สภาวะการผลิตวุ้นสวรรค์จากไซรัปกล้วยน้ำว้า โดย *Acetobecter* sp. TISTR 1014

The Production Conditions of Nata from Banana Syrup by *Acetobacter* sp. TISTR 1014

อดิศรา ตันตสุทธิกุล[1*]
Adisara Tantasuttikul[1*]

บทคัดย่อ

กล้วย (*Musa sapientum* L.) มีผลผลิตเป็นจำนวนมากในประเทศไทย กล้วยในระยะสุกงอมเนื้อกล้วยจะมีลักษณะนิ่ม และจะเริ่มเน่าเสียภายใน 2-3 วัน ซึ่งกล้วยในระยะนี้มีปริมาณน้ำตาลสูง จึงได้มีการใช้ประโยชน์มาผลิตเป็นไซรัปกล้วย นอกจากนี้มีต่อยอดไซรัปมาผลิตเซลลูโลส หรือวุ้นสวรรค์ โดยใช้เชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR 1014 งานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (11 18 และ 26 องศาบริกซ์ (°Brix) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญและสร้างเส้นใยของเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในไซรัปกล้วยที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR 1014 คือ 11 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 4.2 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และระดับความเข้มข้นของหัวเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ภายหลังการหมัก 7 วัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถผลิตเซลลูโลสได้ปริมาณสูงสุด มีความหนา 1.13±0.15 เซนติเมตร ค่าสี L* 52.16±0.02 ค่าสี a* -3.16±0.05 ค่าสี b* 0.42±0.29 การทนต่อการเคี้ยว (chewiness) ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 11 องศาบริกซ์ สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การใช้ประโยชน์จากไซรัปกล้วยน้ำว้าเพื่อการผลิตวุ้นสวรรค์ สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร เช่น ขนมหวาน โยเกิร์ต และไอศกรีม เป็นต้น จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าให้แก่กล้วยในระยะสุกงอม

คำสำคัญ: *Acetobacter* sp. ไซรัปกล้วย วุ้นสวรรค์ กล้วยน้ำว้า เซลลูโลส

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
[*] Corresponding author e-mail: adisara.ta@skru.ac.th

Received: 7 October 2021, Revised: 20 December 2021, Accepted: 20 December 2021

Abstract

Bananas (*Musa sapientum* L.) are very productive in Thailand. In the ripening period of bananas, the flesh is soft and will begin to rot within 2-3 days. In this period, the sugar content in the banana is very high; therefore, the overripe banana is utilized to produce banana syrup. In addition, the utilization of syrup extends to produce cellulose or Nata by Acetobacter sp. TISTR 1014. This research studied total dissolved solids (11, 18, and 26 °Brix) that affected microbial growth and cellulose production. The results found that the growth conditions of Acetobacter sp. TISTR 1014 was 11 °Brix under pH 4.2, ammonium sulfate 0.5% (m/v) and the concentration of the initial inoculum was 10% (v/v). The fermentation period was 7 days at 30°C, which is the highest quality of cellulose production. The thickness was 1.13±0.15 cm. L* was 52.16±0.02, a* was -3.16±0.05 and b* was 0.42±0.29. The chewiness of total dissolved solids at 11 °Brix was highest significantly ($p \leq 0.05$). Therefore, the utilization of syrup extends to produce cellulose. Cellulose can be used as an ingredient in many kinds of food such as dessert, yogurt, and ice cream, which is an alternative to add value to the overripe bananas.

Keywords: *Acetobacter* sp., Banana syrup, Bacteria cellulose, Namwah Banana, Cellulose

