

รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การศึกษาและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง
สารประกอบไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิรอลในน้ำหมักชีวภาพ

Study and Analysis on the Variation of
Hydroxymethylfurfural
in Fermented Beverage Juices

โดย

รศ.ดร. พรพิมล ม่วงไทย

รศ.ดร. ยงยุทธ ตัณฑุลเวส

อ. วราดุล ฉัตรทอง

บทคัดย่อ

น้ำหมักชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการหมัก ผัก ผลไม้ น้ำตาล และเติมเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อให้เกิดกระบวนการหมัก ปัจจุบันจัดเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีความนิยมมาก ในงานวิจัยนี้ จึงทำการตรวจหาปริมาณสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล –เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารสำคัญชนิดหนึ่งที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ปฏิกิริยานี้มีผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดมีสีดำคล้ำขึ้นหรือ อาจเกิดสารพิษได้ในอาหาร ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์และศึกษาหาปริมาณสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล –เฟอร์พิวราลดีไฮด์ในน้ำลูกขอมหมัก 7 สูตร และน้ำมะเขือหมัก 6 สูตร และศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล –เฟอร์พิวราลดีไฮด์ในน้ำลูกขอมหมักที่เก็บในที่เย็นเป็นระยะเวลา ตั้งแต่ 0 – 180 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พร้อมกันนี้ได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงค่า pH และค่าความหวานของน้ำหมักแต่ละสูตรด้วย นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาผลการเก็บน้ำมะเขือหมักที่อุณหภูมิห้องเปรียบเทียบกับ การเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยผลการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล –เฟอร์พิวราลดีไฮด์ เปรียบเทียบกัน ในน้ำลูกขอมหมักแต่ละสูตรในตอนแรกของการหมัก ไม่สามารถตรวจพบสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล –เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในน้ำลูกขอมหมักทุกสูตร ค่า pH และค่าความหวานของน้ำหมักแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันในตอนแรกของการหมักเช่นกัน แต่เมื่อเก็บน้ำลูกขอมหมักไว้ที่อุณหภูมิเย็น 4 องศาเซลเซียส ค่า pH และความหวานมีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล –เฟอร์พิวราลดีไฮด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บน้ำลูกขอมหมัก โดยมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการเก็บแบบโพโลโนเมียล โดยมีค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจตั้งแต่ 0.70 – 0.82 แต่ปริมาณที่ตรวจพบมีปริมาณต่ำ สำหรับผลการศึกษาหาปริมาณสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล –เฟอร์พิวราลดีไฮด์ในน้ำมะเขือที่เก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิห้องและที่เย็น 4 องศาเซลเซียส พบว่า ในน้ำมะเขือหมักสูตรที่ 3 ตรวจพบปริมาณ สาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล –เฟอร์พิวราลดีไฮด์ มากที่สุดเมื่อเก็บเป็นเวลานาน 30 วัน เมื่อเก็บทั้งสองสภาวะ โดยมีปริมาณ 2.350 ± 0.156 และ 0.358 ± 0.006 ไมโครโมล/ลิตร ตามลำดับ และพบว่า ปริมาณ สาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล –เฟอร์พิวราลดีไฮด์ มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการเก็บทั้งสองสภาวะ โดยรูปแบบความสัมพันธ์เป็นแบบโพโลโนเมียล ที่มีค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 1 ในการวิจัยนี้พบว่า น้ำมะเขือหมักมีโอกาสตรวจพบสาร สาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล –เฟอร์พิวราลดีไฮด์ มากกว่าน้ำลูกขอมหมัก ซึ่งผลการตรวจสอบหาประสิทธิภาพการทดลองครั้งนี้มีค่า ร้อยละการกลับคืน สูง ประมาณ 98 % และวิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบนี้สามารถตรวจหาสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล –เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ได้ต่ำสุด ถึง 0.0299 ppm.

ABSTRACT

Fermented Beverage Juices are products from fermentation of vegetables fruits, sugar with addition of microorganisms to generate fermentation process. Now this product is very popular. In this research, 5-hydroxymethyl-2-furfuraldehyde was analysed in the fermented products of noni and makieang fruits. Because 5-hydroxymethyl-2-furfuraldehyde is one of an important product from Maillard reaction. Maillard reaction make the darkness or browning colour in many food products and may formed toxicity in food. The 5-hydroxymethyl-2-furfuraldehyde was studied and analysed in 7 formulars of noni fermented juices and 6 formulars of makieang fermented juices and studied the changing of its content in noni fermented juices which stored at 4 °C for 0 – 180 days. In the experiment, pH and sweetness of those fermented juices were also measured too. From now on, the comparision study of storage condition of makieang fermented juices at room temperature and 4 °C was also studied. The results from analysis of noni fermented juices were revealed that 5-hydroxymethyl-2-furfuraldehyde could not detected in initial fermented juices. The pH value and sweetness in all juices were not significant correlated with storage time but 5-hydroxymethyl-2-furfuraldehyde trend to depend on time. The correlation between 5-hydroxymethyl-2-furfuraldehyde with time was polynomial function with R^2 0.70 -0.82. However, the content of 5-hydroxymethyl-2-furfuraldehyde were also too low. From the study of storage conditions at room temperature and 4 °C of makieang fermented juices were shown that makieang fermented juice formular 3 contained the highest content of 5-hydroxymethyl-2-furfuraldehyde at both conditions with the value of 2.350 ± 0.156 and 0.358 ± 0.006 micromole/liter respectively. Then, the content of 5-hydroxymethyl-2-furfuraldehyde also related with storage time at both condition with polynomial function and R^2 was 1.00. In this work also indicates that 5-hydroxymethyl-2-furfuraldehyde occurred in makieang fermented juice easier than in noni fermented juice. The result from efficiency test for percent recovery of 5-hydroxymethyl-2-furfuraldehyde was about 98 % and the method using in this work showed limit of detection at 0.0299 ppm.

กฤษฎีกา

คณะนักวิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่ได้สนับสนุนเงินทุนจากงบประมาณรายได้ประจำปี พศ.2547 ให้แก่คณะผู้วิจัยในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ คณะนักวิจัยต้องขอขอบคุณ รศ. ดร.ไชยวัฒน์ ไชยสุต แห่งคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งเป็นผู้ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการดำเนินการส่งตัวอย่างน้ำหมักชีวภาพทั้งหมดที่ได้นำมาใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณภาควิชาเคมีที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และสนับสนุนบุคลากรของภาคในการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการเคมีต่างๆ ตลอดจนขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ของภาควิชาทุกคนที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทดลอง

รศ. ดร. พรพิมล ม่วงไทย

รศ. ดร. ยงยุทธ ตันจุลเวช

อ. วราดุล ฉัตรทอง

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
ลูกขอม	3
มะเกี๋ยง	8
ปฏิกิริยาเมตลาร์ด	12
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเมตลาร์ด	18
โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง	20
รีเฟลคโทเมตรี	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	24
สารเคมีและสารตัวอย่าง	24
เครื่องมือและอุปกรณ์สำคัญ	25
วิธีดำเนินการทดลอง	25
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	30
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	55
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก	63
ภาคผนวก ก	63
ภาคผนวก ข	67
ภาคผนวก ค	81
ประวัตินักวิจัย	84

บัญชีตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบพื้นฐานที่พบในผลมะเขี๋ยง	10
ตารางที่ 2.2	ปริมาณของวิตามินในผลมะเขี๋ยง	10
ตารางที่ 2.3	ปริมาณของกรดอะมิโนในผลมะเขี๋ยง	11
ตารางที่ 4.1	แสดงค่าความเป็นกรด เบส ความหวาน และ ปริมาณ	30
	สาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอร์ฟิวราลดีไฮด์ ในน้ำลูกขอมหมัก	
ตารางที่ 4.2	แสดงค่า pH และค่าความหวานของน้ำลูกขอมหมักสูตรที่ 1	33
	ที่ระยะเวลาต่างๆ	
ตารางที่ 4.3	แสดงค่า pH และค่าความหวานของน้ำลูกขอมหมักสูตรที่ 2	33
	ที่ระยะเวลาต่างๆ	
ตารางที่ 4.4	แสดงค่า pH และค่าความหวานของน้ำลูกขอมหมักสูตรที่ 3	34
	ที่ระยะเวลาต่างๆ	
ตารางที่ 4.5	แสดงค่า pH และค่าความหวานของน้ำลูกขอมหมักสูตรที่ 4	34
	ที่ระยะเวลาต่างๆ	
ตารางที่ 4.6	แสดงค่า pH และค่าความหวานของน้ำลูกขอมหมักสูตรที่ 5	35
	ที่ระยะเวลาต่างๆ	
ตารางที่ 4.7	แสดงค่า pH และค่าความหวานของน้ำลูกขอมหมักสูตรที่ 6	35
	ที่ระยะเวลาต่างๆ	
ตารางที่ 4.8	แสดงค่า pH และค่าความหวานของน้ำลูกขอมหมักสูตรที่ 7	36
	ที่ระยะเวลาต่างๆ	
ตารางที่ 4.9	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล- 2- เฟอร์ฟิวราลดีไฮด์ ในน้ำลูกขอมหมัก ที่เก็บที่อุณหภูมิห้องตั้งแต่ 0 – 180 วัน	38
ตารางที่ 4.10	น้ำมะเขี๋ยงหมักระยะเวลาการจัดเก็บ 0 วัน ณ อุณหภูมิห้อง	42
ตารางที่ 4.11	น้ำมะเขี๋ยงหมักที่มีระยะเวลาการจัดเก็บ 0 วัน ณ อุณหภูมิ 4 °C	43
ตารางที่ 4.12	น้ำมะเขี๋ยงหมักที่มีระยะเวลาการจัดเก็บ 15 วัน ณ อุณหภูมิห้อง	43
ตารางที่ 4.13	น้ำมะเขี๋ยงหมักที่มีระยะเวลาการจัดเก็บ 15 วัน ณ อุณหภูมิ 4 °C	43
ตารางที่ 4.14	น้ำมะเขี๋ยงหมักที่มีระยะเวลาการจัดเก็บ 30 วัน ณ อุณหภูมิห้อง	44
ตารางที่ 4.15	น้ำมะเขี๋ยงหมักที่มีระยะเวลาการจัดเก็บ 30 วัน ณ อุณหภูมิ 4 °C	44

ตารางที่ 4.16	ปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในน้ำมะเขี๋ยงที่เริ่มต้นเก็บไว้ที่ อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส	48
ตารางที่ 4.17	ปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ใน น้ำมะเขี๋ยงที่เก็บไว้เป็นเวลา 15 วันที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส	48
ตารางที่ 4.18	ปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ใน น้ำมะเขี๋ยงที่เก็บไว้เป็นเวลา 30 วันที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส	49
ตารางที่ 4.19	ผลการวิเคราะห์หาร้อยละการกลับคืน (percent recovery)	53
<u>ตารางภาคผนวก</u>		
ตารางที่ ข.1	แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด - เบส และ ค่าความหวาน ของน้ำ ลูกยอ หมัก 0 วัน	67
ตารางที่ ข.3	แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด - เบส และค่าความหวาน ของน้ำ ลูกยอ หมักนาน 30 วัน	68
ตารางที่ ข.4	แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด - เบส และค่าความหวาน ของน้ำ ลูกยอ หมักนาน 60 วัน	69
ตารางที่ ข.5	แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด - เบส และค่าความหวาน ของน้ำ ลูกยอ หมักนาน 90 วัน	70
ตารางที่ ข.6	แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด - เบส และค่าความหวาน ของน้ำ ลูกยอ หมักนาน 120 วัน	71
ตารางที่ ข.7	แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด - เบส และค่าความหวาน ของน้ำ ลูกยอ หมักนาน 150 วัน	72
ตารางที่ ข.8	แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด - เบส และค่าความหวาน ของน้ำ ลูกยอ หมักนาน 180 วัน	73
ตารางที่ ข.9	แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด - เบสและค่า ความหวาน ของน้ำ มะเขี๋ยงหมัก ที่ 0 วัน เก็บที่ 4 องศาเซลเซียส	74
ตารางที่ ข.10	แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด - เบสและค่า ความหวาน ของน้ำ มะเขี๋ยงหมัก ที่ 0 วัน เก็บที่อุณหภูมิห้อง	75

	ม
ตารางที่ ข.11 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด – เบสและค่าความหวาน ของ น้ำ มะเขี๋ยงหมัก ที่ 15 วัน เก็บที่ 4 องศาเซลเซียส	76
ตารางที่ ข.12 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด – เบสและค่า ความหวาน ของน้ำ มะเขี๋ยงหมัก ที่ 15 วัน เก็บที่อุณหภูมิห้อง	77
ตารางที่ ข.13 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด – เบสและค่าความหวาน ของ น้ำ มะเขี๋ยงหมัก ที่ 30 วัน เก็บที่ 4 องศาเซลเซียส	78
ตารางที่ ข.14 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด – เบสและค่า ความหวาน ของน้ำ มะเขี๋ยงหมัก ที่ 30 วัน เก็บที่อุณหภูมิห้อง	79



บัญชีภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ผลลูกขอสุก	4
รูปที่ 2.2 แสดงการรวมตัวของ โปรเซอรโรนิน กับ เอนไซม์โปรซีโรเนส	5
รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้าง 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์	13
รูปที่ 2.4 ขั้นตอนแรกในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด	14
รูปที่ 2.5 การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ชั้นกลาง	15
รูปที่ 2.6 สารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดชั้นกลาง	16
รูปที่ 2.7 แสดง รีแฟรคโทมิเตอร์ชนิด hand-held	23
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับสูตรน้ำลูกขอมักแต่ละสูตร	31
รูปที่ 4.2 แสดงค่าความหวานในน้ำลูกขอมักแต่ละสูตร	32
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลง pH กับระยะเวลา การหมักของน้ำลูกขอสสูตร 1-7	37
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหวาน กับระยะเวลา การหมักของน้ำลูกขอมักสูตร	37
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล -2- เฟอร์พิวราลดีไฮด์ในน้ำลูกขอมักกับระยะเวลาการเก็บ	40
รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำมะเขือเทศทั้ง 6 สูตร ที่เก็บไว้ในอุณหภูมิห้องและ ที่ 4 °C ระยะเวลา 0 วัน	45
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำมะเขือเทศทั้ง 6 สูตร ที่เก็บไว้ในที่ อุณหภูมิห้องและ ที่ 4 °C ระยะเวลา 15 วัน	45
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำมะเขือเทศทั้ง 6 สูตร ที่เก็บไว้ในที่ อุณหภูมิห้องและที่ 4 °C ระยะเวลา 30 วัน	46
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำมะเขือเทศทั้ง 6 สูตร ที่เก็บไว้ในที่ อุณหภูมิห้องและที่ 4 °C ที่ระยะเวลา 0 15 และ 30 วัน	46
รูปที่ 4.10 แสดงค่าความหวานของน้ำมะเขือเทศสูตรต่างๆที่เก็บไว้ที่ระยะ เวลา 0 15 และ 30 วัน ในสภาวะอุณหภูมิห้องและที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	47
รูปที่ 4.11 แสดงปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในน้ำหมัก แต่ละสูตรที่เก็บที่อุณหภูมิห้องและ ที่ 4 องศาเซลเซียส	50

รูปที่ 4.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอร์พิวราลดีไฮด์ในน้ำมะเงี๋ยงหมัก กับระยะเวลาการเก็บ โดยเก็บที่อุณหภูมิห้อง	51
รูปที่ 4.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอร์พิวราลดีไฮด์ในน้ำมะเงี๋ยงหมัก กับระยะเวลาการเก็บ โดยเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	52
รูปที่ 4.14	กราฟมาตรฐานในการคำนวณหาค่า LOD	54

รูปภาคผนวก

รูปที่ ก. 1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ย peak area ของสารละลายมาตรฐาน กับความเข้มข้น	63
รูปที่ ก.2	ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน 5-ไฮดรอกซีเมทิล -2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์เข้มข้น 1 ppm	64
รูปที่ ก. 3	ตัวอย่างโครมาโทแกรมของน้ำลูกยอหมัก 120 วัน สูตร 7	64
รูปที่ ก.4	ตัวอย่างโครมาโทแกรมน้ำมะเงี๋ยงหมัก สูตร 1 ระยะเวลาการเก็บ 15 วัน ที่อุณหภูมิห้อง	65
รูปที่ ค.1	น้ำลูกยอหมัก 60 วัน สูตร 1 (ก่อนผ่านการเตรียมตัวอย่าง)	81
รูปที่ ค.2	น้ำลูกยอหมัก 60 วัน สูตร 2 (ก่อนผ่านการเตรียมตัวอย่าง)	81
รูปที่ ค.3	น้ำลูกยอหมัก 60 วัน (หลังผ่านการเตรียมตัวอย่าง)	82
รูปที่ ค.4	น้ำมะเงี๋ยงหมัก 60 วัน สูตร 1 (ก่อนผ่านการเตรียมตัวอย่าง)	82
รูปที่ ค.5	น้ำมะเงี๋ยงหมัก 60 วัน (หลังผ่านการเตรียมตัวอย่าง)	83

บทที่ 1

บทนำ

สมัยก่อน มนุษย์รู้จักใช้เทคโนโลยีในการถนอมและแปรรูปอาหารในขั้นตอนง่าย ๆ เช่น การทำเป็นอาหารแห้ง การทำเป็นอาหารหมักดอง เป็นต้น ในยุคต่อมาจึงได้พัฒนาวิธีการใช้และมีการแปรรูปด้วยเทคโนโลยีสูงขึ้น กระบวนการหมักได้ถูกนำมาช่วยในการผลิตอาหารในรูปต่างๆหลายชนิด เช่น การผลิตเต้าเจี้ยว น้ำปลาและขนมจีน โยเกิร์ต เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีเครื่องดื่มที่ได้จากการหมักผลไม้หรือข้าว ปัจจุบันจะเห็นว่ามีการนำพืชพื้นบ้าน ตลอดจนสมุนไพรต่างๆมากำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เช่น ใช้เป็นรักษาโรคต่างๆ และ การนำมาผลิตเป็นอาหารช่วยเสริมสุขภาพ นอกจากนี้จะสร้างผลดีต่อชุมชน ทั้งในด้านเศรษฐกิจ และ การต่อยอดภูมิปัญญาเดิม อีกทั้งยังเป็นทางเลือกที่ประหยัดและมีศักยภาพอย่างยิ่ง สำหรับผู้บริโภคในยุคปัจจุบัน น้ำหมักชีวภาพผลิตภัณฑ์หนึ่งที่นำเทคโนโลยีการหมักมาใช้ น้ำหมักชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการหมักผลไม้ น้ำตาล⁽⁵⁾ ในสถานะที่มีจุลินทรีย์ผลิตกรด หรือจุลินทรีย์กลุ่มโปรไบโอติก (probiotic bacteria) ในต่างประเทศมีการนำน้ำหมักมาใช้ครั้งแรกในปี พ.ศ.2508 แต่มีรายงานการนำมาใช้ในประเทศไทย ประมาณ พ.ศ.2525 แม้ว่าในปัจจุบันยังไม่มีขอมติหรืออนุมัติโดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาอย่างเป็นทางการก็ตาม เนื่องจากในน้ำหมักชีวภาพทั่วไปมีสารอาหารหลายชนิดที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จึงอาจมีการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์โดยอาจมาจากผิวของพืชเอง จากอากาศ น้ำ และ กระบวนการผลิต⁽¹⁶⁾ จุลินทรีย์เหล่านี้มีบทบาทสำคัญทั้งด้านที่ก่อให้เกิดโทษ เช่น อาหารเน่าเสีย อาหารเป็นพิษ^(14,7) ตามปกติแล้วน้ำหมักชีวภาพที่ผ่านกระบวนการหมักจะเป็นของเหลวน้ำตาล ผลจากการตรวจสอบน้ำหมักชีวภาพที่ผ่านการหมักที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบว่ามีจุลินทรีย์มากมาย นอกจากนี้ยังพบเอนไซม์ในผักผลไม้ที่ช่วยในกระบวนการหมัก คือ เพคติน เมทิลเอสเทอร์เรส (pectin methylesterase)⁽⁵⁾ ทำให้ผลการย่อยเพคตินในผลไม้ ผัก เกิดเป็น เมทานอล สำหรับน้ำหมักชีวภาพที่นิยมบริโภคขณะนี้ คือน้ำหมักชีวภาพจากลูกข่อย ซึ่งเป็นสมุนไพรจากผักผลไม้พื้นบ้านประเภทหนึ่งที่มีการจำหน่ายมาก น้ำลูกข่อยที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไปนั้นมีอยู่มากมาย ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบของผลิตภัณฑ์ชุมชน หรือธุรกิจทั่วไป แต่จากกระแสความนิยมนี้ พบว่า ผลิตภัณฑ์มีการโฆษณาสรรพคุณไว้มาก โดยบางครั้งพบว่าการอ้างสรรพคุณทางยาว่า สามารถรักษาโรคต่างๆ ได้ บางกระแสเสนอให้เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารเสริม

ในระยะเวลา 2-3 ปีที่ผ่านมา ทางคณะกรรมการอาหารและยาได้เตือนผู้บริโภคให้มีความสนใจและตระหนักถึงผลิตภัณฑ์น้ำลูกข่อย ที่อาจมีการโฆษณาเกินจริงบ้าง ทั้งนี้ยังไม่มีรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำลูกข่อยที่ชัดเจน ไชยวัฒน์ และ คณะ(2547)ได้เริ่มรวบรวมนักวิเคราะห์วิจัย

ระดมการวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อประเมินคุณภาพน้ำหมักที่ผลิตจากกากข่อย ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการวิจัยศึกษาความเป็นกรด สารประเภทแอลกอฮอล์ต่างๆ กลิ่น รส ตลอดจนกรรมวิธีที่ควรจะนำไปใช้ในการหมักเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีในระดับชาวบ้าน

สำหรับการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาเกี่ยวกับสารนี้ ในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะตรวจหาปริมาณ 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในน้ำหมักที่ผลิตจากกากข่อยและมะเขี๋ยงสูตรต่างๆ ตลอดจน ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ 5 -ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพ



บทที่ 2

บทตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำหมักชีวภาพ หมายถึง น้ำที่ได้จากการหมักคองพืช ผัก หรือผลไม้ ด้วยน้ำตาลโดยใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ สารละลายที่ได้ อาจจะมีสีน้ำตาลเข้มถ้าใช้กากน้ำตาลเป็นตัวหมัก แต่จะมีสีน้ำตาลอ่อนเมื่อใช้น้ำตาลชนิดอื่นเป็นตัวหมัก น้ำหมักที่ได้ประกอบด้วยจุลินทรีย์และสารอินทรีย์หลากหลายชนิด⁽¹⁶⁾ โดยจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะเป็นพวกยีสต์ แบคทีเรีย ซึ่งสร้างกรดแลคติก(lactic acid)⁽¹⁵⁾ ถ้าแบ่งน้ำหมักชีวภาพแบ่งตามการใช้งานอาจแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้อุปโภค ได้แก่ น้ำยาซักผ้า น้ำยาล้างจาน สบู่ น้ำ แชมพูสระผม น้ำยาล้างรถ น้ำยาดับกลิ่นบูยน้ำ แก้วส้วน้ำ น้ำยาบ้วนปาก เป็นต้น และประเภทที่ใช้บริโภค ได้แก่ น้ำหมักชีวภาพ สมุนไพรหมักใช้เป็นยา

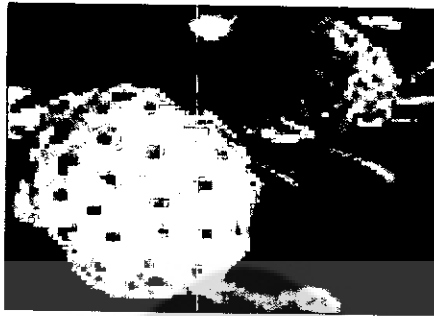
น้ำหมักชีวภาพเกิดจากการหมักผลไม้ชนิดต่างๆ โดยมีน้ำตาลในผลไม้หรือบางกรณีมีการใส่น้ำผึ้งเพื่อเป็นอาหารแก่จุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก ซึ่งพบว่าในน้ำหมักชีวภาพมีองค์ประกอบต่างๆ มากมาย ได้แก่องค์ประกอบเป็นสาร โปรตีน วิตามินเอ, บี, ซี, ดี, อี, เค, กรดอะมิโน(amino acid) และอะเซทิลโคเอ (acetyl Co A) ขบวนการหมักที่เกิดขึ้นในช่วงต้นจะได้สารผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์ และเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่อไปกลายเป็นกรด เมื่อถึงระยะเวลาต่อไปกระบวนการหมักจะเปลี่ยนแปลงเกิดเป็นสารสีน้ำตาลเข้มมีรสขม ในการหมักให้เป็นน้ำหมักชีวภาพ ซึ่งใช้เวลาหมักขยายประมาณ 2 ปี กรณีจะนำไปดื่มกินควรผ่านการหมักขยายเป็นเวลา 6 ปีขึ้นไป⁽¹⁾

ปัญหาของน้ำหมักชีวภาพ ส่วนใหญ่จะเป็นเรื่องการนำไปดื่มกิน เมื่อได้น้ำหมักชีวภาพ ในขั้นต้น (ภายใน 12 เดือน) แล้ว นำไปบริโภค อาจจะช่วยให้ระบบย่อยและขับถ่ายดีขึ้น⁽¹⁶⁾ แต่น้ำหมักชีวภาพ ในช่วงนี้มีสภาพเป็น แอลกอฮอล์ อยู่มาก (คล้ายไวน์) สังเกตได้โดยการดมกลิ่น ขมรส บางครั้งผู้บริโภคอาจเกิดอาการร้อนวูบวาบ หรือ อาจมีอาการมึนงงหรือปวดศีรษะได้ ผลเสียที่เกิดขึ้นยังอาจ ทำให้ฟันผุกร่อน เนื้อฟันบางลง เพราะน้ำหมักชีวภาพ (เอนไซม์) มีสภาพเป็นกรดสูง วัด pH ได้ประมาณ 3-4 กรดจะกัดกร่อนเคลือบผิวในเนื้อฟัน ทำให้ฟันเสียได้⁽⁶⁾ ฉะนั้นจึงไม่ควรดื่มน้ำหมักชีวภาพ แบบเข้มข้น แต่ควรผสมน้ำให้เจือจางก่อนบริโภคน้ำหมักชีวภาพ⁽²⁾

ลูกยอ

ลูกยอ (Noni หรือ Indian Mulberry) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Morinda Citrifolia* Linn. อยู่ในวงศ์ Rubiaceae นอกจากนี้ยังมีชื่ออื่นๆ ได้แก่ ขอบ้าน มะตาเสือ แยกใหญ่⁽⁹⁾

ลูกขอมมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก เป็นใบเดี่ยวออกตรงกันข้าม โคนและปลายใบแหลม มีหูใบอยู่ระหว่างโคนก้านใบ ดอกเป็นดอกช่อออกที่ซอกใบ ฐานดอกอัดกันแน่นเป็นรูปทรงกลม กลีบดอกสีขาว ผลเป็นผลสด เชื่อมติดกันเป็นผลรวม ผิวเป็นตุ่มพอง เมื่อสุกมีสีขาวอมเขียว มีกลิ่นแรงเฉพาะตัว ลักษณะ ทางกายภาพดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1

ผลลูกขอมสุก

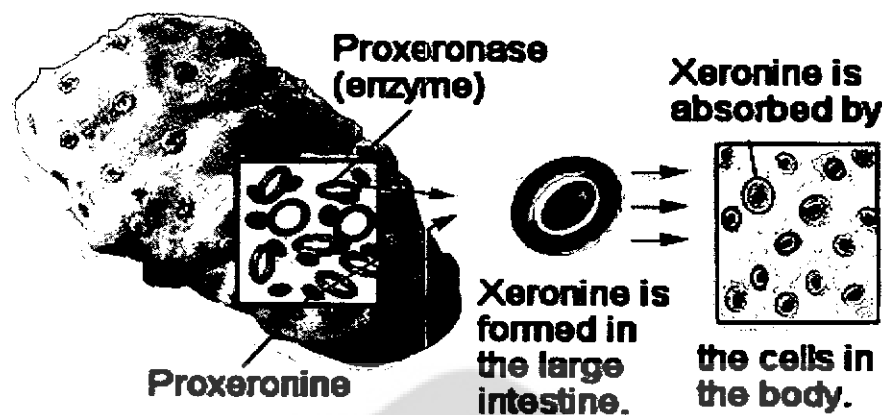
ที่มา :

<http://www.maharatkorat.go.th/healthy.html>

ขอมเป็นพืชที่พบขึ้นอยู่ทั่วไป ในหลายประเทศทั่วโลก มีการนำผลลูกขอมมาใช้แล้วกว่า 2,000 ปี เช่น หมูเกาะโพลินีเซียน จีน อินเดีย หมูเกาะแปซิฟิกตอนใต้ ตาฮิติ ฮาวาย มาเลเซีย หรือ บริเวณพื้นดินที่มีพื้นที่เป็นดินภูเขาไฟ และปราศจากมลพิษ ในประเทศไทยมีการนำรากของต้นขอมมาใช้เป็นสีย้อมของ ผ้าไหม และไหมพรม นอกจากนี้ยังพบว่าใบขอม สามารถนำมาใช้ปรุงอาหารได้หลายชนิด เช่น ใส่ในห่อหมก และ แกงเผ็ด ส่วนผลขอมสุกใช้รับประทานได้

