

การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกและกากส้มเหลือใช้**

Development of Fermented Vinegar from Tangerine Peels and Pomaces

วิภาวรรณ วงศ์สุดาภรณ์* และฐิติมาพร หนูเนียม

โปรแกรมวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

บทคัดย่อ

เปลือกและกากส้มเขียวหวาน (*Citrus tangerine*) เป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตน้ำส้มคั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้เปลือกและกากส้มให้เกิดประโยชน์โดยนำมาหมักให้เป็นน้ำส้มสายชูหมักที่อาศัยกระบวนการหมักตามธรรมชาติ โดยนำเปลือกและกากส้มแบบไม่สับมาทำการปรับค่าความหวานด้วยน้ำตาลทรายเป็น 20 องศาบริกซ์ หมักที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 องศาเซลเซียส) ใช้เวลา 4 สัปดาห์ จะได้ปริมาณแอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 9 และเมื่อสิ้นสุดการหมักเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า น้ำส้มสายชูหมักที่ได้มีปริมาณกรดอะซิติก เท่ากับ 1.84 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร นอกจากนี้ การศึกษาสภาวะการหมักต่อการผลิตน้ำส้มสายชูหมักโดยอาศัยกระบวนการหมักตามธรรมชาติ พบว่า น้ำส้มสายชูหมักที่ใช้สภาวะการหมักแบบมีอากาศจะทำให้ น้ำส้มสายชูหมักที่ได้มีปริมาณกรดอะซิติก สูงกว่าการใช้สภาวะการหมักแบบไม่มีอากาศ จะได้ น้ำส้มสายชูหมักที่มีปริมาณกรดอะซิติก เท่ากับ 1.85 และ 0.45 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักที่ได้จากเปลือกและกากส้ม ทำให้น้ำส้มสายชูที่ได้มีกลิ่นรสของส้มอย่างชัดเจน

คำสำคัญ: เปลือกและกากส้ม น้ำส้มสายชู การหมักตามธรรมชาติ สภาวะการหมัก

* ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

Development of Fermented Vinegar from Tangerine Peels and Pomaces

**งานวิจัยเรื่องนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

e-mail: ajarnwipawan@gmail.com

Abstract

Tangerine peels and pomaces were waste from tangerine juice factory. Therefore, the aim of this research was to use the benefits of that tangerine peels and pomaces to make brought by fermented vinegar through a natural fermentation process. By using, non-chopped tangerine peels and pomaces were adjusted sugar until get sugar content 20 ° Brix. The period time of fermentation for 4 weeks at room temperature, it gets alcohol about 9%. By the end of fermentation at 8 weeks found acetic acid in vinegar was about 1.84 g per 100 mL. Nevertheless, the study of conditions in a natural fermentation process found that aerobic fermentation of vinegar was higher acetic acid than anaerobic fermentation. The acetic acid content was 1.85 and 0.45 g per 100 mL, respectively for 8 weeks of fermentation. The vinegar of tangerine peels and pomaces has a flavor tangerine.

บทนำ

น้ำส้มสายชูเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นเครื่องปรุงรสสำหรับอาหารที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ใช้เป็นสารเติมแต่งในอาหาร และสารปรุงแต่งรส ช่วยในการถนอมอาหาร และใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอาหารประเภทต่างๆ นอกจากนี้ในปัจจุบันยังมีการบริโภคในรูปแบบของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เช่น การรับประทานน้ำส้มสายชูควบคู่ไปกับอาหารจะช่วยลดค่าดัชนีไกลซีมิก (Leeman, Ostman & Bjorck, 2005) ช่วยลดระดับการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลกลูโคสและอินซูลินหลังการรับประทานอาหาร ทำให้ความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวานลดลง (Johnston, Kim & Buller, 2004) มีผลต่อการลดน้ำหนักเนื่องจากช่วยลดความอยากอาหาร (Ostman, Granfeldt, Persson & Bjorck, 2005) เป็นต้น น้ำส้มสายชูมีหลายชนิด ได้แก่ น้ำส้มสายชูหมัก เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักโดยจุลินทรีย์ น้ำส้มสายชูที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ น้ำส้มสายชูกลั่น โดยนำแอลกอฮอล์กลั่นเจือจางมาหมักกับแบคทีเรียกรดอะซิติก (acetic acid bacteria) แล้วนำมากลั่น หรือได้จากการนำน้ำส้มสายชูหมักมากลั่น และน้ำส้มสายชูเทียมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำกรดอะซิติกมาเจือจาง องค์ประกอบที่สำคัญของน้ำส้มสายชูคือ กรดน้ำส้มหรือกรดอะซิติก (acetic acid) น้ำส้มสายชูหมักจะมีลักษณะเด่นกว่าน้ำส้มสายชูกลั่นและน้ำส้มสายชูเทียมคือ มีกลิ่นรสเฉพาะตามวัตถุดิบที่นำมาผลิต การผลิตน้ำส้มสายชูอาศัยกระบวนการหมัก 2 ขั้นตอน ขั้นแรกของการหมักจะเปลี่ยนน้ำตาลที่มีในวัตถุดิบให้เป็นแอลกอฮอล์โดยจุลินทรีย์จำพวกยีสต์ ในขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการที่ไม่ต้องการออกซิเจน (anaerobic process) จากนั้นในขั้นตอนที่สอง แอลกอฮอล์จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติกโดยแบคทีเรียกรดอะซิติก ในขั้นตอนการผลิตกรดอะซิติกนี้เป็นกระบวนการที่ต้องการออกซิเจน

