วารสารแก่นเกษตร
THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj



การศึกษาปริมาณเพคตินในน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยน้ำว้า (*Musa sapientum* L.) ที่ระยะสุกแก่ต่าง ๆ

Study on the amount of pectin in fermented vinegar from banana (*Musa sapientum* L.) peel at various ripening stages

กฤตพร รำจวนเกียรติ[1]*

Kittaporn Rumjuankiat[1]*

[1] *วิทยาลัยนวัตกรรมเกษตรและเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยรังสิต ต.หลักหก อ.เมืองฯ จ.ปทุมธานี 12000*
[1] *College of Agricultural Innovation and Food, Rangsit University, Lak Hok, Mueang Pathum Thani District, Pathum Thani 12000*

บทคัดย่อ: วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาปริมาณเพคตินในการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยน้ำว้า และศึกษาการหมักน้ำส้มสายชูของกล้วยน้ำว้าในระยะการสุกที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เพื่อเพิ่มมูลค่าของเปลือกกล้วยน้ำว้า นอกจากนี้ได้วิเคราะห์ปริมาณเพคตินในน้ำส้มสายชูที่หมักได้ โดยเปรียบเทียบกับน้ำส้มสายชูหมักจากแอปเปิ้ลที่มีจำหน่ายในท้องตลาด จากการหมักเปลือกกล้วยที่ 3 ระยะ ได้แก่ ระยะเขียว ระยะเหลืองมากกว่าเขียว และระยะมีจุดดำ โดยเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 5918 พบว่า สามารถผลิตกรดอะซิติกเฉลี่ยเท่ากับ 7.33%, 7.57% และ 6.91% ตามลำดับ โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อนำน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยทั้ง 3 ระยะมาสกัดเพคติน พบว่าปริมาณเพคตินที่ได้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.42 ± 0.03, 0.58 ± 0.02 และ 0.43 ± 0.18 กรัม (0.18%,0.24% และ 0.18% w/v) ตามลำดับ ซึ่งปริมาณเพคตินของน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยระยะเหลืองมากกว่าเขียวนั้นมีปริมาณสูงสุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำส้มสายชูหมักแอปเปิ้ลทางการค้าจำนวน 2 ยี่ห้อ ซึ่งมีค่าเพคตินเฉลี่ย เท่ากับ 0.34 กรัม (0.14% w/v) อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยนี้ พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 326/2547 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547)
คำสำคัญ: น้ำส้มสายชูหมัก; เปลือกกล้วย; เพคติน

ABSTRACT: The purpose of this research was to study on pectin content of the fermented vinegar production from agricultural waste, cultivated banana (*Musa sapientum* L.) peel, at various ripening stages of banana for value addition. Furthermore, the amount of pectin was also analyzed and compared with commercial apple vinegar products. The three ripening stages of banana peel, consisted of totally green, more yellow than green and yellow with dark spots, were fermented by *Acetobacter aceti* TISTR354. The yields of acetic acid were 7.33%, 7.57% and 6.91%, respectively, which were reported as no statistically difference. Subsequently, pectin was extracted from each fermented vinegar, produced from three ripening stages of banana peel (green, more yellow than green and yellow with brown spots). The pectin contents were 0.42 ± 0.03, 0.58 ± 0.02 and 0.43 ± 0.18 g (0.18%, 0.24% and 0.18% w/v), respectively. The pectin content of banana peel (more yellow than green) vinegar showed the highest value and were significantly different ($P<0.05$) from the pectin of two commercial apple vinegar products with the value of 0.34 g (0.14% w/v). In addition, the analyzed properties of these fermented vinegar products from banana peel were found within standard range of Thai community products standard (TCPS).
Keywords: vinegar; banana peel; pectin

* Corresponding author: kittaporn.r@rsu.ac.th
Received: date; November 23, 2021 Accepted: date; May 2, 2022 Published: date; June 30, 2022

บทนำ

ในอดีตน้ำส้มสายชูหมักมักถูกนำมาใช้เป็นเครื่องปรุงรสในการประกอบอาหารหรือใช้เป็นวัตถุกันเสีย ทำให้อาหารมีรสชาติดีและมีกลิ่นหอมกว่าน้ำส้มสายชูที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี นอกจากนี้น้ำส้มสายชูหมักยังเป็นเครื่องดื่มที่นิยมบริโภคในหมู่คนรักสุขภาพในปัจจุบัน เนื่องจากมีประโยชน์หลายด้าน เช่น ช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยโรคเบาหวาน (Johnston et al., 2004) ลดความอยากอาหารและควบคุมน้ำหนัก (Mermel, 2004) และป้องกันโรคมะเร็ง (Budak et al., 2014) เป็นต้น ในการหมักน้ำส้มสายชูนั้นมีทั้งหมด 2 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการหมักแอลกอฮอล์ (Alcoholic fermentation) และกระบวนการหมักกรดน้ำส้ม (Acetic fermentation) โดยที่การหมักน้ำส้มสายชูนั้นมักใช้วัตถุดิบประเภทแป้ง และน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ จากการศึกษารายงานการทดลองเกี่ยวกับการหมักน้ำส้มสายชูต่างๆ นั้นมักมีการใช้วัตถุดิบตั้งต้นที่มีความหลากหลาย อาทิ ข้าว น้ำส้ม ชา ข้าวโพด และอ้อย (Krusong et al., 2010; Zheng et al., 2010; Kaur et al., 2011; Kocher and Dhillon, 2013) โดยผลไม้นั้นจัดเป็นวัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตเป็นน้ำส้มสายชูหมัก อาทิ สับประรด แตงโม แอปริคอต กล้วย แอปเปิ้ล (Krusong and Vichitraka, 2010; Maal et al., 2010; Saha and Banerjee, 2013; Dabija and Hatnean, 2014; Chen et al., 2017) เป็นต้น ต่อมาพบว่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลายชนิด สามารถนำกลับมาใช้และเพิ่มมูลค่าโดยการหมักเป็นน้ำส้มสายชูได้ (Budak et al., 2014; Kulkarni, 2015) ตัวอย่างเช่น เปลือกลูกพลับ เปลือกสับประรด (Hwang et al., 2013; Roda et al., 2014) หรือเปลือกกล้วย (Miskiyah et al., 2016) เป็นต้น

