ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากผลมะม่วงหิมพานต์

Production of Fermented Vinegar from Cashew Apple

จัดทำโดย

นางสาววาสนา ลิ่มจำเริญ รหัสประจำตัว 47040172

นางสาวสิริกร เล่าสกุล รหัสประจำตัว 47040179

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... **อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ**

...22.../...5.../2551...

(รศ.ดร.กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากผลมะม่วงหิมพานต์

Production of Fermented Vinegar from Cashew Apple

จัดทำโดย

นางสาววาสนา ลิ่มจำเริญ รหัสประจำตัว 47040172

นางสาวสิริกร เล่าสกุล รหัสประจำตัว 47040179

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ดร. กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

วศ.
ว 491 ก
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 85373
วัน,เดือน,ปี 11 พ.ย. 2551

b 12010844
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วาสนา ลิ่มจำเริญ และ สิริกร เล่าสกุล. 2550 : การผลิตน้ำส้มสายชูจากผลมะม่วงหิมพานต์ (Production of Fermented Vinegar from Cashew Apple) ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร.กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์

บทคัดย่อ

เมื่อทดลองศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มสายชู พบว่ายีสต์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแอลกอฮอล์ คือ ยีสต์ขนมปัง ซึ่งมีอัตราการผลิตแอลกอฮอล์ไม่ต่างจากการใช้ *S. cerevisiae* TISTR 5194 และอะซิติกแอซิดแบคทีเรียที่เหมาะสมในขั้นการผลิตกรดอะซิติก คือ *A. aceti* TISTR 102 ซึ่งสามารถผลิตน้ำส้มสายชูได้ในระยะเวลาสั้น และมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากการหมักโดยใช้แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติ เมื่อศึกษาผลของการใส่ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟส (DAP) ในการหมักกรดอะซิติก พบว่าการเติม DAP ในระดับ 0 0.2 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักของน้ำหมัก) ไม่ทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของกรดอะซิติกและการยอมรับในด้านประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูที่ได้แตกต่างกัน และเมื่อศึกษาผลของการทำแห้งวัตถุดิบต่อคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมัก พบว่าการใช้ผลมะม่วงหิมพานต์อบแห้งซึ่งนำมาคืนรูปให้มีความชื้นเท่ากับผลสด โดยการเติมน้ำแล้วนำมาผลิตน้ำส้มสายชู ไม่มีผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของกรดอะซิติก และน้ำส้มสายชูหมักที่ได้มีสีเข้มกว่า แต่ไม่ทำให้คุณภาพด้านกลิ่นและความชอบโดยรวมต่างจากน้ำส้มสายชูที่หมักจากผลสด

วาสนา ลิ่มจำเริญ สิริกร เล่าสกุล		22/5/51
ลายมือนักศึกษา	(รศ.ดร.กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์) อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ	วัน/เดือน/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยการให้คำปรึกษา และคำแนะนำต่าง ๆ รวมทั้งตรวจทานแก้ไขรูปเล่มปัญหาพิเศษจาก รศ.ดร.กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์บุญเทียม พันธุ์เพ็ง ที่ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการในการสอบปัญหาพิเศษ และให้คำปรึกษาจนปัญหาพิเศษฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ รวมถึงขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ด้านวิทยาศาสตร์การอาหารให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่เทคนิค เจ้าหน้าที่ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร และพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ คณะอุตสาหกรรมเกษตรที่เป็นกำลังใจและให้ความร่วมมือด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายขอรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจมาโดยตลอด คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปัญหาพิเศษฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วาสนา ลิ่มจำเริญ

สิริกร เล่าสกุล

31 มีนาคม 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	2
2.1 ผลมะม่วงหิมพานต์	2
2.2 น้ำส้มสายชู	5
2.3 การทำแห้งอาหาร	18
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	22
3.1 วัตถุดิบ	22
3.2 เชื้อจุลินทรีย์	22
3.3 สารเคมี	22
3.4 สารอาหาร	22
3.5 เครื่องมือและอุปกรณ์	23
3.6 ขั้นตอนและวิธีการ	24
3.6.1 กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก	24
3.6.2 การเตรียมหัวเชื้อยีสต์ตั้งต้นในการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์	25
3.6.3 การเตรียมหัวเชื้อแบคทีเรียตั้งต้นในการหมักให้เกิดกรดอะซิติก	25
3.6.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มสายชู	25
3.6.5 การศึกษาผลของการใส่ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DAP) ในการหมักกรดอะซิติก	26
3.6.6 การศึกษาผลของการทำแห้งวัตถุดิบต่อคุณภาพด้านสีและกลิ่นของน้ำส้มสายชูหมัก	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง	27
4.1 ผลของการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มสายชู	27
4.2 ผลของการใส่ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟส (DAP) ในการหมักกรดอะซิติก	34
4.3 ผลของการทำแห้งวัตถุดิบต่อคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมัก	38
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	42
บรรณานุกรม	43
ภาคผนวก ก การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ	45
ภาคผนวก ข การปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำผลไม้	46
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ทางเคมี	47
ภาคผนวก ง ผลวิเคราะห์ทางสถิติ	50
ภาคผนวก จ แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 มะม่วงหิมพานต์	2
2.2 การเจริญของยีสต์ที่เวลาต่าง ๆ	9
4.1 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์	28
4.2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์	28
4.3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดในระหว่างการหมักขั้นผลิตกรดอะซิติก	30
4.4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดในระหว่างการหมักขั้นผลิตกรดอะซิติกเมื่อเติม DAP ในระดับที่ต่างกันลงในน้ำหมักก่อนขั้นหมักให้เกิดกรดอะซิติก	35
4.5 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดในระหว่างการหมักขั้นผลิตกรดอะซิติกเมื่อใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกันในการหมักน้ำส้มสายชู	39

รูปผนวกที่

ข.1 การคำนวณตามหลักการของ Pearson's Square	46
ค.1 ลักษณะของเครื่อง Ebulliometer	48
ค.2 แผ่นอ่านเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของผลมะม่วงหิมพานต์	4
4.1	ปริมาณแอลกอฮอล์และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในไวน์ที่ได้จากการหมักโดยใช้สภาวะการหมักที่ต่างกันผลการวิเคราะห์สารประกอบให้กลิ่นในตัวอย่างไวน์มะม่วงหิมพานต์	27
4.2	อัตราการลดลงสูงสุดของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างกระบวนการหมักขั้นผลิตแอลกอฮอล์	29
4.3	ปริมาณกรดอะซิติกที่ได้จากการหมักเมื่อสภาวะการใช้อะซิติกแอซิดแบคทีเรียต่างกัน	30
4.4	อัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดอะซิติกในขั้นการผลิตกรดอะซิติก	31
4.5	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสเมื่อสภาวะการหมักแตกต่างกันในการผลิตน้ำส้มสายชู	32
4.6	ปริมาณกรดอะซิติกที่ได้จากการหมักโดยเติม DAP ในระดับที่แตกต่างกัน คือ 0 0.2 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักของน้ำหมัก)	34
4.7	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดอะซิติกในน้ำหมักเมื่อเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน คือ 0 0.2 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักของน้ำหมัก)	35
4.8	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสเมื่อมีการเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน คือ 0 0.2 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักของน้ำหมัก)	36
4.9	ปริมาณกรดอะซิติกที่ได้จากการหมักโดยการใช้ผลสดและผลอบแห้ง	38
4.10	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดอะซิติกในน้ำหมักเมื่อใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกัน คือ ผลสดและผลอบแห้ง	39
4.11	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสเมื่อใช้ผลมะม่วงหิมพานต์สดและผลมะม่วงหิมพานต์แห้งมาผลิตน้ำส้มสายชู	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ หน้า

ง1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าอัตราการลดลงสูงสุดของปริมาณของแข็งที่ละลายได้เมื่อสภาวะการหมักต่างกัน 50

ง2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณแอลกอฮอล์เมื่อสภาวะการหมักต่างกัน 50

ง3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดอะซิติกเมื่อสภาวะการหมักต่างกัน 50

ง4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มสีของน้ำส้มสายชูเมื่อสภาวะการหมักต่างกัน 51

ง5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบสีของน้ำส้มสายชูเมื่อสภาวะการหมักต่างกัน 51

ง6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความแรงกลิ่นแปลกปลอมของน้ำส้มสายชูเมื่อสภาวะการหมักต่างกัน 51

ง7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของน้ำส้มสายชูเมื่อสภาวะการหมักต่างกัน 52

ง8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดอะซิติกในน้ำหมักเมื่อเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน 52

ง9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มสีของน้ำส้มสายชูเมื่อเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน 52

ง10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบสีของน้ำส้มสายชูเมื่อเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน 52

ง11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความแรงกลิ่นแปลกปลอมของน้ำส้มสายชูเมื่อเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน 53

ง12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของน้ำส้มสายชูเมื่อเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน 53

ง13 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดอะซิติกในน้ำหมักเมื่อใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกันผลิตน้ำส้มสายชู 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ หน้า

ง14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มสีของน้ำส้มสายชูเมื่อใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกันผลิตน้ำส้มสายชู 53

ง15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบสีของน้ำส้มสายชูเมื่อใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกันผลิตน้ำส้มสายชู 54

ง16 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความแรงกลิ่นแปลกปลอมเมื่อใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกันผลิตน้ำส้มสายชู 54

ง17 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมเมื่อใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกันผลิตน้ำส้มสายชู 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะม่วงหิมพานต์เป็นพืชที่ให้ผลผลิตตามฤดูกาล ผลมะม่วงหิมพานต์เป็นส่วนเหลือทิ้งและเน่าเสียเป็นจำนวนมากจากอุตสาหกรรมแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ มีการศึกษาพบว่าในผลมะม่วงหิมพานต์มีคุณค่าสารอาหารครบทุกหมู่และมีองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ มากมาย จากเหตุนี้จึงทำให้เกิดการแปรรูปผลมะม่วงหิมพานต์เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภคต่าง ๆ เช่น แยม น้ำผลไม้ ไวน์ และน้ำส้มสายชูหมัก เป็นต้น

น้ำส้มสายชูหมักสามารถผลิตได้ในครัวเรือน เก็บรักษาไว้ได้เป็นระยะเวลานานที่อุณหภูมิปกติ รวมทั้งใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการประกอบอาหารและในการผลิตผลิตภัณฑ์อื่น ได้แก่ ซอส มะเขือเทศ น้ำสลัด และน้ำจิ้มสุกี้ เป็นต้น ปัจจุบันมีการนำผลมะม่วงหิมพานต์มาหมักเป็นน้ำส้มสายชูแต่ใช้ระยะเวลาในการหมักนานเนื่องจากใช้จุลินทรีย์ตามธรรมชาติ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางในการย่นระยะเวลาการหมักให้สั้นลง นอกจากนี้ผลมะม่วงหิมพานต์จะมีเป็นฤดูกาลในช่วงเดือนมีนาคม ถึง เดือนมิถุนายน ซึ่งผลผลิตจะมากไม่สามารถแปรรูปได้ทันการทำแห้งเป็นกระบวนการช่วยเก็บรักษาวัตถุดิบ การทดลองส่วนหนึ่งจึงเป็นการศึกษาผลของการทำแห้งวัตถุดิบต่อคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมักที่ได้

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงกระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากผลมะม่วงหิมพานต์ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยใช้ถังหมักแบบให้อากาศอย่างง่าย

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มสายชูจากผลมะม่วงหิมพานต์
2. ศึกษาผลของการใส่ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DAP) ในการหมักกรดอะซิติก
3. ศึกษาผลของการทำแห้งวัตถุดิบต่อคุณภาพด้านสีและกลิ่นของน้ำส้มสายชูหมัก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มแนวทางการแปรรูปและมูลค่าผลิตผลทางการเกษตร
2. เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากผลมะม่วงหิมพานต์ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 ผลมะม่วงหิมพานต์

2.1.1 ลักษณะทั่วไป

มะม่วงหิมพานต์เป็นไม้ยืนต้นในตระกูลเดียวกับมะม่วง (Family Anacardiaceae) ซึ่งเป็นพืชพื้นเมืองของประเทศบราซิล ชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Anacardium occidentals* L. ชื่อสามัญ (Common Name) คือ Cashew Tree (นพรัตน์ บำรุงรักษ์, 2536) ในประเทศไทยจะเรียกว่า มะม่วงหิมพานต์ ซึ่งเป็นชื่อเรียกอย่างเป็นทางการ แต่ในท้องถิ่นต่าง ๆ ของประเทศไทยจะเรียกชื่อมะม่วงหิมพานต์แตกต่างกันออกไป เช่น ทางภาคใต้เรียกกันว่า กาหยี กาหยู ยาโห้ย ยาห้อย ยาร่อง

รูปที่ 2.1 มะม่วงหิมพานต์
ที่มา : http://th.wikipedia.org/wiki/มะม่วงหิมพานต์

ดั้งเดิมมะม่วงหิมพานต์เป็นไม้ผลพื้นเมืองของทวีปอเมริกาใต้ มีปลูกอยู่ทั่วไปตั้งแต่เม็กซิโกจนถึงเปรู และปลูกกันมากที่ประเทศบราซิล ต่อมาได้ขยายพันธุ์ออกไปอย่างกว้างขวางในประเทศต่าง ๆ รวมทั้งในประเทศไทยด้วย ประมาณปีพ.ศ. 2444 มีการทดลองปลูกที่จังหวัดระนองเป็นจังหวัดแรก ดังนั้นจึงพบมากในแถบภาคใต้ของประเทศไทย มะม่วงหิมพานต์เป็นไม้ผลเมืองร้อน ปลูกขึ้นอยู่ทั่วไปในที่ที่มีอากาศร้อนและฝนตกชุก เป็นพันธุ์ไม้ยืนต้นไม่ผลัดใบ (Evergreen Tree) ปลูกขึ้นง่าย ทนแล้งได้ดี ไม่เลือกดิน ในประเทศไทยส่วนใหญ่ปลูกกันแบบตามบุญตามกรรมไม่ค่อยมีการเอาใจใส่ มะม่วงหิมพานต์ให้ผลผลิตเมื่ออายุ 3 ปีขึ้นไปและจะให้ผลผลิตเต็มที่ในช่วงระหว่าง 10-15 ปี ซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 2,500-3,000 ผลต่อต้น มะม่วงหิมพานต์ใช้ระยะเวลาออกดอกประมาณ 2 เดือนครึ่ง ประมาณเดือนมกราคมถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กุมภาพันธ์ ฉะนั้นการเก็บเกี่ยวก็จะเริ่มตั้งแต่กลางเดือนมีนาคมเป็นต้นไป เมื่อผลสุกแล้วจะรอให้ผลร่วงหล่นเองตามธรรมชาติ และปลิดเอาเฉพาะส่วนเมล็ดไปใช้ในอุตสาหกรรมเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ส่วนผลมะม่วงหิมพานต์มีการบริโภคน้อยมากเนื่องจากมีแทนนินสูงทำให้มีรสฝาด โดยทั่วไปจึงมักจะทิ้งส่วนผล แต่ชาวบ้านภาคใต้ของไทย นิยมนำผลห่ามแกงส้ม ออกรสเปรี้ยว ส่วนผลดิบรับประทานกับเกลือเป็นของกินเล่น ผลมะม่วงหิมพานต์มีเปลือกบางและอ่อนถูกทำลายง่ายด้วยจุลินทรีย์ ผลที่สุกงอมอยู่ในสภาพที่บอบช้ำง่าย มีการเสื่อมเสียสูงถึง 65 เปอร์เซ็นต์ภายใน 24 ชั่วโมงหลังจากการเก็บเกี่ยว ดังนั้นเมื่อนำมาแปรรูปจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มาก จึงต้องมีวิธีการเก็บรักษาผลมะม่วงหิมพานต์สดไว้ไม่ให้เน่าเสียได้ง่าย ด้วยวิธีดังนี้

- <u>การแช่เย็น</u> (Chilling) นำผลมะม่วงหิมพานต์สดไปเก็บแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเน่าเสียได้ แต่เก็บได้เพียงประมาณ 1 เดือน โดยไม่มีผลต่อการนำไปแปรรูป

- <u>การแช่แข็ง</u> (Freezing) การแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาผลสดไว้ได้นานถึง 4-5 เดือน โดยไม่มีผลต่อการนำไปแปรรูป (ทิพาพร อยู่วิทยา, 2534)

2.1.2 สรรพคุณ

ผลมะม่วงหิมพานต์สามารถใช้ฆ่าเชื้อ พอกดับพิษ แก้ลักปิดลักเปิด แก้ปวดฟัน และบรรเทาอาการอักเสบของเหงือกน้ำจากผลมะม่วงหิมพานต์ใช้เป็นยาแก้รักษาโรคกระเพาะ โรคบิด แก้การอาเจียน เจ็บคอ ขับปัสสาวะ และขับเหงื่อได้ แม้ว่าผลมะม่วงหิมพานต์จะมีกลิ่นฉุน แต่กลิ่นดังกล่าวประกอบด้วยกลิ่นต่าง ๆ รวมกันถึง 20 กลิ่น ซึ่งอาจแยกสกัดเป็นหัวน้ำหอมได้ (พิชัย สราญรมย์, 2535)

2.1.3 องค์ประกอบทางเคมี

จากองค์ประกอบทางเคมีของผลมะม่วงหิมพานต์ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่ามีสารอาหารครบทุกหมู่ ไม่ว่าจะเป็นโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และแร่ธาตุ ผลมะม่วงหิมพานต์มีปริมาณน้ำตาลและวิตามินซีสูง ทั้งยังมีธาตุซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส เหล็ก ในปริมาณปานกลาง และมีเพคติน คาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโนอิสระ และ Crude Protein ในปริมาณต่ำ (ทิพาพร อยู่วิทยา, 2534)

เมื่อพิจารณาถึงคุณค่าทางอาหารของผลมะม่วงหิมพานต์แล้ว น่าจะนำมาใช้ประโยชน์โดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อบริโภคนอกเหนือไปจากการรับประทานแบบสดของชาวบ้าน หรือทิ้งให้เป็นอาหารของนกเสียส่วนใหญ่ดังที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ทั้งนี้ยังเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงหิมพานต์อีกทางหนึ่งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของผลมะม่วงหิมพานต์

องค์ประกอบ		ปริมาณ
ความชื้น	(เปอร์เซ็นต์)	87.8
โปรตีน	(เปอร์เซ็นต์)	0.2
ไขมัน	(เปอร์เซ็นต์)	0.1
คาร์โบไฮเดรต	(เปอร์เซ็นต์)	11.6
Crude Fiber	(เปอร์เซ็นต์)	0.9
แคลเซียม	(มก./100 ก.)	10
ฟอสฟอรัส	(มก./100 ก.)	10
เหล็ก	(มก./100 ก.)	0.2
แร่ธาตุอื่น ๆ	(มก./100 ก.)	200
วิตามินซี	(มก./100 ก.)	261
ไทอามีน	(มก./100 ก.)	0.02
ไรโบฟลาวิน	(มก./100 ก.)	0.05
กรดนิโคตินิค	(มก./100 ก.)	0.04
วิตามินเอ	(มก./100 ก.)	39
แทนนิน	(เปอร์เซ็นต์)	0.24-0.84

ที่มา : ทิพาพร อยู่วิทยา (2534)

2.1.4 ประโยชน์ที่ได้จากผลมะม่วงหิมพานต์

ทิพาพร อยู่วิทยา (2534) กล่าวว่า ผลมะม่วงหิมพานต์สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้หลายชนิด ดังนี้

- เนื้อ สามารถนำมาแปรรูปเป็นแยม ผลไม้กวน แช่อิ่ม ดอง
- น้ำ ทำน้ำผลไม้พร้อมดื่ม น้ำผลไม้เข้มข้น น้ำผลไม้ผสม หรือน้ำส้มสายชูหมักไวน์ และ บรั่นดี เป็นต้น
- กาก ใช้เป็นอาหารสัตว์โดยตรงหรือนำมาเป็นอาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อราเพื่อผลิตโปรตีนสำหรับเลี้ยงสัตว์

ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่มีแนวโน้มว่าน่าจะผลิตออกจำหน่ายและเป็นที่ยอมรับของท้องตลาดก็คือ น้ำส้มสายชู ไวน์ และ น้ำผลไม้ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 น้ำส้มสายชู (Vinegar)

2.2.1 ความหมาย

น้ำส้มสายชู หรือ กรดอะซิติก หรือ Vinegar มาจากรากศัพท์จากภาษาฝรั่งเศสว่า "Vinaigre" หมายถึง ไวน์เปรี้ยว เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากการหมักโดยใช้กระบวนการหมักในสภาพอาหารเหลว ซึ่งนับเป็นองค์ประกอบสำคัญอย่างหนึ่งในการปรุงแต่งรสของอาหาร และยังเป็นวัตถุดิบมูลฐานของอุตสาหกรรมต่าง ๆ อีกหลายประเภท เช่น ซอส น้ำสลัด เป็นต้น น้ำส้มสายชูส่วนใหญ่ผลิตได้จากวัตถุดิบที่เป็นแป้งหรือน้ำตาล เช่น น้ำผลไม้ กากน้ำตาล น้ำเชื่อม เป็นต้น

วราวุฒิ ครูส่ง และ รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต (2532) ได้กล่าวว่าน้ำส้มสายชูเป็นเครื่องปรุงรสที่ผลิตได้จากการหมักวัตถุดิบจนได้แอลกอฮอล์ที่สูงพอสมควร แล้วตามด้วยการออกซิไดซ์แอลกอฮอล์จนได้กรดอะซิติก น้ำส้มสายชูมีลักษณะเป็นของเหลวใส ซึ่งอาจจะไม่มีสีหรือมีสีของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก และความเป็นกรดด่าง (pH) จะมีค่าระหว่าง 2-3.5 นอกจากนี้แล้วปริมาณของตัวทำละลาย (Solutes) ต่าง ๆ ในน้ำส้มสายชูจะขึ้นอยู่กับสารประกอบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 204 พ.ศ. 2543 เรื่องของน้ำส้มสายชู กำหนดให้น้ำส้มสายชูเป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน และให้ถือว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นเพื่อจุดประสงค์ที่จะใช้ผลิตภัณฑ์นั้นในทำนองเดียวกับน้ำส้มสายชูเป็นน้ำส้มสายชู และให้ความหมายรวมถึงหัวน้ำส้มด้วย โดยน้ำส้มสายชูจะมีกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่า 4 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 27 องศาเซลเซียส และมีแอลกอฮอล์ตกค้าง (Residual Alcohol) ไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์

2.2.2 ชนิดของน้ำส้มสายชู

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 204 พ.ศ. 2543 ได้แบ่งน้ำส้มสายชูเป็น 3 ชนิด ตามกรรมวิธีการผลิต คือ

1. <u>น้ำส้มสายชูหมัก</u> ทำจากการหมักน้ำตาลหรือผลไม้ที่มีน้ำตาลและข้าวเหนียวด้วยยีสต์ให้เป็นแอลกอฮอล์ แล้วจึงหมักต่อกับเชื้อน้ำส้มสายชูตามกรรมวิธีธรรมชาติ ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ให้เป็นกรดอะซิติกหรือกรดน้ำส้ม น้ำส้มสายชูที่ได้จะมีสีเหลืองอ่อนไปจนถึงสีน้ำตาล มีกลิ่นหอมปนกลิ่นเฉพาะของกรดน้ำส้ม ส่วนประกอบของน้ำส้มสายชูหมักที่ได้ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต หากทำจากน้ำผลไม้จะมีกลิ่นผลไม้ติดมาด้วย และมีกลิ่นฉุนน้อยกว่าน้ำส้มสายชูกลั่นเนื่องจากมีระยะเวลาบ่มนานกว่า น้ำส้มสายชูที่ได้จะถูกนำไปทำให้ใสโดยการเติมสารบางชนิดแล้วกรอง จากนั้นจึงนำไปฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งน้ำส้มสายชูชนิดนี้ไม่ค่อยมีจำหน่ายในท้องตลาด เนื่องจากกรรมวิธีในการผลิตที่ไม่สะดวก และเก็บไว้ได้ไม่นาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. น้ำส้มสายชูกลั่น ทำจากการนำแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักมากลั่นเสียก่อน แล้วจึงนำไปหมักกับเชื้อน้ำส้มสายชูทีหลัง ซึ่งจะได้น้ำส้มสายชูที่ไม่มีสี อาจแต่งเติมให้เป็นสีเหลืองอ่อนด้วยน้ำตาลเคี่ยวไหม้ น้ำส้มสายชูกลั่นมีกลิ่นกรดอ่อนๆ มีความบริสุทธิ์สูงกว่าน้ำส้มสายชูหมักและเป็นที่นิยมในหมู่ผู้บริโภค

3. น้ำส้มสายชูเทียม ได้จากการนำเอากรดน้ำส้ม (Acetic Acid) อย่างเข้มข้นซึ่งได้จากการสังเคราะห์ขึ้นตามกรรมวิธีทางวิทยาศาสตร์มาเจือจางให้มีคุณภาพหรือมาตรฐานตามกฎหมายกำหนด คือให้มีความเข้มข้นของกรดเหลือ 4-7 เปอร์เซ็นต์ น้ำส้มสายชูชนิดนี้มีลักษณะใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนของกรดน้ำส้ม มีราคาถูก และไม่อนุญาตให้เติมแต่งสี

น้ำส้มสายชูทั้งสามชนิดนี้รับประทานได้ไม่มีอันตราย แต่มีน้ำส้มอีกชนิดหนึ่งที่เป็นอันตราย คือ น้ำส้มสายชูปลอม ซึ่งทำโดยเอาหัวน้ำส้มมาเจือจางกับน้ำแล้วบรรจุขวดขาย หัวน้ำส้มดังกล่าวเป็นกรดน้ำส้มชนิดเข้มข้นที่ใช้ในอุตสาหกรรม สิ่งทอ ฟอกหนัง ขนสัตว์ ไหม ไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค นอกจากนี้อาจมีการนำเอากรดแร่อื่น ๆ เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถันมาทำหัวน้ำส้ม แต่ไม่มีกลิ่นเฉพาะของกรดน้ำส้ม จึงมักเติมน้ำส้มสายชูหมักลงไปด้วยเพื่อทำให้กลิ่นเหมือนน้ำส้มสายชูหมัก ถ้ารับประทานเข้าไปมาก ๆ จะกัดกระเพาะอาหารและลำไส้จนเกิดแผล หรืออาจถึงขั้นกระเพาะและลำไส้ทะลุได้

2.2.3 องค์ประกอบน้ำส้มสายชูหมัก

น้ำส้มสายชูหมักประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก ได้แก่ น้ำ กรดอะซิติก และสารอื่น ๆ อีกเล็กน้อย กรดอะซิติกทำให้น้ำส้มสายชูมีรสเปรี้ยว มีคุณสมบัติป้องกันการเน่าเสีย เป็นตัวทำละลายที่ดี ส่วนสารอื่นๆ ในน้ำส้มสายชูนั้นมีความสำคัญในด้านกลิ่นรส ทำให้น้ำส้มสายชูมีกลิ่นรสดีกว่าน้ำส้มสายชูเทียม สารเหล่านี้มีปริมาณเพียงเล็กน้อย อาจจะมาจากวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก หรือเป็นสารที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักน้ำส้มสายชู หรืออาจเกิดจากเอทธานอลทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกเป็นเอทิลอะซิเตท ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นรสในน้ำส้มสายชูที่ได้จากกรรมวิธีการหมักแบบธรรมชาติ โดยทั่วไปจะพบสารระเหย 4 ชนิด ได้แก่ อะซิตัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) อะซิตัล (Acetal) เอทิลอะซิเตท (Ethyl Acetate) และเอทธานอล (Ethanol) สารที่ทำให้กลิ่นรสของน้ำส้มสายชูดี คือ คาร์บอนิล (Carbonyl) แอลกอฮอล์ (Alcohol) และ เอสเทอร์ (Ester)

สารที่ทำให้น้ำส้มสายชูมีรสชาติดี ได้แก่ กรดพี-ไฮดรอกซีซินามิก (p-Hydroxycinamic Acid), กรดวานิลลิก (Vanillic Acid), กรดไซรินจิก (Syringic Acid), กรดโปรโทคาเทอิก (Protocatehic Acid) นอกจากนั้นชนิดของสารประกอบในน้ำส้มสายชูยังสามารถบอกชนิดของน้ำส้มสายชูได้ เช่น สารที่มีเฉพาะในน้ำส้มสายชูองุ่น จะไม่พบในน้ำส้มสายชูอื่น ได้แก่ กรดคาเฟอิก (Cafeic Acid), กรดแกลลิก (Gallic Acid), กรดโคลเกนิก (Chlorgenic Acid), กรดเฟรูลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Ferulic Acid), กรดพี-ไฮดรอกซีซินามิก, กรดเจนทิสติก (Gentistic Acid), กรดซาลิไซลิก (Salicylic Acid) และพี-ไฮดรอกซีเบนซอลดีไฮด์ (p-Hydroxybenzaldehyde) ส่วนน้ำส้มสายชูหมักจากแอปเปิลพบสารคล้ายน้ำส้มสายชูจากองุ่น แต่ตรวจไม่พบกรดไซรินจิก, กรดคาเฟอิก และกรดพี-ไฮดรอกซีซินามิก (ดวงศิริ ดวงแว่ว และ สุวณีย์ เกิ่งวิเชียรไชย, 2548)

2.2.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชู

วราวุฒิ ครูส่ง และ รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต (2532) กล่าวถึงน้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมักว่า น้ำส้มสายชูหมักจะมีลักษณะเฉพาะตัว จึงทำให้น้ำส้มสายชูแตกต่างจากน้ำเจือจางกรดอะซิติก อีกทั้งน้ำส้มสายชูที่ผลิตขึ้นมาจากวัตถุดิบที่แตกต่างก็จะให้คุณสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักเพื่อการผลิตกรดอะซิติกหรือน้ำส้มสายชูนี้จะเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำส้มสายชูที่ได้ ดังนั้นในการผลิตจึงจำเป็นต้องเลือกใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพ เช่น ถ้าใช้ผลไม้เป็นวัตถุดิบผลไม้จะต้องสุกและแก่จัด แต่ถ้าใช้ไวน์หรือแอลกอฮอล์เป็นวัตถุดิบ จะต้องมีความใส สะอาด และปราศจากสิ่งเจือปน เป็นต้น วัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตน้ำส้มสายชูสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

- ผักและผลไม้ ผลไม้ เช่น องุ่น แอปเปิล ส้ม แพร์ และผลไม้หลายชนิดที่ให้น้ำตาลและสามารถนำมาหมักไวน์ได้ น้ำส้มสายชูที่ได้จากวัตถุดิบเหล่านี้ ได้แก่ Cider Vinegar, Fruit Vinegar เป็นต้น หรืออาจใช้ผักที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น มันฝรั่ง มันเทศ มันสำปะหลัง ทั้งนี้แป้งที่มีในผักต้องถูกนำไปผ่านการแปรสภาพ (Pretreatment) เพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาลก่อน โดยนำผักมาผ่านการให้ความร้อน และย่อยให้เป็นน้ำตาลโดยใช้ลูกแป้งน้ำส้มสายชู หรือเอนไซม์อะไมเลสบริสุทธิ์

- ธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าวบาร์เลย์ ข้าวมอลท์ ข้าวสาลี ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า และข้าวโพด เป็นต้น ธัญพืชเหล่านี้มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นจะต้องมีการแปรสภาพไปเป็นน้ำตาลก่อน น้ำส้มสายชูจากวัตถุดิบเหล่านี้ ได้แก่ Malt Vinegar, Rice Vinegar เป็นต้น

- วัตถุดิบพวกน้ำตาล เช่น กากน้ำตาล น้ำผึ้ง น้ำอ้อย น้ำเชื่อม เป็นต้น น้ำส้มสายชูจากวัตถุดิบเหล่านี้ ได้แก่ Sugar Vinegar (ใช้น้ำเชื่อมหรือกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ) Glucose Vinegar, Whey Vinegar เป็นต้น

- แอลกอฮอล์เพื่อใช้ในการหมักโดยตรง เช่น แอลกอฮอล์เจือจาง แอลกอฮอล์ที่สูญเสียสภาพธรรมชาติแล้ว (Denatured Ethyl Alcohol) รวมถึงน้ำทิ้งจากโรงงานเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น โรงงานเบียร์ซึ่งมีปริมาณแอลกอฮอล์เหลืออยู่ น้ำส้มสายชูจากวัตถุดิบเหล่านี้ได้แก่ Distilled Vinegar เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 เชื้อจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการหมักน้ำส้มสายชู

วราวุฒิ ครูส่ง และ รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต (2532) ได้กล่าวว่า ในการผลิตน้ำส้มสายชูถ้าใช้วัตถุดิบประเภทต่าง ๆ ที่ไม่ใช่แอลกอฮอล์จะต้องมีการนำวัตถุดิบนั้นมาหมักให้ได้แอลกอฮอล์ก่อนด้วยเชื้อยีสต์ จากนั้นจึงจะนำแอลกอฮอล์ที่ได้มาใช้ในการหมักเพื่อผลิตกรดอะซิติกอีกต่อหนึ่งโดยใช้เชื้อแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตกรดอะซิติกได้ ดังนั้นเชื้อจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการผลิตกรดอะซิติกจึงแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

2.2.5.1 ยีสต์

ยีสต์ที่ใช้ในการหมักเพื่อผลิตกรดอะซิติกหรือน้ำส้มสายชูเป็นเชื้อชนิดเดียวกับที่ใช้ในการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์ ทั้งนี้เพราะต้องการจะได้แอลกอฮอล์เพื่อเป็นวัตถุดิบในการหมักด้วยแบคทีเรียอีกต่อหนึ่ง ยีสต์ที่ใช้ในการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์มีมากกว่า 300 ชนิด โดยยีสต์แต่ละชนิดจะให้กลิ่นและรสชาติของไวน์ที่เป็นเอกลักษณ์แตกต่างกัน ประเทศสหภาพยุโรปตะวันออกส่วนใหญ่จะใช้ยีสต์พันธุ์ *S. vini* หรือ *S. ellipsoideus* ประเทสแคนนาดานิยมใช้ยีสต์สายพันธุ์ *S. cerevisiae* var. *ellipspoideus* ร่วมกับ *S. florentinus*, *S. steineri* และ *Torolopsis* sp. ในขณะที่ประเทศอิตาลีใช้ยีสต์สายพันธุ์ *S. rosei* แทนการใช้ยีสต์สายพันธุ์ *S. cerevisiae* var. *ellipsoideus* สำหรับการผลิตไวน์ในประเทศไทยส่วนใหญ่นิยมใช้ยีสต์สายพันธุ์ *S. cerevisiae* เนื่องจากสามารถหมักได้ดีที่อุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตามการเลือกสายพันธุ์ยีสต์เพื่อใช้ในการผลิตไวน์ยังขึ้นกับชนิดของผลไม้ด้วย เช่น การหมักไวน์มังคุด ควรใช้ยีสต์สายพันธุ์ *S. cerevisiae* var. *burgundy* ส่วนการผลิตไวน์มะพร้าวและไวน์กล้วยหอม แนะนำให้ใช้ *S. ellipspoideus* และ *S. cerevisiae* var. *champagne* ตามลำดับ (ไพบูลย์ ด่านวิรุทัย และ พัฒนา เหล่าไพบูลย์, 2549)

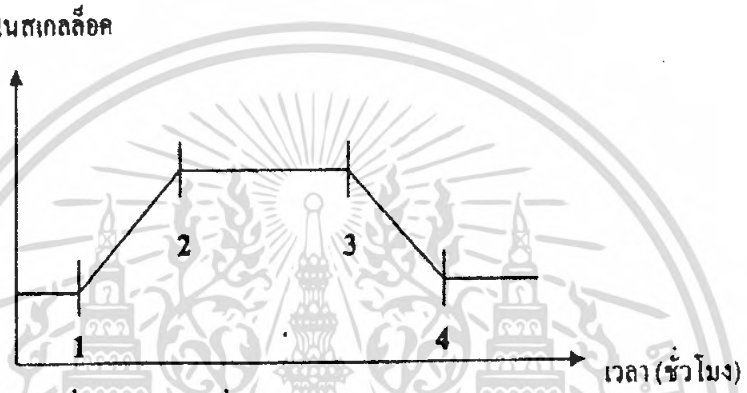
สำหรับการเจริญของยีสต์ (รูปที่ 2.2) สามารถแบ่งได้เป็น 4 ระยะ คือ

1) <u>ระยะเริ่มต้น</u> (Lag Phase) เป็นระยะที่เซลล์กำลังปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่เพื่อเริ่มการเจริญ ระยะนี้ใช้เวลาสั้น ๆ ประมาณ 1-6 ชั่วโมง ขึ้นกับการเตรียมหัวเชื้อ ความแข็งแรงของเซลล์ และสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำผลไม้เป็นสำคัญ
2) <u>ระยะการเจริญ</u> (Log Phase) หลังระยะเริ่มต้นเสร็จสิ้นประมาณ 30 นาที เซลล์ยีสต์เริ่มแตกหน่อเพื่อเพิ่มจำนวน ระยะนี้จำนวนเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นทวีคูณหรือเพิ่มแบบค่า log ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะเรียกระยะนี้ตามค่าคณิตศาสตร์ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะเพิ่มขึ้นมากขึ้นจนเห็นเป็นฟองอากาศผุดขึ้นมามากมาย ขณะเดียวกันเซลล์ยีสต์ก็เริ่มจับกลุ่มกันเองมากขึ้น แอลกอฮอล์จึงเริ่มผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) <u>ระยะคงที่</u> (Stationary Phase) เมื่อสารอาหารเริ่มหมดลง การเจริญหรือการแบ่งเซลล์จะลดน้อยลงด้วย ทำให้จำนวนเซลล์รวมค่อนข้างคงที่ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลดน้อยลง เซลล์ยีสต์เริ่มตกตะกอนมากขึ้น แอลกอฮอล์จะเพิ่มจนสูงสุด

4) <u>ระยะตาย</u> (Death Phase) เป็นระยะที่เซลล์จะตาย ตะกอนเซลล์จะมีมากขึ้น ปริมาณแอลกอฮอล์จะคงที่ ไวน์ที่ได้จะค่อย ๆ เริ่มใสมากขึ้น



รูปที่ 2.2 การเจริญของยีสต์ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อ 1 2 3 และ 4 คือ ระยะการปรับตัว ระยะการเจริญสูงสุด ระยะคงที่ และระยะตาย ตามลำดับ

ที่มา : ไพบูลย์ ด่านวิรุทัย และ พัฒนา เหล่าไพบูลย์ (2549)

ในปัจจุบันได้มีการคัดเลือกยีสต์สำหรับผลิตแอลกอฮอล์เพื่อนำไปผลิตกรดอะซิติกโดยตรง เช่น กรณีของการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์ ยีสต์ที่ใช้คือ *S. ellipsoideus* ซึ่งเป็นเชื้อที่ถูกคัดเลือกมาให้หมักไวน์และได้น้ำส้มสายชูที่มีกลิ่นและรสดี เมื่อนำไวน์มาหมักที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมียีสต์ที่สามารถใช้หมักแอลกอฮอล์เพื่อเป็นวัตถุดิบในการหมักน้ำส้มสายชูอีกหลายสายพันธุ์ ได้แก่ *S. cerevisiae*, *S. diastaticus* และ *S. carlsbergensis* เป็นต้น

