รายงานการวิจัย

การหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำตาลโตนด โดยใช้ *Acetobacter xylinum* TISTR 107

ธนุสรา เหล่าเจริญสุข[1] และ สุพัตรา แก้วทะโร[2]

Abstract

Laochareonsuk, T. and Kaewtaro, S.
The optimal conditions for nata production from sugar palm syrup by *Acetobacter xylinum* TISTR 107
Songklanakarin J. Sci. Technol., 2005, 27(6) : 1253-1261

The optimal conditions of nata production from the fermentation of sugar palm syrup by *Acetobacter xylinum* TISTR 107 was studied. The results showed that optimized production for a litre of sugar palm syrup medium should compose 15 ºBrix concentration, 7.0 g $NH_4H_2PO_4$ and 0.7 g $MgSO_4$. 7 H_2O at pH 4.25 and incubation at room temperature. The thickness of nata production reached 1.15 cm in 9 days. Sensory evaluation showed that there were no significant difference in odor and acceptability between the nata from sugar palm syrup and the traditional nata production from coconut juice whereas there were significant differences in color and texture. However, the nata from sugar palm syrup gave a better texture. Chemical analysis of the nata produced under these optimal culture conditions revealed 0.13% protein, 0.012% fat, 2.74% fiber, 0.378% nitrogen-free extract, 0.11% ash and 96.63% moisture content. The results suggest that nata produced from sugar palm syrup can be used in food and confectionery.

Key words : nata production, *Acetobacter*, *Acetobacter xylinum*, sugar palm

Department of Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani 94000, Thailand.

[1]วท.ม.(จุลชีววิทยา) [2]วท.บ.(เคมี-ชีววิทยา) ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี อำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี 94000

Corresponding e-mail: ltanus@bunga.pn.psu.ac.th

รับต้นฉบับ 3 ธันวาคม 2547 รับลงพิมพ์ 13 พฤษภาคม 2548

บทคัดย่อ

ธนุสรา เหล่าเจริญสุข และ สุพัตรา แก้วทะโร

การหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำตาลโตนด โดยใช้ *Acetobacter xylinum* TISTR 107

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2548 27(6) : 1253-1261

ได้ทดลองหาสูตรอาหารน้ำตาลโตนดที่เหมาะสมต่อการผลิตวุ้นสวรรค์โดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *Acetobacter xylinum* TISTR 107 ผลปรากฏว่าการผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำตาลโตนด 1 ลิตร ความเข้มข้นของน้ำตาลโตนดที่ใช้ 15 °Brix เติมแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 7.0 กรัม แมกนีเซียมซัลเฟต 0.7 กรัม ปรับ pH ให้เป็น 4.25 หมักที่อุณหภูมิห้อง ในสภาพดังกล่าวจะได้แผ่นวุ้นหนา 1.15 ซม. ในเวลา 9 วัน นำวุ้นสวรรค์ที่สร้างจากน้ำตาลโตนดไปทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า กลิ่นและการยอมรับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวุ้นสวรรค์ที่สร้างจากน้ำมะพร้าวซึ่งมีจำหน่ายในท้องตลาด แต่สีและลักษณะเนื้อสัมผัสมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวุ้นสวรรค์ที่สร้างจากน้ำตาลโตนดมีเนื้อสัมผัสดีกว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวุ้นสวรรค์ที่สร้างจากน้ำตาลโตนด พบว่ามีโปรตีน 0.13% ไขมัน 0.012% เยื่อใย 2.74% nitrogen-free extract 0.378% เถ้า 0.11% และความชื้น 96.63% สามารถนำวุ้นสวรรค์ที่สร้างจากน้ำตาลโตนดมาแปรรูปเป็นอาหารคาวและหวานได้

ต้นตาลโตนด (Palmyra Palm) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Borassus flabellifer linn* อยู่ในตระกูลปาล์ม เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการเพาะปลูกทุกภาคของประเทศไทย เกษตรกรนิยมนำตาลโตนดมาทำน้ำตาลโตนดสด แต่เนื่องจากน้ำตาลโตนดสดที่เก็บเกี่ยวในแต่ละครั้งไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน เพราะเกิดการเสื่อมเสียอย่างรวดเร็วจากการทำลายของจุลินทรีย์ เกษตรกรจึงมีการนำน้ำตาลโตนดสดไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น น้ำผึ้ง น้ำตาลปี๊ป น้ำตาลแว่น น้ำส้มสายชู และน้ำตาลเมา เป็นต้น (กนก, 2531) จากการศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลโตนดสด พบว่ามีน้ำตาลทั้งหมด 16.8% เป็นน้ำตาลซูโครส 15.0% (Tirawat *et al*., 1986 อ้างโดย สุกัญญา, 2547) ดังนั้น ถ้าสามารถนำน้ำตาลโตนดสดไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นได้อีกจะเป็นการสร้างโอกาสในการนำน้ำตาลโตนดสดไปใช้ประโยชน์มากขึ้น เป็นการลดปริมาณน้ำตาลโตนดสดที่เหลือทิ้งในแต่ละวันและเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรอีกทางหนึ่ง

ผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจคือวุ้นสวรรค์เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวุ้นน้ำมะพร้าวหรือวุ้นน้ำส้ม ซึ่งผลิตจากเชื้อจุลินทรีย์ *Acetobacter xylinum* องค์ประกอบหลักของวุ้นสวรรค์คือเซลลูโลสที่มีน้ำตาลกลูโคสมาต่อกันเป็นแบบ beta 1, 4-glucan polymer และส่วนประกอบ 99% ของทั้งหมดเป็น dietary fiber ลักษณะเซลลูโลสที่เชื้อผลิตออกมานั้นเป็นเส้นใยที่สานกันเป็นร่างแห พันกันอย่างแน่นหนา มีความยืดหยุ่น ความเหนียวนุ่ม ความใส มีการดูดซับและความบริสุทธิ์สูง (สุเนตร และคณะ, 2543; Ross *et al*., 1991) ซึ่งการผลิตวุ้นสวรรค์มีปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง เช่น (สมคิด, 2531; สมศรี, 2531; Oikawa *et al*., 1995) เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักเป็นเชื้อแบคทีเรียมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Acetobacter xylinum* การผลิตวุ้นสวรรค์ควรใช้เชื้อบริสุทธิ์ที่แยกและคัดเลือกแล้วว่าเหมาะสมสำหรับการผลิตวุ้นสวรรค์ ปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วง 10-20% วัตถุดิบ ควรใช้วัตถุดิบที่หาได้ง่าย และมีคุณค่าทางอาหารเหมาะสมกับการเจริญของเชื้อที่ใช้ เช่น น้ำมะพร้าว น้ำสับปะรด น้ำอ้อย น้ำตาลปี๊บ เป็นต้น โดยเลือกวัตถุดิบที่สดและใหม่ มีไขมันน้อย ไม่มีการปนเปื้อนของวัตถุดิบที่เน่าเสียมาก่อน การใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกันมีผลทำให้ได้ผลผลิตและลักษณะของวุ้นสวรรค์ที่แตกต่างกัน เมื่อใช้น้ำมะพร้าวเป็นวัตถุดิบหมักเป็นเวลา 7 วัน ได้วุ้นสวรรค์หนา 1.5 ซม. เมื่อใช้น้ำสับปะรดเป็นวัตถุดิบหมักเป็นเวลา 7 วัน ได้วุ้นสวรรค์หนา 1.3 ซม. (ปราโมทย์ และคณะ, 2544) แบคทีเรียที่สร้างแผ่นวุ้นต้องการก๊าซ

ออกซิเจนในการเจริญเติบโต เชื้อจะเจริญและสร้างแผ่นวุ้นที่ผิวหน้าของอาหาร หรือผิวหน้าของน้ำมะพร้าวที่ใช้หมัก (White and Brown, 1989) ดังนั้นภาชนะที่ใช้สำหรับหมักควรมีพื้นที่ผิวกว้างและใช้ผ้าขาวบางหรือกระดาษชนิดบางปิดภาชนะที่ใช้ในการหมัก ลักษณะของแผ่นวุ้นที่ได้จะมีรูปทรงตามภาชนะที่ใช้ ระหว่างการหมักต้องระวังไม่ให้กระเทือนถ้ากระเทือนแผ่นวุ้นจะจมลงไปเชื้อจะเจริญสร้างวุ้นแผ่นใหม่บนผิวหน้าของอาหารได้อีกแต่แผ่นวุ้นที่ได้จะบางลง กรดน้ำส้ม กรดน้ำส้มจะช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อปนเปื้อน กรดจะช่วยปรับความเป็นกรดด่าง (pH) ของวัตถุดิบที่ใช้หมักให้เหมาะสมกับการเจริญของเชื้อทำให้เชื้อเจริญสร้างแผ่นวุ้นได้รวดเร็วขึ้น ค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการหมักวุ้นสวรรค์คือ 4.5-5.0 ปริมาณกรดที่ใช้ในการปรับ pH ให้เหมาะสมสำหรับการผลิตวุ้นสวรรค์ประมาณ 1.0-2.0% สมศรี (2531) สุเนตรและคณะ (2536) หมักวุ้นน้ำมะพร้าวใช้กรดน้ำส้มปรับ pH ให้เป็น 4.5 และ 4.75 ตามลำดับ วราวุฒิ และคณะ (2536) ปราโมทย์ และคณะ (2544) หมักวุ้นน้ำมะพร้าวโดยเติมกรดน้ำส้ม 1.5% และ 1.0% ตามลำดับ ปริมาณน้ำตาล น้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการเจริญของเชื้อและการสร้างแผ่นวุ้น เชื้อสามารถใช้น้ำตาลได้หลายชนิด น้ำตาลที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตวุ้นสวรรค์คือน้ำตาลซูโครสหรือน้ำตาลทราย โดยใช้ปริมาณ 5-8% สารประกอบไนโตรเจน การเติมสารประกอบไนโตรเจนจะช่วยเร่งการผลิตวุ้นสวรรค์ให้ได้ความหนาในระยะเวลาสั้น สารที่นิยมใช้คือแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตหรือแอมโมเนียมซัลเฟตปริมาณ 0.5-0.6% การหมักวุ้นน้ำมะพร้าวหรือวุ้นสับปะรดมีการเติมแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.5% (ปราโมทย์ และคณะ, 2544)

การผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำตาลโตนดจึงมีแนวโน้มสูงที่จะผลิตได้ เพราะน้ำตาลโตนดประกอบด้วยน้ำตาลซูโครสเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเชื้อสามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญได้ และมีปริมาณไขมันน้อย (ไพศาล และคณะ, 2536) ดังนั้นจึงดำเนินการวิจัยครั้งนี้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำตาลโตนด และศึกษาการแปรรูปวุ้นสวรรค์จากน้ำตาลโตนดเป็นอาหารคาวและอาหารหวาน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุอุปกรณ์

จุลินทรีย์ เชื้อแบคทีเรีย *Acetobacter xylinum* TISTR107 ได้รับจากศูนย์เก็บรักษาเชื้อพันธุ์จุลินทรีย์แห่งชาติ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย โดยมีการเตรียมหัวเชื้อโดยถ่ายเชื้อ *Acetobacter xylinum* TISTR107 ลงบนอาหารวุ้นเอียง Acetobacter agar slant (Atlas, 1995) บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30ºC เป็นเวลา 3 วัน แล้วจึงถ่ายเชื้อลงในหลอดซึ่งบรรจุอาหารเหลวสำหรับเตรียมหัวเชื้อปริมาตร 10 มล. บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30ºC เป็นเวลา 3 วัน แล้วถ่ายเชื้อจากหลอดอาหารเหลวลงในฟลาสก์ที่บรรจุอาหารเหลวสำหรับเตรียมหัวเชื้อปริมาตร 200 มล. บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30ºC โดยวางทิ้งไว้เป็นเวลา 3 วัน

สูตรอาหารเหลวสำหรับเตรียมหัวเชื้อ (ดัดแปลงจาก สมคิด, 2531) ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

น้ำตาลโตนด 1 ลิตร แอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 3 กรัม กรดอะซิติก 6 มล. พีเอช 4.5 บรรจุอาหารใส่หลอดแก้วและฟลาสก์ที่สะอาด ปริมาตร 10 และ 200 มล. ตามลำดับ

วิธีการทดลอง

ศึกษา pH ที่เหมาะสมต่อการสร้างแผ่นวุ้น

นำน้ำตาลโตนดสดมากรองด้วยผ้าขาวบาง ต้มจนเดือด (วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 15 องศาบริกซ์โดยใช้ hand refractometer) ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 3 กรัม/ลิตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด มีพีเอช 5 ระดับโดยเติมกรดอะซิติกให้พีเอชของอาหารเป็น 3.5, 3.75, 4.00, 4.25 และ 4.50 บรรจุอาหารใส่กล่องพลาสติกขนาด 15.5x21 ซม. ปริมาตรกล่องละ 700 มล. ความสูงของอาหารเป็น 2.5 ซม. (สุเมธ และคณะ, 2544) เติมหัวเชื้อ 5% *A. xylinum* ปิดฝากล่องด้วยกระดาษสีขาวชนิดบางที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว แต่ละระดับพีเอชทำการทดลอง 3 ซ้ำ หมักที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน ตรวจผลการทดลองโดยวัดความหนาของแผ่นวุ้น

ศึกษาปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการสร้างแผ่นวุ้น

เตรียมน้ำตาลโตนดสดเหมือนที่กล่าวไว้ในข้างต้น ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ความเข้มข้น 0, 0.3, 0.5, 0.8, 1.0, 3.0, 5.0 และ 7.0 กรัม/ลิตร เติมกรดอะซิติกให้มีพีเอช 4.25 วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด บรรจุอาหารใส่กล่องพลาสติกขนาด 15.5x21 ซม. ปริมาตรกล่องละ 700 มล. เติมหัวเชื้อ 5% *A. xylinum* ดำเนินการทดลองเหมือนที่กล่าวไว้ในข้างต้น

ศึกษาปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตที่เหมาะสมต่อการสร้างแผ่นวุ้น

เตรียมน้ำตาลโตนดสดเหมือนที่กล่าวไว้ในข้างต้น ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ความเข้มข้น 7 กรัม/ลิตร เติมแมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้น 0, 0.03, 0.05, 0.08, 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 กรัม/ลิตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด เติมกรดอะซิติกให้มีพีเอช 4.25 ดำเนินการทดลองเหมือนที่กล่าวไว้ในข้างต้น

ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการสร้างแผ่นวุ้น

เตรียมน้ำตาลโตนดสดเหมือนที่กล่าวไว้ในข้างต้น ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 7 กรัม/ลิตร เติมแมกนีเซียมซัลเฟต 0.7 กรัม/ลิตร เติมกรดอะซิติกให้มีพีเอชเป็น 4.25 ดำเนินการทดลองเหมือนที่กล่าวไว้ในข้างต้น ตรวจผลการทดลองหลังจากหมักเป็นระยะเวลา 6, 7, 8, 9 และ 10 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด

ศึกษาการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

เมื่อได้ผลผลิตวุ้นสวรรค์แล้วนำมาศึกษาคุณภาพโดยวิธีการดังนี้

ศึกษาวุ้นสวรรค์จากน้ำตาลโตนดหมักที่เวลา 6, 7, 8, 9 และ 10 วัน ศึกษาเปรียบเทียบวุ้นสวรรค์จากน้ำตาลโตนดกับวุ้นสวรรค์จากน้ำมะพร้าวที่จำหน่ายอย่างแพร่หลายในท้องตลาดจำนวน 2 ชนิด ลักษณะที่ศึกษา สี กลิ่น เนื้อสัมผัส ความชอบรวม โดยวิธี hedonic scale (Stone and Sidel, 1993; Lawless and Heymann, 1998) วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด วิเคราะห์ผลโดย analysis of variance ลำดับความแตกต่างโดย Duncan' s new multiple range test ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 42 คน

วิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของวุ้นสวรรค์จากน้ำตาลโตนดดังนี้

ตรวจหาปริมาณโปรตีนโดยวิธี Lowry (Lowry *et al*., 1951) เตรียมตัวอย่างโดยใช้แผ่นวุ้นที่อบแห้ง บดตัวอย่างให้ละเอียดด้วยเครื่องบด นำตัวอย่างมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น ปั่นให้เข้ากันโดยใช้โฮโมจิไนเซอร์ความเร็ว 5,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที นำมาวิเคราะห์หาโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเยื่อใย ปริมาณเถ้า ความชื้น และ nitrogen-free extract โดยวิธี AOAC Official Method (AOAC, 1990) นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาการแปรรูปวุ้นสวรรค์จากน้ำตาลโตนดเป็นอาหารคาวและอาหารหวาน โดยนำแผ่นวุ้นมาหั่นเป็นชิ้นเล็กยาวใช้แทนวุ้นเส้นเพื่อทำยำวุ้นน้ำตาลโตนด หรือใช้แทนเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อทำผัดไทยวุ้นน้ำตาลโตนด ถ้าแปรรูปเป็นอาหารหวานตัดวุ้นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาดประมาณ 1 ลบซม. ใช้ทำวุ้นน้ำตาลโตนดในน้ำเชื่อม โดยใช้วุ้น 1 กก. น้ำตาลทราย 70% ต้มในน้ำ 1 ลิตร ถ้าทำวุ้นกรอบจากวุ้นน้ำตาลโตนดให้นำวุ้นในน้ำเชื่อมมาเคี่ยวด้วยไฟปานกลางจนวุ้นใสเป็นเงาและน้ำตาลเริ่มเป็นผลึก

ผลการทดลองและวิจารณ์

Acetobacter xylinum TISTR 107 สามารถสร้างแผ่นวุ้นในอาหารที่มีน้ำตาลโตนดสด จากการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการสร้างแผ่นวุ้นทำการหมัก 10 วัน พบว่าในอาหารสำหรับสร้างแผ่นวุ้นที่ปรับพีเอชด้วยกรดอะซิติกให้มีพีเอชเป็น 4.25 เชื้อสามารถสร้างแผ่นวุ้นที่มีค่าเฉลี่ยความหนาสูงสุดเท่ากับ 1.15 ซม. ที่พีเอช 3.5, 3.75, 4.00, 4.25 และ 4.50 เชื้อสามารถสร้างแผ่นวุ้นได้หนาเฉลี่ยเท่ากับ 0, 1.09, 1.13, 1.15 และ 0.85 ซม. ตามลำดับ (Figure 1) ที่พีเอช 3.5 เชื้อไม่สร้างแผ่นวุ้น การสร้างแผ่นวุ้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 3.5 และการสร้างแผ่นวุ้นจะลดลงเมื่อพีเอชมากกว่า 4.25 แสดงว่าปริมาณกรดอะซิติกที่เติมลงไปเพื่อปรับพีเอชมีผลต่อการสร้างแผ่นวุ้น ดังนั้นในการหมักครั้งต่อไปจึงใช้พีเอชเริ่มต้น 4.25 ในขณะที่ผลการศึกษาของสมศรี (2531) ใช้น้ำมะพร้าวปรับพีเอชเป็น 4.5 ได้แผ่นวุ้นหนา 2.5 ซม. ในเวลา 14 วัน การหมักโดยใช้น้ำมะพร้าวของสุเมธและ