กล้วยน้ำว้า (*Musa sapientum* L.) เป็นพืชล้มลุกที่อยู่ในสกุล *Musa* วงศ์ *Musaceae* สามารถพบได้ทุกภูมิภาคของประเทศไทย นิยมปลูกเพื่อนำมาประกอบอาหาร รับประทานผลสุก และแปรรูปขายตามท้องตลาดในรูปแบบของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยกล้วยน้ำว้าที่ผ่านกระบวนการแปรรูปทางอุตสาหกรรมนั้นจะมีเปลือกกล้วยเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีการนำไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย และอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม (Wilaipon, 2009) อย่างไรก็ตามมีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับเปลือกกล้วยว่าเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วย วิตามิน ไฟเบอร์ สารต้านอนุมูลอิสระ กรดอินทรีย์ เอนไซม์ สารกลุ่มโพลีแซคคาไรด์ เช่น เพคติน (pectin) เป็นต้น (Urias-Orona et al., 2010; Vu et al., 2018) ซึ่ง Khamsucharit et al. (2018) ได้รายงานผลการสกัดเพคตินจากเปลือกกล้วยชนิดต่างๆ จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ กล้วยไข่ (*Musa* (AA)) กล้วยเล็บมือนาง (*Musa* (AA)) กล้วยหอมทอง (*Musa* (AAA)) กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ (*Musa* (ABB)) และกล้วยหิน (*Musa* (ABB)) พบว่าเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกกล้วยเหล่านี้ด้วยกรดซิตริกมีปริมาณอยู่ในช่วงระหว่าง 15.89-24.08% ในขณะที่การทดลองของ Maneerat et al. (2017) ได้ทำการศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกกล้วยน้ำว้าด้วยกรดไฮโดรคลอริก (pH 1.5) และน้ำ (pH 6.0) พบว่าเพคตินที่สกัดได้จากกรดและน้ำมีปริมาณในช่วง 7–11% และ 5-5.8% ตามลำดับ เพคติน จัดว่ามีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเพคตินเป็นเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) ที่ได้ทั่วไปจากผิวของพืชตระกูลส้ม กากแอปเปิ้ล และเปลือกกล้วย (Elleuch et al., 2011) เส้นใยประเภทนี้จะไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบการย่อยอาหารของมนุษย์ ด้วยเหตุนี้เพคตินจึงได้รับความสนใจจากผู้บริโภคและยังมีแนวโน้มใช้เป็นอาหารสุขภาพมากขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการนำเปลือกกล้วยมาใช้ประโยชน์โดยการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักน้ำส้มสายชูทดแทนผลแอปเปิ้ลที่มีราคาแพงซึ่งเป็นช่องทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้ง ลดต้นทุนในการผลิต รวมทั้งศึกษาปริมาณเพคตินที่เกิดขึ้นในน้ำส้มสายชูที่หมักจากเปลือกกล้วยน้ำว้าทั้ง 3 ระยะ

วิธีการศึกษา

การเตรียมวัตถุดิบ

เตรียมเปลือกกล้วยน้ำว้า (*Musa sapientum* L.) จากกล้วยที่มีระยะสุกแก่ต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ระยะเขียว ระยะเหลืองมากกว่าเขียว และระยะมีจุดดำ และกล้วยต้องมีลักษณะทรงกลมรี ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ลักษณะเปลือกกล้วยจะต้องเรียบลื่น สีมีความสม่ำเสมอ ไม่มีร่องรอยการกัดแทะของสัตว์หรือมีการเน่าเสีย ซึ่งกล้วยทั้ง 3 ระยะนี้หาซื้อได้จากตลาดสี่มุมเมือง อำเมืองปทุมธานี

จังหวัดปทุมธานี โดยเลือกซื้อจากร้านค้าที่รับกล้วยมาจากสวนเดียวกัน นำกล้วยมาปอกเปลือกแล้วทำความสะอาดโดยการล้างด้วยน้ำเปล่าจำนวน 3 ครั้ง จากนั้นหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาด 1 ตารางเซนติเมตร ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:2 โดยมวลต่อปริมาตร ต้มให้เดือดนาน 10 นาที แล้วนำมาปั่น กรองแยกกากด้วยผ้าขาวบาง นำตัวอย่างน้ำที่แยกกากไปต้มให้เดือดนาน 5 นาที อีกครั้ง วัดค่าความหวานเริ่มต้นแล้วปรับความหวานด้วยน้ำตาลทรายให้ได้ค่าเท่ากับ 24.0°Brix โดยใช้ Hand refractometer (ATAGO, Japan) จากนั้นวัดค่า pH เริ่มต้น บรรจุลงในขวดโหลแก้วที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วในขณะที่ตัวอย่างยังร้อนให้มีปริมาตรเท่ากับ 3 ลิตร เมื่อบรรจุเสร็จให้ทำการปิดฝา เตรียมตัวอย่างน้ำเปลือกกล้วยในแต่ละระยะจำนวน 3 ซ้ำ แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