ผลจากการวิจัยในต่างประเทศ พบว่า มีรายงานเกี่ยวกับ สารสำคัญในลูกขอมกว่า 140 ชนิด ซึ่ง สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้⁽¹¹⁾ คือ

1. สารโปรเซอร์โรนิน (proxeronine) เป็นสารที่รวมตัวกับเอนไซม์โปรเซอร์โรเนส (proxeronase) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 จะได้เป็นสารซีโรนิน (xeronine) ที่ลำไส้ใหญ่ และเมื่อดูดซึมกลับสู่เซลล์ต่างๆ ในร่างกาย จะช่วยปรับสภาพเซลล์ให้มีความสมดุล แข็งแรง และมีภูมิคุ้มกันที่ดี อีกทั้งยังช่วยซ่อมแซม ชะลอการเจริญเติบโตของเซลล์ที่ผิดปกติและกระตุ้นให้เซลล์ใหม่เติบโต และทำหน้าที่ได้เป็นอย่างดี ซึ่งสารสำคัญนี้มีคุณสมบัติ ในการช่วยชะลอการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งและเนื้องอกได้⁽¹³⁾



รูปที่ 2.2 แสดงการรวมตัวของ โปรเซอรโรนิน กับ เอนไซม์โปรซีโรเนส

ที่มา : www.healthdiscovered.com/natural-health.html

สารซีโรนิน เป็นอัลคาลอยด์ที่นอกจากจะพบในเซลล์ของพืช ตระกูลยอ (noni plants) โดยเป็นแหล่งที่สำคัญที่สุดแล้ว ยังพบได้ในเซลล์ของสัตว์หรือจุลชีพ เช่น แบคทีเรีย แม้ว่าผลอยจะมีปริมาณของซีโรนิน เพียงเล็กน้อย แต่ก็มีโปรเซอรโรนิน ซึ่งเป็นสารที่เป็นสาเหตุสำคัญของกลิ่นที่รุนแรงของผลลูกยอ เนื่องจากมีองค์ประกอบของ กลุ่มซัลไฮดริล (sulfhydryl) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของ ซีโรนินในปริมาณที่สูง เอนไซม์โปรซีโรเนส สามารถถูกทำลายโดยเอนไซม์เปปซินและกรดในกระเพาะอาหาร ดังนั้น ข้อเสนอแนะในการบริโภคผลหรือน้ำยอ จะต้องรับประทานตอนท้องว่าง เช่น ก่อนอาหารเช้าประมาณครึ่งชั่วโมง เป็นต้น และไม่ควรรับประทานน้ำยอร่วมกับเครื่องดื่มที่มีคาเฟอีนเป็นส่วนประกอบ หรือเครื่องดื่มจำพวกแอลกอฮอล์ รวมทั้งการสูบบุหรี่ซึ่งจะมีผลทำให้ฤทธิ์ของสาร ซีโรนิน เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม⁽⁷⁾

2.สารสโคโปเลติน (scopoletin) สารชนิดนี้มีคุณสมบัติช่วยให้เส้นเลือดขยายตัวจึงสามารถลดความดันโลหิตสูงกลับเป็นปกติได้ และมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ รวมทั้งยังช่วยให้มีพลังงานและขจัดความรู้สึกอ่อนเพลียลง

3. สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) มีหลากหลายชนิด ซึ่งมีผลเสริมฤทธิ์กันในการจัดอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น

3.1 สารไบโอฟลาโวนอยด์ (bioflavonoids) มีประโยชน์ในการบรรเทาอาการปวด และต้านทานการอักเสบ ทำให้หลอดเลือดมีความแข็งแรงขึ้น และ ช่วยเพิ่มการไหลเวียนของเลือด เสริมภูมิคุ้มกันต่อการติดเชื้อแบคทีเรียและไวรัส ช่วยให้ตับทำงานมีประสิทธิภาพขึ้น ลดระดับโคเลสเตอรอล และ บำรุงสายตา

3.2 คาโรทีนอยด์ (carotenoid) มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ และพบว่าได้ประโยชน์ใกล้เคียงกับสารไบโอฟลาโวนอยด์

3.3 วิตามินซี เป็นสารสำคัญที่มีฤทธิ์ในการต้านการติดเชื้อไวรัส ช่วยในการสังเคราะห์คอลลาเจน ซึ่งเป็นโครงสร้างของผิวหนัง กระดูกและกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ช่วยป้องกันการอุดตันของหลอดเลือดได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังมีผลลดระดับฮิสตามีน ซึ่งเป็นเหตุสำคัญในการก่อให้เกิดอาการภูมิแพ้

3.4 วิตามินอี มีส่วนช่วยในการป้องกันภาวะอุดตันของหลอดเลือด และช่วยบรรเทาอาการปวด ชา ลดความดันเลือดสูง ช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น

3.5 ซีสเทอีน (cysteine) ซึ่งมีบทบาทในการจัดอนุมูลอิสระ และยังมีผลในการจัดสารพิษจากแอลกอฮอล์ บุหรี่ และมลพิษในอากาศต่างๆ

3.6 ซีลีเนียม (Selenium) มีความสำคัญในการป้องกันความเสื่อมที่พบในเบาหวาน และมีบทบาทสูงในการเสริมภูมิคุ้มกันโรค

4. วิตามินและเกลือแร่ ที่พบในลูกขอมมีหลากหลายชนิด ได้แก่ แมกนีเซียม และ เหล็ก มีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำงานของเอนไซม์ และช่วยให้การดูดซึมแคลเซียม โพแทสเซียม และยังพบธาตุเหล็ก ซึ่งจะช่วยให้การสร้างเฮโมโกลบิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเม็ดเลือดแดงที่มีหน้าที่นำออกซิเจนไปเลี้ยงทั่วร่างกาย

5. กรดอะมิโน เป็นสารสำคัญที่ใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของโครงสร้างร่างกายมนุษย์ เพราะโปรตีนมีหน้าที่ในการสร้างกล้ามเนื้อ ผิวหนัง เอ็น เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ต่อมน้ำนม เต้านม และกระดูก นอกจากนี้ ยังมีส่วนในการสังเคราะห์ฮอร์โมน เอนไซม์ และยีนส์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของพันธุกรรม

6. สารประเภทอื่นๆ นอกจากที่กล่าวมาแล้ว ลูกยอยังประกอบด้วยสารสำคัญอีกกว่า 100 ชนิด ที่สำคัญ เช่น แอนทราควิโนน (anthraquinone) ที่ช่วยควบคุมการติดเชื้อแบคทีเรีย ลดอักเสบ และฆ่าเชื้อโรคต่างๆ อีกทั้งยังมีการวิจัยพบว่า สามารถป้องกันโรคหัวใจและโรคบิดได้

จากที่กล่าวข้างต้นพอจะสรุปได้ว่า ลูกยอยมีประโยชน์มากมายได้แก่⁽¹³⁾

1. ให้สารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ได้แก่ วิตามิน เกลือแร่ และกรดอะมิโนหลากหลายชนิด
2. ให้กำลังงานแก่ร่างกาย และควบคุมสมดุลในการทำงานของร่างกายให้เป็นปกติ
3. เสริมสร้างภูมิคุ้มกัน และป้องกันการติดเชื้อ
4. ช่วยบรรเทาอาการภูมิแพ้ และโรคภูมิคุ้มกันทำลายร่างกาย (Autoimmune Diseases)
5. ป้องกันโรคที่เป็นผลสืบเนื่องมาจากร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ที่เกิดจากการทำลายของอนุมูลอิสระ ได้แก่ ภาวะการตีบตันของหลอดเลือดที่ไปเลี้ยงหัวใจ ความดันเลือดสูง ลำไส้ใหญ่อักเสบ ต่อมน้ำนมอักเสบ ต่อมลูกหมากอักเสบ ต้อกระจก และมะเร็งบางชนิด
6. ช่วยลดความดันเลือดสูง
7. ลดกรดในกระเพาะอาหารและช่วยในการย่อยและดูดซึมอาหาร
8. บรรเทาอาการปวดและด้านอักเสบ
9. ช่วยในผู้ที่มีปัญหาโรคหัวใจ และหลอดเลือด
10. ช่วยในผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจ

ลูกยอเมื่อนำมาทำเป็นน้ำลูกยอบริโภค พบว่าอาจมีผลข้างเคียงเกิดขึ้นได้น้อยมาก บางคนอาจเกิดอาการท้องอืด หรือระคายท้องในครั้งแรก ซึ่งอาการเหล่านี้จะหายไปโดยลดขนาดรับประทานลง แต่ข้อควรระวังคือ น้ำลูกยอนั้นมีธาตุโพแทสเซียมสูงมาก เช่นเดียวกับน้ำมะเขือเทศ ผู้ป่วยเป็นโรคไตวายเรื้อรัง จึงไม่ควรรับประทาน เพราะอาจเกิดอันตรายได้ และห้ามใช้ในหญิงมีครรภ์ เพราะจะมีผลโดยตรงต่อระบบการหมุนเวียนโลหิตในครรภ์ ซึ่งอาจทำให้แท้งได้ และ จากผลการทดสอบความเป็นพิษ พบว่า เมื่อนำสารสกัดด้วยแอลกอฮอล์กับน้ำในอัตรา

1:1 มาทดลองกับ หนูลีบจักรด้วยวิธีป้อนหรือฉีดเข้าใต้ผิวหนังในขนาด 16 กรัมต่อกิโลกรัม ไม่พบอาการเป็นพิษ ดังนั้น ในการเลือกใช้สมุนไพรที่เหมาะสม ควรพิจารณาจากสายพันธุ์และพื้นที่ซึ่งใช้เพาะปลูก และหากใช้ในรูปแบบของยาสมุนไพรและผลิตภัณฑ์อาหารเสริม ควรพิจารณาถึงผู้ผลิตว่าจะมีมาตรฐานพอเพียงหรือไม่ และขนาดที่ใช้อย่างเหมาะสมควรถือตามข้อมูลที่เป็นผลการวิจัยหรือประสบการณ์ในการใช้

ในการผลิตน้ำหมักลูกขอม มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ ⁽¹⁾

1. นำลูกขอมไทยคัดคุณภาพ ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อที่ผิว
2. บดลูกขอมให้ละเอียด บดผ่านทอกลงสู่ถังสกัดคั้นน้ำบริสุทธิ์ (น้ำกลั่น) เพื่อสกัดสารมีค่าในลูกขอมไทย โดยมีการหมุนเวียนต่อเนื่อง (Continuous Flow) ภายใต้อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2 ชั่วโมง
3. นำน้ำลูกขอมจากถังสกัดผ่านเข้าสู่เครื่องแยกกากแบบสกรู (decanter)
4. จากเครื่องแยกกากนำน้ำลูกขอมที่ได้เข้าสู่เครื่องปั่นความเร็วสูง (separator) เพื่อแยกกากที่ยังเหลืออยู่ให้น้อยลง
5. ผ่านน้ำลูกขอมเข้าสู่เครื่องระเหยน้ำ ภายใต้ความดัน (evaporator) น้ำลูกขอมไทยจะเข้มข้นขึ้น โดยใช้อุณหภูมิต่ำ
6. นำน้ำลูกขอมที่ได้เข้าสู่เครื่องปรุงแต่งรสชาติ
7. ผ่านน้ำลูกขอมที่ได้ปรุงแต่งรสชาติ แล้วเข้าสู่เครื่องฆ่าเชื้อ (pasturizer)

มะเกี๋ยง⁽¹⁷⁾

มะเกี๋ยงเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจ และมีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหาร แต่ในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาวิจัยหรือเผยแพร่ข้อมูลมากเท่าที่ควร

ถิ่นกำเนิดของมะเกี๋ยงยังไม่มีหลักฐานแน่ชัด แต่มีรายงานพบมะเกี๋ยงในประเทศอินเดีย พม่า และเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย จากการสำรวจในภาคเหนือของประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ.2537-2538 ปรากฏว่า พบต้นมะเกี๋ยงในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา และน่าน มากกว่าในจังหวัดแพร่ แม่ฮ่องสอน พิชณุโลกในจังหวัดอื่นๆ สำรวจไม่พบต้นมะเกี๋ยง มะเกี๋ยงเติบโตได้ดีในพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล

350-550 เมตร โดยเฉพาะพื้นที่ริมห้วย หนองบึง ที่มีความชุ่มชื้นตลอดปี ไม่มีน้ำท่วมขัง และเป็นที่น่าสังเกตว่ามะเกี๋ยงเป็นไม้ผลที่ขึ้นอยู่ใกล้แหล่งที่อยู่อาศัยของผู้คน ไม่พบขึ้นอยู่ในป่าธรรมชาติ นอกจากจะมีผู้นำไปปลูกไว้ จึงสันนิษฐานว่ามะเกี๋ยงเป็นพืชที่คนไทยทางภาคเหนือนำเมล็ดเข้ามาปลูกในเขตหมู่บ้าน

มะเกี๋ยงเป็นพืชในอันดับ Myrtales จัดอยู่ในวงศ์ Myrtaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cleistocalyx nervosum* var. *paniala* ชื่อวิทยาศาสตร์เดิมของมะเกี๋ยงคือ *Eugenia paniala* Roxb. ซึ่งเป็นชื่อที่ใช้กันมาตั้งแต่ พ.ศ. 2375 จากการศึกษาทบทวนพรรณไม้ในสกุล *Eugenia* และ *Cleistocalyx* ใน พ.ศ. 2536 มีการจัดพืช *Eugenia paniala* Roxb. มารวมอยู่ในสกุล *Cleistocalyx* และ *operculatus* เช่นเดียวกับต้นหว้าขาว (หว้าน้ำหรือหว้าส้ม) โดยได้จำแนกออกเป็นสองชนิดพันธุ์ คือ *Cleistocalyx operculatus* var. *paniala* (มะเกี๋ยง) ต่อมาในปี พ.ศ. 2539 ได้มีการศึกษาทบทวนพืชในวงศ์ Myrtaceae ใหม่อีกครั้งหนึ่งและเปลี่ยนชื่อวิทยาศาสตร์ของ หว้าขาวและมะเกี๋ยงเป็น *Cleistocalyx nervosum* โดยจำแนกออกเป็นสองพันธุ์ คือ *Cleistocalyx nervosum* var. *nervosum* (หว้าขาว) และ *Cleistocalyx nervosum* var. *paniala* มะเกี๋ยงเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ลำต้นสูง 15-20 เมตร ต้นที่โตเต็มที่อาจมีเส้นรอบวงของลำต้นมากกว่า 1.5 เมตร

มะเกี๋ยง เป็นพืชที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งส่วนของลำต้นและผล แต่เดิมชาวบ้านเก็บผลมะเกี๋ยงมาบริโภคในรูปของผลสดและผลดองเค็ม ปัจจุบันสถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง ได้ศึกษาถึงการใช้ประโยชน์และการแปรรูปมะเกี๋ยง พบว่าสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น ประโยชน์ด้านผลิตภัณฑ์อาหาร ประโยชน์จากเนื้อไม้ ฯลฯ

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลมะเกี๋ยง โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก แร่ธาตุ วิตามินและกรดอะมิโนเป็นดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบพื้นฐานที่พบในผลมะเกี๋ยง ⁽³⁾

องค์ประกอบ	น้ำหนักสด (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)
ความชื้น	86.72
โปรตีน	0.89
ปริมาณไขมัน	0.31
ปริมาณเถ้า	0.61
ปริมาณกาก	3.52
คาร์โบไฮเดรต	7.95
น้ำตาล	1.94

นอกจากนี้ยังพบว่าในผลมะเกี๋ยงยังอุดมด้วยแร่ธาตุและวิตามิน รวมทั้งกรดอะมิโนอีกมาก ตามที่แสดงในตารางที่ 2.2 – 2.3

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของวิตามินในผลมะเกี๋ยง ⁽³⁾

ปริมาณวิตามิน	น้ำหนักสด (IU / 100 g)
วิตามินเอ (เบต้า-แคโรทีน) (IU /100 g)	625.36
วิตามินบี 2	95.89
วิตามินบี 1	47.66
วิตามินอี	0.6
วิตามินซี	ไม่พบ

ตารางที่ 2.3 ปริมาณของกรดอะมิโนในผลมะเกี๋ยง⁽³⁾

ชนิดกรดอะมิโน	ปริมาณ (มิลลิกรัม / 100 มิลลิกรัมมะเกี๋ยงสด)
ไอโซ - ลูซีน	26.32
ลูซีน	55.10
ไลซีน	46.79
เมธไรโอนีน	8.93
ซีสตีล	14.29
ฟีนิลอะลานีน	67.18
ไทโรซีน	14.66
ทรีโอนีน	31.51
ทรีปโทเฟน	9.01
วาลีน	35.37
ฮิสติดีน	16.65
กรดแอสปาร์ติก	65.46
ซีรีน	39.08
กรดกลูตามิก	87.62
โพรลีน	31.95
ไกลซีน	36.62
อะลานีน	43.55
ไทโรซีน	14.65
อาร์จินีน	31.18

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารต่าง ๆ ทั้งด้านปริมาณกรดอะมิโน แร่ธาตุ และวิตามิน ในตารางที่ 2.1 - 2.3 จะเห็นว่าคุณค่าทางโภชนาการของผลมะเกี๋ยงมีค่อนข้างสูง จึงทำให้มีผู้สนใจแปรรูปและพัฒนามะเกี๋ยงให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่างๆ

เช่น ศึกษาและแปรรูปมะเขี๋ยง เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำมะเขี๋ยงพร้อมดื่ม ไวน์ แซ่อิม อบแห้ง ชา แยม เยลลี่ หยี โยเกิร์ต ดอง ตลอดจนผลิตสัผสมอาหาร ซึ่งไวน์มะเขี๋ยง เป็น ผลิตภัณฑ์ของมะเขี๋ยงที่ได้รับความนิยมมาก

เนื่องจากในผลิตภัณฑ์อาหารบางประเภทอาจมี สีดำ หรือ น้ำตาลเข้มขึ้น ตามระยะเวลาที่เก็บตลอดจนภาวะในการเก็บ เช่น น้ำผึ้ง ซอส น้ำปลา ฯลฯ⁽²⁰⁾ ซึ่งผลจากการเกิดสีน้ำตาลอาจเกิดได้จากกระบวนการเอนไซม์ (enzymatic browning) และไม่ใช่เอนไซม์ (non enzymatic browning) ในงานวิจัยนี้จะขอกล่าวถึงการเกิดสีน้ำตาลประเภทที่ 2 คือ ปฏิกริยาเมลลาร์ด

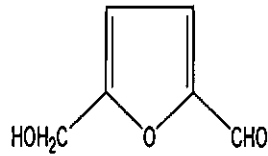
ปฏิกริยาเมลลาร์ด⁽²⁰⁾

ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับ เอนไซม์ สามารถจำแนกย่อยออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การเกิดคาราเมลไลเซชัน (caramelization)
2. การเกิดปฏิกริยาเมลลาร์ด เป็นปฏิกริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซิงกับหมู่เอมีนที่อยู่ในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโน หรือ โปรตีน เป็น carbonyl - amine reaction

ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช่เอนไซม์ที่เรียกว่า ปฏิกริยาเมลลาร์ด ซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกริยาระหว่างสารประกอบอะมิโน และ น้ำตาลรีดิวซิง ปฏิกริยาเมลลาร์ดนี้เป็นสาเหตุสำคัญทำให้สี กลิ่น รสชาติ และ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการหมัก เช่น น้ำหมักชีวภาพ ถูกขอเปลี่ยนไป

ปฏิกริยาเมลลาร์ดเกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการผลิต และ เก็บรักษา ดังนั้นการเข้าใจถึงกลไกการเกิดปฏิกริยานี้จึงมีความสำคัญต่อกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม ปฏิกริยาเมลลาร์ดเป็นปฏิกริยาที่ซับซ้อน กลไกขั้นตอนหนึ่งของการเกิดปฏิกริยาได้สารประกอบ 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์ฟิรัลดีไฮด์ (5-hydroxymethyl-2-furfuraldehyde HMF) HMF เป็นสารที่ไวต่อแสง สูตรโมเลกุล $C_6H_6O_3$ มวลโมเลกุล 126.11 จุดหลอมเหลว $28 - 34^{\circ}C$ จุดเดือด $88 - 91^{\circ}C$ มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้าง 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์ฟิรัลดีไฮด์
ที่มา: Berlitz และ Grosch (2000)

ปฏิกิริยาเมลลาร์ดนี้ถูกค้นพบครั้งแรก เมื่อปี ค.ศ.1912 โดย Louis Maillard เมื่ออาหารทุกชนิดได้รับความร้อนจะมีการสูญเสีย น้ำ (dehydration) มีการสลายตัว (degradation) และมีการรวมตัวกัน (condensation) ของหมู่อะมิโนกับสารประกอบรีดิวซิงก์ และ พัฒนาต่อเป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลแดง และทำให้อาหารมีกลิ่นและรสชาติเฉพาะ

การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดของอาหารแต่ละชนิดเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้มีทั้งสี กลิ่น และรสชาติเกิดขึ้นแตกต่างกัน และปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง และ ผันแปรตามระยะเวลา และอุณหภูมิที่ใช้ โดยสามารถเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรรูปต่างๆ ได้ เช่น การคั่วเมล็ดกาแฟ ถั่วลิสง และโกโก้ การทำน้ำตาลคาราเมล (Sugar Caramel) การทอด การอบเนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์ขนมอบ การปิ้งย่าง – เผา อาหาร เป็นต้น

อาหารบางชนิดเมื่อเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดแล้ว จะทำให้อาหารมีคุณภาพด้านสี กลิ่น และรสชาติดีขึ้น แต่มีอาหารบางชนิดก็ไม่พึงประสงค์จะให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดนี้ (10)

ขั้นตอนของปฏิกิริยาเมลลาร์ดมีดังนี้ (20)

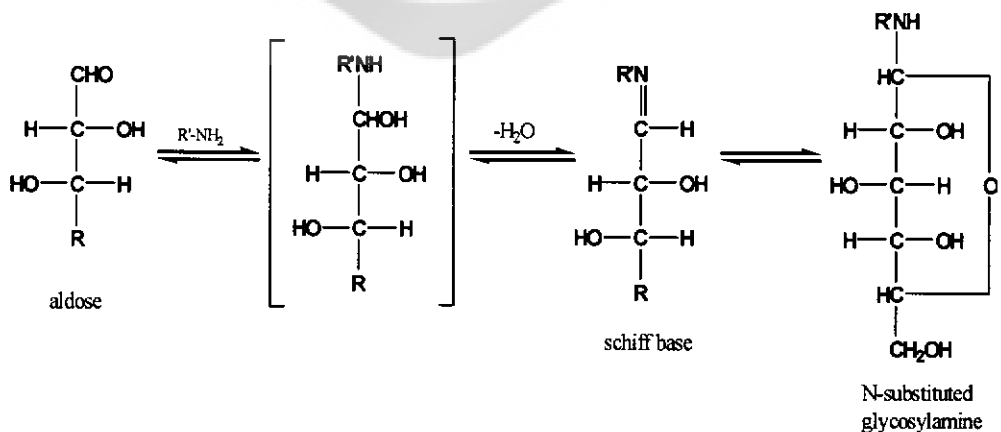
1. น้ำตาลรีดิวซิงทั้งคีโตสและแอลโดส จะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน
2. เกิดปฏิกิริยาคีไฮเดรชันได้เป็นอิมิน (imines หรือ Schiff base) และมีการเรียงตัวใหม่ ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Amadori rearrangement ได้เป็นแอลโดสเอมีน (aldoseamine) หรือ คีโตสเอมีน (ketoseamine) เรียกว่า Amadori product เช่น 1 - อะมิโน - ดีออกซี - คีโตส ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ เมื่อมีพีเอช 5 หรือต่ำกว่า
3. เกิดปฏิกิริยา enolization ของ Amadori product ได้เป็นคีโตสเอมีน หรือ ไดอะมิโนซูการ์ เช่น 3 - ดีออกซีเฮกโซซูโลส

4. เกิดปฏิกิริยาคีไฮเครชันต่อได้เป็นอนุพันธ์ของฟิวแรน (furan) ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซส อนุพันธ์ฟิวแรน คือ 5 - hydroxymethyl - 2 - furfuraldehyde

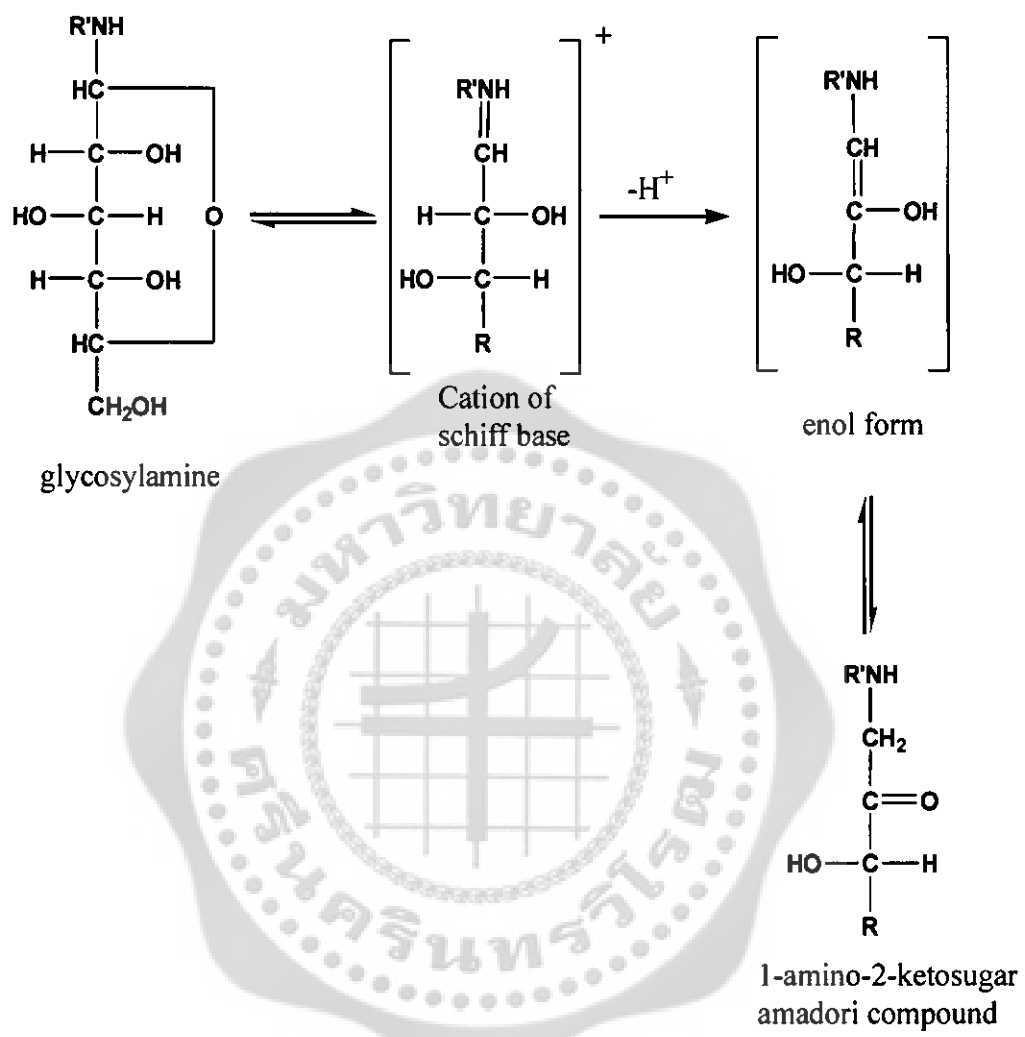
5. อนุพันธ์วงแหวนฟิวแรน เช่น HMF จะเกิดพอลิเมอร์ไรซ์อย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายน้ำ ซึ่งต่างจากการเกิดคาราเมลไลเซชัน ซึ่งมีน้ำตาลเพียงอย่างเดียว สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนี้จึงเรียกว่า เมลานอยดิน (melanoidins)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาโมลต่อโมล ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด จึงมีทั้ง โพลิเมอร์ที่ละลายน้ำ และไม่ละลายน้ำ และพบในอาหารที่มีน้ำตาลรีดิวซิงก์ กรดอะมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ อยู่รวมกัน และได้รับความร้อน เช่น การเกิดสีน้ำตาลของ ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ปฏิกิริยานี้ยังมีความสำคัญต่อการทำคาราเมล ทอฟฟี่ และช็อกโกแลตนม เป็นต้น