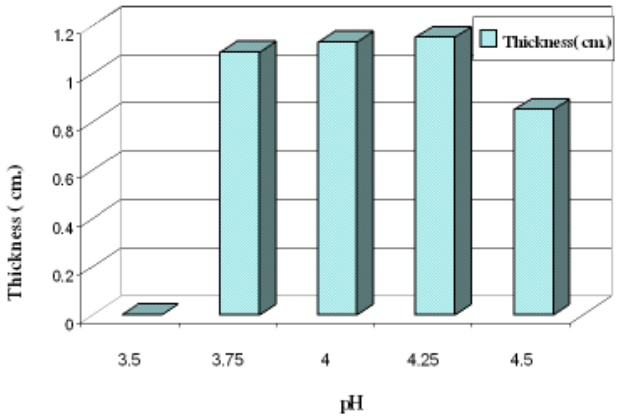

Figure 1. Effect of pH on the nata production from sugar palm syrup by *A. xylinum* TISTR 107 which was incubated at room temperature for 10 days.

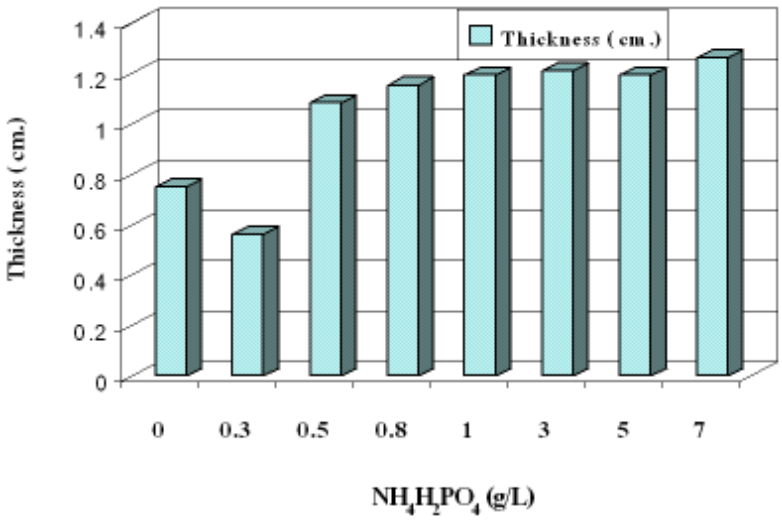

Figure 2. Effect of $NH_4H_2PO_4$ concentration on the nata production from sugar palm syrup by *A. xylinum* TISTR 107 which was incubated at room temperature for 10 days.

คณะ (2544) พบว่าพีเอชที่เหมาะสมคือ 4.75 หมักเป็นเวลา 8 วัน ความหนาของแผ่นวุ้นที่ได้น้อยกว่าของสมศรี (2531) เนื่องจากมีความแตกต่างกันของขบวนการหมัก คือ การใช้วัตถุดิบ ระยะเวลาการหมัก ตลอดจนสายพันธุ์จุลินทรีย์

จากการศึกษาหาปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ($NH_4H_2PO_4$) ที่เหมาะสม พบว่าที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 7 กรัม/ลิตร ให้ความหนาของแผ่นวุ้นเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 1.26 ซม. ผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตต่อการสร้างแผ่นวุ้นของเชื้อ *A. xylinum* TISTR 107 แสดงใน Figure 2 การเติมแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตมีผลทำให้เชื้อสร้างแผ่นวุ้นได้หนาขึ้น ในขณะที่การผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำมะพร้าวใช้แอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 5- 6 กรัม/ลิตร (สมคิด, 2531; ปราโมทย์และคณะ, 2544)

ผลของปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตที่เหมาะสมต่อการสร้างแผ่นวุ้นคือ 0.7 กรัม/ลิตร ที่ความเข้มข้นของแมกนีเซียมซัลเฟต 0, 0.03, 0.05, 0.08, 0.1, 0.3, 0.5

