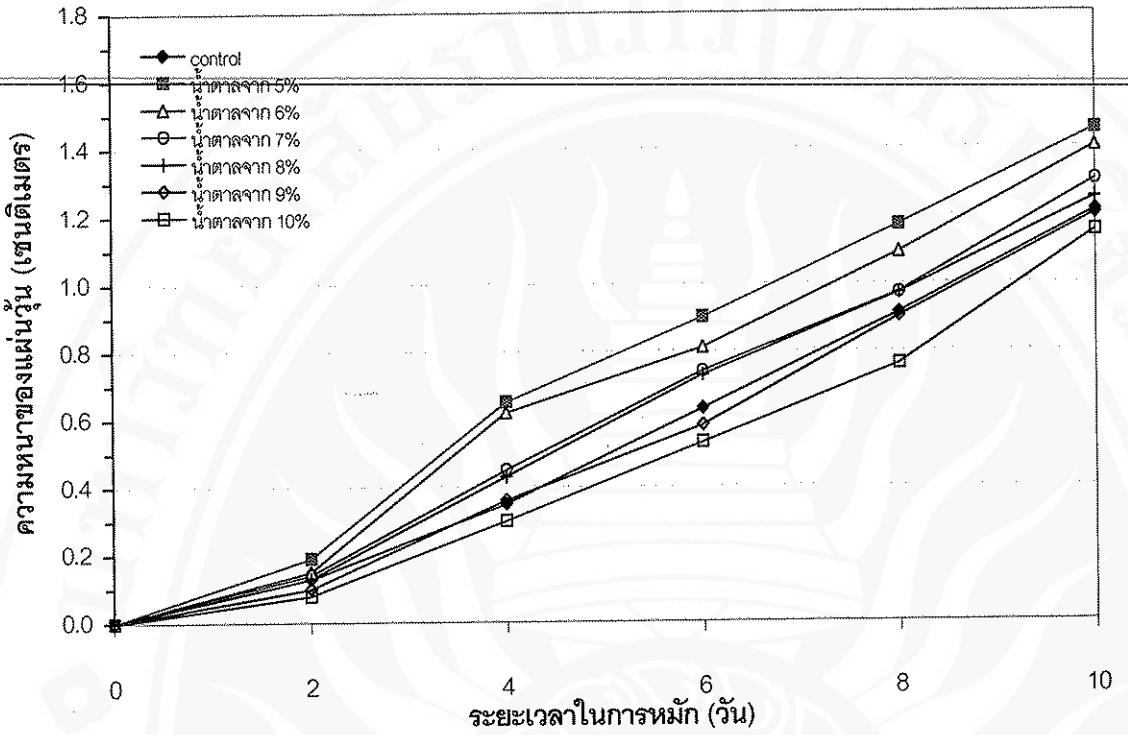
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

1. ผลเปรียบเทียบการใช้น้ำตาลทรายกับน้ำตาลจากต่อการผลิตวุ้นมะพร้าว

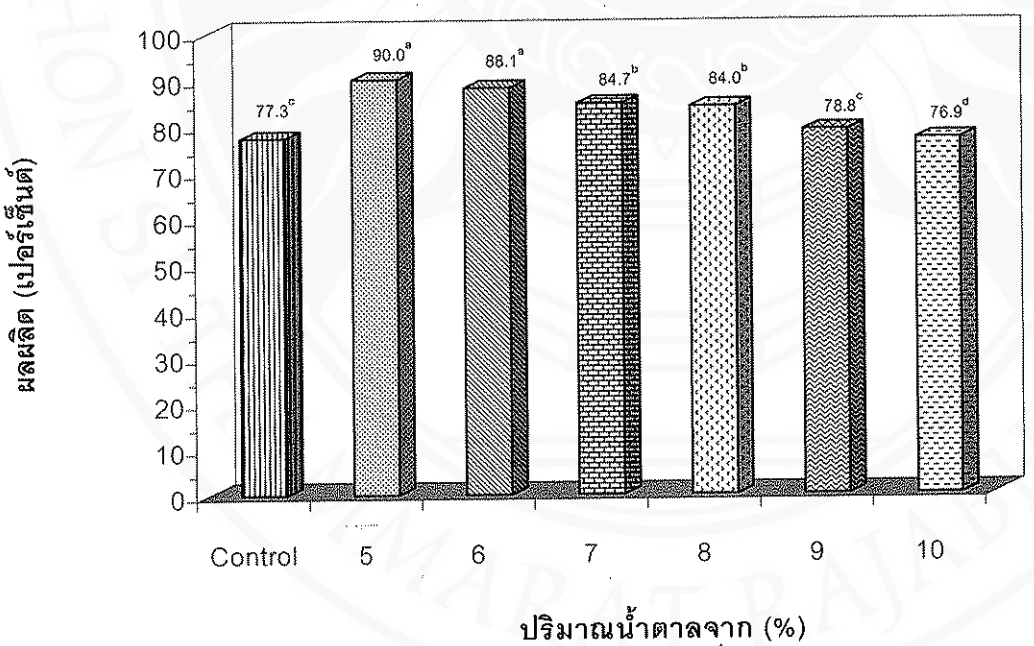
นำน้ำมะพร้าวมาเติมน้ำตาลจากที่แปรระดับความเข้มข้นเป็น 5 6 7 8 9 และ 10% ในน้ำหมักเริ่มต้นที่ประกอบด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5% แล้วปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้ได้ 5.0 ด้วยกรดอะซิติก หมักไว้เป็นระยะเวลา 10 วัน เก็บตัวอย่างทุก ๆ 2 วันมาวัดความหนา นำตัวอย่างในวันที่ 10 มาหาค่าปริมาณผลผลิตและวัดค่าสี (L*, a*, b*) พบว่าระดับความเข้มข้นของน้ำตาลจากที่ใช้ในการเตรียมน้ำหมักมีผลต่อความหนาของแผ่นวุ้นที่ผลิตได้ โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การใช้น้ำตาลจากที่ระดับความเข้มข้น 5% แผ่นวุ้นจะมีความหนาสูงสุดเท่ากับ 1.45±0.03เซนติเมตร รองลงมาคือการใช้น้ำตาลจาก 6% ความหนาของแผ่นวุ้นเท่ากับ 1.41±0.02 เซนติเมตร ภาพที่ 11 การเพิ่มระดับความเข้มข้นของน้ำตาลจากสูงขึ้น (7-10 %) ส่งผลให้ความหนาของแผ่นวุ้นลดลง เพราะว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลจากสูง ๆ ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *A. xylinum* จึงทำให้ความหนาลดลง

เมื่อพิจารณาความหนาของแผ่นวุ้นในช่วงวันที่ 2-4 พบว่าเชื้อ *Acetobacter xylinum* จะสร้างแผ่นวุ้นได้รวดเร็ว แต่พอหมักไว้วันที่ 6-10 จะสร้างแผ่นวุ้นเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ การสร้างแผ่นวุ้นในช่วงวันที่ 2-4 นั้นแผ่นวุ้นจะมีลักษณะผิวหน้าขรุขระขอบหยักเจริญเติบโตไม่สม่ำเสมอแต่พอหมักในช่วงวันที่ 6-10 แผ่นวุ้นจะเรียบสม่ำเสมอ เมื่อทำการหมักไว้ 10 วันแล้วนำไปหาปริมาณของผลผลิต (%yield) พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลจาก 5% ให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 90.0±0.9 % รองลงมาคือที่ระดับเข้มข้นของน้ำตาลจาก 6% มีผลผลิตเท่ากับ 88.1±2.4% โดยไม่แตกต่างทางสถิติ ส่วนการใช้น้ำตาลจากความเข้มข้นสูง 10 % จะทำให้ปริมาณผลผลิตลดลงต่ำสุดเท่ากับ 76.9±1.1 % (ภาพที่ 12) โดยไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้น้ำตาลจาก 9% และการผลิตวุ้นมะพร้าวสูตรดั้งเดิมซึ่งมีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 78.8±1.2 และ 77.31±1.29 % ตามลำดับ เมื่อพิจารณาทั้งความหนา และปริมาณผลผลิต จะเห็นได้ว่าการผลิตวุ้นมะพร้าวด้วยการใช้น้ำตาลจากที่ความเข้มข้น 5% จะให้แผ่นวุ้นหนาสุดและผลผลิตสูงสุด จึงเลือกใช้น้ำตาลจาก 5% สำหรับการศึกษาขั้นต่อไปเพราะเป็นการประหยัดต้นทุนในเรื่องของวัตถุดิบ