ในสมัยก่อนประเทศไทยมีการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำตาลเมาหรือกระแช่ แต่ในปัจจุบันนอกจากจะมีการประยุกต์ใช้วัตถุดิบหลากหลาย เช่น ธัญพืช ผลไม้ต่างๆ กากน้ำตาล เป็นต้น เพื่อให้ได้มีลักษณะกลิ่นรสเฉพาะตัวที่แตกต่างกันไป นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น การผลิตน้ำส้มสายชูจากกล้วยที่สุกจัด (Suresh & Ethiraj, 1991) การผลิตน้ำส้มสายชูจากเปลือกและแกนสับปะรด (ประดิษฐ์ ครัววัฒนา, มาลัย เมืองน้อย, ประภาเพ็ญ และฉกามาต วงศ์ข้าหลวง, 2530; Sossou, Ameyapoh, Karou & Souza, 2009) และการผลิตน้ำส้มสายชูจากเปลือกและเนื้อมะม่วง (วรารุณี ครูสง, พนิต เพ็ชรน่วม และประภาส ปิ่นวิเศษ, 2553) เป็นต้น จากการสอบถามเกี่ยวกับการผลิตน้ำส้มสายชูหมักที่บ้านในอำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี พบว่าชาวบ้านจะผลิตน้ำส้มสายชูหมักโดยอาศัยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ โดยนำน้ำตาลโดนดใส่ในภาชนะหมัก ปิดฝาภาชนะด้วยผ้าขาวบางหรือกระดาษหนังสือพิมพ์ ตังทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 30-45 วัน จากนั้นปิดฝาภาชนะหมักให้สนิททิ้งไว้อีกประมาณ 1-2 เดือน ก่อนนำมากรองและบรรจุขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป

การผลิตน้ำส้มคั้นในอุตสาหกรรมขนาดย่อมทำให้เกิดเปลือกและกากส้มทั้งเป็นจำนวนมาก อย่างน้อยประมาณ 60-70 กิโลกรัมต่อวันจากการคั้นน้ำส้ม เปลือกส้มประกอบไปด้วยเพคติน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นสารตั้งต้นในการหมักได้ (Lennartsson et al., 2012) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะใช้ประโยชน์จากเปลือกและกากส้มที่เหลือใช้จากการผลิตน้ำส้มคั้นในการผลิตน้ำส้มสายชูหมักซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่า และเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักอีกทางหนึ่ง

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นต่อการผลิตน้ำส้มสายชูจากเปลือกและกากส้มโดยใช้กระบวนการหมักตามธรรมชาติ
2. ศึกษาสภาวะการให้อากาศต่อการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกและกากส้มโดยใช้กระบวนการหมักตามธรรมชาติ

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบในการผลิต ได้แก่ เปลือกและกากส้มเขียวหวาน (Tangerine: *Citrus tangerina*) จากโรงงานผลิตน้ำส้มเกล็ดหิมะ ตำบลตะลุโบะ อำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี และน้ำตาลทราย
2. อุปกรณ์การผลิตอื่นๆ เช่น อุปกรณ์เครื่องครัว เครื่องชั่งดิจิตอล เทอร์โมมิเตอร์แบบเข็ม โหลแก้ว เครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์ (Ebulliometer) เครื่องมือวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Hand refractometer) เครื่องวัดพีเอช (pH meter) และเครื่องแก้ว