การหมักแอลกอฮอล์

เติมกล้าเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5918 ที่เลี้ยงในอาหาร Yeast malt broth (YMB; Himedia, India) โดยให้มีปริมาณกล้าเชื้อเริ่มต้นที่ 10^8 CFU/มล. ลงสู่ขวดโหลแก้วที่มีน้ำเปลือกกล้วยแต่ละระยะ 10% โดยปริมาตร ปิดฝาด้วยสำลีที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว บ่มที่อุณหภูมิห้อง 14 วัน (ดัดแปลงวิธีการจาก Saha and Banerjee, 2013) เก็บตัวอย่าง ทุก ๆ 2 วัน นำไปตรวจหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solids หรือ TSS; °Brix) และปริมาณแอลกอฮอล์ตามวิธีของวรรณภาและคณะ (2556) วัดค่าทั้งหมดจำนวน 3 ซ้ำต่อทรีทเมนต์ แล้วบันทึกผลการทดลอง

การหมักกรดน้ำส้ม

นำน้ำส่าที่ได้จากกระบวนการหมักแอลกอฮอล์บรรจุลงในถาดแก้วที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว จากนั้นเติมกล้าเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 โดยมีปริมาณกล้าเชื้อเริ่มต้นที่ 10^7 CFU/มล. หมักจนกว่าระดับกรดน้ำส้มไม่ต่ำกว่า 4.0% เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ปริมาณแอลกอฮอล์ที่วัดได้จะต้องไม่เกิน 0.5% ตามที่กำหนดไว้ในสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มผช. 326/2547) เก็บตัวอย่างทุก ๆ 3 วัน แล้ววัดค่าปริมาณแอลกอฮอล์ ค่า pH ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดอะซิติกโดยการไทเทรตตามวิธีการของ AOAC (1984)

การตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วย

ตรวจสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สี กลิ่นและการเกิดตะกอน ตรวจคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณกรดอะซิติกและแอลกอฮอล์ ตรวจคุณภาพทางชีววิทยา ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) ปริมาณยีสต์ รา และตรวจสารปนเปื้อนในน้ำส้มสายชูหมัก ได้แก่ สารหนู ตะกั่ว ทองแดง สังกะสีและเหล็ก (วิเคราะห์โดยสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน)

การศึกษาการสกัดเพคตินในกรดน้ำส้มที่หมักจากเปลือกกล้วยระยะต่าง ๆ

นำกรดน้ำส้มจากการหมักเปลือกกล้วยทั้ง 3 ระยะ ปริมาตร 300 มล. มาปรับค่า pH ด้วยสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH; Ajax Finechem, New Zeland) ความเข้มข้น 6 M ให้ได้ค่า pH เท่ากับ 7.0 จากนั้นดูดกรดน้ำส้มปริมาตร 240 มล. เจือจางด้วยสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 80 มล. พักไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 18-20 ชม. เติมกรดอะซิติกความเข้มข้น 1M ปริมาตร 40 มล. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้นาน 5 นาที เติมแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$; Schalua, Spain) ความเข้มข้น 1M ปริมาตร 40 มล. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้วนำไปต้มนาน 2-3 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (whatman™; GE Healthcare, UK) ล้างตะกอนบนกระดาษกรองด้วยน้ำเดือดจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°ซ นาน 2-6 ชม. (ดัดแปลงจาก บุญเลี้ยงและสุภาพร, 2540) จากนั้นชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกผลการทดลอง

การทดสอบทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของค่า pH, TSS, แอลกอฮอล์ และกรดอะซิติก ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์และการหมักกรดน้ำส้มจากเปลือกกล้วยทั้ง 3 ระยะ (ระยะดิบ ระยะเหลืองมากกว่าเขียว และระยะมีจุดดำ) รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณเพคตินที่สกัดได้จากกรดน้ำส้มที่หมักจากเปลือกกล้วยทั้ง 3 ระยะ โดยแต่ละทรีทเมนต์มีจำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนวิธี (Analysis of variance, ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

ด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 11.0 (SPSS Inc., Chicago, Ill., USA)

ผลการศึกษา และวิจารณ์

ผลการศึกษากระบวนการหมักแอลกอฮอล์และกระบวนการหมักกรดน้ำส้มจากเปลือกกล้วยที่ระยะสุกแก่ต่าง ๆ