2.2.5.2 แบคทีเรีย

เชื้อ *Acetobacter* sp. มีความสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำส้มสายชู จึงได้ชื่อว่า Acetic Acid Bacteria เช่น *A. aceti* โดยทำให้เกิดกรดอะซิติก ภายหลังจากได้แอลกอฮอล์ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการหมักโดยยีสต์แล้ว ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำส้มสายชูจะใช้เชื้อที่ทนต่อกรดอะซิติกเข้มข้นสูง และทนต่อผลรวมของความเข้มข้นของเอทธานอลและความเข้มข้นของกรดอะซิติก (Total Concentration) ต้องการสารอาหารปริมาณน้อย และไม่เกิด Overoxidation แบคทีเรียที่พบในน้ำส้มสายชูเป็นแบคทีเรียจำพวกสร้างกรดอะซิติก ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้อยู่ในตระกูล Acetobacteraceae ซึ่งปัจจุบันได้การจำแนกออกเป็น 3 จีนัส คือ Acetobacter,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gluconobacter และ Asaia ซึ่งแต่ละจีนัสมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน มีลักษณะเฉพาะโดยทั่วไป คือ เซลล์จะพบได้หลายลักษณะ (Pleomorphic) แต่ที่พบโดยมากจะมีรูปร่างเป็นท่อนหรือรูปไข่ ขนาดกว้างประมาณ 0.6-0.8 ไมครอน การเรียงตัวของเซลล์อาจพบเซลล์เดี่ยวหรืออยู่เป็นคู่เป็นสายยาวและสายสั้น ๆ สามารถเคลื่อนที่ด้วยแฟลกเจลาที่ขั้วเซลล์ (Polar Flagella) ไม่พบเอนโดสปอร์ เซลล์อ่อนไม่ติดสี (Gram Negative) เมื่อเซลล์อายุมากขึ้นอาจพบเป็น Gram Variable ส่วนบางชนิดไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เช่น *A. xylinum*

จุลินทรีย์สายพันธุ์นี้ต้องการอากาศในการดำรงชีวิต (Obligate Aerobes) เนื่องจากไม่สามารถใช้สารอื่นนอกจากออกซิเจนเป็นตัวรับไฮโดรเจนตัวสุดท้ายในกระบวนการเปลี่ยนอาหารเป็นพลังงาน สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงเอทธิลแอลกอฮอล์ไปเป็นกรดอะซิติกขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของเชื้อเอง และวิธีการที่ใช้หมัก (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2534) ซึ่งเชื้อส่วนใหญ่จะเจริญได้ดีที่อุณหภูมิตั้งแต่ 15-34 องศาเซลเซียส และชอบค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ค่อนข้างต่ำ พบว่าเจริญได้ที่ pH 4.0-4.5 ส่วนที่ระดับ pH 7-8 จะเจริญได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เชื้อชนิดนี้สามารถให้เอนไซม์คะตะเลสแต่ไม่ให้เอนไซม์ออกซิเดส และสามารถออกซิไดซ์เอทธานอลเป็นกรดอะซิติกในสภาพแวดล้อมที่เป็นกลางหรือกรดได้ (pH 4.0-4.5) ในสภาพที่ไม่มีเอทธานอลแต่มีการให้อากาศจะเกิดการออกซิไดซ์กรดอะซิติกไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เรียกกระบวนการนี้ว่า Overoxidation (กำเนิด สุภัณวงษ์, 2534)

A. aceti ใช้กลูโคสได้อย่างสมบูรณ์ โดยที่ 80 เปอร์เซ็นต์ของกลูโคสจะถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคเนท (Gluconate) และใช้กลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานเพียง 20 เปอร์เซ็นต์ตามวิถีเฮกโซไคเนส (Hexokinase Pathway) ในวัฏจักรเฮกโซสโมโนฟอสเฟต (Hexose Monophosphate Cycle) ส่วนน้ำตาลอื่นๆ เช่น กาแล็กโตส ไซโลส อะราบิโนส และไรโบส จะถูกออกซิไดซ์เป็นกรดที่เกี่ยวข้องได้ แต่น้ำตาลเหล่านี้เป็นแหล่งคาร์บอนที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อน้ำส้มสายชูส่วนใหญ่ *A. aceti* สายพันธุ์ต่าง ๆ จะสามารถออกซิไดซ์แมนนิตอล ฟรุคโตส แมนโนส กาแล็กโตส ไซโลส กลีเซอรอล อิริธริตอล (Eryhritol) โซเดียมแล็กเตท เอทธานอล และโซเดียมอะซิเตทได้ รวมทั้งสามารถใช้เกลือแอมโมเนียมเป็นแหล่งไนโตรเจนได้ (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2534)

เชื้อ *Acetobacter* sp. สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนจากอนินทรีย์ไนโตรเจนได้ เริ่มจากการสังเคราะห์กลูตาเมทโดยเอนไซม์กลูตามิกดีไฮโดรจีเนส (Glutamic Dehydrogenase) ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียม และ 2-ออกซิกกลูตาเรท (2-Oxyglutarate) ซึ่งเกิดจากวัฏจักรกรดไตรคาร์บอกซิลิกได้กลูตาเมท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดวงศิริ ดวงแว่ว และ สุวณีย์ เก็งวิเชียรไชย (2548) ศึกษาปริมาณกล้าเชื้อ *A. aceti* เริ่มต้นที่เหมาะสมในการหมักน้ำส้มสายชูจากฟักเขียวและมะม่วงแก้ว โดยเปรียบเทียบการใช้กล้าเชื้อเริ่มต้นที่ 3 ระดับ พบว่าการใช้กล้าเชื้อ 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตรของน้ำหมัก) ไม่ทำให้ปริมาณกรดอะซิติกที่เกิดขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นในการหมักจึงควรใช้ปริมาณกล้าเชื้อ 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุน

2.2.6 การออกซิไดซ์เอทธานอลเป็นกรดอะซิติก

วราวุฒิ ครูส่ง และ รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต (2532) กล่าวถึงกลไกการผลิตน้ำส้มสายชูจากวัตถุดิบประเภทน้ำตาลว่า มี 2 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

1. การหมักน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นการหมักแบบไม่ใช้อากาศ และอาศัยเชื้อยีสต์ในสกุล *S. cerevisiae* var. *ellipsoideus* ดังสมการที่ 1

$$\underset{\text{กลูโคส}}{C_6H_{12}O_6} \longrightarrow 2CO_2 + \underset{\text{เอทธานอล}}{2C_2H_5OH} \qquad (1)$$

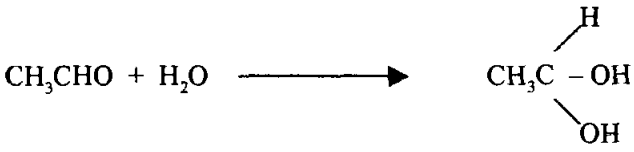
อย่างไรก็ตาม ในความจริงแล้ว การหมักเพื่อผลิตแอลกอฮอล์จากน้ำตาลนี้จะต้องอาศัยปฏิกิริยาหลายขั้นตอนประกอบกันอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งจะเกิดผลพลอยได้หลายชนิด เช่น กลีเซอรอล รวมทั้งกรดอะซิติกด้วย แต่มีในปริมาณน้อย

2. การเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นกรดอะซิติก โดยอาศัยเชื้อแบคทีเรียในกลุ่มอะซิติกแอซิดแบคทีเรีย ทำการหมักในสภาพมีอากาศ เริ่มจากเกิดการออกซิไดซ์เอทธานอลเป็นอะซิตัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) โดยใช้เอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส (Alcohol Dehydrogenase) ดังสมการที่ 2

$$\underset{\text{เอทธานอล}}{CH_3CH_2OH} + O \longrightarrow \underset{\text{อะซิตัลดีไฮด์}}{CH_3CHO} + H_2O \qquad (2)$$

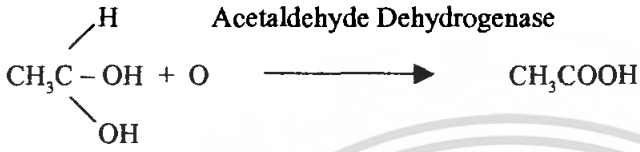
จากนั้นจะเป็นการสร้างกรดอะซิติกจากอะซิตัลดีไฮด์ ปฏิกิริยาแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกอะซิตัลดีไฮด์รวมกับน้ำเป็นไฮเดรตเตดอะซิตัลดีไฮด์ (Hydrated Acetaldehyde) ดังสมการที่ 3 จากนั้นเกิดปฏิกิริยาขั้นตอนถัดไปคือ ไฮเดรตเตดอะซิตัลดีไฮด์ถูกออกซิไดซ์หรือดีไฮโดรจิเนท (Dehydrogenate) เป็นกรดอะซิติกโดยเอนไซม์อะซิตัลดีไฮด์ดีไฮโดรจิเนส (Acetaldehyde Dehydrogenase) ทำให้โปรตอน 2 ตัวของไฮเดรตเตดอะซิตัลดีไฮด์ถูกส่งผ่านไปสู่อะตอมของออกซิเจน ดังสมการที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$CH_3CHO + H_2O \longrightarrow CH_3C(H)(OH)(OH) \quad (3)$$

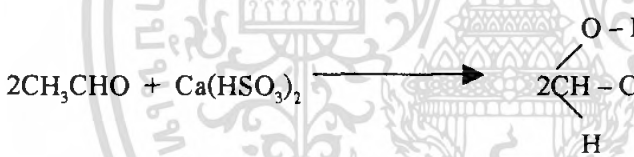
อะซิตัลดีไฮด์ ไฮเดรตเตดอะซิตัลดีไฮด์



$$CH_3C(H)(OH)(OH) + O \xrightarrow{\text{Acetaldehyde Dehydrogenase}} CH_3COOH + H_2O \quad (4)$$

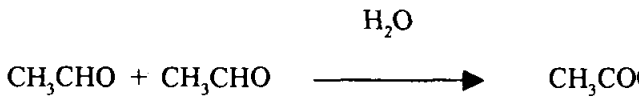
ไฮเดรตเตดอะซิตัลดีไฮด์ กรดอะซิติก

เมื่อเติมแคลเซียมซัลไฟต์ (Calcium Sulfite) หรือแคลเซียมไบซัลไฟต์ (Calcium Bisulfite) ซึ่งสามารถจับกับสารอัลดีไฮด์ได้ดังสมการที่ 5 ลงในถังหมักน้ำส้มสายชู พบว่าไม่มีกรดอะซิติกเพิ่มขึ้น เป็นการยืนยันว่าอะซิตัลดีไฮด์ที่สร้างตามสมการที่ 2 เป็นสารตัวกลาง (Intermediate) ในการเกิดกรดอะซิติก



$$2CH_3CHO + Ca(HSO_3)_2 \longrightarrow 2CH(O-H)(H)-C-SO_3Ca^{1/2} \quad (5)$$

อะซิตัลดีไฮด์อาจเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติกได้อีกแนวทางหนึ่ง โดยอะซิตัลดีไฮด์ 2 โมเลกุล จากสมการที่ 2 ทำปฏิกิริยากันเองได้กรดอะซิติกและเอทธานอลดังสมการที่ 6 ซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยาแคนนิซซาโร (Cannizaro Reaction) ส่วนเอทธานอลที่เกิดขึ้นจะเข้าสู่สมการที่ 2 อีกเป็นวัฏจักรจนกระทั่งกลายเป็นกรดอะซิติกทั้งหมด ในทางทฤษฎีพบว่าเอทธานอล 1 ลิตร สามารถเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติกได้ 1.036 กิโลกรัม (Adams and Moss, 1995)



$$CH_3CHO + CH_3CHO \xrightarrow{H_2O} CH_3COOH + CH_3CH_2OH \quad (6)$$

อะซิตัลดีไฮด์ กรดอะซิติก เอทธานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 การผลิตน้ำส้มสายชู

ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำส้มสายชูจากวัตถุดิบประเภทน้ำตาลจะสามารถแบ่งได้เป็น 6 ขั้นตอน (วราวุฒิ ครูส่ง และ รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2532) ดังนี้

2.2.7.1 การเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material Preparation)

วัตถุดิบที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นผลไม้ ธัญพืช ได้แก่ แอปเปิล องุ่น ส้ม หรือสารประกอบอื่น ๆ ซึ่งสามารถหมักแอลกอฮอล์ได้ ถ้าวัตถุดิบเริ่มต้นเป็นแป้งจะต้องนำแป้งไปผ่านการให้ความร้อนเพื่อเจลาติไนส์ แล้วย่อยสลายต่อด้วยเอนไซม์เพื่อผลิตน้ำตาลที่สามารถหมักได้

2.2.7.2 การหมักครั้งที่ 1

การหมักน้ำตาลให้เป็นเอทิลแอลกอฮอล์เป็นการหมักในสภาพไร้อากาศด้วยเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* ที่นิยมคือสายพันธุ์ *ellipsoideus* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ผลิตแอลกอฮอล์ได้สูง ในการหมักนี้ถ้ามีการปนเปื้อนของ Acetobacter ที่ไม่ต้องการและสามารถผลิตกรดอะซิติกได้ ก็สามารถยับยั้งการเจริญของยีสต์ *S. cerevisiae* ได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงจำเป็นต้องใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (125 ส่วนในล้านส่วน) หรือ ไบซัลไฟต์ (Bisulfite) ในปริมาณที่เท่าเทียมกันเพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อรา ยีสต์ป่า Acetobacter และแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติก โดยเติมลงไปกับวัตถุดิบก่อนที่จะเติมเชื้อยีสต์ประมาณ 2 ชั่วโมง

2.2.7.3 การหมักครั้งที่ 2

การออกซิไดซ์แอลกอฮอล์ไปเป็นกรดอะซิติก เป็นการหมักที่ต้องการอากาศโดยอาศัยแบคทีเรีย Acetobacter และ Gluconobacter สายพันธุ์ของ Acetobacter ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกรดอะซิติก ได้แก่ *A. aceti*, *A. pasteurianus* และ *A. peroxydans* โดยการหมักจะให้ปริมาตรน้ำหมัก 3 ใน 4 ของถังหมัก และใช้อุณหภูมิในการบ่มเท่ากับ 21.1-26.7 องศาเซลเซียส โดยการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจะไม่มีการทำให้แอลกอฮอล์เคลื่อนที่ในขณะที่อยู่ในขั้นตอนที่ 2 และไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารใด ๆ ให้แก่แบคทีเรียชนิดให้กรดอะซิติกหากมีสารอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญอยู่แล้วในน้ำผลไม้หรือสารละลายมอลท์ แต่การผลิตน้ำส้มสายชูกลั่นจากแอลกอฮอล์โดยตรง การเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นกรดอะซิติกจะต้องทำให้แอลกอฮอล์เคลื่อนที่และต้องเติมสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ต่าง ๆ ให้ เช่น ไดเบสิกแอมโมเนียมฟอสเฟต (Dibasic Ammonium Phosphate) ยูเรีย เปปโตน สารสกัดจากยีสต์ กลูโคส เป็นต้น เพื่อให้แบคทีเรียชนิดให้กรดอะซิติกสามารถเจริญได้ กรดอะซิติกจะได้ปริมาณน้อยหรือมากขึ้นอยู่กับปริมาณของแอลกอฮอล์ที่เกิดจากการหมักยีสต์ และปริมาณการเจริญของฟิล์มยีสต์หรือรา ซึ่งสามารถออกซิไดซ์แอลกอฮอล์ได้เช่นกันแต่ไม่ให้กรดอะซิติก แบคทีเรียชนิดให้กรดอะซิติกจะเจริญเป็นฟิล์มอยู่ที่ผิวของของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และออกซิไดซ์แอลกอฮอล์เป็นกรดอะซิติก ซึ่งอาจใช้เวลามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวิธีการที่อุณหภูมิประมาณ 21-29 องศาเซลเซียส

ประดิษฐ์ ครุวัณณา (2521) ศึกษาการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกและแกนสับปะรด โดยนำไวน์ที่มีแอลกอฮอล์ 10 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) มาหมักกับเชื้อ *A. aceti* ใช้อัตราส่วนของหัวเชื้อ *A. aceti* ต่อน้ำไวน์เท่ากับ 1 ต่อ 1 เปรียบเทียบวิธีการหมักโดยการตั้งทิ้งไว้เฉย ๆ ที่อุณหภูมิห้อง กับการใช้เครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที พบว่าการตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ใช้เวลา 6 วัน ส่วนการใช้เครื่องเขย่าจะใช้เวลาเพียง 4 วัน เพื่อหมักให้ได้กรดอะซิติก 6-7 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร)

2.2.7.4 <u>การทำให้น้ำส้มสายชูใส</u>

ตามปกติวัตถุดิบตามธรรมชาติในการหมักน้ำส้มสายชู มักจะมีสารประกอบที่สามารถละลายในน้ำหมักได้ (Soluble Compound) และในขณะเดียวกันก็มีสารประกอบที่ไม่สามารถละลายในน้ำหมักได้เหลืออยู่ เมื่อการหมักสิ้นสุดลงน้ำหมักที่ได้จึงมีลักษณะขุ่น และไม่มีความสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงจำเป็นที่ต้องอาศัยการบ่มหลังจากการหมักสิ้นสุดลงไปแล้วเป็นเวลาหลายเดือน ทั้งนี้เพื่อตกตะกอนเอาสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำออกมา อย่างไรก็ตาม อัตราในการตกตะกอนสารประกอบดังกล่าวขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดอะซิติกในน้ำหมักภายหลังการหมักสิ้นสุดลง โดยถ้ามีความเข้มข้นสูงจะทำให้สารประกอบที่ไม่ละลายในน้ำหมักตกตะกอนลงมาในอัตราสูง จึงใช้เวลาในช่วงนี้สั้นลง

ในช่วงของการบ่มนี้นอกจากจะทำให้น้ำส้มสายชูใสแล้ว จะช่วยทำให้คุณภาพของน้ำส้มสายชูดีขึ้น ทั้งนี้เพราะการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์ที่มีเหลืออยู่กับกรดอะซิติก เกิดเป็นสารเอสเทอร์ที่มีผลต่อกลิ่นของน้ำส้มสายชู โดยทำให้กลิ่นดีขึ้น นอกจากนี้เราสามารถใช้คุณภาพของน้ำส้มสายชู เป็นตัวบ่งบอกปัญหาที่เกิดขึ้นจากระบบหมักได้กล่าวคือ ถ้าน้ำส้มสายชูที่หมักในสภาพอาหารเหลวมีคุณภาพต่ำ แสดงว่าจะต้องเกิดปัญหาขึ้นระหว่างการหมัก ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุจากความเข้มข้นของกรดอะซิติกต่ำเกินไป ความเข้มข้นของสารอาหารสูงเกินไป แบคทีเรียที่ใช้มีสมบัติไม่ดี หรือการให้อากาศไม่เพียงพอ เป็นต้น

ภายหลังจากการบ่ม ซึ่งทำให้น้ำส้มสายชูมีการพัฒนาทางด้านคุณภาพและความใสแล้ว หลังจากนี้จึงนำมากรองเพื่อแยกตะกอนออกไป โดยการกรองที่ใช้ แบ่งได้เป็น 2 ระบบคือ

1. การเติมสารที่ช่วยทำให้ใส (Refining Agent) หรือสารที่ช่วยในการกรอง (Filter Aids) เช่น ทรายละเอียด (Diatomaceous Earth) หรือดินเหนียว (Bentonite) เป็นต้น ลงไปในน้ำส้มสายชูแล้วผสมกันอย่างดี สารเหล่านี้จะจับเอาอนุภาคสารประกอบที่ยังเหลือและกระจายอยู่ในน้ำส้มสายชูให้ตกตะกอนลงมา จึงช่วยทำให้น้ำส้มสายชูใสขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การกรองผ่านเครื่องกรอง (Filter) ซึ่งอาจใช้ "Plate Filter" โดยจะช่วยทำให้น้ำส้มสายชูใสอย่างรวดเร็ว แต่ค่าใช้จ่ายสูงมาก นอกจากนี้ในปัจจุบันยังนิยมใช้เครื่องกรองแบบ Membrane Ultrafiltration Process ซึ่งเป็นระบบการกรองที่อาศัยความดันเข้ามาช่วย จึงทำให้สามารถกรองได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ตามปกติจะสามารถใช้ได้อย่างอัตโนมัติอีกด้วย