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นต่อการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกและกากส้มโดยใช้กระบวนการหมักตามธรรมชาติ

เตรียมเปลือกและกากส้มที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำส้มคั้น แบบไม่ลับ โดยตัวอย่างมีลักษณะเป็นส้มหั่นครึ่งผลที่ผ่านการคั้นน้ำและแยกเมล็ดออกแล้ว และแบบสับหยาบ โดยลดขนาดเปลือกและกากส้มให้มีขนาดประมาณ ซึ้นละ 2x2 เซนติเมตร ปริมาณตัวอย่างละ 5 กิโลกรัม ใส่ในขวดโหลแก้วที่ผ่านการลวกฆ่าเชื้อ ศึกษาผลของปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นโดยการไม่เติมน้ำตาลทรายเป็นชุดควบคุม และชุดการทดลองที่เติมน้ำตาลทรายโดยการคำนวณปรับค่าความหวานด้วยน้ำตาลทรายเป็น 10, 15, 20 และ 25 องศาบริกซ์ ปิดภาชนะด้วยผ้าขาวบาง ทำการหมักที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 องศาเซลเซียส) สุ่มตัวอย่างทุก 1 สัปดาห์ เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ ด้วยเครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์ (Ebulliometer) วัดค่าพีเอช และวิเคราะห์ปริมาณกรดอะซิติกด้วยการไทเทรต

2. ศึกษาสภาวะการให้อากาศต่อการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกส้มโดยใช้กระบวนการหมักตามธรรมชาติ

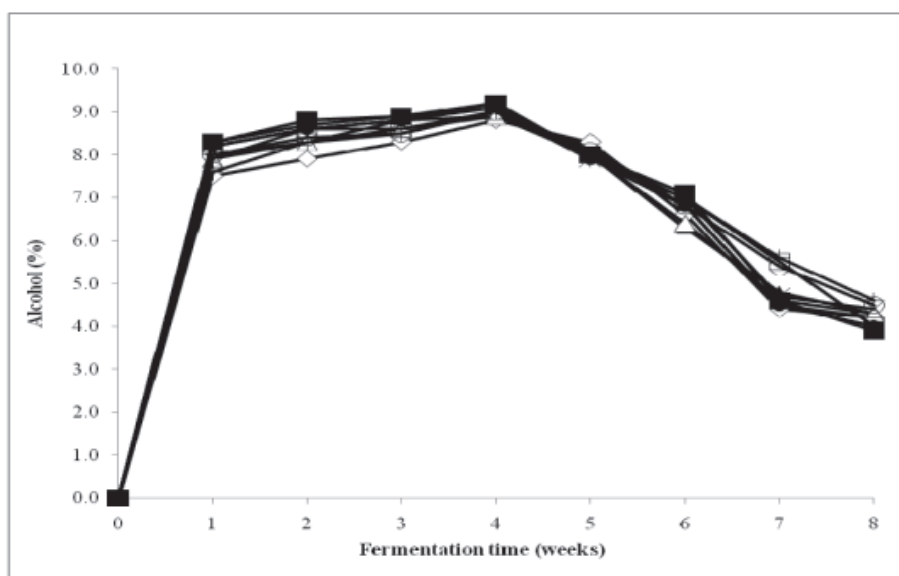
เตรียมเปลือกและกากส้ม ปริมาณ 5 กิโลกรัม และเติมน้ำตาลทรายให้มีปริมาณความหวานที่เหมาะสมที่ทำให้สามารถผลิตกรดอะซิติกได้สูงที่สุดจากการศึกษาผลของปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นจากข้อ 1 ศึกษาสภาวะการให้อากาศต่อการผลิตน้ำส้มสายชู โดยใช้สภาวะการหมักที่แตกต่างกัน ได้แก่ สภาวะการหมักแบบมีอากาศ ปิดฝาภาชนะหมักด้วยผ้าขาวบาง และสภาวะการหมักแบบไม่มีอากาศ ปิดฝาภาชนะหมักแบบปิดสนิทโดยมีสายยางต่อเพื่อถ่ายเทแก๊สที่เกิดขึ้นออกนอกถังหมัก ทำการหมักที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 องศาเซลเซียส) สุ่มตัวอย่างทุก 1 สัปดาห์ เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ ด้วยเครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์ (Ebulliometer) วัดค่าพีเอช และวิเคราะห์ปริมาณกรดอะซิติกด้วยการไทเทรต