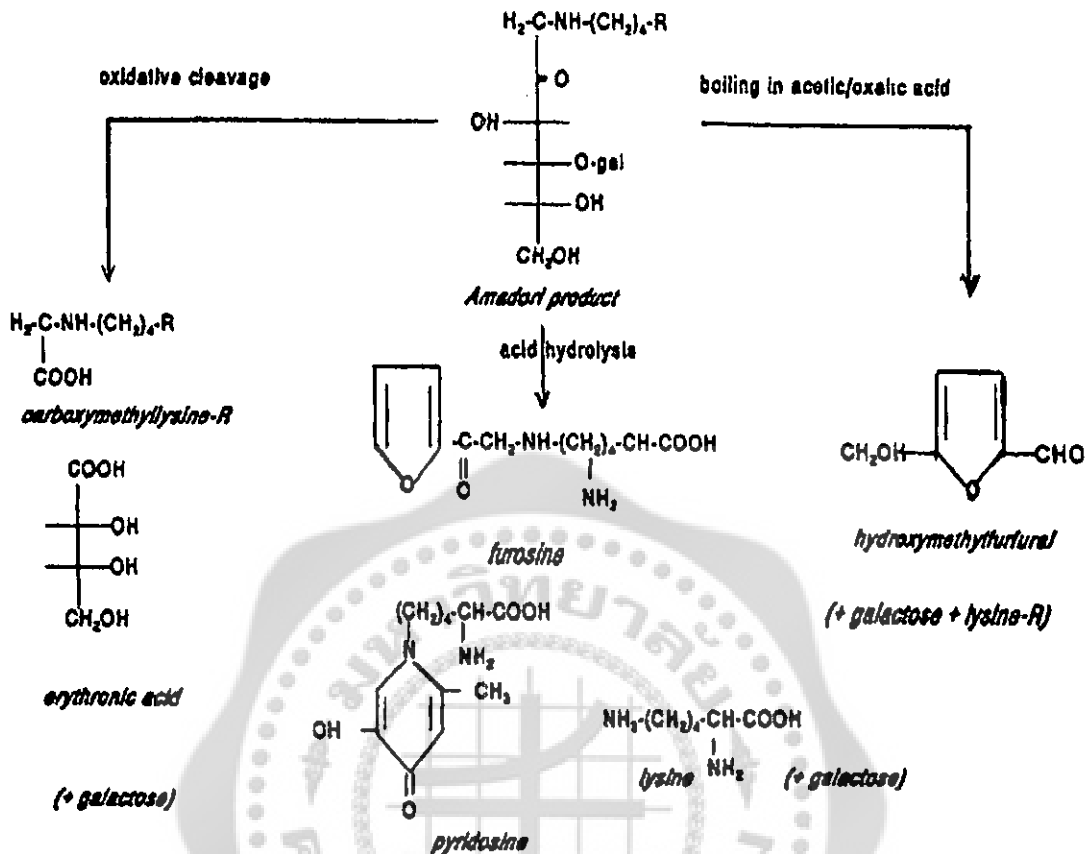
สามารถสรุปขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ตามรูปที่ 2.4 -2.5 ในขั้นตอนสุดท้าย สารประกอบอะมาโดรี เกิดการเปลี่ยนแปลงได้หลายแบบซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ ฟูโรซีน (furosine) ไฮดรอกซีเมทิลฟอร์ฟิวราล (hydroxymethylfurfural) ไพริโดซีน (pyridosine) คาร์บอกซีเมทิลไลซีน (carboxymethyllysine) และเพนโทไซด์น (pentosidine) เป็นต้น ดังรูปที่2.6



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนแรกในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด



รูปที่ 2.5 การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ขั้นกลาง
ที่มา : Walstra และ Jenness (1997)



รูปที่ 2.6 สารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดขั้นกลาง

ที่มา: Boekel (1998)

ข้อเสียของปฏิกิริยาเมลลาร์ด คือ ทำให้กรดอะมิโนไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็น ทั้งที่อยู่ในรูปอิสระและที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของโปรตีนลดน้อยลง ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบนี้จะทำให้คุณค่าทางโภชนาการอาหารลดน้อยลงด้วย นอกจากนั้นหากเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูงและได้รับความร้อนสูงด้วย สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นสารประกอบเฮเทอโรไซคลิกเอมีน (heterocyclic amine) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดมีหลายปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-เบส ความชื้น ออกซิเจน โลหะ ฟอสเฟต และซิลเฟอร์ไดออกไซด์

อัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นภาวะที่สารมีความเข้มข้นสูง และอุณหภูมิสูงจะเกิดปฏิกิริยาเร็วที่สุด เนื่องจากเกิด autocatalytic อัตราเร็วของปฏิกิริยานี้จะเพิ่มขึ้นเป็น 2-3 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส และเพิ่มเร็วขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำตาลมากขึ้น ความเข้มของสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิต่ำจะชะลอปฏิกิริยาเมลลาร์ดให้ช้าลงได้

นอกจากนี้ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนิลกับเอมีนยังสามารถยับยั้งได้เมื่อลดค่าพีเอชให้ต่ำลง การที่พีเอชลดลงทำให้อัตราการผลิตปฏิกิริยาเมลลาร์ดช้าลง ดังนั้นการสูญเสียกรดอะมิโนซึ่งมีสมบัติเป็นด่างในปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเป็นการยับยั้งปฏิกิริยาดังกล่าวได้ (self inhibition)

น้ำ หรือ a_w ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด เช่น ในภาวะที่แห้ง น้ำตาลกลูโคสกับกรดอะมิโนไลซีนจะคงตัวและไม่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ถึงแม้จะมีอุณหภูมิสูงถึง 50 องศาเซลเซียสก็ตาม แต่เมื่อมีน้ำเพียงเล็กน้อยปฏิกิริยาเมลลาร์ดก็จะเกิดขึ้นทันที ดังนั้นที่อุณหภูมิต่ำ การเกิดปฏิกิริยานี้จึงขึ้นอยู่กับกระบวนการเปลี่ยนรูปของน้ำตาลเป็นรูป reactive aldehyde แต่ที่อุณหภูมิสูง การสูญเสีย น้ำออกจากโมเลกุลของน้ำตาลจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เพราะทำให้มีน้ำเกิดขึ้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะช้าลงอีกครั้งเมื่อมีปริมาณน้ำมากจนทำให้สับสเตรตเจือจางลง ซึ่งปริมาณน้ำสูงสุดสำหรับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลคือ ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

ชนิดของกรดอะมิโนก็มีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ด^(10,20) กรดอะมิโนชนิดแอลฟา เช่น ไลซีนจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้เร็วที่สุด เมื่อกรดอะมิโนมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาช้าลง สำหรับกรดอะมิโนที่อยู่ในโมเลกุลของโปรตีน หมู่อะมิโนในโมเลกุลของไลซีนจะเกิดปฏิกิริยาเร็วที่สุด กรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นด่าง เช่น ไลซีน และกรดอะมิโนที่เป็นอนุพันธ์เอไมด์ เช่น แอสพาราจีนและกลูตามีนจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่ากรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นกรดและเป็นกลาง

ออกซิเจนไม่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด นอกจากออกซิเจนจะช่วยออกซิไดส์สารอื่นให้เป็นรูปที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้จึงเกิดขึ้นได้ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ส่วนแร่ธาตุที่มีผลต่อปฏิกิริยา ได้แก่ ไอออนทองแดง เหล็ก และสังกะสี

โดยทั่วไปการศึกษาปฏิกิริยาเมลลาร์ดสามารถกระทำได้หลายวิธีการ ได้แก่ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาล การวัดการเปลี่ยนแปลงพีเอช การวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโน หรือ การวิเคราะห์สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด

งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาเมลลาร์ดและสารประกอบHMF

Chambel,และคณะ.(1997.) ทำการวิเคราะห์หาปริมาณ 5 -ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอร์ฟิวราลดีไฮด์ในกาแฟ ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง พบว่า สารนี้เพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บกาแฟเป็นเวลานานขึ้น

Burdurlu and Karadeniz(2003) ได้ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดในน้ำแอปเปิ้ล 2 ประเภท โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 20 37 50 และ 65 องศาเซลเซียส วิเคราะห์หาปริมาณ HMF และศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยา พบว่าอันดับการเกิดปฏิกิริยาเป็นศูนย์ (zero order) ซึ่งมีค่าพลังงานกระตุ้น 21.0 - 33.7 กิโลแคลอรีต่อโมล

Ramirez – Jimenez และ คณะ(2001) ได้ศึกษาปริมาณไลซีนในขนมปังที่ปิ้งในระยะเวลาต่างๆ ในช่วง 0.5 -60 นาที พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไลซีนคือ สี ปริมาณ HMF และเวลา พบว่า การปิ้งนานถึง 55 นาที ทำให้มีปริมาณ HMF มากที่สุดและปริมาณไลซีนลดลงมากกว่า 50 %

Akkan และคณะ(2001) ได้นำวิธีการทางสเปกโทรสโกปีวิเคราะห์หาสารเฟอร์ฟิวราล และ 5- (hydroxymethyl)-2-furaldehyde (HMF) ในการทำpekmez จาก ถั่ว โดยวัดที่ความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร ผลการทดลองหาHMF และ furfural ซึ่งมีปริมาณ HMF 97.5-109 % และ furfural 92.6-115 % วิธีนี้แสดงผลที่รวดเร็ว ถูกต้องแม่นยำ และมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์สูง

Nanjaro *et al.* (1998) ได้ศึกษาปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโนไลซีนกับน้ำตาลฟรุกโทส กลูโคส แลคโทส และมอลโทส เพื่อดำเนินการหาพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยา พบว่าพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไลซีนกับน้ำตาลทั้ง 4 ชนิด มีค่าเท่ากับ 166 ± 4.6 , 116 ± 2.5 , 125 ± 0.2 และ 132 ± 4.2 กิโลจูล/โมล ตามลำดับ ผลการทดลองนี้ทำให้เห็นว่า ไลซีนเกิดปฏิกิริยากับน้ำตาลกลูโคสได้ง่ายที่สุด รองมาคือ น้ำตาลแลคโทสซึ่ง

เป็นน้ำตาลหลักในนม ทำให้มีการสูญเสียแลคโทสกับโปรตีน ดังนั้นการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณไลซีนจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้ตรวจสอบผลความร้อนที่มีต่อนมอีกวิธีหนึ่ง

Mangas และ คณะ (1997) ได้วิเคราะห์หาปริมาณ สารประกอบเฟอร์ฟิวราลและสารประกอบ ฟีนอลิกในบรันด์ด้วยวิธีทางเคมี พบว่า สารประกอบทั้งสองมีปริมาณต่ำมาก

พรพิมล และคณะ (2547) ได้ทำการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดต้นแบบที่เกิดขึ้นใน น้ำตาลมาตรฐานกลูโคส แลคโทส ซูโครส กับ กรดอะมิโนมาตรฐาน ไลซีน ซิสเตอีน ที่นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อศึกษาความไวในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด โดยวิเคราะห์หาปริมาณ 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอ์ฟิวราลดีไฮด์ ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง พบว่า กรดอะมิโนซิสเตอีนมีความไวในการทำปฏิกิริยากับน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดมากกว่า กรดอะมิโนไลซีน ที่สภาวะเดียวกัน

สำหรับการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาปริมาณ 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอ์ฟิวราลดีไฮด์ ในน้ำหมักชีวภาพในต่างประเทศยังไม่มีรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารนี้ในน้ำหมักชีวภาพ เพียงแต่มีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับสาร 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอ์ฟิวราลดีไฮด์ ในตัวอย่างเบียร์ ไวน์ โดย Castellari และ คณะ (2001) ได้รายงานการนำเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง มาตรวจสอบหาปริมาณสาร 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอ์ฟิวราลดีไฮด์ ในเบียร์ โดยการพัฒนาวิธีการใช้คอลัมน์พอลิเมอร์ระหว่างไดไวเนลเบนซีนซัลโฟเนตกับ สไตรีน ทำการชะด้วยกรดซัลฟิวริก กับ อะซีโตนไตรล พบว่า วิธีการนี้สามารถลดปัญหาเรื่อง สิ่งรบกวนการวิเคราะห์ได้ดี

ดังนั้นการวิเคราะห์หาปริมาณสาร 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอ์ฟิวราลดีไฮด์ ในน้ำหมักชีวภาพ จัดเป็นขั้นแรกของการวิจัยเพื่อ จัดหาแนวทางการกำหนดปริมาณสารนี้ในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากลูกยอหรือจากผลไม้ชนิดอื่นๆ ต่อไป

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้นำเทคนิคที่สำคัญมาใช้ในการระบวนการวิจัย คือ การตรวจวิเคราะห์ค่าค่าความเป็นกรดเบส ค่าความหวาน ซึ่งวัดด้วยเทคนิครีแฟรคโทเมตรี ทั้งสองวิธีนี้จะใช้เป็นข้อมูลประกอบคุณสมบัติของน้ำหมักชีวภาพ เทียบกับการวิเคราะห์หาปริมาณสาร 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอ์ฟิวราลดีไฮด์ ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง ดังนั้นขอกกล่าวถึงหลักการตรวจสอบค่าความหวาน และ เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง ไว้ในที่นี้

โครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ⁽¹²⁾

โครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (HPLC) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ชนิดหนึ่งของโครมาโทกราฟีของเหลวแบบคอลัมน์ที่ประกอบเข้ากับตัวตรวจวัด (detector)

หลักการสำคัญที่ทำให้มีประสิทธิภาพในการแยกสูง คือ การลดขนาดของอนุภาคที่บรรจุในคอลัมน์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นเฟสอยู่กับที่ (stationary phase) ลงเหลือประมาณ 3-10 ไมครอน ทำให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้นสามารถเกิดอันตรกิริยากับสารได้ดีขึ้น ดังนั้น ประสิทธิภาพในการแยกจึงสูงขึ้น ในขณะที่ขนาดของคอลัมน์เล็กลง แต่ผลที่เกิดตามมาจากการลดขนาดของอนุภาคที่บรรจุในคอลัมน์ คือ แรงดันย้อนกลับ (back pressure) ทำให้มีอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ต่ำ จำเป็นต้องมีปั๊มเป่าแรงดันสูงทำหน้าที่ขับเคลื่อนเฟสเคลื่อนที่ โดยสามารถควบคุมทั้งอัตราการไหลและสัดส่วนองค์ประกอบของเฟสเคลื่อนที่ ทำให้ภายในระบบของเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูงมีความดันภายในสูง ดังนั้น ตัวคอลัมน์ต้องสามารถทนแรงดันภายในระบบได้ คอลัมน์จึงมักทำด้วยโลหะ

การบรรจุ (load) สารตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์ไม่สามารถฉีดเข้าโดยตรงได้ จำเป็นต้องมีระบบฉีดสารตัวอย่าง (injection system) เพื่อเลี้ยงแรงดันภายในระบบ สารผสมที่ถูกแยกภายในคอลัมน์จะออกจากคอลัมน์ด้วยเวลาเฉพาะของสารแต่ละชนิด และถูกเฟสเคลื่อนที่พาเข้าสู่ตัวตรวจวัด สัญญาณการตรวจวิเคราะห์จะแสดงในรูปโครมาโทแกรม

โครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูงสามารถจำแนกได้เป็น normal phase chromatography และ reverse phase chromatography ประมาณกว่าร้อยละ 80 ที่ใช้ในงานวิเคราะห์เป็น Reverse phase Chromatography ซึ่งมีเฟสเคลื่อนที่ที่มีความเป็นขั้วมากกว่าเฟสอยู่กับที่ ลำดับของการถูกชะสารออกจากคอลัมน์ ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเกิดอันตรกิริยากับเฟสที่อยู่กับที่ สารตัวใดที่มีความเป็นขั้วต่ำสามารถเกิดอันตรกิริยากับเฟสที่อยู่กับที่ได้ดี จะใช้เวลาในการชะออกจากคอลัมน์มากกว่าสารที่มีความเป็นขั้วสูงกว่า

นอกจากนั้นการปรับอัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่ที่ส่งผลถึงการแยก การปรับให้เฟสเคลื่อนที่มีขั้วลดลง ทำให้สารถูกชะออกมาเร็วขึ้น ลดเวลาในการวิเคราะห์แต่อาจเกิดการรบกวน

กันของแถบสารที่เคลื่อนที่ออกจากคอลัมน์ ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มความเข้มข้นของเฟสเคลื่อนที่ จะใช้เวลาในการชะสารนานขึ้น สารแยกจากกันได้ดีแต่ใช้เวลาในการวิเคราะห์มากขึ้น อีกทั้งมีการขยายตัวของแถบสารที่ถูกแยกออกมา ทำให้ความไวในการวิเคราะห์ลดลง การเลือกใช้เฟสเคลื่อนที่มิได้ขึ้นกับชนิดของสารที่สนใจจะวิเคราะห์เท่านั้น แต่ยังขึ้นกับชนิดของตัวอย่าง ซึ่งจะมีสารที่มารบกวนการตรวจวิเคราะห์ต่างกัน

ในการวิเคราะห์ทางคุณภาพสามารถทำได้โดยเปรียบเทียบค่า ระยะเวลารีเทนชันหรือ ปริมาตรรีเทนชัน ของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน สำหรับการวิเคราะห์ทางปริมาณ สามารถทำได้โดยวัดขนาดของพีกด้วยวิธีการวัดความสูง วัดพื้นที่พีก หรือใช้อินทิเกรเตอร์ เมื่อทราบขนาดของพีกแล้ว สามารถวิเคราะห์หาปริมาณโดยเทียบขนาดของพีกสารตัวอย่างกับพีกสารมาตรฐาน

HPLC สามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สารได้มากมายหลายชนิด ทั้งทางชีวเคมี ทางอาหาร ทางเภสัช และทางเทคนิคการแพทย์

รีแฟรคโทเมตรี (Refractometry)

เทคนิครีแฟรคโทเมตรี เป็นเทคนิคที่วัดค่าดัชนีหักเหแสงของสารด้วยการใช้เครื่องรีแฟรคโทมิเตอร์

หลักการ

เครื่องรีแฟรคโทมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าดัชนีหักเหของแสงผ่านของเหลวและของแข็งชนิด isotropic เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งสู่อีกตัวกลางหนึ่ง เช่น จากอากาศสู่น้ำ จากน้ำสู่คริสตัล โดยการเคลื่อนที่ดังกล่าวทำให้เกิดความต่างของตัวแปรที่มีผล เช่น มุมความเร็ว หรือดัชนีหักเหของแสงของตัวกลาง แสงประกอบด้วยการสั่น สะเทือนของสนามแม่เหล็กและไฟฟ้าทำมุมฉากซึ่งกันและกันและกับทิศทางการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง ความเร็วของแสงในตัวกลางใดๆ จะมีค่าน้อยกว่าในสุญญากาศ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างแสงและโมเลกุลของตัวกลาง เมื่อลำแสงผ่านตัวกลางซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าไปยังตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่า แสงจะเดินทางช้าลง เป็นผลให้ทิศทางการเคลื่อนที่ของแสงเกิดการเลื่อน (Shift) และหักเหคล้ายกับการเบรคคยนต์โดยใช้เบรคคยนต์เดียว ดังนั้นเมื่อลำแสงเข้าไปในของเหลวหรือของแข็ง มุมตกกระทบจะมีค่ามากกว่ามุมหักเห สัดส่วนของ sine ของมุมตก

กระทบในอากาศต่อ sine ของมุมหักเหในตัวกลาง ต่อค่าดัชนีหักเห ใช้สัญลักษณ์ n

ค่าดัชนีหักเห (refractive index), n เป็นสัดส่วนของความเร็วของแสงผ่านสุญญากาศหารด้วยตัวกลาง ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนของค่า sine ของมุมตกกระทบที่แสงทำกับเส้นปกติในสุญญากาศ ($\sin \phi$) กับค่า sine ของมุมหักเหที่แสงทำกับเส้นปกติในตัวกลาง

$$n = \frac{C_r}{C_m} = \frac{\sin \phi_r}{\sin \phi_m}$$

หลักการทำงานของ refractometers จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของสาร เช่นการละลายของน้ำตาลในน้ำ และจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วนกับความหนาแน่น (เราจะสังเกตเห็นการโค้งงอของหลอดมากขึ้น) การตรวจสอบค่าดัชนีหักเหของแสง (refractive index) สามารถทำได้ 2 ระบบ คือ ระบบการส่องผ่านของแสง (transparent system) และ ระบบการสะท้อนของแสง (reflection system) โดย refractometers ที่ใช้ระบบของการสะท้อนของแสง คือ Hand-held Refractometers และ Abbe Refractometers ส่วน refractometers ที่ใช้ระบบของการส่องผ่าน คือ digital refractometers

ระบบการตรวจสอบสำหรับ hand-held Refractometers สรุปได้ดังนี้

- การตรวจสอบจะใช้ประโยชน์จากปรากฏการณ์หักเหของแสงบนรอยต่อระหว่างปริซึม และสารละลายตัวอย่าง โดยที่ดัชนีหักเหของปริซึมมากกว่าของสารละลายตัวอย่าง

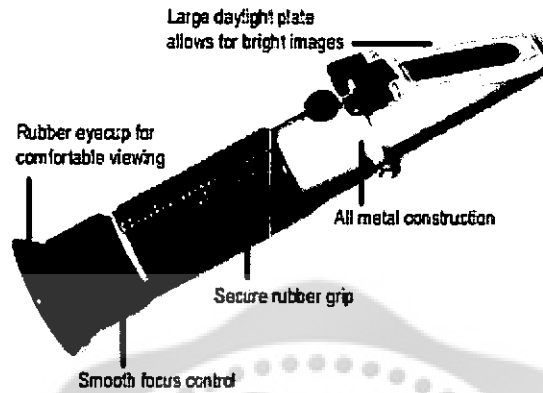
- ถ้าตัวอย่างเจือจาง จะทำให้มุมของการหักเหกว้าง เนื่องจากมีความต่างของดัชนีหักเหของแสงระหว่างปริซึมกับสารละลายตัวอย่างมาก แต่ในทางตรงกันข้าม

- ถ้าตัวอย่างเข้มข้น มุมของการหักเหจะแคบ

การแสดงผล

ค่าของ Brix (%) จะแสดงถึงเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายน้ำ (water solution) ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมด (soluble solid) คือ ผลรวมของของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมด เช่น น้ำตาล เกลือ โปรตีน กรด เป็นต้น และค่าที่อ่านได้จะออกมาในรูปผลรวมของปริมาณของแข็งทั้งหมด โดยพื้นฐานแล้ว Brix (%) จะทำการสอบเทียบ (calibration) กับสารละลายน้ำตาลอ้อย (cane sugar solution) 100 กรัม ดังนั้นเมื่อมีการวัดสารละลาย

น้ำตาล ค่า Brix (%) ที่ได้จะเป็นความเข้มข้นของน้ำตาลที่แท้จริง สำหรับสารละลายอื่นๆ ที่มีหลายองค์ประกอบ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการเทียบกลับเพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่แท้จริง



รูปที่ 2.7 แสดง รีแฟรคโทมิเตอร์ชนิด hand-held

Refractometers สามารถนำไปใช้ในงานศึกษาเกี่ยวกับความเข้มข้นหาตัวอย่างในผลไม้ เพื่อช่วยกำหนดระยะเวลาการเก็บเกี่ยว ตลอดจนการแยกกลุ่มและแบ่งเกรดสาร

การประยุกต์ใช้ Refractometers มีดังนี้

- การหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอน (standardization) ของผลิตภัณฑ์
- การวัดค่าอัตราส่วนของสารผสมสำหรับสารละลายที่ให้รสชาติของน้ำอ้อย
- นำมาเป็นแนวความคิดสำหรับการควบคุมการส่งออก และมาตรฐานสากลอื่นๆ
- การเปรียบเทียบคุณภาพกับมาตรฐานหรือคู่แข่ง
- มีข้อมูลสำหรับการพัฒนา และการปรับปรุงผลิตภัณฑ์

ทางด้านอุตสาหกรรมอื่นๆ และในด้านการวิจัย

- ใช้ควบคุมความเข้มข้นที่เหมาะสมของการคัดแยกน้ำมันจะทำให้สามารถควบคุมการเกิดสนิม ทำให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกเพิ่มขึ้น
- ใช้ตรวจวัดการหลังสารในสัตว์และพืชเพื่อนำไปใช้สำหรับการวิจัยพัฒนาและปรับปรุงในด้านการเจริญเติบโต และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

สารเคมีและสารตัวอย่าง

1. $K_4FeCN_6 \cdot 3H_2O$ AR grade (carlo erba)
2. $Zn(OAc)_2 \cdot 2H_2O$ AR grade (carlo erba)
3. 5 - Hydroxymethyl - 2 - furfuraldehyde (HMF) AR grade (Fluka)
4. Acetonitrile HPLC grade (Merck)
5. H_2O HPLC grade (Merck)
6. methanol AR grade (carlo erba)
7. สารตัวอย่าง

7.1 น้ำลูกขอมหัก 7 สูตร ดังนี้

สูตรที่ 1 : ลูกขอม 3 ส่วน : น้ำ 10 ส่วน : น้ำตาลทรายแดง 1 ส่วน : เชื้อ

Lactobacillus Caesei

สูตรที่ 2 : ลูกขอม 3 ส่วน : น้ำ 10 ส่วน : น้ำผึ้ง 1 ส่วน : เชื้อ *Lactobacillus Caesei*

สูตรที่ 3 : ลูกขอม 3 ส่วน : น้ำ 10 ส่วน : น้ำตาลทรายแดง 1 ส่วน

สูตรที่ 4 : ลูกขอม 3 ส่วน : น้ำ 10 ส่วน : น้ำผึ้ง 1 ส่วน

สูตรที่ 5 : ลูกขอม 3 ส่วน : น้ำ 10 ส่วน : น้ำตาลทรายแดง 1 ส่วน ทำการหมักแห้ง
ก่อนเป็นเวลา 15 วัน แล้วจึงทำการเติมน้ำ เพราะฉะนั้นตัวอย่างจะเริ่ม
จากวันที่ 15 ของการหมัก

สูตรที่ 6 : ลูกขอม 3 ส่วน : น้ำ 10 ส่วน : น้ำตาลทรายแดง 1 ส่วน : เชื้อ *Lactobacillus*
Caesei

สูตรที่ 7 : ลูกขอม 3 ส่วน : น้ำ 10 ส่วน : น้ำตาลทรายแดง 1 ส่วน : เชื้อ

Lactobacillus Caesei โดยทำการฆ่าเชื้อที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบโดยการ
ใช้ความร้อนที่ 72 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วินาที ทำให้เย็นลงอย่าง
รวดเร็ว แล้วจึงเติมเชื้อ *Lactobacillus Caesei*

7.2 น้ำมะเขี๋ยง หัก 6 สูตร ได้แก่

สูตรที่ 1 : มะเขี๋ยง 3 ส่วน : น้ำ 10 ส่วน : น้ำตาลทรายแดง 10 เปอร์เซ็นต์โดย

น้ำหนัก : เชื้อ *Lactobacillus Caesei* ปรับ pH ให้เป็น 6

สูตรที่ 2 : มะเขี๋ยง 3 ส่วน : น้ำ 10 ส่วน : น้ำตาลทรายแดง 6 เปอร์เซ็นต์โดย

น้ำหนัก : เชื้อ *Lactobacillus Caesei* ปรับ pH ให้เป็น 6

สูตรที่ 3 : มะเขี๋ยง 3 ส่วน : น้ำ 10 ส่วน : น้ำตาลทรายแดง 2 เปอร์เซ็นต์โดย

น้ำหนัก : เชื้อ *Lactobacillus Caesei* ปรับ pH ให้เป็น 6

สูตรที่ 4 : มะเขี๋ยง 3 ส่วน : น้ำ 10 ส่วน : น้ำตาลทรายแดง 10 เปอร์เซ็นต์โดย

น้ำหนัก : เชื้อ *Lactobacillus Caesei* ปรับ pH ให้เป็น 4

สูตรที่ 5 : มะเขี๋ยง 3 ส่วน : น้ำ 10 ส่วน : น้ำตาลทรายแดง 6 เปอร์เซ็นต์โดย

น้ำหนัก : เชื้อ *Lactobacillus Caesei* ปรับ pH ให้เป็น 4

สูตรที่ 6 : มะเขี๋ยง 3 ส่วน : น้ำ 10 ส่วน : น้ำตาลทรายแดง 2 เปอร์เซ็นต์โดย

น้ำหนัก : เชื้อ *Lactobacillus Caesei* ปรับ pH ให้เป็น 4

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่สำคัญ

1. เครื่องยูวี - วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV - 160A
2. Hand held Refractometer รุ่น FG 103
3. pH meter (Index innovation beyond 2600 รุ่น 1000)
4. เครื่อง HPLC ยี่ห้อ Hewlett Packard agilent 1100 series
5. เซลล์บรรจุสารละลายแบบควอตซ์

วิธีดำเนินการทดลอง

ในการวิเคราะห์หาปริมาณสาร 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์ฟิวราลดีไฮด์ (HMF) ในน้ำหมักชีวภาพ วิธีดำเนินการวิจัยจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน โดยดัดแปลงบางส่วนจากวิธี AOAC (1990)

ตอนที่ 1 วิเคราะห์หาปริมาณ สาร 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์ฟิวราลดีไฮด์ ด้วยเทคนิค โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง วัดค่า pH วัดค่าความหวาน ในน้ำลูกยอสูตรต่างๆ ทั้ง 7 สูตร และน้ำมะเขี๋ยงหมัก 6 สูตร ที่จุดเริ่มต้นของการหมักคือ 0 วัน