บทนำ

กล้วย (*Musa sapientum* L.) เป็นพืชเมืองร้อนที่ปลูกมากทุกพื้นที่ในประเทศ มีพื้นที่ปลูกกล้วยทั้งหมด 481,639 ไร่ กล้วยที่นิยมบริโภค เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ กล้วยหอม และกล้วยเล็บมือนาง เป็นต้น กล้วยน้ำว้ามีพื้นที่ปลูกมากที่สุด 328,456 ไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2563) และให้ผลผลิตเป็นจำนวนมากตลอดปี จากผลผลิตที่มากทำให้เกิดปัญหาสภาวะกล้วยล้นตลาด เนื่องจากกล้วยเป็นผลไม้ประเภทผลไม้บ่มได้ (climacteric fruit) หลังการเก็บเกี่ยวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรวดเร็ว การผลิตเอทิลีน (ethylene) มากขึ้น อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ทำให้สุกอย่างรวดเร็ว เกิดการเน่าเสียและเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก (ภูมิพงษ์ และคณะ 2563) ดังนั้นจึงได้นำกล้วยน้ำว้าในระยะสุกงอมมาใช้ประโยชน์ พบว่ากล้วยในระยะสุกงอม (เปลือกสีเหลืองมีจุดกระสีน้ำตาล) ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 2.6 น้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 33.6 และซูโครสร้อยละ 53.2 เป็นต้น (Trisnaputri *et al.,* 2018) เนื้อสัมผัสนิ่มลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ เช่น สารประกอบเพคทิน (pectin) โมเลกุลของแป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาล มีอัตราส่วนของน้ำตาลและกรดเพิ่มขึ้น (ภูมิพงษ์ และคณะ 2563) จึงได้มีนักวิจัยนำกล้วยระยะสุกงอมมาผลิตเป็นไซรัปจากกล้วยน้ำว้าหรือน้ำกล้วยเข้มข้นที่ผ่านการหมักด้วยเอนไซม์ ทำให้เกิดการย่อยแป้งเป็นน้ำตาล น้ำตาลที่ได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น น้ำตาลฟรุกโตส และกลูโคส เป็นต้น ไซรัปที่ได้มีลักษณะเหลว ใส มีกลิ่นรสกล้วย สามารถเก็บรักษาได้นาน เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลสูงไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 (ธิดารัตน์, 2559; Trisnaputri

et al., 2018) นอกจากการผลิตเป็นไซรัปกล้วยแล้ว นักวิจัยได้นำไซรัปมาใช้ประโยชน์ในการผลิตวุ้นสวรรค์หรือเซลลูโลสจากแบคทีเรีย (bacterial cellulose) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการหมักของแบคทีเรีย แบคทีเรียที่นิยมในการนำมาผลิตวุ้นสวรรค์ คือ *Acetobacter xylinum* สามารถเจริญได้ในสภาวะที่มีน้ำตาลสูง อีกทั้งสามารถผลิตเซลลูโลสได้ดี เซลลูโลสที่สร้างขึ้นประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ที่ต่อกันด้วยพันธะ β-1,4-glycosidic bond ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืช การผลิตวุ้นสวรรค์จำหน่ายในประเทศราคาขายส่งแผ่นวุ้นที่ยังไม่ได้แปรรูป ราคาอยู่ที่กิโลกรัมละ 15-25 บาท (ปราโมทย์, 2546) เซลลูโลสที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทางการแพทย์ ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์บำบัดน้ำเสีย และผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นต้น (วิจิตรา และคณะ 2555; จุฬาลักษณ์, 2559) นอกจากนี้การประยุกต์ใช้เซลลูโลสในอาหาร เช่น การประยุกต์ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด หรือเป็นองค์ประกอบในอาหาร ซึ่งมีประโยชน์ต่อระบบทางเดินอาหาร โดยนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม หรือโยเกิร์ต เป็นต้น (Raghunathan, 2013) ดังนั้นการนำไซรัปกล้วยน้ำว้าที่ได้จากกล้วยในระยะสุกงอมมาใช้ประโยชน์ และต่อยอดเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์วุ้นสวรรค์เป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่กล้วยน้ำว้า เกิดความหลากหลายและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมหัวเชื้อ

นำน้ำมะพร้าวปริมาตร 300 มิลลิลิตร ผสมด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ให้ความร้อนโดยการต้ม เติมน้ำตาลซูโครสปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็น 22 องศาบริกซ์ (°Brix) ตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที ทำการปรับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยกรดอะซิติกให้ได้ 4.2 แบ่งใส่ขวดรูปชมพู่ขวดละ 100 มิลลิลิตร ปิดปากขวดด้วยจุกสำลีและฟรอยล์ นำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส 15 นาที เมื่ออาหารเย็นตัวลงใส่เชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR 1014 (จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย) ร้อยละ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร เข้าเครื่องเขย่าและบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3-5 วัน (ดัดแปลงจาก Jagannath *et al.,* 2008)