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ศึกษาปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นต่อการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกส้มโดยใช้กระบวนการหมักตามธรรมชาติ

เมื่อนำเปลือกส้มมาหมักน้ำส้มสายชูโดยใช้กระบวนการหมักตามธรรมชาติ โดยเตรียมเปลือกส้ม 2 แบบ ได้แก่ แบบสับหยาบ และแบบไม่ลับ แต่ละชุดการทดลองใช้เปลือกส้มปริมาณ 5 กิโลกรัม ปรับปริมาณค่าความหวานเริ่มต้นด้วยน้ำตาลทรายเป็น 10, 15, 20 และ 25 องศาบริกซ์ มีชุดการทดลองที่ไม่มีการปรับค่าความหวานเริ่มต้นด้วยน้ำตาลทรายเป็นชุดควบคุม ซึ่งมีค่าความหวานอยู่ที่ 0 องศาบริกซ์ ทำการหมักที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 องศาเซลเซียส) โดยปิดฝาภาชนะหมักด้วยผ้าขาวบาง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เพื่อศึกษาผลของปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นต่อการหมักน้ำส้มสายชู พบว่า ปริมาณแอลกอฮอล์จะเพิ่มสูงขึ้น

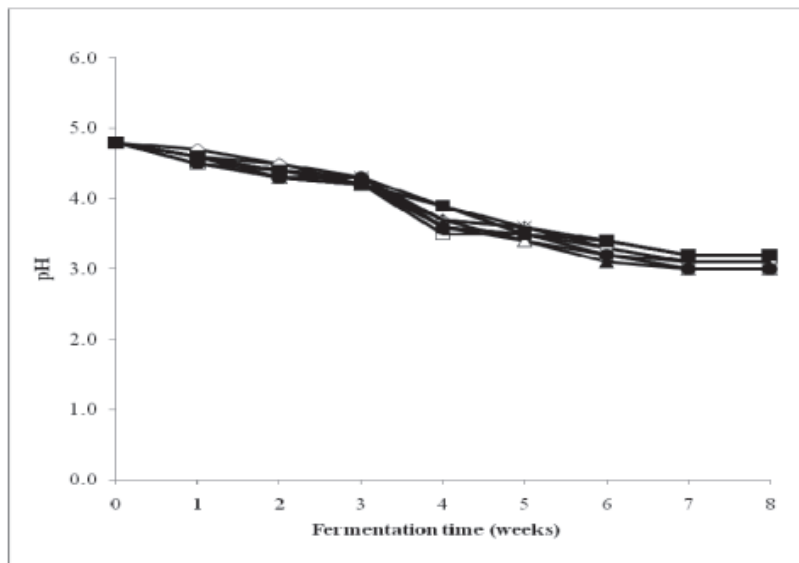
อย่างรวดเร็วในการหมักสัปดาห์ที่ 1 ในทุกชุดการทดลอง (ดังภาพที่ 1) ได้ปริมาณแอลกอฮอล์อยู่ในช่วงร้อยละ 7.5-8.0 และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงสัปดาห์ที่ 4 มีปริมาณแอลกอฮอล์อยู่ในช่วงร้อยละ 8.8-9.2 ก่อนที่จะค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลาการหมัก



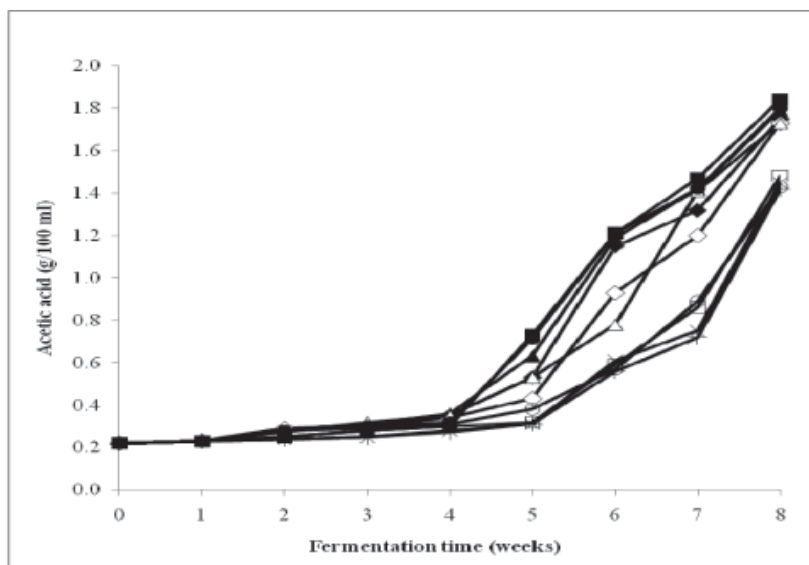
ภาพที่ 1 ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักน้ำส้มสายชูโดยใช้เปลือกและกากส้มแบบสับหยาบ ปรับค่าความหวานเป็น 10 (Δ), 15 ($\circ$), 20 ($\square$) และ 25 (+) องศาบริกซ์ และไม่มี การปรับค่าความหวาน ($\diamond$) และใช้เปลือกและกากส้มแบบไม่สับ และปรับค่าความหวาน เป็น 10 ($\blacktriangle$), 15 ($\bullet$), 20 ($\blacksquare$) และ 25 ($\times$) องศาบริกซ์ และไม่มีการปรับค่าความหวาน ($\blacklozenge$)

การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช พบว่า ในช่วงระยะเวลาการหมัก 3 สัปดาห์แรก ค่าพีเอชมีค่า ลดลงเพียงเล็กน้อย ดังภาพที่ 2 จากนั้นลดลงมากขึ้นเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก โดยทุกชุดการทดลอง มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 3.0-3.2 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชนั้นสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของ ปริมาณกรดอะซิติก (ดังภาพที่ 3) ในระหว่างการหมัก ปริมาณกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วง การหมักตั้งแต่ 0-4 สัปดาห์ และในการหมักสัปดาห์ที่ 5 ปริมาณกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในชุด การทดลองที่ใช้เปลือกส้มแบบไม่สับและมีการปรับปริมาณความหวานเป็น 10, 15 และ 20 องศาบริกซ์ โดยจะมีปริมาณกรดอะซิติกเท่ากับ 0.63, 0.71 และ 0.73 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ชุด การทดลองที่ไม่มีการปรับปริมาณค่าความหวานและชุดการทดลองที่มีการปรับค่าความหวาน 25 องศาบริกซ์ จะได้ปริมาณกรดอะซิติกเพียง 0.53 และ 0.31 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งชุดการทดลองที่ใช้

เปลือกส้มที่เตรียมแบบสับหยาบจะได้ปริมาณกรดอะซิติกที่ต่ำกว่าชุดการทดลองที่ใช้เปลือกส้มแบบไม่สับ และปริมาณกรดอะซิติกในทุกชุดการทดลองจะเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการหมักที่เพิ่มขึ้น เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 8 สัปดาห์ ชุดการทดลองที่ใช้เปลือกส้มแบบไม่สับและมีการปรับค่าความหวานเป็น 20 องศาบริกซ์จะได้ปริมาณกรดอะซิติกสูงที่สุด เท่ากับ 1.84 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร



ภาพที่ 2 ค่าพีเอชที่ได้จากการหมักน้ำส้มสายชูโดยใช้เปลือกและกากส้มแบบสับหยาบ ปรับค่าความหวานเป็น 10 (△), 15 (○), 20 (□) และ 25 (+) องศาบริกซ์ และไม่มี การปรับค่าความหวาน (◇) และใช้เปลือกและกากส้มแบบไม่สับ และปรับค่าความหวาน เป็น 10 (▲), 15 (●), 20 (■) และ 25 (X) องศาบริกซ์ และไม่มีการปรับค่าความหวาน (◆)



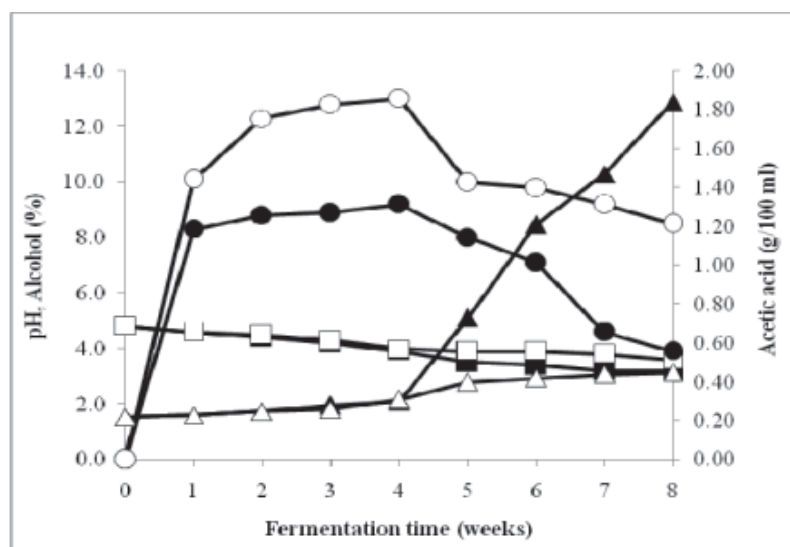
ภาพที่ 3 ปริมาณกรดอะซิติกที่ได้จากการหมักน้ำส้มสายชูโดยใช้เปลือกและกากส้มแบบสับหยาบ ปรับค่าความหวานเป็น 10 (△), 15 (○), 20 (□) และ 25 (+) องศาบริกซ์ และไม่มี การปรับค่าความหวาน (◇) และใช้เปลือกและกากส้มแบบไม่สับ และปรับค่าความหวาน เป็น 10 (▲), 15 (●), 20 (■) และ 25 (×) องศาบริกซ์ และไม่มีการปรับค่าความหวาน (◆)