จากการศึกษาค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) และปริมาณแอลกอฮอล์ ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ของเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะสุกแก่ต่าง ๆ (ระยะเขียว เหลืองมากกว่าเขียว และมีจุดดำ) พบว่า ค่า pH ที่วัดได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยตัวอย่างน้ำหมักจากเปลือกกล้วยระยะที่มีจุดดำมีค่า pH สูงถึง 4.20 ± 0.02 รองลงมาคือ น้ำหมักจากเปลือกกล้วยระยะเหลืองมากกว่าเขียวซึ่งมีค่า pH เท่ากับ 4.08 ± 0.01 และน้ำหมักเปลือกกล้วยจากระยะเขียวซึ่งมีค่า pH ต่ำที่สุด เท่ากับ 4.00 ± 0.01 ในขณะที่ค่า TSS ของน้ำหมักจากเปลือกกล้วยที่ระยะเหลืองมากกว่าเขียวมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 7.40 ± 0.00°Brix เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหมักจากเปลือกกล้วยระยะเขียวและมีจุดดำ พบว่าค่า TSS เท่ากับ 8.80 ± 0.35°Brix และ 8.60 ± 0.20°Brix ตามลำดับ โดยน้ำหมักจากเปลือกกล้วยทั้ง 2 ระยะนี้มีค่า TSS ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้ในกระบวนการหมักของเปลือกกล้วยระยะสุกแก่ต่าง ๆ พบว่า น้ำหมักจากเปลือกกล้วยระยะเขียวและมีจุดดำ มีค่าปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 12.07 ± 0.15% และ 12.07 ± 0.06% ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนน้ำหมักจากเปลือกกล้วยระยะเหลืองมากกว่าเขียว มีปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 11.47 ± 0.21% ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณแอลกฮอล์ในกระบวนการหมักของเปลือกกล้วยที่ระยะเขียวและมีจุดดำ นอกจากนี้ในกระบวนการหมักกรดน้ำส้ม พบว่าค่า pH ปริมาณกรดอะซิติกและแอลกอฮอล์ของน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยทั้ง 3 ระยะนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) แสดงดังใน **Table 1**

จากการศึกษากระบวนการหมักน้ำส้มสายชูจากเปลือกกล้วยที่ระยะเขียว ระยะเหลืองมากกว่าเขียวและระยะมีจุดดำ โดยผ่านกระบวนการหมักแอลกอฮอล์และการหมักกรดน้ำส้ม จากการทดลองพบว่าการหมักแอลกอฮอล์จากเปลือกกล้วยทั้ง 3 ระยะนี้ใช้เวลาในการหมักทั้งหมด 14 วัน ได้ปริมาณแอลกอฮอล์ประมาณ 12.07%, 11.47% และ 12.07% ตามลำดับ โดยค่า TSS (เริ่มต้นที่ 24°Brix) ลดลงจนเหลือค่าประมาณ 8.8%, 7.4% และ 8.6% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้นนั้นจะแปรผันแบบผกผันกับปริมาณของ TSS เนื่องจากยีสต์มีการผลิตเอนไซม์ Invertase ซึ่งจะทำหน้าที่ในการย่อยสลายโมเลกุลของน้ำตาลซูโครสให้กลายเป็นฟรุคโตสและกลูโคสเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน เมื่อกระบวนการหมักปริมาณแอลกอฮอล์ใกล้สิ้นสุด ปริมาณแอลกอฮอล์นั้นจะเริ่มคงที่และจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น (Walker and Stewart, 2016) อย่างไรก็ตามในระหว่างกระบวนการหมักนั้นค่า pH ลดลงเล็กน้อย เนื่องจากมีปริมาณกรดเพิ่มมากขึ้นซึ่งส่งผลให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของยีสต์และยังสามารถช่วยยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่เป็นสาเหตุการปนเปื้อนได้ (Solieri and Giudici, 2008) และจากกระบวนการหมักกรดน้ำส้มในครั้งนี้ การหมักโดยใช้เปลือกกล้วยระยะเขียว ระยะเหลืองมากกว่าเขียวและระยะมีจุดดำใช้ระยะเวลาในการหมักทั้งหมด 12, 18 และ 21 วัน ตามลำดับ โดยปริมาณกรดอะซิติกที่ได้นั้นมีค่าเท่ากับ 7.33%, 7.57% และ 6.91% ตามลำดับ ดังนั้นจากผลการทดลองกล่าวได้ว่าปริมาณกรดอะซิติกที่เพิ่มขึ้นในกระบวนการหมักจะแปรผกผันกับปริมาณแอลกอฮอล์ เนื่องจากแบคทีเรีย *A. aceti* สามารถออกซิไดซ์แอลกอฮอล์ให้กลายเป็นกรดอะซิติกได้ (Roda et al., 2017) จากการรายงานของวิลาวัลย์และคณะ (2560) ซึ่งได้ศึกษาการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากไวน์สับประรดที่มีปริมาณแอลกอฮอล์เข้มข้น 10% โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ *A. pasteurianus* ในการหมักเป็นเวลา 15 วัน ได้ปริมาณกรดเท่ากับ 3.09% นอกจากนี้ Sossou et al. (2009) ยังได้ศึกษาการหมักน้ำส้มสายชูจากเปลือกสับประรดที่มีการปรับความหวานเริ่มต้นเป็น 20°Brix สำหรับกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ และเมื่อผ่านกระบวนการหมักกรดน้ำส้ม พบว่ามีปริมาณกรดอะซิติกทั้งหมด 4.5% โดยใช้เวลาในการหมักทั้งหมดประมาณ 23-25 วัน

Table 1 The values and content of parameters on alcoholic and acetic fermentation from fermented banana peel vinegar production

Parameters	Ripening stages of banana peels		
	Green	more yellow than green	yellow with brown spots
Alcoholic fermentation			
pH	4.00 ± 0.01[a]	4.08 ± 0.01[b]	4.20 ± 0.02[c]
Total Soluble Solids (°Brix)	8.80 ± 0.35 [a]	7.40 ± 0.00 [b]	8.60 ± 0.20 [a]
Alcohol content (%)	12.07 ± 0.15[a]	11.47 ± 0.21 [b]	12.07 ± 0.06 [a]
Acetic fermentation			
pH	3.02 ± 0.01 [a]	3.04 ± 0.03 [a]	3.05 ± 0.02 [a]
Acetic acid content (%)	7.33 ± 0.29 [a]	7.57 ± 0.63 [a]	6.91 ± 0.39 [a]
Alcohol content (%)	0.00 ± 0.00 [a]	0.10 ± 0.10 [a]	0.07 ± 0.07 [a]

Values are expressed as the mean (n=3) ± standard deviation. Lower case letters show significant differences (P<0.05, DMRT) in the same row

ผลการศึกษาปริมาณการสกัดเพคตินจากน้ำส้มสายชูที่หมักจากเปลือกกล้วยระยะต่าง ๆ

จากการทดลองสกัดเพคตินจากน้ำส้มสายชูที่หมักจากเปลือกกล้วยที่ระยะสุกแก่ต่าง ๆ ทั้ง 3 ระยะ พบว่าปริมาณเพคตินที่ได้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.42 ± 0.03 , 0.58 ± 0.02 และ 0.43 ± 0.18 กรัม (น้ำหนักโดยปริมาตร) ตามลำดับ **(Table 2)** ในขณะที่ปริมาณเพคตินที่สกัดได้จากน้ำส้มสายชูหมักทางการค้า (กลุ่มควบคุม 1 และ 2) ซึ่งเป็นน้ำส้มสายชูหมักแอปเปิ้ลจำนวน 2 ยี่ห้อ มีค่าเฉลี่ยเพคตินเท่ากับ 0.34 ± 0.01 และ 0.34 ± 0.11 กรัม (น้ำหนักโดยปริมาตร) ตามลำดับ หากเปรียบเทียบปริมาณเพคตินแต่ละตัวอย่างจะเห็นได้ว่าปริมาณเพคตินของน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยทั้ง 3 ระยะนั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยระยะเหลืองมากกว่าเขียวและน้ำส้มสายชูหมักทางการค้าทั้ง 2 ยี่ ห้อ พบว่าปริมาณเพคตินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เปลือกกล้วยนอกจากจะมีสารต้านอนุมูลอิสระ (Kanazawa and Sakakibara, 2000; Someya et al., 2002) แร่ธาตุหรือน้ำตาลชนิดต่าง ๆแล้ว ยังพบว่ามีเส้นใยเพคตินปริมาณที่สูง (Jamal et al., 2012) ซึ่งปริมาณเพคตินที่พบในเปลือกกล้วยระยะสีเขียวมีประมาณ 2.7% ของน้ำหนักแห้ง ในขณะที่เปลือกกล้วยระยะสีเหลืองแต่ยังคงมีสีเขียวปนอยู่เล็กน้อย พบว่ามีปริมาณเพคตินประมาณ 4.1% ของน้ำหนักแห้ง ส่วนในเปลือกกล้วยระยะสีเหลือง มีจุดกระสีน้ำตาลกระจายนั้นมีปริมาณเพคตินอยู่ประมาณ 2.2% ของน้ำหนักแห้ง (Emaga et al., 2008) อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วในเปลือกของผักและผลไม้ จะพบเส้นใยเพคตินเป็นปริมาณมาก ในระหว่างที่ผลไม้สุก ซึ่งเอนไซม์ pectinase และเอนไซม์ pectin esterase จะทำการย่อยเพคติน ทำให้ผลไม้มีความอ่อนตัวลง (Srivastava and Malviya, 2011) จากการศึกษาของ Emaga et al. (2008) ซึ่งได้ศึกษาเกี่ยวกับระยะการสุกที่มีผลต่อส่วนประกอบของเส้นใยอาหารและการศึกษาลักษณะทางเคมีของ pectic polysaccharide ที่สกัดได้จากเปลือกกล้วย พบว่า ปริมาณเพคตินจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะการแก่ และจะลดลงเมื่อเปลือกกล้วยเริ่มสุกเหลืองจนถึงระยะเหลืองมีกระ ดำ เนื่องจากการเสื่อมสภาพของเพคตินอันเนื่องมาจากเอนไซม์ polygalacturonase, pectin methyl esterase และ pectate lysate สอดคล้องกับปริมาณเพคตินที่สกัดได้จากน้ำส้มสายชูที่หมักด้วยเปลือกกล้วยระยะเขียว เหลืองมากกว่าเขียวและระยะมีจุดดำ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยปริมาณเพคตินเท่ากับ 0.42, 0.58 และ 0.43 กรัม (น้ำหนักโดยปริมาตร) ตามลำดับ และหากเปรียบเทียบปริมาณเพคตินในน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยที่ระยะสุกแก่ต่าง ๆ กับน้ำส้มสายชูหมักแอปเปิ้ลทางการค้า พบว่าปริมาณเพคตินในน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยนั้นมีค่าสูงกว่าน้ำส้มสายชูหมักแอปเปิ้ลทางการค้าทั้ง 2 ยี่ห้อ สำหรับน้ำส้มสายชูหมักแอปเปิ้ลนั้นมักมีกรดอะซิติก polyphenols เพคติน และ carotenoids โดยมีกรดอะซิติกเป็นส่วนประกอบหลัก (Atik et al., 2016) จากการทดลองของ Anh and Ha. (2016) กล่าวว่า กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจาก

ผลไม้นั้น มักมีการบดหรือสกัดออกมาเป็นน้ำ จากนั้นจึงนำไปหมัก สำหรับผลไม้ที่มีความแข็ง อาทิ tao meo (*Docynia indica*) หรือผลไม้ที่มีปริมาณเพคตินสูงก็จะใช้วิธีการสกัดเหมือนแบบทั่วไป น้ำส้มสายชูที่ได้ก็จะมีลักษณะข่นและมีการตกตะกอน ซึ่งจากการทดลองการหมักน้ำส้มสายชูหมักโดยใช้ tao meo พบว่ามีปริมาณเพคตินอยู่ประมาณ 0.125% โดยเพคตินนี้จัดเป็นสารประกอบ Polysaccharide ซึ่งสามารถที่จะผสมกับน้ำและและสารประกอบอื่น ๆ ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความข้น สารที่ทำให้เกิดเจล สารที่ทำให้เกิดการคงตัว อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร อย่างไรก็ตาม พบว่าเพคตินมีราคาค่อนข้างสูงเนื่องจากต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศ (ธานุวัฒน์ และคณะ, 2556) โดยเพคตินทางการค้านั้น ส่วนมากสกัดมาจากเปลือกตระกูลส้มหรือแอปเปิ้ล เนื่องจากมีปริมาณมากและมีคุณภาพที่ดี นอกจากชนิดของวัตถุดิบที่นำมาสกัดแล้วยังต้องคำนึงถึงวิธีการสกัด เช่น อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ pH สารตัวทำละลาย และกระบวนการทำให้แห้ง ซึ่งจะทำให้การสกัดเพคตินได้ปริมาณที่มากขึ้น (Monsoor, 2005)

Table 2 The average amount of pectin from various fermented banana peels vinegar compared with two commercial vinegar

Fermented vinegar	Amount of pectin (g; w/v)
Banana peel vinegar : Green stage	0.42 ± 0.03^{ab}
Banana peel vinegar : More yellow than green stage	0.58 ± 0.02^{a}
Banana peel vinegar : Yellow with brown spots stage	0.43 ± 0.18^{ab}
Control 1 (Apple commercial vinegar)	0.34 ± 0.01^{b}
Control 2 (Apple commercial vinegar)	0.34 ± 0.11^{b}

Values are expressed as the mean ± standard deviation. Lower case letters show significant differences (P<0.05, DMRT) in the same column

คุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยที่ระยะต่าง ๆ

จากผลการศึกษาคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยน้ำว้าทั้ง 3 ระยะ ได้แก่ ระยะเขียว เหลืองมากกว่าเขียว และระยะมีจุดดำ ที่ผ่านการฆ่าเชื้อโดยใช้อุณหภูมิ 75°ซ เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ และสารปนเปื้อน พบว่าน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยน้ำว้าทั้ง 3 ระยะนี้มี สี กลิ่น และรสชาติที่เกิดจากกระบวนการหมัก มีปริมาณกรดอะซิติกเท่ากับ 7.33, 7.57 และ 6.91 กรัมต่อ 100 มล. ปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 0.00, 0.10 และ 0.07 กรัมต่อ 100 มล. และไม่พบเมทานอล กรดแร่อิสระ หรือการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ ยีสต์ รา ซึ่งการวิเคราะห์ปริมาณสารปนเปื้อนในน้ำส้มสายชูหมักนั้นใช้วิธีการตรวจวิเคราะห์ในรูปแบบของโลหะหนัก **(Table 3)** ผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณสารหนู ตะกั่ว และทองแดง มีค่าน้อยกว่า 0.10 มก./กก. นอกจากนี้ยังมีค่าสังกะสีปริมาณเท่ากับ 0.98 มก./กก. และเหล็กปริมาณเท่ากับ 2.85 มก./กก.

ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 326/2547 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ระบุว่าน้ำส้มสายชูที่ผ่านกระบวนการหมักต้องมี สี กลิ่น และรสที่เกิดจากกระบวนการหมัก ต้องมีกรดอะซิติกไม่ต่ำกว่า 4% แอลกอฮอล์ไม่เกิน 0.5% และเมทานอลไม่เกิน 420 มก./ลิตร จะต้องไม่พบกรดแร่อิสระ และการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ ยีสต์ รา การวิเคราะห์สารปนเปื้อนได้แก่ สารหนู ตะกั่ว จะต้องไม่เกิน 1 มก./กก. ส่วนทองแดง สังกะสี และเหล็กจะต้องไม่เกิน 10 มก./กก. ในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยทั้ง 3 ระยะนี้ จึงมีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนดไว้

Table 3 Analysis of various metal concentrations in fermented banana peel vinegar

Heavy metal	Amounts (mg/kg)		
	green	more yellow than green	yellow with brown spots
As	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Pb	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Cu	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Zn	0.89	0.85	0.87
Fe	2.85	2.84	2.85

