยืดหยุ่นได้ ทำให้เวลาใช้งานสามารถหักงอ โค้งไปตามลักษณะการทำงานได้โดยไม่มีการแตกหัก

- Pump controller

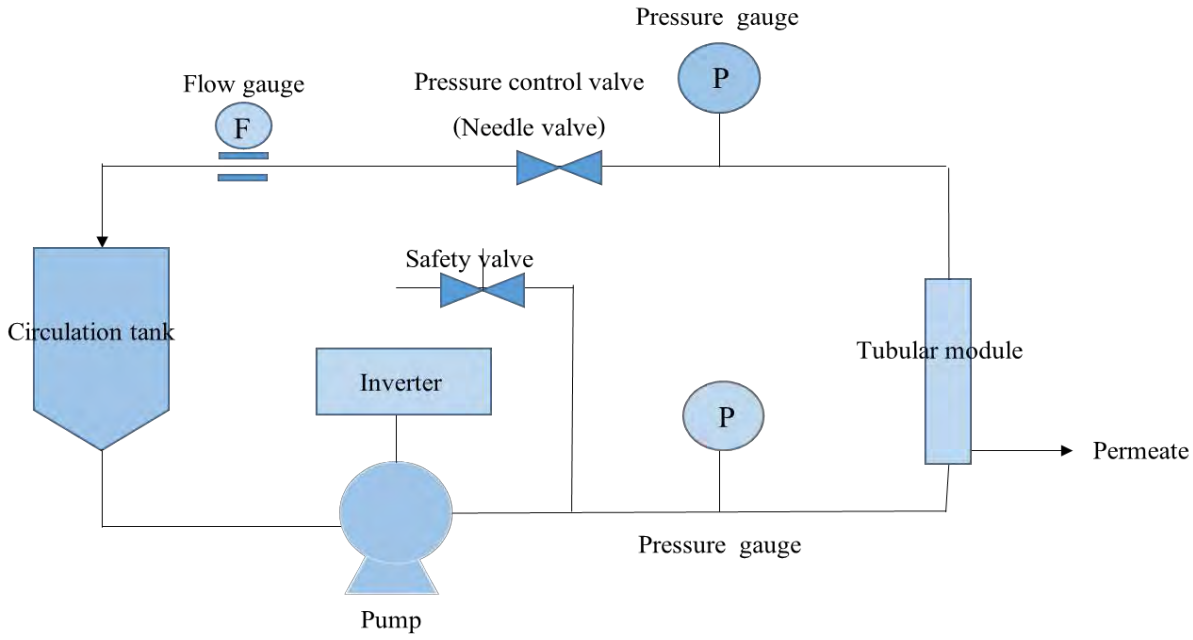
เพื่อคอยควบคุมการเปิดปิดและอัตราการไหลของสารที่ส่งป้อนภายในท่อหรือระบบ

- Circulation tank

ถังสำหรับเก็บตัวอย่างโดยตัวอย่างจะส่งไปยังห้องกรองที่บรรจุเยื่อกรองแบบ Tubular เพื่อทำเข้มข้นและตัวอย่างจะถูกส่งวนไปเก็บยังถังเก็บเกิดเป็นระบบหมุนเวียน

4.1.2 ระบบหมุนเวียนที่รองรับเครื่องมือกรองแบบ UF และ RO

ระบบหมุนเวียนที่รองรับเครื่องมือกรองแบบ UF และ RO จะเชื่อมต่อกันโดยระบบท่อสแตนเลสที่ทนต่อความดัน และภายในระบบหมุนเวียนประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ตามข้อ 3.1.1 และประกอบเข้าเป็นระบบหมุนเวียนดังแสดงในรูป 4.1 โดยจะเริ่มจากปั๊มที่ให้ความดันประมาณ 0.3 MPa (30 บรรยากาศ) ที่อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที ส่งสารป้อนซึ่งเป็นน้ำตาลสดจากถังเก็บเข้าสู่โมดูลเยื่อแผ่นแบบท่อ ทำให้เกิดการกรองทำเข้มข้นน้ำตาลสดผ่านเยื่อแผ่น และน้ำตาลสดที่ถูกทำเข้มข้นจะถูกส่งกลับไปยังถังเก็บอีกครั้ง ในขณะที่ฟิลเทรตจะถูกปล่อยออกจากระบบ และถูกชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงต่อเวลาเพื่อติดตามอัตราเร็วการกรอง มีมาตรวัดความดันที่ทางเข้าและออกของโมดูลเยื่อแผ่น พร้อมทั้ง มาตรวัดอัตราการไหล และ needle valve เพื่อใช้ในการควบคุมความดัน