จากการหมักน้ำส้มสายชูจากเปลือกส้ม พบว่า เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นในการหมักจะ ได้ปริมาณกรดอะซิติกที่เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากจุลินทรีย์จะใช้น้ำตาลเป็นอาหารและแหล่งพลังงาน เช่นเดียวกับการเติมน้ำตาลกลูโคสในน้ำหัวหอมเพื่อผลิตน้ำส้มสายชูซึ่งพบว่าจะทำให้ น้ำส้มสายชูที่ได้มี ปริมาณกรดอะซิติกเพิ่มขึ้น (Horiuchi et al., 1999) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลโดยปรับค่าความหวานเป็น 25 องศาบริกซ์พบว่าปริมาณกรดอะซิติกที่ได้จะต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อาจเนื่องมาจากความเข้มข้น ของน้ำตาลที่สูงจะทำให้ความสามารถในการหายใจของจุลินทรีย์ถูกยับยั้งอย่างรุนแรงทำให้การเจริญเติบโต ของจุลินทรีย์ลดลงและส่งผลให้ปริมาณกรดอะซิติกซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้ลดลงด้วย (Stewart & Russell, 1983; Gancedo, 1986) นอกจากปริมาณน้ำตาลซึ่งเป็นแหล่งอาหารและแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโต ของยีสต์ เปลือกและกากส้มยังสามารถเป็นวัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์ได้อีกด้วย โดยเปลือกและกาก ส้มจะถูกย่อยกลายเป็นกลูโคส กาแลคโตส ฟรุคโตส และอะราบิโนส เป็นต้น (Lennartsson et al., 2012) นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะของเปลือกส้มที่ใช้แบบไม่สับและแบบสับหยาบจะทำให้ได้ผลผลิตที่ได้จากจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณแอลกอฮอล์และปริมาณกรดอะซิติกที่ได้แตกต่างกัน กล่าวคือ เปลือกส้มที่มีการเตรียมแบบ สับหยาบก่อนนำมาหมักน้ำส้มสายชูจะทำให้ได้ผลผลิตที่ต่ำกว่าการใช้เปลือกส้มแบบไม่สับ อาจเนื่องจาก เปลือกส้มมีสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ (antimicrobial activity) (Lennartsson et al., 2012)

เมื่อเตรียมเปลือกส้มด้วยการสับหยาบจะทำให้สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ออกมาจากเปลือกส้มเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการใช้เปลือกส้มที่เหมาะสมในการหมักน้ำส้มสายชูคือ แบบไม่สับ และปริมาณน้ำตาลที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกส้มจึงปรับค่าความหวานเริ่มต้นในการหมักเป็น 20 องศาบริกซ์

2. ศึกษาสภาวะการให้อากาศต่อการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกส้มโดยใช้กระบวนการหมักตามธรรมชาติ

ทำการหมักน้ำส้มสายชูจากเปลือกส้มโดยใช้เปลือกส้มแบบไม่สับ ปริมาณ 5 กิโลกรัม และปรับค่าความหวานเป็น 20 องศาบริกซ์ ก่อนทำการหมักโดยใช้สภาวะการหมักแบบมีอากาศ ปิดฝาภาชนะหมักด้วยผ้าขาวบาง และสภาวะการหมักแบบไม่มีอากาศ ปิดฝาภาชนะหมักแบบปิดสนิทโดยมีสายยางต่อเพื่อถ่ายเทแก๊สที่เกิดขึ้นออกนอกถังหมัก ทำการหมักที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 องศาเซลเซียส) เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอลกอฮอล์ (%) ค่าพีเอช และปริมาณกรดอะซิติก (กรัมต่อ 100 มิลลิตร) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ผลของสภาวะการหมักต่อปริมาณแอลกอฮอล์ (● แบบมีอากาศ และ ○ แบบไม่มีอากาศ), ค่าพีเอช (■ แบบมีอากาศ และ □ แบบไม่มีอากาศ) และปริมาณกรดอะซิติก ▲ แบบมีอากาศ และ △ แบบไม่มีอากาศ)