2.2.7.5 <u>การใช้ความร้อนและการเติมสารเคมี</u>

ก่อนที่จะทำการบรรจุน้ำส้มสายชูใส่ขวด โดยมากมักจะนำน้ำส้มสายชูไปผ่านความร้อนในระดับพาสเจอไรเซชัน โดยให้ความร้อนที่ 60-66 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ทั้งนี้เพื่อทำลายสิ่งปนเปื้อนที่อาจจะเป็นสาเหตุให้น้ำส้มสายชูเกิดการเสื่อมเสียได้ อย่างไรก็ตาม การให้ความร้อนนี้จะกระทำเมื่อระบบการกรองภายใต้สภาพปราศจากเชื้อ (Stertile Filtration System) ที่ใช้กันอยู่ในขั้นตอนการทำให้ใสถูกใช้งานมานานมากแล้วจนประสิทธิภาพลดลง นอกจากการให้ความร้อนแล้ว ในบางประเทศยังอาศัยการเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลงไปในระดับความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อน้ำส้มสายชู 1 ลิตร แต่ในการเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะต้องเติมลงไปในช่วงที่ก่อนจะนำน้ำส้มสายชูบรรจุลงขวดเพียงเล็กน้อย เพราะมิฉะนั้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะเสื่อมประสิทธิภาพอย่างรวดเร็ว

2.2.7.6 <u>การบรรจุขวด</u>

ตามปกติน้ำส้มสายชูที่ใช้ตามครัวเรือน มักจะบรรจุใส่ขวดแก้วหรือขวดพลาสติกที่ทำด้วยโพลิไวนิลคลอไรด์ หรือโพลิเอทีลีน พร้อมทั้งปิดฝาอย่างแน่นเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไปได้ อย่างไรก็ตาม น้ำส้มสายชูยังอาจจะบรรจุใส่ภาชนะบรรจุพลาสติกขนาดบรรจุ 5-25 ลิตร เพื่อใช้ในห้องอาหารหรือภัตตาคาร และอาจบรรจุใส่ถังโลหะปลอดสนิม (Stainless Steel) เพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอีกด้วย

2.2.8 สารอาหารที่จำเป็นในการผลิตน้ำส้มสายชู

ตามปกติในการหมักเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์จะต้องมีการเติมสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ แต่ทั้งนี้ขึ้นกับส่วนประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักเป็นสำคัญ เช่น การหมักน้ำส้มสายชูจากน้ำแอปเปิลหรือ Cider Vinegar จำเป็นจะต้องเติมแหล่งไนโตรเจนเพิ่ม โดยอาจเติมในรูปเกลือแอมโมเนียมฟอสเฟต (0.1 กรัม ต่อน้ำหมัก 1 ลิตร) ส่วนการหมักน้ำส้มสายชูจากไวน์หรือ Wine Vinegar จำเป็นต้องเติมเกลือแอมโมเนียมฟอสเฟตเช่นกัน ในระดับความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อน้ำหมัก 1 ลิตร ทั้งนี้เพื่อให้การหมักเกิดขึ้นในระดับที่น่าพอใจ

ในการหมักน้ำส้มสายชูจากแอลกอฮอล์โดยตรงหรือ Distilled Vinegar ด้วยเชื้อในจีนัส Acetobacter จำเป็นจะต้องเติมสารอาหารต่างๆ ลงในน้ำหมักดังนี้ น้ำตาลกลูโคส 0.5-1.0 กรัมต่อน้ำหมัก 1 ลิตร เกลือของโพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม และแอมโมเนียม ในรูปของเกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอสเฟต ซัลเฟต และคลอไรด์ ให้มีความเข้มข้นรวมเท่ากับ 0.3 กรัมต่อน้ำหมัก 1 ลิตร นอกจากนี้ยังต้องเติมแร่ธาตุ (Trace Elements) เช่น เหล็ก แมงกานีส โคบอลต์ ทองแดง โมลิบดีนัม และวาเนเดียม (Vanadium) ลงไปในปริมาณเล็กน้อย รวมทั้งต้องเติมแคลเซียมคาร์บอเนต (0.1 กรัมต่อน้ำหมัก 1 ลิตร) และโซเดียมคลอไรด์ (0.1 กรัมต่อน้ำหมัก 1 ลิตร) ลงไปในน้ำที่ใช้อีกด้วย

การเติมสารอาหารต่าง ๆ อย่างเพียงพอ จะทำให้การหมักเพื่อผลิตกรดอะซิติก (Acetous Fermentation) เกิดขึ้นอย่างน่าพอใจ อย่างไรก็ตาม ในการผลิตระดับอุตสาหกรรม มักจะต้องเติมอาหารเสริม เช่น มอลท์สกัด (Malt Extract) หรือยีสต์แห้ง (Dried Yeast) ในความเข้มข้นไม่เกิน 0.2 กรัมต่อน้ำหมัก 1 ลิตร ทั้งนี้เพื่อก่อให้เกิดการหมักขึ้นอีกครั้งอย่างรวดเร็ว ในกรณีที่การหมักถูกหยุดชะงักเนื่องจากเกิดความขัดข้องของแหล่งพลังงาน (Power Supply) ที่ใช้ในการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของถังหมัก

ดวงศิริ ดวงแว่ว และ สุวณีย์ เก็งวิเชียรไชย (2548) ศึกษาถึงชนิดและปริมาณสารอาหารเสริมที่เหมาะสมสำหรับ *A. aceti* ในการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากฟักเขียวและมะม่วงแก้ว ได้แก่ DAP 0.2 เปอร์เซ็นต์ มอลท์สกัด 0.2 เปอร์เซ็นต์ และแมกนีเซียมซัลเฟต 0.1 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักของน้ำหมัก) พบว่าการใช้ DAP 0.2 เปอร์เซ็นต์ เติมก่อนการหมักกรดอะซิติก สามารถให้ปริมาณกรดได้สูงถึง 2.59 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร)

นอกจากสารอาหารต่าง ๆ ที่ใช้เติมลงในน้ำหมักแล้ว สิ่งที่จำเป็นจะต้องคำนึงถึงอีกก็คือน้ำที่ใช้ในการเตรียมน้ำหมัก (Mashes) นั้นจะต้องเป็นน้ำที่สะอาดปราศจากสิ่งปนเปื้อน ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีอนุภาคของสารที่กระจายอยู่หรืออาจตกตะกอนลงมาในน้ำหมักได้ นอกจากนี้แล้วน้ำที่ใช้นี้จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเอาเกลือแร่ต่าง ๆ ออกมาก่อน (Demineralized) แล้วจึงเติมเกลือแร่ที่ต้องการลงไปภายหลัง ในบางครั้งน้ำที่ใช้อาจเป็นน้ำประปาที่ใช้ตามบ้านเรือนซึ่งจำเป็นจะต้องนำไปผ่านการกำจัดคลอรีนออกไปเสียก่อน มิฉะนั้นอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการผลิตกรดอะซิติกได้

2.2.9 การเปลี่ยนแปลงของเชื้อ Acetobacter ในระหว่างการหมักเพื่อผลิตน้ำส้มสายชู

2.2.9.1 ผลของการขาดออกซิเจน

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า การหมักเพื่อผลิตน้ำส้มสายชูนี้เป็นการหมักในสภาพที่ต้องการอากาศ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการให้อากาศ (Aeration) อย่างต่อเนื่อง ถ้าการให้อากาศเกิดขัดข้องขึ้นมาในระหว่างการหมักจะเกิดผลกระทบต่อเชื้อ Acetobacter อย่างมากเพราะเชื้อนี้จะตายลงอย่างรวดเร็ว

ผลของการทำลายเซลล์ Acetobacter ในระหว่างการขาดออกซิเจนนี้ยังเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการหมักอีกด้วย ได้แก่ ความเข้มข้นทั้งหมดของกรดอะซิติกและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลกอฮอล์ในน้ำหมัก (Total Concentration) ความเข้มข้นของกรดอะซิติก (Acetic Acid Concentration) อัตราเร็วของการหมัก (Fermentation Rate) เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมถึงระยะเวลาที่ขาดออกซิเจนอีกด้วย

2.2.9.2 ผลของการขาดแอลกอฮอล์

เชื้อ Acetobacter จะถูกทำลายลงไปเมื่อการหมักเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ คือ เมื่อปริมาณแอลกอฮอล์ในน้ำหมักถูกออกซิไดซ์จนหมด และมีการเติมอาหารเลี้ยงเชื้อใหม่ที่มีแอลกอฮอล์เป็นองค์ประกอบลงไปในน้ำหมักนั้นช้าเกินไป ผลของการทำลายเซลล์ Acetobacter อันเนื่องมาจากการขาดแอลกอฮอล์นี้เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของกรดอะซิติกและแอลกอฮอล์ทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำหมักและระยะเวลาที่ขาดแอลกอฮอล์ โดยผลที่เกิดขึ้นมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีการขาดออกซิเจน

ศุภมาศ กมรบุตร (2519) ศึกษาถึงการผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำสับปะรด โดยทดลองใช้ท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 48 นิ้ว บรรจุด้วยท่อนไม้ไผ่เล็ก ๆ แบบหลวม ๆ เพื่อเป็นที่เกาะของเชื้อ *A. aceti* และค่อย ๆ ผ่านน้ำหมักที่มีแอลกอฮอล์ 11 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ลงมาจากด้านบนของท่อในขณะที่มีการให้อากาศเข้าจากด้านล่างของท่อ พบว่าใช้เวลาเพียง 60 ชั่วโมง จะได้กรดอะซิติกมากกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) และเมื่อเพิ่มอัตราการให้อากาศมากขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณกรดที่เกิดขึ้นลดต่ำลง เพราะมีการสูญเสียแอลกอฮอล์และกรดอะซิติกจากการระเหย

2.2.9.3 ผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

การหมักจะเกิดขึ้นอย่างปกติ เมื่อควบคุมอุณหภูมิให้เปลี่ยนแปลงระหว่าง 32 และ 26 องศาเซลเซียสทุก ๆ 2 ชั่วโมง ตามปกติแล้วมักควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการหมักไม่ให้สูงเกินไปด้วยระบบหล่อเย็น (Cooling System) แต่ถ้าระบบหล่อเย็นเกิดขัดข้องจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนกระทั่งจะทำลายเซลล์ Acetobacter ได้ ซึ่งในที่สุดจะทำให้การหมักสิ้นสุดลง

นอกจากการปัจจัยที่กล่าวมาแล้วนี้ในบางครั้งการทำลายเซลล์ Acetobacter อาจจะเกี่ยวข้องกับอัตราการเจริญเติบโตที่จำเพาะ (Specific Growth Rate) ของเชื้อและความเข้มข้นของกรดอะซิติกกับแอลกอฮอล์ที่มีอยู่ในน้ำหมักอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ผลจากการขาดออกซิเจน การขาดแอลกอฮอล์ และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเป็นปัจจัยหลักที่เราต้องคำนึงถึงก่อนเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

85373

2.2.10 การเสื่อมเสียของน้ำส้มสายชู (Vinegar Defects)

การเสื่อมเสียของน้ำส้มสายชู อาจจะเนื่องมาจากสาเหตุดังนี้

1. โลหะและเกลือของโลหะที่มีอยู่ในน้ำหมักอาจทำให้น้ำหมักขุ่นขึ้นมาได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าในน้ำหมักมีเฟอรัสไอออน ไอออนนี้อาจจะถูกออกซิไดซ์เป็นเฟอริคไอออน ซึ่งจะไปรวมตัวกับแทนนิน เกลือฟอสเฟต หรือโปรตีนในน้ำหมักเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ทำให้น้ำหมักขุ่น และอาจจะทำให้น้ำส้มสายชูมีสีเข้มขึ้น

2. หนอนนีมาโทด ในสกุลของ *Anguillula aceti* มักเจริญเติบโตอยู่ในบริเวณที่ทำการหมักน้ำส้มสายชู โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหมักในอดีตที่ทำแบบพื้นบ้าน หรืออาจจะติดมากับผลไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ หนอนชนิดนี้จะทำให้ฟิล์มของเชื้อ Acetobacter ที่เจริญอยู่ในตามผิวหน้าของน้ำหมักจมลงสู่ก้นถัง ทำให้ไม่สามารถผลิตกรดอะซิติกได้ ตามปกติแล้วหนอนนี้จะไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ แต่หากพบในพบในน้ำส้มสายชูแสดงว่าน้ำส้มสายชูนั้นมีคุณภาพต่ำ

3. จุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียในสกุล Lactobacillus และ Leuconostoc ซึ่งมักจะทำให้น้ำส้มสายชูมีกลิ่นที่เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์ชนิดอื่น เช่น ยีสต์ที่เจริญเป็นฝ้า หรือที่เรียกว่า Film Yeast เชื้อรา และสาหร่ายบางชนิด สามารถที่จะออกซิไดซ์กรดอะซิติกในสภาพที่มีอากาศได้ จึงทำให้กรดอะซิติกถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

2.3 การทำแห้งอาหาร

สุคนธ์ชื่น ศรีงาม (2540) กล่าวว่า การทำแห้ง (Drying) คือ การลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ ทำให้อาหารเก็บไว้ได้นาน อาหารแห้งแต่ละชนิดจะมีความชื้นในระดับที่ปลอดภัยไม่เท่ากัน เช่น ผลไม้แช่อิ่มเก็บสามารถได้ที่ความชื้น 15-20 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าเป็นเมล็ดพืชเก็บที่ความชื้นนี้จะเกิดราขึ้นได้

การทำแห้งอาหารนอกจากจะเป็นการถนอมอาหารแล้วยังจัดเป็นการแปรรูปวิธีหนึ่งด้วย ตามปกติผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จากการทำแห้งนั้นเป็นอาหารที่มีความชื้นต่ำ (Low Moisture Food) ซึ่งโดยทั่วไปมีความชื้นไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ และอาจนำอาหารแห้งนั้นมาบริโภคได้เลย เช่น เนื้อแห้ง ผลไม้แห้ง หรือเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องนำมาคืนสภาพ (Rehydration) เพื่อให้ดูดน้ำกลับเข้าไปในอาหารก่อนบริโภค เช่น ผักแห้ง นมผง น้ำผลไม้ผง เป็นต้น

การทำแห้งส่วนใหญ่จะอาศัยความร้อนในการระเหยน้ำ (Vaporization) ออกจากอาหาร แต่อย่างไรก็ตามวิธีทำแห้งมีหลายวิธี จำแนกได้ 2 วิธีใหญ่ ๆ (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529) คือ การทำแห้งโดยวิธีธรรมชาติ (Natural Drying) ได้แก่ การตากแดด และการทำแห้งแบบตู้อบพลังแสงอาทิตย์ (Solar Drying) อีกวิธีหนึ่งคือการทำแห้งด้วยวิธีเชิงกล (Artificial หรือ Mechanical Drying)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้แก่ การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดหรือแบบชั้น (Tray Dryer) และ การทำแห้งด้วยเครื่องแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก (Drum or Roller Dryer)

2.3.1 การทำแห้งผลไม้

กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์ (2539) กล่าวว่า เมื่อผลไม้ถูกทำแห้ง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในผลไม้จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นจนเพียงพอที่จะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งถือเป็นเพียงกรรมวิธีในการเก็บรักษาผลไม้ให้นานขึ้น แต่ไม่ได้ช่วยปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ ปริมาณความเข้มข้นของของแข็งนี้จะต่างกันไปตามชนิดของผลไม้ และมีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ เช่น สี รสชาติ และเนื้อสัมผัส

การเลือกวิธีทำแห้งผลไม้ จะเลือกวิธีที่ทำกำไรให้กับผู้ผลิตมากที่สุด สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด แต่จะต้องได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับในตลาด วิธีผึ่งแดดเป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด แต่บางครั้งอาจไม่มีแดด หรือตากฝนจนเกิดความเสียหายได้ นอกจากนี้ยังรักษาความสะอาดได้ยาก การใช้เครื่องมืออบแห้งสามารถทำแห้งผลไม้ได้ตลอดเวลาทันทีหลังจากเก็บเกี่ยวโดยไม่ต้องคำนึงถึงสภาพภูมิอากาศและลดความเสียหายจากการมีฝนหลงฤดูได้

2.3.2 การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดหรือแบบชั้น (Tray Dryer)

เครื่องอบแห้งแบบถาดหรือแบบชั้นมีลักษณะเป็นตู้ทรงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ภายในประกอบด้วยถาดเตี้ยที่มีช่องตาข่ายอยู่ด้านล่าง วางอาหารได้ 5-8 ชั้น ในอุตสาหกรรมใหญ่อาจใช้ตู้ใหญ่ซึ่งมีจำนวนชั้นมากขึ้น ถาดที่วางอาหารทำจากเหล็กปลอดสนิม และเครื่องจะถูกบุด้วยฉนวน อากาศร้อนจะไหลหมุนเวียนอยู่ภายในตู้ พัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำนี้จะถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ นิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดในการผลิตอาหารปริมาณไม่มาก (1-20 ตันต่อวัน) เครื่องอบแห้งชนิดนี้ใช้เงินลงทุนและค่าดูแลรักษาต่ำ แต่ควบคุมดูแลยาก และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากเครื่องควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ (ทั่วไปควบคุมอุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส) บางครั้งหากอุณหภูมิเกิน 70 องศาเซลเซียส อาหารจะแห้งเร็วเกินไป ทำให้โปรตีนตกตะกอนและอาหารมีสีคล้ำ

2.3.3 การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง

สุคนธ์ชื่น ศรีงาม (2540) กล่าวว่า การอบแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารมากหรือน้อยขึ้นกับธรรมชาติของอาหารและสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การหดตัว

การเสียน้ำทำให้เซลล์อาหารหดตัวจากผิวนอก ส่วนที่แข็งจะคงสภาพได้ ส่วนที่อ่อนกว่าจะเว้าลงไป อาหารที่มีน้ำมากจะหดตัวบิดเบี้ยวมาก การทำแห้งอย่างรวดเร็วจะหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งอย่างช้า ๆ

2. การเปลี่ยนสี

อาหารที่ผ่านการทำแห้งมักมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมีการเกิดสีน้ำตาล อุณหภูมิและช่วงเวลาที่อาหารมีความชื้น 10-20 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อความเข้มสี จึงควรหลีกเลี่ยงอุณหภูมิสูงในช่วงความชื้นนี้

3. การเกิดเปลือกแข็ง

เป็นลักษณะที่ผิวอาหารแข็งเป็นเปลือกหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งไว้ เกิดจากในช่วงแรกให้น้ำระเหยเร็วเกินไป น้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน หรือมีสารละลายของน้ำตาล โปรตีนเคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว หลีกเลี่ยงได้โดยไม่ใช้อุณหภูมิสูงและใช้อากาศที่มีความชื้นสูง เพื่อไม่ให้ผิวอาหารแห้งก่อนเวลาอันสมควร

4. การเสียความสามารถในการคืนสภาพ

อาหารแห้งบางชนิดต้องนำมาคืนสภาพ แต่การคืนสภาพโดยการเติมน้ำจะไม่ได้เหมือนเดิม เพราะเซลล์อาหารเสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ สตาร์ชและโปรตีนเสียความสามารถในการดูดน้ำ อาหารที่ทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็งจะมีความสามารถในการคืนสภาพดีที่สุด เพราะไม่ได้ใช้ความร้อนที่จะทำลายผนังเซลล์หรือเปลี่ยนโครงสร้างของสตาร์ชและโปรตีน

