



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก

Product Development of Drinking Vinegar from Nipa Palm
(*Nypa fruticans*) Sugar

โดย นางสาววิไลวรรณ ไชยศรี และคณะ

ตุลาคม พ.ศ. 2561

สัญญาเลขที่ RDG60T0109-โครงการย่อยที่ 2

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก
Product Development of Drinking Vinegar from Nipa Palm
(*Nypa fruticans*) Sugar

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. นางสาว วิไลวรรณ ไชยศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
2. นางสาว สิริกุล เพชรหวล	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ชุดโครงการ “การพัฒนาอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม” ปีงบประมาณ 2561

สนับสนุนโดย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย วช. - สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปผู้บริหาร

น้ำตาลจากเป็นวัตถุดิบท้องถิ่นอย่างหนึ่งที่สำคัญของจังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีป่าจากในปริมาณมากทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและที่เกิดจากการปลูกของเกษตรกร ซึ่งในอำเภอปากพะนังมีพื้นที่ป่าจากมากที่สุดกว่า 10,000 ไร่ ปัจจุบันเกษตรกรในพื้นที่ประกอบอาชีพการทำไร่จากประมาณร้อยละ 40 ของครัวเรือนทั้งหมด น้ำตาลจากคือหนึ่งในผลผลิตอย่างหนึ่งที่สำคัญได้จากการกระบวนการนำน้ำหวานจากสดมาเคี่ยวนั้นมีความเข้มข้นสูงขึ้นเป็นน้ำตาลจาก และนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการบริโภคและใช้วัตถุดิบในการกลั่นสุราชุมชน ซึ่งคณะผู้วิจัยเห็นว่าน้ำตาลสำคัญจากน่าจะมียุทธภาพในการพัฒนาไปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีความหลากหลายและส่งเสริมการสร้างรายได้ให้เกษตรกรมากยิ่งขึ้น

โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก มีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก พัฒนาสูตรเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักและศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิต เนื่องจากวัตถุดิบจากต้นจากในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชมีทั้งส่วนที่เป็นน้ำหวานจากสด และน้ำตาลจากที่ได้จากการเคี่ยวน้ำหวานสดจนเข้มข้น จึงได้ทำการศึกษาการผลิตน้ำส้มสายชูโดยใช้วัตถุดิบตั้งต้น 3 แบบ คือ น้ำหวานจากสด น้ำตาลจาก น้ำหวานสดผสมน้ำตาลจาก (1:1) พร้อมทั้งศึกษาความหวานเริ่มต้นที่เหมาะสมในการผลิต โดยแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 12 17 และ 22 องศาบริกซ์ ทำการฆ่าเชื้อที่ปนเปื้อนด้วยการเติม KMS ก่อนทำการหมัก

ขั้นตอนการหมักน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR5107 และขั้นตอนการหมักน้ำส้มสายชูใช้เชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR354 พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักอยู่ในช่วง 5-12% และแปรผันตรงกับความหวานเริ่มต้นของวัตถุดิบ แต่ในขั้นตอนการหมักน้ำส้มสายชูพบว่าน้ำหมักที่มีปริมาณแอลกอฮอล์สูง (มากกว่า 10%) กลับให้ผลการผลิตกรดต่ำ (น้อยกว่า 0.5%) ส่วนน้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมักวัตถุดิบเริ่มต้นที่มีความหวาน 12 และ 17 องศาบริกซ์ มีปริมาณกรดไม่แตกต่างกันในช่วง 4.4-4.5% อย่างไรก็ตามน้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมักน้ำหวานสดและน้ำหวานสดผสมน้ำตาลจากมีกลิ่นเปรี้ยวฉุนค่อนข้างแรง และมีหนอนน้ำส้มเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมัก รวมทั้งมีปัญหาในการจัดเก็บน้ำหวานสดในระยะยาว ดังนั้นการใช้วัตถุดิบเริ่มต้นเป็นน้ำตาลจากที่มีความหวาน 12 องศาบริกซ์ จึงเหมาะสมที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ โดยในขั้นการหมักแอลกอฮอล์ได้ปริมาณแอลกอฮอล์คงที่ 7.5% ในระยะเวลา 9-12 วัน และได้ปริมาณกรดคงที่ 4.5% ในระยะเวลาประมาณ 20 วัน และพบว่าการเติม Diammonium phosphate (DAP) และวิตามินบี ไม่มีผลต่อปริมาณแอลกอฮอล์และกรดที่ผลิตได้

การขยายขนาดการผลิตจาก 1 ลิตร เป็นถึงหมักขนาด 20 ลิตร โดยมีปริมาตรการหมักแอลกอฮอล์และกรด 18 และ 17 ลิตร ตามลำดับ พบว่ามีประสิทธิภาพการผลิตใกล้เคียงกัน โดยสามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ 6.8% ในระยะเวลา 8-10 วัน และผลิตกรด 4.33% ในเวลา 20 วัน รวมระยะเวลาใน

การหมักประมาณ 30 วัน การเก็บรักษาน้ำส้มสายชูที่ผลิตได้เป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอลกอฮอล์ กรด ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) รวมทั้งไม่มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ คุณลักษณะของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มพข.) น้ำส้มสายชูหมัก คือ มีปริมาณกรดไม่น้อยกว่า 4% ไม่มีโลหะหนักปนเปื้อนยกเว้นเหล็กซึ่งมีปริมาณไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ไม่มีหนอนน้ำส้ม และไม่มีการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เชื้อรา และพยาธิ

การพัฒนาสูตรการผลิตเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักน้ำตาลจากทำโดยการนำน้ำส้มสายชูที่ผลิตได้มาผสมน้ำผึ้งดอกกล้วย และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยผู้บริโภค (9-point Hedonic Scale) ได้สูตร น้ำส้มสายชูหมัก:น้ำผึ้ง:น้ำ อัตราส่วน 20:20:60 ที่มีค่าการยอมรับสูงสุดในทุกคุณลักษณะ จากนั้นพัฒนาสูตรผสมน้ำผึ้งมะนาวในอัตราส่วน น้ำส้มสายชูหมัก:น้ำผึ้ง:น้ำมะนาว:น้ำ เท่ากับ 20:10:10:60 ซึ่งให้ค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากสูตรผสมน้ำผึ้ง การศึกษาคุณลักษณะของเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักน้ำตาลจากพบว่า สูตรผสมน้ำผึ้งมีความหวานมากกว่า ในขณะที่สูตรน้ำผึ้งมะนาวมีปริมาณกรด และค่า pH สูงกว่าด้วยคุณสมบัติของน้ำมะนาว ทั้ง 2 สูตรไม่มีแอลกอฮอล์ และไม่มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ การเก็บรักษาเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักที่ 4°C และอุณหภูมิห้อง หลังจากบรรจุขวดด้วยกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 7 วัน เป็นเวลา 90 วัน ไม่พบการเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณกรด แอลกอฮอล์ ค่า pH และไม่มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

ผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักที่ผลิตจากน้ำตาลจากเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าของผลผลิตจากต้นจากให้สูงขึ้นได้ เมื่อพิจารณาโดยประมาณการต้นทุนทางวัตถุดิบน้ำตาลจาก 1 ขวด ปริมาตร 750 มิลลิลิตร ราคา 80 บาท สามารถผลิตเป็นน้ำส้มสายชูหมักเข้มข้น 4 ลิตร เปรียบเทียบกับราคาขายของผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักที่วางจำหน่ายตามท้องตลาดอยู่ในช่วงลิตรละ 227-475 บาท ขึ้นอยู่กับยี่ห้อ ดังนั้นน้ำตาลจากหนึ่งขวดสามารถผลิตเป็นน้ำส้มสายชูที่มีมูลค่าในช่วง 908-1,900 บาท ซึ่งถ้าคิดคำนวณต้นทุนอื่นๆ เข้าไปก็ยังมีกำไรเกิน 200% และถ้านำไปพัฒนาจำหน่ายแบบพร้อมดื่มจะสามารถเพิ่มมูลค่าสูงขึ้นได้อีก

บทสรุปจากงานวิจัยในครั้งนี้ คือ สามารถที่จะผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจาก และพัฒนาเป็นสูตรเครื่องดื่มได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มช่องทางทางการใช้ประโยชน์จากน้ำตาลจากและสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้นหลายเท่าตัว

บทคัดย่อ

น้ำตาลจากเป็นหนึ่งในผลผลิตทางเกษตรที่สำคัญของเกษตรกรในอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตและคุณภาพของเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก ผลการศึกษาพบว่าน้ำตาลจากสามารถนำมาผลิตเป็นน้ำส้มสายชูผ่านกระบวนการหมัก 2 ขั้นตอน เริ่มจากการหมักน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์และตามด้วยการหมักแอลกอฮอล์เป็นกรดอะซิติก จากการทดลองพบว่าน้ำตาลจากที่มีค่าความหวานเริ่มต้น 12 องศาบริกซ์ เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด โดยสามารถผลิตแอลกอฮอล์ด้วยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5107 ได้ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์คงที่ร้อยละ 7.5 ภายในเวลา 10-12 วัน และเมื่อนำน้ำหมักที่มีแอลกอฮอล์ไปหมักเพื่อผลิตกรดด้วยเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 เป็นเวลา 18-20 วัน ได้ผลผลิตเป็นน้ำส้มสายชูหมักที่มีปริมาณกรดร้อยละ 4.5 การขยายขนาดการผลิตด้วยระบบถังหมักขนาด 20 ลิตร ที่มีปริมาตรหมัก 18 ลิตรสำหรับการหมักแอลกอฮอล์ และ 17 ลิตร สำหรับการหมักกรดอะซิติกพบว่าประสิทธิภาพในการหมักใกล้เคียงกับการหมักปริมาตร 1 ลิตร โดยสามารถหมักแอลกอฮอล์ได้ร้อยละ 6.8 ในเวลา 8-10 วัน และเปลี่ยนเป็นน้ำส้มสายชูที่มีกรดร้อยละ 4.7 ในเวลา 20 วัน โดยมีแอลกอฮอล์คงเหลือร้อยละ 0.8 และไม่พบการปนเปื้อนของโลหะหนักยกเว้นเหล็กที่พบในปริมาณ 1.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด ไม่มีหนอนน้ำส้มและการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ คุณภาพทางเคมีและจุลชีววิทยาของน้ำส้มสายชูที่ผลิตได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 วัน นอกจากนี้เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูที่ผลิตได้จึงได้มีการพัฒนาสูตรน้ำส้มสายชูหมักพร้อมดื่มโดยการปรุงแต่งกับน้ำผึ้งและน้ำมะนาวได้เป็น 2 สูตร คือ สูตรผสมน้ำผึ้ง มีอัตราส่วนน้ำส้มสายชู:น้ำผึ้ง:น้ำ เท่ากับ 20:20:60 อัตราส่วนของสูตรผสมน้ำผึ้งมะนาว คือ น้ำส้มสายชู:น้ำผึ้ง:น้ำมะนาว:น้ำ เท่ากับ 20:10:10:60 การประเมินการยอมรับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ผลจากการทดสอบจากผู้ทดสอบจำนวน 30 คน พบว่าทั้งพบ 2 สูตรได้คะแนนการประเมินระดับ 7 (ชอบปานกลาง) ความหวานของน้ำส้มสายชูสูตรน้ำผึ้งเท่ากับ 22 องศาบริกซ์ และ 12 องศาบริกซ์ ในสูตรน้ำผึ้งมะนาว ปริมาณกรดร้อยละ 0.9 และ 1.75 ค่า pH 3.38 และ 2.75 ตามลำดับ ไม่มีแอลกอฮอล์และการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ เครื่องดื่มที่บรรจุขวดด้วยกระบวนการพลาสเจอไรซ์ เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 90 วัน คุณภาพทางเคมีและจุลชีววิทยาของเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิทั้งสอง ผลลัพธ์จากงานวิจัยครั้งนี้ คือ ได้รับกระบวนการในการหมักน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากและสูตรน้ำส้มสายชูหมักพร้อมดื่มเพื่อถ่ายทอดกระบวนการผลิตให้เกษตรกรหรือผู้ประกอบการต่อไป

คำสำคัญ: น้ำตาลจาก, น้ำส้มสายชูหมัก, การผลิต

Abstract

Nipa palm sugar is one of the important agricultural products in Pak Panang, Nakhon Si Thammarat. This research aimed to investigate a production process, and a quality of drinking vinegar made from nipa palm sugar. The result showed that nipa palm sugar can be used as source to produce vinegar through the 2 steps method. First step; alcohol was produced from sugar fermentation then alcohol was fermented to acetic acid. From the experiment, 12-degree Brix of nipa palm sugar was suitable for vinegar production. Alcohol was produced by yeast *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5107 to the concentration about 7.5% within 10-12 days. Cultured broth was subjected to acetic acid production by *Acetobactor aceti* TISTR 354 resulting in vinegar containing 4.5% acid within 18-20 days. Scaling up to a 20-L batch with a working volume of 18-liter for alcohol and 17-liter for acid fermentation showed similar efficiency to 1 L of working volume. In the scale-up system, alcohol was produced to a stable concentration at 6.8% in 8-10 days and was changed to vinegar containing 4.7% acid in 20 days with 0.8% remaining alcohol. No contamination of heavy metal except for iron that was detected at 1.8 mg/ml which did not exceed the standard limit. *Anaguillula aceti* and microorganism were not found in the nipa palm vinegar. The chemical and microbiological quality of vinegar was not changed after storage for 60 days at room temperature. In order to increase the value of vinegar product, ready-to-drink vinegar was developed by mixing with honey and lime juice leading to 2 formulas. First, drinking vinegar with honey contained vinegar: honey: water at a ratio of 20: 20: 60. The honey lime formula contained vinegar: honey: lime juice: water at a ratio of 20: 10: 10: 60. Sensory evaluation test of the drinking vinegar was determined by 9-point hedonic scale. The result from 30 panelists showed that both formulas had liking score about 7 (like moderately). The sweetness of drinking vinegar with honey was 22-degree Brix and 12-degree Brix for the honey-lime formula. The acid concentration was 0.9% and 1.75%, pH value was about 3.38 and 2.75 for honey and honey-lime formula, respectively. Pasteurized bottled drinking vinegar was stored at room temperature and 4 °C for 90 days.

Chemical and microbiological quality of drinking vinegar was not changed during storage at both storage temperatures. The output of this research was vinegar producing method from Nipa palm sugar, and drinking vinegar formulas that both can be transferred to farmers or entrepreneurs in the future.

Keywords: Nipa palm sugar, Cider vinegar, Production

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	3
1.5 กรอบแนวความคิดของการวิจัยและขั้นตอนการวิจัยในภาพรวม	4
1.6 แผนงานโครงการ	6
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 น้ำส้มสายชู	8
2.2 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มสายชู	10
2.3 กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก	12
2.4 จุลินทรีย์ในกระบวนการหมักน้ำส้มสายชูหมัก	18
2.5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชู	20
2.6 ต้นจาก	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	25
3.1 วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี	25
3.2 จุลินทรีย์	27
3.3 อาหารเลี้ยงเชื้อ	27
3.4 วิธีวิเคราะห์	27

สารบัญ (ต่อ)

	หัวข้อ	หน้า
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย (ต่อ)	
3.5	วิธีการทดลอง	28
3.5.1	ศึกษาวัตถุดิบและแหล่งวัตถุดิบ	28
3.5.2	ศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลจาก	28
3.5.3	ศึกษาการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก	29
3.5.4	ศึกษาการพัฒนาสูตรการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก	31
3.5.5	ศึกษาการขยายขนาดการผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจาก	33
3.5.6	ผลของระยะเวลาการเก็บต่อคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก	34
3.5.7	ศึกษาคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก	35
3.5.8	การพัฒนาสูตรมาตรฐานที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก	36
3.5.9	ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิการบ่มต่อคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากพร้อมดื่ม	38
บทที่ 4	ผลการทดลอง	40
4.1	ข้อมูลวัตถุดิบและแหล่งวัตถุดิบ	40
4.2	องค์ประกอบของน้ำตาลจาก	42
4.3	ผลการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก	42
4.4	ผลการพัฒนาสูตรการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก	49
4.5	ผลการขยายขนาดการผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจาก	50
4.6	ผลของระยะเวลาการเก็บต่อคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก	52
4.7	คุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก	53
4.8	สูตรมาตรฐานที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก	56

สารบัญ (ต่อ)

	หัวข้อ	หน้า
บทที่ 4	ผลการทดลอง (ต่อ)	
	4.9 ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิการบ่มต่อคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากพืชมดืม	60
บทที่ 5	การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	8
	5.1 สรุปผลการทดลอง	62
	5.2 ข้อเสนอแนะ	63
	บรรณานุกรม	25
	ภาคผนวก	66
ก	อาหารเลี้ยงเชื้อ	67
ข	การเผยแพร่ผลงานวิจัย	68
	ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่	70
ค	ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ	

สารบัญตาราง

	หัวข้อ	หน้า
บทที่ 1		
ตารางที่	1.1 แผนงานโครงการ	6
บทที่ 3		
ตารางที่	3.1 แสดงชุดการทดลองการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก	30
ตารางที่	3.2 ชุดการทดลองการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากและมี เติมสารอื่นๆ	33
ตารางที่	3.3 สูตรเครื่องดื่มน้ำสายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งจากการ วางแผนการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design)	36
บทที่ 4		
ตารางที่	4.1 องค์ประกอบของน้ำหวานจากสดและน้ำตาลจาก	44
ตารางที่	4.2 คุณลักษณะของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก	46
ตารางที่	4.3 สรุปคุณลักษณะของน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจาก	48
ตารางที่	4.4 ผลของ Di-Ammonium Hydro genphosphate : DAP และ วิตามินบี ต่อการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก หลัง สิ้นสุดระยะหมักกรด 20 วันที่อุณหภูมิห้อง	49
ตารางที่	4.5 คุณภาพของน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากเทียบกับเกณฑ์ มาตรฐานน้ำส้มสายชูหมัก	55
ตารางที่	4.6 สูตรผสมเครื่องดื่มน้ำสายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งมะนาว	56
ตารางที่	4.7 ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำสายชูหมักจาก น้ำตาลจากผสมน้ำผึ้ง	58
ตารางที่	4.8 ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำสายชูหมัก จากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งมะนาว	59
ตารางที่	4.9 คุณภาพน้ำส้มสายชูพร้อมดื่ม	59
ตารางที่	4.10 ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิการบ่มต่อคุณภาพของเครื่องดื่ม น้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากพร้อมดื่ม	61

สารบัญภาพ

	หัวข้อ	หน้า
บทที่ 2		
ภาพที่ 2.1	แสดงถึงอิทธิพลของความเข้มข้นที่เหมาะสมของของเอทานอลและกรดอะซิติกที่มีผลต่อการยับยั้ง ต่อการเจริญของแบคทีเรีย	11
ภาพที่ 2.2	แผนผังสรุปขั้นตอนการผลิตน้ำส้มสายชูจากผลแอปเปิ้ล	17
บทที่ 3		
ภาพที่ 3.1	ขั้นตอนการผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจาก	32
ภาพที่ 3.2	ลักษณะของถังหมักน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากซึ่งมี 2 ขั้นตอนคือการผลิตแอลกอฮอล์จากน้ำตาลจากและการผลิตกรดน้ำส้มจากแอลกอฮอล์	34
บทที่ 4		
ภาพที่ 4.1	พื้นที่สวนจากน้ำเค็ม (ก) น้ำกร่อย (ข) และน้ำจืด (ค) ณ เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2560	41
ภาพที่ 4.2	ลักษณะภาชนะที่ใช้ในการเก็บน้ำหวานจาก (ก) กระบวนการเคี้ยว น้ำหวานจากสดเพื่อผลิตเป็นน้ำตาลจาก (ข) และน้ำตาลจาก (ค)	41
ภาพที่ 4.3	แสดงการศึกษาการผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากในภาชนะหมักขนาด 1 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง	45
ภาพที่ 4.4	ผลการผลิตแอลกอฮอล์โดยใช้น้ำตาลจากเป็นวัตถุดิบด้วยเชื้อ <i>S. cerevisiae</i> TISTR 5107 ในถังหมักขนาด 20 ที่มีปริมาตรหมัก 18 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง นาน 12 วัน	51
ภาพที่ 4.5	ผลของการผลิตกรดด้วยเชื้อ <i>A. aceti</i> TISTR 354 ในถังหมักขนาด 20 ที่มีปริมาตรหมัก 17 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง นาน 20 วัน	51
ภาพที่ 4.6	ถังหมักน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากซึ่งมี 2 ขั้นตอนคือการผลิตแอลกอฮอล์จากน้ำตาลจากด้วยเชื้อ <i>S. cerevisiae</i> TISTR 5107 ปริมาตร 18 ลิตร และการผลิตกรดน้ำส้มจากแอลกอฮอล์ปริมาตร 17 ลิตร ด้วยเชื้อ <i>A. aceti</i> TISTR 354 ที่อุณหภูมิห้อง	52
ภาพที่ 4.7	ผลของระยะเวลาการเก็บต่อคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากจากเชื้อ <i>A. aceti</i> TISTR 345 ที่อุณหภูมิห้อง นาน 60 วัน	53
ภาพที่ 4.8	ผลของระยะเวลาการเก็บต่อคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากจากเชื้อ <i>A. aceti</i> TISTR 345 ที่อุณหภูมิห้อง นาน 60 วัน	60

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นพื้นที่ที่มีป่าจากที่เกิดเองตามธรรมชาติหรือที่เกิดจากเกษตรกรปลูกในปริมาณมาก เนื่องด้วยความเหมาะสมของพื้นที่และความนิยมในการปลูกของคนในชุมชน พื้นที่ตั้งแต่อำเภอปากพนังไปจนถึงพุมเรียง อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช มีแม่น้ำสายหลักคือ แม่น้ำปากพนัง มีคลองสาขามากมาย โดยจะพาดผ่านจากขึ้นอยู่กระจายสองฝั่งแม่น้ำและลำคลองสาขา และพบหนาแน่นแถบ อำเภอปากพนัง อำเภอเชียรใหญ่ และอำเภอหัวไทร ซึ่งพื้นที่ที่ต้นจากกว่า 25,594 ไร่ ซึ่งพื้นที่ อำเภอปากพนัง เป็นพื้นที่ที่มีต้นจากขึ้นมากที่สุดเนื้อที่กว่า 10,00 ไร่ ปัจจุบันเกษตรกรในพื้นที่ประกอบอาชีพการทำไร่จาก ประมาณร้อยละ 40 ของครัวเรือนทั้งหมด การใช้ประโยชน์จากต้นจากมีหลากหลายด้านแต่อย่างหนึ่งคือการใช้ประโยชน์จากน้ำหวานของต้นจาก ผู้ประกอบการรายย่อยที่เข้าร่วมสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มท่องเที่ยวและผลิตภัณฑ์ชุมชนเมืองนัง ได้นำน้ำตาลจากที่ผลิตได้จากเกษตรกรในชุมชนตำบลขนานาและตำบลปากแพรก มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากเพื่อจำหน่ายนักท่องเที่ยวที่เดินทางมายังอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นที่สนใจและได้รับการตอบรับเป็นอย่างดีในกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพ ผู้ประกอบการจึงมีแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยใช้น้ำตาลจากเป็นวัตถุดิบหลักเนื่องจากในพื้นที่ถิ่นอาศัยของตนเอง คือ เขตตำบลขนานาและพื้นที่ใกล้เคียง คือ เขตตำบลปากแพรก มีระบบนิเวศป่าจากเป็นจำนวนมาก ผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคือการเอาน้ำหวานสดจากต้นจากมาเคี่ยวด้วยความร้อนเพื่อให้ได้น้ำหวานแบบเข้มข้นลักษณะคล้ายน้ำตาล ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดว่าจะนำน้ำตาลจากมาต่อยอดในการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นที่มีมูลค่า โดยผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีความน่าสนใจคือการผลิตเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่ได้จากการหมักน้ำผลไม้ด้วยเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งก็คือผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชู (vinegar) น้ำส้มสายชูเกิดจากกระบวนการหมัก โดยน้ำตาลถูกทำให้แตกตัวโดยแบคทีเรียและยีสต์ ในขั้นแรกน้ำตาลจะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ แล้วหมักแอลกอฮอล์ต่อไปกลายเป็นน้ำส้มสายชูที่อุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิก (phenolic) สารต้านอนุมูลอิสระ

(antioxidant) วิตามิน และเกลือแร่ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วน้ำส้มสายชูหมักเป็นเครื่องดื่มที่ใช้ความหวานจากผลไม้มาเป็นวัตถุดิบในการผลิต

ดังนั้นการใช้น้ำตาลจากจึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตเป็นน้ำส้มสายชูหมักเนื่องจากมีความหวานซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในกระบวนการหมักเพื่อผลิตน้ำส้มสายชูหมักและในขณะเดียวกันเนื่องจากน้ำตาลจากคือผลผลิตของชุมชนของอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีความเป็นเอกลักษณ์ของพืชประจำท้องถิ่น เมื่อนำมาผลิตเป็นน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากหรือน้ำตาลจากจะสามารถสร้างความโดดเด่นให้กับผลิตภัณฑ์ เพิ่มมูลค่าและสร้างรายได้แก่เกษตรกรผู้ปลูกจาก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากในพื้นที่ อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้จะเป็นการศึกษาการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากที่ได้จากเกษตรกร อ. ปากพนัง จ. นครศรีธรรมราช โดยจะศึกษาเปรียบเทียบคือการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำหวานสดและน้ำตาลจาก เพื่อจะได้ข้อมูลที่ครบทุกด้านในด้านของแหล่งวัตถุดิบต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชู เพื่อว่าในอนาคตเมื่อเกษตรกรที่สนใจจะผลิตจะได้มีข้อมูลและสูตรการผลิตเอาไว้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษามีลำดับขั้นตอน คือ เริ่มต้นจะหาสูตรผลิตน้ำส้มสายชูหมักเบื้องต้น นำสูตรที่ได้มาพัฒนาสูตรพัฒนากระบวนการ ศึกษาการขยายขนาดการผลิตเพื่อให้เหมาะสมและสะดวกต่อการผลิตระดับชุมชนหรือกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมัก ศึกษาการพัฒนาเป็นสูตรน้ำส้มสายชูพร้อมดื่ม และคุณภาพของน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มมีลำดับขั้นตอนโดยสรุปดังนี้

1.3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำตาลจาก จากเกษตรกรในพื้นที่ อ.ปากพนังจังหวัดนครศรีธรรมราช

1.3.2 ออกแบบรูปแบบถังหมักและกระบวนการหมัก สิ่งทำถังหมักที่ต้องการใช้ในกระบวนการทดลอง

1.3.3 ศึกษาองค์ประกอบของวัตถุดิบ

1.3.4 ศึกษาการผลิตและพัฒนาสูตรการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากโดยใช้น้ำตาลจากเป็นวัตถุดิบ โดยตลอดระยะเวลาการผลิตจะเก็บตัวอย่างน้ำหมักมาวิเคราะห์ลักษณะเป็นคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักเป็นระยะ

1.3.5 ขยายขนาดการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก

1.3.6 วิเคราะห์คุณภาพน้ำส้มสายชูหมัก

1.3.6 พัฒนาสูตรการผลิตน้ำส้มสายชูพร้อมดื่ม

1.3.7 การประเมินการยอมรับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูพร้อมดื่ม

1.3.8 วิเคราะห์คุณภาพน้ำส้มสายชูพร้อมดื่ม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1.4.1 ด้านผู้ประกอบการในชุมชนที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.4.1.1) ได้พัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากสำหรับการผลิตในระดับชุมชน ทำให้ผู้ประกอบการที่สนใจมีสูตรและการบวนการในการผลิตเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก และมีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของกลุ่มผู้ประกอบการ

1.4.1.2) ได้ข้อมูลสนับสนุนทางวิชาการเกี่ยวกับคุณภาพด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ของน้ำส้มสายชูและเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากเพื่อใช้เป็นข้อมูลเพื่อสร้างกลยุทธ์ทางการตลาดอาหารปลอดภัยหรือเครื่องดื่มส่งเสริมสุขภาพได้

1.4.1.3) ผู้ประกอบการที่สนใจผลิตเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากมีโอกาสในการสร้างรายได้และผลกำไรทางธุรกิจเพิ่มขึ้น เกษตรกรมีช่องทางในการขายน้ำตาลจากได้เพิ่มขึ้นสร้างรายได้แก่ครอบครัวเพิ่มขึ้น

1.4.2 ด้านวิชาการ

1.4.2.1) ได้สูตรและกระบวนการผลิตเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากที่มีเอกลักษณ์เฉพาะสำหรับการผลิตในพื้นที่

1.4.2.2) ได้คุณภาพด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และคุณค่าทางโภชนาการของเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก

1.4.2.3) ได้คู่มือสูตรและกระบวนการผลิตเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากสำหรับผู้ประกอบการในระดับชุมชน

1.4.2.4) ผลงานการค้นคว้าวิจัยที่ได้สามารถนำไปเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการหรือเขียนเป็นบทความวิชาการเพื่อตีพิมพ์ในฐานข้อมูลระดับชาติหรือนานาชาติเป็นอย่างน้อย จำนวน

1 ฉบับ

1.4.2.5) โครงการวิจัยนี้สามารถสร้างนักวิจัยรุ่นใหม่ให้เกิดขึ้นได้ โดยผู้วิจัยมีแนวทางในการจ้างเหมาบริการนักศึกษาผู้ช่วยงานวิจัย เพื่อได้พัฒนาศักยภาพด้านการทำวิจัยให้นักศึกษาในระดับปริญญาตรีที่มีทักษะทางการวิจัยและความสนใจในการเรียนรู้เพิ่มเติม ช่วยให้นักศึกษามีความเข้าใจเกี่ยวกับการทำวิจัยและสามารถนำทักษะที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในรายวิชาวิจัยหรือโครงการพิเศษของนักศึกษาได้และยังเป็นโอกาสที่ทำให้นักศึกษาได้ฝึกฝนตนเองเพื่อเป็นนักวิจัยต่อไปในอนาคตได้

1.4.3) ด้านเศรษฐกิจ/พาณิชย์

1.4.3.1) หากโครงการวิจัยประสบความสำเร็จ สามารถช่วยให้ผู้สนใจสามารถผลิตน้ำส้มสายชูและเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากเพื่อเพิ่มช่องทางในการสร้างรายได้เพิ่มมากขึ้น

1.4.3.2) ได้สร้างผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ที่มีความเป็นเอกลักษณ์ของท้องถิ่น อ.ปากพั่น จ.นครศรีธรรมราช สามารถนำไปสู่การพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานรากสร้างโอกาสการขายผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มรายได้ให้แก่ผู้ประกอบการในท้องถิ่นได้มากขึ้น

1.4.4) ด้านสังคม/ชุมชน

ผลที่ได้จากการวิจัยสามารถสร้างความแข็งแกร่งของกลุ่มชุมชนฯ ที่ปลูกจาก ผลิตน้ำตาลจาก ทั้งในเชิงอนุรักษ์และเศรษฐกิจของชุมชนได้ เนื่องจากเป็นกระบวนการผลิตและสูตรการผลิตที่ชุมชนสามารถนำไปผลิตได้ด้วยตนเอง

1.5 กรอบแนวความคิดของการวิจัยและขั้นตอนการวิจัยในภาพรวม

1.5.1 สมมุติฐานการวิจัย

น้ำส้มสายชู (vinegar) เกิดจากกระบวนการหมัก โดยน้ำตาลในอาหารถูกทำให้แตกตัวโดยแบคทีเรียและยีสต์ ในขั้นแรกน้ำตาลจะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ แล้วหมักแอลกอฮอล์ต่อไปกลายเป็นน้ำส้มสายชู โดยน้ำส้มสายชูหมักสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบทางการเกษตร เช่น ผลไม้ต่าง ๆ ผัก และเมล็ดธัญพืช น้ำส้มสายชูหมัก (fermented vinegar) หมายถึงน้ำส้มสายชูที่ได้จากการนำวัตถุดิบที่เหมาะสม ซึ่งได้แก่ ธัญพืช ผลไม้ น้ำตาล หรือกากน้ำตาล มาหมักกับส่าเหล้า แล้วนำมาหมักกับเชื้อน้ำส้มสายชูตามกรรมวิธีการผลิต น้ำส้มสายชูหมักอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิก (phenolic) สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) วิตามิน และเกลือแร่ น้ำส้มสายชูหมักเป็นเครื่องดื่มที่หากรับประทานอย่างเหมาะสมจะเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูหมักเป็นกระบวนการหมักแบบสองขั้นตอนโดยใช้จุลินทรีย์ โดยขั้นตอนแรกจะเป็นกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ใช้น้ำตาลเป็นวัตถุดิบ ซึ่งน้ำส้มสายชูหมักในปัจจุบันนี้นิยมใช้ผลไม้ที่มีความหวานมาเป็นวัตถุดิบ และกระบวนการหมักขั้นที่ 2 เป็นกระบวนการหมัก

แอลกอฮอล์ที่ได้ด้วยแบคทีเรียเพื่อผลิตเป็นกรดอะซิติก ดังนั้นน้ำตาลจากซึ่งได้จากกระบวนการทำ น้ำหวานจากต้นจากให้เข้มข้นค่าน้ำจะเป็นแหล่งของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชูหมักได้

1.5.2 ประชากรและพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก โดยใช้ผลิตผลน้ำตาลจากเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต โดยวัตถุดิบจากต้นจากที่จะใช้จะใช้สองส่วน คือ น้ำหวานสดและน้ำตาลจาก (น้ำตาลจากคือน้ำหวานสดจากต้นจากที่ผ่านกระบวนการเคี่ยวจนมีความเข้มข้นสูง) โดยวัตถุดิบทั้งสองส่วนจะได้จากเกษตรกรปลูกจาก อ.ปากพอง จังหวัด นครศรีธรรมราช ซึ่งพื้นที่นี้เป็นพื้นที่ที่มีการปลูกจากในปริมาณมาก อนึ่งป่าจากเป็นหนึ่งในกิจกรรม โครงการในพระราชดำริของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เมื่อครั้งที่พระองค์ท่านเสด็จลงพื้นที่ อ. ปากพอง จ.นครศรีธรรมราช พระองค์ท่านได้แนะนำให้ส่งเสริมการปลูกต้นจาก ในพื้นที่บ่อทุ่งร้างและได้มีโครงการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำปากพอง อันเนื่องมาจากพระราชดำริของ พระองค์ท่านเกิดขึ้น ซึ่งในอดีตชุมชนใช้ประโยชน์ต้นจากในการดำรงชีพ ทั้งการจับสัตว์น้ำในบริเวณ ป่าจากจำหน่ายสร้างรายได้ ใช้ต้นจากทำจากรสานเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ และการทำน้ำตาลจาก ต้นจาก ดังนั้นการปลูก การใช้ประโยชน์จากต้นจากถือเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นของคนในพื้นที่อำเภอ ปากพอง จังหวัดนครศรีธรรมราช ควรค่าแก่การพัฒนา การอนุรักษ์เพื่อให้เกิดความยั่งยืนกับพื้นที่ป่า จากและวิถีชีวิตชุมชน

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำส้มสายชู

น้ำส้มสายชู (vinegar) เกิดจากกระบวนการหมัก โดยน้ำตาลในอาหารถูกทำให้แตกตัวโดยแบคทีเรียและยีสต์ ในขั้นแรกน้ำตาลจะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ แล้วหมักแอลกอฮอล์ต่อไปกลายเป็นน้ำส้มสายชู คำว่า “vinegar” มาจากภาษาฝรั่งเศส แปลว่า “ไวน์เปรี้ยว” โดยน้ำส้มสายชูหมักสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบทางการเกษตร เช่น ผลไม้ต่าง ๆ ผัก และเมล็ดธัญพืช น้ำส้มสายชูหมัก (fermented vinegar) หมายถึงน้ำส้มสายชูที่ได้จากการนำวัตถุดิบที่เหมาะสม ซึ่งได้แก่ ธัญพืช ผลไม้ น้ำตาล หรือกากน้ำตาล มาหมักกับสาเหล้ม แล้วนำมาหมักกับเชื้อน้ำส้มสายชูตามกรรมวิธีการผลิต เทคโนโลยีการผลิตน้ำส้มสายชูหมักของไทยจัดว่ายังมีผลงานด้านการวิจัยและพัฒนาอยู่ค่อนข้างน้อย ทำให้การผลิตน้ำส้มสายชูหมักในประเทศมีประสิทธิภาพที่ไม่สูงนัก ขณะที่ความต้องการของตลาดเพิ่มขึ้นตามกระแสสุขภาพของผู้บริโภคทั่วโลกที่กำลังมาแรง การผลิตน้ำส้มสายชูในประเทศส่วนใหญ่ยังมุ่งความเข้มข้นในระดับ 5% จึงไม่สามารถตอบสนองในเชิงการค้าได้ ภาคเอกชนจึงมีการนำเข้าเทคโนโลยีกระบวนการหมักน้ำส้มสายชูจากต่างประเทศอย่างต่อเนื่องเพื่อผลิตน้ำส้มสายชูทั้งน้ำส้มสายชูหมัก และน้ำส้มสายชูลั่นภายในประเทศ เทคโนโลยีการผลิตดังกล่าวสามารถผลิตน้ำส้มสายชูในระดับความเข้มข้นสูงตั้งแต่ 8% ขึ้นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการนำเข้าเทคโนโลยีต่างชาติทำให้เอกชนจำเป็นต้องใช้ค่าใช้จ่ายที่สูง อีกทั้งยังจำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายด้านสารอาหารที่มีราคาแพงอย่างต่อเนื่องตลอดอายุของการใช้งาน จากข้อมูลดังกล่าวจะสามารถช่วยแก้ปัญหาให้แก่ผู้ประกอบการได้เป็นอย่างดี แต่สำหรับผู้บริโภคนั้นยังคงต้องจ่ายในราคาที่ผู้ประกอบการกำหนดเพื่อแลกมาซึ่งตอบสนองความต้องการในการบริโภค

เนื่องจากน้ำส้มสายชูหมัก (fermented vinegar) หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำธัญพืช ผลไม้ หรือน้ำตาลมาหมักกับสาเหล้ม แล้วหมักกับเชื้อน้ำส้มสายชู โดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี การทำน้ำส้มสายชูหมักแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอน การเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์และการเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นกรดน้ำส้มด้วยเชื้อน้ำส้มสายชู *Acetobacter* spp. การหมักสามารถเกิดได้จากเชื้อจุลินทรีย์ที่มีตามธรรมชาติที่ติดมากับวัตถุดิบ และการเติมเชื้อบริสุทธิ์หรือหัวเชื้อ จากการผลิตน้ำส้มสายชูหมักในอดีตมักจะได้จากผลผลิตธัญพืช ไวน์ต่างๆ แต่ในปัจจุบันมีการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากวัตถุดิบที่แตกต่างกันไป และมีการคัดเลือกจุลินทรีย์อย่างจำเพาะเจาะจงเพื่อให้ได้น้ำส้มสายชูหมักที่มีปริมาณกรดอะซิติกเหมาะสม นอกจากนี้การผลิตน้ำส้มสายชูหมักยังต้องคำนึงถึงคุณภาพ กลิ่น สี ตลอดจนรสชาติที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคด้วย ส้มสายชูเป็นที่รู้จัก

กันเป็นเวลานาน ในท้องถิ่นต่างๆของประเทศไทยได้มีการทำน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลโตนด น้ำตาลมะพร้าวและน้ำผลไม้เกือบทุกชนิด โดยการนำเอาโหมมาใส่วางกระเบื้องทับบนปากไหหมักทิ้งไว้ให้เกิดน้ำส้มเองตามธรรมชาติ น้ำส้มสายชูหมัก (Venigar) มีองค์ประกอบสำคัญทางเคมีเป็นกรดอะซิติก (Acetic acid) หรือที่เรียกว่ากรดน้ำส้ม ซึ่งเป็นกรดอ่อน เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) ของอะซิตัลดีไฮด์หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนพวกแอลเคน และแอลคีน การค้นพบน้ำส้มสายชูเกิดขึ้นเมื่อหลายพันปีมาแล้ว โดยเริ่มจากการเกิดการเสียของผลิตภัณฑ์ไวน์อ่อนเนื่องจากมีการปนเปื้อนของแบคทีเรียจีนัส *Acetobacter* ซึ่งสามารถออกซิไดซ์เอทานอลได้เป็นกรดอะซิติกในสภาพที่มีออกซิเจนจึงเรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้ว่า vinegar หรือน้ำส้มสายชูมาจากภาษาฝรั่งเศสว่า Vin aigre ซึ่งแปลว่าไวน์ที่มีรสเปรี้ยว เนื่องจากรสชาติไม่ถูกปาก ไม่สามารถดื่มได้เช่นไวน์ทั่วไป ทำให้คิดเป็นไวน์เสียจึงทิ้งๆไป ต่อมาจึงมีการบริโภคน้ำส้มสายชูหมักโดยเริ่มจากการใช้เป็นสารกันเสียให้กับอาหารพวกเนื้อสัตว์และผัก อย่างไรก็ตามน้ำส้มสายชูหมักสามารถบริโภคได้โดยตรงในรูปของน้ำหมักอาหารกระป๋อง หรือนำมาเป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มต่างๆ ได้เช่นกัน ปัจจุบันได้มีการบริโภคน้ำส้มสายชูหมักอย่างแพร่หลายทั่วโลกประมาณ 1 ล้านลิตรต่อปี โดยทั่วไปน้ำส้มสายชูหมักมีค่าความเป็น กรดต่าง (pH) ระหว่าง 2.0 -3.5 และต้องมีความเข้มข้นของกรดอะซิติกอย่างน้อย 4 % และมักจะมีเอทานอลเจือปนอยู่น้อยกว่า 0.5 % ส่วนค่าความหนาแน่น จุดเดือดจุดเยือกแข็งแรงตึงผิว และความหนืดจะมากหรือน้อยกว่าของน้ำบริสุทธิ์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดอะซิติกและวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก น้ำส้มสายชูหมักนอกจากใช้เป็นเครื่องปรุงรสอาหาร เติรียน้ำสลัดหรือผักดองแล้วสามารถนำน้ำส้มสายชูหมักมาทำเป็นเครื่องดื่มสำหรับบริโภค โดยนำน้ำส้มสายชูหมักจากผลไม้ (Fruit Vinegar) ผสมกับส่วนประกอบอื่นๆ เช่น น้ำผึ้ง และน้ำผลไม้ พัฒนาเป็นเครื่องดื่มชนิดใหม่ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ และสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ น้ำส้มสายชูหมัก จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงภาพชีวิตของชาวบ้านหรือผู้บริโภคให้ดีขึ้นได้ โดยในแต่ละท้องถิ่นล้วนมีผลไม้ชนิดต่างๆเป็นวัตถุดิบของการผลิตอยู่แล้ว ขาดแต่ความรู้ความเข้าใจในการใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบเหล่านั้นนอกเหนือจากการรับประทานหรือการขาย

จากการผลิตน้ำส้มสายชูหมักในอดีตมักจะได้จากผลผลิตภักณ์ไวน์ต่างๆ แต่ในปัจจุบันมีการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากวัตถุดิบที่แตกต่างกันไป และมีการคัดเลือกจุลินทรีย์อย่างจำเพาะเจาะจงเพื่อให้ได้ น้ำส้มสายชูหมักที่มีปริมาณกรดอะซิติกเหมาะสม วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชูนั้นมีหลายอย่างเช่น การผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์ การผลิตน้ำส้มสายชูจากผลไม้ต่างๆ การผลิตน้ำส้มสายชูจากข้าวมอลต์ การผลิตน้ำส้มสายชูจากแอลกอฮอล์ (Lipp *et al.*, 1998) การผลิตน้ำส้มสายชูจากมันเทศ การผลิตน้ำส้มสายชูจากข้าว-โซซุ (Ye *et al.*, 2004)

ซึ่งตามมาตรฐานของสำนักงานอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา ได้แบ่งชนิดของน้ำส้มสายชูออกเป็นชนิดต่างๆดังนี้ (วรารุติ, 2538)

Cider vinegar และ Apple vinegar เป็นน้ำส้มสายชูหมักที่ได้จากแอปเปิ้ลเป็นวัตถุดิบ และมีกรดน้ำส้ม ไม่น้อยกว่า 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส

Wine vinegar และ Grape vinegar เป็นน้ำส้มสายชู ได้จากองุ่นเป็นวัตถุดิบมีกรดน้ำส้ม ไม่น้อยกว่า 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส

Malt vinegar เป็นน้ำส้มสายชูที่ได้จากข้าวมอลท์หรือข้าวอื่นๆที่ถูกย่อยโดยข้าวมอลต์เป็น วัตถุดิบและมีกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส

Sugar vinegar เป็นน้ำส้มสายชูที่ได้จากน้ำตาล กากน้ำตาล มีกรดน้ำส้มสายชูไม่น้อยกว่า 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส

Glucose vinegar คือน้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมักสารละลายกลูโคสมีกรดน้ำส้มไม่น้อย กว่า 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส

Spirit vinegar distilled vinegar และ Grain vinegar คือน้ำส้มสายชูที่ได้จากแอลกอฮอล์ กลั่นและมีกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส

สำหรับประเทศไทยได้มีการกำหนดชนิดของน้ำส้มสายชูกำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 204) พ.ศ.2543 เรื่อง น้ำส้มสายชู ไว้ดังนี้คือ

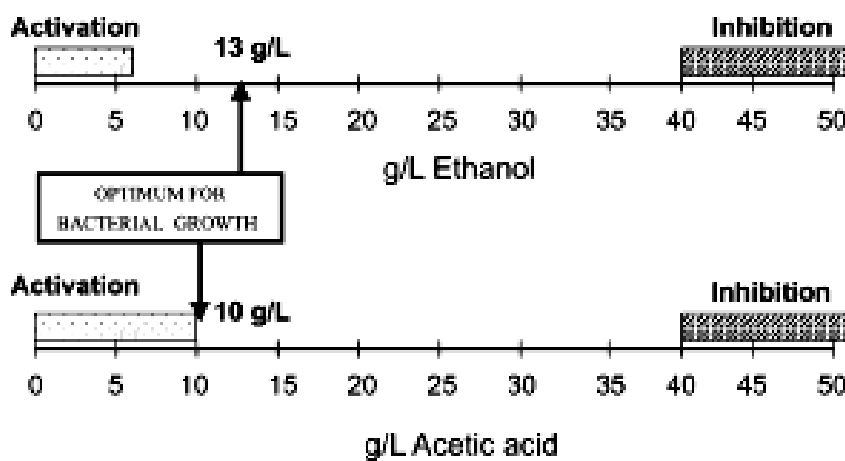
- 1) น้ำส้มสายชูหมักได้แก่ ผลผลิตที่ได้จากธัญพืช ผลไม้ หรือน้ำตาล แล้วหมักกับเชื้อ น้ำส้มสายชูตามกรรมวิธีธรรมชาติ
- 2) น้ำส้มสายชูกลั่น ได้แก่การทำสุราขาวเจือจาง หรือแอลกอฮอล์เจือจาง หมักกับเชื้อ น้ำส้มสายชูตามกรรมวิธีธรรมชาติ หรือได้มาจากการกลั่นน้ำส้มสายชูหมักหรือน้ำส้มสายชูกลั่น
- 3) น้ำส้มสายชูเทียม ได้แก่การเอากรดอะซิติกมาเจือจางกับน้ำ

นอกจากนี้การผลิตน้ำส้มสายชูหมักยังต้องคำนึงถึงคุณภาพ กลิ่น สี ตลอดจนรสชาติที่ตรง กับความต้องการของผู้บริโภคด้วย ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือสภาวะที่เหมาะสมในการหมัก กรดอะซิติกของเชื้อจุลินทรีย์จากการผลิตน้ำส้มสายชูจากเอทานอล

2.2 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มสายชู

อิทธิพลความเข้มข้นของเอทานอลโดยส่วนใหญ่แล้วความเข้มข้นของเอทานอลจะอยู่ในช่วง ร้อยละ 8-12 (วรารุณ, 2538) ซึ่งจากการศึกษาอัตราการเจริญของแบคทีเรียพบว่าเมื่อความเข้มข้น ของเอทานอลอยู่ในช่วง 0.5 และ 6 กรัมต่อลิตร จะมีอัตราการเจริญของเชื้อเพิ่มขึ้นจาก 0.13 ไปเป็น 0.21 ต่อชั่วโมง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นไปเป็น 30 กรัมต่อลิตร ก็ยังมีส่วนที่เหลือเจริญต่อไปแต่เมื่อ ความเข้มข้นของเอทานอลเพิ่มขึ้นเป็น 40 กรัมต่อลิตร จะยับยั้งการเจริญและอัตราการเจริญลดลง และถ้าเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลเป็น 120 กรัมต่อลิตร จะไม่เหมาะต่อการเจริญของเชื้อ แบคทีเรีย

อิทธิพลของความเข้มข้นของกรดอะซิติก กรดอะซิติกมีผลต่อการยับยั้งกิจกรรมหรืออัตราการเจริญของเชื้อ *Acetobacter aceti* ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 10-14 (สุมนทา, 2545) ซึ่งจะสังเกตได้จากความเข้มข้นกรดอะซิติกที่ผลิตได้นั้นมักจะมีค่าที่ต่ำกว่า 10 กรัมต่อลิตร และจากการศึกษาเมื่อความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่อยู่ในอาหารเป็น 20 กรัมต่อลิตร จะมีผลในการยับยั้ง และเมื่อมีความเข้มข้นเป็น 40 กรัมต่อลิตร จะขัดขวางการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย และถ้าเพิ่มความเข้มข้นของกรดอะซิติกเป็น 60 กรัมต่อลิตร จะยับยั้งการเจริญถึงร้อยละ 70



ภาพที่ 2.1 แสดงถึงอิทธิพลของความเข้มข้นที่เหมาะสมของเอทานอลและกรดอะซิติกที่มีผลต่อการยับยั้ง ต่อการเจริญของแบคทีเรีย

ที่มา: (Ory *et al.*, 2002)

จากภาพที่ 2.1 สรุปได้ว่าอัตราการเจริญของเชื้อ *Acetobacter aceti* ที่เหมาะสมต่อความเข้มข้นของเอทานอลในอาหารที่ใช้ในการหมักอยู่ที่ประมาณ 13 กรัมต่อลิตร ส่วนอัตราการเจริญของแบคทีเรีย *Acetobacter aceti* ที่เหมาะสมต่อความเข้มข้นของกรดอะซิติกในอาหารอยู่ที่ประมาณ 10 กรัมต่อลิตร (Ory *et al.*, 2002)

อิทธิพลของการให้อากาศในการหมักนั้นจะมีผลทำให้เชื้อแบคทีเรียมีอัตราการเจริญเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้มีอัตราการผลิตกรดเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้าให้อากาศมากเกินไปก็จะมีผลไปยับยั้งกิจกรรม และมีผลกระทบต่อการผลิตกรดได้เช่นกัน ดังนั้นจึงต้องให้อากาศในปริมาณที่เหมาะสม โดยใช้เชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 521 ในถังหมักขนาด 2.0 ลิตรบรรจุน้ำเลี้ยง 1.5 ลิตร โดยมีอัตราการไหลอากาศ 150 ml/min อัตราการกวน 150 rpm อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 120 ชั่วโมง พบว่า ในระบบการหมักแบบชั่วคราวและระบบกึ่งต่อเนื่องสามารถผลิตกรดอะซิติกได้ 30.76 และ 30.14 g/L ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของเอทานอลและความเข้มข้นของกรดอะซิติกในน้ำหมักมีผลต่อการหมักน้ำส้มสายชูด้วย

ผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักในประเทศไทยมีการผลิตมาจากวัตถุดิบหลากหลายชนิด เนื่องจากประเทศไทยมีผลไม้ตามฤดูกาลหลากหลายชนิด เมื่อผลผลิตมีจำนวนมากกว่าความต้องการของตลาด จึงต้องมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ดังนั้นน้ำส้มสายชูหมักจากผลไม้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมเป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่ง มนัสสรและคณะ (2548) ได้รายงานถึงการหมักน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจาก ปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เชื้อยีสต์สายพันธุ์ Y2 สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ 11.48% (v/v) ในเวลา 3 วัน และเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ B2 สามารถผลิตกรดอะซิติก 4.18% (w/v) ในเวลา 27 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าการผลิตน้ำส้มสายชูหมักโดยใช้เชื้อ *Acetobacter aceti* ในน้ำหมักเริ่มต้นที่มีอัตราส่วนของน้ำมะพร้าว : น้ำมะม่วง : น้ำฟักเขียวเท่ากับ 1 : 0.4 : 0.6 (v/v) ตามลำดับ และมีการเติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DAP) 0.2% (w/v) บ่มโดยให้อากาศ 1,800 ml/min ให้ปริมาณกรดสูงสุดเท่ากับ 3.36% (w/v) ในวันที่ 25 ของการหมัก

2.3 กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก

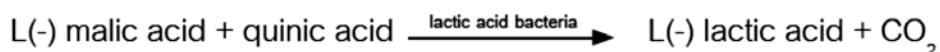
การผลิตน้ำส้มสายชูอาศัยกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของโมเลกุลของสารในสารประกอบอินทรีย์ อาจเกิดได้ทั้งภายในสภาพที่มีออกซิเจน (Aerobic) และในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) เช่น การเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นกรดน้ำส้มโดยใช้เชื้อ *Acetobacter aceti* ในสภาพที่มีออกซิเจน และการเปลี่ยนน้ำตาลแลคโตสเป็นกรดแลคติก ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน นอกจากนี้การผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำหวานผลไม้จะพบกระบวนการหมักหลัก 2 กระบวนการคือการเกิดแอลกอฮอล์และการเกิดกรด เมื่อการหมักครั้งแรกสิ้นสุดลงการหมักขั้นที่สองก็จะเริ่มขึ้นโดยในขั้นนี้แบคทีเรียที่สร้างกรดน้ำส้ม เช่น *Acetobacter aceti*, *Acetobacter xylinum* ก็จะเปลี่ยนเอทิลแอลกอฮอล์หรือเอทานอล ให้กลายเป็นกรดอะซิติก ปฏิกิริยานี้ต้องหมักในสภาพที่มีอากาศ โดยกระบวนการหมักจะมีผลต่อคุณลักษณะกลิ่นและรสของน้ำส้มสายชูโดยสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท (สนใจ ศิริโชค, 2537) คือ

1) การหมักดองที่ทำให้เกิดแอลกอฮอล์ (Alcoholic fermentation) การหมักดองที่ทำให้เกิดแอลกอฮอล์ แอลกอฮอล์เป็นการนำเอาอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต เช่น ข้าว น้ำผลไม้ มาหมักด้วยเชื้อยีสต์บางชนิดที่เหมาะสมในการหมัก โดยที่ยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ตัวอย่างของอาหารที่ทำขึ้นโดยการหมักดองแบบนี้ คือ ไวน์ ข้าวหมาก เบียร์ กระแฉ่ น้ำตาลเมา และสาโท เป็นต้น

ยีสต์

น้ำตาล $\longrightarrow$ แอลกอฮอล์ + คาร์บอนไดออกไซด์ + พลังงาน

2) การหมักที่ทำให้เกิดกรดแลคติก (Lactic acid fermentation) คือการหมักเปรี้ยวของเนื้อสัตว์ ผักนมสด และผลไม้ โดยอาศัยเชื้อแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดแลคติก (Lactic acid bacteria) จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดแลคติก การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวข้างต้นเกิดขึ้นในการทำพวกผักและผลไม้ดอง เช่น กะหล่ำปลี ผักกาดดอง แตงกวาดอง เป็นต้น การทำเนื้อสัตว์ปลาและนมเปรี้ยว การเกิดกรดแลคติกนี้ไม่ต้องใช้ออกซิเจน กรดที่เกิดจากการหมักนี้มีประมาณ 0.6-1.5 %



3) การหมักดองที่ทำให้เกิดกรดอะซิติก (Acetic acid fermentation) การหมักดองที่ทำให้เกิดกรดอะซิติก ได้แก่ การทำน้ำส้มสายชูหมัก ซึ่งเป็นน้ำส้มที่ได้จากการหมักพวกธัญพืชหรือผลไม้ กระบวนการเกิดน้ำส้มสายชูจะเกิดขึ้นภายหลังจากที่เกิดแอลกอฮอล์แล้วแอลกอฮอล์จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติก ด้วยแบคทีเรียที่ชื่อ *Acetobacter aceti* ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ตามพระราชบัญญัติควบคุมอาหาร น้ำส้มสายชูต้องมีกรดอะซิติก ไม่น้อยกว่า 4 % โดยปริมาตร ไม่มีสิ่งเจือปน กลิ่นจะเป็นไปตามที่มาของกระบวนการทำน้ำส้มสายชูหมักจะเกิดการเปลี่ยนทางเคมี 2 ขั้นตอน คือ ในขั้นแรกจะมีวิธีการเหมือนกับการทำไวน์ผลไม้ เริ่มจากเอนไซม์จากยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* โดยเอนไซม์เปลี่ยนน้ำตาลในน้ำผลไม้ให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ ปฏิกิริยานี้ไม่ต้องการออกซิเจน ดังนั้นควรหมักในสภาพที่ไม่มีอากาศ ดังสมการ

แบคทีเรีย

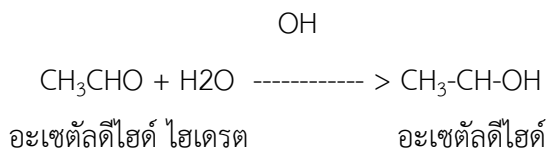


กระบวนการหมักน้ำส้มสายชู

กระบวนการหมักน้ำส้มสายชู เกิดจากน้ำตาลในอาหารถูกทำให้แตกตัวโดยแบคทีเรียและยีสต์ ในขั้นแรกน้ำตาลจะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นแอลกอฮอล์แล้วหมักแอลกอฮอล์ต่อไปกลายเป็นน้ำส้มสายชู วัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล ในปัจจุบันการผลิตเอทานอลในระดับอุตสาหกรรมทั่วโลกประมาณ 93% จะใช้กระบวนการหมักซึ่งวัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตเอทานอลจะเป็นสารประกอบจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท ดังนี้

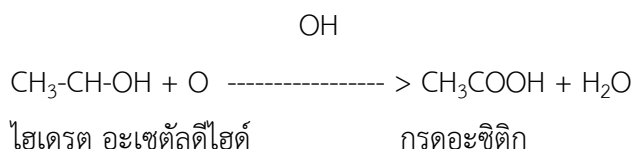
1) วัตถุดิบประเภทน้ำตาล ได้แก่ น้ำอ้อย กากน้ำตาล และบีบน้ำตาล ยีสต์สามารถใช้วัตถุดิบประเภทนี้ได้โดยตรง และไม่ต้องผ่านกระบวนการใด ๆ

ขั้นตอนที่สองเป็นการเปลี่ยนอะเซตัลดีไฮด์ให้เป็นไฮเดรตอะเซตัลดีไฮด์ (Hydrate acetaldehyde) โดยอาศัยเอนไซม์อะเซตัลดีไฮด์ ดีไฮโดรเจนเนส (Acetaldehyde dehydrogenase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนี้



ขั้นตอนที่สามเป็น ขั้นตอนการสร้างกรดอะซิติกโดยที่เกิดปฏิกิริยาการส่งโปรตอน 2 ตัว ของไฮเดรตอะเซตัลดีไฮด์ ไปยังอะตอมของออกซิเจนเกิดกรดอะซิติกออกมา ทั้งนี้โดยอาศัยเอนไซม์ อัลดีไฮด์ ดีไฮโดรเจนเนส (Acetaldehyde dehydrogenase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนี้

เป็นขั้นตอนการสร้างกรดอะซิติก โดยที่เกิดการส่งโปรตอน 2 ตัว ของ hydrate acetaldehyde ไปยังอะตอมของออกซิเจนจนเกิดกรดอะซิติกออกมา ทั้งนี้โดยอาศัยเอนไซม์ aldehyde dehydrogenase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนี้



สรุปปฏิกิริยาการเปลี่ยนแอลกอฮอล์ให้เป็นกรดอะซิติกได้ดังนี้



การเปลี่ยนแปลงในขั้นนี้ต้องการออกซิเจนมาก เพื่อที่จะไปออกซิไดซ์แอลกอฮอล์ไปเป็นกรดน้ำส้ม จึงควรหมักในภาชนะปากกว้าง เพื่อให้มีเนื้อที่สัมผัสอากาศได้มากหรือมีการกวนบ่อยๆ ให้อากาศผ่านเข้าในถังหมัก รวมทั้งกรรมวิธีอื่นๆ อุณหภูมิที่ใช้ในการหมักนั้นขึ้นอยู่กับเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ และกรรมวิธีการผลิตโดยทั่วไป ประมาณ 26-29 องศาเซลเซียส

โดยขั้นตอนในการผลิตน้ำส้มสายชูต่างๆไปสามารถสรุปได้ดังนี้ (ภาพที่ 2.2) (Joshi and Sharma, 2009)

1) การเตรียมหัวเชื้อตั้งต้น (starter) โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมักคือยีสต์ โดยส่วนใหญ่จะใช้ยีสต์แห้ง การใช้ยีสต์สายพันธุ์แตกต่างกันจะส่งผลให้ได้รสชาติของน้ำส้มสายชูกลั่นรสที่ดีแตกต่างกัน และให้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม และในกระบวนการหมักจะมีจุลินทรีย์อีกกลุ่มนี้คือจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดซึ่งจะส่งผลให้น้ำส้มสายชูมีรสเปรี้ยว

2) การหมัก (fermentation) เป็นขั้นตอนการหมักโดยเติมหัวเชื้อตั้งต้นในภาชนะหมักที่มีวัตถุดิบอยู่ โดยปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหมักและจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ชนิดของวัตถุดิบ ความเข้มข้นของวัตถุดิบตั้งต้นความเป็นกรดต่าง (พีเอช) สารบางชนิดที่ส่งเสริมกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ และอุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะสอดคล้องกับจุลินทรีย์และผลิตภัณฑ์ในการผลิตน้ำส้มสายชูวัตถุดิบจะเป็นกลุ่มผลไม้ที่มีความหวานเนื่องจากในกระบวนการหมักยีสต์จะมีการใช้น้ำตาลเข้าสู่กระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์แล้วมีการสร้างแอลกอฮอล์เกิดขึ้น และสารกลุ่มกรด เช่น กรดซิตริก กรดมาลิก โดยในสภาวะการหมักจะมีการเติมกรดลงไปในระบบก่อนหมักเพื่อปรับสภาพให้เหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์ และในบางกรณีหากความหวานของผลไม้ (ความเข้มข้นของวัตถุดิบหมัก) มีไม่มากเพียงพอที่จะปรับโดยเติมน้ำตาลในปริมาณที่เหมาะสม โดยทั่วไปจะอยู่ที่ 22-25 องศาบริกซ์ ในสภาวะการหมักจะควบคุมอุณหภูมิประมาณ 22.0 องศาเซลเซียส ในระหว่างการหมักตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นกรดและค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ เพื่อให้ได้น้ำส้มสายชูที่มีกลิ่นรสดีและมีแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 15.0

การผลิตน้ำส้มสายชูประกอบด้วยขั้นตอนการหมักที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือ

การหมักระยะแรก เป็นกระบวนการหมักเพื่อผลิตแอลกอฮอล์ เช่น นำแอปเปิ้ลมาสกัดให้เป็นน้ำแอปเปิ้ลก่อนจากนั้นทำการหมักน้ำแอปเปิ้ลเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์โดยยีสต์ (*Saccharomyces*) ที่ได้จากการเติมเชื้อยีสต์สายพันธุ์เฉพาะหรือยีสต์ที่มีตามธรรมชาติที่ติดมากับผิวผลไม้ โดยนิยมหมักที่อุณหภูมิ 15-18 องศาเซลเซียส

การหมักระยะที่สอง เรียกว่า malo-lactic fermentation เป็นการหมักบ่มที่อุณหภูมิต่ำได้แก่ ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส กรดมาลิกเปลี่ยนเป็นกรดแลกติกโดยแลกติกแอซิดแบคทีเรียที่มีในน้ำผลไม้ ขั้นตอนนี้ จึงเป็นการหมักเพื่อให้เกิดกลิ่นรสที่ดี

3) การทำให้ใส (clarifying)

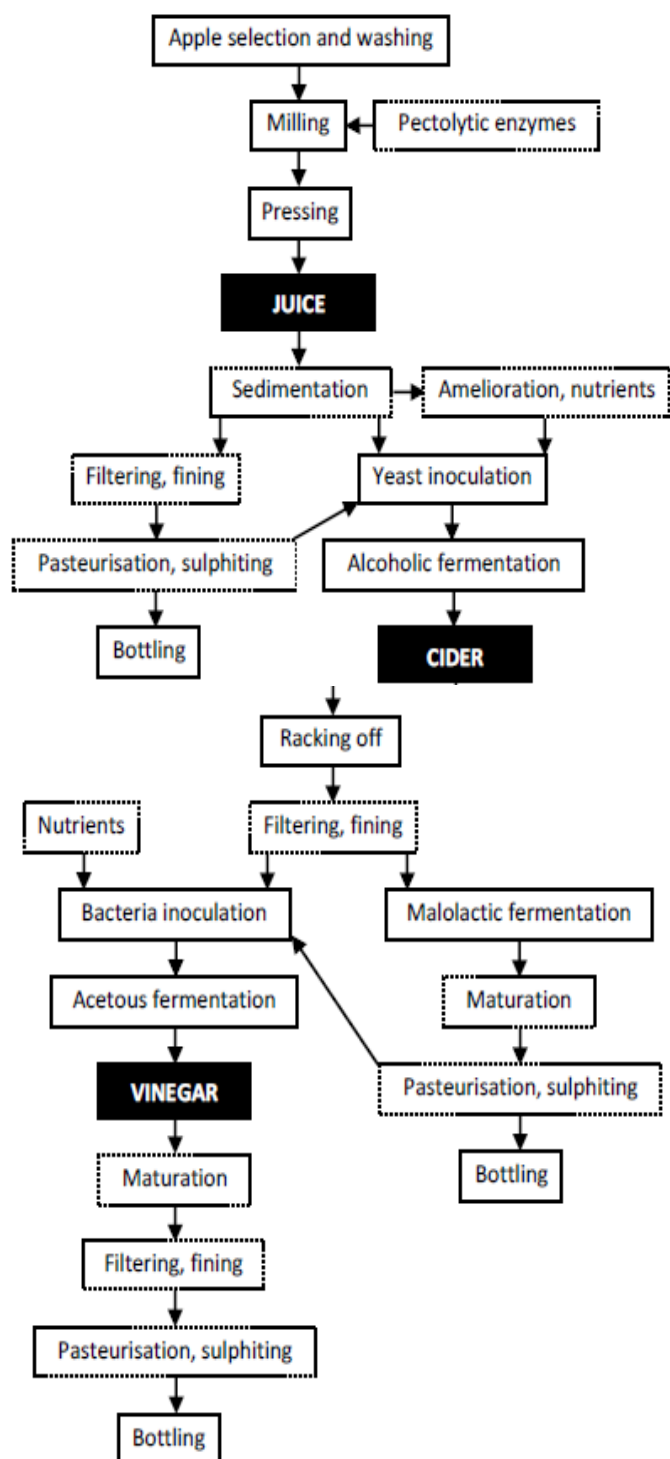
น้ำส้มสายชูหลังผ่านการหมักที่ได้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ต้องการ จากนั้นผ่านขั้นตอนทำให้ใส 4 ขั้นตอน คือ การกรองตะกอนหยาบ และการกรองตะกอนละเอียด (racking) การกรองโดยการตกตะกอน (precipitation) ด้วยเบนโทไนด์ แล้วหมักบ่ม (aging) ไว้เป็นเวลาประมาณ 1.0-1.5 เดือน และกรองด้วยเครื่องกรอง (membrane filtration) เพื่อแยกกากละเอียดและเศษยีสต์ ก่อนการผสมปรุงแต่งรสชาติ

4) การหมักบ่ม

หลังการกรองใส นำไปหมักบ่มเพื่อให้มีกลิ่นรสดี โดยควบคุมอุณหภูมิหมักที่ 18 องศาเซลเซียส

5) การผสม (blending)

ผสมเครื่องตม่น้ำส้มสายชูโดยนำน้ำน้ำส้มสายชูที่ผ่านการหมักและมีแอลกอฮอล์อยู่ผสมกับส่วนผสมเช่น น้ำหรือน้ำผลไม้ เพื่อปรับให้มีปริมาณแอลกอฮอล์ในระดับที่เหมาะสม



ภาพที่ 2.2 แผนผังสรุปขั้นตอนการผลิตน้ำส้มสายชูจากผลแอปเปิ้ล

ที่มา: Joshi and Sharma (2009)

การหมักน้ำส้มสายชูควรมักที่อุณหภูมิประมาณ 22-30 องศาเซลเซียส หรือเก็บไว้ในห้อง การหมักกินเวลาประมาณ 2-3 เดือน เนื่องจากปฏิกิริยานี้ต้องการอากาศมาก ดังนั้นเมื่อแอลกอฮอล์ เปลี่ยนเป็นน้ำส้มหมักแล้ว ควรนำไปบรรจุให้เต็มขวด และไม่ควรให้มีอากาศเหลืออยู่เพื่อป้องกัน ไม่ให้อะซิติกแบคทีเรียและแบคทีเรียบางชนิดที่เหลือไปเปลี่ยนกรดน้ำส้มจะทำให้กลายเป็นแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการควบคุมสภาวะของการหมักเป็นกลไกสำคัญในการควบคุม ผลผลิตที่เกิดจากการหมัก

ดังนั้นการควบคุมสภาวะของการหมักจะเป็นกลไกสำคัญในการควบคุมคุณลักษณะ สี กลิ่น รส ตลอดจนองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากสภาวะที่เหมาะสมจะเป็นกลไกในการควบคุม กลุ่มของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบหมักตลอดจนกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์แต่ละสายพันธุ์

2.4 จุลินทรีย์ในกระบวนการหมักน้ำส้มสายชูหมัก

ในกระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูถ้าใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆที่ไม่ใช่แอลกอฮอล์จะต้องมีการ นำวัตถุดิบนั้นมาหมักให้ได้แอลกอฮอล์ก่อนด้วยเชื้อยีสต์ หลังจากนั้นจะมีกระบวนการหมัก แอลกอฮอล์ที่เกิดเป็นกรด เช่นผลิตกรดอะซิติก กรดมาลิก โดยอาศัยเชื้อแบคทีเรียที่สามารถ ออกซิไดซ์แอลกอฮอล์เป็นกรดอะซิติกได้ ดังนั้นจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตไวเดอร์จึง แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1) เชื้อยีสต์

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น ไวน์ เบียร์ น้ำส้มสายชู (vinegar) สุรากลั่น ขนหมปังโปรตีนเซลล์เดียวและที่สำคัญคือ เอทานอลโดยยีสต์ที่ใช้ สำหรับผลิตเอทานอลระดับอุตสาหกรรม คือ *Saccharomyces cerevisiae*, *S. uvarum* (*carlsbergensis*), *Shizosaccharomyces pombe* และ *Kluyvermyces fragilis* สำหรับ *Sacch. cerevisiae* เป็นยีสต์ที่ทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆที่ไม่เหมาะสมได้ดีกว่ายีสต์ชนิดอื่นดังนั้นในปัจจุบัน การผลิตเอทานอลส่วนใหญ่จึงใช้ ยีสต์ *Sacch. cerevisiae* การพิจารณาคัดเลือกจุลินทรีย์มาใช้สา สำหรับการผลิตเอทานอลนั้น การให้ผลผลิตสูงและมีอัตราการหมักเอทานอลสูงเป็นเรื่องที่ต้องให้ ความสำคัญเป็นอันดับแรก นอกจากนี้ลักษณะที่ได้รับความสนใจในการคัดเลือกยีสต์ที่จะนำไปใช้ใน อุตสาหกรรมผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงและสารเคมีคือ ความทนเอทานอล ความทน อุณหภูมิสูง ความทนแรงดันออสโมซิส และความสามารถในการจับกลุ่มตกตะกอน ปัจจัยเหล่านี้ได้รับความสนใจ ทั้งนี้เพราะตามทฤษฎีการหมักเอทานอล จากน้ำตาลกลูโคส 1 กรัม จะให้เอทานอล 0.51 กรัม แต่ในทางปฏิบัติทั่วไป กลูโคส 1 กรัม จะให้เอทานอลประมาณ 90% ของผลผลิตทาง ทฤษฎี (theoretical yield) ของเอทานอลเท่านั้น และมีส่วนหนึ่งนำไปสร้างเซลล์นอกจากนั้น ประสิทธิภาพการหมักเอทานอลอาจลดลงและการหมักยาวนานขึ้นเนื่องจากปัจจัยหลายอย่าง ที่

สำคัญที่สุดคือการยับยั้งด้วยเอทานอล โดยทั่วไปพบว่าการเจริญและการหมักเอทานอลของยีสต์จะถูกยับยั้งด้วยเอทานอล กล่าวคือ เอทานอลเข้มข้น 1-2% โดยน้ำหนัก จะทำให้การเจริญของยีสต์ลดลงและการเจริญของยีสต์จะหยุดเมื่อมีเอทานอล 4.7-7.8% โดยน้ำหนัก (Panchal and Tavares, 1990) จากรายงานของ Sera และคณะในปีค.ศ. 2000 พบว่าการแยก *Saccharomyces cerevisiae* 4 สายพันธุ์ที่ทนอุณหภูมิสูง ทนแรงดันออสโมซิส จับกลุ่มตะกอนได้และทุกสายพันธุ์เจริญได้ที่ 44 °C โดยสายพันธุ์ V 3 ที่อุณหภูมิ 40 °C ให้เอทานอลสูงสุด เท่ากับ 60 กรัมต่อลิตร จากกลูโคส 150 กรัมต่อลิตร ในขณะที่บ่มที่ 30 °C สามารถผลิตเอทานอลได้ 75 กรัมต่อลิตร ตามปกติยีสต์เจริญได้ดีที่พีเอช 5.5 และมีน้ำตาลพวก hexose, ammonium salt, เกลือแร่, trace element และวิตามินบางชนิดเป็นแหล่งของสารอาหาร

นอกจากนี้ยังมีการคัดเลือกยีสต์ สำหรับผลิตแอลกอฮอล์เพื่อนำไปผลิตกรดโดยตรง อาทิ เช่น ในการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์หรือ wine vinegar ยีสต์ที่ใช้คือ *Saccharomyces ellipsoideus* ซึ่งคัดเลือกมาให้หมักไวน์ที่อุณหภูมิ 25-30°C จะทำให้ได้น้ำส้มสายชูหมักที่มีกลิ่นและรสดีนอกจากนี้ยังมียีสต์ในจีนัส *Saccharomyces* อีกหลายสายพันธุ์ที่ใช้หมักแอลกอฮอล์เพื่อเป็นวัตถุดิบในการหมักน้ำส้มสายชู ได้แก่ *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces diastaticus* และ *Saccharomyces carlsbergensis* เป็นต้น

2) แบคทีเรียที่ผลิตกรด

ในการหมักน้ำส้มสายชูหากน้ำส้มสายชูรสเปรี้ยวเกิดจากจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดมีการเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นกรด แบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตกรดอะซิติกและกรดแลกติกได้ เช่น แลคติกแอซิดแบคทีเรีย แบคทีเรียในแฟมิลี *Acetobacteraceae* จีนัส *Acetobacter* และ *Gluconobacter* เป็นแบคทีเรียแกรมลบ เซลล์มีรูปร่างแท่งสั้น อยู่เป็นเซลล์เดี่ยวหรืออยู่เป็นคู่จัดเป็น obligate aerobes มีลักษณะเฉพาะคือสามารถออกซิไดซ์เอทานอลเป็นกรดอะซิติกได้ในปริมาณที่มากกว่า และสามารถออกซิไดซ์กรดอะซิติกต่อไปได้จนกลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ จึงเรียกแบคทีเรียพวกนี้ว่า “โอเวอร์ออกซิไดซ์เซอร์” (Overoxidizer) และ เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 25-30 °C ในสภาพแวดล้อมที่มีพีเอช 5.4-6.3 สำหรับจีนัส *Acetobacter* จะมี peritrichous flagella และสามารถออกซิไดส์กรดอะซิติกเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้โดยอาศัยวัฏจักรเครปส์ส่วนจีนัส *Gluconobacter* มี polar flagella ไม่สามารถออกซิไดซ์กรดอะซิติกต่อไปได้ เนื่องจากมีวัฏจักรเครปส์ที่ไม่สมบูรณ์ จึงเรียกว่า “อันเดอร์ออกซิไดซ์เซอร์” (Underoxidizer) ซึ่งความสามารถในการออกซิไดซ์เอทานอลไปเป็นกรดอะซิติก สามารถที่จะไปใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตน้ำส้มสายชูซึ่งมีรสเปรี้ยวที่เกิดจากกรดอะซิติกเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งตามมาตรฐานอุตสาหกรรมต้องมีกรดอะซิติกไม่น้อยกว่า 4 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร ดังนั้นการผลิตน้ำส้มสายชูจึงเลือกใช้ *Acetobacter* โดยเลือกใช้สายพันธุ์ที่สามารถให้ปริมาณกรดอะซิติกมากกว่า 4 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร (มาลัย และคณะ, 2552)

หลังสิ้นสุดกระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูในระดับอุตสาหกรรม จะมีกรรมวิธีการทำลายจุลินทรีย์หลังกระบวนการหมักเพื่อไม่ให้เกิดกระบวนการหมักต่อซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะและคุณภาพของน้ำส้มสายชูโดยจะมีกระบวนการในสองลักษณะ คือ

วิธีที่ 1 การเติมสารประกอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่ระดับ 100-150 ppm

วิธีที่ 2 การใช้ความร้อนเพื่อพาสเจอร์ไรส์ (pasteurize) ที่อุณหภูมิ 82.2 องศาเซลเซียส (180 องศาฟาเรนไฮต์) นาน 15 วินาที ตามข้อกำหนด ปี 2006 ขององค์การอาหารยา ประเทศสหรัฐ (FDA)

2.5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชู

มาตรฐานผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากผลไม้หรือธัญพืชในประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 204) พ.ศ. 2543 ดังประกาศราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 118 ตอนพิเศษ 6 ง. ลงวันที่ 24 มกราคม พ.ศ.2544 โดยน้ำส้มสายชูจากการหมักผลไม้และธัญพืช โดยต้องมีคุณภาพมาตรฐาน ดังนี้

- (1) มีกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 27 องศาเซลเซียส
- (2) ตรวจพบสารปนเปื้อนได้ไม่เกินปริมาณที่กำหนด ดังต่อไปนี้
 - (2.1) สารหนู ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
 - (2.2) ตะกั่ว ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
 - (2.3) ทองแดงและสังกะสี ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
 - (2.4) เหล็ก ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
- (3) ไม่มีกรดน้ำส้มที่มีได้มาจากการผลิตน้ำส้มสายชูหมักหรือน้ำส้มสายชูกลั่น
- (4) ไม่มีกรดกำมะถัน (Sulfuric acid) หรือกรดแอสคอร์บิกอย่างอื่น
- (5) ใส่ไม่มีตะกอน เว้นแต่น้ำส้มสายชูหมักตามธรรมชาติ
- (6) ไม่มีหนอนน้ำส้ม (Vinegar eel)
- (7) ใช้น้ำสะอาดเป็นส่วนผสม
- (8) ให้ใช้วัตถุเจือปนอาหาร (Food Additives) ได้ ดังต่อไปนี้
 - (8.1) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่เกิน 70 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
 - (8.2) กรดแอล-แอสคอร์บิก ไม่เกิน 400 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
- (9) มีแอลกอฮอล์ตกค้าง (Residual alcohol) ไม่เกินร้อยละ 0.5
- (10) การแต่งสี ให้ใช้น้ำตาลเคี้ยวไหม้หรือสีคาราเมล

และเกณฑ์คุณภาพทางจุลินทรีย์ในอาหารและเครื่องดื่มต้องไม่มีจุลินทรีย์และปรสิตในผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ปริมาณเชื้อ *Escherichia coli* เชื้อ *Staphylococcus aureus* และปริมาณเชื้อรา

2.6 ต้นจาก

ชื่อภาษาอังกฤษ : Nypa, Atap palm, Nipa palm, Mangrove palm

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Nypa fruticans* Wurm.

ชื่อวงศ์ : ปาล์ม (Arecaceae หรือ ชื่อเดิมคือ Palmae) เช่นเดียวกับตาล ตาว ลาน หวาย และมะพร้าว และต้นจากมีชื่ออื่นอีก คือ อัดตะ โดยมีถิ่นกำเนิดอยู่ในบริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศไทย

ชื่อสามัญว่า : Nipa Palm

วงศ์ย่อย : Nypoideae

ต้นจาก *Nypa fruticans* Wurm (Purseglove, 1985) เป็นพืชที่ขึ้นกระจายบริเวณปากแม่น้ำและริมสองฝั่งคลองที่น้ำทะเลขึ้นถึงหรือบริเวณน้ำกร่อย สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินเลนค่อนข้างแข็งและเหนียวจัด ทนต่อความเค็มของดิน น้ำและแสงแดดได้ดี เป็นพืชที่คนไทยรู้จักมานาน และมีการใช้ประโยชน์อย่างหลากหลาย เช่น ใบอ่อนใช้สำหรับมวนบุหรี่ ใช้ทำภาชนะตักน้ำใบแก่นำมาเย็บมุงหลังคาหรือกั้นฝายบ้านนำมาห่ออาหารที่เรียกว่าขนมจาก ก้านใบใช้ทำภาชนะจักสานผลนำมารับประทาน ต้นจากสามารถให้ความหวานที่จะทำน้ำตาล ทำน้ำส้มสายชู และทำแอลกอฮอล์ เป็นต้น (นพรัตน์, 2540) แต่ในปัจจุบันพบว่าการใช้ประโยชน์จากต้นจากลดน้อยลงไปมาก ส่งผลให้ประชาชนในพื้นที่ป่าจากเห็นความสำคัญของต้นจากน้อยลง (สมบุรณ์ และคณะ, 2556) อำเภอปากพนัง จ. นครศรีธรรมราช เป็นหนึ่งในอำเภอที่จัดอยู่ในบริเวณลุ่มน้ำปากพนัง มีแม่น้ำปากพนังเป็นแม่น้ำสายหลักและลำคลองสาขาอีก 119 สาย รวมความยาวทั้งสิ้นกว่า 700 กิโลเมตรในอดีตลุ่มน้ำปากพนังมีความอุดมสมบูรณ์ และมีความหลากหลายทางชีวภาพสูงทุกนิเวศถูกประสานเกี่ยวโยงต่อกันอย่างสมดุลด้วยนิเวศแหล่งน้ำ เป็นอยู่ข้าวอู่น้ำที่สำคัญของภาคใต้วิถีชีวิตของคนลุ่มน้ำปากพนังนับตั้งแต่อดีตมา มีการดำรงชีวิตด้วยภูมิปัญญาที่สอดคล้องกับวิถีแห่งธรรมชาติและกลมกลืนกับระบบนิเวศ ในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนังมีสภาพน้ำถึง 4 ลักษณะ คือน้ำเค็ม น้ำกร่อย น้ำจืด และน้ำเปรี้ยว สำหรับระบบนิเวศบริเวณปากแม่น้ำของแม่น้ำปากพนัง มีต้นจากเจริญงอกงามอยู่ทั่วไปก่อให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพหรือเรียกได้ว่าเป็นระบบนิเวศจาก พื้นที่อำเภอปากพนังจึงเป็นฐานทรัพยากรทางอาหารและประโยชน์ใช้สอยของชุมชนลุ่มน้ำปากพนังตลอดมา ในอดีตประชาชนในแถบลุ่มน้ำปากพนังได้ใช้ประโยชน์จากต้นจากเป็นปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิต ทั้งการจับสัตว์น้ำในบริเวณป่าจาก การทำน้ำตาลจากและการใช้ส่วนต่างๆ ของต้นจากมาเป็นอาหารไม่น้อยกว่า 200 ปี โดยมีการเปลี่ยนแปลงวิธีการใช้ประโยชน์เป็นช่วงๆ ขึ้นอยู่กับปัจจัยการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมท้องถิ่น ป่าจากจึงเป็นระบบนิเวศที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อชุมชน เนื่องจากเป็นแหล่งที่สร้างรายได้ที่ดีและมีความแน่นอน นอกจากนี้ป่าจากยังมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบนิเวศน้ำกร่อยที่ก่อให้เกิดความอุดมสมบูรณ์ของสัตว์น้ำนานาชนิด ซึ่งเป็นแหล่งอาหารและรายได้ของชาวประมงพื้นที่ในลุ่มน้ำ

ปากพั่นอีกทางหนึ่ง ด้วยความสำคัญของป่าจากในฐานะเป็นพืชเศรษฐกิจของครัวเรือนและชุมชน ซึ่งผูกพันกับวิถีชีวิตของคนลุ่มน้ำปากพั่นมาอย่างยาวนาน จนอาจเรียกได้ว่าเป็นวัฒนธรรมป่าจาก แต่ในปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากต้นจากได้เปลี่ยนแปลงไปด้วยปัจจัยหลายด้านและมีผลต่อวิถีชีวิตชุมชนในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำปากพั่น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าในปัจจุบันมีชาวบ้านในชุมชนบางส่วนยังคงให้ความสำคัญกับวิถีการดำรงชีวิตในระบบนิเวศป่าจาก ซึ่งยังคงสร้างอาชีพและรายได้จากฐานทรัพยากรในท้องถิ่น รวมทั้งช่วยกันอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติของป่าจากให้คงเดิม

2.6.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของจาก

ต้นจากเป็นปาล์มแตกกอจากลำต้นใต้ดินหรือลำต้นที่เลื้อยไปบนดิน โดยโผล่ก้านใบและตัวใบขึ้นมาอยู่เหนือดิน ลำต้นจะแตกแขนงอยู่ใต้ดินทำให้ขึ้นเป็นกอและหลายทอด ต้นจากมีความสูงประมาณ 3 เมตร เจริญเติบโตได้ดีในดินเหนียวมีอินทรีย์วัตถุสูงและมีน้ำท่วมขัง และชอบแสงแดดจัด

ใบจาก ใบเป็นใบประกอบแบบขนนก เรียงตรงข้ามกัน มีใบย่อยเป็นรูปขอบขนาน มีความกว้างประมาณ 5-6 เซนติเมตร และยาวประมาณ 90-120 เซนติเมตร แผ่นใบหนา ปลายใบลักษณะเรียวแหลม โคนใบเป็นรูปกลม (ลักษณะคล้ายใบมะพร้าว) ที่ผิวใบด้านบนมีสีเขียวเข้มเป็นมัน ส่วนผิวใบด้านล่างมีสีนวล ส่วนกาบใบใหญ่ห่อโคนต้น ก้านใบที่แตกใหม่จะเป็นสีม่วงแดง ส่วนโคนใบจะมีเกเปาะอากาศ เป็นตัวช่วยพยุงให้ใบชูขึ้นเหมือนชูชีพ ส่วนกาบใบนี้บางครั้งจะเรียกว่า “พอนใบ” ส่วนช่อดอกที่แทงออกมาเรียกว่า “นกจาก”

ดอกจาก ดอกมีสีเหลือง ออกดอกเป็นช่อแบบกระจุกแน่นระหว่างกาบใบ ดอกเป็นรูปกลม ดอกเป็นแบบแยกเพศอยู่ในต้นเดียวกัน ช่อดอกจะชูตั้งขึ้นและโค้งลง มีความยาวประมาณ 25-65 เซนติเมตร ออกดอกได้ตลอดทั้งปี

ผลจาก ผลอยู่รวมกันเป็นช่อ มีผลย่อยอยู่เป็นจำนวนมากเป็นกระจุกเรียกว่า “โหม่งจาก” ลักษณะของผลเป็นรูปทรงไข่กลับ (คล้ายกับผลระกำ แต่ไม่มีหนาม) แบนและนูนตรงกลาง ผลมีสีน้ำตาลเรียบเป็นมัน มีความกว้างประมาณ 3-10 เซนติเมตร และยาวประมาณ 6.5-7.5 เซนติเมตร ผลมีสันแหลมหรือมีร่องผลประมาณ 9-10 ร่อง ข้างในมีเนื้อเมล็ดสีขาว มีปริมาณของเนื้อไม่มากนัก และใช้รับประทานได้ มีรสชาติคล้ายกับลูกตาลสด ภายในผลมีเมล็ดมีลักษณะเป็นรูปไข่ มีสีขาว

โดยต้นจากสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เกือบทุกส่วน ไม่ว่าจะเป็นการนำน้ำตาลจากจากงวงจากมาทำเป็น น้ำตาลจาก (น้ำตาลปีบ) น้ำส้มจาก เหล้าจาก (เหล้าพื้นบ้าน) การนำยอดจากมาทำเป็นใบจากมวนบุหรี่ ใบจากแก่นนำมาเย็บเป็นตับจากมุงหลังคา หรือนำมาห่อขนมเรียกว่า “ขนมจาก และ ปัด” ลูกจากนำมาทำเป็นของหวาน เช่น “ลูกจากลอยแก้ว” ก้านใบของจากนำมาจักสานเป็นที่รองภาชนะ เรียกว่า “เสวียนหม้อ” หรือทำเป็นไม้กวาด ส่วนหางจากและลูกจากนำมาตากแห้งเป็นเชื้อเพลิงในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้างต้น น้ำหวานมาทำเป็นน้ำตาลจากน้ำตาลจากเมื่อนำมาเคี่ยว

ให้เป็นน้ำหวานแบบเข้มข้นลักษณะคล้ายน้ำตาล เรียกว่า “ น้ำตาลจาก ” ปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากต้นจากที่โดดเด่นที่ยังมีให้เห็นในบริเวณ อ.ปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช คือน้ำส้มจากและน้ำตาลจาก โดยน้ำส้มจากได้จากการนำเอาน้ำตาลจากมาหมักจนเปรี้ยวโดยอาศัยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ส่วนน้ำตาลจากเป็นการนำเอาน้ำตาลจากต้นจากมาเคี่ยวด้วยความร้อนจนมีความเข้มข้นสูงเหนียวหนืด แต่การนำเอาไปใช้ประโยชน์ต่อยอดด้านอื่นยังมีน้อย นอกจากนี้การพยายามศึกษาค้นคว้าการใช้ประโยชน์จากให้เกิดประโยชน์เพิ่มขึ้นอย่างมีมูลค่าสูง เช่น ยุวดีและคณะ (2555) ได้นำผลจากต้นจากเป็นผลิตภัณฑ์เป็นเยลลี่คาราจีแนนผสมเนื้อลูกจาก ซึ่งได้รับการตอบรับจากผู้บริโภคเป็นอย่างดี และกำลังอยู่ระหว่างการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตให้แก่ชุมชนป่าจากในพื้นที่บริเวณทะเลสาบสงขลา นกตล และ สมบูรณ์ (2556) ศึกษากระบวนการผลิตเป็นไวน์ลูกจากโดยใช้การหมักด้วยยีสต์ ผลการศึกษาพบว่าสามารถผลิตไวน์ได้และไวน์ที่ได้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2.6.2 น้ำตาลจาก

น้ำตาลจากคือผลผลิตที่ได้จากต้นจากโดยต้องผ่านกรรมวิธีตามขั้นตอนที่มาจากภูมิปัญญาชาวบ้าน ตำบลขนานนก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราชที่ได้สืบสานกันมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันน้ำตาลจากมีลักษณะคล้ายน้ำตาลปี๊ป มีความหวานมากนิยมนำมาเป็นส่วนประกอบของการทำเหล้าและนำมาประกอบการทำอาหารได้อีกด้วย

น้ำตาลจากเป็นผลผลิตที่ได้จากมาภูมิปัญญาท้องถิ่นของเกษตรกรที่ถ่ายทอดมาจากบรรพบุรุษโดยมีกระบวนการผลิตน้ำตาลจากคือ เริ่มจาก การนำวหรือตึงวงตาล (ลูกตาลจาก) เพื่อกระตุ้นให้ต้นตาลผลิตน้ำหวานมาเก็บไว้ที่วงตาล แล้วต่อมาตัดลูกตาลออกเหลือแต่วงง นำกระบอกลูกตาลใส่เกลือ 2-3 กิโลกรัม เป็นสารกันบูด นำไปแขวนรับน้ำตาลที่วงตาลในเวลากลางคืน (เริ่มปาดตาลราว 4-5 โมงเย็น) น้ำหวานที่รับ ได้วงละ 1 กระบอกในตอนเช้า จากนั้นเก็บมาใส่กระทะแล้วเคี่ยวด้วยไฟแรงๆ เมื่อเหลือประมาณ ครึ่งของน้ำหวานเดิมก็จะได้น้ำผึ้งจาก รสหอมหวาน หากต้องการทำน้ำตาลจากก็เคี่ยวน้ำผึ้งต่อไปอีกจนเหลือน้ำผึ้ง **กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก 1 ใน 3** ของน้ำหวานสด (ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง) น้ำผึ้งจะมีลักษณะข้นคล้ายยางมะตูม จึงยกลงจากเตานำมาต้มด้วยไฟอ่อนจนข้นเหนียวคล้ายขนมกวน จากนั้นก็นำไปบรรจุในขวด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมี

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์

- 3.1.1.1 ปีกเกอร์
- 3.1.1.2 ขวดรูปชมพู่
- 3.1.1.3 หลอดทดลอง
- 3.1.1.4 จานเพาะเลี้ยง
- 3.1.1.5 กระบอกตวง
- 3.1.1.6 กรวย
- 3.1.1.7 หลอดฉีดยา
- 3.1.1.8 ไมโครปิเปต
- 3.1.1.9 ไมโครปิเปตทิป
- 3.1.1.10 ขวดเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ
- 3.1.1.11 แท่งแม่เหล็กกวนสาร
- 3.1.1.12 หลอดเซนต์ปีฟฟ์พลาสติก
- 3.1.1.13 สำลี
- 3.1.1.14 ตะเกียงแอลกอฮอล์
- 3.1.1.15 ผ้าขาวบาง
- 3.1.1.16 ถังพลาสติก
- 3.1.1.17 สายยางเก็บตัวอย่าง

3.1.2 เครื่องมือ

- 3.1.2.1 ตู้บ่มเชื้อ (incubator)
- 3.1.2.2 ตู้ปลอดเชื้อ (laminar air flow)
- 3.1.2.3 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดัน (autoclave)
- 3.1.2.4 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
- 3.1.2.5 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)
- 3.1.2.6 กล้องถ่ายรูป
- 3.1.2.7 เครื่องเขย่า (shaker)

- 3.1.2.8 เครื่องผสม (vortex mixer)
- 3.1.2.9 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 3.1.2.10 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 3.1.2.11 เครื่องเผาแอลกอฮอล์
- 3.1.2.12 เครื่องวัดความหวาน Brix Refractometer

3.1.3 สารเคมี

- 3.1.3.1 เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เข้มข้นร้อยละ 70 เปอร์เซ็นต์
- 3.1.3.2 เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เข้มข้นร้อยละ 95 เปอร์เซ็นต์
- 3.1.3.3 ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein)
- 3.1.3.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 3.1.3.5 โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (potassium metabisulphite, KMS)

3.2 จุลินทรีย์

3.2.1 *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5107

3.2.2 *Acetobacter aceti* TISTR 354

เป็นเชื้อที่ได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) จังหวัดปทุมธานี

3.3 อาหารเลี้ยงเชื้อ

- 3.3.1 Nutrient Broth (NB)
- 3.3.2 Nutrient agar (NA)
- 3.3.3 Glucose yeast extracts agar (GYA)
- 3.3.4 Glucose yeast extracts broth (GYB)

3.4 วิธีการวิเคราะห์

3.4.1 การวัดการเจริญของเชื้อ

วัดการเจริญของเชื้อ โดยการนำน้ำเลี้ยงเชื้อของเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 และเชื้อที่คัดแยกได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร หลังการวัดค่าการดูดกลืนแสง หากเกินค่าที่กำหนดให้นำเชื้อมาเจือจางโดยอาหาร GYB ให้น้ำเลี้ยงเชื้อมีค่าที่เท่ากันก่อนจะนำไปเป็นหัวเชื้อเริ่มต้นเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตน้ำส้มสายชู

3.4.2 การวัดปริมาณการผลิตแอลกอฮอล์

ทำการวัดปริมาณแอลกอฮอล์ด้วยเครื่อง Ebulliometer โดยนำตัวอย่างน้ำส้มสายชู ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (โดยการนำตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร ผสมด้วยน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร อัตราส่วน 1:1) ลงในเครื่องEbulliometer ใส่เทอร์โมมิเตอร์พร้อมจุกยาง จุดตะเกียงแอลกอฮอล์ต้มจนอุณหภูมิ คงที่ อ่านค่าอุณหภูมิและนำไปเปรียบเทียบกับแผ่นปรับและอ่านค่าดีกรี โดยเทียบอุณหภูมิที่อ่านได้ เท่ากับเปอร์เซ็นต์ศูนย์ดีกรีของอุณหภูมิน้ำที่อุณหภูมิห้อง

3.4.3 การวัดปริมาณความเป็นกรดโดยการไทเทรตกรดเบส

ทำการวัดปริมาณกรดโดยทำการใส่สารละลายตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงใน ขวดรูปชมพู่ เติมนีลฟอสฟอรัส 3 หยด ซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ที่ใช้ในการไทเทรต ทำการไทเทรตโดยการ ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 N ซึ่งใส่ในบิวเรตต์ซึ่งมีก๊อกไขเปิดปิด เพื่อหยด สารละลายมาตรฐานมายังขวดรูปชมพู่ซึ่งมีสารละลายตัวอย่างอยู่ ในการไทเทรตค่อยๆหยด สารละลายมาตรฐานลงมาทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างในขวดรูปชมพู่ เขย่าขวดตัวอย่างเพื่อให้สาร ผสมกันดี ไทเทรตจนกระทั่งอินดิเคเตอร์ถึงจุดยุติ ซึ่งสารละลายจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู จากนั้น บันทึกปริมาตรสารละลาย NaOH 0.1 N ที่ใช้เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณกรดของสารละลายตัวอย่าง ดังสมการ

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)} = \frac{N \times V(\text{NaOH}) \times 60 \times 100}{1000 \times V(\text{sample})}$$

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 ศึกษาวัตถุดิบและแหล่งวัตถุดิบ

ลงพื้นที่ชุมชนบ้านขนานาค อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อเก็บ ข้อมูลต้นจากและการใช้ประโยชน์ของน้ำหวานจาก

3.5.2 ศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลจาก

วิเคราะห์คุณสมบัติเคมีกายภาพในน้ำตาลจาก ตรวจสอบวิเคราะห์องค์ประกอบทาง เคมีของน้ำตาลจากสดด้านความหวาน ปริมาณเถ้า (Ash) ปริมาณไขมัน ปริมาณความชื้น และ ปริมาณโปรตีน ด้วยวิธี AOAC (2012) ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และ น้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี Compendium of method for food analysis (2003) และปริมาณน้ำตาล ชนิดต่างๆ ด้วยเครื่อง HPLC (1200 Series Agilent Technology, USA) ใช้คอลัมน์ Zorbax Carbohydrate Analysis Column ขนาด 4.6 × 250 mm, 5 µm ค่ากรด-ด่าง ด้วยเครื่องวัดพีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ ได้แก่ ค่าaw และความหนืด

ด้วยเครื่อง Brookfield synchrolectic viscometer (Brookfield Engineering Laboratories, Inc., USA)

3.5.3 ศึกษาการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก

ศึกษาการผลิตน้ำส้มสายชูหมักโดยการนำเอาน้ำตาลซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มาจาก อ. ปากแพ่ง จ. นครศรีธรรมราช มาผ่านกระบวนการหมักเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์และกระบวนการเปลี่ยนแอลกอฮอล์และกระบวนการเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นกรดโดยจุลินทรีย์ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.5.3.1 การเตรียมถังหมักและวัตถุดิบ

1) การเตรียมถังหมัก

การเตรียมภาชนะที่ใช้ในการหมักเพื่อผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก โดยใช้ถังหมักปากแคบขนาด 1 ลิตร มาล้างด้วยสารละลาย 10 g/L KMS เพื่อฆ่าจุลินทรีย์ปนเปื้อนในภาชนะ แล้วทิ้งไว้ให้แห้งก่อนนำไปใช้เป็นภาชนะในการหมัก

2) การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบในการศึกษาการผลิตน้ำส้มสายชูจะใช้ 4 กลุ่มการทดลอง คือ น้ำหวานจากสด น้ำตาลจาก (น้ำหวานจากที่ไปเคี้ยวโดยใช้ความร้อนจนได้น้ำตาลเข้มข้น) น้ำหวานสดผสมน้ำตาลจาก และน้ำตาลทรายเป็นชุดควบคุม โดยการเตรียมวัตถุดิบมีกระบวนการดังนี้

2.1) น้ำหวานจากสดๆ นำปรับความหวานเริ่มต้นเท่ากับ 12 17 และ 22 ในหน่วยองศาบริกซ์ ถ้าความหวานเกินให้เจือจางด้วยน้ำสะอาด แต่ถ้าความหวานน้อยกว่าให้เติมน้ำตาลทราย

2.2) น้ำตาลจาก ลักษณะน้ำตาลจากจะมีลักษณะเป็นของเหลวที่มีความหนืดสูง มีความหวานสูงให้เจือจางด้วยน้ำสะอาดจนได้ความหวานเริ่มต้นเท่ากับ 12 17 และ 22 ในหน่วยองศาบริกซ์

2.3) น้ำหวานผสมน้ำตาลจาก โดยนำหวานสดที่ปรับความหวาน 12 17 และ 22 องศาบริกซ์ผสมกับน้ำตาลจากที่มีการปรับความหวาน 12 17 และ 22 องศาบริกซ์ ในอัตราส่วน 1:1

2.4) น้ำตาลทรายที่ถูกใช้เป็นชุดควบคุม เตรียมโดยการนำน้ำตาลทรายมาละลายด้วยน้ำสะอาดจนได้ความหวาน 12 17 และ 22 องศาบริกซ์

นำวัตถุดิบทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 3.1 มากรองด้วยผ้าขาวบางที่สะอาดเพื่อกำจัดของวัตถุปนเปื้อนขนาดใหญ่ จะได้วัตถุดิบที่จะนำไปใช้ในการหมักเป็นน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากโดยนำวัตถุดิบที่เตรียมไว้มาทำการปรับ pH ให้มีค่าอยู่ในช่วง 4-5 โดยใช้ pH meter ถ้า

น้ำหวานมีความเป็นกรดมากทำการเจือจางโดยเติมน้ำเปล่าลงไป แต่ถ้าน้ำตาลจากมีความเป็นกรดน้อยทำการปรับโดยการเติมกรดมะนาวหรือกรดซิตริกลงไป บรรจุลงในภาชนะที่เตรียมไว้