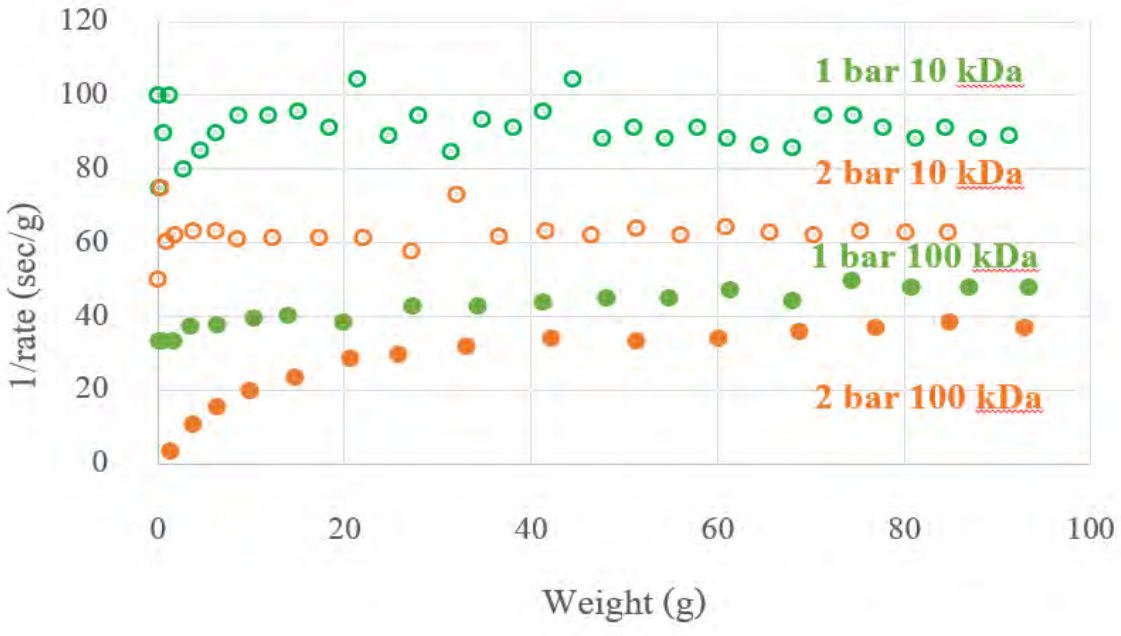


รูปที่ 4.1 ระบบหมุนเวียนที่รองรับเครื่องมือกรองแบบ UF และ RO

4.2 ผลการศึกษาการกรองน้ำตาลสดด้วยกระบวนการกรองแบบอัลตราฟิลเทรชันด้วยเครื่องกรองขนาดเล็ก

4.2.1 อัตราการกรองน้ำตาลสดโดยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชัน

จากการทดลองการกรองน้ำตาลสดด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันที่ความดัน 1 บาร์และ 2 บาร์ โดยใช้เยื่อแผ่นที่มี MWCO ขนาด 10 kDa และ 100 kDa โดยสามารถดูผลอัตราการกรองได้จากรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 อัตราการกรองน้ำตาลสดโดยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชัน

จากรูปที่ 4.2 แสดงอัตราการกรองน้ำตาลสดโดยมีแกนนอน (X-axis) คือ น้ำหนักของฟิลเทรต (กรัม) และแกนตั้ง (Y-axis) คืออัตราเร็วการกรองส่วนกลับ (1/rate (วินาที/กรัม)) โดยในช่วงแรกรูปกราฟที่ได้จะเพิ่มขึ้นเป็นลักษณะเส้นตรงเพราะในช่วงต้นการกรองมีการเกิดเจลหรือเค้กสะสมตัวขึ้นที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น ทำให้มีความต้านทานต่อการกรองในลักษณะเช่นเดียวกับการกรองแบบเกิดเค้กด้วยความดันคงที่ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราเร็วการกรองส่วนกลับและน้ำหนักของฟิลเทรตที่ได้เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และเมื่อเวลาผ่านไปได้น้ำหนักฟิลเทรตที่เพิ่มขึ้นกราฟจะค่อยๆเข้าสู่ค่าคงที่ใดคงที่หนึ่ง เนื่องจากอัตราการเพิ่มความต้านทานที่มีต่อการกรองลดลงเนื่องมาจากอิทธิพลของกระแสไหลขวางมีมากขึ้น ในกรณีที่ใช้เยื่อแผ่น MWCO ขนาด 10 kDa เมื่อเพิ่มความดันเป็นสองเท่า จาก 1 บาร์เป็น 2 บาร์ พบว่า 1/rate ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์จากประมาณ 90 วินาที/กรัม เป็น 60 วินาที/กรัม กล่าวคือมีอัตราการกรองสูงขึ้น และในกรณีที่ใช้เยื่อแผ่น MWCO ขนาด 100 kDa และเพิ่มความดันเป็นสองเท่า จาก 1 บาร์เป็น 2 บาร์ พบว่า 1/rate ลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ จากประมาณ 45 วินาที/กรัม เป็น 30 วินาที/กรัม หรือมีอัตราการกรองสูงขึ้น จะเห็นได้ว่าเมื่อให้ความดันสูงขึ้นอัตราเร็วการกรองจะสูงขึ้นในการกรองด้วยเยื่อแผ่นทั้ง 2 ขนาดเนื่องจากว่าความดันเป็นแรงขับเคลื่อน (driving force) ของระบบ แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการกรองไม่ได้เพิ่มเป็นสัดส่วนเดียวกับที่ได้เพิ่มความดัน (2 เท่า) แสดงให้เห็นว่าเค้กหรือเจลที่เกิดขึ้นหน้าเยื่อแผ่นมีค่าความต้านทานที่สูงขึ้นเมื่อได้รับความดันหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นเค้กหรือเจลที่สามารถอัดตัวได้ (compressible cake) และที่ความดันเดียวกันเยื่อแผ่นที่มีขนาด MWCO ใหญ่กว่าให้อัตราการกรองที่สูงกว่า เนื่องจากเยื่อแผ่นที่มี MWCO ที่ใหญ่กว่ามีความต้านทานของเยื่อแผ่นที่ต่ำกว่า

4.2.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายโดย refractometer

ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายของน้ำตาลสดเริ่มต้น น้ำตาลที่ผ่านการกรองเบื้องต้นและน้ำตาลสดที่ผ่านการกรองโดยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันทุกสภาวะที่อายุการเก็บ 0, 3 และที่ 7 วัน ซึ่งได้จากการวัดด้วยเครื่อง hand refractometer แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลาย จากเครื่อง refractometer

ตัวอย่าง	ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลาย		
	0 วัน	3 วัน	7 วัน
น้ำตาลสดเริ่มต้น	15	15	14
น้ำตาลสดผ่านการกรองเบื้องต้น	15	15	14
1 bar 10,000 DA	15	15	15
1 bar 100,000 DA	15	15	15
2 bar 10,000 DA	15	15	15
2 bar 100,000 DA	15	15	15

ในกรณีของตัวอย่างน้ำตาลสดเริ่มต้น และน้ำตาลสดที่ผ่านการกรองเบื้องต้น พบว่าเมื่ออายุการเก็บที่ 7 วัน ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายลดลง เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์นำน้ำตาลในน้ำตาลสดไปใช้ในการเจริญเติบโต ในขณะที่ตัวอย่างน้ำตาลสดที่ผ่านการกรองโดยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันในทุกสภาวะการทดลองที่อายุการเก็บต่างๆมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายเท่ากับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายเริ่มต้น แสดงให้เห็นว่าเยื่อแผ่น MWCO ขนาด 10 kDa และ 100 kDa สามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ออกไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์หลงเหลือที่จะใช้น้ำตาลในน้ำตาลสดที่ที่เก็บรักษาไว้

4.2.3 สีโดยเครื่องวัดสี Minolta CR-400

วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta CR-400 ในระบบ C.I.E. ที่แสดงเป็นค่า L* a* และ b*โดยวัดสีของน้ำตาลสดเริ่มต้น น้ำตาลสดที่ผ่านกระบวนการกรองเบื้องต้น และน้ำตาลสดที่ผ่านกระบวนการกรองโดยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันที่ทุกสภาวะการทดลอง ที่อายุการเก็บรักษา 0, 3 และ 7 วัน ได้ผลตามที่แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสี L*, a*, b* โดยเครื่อง Minolta CR-400