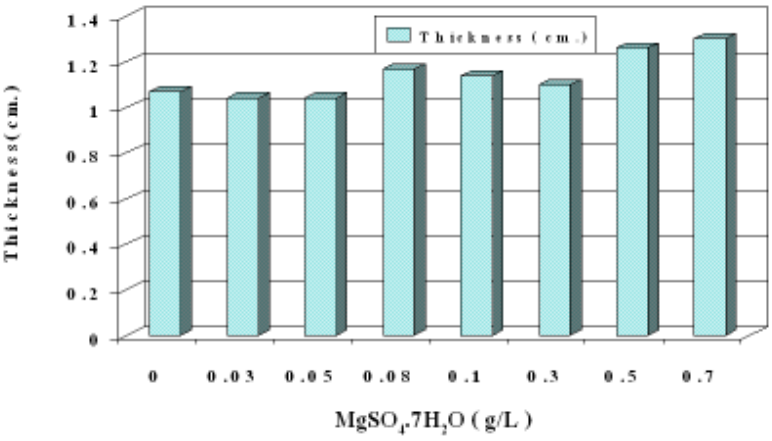

Figure 3. Effect of $MgSO_4$ .7H_2O concentration on the nata production from sugar palm syrup by *A. xylinum* TISTR 107 which was incubated at room temperature for 10 days.

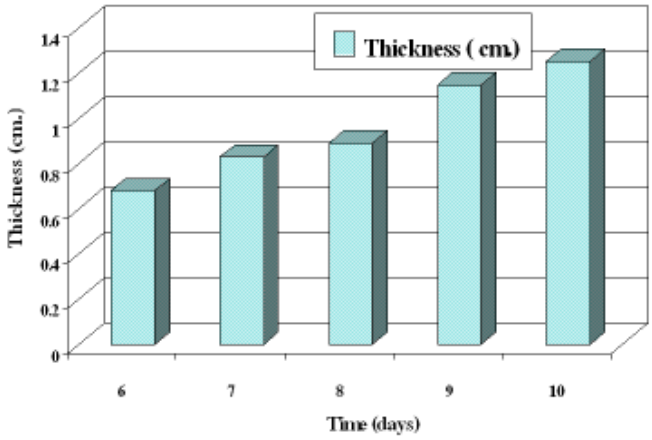

Figure 4. Effect of fermentation period on the nata production from sugar palm syrup by *A. xylinum* TISTR 107 which was incubated at room temperature for 10 days.

และ 0.7 กรัม/ลิตร ให้ความหนาของแผ่นวุ้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.07, 1.04, 1.04, 1.17, 1.14, 1.10, 1.26 และ 1.30 ซม. ตามลำดับ (Figure 3) ในขณะที่การผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำมะพร้าวใช้แมกนีเซียมซัลเฟต 0.3 กรัม/ลิตร (สมศรี, 2531) สุเนตร (2544) ใช้ 0.5 กรัม/ลิตร

จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการผลิตวุ้นสวรรค์ พบว่า การผลิตวุ้นสวรรค์จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาหมัก ที่ระยะเวลาหมัก 6, 7, 8, 9 และ 10 วัน ให้ความหนาของแผ่นวุ้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.68, 0.83, 0.89, 1.15 และ 1.25 ซม. ตามลำดับ (Figure 4) เมื่อนำวุ้นสวรรค์หมักที่ระยะเวลาต่างๆ มาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่าวุ้นสวรรค์หมักที่เวลา 6, 7, 8 และ 9 วัน ให้สี กลิ่น เนื้อสัมผัส มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนวุ้นสวรรค์หมักที่ 6 กับ 7 วัน ความชอบรวมมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับวุ้นสวรรค์หมักที่ 8 กับ 9 วัน ส่วนวุ้นสวรรค์หมักที่ 10 วัน ค่าเฉลี่ย สี กลิ่น เนื้อสัมผัสและความชอบรวมมีค่าเฉลี่ยต่ำและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 1. The sensory evaluation test on the nata production from sugar palm syrup at various period.

Time (Days)	Color	Odor	Texture	Acceptability
6	3.56[a]	3.78[a]	3.47[ab]	3.53[a]
7	3.59[a]	3.66[ab]	3.56[a]	3.66[a]
8	3.59[a]	3.53[ab]	3.25[ab]	2.97[b]
9	3.53[a]	3.31[b]	3.06[b]	2.78[b]
10	2.72[b]	2.06[c]	2.13[c]	1.75[c]
C.V. (%)	18.56	21.34	26.63	23.78

Means not sharing common letter within columns differ significantly at $p < 0.05$ by DMRT.
4 = Like extremely 1 = Like slightly

Table 2. The sensory evaluation test on the nata from sugar palm syrup and the traditional nata production from coconut juice.

Nata Source	Color	Odor	Texture	Acceptability
sugar palm syrup	2.50[b]	3.24[a]	3.31[a]	3.38[a]
coconut juice (brand A)	3.83[a]	3.12[a]	2.90[b]	3.14[a]
coconut juice (brand B)	3.62[a]	2.76[b]	2.88[b]	2.48[b]
C.V. (%)	18.08	29.91	27.10	26.46

Means not sharing common letter within columns differ significantly by DMRT.
4 = Like extremely 1 = Like slightly
brand A = Chaokoh brand B = Snowhouse

กับวุ้นสวรรค์หมักที่ระยะเวลา 6, 7, 8 และ 9 วัน (Table 1) ระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นแผ่นวุ้นที่ได้จะมีความเหนียวมากขึ้นจึงทำให้ความชอบรวมลดลง ดังนั้นระยะเวลาหมักที่เหมาะสมคือ 9 วัน เพราะให้ความหนาของวุ้นสวรรค์เฉลี่ย (1.15 ซม.) มากกว่าการหมักที่เวลา 6, 7 และ 8 วัน

เมื่อนำวุ้นสวรรค์ที่ผลิตจากน้ำตาลโตนดไปทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับวุ้นสวรรค์ที่ผลิตจากน้ำมะพร้าวสองชนิด พบว่า กลิ่น เนื้อสัมผัสและความชอบรวมเป็นที่ยอมรับของผู้ชิมสูงกว่าวุ้นสวรรค์จากน้ำมะพร้าวทั้งสองชนิด แต่สำหรับสีนั้นผู้ชิมให้การยอมรับต่ำกว่าวุ้นสวรรค์จากน้ำมะพร้าวทั้งสองชนิด (Table 2) วุ้นสวรรค์จากน้ำตาลโตนดมีสีขาวครีมส่วนวุ้นสวรรค์จากน้ำมะพร้าวสีขาวใส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสีของวัตถุดิบเริ่มต้นที่แตกต่างกันคือน้ำตาลโตนดสดสีขาวครีมส่วนน้ำมะพร้าวสีขาว

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวุ้นสวรรค์จากน้ำตาลโตนดและวุ้นสวรรค์จากน้ำมะพร้าวทั้งสองชนิด พบว่าวุ้นสวรรค์จากน้ำตาลโตนดมีโปรตีน 0.13% ไขมัน 0.012% เยื่อใย 2.74% nitrogen-free extract 0.378% เถ้า 0.11% ความชื้น 96.63% โดยมีไขมันต่ำกว่าแต่มีเยื่อใยสูงกว่าวุ้นสวรรค์จากน้ำมะพร้าว (Table 3 และ สมคิด, 2531)

การแปรรูปวุ้นสวรรค์ที่ผลิตจากน้ำตาลโตนด แผ่นวุ้นที่เก็บใหม่ๆ จะมีรสเปรี้ยวและมีกลิ่นกรดน้ำส้มปะปนอยู่ (Figure 5) ก่อนนำมาประกอบอาหารจะต้องล้างให้สะอาด แช่น้ำทิ้งไว้ 2-3 คืน หมั่นเปลี่ยนน้ำบ่อยๆ ให้กลิ่นกรดหายไป นำมาต้มในน้ำเดือด แล้วจึงนำมาประกอบเป็น

Table 3. Chemical analysis of the nata production from sugar palm syrup in comparison with coconut juice.

Composition	Nata from sugar palm syrup (%)	Nata from coconut juice brand A (%)	Nata from coconut juice brand B (%)	Nata from[1] coconut juice (%)
Protein	0.13	0.55	0.40	0.84
Fat	0.012	0.05	0.06	0.06
Fiber	2.74	1.74	1.10	1.15
Nitrogen-free extract	0.378	3.39	4.25	3.25
Ash	0.11	0.13	0.12	0.10
Moisture content	96.63	94.14	94.07	94.6

[1]สมคิด (2531)

Figure 5. Nata production from sugar palm syrup by *A. xylinum* TISTR107 which was incubated at room temperature for 9 days.

อาหารคาว เช่น ยำวุ้นน้ำตาลโตนด ผัดไทยวุ้นน้ำตาลโตนด หรืออาหารหวาน เช่น วุ้นกรอบจากวุ้นน้ำตาลโตนด วุ้นน้ำตาลโตนดในน้ำเชื่อม

สรุปผลการทดลอง

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตวุ้นสวรรค์จากน้ำตาลโตนดโดยใช้เชื้อ *Acetobacter xylinum* TISTR 107 คือ น้ำตาลโตนดสด 1 ลิตร ความเข้มข้นของน้ำตาลโตนดที่ใช้ 15 องศาบริกซ์ เติมแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 7.0 กรัม แมกนีเซียมซัลเฟต 0.7 กรัม ปรับพีเอชให้เป็น 4.25 เติมหัวเชื้อเริ่มต้น 5% หมักที่อุณหภูมิห้อง 9 วัน ได้แผ่นวุ้นหนา 1.15 ซม. วุ้นสวรรค์จากน้ำตาลโตนดผ่านการยอมรับทางประสาทสัมผัสและมีเนื้อสัมผัสดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวุ้นสวรรค์จากน้ำมะพร้าว การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวุ้นสวรรค์จากน้ำตาลโตนดพบว่ามีโปรตีน 0.13% ไขมัน 0.012% เยื่อใย 2.74% nitrogen-free extract 0.378% เถ้า 0.11% และความชื้น 96.63% สามารถนำวุ้นสวรรค์จากน้ำตาลโตนดมาแปรรูปเป็นอาหารคาว เช่น ยำวุ้นน้ำตาลโตนด ผัดไทยวุ้นน้ำตาลโตนด หรือนำมาแปรรูปเป็นอาหารหวาน เช่น วุ้นกรอบจากวุ้นน้ำตาลโตนด วุ้นน้ำตาลโตนดในน้ำเชื่อม

เอกสารอ้างอิง

กนก ติรวัฒน์. 2531. การปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากน้ำตาลโตนด. รายงานโครงการพัฒนาชุมชน. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

ปราโมทย์ ธรรมรัตน์ สมคิด ธรรมรัตน์ มัณฑนา ร่วมรักษ์ สิริพร สธนเสาวภาคย์ และจารุวรรณ์ ศิริพรรณพร. 2544. การผลิตและแปรรูปวุ้นมะพร้าวเพื่อสุขภาพและเป็นอาชีพ. โครงการผลิตวุ้นสวรรค์ในระดับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

ไพศาล วุฒิจำนงค์ อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และกนก ติรวัฒน์. 2536. การผลิตน้ำตาลสดพาสเจอไรซ์และคูลเลอร์. รายงานการวิจัย. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

วราวุฒิ ครูส่ง. 2536. การพัฒนาผลิตภัณฑ์วุ้นสวรรค์ในน้ำลิ้นจี่. อุตสาหกรรมเกษตร 4(2): 5-9.

สมคิด ธรรมรัตน์. 2531. การผลิตวุ้นน้ำมะพร้าวและการแปรรูป. อาหาร 18(4): 250-262.

สมศรี ลีปิพัฒนวิทย์. 2531. การหาสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับทำวุ้นสวรรค์จากน้ำมะพร้าวแก่. อาหาร 18(4): 239-249.

สุกัญญา จันทะชุม. 2547. การปรับปรุงคุณภาพน้ำตาลโตนดโดยใช้ไม้เคี่ยมและปูนขาว. รายงานโครงการวิจัย. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

สุเนตร มนต์วิเศษ ปราโมทย์ ธรรมรัตน์ จารุวรรณ์ ศิริพรรณพร และ ศิริพร เอื้ออังกูร. 2543. จุลินทรีย์ปนเปื้อนในกระบวนการหมักวุ้นน้ำมะพร้าว และผลของกรดอะซิติก แอลกอฮอล์ และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ต่อการเจริญของแบคทีเรียปนเปื้อน. อาหาร 30(3): 197-208.

สุเมธ ตันตระเธียร ปราโมทย์ ธรรมรัตน์ วราวุฒิ ครูส่ง และอังคณา พรรณศรี. 2544. พื้นที่ผิวของการหมักและความลึกของน้ำหมักที่เหมาะต่อการผลิตเซลลูโลสของ *Acetobacter xylinum*. รายงานผลการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 39 สาขาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

AOAC. 1990. Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington Verginia.

Atlas, R.M. 1995. Handbook of Microbiological Media for the Examination of Food, CRC Press, Inc., Boca Raton.

Lawless, H.T. and Heymann, H. 1998. Sensory Evaluation of Food Principles and Practices, Chapman & Hall, New York.

Lowry, O.H., Roesbrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, J.R. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent, J.Biol. Chem., 193: 265-275.

Oikawa, T., Morino, T. and Ameyama, M. 1995. Production of Cellulose from D. Arabitol by *Acetobacter xylinum* KU-1, Biosci. Biotech. Biochem., 59(8): 1564-1565.

Ross, P., Mayer, R. and Benziman, M. 1991. Cellulose Biosynthesis and Function in Bacteria, Microbiological Review., 55: 35-58.

Stone, H. and Sidel, J.L. 1993. Sensory Evaluation Practices. 2nd edition, Academic Press, Inc., New York.

White, D.G. and Brown,R.M., Jr. 1989. Prospect for the commercialization of the biosynthesis of microbial cellulose. **In** Cellulose and Wood Chemistry and Technology. Schuerch,C., ed. John Willey & Sons Inc., New York.