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์หาปริมาณปริมาณสาร 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์ฟิวราลดีไฮด์ วัดค่า pH วัดค่าความหวาน ในน้ำลูกยอสูตรต่างๆ ทั้ง 7 สูตร ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยวิเคราะห์เป็นระยะเวลาต่างๆ ได้แก่ ที่เวลา 7 30 60 90 120 150 และ 180 วัน

ตอนที่ 3 ศึกษาผลการเก็บน้ำหมักมะเขือขี้ที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยวิเคราะห์เป็นระยะเวลาต่างๆ ได้แก่ ที่เวลา 0 15 และ 30 วัน

ตอนที่ 4 การตรวจประสิทธิภาพการวิเคราะห์

ตอนที่ 5 ประเมินผลการวิจัย

ตอนที่ 1 วิเคราะห์หาปริมาณสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ การวัดค่าความเป็นกรด-เบส และค่าความหวานในน้ำลูกยอหมัก 7 สูตร

การเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีของ AOAC

1. การวัดค่าความเป็นกรด-เบส และค่าดัชนีหักเห

ก่อนทำการเตรียมตัวอย่างของน้ำลูกยอในแต่ละสูตร เราจะทำการวัดค่าความเป็นกรด - เบสด้วยเครื่อง pH meter และวัดค่าดัชนีหักเหโดยใช้เครื่อง Hand held Refractometer

2. การเตรียม Reagent สำหรับ Carify ตัวอย่าง

2.1 Carrez soln I เตรียมโดยชั่ง $K_4FeCN_6 \cdot 3H_2O$ 15 กรัม ละลายในน้ำและปรับปริมาตรด้วยน้ำในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.2 Carrez soln II เตรียมโดยชั่ง $Zn(OAc)_2 \cdot 2H_2O$ ละลายในน้ำและปรับปริมาตรด้วยน้ำในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3. ขั้นตอนการ Clarify ตัวอย่าง

3.1 ปีบเตร็ดน้ำลูกยอปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นเติมสารละลาย Carrez soln I 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร และ Carrez soln II 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำ

3.2 สารละลายที่ได้จะมีตะกอนขาวเกิดขึ้น ให้ทำการกรองโดยใช้กระดาษกรอง whatman เบอร์ 1

3.3 หลังจากกรองแล้ว จะได้สารละลายตัวอย่างที่เป็นสารละลายใส เก็บสารละลายที่ได้ใส่ขวดสีชา

1. การวิเคราะห์หาปริมาณสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์

นำตัวอย่างน้ำลูกยอที่ทำการ Clarify ด้วยวิธีการของ AOAC จากนั้น ปีบเตร็ดสารละลายใสที่ได้ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร และน้ำ ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในหลอด

ทดลอง แล้วผสมสารละลายนี้โดยใช้เครื่อง Vortex mixer จากนั้นนำของผสม ไปวิเคราะห์ ด้วยเทคนิค HPLC

การวิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC

2.1. เตรียมสารละลายมาตรฐาน HMF ที่ความเข้มข้น 1 2 4 6 8 และ 16 ppm เตรียมโดยเจือจางจากสารละลายมาตรฐานตั้งต้น

2.2 นำสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆที่เตรียมแล้วข้างต้น มากรองด้วยแผ่นกรอง (microfilter) ที่มีขนาดรูพรุน 0.2 ไมโครเมตร แล้วฉีดเข้าเครื่อง HPLC ปริมาตร 100 ไมโครลิตร

ในการทดลองนี้จะใช้สภาวะดังนี้

คอลัมน์ : Reverse phase C-18
ตัวตรวจวัด : DAD ที่ความยาวคลื่น 280 nm
เฟสเคลื่อนที่ : Acetonitrile : H₂O (5:95)
อัตราการไหล : 1 ml / min

2.3. บันทึกข้อมูลทั้งเวลาที่สารถูกชะออกมา ความสูงของพีค และพื้นที่ของพีค

2.4. นำพื้นที่ของพีคของสารละลายมาตรฐานที่ได้ไปเขียนกราฟมาตรฐาน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของพีค กับความเข้มข้นต่างๆ

2.5. นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้จำนวน 5 ml มากรอง ด้วย แผ่นกรองที่มีขนาด 0.2 ไมโครเมตรแล้วฉีดเข้าเครื่อง HPLC จำนวน 100 ไมโครลิตร

2.6. จากข้อมูลของตัวอย่าง นำไปวิเคราะห์โดยเทียบจากกราฟของสารละลายมาตรฐาน

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์หาปริมาณสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ วัดค่า pH วัดค่าความหวาน ในน้ำลูกยอหมักสูตรต่างๆทั้งหมด ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส โดยวิเคราะห์เป็นระยะเวลาต่างๆ

1. การวัดค่าความเป็นกรด-เบส และค่าดัชนีหักเห

นำน้ำลูกยอหมักทั้ง 7 สูตร ที่เก็บไว้ครบ 7 วัน ทำการวัดค่าความเป็นกรด - เบส ค่าความหวานของน้ำลูกยอหมัก

2. การวิเคราะห์หาปริมาณสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์

นำน้ำลูกยอหมักทั้ง 7 สูตร ทดลองเช่นเดียวกับการทดลองในตอนที่ 1 ข้อ 2.5 -2.6 และ วิเคราะห์ด้วย ด้วยเครื่องHPLC

3. ทำการทดลองตาม ข้อ 1 -2 กับน้ำลูกยอหมักทั้ง 7 สูตร ที่เก็บครบ 30 60 90 120 150 และ 180 วัน

ตอนที่ 3 ศึกษาผลการเก็บน้ำหมักมะเกี๋ยงที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส โดยวิเคราะห์เป็นระยะเวลาต่างๆ ตั้งแต่ 0 วัน 15 วัน และ 30 วัน

การวิเคราะห์หาปริมาณ HMF ในตัวอย่างน้ำมะเกี๋ยงที่อุณหภูมิต่างๆ และการจัดเก็บตามระยะเวลาต่างๆ โดยนำน้ำมะเกี๋ยงหมัก มาทำการศึกษา โดยมีระยะเวลาการเก็บต่างๆ คือ ระยะเวลาการจัดเก็บเริ่มต้น (0 วัน) 15 วัน และ 30 วัน ที่สองอุณหภูมิคือ 4 °C และที่อุณหภูมิห้อง

1. การวัดค่าความเป็นกรด-เบส และค่าดัชนีหักเห ทำการวัดค่าความเป็นกรด - เบสของน้ำ มะเกี๋ยงที่ระยะเวลาการจัดเก็บดังนี้
ระยะเวลาการเก็บเริ่มต้น 0 15 และ 30 วัน
2. นำตัวอย่างน้ำมะเกี๋ยง ทั้งหมด มาเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับการเตรียมตัวอย่างน้ำลูกยอ
3. ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC เช่นเดียวกับตอนต้น
ในข้อ 2.3 – 2.6

ตอนที่ 4 การตรวจประสิทธิภาพการวิเคราะห์

1. การหาค่าร้อยละการกลับคืน (percent recovery)

เตรียมสารละลายมาตรฐาน HMF ที่ความเข้มข้น 4 µg/ml ฉีดเข้าเครื่อง HPLC จากนั้นคำนวณค่าความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน HMF เทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้

2. ปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Detection Limit)

2.1. ฉีดสารละลายมาตรฐาน HMF ที่ความเข้มข้น 0.50 1 2 และ 5 µg/ml เข้าเครื่อง HPLC จำนวน 5 ซ้ำ จากนั้นวัดค่าพื้นที่ของพีค

2.2. คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นที่พืค จากนั้นสร้างกราฟเส้นตรงที่มีแกนตั้งคือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นที่ได้พืค และแกนนอน คือ ค่าความเข้มข้น

2.3. จากกราฟที่ได้กำหนดค่าความเข้มข้น (X) เท่ากับศูนย์ และคูณด้วยแฟคเตอร์ 3 เพื่อสร้างสมการเส้นตรงที่ใช้หาปริมาณต่ำสุดของวิธีที่สามารถตรวจวัดได้

2.4. สร้างกราฟเส้นตรงของพื้นที่พืคกับ ความเข้มข้น โดยให้แกนตั้ง คือ พื้นที่พืค และแกนนอนคือความเข้มข้น

2.5. จากกราฟเส้นตรงระหว่างพื้นที่พืค กับความเข้มข้นจากกราฟเส้นตรงที่ค่า 3 เท่าของพื้นที่พืคจะได้ปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ของ HMF ในการวิจัยครั้งนี้

ตอนที่ 5 การประเมินข้อมูล ⁽⁴⁾

สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

1. ค่าเฉลี่ย (Mean, $\bar{x}$) คำนวณได้จากสูตร

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

เมื่อ $\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง

x_i คือ ค่าที่ได้จากการทดลองในแต่ละครั้ง

N คือ จำนวนครั้งที่ทำการทดลอง

2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard deviation, SD) คำนวณได้จากสูตร

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

เมื่อ SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x_i คือ ค่าที่ได้จากการทดลองในแต่ละครั้ง

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง

N คือ จำนวนครั้งที่ทำการทดลอง

3. ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน(Coefficient of variation , CV)

$$CV = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100$$

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่ 1 ผลการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ การวัดค่าความเป็นกรด-เบส และค่าความหวานในน้ำลูกยอหมัก 7 สูตร

เมื่อนำน้ำหมักจากลูกยอ ทั้งหมดมาตรวจค่ากรด-เบส หาค่าความหวานในตอนเริ่มต้น ต่อจากนั้นคำนวณหาค่าปริมาณสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความเป็นกรด เบส ความหวาน และ ปริมาณสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในน้ำลูกยอหมัก

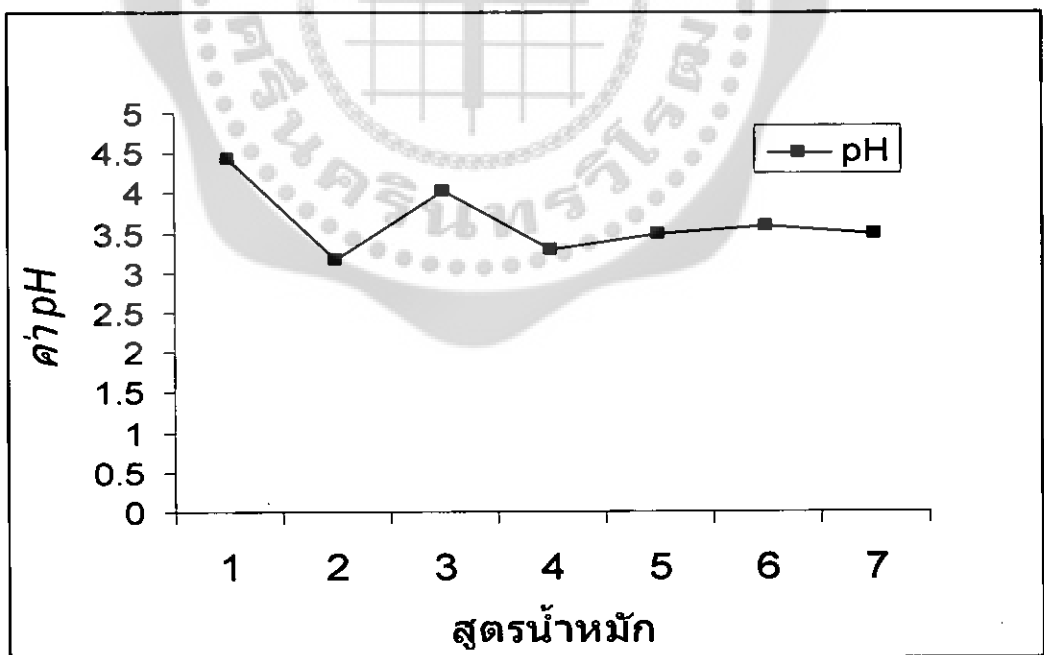
น้ำลูกยอหมัก สูตร	pH เฉลี่ย	ค่าความหวาน เฉลี่ย (brix)	HMF (micro molar)
1	4.43	9.00	0.00
2	3.17	6.60	0.00
3	4.03	7.20	0.00
4	3.30	5.80	0.00
5	3.50	6.00	0.00
6	3.60	8.60	0.00
7	3.50	9.23	0.00

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 ซึ่งทำการทดลอง ในแต่ละสูตร ทำซ้ำ 5 ครั้ง พบว่า น้ำหมักที่ผลิตจากลูกยอแต่ละสูตร มีค่าความเป็นกรด โดยค่าความเป็นกรด อยู่ในช่วง 3.17 – 4.43 น้ำหมักสูตรที่ 2 มีค่าความเป็นกรดมากที่สุดและสูตรที่ 1 มีความเป็นกรดต่ำที่สุด ส่วนค่าความหวานที่ตรวจพบในแต่ละสูตรก็มีความแตกต่างกัน โดย มีค่าความหวานในช่วง 5.80 – 9.23 ซึ่งน้ำลูกยอหมักสูตรที่ 7 จะมีความหวานมากที่สุด สูตรที่ 4 มีความหวานน้อยที่สุด

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในตารางจะเห็นว่าในตอนต้นเริ่มแรกของการหมักน้ำตาลกลูโคสยังไม่สามารถตรวจพบ สารดังกล่าว หรืออีกนัยหนึ่งอาจกล่าวได้ว่าสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในตอนต้นหลังการหมักน้ำตาลกลูโคสมีปริมาณต่ำมากจนไม่สามารถตรวจสอบด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงที่ใช้ในการวิจัยนี้

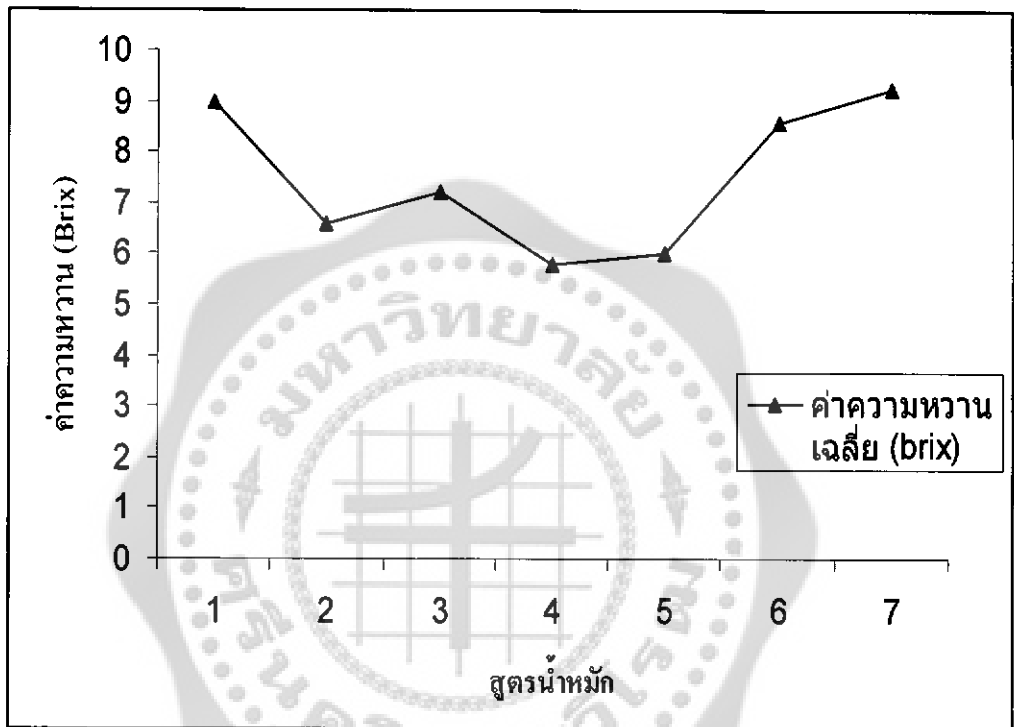
ผลการวิเคราะห์หา ปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล -2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ นี้ซึ่งเมื่อพิจารณาในองค์ประกอบและการเตรียมน้ำตาลกลูโคสหมักแต่ละสูตร แม้จะคล้ายกันแต่ก็พบว่า มีเพียงค่า pH กับค่าความหวานจากองค์ประกอบที่ใช้หมักน้ำตาลกลูโคส ที่แสดงว่า น้ำหมักแต่ละสูตรมีค่าทั้งสองนี้แตกต่างกันไป

ถ้านำค่า pH และ ค่าความหวานของน้ำหมักแต่ละสูตรมาพลอต กราฟ จะเห็นจากรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับสูตรน้ำตาลกลูโคสหมักแต่ละสูตร

จากรูปที่ 4.1 พบว่าน้ำลูกยอหมักที่เตรียมเสร็จมีค่าความเป็นกรดเบสแตกต่างกัน โดยในน้ำหมักสูตรที่ 2 ค่อนข้างจะมีความเป็นกรดสูงที่สุด และ น้ำลูกยอหมักสูตรที่ 1 มีความเป็นกรดน้อยที่สุดซึ่งน้ำหมักทั้งสองมีปริมาณน้ำตาลทรายแดง เท่ากับน้ำผึ้ง



รูปที่ 4.2 แสดงค่าความหวานในน้ำลูกยอหมักแต่ละสูตร

จากรูปที่ 4.2 พบว่า น้ำลูกยอหมักในสูตรที่ 1 และ 7 มีความหวานใกล้เคียงกัน และ น้ำลูกยอหมักสูตรที่ 4 และ สูตรที่ 5 มีความหวานใกล้เคียงกันและมีความหวานน้อยที่สุด เมื่อนำค่า pH และค่าความหวานมาพลอตกราฟหาความสัมพันธ์ พบว่า ค่า pH และ ความหวานในแต่ละสูตรเกาะกลุ่ม ไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ ที่ชัดเจน

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์หาปริมาณสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอร์ฟิวราลดีไฮด์ วัดค่า pH วัดค่าความหวาน ในน้ำลูกยอหมักสูตรต่างๆทั้งหมด ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยวิเคราะห์ที่ระยะเวลาต่างๆ

เมื่อนำน้ำลูกขอมักที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาเวลา 7 30 60 90 120 150 และ 180 วัน มาวัดค่า pH และค่าความหวาน ก่อนที่จะนำไปเตรียมวิเคราะห์หาปริมาณ สาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ พบว่า ค่า pH และค่าความหวานของน้ำลูกขอมักแต่ละสูตรเกิดการเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในตารางที่ 4.2 -4.8 ตารางที่ 4.2 แสดงค่า pH และค่าความหวานของน้ำลูกขอมักสูตรที่ 1 ที่ระยะเวลาดังๆ

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	pH	ความหวาน (Brix)
0	4.43	9.00
7	4.57	7.74
30	4.30	6.07
60	4.40	6.13
90	3.47	5.27
120	3.50	5.13
150	3.47	5.87
180	3.50	6.20

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า pH และค่าความหวานของน้ำลูกขอมักสูตรที่ 2 ที่ระยะเวลาดังๆ

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	pH	ความหวาน (Brix)
0	3.17	6.60
7	4.17	8.53
30	4.10	6.00
60	4.20	5.37
90	3.33	4.73
120	3.37	4.87
150	3.33	5.47
180	3.33	5.20

ตารางที่ 4.4 แสดง pH และค่าความหวานของน้ำลูกยอหมักสูตรที่ 3 ที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	pH	ความหวาน (Brix)
0	4.03	7.20
7	4.57	8.87
30	4.40	6.47
60	4.47	5.80
90	3.63	5.53
120	3.57	5.87
150	3.57	6.60
180	3.57	6.87

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า pH และค่าความหวานของน้ำลูกยอหมักสูตร 4 ที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	pH	ความหวาน (Brix)
0	3.30	5.80
7	4.10	7.87
30	4.10	7.13
60	4.33	6.77
90	3.33	4.20
120	3.30	4.47
150	3.30	4.67
180	3.30	5.00

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า pH และค่าความหวานของน้ำลูกยอหมักสูตร 5 ที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	pH	ความหวาน (Brix)
0	3.30	5.60
7	4.10	5.75
30	4.30	5.87
60	4.20	4.60
90	4.20	6.47
120	4.17	6.53
150	4.13	7.73
180	4.03	6.33

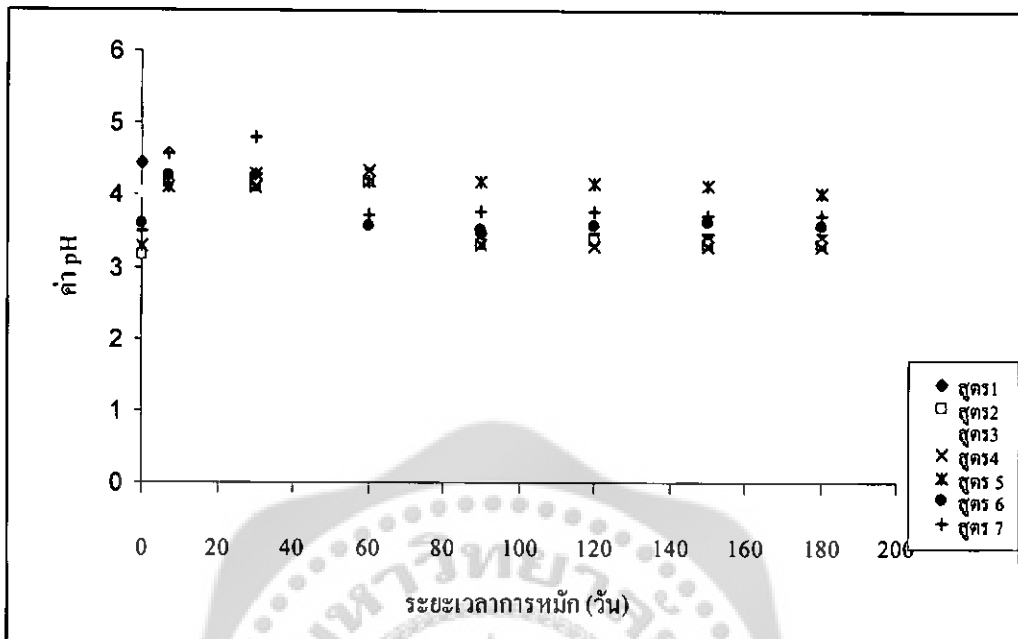
ตารางที่ 4.7 แสดงค่า pH และค่าความหวานของน้ำลูกยอหมักสูตร 6 ที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	pH	ความหวาน (Brix)
0	3.60	8.60
7	4.27	6.60
30	4.27	5.67
60	3.57	5.87
90	3.53	4.87
120	3.57	4.93
150	3.63	5.80
180	3.57	5.53

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า pH และค่าความหวานของน้ำลูกยอหมักสูตร 7 ที่ระยะเวลาต่างๆ

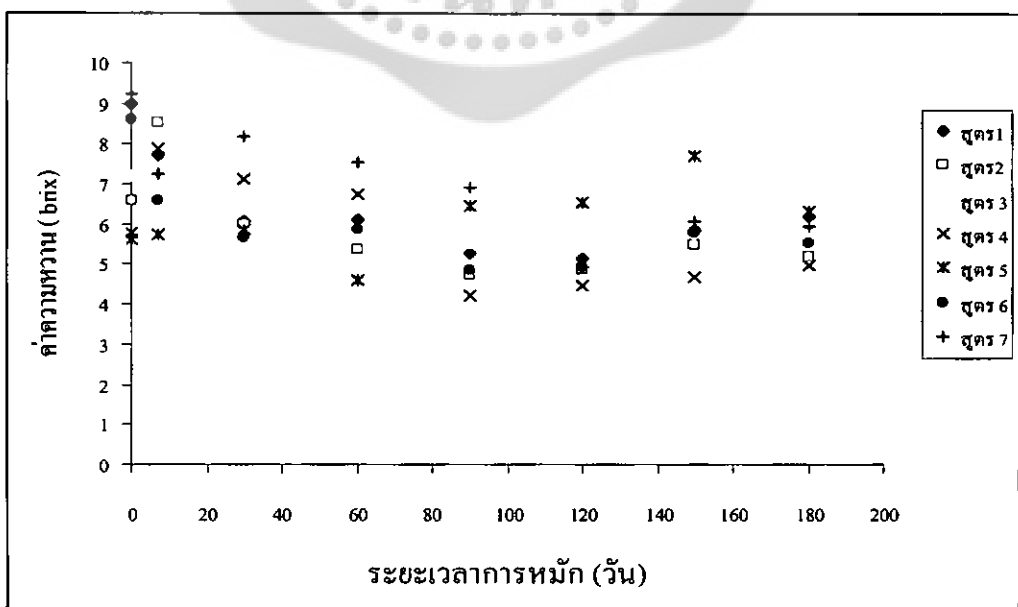
ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	pH	ความหวาน (Brix)
0	3.50	9.23
7	4.57	7.27
30	4.80	8.20
60	3.73	7.57
90	3.77	6.93
120	3.77	4.93
150	3.73	6.07
180	3.73	5.93

ตั้งแต่ระยะเวลาการหมัก 0 - 180 วัน สูตร 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ สูตร 7 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.96, 3.33, 3.98, 3.63, 3.13, 3.75 และ 3.95 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.51, 0.45, 0.45, 0.46, 1.93, 0.32 และ 0.47 ตามลำดับ ค่าการเปลี่ยนแปลง pH ทั้ง 7 สูตร ตั้งแต่ระยะเวลาการหมัก 0 - 180 วัน มีค่า pH ใกล้เคียงกันโดยอยู่ในช่วง 3.13 - 3.98 ซึ่งสูตรที่ 5 มีค่า pH เฉลี่ยน้อยที่สุด มีค่า pH เท่ากับ 3.13 อาจกล่าวได้ว่าเป็นน้ำลูกยอหมักที่มีความเป็นกรดสูงที่สุด และค่า pH สูงสุด คือ น้ำลูกยอหมักสูตรที่ 3 แสดงว่า เป็นสูตรที่มีความเป็นกรดน้อยที่สุดนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณากราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดของน้ำหมักแต่ละสูตรตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าน้ำลูกยอหมักแต่ละสูตรมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่ากรดเบสคล้ายกันโดยจะเปลี่ยนแปลงมากในตอนช่วง 7 วันของการหมัก และมีแนวโน้มค่ากรดลดลงเนื่องจากมีค่า pH สูงขึ้นเล็กน้อย และค่อยๆลดลงอีกในช่วง 30 วัน และจะเริ่มคงที่เมื่อระยะเวลาการหมัก นานถึง 60 วัน ถ้าวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับระยะเวลาการหมักจะเห็นว่า ไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติเท่าไรนักเพราะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีค่าแปรผันในช่วงแคบๆ โดยในตอนท้ายการหมักตั้งแต่ระยะเวลา 60 วันไปแล้วอาจกล่าวได้ว่า ค่า pH และเวลาการหมักไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติเลย



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลง pH กับระยะเวลาการหมักของน้ำลูกยอ สูตร 1-7

ส่วนค่าความหวานของน้ำลูกยอที่ตรวจวัดนั้นมีค่าดังนี้ 6.43, 5.35, 6.65, 5.74, 5.37 5.45 และ 6.50 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.31, 2.16, 1.06, 1.37, 2.50, 1.81 และ 1.76 ตามลำดับ ซึ่งถ้าวิเคราะห์หาความสัมพันธ์จากกราฟในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหวาน กับระยะเวลาการหมักของน้ำลูกยอทุกสูตร

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความหวานของน้ำลูกยอหมักทุกสูตรมีแนวโน้มเหมือนกัน โดยความหวานจะลดลงมากในช่วง 90 วันของการหมัก และค่อยๆ เพิ่มขึ้นทีละน้อยแต่ไม่มากพอ หรือ อาจกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของความหวานของน้ำหมักก็ ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ HMF ในน้ำลูกยอสูตรต่างๆที่หมักในระยะเวลาต่าง ๆ กัน โดยตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง เมื่อบันทึกโครมาโทแกรม และเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ดังแสดงตัวอย่างโครมาโทแกรมและวิธีการคำนวณไว้ในภาคผนวก ได้แสดงผลการคำนวณตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในน้ำลูกยอหมักที่เก็บที่อุณหภูมิห้องตั้งแต่ 0 – 180 วัน