2. การศึกษาลักษณะของไซรัปกล้วยน้ำว้า

ไซรัปที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นการต่อยอดการผลิตไซรัปจากงานวิจัยของกมลทิพย์ (2564) โดยนำกล้วยน้ำว้าที่สุกเต็มที่ระยะสุกงอมมาบดละเอียด ปรับให้ได้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสในอ่างควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นเติมเอนไซม์อะไมเลสและเพคติเนสร้อยละ 0.10 นาน 4 ชั่วโมง นำมาคั้นแยกส่วนใส ซึ่งเรียกว่า ไซรัปกล้วย นำไซรัปกล้วยที่ผลิตได้มาศึกษาคุณสมบัติของไซรัปกล้วยโดยการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังหมัก

3. การเตรียมวุ้นสวรรค์จากไซรัปกล้วยน้ำว้า

นำน้ำไซรัปกล้วยน้ำว้า ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เริ่มต้น 26 องศาบริกซ์ ปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาณของแข็งที่ละลายเป็น 11 18 และ 26 องศาบริกซ์ ด้วยน้ำมะพร้าว เติมแอมโมเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้ได้ 4.2 นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ใส่ภาชนะที่เตรียมไว้

รอให้เย็นใส่หัวเชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR 1014 ร้อยละ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร หมักไว้ 5-7 วัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจากจินตนา และคณะ, 2560)

4. การศึกษาลักษณะของแผ่นวุ้นสวรรค์

หลังจากการหมักไซรัปกล้วยเป็นเวลา 7 วัน นำแผ่นวุ้นที่ได้มาทำการล้างผ่านน้ำ และนำไปต้มเพื่อไล่กลิ่นกรด จากนั้นนำไปแช่ในน้ำและเก็บในตู้เย็นเพื่อนำไปแปรรูปและวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของวุ้นสวรรค์ สังเกตลักษณะที่ปรากฏ และการวัดความหนาของแผ่นวุ้นสวรรค์ โดยทำการวัด 3 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย การตรวจสอบความนุ่มเหนียวของวุ้นสวรรค์โดยการทดสอบการทนเคี้ยวของชิ้นวุ้น (chewiness) ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer, TA.XT2i) ใช้หัววัด 4 มิลลิเมตร Cylinder probe (P/4) โดยทำการวัด 5 จุดแล้วหาค่าเฉลี่ย วิเคราะห์ค่าสีระบบ CIE (L* a* b*) ด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab (color flex) นำแผ่นวุ้นสวรรค์ตัดชิ้น ทำการวัดค่าสีตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design: CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 23

ผลการวิจัย

1. การศึกษาลักษณะของไซรัปกล้วยน้ำว้า

จากงานวิจัยของกมลทิพย์ (2564) ผลิตไซรัปกล้วยน้ำว้าซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกล้วยในระยะสุกงอมมาผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสและเพคติเนส เพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยแป้งและสารประกอบเพคติน จึงทำให้ได้ไซรัปมีสีน้ำตาลและใส ปริมาณน้ำตาลสูงขึ้น เมื่อตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 25 องศาบริกซ์ มีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6-7

หลังจากนั้นนำมาปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.2 และปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่ระดับ 11 18 และ 26 องศาบริกซ์ ทำการหมักไซรัปกล้วยน้ำว้าที่ได้กับเชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR 1014 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน มีความเป็นกรด-ด่าง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเป็นกรด-ด่างของไซรัปกล้วยน้ำว้าที่ระดับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่าง ๆ หลังจากการหมักเป็นเวลา 7 วัน

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)
11	3.21 ± 0.01^{b}
18	3.16 ± 0.00^{c}
26	3.36 ± 0.00^{a}

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ตัวอย่าง

- ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. การศึกษาลักษณะของแผ่นวุ้นสวรรค์