ตัวอย่างน้ำตาลสด	ค่าสี								
	0 วัน			3 วัน			7 วัน		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
น้ำตาลสดเริ่มต้น	28.52 ± 0.15	4.83 ± 0.06	0.02 ± 0.01	27.28 ± 0.01	5.57 ± 0.01	0.26 ± 0.01	25.75 ± 0.05	6.64 ± 0.01	0.25 ± 0.01
น้ำตาลสดผ่านการกรองเบื้องต้น	30.05 ± 0.01	2.68 ± 0.07	3.91 ± 0.02	29.15 ±0.01	3.37 ± 0.04	4.81 ± 0.06	28.05 ± 0.02	3.98 ± 0.03	5.15 ± 0.01
1 bar 10 kDA	36.55 ± 0.02	1.11 ± 0.02	8.88 ± 0.02	36.08 ± 0.01	1.18 ± 0.01	9.65 ± 0.01	35.89 ± 0.01	2.36 ± 0.04	10.59 ± 0.04
1 bar 100 kDA	35.35 ± 0.02	1.15 ± 0.01	10.11 ± 0.01	35.33 ± 0.01	1.21 ± 0.03	10.16 ±0.02	35.21 ± 0.02	2.89 ± 0.02	10.88 ± 0.02
2 bar 10 kDA	36.72 ± 0.01	1.04 ± 0.01	6.13 ± 0.02	35.90 ± 0.01	1.06 ± 0.03	6.16 ± 0.03	34.53 ± 0.03	1.59 ± 0.03	6.61 ± 0.03
2 bar 100 kDA	36.79 ± 0.08	1.40 ± 0.01	8.19 ± 0.01	36.52 ± 0.01	1.55 ± 0.04	8.19 ± 0.04	36.02 ± 0.01	2.32 ± 0.03	8.20 ± 0.01

ค่า L* เป็นค่าที่ใช้กำหนดค่าความสว่าง จากตารางนี้พบว่าค่า L* ของน้ำตาลสดเริ่มต้นและน้ำตาลสดที่ผ่านกระบวนการกรองเบื้องต้นมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการกรองด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันที่สภาวะต่างๆ จากตารางข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเมื่อน้ำตาลสดผ่านกระบวนการกรองแล้วจะมีค่า L* สูงขึ้นความขุ่นลดลง และเมื่ออายุการเก็บนานขึ้นน้ำตาลสดเริ่มต้นและน้ำตาลสดที่ผ่านการกรองเบื้องต้นมีค่า L* ลดลงความขุ่นมากขึ้น เนื่องจากภายในน้ำตาลสดมีเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ในทางกลับกันตัวอย่างน้ำตาลสดที่ผ่านการกรองโดยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันทุกสภาวะมีค่า L* เปลี่ยนแปลงน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำตาลสดที่ผ่านกระบวนการกรองแล้วปราศจากเชื้อจุลินทรีย์

ค่า a* เป็นค่าที่ใช้กำหนดสีแดงหรือสีเขียว จากตารางนี้พบว่าค่า a* ของน้ำตาลสดเริ่มต้นและน้ำตาลสดที่ผ่านกระบวนการกรองเบื้องต้นมีค่าสูงกว่า เมื่อเทียบกับตัวอย่างน้ำตาลสดที่ผ่านกระบวนการกรองโดย

กระบวนการอัลตราฟิลเทรชันที่สภาวะต่างๆ และอายุการเก็บเพิ่มขึ้นไปพบว่าค่า a* ของทุกตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นหรือมีสีแดงมากขึ้น โดยน้ำตาลสดเริ่มต้นและน้ำตาลสดที่ผ่านกระบวนการกรองเบื้องต้นที่ค่า a* เพิ่มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) ในขณะที่ตัวอย่างน้ำตาลสดผ่านกระบวนการกรองโดยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันที่สภาวะต่างๆมีค่า a* เพิ่มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) เพียงปฏิกิริยาเดียวเนื่องจากเอนไซม์ไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นออกมาได้

ค่า b* เป็นค่าที่ใช้กำหนดสีเหลืองหรือน้ำเงิน จากตารางนี้พบว่าค่า b* ของน้ำตาลสดเริ่มต้นและน้ำตาลสดที่ผ่านกระบวนการกรองเบื้องต้นมีค่าต่ำกว่า เมื่อเทียบกับตัวอย่างน้ำตาลสดที่ผ่านกระบวนการกรองโดยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันที่สภาวะต่างๆ และเมื่อเวลาผ่านไปพบว่าค่า b* ของทุกตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นหรือมีสีเหลืองมากขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเช่นเดียวกับค่า a*