5. การเสียคุณค่าอาหารและสารระเหย

เกิดการสลายของวิตามินซีและแคโรทีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไรโบฟลาวินจากแสง ไทอะมีนจากความร้อน ยิ่งใช้เวลาทำแห้งนานการสูญเสียก็ยิ่งมาก โปรตีนมีการสูญเสียบางส่วนด้วยความร้อนเช่นเดียวกัน การสูญเสียสารระเหยเนื่องจากความร้อนทำให้กลิ่นของอาหารแห้งลดน้อยลงหรือแตกต่างไปจากเดิม

ศิริชัย สมคะเนย์ และ อำนาจ ภูมิจันทึก (2544) ศึกษาถึงความแตกต่างด้านประสาทสัมผัสของขนมถ้วยฟูเผือกที่ได้จากส่วนผสมสดและขนมถ้วยฟูที่ได้จากแป้งผสมสำเร็จรูปที่มีส่วนประกอบของแป้งเผือกที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง พบว่าขนมถ้วยฟูจากเผือกสดมีการยอมรับของผู้บริโภคด้านสีและกลิ่นดีกว่าขนมถ้วยฟูแป้งเผือกสำเร็จรูป เนื่องจากแป้งเผือกที่ผ่านการทำแห้งจะมีสีซีดกว่าเผือกสดและกลิ่นบางส่วนหายไปกับการให้ความร้อนในการทำแห้ง แต่ขนมถ้วยฟูแป้งเผือกสำเร็จรูปมีการยอมรับในด้านเนื้อสัมผัสที่ดีกว่า เนื่องจากเผือกที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะถูกบดอัดและมีโมเลกุลขนาดเล็กลง ทำให้แป้งเผือกที่ได้มีการละลายและการคืนรูปที่ดี ส่งผลให้ได้ขนมที่มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน

2.3.4 การคืนรูปของอาหารแห้ง

กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์ (2539) กล่าวว่า การคืนรูปของอาหารแห้งหมายถึง การดูดน้ำกลับคืนของอาหารแห้งเพื่อเข้าสู่สภาพเดิมคล้ายก่อนการทำแห้ง แต่จะไม่มีลักษณะเป็นการย้อนกลับของการทำแห้งเนื่องจากเหตุผลหลายประการ คือ เกิดจากปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้ขององค์ประกอบหรือเกิดจากการพองตัวของผิวด้านนอกเมื่อดูดน้ำเข้าไปก่อน และส่วนนี้จะกดทับอาหารที่หดตัวอยู่ด้านในไม่ให้คืนรูป หรือจากการที่มีตัวถูกละลายบางส่วนจากอาหารละลายออกมากับน้ำที่ใช้คืนรูป ทำให้เกิดการหดตัวของเซลล์

ในกรณีที่อาหารแห้งมีลักษณะเป็นชิ้น เช่น อาหารที่หั่นเป็นแผ่นบาง หรือหั่นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ การคืนรูปจะขึ้นกับโครงสร้างของชิ้นอาหาร และขึ้นกับว่าองค์ประกอบของอาหารที่สามารถยึดเกาะน้ำไว้ได้ เช่น โปรตีน และแป้ง เกิดการเปลี่ยนแปลงจากความร้อนในระหว่างการทำแห้งด้วยความร้อนไปมากน้อยเพียงใด

กรวิกา หาญกิตติชัย (2542) ได้นำผลส้มแขกแห้ง 50 กรัม ต้มรวมกับน้ำ 1000 กรัม ประมาณ 30 นาที เมื่อนำน้ำส้มแขกนี้มาทำไวน์ส้มแขกโดยเติมน้ำลงไปทดลองใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำส้มแขกต่อน้ำที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 25:75, 50:50, 75:25 และ 100:0 (โดยปริมาตร) ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเริ่มต้นให้เป็น 23 องศาบริกซ์ ปรับค่าความเป็นกรดด่างให้เป็น 4.5 หมักโดยใช้ *S. cerevisiae* เป็นเวลา 6 วัน พบว่าอัตราส่วนน้ำส้มแขกที่ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด ทั้งสีกลิ่น รส คือ 50:50 ซึ่งสามารถผลิตปริมาณแอลกอฮอล์ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลาหมัก 6 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

1. ผลมะม่วงหิมพานต์ จากอำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
2. น้ำตาลทรายขาว ตรามิตรผล บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด

3.2 เชื้อจุลินทรีย์

1. *Saccharomyces cerevisiae* var *ellipsoideus* TISTR 5194 และ *Acetobacter aceti* TISTR 102 จากศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)
2. ยีสต์ผงสำหรับทำขนมปัง (Baker's Yeast) ตรา Fermipan ชนิดสำหรับทำขนมปังหวาน จากบริษัท ดีเอสเอ็ม เบเกอรี่อินเกรเดียนท์ ยูเค จำกัด ประเทศอังกฤษ

3.3 สารเคมี

1. ไดอะตอมมาเชียส เอิร์ท (Diatomaceous Earth)
2. สารละลายมาตรฐาน 0.1 นอร์มัลโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.1 N NaOH)
3. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolpthalein) 1 เปอร์เซ็นต์ ในเอทธิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์
4. กรดซิตริกความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์
5. เอทธิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 70 และ 95 เปอร์เซ็นต์
6. แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)

3.4 สารอาหาร

1. กลูโคส
2. ยีสต์สกัด (Yeast Extract)
3. ผงวุ้นสำหรับทำอาหารเลี้ยงเชื้อ (Agar)
4. ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DAP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

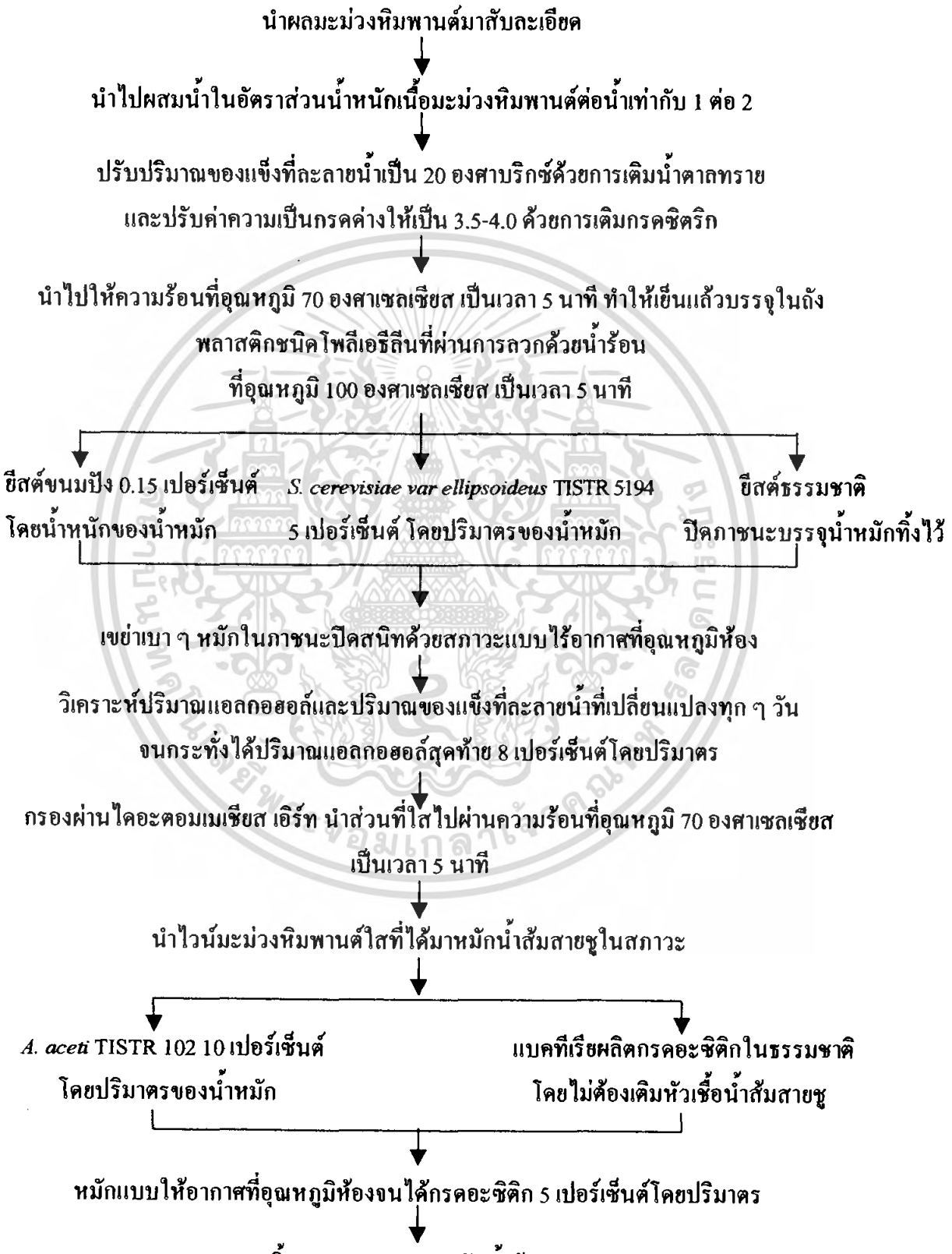
3.5 เครื่องมือและอุปกรณ์

	ชื่อเครื่องมือ	ประเทศ
1.	หม้อนึ่งความดัน (Autoclave) TOMY ss-325	ญี่ปุ่น
2.	ตู้บ่มเชื้อ Memmert BE-400	เยอรมันนี
3.	เครื่องเขย่าสารละลาย (Shaker) GFL 3017	เยอรมันนี
4.	เครื่องชั่งชนิดละเอียด OHAUS AR2140	สหรัฐอเมริกา
5.	เครื่องชั่งชนิดหยาบ Sartorius BP3100s	เยอรมันนี
6.	เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH meter) Mettler Toledo	สวิสเซอร์แลนด์
7.	เครื่องปั๊มอากาศ (Air Pump) SONIC 8000	จีน
8.	ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) Memmert UM400	เยอรมันนี
9.	เครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์ (Ebuliometer Alcohol Analysis) ARCUEUEIL, 94117	ฝรั่งเศส
10.	เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายในสารละลาย (Hand Refractometer) ATAGO,N-1E	ญี่ปุ่น
11.	เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Dry) Mizubishi SP-KR	ญี่ปุ่น
12.	ชุดอุปกรณ์สำหรับใช้ในการไตเตรทหาปริมาณกรด	
13.	ขวดน้ำพลาสติกชนิดโพลีเอธีลีน (Polyethylene) ความจุ 6 ลิตร	
14.	สายยางซิลิโคน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ขั้นตอนและวิธีการ

3.6.1 กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 การเตรียมหัวเชื้อยีสต์ตั้งต้นในการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์

1. ทำหัวเชื้อตั้งต้นจากน้ำคั้นสับปะรด ที่ปรับปริมาณน้ำตาลให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ 20 องศาบริกซ์ และปรับค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ให้เป็น 3.5-4.0 บรรจุลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร นำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้อาหารเย็น

2. เขี่ยเชื้อ *S. cerevisiae* var *ellipsoideus* TISTR 5194 ที่เลี้ยงไว้ในอาหาร MY Agar slant ที่บ่มเป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง ลงในน้ำสับปะรด แล้วนำเข้าเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

3.6.3 การเตรียมหัวเชื้อแบคทีเรียตั้งต้นในการหมักให้เกิดกรดอะซิติก

1. เตรียมอาหาร GYE broth บรรจุลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร นำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้อาหารเย็น

2. เขี่ยเชื้อ *A. aceti* TISTR 102 ที่เลี้ยงไว้ในอาหาร GYE Agar slant ลงใน GYE broth แล้วนำเข้าเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจึงนำไปใช้ศึกษาต่อไป

3.6.4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มสายชู

<u>ช่วงที่ 1</u>

เป็นการหมักเพื่อให้เกิดแอลกอฮอล์แบบไร้อากาศที่อุณหภูมิห้อง เริ่มต้นการทดลองโดยปรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำผลไม้มะม่วงหิมพานต์ที่สกัดได้ให้เท่ากับ 20 องศาบริกซ์ เพื่อเป็นแหล่งกลูโคสของยีสต์ แล้วปรับค่าความเป็นกรดด่างให้เท่ากับ 3.5-4.0 ซึ่งเป็นค่าความเป็นกรดด่างที่ยีสต์เจริญได้ดี โดยทดลองใช้การหมัก 3 สภาวะคือ

1. การเติมยีสต์ขนมปังในปริมาณ 0.15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำหมัก
2. การใช้ *S. cerevisiae* var *ellipsoideus* TISTR 5194 เตรียมเป็นเชื้อตั้งต้น (Starter) ในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของน้ำหมัก
3. การใช้ยีสต์ในธรรมชาติ โดยปิดภาชนะที่บรรจุน้ำหมักทิ้งไว้ให้เกิดการหมักขึ้นเอง

วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำและปริมาณแอลกอฮอล์ทุกวันด้วยเครื่อง Refratometer และ Ebulliometer ตามลำดับ จนกระทั่งได้ปริมาณแอลกอฮอล์ 8 เปอร์เซ็นต์

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองในด้านอัตราการลดลงสูงสุดของปริมาณของแข็งที่ละลาย และอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณแอลกอฮอล์ โดยใช้แผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS Version 15 for Windows เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการหมักน้ำส้มสายชู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงที่ 2

เมื่อได้น้ำหมักที่มีปริมาณแอลกอฮอล์ 8 เปอร์เซ็นต์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน เพื่อหมักให้เกิดกรดแบบต้องการอากาศที่อุณหภูมิห้อง โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง 2 สภาวะ คือ

1. การใช้ *A. aceti* TISTR 102 เตรียมเป็นเชื้อตั้งต้นในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของน้ำหมัก

2. การหมักที่ใช้แบคทีเรียตามธรรมชาติผลิตกรดอะซิติกโดยไม่ต้องเติมหัวเชื้อน้ำส้มสายชูลงไป

วิเคราะห์ปริมาณกรดที่เกิดขึ้นทุกวัน (AOAC, 2000) เป็นเวลา 8 วัน นำน้ำส้มสายชูหมักที่ได้มาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่น ใช้วิธีทดสอบแบบให้คะแนน 5 ระดับ (ภาคผนวก จ) โดยใช้นักศึกษาคณะอุตสาหกรรมเกษตรจำนวน 20 คน ซึ่งเป็นผู้ทดสอบกลุ่มเดียวกัน

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองในด้านอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดอะซิติก เช่นเดียวกับข้อ 3.6.4 (ขั้นผลิตแอลกอฮอล์) ส่วนผลการทดลองในด้านการทดสอบทางประสาทสัมผัส ใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเช่นเดียวกับข้อ 3.6.4 (ขั้นผลิตแอลกอฮอล์) เพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการหมักน้ำส้มสายชู

3.6.5 ศึกษาผลของการใส่ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DAP) ในการหมักกรดอะซิติก

เลือกสภาวะที่เหมาะสมในการหมักแอลกอฮอล์และกรดอะซิติกในการหมักน้ำส้มสายชูจากการศึกษาในข้อที่ 3.6.4 เติม DAP ลงในไวน์ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการหมักให้เกิดกรดอะซิติกในระดับที่ต่างกันคือ 0 0.2 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หมักต่อแบบต้องการอากาศที่อุณหภูมิห้อง

วิเคราะห์ปริมาณกรดที่เกิดขึ้นทุกวัน (AOAC, 2000) เป็นเวลา 8 วันและทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชู รวมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เช่นเดียวกับข้อ 3.6.4

3.6.6 ศึกษาผลของการทำแห้งวัตถุดิบต่อคุณภาพด้านสีและกลิ่นของน้ำส้มสายชูหมัก

เลือกสภาวะที่เหมาะสมในการหมักแอลกอฮอล์และกรดอะซิติกในการหมักน้ำส้มสายชูจากการศึกษาในข้อ 3.6.4 และ 3.6.5 เปรียบเทียบการใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกัน 2 ลักษณะ คือ การใช้ผลมะม่วงหิมพานต์สด และผลมะม่วงหิมพานต์แห้งที่ได้จากการอบผลสดด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด จนกระทั่งได้ความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์ ผลอบแห้งที่ได้นี้จะนำมาคืนรูปโดยการเติมน้ำลงไปทดแทนน้ำที่ระเหยไปในการอบแห้งให้มีความชื้นเท่ากับผลสดแล้วนำมาผลิตน้ำส้มสายชูหมัก

วิเคราะห์ปริมาณกรดที่เกิดขึ้นทุกวัน (AOAC, 2000) เป็นเวลา 8 วันและทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชู รวมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เช่นเดียวกับข้อ 3.6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง

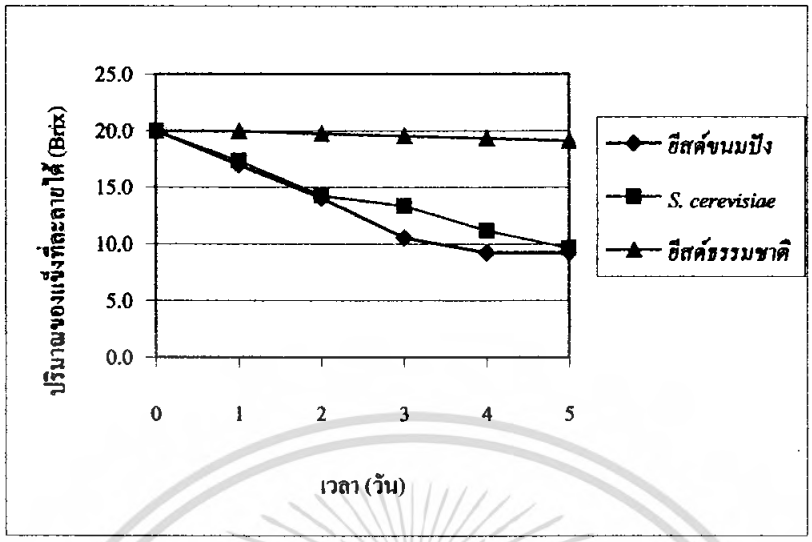
4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มสายชู

การศึกษาในขั้นการผลิตแอลกอฮอล์ เพื่อเลือกสภาวะการหมักที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบระหว่างสภาวะการหมักโดยยีสต์ที่ต่างกัน 3 สภาวะ หมักจนได้ปริมาณแอลกอฮอล์สุดท้าย 8 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาณแอลกอฮอล์และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในไวน์เมื่อใช้สภาวะการหมักต่างกันในระยะเวลา 5 วัน แสดงในตารางที่ 4.1 เมื่อนำค่าจากตารางไปเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2

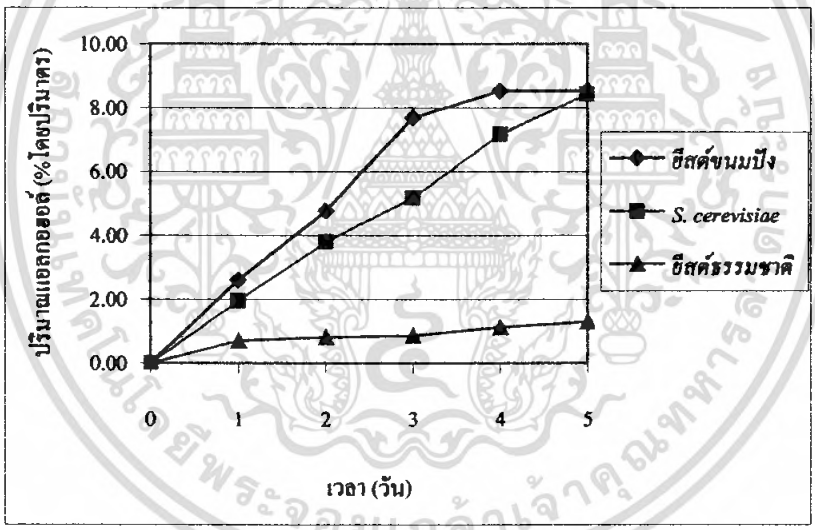
ตารางที่ 4.1 ปริมาณแอลกอฮอล์และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในไวน์ที่ได้จากการหมักโดยใช้สภาวะการหมักที่ต่างกัน