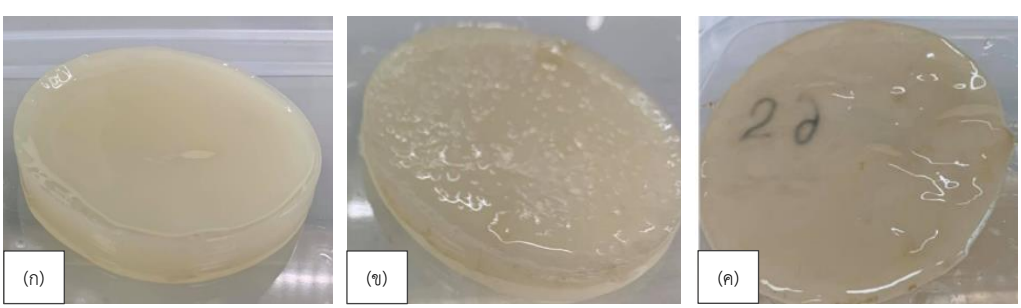
จากการศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยการปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็น 11 18 และ 26 องศาบริกซ์ เติมแอมโมเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปรับความเป็นกรด-ด่างด้วยกรดอะซิติกให้ได้ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.2 ซึ่งหมักไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพ พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีผลต่อการสร้างแผ่นวุ้นของเชื้อจุลินทรีย์ ความหนาจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง เชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR 1014 เจริญได้ดีที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 11 องศาบริกซ์ มีความหนา 1.13±0.15 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 18 และ 26 องศาบริกซ์ โดยมีความหนาอยู่ที่ 0.67±0.06 และ 0.53±0.06 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 1

ตารางที่ 2 ความหนาของวุ้นสวรรค์หลังจากการหมักเป็นเวลา 7 วัน

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	ความหนา (เซนติเมตร)
11	1.13±0.15[a]
18	0.67±0.06[b]
26	0.53±0.06[b]

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ตัวอย่าง

- ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 1 วุ้นสวรรค์จากไซรัปกล้วยที่ระดับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่าง ๆ หลังจากการหมักเป็นเวลา 7 วัน (ก) 11 องศาบริกซ์ (ข) 18 องศาบริกซ์ (ค) 26 องศาบริกซ์

หลังจากการเป็นเวลา 7 วัน นำวุ้นที่ได้มาวัดค่าสี พบว่าเมื่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น ค่า L* ก็จะมีค่าลดลง โดยวุ้นที่หมักที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 11 องศาบริกซ์ มีค่า L* มากที่สุด มีค่า a* ที่ไม่แตกต่างกันกับที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 18 และ 26 องศาบริกซ์ และค่า b* เท่ากับ 0.42±0.29 แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสีของวุ้นสวรรค์จากไซรัปกล้วยที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้แตกต่างกัน ที่หมักเป็นเวลา 7 วัน

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	ค่าสี		
	L*	a*	b*
11	52.16±0.02[a]	-3.16±0.05[a]	0.42±0.29[b]
18	48.23±0.05[b]	-2.49±0.05[a]	0.61±0.13[a]
26	36.56±0.02[c]	-6.70±8.66[a]	-2.45±0.07[c]

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ตัวอย่าง
- ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากศึกษาการทดสอบวัดค่าการทนต่อการเคี้ยวของวุ้นสวรรค์จากน้ำไซรัปกล้วยน้ำว้าหลังจากการหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน พบว่าวุ้นสวรรค์ที่ผลิตได้ที่สภาวะที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 11 องศาบริกซ์ มีค่าการทนต่อการเคี้ยว เท่ากับ 2,148.61±555.90 กรัม เมื่อเทียบกับสภาวะที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 18 และ 26 องศาบริกซ์ โดยมีค่าการทนต่อการเคี้ยวเท่ากับ 998.67±56.13 และ 647.88±111.67 กรัม ตามลำดับ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าการทนต่อการเคี้ยวของวุ้นสวรรค์ที่ระดับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่าง ๆ ที่หมักเป็นเวลา 7 วัน

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	ค่าการทนต่อการเคี้ยว (กรัม)
11	2,148.61±555.90[a]
18	998.67±56.13[b]
26	647.88±111.67[b]

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ตัวอย่าง
- ตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การอภิปรายผลการวิจัย