4.2.4 วัดความขุ่นโดย UV-VIS spectrophotometer

จากการทดลองได้นำตัวอย่างน้ำตาลสดเริ่มต้น น้ำตาลสดที่ผ่านกระบวนการกรองเบื้องต้น และน้ำตาลสดที่ผ่านกระบวนการกรองโดยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันจากทุกสภาวะของการทดลองไปวัดค่าการดูดกลืนแสงซึ่งเป็นดัชนีค่าความขุ่นในการทดลองนี้โดยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 570 nm โดยใช้น้ำกลั่นเป็นแบลงค์ โดยวัดที่อายุการเก็บรักษา 0, 3 และที่ 7 วัน ได้ผลที่แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงโดย UV-VIS spectrophotometer ที่ 570 nm

ความขุ่น	ค่าการดูดกลืนแสง		
570 nm	0 วัน	3 วัน	7 วัน
น้ำตาลสดเริ่มต้น	0.943	0.949	0.953
น้ำตาลสดผ่านการกรองเบื้องต้น	0.445	0.5	0.515
1bar 10,000DA	0.009	0.01	0.01
1bar 100,000DA	0.017	0.017	0.017
2bar 10,000DA	0.009	0.01	0.01
2bar 100,000DA	0.017	0.017	0.017

* blank คือ น้ำกลั่น

พบว่าตัวอย่างน้ำตาลสดเริ่มต้นและน้ำตาลสดที่ผ่านการกรองเบื้องต้นมีค่าการดูดกลืนแสงมากขึ้น หรือมีความขุ่นมากขึ้น ในขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการกรองโดยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเวลาผ่านไป แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างไม่มีความขุ่นที่เกิดจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับผลของ ค่า L* จากตารางที่ 4.2 ที่ได้กล่าวมาข้างต้น

4.2.5 ตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำตาลสดเริ่มต้นโดยใช้วิธีมาตรฐาน ตาม AOAC

จากการทดลองได้นำตัวอย่างน้ำตาลสดเริ่มต้นไปตรวจสอบปริมาณแบคทีเรียเริ่มต้นตามวิธีมาตรฐานตาม AOAC โดยอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้คือ Plate count agar (PCA) ซึ่งบ่มเชื้อที่ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วัน ได้ผลที่แสดงในตารางที่ 4.4 และได้ตรวจสอบปริมาณเชื้อรา และยีสต์เริ่มต้นของน้ำตาลสดเริ่มต้นตามวิธีมาตรฐานตาม AOAC โดยอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้คือ Potato Dextrose Agar (PDA) ซึ่งบ่มเชื้อที่ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วัน ได้ผลที่แสดงในตารางที่ 4.5 นอกจากนี้ได้ทำการตรวจสอบปริมาณเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ ของน้ำตาลสดที่ผ่านกระบวนการกรองโดยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันของทุกสภาวะตามวิธีมาตรฐานของ AOAC ที่อายุการเก็บรักษา 0, 3 และ 7 วัน ได้ผลที่แสดงในตารางที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 แสดงจำนวนเชื้อแบคทีเรียเริ่มต้นของน้ำตาลสดที่ตรวจสอบโดยวิธีมาตรฐานตาม AOAC

อัตราเจือจาง	จำนวนเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ ml)		
10^{-1}	TNTC	TNTC	TNTC
10^{-2}	TNTC	TNTC	TNTC
10^{-3}	74	75	77
10^{-4}	ND	ND	ND
10^{-5}	ND	ND	ND
10^{-6}	ND	ND	ND
10^{-7}	ND	ND	ND
10^{-8}	ND	ND	ND
10^{-9}	ND	ND	ND

ตารางที่ 4.5 แสดงจำนวนเชื้อราและยีสต์เริ่มต้นของน้ำตาลสดที่ตรวจสอบโดยวิธีมาตรฐานตาม AOAC

อัตราเจือจาง	จำนวนเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ ml)		
10^{-1}	ND	ND	ND
10^{-2}	ND	ND	ND
10^{-3}	ND	ND	ND
10^{-4}	ND	ND	ND
10^{-5}	ND	ND	ND
10^{-6}	ND	ND	ND
10^{-7}	ND	ND	ND
10^{-8}	ND	ND	ND
10^{-9}	ND	ND	ND