เวลา (วัน)	ยีสต์ขนมปัง		*S. cerevisiae* TISTR 5194		ยีสต์ธรรมชาติ	
	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	ปริมาณแอลกอฮอล์ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	ปริมาณแอลกอฮอล์ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	ปริมาณแอลกอฮอล์ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)
0	20.0	0.00	20.0	0	20.0	0
1	17.0	2.61	17.3	1.95	20.0	0.70
2	14.0	4.77	14.3	3.80	19.7	0.81
3	10.5	7.69	13.4	5.18	19.5	0.86
4	9.2	8.53	11.2	7.17	19.3	1.13
5	9.2	8.53	9.6	8.43	19.1	1.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์

จากรูปที่ 4.1 พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้จะมีค่าลดลงตลอดระยะเวลาในการหมัก ในขณะที่ปริมาณแอลกอฮอล์ในรูปที่ 4.2 จะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากน้ำตาลถูกเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์โดยยีสต์

เมื่อนำอัตราการลดลงสูงสุดของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างกระบวนการหมักขั้นผลิตแอลกอฮอล์เมื่อสภาวะการหมักต่างกัน ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ จะได้ผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 อัตราการลดลงสูงสุดของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างกระบวนการหมักขั้นผลิตแอลกอฮอล์

ชนิดของยีสต์	อัตราการลดลงสูงสุดของปริมาณของแข็งที่ละลาย	อัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณแอลกอฮอล์
ยีสต์ขนมปัง	3.50 ± 1.39^{a}	2.92 ± 1.03^{a}
S. cerevisiae TISTR 5194	3.07 ± 0.99^{a}	1.99 ± 0.44^{a}
ยีสต์ธรรมชาติ	0.20 ± 0.20^{b}	0.27 ± 0.30^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

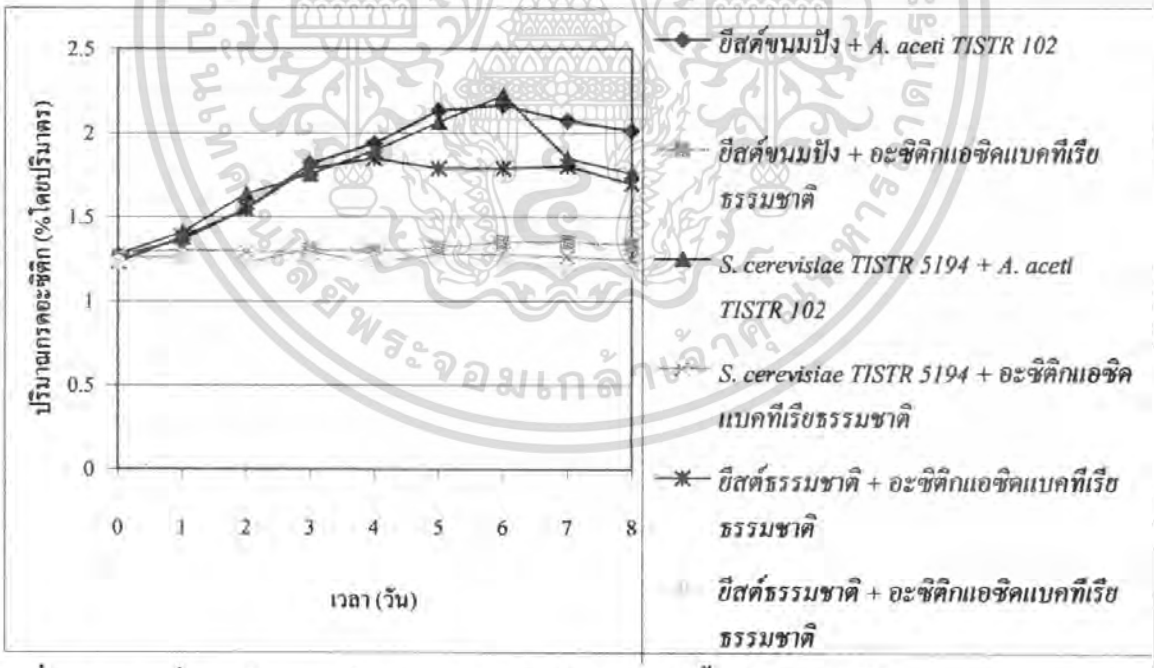
จากตารางที่ 4.2 พบว่าสภาวะการหมักที่ต่างกันมีผลทำให้อัตราการลดลงสูงสุดของปริมาณของแข็งที่ละลายและอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของแอลกอฮอล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างกระบวนการหมักขั้นผลิตแอลกอฮอล์เมื่อใช้สภาวะการหมักโดยยีสต์ขนมปัง (Baker's Yeast) และ *S. cerevisiae* TISTR 5194 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะแตกต่างจากอัตราการเพิ่มของแอลกอฮอล์เมื่อใช้สภาวะการหมักด้วยยีสต์ธรรมชาติ โดยสภาวะการหมักด้วยยีสต์ธรรมชาติจะมีค่าต่ำกว่า เนื่องจากยีสต์ตามธรรมชาติในน้ำหมักมีอยู่ในปริมาณน้อยและอาจไม่ใช่สายพันธุ์ที่สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ในอัตราที่สูง

หลังจากสิ้นสุดกระบวนการหมักแอลกอฮอล์แล้ว นำน้ำหมักที่ได้หลังจากการใช้ยีสต์แต่ละสภาวะมาแบ่งเป็นสองส่วนเพื่อเปรียบเทียบอัตราการผลิตกรดอะซิติกระหว่างสภาวะการใช้อะซิติกแอซิดแบคทีเรียที่ต่างกัน 2 สภาวะ คือใช้ *A. aceti* TISTR 102 และใช้อะซิติกแอซิดแบคทีเรียธรรมชาติ (Natural Acetic Acid Bacteria) ปริมาณกรดอะซิติกที่ได้จากการหมักเมื่อสภาวะการใช้อะซิติกแอซิดแบคทีเรียต่างกันในระยะเวลา 8 วัน แสดงในตารางที่ 4.3 เมื่อนำค่าจากตารางไปเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณกรดอะซิติกที่ได้จากการหมักเมื่อสภาวะการใช้อะซิติกแอซิดแบคทีเรียต่างกัน

ชนิดของยีสต์	ชนิดของแบคทีเรียผลิตกรดอะซิติก	ปริมาณกรดอะซิติก (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
ยีสต์ขนมปัง	*A. aceti* TISTR 102	1.262	1.367	1.548	1.818	1.938	2.134	2.164	2.074	2.014
	แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติ	1.262	1.262	1.232	1.307	1.292	1.322	1.352	1.352	1.337
S. cerevisiae TISTR 5194	*A. aceti* TISTR 102	1.277	1.412	1.638	1.755	1.893	2.066	2.224	1.848	1.758
	แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติ	1.277	1.307	1.292	1.292	1.232	1.277	1.277	1.262	1.247
ยีสต์ธรรมชาติ	*A. aceti* TISTR 102	1.232	1.382	1.548	1.788	1.848	1.788	1.788	1.803	1.698
	แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติ	1.232	1.262	1.232	1.247	1.247	1.232	1.232	1.187	1.187



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดในระหว่างการหมักขั้นผลิตกรดอะซิติก

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 พบว่ากรดอะซิติกจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่งของการหมักในสภาพที่มีการให้อากาศที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากอะซิติกแอซิดแบคทีเรียในน้ำหมักสามารถเจริญและอาศัยพลังงานจากการเปลี่ยนแอลกอฮอล์ไปเป็นกรดอะซิติก จากนั้นปริมาณกรดอะซิติกจะค่อย ๆ ลดต่ำลง อาจเนื่องมาจากเกิด Overoxidation ในสภาพที่มีการให้อากาศแต่ไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลกอฮอล์ที่เป็นสับสเตรท ทำให้กรดอะซิติกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (กำเนิด สุภัณวงษ์, 2534) หรือเพราะอัตราการให้อากาศมากเกินไปทำให้สูญเสียแอลกอฮอล์และกรดอะซิติกในน้ำหมักจากการระเหยได้ (ศุภมาศ ภมรบุตร, 2519)

และเมื่อนำอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดอะซิติกในระหว่างกระบวนการหมักโดยใช้ *A. aceti* TISTR 102 และอะซิติกแอซิดแบคทีเรียตามธรรมชาติ ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ ได้ผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 อัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดอะซิติกในขั้นการผลิตกรดอะซิติก

ชนิดของยีสต์	ชนิดของแบคทีเรียผลิตกรดอะซิติก	อัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดอะซิติก
ยีสต์ขนมปัง	*A. aceti* TISTR 102	0.30 ± 0.04^{a}
	แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติ	0.04 ± 0.02^{b}
S. cerevisiae TISTR 5194	*A. aceti* TISTR 102	0.25 ± 0.01^{a}
	แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติ	0.04 ± 0.02^{b}
ยีสต์ธรรมชาติ	*A. aceti* TISTR 102	0.24 ± 0.04^{a}
	แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติ	0.03 ± 0.00^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.4 พบว่าสภาวะการหมักที่ต่างกันมีผลทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของกรดอะซิติกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดในระหว่างกระบวนการหมักขั้นผลิตกรดอะซิติกเมื่อใช้ *A. aceti* TISTR 102 มีความแตกต่างจากสภาวะการหมักด้วยแบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยจะมีค่าสูงกว่า เนื่องจากการใช้ *A. aceti* TISTR 102 ซึ่งเป็นกล้าเชื้อบริสุทธิ์ที่แข็งแรงเติมลงในน้ำหมัก จะทำให้จำนวนเชื้อเริ่มต้นที่ใช้ในการผลิตกรดอะซิติกมีปริมาณมากกว่าการใช้แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติ นอกจากนี้ในธรรมชาติอาจมีทั้งแบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกและจุลินทรีย์อื่น ๆ ซึ่งสามารถใช้แอลกอฮอล์เป็นแหล่งพลังงานได้เช่นเดียวกัน ทำให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแย่งอาหาร จนกระทั่งปริมาณแอลกอฮอล์หมดลงและไม่มีการออกซิไดส์แอลกอฮอล์เป็นกรดอะซิติกได้อีก เพราะฉะนั้นการใช้ *A. aceti* TISTR 102 ที่เตรียมเป็นเชื้อตั้งต้น (Starter) จะทำให้กระบวนการหมักน้ำส้มสายชูเกิดขึ้นได้ดีกว่า จึงเกิดการเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นกรดอะซิติกมากกว่าตามไปด้วย

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสภาวะการใช้ยีสต์และอะซิติกแอซิดแบคทีเรียที่แตกต่างกันในการผลิตน้ำส้มสายชู ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูหมัก แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสเมื่อสภาวะการหมักแตกต่างกันในการผลิตน้ำส้มสายชู

ลักษณะทดสอบ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	ยีสต์ขนมปัง		*S. cerevisiae*TISTR 5194		ยีสต์ธรรมชาติ	
	A. aceti TISTR 102	แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติ	*A. aceti* TISTR 102	แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติ	*A. aceti* TISTR 102	แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติ
ความเข้มสี	2.89 ± 0.62^{a}	2.15 ± 0.58^{b}	3.06 ± 0.57^{a}	2.10 ± 0.47^{b}	2.67 ± 0.59^{a}	1.90 ± 0.49^{b}
ความชอบสี	2.77 ± 0.60^{b}	3.26 ± 0.59^{a}	2.75 ± 0.51^{b}	3.27 ± 0.52^{a}	2.80 ± 0.86^{b}	3.36 ± 0.80^{a}
ความแรงกลิ่น (แปลกปลอม)^{ns}	2.07 ± 0.43	2.37 ± 0.95	2.20 ± 0.41	2.47 ± 0.85	2.19 ± 0.76	2.27 ± 0.47
ความชอบโดยรวม^{ns}	3.37 ± 0.90	2.91 ± 0.91	3.33 ± 0.80	2.81 ± 0.97	3.36 ± 0.89	3.16 ± 0.67

หมายเหตุ 1) ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p\leq0.05$)

2) ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.5 สภาวะการใช้ยีสต์และอะซิติกแอซิดแบคทีเรียที่แตกต่างกันในการผลิตน้ำส้มสายชู มีผลทำให้ความเข้มและความชอบสีต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีผลทำให้ความแรงกลิ่นแปลกปลอม และความชอบโดยรวมของน้ำส้มสายชูที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มและความชอบสีน้ำส้มสายชู จากการทดลองจะเห็นว่าเมื่อใช้สภาวะการหมักต่างกัน มีผลทำให้ความเข้มและความชอบสีของน้ำส้มสายชูต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการผลิตน้ำส้มสายชูที่มีการใช้ *A. aceti* TISTR 102 จะทำให้น้ำส้มสายชูมีคะแนนความเข้มสีสูงกว่าการใช้แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติ ผู้ทดสอบให้คะแนนความเข้มและความชอบสีของน้ำส้มสายชูที่ใช้ *A. aceti* TISTR 102 ในระดับปานกลางและเฉย ๆ ตามลำดับ ต่างจากคะแนนความเข้มและความชอบสีของน้ำส้มสายชูที่ได้จากการใช้แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติ ซึ่งได้คะแนนในระดับอ่อนและชอบ ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากความเข้มสีของหัวเชื้อตั้งต้นของ *A. aceti* TISTR 102 ที่เลี้ยงในอาหาร GYE broth ซึ่งสูตรอาหารดังกล่าวมีน้ำตาลกลูโคส และสารสกัดยีสต์เป็นองค์ประกอบ โดยอาหารจะมีสีเข้มขึ้นเมื่อผ่านขั้นตอนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ดังนั้นเมื่อเติมลงในน้ำหมักจึงทำให้สีของน้ำส้มสายชูเข้มขึ้นด้วย คือมีลักษณะใส และมีสีเหลืองออกน้ำตาล

ความแรงของกลิ่นแปลกปลอม จากการทดลองจะเห็นว่าน้ำส้มสายชูที่ผลิตจากสภาวะการหมักที่แตกต่างกัน ไม่มีผลทำให้คะแนนความแรงของกลิ่นแปลกปลอมที่ไม่ใช่กลิ่นน้ำส้มสายชูต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผู้ทดสอบให้คะแนนความแรงของกลิ่นแปลกปลอมในระดับมีกลิ่นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากตัวอย่างน้ำส้มสายชูมีกลิ่นอื่น โดยน้ำส้มสายชูที่หมักโดยใช้หัวเชื้อตั้งต้นของ *A. aceti* TISTR 102 ที่เลี้ยงในอาหาร GYE broth จะยังมีกลิ่นของอาหารเลี้ยงเชื้อดังกล่าวหลงเหลืออยู่ ในขณะเดียวกันการใช้แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติก็ทำให้เกิดกลิ่นแปลกปลอมขึ้น เช่น กลิ่นหมักที่ไม่ใช่กลิ่นของกรดอะซิติก และกลิ่นที่ ไม่ใช่กลิ่นผลไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ เนื่องจากอาจเกิดการเจริญและผลิตสารที่ให้กลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำส้มสายชูหมักโดยจุลินทรีย์ชนิดอื่นในธรรมชาติดังที่กล่าวมาแล้ว

ความชอบโดยรวม จากการทดลองจะเห็นว่าน้ำส้มสายชูที่ผลิตจากสภาวะการหมักต่างกันไม่มีผลทำให้คะแนนความชอบโดยรวมต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวมของน้ำส้มสายชูในระดับเฉย ๆ ถึงแม้คะแนนความเข้มและความชอบสีแตกต่างกัน แต่ไม่มีผลทำให้คะแนนความชอบโดยรวมต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความแรงของกลิ่นแปลกปลอมในน้ำส้มสายชูไม่แตกต่างกัน จึงมีผลทำให้คะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันด้วย

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ได้ แสดงให้เห็นว่าน้ำส้มสายชูที่ผลิตจากสภาวะการหมักโดยใช้ *A. aceti* TISTR 102 ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบสีต่ำกว่าการใช้แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติ แต่ในด้านความแรงของกลิ่นแปลกปลอมที่ไม่มีความแตกต่างกันนั้นอาจเป็นผลให้คะแนนความชอบโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติด้านกลิ่นของน้ำส้มสายชูหมักในการทดลองนี้จะมีผลต่อการยอมรับรวมของผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการศึกษาในขั้นตอนต่อไปจะเลือกใช้ยีสต์ขนมปัง เพราะมีอัตราการผลิตแอลกอฮอล์ที่ไม่แตกต่างจากการใช้ *S. cerevisiae* TISTR 5194 นอกจากนี้การใช้ยีสต์ขนมปังซึ่งมีลักษณะเป็นยีสต์แห้งจะสะดวกต่อการใช้งานมากกว่าการใช้ *S. cerevisiae* TISTR 5194 เพราะไม่ต้องเสียเวลาในการเตรียมหัวเชื้อตั้งต้น การหาซื้อ ขนส่ง และเก็บรักษาง่าย เมื่อต้องการใช้ก็สามารถเติมลงไปในน้ำหมักได้เลย และจะใช้ *A. aceti* TISTR 102 ที่เตรียมเป็นเชื้อตั้งต้นในการหมักกรดอะซิติก เพราะมีอัตราการผลิตกรดอะซิติกสูงกว่าการใช้แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติ ทำให้สามารถเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นกรดอะซิติกได้มากกว่าในระยะเวลาที่สั้นกว่า และน้ำส้มสายชูที่ได้มีคะแนนการยอมรับจากจากผู้บริโภคไม่แตกต่างจากการใช้แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติ

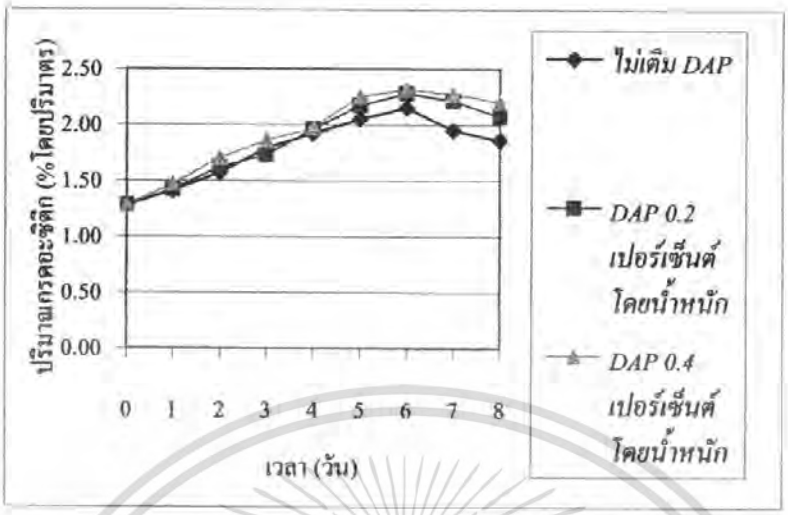
4.2 ผลของการใส่ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟส (DAP) ในการหมักกรดอะซิติก

จากสภาวะการหมักน้ำส้มสายชูโดยใช้ยีสต์ขนมปังในการผลิตแอลกอฮอล์ และใช้ *A. aceti* TISTR 102 เพื่อผลิตกรดอะซิติก จากข้อ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบผลของการเติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟสในระดับที่แตกต่างกันลงในไวน์ก่อนขั้นตอนการหมักให้เกิดกรดอะซิติก ปริมาณกรดอะซิติกที่ได้จากการหมักในระยะเวลา 8 วัน แสดงในตารางที่ 4.6 เมื่อนำค่าจากตารางไปเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.6 ปริมาณกรดอะซิติกที่ได้จากการหมักโดยเติม DAP ในระดับที่แตกต่างกัน คือ 0 0.2 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักของน้ำหมัก)