การผลิตวุ้นสวรรค์จำเป็นต้องปรับสภาวะให้เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ เนื่องจากเชื้อ *A. xylinum* สามารถสร้างเส้นใยได้ดีที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 10 องศาบริกซ์ และปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (Jagannath *et al.,* 2008) เนื่องจากเป็นแหล่งธาตุอาหารรองที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์ซึ่งช่วยให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีและทำให้ผลิตภัณฑ์สูงขึ้น (จีราภรณ์ และฉัตรชัย, 2557) ในกระบวนการหมักความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการผลิตเซลลูโลสอยู่ในช่วง 4-6 ซึ่งเป็นค่าเหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ *A. xylinum* (อนันต์และคณะ, 2553) แต่ความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4.0 ส่งผลให้การผลิตเซลลูโลสลดลง (Raghunathan, 2013) การปรับสภาพของการหมักให้เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ *A. xylinum* จะช่วยลดการปนเปื้อน ในงานวิจัยไซรัปกล้วยน้ำว้ามีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6-7 ปรับให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.2

และปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 11 18 และ 26 องศาบริกซ์ หลังจากการหมักเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ซึ่งเกิดจากกระบวนการหมักของเชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR 1014 ที่สามารถเจริญได้ที่มีกลูโคสซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอน และผลิตเป็น 5-Ketogluconic acid จากกลูโคส ทำให้ความเป็นกรดด่างลดลงในระหว่างการหมัก (ศยามพงษ์, 2560) และมีการผลิตเส้นใยเพิ่มขึ้นขณะการหมัก ผลการทดลองในงานวิจัยสอดคล้องกับการศึกษาของ Jagannath *et al.* (2008) พบว่าแบคทีเรีย *A. xylinum* สามารถเจริญเติบโตได้ดีและสร้างวุ้นที่มีความหนามากที่สุดที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 10 องศาบริกซ์ ซึ่งงานวิจัยนี้มีการใช้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 11 องศาบริกซ์ มีความหนาของเซลลูโลสมากกว่าที่ 18 และ 26 องศาบริกซ์ วุ้นสวรรค์ที่ได้มีลักษณะเรียบ ใส และเนื้อสัมผัสนุ่มเหนียว แตกต่างลักษณะวุ้นสวรรค์ที่ได้จากการหมักที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 18 และ 26 องศาบริกซ์ พบว่ามีสีเข้มขึ้น (สีน้ำตาลอ่อน) ทำให้ค่า L* ลดลง การเปลี่ยนแปลงสีที่เข้มนี้เกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากการกระทำของเอนไซม์ (enzymatic browning) รวมถึงปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ในกระบวนการเตรียมไซรัป อีกทั้งพบว่าการเพิ่มปริมาณการใช้น้ำไซรัปส่งผลให้การสร้างวุ้นลดลง เนื่องจากปริมาณของสารฟีโนลิกที่เป็นองค์ประกอบในกล้วย ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (Cook and Samman, 1996) และพบว่าค่าการทนต่อการเคี้ยวในสภาวะที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 11 มีค่ามากกว่าที่ 18 และ 26 ของแข็งที่ละลายได้ 10 องศาบริกซ์ เนื่องจากสภาวะนี้มีความหนาของวุ้นสวรรค์ที่ได้หนากว่าที่สภาวะอื่น ๆ ความหนาของวุ้นสวรรค์มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยจะมีผลต่อเนื้อสัมผัสในทางกายภาพและทางด้านประสาทสัมผัส ลักษณะเนื้อสัมผัสของวุ้นสวรรค์ที่เป็นที่ต้องการ คือ จะต้องมีลักษณะเหนียว นุ่ม แน่น และเรียบเนียน (Jagannath *et al.,* 2008)

สรุปผลการวิจัย

สภาวะที่ใช้ในการผลิตวุ้นสวรรค์จากไซรัปกล้วยน้ำว้า โดยใช้เชื้อ *Acetobacter* sp. TISTR 1014 คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 11 องศาบริกซ์ ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.2 ปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และปริมาณหัวเชื้อร้อยละ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร หมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน มีความหนาของวุ้นสวรรค์ 1.13±0.15 เซนติเมตร เนื้อวุ้นสวรรค์มีสีค่อนข้างขาว เนื้อวุ้นมีลักษณะเหนียว นุ่ม แน่น เรียบเนียน และอุ้มน้ำได้ดี สามารถนำมาแปรรูปใช้ประโยชน์ทางการค้า เช่น นำมาแปรรูปเป็นอาหารหวานส่วนผสมในเยลลี่ โยเกิร์ตและไอศกรีม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่สนับสนุนการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. (2563). *รายงานพิเศษ : โชว์กล้วยน้ำว้าพันธุ์ใหม่'สุโขทัย1' ให้ผลผลิตสูง-คุณค่าทางโภชนาการชนะเลิศ*. สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2563, จาก: https://www.naewna.com/local/469317.