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 พบว่าน้ำตาลสดเริ่มต้นมีเชื้อแบคทีเรียเริ่มต้นอยู่ที่ 7.53×10^{4} CFU/ml แต่ไม่พบเชื้อรา และยีสต์ ในน้ำตาลสดเริ่มต้น อาจเนื่องมาจากน้ำตาลสดได้ถูกให้ความร้อนมาในระดับหนึ่งเพื่อป้องกันการเสื่อมเสียของน้ำตาลสด และเพื่อให้น้ำตาลสดสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น

ตารางที่ 4.6 แสดงจำนวนเชื้อแบคทีเรียของน้ำตาลสดที่ผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันที่ตรวจสอบโดยวิธีมาตรฐานตาม AOAC

ตัวอย่าง	จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ (CFU/ ml)		
	0 วัน	3 วัน	7 วัน
1 bar 10,000 DA	ND	ND	ND
1 bar 100,000 DA	ND	ND	ND
2 bar 10,000 DA	ND	ND	ND
2 bar 100,000 DA	ND	ND	ND

ตารางที่ 4.7 แสดงจำนวนเชื้อราและยีสต์ที่ตรวจสอบโดยวิธีมาตรฐานตาม AOAC

ตัวอย่าง	จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ (CFU/ml)		
	0 วัน	3 วัน	7 วัน
1 bar 10,000DA	ND	ND	ND
1 bar 100,000DA	ND	ND	ND
2 bar 10,000DA	ND	ND	ND
2 bar 100,000DA	ND	ND	ND

จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าไม่พบเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์จากทุกตัวอย่างที่ผ่านการกรองโดยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชัน ที่อายุการเก็บ 0, 3 และ 7 วัน แสดงให้เห็นว่าการกรองในระดับอัลตราฟิลเทรชัน สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ออกไปได้ ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาน้ำตาลสดได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ออกแบบเครื่องกรองที่รองรับเยื่อแผ่นแบบท่อโดยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบ สร้างเครื่องมือที่รองรับเยื่อกรองชนิดแบบท่อ (tubular type membrane) ในการกรองแบบอัลตราฟิลเทรชันและออสโมซิสผันกลับ ซึ่งประกอบด้วย Tubular module, ปั๊ม, Safety valve, Pressure gauge, Pressure control valve (needle valve), Flow gauge, Flexible hose, Pump controller และ Circulation tank

5.1.2 การกรองน้ำตาลสดด้วยกระบวนการกรองแบบอัลตราฟิลเทรชันด้วยเครื่องกรองขนาดเล็ก

การกรองด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเทรชันสามารถกำจัดเชื้อลงไปได้ถึง 4 Log CFU จากเชื้อเริ่มต้น 7.53 x 10^4 CFU/ml ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาน้ำตาลสดได้ และ ลักษณะปรากฏในด้านความขุ่นมีความคงตัวตลอดอายุการเก็บ โดยเยื่อแผ่นที่มี MWCO ขนาด 100 kDa ให้อัตราการกรองที่สูงกว่าเยื่อแผ่นที่มี MWCO ขนาด 10 kDa และ ความดันในการกรองที่สูงกว่าให้อัตราการกรองที่สูงขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำตาลสดหลังผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเทรชัน เพื่อตรวจสอบและดูประสิทธิภาพในการกรองว่าสามารถกำจัดโปรตีนหรือเอนไซม์ออกไปได้จริง เนื่องจากโปรตีนหรือเอนไซม์ที่มีผลกับการเสื่อมเสียของน้ำตาลสด

บรรณานุกรม

กนก ติระวัฒน์. การศึกษาการทำน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลโตนด. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2521.

กาญจนา บุญส่ง. การพัฒนาหลักสูตรท้องถิ่น เรื่องตาลโตนดเมืองเพชร สำหรับ สถานศึกษาขั้นพื้นฐานในจังหวัดเพชรบุรี. เพชรบุรี : คณะครุศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี, 2554.

กาญจนา บุญส่ง และคนอื่นๆ. แนวทางการสืบสานวัฒนธรรมตาลเมืองเพชรที่เอื้อต่อวิถีชีวิตของชุมชนบ้านลาด อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี. (2555) : 1-28.

บุญชัย วิจิตรเสถียร และสุกุลยา ทับอุไร. การประยุกต์ใช้กระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองสำหรับการนำน้ำทิ้งชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่. (มกราคม 2555) : 12-16.

ประพันธ์ โพธิ์พูลพรหม. น้ำตาลโตนด. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://landactionthai.org/land/index.php?option=com_content&view=article&id=2166:2018-07-10-03-21-28&catid=87&Itemid=546 [10 กรกฎาคม 2561].

ประสาร สวัสดิ์ซิตัง. การเกิดสีน้ำตาลของอาหารและการควบคุมป้องกัน. วารสารอาหาร 25 (2538) : 160-169.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. ไมโครฟิลเทรชัน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0824/micro-filtration-%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%82%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%9F%E0%B8%B4%E0%B8%A7%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%8A%E0%B8%B1%E0%B8%99 [10 มกราคม 2662].

วิโรจน์ ยูรวงศ์ และวัสสา คงนคร. การเก็บเกี่ยวโปรตีนและการผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากโปรตีนถั่วเขียวด้วยเทคโนโลยีเมมเบรน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2553.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง น้ำตาลสด. มาตรฐานเลขที่ มผช. 38/2557.

Amado Gil-Martinez. Concentration of Pomegranate Juice by Membrane Separation. In Cold Sterilization, pp.19-64. California : University of California, 1998.

AOAC. The Association of Official Analytical Chemists. 17th ed. Verginia Arlington, USA: Association of Official Analytical Chemists, 2000.

Arsad, P., Sukor, R., Wan, WZ., Mustapha, NA., and Meor, AS. Effects of Enzymatic Treatment on Physicochemical Properties of Sugar Palm Fruit Juice. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology 5 (2015).

Brand-Miller, J., and Buyken, A.E. The Glycemic Index Issue. Current Opinion in Lipidology 23 (2012) : 62-67.

Cassano, A., Donato, L., and Drioli, E. Ultrafiltration of Kiwifruit Juice: Operating Parameters, Juice Quality and Membrane Fouling. Journal of Food Engineering 79 (2007) : 613-621.

Cassano, A., Jiao, B., and Drioli, E. Production of Concentrated Kiwifruit Juice by Integrated Membrane Process. Food Research International 37 (March 2004) : 139-148.

Daniel, F., and Dallas, G. High Pressure Processing. Journal of Food Science 65 (2000) : 47-64.

Frank, A.G., Paul, J.S., Philip, H.S., and Evan, W.E. Reverse Osmosis and Ultrafiltration in Dairying. Journal of Dairy Research 45 (1978) : 291-318.

Imungi, J.K., Scheffeldt, P., and SaintHilaire, P. Physicochemical Changes During Extraction of Clear Guava Juice. Leben Smittel-Wissen Chaft and Technology 13 (1980) : 248-251.

Owen, G., Bandi, M., Howell, J.A., and Churchouse, S.J. Economic Assessment of Membrane Process for Wastewater Treatment. Journal of Membrane Science 102 (1995) : 149-154.

Pilnik, W., and Vorange, A.G. J. Effect of Enzyme Treatment on the Quality of Processed Fruit and Vegetable. ACS Symposium Series 405 (1989) : 205-690.

Qin, L., Xu, S.Y., and Zhang, W.B. Effect of Enzymatic Hydrolysis on the Yield of Cloudy Carrot Juice and the Effects of Hydrocolloids on Color and Cloud Stability During Ambient Storage. Journal of Science Food Agriculture 85 (2005) : 505-512.

Ramadan, M.F., and Moersel, J.T. Impact of Enzymatic Treatment on Chemical Composition, Physicochemical Properties and Radical Scavenging Activity of Golden Berry (Physalis peruviana L.) Juice. Journal of Science of Food and Agriculture 87 (2007) : 452-460.

Rombouts, F.M., and Pilnik, W. Enzymes in Fruit and Vegetable Juice Technology. Process Biochemistry 13 (1978) : 9–13.

Thomas, DE., Elliott, EJ., and Baur, L. Low Glycemic Index or Low Glycemic Load Diets for Overweight and Obesity. Cochrane Database Syst Rev 3 (2007) : CD005105.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

1. การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000)

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ชั่ง PCA 23.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตรบรรจุใน flask ปิดปากด้วยจุก

2. ให้ความร้อนอาหารเลี้ยงเชื้อจนกว่าจะละลายเข้ากันอย่างสมบูรณ์

3. นำไปฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 15 นาที

4. ลดอุณหภูมิจนถึง 45-50 องศาเซลเซียส

6. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ลงในจานเลี้ยงเชื้อจานละ 15-20 มิลลิลิตร แล้วทิ้งให้แข็งตัว

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลายเจือจางโดยชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ตักใส่ถุงพลาสติกที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว

2. เติม 0.1% peptone water 225 มิลลิลิตรใส่ถุงพลาสติกในข้อที่ 1 จะได้ dilution 1 : 10 แล้ว ทำ dilution ต่อเป็น 10^{-2}, 10^{-3} และ 10^{-4}

3. ปิเปตสารละลายเจือจางของตัวอย่างตัวอย่างละ 1 มิลลิลิตร ใส่ในจานเลี้ยงเชื้อ

4. เท PCA ที่อุณหภูมิประมาณ 40-45 องศาเซลเซียสลงในจานเลี้ยงเชื้อประมาณจานละ 15-20 มิลลิลิตร แล้วทำการขยับจานอาหารเลี้ยงเชื้อไปมาซ้ายขวา เพื่อให้ตัวอย่างกระจายอย่างทั่วถึงในอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

5. นำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์แล้วรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

2 .การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา (AOAC, 2000)

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ชั่ง PDA 39.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร บรรจุใน flask ปิดปากด้วยจุก

2. ให้ความร้อนอาหารเลี้ยงเชื้อจนกว่าจะละลายเข้ากันอย่างสมบูรณ์

3. นำไปฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 15 นาที

4. ลดอุณหภูมิจนถึง 45-50 องศาเซลเซียส

5. ปรับ pH ด้วย tartaric acid ที่ปลอดเชื้อ (ความเข้มข้น ร้อยละ 10 ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร ต่อ PDA 100 มิลลิลิตร จะได้ pH 3.7-4.0)

6. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อจานละ 15-20 มิลลิลิตร แล้วทิ้งให้แข็งตัว

วิธีวิเคราะห์

1. เติม 0.1% peptone water 225 มิลลิลิตร ใส่ถุงพลาสติกในข้อที่ 1 จะได้ dilution 1 : 10 แล้ว ทำ dilution ต่อเป็น 10^{-2}, 10^{-3} และ 10^{-4}

2. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่อุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียส ใส่ลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อจานละ 15-20 มิลลิลิตร ทิ้งไว้จนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัว

3. ปิเปตตัวอย่างที่ dilution ต่างๆ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA แล้วใช้ spreader ที่จุ่มแอลกอฮอล์ลนไฟแล้วปล่อยไว้ให้เย็นนั้นเกลี่ยตัวอย่างกระจายตัวไปทั่วผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ

4. บ่มที่อุณหภูมิ 25-27 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน ตรวจนับจำนวนเชื้อแล้วรายงานผลเป็นโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ภาคผนวก ข

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำตาลสด

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) ได้มีการกำหนดคุณลักษณะของน้ำตาลสดโดยต้องมีคุณลักษณะตามที่กำหนดคือ

1. ลักษณะทั่วไป
    - ต้องเป็นของเหลวขุ่น อาจตกตะกอนเมื่อวางทิ้งไว้ โดยการทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
2. สี
    - ต้องมีสีดีตามธรรมชาติของน้ำตาลสด
3. กลิ่นรส
    - ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของน้ำตาลสด ไม่มีกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นแอลกอฮอล์ กลิ่นรสเปรี้ยวบูด
4. สิ่งแปลกปลอม
    - ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูล จากสัตว์ การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
5. สารที่ละลายน้ำ
    - ต้องไม่น้อยกว่า 11 องศาบริกซ์ การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC หรือวิธีทดสอบอื่นที่เทียบเท่า
6. วัตถุเจือปนอาหาร
    - ห้ามใช้สีสังเคราะห์และวัตถุกันเสียทุกชนิด การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC หรือวิธีทดสอบอื่นที่เทียบเท่า
7. จุลินทรีย์
    - จุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร
    - แซลโมเนลลา ต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร
    - สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส ต้องน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร
    - บาซิลลัส ซีเรียส ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร
    - คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร
    - โคลิฟอร์ม โดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 2.2 ต่อตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร

- เอสเชอริเชีย โคไล ต้องไม่พบในตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร
- ยีสต์และรา ต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC หรือ BAM (U.S.FDA) หรือวิธีทดสอบอื่นที่เทียบเท่า

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวชญานิษฐ์ ซื่อชัยเจริญ

ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีที่สำเร็จการศึกษา 2561

ชื่อ-สกุล นางสาวชุติมณฑน์ กิติพัฒนาวุฒิ

ตำแหน่ง ผู้วิจัยร่วม

วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีที่สำเร็จการศึกษา 2561