ภาพที่ 11 ผลของปริมาณน้ำตาลจากต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นวุ้นตามระยะเวลาในการหมัก

หมายเหตุ : Control หมายถึง การผลิตวุ้นมะพร้าวด้วยน้ำมะพร้าวสูตรดั้งเดิม (น้ำมะพร้าว 1 ลิตร น้ำตาลทราย 50 กรัม แอมโมเนียมซัลเฟต 5 กรัม และกรดอะซิติก 10 มิลลิลิตร)



ภาพที่ 12 ผลของปริมาณน้ำตาลจากต่อผลผลิตของแผ่นวุ้นที่ระยะเวลาการหมัก 10 วัน

เครื่องหมาย a b c และ d แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธี DMRT

เมื่อเปรียบเทียบค่าความสว่าง (L*) ของแผ่นวุ้นมะพร้าวที่ใช้น้ำตาลทราย 5% และน้ำตาลจากที่ความเข้มข้น 5 6 7 8 9 และ 10% พบว่าค่าความสว่างของแผ่นวุ้นมะพร้าวมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แผ่นวุ้นที่ผลิตด้วยน้ำมะพร้าวสูตรดั้งเดิม (น้ำตาลทราย 5%) จะมีค่าความสว่างสูงสุดเท่ากับ 62.22±0.58 (ตารางที่ 6) โดยไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้น้ำตาลจากที่ความเข้มข้น 5 % (60.52±0.03) ดังนั้นแผ่นวุ้นที่ได้จึงมีลักษณะเป็นสีขาวนวล (ภาพที่ 13) เมื่อพิจารณาค่า ΔE ที่แสดงถึงการเปลี่ยนของค่าสีเมื่อเทียบจากตัวควบคุม พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลจากส่งผลให้สีของวุ้นมะพร้าวแตกต่างมากขึ้น ลักษณะสีของแผ่นวุ้นมะพร้าวที่ใช้น้ำตาลจากความเข้มข้น 7-10 % แผ่นวุ้นจะเป็นสีเหลืองทอง (ภาพที่ 13) ส่วนแผ่นวุ้นที่ผลิตด้วยน้ำตาลจาก 10% จะให้ค่าความสว่างต่ำสุดเท่ากับ 39.67±1.14 ให้ค่า a* และ b* เป็น (+) มากที่สุดเท่ากับ 7.60±0.65 และ 19.39±0.75 จึงทำให้แผ่นวุ้นมะพร้าวได้มีสีเข้มจนเป็นสีน้ำตาล

ตารางที่ 6 ค่าสีของแผ่นวุ้นที่ผลิตด้วยน้ำมะพร้าวที่ผ่านการปรับสูตรด้วยน้ำตาลทรายและน้ำตาลจาก

น้ำตาลจาก (%)	Color[1] (Mean±SD)			
	L*	a*	b*	ΔE
Control	62.22±0.58[a]	-2.30±0.21[a]	6.96±0.17[a]	-
5	60.52±0.03[ab]	-1.90±0.13[b]	11.07±0.63[b]	4.05±1.42[a]
6	59.03±2.09[bc]	-0.41±0.20[c]	12.84±0.44[c]	6.49±0.43[b]
7	57.82±2.44[c]	0.40±0.22[d]	14.41±0.86[d]	7.92±0.84[bc]
8	5769±0.56[c]	0.44±0.11[d]	13.89±0.15[cd]	8.63±0.12[c]
9	47.83±0.45[d]	3.85±0.44[e]	18.05±1.36[e]	19.05±0.67[d]
10	39.67±1.14[e]	7.60±0.65[f]	19.39±0.75[f]	27.38±1.42[e]

หมายเหตุ : Control หมายถึง การผลิตวุ้นมะพร้าวด้วยน้ำมะพร้าวสูตรดั้งเดิม (น้ำมะพร้าว 1 ลิตร น้ำตาลทราย 50 กรัม แอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 5 กรัม และกรดอะซิติก 10 มิลลิลิตร

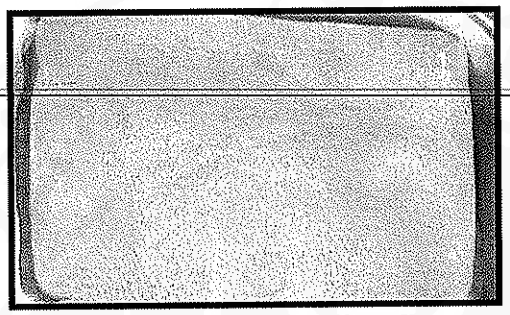
เครื่องหมาย a-e ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธี DMRT

[1]CIE color value: L* = ค่าความสว่าง (100 = สว่าง, 0 = ดำ)

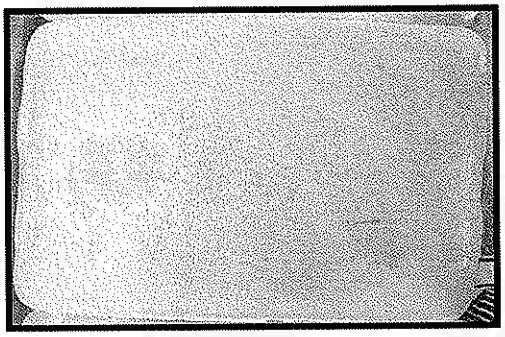
a* = (+) คือ สีแดง , (-) คือ สีเขียว

b* = (+)คือ สีเหลือง, (-) คือ สีน้ำเงิน

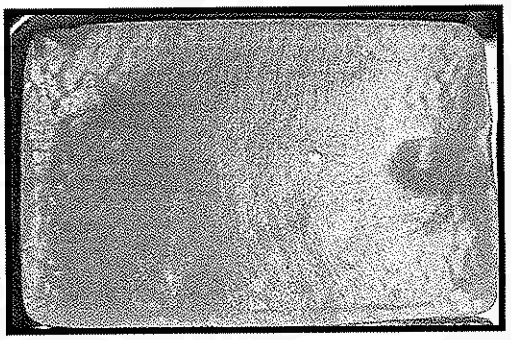
ΔE = การเปลี่ยนแปลงของค่าสีเมื่อเทียบกับชุดควบคุม