กมลทิพย์ นิคมรัตน์. (2564). การพัฒนาเครื่องดื่มน้ำนมผสมไซรัปกล้วยน้ำว้า. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 31* (หน้า 1131-1138). สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ.

จินตนา พรมวงษ์ป้อ วนิดา โยคนิตย์ และจุฬาลักษณ์ เขมาชีวะกุล. (2560). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการหมักเพื่อผลิตวุ้นด้วย *Acetobacter xylinum* TISTR 975 จากน้ำมะม่วง. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.,* 40(2), 271-282.

จีราภรณ์ สังข์ผุด และฉัตรชัย สังข์ผุด. (2557). การผลิตเส้นใยเซลลูโลสด้วยน้ำหวานต้นจาก. *วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช,* 33(2), 60-71.

จุฬาลักษณ์ เขมาชีวะกุล. (2559). การผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสสายพันธุ์ *Acetobacter xylinum* และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. *การเกษตรราชภัฏ*, 15(2), 25-33.

ปราโมทย์ ธรรมรัตน์. (2546). ประสบการณ์วิจัยพัฒนาวุ้นมะพร้าวและวุ้นสวรรค์ครบวงจร. *ประชาคมวิจัย.* 50, 7-9.

ธิดารัตน์ เทพรัตน์. (2559). การผลิตไซรัปกล้วยน้ำว้า. *วารสารวิชาการปทุมวัน,* 6(16), 7-14.

ภูมิพงษ์ ชูช่วยสุวรรณ เทพปัญญา เจริญรัตน์ สุเปญญา จิตตพันธ์ และนวลกมล อำนวนสิน. (2563). การพยากรณ์ระยะสุกของกล้วยหอมทองโดยใช้การถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน. *Thai Journal of Science and Technology*, 9(2), 287-297.

วิจิตรา ใหม่จันทร์ พิชามญชุ์ กำมังละการ สุวรรณา สุดปรีก กุลนันท์ ปุ๊ดพรหม ชุติมา อันชนะจันทร์ทิมา พงษ์พานิช และสุรศักดิ์ ละลอกน้ำ. (2555). การผลิตเซลลูโลสจากแบคทีเรีย *Acetobacter xylinum* TISTR 086 โดยใช้ผลผลิตทางการเกษตรเป็นแหล่งคาร์บอน. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเอการเรียนรู้.* 3(2), 92-97.

ศยามพงษ์ พงษ์ดำ. (2560). การหายใจระดับเซลล์ของแบคทีเรียกรดอะซิติก: การหมักแบบออกซิเดทีฟและการประยุกต์ใช้. *วารสารวิจัย มสด,* 10(3), 203-236.

อนันต์ บุญปาน สิริแข พงษ์สวัสดิ์ และจิรพรรณ คำผา. (2553). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตวุ้นสวรรค์จากกากน้ำตาล. ใน *ประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48* (หน้า 547-554). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Cook, N.C. and Samman, S. (1996). Flavonoids-Chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources. The Journal of Nutritional Biochemistry. 7(2), 66-76.

Jagannath, A., Kalaiselven, A., Manjunatha, P.S. and Bawa, A.S. (2008). The effect of pH, sucrose and ammonium sulphate concentrations on the production of bacterial cellulose (Nata-de-coco) by *Acetobacter xylinum*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24(11), 2593-2599.

Raghunathan, D. (2013). Production of microbial cellulose from the new bacterial strain isolated from temple wash waters. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences,* 2(12), 275-290.

Trisnaputri, A.C., Usman, N.R., Mustawa, M.A. and Jaya, A.M. (2018). Production banana glucose syrup with the α-amylase supplementation. *International Journal of Applied Biology,* 2(1), 61-65.