3.5.3.2 ขั้นตอนการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก

การหมักน้ำตาลจากเป็นน้ำส้มสายชูหมักเป็นกระบวนการหมัก 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์โดยเชื้อยีสต์ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5107 และขั้นตอนเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นกรดโดยใช้เชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ในขั้นการหมักจะต้องเตรียมหัวเชื้อเริ่มต้นก่อนแล้วจึงนำหัวเชื้อเริ่มต้นไปเติมลงในกระบวนการหมัก (ภาพที่ 3.1) ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงชุดการทดลองการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก

ชุดการทดลอง	ชนิดของน้ำหวาน	ความหวานเริ่มต้น (องศาบริกซ์)
1	น้ำหวานสด	12
2	น้ำหวานสด	17
3	น้ำหวานสด	22
4	น้ำหวานสด:น้ำตาลจาก (1:1)	12
5	น้ำหวานสด:น้ำตาลจาก (1:1)	17
6	น้ำหวานสด:น้ำตาลจาก (1:1)	22
7	น้ำตาลจาก	12
8	น้ำตาลจาก	17
9	น้ำตาลจาก	22
10 (ชุดควบคุม)	น้ำตาลจากน้ำตาลทราย	12
11 (ชุดควบคุม)	น้ำตาลจากน้ำตาลทราย	17
12 (ชุดควบคุม)	น้ำตาลจากน้ำตาลทราย	22

1) ขั้นตอนการผลิตแอลกอฮอล์จากน้ำตาลจาก

เตรียมหัวเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5107 โดยการเลี้ยงในอาหารเหลว GYB โดยเชื้อ 1 ลูกใส่ในอาหารเหลว GYB บ่มทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายหัวเชื้อปริมาตร 10% ลงในอาหารเหลว GYB บ่มเลี้ยงเชื้อมานาน 4-6 ชั่วโมง บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เพื่อให้เชื้อเจริญเติบโตเต็ม (โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร เท่ากับ 0.5-0.6) จึงจะนำไปเป็นหัวเชื้อเริ่มต้นได้

นำน้ำตาลจากที่ปรับเป็นสูตรต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 มาบรรจุลงในขวด ขวดละ 900 มิลลิลิตร เติม KMS ลงไปเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบหมักโดยใช้ในอัตราส่วน KMS : วัตถุดิบ เท่ากับ 100 ppm แล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงเติมหัวเชื้อเริ่มต้นเชื้อยีสต์ลงไปในแต่ละขวด ขวดละ 100 มิลลิลิตร (หัวเชื้อเริ่มต้น 10%) ปิดปากถังหมักให้สนิท ทำต่อสายยางที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 mm เข้ากับถังหมักเพื่อใช้เป็นจุดเก็บตัวอย่าง การต่อสายยางลงในขวดพลาสติกที่มีน้ำหวานบรรจุอยู่ภายในเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศผ่านเข้าสู่ถังหมักในการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ในระหว่างกระบวนการหมัก ปลอยให้เกิดการหมักที่อุณหภูมิห้อง ในระหว่างการหมักต้องมีการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าความหวานด้วยเครื่องวัดความหวาน (Brix refractometer) แอลกอฮอล์วิธีการวัดจุดเดือดด้วยเครื่อง Ebulliometer และปริมาณกรดวิเคราะห์โดยวัดปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดอะซิติกโดยการไตเตรท (A.O.A.C., 2000) ทุก 72 ชั่วโมง จนกระทั่งหยุดการหมัก

2) ขั้นตอนการผลิตกรด

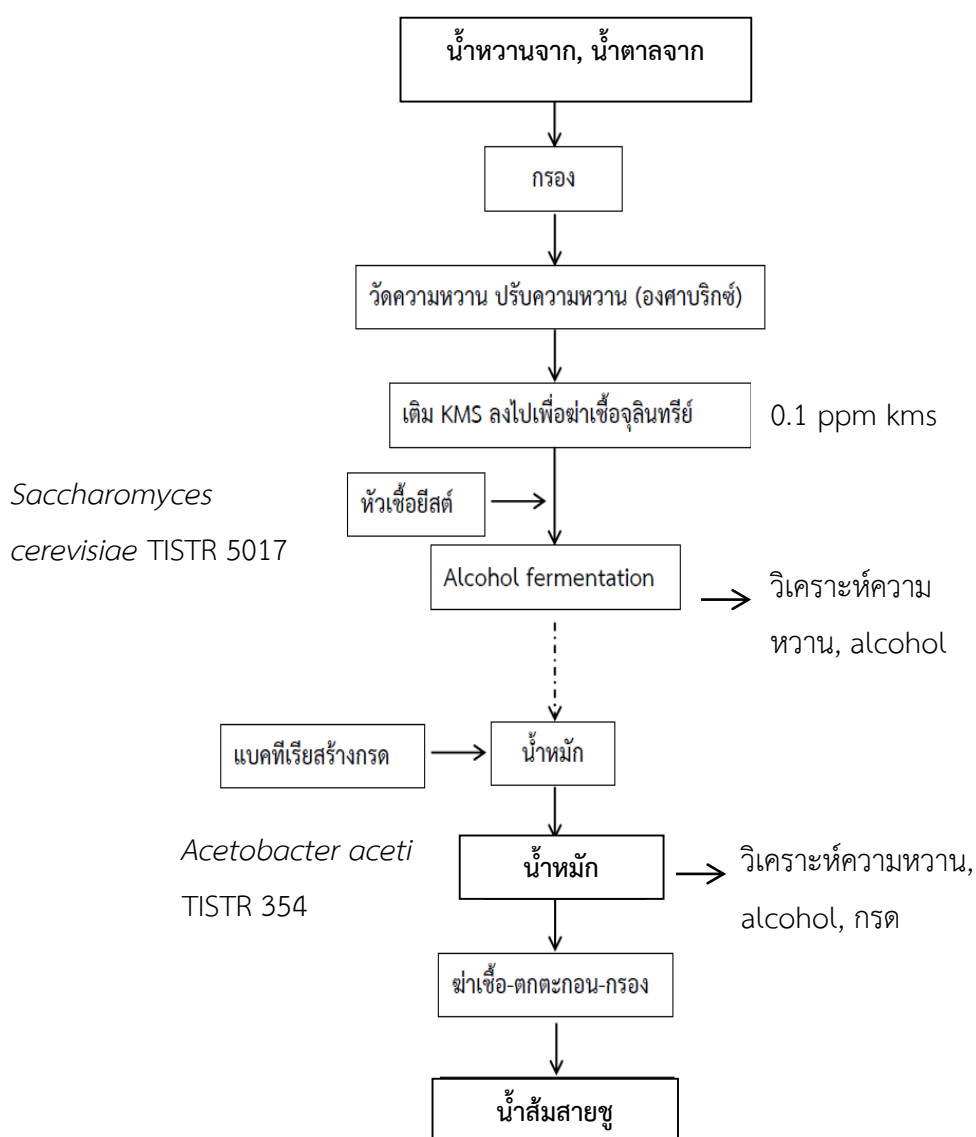
เตรียมหัวเชื้อยีสต์ *Acetobacter aceti* TISTR 354 โดยการเลี้ยงในอาหารเหลว GYB โดยเชื้อเชื้อ 1 ลูกปัดในอาหารเหลว GYB บ่มทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายหัวเชื้อปริมาตร 10% ลงในอาหารเหลว GYB บ่มเลี้ยงเชื้อนาน 4-6 ชั่วโมง บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เพื่อให้เชื้อเจริญเติบโตเต็ม (โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร เท่ากับ 0.5-0.6) จึงจะนำไปเป็นหัวเชื้อเริ่มต้นได้

นำน้ำหมักแอลกอฮอล์ที่ได้เติมหัวเชื้อเริ่มต้นของแบคทีเรียผลิตกรด โดยหัวเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 เริ่มต้น 10% ของปริมาตรน้ำหมัก จากนั้นทำการหมักที่อุณหภูมิห้อง ในระหว่างการหมักต้องมีการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาค่าความหวานด้วยเครื่องวัดความหวาน (Brix refractometer) แอลกอฮอล์วิธีการวัดจุดเดือดด้วยเครื่อง Ebulliometer และปริมาณกรดวิเคราะห์โดยวัดปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดอะซิติกโดยการไตเตรท (A.O.A.C., 2000) ทุก 24 ชั่วโมง จนกระทั่งหยุดการหมัก หลังสิ้นสุดการหมักทำการหยุดกระบวนการหมักโดยเติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (potassium metabisulphite, KMS) 100 ppm ลงไปในถังเพื่อทำลายเชื้อแบคทีเรีย

3.5.4 ศึกษาการพัฒนาสูตรการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก

จากผลการทดลองในข้อ 3.5.3 พบว่าสูตรน้ำตาลจากที่มีความหวานเริ่มต้น 12 องศาบริกซ์ เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดจึงถูกคัดเลือกมาศึกษาการเติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต

(Di-Ammonium Hydro genphosphate : DAP) ความเข้มข้น 0, 0.3 และ 0.6 g/L และวิตามินบี ความเข้มข้น 0, 0.6 และ 1.2 g/L โดยวางแผนการทดลองสุ่มแบบสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) ซึ่งมีชุดการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.2 โดยขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและขั้นตอนการหมักเหมือนการทดลองข้อ 3.5.3 ในระหว่างการหมักต้องมีการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาระดับน้ำตาล (ความหวานในหน่วยองศาบริกซ์) ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ และค่าระดับความเป็นกรด ทุก 48 ชั่วโมง จนกระทั่งหยุดการหมัก



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจาก

ตารางที่ 3.2 ชุดการทดลองการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากและมีเติมสารอื่นๆ

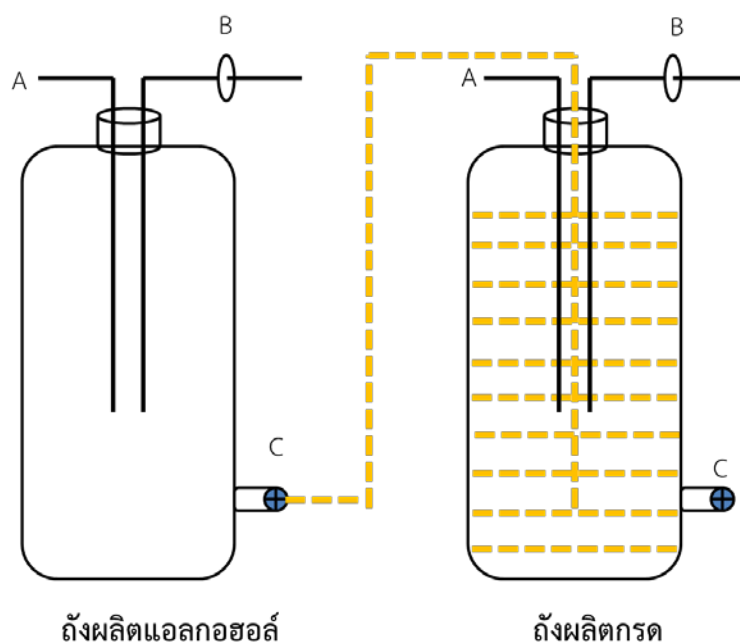
ชุดการทดลอง	ความหวานน้ำตาลจาก	DAP (g/L)	วิตามิน B (g/L)
1	12	0	0
2	12	0	0.6
3	12	0	1.2
4	12	0.3	0
5	12	0.3	0.6
6	12	0.3	1.2
7	12	0.6	0
8	12	0.6	0.6
9	12	0.6	1.2

3.5.5 ศึกษาการขยายขนาดการผลิตน้ำส้มสายชู

การผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากเป็นการหมัก 2 ขั้นตอนคือขั้นตอนการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์และการเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นกรด โดยมีลักษณะระบบดังแสดงในภาพที่ 3.3 ในกระบวนการขยายขนาดการผลิตเริ่มโดยนำน้ำตาลจากมาปรับความหวานเริ่มต้น 12 องศาบริกซ์ และไม่มีการเติม DAP และวิตามินบีมาบรรจุถังที่ปรับเป็นระบบหมักขนาด 20 ลิตร โดยให้มีปริมาตรหมัก 18 ลิตร เติม KMS ลงไปเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบหมัก โดยใช้อัตราส่วน KMS 0.1 กรัมต่อลิตร แล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จึงเติมหัวเชื้อยีสต์เริ่มต้นลงไปจนถึงหมัก (10% v/v) โดยหัวเชื้อยีสต์เริ่มต้นได้จากการเลี้ยง *S. cerevisiae* TISTR 5107 ในอาหารเหลว GYB จากนั้นถ่าย 10% หัวเชื้อยีสต์ลงไปในการปรับความหวานให้ได้ 4 องศาบริกซ์ บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงมาเป็นหัวเชื้อเริ่มต้นที่ใช้ในการหมักน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ ปิดปากถังหมักให้สนิท ทำการต่อสายยางที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร เข้ากับถังหมักเพื่อใช้เป็นจุดเก็บตัวอย่าง การต่อสายยางลงในขวดพลาสติกที่มีน้ำหวานบรรจุอยู่ภายในเพื่อป้องกันไม่ให้มีอากาศผ่านเข้าสู่ถังหมัก ปล่อยให้เกิดการหมักที่อุณหภูมิห้อง ในระหว่างการหมักต้องมีการเก็บตัวอย่างทุก 48 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ค่าความหวานด้วยเครื่องวัดความหวาน (Brix refractometer) แอลกอฮอล์วิธีการวัดจุดเดือดด้วยเครื่อง Ebulliometer และปริมาณกรดวิเคราะห์โดยวัดปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดอะซิติกโดยการไตเตรต (A.O.A.C., 2000) จนกระทั่งได้แอลกอฮอล์คงที่ (มากกว่า 6%) หลังจากได้แอลกอฮอล์ที่ต้องการ

แล้วทำการหยุดกระบวนการหมักโดยการแยกส่วนใส่ออกมา เติม KMS 0.1 กรัมต่อลิตร วางที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง

จากนั้นเตรียมหัวเชื้อเริ่มต้นของเชื้อ *A. aceti* TISTR 345 โดยเลี้ยงในอาหารเหลว GYB บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อได้หัวเชื้อที่ใช้ในการหมัก เติมหหัวเชื้อเริ่มต้นลงไปในถังหมักบรรจุน้ำหมักแอลกอฮอล์จากขั้นตอนก่อนหน้าโดยใช้ปริมาตร 10% v/v ปิดปากถังหมักให้สนิท ทำการต่อสายยางที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร เข้ากับถังหมักเพื่อใช้เป็นจุดเก็บตัวอย่าง ปล่อยให้เกิดการหมักที่อุณหภูมิห้อง ในระหว่างการหมักต้องมีการเก็บตัวอย่างทุก 48 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ค่าความหวานด้วยเครื่องวัดความหวาน (Brix refractometer) แอลกอฮอล์วิธีการวัดจุดเดือดด้วยเครื่อง Ebulliometer และปริมาณกรดวิเคราะห์โดยวัดปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดอะซิติกโดยการไทเรเตรท (A.O.A.C., 2000) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณหาค่าเฉลี่ยข้อมูลเชิงคุณภาพในด้านต่างๆ ของน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจาก และหยุดระบบการหมักเมื่อได้ค่ากรดคงที่ (มากกว่า 4%)



A: จุดเก็บตัวอย่าง B: จุดระบายอากาศผ่านตัวกรอง C: ก๊อปปปล่อยน้ำหมักออกจากระบบ

ภาพที่ 3.2 ลักษณะของถังหมักน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากซึ่งมี 2 ขั้นตอนคือการผลิตแอลกอฮอล์จากน้ำตาลจากและการผลิตกรดน้ำส้มจากแอลกอฮอล์

3.5.6 ผลของระยะเวลาการบ่มต่อคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก

นำน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากบรรจุในชนะปิดสนิทที่ผ่านการฆ่าเชื้อ วางที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 60 วัน ทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 10 วัน คุณภาพของน้ำส้มสายชูจาก

น้ำตาลจากที่ได้จากการจากการเก็บที่ระยะเวลาต่างๆ นำมาวิเคราะห์ค่าความหวานด้วยเครื่องวัดความหวาน (Brix refractometer) แอลกอฮอล์วิธีการวัดจุดเดือดด้วยเครื่อง Ebulliometer และปริมาณกรดวิเคราะห์โดยวัดปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดอะซิติกโดยการไตเตรท (A.O.A.C., 2000) ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดแบบคิเรีย ยีสต์และรา โดยดูตัวอย่างตัวอย่างน้ำส้มสายชูปริมาตร 100 ไมโครลิตร หยดลงบนอาหารแข็ง Plate count agar (PCA) สำหรับเชื้อแบคทีเรีย และอาหาร Potato dextrose agar (PDA) สำหรับเชื้อยีสต์และรา ทำการเกลี่ยด้วยแท่งแก้วสามเหลี่ยม นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงสำหรับอาหาร PCA และ 7 วันสำหรับอาหาร PDA โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวนหาค่าเฉลี่ยข้อมูลเชิงคุณภาพในด้านต่างๆ ของน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจาก

3.5.7 ศึกษาคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก

นำน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากที่ได้จากการทดลองนำมาตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี ทางจุลินทรีย์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีมาตรฐาน มาตรฐานผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากผลไม้หรือธัญพืชในประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 204) พ.ศ. 2543 ดังประกาศราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 118 ตอนพิเศษ 6 ง. ลงวันที่ 24 มกราคม พ.ศ.2544 โดยน้ำส้มสายชูจากการหมักผลไม้และธัญพืช โดยต้องมีคุณภาพมาตรฐาน ดังนี้

- (1) มีกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 27 องศาเซลเซียส
- (2) ตรวจพบสารปนเปื้อนได้ไม่เกินปริมาณที่กำหนด ดังต่อไปนี้
 - (2.1) สารหนู ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
 - (2.2) ตะกั่ว ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
 - (2.3) ทองแดงและสังกะสี ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
 - (2.4) เหล็ก ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
- (3) ไม่มีกรดน้ำส้มที่ได้มาจากการผลิตน้ำส้มสายชูหมักหรือน้ำส้มสายชูลั่น
- (4) ไม่มีกรดกำมะถัน (Sulfuric acid) หรือกรดแอสสเรออย่างอื่น
- (5) ใส่ไม่มีตะกอน เว้นแต่น้ำส้มสายชูหมักตามธรรมชาติ
- (6) ไม่มีหนอนน้ำส้ม (Vinegar eel)
- (7) ใช้น้ำสะอาดเป็นส่วนผสม
- (8) ให้ใช้วัตถุเจือปนอาหาร (Food Additives) ได้ ดังต่อไปนี้
 - (8.1) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่เกิน 70 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
 - (8.2) กรดแอล-แอสคอร์บิก ไม่เกิน 400 มิลลิกรัม ต่อน้ำส้มสายชู 1 กิโลกรัม
- (9) มีแอลกอฮอล์ตกค้าง (Residual alcohol) ไม่เกินร้อยละ 0.5

(10) การแต่งสี ให้ใช้น้ำตาลเคี้ยวไหมหรือสีคาราเมล

และเกณฑ์คุณภาพทางจุลินทรีย์ในอาหารและเครื่องดื่มต้องไม่มีจุลินทรีย์และปรสิต
ในผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ปริมาณเชื้อ *Escherichia coli* เชื้อ *Staphylococcus aureus* และปริมาณเชื้อ
รา

3.5.8 การพัฒนาสูตรมาตรฐานที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มน้ำส่ายชูหมักจาก น้ำตาลจาก

1) พัฒนาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มน้ำส่ายชูหมักจากน้ำตาลจาก
จำนวน 2 สูตร คือ เครื่องดื่มส่ายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้ง และเครื่องดื่มส่ายชูหมักจาก
น้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งมะนาว เพื่อเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ หาดัชนีที่เหมาะสมของของ
ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแต่ละสูตร โดยใช้การวางแผนการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) โดยหา
ปัจจัยประกอบของสูตรเครื่องดื่มส่ายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้ง เป็นพื้นฐานการต่อยอดสูตร
ผสมน้ำผลไม้ ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ น้ำส่ายชูหมักจากน้ำตาลจาก ในระดับ 15-25% น้ำผึ้ง
15-25% และน้ำสะอาด 55-65% ได้สูตรมาตรฐานจากตารางส่วนผสม ทั้งหมด 8 สูตร (ตารางที่ 3.3)
ดังนี้

ตารางที่ 3.3 สูตรเครื่องดื่มส่ายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งจากการวางแผนการทดลองแบบ
ส่วนผสม (Mixture Design)

สูตรเครื่องดื่มส่ายชู หมักจากน้ำตาลจากผสม	ปัจจัยส่วนผสม (ร้อยละ)		
	น้ำส่ายชูหมักจากน้ำตาล	น้ำผึ้งดอกลำไย	น้ำสะอาด
น้ำผึ้ง	จาก		
1	25	20	55
2	20	25	55
3	25	15	60
4	20	20	60
5	15	25	60
6	25	10	65
7	20	15	65
8	15	20	65

2) ผลิตเครื่องต้มน้ำสัสมายูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งทั้ง 8 สูตร ด้วยการผสมเครื่องต้มน้ำสัสมายูหมักจากน้ำตาลจาก น้ำผึ้ง และน้ำตาลมัสก เข้าด้วยกัน กวนให้ส่วนผสมเข้ากัน และบรรจุไว้ในเหยือกเซรฟตัวอย่าง จากนั้นนำไปแช่ตู้เย็นไว้นาน 3 ชม. ก่อนการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

3) ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกลุ่มผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องต้มน้ำสัสมายูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้ง โดยการวางแผนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) ทำการคัดเลือกผู้ทดสอบชิมที่เป็นอาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษาในสังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ที่มีอายุตั้งแต่ 18 ปีขึ้นไป จำนวน 30 คน เป็นกลุ่มตัวแทนผู้บริโภคและทุกคนสามารถดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ได้ พร้อมแจ้งขั้นตอนการทดสอบ วิธีการทดสอบ และระดับการให้คะแนนประเมินแก่ผู้ทดสอบทุกคนก่อนการทดสอบ นำเครื่องต้มน้ำสัสมายูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งที่ผลิตได้ทุกสูตร มาแบ่งใส่แก้วใส ปริมาตร 30 มิลลิลิตร (แบ่งการทดสอบรอบละ 4 สูตร) มาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ด้วยวิธี 9-point Hedonic Scale โดยให้ผู้ทดสอบให้คะแนนตามระดับความชอบ ซึ่งมีคะแนน 9 ระดับ คือ ชอบมากที่สุด (9) ชอบมาก (8) ชอบปานกลาง (7) ชอบเล็กน้อย (6) บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ (5) ไม่ชอบเล็กน้อย (4) ไม่ชอบปานกลาง (3) ไม่ชอบมาก (2) ไม่ชอบมากที่สุด (1) โดยนำผลิตภัณฑ์มาทำการทดสอบด้านประสาทสัมผัสตามคุณลักษณะที่ต้องการ คือ ลักษณะปรากฏของเครื่องดื่ม สีของเครื่องดื่ม กลิ่นของเครื่องดื่ม รสชาติของเครื่องดื่ม กลิ่นรสของเครื่องดื่ม ความรู้สึกขณะดื่ม ความรู้สึกหลังดื่ม และความชอบเครื่องดื่มโดยรวม แล้วนำผลที่ได้จากการทดสอบการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range Test (DMRT) เพื่อทำการคัดเลือกสูตรเครื่องต้มน้ำสัสมายูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งที่ดีที่สุดสำหรับการพัฒนาเป็นเครื่องต้มน้ำสัสมายูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งมะนาวต่อไป

4) คัดเลือกสูตรเครื่องต้มน้ำสัสมายูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งที่ดีที่สุดจากการศึกษาข้อที่3) มาพัฒนาเป็นเครื่องต้มน้ำสัสมายูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งมะนาว โดยกำหนดการแปรสัดส่วนผสมของน้ำผึ้งและน้ำมะนาว และกำหนดให้สัดส่วนของน้ำสัสมายูหมักจากน้ำตาลจาก และน้ำสะอาดคงที่

5) ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกลุ่มผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องต้มน้ำสัสมายูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งมะนาว โดยการวางแผนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD

) ทำการคัดเลือกผู้ทดสอบชิมที่เป็นอาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษาในสังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏ นครศรีธรรมราช ที่มีอายุตั้งแต่ 18 ปีขึ้นไป จำนวน 30 คน เป็นกลุ่มตัวแทนผู้บริโภคและทุกคนสามารถดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ได้ พร้อมแจ้งขั้นตอนการทดสอบ วิธีการทดสอบ และระดับการให้คะแนนประเมินแก่ผู้ทดสอบทุกคนก่อนการทดสอบ นำเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งมะนาวที่ผลิตได้ทุกสูตร มาแบ่งใส่แก้วใส ปริมาตร 30 มิลลิลิตร มาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ด้วยวิธี 9-point Hedonic Scale โดยให้ผู้ทดสอบให้คะแนนตามระดับความชอบ ซึ่งมีคะแนน 9 ระดับ คือ ชอบมากที่สุด (9) ชอบมาก (8) ชอบปานกลาง (7) ชอบเล็กน้อย (6) บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ (5) ไม่ชอบเล็กน้อย (4) ไม่ชอบปานกลาง (3) ไม่ชอบมาก (2) ไม่ชอบมากที่สุด (1) โดยนำผลิตภัณฑ์มาทำการทดสอบด้านประสาทสัมผัสตามคุณลักษณะที่ต้องการ คือ ลักษณะปรากฏของเครื่องดื่ม สีของเครื่องดื่ม กลิ่นของเครื่องดื่ม รสชาติของเครื่องดื่ม กลิ่นรสของเครื่องดื่ม ความรู้สึกขณะดื่ม ความรู้สึกหลังดื่ม และความชอบเครื่องดื่มโดยรวม แล้วนำผลที่ได้จากการทดสอบการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range Test (DMRT) เพื่อทำการคัดเลือกสูตรเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งมะนาวที่ดีที่สุด

3.5.9 ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิการบ่มต่อคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากพร้อมดื่ม

นำเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูที่ได้จากการปรุงรสด้วยสูตรที่ผสมด้วยน้ำผึ้งและน้ำผึ้งมะนาว มาบรรจุขวดแก้วด้วยกระบวนการบรรจุร้อน โดยการผสมสูตรพร้อมดื่มจากนั้นนำไปให้ความร้อนในหม้อน้ำเดือดนาน 15 นาที โดยอุณหภูมิของเครื่องดื่มอยู่ในช่วง 70-75 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาบรรจุในขวดที่ปราศจากเชื้อแล้วทำให้เย็นทันทีในอ่างน้ำแข็ง นำขวดผลิตภัณฑ์พร้อมดื่มแบ่งเป็นสองกลุ่มคือวางที่อุณหภูมิห้องปกติและวางที่ 4 องศาเซลเซียส (ตู้เย็น) เป็นระยะเวลา 90 วัน ทำการเก็บตัวอย่างแบบสุ่มจำนวน 3 ขวด ทุกๆ 7 วันเพื่อวิเคราะห์คุณภาพของน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มคุณภาพของน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มจากน้ำตาลจากที่ได้จากการจากการเก็บที่ระยะเวลาต่างๆ นำมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพประกอบด้วยค่าความหวานด้วยเครื่องวัดความหวาน (Brix refractometer) แอลกอฮอล์วิธีการวัดจุดเดือดด้วยเครื่อง Ebulliometer และปริมาณกรดวิเคราะห์โดยวัดปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดอะซิติกโดยการไตเตรท (A.O.A.C., 2000) ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดแบบคทีเรีย ยีสต์และรา โดยทำการทดลอง 3 ขวด คำนวณหาค่าเฉลี่ยข้อมูลเชิงคุณภาพในด้านต่างๆ ของน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจาก

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ข้อมูลวัตถุดิบและแหล่งวัตถุดิบ

จากการลงพื้นที่ชุมชนชนาบนาค อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าพื้นที่การปลูกจากจะแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ พื้นที่น้ำเค็ม พื้นที่น้ำกร่อย และพื้นที่น้ำจืด ซึ่งถูกจัดแบ่งตามระยะห่างชายฝั่งและประเภทน้ำ (ภาพที่ 4.1) โดยพื้นที่น้ำเค็มน้ำเป็นพื้นที่ปลูกจากที่อยู่บริเวณริมชายฝั่งทะเล น้ำทะเลขึ้นท่วมถึงพื้นที่ปากจาก ซึ่งพื้นที่บริเวณนี้จะประสบกับปัญหาให้ผลผลิตและการเก็บเกี่ยวจาก โดยจากข้อมูลตั้งแต่เดือน มกราคม ถึง มิถุนายน 2560 (ข้อมูล ณ วันที่ 12 มิถุนายน) ยังไม่สามารถที่จะเก็บเกี่ยวผลผลิตน้ำหวานจากได้ พื้นที่น้ำกร่อยคือพื้นที่ที่มีน้ำทะเลเข้ามาบ้างแต่มีน้ำจืดอยู่ทำให้ไม่มีความเค็มมากนัก พื้นที่น้ำจืดจะเป็นบริเวณจากที่อยู่บริเวณน้ำจืดไม่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเล จากการลงพื้นที่ข้อมูลจากเกษตรกรผู้ปลูกจากพบว่าต้นจากบริเวณน้ำกร่อยจะให้น้ำหวานจากที่คุณภาพและรสชาติที่ดีที่สุด โดยจากการสัมภาษณ์เกษตรกรที่ปลูกจากและผลิตน้ำตาลจากได้ข้อมูลว่าในการบวนการเก็บเกี่ยวน้ำหวานจากนั้นเกษตรกรจะทำการปาด (ใช้มีดหั่นบางๆ) ที่วงต้นในช่วงบ่าย (ประมาณ 15.00 น.) และใช้ภาชนะรองรับรับน้ำหวานซึ่งทำจากกระบอกไผ่ (ภาพที่ 4.2ก) ซึ่งภายในจะมีการใส่ไม้เคี่ยมไว้ 2-3 ชิ้น จากนั้นจะทำการเก็บน้ำหวานในกระบอกที่รองรับหวานจากวงจากซึ่งถูกรองรับตลอดคืน โดยช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บกระบอกน้ำหวานจากคือช่วงเวลาเช้าตรู่ก่อนมีแดด โดยหากทำการเก็บล่าช้ามากน้ำหวานในกระบอกจะเกิดกระบวนการหมักตามธรรมชาติซึ่งส่งผลให้รสชาติน้ำหวานมีความเปรี้ยว จากนั้นนำน้ำหวานสดมาเคี่ยวในกระทะประมาณ 3-5 ชั่วโมง (ภาพที่ 4.2ข) หรือจนได้น้ำตาลจาก (ภาพที่ 4.1ค) ที่มีลักษณะตรงตามต้องการ ซึ่งในขั้นตอนนี้มีเกล็ดความรู้ว่าหากต้องการน้ำตาลจากเพื่อบริโภคสดจะไม่เค็มไม่เคี่ยมเพิ่มระหว่างการกระบวนการผลิตน้ำตาลจาก แต่ถ้าเป็นน้ำตาลจากที่ผลิตเพื่อส่งขายให้ผู้ผลิตสุรากลั่นพื้นบ้านจะมีการเค็มไม่เคี่ยมในกระบวนการผลิตน้ำตาลจากทำให้ได้น้ำตาลจากที่มีรสฝาดกว่าปกติ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าน้ำตาลจากได้จากการทำให้น้ำหวานสดจากต้นจากให้เข้มข้นโดยการใช้ความร้อนในการลดปริมาณน้ำ โดยจะลดปริมาตรของน้ำตาลที่ได้จะลดลงประมาณ 5 เท่าของน้ำหวานจากสดที่เป็นวัตถุดิบก่อนผ่านกระบวนการให้ความร้อน



ภาพที่ 4.1 พื้นที่สวนจากน้ำเค็ม (ก) น้ำกร่อย (ข) และน้ำจืด (ค) ณ เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2560



ภาพที่ 4.2 ลักษณะภาชนะที่ใช้ในการเก็บน้ำหวานจาก (ก) กระบวนการเคี่ยวน้ำหวานจากสดเพื่อผลิตเป็นน้ำตาลจาก (ข) และน้ำตาลจาก (ค)

4.2 องค์ประกอบของน้ำตาลจาก

ผลองค์ประกอบของน้ำตาลจากและน้ำหวานสดดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากผลการทดลองพบว่าองค์ประกอบหลัก คือ น้ำตาลและคาร์โบไฮเดรตและพบปริมาณโปรตีนเพียงเล็กน้อย ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลจากและน้ำหวานสดเท่ากับ 623.2 และ 121.9 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนน้ำตาลจากและน้ำหวานสดเท่ากับ 10.7 และ 2.4 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งน้ำตาลจากและน้ำหวานสดเป็นวัตถุที่ค่าความเป็นกรดซึ่งมีค่าพีเอชเท่า 4.82 และ 4.57 ตามลำดับ ค่าความหวานของน้ำตาลจาก (75 brix) สูงกว่าน้ำหวานสด (14 brix) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าสัดส่วนขององค์ประกอบ ทั้งค่าความหวาน คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลจากสูงกว่าน้ำหวานสดประมาณ 5 เท่า ทั้งนี้ก็เนื่องจากกระบวนการผลิตน้ำตาลจากเกิดจากกระบวนการลดปริมาณน้ำที่เป็นองค์ประกอบลงโดยใช้ความร้อนและใช้ระยะเวลาส่งผลให้องค์ประกอบของน้ำตาลจากจึงมีความเข้มข้นสูง และมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน โดยค่าความหนืดของน้ำหวานสดเท่ากับ 1.83 แต่เมื่อถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลจากจะมีค่าความหนืดที่สูงขึ้นเท่ากับ 151.3 cP พบแร่ธาตุกลุ่มโพแทสเซียมสูงกว่าโซเดียม ทั้งนี้จะเป็นผลมาจากน้ำหวานสดและน้ำตาลจากที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นวัตถุดิบที่ได้มาจากพื้นที่ต้นจากน้ำกร่อยซึ่งมีบางช่วงเวลาที่น้ำทะเลท่วมถึงและอยู่ไม่ห่างจากชายฝั่งมากนักส่งผลให้มีปริมาณเกลือสะสมในพื้นที่ปลูกจาก โดยต้นจากเป็นพืชที่มีการดูดเอาน้ำจากบริเวณที่เจริญอยู่มาสะสมในต้นจาก ดังนั้นย่อมมีโอกาสที่แร่ธาตุต่างในดินจะเข้ามาสะสมในต้นจากด้วย

4.3 ผลการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก

ผลการผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากที่ประกอบด้วยสูตรน้ำหวานสด น้ำตาล และน้ำหวานสดผสมน้ำตาล (อัตราส่วน 1:1) และมีน้ำตาลทรายเป็นชุดควบคุม ที่ความหวาน 12, 17 และ 22 องศาบริกซ์ ซึ่งถูกบรรจุในภาชนะหมักขนาด 1 ลิตร (ภาพที่ 4.1) และมีการเติมหัวเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5017 ปริมาตร 10 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรการหมัก หลังจากเลี้ยงที่อุณหภูมิห้องนาน 12 วัน และทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ความหวานที่ลดลงและปริมาณแอลกอฮอล์ที่เชื้อผลิตพบว่า หลังวันที่ 9 และ 12 ของการหมักค่าความหวานและปริมาณแอลกอฮอล์ที่สะสมในระบบมีการเปลี่ยนแปลงน้อยเข้าสู่สภาวะคงที่ของการหมัก (steady state) ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยปริมาณแอลกอฮอล์สูงที่สุดเท่ากับ 12.00, 10.05, 10.05 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรที่ 1 น้ำหวานสด สูตรที่ 6 สูตรที่ 9 น้ำหวานสดผสมน้ำตาลที่ความหวานเริ่มต้น 22 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (น้ำตาลทราย) และสำหรับสูตรที่มีน้ำตาลจากเป็นวัตถุดิบจะมีค่าแอลกอฮอล์ในช่วง 7.5-10.05 โดยจากการทดลองพบว่าเมื่อความหวานของวัตถุดิบเริ่มต้นเพิ่มขึ้น

ปริมาณแอลกอฮอล์ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน จากการทดลองจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการผลิตแอลกอฮอล์ของเชื้อยีสต์จะอยู่ประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ หลังจากได้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ระยะเวลาการเลี้ยงเชื้อ 12 วันได้ทำการเติมหัวเชื้อผลิตกรดคือเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ทำการหมักต่อเนื่องและเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ทุกๆ 2 วันเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตของเชื้อพบว่าต้องใช้ระยะเวลา 19 วัน (หลังเติมหัวเชื้อกรด) ถึงจะมีปริมาณแอลกอฮอล์มากกว่า 4.0 เปอร์เซ็นต์ ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทน้ำส้มสายชูหมักจากผลไม้ที่มีปริมาณกรดไม่น้อยกว่าร้อยละ 4.0 โดยหลังสิ้นสุดระยะเวลาการหมักกรดวันที่ 19 วัน (หลังเติมหัวเชื้อกรด) ของระยะการหมักกรดพบว่าปริมาณกรดสูงสุดเท่ากับ 4.56, 4.56, 4.53, 4.51 และ 4.42 สำหรับสูตรที่ 7 และ 8 (น้ำหวานสดผสมน้ำตาล ความหวานเริ่มต้น 17 และ 22 องศาบริกซ์) สูตรที่ 4 น้ำตาลจากความหวานเริ่มต้น 12 องศาบริกซ์ สูตรที่ 1 น้ำหวานสดความหวานเริ่มต้น 12 องศาบริกซ์ และสูตรที่ 5 น้ำตาลจากความหวาน 17 องศาบริกซ์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2 และ 4.3) แต่จากการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณกรดในสูตรที่ 1 จะมีปริมาณกรดในวันแรกที่มีการเติมกรดมี 1.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณของกรดที่มีอยู่เดิมในวัตถุดิบ โดยในธรรมชาติเมื่อมีการตัดต้นจากเพื่อเก็บน้ำหวานจะเกิดการปนเปื้อนเชื้อในธรรมชาติเกิดการผลิตกรดขึ้นอย่างรวดเร็วก่อนที่ผู้วิจัยจะได้รับวัตถุดิบมาเติมสารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และหลังสิ้นสุดการหมักในระยะกรดพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นเปรี้ยวที่รุนแรง ต่างจากสูตรที่เป็นน้ำตาลจากเพียงอย่างเดียว แสดงให้เห็นสูตรที่เป็นน้ำหวานสดหรือส่วนที่ประกอบด้วยน้ำหวานสดไม่ใช่สูตรที่เหมาะสมทั้งในด้านของการปนเปื้อน การเตรียม การเก็บรักษาวัตถุดิบและกลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังนั้นจากการทดลองสูตรน้ำตาลจากเพียงอย่างเดียวคือ สูตรที่ 4 และ สูตรที่ 5 ซึ่งมีความหวานเริ่มต้นเท่ากับ 12 และ 17 องศาบริกซ์ ตามลำดับ เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากให้ปริมาณกรดที่เท่ากับ 4.56 ซึ่งผ่านเกณฑ์น้ำส้มสายชูหมักจากผลไม้ แต่จะเห็นได้ว่าปริมาณกรดของทั้งสูตรที่ 4 และ 5 เท่ากัน ดังนั้นผู้วิจัยจะคัดเลือกสูตรที่ 4 ซึ่งมีน้ำตาลจากความหวาน 12 องศาบริกซ์ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากการลดปริมาณของวัตถุดิบคือน้ำตาลจากและเป็นสูตรที่จะทำให้ได้สูตรการผลิตน้ำส้มจากที่มีต้นทุนต่ำกว่าสูตรน้ำตาลความหวาน 17 องศาบริกซ์ หลังสิ้นสุดระยะเวลาการผลิตกรดสูตรที่ 4 น้ำตาลจากความหวานเริ่มต้น 12 องศาบริกซ์ น้ำส้มสายชูที่ได้มีความหวาน 2.8 องศาบริกซ์ แอลกอฮอล์ 2.0 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณกรด 4.56 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม soft cider (เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์น้อยกว่า 3) โดยปริมาณแอลกอฮอล์ที่เหลืออยู่ 2.0 เปอร์เซ็นต์ส่งผลให้น้ำส้มสายชูที่ได้ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำส้มสายชูของไทยดังนั้นกระบวนการขั้นตอนต่อไปต้องปรับและควบคุมให้ปริมาณแอลกอฮอล์ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อพิจารณาค่าปริมาณกรดพบว่าค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำหวานตาลโตนดซึ่งมีปริมาณแอลกอฮอล์ 10

เปอร์เซ็นต์หลังการเลี้ยงเชื้อยีสต์ 9 วัน และกรด 3.9-5.7 เปอร์เซ็นต์ (สุวรรณ และคณะ 2545) โดยจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการใช้น้ำตาลจากเป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตน้ำส้มสายชูจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ใช้น้ำตาลโตนดเป็นแหล่งวัตถุดิบ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของน้ำหวานจากสตรและน้ำตาลจาก

ลักษณะ	น้ำหวานสตร	น้ำตาลจาก
ความหวาน (Brix)	14	75
เถ้า (g/kg)	6.8	28.1
ไขมัน (g/kg)	5.7	3.2
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (g/kg)	121.9	623.2
น้ำตาลทั้งหมด (g/kg)	119.3	621.3
น้ำตาลรีดิวซ์ (g/kg)	68.6	129.3
ชนิดน้ำตาล (g/kg)		
น้ำตาลกลูโคส	13.1	68.4
น้ำตาลฟรุคโตส	15.3	79.87
น้ำตาลซูโครส	90.8	474
โปรตีน (g/kg)	2.4	10.7
ความหนืด (cP)	1.83	151.3
Water Activity	0.97	0.82
กรด-ด่าง (pH)	4.57	4.82
สีสังเคราะห์	Not detected	Not detected
ไนโตรเจนทั้งหมด (g/kg)	4.7	24.5
แร่ธาตุ (mg/kg)		
แมกนีเซียม	3.0	15.6
โพแทสเซียม	140.8	735
โซเดียม	59.6	311
ฟอสฟอรัส	7.1	37.2



น้ำตาลจาก

น้ำหวานสด



น้ำหวานสด:น้ำตาลจาก

น้ำตาลทราย

ภาพที่ 4.3 แสดงการศึกษาการผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากในภาชนะหมักขนาด 1 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก

ระยะเวลา การเลี้ยง (วัน)	น้ำหวานสด (12 °Brix)			น้ำหวานสด (17 °Brix)			น้ำหวานสด (22 °Brix)			น้ำตาลจาก (12 °Brix)			น้ำตาลจาก (17 °Brix)			น้ำตาลจาก (22 °Brix)		
	Sugar	Alcohol	Acid	Sugar	Alcohol	Acid	Sugar	Alcohol	Acid	Sugar	Alcohol	Acid	Sugar	Alcohol	Acid	Sugar	Alcohol	Acid
	(°Brix)	(%)	(mg)	(°Brix)	(%)	(mg)	(°Brix)	(%)	(mg)	(°Brix)	(%)	(mg)	(°Brix)	(%)	(mg)	(°Brix)	(%)	(mg)
0	12.00	0.00	0.00	17.00	0.00	0.00	22.00	0.00	0.00	12.00	0.00	0.00	17.00	0.00	0.00	22.00	0.00	0.00
3	4.50	5.90	1.25	10.50	8.10	0.28	17.00	7.50	0.18	8.00	3.20	0.00	12.50	5.60	0.00	17.00	4.45	0.00
6	3.75	5.60	1.25	5.50	8.90	0.28	7.75	10.10	0.18	4.25	6.10	0.00	7.50	7.00	0.00	10.50	9.00	0.00
9	3.75	5.60	1.25	5.50	9.40	0.28	6.75	12.00	0.18	3.00	7.60	0.00	5.50	9.30	0.00	11.50	10.05	0.00
12	3.75	5.50	1.25	5.25	9.50	0.28	6.75	12.00	0.18	3.00	7.50	0.00	5.25	9.40	0.00	11.75	10.05	0.00
15	3.50	4.75	1.62	5.00	9.00	0.34	7.00	12.00	0.21	3.00	7.00	0.73	5.00	9.25	0.65	9.00	10.25	0.20
17	3.25	3.50	1.85	5.00	8.50	0.66	6.50	12.00	0.19	3.00	6.75	1.02	5.25	8.75	1.09	7.50	7.13	0.21
19	3.00	3.38	2.44	5.00	7.00	1.10	6.25	10.75	0.18	3.00	6.25	1.55	5.25	7.00	1.52	7.50	7.00	0.19
21	3.00	2.50	3.09	4.75	6.25	1.60	6.50	9.50	0.19	3.00	6.25	2.05	5.00	7.50	2.01	7.00	7.00	0.20
23	3.50	2.25	3.62	5.00	5.25	0.18	6.50	7.50	2.42	3.00	3.63	2.61	5.25	6.50	2.58	7.50	6.50	0.24
25	3.25	2.38	4.05	5.25	4.25	2.85	6.25	7.50	0.19	3.00	3.88	3.39	5.25	6.00	3.26	6.50	6.00	0.25
27	3.50	2.50	4.12	5.25	4.75	3.53	6.00	7.50	0.23	3.00	3.00	3.91	5.00	5.75	3.90	6.50	5.75	0.31
29	3.50	2.50	4.35	5.00	4.50	3.78	6.00	7.50	0.34	3.00	2.50	4.25	4.70	5.50	4.21	6.50	5.00	0.36
31	3.25	2.00	4.51	5.00	4.50	3.90	6.00	7.00	0.42	2.80	2.00	4.53	4.50	5.50	4.42	6.50	5.00	0.40

ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก (ตารางต่อเนื่องจากหน้าก่อน)

ระยะเวลา การเลี้ยง (วัน)	น้ำหวานสด:น้ำตาลจาก (12 °Brix)			น้ำหวานสด:น้ำตาลจาก (17 °Brix)			น้ำหวานสด:น้ำตาลจาก (22 °Brix)			น้ำตาลทราย (12 °Brix)			น้ำตาลทราย (17 °Brix)			น้ำตาลทราย (22 °Brix)		
	Sugar	Alcohol	Acid	Sugar	Alcohol	Acid	Sugar	Alcohol	Acid	Sugar	Alcohol	Acid	Sugar	Alcohol	Acid	Sugar	Alcohol	Acid
	(°Brix)	(%)	(mg)	(°Brix)	(%)	(mg)	(°Brix)	(%)	(mg)	(°Brix)	(%)	(mg)	(°Brix)	(%)	(mg)	(°Brix)	(%)	(mg)
0	12.00	0.00	0.65	17.00	0.00	0.14	22.00	0.00	0.00	12.00	0.00	0.00	17.00	0.00	0.00	22.00	0.00	0.00
3	4.00	6.30	0.65	6.00	8.40	0.14	13.00	7.80	0.09	11.00	0.60	0.00	15.50	0.40	0.00	21.50	0.20	0.00
6	3.75	6.80	0.65	6.00	9.20	0.14	8.00	10.20	0.09	10.50	1.25	0.00	15.00	0.40	0.00	19.75	0.60	0.00
9	3.25	7.80	0.65	5.25	8.90	0.14	7.50	10.20	0.09	10.25	1.30	0.00	15.00	0.40	0.00	19.25	1.00	0.00
12	3.00	7.75	0.65	5.25	9.00	0.14	7.00	10.50	0.09	10.25	2.00	0.00	15.00	0.40	0.00	19.00	1.00	0.00
15	3.00	7.00	0.93	5.00	8.50	0.78	6.50	10.75	0.22	10.25	2.00	0.03	15.00	0.50	0.02	19.75	1.00	0.03
17	3.00	6.50	1.31	5.00	8.00	1.11	5.00	8.00	0.21	9.50	1.50	0.04	14.00	1.00	0.03	18.75	1.00	0.00
19	3.00	6.50	1.90	5.00	7.38	1.67	5.00	7.50	0.20	9.00	1.50	0.03	14.50	1.00	0.02	17.50	1.00	0.03
21	3.25	6.75	2.38	5.00	6.50	2.46	5.00	6.50	0.20	8.50	1.50	0.04	13.50	1.00	0.02	18.00	1.00	0.06
23	3.25	4.25	3.23	5.50	5.13	3.15	6.50	7.00	0.20	8.50	1.50	0.06	13.50	1.00	0.04	18.00	0.50	0.05
25	3.25	3.13	3.75	5.50	3.88	3.84	6.00	7.00	0.20	8.50	1.25	0.06	14.00	0.00	0.03	18.25	0.50	0.05
27	3.25	2.00	4.24	5.50	3.63	4.28	6.00	7.00	0.23	8.25	1.25	0.06	13.50	0.00	0.04	17.50	0.50	0.06
29	3.00	2.00	4.43	5.50	3.42	4.44	6.00	6.50	0.26	8.25	1.25	0.07	13.00	0.00	0.04	17.00	0.50	0.06
31	3.00	1.50	4.56	5.50	3.21	4.56	6.00	6.50	0.28	8.00	1.25	0.07	13.00	0.00	0.04	17.00	0.50	0.06

ตารางที่ 4.3 สรุปคุณลักษณะของน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจาก

ชุดการทดลอง	ชนิดของน้ำหวาน	ความหวานเริ่มต้น (องศาบริกซ์)	ความ หวาน	แอลกอฮอล์ (%) สิ้นสุดระยะหมักแอลกอฮอล์	แอลกอฮอล์ (%) สิ้นสุดระยะหมักกรด	ปริมาณกรด (%) w/v)
1	น้ำหวานสด	12	3.25±0.1	5.5±0.20	2.0±0.10	4.51±0.16
2	น้ำหวานสด	17	5.00±0.2	9.5±0.10	4.50±0.15	3.90±0.10
3	น้ำหวานสด	22	6±0.1	12.0±0.05	7.00±0.20	0.42±0.21
4	น้ำตาลจาก	12	2.80±0.1	7.5±0.15	2.0±0.10	4.53±0.32
5	น้ำตาลจาก	17	4.50±0.2	9.4±0.10	5.50±0.20	4.42±0.10
6	น้ำตาลจาก	22	6.5±0.1	10.05±0.15	5.00±0.20	0.40±0.18
7	น้ำหวานสด:น้ำตาลจาก (1:1)	12	3.0±0.1	7.75±0.10	1.5±0.15	4.56±0.13
8	น้ำหวานสด:น้ำตาลจาก (1:1)	17	5.5±0.1	9.0±0.20	3.21±0.10	4.56±0.20
9	น้ำหวานสด:น้ำตาลจาก (1:1)	22	6.0±0.2	10.50±0.20	6.5±0.20	0.28±0.21
10 (ชุดควบคุม)	น้ำตาลจากน้ำตาลทราย	12	8.0±0.1	2.0±0.15	1.25±0.10	0.07±0.10
11 (ชุดควบคุม)	น้ำตาลจากน้ำตาลทราย	17	13.0±0.1	0.4±0.16	0.0±0.05	0.04±0.05
12 (ชุดควบคุม)	น้ำตาลจากน้ำตาลทราย	22	17.0±0.2	1.0±0.10	0.5±0.05	0.06±0.05

4.4 ผลการพัฒนาสูตรการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก

จากผลการทดลองในข้อ 4.3 พบว่าสูตรน้ำตาลจากที่มีความหวานเริ่มต้น 12 องศาบริกซ์ เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดจึงถูกคัดเลือกมาศึกษาการเติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Di-Ammonium Hydro genphosphate : DAP) ความเข้มข้น 0, 0.3 และ 0.6 g/L และวิตามินบี ความเข้มข้น 0, 0.6 และ 1.2 g/L โดยวางแผนการทดลองสุ่มแบบสมบูรณ์ (Completely randomized design ; CRD) หลังกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ด้วยเชื้อยีสต์ (10 วัน) และกระบวนการหมักกรด (20 วัน) โดยจากผลการทดลองพบว่า การเติม DAP และวิตามินบีไม่ส่งต่อการผลิตน้ำส้มสายชูดังแสดงในตารางที่ 4.4 จากการทดลองจะเห็นได้ว่าไม่ว่าสูตรที่เป็นการเติม DAP และวิตามินบี เพียงอย่างเดียวส่งผลต่อการผลิตน้ำส้มสายชูน้อยกว่าสูตรที่มีการใช้ DAP ร่วมกับวิตามินบี แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการเติม 0.3 g/L DAP และ 0.6 g/L วิตามินบี (สูตรที่ 5) จะส่งผลให้มีการผลิตกรดสูงสุด (มีกรด 4.63%) แต่ผลการทดลองที่ได้้น้อยกว่าชุดการทดลองที่ไม่มีการอะไรเลยคือ สูตรที่ 1 ซึ่งมีความเข้มข้นของกรด 4.74% และมีแอลกอฮอล์ 0.5% ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูซึ่งมีข้อกำหนดว่า น้ำส้มสายชูหมักจะต้องมีกรดไม่น้อยกว่า 4% และแอลกอฮอล์ไม่เกิน 0.5%