ปริมาณ DAP (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำหมัก)	ปริมาณกรดอะซิติก (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	1.282	1.412	1.573	1.793	1.923	2.053	2.154	1.948	1.863
0.2	1.282	1.422	1.623	1.733	1.963	2.174	2.284	2.214	2.073
0.4	1.282	1.473	1.705	1.863	1.968	2.254	2.317	2.274	2.204

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดในระหว่างการหมักขั้นผลิตกรดอะซิติกเมื่อเติม DAP ในระดับที่ต่างกันลงในน้ำหมักก่อนขั้นหมักให้เกิดกรดอะซิติก

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.4 พบว่ากรดอะซิติกจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่งของการหมักในสภาพที่มีการให้อากาศที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากอะซิติกแอซิดแบคทีเรียในน้ำหมักสามารถเจริญและอาศัยพลังงานจากการเปลี่ยนแอลกอฮอล์ไปเป็นกรดอะซิติก จากนั้นปริมาณกรดอะซิติกจะค่อย ๆ ลดต่ำลง อาจเนื่องมาจากเกิด Overoxidation หรือสูญเสียแอลกอฮอล์และกรดอะซิติกในน้ำหมักจากการระเหยดังที่กล่าวมาแล้ว

และเมื่อนำอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดอะซิติกในระหว่างกระบวนการหมักโดยเติม DAP ในระดับที่แตกต่างกัน คือ 0 0.2 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักของน้ำหมัก) ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ ได้ผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดอะซิติกในน้ำหมักเมื่อเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน คือ 0 0.2 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักของน้ำหมัก)

ลักษณะทดสอบ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ไม่เติม	0.2 เปอร์เซ็นต์	0.4 เปอร์เซ็นต์
อัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของกรดอะซิติก^{ns}	0.27±0.05	0.29±0.05	0.29±0.04

หมายเหตุ ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.7 พบว่าเมื่อเติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟส (DAP) ในระดับที่ต่างกันลงในน้ำหมักก่อนขั้นตอนการหมักให้เกิดกรดอะซิติกในการทดลองนี้ ไม่มีผลทำให้ค่าอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของกรดอะซิติกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่า DAP ซึ่งเป็นสารอาหารที่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ และมีผลให้เกิดการหมักเพื่อผลิตกรดอะซิติกในระดับที่ดี (วราวุฒิ ครูส่ง และ รุ่งนภา พงษ์สวัสดิ์มานิต, 2532) แต่จากการทดลองพบว่าไม่ส่งผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของกรดอะซิติก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในการหมักแบบไม่ต่อเนื่องนี้ แอลกอฮอล์อาจถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติกในขณะที่ *A. aceti* TISTR 102 เข้าสู่ช่วงที่มีอัตราการเจริญเติบโตของเซลล์คงที่ (Stationary phase) ซึ่งจุลินทรีย์ดังกล่าวหยุดเพิ่มจำนวนหรือมีอัตราการเพิ่มจำนวนน้อยมาก การเพิ่มสารอาหารที่เป็นแหล่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจึงไม่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของเซลล์ในช่วงนี้มากนัก อัตราการเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นกรดอะซิติกจึงค่อนข้างคงที่ ดังนั้นการเติมหรือไม่เติม DAP ในการทดลองนี้จึงไม่ทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของกรดอะซิติกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามเกี่ยวกับผลของการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของกรดอะซิติกในการหมักน้ำส้มสายชูดังกล่าวยังไม่มีข้อมูลการศึกษาและอ้างอิงมากนัก

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน คือ 0 0.2 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักของน้ำหมัก) ในการผลิตน้ำส้มสายชู ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูหมัก แสดงดังตาราง 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสเมื่อมีการเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน คือ 0 0.2 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักของน้ำหมัก)

ลักษณะทดสอบ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ไม่เติม	DAP 0.2 เปอร์เซ็นต์	DAP 0.4 เปอร์เซ็นต์
ความเข้มสี^{ns}	3.25±0.63	3.41±0.62	3.19±0.55
ความชอบสี^{ns}	3.07±0.96	2.88±0.81	3.29±0.74
ความแรงกลิ่น (แปลกปลอม)^{ns}	2.34±0.99	2.30±0.75	2.18±0.79
ความชอบโดยรวม^{ns}	2.80±1.15	3.03±0.83	3.13±0.89

หมายเหตุ ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.8 เมื่อเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน ไม่มีผลทำให้ความเข้มและความชอบสี ความแรงของกลิ่นแปลกปลอม และความชอบโดยรวมของน้ำส้มสายชูแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ความเข้มและความชอบสีน้ำส้มสายชู จากการทดลองจะเห็นว่าการเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน ไม่มีผลทำให้คะแนนความเข้มสีน้ำส้มสายชูแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งน้ำส้มสายชูทั้งที่หมักโดยมีการเติมและไม่เติม DAP จะมีคะแนนความเข้มสีไม่แตกต่างกัน คือ สีเหลืองออกน้ำตาลใส ผู้ทดสอบให้คะแนนความเข้มและความชอบสีน้ำส้มสายชูในระดับปานกลางและเฉย ๆ ตามลำดับ อาจเนื่องมาจาก DAP เป็นเกลือแอมโมเนียมที่มีลักษะเป็นผงสีขาว ซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจนที่เป็นสารอนินทรีย์ที่ไม่มีสีเมื่อละลายน้ำ มักมีผลเกี่ยวกับเรื่องค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ซึ่งเมื่อแอมโมเนียมถูกใช้ไป จะทำให้น้ำหมักมีความเป็นกรดมากขึ้น (กำเนิด สุภัณวงษ์, 2534) และการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างในน้ำหมักนี้ไม่มีผลต่อแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีตามธรรมชาติในผลมะม่วงหิมพานต์ (Heloisa and Delia, 1981; Melo and Caetano, 2006) ที่มีอยู่ในน้ำหมักมากนัก เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความ ร้อนในกระบวนการแปรรูปอื่น ๆ หรือการออกซิเดชันเมื่อถูกแสง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) ส่งผลให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความเข้มสีของน้ำส้มสายชูไม่แตกต่างกันทางสถิติ จึงไม่ทำให้คะแนนความชอบสีของน้ำส้มสายชูที่มีการเติมและไม่เติม DAP ต่างกันด้วย

ความแรงของกลิ่นแปลกปลอม จากการทดลองจะเห็นว่าการเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน ไม่มีผลทำให้คะแนนความแรงของกลิ่นแปลกปลอมต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเติม DAP ในปริมาณ 0 0.2 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำหมัก ไม่ทำให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความแรงของกลิ่นแปลกปลอมแตกต่างกัน โดยคะแนนอยู่ในระดับมีกลิ่นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากการที่น้ำหมักยังคงมีกลิ่นของอาหารเลี้ยงเชื้อหลงเหลืออยู่เช่นเดียวกัน DAP เป็นเกลือแอมโมเนียมที่ไม่มีกลิ่น และตามปกติเมื่อละลายน้ำแอมโมเนียมไอออนจะถูกใช้หมดไปก่อนในกระบวนการหมักระยะแรก (สมใจ ศิริโภค, 2547) จึงไม่มีผลทำให้คะแนนกลิ่นแปลกปลอมของน้ำส้มสายชูที่มีการเติมและไม่เติม DAP แตกต่างกัน

ความชอบโดยรวม จากการทดลองจะเห็นว่าการเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน ไม่มีผลทำให้คะแนนความชอบโดยรวมต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คะแนนความชอบโดยรวมของน้ำส้มสายชูที่หมักโดยเติม DAP ปริมาณ 0.2 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำหมักอยู่ในระดับเฉย ๆ เช่นเดียวกับการไม่เติม DAP เนื่องจากไม่มีความแตกต่างทั้งในด้านความเข้มและความชอบสีและความแรงของกลิ่นแปลกปลอมในน้ำส้มสายชู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ได้ แสดงให้เห็นว่าการเติม DAP ลงในน้ำหมักในการทดลองนี้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มและความชอบสี ความแรงของกลิ่นแปลกปลอมในน้ำส้มสายชู และความชอบโดยรวม รวมทั้งไม่ทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของกรดอะซิติกต่างจากการที่ไม่เติม DAP ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงเลือกใช้แบบไม่เติม เนื่องจากสะดวกกว่าและมีต้นทุนต่ำ

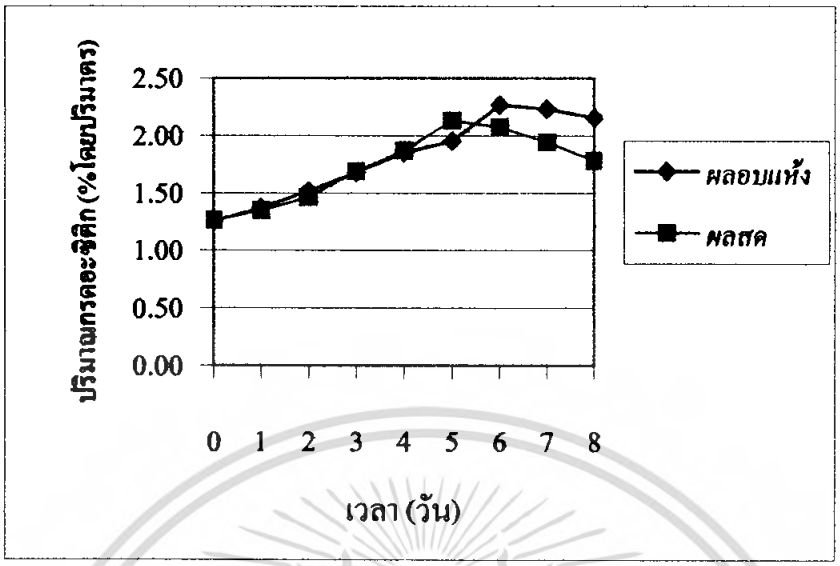
4.3 ผลของการทำแห้งวัตถุดิบต่อคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมัก

จากสภาวะการหมักน้ำส้มสายชูโดยใช้ยีสต์ขนมปังในการผลิตแอลกอฮอล์ และใช้ *A. aceti* TISTR 102 เพื่อผลิตกรดอะซิติก จากข้อ 4.1 ทำการหมักเพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกัน 2 ลักษณะ คือ การใช้ผลมะม่วงหิมพานต์สดและผลมะม่วงหิมพานต์แห้งที่ได้จากการอบผลสดด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด จนกระทั่งได้ความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลอบแห้งที่ได้จะนำมาคืนรูปให้มีความชื้นเท่ากับผลสดแล้วนำมาหมักน้ำส้มสายชู ปริมาณกรดอะซิติกที่ได้จากการหมักในระยะเวลา 8 วัน แสดงในตารางที่ 4.9 เมื่อนำค่าจากตารางไปเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.9 ปริมาณกรดอะซิติกที่ได้จากการหมักโดยการใช้ผลสดและผลอบแห้ง

ลักษณะวัตถุดิบ	ปริมาณกรดอะซิติก (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ผลสด	1.255	1.375	1.518	1.683	1.856	1.953	2.269	2.234	2.156
ผลอบแห้ง	1.262	1.352	1.465	1.691	1.872	2.134	2.076	1.946	1.781

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดในระหว่างการหมักขั้นผลิตกรดอะซิติกเมื่อใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกันในการหมักน้ำส้มสายชู

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกัน คือ ผลสดและผลอบแห้งในการหมักน้ำส้มสายชู ปริมาณกรดอะซิติกจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่งของการหมักในสภาพที่มีการให้อากาศที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นปริมาณกรดอะซิติกจะค่อย ๆ ลดต่ำลง เช่นเดียวกันทั้งการใช้ผลสดและผลอบแห้ง อาจเนื่องมาจากเกิด Overoxidation หรือสูญเสียแอลกอฮอล์และกรดอะซิติกในน้ำหมักจากการระเหยดังที่กล่าวมาแล้ว

เมื่อนำอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดอะซิติกในน้ำหมักเมื่อใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกัน ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ ได้ผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดอะซิติกในน้ำหมักเมื่อใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกัน คือ ผลสดและผลอบแห้ง

ลักษณะทดสอบ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ผลสด	ผลอบแห้ง
อัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของกรดอะซิติก^{ns}	0.31±0.03	0.32±0.03

หมายเหตุ ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.10 พบว่าเมื่อใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกัน คือ ผลสดและผลอบแห้งในการหมักน้ำส้มสายชู ไม่มีผลทำให้ค่าอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของกรดอะซิติกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ อาจเนื่องมาจากการทำแห้งผลมะม่วงหิมพานต์นั้นทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลงเป็นหลัก ซึ่งแม้อาจเกิดการสูญเสียสารอาหารพวกน้ำตาลและกรดอะมิโนไปบางส่วนจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด สูญเสียสารระเหยเนื่องจากความร้อน หรือการลดลงของวิตามินที่ละลายน้ำในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับทำแห้ง แต่ปริมาณการสูญเสียสารอาหารซึ่งจำเป็นสำหรับจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมักอาจไม่มากและยังคงเหลือสารอาหารเพียงพอต่อการเจริญและผลิตกรด ดังนั้นเมื่อนำผลอบแห้งมาคืนรูปและผลิตน้ำส้มสายชูหมัก จึงไม่ส่งผลให้อัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของกรดอะซิติกระหว่างการใช้ผลสดและผลอบแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้วัตถุดิบในลักษณะผลสดและผลอบแห้งในการผลิตน้ำส้มสายชู ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำส้มสายชูหมักแสดงดังตาราง 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสเมื่อใช้ผลมะม่วงหิมพานต์สดและผลมะม่วงหิมพานต์แห้งมาผลิตน้ำส้มสายชู

ลักษณะทดสอบ	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ผลสด	ผลอบแห้ง
ความเข้มสี	3.13 ± 0.55^{a}	3.48 ± 0.47^{b}
ความชอบสี	4.06 ± 0.63^{a}	3.02 ± 0.68^{b}
ความแรงกลิ่น (แปลกปลอม)^{ns}	2.43 ± 0.99	2.79 ± 1.08
ความชอบโดยรวม^{ns}	3.57 ± 0.97	3.35 ± 0.88

หมายเหตุ 1) ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p\leq0.05$)

2) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.11 เมื่อใช้ผลมะม่วงหิมพานต์ในลักษณะที่ต่างกันมาผลิตน้ำส้มสายชู มีผลทำให้ความเข้มและความชอบสีของน้ำส้มสายชูมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีผลทำให้ความแรงของกลิ่นแปลกปลอม และความชอบโดยรวมต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มและความชอบสีน้ำส้มสายชู จากการทดลองจะเห็นว่าเมื่อใช้มะม่วงหิมพานต์ผลสดและผลอบแห้งมาผลิตน้ำส้มสายชู มีผลทำให้คะแนนความเข้มและความชอบสีของน้ำส้มสายชูต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำส้มสายชูที่ผลิตโดยใช้ผลอบแห้งมีคะแนนความเข้มสีสูงกว่าการใช้ผลสด ผู้ทดสอบให้คะแนนความเข้มและความชอบสีน้ำส้มสายชูจากผลสดในระดับปานกลางและชอบ ตามลำดับ ต่างจากน้ำส้มสายชูที่ผลิตจากผลอบแห้งที่มีคะแนนในระดับเข้มและเฉย ๆ ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard reaction) ขึ้นในผลมะม่วงหิมพานต์ระหว่างการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลในน้ำตาลและหมู่อะมิโนในโปรตีน ซึ่งทำให้เกิดโพลิเมอร์สีน้ำตาลที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้น้ำส้มสายชูหมักที่ได้จากการการใช้ผลอบแห้งมีสีเข้ม ส่งผลให้คะแนนความชอบสีน้อยกว่าการใช้ผลสดตามไปด้วย

ความแรงของกลิ่นแปลกปลอม จากการทดลองจะเห็นว่าการใช้ผลสดและผลอบแห้งมาผลิตเป็นน้ำส้มสายชู ไม่มีผลทำให้คะแนนความแรงของกลิ่นแปลกปลอมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผู้ทดสอบให้คะแนนความแรงของกลิ่นแปลกปลอมจากน้ำส้มสายชูที่ผลิตจากผลสดและผลอบแห้งในระดับมีกลิ่นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากการที่น้ำหมักยังคงมีกลิ่นของอาหารเลี้ยงเชื้อหลงเหลืออยู่เช่นเดียวกัน และการอบแห้งอาจทำให้เกิดกลิ่นซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัวขึ้นในผลมะม่วงหิมพานต์ เนื่องจากการอบแห้งทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด และน้ำตาลในผลมะม่วงหิมพานต์อาจเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นคาราเมลได้เช่นกัน แต่ปฏิริยาที่เกิดอาจไม่รุนแรงมากจึงไม่ส่งผลให้คะแนนความแรงกลิ่นแปลกปลอมของน้ำส้มสายชูหมักที่ได้จากผลอบแห้งและผลสดแตกต่างกัน

ความชอบโดยรวม จากการทดลองจะเห็นว่าการใช้ผลสดและผลอบแห้งมาผลิตน้ำส้มสายชู ไม่มีผลทำให้คะแนนความชอบโดยรวมต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวมของน้ำส้มสายชูที่ผลิตจากผลสดและผลอบแห้งในระดับเฉย ๆ ถึงแม้คะแนนความเข้มและความชอบสีแตกต่างกัน แต่ไม่มีผลทำให้คะแนนความชอบโดยรวมต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคะแนนความแรงของกลิ่นแปลกปลอมของน้ำส้มสายชูนั้นไม่มีความแตกต่างกัน จึงส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันด้วย

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ได้ แสดงให้เห็นว่าสามารถเก็บรักษาผลมะม่วงหิมพานต์ไว้ในรูปของผลอบแห้งโดยอบผลสดด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด จนกระทั่งมีความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำมาคืนรูปให้มีความชื้นเท่ากับผลสดโดยการเติมน้ำก่อนนำมาผลิตน้ำส้มสายชูได้ โดยอาจทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีต่างกัน แต่ไม่ทำให้คุณภาพด้านกลิ่นและความชอบโดยรวมของน้ำส้มสายชูหมักที่ได้ต่างจากน้ำส้มสายชูที่หมักจากผลสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มสายชู พบว่ายีสต์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแอลกอฮอล์ คือ ยีสต์ขนมปัง เพราะมีอัตราการผลิตแอลกอฮอล์ไม่ต่างจากการใช้ *S. cerevisiae* TISTR 5194 อีกทั้งยังสะดวกต่อการใช้งาน และอะซิติกแอซิดแบคทีเรียที่เหมาะสมในขั้นการผลิตกรดอะซิติก คือ *A. aceti* TISTR 102 ซึ่งจะสามารถผลิตน้ำส้มสายชูได้โดยใช้ระยะเวลาที่สั้น และเมื่อนำน้ำส้มสายชูหมักที่ได้มาทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่ามีคะแนนการยอมรับจากผู้ทดสอบไม่แตกต่างจากการหมักโดยใช้แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกตามธรรมชาติ
2. จากการศึกษาผลของการใส่ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟส (DAP) ในการหมักกรดอะซิติก พบว่าการเติม DAP ในระดับ 0 0.2 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักของน้ำหมัก) ไม่มีผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของกรดอะซิติก และเมื่อนำมาทดสอบด้านประสาทสัมผัส พบว่าการไม่เติม DAP มีความเหมาะสม เพราะการเติมหรือไม่เติม DAP ไม่มีผลต่อคะแนนความเข้มและความชอบสี ความแรงกลิ่นแปลกปลอม และความชอบโดยรวม อีกทั้งยังสะดวกและมีต้นทุนต่ำกว่า
3. จากการศึกษาผลของการทำแห้งวัตถุดิบต่อคุณภาพของน้ำส้มสายชูหมัก พบว่าการใช้ผลมะม่วงหิมพานต์อบแห้งซึ่งนำมาคืนรูปให้มีความชื้นเท่ากับผลสดโดยการเติมน้ำแล้วนำมาผลิตน้ำส้มสายชู ไม่มีผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของกรดอะซิติก และน้ำส้มสายชูหมักที่ได้จะมีสีเข้มกว่า แต่ไม่ทำให้คุณภาพด้านกลิ่นและความชอบโดยรวมต่างจากน้ำส้มสายชูที่หมักจากผลสด

ข้อเสนอแนะ

1. ในขั้นตอนการผลิตกรดอะซิติกควรเลือกใช้ *A. aceti* สายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อให้สามารถผลิตกรดอะซิติกในปริมาณที่สูงยิ่งขึ้นในระยะเวลาสั้น
2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของปริมาณความต้องการสารอาหารของ *A.aceti* TISTR 102 อุณหภูมิ และปริมาณการให้อากาศที่เหมาะสมในการหมักน้ำส้มสายชูจากผลมะม่วงหิมพานต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกรดให้มากยิ่งขึ้น
3. ควรมีการศึกษาเพื่อหาวิธีการอื่น ๆ เพิ่มเติมในการที่จะลดกลิ่นแปลกปลอมที่เกิดขึ้นจากการหมักน้ำส้มสายชูจากผลมะม่วงหิมพานต์ เพื่อให้มีการยอมรับจากผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรวิกา หาญกิตติชัย. 2543. การศึกษาปริมาณแอลกอฮอล์ในไวน์ส้มแขก. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กำเนิด สุภัณวงษ์. 2534. **จุลชีวอุตสาหกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2539. **กระบวนการแปรรูปอาหาร**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ควงศิริ ควงแว่ว และ สุวณีย์ เก็งวิเชียรไชย. 2548. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากฟักเขียวและมะม่วงแก้วในถังหมักที่ให้อากาศอย่างต่อเนื่อง. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.

