

Research Article

การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากซังขนุนและเมล็ดขนุน

Production of vinegar from jackfruit rags and jackfruit seeds

ยุวรัตน์ พงษ์พิสุทธิพงษ์^{1*} และ สาวิตรี วัฏญญไพศาล²

Yuwarad Photphisutthiphong^{1*} and Savitri Vatanyoopaisarn²

¹หลักสูตรวิทยาศาสตรเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต เขตบางพลัด กรุงเทพฯ 10700
²ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

¹Program in Environmental Technology, Faculty of Science and Technology, Suan Dusit University, Bang Phlat District, Bangkok 10700, Thailand

²Department of Agro-Industrial, Food, and Environmental Technology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangsue, Bangkok 10800, Thailand

*E-mail: muayyai@hotmail.com

Received: 15/01/2019; Revised: 20/03/2019; Accepted: 29/03/2019

บทคัดย่อ

ซังขนุน และเมล็ดขนุนมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักอยู่สูง 19.77 และ 38.26% ตามลำดับ เมื่อย่อยด้วยเอนไซม์จนได้น้ำตาลรีดิคซ์สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำส้มสายชูได้ งานวิจัยนี้ได้ทำการย่อยซังขนุนและเมล็ดขนุนด้วยเอนไซม์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าการย่อยซังขนุนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ความเข้มข้น 0.004% ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส pH 5.0 เป็นเวลา 240 นาที ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิคซ์สูงสุดที่ 6.3 กรัมต่อลิตร ในขณะที่เมล็ดขนุนย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส 200 ไมโครลิตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส pH 6.0 เป็นเวลา 180 นาที และย่อยด้วยเอนไซม์กลูโคแอมิเลส 400 ไมโครลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส pH 4.5 เป็นเวลา 360 นาที จึงได้น้ำตาลรีดิคซ์สูงสุด ที่ประมาณ 15 กรัมต่อลิตร ปริมาณเมล็ดขนุนที่เหมาะสมในการเกิดน้ำตาลรีดิคซ์สูงสุด คือ 60 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ได้น้ำตาลรีดิคซ์ 50.276 กรัมต่อลิตร เมื่อนำซังขนุน และเมล็ดขนุนที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ไปหมักด้วยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5049 ร้อยละ 4 ทำให้ได้ปริมาณเอทานอล 10.4 และ 11.4% ตามลำดับ ต่อมาใช้ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ร้อยละ 10 เปลี่ยนเอทานอลที่ได้จากซังขนุนและเมล็ดขนุนให้เป็นกรดแอซิติกใน 7 วัน พบว่าได้กรด 4.5 และ 5.2% ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำส้มสายชูหมักที่ได้ พบว่ามีปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่สูง รวมถึงยังพบวิตามินซีและฤทธิ์การต้าน

อนุมูลอิสระจึงพัฒนาเครื่องดื่มจากน้ำส้มสายชูหมัก ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าเครื่องดื่มน้ำผึ้งมีรสชาติ และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ส่วนการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อื่น พบว่าน้ำสัลดมีรสชาติ และความชอบโดยรวมสูงที่สุด มากกว่าซอสพริก และพริกน้ำส้ม

คำสำคัญ: น้ำส้มสายชู, ชังขุ่น, เมล็ดขุ่น

Abstract

Jackfruit rags and jackfruit seeds contain 19.77 and 38.26 % of carbohydrate, respectively. This was the main component which can be enzymatically digested into reducing sugar and used as a raw material for vinegar production. In this research, the jackfruit rags and jackfruit seeds were digested with enzymes at various concentrations. It was found that the digestion of the fibrous material of jackfruit with 0.004% cellulase at 50°C, pH 5.0 for 240 min gave the highest amount of reducing sugar at 6.3 g/l whilst the jackfruit seeds were digested with 200 µl of alpha-amylase at 90°C, pH 6.0 for 180 min and further reacted with 400 µl of glucoamylase at 60°C, pH 4.5 for 360 min provided maximum 15 g/l of reducing sugar. The optimal amount of jackfruit seeds for the highest reducing sugar production was 60 g/100 ml, in which released 50.276 g/l reducing sugar. The enzymatic digested rags and seeds were then fermented with 4% *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5049, the ethanol yield was 10.4 and 11.4%, respectively. Thereafter, 10% *Acetobacter aceti* TISTR 354 was utilized to convert the ethanol to acetic acid. The amount of acetic acid derived from those of jackfruit rags and seeds within 7 days were 4.5 and 5.2%, respectively. The properties of the vinegar fermented from fibrous materials and seeds of jackfruit were analyzed. It was found that calcium and magnesium contents were high. In addition, it contained vitamin C and antioxidant activity. Therefore, a drink from such vinegar was developed. The sensory quality test showed that adding honey had the highest score of the overall acceptance. As for the development of other products, the salad dressing received the most acceptable on the taste and overall likeness when compared to chili sauce and pickled chili.

Keywords: jackfruit rags, jackfruit seed, vinegar

บทนำ

ชังขุ่น และเมล็ดขุ่นเป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปขุ่นอบแห้ง เมื่อกองทิ้งไว้จะมีแมลงวันแมลงหวี่ แมลงสาบ และหนูเข้ามากิน คีย์เขียวเป็นแหล่งรวมของสัตว์นำโรค และส่งกลิ่นเหม็น หากนำไปกำจัดให้ถูกต้องก็จะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ชังขุ่นเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ คือมี เซลลูโลส และเฮมิ

เซลลูโลส (Raj & Ranganathan, 2018) ที่สามารถย่อยสลายด้วยเอนไซม์ได้น้ำตาลรีดิคัลเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ส่วนเมล็ดขนุนประกอบด้วยแป้งประมาณร้อยละ 22 (Ulloa et al., 2017) สามารถย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์จนกระทั่งได้น้ำตาลรีดิคัลเช่นเดียวกัน น้ำตาลรีดิคัลสามารถนำไปเป็นสารตั้งต้นในการผลิตน้ำส้มสายชูหมักที่อาศัยกระบวนการหมักตามธรรมชาติ น้ำส้มสายชูเป็นผลิตภัณฑ์เติมแต่งรสชาติอาหาร และช่วยถนอมอาหาร รวมทั้งยังมีการบริโภคในรูปแบบของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เพื่อช่วยลดค่าดัชนีไกลซีมิก (Leeman et al., 2005) ช่วยลดระดับการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลกลูโคส และอินซูลินหลังการรับประทานอาหาร ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวาน (Johnston et al., 2004) ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดของหนูทดลอง (Fushimi et al., 2006) และมีผลต่อการลดน้ำหนักเนื่องจากช่วยลดความอยากอาหาร (Ostman et al., 2005)

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษานำซังขนุนไปผลิตเป็นกระดาษสำหรับงานประดิษฐ์ (Chulacupt, 2012) และเพิ่มใยอาหารในขนมทองม้วน (Chinchai, 1993) ขนมปัง เค้ก และคุกกี้ (Khadtao et al., 2001) เมล็ดขนุนนำมาทดแทนส่วนผสมในวัตถุดิบสำหรับการผลิตขนมหม้อแกง ไข่หงส์ ซาลาเปา ขนมเทียน นมถั่วเหลือง และขนมโค (Wong-arun, 2018) อย่างไรก็ตามแม้จะมีงานวิจัยเผยแพร่แต่ผลิตภัณฑ์ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลาย และไม่มีกรรมนำซังขนุนและเมล็ดขนุนมาใช้เป็นวัตถุดิบหลัก หรือพัฒนาต่อยอดในเชิงอุตสาหกรรม ผู้วิจัยจึงนำซังขนุนและเมล็ดขนุนซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปขนุนอบแห้งมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก และพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากน้ำส้มสายชูหมักให้ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในยุคปัจจุบัน เพื่อให้เกิดการนำไปใช้ประโยชน์ เพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้ง ลดปัญหาขยะมูลฝอยที่เป็นสาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อม

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของซังขนุน และเมล็ดขนุน

นำซังขนุนมาล้างทำความสะอาด หั่นให้มีขนาดเล็กลง บดละเอียดด้วยเครื่องตีปั่น (stomacher) สุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ความชื้น ตามวิธี AOAC (1990) ข้อ 930.15 โปรตีน ตามวิธี AOAC (1990) ข้อ 979.09 ไขมัน ตามวิธี AOAC (1990) ข้อ 920.39 เส้นใย ตามวิธี AOAC (2000) ข้อ 993.19 เถ้า ตามวิธี AOAC (1990) ข้อ 979.05 และคาร์โบไฮเดรตคำนวณจาก 100 หักออกจากผลรวมของเปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใย และเถ้า วัดค่าความเป็นกรด-เบส ด้วยเครื่อง pH meter (รุ่น Benchtop pH meter ของ Mettler Toledo, Switzerland) และของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) ด้วยเครื่อง Hand refractometer (รุ่น N1 ของ ATAGO, Japan) ในหน่วย °Brix

เมล็ดขนุนมาล้างทำความสะอาด ลอกเปลือกสีขาวออก แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปแช่ในกรดซิตริก ร้อยละ 5 เป็นเวลา 2 นาที ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อลอกเยื่อสีน้ำตาล ล้างด้วยน้ำสะอาด หั่นให้มีขนาดความหนา 2-2.5 มิลลิเมตร อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง (Noor et al.,

2014) บดด้วยเครื่องบด (blender) ร้อนผ่านตะแกรง 80 เมช บรรจุใส่ถุงพลาสติกปิดแน่น เก็บในตู้เย็นต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีเช่นเดียวกับซังขนุน

2. ศึกษาปริมาณเอนไซม์ในการย่อยซังขนุน และเมล็ดขนุน

2.1 การย่อยซังขนุนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส (Acellulase® 1500, Sigma-Aldrich: มีกิจกรรมของเอนไซม์เอนโดกลูคาเนส 2,200-2,800 UCMC ต่อกรัม และกิจกรรมเบต้ากลูโคซิเดส 450-775 UpNPG ต่อกรัม) นำซังขนุนมาล้างทำความสะอาด บดละเอียดด้วยเครื่องตีปั่น (stomacher) น้ำหนัก 1 กรัม เติมเอนไซม์เซลลูเลสความเข้มข้น (v/v) 0.001%, 0.002%, 0.004% และ 0.008% pH 5.0 บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60, 120, 180, 240 และ 300 นาที เมื่อครบเวลาแยกส่วนใสด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที นำส่วนใสไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี 3,5 Dinitrosalicylic acid (DNS) ของ Miller (1959)

2.2 การศึกษาการย่อยแป้งเมล็ดขนุน ด้วยเอนไซม์ 2 ชนิด คือ แอลฟา-แอมิเลส (α -amylase) และกลูโคแอมิเลส (glucoamylase)

การย่อยเมล็ดขนุนด้วยเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส (Sigma-Aldrich จาก *Bacillus licheniformis* มีกิจกรรมของเอนไซม์ 500 FAU/ml) ชั่งแป้งเมล็ดขนุน 20 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำ 100 มิลลิลิตร (200 กรัมต่อลิตร) ปรับ pH 6.0 ต้มในอ่างน้ำปรับอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เติมเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส ที่ 50, 100, 200 และ 400 ไมโครลิตรต่อ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 60, 120, 180 และ 240 นาที (Kongjindamunee, 2013) เมื่อครบเวลา หยุดปฏิกิริยาด้วยการลดอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเติมเอนไซม์กลูโคแอมิเลสที่ 100 ไมโครลิตรต่อ 100 มิลลิลิตร ปรับ pH 4.5 นาน 120 นาที เพื่อให้เกิดน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนวัดปริมาณตามวิธี DNS ของ Miller (1959)

การย่อยเมล็ดขนุนด้วยเอนไซม์กลูโคแอมิเลส (Sigma-Aldrich จาก *Aspergillus niger* มีกิจกรรมของเอนไซม์ 260 AGU/ml) นำเมล็ดขนุนที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส มาปรับ pH ให้เท่ากับ 4.5 เติมเอนไซม์กลูโคแอมิเลส 100, 200, 400 และ 800 ไมโครลิตรต่อ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ปริมาณเอนไซม์ละ 3 ซ้ำ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 120, 240, 360 และ 480 นาที วัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ตามวิธี DNS ของ Miller (1959)

2.3 การศึกษาปริมาณแป้งเมล็ดขนุนที่ให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสสูงสุด

ชั่งแป้งเมล็ดขนุน 20, 40, 60 และ 80 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำ 100 มิลลิลิตร ปรับ pH 6.0 ต้มในอ่างน้ำ ปรับอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เติมเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส ในปริมาณและเวลาที่เหมาะสมในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เมื่อครบเวลา หยุดปฏิกิริยาด้วยการลดอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปรับ pH 4.5 เติมเอนไซม์กลูโคแอมิเลสในปริมาณและเวลาที่เหมาะสม วัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ตามวิธี DNS ของ Miller (1959)

3. ศึกษาปริมาณเชื้อและระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักเอทานอล

เตรียมกล้าเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5049 โดยใช้อาหาร yeast malt extract (YM broth) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เมื่อเย็นแล้ว ถ่ายเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5049 ที่เลี้ยงบน YM slant อายุ 18-24 ชั่วโมง 1 หลูป ลงในอาหาร บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปรับปริมาณเชื้อด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ให้ได้ OD₆₆₀ เท่ากับ 0.5 (Lapa, 2011)

นำซังขุ่น และเมล็ดขุ่นที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ มาปรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ให้เท่ากับ 20 องศาบริกซ์ ด้วยน้ำตาลทรายขาว (sucrose) ให้ความร้อน และปรับค่า pH เท่ากับ 5.0 ด้วยกรดแอสซิดิก ฆ่าเชื้อที่ 60 องศาเซลเซียส 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ในเย็น เติมกล้าเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5049 ปริมาณ 1%, 2%, 4% และ 8% ของน้ำหมัก บ่มในขวดรูปชมพู่ ปิดปากขวดด้วยจุกยาง เจาะรูด้านบนต่อสายยางลงในน้ำ เพื่อไม่ให้อากาศเข้า บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน เก็บตัวอย่างวันที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 วัดปริมาณเอทานอลโดยใช้ Portable Alcohol Refractometer (รุ่น THE01514 ของ YIERYI, China)

4. ศึกษาปริมาณเชื้อและระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักน้ำส้มสายชู

เตรียมกล้าเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 โดยใช้อาหาร glucose yeast extract (GYE broth) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เมื่อเย็นแล้ว ถ่ายเชื้อ *A. aceti* TISTR 354 ที่เลี้ยงบน GYE slant อายุ 24-48 ชั่วโมง 1 หลูป ลงในอาหาร บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ปรับปริมาณเชื้อด้วยน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ให้ได้ OD₅₄₀ เท่ากับ 0.5 (Lapa, 2011)

นำน้ำส่วนใสจากการหมักซังขุ่น และเมล็ดขุ่นที่มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 โดยปริมาตร ค่า pH ให้เท่ากับ 5.5 เติมกล้าเชื้อ *A. aceti* TISTR 354 ปริมาตรร้อยละ 2.5, 5.0, 10.0 และ 20.0 โดยปริมาตร (Morakul, 2002) บ่มในขวดรูปชมพู่ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 11 วัน เก็บตัวอย่างวันที่ 3, 5, 7, 9 และ 11 วัดปริมาณกรดแอสซิดิกตามวิธีการของ AOAC (2000) ข้อ 986.13

การเก็บน้ำส้มสายชูหมัก ทำโดยนำน้ำส้มสายชูที่ได้มากรองใส่ขวดแก้วที่ผ่านการฆ่าเชื้อ แล้วให้ความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เพื่อใช้สำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

5. การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำส้มสายชูหมัก

วัดค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter (รุ่น Hunterlab Miniscan EZ4500L ของ Hunterlab, USA.) และส่งวิเคราะห์ปริมาณแก้ว ตรวจฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียม ที่ห้องปฏิบัติการสถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

6. การพัฒนาสูตรน้ำส้มสายชูหมักพร้อมดื่มและผลิตภัณฑ์จากน้ำส้มสายชูหมัก

6.1 การพัฒนาสูตรน้ำส้มสายชูหมักพร้อมดื่ม

นำน้ำส้มสายชูหมักจากซังขนุน และเมล็ดขนุนมาปรับปรุงรสชาติให้เป็นเครื่องดื่มด้วยการเติมน้ำผึ้ง น้ำผลไม้ และ โซดา แล้วเพิ่มรสชาติด้วยการใส่น้ำแข็งเกล็ด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. สูตรน้ำส้มสายชูหมักพร้อมดื่ม

สูตร	ปริมาณส่วนผสม (มิลลิลิตร)						
	น้ำส้มสายชู	น้ำผึ้ง (เวชพงศ์)	น้ำอุ่น	โซดา	น้ำทับทิม (ทิปโก้) 100%	น้ำเสาวรส (คอยคำ) 50%	น้ำเชื่อม (มิตรผล) (มิตรผล)
1	5	20	50	100			
2	5				100		
3	5					100	10

6.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักจากซังขนุน และเมล็ดขนุน ได้แก่ น้ำสลัด พริกน้ำส้ม และซอสพริก มีสูตรดังนี้

6.2.1 น้ำสลัดใส ใช้ น้ำส้มสายชู 3 ช้อนโต๊ะ มัสตาร์ด 1 ช้อนโต๊ะ น้ำตาล 1/4 ช้อนชา เกลือ 1/2 ช้อนชา หอมแดงสับละเอียด 1/2 ช้อนชา น้ำมันมะกอก 1/4 ถ้วย พริกไทยดำ 1/4 ช้อนชา และน้ำมันงาสด 1 ช้อนโต๊ะ ผสมทั้งหมดให้เข้ากัน ปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่น

6.2.2 ซอสพริก เตรียมพริกชี้ฟ้า 1/2 กิโลกรัม พริกแห้ง 1 กำมือ น้ำส้มสายชู เกลือ 1 ช้อนโต๊ะ น้ำตาล 3 ถ้วย กระเทียมสดปอกเปลือก 1 หัว น้ำกระเทียมดอง 1 ถ้วย ล้างพริกให้สะอาดสะเด็ดน้ำให้หมดหั่นเป็นท่อนสั้น ๆ ใส่กระเทียมปอกเปลือก พริกแห้ง เติมน้ำส้มสายชูให้ท่วมพริก และน้ำกระเทียมดอง ต้มจนกระเทียมนิ่ม แล้วนำวัตถุดิบทั้งหมดมาใส่เครื่องปั่น ๆ จนเนียนละเอียด และกรองเอากากออก ใส่หม้อต้มจนเดือด ค่อยหรี่ไฟลง ปรับรสด้วยเกลือ ผงยี่ห่า น้ำตาล

6.2.3 พริกน้ำส้ม เตรียมพริกชี้ฟ้าแดง 1 ถ้วยตวง น้ำส้มสายชู 1/2 ถ้วยตวง น้ำตาล 1 ช้อนโต๊ะ เกลือ 1/2 ช้อนชา หั่นพริกเป็นตามขวางหนา 0.3 มิลลิเมตร เติมน้ำส้มสายชู เติมน้ำตาลและเกลือ

6.3 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม โดยวิธี hedonic scaling (Anprung, 2008) ลำดับคะแนนตามความชอบ 1-5 คะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบที่สุด 2 หมายถึง ไม่ชอบ 3 หมายถึง

พอใช้ 4 หมายถึง ชอบ และ 5 หมายถึง ชอบมากที่สุด โดยให้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ชิมจากตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่แบ่งให้ในถ้วยก่อนให้คะแนนในแบบสอบถาม

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการหาค่าความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของซังขนุน และเมล็ดขนุน และการวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 3 ซ้ำ ส่วนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสใช้วิธี Duncan และเปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูหมักจากซังและเมล็ดขนุนด้วย unpaired t-test

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของซังขนุน และเมล็ดขนุน

ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถา คาร์โบไฮเดรต ค่าความเป็นกรด-เบส และของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) ของซังขนุน และเมล็ดขนุนพันธุ์ทองประเสริฐ ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของซังขนุนและเมล็ดขนุน

ลักษณะทางกายภาพและเคมี	วัตถุดิบ	
	ซังขนุน	เมล็ดขนุน
ความชื้น (%)	76.23 ±0.81	53.68 ±0.39
โปรตีน (%)	1.47 ±0.07	5.21 ±0.03
ไขมัน (%)	0.32 ±0.03	0.22 ±0.01
เส้นใย (%)	1.46 ±0.07	1.35 ±0.03
เถา (%)	0.75 ±0.06	1.28 ±0.02
คาร์โบไฮเดรต (%)	19.77 ±0.57	38.26 ±0.41
ค่าความเป็นกรด-เบส	4.75 ±0.1	4.75 ±0.03
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	0.33 ±0.29	0 ±0.0

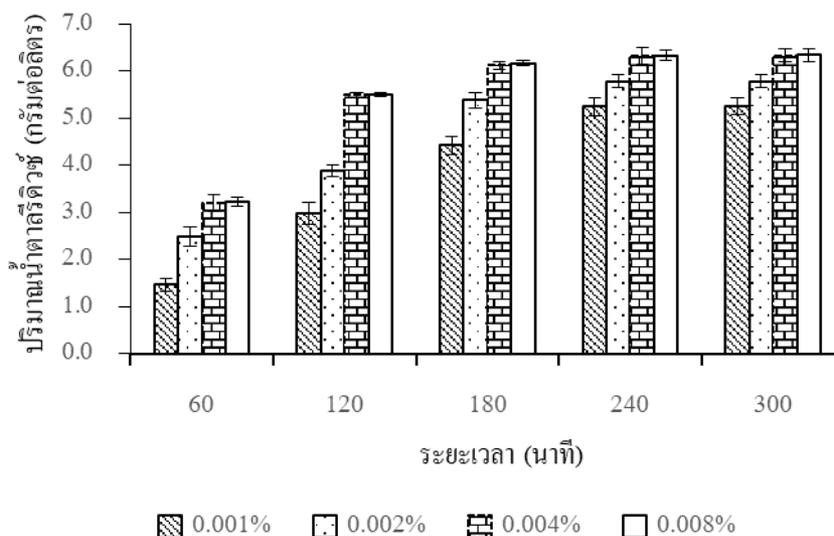
ทั้งซังขนุนและเมล็ดขนุนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดปริมาณน้อยคือไม่ถึง 0.5 °Brix จึงไม่เหมาะต่อการนำไปเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตน้ำส้มสายชู แต่ซังขนุน และเมล็ดขนุนมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง 19.77% ±0.57 และ 38.26% ±0.41 ตามลำดับ เมื่อย่อยด้วยเอนไซม์ให้ได้น้ำตาลกลูโคส สามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ในการหมักน้ำส้มสายชู คาร์โบไฮเดรตในเมล็ดขนุนนี้มีค่าใกล้เคียงกับเมล็ดขนุนจากกลุ่มวิจัย SMEs-OTOP มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่นำมาผลิตเอทานอลมีค่า 36.38% (Lolharat et

al, 2011) ชั่งขุ่นพันธุ์ทองประเสริฐในการทดลองนี้มีค่าความชื้น ปริมาณเถ้า และคาร์โบไฮเดรตใกล้เคียงกับพันธุ์ทองสุคใจที่มีค่า 79.33%, 0.79% และ 18.13% ตามลำดับ แต่ปริมาณไขมัน 0.62% สูงกว่าพันธุ์ทองประเสริฐ (Thungchoho, 2012) ส่วนค่า pH 4.75 ±0.1 ใกล้เคียงกับขุ่นที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตกรดแลกติกที่มีค่า 4.7 ±0.02 (Nontha et al., 2016)

2. การย่อยขุ่น และเมล็ดขุ่นด้วยเอนไซม์

2.1 ผลการย่อยขุ่นด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

เมื่อทดลองย่อยขุ่นปริมาณ 1 กรัม ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 0.001%, 0.002%, 0.004% และ 0.008% เป็นเวลา 60, 120, 180, 240 และ 300 นาที ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ดังรูปที่ 1



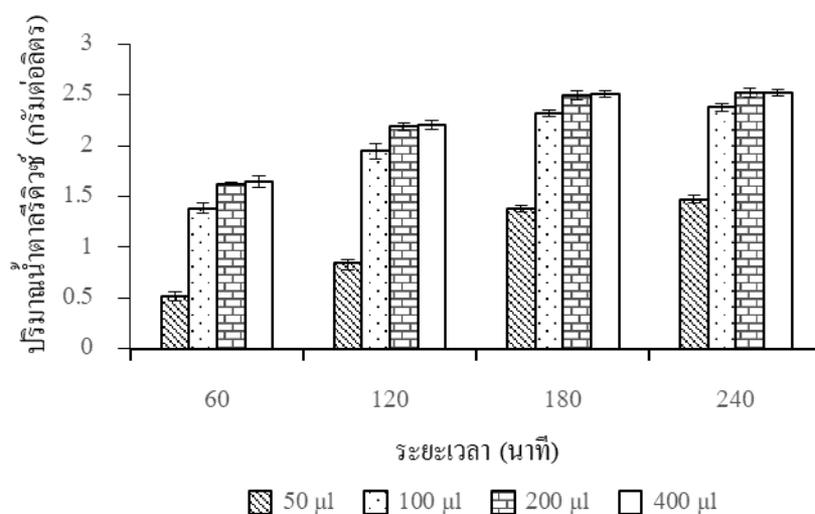
รูปที่ 1. ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยขุ่นด้วยเอนไซม์เซลลูเลสความเข้มข้น 0.001-0.008%

ความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสที่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P value < 0.05) คือ 0.004% และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นกว่านี้ก็ไม่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น ส่วนเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมอยู่ที่ 240 นาที ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่ที่ประมาณ 6.3 กรัมต่อลิตร เอนไซม์เซลลูเลสย่อยของค้ประกอบของผนังเซลล์พืช ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลลูโลส เมื่อผนังเซลล์พืชถูกทำลาย ของเหลวและสารประกอบต่างๆ ภายใน เช่น ของแข็งที่ละลายน้ำ พอลิแซ็กคาไรด์ แทนนิน และ โปรตีน ละลายออกมาได้มากขึ้น (Mehrländer et al., 2002) นอกจากนี้ยังส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงขึ้น เอนไซม์เซลลูเลสได้ถูกใช้ในการสกัดกล้วยหอมทองเพื่อผลิตไซรัป โดยใช้เอนไซม์เซลลูเลสที่ร้อยละ 0.13 และเอนไซม์เพคตินเนส ร้อยละ 0.06 ของเนื้อกล้วยบด (ปริมาตร/

น้ำหนัก) ให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูง 15.7% เมื่อต้มที่ 50 °C นาน 150 นาที (Phanyasawan, 2004) การใช้เอนไซม์เซลลูเลสในงานวิจัยดังกล่าวมีจุดประสงค์ในการผลิตน้ำไซรัปจากกล้วยหอมซึ่งได้มากถึง 75.22% ในขณะที่งานวิจัยนี้เพียงต้องการน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งใช้ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสต่ำกว่าถึง 32.5 เท่าและยังพบว่าการเพิ่มปริมาณมากกว่า 0.004% ไม่ทำให้น้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น

2.2 ผลการย่อยเมล็ดขนุนด้วยเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส และกลูโคแอมิเลส

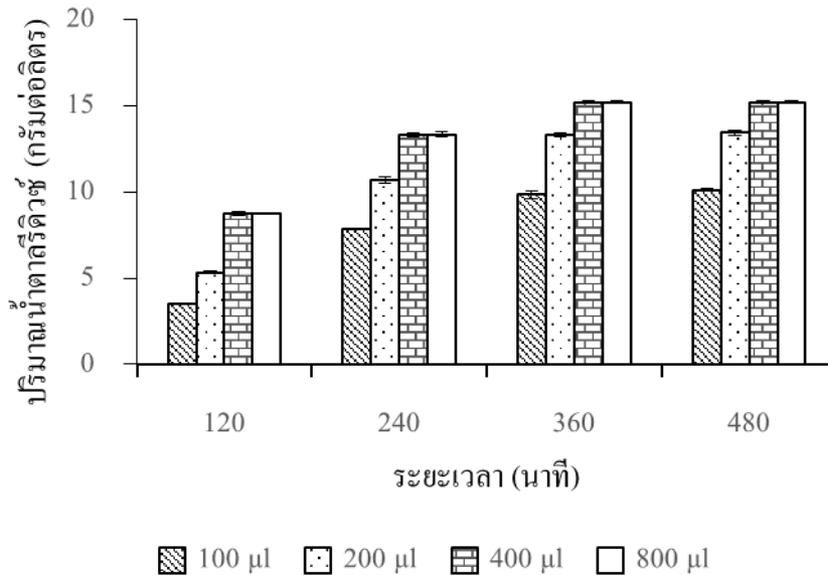
ในการย่อยแป้งเมล็ดขนุน 20 กรัม ด้วยเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส 50, 100, 200 และ 400 ไมโครลิตรต่อ 100 มิลลิตร เป็นเวลา 60, 120, 180 และ 240 นาที ได้ผลดังรูปที่ 2



รูปที่ 2. ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยเมล็ดขนุนด้วยเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส ความเข้มข้น 50-400 µl

การเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์และการเพิ่มระยะเวลาทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์มากกว่า 200 ไมโครลิตร และเวลาในการทำปฏิกิริยาเกินกว่า 180 นาที ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กลับไม่เพิ่มขึ้น โดยคงอยู่ที่ประมาณ 2.5 กรัมต่อลิตร (P value > 0.05) แอลฟา-แอมิเลสย่อยแป้งให้เป็น โอลิโกแซ็กคาไรด์ มีความจำเป็นต่อการสลายพันธะไกลโคซิดิกชนิดแอลฟา -1,4 (α -1,4) ในลักษณะตัดภายในสายพอลิเมอร์อย่างอิสระได้ผลผลิตเป็นกลูแคน (glucan) และแอลฟาลิมิตเดกซ์ทริน (alpha-limit dextrin) ที่มีหน่วยกลูโคสประมาณ 2-6 หน่วย ซึ่งยังได้น้ำตาลรีดิวซ์น้อย เนื่องจากยังมีโอลิโกแซ็กคาไรด์หลงเหลืออยู่มาก ดังนั้นจึงต้องนำมาย่อยเพิ่มเติมด้วยเอนไซม์กลูโคแอมิเลส (glucoamylase) ที่ย่อยสลายแป้งที่พันธะไกลโคซิดิกชนิดแอลฟา -1,4 (α -1,4) และพันธะไกลโคซิดิกชนิดแอลฟา -1,6 (α -1,6) ผลผลิตที่ได้ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลกลูโคส (Domingues & Peralta, 1993) ผลแสดงในรูปที่ 3 การเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์กลูโคแอมิเลสและการเพิ่มระยะเวลา ให้ผลไป

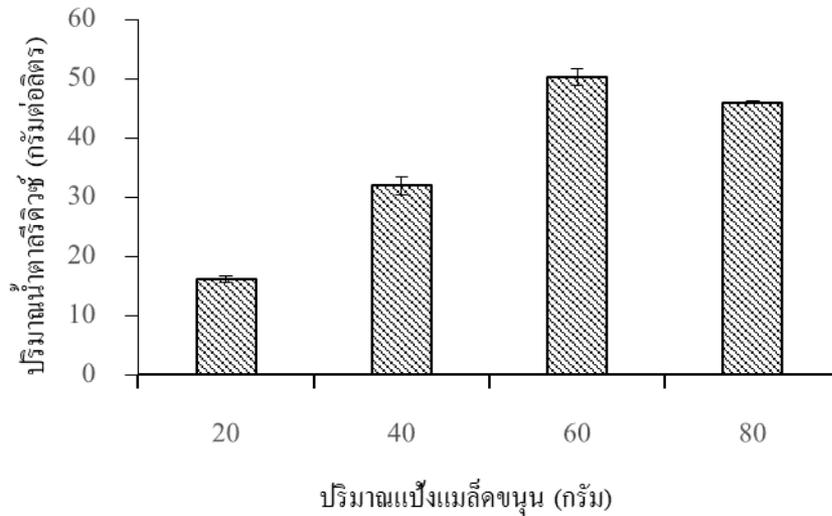
ในทางเดียวกับการใช้เอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส โดยค่าที่ให้น้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด (15 กรัมต่อลิตร) คือใช้เอนไซม์ 400 ไมโครลิตร ที่เวลา 360 นาที (P value < 0.05)



รูปที่ 3. ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยเมล็ดขนุนด้วยเอนไซม์กลูโคสแอมิเลสความเข้มข้น 100-800 μ l

2.3 การศึกษาปริมาณแป้งเมล็ดขนุนที่ให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสสูงสุด

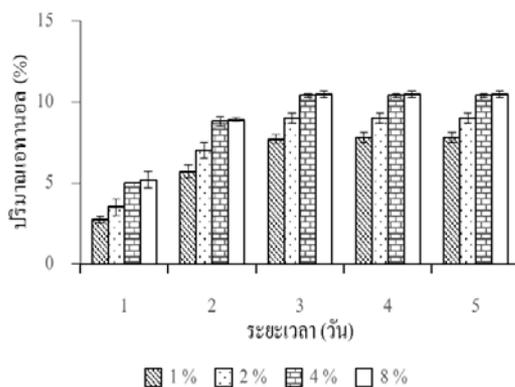
ผลการผันแปรปริมาณแป้งเมล็ดขนุนที่ 20, 40, 60 และ 80 กรัม ก่อนย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส ที่ 200 ไมโครลิตร ที่เวลา 180 นาที และกลูโคสแอมิเลส 400 ไมโครลิตร ที่เวลา 360 นาที ได้ผลดังรูปที่ 4 ปริมาณแป้งเมล็ดขนุนที่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด อยู่ที่ 60 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่ที่ 50.276 ± 1.418 กรัมต่อลิตร สูงกว่าที่ปริมาณแป้ง 80 กรัมต่อลิตร ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารตั้งต้น (แป้ง) มีปริมาณมาก ทำให้เอนไซม์เข้าไปย่อยและทำปฏิกิริยาได้ไม่ทั่วถึง จึงให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อยลง กรณีการเพิ่มสารตั้งต้นมากขึ้นแต่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์คงที่ มีรายงานการใช้เอนไซม์กลุ่มเดียวกันนี้ย่อยแป้งในเปลือกเผือก (Satchapong et al., 2018) นอกจากนี้แป้งเมล็ดขนุนมีปริมาณไขมัน และโปรตีนสูง โอกาสเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับแอมิเลสสูง ซึ่งจะยับยั้งการพองตัวและการละลาย ทำให้เอนไซม์ถูกขัดขวางไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นได้ (Thumthanaruk et al., 2012)



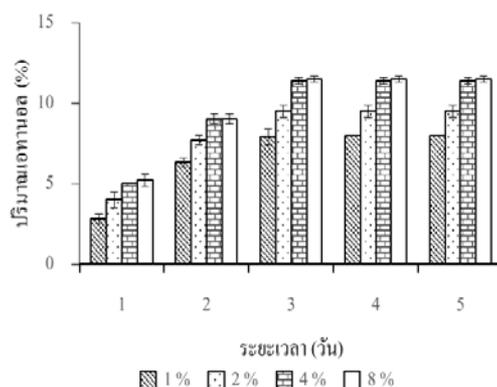
รูปที่ 4. ปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้จากการย่อยแป้งเมล็ดขนุนที่ปริมาณต่างกัน

3. การผลิตเอทานอลจากซังขนุนและเมล็ดขนุน

ผลการนำซังขนุนและเมล็ดขนุนที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสและกลูโคสแอมิเลสหมักด้วยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5049 ปริมาณ 1, 2, 4 และ 8% ของน้ำหมัก ได้ปริมาณเอทานอลดังรูปที่ 5 (ก) และ(ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 5. ปริมาณเอทานอลจากซังขนุน (ก) และเมล็ดขนุน (ข) ที่ปริมาณเชื้อ 1-8%

การหมักน้ำย่อยชังขุ่นและเมล็ดขุ่นด้วย *S. cerevisiae* TISTR 5049 เริ่มต้นร้อยละ 4 ให้ปริมาณเอทานอลสูงสุด ร้อยละ 10.4 และ 11.4 ตามลำดับ ในการผลิตเอทานอลจากแกนข้าวโพดเพื่อให้ผลผลิตเอทานอลสูงสุดจากการใช้ *S. cerevisiae* YSWC 2 ร้อยละ 2 และ Baker's yeast ร้อยละ 8 โดยมวลด (Kongjindamunee, 2013) การผลิตไวน์จากเนื้อขุ่นด้วย Baker's yeast ร้อยละ 0.5 (w/v) ให้เอทานอลสูงสุดร้อยละ 12.13 (v/v) (Kumoro et al., 2014) ปริมาณเชื้อเริ่มต้นแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบและสายพันธุ์ยีสต์ ระยะเวลาการหมักที่ให้ปริมาณเอทานอลสูงสุด และคงที่เป็นวันที่ 3 ของการหมัก แม้เวลาหมักเพิ่มขึ้นเป็น 4-5 วัน แต่ปริมาณเอทานอลเท่าเดิม ในทางทฤษฎีการหมักน้ำตาลให้เป็นเอทานอลแบบไม่ใช้ออกซิเจนด้วยเชื้อ *S. cerevisiae* เมื่อมีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 20% จะให้ปริมาณเอทานอล 10% ตามมวลโมเลกุลของ $C_6H_{12}O_6$ ที่เปลี่ยนเป็น $2C_2H_5OH + 2CO_2$ หากพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นนี้ จึงนับว่าปฏิกิริยาการหมักเกิดได้ค่อนข้างสมบูรณ์และพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้สุดท้ายเป็น 0 °Brix ยีสต์ *S. cerevisiae* ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการผลิตแอลกอฮอล์ ในการทำไวน์นิยมใช้น้ำตาลทรายซึ่งไม่ใช่ น้ำตาลรีดิวิซ์เป็นสารตั้งต้นในการหมัก งานวิจัยของ Kumkong et al. (2018) ใช้ *S. cerevisiae* TISTR 5019 หมักน้ำมะขามป้อมที่มีการปรับความหวานโดยใช้น้ำตาลทรายจนได้ 19-22 °Brix พบว่าหมักนาน 2 วัน จะได้เอทานอล 13-14 กรัมต่อลิตร หรือประมาณ 1.35% เมื่อเทียบกับงานวิจัยนี้ที่ใช้น้ำตาลรีดิวิซ์ในการหมักจะให้ปริมาณเอทานอลสูงกว่าเมื่อพิจารณาจากเวลาหมัก 2 วันเท่ากัน อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการหมักของยีสต์อาจถูกขัดขวางจากสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดที่อยู่ในมะขามป้อม เช่น tannin รวมทั้งพันธะเอสเทอร์ที่เกิดระหว่าง gallic acid และกลูโคส ก็ถูกกล่าวถึงว่ามีผลต่อการยับยั้งจุลินทรีย์เช่นกัน (Biradar et al., 2008) ซึ่งสารประกอบฟีนอลดังกล่าวไม่มีในเมล็ดและชังขุ่น

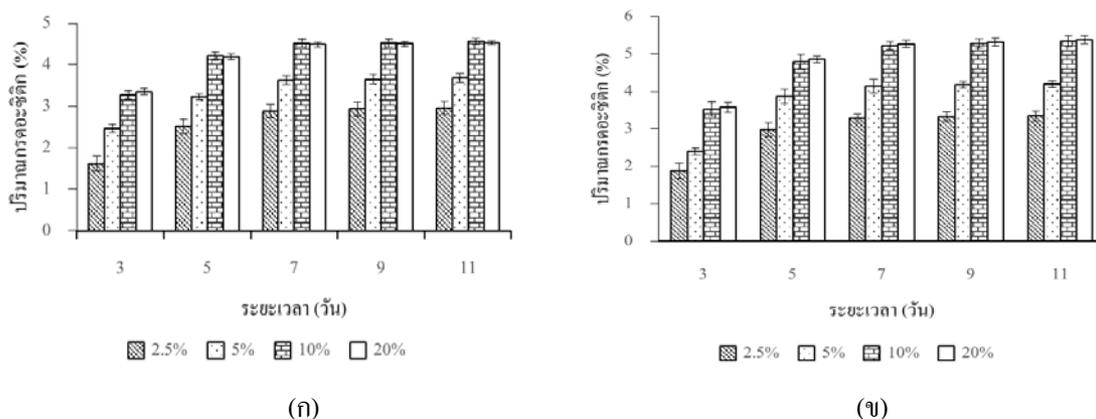
4. การศึกษาการหมักน้ำส้มสายชูจากชังขุ่น และเมล็ดขุ่น

เมื่อนำน้ำส่วนใสจากการหมักชังขุ่น และเมล็ดขุ่น มาหมักด้วยเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 ปริมาณร้อยละ 2.5, 5.0, 10.0 และ 20.0 โดยปริมาตร เป็นเวลา 11 วัน เก็บตัวอย่างเวลาต่าง ๆ เพื่อวัดปริมาณกรดแอซิดิก ได้ผลดังรูปที่ 6 (ก) และ (ข) กรดแอซิดิกเกิดจากการทำงานของแบคทีเรียกรดแอซิดิก (acetic acid bacteria) ที่เปลี่ยนเอทานอลให้เป็นกรดแอซิดิก ในสภาวะที่มีอากาศ (Riansa-ngawong, 2015) ปริมาณกรดแอซิดิกจากการหมักน้ำส้มสายชูขุ่นและเมล็ดขุ่นด้วย *A. aceti* TISTR 354 พบว่าเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 10 ให้ปริมาณกรดแอซิดิกสูงสุด ร้อยละ 4.5 และ 5.2 ตามลำดับ โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P value < 0.05) ตามมาตรฐานน้ำส้มสายชูของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปี 2552 กำหนดไว้ว่าน้ำส้มสายชูจะต้องมีกรดแอซิดิกเป็นองค์ประกอบอยู่อย่างน้อยร้อยละ 4 ในการทดลองนี้จึงเก็บตัวอย่างได้ในวันที่ 5

น้ำส้มสายชูหมักจากชังขุ่นและเมล็ดขุ่นนี้มีปริมาณกรดแอซิดิกมากกว่าการหมักผลไม้อื่นที่เคยมีรายงาน เช่น ทับทิมได้กรดร้อยละ 3.38 ± 0.03 (Ozturk et al., 2015) กล้วยน้ำว่าสุก ถึงสุกจัดได้กรดร้อยละ 0.91-3.77 (Chanthima et al., 2015) น้ำมะพร้าวได้กรดร้อยละ 4 (Othaman et al., 2014) และมะขามป้อมได้ปริมาณกรดแอซิดิกร้อยละ 4.11 (Thabloga et al., 2013) แต่น้ำส้มสายชูหมักจากผลไม้ก็ยังมีปริมาณกรดแอซิดิกน้อยกว่า

น้ำส้มสายชูหมักจากข้าว เช่น น้ำส้มสายชูหมักจากข้าวเหนียวค้ายี่ห้อไร้ทิพย์ และลิ้มผัว ให้ปริมาณกรดแอสติกร้อยละ 8.15 และ 5.49 ตามลำดับ (Boonsupa et al., 2017) ข้าวเหนียวค้ายี่ห้ออื่น ให้ปริมาณกรดแอสติกร้อยละ 5.48 (Lapa, 2011) และน้ำส้มสายชูหมักจากไวน์ข้าว *Oryza sativa* L. ให้กรดแอสติกร้อยละ 6.85 (Spinosa et al., 2015) นอกจากนี้ชนิดของวัตถุดิบแล้วอาจเกี่ยวข้องกับชนิดและสายพันธุ์แบคทีเรียที่ใช้ในการหมักที่ส่งผลให้ปริมาณและเวลาในการหมักให้ได้กรดแอสติกแตกต่างกัน Boonsupa et al. (2017) และ Kumkong et al. (2018) ใช้ *Acetobacter pasteurianus* ซึ่งใช้ระยะเวลาหมักนานมากกว่า 10 วัน ส่วน Othaman et al. (2014) ใช้ *A. aceti* เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ เมื่อพิจารณาจากปริมาณผลผลิตที่ได้และระยะเวลาการหมักแล้ว *A. aceti* TISTR 354 เมื่อใส่หัวเชื้อเริ่มต้นในปริมาณที่เหมาะสม (10%) ให้ปริมาณกรดน้ำส้มได้สูงตามมาตรฐานในเวลาเพียง 5 วัน จึงนับว่ามีประสิทธิภาพสูงในการใช้ผลิตกรดดังกล่าว

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำส้มสายชูหมักจากซังขนุนและเมล็ดขนุน ได้แก่ ปริมาณแอมโมเนีย ค่าสี ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียม แสดงดังตารางที่ 3



รูปที่ 6. ปริมาณกรดแอสติกจากซังขนุน (ก) และเมล็ดขนุน (ข) ที่ปริมาณเชื้อ 2.5-20%

Swami et al. (2012) ได้รายงานว่าซังขนุนมีปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมอยู่ 20-37 และ 27 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ส่วนเมล็ดขนุนมีปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมอยู่ 50 และ 54 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งทั้งสองเป็นแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยแคลเซียมเพิ่มความแข็งแรงของกระดูก แมกนีเซียมเสริมการดูดซึมแคลเซียม จากผลการวิเคราะห์ (ตารางที่ 2) พบว่าน้ำส้มสายชูหมักจากซังขนุนและเมล็ดขนุนยังคงมีองค์ประกอบแคลเซียม และแมกนีเซียมอยู่สูง โดยมีปริมาณแคลเซียม 35 และ 5 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ และแมกนีเซียม 5 และ 6 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบวิตามินซี และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในน้ำส้มสายชูหมักจากเมล็ดขนุนซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ

ตารางที่ 3. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำส้มสายชูหมักจากซังขนุนและเมล็ดขนุน

คุณสมบัติของน้ำส้มสายชูหมัก	ซังขนุน	เมล็ดขนุน
ปริมาณเถ้า (กรัม)	0.47	0.41
ค่าสี		
L*	30.24 ±0.11	27.47 ±0.11
a*	2.48 ±0.03	0.42 ±0.06
b*	10.16 ±0.07	11.55 ±0.10
การต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) (mgAA)	ไม่พบ	11.33
วิตามินซี (มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)	ไม่พบ	2
แคลเซียม (มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)	38	5
แมกนีเซียม (มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)	5	6

5. การพัฒนาสูตรเครื่องดื่มจากน้ำส้มสายชูหมักและผลิตภัณฑ์จากน้ำส้มสายชูหมัก

ผู้วิจัยได้ทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์จากน้ำส้มสายชูหมัก ได้แก่ น้ำส้มสายชูหมักพร้อมดื่ม น้ำสัสด พริกน้ำส้ม และซอสพริก และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยวิธี hedonic scaling ด้านสี กลิ่น รสชาติ และ ความชอบรวม ได้ผลดังตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4. ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูหมักพร้อมดื่ม

คุณลักษณะ	น้ำผึ้ง		น้ำทับทิม		น้ำเสาวรส	
	ซังขนุน	เมล็ดขนุน	ซังขนุน	เมล็ดขนุน	ซังขนุน	เมล็ดขนุน
ทางประสาทสัมผัส						
สี ^{ns}	3.17 ±0.63	3.37 ±0.61	3.30 ±0.62	3.53 ±0.65	3.57 ±0.83	3.63 ±0.64
กลิ่น	3.33 ±0.61 ^{abc}	3.40 ±0.69 ^{abc}	2.87 ±0.37 ^c	3.03 ±0.47 ^{bc}	3.47 ±0.65 ^{ab}	3.63 ±0.71 ^a
รสชาติ	4.57 ±1.41 ^a	4.40 ±1.12 ^a	3.20 ±0.54 ^c	3.37 ±0.60 ^{bc}	3.63 ±0.59 ^{bc}	3.77 ±0.68 ^b
ความชอบ	4.37 ±1.12 ^a	4.30 ±1.02 ^a	3.03 ±0.66 ^c	3.10 ±0.69 ^{bc}	3.47 ±0.66 ^{bc}	3.77 ±0.77 ^b
โดยรวม						

a-c: ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), $n = 30$

ns: ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบในแถวเดียวกัน ($p \geq 0.05$), $n = 30$

น้ำส้มสายชูหมักจากซังขนุนและเมล็ดขนุนสูตรเติมน้ำผึ้งมีรสชาติและความชอบโดยรวมสูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อยู่ระดับ 4 หมายถึง ชอบ น้ำส้มสายชูหมักจากเมล็ดขนุนสูตรเติมน้ำเสาวรสได้รับการยอมรับด้านกลิ่นมากที่สุด คะแนนอยู่ระดับ 3 หมายถึง พอใช้ ส่วนการยอมรับด้านสี ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 5. ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมัก

คุณลักษณะ	น้ำสลดไส		ซอสพริก		พริกน้ำส้ม	
	ซังขนุน	เมล็ดขนุน	ซังขนุน	เมล็ดขนุน	ซังขนุน	เมล็ดขนุน
ทางประสาทสัมผัส						
สี	^{ns} 3.37 ±0.87	3.07 ±0.64	^{ns} 3.40 ±0.52	3.83 ±1.05	^{ns} 1.30 ±0.36	1.43 ±0.41
กลิ่น	^{ns} 3.73 ±0.61	3.83 ±0.68	^{ns} 2.93 ±0.62	3.50 ±0.89	^{ns} 1.90 ±0.25	2.03 ±0.37
รสชาติ	^{ns} 4.10 ±1.00	4.07 ±0.87	^{ns} 3.97 ±0.84	4.13 ±0.90	^{ns} 2.57 ±0.74	2.63 ±0.65
ความชอบโดยรวม	^{ns} 4.50 ±1.24	4.33 ±1.05	^{ns} 3.87 ±0.73	4.00 ±0.81	^{ns} 1.67 ±0.58	1.70 ±0.61

ns: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์เดียวกันของซังขนุนและเมล็ดขนุนด้วย t-test, n = 30

ผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักที่มีความชอบโดยรวมเรียงจากมากไปน้อย คือ น้ำสลดไส ซอสพริก และพริกน้ำส้ม ตามลำดับ โดยน้ำสลดไสจากซังและเมล็ดขนุน และซอสพริกจากเมล็ดขนุนมีคะแนนอยู่ระดับ 4 หมายถึง ชอบ ส่วนพริกน้ำส้มจากซังและเมล็ดขนุนมีสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมคะแนนอยู่ระดับ 1-2 หมายถึง ไม่ชอบ เนื่องจากผู้ชิมเคยชินกับการใช้พริกน้ำส้มที่ขาวใส ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้จากซังขนุนมีสีเหลืองอ่อน ส่วนเมล็ดขนุนมีสีขาว และขุ่น

สรุปผลการทดลอง

ซังขนุน และเมล็ดขนุนสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำส้มสายชูหมักได้ เนื่องจากมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่สูง ในกระบวนการผลิตต้องนำซังขนุนมาข่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส และเมล็ดขนุนข่อยด้วยเอนไซม์เอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสและกลูโคแอมิเลส แล้วนำมาหมักด้วยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5049 ที่ปริมาณเชื้อร้อยละ 4 เป็นเวลา 3 วัน ให้เอทานอลประมาณร้อยละ 10 และหมักต่อด้วย *Acetobacter aceti* TISTR 354 ปริมาณเชื้อร้อยละ 10 ที่เวลา 7 วัน ให้ปริมาณกรดแอซิดิกสูงสุดของซังขนุนและเมล็ดขนุนอยู่ที่ร้อยละ

4.5 และ 5.2 ตามลำดับ น้ำส้มสายชูหมักจากซังขนุน และเมล็ดขนุนมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและวิตามินซี จึงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นเครื่องดื่มและผลิตภัณฑ์สุขภาพอื่นต่อไป ด้านการผลิตในเชิงการค้าสามารถทำได้เนื่องจากวัตถุดิบ คือ ซังขนุนและเมล็ดขนุนมีตลอดปี แต่การย่อยด้วยเอนไซม์เกรดิวีเคราะห์ ซึ่งมีราคาแพงทำให้ต้นทุนสูง ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน อาจต้องใช้เอนไซม์เกรดทางการค้า และจากงานวิจัยนี้ใช้ปริมาณเอนไซม์ไม่เกิน 1 % แต่ให้ผลการย่อยที่สมบูรณ์แทบไม่มีกากเหลือทิ้ง จึงนับว่ามีศักยภาพในการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเครือข่ายวิจัยเครือข่ายอุดมศึกษาภาคกลางตอนบน ประจำปีงบประมาณ 2561

เอกสารอ้างอิง

- Anprung, P. (2008). *The Principles of Sensory Simulation for Food Analysis* (2nd ed.). Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Printing House. (in Thai)
- AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis* (15th ed.). Washington, USA: The Association of official analytical chemists Inc.
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis* (17th ed.). Washington, USA: The Association of official analytical chemists Inc.
- Biradar, Y. S., Jagatap, S., Khandelwal, K. R. & Singhania, S. S. (2008). Exploring of antimicrobial activity of *Triphala mashi*—an Ayurvedic formulation. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 5(1), 107-113. doi:10.1093/ecam/nem002
- Boonsupa, W., Thongdonpriang, K. & Kaewmad, P. (2017). Chemical property, antioxidant activity and sensory evaluation of fermented vinegar from 2 type of black glutinous rice. *Science and Technology Nakhon-sawan Rajabhat University Journal*, 9(10), 69-78. (in Thai)
- Chanthima, N., Thaenthong, S. & Srisuworamas, B. (2015). Production and qualification analysis of vinegar from banana. *Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal*, 7(7) (Suppl.), 57-76. (in Thai)
- Chinchai, S. (1993). *Dried jackfruit fibrous supplementation in Khanhom Tongmuan as the dietary fiber*. (Master thesis) Department of Home Economics, Faculty of Home Economics, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

- Chulacupt, S. (2012). *Water repellency finishing of paper from jackfruit sepal for handicraft*. (Master thesis) Program of Home Economics Technology, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of technology Thanyaburi, Phatumthani. (in Thai)
- Domingues, C. M. & Peralta, R. M. (1993). Production of amylase by soil fungi and partial biochemical characterization of amylase of selected strain (*Aspergillus fumigates* Fresennius). *Canadian Journal of Microbiology*, 39(7), 681-685. <https://doi.org/10.1139/m93-098>
- Fushimi, T., Suruga, K., Oshima Y., Fukiharu, M., Tsukamoto, Y. & Goda, T. (2006). Dietary acetic acid reduces serum cholesterol and triacylglycerols in rats fed a cholesterol-rich diet. *British Journal of Nutrition*, 95(5), 916-924. <https://doi.org/10.1079/BJN20061740>
- Johnston, C., Kim, C. & Buller, A. (2004). Vinegar improves insulin sensitivity to a high carbohydrate meal in subjects with insulin resistance or type 2 diabetes mellitus. *Diabetes Care*, 27(1), 281-282. <https://doi.org/10.2337/diacare.27.1.281>.
- Khadao, C., Traipinetch, P. & Hwangrak, K. (2001). Fortification of jackfruit sepal powder in bread cake and cookie. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 19(1), 17-25.
- Kongjindamunee, W. (2013). *Ethanol production from corncob* (Master thesis) Department of chemical engineering, Faculty of engineering, Prince of Songkla University, Hatyai. (in Thai)
- Kumkong, N., Vatanyoopaisarn, S., Banjongsinsiri, P. & Donrong, N. (2018). Development of vinegar drink from fermented Indian gooseberry. *The Journal of KMUTNB*, 28(1), 163-174. (in Thai)
- Kumoro, A. C., Sari, D. R., Pinandita, A. P. P., Retnowati, D. S. & Budiayati, C. S. (2012). Preparation of wine from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* lam) juice using baker yeast: effect of yeast and initial sugar concentrations. *World Applied Sciences Journal*, 16 (9), 1262-1268.
- Lapa, P. (2011). *Development of fermented vinegar from black glutinous brown rice* (Master thesis) Department of product development, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Leeman, M., Ostman, E. & Bjorck, I. (2005). Vinegar dressing and cold storage of potatoes lowers postprandial glycemic and insulinaemic responses in healthy subjects. *European Journal of Clinical Nutrition*, 59, 1266-1271.
- Lolharat, B., Chongkhong, S. & Chetpattananondh, P. (2011). Comparative study of the jackfruit seed and the prebiotic extracted jackfruit seed for ethanol production. *Agricultural Science Journal*, 42(1) (Suppl.), 675-678. (in Thai)

- Mehrländer, K., Dietrich, H., Sembries, S., Dongowski, G. & Will, F. (2002). Structural characterization of oligosaccharides and polysaccharides from apple juices produced by enzymatic pomace liquefaction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(5), 1230-1236.
- Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31, 426-428. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ac60147a03>
- Morakul, S. (2002). *Process development in rice wine production* (Master thesis) Department of product development, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Nontha, S., Ohthong, S. & Shamchoice, N. (2016). Lactic acid production from fruit waste fermentation. *HCU Journal of Health Science*, 20(39), 1-14. (in Thai)
- Noor, F., Rahman, J., Mahomud, S., Akter, S., Talukder, A. I. & Ahmed, M. (2014). Physicochemical properties of flour and extraction of starch from jackfruit seed. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(4), 347-354. doi: 10.11648/j.ijnfs.20140304.27
- Ostman, E., Granfeldt, Y., Persson, L. & Bjorck, I. (2005). Vinegar supplementation lowers glucose and insulin responses and increases satiety after a bread meal in healthy subjects. *European Journal of Clinical Nutrition*, 59(9), 983-988. doi: 10.1038/sj.ejcn.1602197
- Othaman, M. A., Sharifudin, S. A., Mansor, A., Kahar, A. A. & Long, K. (2014). Coconut water vinegar: new alternative with improved processing technique. *Journal of Engineering Science and Technology*, 9(3), 293-302.
- Ozturk, I., Caliskan, O., Tornuk, F., Ozcan, N., Yalcin, H., Baslar, M. et al. (2015). Antioxidant, antimicrobial, mineral, volatile, physicochemical and microbiological characteristics of traditional home-made Turkish vinegars. *LWT-Food Science and Technology*, 63, 144-151. doi: 10.1016/j.lwt. 2015.03.003.
- Phanyasawan, C. (2004). Development of concentrated syrup from banana (*Musa acuminata* 'Gross Michel') by using enzyme. (Master thesis) Department of product development, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Raj, A. A. S. & Ranganathan, T. V. (2018). Characterization of cellulose from jackfruit (*Artocarpus integer*) peel. *Journal of Pharmacy Research*, 12(3), 311-315.
- Riansa-ngawong, W. & Tipkanon, S. (2015). Development of golden rice wine by rice husk. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 43(4), 613-622. (in Thai)

- Satchapong, S., Suthisarnsak, A., Theabpoo, O., Sanguanchaipaiwong, V. (2018). Enzymatic hydrolysis of taro peel skin for *Clostridium acetobutylicum* cultivation DSM 792. *Journal of Science Ladkrabang*, 27(1), 55-66. (in Thai)
- Spinosa, W. A., Santos Junior, V., Galvan, D., Fiorio, J. L. & Gomez, R. J. H. C. (2015). Vinegar rice (*Oryza sativa* L.) produced by a submerged fermentation process from alcoholic fermented rice. *Food Science and Technology (Campinas)*, 35(1), 196-201. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6605>.
- Swami, S. B., Thakor, N. J., Haldankar, P. M. & Kalse, S. B. (2012). Jackfruit and its many functional components as related to human health: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11, 565-576. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00210>.
- Thabloga, W., Penrum, J. & Yaibua, N. (2013). *Effect of alcohol concentrations and aeration conditions on vitamin c contents and fermented Makhampom vinegar production*. pp. 439-446. In The 51st Kasetsart University Annual Conference: Agricultural Extension and Home Economics, Agro-Industry, 5-6 February 2013, Faculty of Agro-Industry, Department of Food Science and Technology, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Thumthanaruk, B., Silapruang, S. & Aeimsard, R. (2012). Glucose syrup produced from jackfruit seed flour and tapioca starch. *Agricultural Science Journal*, 43(2) (Suppl.), 149-152. (in Thai)
- Thungchoho, K. (2012). *Evaluation of the resistance to digestion in simulated upper gut condition* (Master thesis) Department of science in food service and technology, Faculty of science, Prince of Songkla University, Hatyai. (in Thai)
- Ulloa, J.A., Barbosa, M. C. V., Vazquez, J. A. R., Ulloa, P. R., Ramirez, J. C. R., Carrillo, Y. S., & et al. (2017). Production, physico-chemical and functional characterization of a protein isolate from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) seeds. *CYTA-Journal of Food*, 15(4), 497-507. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1301554>.
- Wong-arun, W. (2018). Added value of household waste: jackfruit seeds. *WMS Journal of Management*, 7 (special issue), 43-53. (in Thai)