ตารางที่ 4.4 ผลของ Di-Ammonium Hydro genphosphate : DAP และวิตามินบี ต่อการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก หลังสิ้นสุดระยะหมักกรด 20 วัน ที่อุณหภูมิห้อง

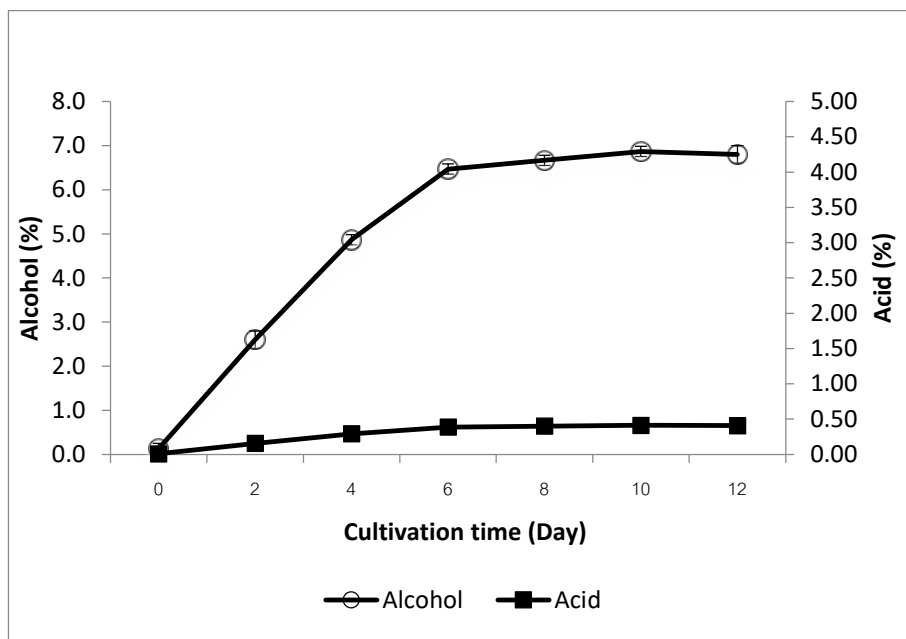
ชุดการทดลอง	องค์ประกอบ			ผลการทดลอง (Mean $\pm$ SD)		
	ความหวาน (°Brix)	DAP (g/L)	วิตามินบี (g/L)	Sugar (°Brix)	Alcohol (%)	Acid (mg)
1	12	0	0	4 $\pm$ 0.1	0.5 $\pm$ 0.05	4.74 $\pm$ 0.45
2	12	0	0.6	4 $\pm$ 0.2	0.6 $\pm$ 0.03	4.52 $\pm$ 0.71
3	12	0	1.2	4 $\pm$ 0.1	0.4 $\pm$ 0.03	4.31 $\pm$ 0.32
4	12	0.3	0	4 $\pm$ 0.1	0.6 $\pm$ 0.04	4.61 $\pm$ 0.31
5	12	0.3	0.6	4 $\pm$ 0.15	0.6 $\pm$ 0.05	4.63 $\pm$ 0.14
6	12	0.3	1.2	4 $\pm$ 0.15	0.6 $\pm$ 0.04	4.44 $\pm$ 0.28
7	12	0.6	0	4 $\pm$ 0.1	0.5 $\pm$ 0.05	4.52 $\pm$ 0.33
8	12	0.6	0.6	4 $\pm$ 0.2	0.5 $\pm$ 0.03	4.49 $\pm$ 0.21
9	12	0.6	1.2	4 $\pm$ 0.1	0.6 $\pm$ 0.02	4.34 $\pm$ 0.10

ความแตกต่างของการเพิ่มขึ้นของกระอะซิติกและการลดลงของแอลกอฮอล์ขึ้นกับปริมาณของ $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ ซึ่งส่งผลต่อจลนพลศาสตร์ของการหมัก โดย $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ จะไม่มีผลต่อกระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์แต่จะมีผลต่อกระบวนการเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นกรด ทั้งนี้ปริมาณของ $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ ซึ่งจัดเป็นแหล่งไนโตรเจนของระบบหมักที่ต้องเติมเข้าไปขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำส้มสายชู (Pramanik and Rao, 2005) โดยในการศึกษาครั้งนี้จะเห็นว่าวัตถุดิบน้ำตาลจากมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 24.5 g/kg ซึ่งเมื่อคำนวณปริมาณไนโตรเจนต่อลิตรของน้ำตาลจากความหวาน 12 องศาบริกซ์จะมีไนโตรเจนเท่ากับ 4.59 g/L ดังนั้นปริมาณไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบของวัตถุดิบมีปริมาณมากเพียงพอ การเติมไนโตรเจนในปริมาณที่มากเกินไปเกินความต้องการของจุลินทรีย์อาจมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่ม *Acetobacter* ได้ เมื่อเซลล์บางส่วนถูกทำลายไปจะส่งผลให้การหมักเกิดการหยุดชะงักหรือเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (บุษบา, 2542)

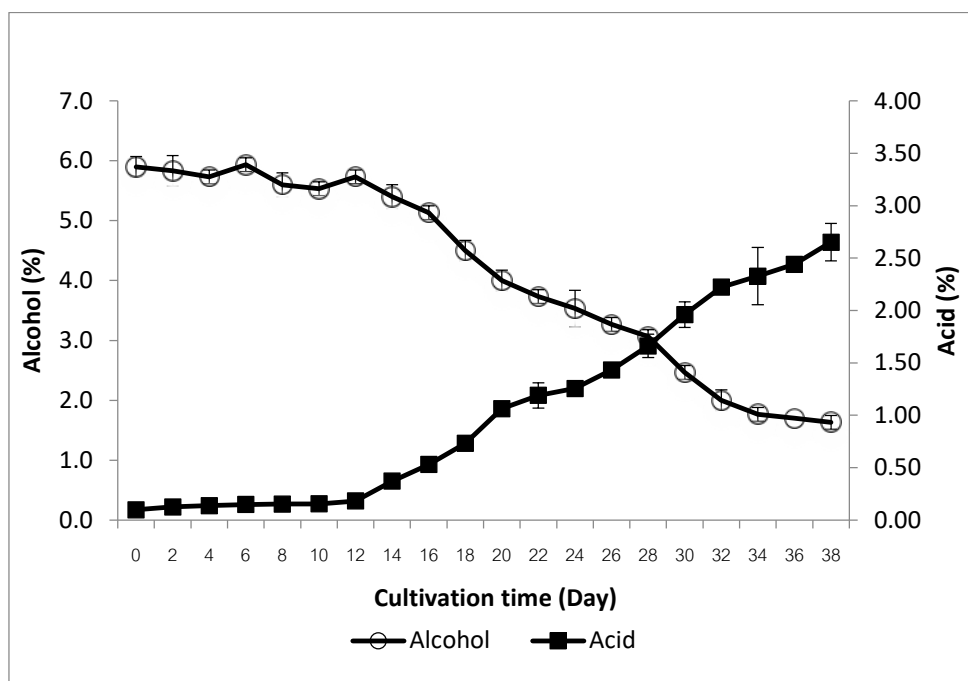
4.5 ผลการขยายขนาดการผลิตน้ำส้มสายชู

ผลการศึกษาการขยายขนาดในการผลิตแอลกอฮอล์จากเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5107 โดยใช้น้ำตาลจากเป็นวัตถุดิบ เชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5107 มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ ในสภาวะไม่ต้องการอากาศ หลังจากทำการหมักที่อุณหภูมิห้องในระยะเวลา 12 วัน พบว่าการผลิตแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึงวันที่ 6 ซึ่งได้ค่าแอลกอฮอล์จาก ถึง 6.5 ± 0.1 เปอร์เซ็นต์ และตั้งแต่วันที่ 6 ถึงวันที่ 12 อัตราการผลิตของเชื้อเริ่มคงที่ดังภาพที่ 4.4 และผลการทดลองพบว่าปริมาณแอลกอฮอล์ที่เชื้อผลิตได้สูงที่สุดเท่ากับ 6.8 ± 0.2 เปอร์เซ็นต์ หลังระยะเวลาการเลี้ยง 12 วัน สำหรับผลการผลิตกรดพบว่าเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5107 มีการผลิตกรดน้อยโดยมีค่ากรดสูงสุดเท่ากับ 0.41 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5107 จะมีประสิทธิภาพในการผลิตแอลกอฮอล์โดยใช้น้ำตาลจากเป็นวัตถุดิบในถังหมักขนาดใหญ่ที่เป็นขนาดที่เหมาะสมในการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ โดยในการศึกษาระเบียบมาตรฐานการหมัก 1 ลิตร เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมนั้นจะมีปริมาณแอลกอฮอล์ 7.5 เปอร์เซ็นต์ หลังการหมักที่อุณหภูมิห้องนาน 12 วัน จะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ในระบบหมักขนาดใหญ่กับขนาดเล็กให้ผลผลิตแอลกอฮอล์ที่ไม่ต่างกันมาก

ผลการผลิตกรดโดยใช้น้ำหมักแอลกอฮอล์ที่ได้จากถังหมักขนาดใหญ่พบว่าหลังจากนำมาผลิตกรดโดยใช้เชื้อ *A. aceti* TISTR 354 ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 20 วัน พบว่าเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าแอลกอฮอล์ที่เมื่อระยะเวลาการผลิตเพิ่มขึ้น แอลกอฮอล์ก็ลดลงเนื่องจากแอลกอฮอล์ถูกเปลี่ยนเป็นกรด โดยจากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์กรดสูงที่สุดเท่ากับ 4.75 ± 0.2 เปอร์เซ็นต์ แอลกอฮอล์ลดลงจาก 5.9 ± 0.2 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.8 ± 0.1 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.4 ผลการผลิตแอลกอฮอล์โดยใช้น้ำตาลจากเป็นวัตถุดิบด้วยเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5107 ในถังหมักขนาด 20 ลิที่มีปริมาตรหมัก 18 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง นาน 12 วัน



ภาพที่ 4.5 ผลของการผลิตกรดด้วยเชื้อ *A. aceti* TISTR 354 ในถังหมักขนาด 20 ลิที่มีปริมาตรหมัก 17 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง นาน 20 วัน

ดังนั้นจากการทดลองพบว่าสามารถผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากโดยใช้ถังหมักขนาด 20 ลิตร (ภาพที่ 4.6) โดยหลังจากสิ้นสุดทั้งกระบวนการหมักแอลกอฮอล์และต่อเนื่องด้วยกระบวนการหมักกรดนั้นเมื่อเริ่มต้นปริมาตรหมักเท่ากับ 18 ลิตร หลังสิ้นสุดกระบวนการจะได้น้ำส้มสายชูหมักที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ปริมาณ 16 ลิตร โดยส่วนที่หายไปนั้นเกิดจากส่วนของตะกอนเชื้อที่ถ่ายออกจากระบบทั้งหลังเสร็จสิ้นกระบวนการหมักแอลกอฮอล์และกระบวนการหมักกรด



ถังผลิตแอลกอฮอล์

ถังผลิตน้ำส้มสายชู

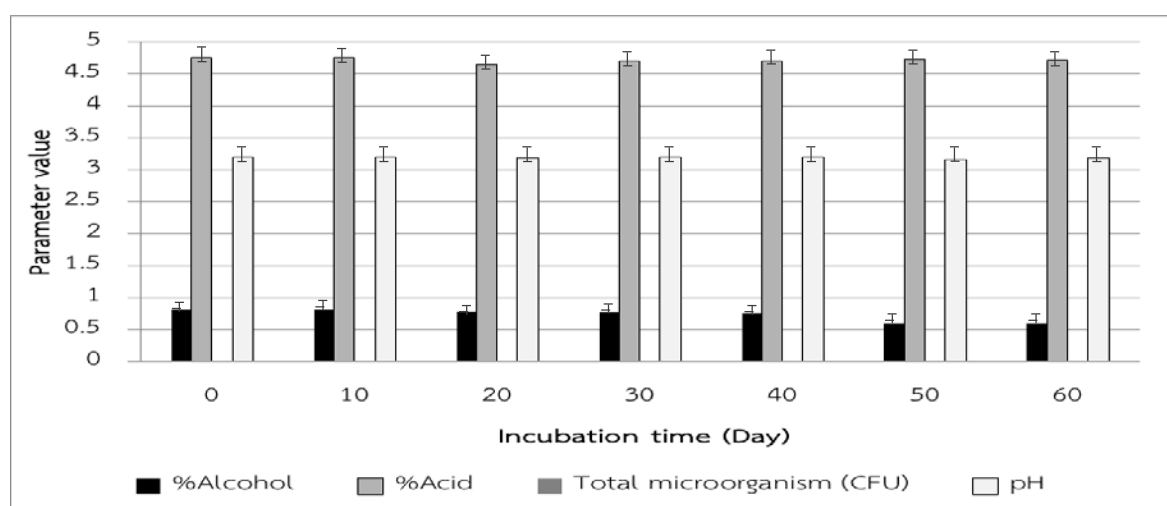
ภาพที่ 4.6 ถังหมักน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากซึ่งมี 2 ขั้นตอนคือการผลิตแอลกอฮอล์จากน้ำตาลจากด้วยเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5107 ปริมาตร 18 ลิตร และการผลิตกรดน้ำส้มจากแอลกอฮอล์ปริมาตร 17 ลิตร ด้วยเชื้อ *A. aceti* TISTR 354 ที่อุณหภูมิห้อง

4.6 ผลของระยะเวลาการเก็บต่อคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก

ผลของระยะเวลาคือการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากหลังจากการวางที่อุณหภูมิห้องพบว่าเมื่อบางน้ำส้มสายชูหมักไว้ครบ 60 วัน คุณภาพของน้ำส้มสายชูทั้ง 4 ด้าน คือ ความหวาน แอลกอฮอล์ ปริมาณกรด ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญดังแสดงในภาพที่ 4.7 โดยวันที่ 0 หลังเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตมีค่าความหวาน 4 องศาบริกซ์ แอลกอฮอล์ 0.8 เปอร์เซ็นต์ กรด 4.75 เปอร์เซ็นต์ และค่าพีเอช 3.2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับหลังเก็บ 60 วันคือมีค่าความหวาน 4 องศาบริกซ์ แอลกอฮอล์ 0.6 เปอร์เซ็นต์ กรด 4.71 เปอร์เซ็นต์ และค่าพีเอช 3.18 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับ

เริ่มต้น สำหรับจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนทั้งแบคทีเรีย รา ยีสต์เมื่อวิเคราะห์โดยการนำตัวอย่างมาเกลี่ยเลี้ยง เชื้อบนอาหารสังเคราะห์ที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการไม่มีจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตตลอดช่วงเวลาการ วางทดสอบที่อุณหภูมิห้องนาน 60 วัน ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากค่าความเป็นกรดต่ำ (พีเอชเท่ากับ 3.2) ทำให้โอกาสในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีน้อย

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักที่ได้จากน้ำตาลจากนั้นยังคงมีคุณภาพคง เดิมถึงแม้ว่าจะวางไว้ที่อุณหภูมิห้องช่วงอุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียส นานถึง 60 วัน ซึ่งจะมี ประโยชน์ต่อการจัดเก็บและการวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์ในการผลิตในอนาคต



ภาพที่ 4.7 ผลของระยะเวลาการเก็บต่อคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากจากเชื้อ *A. aceti* TISTR 345 ที่อุณหภูมิห้อง นาน 60 วัน

4.7 คุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก

คุณภาพของน้ำส้มสายชูที่ได้จากกระบวนการหมักน้ำตาลจากด้วยกระบวนการหมัก 2 ขั้นตอน คือกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์จากน้ำตาลจากโดยใช้เชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5107 และ กระบวนการเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นกรดด้วยเชื้อ *A. aceti* TISTR 354 ผลการทดลองดังแสดงใน ตาราง 4.5 มีลักษณะสีเหลืองอ่อนมีตะกอนเล็กน้อยซึ่งเป็นตะกอนที่เกิดจากวัตถุดิบ มีแอลกอฮอล์ร้อยละ 0.8 ปริมาณกรดร้อยละ 3.2 มีของแข็งละลายได้ทั้งหมดร้อยละ 4.0 มีเกลือร้อยละ 0.27 ทั้งนี้ ปริมาณเกลือที่พบเป็นผลมาจากเกลือที่เป็นองค์ประกอบของวัตถุดิบ เนื่องจากน้ำตาลจากที่ใช้เป็น วัตถุดิบได้กีดกันจากที่อยู่บริเวณน้ำกร่อยมีช่วงเวลาที่น้ำทะเลท่วมถึงและเป็นพื้นที่ชายฝั่งทะเลส่งผล ให้มีปริมาณเกลือในพื้นที่สูงและต้นจากเป็นพืชที่จะดูดน้ำและแร่ธาตุมาสะสมในต้นพืชเองสูงและ

สามารถปนอยู่ในน้ำหวานจากซึ่งเป็นวัตถุดิบต้นทางในการผลิตน้ำตาลจาก น้ำตาลจากที่ใช้เป็นวัตถุดิบก่อนที่จะเจือจางให้มีความหวาน 12 องศาบริกซ์ จะมีเกลือโพแทสเซียมและเกลือโซเดียมเท่ากับ 735 และ 311 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาปริมาณเกลือรวมประมาณ 1,046 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งน้ำตาลจากเข้มข้น 750 มิลลิลิตรจะสามารถเตรียมเป็นน้ำหวานเพื่อใช้ในกระบวนการหมักได้ 4 ลิตร ดังนั้นปริมาณเกลือที่อยู่ในน้ำหวานที่ใช้ในการหมักจริง 196.13 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์มีการใช้เกลือในน้ำหวานและมีปริมาณเกลือเหลืออยู่ในระบบ แต่ทั้งนี้ปริมาณเกลือที่พบยังอยู่ในระดับผ่านเกณฑ์มาตรฐานของน้ำส้มสายชูหมักจากผลไม้ น้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากเมื่อผ่านการตรวจโลหะหนักพบว่าไม่มีโลหะหนักชนิดตะกั่ว สารหนู และทองแดง แต่พบธาตุเหล็กร้อยละ 1.80 ซึ่งจากข้อมูลน้ำส้มสายชูที่ผลิตจากน้ำตาลมะพร้าวก็มีกลุ่มธาตุเหล็กปนเปื้อนเช่นกันโดยมีการรายงานมีปริมาณเหล็กที่เจือในน้ำตาลมะพร้าวเท่ากับร้อยละ 0.97 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากด้วยวิธี Hiperformance liquid chromatography ไม่พบน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ ในกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูไม่พบหนอนน้ำส้ม ไม่มีสารกลุ่มซัลเฟอร์ ผลการตรวจวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากไม่จุลินทรีย์ปนเปื้อนทั้งแบคทีเรีย รา ยีสต์และพยาธิ

ดังนั้นน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากอยู่ในเกณฑ์ของน้ำส้มสายชูหมักจากผลไม้หรือธัญพืช ในประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 204) พ.ศ. 2543 ดังประกาศราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 118 ตอนพิเศษ 6 ง. ลงวันที่ 24 มกราคม พ.ศ.2544

ตารางที่ 4.5 คุณภาพของน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำส้มสายชูหมัก

คุณลักษณะ	ผลการทดลอง	
	น้ำส้มสายชูน้ำตาลจาก	เกณฑ์มาตรฐาน มพช 2/2546
คุณภาพทางเคมี		
ปริมาณกรด	4.75 %	ไม่น้อยกว่า 4 % ที่ 27°C
ของแข็งละลายได้ทั้งหมด	4	-
กรดต่าง (pH)	3.2	-
แอลกอฮอล์	0.8	-
กรดกำมะถัน	ไม่มี	ไม่มี
เกลือ	0.27%	
โปรตีน	0.81g/100g	-
น้ำตาลทั้งหมด	Not detected	-
โลหะหนัก		
ตะกั่ว	ไม่มี	ไม่เกิน 1 mg/น้ำส้มสายชู 1 kg
สารหนู	ไม่มี	ไม่เกิน 1 mg/น้ำส้มสายชู 1 kg
ทองแดง	ไม่มี	ไม่เกิน 10 mg/น้ำส้มสายชู 1 kg
เหล็ก (Iron)	1.80 mg/L	ไม่เกิน 10 mg/น้ำส้มสายชู 1 kg
ไม่มีกรดน้ำส้มที่มีได้มาจาก	ไม่มี	ไม่มี
การผลิตน้ำส้มสายชูหมัก		
หรือน้ำส้มสายชुक้อน		
ตะกอน	มีเล็กน้อย	ไม่มีตะกอนยกเว้นเป็นน้ำส้มสาย
		หมักตามธรรมชาติ
หนอนน้ำส้ม	ไม่มี	ไม่มี
วัตถุเจือปนอาหาร		
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	ไม่มี	ไม่มี
กรดแอล-แอสคอร์บิก	ไม่มี	ไม่มี
การแต่งสี	ไม่มี	ไม่มี
คุณภาพทางจุลินทรีย์		
จุลินทรีย์ทั้งหมด	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>Escherichia coli</i>	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>Staphylococcus aureus</i>	ไม่พบ	ไม่พบ
เชื้อราทั้งหมด	ไม่พบ	ไม่พบ
พยาธิ	ไม่พบ	ไม่พบ

4.8 สูตรมาตรฐานที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องต้มน้ำสายชูหมักจากน้ำตาลจาก

จากการพัฒนาสูตรมาตรฐานที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องต้มน้ำสายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้ง พบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางประสาทสัมผัส แต่ละด้าน (แสดงในตารางที่ 4.7) พบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับเครื่องต้มน้ำสายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้ง สูตรที่ดีที่สุด คือ สูตรที่ 4 มีส่วนผสมของน้ำสายชูหมักจากน้ำตาลจาก:น้ำผึ้ง:น้ำสะอาด เท่ากับ 20:20:60 โดยผู้ทดสอบให้การยอมรับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดในระดับขอบปานกลาง (7.86 คะแนน)

จากสูตรที่ดีที่สุด ได้นำไปพัฒนาต่อเป็นเครื่องต้มน้ำสายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งมะนาว โดยกำหนดสัดส่วนการผสมน้ำผึ้ง:มะนาว ในอัตราส่วน 1:0 (ชุดควบคุม), 1:1, และ 0:1 ได้สูตรเครื่องต้มน้ำสายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งมะนาวใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ดังนี้ ตารางที่ 4.6 สูตรผสมเครื่องต้มน้ำสายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งมะนาว

ปัจจัยส่วนผสม (ร้อยละ)	สูตรเครื่องต้มน้ำสายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งมะนาว		
	1	2	3
น้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาล	20	20	20
จาก			
น้ำผึ้งดอกลำไย	20	10	0
น้ำมะนาวพาสเจอร์ไรซ์	0	10	20
น้ำสะอาดต้มสุก	60	60	60

ผลการทดสอบการรับลักษณะทางประสาทสัมผัสเครื่องต้มน้ำสายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งมะนาว ทั้ง 3 สูตร (แสดงดังตารางที่ 4.8) พบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับเครื่องต้มน้ำสายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้ง สูตรที่ดีที่สุด คือ สูตรที่ 2 มีส่วนผสมของน้ำสายชูหมักจากน้ำตาลจาก:น้ำผึ้ง:น้ำมะนาว: น้ำสะอาด เท่ากับ 20:10:10:60 โดยผู้ทดสอบให้การยอมรับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดในระดับขอบปานกลาง (7.46 คะแนน) โดยผู้ทดสอบมีความชอบผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของสายชูหมักจากน้ำตาลจาก: น้ำมะนาว:น้ำสะอาด น้อยที่สุด (ชอบเล็กน้อย) แสดงให้เห็นว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับเครื่องต้มน้ำสายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งมากกว่าเครื่องต้มน้ำสายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งมะนาว แต่อย่างไรก็ตาม การยอมรับผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 สูตร อยู่ในระดับขอบปานกลาง สามารถคัดเลือกเป็นสูตรมาตรฐานสำหรับการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องต้มน้ำสายชูหมักจากน้ำตาลจากได้ต่อไปในอนาคต

จากผลการศึกษาคุณภาพของเครื่องต้มน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากสูตรน้ำผึ้งและสูตรน้ำผึ้งมะนาวที่ผ่านการผลิตและบรรจุด้วยกรรมวิธีบรรจุร้อนดังแสดงในตารางที่ 4.9 โดยจากผลการทดลอง

ความหวานเท่ากับ 22 และ 12 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรดเท่ากับ 0.9 และ 1.75 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเป็นกรดต่าง 3.38 และ 2.75 สำหรับสูตรน้ำผึ้งและน้ำผึ้งมะนาว ตามลำดับ โดยความหวานที่อยู่ในเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มเกิดจากน้ำผึ้งที่เป็นองค์ประกอบในการผลิต และมะนาวที่เติมเข้าไปเข้าไปมีผลต่อความเป็นกรดของเครื่องดื่มน้ำส้มสายชู ผลการทดสอบจุลินทรีย์ปนเปื้อน ทั้งเชื้อรา *Staphylococcus aureus* *Coliform Bacteria* และ *Escherichia coli* ไม่พบการปนเปื้อน ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลมาจากค่าความเป็นกรดต่าง (พีเอช) ที่อยู่ในช่วงที่เป็นกรด (2.75 และ 3.38) ส่งผลให้มีจุลินทรีย์เจริญเติบโต