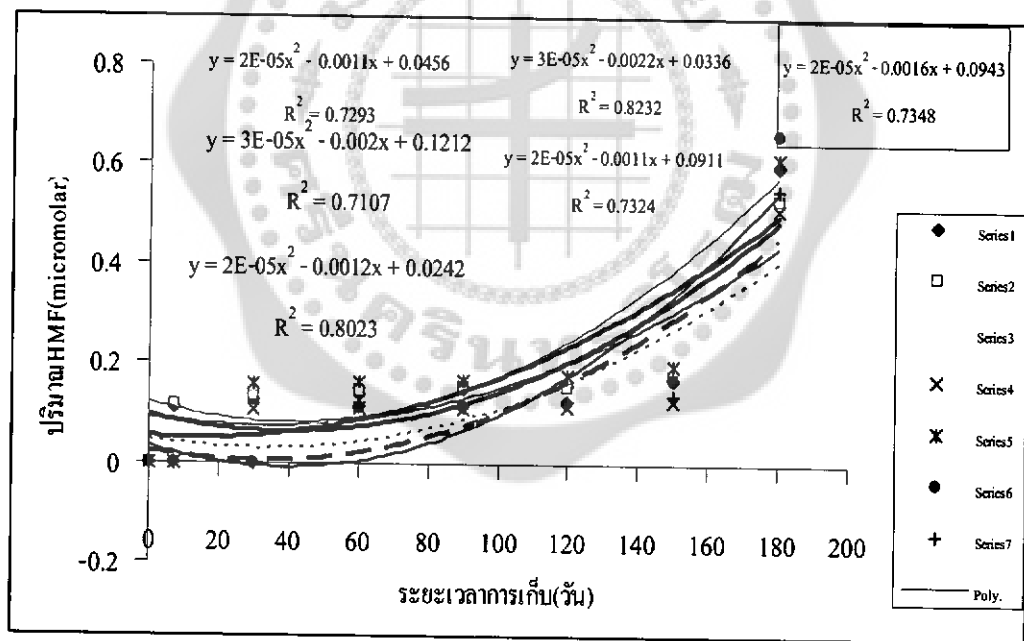
ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	ปริมาณเฉลี่ยของ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ (ไมโครโมลาร์) ในน้ำลูกยอหมัก สูตรที่						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.110	0.114	0.146	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.125	0.133	0.159	0.107	0.158	0.000	0.000
60	0.139	0.145	0.175	0.109	0.160	0.110	0.115
90	0.150	0.155	0.180	0.110	0.165	0.113	0.114
120	0.156	0.152	0.189	0.113	0.178	0.120	0.126
150	0.160	0.178	0.195	0.125	0.195	0.170	0.139
180	0.598	0.530	0.716	0.509	0.615	0.663	0.551

- หมายเหตุ
1. จำนวนตัวอย่างที่ทำการทดลองในแต่ละสูตร เท่ากับ 5 ครั้ง
 2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยแต่ละค่าในตาราง มีค่าระหว่าง ± 0.001 ถึง ± 0.085

ผลจากตารางที่ 4.9 จะเห็นว่า น้ำลูกยอหมักในแต่ละสูตรที่เก็บไว้ในระยะเวลาเท่ากันจะตรวจพบปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอริฟิราลดีไฮด์ มีปริมาณแตกต่างกันแต่ก็มีปริมาณต่ำ โดยเฉพาะในช่วงแรกๆของการหมักเช่นระยะเวลา 7 วัน – 30 วัน อาจมีปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอริฟิราลดีไฮด์ ต่ำมากจนไม่สามารถตรวจพบด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงได้ ดังเช่นในน้ำลูกยอหมักสูตรที่ 6 และ 7 และจะเริ่มตรวจพบสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอริฟิราลดีไฮด์ เมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้นถึง 60 วันเป็นต้นไป แต่อย่างไรก็ตามปริมาณที่ตรวจพบก็จัดว่ามีในระดับต่ำ ในช่วง 0.110 ถึง 0.115 ไมโครโมลาร์ ปริมาณสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอริฟิราลดีไฮด์ที่ตรวจพบในน้ำหมักแต่ละสูตร มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกันกล่าวคือ ปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอริฟิราลดีไฮด์ มีเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยที่ระยะเวลาการหมักนาน 180 วัน สามารถตรวจพบ ปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอริฟิราลดีไฮด์ มากที่สุดในแต่ละสูตร ซึ่งอยู่ในช่วง 0.509 ถึง 0.719 ไมโครโมลาร์ และพบว่าในน้ำลูกยอหมักสูตรที่ 3 มีปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอริฟิราลดีไฮด์ สูงที่สุด สาเหตุที่ตรวจพบปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอริฟิราลดีไฮด์ ในน้ำลูกยอหมักแตกต่างกันอาจเป็นผลจากกระบวนการเตรียมน้ำลูกยอก่อนหมักในแต่ละสูตร ดังเช่นสัดส่วนของน้ำลูกยอหมักสูตรที่ 3 ประกอบด้วยลูกยอ 3 ส่วน : น้ำ 10 ส่วน : น้ำตาลทรายแดง 1 ส่วน เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนน้ำลูกยอหมักสูตรที่ 4 ซึ่งประกอบด้วยลูกยอ 3 ส่วน : น้ำ 10 ส่วน : น้ำผึ้ง 1 ส่วน ซึ่งจากผลการตรวจหาปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอริฟิราลดีไฮด์ พบในสูตรที่ 3 มากกว่าสูตรที่ 4 ที่ระยะเวลาการเก็บ 180 วัน แสดงว่า น่าจะเป็นผลจากความแตกต่างของน้ำตาลทรายแดง กับน้ำผึ้ง ทั้งนี้เพราะในน้ำตาลทรายแดงมีสีเข้มและมีซูโครสเป็นองค์ประกอบหลัก ขณะที่ ในน้ำผึ้งมีน้ำตาลฟรุกโทสเป็นองค์ประกอบ⁽⁵⁾ ชนิดน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบแตกต่างกันและสภาวะในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดแตกต่างกัน ในการหมักน้ำลูกยอสูตรที่ 3 จึงอาจเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ดีกว่าในสภาวะของน้ำลูกยอหมักสูตรที่ 4 จึงทำให้เมื่อตรวจหาปริมาณสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอริฟิราลดีไฮด์ จึงพบในปริมาณที่สูงกว่า

อนึ่งในการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของน้ำลูกยอที่หมักไว้ก่อนที่จะนำไปทำการ clarify สารต่างๆออกตามขั้นตอนการทดลอง ได้ทำการสังเกตลักษณะทางกายภาพคู่ควบไปกับการตรวจวัดการเปลี่ยนค่าความเป็นกรดเบส ค่าความหวาน โดยได้รายงานผลการสังเกตต่างๆไว้ในภาคผนวก ทั้งนี้เพื่อเป็นของสังเกตว่า ในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด นั้นมีความสัมพันธ์กับความค่าคล้าของผลิตภัณฑ์น้ำหมักหรือไม่ด้วย ก็จะสังเกตเห็นได้ชัดเจนว่า น้ำหมักจากลูกยอในสูตรที่ 3 ก่อนการ clarify มีสีน้ำตาลเข้มจัดมาก ดังนั้นก็น่าจะสอดคล้องกับทฤษฎีการเกิดสารสีน้ำตาลค่าคล้าเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด และสอดคล้องกับการรายงานผลการวิเคราะห์หา

ปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอพิวราลดีไฮด์ ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทอื่นๆ เช่นการตรวจคุณภาพน้ำมัน⁽⁶⁾ ก็นิยมวัดหาปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอพิวราลดีไฮด์ เพื่อเป็นดัชนีในการตรวจสอบคุณภาพ แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองนี้ทำให้ได้ทราบข้อมูลถึงปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอพิวราลดีไฮด์ ที่ตรวจพบได้ในน้ำลูกยอหมักที่เก็บไว้ที่ระดับอุณหภูมิห้องที่มีมากที่สุดในช่วงเวลา 180 วัน หรือประมาณ 6 เดือน ถ้าจะเก็บน้ำลูกยอหมักเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ อาจเป็นเวลานานถึง 1 ปี ก็มีแนวโน้มที่น้ำจะพบปริมาณสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอพิวราลดีไฮด์ ในปริมาณที่สูงกว่านี้แต่ก็ไม่อาจคาดการณ์ได้ว่าจะมากขึ้นเท่าไร ซึ่งในการทดลองนี้ไม่สามารถทดลองได้ในระยะเวลานานขนาดนั้น จากการคำนวณทางสถิติเพื่อประเมินหาความสัมพันธ์ของปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอพิวราลดีไฮด์ ที่ตรวจพบในน้ำลูกยอหมักสูตรต่างๆ กับระยะเวลาการเก็บ ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอพิวราลดีไฮด์ในน้ำลูกยอหมักกับระยะเวลาการเก็บ

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าแนวโน้มการเกิดสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอพิวราลดีไฮด์ในน้ำหมักแต่ละสูตรเป็นแบบพหุนาม โดยมีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง

ปริมาณสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอพิวราลดีไฮด์ในสูตรที่ 1-7 กับระยะเวลาการเก็บตามสมการที่ (1) – (7) ตามลำดับ ซึ่งแต่ละสมการมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ตามระบุ ซึ่งจะพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ในช่วง 0.70 -0.82 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของสารสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอพิวราลดีไฮด์ขึ้นกับระยะเวลาการเก็บจริง

$$y = 2E-05x^2 - 0.0011x + 0.0456 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$R^2 = 0.7293$$

$$y = 3E-05x^2 - 0.0022x + 0.0336 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$R^2 = 0.8232$$

$$y = 3E-05x^2 - 0.002x + 0.1212 \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$R^2 = 0.7107$$

$$y = 2E-05x^2 - 0.0012x + 0.0242 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$R^2 = 0.8023$$

$$y = 2E-05x^2 - 0.0011x + 0.0911 \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$R^2 = 0.7324$$

$$y = 2E-05x^2 - 0.0016x + 0.0943 \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$R^2 = 0.7348$$

$$y = 2E-05x^2 - 0.0004x + 0.0528 \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$R^2 = 0.7521$$

สำหรับข้อกำหนดเกี่ยวกับเกณฑ์ของ ปริมาณสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอพิวราลดีไฮด์ ในน้ำหมักชีวภาพแม่ในต่างประเทศก็ยังมีได้มีประกาศแน่ชัด แต่ในลักษณะของการเกิดสารตระกูลแอลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำหมักชีวภาพคือ เครื่องดื่มประเภทไวน์ หรือ เบียร์ ไวน์ผลไม้หมักตามข้อกำหนดขององค์การอาหารออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ (ANZFA) ⁽⁷⁾ ซึ่งได้กำหนดเป็นสารในกลุ่มแอลดีไฮด์ร่วมกับแอลกอฮอล์ควรมีปริมาณรวมกันไม่ควรเกิน 2500 ppm. จะเห็นว่า ยังไม่มีการกำหนดปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอพิวราลดีไฮด์ในอาหารประเภทที่ใกล้เคียงกับน้ำหมักเลย แต่มีเพียงปริมาณรวมๆ ซึ่งอย่างไรก็ตามคาดว่า ในน้ำลูกยอหมักทั้ง 7 สูตรนี้ เมื่อเก็บไปนานในช่วง 1 – 2 ปี ก็อาจจะยังคงมีปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอพิวราลดีไฮด์ ที่ไม่สูงถึง 500 ppm ดังนั้นการที่จะบริโภคน้ำลูกยอหมักที่ผลิตตามสูตรและ

กรรมวิธีตามที่ทดลองนี้ น่าจะปลอดภัยจากพิษของสาร5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอพิวราลดีไฮด์ ดังกล่าว เนื่องจากในช่วงเวลาที่ทำการทดลองนี้ สามารถตรวจหาปริมาณสาร5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอพิวราลดีไฮด์ ในปริมาณที่ต่ำมาก คือ ยังไม่ถึง 1 ไมโครโมล /ลิตร หรือ 1 ppm.

ตอนที่ 3 ผลการศึกษาการเก็บน้ำหมักมะเขี๋ยงที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยวิเคราะห์เป็นระยะเวลาต่างๆ ตั้งแต่ 0 วัน 15 วัน และ 30 วัน

การวิเคราะห์หาปริมาณ5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอพิวราลดีไฮด์ ในตัวอย่างน้ำมะเขี๋ยงที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บตามระยะเวลาต่าง โดยนำน้ำมะเขี๋ยงที่มีระยะเวลาการหมัก มาทำการศึกษาโดยมีระยะเวลาการเก็บต่างๆ คือ ระยะเวลาการจัดเก็บเริ่มต้น (0 วัน) 15 วัน และ 30 วัน ที่สองอุณหภูมิคือ 4 °C และที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งได้ทำการวัดค่าpH และค่าความหวานของน้ำมะเขี๋ยงหมักจำนวน 6 สูตรไว้เพื่อเป็นข้อมูลช่วยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบ ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.10 – 4.15

ตารางที่ 4.10 น้ำมะเขี๋ยงหมัก ระยะเวลาการจัดเก็บ 0 วัน ณ อุณหภูมิห้อง

สูตร	pH	ความหวาน
		(Brix)
1	3.63	5.00
2	3.60	5.33
3	3.90	2.53
4	3.40	7.20
5	3.40	4.67
6	3.37	2.20

ตารางที่ 4.11 น้ำมะเขี้ยวหมัก ที่มีระยะเวลาการจัดเก็บ 0 วัน ณ อุณหภูมิ 4 °C

สูตร	pH	ความหวาน (Brix)
1	3.63	5.00
2	3.60	5.33
3	4.00	2.53
4	3.40	7.20
5	3.40	4.67
6	3.37	2.20

ตารางที่ 4.12 น้ำมะเขี้ยวหมัก ที่มีระยะเวลาการจัดเก็บ 15 วัน ณ อุณหภูมิห้อง

สูตร	pH	ความหวาน (Brix)
1	3.60	6.60
2	3.57	5.20
3	3.93	2.60
4	3.40	7.33
5	3.50	3.50
6	3.50	3.50

ตารางที่ 4.13 น้ำมะเขี้ยวหมัก ที่มีระยะเวลาการจัดเก็บ 15 วัน ณ อุณหภูมิ 4 °C

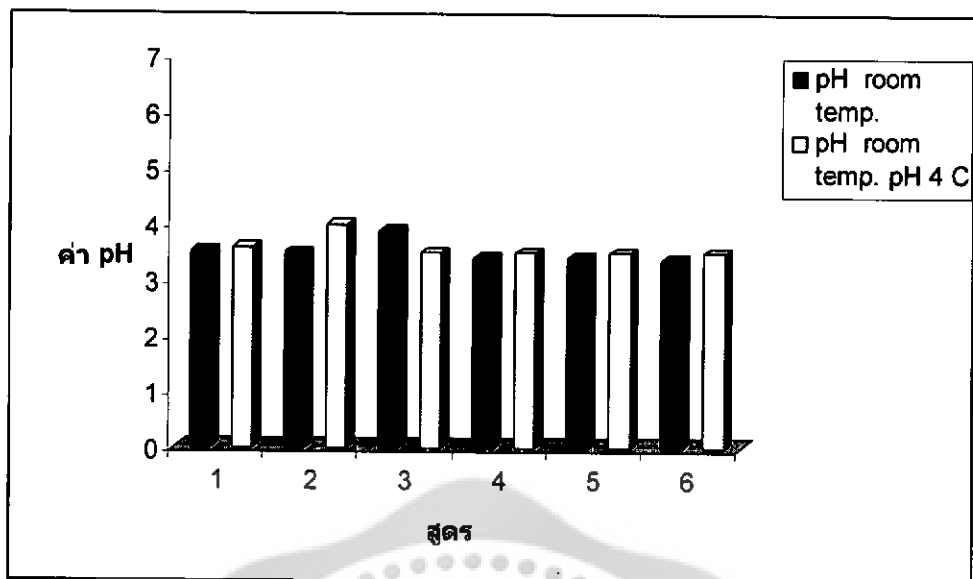
สูตร	pH	ความหวาน (Brix)
1	3.70	7.33
2	3.63	6.87
3	4.00	2.87
4	3.50	5.20

ตารางที่ 4.13		
(ต่อ)		
สูตร	pH	ค่าความหวาน (Brix)
5	3.53	3.80
6	3.47	1.60
ตารางที่ 4.14 น้ำมะเขี๋ยงหมัก ที่มีระยะเวลาการจัดเก็บ 30 วัน ณ อุณหภูมิห้อง		

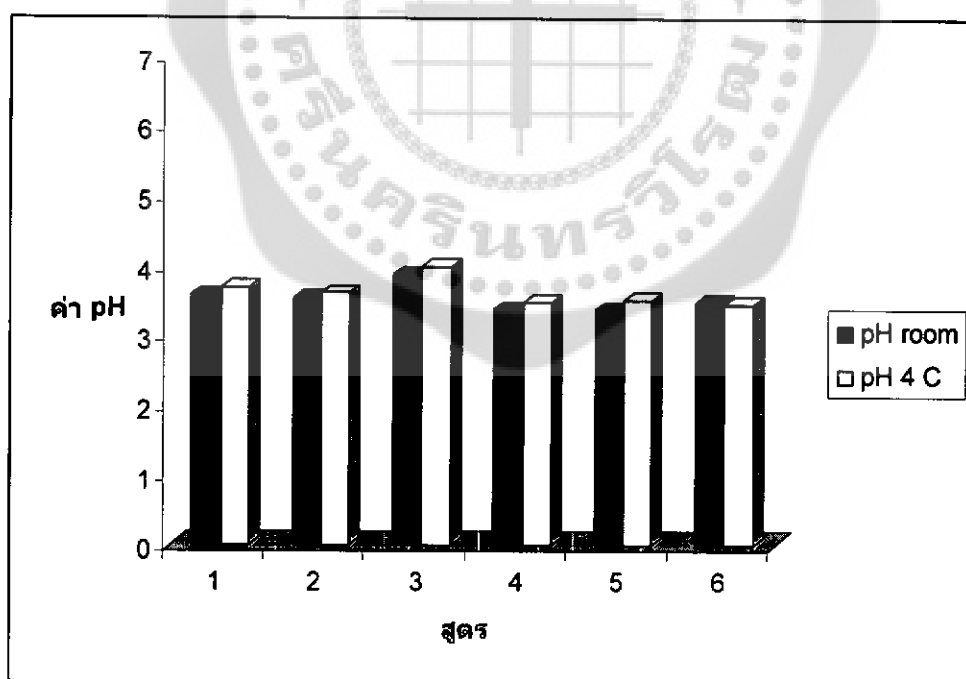
สูตร	pH	ความหวาน (Brix)
1	3.67	5.33
2	3.67	3.60
3	4.00	2.60
4	3.50	4.87
5	3.50	4.28
6	3.57	2.33

ตารางที่ 4.15 น้ำมะเขี๋ยงหมัก ที่มีระยะเวลาการจัดเก็บ 30 วัน ณ อุณหภูมิ 4 °C		
สูตร	pH	ความหวาน (Brix)
1	3.53	4.27
2	3.57	4.00
3	3.93	2.27
4	3.40	4.60
5	3.43	4.00
6	3.43	1.80

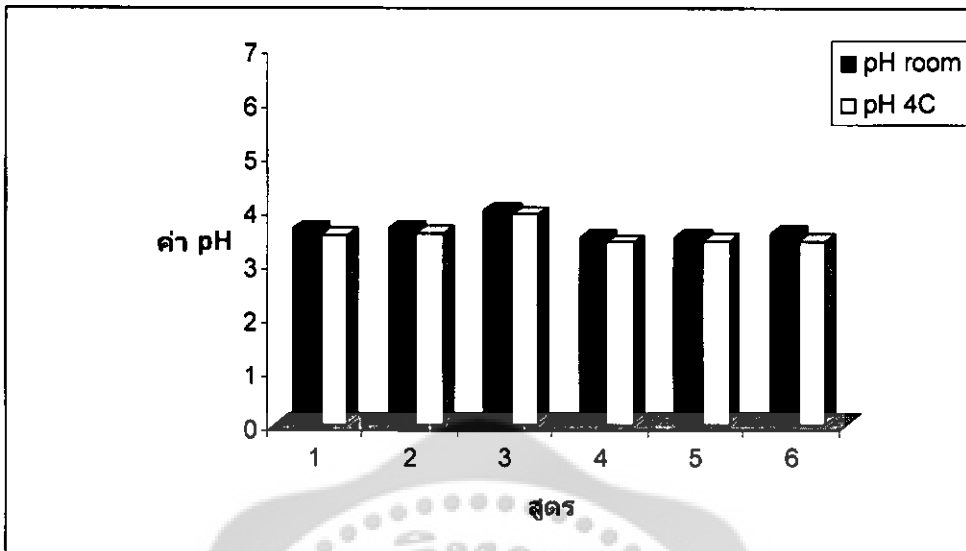
จากผลที่ได้ตามตารางที่ 4.10 -4.15 เมื่อนำค่า pH ไปพลอตกราฟกับระยะเวลาการเก็บแต่ละสถานะเปรียบเทียบกับกันจะได้ดังแสดงในรูปที่ 4. 6



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำมะเกี๋ยงหมักทั้ง 6 สูตร ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและที่ 4 °Cระยะเวลา 0 วัน

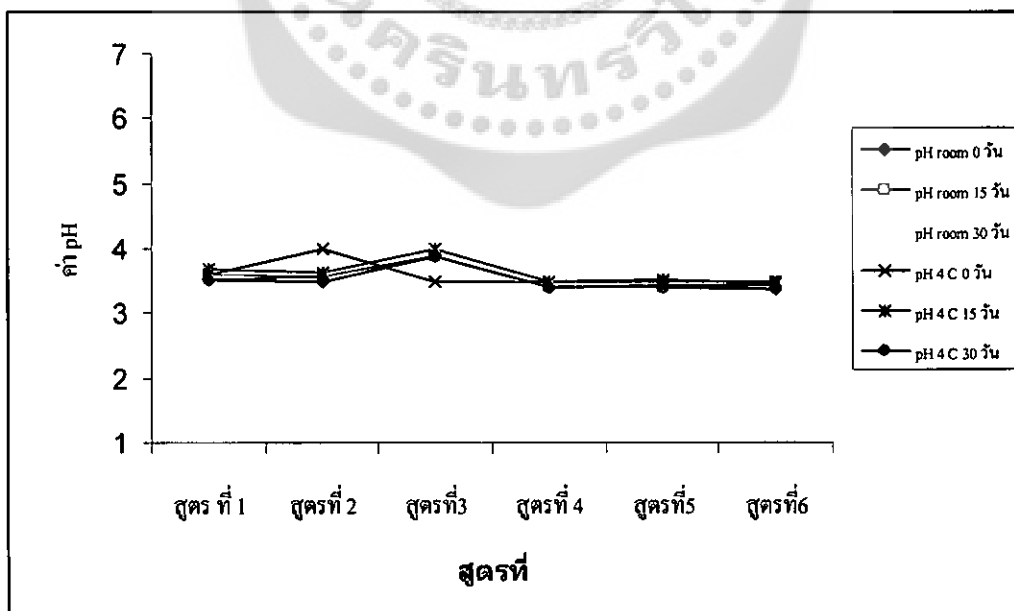


รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำมะเกี๋ยงหมักทั้ง 6 สูตร ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและที่ 4 °Cระยะเวลา 15 วัน



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำมะเขือเทศทั้ง 6 สูตร ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและที่ 4 °C ระยะเวลา 30 วัน

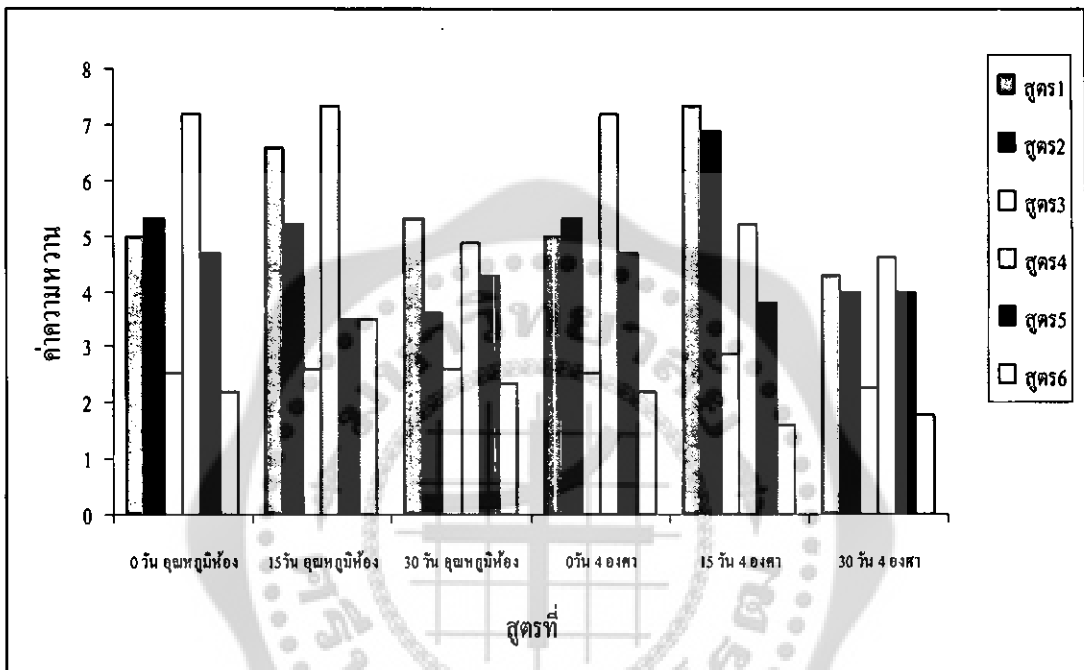
จากรูปที่ 4.6-4.8 จะเห็นว่า ค่า pH ของน้ำมะเขือเทศทั้ง 6 สูตรที่เก็บไว้ในแต่ละสภาวะมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และ ถ้าพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงในแต่ละสูตรที่เก็บในแต่ละสภาวะดังในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำมะเขือเทศทั้ง 6 สูตร ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและที่ 4 °C ที่ระยะเวลา 0 15 และ 30 วัน

จะเห็นว่าในแต่ละสูตรของน้ำมะเกี๋ยงก็ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และการเปลี่ยนแปลงนี้ไม่จัดว่ามีนัยสำคัญ เนื่องจากไม่มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการเก็บอย่างเด่นชัด

ส่วนผลการบันทึกค่าความหวาน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงค่าความหวานของน้ำมะเกี๋ยงหมักสูตรต่างๆที่เก็บไว้ที่ระยะเวลา 0 15 และ 30 วัน ในสภาวะอุณหภูมิต่ำและที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

จากผลการบันทึกการเปลี่ยนแปลงค่าความหวานของน้ำมะเกี๋ยงหมักในตอนเริ่มต้นของการหมักความหวานของแต่ละสูตรที่เก็บในสองสภาวะมีค่าเท่ากัน แต่เมื่อเวลาผ่านไปเมื่อพิจารณาที่น้ำมะเกี๋ยงสูตรใดสูตรหนึ่งจะ พบว่า ในช่วง 15 วันของการหมักน้ำมะเกี๋ยงจะมีความหวานมากขึ้นเป็นส่วนใหญ่ แต่เมื่อเก็บไว้นาน 30 วัน มักจะหวานลดลง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกันของการเก็บทั้ง สองสภาวะ แสดงว่าการเก็บที่สภาวะแตกต่างกันไม่ได้มีผลต่อความหวานของน้ำมะเกี๋ยงหมักอย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้เป็นการใช้เครื่องมือวัดค่าความหวานด้วยเครื่องรีแฟคโตมิเตอร์เท่านั้น ซึ่งอาจจะไม่ละเอียดมากพอที่จะบอกค่าปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิดที่เป็นองค์ประกอบในน้ำหมักได้ละเอียด เท่ากับ การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือราคาแพงเช่น การใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง แต่ที่ใช้เครื่อง

รีแฟรคโตมิเตอร์แบบพกพาใช้ตรวจสอบก็เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นในการวิจัยนี้เป็นการตรวจสอบเสริมจากแนวโครงการการวิจัยเท่านั้น แต่ก็ให้ข้อมูลการตรวจสอบระดับหนึ่ง

ผล การวิเคราะห์หาปริมาณ HMF ในน้ำมะกึ่งหมักที่มีระยะเวลาการจับเก็บที่อุณหภูมิต่างๆ ในสองสภาวะ เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.16 – 4.18

ตารางที่ 4.16 ปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ในน้ำมะกึ่งที่เริ่มต้นเก็บไว้ที่ สภาวะอุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส

สูตร	ปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์(ไมโคร โมลาร์)	
	เก็บอุณหภูมิห้อง	เก็บ 4 องศาเซลเซียส
1	-	-
2	-	-
3	-	-
4	-	-
5	-	-
6	-	-

ตารางที่ 4.17 ปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ในน้ำมะกึ่งที่เก็บไว้เป็นเวลา 15 วัน ที่ สภาวะอุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส

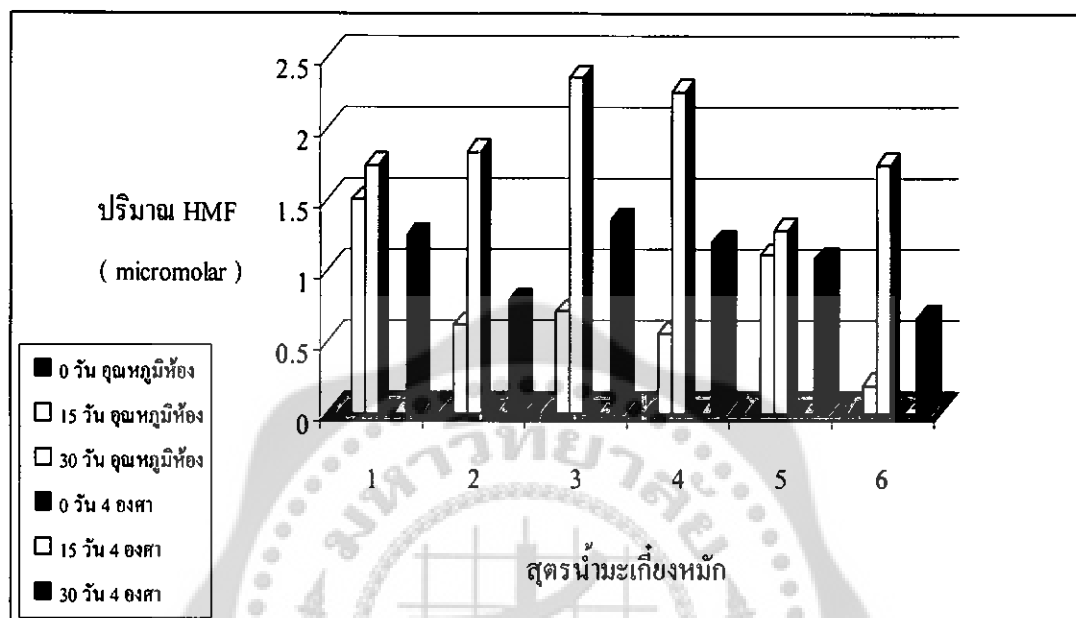
สูตร	ปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์(ไมโคร โมลาร์)	
	เก็บอุณหภูมิห้อง	เก็บ 4 องศาเซลเซียส
1	1.502 ± 0.033	0.056 ± 0.004
2	0.625 ± 0.017	-
3	0.716 ± 0.025	-
4	0.556 ± 0.012	-
5	1.108 ± 0.006	-
6	0.197 ± 0.022	-