สรุป

จากการศึกษาน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยน้ำว้าทั้ง 3 ระยะได้แก่ ระยะเขียว เหลืองมากกว่าเขียว และระยะมีจุดดำโดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ *S. cerevisiae* TISTR 5918 และ *A. aceti* TISTR 354 ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์และกรดน้ำส้ม ตามลำดับ พบว่าเมื่อใช้เปลือกกล้วยน้ำว้าระยะเหลืองมากกว่าเขียว สามารถผลิตกรดอะซิติกได้สูงที่สุด เมื่อวิเคราะห์ปริมาณเพคตินของน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยทั้ง 3 ระยะ จะเห็นได้ว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่หากเปรียบเทียบปริมาณเพคตินจากน้ำส้มสายชูหมักเปลือกกล้วยกับน้ำส้มสายชูหมักแอปเปิ้ลทางการค้าจำนวน 2 ยี่ห้อ พบว่าปริมาณเพคตินที่ได้จากน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยระยะเหลืองมากกว่าเขียวนั้นมีปริมาณเพคตินมากกว่าในน้ำส้มสายชูหมักแอปเปิ้ลทั้ง 2 ยี่ห้อ นอกจากนี้น้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยทั้ง 3 ระยะนี้ยังมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของ มผช. 326/2547 ดังนั้นจะเห็นได้ว่า เปลือกกล้วยที่เหลือทิ้งสามารถนำมาเพิ่มมูลค่า โดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยที่มีความปลอดภัยและยังให้เพคตินซึ่งเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย หากพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วยนี้ให้มีศักยภาพในการนำไปผลิตเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพในอนาคตต่อไป จะช่วยลดปริมาณขยะและอาจสามารถลดการนำเข้าเพคตินซึ่งอาจส่งผลให้ราคาเพคตินในประเทศลดลงอีกด้วย

คำขอบคุณ

โครงการวิจัยเรื่องนี้ได้รับเงินทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต ขอขอบคุณ ผศ.นันทนิตย์ คงวัน ที่คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษาการหมักน้ำส้มสายชู ตลอดจนความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ และขอขอบคุณวิทยาลัยนวัตกรรมเกษตรและเทคโนโลยีอาหารที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้ห้องปฏิบัติการทางด้านจุลชีววิทยาและห้องปฏิบัติการทางด้านเคมี สำหรับการทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ธานุวัฒน์ ลาภตันศุภผล, ปฏิมา ทองขวัญ และศิริลักษณ์ สรงพรมทิพย์. 2556. การสกัดเพคตินจากเปลือกผักและผลไม้. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 44(พิเศษ 2): 433-436.

บุญเลี้ยง จงกลาง และสุภาพร รักด่านกลาง. 2540. การศึกษาเพคตินในน้ำผลไม้กระป๋อง. สถาบันราชภัฏนครราชสีมา. หน้า 1-39.

วรรณภา ทาบโลกา, จินตนา เป็นรัมย์ และนภาลัย ใยบัว. 2556. ผลของปริมาณแอลกอฮอล์และสภาวะการให้อากาศต่อปริมาณวิตามินซี และการผลิตน้ำส้มสายชูหมักมะขามป้อม. หน้า 1-8. รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51. สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์, สาขาอุตสาหกรรมเกษตร.

วิลาวัลย์ บุณย์ศุภา, จิตราภรณ์ ญาติโสม, ชลิตา คำโคตรสูนย์, ปรียาภรณ์ ประเพโส และปานฤดี สัตถาวะโห. 2559. คุณภาพทางเคมี กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ของน้ำส้มสายชูหมักจากมะขาม 4 สายพันธุ์. วารสารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. 9(1): 224-233.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องน้ำส้มสายชู มผช.326/2547. กรุงเทพฯ. กระทรวงอุตสาหกรรม.

Anh, N. T. V., and B.T.T. Ha. 2016. Study on treatment technology of "tao meo" using pectinase enzyme in "tao meo" vinegar production by submerged method. Vietnam Journal of Science and Technology. 54(4A): 298-306.

AOAC. 1984. Official Methods of Analysis (14thed.). Washington, D.C., USA: Association official analytical chemists.

Atik, D., C. Atik, and C. Karatepe. 2016. The effect of external apple vinegar application on varicosity symptoms, pain, and social appearance anxiety: a randomized controlled trial. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 2016: 1-9.

Budak, N. H., E. Aykin, A. C. Seydim, A. K. Greene, and Z. B. Guzel-Seydim. 2014. Functional properties of vinegar. Journal of Food Science. 79(5): R757-R764.

Chen, Y., Y. Bai, D. Li, C. Wang, N. Xu, and Y. Hu. 2017. Improvement of the flavor and quality of watermelon vinegar by high ethanol fermentation using ethanol-tolerant acetic acid bacteria. International Journal of Food Engineering. 13(4).

Dabija, A., and C.A. Hatnean. 2014. Study concerning the quality of apple vinegar obtained through classical method. Journal of Agroalimentary Processes and Technologies. 20(4): 304-310.

Elleuch, M., D. Bedigian, O. Roiseux, S. Besbes, C. Blecker, and H. Attia. 2011. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: a review. Food Chemistry. 124(2): 411-421.

Emaga, T.H., C. Robert, S.N. Ronkart, B. Wathelet, and M. Paquot. 2008. Dietary fibre components and pectin chemical features of peels during ripening in banana and plantain varieties. Bioresource Technology. 99(10): 4346-4354.

Hwang, I.W., S.K. Chung, M.C. Jeong, H.S. Chung, and H.Z. Zheng. 2013. Optimization of enzymatic hydrolysis of persimmon peels for vinegar fermentation. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry. 56(4): 435-440.