ตารางที่ 4.7 ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำสายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้ง

สูตร	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์*							
	ลักษณะปรากฏของ เครื่องดื่ม	สีของเครื่องดื่ม	กลิ่นของเครื่องดื่ม	รสชาติของ เครื่องดื่ม	กลิ่นรสของ เครื่องดื่ม	ความรู้สึกรส ขณะดื่ม	ความรู้สึกรส หลังดื่ม	ความชอบ โดยรวม
1	5.43±0.78	6.48±0.84	5.89±1.27	3.86±1.52	4.82±0.82	4.04±1.49	3.96±1.39	4.11±1.14
2	7.48±0.62	7.24±0.91	7.04±1.02	7.21±1.09	7.08±0.95	7.22±1.01	7.18±0.86	7.24±0.95
3	5.48±0.72	6.04±1.14	6.89±1.27	6.86±1.52	5.82±0.82	6.04±1.49	5.96±1.39	6.11±1.14
4	7.68±0.12	7.64±0.91	7.04±1.02	7.61±1.09	7.39±0.95	7.61±1.01	7.68±1.06	7.86±0.95
5	6.62±0.38	6.72±1.21	6.94±1.15	7.02±1.27	7.14±0.73	6.90±1.02	6.84±1.17	6.94±0.98
6	6.80±0.19	7.06±1.13	6.84±1.23	6.90±1.13	7.24±0.94	6.90±1.20	7.04±1.23	7.12±1.11
7	6.52±0.38	6.42±1.21	6.49±0.15	7.04±1.27	6.86±0.73	6.12±0.62	6.88±0.17	6.54±0.98
8	7.28±0.32	7.44±0.64	7.14±0.52	7.60±0.09	7.29±0.95	7.18±0.41	7.28±0.06	7.46±0.65

ตารางที่ 4.8 ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำส่ายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้ง
มะนาว

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	สูตรเครื่องดื่มน้ำส่ายชูหมักจากน้ำตาลจากผสมน้ำผึ้งมะนาว		
	1	2	3
ลักษณะปรากฏของเครื่องดื่ม	7.62±0.12	7.74±0.08	6.46±1.52
สีของเครื่องดื่ม	7.60±0.91	7.68±0.09	6.29±1.09
กลิ่นของเครื่องดื่ม	7.12±0.62	7.43±0.52	6.86±1.52
รสชาติของเครื่องดื่ม	7.58±0.89	7.61±0.49	5.54±1.09
กลิ่นรสของเครื่องดื่ม	7.48±0.95	7.02±0.72	6.07±1.27
ความรู้สึกขณะดื่ม	7.62±0.41	7.09±0.63	6.29±1.13
ความรู้สึกหลังดื่ม	7.68±0.45	7.04±0.74	6.32±1.27
ความชอบเครื่องดื่มโดยรวม	7.84±0.95	7.46±0.24	6.48±0.09

ตารางที่ 4.9 คุณภาพน้ำส่ายชูหมักพร้อมดื่ม

คุณลักษณะ	สูตรน้ำผึ้ง	สูตรน้ำผึ้งมะนาว
ความหวาน	22 องศาบริกซ์	12 องศาบริกซ์
แอลกอฮอล์	0 %	0 %
กรด	0.90 %	1.75 %
พีเอช	3.38	2.75
จุลินทรีย์		
Mold	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>Staphylococcus aureus</i>	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>Coliform Bacteria</i>	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>Escherichia coli</i>	ไม่พบ	ไม่พบ

4.9 ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิการบ่มต่อคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากพร้อมดื่ม

ผลการเก็บรักษาเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มสูตรผสมน้ำผึ้งและสูตรผสมน้ำผึ้งมะนาวที่ผ่านการผลิตและบรรจุด้วยกรรมวิธีบรรจุร้อนที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 90 วัน พบว่า ปริมาณแอลกอฮอล์ (0 ± 0.0 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณกรด (1.74 ± 0.2) ความหวาน (12 ± 0.1 องศาบริกซ์) และพีเอช (2.79 ± 0.2) สำหรับสูตรน้ำผึ้งมะนาว ปริมาณแอลกอฮอล์ (0 ± 0.0 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณกรด (0.95 ± 0.15) ความหวาน (22 ± 0.2 องศาบริกซ์) และพีเอช (3.37 ± 0.2) สำหรับสูตรผสมน้ำผึ้ง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาทดสอบ 90 วัน จำนวนจุลินทรีย์จากวันที่ 0 ถึงวันที่ 90 ของการเก็บรักษาพบว่าไม่มีจุลินทรีย์เกิดขึ้นทั้งแบคทีเรีย รา และยีสต์ ทั้งนี้จะเป็นผลมาจากระดับว่าเป็นกรดต่าง (พีเอช) อยู่ในช่วงกรดซึ่งอาจมีผลป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูแบบพร้อมดื่ม จะเห็นได้ว่าข้อมูลเชิงการเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพของเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูเมื่อเปรียบเทียบการเก็บรักษาทั้ง 2 อุณหภูมิพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้งสองสภาวะตลอดระยะเวลา 90 วัน (ตาราง 4.10)

ดังนั้นจากข้อมูลผลการเก็บรักษาที่ได้แสดงให้เห็นว่าในอนาคตหากมีการผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจากและพัฒนาเป็นสูตรน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มสามารถที่จะเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ 2-3 เดือน โดยที่คุณภาพไม่มีการเปลี่ยนแปลงและไม่เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ซึ่งจะเป็นความสำคัญทั้งฝั่งผู้ผลิตและผู้บริโภค



ภาพที่ 4.8 ผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก

ตารางที่ 4.10 ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิการบ่มต่อคุณภาพของเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากพืชมด

Parameter	0 วัน		90 วัน			
			4 องศาเซลเซียส		อุณหภูมิห้อง	
	น้ำผึ้ง	น้ำผึ้งมะนาว	น้ำผึ้ง	น้ำผึ้งมะนาว	น้ำผึ้ง	น้ำผึ้งมะนาว
% Alcohol	0±0.0	0±0.0	0±0.0	0±0.0	0±0.0	0±0.0
% Acid	0.90±0.1	1.76±0.25	0.96±0.0	1.79±0.15	0.95±0.15	1.74±0.3
Total microorganism	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
pH	3.39	2.75	3.40	2.76	3.39	2.74
ความหวาน (Brix)	22±0.1	12±0.1	21.5±0.15	12±0.1	22±0.0	12±0.1

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก มีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก พัฒนาสูตรเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมัก และศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิต เนื่องจากวัตถุดิบจากต้นจากในพื้นที่จังหวัด นครศรีธรรมราชมีทั้งส่วนที่เป็นน้ำหวานจากสด และน้ำตาลจากที่ได้จากการเคี้ยวน้ำหวานสดจนเข้มข้น จึงได้ทำการศึกษการผลิตน้ำส้มสายชูโดยใช้วัตถุดิบตั้งต้น 3 แบบ คือ น้ำหวานจากสด น้ำตาลจาก น้ำหวานสดผสมน้ำตาลจาก (1:1) พร้อมทั้งศึกษาความหวานเริ่มต้นที่เหมาะสมในการผลิต โดยแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 12 17 และ 22 องศาบริกซ์ ทำการฆ่าเชื้อที่ปนเปื้อนด้วยการเติม KMS ก่อนทำการหมัก

ขั้นตอนการหมักน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR5107 และขั้นตอนการหมักน้ำส้มสายชูใช้เชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR354 พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักอยู่ในช่วง 5-12% และแปรผันตรงกับความหวานเริ่มต้นของวัตถุดิบ แต่ในขั้นตอนการหมักน้ำส้มสายชูพบว่าน้ำหมักที่มีปริมาณแอลกอฮอล์สูง (มากกว่า 10%) กลับให้ผล การผลิตกรดต่ำ (น้อยกว่า 0.5%) ส่วนน้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมักวัตถุดิบเริ่มต้นที่มีความหวาน 12 และ 17 องศาบริกซ์ มีปริมาณกรดไม่แตกต่างกันในช่วง 4.4-4.5% อย่างไรก็ตามน้ำส้มสายชูที่ได้จาก การหมักน้ำหวานสดและน้ำหวานสดผสมน้ำตาลจากมีกลิ่นเปรี้ยวฉุนค่อนข้างแรง และมีหนอนน้ำส้ม เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมัก รวมทั้งมีปัญหาในการจัดเก็บน้ำหวานสดในระยะยาว ดังนั้นการใช้ วัตถุดิบเริ่มต้นเป็นน้ำตาลจากที่มีความหวาน 12 องศาบริกซ์ จึงเหมาะสมที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ โดย ในขั้นการหมักแอลกอฮอล์ได้ปริมาณแอลกอฮอล์คงที่ 7.5% ในระยะเวลา 9-12 วัน และได้ปริมาณ กรดคงที่ 4.5% ในระยะเวลาประมาณ 20 วัน และพบว่าการเติม Diammonium phosphate (DAP) และวิตามินบี ไม่มีผลต่อปริมาณแอลกอฮอล์และกรดที่ผลิตได้

การขยายขนาดการผลิตจาก 1 ลิตร เป็นถึงหมักขนาด 20 ลิตร โดยมีปริมาตรการหมัก แอลกอฮอล์และกรด 18 และ 17 ลิตร ตามลำดับ พบว่ามีประสิทธิภาพการผลิตใกล้เคียงกัน โดย สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ 6.8% ในระยะเวลา 8-10 วัน และผลิตกรด 4.33% ในเวลา 20 วัน รวม ระยะเวลาในการหมักประมาณ 30 วัน การเก็บรักษาน้ำส้มสายชูที่ผลิตได้เป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอลกอฮอล์ กรด ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) รวมทั้งไม่มีการ เจริญเติบโตของจุลินทรีย์ คุณลักษณะของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) น้ำส้มสายชูหมัก คือ มีปริมาณกรดไม่น้อยกว่า 4% ไม่มีโลหะหนักปนเปื้อน

ยกเว้นเหล็กซึ่งมีปริมาณไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ไม่มีหนอนน้ำส้ม และไม่มีการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เชื้อราและพยาธิ

การพัฒนาสูตรการผลิตเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักน้ำตาลจากทำโดยการนำน้ำส้มสายชูที่ผลิตได้มาผสมน้ำผึ้งดอกกล้วย และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยผู้บริโภค (9-point Hendonic Scale) ได้สูตร น้ำส้มสายชูหมัก:น้ำผึ้ง:น้ำ อัตราส่วน 20:20:60 ที่มีค่าการยอมรับสูงสุดในทุกคุณลักษณะ จากนั้นพัฒนาสูตรผสมน้ำผึ้งมะนาวในอัตราส่วน น้ำส้มสายชูหมัก:น้ำผึ้ง:น้ำมะนาว:น้ำ เท่ากับ 20:10:10:60 ซึ่งให้ค่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากสูตรผสมน้ำผึ้ง การศึกษาคุณลักษณะของเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักน้ำตาลจากพบว่า สูตรผสมน้ำผึ้งมีความหวานมากกว่า ในขณะที่สูตรน้ำผึ้งมะนาวมีปริมาณกรด และค่า pH สูงกว่าด้วยคุณสมบัติของน้ำมะนาว ทั้ง 2 สูตรไม่มีแอลกอฮอล์ และไม่มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ การเก็บรักษาเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักที่ 4°C และอุณหภูมิห้อง หลังจากบรรจุขวดด้วยกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 7 วัน เป็นเวลา 90 วัน ไม่พบการเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณกรด แอลกอฮอล์ ค่า pH และไม่มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

ดังนั้นจากการทดลองจะเห็นได้ว่าน้ำตาลจากจัดเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ดีในการผลิตน้ำส้มสายชู และพัฒนาต่อเป็นน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นเอกลักษณ์ของท้องถิ่นได้

ข้อเสนอแนะ

ในการถ่ายทอดเทคโนโลยีและสนับสนุนให้ชุมชนหรือผู้ที่สนใจผลิตนั้นปัจจัยจำกัดอย่างหนึ่งที่สำคัญคือกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต เนื่องจากเกษตรกรหรือผู้ประกอบการระดับชุมชนขาดความรู้ ขาดเครื่องมือในการเตรียมหัวเชื้อที่มีคุณภาพ ดังนั้นการพัฒนากล้าเชื้อสำเร็จรูปเป็นแนวทางการวิจัยหนึ่งที่ควรส่งเสริมให้มีการวิจัย

บรรณานุกรม

- นพดล โพชกำเหนิด, สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์, กิตติ พิมเสน, เสริมศักดิ์ สัญญาโณ, ทิพย์ทิวา สัมพันธ์มิตร และจำนง ฐานะพันธ์ (2555) การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากต้นจากสำหรับงานสถาปัตยกรรม. หน้า 1005-1014. ใน: รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติเครือข่ายวิจัยอุดมศึกษา ประจำปี 2555 ระหว่างวันที่ 16-18 พฤษภาคม 2555 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติ โรงแรมดิเอ็มเพรส จ.เชียงใหม่.
- นพรัตน์ บำรุงรักษ์ (2540) การศึกษาด้านนิเวศวิทยาประโยชน์ใช้สอย และการขยายพันธุ์ต้นจากในพื้นที่ลุ่มน้ำ ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช. รายงานผลการวิจัย. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- วรรณดี มหรรณพกุล, ขนิษฐา อินทร์ประสิทธิ์, ปิติ กาลิยานันท์, ปัญญา มงคลชาติ (2555) การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตไฮโดรเจลด้วยเพื่อการผลิตในวิสาหกิจชุมชน. กิจกรรมวิจัย. กรุงเทพฯ : กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- วรรณดี มหรรณพกุล, ขนิษฐา อินทร์ประสิทธิ์ (2554) การผลิตไฮโดรเจลด้วยวารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 60 ฉบับที่ 188
- มาลัย บุญรัตนกรกิจ และ ฉกามาต วงศ์ข้าหลวง (2552) การผลิตน้ำส้มสายชูหมักและน้ำส้มสายชูพร้อมดื่ม. เอกสารประกอบการฝึกอบรม. สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ฯ.
- ยุวดี ขุนภักดี วรินทร์ กาวิ รสสุคนธ์ วุทธิกุล นพดล โพชกำเหนิด และณรงค์ สุนทรภักษ์ (2555) เยลลี่คาราจีแนนผสมเนื้อลูกจากเพื่อชุมชน. หน้า 1668-1674. ใน: รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติเครือข่ายวิจัยอุดมศึกษาประจำปี 2555. วันที่ 16-18 พฤษภาคม 2555 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติ โรงแรมดิเอ็มเพรส จ.เชียงใหม่.
- ศุภยางค์ วรภูมิคุณชัย (2547) การพิสูจน์ลักษณะของแบคทีเรียกรัมบวกและกรัมลบ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 57-58.
- สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์, นพดล โพชกำเหนิด, กิตติ พิมเสน, เสริมศักดิ์ สัญญาโณ, ทิพย์ทิวา สัมพันธ์มิตร และจำนง ฐานะพันธ์ (2556) การใช้ประโยชน์จากต้นจากบริเวณทะเลสาบสงขลา ตำบลปากอ และตำบลชะแล้ อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา. วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต 1(1): 67-76.
- สมใจ ศิริโชค (2537) เทคโนโลยีหมัก. ศูนย์ส่งเสริมกรุงเทพ. กรุงเทพฯ. 250 น.
- สุวรรณ ศรีสวัสดิ์, ไพพรรณ บุตทะ, ปุณณภา บุญยะภักดิ์, อินทราวุธ ฉัตรเกษ, ต่อศักดิ์ นวลไย, ดำรงชัย สิทธิสำอางค์, พรภัทรา ศรีนรคุตร, สมพงษ์ สุกแสงเปล่ง. (2545) วิธีการผลิต

และเก็บรักษาน้ำส้มสายชูหมักจากตาลโตนด. รายงานวิจัย. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

- A. O. A. C. (2000) Official Method of Analysis. The Association of Official Analytical Chemists Gaithersburg, Maryland.
- Joshi, V.K. and Sharma, S. (2009) Cider Vinegar: microbiology, technology and quality. In: Solieri, L., Giudici, P. (Ed.) *Vinegars of the World*. 197–207. Italy: Springer-Verlag.
- Krisch, J., and Szajani, B. (1997) Ethanol and acetic tolerance in free and immobilized cells of *Saccharomyces cerevisiae* and *Acetobacter aceti*. Biotechnol. Letters 19:525-528
- Mesa, M.M., I. Caro, and D. Cantero. (2008) Viability reduction of *Acetobacter aceti* due to the absence of oxygen in submerged cultures. Biotechnology Progress 12: 709–712.
- Nanba, A., Tamura, A. and Nagai. S. (1984) Synergistic effects of acetic-acid and ethanol on the growth of *Acetobacter sp.* Ferment. Technol. 62:501-505
- Park, V.S., Toda, K., Fukaya, M., Okumura, H. and Kawamura, Y. (1991) Production of a high-concentration acetic-acid by *Acetobacter aceti* using a repeated fed-batch culture with cell recycling. Appl. Microbiol. Biotechnol 35:149-153.
- Pramanik, K. and Rao, D.E. (2005) Kinetic study on ethanol fermentation of grape waste using *Saccharomyces cerevisiae* yeast isolated from toddy. The Institution of Engineers (India) Publications 85: 53-58.
- Purseglove, J.W. (1985) Tropical crops: Monocotyledon. Longman Group Ltd., London.
- Sveriges, B. (2010) *Cider*. [online] Available from: <http://sverigesbryggerier.se/cider-och-blanddrycker/> [2011-01-05].

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. อาหารเลี้ยงเชื้อ

อาหารเลี้ยงเชื้อชนิด GYEA (Glucose Yeast Extract Agar) ประกอบด้วย

กลูโคส	100	กรัม
ยีสต์สกัด	10	กรัม
แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO ₃)	10	กรัม
วุ้น (Agar)	20	กรัม

แคลเซียมคาร์บอเนตห่อแยกมาเชื้อต่างหากแล้วจึงผสมกับอาหารที่ผ่านการสเตอริไรซ์แล้ว

อาหารเลี้ยงเชื้อชนิด NB (Nutrient Broth) ประกอบด้วย

Beef extract	3	กรัม
เปปโตน	5	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

อาหารเลี้ยงเชื้อชนิด NA (Nutrient Agar) ประกอบด้วย

Beef extract	3	กรัม
เปปโตน	5	กรัม
วุ้น (Agar)	15	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

ภาคผนวก ข. ภาพการเผยแพร่ผลงานวิจัย

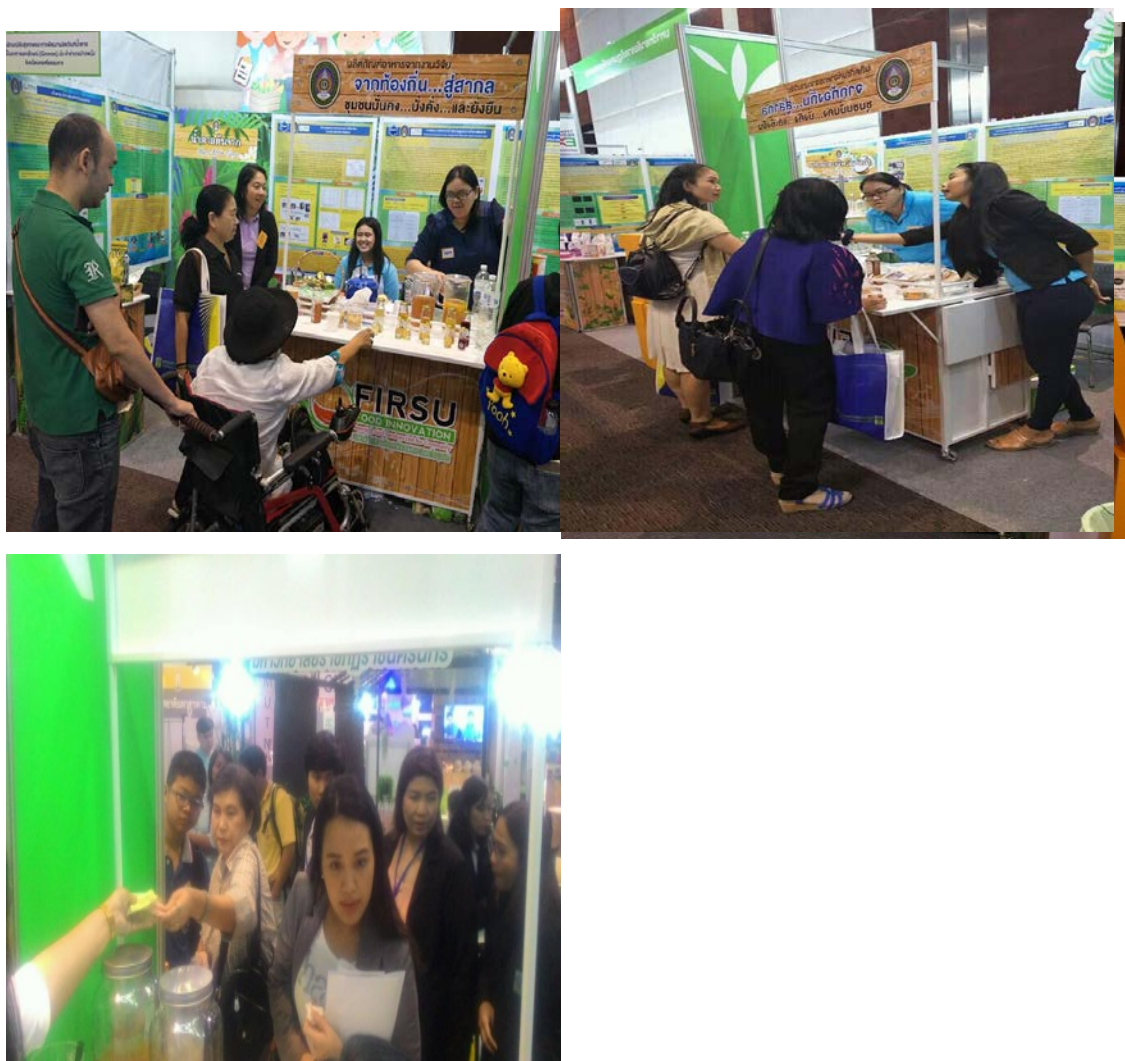
ลำดับ	ชื่อโครงการวิจัย	มีการเผยแพร่	ไม่มีการเผยแพร่	หมายเหตุ
1	ภาษาไทย: การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก ภาษาอังกฤษ): Product Development of cider vinegar form Nipa plam (<i>Nypa fruticans</i>) sugar	✓		เผยแพร่ “มหกรรมวิจัยแห่งชาติ 2561 วันที่ 9-13 สิงหาคม 2561” ในรูปแบบ - การเปิดเวทีเสวนา - การจัดนิทรรศการนำเสนอ ผลการวิจัยและผลิตภัณฑ์

ภาพประกอบการเผยแพร่งานวิจัย

โครงการ: การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก



ภาพที่ 1 การเผยแพร่ผลงานวิจัยโดยกิจกรรมการเปิดเวทีเสวนา ในงานมหกรรมวิจัยแห่งชาติ 2561 ในวันที่ 12 สิงหาคม 2561 ณ โรงแรมเวีนทาราแกรนด์บางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์ กรุงเทพฯ



ภาพที่ 2 การเผยแพร่ผลงานวิจัยโดยการจัดนิทรรศการ นำเสนอกระบวนการ ผลิตภัณฑ์ต้นแบบและทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ ในงานมหกรรมวิจัยแห่งชาติ 2561 ในวันที่ 12 สิงหาคม 2561 ณ โรงแรมเวีนทาราแกรนด์บางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์ กรุงเทพฯ

ภาคผนวก ค.

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์โครงการ	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
1. เพื่อ ศึกษา และ พัฒนา กระบวนการผลิตเครื่องดื่ม น้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากในพื้นที่ อำเภอปากพนัง จังหวัด นครศรีธรรมราช	1. ศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลจาก	1. ศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลจาก	1. ข้อมูลองค์ประกอบของน้ำตาลจาก
	2. ศึกษาการผลิตเครื่องดื่ม น้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก	2. ศึกษาสูตรและกระบวนการผลิตน้ำตาลจาก 2.1 ความเข้มข้นน้ำตาลจากที่เหมาะสม 2.2 องค์ประกอบอื่นๆที่ช่วยในการผลิต 2.3 ผลของอากาศต่อการผลิตกรด	2. สูตรและกระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจาก 3. ข้อมูลเชิงคุณภาพของน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจาก
	3. ศึกษาการขยายขนาดการผลิต	3. ศึกษาการขยายขนาดการผลิตในระบบหมัก ขนาด 20 ลิตร	4. สูตรการผลิตน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มจากน้ำตาลจากจำนวน 2 สูตร
	4. ศึกษาการผลิตน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มจากน้ำตาลจาก	4.การผลิตน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มจากน้ำตาลจากจำนวน 2 สูตร	5. ข้อมูลเชิงคุณภาพของเครื่องดื่ม น้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจาก จำนวน 2 ชุดข้อมูล
	5. การประเมินการยอมรับคุณ ลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ของ น้ำส้มสายชูพร้อมดื่มจากน้ำตาลจาก	5.การประเมินการยอมรับคุณ ลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ของน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มจากน้ำตาลจาก	6. ข้อมูลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค
2. เพื่อ ศึกษา คุณ ภาพ ของ ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม น้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจาก	๑. ศึกษาคุณลักษณะของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์	1. ศึกษาคุณลักษณะของน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลจากเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน	

วัตถุประสงค์โครงการ	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
	2.ศึกษาคุณลักษณะของน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มจากน้ำตาลจาก	2.ศึกษาคุณลักษณะของน้ำส้มสายชูพร้อมดื่มจากน้ำตาลจากจำนวน 2 สูตร	
	3.ศึกษาระยะเวลาการเก็บต่อคุณภาพน้ำส้มสายชู	3.ศึกษาระยะเวลาการเก็บต่อคุณภาพน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจาก	
		4.ศึกษาผลขอระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บต่อคุณภาพเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูจากน้ำตาลจาก	