ตารางที่ 4.18 ปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ในน้ำมะเขีงที่เก็บนานเป็น
เวลา 30 วัน ที่ สภาวะอุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส

สูตร	ปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์(ไมโครโมลาร์) เก็บอุณหภูมิห้อง	เก็บ 4 องศาเซลเซียส
1	1.740 ± 0.015	1.242 ± 0.020
2	1.833 ± 0.053	0.789 ± 0.026
3	2.350 ± 0.156	1.358 ± 0.054
4	2.253 ± 0.035	1.194 ± 0.098
5	1.282 ± 0.036	1.082 ± 0.100
6	1.739 ± 0.039	0.668 ± 0.025

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.15 พบว่า ที่เวลาเริ่มต้นของการหมักของน้ำมะเขีงที่เตรียมไม่สามารถตรวจพบ สาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในตัวอย่างน้ำหมักหรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า สาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์มีปริมาณต่ำมากเกินไปจนจำกัดของวิธีการในการตรวจสอบด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง แต่เมื่อเก็บน้ำมะเขีงหมักไว้นาน 15 วัน พบว่า ผลในตารางที่ 4.16 เริ่มตรวจพบสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในตัวอย่างน้ำมะเขีงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องในปริมาณหนึ่ง ซึ่งน้ำมะเขีงสูตรน้ำมะเขีงหมักแต่ละสูตรจะมีปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ แตกต่างกันไป ในช่วงนี้พบสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในน้ำมะเขีงสูตรที่ 1 มากที่สุด และเมื่อพิจารณาสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในน้ำมะเขีงหมักสูตรที่ 1 เริ่มตรวจพบสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ แต่ในปริมาณที่น้อยกว่า น้ำมะเขีงหมักสูตรที่ 1 ที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง ข้อที่น่าสังเกต คือ ยังไม่สามารถตรวจพบสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ในน้ำมะเขีงหมักสูตรอื่นๆเลย แต่เมื่อตรวจหาปริมาณสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในน้ำมะเขีงที่เก็บในเวลานาน 30 วัน ตามตารางที่ 4.17 จะเห็นว่าสามารถตรวจพบ สาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในน้ำมะเขีงทุกสูตร แต่ในแต่ละสูตรจะมีปริมาณสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ แตกต่างกัน เมื่อเก็บน้ำมะเขีงในสภาวะทั้ง สองซึ่งแตกต่างกันที่อุณหภูมิในการเก็บ โดยในแต่ละสูตรของน้ำมะเขีงหมักที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง พบปริมาณสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์

มากกว่าน้ำมะเข็ญหมักสูตรเดียวกันที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเห็นชัดเจนขึ้นตามรูปที่ 4.11

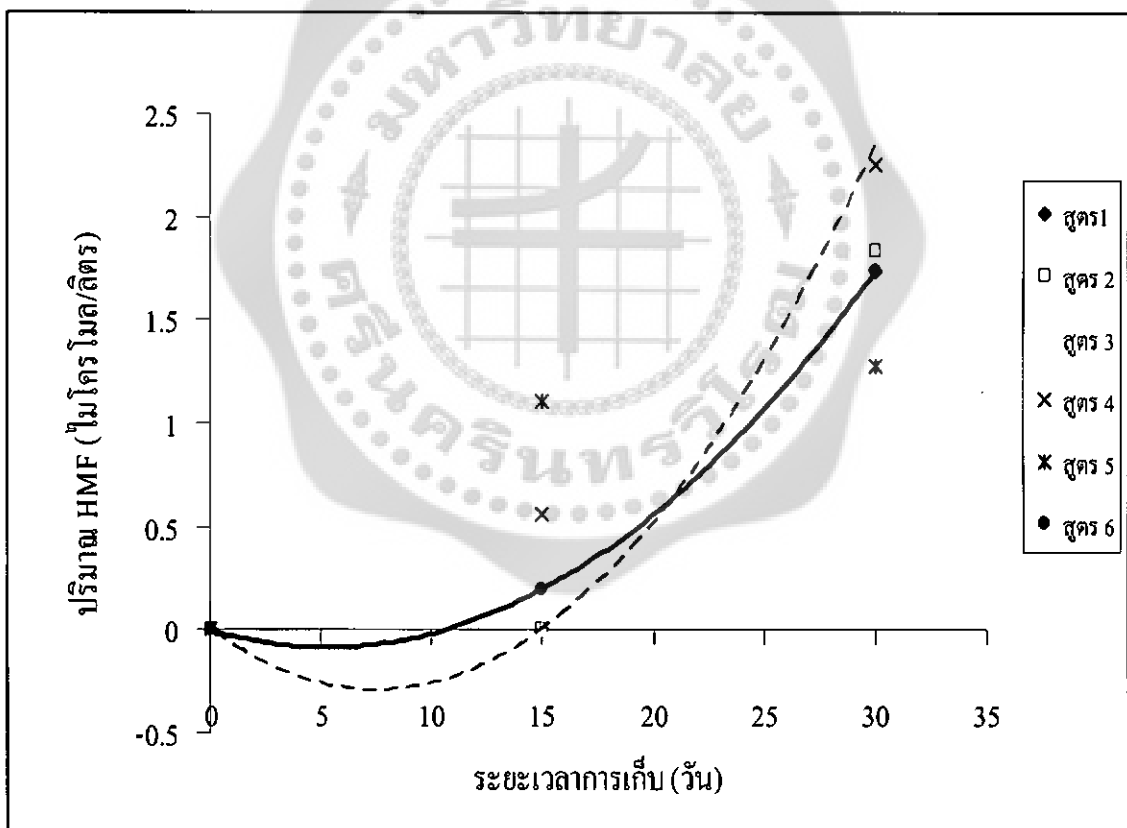


รูปที่ 4.11 แสดงปริมาณ 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในน้ำหมักแต่ละสูตรที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและ ที่ 4 องศาเซลเซียส

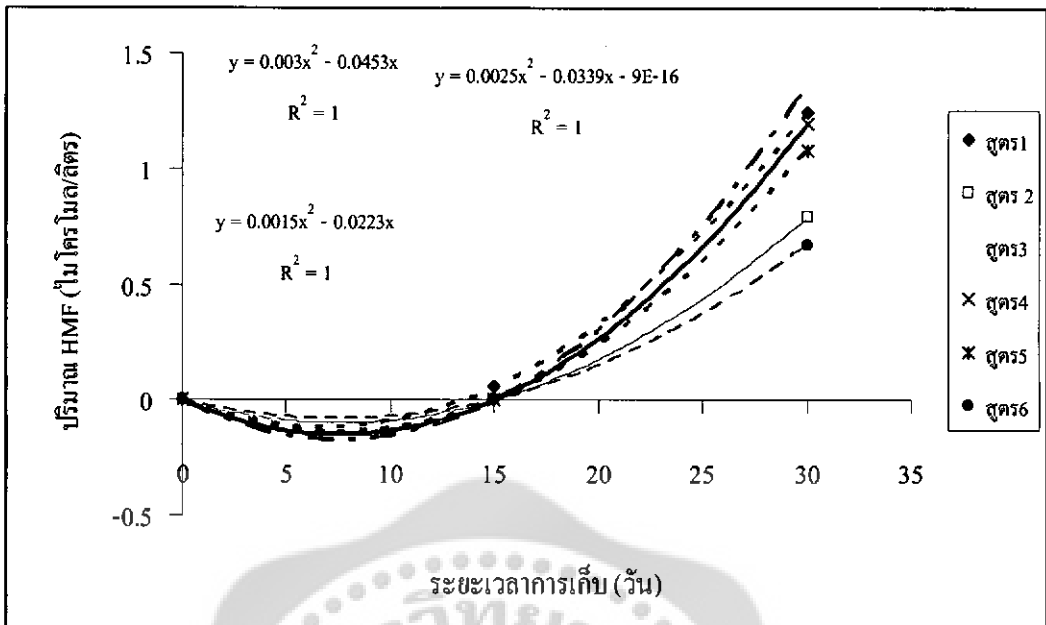
จากผลการทดลองนี้ แสดงว่า ผลการเก็บน้ำมะเข็ญหมักไว้ในที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีค่าประมาณ 30-32 องศาเซลเซียส มีส่วนทำให้ช่วยกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดในน้ำมะเข็ญหมักได้ดี เนื่องจากสามารถตรวจสอบสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในปริมาณมากกว่า น้ำมะเข็ญหมักสูตรเดียวกันที่เก็บไว้ในที่ที่ควบคุมอุณหภูมิเย็นถึง 4 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานผลการวิเคราะห์หาปริมาณสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในน้ำผึ้ง หรือในอาหารบางประเภทเช่น ซอสต่างๆ ซึ่งสามารถตรวจสอบสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในปริมาณมากเมื่อเห็นสีผลิตภัณฑ์มีสีดำคล้ำขึ้น และพบมากเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์เหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง (24) ดังนั้นจากการทดลองนี้ทำให้ทราบอีกเช่นกันว่า ในน้ำมะเข็ญหมักเป็นผลิตภัณฑ์น้ำหมักชีวภาพอีกประเภทหนึ่งที่กำลังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ อาจจะติดอันดับ OTOP อีกประเภทหนึ่งนั้น มีโอกาสเกิดสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ได้มากกว่า น้ำลูกขอมหมัก ซึ่งในน้ำมะเข็ญหมักสูตรที่ 3 ที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง พบสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในปริมาณมากที่สุด คือ ประมาณ 2.244 – 2.506 ไมโครโมล/

ลิตร และ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก็ตรวจพบสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ มากที่สุดเมื่อเทียบกับในน้ำมะเขีงสูตรอื่นๆ คือพบประมาณ 1.358 ไมโครโมล/ลิตร แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ที่ตรวจพบในระยะเวลาการเก็บ 1 เดือน นี้จัดว่ายังไม่สูงมาก ตามข้อกำหนดขององค์การอาหารออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ (ANZFA) (8) ซึ่งแนวโน้มของสาร 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นในน้ำมะเขีงมีมากขึ้นถ้าระยะเวลาในการเก็บน้ำมะเขีงหมักไว้เป็นเวลานานกว่านี้

สำหรับการวิจัยนี้ได้คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ กับระยะเวลาการเก็บน้ำหมักไว้ในแต่ละสภาวะ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และ 4.13



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ในน้ำมะเขีงหมัก กับระยะเวลาการเก็บ โดยเก็บที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในน้ำมะเขือเทศ กับระยะเวลาการเก็บ โดยเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ผลจากการวิเคราะห์หาแนวโน้มความสัมพันธ์ของปริมาณ 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ในน้ำมะเขือเทศ กับระยะเวลาการเก็บในทั้งสองสภาวะ พบว่า รูปแบบความสัมพันธ์มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณ 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ เป็นแบบพหุนาม โดยมีความสัมพันธ์การตัดสินใจที่ 1.00 ทั้ง สองสภาวะ ดังนั้นอาจคาดเดาได้ว่า ในระยะเวลานานมากกว่านี้ จะเกิดสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์มากขึ้นมาก ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ที่เปลี่ยนแปลงในน้ำลูกขอม และน้ำมะเขือเทศมีความสอดคล้องกัน คือมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเหมือนกัน

สำหรับการที่จะบริโภคน้ำมะเขือเทศที่หมักไว้และเก็บที่อุณหภูมิเย็นประมาณ 4 องศาเซลเซียส น่าจะปลอดภัยจากสาร 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ที่มีโอกาสพบได้มากกว่า น้ำมะเขือเทศที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาเดียวกัน

ตอนที่ 4 การตรวจประสิทธิภาพการวิเคราะห์

1. ผลการทดลองการหาค่าร้อยละการกลับคืน (percent recovery)

เมื่อนำสารละลายมาตรฐาน HMF ที่ความเข้มข้น 4 $\mu\text{g/ml}$ ฉีดเข้าเครื่อง HPLC โดยใช้สภาวะการทดลองตามที่กล่าวไว้ในวิธีทดลอง จากนั้นคำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน HMF ที่ตรวจวัดได้ เทียบกับค่าความเข้มข้นมาตรฐาน ดังแสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์หาค่าร้อยละการกลับคืน (percent recovery)

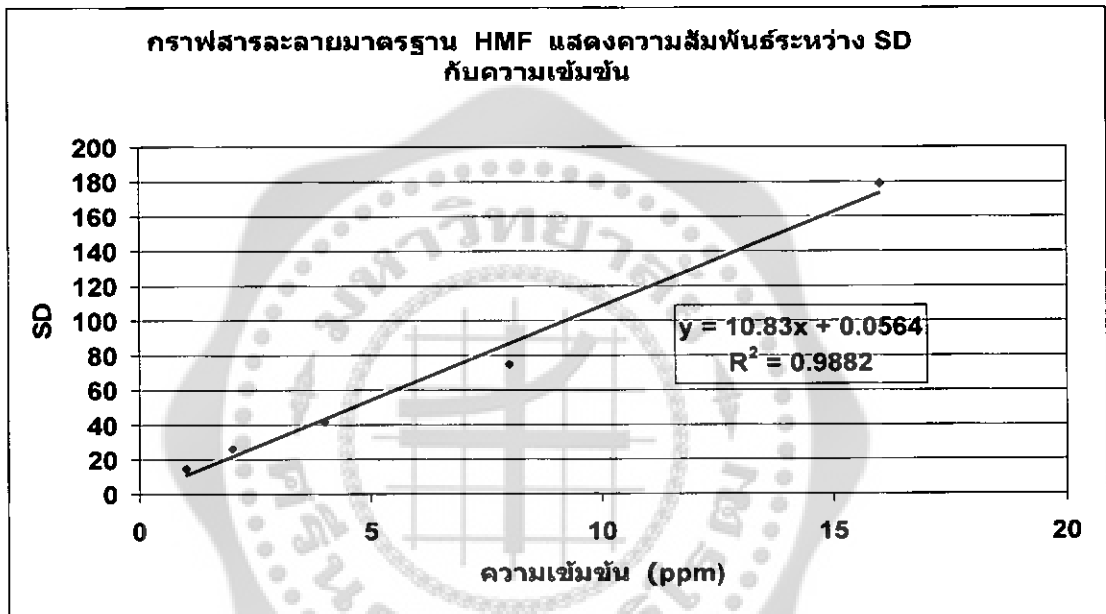
ครั้งที่	ความเข้มข้น สารละลาย HMF มาตรฐาน (ppm)	ความเข้มข้น HMF ที่ตรวจวัดได้ (ppm)	% การกลับคืน
1	4	3.89	97.25
2	4	4.11	102.75
3	4	4.01	100.25
4	4	3.75	93.75
5	4	3.75	93.75
6	4	3.99	99.75
เฉลี่ยร้อยละการกลับคืนเท่ากับ		97.92	

จากผลการทดลองและคำนวณได้ในตารางแสดงว่า วิธีการที่ใช้ในการทดลองนี้ จัดเป็นกระบวนการทดลองที่ดีมากวิธีหนึ่งเนื่องจากค่าร้อยละการกลับคืนมีค่าสูง มากถึง ร้อยละ 98 โดยประมาณ ซึ่งจัดว่าผลที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้องสูง

2. ผลการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Detection Limit)

เมื่อฉีดสารละลายมาตรฐาน HMF ที่ความเข้มข้น 0.50 1 2 และ 5 ppm เข้าเครื่อง HPLC จำนวน 5 ซ้ำ จากนั้นวัดค่าพื้นที่ของพีคคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นที่พีค เมื่อใช้โฟโตไดโอดแอเรย์ดีเทคเตอร์ ตรวจความเข้มข้นต่ำสุดของ HMF ในน้ำหมักชีวภาพ เมื่อ $S/N = 3$ ได้จากกราฟเส้นตรง โดยกำหนดให้แกนตั้ง คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ peak area และแกนนอน คือ ความเข้มข้นที่ 1 2 4 8 และ 16 ppm จะได้สมการ

เส้นตรง $y = 10.83x + 0.0564$ ดังกราฟที่ เมื่อให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มข้น (x) เท่ากับศูนย์ พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ peak area (y) มีค่าเท่ากับ 0.0564 หลังจากนั้น นำ factor 3 คูณกับค่า y จะมีค่าเท่ากับ 0.1692 นำค่ามาสร้างกราฟเส้นตรงโดยกำหนดให้ แกนตั้งคือ ค่าเฉลี่ยของ peak area มีหน่วยเป็น mAU*s และแกนนอนคือ ความเข้มข้นมีหน่วย เป็น ppm จะได้สมการเส้นตรง $y = 130.67x - 3.7376$ จากรูปกราฟที่ 4.14 ผลการคำนวณ ปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ในการวิจัยครั้งนี้เท่ากับ 0.0299 ppm



รูปที่ 4.14 กราฟมาตรฐานในการคำนวณหาค่า LOD

สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารในน้ำหมักชีวภาพ โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง รวมทั้งศึกษาค่าความเป็นกรด - เบส และค่าความหวานของน้ำหมักชีวภาพ ตลอดจนทำการวิเคราะห์เอกลักษณ์ของน้ำลูกขอมหมัก และน้ำมะเกี๋ยหมัก ตามเวลาต่างๆด้วย โดยได้ศึกษาในตัวอย่างน้ำลูกขอมหมัก 7 สูตร และน้ำมะเกี๋ยหมัก 6 สูตร ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณ 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ในน้ำลูกขอมหมัก มีระยะเวลาการหมักตั้งแต่ 0 7 30 60 90 120 150 และ 180 วัน ซึ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิเย็นที่ 4 องศาเซลเซียส ส่วนน้ำมะเกี๋ยหมักทั้ง 6 สูตร ที่ได้รับจากทางมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ซึ่งมีปริมาณมากกว่าน้ำลูกขอมหมักจึงสามารถที่จะนำมาแบ่งตัวอย่างเป็นส่วนๆ ได้ แล้วนำมาเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 0 15 และ 30 วัน ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แล้วทำการตรวจหาปริมาณ 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ตามระยะเวลาที่ครบกำหนด โดยผลการทดลองตามแผนการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้

การทดลองศึกษาในน้ำลูกขอมหมัก

1. จากการวัดค่าความเป็นกรด - เบส พบว่า เมื่อระยะเวลาการจัดเก็บนานขึ้น ค่า pH ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และจากการวัดค่าความหวาน จะเห็นว่าค่าความหวานที่วัดได้มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อระยะเวลาการจัดเก็บมากขึ้นแต่การลดลงไม่ค่อยมีนัยสำคัญ การที่ค่าความหวานลดลงเนื่องจากน้ำตาลที่มีอยู่กลายเป็นอาหารของจุลินทรีย์ และการที่น้ำตาลเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์เมื่อระยะเวลาการจัดเก็บนานขึ้นค่าความเป็นกรด - เบส ไม่มีความสัมพันธ์สัมพันธ์กับค่าความหวานมากนัก

2. เมื่อวิเคราะห์สาร 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง ผลคือ น้ำลูกขอมหมักในแต่ละสูตรที่เก็บไว้ในระยะเวลาเท่ากันจะตรวจพบปริมาณ 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ มีปริมาณแตกต่างกันแต่ก็มีปริมาณต่ำ โดยเฉพาะในช่วงแรกๆของการหมักเช่นระยะเวลา 7 วัน - 30 วัน อาจมีปริมาณ 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ต่ำมากจนไม่สามารถตรวจพบด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงได้ แต่ที่ระยะเวลาการเก็บ นานถึง 180 วัน สามารถตรวจพบ 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-

2- เฟอพิวราลดีไฮด์ในน้ำลูกขอมหักสูตรที่ 3 มากที่สุด คือ 0.716 ไมโครโมล /ลิตร และพบปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอพิวราลดีไฮด์ต่ำสุดที่ระยะเวลาการเก็บ 180 วันในน้ำลูกขอมหักสูตรที่ 4 เท่ากับ 0.509 ไมโครโมล /ลิตร ผลการทดลองตอนนี้สามารถสรุปได้ว่า การเก็บน้ำลูกขอมหักไว้เป็นเวลานานที่อุณหภูมิเย็นที่ 4 องศาเซลเซียส มีโอกาสเกิดสารประกอบ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอพิวราลดีไฮด์ ในปริมาณมากขึ้นตามระยะเวลาการหมัก จากการคำนวณทางสถิติเพื่อประเมินหาความสัมพันธ์ของปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอพิวราลดีไฮด์ ที่ตรวจพบในน้ำลูกขอมหักสูตรต่างๆ กับระยะเวลาการเก็บ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอพิวราลดีไฮด์ กับระยะเวลาการเก็บเป็นแบบโพลิโนเมียล โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) อยู่ในช่วง 0.70 – 0.82

การทดลองศึกษาผลการเก็บน้ำมะเขือเทศที่สภาวะต่างกัน

1. ปริมาณน้ำมะเขือเทศหักทุกสูตรมีปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอพิวราลดีไฮด์ที่ระยะเวลาเดียวกันแตกต่างกันไป โดยน้ำมะเขือเทศหักเดียวกันที่เก็บที่อุณหภูมิห้องตรวจพบปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอพิวราลดีไฮด์ มากกว่าน้ำมะเขือเทศหักที่เก็บที่อุณหภูมิเย็น 4 องศาเซลเซียส และมีลักษณะเช่นเดียวกันในน้ำมะเขือเทศหักทุกสูตร

2. ปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอพิวราลดีไฮด์ ตรวจพบมากที่สุดในน้ำมะเขือเทศหัก สูตรที่ 3 ที่เก็บเป็นเวลานาน 30 วัน ในทั้งสองสภาวะ โดยพบประมาณ 2.350 ± 0.156 และ 1.358 ± 0.054 ไมโครโมล/ลิตร ตามลำดับ

3. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2- เฟอพิวราลดีไฮด์ที่พบ ในน้ำมะเขือเทศหัก กับระยะเวลาการเก็บน้ำมะเขือเทศหักในการเก็บทั้งสองสภาวะเป็นแบบโพลิโนเมียล โดยมีค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 1

ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพการทดลอง

1. วิธีการทดลองในงานวิจัยนี้มีค่าร้อยละการกลับคืน เท่ากับ 97.92
2. ค่าปริมาณต่ำสุด (LOD) ที่สามารถตรวจวัดได้ในการวิจัยครั้งนี้เท่ากับ 0.0299 ppm

การอภิปรายผล

จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ ทำให้ทราบว่า สารประกอบ 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ สามารถเกิดขึ้นได้ในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากลูกขอม และมะเขี๋ย โดยน้ำหมักชีวภาพทั้งสองประเภทที่ได้ถูกนำมาเตรียมเป็นน้ำหมักชีวภาพสูตรต่างๆ นั้น นอกจากจะมีความแตกต่างกันบ้างในสัดส่วนองค์ประกอบ วิธีการกระทำกับองค์ประกอบน้ำหมักแต่ละชนิดก่อนการหมัก เช่น น้ำลูกขอมหมัก สูตรที่ 7 ประกอบด้วย ลูกขอม 3 ส่วน : น้ำ 10 ส่วน : น้ำตาลทรายแดง 1 ส่วน : เชื้อ *Lactobacillus Caesei* โดยทำการฆ่าเชื้อที่ปนเปื้อนมา กับวัตถุดิบโดยการใช้ความร้อนที่ 72 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วินาที ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว แล้วจึงเติมเชื้อ *Lactobacillus Caesei* ซึ่งนำหมักแต่ละสูตร ทางมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้พยายามทดลองเตรียมโดยตั้งใจจะให้ เป็นต้นแบบของการผลิตน้ำหมักชีวภาพจากผลลูกขอม จึงได้ควบคุม ปัจจัยต่างๆ ตลอดจนชนิดเชื้อ และ สุขอนามัยอื่นๆ เพื่อให้ได้น้ำหมักชีวภาพที่มีคุณภาพดี ซึ่งการตรวจสอบสารประกอบ 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ นี้ อาจใช้เป็น ตัวบ่งชี้ อีกชนิดหนึ่ง ที่นอกเหนือจากการกำหนดค่าความเป็นกรดเบส ของน้ำหมักชีวภาพ โดยทั่วไป ซึ่งผลการทดลองจากงานวิจัยนี้เองทำให้ทราบได้ว่า สารประกอบ 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด และตรวจพบในน้ำลูกขอมหมักน้อยกว่า น้ำมะเขี๋ยหมัก แต่ถ้าหมักในระยะเวลาไม่นานมากนักสารประกอบ 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ก็อาจมีน้อยมากจนไม่อาจตรวจพบได้ในตัวอย่างน้ำหมักด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง ซึ่งผลการทดลองนี้พบว่าปริมาณ 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ที่ต่ำสุดที่จะสามารถตรวจพบได้ มีค่า 0.0299 ppm ซึ่งจัดว่าอยู่ในระดับต่ำมาก

กรณีที่เก็บน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากผลลูกขอม หรือผลมะเขี๋ยไว้ ควรที่จะต้องคำนึงถึง อุณหภูมิการจัดเก็บด้วย เนื่องจากผลการทดลองในน้ำหมักทั้งสองเห็นชัดเจนว่า ปริมาณสารประกอบ 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ สามารถจะเกิดได้มากขึ้น เนื่องจากการเก็บที่อุณหภูมิห้องซึ่งอยู่ในระหว่าง 30 - 32 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานๆ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด จะถูกกระตุ้นให้เกิดได้ง่ายขึ้นจึงทำให้ตรวจพบสารประกอบ 5 - ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ได้มากขึ้นด้วย สำหรับในการทดลองนี้แม้จะได้ทำการศึกษาผลการเก็บที่อุณหภูมิห้องเปรียบเทียบกับเก็บในที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้เฉพาะกับน้ำมะเขี๋ยหมักเท่านั้น เนื่องจากตัวอย่างน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากผลลูกขอมที่ทางมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ให้มา

ปริมาณค่อนข้างจำกัด เนื่องจาก น้ำอุกขอมักที่ผลิตในห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยมีจำกัด และต้องนำไปตรวจสอบคุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ ชนิดประเภท และ ปริมาณกรด ตรวจสอบ ปริมาณโลหะหนัก ตรวจสอบสารแอนติออกซิแดนท์ ตรวจสอบจุลินทรีย์ที่อาจปนเปื้อน ดังนั้นจึงสามารถแบ่งให้แก่ห้องปฏิบัติการเคมี มศว.ประสานมิตรในปริมาณจำกัดเช่นกัน ส่วนน้ำมะกึ่งหมักที่ทางมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ส่งมาให้มีปริมาณมากเนื่องจากเป็นน้ำหมักชีวภาพที่เพิ่งจะทำการศึกษาและพัฒนาสูตรใหม่ จากผลิตภัณฑ์ของมะกึ่ง จึงเตรียมให้แก่ทางภาคเคมีได้ในปริมาณมากพอสมควรที่จะจัดวางแผนการทดลองให้เป็นไปตามเป้าหมายได้ แต่อย่างไรก็ตาม ในการทดลองศึกษาหาปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ใน น้ำมะกึ่งหมักที่มีการเก็บในระยะช่วง 0 – 30 วัน เท่านั้น ก็เนื่องจากระยะเวลาจำกัด ประกอบกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ในน้ำมะกึ่งมีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็ว เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง จึงต้องทำการตรวจวิเคราะห์ในเวลาช่วงสั้น หนึ่งการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ อาจเกิดการผิดพลาดได้บ้าง เนื่องจากสารนี้เป็นสารที่ไวต่อแสง จึง อาจเกิดการสลายตัวไปบางส่วน เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ในขวดหรือภาชนะใส ซึ่งในการทดลองก็ได้ควบคุมปัจจัยดังกล่าว แต่อาจมีการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกินขึ้นต้น ทำให้เกิดสารใหม่ก็ได้ ดังนั้น ปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากการวิจัยนี้อาจจะต่ำกว่าความจริงบ้างเล็กน้อย หนึ่ง ในการส่งตัวอย่างน้ำหมักทั้งสองชนิดมาจากทางมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อาจมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นภายในน้ำหมักชีวภาพก่อนหน้าที่ตัวอย่างจะถูกส่งมาถึง ซึ่งอาจมีผลต่อการวิเคราะห์ได้ส่วนหนึ่ง

ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองวิจัยนี้มีระยะเวลาสั้นไม่ถึง 1 ปี จึงทำให้ปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองอาจตรวจพบปริมาณไม่มากพอ แต่ในทางปฏิบัติอาจมีการหมักน้ำหมักชีวภาพไว้นาน ถึง 2 ปี ก่อนการจัดจำหน่าย ดังนั้นถ้าจะพิสูจน์ตามเวลานั้นก็ต้องมีเวลาทดลองนานขึ้นกว่านี้
2. ปริมาณน้ำหมักชีวภาพตัวอย่างที่ได้รับ เป็นตัวอย่างจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จัดแบ่งมาให้ จึงไม่อาจทราบประวัติของน้ำหมักในส่วนของการเตรียมวัสดุต่างๆ วัตถุดิบ ตลอดจนลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ เช่น น้ำตาลทรายแดง น้ำผึ้ง เนื่องจากน้ำผึ้งและน้ำตาลทรายแดงเป็นองค์ประกอบสำคัญของการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด การแก้ไขปัญหานี้จึงต้องทำการเตรียมน้ำหมักเองภายในมหาวิทยาลัยแห่งนี้

3. เนื่องจากความจำกัดของเครื่องมือโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง เป็นเครื่องที่ต้องอาศัยความชำนาญในการใช้ ตลอดจนการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองแต่ละครั้ง เป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เวลาระยะหนึ่ง จึงทำให้เสียเวลาในการทดลองส่วนหนึ่งด้วย อนึ่งเครื่องมือนี้มีเพียงเครื่องเดียวในภาควิชาเคมี ซึ่งต้องใช้ทั้งการเรียนการสอน ตลอดจนในการวิจัยโครงการพิเศษและวิทยานิพนธ์ เครื่องดังกล่าวจึงถูกใช้งานมากประกอบกับในขบวนการเตรียมเครื่องของการวิเคราะห์แต่ละวันเพื่อตั้งเครื่องมือให้พร้อม ต้องใช้เวลาประมาณ 45 นาทีเป็นอย่างน้อย เพื่อจัดคอลัมน์ให้เข้าสภาวะพร้อมก่อนทดลอง และเมื่อทดลองเสร็จก็ต้องใช้เวลาในการล้างคอลัมน์และล้างส่วนต่างๆของเครื่องมือ อีกอย่างน้อย 1 ชั่วโมง จึงเป็นผลให้การทดลองในแต่ละวันทดลองได้ประมาณ 5 – 8 ตัวอย่าง แต่ตัวอย่างที่ต้องทดลองทั้งหมดมีประมาณ 250 ตัวอย่าง ดังนั้นการทดลองนี้จึงใช้เวลามาก ควรจะได้ทำวิธีทดลองหาปริมาณ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์พิวราลดีไฮด์ ด้วยวิธีอื่นๆด้วย



บรรณานุกรม

1. กระบวนการผลิต สยาม โนนี น้ำลูกยอ 99% มาตรฐานสากลจาก บริษัท เฮลท์ฟู้ด ครี เอชั่น จำกัด .น.36
2. กองบรรณาธิการ.2544. ลูกยอกินดีไม่มีเหลือ. วารสารใกล้หมอ.25(9) :1
3. กรมวิทยาศาสตร์บริการ.(2539). รายงานกิจกรรม ฉบับที่ 54 ปีงบประมาณ 2539.
4. กัลยา วาณิชย์บัญชา. 2545. การวิเคราะห์สถิติ : สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 6 โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. น. 624.
4. ไชยวัฒน์ ไชยสุด , ธนากร เจริญวิทย์ และ ดำรงค์ ศันติอารณ์.2547 . ปริมาณเมทิลแอลกอฮอล์และฟูลออยในน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากพืชในท้องตลาดประเทศไทย. มาตรฐานและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์น้ำหมักชีวภาพเพื่อการบริโภค สวทช. น.81-101.
6. นิธิยา รัตนานนท์. 2545. เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์,กรุงเทพฯ.
7. นิธิยา รัตนานนท์ และ วิบูลย์ รัตนานนท์ . 2543. สารพิษในอาหาร.สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์,กรุงเทพฯ.
8. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 230) พศ.2544. เรื่องเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 2)
9. พร้อมจิตร ศรีลัมพ์ และคณะ. สมุนไพรที่ควรรู้.พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์อาร์ ดี พี , กรุงเทพฯ,2537.
10. พรพิมล ม่วงไทย , พิชิต สุดตา , พิศพงษ์ นิชำนาญ , และชนวรรณ บุญยศักดิ์เสรี .2547 .การศึกษาปฏิกิริยาเมลลาร์ดในระบบต้นแบบระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโนมาตรฐาน . การประชุมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยครั้งที่ 30. กรุงเทพฯ
11. มาลี บรรจบ และคณะ. สมุนไพรพื้นบ้าน เล่ม 1.สำนักพิมพ์ชนาสิน เจริญการพิมพ์, กรุงเทพฯ,2543.
12. แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. Principle and Techniques of Instrumental Analysis. สำนักพิมพ์ โรงพิมพ์ชวนพิมพ์,2535.
13. เรืองราณี โรจนรุจิรัตน์. 2546. ประโยชน์และคุณค่าน้ำลูกยอ. สำนักพิมพ์ good morning. กรุงเทพฯ

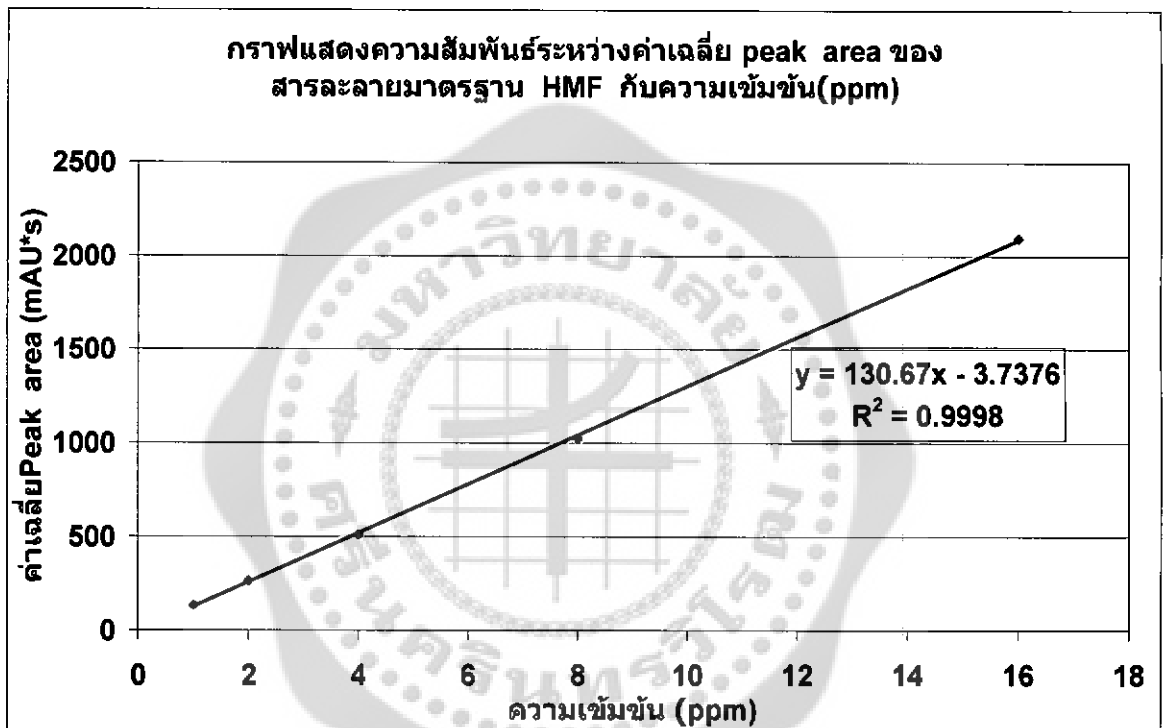
14. วราวุฒิ ครุสง.2538. จุลชีววิทยาในการแปรรูปอาหาร.สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
15. วิศิษฐ์ จิตตานุปັນ. มปป. น้ำหมักชีวภาพ. สำนักพิมพ์กลิ่นแก่น. กรุงเทพฯ น.56
16. ศิริวรรณ สุทธจิตต์.2543. ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติเพื่อสุขภาพ .พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์ดาว, เชียงใหม่ .น.202-203
17. สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง. มะเถียง พืชในโครงการอนุรักษ์.ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล,ปทุมธานี,2545.
18. Akkan .(2001).derivative spectrophotometric determination of 5 -hydroxymethyl-2-furfuraldehyde and furfural in locust bean extract. *Journal of article*.45(1)43-46.
19. AOAC.1990. Food Composition. Additive Natural Contaminants. Vol 2. Procedure. 953.08. In *Official Methods of Analysis of the AOAC. International*. 15 th ed. AOAC Washington, D.C. USA.
20. Belitz, H.D. and W. Grosch. 2000. *Food Chemistry*. 2 nd ed. Springer Verlag. Berlin Heidelberg, Germany. pp. 488-490
21. Boekel, V. 1998. Effect of heating on Maillard reactions in milk. *Food Chem*. 62(4):403-414.
22. Burdulu; & Karadeniz; F. (2003) .Kinetic model of nonenzymatic browning in apple puree.*Journal of food science*.80(1).91-97.
23. Chambel, P., M.B. Oliveira., P.B. Andrade., R.M. Seabra and M.A. Ferreira. 1997. Development of HPLC/diode-array detector method for simultaneous determination of 5-HMF, furfural, 5-o-caffeoylquinic acid and caffeine in coffee. *J. Liquid Chromatography and Related Technologies*. 20(18) : 2949-2957.
24. Hurtado, S.A., M.T. Veciana, M.I. Pulide and M.C. Vidal Carou. 1997. Determination of free and total furfural compounds in infant milk formulas by high performance liquid chromatography. *J. Agri. and Food Chem*. 45 : 2128-2133.

25. Mangas, J.J., R. Rodriguez, J. Moreno, B. Suarez and D. Blanco. 1997. Furanic and phenolic composition of cider brandy. A Chemometric study. *J. Agri. and Food Chem.* 45(10) : 4076-4079.
26. Ramirez et al.(2001).effect of poasting time on the browning of sliced bread. *Journal of food science*.81(5).513-518.
27. Nanjaro, G.B., L.S. Malec and M.S. Vigo. 1998. Reducing sugars effect on available lysine loss of casein by moderate heat treatment. *Food Chem.* 62(3) : 309-313.
28. Walstra, P. and R. Jenness. 1997. *Dairy Chemistry and Physics*. John Wiley & Son, New York. pp. 184.
29. Wunderlin, D.A., S.F. Desoc, M.V. Ame and P.F. Faye. 1998. Decomposition of hydroxymethylfurfufal in solution and protective effect of fructose. *J. Agri.and Food Chem.* 46 : 1855-1863.
30. <http://www.maharatkorat.go.th/healthy.html>
31. [http:// www. healthdiscovered.com/natural-health.html](http://www.healthdiscovered.com/natural-health.html)
32. <http://www.rspg.org/makiang/mg1.htm>

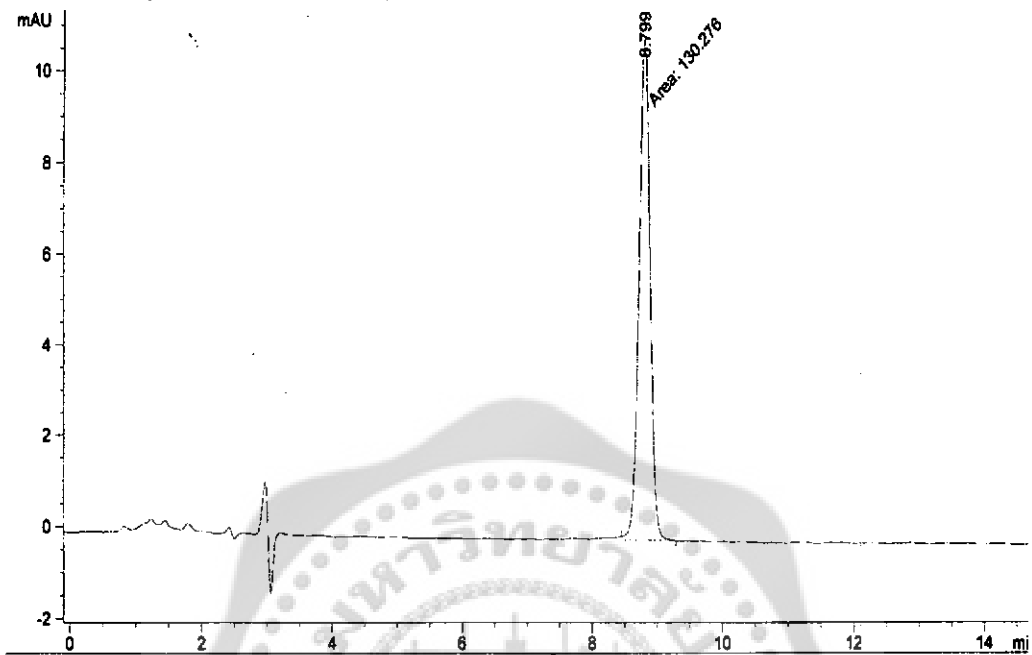
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แสดงตัวอย่างกราฟมาตรฐาน วิธีการคำนวณ

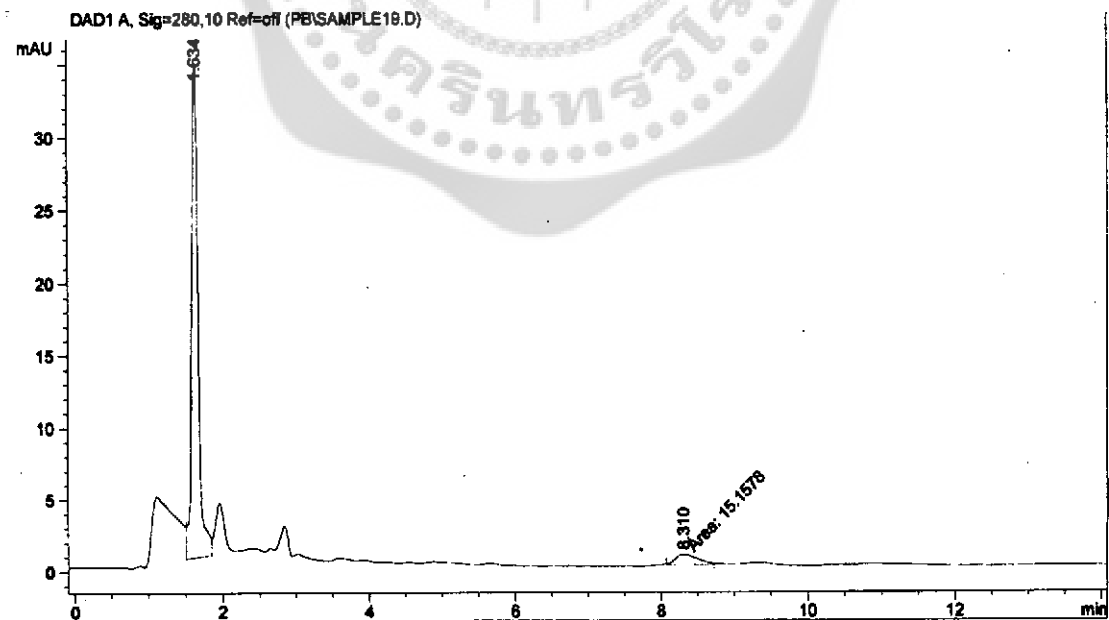
1. แสดงตัวอย่างกราฟมาตรฐาน



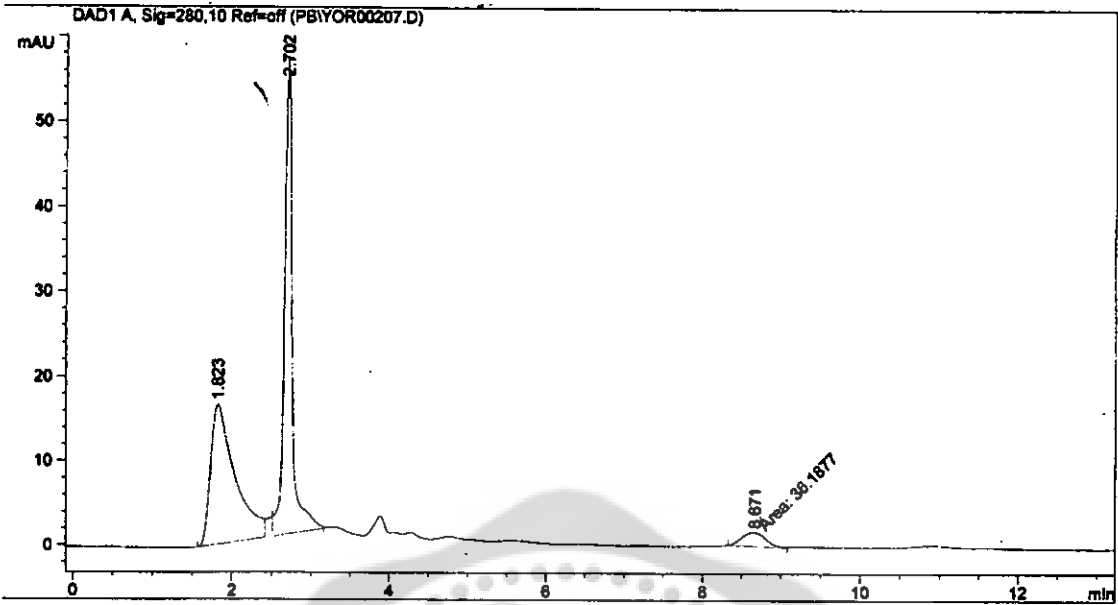
รูปที่ ก. 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ย peak area ของสารละลายมาตรฐานกับความเข้มข้น



รูปที่ ก.2 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอร์ฟิรอลดีไฮด์เข้มข้น 1 ppm



รูปที่ ก.3 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของน้ำสุกยอหมัก 120 วัน สูตร 7



รูปที่ ก.4 ตัวอย่างโครมาโตแกรมน้ำมะเขือข้มัก สูตร 1 ระยะเวลาการเก็บ 15 วัน ที่อุณหภูมิห้อง

2. ตัวอย่างวิธีการคำนวณ

การคำนวณหาปริมาณ HMF ในน้ำลูกข่อยด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง จากสมการเส้นตรง $y = 126.09x - 3.0387$ ตัวอย่างน้ำลูกข่อยหมัก 60 วัน สูตรที่ 4 แสดงผล peak area ดังนี้

ครั้งที่	peak area
1	10.9737
2	10.3008
3	10.5895

แทนค่า peak area ลงในสมการเส้นตรง $y = 126.09x - 3.0387$

ได้ $10.9737 = 126.09x - 3.0387$

$X = 0.111 \text{ ppm}$

และคำนวณผลทั้ง 3 ครั้ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและ

$$\text{สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนในรูปร้อยละจากสูตร } CV(\%) = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100$$

แสดงผลการคำนวณดังนี้

สารตัวอย่าง	การวิเคราะห์ครั้งที่	ปริมาณที่ตรวจพบ	Mean	SD	CV(%)
น้ำลูกยอ 60 วันสูตร 4	1	0.111	0.108	0.003	2.78
	2	0.106			
	3	0.108			

ในกรณีของน้ำมะเกี๋ยงที่วัดค่าการดูดกลืนแสง จำนวนจากสมการเส้นตรงของสารละลายมาตรฐาน HMF ที่ความยาวคลื่น 284 นาโนเมตร

$$Y = 0.1212x + 0.1228$$

ตัวอย่างน้ำมะเกี๋ยงที่มีการจัดเก็บ 15 วัน ที่อุณหภูมิห้องมีค่าการดูดกลืนแสง = 0.678

คำนวณจากกราฟได้ความเข้มข้น = 4.515 ppm

เนื่องจากการเจือจาง 2 เท่า คือ เติมน้ำปริมาตร 5 ml ดังนั้น

สารละลาย 5 ml มีเนื้อสาร 4.515 ppm

สารละลาย 5 ml มีเนื้อสาร $4.515 \times 10/5 = 9.03 \text{ ppm}$

และคำนวณค่าทางสถิติเช่นเดียวกับน้ำยอแสดงผลดังนี้

สารตัวอย่าง	การวิเคราะห์ครั้งที่	ปริมาณที่ตรวจพบ	Mean	SD	CV(%)
มะเกี๋ยง 60 วัน สูตร 1	1	1.656	1.740	0.13	7.47
	2	1.886			
	3	1.679			

ภาคผนวก ข แสดงผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของน้ำหมัก

ตารางที่ ข.1 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด - เบส และค่าความหวาน ของน้ำลูกยอ
น้ำลูกยอ 0 วัน

สารตัวอย่าง	ก่อน clarify	หลัง clarify	pH	ดัชนีหักเห(Brix)
สูตร 1 1n1	สีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.4	8.8
1n2	สีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.6	9.2
1n3	สีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.3	9.0
สูตร 2 2n1	สีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.2	6.0
2n2	สีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.2	7.2
2n3	สีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.1	6.6
สูตร 3 3n1	สีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.1	8.0
3n2	สีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.0	6.8
3n3	สีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.0	6.8
สูตร 4. 4n1	สีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.2	5.6
4n2	สีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.6	5.6
4n3	สีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.1	6.2
สูตร 5. 5n1	สีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.8	8.6
5n2	สีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	8.0
5n3	สีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	9.2
สูตร 6 6n1	สีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	10.0
6n2	สีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	9.8
6n3	สีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	9.8

ตารางที่ ข.2 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด - เบส และค่าความหวาน ของน้ำลูกยอ
หมักนาน 7 วัน

สารตัวอย่าง	ก่อน clarify	หลัง clarify	pH	ดัชนีหักเห(Brix)
น้ำลูกยอ 7 วัน 1n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.6	7.2
น้ำลูกยอ 7 วัน 1n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.5	7.8
น้ำลูกยอ 7 วัน 1n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.6	7.4
น้ำลูกยอ 7 วัน 2n1	สารละลายสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.2	7.4
น้ำลูกยอ 7 วัน 2n2	สารละลายสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.1	11.2
น้ำลูกยอ 7 วัน 2n3	สารละลายสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.2	7.0
น้ำลูกยอ 7 วัน 3n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.6	7.0
น้ำลูกยอ 7 วัน 3n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.6	9.4
น้ำลูกยอ 7 วัน 3n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.5	10.2
น้ำลูกยอ 7 วัน 4n1	สารละลายสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.1	8.0
น้ำลูกยอ 7 วัน 4n2	สารละลายสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.1	8.6
น้ำลูกยอ 7 วัน 4n3	สารละลายสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.1	7.0
น้ำลูกยอ 7 วัน 6n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.3	7.0
น้ำลูกยอ 7 วัน 6n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.2	6.8
น้ำลูกยอ 7 วัน 6n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.3	6.0
น้ำลูกยอ 7 วัน 7n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.6	8.0
น้ำลูกยอ 7 วัน 7n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.5	7.0
น้ำลูกยอ 7 วัน 7n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.6	6.8

ตารางที่ ข.3 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด - เบส และค่าความหวาน ของน้ำ
ลูกยอ หมักนาน 30 วัน

สารตัวอย่าง	ก่อน clarify	หลัง clarify	pH	ดัชนี หักเห (Brix)
น้ำลูกยอ 30 วัน 1n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.3	6.0
น้ำลูกยอ 30 วัน 1n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.3	6.2
น้ำลูกยอ 30 วัน 1n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.3	6.0
น้ำลูกยอ 30 วัน 2n1	สารละลายสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.1	6.4
น้ำลูกยอ 30 วัน 2n2	สารละลายสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.1	6.0
น้ำลูกยอ 30 วัน 2n3	สารละลายสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.1	5.6
น้ำลูกยอ 30 วัน 3n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.4	6.2
น้ำลูกยอ 30 วัน 3n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.4	6.4
น้ำลูกยอ 30 วัน 3n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.4	6.8
น้ำลูกยอ 30 วัน 4n1	สารละลายสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.1	6.8
น้ำลูกยอ 30 วัน 4n2	สารละลายสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.1	7.6
น้ำลูกยอ 30 วัน 4n3	สารละลายสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.1	7.0
น้ำลูกยอ 30 วัน 5n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.3	5.4
น้ำลูกยอ 30 วัน 5n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.3	5.6
น้ำลูกยอ 30 วัน 5n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.3	6.6
น้ำลูกยอ 30 วัน 6n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.2	6.0
น้ำลูกยอ 30 วัน 6n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.3	6.0
น้ำลูกยอ 30 วัน 6n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.3	5.0
น้ำลูกยอ 30 วัน 7n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	5.1	9.0
น้ำลูกยอ 30 วัน 7n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.6	7.4
น้ำลูกยอ 30 วัน 7n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.7	7.4

ตารางที่ ข.4 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด - เบส และค่าความหวาน ของน้ำ
ลูกขย หนักนาน 60 วัน

สารตัวอย่าง	ก่อน clarify	หลัง clarify	pH	ดัชนีหักเห(Brix)
น้ำลูกขย 1n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.4	6.3
น้ำลูกขย 1n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.5	6.1
น้ำลูกขย 1n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.3	6.0
น้ำลูกขย 2n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.2	5.6
น้ำลูกขย 2n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.2	5.3
น้ำลูกขย 2n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.2	5.2
น้ำลูกขย 3n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม มาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.4	5.6
น้ำลูกขย 3n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม มาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.6	6.0
น้ำลูกขย 3n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม มาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.4	5.8
น้ำลูกขย 4n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.2	6.8
น้ำลูกขย 4n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.3	7.3
น้ำลูกขย 4n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	4.1	6.2
น้ำลูกขย 5n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.3	4.8
น้ำลูกขย 5n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.2	4.8
น้ำลูกขย 5n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.1	4.2
น้ำลูกขย 6n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	5.6
น้ำลูกขย 6n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	6.0
น้ำลูกขย 6n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	5.0
น้ำลูกขย 7n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม มาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.8	8.3
น้ำลูกขย 7n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม มาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	7.4
น้ำลูกขย 7n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม มาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	7.0

ตารางที่ ข.5 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด - เบส และค่าความหวาน ของน้ำ
ลูกยอ หมักนาน 90 วัน

สารตัวอย่าง	ก่อน clarify	หลัง clarify	pH	ดัชนี หักเห (Brix)
น้ำลูกยอ 1n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	6.0
น้ำลูกยอ 1n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	4.8
น้ำลูกยอ 1n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	5.0
น้ำลูกยอ 2n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.4	4.2
น้ำลูกยอ 2n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	5.0
น้ำลูกยอ 2n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	5.0
น้ำลูกยอ 3n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	5.2
น้ำลูกยอ 3n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	5.6
น้ำลูกยอ 3n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	5.8
น้ำลูกยอ 4n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	4.8
น้ำลูกยอ 4n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.4	4.2
น้ำลูกยอ 4n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	3.6
น้ำลูกยอ 5n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.2	4.4
น้ำลูกยอ 5n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.2	7.4
น้ำลูกยอ 5n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.2	7.6
น้ำลูกยอ 6n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	6.0
น้ำลูกยอ 6n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	3.2
น้ำลูกยอ 6n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	5.4
น้ำลูกยอ 7n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.8	7.0
น้ำลูกยอ 7n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	7.0
น้ำลูกยอ 7n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.8	6.8

ตารางที่ ข.6 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด – เบส
และค่าความหวาน ของน้ำ ลูกยอ หมักนาน 120 วัน

สารตัวอย่าง	ก่อน clarify	หลัง clarify	pH	ดัชนีหักเห(Brix)
น้ำลูกยอ 1n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	6.4
น้ำลูกยอ 1n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	4.8
น้ำลูกยอ 1n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	4.2
น้ำลูกยอ 2n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.4	4.0
น้ำลูกยอ 2n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	5.4
น้ำลูกยอ 2n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.4	4.2
น้ำลูกยอ 3n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	5.2
น้ำลูกยอ 3n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	6.0
น้ำลูกยอ 3n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	6.4
น้ำลูกยอ 4n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	4.6
น้ำลูกยอ 4n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	4.6
น้ำลูกยอ 4n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	4.2
น้ำลูกยอ 5n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.1	5.6
น้ำลูกยอ 5n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.1	6.6
น้ำลูกยอ 5n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.3	7.4
น้ำลูกยอ 6n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	5.2
น้ำลูกยอ 6n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	4.6
น้ำลูกยอ 6n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	5.0
น้ำลูกยอ 7n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	4.4
น้ำลูกยอ 7n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.8	6.6
น้ำลูกยอ 7n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.8	6.6

ตารางที่ ข.7 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด – เบส
และค่าความหวาน ของน้ำ ลูกยอ หมักนาน 150 วัน

สารตัวอย่าง	ก่อน clarify	หลัง clarify	pH	ดัชนี หักเห (Brix)
น้ำลูกยอ 1n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	7.0
น้ำลูกยอ 1n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	5.4
น้ำลูกยอ 1n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	5.2
น้ำลูกยอ 2n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	5.6
น้ำลูกยอ 2n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	5.0
น้ำลูกยอ 2n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.4	5.8
น้ำลูกยอ 3n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	6.6
น้ำลูกยอ 3n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	6.2
น้ำลูกยอ 3n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	7.0
น้ำลูกยอ 4n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	5.0
น้ำลูกยอ 4n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	4.8
น้ำลูกยอ 4n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	4.2
น้ำลูกยอ 5n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.1	7.2
น้ำลูกยอ 5n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.1	8.0
น้ำลูกยอ 5n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.2	8.0
น้ำลูกยอ 6n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	6.2
น้ำลูกยอ 6n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	5.0
น้ำลูกยอ 6n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	6.2
น้ำลูกยอ 7n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.8	3.4
น้ำลูกยอ 7n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	7.4
น้ำลูกยอ 7n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	7.4

ตารางที่ ข.8 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด – เบส
และค่าความหวาน ของน้ำ ลูกยอ หมักนาน 180 วัน

สารตัวอย่าง	ก่อน clarify	หลัง clarify	pH	ดัชนี หักเห (Brix)
น้ำลูกยอ 1n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	7.0
น้ำลูกยอ 1n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	5.8
น้ำลูกยอ 1n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	5.8
น้ำลูกยอ 2n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	5.0
น้ำลูกยอ 2n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	5.4
น้ำลูกยอ 2n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.4	5.2
น้ำลูกยอ 3n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	6.6
น้ำลูกยอ 3n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	7.0
น้ำลูกยอ 3n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	7.0
น้ำลูกยอ 4n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	5.0
น้ำลูกยอ 4n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	5.0
น้ำลูกยอ 4n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลอ่อน	สารละลายใสไม่มีสี	3.3	5.0
น้ำลูกยอ 5n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.0	6.4
น้ำลูกยอ 5n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.2	4.6
น้ำลูกยอ 5n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.9	8.0
น้ำลูกยอ 6n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	4.6
น้ำลูกยอ 6n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	6.0
น้ำลูกยอ 6n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	6.0
น้ำลูกยอ 7n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.8	3.4
น้ำลูกยอ 7n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	7.0
น้ำลูกยอ 7n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้มมาก	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	7.4

ตารางที่ ข.9 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด – เบสและค่าความหวาน ของ
น้ำมะเกี๋ยงหมัก ที่ 0 วัน เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

สารตัวอย่าง	ก่อน clarify	หลัง clarify	pH	ดัชนี หักเห (Brix)
น้ำมะเกี๋ยง 1n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	5.0
น้ำมะเกี๋ยง 1n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	6.0
น้ำมะเกี๋ยง 1n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	6.0
น้ำมะเกี๋ยง 2n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	3.8
น้ำมะเกี๋ยง 2n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	6.0
น้ำมะเกี๋ยง 2n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	5.0
น้ำมะเกี๋ยง 3n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.9	3.0
น้ำมะเกี๋ยง 3n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.1	2.2
น้ำมะเกี๋ยง 3n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.0	2.4
น้ำมะเกี๋ยง 4n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	7.4
น้ำมะเกี๋ยง 4n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	7.6
น้ำมะเกี๋ยง 4n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	6.6
น้ำมะเกี๋ยง 5n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	4.0
น้ำมะเกี๋ยง 5n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	4.6
น้ำมะเกี๋ยง 5n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	5.4
น้ำมะเกี๋ยง 6n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	2.2
น้ำมะเกี๋ยง 6n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	1.6
น้ำมะเกี๋ยง 6n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	2.8

ตารางที่ ข.10 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด – เบสและค่า
ความหวาน ของน้ำ มะเกี๋ยหมัก ที่ 0 วัน เก็บที่อุณหภูมิห้อง

สารตัวอย่าง	ก่อน clarify	หลัง clarify	pH	ดัชนี หักเห (Brix)
น้ำมะเกี๋ย 1n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	5.0
น้ำมะเกี๋ย 1n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	6.0
น้ำมะเกี๋ย 1n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	6.0
น้ำมะเกี๋ย 2n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	5.0
น้ำมะเกี๋ย 2n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	6.0
น้ำมะเกี๋ย 2n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	5.0
น้ำมะเกี๋ย 3n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.8	3.0
น้ำมะเกี๋ย 3n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.0	2.2
น้ำมะเกี๋ย 3n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.9	2.4
น้ำมะเกี๋ย 4n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	7.4
น้ำมะเกี๋ย 4n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	7.6
น้ำมะเกี๋ย 4n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	6.6
น้ำมะเกี๋ย 5n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	4.0
น้ำมะเกี๋ย 5n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	4.6
น้ำมะเกี๋ย 5n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	5.4
น้ำมะเกี๋ย 6n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	2.2
น้ำมะเกี๋ย 6n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.3	1.6
น้ำมะเกี๋ย 6n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.3	2.8

ตารางที่ ข.11 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด – เบสและค่าความหวาน ของ
น้ำมะเกี๋ยงหมัก ที่ 15 วัน เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

สารตัวอย่าง	ก่อน clarify	หลัง clarify	pH	ดัชนี หักเห (Brix)
น้ำมะเกี๋ยง 1n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	8.0
น้ำมะเกี๋ยง 1n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	8.0
น้ำมะเกี๋ยง 1n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	6.0
น้ำมะเกี๋ยง 2n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	7.0
น้ำมะเกี๋ยง 2n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	8.0
น้ำมะเกี๋ยง 2n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	5.6
น้ำมะเกี๋ยง 3n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.9	3.0
น้ำมะเกี๋ยง 3n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.1	3.0
น้ำมะเกี๋ยง 3n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.0	2.6
น้ำมะเกี๋ยง 4n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	5.4
น้ำมะเกี๋ยง 4n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	4.4
น้ำมะเกี๋ยง 4n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	5.8
น้ำมะเกี๋ยง 5n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	4.0
น้ำมะเกี๋ยง 5n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	4.0
น้ำมะเกี๋ยง 5n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	3.4
น้ำมะเกี๋ยง 6n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	1.2
น้ำมะเกี๋ยง 6n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	1.6
น้ำมะเกี๋ยง 6n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	2.0

ตารางที่ ข.12 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด – เบสและค่า
ความหวาน ของน้ำ มะเกี๋ยงหมัก ที่ 15 วัน เก็บที่อุณหภูมิห้อง

สารตัวอย่าง	ก่อน clarify	หลัง clarify	pH	ดัชนี หักเห (Brix)
น้ำมะเกี๋ยง 1n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	5.6
น้ำมะเกี๋ยง 1n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	7.4
น้ำมะเกี๋ยง 1n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	6.8
น้ำมะเกี๋ยง 2n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	4.4
น้ำมะเกี๋ยง 2n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	6.2
น้ำมะเกี๋ยง 2n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	5.0
น้ำมะเกี๋ยง 3n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.8	3.0
น้ำมะเกี๋ยง 3n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.0	2.4
น้ำมะเกี๋ยง 3n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.0	2.4
น้ำมะเกี๋ยง 4n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	7.6
น้ำมะเกี๋ยง 4n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	7.8
น้ำมะเกี๋ยง 4n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	6.6
น้ำมะเกี๋ยง 5n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	4.0
น้ำมะเกี๋ยง 5n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	4.4
น้ำมะเกี๋ยง 5n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	5.6
น้ำมะเกี๋ยง 6n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	2.4
น้ำมะเกี๋ยง 6n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	1.6
น้ำมะเกี๋ยง 6n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	2.6

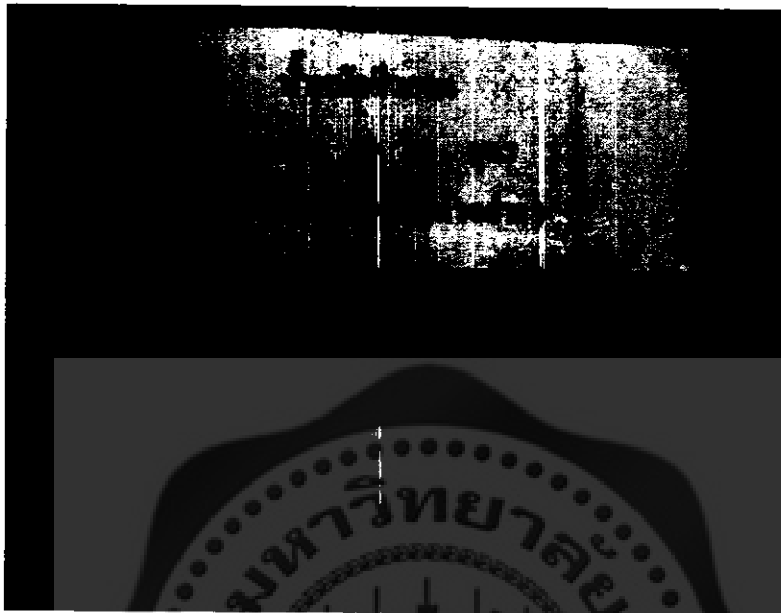
ตารางที่ ข.13 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด – เบสและค่าความหวาน
ของ น้ำมะเกี๋ยงหมัก ที่ 30 วัน เก็บที่ 4 องศาเซลเซียส

สารตัวอย่าง	ก่อน carify	หลัง carify	pH	ดัชนี หักเห
น้ำมะเกี๋ยง 1n1	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	5.6
น้ำมะเกี๋ยง 1n2	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	5.0
น้ำมะเกี๋ยง 1n3	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	5.4
น้ำมะเกี๋ยง 2n1	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	3.0
น้ำมะเกี๋ยง 2n2	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	4.0
น้ำมะเกี๋ยง 2n3	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	3.8
น้ำมะเกี๋ยง 3n1	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.9	2.4
น้ำมะเกี๋ยง 3n2	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.1	2.6
น้ำมะเกี๋ยง 3n3	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.0	2.8
น้ำมะเกี๋ยง 4n1	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	5.6
น้ำมะเกี๋ยง 4n2	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	4.6
น้ำมะเกี๋ยง 4n3	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	4.4
น้ำมะเกี๋ยง 5n1	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	3.0
น้ำมะเกี๋ยง 5n2	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	5.0
น้ำมะเกี๋ยง 5n3	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	5.4
น้ำมะเกี๋ยง 6n1	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.7	2.0
น้ำมะเกี๋ยง 6n2	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	3.0
น้ำมะเกี๋ยง 6n3	สารละลายปูนสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	2.0

ตารางที่ ข.14 แสดงสมบัติทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด – เบสและค่า
ความหวาน ของน้ำ มะเกี๋ยงหมัก ที่ 30 วัน เก็บที่อุณหภูมิห้อง

สารตัวอย่าง	ก่อน carify	หลัง carify	pH	ดัชนี หักเห
น้ำมะเกี๋ยง 1n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	4.2
น้ำมะเกี๋ยง 1n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	4.0
น้ำมะเกี๋ยง 1n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	4.6
น้ำมะเกี๋ยง 2n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	3.6
น้ำมะเกี๋ยง 2n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	3.8
น้ำมะเกี๋ยง 2n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.6	4.6
น้ำมะเกี๋ยง 3n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.8	2.8
น้ำมะเกี๋ยง 3n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	4.1	2.0
น้ำมะเกี๋ยง 3n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.9	2.0
น้ำมะเกี๋ยง 4n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	4.0
น้ำมะเกี๋ยง 4n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	5.0
น้ำมะเกี๋ยง 4n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	4.8
น้ำมะเกี๋ยง 5n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	3.6
น้ำมะเกี๋ยง 5n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	4.0
น้ำมะเกี๋ยง 5n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	4.4
น้ำมะเกี๋ยง 6n1	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.5	2.0
น้ำมะเกี๋ยง 6n2	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	1.4
น้ำมะเกี๋ยง 6n3	สารละลายขุ่นสีน้ำตาลเข้ม	สารละลายใสสีน้ำตาลอ่อน	3.4	2.0

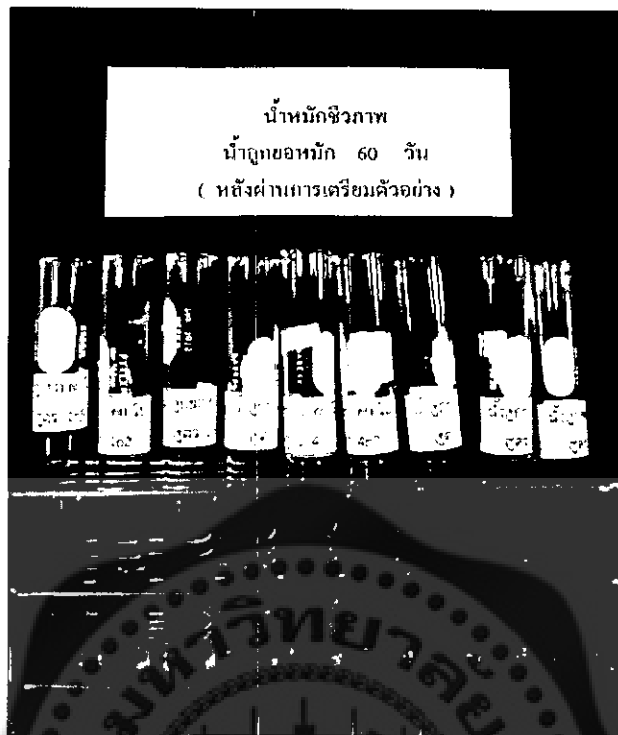
ภาคผนวก ค. แสดงภาพตัวอย่างน้ำหมักชีวภาพ ก่อนการ clarify และหลังการ clarify



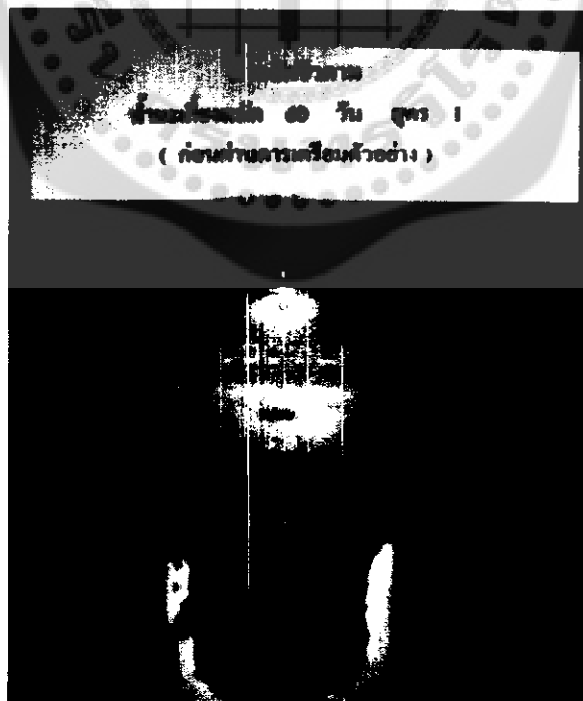
รูปที่ ค.1 น้ำลูกขอมหมัก 60 วัน สูตร 1 (ก่อนผ่านการเตรียมตัวอย่าง)



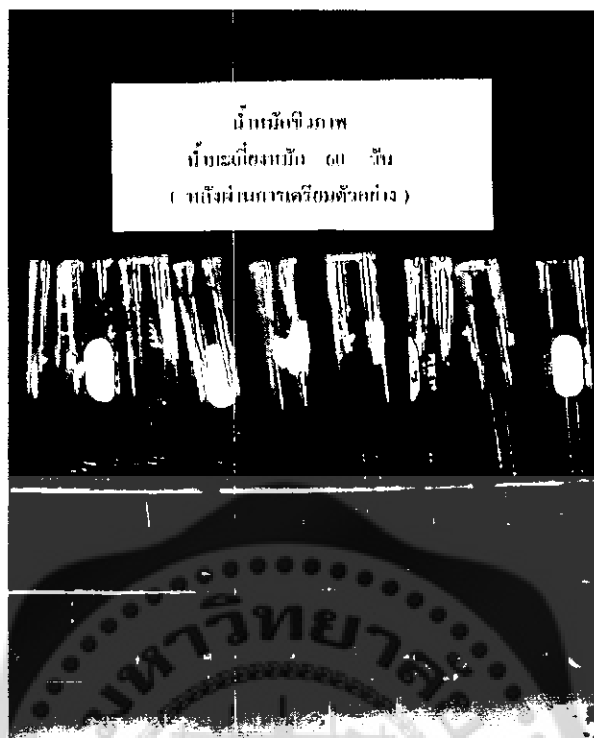
รูปที่ ค.2 น้ำลูกขอมหมัก 60 วัน สูตร 2 (ก่อนผ่านการเตรียมตัวอย่าง)



รูปที่ ค.3 น้ำลูกขอมหมัก 60 วัน (หลังผ่านการเตรียมตัวอย่าง)



รูปที่ ค.4 น้ำมะเขือหมัก 60 วัน สูตร 1 (ก่อนผ่านการเตรียมตัวอย่าง)



รูปที่ ค.5 น้ำมะขามเปียก 60 วัน (หลังผ่านการเตรียมตัวอย่าง)

แบบประวัติส่วนตัวและผลงาน

1. ประวัติส่วนตัว

ชื่อ ไทย.	นาง พรพิมล ม่วงไทย
อังกฤษ	Mrs.Pornpimol Muangthai
ที่อยู่ปัจจุบัน	159/41 ซอยรามอินทรา 8 ถ. รามอินทรา อ. บางเขน กรุงเทพฯ 10220 โทรศัพท์ 02- 5520308
ที่ทำงาน	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สุขุมวิท 23 (ประสานมิตร) เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110 โทรศัพท์ 02-6641000 ต่อ 8216 โทรสาร 02- 2592097
E-mail :	pornpi @swu.ac.th , Pornpimolm @ yahoo.com
ตำแหน่งปัจจุบัน	รองศาสตราจารย์ ระดับ 9

2. ประวัติการศึกษา

- | | |
|---------------|--|
| 2.1 ปริญญาตรี | วท.บ. (เคมี) เกียรตินิยม มหาวิทยาลัยศิลปากร
พศ. 2522 |
| 2.2 ปริญญาโท | วท.ม (เคมีวิเคราะห์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พศ. 2525 |
| 2.3 ปริญญาเอก | ปร.ด. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พศ. 2546 |

3. ประวัติการฝึกอบรม

3.1 รับทุนในการศึกษาหลักสูตรเคมีวิเคราะห์และฝึกปฏิบัติการด้านการวิเคราะห์น้ำ ที่ water center studies ตามโครงการTASEAP ณ ประเทศออสเตรเลีย ระหว่างวันที่ 18 เมษายน - 20 พฤษภาคม พศ.2542

3.2 ประชุมเชิงปฏิบัติการในการสอนวิทยาศาสตร์แบบ problem base learning ระหว่างวันที่ 15- 17 มีค. 2548 ณ. Temasek Centre ประเทศ สิงคโปร์

4. ประวัติการรับราชการ

พศ. 2525 อาจารย์ ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

พศ. 2530 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

พศ. 2534- ปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

5. ผลงานวิชาการและการค้นคว้าหรือการแต่งตำรา

1. เหมอินทรีย์ 1 พศ. 2528
2. การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือเคมี พศ. 2530
3. เหมวิเคราะห์พื้นฐาน พศ. 2530
4. ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ พศ. 2540
5. เอกสารประกอบการสอน วช 514 พศ. 2546 (กรด-เบส เหมไฟฟ้า เหมประยุกต์ในอุตสาหกรรม)
6. เอกสารประกอบการสอน คม 100 พศ. 2546(เหมสิ่งแวดล้อม)
7. เอกสารประกอบการปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ คม. 397 พศ. 2547 (บทที่ โฟเทนซีโอเมตรี 1 คอนดักโทเมตรี อะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรเมตรี โพลาริกราฟี สตรีปิงโวลแทมเมตรี)
8. เอกสารประกอบการสอนเคมีไฟฟ้าโครงการเคมีโอลิมปิก พสวท. พศ. 2547 และ พศ. 2548

6 งานวิจัยที่เผยแพร่

พรพิมล ม่วงไทย. การวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลในليبมมนุษย์ด้วยเทคนิคอะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปกโทรเมตรี. วารสารวิทยาศาสตร์ มก. ฉบับที่ 1 . ปีที่ 7. มกราคม-เมษายน 2532 : 25-28

เนาวรัตน์ สุวรรณบุญย์ **พรพิมล ม่วงไทย** สุมณฑา พรหมบุญ. การเปรียบเทียบเทคนิคการหาปริมาณตะกั่ว 2 วิธี. วารสารกรมการแพทย์ปีที่ 13 ฉบับที่ 12 ธค. พศ.2531

พรพิมล ม่วงไทย และ ชวนพิศ คงทวีเลิศ. การวิเคราะห์หาปริมาณทองแดง สังกะสี และ ตะกั่ว ใน สาทหายทะเลสกลกราชลาเรียและวุ้นที่สกัดจากสาหร่ายด้วยเทคนิคอะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปกโทรเมตรี. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13. พศ. 2530

พรพิมล ม่วงไทย และ ปรียาภรณ์ จันทร์พเนศว. การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม ใน สาทหายทะเลสกลกราชลาเรียและวุ้นที่สกัดจากสาหร่ายด้วยเทคนิคไดโครมิเมตรี. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 พศ. 2530

พรพิมล ม่วงไทย สันติ สุวรรณรังษี และ พูลสวัสดิ์ เกิดกล้า. การวิเคราะห์หาปริมาณโบรอนในสาหร่ายและวุ้นที่สกัดจากสาหร่ายโพลีคาเวอร์โนซา. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14. พศ. 2531

พรพิมล ม่วงไทย วันวิสา สุคนธ์ประดิษฐ์ และ วันดี ลือสายวงศ์. การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วและสารหนูในสาหร่ายผสมนางและวุ้นที่สกัดจากสาหร่ายผสมนาง. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12. พศ. 2529

พรพิมล ม่วงไทย และ สมศักดิ์ อธิมุตติธรรม. ปริมาณสารหนูและปรอทที่สะสมในليب ผม และ เลือดในคนปกติ. วารสารวิทยาศาสตร์ มศว ปีที่ 7 พศ. 2534: 29 -36

พรพิมล ม่วงไทย ดารณี วิจารณ์กุล และ สุขใจ กิติเกียรติโสภณ. การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในดินที่เพาะปลูกฝืนด้วยเทคนิค ISE . วารสารวิทยาศาสตร์ มศว ปีที่ 9 พศ. 2536: 16-20

. **พรพิมล ม่วงไทย** กฤษดา ชาญชนะโสภณ และ ผาณิต ขนอนเวช. การศึกษาเทคนิคการแยกและวิเคราะห์หาปริมาณอะแลนโทอินในเครื่องสำอางบางชนิด. วารสารวิทยาศาสตร์ มศว ปีที่ 10 พศ. 2537: 22-29

Muangthai, P. and Surapat, S. Free Thiol Content analysis in heated milk. KU Journal. 2003 : 345-352

Muangthai, P. and Surapat, S. Quantitative analysis of hydroxy-2-methylfurfural in heated raw milk and reconstituted milk. International conference on Environment and Safety SECOTOX 2004 P.64

Pornpimol Muangthai^{1*}, Pichit Sutta¹, Peerapong Nichamnarn Thanawan Boonyasakseri . Study of Maillard reaction in model systems between standard sugar and amino acid, 30th Congress on Science and Technology of Thailand , 19 –21 October 2004 P.11

พรพิมล ม่วงไทย, ชัยพร จันท์แสนโรจน์ และ อนันต์ เศรษฐพฤทธิ .

“การศึกษาและวิเคราะห์ปริมาณไลซีนในนํ้านมตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการแปรรูป”. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีครั้งที่ 4 16 มีนาคม พ.ศ. 2548 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

บทความ

1. เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการครูเคมี การตรวจวิเคราะห์โลหะด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรเมตรี พ.ศ. 2539
2. รศ.ดร. พรพิมล ม่วงไทย . อุตสาหกรรมเครื่องดื่มในยุคนี้ . จุลสารวิทยาศาสตร์ มศว. ประสานมิตร 2547
3. รศ.ดร. พรพิมล ม่วงไทย . ดื่มนมได้เยอะไรมากกว่าที่คิด . จุลสารวิทยาศาสตร์ มศว. ประสานมิตร 2546
4. เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการครูเคมี เคมีไฟฟ้า พ.ศ. 2543

ความชำนาญพิเศษ

เคมีวิเคราะห์

สาขา ที่สนใจ

การวิเคราะห์หาโลหะหนักในตัวอย่างน้ำ ดิน ชีววัตถุ
การศึกษาปฏิกิริยาเมลลาร์ดในนํ้านม
การวิเคราะห์สารเฟอโรฟิวราลในนํ้าหมักชีวภาพ
การแยกโปรตีนจากนํ้านมเพื่อเป็นโปรตีนเสริม
นำไปใช้ประโยชน์

ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์

รหัสนักวิจัย (สกววิจัยแห่งชาติ) 39-30-0035

วุฒิ ประจักษ์ คุญญ์บัณฑิต (อินทรีเคมี)

อาชีพ รับราชการ

หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ 10110

สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ เคมีวิเคราะห์ เคมีอินทรีย์

ผู้เชี่ยวชาญ สาขาเคมีวิเคราะห์ เคมีอินทรีย์ ที่ได้รับแต่งตั้งจาก สถาบันราชภัฏ และ มหาวิทยาลัย
นเรศวร จังหวัดพิษณุโลก จนถึงปัจจุบัน

อาจารย์พิเศษ สถาบันราชภัฏ วไลยอลงกรณ์ จ.ปทุมธานี

ประธานคณะกรรมการประกันคุณภาพ ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ - ปัจจุบัน

ประสบการณ์งานวิจัย

1. การศึกษาหาปริมาณ และคุณภาพของโปรตีนในส่วนต่างๆ ของถั่วพู และน้ำมันถั่วพู มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร 2521
2. การตรวจหาความสัมพันธ์และการเปรียบเทียบระหว่างดัชนีมวลร่างกายกับการตรวจรากลมในเด็กก่อนวัยเรียน (1-6 ปี) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พิษณุโลก 2525
3. การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างดัชนีมวลร่างกายกับการตรวจรากลมในเด็กที่ขาดโปรตีน(ทุพโภชนาการ) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พิษณุโลก 2526
4. การสำรวจพืชสมุนไพรตามแนวถนนพระร่วงตั้งแต่จังหวัดกำแพงเพชร ถึงอำเภอสรีสะเกษ นากซ์ จังหวัดสุโขทัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พิษณุโลก 2529
5. 1,2-Carbonyl Migration along the Allylic Framework : Synthesis of Alkenyl Naphthoquinone ; *J.Chem.Soc.Chem.Comm.* ; 1988; 1382-1383
6. การศึกษาการใช้ และปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมในการตกตะกอนของปาล์มในน้ำยางมะละกอ ; วทท. ครั้งที่ 18 ; 27-29 ค.ศ. 2535 ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์
7. การผลิต และการกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรมปาล์มจากยางมะละกอ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พิษณุโลก 2535
8. Enantioselective Synthesis of Spiro[4.4]non and Spiro[4.5]dec-2-ene-1,6-diones ; *Tetrahedron Letters* ; Vol.35 ; No.7 ; 1994 ; 1099-1102.
9. การสังเคราะห์แบบอสมมาตรของสไปโรไดลิโตน โดยเทคนิคเคิลมันเอพเพล , วทท.ครั้งที่ 21 , 25-27 ค.ศ. 2538 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี้ จอมเทียน จ.ชลบุรี
10. การศึกษาเปรียบเทียบการหาปริมาณเหล็กในน้ำมันพืชระหว่างการใช้กรดไทโอไกลโคลิก และ 1,10-ฟีแนนโทลีน; วทท. ครั้งที่ 23 ; 20-22 ค.ศ. 2540 ณ โรงแรมโกลด์ส ปางสวนแก้ว จ.เชียงใหม่
11. การสร้างแถบสเปกตรัมในการวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำ , มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ , 2541 , 159 หน้า
12. การศึกษาค่าคงที่การกระจายตัวของนิโคตินในวัฏภาคอนุภาคต่อวัฏภาคแก๊สในคว้นบูห์(Kp) โดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง , มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พฤษภาคม 2545 , 60 หน้า

ส่วน ข. ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ(ภาษาไทย) นายวราดุล ฉัตรทอง

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Waradoon Chutrtong

2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

3. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้สะดวกพร้อมโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

โทรศัพท์ ทำงาน 02-6641000 ต่อ 8213

บ้าน 02-4471142

โทรสาร 02-2592097

E-mail Waradoon@swu.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

1. ปริญญาตรี วท.บ.(เคมี) มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปี 2527

2. ปริญญาโท วท.ม.(เคมี) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี 2535

5. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ(แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาเคมีวิเคราะห์

เช่น วิเคราะห์โลหะปนเปื้อนในอาหารและสิ่งแวดล้อม วิเคราะห์สารพิษประเภทสารอินทรีย์
สารอินทรีย์ในตัวอย่างพืชผัก วิเคราะห์สารบำรุงผิวในเครื่องสำอาง โปรตีนนม

มีความชำนาญในการใช้และซ่อมบำรุงเครื่องมือวิเคราะห์ชนิดต่างๆเช่น เครื่องแก๊สโคร
มาโทกราฟี เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บ
ชันสเปกโตรมิเตอร์ เครื่องจุลทรรศน์ไอโอเลต-วีสึเบลสเปกโตรมิเตอร์ เครื่องฟลูออเรสเซนซ์
สเปกโตรมิเตอร์ เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ การวิเคราะห์สารพิษชนิดต่างๆ ทั้งสาร
อินทรีย์และสารอินทรีย์ในตัวอย่างทุกประเภท