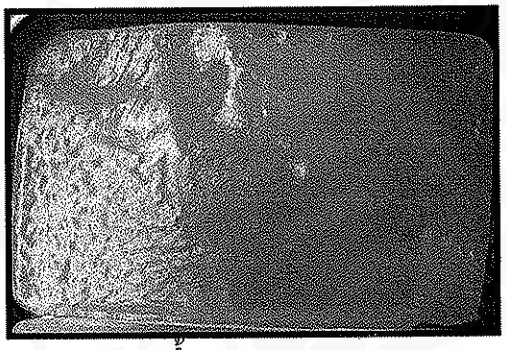
ก. น้ำตาลทราย 5%



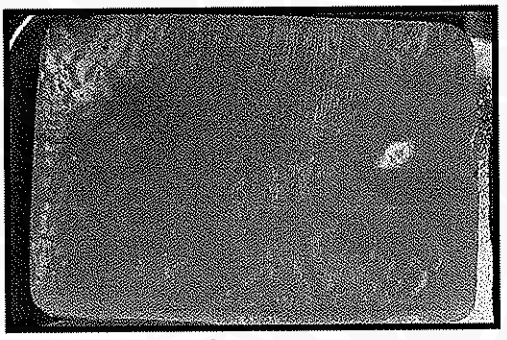
ข. น้ำตาลจาก 5%



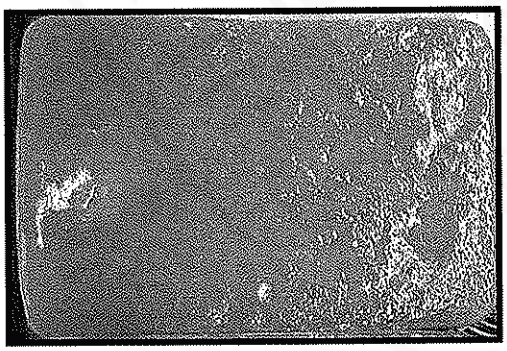
ค. น้ำตาลจาก 6%



ง. น้ำตาลจาก 7%



จ. น้ำตาลจาก 8%



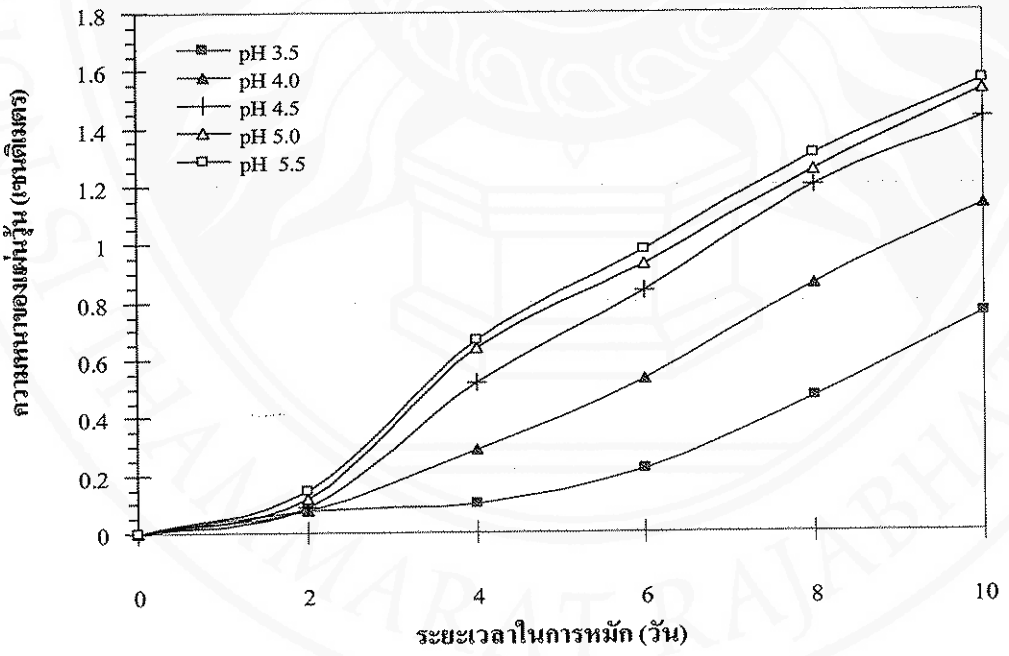
ฉ. น้ำตาลจาก 9%

ง. น้ำตาลจาก 10%

ภาพที่13 สีของแผ่นวุ้นที่ผลิตด้วยน้ำมะพร้าวที่ผ่านการปรับสูตรด้วยน้ำตาลทรายและน้ำตาลจาก

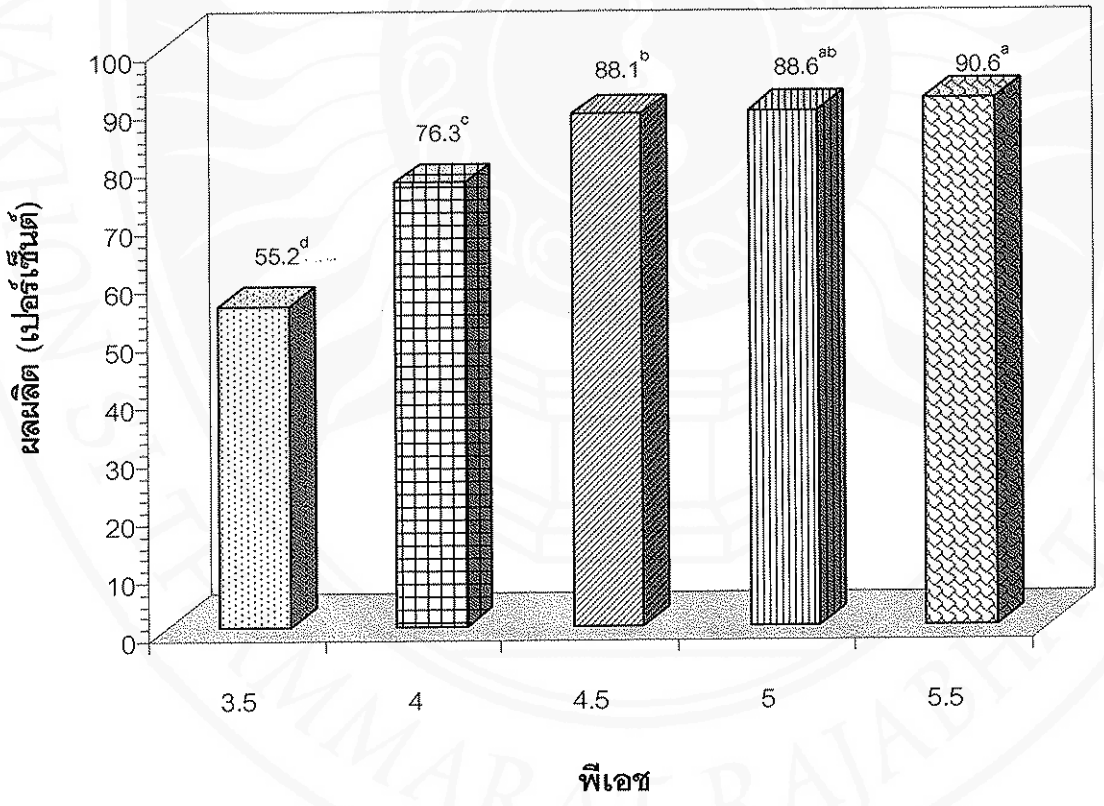
2. ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการสร้างแผ่นวุ้น

เตรียมน้ำหมักด้วยน้ำมะพร้าวแล้วเติมน้ำตาลจากความเข้มข้น 5% (น้ำหนักต่อปริมาตร) แอมโมเนียมซัลเฟต 0.5% และปรับค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ความเข้มข้น 1% หมักที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 วัน ด้วยเชื้อ *A. xylinum* พบว่าการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักเริ่มต้นเป็น 5.5 แผ่นวุ้นมีความหนาสูงสุดเท่ากับ 1.57±0.11 เซนติเมตร โดยไม่แตกต่างทางสถิติกับน้ำหมักที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.5 และ 5.0 (ภาพที่ 14) แสดงให้เห็นว่าการปรับน้ำหมักให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.5 ถึง 5.5 เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *A. xylinum* ดังนั้นในการผลิตวุ้นมะพร้าวด้วยน้ำตาลจากสามารถเตรียมน้ำหมักได้ในช่วงกว้างคือตั้งแต่ 4.5-5.5 ส่วนการเตรียมน้ำหมักเริ่มต้นที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ (3.5) แผ่นวุ้นจะมีความหนาต่ำสุดเท่ากับ 0.76±0.16 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่าน้ำหมักที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4.5 เชื้อ *A.xylinum* เจริญเติบโตได้ช้า จึงสอดคล้องกับการทดลองของสมศรี ลีปิพัฒนวิทย์ (2531) พบว่าการใช้กรดอะซิติกปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำมะพร้าวเป็น 4.5 เชื้อสามารถสร้างแผ่นวุ้นได้หนาสุด 1.35 เซนติเมตร และสอดคล้องกับการทดลองของเพียงใจ ดารีเย๊าะ และวัชราภรณ์ ปรีชาวินิจกุล (2547) เมื่อทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำต้มสุกเริ่มต้นที่ใช้หมักเป็น 4 4.5 และ 5 แผ่นวุ้นมะพร้าวจะมีความหนาไม่แตกต่างในทางสถิติ ดังนั้นในการเตรียมน้ำหมักเริ่มต้นควรเตรียมที่ค่าอยู่ในช่วง 4.5-5.5 ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างที่ดีที่สุดคือ 5.5



ภาพที่14 ผลของการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นวุ้นตามระยะเวลาการหมัก

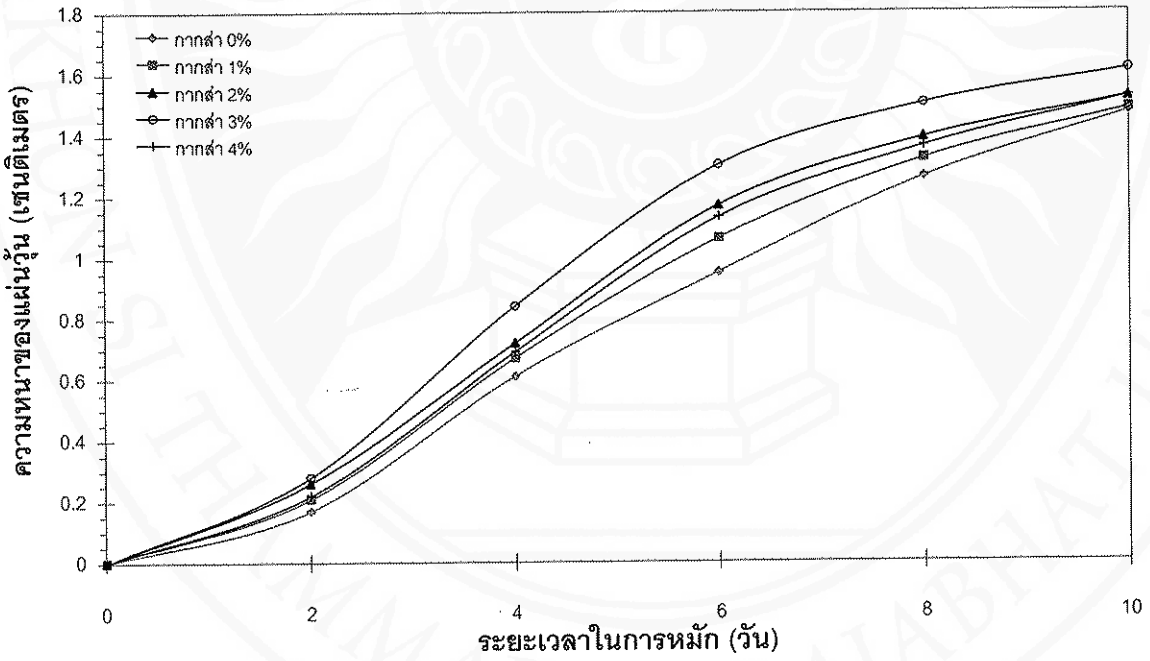
การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตของวุ้นมะพร้าวสูงขึ้นโดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การเตรียมน้ำหมักเริ่มต้นที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.5 เมื่อทำการหมักไว้เป็นเวลา 10 วัน จะมีปริมาณผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 90.6±0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่แตกต่างทางสถิติกับน้ำหมักที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.0 (88.6±1.2 เปอร์เซ็นต์) ดังภาพที่ 15 การเตรียมน้ำหมักเริ่มต้นที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4.0 จะส่งผลให้ปริมาณผลผลิตของวุ้นมะพร้าวลดลงและลดลงต่ำสุด เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.5 (55.2±0.8 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของวิลาวัลย์ ศักดามี และมยุรีย์ ไชยวิจารย์ (2547) พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อ *Acetobacter xylinum* จะอยู่ในช่วง 5.3-5.4 และสอดคล้องกับการทดลองของเพียงใจและวัชราภรณ์ (2547) เมื่อทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักเริ่มต้นที่ใช้หมักเป็น 4 4.5 และ 5 พบว่าแผ่นวุ้นมะพร้าวที่ได้จะมีความหนาไม่แตกต่างทางสถิติ ดังนั้นในการผลิตวุ้นมะพร้าวด้วยน้ำตาลจาก 5% ควรเตรียมน้ำหมักเริ่มต้นให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.0-5.5 ดังนั้นในการเตรียมน้ำหมักเริ่มต้นสำหรับผลิตวุ้นมะพร้าวด้วยน้ำตาลจากควรเตรียมที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.5 ดีที่สุด



ภาพที่ 15 ผลของความเป็นกรด-ด่างต่อปริมาณผลผลิตของแผ่นวุ้นที่ระยะเวลาการหมัก 10 วัน เครื่องหมาย a b c และ d แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธี DMRT

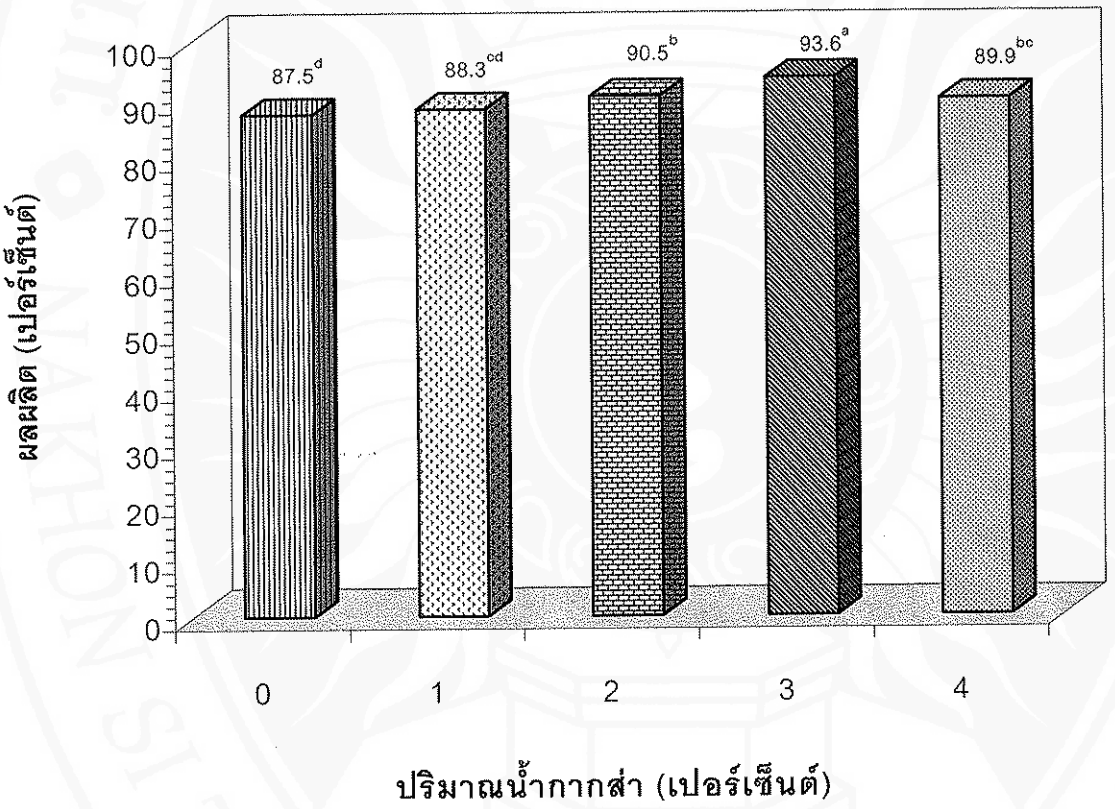
3. ผลของน้ำกากส่าที่เหมาะสมต่อการสร้างแผ่นวุ้น

นำน้ำมะพร้าวมาเติมน้ำตาลจากที่ระดับความเข้มข้น 5% เติมแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5% เติมกากส่าโดยแปรระดับความเข้มข้นของกากส่าเป็น 0 1 2 3 และ 4 % ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นของน้ำหมักเริ่มต้นเป็น 5.5 หมักไว้ที่อุณหภูมิห้องไว้เป็นระยะเวลา 10 วัน นำแผ่นวุ้นมะพร้าวมาวัดความหนาทุก ๆ 2 วัน และเก็บตัวอย่างในวันที่ 10 มาหาปริมาณผลผลิต พบว่าระดับความเข้มข้นกากส่าที่ใช้ในการเตรียมน้ำหมักสูงขึ้นส่งผลให้ความหนาของแผ่นวุ้นที่ผลิตได้สูงขึ้น โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การใช้น้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้น 3% แผ่นวุ้นมะพร้าวจะมีความหนาสูงสุดเท่ากับ 1.61±0.02 เซนติเมตร ส่วนการใช้กากส่า 4% จะให้ค่าความหนาของแผ่นวุ้นไม่แตกต่างกับที่ความเข้มข้นของกากส่า 2% มีค่าความหนาเท่ากับ 1.52± 0.03 และ 1.52±0.03 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 16 แสดงให้เห็นได้ว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นของกากส่าสูงขึ้นส่งผลให้ความหนาแผ่นวุ้นสูงขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณกากส่ามากเกินไปก็ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *Acetobacter xylinum* ส่วนการเตรียมน้ำหมักโดยไม่เติมน้ำกากส่าจะให้แผ่นวุ้นมีความหนาต่ำสุดเท่ากับ 1.47±0.02 ดังนั้นในการเตรียมน้ำหมักสำหรับผลิตวุ้นมะพร้าวควรใช้กากส่าความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์เหมาะสมที่สุด



ภาพที่ 16 ผลของปริมาณน้ำกากส่าต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นวุ้นมะพร้าว

เมื่อทำการหมักวุ้นมะพร้าวไว้เป็นระยะเวลา 10 วัน นำไปหาปริมาณผลผลิต พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของกากส่าสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณผลผลิตสูงขึ้น การเตรียมกากส่าที่ระดับความเข้มข้น 3% จะให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 93.6±0.6% โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนการใช้กากส่าที่ระดับความเข้มข้น 2 และ 4 % จะให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติมีค่าเท่ากับ 90.5±0.72 และ 89.9±0.7% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 17 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นของกากส่ามากกว่า 3% จะไม่มีผลการเจริญเติบโตของเชื้อ *Acetobacter xylinum* ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมของน้ำหมักในการผลิตวุ้นมะพร้าวคือ ใช้กากส่าความเข้มข้น 3%

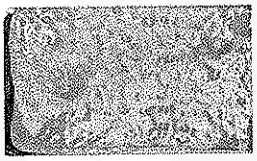
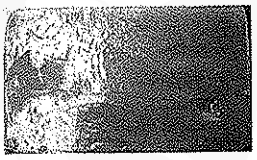
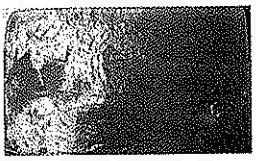
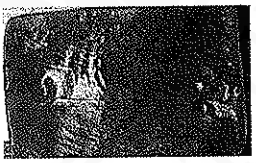


ภาพที่ 17 ผลของปริมาณน้ำกากส่าต่อผลผลิตของแผ่นวุ้นมะพร้าวที่ระยะการหมัก 10 วัน

เครื่องหมาย a b c และ d แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธี DMRT

เปรียบเทียบค่าความสว่าง (L*) ของแผ่นวุ้นมะพร้าวที่ใช้น้ำตาลจาก 5% เมื่อเติมน้ำกากส่าที่ความเข้มข้น 0 1 2 3 และ 4% พบว่าค่าความสว่างของแผ่นวุ้นมะพร้าวมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แผ่นวุ้นมะพร้าวที่ไม่เติมน้ำกากส่ามีค่าความสว่างของสีสูงสุดเท่ากับ 60.22±1.363 ดังนั้นแผ่นวุ้นที่ไม่เติมน้ำกากส่าจึงมีลักษณะเป็นสีขาวนวล (ตารางที่ 7) ส่วนแผ่นวุ้นที่เติมน้ำกากส่าความเข้มข้นต่ำ 1 เปอร์เซ็นต์ แผ่นวุ้นจะมีค่าความสว่างลดลงเท่ากับ 43.47±1.58 ทำให้แผ่นวุ้นมีลักษณะสีน้ำตาลทอง และการใช้น้ำกากส่าความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ จะให้ค่าความสว่างต่ำสุดเท่ากับ 32.24±2.32 ให้ค่า a* และ b* เป็น (+) มากที่สุดเท่ากับ 4.32±0.20 และ 13.81 ±0.23 จึงทำให้แผ่นวุ้นมะพร้าวได้จึงมีสีเข้มจนเป็นสีน้ำตาล

ตารางที่ 7 ค่าสีของแผ่นวุ้นที่ผลิตด้วยน้ำมะพร้าวซึ่งผ่านการเติมน้ำกากส่า

น้ำกากส่า (เปอร์เซ็นต์)	Color[1] (Mean±SD)			ภาพวุ้นมะพร้าว
	L*	a*	b*	
0	60.22±1.36^{a}	0.93±0.12^{a}	9.36±0.51^{a}	
1	43.47±1.58^{b}	3.53±0.15^{b}	10.74±0.47^{b}	
2	41.55±1.69^{bc}	3.96±0.13^{c}	13.57±0.21^{c}	
3	38.42±2.43^{c}	4.18±0.28^{c}	13.17±0.25^{c}	
4	32.24±2.32^{d}	4.32±0.20^{c}	13.81±0.23^{c}	

เครื่องหมาย a b c และ d ในคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธี DMRT

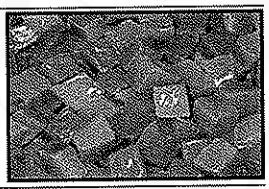
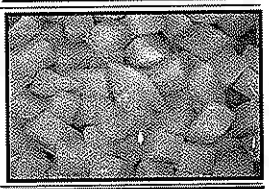
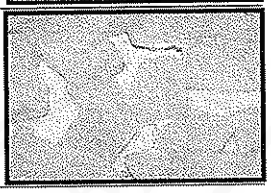
[1]CIE color value: L* = ค่าความสว่าง (100 = สว่าง, 0 = ดำ)

a* = (+) คือ สีแดง , (-) คือ สีเขียว

b* = (+)คือ สีเหลือง, (-) คือ สีน้ำเงิน

เมื่อนำแผ่นวุ้นในวันที่ 10 ที่ผลิตด้วยน้ำมะพร้าวแล้วผ่านการปรับสูตรด้วยน้ำตาลจาก 5% และเติมน้ำกากส้าความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ มาฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่ระดับความเข้มข้น 1% เป็นเวลา 0 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่าการเพิ่มเวลาในการฟอกสีนานขึ้นจะส่งผลให้ค่าความสว่างของวุ้นมะพร้าวสูงขึ้น โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระยะเวลา 36 ชั่วโมง จะทำให้แผ่นวุ้นมะพร้าวมีค่าความสว่างสูงขึ้นเท่ากับ 67.89±3.08 ลักษณะแผ่นวุ้นที่ได้จะมีสีขาวนวล ดังแสดงในตารางที่ 8 เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวออกซิไดส์อย่างแรง (oxidizer) มักทำอยู่ในรูปสารละลายในน้ำ ซึ่งเป็นสารที่ไม่อยู่ตัวสามารถสลายตัวให้ออกซิเจนกับน้ำ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กมากสามารถแทรกเข้าไปตามช่องว่างระหว่างแผ่นวุ้นมะพร้าวได้ จึงสามารถฟอกสีแผ่นวุ้นมะพร้าวที่ผ่านการเติมน้ำกากส้าให้ขาวได้ แต่ต้องใช้ระยะเวลาในการฟอกนานพอสมควร (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ดังนั้นในการฟอกสีแผ่นวุ้นมะพร้าวให้มีสีขาวนวลจะต้องใช้เวลาในการฟอกอย่างน้อย 36 ชั่วโมง

ตารางที่ 8 ค่าสีของแผ่นวุ้นมะพร้าวหลังจากฟอกสีด้วย H_2O_2

เวลาในการฟอกสี	Color[1] (mean±SD)			ภาพวุ้นมะพร้าว
	L*	a*	b*	
0	38.89±0.55[c]	4.05±0.05[c]	13.70±1.09[c]	
24	52.13±0.95[b]	0.37±0.06[b]	9.07±1.10[b]	
36	67.89±3.08[a]	-1.10±0.13[a]	6.57±0.21[a]	

เครื่องหมาย a b และ c ในคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธี DMRT

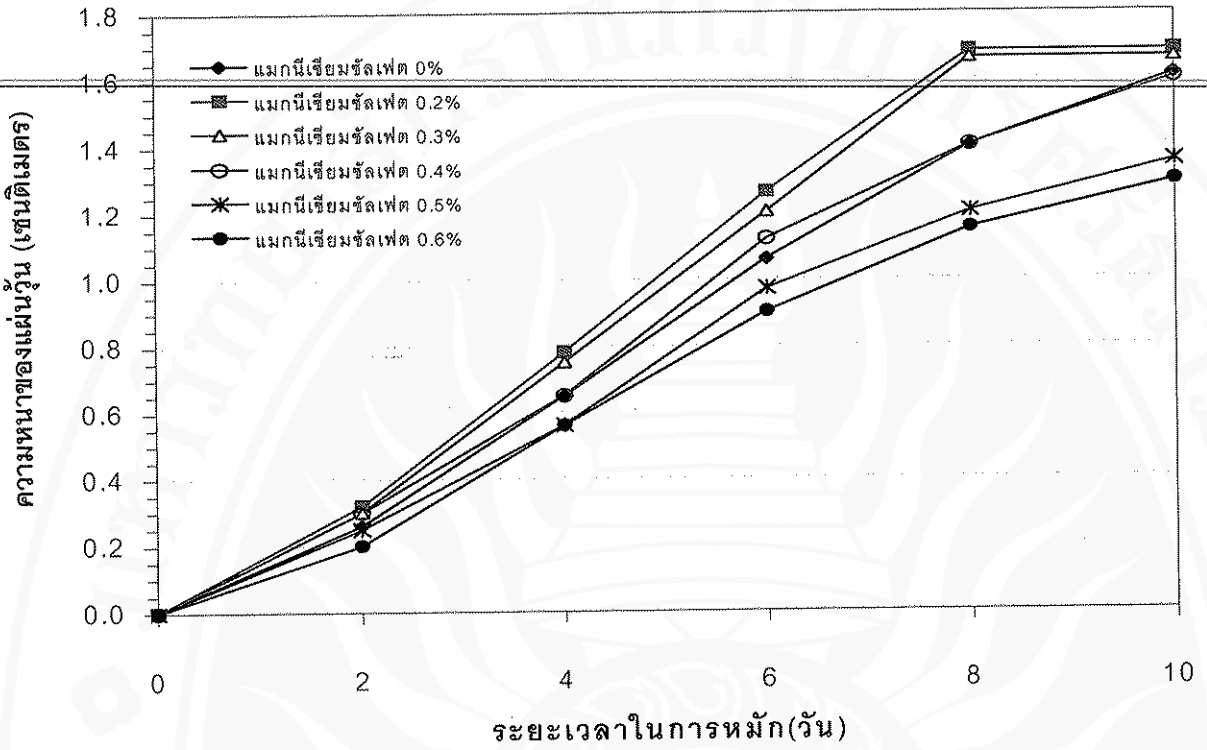
[1]CIE color value: L* = ค่าความสว่าง (100 = สว่าง, 0 = ดำ)

a* = (+) คือ สีแดง , (-) คือ สีเขียว

b* = (+) คือ สีเหลือง, (-) คือ สีน้ำเงิน

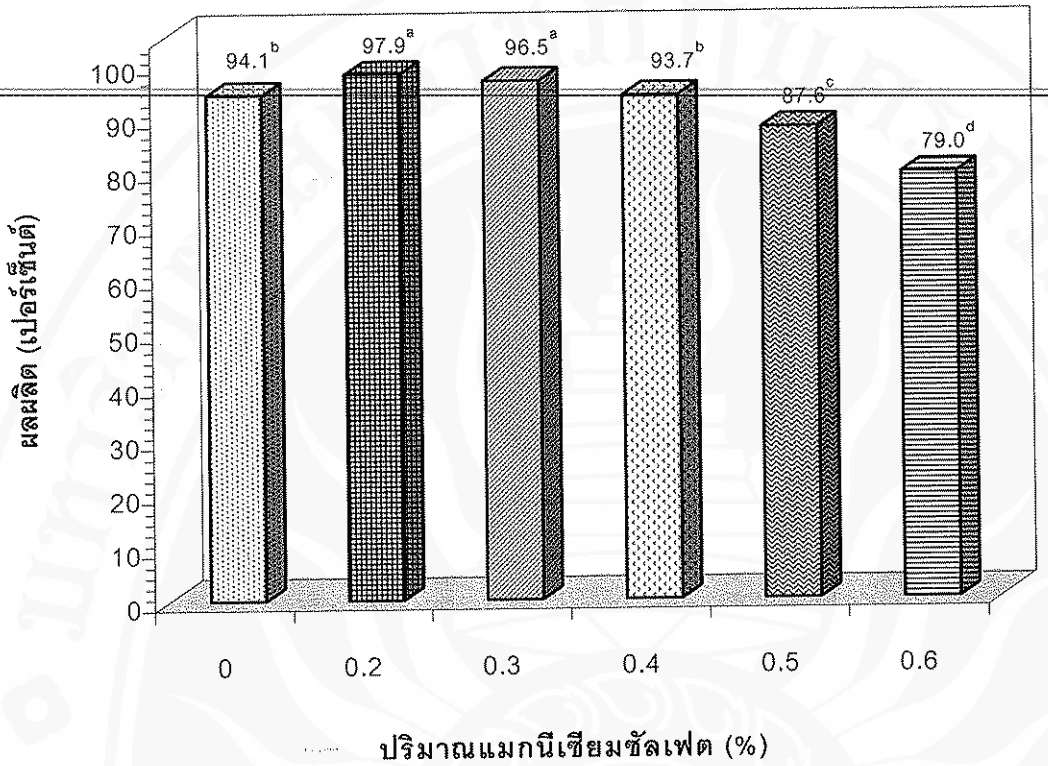
4. ผลของแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) ที่เหมาะสมต่อการผลิตวุ้นมะพร้าว

จากการศึกษาปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตที่ใช้ในการเตรียมน้ำหมัก สำหรับผลิตวุ้นมะพร้าว พบว่า เมื่อเตรียมน้ำหมักเริ่มต้นที่ปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟต 0 0.2 0.3 0.4 0.5 และ 0.6 เปอร์เซ็นต์ส่งผลให้ความหนาของแผ่นวุ้นมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การเตรียมน้ำหมักเริ่มต้นที่แมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้น 0.2 เปอร์เซ็นต์ แผ่นวุ้นจะมีความหนาสูงสุดเท่ากับ 1.68±0.03 เซนติเมตร โดยไม่แตกต่างกับการเติมแมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์ (1.66±0.03 เซนติเมตร) ดังภาพที่ 18 การเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตสูงขึ้นส่งผลให้ความหนาของแผ่นวุ้นสูงขึ้น การใช้แมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้น 2-3 เปอร์เซ็นต์ พบว่าน้ำหมักเริ่มต้นจะหมดภายใน 8 วัน เมื่อเทียบกับความเข้มข้นอื่น ๆ จะต้องให้เวลาหมักนานถึง 10 วัน ดังนั้นการใช้แมกนีเซียมซัลเฟตที่ความเข้มข้น 2-3 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยลดระยะเวลาในการหมักแผ่นวุ้นให้สั้นลง เนื่องจากแมกนีเซียมซัลเฟตที่ระดับนี้เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อ *A. xylinum* จึงทำให้เชื้อสามารถเจริญเติบโตได้เต็มที่ ส่วนการใช้แมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้นสูง 0.4 0.5 และ0.6 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลให้ปริมาณผลผลิตลดต่ำลงเท่ากับ 1.60±0.02 1.35±0.04 และ 1.29±0.03 เซนติเมตร ตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองของสมศรี ลีปิพัฒนวิทย์ (2531) ซึ่งกล่าวว่าปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตมีผลต่อการสร้างแผ่นวุ้นที่หนาที่สุดเป็น 0.3 กรัมต่อลิตร และจะลดลงเมื่อมีการเติมมากกว่านั้น ส่วนการทดลองของกาญจนา โภคาอนันทต์ (2537) ศึกษาการผลิตวุ้นมะพร้าวจากน้ำมะพร้าวผสมน้ำฝรั่ง โดยทำการเติมแมกนีเซียมซัลเฟตในปริมาณ 0.1 0.3 0.5 0.7 และ 1.0 กรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อใช้แมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์ จะให้แผ่นวุ้นหนาสุดเท่ากับ 1.95 เซนติเมตร เมื่อหมักเป็นระยะเวลา 14 วัน และการทดลองของวิลาวัลย์และมยุรี (2547) ศึกษาการทดแทนน้ำชาเขียวในการผลิตวุ้นมะพร้าว-ชาเขียว โดยแปรระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมซัลเฟตเป็นร้อยละ 0.4 0.6 และ 0.8 ในอาหารเหลวน้ำมะพร้าว พบว่าการใช้แอมโมเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 0.6 เปอร์เซ็นต์ เชื้อ *A. xylinum* สามารถสร้างแผ่นวุ้นได้หนาสุดเท่ากับ 1.72 เซนติเมตร



ภาพที่ 18 ผลของแมกนีเซียมซัลเฟตต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของวุ้นมะพร้าว

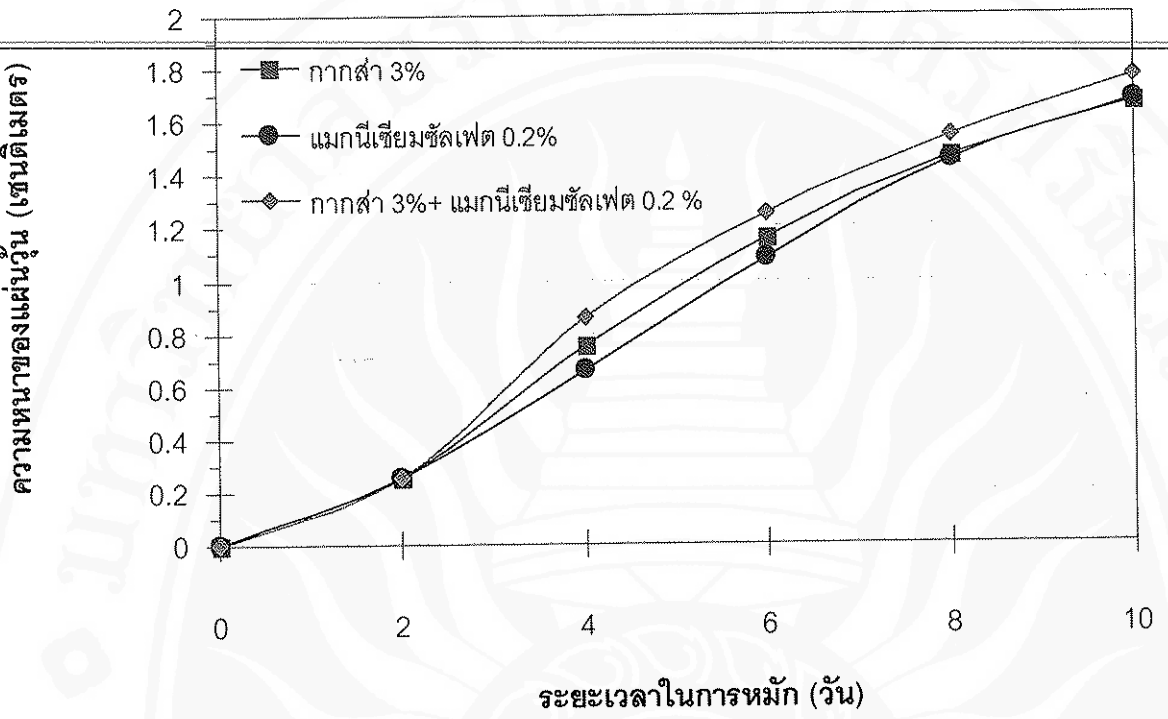
การเพิ่มระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมซัลเฟตสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณผลผลิตสูงขึ้น โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การเติมแมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้น 0.2 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลให้ผลผลิตสูงสุด 97.9$\pm$1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่แตกต่างกับน้ำหมักที่ระดับของแมกนีเซียมซัลเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ มีผลผลิตเท่ากับ 96.5$\pm$0.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใช้แมกนีเซียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นสูงกว่า 0.3 เปอร์เซ็นต์ จะให้ผลผลิตลดลง (ภาพที่ 19) จะเห็นได้ว่าแมกนีเซียมซัลเฟตมีผลต่อความหนาและผลผลิตของแผ่นวุ้นแต่ต้องเติมในระดับที่เหมาะสมคือไม่เกิน 0.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ สมศรี ลีปิพัฒนวิทย์ (2530) พบว่าปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตมีผลต่อการสร้างแผ่นวุ้นที่หนาที่สุดเป็น 0.3 กรัมต่อลิตร และจะลดลงเมื่อเติมมากกว่านั้น และสอดคล้องกับการทดลองของ ธนุสรา และวิริยา (2548) ซึ่งศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเซลลูโลสจากน้ำตาลโตนด-น้ำมะพร้าว ด้วยเชื้อ *Acetobacter xylinum* TISTR 107 ใช้แมกนีเซียมซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0 0.03 0.05 0.08 0.1 0.3 0.5 และ 0.7 กรัมต่อลิตร ในน้ำหมักเริ่มต้นพบว่า การใช้แมกนีเซียมซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0.08 กรัมต่อลิตร เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดแผ่นวุ้นจะหนาประมาณ 1.58 เซนติเมตร และน้ำหนักเซลลูโลสเท่ากับ 57.75 กรัม ในเวลา 11 วัน เซนติเมตร ดังนั้นในการเตรียมน้ำหมักเริ่มต้นควรเติมแมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้น 0.2 เปอร์เซ็นต์ เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด



ภาพที่ 19 ผลของปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตต่อผลผลิตของแผ่นวุ้นมะพร้าว
เครื่องหมาย a-d แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธี DMRT

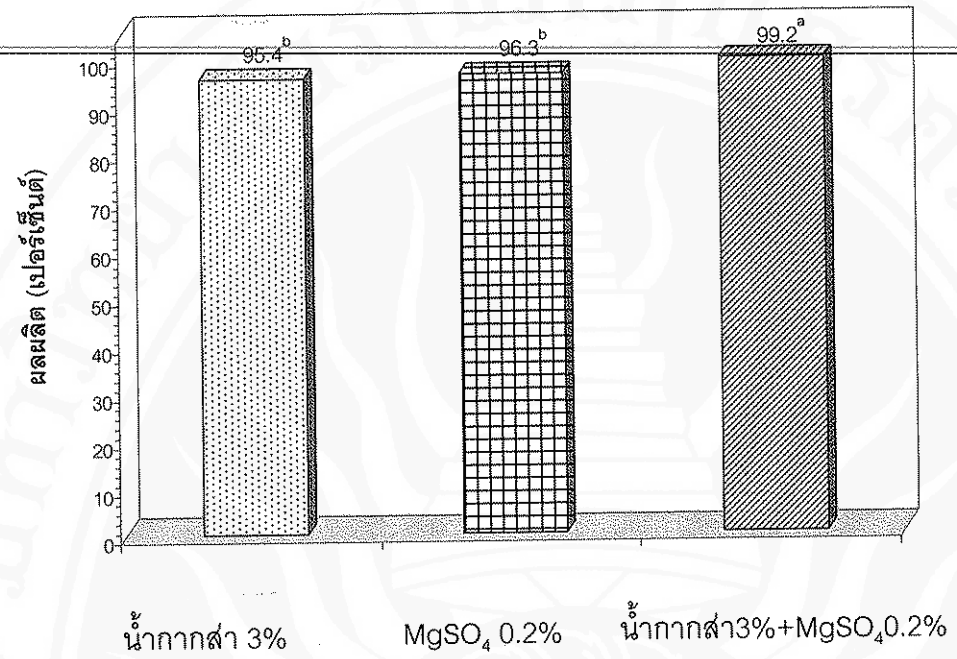
5. เปรียบเทียบผลการใช้น้ำกากส่าร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) ต่อประสิทธิภาพการสร้างแผ่นวุ้นมะพร้าว

นำน้ำมะพร้าวมาเติมน้ำตาลจากที่ระดับความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เติมแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักเป็น 5.5 เติมแมกนีเซียม 0.2 เปอร์เซ็นต์ เติมกากส่า 3 เปอร์เซ็นต์ หมักไว้เป็นระยะเวลา 10 วัน วัดความหนาของแผ่นวุ้นมะพร้าวทุก ๆ 2 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กากส่า 3 เปอร์เซ็นต์ และแมกนีเซียมซัลเฟต 0.2 เปอร์เซ็นต์ เพียงอย่างเดียว พบว่าการใช้กากส่า 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟต 0.2 เปอร์เซ็นต์ จะให้แผ่นวุ้นมะพร้าวมีความหนาสูงสุดเท่ากับ 1.76±2.08 เซนติเมตร (ภาพที่ 18) เมื่อพิจารณาความหนาของแผ่นวุ้นในช่วงเวลา 0-2 วัน เชื้อ *Acetobacter xylinum* จะเจริญเติบโตช้าแผ่นวุ้นมะพร้าวจะมีลักษณะขรุขระ แต่พอหมักไว้เป็นเวลา 4-10 วัน เชื้อจะสร้างแผ่นวุ้นได้รวดเร็วและสม่ำเสมอ ลักษณะของแผ่นวุ้นมะพร้าวจะเรียบสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการหมักวุ้นมะพร้าวควรใช้กากส่า 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟต 0.2 เปอร์เซ็นต์ เพราะจะทำให้แผ่นวุ้นมะพร้าวมีความหนาประมาณ 1.5-1.6 เซนติเมตร โดยใช้เวลาในการหมักเพียง 8 วันเท่านั้น



ภาพที่20 เปรียบเทียบผลการใช้น้ำกากส่าร่วมกับ $MgSO_4$ ต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นวุ้น

เมื่อทำการหมักวุ้นมะพร้าวไว้เป็นระยะเวลา 10 วัน นำไปหาปริมาณของผลผลิต พบว่าการใช้กากส่าความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟต 0.2 เปอร์เซ็นต์ จะให้ปริมาณผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 99.17±0.85 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 21 โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากน้ำกากส่าและแมกนีเซียมซัลเฟตมีสารเสริมประเภทแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โปรแตสเซียม ซัลเฟอร์ และแคลเซียม (ภาวิณี ชัยประเสริฐ, 2544) เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *Acetobacter xylinum* และมีส่วนประกอบของแร่ธาตุอื่น ๆ เช่น โคบอลท์ เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี เป็นต้น ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นและเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *A. xylinum* จึงมีผลให้วุ้นมะพร้าวที่ผลิตได้มีความหนาและปริมาณผลผลิตสูงสุด ส่วนการใช้กากส่า 3 เปอร์เซ็นต์ และแมกนีเซียมซัลเฟต 0.2 เปอร์เซ็นต์ เพียงอย่างเดียวจะให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกันเท่ากับ 95.40±0.92 และ 96.33±1.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นในการผลิตวุ้นมะพร้าวด้วยน้ำมะพร้าวซึ่งผ่านการปรับสูตรด้วยน้ำตาลจาก 5 เปอร์เซ็นต์ ควรเสริมสารอาหารด้วยน้ำกากส่าความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ และแมกนีเซียมซัลเฟต 0.2 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 21 เปรียบเทียบผลการใช้น้ำกากสาร่วมกับ $MgSO_4$ ต่อผลผลิตของแผ่นวุ้น

6. ผลการขยายกำลังการผลิตสู่ระดับ Pilot plant เพื่อเป็นโรงงานนำร่อง

เมื่อขยายกำลังการผลิตวุ้นมะพร้าวสู่ระดับ Pilot plant เพื่อทำเป็นโรงงานนำร่องจะทำการทดลองที่โรงงานผลิตวุ้นมะพร้าวเมืองคอนของคุณนิคม หนูวรรณ บ้านเลขที่ 22/154 หมู่ 1 ตำบลโพธิ์เสด็จ อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช ทำการผลิตวุ้นมะพร้าวโดยนำน้ำมะพร้าวมาจำนวน 40 ลิตร กรองผ่านผ้าขาวบาง ใส่ในหม้อขนาด 60 ลิตร เติมน้ำตาลจาก 2.5 กิโลกรัม (ความหวานของน้ำตาลจาก 80 บริกซ์) เติมน้ำกากสา 1,200 มิลลิลิตร และเติมแมกนีเซียมซัลเฟต 80 กรัม นำไปต้มให้เดือดหลังจากเดือดให้จับเวลา 45 นาที ยกหม้อลงจากเตา เติมกรดอะซิตริกเข้มข้นจำนวน 160 มิลลิลิตร รอจนน้ำมะพร้าวเย็น ตักน้ำมะพร้าวใส่ในพิมพ์พลาสติกขนาด 24x40x10 เซนติเมตร พิมพ์ละ 1.4 ลิตร ปิดด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วและรัดด้วยสายยางให้แน่น นำพิมพ์มาเรียงซ้อนกัน 1 แถวจะมีจำนวน 12 พิมพ์ เมื่อน้ำมะพร้าวเย็นจึงเติมหัวเชื้อวุ้นมะพร้าวลงไปพิมพ์ละประมาณ 125 มิลลิลิตร (หัวเชื้อ 1 ขวดเติมได้ 4 พิมพ์) ทำการหมักที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมักวุ้นมะพร้าวที่ได้จะมีปริมาณผลผลิต 98.81$\pm$0.82 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเฉลี่ย 1.28$\pm$0.3 กรัมต่อแผ่น

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาผลของการใช้น้ำตาลจากทดแทนน้ำตาลทราย การปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของน้ำหมัก การเสริมธาตุอาหารด้วยน้ำกากส่า และ$MgSO_4$ ในการผลิตวุ้นมะพร้าวจากน้ำมะพร้าวที่เหลือทิ้ง พบว่าสูตรที่เหมาะสมคือ น้ำมะพร้าว 1 ลิตร น้ำตาลจาก 50 กรัม $(NH_4)_2SO_4$ 5 กรัม $MgSO_4$ 2 กรัม น้ำกากส่า 30 กรัม และการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 5.5 ด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น หมักโดยการใช้หัวเชื้อ *Acetobacter xylinum* จำนวน 10 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8-10 วันจะได้แผ่นวุ้นที่มีความหนาประมาณ 1.76 เซนติเมตร โดยมีค่าผลผลิตเท่ากับ 99.17 เปอร์เซ็นต์ และมีกลิ่นหอมเฉพาะตัวของน้ำตาลจากแต่ลักษณะแผ่นวุ้นจะมีสีคล้ำ ซึ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพได้โดยการฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมงก็จะได้แผ่นวุ้นมีสีขาวนวลและลักษณะสีใกล้เคียงกับแผ่นวุ้นมะพร้าวที่ผลิตด้วยสูตรดั้งเดิม (ใช้น้ำตาลทราย)