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอลกอฮอล์จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาการหมักสัปดาห์ที่ 1 โดยการหมักในสภาวะแบบไม่มีอากาศจะให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงกว่าสภาวะแบบมีอากาศ จะให้ปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 10.1 และ 8.3 ตามลำดับ และจะเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยจะให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 4 สภาวะการหมักแบบไม่มีอากาศจะได้ปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 13.0 และสภาวะการหมักแบบมีอากาศจะให้ปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 9.2 หลังจากนั้นปริมาณแอลกอฮอล์ทั้ง 2 สภาวะการหมักจะค่อยๆ ลดลงจนสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก (8 สัปดาห์) มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 8.5 ในสภาวะการหมักแบบไม่มีอากาศ และร้อยละ 3.9 ในสภาวะการหมักแบบมีอากาศ เนื่องจากในสภาวะที่ไม่มีอากาศ จุลินทรีย์ตามธรรมชาติจำพวกยีสต์จะเปลี่ยนไพรูเวทเป็นแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะที่ในสภาวะการหมักแบบมีอากาศ ยีสต์จะใช้ ไพรูเวทในการสร้างพลังงานในรูปของ ATP ในวัฏจักรของกรดไตรคาร์บอกซิลิก (Walker, 1998) เช่นเดียวกับ Ciani, Ferraro & Fatichenti (2000) ศึกษาการหมักไวน์โดยใช้น้ำองุ่นสังเคราะห์ ในสภาวะการหมักแบบไม่มีอากาศ เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* DBVPG 6663 จะผลิตปริมาณแอลกอฮอล์สูงกว่าสภาวะที่มีอากาศ ทำให้ตลอดระยะเวลาการหมักน้ำส้มสายชูจากเปลือกส้มในสภาวะการหมักแบบไม่มีอากาศปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้จึงสูงกว่าสภาวะการหมักแบบมีอากาศ

การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและปริมาณกรดอะซิติกในการหมักน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกส้มพบว่า สภาวะการหมักแบบไม่มีอากาศและแบบมีอากาศมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชใกล้เคียงกัน ในช่วงระยะเวลาการหมักตั้งแต่ 0-4 สัปดาห์ คือจะลดลงเพียงเล็กน้อย หลังจากนั้นค่าพีเอชจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนเมื่อสิ้นสุดการหมัก 8 สัปดาห์ มีค่าพีเอชเท่ากับ 3.2 และ 3.6 ในสภาวะการหมักแบบมีอากาศและแบบไม่มีอากาศ ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณกรดอะซิติกในสภาวะการหมักทั้ง 2 แบบมีปริมาณกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยปริมาณกรดอะซิติกจะเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยจนถึงสัปดาห์ที่ 4 หลังจากนั้นในสภาวะการหมักแบบมีอากาศ ปริมาณกรดอะซิติกจากเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนสิ้นสุดระยะเวลาการหมักจะได้ปริมาณกรดอะซิติกเท่ากับ 1.85 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ในขณะที่การหมักในสภาวะแบบไม่มีอากาศปริมาณกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการหมักจะได้ปริมาณกรดอะซิติกเท่ากับ 0.45 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

จากผลการทดลองเป็นไปได้ว่าในช่วงแรกของการหมักตั้งแต่สัปดาห์ที่ 0-4 จุลินทรีย์ตามธรรมชาติจำพวกยีสต์ซึ่งในสภาวะที่ไม่มีอากาศจะสามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงกว่าในสภาวะที่มีอากาศ ในช่วงแรกของการหมักจึงมีปริมาณแอลกอฮอล์สูง แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 4 จุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียกรดอะซิติกซึ่งจะใช้แอลกอฮอล์ในการผลิตกรดอะซิติกจะทำงานทำให้มีค่าพีเอชลดลงและปริมาณกรดอะซิติกเพิ่มสูงขึ้นจนสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก ซึ่งในขั้นตอนการผลิตกรดอะซิติกเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ออกซิเจน (สุเมธพา วัฒนสินธุ์, 2545 และ จารุวรรณ มณีศรี, 2551, ดังนั้นสภาวะการหมักแบบมีอากาศจึงได้ปริมาณกรดอะซิติกที่สูงกว่า