ทิพาพร อยู่วิทยา. 2534. **การใช้ประโยชน์จากผลมะม่วงหิมพานต์**. วารสาร จสธ. ปีที่ 14 (ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2534) : 1-14.

นพรัตน์ บำรุงรักษ์. 2536. **พืชหลักปักษ์ใต้**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ปิรามิด. 147-154.

นกษร บุญเพ็ชรแก้ว. 2545. การผลิตน้ำส้มสายชูโดยการตรึงเซลล์ในถังหมักทรงสูงที่ให้อากาศอย่างต่อเนื่อง. สัมมนาปริญญาโท. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. **เคมีอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

ประดิษฐ์ ครุวัณณา. 2521. โครงการวิจัยเรื่อง การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกและแกนสับปะรด. รายงานการวิจัยประจำปี : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

พิชัย สราญรมย์. 2535. **รายงานการศึกษาวิจัยเรื่อง พันธุ์มะม่วงหิมพานต์ที่เหมาะสมในดินทรายชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย**. วิทยาลัยรำไพพรรณี : จันทบุรี. 100-107.

ไพบูลย์ ด่านวิรุทัย และ พัฒนา เหล่าไพบูลย์. 2549. **ไวน์ผลไม้และสาโท ผลิตด้วยความมั่นใจได้อย่างไร**. พิมพ์ครั้งที่ 2. ขอนแก่น : โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา.

ไพบูลย์ ด่านวิรุทัย. 2520. **หลักการของเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการหมัก**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2534. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการหมัก**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วราวุฒิ ครูส่ง และ รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2532. **เทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

วลัย หุตะโกวิท และคณะ. 2547. การศึกษาการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากน้ำคั้นเปลือกสับปะรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตโชติเวช.

วิกิพีเดีย. 2551. **มะม่วงหิมพานต์.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://th.wikipedia.org/wiki/มะม่วงหิมพานต์

ศิริชัย สมคะเนย์ และ อำนาจ ภูมิจันทึก. 2544. ขนมถ้วยฟูจากแป้งเผือกสำเร็จรูป. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ศุภมาส ภมรบุตร. 2520. การศึกษาเกี่ยวกับการผลิตน้ำส้มสายชูจากน้ำสับปะรดโดยวิธีการหมักแบบเร็ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต แผนกวิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมใจ ศิริโภค. 2537. **เทคโนโลยีการหมัก.** กรุงเทพฯ : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.

สมใจ ศิริโภค. 2547. **จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.

สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2529. **กรรมวิธีการอบแห้ง.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุคนธ์ชื่น ศรีงาม และคณะ. 2540. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Adams, M.R. and Moss, M.O. 1995. **Food Microbiology**. Cambridge. UK : The Royal Society of Chemistry.

AOAC. 2000. Official Method of Analysis of Association of Official Analytical Chemists. 17th ed. Gaithersburg. Maryland.

Enayde de Almeida Melo and Ana Carla da Silva Caetano. 2006. **Polyphenol, Ascorbic Acid and Total Carotenoid Contents in Common Fruit and Vegetables**. Brazilian Journal of Food Technology 9 (2), 89-94.

Heloisa M. Cecchi and Delia B. Rodriguez-Amaya. 1981. **Carotenoid Composition and Vitamin A Value of Fresh and Pasteurized Cashew-Apple Juice**. Journal of Food Science 46 (1), 147-146.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. อาหาร MY Agar

มีองค์ประกอบดังนี้

กลูโคส (D-Glucose)	5.0	กรัม
เพพโทส (Peptose)	2.5	กรัม
สารสกัดมอลท์ (Malt Extract)	1.5	กรัม
สารสกัดยีสต์ (Yeast Extract)	1.5	กรัม
ผงวุ้น (Agar)	7.5	กรัม
น้ำกลั่น	500.0	กรัม

ละลายส่วนผสมทั้งหมดในน้ำด้วยการให้ความร้อนจน Agar ละลาย แล้วนำไปฆ่าเชื้อที่หม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

2. อาหาร Glucose Yeast Extract Agar (GYEA)

มีองค์ประกอบดังนี้

กลูโคส	100.0	กรัม
สารสกัดยีสต์	10.0	กรัม
แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)	20.0	กรัม
ผงวุ้น	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1000.0	กรัม

ละลายส่วนผสมทั้งหมดในน้ำด้วยการให้ความร้อนจน Agar ละลาย แล้วนำไปฆ่าเชื้อที่หม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

3. อาหาร Glucose Yeast Extract Broth (GYE broth)

มีองค์ประกอบดังนี้

กลูโคส	100.0	กรัม
สารสกัดยีสต์	10.0	กรัม
น้ำกลั่น	1000.0	กรัม

ละลายส่วนผสมลงในน้ำให้เข้ากัน แล้วนำไปฆ่าเชื้อที่หม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
การปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำผลไม้

การปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำมะม่วงหิมพานต์ โดยการคำนวณตามหลักการของ Pearson's Square (ไพบูลย์ ค่านวิรุทัย และ พัฒนา เหล่าไพบูลย์, 2549)

1. เขียนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่ต้องการไว้ตรงกลาง เช่น ต้องการให้น้ำผลไม้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เริ่มต้น 20 องศาบริกซ์ ให้เขียนเลข 20 ไว้ตรงกลาง (รูปผนวกที่ ข.1)

2. เขียนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่จะใช้ไว้มุมซ้ายมือด้านบน เช่น ถ้าเป็นน้ำตาลทราย ให้เขียนเป็นน้ำตาลทราย 100 (คือ มีน้ำตาล 100 เปอร์เซ็นต์) หรือถ้าใช้น้ำเชื่อม 50 องศาบริกซ์ ให้เขียนเป็นน้ำเชื่อม 50

3. เขียนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำผลไม้ก่อนปรับระดับไว้มุมซ้ายด้านล่าง

4. นำตัวเลขจากมุมซ้ายบนลบจากตัวเลขตรงกลาง แล้วนำไปเขียนไว้ทางมุมขวาล่าง และตัวเลขจากมุมซ้ายล่างลบจากตัวเลขตรงกลางในแนวทแยงมุม และนำไปเขียนไว้ทางมุมขวาบน

ตัวอย่าง ต้องการคำนวณปริมาณน้ำตาลทรายที่ต้องเติมลงในน้ำผลไม้จำนวน 5 กิโลกรัม ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 8 องศาบริกซ์ เพื่อปรับเพิ่มเป็น 20 องศาบริกซ์ ทำได้ดังนี้

รูปผนวกที่ ข.1 การคำนวณตามหลักการของ Pearson's Square

ตัวเลขที่ได้ทางด้านขวาบนและล่าง หมายถึงสัดส่วนของน้ำตาลทรายต่อน้ำผลไม้ที่ใช้ ซึ่งหมายถึงต้องเติมน้ำตาลทราย 12 กิโลกรัม ลงในน้ำผลไม้ 80 กิโลกรัม จึงจะทำให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นจาก 8 องศาบริกซ์ เป็น 20 องศาบริกซ์ และได้ของผสมรวม 12+80 = 92 กิโลกรัม แต่ในความเป็นจริงมีน้ำผลไม้เพียง 5 กิโลกรัม ให้นำอัตราส่วนนี้มาใช้คำนวณ โดยใช้บัญญัติไตรยางศ์ ดังนี้

น้ำผลไม้ 80 กิโลกรัมต้องเติมน้ำตาลทรายลงไป = 12 กิโลกรัม

ถ้ามีน้ำผลไม้ 5 กิโลกรัมต้องเติมน้ำตาลทราย = $\frac{12 \times 5}{80}$ = 0.75 กิโลกรัม

ดังนั้นจะต้องเติมน้ำตาลทรายจำนวน 0.75 กิโลกรัม ลงไปในน้ำผลไม้ 5 กิโลกรัม และได้ของผสมรวม (น้ำผลไม้ + น้ำตาลทราย) เท่ากับ 5+0.75 = 5.75 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ทางเคมี

1. การวิธีวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์โดยวิธี Ebulliometric Analysis

วิธีการ

1.1 <u>การหาจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์</u>

1.1.1 ตวงน้ำกลั่นบริสุทธิ์ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Boiling Chamber (A) ดังรูปผนวกที่ ค.1

1.1.2 ใส่เทอร์โมมิเตอร์ (C) ให้ปลายอยู่เหนือน้ำใน Boiling Chamber

1.1.3 ต้มจนกระทั่งเดือดด้วยตะเกียงแอลกอฮอล์ (B) เมื่อถึงจุดเดือดอุณหภูมิจะคงที่ประมาณ 15-30 วินาที อ่านอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์จากเทอร์โมมิเตอร์

1.1.4 จากจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์ที่อ่านได้ในข้อ 1.1.3 นำค่าที่ได้ไปตั้งในแผ่นอ่านเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ โดยตั้งจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์ที่อ่านได้ (ดูสเกลด้านใน) ให้ตรงกับแอลกอฮอล์ 0.0 เปอร์เซ็นต์ (ดูสเกลด้านนอก) หรือตำแหน่งที่มีเครื่องหมาย ♂ ดังรูปผนวกที่ ค.2

1.2 <u>การหาจุดเดือดของสารตัวอย่าง</u>

1.2.1 ตวงสารตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Boiling Chamber

1.2.2 เติมน้ำเย็นลงในส่วนควบแน่น (D)

1.2.3 ใส่เทอร์โมมิเตอร์ให้อยู่ในระดับเดียวกับข้อ 1.1.2

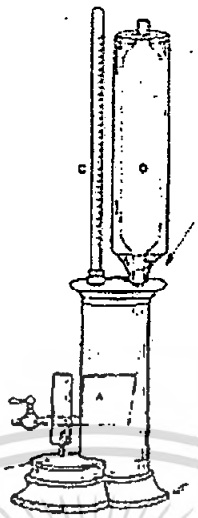
1.2.4 ต้มจนกระทั่งเดือดด้วยตะเกียงแอลกอฮอล์ และอ่านจุดเดือดของสารตัวอย่างแบบเดียวกับข้อ 1.1.3

1.2.5 อ่านเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ของสารตัวอย่าง (ดูสเกลด้านนอก) ซึ่งอยู่ตรงกับจุดเดือดของสารตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1.2.4 (ดูสเกลด้านใน) จากแผ่นอ่านเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ที่ตั้งค่าจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์ไว้แล้ว

หมายเหตุ

1. ควรล้างทำความสะอาดเครื่องมือทุกครั้งที่เปลี่ยนสารตัวอย่าง
2. ในส่วนของ Boiling Chamber ถ้ามีคราบของสารตัวอย่างติดอยู่ให้ล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ (1% NaOH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปผนวกที่ ค.1 ลักษณะของเครื่อง Ebulliometer ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญคือ Boiling Chamber (A), ตะเกียงแอลกอฮอล์ (B), เทอร์โมมิเตอร์ (C) และส่วนควบแน่น (D)

ที่มา : ไพบูลย์ ด่านวิรุทัย และ พัฒนา เหล่าไพบูลย์ (2549)

รูปผนวกที่ ค.2 แผ่นอ่านเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์

ที่มา : ไพบูลย์ ด่านวิรุทัย และ พัฒนา เหล่าไพบูลย์ (2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะซิติกโดยวิธีการไตเตรท (ดัดแปลงจาก AOAC, 2000)

2.1 สารเคมี

2.1.1 น้ำกลั่นปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์โดยเตรียมได้จากการต้มน้ำกลั่นเดือด 20 นาที

2.1.2 สารละลายมาตรฐาน 0.1 นอร์มัลโซเดียมไฮดรอกไซด์ เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตร เก็บไว้ในขวดแก้ว ก่อนใช้ควรนำมาหาความเข้มข้นมาตรฐาน

2.1.3 สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ชั่ง 1 กรัม ละลายในแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร

2.2 วิธีวิเคราะห์

นำตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร เจือจางในกลั่นปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ 20 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด แล้วไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐาน 0.1 นอร์มัลโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนกระทั่งถึงจุดยุติสีชมพู คำนวณเป็นปริมาณกรดอะซิติก ตามสูตร

$$\text{ปริมาณกรดอะซิติก (กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร)} = \frac{N \times V \times 60.1 \times 100}{1000 \times 1}$$

กำหนดให้ N = ความเข้มข้นมาตรฐาน 0.1 นอร์มัลโซเดียมไฮดรอกไซด์

V = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐาน 0.1 นอร์มัลโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลวิเคราะห์ทางสถิติ

ตาราง ง1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าอัตราการลดลงสูงสุดของปริมาณของแข็งที่ละลายได้เมื่อสภาวะการหมักต่างกัน (ดูตาราง 4.2)

sv	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	19.296	2	9.648	9.834	.013*
Replication	5.887	6	.981		
Total	25.182	8			

*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตาราง ง2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณแอลกอฮอล์เมื่อสภาวะการหมักต่างกัน (ดูตาราง 4.2)

sv	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	10.870	2	5.435	12.138	.008*
Replication	2.686	6	.448		
Total	13.556	8			

*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตาราง ง3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดอะซิติกเมื่อสภาวะการหมักต่างกัน (ดูตาราง 4.4)

sv	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	.154	5	.031	40.085	.000*
Replication	.005	6	.001		
Total	.159	11			

*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มสีของน้ำส้มสายชูเมื่อสภาวะการหมักต่างกัน (ดูตาราง 4.5)

sv	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	22.699	5	4.540	24.240	.000*
Block	17.478	19	.920	4.912	.000
Error	17.792	95	.187		
Total	57.970	119			

*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตาราง ง5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบสีของน้ำส้มสายชูเมื่อสภาวะการหมักต่างกัน (ดูตาราง 4.5)

sv	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	8.392	5	1.678	3.715	.004*
Block	6.942	19	.365	.809	.692
Error	42.918	95	.452		
Total	58.252	119			

*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตาราง ง6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความแรงกลิ่นแปลกปลอมของน้ำส้มสายชูเมื่อสภาวะการหมักต่างกัน (ดูตาราง 4.5)

sv	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	2.060	5	.412	.939	.460
Block	11.348	19	.597	1.361	.166
Error	41.685	95	.439		
Total	55.093	119			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของน้ำส้มสายชูเมื่อสภาวะการหมักต่างกัน (ดูตาราง 4.5)

sv	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	5.918	5	1.184	1.725	.136
Block	19.027	19	1.001	1.460	.119
Error	65.172	95	.686		
Total	90.117	119			

ตาราง ง8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดอะซิติกในน้ำหมักเมื่อเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน (ดูตาราง 4.7)

sv	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	.001	2	.000	.159	.857
Replication	.013	6	.002		
Total	.014	8			

ตาราง ง9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มสีของน้ำส้มสายชูเมื่อเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน (ดูตาราง 4.8)

sv	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	.517	2	.259	1.303	.284
Block	12.943	19	.681	3.432	.001
Error	7.543	38	.198		
Total	21.003	59			

ตาราง ง10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบสีของน้ำส้มสายชูเมื่อเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน (ดูตาราง 4.8)

sv	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	1.644	2	.822	1.251	.298
Block	15.327	19	.807	1.227	.287
Error	24.976	38	.657		
Total	41.947	59			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความแรงกลิ่นแปลกปลอมของน้ำส้มสายชูเมื่อเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน (ดูตาราง 4.8)

sv	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	.291	2	.145	2.270	.117
Block	38.959	19	2.050	31.991	.000
Error	2.436	38	.064		
Total	41.686	59			

ตาราง ง12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของน้ำส้มสายชูเมื่อเติม DAP ในระดับที่ต่างกัน (ดูตาราง 4.8)

sv	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	1.117	2	.559	1.062	.356
Block	33.343	19	1.755	3.338	.001
Error	19.976	38	.526		
Total	54.437	59			

ตาราง ง13 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของปริมาณกรดอะซิติกในน้ำหมักเมื่อใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกันผลิตน้ำส้มสายชู (ดูตาราง 4.10)

sv	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	.000	1	.000	.005	.945
Replication	.005	6	.001		
Total	.005	7			

ตาราง ง14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มสีของน้ำส้มสายชูเมื่อใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกันผลิตน้ำส้มสายชู (ดูตาราง 4.11)

sv	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	1.225	1	1.225	5.588	.029*
Block	5.830	19	.307	1.400	.235
Error	4.165	19	.219		
Total	11.220	39			

*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบสีของน้ำส้มสายชูเมื่อใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกันผลิตน้ำส้มสายชู (ดูตาราง 4.11)

sv	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	10.712	1	10.712	22.533	.000*
Block	7.189	19	.378	.796	.688
Error	9.033	19	.475		
Total	26.934	39			

*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตาราง ง16 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความแรงกลิ่นแปลกปลอมเมื่อใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกันผลิตน้ำส้มสายชู (ดูตาราง 4.11)

sv	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	1.332	1	1.332	3.672	.070
Block	35.203	19	1.853	5.107	.000
Error	6.893	19	.363		
Total	43.428	39			

ตาราง ง17 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมเมื่อใช้วัตถุดิบในลักษณะที่ต่างกันผลิตน้ำส้มสายชู (ดูตาราง 4.11)

sv	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	.484	1	.484	.558	.464
Block	16.246	19	.855	.985	.513
Error	16.486	19	.868		
Total	33.216	39			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ชื่อ.....**วันที่**.....

ผลิตภัณฑ์ : น้ำส้มสายชูหมักจากผลมะม่วงหิมพานต์

คำชี้แจง : กรุณาทดสอบตัวอย่าง และขีดเครื่องหมายเส้นตรง (|) ลงบนเส้นของแต่ละปัจจัยตามที่ท่านรู้สึก

ความเข้มสี

อ่อนมาก อ่อน ปานกลาง เข้ม เข้มมาก

ความชอบสี

ไม่ชอบมาก ไม่ชอบเล็กน้อย เฉย ๆ ชอบ ชอบมาก

ความแรงกลิ่น (แปลกปลอม)

ไม่มีกลิ่น มีกลิ่นเล็กน้อย ปานกลาง กลิ่นแรง กลิ่นแรงมาก

ความชอบโดยรวม

ไม่ชอบมาก ไม่ชอบเล็กน้อย เฉย ๆ ชอบ ชอบมาก

ข้อเสนอแนะ.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้