Jamal, P., O.K. Saheed, and Z. Alam. 2012. Bio-valorization potential of banana peels (*Musa sapientum*): an overview. Asian Journal of Biotechnology. 4(1): 1-14.

Johnston, C. S., C. M. Kim, and A. J. Buller. 2004. Vinegar improves insulin sensitivity to a high-carbohydrate meal in subjects with insulin resistance or type 2 diabetes. Diabetes Care. 27(1): 281-282.

Kanazawa, K., and H. Sakakibara. 2000. High content of dopamine, a strong antioxidant, in cavendish banana. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48(3): 844-848.

Kaur, P., G. Kocher, and R. Phutela. 2011. Production of tea vinegar by batch and semicontinuous fermentation. Journal of Food Science and Technology. 48(6): 755-758.

Khamsucharit, P., K. Laohaphatanalert, P. Gavinlertvatana, K. Sriroth, and K. Sangseethong. (2018). Characterization of pectin extracted from banana peels of different varieties. Food Science and Biotechnology. 27(3): 623-629.

Kocher, G. S., and H.K. Dhillon. 2013. Fermentative production of sugarcane vinegar by immobilized cells of *Acetobacter aceti* under packed bed conditions. Sugar Tech. 15(1): 71-76.

Krusong, W., P. Petch-nom, and P. Pinviset. 2010. Semi-continuous production process of corn vinegar in stirred tank reactor using fixation of *Acetobacter aceti* WK on surface of loffa sponge. Kasetsart Journal (Natural Science). 44: 201-207.

Krusong, W., and A. Vichitraka. .2010. An investigation of simultaneous pineapple vinegar fermentation interaction between acetic acid bacteria and yeast. Asian Journal of Food and Agro-Industry. 3(1): 192-203.

Kulkarni, S. J. 2015. Research and studies on vinegar production-a review. International Journal of Scientific Research in Science and Technology. 1(5): 146-148.

Maal, K. B., R. Shafiei, and N. Kabiri. 2010. Production of apricot vinegar using an isolated *Acetobacter* strain from Iranian apricot. World Academy of Science, Engineering and Technology. 4: 162-164.

Maneerat, N., N. Tangsuphoom, and A. Nitithamyong. 2017. Effect of extraction condition on properties of pectin from banana peels and its function as fat replacer in salad cream. Journal of Food Science and Technology. 54(2): 386-397.

Mermel, V. L. 2004. Old paths new directions: the use of functional foods in the treatment of obesity. Trends in Food Science and Technology. 15(11): 532-540.

Miskiyah, M., J. Juniawati, and A. Andriani. 2016. Inhibition of *Escherichia coli* O157:H7 contamination on chicken meat by natural vinegar prepared from banana peel and coconut water. Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture. 41(1): 21-27.

Monsoor, M. A. 2005. Effect of drying methods on the functional properties of soy hull pectin. Carbohydrate Polymers. 61(3): 362-367.

Roda, A., D.M. De Faveri, R. Dordoni, and M. Lambri. 2014. Vinegar production from pineapple wastes–preliminary saccharification trials. Chemical Engineering Transactions. 37: 607-612.

Roda, A., L. Lucini, F. Torchio, R. Dordoni, D. M. De Faveri, and M. Lambri. 2017. Metabolite profiling and volatiles of pineapple wine and vinegar obtained from pineapple waste. Food Chemistry. 229: 734-742.

Saha, P., and S. Banerjee. 2013. Optimization of process parameters for vinegar production using banana fermentation. International Journal of Research in Engineering and Technology. 2(9): 501-504.

Solieri, L., and P. Giudici. 2008. Yeasts associated to traditional balsamic vinegar: ecological and technological features. International Journal of Food Microbiology. 125(1): 36-45.

Someya, S., Y. Yoshiki, and K. Okubo. 2002. Antioxidant compounds from bananas (*Musa cavendish*). Food Chemistry. 79(3): 351-354.

Sossou, S. K., Y. Ameyapoh, S.D. Karou, and C. de Souza. 2009. Study of pineapple peelings processing into vinegar by biotechnology. Pakistan Journal of Biological Sciences. 12(11): 859-865.

Srivastava, P., and R. Malviya. 2011. Sources of pectin, extraction and its applications in pharmaceutical industry-an overview. Indian Journal of Natural Products and Resources. 2(1): 10-18.

Urias-Orona, V., A. Rascón-Chu, J. Lizardi-Mendoza, E. Carvajal-Millán, A. A. Gardea, and B. Ramírez-Wong. 2010. A novel pectin material: extraction, characterization and gelling properties. International Journal of Molecular Sciences. 11(10): 3686-3695.

Vu, H. T., C.J. Scarlett, and Q. V. Vuong. 2018. Phenolic compounds within banana peel and their potential uses: A review. Journal of Functional Foods. 40: 238-248.

Walker, G. M., and G.G. Stewart. 2016. *Saccharomyces cerevisiae* in the production of fermented beverages. Beverages. 2(4): 1-30.

Wilaipon, P. 2009. The effects of briquetting pressure on banana-peel briquette and the banana waste in Northern Thailand. American Journal of Applied Sciences. 6(1): 167-171.

Zheng, Y., K. Zhang, C. Wang, H. Liu, J. Luo, and M. Wang. 2010. Improving acetic acid production of *Acetobacter pasteurianus* AC2005 in hawthorn vinegar fermentation by using beer for seed culture. International Journal of Food Science and Technology. 45(11): 2394-2399.