สรุปผลการทดลอง

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกส้มเหลือใช้โดยใช้กระบวนการหมักตามธรรมชาติ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก ได้แก่ การใช้เปลือกส้มแบบไม่ล้าง โดยมีการปรับค่าความหวานเริ่มต้นของการหมักเป็น 20 องศาบริกซ์ ใช้สภาวะการหมักแบบมีอากาศ และทำการหมักที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 องศาเซลเซียส) จะทำให้ได้ปริมาณกรดอะซิติก เท่ากับ 1.85 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาการหมัก 8 สัปดาห์ และผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูที่ได้มีลักษณะเด่นคือ มีกลิ่นรสส้ม

ข้อเสนอแนะ

- งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการใช้เปลือกส้มเหลือใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก จึงวิเคราะห์เพียงผลผลิตที่ได้จากการหมัก (ปริมาณแอลกอฮอล์และปริมาณกรดอะซิติก) แต่หากมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ที่มีการเจริญเติบโตในช่วงระยะเวลาการหมักจะทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น
- ปริมาณกรดอะซิติกที่ได้จากการหมักในระยะเวลา 8 สัปดาห์ ยังไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมซึ่งกำหนดไว้ว่าต้องมีกรดอะซิติกไม่ต่ำกว่า 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร จึงต้องศึกษาการใช้ระยะเวลาการหมักที่นานขึ้น หรือเพิ่มปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการผลิตกรดอะซิติกที่สูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- จารุวรรณ มณีศรี. (2551). เทคโนโลยีอาหารหมัก. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โพธิ์เพชร.
- ประดิษฐ์ คุ้มวัฒนา มาลัย เมืองน้อย ประภา เฟื่องฟูพงศ์ และฉกามาต วงศ์ข้าหลวง. (2530). การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกและแกนส้มปละรด. *วารสารอาหาร*, 17(3), 137-145.
- วราวุฒิ ครุสง, พนิต เพ็ชรน่วม และประภาส ปันวิเศษ. (2553). เส้นทางวิจัยกระบวนการผลิตน้ำส้มสายชู: การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อทดแทนการนำเข้า...สู่การยอมรับของภาคเอกชนไทย. *วารสารวิจัยและนวัตกรรมเพื่ออุตสาหกรรมไทย*, 1(1), 14-21.
- สุมนทนา วัฒนสินธุ์. (2545). *จุลชีวินวิทยาทางอาหาร*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- Ciani, M., Ferraro, L. & Fatichenti, F. (2000). Influence of glycerol production on the aerobic and anaerobic growth of the wine yeast *Candida stellata*. *Enzyme and Microbial Technology*. 27, 698-703.

- Gancedo, J. M. (1986). *Carbohydrate metabolism in yeast*. New York: Plenum Press.
- Horiuchi, J., Kanno, T. & Kobayashi, M. (1999). New vinegar production from onions. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 88, 107-109.
- 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, 281-282.
- 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.
- Lennartsson, P. R., Ylittervo, P., Larsson, C., Edebo, L. & Taherzadeh, M. J. (2012). Growth tolerance of *Zygomycetes Mucor indicus* in orange peel hydrolysate without detoxification. *Process Biochemistry*, 47, 836-842.
- 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, 983-988.
- Sossou, S. K., Ameyapoh, Y., Karou, S. D. & Douza, C. (2009). Study of pineapple peeling processing into vinegar by biotechnology. *Pakistan Journal of Biological Science*, 12, 859-865.
- Stewart, G. G. & Russell. (1983). *Aspects of the biochemistry and genetics of sugar and carbohydrate uptake by yeasts*. New York: Springer-Verlag.
- Suresh, E. R. & Ethiraj, S. (1991). Utilization of overripe bananas for vinegar production. *Tropical Science*, 31, 317-320.
- Walker, G. M. (1998). *Yeast physiology and biotechnology*. John Wiley&Sons, England.

คณะผู้เขียน**อาจารย์วิภาวรรณ วงศ์สุดาลักษณ์**

อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
e-mail: ajarnwipawan@gmail.com

อาจารย์ฐิติมาพร หนูเนียม

อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา